

电子技术 在煤矿中的应用

山东矿业学院电工教研室编

煤炭工业出版社

电 子 技 术

在煤矿中的应用

山东矿业学院电工教研室编

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 简 介

本书主要介绍了硅整流、动力载波控制、脉冲技术、可控硅等在煤矿中的应用。全书共分四篇，每篇都以煤矿生产中实际应用的线路为例，着重介绍它的工作原理、主要参数的选择计算和使用，对整流变压器的设计计算也作了一些介绍。

本书可供具有一定电工知识的工人和有关技术人员参考。

电子技术 在煤矿中的应用

山东矿业学院电工教研室编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

石油化学工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $12 \frac{1}{4}$ 插页 3

字数 324 千字 印数 1—11,500

1977年2月第1版 1977年2月第1次印刷

书号15035·2047 定价1.20元

前 言

随着我国工农业生产和科学技术的蓬勃发展，电子技术在煤矿生产中得到了迅速发展和广泛应用。为了普及和发展电子技术，总结和推广电子技术在煤矿中应用的先进经验，遵照毛主席“**要认真总结经验**”的伟大教导，我们深入现场，广泛地调查研究，选择了部分资料，以由简到繁、深入浅出的方法，编写了这本《电子技术在煤矿中的应用》，书中选用的实例，全部取自生产单位，有的在原来的基础上进行了修改和补充，或者提出了一些改进意见。

在本书编写过程中，得到了有关单位的大力支持和热情帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于我们的水平所限，实践经验不足，书中一定存在不少缺点和错误，热忱欢迎广大读者提出宝贵意见，以便今后修改和补充。

目 录

前言

第一篇 硅整流在煤矿中的应用	1
第一章 常用的几种硅整流装置	1
第一节 小型提升机用的硅整流装置	1
第二节 同步电动机励磁的硅整流装置	8
第三节 牵引变流所用的硅整流装置	22
第四节 硅整流充电机	35
第二章 整流变压器的设计	43
第一节 单相小功率变压器的设计	44
第二节 三相小功率变压器的设计	55
第三节 中型和大型三相变压器的设计	58
第二篇 动力载波控制在煤矿中的应用	72
第一章 发射机和接收机	72
第一节 发射机	72
第二节 接收机	118
第三节 其他发射机和接收机	133
第四节 动力电网作载波通道	145
第二章 动力载波控制	154
第一节 采煤机组的动力载波控制	154
第二节 运输机的动力载波控制	163
第三篇 脉冲技术在煤矿中的应用	196
第一章 门电路及逻辑元件	196
第一节 门电路	196
第二节 逻辑元件	207
第三节 计数电路	214
第二章 脉冲技术的应用	233

第一节	GLX-30型高压漏电巡查器	233
第二节	DJ-Ⅲ型煤矿顶板安全报警器	246
第四篇	可控硅在煤矿中的应用	256
第一章	矿用可控硅整流和电动转辙机	256
第一节	可控硅矿灯充电装置	256
第二节	可控硅井下电机车蓄电池充电装置	259
第三节	矿井提升机用的可控硅直流控制电源	264
第四节	矿井通风机同步电动机可控硅励磁装置	267
第五节	矿用可控硅电动转辙机	277
第二章	矿用电机车可控硅脉冲调速	280
第一节	主电路	280
第二节	触发电路	290
第三节	架线式电机车单相交流可控硅调速	313
第三章	矿井提升机可控硅串级调速	321
第一节	可控硅有源逆变电路	321
第二节	串级调速的基本概念	330
第三节	主电路的参数及保护装置	333
第四节	触发电路与自动调节装置	337
第五节	串级调速的操作系统	347
第四章	矿井提升机用的可控硅低频电源	352
第一节	可控硅无源逆变电路	352
第二节	矿井提升机用的可控硅低频电源	364

第一篇 硅整流在煤矿中的应用

在煤矿生产中，许多地方需要用直流电源。过去，为了得到直流电源，人们利用具有单向导电性能的器件——电子管、离子管、汞弧整流器等以及笨重的电动机-发电机组，将电网的交流电变为直流电。现在普遍采用了硅整流设备，取代陈旧的变流设备。煤矿中应用硅整流是很多的，例如：提升机、架线式电机车、同步机励磁、电镀、蓄电池充电等。

第一章 常用的几种硅整流装置

第一节 小型提升机用的硅整流装置

图1-1-1是供小型提升机控制系统电源用的硅整流装置电气原理图，它由主电路和辅助电路两大部分组成，交流输入电压250伏，直流输出电压220伏，电流10安。

该装置的主电路采用的是单相桥式整流电路。为了便于讨论和分析，我们把图1-1-1的主电路简化成如图1-1-2所示的形式。

一、整流原理和波形

设变压器副线圈的电势为 $e_2 = \sqrt{2} E_2 \sin \omega t$ ，其中， E_2 为相电势的有效值，其波形如图1-1-3 A所示。在 e_2 的正半周时，变压器副线圈的上端a点电位高于其下端b点电位，二极管 Z_1 、 Z_3 受正向电压作用而导通， Z_2 、 Z_4 受反向电压作用而截止，此时电流由变压器的a端通过 Z_1 流经负载 R_d 、 Z_3 回到b端，如图1-1-2中实线箭头所示。在 e_2 的负半周时，a点电位低于b点电位， Z_2 、 Z_4 导通， Z_1 、 Z_3 截止。电流由变压器的b端通过 Z_2 流经负载 R_d 、 Z_4 回到a端，如图1-1-2中虚线箭头所示。不论 e_2 是正半周还是负半周，电流都能分别经由相应的两个二极管自左而右的流

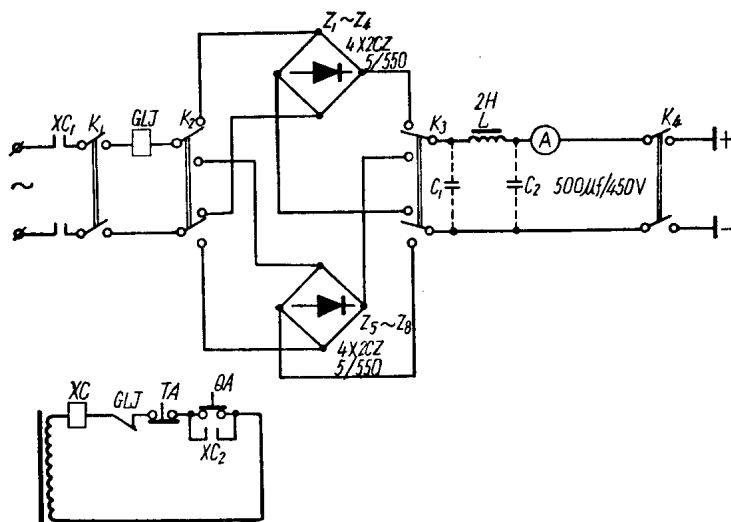


图 1-1-1 小型提升机用的硅整流装置电气原理图

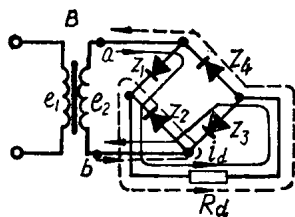


图 1-1-2 单相桥式整流电路

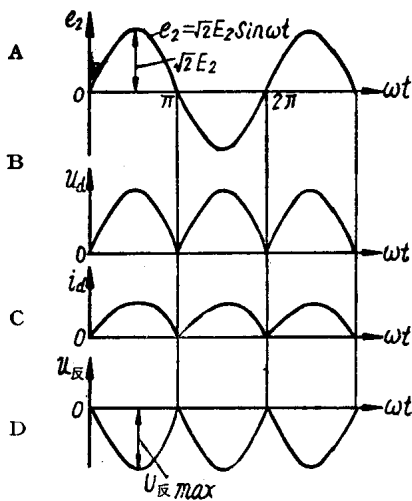


图 1-1-3 单相桥式整流电路的波形图

过负载，在负载上得到一个方向不变而大小变化的脉动电流。负载两端电压和电流的波形分别如图1-1-3 B、C所示。

二、基本参数计算

由图1-1-3B可知，在负载上得到的是一种极性不变但大小随时间变化的脉动直流电。如图1-1-4中斜线阴影部分所示，为单相桥式整流电路输出直流电压的平均值为：

$$U_p = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} E_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot E_2 = 0.9 E_2 \quad (1-1-1)$$

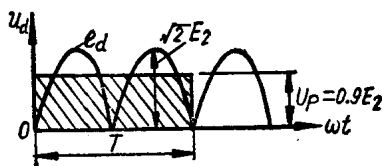


图 1-1-4 脉动直流电的平均值

输出直流电流的平均值为：

$$I_p = \frac{U_p}{R_d} = 0.9 \frac{E_2}{R_d} \quad (1-1-2)$$

通过二极管的平均电流：

在桥式整流电路中，由于二极管轮流导通，所以流过每个二极管的平均电流为负载电流的一半，

即：

$$I_{z1} = I_{z2} = I_{z3} = I_{z4} = \frac{I_d}{2}$$

加在二极管上的最大反向电压：

例如在 e_2 的正半周， Z_1 、 Z_3 导通后，因其管压降很小，可以忽略不计，从图1-1-2可以看出， e_2 同时加在未导通的 Z_2 、 Z_4 上。因此二极管 Z_2 、 Z_4 所承受的最大反向电压为：

$$U_{R\max} = \sqrt{2} E_2 \quad (1-1-3)$$

同理，在 e_2 的负半周， Z_2 、 Z_4 导通，加在 Z_1 、 Z_3 上的最大反向电压也是 $\sqrt{2} E_2$ 。

流过变压器副绕组的电流有效值：

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \left(\frac{\sqrt{2} E_2 \sin \omega t}{R_d} \right)^2 d\omega t} = \frac{\sqrt{2} E_2}{R_d} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 1.11 I_p \quad (1-1-4)$$

上面介绍的单相桥式整流电路，是在纯电阻性负载的理想情况下进行讨论的。但是，在煤矿生产中，真正纯电阻性负载是很少的，遇到较多的是电感性负载，如提升机控制电源的负载，直流电动机的电枢绕组，同步电动机的励磁线圈等。有的虽然原来不是电感性的，但为了得到比较平滑的直流电，在整流后加上滤波电抗器，这样也就成了电感性负载。因此有必要对电感性负载的整流情况作一分析。

例如，在单相半波整流电路中（如图1-1-5），当输入电压为正半周时，硅元件导通，电路中电流因电感作用而逐渐上升，这时电感储存了电磁能量。当输入电压过零变负时，电路中电流还未降到零，这是因为当电流变小时，在电感上感应出一个上负下正的电压，阻止电流的减小，只要这个电压大于当时的输入电压，硅元件就可以继续导通，实际上就是电感中储存的电磁能量放出来维持硅元件继续导通，直到 $\omega t = \theta$ 时，电感中储存的电磁能量放尽，电路中电流才降为零。负载上电压、电流的波形如图1-1-5 B、C所示。显然，它和纯电阻负载时电压、电流的波形有了很大的不同。由图可见，由于电感性负载的影响，电路中电流的变化落后于电压的变化，使整流电路输出直流电压增加了负的面积。输出直流电压的平均值减小了。电感越大，维持导通的时间越长，负向电压占的比重就越大，输出电压、电流的平均值就越小。可以算出，单相半波整流电路电感性负载下直流电压的平均值为：

$$U_p = \frac{\sqrt{2} E_2}{2\pi} (1 - \cos \theta) = 0.225 E_2 (1 - \cos \theta)$$

直流电流平均值为：

$$I_p = 0.225 \frac{E_2}{R_d} (1 - \cos\theta)$$

从上式也可看出， θ 超过 π 以后， θ 越大，电压、电流的平均值就越小。因此，单相半波整流电路用于大电感性负载时，如不采取措施，负载上就得不到应有的电压和电流。

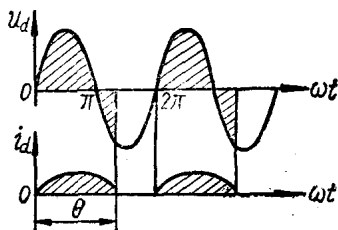
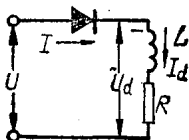


图 1-1-5 电感性负载时单相半波整流电路的电压电流波形

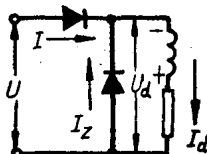


图 1-1-6 具有续流二极管的单相半波整流电路

采取的措施就是在负载两端并联一个二极管，如图 1-1-6 所示。当输入电压过零变负后，电感负载上的持续电流经此二极管自行放掉，不再经过原来的硅元件，这就保证了硅元件在输入电压过零变负后截止。这个二极管叫作“续流二极管”。有了续流二极管，负载上电压、电流的平均值和纯电阻负载时一样计算。

上面介绍的在感性负载两端并联续流二极管的方法，也适用于单相桥式和其他型式的整流电路。但在一般情况下，也可不加续流二极管，这是因为电感性负载在感抗不大时输出电压、电流的波形与电阻负载时基本相似，故输出电压和电流的平均值可用纯电阻负载时的计算方法进行估算。但是，必须指出，对于电感性负载，在瞬变时（例如电源的关、闭等）将产生反电势，造成

整流元件的瞬时过电压。因此选择整流元件的最大反向电压必须留有足够的余量。

三、硅元件的选择

合理地选择硅元件主要是从经济性和可靠性考虑，硅元件的参数选择是指合理地选择硅元件的型号，其中主要的额定指标是反向工作峰值电压 U_R 和额定正向平均电流 I_F 。

(一) 反向工作峰值电压 U_R 的选择

电路中硅元件所承受的反向峰值电压与所采用的整流电路的型式和电源电压有关。在整流电路的型式确定以后，为了保证硅元件在电源电压波动及出现瞬时过电压时不致损坏，通常选取硅元件的反向工作峰值电压为电路中的硅元件实际承受的最大反向电压的 1.5 倍到 2 倍。

即：
$$U_R = (1.5 \sim 2) u_{Rmax} \quad (1-1-5)$$

(二) 硅元件额定正向平均电流 I_F 的选择

在整流电路中，通过硅元件的电流不是纯直流电，而是含有交流成分的脉动直流电。在这种情况下，使硅元件发热的是电流的有效值。因此，无论硅元件工作在什么线路中，为了保证硅元件不致过热而损坏，必须使流过硅元件的电流有效值不超过硅元件额定正向平均电流 I_F 的 1.57 倍。

硅元件的额定正向平均电流 I_F 是在单相正弦半波条件下测得的。而电流波形在各种整流电路中是不同的，因此要计算出实际流过硅元件的电流有效值是相当繁琐的。实际上，在选择硅元件时通常采用如下的公式：

$$I_p = \frac{1.57 \times I_F}{K} \cdot m_k \quad (1-1-6)$$

式中 I_p ——整流器允许输出的最大整流电流平均值(安)；

I_F ——硅元件的额定正向平均电流(安)；

K ——不同整流电路中流过硅元件的波形系数，其值见表 1-1-1；

m_k ——硅元件的并联导通数，其值见表 1-1-1。

表 1-1-1 整流线路的K和 m_k 值

线路名称	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式	带平衡电抗器 双反星形
K	1.57	1.57	1.57	1.73	1.73	1.73
m_k	1	2	2	3	3	6

如图1-1-1所示小型提升机的硅整流装置中,用一单相整流变压器将交流电网220伏电压升高到250伏,向硅整流器供电,输出直流220伏、10安。

硅元件的额定正向平均电流 I_F :

$$\text{由 (1-1-6) 式} \quad I_p = \frac{1.57 \times I_F}{K} \cdot m_k$$

查表1-1-1, 对于单相桥式整流电路 $K = 1.57$, $m_k = 2$

$$\text{所以} \quad I_F = \frac{I_p \cdot K}{1.57 \times m_k} = \frac{10 \times 1.57}{1.57 \times 2} = 5 \text{ (安)}$$

硅元件的反向工作峰值电压 U_R :

$$\text{由 (1-1-5) 式} \quad U_R = (1.5 \sim 2) u_{R\max}$$

$$\text{对于单相桥式整流电路} \quad u_{R\max} = \sqrt{2} E_2 = \sqrt{2} \times 250 \text{ (伏)}$$

$$\text{所以} \quad U_R = 1.5 \times \sqrt{2} \times 250 = 530 \text{ (伏)}$$

该硅整流装置可选用八只(两套)额定正向平均电流为5安,反向工作峰值电压为550伏的硅二极管,其型号为2CZ5/550。

四、硅元件的保护

该硅整流装置的输出功率较小,且选取的硅元件耐压能力较高,不需进行过电压保护,仅利用直流输出端串联合理的限流电阻与电流继电器配合来保护硅元件不致因过电流而损坏。对于输出功率较大的硅整流装置,必须配置保护电路。

五、系统工作原理

本装置安装了两套硅整流设备,其中一套工作,一套备用,用手动双投开关 K_2 和 K_3 进行转换。

起动操作: 首先在两套硅整流装置中确定哪套工作,哪套备

用,正确闭合刀闸开关 K_1 、 K_2 、 K_3 和 K_4 。按起动按钮 QA ,交流接触器线圈 XC 通电,其主触点 XC_1 闭合,把硅整流装置接通电源,硅元件投入运行。辅助触点 XC_2 闭合自保。

停止操作:要硅整流装置停止工作,只要按停止按钮 TA ,使交流接触器线圈断电,打开其主触点和辅助触点,硅整流装置就停止工作。

事故保护:接在交流侧的过电流继电器 GLJ 是作过电流保护的。当线路发生过电流事故时, GLJ 动作,打开其触点,交流接触器线圈断电,使硅整流装置停止工作,从而保护了硅元件。

六、安装、使用和维护

1. 本装置应由不接地的单独电源直接供电,以防由于直流负载侧接地而和电力网的接地线构成回路烧毁硅元件。

2. 平时应经常检查接线是否完好,固定螺栓是否松动,接触器、继电器的触点有无损坏等,并应定期清扫内部灰尘。

3. 该装置输出电压、电流脉动较大,可能影响提升机控制电路中接触器、继电器的工作。为使输出波形更加平滑,可在装置的输出端加一电感和电容组成的 π 形滤波器,如图1-1-1所示。

4. 为加强对硅元件的保护,建议在交流输入端串入快速熔断器作短路保护。

第二节 同步电动机励磁的硅整流装置

图1-1-7为压风机房同步电动机励磁的硅整流装置电气原理图。其输出直流电压为70伏,电流136安。用于同步电动机的容量为250瓩,定子电压6千伏,电流30安;转子电压60伏,电流136安。

主电路采用三相半波整流电路,可简化为如图1-1-8所示的形式。

一、整流原理和波形

变压器副边相电压分别以 e_{2a} 、 e_{2b} 、 e_{2c} 表示,它们依次相差 120° ,其波形如图1-1-9A所示。

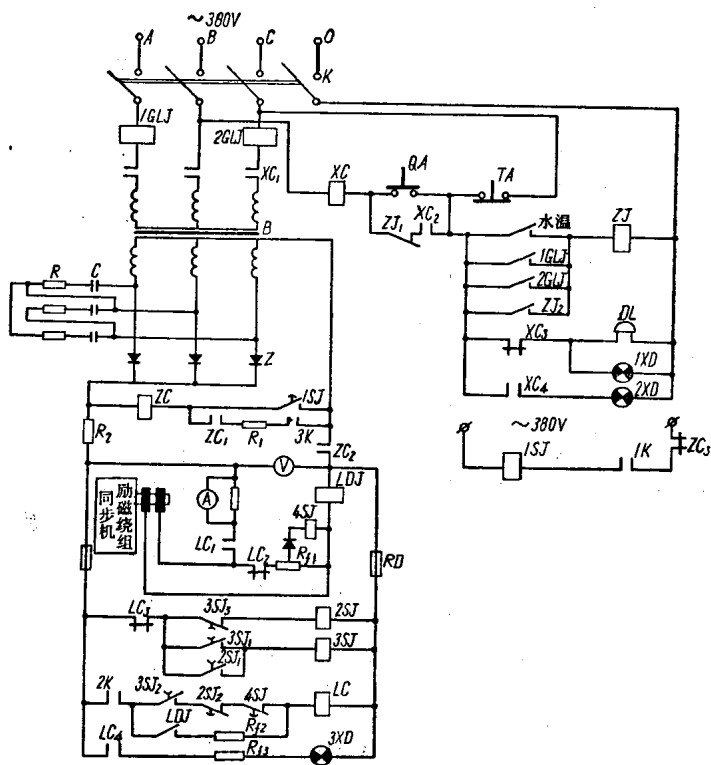


图 1-1-7 同步电动机励磁的硅整流装置电气原理图

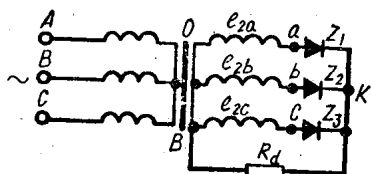


图 1-1-8 三相半波整流电路

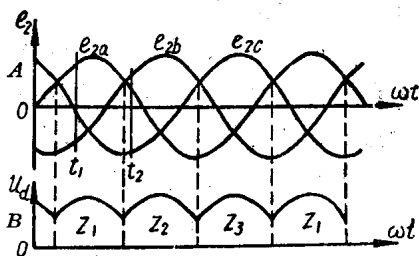


图 1-1-9 三相半波整流电路波形图

图 1-1-7 的 元 件 参 数 表

代 号	名 称	规 格	数 量	备 注
K	刀开关	四相500V/30A	1	代 用
1GLJ、2GLJ	过电流继电器	DL-11-200	2	
XC	交流接触器	CJO-40B	1	
B	整流变压器		1	自 制
QA	起动按钮		1	
TA	停止按钮		1	
Z	硅元件	2CZ100/250	3	每两只并联使用
1SJ~4SJ	时间继电器		4	
ZC	直流接触器		1	
ZJ	中间继电器	JY-16-220V	1	
LDJ	励磁断续继电器		1	
LC	励磁接触器		1	
R	电 阻	RXYC-20W-10 Ω	6	
C	电 容	CZM-L-10 μ f-250V	3	
R ₁	电 阻	RXYC-50W-200 Ω	1	
R ₂	电 阻	5*5片	1	
RD	快速熔断器	RSO200A/250V	2	
DL	电 铃	~220V 3"	1	
1XD~2XD	指示灯	~220V 15W	2	
3XD	指示灯	-110V 8W	1	

在单相整流电路中，只要硅元件的阳极电位高于阴极电位，二极管就可以导通。但在三相半波整流电路中，必须注意，有时存在两相同时为正的情况，而在任一瞬间，只可能有一个硅元件导通，不可能有两个硅元件同时导电。

当 $\omega t = t_1$ 时，由电势波形图得知 e_{2a} 为正， e_{2b} 、 e_{2c} 同时为负，a 点电位最高， z_1 在正向电压作用下导通，电流由变压器的 a 端通过 z_1 流经负载。此时 z_2 、 z_3 均处于反向电压下不能导通。

当 $\omega t = t_2$ 时， e_{2c} 为负， z_3 肯定不能导通。 e_{2a} 、 e_{2b} 同时为正，但 $e_{2b} > e_{2a}$ ，b 点电位最高，故 z_2 首先导通，电流由变压器的 b 端通过 z_2 流经负载。a 点虽然也为正电位，但由于 z_2 导通后（忽略 z_2 的管压降），K 点电位与 b 点电位近似相等而高于 a 点电位， z_1 承

受反向电压不能导通。在一个周期内, z_1 、 z_2 、 z_3 轮流导电, 每只管导电时间为1/3周期, 即 120° 。负载上直流电压的波形为变压器副边相电压的包络线。管子导通顺序和负载上直流电压的波形见图1-1-9B。

二、硅元件的保护

(一) 硅元件发生过电流的原因及保护方法

硅整流器发生过电流的原因主要有过负载、整流器直流侧短路、元件本身短路等三种, 其中以直流侧短路最为严重。

一般过电流保护的选择原则是: 对于小功率硅整流装置, 因为功率小, 结构简单, 仅采用快速熔断器在直流侧作短路保护。对于大、中功率硅整流装置应根据不同负荷性质采取不同的保护措施。

1. 快速熔断器保护

快速熔断器是一种专门保护硅元件的快速动作的保护电器。它的结构简单, 保护范围广, 动作快, 安装简便, 所以短路保护中最常用到它。快速熔断器用的是银质熔丝, 熔断器内填有石英砂。因银质熔丝导热性好而热容量小, 所以在出现过电流时可在硅元件损坏之前先熔断, 从而保护了硅元件。快速熔断器主要用作主电路的短路保护以及作为过电流的后备保护。它在电路中的接入方式大体可分为以下三种:

(1) 快速熔断器接在交流输入端 如图1-1-10A所示。这种接法, 不论是输出端短路还是元件侧短路均起保护作用, 但熔

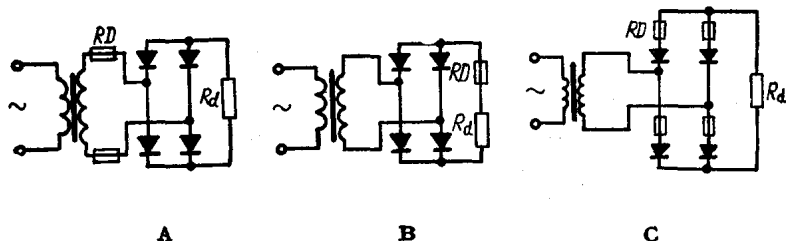


图 1-1-10 快速熔断器在线路中的位置