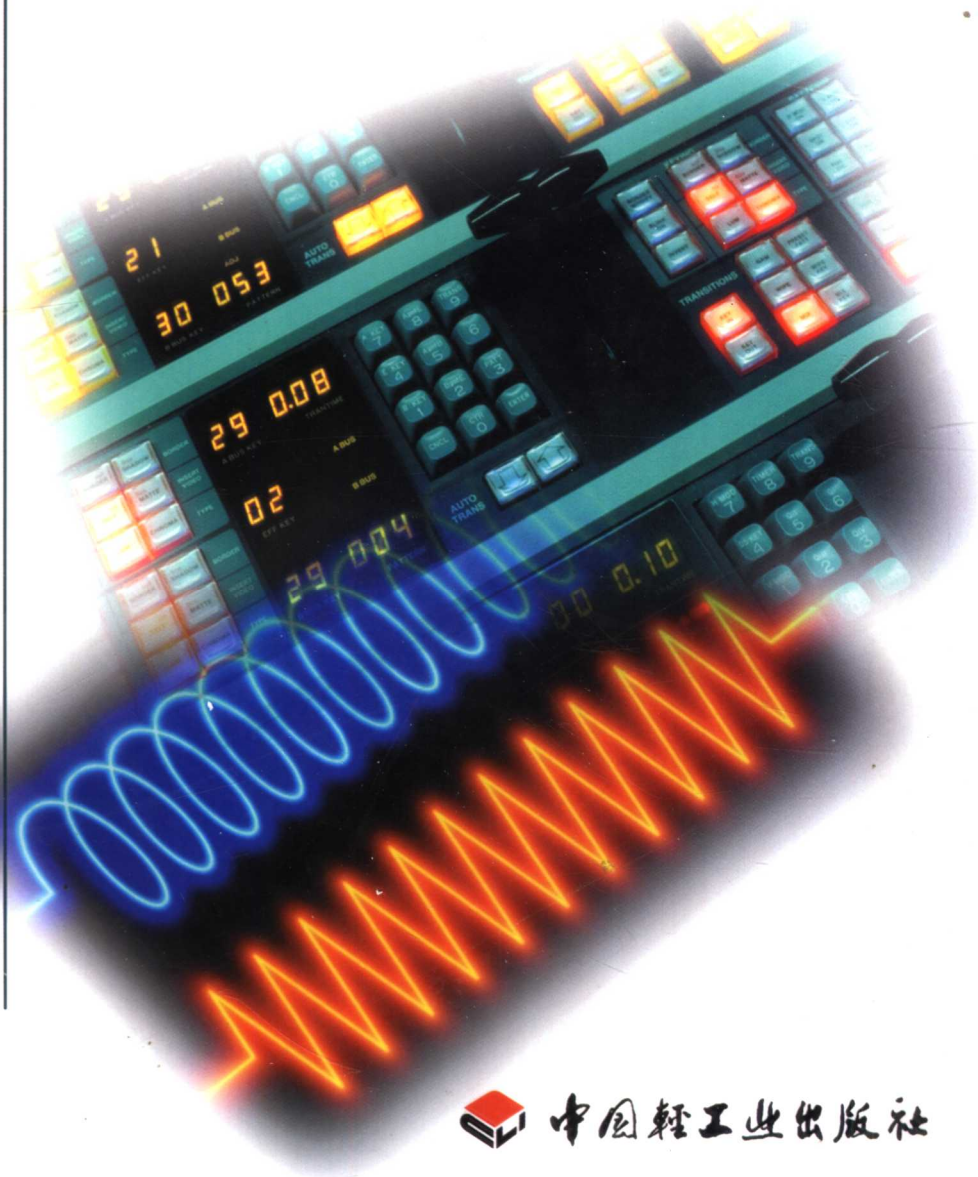


中等专业学校教材

工厂电气控制设备

张延英 任志锦 主编

GONGCHANG DIANQI KONGZHI SHEBEI (第二版)



 中国轻工业出版社

中等专业学校教材

工厂电气控制设备

第二版

张延英 任志锦 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂电气控制设备/张延英, 任志锦主编. —北京: 中国轻工业出版社, 1999. 4 (2002. 4 重印)
中等专业学校教材
ISBN 7-5019-2305-1

I. 工… I. ①张…②任… II. 工厂-电气控制装置-
专业学校-教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 40219 号

责任编辑: 孟寿萱 责任终审: 滕炎福 封面设计: 赵小云
版式设计: 赵益东 责任校对: 燕 杰 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 1999 年 4 月第 2 版 2002 年 4 月第 3 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.5

字 数: 517 千字 插页: 7 印数: 7501—10500

书 号: ISBN 7-5019-2305-1/TP·048 定价: 34.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

前 言

轻工业部电气化专业教材编审组于1987年7月,在青岛会议上指出:“原有工厂电气控制设备课程的教材已不适应当前工厂的电控现状,应予重新编写。新教材应反映新的电控设备”。本书就是根据青岛会议精神编写的。

本书共分三篇十五章,内容包括常用低压电器、控制线路的基本环节、通用机床的电气控制、专用机床的电气控制、桥式起重机的电气控制、电梯的电气控制、生产机械电力装备的线路设计、生产电力装备的工艺设计、可编程序控制器和数字控制系统等。

本书主要有以下两个特点:

1. 新:全书采用1983年以来制订的国家标准,大量搜集了更新换代的低压电器产品,编写了讯号选层控制的XPM型电梯、可编程序控制器和数字控制系统等。

2. 容易记忆:全书在电气原理叙述之后,用“符号法”或“阶梯法”予以总结,这种方法,教师容易讲解,学生容易理解,也容易记忆。

本书可作为中等专业学校工业电气化专业的教材,也可作为职业学校、职工大学和电工培训用的教材,也是电气技术工人的参考书。

本书由上海轻工业学校张延英和南京机电学校任志锦任主编。书中,第一篇的第一章、第二章、第三章、第五章、第六章及第四章的“组合机床的电气控制”由张延英编写,第四章的“塑料注射机的电气控制”由北京第二轻工业学校王蕙和李毅华编写,第七章、第八章由哈尔滨轻工业学校王建华编写;第二篇由任志锦编写,第三篇由褚文武编写。

本书初稿由轻工业部电气化专业教材编审组组织会审,由辽宁省轻工业学校杨青山和北京第二轻工业学校孙德坤任主审。清华大学李鹤轩副教授和北京轻工业学院龚富林高级工程师等参加了审稿会,对初稿提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编写经验不足、时间仓促,错误在所难免,恳请读者提出宝贵的意见。

编者 1991年12月

再版前言

为了配合新国家标准的推广应用及适应生产发展的需要,我们曾于1991年在轻工业部电气化专业教材编审组的领导下,集体编写了《工厂电气控制设备》一书。本书出版以来,得到广大读者的支持和鼓励,同时提出了不少宝贵意见,并希望加以修订,为此,我们将全书进行了修订再版。

本书与1991年版本相比,主要不同的有以下两部分:一是增加了A系列龙门刨床控制线路,以配合高级电工考工的需要;二是将可编程序控制器的内容做了修改,用日本F1系列替代原来的CF系列,并增加了较多的应用实例。

龙门刨床部分由上海轻工业学校孙国权编写,可编程序控制器部分由任志锦和张延英合编。

本书在编写过程中,虽经多次修改,但由于水平有限,错误和缺点在所难免,敬请读者批评指正。

编者 1998年5月

目 录

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 继电器-接触器控制系统

第一章 常用低压电器	(3)
第一节 低压电器的图形符号和文字符号	(3)
第二节 交流电器的灭弧装置	(4)
第三节 熔断器	(6)
第四节 开关	(12)
第五节 交流接触器	(20)
第六节 继电器	(25)
第七节 主令电器	(41)
第八节 起动器、控制器和制动器	(48)
小 结	(52)
习 题	(54)
第二章 控制线路的基本环节	(58)
第一节 电气原理图	(58)
第二节 鼠笼式异步电动机直接起动控制线路	(60)
第三节 鼠笼式异步电动机降压起动控制线路	(68)
第四节 绕线式异步电动机起动控制线路	(78)
第五节 鼠笼式异步电动机制动控制线路	(80)
小 结	(83)
习 题	(84)
第三章 通用机床的电气控制	(88)
第一节 Z 35摇臂钻床的电气控制线路	(88)
第二节 X 62W 万能铣床的电气控制线路	(94)
第三节 T 68卧式镗床的电气控制线路	(103)
第四节 机床电气线路的故障分析	(110)
小 结	(113)
习 题	(113)
第四章 专用机床的电气控制	(115)
第一节 回转工作台式组合机床的电气控制线路	(115)
第二节 塑料注射机的电气控制线路	(120)

小 结.....	(129)
习 题.....	(129)
第五章 桥式起重机的电气控制.....	(131)
第一节 概述.....	(131)
第二节 10t 桥式起重机	(132)
第三节 15/3t 桥式起重机	(136)
小 结.....	(139)
习 题.....	(140)
第六章 电梯的电气控制.....	(141)
第一节 电梯的构造和控制方式.....	(141)
第二节 电梯的保护装置.....	(143)
第三节 KP 型电梯的电气控制线路	(146)
第四节 XPM 型电梯的电气控制线路	(152)
小 结.....	(165)
习 题.....	(165)
第七章 生产机械电力装备的线路设计.....	(167)
第一节 控制线路的设计原则和设计方法.....	(167)
第二节 控制线路设计的基本规律和注意事项.....	(168)
第三节 控制线路设计实例.....	(172)
第四节 电气器件明细表.....	(176)
小 结.....	(177)
习 题.....	(178)
第八章 生产机械电力装备的施工设计.....	(180)
第一节 电气装备的总体布置和电器布置图.....	(180)
第二节 接线图和接线表.....	(185)
小 结.....	(191)
习 题.....	(191)
第九章 B2012A 龙门刨床控制线路	(192)
第一节 概述.....	(192)
第二节 电机放大机.....	(194)
第三节 交流控制电路和直流抬刀电路.....	(197)
第四节 调速系统中的各种控制.....	(208)
第五节 直流控制电路运行分析.....	(217)
小 结.....	(221)
习 题.....	(222)

第二篇 可编程序控制器电气控制系统

第十章 PLC 的组成和工作原理	(223)
-------------------------------	--------------

第一节 基本组成.....	(223)
第二节 编程语言.....	(224)
第三节 工作原理.....	(225)
小 结.....	(227)
习 题.....	(227)
第十一章 F1 系列 PLC 的程序编制	(228)
第一节 F1 系列 PLC 简介	(228)
第二节 器件及器件编号.....	(230)
第三节 指令.....	(235)
小 结.....	(244)
习 题.....	(245)
第十二章 编程器的功能和操作.....	(248)
第一节 F1-20P-E 编程器简介	(248)
第二节 编程操作.....	(250)
第三节 监控操作.....	(253)
小 结.....	(255)
第十三章 PLC 的应用	(256)
第一节 应用设计.....	(256)
第二节 取代继电器控制.....	(259)
第三节 应用举例.....	(261)
小 结.....	(282)
习 题.....	(283)

第三篇 机床的数字控制

第十四章 数字控制机床的基本概念.....	(289)
第一节 数控机床的基本组成与分类.....	(289)
第二节 数控机床的有关功能规定.....	(293)
第三节 数控技术发展的新时代.....	(299)
小 结.....	(300)
习 题.....	(301)
第十五章 插补原理及装置.....	(302)
第一节 逐点比较法.....	(302)
第二节 数字积分器插补运算.....	(311)
小 结.....	(315)
习 题.....	(315)
第十六章 计算机数控 (CNC) 系统	(316)
第一节 基本概念.....	(316)
第二节 微处理器数控系统 (MNC) 的结构和工作过程	(317)

第三节	控制软件.....	(320)
小 结		(331)
习 题		(332)
第十七章	经济型数控系统.....	(333)
第一节	经济型数控系统概述.....	(333)
第二节	微机数控车床结构原理及键盘功能.....	(334)
第三节	输入/输出隔离电路	(336)
第四节	数控机床的伺服系统.....	(338)
第五节	经济型数控车床的控制软件.....	(344)
小 结		(351)
习 题		(351)
主要参考文献		(352)

绪 论

一、工厂电气控制设备的发展

自从 20 世纪电动机问世以后,工厂中就用电动机作为机械的动力来源。用电动机带动各种生产机械的方式,称为电力拖动。在电力拖动中,用导线将控制电器(如开关等)连接起来的设备称为电气控制设备。虽然也有用液压装置或气动装置作为机床动力设备的,但是,电气控制设备却是最为普遍的控制方式,即使在液压控制或气动控制的装置中,电气控制设备也是必不可少的。电气控制设备有手动也有自动,有简单也有复杂,其发展已有很长的历史。

初期,常用的控制电器有继电器、接触器等,用这种电器进行的控制称为继电器-接触器控制,这是一种有触点的控制方式。长时期来,继电器-接触器控制在控制设备中发挥了很大的作用,直到今天,在一般工厂的控制设备中,还占有很大的比重。

随着电子技术的发展和晶闸管的出现,控制设备中也采用了晶闸管的控制技术。晶闸管控制是一种无触点的控制方式,常用在电动机的调速系统中。

继电器-接触器控制虽然有利便易学的特点,但是对于经常需要变换控制线路的设备来说,存在着改接困难和周期长的缺点。为了适应这一要求,人们开始研究容易改变顺序的可编程序控制器。1969 年,美国通用汽车公司成功地使用了世界上第一台可编程序控制器(简称 PLC)。可编程序控制器是通过编程、键盘输入的控制器,不需要修改接线就能改变它的控制功能,具有通用性强、改变程序方便、可靠性高和体积小等特点,因此很快被日本、德国、瑞士、瑞典、英国、加拿大和丹麦等国家重视,生产并应用于各种控制系统中,用以代替继电器控制。今天,PLC 已成为各发达国家的标准设备,广泛用于注塑机、印刷机、组合机床、磨床和电梯等。

随着计算机技术的发展,40 年代末,为了适应中小批机械加工生产自动化的需要,研制成了数控设备,这是由电子计算机按照预先编好的程序,对机床实现自动化的数字控制。过去,由于数控机床的成本昂贵,所以主要用于精度高和几何形状复杂的零件。随着价格低廉的微型电子计算机的出现,数控机床得到很快的发展,先后出现的有硬件逻辑电路构成的专用数控装置 NC,小型计算机控制的数控系统 CNC,计算机群控系统 DNC,自适应控制系统 AC,微型计算机数控系统 MNC。近来又发展成柔性制造系统 FMS,这是由数控机床、工业机器人和自动送料车、自动化仓库等组成的统一由中心计算机控制的机械加工自动线,其利用率由数控机床的 55% 提高到 75%。最新发展起来的是以数控机床为基本单元的计算机集成制造系统,即 CIMS,它综合 CAD/CAM、FMC、DNC 及工厂自动化系统,用以实现无人自动化工厂。

在工业发达的国家中,可编程序控制器、机器人和数控机床已成为现代控制的三大

支柱。

二、本课程的性质、任务、内容和学习方法

本课程是电气化专业的一门主要专业课。主要任务有三个方面：通过学习继电器-接触器控制线路，要求掌握各种电器的构造原理和使用，掌握各种基本控制线路的原理，掌握机床控制线路的原理和故障分析，能对一般控制要求的机床进行电气设计和施工设计；通过学习可编程序控制器，要求掌握梯形图设计、编程和使用；通过学习数控系统，要求了解数控机床的组成、工作原理和程序编制方法。

本课程除课堂教学外，还辅以实验、课程设计、生产实习和毕业设计，是一门实践性很强的专业课。通过学习，不但要使学生具有电气技术人员所必须具备的理论知识，同时也具有较强的安装、调试和排除故障的能力。

学习本课程时，要善于理论联系实际，要善于分析，不要死记硬背。

第一篇 继电器-接触器控制系统

继电器-接触器控制是我国一般工厂中应用最为普遍的一种控制方法。虽然这种控制方法比较陈旧,但因具有廉价、简单、直观、易懂和容易排除故障等优点,所以在一般工厂的控制领域中仍有强大的生命力。随着科学技术的不断发展,可控硅、可编程序控制器、数字控制和微型计算机等新的控制方式,将在现代化的工业控制中占更为重要的地位。尽管如此,由于这些控制方式的输出电流仍是有限的,要去控制大功率负载或电动机也很不方便。因此,在需要大电流输出的地方,接触器往往仍是不可缺少的。

第一章 常用低压电器

在电路中起通断、保护、控制或调节作用的用电器件统称为电器,如开关、熔断器等。用于交直流电压为 1200V 及以下的电器统称为低压电器。常用的低压电器有以下几种:熔断器、开关、接触器、继电器、主令电器、起动器、控制器和制动器等。按电器的动作方式可分为保护电器和控制电器。

低压电器是组成低压控制线路的基本器件。在工厂中常用继电器、接触器、按钮和开关等电器组成电动机的起动、停止、反转和制动等控制线路。本章将对常用电器的构造、原理、型号规格和选择等方面进行详细的讨论。

第一节 低压电器的图形符号和文字符号

由于低压电器的品种繁多,不同的电器需要用它们特定的符号才能加以区别。电器符号有图形符号和文字符号两种。

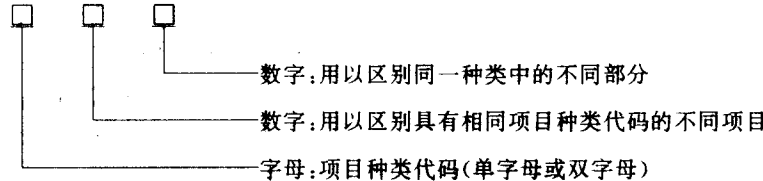
图形符号,是用图形表示电气器件的符号。为了通用,国家标准局于 1985 年颁布了《电气图用图形符号》的国标——GB4728.1—85。新国标是采用国际电工委员会 IEC617《绘图用图形符号》1983 年出版物制订的,几乎等同于 IEC617,用以代替 GB312—64。今后,在画电气控制图时,必须符合这个标准,对于标准中未规定的符号,允许通过已规定符号的适当组合来进行派生或借用其他标准中的符号,例如机电工业部颁布的标准《机床电路图图形符号》JB2739—83。

文字符号,是用文字表明电气器件的符号,可以表示在图形符号上或其近旁。国家标准局于 1987 年颁布了《电气技术中的文字符号制订通则》的国标——GB7159—87,并于 1985 年颁布了《电气技术中的项目代号》GB5094—85,GB5094-85 和 GB7159—87 用以代替 GB315—64。GB7159—87 中规定,文字符号分为基本文字符号(单字母或双字

母)和辅助文字符号。对标准中未规定的符号,可按标准中文字符号的组成规律予以补充。

GB5094—85 中的“项目”,系指电气技术文件中需要表达的实际对象。这些对象在图样上一般是用图形符号来表示的。所谓“项目代号”,简单地讲就是标志在电气技术领域内各类电器的简图或表格上的一种文字符号。

项目代号中的主要内容为种类代号,其主要方法表示如下。



例如,第三个中间继电器的第二副触点,可表示为 KA3.2 和 K3.2。

低压电器的图形符号和文字符号汇总在本章“小结”中。

第二节 交流电器的灭弧装置

不管什么电器,其触点在闭合或断开(包括熔丝在熔断时)的瞬间,都会在触点的间隙中由电子流产生弧状的火花,这种由电气原因造成的火花,称为电弧。触点间的电压越高,电弧就越大;负载的电感越大,断开时的火花也越大。

电弧会烧坏触点,引起接触不良。为了熄灭电弧,应设法降低电弧温度和电场强度,根据这个原则,常用的灭弧方法有以下几种。

一、电动力灭弧

电弧在触点回路电流 I 所产生磁场的作用下,受到电动力 F 的作用,使电弧拉长并在拉长过程中迅速冷却以使电弧熄灭,如图 1-1 所示。

二、多断口灭弧

在双断点触头中,将电弧分成两段,使每个触点间的电压降低,再利用上述电动力使交流电过零后不能重燃而熄灭,如图 1-2 所示。

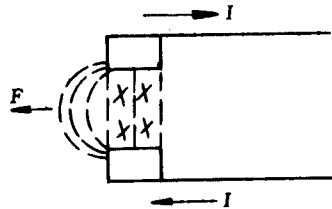


图 1-1 电动力灭弧

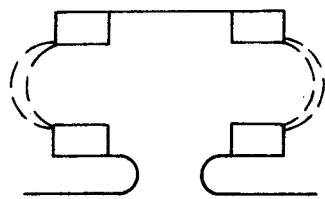


图 1-2 多断口灭弧

三、纵缝灭弧

纵缝是指由两块陶土或石棉水泥形成的狭窄缝隙1，电弧2在电动力作用下进入缝隙，电弧就与室壁接触被迅速冷却而熄灭，如图1-3所示。

四、栅片灭弧

栅片是由许多间隔着的金属片所组成的。电弧在电动力作用下，进入栅片并被栅片分割成许多段短的电弧，如图1-4所示，使每个栅片间电弧达不到燃烧电压，又由于栅片对电弧的冷却作用，使交流电过零后不能重燃而熄灭。

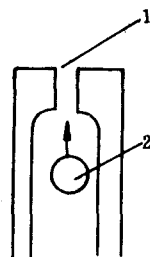


图 1-3 纵缝灭弧
1—缝隙 2—电弧

五、磁吹灭弧

磁吹灭弧装置如图1-5所示，主要由磁吹线圈1、灭弧角6和灭弧罩5所组成。磁吹线圈由扁铜条弯成，与电路相串联，中间装有铁心2，它们之间有绝缘罩3所组成。磁吹线圈由扁铜条弯成，与电路相串联，中间装有铁心2，它们之间有绝缘罩3

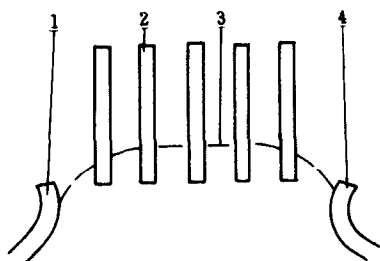


图 1-4 栅片灭弧
1—静触头 2—灭弧栅片
3—电弧 4—动触头

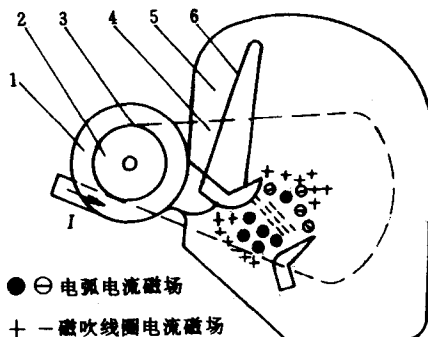


图 1-5 磁吹灭弧
1—磁吹线圈 2—铁心 3—套筒
4—夹板 5—灭弧罩 6—灭弧角

套筒3，铁心两端装有夹板4，它引导铁心中的磁场并穿过电弧。当磁吹线圈中流过如图方向所示的电流时，磁通经铁心和夹板穿过电弧，其方向如图所示。电弧在该磁场作用下受力向上拉长、冷却并熄灭。如果是交流电，当电流改变方向时，磁场的方向也同时改变，使电磁力的方向不变，电弧仍向一方运动，灭弧作用一样，所以，磁吹灭弧在交直流接触器中都可使用。由于它是利用磁场的“吹”力作用而灭弧的，所以叫做磁吹灭弧。

六、灭弧罩灭弧

灭弧罩常用陶土做成，罩在触点上，具有吸热和隔弧作用，从而起到灭弧的效果。为了加强灭弧效果，往往要同时采取几种灭弧措施。由于交流电有过零的特点，因

此相对直流电而言，灭弧就比较容易。

第三节 熔断器

熔断器是安全保护用的电器。它串接在电路中，当电网或用电设备发生短路或严重过载时，能自动切断电路。

一、熔断器的构造原理和使用

熔断器主要由熔断体（也叫熔丝）、熔壳（载熔件和底座）组成。熔断器是根据电流热效应的原理工作的。在正常电流下，熔体发热温度低于其熔点，熔体相当于一条导线；当电路中的电流超过规定值一定时间后，以它本身产生的热量使熔体熔化而分断电路，从而起着保护其他电器设备的作用。

制造熔体的材料有两大类：一类是低熔点材料如铅锡合金（熔点 200°C ）、锌（熔点 420°C ），低熔点材料的熔体不易熄弧，它们常用在小电流的熔断器中；一类是高熔点材料如银（熔点 960°C ）、铜（熔点 1080°C ），高熔点材料的熔体容易熄弧，它们常用于大电流的熔断器中。

铅熔丝和铜熔丝的额定电流见表 1-1。

熔体的熔断特性（可熔化特性），是指熔断时间 t 与

熔化电流 I 之间的关系。它是个反时限特性，即 t 与 I 成反比例关系，如图 1-6 (a) 所示。当实际电流 I 小于熔体额定电流 I_{FN} 的 1.2 倍时，熔体长期不会熔断；当电流达到 1.6 倍时，约经 1h 后熔断；当电流达到两倍时，约经 30~40s 后熔断（手册上所写的熔断电流指的就是这个电流）；当达到 8~10 倍时，熔体则瞬时熔断（ $<1\text{s}$ ）。

熔断器的符号（图形符号和文字符号）如图 1-6 (b) 所示。

在选择熔断器的额定电流时，首先要选择熔体的额定电流，然后再选择熔断器。

熔体的额定电流选择过大，过载时不易烧断，失去保护的意义；熔体的额定电流选择过小，会经常烧断而影响工作。它的选择原则是：电气设备正常工作及短时过电流时（如电动机起动等）熔丝不应熔断；出现故障的过电流或短路时，熔丝应能熔断。其选择方法按其保护对象不同而不同。

1. 保护一台电动机

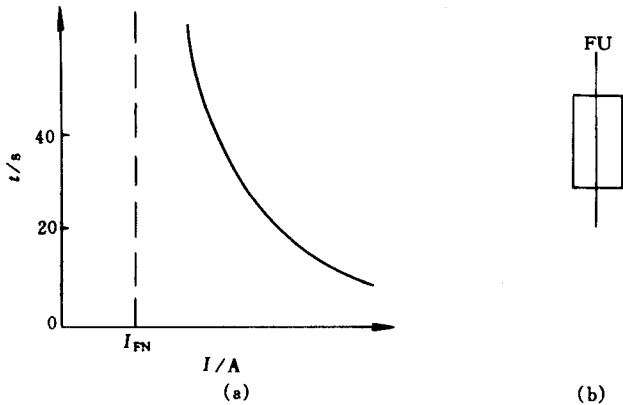


图 1-6 熔断器
(a) 熔断特性 (b) 符号

表 1-1

熔丝的额定电流

铅 熔 丝			铜 熔 丝		
直 径/mm	近似英规线号	额定电流/A	直 径/mm	近似英规线号	额定电流/A
0.35	29	1.25	0.234	34	9.4
0.36	28	1.35	0.254	33	10
0.40	27	1.5	0.274	32	11
0.46	26	1.85	0.295	31	12.2
0.52	25	2	0.315	30	13.8
0.54	24	2.25	0.345	29	16
0.60	23	2.5	0.376	28	18.4
0.71	22	3	0.417	27	22
0.81	21	3.75	0.457	26	25
0.98	20	5	0.508	25	29.5
1.02	19	6	0.559	24	34
1.25	18	7.5	0.60	23	39
1.51	17	10	0.70	22	50
1.67	16	11	0.80	21	58
1.75	15	12	0.90	20	74
1.98	14	15	1.00	19	88
2.40	13	20	1.13	18	104
2.78	12	25	1.37	17	125
2.95	11	27.5	1.60	16	160
3.14	10	30	1.76	15	190
3.81	9	40	2.00	14	240
4.12	8	45	2.24	13	280

一般情况下， $I_{FN} = (1.5 \sim 2.5) I_{MN}$

式中 I_{FM} ——熔体额定电流，A
 I_{MN} ——电动机额定电流，A

在已知电动机功率 P_{MN} 而不知额定电流时，可按照 $I_{MN} (A) = 2P_{MN} (kW)$ 估算。

系数 1.5~2.5 是考虑电动机起动电流的影响，电机容量小、空载或轻载起动时，系数可取小一些。在个别情况下，系数还可适当放大，但一般不要超过 3。

2. 保护多台电动机

$$I_{AFN} = (1.5 \sim 2.5) I_{MN,max} + \text{其余各台电动机额定电流之和, A}$$

式中 I_{AFN} ——总熔体额定电流之和，A
 $I_{MN,max}$ ——最大电动机的额定电流，A

当电动机都是单独起动时， $I_{MN,max}$ 表示容量最大一台电动机的额定电流；当电动机既有同时起动又有单台起动时， $I_{MN,max}$ 表示同时起动几台电动机电流的总和与单独起动电动机最大电流相比较时，取其较大的数值。例如有四台电动机用一组总熔丝保护，四台电动机的额定电流分别为 6A、8A、4A、10A，其中前面两台电动机是同时起动的，后面两台是单独起动的，这时 $I_{MN,max} = 6 + 8 = 14 (A)$ 。

3. 电热、照明及降压起动

在电热、照明电路中，一般不考虑过载因素。对降压起动的电机，由于起动电流被限制在较小的数值，所以，不必扩大熔丝的额定电流等级。这样，在电热、照明及降压起动时，熔芯额定电流可按以下公式计算：

$$I_{FN} \geq \text{负载额定电流}$$

按上述计算结果再在表 1-2 中查得相近似的熔芯和熔壳规格。

表 1-2 熔断器的型号和规格

型 号	熔壳额定 电流/A	熔芯额定电流/A	型 号	熔壳额定 电流/A	熔芯额定电流/A
RC1A	5	1、2、3、5	R1-10	10	1、2、3、4、5、6、8、10
	10	2、4、6、10	RT0	50	5、10、15、20、30、40、50
	15	12、15		100	30、40、50、60、80、100
	30	20、25、30		200	80、100、120、150、200
	60	40、50、60		400	150、200、250、300、350、400
	100	80、100		600	350、400、450、500、550、600
	200	120、150、200		1000	700、800、900、1000
RL1	15	2、4、5、6、10、15	RT15	100	40、50、63、80、100
	60	20、25、30、35、40、50、60		200	125、160、200
	100	60、80、100		315	250、315
	200	100、125、150、200		400	350、400