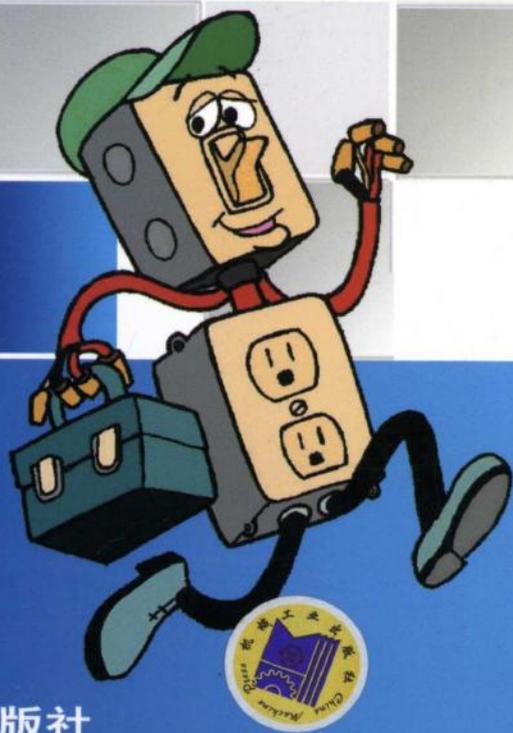


學 維 修 電 工 技 術

零 起 點

李方圓等編著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



零起點

學維修電工技術

李方園 等編著

apktwkc 修編



機械工業出版社

本書是根據《國家職業標準——維修電工》的職業要求組織編寫的，介紹了維修電工崗位所要求的必需知識，並加以擴充，按照零起點的要求，以13講的方式分別講授（電工基礎、安全用電常識、電工常用工具的使用、電工儀錶儀器的基本操作、常用低壓電器的選擇、電氣線路的安裝與調試、氣相非同步電動機的拆裝與維修、電力電子線路的安裝與調試、普通機床的電氣控制、起直機的電氣控制、變壓器參數測定及其應用、電氣照明安裝及檢修、電氣檢修標準規程。

本書通俗易懂，從零起步，以知識連結帶動維修技術的提高，具有新穎性、技術性、實用性和可操作性，可作為廣大維修電工、電氣設備管理人員、電工技術愛好者、下崗再就業者、職業峰訓學校的指導手冊，也可作為高等職業技術學院電氣自動化、機電一體化、樓宇智慧化等專業的輔助教材。

圖書在版編目（CIP）數據

零起點學維修電工技術／李方園等編著，—北京：機械工業出版社，2011.11
(20133重印)

ISBN 978-7-11-36361-3

I. ① 岑... II. ① 李... III. ① 電工—維修 IV. ① TM07

ij1 國版本圖書附IP數據核字(2011)第227390號

機械工業出版社(北京市百萬莊大街22號 郵遞區號100037)

策劃編輯：林春泉 責任編輯：呂 瀟

版式設計：霍；)(明 責任校對：申春香

封面設計：路恩 ij1 責任印製：喬 宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市勝利裝訂廠裝訂)

2013年3月第2版第1次印刷

184mm×260mm·12.25印張·298 丁字

3001-4500冊

標準書 ISBN 978-7-111-36361-3

定價：30.00 元

凡購本書，如有缺頁、倒頁、脫頁，由本社發行部調換

電話服務 網絡服務

社服務中心：(010) 88361066 門戶網：<http://www.cerbook.com>

銷售一部：(010)6832294 教材網：<http://www.crnpedu.com>

銷售二部：(010)88379649

讀者購書熱線：(010)88379203 封面無防偽標均為盜版

前 言

本書是根據《國家職業標準——維修電工》的職業要求組織編寫的，從職業能力培養的角度出發，貫穿“以職業標準為依據，以企業需求為導向，以職業能力為核心”的理念，介紹了維修電工崗位所必需的知識，並加以擴充，按照零起點的要求，以 13 講的方式，分別講授了電工基礎、安全用電常識、電工常用工具的使用、電工儀錶儀器的基本操作、常用低壓電器的選擇、電氣線路的安裝與調試、三相非同步電動機的拆裝與維修、電力電子線路的安裝與調試、普通機床的電氣控制、起重機的電氣控制、變壓器參數測定及其應用、電氣照 u 安裝及檢修、電氣檢修標準規程。

本書通俗易懂，從零起步，以知識連結帶動維修技術的提高，具有新穎性、技術性、實用性和可操作性。在編寫過程中，得到了張永惠、陳隆慈教授的大力支持，溫*亞龍教儀、溫*德力四集困、四問子公司等廠商的相關人員的幫助並提供了相當多的典型案例和維護經驗。楊帆、鐘曉強、樂斌、陳亞玲、葉 u、陳賢富、沈阿寶、陳亞珠、李偉莊、章富科、方定桂、劉軍毅、戴琴、王永行、劉偉紅、陳聰等參與了本書的編寫工作。另外，在編寫中參考和引用了國內外許多專家、學者最新發表的論文和著作等資料，借鑒了中國傳動網、中國自動化網、中華工控網等網站的實例資料，在此一併致謝！

由於作者水準有限，書中難免存在疏漏、不足和錯誤，懇請廣大讀者批評指正，作者將不勝感謝。隨著現代電氣設備的日漸增多和現代電氣技術的發展，如果您有好的應用案例或者想更正書中的案例以及需要商討的任何細節，都煩倩致

信作者 (muzi-woody@163.com)。希望本書能成為現代維修電工的交互平臺、實踐基地！

作者

2011年12月

目 錄

前言第 1 講 電工基礎	1	5.1 低壓電器概述.....	46
1.1 電能的生產、輸送和分配.....	1	5.2 接觸器.....	47
1.2 電路的基本概念.....	3	5.3 控制繼電器.....	50
安全用電常識.....	8	5.4 其他常用低壓電器.....	57
2.1 電氣安全操作技術.....	8	第 6 講	
2.2 觸電急救技術.....	11	電氣線路的安裝與調試.....	62
2.3 電器滅火常識.....	14	6.1 識別電工圖.....	62
2.4 漏電電流保護器.....	18	6.2 常見電氣控制電路介紹.....	66
第 3 講		6.3 電氣控制電路的安裝工藝.....	70
電工常用工具的使用.....	20	6.4 電氣控制電路的調試與檢修.....	75
3.1 電工常用工具相關知識.....	20	6.5 C620-1 型車床電氣線路的安裝與調	
3.2 電工常用工具的技能訓練.....	23	試.....	78
第 4		第 7 講 三相非同步電動機的安裝與維	
講 電工儀錶儀器的基本操作.....	28	修.....	84
4.1 電工指示儀錶的基本常識.....	28	7.1 三相非同步電動機概述.....	84
4.2 常見的幾種電工指示儀錶.....	33	7.2 三相非同步電動機的安裝、起動與運	
4.3 電氣試驗儀錶與操作.....	39	行.....	89
第 5 講			
常用低壓電器的選擇.....	46		

7.3 電動機故障判斷及維修案例.....92	11.1 變壓器概述.....154
7.4 電動機定子繞組的繞制及嵌放.....95	11.2 變壓器的型號與額定參數.....157
7.5 電動機的拆裝工藝.....99 第 8 講	11.3 變壓器的參數測定.....158
電力電子電路的安裝與調試...106	11.4 變壓器的工程應用.....161
8.1 晶閘管及其應用案例106	11.5 三相變壓器.....162
8.2 晶閘管調光電路的焊接與調試112	11.6 電壓互感器和電流互感器.....163 第 12
8.3 固態繼電器及其應用114 第 9 講	講 電氣照明安裝及檢修.....165
普通機床的電氣控制.....121	12.1 照明方式與種類.....165
9.1 萬能銑床及其電氣控制121	12.2 電氣照明系統的安裝流程.....166
9.2 萬能外圓磨床及其電氣控制127	12.3 照明電路故障的常規檢修.....171
9.3 搖臂鑽床及其電氣控制132 第 10	12.4 節能燈及其檢修.....173 第 13
講 起重機的電氣控制.....138	講 電氣檢修標準規程.....176
10.1 橋式起重機概述.....138	13.1 臨時性電源、照明與接地檢修標準規
10.2 凸輪控制器及其控制電路.....142	程.....176
10.3 主令控制器與交流磁力控制盤.....145	13.2 高低壓配電室檢修標準規程.....178
10.4 起重機的其他電氣設備.....150 第 11	13.3 電動機檢修標準規程.....181
講 變壓器參數測定及其應用.....154	13.4 電力電纜檢修標準規程.....184 參考
	文獻.....189

第 1 講 電工基礎



導讀

從物理學可以知道，如果原子失掉一個或幾個外層電子，則它的電平衡就被破壞了，正電荷多於負電荷，這個原子就帶正電；同理，飛出軌道的電子被另外的原子所吸收，另外的那個原子就帶負電。這就是電的本質。

目前，世界各國將本國或一個地區的各發電站併入一個強大電網，構成一個集中管理、統一調度的大電力系統（電力網）。有了電網，就可以組建各種各樣的應用電路，比如一個最簡單的手電筒實物連接電路，它是由電源（乾電池）、負載（電燈泡）和中間環節（包括連接導線和開關）三部分組成。在電路中，隨著電流的流動，進行著不同形式能量之間的轉換。

總而言之，電工基礎是每一位電力行業從業人員必須熟練掌握或適當掌握的一門知識，本講主要介紹電工技術的基本概念和電路基本知識，是維修電工入門的第一步。

1.1 電能的生產、輸送和分配

1.電的定義

我們都知道摩擦生電，用梳子梳理乾燥的頭髮時，常常會聽到“噼噼、啪啪”的響聲，如果在黑夜裡，還會看到一些細小的火花；將這把梳子放到一撮小紙屑的近旁，小紙屑會被梳子吸起來。那麼，電是什麼呢？電是一種特殊的能量，稱為電能。

自然界的一切物質都是由分子組成的，分子又是由原子組成的，每一種原子都有一個處在中心的原子核，在原子核周圍有若干個電子沿著一定的軌道做著高速度的旋轉運動。原子核是帶正電的，而電子是帶負電的。在原子未受外力的作用時，原子核所帶的正電荷與外層電子所帶的負電荷相等。因此原子對外界處於平衡狀態，不顯電性。

不同的原子，其原子核的品質及其周圍的電子數目是不同的。如銅原子和鋁原子，它們的原子結構如圖 1-1 所示。銅原子核內有 29 個帶正電的質子（中子不帶電），核外有 29 個帶負電的電子。電子呈四層分佈，最外層只有 1 個電子，如圖 1-1a 所示。鋁原子核內有 13 個質子，核外有與質子數相等的 13 個電子，最外層有 3 個電子，如圖 1-1b 所示。

那些處在最外層軌道上的電子，由於它們距離原子核比較遠，受到原子核的束縛力比較弱，在受到外界因素（如熱、光、機械力）影響時，很容易脫離自己的軌道，擺脫原子核的束縛，成為自由電子。銅、鋁等金屬物質都具有不穩定的外層電子，在常溫下就會脫離軌道成為自由電子（如每 cm^3 銅中包含 8×10^{32} 個自由電子）。

如果原子失掉一個或幾個外層電子，則它的電平衡就被破壞了，正電荷多於負電荷，這個原子就帶正電；同理，飛出軌道的電子被另外的原子所吸收，另外的那個原子就帶負電。

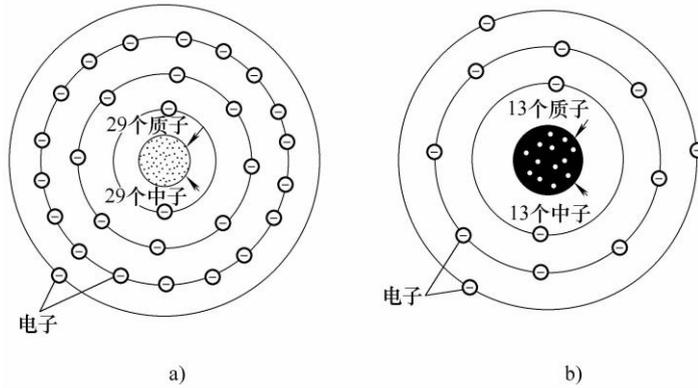


圖 1-1 原子結構示意圖

a) 銅原子結構示意圖 b) 鋁原子結構示意圖

2. 電能產生的分類

電能是由煤炭、石油、水力、核能、太陽能和風能等一次能源通過各種轉換裝置而獲得的二次能源。

電能生產的分類如圖 1-2 所示。

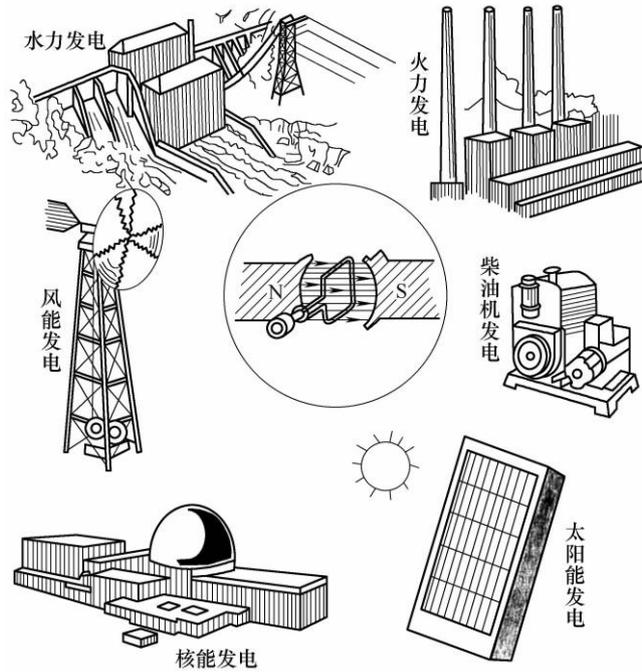


圖 1-2 各種發電裝置示意

1) 火力發電：它是利用煤炭、石油燃燒後產生的熱量來加熱水，使之成為高溫、高壓蒸汽，再用蒸汽推動汽輪機旋轉並帶動三相交流發電機發電。

2) 水力發電：它是利用水流的勢能來發電，即用水流的落差及流量去推動水輪機旋轉並帶動三相交流同步發電機發電。

3) 核能發電：它是利用原子核裂變時釋放出來的巨大能量來加熱水，使之成為高溫、高壓蒸汽，再用蒸汽推動汽輪機並帶動三相交流同步發電機發電。

4) 太陽能、風力、地熱等能源發電。

3.電能的輸送

世界各國將本國或一個地區的各發電站併入一個強大電網，構成一個集中管理、統一調度的大電力系統（電力網）。電的輸送示意如圖 1-3 所示。

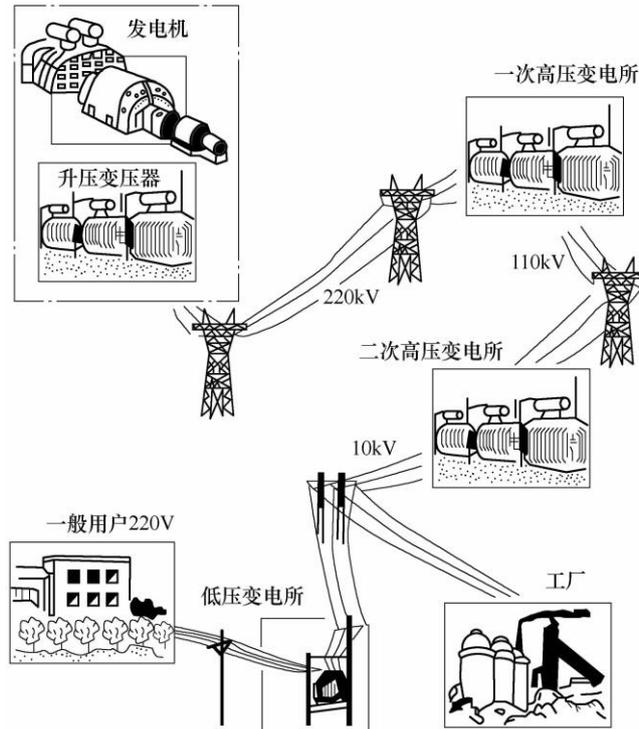


圖 1-3 電的輸送示意

目前，我國高壓輸電的電壓等級有 110kV、220kV、330kV 及 500kV 等多種。由於發電機本身結構及絕緣材料的限制，不可能直接產生這樣高的電壓，在輸電時首先必須通過升壓變壓器將電壓升高。

高壓電能輸送到用電區後，還必須通過各級降壓變電站，將電壓降至合適的數值。例如，工廠輸電線路，高壓為 35kV 或 10kV，低壓為 380V 和 220V。

當高壓電送到工廠以後，由工廠的變、配電站進行變電和配電。大、中型工廠都有自己的變、配電站。用電量在 1000kW 以下的工廠、企業等用電部門，一般只需一個低壓配電室。在配電過程中，通常把動力用電和照明用電分別配電，這樣可縮小局部故障帶來的影響。

1.2 電路的基本概念

1. 電路的結構形式

電路就是電流所通過的路徑。電路是由元器件按一定方式組合而成的。圖 1-4 所示為一個最簡單的手電筒實物連接電路，由電源（乾電池）、負載（電燈泡）和中間環節（包括連接導線和開關）三部分組成。

在電路中，隨著電流的流動，進行著不同形式能量之間的轉換。

電源是將非電能轉換成電能的裝置。例如，乾電池和蓄電池是將化學能轉化成電能，而發電機是將熱能、水能或核能等轉換成電能。所以，電源是電路中的能量來源，是推動電流運動的源泉，在它的內部進行著由非電能到電能的轉換。

負載是將電能轉換成非電能的裝置，如電燈泡將電能轉換成光能，電爐將電能轉換成熱能，電動機將電能轉換成機械能等。所以，負載是電路中的受電器，是取用電能的裝置，在它的內部進行著由電能到非電能的轉換。

中間環節是把電源與負載連接起來的部分，起傳遞和控制電能的作用。

圖 1-5 所示為圖 1-4 的電路圖。電路元件有電源 E 、電燈泡 HL、開關 S 和導線。電燈泡 HL 可理解為一電阻元件 R ； E 是電源，內電阻為 R_0 ；連接乾電池與電燈泡的中間環節是開關 S ，其電阻可以忽略不計，認為是一無電阻的理想導體。



圖 1-4 手電筒實物連接電路

圖 1-5 簡單的電路圖

2. 電路的作用

電路的作用主要包括以下兩點：

1) 傳遞和處理信號：電路的作用之一是傳遞和處理信號，常見的如擴音機，先由傳聲器把語言或音樂（通常稱為資訊）轉換為相應的電壓和電流，即電信號，而後通過電路傳遞到揚聲器，把電信號還原為語言或音樂。由於傳聲器輸出的電信號比較微弱，不足以推動揚聲器發音，因此中間還要用放大器來放大。信號的這種轉換和放大，稱為信號的處理。

2) 傳輸和轉換信號：供電系統中的電力電路起著實現電能的傳輸和轉換的作用。把發電廠發出的高壓電通過高壓線路傳輸到各地，然後通過變壓器把高壓電轉換成低壓電。這類電路，一般要求在傳輸和轉換過程中，盡可能地減少能量損耗以提高效率。

3. 電壓與電流

（1）電壓

河水之所以能夠流動，是因為有水位差。水總是從高水位流向低水位。電荷之所以能夠流動，是因為有電位差。在電路中，任意兩點間的電位差，均被稱為兩點間的電壓。電壓是形成電流的主要條件。在電路中，電壓常用 U 表示，單位是伏特（ V ），簡稱伏，大的計量單位可用千伏（ kV ）表示，小的計量單位常用毫伏（ mV ）或微伏（ μV ）表示。

它們之間的關係為

$$1kV = 1000V \quad 1V = 1000mV \quad 1mV = 1000\mu V$$

我國規定的標準電壓等級很多，如直流安全電壓為 12V、24V、36V，工業用電直流為 110V、220V 等，民用市電電壓為交流 220V，工業動力用電為交流 380V，高壓配電電壓為

6kV、10kV，高壓輸電電壓為 110kV，遠距離超高壓輸電電壓為 330kV 和 500kV。

電壓可以用電壓表測量。測量時，把電壓表並聯在電路上，要選擇電壓表指標接近滿偏轉的量程。如果電路中的電壓大小估計不出來，要先用大的量程，粗略測量後再用合適的量程，這樣可以防止由於電壓過大而損壞電壓表。

（2）電流

電荷的定向移動叫做電流。在電路中，電流常用 I 表示。電流分直流（DC）和交流（AC）兩種。電流的大小和方向不隨時間變化的叫做直流，電流的大小和方向隨時間變化的

叫做交流。電流的單位是安培（A），簡稱安，也常用毫安培（mA）或微安（ μA ）作為單位。

它們之間的關係為

$$1\text{kA}=1000\text{A} \quad 1\text{A}=1000\text{mA}$$

$$1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

直流電流的方向是從電源的正極流到

電源的負極。

電流可以用電流錶測量。測量時，把電流錶串聯在電路中，要選擇電流錶指針接近滿偏轉的量程。如果電路中的電流大小估計不出來，則要先用大的量程，粗略測量後再用合適的量程，這樣可以防止電流過大而損壞電流錶。

4. 電阻與導體材料

(1) 電阻

電路中，對電流通過有阻礙作用並且造成能量消耗的元件叫電阻。電阻常用 R 表示，單位是歐姆（ Ω ），簡稱歐，也常用千歐（ $\text{k}\Omega$ ）或兆歐（ $\text{M}\Omega$ ）作為單位。它們之間的關係為

$$1\text{k}\Omega=1000\Omega \quad 1\text{M}\Omega=1000\text{k}\Omega$$

導體的電阻由導體的材料、橫截面積、長度和溫度決定。一般導線的電阻可由以下公式求得，即

$$R=\rho L/S$$

式中，L 為導線的長度（m）；S 為導線的橫截面積（ mm^2 ）； ρ 為導線的電阻率（ $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ ）。

電阻率 ρ 是電工計算中的一個重要物理常數。不同材料物體的電阻率各不相同。它的數值相當於用這種材料製成長 1m、橫截面積為 1mm^2 的導線，在溫度為 $+20^\circ\text{C}$ 時的電阻值。電阻率直接反映著各種材料導電性能的好壞。材料的電阻率越大，表示它的導電性能越差；電阻率越小，則表示導電性能越好。

電阻可以用萬用表歐姆擋測量。測量時，要選擇萬用表指針偏轉量程一半的歐姆擋。如果被測電阻焊接在電路中，則應將其斷開一端後進行測量，人體不能與電阻引線接觸。

常用金屬材料的電阻率見表 1-1。

表 1-1 常用金屬材料的電阻率（ 20°C ）

金屬材料	電阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$)
銀	0.0165

銅	0.0175
鎢	0.0551
鐵	0.0978
鉛	0.222
鑄鐵	0.5
黃銅	0.065
鋁	0.0283
康銅	0.44

(2) 導體

能良好傳導電流的物體叫做導體。用導體製成的電氣材料叫做導電材料。金屬是常用的導電材料。除了金屬以外，其他如大地、人體、天然水和酸、堿、鹽類及它們的溶液都是導體。

金屬之所以能夠良好地傳導電流，是由其原子結構決定的。金屬原子最外層的電子與原子核結合得比較鬆散，因此這部分電子很容易脫離自己的原子核與別的原子的原子核去結合，失去電子的原子又有新的電子來結合，這樣一連串的過程就是導電的過程。銀的電阻率最小，導電性能最好但由於其價格昂貴，只在極少數的地方採用，如開關觸頭等，一般電氣設備中應用最廣泛的是銅和鋁。

還有一些材料雖然能導電，但電阻率較大，人們常常把它用作電阻材料或電熱材料，如電爐或電烤箱中的電熱絲等。

(3) 絕緣體

不能導電或者導電能力極差的物體叫做絕緣體。常見的絕緣體有木頭、石頭、橡皮、玻璃、雲母及瓷器等。絕緣體的原子結構與導體不同，其電子和原子核結合得很緊密，而巨極難分離，將此類物質接上電源時，流過的電流極小（幾乎接近零）。可以利用它的絕緣作用把電位不同的帶電體隔離開來。

一般來講，對絕緣體材料的要求是具有極高的絕緣電阻和耐電強度、較好的耐熱和防潮性能、較高的機械強度及工藝加工方便等。

空氣作為一種自然界的天然絕緣材料而被人們廣泛地加以利用。紙、礦物油、橡膠和陶瓷都是應用非常廣泛的絕緣材料。近年來，由於有機合成工業的興起，各種各樣的絕緣材料不斷問世，為新型電氣設備的製造提供了良好的條件。

絕緣材料在電和熱的長期作用下，特別是在有化學腐蝕的情況下，會逐步老化，降低它原有的電氣和機械性能，有時甚至可能完全喪失絕緣性。所以，經常檢查絕緣性能是電氣設

備維修中的主要工作之一。絕緣電阻是絕緣材料的主要技術指標。常用絕緣電阻表來測量設備的絕緣電阻。一般低壓電氣設備的絕緣電阻應大於 $0.5\text{M}\Omega$ 。對於移動電器和在潮濕地方使用的電器，其絕緣電阻還應再大一些。

(4) 半導體所謂半導體，顧名思義，就是它的導電能力介於導體和絕緣體之間，如矽、鎢、硒及大多數金屬氧化物和硫化物都是半導體。

半導體的導電能力在不同條件下有很大的差別，如有些半導體（如鑽、錳、鎳等的氧化物）對溫度的反應特別靈敏，當環境溫度增高時，它們的導電能力要增強很多。利用這種特性就做成了各種熱敏電阻。又如有些半導體（如銅、鉛等的硫化物與硒化物）受到光照時，它們的導電能力變得很強；當無光照時，又變得像絕緣體那樣不導電。利用這種特性就做成了各種光敏電阻。

更重要的是，如果在純淨的半導體中摻入微量的某種雜質後，則導電能力就可增加幾十萬甚至幾百萬倍。例如，在純矽中摻入百萬分之一的硼後，矽的電阻率就從大約 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 減小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右。利用這種特性就做成了各種不同用途的半導體器件，如半導體二極體、電晶體、場效應電晶體及晶閘管等。

5. 電路的開路、短路和額定工作狀態

(1) 開路狀態（斷路狀態）

當電路的開關斷開時，稱為開路。其特徵是電流為零，電源端的電壓值就是電源兩端的電動勢。檢修線路時應在開路狀態下進行。在這種狀態下，電路不工作也不產生熱量。

(2) 短路狀態

當電路中有電壓的兩點被電阻為零的導體連接時，稱為短路。其特徵是電流很大。根據電流的熱效應，導體所消耗的電能為

$$W = IUt = I^2Rt$$

若電阻消耗的電能全部轉換成熱能（ $Q = I^2Rt$ ），則會燒壞絕緣元件，損壞設備。為了防止短路，在電路中接熔絲。有時利用短路電流產生的高溫可進行金屬焊接等。

(3) 額定工作狀態

對用電設備一般都規定額定電流。額定電流是指電氣設備長時間工作所允許通過的最大電流，用 I_n 表示。實際電路小於 I_n 時稱為輕載；等於 I_n 時稱為滿載，滿載就是額定工作狀態；大於 I_n 時稱為超載，超載是不允許的。有些設備不標出額定電流而標出額定電壓，即 U_n ，標出額定功率 P_n 。

第 2 講 安全用電常識



導讀

電力是國民經濟的重要能源，在生活中也不可缺少。但是不懂得安全用電知識就容易造成觸電身亡、電氣火災、電器損壞等意外事故，所以我們常說“安全用電，性命攸關”。如果在生產和生活中不注意安全用電，會帶來災害。例如，觸電可造成人身傷亡，設備漏電產生的電火花可能釀成火災、爆炸，高頻用電設備可產生電磁污染等。

對於經常要與電接觸的維修電工作業來說，需要經常考慮一些問題，比如發生觸電時應採取哪些救護措施？如何防止電氣火災事故？發生火災後怎麼辦？這些問題都將在本講中一一道來。

項目	成年男性	成年女性
感知電流/mA	1.1	0.7
擺脫電流/mA	9~16	6~10
致命電流/mA	直流 30~300，交流 30 左右	直流 30~200，交流 < 30

危及生命的觸電持續時間/s	1	0.7
電流流經路徑	流經人體胸腔，則心臟機能紊亂；流經中樞神經，則神經中樞嚴重失調而造成死亡	

2.1 電氣安全操作技術

1. 人體觸電及其影響因素

(1) 電擊和電傷

人體觸電有電擊和電傷兩種。所謂電擊，是指電流通過人體內部器官，使其受到傷害。當電流作用於人體中樞神經，使心臟和呼吸器官的正常功能受到破壞，血液迴圈減弱，人體發生抽搐、痙攣、失去知覺甚至假死，若救護不及時，則會造成死亡。

電傷是指電流的熱效應、化學效應和機械效應對人體外部器官造成的局部傷害，包括電弧引起的灼傷。電流長時間作用於人體，由其化學效應及機械效應在接觸電流的皮膚表面形成腫塊、電烙印及在電弧的高溫作用下熔化的金屬滲入人體皮膚表層，造成皮膚金屬化等。電傷是人體觸電事故中危害較輕的一種。

(2) 電流對人體的傷害

電流對人體的傷害程度與電流的強弱、流經的途徑、電流的頻率、觸電的持續時間、觸電者健康狀況及人體的電阻等因素有關，見表 2-1。

表 2-1 電流對人體的傷害

(續)

項目	成年男性	成年女性
人體健康狀況	女性比男性對電流的敏感性高，承受能力為男性的 2/3；小孩比成年人受電擊的傷害程度嚴重；過度疲勞，心情差的人比有思想準備的人受傷程度高；病人受害程度比健康人嚴重	
電流頻率	40~60Hz 間的交流電對人體傷害最嚴重，直流電與較高頻率的交流電的危害性則小一些	
人體電阻	皮膚在乾燥、潔淨、無破損的情況下電阻可達數十千歐，潮濕破損的皮膚可降至 800Ω 以下，通常為 1kΩ~2kΩ	

2. 人體觸電的方式

(1) 直接觸電

人體任何部位直接觸及處於正常運行條件下的電氣設備的帶電部分（包括中性導體）而形成的觸電，稱為直接觸電。它又分為單相觸電和兩相觸電兩種情況。

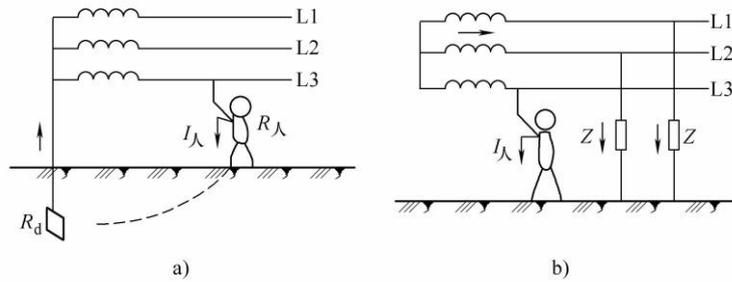


圖 2-1 單相觸電

a) 中性點接地系統的單相觸電 b) 中性點不接地系統的單相觸電

1) 單相觸電：如圖 2-1 所示，當人體站在大地或其他接地體上不絕緣的情況下，身體的某一部分直接接觸到帶電體的一相而形成的觸電，稱為單相觸電。單相觸電的危險程度與電壓的高低、電網中性點的接地情況及每相對地絕緣阻抗的大小等因素有關。在高電壓系統中，人體雖然未直接接觸帶電體，但因安全距離不夠，高壓系統經電弧對人體放電，也會形成單相觸電。在圖 2-1a 所示的中性點接地系統中，通過人體的電流達到 $220\text{V} /$

$(1 \times 10^3 \Omega) = 220\text{mA}$ ，遠遠超過人體的擺脫電流。人體若發生單相觸電，將產生嚴重後果。在圖 2-1b 所示的中性點不接地系統中，若線路絕緣不良，則絕緣阻抗降低，觸電時流過人體的電流相應增大，增加了人體觸電的危險性。

2) 兩相觸電：人體同時觸及帶電設備或線路不同電位的兩個帶電體所形成的觸電，稱為兩相觸電，如圖 2-2 所示。當發生兩相觸電時，人體承受電網的線電壓為相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，故兩相觸電為單相觸電時流過人體電流的 $\sqrt{3}$ 倍，比單相觸電有更大的危險性。

(2) 間接觸電

電氣設備在故障情況下，使正常工作時本來不帶電的金

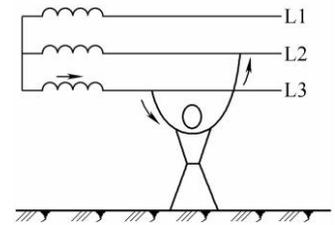
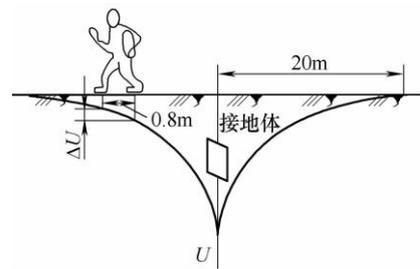


圖 2-2 兩相觸電

屬外殼處於帶電狀態，當人體任何部位觸及帶電的設備外殼時所造成的觸電，稱為間接觸電。

1) 跨步電壓觸電：當電氣設備絕緣損壞而發生接地故障或線路一相帶電導線斷落于地面時，地面各點會出現如圖 2-3 所示的電位分佈，當人體進入到上述具有電位分佈的區域時，兩腳間（人的跨步距離按 0.8m 考慮）就會因為地面電位不同而承受電壓作用，這一電壓稱為跨步電壓。由跨步電壓引起的觸電，稱為跨步電壓觸電。



2) 接觸電壓觸電：用電設備因一相電源線絕緣損壞碰設備外殼時，接地電流自設備金屬外殼通過接地體向四周大地形成半球狀流散。其電位分佈以接地體為中心向周圍擴散，距接地體 20m 左右處的電位為零。此時，當人體觸及漏電設備外殼時，因人體與腳處於不同的電位點，就會承受電壓，此電壓稱為接觸

電壓。人體因接觸電壓而引起的觸電，稱為接觸電壓

圖 2-3 跨步電壓觸電。

接觸電壓和跨步電壓與接地電流、土壤電阻率、設備接地電阻及人體位置有關。接地電流較大時，就會產生較大的接觸電壓和跨步電壓，發生觸電事故。

(3) 其他類型觸電

1) 靜電電擊：當物體在空氣中運動時，因摩擦而使物體帶有一定數量的靜止電荷，靜止電荷的堆積會形成電壓很高的靜電場，當人體接觸此類物體時，靜電場通過人體放電，使人體受到電擊。

2) 殘餘電荷電擊：電氣設備由於電容效應，在剛斷開電源的一段時間裡，還可能殘留一些電荷，當人體接觸這類電氣設備時，設備上的殘餘電荷通過人體釋放，使人體受到電擊。

3) 雷電電擊：雷電多數發生在雷云云塊之間，但也有少數部分發生在雷雲與大地或與建築物之間。在這種劇烈的雷電活動中，如果人體靠近或正處在雷電的活動範圍內，將會受到雷電的電擊。

4) 感應電壓電擊：在鄰近的電氣設備或金屬導體上，由於帶電設備的電磁感應或靜電感應而感應出一定的電壓，人體受到此類電壓的電擊，稱為感應電壓電擊。在超高壓雙回路及多回路線路中，感應電壓產生的電擊時有發生。

3. 維修電工安全操作規程

1) 工作前必須檢查工具、測量儀錶和防護用具是否完好。

2) 任何電氣設備未經檢測證明確實沒有帶電時，一律視為帶電，不准用手觸摸、身體靠近和盲目操作。

3) 必須在設備停止運轉後，切斷電源、取下熔斷器（體），掛出“禁止合閘，有人工作”的警示牌，並在驗明設備不帶電後，方可進行設備的搬移、拆卸和檢查修理。

4) 工作臨時中斷後每班組開始工作前，都必須重新檢測設備的電源是否確實斷開，只有驗明確實未帶電後，方可繼續工作。

5) 在總配電盤及母線上進行工作時，在驗明無電後，應掛上臨時接地線。拆裝接地線都必須由值班電工進行。

6) 由專門檢修人員修理電氣設備時，值班電工必須進行登記，完工後要求做好交待，共同檢查後，方可送電。

7) 每次維修結束時，必須清點所帶的工具、零配件，以防遺留在設備內部而造成事故。

8) 禁止帶負載操作動力配電箱中的刀開關、斷路器等開關設備。

9) 在低壓配電設備上帶電進行操作時，必須經過領導批准，並有專人監護。操作時，必須站在絕緣物上進行，頭戴安全帽，身穿長袖衣服，手戴絕緣手套，使用絕緣工具。鄰相帶電部分和接地金屬部分用絕緣板隔開後方可操作，嚴禁使用有裸露金屬部分的器具進行操作。

10) 熔斷器的容量要與電氣設備、線路的容量相適應。

11) 帶電裝卸熔斷器時，必須站在絕緣墊上，戴防護眼鏡、絕緣手套，方可操作，必要時還要使用絕緣夾鉗。

12) 拆除電氣線路或設備後，對可能繼續供電的裸露線頭必須用絕緣膠布包紮好。

13) 電氣設備的外殼必須可靠地接地，接地線要符合國家標準。

- 14) 對臨時安裝的電氣設備，必須將金屬外殼接地，嚴禁將電動工具的外殼接地線和工作零線擰在一起接入插座。必須使用兩線接地的三孔插座，或者將外殼單獨接在接地保護幹線上，以防止接觸不良而引起外殼帶電，用橡膠軟電纜線給移動設備供電時，專供保護接零的芯線中不允許有工作電流通過。
- 15) 安裝白熾燈的燈頭開關時，開關務必控制相線，燈頭（座）的螺紋端必須接在工作零線上。
- 16) 使用梯子時，梯子與地面間的夾角為 60° 左右，在水泥地面使用梯子時，要有防滑措施。使用人字梯時拉繩必須牢固，使用沒有搭鉤的梯子時，在工作中要有人扶穩。
- 17) 動力配電盤、配電箱（櫃）、開關及變壓器等各電氣設備附近，不准堆放各種易燃、易爆、潮濕或其他影響操作的物品。
- 18) 電氣設備發生火災時，要立即設法切斷電源，並使用 1211 滅火器或 CO_2 滅火器滅火，嚴禁使用水性泡沫滅火器滅火。
- 19) 使用各類電動工具時，人要站在絕緣墊上，並戴絕緣手套操作。供電線路裝漏電保護器或安全隔離變壓器。
- 20) 使用噴燈時，油量不得超過容器容積的 $3/4$ ，打氣要適當，不得使用漏油或漏氣的噴燈，不得在易燃、易爆品附近點燃噴燈。

2.2 觸電急救技術

1. 觸電時的急救處理

人體觸電後，由於痙攣或失去知覺等原因而本能抓緊帶電體，不能自行擺脫電源，使觸電者成為一個帶電體。觸電事故瞬間發生，情況危急，必須實行緊急救護。統計資料表明，觸電急救心臟復蘇成功率與開始急救的時間有關，二者關係見表 2-2。因此，發現有人觸電，務必爭分奪秒地進行緊急搶救。

表 2-2 觸電急救心臟復蘇成功率與開始急救的時間表

施救開始時間/min	<1	1~2	2~4	6	>6
心臟復蘇成功率(%)	60~90	45	27	10~20	<10

急救處理的基本原則如下：

- 1) 發現有人觸電，儘快斷開與觸電人接觸的導體，使觸電人脫離電源，這是減輕電傷害和實施救護的關鍵和首要工作。

2) 當觸電者脫離電源後，應根據其臨床表現，實行人工呼吸或胸腔處施行心臟按壓法急救，按動作要領操作，以獲得救治效果。同時迅速撥打 120，聯繫專業醫護人員來現場搶救。

3) 搶救生命垂危者，一定要在現場或附近就地進行，切忌長途護送到醫院，以免延誤搶救時間。

4) 緊急搶救要有信心和耐心，不要因一時搶救無效而輕易放棄搶救。

5) 搶救人員在救護觸電者時，必須注意自身和周圍的安全，當觸電者尚未脫離觸電源，救護者也未採取必要的安全措施前，嚴禁直接接觸觸電者。

6) 當觸電者所處位置較高時，應採取相應措施，以防觸電者脫離電源時從高處落下摔傷。

7) 當觸電事故發生在夜間時，應該考慮好臨時照明，以方便切斷電源時保持臨時照明，便於救護。

2. 觸電者脫離低壓電源的方法

1) 切斷電源：若電源開關或插座就在觸電者附近，救護人員應儘快拉下開關或拔掉插頭。

2) 割斷電源線：若電源線為明線，巨電源開關或插座距離觸電者較遠時，則可用帶絕緣柄的電工鉗剪斷電線或用帶有乾燥木柄的斧頭，鋤頭等利器砍斷電線。注意割斷的電線位置，不能造成其他人觸電。

3) 挑、拉開電源線：如電線斷落在觸電者身上，巨電源開關又遠離觸電地點，救護人員可用乾燥的木棒、竹竿等將掉下的電源線挑開。

4) 拉開觸電者：發生觸電時，若身邊沒有上述工具，救護者可用乾燥衣服、帽子、圍巾等把手包紮好，或戴上絕緣手套，去拉觸電者乾燥的衣服，使其脫離電源。若附近有乾燥的木板或木板凳等，救護人員可將其墊在腳下，去拉觸電者則更加安全。注意救護時只用一隻手拉，切勿觸及觸電者的身軀或金屬物體。

5) 設法使觸電者與大地隔離：若觸電者緊握電源線，救護者身邊又無合適的工具，則可以用乾燥的木板塞至觸電者身體下方，使其與大地隔離，然後再設法將電源線斷開。在救護過程中，救護者應盡可能站在乾燥的木板上進行操作。

3. 使觸電者脫離高壓電源的方法

1) 當發現有人在高壓帶電設備上觸電時，救護人員應戴上絕緣手套，穿上絕緣靴，拉開電源開關，或用相應電壓等級的絕緣工具拉開跌落式高壓熔斷器，以切斷電源。在操作過程中，救護人員必須保持自身與周圍帶電體的安全距離。2) 當有人在架空線路上觸電時，

救護人員應儘快用電話通知當地電力部門迅速停電，以利搶救。若不能迅速與變電站聯繫，可採用應急措施，即拋擲足夠截面、適當長度的金屬軟導線，使電源線短路，迫使保護裝置動作，斷開電源開關。拋擲導線前，應先將導線一端牢牢固定在鐵塔或接地引線上，另一端系上重物。拋擲時，應防止電弧傷人或斷線危及他人安全。拋擲點應距離觸電現場盡可能遠一點。

3) 若觸電者觸及落在地面的高壓導線，當尚未確認斷落導線無電時，在未採取安全措施前，救護人員不得接近斷線點 8~10m 的範圍內，以防跨步電壓傷人。此時，救護人員必須戴好手套，穿好絕緣靴後，用與觸電電壓相符的絕緣杆挑開電線。

4. 觸電時的急救

【任務描述】

模擬人體觸電情景，學習觸電時的急救方法，特別學習口對口人工呼吸法及胸外擠壓法的操作要領。

【訓練內容及操作步驟】

(1) 使觸電者脫離電源

1) 模擬觸電者站在凳子、桌子或梯子上，兩手同時觸及裸導線的兩根相線（俗稱火線）或一地一相線，模擬不同觸電的現場。

2) 根據類比現場實際情況選擇使觸電者脫離電源的辦法。可以敷設專門的實訓線路，兩人一組，一人模擬觸電者，一人根據安全操作技術，使其脫離電源獲救。

(2) 觸電急救措施

1) 若觸電者神志清醒，只是感覺心慌、四肢麻木、乏力，或雖一度昏迷，但未失去知覺，此時只要將觸電者安放在通風處安靜平躺休息，讓其慢慢恢復正常即可。但在恢復過程中，要注意觀察其呼吸和脈搏的變化，切不可讓觸電者站立或行走，以減輕心臟負擔。

2) 若觸電者神志不清，首先應將其就地平躺，確保呼吸暢通，呼叫其名字並輕拍肩部，觀察反應，以判定觸電者是否喪失意識。但要注意，切勿用搖動其頭部的辦法呼叫。

3) 若觸電者神志喪失，應及時採取看、聽、試等方法來判斷觸電者的呼吸及心跳情況。看，即看胸腹有無起伏動作；聽，即用耳朵貼近其口鼻處，聽其有無呼氣聲；試，即用手指輕試一側喉結旁凹陷處的靜動脈有無波動，以判斷心跳情況。

4) 若觸電者已喪失意識，且呼吸停止，但心臟或脈搏仍在跳動，應採用口對口的人工呼吸法予以搶救，如圖 2-4 所示。

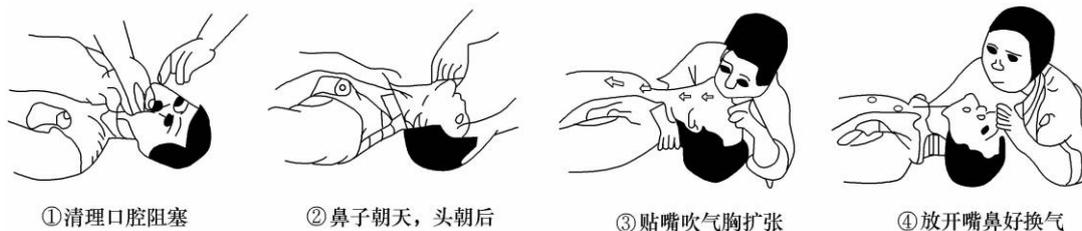


圖 2-4 口對口人工呼吸法

5) 若觸電者尚有呼吸，但心臟和脈搏均已停止跳動，應採取胸外心臟按壓法搶救，如圖 2-5 所示。



圖 2-5 人工胸外心臟按壓法

6) 若觸電者呼吸和心跳均已停止，應視為假死，應立即採取心肺復蘇法的三項基本措施（通暢氣道、口對口人工呼吸、胸外心臟按壓）就地進行搶救，以維持生命。

必須注意：在進行搶救的同時，應儘快通知醫務人員趕至現場急救，同時做好送往醫院的準備工作。

(3) 口對口（或鼻）人工呼吸法觸電急救技術操作要點

- 1) 使被復蘇人仰臥，寬鬆衣服，頸部伸直，頭部儘量後仰，然後撬開其口腔。
- 2) 施救者位於觸電者頭部一側，將其靠近頭部的一隻手捏住觸電者的鼻子，並用這只手的外緣壓住觸電者額部，將頸上抬，使其頭部自然後仰。
- 3) 施救者深呼吸以後，用嘴緊貼觸電者的嘴（中間可用醫用紗布隔開）吹氣。
- 4) 吹氣至觸電者要換氣時，應迅速離開觸電者的嘴，同時放開捏緊的鼻子，讓其自動向外呼氣。

5) 按上述步驟反復進行，對觸電者每分吹氣 15 次左右。注意，訓練時應規範操作，聽從教師的現場指導，以防操作不當損傷模擬復蘇人。

(4) 人工胸外心臟按壓法觸電急救技術操作要點

急救者跪跨在觸電者臀部位置，右手掌照圖 2-5 中①所示位置放在觸電者的胸上，左手掌壓在右手掌上，向下按壓 3~4cm 後，突然放鬆。按壓和放鬆動作要有節奏，以每秒 1 次（兒童 2~3 次）為宜，按壓用力要適當，用力過猛會造成觸電者內傷，用力過小則無效，必須連續進行到觸電者蘇醒為止。

(5) 對心跳與呼吸都停止的觸電者的急救

同時採用“口對口人工呼吸法”和“胸外心臟按壓法”。如急救者只有一人，應先對觸電者吹氣 3~4 次，然後再按壓 7~8 次，如此交替重複進行直至觸電者蘇醒為止。如果是兩個人合作搶救，一人吹氣，另一人按壓，吹氣時應保持觸電者胸部放鬆，只可在換氣時進行按壓。

2.3 電器滅火常識

1. 電器滅火概述

電氣設備發生火災有兩大特點，一是當電氣設備著火或引起火災後沒有與電源斷開，設備仍然帶電；二是電氣設備本身充油（例如電力變壓器、油斷路器等）發生火災時，可能噴油甚至爆炸，引起火勢蔓延，有擴大火災範圍的危險。因此，電氣滅火必須根據實際情況，採取對應的措施。

當發生火災時，若現場尚未停電，首先應想辦法切斷電源，這是防止火災範圍擴大和避免觸電事故的重要措施，切斷電源要注意以下五個方面：

- 1) 若線路帶有負荷，應先斷開負荷，再切斷火場電源。
- 2) 切斷電源的地點要選擇合適，防止切斷電源後，影響滅火工作。
- 3) 切斷電源時，必須應用可靠的絕緣工具，防止操作發生觸電事故。
- 4) 剪斷導線時，非同相導線應在不同部位剪斷，以免造成人為短路。
- 5) 剪斷電源線時，剪斷位置應選擇在電源方向的絕緣瓷瓶附近，以免造成斷線頭下落時發生接地斷路或觸電傷人的事故。

2. 帶電滅火注意事項

- 1) 人應與帶電體保持一定的安全距離。
- 2) 帶電導線斷電時，為防止跨步電壓傷人，要畫出一定的警戒區。
- 3) 對架空線路等高空設備滅火時，人體位置與帶電體間的仰角不得超過 45°，以防止導線斷落時危及滅火人員的安全。

4) 當用水槍滅火時，宜採用噴霧水槍，因為這種水槍通過水柱的洩漏電流比較小，帶電滅火比較安全。用水槍滅火時，水槍嘴與帶電體間的距離是：電壓為 110kV 以下者，應大於 3m；220kV 以上者，應大於 5m。用 1211 滅火器等不導電滅火器滅火時，應大於 2m 的距離。

5) 泡沫滅火器的泡沫既可能損害電氣設備絕緣，又具有一定的導電性，故不能用於帶電滅火。

3. 充油電氣設備的滅火

1) 充油設備外部著火時，可用 CO₂（二氧化碳）、1211（二氟一氯溴甲烷）、乾粉等類型的滅火器滅火；若火勢較大，務必立即切斷電源，用水滅火。

2) 若充油設備內部著火，除應立即切斷電源外，有事故儲油坑的應設法放入儲油坑，滅火可用噴霧水槍，也可用沙子、泥土等。地上流出的油可用泡沫滅火器滅火。

3) 電動機、發電機等旋轉電機著火時，可讓其慢慢轉動，以防止油和軸承變形，用噴霧水槍滅火，並幫助其冷卻，也可以用 CO₂、CCl₄（四氯化碳）、1211 和蒸汽等類型的滅火器滅火，但不宜用於乾粉、沙子、泥土等滅火，以免損壞電機內絕緣。

4. 電氣設備滅火操作

【任務描述】

採用各種不同類型的滅火器對電器產品進行滅火操作。

【訓練內容及操作步驟】

(1) 乾粉滅火器的使用方法

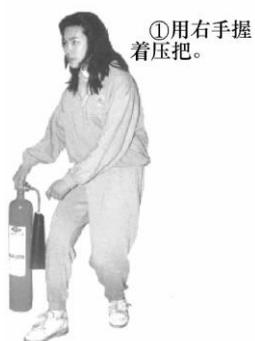
適用範圍：適用於撲救各種易燃、可燃液體和易燃、可燃氣體火災，以及電器設備火災。具體操作步驟如圖 2-6 所示。

(2) CO₂ 滅火器的使用方法

主要適用於各種易燃、可燃液體、可燃氣體火災，還可撲救儀器儀錶、圖書檔案、工藝器和低壓電器設備等的初起火災。具體操作步驟如圖 2-7 所示。



圖 2-6 乾粉滅火器的操作步驟



③除掉铅封



④拔掉保险销



圖 2-7 CO₂滅火器的操作步驟

2.4 漏電電流保護器

1. 漏電電流保護器的選擇

(1) 漏電電流保護器的種類

漏電電流保護器的類型很多，按工作原理不同可分為電壓動作型和電流動作型（零序電流型、漏電電流型、交流脈衝型等）。目前，普遍使用的是電流動作型，它被稱為漏電電流動作保護器。如圖 2-8 所示，其主要形式有漏電開關、漏電繼電器及漏電保護插座等。漏電電流保護器的主要參數是動作電流和動作時間。

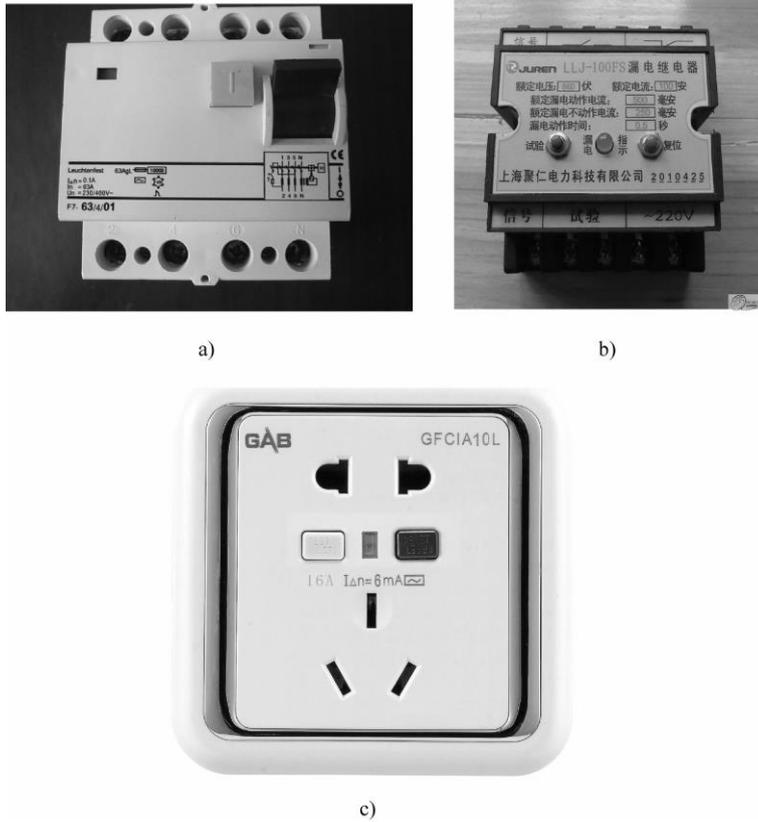


圖 2-8 漏電電流動作保護器

a) 漏電開關 b) 漏電繼電器 c) 漏電保護插座

按動作電流劃分，有 0.001A、0.006A、0.015A、0.03A、0.05A、0.075A、0.1A、

0.2A、0.3A、0.5A、1A、3A、5A、10A 和 20A 等級別。其中，電流 0.03A 以下者屬於高靈敏度保護器，0.03~1A 屬於中等靈敏度保護器，1A 以上的屬於低靈敏度保護器。

按動作時間可將漏電電流劃分為三種：動作時間不超過 0.1s 的為快速型，動作時間不超過 2s 的為延時型，動作時間與通過其中電流成反比的為反時限型。

(2) 漏電電流保護器的選擇

1) 按電氣設備的接地電阻值的不同選擇漏電保護器：對於 220/380V 的固定式電氣設備，如水泵、碾米機、磨粉機和洗衣機及所有金屬外殼容易和人體接觸的設備，為防止發生絕緣損壞危及人體安全，要求漏電保護器的動作電流 $I_{\Delta} \leq U_L / R$ ，其中 U_L 為允許接觸電壓；

R 為設備的接地電阻阻值，見表 2-3。

表 2-3 按電氣設備的接地電阻值不同選擇漏電保護器

保護設備外殼的接地電阻 R/Ω	漏電保護器的動作特徵		舉 例
	動作電流/mA	動作時間 $\Delta t/s$	
$R < 2500$	30~50	$\Delta t < 0.1$	洗衣機、電冰箱、電熨斗等
$R < 100$	200~500	$\Delta t < 0.2$	水泵、碾米機、磨粉機等
$100 < R < 500$	50~100	$\Delta t < 0.1$	手電鑽、電錘、電鋸等
醫療電氣設備	6	$\Delta t < 0.1$	—

2) 按電路或用電設備的正常實際漏電電流來選擇漏電保護器：電路或用電設備在正常運行時，因絕緣電阻不可能為無窮大，因此不可避免地都存在漏電電流，巨漏電電流隨電路的絕緣電阻、對地電容、濕度、溫度和氣候等因素改變而改變。

選擇原則如下：

① 用於單獨設備的漏電保護器，其動作電流應大於正常運行時實測漏電電流的 4 倍。

② 用於多支路設備的路電保護器，其動作電流應大於正常運行時實測漏電電流的 2.5 倍，同時應滿足其中漏電電流最大的一台設備的漏電電流的 4 倍。

③ 用作全網總保護的漏電保護器的動作電流按大於實測漏電電流的 2 倍選擇。由於實測漏電電流有一定的難度，實際工作中往往應用經驗公式來計算。單相照明電路取 $I_{\Delta} \leq I_R / 2000$ ，三相動力線路取 $I_{\Delta} \leq I_R / 1000$ 。其中 I_R 為實際最大供電電流； I_{Δ} 為洩漏電流。

2. 漏電保護器的安裝要求

- 1) 組合式漏電保護器外部連接的控制電路，應使用銅導線，其截面積不得小於 1.5mm^2 。
- 2) 安裝帶有保護的漏電保護器時，必須保證在電弧噴出方向有足夠的飛弧距離，飛弧距離大小按生產廠家的規定確定。
- 3) 當漏電保護器標有電源側和負載側時，應按規定安裝，不得接反。
- 4) 安裝漏電保護器後，不能撤掉低壓供電線路和電氣設備的接地保護措施，但要按有關技術規程進行檢查、整合。
- 5) 安裝時必須嚴格區分中性線和保護線，三相四線或四極式漏電保護器的中性線，應接入對應的埠，巨中性線不得作保護地線或接設備外露的可導電部分，而保護線不得接入漏電保護裝置。
- 6) 漏電保護器安裝完畢後要用試驗按鈕操作三次，不得產生誤動作；還要帶負荷分合開關三次，均不得產生誤動作。

第 3 講 電工常用工具的使用



導讀

俗話說“工欲善其事，必先利其器”，也就是說，準備工夫做好了，可以事半功倍。這裡面首先包括了工具的準備工作。正確使用與妥善保養電工常用工具、設備維修工具以及防護用具，對提高生產效率和施工品質，減輕操作者的勞動強度，保證操作者的安全，以及延長工具的使用壽命，都是非常有益的。

掌握好電工常用工具的名稱、規格型號、使用方法和維護保養知識，是維修電工的基本要求之一，是整個電氣安裝與檢修作業成功的主要因素之一。

3.1 電工常用工具相關知識

1. 常用電工工具

電工常用工具種類很多，這裡僅介紹一些常用的電工工具的名稱、作用及使用方法。

(1) 鋼絲鉗、尖嘴鉗、扁嘴鉗

鋼絲鉗常稱鉗子，常用於夾持或折斷金屬薄板以及切斷金屬絲；尖嘴鉗常用於較小空間下的夾持或彎折操作；扁嘴鉗常用於間斷較粗的電線和金屬絲。這些工具也是家庭常用工具。一般帶絕緣手柄的鉗子手柄耐壓為 500V，在帶電操作時，手與鉗子的金屬部分應保持 2cm 以上的距離。

(2) 剝線鉗

剝線鉗是用來剝除電線、電纜端部塑膠絕緣層的專用工具。它可以帶電（500V 以下）剝除電線末端的絕緣層。

使用方法：根據電線粗細，選擇合適的剝線鉗口，把電線頭放入剝線鉗，然後握緊鉗把，即可剝掉絕緣層。

(3) 壓線鉗

壓線鉗是電工用於接線的一種工具，它可以用於壓接較小的接線鼻，操作十分方便。另外，有一種手動的壓線鉗有 4 種腔體，不同的腔體適用於不同規格的導線和接線端子。

(4) 電工刀

電工刀是電工在裝配維修時用於割削電線絕緣外皮，割削繩索、木板等物品的工具。注意，一般電工刀的手柄不是絕緣的，嚴禁用電工刀帶電操作。

(5) 旋具、活扳手、手錘

旋具用於擰緊或鬆開螺釘；活扳手用於旋動螺母；手錘是在安裝或拆卸電器設備時捶擊用。

(6) 電烙鐵

電烙鐵是常用的焊接工具，它可以焊接電線接頭、電器元件連接點等。電烙鐵的形式很多，有外熱式電烙鐵、內熱式電烙鐵等。

(7) 手電鑽、電錘、手持磨光機

手電鑽是在設備安裝時鑽孔用的工具；電錘是一種旋轉帶衝擊電鑽的工具，它比手電鑽的衝擊力大，主要用於在建築混凝土柱上鑽孔；手持磨光機用於打磨。

(8) 低壓驗電筆

驗電筆又稱試電筆，簡稱電筆。它是用來檢查低壓導體和電氣設備的金屬外殼是否帶電的一種常用工具。驗電筆的結構如圖 3-1 所示。

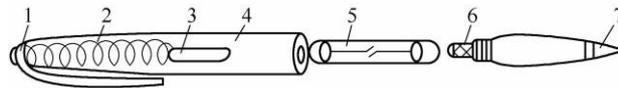


圖 3-1 低壓驗電筆的結構

1—筆尾金屬體 2—彈簧 3—小窗 4—筆身
5—氖管 6—電阻 7—筆尖金屬體

1) 驗電筆的使用方法：使用低壓驗電筆時，必須按圖 3-2 所示的方法正確握筆，一手指觸及筆尾的金屬體，使氖管背光面向自己，以便於觀察。要防止螺釘旋具式驗電筆尖金屬觸及人手，以免觸電，因此，在其金屬杆上必須裝有絕緣套管，僅留出螺釘旋具口部分供測試需要。當用驗電器測量帶電體時，電流經帶電導體、驗電筆、人體和大地形成回路，只要帶電體與大地之間的電位差達到 60V，驗電筆中的氖管就會發

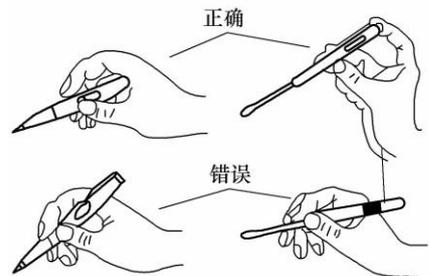


圖 3-2 驗電筆的使用方法。低壓

驗電器的電壓測試範圍為 60~500V。

2) 低壓驗電筆應用技巧：低壓驗電筆是電工常用的一種輔助安全用具，用於檢查 500V 以下導體或各種用電設備的外殼是否帶電。一支普通的低壓驗電筆，可隨身攜帶，只要掌握驗電筆的原理，結合熟知的電工原理，就可以靈活地使用。

①判斷交流電與直流電：用驗電筆判斷交、直流電，測量交流電時氖管通身亮，而測直流電時氖管亮一端。

說明：使用低壓驗電筆之前，必須在已確認的帶電體上試驗；在未確認驗電筆正常之前，不得使用。判別交、直流電時，最好在“兩電”之間作比較。測交流電時氖管兩端同時發亮，測直流電時氖管裡只有一端發亮。

②判斷直流電正負極：用驗電筆判斷直流電正負極，氖管的前端明亮的是負極，後端明亮的為正極。

說明：氖管的前端指驗電筆筆尖一端，氖管後端指手握的一端，前端明亮時所測端為直流電的負極，反之為正極。

③判斷直流電流有無接地、正負極是否接地的區別。變電所直流系統，電筆觸及不發亮；若亮靠近筆尖端，接地故障在正極；若亮靠近手指端，接地故障在負極。

說明：發電廠和變電所的直流系統，是對地絕緣的。人站在地上，用驗電筆去觸及正極或負極，氖管是不應當發亮的，如果發亮，則說明直流系統有接地現象；如果氖管在靠近筆尖的一端發亮，則是正極接地；如果氖管在靠近手指的一端發亮，則是負極接地。④判斷同相與異相。判斷兩線相同異，兩手各持一支筆，兩腳與地相絕緣，兩筆各觸一根線，觀看驗電筆，驗電筆不亮則為同相，亮則為異相。

說明：在進行此項測試時，兩腳必須與地絕緣。因為我國大部分是 380/220V 供電，巨變壓器普遍採用中性點直接接地，所以在操作時，人體與大地之間一定要絕緣，避免構成回路，以免造成誤判；測試時，兩筆亮與不亮顯示一樣，故看任一支都可以。

⑤判斷 380/220V 三相三線制供電線路相線接地故障。星形聯結三相線，電筆觸及兩根亮，剩餘一根亮度弱，該相導線已接地；若是幾乎不見亮，有金屬接地的故障。

說明：電力變壓器的二次側一般都接成星形，在中性點不接地的三相三線制系統中，用驗電筆觸及三根相線時，如果有兩根比通常稍亮，而另一根的亮度要弱一些，則表示這根亮度弱的相線有接地現象，但還不太嚴重；如果兩根都很亮，而剩餘的一根幾乎不亮，則說明這根相線有金屬接地故障。

使用驗電筆要注意以下問題：

- 使用驗電筆之前，首先要檢查驗電筆內有無安全電阻、能否正常發光以及有無受潮或进水現象，檢查合格後方可使用。

- 使用時，應當注意避光，防止因光線太強看不清氖管是否發光而造成誤判。

- 旋具狀的電筆，在它擰螺釘時，用力要輕，以防損壞。

(9) 高壓驗電器

高壓驗電器又稱高壓測電器，它是由金屬鉤、氖管、氖管窗、緊固螺釘、保護環和握柄等組成。使用高壓驗電器時要注意以下問題：

- ◆手握部位不能超過保護環。
- ◆使用前應檢查高壓驗電器是否絕緣，絕緣合格方可使用。
- ◆使用時應逐漸靠近被測體，直至氖管發光；若逐漸靠近被測體但氖管一直不亮，則說明被測體不帶電。
- ◆室外用高壓驗電器，必須在氣候良好的情況下進行。
- ◆使用高壓驗電器測試時必須戴耐壓強度符合要求得的檢驗合格的絕緣手套；測試時人應站在高壓絕緣墊上。
- ◆測試時，一人測試一人監護；防止發生相間或對地短路事故；人與帶電體應保持足夠的安全距離（10kV 高壓為 0.7m 以上）。

2. 戶外或登高作業電工工具

維修電工在戶外或登高作業中，還會經常用到移動式和掌上型電動工具、噴燈、工作梯、腳扣、安全帶等。

（1）移動式和掌上型電動工具

- 1) 作業時所用電動工具，必須裝設漏電保護裝置，金屬外殼必須接保護零線。
- 2) 長期停用或在潮濕環境下使用的電動工具，在使用前應搖測絕緣體電阻，其絕緣體電阻值應符合現行國家標準的規定。
- 3) 電動工具的電源線必須採用銅芯絕緣體護套軟線。
- 4) 電動工具使用前應進行檢查，確認開關安裝牢固，動作靈活可靠。電源開關應採用雙極或三極式。
- 5) 更換電動工具刀具時，必須待旋轉停止並切斷電源後進行，操作時不得戴線手套，不得用手指直接清除渣物。

（2）噴燈

- 1) 在帶有電體的場所使用噴燈時，噴燈火焰與帶電體的距離應符合下列要求：10kV 及以下電壓不得小於 1.5m；10kV 以上電壓不得小於 3m。
- 2) 噴燈加油、放油及拆卸噴嘴和其他零件作業，必須熄滅火焰並待冷卻後進行。噴燈用完後應卸壓。
- 3) 嚴禁在有易燃易爆物質的場所使用噴燈。
- 4) 噴燈內油面不得高於容器高大的 3/4，加油孔的螺栓應擰緊。噴燈不得有漏油現象。

5) 使用煤油或酒精的噴燈內嚴禁注入汽油。

(3) 工作梯

- 1) 工作梯使用前，應檢查其牢固性，確認鋼梯無開焊，鋁合金梯子無變形或傷痕，竹、木梯無霹靂，竹、木為禰連接。
- 2) 利用梯子上杆作業時，梯子上部與杆應捆綁牢固。
- 3) 梯子應有專人扶著。梯上有人作業時不得移動梯子，梯下方不得有人。
- 4) 不得將梯子置於箱、桶、平板車不穩定物體上。
- 5) 梯上作業人員必須將腿別在梯蹬中間，不得探身或站在最上一蹬作業。
- 6) 作業時工作梯與地面的夾角以上 60°C 為宜，在光滑及將凍地面上應有防滑措施。
- 7) 雙梯下端應設有限制開度的拉鍊，高大超過 4m 時，下部應有人扶持。

(4) 腳扣、安全帶

- 1) 腳扣得規範應與電杆的直徑相適應。
- 2) 安全帶必須在穩固處，嚴禁拴在橫擔、板、杆梢以及將要撤換的部件上。
- 3) 使用安全帶必須前，應檢查有無腐朽、脆裂、老化、斷股等情況，所有鉤環是否牢固，確認安全。可開口鉤環必須有防止自動脫鉤的保險裝置。
- 4) 使用腳扣前應檢查有無裂紋，開焊變形、皮帶損傷情況，木杆腳口齒部有無過度磨損，膠皮腳扣的膠皮有無脫落、離骨及過渡磨損情況，小爪是否靈活可靠，確認安全後方使用。
- 5) 系安全帶時，必須將鉤環扣好，再將保險裝置鎖好後方可探身或後仰作業。

3.2 電工常用工具的技能訓練

1. 低壓驗電器的使用

【任務描述】

用低壓驗電器檢測電源的通斷和電源的特點。

- 1) 判斷低壓驗電器是否完好。
- 2) 用低壓驗電器區分三相交流電源的相線與零線。
- 3) 用低壓驗電器識別三相四線制電源兩導線間是同相還是異相。
- 4) 用低壓驗電器區分直流電的正負極。

【操作步驟及方法】

- (1) 判斷低壓驗電器是否完好使用驗電筆之前，首先要檢查驗電筆是否完好，有無安全電阻、能否正常發光以及有無受潮或进水現象，檢查合格後方可使用。

判斷低壓驗電器的好壞，可以在已經確認的帶電體上測試驗電筆的好壞；也可以用萬用表來檢測驗電筆的好壞。

- (2) 區分相線與零線

用驗電筆分別測試相線和零線，驗電筆亮的為相線，不亮的為零線。

- (3) 識別三相四線制電源兩導線間是同相還是異相。

判斷兩線是否同相：兩手各持一支筆，兩腳與地相絕緣，兩筆各觸一根線，觀看驗電筆，不亮兩根線為同相，亮則為異相。

- (4) 區別直流電的正負極。

判斷直流電正負極：用驗電筆觸及直流電的正負極，氖管的前端（靠近筆尖的一端）明亮的是負極，氖管後端明亮的為正極。

2. 導線絕緣層的剝削及連接

【任務描述】

完成單股和多股銅芯導線的剝削，並進行一字形、T 字形、十字形、人字形等導線連接。

- 1) 分別用剝線鉗、鋼絲鉗、電工刀剝離不同規格的導線絕緣層。
- 2) 完成銅芯導線的一字形、T 字形、十、人字形連接。
- 3) 完成導線與柱型端子、瓦型墊圈端子的連接。

【操作步驟及方法】

- (1) 剝離導線絕緣層的操作步驟及方法

1) 用剝線鉗分別剝離截面積為 1.5mm^2 、 2.5mm^2 、 4.0mm^2 規格的塑膠單股銅芯線，方法見知識連接部分。

2) 用鋼絲鉗分別剝離截面積為 1.5mm^2 、 2.5mm^2 、 4.0mm^2 規格的塑膠單股銅芯線，如圖 3-3 所示。

3) 用電工刀剖削線芯截面大於 4mm^2 規格的塑膠單股銅芯線和護套線，如圖 3-4 和圖 3-5 所示。

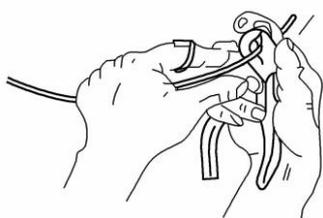


圖 3-3 鋼絲鉗剖削塑膠硬線

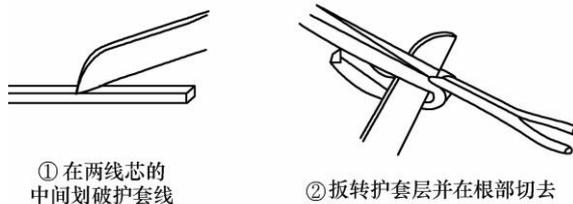


圖 3-4 電工刀剖削護套線

(2) 銅芯線連接的操作步驟及方法

1) 單股銅芯導線的一字形連接法如圖 3-6 所示，T 字形連接法如圖 3-7 所示，十字形連接法如圖 3-8 所示，人字形連接法如圖 3-9 所示。

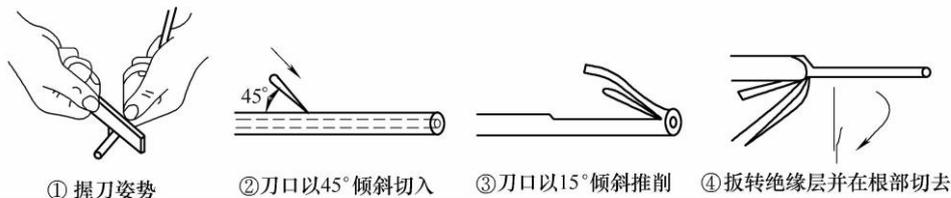


圖 3-5 用電工刀剖削單股銅芯導線

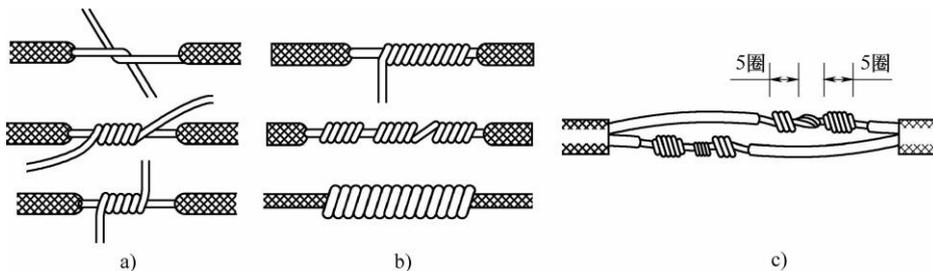


圖 3-6 單股銅芯導線的一字形連接法 a) 單芯線連接

b) 單芯線連接 c) 雙芯線連接

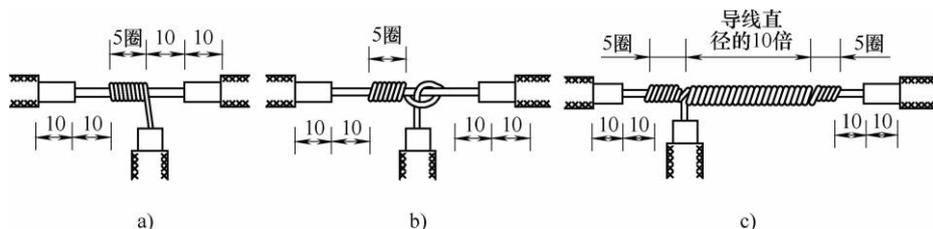


圖 3-7 單股銅芯線的 T 字形連接法 a) 小截面分線

連接 b) 分線打結連接 c) 大截面分線連接

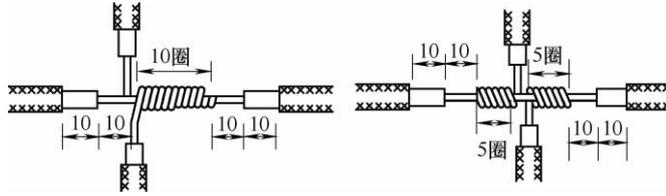


圖 3-8 單股銅芯線的十字形連接法

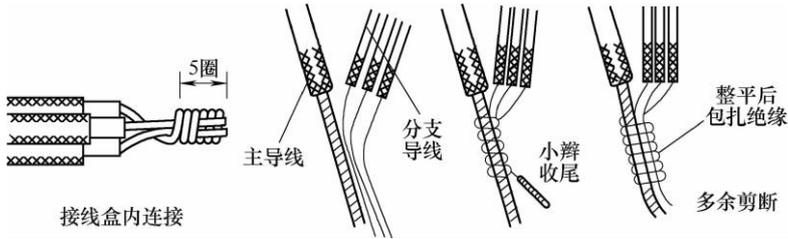


圖 3-9 單股銅芯線的人字形連接法

2) 多股銅芯線導線的一字形連接法如圖 3-10 所示，多股銅芯線的機械壓接法如圖 3-11 所示，T 字形分支連接法如圖 3-12 所示。

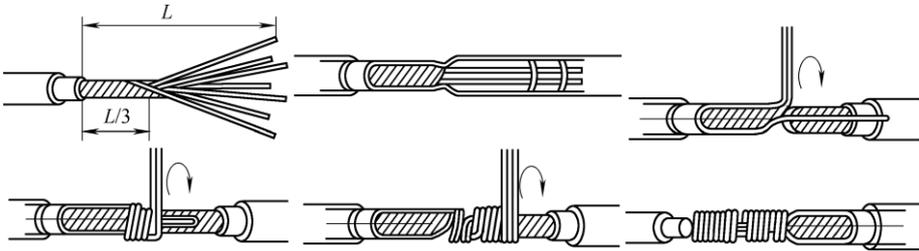


圖 3-10 多股銅芯線的一字形連接法

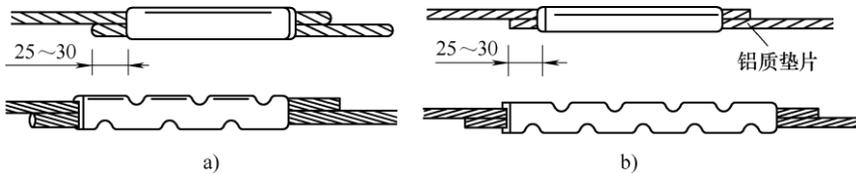


圖 3-11 多股銅芯線機械壓接法 a) 鋁絞線
b) 銅芯鋁絞線

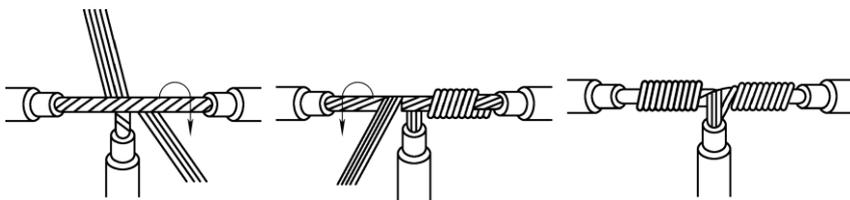


圖 3-12 多股銅芯線的 T 字形分支連接法

(3) 導線與柱型端子、瓦型墊圈端子之間連接的操作步驟及方法

導線與柱型端子的連接法如圖 3-13 所示，單股芯線壓接圈的壓接方法如圖 3-14 所示，導線與瓦形墊圈端子的連接法如圖 3-15 所示。

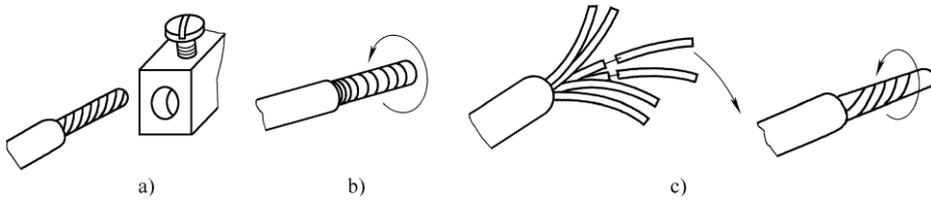


圖 3-13 導線與柱形端子連接法

a) 孔大小較適宜時的連接 b) 孔過大時的連接（在線頭處加一根單股導線排繞一層再插入） c) 孔過小時的連接（將線頭剪斷兩股再絞插）

3. 導線絕緣層的恢復

【任務描述】

將連接好的各種導線恢復原有的絕緣能力。



圖 3-14 單股芯線壓接圈的壓接方法

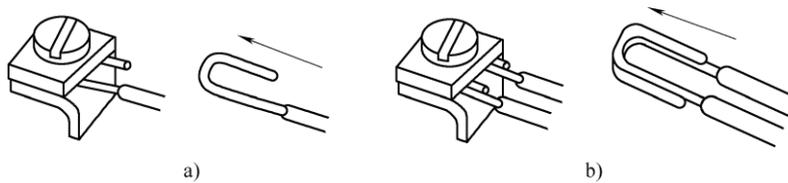


圖 3-15 導線與瓦形墊圈端子的連接方法 a) 單個線頭連接方法 b) 兩個線頭連接方法

【操作步驟】

(1) 絕緣帶的包纏方法

1) 將黃蠟帶從導線左邊完整的絕緣層上開始包纏。

2) 包纏兩根頻寬後方可進入無絕緣層的線芯部分，如圖 3-16a 所示。包纏時，黃蠟帶與導線保持約 55° 的傾斜角，每圈壓疊頻寬的 $1/2$ ，如圖 3-16b 所示。

3) 包纏一層黃蠟帶後，將黑膠布接在黃蠟帶的尾端，按另一斜疊方向包纏一層黑膠布，也要每圈壓疊頻寬的 $1/2$ ，如圖 3-16c、d 所示。

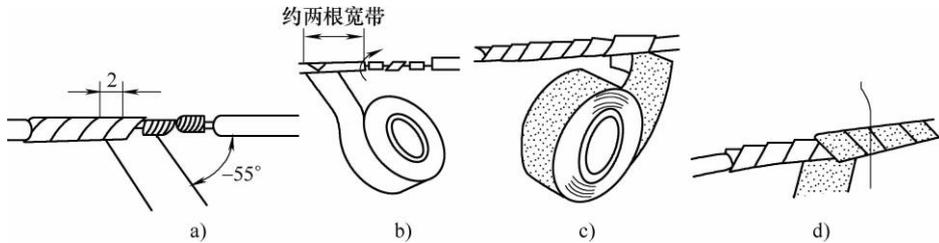


圖 3-16 絕緣帶的包纏方法

(2) 注意事項

1) 用在 380V 線路上的導線恢復絕緣時，必須先包纏 1~2 層黃蠟帶，然後再包纏一層黑膠帶。

2) 用在 220V 線路上的導線恢復絕緣時，先包纏一層黃蠟帶，然後再包纏一層黑膠帶，也可只包纏兩層黑膠帶。

3) 絕緣帶包纏時，不能過疏，更不允許露出線芯，以免造成觸電或短路事故。

4) 絕緣帶平時不可放在溫度很高的地方，也不可浸染油類。

第4講 電工儀錶儀器的基本操作



導讀

在處理電氣設備故障的時候，經常需要通過各種儀錶儀器來輔助電工進行故障判斷和排除，因此維修電工應掌握電工儀錶儀器的基本操作，並自主學習和掌握新出現的先進電工儀器儀錶的使用，同時能對使用的儀錶、儀器進行維護和保養。

電工儀錶是實現電磁測量過程中所需技術工具的總稱。主要包括萬用表、鉗形電流錶、絕緣電阻表、接地電阻測量儀、示波器、電工常用計量儀錶、電流錶、電壓表、互感器和電橋等，有指示儀錶、比較儀器、數位儀錶和巡迴檢測裝置、記錄儀錶和示波器、擴大量程裝置和變換器。在本講中主要介紹了電工指示儀錶和電氣測試儀錶。

4.1 電工指示儀錶的基本常識

1. 電工測量的意義一個完整的測量過程，通常包含如下幾個方面：

(1) 測量物件

電工測量的物件主要是反映電和磁特徵的物理量，如電流 (I)、電壓 (V)、電功率 (P)、電能 (W) 以及磁感應強度 (B) 等；反映電路特徵的物理量，如電阻 (R)、電容 (C)、電感 (L) 等；反映電和磁變化規律的非電量，如頻率 (f)、相位 (φ)、功率因數 ($\cos\varphi$) 等。

根據測量的目的和被測量的性質，可選擇不同的測量方式和不同的測量方法。

(2) 測量設備

對被測量與標準量進行比較的測量設備，包括測量儀器和作為測量單位參與測量的度量器。進行電量或磁量測量所需的儀器儀錶，統稱為電工儀錶。電工儀錶是根據被測電量或磁量的性質，按照一定原理構成的。在電工測量中使用的標準電量或磁量是電量或磁量測量單位的複製體，稱為電學度量器。電學度量器是電氣測量設備的重要組成部分，它不僅作為標準量參與測量過程，而且是維持電磁學單位統一，保證量值準確傳遞的器具。電工測量中常用的電學度量器有標準電池、標準電阻、標準電容和標準電感等。

除以上三個主要方面外，測量過程中還必須建立測量設備所必需的工作條件；慎重地進行操作，認真記錄測量資料；並考慮測量條件的實際情況進行資料處理，以確定測量結果和測量誤差。

2. 測量方式和測量方法的分類

(1) 測量方式的分類

測量方式主要有如下兩種：

1) 直接測量：在測量過程中，能夠直接將被測量與同類標準量進行比較，或能夠直接用事先刻度好的測量儀器對被測量進行測量，從而直接獲得被測量的數值的測量方式稱為直接測量。例如，用電壓表測量電壓、用電能表測量電能以及用直流電橋測量電阻等都是直接測量。直接測量的方式廣泛應用於工程測量中。

2) 間接測量：當被測量由於某種原因不能直接測量時，可以通過直接測量與被測量有一定函數關係的物理量，然後按函數關係計算出被測量的數值，這種間接獲得測量結果的方式稱為間接測量。例如，用伏安法測量電阻，是利用電壓表和電流錶分別測量出電阻兩端的電壓和通過該電阻的電流，然後根據歐姆定律 $R=U/I$ 計算出被測電阻 R 的大小。間接測量方式廣泛應用於科研、實驗室及工程測量中。

(2) 測量方法的分類

在測量過程中，作為測量單位的度量器可以直接參與也可以間接參與。根據度量器參與測量過程的方式，可以把測量方法分為直讀法和比較法。

1) 直讀法：用直接指示被測量大小的指示儀錶進行測量，能夠直接從儀錶刻度盤上讀取被測量數值的測量方法，稱為直讀法。直讀法測量時，度量器不直接參與測量過程，而是間接地參與測量過程。例如，用歐姆表測量電阻時，從指標在刻度尺上指示的刻度可以直接讀出被測電阻的數值。這一讀數被認為是可信的，因為歐姆表刻度尺的刻度事先用標準電阻進行了校驗，標準電阻已將它的量值和單位傳遞給歐姆表，間接地參與了測量過程。直讀法測量的過程簡單，操作容易，讀數迅速，但其測量的準確度不高。

2) 比較法：將被測量與度量器在比較儀器中直接比較，從而獲得被測量數值的方法稱為比較法。例如，用天平測量物體品質時，作為品質度量器的砝碼始終都直接參與了測量過程。在電工測量中，比較法具有很高的測量準確度，可以達到士 0.001%，但測量時操作比較麻煩，相應的測量設備也比較昂貴。

根據被測量與度量器進行比較時的不同特點又可將比較法分為零值法、較差法和替代法三種。

①零值法又稱平衡法，它是利用被測量對儀器的作用，與標準量對儀器的作用相互抵消，由指零儀錶做出判斷的方法。即當指零儀錶指示為零時，表示兩者的作用相等，儀器達到平衡狀態；此時按一定的關係可計算出被測量的數值。顯然，零值法測量的準確度主要取決於度量器的準確度和指零儀錶的靈敏度。

②較差法是通過測量被測量與標準量的差值，或正比於該差值的量，根據標準量來確定被測量的數值的方法。較差法可以達到較高的測量準確度。

③替代法是分別把被測量和標準量接入同一測量儀器，在標準量替代被測量時，調節標準量，使儀器的工作狀態在替代前後保持一致，然後根據標準量來確定被測量的數值。用替代法測量時，由於替代前後儀器的工作狀態是一樣的，因此儀器本身性能和外界因素對替代前後的影響幾乎是相同的，有效地克服了所有外界因素對測量結果的影響。替代法測量的準確度主要取決於度量器的準確度和儀器的靈敏度。

3. 電工指示儀錶的基本原理及組成

電工指示儀錶的基本原理是把被測電量或非電量變換成儀錶指針的偏轉角。因此它也稱為機電式儀錶，即用儀錶指針的機械運動來反映被測電量的大小。電工指示儀錶通常由測量線路和測量機構兩部分組成。測量機構是實現電量轉換為指標偏轉角，並使兩者保持一定關係的機構。它是電工指示儀錶的核心部分。測量線路將被測電量或非電量轉換為測量機構能直接測量的電量，測量線路的構成必須根據測量機構能夠直接測量的電量與被測量的關係來確定；它一般由電阻、電容、電感或其他電子元件構成。

(1) 電工指示儀錶的分類

電工指示儀錶可以根據原理、結構、測量物件、使用條件等進行分類。

根據測量機構的工作原理分類，可以把儀錶分為磁電系、電磁系、電動系、感應系、靜電系、整流系等。

根據測量物件的分類，可以分為電流錶（安培表、毫安培表、微安表）、電壓表（伏特表、毫伏表、微伏表以及千伏表）、功率表（又稱瓦特表）、電能表、歐姆表、相位表等。

根據儀錶工作電流的性質分類，可以分為直流儀錶、交流儀錶和交直流兩用儀錶。

按儀錶使用方式分類，可以分為安裝式儀錶和可攜式儀錶等。

按儀錶的使用條件分類，可以分為 A、A1、B、B1 和 C 五組。有關各組的規定可以按照國家標準 GB/T7676—1998《直接作用類比指示電量儀錶及其附件》。

按儀錶的準確度分類，有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共七個準確度等級。

(2) 電工指示儀錶的標誌

電工指示儀錶的錶盤上有許多表示其技術特性的標誌符號（見表 4-1）。根據國家標準的規定，每一個儀錶必須有表示測量物件的單位、準確度等級、工作電流的種類、相數、測量機構的類別、使用條件級別、工作位置、絕緣強度試驗電壓的大小、儀錶型號和各種額定值等標誌符號。如圖 4-1 所示。

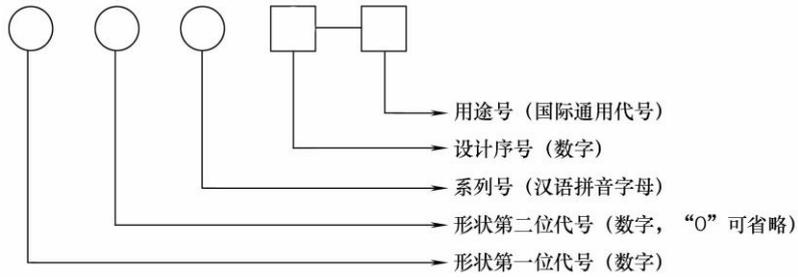


圖 4-1 安裝式儀錶型號的編制規則

(3) 電工指示儀錶的型號 1) 安裝式儀錶型號的組成

如圖 4-1 所示。其中第一位代號按儀錶面板形狀最大尺寸特徵編制；系列代號按測量機構的系列編制，如磁電系代號為 “C”，電磁系代號為 “T”，電動系代號為 “D” 等。

2) 可攜式儀錶型號的組成

由於可攜式儀錶不存在安裝問題，所以將安裝式儀錶型號中的形狀代號可省略，即是它的產品型號。

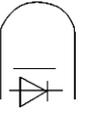
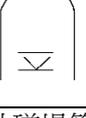
4. 電工指示儀錶的誤差和準確度

(1) 誤差

電工指示儀錶的誤差有基本誤差和附加誤差。儀錶的基本誤差是指儀錶在規定的使用條件下測量時，由於結構上和製作上不完善引起的誤差。例如，儀錶可動部分的摩擦、刻度尺刻度不均勻等原因引起的誤差均屬基本誤差。

表 4-1 表示儀錶工作原理的圖形符號

名稱	符號	名稱	符號
磁電系儀錶		鐵磁電動系儀錶	
磁電系比率表		鐵磁電動系比率表	
電磁系儀錶		感應系儀錶	
電磁系比率表		靜電系儀錶	

電動系儀錶		整流系儀錶 帶半導體整流器和磁電 系測量機構	
電動系比率表		熱電系儀錶 帶接觸式熱變換器和磁 電系測量機構	

當儀錶不能在規定的使用條件下工作時，除了基本誤差外，由於溫度、外磁場等因素的影響，還將產生附加誤差。

(2) 準確度

儀錶的基本誤差通常用準確度來表示，準確度越高，儀錶的基本誤差就越小。

對於同一只儀錶，測量不同大小的被測量，其絕對誤差變化不大，但相對誤差卻有很大變化，被測量越小，相對誤差就越大，顯然，通常的相對誤差概念不能反映出儀錶的準確性能，所以，一般用引用誤差來表示儀錶的準確度性能。

儀錶測量的絕對誤差與該表量程的百分比，稱為儀錶的引用誤差。

儀錶的準確度就是儀錶的最大引用誤差，即儀錶量程範圍內的最大絕對誤差與儀錶量程的百分比。顯然，準確度等級表明了儀錶基本誤差最大允許的範圍。表 4-2 為對儀錶在規定的使用條件下測量時，各準確度等級的基本誤差範圍。

表 4-2 準確度等級和基本誤差表

準確度等級	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本誤差	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

5. 電氣測量指示儀錶的選擇

無論用怎樣完善的測量儀錶進行測量，都會產生誤差。引起測量誤差的原因，除了儀錶的基本誤差外，還因為儀錶使用不當和選擇不合理而造成。為減小儀錶的測量誤差，必須合理地選擇儀錶。

(1) 技術特性比較

幾種電氣測量指示儀錶的技術特性，見表 4-3。

表 4-3 幾種主要形式的電氣測量指示儀錶的技術特性

	磁電系	電磁系	電動系	感應系
測量基準量（不加說明時為電壓、電流）	直流或交流的恒定分量	交流有效值或直流	交流有效值或直流（並可測交、直流功率、相位、頻率）	交流電能及功率，也可測交流電壓和電流

使用頻率範圍		振動式檢流計使用工 頻為 45~55Hz	一般用於 50Hz/ 60Hz，頻率變化誤差增 大	一般用於 50Hz/60Hz	同電動系
準確度		高的可達 0.1~0.05 級，一般為 0.5~1.0 級	一般為 0.5~2.5 級	高的同磁電系	低的一般為 1.0~ 3.0 級
量限	電流	幾微安~幾十安	幾毫安培~100A	幾十毫安培~幾十安	幾十毫安培~10A
	電壓	幾毫伏~1kV	10V~1kV	10V~幾百伏	幾十伏~幾百伏
防禦外磁場能力		強	弱	弱	強
分度特性		均勻	不均勻	不均勻均（作功率表 勻）	數字指示表（作功率 均勻）
價格（對同一準確 度等級）		貴	便宜	最貴	便宜
主要應用範圍		作直流電表	作板式電錶及一般用途 的交流電表	作交、直流標準表	作電能表

(2) 儀錶的選擇原則

根據被測量的性質選擇儀錶類型：根據被測量是直流電還是交流電來選擇直流儀錶或交流儀錶。測量交流時，應區別是正弦波還是非正弦波，還要考慮被測量的頻率範圍。

根據工程實際，合理地選擇儀錶的準確度等級：儀錶的準確度越高，測量誤差越小，但價格貴，維修也困難，因此在滿足準確度要求的情況下，不選用高準確度儀錶。

根據測量範圍選用量限：測量結果的準確程度，不僅與儀錶準確度等級有關，而巨與它的量限也有關。一般應使測量範圍在儀錶滿刻度的 $1/2 \sim 2/3$ 以上區域。

根據工作環境和條件選擇儀錶：按儀錶使用條件（溫度、相對濕度），國家規定分為 A、B、C 三組，見表 4-4。

表 4-4 儀錶使用條件

		A 組	B 組	C 組
工作條 件	溫度/°C	0~40	-20~+50	-40~+60
	相對濕度 (當時溫度/°C)	95% (+25)	95% (+25)	95% (+35)

(續)

		A 組	B 組	C 組
最惡劣條件	溫度/°C	-40~+60	-40~+60	-50~+65
	相對濕度 (當時溫度/°C)	95% (+35)	95% (+35)	95% (+60)

4.2 常見的幾種電工指示儀錶

1. MF30 指針式萬用表

圖 4-2 所示為 MF30 指針式萬用表。其注意點如下所示：

1) 使用萬用表之前，必須熟悉量程選擇開關的作用。明確要測量什麼以及怎樣去測量，然後將量程選擇開關撥在需要測試擋的位置。切不可弄錯擋位。例如測量電壓時誤將選擇開關撥在電流或電阻擋時，容易把表頭燒壞。

2) 使用前觀察一下錶針是否指在零位。如果不指零位，可調節表頭上機械調零螺釘，使錶針回零（一般不必每次都調）。紅表筆要插入正極插口，黑表筆要插入負極插口。

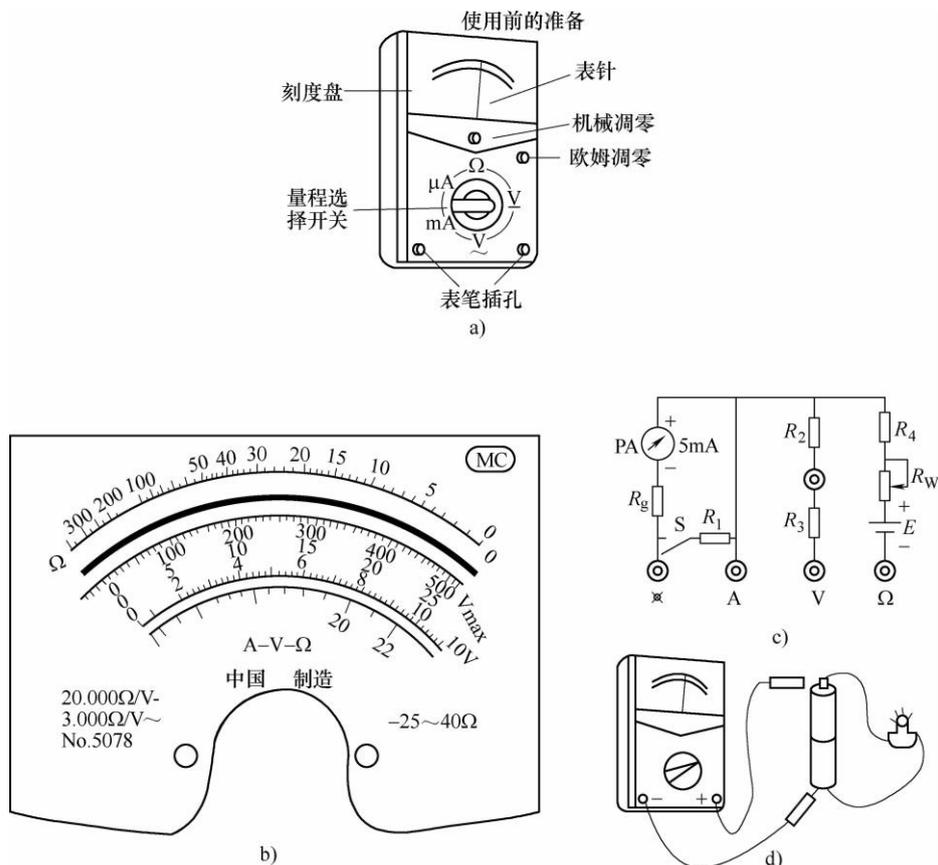


圖 4-2 MF30 指針式萬用表 a) MF30 指針式萬用

表 b) 表頭 c) 內部電路 d) 乾電池的電壓測法

電壓的測量將量程選擇開關的尖頭對準標有 **V** 的五擋範圍內。若是測交流電壓則應指向 **V** 處。依此類推，如果要改測電阻，開關應指向擋範圍。測電流應指向 **mA** 或 **μA** 。

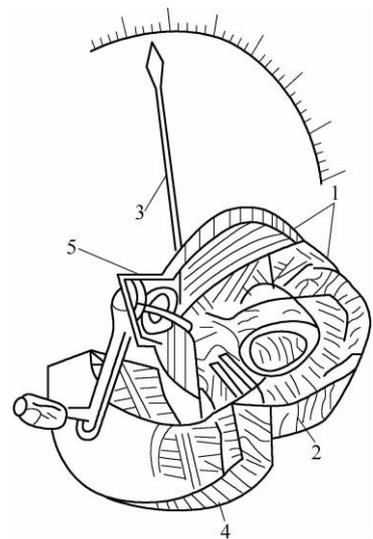
例 A：為測乾電池的電壓，如圖 4-2d 所示。測量電壓時，要把電錶並聯在被測電路上。根據被測電路的大約數值，選擇一個合適的量程位置。乾電池每節最大值為 **1.5V**，所以可放在 **5V** 量程擋。這時在面板上錶針滿刻度讀數的 **500** 應作 **5** 來讀數。即縮小 **100** 倍。如果錶針指在 **300** 刻度處，則讀為 **3V**。注意量程開關尖頭所指數值即為表頭上錶針滿刻度讀數的對應值，讀表時只要據此折算，即可讀出實值。除了電阻擋外，量程開關所有擋均按此方法讀測量結果。在實際測量中，遇到不能確定被測電壓的大約數值時，可以把開關先撥到最大量程擋，再逐擋減小量程到合適的位置。測量直流電壓時應注意正、負極性，若表筆接反了，錶針會反打。如果不知道電路正負極性，可以把萬用表量程放在最大擋，在被測電路上很快試一下，看錶針怎麼偏轉，就可以判斷出正、負極性。

例 B：測 **220V** 交流電。把量程開關撥到交流 **500V** 擋。這時滿刻度為 **500V**，讀數按照刻度 **1:1** 來讀。將兩表筆插入供電插座內，錶針所指刻度處即為測得的電壓值。測量交流電壓時，表筆沒有正負之分。

2. 電動式功率表

(1) 電動式功率表的結構及工作原理

電動式功率表的結構如圖 4-3 所示。它的固定部分是由兩個平行對稱的固定線圈 **1** 組成，這兩個線圈可以彼此串聯或並聯連接，從而可得到不同的量限。可動部分主要有轉軸和裝在軸上的可動線圈（簡稱動圈）**2**、指針 **3**、空氣阻尼器 **4**、產生反抗力矩和將電流引入動圈的遊線 **5** 組成。電動式功率表的接線如圖 4-4 所示，圖中固定線圈串聯在被測電路中，流過的電流就是負載電流，因此，這個線圈稱為電流線圈。可動線圈在表內串聯一個電阻值很大的電阻 **R** 後與負載電流並聯，流過線圈的電流與負載的電壓成正比，而阻差不多與其相同，因而這個線圈稱為電壓線圈。固定線圈產生的磁場與負載電流成正比，該磁場與可動線圈中的電流相互作用，使動圈產生一力矩，並



帶動指針轉動。在任一瞬間，轉動力矩的大小總是與負載電流以及電壓瞬時值的乘積成正比，但由於轉動部分有機械慣性存在，因此偏轉角決定於力

圖 4-3 功率表的結構

矩的平均值，也就是電路的平均功率，即有功功率。1—固定線圈 2—可動線圈 3—指針由於電動式功率表是單向偏轉，偏轉方向與電流線圈和 4—空氣阻尼器 5—遊線 電壓線圈中的電流方向有關。為了使指針不反向偏轉，通常把兩個線圈的始端都標有“*”或“±”符號，習慣上稱之為“同名端”或“同極性端”，接線時必須將有相同符號的端鈕接在同一根電源線上。當弄不清電源線在負載哪一邊時，針指可能反轉，這時只需將電壓線圈端鈕的接線對調一下，或將裝在電壓線圈中改換極性的開關轉換一下即可。

圖 4-4a 和圖 4-4b 所示的兩種接線方式，都包含功率表本身的一部分損耗。在圖 4-4a 的電流線圈中流過的電流顯然是負載電流，但電壓線圈兩端電壓卻等於負載電壓加上電流線圈的電壓降，即在功率表的讀數中多出了電流線圈的損耗。因此，這種接法比較適用於負載電阻遠大於電流線圈電阻（即電流小、電壓高、功率小的負載）的測量。如在螢光燈實驗中鎮流器功率的測量，其電流線圈的損耗就要比負載的功率小得多，功率表的讀數就基本上等於負載功率。在圖 4-4b 中，電壓線圈上的電壓雖然等於負載電壓，但電流線圈中的電流卻等於負載電流加上電壓線圈的電流，即功率表的讀數中多出了電壓線圈的損耗。因此，這種接法比較適用於負載電阻遠小於電壓線圈電阻及大電流、大功率負載的測量。

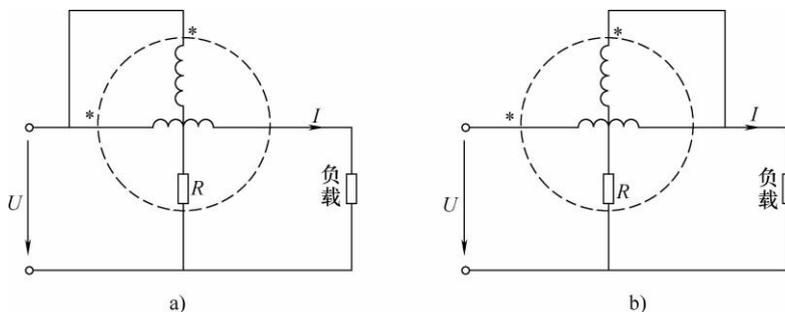


圖 4-4 功率表接線方式

使用功率表時，不僅要求被測功率數值在儀錶量程內，而且要求被測電路的電壓和電流值也不超過儀錶電壓線圈和電流線圈的額定量限值，否則會燒壞儀錶的線圈。因此，選擇功率表量程，就是選擇其電壓和電流的量程。

(2) 功率表的讀數

圖 3-5 所示的功率表的電壓和電流一般是多量程的，選用了不同的電壓和電流量程以後，每個刻度將會代表不同的功率值，若實驗室所設計的螢光燈電路實驗的功率表電流量限為 0.5~1A，電流量程換接片按圖 4-5 中實線的接法，即為功率表的兩個電流線圈串聯，其量限為 0.5A；如換接片按虛線連接，即功率表兩個電流線圈並聯，量限為 1A。錶盤上的刻度為 150 格。

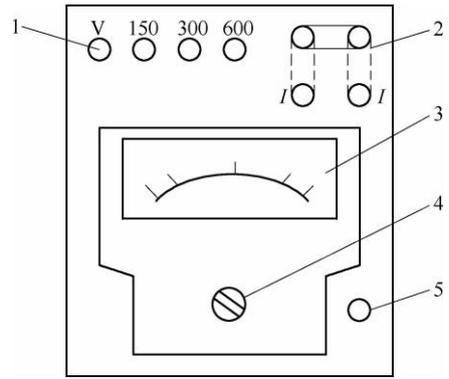


圖 4-5 功率表前面板示意圖

如功率表電壓量限選 300V，電流量限選 1A 時，我們用這種額定功率因數為 1 的功率表去測量，則

$$\text{每格} = \frac{300V \times 1A}{150} = 2W, \text{即實數的格數乘以 2 才為實際被測功率值。}$$

$$\text{如電壓量程選用 300V，電流量程選 0.5A，則每格} = \frac{300V \times 0.5A}{150} = 1W, \text{即實數的格數}$$

乘 1 為被測功率數值。所以功率表實際測量的功率 P 應滿足於下面的換算公式：

$$P = \frac{\text{被選的電壓量} \times \text{被選的電流量}}{\times \text{實測格數儀錶滿刻度的格數}}$$

(3) 兩種功率表的使用說明

1) D26 型功率表：D26 型功率表是一種電動系可攜式儀錶，其外形如圖 4-6 所示，可測量直流及交流（50Hz）電路中電流、電壓和有功功率。

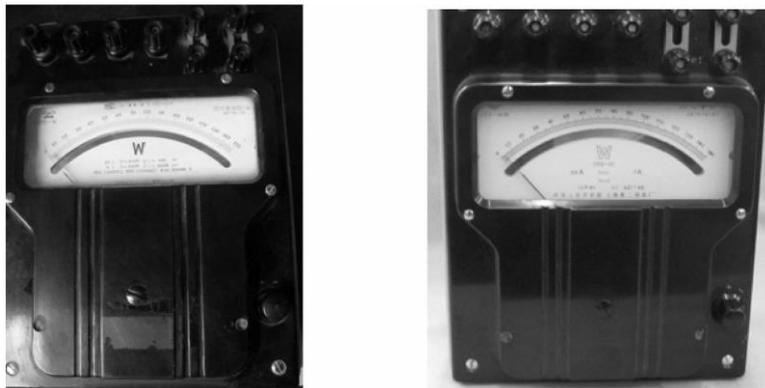


圖 4-6 D26 型功率表外形

該表準確度等級為 0.5 級，額定功率因數 $\cos\varphi = 1$ 。基本技術特性見表 4-5、表 4-6。

表 4-5 測量範圍

儀錶名稱	測量範圍	測量上限	有效使用範圍	直流電阻/ Ω	電感/ mH
毫安培表	150~300mA	150mA	50~150mA	130	240
		300mA	100~300mA	31	58
	250~500mA	250mA	75~250mA	55	90
		500mA	150~500mA	16	23
安培表	0.5~1A	0.5A	0.15~0.5A	14.5	23
		1A	0.3~1A	4.25	5.4
	1~2A	1A	0.3~1A	3.5	5
		2A	0.6~2A	1.2	1.25
	2.5~5A	2.5A	0.75~2.5A	0.78	1
		5A	1.5~5A	0.3	0.23
	5~10A	5A	1.5~5A	0.32	0.23
		10A	3~10A	0.14	0.06
	10~20A	10A	3~10A	0.16	0.06
		20A	6~20A	0.065	0.18
伏特表		75V	25~75V	1250	

	75/150/ 300V	150V	50~150V	2500	
		300V	100~300V	5000	
	125/250/ 500V	125V	37.5~125V	3125	
		520V	75~250V	6250	
		500V	150~500V	12500	
	150/300/ 600V	150V	50~150V	3750	
300V		100~300V	7500		
600V		200~600V	15000		

表 4-6 直流電阻及電感

儀錶名稱	電流電路參數			電壓電路參數	
	額定電流/A	直流電阻/ Ω	電感/mH	額定電壓/V	直流電阻值/ Ω
瓦特表	0.5	5.1	5.2		
	1	1.27	1.3	75	2500
	1	1.08	1.4	150	5000
	2	0.27	0.35	300	10000
	2.5	0.158	0.22	125	4167
	5	0.039	0.055	250	8333
	5	0.046	0.06	500	16667
	10	0.011	0.015	150	5000
	10	0.015	0.02	300	10000
	20	0.00375	0.005	600	20000

D26 型功率表的使用注意事項如下：

①儀錶使用時應放置水準位置，盡可能遠離強電流導線和強磁性物質，以免增加儀錶誤差。

②儀錶指針如不在零位上，可利用表蓋上的零調器將指針調至零位上。

③根據所需測量範圍按圖 4-4 將儀錶接入線路，在通電前必須對線路中的電流或電壓大小有所估計，避免過高超載，以免儀錶遭到損壞。

④瓦特表測量時如遇儀錶指針反方向偏轉時，應改變換向開關的極性。可使指標正方向偏轉，切忌互換電壓接線，以免使儀錶產生附加誤差。

D26 型功率表的指示值按下式計算：

$$P = Ca (W) \text{ 式中，} P \text{ 為功率 (W)；} C \text{ 為儀錶常數，}$$

即每小格所代表的瓦特數，見表 4-7；a 為儀錶偏轉時指示格數。

表 4-7 每小格所代表的瓦特數

額定電流/A	額定電壓/ V						
	75	150	300	600	125	250	500
0.5	0.25	0.5	1	2	0.5	1	2
1	0.5	1	2	4	1	2	4
2	1	2	4	8	2	4	8
2.5	1.25	2.5	5	10	2.5	5	10
5	2.5	5	10	20	5	10	20
10	5	10	20	40	10	20	40
20	10	20	40	80	20	40	80

2) D34-W 型低功率因數功率表

D34-W 型低功率因數功率表的外形如圖 4-7 所示，主要用於直流電路中測量小功率或交流 50Hz 電路中測量功率。

該表準確度等級為 0.5 級，額定功率因數 $\cos\varphi =$

0.2。基本技術特性如下：

①儀錶串聯電路的額定電流為雙量限，供應下列五種規格：

0.25~0.5A；0.5~1A；1~2A；2.5~5A；5~10A。

②儀錶並聯電路的額定電壓為三量程，供應下列各種規格：

25/50/100V；50/100/200V；75/150/
300V；150/



300/600V。

表 4-8 和表 4-9 分別是儀錶串聯電流電路的直流電阻值、儀錶並聯電壓電路電流為 30mA 時各量限的直流電阻。

圖 4-7 D34-W 型功率表

表 4-8 儀錶串聯電流電路的直流電阻值

額定電流/A	量程/A	直流電阻值/ Ω
0.25~0.5	0.25	39.09
	0.5	9.272
0.5~1	0.5	10.044
	1	2.511
1~2	1	2.26
	2	0.57
2.5~5	2.5	0.412
	5	0.103
5~10	5	0.11
	10	0.027

表 4-9 儀錶並聯電壓電路電流為 30mA 時各量程的直流電阻

額定電流/A	量程/A	直流電阻值/ Ω
25/50/100	25	833.3
	50	1666.7
	100	3333.3
50/100/200	50	1666.7
	100	3333.3
	200	6666.7
75/150/300	75	2500
	150	5000
	300	10000
150/300/600	150 300	5000
	600	10000
		20000

D34-W 型功率表的使用注意事項如下：①使用時儀錶應放置水準，並盡可能遠離強電流導線或強磁場地點，以免使儀錶產生附加誤差。

②儀錶指針如不在零位時，可利用表蓋上零位調整器進行調整。

③測量時如遇儀錶指針反方向偏轉時，應改變換向開關之極性，即可使指針順方向偏轉。切忌互換電壓接線，以免使儀錶產生誤差。

儀錶的指示值可按下式計算：

$$P = Ca (W) \text{ 式中，} P \text{ 為功率 (W)；} C \text{ 為儀錶常}$$

數，即每格所代表的瓦特數，見表 4-10；a 為儀錶偏轉後指示格數。

表 4-10 每小格所代表的瓦特數

刻度每格所代表的瓦特/W												
电压/V 电流/A	25	50	100	50	100	200	75	150	300	150	300	600
0.25	0.01	0.02	0.04	0.025	0.05	0.1	0.025	0.05	0.1	0.05	0.1	0.2
0.5	0.02	0.04	0.08	0.05	0.1	0.2	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
0.5	0.025	0.05	0.1	0.05	0.1	0.2	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
1	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.8
1	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.25	0.5	1
2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.8	0.2	0.4	0.8	0.5	1	2
2.5	0.1	0.2	0.4	0.25	0.5	1	0.25	0.5	1	0.5	1	2
5	0.2	0.4	0.8	0.5	1	2	0.5	1	2	1	2	4
5	0.25	0.5	1	0.5	1	2	0.5	1	2	1	2	4
10	0.5	1	2	1	2	4	1	2	4	2	4	8

4.3 電氣試驗儀錶與操作

1. 電氣試驗

電氣試驗儀器廣泛用於高低壓電氣設備的絕緣試驗、特性試驗等。

它主要包括介質損耗測量儀、開關回路電阻測試儀、開關特性測試儀、開關測試電源、高壓直流發生器、數字分壓器、變壓器直流電阻測試儀、變壓器電壓比組別測試儀、繼電保護儀錶、絕緣電阻表、變壓器特性測試儀、高壓標準電容器、接地電阻測試儀、交/直流試驗變壓器、變頻諧振裝置、電纜故障探測儀、絕緣油耐壓和油介損設備、紅外成像和紅外測溫成套設備、高壓開關真空度測試儀、互感器現場校驗儀、指示儀錶表現場校驗儀、互感器二次壓降測試儀等，以及各種規格電壓表、電流錶、功率表、單、雙臂電橋、QS1 型試驗操作箱，SF₆ 檢漏儀，氧化鋅放電記錄器，數顯微安表。核相器、氧化鋅阻性電流測試儀和各種高壓試驗專用工具，這些都屬於電氣試驗儀器。

(1) 電氣試驗常規要求

1) 電氣預防性的試驗要嚴格按規範、產品說明書要求執行。2) 組合式微機保護及監控繼電器要按產品說明書進行整定。

3) 常規的電磁式繼電器調試按《新編保護繼電器檢驗》中有關規定進行調試。

4) 盤(櫃)指示電錶經校驗後,對合格的電錶粘貼專用合格證。

5) 高壓開關櫃的傳動試驗在各電氣元件及單體櫃調試後進行。傳動試驗時,認真核對各回路的準確及可靠性。主要傳動試驗項目有

- 操作控制電路傳動試驗;
- 保護回路傳動試驗;
- 測量/計量回路試驗;
- 系統低電壓、斷線保護試驗;
- 核對一、二次相位。

(2) 變壓器試驗

1) 測量繞組連同套管的直流電阻,測量應在各分接頭所有位置上進行。

2) 對 1600kVA 及以下三相變壓器,各相測得值的相互差值應小於平均值的 4%,線間測得值的相互差值應小於平均值的 2%;1600kVA 以上的三相變壓器,各相測得值的相互差值應小於平均值的 2%,線間測得值的相互差值應小於平均值的 1%;1600kVA 以上的三相變壓器,各相測得值的相互差值應小於平均值的 2%,線間測得值的相互差值應小於平均值的 1%;(重複)三相電阻不平衡率計算

$$\text{不平衡率} = \frac{\text{三相實測最大值}-\text{最小值}}{\text{三相算術平均值}} \times 100\%$$

3) 直阻測量方法:用感性負載速測歐姆計測量繞組直流電阻時,其接線及測量方法應符合測試儀器的技術要求。

4) 變壓器的直流電阻,與同溫下產品出廠實測數值比較,相應變化不應大於 2%;將不同溫度下的繞組直流電阻溫度換算到同一溫度:

$$R = \frac{R_a (T+t)}{T+t_a}$$

式中, R 為換算至溫度為 t 時的電阻; R_a 為溫度為 t_a 時所測得的電阻; T 為溫度換算係數,銅線為 235,鋁線為 225; t 為需要換算 R 的溫度; t_a 為測量 R_a 時的溫度。

5) 由於變壓器結構等原因，差值超過 2) 中的要求時，可只按 4) 的要求進行比較。

6) 檢查所有分接頭的變比與製造廠名牌資料相比應無明顯差別，且符合電壓比的規律。額定分接的變比允許偏差為± 0.5%，其他分接的偏差應在變壓器阻抗值（%）的 1/10 以內，但不超過 1%。

7) 檢查三相變壓器的結線組別和單相變壓器引出線的極性。

8) 測量繞組連同套管的絕緣電阻：

①絕緣電阻值不應低於出廠試驗值的 70%。

②當測量溫度與產品出廠試驗時溫度不符合時，可按表 4-11 換算到同一溫度時的數值進行比較：

③當測量絕緣電阻的溫度差不是表中所列數值時，其換算係數按下列公式計算：

$$A = 1.5K / 10 \text{ 當實測溫度為 } 20^{\circ}\text{C} \text{ 以上}$$

時：

表 4-11 溫度差與換算係數

溫度差	K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
換算係數	A	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	4.1	5.1	6.2	7.5	9.2	11.2

注：表中 K 為實測溫度減去 20°C 的絕對值。

$$R_{20} = AR_t \text{ 當實測溫度為 } 20^{\circ}\text{C} \text{ 以下}$$

時：

$$R_{20} = R_t / A$$

式中， R_{20} 為校正到 20°C 時的絕緣電阻值； R_t 為在測量溫度下的絕緣電阻值。

9) 交流耐壓試驗：根據製造廠提供的技術資料及業主的要求決定是否進行該項試驗；如進行該項試驗需製造廠提供試驗電壓值。

①試驗電壓的頻率為 50Hz，電壓波形應盡可能接近正弦波形。

②進行交流耐壓時，非被試側繞組應短接後接地。

10) 測量與鐵心絕緣的各緊固件的絕緣電阻。

①應測量可接觸到的穿心螺栓、軛鐵夾件及綁紮鋼帶對鐵軛、鐵心及繞組壓環的絕緣電阻；

②採用 2500V 絕緣電阻表測量，持續時間為 1min，應無閃絡及擊穿現象；③當軛鐵梁及穿芯螺栓一端與鐵心相連時，應將連接片斷開後進行試驗；

11) 衝擊合閘試驗：在額定電壓下對變壓器進行衝擊合閘試驗，應進行 5 次，每次間隔宜為 5min，無異常現象。衝擊合閘試驗宜在變壓器高壓側進行；對中性點接地的電力系統，衝擊試驗時變壓器的中性點必須接地；發電機變壓器組中間連接無操作斷開點的變壓器，可不進行衝擊合閘試驗。

12) 檢查相位：檢查變壓器的相位必須與系統相位一致。

(3) 電纜試驗

1) 絕緣測試：

①測量電纜對地或對金屬遮罩層間和各線芯間的絕緣電阻。

②對 1kV 以上電纜採用 2500V 絕緣電阻表。

③對 0.6/1kV 及以下電纜採用 1000V 絕緣電阻表。

2) 直流耐壓及洩漏電流測量（見表 4-12）

表 4-12 電纜的直流耐壓測試

電纜額定電壓/kV	直流試驗電壓/kV	試驗時間/min
3.6	15	15
6	24	15
8.7	35	15

3) 試驗時，試驗電壓可分 4~6 階段均勻升壓，每階段停留 1min，並讀取洩漏電流值。

測量時應消除雜電流的影響。

4) 對額定電壓為 0.6/1kV 的電纜可用 1000V 或 2500V 絕緣電阻表測量導體對地絕緣電阻代替直流耐壓試驗。

5) 交流單芯電纜的護層絕緣試驗標準，按產品技術條件的規定進行。6) 電纜主絕緣交流耐壓試驗：

試驗電壓： $2U_0$ (U_0 ：電纜額定相電壓)；持續時間：60min。

7) 按產品技術條件的規定決定進行直流耐壓及洩漏電流測量或是進行電纜主絕緣交流耐壓試驗。

8) 相位檢查：電纜接線相序與系統相位一致。

(4) 交流電動機試驗：

1) 測量繞組的絕緣電阻，使用 500V 絕緣電阻表，常溫下絕緣電阻值不應低於 $0.5M\Omega$ ；額定電壓為 1kV 及以上，在運行溫度時的絕緣電阻值定子繞組不低於 $1M\Omega/kV$ ，轉子繞組不應低於 $0.5M\Omega/kV$ 。

2) 100kW 以上的電動機各相繞組直流電阻值相互差別不應超過其最小值的 2%，中性點未引出的電動機可測量線間直流電阻，其相互差別不應超過最小值的 1%。測量時應記錄環境溫度，以便與出廠試驗值相比較。

三相實測最大值-最小值

不平衡率 = $\frac{\quad}{\quad} \times 100\%$ 三相最小值

3) 檢查定子繞組的極性及其連接應正確。中性點未引出者可不檢查極性。

4) 對於備用發電動機的試驗，依據製造廠提供的試驗項目及標準進行試驗。

(5) 繼電器調試

1) 調試前，應保證繼電器對試驗電源的要求。電源的波形應為正弦波，諧波分量不超過基波的 5%。試驗電源的頻率應為 50Hz。當試驗電源頻率對繼電器影響較大時應考慮頻率的正、負偏差對試驗資料的影響，應對試驗資料進行修正。當使用直流電源試驗時，電源的波紋係數要小。一般情況下，波紋係數 $K \leq 1\%$ 。

- 2) 使用標準儀錶的精度不低於 0.5 級。
- 3) 使用專用儀器進行調試時，專用儀器上的電錶精度不低於 0.5 級。
- 4) 繼電器外殼應清潔無灰塵。外殼、玻璃應完整，嵌接要良好。外殼與底座結合應緊密牢固，防塵密封應良好，安裝端正。繼電器端子接線應牢固可靠。
- 5) 繼電器內部應清潔、接線牢固、各部件完好，動作靈活、可靠。
- 6) 繼電器的接點檢查：應保證接點接觸良好、無抖動、粘住或出現火花等異常現象，並有足夠的壓力。
- 7) 電磁式繼電器其動作值應測量繼電器的衝擊動作值。然後平穩下降測量繼電器的返回值。對於欠電壓繼電器應將繼電器升到額定值，然後平穩下降至動作值。電子組合式繼電器按製造廠商提供的技術資料中要求進行調試。
- 8) 檢查電磁式繼電器的動作、返回值及返回係數應符合產品技術要求。
- 9) 覆核繼電器的動作值。
- 10) 校核、調整熱繼電器的設定值，其動作值應符合被保護設備的容量。
- 11) 絕緣電阻的測定：額定電壓為 100V 及以上者，使用 1kV 絕緣電阻表；額定電壓為 100V 以下者，使用 500V 絕緣電阻表。端子對底座和磁導體的絕緣電阻應大於 50MΩ。各線圈對觸點及各觸點間的絕緣電阻應大於 50MΩ。各線圈間的絕緣電阻應大於 10MΩ。由電子元、器件組成的綜合繼電器不進行絕緣電阻的測定。
- 12) 電磁式繼電器進行衝擊試驗：電壓型繼電器其衝擊電壓應為該繼電器額定電壓的

第 4 講 電工儀錶儀器的基本操作

1.1 倍；電流型繼電器其衝擊電流應為保護安裝處最大故障電流。衝擊試驗時，接點不應產生振動和鳥啄現象。

- 13) 主變壓器保護裝置、測控裝置等各種類型的自動保護裝置的調試方法和調試接線，按廠商提供的產品技術資料進行調試。
- 14) 對多功能綜合保護繼電器的數碼顯示部分應完好，刻度清晰、準確。
- 15) 按產品的技術性能，輸入相應的參數值，檢驗其功能是否符合產品的技術標準。
- 16) 按設計的整定值，檢驗繼電器實際動作值。
- 17) 對過量參數值由低值逐漸升至動作值，欠量參數值由額定值降至動作值。
- 18) 在未採取可靠的措施前，不得觸摸繼電器內部電路板，以免靜電損壞電路板。

(6) 傳動試驗

- 1) 主變壓器進線開關、隔離開關、接地開關分、合閘操作；
- 2) MCC（電動機控制中心）系統分、合閘操作；
- 3) 變壓器保護等動作跳閘及信號的傳動試驗；
- 4) MCC（電動機控制中心）饋線櫃動作跳閘及信號的傳動試驗；
- 5) 備用電源自投的傳動試驗；
- 6) 測量、計量回路的傳動試驗及其他傳動試驗；
- 7) 上述傳動試驗應準確、可靠；二次回路絕緣良好。

(7) UPS（不斷電供應系統）調試

- 1) UPS（不斷電供應系統）裝置主機按製造廠技術資料要求進行調試。
- 2) UPS（不斷電供應系統）裝置蓄電池絕緣電阻應符合產品技術條件，並按製造廠技術條件進行充放電；充電電壓應符合產品技術條件。**10h** 放電應達到 **100%**放電率。

(8) 電氣受、送電

- 1) 電氣受、送電，遵循先高壓（電源）側後低壓（負荷）側，斷電時，先斷低壓側（負荷）側，後高壓（電源）側。
 - 2) 為保證安全在變壓器受電前將盤櫃內所有開關置於斷開位置。
 - 3) 在額定電壓下對變壓器衝擊試驗 **5** 次，每次間隔時間為 **5min**，無異常現象。
 - 4) 兩段受電後，在母聯櫃母聯開關一、二次核相。
 - 5) 進行並列運行及進線櫃、母聯櫃聯鎖試驗。
 - 6) 動設備受電前，有條件的情況下先斷開負荷側的主電纜，然後送電檢查控制回路。合格後，再恢復負荷側的主電纜。
 - 7) 試運時應按空載及負荷試車進行。單機試運時，聯鎖接點可不投入，負荷試車時，必須將聯鎖接點投入。試車時，在試運設備周圍拉上警戒線，並有專人監護。

(9) 電動機試運前的檢查應符合下列要求：

- 1) 電動機的保護、控制、信號等回路的調試完畢，動作正常。
- 2) 盤動電動機轉子時轉動靈活，無碰卡現象。
- 3) 電動機絕緣滿足要求。電動機引出線排序正確，固定牢固，連接緊密。
- 4) 電動機外殼油漆完整，接地良好。

5) 電動機第一次啟動時，應確保與機械負載脫離，巨以點動為宜。

(10) 電動機試運行時的檢查應符合下列要求：

- 1) 電動機的旋轉方向是否符合工藝要求。
- 2) 電動機試運行各種參數，不超過產品技術條件的規定。
- 3) 聯合試運時，編制試運方案，按方案的內容逐條進行。

2. 絕緣電阻表

在用電過程中存在著用電安全問題，在電器設備中，例如電動機、電纜、家用電器等。保證它們的正常運行的重要參數之一就是其絕緣材料的絕緣程度，即絕緣電阻的數值。當受熱和受潮時，絕緣材料便會老化。其絕緣電阻便降低。從而造成電器設備漏電或短路事故的發生。為了避免事故發生，就要求經常測量各種電器設備的絕緣電阻。判斷其絕緣程度是否滿足設備需要。普通電阻的測量通常有低電壓下測量和高電壓下測量兩種方式。而絕緣電阻由於一般數值較高（一般為 $M\Omega$ 級）。在低電壓下的測量值不能反映在高電壓條件下工作的真正絕緣電阻值。絕緣電阻表也叫兆歐表或搖表。它是測量絕緣電阻最常用的儀錶。它在測量絕緣電阻時本身就有高電壓電源，這就是它與測電阻儀錶的不同之處。絕緣電阻表用於測量絕緣電阻既方便又可靠。但是如果使用不當，它將給測量帶來不必要的誤差，我們必須正確使用絕緣電阻表進行絕緣電阻的測量。

(1) 基本誤差

絕緣電阻表的基本誤差按式 (1) 進行計算。在標度尺測量範圍（有效範圍）內，每條選定分度線的基本誤差極限值應不超過表 3-2 的規定。

$$E = \frac{B_P - B_R}{A_F} \times 100\% \quad (1)$$

式中， B_P 為絕緣電阻表指示器標稱值； B_R 為標準高壓高阻箱示值； A_F 為基準值。

對非線性尺規的絕緣電阻表的量程劃分為三個區段（I，II，III），如圖 4-8 所示。

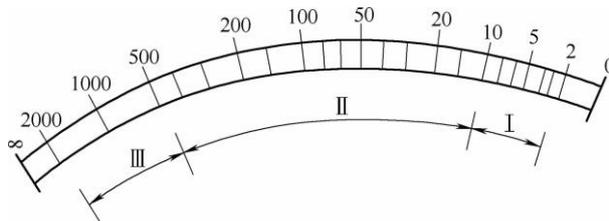


圖 4-8 絕緣電阻表量程區段

Ⅱ區段長度由廠家提出，但不得小於尺規全長的 50%。Ⅰ區段為起始刻度點到Ⅱ區段起始點，Ⅲ區段為Ⅱ區段終點到最大有效量程點。Ⅱ區段為高準確度區，Ⅰ和Ⅲ區段為低準確度區。表 4-13 為絕緣電阻表準確度等級與各區段允許誤差限值的關係。

表 4-13 基本誤差極限值

絕緣電阻表準確度等級		1.0	2.0	5.0	10.0	20.0
允許誤差 限值 (%)	Ⅱ區段	± 1.0	± 2.0	± 5.0	± 10.0	± 20.0
	Ⅰ, Ⅲ區段	± 2.0	± 5.0	± 10.0	± 20.0	± 50.0

(2) 絕緣電阻

絕緣電阻表的測量線路與外殼之間的絕緣電阻在標準條件下，當額定電壓小於或等於

第 4 講 電工儀錶儀器的基本操作

1kV 時，應高於 20MΩ；當額定電壓大於 1kV 時，應高於 30MΩ。

絕緣電阻表在開路時端鈕電壓稱開路電壓，其應在額定電壓的 90%~110%範圍內。

絕緣電阻表開路電壓的峰值與有效值之比應不大於 1.5。

絕緣電阻表測量端鈕接人電阻等於中值電阻時，端鈕電壓稱中值電壓。中值電壓應不低於絕緣電阻表額定電壓的 90%。

在 1min 內絕緣電阻表開路電壓最大指示值與最小指示值之差應不大於絕緣電阻表額定電壓值的 5%。

(3) 絕緣強度

由交流電網作供電電源的絕緣電阻表，其供電電源電路與外殼之間的絕緣應能耐受頻率為 50Hz，2kV 交流電壓，歷時 1min。絕緣電阻表的輸出最大電流為 10mA（直流或脈動電流峰值）以下時，測量電路與外殼之間應能耐受頻率為 50Hz 正弦波、畸變係數不超過 5% 交流電壓歷時 1min。其試驗電壓見表 4-14。試驗裝置容量見表 4-15。

表 4-14 試驗電壓

額定電壓/V	試驗電壓（有效值）/kV
	環境溫度：(5~40) °C 相對濕度：30%~80%
500	1
>500~2500	CU
>2500~10000	0.9CU

注：U 為絕緣電阻表的額定電壓值（kV）；C 為絕緣電阻表端的峰值電壓與有效電壓值之比。

表 4-15 試驗裝置容量

試驗電壓/kV	0.5~3	≤3
試驗裝置容量/kVA	>0.25	>0.5

第 5 講 常用低壓電器的選擇



導讀

低壓電器是一種能根據外界的信號和要求，手動或自動地接通、斷開電路，以實現對電路或非電物件的切換、控制、保護、檢測、變換和調節的元件或設備，其工作電壓以交流 1200V、直流 1500V 為界。低壓電器是成套電氣設備的基本組成元件。在工業、農業、交通、國防以及人們用電部門中，大多數採用低壓供電，因此低壓電器元件的品質將直接影響到低壓供電系統的可靠性。

本講主要以常用的低壓電器元件為對象，具體包括低壓斷路器、開關、熔斷器、接觸器等，同時以其工作原理及選用原則為應知內容，以便學會正確選擇和合理使用的基本技能，為分析電氣控制線路和檢修故障打下基礎。

5.1 低壓電器概述

1. 低壓電器的基本知識

工作在交流 1200V、直流 1500V 額定電壓以下的電路中，能根據外界信號（機械力、電動力和其他物理量），自動或手動接通和斷開電路的電器稱為低壓電器。其作用是實現對電路或非電物件的切換、控制、保護、檢測和調節。

以機床電氣控制系統為例，它採用了低壓電器作為基本組成元件，而巨控制系統的優劣與所用的低壓電器直接相關，因此掌握低壓電器的基本知識和常用低壓電器的結構及工作原理，並能準確選用、檢測和調整常用低壓電器元件，才能夠分析數控機床電氣控制系統的工作原理，處理及維修一般故障。

2. 低壓電器的分類

低壓電器種類繁多、功能各樣、構造各異，工作原理各不相同，常用低壓電器的分類方法有下述幾種：

（1）按用途分類

1) 配電電器：主要用於低壓配電系統中。要求系統發生故障時準確動作、可靠工作，在規定條件下具有相應的動穩定性與熱穩定性，使電器不會被損壞。常用的配電電器有斷路器、轉換開關、熔斷器等。

2) 控制電器：主要用於電氣傳動系統中。要求壽命長、體積小、重量輕巨動作迅速、準確、可靠。常用的控制電器有接觸器、繼電器、電磁鐵等。

接觸器按其分斷電流的種類可分為直流接觸器和交流接觸器；按其主觸頭的極數可分單極、雙極、三極、四極、五極幾種，單極、雙極多為直流接觸器。

數控機床主要使用交流接觸器。

交流接觸器主要由電磁機構、觸頭系統、滅弧裝置和其他輔助部件四大部分組成。結構示意圖如圖 5-2 所示。

(1) 電磁系統

用來操作觸頭閉合與分斷。它包括靜鐵心、吸引線圈、動鐵心（銜鐵）。鐵心用矽鋼片疊成，以減少鐵心中的鐵損耗，在鐵心端部極面上裝有短路環，其作用是消除交流電磁鐵在吸合時產生的震動和噪音。

(2) 觸頭系統 圖 5-2 CJ20 系列交流接觸器結構示意圖

接通和分斷電路的作用。它包括主觸頭和輔

頭。主觸頭用於接通或斷開主電路或大電流電路，

主觸頭容量較大，一般為三極。輔助觸頭用於通斷小電流的控制電路，起控制其他元件接通或斷開及電氣聯鎖作用，輔助觸頭容量較小。輔助觸頭結構上通常常開和常閉是成對的。當線圈得電後，銜鐵在電磁吸力的作用下吸向鐵心，同時帶動動觸頭移動，使其與常閉觸頭的靜觸頭分開，與常開觸頭的靜觸頭接觸，實現常閉觸頭斷開，常開觸頭閉合。輔助觸頭不能用來斷開主電路。主、輔觸頭一般採用橋式雙中斷點結構。

(3) 滅弧裝置

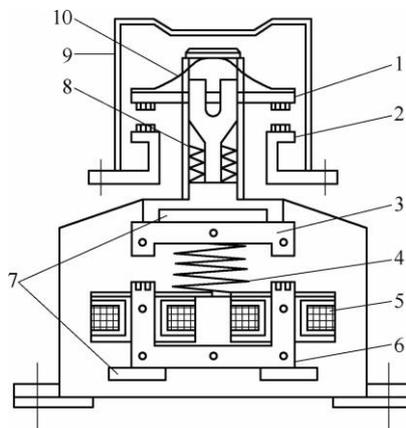
起著熄滅電弧的作用。對於大容量的接觸器，常採用窄縫滅弧及柵片滅弧，對於小容量的接觸器，採用電動力吹弧、滅弧罩等。

(4) 其他部件

主要包括恢復彈簧、緩衝彈簧、觸頭壓力彈簧、傳動機構及外殼等。

2. 交流接觸器的工作原理

當吸引線圈通電後，線圈電流在鐵心中產生磁通，該磁通對銜鐵產生克服復位彈簧反力的電磁吸力，動鐵心被吸合從而帶動觸頭動作。觸頭動作時，常閉觸頭先斷開，常開觸頭後閉合。當吸引線圈斷電或線圈中的電壓值降低到某一數值時（無論是正常控制還是欠電壓、失電壓故障，一般降至線圈額定電壓的 85%），鐵心中的磁通下降，電磁吸力減小，當減小到不足以克服復位彈簧的反力時，銜鐵在復位彈簧的反力作用下復位，使主、輔觸頭的常開



1—動觸頭 2—靜觸頭 3—銜鐵 4—彈簧

5—線圈 6—鐵心 7—墊氈 8—觸頭彈簧

9—滅弧罩 10—觸頭壓力彈簧

觸頭斷開，常閉觸頭恢復閉合。這就是接觸器的欠電壓、失電壓保護功能。接觸器的圖形、文字符號如圖 5-3 所示。

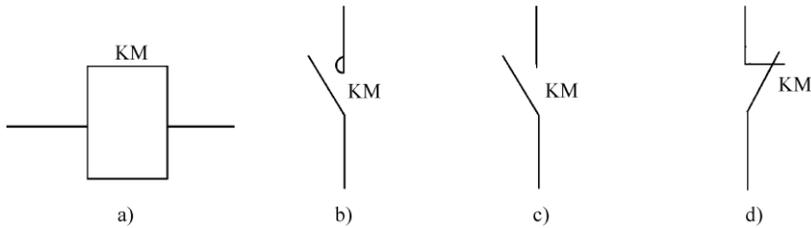


圖 5-3 接觸器的圖形、文字符號

a) 線圈 b) 主觸頭 c) 常開輔助觸頭 d) 常閉輔助觸頭

常用的交流接觸器有 CL20、CJX1、CJX2、CJ12 等系列，直流接觸器有 CZ18、CZ21、

CZ22 和 CZ10、CZ2 等系列。其型號含義如下：

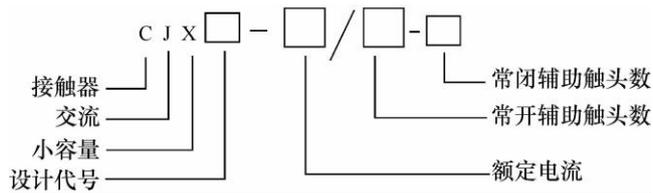


表 5-1 為 CJ20 系列交流接觸器的主要技術資料。

3. 接觸器的選用

表 5-1 CJ20 系列交流接觸器的主要技術資料

型號	觸頭額定電壓/V	主觸頭額定電流/A	可控電動機的最大功率/kW	吸引線圈				
				額定電壓/V	起動功率 / (VA/W)	吸持功率 / (VA/W)		
CJ20-10	380	10 5.8	4	36, 127, 220, 380				
	660						4	
CJ20-16	380	16	7.5					
	660	13	11					
CJ20-25	380	25 14.5	11				175/82.3	19/5.7
	660		13				175/82.3	19/5.7

CJ20-40	380	40	22		175/82.3	19/5.7
	660	25	22		175/82.3	19/5.7
CJ20-63	380	63	30		480/153	57/16.5
	660	40	35		480/153	57/16.5
CJ20-100	380	100	50			
	660	63	50			

接觸器的選用，應根據負荷的類型和工作參數合理選用。具體分為以下步驟：

1) 選擇接觸器的類型：交流接觸器按負荷種類一般分為一類、二類、三類和四類，分別記為 AC_1 、 AC_2 、 AC_3 和 AC_4 。一類交流接觸器對應的控制物件是無感或微感負荷，如白熾燈、電阻爐等；二類交流接觸器主要用於繞線轉子非同步電動機的起動和停止；三類交流接觸器的典型用途是籠型非同步電動機的運轉和運行中分斷；四類交流接觸器用於籠型非同步電動機的起動、反接制動、反轉和點動。

2) 選擇接觸器的額定參數：根據被控物件和工作參數如電壓、電流、功率、頻率及工作制等確定接觸器的額定參數。

①接觸器的線圈電壓，一般應低一些為好，這樣對接觸器的絕緣要求可以降低，使用時也較安全。機床電路一般用 110V。

②電動機的操作頻率不高，如水泵、風機等，接觸器額定電流大於負荷額定電流即可。接觸器類型可選用 CJ10、CJ20 等。

③對重任務型電機，如機床主電動機等，其平均操作頻率超過 100 次/min，運行於起動、點動、正反向制動、反接制動等狀態，可選用 CJ10Z、CJ12 型的接觸器。為了保證電壽命，可使接觸器降容使用。選用時，接觸器額定電流大於電機額定電流。

④對特重任務電機，如大型機床的主電動機等，操作頻率很高，可達 600~12000 次/h，經常運行於起動、反接制動、反向等狀態，接觸器大致可按電壽命及起動電流選用，接觸器型號選 CJ10Z、CJ12 等。

⑤用接觸器對變壓器進行控制時，應考慮浪湧電流的大小。例如交流主軸電動機的變壓器等，一般可按變壓器額定電流的 2 倍選取接觸器，型號選 CJ10、CJ20 等。

⑤接觸器額定電流是指接觸器在長期工作下的最大允許電流，持續時間 $\leq 8h$ ，巨安裝於敞開的控制板上，如果冷卻條件較差，選用接觸器時，接觸器的額定電流按負荷額定電流的

110%~120%選取。對於長時間工作的電機，由於其氧化膜沒有機會得到清除，使接觸電阻增大，導致觸頭髮熱超過允許溫升。所以在實際選用時，可將接觸器的額定電流減小30%使用。

4.接觸器的使用和維護

(1) 接觸器的使用

- 1) 接觸器安裝前應先檢查線圈的額定電壓是否與實際需要相符。
- 2) 接觸器的安裝多為垂直安裝，其傾斜角不得超過 5° ，否則會影響接觸器的動作特性；安裝有散熱孔的接觸器時，應將散熱孔放在上下位置，以降低線圈的溫升。
- 3) 接觸器安裝與接線時應將螺釘擰緊，以防振動松脫。
- 4) 接線器的觸頭應定期清理，若觸頭表面有電弧灼傷時，應及時修復。

(2) 常見故障及處理方法

接觸器在使用時可能出現的故障很多，表 5-2 列出了一些常見故障的原因及修理方法。

表 5-2 接觸器常見故障的原因及修理方法

故障現象	產生原因	修理方法
接觸器不吸合或吸不牢	<ol style="list-style-type: none"> 1) 電源電壓過低 2) 線圈斷路 3) 線圈技術參數與使用條件不符 4) 鐵心機械卡阻 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 調高電源電壓 2) 調換線圈 3) 調換線圈 4) 排除卡阻物
線圈斷電，接觸器不釋放或釋放緩慢	<ol style="list-style-type: none"> 1) 觸頭熔焊 2) 鐵心表面有油污 3) 觸頭彈簧壓力過小或反作用彈簧損壞 4) 機械卡阻 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 排除熔焊故障，修理或更換觸頭 2) 清理鐵心極面 3) 調整觸頭彈簧力或更換反作用彈簧 4) 排除卡阻物
觸頭熔焊	<ol style="list-style-type: none"> 1) 操作頻率過高或過負載使用 2) 負載側短路 3) 觸頭彈簧壓力過小 4) 觸頭表面有電弧灼傷 5) 機械卡阻 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 調換合適的接觸器或減小負載 2) 排除短路故障更換觸頭 3) 調整觸頭彈簧壓力 4) 清理觸頭表面 5) 排除卡阻物
鐵心雜訊過大	<ol style="list-style-type: none"> 1) 電源電壓過低 2) 短路環斷裂 3) 鐵心機械卡阻 4) 鐵心極面有油垢或磨損不平 5) 觸頭彈簧壓力過大 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 檢查線路並提高電源電壓 2) 調換鐵心或短路環 3) 排除卡阻物 4) 用汽油清洗極面或更換鐵心 5) 調整觸頭彈簧壓力

線圈過熱或燒毀	1) 線圈匝間短路 2) 操作頻率過高 3) 線圈參數與實際使用條件不符 4) 鐵心機械卡阻	1) 更換線圈並找出故障原因 2) 調換合適的接觸器 3) 調換線圈或接觸器 4) 排除卡阻物
---------	---	--

5.3 控制繼電器

1. 概述

繼電器主要用於控制和保護電路中作信號轉換用。它具有輸入電路（又稱感應元件）和輸出電路（又稱執行元件），當感應元件中的輸入量（如電流、電壓、溫度、壓力等）變化到某一定值時繼電器動作，執行元件便接通和斷開控制電路。

控制繼電器種類繁多，常用的有電流繼電器、電壓繼電器、中間繼電器、時間繼電器、熱繼電器以及溫度、壓力、計數、頻率繼電器等。

電磁式繼電器按輸入信號不同分有：電壓繼電器、電流繼電器、時間繼電器等。圖 5-4 為電磁式繼電器外形圖。



圖 5-4 電磁式繼電器外形圖

(1) 電流繼電器

電流繼電器的線圈串接在被測量的電路中，以反映電路電流的變化。為了不影響電路工作情況，電流繼電器線圈匝數少，導線粗，線圈阻抗小。

電流繼電器有欠電流繼電器和過電流繼電器兩類。欠電流繼電器的吸引電流為線圈額定電流的 30%~65%，釋放電流為額定電流的 10%~20%，因此，在電路正常工作時，銜鐵是吸合的，只有當電流降低到某一整定值時，繼電器釋放，輸出信號。過電流繼電器在電路正常工作時不動作，當電流超過某一整定值時才動作，整定範圍通常為 1.1~4 倍額定電流。

直流電磁式繼電器如圖 5-5 所示。在機床電氣控制系統中，電流繼電器主要根據主電路內的電流種類和額定電流來選擇。

(2) 電壓繼電器

電壓繼電器的結構與電流繼電器相似，不同的是電壓繼電器線圈為並聯的電壓線圈，所以匝數多、導線細、阻抗大。

電壓繼電器按動作電壓值的不同，有過電壓繼電器、欠電壓繼電器和零電壓繼電器

之分。過電壓繼電器在電壓為額定電壓的 110%~115% 以上時有保護動作；欠電壓繼

電器在電壓為額定電壓的 40%~70% 時有保護動作；零電壓繼電器當電壓降至額定電

壓的 5%~25% 時有保護動作。

(3) 中間繼電器

中間繼電器實質上是電壓繼電器的一種，它的觸點數多（有六對或更多），觸點電流容量大，動作靈敏。其主要用途是當其他繼電器的觸點數或觸點容量不夠時，可借助中間繼電器來擴大它們的觸點數或觸點容量，從而起到中間轉換的作用。

中間繼電器主要依據被控制電路的電壓等級、觸點的數量、種類及容量來選用。機床上常用的中間繼電器有交流中間繼電器和交直流兩用中間繼電器。

2. 時間繼電器

在機床電氣控制中，有時需要按一定的時間間隔來進行某種控制。例如，某潤滑泵需要定時起動、定時運行，以控制潤滑油量，這類自動控制稱為時間控制。簡單的方法可利用時間繼電器來實現控制。

時間繼電器種類很多，常用的有電磁式、空氣阻尼式、電動式和電晶體式等。它按工作方式分為通電延時時間繼電器和斷電延時時間繼電器，一般具有暫態觸點和延時觸點這兩種觸點。時間繼電器的符號如圖 5-6 所示。

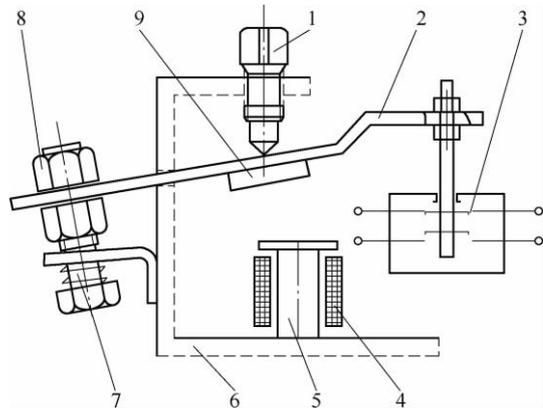


圖 5-5 直流電磁式繼電器結構示意圖

1—調整螺釘 2—銜鐵 3—觸點 4—線圈 5—鐵心

6—磁軛 7—彈簧 8—調整螺母 9—非磁性墊片

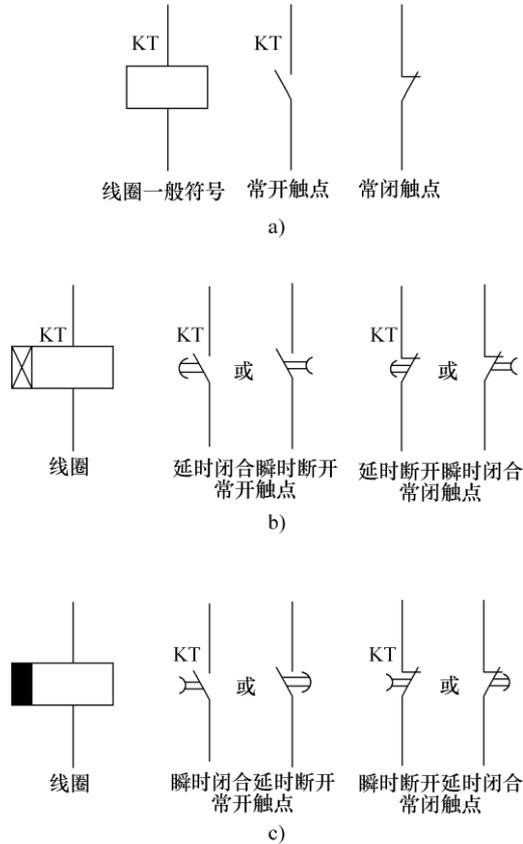


圖 5-6 時間繼電器的符號

a) 暫態動作 b) 通電延時 c) 斷電延時

(1) 空氣阻尼式時間繼電器

空氣阻尼式時間繼電器是利用空氣阻尼原理獲得延時的。它由電磁機構、延時機構、觸點系統三部分組成，延時機構採用氣囊式阻尼器，電磁機構可以是直流的，也可以是交流的。延時方式有通電延時和斷電延時兩種。外形圖如圖 5-7 所示。

(2) 電子式時間繼電器

電子式時間繼電器在時間繼電器中已成為主流產品，電子式時間繼電器是採用電晶體或積體電路和電子元件等構成，目前已有採用單片機控制的時間繼電器。

1) 電晶體式時間繼電器圖：電晶體式時間繼電器也稱為半導體式時間繼電器，是採用

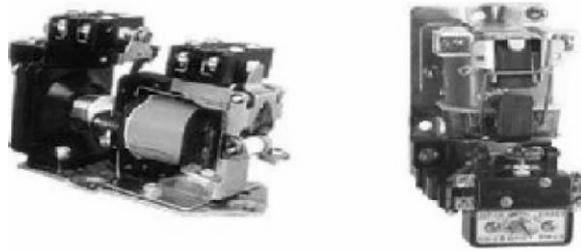


圖 5-7 空氣阻尼式時間繼電器外形圖

電晶體或積體電路和電子元件等構成。它主要利用 RC 電路電容充電原理作為延時環節而構成。其特點是延時範圍廣，精度高，體積小，便調節，壽命長，是目前發展最快、最有前途的電子器件。它的輸出形式有兩種：即有觸點式和無觸點式，前者是用電晶體驅動小型磁式繼電器，後者是採用電晶體或晶閘管輸出。圖 5-8 所示為一種有觸點式電晶體時間繼電器的原理圖，以此為例說明工作原理。

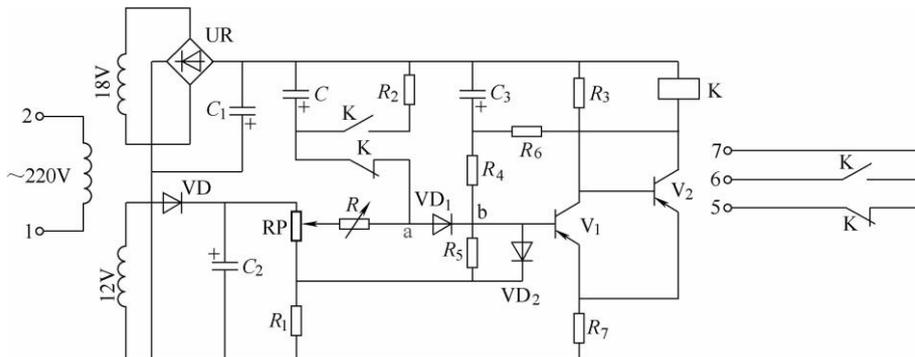


圖 5-8 電晶體時間繼電器的原理圖

整個電路可分為主電源、輔助電源、RC 充放電電路和輸出電路等幾部分。主電源是有電容 C_1 濾波的橋式整流電路，它是觸發器和輸出繼電器的工作電源。輔助電源是也帶電容 C_2 濾波的半波整流電路，它與主電源疊加起來作為 RC 環節的充電電源。

當電源通電時，電晶體 V_1 立即導通， V_2 截止，繼電器 K 不動作。同時，電源通過電位器 RP 和 R 對電容充電， a 點電位逐漸上升，當 a 點電位高於 b 點電位時，二極體 VD_1 導通，使 V_2 截止，而 V_2 變為導通，繼電器 K 的線圈有電流通過，使觸頭動作。 K 的常閉觸點

斷開，切斷充電電路，K 的常開觸點閉合，接通電容 C 放電電路，為下一次工作做準備。延時時間是從電源接通到繼電器觸頭動作這段時間，調節 RP 值可調節延時時間。

2) 數字式時間繼電器：隨著半導體技術、積體電路技術的進一步發展，採用新延時原理的時間繼電器——數字式時間繼電器誕生了。它的各種性能指標得到很大程度上的提高。

目前先進的數字式時間繼電器內部裝有微處理器。

國內外數字式時間繼電器按其時基發生器構成原理不同，可分為電源分頻式、RC 振盪式和石英分頻式三種類型的數字式時間繼電器。它們的延時精度高、延時範圍廣、延時過程可數字顯示和延時方法靈活，但電路複雜，價格較高。

3. 熱繼電器

電動機在實際運行中常會遇到超載情況，但只要超載不嚴重、時間短，繞組不超過允許的溫升，這種超載是允許的。但如果超載情況嚴重、時間長，則會加速電動機絕緣的老化，縮短電動機的使用年限，甚至燒毀電動機，因此必須對電動機進行超載保護。因此，在電動機回路中需要設置電動機超載保護裝置，熱繼電器就是用於電動機的長期超載保護的。

熱繼電器是一種利用流過繼電器的電流所產生的熱效應而反時限動作的保護電器，它主要用作電動機的超載保護、斷相保護、電流不平衡運行及其他電氣設備發熱狀態的控制。使用最多、最普遍的是雙金屬片式熱繼電器。目前，雙金屬片式熱繼電器均為三相式，有帶斷相保護和不帶斷相保護兩種。

由於熱慣性，熱繼電器不會瞬間動作，因此它不能用作短路保護。但也正是這個熱慣性，使電動機起動或短時超載時，熱繼電器不會誤動作。熱繼電器外形圖如圖 5-9 所示。



圖 5-9 熱繼電器外形圖

(1) 熱繼電器的結構及動作原理

圖 5-10 所示為雙金屬片熱繼電器結構原理圖及符號。由圖 5-10 中可見熱繼電器主要由雙金屬片、熱元件、重定按鈕、傳動杆、調節凸輪、觸點系統和溫度補償元件等組成。發熱

元件是一段阻值不大的電阻絲 2，串接在被保護電動機的主電路中，常閉觸點串接於電動機的控制電路中。雙金屬片 1 是一種將兩種線膨脹係數不同的金屬用機械軋軋方法使之形成一體的金屬片。由於兩種線膨脹係數不同的金屬緊密地貼合在一起，當產生熱效應時，使得雙金屬片向膨脹係數小的一側彎曲，由彎曲產生的位移帶動觸點動作。

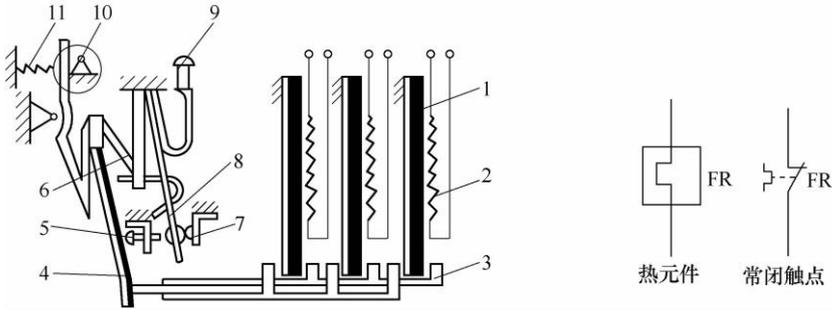


圖 5-10 雙金屬片式熱繼電器結構原理圖及符號

1—雙金屬片 2—電阻絲 3—導板 4—補償雙金屬片 5—螺釘 6—推杆
7—靜觸點 8—動觸點 9—重定按鈕 10—調節凸輪 11—彈簧

當電動機正常運行時，熱元件產生的熱量雖能使雙金屬片彎曲，但還不足以使熱繼電器的觸點動作。當電動機超載時，通過發熱元件的電流超過整定電流，雙金屬片受熱向上彎曲脫離導板 3，使常閉觸點斷開。由於常閉觸點是接在電動機的控制電路中的，它的斷開會使得與其相接的接觸器線圈斷電，從而接觸器主觸點斷開，電動機的主電路斷電，實現了超載保護。故障排除後，按下重定按鈕，使熱繼電器觸點復位。熱繼電器動作電流的調節是通過旋轉調節凸輪 10 來實現的。(2) 熱繼電器的技術參數

熱繼電器可以用做三相非同步電動機的均衡超載保護和定子繞組為Y聯結的三相非同步電動機的斷相保護，但不能用作定子繞組為 Δ 聯結的三相非同步電動機的斷相保護。表 5-3 所示為 JR20 系列熱繼電器技術資料。

表 5-3 JR20 系列熱繼電器技術資料

型號	熱元件號	整定電流範圍/A	型號	熱元件號	整定電流範圍/A
R20-10 配 CJ20-10	1R	0.1~0.13~0.15	JR20-16 配 CJ20-16	1S	3.6~4.5~5.4
	2R	0.15~0.19~0.23		2S	5.4~6.7~8
	3R	0.23~0.29~0.35		3S	8~10~12
	4R	0.35~0.44~0.53		4S	10~12~14

5R	0.53~0.67~0.8	JR20-25 配 CJ20-25	5S	12~14~16
6R	0.8~1~1.2		6S	14~16~18
7R	1.2~1.5~1.8		1T	7.8~9.7~11.6
8R	1.8~2.2~2.6		2T	11.6~14.3~17
9R	2.6~3.2~3.8		3T	2.6~3.2~3.8
10R	3.2~4~6	JR20-63 配 CJ20-63	4T	3.2~4~6
11R	4~5~6		1U	4~5~6
12R	5~6~7		2U	5~6~7
13R	6~7.2~8.4		3U	6~7.2~8.4
14R	8.6~10~11.6		4U	8.6~10~11.6
15R	0.1~0.13~0.15		5U	0.1~0.13~0.15

(3) 熱繼電器的選用與維護

1) 熱繼電器的選用：熱繼電器主要用於電動機的超載保護，使用中應考慮電動機的工作環境、起動情況、負載性質等因素，具體應按以下幾個方面來選擇：

①熱繼電器結構型式的選擇：星形接法的電動機可選用兩相或三相結構熱繼電器，三角形接法的電動機應選用帶斷相保護裝置的三相結構熱繼電器。

②熱元件的整定電流選擇：一般將整定電流調整到等於電動機的額定電流；對超載能力差的電動機，可將熱元件整定值調整到電動機額定電流的 **0.6~0.8** 倍；對起動時間較長，拖動衝擊性負載或不允許停車的電動機，熱元件的整定電流應調節到電動機額定電流的 **1.1~1.15** 倍。

③當電動機起動時間過長或操作次數過於頻繁時，會使熱繼電器誤動作或燒壞電器，故這種情況一般不用熱繼電器作超載保護。

④對於重複短時工作的電動機（如起重機電動機），由於電動機不斷重複升溫，熱繼電器雙金屬片的溫升跟不上電動機繞組的溫升，電動機將得不到可靠的超載保護。因此，不宜選用雙金屬片熱繼電器，而應選用過電流繼電器或能反映繞組實際溫度的溫度繼電器來進行保護。

2) 熱繼電器的常見故障及維護方法見表 5-4。

表 5-4 熱繼電器的常見故障及維護方法

故障現象	故障產生原因	維修方法
熱繼電器誤動作或動作太快	1) 整定電流偏小 2) 操作頻率過高 3) 連接導線太細 4) 使用場合有強烈衝擊或振動	1) 合理調整整定電流 2) 調換熱繼電器或限定操作頻率 3) 選用標準導線 4) 採用防震措施或選用帶防振動衝擊的熱繼電器
熱繼電器不動作	1) 整定電流偏大 2) 熱元件燒斷或脫焊 3) 導板脫出 4) 動作觸點接觸不良	1) 合理調整整定電流 2) 更換熱元件或熱繼電器 3) 重新放置並試驗動作靈活性 4) 檢查觸點，清除不良因素
熱元件燒斷	1) 負載側電流過大 2) 反復短時工作，操作頻率過高	1) 排除故障調換熱繼電器 2) 限定操作頻率或調換合適的熱繼電器
主電路不通	1) 熱元件燒毀 2) 接線螺釘鬆動或脫落	1) 更換熱元件或熱繼電器 2) 旋緊接線螺釘
控制電路不通	1) 熱繼電器常閉觸點接觸不良或彈性消失 2) 手動復位的熱繼電器動作後，未手動復位	1) 檢修常閉觸點 2) 按動重定按鈕

4. 速度繼電器

速度繼電器根據電磁感應原理製成的，用於轉速的檢測，如用來在三相交流非同步電動機反接制動轉速過零時，自動斷開反相序電源。圖 5-11 為其結構原理圖。

據圖 5-11 知，速度繼電器主要由轉子、圓環（籠型空心繞組）和觸點三部分組成。其中轉子由一塊永久磁鐵製成，與電動機同軸相聯，用以接受轉動信號。當轉子（磁鐵）旋轉時，籠型繞組切割轉子磁場產生感應電動勢，形成環內電流，此電流與磁鐵磁場相作用，產生電磁轉矩，圓環在此力矩的作用下帶動擺錘，克服彈簧力而順轉子轉動的方向擺動，並撥動觸點改變其通斷狀態（在擺錘左右各設一組切換觸點，分別在速度繼電器正轉和反轉時發生作用）。

速度繼電器的動作轉速一般不低於 120r/min，復位轉速約在 100r/min 以下，工作時，允許的轉速高達 1000~3600r/min。

速度繼電器的圖形及文字符號如圖 5-12 所示，文字符號為 KS。

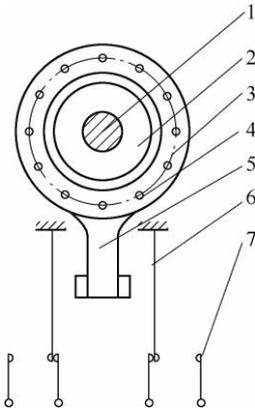


圖 5-11 速度繼電器結構原理圖

- 1—轉軸 2—轉子 3—定子 4—繞組
5—擺錘 6—簧片 7—觸點

5.4 其他常用低壓電器

1. 刀開關

(1) 刀開關的作用

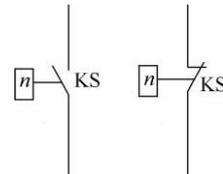


圖 5-12 速度繼電器的圖形及文字符號

刀開關是一種手動配電電器。主要用來隔離電源或手動接通與斷開交直流電路，也可用於不頻繁的接通與分斷額定電流以下的負載，如小型電動機、電爐等。閘刀刀開關是最經濟但技術指標偏低的一種刀開關。刀開關也稱開啟式負荷開關。

(2) 外形與結構

圖 5-13 所示為刀開關外形與結構圖，它主要有與操作瓷柄相連的動觸刀、靜觸頭刀座、熔絲、逆線及出線接線座，這些導電部分都固定在瓷底板上，巨用膠蓋蓋著。所以當閘刀合上時，操作人員不會觸及帶電部分。膠蓋還具有下列保護作用：

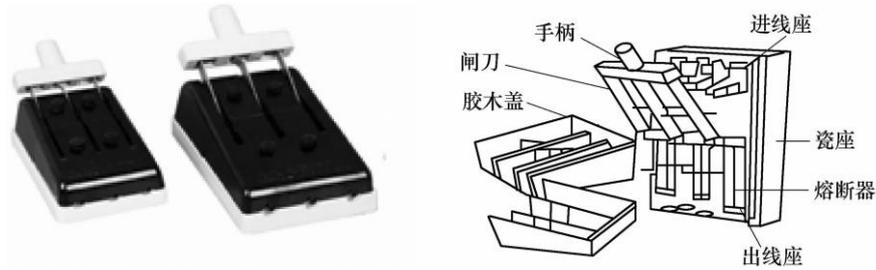


圖 5-13 刀開關外形與結構圖

- 1) 將各極隔開，防止因極間飛弧導致電源短路；
- 2) 防止電弧飛出蓋外，灼傷操作人員；
- 3) 防止金屬零件掉落在閘刀上形成極間短路。熔絲的裝設，又提供了短路保護功能。

(3) 刀開關技術參數與選擇刀開關種類很多，有兩極的（額定電壓 250V）和三極的（額定電壓 380V），額定電流由 10~100A 不等，其中 60A 及以下的才用來控制電動機。常用的刀開關型號有 HK1、HK2 系列。表 5-5 列出了 HK2 系列部分技術資料。

表 5-5 HK2 系列膠蓋刀開關的技術資料

額定電壓／ V	額定電流／ A	極數	最大分斷電流（熔斷器 極限分斷電流）／A	控制電動機 功率／kW	機械壽命／萬 次	電壽命／萬 次
250	10	2	500	1.1	10000	2000
	15	2	500	1.5		
	30	2	1000	3.0		
380	15	3	500	2.2	10000	2000
	30	3	1000	4.0		
	60	3	1000	5.5		

正常情況下，刀開關一般能接通和分斷其額定電流，因此，對於普通負載可根據負載的額定電流來選擇刀開關的額定電流。對於用刀開關控制電機時，考慮其起動電流可達 4~7 倍的額定電流，選擇刀開關的額定電流，宜選電動機額定電流的 3 倍左右。

(4) 使用刀開關時應注意

- ① 將它垂直的安裝在控制屏或開關板上，不可隨意擱置；
- ② 進線座應在上方，接線時不能把它與出線座搞反，否則在更換熔絲時將會發生觸電事故；

③更換熔絲必須先拉開閘刀，並換上與原用熔絲規格相同的新熔絲，同時還要防止新熔絲受到機械損傷；

④若膠蓋和瓷底座損壞或膠蓋失落，刀開關就不可再使用，以防止安全事故。

2. 低壓斷路器

低壓斷路器也稱自動開關或自動空氣斷路器。它是一種既能作開關用，又具有電路自動保護功能的低壓電器。

(1) 斷路器的組成與分類

斷路器有三大部分組成：觸點和滅弧系統，通斷電路的部件；各種脫扣器，檢測電路異常狀態並作出反應，即保護性動作的部件；操作機構和自動脫扣機構，間聯繫部件。

按結構分類自動開關有萬能式（框架式）和塑膠外殼式（簡稱塑殼式，也稱裝置式）兩種。控制線路中常用塑殼式自動開關作為電源引入開關或作為控制和保護不頻繁起動、停止的電動機開關，以及用於賓館、機場、車站等大型建築的照明電路。其操作方式多為手動，主要有扳動式和按鈕式兩種。萬能式（框架式）主要用於供配電系統。

自動開關與刀開關和熔斷器相比，具有以下優點：結構緊湊，安裝方便，操作安全，而巨在進行短路保護時，由於用電磁脫扣器將電源同時切斷，避免了電動機缺相運行的可能。另外，自動開關的脫扣器可以重複使用，不必更換。

(2) 低壓斷路器的型號和主要技術參數

常用的塑殼式斷路器主要有 DZ5、DZ15、DZ20 等系列。低壓斷路器的型號含義舉例說明如下，其技術資料見表 5-6。

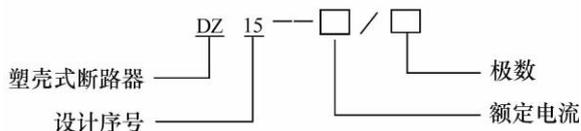


表 5-6 DZ15 系列塑殼式斷路器技術資料

型號	極數	額定電流/A	額定電壓/V	額定短路分斷能力/kA	機械壽命/萬次	電壽命/萬次
DZ15-40	1	6、10、16、	AC220	3	1.5	1.0
	2、3	20、 25、32、40	AC380			
DZ15-63	1	10、16、20、	AC220	5	1.0	0.6
	2、3、4	25、 32、40、50、63	AC380			

用於電動機保護的斷路器的熱脫扣器要根據電動機的額定電流進行選擇和整定，而暫態過電流電磁脫扣器則按照電動機額定電流的 12 倍來選擇，以保證在電動機起動電流的峰值不至於動作。

3. 熔斷器

(1) 熔斷器的結構與用途

熔斷器的結構一般分成熔體座和熔體等部分。熔斷器是串聯連接在被保護電路中的，當電路電流超過一定值時，熔體因發熱而熔斷，使電路被切斷，從而起到保護作用。熔體的熱量與通過熔體電流的平方及持續通電時間成正比，當電路短路時，電流很大，熔體急劇升溫，立即熔斷，當電路中電流值等於熔體額定電流時，熔體不會熔斷。所以熔斷器可用於短路保護。由於熔體在用電設備超載時所通過的超載電流能積累熱量，當用電設備連續超載一定時間後熔體積累的熱量也能使其熔斷，所以熔斷器也可作超載保護。常用的熔斷器外形如圖 5-14 所示。

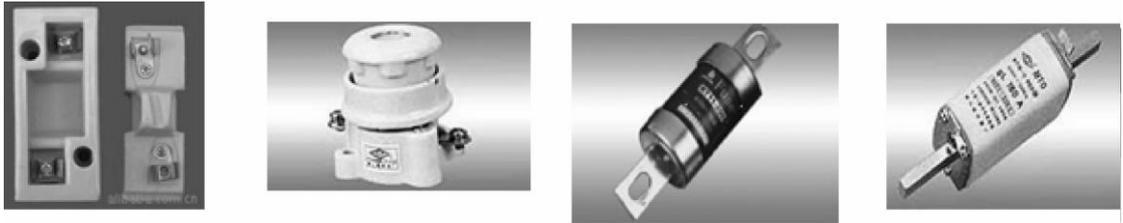


圖 5-14 熔斷器外形圖

(2) 熔斷器的分類和主要技術參數

熔斷器按結構分，有半封閉瓷插式、螺旋式、無填料封閉管式和有填料封閉管式熔斷器。按用途分：工業用熔斷器、半導體保護用熔斷器、快速熔斷器和特殊熔斷器。典型產品有：RL6、RL7、RL96、RLS2 系列螺旋式熔斷器，RL1B 系列帶斷相保護螺旋式熔斷器，RT18、RT18—□X 系列熔斷器以及 RT14 系列有填料密封管式熔斷器。還有國外引進技術生產的 NT 系列有填料密閉式刀犁觸頭熔斷器與 NGT 系列半導體器件保護用熔斷器等。熔斷器的主要技術參數：額定電壓、額定電流、極限分斷能力、熔斷電流。

(3) 熔斷器的選擇

對熔斷器的要求是：在電氣設備正常運行時，熔斷器不應熔斷；在出現短路時，應立即熔斷；在電流發生正常變動（如電動機起動過程）時，熔斷器不應熔斷；在用電設備持續超載時，應延時熔斷。對熔斷器的選用主要包括類型選擇和熔體額定電流的確定。

選擇熔斷器的類型時，主要依據負載的保護特性和短路電流的大小。

熔斷器的額定電壓要大於或等於電路的額定電壓。

熔斷器的額定電流要依據負載情況而選擇。

1) 電阻性負載或照明電路，這類負載起動過程很短，運行電流較平穩，一般按負載額定電流的 1~1.1 倍選用熔體的額定電流，進而選定熔斷器的額定電流。

2) 電動機等感性負載，這類負載的起動電流為額定電流的 4~7 倍，一般選擇熔體的額定電流為電動機額定電流的 1.5~2.5 倍。這樣一般來說，熔斷器難以起到超載保護作用，而只能用作短路保護，超載保護應用熱繼電器才行。

對於多台電動機，要求

$$I_{FU} \leq (1.5 \sim 2.5) I_{NMAX} + \sum I_N$$

式中， I_{FU} 為熔體額定電流 (A)， I_{NMAX} 為最大一台電動機的額定電流 (A)。

4. 主令電器

(1) 控制按鈕

控制按鈕簡稱按鈕，是廣泛應用的一種主令電器，它主要用於遠距離操作具有電磁線圈的電器，如接觸器和繼電器，向它們發出“指令”，也可用於電氣聯鎖。可以說按鈕是操作人員和控制裝置之間的中間環節。

控制按鈕結構如圖 5-15 所示，它主要由按鈕帽、重定彈簧、動觸點、常閉靜觸點和常開靜觸點組成。在工作人員沒有按壓按鈕帽時，動觸點在復位彈簧作用下與常閉觸點接觸，將按鈕帽按下，動觸點就向下移動，先脫離常閉靜觸點，然後同常開靜觸點接觸。當操作人員的手指離開按鈕帽以後，在重定彈簧作用下，動觸點又向上運動，恢復原來的狀態，在重定過程中，先是常開觸點分斷，然後是常閉觸點閉合。圖中還畫出了按鈕在電路圖中的符號。

按鈕採用積木式拼接裝配結構，觸點數量可根據需要任意拼接，最多可達 6 常開和 6 常閉。

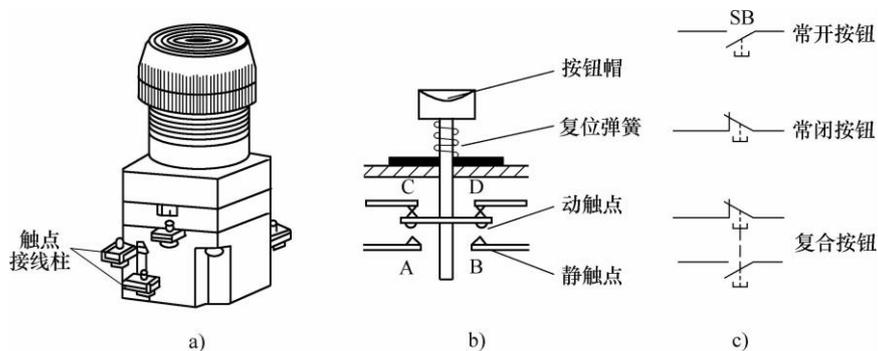


圖 5-15 控制按鈕示意圖

目前常用的按鈕有 LA18、LA19、LA20 和 LA25 等系列。它們適用於交流 500V，直流 440V，額定電流為 5A，控制功率為交流 300W，直流 70W 的控制電路。在操作頻率 1200 次/h 的情況下，其電壽命不少於交流 50 萬次，直流 20 萬次。

(2) 行程開關

行程開關用來反映工作機械的位置變化（行程），用以發出指令，改變電動機的工作狀態。如果，把行程開關安裝在工作機械行程的終點處，以限制其行程，就稱為限位元開關或終端開關。它不僅是控制電器，也是實現終端保護的保護電器。

行程開關主要由類似按鈕的觸點系統和接受機械部件發來信號的操作頭組成。根據操作頭不同，行程開關可分為直動式、滾動式和微動式。按觸點性質可分為有觸點和無觸點式。

行程開關型號和符號含義如圖 5-16 所示。

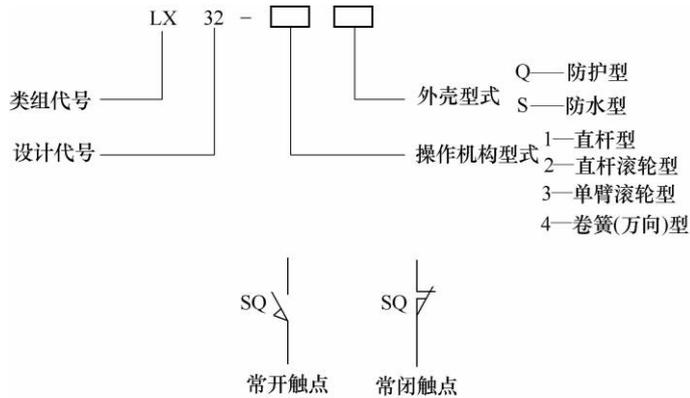


圖 5-16 行程開關型號和符號

第 6 講 電氣線路的安裝與調試



導讀

電氣線路是電力系統和常用電氣設備的重要組成部分。電氣線路可分為電力線路（主電路）和控制電路。主電路主要是完成電能輸送任務，而控制電路是供保護和測量之用的。電氣線路除應滿足供電可靠性或控制可靠性的要求外，還必須滿足各項安全要求。

本講主要從電氣識圖入手，介紹常見電氣控制線路，如三相非同步電動機的直接起動控制、三相非同步電動機的正反轉控制、三相非同步電動機Y- Δ 減壓起動控制。對電氣控制線路安裝工藝進行了詳細闡述，同時以 C620-1 型車床電氣線路為例介紹安裝與調試的基本流程。

6.1 識別電工圖

1. 電工圖的種類

電工圖的種類有許多，如電氣原理圖、安裝接線圖、端子排圖和展開圖等，其中電氣原理圖和安裝接線圖是最常見的兩種形式。

(1) 電氣原理圖

電氣原理圖簡稱電原理圖，是用來說明電氣系統的組成和連接的方式，以及表明它們的工作原理和相互之間的作用，它不涉及電氣設備和電氣元件的結構或安裝情況。

(2) 安裝圖

安裝圖或稱安裝接線圖，它是電氣安裝施工的主要圖樣，是根據電氣設備或元件的實際結構和安裝要求繪製的圖樣。在繪圖時，只考慮元件的安裝配線而不必表示該元件的動作原理。

2. 識圖的基本方法

(1) 結合電工基礎知識識圖

在實際生產的各個領域中，所有電路如輸變配電、電力拖動和照明等，都是建立在電工基礎理論之上的。因此，要想準確、迅速地看懂電氣圖，必須具備一定的電工基礎知識。如三相籠型非同步電動機的正轉和反轉控制，就是利用三相籠型非同步電動機的旋轉方向是由電動機三相電源的相序來決定的原理，用倒順開關或兩個接觸器進行切換，改變輸入電動機的電源相序，以改變電動機的旋轉方向。

(2) 結合電器元件的結構和工作原理識圖

電路中有各種電器元件，如配電電路中的負荷開關、自動開關、熔斷器、互感器、儀錶等；電力拖動電路中常用的各種繼電器、接觸器和各種控制開關等；電子電路中，常用的各種晶體二極管、晶體三極管、晶閘管、電容器、電感器以及各種積體電路等。因此，在識讀電氣圖時，首先應瞭解這些元器件的性能、結構、工作原理、相互控制關係以及在整個電路中的地位 and 作用。

(3) 結合典型電路識圖

典型電路就是常見的基本電路，如電動機的起動、制動、正反轉控制、超載保護電路，時間控制、順序控制、行程控制電路，電晶體整流電路，振盪和放大電路，晶閘管觸發電路等。不管多麼複雜的電路，幾乎都是由若干基本電路所組成。因此，熟悉各種典型電路，在識圖時就能迅速地分清主次環節，抓住主要矛盾，從而看懂較複雜的電路圖。

(4) 結合有關圖樣說明識圖

憑藉所學知識閱讀圖樣說明，有助於瞭解電路的大體情況，便於抓住看圖的重點，達到順利識圖的目的。

(5) 結合電氣圖的製圖要求識圖

電氣圖的繪製有一些基本規則和要求，這些規則和要求是為了加強圖樣的規範性、通用性和示意性而提出的。可以利用這些製圖的知識準確識圖。

3. 識圖要點和步驟

(1) 看圖樣說明

圖樣說明包括圖樣目錄、技術說明、元器件明細表和施工說明等。識圖時，首先要看圖樣說明，搞清設計的內容和施工要求，這樣就能瞭解圖樣的大體情況，抓住識圖的重點。

(2) 看主標題列

在看圖樣說明的基礎上，接著看主標題列，瞭解電氣圖的名稱及標題列中有關內容。憑藉有關的電路基礎知識，對該電氣圖的類型、性質、作用等有明確的認識，同時大致瞭解電氣圖的內容。

(3) 看電路圖

看電路圖時，先要分清主電路和控制電路、交流電路和直流電路，其次按照先看主電路，再看控制電路的順序讀圖。看主電路時，通常從下往上看，即從用電設備開始，經控制元件，順次往電源看。看控制電路時，應自上而下，從左向右看，即先看電源，再順次看各條回路，分析各回路元器件的工作情況及其對主電路的控制。

通過看主電路，要搞清楚用電設備是怎樣從電源取電的，電源經過哪些元器件到達負載等。通過看控制電路，要搞清楚它的回路構成、各元件間的聯繫（如順序、互鎖等）、控制關係和在什麼條件下回路構成通路或斷路，以理解工作情況等。

(4) 看接線圖

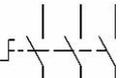
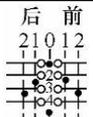
接線圖是以電路圖為依據繪製的，因此要對照電路圖來看接線圖。看的時候，也要先看主電路，再看控制電路。看主電路時，從電源輸入端開始，順次經控制元件和線路到用電設

備。與看電路圖有所不同，看控制電路時，要從電源的一端到電源的另一端，按元件的順序對每個回路进行分析。

接線圖中的線號是電器元件間導線連接的標記，線號相同的導線原則上都可以接在一起。因接線圖多採用單線表示，所以對導線的走向應加以辨別，還要搞清楚端子板內外電路的連接。

4.常見元件圖形符號、文字符號（見表 6-1）

表 6-1 常見元件圖形符號、文字符號

類別	名稱	圖形符號	文字符號	類別	名稱	圖形符號	文字符號
開關	單極控制開關		QS	位置開關	動合觸點		SQ
	手動開關一般符號		QS		動斷觸點		SQ
	三極控制開關		QS		複合觸點		SQ
	三極隔離開關		QS	按鈕	常開按鈕		SB
	三極負荷開關		QS		常閉按鈕		SB
	組合旋鈕開關		QS		複合按鈕		SB
	低壓斷路器		QF		急停按鈕		SB
控制器或操作開關		SA	鑰匙操作式按鈕		SB		
接觸器	線圈操作器件		KM	熱繼電器	熱元件		FR
	動合主觸點		KM		動斷觸點		FR

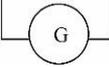
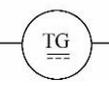
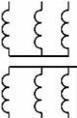
時間繼電器	動合輔助觸點		KM	中間繼電器	線圈		KA
	動斷輔助觸點		KM		動合觸點		KA
	緩慢吸合繼電器線圈		KT		動斷觸點		KA

(續)

類別	名稱	圖形符號	文字符號	類別	名稱	圖形符號	文字符號
時間繼電器	緩慢釋放繼電器線圈		KT	電流繼電器	過電流線圈		KA
	暫態閉合的動合觸點		KT		欠電流線圈		KA
	暫態斷開的動斷觸點		KT		動合觸點		KA
	延時閉合的動合觸點		KT		動斷觸點		KA
	延時斷開的動斷觸點		KT	電壓繼電器	過電壓線圈		KV
	延時閉合的動斷觸點		KT		欠電壓線圈		KV
	延時斷開的動合觸點		KT		動合觸頭		KV
電磁操	電磁鐵的一般符號		YA	動斷觸頭		KV	

作器	電磁制動器		YB	電動機	三相籠型非同步電動機		M
	電磁閥		YV		三相繞線轉子非同步電動機		M
非電量控制的繼電器	速度繼電器常開觸頭		KS		他勵直流電動機		M
	壓力繼電器常開觸頭		KP		並勵直流電動機		M

(續)

類別	名稱	圖形符號	文字符號	類別	名稱	圖形符號	文字符號
發電機	發電機		G	電動機	串勵直流電動機		M
	直流測速發電機		TG	熔斷器	熔斷器		FU
燈	信號燈 (指示燈)		HL	變壓器	單相變壓器		TC
	照明燈		EL		三相變壓器		TM
	接插器	插頭和插座		X 插頭 XP 插座 XS	電壓互感器		TV
					電流互感器		TA
				電抗器		L	

6.2 常見電氣控制電路介紹

1. 三相非同步電動機的直接起動控制

(1) 直接起動控制電路

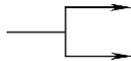
具有自鎖的正轉控制電路如圖 6-1 所示。

線路的動作原理如下：合上電源開關

QS，

KM 動合輔助觸點閉合自鎖起

KM 主觸點閉合→電動機 M 起

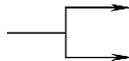


動：按下 SB₂→KM 線圈得電

動運轉鬆開起動按鈕 SB₂，由於接在按鈕 SB₂

兩端的 KM 動合輔助觸頭閉合自鎖，控制電路仍保持接通，電動機 M 繼續運轉。

KM 動合輔助觸點斷開→自鎖解鎖



停止：按下 SB₁→KM 線圈斷電釋放

KM 主觸點斷開→電動機 M 停止

運轉

(2) 具有超載保護的單向旋轉控制線路

電動機在運轉過程中，如果長期負載過大或頻繁操作等都會引起電動機繞組過熱，影響電動機的使用壽命，甚至會燒壞電動機。因此，對電動機要採用超載保護，一般採用熱繼電器作為超載保護元件，其原理如圖 6-2 所示。

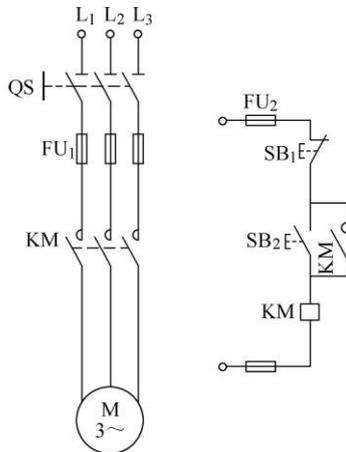


圖 6-1 直接起動控制電路線路動作原理如下：

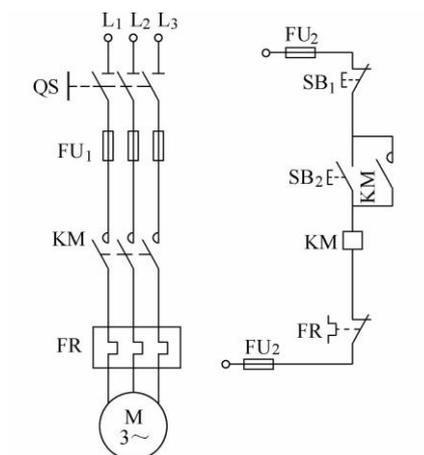


圖 6-2 帶超載保護的單向旋轉控制電路

電動機在運行過程中，由於超載或其他原因，使負載電流超過額定值時，經過一定時間，串接在主電路中的熱繼電器的雙金屬片因受熱彎曲，使串接在控制電路中的動斷觸點斷開，切斷控制電路，接觸器 **KM** 的線圈斷電，主觸點斷開，電動機 **M** 停轉，達到了超載保護的目的。

2. 三相非同步電動機的正、反轉控制

(1) 接觸器聯鎖的正反轉控制

接觸器聯鎖的正反轉控制電路如圖 6-3 所示。

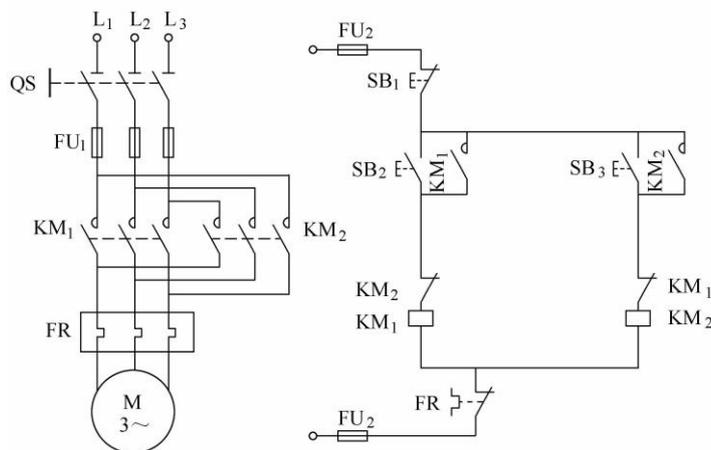
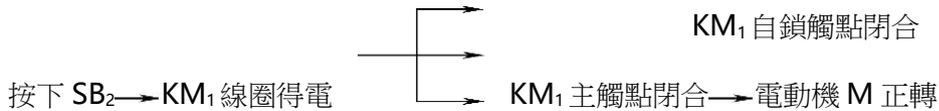


圖 6-3 接觸器聯鎖的正反轉控制電路

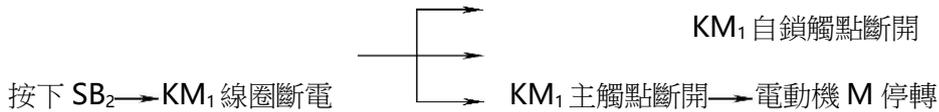
線路中採用 KM_1 和 KM_2 兩個接觸器，當 KM_1 接通時，三相電源的相序按 $L_1—L_2—L_3$ 接入電動機。而當 KM_2 接通時，三相電源按 $L_3—L_2—L_1$ 接入電動機。所以當兩個接觸器分別工作時，電動機的旋轉方向相反。

線路要求接觸器 KM_1 和 KM_2 不能同時通電，否則它們的主觸點同時閉合，將造成 L_1 、 L_3 兩相電源短路，為此在 KM_1 和 KM_2 線圈各自的支路中相互串接了對方的一副動斷輔助觸點，以保證 KM_1 和 KM_2 不會同時通電。 KM_1 和 KM_2 這兩副動斷輔助觸點在線路中所起的作用稱為聯鎖（或互鎖）作用。

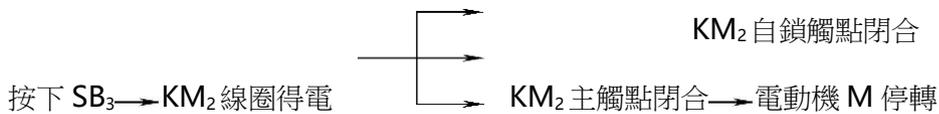
線路的動作原理如下：合上電源開關 QS ，正轉控制：



KM_1 聯鎖觸點斷開反轉控制：



KM_1 聯鎖觸點閉合



KM_2 聯鎖觸點斷開

這種線路的缺點是操作不方便，要改變電動機轉向，必須先按停止按鈕 SB_1 ，再按反轉按鈕 SB_3 ，才能使電動機反轉。

(2) 按鈕聯鎖的正反轉控制

按鈕聯鎖的正反轉控制電路如圖 6-4 所示。

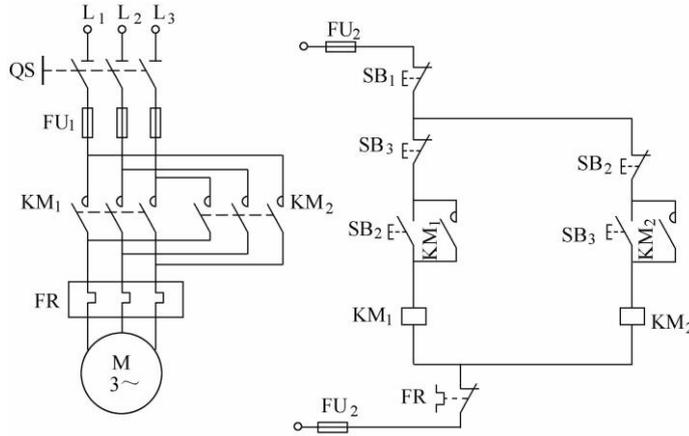
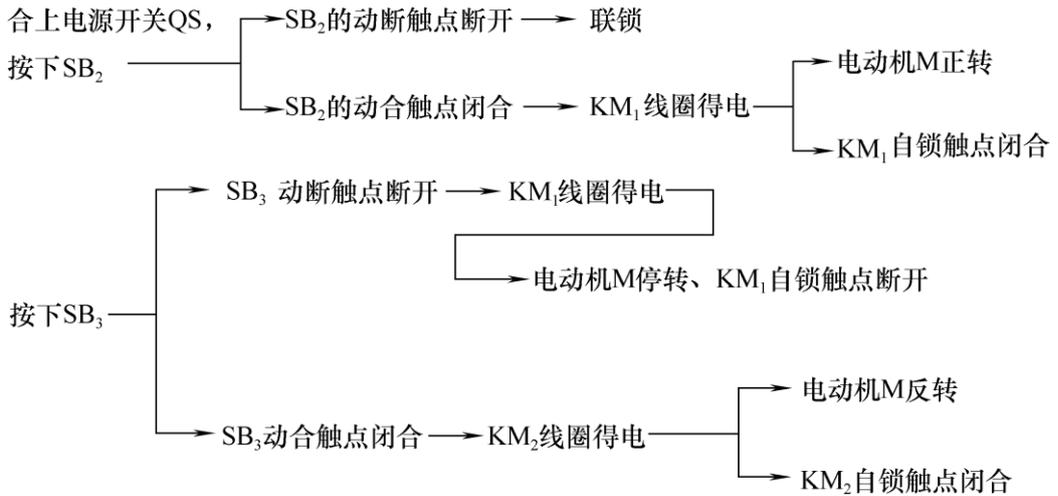


圖 6-4 按鈕聯鎖的正反轉控制電路電路的動作原理如下：



這種線路的優點是操作方便，缺點是易產生短路故障，單用按鈕聯鎖的線路不太安全可靠。

(3) 接觸器、按鈕雙重聯鎖的正反轉控制

這種線路安全可靠、操作方便、較常用，動作過程分析略。

3.三相非同步電動機Y-Δ減壓起動控制

電動機Y-Δ減壓起動控制方法只適用於正常工作時定子繞組為Δ聯結的電動機。這種方法既簡單又經濟，使用較為普遍，但其起動轉距只有全壓起動時的 1/3，因此，只適用於空載或輕載起動。

(1) 手動控制Y-Δ減壓起動

手動控制Y-Δ減壓起動電路如圖 6-5 所示。

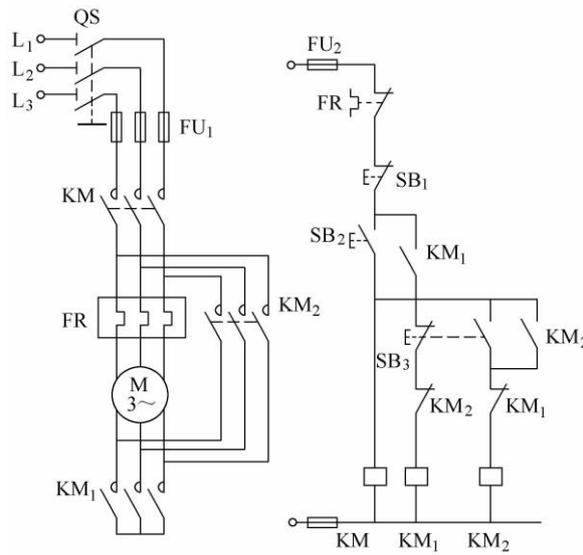
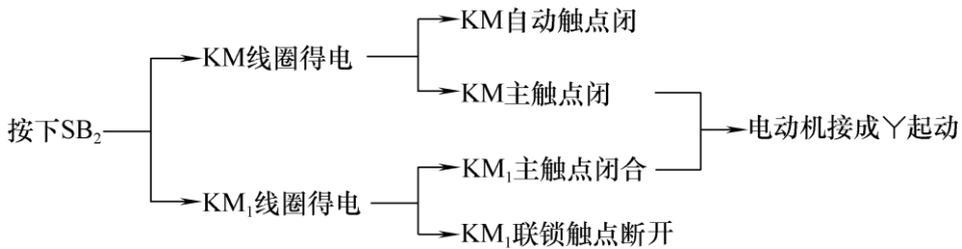


圖 6-5 手動控制Y-Δ減壓起動電路

線路的動作原理如下：電動機

Y聯結減壓起動：



電動機Δ聯結全壓運行：



(2) 自動控制Y-Δ減壓起動

利用時間繼電器可以實現Y- Δ 減壓起動的自動控制，典型線路如圖 6-6 所示，動作原理分析略。

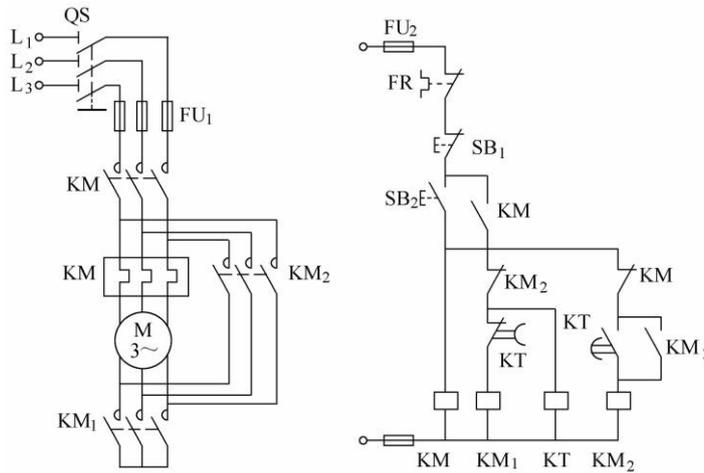


圖 6-6 自動控制Y- Δ 減壓起動

6.3 電氣控制電路的安裝工藝

1. 電動機正反轉控制電路及其安裝（板前明線佈線工藝）

【任務描述】

利用板前明線佈線工藝對電動機正反轉控制電路進行電氣安裝，然後通電試車。【訓練內容及操作步驟】

1) 識讀電動機正反轉控制電路，明確電路所用電器元件及作用，熟悉電路的工作原理（見圖 6-7a）。

明確電路中的所有電器元件及其作用；熟悉電路的工作原理；熟悉起動按鈕和停止按鈕的結構要求和動作原理；理解接觸器自鎖觸點的作用；接觸器自鎖的欠電壓、失壓保護的功能；領會熱繼電器超載保護的原理和熱繼電器的接線要求；理解雙重互鎖的原理和作用；比較單重互鎖和雙重互鎖的優缺點。

2) 按電器元件清單配齊所有電器元件，並進行檢驗。

電器元件清單見表 6-2。

表 6-2 電器元件清單

代號	名稱	型號	單位	數量
M	三相非同步電動機	Y112M-4	台	1

QS	組合開關	HZ10-25/3	個	1
FU ₁	螺旋式熔斷器	RL1-60/20	個	3
FU ₂	螺旋式熔斷器	RL1-15/4	個	2
KM ₁ /KM ₂	交流接觸器	CJ20-20	個	2
SB ₁ /SB ₂ /SB ₃	三聯按鈕	LA10-3H	個	1
FR	熱繼電器	JR16-20/3D	個	1
無	端子排	JX2-1015	條	4
無	配線盤(櫃)	600×750×15mm	個	1

電器的檢驗要求如下：

①電器元件的技術資料(如型號、規格、額定電壓、額定電流)應完整並符合要求，外觀無損傷。

②電器元件的電磁機構動作是否靈活，有無銜鐵卡阻等不正常現象，用萬用表檢測電磁線圈的通斷情況以及各觸點的分合情況。

③接觸器的線圈電壓和電源電壓是否一致。

④對電動機的品質進行常規檢查(每相繞組的通斷，相間絕緣，相對地絕緣)。

3) 在控制板上按佈置圖安裝電器元件，並貼上醒目的文字符號，如圖 6-7b 所示。

工藝要求如下：

①組合開關、熔斷器等受電端子應安裝在控制板的外側。

②每個元件的安裝位置應整齊、勻稱、間距合理、便於佈線及元件的更換。

③緊固各元件時要用力均勻，緊固程度要適當。

4) 按接線圖進行板前明線佈線並套號碼管。

板前明線佈線的工藝要求是：

①佈線通道盡可能地少，同路並行導線按主、控制電路分類集中，單層密排，緊貼安裝面佈線。

②同一平面的導線應高低一致或前後一致，不能交叉。非交叉不可時，應水準架空跨越，但必須走線合理。

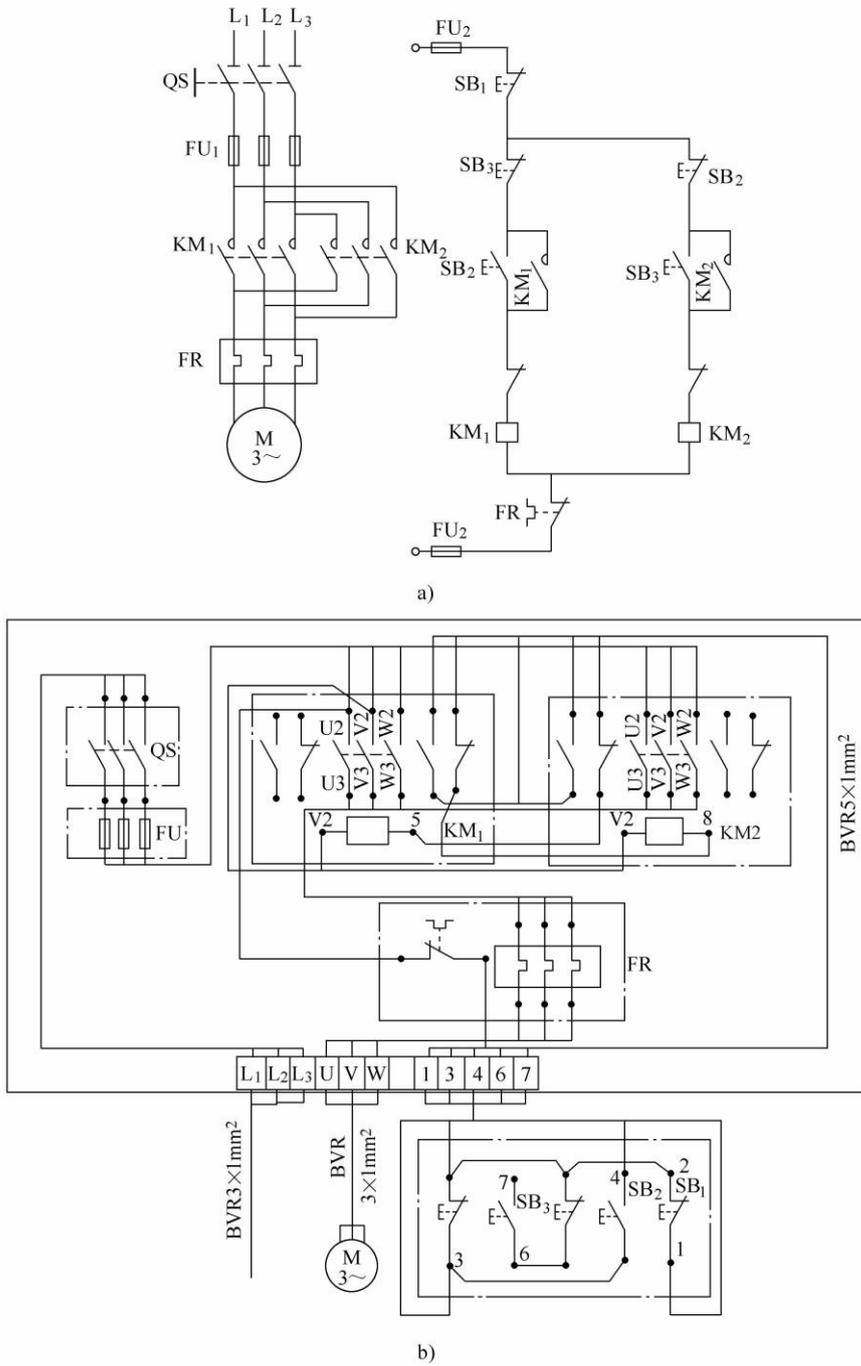


圖 6-7 按鈕互鎖控制電路原理圖、接線圖與佈置圖 a) 原理圖

b) 接線圖

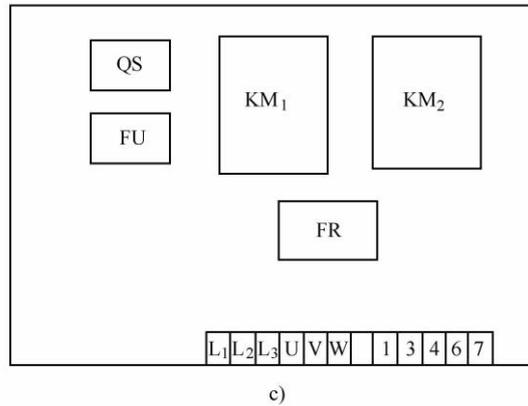


圖 6-7 按鈕互鎖控制電路原理圖、接線圖與佈置圖 (續) c) 佈置圖

③佈線應橫平豎直，分佈均勻。變換走向時應垂直。

④佈線時嚴禁損傷線心和導線絕緣。

⑤在每根剝去絕緣層導線的兩端套上編碼套管。所有從一個接線端子（或線樁）到另一個接線端子（或接線樁）的導線必須連接，中間無接頭。

⑤導線與接線端子或接線樁連接時，不得壓絕緣層、不反圈及不露銅過長。

①一個電器元件接線端子上的連接導線不得多於兩根。

在明線佈線後，進行接線時還應注意以下問題：

①按鈕內接線時，用力不可過猛，以防螺釘打滑。

②按鈕內部的接線不要接錯，起動按鈕必須接動合按鈕（可用萬用表的歐姆擋判別）。

③觸頭或觸點接線必須可靠、正確，否則會造成主電路中兩相電源短路事故。

5) 根據電路圖檢查控制板佈線的正確性。

①接觸器的自鎖觸頭應並接在起動按鈕的兩端；停止按鈕應串接在控制電路中。

②電路中兩組接觸器的主觸頭必須換相（出端反相），否則不能反轉。

③熱繼電器的熱元件應串接在主電路中，其動斷觸點應串接在控制電路中，兩者缺一不可，否則不能起到超載保護作用。

④熱繼電器的整定電流應按電動機的額定電流自行整定。

⑤熱繼電器因電動機超載動作後，若再次起動電動機，必須等熱元件冷卻後，才能使熱元件復位（自動復位時應在動作後 5min 內自動復位；手動復位時，在動作 2min 後按下手動重定按鈕，熱繼電器應重定）。

6) 安裝電動機，並連接電動機和按鈕金屬外殼的保護接地線。若按鈕為塑膠外殼，則按鈕外殼不需要接地線。

7) 連接電源、電動機等控制板外部的導線。

8) 自檢。安裝完畢的控制电路板，必須經過認真檢查以後，才允許通電試車，以防止錯接、漏接造成不能正常運轉或短路事故。

①按電路原理圖或電氣接線圖從電源端開始，逐段核對接線及接線端子處是否正確，有無漏接、錯接之處。檢查導線接點是否符合要求，壓接是否牢固。接觸應良好，以免帶負載運行時產生閃弧現象。

②用萬用表檢查線路的通斷情況。檢查時，應選用倍率適當的電阻擋，並進行校零，以防短路故障發生。對控制電路的檢查（可斷開主電路），可將表筆分別搭在 QS 出線端的任意兩相上，讀數應為“∞”。按下按鈕時，讀數應為接觸器線圈的電阻值，然後斷開控制電路再檢查主電路有無開路或短路現象，此時可用手動來代替接觸器通電進行檢查。

③用絕緣電阻表檢查線路的絕緣電阻應不得小於 $0.5M\Omega$ 。

9) 通電試車。

2. 三相非同步電動機的限位元控制電路及其安裝（板前線槽配線工藝）

【任務描述】

利用板前線槽配線工藝對三相非同步電動機的限位元控制電路進行電氣安裝，然後通電試車。

【訓練內容及操作步驟】

1) 識讀電動機限位元控制電路，明確電路所用電器元件及作用，熟悉電路的工作原理。

限位元控制電路如圖 6-8 所示。圖中 $SQ_1 \sim SQ_4$ 為行程開關，又稱限位元開關，它裝在預定的位置上，當運動部件移動到此位置時，裝在部件上的撞塊壓下行程開關，使其動斷觸頭斷開，控制回路被切斷，電動機停止轉動。

工作臺前進—後退自動迴圈控制電路如圖

6-9 所示。

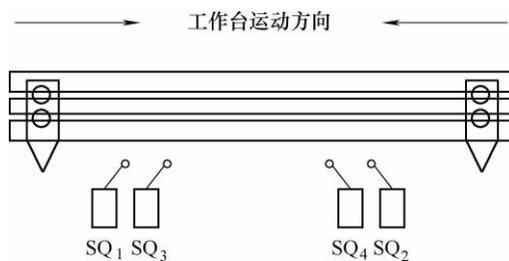


圖 6-8 限位元控制電路

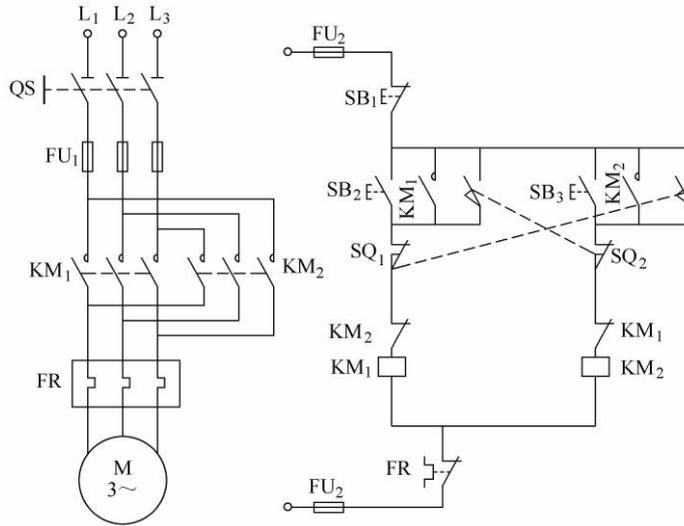
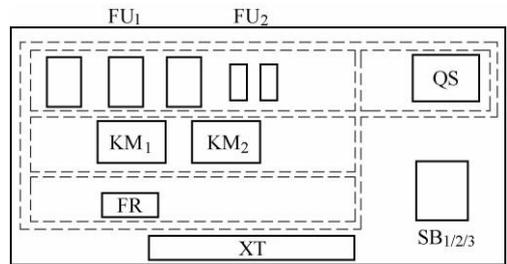


圖 6-9 自動迴圈控制電路

電路的動作原理如下：

按下 SB₂，接觸器 KM₁ 線圈通電，主觸點閉合，電動機 M 正轉，工作臺向前運動。當工作臺前迸到一定位置時，固定在工作臺上的撞塊壓動行程開關 SQ₁（固定在床身上），其動斷觸點打開，斷開 KM₁ 的控制電路，同時 SQ₁ 的動合觸點閉合，使 KM₂ 的線圈回路通電，KM₂ 的主觸點閉合，M 因電源相序改變而變為反轉，於是拖動工作臺向後運動。在運動過程中，撞塊使 SQ₁ 復位。當工作臺向後運動到一定位置時，撞塊又使行程開關 SQ₂ 動作，斷開 KM₂ 線圈回路，接通 KM₁ 線圈回路，電動機又從反轉變為正轉。工作臺就這樣往復迴圈工作。按下 SB₁，KM₁ 或 KM₂ 接觸器斷電釋放，電動機停止轉動，工作臺停止。SQ₃ 和



SQ₄ 起極限保護作用。

- 2) 按電路原理圖配齊所有電器元件，並進行檢驗。
- 3) 在控制板上按佈置圖安裝電器元件，並貼上醒目的文字符號如圖 6-10 所示。
- 4) 進行板前線槽配線。圖 6-10 佈置圖具體工藝要求：

①佈線時，嚴禁損傷線芯和導線絕緣。

②各電器元件接線端子引出導線的走向，以元件的水準中心線為界線，在水準中心線以上接線端子引出的導線，必須進入元件上面的走線槽；在水準中心線以下接線端子引出的導線，必須進入元件下面的走線槽。任何導線都不允許從水準方向進入走線槽內。

③各電器元件接線端子上引出或引入的導線，除間距很小和元件機械強度很差允許直接架空敷設外，其他導線必須經過走線槽進行連接。

④進入走線槽內的導線要完全置於走線槽內，並應盡可能避免交叉，裝線不要超過其容量的 70%，以便於能蓋上線槽蓋和以後的裝配及維修。

⑤各電器元件與走線槽之間的外露導線，應走線合理，並盡可能做到橫平豎直，變換走向要垂直。同一個元件上位置一致的端子和同型號電器元件中位置一致的端子上引出或引入的導線，要敷設在同一平面上，並應做到高低一致或前後一致，不得交叉。

⑥所有接線端子、導線線頭上都應套有與電路圖上相應接點線號一致的編碼套管，並按線號進行連接，連接必須牢靠，不得鬆動。

①在任何情況下，接線端子必須與導線截面積和材料性質相適應。當接線端子不適合連接軟線或較小截面積的軟線時，可以在導線端頭穿上針形或叉形軋頭並壓緊。

③一般一個接線端子只能連接一根導線，如果採用專門設計的端子，可以連接兩根或多根導線，但導線的連接方式，必須是公認的、在工藝上成熟的各種方式，如夾緊、壓接、焊接、繞接等，並應嚴格按照連接工藝的工序要求進行。

5) 在電動機控制電路安裝類比板上外接限位，經檢查無誤後，接入三相非同步電動機，通電試運轉。仔細觀察電器及電動機動作、運轉情況，掌握正確的操作方法。

6.4 電氣控制電路的調試與檢修

1. 電氣控制電路故障檢修概述

電氣控制電路的故障一般可分為自然故障和人為故障兩大類。自然故障是由於電氣設備在運行時超載、振動、銹蝕、金屬屑和油污侵入、散熱條件惡化等原因，造成電氣絕緣下降、觸點熔焊、電路接點接觸不良，甚至發生接地或短路而形成的。人為故障是由於在安裝控制電路時佈線接線錯誤，在維修電氣故障時沒有找到真正原因或者修理操作不當，不合理地更換元器件或改動線路而形成的。一旦線路發生故障，輕者會使電氣設備不能工作，影響生產；重者會造成人身、設備傷害事故。作為電氣操作人員，一方面應加強電氣

設備日常維護與檢修，嚴格遵守電氣操作規範，消除隱患，防止故障發生；另一方面還要在故障發生後，保持冷靜，及時查明原因並準確地排除故障。

電氣控制電路故障檢修的一般步驟是：

- 1) 確認故障現象的發生，並分清該故障是屬於電氣故障還是機械故障。
- 2) 根據電氣原理圖，認真分析發生故障的可能原因，大概確定故障發生的可能部位或回路。
- 3) 通過一定的技術、方法、經驗和技巧找出故障點。這是檢修工作的難點和重點。由於電氣控制電路結構複雜多變，故障形式多種多樣，因此要快速、準確地找出故障點，要求操作人員既要學會靈活運用“看”（看是否有明顯損壞或其他異常現象）、“聽”（聽是否有異常聲音）、“聞”（聞是否有異味）、“摸”（摸是否發熱）、“問”（向有經驗的老師傅請教）等檢修經驗，又要弄懂電路原理，掌握一套正確的檢修方法和技巧。
- 4) 排除故障。
- 5) 通電運行試驗。

電氣控制電路故障的常用分析方法有調查研究法、試驗法、邏輯分析法和測量法。

(1) 調查研究法

調查研究法就是通過“看”、“聽”、“聞”、“摸”、“問”，瞭解明顯的故障現象；通過走訪操作人員，瞭解故障發生的原因；通過詢問他人或查閱資料，說明查找故障點的一種常用方法。這種方法效率高，經驗性強，技巧性大，需要在長期的生產實踐中不斷地積累和總結。

(2) 試驗法

試驗法是在不損傷電氣和機械設備的條件下，以通電試驗來查找故障的一種方法。通電試驗一般採用“點觸”的形式進行試驗。若發現某一電器動作不符合要求，即說明故障範圍在與此電器有關的電路中，然後在這部分故障電路中進一步檢查，便可找出故障點。有時也可採用暫時切除部分電路（如主電路）的方法，來檢查各控制環節的動作是否正常，但必須注意不要隨意用外力使接觸器或繼電器動作，以防引起事故。

(3) 邏輯分析法

邏輯分析法是根據電氣控制電路工作原理、控制環節的動作程式以及它們之間的聯繫，結合故障現象進行故障分析的一種方法。它以故障現象為中心，對電路進行具體分析，提高了檢修的針對性，可收縮目標，迅速判斷故障部位，適用於對複雜線路的故障檢查。

(4) 測量法

測量法是利用校驗燈、試電筆、萬用表、蜂鳴器、示波器等對線路進行帶電或斷電測量的一種方法。在利用萬用表歐姆擋和蜂鳴器檢測電器元件及線路是否斷路或短路時必須切斷電源。同時，在測量時要特別注意是否有並聯支路或其他電路對被測線路產生影響，

以防誤判。電氣控制線路的故障檢修方法不是千篇一律的。各種方法可以配合使用，但不要生搬硬套。在一般情況下，調查研究法能說明我們找出故障現象；試驗法不僅能找出故障現象，還能找到故障部位或故障回路；邏輯分析法是縮小故障範圍的有效方法；測量法是找出故障點最基本、最可靠和最有效的方法。在實際檢修工作中，應做到每次排除故障後，及時總結經驗，做好檢修記錄，作為檔案以備日後維修時參考。並要通過對歷次故障的分析和檢修，採取積極有效的措施，防止再次發生類似的故障。

2. 電阻法檢查電氣故障

【任務描述】

利用電阻法檢查故障並排除電路故障，同時進行通電試車複查。

【訓練內容及操作步驟】

(1) 通電觀察故障現象第一步：驗電。

合上實驗臺上的電源開關（斷路器），用電筆檢查電動機控制線路進線端（端子排）是否有電；檢查電動機控制線路電源開關（組合開關代用）上接線樁是否有電；合上電源開關，檢查電源開關下接線樁、熔斷器上接線樁、熔斷器下接線樁是否有電；檢查金屬外殼是否漏電；一切正常，可進行下一步通電試驗。

第二步：通電試驗，觀察故障現象，確定故障範圍。

按照故障現象，確定可能產生故障原因，然後切斷電源（注意最後一定切斷實驗臺上的電源開關），並在電路圖上畫出檢查故障的最短路徑。

例 1：圖 6-11 所示為順序起動逆序停止控制電路（設電路只一處故障），按下起動按鈕 SB₂時，電動機 M₁不能起動，故障是在從熔斷器 FU₂—1 號線—動斷觸點 FR₁—2 號線—動斷觸點 FR₂—3 號線—動斷觸點 SB₁—4 號線—動合觸點 SB₂—5 號線—線圈 KM₁—9 號線的路徑中。

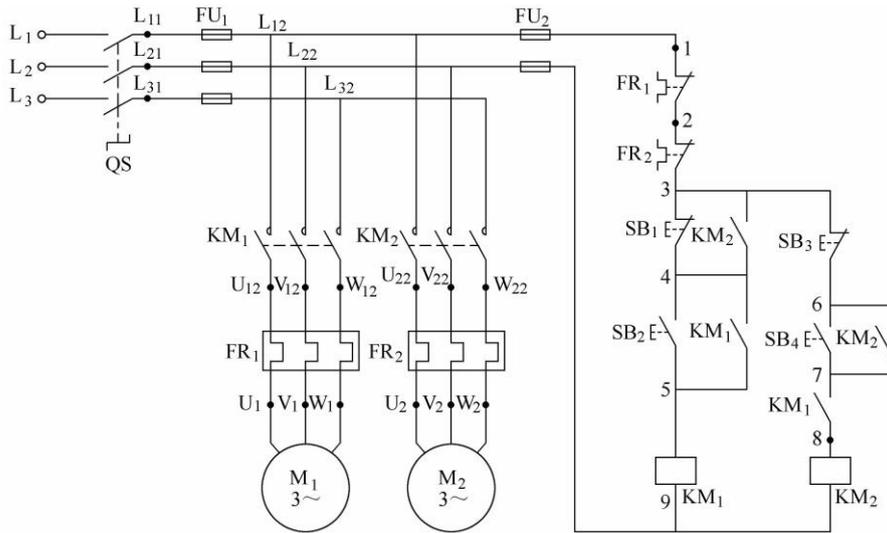


圖 6-11 順序起動逆序停止控制電路

(2) 檢查並排除電路故障

把萬用表切換到 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 電阻擋，並進行電氣調零。調零後，可利用二分法，把萬用表的一支表筆（黑表筆或紅表筆），搭在所分析最短故障路徑的起始一端（或末端）。如上例中按下起動按鈕 SB_2 時，電動機 M_1 不能起動，把萬用表的一支表筆（黑表筆或紅表筆），搭在圖 6-11 中 1 號線所接的 FU_2 接線柱，另一支表筆搭在所判斷故障路徑中間位置電氣元件的接線柱上，如 4 號線所接的 SB_1 接線柱。（兩表筆間如有起動按鈕，應按下起動按鈕）此時，萬用表指標應指向零位元，表明故障不在兩表筆間的電路路徑（1 號線—動斷觸點 FR_1 —2 號線—動斷觸點 FR_2 —3 號線—動斷觸點 SB_1 ）中，而在所分析故障路徑的另一半路徑中（電阻為無窮 ∞ ）則故障在此路徑中。如兩表筆間有線圈，無故障時電阻值應為線圈直流電阻值，約 $1800 \sim 2000 \Omega$ ）。

再用萬用表檢查另一半電路，上例中把萬用表的一支表筆（黑表筆或紅表筆）搭在 5 號線所接的 SB_2 接線柱，另一支表筆搭於 9 號線所接的 FU_2 接線柱，電阻應為 $1800 \sim 2000 \Omega$ ，則路徑動合觸點 SB_2 —5 號線—線圈 KM_1 —0 號線—熔斷器 FU_2 無故障，故障應在 SB_1 — SB_2 的 4 號線。用萬用表測量 SB_1 — SB_2 的 4 號線電阻為無窮大，故障判斷正確。然後用短接線連接 SB_1 — SB_2 的 4 號線排除故障。

以上第二步判斷由於只有三段線，也可用萬用表一段一段線順序檢查，直至找到故障點，找到後用短線連接故障點排除故障（檢查的三段線分別是 SB₁—SB₂的 4 號線、動合觸點 SB₂—線圈 KM₁—熔斷器 FU₂的 9 號線——檢查排除）。

（3）通電試車複查，完成故障排除任務

試車前先用萬用表初步檢查控制電路的正確性。上例順序起動逆序停止控制電路，用萬用表的 R×10 或 R×100 電阻擋，搭在控制電路熔斷器 FU₂的 9 號線與 1 號線之間，按下起動按鈕 SB₂，電阻應為 1800~2000Ω；類比 KM₁通電吸合狀態（指導教師允許時，手動使 KM₁、KM₂同時通電吸合狀態，電阻也為 900~1000Ω，則電路功能正常。在按第一步和第二步試電步驟通電試車，試車成功，拆除短路線，整理好工作臺，並把萬用表打回空擋。完成故障排除任務。

注意事項：

- 1) 注意檢電，必須檢查有金屬外殼的元器件外殼是否漏電。
- 2) 電阻法必須在斷電時使用，萬用表不能在通電狀態測電阻。
- 3) 用短路線短路故障點時，必須線號相同的同號線才能短路。
- 4) 在排除故障時，通常以接觸器、繼電器的得電與否來判斷故障在主電路還是在控制電路。

6.5 C620-1 型車床電氣線路的安裝與調試

1. 主要結構及對電氣線路的要求

（1） 主要結構

圖 6-12 所示為 C620-1 型車床，它主要是由車身、主軸變速箱、進給箱、溜板箱、溜板與刀架等幾部分組成。機床的主傳動是主軸的旋轉運動，由主軸電動機通過帶傳動傳到主軸變速箱再旋轉的，機床的其他進給運動是由主軸傳給的。

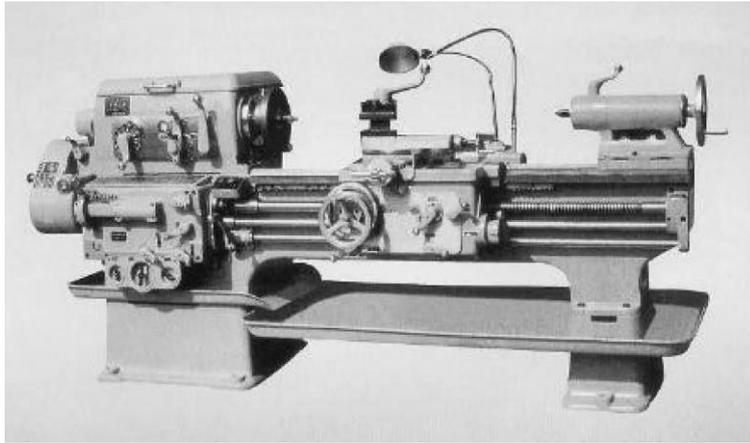


圖 6-12 C620-1 型車床

(2) 對電氣線路的要求

機床共有兩台電動機，一台是主軸電動機，帶動主軸旋轉；另一台是冷卻泵電動機，為車削工件時輸送冷卻液。機床要求兩台電動機只能單向運動，且採用全壓直接起動。

2. 電氣線路的安裝

(1) 熟悉電氣原理圖

C620-1 型車床電氣線路是由主電路、控制電路、照明電路等部分組成，如圖 6-13 所示。

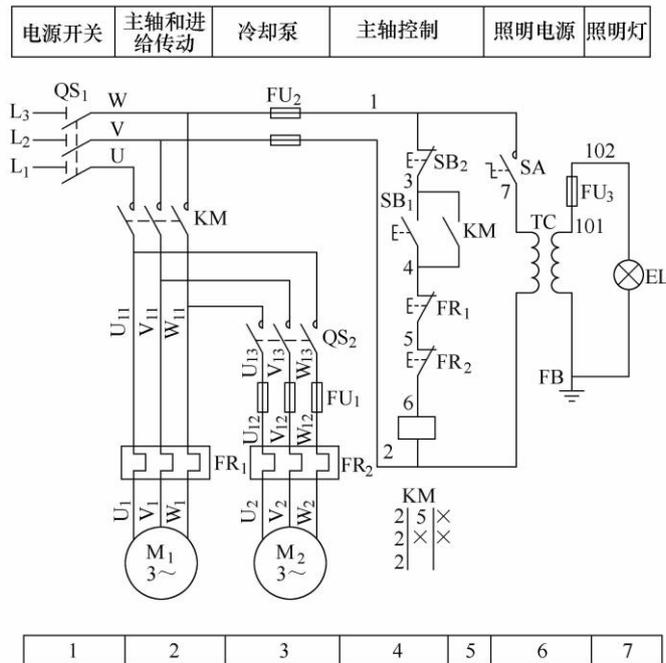


圖 6-13 C620-1 型車床電氣原理圖

1) 主電路：電動機電源採用 380V 的交流電源，由電源開關 QS_1 引入。主軸電動機 M_1 的起停由 KM 的主觸點控制，主軸通過摩擦離合器實現正反轉；主軸電動機起動後，才能起動冷卻泵電動機 M_2 ，是否需要冷卻，由轉換開關 QS_2 控制。熔斷器 FU_1 為電動機 M_2 提供短路保護。熱繼電器 FR_1 和 FR_2 為電動機 M_1 和 M_2 的超載保護，它們的常閉觸點串聯後接在控制電路中。

2) 控制電路：主軸電動機的控制過程是，合上電源開關 QS_1 ，按下起動按鈕 SB_1 ，接觸器 KM 線圈通電使鐵心吸合，電動機 M_1 由 KM 的三個主觸點吸合而通電起動運轉，同時並聯在 SB_1 兩端的 KM 輔助觸點（3—4）吸合，實現自鎖；按下停止按鈕 SB_2 ， M_1 停轉。

冷卻泵電動機的控制過程為，當主軸電動機 M_1 起動後（ KM 主觸點閉合），合上 QS_2 ，電動機 M_2 得電起動；若要關掉冷卻泵，斷開 QS_2 即可；當 M_1 停轉後， M_2 也停轉。

只要電動機 M_1 和 M_2 中任何一台超載，其相對應的熱繼電器的動斷觸點斷開，從而使控制電路失電，接觸器 KM 釋放，所有電動機停轉。 FU_2 為控制電路的短路保護。另外，控

制電路還具有欠電壓保護，因為當電源電壓低於接觸器 KM 線圈額定電壓的 85%時，KM 會自行釋放。

3) 照明電路：照明由變壓器 TC 將 380V 的交流電壓轉換為 36V 的安全電壓供電，FU₃ 為短路保護。合上開關 SA，照明燈 EL 亮。照明電路必須接地，以確保人身安全。

4) 電器元件明細表：表 6-3 列出了 C620-1 型車床的電器元件。

表 6-3 C620-1 型車床的電器元件

代號	元件名稱	型號	規格	件數
M ₁	主軸電動機	J52-4	7kW1400r/min	1
M ₂	冷卻泵電動機	JCB-22	0.125kW2790r/min	1
KM	交流接觸器	CJ20-25	380V	1
FR ₁	熱繼電器	JR16-20/3D	14.5A	1
FR ₂	熱繼電器	JR2-1	0.43A	1
QS ₁	三相轉換開關	HZ2-10/3	380V10A	1
QS ₂	三相轉換開關	HZ2-10/2	380V10A	1
FU ₁	熔斷器	RM3-25	4A	3
FU ₂	熔斷器	RM3-25	4A	2
FU ₃	熔斷器	RM3-25	1A	1
SB ₁ 、SB ₂	控制按鈕	LA4-22K	5A	1
TC	照明變壓器	BK-50	380V/36V	1
EL	照明燈	JC6-1	40W36V	1

(2) 繪製電氣安裝接線圖

根據前面的介紹，先確定電氣元件的安裝位置，然後繪製電氣安裝接線圖，如圖 6-14 所示。

(3) 檢查和調整電器元件

根據表 6-3 列出的 C620-1 型車床電器元件，配齊電氣設備和電器元件，並逐件對其檢驗。

盤上。配電盤可採用鋼板或其他絕緣板，如選 4mm 厚的鋼板。為了美觀和加強絕緣，可在鐵板覆蓋一層玻璃布層壓板或布膠木層，也可在鐵板上噴漆。

2) 選配導線：由於各生產廠家不同，所以 C620-1 型車床電氣控制櫃的配線方式也有所不同，但大多數採用明配線。其主電路的導線可採用單股塑膠銅芯 BV2.5mm²（黑）、控制電路採用 BV1.5mm²（紅）、按鈕線採用 LBVR0.75mm²（紅）。

3) 劃安裝線及彎電線管：在熟悉電氣原理後，根據安裝接線圖，按照安裝操作規程，在安裝底板上劃安裝尺寸線以及電線管的走向線，並度量尺寸鋸割電線管，根據走線方向彎管。

4) 安裝電器元件：根據安裝尺寸線鑽孔，固定電器元件。若使用導軌安裝形式，則應先安裝導軌，再安放電器元件。

5) 給各元件和導線編號：根據圖 6-13 的電氣原理圖，給各電器元件和連接導線作好編號標誌，給接線板編號。

6) 接線：接線時，先接控制櫃內的主電路、控制電路，需外接的導線接到接線端子排上，然後再接櫃外的其他電器和設備，如按鈕 SB₁ 和 SB₂、照明燈 EL、主軸電動機 M₁、冷卻泵電動機 M₂。引入車床的導線要用金屬軟管加以保護。

（5）電氣控制櫃的安裝檢查

安裝完畢後，測試絕緣電阻並根據安裝要求對電器線路、安裝品質進行全面的檢查。

1) 常規檢查：對照圖 6-13 和圖 6-14，逐線檢查，核對線號，防止錯接、漏接；檢查各接線端子的接觸情況，若有虛接現象應及時排除。

2) 用萬用表檢查：在不通電的情況下，用萬用表的歐姆擋進行通斷檢查，具體方法如下。

①檢查控制電路：斷開主電路接在 QS₁ 上的三根電源線 U、V、W，切 SA，把萬用表撥到 R×100 擋，調零以後，將兩隻表筆分別接到熔斷器 FU₂ 兩端，此時電阻應為零，否則有斷路問題。將兩隻表筆再分別接到 1、2 端，此時電阻應為無窮大，否則接線可能有誤（如 SB₁ 應接動合觸點，而錯接成動斷觸點）或按鈕 SB₁ 的動合觸點粘連而閉合；按下 SB₁，此時若測得一電阻值（為 KM 線圈電阻），說明 1—2 支路接線正確；按下接觸器 KM 的觸點架，其動合觸點（3—4）閉合，此時萬用表測得的電阻仍為 KM 的線圈電阻，表明 KM 自鎖起作用；否則 KM 的動合觸點（3—4）可能有虛接或漏接等問題。

②檢查主電路：接上主電路上的三根電源線 U、V、W，斷開控制電路（取出 FU₂ 的熔芯），取下接觸器 KM 的滅弧罩，合上開關 QS₁，將萬用表撥到適當的電阻擋。把萬用表的兩隻表筆分別接到 L₁—L₂、L₂—L₃、L₃—L₁ 之間，此時測得的電阻應為無窮大，若某次測得為零，則說明所測兩相接線有短路；用手按下接觸器 KM 的觸點架，使 KM 的動合觸點閉合，重複上述測量，此時測得的電阻應為電動機 M₁ 兩相繞組的阻值，且三次測得的結果應基本一致，若有為零、無窮大或不一致的情況，則應進一步檢查。

將萬用表的兩隻表筆分別接到 U₁₁—V₁₁、V₁₁—W₁₁、W₁₁—U₁₁ 之間，未合上 QS₂ 時，測得的電阻應為無窮大，否則可能有短路問題；合上 QS₂ 後，測得的電阻應為電動機 M₂ 兩繞組的電阻值，若為零、無窮大或不一致，則應進一步檢查。

在上述檢查時發現問題，應結合測量結果，通過分析電氣原理圖，再作進一步檢查、維修。

（6）電氣控制櫃的調試

經過上面檢查無誤後，可進行通電試車。

1) 空操作試車：斷開圖 6-13 中主電路接在 QS₁ 上的三根電源線 U、V、W，合上電源開關 QS₁ 使控制電路得電。按下起動按鈕 SB₁，KM 應吸合併自鎖，按下 SB₂，KM 應斷電釋放。合上開關 SA，機床照明燈應亮，斷開 SA，照明燈則滅。

2) 空載試車：空操作試車通過後，斷電接上 U、V、W，然後送電，合上 QS₁。按下 SB₁，觀察主軸電動機 M₁ 的轉向、轉速是否正確，再合上 QS₂，觀察冷卻泵電動機 M₂ 的轉向、轉速是否正確。空載試車時，應先拆下連接主軸電動機和主軸變速箱的皮帶，以免轉向不正確，損壞傳動機構。

3) 帶負載試車：在機床電氣線路及所有機械部件安裝調試後，按照 C620-1 型車床的性能指標，進行逐項試車。

第 7 講 三相非同步電動機的安裝與維修



導讀

三相非同步電動機具有結構簡單，運行可靠，使用方便，價格低廉等特點。在實踐中，運行中的電動機與被拖動設備的軸心要對正，運行中無明顯的振動，一定要保持通風良好、風葉等要完整無缺；滾動軸承運轉中的聲音要清晰、無雜音等。這些都要求電動機在安裝時必須精益求精，嚴格按照規範來做。

本講主要介紹了非同步電動機的工作原理、結構、銘牌閱讀；三相非同步電動機的安裝、起動與運行；電動機故障判斷及維修案例，電動機定子繞組的繞制及嵌放，電動機的拆裝等。

7.1 三相非同步電動機概述

1. 非同步電動機的工作原理

電動機有三相對稱定子繞組，接通三相對稱交流電源後，繞組中流有三相對稱電流，在氣隙中產生一個旋轉磁場，轉速為 n_0 ，大小取決於電動機的電源頻率 f 和電動機的極對數 P ，即 $n_0 = 60f / P$ 。此旋轉磁場切割轉子導體，在其中感應電動勢和感應電流，其方向可用右手定則確定，感應電流與磁場作用產生轉矩，轉矩方向可用左手定則確定，於是電動機便順著旋轉磁場方向旋轉，但轉子速度 n 必須小於 n_0 ，否則轉子中無感應電流，也就無轉矩，轉子轉速 n 略低於且接近於同步轉速 n_0 ，這是非同步電動機“非同步”的由來。通常用轉差率表

$n_0 - n$ 示轉子轉速 n 與同步轉速 n_0 相差的程度，即 $s =$ 。

$$n_0$$

一般在額定負載時三相非同步電動機的轉差率在 1%~9%。

2. 非同步電動機的結構

三相籠型非同步電動機主要由兩個基本部分組成，即定子（固定部分）和轉子（轉動部分）。圖 7-1 所示為三相籠型非同步電動機的結構。

定子和轉子彼此由空氣隙隔開，為了增強磁場，空氣隙應盡可能小，一般為 0.3~

1.5mm。電動機容量越大，氣隙就越大。

(1) 定子

定子主要由定子鐵心、定子繞組和機座組成，其作用是通入三相交流電源時產生旋轉磁場。定子鐵心組成電動機磁路的一部分，由矽鋼片疊壓成圓筒形壓入機座裡構成。矽鋼片形成的齒槽均勻分佈在鐵心內圓表面，並與軸平行，如圖 7-2 所示。定子繞組組成電動機的電路部分，它是由若干線圈組成的三相繞組，在定子圓周上均勻分佈，按一定的空間角度鑲放在定子鐵心槽內，每相繞組有兩個引出線端，一個為首端，另一個為尾端。三相繞組共有六個引出端，分別引到機座接線盒內的接線柱上。通過改變接線柱間連接片的連接關係，根據供電電壓不同，三相定子繞組可以接成星形（ \star ），也可以接成三角形（ \triangle ）。如圖 7-3 所示。

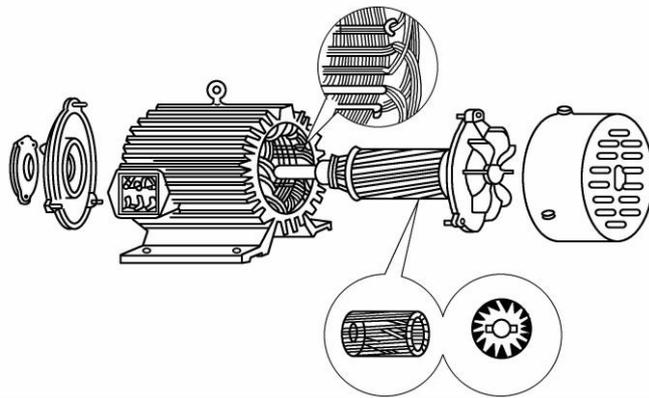


圖 7-1 三相籠型非同步電動機結構

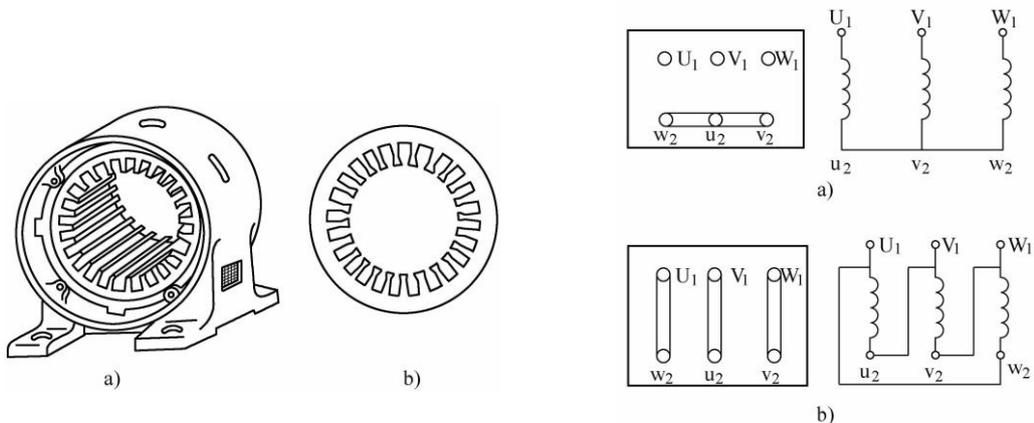


圖 7-2 定子鐵心與矽鋼片 圖 7-3 三相定子繞組的聯結方式 a) 定子鐵心 b) 矽鋼片 a) 星形聯結 b) 三角形聯結

(2) 轉子

轉子的作用是在定子磁場感應下產生電磁轉矩，沿著旋轉磁場方向轉動，並輸出動力帶動生產機械旋轉。轉子由轉軸和裝在轉軸上的圓柱形轉子鐵心及轉子繞組組成。轉軸由碳鋼製成，兩端支撐在軸承上，轉子鐵心用已沖槽的矽鋼片疊成，槽內放置轉子繞組。轉子根據構造不同，分為籠型和繞線形兩類。

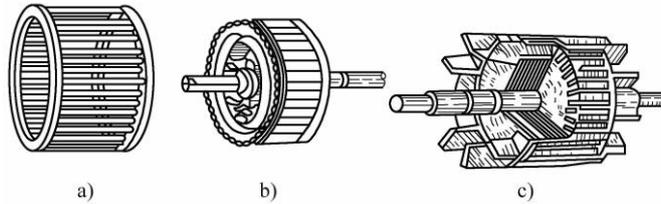


圖 7-4 籠型非同步電動機轉子 a) 籠型轉子繞組 b) 銅導條籠型轉子外形 c) 鑄鋁籠型

如圖 7-4 所示，籠型轉子繞組是由安放在轉子槽內的裸導體和短路環連接而成。如果把轉子鐵心去掉，可以看出，裸導體的形狀好像一個籠，故稱籠型轉子。繞線轉子的鐵心和籠型轉子的鐵心相同，但它的繞組與籠型轉子不同，而與定子繞組一樣，也是三相繞組，一般接成星形。如圖 7-5 所示，它的三個出線端從轉子軸中引出，固定在軸上的三個互相絕緣的集電環上，然後經過電刷的滑動接觸與外加變阻器相接。改變變阻器手柄的位置，可使繞線轉子三相繞組串連接入變阻器或使之短路。繞線轉子非同步電動機的轉子結構較複雜，價格較貴，一般用於對起動和調速性能有較高要求的場合。

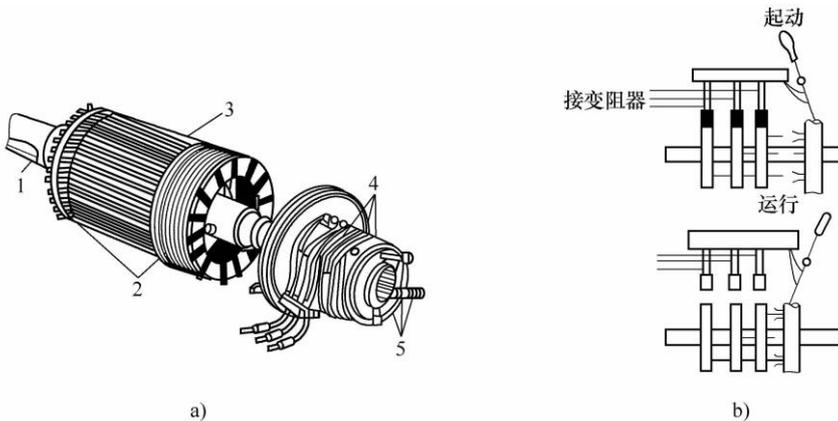


圖 7-5 三相繞線式非同步電動機轉子
1—轉軸 2—三相轉子繞組 3—轉子鐵心 4—集電環 5—轉子繞組出線頭

上述兩類非同步電動機，儘管轉子結構不同，但它們的基本原理則是相同的。

3.非同步電動機的銘牌

每台非同步電動機的機座上裝有一塊銘牌，它標明了電動機的類型、主要性能、技術指標和使用條件。為用戶使用和維修提供了重要依據。示例如圖 7-6 所示。

(1) 型號

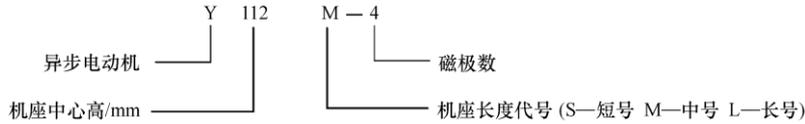


圖 7-6 三相非同步電動機銘牌示例

(2) 額定功率

電動機按銘牌所給條件運行時，軸端所能輸出的機械功率，單位為千瓦 (kW)。

(3) 額定電壓

電動機在額定運行狀態下加在定子繞組上的線電壓，單位為伏 (V)。

(4) 額定電流

電動機在額定電壓和額定頻率下運行，輸出功率達額定值時，電網注入定子繞組的線電流，單位為安 (A)。

(5) 額定頻率

指電動機所用電源的頻率。

(6) 額定轉速

指電動機轉子輸出額定功率時每分鐘的轉數。通常額定轉速比同步轉速（旋轉磁場轉速）低 2%~6%。其中同步轉速、電源頻率和電動機磁極對數的關係，如前文所述，為

$$\frac{60 \times \text{頻率}}{\text{磁極對數}} = \text{同步轉速} = \text{二極電動機 (一對磁極):}$$

$$\text{同步轉速} = \frac{60 \times 50}{1} = 3000 \text{ (r/min)}$$

1 四極電動機 (二對磁極):

60×50

同步轉速 = $\frac{60 \times 50}{2} = 1500$ (r/min)

2 依次類推。

(7) 聯結方法

將電動機三相繞組首端 U_1 、 V_1 、 W_1 接電源，尾端 U_2 、 V_2 、 W_2 連接在一起，叫星形（Y）聯結，如圖 7-3a 所示；若將 U_1 接 W_2 、 V_1 接 U_2 、 W_1 接 V_2 ，再將這三個交點接在三相電源上，叫三角形（ Δ ）聯結，如圖 7-3b 所示。

(8) 定額

電動機定額分連續、短時和斷續三種。連續是指電動機連續不斷地輸出額定功率而溫升不超過銘牌允許值。短時表示電動機不能連續使用，只能在規定的較短時間內輸出額定功率。斷續表示電動機只能短時輸出額定功率，當可以斷續重複起動和運行。

(9) 溫升

電動機運行中，部分電能轉換成熱能，使電動機溫度升高，經過一定時間，電能轉換的熱能與機身散發的熱能平衡，機身溫度達到穩定。在穩定狀態下，電動機溫度與環境溫度之差，叫電動機溫升。而環境溫度規定為 40°C 。如果溫升為 60°C ，表明電動機溫度不能超過 100°C 。

(10) 絕緣等級

指電動機繞組所用絕緣材料按它的允許耐熱程度規定的等級，這些級別為 A 級， 105°C ；E 級， 120°C ；F 級， 155°C 。

(11) 功率因數

指電動機從電網所吸收的有功功率與視在功率的比值。視在功率一定時，功率因數越高，有功功率越大，電動機對電能的利用率也越高。

4. 幾種 Y 系列三相非同步電動機特性比較

Y 系列三相全封閉自扇籠型非同步電動機，全面符合國際電子電機委員會（IEC）標準，具有國際互換的特點。Y 系列電動機具有體積小、重量輕、運行可靠、結構堅固、外型美觀等特點，起動性能好，具有較高效率水準，達到了節能效果，而巨雜訊低，振動小。表 7-1 為幾種常見的 Y 系列三相非同步電動機特性比較。

表 7-1 幾種常見的 Y 系列三相非同步電動機特性比較

外形圖	電動機特性
-----	-------

	<p>Y 系列三相非同步電動機具有高效、節能、性能好、振動小、雜訊低、壽命長、可靠性高、維護方便、起動轉矩大等優點。安裝尺寸和功率等級完全符合 IEC 標準。</p> <p>採用 B 級絕緣，外殼防護等級為 IP44，冷卻方式 IC411。Y 系列電動機應用於無特殊要求的機械設備、農業機械、食品機械、風機、水泵、機床、攪拌機、空氣壓縮機等</p>
	<p>Y2 系列三相非同步電動機是專為歐洲市場設計的三相非同步電動機、電動機出線盒置於電動機機殼頂部、整機結構緊湊、安裝尺寸符合 IEC 標準，具有高效、節能、起動轉矩大，使用維護方便等特點</p> <p>絕緣等級：F，防護等級：IP54 或 IP55 電壓：380V 或 415V，頻率：50Hz 或 60Hz 冷卻方式：IC411</p>
	<p>Y3 系列三相非同步電動機具有結構新穎、造型美觀、效率高、噪音低、可靠性高等特點，採用冷軋矽鋼片為導磁材料，效率符合歐洲 Eff2 標準，已居國外同類產品的先進水準。是 Y2 系列電動機的更新換代產品。外殼防護等級為 IP55</p>
	<p>YB2 防爆系列三相非同步電動機是 YB 防爆電動機系列的更新換代的防爆電動機基本系列</p>

7.2 三相非同步電動機的安裝、起動與運行

1. 三相非同步電動機的安裝

(1) 安裝前的準備工作

電動機開箱前應檢查包裝是否完整無損，有無受潮的現象，開罩後應小心清除電動機上的塵土和防銹層，仔細檢查在運輸過程中有無變形和損壞，緊固件有無鬆動或脫落，轉子轉動是否靈活，銘牌資料是否符合要求，並用 500V 絕緣電阻表測量高壓電阻，絕緣電阻應不低於 1MΩ，否則應對繞組進行乾燥處理，但是處理溫度不超過 120°C。

絕緣電阻表的額定電壓應根據被測電氣設備的額定電壓來選擇。測量 500V 以下的設備，選用 500V 或 1000V 的絕緣電阻表；額定電壓在 500V 以上的設備，應選用 1000V

或 2500V 的絕緣電阻表；對於絕緣子、母線等要選用 2500V 或 3000V 絕緣電阻表。這裡以低壓 380V 非同步電動機的測試為例，故採用

500V 指針式絕緣電阻表，如圖 7-7 所示。

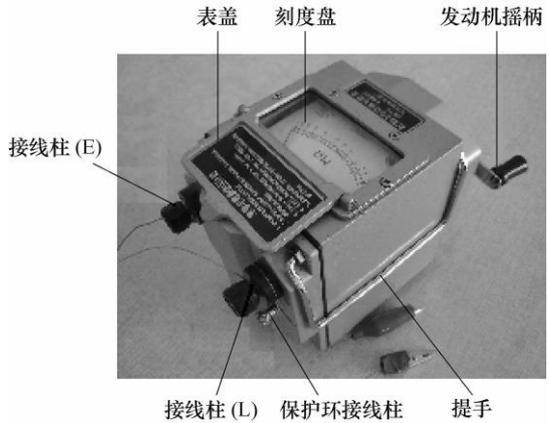


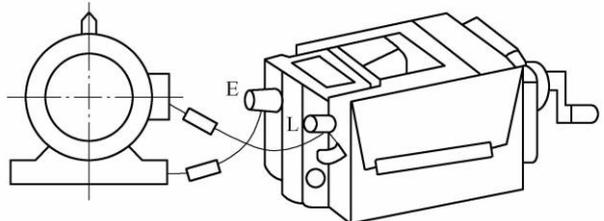
圖 7-7 500V 指針式絕緣電阻表

1) 測量前儀錶檢查：

開路實驗：L 和 E 端斷開，搖動手柄到額定轉速，指針應在 “∞” 的位置；短路實驗：L 和 E 端短接，緩慢搖動手柄，指針應在 “0” 的位置。

2) 絕緣電阻表的使用方

法：如圖 7-8 所示，測量時，將 E 端接在不塗漆的機殼上，L 端依次接在各相繞組的引出端，平衡的轉動手柄，使轉速保持在



120r/min，分別測其阻值應不得小於

0.5MΩ（通常在 1min 後讀取資料）。當用絕緣電阻表搖測電器設備的絕

圖 7-8 電動機絕緣測試方法緣電阻時，一

定要注意 L 和 E 端不能接

反，正確的接法是：L 線端鈕接被測設備導體，E 地端鈕接地的設備外殼，G 遮罩端接被測設備的絕緣部分。如果將 L 和 E 接反了，流過絕緣體內及表面的漏電流經外殼彙集到地，由地經 L 流進測量線圈，使 G 失去遮罩作用而給測量帶來很大誤差。另外，因為 E 端內部引線同外殼的絕緣程度比 L 端與外殼的絕緣程度要低，當絕緣電阻表放在地上使用時，採用正確

接線方式時，E 端對儀錶外殼和外殼對地的絕緣電阻，相當於短路，不會造成誤差，而當 L 與 E 接反時，E 對地的絕緣電阻同被測絕緣電阻並聯，而使測量結果偏小，給測量帶來較大誤差。

3) 絕緣電阻表使用注意事項：

①測量前必須將被測設備表面處理乾淨，同時切斷電源，並接地短路放電，以保證人身和設備的安全，獲得正確的測量結果。

②測量時，絕緣電阻表應放置平衡，並遠離帶電導體和磁場，以免影響測量的準確度。

③在絕緣電阻表停止轉動和被測設備放電以後，才可用手拆除測量連線。

4) 三相非同步電動機使用前檢查三相繞組之間的絕緣電阻。

檢查方法：使用絕緣電阻表，將 L 端和 E 端分別接在兩相繞組的引出端，平衡的轉動手柄，使轉速保持在 120r/min，測其阻值不得小於 0.5MΩ。

(2) 電動機的安裝場地和安裝基礎

電動機的安裝場地海拔高度應不超過 1000m；一般用途的電動機的安裝場地要乾燥、潔淨，電動機周圍應通風良好，與其他設備要留有一定的間隔，以便於檢查，監視和清掃，環境溫度在 40°C 以下，並需防止強烈的輻射；安裝基礎要堅固、結實，有一定的剛度，安裝面應平整，以保證電動機的平衡運行。

(3) 電動機的接線

電動機應妥善接地，接線盒內右下方及機座外殼有接地裝置，必要時亦可利用電動機底腳或法蘭盤緊固螺栓接地，以保證電動機的安全運行。

(4) 電動機與機械負載的連接

電動機可採用聯軸器，正齒軸或皮帶與負載機械連接，雙軸伸電動機的風扇端只允許採用聯軸器傳動。

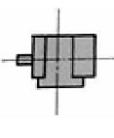
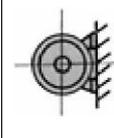
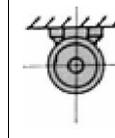
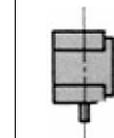
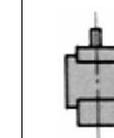
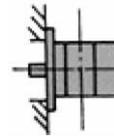
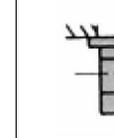
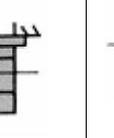
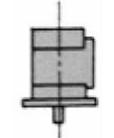
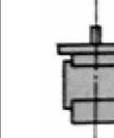
採用聯軸器連接時，電動機軸中心線與負載機械的軸中心線要重合，以免電動機在動行中產生強烈振動，聯軸動和不正常的聲音等。聯軸器的安裝偏差為 2 極電動機允許偏差 0.015mm，4、6、8 極電動機偏差 0.04mm。

立式安裝的電動機，軸伸只允許採用聯軸器與機械負載連接。

表 7-2 為常見的 Y 型電動機基本結構類型與安裝結構類型示意。表 7-

2 Y 型電動機基本結構類型與安裝結構類型示意

基本結構類型	B3					
安裝結構類型	B3	B6	B7	B8	V5	V6

示意圖						
製造範圍	H80~315mm	H80~160mm				
基本結構類型	B5			B35		
安裝結構類型	B3	V3	B35	V15	V36	
示意圖						
製造範圍	H80~225mm	H80~160mm	H80~315mm	H80~160mm		

2. 三相非同步電動機的起動

(1) 電動機起動前的檢查

- 1) 新安裝或停用三個月以上的電動機起動前應檢查絕緣電阻，測得絕緣電阻值不小於 $1M\Omega$ 。
- 2) 檢查電動機的緊固螺釘是否擰緊，軸承是否缺油，電動機的接線是否符合要求，外殼是否可靠接地或接零。
- 3) 檢查聯軸器的螺釘和銷釘是否緊固，皮帶連接處是否良好，鬆緊是否合適，機組轉動是否靈活，有無卡位，竄動和不正常的聲音等。
- 4) 檢查熔斷器的額定電流是否符合要求，安裝是否牢固可靠。
- 5) 檢查起動設備接線是否正確，起動裝置是否靈活，觸點接觸是否良好，起動設備的金屬處殼是否可靠接地或接零。
- 6) 檢查三相電源電壓是否正常，電壓是否過高過低或三相電壓不對稱等。上述任何一項有問題，都必須徹底解決，在確認準備工作無誤時方可起動。

(2) 起動時的注意事項

- 1) 電動機允許全壓起動或減壓起動（用電抗法或Y- Δ 法），但應注意全壓起動時大約 5~7 倍額定電流，減壓起動時轉距與電壓平方成正比，當電網容量不足時，宜採用減壓起動，而當靜負載相當大時，可採用全壓起動。
- 2) 當電源相序 A、B、C 分別與接線板線柱 U_1 、 V_1 、 W_1 相對應時，電動機的轉向從主軸端視之為順時針。

3) 電動機一般應有熱保護裝置，根據電動機的額定電流，調整保護裝置的整定值。

4) 合閘後，若電動機不轉，應迅速、果斷地拉閘，以免燒毀電動機。

電動機起動後注意觀察傳動裝置，生產機械及線路電壓電流，若有異常現象，應立即停機查明故障並排除之後，方可重新合閘起動。

按電動機的技术要求，限制電動機連續起動次數，一般空載連續起動不超過 3 次，電動機長期運行至熱態，停機後起動，不得超過 2 次。

若干台電動機由同一台變壓器供電時，不能同時起動，應由大到小逐台起動。

3.三相非同步電動機的運行

1) 電動機在運行過程中，表面應保持常清潔，逆風口不被塵土纖維的阻礙。

2) 電源頻率與額定頻率偏差不得超過 1%；電源電壓與額定電壓偏差不得超過 5%。

3) 電動機的電流不允許超過額定電流 10%。

4) 連續工作的電動機不允許長期超載運行。

5) 電動機空載或負載運行時不應有斷續或異常的聲音或振動。

6) 當電動機的熱保護裝置和短路保護裝置連續發生動作時應檢查故障原因（是來自電動機還是來自超載或是因為保護裝置整定值太低），待消除故障後方可投入運行。

7) 運行過程中，用溫度計測量機殼的溫升，一般不超過 75°C。

8) 應保證電動機軸承運行過程中的良好潤滑，一般電動機運行 2000h 左右，即應補充或更換潤滑脂（封閉軸承在使用壽命期內不必更換潤滑脂）。如果發現軸承過熱（一般軸承溫升應不超過 95°C）或潤滑脂變質，應及時更換潤滑脂，更換時應先清除舊的潤滑脂，再用汽油洗淨軸承及軸承蓋的油脂，然後將 ZI—3 鉀基潤滑脂填充軸承內外圈之間空腔的 1/2

（2 極）或 2/3（4、6、8 極）。

9) 當軸承遊隙達到表 7-3 所列的極限磨損游隙數值時，即應及時更換軸承。

表 7-3 軸承內徑與極限磨損游隙

（單位：mm）

軸承內徑	20~30	35~50	55~80	85~120
極限磨損游隙	0.1	0.15	0.2	0.3

10) 停機處理

當電動機運行過程中發現以下情況時，應立即停機處理。

- ①發生人身觸電事故；
- ②電動機或起動裝置上冒煙起火；
- ③電動機劇烈振動；
- ④軸承劇烈發熱；
- ⑤電動機發生竄軸、掃膛、轉速突然下降、溫度迅速上升。

7.3 電動機故障判斷及維修案例

1. 電動機故障判斷步驟

電動機運行或故障時，可通過看、聽、聞、摸四種方法來及時預防和排除故障，保證電動機的安全運行。

(1) 看

觀察電動機運行過程中有無異常，其主要表現為以下幾種情況。

- 1) 定子繞組短路時，可能會看到電動機冒煙。
- 2) 電動機嚴重超載或斷相運行時，轉速會變慢且有較沉重的“嗡嗡”聲。
- 3) 電動機正常運行，但突然停止時，會看到接線松脫處冒火花；熔絲熔斷或某部件被卡住等現象。
- 4) 若電動機劇烈振動，則可能是傳動裝置被卡住或電動機固定不良、底腳螺栓鬆動等。
- 5) 若電動機內接觸點和連接處有變色、燒痕和煙跡等，則說明可能有局部過熱、導體連接處接觸不良或繞組燒毀等。

(2) 聽

電動機正常運行時應發出均勻且較輕的“嗡嗡”聲，無雜音和特別的聲音。若發出雜訊太大，包括電磁雜訊、軸承雜音、通風雜訊、機械摩擦聲等，均可能是故障先兆或故障現象。

- 1) 對於電磁雜訊，如果電動機發出忽高忽低且沉重的聲音，則原因可能有以下幾種：

①定子與轉子間氣隙不均勻，此時聲音忽高忽低且高低音間隔時間不變，這是軸承磨損從而使定子與轉子不同心所致。

②三相電流不平衡。這是三相繞組存在誤接地、短路或接觸不良等原因，若聲音很沉悶則說明電動機嚴重超載或斷相運行。

③鐵心鬆動。電動機在運行中因振動而使鐵心固定螺栓鬆動造成鐵心矽鋼片鬆動，發出雜訊。

2) 對於軸承雜音，應在電動機運行中經常監聽。監聽方法是，將起子一端頂住軸承安裝部位，另一端貼近耳朵，便可聽到軸承運轉聲。若軸承運轉正常，其聲音為連續而細小的“沙沙”聲，不會有忽高忽低的變化及金屬摩擦聲。若出現以下幾種聲音則為不正常現象。

①軸承運轉時有“吱吱”聲，這是金屬摩擦聲，一般為軸承缺油所致，應拆開軸承加注適量潤滑脂。

②若出現“唧哩”聲，這是滾珠轉動時發出的聲音，一般為潤滑脂乾涸或缺油引起，可加注適量油脂。

③若出現“喀喀”聲或“嘎吱”聲，則為軸承內滾珠不規則運動而產生的聲音，這是軸承內滾珠損壞或電動機長期不用，潤滑脂乾涸所致。

3) 若傳動機構和被傳動機構發出連續而非忽高忽低的聲音，可分以下幾種情況處理。

①週期性“啪啪”聲，為皮帶接頭不平滑引起。

②週期性“哆哆”聲，為聯軸器或帶輪與軸間鬆動以及鍵或鍵槽磨損引起。

③不均勻的碰撞聲，為風葉碰撞風扇罩引起。

(3) 聞

通過聞電動機的氣味也能判斷及預防故障。若發現有特殊的油漆味，說明電動機內部溫度過高；若發現有很重的蜘蛛或焦臭味，則可能是絕緣層被擊穿或繞組已燒毀。

(4) 摸

摸電動機一些部位的溫度也可判斷故障原因。為確保安全，用手摸時應用手背去碰觸電動機外殼、軸承周圍部分，若發現溫度異常，其原因可能有以下幾種。

1) 通風不良。如風扇脫落、通風道堵塞等。

2) 超載。致使電流過大而使定子繞組過熱。

3) 定子繞組匝間短路或三相電流不平衡。

4) 頻繁起動或制動。

5) 若軸承周圍溫度過高，則可能是軸承損壞或缺油所致。

2. 三相非同步電動機常見故障分析

三相非同步電動機應用廣泛，但通過長期運行後，會發生各種故障，及時判斷故障原因，進行相應處理，是防止故障擴大，保證設備正常運行的一項重要的工作。

(1) 通電後電動機不能轉動，但無異響，也無異味和冒煙

1) 故障原因：

- ①電源未通（至少兩相未通）；
- ②熔絲熔斷（至少兩相熔斷）；
- ③過電流繼電器調得過小；
- ④控制設備接線錯誤。

2) 故障排除：

- ①檢查電源回路開關，熔絲、接線盒處是否有中斷點，修復；
- ②檢查熔絲型號、熔斷原因，換新熔絲；
- ③調節繼電器整定值與電動機配合；
- ④改正接線。

（2）通電後電動機不轉，然後熔絲燒斷

1) 故障原因：

- ①某一相電源斷相，或定幹線圈一相反接；
- ②定子繞組相間短路；
- ③定子繞組接地；
- ④定子繞組接線錯誤；
- ⑤熔絲截面過小；
- ⑤電源線短路或接地。

2) 故障排除：

- ①檢查刀開關是否有一相未合好，也可能電源回路有一相斷線；消除反接故障；
- ②查出短路點，予以修復；
- ③消除接地；
- ④查出誤接，予以更正；
- ⑤更換熔絲；
- ⑤消除接地點。

（3）通電後電動機不轉有嗡嗡聲

1) 故障原因：

- ①定、轉子繞組有斷路（一相斷線）或電源一相失電；

②繞組引出線始末端接錯或繞組內部接反；

③電源回路接點鬆動，接觸電阻大；

④電動機負載過大或轉子卡住；

⑤電源電壓過低；

⑥小型電動機裝配太緊或軸承內油脂過硬；

⑦軸承卡住。

2) 故障排除：

①查明中斷點予以修復；

②檢查繞組極性；判斷繞組末端是否正確；

③緊固鬆動的接線螺釘，用萬用表判斷各接頭是否假接，予以修復；

④減載或查出並消除機械故障；

⑤檢查是否把規定的 Δ 聯結誤接為 Y 聯結；是否由於電源導線過細使壓降過大，予以糾正；

⑥重新裝配使之靈活；更換合格油脂；

⑦修復軸承。

（4）電動機起動困難，額定負載時，電動機轉速低於額定轉速較多

1) 故障原因：

①電源電壓過低；

② Δ 聯結電動機誤接為 Y 聯結；

③籠型轉子開焊或斷裂；

④定轉子局部線圈錯接、接反；

⑤修復電動機繞組時增加匝數過多；

⑥電動機超載。

2) 故障排除：

①測量電源電壓，設法改善；

②糾正接法；

③檢查開焊和中斷點並修復；

④查出誤接處，予以改正；

⑤恢復正確匝數；

⑤減載。

(5) 電動機空載電流不平衡，三相相差大

1) 故障原因：

①重繞時，定子三相繞組匝數不相等；

②繞組首尾端接錯；

③電源電壓不平衡；

④繞組存在匝間短路、線圈反接等故障。

2) 故障排除：

①重新繞制定子繞組；

②檢查並糾正；

③測量電源電壓，設法消除不平衡；

④消除繞組故障。

7.4 電動機定子繞組的繞制及嵌放

1. 繞制線圈

(1) 作繞線模

繞模是由芯板和上下夾板組成，定子線圈是在繞線模上繞制而成的。

(2) 線圈繞制

小型三相異發電動機採用的散嵌式線圈都是在繞線機上利用線模繞制的如圖 7-9 所示。

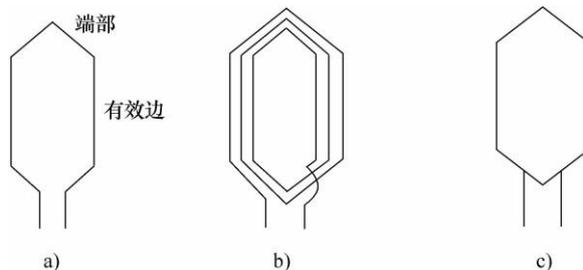


圖 7-9 線圈示意圖

①繞線前準備：仔細檢查電磁線牌號、規格、絕緣厚度公差是否符號規定；檢查繞線機運行情況是否良好，要放好繞線模，調好計圈器。

②繞線過程：

在繞線模上放好卡緊布帶，將引線排在右手邊，然後由右邊向左邊開始繞線；

用毛氈浸石蠟的壓板將電磁線夾緊，繞線時拉力要適當，導線排列要整齊，避免交叉混亂，匝數要準確。同時，必須保護導線的絕緣不受損壞；

檢查線圈尺寸、匝數，兩個直線邊用布帶紮緊，以免鬆散。

2.嵌線

線圈繞完以後，開始嵌線工作，嵌線就是根據繞組設計要求把一個個線圈嵌放进定子槽內，組成整個繞組，所以嵌線工序是整個嵌制繞組中最重要的一環。

嵌線工藝流程：準備絕緣材料→放置槽絕緣→嵌線→封槽口→端部整形。

(1) 絕緣的選用

電動機的絕緣是決定電動機使用壽命的重要因素，因此必須正確地選用和放置絕緣材料。

非同步電動機定子繞組絕緣分為槽絕緣、相絕緣（層間絕緣這裡不需要）。其中槽絕緣用於槽內，是繞組與鐵心之間的絕緣；相絕緣又稱端部絕緣，用於繞組端部兩個繞組之間的絕緣；層間絕緣是用於雙層繞組上下之間的絕緣。

絕緣材料是根據電動機的絕緣等級和電壓等級來選擇主絕緣材料，並配以適當的補強材料，以保護主絕緣材料不受機械損傷。常用的補強材料有青殼紙，主絕緣材料有聚酯薄膜、漆布等。選用絕緣材料時，主絕緣材料和引出線，套管、綁線、浸漬漆等應為同一絕緣等級的，彼此配套使用。

(2) 槽絕緣的裁剪與放置

根據電動機的絕緣等級，選擇好合適的絕緣材料後，再根據具體需要對絕緣材料進行剪裁和放置。

槽絕緣的長度根據電動機容量而定。太長了，增加線圈直線部分的長度，既浪費絕緣材料和導線，又易造成端蓋損傷導線的故障；太短了，繞組與鐵心的安全距離不夠，使得端部相絕緣很難與槽絕緣銜接，造成嵌放端部相絕緣的困難。

工藝要點：考慮到定子槽兩端絕緣最容易損壞，一般將伸出鐵心槽外部分的絕緣材料尺寸加倍折回，使槽外部分成為雙層，以增強槽口絕緣。槽絕緣紙的結構形式如圖 7-10 所示。

(3) 嵌線工具

在嵌線過程中，必須有專用工具，才能保證嵌線質

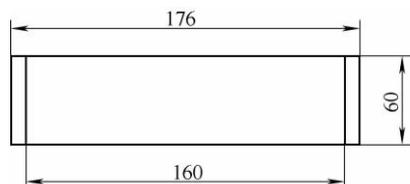


圖 7-10 槽絕緣紙的結構形式

量，提高工作效率。常用的工具有：木槌或小鐵錘、劃線板（理線板）、壓線板、剪刀、夾嘴鉗等。

理線板的用途有兩種：一是嵌線圈時把導線劃進鐵心槽；二是用來整理已嵌進槽中的導線。理線板可用毛竹或層壓塑膠板在砂輪上自己磨削製作。一般長約 15~20cm，寬大約 1.0~1.5cm，厚約 3mm。頭端略尖，一端稍薄些，如刺刀形，表面須光滑。

（4）嵌線工藝嵌線工藝的關鍵是保證繞組的位置和次序正確、絕緣良好。為使線圈按照正確的位置和次序嵌入定子槽內，嵌線前須弄清楚電動機的極數、線圈節距、繞組形式和接線方法等。並檢查槽絕緣放置是否合格，槽內是否清潔，要防止鐵屑、油污、灰塵等物粘在絕緣材料和導線上，以保證嵌線品質。

1) 嵌線的理論分析：三相非同步電動機，定子槽數 $Z_1=24$ 槽，磁極數 $2P=4$ ，每槽匝數為 100 匝，單層，600 相帶，跨距採用短距式，單層鏈式繞組，繞組節距 $y=5$ 。從以上已知條件可知，相數 $m=3$ ，每極每相槽數 $q=2$ ，槽距角 $\alpha=30^\circ$ 。

相帶順序列出各相所屬槽號，見表 7-4。

表 7-4 定子槽分配表

相序	U_1	W_2	V_1	U_2	W_1	V_2
N1 S1	1、2	3、4	5、6	7、8	9、10	11、12
N2 S2	13、14	15、16	17、18	19、20	21、22	23、24

2) 畫出繞組展開圖：如圖 7-11 所示，該電動機需 12 只繞組，每相 4 只，並且在接線時每相繞組按尾與尾相連、頭與頭相連的原則接線。

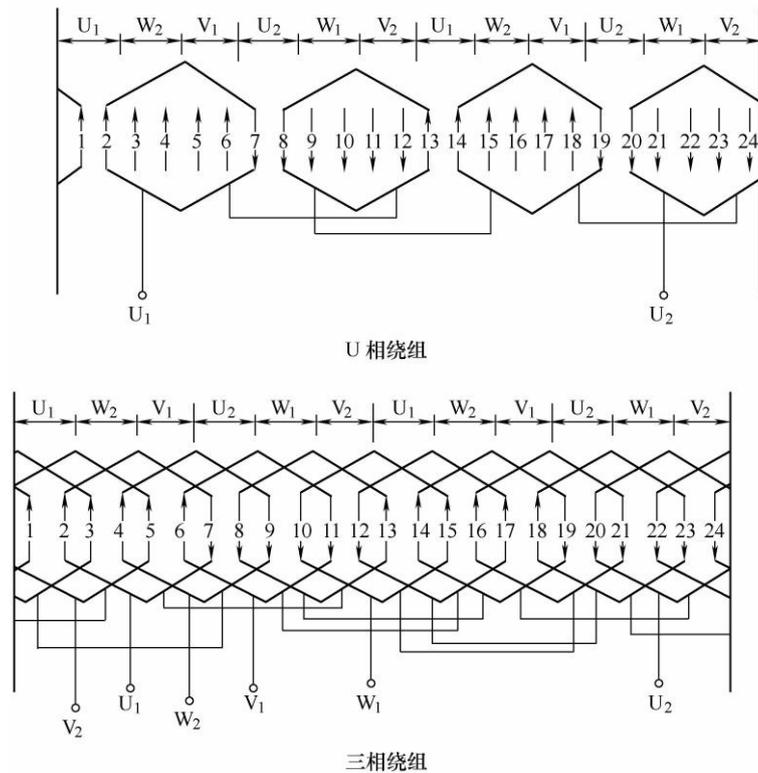


圖 7-11 繞組展開圖

工藝要點：

1) 為了防止嵌線時線圈發生錯亂，習慣上把電動機空殼定子有出線孔的一側放在右側。嵌線時，也應注意使所有線圈的引出線從定子的出線孔一側引出。2) 嵌線時，以出線盒為基準來確定第一槽位置。嵌線前先用右手把要嵌的線圈一條邊捏扁，線圈邊捏扁後放到槽口的槽絕緣中間，左手捏住線圈朝裡插入槽內，應在槽口臨時襯兩張薄膜絕緣紙，以保護導線絕緣不被槽口擦傷，嵌槽後，取出薄膜絕緣紙，如果線圈邊捏得好，一次就可以把大部分導線拉入槽內，剩下少數導線可用理線板劃入槽內。導線嵌槽應按線圈的繞制順序，不要使導線交叉錯亂，槽內部分必須整齊平行，否則影響全部導線的嵌入，而巨會造成導線間相擦而損傷絕緣。嵌線時，還要注意槽內絕緣是否偏移到一側，防止露出的鐵心與導線相碰，造成繞組通地故障。

3) 嵌好一個線圈的一條線圈邊後，另一條線圈邊暫行吊起來在下面墊一張紙，以免線圈邊與鐵殼相碰而擦傷絕緣。嵌好以後，再依次嵌入其他繞組，直到嵌完為止。

在實際嵌線過程中，我們把最初安放的兩個線圈稱為起把線圈，要求隔槽放置。當嵌繞組的另一邊時，我們稱為覆槽。嵌線前，將繞組分三等份放好，依次為 **U**、**W**、**V** 三相。嵌線次序如下：

1) 選好第一槽位置，嵌 **U** 相一隻繞組的一條有效邊，另一有效邊暫時不嵌，此過程簡稱為嵌 **U₁** 槽。

2) 隔一槽，即在第三槽，嵌 **W** 相繞組的一條邊，另一邊仍暫不嵌，稱為嵌 **W₃** 槽。

3) 再隔一槽，即在第五槽，嵌 **V** 相繞組的一條邊，即 **V₅** 槽，然後將另一邊覆入 24 槽。稱為嵌 **V₅** 槽，覆 24 槽

4) 接著嵌線次序為：嵌 **U₇** 槽—覆入 2 槽，嵌 **W₉** 槽—覆入 4 槽，嵌 **V₁₁** 槽—覆入 6 槽，嵌 **U₁₃** 槽—覆入 8 槽，嵌 **W₁₅**—覆入 10 槽，嵌 **V₁₇** 槽—覆入 12 槽，嵌 **U₁₉** 槽—覆入 14 槽，嵌 **W₂₁** 槽—覆入 16 槽，嵌 **V₂₃** 槽—覆入 18 槽，最後將開頭兩隻起把線圈的另一條有效邊分別進行覆槽，將 **U₁** 繞組覆入 20 槽，將 **W₃** 繞組覆入 22 槽，這樣，嵌線即告完畢。嵌線時須注意，繞組端部引線須放在一側，同時邊嵌線邊放好相絕緣。

3.封槽口

嵌線完畢後，把高出槽口的絕緣材料齊槽口剪平，把線壓實，穿入蓋槽紙，從一端把槽楔打入。

槽楔作用：用來壓住槽內導線，防止絕緣和導線鬆動。

槽楔材料：一般用竹製成，也可用玻璃層布板做。竹槽楔應十分乾燥並用變壓器油煮透。

工藝要點：槽楔長度一般比槽絕緣短 2~3mm，其端面呈梯形，厚度為 3mm 左右，兩端的棱角應該去

掉。同槽絕緣接觸的一面要光滑，以免在槽楔插入槽內時損壞槽絕緣蓋槽紙尺寸如圖 7-12 所示。

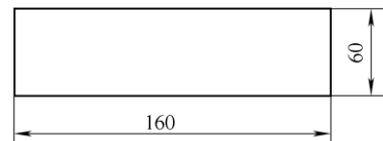
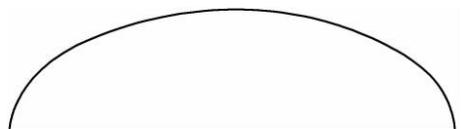


圖 7-12 蓋槽紙尺寸

4.放繞組端部隔相絕緣

相間絕緣是使不同相的相鄰兩組線圈端部相互絕緣。為保證三相繞組間的絕緣，在線圈組（極相組）間必須隔一層隔相紙。一般用

0.25mm 厚的薄膜青殼紙。隔相紙的形狀、尺寸根



據線圈端部的形狀大小而言，一般單層繞組隔相紙的形狀近半圓環的一半如圖 7-13 所示。圖 7-13 隔相紙形狀隔相紙墊好後，最好測量一次每相線圈或極相組的對地絕緣電阻，以及各相鄰兩組線圈間的絕緣電阻，以便及時發現故障隱患，避免將來拆檢的麻煩。新嵌繞組的對地絕緣電阻一般應在 $100M\Omega$ 以上，最小不得低於 $50M\Omega$ 。

5. 後端部整形

- 1) 前端部用三個螺釘支撐（不損傷絕緣）
- 2) 拆除布袋
- 3) 後端部整形

先用橡皮錘將端部向外敲打，成為喇叭狀。喇叭口均勻，不妨礙轉子安裝，再插入隔相紙。其工藝要點：喇叭口的大小要合適，口過小影響通風散熱，放入轉子也困難；口過大，使端部與機殼太近，影響絕緣。

注意點：喇叭口打成後要檢查一下相間絕緣，若在敲打中，絕緣破裂或位移，應予補修。

- 4) 捆紮後端部，其步驟包括捆紮帶隔槽捆紮；捆紮帶整理平整、展開；分佈均勻，與線圈基本垂直。

6. 前端部接線

- 1) 前端部整形同上。
- 2) 按尾尾相接、首首相接的原則進行順時針接線，最後留出 6 根引線接在出線盒的接線板上。

其中線頭的連接採用絞接法。即直接把導線絞接在一起。

要注意如下幾點將引線在繞組端部排列整齊；套好絕緣套管後，與端部繞組一起包紮，小型電動機的全部接線可佈置在端部繞組的外側；在佈置引線位置時，要考慮出線口位置。

- 3) 轉子安放、加裝端蓋、裝機。

7.5 電動機的拆裝工藝

1. 小功率三相籠型非同步電動機拆卸與裝配

【任務描述】

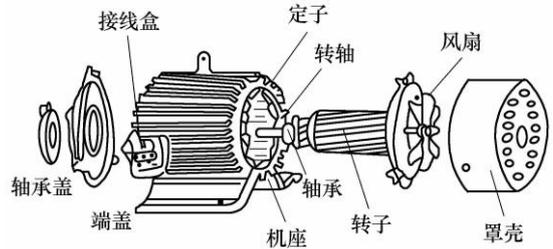
利用拉馬等工具對小功率三相籠型非同步電動機拆卸與裝配。

【實訓內容及操作步驟】

(1) 拆卸前的準備

拆卸電動機之前，必須拆除電動機與外部電氣連接的連線，並做好相位標記，並按照以下步驟進行：

- 1) 備齊常用電工工具及拉馬等拆卸工具。
- 2) 查閱並記錄被拆電動機的型號、外型和主要技術參數。
- 3) 在端蓋、軸、螺釘、接線樁等零件上做好標記。



(2) 拆卸步驟如圖 7-14、圖 7-15 所示。

圖 7-14 電動機拆卸總體圖解

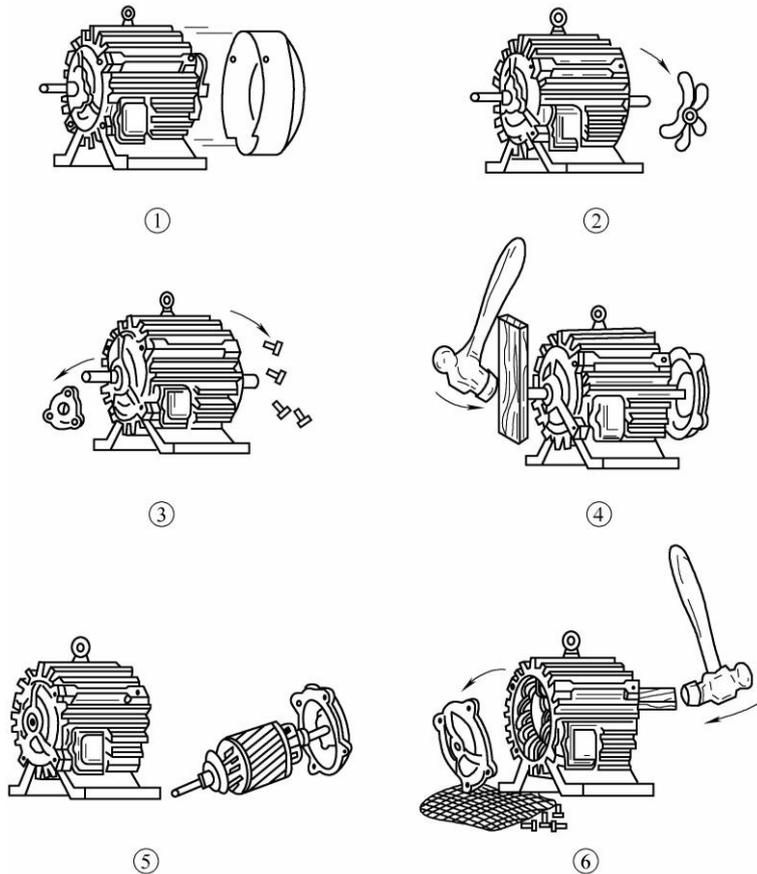


圖 7-15 電動機拆卸分解步驟

- 1) 卸下電動機尾部的風罩。
- 2) 拆下電動機尾部的扇葉。

3) 拆下前軸承外蓋和前、後端蓋的緊固螺釘。拆卸前，先在機殼與端蓋的接縫處（即止口處）做好標記以便重定。均勻拆除軸承蓋及端蓋螺栓拿下軸承蓋，再用兩個螺栓旋于端蓋上兩個頂絲孔中，兩螺栓均勻用力向裡轉（較大端蓋要用吊繩將端蓋先掛上）將端蓋拿下。無頂絲孔時，可用銅棒對稱敲打，卸下端蓋，但要避免過重敲擊，以免損壞端蓋。

4) 用木板（或銅板、鉛板）墊在轉軸前端，用榔頭將轉子和後蓋從機座敲出，木榔頭可直接敲打轉軸前端。

5) 從定子中取出轉子。對於小型電動機抽出轉子是靠人工進行的，為防手滑或用力不均碰傷繞組，應用紙板墊在繞組端部進行。

6) 用木棒伸進定子鐵心，頂住前端內側，用榔頭將前端蓋敲離機座。最後拉下前後軸承及軸承內蓋。

7) 拆除定子繞組。

8) 清槽、整角。

（3）幾個主要部件的拆卸方法

1) 帶輪或聯軸器的拆卸：首先用粉筆在帶輪的軸伸端上做好標記，再將帶輪或聯軸器上的定位螺釘或銷子松脫取下，按圖 7-16 所示的方法裝好拉具，拉具的絲杠頂端要對準電動機軸端的中心，使其受力均勻，轉動絲杆，把帶輪或聯軸器慢慢拉出，切忌硬拆。如拉不出，可在定位螺釘孔內注入煤油，待幾小時後再拉。按此法拉出仍有困難時，可用噴燈等急火再帶輪外側軸套四周均勻加熱，使其膨脹後再拉出。在拆卸過程中，嚴禁用手錘直接敲擊帶輪，以免造成帶輪或聯軸器碎裂，或使轉軸變形。

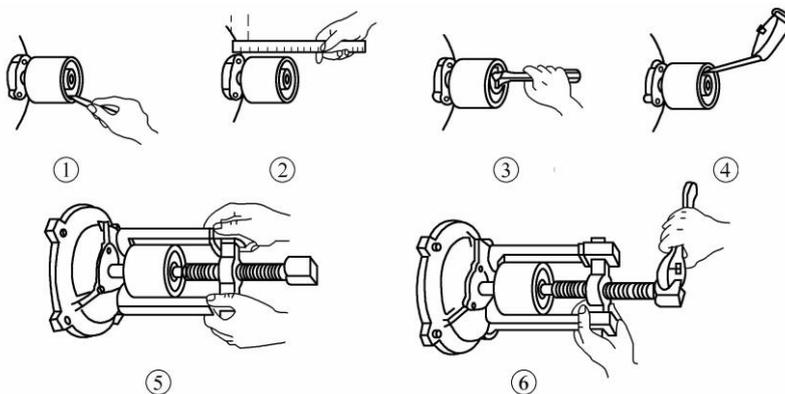


圖 7-16 帶輪或聯軸器拆卸

2) 風罩和風葉的拆卸：首先，把外風罩螺栓松脫，取下風罩；然後把轉軸尾部風葉上的定位螺栓或銷子松脫、取下，用紫銅棒或手錘在風葉四周均勻地輕敲，風葉就可松脫下來。小型非同步電動機的風葉一般不用卸下，可隨轉子一起抽出。對於採用塑膠風葉的電動機，可用熱水使塑膠風葉膨脹後卸下。

3) 軸承蓋和端蓋的拆卸：如圖 7-17 所示，首先把軸承的外蓋螺栓松下，卸下軸承外蓋。為便於裝配時復位，在端蓋與機座接縫處的任一位置做好標記，然後松開端蓋的緊固螺栓，所後用錘子均勻地敲打端蓋四周（需襯上墊木），把端蓋取下。對於小型電動機，可先把軸伸端的軸承外蓋卸下，再鬆開後端蓋的固定螺栓，然後用木槌敲打軸伸端，這樣可把轉子連同後端蓋一起取下。

4) 軸承的拆卸：軸承的拆卸可能在兩個部位進行。一種是在轉軸上拆卸，另一種是在端蓋內拆卸。

在轉軸上拆卸軸承常用以下三種方法：第一種是用拉具按拆帶輪的方法將軸承從軸上拉出；第二種方法如圖 7-18 所示，是在沒有拉具的情況下，用端部呈楔形的銅棒，在傾斜方向頂住軸承內圈，邊用榔頭敲打，邊將銅棒沿軸承內圈移動，以使軸承周圍均勻受力，直到卸下軸承；第三種方法如圖 7-19 所示，是用兩塊厚鐵板在軸承內圈下邊夾住轉軸，並用能容納轉子的圓筒或支架支住，在轉軸上端墊上厚木板或銅板，敲打取下軸承。

在端蓋內拆卸軸承：有的電動機端蓋軸承孔與軸承外圈的配合比軸承內圈與轉軸的配合更緊，在拆卸端蓋時，使軸承留在端蓋軸承孔中，如圖 7-20 所示，拆卸時將端蓋止口面向上平穩放置，在端蓋軸承孔四周墊上木板，但不能抵住軸承，然後用一根直徑略小於軸承外沿的銅棒或其他金屬棒，抵住軸承外圈，從上方用榔頭將軸承向下敲出。

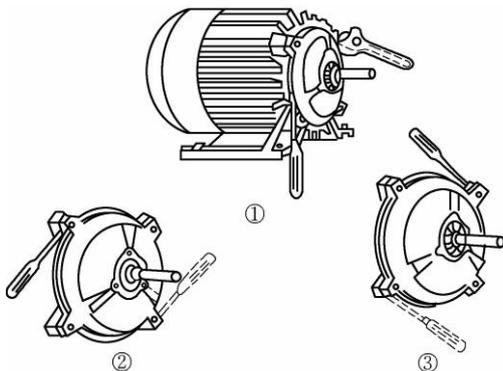


圖 7-17 前端蓋的拆卸

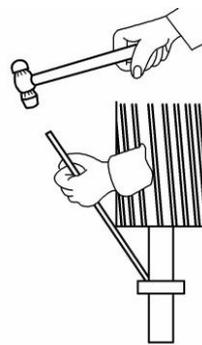


圖 7-18 用銅棒敲打拆卸軸承

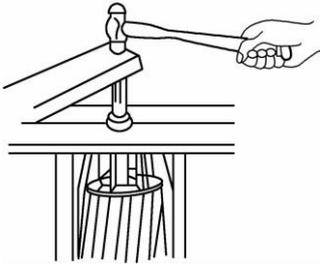


圖 7-19 擱在圓筒上拆卸軸承

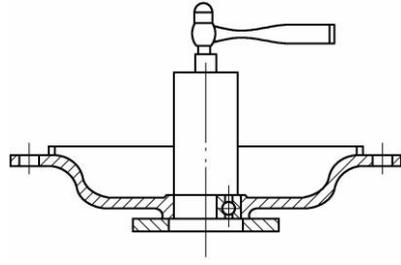


圖 7-20 拆卸端蓋內軸承

- 5) 抽出轉子（見圖 7-20 所示）
- 6) 舊繞組拆除：

①詳細記錄電動機的銘牌資料和繞組資料。

②冷拆法：在小型電動機中，一般採用半封口式線槽，拆卸繞組比較困難，方法是用一把鋒利的帶斜度的扁鏟，將鏟的斜面平放在槽口上，用鐵錘敲擊，便可以將導線一根一根地鏟斷，操作時用力不要太猛，以防把鐵心鏟壞。

③熱拆法：對於難以取出的線圈，可以用加熱法將舊線圈加熱到一定溫度，再將定子繞組從槽楔中拉出來。常用的加熱方法有：用電熱鼓風恒溫乾燥箱加熱法；通電加熱法；用木柴直接燃燒法等。

（4）電動機的裝配

電動機的裝配工序與拆卸時的工序相反，具體步驟如下：

- 1) 用壓縮空氣吹淨電動機內部灰塵，檢查各部零件的完整性，清洗油污等。
- 2) 裝配非同步電動機的步驟與拆卸相反。裝配前要檢查定子內汙物，鏽是否清除，止口有無損壞傷，裝配時應將各部件按標記重定，並檢查軸承蓋配合是否合適。
- 3) 軸承裝配可採用熱套法和冷裝配法。

裝配前應檢查軸承滾動件是否轉動靈活而又不松曠。再檢查軸承內與軸頸，外圈與端蓋軸承座孔之間的配合情況和光潔度是否符合要求。

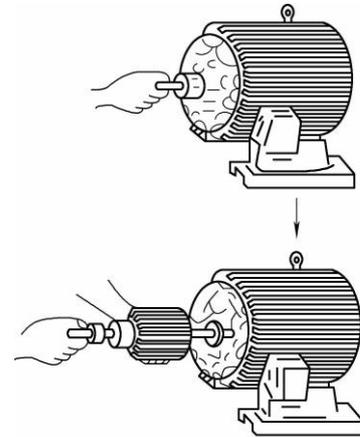
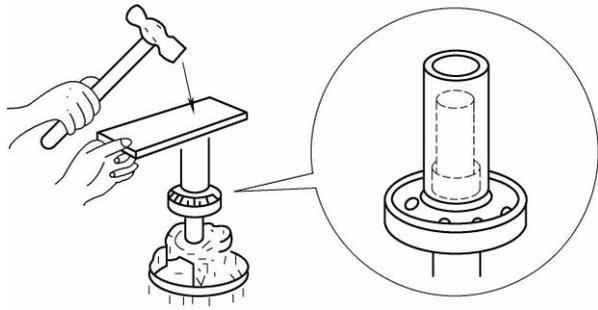


圖 7-21 小型轉子的取出

①冷套法：把軸承套到軸上，用一段鐵管，一端對準軸頸，頂在軸承的內圈上，用手錘敲打另一端，緩慢地敲入如圖 7-22 所示。



②熱套法：軸承可放在溫度為 80~100°C 的變壓器油中，加熱 20~40min。趁熱迅速把軸承一直推到軸肩，冷卻後自動收縮套緊如圖 7-23

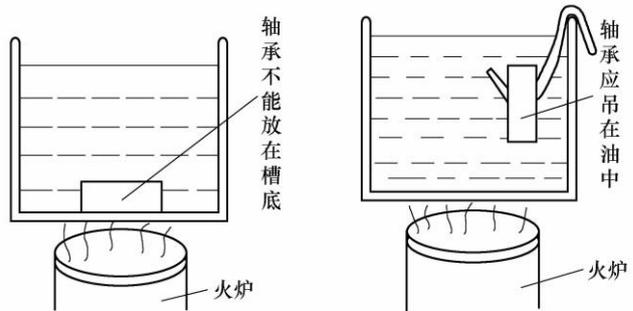


圖 7-22 冷套法裝軸承

所示。

4) 轉子的安裝：安裝時轉子要對準定子的中心，小心往裡送放，端蓋要對準機座的標記，旋上後蓋的螺栓，但不要擰緊。

5) 端蓋的安裝：安裝端蓋時，先將端蓋洗淨、吹幹，鏟去端蓋口和機座口的髒物；然後將前端蓋對準機座標記，用木槌輕輕敲擊端蓋四周。套上螺栓，按對角線一前一後把螺栓

擰緊，切不可有松有緊，以免損壞端蓋；最後裝前軸

承外蓋時，可先在軸

承外蓋孔內用手插入一根螺栓，另一隻手緩慢轉動轉軸，當軸承內蓋的孔轉得與外蓋的孔對齊時，即可將螺栓擰入軸承蓋的螺孔內，再裝另外兩根螺栓。也可先用兩根硬導線通過軸承外蓋孔插入軸承內蓋孔中，旋上一根螺栓，掛住內蓋螺釘扣，然後依次抽出導線，旋上螺栓。

6) 風扇葉、風罩的安裝：風葉和風罩安裝完畢後，用手轉動轉軸，轉子應轉動靈活、均勻，無停滯或偏重現象。

7) 帶輪或聯軸器的安裝：安裝帶輪時，將拋光布卷在圓木上，把帶輪或聯軸器的軸孔打磨光滑，用拋光布把轉軸的表面打磨光滑，然後對準鍵槽把帶輪或聯軸器套在轉軸

上，調整好帶輪或聯軸器與鍵槽的位置，將木板墊在鍵的一端，輕輕敲打，使鍵慢慢進入槽內。安裝大型電動機的帶輪時，可先用固定支援物頂住電動機的非負荷端和千斤頂的底部，再用千斤頂將帶輪頂入。

(5) 電動機裝配後的檢驗

1) 檢查電動機的轉子轉動是否輕便靈活，如轉子轉動比較沉重，可用紫銅棒輕敲端蓋，同時調整端蓋緊固螺栓的鬆緊程度，使之轉動靈活。

2) 檢查電動機的絕緣電阻值，搖測電動機定子繞組相與相之間、各相對地之間的絕緣電阻。3) 根據電動機的銘牌與電源電壓正確接線，並在電動機外殼上安裝好接地線，用鉗形電流錶分別檢測三相電流是否平衡。

4) 用轉速表測量電動機的轉速。

5) 讓電動機空轉運行 30min 後，檢測機殼和軸承處的溫度，觀察振動和雜訊。

2. 三相非同步電動機定子繞組首尾端的判別方法

【任務描述】

當電動機接線板損壞，定子繞組的 6 個線頭不清楚時，不可盲目接線，以免引起電動機內部故障，因此必須分清 6 個線頭的首尾端後才能接線。本次實訓就是進行三相非同步電動機定子繞組首尾端的判別。

【訓練內容及操作步驟】

(1) 用 36V 交流電源和燈泡判別首尾端判別時的接線方式如圖 7-24 所示。

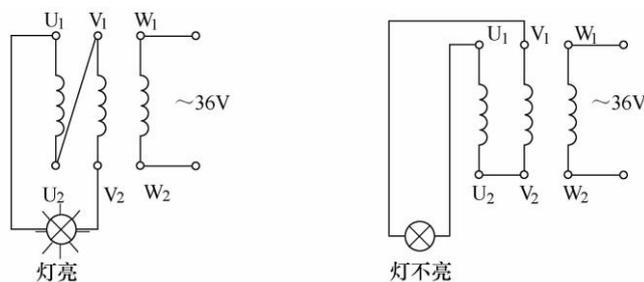


圖 7-24 用 36V 交流電源和燈泡判別首尾端

判別步驟如下：

①用絕緣電阻表或萬用表的電阻擋，分別找出三相繞組的各相兩個線頭。

②先任意給三相繞組的線頭分別編號為 U_1 和 U_2 、 V_1 和 V_2 、 W_1 和 W_2 。並把 V_1 、 U_2 連接起來，構成兩相繞組串聯。

③ U_1 、 V_2 線頭上接一隻燈泡。

④ W_1 、 W_2 兩個線頭上接通 36V 交流電源，如果燈泡發亮，說明線頭 U_1 、 U_2 和 V_1 、 V_2 的編號正確。如果燈泡不亮，則把 U_1 、 U_2 或 V_1 、 V_2 中任意兩個線頭的編號對調一下即可。

⑤再按上述方法對 W_1 、 W_2 兩線頭進行判別。

(2) 用萬用表或微安表判別首尾端方法一：

①先用絕緣電阻表或萬用表的電阻擋，分別找出三相繞組的各相兩個線頭。

②給各相繞組假設編號為 U_1 和 U_2 、 V_1 和 V_2 、 W_1 和 W_2 。

③按所示接線，用手轉動電動機轉子，如萬用表（微安擋）指標不動，則證明假設的編號是正確的；若指標有偏轉，說明其中有一相首尾端假設編號不對。應逐相對調重測，直至正確為止。

方法二：

①先分清三相繞組各相的兩個線頭，並將各相繞組端子假設為 U_1 和 U_2 、 V_1 和 V_2 、 W_1 和 W_2 。

②注視萬用表（微安擋）指針擺動的方向，合上開關瞬間，若指標擺向大於零的一邊，則接電池正極的線頭與萬用表負極所接的線頭同為首端或尾端；如指針反向擺動，則接電池正極的線頭與萬用表正極所接的線頭同為首端或尾端。

③再將電池和開關接另一相兩個線頭，進行測試，就可正確判別各相的首尾端。

第 8 講 電力電子電路的安裝與調試



導讀

電力電子技術是應用於電力領域的電子技術。具體地說，就是使用電力電子器件對電能進行變換和控制的技術。目前所用的電力電子器件均用半導體製成，故也稱為電力半導體器件。電力電子技術所變換的“電力”，功率可以大到數百 MW 甚至 GW，也可以小到數 W 甚至 1W 以下。

電力電子涉及由半導體開關啟動裝置進行電源的控制與轉換領域。本講主要闡述了常見的晶閘管及其應用、固態繼電器及其應用。

8.1 晶閘管及其應用案例

1. 晶閘管介紹

晶閘管是晶體閘流管的簡稱，又可稱做晶閘管整流器，以前被簡稱為可控矽；1957 年美國通用電器公司開發出世界上第一晶閘管產品，並於 1958 年使其商業化；晶閘管是 PNP 四層半導體結構，它有三個極：陽極，陰極和門極；晶閘管工作條件為：加正向電壓巨門極有觸發電流；其派生器件有：快速晶閘管，雙向晶閘管，逆導晶閘管，光控晶閘管等。它是一種大功率開關型半導體器件，在電路中用文字符號“V”、“VT”表示（舊標準中用字母“SCR”表示）。

晶閘管具有矽整流器件的特性，能在高電壓、大電流條件下工作，其工作過程可以控制、被廣泛應用於可控整流、交流調壓、無觸點電子開關、逆變及變頻等電子電路中。

（1）晶閘管的種類

晶閘管有多種分類方法。

1) 按關斷、導通及控制方式分類。晶閘管按其關斷、導通及控制方式可分為普通晶閘管、雙向晶閘管、逆導晶閘管、門極關斷（GTO）晶閘管、BTG 晶閘管、溫控晶閘管和光控晶閘管等多種。

2) 按引腳和極性分類。晶閘管按其引腳和極性可分為二極晶閘管、三極晶閘管和四極晶閘管。

3) 按封裝形式分類。晶閘管按其封裝形式可分為金屬封裝晶閘管、塑封晶閘管和陶瓷封裝晶閘管三種類型。其中，金屬封裝晶閘管又分為螺絲形、平板形、圓殼形等多種；塑封晶閘管又分為帶散熱片型和不帶散熱片型兩種。

4) 按電流量分類。晶閘管按電流量可分為大功率晶閘管、中功率晶閘管和小功率晶閘管三種。通常，大功率晶閘管多採用金屬殼封裝，而中、小功率晶閘管則多採用塑封或陶瓷封裝。

5) 按關斷速度分類。晶閘管按其關斷速度可分為普通晶閘管和高頻（快速）晶閘管。

(2) 晶閘管的工作原理

晶閘管在工作過程中，它的陽極 A 和陰極 K 分別與電源和負載連接，組成晶閘管的主電路，晶閘管的門極 G 和陰極 K 與控制晶閘管的裝置連接，組成晶閘管的控制電路。

晶閘管的工作條件：

- 1) 晶閘管承受反向陽極電壓時，不管門極承受何種電壓，晶閘管都處於關斷狀態。
- 2) 晶閘管承受正向陽極電壓時，僅在門極承受正向電壓的情況下晶閘管才導通。
- 3) 晶閘管在導通情況下，只要有一定的正向陽極電壓，不論門極電壓如何，晶閘管保持導通，即晶閘管導通後，門極失去作用。
- 4) 晶閘管在導通情況下，當主電路電壓（或電流）減小到接近於零時，晶閘管關斷。

從晶閘管的內部分析工作過程：

晶閘管是四層三端器件，它有 J_1 、 J_2 、 J_3 三個 PN 結，如圖 8-1 所示。可以把它中間的 NP 分成兩部分，構成一個 PNP 型電晶體和一個 NPN 型電晶體的複合管，如圖 8-2 所示。

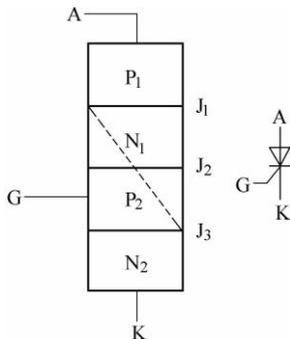


圖 8-1 晶閘管構成

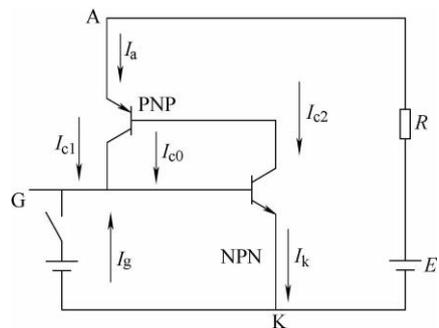


圖 8-2 晶閘管工作原理

當晶閘管承受正向陽極電壓時，為使晶閘管導通，必須使承受反向電壓的 PN 結 J₂ 失去阻擋作用。圖 8-2 中每個電晶體的集電極電流同時就是另一個電晶體的基極電流。因此，兩個互相複合的電晶體電路，當有足夠的門極電流 I_g 流入時，就會形成強烈的正回饋，造成兩電晶體飽和導通，電晶體飽和導通。

設 PNP 管和 NPN 管的集電極電流相應為 I_{c1} 和 I_{c2}；發射極電流相應為 I_a 和 I_k；電流放大係數相應為 a₁ = I_{c1}/I_a 和 a₂ = I_{c2}/I_k，設流過 J₂ 結的反相漏電電流為 I_{c0}，晶閘管的陽極電流等於兩管的集電極電流和漏電流的總和：

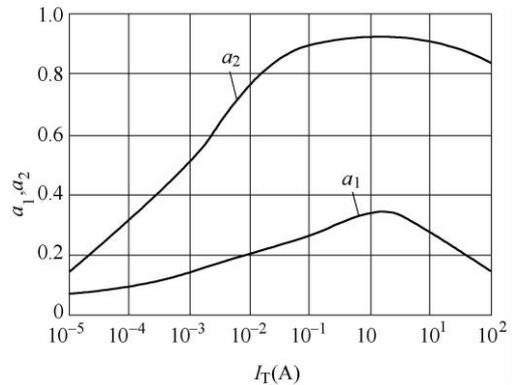
$$I_a = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \text{ 或 } I_a = a_1 I_a + a_2 I_k + I_{c0}$$

若門極電流為 I_g，則晶閘管陰極電流為 I_k = I_a + I_g 從而可以得出晶閘管陽極電流：

$$I = (I_{c0} + I_g a_2) / [1 - (a_1 + a_2)] \quad (8-1) \text{ 矽 PNP 管和矽 NPN}$$

管相應的電流放大係數 a₁ 和 a₂ 隨其發射極電流的改變而急劇變化，如圖 8-3 所示。

當晶閘管承受正向陽極電壓，而門極未受電壓的情況下，式 (8-1) 中，I_g = 0，(a₁ + a₂) 很小，故晶閘管的陽極電流 I_a ≈ I_{c0} 晶閘管處於正向阻斷狀態。當晶閘管在正向陽極電壓下，從門極 G 流入電流 I_g，由於足夠大的 I_g 流經 NPN 管的發射結，從而提高起點流放大係數 a₂，產生足夠大的極電極電流 I_{c2} 流過 PNP 管的發射結，並提高了 PNP 管的電流放大係數 a₁，產生更大的極電極電流 I_{c1} 流經 NPN 管的發射結。這樣強烈的正回饋過程迅速進行。從圖 8-3



可見，當 a₁ 和 a₂ 隨發射極電流增加而 (a₁ + a₂) ≈ 1 時，式 (8-1) 中的分母 1 - (a₁ + a₂) ≈ 0，因此提高了晶閘管的陽極電流 I_a。這時，流過晶閘管的電流完全由主電路的電壓和電阻決定。晶閘管已處於正嚮導通狀態。

式 (8-1) 中，在晶閘管導通後，1 - (a₁ + a₂) ≈ 0，即使此時門極電流 I_g = 0，晶閘管仍能保持原來的陽極電流 I_a 而繼續導通。晶閘管在導通後，門極已失去作用。

圖 8-3 晶閘管工作曲線保持原

在晶閘管導通後，如果不斷的減小電源電壓或增大回路電阻，使陽極電流 I_a 減小到維持電流以下時，由於 a_1 和 a_2 迅速下降，當 $1 - (a_1 + a_2) \approx 0$ 時，晶閘管恢復阻斷狀態。

2. 晶閘管應用案例

(1) 簡易交流調速系統實例介紹

此簡易電子調速電路適用於 220V 市電的單相電動機，電動機額定電流在 6.5A 以內，功率在 1kW 左右，適用於家庭電風扇、吊扇電動機及其他單相電動機，若電路加以修改，則可作調光、電磁振動調壓、電風扇溫度自動變速器等用途。其電路如圖 8-4 所示。

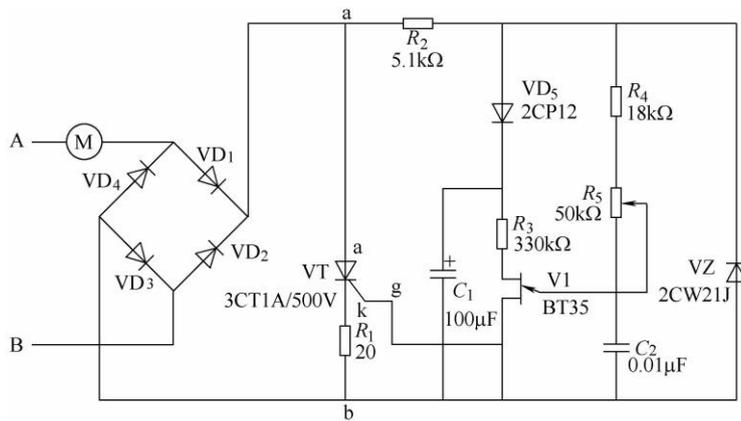


圖 8-4 簡易電子調速電路

二極體 $VD_1 \sim VD_4$ 構成一個橋式全波整流電路，電橋與電動機串聯在電路中，電橋對晶閘管 VT 提供全波整流電壓。當 VT 接通時，電橋呈現本電動機串聯的低阻電路。當圖 8-4 中 A 點為負半周時，電流經電動機、 VD_1 、 VT 、 R_1 、 VD_3 構成回路，當 B 點為正半周時，電流經 VD_2 、 VT 、 R_1 、 VD_4 、電動機 M 構成回路，電動機端得到的是交變電流。電動機兩端的電壓大小主要決定于晶閘管 VT 的導通程度，只要改變晶閘管的導通角，就可以改變 VT 的壓降，電動機兩端的電壓也變化，達到調壓調速的目的，電動機端電壓 $U_m = U_1 - U_{VD1} - U_{VT} - U_{R1} - U_{VD3}$ ，上式中， U_{VD1} 、 U_{VD3} 的壓降均很小，而回饋 U_{R1} 也不大，故電動機端電壓就簡化為 $U_m = U_1 - U_{VT}$ 。

表 8-1 電阻與額定電流關係

電動機額定電流 / A	R_1 數值 / Ω	P_1 功率 / W	電動機額定電流 / A	R_1 數值 / Ω	P_1 功率 / W

0.1	20	1	3	0.67	10
2	1	5	6.5	0.32	15

晶閘管 VT 的觸發脈衝靠一隻簡單的單結晶體管 VS 電路產生，電容器 C_2 通過電阻 R_4 、 R_5 充電到穩壓管 VZ 的穩定電壓 U_z ，當 C_2 充電到單結晶體管的峰點電壓時，單結晶體管就觸發，輸出脈衝而使晶閘管導通。在單結晶體管發射極電壓充分衰減後，單結晶體管就斷開，VT 一經接通，那麼 a、b 兩點之間的電壓就下降到穩壓管 VZ 的穩定電壓 U_z 以下，電容器 C_2 再充電就依賴於點 a 到 b 點間的電壓，因穩壓管的電壓已經降低到它的導通區域以外，點 a 到 b 點的電壓取決於電動機的電流、 R_1 和 VT 導通時的電壓降。這樣，當 VT 導通時，電容器 C_2 的充電電流取決於電動機的電流，在這種情況下便得到了回饋，這就使得電動機在低速時轉矩所受損失的問題得到補救。

回饋電阻 R_1 的數值經過實驗得出，因此，VT 在導通週期的時間內，電容 C_2 便不能充電到足以再對單結晶體管觸發的高壓，然而，電容 C_2 會充電到電動機電流所決定的某一數值。如果在某一導通週期電動機的電流增加，則 C_2 上的電壓也增加，故在下一週期開始時， C_2 就不需那麼長的時間才能充電到單晶體的峰點電壓。這種情況下，觸發角就被減少了（導通角更大），加到電動機上的方根電壓就成比例增加，致使有效轉矩增加。二極體 VD_5 和電容器 C_1 防止在導通期中由於觸發單結晶體所造成的回饋，回饋電阻 R_1 的取值具體如附表所示。

R_2 為限流電阻，它應保證穩定 VZ 在穩壓範圍，穩定電流在 10~20mA 左右，它並保證了脈衝移相角，當 R_2 增大，移相角減小，電動機兩端的電壓調節範圍減少。 R_4 應保證電動機兩端電壓的上限值，當 R_4 增大時，輸出到電動機的電壓上限下降。 R_3 是作單結晶體管溫度補償之用，當 R_3 增大時，溫度特性就要好一些，本電路也適用於可逆電動機調速之用，負載端電壓調節範圍從 35~215V 連續可調。若負載為電動機或電磁振動線圈，它不要求對轉矩進行補償，則電路可以進一步簡化，電路如圖 8-5 所示，其工作原理同圖 8-4，輸出電壓主調節範圍是 35~215V， R_1 的作用是保證 VT 輸出脈衝的幅度， R_1 增大，則輸出脈衝也增加，若作調光，則可將負載改作燈泡即可。

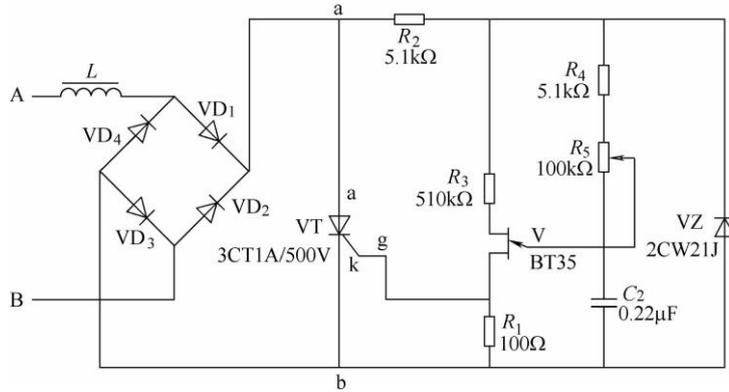


圖 8-5 不對轉矩進行補償的調速電路

若負載電壓最大值不需要很高，則可將橋式整流電路改為半波整流，其輸出至負載的電壓調節範圍為 30~100V，其工作原理同前。電原理圖如圖 8-6 所示。風扇調速電路如圖 8-7 所示，電路採用了熱敏電阻，當環境溫度上升或下降時，其電阻值發生變化，導致 VT₂ 的不斷變化，使晶閘管導通角前後移動，改變電扇兩端的電壓，風扇電動機的轉速即隨之變化。當環境溫度上升時，電風扇轉速高，反之則低。

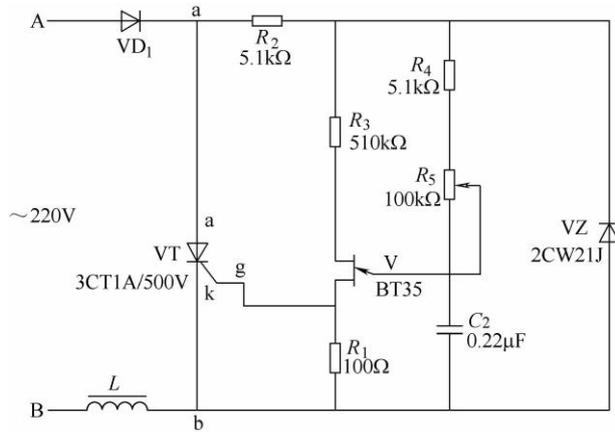


圖 8-6 半波整流下的建議交流調速

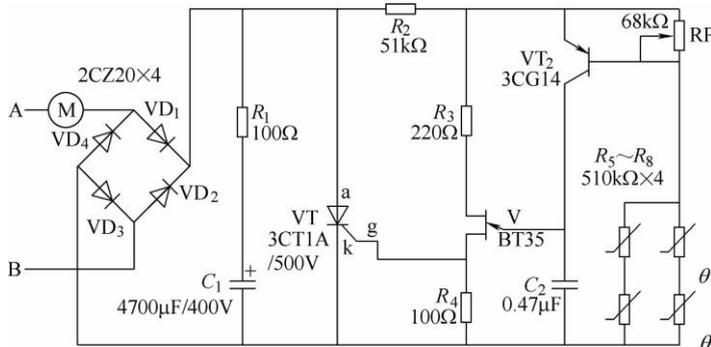


圖 8-7 風扇調速電路

選用器件時，二極體 $VD_1 \sim VD_4$ 耐壓要高於 400V，額定電流大於 0.4A；晶閘管 VT 耐壓大於 500V，額定電流為 1A；單結晶體管 BT35 分壓比 η 大於 0.5；電晶體 3CG14 的 β 大於 80。

電路裝好後，把風扇接在電路中，調整 RP 使風扇正好停轉，然後用一把電烙鐵靠近熱敏電阻，熱敏電阻變高時，風扇轉速變快。電烙鐵離開熱敏電阻，溫度降低，轉速應變慢，工作時 RP 應調到適當位置。

(2) 直流調速系統實例介紹

直流電動機調速廣泛應用於機床設備和交通運輸車輛等場合。通過改變電動機的電樞電壓，就能實現無級調速，巨能節約電能。圖 8-8 所示為直流調速系統實例。

1) 主電路工作原理分析：改變加在 VT_1 、 VT_2 門極上的觸發脈衝的觸發延遲角，就可以調節半控橋式整流電路的輸出到電動機電樞兩端的電壓，電路輸出的直流電壓越大，電動機轉的越快，從而實現了對電動機轉速的控制。

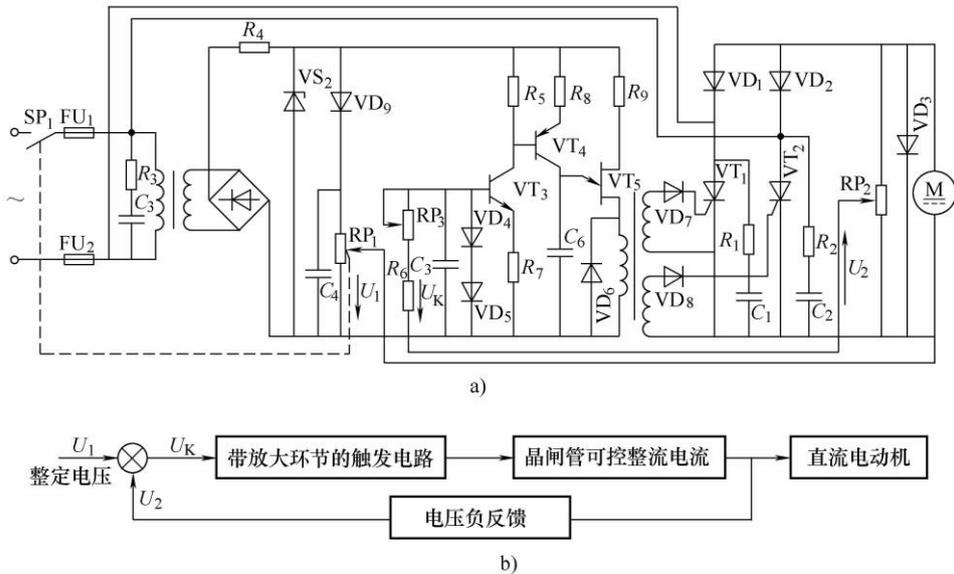


圖 8-8 直流調速系統實例

2) 觸發電路工作原理分析：改變 C_6 的充電時間，就可以改變單結晶體管導通時間，即改變晶閘管的觸發延遲角 α ，使半控橋整流電路輸出電壓得到調節。

3) 控制電路工作原理分析：加在放大管 VT_3 基極的控制電壓 $U_k = U_1 - U_2$ ，式中 U_1 是整定電壓， U_2 為回饋電壓。

U_1 可根據拖動系統所需要的轉速進行整定。 U_2 反映了電樞兩端電壓變化情況，因此間接反映了電動機轉速的變化。當控制電壓 U_k 增大時，觸發電路輸出的脈衝提前，晶閘管的導通角增大，主電路輸出的直流電壓升高。這樣，由於加在電動機電樞的電壓增加，電動機的轉速將升高。反之，當控制電壓 U_k 減小時，主電路輸出電壓降低。這時，加在電樞上的電壓降低，電動機的轉速便下降。

4) 轉速調整的工作原理：

① 直流電動機的平滑起動 電位器 RP_1 與交流電源開關 SP_1 是聯動的。當 SP_1 合閘時，電位器 RP_1 的動觸點處於零位置，整定電壓 $U_1 = 0$ 。然後，轉動電位器 RP_1 的動觸點，使電壓 U_1 從零開始上升，控制電壓 U_k 也隨之增大。於是，主電路的輸出電壓即加在電樞上的電壓逐漸升高，電動機平滑起動，最後達到相應的轉速，進入正常運轉狀態。

② 直流電動機的無級調速 在電動機運行過程中，人為地調節電位器 RP_1 的可動觸點，可使整定電壓 U_1 發生連續變化。因此，加在電樞上的電壓變化也是連續的，電動機便可在一定範圍內獲得任意大小的給定轉速，從而實現無級調速。

③ 直流電動機轉速的穩定 在電動機的工作過程中，當負載加大引起轉速下降時，電樞電流也相應增大。這時，由於可控整流電路內部的壓降增加，致使電樞兩端電壓降低。因此，經過電位器 RP_2 取得的回饋電壓 U_2 也相應減小，控制電壓 U_k 則相應增大，使觸發脈衝提前，可控整流電路輸出電壓增大，補償了電動機電樞電壓的降低，而使電動機轉速下降甚微。負載在一定範圍之內變化時，通過電路的自動調節，電動機能夠基本保持恆定的轉速運轉。

8.2 晶閘管調光電路的焊接與調試

1. 讀懂晶閘管調光電路原理

一個典型的調光原理圖如圖 8-9 所示。

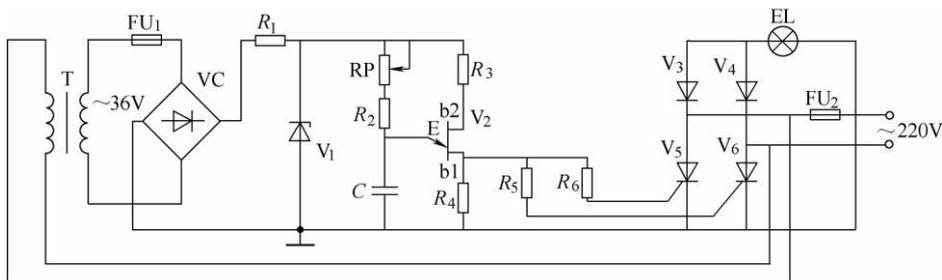


圖 8-9 調光原理圖

2. 根據安裝材料表選定元器件（見表 8-2）

表 8-2 安裝材料表

序號	名稱	規格	單位	數量
1	R ₁	1.2kΩ 2W	個	1
2	R ₂	5.1kΩ 1/4W	個	1
3	R ₃	330Ω 1/4W	個	1
4	R ₄	100Ω 1/4W	個	1
5	R ₅	56Ω 1/4W	個	1
6	R ₆	56Ω 1/4W	個	1
7	電位器 RP	100kΩ	個	1
8	電容 C	0.1μF/60V	個	1
9	V ₁	1N4746	個	1
10	V ₂	BT33	個	1
11	V ₃	1N4007	個	1
12	V ₄	1N4007	個	1
13	V ₅ 單向晶閘管	1~4A/600V	個	1

14	V ₆ 單向晶閘管	1~4A/600V	個	1
15	整流橋 VC	0.5~2A	個	1
16	EL	25W/220V	個	1
17	變壓器	220V/36V	個	1
18	FU ₁	0.5A	個	1
19	FU ₂	1A	個	1
20	電源插線	250V/10A	個	1

(續)

序號	名稱	規格	單位	數量
21	萬能板	90×150	塊	1
22	焊錫絲	φ0.5~0.8	m	1
23	松香			若干
24	連接線 (鍍錫銅線)	φ0.3~0.8	m	0.6

3. 焊接方法與步驟

在萬能實驗板上合理設計佈局，並用連接線焊接連線（採用板前連線方式），要求裝接品質可靠，裝接技術符合工藝要求。

(1) 焊接操作姿勢與衛生

焊劑加熱揮發出的化學物質對人體是有害的，如果操作時鼻子距離烙鐵頭太近，則很容易將有害氣體吸入。一般烙鐵離開鼻子的距離應至少不小於 30cm，通常以 40cm 時為宜。

電烙鐵的握法有三種，如圖 8-10 所示。反握法動作穩定，長時間操作不宜疲勞，適於大功率烙鐵的操作。正握法適於中等功率烙鐵或帶彎頭電烙鐵的操作。一般在操作臺上焊印製板等焊件時多採用握筆法。

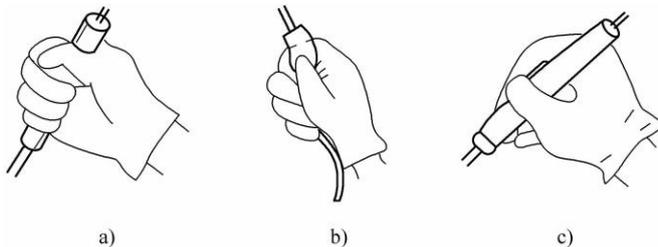


圖 8-10 電烙鐵的握法

a) 反握法 b) 正握法 c) 握筆法

焊錫絲一般有兩種拿法，如圖 8-11 所示。由於焊錫成分中，鉛占一定比例，眾所周知鉛是對人體有害的重金屬，因此操作時應戴手套或操作後洗手，避免食入。

使用電烙鐵要配置烙鐵架，一般放置在工作臺右前方，電烙鐵用後一定要穩妥放置在烙鐵架上，並注意導線等物不要碰烙鐵頭，以免被烙鐵燙壞絕緣後發生短路。

(2) 五步法焊接技術

如圖 8-12 所示，當我們把焊錫融化到電烙鐵頭上時，焊錫絲中的焊劑伏在焊料表面，

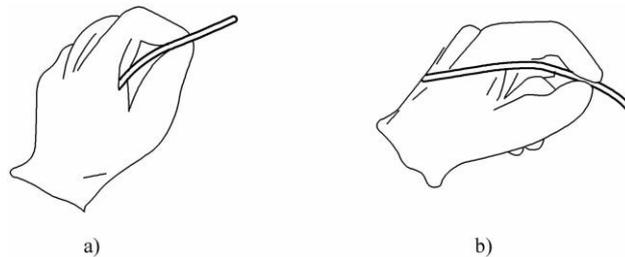


圖 8-11 焊錫絲的拿法 a) 連續錫焊時焊錫絲的拿法

b) 斷續錫焊時焊錫絲的拿法

由於烙鐵頭溫度一般都在 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 以上，當烙鐵放道焊點上之前，松香焊劑將不斷揮發，而當烙鐵放到焊點上時由於焊件溫度低，加熱還需一段時間，在此期間焊劑很可能揮發大半甚至完全揮發，因而在潤濕過程中由於缺少焊劑而潤濕不良。同時由於焊料和焊件溫度差很多，結合層不容易形成，很難避免虛焊。更由於焊劑的保護作用喪失後焊料容易氧化，品質得不到保證就在所難免了。

正確的方法應該是五步法，如圖 8-13 所示：

1) 準備好焊錫絲和烙鐵。此時特別強調的施烙鐵頭部要保持乾淨，即可以沾上焊錫（俗稱吃錫）。

2) 將烙鐵接觸焊接點，注意首先要保持烙鐵加熱

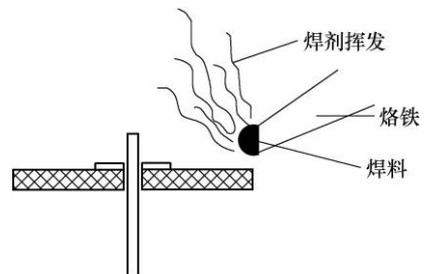


圖 8-12 焊劑在烙鐵上揮發焊件各

部分，例如印製電路板上引線和焊盤都使之受

熱，其次要注意讓烙鐵頭的扁平部分（較大部分）接觸熱容量較大的焊件，烙鐵頭的側面或邊緣部分接觸熱容量較小的焊件，以保持焊件均勻受熱。

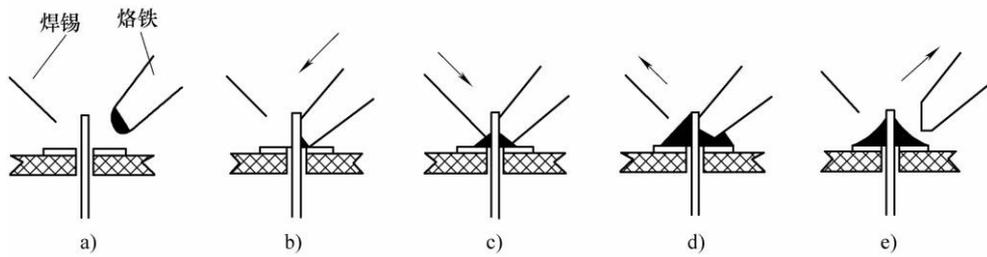


圖 8-13 五步法

a) 準備 b) 加熱 c) 加焊錫 d) 去焊錫 e) 去烙鐵

- 3) 當焊件加熱到能熔化焊料的溫度後將焊絲置於焊點，焊料開始熔化並潤濕焊點。
- 4) 當熔化一定量的焊錫後，將焊錫絲移開。
- 5) 當焊錫完全潤濕焊點後移開烙鐵，注意移開烙鐵的方向應該是大致 45° 的方向。

上述過程，對一般焊點而言大約 $2\sim 3s$ 。對於熱容量較小的焊點，例如印製電路板上的小焊盤，有時用三步法概括操作方法，即將上述步驟 2) 和 3) 合為一步，4) 和 5) 合為一步。

4. 調試

用示波器測出觸發控制部分電路指定點電壓的波形，並與理論波形進行比較。

8.3 固態繼電器及其應用

1. 固態繼電器的原理及結構

固態繼電器 (Solid State Relays, SSR) 是一種全部由固態電子器件組成的新型無觸點開關器件，它利用電子器件 (如開關電晶體、雙向晶閘管等半導體器件) 的開關特性，可達到無觸點無火花地接通和斷開電路的目的，因此又被稱為“無觸點開關”，它問世於 1970 年代，由於它的無觸點工作特性，使其在許多領域的電控及電腦控制方面得到日益廣范的應用。

SSR 按使用場合可以分成交流型和直流型兩大類，它們分別在交流或直流電源上做負載的開關，不能混用。

下面以交流型的 SSR 為例來說明它的工作原理，圖 8-14 所示為它的工作原理框圖，圖 8-14 中的部件①-④構成交流 SSR 的主體，從整體上看，SSR 只有兩個輸入端（A 和 B）及兩個輸出端（C 和 D），是一種四端器件。工作時只要在 A、B 上加上一一定的控制信號，就可以控制 C、D 兩端之間的“通”和“斷”，實現“開關”的功能，其中耦合電路的功能是為 A、B 端輸入的控制信號提供一個輸入／輸出端之間的通道，但又在電氣上斷開 SSR 中輸入端和輸出端之間的（電）聯繫，以防止輸出端對輸入端的影響，耦合電路用的器件是光耦合器，它動作靈敏、回應速度高、輸入／輸出端間的絕緣（耐壓）等級高；由於輸入端的負載是發光二極體，這使 SSR 的輸入端很容易做到與輸入信號電平相匹配，在使用可直接與電腦輸出介面相接，即受“1”與“0”的邏輯電平控制。觸發電路的功能是產生合乎要求的觸發信號，驅動開關電路④工作，但由於開關電路在不加特殊控制電路時，將產生射頻干擾並以諧波或尖峰等污染電網，為此特設“過零控制電路”。所謂“過零”是指，當加入控制信號，交流電壓過零時，SSR 即為通態；而當斷開控制信號後，SSR 要等待交流電的正半周與負半周的交界點（零電位）時，SSR 才為斷態。這種設計能防止諧波的干擾和對電網的污染。吸收電路是為防止從電源中傳來的尖峰、浪湧（電壓）對開關器件雙向晶閘管管的衝擊和干擾（甚至誤動作）而設計的，一般是用“R-C”串聯吸收電路或非線性電阻（壓敏電阻器）。圖 8-15 所示為一種典型的交流型 SSR 的電原理圖。

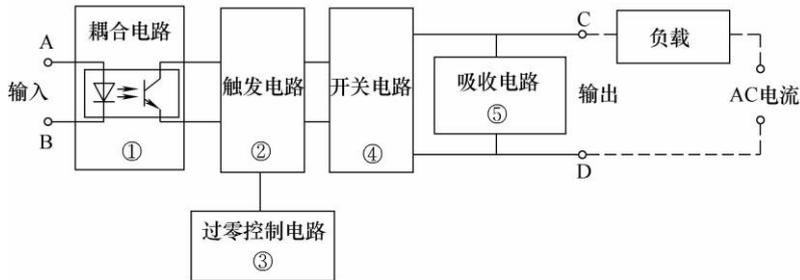


圖 8-14 交流型的 SSR 工作原理框圖

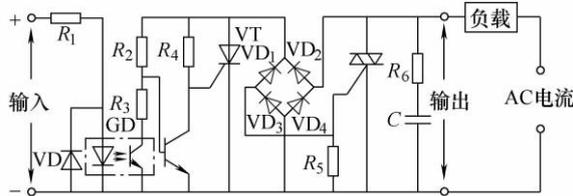


圖 8-15 典型的交流型 SSR 的電原理圖

直流型的 SSR 與交流型的 SSR 相比，無過零控制電路，也不必設置吸收電路，開關器件一般用大功率開關電晶體，其他工作原理相同。不過，直流型 SSR 在使用時應注意：

1) 負載為感性負載時，如直流電磁閥或電磁鐵，應在負載兩端並聯一隻二極體，二極體的電流應等於工作電流，電壓應大於工作電壓的 4 倍。2) SSR 工作時應儘量把它靠近負載，其輸出引線應滿足負載電流的需要。

3) 使用電源屬經交流降壓整流所得的，其濾波電解電容應足夠大。

圖 8-16 所示為幾種國內外常見的 SSR 的外形。

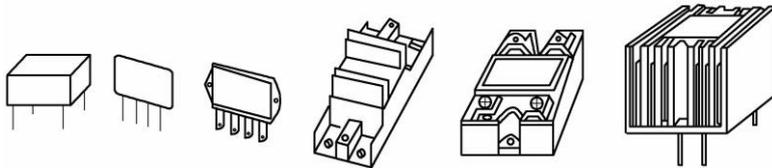


圖 8-16 幾種國內外常見的 SSR 的外形

2. 固態繼電器的特點

SSR 成功地實現了弱信號對強電（輸出端負載電壓）的控制。由於光耦合器的應用，使控制信號所需的功率極低（約 10mW 就可正常工作），而巨所需的工作電平與 TTL、HTL、CMOS 等常用積體電路相容，可以實現直接連接。這使 SSR 在數控和自控設備等方面得到廣泛應用。在相當程度上可取代傳統的“線圈-簧片觸點式”繼電器（MER）。

SSR 由於是全固態電子元件組成，與 MER 相比，它沒有任何可動的機械部件，工作中也沒有任何機械動作；SSR 由電路的工作狀態變換實現“通”和“斷”的開關功能，沒有電接觸點，所以它有一系列 MER 不具備的優點，即工作高可靠、長壽命（有資料表明 SSR 的開關次數可達 $10^8 \sim 10^9$ 次，比一般 MER 的 10^6 高幾百倍）；無動作雜訊；耐振耐機械衝擊；安裝位置無限制；很容易用絕緣防水材料灌封做成全密封形式，而巨具有良好的防潮防黴防腐性能；在防爆和防止臭氧污染方面的性能也極佳。這些特點使 SSR 可在軍事（如飛行器、火炮、艦船、車載武器系統）、化工、井下採煤和各種工業民用電控設備的應用中大顯身手，具有超越 MER 的技術優勢。

交流型 SSR 由於採用過零觸發技術，因而可以使 SSR 安全地用在電腦輸出介面上，不必為在介面上採用 MER 而產生的一系列對電腦的干擾而煩惱。

此外，SSR 還有能承受在數值上可達額定電流十倍左右的浪湧電流的特點。

3. 主要參數與選用

功率固態繼電器的特性參數包括輸入和輸出參數，下面以北京科通繼電器總廠生產的 GX-10F 繼電器為例，列出輸入、輸出參數，詳見表 8-3，根據輸入電壓參數值大小，可確定工作電壓大小。如採用 TTL 或 CMOS 等邏輯電平控制時，最好採用有足夠帶載能力的低電平驅動，並盡可能使“0”電平低於 0.8V。如在雜訊很強的環境下工作，不能選用通、斷電壓值相差小的產品，必需選用通、斷電壓值相差大的產品，（如選接通電壓為 8V 或 12V 的產品）這樣不會因雜訊干擾而造成控制失靈。

輸出參數的項目較多，現對主要幾個參數說明如下：

(1) 額定輸入電壓

它是指定條件下能承受的穩態阻性負載的最大允許電壓有效值。如果受控負載是非穩態或非阻性的，必需考慮所選產品是否能承受工作狀態或條件變化（冷熱轉換、靜動轉換、感應電動勢、瞬態峰值電壓、變化週期等）時所產生的最大合成電壓。例如負載為感性時，所選額定輸出電壓必須大於兩倍電源電壓值，而巨所選產品的阻斷（擊穿）電壓應高於負載電源電壓峰值的兩倍。如在電源電壓為交流 220V、一般的小功率非阻性負載的情況下，建議選用額定電壓為 400~600V 的 SSR 產品；但對於頻繁起動的單相或三相電動機負載，建議選用額定電壓為 660~800V 的 SSR 產品。

表 8-3 功率固態繼電器的特性參數

	參數名稱	參數值		
		最小	典型	最大
輸入端	直流控制電壓/V	3.2		14
	輸入電流/mA		20	
	接通電壓/V	3.2		
	關斷電壓/V			1.5
	反極向保護電壓/V			15
	絕緣電阻/ Ω	10^9		
	介質耐壓/V	1500		

輸出端	額定輸出電壓/V	25		250
	額定輸出電流/A			10
	浪湧電流/A			100
	過零電壓/V			±15
	輸出壓降/V			2.0
	輸出漏電流/mA			10
	接通電間/mS			10
	關斷時間/mS			10
	工作頻率/Hz	47		70
	功率損耗/W		1.5	
	關斷 dV/dt / (V/ μs)		200	
	晶閘管結溫/°C			110
	工作溫度/°C	-20		+80

(2) 額定輸出電流和浪湧電流

額定輸出電流是指在給定條件（環境溫度、額定電壓、功率因素、有無散熱器等）下所能承受的電流最大的有效值。一般生產廠家都提供熱降額曲線。如周圍溫度上升，應按曲線作降額使用。

浪湧電流是指在給定條件下（室溫、額定電壓、額定電流和持續的時間等）不會造成永久性損壞所允許的最大非重複性峰值電流。交流繼電器的浪湧電流為額定電流的 5~10 倍（一個週期），直流產品為額定電流的 1.5~5 倍（一秒）。在選用時，如負載為穩態阻性，SSR 可全額或降額 10% 使用。對於電加熱器、接觸器等，初始接通瞬間出現的浪湧電流可達 3 倍的穩態電流，因此，SSR 降額 20%~30% 使用。對於白熾燈類負載，SSR 應按降額 50% 使用，並應加上適當的保護電路。對於變壓器負載，所選產品的額定電流必須高於負載工作電流的兩倍。對於負載為感應電動機，所選 SSR 的額定電流值應為電動機運轉電流的 2~4 倍，SSR 的浪湧電流值應為額定電流的 10 倍。固態繼電器對溫度的敏感性很強，工作

溫度超過標稱值後，必須降熱或外加散熱器，例如額定電流為 10A 的 JGX-10F 產品，不加散熱器時的允許工作電流只有 10A。

4. 應用電路

(1) 基本單元電路

圖 8-17a 所示為穩定的阻性負載，為了防止輸入電壓超過額定值，需設置一限流電阻 R；當負載為非穩定性負載或感性負載時，在輸出回路中還應附加一個瞬態抑制電路，如圖 8-17b 所示，目的是保護固態繼電器。通常措施是在繼電器輸出端加裝 RC 吸收回路（例如： $R=150\Omega$ ， $C=0.5\mu\text{F}$ 或 $R=39\Omega$ ， $C=0.1\mu\text{F}$ ），它可以有效地抑制加至繼電器的瞬態電壓和電壓指數上升率 du/dt 。在設計電路時，建議使用者根據負載的有關參數和環境條件，認真計算和試驗 RC 回路的選值。另一個常用的措施是在繼電器輸出端接入具有特定鉗位元電壓的電壓控制器件，如雙向穩壓二極體或壓敏電阻。壓敏電阻電流值應按下式計算：

$$I_{\text{mov}} = (V_{\text{ma}} - V_{\text{mov}}) / Z_s$$

式中 Z_s 為負載阻抗、電源阻抗以及線路阻抗之和， V_{ma} 、 V_{mov} 分別為最高瞬態電壓、壓敏電阻的標稱電壓，對於常規的 220V 和 380V 的交流電源，推薦的壓敏電阻的標稱電壓值分別為 440~470V 和 760~810V。

在交流感性負載上並聯 RC 電路或電容，也可抑制加至 SSR 輸出端的瞬態電壓和電壓指數上升率。

但實驗表明，RC 吸收回路，特別是並聯在 SSR 輸出端的 RC 吸收回路，如果和感性負載組合不當，容易導致振盪，在負載電源上電或繼電器切換時，加大繼電器輸出端的瞬變電壓峰值，增大 SSR 誤導通的可能性，所以，對具體應用電路應先進行試驗，選用合適的 RC 參數，甚至有時不用 RC 吸收電路更有利。

對於容性負載引起的浪湧電流可用感性元件抑制，如在電路中引入磁干擾濾波器、扼流圈等，以限制快速上升的峰值電流。

另外，如果輸出端電流上升變化率（ di/dt ）很大，可以在輸出端串聯一個具有高磁導率的軟化磁芯的電感器加以限制。

通常 SSR 均設計為“常開”狀態，即無控制信號輸入時，輸出端是開路的，但在自動化控制設備中經常需要“常閉”式的 SSR，這時可在輸入端外接一組簡單的電路，如圖 8-17c 所示，這時即為常閉式 SSR。

(2) 多功能控制電路

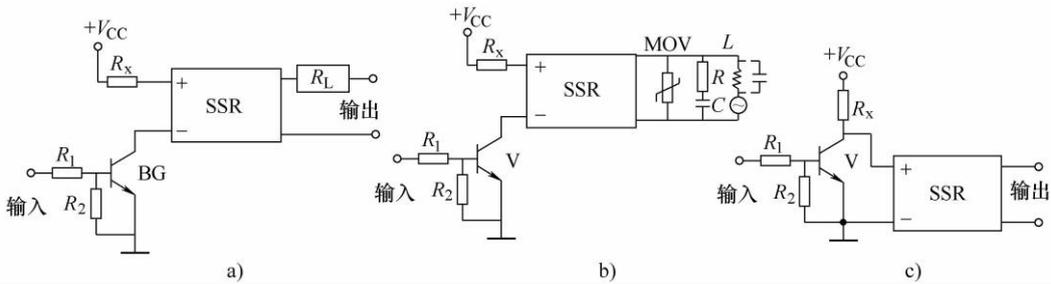


圖 8-17 穩定的阻性負載、非穩定性負載和外接簡單電路

圖 8-18a 為多組輸出電路，當輸入為“0”時，電晶體 V 截止，SSR1、SSR2、SSR3 的輸入端無輸入電壓，各自的輸出端斷開；當輸入為“1”時，電晶體 V 導通，SSR1、SSR2、SSR3 的輸入端有輸入電壓，各自的輸出端接通，因而達到了由一個輸入埠控制多個輸出端“通”、“斷”的目的。

圖 8-18b 為單刀雙擲控制電路，當輸入為“0”時，電晶體 V 截止，SSR1 輸入端無輸入電壓，輸出端斷開，此時 A 點電壓加到 SSR2 的輸入端上（UA-UDW 應使 SSR2 輸出端可靠接通），SSR2 的輸出端接通；當輸入為“1”時，電晶體 V 導通，SSR1 輸入端有輸入電壓，輸出端接通，此時 A 點雖有電壓，但 UA-UDW 的電壓值已不能使 SSR2 的輸出端接通而處於斷開狀態，因而達到了“單刀雙擲控制電路”的功能（注意：選擇穩壓二極體 VZ 的穩壓值時，應保證在導通的 SSR1 “+” 端的電壓不會使 SSR2 導通，同時又要兼顧到 SSR1 截止時期 “+” 端的電壓能使 SSR2 導通）。

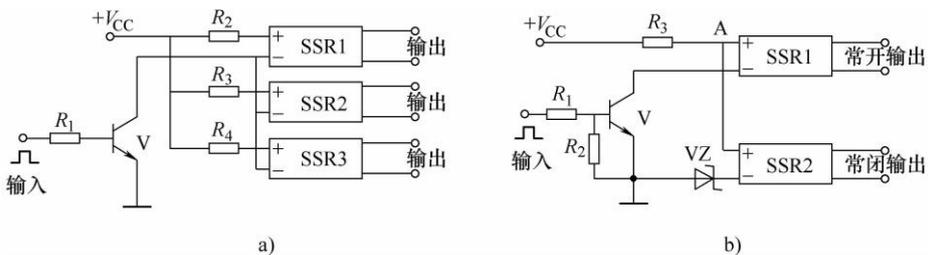


圖 8-18 多組輸出電路和單刀雙擲控制電路

(3) 用電腦控制電動機正反轉的介面及驅動電路

圖 8-19 所示為電腦控制單相交流電動機正反轉的介面及驅動電路，在換向控制時，正反轉之間的停滯時間應大於交流電源的 1.5 個週期（用一個“下降沿延時”電路來完成），以免換向太快而造成線間短路。電路中繼電器要選用阻斷電壓高於 600V 和額定電壓為 380V 以上的交流固態繼電器。

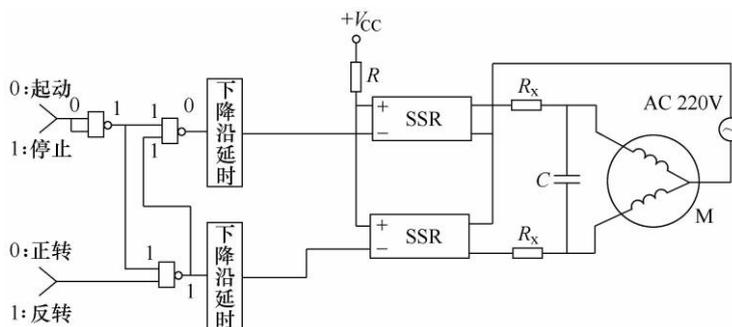


圖 8-19 電腦控制單相交流電動機正反轉的介面及驅動電路

為了限制電動機換向時電容器的放電電流，應在各回路中外加一只限流電阻 R ，其阻值和功率可按下式計算：

$$R = 0.2V_p / I_R (\Omega)$$

$$P = I_m R$$

式中 V_p 為電源峰值電壓 (V)； I_R 為固態繼電器額定電流 (A)； I_m 為電動機運轉電流 (A)； P 為限流電阻功率 (W)。

圖 8-20 所示為電腦控制三相交流電動機正反轉的介面及驅動電路，圖中採用了 4 個反及閘，用兩個信號通道分別控制電動機的起動、停止和正轉、反轉。當改變電動機轉動方向時，給出指令信號的順序應是“停止—反轉—起動”或“停止—正轉—起動”。延時電路的最小延時不小於 1.5 個交流電源週期。其中 $FU_1 \sim FU_3$ 為熔斷器。當電動機允許時，可以在 $R_1 \sim R_4$ 位置接入限流電阻，以防止當萬一兩線間的任意兩隻繼電器均誤接通時，限制產生的半周線間短路電流不超過繼電器所能承受的浪湧電流，從而避免燒毀繼電器等事故，確保安全性；但副作用是正常工作時電阻上將產生壓降和功耗。該電路建議採用額定電壓為

660V 或更高一點的 SSR 產品。

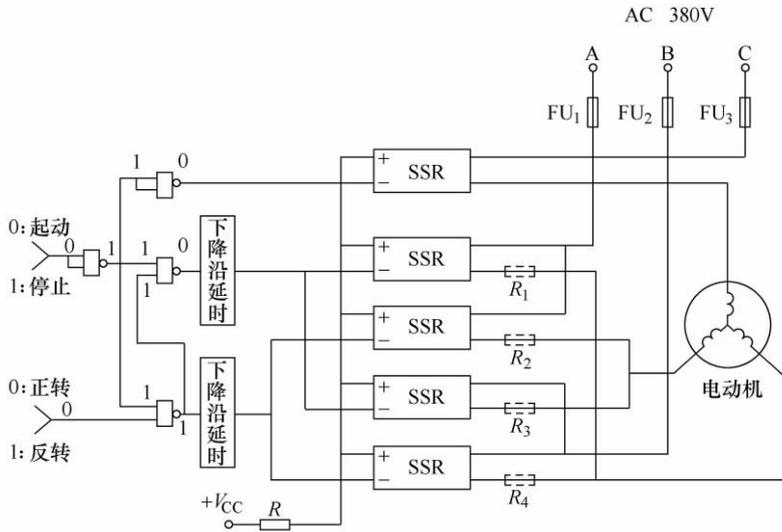


圖 8-20 電腦控制三相交流電動機正反轉的介面及驅動電路

由前述可以看到，SSR 的性能與電磁式繼電器相比有著很多的優越性，特別易於實現電腦的程式設計控制，因此使得控制的實現更加方便、靈活。但它也存在一些弱點，如導通電阻

(幾 Ω 到幾十 Ω)、通態壓降 (小於 2V)、斷態漏電流 (5~10mA) 等的存在，易發熱損壞；截止時存在漏電阻，不能使電路完全分開；易受溫度和輻射的影響，穩定性差；靈敏度高，易產生誤動作；在需要聯鎖、互鎖的控制電路中，保護電路的增設，使得成本上升、體積增大。因此，對於 SSR 具有的獨特性能，必須正確理解和謹慎使用，方能發揮其獨特的性能，並確保 SSR 無故障的工作。

第 9 講 普通機床的電氣控制



導讀

機床的管理、維護及維修更新工作的目標首先在於使機床最大限度發揮其應用的性能並延長其工作壽命，這樣可以使企業獲得最大的效益。機床的身價從幾萬元到上千萬元，一般都是企業中關鍵產品關鍵工序的關鍵設備，一旦故障停機，其影響和損失往往很大。

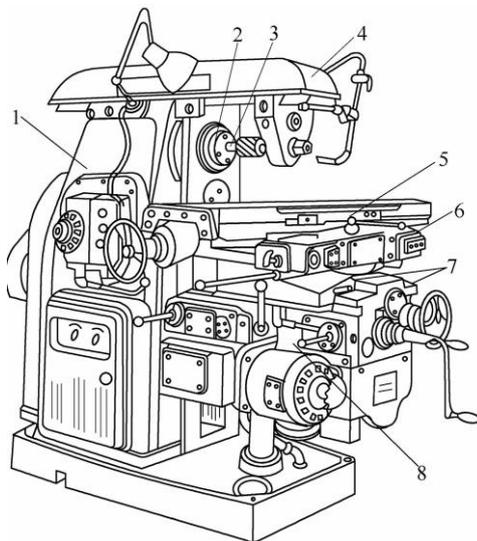
但是，人們對這樣的設備往往更多的是看重其效能，不僅對其合理的使用不夠重視，更對其保養和維修工作關注太少，日常不注意保養與維修工作條件的創造和投入，故障出現臨時抱佛腳的現象很是普遍。因此，本講側重對三種常見的普通機床的電氣控制進行了歸納和總結，讓維修電工瞭解和掌握維修機床的知識和技能。

9.1 萬能銑床及其電氣控制

1.X62W 萬能銑床的結構

(1) X62W 萬能銑床簡介

X62W 型萬能銑床的外形結構如圖 9-1 所示，它主要由床身、主軸、刀杆、橫樑、工作臺、回轉盤、橫溜板、升降臺、底座等幾部分組成。箱形的床身固定在底座上，床身內裝有主軸的傳動機構和變速操縱機構。在床身的頂部有水準導軌，上面裝有帶有一個或兩個刀杆支架的懸樑。刀杆支架用來支撐銑刀心軸的一端，心軸的另外一端則固定在主軸上，由主軸帶動銑刀銑削。刀杆支架在懸樑上以及懸樑在床身頂部的水準導軌上都可以做水準移動，以便安裝不同的心軸。在床身的前面有垂直導軌，升降臺可以沿著它上下移動。在升降臺上面的水準導軌上，裝有可在平行主軸軸線方向移動（前後移動）的溜板。溜板上部有可轉動的回轉盤，工作臺就在溜板上部回轉盤上的導軌上作垂直于主軸軸向方向移動



（左右移動）。工作臺上有 T 形槽用來固定工件。

圖 9-1 X62W 萬能銑床外形結構圖這樣，安裝在工作臺上的工件就可以在三個座標 1—床身 2—主軸 3—刀杆 4—橫樑上的六個方向調整位置或送給。

5—工作臺 6—回轉盤 7—橫溜板 8—升降臺

此外，由於回轉盤相對於溜板可繞中心軸線左右轉過一個角度（通常為士 45° ），因此，工作臺在水平面上除了能在平行或垂直於主軸軸線方向送給之外，還能在傾斜方向送給，可以加工螺旋槽，故稱萬能銑床。銑削是一種高效率的加工方式。X62W 萬能銑床主要用於加工零件的平面，斜面，溝槽等型面；安裝分度頭後，可加工直齒輪或螺旋面，安裝回轉圓工作臺則可加工凸輪和弧形槽。

（2）電力拖動的特點及控制要求

X62W 臥式萬能銑床有三種運動：銑床主軸帶動銑刀的旋轉運動是主運動；銑床工作臺的前後（橫向）、左右（縱向）和上下（垂直）六個方向的運動是送給運動；銑床其他的運動，如工作臺的旋轉運動則屬於輔助運動。

1) 主運動：主軸帶動銑刀的旋轉運動，主軸通過變換齒輪實現變速，有變速衝動控制。主軸電動機的正、反轉改變主軸的轉向，實現順銑和逆銑。為減小負載波動對銑刀轉速的影響，以保證加工品質，主軸上裝有飛輪，轉動慣量較大，要求主軸電動機有停車制動控制。

2) 送給運動：加工中工作臺或送給箱帶動工件的移動，以及圓工作臺的旋轉運動（即工件相對銑刀的移動）。工作臺的縱向（左、右）、橫向（前後）、垂直（上下）六個方向的送給運動由送給電動機 M 拖動，六個方向由操作手柄改變傳動鍵實現。要求電動機 M₂ 正反轉及各運動之間有聯鎖（只能一個方向運動）控制。工作臺能通過電磁鐵吸合改變傳動鍵的傳動比實現快速移動，有變速衝動控制。使用圓工作臺時，圓工作臺旋轉與工作臺的移動運動有聯鎖控制。

主軸旋轉與工作送給有聯鎖：銑刀旋轉後，才能送給。送給結束後，銑刀旋轉才能結束。主運動和送給運動設有比例調速要求，主軸與工作臺單獨拖動，為操作方便，應能在兩處控制各部件的起停。

2. 電氣控制物件

圖 9-2 所示為 X62W 型臥式萬能銑床電氣控制原理圖。該機床共有三台電動機。

M₁ 是主軸電動機，在電氣上需要實現起動控制與制動快速停轉控制，為了完成順銑與逆銑，還需要正反轉控制，此外還需主軸臨時制動以完成變速操作過程。

M₂ 是工作臺送給電動機，X62W 萬能銑床有水準工作臺和圓形工作臺，其中水準工作臺可以實現縱向送給（有左右兩個送給方向）、橫向送給（有前後兩個送給方向）和升降送給

(有上下兩個進給方向)、圓工作臺轉動等四個運動，銑床當前只能進行一個進給運動(普通銑床上不能實現兩個或以上多個進給運動的聯動)，通過水準工作臺操作手柄、圓工作臺轉換開關、縱向進給操作手柄、十字複式操作手柄等選定，選定後 M_2 的正反轉就是所選定進給運動的兩個進給方向。

YA 是快速牽引電磁鐵。當快速牽引電磁鐵線圈通電後，牽引電磁鐵通過牽引快速離合器中的連接控制部件，使水準工作臺與快速離合器連接實現快速移動，當 YA 斷電時，水準工作臺脫開快速離合器，恢復慢速移動。

M_3 是冷卻泵電動機，只有在主軸電動機 M_1 起動後，冷卻泵電動機才能起動。

3. 主電路識讀

如圖 9-2 所示，主電路包括三台電動機。 M_1 是主軸電動機， M_2 是進給電動機， M_3 是冷卻泵電動機。

1) 主軸電動機 M_1 通過換相開關 SA_5 與接觸器 KM_1 配合，能進行正反轉控制，而與接觸器 KM_2 、制動電阻器 R 及速度繼電器的配合，能實現串電阻暫態衝動和正反轉反接制動控制，並能通過機械進行變速。

2) 進給電動機 M_2 能進行正反轉控制，通過接觸器 KM_3 、 KM_4 與行程開關及 KM_5 、牽

电源开关	总短路保护	主轴电动机		进给短路保护	进给电动机		冷却泵电动机	控制、照明电源及短路保护	照明灯	冷却泵电动机	主轴控制		工作台进给、冲动及圆工作台的控制		
		正反转	制动及冲动		正转	反转					变速冲动及制动	正反转起动	冲动、右、前、下	左、后、上	快速

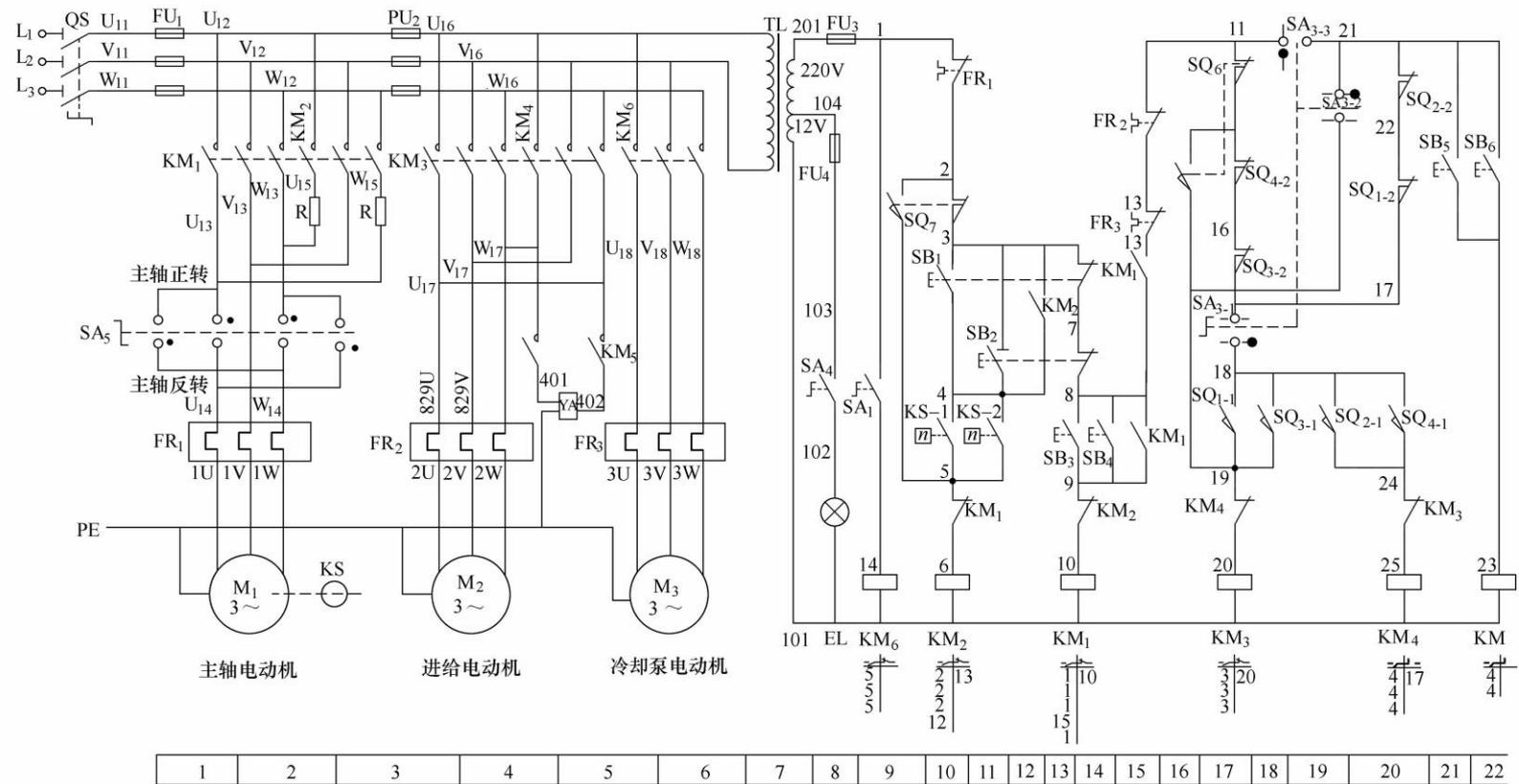


图9-2 X62W型卧式万能铣床电气控制原理图

引電磁鐵 YA 配合，能實現逆給變速時的暫態衝動、六個方向的常速逆給和快速逆給控制。

3) 冷卻泵電動機 M₃ 只能正轉。

4) 熔斷器 FU₁ 用於機床總短路保護，也兼作 M₁ 的短路保護；FU₂ 作為 M₂、M₃ 及控制變壓器 TC、照明燈 EL 的短路保護；熱繼電器 FR₁、FR₂、FR₃ 分別作為 M₁、M₂、M₃ 的超載保護。

4. 控制線路識讀

(1) 主軸電動機的控制 (電路見圖 9-3)

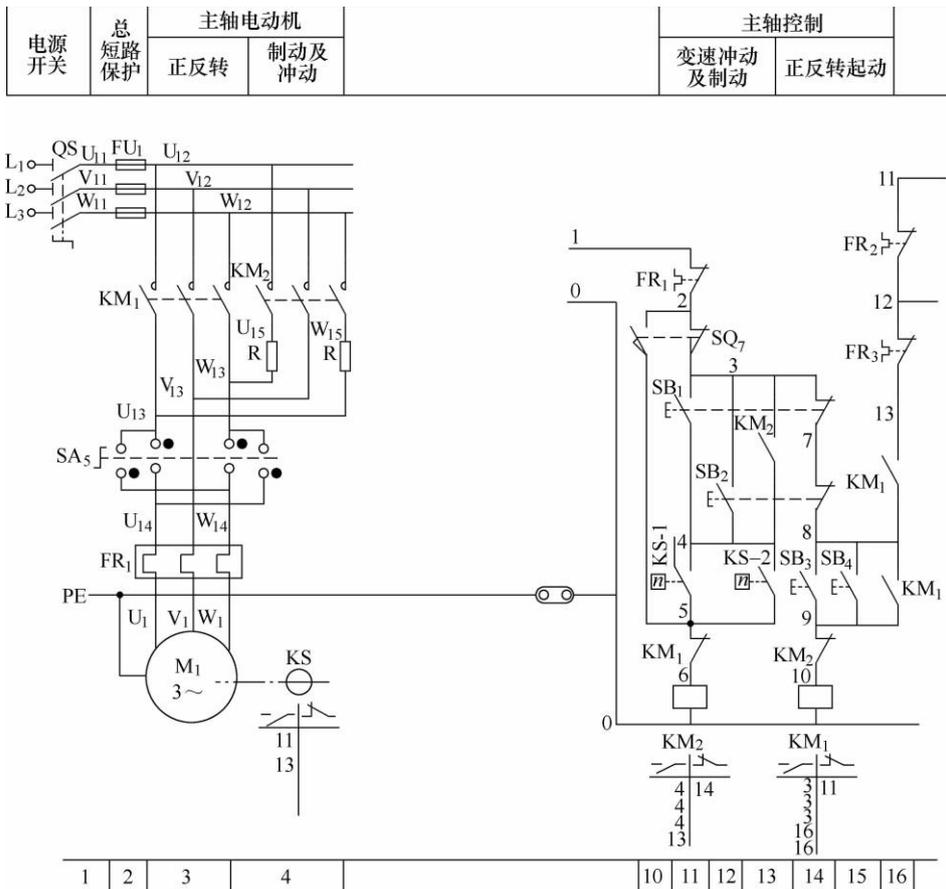


圖 9-3 主軸電動機控制電氣原理

1) SB₁、SB₃ 與 SB₂、SB₄ 是分別裝在機床兩邊的停止（制動）和起動按鈕，實現兩地控制，方便操作。

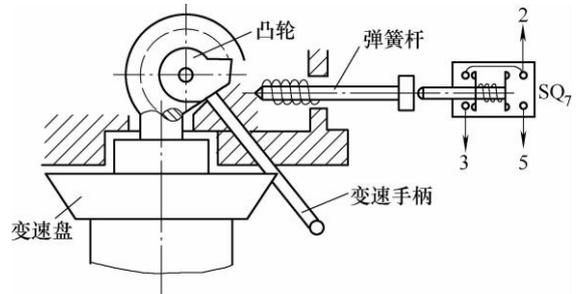
2) KM₁ 是主軸電動機起動接觸器，KM₂ 是反接制動和主軸變速衝動接觸器。

- 3) SQ_7 是與主軸變速手柄聯動的暫態動作行程開關。
- 4) 主軸電動機需起動時，要先將 SA_5 扳到主軸電動機所需要的旋轉方向，然後再按起動按鈕 SB_3 或 SB_4 來起動電動機 M_1 。
- 5) M_1 起動後，速度繼電器 KS 的一副動合觸點閉合，為主軸電動機的停轉制動作好準備。
- 6) 停車時，按停止按鈕 SB_1 或 SB_2 切斷 KM_1 電路，接通 KM_2 電路，改變 M_1 的電源相序進行串電阻反接制動。當 M_1 的轉速低於 $120r/min$ 時，速度繼電器 KS 的一副動合觸點恢復斷開，切斷 KM_2 電路， M_1 停轉，制動結束。

據以上分析可寫出主軸電動機轉動（即按 SB_3 或 SB_4 ）時控制線路的通路：1—2—3—7—8—9—10— KM_1 線圈—0；主軸停止與反接制動（即按 SB_1 或 SB_2 ）時的通路：1—2—3—4—5—6— KM_2 線圈—0

- 7) 主軸電動機變速時的瞬動（衝動）控制，是利用變速手柄與衝動行程開關 SQ_7 通過機械上聯動機構進行控制的。

變速時，先下壓變速手柄，然後拉到前面，當快要落到第二道槽時，轉動變速盤，選擇需要的轉速。此時凸輪壓下彈簧杆，使衝動行程 SQ_7 的動斷觸點先斷開，切斷 KM_1 線圈的電路，電動機 M_1 斷電；同時 SQ_7 的動合觸點後接通， KM_2 線圈得電動作， M_1 被反接制動。當手柄拉到第二道槽時， SQ_7 不受凸輪控制而復位， M_1 停轉。接著把手柄從第二道槽推回原始位置時，凸輪又暫態壓動行程開關 SQ_7 ，使 M_1 反向暫態衝動一下，以利於變速後的齒輪嚙合。圖 9-4 所示為主



主軸變速衝動控制示意圖

圖 9-4 主軸變速衝動控制示意圖軸變速衝動控制示意圖。

但要注意，不論是開車還是停車時，都應以較快的速度把手柄推回原始位置，以免通電時間過長，引起 M_1 轉速過高而打壞齒輪。

(2) 工作臺進給電動機的控制

工作臺的縱向、橫向和垂直運動都由逆給電動機 M_2 驅動，接觸器 KM_3 和 KM_4 使 M_2 實現正反轉，用以改變逆給運動方向。它的控制電路採用了與縱向運動機械操作手柄聯動的行程開關 SQ_1 、 SQ_2 和橫向及垂直運動機械操作手柄聯動的行程開關 SQ_3 、 SQ_4 ，組成複合聯鎖控制。即在選擇三種運動形式的六個方向移動時，只能進行其中一個方向的移動，以確保操作安全，當這兩個機械操作手柄都在中間位置時，各行程開關都處於未壓的原始狀態。

由原理圖可知： M_2 電機在主軸電機 M_1 起動後才能進行工作。在機床接通電源後，將控制圓工作臺的組合開關 SA_{3-2} （21—19）扳到斷開狀態，使觸點 SA_{3-1} （17—18）和 SA_{3-3} （11—21）閉合，然後按下 SB_3 或 SB_4 ，這時接觸器 KM_1 吸合，使 KM_1 （8—12）閉合，就可進行工作臺的逆給控制。

1) 工作臺縱向（左右）運動的控制，工作臺的縱向運動是由逆給電動機 M_2 驅動，由縱向操縱手柄來控制的。此手柄是複式的，一個安裝在工作臺底座的頂面中央部位，另一個安裝在工作臺底座的左下方。手柄有三個：向左、向右、零位。當手柄扳到向右或向左運動方向時，手柄的聯動機構壓下行程開關 SQ_2 或 SQ_1 ，使接觸器 KM_4 或 KM_3 動作，控制逆給電動機 M_2 的轉向。工作臺左右運動的行程，可通過調整安裝在工作臺兩端的撞鐵位置來實現。當工作臺縱向運動到極限位置時，撞鐵撞動縱向操縱手柄，使它回到零位， M_2 停轉，工作臺停止運動，從而實現了縱向終端保護。

工作臺向左運動：在 M_1 起動後，將縱向操作手柄扳至向右位置，一方面機械接通縱向離合器，同時在電氣上壓下 SQ_2 ，使 SQ_{2-2} 斷， SQ_{2-1} 通，而其他控制逆給運動的行程開關都處於原始位置，此時使 KM_4 吸合， M_2 反轉，工作臺向左逆給運動。其控制電路的通路為：11—15—16—17—18—24—25— KM_4 線圈—0。工作臺向右運動：當縱向操縱手柄扳至向左位置時，機械上仍然接通縱向逆給離合器，但卻壓動了行程開關 SQ_1 ，使 SQ_{1-2} 斷， SQ_{1-1} 通，使 KM_3 吸合， M_2 正轉，工作臺向右逆給運動，其通路為 11—15—16—17—18—19—20— KM_3 線圈—0。

2) 工作臺垂直（上下）和橫向（前後）運動的控制：工作臺的垂直和橫向運動，由垂直和橫向逆給手柄操縱。此手柄也是複式的，有兩個完全相同的手柄分別裝在工作臺左側的前、後方。手柄的聯動機械一方面壓下行程開關 SQ_3 或 SQ_4 ，同時能接通垂直或橫向逆給

離合器。操縱手柄有五個位置（上、下、前、後、中間），五個位置是聯鎖的，工作臺的上下和前後的終端保護是利用裝在床身導軌旁與工作臺座上的撞鐵，將操縱十字手柄撞到中間位置，使 M_2 斷電停轉。

工作臺向後（或者向上）運動的控制：將十字操縱手柄扳至向後（或者向上）位置時，機械上接通橫向進給（或者垂直進給）離合器，同時壓下 SQ_3 ，使 SQ_{3-2} 斷， SQ_{3-1} 通，使 KM_3 吸合， M_2 正轉，工作臺向後（或者向上）運動。

其通路為 11—21—22—17—18—19—20— KM_3 線圈—0；工作臺向後（或者向上）運動的控制：將十字操縱手柄扳至向前（或者向下）位置時，機械上接通橫向進給（或者垂直進給）離合器，同時壓下 SQ_4 ，使 SQ_{4-2} 斷， SQ_{4-1} 通，使 KM_4 吸合， M_2 反轉，工作臺向前

（或者向下）運動。其通路為：11—21—22—17—18—24—25— KM_4 線圈—0。

3) 進給電動機變速時的瞬動（衝動）控制：變速時，為使齒輪易於嚙合，進給變速與主軸變速一樣，設有變速衝動環節。當需要進行進給變速時，應將轉速盤的蘑菇形手輪向外拉出並轉動轉速盤，把所需進給量的尺規數字對準箭頭，然後再把蘑菇形手輪用力向外拉到極限位置並隨即推向原位，就在一次操縱手輪的同時，其連杆機構二次暫態壓下行程開關 SQ_6 ，使 KM_3 暫態吸合， M_2 作正向瞬動。

其通路為 11—21—22—17—16—15—19—20— KM_3 線圈—0。由於進給變速暫態衝動的通電回路要經過 $SQ_1 \sim SQ_4$ 四個行程開關的動斷觸點，因此只有當進給運動的操作手柄都在中間（停止）位置時，才能實現進給變速衝動控制，以保證操作時的安全。同時，與主軸變速時衝動控制一樣，電動機的通電時間不能太長，以防止轉速過高，在變速時打壞齒輪。

4) 工作臺的快速進給控制：為提高勞動生產率，要求銑床在不作銑切加工時，工作臺能快速移動。

工作臺快速進給也是由進給電動機 M_2 來驅動的，在縱向、橫向和垂直三種運動形式六個方向上都可以實現快速進給控制。

主軸電動機起動後，將進給操縱手柄扳到所需位置，工作臺按照選定的速度和方向作常速進給移動時，再按下快速進給按鈕 SB_5 （或 SB_6 ），使接觸器 KM_5 通電吸合，接通牽引電磁鐵 YA ，電磁鐵通過杠杆使摩擦離合器合上，減少中間傳動裝置，使工作臺按運動方向作快

速送給運動。當鬆開快速送給按鈕時，電磁鐵 YA 斷電，摩擦離合器斷開，快速送給運動停止，工作臺仍按原常速送給時的速度繼續運動。

(3) 圓工作臺運動的控制

銑床如需銑切螺旋槽、弧形槽等曲線時，可在工作臺上安裝圓形工作臺及其傳動機械，圓形工作臺的回轉運動也是由送給電動機 M_2 傳動機構驅動的。

圓工作臺工作時，應先將送給操作手柄都扳到中間（停止）位置，然後將圓工作臺組合開關 SA_3 扳到圓工作臺接通位置。此時 SA_{3-1} 斷， SA_{3-3} 斷， SA_{3-2} 通。準備就緒後，按下主軸起動按鈕 SB_3 或 SB_4 ，則接觸器 KM_1 與 KM_3 相繼吸合。主軸電動機 M_1 與送給電動機 M_2 相繼起動並運轉，而送給電動機僅以正轉方向帶動圓工作臺作定向回轉運動。其通路為 11—15—16—17—22—21—19—20— KM_3 線圈—0，由上可知，圓工作臺與工作臺送給有互鎖，即當圓工作臺工作時，不允許工作臺在縱向、橫向、垂直方向上有任何運動。若誤操作而扳動送給運動操縱手柄（即壓下 $SQ_1 \sim SQ_4$ 、 SQ_6 中任一個）， M_2 即停轉。

9.2 萬能外圓磨床及其電氣控制

1. 設備概況

磨床系指用磨具或磨料加工工件各種表面的機床。一般用於對零件淬硬表面做磨削加工。通常，磨具旋轉為主運動，工件或磨具的移動為送給運動，其應用廣泛、加工精度高、表面粗糙度小。

磨床種類很多，可分為十餘種：外圓磨床、內圓磨床、平面磨床、多用磨床、專用磨床等。

圖 9-5 所示為 M1432 型萬能外圓磨床，用於磨削圓柱形和圓錐形零件的外圓和內孔，主要由床身、頭架、砂輪架、內磨裝置、工作臺和尾架組成。

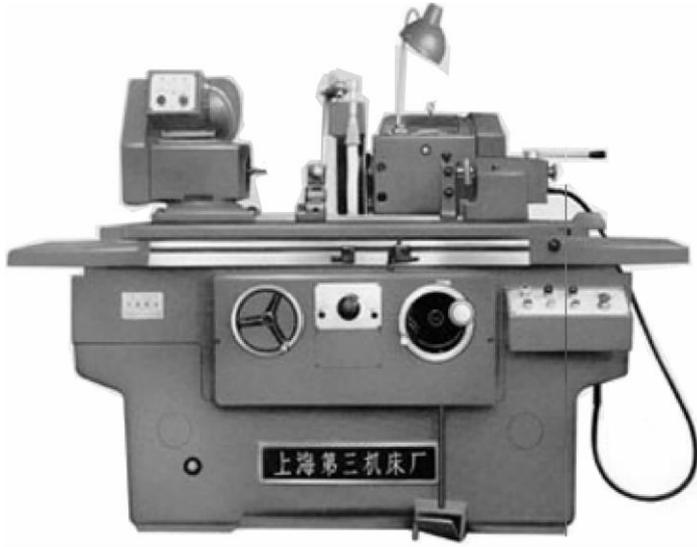


圖 9-5 M1432 型萬能外圓磨床

萬能外圓磨床加工時的運動情況如下：

主運動：砂輪架帶動砂輪高速旋轉，頭架主軸帶動工件做旋轉運動。

進給運動：工作臺縱向（軸向）往復運動，砂輪架橫向（徑向）進給運動。

輔助運動：砂輪架快速進退運動。

2.主電路設計及分析

圖 9-6 所示為 M1432 型萬能外圓磨床的電氣控制電路。表 9-1 為 M1432A 型萬能外圓磨床電器元件明細表。

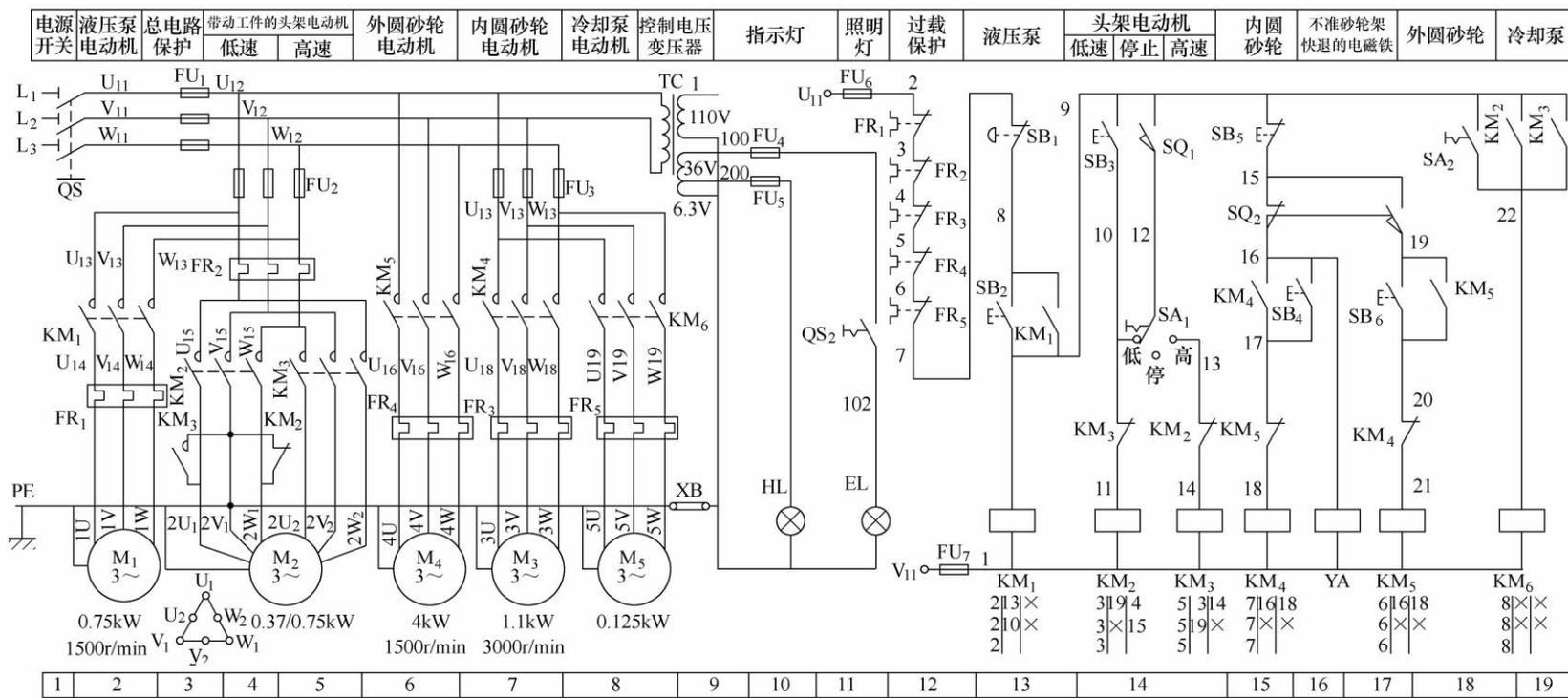


图9-6 M1432型万能外圆磨床电气控制电路

表 9-1 M1432A 型萬能外圓磨床電器元件明細表

代號	名稱	型號	規格	數量
M ₁	泵電動機	Y802—4/B5	0.75kW、380V、4 極 1500r/min	1
M ₂	頭架電動機	YUD90LA—814	0.37/5kW、380V814 極	1
M ₃	內圓電動機	Y302—2	1.1kW380V2 極 3000r/min	1
M ₄	外圓電動機	Y112M-4	4kW380V4 極 1500r/min	1
M ₅	冷卻泵電動機	DB-25	0.125kW 380V2 極	1
KM	交流接觸器	CJ10-10	380V 10A 線圈電壓 380	6
FR	熱繼電器	JR16B-20/3	20A 3 極	5
FU ₁	螺旋式熔斷器	RL1-60/25	380V 60A 配熔體 25A	3
FU ₂	螺旋式熔斷器	RL1-15/10	380V 15A 配熔體 10A	6
FU ₃	螺旋式熔斷器	RL1-15/10	380V 15A 配熔體 10A	6
FU ₄	螺旋式熔斷器	RL1-15/2	380V 15A 配熔體 2A	2
FU ₅	熔斷器	RL1-15/2	380V 15A 配熔體 2A	1
SA ₁	選擇轉速開關	LAY3-22*13	單極 3 位；380V、6A	1
SA ₂	冷卻泵開關	LAY3-11 /2	單極 3 位；380V、6A	1
SA ₃	照明開關	LAY3-11 /2	單極 3 位；380V	1
SB	按鈕	LA10-3H	380V 5A 3 位	2
SQ	位置開關	LX1-111	380V 5A	2
YA	電磁鐵	MQW-0.7	380V 0.7	1
TC	變壓器	BKC-150	380/36 24 6V	1
EL	照明燈	JC6-1	24V 40W	1
HL	指示燈	DS22-2/T	0.15A 6~8V	1

其主電路設計如下：

- 1) M₁ 電動機是油泵電動機，它給液壓傳動系統提供壓力油，由 KM₁ 控制。
- 2) M₂ 是雙速電動機（叫頭架電動機），是帶動工件旋轉的電動機，由 KM₂、KM₃ 實現低速和高速控制。
- 3) M₃ 是內圓砂輪電動機，由 KM₄ 控制。
- 4) M₄ 是外圓砂輪電動機，由 KM₅ 控制。
- 5) M₅ 是冷卻泵電動機，給砂輪和工件提供冷卻液，由 KM₆ 控制。

6) FU_1 為線路總的短路保護， FU_2 為 M_1 和 M_2 電動機的短路保護， FU_3 為 M_3 和 M_5 電動機的短路保護。 FR_1 、 FR_2 、 FR_3 、 FR_4 、 FR_5 分別是 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 的超載保護。

3. 控制電路設計及分析

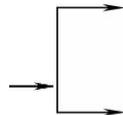
合上電源開關 QS → 指示燈 HL 燈亮合上 QS_2

→ 照明燈 EL 亮

(1) 油泵電動機 M_1 的控制

KM_1 動合觸點閉合自鎖 → 後面電

下起動按鈕 SB_2 → KM_1 線圈得電



路才能得電實現順序控制按

KM_1 主觸點閉合 → 油泵電動機

M_1 起動供給壓力油

·130·

零起點學維修電工技術

(2) 頭架電動機 M_2 的控制

低速： SA_1 是頭架電動機的轉速選擇開關，分“低”、“停”、“高”三擋位置，如將 SA_1 扳到“低”擋位置，按下油泵電動機 M_1 的起動按鈕 SB_2 ， M_1 起動，通過液壓傳動使砂輪架快速前進，當接近工件時，便壓合位置開關 SQ_1 → KM_2 線圈得電。

→ KM_2 聯鎖觸點分斷對 KM_3 聯鎖

→ KM_2 主觸點閉合 → 電動機 M_2 接成 Δ 形低速運行

KM_2 輔助常開閉合 → KM_6 線圈得電 → KM_6 主觸點閉合 → 電動機 M_5 得電運轉提供冷卻液

高速：將轉速開關 SA_1 扳到“高”擋位置，砂輪架快速前進，當接近工件，壓合位置。

開關 SQ_1 → KM_3 線圈得電 →

→ KM_3 聯鎖觸點分斷對 KM_3 聯鎖

→ KM_3 主觸點閉合 → 電動機 M_2 接成 YY 形高速運行

KM_3 輔助常開閉合 → KM_6 線圈得電 → KM_6 主觸點閉合 → 電動機 M_5 得電運轉提供冷卻液

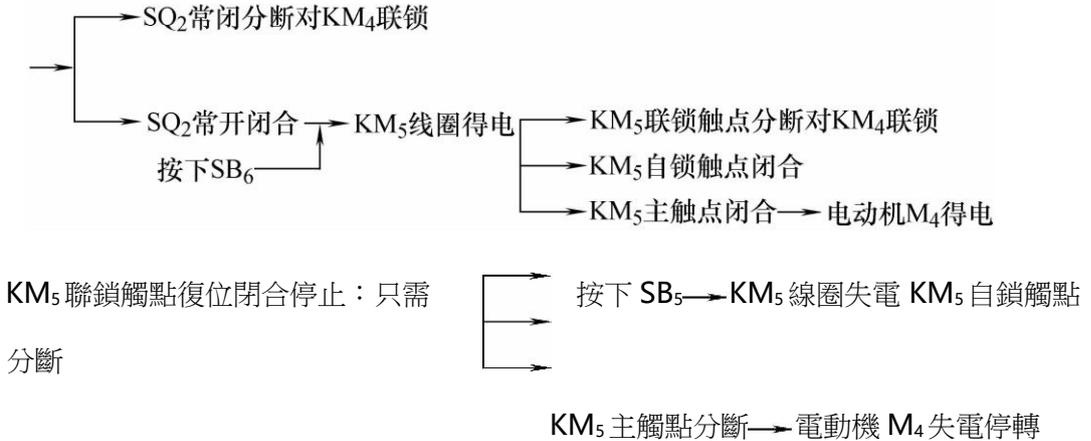
SB₃是點動控制按鈕，用於對工件進行校正和調試。

磨削完畢，砂輪架退回原位，位置開關 SQ₁ 重定斷開，電動機 M₂ 自動停轉。

(3) 外圓砂輪電動機 M₃ 和 M₄ 控制

內、外圓砂輪電動機不能同時起動，由位置開關 SQ₂ 對它們實際聯鎖。

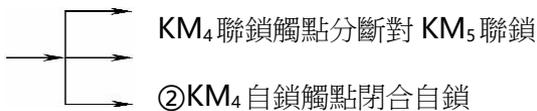
當外圓磨削時，把砂輪架上的內圓磨具往上翻，它的後側壓住位置開關 SQ₂



當內圓磨時：將內圓磨具翻下，原被內圓磨具壓下的位置開關 SQ₂ 重定，SQ₂ 常開恢復分斷



① → 銜鐵被吸下，砂輪架快速進退的操縱手柄鎖住液壓回路，使砂輪架不能快速退回



內圓砂輪電動機 M₃ 起動運行內圓砂輪磨削時，砂輪架是不允許快速退回的，因為此時圓磨頭在工件內孔，砂輪架若快速移動，易造成損壞磨具及工件報廢的嚴重事故。

(4) 冷卻泵電動機 M₅ 的控制：

當 KM₂ 或 KM₃ 線圈得電吸合時，利用 KM₂ 或 KM₃ 輔助動合觸點閉合，使 KM₆ 線圈得電吸合 → 冷卻泵電動機 M₅ 自動起動。

修整砂輪時，不需要起動頭架電動機 M_2 ，但要起動冷卻泵電動機 M_5 。為此，備有轉換開關 SA_2 ，在修整砂輪時用來控制冷卻泵電動機。

(5) 停止：按下 SB_1 ， KM_1 線圈失電

 KM_1 主觸點分斷 → 電動機 M_1 失電停轉

KM_1 自鎖觸點分斷 → 後面電路不能得電，其餘接觸器所需的電源都從接觸器 KM_1

自鎖觸頭後面接出，所以當油泵電動機停止後，其餘電動機才能停止。

(6) 照明及指示燈線路由變壓器 TC 降壓為 $36V$ 電壓供照明， $6.3V$ 供指示燈。

(7) 切斷電源  開關 QS_1 斷開 QS_2 → 照明燈 EL 滅
指示燈 HL 燈滅

4.故障分析及解決方法

正常運行情況下， $M1432$ 型萬能外圓磨床能夠實現它自己的功能，但是當執行時間過長或者運行不當，會出現一些故障，這時我們應該避免出現下邊的這些情況。表 9-2 所示為 $M1432$ 型萬能外圓磨床的故障現象、故障原因及其處理方法。

表 9-2 $M1432$ 型萬能外圓磨床的故障現象、故障原因及其處理方法

故障現象	故障原因	處理方法
M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 五台電動機都不起動，三相電源 L_1 、 L_2 、 L_3 之間的相間電壓正常	1) FU_1 熔絲熔斷 2) $FR_1 \sim FR_5$ 中有脫扣 3) KM_1 線圈斷或脫落 4) SB_1 、 SB_2 的接線脫落	1) 查找熔斷原因，更換熔絲 2) 按動熱繼電器重定按鈕便可重定，但要查明超載原因 3) 測量線圈通路和緊固接線 4) 檢查 SB_1 、 SB_2 接觸情況並緊固接線
M_1 、 M_2 兩台電動機不能起動	FU_2 三相熔絲或兩相熔絲熔斷	查明原因更換熔絲
M_2 低速能起動，高速不能起動	1) SA_3 有故障，可能是接觸不良，以至造成 KM_3 無法通電，高速不能起動 2) KM_2 常閉，或 KM_3 控制電路有故障或接線脫落	1) 修復或更換新開關 2) 檢查修復 KM_2 動斷觸點，測量線圈通路，更換線圈或緊固導線接頭

<p>SA₁ 開關置於斷開位置，無論頭架電動機是高速起動，還是低速起動，冷卻泵電動機都不起動。巨無異常聲響</p>	<p>1) KM₂、KM₃ 動合輔助觸點接線 13 線松脫，或 37 線松脫</p> <p>2) KM₂、KM₃ 動合輔助觸點丟失或損壞，當線圈 KM₂、KM₃ 通電吸合時，使其不能閉合</p> <p>3) KM₆ 接頭松脫或線圈斷路</p>	<p>1) 檢查 13、37 接線點是否松脫，緊固接線</p> <p>2) 檢查 KM₂、KM₃ 動合輔助觸點，動靜恢復或更換</p> <p>3) 檢查、接實線頭或更換線圈</p>
<p>頭架電動機高、低速均能起動，SA₁ 置於閉合狀態，冷卻泵電動機 M₅ 也不能起動</p>	<p>1) 13 或 37 接線脫落</p> <p>2) KM₆ 線圈斷路或引出線圈松脫</p> <p>3) 37 線斷路</p> <p>4) N 線與 KM₆ 未接實</p>	<p>1) 檢查 13、37 接線，緊固接頭</p> <p>2) 測線圈電阻，檢查線圈引出線端並接實</p> <p>3) 檢查 N 線與 KM₆ 接線處並接實</p>

·132·

零起點學維修電工技術

(續)

故障現象	故障原因	處理方法
<p>主電路沒有任何短路之處，SA₁ 及 SA₂ 均在斷開位置，一經合 QS 開關 W 相，FU₁ 立即熔斷</p>	<p>1) 照明變壓器一次側繞組嚴重短路或燒毀</p> <p>2) 控制電路控制 W 相接地</p>	<p>1) 通電後，W 相 FU₁ 熔斷後立即用手搭一下變壓器或聞一聞，若有焦臭味或很熱，更換新變壓器或重繞</p> <p>2) 用絕緣電阻表測 W 相對 N 線的絕緣電阻，找出接地點，處理好絕緣</p>
<p>進行內圓磨削加工時，將內圓磨具砂輪架翻下來後，不能阻止砂輪架的快速迸退，造成事故</p>	<p>1) 電磁鐵 YA25 線—YA 線圈—N 間有斷路處，未能吸合</p> <p>2) 電磁鐵吸合的銜鐵由於機械故障被卡死，不能吸合這種情況，電磁鐵要發出異常響聲，而巨這種故障並不多見</p>	<p>1) 從 25 接線點開始至 YA 線圈至 N 線逐點、逐段的檢測，發現故障後修復</p> <p>2) 檢查電磁鐵吸合動作情況是否良好</p>
<p>只有油泵電動機 M₁ 能起動並能運轉，其餘 M₂、M₃、M₄、M₅ 均不能起動</p>	<p>KM₁ 常開自鎖已閉合好，問題就出在 KM₁ 自鎖閉合後提供其他四台電動機控制電源的引線 13 的脫落</p>	<p>查明故障，接實 13 控制線</p>

9.3 搖臂鑽床及其電氣控制

1.Z3050 搖臂鑽床的主要結構及運動形式

(1) 主要結構

鑽床是一種用途廣泛的孔加工機床，主要用於鑽削精度要求不太高的孔，另外還可用來擴孔、鉸孔、鏤孔，以及刮平面、攻螺紋等。鑽床的結構型式很多，有立式鑽床、臥式鑽

床、深孔鑽床及多軸鑽床等。搖臂鑽床是一種立式鑽床，它適用於單件或批量生產中帶有多孔的大型零件的孔加工。這裡以 Z3050 型搖臂鑽床為例進行分析。

Z3050 型搖臂鑽床的外形結構如圖 9-7 所示，它主要由底座、內立柱、外立柱、搖臂、主軸箱、工作臺等組成。內立柱固定在底座上，在它外面套著空心的外立柱，外立柱可繞著內立柱回轉一周，搖臂一端的套筒部分與外立柱滑動配合，借助於絲杆，搖臂可沿著外立柱上下移動，但兩者不能作相對轉動，所以搖臂將與外立柱一起相對內立柱回轉。主軸箱是一個

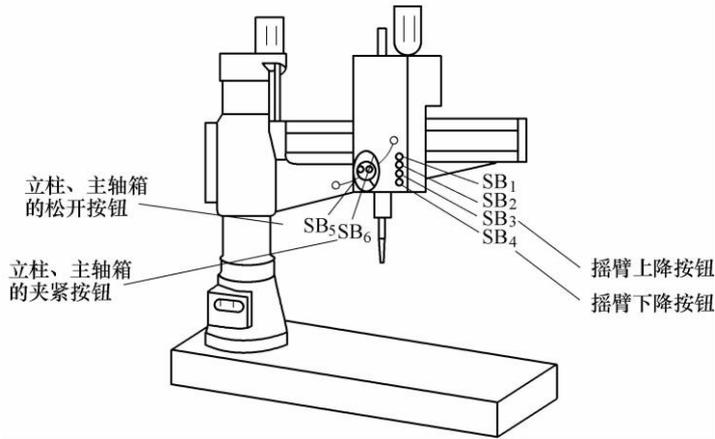
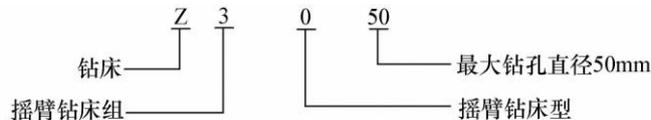


圖 9-7 Z3050 型搖臂鑽床外形結構

個複合的部件，它具有主軸及主軸旋轉部件和主軸進給的全部變速和操縱機構。主軸箱可沿著搖臂上的水準導軌作徑向移動。當進行加工時，可利用特殊的夾緊機構將外立柱緊固在內立柱上，搖臂緊固在外立柱上，主軸箱緊固在搖臂導軌上，然後進行鑽削加工。

型號意義：



(2) 搖臂鑽床的電力拖動特點及控制要求

由於搖臂鑽床的運動部件較多，多採用簡化傳動裝置，使用多電動機拖動，主電動機承擔主鑽削及進給任務，搖臂升降、夾緊放鬆和冷卻泵各用一台電動機拖動。為了適應多種加工方式的要求，主軸及進給應在較大範圍內調速。但這些調速都是機械調速，用手柄操作變速箱調速，對電動機無任何調速要求。從結構上看，主軸變速機構與進給變速機構應該放在一個變速箱內，而巨兩種運動由一台電動機拖動是合理的。

加工螺紋時要求主軸能正反轉。搖臂鑽床的正反轉一般用機械方法實現，電動機只需單方向旋轉。搖臂的升降由單獨電動機拖動，要求能實現正反轉。搖臂的夾緊與放鬆以及立柱

的夾緊與放鬆由一台非同步電動機配合液壓裝置來完成，要求這台電動機能正反轉。搖臂的回轉和主軸箱的徑向移動在中小型搖臂鑽床上都採用手動。

鑽削加工時，為對刀具及工件進行冷卻，需要一台冷卻泵電動機拖動冷卻泵輸送冷卻液。

2.Z3050 電氣控制線路分析

現以 YL-ZZ 型 Z3050 搖臂鑽床為例進行線路分析，如圖 9-8 所示。

(1) 主電路

Z3050 搖臂鑽床共四台電動機，除冷卻泵電動機採用開關直接起動外，其餘三台非同步電動機均採用接觸器控制起動。主電路電源電壓為交流 380V， QF_1 作為電源引入開關。

M_1 是主軸電動機，由交流接觸器 KM_1 控制，只要求單方向旋轉，主軸的正反轉由機械手柄操作。 M_1 裝在主軸箱頂部，帶動主軸及進給傳動系統，熱繼電器 FR_1 是超載保護元件，短路保護電器是總電源開關中的電磁脫扣裝置。

M_2 是搖臂升降電動機，裝於主軸頂部，用接觸器 KM_2 和 KM_3 控制正反轉。因為該電動機短時間工作，故不設超載保護電器。

M_3 是液壓油泵電動機，可以做正向轉動和反向轉動。正向旋轉和反向旋轉的起動與停止由接觸器 KM_4 和 KM_5 控制。熱繼電器 FR_2 是液壓油泵電動機的超載保護電器。該電動機的主要作用是供給夾緊裝置壓力油，實現搖臂和立柱的夾緊和鬆開。

M_4 是冷卻泵電動機，功率很小，由開關直接起動和停止。

搖臂升降電動機 M_2 和液壓油泵電動機 M_3 共用第三個自動斷路器中的電磁脫扣作為短路保護電器。

(2) 控制電路

1) 開車前的準備工作：為了保證操作安全，本機床具有“開門斷電”功能。所以開車前應將立柱下部及搖臂後部的電門蓋關好，方能接通電源。合上 QF_3 及總電源開關 QF_1 ，則

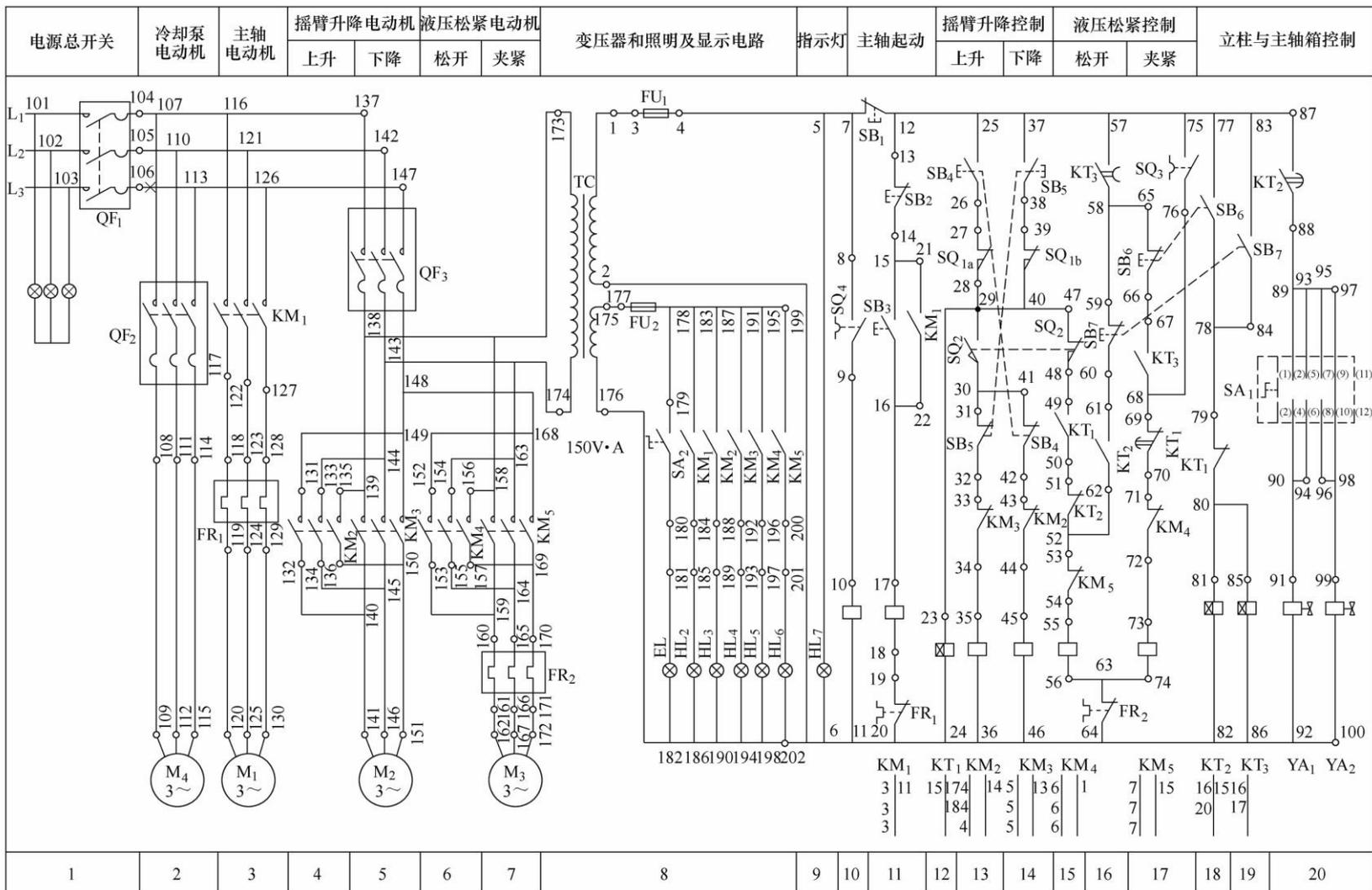


图9-8 Z3050电气控制图

電源指示燈 HL₁ 亮，表示機床的電氣線路已進入帶電狀態。

2) 主軸電動機 M₁ 的控制：按起動按鈕 SB₃，則接觸器 KM₁ 吸合併自鎖，使主電動機 M₁ 起動運行，同時指示燈 HL₂ 亮。按停止按鈕 SB₂，則接觸器 KM₁ 釋放，使主電動機 M₁ 停止旋轉，同時指示燈 HL₂ 熄滅。

3) 搖臂升降控制：

①搖臂上升：按上升按鈕 SB₄，則時間繼電器 KT₁ 通電吸合，它的暫態閉合的動合觸點（17 區）閉合，接觸器 KM₄ 線圈通電，液壓油泵電動機 M₃ 起動正向旋轉，供給壓力油。壓力油經分配閥體進入搖臂的“鬆開油腔”，推動活塞移動，活塞推動菱形塊，將搖臂鬆開。同時，活塞杆通過彈簧片使位置開關 SQ₂，動斷觸點斷開，動合觸點閉合。前者切斷了接觸器 KM₄ 的線圈電路，KM₄ 的主觸頭斷開，液壓油泵電動機停止工作。後者使交流接觸器 KM₂ 的線圈通電，主觸頭接通 M₂ 的電源，搖臂升降電動機起動正向旋轉，帶動搖臂上升，如果此時搖臂尚未鬆開，則位置開關 SQ₂ 動合觸點不閉合，接觸器 KM₂ 就不能吸合，搖臂就不能上升。

當搖臂上升到所需位置時，鬆開按鈕 SB₄ 則接觸器 KM₂ 和時間繼電器 KT₁ 同時斷電釋放，M₂ 停止工作，隨之搖臂停止上升。

由於時間繼電器 KT₁ 斷電釋放，經 1~3s 時間的延時後，其延時閉合的動斷觸點（17 區）閉合，使接觸器 KM₅ 吸合，液壓泵電動機 M₃ 反向旋轉，隨之泵內壓力油經分配閥進入搖臂的“夾緊油腔”，搖臂夾緊。在搖臂夾緊的同時，活塞杆通過彈簧片使位置開關 SQ₃ 的動斷觸點斷開，KM₅ 斷電釋放，最終停止 M₃ 工作，完成了搖臂的鬆開→上升→夾緊的整套動作。

②搖臂下降：按下降按鈕 SB₅，則時間繼電器 KT₁ 通電吸合，其動合觸點閉合，接通 KM₄ 線圈電源，液壓油泵電動機 M₃ 起動正向旋轉，供給壓力油。與前面敘述的過程相似，先使搖臂鬆開，接著壓動位置開關 SQ₂。其動斷觸點斷開，使 KM₄ 斷電釋放，液壓油泵電動機停止工作；其動合觸點閉合，使 KM₃ 線圈通電，搖臂升降電動機 M₂ 反向運轉，帶動搖臂下降。

當搖臂下降到所需位置時，鬆開按鈕 SB_5 ，則接觸器 KM_3 和時間繼電器 KT_1 同時斷電釋放， M_2 停止工作，搖臂停止下降。

由於時間繼電器 KT_1 斷電釋放，經 $1\sim 3s$ 時間的延時後，其延時閉合的常動中斷點閉合， KM_5 線圈獲電，液壓泵電動機 M_3 反向旋轉，隨之搖臂夾緊。在搖臂夾緊同時，使位置開關 SQ_3 斷開， KM_5 斷電釋放，最終停止 M_3 工作，完成了搖臂的鬆開→下降→夾緊的整套動作。

組合開關 SQ_{1a} 和 SQ_{1b} 用來限制搖臂的升降過程。當搖臂上升到極限位置時， SQ_{1a} 動作，接觸器 KM_2 斷電釋放， M_2 停止運行，搖臂停止上升；當搖臂下降到極限位置時， SQ_{1b} 動作，接觸器 KM_3 斷電釋放， M_2 停止運行，搖臂停止下降。

搖臂的自動夾緊由位置開關 SQ_3 控制。如果液壓夾緊系統出現故障，不能自動夾緊搖臂，或者由於 SQ_3 調整不當，在搖臂夾緊後不能使 SQ_3 的動斷觸點斷開，都會使液壓泵電動機因長期超載運行而損壞。為此，電路中設有熱繼電器 FR_2 ，其整定值應根據液壓電動機 M_3 的額定電流進行調整。

搖臂升降電動機的正反轉控制繼電器不允許同時得電動作，以防止電源短路。為避免因操作失誤等原因而造成短路事故，在搖臂上升和下降的控制線路中採用了接觸器的輔助觸點

互鎖和複合按鈕互鎖兩種保證安全的方法，確保電路安全工作。

4) 立柱和主軸箱的夾緊與鬆開控制：立柱和主軸箱的鬆開（或夾緊）既可以同時進行，也可以單獨進行，由轉換開關 SA_1 和複合按鈕 SB_6 （或 SB_7 ）進行控制。 SA_1 有三個位置。扳到中間位置時，立柱和主軸箱的鬆開（或夾緊）同時進行；扳到左邊位置時，立柱夾緊（或放鬆）；扳到右邊位置時，主軸箱夾緊（或放鬆）。複合按鈕 SB_6 是鬆開控制按鈕， SB_7 是夾緊控制按鈕。

① 立柱和主軸箱同時松、夾：將轉換開關 SA_1 扳到中間位置，然後按鬆開按鈕 SB_6 ，時間繼電器 KT_2 、 KT_3 同時得電。 KT_2 的延時斷開的動合觸點閉合，電磁鐵 YA_1 、 YA_2 得電吸合，而 KT_3 的延時閉合的動合觸點經 $1\sim 3s$ 後才閉合。隨後， KM_4 閉合，液壓泵電動機 M_3 正轉，供出的壓力油進入立柱和主軸箱鬆開油腔，使立柱和主軸箱同時鬆開。

②立柱和主軸箱單獨松、夾：如希望單獨控制主軸箱，可將轉換開關 SA₁ 扳到右側位置，按下鬆開按鈕 SB₆（或夾緊按鈕 SB₇），此時時間繼電器 KT₂和 KT₃的線圈同時得電，電磁鐵 YA₂單獨通電吸合，即可實現主軸箱的單獨鬆開（或夾緊）。

鬆開複合按鈕 SB₆（或 SB₇），時間繼電器 KT₂和 KT₃的線圈斷電釋放，KT₃的通電延時閉合的動合觸點暫態斷開，接觸器 KM₄（或 KM₅）的線圈斷電釋放，液壓泵電動機停轉。經過 1~3s 的延時，電磁鐵 YA₂的線圈斷電釋放，主軸箱鬆開（或夾緊）的操作結束。

同理，把轉換開關扳到左側，則可使立柱單獨鬆開或夾緊。

因為立柱和主軸箱的鬆開與夾緊是短時間的調整工作，所以採用點動方式。

3.Z3050 搖臂鑽床的電氣故障檢修

搖臂鑽床電氣控制的特殊環節是搖臂升降。Z3050 系列搖臂鑽床的工作過程是由電氣與機械、液壓系統緊密結合實現的。因此，在維修中不僅要注意電氣部分能否正常工作，也要注意它與機械和液壓部分的協調關係，下面僅分析搖臂鑽床升降中的電氣故障。

(1) 搖臂不能升降

由搖臂升降過程可知，升降電動機 M₂ 旋轉，帶動搖臂升降，其前提是搖臂完全鬆開，活塞杆壓位置開關 SQ₂。如果 SQ₂ 不動作，常見故障是 SQ₂ 安裝位置移動。這樣，搖臂雖已放鬆，但活塞杆壓不上 SQ₂，搖臂就不能升降，有時，液壓系統發生故障，使搖臂放鬆不夠，也會壓不上 SQ₂，使搖臂不能移動，由此可見，SQ₂ 的位置非常重要，應配合機械、液壓調整好後緊固。

電動機 M₃ 電源相序接反時，按上升按鈕 SB₄（或下降按鈕 SB₅），M₃ 反轉，使搖臂夾緊，SQ₂ 應不動作，搖臂也就不能升降。所以，在機床大修或新安裝後，要檢查電源相序。

(2) 搖臂升降後，搖臂夾不緊

由搖臂夾緊的動作過程可知，夾緊動作的結束是由位置開關 SQ₃ 來完成的，如果 SQ₃ 動作過早，將導致 M₃ 尚未充分夾緊就停轉。常見的故障原因是 SQ₃ 安裝位置不合適、固定螺釘鬆動造成 SQ₃ 移位，使 SQ₃ 在搖臂夾緊動作未完成時就被壓上，切斷了 KM₅ 回路，使 M₃ 停轉。

排除故障時，首先判斷是液壓系統的故障（如活塞杆閥芯卡死或油路堵塞造成的夾緊力不夠），還是電氣系統故障。對電氣方面的故障，應重新調整 SQ₃ 的動作距離，固定好螺釘即可。

- (3) 立柱、主軸箱不能夾緊或鬆開立柱、主軸箱不能夾緊或鬆開的可能原因是油路堵塞、接觸器 KM₄ 或 KM₅ 不能吸合所致。出現故障時，應檢查按鈕 SB₆、SB₇ 接線情況是否良好，若接觸器 KM₄ 或 KM₅ 能吸合，

M₃ 能運轉，可排除電氣方面的故障，則應請液壓、機械修理人員檢修油路，以確定是否是油路故障。

- (4) 搖臂上升或下降限位元保護開關失靈

組合開關 SQ₁ 的失靈分兩種情況：一是組合開關 SQ₁ 損壞，SQ₁ 觸點不能因開關動作而閉合或接觸不良使線路斷開，由此使搖臂不能上升或下降；二是組合開關 SQ₁ 不能動作，觸頭熔焊，使線路始終處於接通狀態，當搖臂上升或下降到極限位置後，搖臂升降電動機 M₂ 發生堵轉，這時應立即鬆開 SB₄ 或 SB₅。根據上述情況進行分析，找出故障原因，更換或修理失靈的組合開關 SQ₁ 即可。

- (5) 按下 SQ₆ 立柱、主軸箱能夾緊，但釋放後就鬆開

由於立柱、主軸箱的夾緊和鬆開機構都採用機械菱形塊結構，所以這種故障多為機械原因造成的。可能是菱形塊和承壓塊的角度方向搞錯，或者距離不合適，也可能因夾緊力調得太大或夾緊液壓系統壓力不夠導致菱形塊立不起來，可找機械修理工檢修。

第10講 起重機的電氣控制



導讀

起重機是一種用來起重與空中搬運重物的起重運輸機械，廣泛應用於工礦企業、車站、港口、倉庫、建築工地等部門。它對減輕工人勞動強度、提高勞動生產率、促進生產過程機械化起著重要作用，是現代化生產中不可缺少的工具。根據其運動形式不同，分為橋式類起重機與臂架式旋轉起重機。橋式類起重機又分為通用橋式起重機、冶金專用起重機、龍門起重機與纜索起重機等。

通用橋式起重機是機械製造工業和冶金工業中最廣泛使用的起重機械，又稱“天車”或“行車”，它是一種橫架在固定跨間上空用來吊運各種物件的設備。橋式起重機按起吊裝置不同，可分為吊鉤橋式起重機、電磁片橋式起重機和抓鬥橋式起重機。其中尤以吊鉤橋式起重機應用最廣。本講以吊鉤橋式起重機的電氣設備及控制進行討論與分析，另外兩種起重機因僅起吊裝置不同，而結構、電氣控制均與吊鉤橋式起重機相同，故不算介紹。

10.1 橋式起重機概述

1. 橋式起重機的結構及運動情況

橋式起重機一般由主樑、端梁、大車移行機構、裝有提升機構的小車、操縱室、小車導電裝置（輔助滑線）、起重機總電源導電裝置（主滑線）、交流磁力控制盤、電阻箱等部分組成。圖10-1所示為橋式起重機總體示意圖。

(1) 橋架

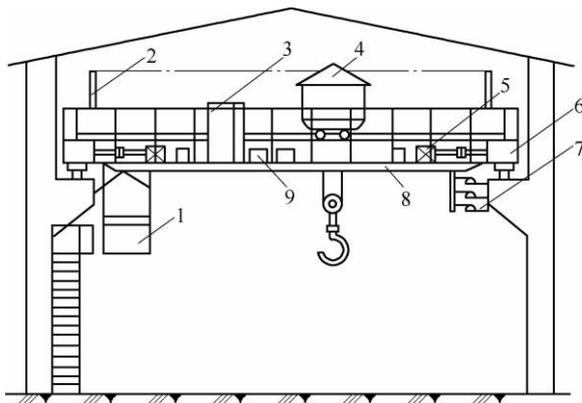


圖 10-1 橋式起重機總體示意

- 1—操縱室 2—小車導電裝置（輔助滑線） 3—交流磁力控制盤
4—裝有提升機構的小車 5—大車移行機構 6—端梁
7—起重機總電源導電裝置（主滑線） 8—主樑 9—電阻箱

橋架是橋式起重機的基本構件，它由主樑、端梁、走台等部分組成。主樑跨架在跨間的上空，有箱型、桁架、腹板、圓管等結構型式。主樑兩端聯有端梁，在兩主樑外側安有走台，設有安全欄杆。在駕駛室一側的走臺上裝有大車移行機構，在另一側走臺上裝有往小車電氣設備供電的裝置，即輔助滑線。在主樑上方鋪有導軌，供小車移動。整個橋式起重機在大車移行機構拖動下，沿車間長度方向的導軌移動。

(2) 大車移行機構

大車移行機構由大車拖動電動機、傳動軸、聯軸節、減速器、車輪及制動器等部件構成。

(3) 小車

小車安放在橋架導軌上，可順車間寬度方向移動。小車主要由鋼板焊接而成的小車架以及其上的小車移行機構和提升機械等組成。

小車移行機構由小車電動機、制動器、聯軸節、減速器及車輪等組成。小車電動機經減速器驅動小車主動輪，拖動小車沿導軌移動，由於小車主動輪相距較近，故由一台電動機驅動。

(4) 提升機構

提升機構由提升電動機、減速器、捲筒、制動器等組成。提升電動機經聯軸節、制動輪與減速器連接，減速器的輸出軸與纏繞鋼絲繩的捲筒相連接，鋼絲繩的另一端裝有吊鉤，當捲筒轉動時，吊鉤就隨鋼絲繩在捲筒上的纏繞或放開而上升或下降。對於起重量在 15t 及以上的起重機，備有兩套提升機構，即主鉤與副鉤。

(5) 操縱室

操縱室是操縱起重機的吊艙，又稱駕駛室。操縱室內有大、小車移行機構控制裝置、提升機構控制裝置以及起重機的保護裝置等。

操縱室一般固定在主樑的一端，也有少數裝在小車下方隨小車移動的。操縱室上方開有通向走台的艙口，供檢修大車與小車機械與電氣設備時人員上下用。

2. 橋式起重機主要技術參數

橋式起重機的主要技術參數有：起重量、跨度、起升高度、運行速度、提升速度、工作類型及通電持續率等。

(1) 起重量

起重量又稱額定起重量，是指起重機實際允許的起吊最大負荷量，以 t 為單位。

我國生產的橋式起重機系列其起重量有 5、10、15/3、20/5、30/5、50/10、75/20、

100/20、125/20、150/30、200/30、250/30 等多種。數字的分子為主鉤起重量，分母為副鉤起重量。

(2) 跨度

起重機主樑兩端車輪中心線間的距離，即大車軌道中心線間的距離稱為跨度，以 m 為單位。我國生產的橋式起重機系列跨度為 10.5、13.5、16.5、19.5、22.5、25.5、28.5、31.5m 等各種。

(3) 起升高度

吊具或抓物裝置的上極限位置與下極限位置之間的距離，稱為起重機的起升高度，以 m 為單位。一般常用的起升高度有 12、16、12/14、12/18、16/18、19/21、20/22、21/23、22/26、24/16 等幾種。其中分子為主鉤起升高度，分母為副鉤起升高度。

(4) 運行速度

運行機構在拖動電動機額定轉速下運動的速度，以 m/min 為單位。小車運行速度一般為 40~60m/min，大車運行速度一般為 100~135m/min。

(5) 提升速度

提升機構在提升電動機額定轉速時，取物裝置上升的速度，以 m/min 為單位。一般提升速度不超過 30m/min，依貨物性質、重量、提升要求來決定。

(6) 工作類型

起重機按其載荷率和工作繁忙程度可分為輕級、中級、重級和特重級四種工作類型。

1) 輕級：工作速度低，使用次數少，滿載機會少，通電持續率為 15%。用於不需緊張及繁重工作的場所，如在水電站、發電廠中用作安裝檢修用的起重機。

2) 中級：經常在不同載荷下工作，速度中等，工作不太繁重，通電持續率為 25%，如一般機械加工車間和裝配車間用的起重機。

3) 重級：工作繁重，經常在重載荷下工作，通電持續為 40%，如冶金和鑄造車間內使用的起重機。

4) 特重級：經常吊額定負荷，工作特別繁忙，通電持續為 60%，如冶金專用的橋式起重機。

(7) 通電持續率

由於橋式起重機為斷續工作，其工作的繁重程度用通電持續率 JC% 表示。

通電持續率為工作時間與週期時間之比，即

通用時間 工作時間

$$JC\% = \frac{\text{工作時間}}{\text{週期時間}} \times 100\% = \frac{\text{工作時間}}{\text{工作時間} + \text{休息時間}} \times 100\%$$

一個週期通常定為 10min。標準的通電持續率規定為 15%、25%、40%、60% 四種。

3. 橋式起重機對電力拖動的要求

起重機處於繼續工作狀態，因此拖動電動機經常處於起動、制動、正反轉之中；負載很不規律，時重時輕並經常承受超載和機械衝擊。起重機工作環境惡劣，所以對起重機用電動機、提升機構及移行機構電力拖動提出如下要求。

(1) 對起重機用電動機的要求

- 1) 為滿足起重機重複短時工作制的要求，其拖動電動機按相應的重複短時工作制設計製造或選型，用通電持續率 JC% 表示。
- 2) 為適應頻繁的重載下起動，要求電動機具有較大的起動轉矩和超載能力。
- 3) 為適應頻繁起動、制動，加快過渡過程和減小起動損耗，起重電動機的轉動慣量

CD² 應較小，在結構特徵上，轉子長度與直徑之比值較大。

- 4) 為獲得不同運行速度，採用繞線型非同步電動機轉子串電阻調速。
- 5) 為適應惡劣環境和機械衝擊，電動機採用封閉式，具有堅固的機械結構，較大的氣隙，採用較高的耐熱絕緣等級。

現在我國生產的新系列起重用電動機為 YZR 與 YZ 系列，前者為繞線型非同步電動機，後者為籠型非同步電動機。

起重用電動機銘牌上標有 JC% 為 25% 時的額定功率，當電動機工作在 JC% 值不為 25% 時，該電動機容量按下式近似計算：

$$P_{JC} = P_{25} (10 - 1)^{\frac{25\%}{JC\%}}$$

式中 P_{JC} —— 任意 JC% 下的功率，單位為 kW；

P_{25} —— JC% = 25% 時的電機容量，單位為 kW。

(2) 提升機構與移行機構對電力拖動的要求

為提高起重機的生產率與安全性，對提升機構電力拖動自動控制提出如下要求：

- 1) 具有合適的升降速度，空鉤能實現快速升降，輕載提升速度大於重載時的提升速度。

2) 具有一定的調速範圍，普通起重機調速範圍 3:1，對要求較高的起重機，其調速範圍可達 (5~10):1。

3) 具有適當的低速區。當提升重物開始或下降重物至預定位置之前，都要求低速。為此，往往在 30%額定速度內分成若干擋，以便靈活選擇。但由高速向低速過渡時應逐級減速，以保持穩定運行。

4) 提升的第一檔作為預備擋，用以消除傳動系統中的齒輪間隙，將鋼絲繩張緊，避免過大的機械衝擊。預備級的起轉矩一般限制在額定轉矩的一半以下。

5) 負載下放時，根據負載大小，提升電動機既可工作在電動狀態，也可工作在倒拉反接制動狀態或再生發電制動狀態，以滿足對不同下降速度的要求。

6) 為保證安全可靠地工作，不僅需要機械抱閘的機械制動，還應具有電氣制動，以減輕機械抱閘的負擔。

大車與小車移行機構對電力拖動自動控制的要求比較簡單，要求有一定的調速範圍，為實現準確停車，必須採用制動停車。

由於橋式起重機應用廣泛，起重機的電氣設備均已系列化、標準化、可根據電動機容量、工作頻繁程度以及對可靠性的要求等來選擇。

4. 起重用電動機的工作狀態

對於移行機構拖動電動機，其負載為摩擦轉矩，它始終為反抗轉矩。所以移行機構拖動電動機工作在正反向電動狀態。

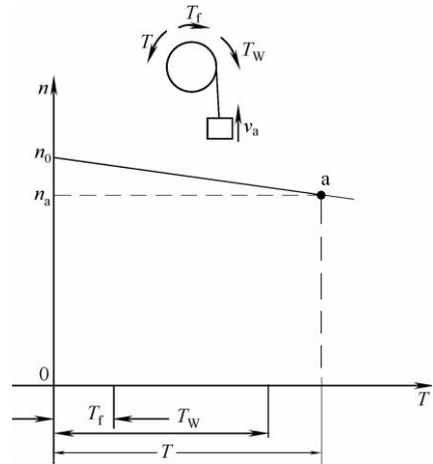
可是，對於提升機構而言情況則比較複雜，除存在較小的摩擦轉矩外，主要是重物和吊鉤的重力矩。重力矩提升時呈現為阻轉矩；下降時動員呈現為驅動轉矩。所以，提升機構工作時，拖動電動機依負載情況不同，工作狀態也不一樣。

(1) 提升重物時電動機工作狀態

提升重物時，電動機承受兩個阻轉矩，一個是重物自重產生的位能性轉矩 T_w ；另一個是在提升過程中傳動系統存在的摩擦轉矩 T_f 。當電動機電磁轉矩 T 克服這兩個阻轉矩時，重物將被提升，如圖 10-2 所示。當 $T = T_w + T_f$ 時，電動機穩定運行在機械特性 a 點處，以 n_a 轉速提升重物，電動機工作在電動狀態。而在起動時，為獲得較大的起動轉矩，減小起動電流，往往在繞線轉子非同步電動機轉子電路中串入電阻，然後再依次切除，使提升速度逐漸升高，最後達到預定提升速度。

(2) 下降重物時電動機工作狀態 1) 反轉電動狀態：當空鉤或輕載下放重物時，由於負載的位能轉矩 T_w 小於摩擦轉矩

T_f ，這時依靠重物自重不能下降，為此電動機必須依
 重物下降方向施加電磁轉矩 T 強迫使重物或空鉤下
 放。如圖 10-3a 中所示，此時 T 與 T_w 方向一致，當
 $T+T_w=T_f$ 時，將穩定運行在機械特性的 a 點，以 n_a
 轉速下放。此時電動機工作在反轉電動機狀態，又稱
 強力下放重物。



2) 再生發電制動狀態：當重載下放時，若拖動
 電動機按反轉接線，此時電磁轉矩 T 方向與位能轉矩

T_w 方向相同，這時電動機將在 T_w 作用下加速旋轉，當 $n=n_0$ 時， $T=0$ ，但電動機在 T_w
 作用下仍加速，使 $n>n_0$ ，於是電動機的電磁轉矩 T 方向與 T_w 方向相反，而成為阻轉矩
 了，當 $T+T_f=T_w$ 時，電動機穩

定運行在圖 10-3b 中的 b 點上，以高於電動機同步轉速圖 10-2 提升重物時的電動工作狀態
 的速度 $-n_b$ 穩定下降，這時電動機工作在再生髮
 電制動狀態。再生發電制動下放是超同步轉速下放，為使下放速度不致過高，應運行在較硬
 的機械特性上，最好運行在轉子電阻全部切除的特性上。

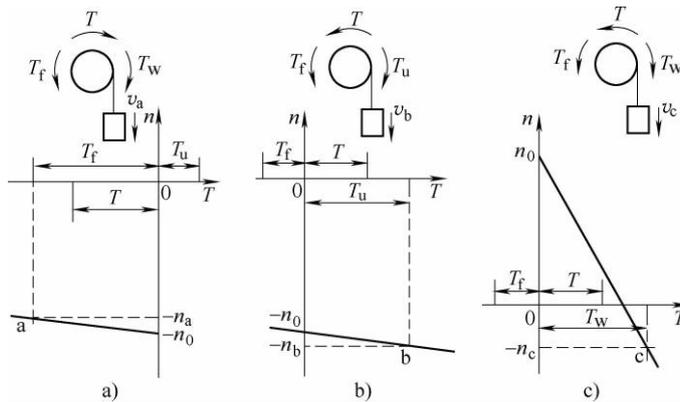


圖 10-3 下放重物時電動機的三種工作狀態

a) 反轉電動狀態 b) 再生發電制動狀態 c) 倒拉反接制動狀態

3) 倒拉反接制動狀態：當負載較重，為獲得低速下降，可採用倒拉反接制動下放。這
 時電動機按正轉接線，產生向上的電磁轉矩 T ，這時 T 與位能轉矩 T_w 相反，成為阻礙重物下
 放的制動轉矩，以此來減低重物下放速度。如圖 10-3c 所示，當 $T+T_f=T_w$ 時，電動機穩定

運行在機械特性曲線 c 點上，以 $-n_c$ 轉速下放。為低速下放重載，電動機轉子中應串入較大電阻，特性較軟為好。

10.2 凸輪控制器及其控制電路

1. 凸輪控制器的結構

凸輪控制器是一種大型手動控制電器，是起重機上重要的電氣製作設備之一，用以直接操作與控制電動機的正反轉、調速、起動與停止。

應用凸輪控制器控制電動機控制電路簡單，維修方便，廣泛用於中、小型起重機的平移機構和小型起重機提升機構的控制中。

凸輪控制器從外部看，由機械結構、電氣結構、防護結構等三部分組成。其中手柄、轉軸、凸輪、杠杆、彈簧、定位棘輪為機械結構。觸頭、接線柱和聯板等為電氣結構。而上下蓋板、外罩及滅弧罩等為防護結構。

圖 10-4 所示為凸輪控制器的結構原理圖。當轉軸在手柄扳動下轉動時，固定在軸上的凸輪同軸一起轉動，當凸輪的凸起部位支柱帶動動觸點杠杆上的滾子時，便將動觸點與靜觸點分開；當轉軸帶動凸輪轉動在凸輪凹處與滾子相對時，動觸點在彈簧作用下，使動靜觸點緊密接觸，從而實現觸點接通與斷開的目的。

在方軸上以能疊裝不同形狀的凸輪塊，以使一系列動觸點按預先安排的順序接通與斷開。將這些觸點接到電動機電路中，便可實現控制的目的。

2. 凸輪控制器型號與主要技術性能

目前我國生產的凸輪控制器主要有 KT10、KT14 型。額定電流有 25A、60A。其中 KT10 型觸點為單中斷點轉動式，具有鋼質滅弧罩，操作方式有手輪式與手柄式兩種；KT14 型觸點為雙中斷點、直動式，採用半封閉式縱縫陶土滅弧罩，只有手柄式操作一種。型號意義如下：

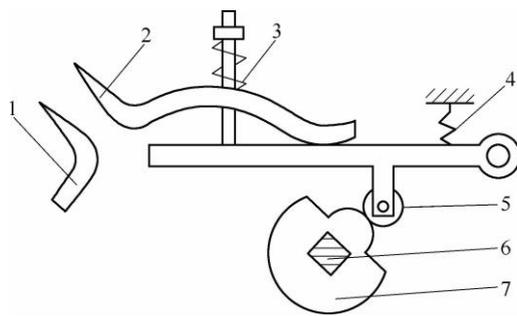
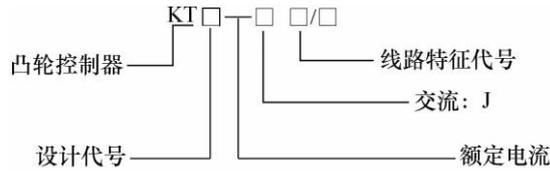


圖 10-4 凸輪控制器的結構原理

1—靜觸點 2—動觸點 3—觸點彈簧
4—復位彈簧 5—滾子 6—絕緣方軸 7—凸輪電動機



凸輪控制器按重複短時工作制設計，其通電持續率為 25%。如用於間斷長期工作制時，其發熱電流不應大於額定電流。凸輪控制器技術資料見表 10-1。

表 10-1 凸輪控制器主要技術資料

型號	額定電流 / A	工作位置數		觸點數	在 JC%=25%時控制 電動機功率 / P / kW		使用場合
		向前 (上升)	向後 (下降)		製造廠樣本數字	設計手冊推薦數字	
KT10-25J/1	25	5	5	12	11	7.5	控制一台繞線轉子電動機
KT10-25J/2	25	5	5	13		2×7.5	同時控制兩台繞線轉子電動機， 定子電路由接觸器控制
KT10-25J/3	25	1	1	9	5	3.5	控制一台籠型電動機
KT10-25J/5	25	5	5	17	2×5	2×3.5	同時控制兩台繞線型電動機
KT10-25J/7	25	1	1	7	5	3.5	控制一台轉子串頻敏變阻器的繞線型電動機

控制器在工作圖上以其圓柱表面的展開圖來表示的，豎虛線為工作位置，橫虛線為觸點位置，在橫豎兩條虛線交點處若用黑點標注，則表明控制器在該位置這一觸點是閉合接通的，若無黑圓點標注，則表明該觸點在這一位置是斷開的。可見圖 10-7 所示凸輪控制器控制原理圖。

3. 凸輪控制器控制電路

圖 10-5 所示為 KT10-25J/1、KT14-25J/1、KT10-60J/1、KT14-61J/1 型凸輪控制器原理圖，用來控制起重機的平移或提升機構電動機。

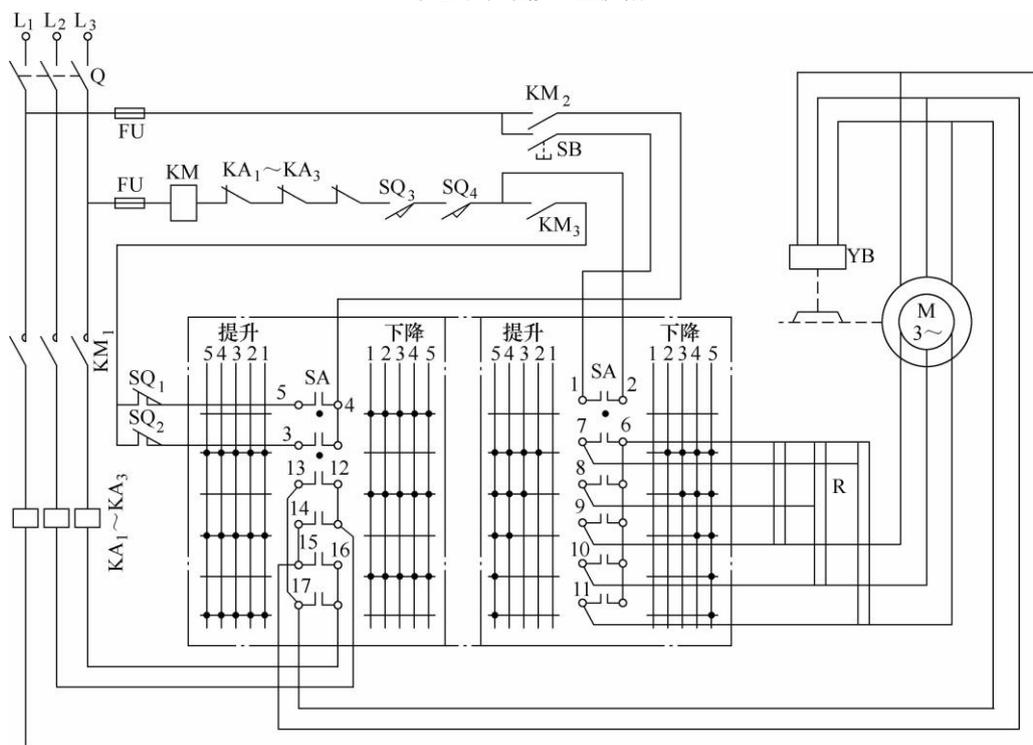


圖 10-5 凸輪控制器控制原理

(1) 電路特點

1) 可逆對稱電路。凸輪控制器左右各有五個擋位，採用對稱接法，即控制器手柄處在正轉和反轉的相應位置時，電動機工作情况完全相同。

2) 為減少轉子電阻段數及控制轉子電阻的觸點數，採用凸輪控制器控制繞線型電動機時，轉子串接不對稱電阻。

3) 在提升重物時，控制器第一擋位為預備級，第二至第五擋位元提升速度將逐級提高，電動機工作于電動狀態。

在重載下放時，電動機工作在再生發電制動狀態。此時，應將控制器手柄由零位直接扳至下降第五擋位，而巨途經中間擋位不許停留。往回操作時，也應從下降第五檔位快速返回零位，不然將引起重載高速下降，這是不允許的。

在輕載下放時，由於重物太輕，甚至重力矩小於摩擦轉矩，為此電動機應工作在強力下降狀態。所以，該控制電路不能獲得重載或輕載時的低速下降。為了獲得下降時準確定位，採用

點動操作，即將控制器手柄在下降第一擋與零位之間來回操作，並配合電磁閥抱閘來實現。

圖 10-6 為凸輪控制器控制提升電動機機械特性。由圖可知，提升特性與下降特性對稱，但“上 1”特性為預備級；下降特性中 $A_1 \sim A_5$ 各點為重載下放重物時，電動機處於再生發電制動狀態的穩定工作點；

B 點為輕載強力下放時，電動機處於反轉電動狀態的穩定工作點，這些穩態工作點的轉速都較高。

(2) 控制電路分析

由圖 10-5 可知，凸輪控制器 SA 在零位時有 9 對常開觸點，3 對常閉觸點。其中 4 對主觸點用於電動機正反轉控制；另 5 對主觸點用於接入與切除電動機轉子不對稱電阻。控制器 3 對常閉觸點來實現零位保護、並配合兩個運動方向的行程開關， SQ_1 、 SQ_2 來實現限位保護。

控制電路設有過電流繼電器 $KA_1 \sim KA_3$ 實現電動機過電流保護，緊急事故開關 SQ_3 實現事故保護，操縱室頂端艙口開關 SQ_4 實現大車頂上無人巨艙口關好才可開車的安全保護等。

操作凸輪控制器時應注意：當將控制器手柄由左

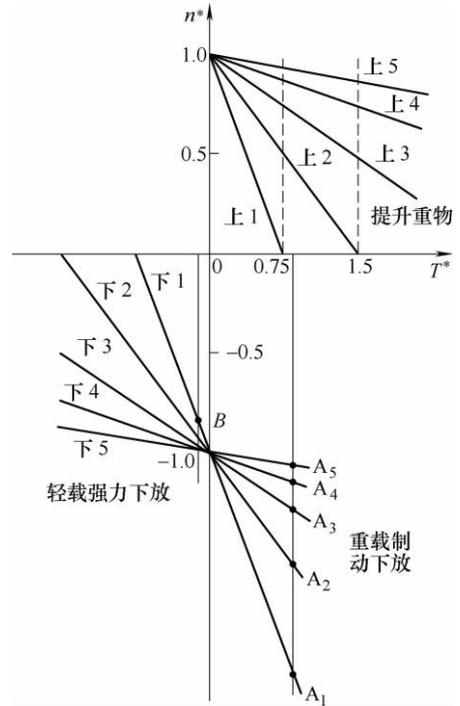


圖 10-6 凸輪控制器控制提升

到右，或由右扳到左時，中間必須通過零位，為減小電動機機械特性小反向衝擊電流，應在零位擋稍作停留，同時也使電動機構獲得平穩的反向過程。另外，在進行重載下降操作時，應先將手柄直接扳至下降第五擋位，以獲得重載下降的最低速度，然後再根據下降速度要求逐級將手柄推回至所需下降速度的擋位元。 YB 為電磁制動器，當其電磁線圈通電時，依靠電磁力將制動器鬆開，當斷電時，制動器將電動機刹住。

10.3 主令控制器與交流磁力控制盤

1. 主令控制器

凸輪控制器控制電路具有結構簡單、維修方便、經濟性能好等優點。但由於控制器觸點直接用來控制電動機主電路，所以要求觸點容量大，這樣，控制器便體積大，操作不靈活，並且不能獲得低速下放重物。為此，當電動機容量較大，工作繁重，操作頻繁，調速性能要求較高時，往往採用主令控制器操作。由主令控制器的觸點來控制接觸器，再由接觸器來控制電動機。這樣，控制器的觸點容量可大大減小，操作更為輕便。同時，通過接觸器來控制電動機可獲得較好的調速性能，更好地滿足起重機的控制要求。

主令控制器是用以頻繁切換複雜得多回路控制電路的主令電器。主要用作起重機、軋鋼機及其他生產機械磁力控制盤的主令控制。

主令控制器的結構與工作原理基本上與凸輪控制器相同，也是利用凸輪來控制觸點的斷合。在方形轉軸上安裝一串不同形狀的凸輪塊，就可獲得按一定順序動作的觸點。即使在同一層，不同角度及形狀的凸塊，也能獲得當手柄在不同位置時，同一觸點接通或斷開的效果。再由這些觸點去控制接觸器，就可獲得一定要求動作的電路了。

2.主令控制器型號及主要技術性能

目前，生產和使用的�主令控制器主要有 LK14、LK15、LK16 型。其主要技術性能為：額定電壓為交流 50Hz、380V 以下及直流 220V 以下；額定操作頻率為 1200 次/h。表 10-2 為 LK14 型主令控制器的技術資料。

表 10-2 LK14 型主令控制器的主要技術資料

型號	額定電壓/V	額定電流/A	控制電路數	外形尺寸/mm
LK14-12 / 90	380	15	12	227×220×300
LK14-12 / 96				
LK14-12 / 97				

主令控制器根據所需操作位置數、控制電路數、觸點閉合順序以及長期允許電流大小來選擇。在起重機中，主令控制器是與磁力控制盤相配合來實現控制的，因此往往根據磁力控制盤型號來選擇主令控制器。

3.交流磁力控制盤

將控制用接觸器、繼電器、刀開關等電器元件按一定電路接線，組裝在一塊盤上，稱作磁力控制盤。交流起重機用磁力控制盤按控制物件又可分為平移機構控制盤與升降機構控制盤，前者為 PQY 系列，後者為 PQS 系列。按控制電動機台數和線路特徵分為

PQY1 系列：控制 1 台電動機；PQY2 系列：控制 2 台電動機；

PQY3 系列：控制 3 台電動機，允許 1 台單獨運轉；

PQY4 系列：控制 4 台電動機，分為兩組，允許每組電動機單獨運轉。

PQS1 系列：控制 1 台升降電動機；

PQS2 系列：控制 2 台升降電動機，允許 1 台單獨運轉；

PQS3 系列：控制 3 台升降電動機，允許 1 台單獨運轉，並可直接進行點動操作。

上述兩個系列是全國統一設計的新系列產品。但目前各工礦企業仍大量使用舊型號的交流磁力控制盤。如平移機械使用 PQR9、PQR9A、PQR9B 及 PQX6401 等系列，升降機構使用 PQR10、PQR10A、PQR10B 及 PQX6402 等系列。

4. 提升機構磁力控制器控制系統

磁力控制器由主令控制器與 PQR10A 系列控制盤組成。採用磁力控制器控制時，只有尺寸較小的主令控制器安裝在駕駛室內，其餘電氣設備均安裝在橋架上的控制盤中。具有操作輕便、維護方便、工作可靠、調速性能好等優點，但所用電氣設備多，投資大且線路較為複雜。所以，一般橋式起重機同時採用凸輪控制器控制與磁力控制器控制，前者用於平移機構與副鉤提升機構，後者用於主鉤提升機構。當對提升機構控制要求不高時，則全部採用凸輪控制系統。

圖 10-7 所示為提升機構磁力控制器控制系統電路圖。圖中主令控制器 SA 有 12 對觸點，

“提升”、“下降”各有 6 個工作位置。通過這 12 對觸點的閉合與開斷，來控制電動機定子與轉子電路的接觸器，實現電動機工作狀態的改變，拖動吊鉤按不同速度提升與下降。由於主令控制器為手動操作，所以電動機工作狀態的變換是由操作者來掌握的。KM₁、KM₂ 為電動機正反轉接觸器，KM₃ 為制動接觸器，控制三相交流電磁制動器 YB；KW₄、KM₅ 為反接制動接觸器，KM₆~KM₉ 為起動加速接觸器，用來控制電動機轉子電阻；最後轉子中還有一段常串電阻，用來軟化機械特性。

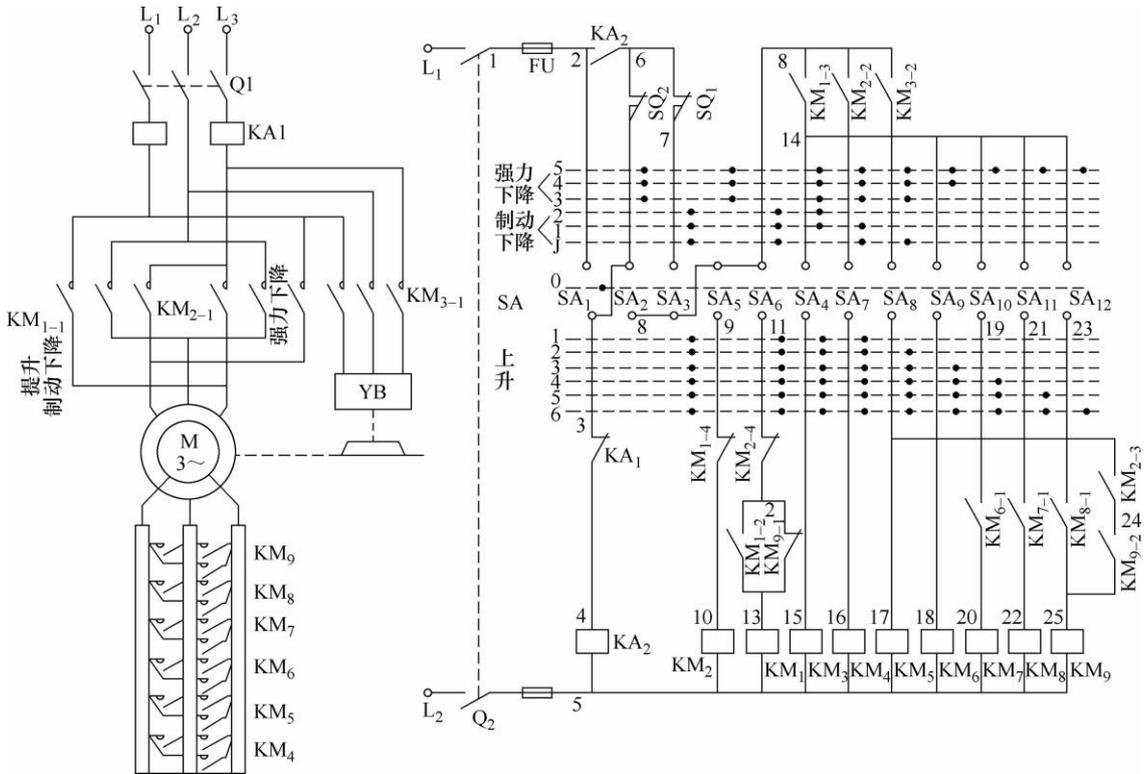


圖 10-7 提升機構磁力控制器控制系統電路

(1) 提升重物時電路工作情況

“提升”有6個擋位。當SA手柄扳到“上1”擋位時，控制器觸點SA₃、SA₄、SA₆和SA₇閉合，接觸器KM₁、KM₃和KM₄通電吸合，電動機按正轉相序接通電源，制動電磁鐵YA通電，電磁抱閘鬆開，短接一段轉子電阻，電動機工作在圖10-8所示的上1機械特性上。由於該特性對應的起動轉矩小，一般吊不起重物，只作為張緊鋼絲繩，消除吊鉤傳動系統齒輪間隙的預備起動級。當主令控制器手柄依次扳到上升第2、3、4、5、6擋位時，控制器觸點SA₈~SA₁₂依次閉合，接觸器KM₅~KM₉相繼通電吸合，逐級短接轉子各段電阻，獲得如圖10-8中上2~上6機械特性，得到5種提升速度。

由於在“提升”各位置，主令控制器觸點SA₃始終閉合，將上升行程開關SQ₁始終串接在提升電路中，實現提升的限位保護。

(2) 下降重物時電路工作情況

下降重物時，主令控制器也有 6 個擋位元，但根據重物重量，可使電動機工作在不同狀態。若重載下降，要求低速，電動機可工作在倒拉反接制動狀態；若為空鉤或輕載下降，而重力矩不足以克服摩擦力矩時，必須採用強迫下降。前者電動機按正轉提升相序接線，而後者電動機按下降反轉相序接線。在主令控制器下降的 6 個擋位中，前 3 個擋位即 J、下 1、下 2 這 3 個位置為制動下降；後 3 個擋位即下 3、下 4、下 5 為強迫下降。

1) 制動下降：主令控制器手柄置於“下降”前三個位置（J、下 1、下 2）時，電動機定子仍按正轉提升時電源相序接線，觸點 SA₆ 閉合，接觸器 KM₁ 通電，這時轉子電路串入較大電阻。此時，在重力矩作用下克服電動機電磁轉矩與摩擦轉矩，迫使電動機反轉，獲得重載時的低速下降。具體電路工作情況如下：

當手柄置於“J”擋位時，觸點 SA₄ 斷開，KM₃ 斷電釋放，YB 斷電釋放，電磁抱閘將拖動電動機閘住。同時觸點 SA₃、SA₆、

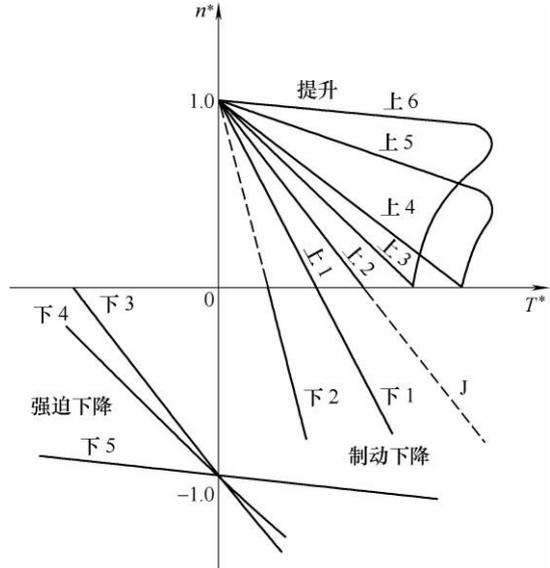


圖 10-8 磁力控制器控制提升電動機機械特性

SA₇、SA₈ 閉合，使接觸器 KM₁、KM₄、KM₅

通電，電動機定子按正轉提升相序接通電源，轉子短接兩段電阻，產生一個提升方向的電磁轉矩，與向下方向的重力轉矩相平衡，配合電磁抱閘牢牢地將吊鉤及重物閘住。所以，在“J”位一般用於提起重物後，穩定地停在空中或移行；另一方面，當重載時，控制器手柄由下降其他位置扳回“0”位時，在通過“J”位時，既有電動機的倒拉反接制動，又有機械抱閘制動，在兩者的作用下有效地防止溜鉤，實現可靠停車。在“J”擋位與“上 2”擋位所串轉子電阻相同，所以“J”特性為“上 2”特性在第四象限的延伸。

當手柄置於“下 1”與“下 2”擋位時，觸點 SA₄ 閉合，KM₃ 通電吸合，YB 通電，電磁抱閘鬆開；同時觸點 SA₈、SA₇ 相繼斷開，KM₅、KM₄ 相繼斷電釋放，依次串入轉子電阻，使電動機機械特性逐級變軟，獲得圖 10-8 機械特性中第四象限的下 1、下 2 兩條特性，電動機產生的電磁轉矩逐級減小，工作在倒拉反接制動狀態，得到兩級重載下降速度。但對於

輕載或空鉤下放時，切不可將主令控制器手柄停留在“下 1”或“下 2”擋位，因為這時電動機產生的電磁轉矩將大於負載轉矩，以致電動機不處於倒拉反接制動下放而成為電動提升，造成輕載或空鉤時不但不下降反而上升的現象。為此，應將手柄迅速推過“下 1”、“下 2”兩擋位。為防止誤操作，產生上述現象甚至上升超過上極限位置，控制器手柄置於“J”、

“下 1”、“下 2”三個擋位時，觸點 SA₃閉合，將上升行程開關 SQ₁動斷觸點串接在控制電路中，實現上升時的限位保護。

2) 強力下降：當控制器手柄置於“下 3”、“下 4”與“下 5”三個擋位時，電動機定子按反轉相序接電源，電磁抱閘鬆開，轉子電阻逐級短接，提升機構在電動機下降電磁轉矩和重力轉矩共同作用下，使貨物下降。

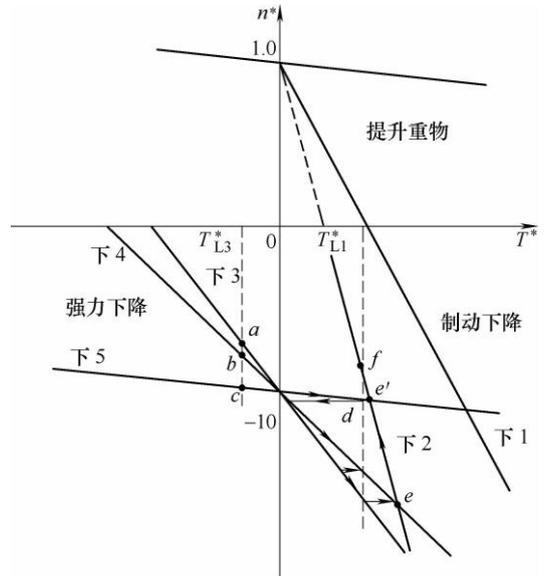
對於“下 3”擋位時，觸點 SA₂、SA₄、SA₅、SA₇、SA₈閉合，接觸器 KM₃、KM₂、KM₄、KM₅通電，YB 通電，電磁抱閘鬆開，轉子短接兩段電阻，定子接反轉相序電源，電動機工作在反轉電動狀態，強迫貨物下降。對於“下 4”與“下 5”擋位時，在“下 3”擋位基礎上，觸點 SA₉與 SA₁₀~SA₁₂相繼閉合，接觸器 KM₆與 KM₇~KM₉相繼通電，短接轉子電阻。

由電路圖可知，在下降的“3”、“4”與“5”擋位時，轉子電阻串接情況對應地與上升時的“上 2”、“上 3”、“上 6”擋位相同，所以這時的機械特性在第三象限，且與第一象限的上 2、上 3、上 6 相對應，如圖 9-8 所示。從而獲得輕載時的 3 種強力下降速度。

由上分析可知：控制器手柄位於下降“J”位時為提起重物後穩定地停在空中或吊著移行，或用於重載時的準確停車；下降的“下 1”或“下 2”擋位為重載時作低速下降用；下降的“下 3”、“下 4”、“下 5”擋位為輕載低速強迫下降用，或用於重載時高速 ($n > n_0$) 下放重物。

(3) 電路的聯鎖與保護

1) 由強迫下降過渡到制動下降，為避免出现高速下降的保護。輕載下放時，允許手柄置於“下 3”、“下 4”、“下 5”各擋位元，巨下降速度依次提高。若司機對貨物重量估計失誤，而將控制器手柄置於“下 5”擋位，此時，貨物在自身重力矩與電動機下降電磁轉矩作用下再生發電制動狀態，其過渡情況如圖 10-9 所示。工作點由強力下降特性 5 過渡到第四象限上的 d 點，以高於同步轉速的速度下降，這是很危險的。為此，應將手柄立即扳回以“下 2”或“下 1”擋位，使重物進入低速制動下降。就在手柄回扳過程中，勢必要經過



“下 4”與“下 3”擋位。在轉換過程中觸點 $SA_9 \sim SA_{12}$ 斷開，接觸器 $KM_6 \sim KM_9$ 斷電，電動機轉子電阻逐級串入，機械特性變軟，使電圖 10-9 由強力下降進入到動機再生發電制動速度愈來愈高。工作點由圖 制動下降的過度情況

10-9 中的 d 點過渡到再生發電制動曲線，即特

性“下 4”、“下 3”在第四象限的延長線，再進入到“下 2”特性上的 e 點，最後穩定運行在特性下 2 的 f 點上。為了避免轉換過程中出現高速下降，在圖 10-7 電路中，將觸點

KM_2 (17—24) 與觸點 KM_9 (24—25) 串接後接於 SA_8 與 KM_9 線圈之間，這時手柄置於“下 5”擋位時， KM_9 通電並自鎖，再由“下 5”擋位扳回“下 4”與“下 3”擋位時，雖觸點 SA_{12} 斷開，但經 SA_8 、 KM_2 (17—24)、 KM (24—25) 仍使 KM_9 通電，轉子電阻始終只串入一段常串的軟化級電阻，使電動機仍工作在強力下降 5 特性上，實現由強迫下降過渡到制動下降避免出现高速下降的保護。在該支路中串入觸點 KM_2 (17—24) 是為了電動機正轉相序接線時，該觸點斷開使支路不起作用。

2) 保證反接制動電阻串入的條件下才進行制動下降的聯鎖控制器手柄由“下 3”扳到“下 2”擋位時，觸點 SA_5 斷開， SA_6 閉合， KM_2 斷電釋放， KM_1 通電吸合，電動機處於反接制動狀態。為保證正確進入“下 2”擋位的反接特性，避免反接時產生過大的衝擊電流，

應使 KM_9 立即斷電釋放並加入反接電阻，巨要求只有在 KM_9 斷電後才允許 KM_1 通電。為此，一方面在主令控制器觸點閉合順序上保證 SA_8 斷開後 SA_6 才閉合；另一方面增設了觸點 KM_9 (12—13) 和 KM_2 (11—12) 與觸點 KM_1 (9—10) 構成互鎖環節。這就保證只有在 KM_9 斷電釋放後， KM_1 才能接通並自鎖工作。此環節還可防止由於 KM_9 主觸點因電流過大出現熔焊使觸點分不開，轉子只剩常串電阻情況下電動機正向直接起動事故發生。

3) 在控制器“下 1”至“下 5”擋位時，為確保電磁抱閘 YA 通電吸合，將抱閘鬆開，即 KM_3 通電。為此，在 KM_3 控制電路中設置了觸點 KM_1 (8—14)、 KM_2 (8—14)、 KM_3 (8—14) 的並聯電路，當手柄在“下 2”與“下 3”擋位之間換接時，由於 KM_1 與 KM_2 採用了電氣與機械互鎖，這樣在換接過程中有一瞬間兩個均未吸合，為此引入 KM_3 自鎖觸點 (8—14)，以確保 KM_3 始終通電。

4) 加速接觸器 $KM_6 \sim KM_8$ 的動合觸點串接於下一級加速接觸器 $KM_7 \sim KM_9$ 電路中，實現短接轉子電阻的順序聯鎖作用。

5) 完善的保護。由電壓繼電器 KA_2 與主令控制器 SA 實現零壓與零位保護，過電流繼電器 KA_1 實現過電流保護；行程開關 SA_1 、 SA_2 實現吊鉤上升下下降的限位保護。

10.4 起重機的其他電氣設備

1. 電氣保護設備

為了保證安全可靠地工作，起重機電氣控制一般具有下列保護與聯鎖：電動機超載保護；短路保護；失電壓保護；控制器的零位聯鎖；終端保護；艙蓋、端梁、欄杆門安全開關等保護。

電動機超載和短路保護：對於繞線轉子非同步電動機採用過電流繼電器進行保護，其中瞬間的過電流繼電器只能用以短路保護，而反時限特性的過電流繼電器不僅具有短路保護，還具有超載保護作用。對於籠型非同步電動機採用熔斷器或空氣開關作短路保護。大型起重機和有的電動單梁起重機的總保護用空氣開關作短路保護，一般橋式起重機的總保護用總過電流繼電器和接觸器作短路保護。

失壓保護：對於用主令控制器操縱的機構，一般在其控制站控制電路中加零電壓繼電器作失壓保護；對於用凸輪控制器操縱的機構，利用保護箱中的線路接觸器來做失電壓保護。

在起重機總保護和部分機構中，用保證只有當主令或凸輪控制器手柄置於“零”位時，才能接通控制電路，一般將控制器僅在零位閉合的觸點與該機構失電壓保護作用的零電壓繼電器或線路接觸器的線圈相串聯，並用該繼電器或接觸器的常開觸點作自鎖，實現零位聯鎖保護。這就避免了控制器手柄不在零位而發生停電事故時，一旦送電後，將使電動機自行起動，而發生危險。

下面介紹幾種保護設備與元件。

(1) 交流起重機保護箱

該保護箱是為採用凸輪控制器操作的控制系統進行保護而設置的。它由刀開關、接觸器、過電流繼電器、熔斷器等電器元件組成。圖 10-10 所示為 XQB1 型保護箱的主電路圖，由它來實現用凸輪控制器控制的大車、小車和副卷揚電動機的保護。

圖中 Q 為總電源開關，KM 為線路接觸器，KA₀ 為用凸輪控制器操作的各機構拖動電動機的總過電流繼電器，KA₁~KA₄ 為各機構拖動電動機的過電流繼電器。

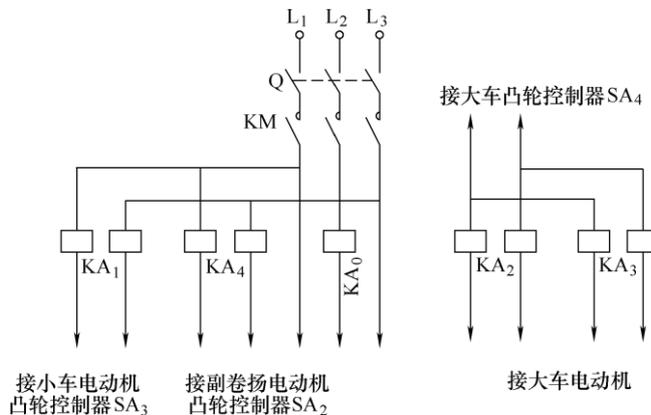


圖 10-10 XQB1 型保護箱主電路圖

圖 10-11 所示為 XQB1 型保護箱控制電路圖。圖中 HL 為電源指示燈，QS 為緊急開關，用作事故情況緊急斷開電源，SQ₆~SQ₈ 為艙口門開關與橫樑門開關，KA₀、KA₁~KA₄ 為過電流繼電器觸點，SA₂、SA₃、SA₄ 分別為副卷揚、小車與大車凸輪控制器觸點；SQ₁、SQ₂ 為大車移行機構行程開關；SQ₃、SQ₄ 為小車移行機構行程開關，SQ₅ 為副卷揚提升行程開關。依靠上述電器開關與電路，實現起重機各種保護。

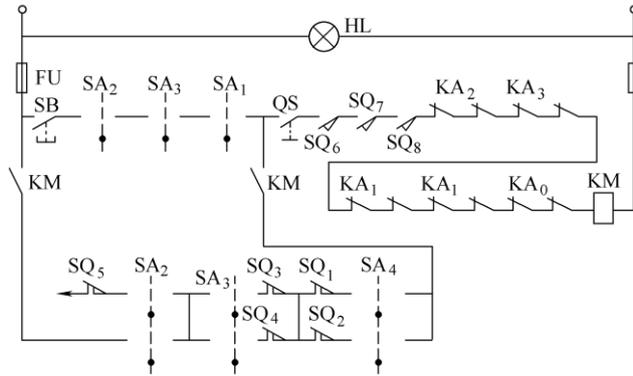


圖 10-11 XQB1 型保護箱控制電路圖

圖 10-12 所示為 XQB1 型保護箱照明與信號電路圖。圖中 EL₁ 為操縱室照明燈，EL₂、EL₃、EL₄ 為橋架下方的照明燈，另外還有供插接手提檢修燈和電風扇用的插座 XS₁~XS₃ 以及音響裝置 HA。除橋架下方照明燈為 220V，其餘均由安全電壓 36V 供電。

(2) 行程開關

行程開關在起重機中用來限制各移行機構的行程，以實現限位保護。在橋式起重機上應用最多是 LX7、LX10 與 LX6Q 系列行程開關。其中 LX7 系列與 LX10-31 型行程開關用於提升機構上。LX10-11 型行程開關一般用於移行機構上。LX6Q 系列主要用於艙口蓋上作為艙口開關。LX8 系列用作緊急開關。

對於提升機械行程開關，LX7 系列是安裝在提升機械的卷筒軸上，當吊鉤上升時卷筒轉動，通過蝸輪蝸杆在吊鉤升到允許高度時，將 LX7 開關觸點斷開。而 LX10-31 型行程開關

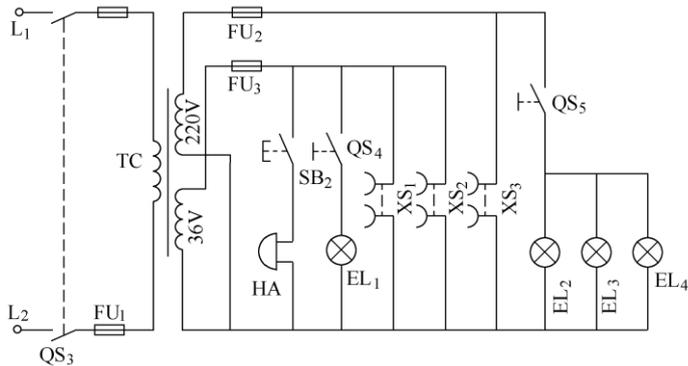


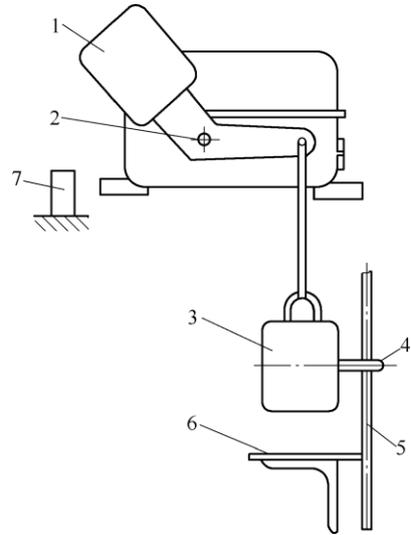
圖 10-12 XQB1 型保護箱照明及信號電路

結構簡單，如圖 10-13 所示，當吊鉤上升到允許高度時，吊掛裝置上的托板將托起重錘，而在另一重錘作用下，使轉軸旋轉，斷開開關觸點。

除上述行程開關外，現已產生出 LX22 系列新型行程開關，其中 LX22-1 型為自動復位式，LX22-2 型為非自動復位式都用於平移機構；而 LX22-3 型用於提升機構。

2. 制動器與制動電磁鐵

起重機械是一種間歇工作的設備，經常處在起動和制動狀態，因此制動器在起重機中既是工作裝置又是安全裝置。根據制動器的構造可分為塊式制動器、帶式制動器、盤式／多盤式制動器、圓錐式制動器等；根據操作情況不同，又分為常閉式、常開式與綜合式。起重機一般多採用常閉式制動器，特圖 10-13 LX10-31 型行程開關結構簡圖別在提升機構上必須採用常閉式制動器，以確保安



1、3—重錘 2—轉軸 4—套環
5—鋼絲繩 6—托板 7—支柱全。由於

塊式制動器構造簡單，製造與安裝都很方

便，成對的瓦塊壓力互相平衡，制動輪軸不受彎曲載荷等，因此起重機上廣泛使用塊式制動器。根據松開杠桿系統的不同，塊式制動器又有長行程與短行程之分。

塊式制動器由制動輪、制動瓦塊、制動臂和松開器及其他一些附屬裝置組成。制動器性能的好壞很大程度上取決於松開器的性能。松開器有制動電磁鐵和電動推杆兩種。

圖 10-14 所示為短行程電磁瓦塊式制動器的工作原理圖。制動器是借助主彈簧，通過框形拉板使左右制動臂上的制動瓦塊壓在制動輪上，借助制動輪和制動瓦塊之間的摩擦力來實現制動。

制動器松開，是借助電磁鐵，當電磁鐵線圈通電後，銜鐵吸合，將頂杆向右推動，制動臂帶動制動瓦塊同時離開制動輪，實現松開。在松開時，左制動臂在電磁鐵自重作用下自動左傾，制動瓦塊也就離開了制動輪。為防止制動臂傾斜過大，可用調整螺釘來調整制動臂的傾斜量，以保證左、右制動瓦塊離開制動輪的間隙相等。副彈簧的作用是把右制動臂推向

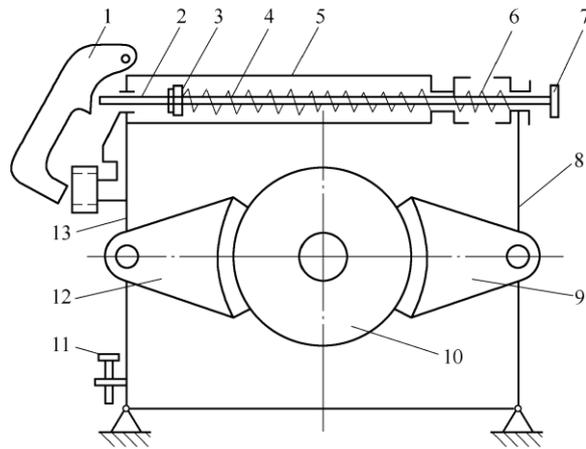


圖 10-14 短行程電磁瓦塊式制動器工作原理

- 1—電磁鐵 2—頂杆 3—鎖緊螺母 4—主彈簧 5—框形拉板
6—副彈簧 7—調整螺母 8—右制動臂 9—右制動瓦塊 10—制動輪
11—調整螺釘 12—左制動瓦塊 13—左制動臂

右傾，防止在松閘時，整個制動器左傾，而造成右制動塊離不開制動輪。

鎖緊螺母由三個螺母組成，可調整主彈簧的長度並將其鎖緊。

短行程電磁瓦塊制動器上閘、松閘動作迅速，結構緊湊、自重小；由於鉸鏈少（與長行程比較），所以死行程小；由於制動瓦塊與制動臂鉸接，制動瓦與制動輪接觸均勻，磨損也均勻，但由於短行程電磁鐵松閘力小，故只適用於小型制動器（制動輪直徑一般不大於0.3m）。

第 11 講 變壓器參數測定及其應用



導讀

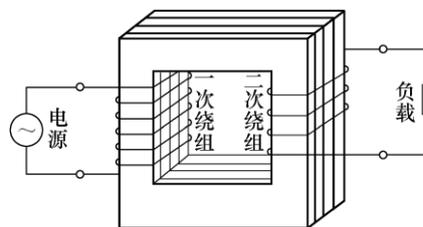
變壓器是通過磁路耦合作用傳輸交流電能和信號的變壓變流設備，廣泛應用於電力系統和電子線路之中。在輸電方面，可以利用變壓器提高輸電電壓。在輸送相同電能的情況下，這不僅可以減小輸電線的截面，節省材料，同時還可以減小線路損耗。因此，交流輸電都是用變壓器將發電機發出的電壓提高後算輸送。

在用電方面，為了保證安全和符合用電設備的電壓要求，還需要利用變壓器將電壓降低。在電子線路中，除常用的電源變壓器外，變壓器還用來耦合或隔離電路，傳遞信號，實現阻抗匹配等。變壓器用途十分廣泛，種類也十分繁多，但基本原理是相同的。

11.1 變壓器概述

1. 變壓器的工作原理

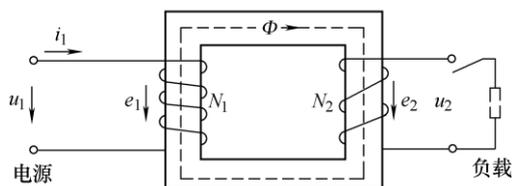
單相雙繞組變壓器的結構示意如圖 11-1 所示，它是由疊片組成的閉合鐵心和環繞在鐵心上的兩個（或多個）繞組（線圈）組成，兩個繞組匝數不同。其中一個繞組與電源相接，其電壓由電源電壓決定，接受電源電能，稱為一次繞組（俗稱原邊繞組或初級繞組），其匝數用 N_1 表示；另一個繞組與負載相



接、其電壓由變壓器繞組匝數決定，並向負載提供

電能，稱為二次繞組（俗稱副邊繞組或次級繞組），其匝數用 N_2 表示。

當交流電壓 u_1 加到一次繞組上，交流電流便 i_1 流入一次繞組，一次繞組在鐵心中產生交變主磁通 Φ ，主磁通 Φ 被限制在鐵心所提供的磁路之中，並沿磁路閉合，磁通 Φ 同時交鏈了一次繞組和二次繞組，並在一、二次繞組中引起感應電動勢 e_1 和 e_2 ，其電路連接與磁路原理如圖 11-2 所示。



根據電磁感應定律和右手螺旋定則，規定

感應電動勢和交變主磁通 Φ 的正方向時有

圖 11-2 單相雙繞組變壓器的電路與磁路

$$\begin{aligned} \text{次側感應電動勢為 } e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ \text{應電動勢為 } e_2 &= -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned}$$

式中 N_1 和 N_2 分別為一、二次繞組匝數。各電量參考方向如圖 11-2 所示。若二次繞組與負載接通，則電動勢 e_2 在二次側閉合電路內引起電流 i_2 ， i_2 在負載上的壓降即是變壓器二次側端電壓 u_2 。這樣，電源送入一次側的電能 $u_1 i_1$ ，通過一、二次繞組磁耦合的聯繫，使負載上獲得了電能 $u_2 i_2$ 。當然，二次側是另一種等級的電壓和電流。從而實現了能量的傳輸。

顯然，一、二次感應電動勢 e_1 、 e_2 之比等於一、二次繞組匝數 N_1 、 N_2 之比，即：

$$\frac{e_1 N_1}{e_2 N_2} =$$

為了表示變壓器的這種特性，引入變壓器電壓比 K 的概念。 K 的大小可由下式計算

$$K = \frac{e_1 N_1}{e_2 N_2}$$

由於，變壓器一、二次感應電動勢 e_1 、 e_2 與一、二次電壓 u_1 、 u_2 的大小非常接近，因此 $K = N_1 / N_2 \approx u_1 / u_2$ 。可見，當電源電壓 u_1 確定時，若改變匝數比 N_1 / N_2 ，則可以獲得不同數值的二次側電壓，以達到變壓的目的。

顯然 $N_1 > N_2$ 時 $K > 1$ 、 $u_1 > u_2$ ，此時變壓器為降壓變壓器，反之為升壓變壓器。這種利用一、二次繞組匝數比變動而改變二次側電壓數值的原理，稱為變壓器的“變壓”原理。

2. 變壓器的基本結構

變壓器的種類繁多，結構各有特點，但鐵心和繞組是組成變壓器的兩個主要部分。本節以油浸式電力變壓器為例，簡要介紹變壓器的結構。圖 11-3 給出了油浸式電力變壓器的總圖。

各主要部分功能及結構分述如下：

(1) 鐵心

為了減少交變磁通在鐵心中引起的磁滯損耗和渦流損耗（合稱鐵耗），低於數百赫茲運行的變壓器鐵心是由厚 0.30~0.35mm 的矽鋼片疊壓而成，矽鋼片具有低成本、低鐵耗和高磁通密度（1.0~1.5T）下的高導磁

性的特點。矽鋼片兩面塗有絕緣漆，採用交疊式裝配方式，如圖 11-4 所示。這種相鄰層交疊排列，可以使各層條片交接縫錯開，從而減少疊裝間隙使勵磁電流較小。

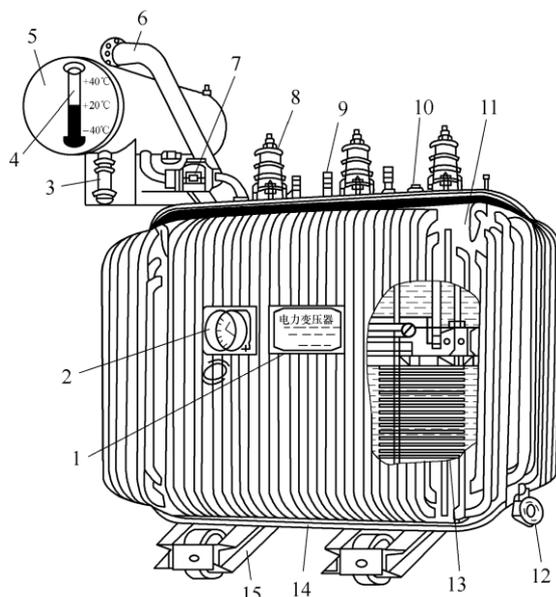


圖 11-3 三相油浸式雙繞組電力變壓器

1—銘牌 2—信號式溫度計 3—吸濕器 4—油位計 當前，大量採用高導磁、低損耗的冷軋 5—儲油櫃 6—安全氣道 7—氣體繼電器 8—高壓套管 矽鋼片做鐵心。因其在軋製方向上導磁性能 9—低壓套管 10—分接開關 11—油箱 12—放油閥

13—繞組及鐵心 14—接地栓 15—小車

高，為此採用斜切角條片，疊成斜接縫的交疊裝配方法，如圖 11-5 所示。

變壓器鐵心由鐵心柱和鐵軛兩部分組成。在鐵心柱上套置一、二次繞組，鐵軛是構成交變磁通閉合磁路的必不可少的部分，如圖 11-6 所示。

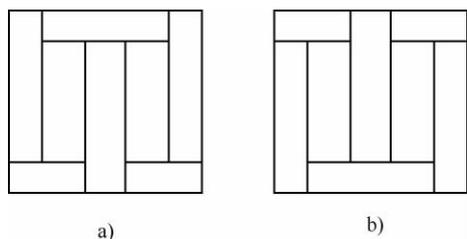


圖 11-4 鐵心交疊裝配圖

a) 1、3、5...層 b) 2、4、6...層

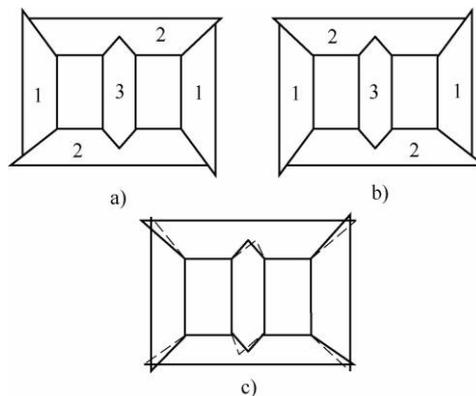


圖 11-5 斜接縫的交疊裝配圖

a) 第一層 b) 第二層 c) 兩層疊加

從圖中可見：為了充分利用繞組內圓空間，大型變壓器鐵心柱截面為階梯形狀，容量越大的變壓器階梯數越多，鐵軛截面常有矩形、階梯形和 T 形。而小型變壓器鐵心截面可以是矩形或方形。

鐵心結構的基本形式有心式和殼式兩種。圖 11-6 為三相芯式變壓器的鐵心及繞組示意圖。心式變壓器的鐵軛靠著繞組的頂面和底面，不包圍繞組的側面，結構較為簡單，繞組的裝配及絕緣也較容易，絕大部分國產變壓器均採用心式結構。圖 11-7 所示為單相殼式變壓器的鐵心和繞組示意圖。這種鐵心結構的鐵軛不僅包圍繞組的頂面和底面，而還包圍著繞組的側面，因而製造工藝複雜，使用材料較多。目前只有容量很小的電源變壓器使用這種結構。

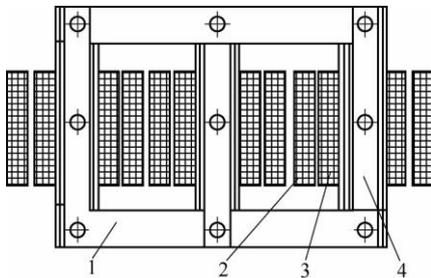


圖 11-6 三相心式變壓器的鐵心及繞組
1—鐵軛 2—高壓繞組 3—低壓繞組 4—鐵心柱

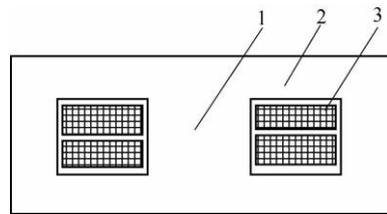


圖 11-7 單相殼式變壓器示意圖
1—鐵心柱 2—鐵軛 3—繞組

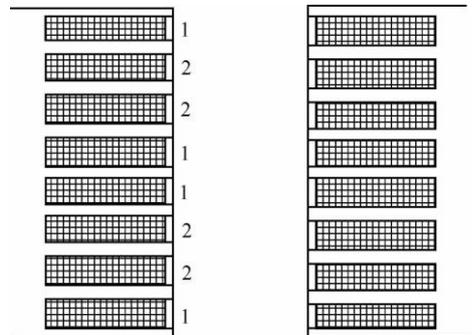
(2) 繞組

繞組是變壓器的電路部分，它由銅或鋁制導線外包絕緣材料後繞制而成，套置在鐵心柱上。變壓器中接於高壓側的繞組稱為高壓繞組，接於低壓的繞組稱為低壓繞組。從高、低壓繞組之間的相對位置來分，變壓器繞組形式可分同心式或交疊式兩類。

同心式繞組指高、低壓繞組同心地套在鐵心柱上，如圖 11-6 中的繞組所示，為了便於絕緣，一般低壓繞組套在裡面，高壓繞組套在外面。高、低壓繞組之間留有間隙作為油道，既利於繞組散熱，又可作為兩繞組之間的絕緣使用。同心式繞組，結構簡單，製造方便，國產電力變壓器均採用這種結構。交疊式繞組都做成餅式，高、低壓繞組互相交疊地放置，如圖 11-8 所示。為了便於絕緣，一般最上層和最下層的兩個繞組都是低壓繞組。交疊式繞組的漏電抗小，機械強度高，引線方便。

較大型的電爐變壓器常採用這種結構。

(3) 其他結構部件



油浸式電力變壓器如圖 11-3 所示，它的繞組及鐵心浸在變壓器油中，變壓器油充滿油箱。使用變壓器油可以提高繞組絕緣強度；並通過油受熱後的自然對流將鐵心和繞組產生的熱量帶到油箱壁，再由油箱壁散發到空氣中去。變壓器油箱一般做成橢

圓狀，為增大散熱面積，往往還在油箱外增設散熱

圖 11-8 交疊式繞組

1—低壓繞組 2—高壓繞組管，以提

高散熱效果。在油箱蓋上還裝有儲油櫃和

安全氣道（俗稱防爆管）。儲油櫃是固定在油箱頂部的圓筒形容器，並以管道與油箱連通，它可以減少變壓器油與空氣的接觸面積，以減輕變壓器油與空氣接觸後的老化變質。安全氣道是一個長筒鋼管，下部與油箱連通，上部出口處蓋以玻璃或酚醛紙板。當變壓器發生較嚴重故障時，油箱內會產生大量氣體，其迅速上升的壓力可以衝破安全氣道的出口蓋板，從而釋放氣體壓力，達到保護變壓器主體的目的。

此外，油箱上還有引出線的絕緣套管、發生事故時報警的氣體繼電器、調節一次繞組匝數用的分接開關等部件。

11.2 變壓器的型號與額定參數

1. 變壓器的銘牌數據

每台變壓器油箱上都裝有銘牌，上面標注著該變壓器的型號及有關資料，銘牌資料是使用變壓器的依據。

變壓器的型號由中文拼音字母和數字按確定的順序組合起來構成。例如 SL-1000/10，S 表示三相；L 表示鋁線；1000 表示額定容量為 1000kVA；10 表示高壓側額定電壓 10kV。

(1) 額定容量 S_N

S_N 指變壓器的視在功率。單位為 VA、kVA 或 MVA。對於雙繞組的電力變壓器，其一、二次側繞組設計容量是相同的，所以 $S_N = S_{1N} = S_{2N}$ 。對三相變壓器， S_N 是指三相總容量。

(2) 額定電壓 U_{1N}/U_{2N}

U_{1N} 指電源施加到一次繞組的額定電壓； U_{2N} 指當一次繞組加 U_{1N} 時，二次繞組開路（空載）時的二次繞組電壓 U_{20} ，所以 $U_{20} = U_{2N}$ 。對三相變壓器額定電壓是指線電壓，額定電壓的單位為 V 或 kV。

(3) 額定電流 I_{1N}/I_{2N}

變壓器額定容量 S_N 除以一、二次額定電壓（ U_{1N} 或 U_{2N} ）後，所計算出來的值（ I_{1N} 或

I_{1N})，單位為 A 或 kA。對於三相變壓器額定電流指線電流。

$$\begin{aligned} \text{壓器 } I_{1N} = , I_{2N} = & \frac{S_N}{U_{1N}} \quad \frac{S_N}{U_{2N}} \text{ 對單相變} \\ \text{壓器 } I_{1N} = , I_{2N} = & \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} \quad \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} \text{ 對三相變} \end{aligned}$$

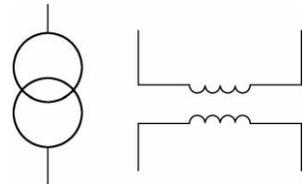
變壓器實際運行時，其運行的容量往往與額定容量不同，即變壓器運行時二次電流 I_2 就不一定是額定電流 I_{2N} ，當二次電流達到額定值時，變壓器就稱為帶額定負載運行。

(4) 額定頻率 f_N

我國規定供電的工業頻率 50Hz。因此，所有電力變壓器的額定頻率均為 50Hz。

2. 變壓器的圖形符號

國家標準規定了電氣圖用的圖形符號，變壓器的圖形符號如圖 11-9 所示。



3. 變壓器的分類

按照用途對變壓器進行分類，一般分為電力變壓器和特種變壓器兩大類。

在電力系統中用來傳輸和分配電能的一大類變壓器，統稱為電力變壓器。電力變壓器根據其使用特點可分為升壓變壓器、降壓變壓器、配電變壓器，聯絡變壓器、廠用電變壓器等等。

特種變壓器中的一類是用來獲得工業生產中有特殊要求的電源，如整流變壓器、電爐變壓器、試驗變壓器（獲得試驗用高電壓或可調電壓）、中頻變壓器（1000~8000Hz 交流系統中使用的變壓器）、電焊變壓器等。特種變壓器的另一大類是特殊用途或專門用途的變壓器，如電子、電信、自控系統使用的電源變壓器、阻抗匹配變壓器、脈衝變壓器等。由於電流互感器、電壓互感器、調壓器和電抗器的基本原理和結構與變壓器相似，所以常合併於變壓器產品之中。

變壓器還可按相數分成單相、三相、多相，按繞組數分為雙繞組、三繞組、多繞組，按絕緣方式分為油浸式、幹式，還可按冷卻方式分為自然冷卻、風冷、水冷、強迫油迴圈冷卻等各種形式。

11.3 變壓器的參數測定

1. 電壓比 K 、鐵耗 P_{Fe} 、勵磁阻抗 Z_m 的測定——空載試驗

變壓器空載試驗可以測出電壓比 K 、鐵耗 P_{Fe} 和勵磁阻抗 Z_m 及 X_m 、 R_m 。測試線路如圖 11-10 所示。試驗可在一次側加電壓，也可在二次側加電壓。為了提高測量精度和選擇測量儀錶時方便，空載試驗通常在低壓邊加電壓，將高壓邊開路。

以升壓變壓器為例，空載試驗線路如圖 11-10a 所示。一次側（低壓側）接電源，二次側（高壓側）開路，通過電壓表、功率表、電流錶測量一次側電壓 U_0 、一次側電流 I_0 、輸入功率 P_0 和 U_{20} 。

由於變壓器空載，輸入功率 P_0 全部消耗在變壓器的內部損耗上，故 P_0 稱為空載損耗。根據空載等效電路，即圖 11-10b 所示電路可以看出，空載損耗 P_0 包括一次繞組的銅耗 $I_0^2 R_1$ 和鐵損耗 $I_0^2 R_m$ 兩部分。由於 $R_m \gg R_1$ 且 I_0 很小，一次側銅耗 $I_0^2 R_1$ 可以略去不計。則 $P_0 \approx I_0^2 R_m = P_{Fe}$ 。

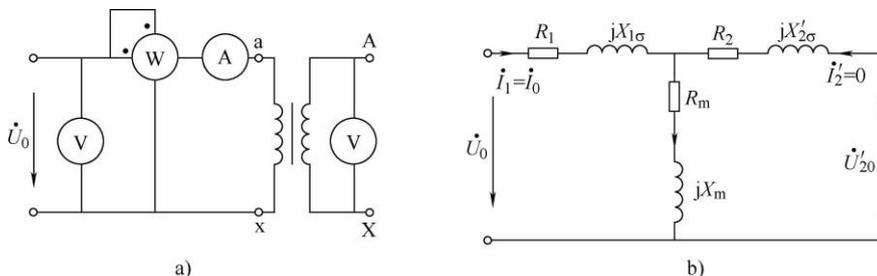


圖 11-10 空載試驗線路及等效電路圖

空載試驗時，一次側加額定電壓 U_{1N} ，所以鐵心中的主磁通及渦流和磁滯損耗的大小都與正常運行時相同。根據測量值可按下式計算：

$$1) \quad \text{電壓比 } K \quad K = \frac{U_0}{U_{20}}$$

$$2) \quad \text{勵磁阻抗 } Z_m = \frac{U_0}{I_0}$$

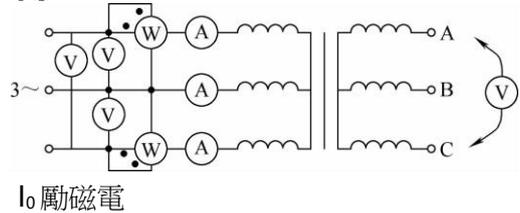
U_0 由於 $Z_1 \ll Z_m$ 並可以忽略，勵磁阻抗為 $Z_m = \frac{U_0}{I_0}$

為 $R_m = 2$

I_0

P_0 由於 $R_1 \ll R_m$ 並可以忽略，勵磁電阻

$$X = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}$$



抗為 m

值得注意的是，若變壓器為降壓變壓器，空載試驗必須在二次側加電壓，將上述計算所得勵磁阻抗乘以 K^2 折算到高壓側，同時電壓比應是高壓側電壓比低壓側電壓之值。

對於三相變壓器，按圖 11-11 試驗時，所測

圖 11-11 三相變壓器空載試驗電壓、電

流均為線值，應根據連接方式換算為相值；功率也應取一相值，再利用公式進行計算。

2. 銅耗和短路參數的測定——短路試驗

變壓器的短路試驗可以測定變壓器的銅耗 P_{Cu} 和短路參數 Z_k 、 R_k 、 X_k 。

試驗線路如圖 11-12a 所示。由於短路後，變壓器勵磁阻抗遠大於漏阻抗，所以變壓器等效電路可以用一字形等效電路來表示，如圖 11-12b。圖中電源電壓應可調，儀錶量程也應可以調整。由於二次側短接，變壓器在額定電壓下短路，繞組會因有很大的短路電流（10~20 倍 I_{1N} ）而損壞變壓器。因此試驗時一次側加電壓 U_k （一般約為 $0.05U_{1N}$ ），使 $I_k = I_{1N}$ 。由於短路試驗所加的電壓比正常運行時小得多，所以主磁通遠小於正常運行值，因此鐵心中的鐵耗與銅耗相比可以忽略。這時變壓器的輸入功率 P_k 等於一、二次繞組的銅耗。即

$$P_k = I_{2k}R_k = P_{Cu}$$

通常短路試驗時電源加在高壓側，所以試驗對應的參數是高壓側的值。根據測量值按下式計算：

U_k 短路阻抗

為 $Z_k =$

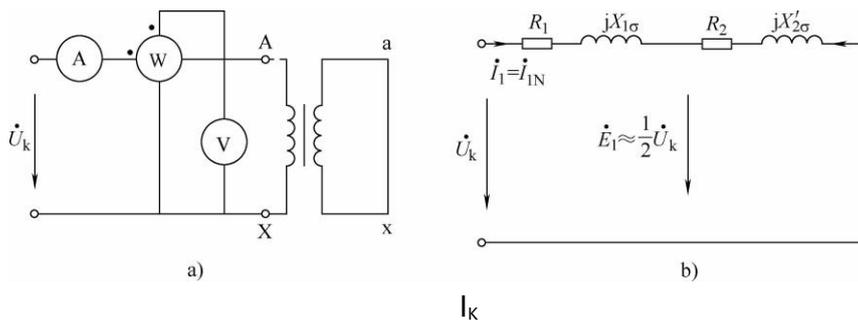


圖 11-12 短路試驗線路和等效電路圖 a) 試驗線路 b) 等效電路

P_k 短路電阻

為 $R_k = \frac{P_k}{I_k^2}$

X_k 短路電抗為

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$$

對於三相變壓器，應根據連接方式換算為相值；功率也應取一相值，再利用公式進行計算。

求得 $X_k = X_{1\sigma} + X_{2'\sigma}$ ， $R_k = R_1 + R_2'$ 一般不能用試驗方法將其分離為。對大、中型電力變壓器，可設 $R_1 = R_2'$ ， $X_{1\sigma} = X_{2'\sigma}$ 分離。

由短路試驗求得 R_k 是在實驗室室溫下測出的數值（稱為冷態值），而變壓器實際運行中，繞組是處於熱狀態下的，其熱態電阻值不等於實驗室測得的值。國家標準規定，變壓器標準工作狀態時的溫度是 75°C，因此應將試驗測得的冷態電阻 R_k 換算到 75°C 時的值。其換算公式為

銅線 $R_{k75^\circ C} = R_k \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + t} \right)$ 式中， t 為實驗時的室溫。

鋁線 $R_{k75^\circ C} = R_k \left(\frac{228 + 75}{228 + t} \right)$ 可認為 X_k 值與溫度無關，則 75°C 時的短路阻抗為

$$Z_k = \sqrt{X_k^2 + R_{k75^\circ C}^2}$$

3. 阻抗電壓

在變壓器銘牌上使用阻抗電壓 u_k 來表示變壓器參數，阻抗電壓 u_k 的定義為

$$I_{1N} \text{Ph} Z_{k75^\circ C}$$

$$u_k = \frac{\quad}{U_{1NPh}} \times 100\%$$

U_{1NPh} u_k 的有功分量 u_{kR} 和無功分量 u_{kX} 分別

為

$$u_{kR} = \frac{I_{1NPh} R_{k75^\circ C}}{U_{1NPh}} \times 100\%$$

$$u_{kX} = \frac{I_{1NPh} X}{U_{1NPh}} \times 100\%$$

$$|u_k| = \sqrt{u_{2kR}^2 + u_{2kX}^2}$$

u_k 表示額定電流在內阻抗 $Z_{k75^\circ C}$ 的電壓降占額定電壓的百分數。表明了短路試驗的電流達到額定值時，應施加的電壓是額定電壓的百分比，其實質是反映變壓器內阻抗的大小。應該注意的是，對於三相變壓器，公式中電壓 U_{1NPh} 、電流 I_{1NPh} 均為相值。

u_k 是國標規定的變壓器技術考核指標之一， u_k 的大小與變壓器性能、成本、供電品質及供電系統的運行穩定性有關，是變壓器重要的技術經濟指標，相關問題在後續內容中介紹。

11.4 變壓器的工程應用

1. 變壓器在輸配電中的應用

電力系統中使用的電力變壓器，是電力系統的重要設備。由於發電廠發出來的交流電，經過電力系統輸送和分配才能供用戶使用。為了減少輸電時線路的電能損耗，電力系統採用高壓輸電，如 110kV、220kV、330kV、500kV 等。如果發電機發出的電壓為 10kV，需先經過變壓器升高電壓後，再經輸電系統送到用電地區；到了用電地區後，還需要先把高壓降到

35kV 以下，再按使用者需要的具體電壓分別配電。使用者需要的電壓通常有 6kV、3kV、1kV、

380/220V 等。

即使遠距離的直流高壓輸電，發電機發出來的三相交流電還是先要經過變壓器升壓，然後再把交流整流為直流輸送；到了用電地區，把直流逆變為交流後，用變壓器降壓，然後再送給用戶。

可見，輸配電系統中，電能從發電廠到使用者，需要升壓和降壓多次進行，如圖 11-13 所示的三相電力系統。電力變壓器在輸配電系統中的作用是變壓和變流。

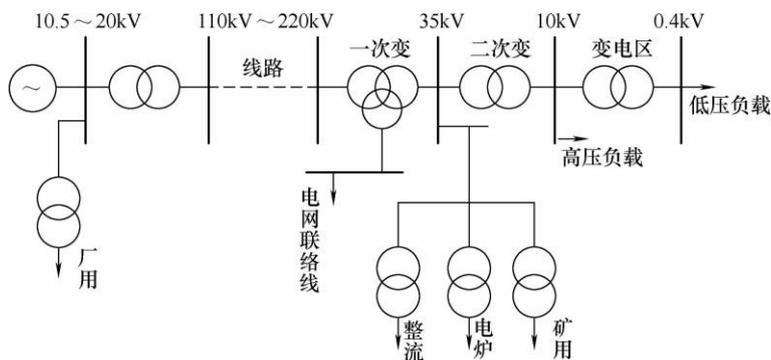


圖 11-13 電力系統示意圖

2. 變壓器在電子線路的應用

從變壓器的折算原理可知。與變壓器二次側連接負載阻抗 Z_L ，折合到原邊以後就變成 $K^2 Z_L$ 。也就是說一個阻抗直接接入電路與經過電壓比為 K 的變壓器接入電路，對電路而言，二者阻抗數值就差了 K^2 倍。這就是變壓器的阻抗變換作用。

在電子線路中，帶一隻揚聲器的功率放大器，為了能夠輸出盡可能的最大功率，需要一定的負載阻抗值，而揚聲器線圈的阻抗數值往往與需要的數值相差太遠，直接接上去輸出功率太小，因此就採用在功率放大器與揚聲器之間接一個輸出變壓器，來實現揚聲器阻抗變換，達到最大的功率輸出，這就是變壓器阻抗匹配作用。

3. 變壓器的其他應用

由於變壓器一次繞組和二次繞組在電路上沒有連接，靠電磁耦合傳遞電能，而且一次、二次電壓信號基本同相位。因此變壓器可以用來將主電路的高電壓變為適合於儀錶測量、電腦和微處理器處理的安全電壓。如微小型的變壓器廣泛使用在電量感測器中，所以隨著自動化、電腦控制、資訊化的迅猛發展大量的微小型變壓器將會廣泛得到應用。

另外，隨著科學技術的發展，各種變壓器的應用和利用變壓器原理製造的各種新型電器也會不斷出現。

11.5 三相變壓器

1. 三相變壓器的電路系統

三相變壓器在電路上有三個一次側繞組與 A、B、C 三相對稱電源相接，有三個二次側繞組與 a、b、c 三相負載相接；在磁路上有三個閉合的磁路，完成一次側到二次側的電磁耦合，實現三相電能的傳輸，如圖 11-14 所示。電力系統採用三相制，因此均使用三相變壓器。

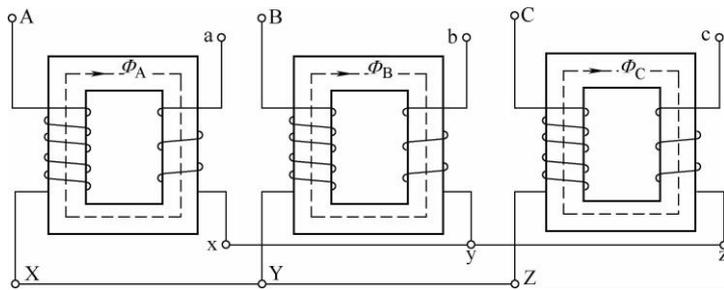


圖 11-14 三相變壓器組

三相變壓器均在對稱條件下運行，各相間電壓、電流大小相等，相位互差 120° 。因此，可以把三相變壓器看成三個單相變壓器組合，這樣在分析計算時，只需任取其中的一相進行分析研究。於是前面推導的單相變壓器的基本方程、相量圖、等效電路均可直接使用。

但三相變壓器有著自身的結構特點，本節將分析三相變壓器的磁路系統、電路系統（即繞組聯結方式）、空載電動勢波形等問題。

三相心式變壓器的每個心柱上均套制一個高壓繞組線圈和一個低壓繞組線圈，低壓繞組在內，高壓繞組在外同心放置。三個心柱共六個線圈。電路系統是指變壓器的一、二次繞組的聯結方式及聯結組別。

2. 三相變壓器繞組的聯結方式

通常三相變壓器高壓繞組首端用 A、B、C（或 U_1 、 V_1 、 W_1 ）表示，末端用 X、Y、Z（或 U_2 、 V_2 、 W_2 ）表示；低壓繞組首端用 a、b、c（或 u_1 、 v_1 、 w_1 ），末端用 y、z（或 u_2 、 v_2 、 w_2 ）表示。

變壓器的三相繞組，不論一次側還是二次側，常有星形和三角形兩種聯結方法。星形接法是三個首端引出，三個末端連在一起作為中點，用 Y （或 y ）表示；三角形接法是把一相繞組的尾端和另一相繞組首端順次相連，構成閉合回路，引出線從首端 A 、 B 、 C 引出，用 D 或 Δ （或 d ）表示。如圖 11-15 所示。

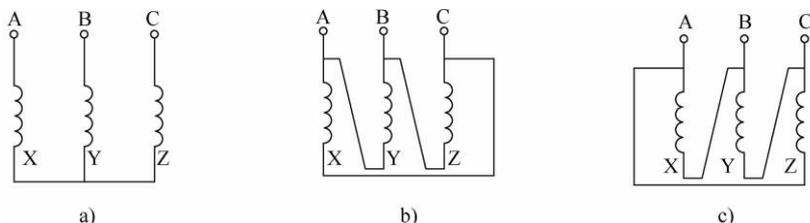


圖 11-15 三相繞組的聯結

a) Y 聯結 b) D 聯結 1 c) D 聯結 2

如果星形聯結的中性點向外引出的，高壓方用 YN 表示，低壓方用 yn 表示。如 YN, d 表示高壓繞組星形聯結，並中性點向外引出，低壓側繞組三角形聯結。

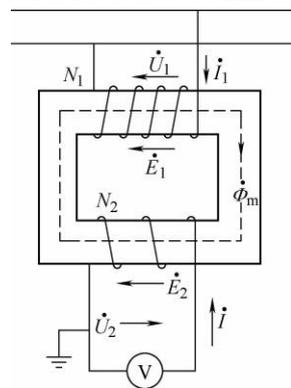
變壓器的繞組聯結，對其工作特性有較大的影響，例如 Y, yn 聯結組可在低壓側實現三相四線制供電； YN, d 聯結組可以實現高壓側中性點接地； Y, d 聯結組其二次側角形聯結，可以削弱三次諧波，對運行有利等。

11.6 電壓互感器和電流互感器

1. 電壓互感器

由於電力系統的電壓範圍高達幾百 kV ，電流可能為數十 kA ，這就需要將這些高電壓、大電流用變壓器變為較為安全的低壓、低流等級形式，提供給測量儀器。測量高電壓的專用變壓器叫電壓互感器（PT），測量大電流的專用變壓器叫電流互感器（CT）。電壓互感器和電流互感器就是用於儀器測量用途，以使被測高電壓或大電流滿足儀錶和其他儀器的量程。

電壓互感器是一次側接高壓，二次側接阻抗很大測量儀器，所以將電壓互感器設計為正常運行時，相當於普通變壓器的空載運行。電壓互感器一次側匝數 N_1 大，二次側匝數 N_2 小，一次側電



壓是二次側的 K_u 倍， $K_u = N_1 / N_2$ 為電壓互感器的電壓比。從而將一次側高壓變為二次側低壓，為測量儀器提供被測信號或控制

信號。如圖 11-16 所示。

圖 11-16 電壓互感器

電壓互感器的設計特點是：應具有較大的勵磁阻抗，較小的繞組電阻和漏電抗，較低的鐵心磁密，不能飽和，從而提高測量精度。同時，負載阻抗必須保持在某一最小值之上，以避免在所測量的電壓大小和相位中引入過大的誤差。

由於電壓互感器正常運行相當於空載運行，因此二次側絕不允許短路，否則將引起電壓互感器電流過高而燒壞。同時二次側不能並聯過多數量的儀器，否則導致電壓互感器負載過大，引起測量誤差的增加。

2. 電流互感器

電流互感器的一次側繞組直接串入被測電路，因此被測電流 I_1 直接流過一次側繞組，一次側繞組 N_1 僅有一匝或幾匝，二次側繞組匝數 N_2 較多。電流互感器的二次側與阻抗很小的儀錶（如電流錶、功率表）接成閉合回路，有電流 I_2 流通。如圖

11-17 所示。由於電流互感器二次側阻抗很小，所以電流互感器正常運行時，其電磁原理相當於二次側短路的變壓器。

為了提高電流互感器的測量精度，使二次側電流準確反映一次側電流。需要盡可能減小勵磁電流，這樣電流互感器儘量減少磁路中的氣隙，選擇導磁性能好的鐵心材料。使電流互感器鐵心的磁密值較低，不飽和。這時，可以認為勵磁電流 I_0 忽

略不計，即

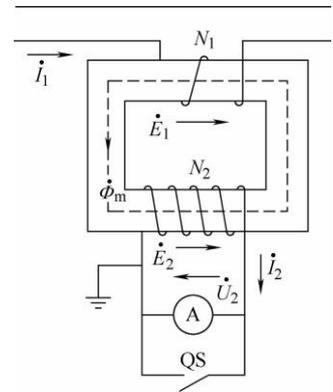


圖 11-17 電流互感器原理圖

$$I_1 = I_2 = K_i I_2$$

$$I_1 N_2$$

式中 $K_i = \frac{N_2}{N_1}$ 稱為電流互感器的電流電壓比。

$$I_2 N_1$$

通常電流互感器二次側電流額定值為 1A 或 5A，而一次側電流的測量範圍較寬。不同的測量情況可以選取不同的電流互感器。由於式中忽略了勵磁電流，因而實際應用中的電流互感器總是存在著誤差，即電流誤差和相位誤差。其電流誤差用相對誤差表示為

$$\Delta i = \frac{K i_2 - I_1}{I_1} \times 100\%$$

根據相對誤差的大小，國家標準規定電流互感器分下列五個等級，即 0.2，0.5，1.0，3.0，10.0。如 0.2 級的電流互感器表示，在額定電流時誤差最大不超過±0.2%，對各級的允許誤差（電流誤差和相位誤差）見有關國家標準。

使用電流互感器應注意如下事項：

1) 二次側絕對不允許開路。因為二次側開路時，一次側的大電流 I_1 （由主電路決定，與互感器狀態無關）全部成為互感器的勵磁電流，使鐵心磁密急劇增高、鐵耗劇增，鐵心過熱燒毀繞組絕緣，導致高壓側對地短路。更嚴重的是，使二次側感應極高電壓，危及設備和人身安全。

2) 二次繞組一端必須可靠接地，以防絕緣損壞後，二次繞組帶高壓引起傷害事故。

3) 二次側串入的電流錶等測量儀錶的總數不可超過規定值，否則阻抗過大， I_2 變小，

I_0 增大，誤差增加。

第 12 講 電氣照明安裝及檢修



導讀

電氣照明是工廠和居民供電的一個組成部分，良好的照明是保證安全生產、提高勞動生產率和保護工作人員視力健康的必要條件。照明光源在選擇時，應考慮各種光源的優缺點，使用場所，額定電壓以及照度的需要等方面。同時，照明設備必須正常工作，否則可能導致人身傷亡事故或火災。為此，必須保持照明設備的安全運行。

本講主要闡述了照明方式與種類、電氣照明系統的安裝流程、照明電路故障的常規檢修、能燈及其檢修。通過對照明電路有斷路、短路和漏電三種常見故障的分析，得出了電氣照明檢修的一般規範。

12.1 照明方式與種類

1. 照明方式

有一般照明、局部照明、混合照明三種方式。

1) 一般照明：是指在整個場所或場所的某部分照度基本上相同的照明。

適宜範圍：工作位置密度很大而對光照方向又無特殊要求，或工藝上不適宜裝設局部照明設置的場所。

優點：工作表面和整個視界範圍內，具有較佳的亮度對比；可採用較大功率的燈泡，因而光效較高；照明裝置數量少，投資費用較低。

2) 局部照明：是指局限於工作部位的固定的或移動的照明，對於局部地點需要高照度並對照射方向有要求時宜採用局部照明。

3) 混合照明：是指一般照明與局部照明共同組成的照明。

適宜範圍：工作部位需要較高照度並對照射方向有特殊要求的場所。

優點：可以在工作平面、垂直和傾斜表面上，甚至工件的內臟裡，獲得高的照度，易於改善光色，減少裝置功率和節約運行費用。

2. 照明光源的選擇

照明光源的選擇應考慮各種光源的優缺點，使用場所，額定電壓以及照度的需要等方面。

光通量：光源在單位時間內，向周圍空間輻射出的使人眼產生光感的能量，符號為 Φ ，單位為流明，照度 $E = \Phi / S$ ，單位為勒克斯。

電燈額定的選擇，主要應從人身安全的角度出發來考慮。

1) 在觸電機會較多危險性較大的場所，局部照明和手提照明（如機床照明）應採用額定電壓 36V 以下的安全燈，並應配用行燈變壓器降壓，如圖 12-1 所示。

在購買行燈變壓器前，先估算好所使用的電器總容量，並選用有相當容量的變壓器，確保暫態起動時不燒壞變壓器。當使用多繞組（多控制電壓）的變壓器時，容量應按電壓比相應增加變壓器容量，以免燒壞變壓器。通電工作後，變壓器鐵心和線圈將發熱（但溫升不超過 80°C 屬正常現象，若溫升超過 80°C 甚至冒煙，則應切斷電源開關，重新檢查所用的電器容量。



2) 安裝高度能符合規程規定（一般情況下燈頭距地面不低於 2m，特殊情況下不低於 1.5m），觸電機會較少，觸電危險性較小場所，一般採用額定電壓為 220V 的普通照明燈，這樣不需要降壓變壓器，投資小，安裝方便。

3. 照明與照明燈具種類

(1) 照明種類

明和事故照明兩種。

1) 工作照明：是指用來保證在照明場所正常工作時所需的照度適合視力條件的照明。

2) 事故照明：是指當工作照明由於電氣事故而熄滅後，為了繼續工作或從房間內疏散人員而設置的照明。

範圍：由於工作中斷或誤操作會引起爆炸、火災、人身傷亡等嚴重事故或生產秩序長期混亂的場所應有事故照明。如大型的總降壓變電所，其照明不應小於這些地點規定照度的 10%。

(2) 照明燈具種類

1) 燈具的種類。燈具的種類有以下幾種方式：

按安裝方式一般可分為嵌頂燈、吸頂燈、吊燈、壁燈、活動燈具、建築照明等六種；按光源可分為白熾燈（緊湊型螢光燈歸為這一類）、螢光燈、高壓氣體放電燈等三類；按使用場所可分為民用燈、建築燈、工礦燈、車用燈、船用燈、舞臺燈等；按配光嚴寒可分為直接照明型、半直接照明型、全漫射式照明型和間接照明型等。

2) 燈種的代號及表示方法。民用燈具的燈種代號如下：

圖 12-1 行燈變壓器有工作照

B——壁燈；L——落地燈；T——檯燈；C——床頭燈；M——門燈；X——吸頂燈；

D——吊燈；Q——嵌入式頂燈；W——未列入類。

光源的種類及代號如下：

G——汞燈；J——金屬鹵化物燈；Y——螢光燈；X——氙燈；H——混光光源；L——鹵鎢燈；N——鈉燈；不注為白熾燈。

12.2 電氣照明系統的安裝流程

1. 電氣照明系統施工流程

(1) 鋼管與電線管、PVC 電線管明裝敷設

1) 施工程式工藝流程如圖 12-2 所示。

2) 明配管路的施工方法，一般為配管沿牆、支架、吊架敷設，管子在敷設前應按設計圖紙或標準圖，加工好各種支架、吊架和大鋼管的預彎制。

3) 支架、吊架製作一般採用角鋼、小型槽鋼與鋼板加工製作，下料應用鋼鋸和切割機切割，嚴禁用電氣焊切割（鋼板除外），鑽孔應用手電鑽和台鑽鑽孔，嚴禁用電、氣焊吹孔。所有支、吊架必須按要求做好防腐漆和麵漆的塗刷。

4) 測量定位

明配管應在建築物裝飾面完成後進行。在配管前應按設計圖紙確定配電設備位置，各種箱、盒及用電設備位置，並將箱、盒與建築物固定牢固，然後根據明配箱線應橫平豎直的原則，順線路的水準方向和垂直方向進行彈線定位，測量出支吊架的間距和固定點的具體位置。支吊架固定點的距離應均勻，管卡與終端、轉彎中點、電氣器具或接線盒邊緣距離為 150~500mm。

5) 明配管彎曲半徑應不小於管外徑 6 倍，同時不應小於所穿入電纜的最小允許彎曲半徑。

6) 配管時要注意每根電纜管彎頭不宜超過 3 個，直角

彎不宜超過 2 個。

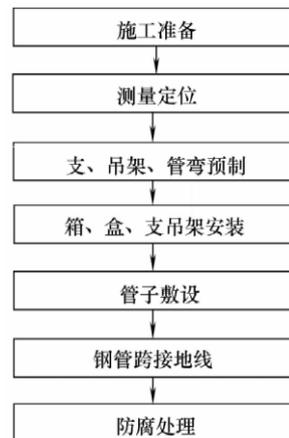


圖 12-2 電線管明裝敷設工藝流程

7) 管路超過一定長度，應加裝接線盒，其位置便於穿線。當 PVC 管的直線長度超過 30m 時，宜加裝伸縮節，明配管在通過建築物伸縮縫各沉降縫應採取補償措施。

8) 金屬導管嚴禁對口熔焊連接；鍍鋅和壁厚小於等於 2mm 的鋼導管不得套管熔焊連接。

9) 金屬導管必須接地可靠，應使用專用的接地卡，接地線為銅芯導線，其截面積應不小於 4mm²。

10) 管、盒、箱之間的連接

①鋼管的管箍絲扣連接，管箍必須使用通用絲管箍，裝好管箍後，外露絲不應多於 2 扣。

②鋼管進入盒（箱），應採用鎖緊螺母將鋼管與盒（箱）鎖緊，兩根以上鋼管並排進入盒（箱）時，盒（箱）內鋼管頭長短應一致，排列要整齊。

③PVC 管與管、管與盒（箱）之間的連接應採用插入連接，連接處的結合面應塗專業粘膠劑。套管連接，套管的長應為管外徑的 1.5~3 倍；管進入盒（箱），一律要採用端接頭與鎖母連接。

11) 成品保護

管線敷設安裝時，應注意保護牆面整潔。管線敷設安裝完成後，不應再次噴漿、刷油，以防管線被污染。

(2) 電線管暗裝敷設

1) 施工程式（見圖 12-3）。2) 電線管暗敷設隱蔽形式：

①現澆混凝土樓板、牆、柱、梁內配管；

②隨牆砌磚配管；

③室外地下埋管。



圖 12-3 電線管暗裝敷設工藝流程

3) 暗敷設管路都須與土建主體工程密切配合施工，並在土建主體工程工程施工中按設計圖埋設。

4) 配管要盡減少轉彎，沿最短路徑，經綜合考慮確定合理管路敷設部位和走向，確定盒箱的正確位置。線管連接的介面必須密封，避免混凝土漿進入兩管，堵塞管道。

5) 根據現場實際敷設施工圖，加工好各種管彎和盒箱。

6) 管、盒、箱之間的連接與明裝管相同。

7) 測定盒、箱位置：根據施工圖要求，確定盒、箱軸線位置，根據土建標出的水平線為基準，標出盒箱的實際安裝位置。

8) 固定盒箱：管路和鋼筋可用鐵線捆紮固定，盒、箱表面與建築物、構築物表面的距離一般不小於 15mm，盒、箱中要加填滿塑膠泡沫或其他填充物，防止水泥落入。盒、箱要求旋轉平整牢固，座標正確。

9) 地線連接：

①暗敷設的鍍鋅鋼管的鍍鋅層脫落處、絲扣處，各跨接線和焊縫處場均要刷防腐油漆。

②暗敷管道安裝完畢，隱蔽前要會同業主或監理對其作全面的檢查驗收，辦理好書面隱蔽檢查驗收記錄，方可交付隱蔽。

10) 在土建單位拆模後要對盒、箱位置和管道的通暢進行複查，可在穿引線鐵線過程檢查管路的通暢。

(3) 管內穿線與接線

1) 施工程式（見圖 12-4）。

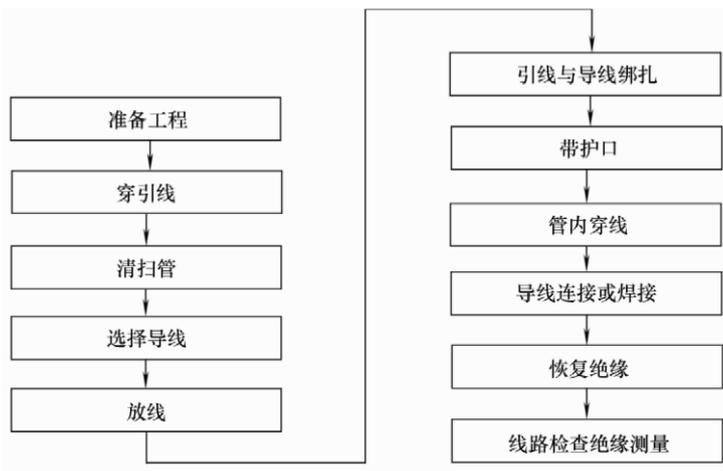


圖 12-4 管內穿線與結線工藝流程

2) 在管路較長或彎頭較多時，可以在敷設管路的同時將引線一併穿好。

3) 管道內有泥沙等雜物時，應用布條綁紮在引線上來回拉動，將管內雜物清淨。

4) 放線：

①放線前應根據圖樣對穿入的導線的規格、型號進行核對，發現規格不符或絕緣層品質不好導線應及時退換。

②放線時為使導線不扭結，最好使用放線架。5) 引線與導線綁紮：如導線數量較多和截面較大，要把導線端部剝出線芯，用綁帶纏繞綁紮牢固，使綁紮端接頭處形成一個平滑的錐形過渡部位，然後再穿入管。

6) 管口帶護口：導線穿入鋼管前，應給管口帶塑膠護線套，穿入 PVC 硬塑制管前，應先檢查並清除管口留有毛刺和刃口，以防穿線時損壞導線的絕緣層。

7) 管內穿線：

①穿放入管內導線不應有接頭。

②不同電壓，交流與直流導線不得穿入同一管內。

8) 導線連接的品質要求：

①割開導線的絕緣層時，不應損傷線芯。

②截面超過 2.5mm^2 的多股銅芯線的終端應焊接或壓接端子後再與電器的端子連接（設備自帶插接式的端子除外）。

③使用錫焊法連接銅導線時，焊錫應灌得飽滿，不應使用酸性焊劑。

9) 銅導線的直接連接與分支連接可採用閉壓端子連接。

10) 線路檢查和絕緣測量：

①照明線路一般選用 500V ， $0\sim 500\text{M}\Omega$ 絕緣電阻表。

②照明絕緣線路在電氣器具未安裝前進行線路絕緣測量時，應將燈頭盒內導線分開，開關盒內導線連通，幹線和支線分開測量，並做好記錄，在電氣器具全部安裝完畢，在送電前進行檢測時，應先將線路上的開關、刀閘、儀錶、設備等用電開關全部置於斷開位置。其絕緣電阻應大於 $0.5\text{M}\Omega$ ，線管穿線合格。

(4) 室內照明配電箱安裝

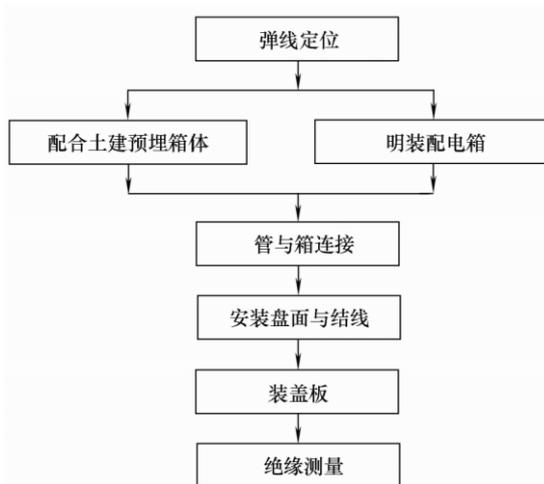
1) 施工程式（見圖 12-5）。

2) 低壓電力和照明配電箱安裝方法分為明裝（懸掛式）和暗裝（嵌入式），本工程配電箱應根據設計由工廠成套生產。

3) 嵌入式暗裝：

①箱體預埋前，箱體與箱蓋（門）和盤面解體後要做好標誌。

②箱體預埋要配合土建主體施工進行，箱體埋入牆內要平正、固定牢固，箱體與牆面的定位尺寸應根據製造廠面板安裝形式決定。



③盤面電器元件安裝應按製造廠原元件 圖 12-5 配電箱安裝工藝流程整體進行恢復安裝，接線應美觀、整齊、可靠。

④配電箱面板四周邊緣應緊貼牆面，不能縮進抹灰層內或突出抹灰層。

4) 明裝配電箱一般有鐵架固定配電箱和金屬膨脹螺栓固定配電箱。需鐵架固定的配電箱的鐵架的固定形式可採用預埋或用膨脹螺栓固定。

5) 明配鋼管和暗配的鍍鋅鋼管與配電箱採用鎖緊螺母固定，管端螺紋宜處露 2~3 扣，管口要加插一個護線套（護口）。6) 配電箱（盤、板）安裝的允許偏差，同前面《成套配電櫃（盤）及動力開關櫃安裝》。

7) 剩餘電流斷路器的安裝：剩餘電流斷路器後的 N 線不准重複接地，不同支路不准共用（否則誤動作），不准作保護線用（否則拒動），應另敷設保護線。

（5）開關插座安裝

1) 施工工藝流程（見圖 12-6）。

2) 將預埋的底盒內殘存的灰塊剔掉，同時將其他雜物清出盒外。

3) 接線：

①按照開關、插座的接線示意圖進行接線。

②盒內導線應留有維修長度，剝削線不要損傷線芯，線芯固定後不得處露。

4) 開關、插座安裝：

①暗裝開關的面板應端正嚴密並與牆面平，成排安裝開

高度應一致，高低差不大於 2mm。

②同一室內安裝插座高低差不應大於 5mm。成排插座高低差不應大於 2mm。

5) 插座接線應符合下列規定：

①面對插座的右孔與相線連接，左孔與零線連接。

②接地（PE）或接零（PEN）線在插座間不得串聯連接。

6) 插座、開關安裝完畢，應通電逐一檢查其接線是否正確。

7) 成品保護：

①照明開關、插座安裝應在牆面粉刷完成後進行。

②安裝作業時，要注意牆面的保護，不得汗損。

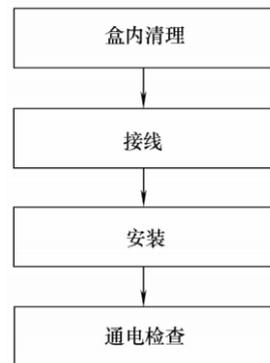


圖 12-6 開關插座安裝工藝流程圖

(6) 燈具安裝

1) 安裝工藝流程 (見圖 12-7)

2) 一般要求：

①燈具合格證明檔齊全，外觀檢查正常。

②燈具配件齊全，燈內配線嚴禁外露。

3) 建築物吊頂(天花)內燈具安裝要配合裝修按裝修圖安裝，成排或對稱及組成幾何圖形燈具安裝時，精確測量放線定位，保證燈具安裝整齊、美觀。

4) 無建築物吊頂(天花)安裝燈具及鋼結構下的燈具安裝，因其大面積照明特點，要特別注意定位正確、安裝牢靠、燈具排列整齊和線性(直線或曲線)達到設計要求、確保其整體圖形和視覺美觀，做到一次施工完成。

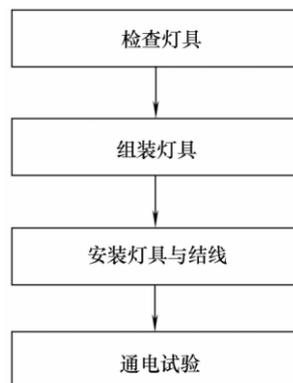


圖 12-7 燈具安裝工藝流程

5) 一些特殊大功率的燈具如金鹵燈，應按產品的技術要求，應特別注意，吊杆或吊鏈的承重和耐震強度，確保安裝牢靠。

6) 同一場所的疏散燈，出口指示燈安裝高度應一致、平整。

7) 成品保護：燈具安裝應在牆面、頂板粉刷完成後進行，安裝時應注意保持地面、牆面和頂板的整潔，不得汙損。

(7) 照明系統調試

1) 調試工藝流程 (見圖 12-8)。

2) 通電調試前檢查：

①複查層間配電、室內配電箱以及各回路開關接線是否正確。

②層間配電箱、室內配電箱及回路標識應正確一致。

③配電箱內的總開關、分開關是否能分、合閘正常。

3) 將各配電箱內的開關及用電設備的開關全部置於斷開狀態，然後合上層間配電箱開關，再合上室內配電箱開關，最後合上分回路或燈具控制開關。逐級試通電、調試。

4) 漏電保護開關合上後，要按下漏電試驗按鈕，檢查剩餘電流斷路器是否靈敏有效；插座送電後，要檢測插座接線

是否正確。發現故障應及時排除，然後重新通電調試。

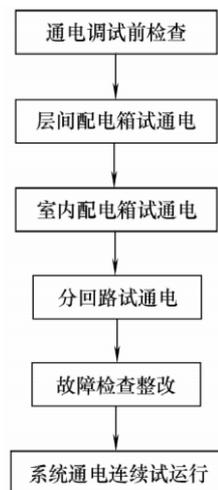


圖 12-8 照明系統調試工藝流程

5) 照明系統通電試驗連續執行時間應為 8h，調試應做好相關記錄。

2. 電氣照明系統的導線截面選擇

(1) 選擇原則

選擇截面，由兩個條件決定：

1) 允許最大電壓損失：照明線路最大允許電壓損失百分數，自變壓器低壓側，至最遠的一盞燈的電壓，不應低於額定電壓的 **97.5%**，亦即允許電壓損失為 **2.5%**。

2) 考慮導線機械強度，須按允許的最小截面選擇。如照明用燈頭線，室內民用建築銅芯軟線和銅線的最小芯線截面為 **0.4** 平方毫米和 **0.5** 平方毫米。室內工業建築則為 **0.5** 平方毫米和 **0.8** 平方毫米。

(2) 按以下條件校驗

1) 負載電流不應大於導線長期允許電流。照明線路的計算負載，是以該線路連接的照明器具（包括插座）的容量，再乘以需要係數。

$$P_F = K_C \cdot P_d$$

式中 P_d 為線路上裝燈容量 (kW)； K_C 為需要係數，取 **0.6~1.0**。當三相負載不平衡時，按最大一相負載計算三相負荷： $P_s = 3K_C \cdot P_{dz}$ 式中 P_{dz} 為最大一相的裝燈容量 (kW)

當採用日光燈等氣體放電燈時，有鎮流器還要計算其功率損耗，一般較燈管容量增大 **20%**。

2) 導線截面應不小於保護設備（熔斷器或斷路器）所允許的最小截面。

12.3 照明電路故障的常規檢修

照明電路的常見故障主要有斷路、短路和漏電三種。

1. 斷路

(1) 產生斷路的原因

- 1) 熔絲熔斷；
- 2) 線頭松脫；
- 3) 斷線；
- 4) 開關沒有接通；
- 5) 鋁線接頭腐蝕。

(2) 維修

1) 若一個燈泡不亮而其他燈泡都亮，應首先檢查是否燈絲燒斷。若燈絲未斷，則應檢查開關和燈頭是否接觸不良、有無斷線等。可用試電筆測燈座（燈口）的兩極是否有電，若兩極都不亮說明相線斷路，若兩極都亮（帶燈泡測試），說明中性線（零線）斷路，若一極亮一極不亮，說明燈絲未接通。對於螢光燈電路，還應檢查輝光啟動器。

2) 若幾盞電燈都不亮，應首先檢查總保險是否熔斷或總開是否接通。可用試電筆判斷故障點在總相線還是總零線上。

2. 短路

(1) 原因

- 1) 用電器具接線不好，以至接頭碰在一起。
- 2) 燈座或開關进水，螺口燈頭內部鬆動或燈座頂芯歪斜，造成內部短路。
- 3) 導線絕緣外皮損壞或老化損壞，並在零線和相線的絕緣處碰線。

(2) 維修

發生短路故障時，會出現打火現象並引起短路保護動作（熔絲熔斷）。當發現短路打火或熔絲熔斷時，應先查出發生短路的原因，找出短路故障點，並進行處理後再更換熔絲，恢復送電。

3. 漏電

(1) 原因

- 1) 相線絕緣損壞而接地，造成漏電；
- 2) 用電設備內部絕緣損壞使外殼帶電。

(2) 維修

採用漏電保護裝置（剩餘電流斷路器、漏電斷路器）。當漏電電流超過整定電流值時，漏電保護器動作，切斷電路；若發現漏電保護器動作，則應查出漏電接地點並進行絕緣處理後再通電。照明線路接地點多發生在穿牆部位和靠近牆壁或天花板等部位。

4. 漏電查找方法

1) 首先判斷是否確實漏電。可用絕緣電阻表搖測，看其絕緣電阻值的大小，或在被檢查建築物的總刀開關上接一隻電流錶，接通全部電燈開關，取下所有燈泡，進行仔細觀察。若電流錶指標搖動，則說明漏電。指針偏轉的多少，取決於電流錶的靈敏度和漏電電流的大小。若偏轉多則說明漏電大。

2) 判斷是相線與零線之間的漏電，還是相線與大地間的漏電，或者是兩者兼而有之。以接入電流錶檢查為例，切斷零線，觀察電流的變化：電流錶指示不變，是相線與大地之間漏電；電流錶指示為零，是相線與零線之間的漏電；電流錶指示變小但不為零，則表明相線與零線、相線與大地之間均有漏電。

3) 確定漏電範圍。取下分路熔斷器或拉下開關刀開關，電流錶若不變化，則表明是匯流排漏電；電流錶指示為零，則表明是分路漏電；電流錶指示變小但不為零，則表明匯流排與分路均有漏電。

4) 找出漏電點。確定漏電的分路或線段後，依次拉斷該線路燈具的開關，當拉斷某一開關時，電流錶指標回零或變小，若回零則是這一分支線漏電，若變小則除該分支漏電處還有其他漏電處；若所有燈具開關都拉斷後，電流錶指標仍不變，則說明是該幹線漏電。

依照上述方法依次把故障範圍縮小到一個較短線段或小範圍之後，便可進一步檢查該段線路的接頭，以及電線穿牆處等有否漏電情況。當找到漏電點後，應及時妥善處理。

12.4 節能燈及其檢修

1. 節能燈的定義與分類

(1) 節能燈的定義

節能燈的正式名稱是稀土三基色緊湊型螢光燈，其外形如圖 12-9 所示，20 世紀 70 年代誕生於荷蘭的飛利浦公司。這種光源在達到同樣光能輸出的前提下，只需耗費普通白熾燈用電量的 $1/5 \sim 1/4$ ，從而可以節約大量的照明電能和費用，因此被稱為節能燈。人們所講的節能產品主要都是針對白熾燈來講。普通的白熾燈光效大約在 $10\text{lm}/\text{W}$ 左右，壽命大約在 1000h 左右，它的工作原理是：當燈接入電路中，電流流過燈絲，電流的熱效應，使白熾燈發出連續的可見光和紅外線，此現象在燈絲溫度升到 700K 即可覺察，由於工作



圖 12-9 節能燈時的燈絲

溫度很高，大部分的能量以紅外輻射的形式浪費掉

了，由於燈絲溫度很高，蒸發也很快，所以壽命也大縮短了，在 1000h 左右。我國於 1982 年，首先在復旦大學電光源研究所成功研製 SL 型緊湊型螢光燈，二十多年來，產量迅速增長，品質穩步提高，我國已經把它作為國家重點發展的節能產品（綠色照明產品）作為推廣和使用。

(2) 節能燈的優缺點

1) 優點：節能燈的光效比白熾燈高得多，同樣照明條件下，前者所消耗的電能要少得多，所以被稱為節能燈。但是與螢光燈（尤其是 T5 燈管）相比，還是比較浪費能源。

2) 缺點：有別於白熾燈，節能燈在使用時，會產生些微的電磁波與微波。

(3) 節能燈的分類

1) 金屬鹵化物燈。金屬鹵化物燈顯色指數達 80 以上，光效 75lm/W 以上，色溫 6000K。

優點是壽命長，光效高，顯色性好，節電效果明顯，是當今世界上第四代光源。

2) 高壓鈉燈。光效達 90~100lm/W，比汞燈和白熾燈的光效分別高 2 倍和 7 倍。顯色指數 60，紫外線成分少，不誘蟲，被照物體不褪色，色溫只有 2100K。

3) 自鎮流螢光燈。光效在 60lm/W 以上，比普通白熾燈光效高 4 倍，壽命達 8000h 以上。4) 雙端螢光燈（細管徑）。與雙端螢光燈（粗管徑）相比，壽命延長 20%，光效增加 22%，節能 10%，壽命可達 10000h 以上。

5) 採用電子鎮流器的螢光燈。40W、20W 電子鎮流器和電感鎮流器相比，從功耗上分別節約 5W、3W，家庭用一隻 20W 電子鎮流器年節電 20kW·h，一隻 40W 電子鎮流器年節電 60kW·h，此外電壓低至 130V 也能啟輝。

6) LED 燈。它是一種新光源，顯色指數達 90 以上，光效 110lm/W，色溫 4000~6000K。優點壽命長（大於 50000h），節能 80%，環保（無紫外線頻閃無重金屬），顯色性好。是當今世界上最新的光源。

2. 電子節能燈的維修電路圖及原理分析

電子節能燈有玻罩型和裸露型。玻罩型又有球型、球柱型、工藝型等三個系列，前兩個系列均有全透明、刻花、彩色刻花和乳白色四個品種。它具有外形美觀、安裝時不易損壞燈管、耐碰撞等優點；裸露型則有 H 型、UH 型、3U 型、4U 型、2D 型及螺旋型等。按發光的顏色分，則可分為紅、綠、藍、黃（色溫為 2700K，屬暖色光，類似於白熾燈的光色）、白（色溫以 6400K 居多，屬冷色光，類似於螢光燈的光色）；而色溫為 5000K 的燈管因光色接近於自然光，對眼睛無刺激，更適合於學生和精細工作。這裡介紹的電子節能燈電路如圖 12-10 所示，印製電路板如圖 12-11 所示。該電路已加有軟啟動（燈絲預熱）電路，可延長燈管壽命。多應用於護目燈和外銷燈具中。

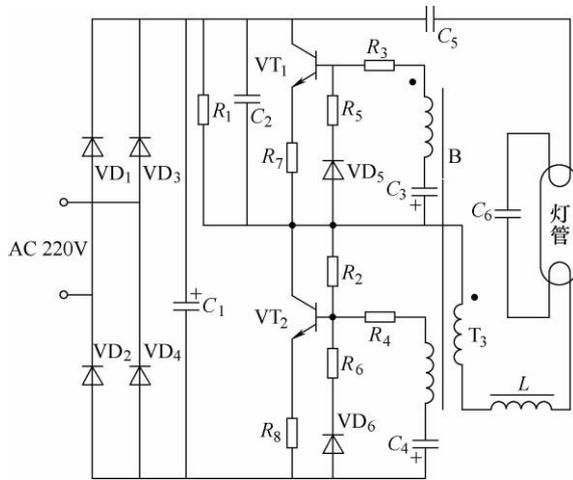


圖 12-10 節能燈電路

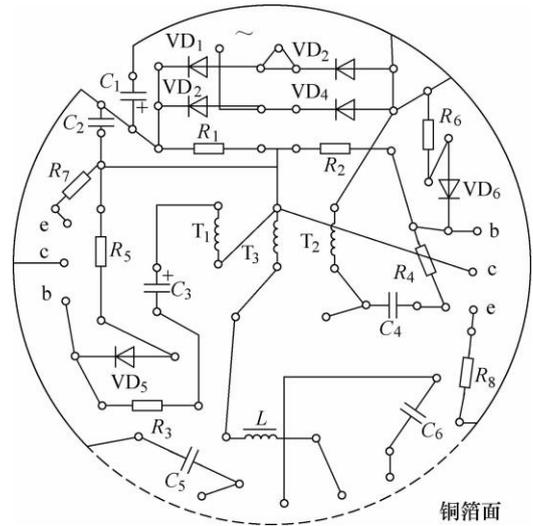


圖 12-11 節能燈印製電路板

維修電子節能燈，首先要排除假故障。關燈後節能燈有間隙性的閃光，這並不是燈的品質問題。主要原因是電工線路安裝不規範，將開關設在零線造成的。只要把逆線端的零線與相線調換一下即可。使用了帶氖燈的開關，關燈後仍然能形成微流通路，或借線安裝雙聯開關的，會造成有時關燈後有閃光現象。

維修電子節能燈時，為安全應用 1 : 1 隔離變壓器隔離市電。

(1) 燈不能正常點亮的檢修

- 1) 常見為諧振電容 C_6 擊穿（短路）或耐壓降低（軟擊穿），應換為耐壓在 1kV 以上的同容量優質滌綸或 CBB 電容。
- 2) 燈管燈絲開路。若燈管未嚴重發黑，可在斷絲燈腳兩端並聯 $0.047\mu\text{F}/400\text{V}$ 的滌綸電容後應急使用。
- 3) R_1 、 R_2 開路或變值（一般以 R_1 故障可能性較大），用同阻值的 $1/4\text{W}$ 優質電阻代換。
- 4) 電晶體開路。如發現只有一隻電晶體開路，但不能更換一隻，而應更換一對耐壓在 400V 以上的同型號配對開關管。否則容易出現燈光打滾或再次燒管。
- 5) 燈光閃爍不停。燈管若未嚴重發黑，檢查 VD_5 、 VD_6 有無虛焊或開路，若 VD_5 、 VD_6 軟擊穿或濾波電容 C_1 漏液及不良，也會使燈光閃爍不停。

- 6) 燈難以點亮，有時用手觸摸燈管能點亮或燈光打滾，這可能是 C_3 、 C_4 容量不足、不配對。
- 7) 倘若單支小功率節能燈點亮後燈絲有發紅或發光的現象，還應檢查 $VD_1 \sim VD_4$ 有無軟擊穿， C_1 是否裝反或漏電，電源部分有無短路等。
- 8) 扼流圈 L 及振盪變壓器 B 的磁心有斷裂。如若單換磁心，要注意三點：
- ① 使用符合要求的磁心，否則可能使扼流圈的電感值有較大出入，給節能燈埋下隱患；
 - ② 磁隙不能過小，以免磁飽和；
 - ③ 磁隙間用合適的墊襯物墊好後，用膠粘劑粘上，並纏上耐高溫阻燃膠帶，以防鬆動。
- 此外對 B 的同名端不能接錯。
- 9) 檢修使用觸發管的電子鎮流器，應重點檢查雙向觸發二極體，此管一般用 $DB3$ 型，它的雙向擊穿電壓為 $32 \pm 4V$ 。

(2) 有元件明顯損壞的檢修

- 1) 雖不熔斷保險、不燒斷進線處線路而電阻等有明顯損壞的，電晶體必損無疑。這首先可能是燈管老化引起的，其次是使用環境差，另外可能是由 C_1 失去容量造成的。對於前二種情況，在更換電阻、電晶體時，最好也更換配對的 C_3 、 C_4 小電解。對於後一種， C_3 、 C_4 不必更換，由於 C_1 工作在高壓條件下，務必選用優質耐熱電解電容器進行代換。
- 2) 在熔斷保險、燒斷進線處線路的情況下，若 C_1 、 VT_1 、 VT_2 完好，則必須逐個對 $VD_1 \sim VD_4$ 進行常規檢查和耐壓測試。或把 $VD_1 \sim VD_4$ 全部用優質品代換。
- 3) C_1 爆裂，如伴有熔斷保險、燒斷進線的現象，應將 $VD_1 \sim VD_4$ 、 C_1 全部更換。
- 4) 只有 VT_2 一側的阻容件、電晶體燒壞的，應重點檢查 C_2 是否已擊穿。
- 5) 若高頻變壓器 B 損壞，可用 $\phi 0.32mm$ 高強線在 $10mm \times 6mm \times 5mm$ 的高頻磁環上繞制， T_1 、 T_2 各為 4 圈； T_3 為 8 圈（注意頭尾）。扼流圈 L ：燈管功率 $5 \sim 40W$ ，相應為 $1.5 \sim 5.5mH$ 之間。

- (3) 少數電子節能燈有干擾遙控彩電的現象。

可調整 L 的電感量或 C_2 的電容量，使其不干擾遙控電視機，又能安全工作。

(4) 使用電子節能燈的注意事項

- 1) 節能燈不能在調光檯燈、延時開關、感應開關的電路中使用。
- 2) 應避免在高溫高濕的環境中使用。
- 3) 電子節能燈與其他照明燈具一樣，不宜頻繁開和關。

第 13 講 電氣檢修標準規程



導讀

維修電工屬於特種設備作業人員，其作業行為不同于一般普通設備的作業行為，有它的特殊性和危險性。電氣設備一旦發生事故將對人身和財產造成傷害和損失。在各類電氣設備安全運行中，“人”的因素是保證該設備安全運行的重要因素，尤其是作業人員的安全行為（例如正確的維修、規範作業、作業前正常巡查等）是保證電氣設備正常運行和發現安全隱患的重要措施之一。

據有關資料分析得知：由於電氣設備不安全狀態（如：部件損壞、失靈及存在安全隱患等）單一原因造成人身傷亡事故僅占事故比例的 30%，由於作業人員不安全作業，或者設備存在安全隱患與作業人員的不安全作業同時存在產生事故占人身傷亡事故的 68%。種種資料表明，對於維修電工來說，掌握、理解並使用好“電氣檢修標準規程”是極其重要的。

13.1 臨時性電源、照明與接地檢修標準規程

1. 臨時性電源架設標準

(1) 準備

- 1) 作業條件：臨時性檢修（非計畫檢修）。
- 2) 工器具的準備：測量儀器、工具，包括：絕緣電阻表、萬用表、扳手、電工鉗、旋具、電工刀等。
- 3) 勞保防護用品：安全帽、絕緣鞋、驗電器、手套。
- 4) 材料、配件的準備：電纜、臨時性檢修配電箱、絕緣膠帶等。
- 5) 安全技術措施的準備：填寫、簽發工作票、工作內容交底：確認安全措施執行情況；佈置檢查安全注意事項。

(2) 聯繫

停電，驗電、掛檢修牌，作業時有專人負責監護。

(3) 接線作業

- 1) 開始檢修前確認臨時用電設備負荷，嚴禁超負荷接線，引起越級跳閘，選用電源位置時不准接入主控室、空壓機控制電源等重要設備回路，防止影響生產設備運行。

2) 配電櫃內接線需一人作業一人監護，分開準備連接臨時線路的斷路器，確認周邊環境及帶電部位，驗電，接線。

3) 臨時性線路盡量架空敷設，不准拖地放置，必須在地面的電纜要設立防護或警示標誌。

4) 現場臨時性配電箱要求能固定位置，並設立警示標誌。5) 確保臨時電纜外部絕緣層良好，電纜有接頭部位須做好絕緣處理，並不准放置在地面。

(4) 檢修結束

檢修結束後要做到現場清潔完整，清點工具及材料，送電試驗無誤，通知崗位人員交付使用。

2. 照明線路檢修標準

(1) 準備

1) 作業條件：臨時性檢修（非計畫檢修）。

2) 工器具的準備：測量儀器、工具，包括：萬用表、電工鉗、旋具、電工刀等。

3) 勞保防護用品：安全帽、絕緣鞋、驗電器、手套、梯子。

4) 材料、配件的準備：電線、燈具、燈泡、絕緣膠帶、安全帶等。

5) 安全技術措施的準備：填寫、簽發工作票、工作內容交底；確認安全措施執行情況；佈置檢查安全注意事項。

(2) 聯繫

停電，驗電、掛檢修牌，作業時有專人負責監護。

(3) 照明維修與安裝

1) 開始檢修前確認所維修照明線路斷路器分開，並驗電。

2) 使用梯子時必須有人扶梯子，更換燈具如需使用天車時應聯繫天車工配合，登高作業必須使用安全帶。

3) 臨時性檢修移動式照明、在金屬容器內作業照明，要使用 36V 以下安全電源及燈具。

4) 臨時性線路盡量架空敷設，不准拖地放置，必須在地面的電纜要設立防護或警示標誌。

5) 防爆型燈具必須做好內部絕緣處理，並將外部防護裝置安裝牢靠。

(4) 檢修結束

檢修結束後要做到現場清潔完整，清點工具及材料，送電試驗無誤，通知崗位人員交付使用。

3.電氣接地系統檢修規程

(1) 準備

- 1) 作業條件：臨時性檢修（非計畫檢修）。
- 2) 工器具的準備：測量儀器、工具，包括：扳手、電工鉗、旋具、電工刀等。
- 3) 勞保防護用品：安全帽、絕緣鞋、手套、梯子。
- 4) 材料、配件的準備：導線、梯子、安全帶等。
- 5) 安全技術措施的準備：填寫、簽發工作票、工作內容交底：確認安全措施執行情況；佈置檢查安全注意事項。

(2) 作業

- 1) 電氣設備的金屬外殼和銷裝電纜的接線盒，必須設有外接地螺栓，並標誌接地符號“⊥” 攜帶式和移動式電氣設備，可不設外接地螺栓，但必須採用有內接地芯線的電纜。
- 2) 氧氣管道的連接法蘭必須採用跨接導線連接，防止靜電引起火災或爆炸。 3) 電氣設備接線盒內部（當採用直接引入方式時，則在主空腔內部，須設有專用的內接地螺栓，並標誌接地符號。電壓不高於 36V 的電氣設備除外）
- 4) 對無必要接地或不允許接地的電氣設備可不設內外接地螺栓。
- 5) 本質安全型設備和儀器儀錶類，外接地螺栓能壓緊接地芯線即可。接地螺栓應採用不鏽材料製造，或進行電鍍等到防銹處理。

13.2 高低壓配電室檢修標準規程

1.高壓配電室檢修規程

高配電櫃主線路（母線、電纜）、控制線路檢修（除塵）；真空斷路器檢修。

(1) 準備與聯繫標準

- 1) 檢修前準備：
 - ①作業條件：定修（計畫檢修）停機停電。
 - ②工器具的準備：測量儀器、工具，包括：絕緣電阻表、萬用表、組合扳手、活扳手、電工鉗、旋具、電工刀等。
 - ③勞保防護用品：安全帽、絕緣墊、絕緣鞋、絕緣手套、高壓驗電器、接地線。
 - ④材料、配件的準備：導電膏、紗布、白布、導線、吹風機等。

⑤安全技術措施的準備：填寫、簽發工作票、停送電倒閘操作票、工作內容交底：檢查安全措施執行情況；佈置檢查安全注意事項。

2) 聯繫：停機、停電，驗電、掛檢修牌、合接地刀。高壓設備要掛接地線，設立警示標誌，作業時有專人負責監護。

(2) 高壓配電櫃內部檢修標準

檢修開始首先使用電吹風機進行除塵，保證內部端子櫃內盤面清潔線路整齊、標誌完好無缺損。

1) 檢查母線、主接線端頭無變色，鬆動現象，主體無變形彎曲，電氣距離合乎標準要求（10kV 相間大於 125mm，相線對外殼大於 225mm）。

2) 電纜頭、套管、引線和接線盒，引線相間，距接地物的距離要符合規定，安全距離

700mm，不合格的電纜接頭、接線盒套管、引線要更換（工頻耐壓：35kV，1min 無閃絡，無擊穿、絕緣電阻 200kΩ，須由機動部配合測試）。

3) 電纜固定處露保護管，電纜固定牢靠，巨不可有張力，銷裝無鬆散、無嚴重銹蝕和斷裂，彎曲半徑不能小於 90°接地良好。保護管口要密封，保護管應完整無損壞、固定牢靠，銹蝕面積不得超過總面積的 5%，否則要除鏽塗漆。

4) 清掃電纜溝，電纜溝內無積水、雜物，支架完好、牢固、不銹蝕，蓋板齊全通向室外出口處應有完好防鼠措施。

5) 電纜標示牌，標示牌要齊全、正確、清楚，要固定牢靠。

6) 緊固小母線及信號母線，檢查微機綜合保護裝置（各保護繼電器）的接線，控制電路接線正確、整齊、緊固，標誌清晰，熔斷器接線無變色鬆動現象。

7) 盤面指示裝置完好可靠，使用萬用表檢測盤面轉換開關、按鈕接觸電阻應小於 0.5Ω 以下，開關按鈕無卡滯靈活可靠。8) 核對保護定值資料無丟失或變化，資料顯示正常。

(3) 真空斷路器檢修標準

1) 清掃真空開關各部分，要求無灰塵、無污垢，滅弧室殼應無裂紋和破損。

2) 主導電支架，隔離觸指支持瓷瓶拉杆，應無破損連接緊固，接觸良好，瓷瓶絕緣拉杆無裂紋、髒汙及放電現象。

3) 電流互感器套管，一、二次引線：套管無破損裂紋，表面無脫落現象，絕緣在

2000k Ω ，引線緊固完好。二次線圈不得開路。

- 4) 操作機構各部分零件，分合閘指示牌，輔助開關：零件齊全、無破損變形，指示牌正確，輔助開關完好無損、準確可靠，動作靈活、運動各部位加注 3# 鈣基脂潤滑油。
- 5) 開關櫃手車推拉無卡滯，五防機構、行程開關靈活可靠，運轉部位適當注油。
- 6) 調整開關本體，各部螺栓及定位銷子無鬆動，操作機構：真空開關額定開距：8~

12mm，觸頭接觸行程：3~4mm，觸頭工作壓力：12.5kA，50kg。

(4) 檢修完成測量與實驗檢修標準

1) 檢修結束清點工具，檢查櫃內有無遺漏的雜物或是工具，確認後使用 2500V 絕緣電阻表測量真空斷路器、母線對地及各相間絕緣阻值（大於 10M Ω ）。

2) 摘檢修牌，拆接地線，將高壓櫃後門關嚴上鎖，分接地刀並確認接地刀位置，關閉配電櫃門，推入斷路器手車至實驗位，進行斷路器試驗，手動分合閘操作及電動分合閘操作各二次開關各部位應靈活可靠，無卡阻現象。

3) 清理檢修現場，做到工完場地清。填寫檢修記錄、資料的收集、整理對更換部件或調整部位應記如設備台賬，終結檢修工作、通知崗位試運轉，並觀察 0.5h，如無異常現象可交付使用。

2. 低壓配電室檢修規程

低配電櫃主線路、控制線路檢修（除塵）；隔離開關、斷路器、交流接觸器、繼電器檢查檢修。

(1) 準備與聯繫檢修標準

1) 檢修前準備：

- ① 作業條件：定修（計畫檢修）停機停電。
- ② 工器具的準備：測量儀器、工具，包括：絕緣電阻表、鉗形電流錶、萬用表、組合扳手、驗電筆、電工鉗、旋具、電工刀等。
- ③ 勞保防護用品：安全帽、絕緣墊、絕緣鞋、接地線、口罩。
- ④ 材料、配件的準備：導電膏、沙布、白布、導線、吹風機、需更換部件等。
- ⑤ 安全技術措施的準備：填寫、簽發工作票、停送電工作票、工作內容交底：檢查安全措施執行情況；佈置檢查安全注意事項。

2) 聯繫：停機、停電，驗電、掛檢修牌。母線檢修要掛接地線，設立警示標誌，作業時有專人負責監護。

(2) 低壓配電櫃主線路、控制線路檢修標準

檢修開始前打開櫃門使用電吹風機清除櫃內部積灰。

1) 檢查母線、主接線端頭無變色，鬆動現象，主體無變形彎曲，電氣距離合乎標準要求（380V 相間大於 20mm，相線對外殼大於 100mm）。2) 清掃電纜溝，電纜溝內無積水、雜物，支架完好、牢固、不銹蝕，蓋板齊全通向室外出口處應有完好防鼠措施。

3) 控制電路接線正確、整齊、緊固，標誌清晰，熔斷器接線無變色鬆動現象。

4) 盤面指示裝置完好可靠，使用萬用表檢測盤面轉換開關、按鈕接觸電阻應小於

0.5Ω 以下，開關按鈕無卡滯靈活可靠。

5) 檢查抽屜櫃的一次插接件無燒灼痕跡，彈簧壓力均衡，接觸良好；二次插接件金屬彈片無彎曲變形，測量二次外掛程式插座與插頭接觸電阻小於 0.5Ω。

(3) 隔離開關檢修標準

1) 拉動開關手柄應靈活可靠，連杆底座無燒灼和放電痕跡，分合閘位置到位，頂絲、銷釘、拉杆完好可靠。

2) 隔離開關動靜觸頭插入的深度不小於閘刀寬度的 2/3，接觸面積不少於刀夾的 75%。

3) 隔離開關動、靜觸頭表面無燒灼，接觸嚴密，如觸頭有氧化需處理氧化部位，並塗抹少許凡士林或導電膏防止氧化。

4) 200A 以下的開關的觸頭接觸壓力在 45~80N 之間，250~400A 隔離開關型在 75~

100N 之間，500A 以上隔離開關型在 150~220N 之間，不合乎要求的需進行調整。

(4) 空氣斷路器檢修標準

1) 打開斷路器外殼檢查進出線路有無變色或鬆動。檢查三相主觸頭應無燒灼點，試合兩次斷路器三相動、靜觸頭接觸嚴密、壓力均衡，用萬用表測量阻值應在 0.2Ω 以內。滅弧罩完好無破損。

2) 回裝外殼後合斷路器手柄靈活無卡滯，按動試驗按鈕應能夠立即跳閘。

(5) 交流接觸器檢修標準

1) 交流接觸器電磁鐵的短路環和磁鐵扣合緊固，吸合狀態下無雜訊，吸合鐵心表面光潔、無油污，吸持線圈絕緣無損傷，線圈表面無變色過熱現象。

2) 打開接觸器主觸頭滅弧罩，檢查三相主觸頭接觸嚴密，觸頭無燒灼，手動檢查無卡滯，壓力均衡，觸頭開距再合適範圍內。

3) 滅弧罩內附件完好，清理內部煙塵痕跡，聯動機構絕緣良好，無變形移位松脫現象。

4) 輔助觸頭動作無卡滯，動靜（常開、常閉）觸點接觸良好，無燒蝕痕跡。

（6）繼電器檢修標準

1) 檢查繼電器外觀無觸點燒灼痕跡，按線圈電壓通電試合，吸合良好無雜音不抖動，合位用萬用表測試各觸點間導通良好。

2) 熱繼電器應檢查對應的設備定值調整合理，按動試驗按鈕用萬用表測量輔助觸點通斷狀態正常。

3) 熱繼電器校驗合格，動作靈敏可靠。

4) 電磁式電流繼電器動作值與刻度值比的誤差，不得超過±5%。

（7）檢修完成測量與實驗標準

1) 檢修結束清點工具，檢查櫃內有無遺漏的雜物或是工具，確認後主電路絕緣電阻值：用 500V 絕緣電阻表測得的資料，380V 不低於 5MΩ，用 500V 絕緣電阻表搖測，36V 控制電路不低於 0.5MΩ。斷路器、母線對地及各相間絕緣阻值（大於 10MΩ）。2) 摘檢修牌，拆接地線，將配電櫃後門關嚴上鎖，合斷路器送電，開關打至實驗位元，進行空載斷路器分合試驗，操作櫃面分合閘操作各二次，開關各部位應靈活可靠，無卡阻現象，指示應正常可靠。

3) 清理檢修現場，做到工完場地清。填寫檢修記錄、資料的收集、整理對更換部件或調整部位應記錄設備台賬，終結檢修工作、通知崗位試運轉。

4) 對於更換控制部件的電氣設備，應檢測其三相工作電流是否平衡，測量三相電壓是否正常，並記錄，運行後觀察 0.5h 以上，確認無誤交付使用。

13.3 電動機檢修標準規程

1. 檢修與聯繫標準

（1）檢修前準備

1) 工器具的準備：銅棒、聽棒、木榔頭；測量儀器、工具，包括（電工部分）絕緣電阻表、鉗形電流錶、電橋、萬用表、活扳手（鉗工部分）卷尺、遊標卡尺、塞尺、外經、

千分尺、內經千分尺，組合扳手等；起重工器具，包括葫蘆、軋頭、鋼絲繩等；退卸器、軸承加熱器。

2) 材料、配件的準備：電動機軸承；電動機潤滑油脂；柴油或洗油；紗布、白布、枕木等。

3) 安全技術措施的準備：填寫、簽發工作票、工作內容交底；檢查安全措施執行情況；佈置檢查安全注意事項。

(2) 聯繫

停機、停電，驗電，高壓電機需安裝接地線，掛檢修牌。

2. 電動機更換檢修標準

1) 拆開電動機電源電纜，按 A、B、C 三相分別做好記號，拆除電動機接地線，對線頭分別進行絕緣包紮。

2) 拆開電動機底腳螺栓，有對連螺栓的聯軸器，拆開對連螺栓，根據電動機的重量和位置，選擇採用直接搬運或起重配合，吊下需更換的電動機，將新電動機安裝對輪後吊裝就位，緊固地腳螺栓。

3) 空轉試驗、電機振動及軸承溫度測量。轉動正常，空載電流三相平衡，時間大於 1h；軸承溫度（滾動軸承小於 80° 滑動軸承小於 65°）：電機溫升不超過 55°C，溫度符合電動機性能標準範圍。

4) 空轉試驗合格後，由鉗工進行電動機同心度測試，找正電動機並緊固地腳螺栓。

3. 電動機解體大修檢修標準

1) 拆開電動機電源電纜，按 A、B、C 三相分別做好記號，拆除電動機接地線，對線頭分別進行絕緣包紮。

2) 拆卸：拆開電動機底腳螺栓，有對連螺栓的聯軸器，拆開對連螺栓，根據電的重量和位置，選擇採用直接搬運或起重配合，吊下並運至本作業區域。

3) 解體：軸芯解體前的清理：用壓縮空氣或其他工具，將電機外殼清理乾淨，拆除電機風葉罩殼，拉下電動機風葉，拆下電機端聯軸器，做好電動機前後端蓋及擋油板的位置記號（可採用劃線），拆除擋油板和端蓋：

① 裝有滾動軸承的電動機，先要拆軸承蓋（擋油板），再卸端蓋；裝滑動軸承的拆卸軸承蓋（擋油板）前，應先將油放出，繞線式電動機或同步電動機則要舉起電刷。

② 小型電動機在拆除另一端時，可以連帶風葉和轉子一塊抽出。

③拆卸時先擰出固定螺栓，然後用木槌或紫銅棒沿端蓋邊緣輕輕敲打，使端蓋從機座脫離。

④對於容量較大的電機端蓋，拆卸前應用起重工具吊牢，以免端蓋脫離殼體時，軋傷線圈絕緣。

⑤端蓋離開止口後，應將其慢慢移出，放在木架上，止口向上。

4) 抽轉子：小型電動機的轉子可用手抽出，但注意不要擦傷鐵心或繞組，有集電環的電動機應從集電環側抽出轉子，對於大中型電機，必須用起重工具抽出轉子，即用假軸端套在軸的一端（套假軸時軸頸上必須包上保護物），在專用支架上抽出轉子。用假軸抽轉子時應用透光法監視定轉子間的空氣間隙，以避免擦傷轉子或定子線圈。轉子抽出後應放在硬木墊上或橡皮墊上。

5) 軸承的拆卸：滾動軸承的拆卸，利用拆卸軸承的專用工具進行拆卸。檢查滾動軸承內外圈應光滑無傷痕，鏽跡，用手扳動外圈，轉動靈活，平穩無雜音，轉速均勻，無卡滯，制動現象也無搖擺及竄動現象發生。軸承間隔測量參照表 13-1~表 13-3 標準進行。

表 13-1 中小型電機滾動軸承徑向間隙最大磨損允許值（單位：mm）

軸承	允許量	徑向間隙	
		滾珠	動滾柱
20~30	0.10	0.01~0.02	0.03~0.05
30~50	0.15	0.01~0.02	0.05~0.07
55~80	0.20	0.01~0.02	0.06~0.08
85~120	0.25	0.02~0.04	0.08~0.10
130~150	0.30	0.02~0.05	0.10~0.12

表 13-2 中小型電機滑動軸承徑向間隙最大磨損允許值（單位：mm）

軸頸	1000r/min 以下	1000~1500r/min	1000r/min 以上
18~30	0.04~0.093	0.06~0.118	0.14~0.28
30~50	0.05~0.121	0.075~0.142	0.17~0.34
55~80	0.065~0.13	0.095~0.175	0.20~0.40
85~120	0.08~0.16	0.12~0.21	0.29~0.46

130~150	0.40~0.195	0.15~0.25	0.26~0.53	
表 13-3 大型電機滑動軸承徑向間隙最大磨損允許值 (單位: mm)				
軸頸	徑向間隙	最大間隙	徑向間隙	最大間隙
8~120	0.08~0.16	0.16	0.12~0.21	0.21
120~180	0.10~0.195	0.20	0.15~0.25	0.26
180~250	0.12~0.225	0.24	0.18~0.29	0.30
(續)				
軸頸	徑向間隙	最大間隙	徑向間隙	最大間隙
250~360	0.14~0.25	0.26	0.21~0.34	0.40
360~500	0.16~0.30	0.30	0.24~0.41	0.45
500~800	0.18~0.35	0.40	0.28~0.46	0.50

①對於整體式滑動軸承其間隙用塞尺測量，塞尺插入深度必須大於或等於軸瓦軸向長度，分裝式滑動軸承可用壓鉛絲測量其間隙。

②滾動軸承間隙的測量常用的是壓鉛絲法和用塞尺檢查，其中壓鉛絲法是先將鉛絲壓扁（比軸承間隙稍大），然後將其塞入滾動體和滾道的間隙稍大），然後將其塞入滾動體和滾道的間隙內，轉動軸承外圈，將其壓扁，抽出鉛絲，用千分尺測量其平均厚度，而用塞尺測量則是用力將外關推向一側，然後將塞尺插入滾動體與滾道的間隙進行測量，需注意的是滾珠軸承插入深度應超過珠體圓心，滾柱體則應超過其長度的 $1/4$ （需兩端測量）。

6) 潤滑脂的檢查更換：

①軸承內潤滑脂應清潔無雜質，顏色正常，稀稠正常，新添潤滑油脂牌號必須正確，不得同時使用兩種不同的油，加油時，軸承內必須乾淨清潔，加油量二極電機為週邊空腔的 $1/2$ ，二極以上電動機為 $2/3$ 。

②軸承蓋、軸承、放油門以及軸頭都應嚴密，以防油甩到線圈上。

7) 內部絕緣檢查：

①檢查電機定子繞組絕緣無破損，固定牢靠；檢查電動機內部電源引線連接牢固。

②轉子銅條、矽鋼片整齊，無摩擦痕跡，表面無裂紋。

8) 複裝：裝復前必須對定，轉子及機殼進行徹底的清掃，各部分檢修驗收合格。電動機的裝復可按拆卸解體的相反工序進行。

①滾動軸承的電動機組裝。

a.先在軸上套進內軸承蓋，蓋的凹槽處應加與軸承相同規格的潤滑脂，然後擦淨軸頸，熱套軸承至軸頸肩腫為止，並在軸承上加好潤滑脂。

b.把轉子放入定子腔內，小型轉子可以直接放入，較大的轉子需用起重工具將轉子平行地送入子腔中，裝入轉子時應注意轉子軸伸出端和線盒的相對位置。裝轉子時要注意不能劃壞繞組線圈。

c.按拆卸相反的工序裝電機端蓋，油蓋，風葉，罩殼等，裝時螺栓要漸緊固，裝端蓋時應用紫銅棒或木錘敲打裝好後，檢查各螺栓的緊固情況，並卡好全部卡動墊圈對沒有通風孔的電動機，必須在端蓋未裝好之前，用長螺栓或鐵絲穿過端蓋上外軸承蓋的螺孔，把內軸承蓋拉住，否則端蓋裝好後，就很難對準內軸承蓋的絲口。

②集電環式電動機的組裝除了與滾動式電動機相同部分外，還要組裝集電環和舉刷裝置

(1)把保護蓋固定在端蓋上。(2)套上短路環。(在軸上滑動靈活)(3)熱套集電環，並檢驗集電環上的三個插腳和短路環上的三個插座的連接情況是否良好。(4)把舉刷杆和刷握裝到保護蓋上。(舉刷杆要全部套上絕緣)(5)裝上舉刷杆和手柄等，接好連線，蓋好保護蓋。

9) 裝復後的測量與試驗

①清點工具及零部件，防止遺失在電動機內部。

②檢查完畢通知崗位工試車，送電摘檢修牌。

③用手盤動電動機轉子，應轉動平穩，無卡滯，制動及異常聲音。再次測量各部分絕緣。

④空轉試驗.電動機振動及軸承溫度測量。轉動正常，空載電流平衡，時間大於 1h；軸承溫度（滾動軸承小於 80°滑動軸承小於 65°）：電動機溫升不超過 55°C，溫度符合電動機性能標準範圍。

⑤空轉試驗合格後，由鉗工進行電動機同心度測試，找正電動機並緊固地腳螺栓。

10) 清理檢修現場，做到工完、料盡、場地清。填寫檢修記錄、資料的收集、整理，終結檢修工作、通知崗位帶負荷試運轉，運行正常 30min 後、設備重定後方可離開。

13.4 電力電纜檢修標準規程

1. 檢修週期及項目

(1) 檢修週期

電力電纜檢修週期隨機組進行。

大修：1 年半~2 年 小修：4~6 個月

(2) 檢修項目

1) 大修項目：高壓電纜按規定作直流洩漏試驗，低壓電纜搖測絕緣電阻；清擦電纜終端頭，及處理滲油等缺陷；檢查接地線、檢查外包絕緣；清除接線鼻子氧化層。

2) 小修項目：搖測絕緣電阻；清擦電纜終端頭及時處理滲油等現象；檢查接地線，檢查外包絕緣良好。

2. 電纜常見的故障及處理方法

(1) 接線端子發熱

如屬於端子壓接品質問題所造成時，則應重新壓接；

如屬於接觸面接觸不良所造成時，可將端子拆開，將結合面的氧化膜清除乾淨，將端子修理平整。在連接時，接觸面應塗一層中性凡士林或導電膏。對於銅鋁結合，則應加裝過渡片，壓接用螺釘應配套，壓力應符合規定。

(2) 接線端子部位漏油

對於軟手套幹包頭端子；應將外包絕緣除掉。表面油污清擦乾淨，仔細檢查，屬於紮線不緊或不合要求造成時，可將紮線去掉，重新將封油管燙一下，再按規定紮緊；屬於封油管破裂造成時。可採用軸合劑塗包聚乙烯帶的方法解決；對於環氧樹脂頭端子：可拆除端子處的環氧玻璃絲帶塗包層，重新處理和塗包。

(3) 線芯封油管漏油

將外包絕緣去掉，清除表面油污，可採用軸合劑塗包聚乙烯帶的方法處理。

(4) 三叉口漏油

對於軟手套幹包頭，去掉外包緣，檢查確定屬於軟手套破裂造成，一般應重新製作終端，若破裂處在外側巨破裂口較小時，可採用軸合劑塗包聚乙烯帶的方法解決，屬於手指部紮線不緊造成，可將紮線去掉，重新將封油管燙一下，按規定紮緊；

對於環氧樹脂頭，可在終端頭端面鑿去一層環氧複合物約 5~10mm 厚，用汽油清洗乾淨，重新補澆複合物，對於反映在袖口部位的漏油，不將表面拉毛，用環氧塗包玻璃絲帶處理。

(5) 終端頭根部漏油

對軟手套幹包頭：將外包絕緣去掉，清除表面油污，屬於紮線不緊造成，可重新按規定紮緊；屬於軟手套破裂造成，若損傷不嚴重時可用軸合劑塗包聚氯乙烯帶處理；屬於鉛（鋁）包破裂造成，可將破裂處擦淨打毛，用錫焊方法處理；

對於環氧樹脂頭，可鑿去一部分複合物，一般為 5~6 毫米深，用汽油擦乾淨，再用玻璃絲帶包纏和塗刷環氧塗料。

(6) 戶外終端出線發熱嚴重

經檢查證明不是接觸面不良造成，一般應重新製作。

(7) 中間接頭盒發熱嚴重時應重新製作。

(8) 長期發熱

終端頭應重新製作。

3. 電纜終端頭及中間接頭製作工藝及要求

這裡著重對 6~10kV 動力電纜終端頭及中間接頭的製作加以敘述，對 1kV 以下塑膠電纜及各種控制電纜，因終端製作工藝較簡單，不再敘述。

6~10kV 軟手套幹包電纜頭的製作工藝

1) 製作前的準備工作：

將需用的材料準備齊全，主要材料必須經過檢驗合格後方可使用；對施工現場應做好準備工作（如：防火、防塵、照明等）；

應做好思想準備，工作一次完成，無特殊情況中間不得停頓。

2) 打接地卡子：

打卡子前若發現鋼銷鬆弛，則應預先擰緊；

卡子內徑必須與電纜鋼銷外徑相符。卡子長度可按電纜外徑周長加 15~20mm 留取；

打卡子用鋼銷沿電纜外徑握成半圓形，一端向裡一端向外打折約成 60°角，打折部位寬度約為 7~10mm；

將接地線卡入卡子內，卡入的接地線長為：鋼銷寬度×3（10~15）mm，該部分接地線應拉直擺平，並用砂紙打磨氧化層，其根部應綁紮在一起；將卡口對齊，用電工鉗咬緊卡口折卷扣緊，將卡口拍嚴。

3) 鋸鋼銷、剝除襯墊及防腐瀝青：

鋸鋼銷時可將接地線向上翻起，操作中應注意不要鋸斷接地線，用力要適度均勻；鋼銷鋸掉後應將毛刺修理掉；

剝除襯墊及防腐瀝青時可用噴燈烘熱除之，再用沾有汽油的擦布將鉛包擦乾淨，剝除時嚴禁使用刀子或銳利的器械刮削。

4) 焊接地線：

將焊接處的鋼銷和鉛包打磨乾淨並清除氧化層；噴燈距焊接點的距離不得小於 5mm，焊接時採用點焊法。火頭在焊接處一次停留時間不得超過 2s；焊接時間一般應控制在 10min 左右完成；焊好後檢查有無虛焊現象。

5) 剝切鉛皮及統包絕緣紙、脹喇叭口；

喇叭口距第一道卡子間距為 80~100mm 左右，三叉口距喇叭口間距約為 25~30mm 左右；

在三叉口處將鉛包剝掉，將統包絕緣紙鬆開至鉛包處，沿邊整齊地撕掉絕緣紙，嚴禁使用刀子切割；將線芯填充物拉出除掉，切割時刀口向外，嚴禁損傷線芯主絕緣；可用布蘸汽油將線芯絕緣擦乾淨；

剝掉喇叭口處鉛包時，不得損傷遮罩紙；

剝掉喇叭口處用黃蠟帶或白沙帶作臨時包纏保護後，再用鉛脹器脹喇叭口；喇叭口約成 45°角，深度約 5mm 左右。

6) 電纜去潮：

去潮時澆油應從電纜裡部向外進行即按喇叭口——三叉口——線芯端頭的順序進行。去潮的重點應放在喇叭口及三叉處；

澆油時若電纜紙發出“叭叭”響聲並冒出白泡，說明電纜吸潮大，應追加去潮次數直至消除為止，同時可採用電熱吹風機去潮。

7) 內包絕緣：

線芯可用黃蠟帶包纏兩層。喇叭口處先用黃蠟帶包纏數層，再包纏雲母帶 5~7 層。填平喇叭口，將鉛包拍實；電纜截面在 25mm² 及以上時，壓入風車不得少於 2 只，風車必須向下勒緊擺放平整；應包纏成橄欖形，直徑應比軟手套內徑稍大一些為宜；內包纏長度為鉛包外徑+55mm。

8) 套手套及封油管：

在鐵心上塗一層中性凡士林或塗抹電纜油用以潤滑；

套入合格的手套，操作中注意不要弄破手套，手套分叉處必須貼壓風車，手指部分不得翻卷扭曲；

沿手套分叉處向下擠緊，用黃蠟帶或聚氯乙烯帶封存住根部，用同樣的方式封住手指，纏至高出手指口約 20~39mm；

線上芯上套入壁厚為 1.5mm 左右的封油管，長度為線芯長度加 80~100mm，靠手套端削 45°斜口，封油管用溫度為 145~160°C 的油燒燙。套入封油管後。從手套處向線芯末端擠壓。在距末端約 150~200mm 處將封油管往回折，使線芯露出約 150mm 左右。

9) 綁紮：

綁紮尼龍繩時必須用力勒緊，並不得使封油管轉動扭曲，尼龍繩之間應靠緊且不得交錯疊壓；

綁紮時尖壓緊手套，以便排出手套內部空氣。

10) 壓接接線端子：

壓接時，將線芯末端及接線端子的邊沿倒成圓角；用鉗子將線芯夾成圓形狀，注意不得將線芯交疊扭曲；

套端子間應按線芯旋轉方嚮往下擠入，小端子不得有裂紋；

壓好端子後，將端子邊緣被敲打凸出的地方銼平，巨端子不得有裂紋；用油烘燙打折處封油管，將封油管套入接線端子，然後綁紮尼龍繩。

11) 用黃蠟帶自分芯處開始包纏線芯上的封油管，一般包纏兩層；

12) 絕緣遮罩製作：遮罩層使用 0.03~0.04mm 的錫箔紙或鋁箔紙不得有破損；

從三芯根部開始在各芯上包纏遮罩紙 2~3 層，其長度以各芯分開後，遮罩紙末端相互距離保持 50mm 為準；遮罩紙必須緊貼線上芯上；

包纏完畢，在各芯根部用細銅絲將三芯遮罩紙連在一起；

在應力錐最大直徑以下的表面上均應包紮遮罩紙，方法同上；

下部應與鉛包接觸良好，接觸部分不少於 10mm。遮罩紙外部最好用 1mm 直徑的熔絲綁紮，並將它與鉛包焊在一起；

均壓環可用直徑 4mm 的熔絲繞成。裝于應力錐最大直徑處對口焊牢。注意與遮罩紙接觸良好；

13) 最後包纏外護層，標誌相色，包纏應力錐前應填入 2~3 只風車，手指根部三叉口處應比外包纏高度高出約 2mm。

4. 封銅、焊料配製的基本工藝

(1) 封鉛的配製

鉛護套電纜的鉛材料選用純鉛和純錫，配比要求 61%~67%的鉛，其餘為錫。通常採用中性配比即：65%鉛+35%錫（重量比）。此種合金熔點為 250°C。在 183~250°C之間呈漿糊狀態。

錫塊加入液體之前必須烘乾烘熱，避免加入時飛濺傷人；

鉛錫完全熔化後處於 260°C保持恒溫時，可在溶液表面蓋一層稻草灰，以防止表面氧化或鉛錫昇華物造成操作者中毒；溫度不易過高，否則溶液表面容易氧化，一般錫浮在表面，氧化較多時會影響品質；澆鑄前必須攪拌，使鉛錫混合均勻；

操作者應戴手套、口罩防護眼鏡，穿護腳罩和長袖衣服；攪拌用鐵棒、澆鑄用模具及兩端的封堵塞物必須乾燥。

(2) 焊錫的配製

配製焊錫時需選用純鉛和純錫，配比要求 50%鉛，50%錫（重量比），該合金的熔點為 220°C，在 183~220°C之間呈漿糊狀。焊錫多用於銅芯電纜，用松香或不含酸的松香膏作焊劑。燒錫的配製工藝與封鉛相同。

(3) 鋁鈎焊料的配製與使用

鋁鈎焊料以鋅、錫為主要的合金成分，還可加入其他一些金屬如：鉛、銅、鋁、銀等以改善某些性能。鋁護套電纜可採用 HL-734 鋁鈎焊料或 J5-4 焊料。一般採用的鋁鈎焊料配比如下：鋅 10%、錫 85%、銅 1.5%、鋁 2%、銀 1.5%。

5.各類電纜試驗技術標準（表 13-4~表 13-6）

表 13-4 電力電纜絕緣電阻技術指示

（單位：MΩ）

電纜形式	規格範圍	絕緣電阻 20°C時每千米不小於
軸性油浸紙絕緣電力電纜	1~35kV 6kV 及以上	50 100
不滴流油浸絕緣電力電纜	1~3kV 6kV 及以上	100 200
橡皮絕緣電力電纜	50mm ² 及以下	50
	70~18550mm ²	35
	240mm ² 及以上	20
聚氯乙烯絕緣電力電纜	0.6kV	40
	1kV	60

交聯聚乙烯絕緣電力電纜	6kV	1000
	10kV	1200
	35kV	3000

注：1.測得的絕緣電阻應換算到單位 1kΩ，換算後的值應超過標準規定值為合格。

2.用於 0.4kV 線路電纜可用 1000V 級絕緣電阻表測試。用於 6kV 及以上電纜應用 2500V 級絕緣電阻表測試。

表 13-5 電力電纜絕緣電阻隨溫度變化係數表

溫度 / °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
溫度係數	0.48	0.57	0.70	0.85	1.0	1.3	1.41	1.66	1.92

表 13-6 各種電力電纜的允許溫度

電纜形式	長期允許最高工作溫度 / °C	短路允許溫度 / °C
軸性油浸紙絕緣電力電纜		
1~3kV	80	
6kV	65	220
10kV	60	
20~35kV	50	
不滴流油浸絕緣電力電纜		
1~3kV	80	
6kV	80	220
10kV	65	
20~35kV	65	
橡皮絕緣電力電纜	65	150
聚氯乙烯絕緣電力電纜	65	160
交聯聚乙烯絕緣電力電纜		
6~10kV	90	250
20~35kV	80	

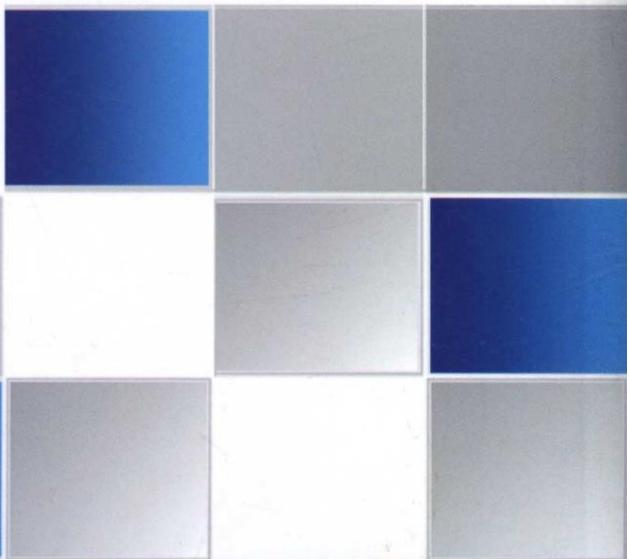
參考文獻

- [1]李方園.維修電工技能實訓[M].北京：中國電力出版社，2009.
- [2]李方園.現代維修電工技術[M].北京：中國電力出版社，2009.
- [3]李方園，李亞峰.數控機床電氣控制[M].北京：清華大學出版社，2010.
- [4]勞動和社會保障部教材辦公室.維修電工（中級）[M].北京：中國勞動社會保障出版社，2007.
- [5]李發海，王岩.電機與拖動基礎[M].3版.北京：清華大學出版社，2005.
- [6]楊文煥.電機與拖動基礎[M].西安：西安電子科技大學出版社，2008.
- [7]電氣照明系統作業指導書.www.chuandong.com.
- [8]電氣檢修標準規程（通用部分）.www.gongkong.com.
- [9]起重運輸設備的電氣控制.www.ca800.com
- [10]固態繼電器及在應用中一些問題的探討 www.chuandong.com.

ISBN 978-7-111-36361-3

策划编辑：林春泉

封面设计：路恩中



上架指导：工业技术 / 电工技术

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)88326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037
网络服务
门户网：<http://www.cmpbook.com>
教材网：<http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

定价：30.00元

ISBN 978-7-111-36361-3



9 787111 363613 >