

哈尔滨工业大学讲义

低 压 电 器

电 器 教 研 室

張 冠 生 編

1958

低 压 电 器

电 器 教 研 室

張 冠 生 編

1 9 5 7

編 者： 電器教研室 張冠生
出版者： 哈爾濱工業大學
印刷者： 哈爾濱工業大學印刷廠

印 1—1000 冊 成本費 3.40元

1958年1月

前 言

本讲义予定为高等学校电器專業低压电器与繼电器的教学参考書，同时亦可供电器制造的工程技術人員作为設計低压电器时的参考。

讲义編寫的主要依据是哈尔滨工業大学电器專業“低压电器与繼电器”的教学大綱。它是以1956年全國統一試訂的“低压电器与繼电器”教学大綱（草案）和苏联莫斯科动力学院1955年有关教学大綱作为基礎而制定的。

讲义的內容共分以下几方面：低压电器的一般問題（緒論），低压电器的專門問題（电磁系統、电弧—触头系統），接触器，磁力起动器，自动断路器，熔断器，非自动切换电器以及电阻和變阻器。

編寫后，有几点需要說明一下：

1. 由于在“电器原理”課程中，对交直流磁路計算作了比較詳細的敘述，所以本讲义中对有关电器的磁路計算不加贅述。这里僅介紹磁系統的一般結構和磁系統类型的選擇以及線圈的計算等。該章中的分磁短路环的計算一節原可以在“电器原理”講，由于我校电器原理中未講，故划入了本讲义。

2. 由于在“电器原理”課程中，沒有講到各种低压电器的一般結構和動作原理，所以本讲义中不得不适当增加了这方面的材料。

3. 在苏联的大綱中，尙有成套电器一章，內容是磁力起动器和成套配电裝置。由于缺乏成套配电裝置的資料，所以只对磁力起动器作了簡單敘述。但磁力起动器中的热繼电器在繼电器課程中講授，它的結構中只剩下了交流接触器元件，因此我們就把交流接触器和磁力起动器合併在一章了。否則，交直流接触器安排在一章內敘述是比較好的。

4. 本來还予備增加机械計算一章，內容是彈簧計算和銜鉄冲击力等計算，由于付印倉促來不及編入。同样理由，刪去了各种电器的設計实例。如属需要，以后补上。

最后应该指出，由于对本國資料搜集不够，書中不得不較多地引用了苏联和其它國家的文献，希望在下次修訂时予以补充。

編者才疏学淺，加以編寫匆促，書中謬誤之处，望讀者不吝指正，
无任感激。

編 者

1957. 3.

目 录

第一章 緒論

1—1	定义和分类	1
1—2	低压电器在祖國工業化中的任务和对國民經濟的意义	3
1—3	低压电器的發展簡史	4
1—4	对低压电器的要求、國家标准	8
1—5	低压电器的一般試驗方法	12
1—6	我國低压电器發展中的几个問題	17

第二章 電磁系統計算中的幾個問題

2—1	概述	22
2—2	磁系統的一般結構	23
2—3	磁系統类型的分析	27
2—4	分磁短路环的計算	47
2—5	線圈的計算	61
2—6	用相似法計算电磁系統	67

第三章 触頭與滅弧系統

3—1	概述	76
3—2	触头的磨損	77
3—3	触头的熔銲	92
3—4	触头的开距	95
3—5	磁吹滅弧	99
3—6	縱縫滅弧	106
3—7	柵片滅弧	116
3—8	高頻滅弧問題	129

第四章 直流接触器

4—1	概述.....	132
4—2	接触器的技術規範.....	132
4—3	直流接觸器的結構.....	138
4—4	直流接觸器設計中的几个問題.....	153
4—5	直流串激接觸器.....	169

第五章 磁力起動器、交流接觸器

5—1	概述.....	173
5—2	磁力起動器的結構.....	177
5—3	交流接觸器.....	196
5—4	異步機的過渡過程和對磁力起動器的工作要求.....	209
5—5	交流接觸器的設計.....	214

第六章 自動斷路器

6—1	概述.....	218
6—2	自動斷路器的結構（非快速）.....	220
6—3	自動斷路器中几个環節的設計.....	235
6—4	快速空氣斷路器.....	250
6—5	快速斷路器設計中的几个問題.....	267
6—6	自動斷路器的試驗.....	274

第七章 低壓熔斷器

7—1	概述.....	279
7—2	低壓熔斷器的技術規範.....	280
7—3	熔斷器的結構.....	286
7—4	熔斷器中的電弧問題.....	304
7—5	熔斷器的保護特性的計算.....	317

7-6	熔断器管子的压力計算.....	328
7-7	熔断器的模型試驗.....	335

第八章 非自動切換電器

8-1	刀形开关与換接开关.....	338
8-2	主令電器.....	345
8-3	控制器.....	357
8-4	鼓形、凸輪形控制器設計中的几个問題.....	370

第九章 電阻與變阻器

9-1	概述.....	379
9-2	變阻器的換接裝置和接線圖.....	380
9-3	电阻元件的結構和計算.....	390
9-4	起動和起動—調速變阻器.....	407
9-5	磁場調節變阻器.....	420
9-6	油變阻器.....	425
附錄 I.	电阻元件表.....	433
附錄 II.	文献目錄.....	439

第一章 緒 論

1—1 定義和分類

低压电器是用來手动或自动分合电路，調節、控制与保护电路和非电对象而电压在 500 伏* 以下的电气器具。低压电器的种类繁多，估計在几百种以上。它們的职能，工作原理以及結構各不相同。从低压电器的职能來看，它被分为下列两大类：

1. 低压控制电器——它是用來控制电与非电对象的低压电器，例如用來起动、停止、調整和反向用的接触器、磁力起动器、繼电器、變阻器以及換接的單段和多段控制器等，它主要用于电力傳动的裝置中。

2. 低压配电电器——它是在正常或事故状态下接通或切断以及換接或保护低压配电网的配电电器，这种电器如自动断路器（自动开关），刀开关，繼电器和熔断器等。

有人建議低压电器应分为三大类（文 1—1），即除上述兩类外，另列入調節器和繼电器。当然，这个建議也可采纳。不过，調節器和繼电器（尤其是保护繼电器）的性能和結構都和一般的低压电器（即所謂开关电器）有較大的差異，它們有自己的理論与發展方向，因此不归入一般的低压电器是可以的。

低压电器又可按它的动作的性質分为：

1. 自动电器——它的完成任务，例如接通、开断、起动、反向和停止的动作是自动進行的，所謂自动進行就是依靠本身参数的變化或外來的訊号（包括用手按按鈕）而不是用人力直接加以干预的意思；

2. 非自动电器——又称手控电器，顧名思义，它的操作主要是用手直接干预來完成的，例如刀开关，換接开关和不帶伺服电动机的控制

註：* 電壓有时可高出 500 伏，尤其在直流牽引電器中。

低压电器又可根据它的工作条件來分，分为：

1. 一般工業企業用低压电器——它的特点是：周溫是 35°C 和正常的工作环境等；
2. 牽引低压电器——通用于电气機車的情况，周溫一般是 $+40^{\circ}\text{C}$ 操作次数，电压可能超过500伏，有时到3000伏，以及它的耐震动等；
3. 船用低压电器——它的特点是耐顛簸、震动和傾斜，周溫是 $+40^{\circ}\text{C}$ 以及介質中具有鹹性蒸汽等；
4. 礦用低压电器——它的特点是防爆，周溫是 $+25^{\circ}\text{C}$ ；
5. 航空低压电器——它的特点是耐顛簸、震动和在不同空間位置时的可靠工作，要求体积小及重量輕等。

低压电器还可按照应用的場所，分为：

1. 工業用低压电器；
2. 軍用低压电器；
3. 民用低压电器——例如家庭日常生活用的电灯开关，熔断器，电熨斗，电爐等等。

本課程主要研究一般工業用低压电器，这些低压电器的具体名称如下：

1. 接触器；
2. 磁力起动器；
3. 自动断路器(自动开关)；
4. 熔断器；
5. 刀开关；
6. 主令电器——按钮，行程开关，万能开关和主令开关；
7. 控制器（多段換接开关）——面板式控制器，鼓形控制器和凸輪形控制器；
8. 电阻和變阻器。

除开上述类型的低压电器外，尚有煞制电磁鉄，牽引电磁鉄，电磁离合器，电磁操作台等电磁式低压电器以及成套的低压配电裝置等。本課程將重对前述八种主要类型的低压电器的結構，計算和試驗加以討論，

而对后面的电磁鉄不作專門的叙述。至于繼电器和調節器將分到有关課程中，此处不贅。

1—2 低壓電器在祖國工業化中的任務和對國民經濟的意義

科学技術不斷地發展，無論在工厂、礦山以及交通運輸方面都普遍地採用了電力傳動，尤其是自動化的電力傳動。生產過程的自動化意味着在帶有電力傳動的許多工作樞紐間密切和可靠地組合。它們之間的密切聯系和相互配合已不能光靠機械的裝置去完成，而必須借助於控制電器。舉例來說，一個多電動機傳動的巨型龍門鉋床，它的主電動機帶動工作台，而工作台在切削時需向前移動，以後又需向後退回。在向前進行切削的時候，速度要慢些，而在空刀時則要快些；需要在試車的時候慢些，在正常工作時候快些；又需要在切削過載時自動地減輕負載，當油泵電動機沒有啓動以前工作台電動機不能啓動……等等。這些無疑地要求許多電器來完成。再看一下冶金軋壓工厂，在主電室內往往有數十塊控制盤，每塊盤上都有數十個電器。正因為這些電器的可靠工作，才保證了工作效率極高的大規模生產，保證了產品的質量，減輕了工人的體力勞動。不僅如此，有些低壓電器還能保證工人的安全生產，例如吊車上應用了行程或終止開關以及电磁煞鉄就能防止吊車的撞牆事故，防止因突然斷電而使重物掉下造成設備或人身事故。這種事故將使國家遭受極大的損失。

自動保護的低壓電器可以反映電的或機械的複雜運轉過程。構造頂簡單的熔斷器，它不僅能保護設備免受短路或過載的損傷，而且亦將防止傳輸導線過熱而產生的火災。快速空氣斷路器的作用就不用說了，價值昂貴的水銀整流器和單樞換流機就依靠它來保護。由於存在了這些正確可靠的低壓保護電器，所以盡量減少檢修的時間以及備品台數就有了可能。前者直接影響到勞動生產，后者影響到設備的初次投資。

就是在動力系統中，雖然那里重要的是高壓電器，但是為數眾多的控制設備還是低壓的，這些控制設備往往擔負了“神經”中樞的工作，對網路的工作具有重要的作用。

根据其它國家的統計資料看來，每 1000 仟瓦容量的發電機需要電器控制設備的功率達 2200 仟瓦左右。由此可見，隨着國家工業化的發展，發電容量的增加，電器控制設備的需要量就越來越可觀。也就是說低壓電器對我國的工業化是有着越來越大的任務了。

其實，低壓電器還不僅應用於工業中。

在農業方面，小型水電站、電動脫谷機以及今后的電氣拖拉機和播種機等都需要電器裝備。

在交通運輸方面，汽車、火車、輪船和飛機等的控制，也是离不开電器的。

在國防工程上也廣泛地使用着各種自動電器。

此外，家庭用的低壓電器對人口眾多的我國來說也具有極大的意義。

低壓電器的應用是如此的廣泛，假如沒有它，那末，工業中的許多自動化與流水作業就不可能進行，工業化就要緩慢；但是另一方面，即使有了電器，而結構不太完善或工作不太可靠，那末生產就要受妨礙。由此可見，結構完善與工作可靠的、能充分滿足生產要求的各型電器的製造，在國民經濟中有着極其重要的意義。

1—3 低壓電器的發展簡史

由於電的發現和應用，因而產生了電器。最早的電器是刀開關。1885 年曾經在俄國彼得堡的發電廠內安裝了配電開關台。開關台由電阻式電壓調節器、電磁訊號繼電器、熔斷器、及刀開關等組成。以後隨着電動機的發明以及發電廠的相繼建立，低壓電器得到進一步的發展。

新的生產規模與生產組織對電器提出了新的要求。舊的簡單的刀開關和熔斷器逐漸不能滿足生產上的要求。由此而開辟了製造巨型高壓電器和自動化電器的紀元。

在蘇聯，電器製造的發展是非常迅速的。十月革命以前，俄國只能按照某些外國工廠（如德國的 AEG 和美國的 GEC 等）的圖紙進行生產，它的產品都是結構簡單的高低壓電器，質量既差，數量又

少。十月革命勝利后，很多電器工廠進行了改建與擴建，逐步生產系列的低壓電器。例如在1923年，哈爾科夫電機廠（Х. Э. М. З）在工程師 Б. Ф. 瓦蘇拉（Вашура），Ф. А. 司徒貝爾（Ступель）和 К. П. 彼得洛夫等領導下開始創建了按裝型自動斷路器和直流的斷路器。1926—1927年，在 В. А 布爾加可夫（Булгаков）和 В. С. 庫什聶佐夫（Кузницов）的領導下，創建了新系列的變阻器和控制器。同一時期，又制成了三相600—1000安的自動斷路器。1928年，О. Б. 布朗在低壓電弧熄滅的研究基礎上，創制了新的刀開關和換接開關的系列。這種新系列的刀開關的重量僅及舊式的一半。在后一些時期內，А. М. 米里尼果莫夫（Мельникумов）和 З. Л. 什龍金娜姬（Жиронкина）在全蘇電工研究所（ВЭИ）建立了填充式交直流低壓熔斷器。1930年以前蘇聯還不會生產快速斷路器，但在1937年就生產了當時著名于世的 ВАБ—2 快速斷路器。А. А. 郭路貝夫（Голубев）在設計上述新型快速斷路器時是完全獨出心裁的。在衛國戰爭以後，蘇聯的低壓電器普遍進行了改型，結構優美的產品如雨後春筍。例如：1950年烏拉爾電器工廠的6×ВАБ—10快速斷路器，Х. Э. М. З. 工廠的А3110，吉那摩工廠的АВ—15和1947年在秋百克塞爾電器工廠試驗成功的 КР—500 和 КТР—500 的直流和交流的接觸器。近年來蘇聯還生產了 КТ—5000 系列的交流接觸器，НПН 和 НПР 填充式高斷流容量的熔斷器以及 ТРП 熱繼電器等（文1—2）。

目前蘇聯能生產高壓低壓電器的工廠有十六個以上，所生產的產品都不弱于資本主義國家，有些產品的質量還超過了它們。譬如，哈爾科夫電器廠制造的礦井用防爆電器，在保安技術的規格方面大大地超過了資本主義國家的。這些成就的取得，主要是由于蘇維埃政權的優越性。在蘇聯共產黨及政府的領導與鼓舞下，全體電器科學家、工程師及工人們頑強地工作，不斷地探討電器製造的理論，改善了很多舊的產品並試制了新的產品。如：ЭТ—520 的產品代替了舊有的 ЭТ—60 產品，前者的磁系統所用的材料幾乎比后者少了一半；具有無觸頭繼電效應的磁放大器代替了防止接地故障的繼電器；Е—52 電動機時間繼電器比 СВ

—11 行星機構的电动机繼电器要輕巧簡便得多；ЭВ—130 的時間繼电器比 ЭВ—180 的尺寸縮小了三分之一左右；МО—Б 制動电磁鐵代替了 МО，ВАБ 快速断路器代替了 БДА 等等。

苏联电器方面的學者 В.С.庫烈巴金(Кулебакин) О. Б. 布朗(Брон), Б. Ф. 瓦蘇拉(Вашура), Б.С. 索茨可夫(Сотсков) 和 Ф. А. 司徒貝爾(Ступель) 對低壓电器的理論和計算有卓越貢獻。此外，如 В.А. 布尔加可夫, (Булгаков), А.А. 郭路貝夫(Голубев), Р. С. 庫什聶佐夫(Кузнецов) 和 М. Г. 顧別林茨(Кобленц) 等电器的設計師，在改進和創設苏联的低壓电器方面的功績也是值得提出的。

捷克，德意志民主共和國的电器制造工業也是很發達的。

在資本主義國家中，电器制造工業已有悠久歷史，但其發展速度却較慢。在它們的產品中，不少產品的結構是優良的、性能是好的，表示了資本主義國家中勞動人民的智慧和這些國家較高的工業技術水平；但另一方面，很多產品的結構改變偏重於無關緊要的部件上，其目的往往不是為了改進工作性能和降低成本，而是為了做廣告，為了吸引主顧而故弄新穎。因此，在研究它們的电器和吸取它們的經驗時必須批判地對待。

我國的电器制造工業（即開關制造）的基礎是很薄弱的。解放前，我國基本上沒有專業的開關工廠。上海華通開關廠雖成立於 1919 年（華通電機廠股份有限公司），但變成制造開關的專業工廠還是在 1950 年公私合營以後。沈陽低壓開關廠建於 1935 年，原生產有線及無線通訊設備，1952 年改建後才開始生產低壓电器產品。湘潭電機廠的開關車間雖在解放前已籌建，但是真正生產电器還是在解放以後。當然，解放前我國也生產過一些电器（昆明電機廠、上海華通廠、通用電機廠等）。這些电器不過是構造上頂簡單的刀開關、隔離開關，熔斷器、星三角形起動器等手控式開關罷了。有時也制造幾個鐵殼開關（相當於磁力起動器）和低壓的油斷路器。偶而生產幾個高壓油斷路器，但它的電壓不超過 6.6 千伏。

解放後，由於政權制度的改變，我國的工業就擺脫了過去殖民地的

桎梏，而起了根本的變化。电器制造工業自然也不例外。隨着國家經濟恢復和大規模的經濟建設，各部門對电器制造工業提出了愈來愈高的要求。黨和政府在新中國薄弱的电器工業基礎上，先後擴建和新建了沈陽低壓開關廠、沈陽高壓開關廠、阿城儀表廠、湘潭電機廠和華通開關廠等，並迅速集結了技術力量進行电器產品的試制。起先，电器產品的設計多半仿美國西屋公司或日本的式樣，產品規格不一，制造困難，材料浪費並且質量低劣。自從 1953 年电器工業管理局組織了統一設計，明確了採用蘇聯电器的標準系列，得到了蘇聯圖紙和實物的技術援助後，我國电器制造事業的面貌就煥然一新。

數年來，我國低壓開關方面生產了幾百種的仿蘇產品。這些產品有力地支援了各地工礦的建設，尤其是支援了我國重工業的建設。例如沈陽低壓開關廠和上海華通開關廠所生產的各型低壓控制設備就支援了鞍鋼的三大工程和長春第一汽車廠。各廠的發展規模是驚人的。以沈陽低壓開關廠為例，1952 年產品價值為 100%，1953 年為 400%，1954 年為 600%。其它各廠的發展規模都相類似。隨着生產力的發展，擺在电器制造工作者面前的任務將越來越艱巨，正如“八大”決議指出的：對於主要產品，特別是國家建設和國民經濟所必需的技術設備，應當通過仿造的方法，逐步過渡到能夠自行設計和制造的目的。為此，必需很好地總結過去經驗，更深刻的結合我國實際向蘇聯學習，吸取其它各國有益的東西，那末所有的困難一定會被克服，我國的电器事業將會日新月異的姿態向前邁前。

黨和政府為了办好电器工業不僅建設了大規模的电器工廠，而且在高等工業學校和中等技術學校內開辦了电器專門化。一九五四年起清華大學、交通大學、華中工學院、浙江大學和哈爾濱工業大學以及湘潭电器制造學校等陸續舉辦了电器專門化，並在這些學校內成立了电器教研組(室)。此外，在一九五四年成立了电器科學研究院，一九五五年成立了熱帶电器研究站，一九五六年，在上海成立了低壓開關設計室。上海的低壓開關設計室在最近期內予備對交流接觸器，雙金屬熱繼电器以及低壓高斷流能力的熔斷器進行新設計，以便制造滿足我國情況的，在技

術經濟指標上都先進的低壓電器。為了提供這些電器的試驗條件，予備在上海建立一個具有較大斷流容量的低壓試驗站。所有這些都為電器科學的發展和電器工業生產的進一步提高創造了非常有利的條件。

1—4 對低壓電器的要求、國家標準

對低壓電器的要求可以分為具體的和一般的二種。根據低壓電器服務對象不同，職能不同以及具體的條件參數不同，對它提出的要求是不同的。例如對接觸器、斷路器、熔斷器或變阻器等不同種類的高低壓電器，就有著不同的要求。甚至對於同一類的高低壓電器，由於它的特点不同也有不同的要求，例如同一接觸器，交流和直流的就有差別；同一變阻器，起動的和調節的也不相同，如此等等。這種對各型電器的不同要求，體現在為它所指定的國家標準或技術規範中，如蘇聯的 ГОСТ 或 ОСТ，德國的 V.D.E，美國的 N.E.M.A，或英國的 B.S 等等。

除開具體的要求外，對低壓電器尚有一般的要求。這些要求是共同性的。例如：

1. 在正常工作制下的正確和可靠工作；
2. 有足夠的機械和電氣壽命；
3. 有一定的工作強度，如一定的操作頻率；
4. 操作維護與檢修的方便和安全；
5. 消耗的功率小；
6. 尺寸小和重量輕；
7. 易于製造和成本低廉。

現在我們來逐條加以討論。

正常的工作制的概念對不同的電器有不同的內容。例如對於自動斷路器應該在短路電流（故障電流）下可靠地動作，短路電流對於它們來說是正常的工作制。但對接觸器來講，就不能要求它在短路電流下合閘或掉閘，因為短路電流並不是它的正常情況。它的正常工作制一般是指額定電流和額定電壓或者指它的試驗時規定的電流。對每一個電器確定哪些是正常工作情況，哪些是非正常工作情況，是需要經過大量的分析工

作的。

电器在正常工作制下不僅可靠而且还必須正確地工作。在保护电器方面，正確的工作尤为重要。例如熔断器必須在一定的動作時間內正確的工作。它必須滿足安秒特性的要求。在具有選擇性保护的情況下，熔断器按照安秒特性正確而可靠的動作具有重要的意义。在保护电器中，正確的動作还有一个概念，那就是在定置值時動作。当电器的定置固定后，它的实际的動作值就不能超过一定的誤差範圍。在控制用的电器中，所謂正確的動作往往是指一定的电压和电流或一定的動作時間。例如，接触器應該在 $85\% U_H$ 下能正確和可靠的合閘，在 $105\% U_H$ 下不过热而能可靠的工作等。

电器的正確而可靠的工作具有很大的现实意义。例如我國机床上用的电器，由于工作可靠性不够，使机床工作遭到損失。根据文 1—3 所談，在 1954—1956 年，我國十个机床厂收到的 584 件申訴書中，內有 94 件或者是 16.2% 是属于电气質量低劣方面的。济南第二机床厂供給武漢重型机床厂的 724 龍門鉋床，只工作了 16 个小时就不能繼續工作了，其原因就是因为一个繼电器的彈簧出了毛病。一个繼电器的价值在百元以下，而使一台价值几万元的龍門鉋床不能工作，造成了很大的損失。由此可見，对低压电器來講，工作的正確和可靠是具有头等意义的。

其次，我們看一下有足够的机械电气寿命和一定的操作頻率方面的要求。电器的使用年限的長短不僅关系着它的本身的經濟指标，而且对于生產有着一定的影響。例如在一个自动化晝夜不停的冶金工厂中，电器的經常更換往往使停車的時間增長，直接影響到生產率。尤其是控制用的低压电器，它一般的操作次數很頻繁，为此它的关合次數就具有更大的意义。例如一个每小时操作頻率为 1200 次，則电气寿命为 20 万次的接触器只能用一个星期。至于机械寿命一般是指触头上无电時或負載較小时的操作次數而言。电气寿命一般决定于触头，触头換新后，該电器可繼續工作。机械寿命决定于电器的其它結構，例如鐵芯或線圈等，它坏后电器就不能工作或者必須進行大修理。