

大电流母线的 设计 制造及 安装

孔庆东 罗敬安 林福本

水利电力出版社

大电流母线的设计、制造及安装

孔庆东 罗敬安 林福本

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是在总结大容量发电机组的大电流母线科研、试验、设计、制造及施工等方面科研成果的基础上，将最近几年国内外大电流母线的设计、制造中的新工艺、新技术加以编辑整理而写成的。

全书分五章，对大电流母线的结构、设计、制造工艺以及施工安装进行了详细的论述。通过本书，可使从事电力工业设计、制造、施工及运行的有关人员，很容易地掌握大电流母线的结构、设计、制造和安装的方法，以及相应的技术标准和一些特殊的要求。

本书可供设计、制造、施工和运行单位的有关工作人员以及大专院校电气专业师生学习参考使用。

大电流母线的设计、制造及安装

孔庆东 罗敬安 林福本

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8印张 175千字

1988年9月第一版 1988年9月北京第一次印刷

印数0001—4710册 定价1.95元

ISBN 7-120-00061-6/TM·46

前 言

最近几十年来，国内外对大容量发电机组的大电流母线进行了大量科研工作，尤其是对分相封闭母线的科研、设计、制造的研究工作进展更快。目前我国不仅设计、制造出200、300MW机组的全连分相封闭母线，而且正在研究、设计600MW机组的分相封闭母线，从而填补了这项技术工作领域的空白。但电力系统的广大设计、施工以及运行单位工程技术人员，对大电流母线的原理、结构、设计、制造和安装知识还不太熟悉。为此，本书对大电流母线的特点、概况、原理、设计、制造和安装方面的知识，尽量作深入浅出的叙述，并给出必要的计算公式、技术数据和计算曲线，可供从事电力工业设计、制造、施工和运行单位的工程技术人员以及大专院校学生学习参考使用。

本书由孔庆东主编，第一、二、三章、第五章中第一、五、六节及附录由孔庆东编写；第四章由罗敬安编写；第五章中第二、三、四节由林福本编写。在编写过程中，黑龙江省电力建设公司张树科工程师提供了施工安装方面的经验资料。西北电力设计院姚成开工程师、阜新封闭母线厂周任劳工程师、北京发电设备修造厂王偕琴工程师及河南电力建设安装公司高敦崇工程师审校了书稿。东北电力设计院张道民高级工程师校阅了初稿第一、二章；东北电力设计院蒋洪滔高级工程师除校阅初稿全文外，还从多方面进行了帮助，从而使本书早日问世，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，错误不妥之处在所难免，请读者批评指正。

编 者

1986年8月

目 录

前 言

第一章 大电流母线的发展过程以及技术要求..... 1

第一节 大电流母线的发展过程..... 1

一、敞露母线的发展过程..... 1

二、封闭母线及其分类⁽¹⁾..... 3

三、封闭母线规范..... 6

第二节 生产、运行对大电流母线的要求..... 15

✓一、大电流母线载流量及其允许温度..... 15

✓二、大电流母线电力及母线对机械强度的要求..... 16

✓三、大电流母线的绝缘与运行可靠性..... 16

✓四、大电流母线的伸缩节与隔振..... 17

五、对封闭母线的一些特殊要求..... 17

第三节 施工安装与制造中对大电流母线提出的

要求..... 17

✓一、施工安装与制造中对大电流母线的要求..... 17

✓二、大电流母线技术参数与投资造价问题..... 18

第二章 大电流母线的选型及其强度的校验..... 19

第一节 大电流母线的选型..... 19

✓一、大电流母线的发热计算..... 19

✓二、敞露母线的自冷散热计算..... 29

三、分相封闭母线的自冷散热计算及其计算曲线⁽¹⁾..... 35

四、分相封闭母线的强迫风冷散热计算..... 60

五、水冷母线的散热计算..... 65

六、母线受太阳照射时, 吸收热量的计算..... 68

七、大电流母线导体截面的选择	69
第二节 大电流母线的强度校验	72
一、敞露母线的电动力及应力计算	72
二、封闭母线电动力及应力计算	80
第三节 大电流母线的振动计算	93
一、母线支持性质的判别	93
二、刚性支持母线的固有振动频率计算	94
三、软支持母线的固有振动频率计算	95
四、弹性支持母线的固有振动频率计算	96
五、两端具有外伸母线的固有振动频率计算	96
六、封闭母线外壳固有振动频率	97
第三章 大电流母线的结构	100
第一节 大电流母线的结构	100
一、大电流母线导体的材料	100
二、大电流母线导体的形状	101
三、大电流母线导体的厚度	102
四、大电流母线导体的连接	104
五、大电流母线的测温装置	107
第二节 封闭母线外壳的结构	109
一、外壳材料及外壳的形成	109
二、外壳段间的连接	109
三、外壳相间短路板及支撑条	114
四、外壳的支座	116
五、检修孔和观察孔	117
六、防潮、防结露结构	121
七、接地装置	121
八、短路试验装置	123
第三节 绝缘子及母线支持方式	123
一、绝缘子结构	123

二、绝缘子的有关参数	128
三、母线支持方式	132
第四节 大电流母线与设备的连接	139
一、大电流母线与发电机的连接	139
二、大电流母线与变压器的连接	142
三、与电压互感器柜及避雷器柜的连接	143
四、与抽插式隔离开关及断路器的连接	143
第五节 封闭母线的附属设备	145
一、断路器结构及主要参数	145
二、抽插式隔离开关结构	146
三、发电机出线柜及发电机中性点柜结构	147
四、电压互感器及避雷器柜结构	148
五、电流互感器结构	148
六、发电机中性点接地设备	151
第四章 大电流母线的制造工艺	152
第一节 大电流母线及封闭母线外壳的卷制	153
一、大电流母线及封闭母线外壳的下料	153
二、大电流母线及封闭母线外壳的卷制	156
第二节 大电流母线及封闭母线外壳的焊接	166
一、铝材焊接要求	166
二、铝材焊接特点	167
三、大电流母线及封闭母线外壳的氩弧焊焊接方法与焊接 设备	168
四、大电流母线及封闭母线外壳的焊接工艺	171
第三节 大电流母线螺栓连接时接触面的处理	185
一、大电流母线螺栓连接时接触面的发热	185
二、大电流母线导电接触面搪锡处理	186
三、母线及封闭母线外壳导电接触面的电化学镀银	188
四、大电流母线导电接触面的真空离子镀银	188

五、大电流母线接触面的导电化学保护层	189
第四节 大电流母线及封闭母线外壳伸缩节的 制造	191
一、大电流母线伸缩节的制造	191
二、封闭母线外壳伸缩节的制造	192
第五节 密封结构制造	197
一、穿墙瓷套管密封结构	197
二、环氧酚醛玻璃布板密封结构	198
三、封闭母线外壳伸缩连接处的密封	199
四、检修孔、观察孔的密封结构	200
第六节 封闭母线部分零件及附属设备的制造	201
一、各种底座及法兰的制造	201
二、各种接头的加工	202
三、封闭母线外壳短路板及穿墙板的加工	203
四、发电机出线柜及中性点柜的制造	204
五、电压互感器柜及避雷器柜的制造	205
第七节 封闭母线及封闭母线外壳的涂漆工艺	207
一、封闭母线及封闭母线外壳的涂漆要求	207
二、涂漆前的表面处理	207
三、封闭母线和封闭母线外壳的涂漆工艺	208
第八节 大电流母线的出厂总装	209
一、封闭母线的分段装配	209
二、封闭母线的出厂检查与试验	212
三、封闭母线的包装及运输	213
第五章 大电流母线的安装	215
第一节 大电流母线附近钢构感应发热及其防止 措施	215
一、大电流母线附近钢构感应发热	215
二、减少钢构损耗的措施	223

第二节 大电流母线的安装准备及施工组织	224
一、设备到货开箱及验收	224
二、安装准备及施工组织	226
三、施工安全措施及注意事项	229
第三节 一般段的安装	230
一、安装前的安放布置	230
二、焊接连接	231
三、带角度制造段的安装	234
第四节 大电流母线与设备连接处的安装	234
一、大电流母线与发电机出线端子连接处的安装	234
二、大电流母线与变压器连接处的安装	236
三、大电流母线与抽插式隔离开关（或断路器）连接处的安装	236
四、封闭母线与电压互感器柜或避雷器柜连接处的安装	236
五、穿墙瓷套管的安装	237
第五节 相间短路板及接地装置的安装	237
一、封闭母线相间短路板的安装	237
二、接地装置的安装	238
第六节 安装后的实验、检验	238
一、绝缘耐压试验	238
二、封闭母线的导电试验	239
三、封闭母线的密封试验	239
附录 分相封闭母线计算实例	240
参考文献	247

第一章 大电流母线的发展过程 以及技术要求

第一节 大电流母线的发展过程

一、敞露母线的发展过程

随着电力工业的发展,发电机的单机容量在不断的增大,由最初的几百千瓦到目前的百万千瓦以上。相应的发电机额定电流由几百安增大到几万安,如表1-1所示^[1]。

表 1-1 各种容量发电机的额定电流以及可选用的母线

序号	发电机容量 (MW)	发电机额定电压 (kV)	功率因数 $\cos \varphi$	发电机额定电流 (A)	可选用的发电机母线
1	3	6.3	0.8	344	LMY-40×4
2	6	6.3	0.8	688	LMY-63×6.3
3	12	6.3	0.8	1376	LMY-80×10
4	25	10.5	0.8	1720	LMY-2(80×8)
5	50	10.5	0.8	3440	LMY-4(100×10)
6	100	10.5	0.85	6470	槽箱[]-175×80×8×12
7	200	15.75	0.85	8625	封闭母线
8	300	18	0.85	11321	封闭母线
9	600	20	0.9	19245	封闭母线
10	1300	27	0.9	36000	封闭母线

由表1-1可见,当单机容量在12MW以下时,发电机额定电流在1500A以下,发电机母线只用一条矩形铝母线即可;当单机容量由25MW到50MW时,由于发电机额定电流

的增大，而要选用二条到四条矩形铝母线，如图1-1(a)所示；当单机容量为100MW时，由于发电机额定电流的增大，再选用矩形母线在技术上和结构上很难满足母线发热和电动力要求，因而要选用槽形铝母线或菱形铝母线，如图1-1(b)所示；当单机额定容量为200MW时，发电机额定电流高达8000~9000A，即使是槽形母线或菱形母线，也难满足母线周围钢构发热以及故障时母线间的巨大短路电动力的要求，因而要选用圆管形母线或封闭母线。

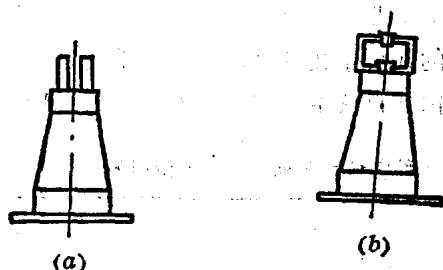


图 1-1 母线形状
(a)矩形母线；(b)槽型母线

当单机容量为200MW以上时，由于发电机额定电流、短路电流、以及单机容量在系统中所占的比重增大，因此对大容量发电机不仅有母线本身电动力问题、发热问题，还有母线支持、悬吊钢构架以及母线附近混凝土柱、楼板、基础内的钢筋在交变强磁场中感应涡流引起的发热问题。一旦母线短路，不仅一般敞露母线和绝缘子的机械强度很难满足要求，而且发电机本身也遭受损伤，并由此影响系统频率、安全供电以及系统的稳定运行。

为解决上述问题，采用能承受巨大短路电动力的特殊绝缘子；选用槽形、方管、圆管等形状的母线来改善母线材料

的有效利用率，提高母线机械强度；采用人工冷却（如风冷、水冷……）方法，解决母线散热问题；在母线附近避免使用钢构件或在钢构件上装设短路环，在混凝土内的钢筋采取屏蔽隔磁以及在楼板上铺设铝板等措施降低感应发热。就是采取上述措施后，对200MW及以上机组仍不能彻底解决上述问题。国内外实践经验证明，采用金属外壳的分相封闭母线，是解决上述问题的有效方法。

二、封闭母线及其分类^[1]

将带电的母线用外壳加以封闭保护，即为封闭母线。

1. 按外壳所用材料，可分为塑料外壳和金属外壳

塑料外壳对电磁场不起屏蔽作用，故从电磁性能上来说，相当于普通的敞露母线，既不能减少母线短路时产生的电动力，也不能减少母线附近钢构感应发热问题，只能防止人身触及带电母线及防止金属物落到母线上产生相间短路，故塑料外壳不适于大容量机组，大容量机组的封闭母线均采用金属铝外壳。

2. 按外壳结构不同可分为共相封闭和分相封闭母线

三相共用一个金属外壳，相间没有金属板隔开，或相间有金属隔板，称共相封闭母线，如图1-2(a)、(b)所示。每相都有一个金属外壳，称分相封闭母线，如图1-2(c)所示。

分相封闭母线又可分为以下四种：

(1) 不全连分相封闭母线 每相外壳相邻段在电气上相互绝缘，以防止轴向电流流过外壳联接处，每段外壳中只有外壳涡流。为了避免短路时会在外壳上感应出对人身危险的电压，把外壳每3~4m分成一段，每段一点接地，如图1-3所示。

(2) 全连分相封闭母线 除每相外壳各段在电气上导

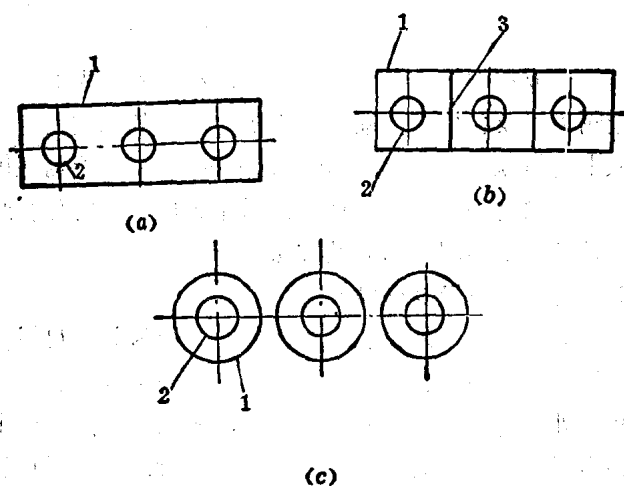


图 1-2 封闭母线

(a)共相封闭母线；(b)有隔板共相封闭母线；(c)分相封闭母线

1—外壳；2—母线；3—金属隔板

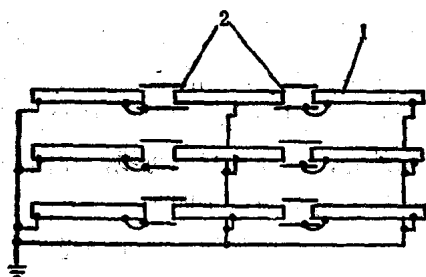


图 1-3 不全连分相封闭母线

1—外壳；2—绝缘

电连接外，又在各相外壳两端通过短路板相互连接并接地，如图1-4所示。全连分相封闭母线外壳中，除母线电流在外壳上感应出的大小与母线电流几乎相等、方向相反的轴向环

流外，还产生邻相剩余磁场在外壳上感应出的涡流。由于外壳不是超导体，壳外尚有剩余磁场，不过其强度只有敞露母线的百分之几。该剩余磁场，在周围钢构件上感应出的涡流和功率损耗很小，可以忽略不计。

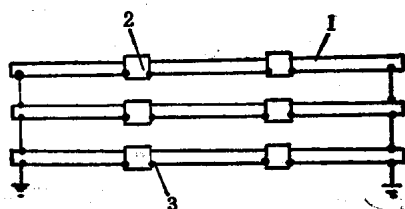


图 1-4 全连分相封闭母线

1—外壳；2—套筒；3—焊接处

(3) 经电抗器接地的全连分相封闭母线 这种封闭母线的外壳是全连外壳，外壳的一端经三相短路板接地；另一端各相均经电抗器接地，如图1-5所示。

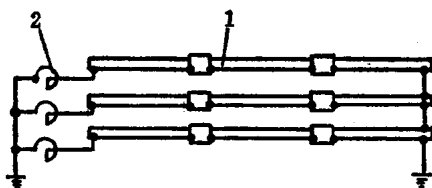


图 1-5 经电抗器接地的全连分相封闭母线

1—外壳；2—电抗器

电抗器的作用是增加外壳回路阻抗，以减少外壳内的感应电流，使外壳损耗降低。在正常情况下，外壳不能完全屏蔽母线的磁场，将会引起邻近钢构件的发热，这点与不全连分相封闭母线相似；但在短路情况下，电抗器铁芯饱和不起

作用，相当于短路，这时与全连分相封闭母线一样。

(4) 分段全连分相封闭母线 由于母线回路装设抽插式隔离开关或断路器等原因，使母线外壳不能从头至尾全连，而在抽插式隔离开关或断路器的两端装设三相短路板，将母线分成为两个全连分相封闭母线和抽插式隔离开关或断路器的不全连分相封闭母线的混合式，称为分段全连分相封闭母线，如图1-6所示。

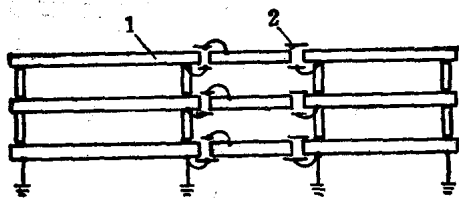


图 1-6 分段全连分相封闭母线

1—外壳；2—绝缘

3. 按封闭母线冷却方式可分为自然冷却、人工通风冷却及水冷三种型式的封闭母线

(1) 自然冷却封闭母线 母线及外壳的发热完全靠辐射及对流散至周围环境。这种冷却方式简单、工作可靠、运行维护容易，但金属消耗量大。

(2) 人工通风冷却封闭母线 用母线或封闭母线外壳作风道，以强迫通风办法将母线及外壳热量带走散出。

(3) 水冷封闭母线 在母线内通水将母线热量带走，这种冷却方式结构复杂，附属设备多，造价高。

三、封闭母线规范

1. 封闭母线的结线图

目前国内设计、施工的200~600MW发电机封闭母线结

线图如下:

1) 200~300MW发电机与双绕组变压器连接的结线图, 如图1-7所示。

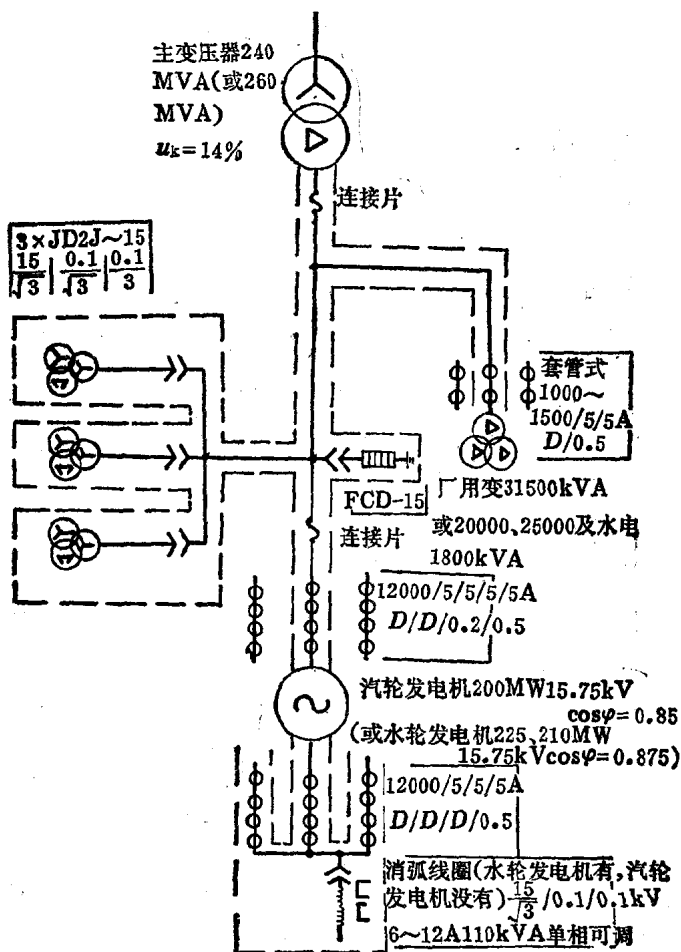


图 1-7 200MW发电机与双绕组变压器连接的结线图