

中小型水轮发电机的安装与维修

刘 云 编著



机械工业出版社

前 言

随着电力事业的迅速发展，中小型水电站像雨后春笋般地涌现了出来，星罗棋布地遍布了全国，因而相应的安装、使用、维护与检修的人员也就越来越多，为此，特编写本书，以适应社会需要。

本书取材于现场实践经验，以帮助解决实际问题为主。书中对中小型水轮发电机的安装做了系统的、全面的、详细的叙述，兼顾到中小型水电站的特点，对中小型水轮发电机的试验、使用与维护亦做了一般的介绍。为了帮助检修人员做好检修工作，书中对中小型水轮发电机常见故障的检修做了尽量详细的叙述。在编写过程中，力求做到取材先进，实用性强，重点突出，内容密切联系现场实际，图文并茂，表达形式新颖，以帮助读者解决实际问题。

在编写过程中，得到了清华大学王维俭和王祥珩两位教授的大力支持，特此表示感谢。由于本人水平有限，书中难免有错误和不当之处，希望广大读者批评指正。

作者
1996年8月

目 录

前 言
绪 论

第一篇 水轮发电机的安装

第一章 安装前的准备 3	第十三节 外罩及辅助部分的安装 103
第一节 设备验收与保管 3	第三章 中型水轮发电机定子的组装 106
第二节 场地布置 5	第一节 定子组圆 106
第三节 材料的准备 6	第二节 端箍的联接 108
第四节 工具的准备..... 19	第三节 合缝绕组的嵌装 109
第五节 安装人员须熟悉的图样资料..... 19	第四节 半固化圈式线圈整圆的工地嵌线 ... 114
第六节 制动器的检查与试验..... 19	第五节 接头的焊接和检验 117
第七节 轴瓦研刮..... 22	第六节 接头的绝缘和耐压试验 125
第八节 设备的清理与试验..... 29	第四章 中型水轮发电机转子的组装 129
第二章 水轮发电机的正式安装 31	第一节 磁轭冲片清洗分类 129
第一节 一般安装程序..... 31	第二节 轮毂热套 131
第二节 基础埋设..... 33	第三节 支臂的联接 145
第三节 下机架及下盖板的安装..... 37	第四节 磁轭冲片的叠装 149
第四节 定子的安装..... 44	第五节 磁极的安装 166
第五节 上机架预装..... 50	第六节 转子附件的安装及检查清扫 170
第六节 转子吊入找正..... 51	第五章 卧式水轮发电机的安装 173
第七节 推力轴承的安装与调整..... 56	第一节 基础的埋设 173
第八节 机组轴线的测量与调整..... 68	第二节 轴瓦研刮及轴承座的安装 174
第九节 导轴承的安装与调整..... 90	第三节 转子吊入找正 178
第十节 上下挡风板及上盖板的安装..... 97	第四节 定子的安装 179
第十一节 发电机内部管路的安装..... 97	第五节 轴线的测量及调整 182
第十二节 励磁机与永磁机的安装 101	第六节 轴瓦间隙的调整 186

第二篇 水轮发电机的试验

第六章 水轮发电机的试验项目 189	第二节 型式试验 190
第一节 检查试验 189	第七章 定子绕组的绝缘电阻和吸收比

的测量	191	第十二章 发电机空载特性和短路特性	
第一节 用兆欧表(绝缘电阻表)测量绝缘电		的测量	225
阻的一般要求和应注意的事项	191	第一节 发电机空载特性的测量	225
第二节 影响绝缘电阻测量的因素	192	第二节 短路特性的测量	227
第三节 绕组绝缘电阻及吸收比的测量	195	第十三章 发电机的温升及效率试验	229
第八章 定子绕组直流电阻的测量及三		第一节 测温方法	229
相电流的平衡	198	第二节 温升试验	232
第一节 直流电阻的测量方法	198	第三节 效率试验	236
第二节 温度的测量	200	第十四章 水轮发电机参数的测定	240
第三节 三相电流的平衡试验	201	第一节 同步电抗的测定	240
第四节 定子绕组焊接头的检查	202	第二节 定子漏抗 X_s 的测定	243
第九章 定子绕组直流耐压及泄漏电流的		第三节 超瞬态电抗 X_d' 和 X_q' 的静测法	246
测定	204	第四节 低电压突然三相短路试验求取	
第一节 试验接线	204	参数	250
第二节 试验步骤与注意事项	207	第五节 用电压恢复法求取参数	255
第三节 试验结果的分析	208	第六节 负序电抗 X_2 及负序电阻 r_2 的	
第十章 定子绕组的交流耐压试验	212	测定	259
第一节 试验设备的选择	212	第七节 零序电抗 X_0 及零序电阻 r_0 的	
第二节 交流耐压试验	216	测定	262
第十一章 转子绕组的试验	221	第八节 灭磁时间常数的测定	267
第一节 绝缘电阻的测量	221	第十五章 发电机轴承绝缘和定子绕组	
第二节 交流耐压试验	221	相序的检查	274
第三节 电阻的测量	222	第一节 发电机轴承绝缘的检查	274
第四节 工频交流阻抗的测量	223	第二节 发电机定子绕组相序的检查	274

第三篇 水轮发电机的运行与维护

第十六章 水轮发电机的运行	277	第三节 稳态功角特性	291
第一节 水轮发电机的试运行	277	第十八章 水轮发电机的特殊运行	294
第二节 水轮发电机的正常运行	280	第一节 水轮发电机电压、频率及功率因数	
第三节 负荷的调整	282	变化时的运行	294
第十七章 水轮发电机的运行特性	286	第二节 水轮发电机的超负荷运行	295
第一节 空载特性、短路特性和零功率因数		第三节 水轮发电机的调相、进相、充电	
负载特性	286	运行	296
第二节 稳态运行特性	289	第四节 水轮发电机的不对称运行	297
		第五节 水轮发电机的调频运行	298

第十九章 水轮发电机的运行监视与维护	301
第一节 水轮发电机的使用条件	301
第二节 水轮发电机的日常监视	301
第三节 水轮发电机的维护	302

第二十章 水轮发电机运行中常见故障及处理	306
第一节 发电机电压不正常	306
第二节 发电机励磁不正常	308
第三节 发电机产生异常声响及其他故障	310

第四篇 水轮发电机的检修

第二十一章 水轮发电机的检修内容	313
第一节 大修	313
第二节 扩大性大修	314
第二十二章 定子的检修	316
第一节 定子铁心的检修	316
第二节 水轮发电机的温升过高现象及其处理方法	318
第三节 定子绕组的局部修理	319
第四节 定子绕组的更换	326
第二十三章 转子的检修	356
第一节 吊出转子	356
第二节 转子各部位的检查	357
第三节 转子接地的检查及处理	358
第四节 磁极的拆装	360
第五节 转子动平衡	361
第二十四章 轴承的检修	381
第一节 推力轴承的拆装	381
第二节 镜板处理和推力轴瓦的刮削	382

第三节 镜板与推力头之间的止油处理	383
第四节 推力轴瓦温度过高的原因及处理方法	384
第五节 轴承甩油的原因及处理方法	389
第六节 油槽的清洗	393
第二十五章 发电机辅助部件的检修	394
第一节 电刷火花的防治	394
第二节 冷却器的检修	399
第三节 制动器的检修	402
第二十六章 水轮发电机的增容改造	404
第一节 水轮发电机增容改造的途径	404
第二节 水轮发电机增容改造实例	405
附录	
附录 A 常用绝缘材料	407
附录 B 定子线圈绝缘规范	416
附录 C 水轮发电机单匝条式定子线圈绝缘规范	421
参考文献	423

绪 论

在我国辽阔的土地上, 渊远流长的江河密布全国各地, 水能总蕴藏量达 6.8 亿 kW, 居世界第一位。全国可开发的水能资源约为 3.8 亿 kW, 但至今已开发的仅约占可开发资源的 8%, 大量的水力资源等待着我们开发利用。水力发电是一种成本低、积累快、无污染、可再生的能源, 具有许多突出的优点, 有着巨大的经济效益, 是我国能源建设的主要组成部分。因此, 大力开发水电, 加快水电建设步伐, 对我国国民经济的发展和社会主义四个现代化建设, 有着极其重要的意义。可以预料, 今后的水电建设必将以更快的速度、更大的规模、更高的要求 and 更新的水平向前发展。

全国已建成小型水力发电站(单机容量在 6000kW 以下, 全站总容量在 12000kW 以下)到 1984 年已有 8 万多座, 总装机容量可达 800 万 kW, 年发电量为 172 亿 kW·h。例如福建省永春县已建成小型水电站 252 座, 装机容量 2.4 万 kW, 形成了三个小电网, 全县有 95% 的乡村, 90% 的农户用上了电。

随着水电建设事业的高速发展, 对水电站机电设备安装工作的要求也越来越高。水轮发电机的安装工作是水电站建设中的核心环节。水轮发电机的安装质量是整个水电站建设中的关键问题, 所以在安装工作中, 要根据电站各自的特点严格保证其安装质量。

一、水轮发电机安装工作的重要性

水轮发电机安装质量的好坏直接影响水轮发电机的长期、稳定和安全运行, 这就是发电机在运行中所应具有的三个特性。

1. 使用长期性

所谓使用长期性就是指发电机应具有制造厂规定的使用寿命(一般在 30~40 年间或以上), 在运行中, 它主要决定于零部件抗磨损和抗老化的性能。

2. 运行稳定性

所谓运行稳定性就是指发电机在运行中的振动和摆度都在允许范围内。

3. 安全可靠

所谓安全可靠就是指设备在规定的使用期间内和使用条件下, 能够无故障地运行并发挥其应有的功能。发电机安装质量好, 就能提高发电机运行的安全稳定性, 能延长发电机的使用寿命, 这就是安装工作的重要性。

二、水轮发电机安装工作的特点

水轮发电机安装工作的特点有以下三条:

1. 安装部件尺寸大, 重量重, 工艺复杂, 技术要求高。水轮发电机的单位载能效益低, 和同样功率的其他动力设备比较, 水轮发电机的工作机构就需要有足够大的尺寸, 为了保证其结构具有必要的强度和刚度, 部件的重量必然要增加。

2. 不同型式的水轮发电机, 其安装方法和安装工艺都有所不同。由于自然条件的差异和开发水电方式的不同, 各种类型的水电站要求装不同型式的水轮发电机, 结构的不同就要求有不同的安装方法和工艺。

3. 理论性和技术性都很强。安装过程中有大量的试验调整和计算工作,如部件水平度、高程、中心、圆度、垂直度的测量和调整,大型螺栓紧固力和伸长量的计算,轮毂烧嵌温度的计算,各部件焊接质量的检查,机组投产前的起动试运行以及静平衡、动平衡试验等各项工作,都要求有较强的理论和较高的技术。

水轮发电机投入运行后,应处于良好的运行状态,就要作好日常维护和保养工作;当发电机出现故障后,就要对故障原因进行分析与判断并迅速排除,以恢复运行。因此,必须采取理论联系实际的学习方法,既要学习理论知识,又要有在生产实践中勇于探索、敢于创造的精神。因为随着现代科学技术的发展,新结构、新技术、新工艺将会不断出现,本书中讲述的安装方法,安装工艺和安装规程,读者不能把它看成绝对的、静止的、一成不变的。我们应该在学好现有的安装工艺基础上,不断地了解新情况、钻研新问题,采纳和推广国内外的先进工艺及先进经验,为不断提高水电站安装、运行、维护和检修水平作出贡献。

第一篇 水轮发电机的安装

第一章 安装前的准备

第一节 设备验收与保管

一、运输和验收

发电机的所有零部件由制造厂按照其尺寸、重量和结构特征进行包装。在运输过程中，所有零部件必须按照箱上的标记进行运输和吊装。

为加快安装进度，安装人员必须十分重视设备的到货验收，以防设备损坏及丢失，安装时缺件延误工期。设备运到工地后，应由安装单位的代表、运输单位的代表、制造厂单位的代表组成专门的“三结合”小组来负责开箱验收。设备开箱后，要根据装箱单、供货清单及有关技术图样和资料，进行逐件清点，查明设备的数量、质量和规格。如发现包装损坏，或内部设备有锈蚀和损坏等问题，应作检查记录，分析原因，查明责任，并报主管部门研究处理。对验收中查明的缺陷，要进行及时处理，缺件时应请有关人员与制造厂联系催督补交。

发电机定子开箱后，除按装箱单和供货清单清点其数量外，还得重点检查下列项目，并作详细记录：①定子绕组绝缘有无破损、裂开、松软等情况；②硅钢片有无锈蚀、翘曲、断裂等现象；③定子绕组端部的间隙和硅钢片通风槽应无杂物、锈蚀、焊渣及焊锡等杂物；④定子合缝绕组应无破损、发霉及显著变形。同理，发电机转子绕组应无破损、发霉、短路等现象，阻尼环应无裂纹等缺陷。⑤推力轴承镜板应无锈蚀及伤痕；推力轴承和导轴承瓦的钨金面应无裂纹及脱壳等现象。永磁发电机一般不允许抽转子，如必须抽转子检查时，转子磁极部分必须立即用铁线环绕“8”字形，其宽度要等于磁极铁心有效长度，以免磁极失磁。

在发运零部件前，工厂在其加工表面都涂有防锈层，如果这些表面发生损坏，应该用溶剂除去防锈层，修理其表面，然后重新涂上防锈层。不允许用刮刀、砂纸等可能损坏加工表面的工具去除防锈层。对镜板、轴颈及其他高精度的加工面，在采取任何行动前都必须与制造厂的代表商量。

设备经验收后应入库保管。

二、设备保管

1. 仓库的建立

设备保管仓库，可按设备的用途、构造、重量、体积、包装等情况，及当地的自然条件来建造。在距库区 50m 范围内不得有住宅及电焊、锻压等车间。专用的油漆、危险品、易燃品仓库应远离库区。库区内应设置必要的消防设施和避雷设施。库区内应保持清洁，防止老鼠、白蚁等危害。仓库内地面不得有野草、积水、污物等。

(1) 棚库 棚库结构应坚实可靠,能承受当地常年风雨雷电的侵袭。库内门窗应完整、既能通风又能密闭。可存放需要避免雨雪直接侵袭,或日光直射,但受温度变化影响不大,庞大而沉重的设备。例如上下盖板、上下挡风板、基础板等。

(2) 仓库 仓库内可存放严禁受雨雪及潮气影响,而受温度变化影响较小的设备。例如推力轴承座、空气冷却器等。

(3) 保温库 保温库内温度一般应维持在 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间,昼夜温差一般不应超过 10°C ,相对湿度不应超过70%。可用暖气或安全电炉加温,但严禁使用明火。零部件与取暖装置应保持1m以上的距离,不足1m时应设有隔热装置。保温库内可存放易受温度及湿度变化影响的精密加工设备及电气设备。例如定子绕组等。

在设备保管期间,要特别注意防锈。对未刷漆的加工面,必须涂防腐油脂。防腐油脂应采用工业凡士林,炮油或工业凡士林加缓蚀剂的复合油脂,而不宜采用黄干油。防腐油层应均匀、无气泡,与设备表面应粘结紧密,无漏涂及脱落现象。油层厚度约为 $1.5\sim 2\text{mm}$,外表还应包1~2层石蜡纸或桐油纸。每隔2~3个月要抽查一次,如油层变质,应及时更换。

2. 主要部件的存放

已嵌线的定子、定子绕组、已组装成整体的发电机转子、磁极绕组、励磁机(当配有时)、永磁机等部件应存放在保温库内,仓库内应有可靠的加热设备,使绕组(绝缘材料)周围的温度保持在露点以上,以防绕组结露和冻结。最好使用具有恒温控制的电加热器。上述零部件如遇严重受潮,应先进行干燥后入库。入库后储存期间应定期进行检查,测量发电机定转子绕组绝缘电阻,并做好记录。定子绕组、磁极绕组应每月用500V兆欧表检查,记录好绕组的绝缘电阻。定转子在最初三个月内,应用2500V直流兆欧表每周进行一次电气测量,并作好记录。超过三个月后,可以每月检测一次,但每周仍需进行检查。绝缘电阻明显下降者,要查明原因,并采取适当措施。已装配好的发电机转子水平存放时,应用垫块支撑其磁极表面,不允许直接支撑轴颈或轴的两端。支撑应稳妥可靠,以防轴颈产生变形。转子在储存期内,要求每三个月将主轴旋转 180° 。

推力头、镜板、轴承瓦(又称轴瓦)、发电机轴、集电环等精密件应储存在仓库内。储存时应妥善保管,定期检查,以防损伤。零部件冬天入库时,一般需移入库内24h后再开箱,以免零部件表面结露引起锈蚀。在条件较差的仓库内,可利用原包装保管,但箱内填料应清除,并放入适当干燥剂,铺垫防潮纸。镜板出厂时使用的防锈保护层一般有效期为六个月,超过期限后,订货方自行处理,镜板的镜面不得有锈蚀及伤痕,镜板的背面亦应无锈蚀,可利用原包装箱存放。每隔三个月检查一次镜面上涂的防腐油脂,若发现有变质现象,应及时清除更换。轴瓦的钨金面应无裂纹及脱壳等现象,并应涂防腐油脂,可利用原包装箱存放。发电机轴应每月检查一次,以确保轴颈和推力头表面不致受潮锈蚀。储存期超过三个月时,应检查支撑区域并重新涂上防锈漆。为防止变形,支撑的位置及数量应保证轴受力均匀,但轴颈不能作为支承面。要求垫块支撑可靠,且不能将垫块直接与轴接触,应在接触部位垫上浸油纸。支撑位置应垫铝板或铜板等材料。集电环刷杆座上的电刷在储存时应从刷盒中取出并包上石蜡纸。

上下盖板、上下挡风板及外罩等部件应储存在棚库内。对于无法在室内储存,不得不在户外储存的部件,在储存前应对货箱和防锈层进行彻底检查。所有受到损伤的防锈层和防护雨罩都必须修复,以增强储存期的保护作用。部件在户外储存时,应满足如下要求:①储存

场地应易于排水,决不能让货箱受到雨水的浸泡;②部件应放置在离地面 150mm 以上的木方上;③应将部件的非加工面放置在垫块上,当无法满足这一要求时,应在加工面的支承部位垫上浸油纸;④在储存金属罩之类的部件时,应将凹面朝下,以免积水;⑤所有部件应用塑料布或帆布等防水材料妥为遮盖,并应留出气流通道和检查空间。

第二节 场地布置

为使安装工作进行顺利,加快安装进度,在正式安装前要做好一切准备工作。首先是场地准备,因为平行作业是缩短工期的有效办法,因此除机组基坑之外,还需布置一些组装场地。

1. 转子装配场地

对于中型发电机,其转子需要在工地进行组装,因此需要有转子装配场地,其大小为转子直径加 2m。另外还应有放置钳工工作台、小型工具、设备的柜子和堆放特殊工具的地方。一般均设在厂房安装间。

转子装配场地应有竖立主轴的基坑。在基坑内埋有固定主轴的基础螺栓,基坑低于地面的尺寸,应能保证转子竖立后闸板离地面约为 500~800mm。坑内螺栓位置应与主轴法兰螺孔相对应。基础螺栓一般为四个,螺栓直径要比法兰螺孔小 10mm。

2. 轮毂(幅)烧嵌场地

轮毂烧嵌场地,通常就用转子装配场地来代替,只有因厂房高度不够,使这项工作无法在转子装配场地进行时才另行布置场地。一般可利用吊物孔或设备安装孔,但要满足荷重及加固的要求,尺寸约为轮毂(幅)的直径加 2m。

3. 磁轭冲片清洗场地

场地面积要宽敞,能满足清洗和分类堆放的要求,并便于运输。

4. 磁极清扫干燥场地

最好在仓库内进行,也可在安装车间进行。

5. 定子组合和下线场地

为减少同土建及水轮机安装在工序流程上的干扰,定子组合和下线可在机坑外进行,以利用缩短工期。此工序一般可在安装车间或其他未安装的机坑内进行,场地大小约为定子外径加 2m。

6. 上下机架组装场地

可利用机组与机组间的楼板空地作为上下机架组装场地,大小约为机架直径加 1m。

7. 机组基坑

待土建完工,混凝土强度达到设计标号 50% 以上时,才能交付发电机安装。基础高程应符合设计要求,基础墩要凿好麻面,基础螺孔应清理干净。

此外,为适应机械盘车的需要,还应在厂房墙柱上埋设吊环,吊环可用 $\phi 30 \sim \phi 40$ mm 圆钢制成,露出墙面 80~100mm,其标高与盘车工具高程一致。盘车吊环平面布置示意图,见图 1-1。图中 D 为盘车工具(或盘车柱)的直径,

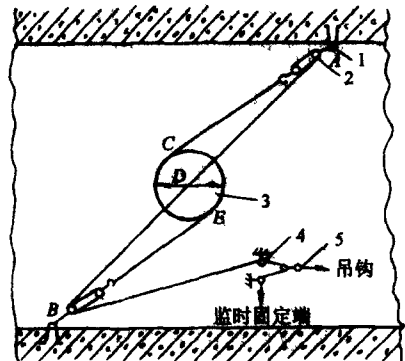


图 1-1 盘车吊环平面布置示意图

1—吊环 2—滑轮组 3—盘车工具
4—导向滑轮 5—吊钩

AC 应平行于 EB 。

第三节 材料的准备

发电机所用材料繁多，就其性能和用途大体可分为导电材料、绝缘材料、磁性材料和结构材料。了解及掌握常用材料的性能与用途，并作一定数量的储备，对保证安装进度和及时处理设备出现的缺陷都是十分重要的。

一、导电材料及其焊料

水轮发电机定子及转子绕组的导电材料，基本上均为纯铜加工的型材。纯铜外观呈紫红色，故习惯称为紫铜。紫铜的主要性能为：①具有较高的导电性和导热性；②有适当的机械强度；③不易氧化和腐蚀；④有良好的延展性，便于弯制加工和焊接。按照它们的性能、结构、制造工艺及使用特点，又分为三大类：①裸电线和裸导体制品；②电磁线；③橡胶及塑料电线电缆。

1. 裸电线和裸导体制品

因为这类产品只有导体部分，没有绝缘和护层结构，所以称为裸电线和裸导体制品。按产品的形状和结构，分为圆单线、软接线、型线和裸绞线四种。水轮发电机常用的是前三种。

(1) 圆单线 圆单线主要是给各种电线电缆作导电线芯用，但也可以直接作为产品，常用材料规格见表 1-1。

(2) 软接线 凡是柔软的铜绞线和各种编织线都称为软接线。

(3) 型线 型线是非圆形截面的裸电线。常用的型线见表 1-2、表 1-3、表 1-4、表 1-5。

2. 电磁线

作为绕组或元件的绝缘导线，由于导线外面有绝缘材料，因此电磁线根据绝缘材料的耐热等级及导线截面形状进行分类。

(1) 漆包线 常用的漆包线见表 1-6。

(2) 玻璃丝包线 常用的玻璃丝包线见表 1-7、表 1-8。

水轮发电机绕组接头焊接均采用钎焊法。钎焊法的优点是焊料熔化温度远比母材低，焊接过程中母材并不熔化损坏，仅使焊料密实填充于母材接头各空隙间，并保证接头焊接处，具有足够的机械强度、导电性和耐热性。常用焊料见表 1-9。

用于整流子和滑环处的电刷，也是一种导电材料。它是转动部件与固定部件导体联接必不可少的元件，各种电刷技术特性及工作条件，见表 1-10。

二、磁性材料及非磁性材料

磁性材料的种类很多，电机工业中常用的磁性材料，通常按矫顽力 H_c 的大小分成两大类：一类是软磁材料，也称导磁材料，它的矫顽力 H_c 一般在 1kA/m 以下；另一类是硬磁材料，也称永磁材料，它的矫顽力 H_c 在几十千安/米以上甚至几百千安/米。

对导磁材料的要求是：矫顽力要低，导磁率要高，铁损要低，磁感应强度要高。

常用的导磁材料有：硅钢、电工纯铁、普通碳素钢及低合金钢等。

水轮发电机定子铁心通常用 0.5mm 厚的优质硅钢片叠装而成，其性能可见表 1-11。

普通碳钢及其低合金钢的导磁性能不如硅钢及纯铁，铁损很大。但它的机械强度远比硅钢及纯铁高。因此它被用来制造水轮发电机的转子磁轭和磁极铁心。

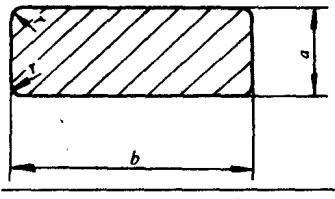
工作在强磁系统中的某些结构部件,如定子端箍、定子铁心压指等,为减少涡流损耗,需采用不导磁的非磁性材料。

表 1-1 圆铜线

标称直径/ mm	直径公差/ mm	计算截面积/ mm ²	线密度/ kg·km ⁻¹	电阻率 $\rho/\Omega\cdot\text{m}$	电阻温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$	抗拉强度/ MPa \geq	伸长率/ (%) \geq
0.600	±0.01	0.2827	2.52	1.748×10^{-8}	0.00395	196	20
0.640		0.3217	2.86				
0.850	±0.015	0.5675	5.04				
1.000		0.7854	6.98				
1.06	±0.02	0.8825	7.85				
1.25		1.2272	10.9				
1.33		1.3893	12.4				
1.50		1.7672	15.7				
1.70		2.2698	20.2				
1.80		2.5447	22.6				
2.00		3.1416	27.9				
2.12		3.5299	31.4				
2.24		3.9408	35.0				
2.50		±0.03	4.9087			43.6	
2.65			5.5155			49.0	
2.85			6.3794			56.7	
3.00	7.0686		62.8				
3.35	8.8141		78.4				
3.55	±0.04	9.8980	88.0				
3.75		11.0447	98.2				
4.00		12.5664	112				
4.50	±0.05	15.9043	141				
4.75		17.7206	158				
5.30		22.062	196				
6.00		28.274	251				

表 1-2 铜扁

S	a	R ₂₀											
		0.80		0.90		1.00		1.12		1.25		1.40	
			0.85		0.95		1.06		1.18		1.32		1.50
b	R ₄₀	1/2a					0.5						
		R ₄₀											
2.00		1.463	1.545	1.626	1.706	1.785	1.905	2.025	2.145	2.285	2.425	2.585	
	2.12	1.559		1.734		1.905		2.160		2.435		2.753	
2.24		1.655	1.749	1.842	1.934	2.025	2.160	2.294	2.428	2.585	2.742	2.921	3.145
	2.36	1.751		1.950		2.145		2.429		2.735		3.089	
2.50		1.863	1.970	2.076	2.181	2.285	2.435	2.585	2.736	2.910	3.085	3.258	3.535
	2.65	1.983		2.211		2.435		2.753		3.098		3.495	
2.80		2.103	2.225	2.346	2.446	2.585	2.753	2.921	3.089	3.285	3.481	3.705	3.985
	3.00	2.263		2.526		2.785		3.145		3.535		3.985	
3.15		2.383	2.522	2.661	2.799	2.935	3.124	3.315	3.502	3.723	3.943	4.195	4.510
	3.35	2.543		2.841		3.135		3.537		3.973		4.475	
3.55		2.703	2.863	3.021	3.179	3.335	3.548	3.761	3.974	4.223	4.471	4.755	5.110
	3.75	2.863		3.201		3.535		3.985		4.473		5.035	
4.00		3.063	3.245	3.426	3.606	3.785	4.025	4.265	4.505	4.785	5.065	5.385	5.785
	4.25	3.263		3.651		4.035		4.545		5.098		5.735	
4.50		3.463	3.670	3.876	4.081	4.285	4.556	4.825	5.095	5.410	5.725	6.085	6.535
	4.75	3.663		4.101		4.535		5.105		5.723		6.435	
5.00		3.863	4.095	4.326	4.556	4.785	5.085	5.385	5.685	6.035	6.385	6.785	7.258
	5.30	4.103		4.596		5.085		5.721		6.410		7.205	
5.60		4.343	4.605	4.866	5.126	5.385	5.721	6.057	6.393	6.785	7.177	7.625	8.185
	6.00	4.663		5.226		5.785		6.505		7.285		8.185	
6.30		4.903	5.200	5.496	5.791	6.085	6.463	6.841	7.219	7.660	8.101	8.605	9.235
	6.70			5.856		6.485		7.289		8.160		9.165	
7.10				6.216	6.551	6.885	7.311	7.737	8.163	8.660	9.157	9.725	10.44
	7.50					7.285		8.185		9.160		10.29	
8.00						7.785	8.265	8.745	9.225	9.785	10.35	10.99	11.79
	8.50							9.305		10.41		11.69	
9.00								9.865	10.41	11.05	11.67	12.39	13.29
	9.50									11.66		13.09	
10.00										12.29	12.99	13.79	14.79
	10.60											14.63	
11.20												15.47	16.59
	11.80												
12.50													
	13.20												
14.00													
	15.00												
16.00													



线 (TBY、TBR)

(mm)

1.60		1.80		2.00		2.24		2.50		2.80		3.15		3.55
	1.70		1.90		2.12		2.36		2.65		3.00		3.35	
0.65						0.8								
3.369														
3.561														
3.785	3.887	4.137												
4.025		4.407												
4.265	4.397	4.677	4.957	5.237										
4.585		5.038		5.638										
4.825	4.992	5.307	5.622	5.937	6.315	6.693								
5.145		5.667		6.337		7.141								
5.465	5.672	6.027	6.382	6.737	7.163	7.589	7.829	8.326						
5.785		6.387		7.137		8.037		8.826						
6.185	6.437	6.837	7.237	7.637	8.117	8.597	8.891	9.451	10.05	10.65				
6.585		7.287		8.137		9.157		10.08		11.35				
6.985	7.287	7.737	8.187	8.637	9.177	9.717	10.07	10.70	11.38	12.05	12.95	13.63		
7.385		8.187		9.137		10.28		11.33		12.75		14.41		
7.785	8.137	8.637	9.137	9.637	10.24	10.84	11.25	11.95	12.70	13.45	14.45	15.20	16.20	17.20
8.265		9.177		10.24		11.51		12.70		14.29		16.15		18.27
8.745	9.157	9.717	10.28	10.84	11.51	12.18	12.67	13.45	14.29	15.13	16.25	17.09	18.21	19.33
9.358		10.44		11.64		13.08		14.45		16.25		18.35		20.75
9.865	10.35	10.98	11.61	12.24	12.99	13.75	14.32	15.20	16.15	17.09	18.35	19.30	20.56	21.82
10.51		11.70		13.04		14.65		16.20		18.21		20.56		23.24
11.15	11.71	12.42	13.13	13.84	14.69	15.54	16.24	17.20	18.27	19.33	20.75	21.82	23.24	24.66
11.79		13.14		14.64		16.44		18.20		20.45		23.08		26.08
12.59	13.24	14.04	14.84	15.64	16.60	17.56	18.33	19.45	20.65	21.85	23.45	24.65	26.25	27.85
13.39		14.94		16.64		18.68		20.70		23.25		26.23		29.63
14.19	14.94	15.84	16.74	17.64	18.72	19.80	20.69	21.95	23.30	24.65	26.45	27.80	29.60	31.40
14.99		16.74		18.64		20.92		23.20		26.05		29.38		33.18
15.79	16.64	17.64	18.64	19.64	20.84	22.04	23.05	24.45	25.95	27.45	29.45	30.95	32.95	34.95
16.75		18.72		20.84		23.38		25.95		29.13		32.84		37.08
17.71	18.68	19.80	20.92	22.04	23.38	24.73	25.88	27.45	29.13	30.81	33.05	34.73	36.97	39.21
18.67		20.88		23.24		26.07		28.95		32.49		36.62		41.34
19.79	20.89	22.14	23.39	24.64	26.14	27.64	28.95	30.70	32.58	34.45	36.95	38.83	41.33	43.83
		23.40		26.04		29.21		32.45		36.41		41.03		46.31
		24.84	26.24	27.64	29.32	31.00	32.49	34.45	36.55	38.65	41.45	43.55	46.35	49.15
				29.64		33.24		36.95		41.45		46.70		52.70
				31.64	33.56	35.48	37.21	39.45	41.85	44.25	47.45	49.85	53.05	56.25

表 1-3 铜母线 (TMY、TMR) 的标称尺寸及计算截面积

标称尺寸/mm		(mm ²)																							
厚度 a	宽度 b	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.00	10.00	11.20	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.40	25.00	28.00	31.50					
允许偏差/mm		±0.05								±0.07								±0.09				±0.12			
16.00		—	—	—	—	—	—	—	—	—	179.2	200.0	224.0	256.0	—	—	—	—	—	—					
18.00	±0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	201.6	225.0	252.0	288.0	—	—	—	—	—	—					
20.00		—	—	—	—	—	—	—	200.0	224.0	250.0	280.0	320.0	360.0	400.0	—	—	—	—	—					
22.40		—	—	—	—	—	—	—	224.0	250.9	280.0	313.6	358.4	403.2	448.0	—	—	—	—	—					
25.00		—	—	—	—	—	—	200.0	225.0	250.0	280.0	312.5	350.0	400.0	450.0	500.0	560.0	625.0	—	—					
28.00	±0.20	—	—	—	—	—	—	224.0	252.0	280.0	313.6	350.0	392.0	448.0	504.0	560.0	627.2	700.0	—	—					
31.50		—	—	—	—	—	198.5	223.7	252.0	283.5	315.0	352.8	393.8	441.0	504.0	567.0	630.0	705.6	787.5	882.0					
35.50		—	—	—	—	—	177.5	198.8	223.7	252.1	284.0	319.5	355.0	397.6	443.8	497.0	568.0	639.0	710.0	795.2					
40.00		160.0	180.0	200.0	224.0	252.0	284.0	320.0	360.0	400.0	448.0	500.0	560.0	640.0	720.0	800.0	896.0	1000.0	1120.0	1260.0					
45.00		180.0	202.5	225.0	252.0	283.5	319.5	360.0	405.0	450.0	504.0	562.5	630.0	720.0	810.0	900.0	—	—	—	—					
50.00	±0.25	200.0	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	625.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	—	—	—	—					
56.00		224.0	252.0	280.0	313.6	352.8	397.6	448.0	504.0	560.0	627.2	700.0	784.0	896.0	1008.0	1120.0	—	—	—	—					
63.00		252.0	283.5	315.0	352.8	396.9	447.3	504.0	567.0	630.0	705.6	787.5	882.0	1008.0	1134.0	1260.0	—	—	—	—					
71.00	±0.30	284.0	319.5	355.0	397.6	447.3	504.1	568.0	639.0	710.0	795.2	887.5	994.0	1136.0	—	—	—	—	—	—					
80.00		320.2	360.0	400.0	448.0	504.0	568.0	640.0	720.0	800.0	896.0	1000.0	—	—	—	—	—	—	—	—					
90.00		360.0	405.0	450.0	504.0	567.0	639.0	720.0	810.0	900.0	1008.0	1125.0	—	—	—	—	—	—	—	—					
100.00		400.0	450.0	500.0	560.0	630.0	710.0	800.0	900.0	1000.0	1120.0	1250.0	—	—	—	—	—	—	—	—					
112.00	±0.35	—	—	—	—	—	—	795.2	896.0	1008.0	1120.0	1254.4	1400.0	—	—	—	—	—	—	—					
125.00		—	—	—	—	—	—	887.5	1000.0	1125.0	1250.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

注: 1. 表中计算截面积 $S=ab$

2. 当考虑圆角时, 其截面可按下式计算:

(1) 作线圆时 $S=(ab-1.3)mm^2$.

(2) 作汇流排及其他用时 $S=(a \times b - 0.5)mm^2$.

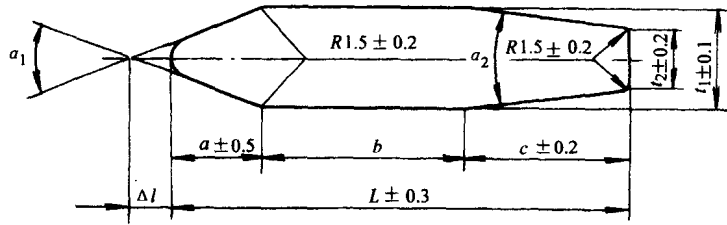
表 1-4 铜带 (TDY、TDR) 的标称尺寸及计算截面积

(mm²)

标称尺寸/mm 厚度 a	±0.04																±0.05								±0.06							
	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55									
9.00	8.785	9.299																														
10.00	9.785	—	10.93	11.50																												
±0.13	10.99	11.63	12.28	—	13.67																											
12.50	12.29	—	13.73	14.45	15.29	16.13	17.08	18.27																								
14.00	13.79	14.60	15.41	—	17.17	—	19.18	—	21.85																							
16.00	15.79	—	17.65	18.58	19.67	20.75	21.98	23.52	25.05	26.58	28.11	29.63																				
18.00	17.79	18.84	19.89	—	22.17	—	24.78	—	28.25	—	31.71	—	35.14	—	39.24																	
20.00	19.79	—	22.13	23.30	24.67	26.03	27.58	29.52	31.45	33.38	35.31	37.23	39.14	41.44	43.72	46.01																
22.40	22.19	23.50	24.82	—	27.67	—	30.94	—	35.29	—	39.63	—	43.94	—	49.10	—																
25.00	24.79	—	27.73	29.20	30.92	32.63	34.58	37.02	39.45	41.88	44.31	46.73	49.14	52.04	54.92	57.81	61.16	64.74	68.32													
28.00	±0.25	27.79	29.44	31.09	—	34.67	—	38.78	—	44.25	—	49.71	—	55.14	—	61.64	—	68.66	—	76.72												
31.50	31.29	—	35.01	36.87	39.04	41.21	43.68	46.77	49.85	52.93	56.01	59.08	62.14	65.82	69.48	73.15	77.41	81.97	82.52	92.57	97.10	103.1	109.1									
35.50	35.29	37.39	39.49	—	44.04	—	49.28	—	56.25	—	63.21	—	70.14	—	78.44	—	87.41	—	97.72	—	109.7	—	123.3									
40.00	39.79	—	44.53	46.90	49.67	52.43	55.58	50.52	63.45	67.38	71.31	75.23	79.14	83.84	88.52	93.21	98.66	104.5	110.3	118.1	123.8	131.6	139.3									
45.00	44.79	47.46	50.13	—	55.92	—	62.58	—	71.45	—	80.31	—	89.14	—	99.72	—	111.2	—	124.3	—	139.6	—	157.0									
50.00	49.79	—	55.73	58.70	62.17	65.63	69.58	74.52	79.45	84.38	89.31	94.23	99.14	105.0	110.9	116.8	123.7	131.0	138.3	148.1	155.4	165.1	174.8									
56.00	55.79	59.12	62.45	—	69.67	—	77.98	—	89.05	—	100.1	—	111.1	—	124.4	—	138.7	—	155.1	—	174.3	—	196.1									
63.00	62.79	—	70.29	74.04	78.42	82.79	87.78	94.02	100.3	106.5	112.7	118.9	125.1	132.6	140.0	147.5	156.2	165.4	174.7	187.1	196.3	208.6	220.9									
71.00	70.79								113.1												176.2											
±0.35	79.79								127.5												198.7											
80.00									143.5												223.7											
90.00	89.79								159.5												248.7											
100.00	99.79								179.1												248.7											

注：计算截面已考虑了圆角。

表 1-5 七边形铜排 (TPQR)



标称截面积 /mm ²	计算截面积 /mm ²	规格及结构尺寸 $t_1 (t_2) / L (a+b+c) / \text{mm}$	线密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	参考数据		
				$\Delta l / \text{mm}$	α_1	α_2
355	355	8 (6) / 50 (8+22+20)	3.16	2.83	4°32'34"	5°43'30"
370	367	6.7 (5.4) / 60 (8+28+24)	3.26	4.14	30°51'8"	3°6'10"
400	401	8 (6.7) / 55 (8+25+22)	3.56	2.83	40°32'34"	3°23'4"
430	429	8 (7.1) / 58 (8+27+23)	3.81	2.83	40°32'34"	2°14'30"
430 (1)	430	8 (7.2) / 58 (8+27+23)	3.82	2.83	40°32'34"	1°59'34"
440	440	8 (6.7) / 60 (8+28+24)	3.91	2.83	40°32'34"	3°6'10"
455	454	6.5 (5.5) / 75 (8+37+30)	4.04	4.43	29°18'16"	1°54'34"
470	471	8 (6.7) / 64 (8+31+25)	4.19	2.83	40°32'34"	2°58'44"
505	505	10 (9) / 55 (8+25+22)	4.49	1.80	54°3'42"	2°35'14"
560	561	8 (6.5) / 76 (8+38+30)	4.99	2.83	40°32'34"	2°51'52"
600	593	12.5 (11.3) / 52 (8+24+20)	5.27	1.16	68°36'45"	3°26'12"
645	643	9.4 (8) / 74 (8+36+30)	5.72	2.04	50°10'10"	2°40'24"
695	694	10 (8.2) / 76 (8+35+33)	6.17	1.80	54°3'42"	2°56'46"
705	703	10 (8.5) / 76 (8+38+30)	6.25	1.80	54°3'42"	2°51'52"
705 (1)	704	9.5 (8) / 80 (8+40+32)	6.26	1.99	50°51'36"	2°41'6"
875	875	16 (13.9) / 60 (8+28+24)	7.78	0.72	85°4'10"	5°0'36"