

快速熔断器

应用手册

〔美〕巴·比拜因 著

机械工业出版社

本书共分四章：第一章对快速熔断器进行了一般性的介绍；第二章说明了熔断器的各种特性；第三章叙述熔断器与半导体器件的匹配问题；第四章为应用，并有实例。

本书可供从事半导体电路和熔断器的设计人员，以及电器设备的使用、维护人员参考。

Semiconductor Fuse

Applications Handbook

Bryan Bixby 等

International Rectifier 1973

快 速 熔 断 器

应 用 手 册

〔美〕巴·比拜因 著

北京椿树整流器厂 译

*

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）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $4 \frac{1}{4}$ · 字数 91 千字

1981 年 2 月北京第一版 · 1981 年 2 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,800 · 定价 0.36 元

*

统一书号：15033 · 4921

译 者 的 话

随着电子工业的迅速发展，电力半导体器件已得到广泛应用。由这些器件组成的装置在运行中可能受到各种因素的影响而产生短路，甚至造成严重事故，因此必须采取有效措施。最常用的保护方法是采用快速熔断器。

本书重点介绍了国际整流器公司（简称 IR 公司）生产的几种快速熔断器的特性，及其在使用中与电力半导体器件的匹配问题。书中还提供了某些数据及应用实例。

本书由周琴芳、何英夫同志翻译，黄耀先同志校对。

由于我们水平有限，译文中难免有欠妥和错误之处，希读者批评指正。

译者

目 录

第一章 快速熔断器	1
熔断器	2
保护半导体器件的快速熔断器	2
结构	3
熔断器的动作	5
术语	7
一般应用	8
半导体器件的保护	9
第二章 熔断器特性	13
额定电流	13
环境温度	13
强迫冷却	14
导线规格	16
I^2t 的额定	18
许通 I^2t 与可能出现的故障电流的关系	20
许通 I^2t 与 X/R 电路的关系	21
许通 I^2t 与电源电压的关系	22
预负载对许通 I^2t 的影响	24
许通 I^2t 与电源频率的关系	24
许通 I^2t 与燃弧起始点的关系	24
熔断器的峰值电流	24
切断特性	27
热态电阻和冷态电阻	27
燃弧电压	27
时间/电流特性	29
浪涌	32

第三章 熔断器与半导体器件的匹配平均值、峰值和均方根值电流	33
半导体器件的过载特性	36
与半导体器件特性的匹配	37
短路特性	37
熔断器的串联联接	38
熔断器的并联联接	38
用熔断器保护	39
故障情况	39
熔断器的可靠性	39
第四章 应用	41
内部故障和外部故障	42
内部故障	42
外部故障	44
外部故障保护实例	44
内部故障保护实例	46
详细步骤	48
直流运行	49
静止逆变器用的熔断器	53
影响熔断器选择的电路参数	58
附录	
I 定义	61
II 熔断器保护外部故障的实例	66
III 熔断器保护内部故障的实例	70
保护半导体的熔断器数据表	74

第一章 快速熔断器

所有电器设备基本上都要求有保护措施，以防止过载和发生故障。如果忽视这一要求，即使不致造成惨重损失，也会产生严重后果。

发生短路时所出现的大电流可以使关键设备失灵；磁场力会造成机械性损坏，甚至使汇流母线变形，还有爆炸的可能，最后将导致极危险的火灾。

因此，必须采取各种预防措施，以便限制故障时出现的大电流，并尽快地把它切断。保护电器设备的方法有多种，列举如下：

- (1) 调整电路设计；
- (2) 电路中设置热断路器或磁断路器；
- (3) 电路中采用电子敏感器控制；
- (4) 使用熔断器。

上述四种方法各有其优点，并已在整流装置的设计中得到应用。

例如，在直流焊接机组中把电路设计成使变压器具有高阻抗。这样，即使短路，也可把故障电流限制在负载的额定电流以内。焊接设备通常是以断续循环方式工作的，也是按这种方式设计的。因而，采用热断路器作过载保护比较合适。

在某些牵引设备中采用熔断器是不合适的；因此，为了在发生故障时能保护设备，应采用调整电路设计的方法。一般说来，在设备中需要增加一些并联的半导体整流器，使设备能承受几个周波的短路电流，直到断路器切断电路。

电子敏感器可采用反馈电路，用可控硅控制或其它控制方法来调整输出电流，这样就可限制短路电流。

多年来一直使用熔断器作为过载保护和短路保护；近年来随着电力半导体的发展，已经研制成专门保护半导体器件的熔断器。

在许多应用中，经常综合利用上述几种保护方法，因此各种方法之间要相互配合得适当，这点是很重要的。

熔 断 器

熔断器是用来保护电路的器件，当过电流或短路电流通过电路时，对电流反应迅速的熔体即被熔断。典型的熔断器是将银丝或其它金属线装在适当的管壳中做成的。当临界电流——时间负荷加于熔断器时，银丝或其它金属线即被熔化，从而切断电路。显然，该用多少根熔丝组合起来为宜，应视熔断器所要求的电流、电压、应用场合和保护特性而定。

保护半导体器件的快速熔断器

众所周知，硅整流二极管和可控硅的热容量相当小，为此，当较重负载叠加到已接近器件最大额定值的基本负载时，可控硅和二极管便不能承受这种过载电流。

大电流对半导体二极管和可控硅会产生两种有害后果：首先，由于结的电流分布不均匀，所产生的反常电流密度可使结受到损坏；其次是与 I^2t 乘积成正比的温升将会增加。

在一般工业应用的半导体中，如果电路的某处发生故障，就可能产生几千安培的故障电流。如果半导体器件对故障电流需要进行保护的话，必须选用合适的保护装置，以达到下面几点：

(1) 能在极短的时间内可靠地切断很高的预期故障电流;

(2) 可将通过器件的电流限制在允许值内;

(3) 在故障切断前, 能将器件的热能 ($I^2 t$) 限制在许通值内。

但遗憾的是, 快速地切断这样大的电流又会导致很高的过电压。如果硅整流器受到很高的过电压, 元件就会被击穿而受到损坏。因此, 所选择的保护器件必须在故障被切断的同时也能限制过电压。

到目前为止, 主要考虑的仍然是消除故障电流。为了能可靠而有效地使用器件, 选择保护装置时还须注意达到以下几点:

(4) 根本不需要维修;

(5) 在额定电流或正常瞬态过载时绝对不动作;

(6) 发生异常情况时, 一定能以预定方式工作。

具备以上全部优点, 并且较为经济的器件就是保护半导体器件的快速熔断器。

结 构

IR 公司的典型快速熔断器剖面图示于图 1。这类熔断器是由一个或多个纯银熔体组成, 周围以石英砂作填充剂, 并封装在瓷管内。

这种熔断器采用氧化铝制成的高级瓷管作外壳。选择这种结构是为了使它能承受高温、机械和电冲击, 而且电瓷除具有能在高温下工作的特性外, 它还具有无任何有害作用或化学变化的优点。

虽然每一个零件在熔断器的性能中都起着重要作用, 但

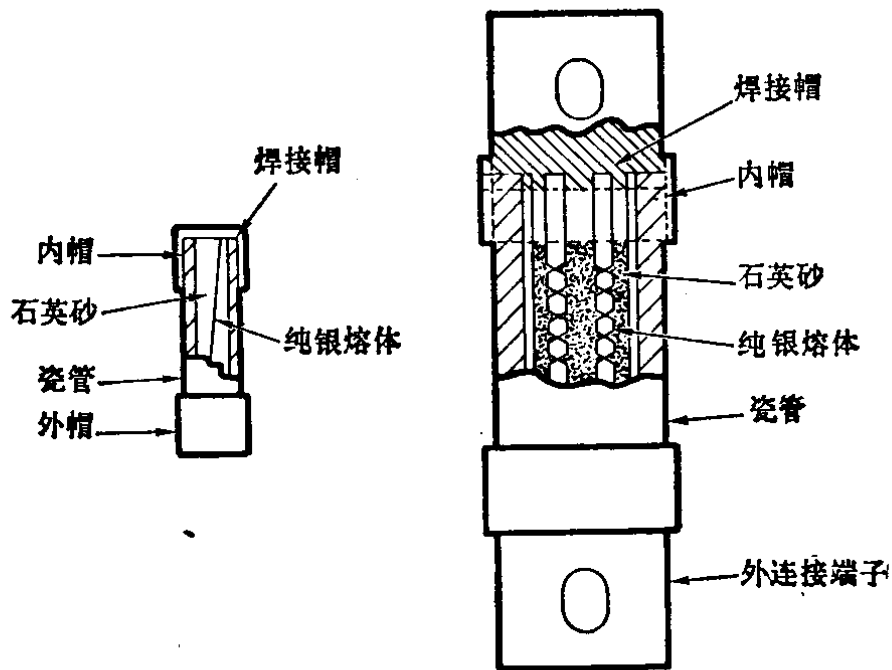


图 1 熔断器剖面图

其心脏部分仍是纯银熔体。

熔体应达到极严格的机械公差。它以规定硬度的纯银带制成，以保证性能的一致。

每个熔体都有几个短而窄的限区，这些限区与几个横截面较大的区域连接在一起。熔体是根据几项不一致的要求设计的，给定截面的限区，其电阻应该是最小，同时要有足够的电流几何限区，以便与系统电压联接。熔体的实际形状是用计算机来设计的，因而它可达到所需的工作特性。

填充剂是由规定颗粒大小的纯石英砂组成，在使用前经仔细烘干，然后用机械振动的方法装入瓷管内。

熔体分别焊接在经电子镀锡的黄铜内帽上，而黄铜内帽压装在瓷管内，使之紧密连接。然后将瓷管装满石英填充剂，再压上外帽，以保证完善的机械装配和良好的电接触。这种结构可确保熔体与外部其它元件没有机械连接，因此，

外部应力也就不会传递到熔体。外帽和联接片组装成一个单独的整体。这种装置是用黄铜加热锻制而成，因而它可自动减轻机械应力。这种整体结构具有较大的机械强度，而且实际上起到了辅助散热器的作用，因此它是自冷熔断器。熔断器的任何部分均未采用锡焊。这样，可保证不致因与银熔体的焊接处熔化，或合金焊料熔化而造成变质和熔断。

保护半导体的熔断器的外帽和联接片都是经电镀的，它适用于高质量的控制程序装置。在这种程序装置中，所有部件都要进行严格的检查，包括各种随机抽样的精密试验。全部熔断器都要 100% 地通过电阻检验。此外，每批产品都要抽样检查额定值、 I^2t 、峰值电流、以及燃弧电压值。所有这些试验都是在生产厂的实验室内进行的。厂内两台大功率测试台能提供 200000 安以上的故障电流。

熔断器的动作

任何熔断器的动作，主要决定于熔体内所产生的热量与外部连接处和周围环境所耗散的热量两者之间的平衡。

熔体的电流值以及连续最大额定值都要保证能耗散所产生的全部热量，而不超过熔体的预定最高温度。在持续过载的情况下，所产生的热量大于被耗散的热量，这将使熔体的温度上升，而限区的温升将高于其它任何部分。只要温度一达到纯银的熔点，熔体被熔断，电路被切断。熔体的熔断时间将随电流的增大而缩短。在重过载时（例如短路），熔体的散热时间很短，因而限区的温度瞬间便达到熔点。保护半导体的熔断器从故障开始到银熔体熔断的时间可小于 4.1 毫秒。换言之，熔体将在预期故障电流达到它的第一个主峰值之前就开始熔化。因此，可以限制通过熔断器的电流。IR 公

司所生产熔断器的这种极限电流是在电流值比正常额定值低四分之三时获得的。

突然切断大电流，将在每个限区引起电弧。从故障开始到发生电弧的时间叫做“熔化时间”（即起弧前的时间）。

这样产生的电弧会有较高的电阻，因而减弱了电流。热将使银蒸发。银蒸气和石英砂熔化在一起，形成了绝缘的闪熔砂。电弧则继续烧断限区之外的熔体，因此延长了电弧的长度。电弧的电阻也将进一步增加。这种“正反馈”效应使电弧在很短的时间内熄灭，切断电路。在重过载情况下，由故障开始到切断电路所需的总时间是很短的，一般小于6毫秒。

从燃弧开始到熄灭的时间叫做“燃弧时间”。熔化时间与燃弧时间之和叫“熔断时间”。在熔断时间内将释放由电流值决定的一定数量的能量。“熔化能量”和“燃弧能量”这两个术语同样要和时间配合起来使用。这种能量与 $I^2 t$ ，严格地说，与 $\int I^2 dt$ 成正比，其中“ I ”为均方根电流，而“ t ”为电流流通时间，单位为秒。

最小的熔化 $I^2 t$ 为常数，它主要由熔体的设计和熔断器的结构决定。燃弧 $I^2 t$ 则与电路情况有关。所引用的数据是根据在最坏的可能情况下通过实际试验测得的值。

如上所述，一个设计得很好的熔断器，不但可以限制预期电流值，而且可保证在极短的时间内排除故障。因此，为保护设备而释放的能量要比可以释放的能量小得多。燃弧的发生与它将在熔断器上产生的叠加在正常电源电压之上的电压有关。该电压称作“燃弧电压”。虽然它和熔体有关，但也受电路条件控制。在某些情况下，它可以超过电源电压的峰

值。因此，必须细心设计熔体，以保证在最坏情况下电弧电压也不超过预定值。

术 语

为了进一步弄清经常用来说明熔断器工作的一些术语，请参阅图 2。图中示出了对熔断器进行短路测试时的典型情况。附录 I 中列出了与熔断器有关的全部名词定义。

把熔断器数据和已公布的硅整流器数据进行比较时，必须注意平均值与均方根值之间的差异。熔断器的动作主要和

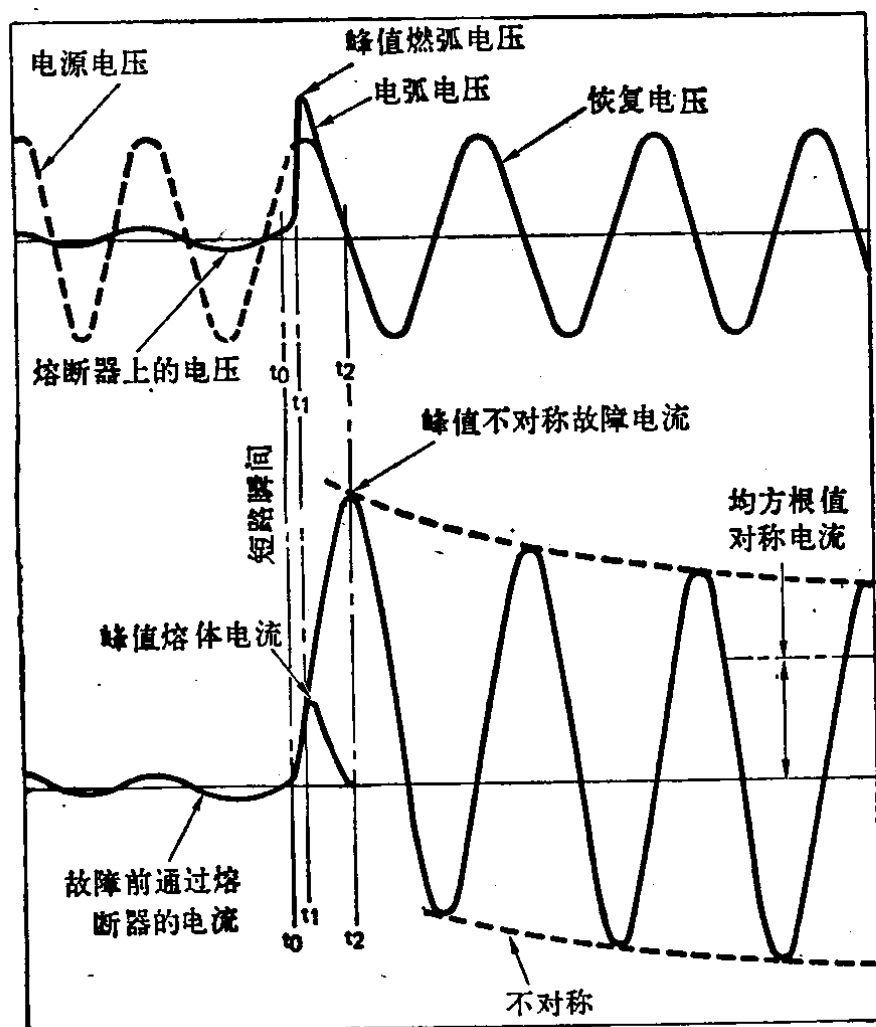
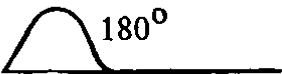
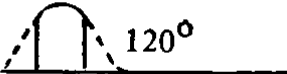
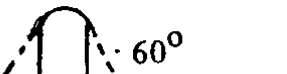


图 2 在单相电路中熔断器短路时的典型波形

电流的热效应有关，因此经常用均方根值表示熔断器的数据。另一方面，又经常用平均值来表示整流器的数据。表 I 列出了普通整流电路中电流的平均值、峰值与均方根值之间的关系。

表 I 整流电路中电流的平均值、峰值
与均方根值之间的关系

电路形式	电 流 波 形	I_{RMS}/I_{AVG}	$I_{RMS}/I_{峰值}$	$I_{AVG}/I_{峰值}$
单相半波		1.57	0.500	0.318
单相全波		1.11	0.707	0.637
三 相		1.76	0.486	0.276
六 相		2.15	0.390	0.159

一 般 应 用

随着半导体器件在功率变换设备中的广泛使用，适当选择熔断器的问题对于设备的设计人员和大多数用户来说显得格外重要。这一问题看来比较复杂，所以长期以来，设计人员一直认为，要适宜地保护电力变换设备中的半导体器件，必须有专门的熔断器应用指南，以及较为有用的参考数据。IR 公司在本书中对这类熔断器进行了介绍，力求解决各种线路所用的熔断器的鉴别及适当选配等问题。

电力半导体设备、二极管、可控硅整流装置以及可控硅逆变器等的保护问题可分为两个方面：（1）半导体器件的保护；（2）变流设备的保护。在第一种情况中，需要提供能保护二极管或可控硅免受大故障电流损坏的熔断器。要达到这个目的，而又不致过大地限制半导体器件的负荷能力，这就成了选择熔断器时受到限制的问题。本书以下几章将介绍如何合理选用适当的熔断器，以解决应用中产生的问题。在许多其它应用中，目的在于保护整流设备免受内外短路而造成损坏。对于一些外部故障大多采用由过流继电器激励的断路器来排除。在大型整流装置中，许多半导体器件是并联在电路的每一个臂上，因此通常采用的办法是：将熔断器与每一半导体器件串联，以隔离失效的（短路后的）器件。隔离电路的熔断器在下面几节予以详细说明。

半导体器件的保护

在整流器应用中，由于整流元件短路，或外部连接短路，均可能引起故障电流。为此，必须采用熔断器，以迅速切断短路引起的大电流，保护完好的二极管和可控硅。

二极管和可控硅因其体积小，过载能力受到严格限制。这种特性可用与熔断器动作时间/电流特性曲线相似的过载曲线来表示。图3和图4示出了使用熔断器，在整个过载范围内，保护二极管和可控硅的两种方法。图3所示为如何使用熔断器达到完善保护的情况，这种保护一般只用于低功率装置，或用于可适当调节整流容量的装置。图4则表示在普通系统中熔断器进行短路保护的特性曲线。一般的过载保护则经常采用断路器，或根据需要而采用其它方式来进行。

总之，目前所采用的保护系统可分为两类：

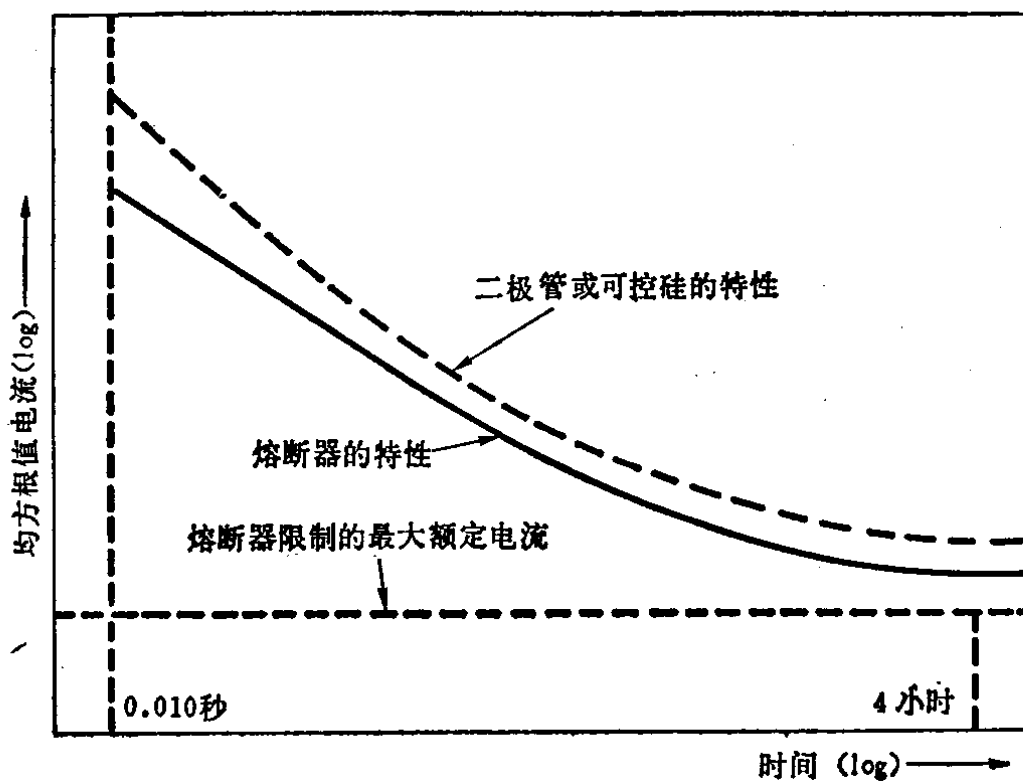


图3 使用熔断器保护的特性曲线

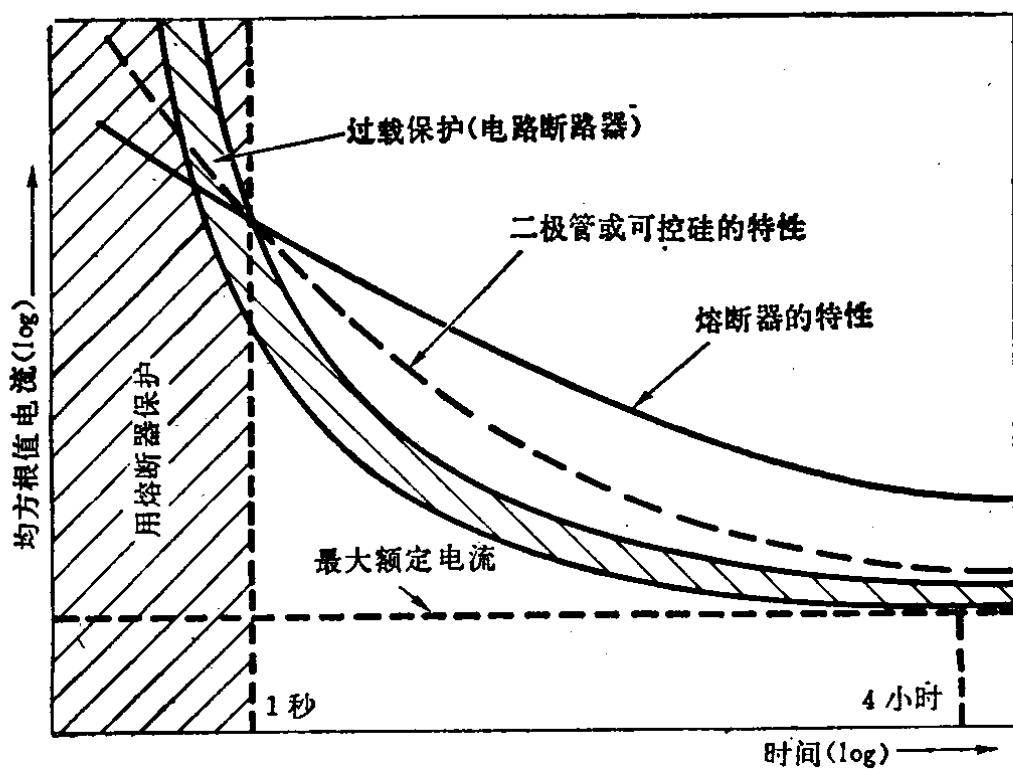


图4 用于短路保护的熔断器

表 I 选择熔断器时应考虑的因素

参数	影响参数的因数		提供的数据	
	熔断器	二极管或可控硅	熔断器	二极管或可控硅
静态均方根电流	环境、附件、邻近的仪器和其它熔断器，冷却方式	环境、电路形式、并联运行、冷却方式、散热器	在指定条件下的额定电流，额定环境温度之上的风冷系数，附件	综合曲线（通常用平均电流标出）
静态耗电	同电流	同电流	指定条件下的最大值	综合参考
过载曲线	预加负载，周期的负载浪涌，制造公差	预加负载，周期的负载浪涌	正常的时间/电流曲线（起始为冷态，预加负载的熔断器）	过载曲线，瞬态热阻
断路电压	交流或直流	额定电压	最大指定电压	引证的额定电压
I^2t 额定值	预加负载，总的 I^2t 取决于：电路阻抗（ X/R ），使用电压，短路起始点，故障电流和频率	预加负载	对起始冷的熔断器；最坏条件下变化因素为频率，故障电流、电压、 X/R ，起弧前 I^2t 恒定的总 I^2t 曲线	规定值（最小）
峰值电流	预加负载、故障电流（电压二次效应）、频率	预加负载	起始冷的熔断器在最坏条件下的曲线	半波浪涌电流
电弧电压	峰值电压取决于：外加电压，电路阻抗和短路起始点	额定 PRV （反向峰值电压）、额定峰值非重复电压	相对于外电压标绘的最大峰值燃弧电压	额定 PRV 电压和/或额定峰值非重复电压

1. 采用切断短路的方法

- （1）熔断器和/或断路器在系统侧；
- （2）熔断器和/或断路器在直流侧；

(3) 熔断器和半导体器件串联;

(4) 用旁路开关限制电流。

2. 采用以下几种方法来限制电流的幅度和预期短路电流的上升率

(1) 增加线路电抗;

(2) 增加变压器阻抗;

(3) 增加直流电路的电感和电阻。

实际上,通常都采用上述一种或几种方法。为了对任何一种线路都采用能起到既可靠又经济的保护作用,就必须使熔断器、半导体器件以及其它有关的保护设备在各方面都能协调或互相匹配。

表Ⅱ列出了应该考虑的各种因素,其中几个主要因素将在以下各节详细叙述。对于某些保护问题将通过典型应用实例作简要介绍。