

高等学校試用教科書

低 压 电 器

張 冠 生 編

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校試用教科書



低 压 电 器

張 冠 生 編

中国工业出版社

本书为高等工业院校电机与电器专业电器专门化的一門专业課的教材。

本书內容主要介紹各种典型低压电器的工作原理、結構参数分所以及它的設計和研究的方法。在学习这門課程之前，同学已經掌握了电器的理論基础，所以本书对这些基本理論不再贅述；但对低压电器中电弧的理論和实际問題作了必要的补充。本书所敘述的低压电器基本上是所謂有触头的开关电器。这些典型电器是：电磁鉄、接触器、手控式切换电器、电阻和变阻器、熔断器以及自动空气断路器等。

低 压 电 器

張冠生編

*

第一机械工业部教材編审委员会編輯（北京复兴門外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙 10 号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第 110 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印張 $18 \frac{3}{4}$ · 字数 426,000

1961 年 11 月北京第一版 · 1964 年 5 月北京第三次印刷

印数 4,104—5,163 · 定价(科五)2.20 元

*

統一书号: K15165 · 835(一机-175)

前 言

本书为高等工业院校电机与电器专业电器专门化“低压电器”课程的试用教科书，亦可供从事低压电器的工程技术人员参考。

本书曾于1958年第一次作为交流讲义印刷，后在1959~1960年作了较大的修改和补充。趁此次公开出版，编者对本书又作了一些修改补充。编后，有几点意见需要谈一下。

本书基本上按照1960年西安交通大学拟订的“低压电器”课程大纲编写的。在课程内容方面，本书增加了“电磁铁”和“低压电器中触头与灭弧系统的专门问题”二章。

电磁铁是低压电器中应用比较广泛的元件。过去，电磁铁的计算完全由电器的理论基础课程中解决。但是电器理论基础主要讲授磁路计算的一般理论，而对电磁铁的各种结构类型的分析、技术—经济指标等综合考虑的设计方法必然照顾不够。实践证明，学生学过电磁铁的理论基础后不一定都能很好地设计电磁铁。因此有必要在低压电器中另立一章，适当介绍现有电磁铁的典型结构、设计中的某些专门问题以及工程实用计算方法。

本书中所叙述的低压电器，除上述的电磁铁和电阻以外，大多数都是带有触头的电器。这些电器的灭弧和触头的理论宜在电器的理论基础中讲授，但是具体灭弧装置的结构参数的设计和选择则宜在专题课中讲授。由于在低压电器中灭弧装置的结构大同小异，为了避免在各个具体电器中重复讲授这部分内容，似有必要将此内容集中起来讲深讲透。这就是增设“低压电器中触头与灭弧系统的专门问题”一章的理由。

在大纲中本有“低压成套电器”一章。考虑到设计成套低压电器尚无一定的方法，这方面的资料又很缺少，为了保证教材质量，所以在本书中没有编入这一章。编者希望大家能提供经验、资料和意见，俾便在再版时补入。

在本书的编写过程中，编者尝试用辩证唯物主义的观点来阐述低压电器结构演变的外因和内因，抓住它们的主要矛盾、分析矛盾诸方面对立、斗争和转化的情况，以使同学对低压电器不仅勇于革新，而且善于革新。但是，这方面的工作仅仅开始，不妥之处还望大家指正。

最后应该指出，本书的编成是和党的关怀、教研室集体帮助与兄弟学校大力支持分不开的。编者对此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，加以编写付印时间匆促，书中谬误之处在所难免。编者衷心地希望各校授课教师、各厂专家和使用本书的同学提出宝贵意见，以便在再版时修订补充进一步提高质量。意见请寄哈尔滨、哈尔滨工业大学电器教研室。

编 者

一九六一·六

目 次

第一章 緒論	1
1-1 定义和分类	1
1-2 低压电器的任务和对国民經济的意义	2
1-3 低压电器的发生发展概貌	3
1-4 我国低压电器制造的发展簡史及其今后远景	5
第二章 电磁鉄	7
2-1 概述	7
2-2 牵引和制动电磁鉄	7
2-3 电磁联触器	13
2-4 电磁鉄参数的綜合决定	17
第三章 低压电器中触头与灭弧系統的专门問題	26
3-1 概述	26
3-2 低压电器的典型灭弧装置	27
3-3 触头的振动和熔焊	46
3-4 触头的发热及接触电阻的稳定性	50
3-5 各种因素对灭弧性能及触头电損的影响	52
3-6 触头和灭弧系統主要参数的綜合决定法	53
第四章 接触器	61
4-1 概述	61
4-2 接触器的主要技术规范	62
4-3 接触器結構的演变及其参数分析	64
4-4 直流接触器的結構和設計	72
4-5 交流接触器的結構和設計特点	92
4-6 串激、延时和高頻接触器的概念	103
4-7 接触器的运行	107
第五章 非自动切换电器	114
5-1 刀形开关和换接开关	114
5-2 主令电器	120
5-3 控制器	127
第六章 电阻与变阻器	141
6-1 概述	141
6-2 变阻器的换接装置和接綫图	142
6-3 电阻元件的結構和計算	143
6-4 起动和起动一調速变阻器	155
6-5 磁場調节变阻器	174
6-6 油变阻器	177
第七章 低压熔断器	186
7-1 概述	186

7-2	低压熔断器的技术规范	186
7-3	熔断器组成部分及其参数分析	190
7-4	熔断器的结构及其特性分析	194
7-5	熔断器中的电弧问题	203
7-6	熔断器管子压力的计算	213
7-7	熔断器安秒保护特性的计算	216
7-8	熔断器设计和研究的一般指示	223
第八章	自动断路器	225
8-1	概述	225
8-2	自动断路器的技术规范	226
8-3	万能式自动断路器的结构和特性	227
8-4	装置式自动断路器的结构和特性	238
8-5	自动断路器几个环节的设计	244
8-6	快速空气断路器	256
8-7	快速限流式断路器	269
8-8	爆炸式断路器的概念	273
第九章	低压电器的试验	278
9-1	概述	278
9-2	决定触头压力、断开距离和超额行程	279
9-3	动作数值的试验	279
9-4	发热试验	281
9-5	绝缘和耐压试验	283
9-6	闭合及断开能力试验	284
9-7	电动力稳定及热稳定试验	289
9-8	寿命试验	289
9-9	外壳试验	290
附录		291
	国产低压电器产品新旧型号对照表(仅限本书引用范围)	291

第一章 緒 論

1-1 定义和分类

凡是根据外界特定訊号自动或手动地接通和断开电路,实现对电路或非电对象控制的电工设备叫做电器。简言之,电器就是电的控制设备。而低压电器是指电压在 1000 伏^①以下的电的控制设备。

低压电器品种繁多,用途广泛。它的控制对象虽然很多,但是归纳起来主要的对象有二大系统,即电力拖动控制系统(简称拖动控制系统)和低压电力网配电系统(简称配电系统)。因此低压电器按照它服务的对象可以分为:

1. 低压控制电器——这些电器主要用于电力拖动控制系统中。系统对电器的要求是工作准确可靠、操作频率高、寿命长和尺寸小。这些电器是:继电器、接触器、行程开关、主令电器、变阻器、控制器、电磁铁、磁放大器以及调节器等。

2. 低压配电电器——这些电器主要用于低压配电系统及动力装置中。系统对电器的要求是在故障的情况下工作可靠、有足够的热稳定和电动稳定。这些电器有:电力网用保护继电器、熔断器、刀开关和自动开关。

由于继电器、磁放大器和调节器的性能和结构都和一般的低压电器不同,它们有自己的结构设计理论,所以本书中将不包括这些电器。

低压电器又可按它的动作的性质分为:

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进行的,所谓自动进行就是依靠本身参数的变化或外来的讯号(包括用手按按钮)而不是用人力直接加以干予的意思;

2. 非自动电器——又称手控电器,顾名思义,它的操作主要是用手直接干予来完成的,例如刀开关、换接开关和不带伺服电动机的控制器。

低压电器又可根据它的工作条件来分,分为:

1. 一般工业企业用低压电器——它的特点是:周温是 35°C 和正常的工作环境等;

2. 牵引低压电器——通用于电气机车的情况,周温一般是 $+40^{\circ}\text{C}$, 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——它的特点是耐颠簸、震动和倾斜,周温是 $+40^{\circ}\text{C}$ 以及介质中具有盐雾性蒸汽等;

4. 矿用低压电器——它的特点是防爆,周温是 $+25^{\circ}\text{C}$;

5. 航空低压电器——它的特点是耐颠簸、震动和在不同空间位置时的可靠工作,要求体积小及重量轻等。

低压电器还可按照应用的场所,分为:

1. 工业用低压电器;

^① 根据国际电工协会“低压配电开关”规程:交流在 1000 伏以下,直流在 1200 伏以下配电网的开关均属于低压范畴。

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,电炉等等。

本課程主要研究一般工业用低压电器,这些低压电器的具体名称如下:

1. 电磁鉄;
2. 接触器;
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. 电阻和变阻器。

1-2 低压电器的任务和对国民經济的意义

目前,無論在工厂、矿山、电站、交通运输、农业机械以及国防軍事方面都广泛地使用电和电动机。在某些方面越来越多的生产过程趋向于自动化。自动化的物質基础就是自动控制工具,而低压电器則是自动控制工具的一个重要方面。

例如軋鋼厂的初軋机,它的工作过程是复杂的。这种复杂的过程需要为数众多的低压电器来完成控制任务。一个 750mm 的初軋机的控制盘就有七、八十块之多,每个控制盘上都装有十几个以至几十个低压电器元件。正因为这些电器的可靠工作,才保证了工作效率极高的大規模生产,保证了产品的质量,減輕了工人的体力劳动。

不仅如此,有些低压电器还能保证工人的安全生产,例如吊車上应用了行程或終止开关以及电磁煞鉄就能防止吊車的撞墙事故,防止因突然断电而使重物掉下造成设备或人身事故。这种事故将使国家遭受极大的损失。

自动保护的低压电器可以反映电的或机械的复杂运轉过程。构造頂简单的熔断器,它不仅能保护设备免受短路或过载的损伤,而且亦将防止傳輸导綫过热而产生的火灾。快速空气断路器的作用就不用說了,价值昂貴的水銀整流器和单樞換流机就依靠它来保护。由于存在了这些正确可靠的低压保护电器,所以尽量减少檢修的时间以及备品台数就有了可能。前者直接影响到劳动生产,后者影响到设备的初次投資。

就是在动力系統中,虽然那里重要的是高压电器,但是为数众多的控制设备还是低压的,这些控制设备往往担負了“神經”中樞的工作,对網路的工作具有重要的作用。

在不同的社会制度下,和其它一切机器设备一样,低压电器完成上述控制和保护时所起的客观效果是不同的。在社会主义制度下,生产过程的自动化,大量低压电器被采用的結果是发展了生产,改善了劳动人民的生活。在现实生活中,这种事情是很普遍的。我們不妨举某厂作为例子。这个厂建立了一根絲錐生产自动綫使生产率提高了12倍,产量提高了8倍,每班工人由原来的16名减为3名。节约下来的劳动力組織起来进行学习,迅速提高了他們的政治、文化和技术水平。

相反,在資本主义国家中,生产的自动化意味着劳动人民的失业和貧困。壟断資本家利用电器、利用一切自动化工具作为产业工人的“后备軍”。

根据其它国家的統計資料看来,每1000千瓦容量的发电机需要电器控制设备的功率达

2200 千瓦左右。又根据統計資料, 80% 以上的电能通过低压电器的控制而消耗的。由此可見, 随着国家工业化的发展, 发电容量的增加, 电器控制設備的需要量就越来越可觀。

其实, 低压电器还不仅应用于工业中。

在农业方面, 小型水电站、电动脱谷机以及今后的电气拖拉机和播种机等都需要电器装备。

在交通运输方面, 汽車、火車、輪船和飞机等的控制, 也是离不开电器的。

在国防工程上也广泛地使用着各种自动电器。

此外, 家庭用的低压电器对人口众多的我国來說也具有极大的意义。

低压电器的应用是如此的广泛, 假如沒有它, 那末, 工业中的許多自动化与流水作业就不可能进行, 工业化就要緩慢; 但是另一方面, 即使有了电器, 而結構不太完善或工作不太可靠, 那末生产就要受妨碍。由此可見, 結構完善与工作可靠的、能充分滿足生产要求的各型电器的制造, 在国民經济中有着极其重要的意义。

1-3 低压电器的发生发展概貌

生产的发展使电力拖动系統和电网系統不断发展, 它們对电器提出一系列的要求。系統对电器提出的要求和电器的技术經济指标之間存在着矛盾。这个“系統”和“元件”間的矛盾, 簡称为“电”(指系統)和“器”(指电器元件)的矛盾。在低压电器整个发展过程中, 这个矛盾是貫穿始終的, 它是低压电器发展的依据和动力。

最初, 由于作为电的統一体的电源和負載具有簡單的形式, 无所谓电网系統和拖动系統, 所以联結电源和負載双方的电器亦具有簡單的形式。例如最初使用的电源可能是一个伏特电池, 而它的負載可能是一个綫圈, 而对电流实现接通与断开的电器可能就是导綫的連接端或者是一般的电鍵, 这就是最原始的低压电器。

随着生产力的发展, 在工农业各个方面都广泛地使用机器。根据馬克思的經典定义: 一切发展了的机器都由三个在本質上不同的部分——电动机、配力机与工具机(即工作机)构成。电动机的出現不仅是一个原动机的革命, 而且也促进了配力机和工具机的革命。机器的不断进步推动了生产力的不断发展。这样一来, 控制机器的低压电器亦随着生产力的发展而获得了广泛使用和不断提高。

电动机代替蒸汽机后必須解决它的控制工具問題。此时电动机的控制过程沿襲了蒸汽机的控制过程。联結蒸汽源和蒸汽机并进行控制的是汽閥門(閥尔)。汽閥門的作用是“开汽”与“关汽”或者是根据蒸汽机的速度調节汽量大小。簡言之, 汽閥門具有开关和調节两大作用。同样, 联結电源和負載并进行控制的是“电閥門”。“电閥門”的作用是通电与断电或者是根据負載要求而調节电流的大小。

最初用来控制电动机的电閥門就是刀开关和变阻器。

随着生产力的发展, 电动机的容量越来越大了, 直流电动机的起动調速問題需要用鼓形控制器控制。十九世紀末到二十世紀初, 电車作为城市的交通工具而出現。因此鼓形控制器与凸輪控制器相应而生。同一时候, 异步电动机的应用也多起来了。当时的电网容量一般較小, 为了限制异步电动机的起动电流, 产生了星——三角起动器。

机器的組成部分中的原动机既然革了命, 而工作机又是不断演变革新的, 所以在一定时期影响机器发展的关键就可能轉向配力机。

原来作为配力机的传动形式是所谓天轴式联动拖动。这种拖动沿用了蒸汽原动机时代的天轴与地轴拖动。这种联动拖动的特点是很多工作机由一台原动机拖动。很明显，利用皮带轮、绳索或者链条的传动具有很多缺点：传递力矩的效率较低、转速较慢、控制较困难，以及厂房内到处是转动部件对工人很不安全。随着生产力的提高、工作机的速度加快、工作机的运转状态例如正转、反转、制动、调速等也多样化了，要求控制方便。在这基础上出现了单独电力拖动，所谓单独电力拖动是指一台工作机由一台电动机带动而言。采用单独电力拖动以后，原动机和工作机间的距离缩短了，配力机在形式上简化了，工作机的效率得到了进一步的提高。

机器的内部矛盾运动的变化对电机和电器产生了显著的影响。首先，电动机的数量增加了，控制电动机及工作机运动所需的电器的数量也增加了；还应看到，原有手动控制电器不能很好满足机器的某种自动或半自动的要求，不能满足频繁操作，远方控制、自动连锁和自动保护等要求，因此发展了自动控制的电器。

从手动控制到自动控制，从手动电器到自动电器，这是一个跃进。

仍以控制电动机为例。刀开关由于没有相应的接受外界操作信号的感应机能，所以它不能完成自动控制的任务。假如在刀开关的结构中加上一个电磁铁，让电磁铁在外界特定信号下产生足够的操作力使刀开关自动地合闸或掉闸，这样岂不是完成了自动控制电器的任务了吗？当刀开关和电磁铁统一在一个结构中时，产生了新的电器——电磁开关，或者叫做接触器。此时，相应于刀开关中的刀极部分是接触器的执行部分，而电磁铁则是感应部分。这样，接触器完成了切换强电回路的自动控制的任务。

但是电力拖动的自动控制是多方面的。随着工作机任务的不同，在整个控制中有的要实现机械位移（行程）的控制，有的要实现速度的控制，有的要实现时间的控制，等等。这就需要能够反映各种不同物理量并给出电的信号的特殊元件。这类元件实际上主要起了感觉、比较、判断和反应的作用。继电器就是这类元件之一。

继电器能够正确地反应各种信号，它的感应机能比较发达，但它的触点较小，输出功率较小即它的执行机能比较软弱。相反，接触器的感应机能较弱而它的触头控制功率较大即执行机能较强。继电器和接触器结合起来，便可完成自动控制的复杂任务。这种控制系统习惯上称为继电——接触控制系统。

随着生产力的发展，机器的任务越来越复杂了，机器上各工作部件的运动情况很复杂，单个电动机的拖动很难满足工作机各运动系统的不同要求。因此在某些机器上，例如在大型金属切削机床、造纸机、辗压机等上，应用了多电动机的电力拖动和与此相适应的一套控制和调节系统（包括程序控制）。这样一来，电力拖动系统对电器提出了多品种、工作可靠、体积小、操作频率高和寿命长等要求。所有这些控制系统的要求推动了自动控制电器的进一步发展，而低压控制电器的进一步发展又反过来促进了控制系统的发展，促进了生产力的发展。

上面谈的主要是电力拖动领域中“系统”和“元件”，“电”和“器”间的矛盾斗争的梗概。在低压配电系统中，电器的发生和发展亦有相类似之处。

电动机广泛代替蒸汽机，电能的广泛被利用使电源和负载间的矛盾逐步尖锐化。十九世纪初，由于继承了原有的蒸汽机作为发电机的原动机，所以往往形成一厂一户的单一发电和单一用电。随后，新的工厂盖起来了，加上各家各户电灯照明的需要，有专门成立发电工

厂的必要，开始了集中发电和分散供电。这样，用电的经济性提出来了，开始了高压输电和低压配电；用电的可靠性提出来了，需要各种保护和操作的电器。

起初，低压配电系统中广泛使用刀开关和熔断器。刀开关起正常情况下切换操作的作用，而熔断器则在故障的情况下起过载和短路的自动保护作用。

熔断器的结构简单，但是只能动作一次，刀开关只能手动近距离操作，不能实现遥远操作。熔断器只反应电流的大小，不能反应电流的方向，不能反应电压的大小。在三相系统中遇到单相对地短路时，往往造成二相供电。总之，熔断器和刀开关的组合适合于最简单的场合，不能满足低压电网发展的要求。低压自动开关的发明初步缓和了电网与配电电器间的矛盾。

低压自动开关具有灭弧装置的触头和带有自动脱扣和合闸的机构。前者专门担任“执行”的任务，而后者专门担任“感应”的任务。和熔断器比较，自动开关的感应和执行部分不是融合于一根保险丝中，而是分裂成二个独立的部件，这样它的结构就复杂起来了。

随着生产力的发展，电能利用的范围更加扩大，低压配电的容量大起来了，发生故障的短路电流大起来了，自动开关的容量也越做越大，品种也越来越多，结构也越来越复杂。

綜上所談，可以看出，从刀开关、变阻器和熔断器最简单的低压电器开始到今天的继电器、接触器、自动开关和成套控制屏和保护屏都是随着生产的要求（通过电力拖动和电网系统提出）而发生发展。各种结构的低压电器不过是一种特定条件下的历史形态而已。表征电力拖动和电网系统的“电”的要求和“器”水平间存在着互相推动和互相促进的关系。它们间的适应关系永远是：不平衡——平衡——不平衡。了解了这一点，我们在认识各种具体电器时就掌握了主动权。我们就可以从低压电器的过去和现在的结构演变中辨明低压电器的发展方向，从而更自觉地进行低压电器产品的技术革命和技术革新以及低压电器的理论研究工作。

1-4 我国低压电器制造的发展简史及其今后远景

我国的电器制造工业（即开关制造）的基础是很薄弱的。解放前，我国基本上没有专业的开关工厂。电器工业的面貌是一穷二白。

解放后，我国的经济摆脱了过去半殖民地半封建的桎梏，而起了根本的变化。低压电器制造工业自然也不例外。随着国家经济的恢复和大规模的经济建设，各部门对低压电器的制造提出了越来越多的要求。党和政府在旧中国薄弱的电器工业基础上，兴建了许多专门的低压开关厂，为我国低压电器制造事业开辟了新的道路。

数年来，我国低压开关方面生产了很多系列产品。从1953年到1957年就试制成功了刀开关、自动开关、接触器等十二大类几百种新产品。这些产品有力地支援了各地工矿建设，尤其是支援了我国重工业的建设。

1958年是我国跨进第二个五年计划的第一年。全国人民在党所提出的“鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义”的总路线的指导下，无论在农业战线上、工业战线上都获得了史无前例的飞跃发展，取得了巨大的胜利。1958年发电设备的产量为1957年的四倍，而1959和1960年又在1958年的基础上再增一倍多，前已述及，发电能量的80%将通过低压电器的控制而使用掉的。很明显，发电量的巨大增长将大大地促进低压电器的生产。

全体低压电器工作者正积极地为发展新品种,采用新材料、推行新工艺,扩大生产等方面作不懈的努力。由于坚持政治挂帅,大搞群众运动,因此无论在生产、研究、设计各方面都取得了巨大的成就,使电器工业得到了迅速的发展。

首先,一系列新的产品试制出来了,例如我国在1958~1959年设计成功的交流接触器比解放初期(53年~54年)生产的交流接触器有很大的跃进。前者比后者的重量轻了四倍左右,而使用寿命却提高了四倍以上。而美国“阿罗”接触器从1930年到1950年的二十年間,它的体积只缩小了50%。接触器如此,其它新产品的技术经济指标的巨大提高莫不如此。

其次,在发展新产品的同时,还积极进行了老产品的改进工作。例如某某厂对A-3000系列自动开关进行了改进,大大地扩展了这种开关的使用范围。各厂因地制宜,纷纷根据本厂设备、工艺以及技术条件对老产品进行了改进,提高了质量、节约了材料、降低了成本,取得了很大的成绩。

过去,我国的电器产品一直集中于几个地区的若干大工厂中生产。1958年,在党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线光辉照耀下,全国各省市建立一系列的低压电器厂。这些工厂由于投资少、建厂快,所以生产的低压电器及时地支援了当地的经济建设。

党和政府为了办好电器制造工业不仅建设了大规模的电器工厂,而且在高等工业院校和中等技术学校内开办了电器专业或专门化。在这些学校中培养了电器制造的人才,并且开展了电器科学研究工作。成立了低压电器研究室,建立了低压电器试验站。研究室成立及其试验站的建成标志着我国低压电器从仿制,发展成为独立设计、从制造发展到研究设计的新阶段的到来,是我国低压电器发展史上的里程碑。

总之,我们在解放后短短的十年左右的时间內,尤其是大跃进以来的几年中在低压电器方面取得了辉煌的成就:数百种新系列产品从无到有,从低级到高级,我们掌握了低压电器从设计制造到试验研究的一整套方法,培养了大批优秀的工人、技术员和工程师,工艺装备和技术力量有了很大的基础;生产的产品不仅基本上满足了国民经济的需要,并且有的产品已能出口。这些成就的取得完全是党中央和毛主席英明领导的結果,是总路线光辉照耀的結果。

虽然我国的低压电器制造工业在短短的十年內走完了资本主义需要化几十年时间所走的路程,尽管我国的低压电器产品的数量和质量都有了巨大的跃进,但是应该看到随着技术革命和技术革新运动的迅速开展和日益扩大,单机自动化、自动生产线以及整个生产的自动化的数目将与日俱增,对低压电器提出更高的要求。我们必须继续鼓足干劲、力争上游更加多快好省地发展我国的低压电器工业。

第二章 电 磁 铁

2-1 概 述

电磁铁是低压电器中的一大元件。人们利用电磁铁来操纵或者牵引机械装置以完成自动化的动作。从自动化系统来看,电磁铁是断续动作的执行机构。

电磁铁的种类很多。在工业上常用并为电器厂系列生产的有下列几种:

1. 牵引电磁铁——主要用于自动控制设备中,用它来开启或关闭水压、油压、气压等阀门,用它牵引其它机械装置以达到遥控的目的。

2. 制动电磁铁——主要用于电气传动装置中,用它来对电动机进行制动,以便达到准确停车制动目的。在起重运输设备中,电磁铁通过抱闸装置使悬吊的重物不致掉下。在这种情况下,制动器起了保护的作用。

3. 起重电磁铁——利用电磁铁作为起重装置,用它来吊运钢锭、钢材,铁砂及废钢片等。这种起重装置结构简单,作为搬运磁性材料的工具无疑是合适的。

4. 电磁联轴器——利用电磁铁作为传递力矩的自动控制工具。

5. 其它类型电磁铁——例如断路器上的操作电磁铁,快速电磁铁以及电磁吸盘等等。

在这一章中,我们先对牵引、制动电磁铁以及电磁联轴器的结构、特性和计算作简要的介绍,然后再就电磁铁设计中的某些专门问题进行探讨。这些专门问题不仅有助于电磁铁的设计,而且也有助于各种电磁式电器中磁系统的设计。

2-2 牵引和制动电磁铁

从结构上讲,牵引电磁铁和制动电磁铁没有什么本质上的差别。实际上,凡是衔铁运动作功的电磁铁都可算为牵引电磁铁。如果电磁铁的衔铁牵引一个制动的抱闸装置,那末这个电磁铁完成了制动的作用,它就被叫做制动电磁铁。

在目前,我国生产的电磁铁中,牵引电磁铁的容量较小,而制动电磁铁的容量则较大。

首先,让我们熟悉一下MQ1系列交流单相牵引电磁铁。图2-1示出了这种结构的外

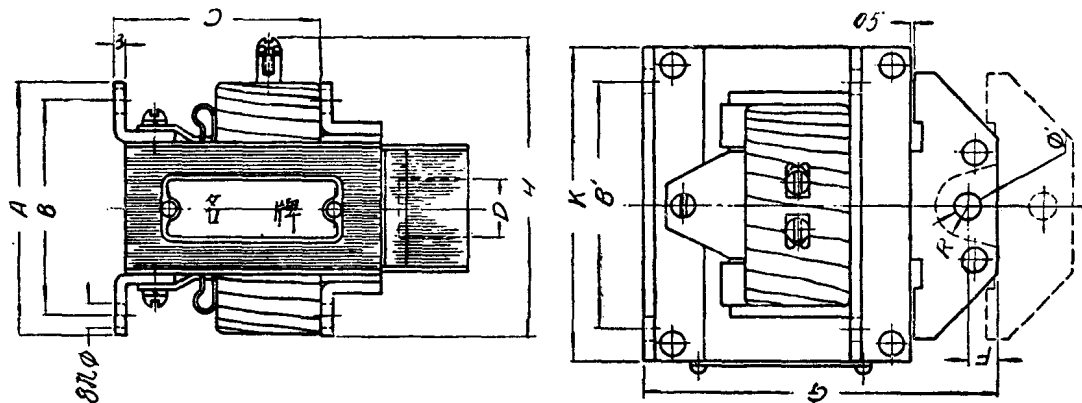


图 2-1 牵引电磁铁

形。它是甲壳螺管式结构。使用时，铁轭固定于支架上，衔铁则活动地连接于牵引杆上。当线圈通电时，衔铁被吸合，经过连杆带动其所牵引的机构。

这种电磁铁的主要技术指标是：在一定衔铁行程下的电磁吸力以及它的操作寿命。电磁铁做成二种工作制，即 IIB 为 100% 和 IIB 为 10%。

我国生产的 MQ1 系列牵引电磁铁做成空气式和油浸式二种。前者适用于一般环境，而后者可以在油雾中工作。这二种产品的结构完全一样，仅线圈绝缘处理不同。它们的特性见下表所示。

表 2-1

空气式	油浸式	吸力 (公斤)	行程 (毫米)	IIB%	工作功率 (伏安)	起动功率 (仟伏安)	衔铁重 (公斤)	电磁铁总重 (公斤)
MQ1-5101	MQ1-5201	1.5	20	100	50	0.45	0.25	1.10
-5111	-5211	3	25	100	80	1	0.45	1.50
-5121	-5221	5	25	100	95	1.7	0.90	3.00
-5131	-5231	8	25	100	130	2.2	1.30	4.00
-5141	-5241	15	50	100	480	10	2.30	9.00
-5151	-5251	25	30	100	780	10	4.00	15.60

制动电磁铁的种类比牵引电磁铁为多。按衔铁的行程来分，有长行程和短行程二种。一般来讲，行程小于 0.5 厘米者称短行程，大于 1 厘米者称长行程。制动电磁铁有做成并联激磁线圈和串联激磁线圈两种，做成交流和直流二种电源。

长行程制动电磁铁一般都做成衔铁直线运动式。图 2-2 示-MZS1-80 型制动电磁铁。图中，1 为三相 III 字形铁心，它由矽钢片迭成；2 为衔铁；3 为三个激磁线圈；4 为牵引杆；5

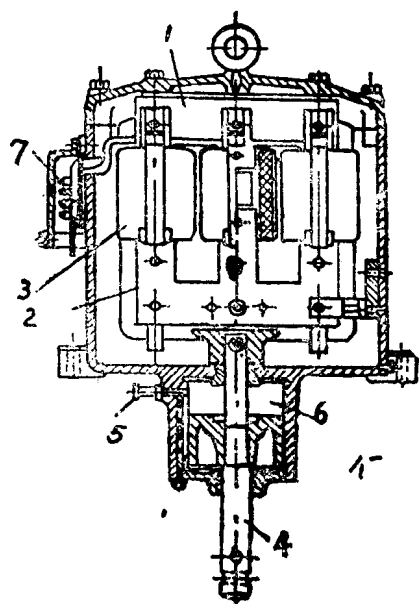


图 2-2 MZS1 交流三相制动电磁铁

为阻尼螺钉；6 为气室；7 为接柱；8 为非磁性导块。它的工作原理很简单。当激磁线圈通电时，衔铁沿非磁性导块的滑槽而向上运动，从而提取牵引杆，此牵引杆即可操作机械抱闸装置，使其煞靴张开。当激磁线圈中没有电流时，衔铁受其本身和牵引杆的重量以及煞靴反作用力的作用而释放。在释放过程中，衔铁的运动速度受气室阻尼的作用。当阻尼螺钉向下紧时，阻尼孔内空气的出入就较困难，阻尼作用增加，衔铁运动速度就要缓慢，反之，当阻尼孔开得大些，阻尼作用减弱些，衔铁运动的速度就可快些。当然，在衔铁吸上的过程中也同样地产生阻尼作用。这样一来，一方面就可避免电磁铁在合上时因高速的冲击使铁芯或衔铁受损。另外一方面，有利于根据传动要求而调节煞制时间（有些传动往往要求在电源切断后使生产机械的转速降低到 $20-30\% n_H$ 时才加以煞制，借以减少煞轮及煞靴的磨损及煞制过程中的机械冲击）。

MZS1-80 交流制动电磁铁的技术数据见下表所示。

表 2-2

型 号 (三相交流)	功 率 (瓦)	吸 力 (公斤)	衔铁重量 (公斤)	允许衔铁行程(毫米)					
				25% IIB			40% IIB		
				关合次数 (次/时)					
				150	300	600	150	300	600
MZS1-6	70	9	2	20	—	—	20	—	—
MZS1-7	90	10	2.8	40	30	20	40	25	20
MZS1-15	150	20	4.5	50	35	25	50	35	25
MZS1-25	200	35	9.7	50	35	25	50	35	25
MZS1-50	600	70	19.8	50	35	25	50	35	25
MZS1-80	750	115	33	60	45	30	60	40	30
MZS1-100	1000	140	42	80	55	40	80	50	35

注: 1) “—”后的标号代表吸引力, 单位公斤(不算衔铁重)。

2) 线圈电压做成 220/380 伏和 500 伏。

从表中看出, MZS1 的关合次数为 150~600 次/时。当关合的频率高时, 衔铁的行程必须缩小。这是因为行程大时, 合闸的起动电流较大, 引起线圈过分发热的缘故。图 2-3 示出了起动电流以及电磁吸力和气隙的关系。

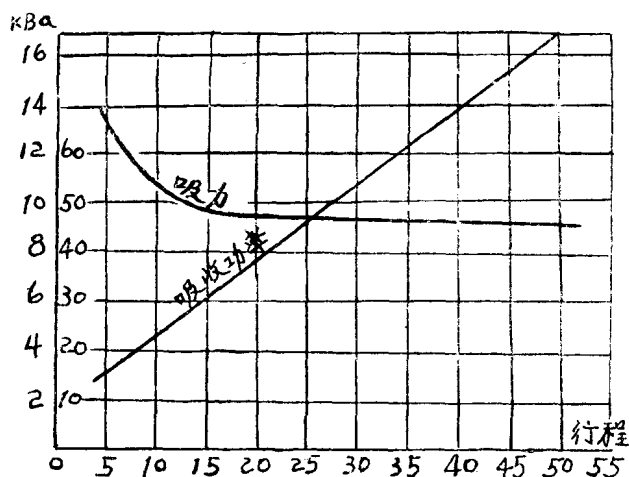


图 2-3 MZS1 交流电磁制动电磁铁中吸力和吸收功率随行程变化的关系

图 2-4 示一直流 MZZ2 型制动电磁铁。图中, 1 为铁轭及铁心, 它由铸钢做成; 2 为线圈; 3 为具有锥形头的衔铁, 它由钢元做成; 4 为非磁性导管; 5 为阻尼螺钉; 6 为气室; 7 为接线柱; 8 为牵引杆。它的工作原理和 MZS1 相同。这种掣动电磁铁的衔铁头做锥形的目的是为了得到更适合于工作的吸力特性。图 2-5 表示了二个吸力特性曲线。曲线 1 代表锥形头的特性曲线, 而曲线 2 为平头的。从这里可以看出, 当气隙较大时, 锥形头的制动电磁铁的吸力要大些, 或者说在大气隙时为了得到相同的吸力, 那末锥形头的电磁铁的安匝数可少些。我们知道, MZZ2 是长行程的制动电磁铁, 工作对它的要求是在满行程的位置能产生足够的吸力从而产生足够的功来抵抗反作用力矩, 所以应用锥形头形状是合适的。

在 MZZ2 的外壳内往往放有放电电阻 R_p 和接线柱并列, 其目的是为了减少电源切断时

线圈所产生的过电压(损坏绝缘)。其值一般为线圈电阻值的6—8倍。

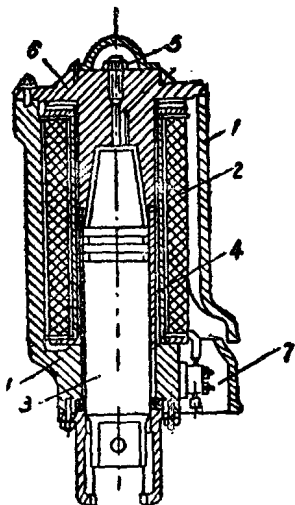


图 2-4 MZZ2 直流长行程制动电磁铁

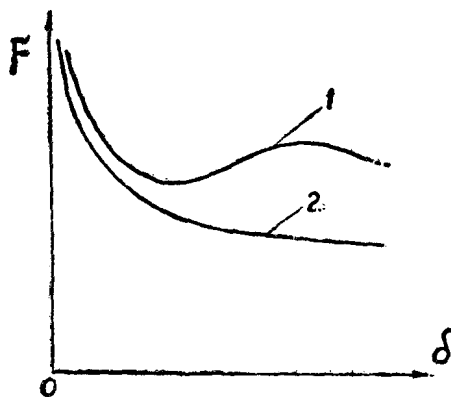


图 2-5 不同衔铁头部形状时的吸力特性比较

表 2-3 列出了 MZZ2 型并联线圈的制动电磁铁的数据。对并激线圈来说, IIB 制越高的制动电磁铁, 它的线圈圈数越多以及电阻值越大, 但它的安匝数却较小, 因此它的吸力亦较小。以 MZZ2-30 为例。电压为 220 伏, IIB 为 25% 的线圈圈数为 8640 匝, 它的电阻为 252 欧, 它的安匝为 $\frac{220}{252} \times 8640 = 7500$ 。但 IIB 为 40%, 电压相同的线圈圈数为 10800 匝, 它的电阻为 360 欧, 它的安匝为 $\frac{220}{360} \times 10800 = 6600$ 。因此前者的吸力将比后者为大。它们间吸力之比近似地可按安匝的平方关系求得。

表 2-3

型 号 (长行程)	衔铁行程 (毫米)	衔铁重量 (公斤)	吸 力 (公斤)		消 耗 功 率 (瓦)	
			25% IIB	40% IIB	25% IIB	40% IIB
MZZ2-30H	30	0.7	6.5	4.5	200	140
MZZ2-40H	40	1.5	11.5	8	350	220
MZZ2-60H	60	2.8	19	14	560	330
MZZ2-80H	80	7	37	30	760	500
MZZ2-100H	100	12.3	52	40	1100	700
MZZ2-120H	120	23.5	100	72	1600	950
MZZ2-150H	150	52	130	100	2150	1200

注: 并联线圈的电压为 220 伏及 440 伏二种。

MZZ2-80H 以上等级的制动电磁铁有时做成串联线圈的结构。由于圈数较少而电流较大, 它的激磁线圈用裸的扁线制成: 表 2-4 介绍了具有串联线圈的 MZZ2 型制动电磁铁的数据。从表中可以看出: 同一等级的电磁铁在不同 IIB 值时有不同的吸力值, 在同一 IIB 值和不同的百分数额定电流值时具有不同的吸力值, 在不同的额定电流和同一 IIB 值时却具有同一的吸力值。这些问题都可从安匝数决定吸力大小(当气隙一定时)的概念获得答案。例如, MZZ2-80H, $IIB = 25\%$, 在 $I_B = 100$ 安时匝数为 190 的安匝为 $100 \times 190 = 19000$, 而当

$I_H = 150$ 安时匝数则为 125, 它的安匝则为 $150 \times 125 = 18700$, 基本上和前相等, 因此不管电流是 100 安或 150 安或 205 安等级, 它的安匝数既然基本上保持不变, 那末电磁吸力当然也基本上保持不变了。但在 IIB 值不同时, 例如 MZZ2-80H, $IIB = 40\%$, $I_H = 80$ 安, 匝数仍为 190, 于是它的安匝数为 $80 \times 190 = 15200 < 19000$, 因此它的吸力值就小了。

表 2-4

型 号	衔铁行程 毫米	15% IIB			25% IIB			40% IIB		
		电 流 (安)	吸 力 (公斤)		电 流 (安)	吸 力 (公斤)		电 流 (安)	吸 力 (公斤)	
			60% I_H	40% I_H		60% I_H	40% I_H		60% I_H	40% I_H
MZZ2-80H	80	130	48	32	100	37	20	80	30	12
		195			150			120		
		265			205			160		
		295			230			180		
		390			300			235		
		535			415			330		
MZZ2-100H	100	130	65	45	100	52	30	80	40	19
		195			150			120		
		265			205			160		
		295			30			180		
		320			250			200		
		390			300			235		
		535			415			330		
		685			530			420		
MZZ2-120H	120	265	100	63	205	80	40	160	55	25
		320			250			200		
		535			415			330		
		685			530			420		
MZZ2-150H	150	320	135	95	250	115	60	200	85	—
		685			530			420		

注: 衔铁的重量见表 5-3。

在表 2-4 中还看到了 $60\% I_H$ 和 $40\% I_H$ 下的参数。由于串激制动电磁铁中的电流不决定于本身电阻而决定于负载电流, 因此我们必须使它在不满载的时候有一定的吸力。譬如说, 在吊车上使用的串激制动电磁铁时, 应使起重(卷扬)机构在 $40\% I_H$ 和使移动机构在 $60\% I_H$ 的情况下有足够的吸力。很明显, 当负载电流超过 $60\% I_H$ 时, 吸力值就有了裕量。一定裕量的吸力提高了制动电磁铁工作的可靠性。

下面介绍直流短行程的电磁铁。图 2-6 示出了 MZZ1 型电磁铁。这种电磁铁做成盘式。铁轭 1 和铁心 9 由软钢做成。在铁心柱的轴心开圆孔槽, 拉杆 3 在槽中滑动。衔铁 4 和拉杆 3 固结在一起。线圈 2 得到直流激励后, 衔铁向铁心靠近, 拉杆将电磁力传到制动装置。当线圈无电时, 衔铁释放至原先位置。为了防止剩磁的影响, 在衔铁表面贴有非磁性薄铜片 6。

这种制动电磁铁的行程为 2~4.5 毫米共分六个等级。当 $IIB = 25\%$ 时, 它的吸力从 32 到 190 公斤, 当 $IIB = 40\%$, 吸力从 24 公斤到 160 公斤。