

母线的选择与使用

北京开关厂
清华大学自动化系

科学出版社

73.222
171
C.2

母綫的选择与使用

北 京 开 关 厂
清华大学自动化系

3612/07

科 学 出 版 社

1971

内 容 简 介

本书是对开关柜内母线的实验专题总结。实验内容是：1. 正常情况下母线的发热；2. 母线与母线、电器连接点的发热；3. 短路时母线的发热和电动力问题。

除了对铜、铝母线进行上述试验外还对新产品铝母线超声搪锡作了同样的试验。

最后附有开关柜内母线选用表，关于母线选用表的改革建议，开关柜主母线电动稳定性试验报告，铝母线超声搪锡的原理、设备和工艺。

母 线 的 选 择 与 使 用

科 学 出 版 社 出 版

北京西直门外三里河路2号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1971年6月第一版 1971年6月第一次印刷

定 价： 0.10 元

毛主席语录

中国人民有志气,有能力,
一定要在不远的将来,赶上和
超过世界先进水平。

在某种意义上来说,最聪
明、最有才能的,是最有实践经
验的战士。

前 言

伟大领袖毛主席教导我们：“我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。”北京开关厂的工人同志在生产实践中，破除迷信，解放思想，大破修正主义的洋奴哲学、爬行主义，成功地创造了铝母线超声波搪锡新工艺。清华大学自动化系革命师生遵照毛主席关于“教育要革命”的伟大教导，走与工农兵相结合的道路，于一九六九年春到北京开关厂进行教育革命实践。他们和工人同志一起通过总结这项技术革新研究教学改革，并在调查研究和科学试验的基础上制定出了比较适合我国生产实际的母线选用表，从而提高了母线的允许载流量，节约了铜铝材料。为了便于教学上使用和工人同志从事技术革新或母线设计时参考，我们编出了这本小册子。书中附有母线选用表改革建议、试验报告及超声波搪锡设备、工艺。由于我们认真学习毛泽东思想很不够，实践经验又少，此书还存在着很多缺点和错误，热诚希望广大工农兵群众和革命知识分子批评指正。

30230

目 录

母线的选择与使用.....	(1)
一、正常工作情况下母线的发热	(1)
二、母线与母线、电器连接点的发热.....	(4)
三、短路时母线的发热和电动力问题	(6)
附表 开关柜母线选用表	(11)
附录一 关于母线选用表改革的建议.....	(12)
一、问题的提出	(12)
二、矛盾	(13)
三、调查	(14)
四、试验	(16)
五、新表的制定	(18)
六、结论	(18)
附录二 开关柜主母线电动稳定性试验报告.....	(22)
一、试验目的	(22)
二、试验内容及结果	(22)
三、结论	(27)
附录三 铝母线超声搪锡的原理、设备和工艺	(29)
一、原理和设备	(29)
二、磁致伸缩换能器的设计、制备.....	(34)
三、铝母线超声搪锡工艺和质量检验	(35)

母线的选择与使用

从发电厂或配电站将电能传送出来，需要应用各种开关设备来开闭电路和保护电力设备。为了把开关设备接到发电机或电力变压器，常常需要应用母线作为联结导线。母线也有叫做汇流条的。由于通过母线的电流很大(例如由200A直到5000kA)，因此它常是用宽扁的铜或铝的长条平板加工制造而成。在高压或低压开关柜(即成套开关设备)内，许多电器都是用这种母线连接的。发电厂和工厂配电站的主配电室也广泛地应用这种母线。

毛主席教导我们：“研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话，就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了。”选择和使用母线的问题很多，例如发热、机械强度、工艺等等，在这里发热问题就是研究母线时应抓住的主要矛盾。

下面我们分三种情况来看母线的发热等问题。

一、正常工作情况下母线的发热

工人师傅在实际工作中都有这个经验，母线的截面积越大，允许通过的额定电流也就越大。这是什么原因呢？

毛主席教导我们：“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。”

大家都知道，电流 I 通过母线时，就要发热。发热损耗的功率用 P 来表示： $P = I^2 R = UI$ ， R 是母线电阻。

电阻 R 越大, 损耗的功率 P 就越大。而电阻 R 是与导体的横截面积成反比的, 所以一般说来, 母线截面积越大, 电阻越小, 允许通过的电流越大。在正常运行时, 母线一方面发热, 一方面把热量散给周围空气, 当母线发热等于向周围空气散出的热量时, 母线温度不再上升, 达到稳定状态。母线的允许温度限制了母线的额定电流。

在正常运行情况下, 母线发热与散热平衡:

$$I^2 R = \mu s \theta$$

I 是额定电流, R 是母线电阻, s 是母线散热表面积 (cm^2), θ 是温升 (母线本体温度与周围空气温度之差), μ 是表面散热系数 (瓦/ cm^2 度), 它表明母线散热能力, 与母线材料的表面状况和所处环境有关。

毛主席教导我们: “世界上的事情是复杂的, 是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看, 不能只从单方面看。”

下面我们分析影响母线额定电流的各因素。

1. 电 阻

一般说来, 母线越细, 电阻越大, 允许通过电流越小。这里要讲一下, 为什么同样截面母线的交流额定电流比直流小呢? 这是因为交流电通过母线时, 产生集肤效应 (交流电通过母线时, 由于电磁效应, 电流趋向母线表面, 而使母线电流分布不均匀, 这种现象叫集肤效应), 使母线交流有效电阻比直流电阻大, 发热加剧, 所以在允许温度相同时交流额定电流要比直流小。

2. 环 境 温 度

毛主席教导我们: “唯物辩证法认为外因是变化的条件,

内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”母线的电流是影响母线本体温度的内因，气温是外因。母线的环境温度降低，可以提高额定电流。例如，取母线允许温度为 85°C ，当气温为 35°C 时， $100 \times 10\text{mm}^2$ 铝母线额定交流电流是 1870A ，当气温为 25°C 时，则应乘上一个校正系数 1.09 ，电流增大到 2038A 。

校正系数是这样确定的(见本书第 10 页表 1 及表 2)。

将母线最高温度定为 85°C ，周围温度：铜 40°C ，铝 35°C [注]

对于铜 $I_{40}^2 R_{85} = \mu_s (85 - 40)$

$$I_t^2 R_{85} = \mu_s (85 - t)$$

I_{40} 为气温 40°C 时铜母线额定电流， I_t 为气温 $t^{\circ}\text{C}$ 时的额定电流。 R_{85} 为母线在 85°C 时的电阻，所以

$$I_t = I_{40} \sqrt{\frac{85 - t}{85 - 40}}$$

同样，对于铝

$$I_t = I_{35} \sqrt{\frac{85 - t}{85 - 35}}$$

如果 $t = 25^{\circ}\text{C}$ ，可得 $I_t = I_{35} \times 1.09$

师傅们还有这样一个经验，就是双根母线比两根同样截面的单根母线的额定电流小，而且用于交流电时差别更大些。例如 $60 \times 6\text{mm}^2$ 铜母线，单根的额定交流电流是 1100A ，两根应为 2200A ，但双根的实际额定交流电流定为 1700A 。单根额定直流是 1120A ，双根应是 2240A ，但双根额定直流电流只有 1950A ，这是什么原因呢？

这是因为同一相双根母线靠得很近，间距较小，散热条件不好；另外，交流电通过母线时，产生邻近效应(两根母线挨

[注] 目前我国工厂生产实际情况是，应用在湿热带地区的开关柜均用铜母线，因此铜母线的周围温度定为 40°C ，比铝母线高出 5°C 。

近,通以交流电,其中一根母线由于邻近母线的电磁效应,电流分布更不均匀,这种现象叫邻近效应)。邻近效应使交流有效电阻增加,发热加剧,这就是降低额定电流的另一个原因。

3. 散热面积

增大母线散热面积可以提高母线额定电流。

对同样截面积的母线,周长大的母线额定电流大。例如:图 1a 所示 $80 \times 6\text{mm}^2$ 铜母线(截面周长 172mm)额定电流是 1445A,而图 1b 所示 $60 \times 8\text{mm}^2$ 铜母线(截面周长 136mm)只能通过 1290A。

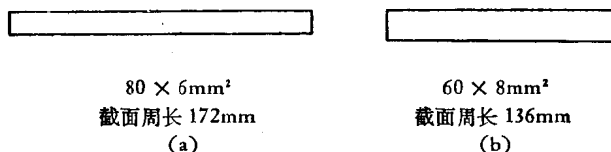


图 1

4. 散热能力

散热能力强的母线额定电流大,散热系数 μ (每 1°C 每 1cm^2 所能散发的损耗功率)反映了母线的散热能力。 μ 越大,散热能力越强。在母线表面喷深色的漆,除便于识别三相和防止母线腐蚀外,目的就是使散热系数 μ 增大(表面喷漆的铜、铝母线在流动空气中的 μ 大约是 $1.35 \sim 1.40 \times 10^{-3}$ 瓦/ cm^2 度),此外,通风条件好,散热系数高(例如开启式开关柜比封闭式开关柜通风条件好)。

二、母线与母线、电器连接点的发热

在发电厂、配电站的配电装置中,螺钉连接是母线和电器

及其他母线连接的基本方法,这就产生了接点的发热问题。

毛主席教导我们:“**如果不研究矛盾的特殊性,就无从确定一事物不同于他事物的特殊的本质**”,母线接点的电阻不同于母线本体电阻,它有特殊的问题。

铝母线与电器出线是铝铜搭接,铝母线在常温下迅速氧化(几分之一秒)生成一层氧化铝(Al_2O_3)薄膜,它的电阻很大(电阻率 $10^{12} \Omega\cdot\text{cm}$)而且很不容易清除。由于铝和铜是两种不同的金属,搭接在一起,它们之间有电位差。由于电化学作用,使铝受到严重腐蚀,接触电阻更大,运行中造成温度过高,高温下腐蚀又加快,这样恶性循环会使接触处温升很高,甚至发生冒烟,烧坏等事故。

螺钉连接的母线的接触面无论怎样精细加工,实际上仍是数个点的接触,电流总是选电阻最小的路径通过,这样就使接触处的总电阻发生变化,接触处的总电阻与母线的厚度,搭接面的长度,接触表面的工艺处理和表面状况,接触压力等因素有关。

接触压力大,母线接触很紧密,接触电阻就小,但接触压力太大,接触电阻不会再小,反而会破坏母线机械强度,螺钉连接时采用放大垫圈可以克服薄垫圈因变形而引起的压力集中的现象,使接触压力的大小比较均匀。

过去由于叛徒、内奸、工贼刘少奇疯狂反对毛主席**独立自主、自力更生**的方针,鼓吹买办洋奴哲学和爬行主义,母线工艺处理和设计选用表都是从外国搬来的。原来规定的对母线端头的处理工艺(机械打光、抹油)不能彻底解决铜铝接触处电化学腐蚀问题,母线选用表也是保守落后,不符合开关柜内母线排列的实际情况。

毛主席教导我们:“**我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主**

义的现代化的强国。”文化大革命中，开关厂的工人师傅敢想敢干，成功地创造了先进的超声波搪锡工艺，初步解决了母线接触处铜铝电化学腐蚀的问题，在这个基础上，又对旧的母线选用表进行改革，这是对刘少奇的洋奴哲学爬行主义的彻底批判，是工人阶级领导一切的丰硕成果。

超声波搪锡主要是利用超声波发生器在熔化的锡液中产生振动，清除铝母线表面的氧化铝，同时使锡牢固地附着在铝母线表面，这样铜铝搭接端头主要是铜锡接触，铜与锡联接在一起两者间电位差比铜铝搭接时两者间电位差小得多，防止了电化学腐蚀问题。目前，许多单位试验和运行的事实证明，超声搪锡的铝母线性能良好，接点电阻稳定。

新的母线设计选用表(见附录)突破了旧表将母线本体最高温度定在 70°C 的框框，而将母线最高允许温度定在 85°C ，普遍地提高了母线的额定电流，新表试用在开启式和半封闭式的开关柜内，使用新表为国家节约了铜和铝，为今后减小开关柜体积提供了条件，受到工人欢迎。

三、短路时母线的发热和电动力问题

毛主席教导我们：“无论什么事物的运动都采取两种状态，相对地静止的状态和显著地变动的状态。”

在电网发生短路情况下，虽然开关柜内断路器可以在较短时间内将短路部分切除，但由于电流极大，产生的热量也极大，母线产生的大量热量在很短时间内来不及散发，温度短时间内上升很快，如果温度太高，将使母线机械强度下降，造成热破坏，同时大电流产生很大电动力可能使母线弯曲、扭断。这些就是显著地变动状态。

母线承受短路电流热效应的能力称为热稳固性。母线在

短路时的发热不致于造成热破坏的允许温度是一定的，例如铜母线为 300°C ，铝母线为 200°C 。当母线通过短路电流时，接触连接处温度急剧上升，铝和铜的热膨胀程度和钢螺栓不同，使螺栓受到附加应力，也可能破坏接触连接。

母线的热稳固性用热稳固电流密度表示。它与流过的时间有关，时间长，热稳固电流密度小，时间短，热稳固电流密度大。

例如在长期连续工作时，铜母线温度达到 85°C 的电流密度大约为 $2.5\sim 4.5\text{A}/\text{mm}^2$ ，而 1 秒内使铜母线温度达到 300°C （不致于产生热破坏的温度）的电流密度为 $152\text{A}/\text{mm}^2$ 。

由 1 秒热稳固电流 I_1 可以推算出 5 秒热稳固电流 I_5 ，因为允许发热量是一定的，1 秒钟短路电流发热量与 5 秒钟短路电流发热量的关系是：

$$I_1^2 R t_1 = I_5^2 R t_5, \quad t_1 = 1 \text{ 秒}, \quad t_5 = 5 \text{ 秒}$$

$$I_1 = I_5 \sqrt{\frac{t_5}{t_1}} = \sqrt{5} I_5$$

同理 10 秒热稳固电流 I_{10} 与 I_1 的关系是：

$$I_1^2 R t_1 = I_{10}^2 R t_{10}, \quad t_{10} = 10 \text{ 秒}, \quad I_1 = \sqrt{10} I_{10}$$

材 料 \ A/mm^2	j_1	j_5	j_{10}
铜	152	67	48
铝	89	40	28

j_1 、 j_5 、 j_{10} 分别表示 1 秒、5 秒、10 秒的热稳固电流密度。

母线在通过短路电流时，除了热效应以外还有电动力效应。母线通过短路电流产生很大的电动力而不致受到机械破坏，这种情况表示母线能承受短路电流产生的电动力效应，称为电动稳固性。

两根平行母线，流过同向电流所产生的电动力企图使母线相互靠近，如果电流方向相反，电动力企图使母线相互排斥。交流电流产生的电动力也是交变的，所以要计算力的最大值。实验和计算证明，三相短路的情况最严重，而且中间一相所受电动力最大，因此应当按这个力来进行校核。

母线距离越近，则所受电动力越大。单位长度母线所受最大电动力可按下式计算。

$$F = 1.76 \times 10^{-8} \frac{I_m^2}{a} \text{ kg/cm}$$

a 为母线间距离 (cm)

I_m 为最大短路电流的峰值 (A)，它与发生短路地方的电网容量有关系。

例如：10000/400 电力变压器二次侧发生三相短路时的最大短路电流大约值如下：

变 压 器 容 量 (KVA) 180 320 560 750

最大短路电流 (KA) 10 19 34.4 47.3

在这个电动力作用下，母线受到一定的应力，如果它大于材料的允许应力，则母线将受到机械破坏，例如弯曲变形，扭断等。

母线所受应力除了和电动力大小有关系以外，还和母线排列方式及母线支持绝缘子间的跨距 l 有关。

跨距 l 越大，应力也越大，一般主母线绝缘子跨距为 1.5—2 m，开关柜内母线绝缘子跨距则较小 (1m 左右)。

母线计算应力的公式如下：

$$\sigma = 1.76 \times 10^{-9} \frac{l^2 I_m^2}{a W} \text{ kg/cm}^2$$

W 称为截面系数，它与母线布置方式有关：

图 2 a 中

$$W = \frac{bh^2}{6} \text{ cm}^3$$

图 2 b 中

$$W = \frac{b^2h}{6} \text{ cm}^3$$

图 2a 母线排列方式使所受应力较小, 因为它的截面系数 W 较大, 这个计算应力必须小于母线允许应力。不同材料允许应力数值不同, 例如铜为 1400kg/cm^2 , 铝为 $700 \sim 900\text{kg/cm}^2$ 。

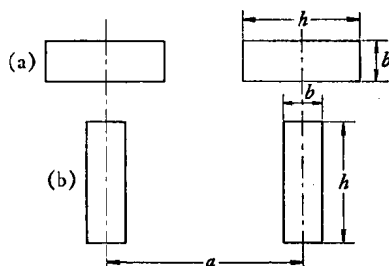


图 2

在双母线布置中, 同一相的两根母线间距离较小, 电力产生的应力大得多, 计算时必须考虑。

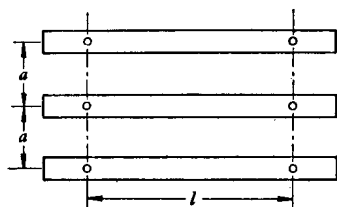


图 3

电动稳定性计算举例: 铝母线尺寸 $50 \times 5\text{mm}^2$, 用瓷瓶固定, 水平放置, 相当于开关柜顶部主母线。

$$a = 16\text{cm}, l = 85\text{cm},$$

$$W = \frac{1}{6} bh^2 = 2.08\text{cm}^3, \sigma = 700 \sim 900\text{kg/cm}^2$$

求母线不致变形的允许三相短路电流最大峰值。

$$\sigma = 1.76 \times 10^{-9} \frac{I_m^2 l^2}{aW}$$

$$I_m = \frac{\sqrt{\sigma_a W \times 10^9}}{l\sqrt{1.76}} = \frac{\sqrt{(700 \sim 900)16 \times 2.08 \times 10^9}}{85 \times \sqrt{1.76}}$$

$$= 43000 \sim 48600A$$

对于热稳固电流的数据和热稳定性,电动稳定性的一些观点是否真有道理必须经过科学实验和生产实践的检验。1969年6月在北京开关厂做了铝母线电动稳定实验。铝母线尺寸、相距、跨距用上面例题中数据,母线承受三相短路电流。

实验结果如下:

当 $I_m = 45400A$ 时, 母线不变形。当 $I_m = 67700A$ 时, 母线受力变形, B 相向下垂, A 、 C 两相向上弯曲。

*

*

*

我们要遵照毛主席的教导, 不断采用先进技术, 先进工艺, 在母线的选择和使用上进一步做到“有所发现, 有所发明, 有所创造, 有所前进。”

表 1 周围温度不等于 $40^{\circ}C$ 的校正系数(铜)

周围空气 温 度	$10^{\circ}C$	$15^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$25^{\circ}C$	$30^{\circ}C$	$35^{\circ}C$	$40^{\circ}C$	$45^{\circ}C$	$50^{\circ}C$
校正系数	1.29	1.25	1.20	1.15	1.11	1.05	1.0	0.94	0.88

表 2 周围温度不等于 $35^{\circ}C$ 的校正系数(铝)

周围空气 温 度	$10^{\circ}C$	$15^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$25^{\circ}C$	$30^{\circ}C$	$35^{\circ}C$	$40^{\circ}C$	$45^{\circ}C$	$50^{\circ}C$
校正系数	1.22	1.18	1.14	1.09	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84

附表 开关柜母线选用表

允许电流 (A) 规格 mm ²	材 料	铜		铝	
		单 根	双 根	单 根	双 根
15×3		205		170	
20×3		270		220	
25×3		330		270	
30×4		465		375/380	
40×4		610	—/1060	495	—/880
40×5		685/690	—/1220	555/560	—/995
50×5		840/850	—/1490	685/690	—/1215
50×6		935/940	—/1660	765/770	—/1355
60×6		1100/1120	1700/1950	900/910	1390/1605
80×6		1445/1475	2060/2570	1190/1200	1680/2070
100×6		1770/1830	2410/3170	1470/1500	2000/2695
60×8		1290/1310	2110/2420	1055/1070	1730/1890
80×8		1650/1715	2560/3020	1360/1395	2100/2470
100×8		2030/2130	2990/3720	1670/1740	2460/3040
120×8		2340/2540	3320/4300	1960/2100	2730/3450
60×10		1440/1490	2500/2660	1190/1210	2070/2170
80×10		1855/1945	3030/3430	1520/1585	2480/2820
100×10		2260/2420	3520/4225	1870/1960	2940/3450
120×10		2585/2880	4000/4890	2140/2370	3300/4000

注：1. 母线最高温度 85℃。周围温度，铜 40℃，铝 35℃。当环境温度不等于规定数值时，表中电流应乘校正系数。铜及铝母线的校正系数分别见表 1 及表 2（本书第 10 页）。

2. 分子表示交流工频电流，分母表示直流电流。

3. 母线表面涂漆。

4. 本表适用于铜母线和端头采用超声波搪锡工艺的铝母线。

5. 本表用于开启式开关柜分支母线的选择。