



高等学校教学用书

矿井电缆网路的计算

苏联 Ю.А.米哈耶夫等著

煤炭工业出版社



高等学校教学用书

矿井电缆线路的计算

IO A 本哈耶夫 合著
苏联 И. И. 法比索维奇

孙之熙译

煤炭工业出版社

0173384

內 容 提 要

本書是“礦井架線區電纜網路的計算”一書的增訂版。書中除了對礦井電纜網路的計算、變壓器容量、線路電壓及根據電纜截面的選擇以及網路各元件電壓損失的計算等作了補充和修訂外，還增加了380伏礦井網路短路電流的計算、饋電網路短路電流的計算、按三井、穆拉魏耶夫法計算架線區的动力佈局、用660伏電壓對工作面機器和機械的電動機進行供電、高壓電壓開關的選擇等五章。用660伏電壓供電有許多優點，是新的技術方向，書中對此作了具體說明。

此外，書中還敘述了當發生電壓降時，實際電流的“合成電阻”計算法；列出了為計算所必需的參考資料以及可以簡化計算的表格圖，最後介紹了有關省電氣設備和電能的問題。

本書是蘇聯高等教育部審定的高等學校教材，也適用於煤礦工程技術人員。

Ю. А. Михеев И. Л. Файбелович
РАСЧЕТ ПИТАТЕЛЬНОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТКИ
Учебное пособие Москва 1957
根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社1957年版譯

724

礦井電纜網路的計算

謝之熙譯

*

煤炭工業出版社出版（地址：北京長安街煤炭工業部）
北京市書刊出版登記證出字第084號
煤炭工業出版社印刷廠排印 新华書店發行

*

開本350×118毫米 1/32 印張3 1/16 插頁8 字數70,000
1957年6月北京第1版 1957年11月北京第1次印刷
統一書號：15035·164 印數：0,001—2,000冊 定價：(10)0.75元

序 言

由于矿井全部采煤过程机械化的广泛发展，尤其是由于具有大容量电气传动装置的联合采煤机的使用，工作面电气装备程度随之大为增加，所以对矿井采区的电气设备提出了更高、更新的要求。

对于效率高的矿山机械的工作，需要保证在电动机的端钮上具有足够的电压，因此要正确地选择变压器的容量及电缆的截面。

如果变压器的容量不足及电缆的截面过小，将产生大量的电压损失，而使机器的效率降低，并增多事故的次数。

在电压不足的情况下，电动机会时常发生“颤复”现象，因此就必须用降低机器给进速度的方法，以减轻其负荷。

另一方面，如果变压器的容量及电缆的截面过大，不但会使电气设备的费用增大，而且对于运行也会造成困难。

此外，对于变压器的多余容量还要额外地多支付设备容量的基本费。

所有这些情况迫使我们对于正确地计算矿井电缆网路必须加以特别注意。

如果地面上的任一企业的电缆网路，只在设计或改建时，进行计算，那么对于矿井采区的电缆网路，在运行期间还必须重复地进行计算，因为在采区的生产过程中，变电所至采煤场子的距离及采煤场子的设备是常常变更的。

本书可作为矿业高等学校学习矿山电工学的学生的教材，并适用于从事矿井电气设备设计及运行工作的工程技术人员。

书中列举了有关矿井电缆网路的计算资料，而对于所有计算的基本原则都作出了符合具体条件的例题。

有关节约电气设备方面的资料将有助于矿井工作人员使煤炭成本降低。

在编著此书时，曾利用全苏函授工业学院矿山电工系的教学经验。

目 录

序 言

第一章	电压降及电压损失	3
第二章	变压器电压的調整	9
第三章	根据容許发热条件选择电纜的截面	11
第四章	用于保护电纜網路的可熔保险器的选择	14
第五章	380 伏矿井網路短路电流的計算	16
第六章	饋电线路自动开关的选择	24
第七章	采区电纜網路的計算	28
第八章	考虑到实际起动电流及电纜的感抗的采区 电纜網路的計算	53
第九章	按B. II. 穆拉魏耶夫法計算采区的动力網路	70
第十章	用諾模图計算矿井的电纜網路	75
第十一章	用 660 伏的电压对工作面的机器及机械的 电动机进行供电	82
第十二章	高压电纜截面的选择	86
第十三章	高压配电間隔的选择	88
第十四章	关于节省电气设备及电能的几个問題	97
附 录	1—6	

第一章 电压降及电压损失

1. 线路的电压降及电压损失

输送电能时，在导线中会发生电压降。输送交流电时，导线中的电压降由两个分量组成：导线的电阻电压降及电抗电压降。

电阻电压降是全部负荷电流乘导线有效电阻的积数。

电抗电压降是全部负荷电流乘导线电抗的积数。

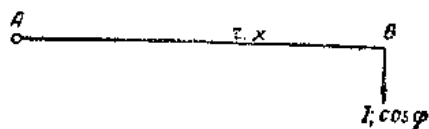


图 1

图 1 所示的是线路的终端带有三相负荷的向量图。此图是对线路的一相绘制的。

U_{ϕ_A} 表示线路始端 (A 点) 的相电压，而 U_{ϕ_B} 表示线路终端 (B 点) 的相电压。

在垂直线上表示出 U_{ϕ_B} 值 (图 2)。向滞后方向，在角 φ 下绘出负荷电流 I 。由向量 U_{ϕ_B} 的末端，与电流的向量相平行地绘出电阻电压降 Ir ，因为总电压降的这一个分量是与电流的方向相重合的。由 C 点与向量 BC 垂直地向向量的旋转方向绘出线路总电压降的第二个分量，即无功分量 CA 。电压降三角形的斜边 BA 乃是线路的总电压降。此值等于全电流乘线路阻抗 (视电阻) 的积数。

使线路终端的电压均衡及补偿线路电压降的向量 OA 就是线路始端 (A 点) 的电压。

这个向量图是对滞后负荷电流绘制的。

在实际应用上，特别是在计算线路时，我们所需要的不是

綫路始端及終端电压的几何差，而是代数差，即所謂电压損失。重要的是我們应当知道綫路終端，即电动机端鈕上的电压

值，因为电动机的轉矩是决定于此值的。連接于綫路始端及終端的电压表所指出的，不是綫路两端电压的几何差，而是其代数差。

要在向量图上得出綫路的电压損失，必須用圓規將向量 U_{ϕ_1} 移至垂直綫上，此时， $Bd = Od - OB$ 綫段表示綫路电压損失。

由于綫段 de 很小，故可認為

$$\begin{aligned} Bd &\approx Be = Bg + Cf \\ &= Ir \cos \varphi + Ix \sin \varphi. \end{aligned}$$

因为綫路电压損失等于相电压損失的 $\sqrt{3}$ 倍，所以用于計算綫路电压損失的公式如下：

$$\Delta U = \sqrt{3} (Ir \cos \varphi + Ix \sin \varphi),$$

式中 ΔU ——綫路电压損失，伏。

在計算矿井電纜網路时，一般把电抗略去不計 ($x=0$)。此时，綫路的相电压降为 Ir ，而电压損失則为 $Ir \cos \varphi$ 。

因此，当 $x=0$ 时，电压損失等于电压降乘以电流用戶的功率因数 ($\cos \varphi$)。

例題1. 用于对 KMII-2 型截煤机供电的、长 200 公尺的 ГПИГ $3 \times 35 + 3 \times 10$ 公厘² 的電纜，連接于电压为 380 伏的配電点。試求当截煤机的負荷为 96 安时，以額定电压百分数表示的電纜电压降及电压損失。在这种負荷下，MA-191/10 型电动机的功率因数 $\cos \varphi = 0.83$ 。在解决此算題时，应当考虑到電纜的电抗及由于電纜发热而增大的有效电阻。電纜芯綫的温度采

用 50° 。

電纜的有效電阻:

當 $t_1 = 20^{\circ}$ 時

$$r_{20} = \frac{200}{53 \times 35} = 0.108 \text{ 歐姆};$$

當 $t_2 = 50^{\circ}$ 時

$$\begin{aligned} r_{50} &= r_{20} [1 + \alpha(t_2 - t_1)] = 0.108 [1 + 0.004(50 - 20)] \\ &\approx 0.13 \text{ 歐姆}, \end{aligned}$$

銅的溫度係數 $\alpha = 0.004$ 。

電纜的平均電抗為 0.07 歐姆 / 公里。故 $x = 0.07 \times 0.2 = 0.014$ 歐姆。

以百分數計算的電纜的電壓降

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= \frac{\sqrt{3} I \sqrt{r^2 + x^2} 100}{U} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 96 \sqrt{0.13^2 + 0.014^2} \times 100}{380} = 5.74\% \end{aligned}$$

以百分數計算的電纜的電壓損失

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3} (I r \cos \varphi + I x \sin \varphi) 100}{U} \\ &= \frac{\sqrt{3} (96 \times 0.13 \times 0.83 + 96 \times 0.014 \times 0.558) 100}{380} = 5.05\% \end{aligned}$$

(適應於 $\cos \varphi$ 的 $\sin \varphi$ 值, 見附錄 4)。

2. 變壓器的電壓損失及電壓降

所謂變壓器電壓的損失, 是換算成同一匝數的變壓器繞組端鈕之間的電壓之代數差。將變壓器的普通向量圖(圖 3)的

底部按反時針的方向旋轉 180° ，即可得出變壓器電壓降的向量圖(圖4)。

在向量圖上(圖4)變壓器一次繞組及二次繞組的電壓降是以三角形 $A_1B_1A_2$ 和 $A_2B_2C_2$ 表示的。可以足夠準確地認為兩個三角形的斜邊是一條直線。如此，所得出的向量圖上的三角形 A_1DC_2 表示總電壓降(圖5)。這個三角形的邊 C_2D 及 A_1D 可以認為是三角形 $A_1B_1A_2$ 及 $A_2B_2C_2$ 各邊的總和(見圖4)：

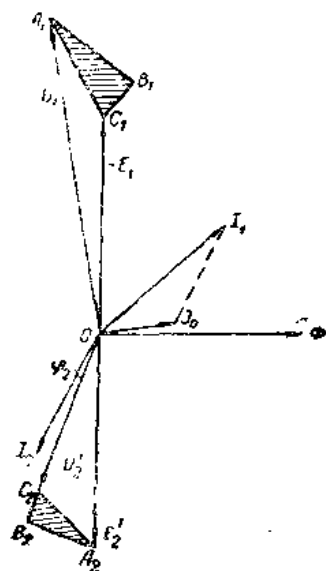


圖 3

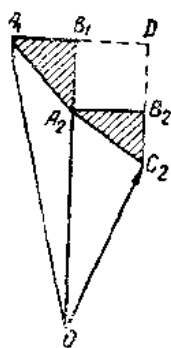


圖 4

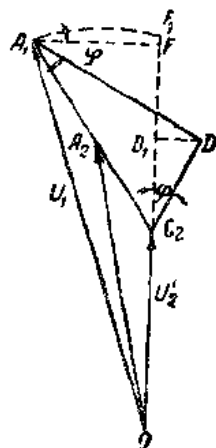


圖 5

$$C_2D = A_2B_1 + C_2B_2 = u_a = I_1 r_1 + I_2' r_2' \approx I_1 (r_1 + r_2');$$

$$A_1D = A_1B_1 + A_2B_2 = u_r = I_1 x_1 + I_2' x_2' \approx I_1 (x_1 + x_2'),$$

式中 I_2' (約等於 I_1)， r_2' ， x_2' ——變壓器二次電流、有效電阻及電抗的換算值。如果將變壓器的無載電流略而不計，則可認為 I_2' 及 I_1 是相等的。

变压器的电阻电压降 u_a 及感抗电压降 u_r ，一般都是以额定相电压的百分数表示的，即：

$$u_a \% = \frac{I_1(r_1 + r_2')100}{U_\phi};$$

$$u_r \% = \frac{I_1(x_1 + x_2')100}{U_\phi}.$$

以额定电压的百分数表示的变压器的电压损失：

$$\Delta U_\tau \% = \frac{U_1 - U_2'}{U} 100.$$

为了得出电压损失与电压降的关系式，由 A_1 点（图5）向 OC_2 的延长线引一垂直线（ F 点），并由 D 点向 OC_2 的延长线引一垂直线（ D_1 点）。此时可以认为：

$$\Delta U_\tau = U_1 - U_2' = OF_1 - OC_2 \approx C_2F = C_2D_1 + D_1F;$$

$$C_2D_1 = C_2D \cos \varphi; D_1F = A_1D \sin \varphi;$$

$$C_2D = u_a; A_1D = u_r;$$

$$\Delta U_\tau = u_a \cos \varphi + u_r \sin \varphi.$$

将此公式乘以变压器的负荷率 β ，即得出用于求算以百分数计的变压器电压损失的最终公式：

$$\Delta U_\tau \% = \beta(u_a \% \cos \varphi + u_r \% \sin \varphi).$$

例题2. 容量为180千伏安的TMIII型变压器（额定电流为260安）是对“顿巴斯”联合采煤机进行供电的，试求当联合采煤机的电动机在：1)以小时容量进行工作及2)起动时，变压器的电压损失。变压器的短路电压 $e_k = 5.5\%$ ；变压器的负荷损失 $P_n = 4000$ 瓦特；当联合采煤机正常工作时，二次回路的功率为0.83，起动时为0.5；适应于联合采煤机电动机小时容量的电流为131安，起动电流为519安。

求算正常工作下变压器的负荷率

$$\beta = \frac{131}{260} = 0.505.$$

电阻电压降的相对值

$$u_a = \frac{P_a}{P} \cdot 100 = \frac{4}{180} \cdot 100 = 2.22\%.$$

感抗电压降的相对值

$$u_r = \sqrt{e_k^2 - u_a^2} = \sqrt{5.5^2 - 2.22^2} = 5.02\%.$$

变压器电压损失的相对值

$$\begin{aligned}\Delta U_r \% &= \beta(u_a \% \cos \varphi + u_r \% \sin \varphi) \\ &= 0.505(2.22 \times 0.83 + 5.02 \times 0.558) = 2.34\%,\end{aligned}$$

式中 适应于 $\cos \varphi = 0.83$ 的 $\sin \varphi = 0.558$ 是在表中找得的 (见附录 4)。

以伏特计算的电压损失:

$$\Delta U_r = \frac{2.34 \times 400}{100} = 9.36 \text{ 伏}.$$

求算在起动电动机时变压器的电压损失 (起动电动机时由于电压值的降低而引起的起动电流的下降, 没有加以考虑)。

变压器的负荷率

$$\beta = \frac{519}{260} = 2.$$

$$\Delta U_r = 2(2.22 \times 0.5 + 5.02 \times 0.866) = 10.92\%,$$

式中 适应于 $\cos \varphi = 0.5$ 的 $\sin \varphi = 0.866$ 是在表中找得的。

$$\Delta U_r = \frac{10.92 \times 400}{100} = 43.7 \text{ 伏}.$$

第二章 变压器电压的调整

由计算变压器损失的公式中可以看出用户的功率因数对于电压损失值所起的影响。 u_r 值一般总是大于 u_a 值的，因此，功率因数的降低，就会使电压损失增大。决定于功率因数的变压器电压损失的变化情况示于图 6。于额定负荷下，当功率因数为 0.8 时，变压器的电压损失等于 5 %。因此，在用户的正常工作情况下，变压器的电压应调整到较网络的额定电压高 5 %。

如此，对于额定电压为 380 伏的线路，变压器的电压应采用 400 伏。在高压线路中也会发生电压损失，补偿因此而发生的变压器的电压损失的方法是转换匝数，以调整电压。对于一次电压为 35 千伏以下的变压器，装有用于将电压调整达 $\pm 5\%$ 的装置，借此可以变更一次绕组的匝数。

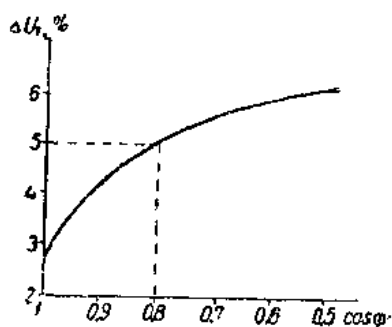


图 6

路中也会发生电压损失，补偿因此而发生的变压器的电压损失的方法是转换匝数，以调整电压。对于一次电压为 35 千伏以下的变压器，装有用于将电压调整达 $\pm 5\%$ 的装置，借此可以变更一次绕组的匝数。

表 1

变压器的接通电压，千伏			+5%的线匝	主端钮	-5%的线匝
3/0.4	6/0.4	6.3/0.4			
2.85	5.7	6.0			
3.0	6.0	6.3		+	+
3.15	6.3	6.6	+		

表 1 所示带有“+”记号的端钮是用于连接供电电缆的变压

器的端鈕，利用这些端鈕可以根据接通电压，在变压器无载运行时，在其二次繞組的端鈕上获得 400 伏的电压。

在使用主端鈕及高压侧的电压为額定值时，在变压器无载的情况下，低压侧的电压将較額定值高 5 %。例如对于电压为 6000/400 伏的变压器，其二次电压为 400 伏，即較 380 伏的網路电压高 5 %。

当調整到 + 5 % 时，变压器将具有額定电压。实际上，6300/400 伏的变压器，其变压比为 15.75，因此，当一次侧的額定电压为 6000 伏时，二次侧的电压就可以达到 380 伏，即額定电压。

当調整到 - 5 % 时，变压比将为 $\frac{5700}{400} = 14.25$ ，因此二次电压等于 $\frac{6000}{14.25} = 420$ 伏，即較網路的額定电压 (380 伏) 約高 10 %。

在运行中选择接綫头时，应考虑到使用戶处的电压变化不超过額定值的 $\pm 5\%$ 范围。

于計算矿井的電纜網路时，必須对变压器的实际端鈕电压加以考虑。

变压器一次繞組的端鈕电压，一般是随負荷发生变更的：夜間的电压較白班的电压为高。

用于調整电压的附加端鈕的构造，是不允許时常换接的。只有在迁移采区变电所时，即大約每經過半年在变压器的一次侧选择一次用于連接電纜的端鈕，在下一次移动变电所以前是不变更的。

端鈕必須根据白天最大負荷工作班的电压来选择。

附加端鈕只能用于补偿变压器一次繞組端鈕电压的降低值。

最好不使用这种調整方法来使矿井电纜網路的电压損失有所增大，即不可以利用附加端鈕来使采区变电所至用电设备的距离大为增加。

但是，对使用联合采煤机的采煤場子进行供电的电压为380伏的網路，时常不能保証电动机的端鈕上具有正常的电压，所以不得不利用—5 %的附加端鈕。这就說明必須改用660伏的电压。

第三章 根据容許發热条件选择电纜的截面

現在有計算电纜（或者絕緣導綫）容許負荷电流的公式，該公式將电流值、电纜或者導綫的截面、芯綫数及芯綫的最大溫度等联系在一起。計算时一般不使用公式，而利用容許負荷表。

电纜的容許計算負荷是根据表2所列的电纜芯綫的容許發热溫度采用的。

表3、4及5所列举的是敷設在井下的鎧裝电纜长时容許計算負荷值。

电纜芯綫的容許發热溫度 表2

电纜的額定电压，千伏	电纜芯綫的容許發热溫度，度
3 以下	80
6	65
10	60

根据矿井深度，在正常通风情況下，頓巴斯各矿回采工作面的空气溫度可以采用：

矿井深度为100公尺以下时	15° 以下
矿井深度为100到250公尺时	20° 以下
矿井深度为250到450公尺时	25° 以下
矿井深度为450公尺以上时	30° 以下

1 千伏以下礦井鑄裝電纜的長時容許電流值 表 3

電纜芯線的 截面, 公厘 ²	敷設在井下的電纜當井下空氣的溫度為下列值 時的電流值, 安			
	15°	20°	25°	30°
1.5	22.5	21.6	20.7	19.8
2.5	30.7	29.5	28.3	27.1
4.0	40.5	39.9	37.3	35.7
6.0	51.8	47.7	47.7	45.6
10.0	69.0	66.3	63.5	60.7
16.0	90.0	86.5	82.8	79.2
25.0	120.0	115.0	110.0	105.5
35.0	142.0	137.0	131.0	125.5
50.0	176.0	169.0	162.0	155.0
70.0	215.0	207.0	198.0	189.0
95.0	255.0	245.0	235.0	225.0
120.0	291.0	279.0	267.0	255.0

3 千伏礦井鑄裝電纜的長時容許電流值 表 4

電纜芯線的 截面, 公厘 ²	敷設在井下的電纜當井下空氣的溫度為下列值 時的電流值, 安			
	15°	20°	25°	30°
4	39.0	37.5	35.9	34.3
6	50.3	48.3	45.3	44.3
10	66.8	64.1	61.5	58.8
16	84.0	80.6	77.3	73.8
25	116.5	111.5	107.0	102.5
35	131.5	126.0	120.5	115.5
50	161.5	155.0	148.0	142.0
70	210.0	202.0	193.0	185.0
95	247.0	238.0	228.0	218.0
120	285.0	274.0	262.0	251.0

6 千伏礦井鑄裝電纜的長時容許電流值 表 5

電纜芯線的 截面, 公厘 ²	敷設在井下的電纜當井下空氣的溫度為下列值 時的電流值, 安			
	15°	20°	25°	30°
10	57.7	55.0	51.4	48.5
16	75.0	71.4	66.7	62.0
25	97.5	92.7	86.9	82.0
35	117.0	111.5	104.5	98.2
50	145.0	138.0	129.0	121.5
70	179.5	171.0	160.0	151.0
95	218.0	207.0	194.0	183.0
120	248.0	236.0	221.0	209.0

例题3. 根据容許发热条件,选择敷設在平巷中的鍍装电纜(380伏)的截面。电纜的长时負荷 $I=100$ 安。四周空气的温度为 $+25^{\circ}$ 。由表3中可以查出,对于100安的电流,可选用截面为25公厘²的电纜。根据发热条件,这种电纜的容許負荷为110安。

例题4. 根据容許发热条件,选择鍍装电纜的截面。敷設在平巷中的电纜是对皮带运输机的三部 MA-144-2/4 型电动机进行供电的。每部电动机的容量为29瓩; 电流为56.2安; 空气温度为 $+15^{\circ}$; 網路电压为380伏。 *手搖式供电*。

敷設在配电点与第一台电动机之間的一段电纜的截面,应按三台电动机的总电流計算:

$$I_1 = 3 I_A = 3 \times 56.2 = 168.6 \text{ 安.}$$

根据表3选用的电纜之截面为50公厘², 其容許負荷为176安。第一台与第二台电动机之間的电纜的截面, 根据以下电流計算:

$$I_2 = 2 I_A = 2 \times 56.2 = 112.4 \text{ 安.}$$

选用容許負荷为120安的截面为25公厘²的电纜。对第三台电动机进行供电的电纜截面, 可根据以下电流选择:

$$I_3 = I_A = 56.2 \text{ 安.}$$

根据表3可选用容許負荷为69安、截面为10公厘²的电纜。

决定于保护条件

表 6

橡胶絕緣电纜的长时容許負荷

銅導电芯纜的 截面, 公厘 ²	长时容許負荷, 安	
	用热力繼电 器保护时	用可熔保险 器保护时
2.5	20	15
4	25	20
6	31	25
10	43	35
16	75	60
25	100	80
35	125	100
50	160	125

的橡胶绝缘电缆的长时容许负荷，列于表6。应当指出的是电缆的发热常数是不大的（约为0.5小时）。因此，用于对截煤机或者联合采煤机进行供电的电缆，应当根据适应于小时容量的电流来选择。

第四章 用于保护电缆线路的 熔断器的选择

选择用于保护对鼠笼型电动机进行供电的电缆的熔断器之所以复杂，是因为这种电动机的起动电流要较正常工作电流大4—7倍。此时应当根据大大地超过正常电流值的电流来选择熔断器，以免在起动电动机时，将熔断片烧坏。在实际工作中，熔断片是根据下列方式进行选择的：

1. 在选择用于保护对稳定负荷（如照明，绕线型电动机）进行供电的电缆时，为了避免不必要地切断用户，必须符合下列条件：

$$I_{\text{нст}} \geq I_{\text{нст.р.}}$$

例如，当电缆的工作电流 $I_{\text{нст.р.}} = 50$ 安时，所用熔断器的熔断片，其电流应当接近于较大的额定电流，即

$$I_{\text{нст}} = 60 \text{ 安.}$$

2. 用于保护对鼠笼型电动机供电的线路的熔断片，其额定电流为

$$I_{\text{нст}} \geq \frac{I_{\text{н}}}{2.5},$$

式中 $I_{\text{н}}$ ——鼠笼型电动机的额定起动电流。

3. 用于保护对几个用户进行供电的干线的熔断片，其额定电流可根据下式求出：