

煤矿电工手册

MEIKUANG DIANGONG SHOUCHE

4

煤炭工业出版社

第三章 高低压地面供电设备选择

第一节 概 述

一、选择与校验项目

电气设备在使用中，不但要求在正常工作条件下安全可靠地运行，并且要求在发生严重短路故障通过短路电流时，不致受到破坏。为此在选择设备时，不但要根据设备的工作电压、工作电流以及使用条件来选择，而且要校验设备处在短路故障时的热稳定及动稳定，对110千伏及以上的裸导体还需按电晕条件进行验算。

高压设备选择与校验项目见表3-1-1。关于电力电容器的选择，电流互感器与电压互感器的变比、准确度及二次负荷的确定，避雷器的选择以及电缆的选型、截面选择与校验分别在第一、五、六、八、十、十二有关各章节中叙述。

表 3-1-1 高压设备选择与校验项目

项 目 设备 名称	按 正 常 工 作 条 件 选 择										短 路 校 验			电 晕 校 验
	额 定 电 压	额 定 电 流	种 类 与 型 式	操 作 机 构	准 确 度	二 次 负 荷	电 压 变 比	电 流 变 比	材 料	百 分 电 抗	断 流 容 量	热 稳 定	动 稳 定	
断 路 器	×	×	×	×							×	×	×	
隔 离 开 关	×	×	×	×								×	×	
负 荷 开 关	×	×	×	×							×	×	×	
高 压 熔 断 器	×	×	×								×			
电 压 互 感 器	×		×		×	×	×							
电 流 互 感 器	×	×	×		×	×		×				×	×	
电 抗 器	×	×	×						×			×	×	
支 柱 绝 缘 子	×		×										×	
穿 墙 套 管	×	×	×									×	×	
母 线		×	×									×	×	
电 缆	×	×	×						×			×		×

- 注：1. “x”表示需进行选择与校验的项目；
 2. 种类与型式表明该设备使用条件（如屋内或屋外）及型号；
 3. 当负荷开关带熔断器时可不进行短路校验；
 4. 110千伏及以上母线需按电晕条件校验。

导体和电器的动稳定、热稳定以及电器的断流容量，一般按三相短路校验，如单相、两相短路（如近距离 $X_2^* < 0.6$ ）较三相短路严重时，则按严重情况验算。

按SDJ5-76规程规定，下列情况可不进行热稳定、动稳定校验：

1. 用熔断器保护的导体和电器，可不验算热稳定。
2. 装设在电压互感器回路内的裸导体和电器，可不验算动、热稳定。
3. 到非重要用电场所的导体，当电源变压器容量在1250千伏安及以下，高压侧电压为

10千伏及以下，且不致因短路故障损坏导体而产生严重后果，如引起爆炸、修复困难或生产过程混乱时，可不验算动、热稳定。

4. 架空电力线路未规定验算动、热稳定。

二、高压设备的允许工作条件

高压配电设备一般的允许工作条件见表3-1-2。

表 3-1-2 高压配电设备的允许工作条件

项 目	最大工作电压		最大工作电流		环境温度℃			短 路 情 况		
	3~35kV	110kV	$<\theta_0$	$>\theta_0$	θ_0 最高	最低	断流容量	热 稳 定	动稳定	
设备名称										
母线(螺栓连接)	—	—	$K_\beta \cdot I_{oc}$	$K_\beta \cdot I_{oc}$	25	40	-40	—	$A \geq \frac{I_R}{C} \sqrt{t_f \cdot K_{sk}}$	σ_p
支柱绝缘子	$1.15 U_N$	$1.1 U_N$	—	—	40	40	-40	—	—	$0.6 P_{br}$
穿墙套管	$1.15 U_N$	$1.1 U_N$			40	40	-40	—	I_t	$0.6 P_{br}$
断路器	$1.15 U_N$	$1.1 U_N$	$I_N \cdot (1 + \Delta)$	$I_N \cdot \sqrt{\frac{75 - \theta}{75 - \theta_0}}$	40	40	-40	I_{RN} 或 S_{RN}	I_t	i_{lim}
隔离开关	$1.15 U_N$	$1.1 U_N$			40	40	-40	—	I_t	i_{lim}
负荷开关	$1.15 U_N$	$1.1 U_N$			40	40	-40	I_{RN} 或 S_{RN}	I_t	i_{lim}
熔断器	$1.15 U_N$	$1.15 U_N$	I_N	—	40	40	-40	I_{RN} 或 S_{RN}	—	i_{lim}
限流电抗器	$1.1 U_N$	$1.1 U_N$	I_N	$I_N \cdot \sqrt{\frac{75 - \theta}{75 - \theta_0}}$	40	40	-40	—	I_t	i_{lim}
电流互感器	$1.1 U_N$	$1.1 U_N$	$I_N(1 + \Delta)$		40	40	-50	—	$K_{th} I_N$	$K_d I_N$
电压互感器	$1.1 U_N$	$1.1 U_N$	—	—	40	40	-40	—	—	—

注：1. 上表仅为一般允许条件，不包括个别设备的特殊要求，如互感器的准确度要求等；

2. 表中： U_N —额定电压； I_N —额定电流； I_{oc} —允许载流量；
 I_k —短路稳态电流； I_{RN} —额定断流压； S_{RN} —额定断流容量；
 I_t — t 时间内热稳定电流； i_{lim} —极限通过电流(峰值)； Δ —增值，低于 θ_0 加0.5%/1℃至0.2止；
 θ_0 —计算环境温度； θ —实际环境温度； K_d —动稳定倍数；
 K_β —温度校正系数； K_{th} —热稳定倍数； C —热稳定系数；
 K_{sk} —集肤效应系数； t_f —假想时间； P_{br} —机械破坏负荷。
 A —母线截面； σ_p —母线允许应力；

三、一般选择方法

(一) 按工作电压选择

高压电器的额定电压是指电路铭牌上标明的相间电压(线电压)。

电器的最高工作电压是制造厂保证可以长期处在超过额定电压10~15%下可靠工作的电压。

选择电器时，应选电器的最高工作电压不小于装置正常工作电压即：

$$(1.1 \sim 1.15) U_N \geq U_0 \quad (3-1-1)$$

式中 U_N —电器的额定电压；

U_0 —装置正常工作电压。

注意，对充有石英砂的熔断器，不能用于额定电压高于或低于熔断器额定电压的电网中，例如10千伏的熔断器不能用于6千伏的电网中。

(二) 按工作电流选择

电器的额定电流是指在实际环境温度不超过电器计算温度 θ_0 的条件下，电器所能允许

长期连续通过的最大工作电流。这时电器所有部分的发热温度都不超过允许值。

在选择电器时，必须使电器的额定电流不小于电器所在电路中的最大正常工作电流，即：

$$I_N \geq I_n \quad (3-1-2)$$

式中 I_N ——电器的额定电流；

I_n ——电器所在电路中的最大正常工作电流（应考虑电路可能的持续过负荷）。

若电器在高于 θ_0 的环境温度但不超过 $+60^\circ\text{C}$ 下工作时，其允许工作电流 I_x 应小于额定电流使用， I_x 可按式决定：

$$I_x = I_N \sqrt{\frac{\theta_n - \theta_x}{\theta_r - \theta_0}} \quad (3-1-3)$$

式中 θ_n ——电器正常允许发热温度， $^\circ\text{C}$ ，见表3-1-4；

θ_x ——实际环境温度， $^\circ\text{C}$ ，其确定方法见表3-1-5；

θ_0 ——计算温度， $^\circ\text{C}$ ，见表3-1-3。

若电器在最高环境温度低于 θ_0 工作时，则电器的允许工作电流可略增大，每低于计算温度 θ_0 一度，高压电器（如断路器、隔离开关、负荷开关、电流互感器、绝缘套管等）的允许工作电流，可以比额定值增大0.5%，但总增值不能超过额定值的20%。

国产电器使用环境温度条件见表3-1-3。

表 3-1-3 国产电器使用环境温度条件

环境温度 $^\circ\text{C}$	普通电工产品	热带电工产品 (JB830-66)	
		湿热带	干热带
最高	40	40	50
最低	-30	0	-5
年平均	20	27	27
日平均	30	—	—
月平均最高	—	35	45
最大日变化	—	—	30

注：干热带额定最高空气温度在按绝缘热老化寿命计算升温时可采用45 $^\circ\text{C}$ 。

根据GB763-74，交流高压电器正常工作时允许的最高发热温度见表3-1-4。电器设备的使用环境条件规定为温度不高于 $+40^\circ\text{C}$ 海拔高度不超过1000米。

表 3-1-4 交流高压电器长期工作时的最大发热温度

电器各部分的名称	最大允许发热温度 $^\circ\text{C}$		在环境温度为 $+40^\circ\text{C}$ 时的 允许温升， $^\circ\text{C}$	
	在空气中	在油中	在空气中	在油中
1. 不与绝缘材料接触的金属部分				
(1) 需要考虑发热对机械强度影响				
a. 铜	110	90	70	50
b. 铜镀银	120	90	80	50
c. 铝	100	90	60	50
d. 钢、铸铁及其它	110	90	70	50
(2) 不需要考虑发热对机械强度影响				
a. 铜或铜镀银	145	90	105	50
b. 铝	135	90	95	50

续表

电 器 各 部 分 的 名 称	最大允许发热温度 ℃		在环境温度为+40℃时 的允许温升,℃	
	在空气中	在油中	在空气中	在油中
2. 与绝缘材料接触的金属部分, 以及由绝缘材料制成的零件, 当绝缘材料等级为				
Y	85		45	
A	100	90	80	60
E	110*	90	70*	50
B, F, H和C	110*	90	70*	50
3. 最上层变压器油				
(1) 作为灭弧介质时		80		40
(2) 只作为绝缘介质时		90		50
4. 接触连接				
(1) 用螺栓、螺纹、铆钉及其它形式紧固				
a. 铜或铝 (包括紫铜带) 无镀层	80	85	40	45
b. 铜或铝 镀 (涂) 锡	90	90	50	50
c. 铜 镀银	105	90	65	50
d. 铜镀银厚度大于50微米或镀银片	(120)	90	(80)	50
(2) 用弹簧压紧				
a. 铜或铜合金**无镀层	75	80	35	40
b. 铝或铝合金**无镀层		80		40
c. 铜或铜合金**镀银	105	90	65	50
d. 银或银合金**铜镀银厚度大于50微米或镀银片	(120)	90	(80)	50
5. 铜编织线	(85)	(80)	(45)	(40)
6. 起弹簧作用的金属零件	见 注 3			

- 注: 1 选取表中*数值时, 对需要考虑发热对机械强度影响的铝, 最大允许发热温度取100℃。对不需要考虑发热对机械强度影响的铜、铝最大允许发热温度可以适当提高, 但应比绝缘零件允许发热温度低10℃, 且不得高于表中1款(2)所规定的值。
2. **所指的铜合金、铝合金和银合金是指铜基、铝基与银基合金, 均不包括粉末冶金制件。
3. 最大允许温度不应达到丧失材料弹性, 对纯铜此温度为75℃。
4. 具有镀银层的接触连接, 若接触表面的镀银层被电弧烧灼(露铜), 或者在进行机械强度试验后, 银镀层被擦掉的, 则其发热温度按没有银镀层时处理。
5. 粉末冶金制件的接触允许发热温度, 由制造厂在各种产品技术条件中加以规定。
6. 表中括号内的数值, 为推荐使用值。

表 3-1-5 计算用环境温度选取表

装置地点及配电装置型式	计算用环境温度
屋外配电装置 发热量较小的屋内配电装置如 35~110kV 屋内配电装置 发热量较大的屋内配电装置如 6~10kV 大容量的配电装置 在主厂房内的配电装置如厂用配电装置、厂用变压器小间等 电缆隧道	当地的月平均最高温度 当地的月平均最高温度 通风设计时采用的最高室温 通风设计时采用的最高室温 当地的月平均最高温度

注: 如无法取得通风设计的最高室温时可按月平均最高温度加 5℃ 计算之。

(三) 按装置种类型式选择

电器常被制成屋内和屋外两种类型；屋内型不受任何特殊的大气影响，屋外型可以经受风、霜、雨、雾、积雪、覆冰、灰尘和有害气体等的影响。当屋外配电装置处在尘秽很严重或空气中含有有害于绝缘的气体的地区时必须加强电器的绝缘，选用特殊绝缘构造的加强型电器，或选用额定电压高一级的电器。

高海拔地区应选用高原电器设备。在缺乏高原电器情况下，非高原电器在高海拔地区使用时，应参照本章第八节暂行措施处理。

(四) 按断路容量选择

断路器的额定断流量 I_{rN} 或额定断流容量 S_{rN} 是指断路器在额定电压时的断流能力。断路器断开的实际电流是断路器的灭弧触头开始分离的瞬间，电路内短路电流的有效值。因此按断流能力选择断路器时，必须满足下述条件：

$$I_{rN} \geq I'' \quad (3-1-4)$$

或

$$S_{rN} \geq S'' \quad (3-1-5)$$

式中 I_{rN} 、 S_{rN} —— 电器的额定断流量，千安及额定断流容量，兆伏安；

I'' 、 S'' —— 次暂态短路电流，千安及次暂态三相短路容量，兆伏安。

四、校验短路电流热稳定的基本方法**(一) 短路时导体的最高允许温度**

短路时短路电流通过电器和载流导体，引起发热，将使导体的温度不断升高，直至故障切除为止。在短路过程中，决定导体的允许最高发热温度的主要因素是导体的机械强度、导电接触部分的工作可靠程度和所用绝缘材料的耐热性能。根据我国“高压配电装置设计技术规程”中的规定，在短路时导体的最高允许温度见表3-1-6。

载流导体的热稳定校验，就是计算出短路电流通过导体时，导体产生的最高发热温

表 3-1-6 导体在短路时的最高允许温度

导体种类和材料		最高允许温度 θ_{max} ℃
1. 硬 导 体	铜	300
	铝	200
	钢（不和电器直接连接时）	400
	钢（和电器直接连接时）	300
2. 油浸纸绝缘电缆	铜芯 10kV 及以下	250
	铝芯 10kV 及以下	200
	铜芯 20、35kV	175
3. 充油纸绝缘电缆 60~330kV		160
4. 橡皮绝缘电缆		150
5. 聚氯乙烯绝缘电缆		130
6. 交联聚乙烯绝缘电缆	铜 芯	230
	铝 芯	200
7. 有中间接头的电缆	锡 焊 接 头	120
	压 接 接 头	150

流 θ_K ，与导体短路时允许的最高温度作比较，符合下述条件，便认为导体具有足够的热稳定度：

$$\theta_K \leq \theta_{\max} \quad (3-1-6)$$

但在热稳定的验算中，并不一定都要直接算出短路时导体的最高发热温度来比较，各种电器具体的热稳定校验方法分别叙述在下面电器选择与校验各节。

(二) 短路持续时间

校验导体的热稳定时，必须首先知道短路电流持续时间 t

$$t = t_p + t_0 \quad (3-1-7)$$

式中 t_p ——距离短路点最近的主保护装置的動作时间，秒；

t_0 ——断路器分闸时间，秒。

断路器分闸时间包括断路器固有分闸时间 t_{in} 和电弧持续时间 t_{arc} ，

$$\text{即} \quad t_0 = t_{in} + t_{arc} \quad (3-1-8)$$

电弧持续时间可参考一机部高压电器研究所提供的平均数据（当断开额定容量时）

空气断路器：0.01~0.02秒；

多油或少油断路器：0.02~0.04秒（部分断路器达0.05秒）。

断路器的固有分闸时间可查阅设备技术数据。

继电保护装置的動作时间 t_p 中包括启动机构、延时机构及执行机构的動作时间。若主保护装置为无延时机构，则 t_p 为启动与执行机构動作时间之和，一般为0.05~0.06秒。

于是当主保护装置为速动时，短路持续时间 t 大致在下列范围内：

对于快速及中速断路器：0.11~0.16秒；

对于低速断路器：0.18~0.26秒。

在缺乏断路器分闸时间数据时，可根据上列范围大致取其平均值，即

对于快速及中速断路器：0.15秒；

对于低速断路器：0.20秒。

如果主保护装置有死区，则在该区内应采用后备保护装置的動作时间与断路器分闸时间之和来计算，但此时短路电流也应采用死区内的短路电流。

有时不能直观确定究竟在死区内短路的热效应大还是在主保护区内短路的热效应大时，应对两种情况都进行计算，然后取其较大者。

(三) 短路电流作用的假想时间的确定

在实际计算中，为简化计算方法，假设在短路过程中通过导体的是短路稳态电流值，且其值不变，而相应的短路实际作用时间 t 用一假想的计算时间 t_t 代替。 t_t 称作短路电流作用的假想时间。

又由于短路电流是由周期分量和非周期分量所组成，在短路过程中总的发热量应等于两个分量发出的热量之和，这样与这两个分量相应，假想时间也应由周期分量作用的假想时间和非周期分量作用的假想时间组成。于是

$$\int_0^t i_K^2 dt = I_K^2 \cdot t_t = I_K^2 \cdot (t_{tr} + t_{ta}) \quad (3-1-9)$$

式中 i_K ——短路电流瞬时值，千安；

I_K ——短路稳态电流，千安；

- t_t ——短路电流的全部假想时间，秒；
- t_{tp} ——短路电流周期分量作用的假想时间，秒；
- t_{ta} ——短路电流非周期分量作用的假想时间，秒。

1. t_{tp} 值可由图3-1-1查得；

在查曲线时，首先要确定短路电流实际持续时间 t 和次暂态短路电流与短路稳态电流之比值 β'' ，

$$\beta'' = \frac{I''}{I_K} \quad (3-1-10)$$

计算短路发热时通常按三相短路计算。但根据计算在 $X_{Nz}^* < 0.6$ 的情况，出现 $I_{K2} > I_{K3}$ ，且 $I_{k1} \cdot t_{t2} > I_{k1} \cdot t_{t3}$ 。这时就要按两相短路校验。两相短路时的 t_{tp} 也可查用图 3-1-1，此时

$$\beta''_{(2)} = \frac{I''_{(2)}}{I_{K2}} = \frac{0.87I''_{(2)}}{I_{K2}} \quad (3-1-11)$$

- 式中 $I''_{(2)}$ ——两相短路次暂态短路电流有效值，千安；
- $I''_{(3)}$ ——三相短路次暂态短路电流有效值，千安；
- I_{K2} ——两相短路稳态电流，千安。

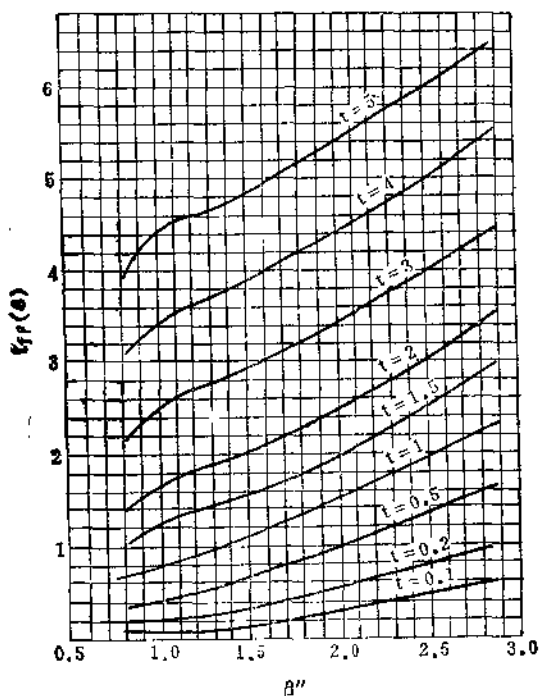


图 3-1-1 具有自动电压调整器的发电机短路电流周期分量假想时间曲线

图3-1-1中仅作出短路持续时间 $t \leq 5$ 秒的曲线。如果 $t > 5$ 秒则认为在 5 秒以后时间内短路电流维持不变，等于短路稳态电流值 I_K ，因此

$$t_{tp} = t_{tp(5s)} + (t - 5) \quad (3-1-12)$$

2. t_{fa} 值, 可按下式近似求得:

$$t_{fa} = 0.05\beta''^2 \quad (3-1-13)$$

当短路持续时间 $t > 1$ 秒时, t_{fa} 可忽略不计。

3. 由无限大容量系统供电时, 或远距离点 $X_2 \geq 3$ 时, 三相短路电流周期分量作用的假想时间等于实际短路持续时间 t 。此时短路电流作用的假想时间:

$$t_f = t + 0.05 \quad (3-1-14)$$

(四) 短路时导体发热温度的计算

在实际计算中短路电流通过导体时的发热温度, 可按图 3-1-2 所示的曲线来确定。这些曲线已考虑导体发热过程中电阻率 ρ 和比热 c 的变化, 但不计及散入周围介质的热量。

短路前导体的温度可用下式确定:

$$\theta_n = \theta_0 + (\theta_{cc} - \theta_0) \left(\frac{I_n}{I_{cc}} \right)^2 \quad (3-1-15)$$

式中 θ_n —— 正常工作时导体的发热温度, $^{\circ}\text{C}$;

I_n —— 正常实际工作电流, 安;

I_{cc} —— 导体允许载流量, 安;

θ_{cc} —— 导体在正常工作时的允许发热温度, $^{\circ}\text{C}$ (见表 3-1-8);

θ_0 —— 周围介质的计算温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

根据 θ 从图 3-1-2 相应的曲线确定横坐标值 a 记作 a_n 。然后按下式计算对应于短路电流通过导体时的发热温度的横坐标值 a_K

$$a_K = a_n + \left(\frac{I_K}{A} \right)^2 \cdot t_f \quad (3-1-16)$$

式中 I_K —— 短路稳态电流, 安;

A —— 导体截面, 毫米²;

t_f —— 短路电流作用的假想时间, 秒。

最后, 从图 3-1-2 的 a 横坐标根据 a_K 值由相应的曲线便可查出导体短路时的发热温度 θ_K 。

(五) 按热稳定计算导体最小截面

在热稳定校验中为简化计算, 常按导体

在通过短路电流时的允许最高发热条件计算出导体的最小允许截面与所选截面比较。其最小截面计算公式如下:

$$A_{min} = I_K \sqrt{\frac{t_f}{a_{max} - a_n}} \quad (3-1-17)$$

式中 a_{max} —— 根据 θ_{max} 从图 3-1-2 θ 纵坐标由相应曲线查得对应于 θ_{max} 的 a 横坐标值写作 a_{max} ;

a_n —— 从图 3-1-2 曲线查得对应于 θ_n 的 a 横坐标值。

令

$$\sqrt{a_{max} - a_n} = C$$

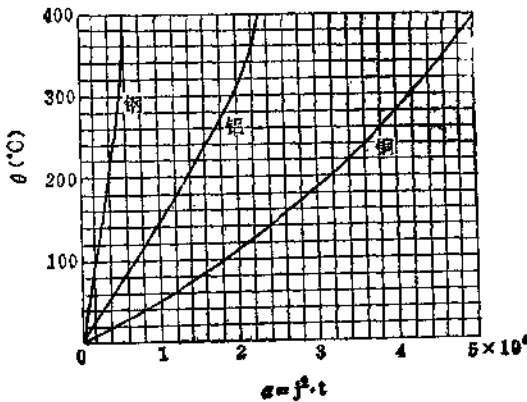


图 3-1-2 短路时导体发热温度曲线

则
$$A_{min} = \frac{I_K}{C} \cdot \sqrt{t_t} \quad (3-1-18)$$

式中 C ——材料热稳定系数，在粗略计算时可采用表3-1-7中C值；

I_K ——短路稳态电流，安；

t_t ——短路电流作用的假想时间，秒。

表 3-1-7 材 料 热 稳 定 系 数 C

导 体 种 类 和 材 料		C 值
铜 母 线		170
铝 母 线		95
钢 母 线	不 直 接 与 电 器 连 接	55
	直 接 与 电 器 连 接	60

表 3-1-8 导 体 周 围 介 质 温 度 与 正 常 工 作 允 许 温 度

导 体 类 别	周 围 空 气 温 度 ℃	正 常 工 作 允 许 温 度 ℃
母 线	25	70
裸 导 线	25	70

(六) 热效应的迭加法则

若短路电流由几个电源供给，短路电流和切除的时间都不相同时，短路电流总热效应可以按下式迭加计算：

$$I_K^2 t_t = I_{1K}^2 t_{t1} + I_{2K}^2 t_{t2} + \dots \quad (3-1-19)$$

利用这个法则，可以方便地解决两个问题

1. 不同时间切除短路时热稳定的计算；
2. 了解切除或加入某分支时设备的热稳定是否满足要求。

五、校验短路电流动稳定的基本方法

(一) 计算短路电流电动力的基本公式

1. 当任意截面的两平行导体分别通有电流 i_1 和 i_2 时，它们之间沿导体长度均匀分布的相互作用力可按下式求得：

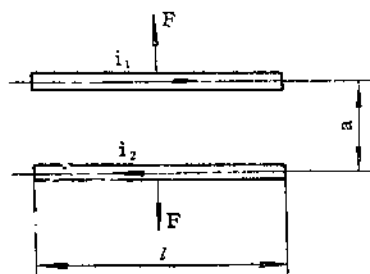
$$F = 2.04 \cdot K_{tm} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} \quad (\text{kg}) \quad (3-1-20)$$

式中 i_1 、 i_2 ——导体中电流的瞬时值，安；

l ——平行导体的长度，厘米；

a ——导体中心线间距离，厘米；

K_{tm} ——形状系数。



在实际计算中，这些均匀分布的力可用一个作用在导体长度中央的合力来代替，如图3-1-3所示。当两导体内电流的方向相同时，导体互相吸引；电流方向相反时，导体互相排斥。

2. 在三相系统中, 经常遇到三相导体平行布置在同一平面的母线布置方式。在这情况下, 两相短路时相邻两相导体间的最大电动力:

$$F_{(2)} = 2.04K_{tm} \cdot i_{K_{r2}}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} \text{ (kg)} \quad (3-1-21)$$

式中 $i_{K_{r2}}$ ——两相短路时的短路冲击电流, 千安。

三相短路时, 中间相受到最大电动力可按下式计算:

$$\begin{aligned} F_{(3)} &= 2.04 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot K_{tm} \cdot i_{K_{r3}}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} \\ &= 1.76 \cdot K_{tm} \cdot i_{K_{r3}}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} \text{ (kg)} \end{aligned} \quad (3-1-22)$$

式中 $i_{K_{r3}}$ ——三相短路时的短路冲击电流, 千安。

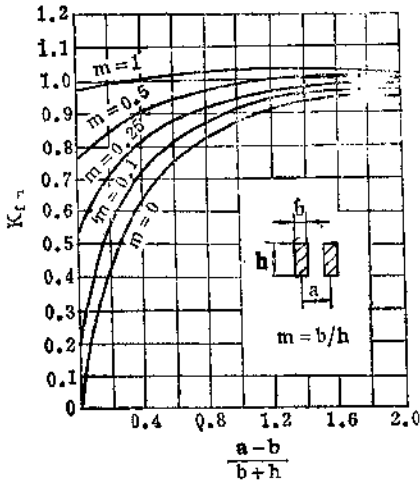


图 3-1-4 矩形截面母线的形状系数曲线

当矩形导体间距较小时, 形状系数可从图 3-1-4 查得。从曲线中可知, 母线间距若大于母线截面周长即 $a - b \geq 2(b + h)$ 时则可取 $K_{tm} = 1$ 。

在校验电器和载流导体的动稳定时都应用三相短路时的电动力 $F_{(3)}$ 。

所谓校验动稳定, 就是计算在短路时电器和载流导体通过短路冲击电流时所产生的电动力的作用下, 电器和载流导体是否有足够的机械强度, 不致受到损坏, 确保运行安全。其具体动稳定验算方法分别在下面各节中叙述。

(二) 形状系数 K_{tm} 的确定

在实际计算中, 不论导体截面形状如何, 只要当导体间距足够大时就可取 $K_{tm} = 1$, 例如配电装置中各相母线的间距有几百毫米便可取 $K_{tm} = 1$ 。

当矩形导体间距较小时, 形状系数可从图 3-1-4 查得。从曲线中可知, 母线间距若大于母

第二节 母线的选择

一、母线材料与截面形状

变电所中各种电压配电装置的母线, 以及电器间的连接大都采用铜、铝或钢的矩形、圆形、管形裸导线或多芯绞线。

铜的导电性好, 抵制化学侵蚀性强, 因此在大电流装置中或在有化学侵蚀的地区宜采用铜母线。铝的电阻率为铜的 1.6~2 倍, 但铝的比重比铜小得多, 所以铝的耗用重量仅为铜的 40~50%。总的来看铝母线比较经济。因此, 在屋内、外配电装置中, 目前都广泛采用铝母线。钢的电阻率很大, 在交流装置中应用钢母线还会引起磁滞和涡流损耗。因此钢母线一般仅用在 1000 伏以上的小容量装置中, 以及 1000 伏以下工作电流不大于 200 安的配电装置中。对直流配电装置钢母线可通过较大的电流。

母线的截面形状, 电压 35 千伏及以下的屋内配电装置中, 都采用矩形截面。因为它冷

却条件好，对交流集肤效应的影响小。为了改善冷却和减小集肤效应的影响，又考虑到母线的机械强度，通常铜（铝）矩形母线采用边长比为1/5~1/12。单条母线常用最大截面 $10 \times 120 = 1200$ 毫米²。当用于输送大电流时可用多条矩形母线并列的母线组，但由于并列母线的散热情况变坏，一般不宜多于3条。交流装置中所用矩形钢母线的厚度一般不大于4毫米。对于输送大电流的槽形和菱形母线，煤矿中一般很少采用。

电压高于35千伏的屋内、外配电装置中，都采用圆形母线如管形母线或多芯绞线，主要为了防止发生电晕。电压在35千伏及以下的屋外装置中一般用多芯绞线。多芯绞线有钢芯铝绞线、铝绞线或铜绞线，固定在耐张绝缘子串上。

二、母线截面选择与校验

配电装置的母线截面按允许载流量选择，并按短路条件校验其热稳定和机械强度。对于电压在110千伏以下母线无需验算电晕条件。

电压35千伏及以上屋外配电装置中，固定在耐张绝缘子串上的多芯绞线母线，其机械强度的校验方法与架空送电线上导线的校验方法相同。关于其机械计算可参阅第七章架空线路。

母线截面选择与校验常用公式见表3-2-1。

表 3-2-1 母线截面选择与校验常用公式

项 目	常用 计 算 公 式	备 注	
按允许载流量选择	$I_{ec} > I_{nm}$	考虑可能的过负荷	
热 稳 定 校 验	$A > A_{min}$ $A_{min} = \frac{I_k}{C} \sqrt{K_{sk} \cdot t_f}$		
动 稳 定 校 验	一般要求	$\sigma \leq \sigma_b$	
	单条母线	$I < I_{max}$ $I_{max} = K' \sqrt{a} / i_{kr}$	K' 查表3-2-8、表3-2-9
	多条矩形母线	$I_r < I_r$ $I_{er} = K_1 / \sqrt{i_{kr}}$ $\sigma_b = K_2 i_{kr}^2 I_c^2$ $\sigma_\phi = \sigma_b - \sigma_r$ $I < I_{max}$ $I_{max} = K_3 \sqrt{a \sigma_\phi} / i_{kr}$	K ₁ 、K ₂ 、K ₃ 查表3-2-8、3-2-9

表中符号说明：

- I_{ec} —允许载流量，安；
- I_{nm} —正常工作的最大持续电流，安；
- A—母线截面，毫米²；
- A_{min} —母线所需最小截面，毫米²；
- I_k —三相短路稳态电流，千安；
- t_f —短路假想时间，秒；
- i_{kr} —短路冲击电流，千安；
- a—母线相间距离，厘米；
- I_c —多条母线衬垫中线距，厘米；
- I_{er} —衬垫临界距离，厘米；

- K_{sk} —集肤效应系数；
- σ —计算应力，公斤/厘米²；
- σ_b —母线允许应力，公斤/厘米²；
- i —母线跨距，厘米；
- I_{max} —母线最大允许跨距，厘米；
- K'、K₁、K₂、K₃—计算系数；
- σ_b —同相母线各片间相互作用应力，公斤/厘米²；
- σ_ϕ —母线相间相互作用应力，公斤/厘米²。

(一) 按允许载流量选择母线截面

各种电压配电装置中的总母线和引下线以及临时性装置的母线截面应按正常工作时允许载流量选择:

$$I_{cc} \geq I_{nm} \quad (3-2-1)$$

式中 I_{cc} ——母线允许载流量查表3-2-4~3-2-6、3-2-10~3-2-13;

I_{nm} ——正常工作时最大持续电流,应考虑电路可能的持续过载例如电力变压器可能超载30~40%负荷下持续工作。

当实际环境温度不是25°C时,乘以温度校正系数 K_θ ,当母线接头为螺栓连接时其值按下式计算或由表3-2-2查出:

$$K_\theta = \sqrt{\frac{70-\theta}{70-\theta_c}} = 0.15\sqrt{70-\theta} \quad (3-2-2)$$

式中 θ ——实际环境温度,度。

表 3-2-2 温度校正系数 K_θ 值 (母线最高允许温度为70°C)

实际环境温度°C	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
K_θ 值	1.29	1.24	1.20	1.15	1.11	1.05	1	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67

(二) 热稳定校验

要求
$$A \geq \frac{I_K}{C} \sqrt{K_{sk} \cdot t_f} \quad (3-2-3)$$

式中 A ——所选导体截面,毫米²;

C ——材料热稳定系数见表3-1-7;

K_{sk} ——集肤效应系数见表3-2-8~3-2-13;

在下列情况下 $K_{sk} = 1$

钢和钢矩形母线,截面在600毫米²以下;

铝矩形母线,截面在100毫米²以下;

铜圆母线,直径在20毫米以下;

铝圆母线,直径在22毫米以下;

t_f ——短路电流作用的假想时间,秒。

(三) 动稳定校验

1. 一般要求

三相短路时作用在母线上的最大弯矩 M ,可按下列式决定:

当跨距数大于2时
$$M = \frac{F_{(3)} l}{10} \quad (\text{kg-cm}) \quad (3-2-4)$$

母线计算弯曲应力 σ 为
$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3-2-5)$$

式中 W ——对应力的作用方向相垂直的轴而言的母线截面抗弯矩,厘米³。

一般要求计算出的最大弯曲应力 σ 应小于或等于母线材料允许应力,即

$$\sigma \leq \sigma_p \quad (3-2-6)$$

式中 σ_p ——母线允许应力,公斤/厘米²,各种材料的最大允许应力如下:

硬导体的最大允许应力 (kg/cm²)

材 料	硬 铜	硬 铝	钢
最大允许应力	1400	700	1600

2. 单片矩形母线的机械应力

三相母线位于同一平面布置的母线中产生的最大机械应力为:

$$\sigma = 1.76 \cdot \frac{l^2}{aW_j} \cdot i_{Kr}^2 \cdot 10^{-3} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3-2-7)$$

式中 l ——跨距, 厘米;

a ——母线相间距离, 厘米;

i_{Kr} ——短路冲击电流, 千安;

W ——母线抗弯矩, 厘米³, 查表3-2-7。

其最大允许跨距 l_{max} , 可按下列式计算:

$$l_{max} = \frac{23.8}{i_{Kr}} \cdot \sqrt{\sigma_p \cdot a \cdot W} = K' \cdot \frac{\sqrt{a}}{i_{Kr}} \text{ (cm)} \quad (3-2-8)$$

式中 K' ——随母线材料与截面而定的系数, 对矩形母线三相并列布置时可查表3-2-8、3-2-9。

3. 多片矩形母线的机械应力

每相内有多片母线时, 每一条母线都是在两个力的作用下发生弯曲, 这两个力是相间的相互作用力和同一相内相邻片母线之间的相互作用力, 因此每条母线的弯曲应力为 (见图3-2-1):

$$\sigma = \sigma_\phi + \sigma_b \quad (3-2-9)$$

式中 σ_ϕ ——相间作用应力, 计算公式同单片母线, 公斤/厘米²;

σ_b ——同相各片母线间相互作用的应力, 公斤/厘米²。

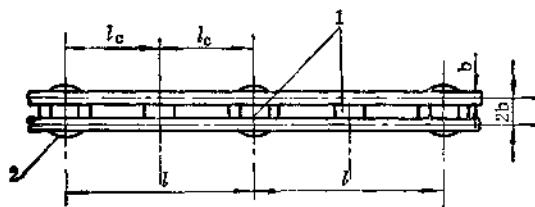


图 3-2-1 一相内有两片母线时衬垫的装设
1—衬垫; 2—支柱绝缘子

σ_b 按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{f_b l_c^2}{2hb^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3-2-10)$$

式中 l_c ——衬垫中心线间距离, 厘米;

h ——矩形母线宽度, 厘米;

b ——矩形母线厚度, 厘米;

f_b ——单位长度内同相片间作用力, 公斤/厘米。

$$\text{每相两片时: } f_b = 0.26 \cdot K_{12} \frac{i_{K1}^2}{b} \cdot 10^{-2} \quad (3-2-11)$$

$$\text{每相三片时: } f_b = 0.082 \cdot (K_{12} + K_{13}) \cdot \frac{i_{K1}^2}{b} \cdot 10^{-2} \quad (3-2-12)$$

式中 K_{12} 、 K_{13} ——分别为第 1、2 片，第 1、3 片 ($a=4b$) 母线的形状系数，可查图 3-1-4 曲线。

母线衬垫间距离 l_c 必须小于临界跨距 l_{cr} ，临界跨距即是当均匀荷重作用于其上时，母线片间开始相碰。 l_{cr} 可按下列式计算：

$$l_{cr} = \lambda \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h}{f_b}} \quad (\text{cm}) \quad (3-2-13)$$

式中 λ ——系数，每相二片母线时：铜 65，铝 57，

每相三片母线时：铜 77，铝 68。

在实际计算时，对矩形母线可按表 3-2-8 及表 3-2-9 方法进行。

(四) 满足电晕要求的 110 千伏最小母线直径和截面 (见表 3-2-3)

表 3-2-3 满足电晕要求的最小母线直径 d 和截面 A

(三相布置在同一平面上的 110kV 母线)

母线型式	相间距离 cm	起始电晕为控制条件		可见电晕为控制条件	
		d , mm	A , mm ²	d , mm	A , mm ²
钢芯铝绞线	200	14.8	120	9.8	70
	250	14.1	120	9.3	50
	300	13.6	95	8.86	50
	350	13.2	95	8.6	50
	400	12.9	95	8.4	35
	450	12.6	95	8.24	35
管形或圆形母线	120	14.5		9.2	
	140	14		8.9	
	160	13.6		8.6	
	200	13		8.3	

三、母线的技术数据

表 3-2-4 单片矩形母线最大允许载流量 (A)

母线截面 mm	铜 母 线 TMY						铝 母 线 LMY					
	25℃		35℃		40℃		25℃		35℃		40℃	
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
15×3	200	210	176	185	162	171	156	165	138	145	127	134
20×3	261	275	233	245	214	225	204	215	180	190	166	175
25×3	323	340	285	300	271	285	252	265	219	230	204	215
30×3	451	475	394	415	366	385	347	365	309	325	285	300

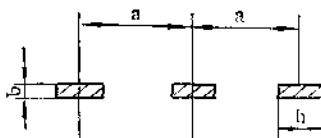
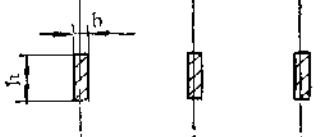
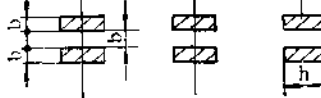
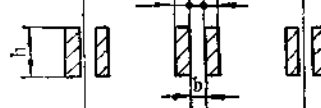
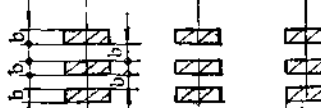

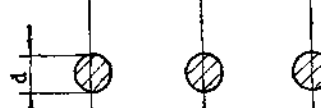
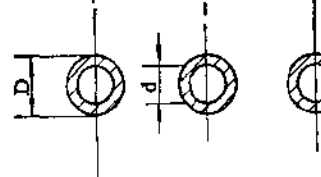
续表

母线截面 mm ²	铜 母 线 TMY						铝 母 线 LMY					
	25℃		35℃		40℃		25℃		35℃		40℃	
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
40×4	593	625	522	550	484	510	456	480	404	425	375	395
40×5	665	700	588	551	551	580	518	540	452	475	418	440
50×5	816	860	721	760	669	705	632	665	556	585	518	545
50×6	906	955	797	840	735	775	703	740	617	650	570	600
60×6	1069	1125	940	990	873	920	826	870	731	770	680	715
60×8	1251	1320	1101	1160	1016	1070	975	1025	855	900	788	830
60×10	1398	1475	1230	1295	1133	1195	1100	1155	960	1010	890	935
80×6	1360	1480	1195	1300	1110	1205	1050	1150	930	1010	860	935
80×8	1553	1690	1361	1480	1260	1370	1215	1320	1060	1155	985	1070
80×10	1747	1900	1531	1665	1437	1540	1360	1480	1190	1295	1105	1200
100×6	1665	1810	1557	1592	1356	1475	1310	1425	1160	1260	1070	1160
100×8	1911	2080	1674	1820	1546	1685	1495	1625	1310	1425	1210	1315
100×10	2121	2310	1865	2025	1720	1870	1675	1820	1470	1595	1360	1475
120×8	2210	2400	1940	2110	1800	1955	1750	1900	1530	1675	1420	1550
120×10	2435	2650	2152	2340	1996	2170	1905	2070	1685	1830	1620	1760

表 3-2-5 多片矩形母线最大允许载流量 (A)

母线截面 n(mm ²)	铜 母 线 TMY						铝 母 线 LMY					
	25℃		35℃		40℃		25℃		35℃		40℃	
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
2(60×6)	1650	1740	1452	1530	1340	1410	1282	1350	1126	1185	1035	1090
2(60×8)	2050	2160	1503	1900	1660	1750	1596	1680	1480	1480	1291	1360
2(60×10)	2430	2560	2140	2250	1985	2090	1910	2010	1682	1770	1558	1640
2(80×6)	1940	2110	1705	1855	1580	1720	1500	1630	1320	1433	1222	1330
2(80×8)	2410	2620	2117	2515	1950	2120	1876	2040	1651	1795	1520	1650
2(80×10)	2850	3100	2575	2735	2345	2550	2237	2410	1950	2120	1809	1930
2(100×6)	2270	2470	2000	2170	1855	2015	1780	1935	1564	1700	1450	1578
2(100×8)	2810	3060	2470	2690	2290	2490	2200	2390	1930	2100	1794	1950
2(100×10)	3320	3610	2935	3185	2735	2970	2630	2860	2300	2500	2130	2315
2(120×8)	3160	3400	2750	2995	2550	2770	2440	2650	2140	2330	1985	2160
2(120×10)	3770	4100	3330	3620	3090	3360	2945	3200	2615	2840	2410	2620
3(60×6)	2060	2240	1810	1970	1670	1815	1582	1720	1390	1510	1280	1390
3(60×8)	2565	2790	2255	2450	2080	2260	2005	2180	1766	1920	1624	1715
3(60×10)	3135	3300	2750	2900	2560	2690	2520	2650	2215	2330	2050	2160
3(80×6)	2500	2720	2200	2390	2040	2215	1930	2100	1696	1845	1575	1712
3(80×8)	3100	3370	2730	2970	2530	2750	2410	2620	2118	2300	1970	2140
3(80×10)	3670	3990	3230	3510	2990	3250	2870	3120	2530	2725	2330	2530
3(100×6)	2920	3170	2565	2790	2370	2580	2300	2500	2030	2200	1880	2040
3(100×8)	3610	3930	3180	3460	2945	3200	2800	3050	2480	2680	2290	2490
3(100×10)	4280	4650	3735	4060	3450	3750	3350	3640	2935	3190	2715	2950
3(120×8)	3995	4340	3515	3820	3260	3540	3110	3380	2730	2970	2530	2750
3(120×10)	4780	5200	4230	4600	3920	4260	3770	4100	3320	3610	3090	3360

表 3-2-7 不同形状和布置的母线的抗弯矩及惯性半径

母线布置方式及其截面形状	抗弯矩 W	惯性半径 r
	$0.167bh^3$	$0.289h$
	$0.167b^3h$	$0.289b$
	$0.333bh^3$	$0.289h$
	$1.44b^3h$	$1.04b$
	$0.5bh^3$	$0.289h$
	$3.8b^3h$	$1.66b$
	$\sim 0.1d^3$	$0.25d$
	$\sim 0.1 \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$

注：在公式W和r中，b、h、d及D的单位为厘米。