

低

压

熔

断

器

王季梅
编著

机械工业出版社

低 压 熔 断 器

王 季 梅 编 著

本书较全面地阐述了低压熔断器的基本概念、结构、设计和计算方法,提供了试验所需的各方面知识,最后还对低压熔断器有关测试技术和制造工艺的特殊问题作了补充介绍。

本书可供工厂电工、技术人员以及与低压熔断器有关的同志参考。

低 压 熔 断 器

王 季 梅 编 著

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

南 宁 市 人 民 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/32·印张63/4·字数148千字

1979年12月广西第一版·1979年12月广西第一次印刷

印数00,001—14,400·定价0.55元

统一书号: 15033·4705

前 言

为了适应我国低压熔断器制造工业不断发展的需要,为了给从事低压熔断器设计、制造和应用等有关人员学习和参考时提供一些资料,编写了此书。

全书共分六章,前三章主要讲述低压熔断器的基本概念、用途、结构及其特点;后三章着重介绍低压熔断器的设计方法、试验和制造工艺上的某些关键问题,使读者通过本书学习后能比较正确地选用低压熔断器和掌握其基本的设计要点,达到初步设计的能力;书中的数据大多来自科学实践的总结,对从事实际工作的读者有一定的参考价值。

本书在编写过程中,得到上海电器科学研究所低压熔断器组以及有关低压熔断器工厂的支持和协助,提供了不少宝贵资料;西安熔断器厂,在协作进行低压熔断器的科研中,共同积累了不少有用的数据,丰富了本书内容;本书定稿时,西安交通大学王其平同志还进行了审阅,在此一并表示感谢。

由于编写水平有限,不妥和错误之处在所难免。希望广大读者提出批评和指正。

编 者

35142

目 录

第一章 概述	1
第一节 基本概念	1
第二节 熔断器切断电流的物理过程	2
第三节 熔断器的选用	7
第四节 熔断器的基本参数	15
第二章 低压熔断器的结构和特点	20
第一节 开启式和半开启式熔断器	20
第二节 不带填料的封闭式熔断器	23
第三节 带有填料的封闭式熔断器	29
第四节 熔断指示器	48
第五节 近几年来发展的新产品	49
第三章 自复熔断器	58
第一节 概述	58
第二节 工作原理	58
第三节 特点和用途	62
第四节 汽化特性和限流特性	64
第五节 制造工艺过程简介	66
第六节 并联电阻的制造	74
第七节 其他方面的应用	77
第四章 低压熔断器的设计和计算	81
第一节 概述	81
第二节 熔体的形状和尺寸的确定	82
第三节 熔断管的结构和材料的选择	99

04138

第四节	其他零部件的结构设计	110
第五节	变截面熔体的电阻值计算	113
第六节	解决高压大容量快速熔断器温升和快速分断的设计 措施	119
第五章	低压熔断器的试验	124
第一节	概述	124
第二节	外观检查、外形尺寸检查、电气间隙和漏电距离检查 以及互换性检查	125
第三节	熔断电流试验	126
第四节	发热试验	131
第五节	机械性能试验	134
第六节	直流电阻测量	136
第七节	电气绝缘试验	140
第八节	分断能力试验	144
第六章	有关低压熔断器测试技术和制造工艺的问题	163
第一节	利用单频振荡回路试验限流式熔断器	163
第二节	允通能量的测量	168
第三节	选相合闸开关	172
第四节	限流熔断器开断能力的研究	174
第五节	变截面熔体的制造	178
第六节	RM7 系列无填料管式熔断器熔帽和熔管的制造工 艺	181
第七节	铝上镀铜和镀银的工艺	183
附 录		193
一	RT10 型电力用熔断器主要技术参数	193
二	国际电工委员会(IEC)对低压熔断器推荐的有关参数摘 要	196
三	电磁式振动台	205
四	SC16 型光线记录示波器振子的主要参数	210

第一章 概 述

第一节 基 本 概 念

熔断器是一种低压配电电器，在配电装置中起到保护电路的作用，当电路发生过载或短路故障时能自动断开电路。熔断器的自动断开电路是利用一金属丝或金属片，串联在被保护的电路中实现的。例如图 1-1 所示有三根金属丝被串联在三相电路里，它是电路中最薄弱的环节，当电动机发生过载或短路故障时，金属丝便灼热而熔化，从而切断电路。在切断电路的过程中往往产生强烈的电弧，同时使灼热的金属蒸气向四周喷溅和发生爆炸声。为了安全和有效地熄灭电弧，通常把金属丝装在一个封闭的盒子或管子内组成一个整体，因此，一般熔断器的结构主要包括熔体（金属丝或金属片）、外壳（盒子或管子）和插头装置（连接用的接头）等三部分，如图 1-2 所示。当熔断器断开电路后，需要取下外壳，重新更换新的金属丝或金属片，恢复原位才能接通电路继续使用。

在电力工业中很早就使用低压熔断器，并且由于熔断器

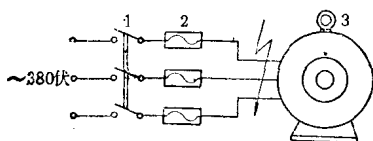


图 1-1 用熔断器保护电动机的电路

1—电源开关 2—金属丝(熔体)
3—电动机

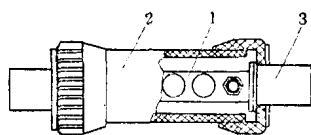


图 1-2 熔断器结构示意图

1—熔体 2—绝缘管
3—触刀(接头)

的安装和维护简单,体积小,价格低廉,断流能力大,有些特殊结构的熔断器还具有切断时间短和限流效应大等优点,因此至今仍广泛用来作为过载或短路保护的电器。

随着电力工业的不断发展,低压电力网络的容量亦不断地增加,因此需要设计和制造额定电流大和开断能力高的各种配电保护电器,对于熔断器来说,亦具有同样的要求。此外,近几年来由于大功率半导体元件(如可控硅整流元件等)在电力工业中的广泛应用,还提出要求配合保护半导体元件特殊需要的各种快速熔断器。

在熔断器的研究和试制方面,要求采用新的熔体材料、新结构,解决大容量熔断器的散热和冷却措施,以及进一步改善熔断器的保护特性和研制新型的熔断器,如自复熔断器(将在第三章中介绍)、半导体组合熔断器等。

熔断器可按照下列方式分类:

按照开断电流的性质,可以分为有限流效应的和无限流效应的;

按照外壳形式,可以分为开启式、半开启式和封闭式;

按照填充材料,可以分为有填充材料和无填充材料;

按照动作时间,可以分为慢速的、快速的、快慢速的和特快速的。

第二节 熔断器切断电流的物理过程

熔断器切断电流的物理过程如下:当过载和短路电流通过熔断器时,熔断器的熔体瞬时产生大量的热量,使熔体从固态转到液态直至汽化,于是电流中断。由于汽化瞬时断开的间隙还很小,电位梯度很高,使间隙击穿,产生电弧。在开启式情况下,当间隙燃烧到不足以维持电弧继续燃烧下去的长度

后,电弧才被熄灭,将电路开断。

熔断器的熔体从固态转到液态直至汽化的过程通常叫做熔化过程,熔化过程的时间与电流的大小有关。电流愈大,熔化时间愈短。图 1-3 所示为熔断器熔体的熔化时间和电流的关系曲线。当电流逐渐减小到某一数值时,熔化时间就趋近于无穷大,达到这一数值的电流我们称做最小熔化电流 $I_{\text{最小}}$ 。

熔断器熔体工作在此电流条件下是属于临界电流状态,从发热的观点来看是最严重的状态,其结果会使整个熔断器发热达到很高的数值。当电流略有偏大的波动时,就会使熔体熔断。为了保证熔断器可靠地工作,设计时常需采取很多措施来降低在此状态下的发热。同时将熔断器熔体的额定电流,即长期通过的电流,选择得等于最小熔化电流 $I_{\text{最小}}$ 的 80~85% 的范围。

为了降低熔断器在正常工作时的发热,有时采用熔化温度较低的金属材料作为熔体,例如用铅、锌或铅锡、铅锌这类的合金(它们的熔化温度在 200~420°C 的范围),但低熔点的金属材料电阻率较大,熔体就需要有较大的截面。采用大截面的熔体对灭弧不利,只适用于分断不大的短路电流(一般不大于 1000 安)。

若采用铜或银做熔体,由于电阻率小,可以做成小截面的熔体,但它们的熔点比较高(1080°C 和 960°C),对于这种熔

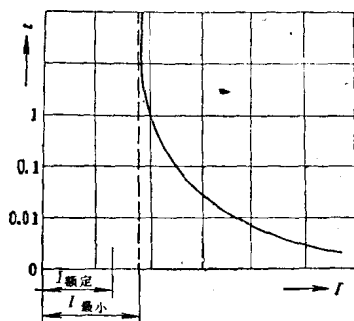


图 1-3 熔断器熔体的熔化时间与电流的关系

体降低熔化点的有效措施是利用冶金效应,即在铜和银制成的熔丝上焊上低熔点的金属小珠(如用铅或锡,实验证明采用锡比铅效果好),如图1-4所示。当铜丝(或银丝)上的温度稍大于低熔点的金属小珠温度时,此金属小珠即熔化,使焊接小珠部分的铜丝(或银丝)也逐渐熔化,造成很多断点,并产生电弧;当电弧燃烧到一定长度不足以维持电弧继续燃烧时,电弧熄灭,电路断开。此外,尚有其他一些降低熔体熔化温度的方法,例如采取分段用锡等措施。

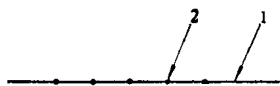


图1-4 焊有低熔点金属小珠的铜丝熔件

1—铜丝 2—低熔点金属小珠

由于熔化时间和电流的关系曲线是用来选用被保护电器和电机设备的根据,所以又称做熔断器的保护特性曲线。采用不同截面尺寸、不同长度和不同材料做成的熔体可以得到不同的特性曲线,但这些曲线对外界环境温度、冷却条件以及连接部分接触状态都有很大的影响,因此选用时还得考虑这些因素。

图1-5所示为两种不同额定电流熔体的保护特性曲线。图中 $I_{\text{额定}1} < I_{\text{额定}2}$ 。当通过熔体的电流相同时,熔体的额定电流愈小,则熔断时间愈短。

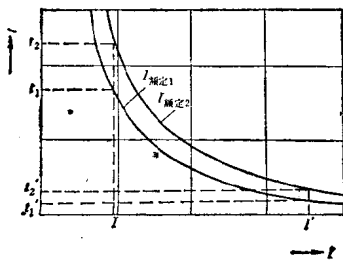


图1-5 熔体的保护特性曲线

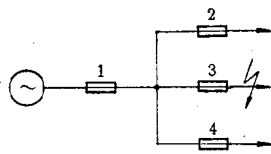


图1-6 熔断器串联在电路里得到选择性保护的示意图

从上面的情况可知, 当不同额定电流的熔断器选择得适当时, 则把它们串联在电路里使用(图 1-6), 可以得到选择性的保护作用; 即当发生过载或短路时, 额定电流小的熔断器 2 先熔断, 而上一级额定电流大的熔断器 1 尚未熔断, 这样, 其余支路上的熔断器 3、4 就能继续正常供电。

熔断器的额定电流和熔体的额定电流是有区别的。所谓熔断器的额定电流是指熔断器本身结构包括外壳, 接触零件等, 根据设计要求所规定的电流。通常同一结构的熔断器中可装不同额定电流的熔体, 但所装入的熔体, 其额定电流不能超过熔断器的额定电流。

前面已经指出, 当熔体从液态转变到气态时, 间隙的电导立刻变为零, 于是电流突然被切断。由于电流的突变在电路中就产生很高的过电压, 以致使汽化的金属蒸气间隙被击穿, 并产生电弧。熔断器上所产生的过电压大小与熔体的长度有关, 熔体愈长, 则产生的过电压愈高。为了降低过电压, 必须尽量缩短熔体的长度和改变熔体的结构, 务使熔体汽化后能尽快产生电弧。

熔断器有效地熄灭电弧、开断电路的方法大致有两种: 一种是将熔体装在一个密封绝缘管内, 绝缘管由高强度材料制成, 并且这种材料(或在其内壁衬一层其他材料, 如反白纸)在高温电弧下能分解出大量的气体, 使管内产生很高的压力, 用以压缩电弧和增高电弧的电位梯度, 以达到灭弧的目的; 另一种是将熔体装在一个充满绝缘砂粒填料(如石英砂)的熔断管内, 在开断电路的过程中, 高温的电弧和熔体的金属蒸气很快地扩散到绝缘砂粒的缝隙中, 可达到熄灭电弧的作用。

熔断器按照开断电流的性质可以分为限流和不限流两种: 所谓限流的熔断器是指当短路电流还未达到最大值 I_m

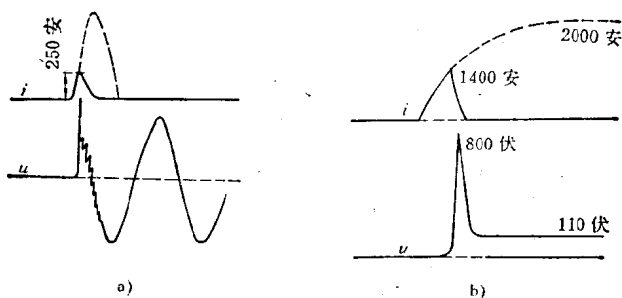


图 1-7 具有限流作用熔断器的开断过程

a) 交流电流的开断 b) 直流电流的开断

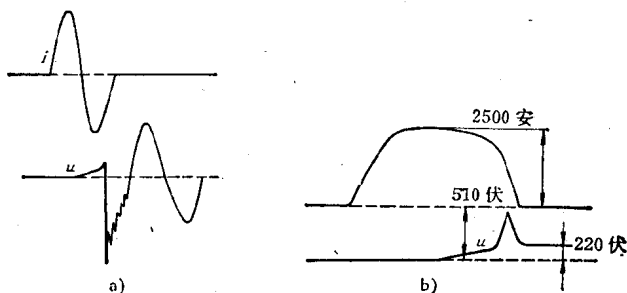


图 1-8 不限流的熔断器的开断过程

a) 交流电流的开断 b) 直流电流的开断

时,已完成汽化、击穿、间隙产生电弧和熄灭电弧的过程,并将电流 i 突然下降到零(图 1-7a 为交流电流的开断情况, b 为直流电流的开断情况);所谓不限流的熔断器是指电路中的电流将从 i 继续上升,如图 1-8 中的情况。在直流时,当电流达到接近短路电流的稳定状态后,待电弧拉长到不足以维持时才熄灭。在交流时,短路电流将持续到第一次电流过零瞬间熄灭电弧。有时短路电流还可能继续延到经过第二或第三次电流过零瞬间才熄灭电弧。

第三节 熔断器的选用

合理地选用熔断器对被保护的电器设备有着极其重要的意义。因为在很多情况下,往往由于熔断器选用得不恰当而造成严重的后果。

选用熔断器的条件:

1. 熔断器的额定电流应不小于电路的工作电流;
2. 为了避免熔体在电动机起动过程中被熔断,熔体在起动时间 t 秒内所通过的电流,不得大于其保护特性电流的一半。通常对于不经常起动及加速时间不长(如一般切削机床等)的情况,熔体额定电流取

$$I_{R\text{额定}} = I_{\text{起动}} / (2.5 \sim 3)$$

对于经常起动或起动时间较长(如吊车上用的电动机等)的情况,熔体的额定电流取

$$I_{R\text{额定}} = I_{\text{起动}} / (1.6 \sim 2.0)$$

例1-1 额定电压为 380/220 伏三相四线制低压电力系统,给一个工业企业供电,如何选用熔断器保护? 供电线路如图 1-9 所示。

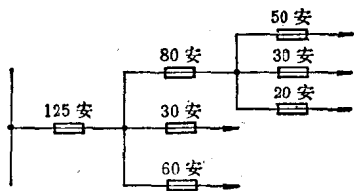


图 1-9 用熔断器保护的供电线路图

电动机及其运行特性见表 1-1。

解答 (1) 1 号电动机熔断器的选用

表 1-1

电 动 机		1号	2号	3号
功 率 (千瓦)	P	10	10	5
型 式		鼠笼式	电阻起动式	鼠笼式
起动电流倍数	N	7.5	2	6.0
满载时效率	η	0.87	0.87	0.85
功 率 因 数	$\cos \varphi$	0.86	0.87	0.8
负 载 系 数	k	0.9	1.0	0.8

1号照明线路的功率为20千瓦。

2号照明线路的功率为30千瓦。

电动机的额定电流

$$I_{\text{额定}} = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi \eta} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.86 \times 0.87} \\ = 20 \text{ 安}$$

其工作电流为

$$I_{\text{工作}} = k \times I_{\text{额定}} = 0.9 \times 20 = 18 \text{ 安}$$

熔断器熔体的额定电流为

$$I_{R\text{额定}} = I_{\text{起动}} / 2.5 = \frac{N \times I_{\text{额定}}}{2.5} \\ = \frac{7.5 \times 20}{2.5} = 60 \text{ 安 (选用 60 安)}$$

(2) 2号电动机熔断器的选用

$$I_{\text{额定}} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.87 \times 0.87} = 20 \text{ 安}$$

电动机的工作电流为

$$I_{\text{工作}} = 1.0 \times 20 = 20 \text{ 安}$$

熔断器熔体的额定电流为

$$I_{R\text{额定}} = \frac{2 \times 20}{2.5} = 16 \text{ 安}$$

选用额定电流为 20 安的熔体。

(3) 3 号电动机熔断器的选用

电动机的额定电流

$$I_{\text{额定}} = \frac{5}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.8 \times 0.85} = 12 \text{ 安}$$

电动机的工作电流

$$I_{\text{工作}} = 12 \times 0.8 = 9.6 \text{ 安}$$

熔断器熔体的额定电流应大于

$$I_{R\text{额定}} = \frac{12 \times 6}{2.5} = 29 \text{ 安} \quad \text{选用 30 安的熔体}$$

(4) 1 号照明线路

$$I_1 = \frac{20}{\sqrt{3} \times 0.38} = 30 \text{ 安}$$

选用额定电流为 30 安的熔体

(5) 2 号照明线路

$$I_2 = \frac{30}{\sqrt{3} \times 0.38} = 45 \text{ 安}$$

选用额定电流为 50 安的熔体

(6) 支线路上的熔断器的选择

$$I_{\Sigma} = 16 + 16 + 45 = 71 \text{ 安}$$

选用额定电流为 80 安的熔体

主线路上的熔断器的选择

$$I_{\Sigma} = 71 + 20 + 30 = 121 \text{ 安}$$

选用额定电流为 125 安的熔体

3. 为了满足选择性保护, 熔体应根据其保护特性曲线上的数据及其实际误差来选择, 这样可使得在支路上发生短路

时, 只在支路上的熔断器熔断, 而主线路上的熔断器不致熔断。

图 1-10 所示为采用熔断器保护的低压供电系统方案之一。它们要求有这样的选择性: 当 K_1 点短路时, 只有熔断器 RD5 熔断; 当 K_2 点短路时, 只有熔断器 RD3 熔断; 而它们以上各级的熔断器都不熔断, 使故障限制在局部范围以内。

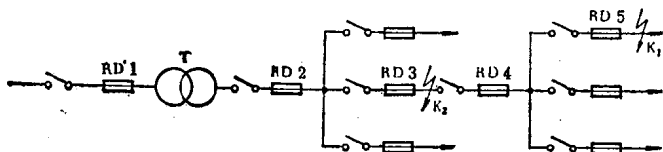


图 1-10 供电系统采用熔断器保护的方案之一

为了达到这一目的, 在选择熔断器时, 应考虑到熔断器实际的熔断时间与标准安秒特性曲线的误差。从最不利的情况出发, 假定前一级熔断器实际熔断时间 t'_1 可能比由安秒特性曲线所得到的熔断时间 t_1 小 50%, 即 $t'_1 = 0.5t_1$, 而后一级熔断器的实际熔断时间 t'_2 又可能比安秒特性曲线所得到的熔断时间 t_2 大 50%, 即 $t'_2 = 1.5t_2$, 因此保证前后级熔断器选择性的条件为:

$$t'_1 > t'_2 \quad \text{即} \quad 0.5t_1 > 1.5t_2$$

所以

$$t_1 > 3t_2$$

这说明, 根据熔断器的安秒特性曲线得出的熔断时间, 前一级熔断器熔断时间至少应为后一级熔断器熔断时间的 3 倍以上, 才能保证熔断器保护的选择性。如不能满足要求时, 则应将前一级熔断器的熔体额定电流加大。根据一般情况, 同型号同熔体材料的前后级熔断器只要熔体电流等级相差两级时就能满足选择性要求。

例 1-2 按图 1-11 所布置的电路, 前一级熔断器选用熔体额定电流为 125 安, 已知线路最大短路电流为 4000 安, 能否满足选择性要求。

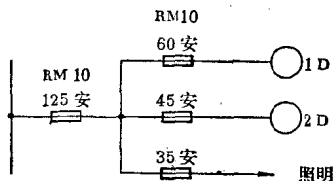


图 1-11 用熔断器保护的供电线路

解答 后一级用的熔断器中, 最大的熔断器熔体额定电流为 60 安, 从 RM10 型熔断器安秒特性曲线 (图 1-12) 中查得在短路电流为 4000 安时的熔断时间为:

$$\text{RM10-125 安} \quad t_{125} = 0.025 \text{ 秒}$$

$$\text{RM10-60 安} \quad t_{60} = 0.006 \text{ 秒}$$

$$t_{125} > 3 t_{60} = 0.018 \text{ 秒}$$

基本上满足选择性保护要求, 显然 RM10-45 安和 RM10-35 安也都能满足选择性保护要求。

在选用快速熔断器保护可控硅元件或硅整流元件时, 应注意到单位的换算, 因为通常可控硅元件或硅整流元件的额定电流都是用平均电流表示的, 而快速熔断器的额定电流则是用交流有效值表示的。对于一对一串联安装的换算公式如下:

$$I_{\text{快熔}} = I_{\text{硅元}} \times \frac{\pi}{2}$$

表 1-2 列出了选用的例子。

快速熔断器安装在线路中的方式大致有下列三种:

1. 接在交流输入线路中, 如图 1-13a 所示;