



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA



高压直流输电 岗位培训教材

线路设备

国网运行有限公司 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

高压直流输电 岗位培训教材

线路设备

国网运行有限公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《高压直流输电岗位培训教材》丛书之一，分两部分 13 章，阐述了关于送电线路的巡视和检查、检修、测量、季节性事故及其预防措施等方面的主要内容、运行要求及注意事项等。

本书可供高压直流输电岗位运行、检修技术人员及管理人员参考，也可作为相关专业院校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

线路设备/国网运行有限公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2009 .

高压直流输电岗位培训教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8443 - 6

I. 线… II. 国… III. 高电压 - 输电线路 - 设备 - 技术培训 - 教材 IV. TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 009709 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 [http: //www. cepp. com. cn](http://www.cepp.com.cn))

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 10.25 印张 220 千字

印数 0001—3500 册 定价 24.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《高压直流输电岗位培训教材》

编 审 委 员 会

主 编 崔吉峰

副主编 李 东 王守东 陈秋安 王晓希

娄殿强 罗德彬

编 委 余克武 余振球 刘 涛 唐开平 殷俊新

李继辉 仝培理 习超群 王聿升 王世民

胡开军 刘国云 丁子健 李安伟

各分册编写人员

变压器设备

饶红林 周 广 吴 聪 谭 静 陈 飞 靳海路 王 枫 陈大军
余姗姗 赵福莉 郑 华 黄瑶玲 张 勇 戚 菲 李 浩 张 念
张 益 张海燕

换流器及直流控制保护设备

吴 鹏 汪 涛 陈 凯 王丽娜 摆 亲 陈 晓 吴 宁 王紫鑫
许立新 吕拦坡 赵 杰 李 彪 付纪华 姚 孟 俞晓冬 孙 瑾
姚其新 韩情涛 贺霖华 李 君 刘蓓蒂 刘 询 李凤祁

开关设备

戴晨蓉 廖文锋

线路设备

曹 亮 李浙涛 刘庭波 吴秀海 胡 风

通信设备

马树明 欧阳兰 吴 军 朱煜冰 李 晶

互感器、滤波器及避雷器设备

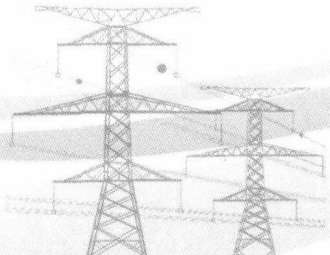
王 鹏 黄 晨 钱 龙 胡锦涛 康 文 石伟峰 李华兵 毛志平
黄岳奎 吴 鹏 汪 涛 陈 凯 王丽娜 摆 亲 陈 晓 陈炳华
顾舒扬

辅助设备

周建国 张 昕 饶 磊 魏华兵 李龙蛟 廖卉莲 康 文 石伟峰
黄 晨 邹根海 苏 飞 陈 凯 汪 涛 吴 鹏 王丽娜 摆 亲
陈 晓 王紫鑫 汤晓峥

交流保护设备

沈志刚 单 哲 郝跃东 汪道勇 李锋锋 徐 兵 商少波 郑 华
黄瑶玲 赵福莉 周建国 张 昕 黄正发 姚青强 吕拦坡 姚 兵

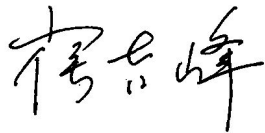


序

1989年,中国第一条超高压直流输电工程葛洲坝—南桥直流输电工程建成投产,直流输电技术在中国稳步发展。进入21世纪后,随着三峡电力送出和跨区电网大规模发展,中国直流输电工程也得到较快发展。目前,中国直流输电无论容量还是技术水平均已走在世界前列,今后还将有一大批直流输电工程投运,直流输电在电网中的作用越来越重要。

由于直流输电工程技术及设备的特殊性,工程运行维护较交流工程有很大不同,随着后续直流输电工程的快速发展,直流输电运行维护培训需求大大增加。因此,编写有关直流输电工程生产岗位培训教材是当前直流输电工程发展所急需的,对提高在运直流输电工程的运行可靠性也具有重要意义。国网运行有限公司是国内运行维护直流工程最早、数量最多、容量最大的专业电网运行公司。为了全面提高国内直流输电工程运行维护工作水平,公司组织了数十名长期从事直流输电运行、检修的技术人员,在充分总结在运直流工程运行经验的基础上,前后经过长达两年的时间编写完成了理论结合实际设备、全面系统、实用性较强的《高压直流输电岗位培训教材》。

这套教材共分八册,系统地对直流输电相关设备的原理、结构、技术特点进行了详细的描述,并进而对设备的巡视检查、检修试验等运行维护工作要求和特点进行了总结。它的出版发行将为从事直流输电运行维护、设计、安装、调试和直流输电设备制造、直流电网生产管理和调度管理等方面的技术人员和生产管理人员提供很好的技术参考。期望它能够对提高我国常规直流输电工程和特高压直流输电工程生产运行水平起到重要作用,从而为建设坚强国家电网作出贡献。



2008年12月

前言

高压直流输电技术起步在 20 世纪 50 年代,到 80 年代,全世界共建成了 30 项直流输电工程,直流输电在电网中发挥了重要作用,直流输电控制保护技术得到进一步的发展和完善。迈入 90 年代以后,随着电力电子技术、计算机技术和控制理论的迅速发展,高压直流输电技术日益完善,可靠性得到提高。

我国直流输电技术同样是在 80 年代得到发展的,建成了我国自行研制的舟山直流输电工程(± 100 千伏,100 兆瓦,55 千米)和代表当时世界先进水平的葛洲坝—上海(简称葛上) ± 500 千伏直流输电工程。90 年代,随着三峡工程的建设,三常、三广、三沪直流工程相继投运。2004 年,我国第一个背靠背直流工程,同时又是一个直流设备国产化示范工程,灵宝背靠背直流工程顺利建成。标志着中国已经逐渐成为世界上运行直流工程数量最多、容量最大、线路最长的直流输电大国。

据预测,至 2010 年全国发电装机总容量将达到 8.4 亿千瓦左右,2020 年将突破 12 亿千瓦左右。将新建电源的电能安全、稳定、可靠、经济地送出是我国电网建设的基本任务,并应在此基础上逐步改善电网结构、推进全国联网,这使得电网的发展比电源建设更具挑战性。特别是在西电东送工程中,直流输电本身适宜远距离输送、送电容量大、易于控制和调节的特点将发挥极其重要的作用。根据《国家电网公司特高压电网规划》,到“十一五”末,规划投产的直流背靠背工程包括东北华北背靠背、灵宝背靠背(扩建)、中俄背靠背、福建广东背靠背四个项目,以及德阳—宝鸡、呼盟—辽宁、晋东南—江苏、宁东—潍坊、蒙古—天津、俄罗斯—辽宁、西藏—青海、葛沪改造等八个项目。到“十一五”末,国网公司系统直流输电工程将达到 17 个、换流站 28 个、输送容量达到 4005 万千瓦。到“十二五”末,国家电网公司将有 8 个直流系统建成投产,包括向家坝—上海、宁东—济南、四川—湖南、锦屏—江苏、蒙古—唐山、溪洛渡—湖南、溪洛渡—浙江、蒙古—山东。直流工程总数将达到 25 个、换流站 44 个,输送容量 8085 万千瓦。“十三五”期间,国家电网公司规划建设投产的直流系统还有 14 个,直流输电工程将达到 39 个、换流站 72 个,输送容量达到 18 745 万千瓦。国内南方电网公司在运的天生桥—广州、安顺—肇庆、兴仁—深圳三个直流输电工程,总输送容量 780 万千瓦,此外在“十一五”末还将完成云广特高压直流输电工程,总输送容量达到 1420 万千瓦。

随着大批直流输电工程投运,直流输电工程的运行维护和生产管理工作显得日益重要,特别是随着近年来直流工程数量和容量的快速发展,直流工程运行维护也不再局限于专业的直流电网运行公司,各网省公司将更多地参与直流输电工程运行维护和生产管理工作。正是为了满足我国直流输电工程生产运行的需要,国网运行有限公司总结了近 20 年来在直流输电工程中运行维护的经验,结合直流输电设备特点,全面系统地编制了我国第一套专门针对直流输电岗位的培训教材。

本套教材共分八册，其主要内容有：变压器设备，换流器及直流控制保护设备，开关设备，线路设备，通信设备，互感器、滤波器及避雷器设备，交流保护设备，辅助设备。系统地对直流输电工程中的上述设备的结构、原理、技术特性、运行维护工作内容和要求等进行了详细说明。本套教材在大量收集、整理、分析国网系统在运直流输电工程运行技术资料的基础上，结合现场运行维护经验，按照设备类别对直流输电工程的运行维护岗位专业技能进行了详细说明，是从事直流输电运行维护和生产管理人员学习直流输电原理、设备特性、控制原理和运行维护内容的岗位技能教材。同时本书也可用于直流输电工程设计、安装、调试、调度管理、设备厂家及相关直流输电工程生产管理人员使用。

为了编制好本套教材，国网运行有限公司充分发挥专业直流输电工程运行维护公司的特点，仔细分析直流输电各岗位的技术技能需求，自 2007 年 10 月开始进行编制，经过了多次讨论修改，数易其稿，最后于 2008 年 10 月完成了本套教材的编写工作。本书的编写人员均是有着丰富的直流输电工程现场工作经验、熟悉直流输电工程设备技术和生产管理的专业人员。运行公司所属宜昌、上海、惠州、三门峡四个管理处，共 9 个换流站的近百名专业技术人员参与了教材编写。

本书在编写过程中得到了国家电网公司、设备制造厂家、各技术监督单位的大力支持，特在此表示感谢。限于我们的水平和经验，书中难免存在缺点和不足，望读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

序
前言

第一部分 直流输电线路

第一章 送电线路的基本构成	2
第一节 杆塔	2
第二节 导线和避雷线	5
第三节 绝缘子	7
第四节 线路金具	9
第五节 杆塔基础	12
第六节 接地装置	12
第二章 送电线路巡视和检查	14
第一节 送电线路巡视	14
第二节 送电线路巡视的主要内容	18
第三节 送电线路各元件的运行要求	23
第三章 送电线路检修	26
第一节 概述	26
第二节 保证安全的组织措施、技术措施	31
第三节 绝缘子检修与更换	35
第四节 金具检修与更换	40
第四章 送电线路的测量	44
第一节 概述	44
第二节 线路测量用的主要器具和仪器	47
第三节 经纬仪及其操作方法	48
第四节 架空线路基本测量	53
第五章 送电线路季节性事故及其预防措施	61
第一节 架空送电线路防雷	61

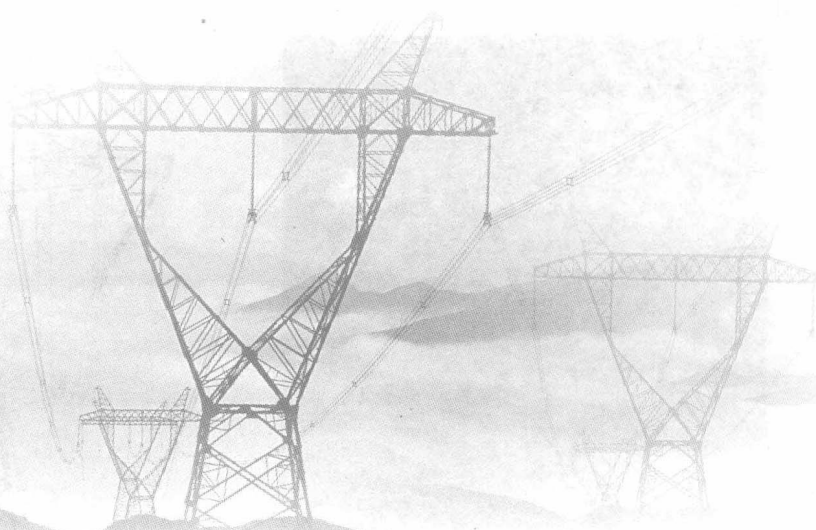
第二节	架空送电线路防污闪	64
第三节	送电线路的振动和防振	66
第四节	送电线路防洪工作	69
第五节	送电线路防鸟害工作	72
第六节	送电线路防冰冻工作	73
第七节	送电线路通道树障处理工作	75
第六章	带电作业	78
第一节	带电作业的原理和方法	78
第二节	带电作业常用的绝缘材料及金属材料	81
第三节	带电作业安全技术	86
第四节	带电作业工器具的试验及保管	92
第五节	带电作业项目与操作	96
第七章	直流接地极的运行维护	101
第二部分 交流输电线路		
第八章	送电线路的基本构成	108
第一节	杆塔	108
第二节	导线和避雷线	110
第三节	绝缘子	111
第四节	线路金具	113
第五节	杆塔基础	114
第六节	接地装置	115
第九章	送电线路巡视和检查	117
第一节	送电线路巡视	117
第二节	送电线路巡视的主要内容	119
第三节	送电线路各元件的运行要求	121
第十章	送电线路的检修	123
第一节	线路检修的目的和要求	123
第二节	检修工程的全过程管理	124
第三节	大修工程的三措计划	125
第十一章	送电线路的测量	128
第一节	概述	128

第二节	线路测量用的主要器具和仪器及基本操作方法·····	129
第三节	架空线路的基本测量·····	131
第十二章	送电线路季节性事故及其预防措施·····	133
第一节	概述·····	133
第二节	架空线路过电压和防雷·····	134
第三节	架空送电线路的防污闪·····	135
第四节	架空送电线路的防洪工作·····	138
第五节	架空线路防风工作·····	139
第六节	架空送电线路防鸟害工作·····	140
第七节	架空送电线路防冰冻工作·····	141
第八节	架空送电线路通道树障处理工作·····	142
第十三章	带电作业·····	144
第一节	带电作业的原理和方法·····	144
第二节	带电作业常用的绝缘材料及金属材料·····	145
第三节	带电作业安全技术·····	146
第四节	带电作业工器具的试验及保管·····	148

高压直流输电岗位培训教材

线路设备

直流输电线路



送电线路的基本构成

第一节 杆 塔

杆塔是用来支持导线、地线和其他附件，使相导线以及地线之间彼此保持一定的安全距离，并保证导线对地面、交叉跨越物或其他建筑物等具有允许的安全距离。

一、杆塔的分类

1. 根据使用材料分类

(1) 钢筋混凝土电杆：此类电杆分为普通离心制作的钢筋混凝土杆和预应力钢筋混凝土杆两种。

(2) 铁塔主要分为拉线塔和自立铁塔两类；钢杆主要分为纯钢管和薄壁离心混凝土钢杆。

2. 根据线路杆塔用途分类

(1) 直线塔。直线塔又称中间杆塔，用于线路的直线段，主要承受架空线、绝缘子串、金具等的重力，其上的绝缘子多呈现悬垂状态，合成绝缘子串都成V形状状态，如图1-1所示。直线杆塔也具有一定的顺线路方向的强度，用以承受断线、覆冰和风压等纵向张力。

(2) 直线转角塔。直线转角塔除起直线塔的作用外，还用于小于 5° 的线路转角，如图1-2所示。

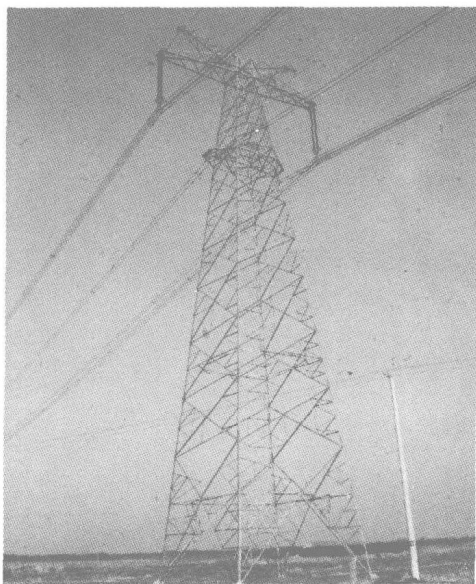


图1-1 直线塔

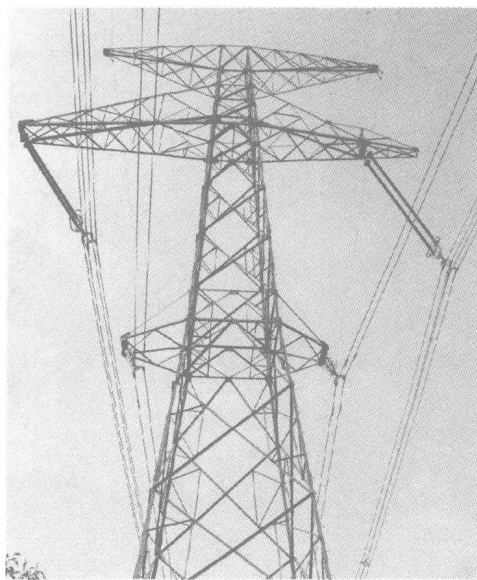


图1-2 直线转角塔

(3) 耐张塔。耐张塔用来承受正常运行和断线事故情况下顺线路方向的架空张力，保证不倒杆，限制事故范围扩大。其机械强度大，除承受直线杆塔承受的荷载外，还承受导线、地线的直接拉力，事故情况下承受断线拉力，如图 1-3 所示。

(4) 转角塔。转角塔用于线路的转角处，一般是耐张型，主要承受两侧架空线产生的角度力。角度力的大小取决于线路转角的大小和架空线张力的大小。

(5) 终端塔。终端塔用于整个线路的起止点，是一种耐张型杆塔，受力情况很大，需承受单侧架线时全部导线、地线的张力。

(6) 跨越塔。跨越塔用于高度较大或档距较长的跨越河流、铁路及电力线路杆塔。具有悬挂点高、荷载大、结构复杂等特点。

(7) 特殊型杆塔。由于现场条件限制而采取的特殊型杆塔。如宜华线 F 形杆塔（如图 1-4 所示），主要是考虑少占用通道宽度，减少拆迁费用；钢管塔如图 1-5 所示，主要考虑基础占地少，一般用于基础狭窄的地方。

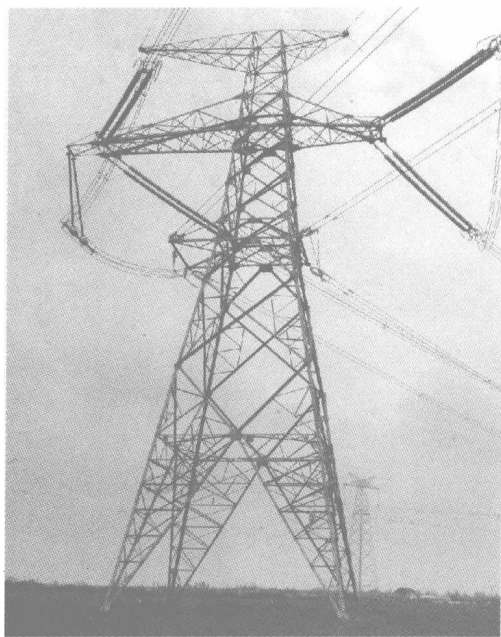
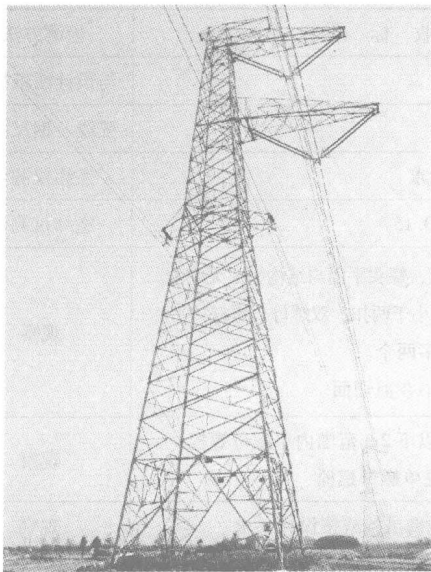
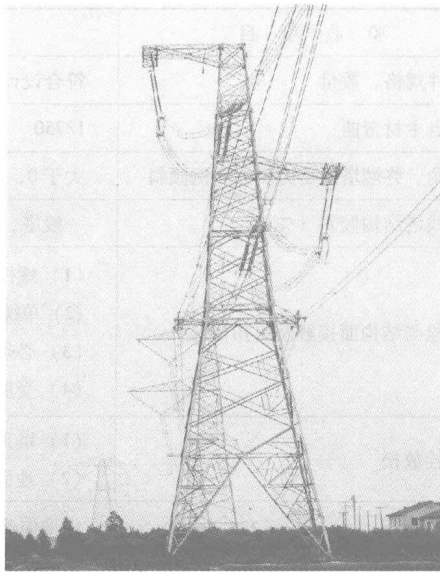


图 1-3 耐张塔



(a)



(b)

图 1-4 “F” 形塔

(a) 直线塔；(b) 耐张塔

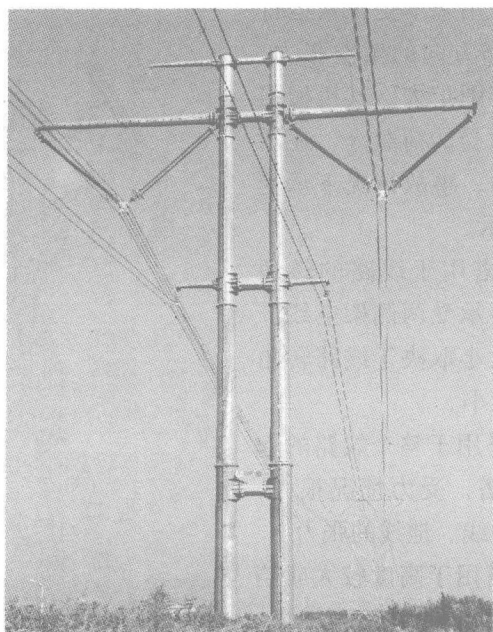


图 1-5 钢管塔

二、杆塔验收项目及检测方法

1. 施工验收项目、标准及检测方法（见表 1-1）

表 1-1 施工验收项目、标准及检测方法

验收项目	验收标准		检测方法
部件规格、数量	符合设计要求		与设计图纸核对
接点主材弯曲	1/750		弦线、钢尺测量
转角、终端塔向受力反方向侧倾斜	大于 0，并符合设计要求		经纬仪测量
直线塔结构倾斜（%）	一般塔，0.3；高塔，0.15		经纬仪测量
螺栓与结构面接触及出扣情况	(1) 螺杆与结构面垂直，螺头平面与结构平面无间隙。 (2) 单螺母螺杆露出不小于两扣，双螺母与螺杆持平。 (3) 必须加垫片者最多两个。 (4) 受剪螺栓的螺纹不在剪切面		观察
螺栓放松	(1) 塔顶部至下导线以下 2m 范围内单螺母螺栓。 (2) 地面以上 2m 范围单螺母螺栓		观察
螺栓防盗	离地面 8m 以下采取防御措施或按设计要求		观察
脚钉	齐全紧固		观察、检查
螺栓紧固	满足本表要求		扭矩扳手
螺栓穿向	立体结构	(1) 水平方向由内向外。 (2) 垂直方向由下向上	观察

续表

验收项目	验收标准		检测方法
螺栓穿向	平面结构	(1) 顺线路方向送电侧或统一方向穿入。 (2) 横线路方向, 两侧由内向外, 中间由左向右 (指向受电侧) 或统一方向。 (3) 垂直方向由下向上	观察
保护帽	平整美观		观察

2. 杆塔标志验收要求

- (1) 杆塔号及线路名称齐全, 符合规定。
- (2) 耐张杆塔、换位塔及换位杆塔前后各一基杆塔应有相位标志。
- (3) 高杆塔按设计规定装设航行障碍标志。
- (4) 在多回路杆塔上应注明每回路的布置及线路名称。

3. 螺栓紧固质量要求 (见表 1-2)

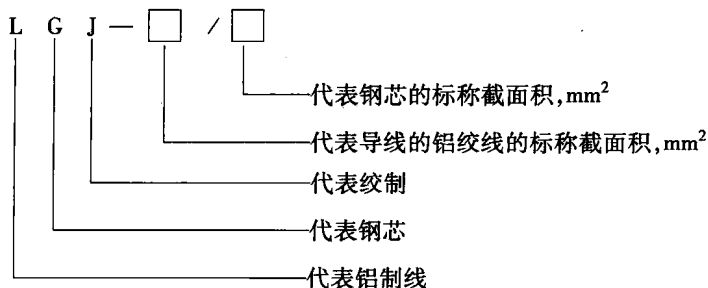
表 1-2 螺栓紧固扭矩标准

螺栓规格	扭矩值 (N · cm)	螺栓规格	扭矩值 (N · cm)
M12	4000	M20	10 000
M16	8000	M24	25 000

第二节 导线和避雷线

一、导线用途与分类

导线是用来传导电流、输送电能的, 它通过绝缘子串长期悬挂在杆塔上。一般分为钢芯铝绞线、防腐钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线。钢芯铝绞线其型号组成及代号意义如下:



二、架空地线的用途与分类

避雷线又称架空地线, 悬挂于导线之上, 主要作用是防止雷电直击导线, 同时在雷击

杆塔时起到分流作用，对导线起耦合和屏蔽作用，降低导线上的感应过电压。其根数根据线路电压等级、杆塔类型、雷电活动程度而定，可采用双地线和单地线。其分类按照系统要求架空地线有绝缘、不绝缘和部分绝缘之分，按使用材料有镀锌钢绞线、铝包钢绞线、钢芯铝绞线、复合光缆等。

三、导线、地线的质量要求

(1) 7股以上的钢芯铝绞线中的圆铝线允许有接头，但成品线上两接头间的距离不应小于15m，接头处应光滑平整。

(2) 导线钢芯的镀锌钢绞线单丝整根不允许有接头，但在末道拉制前的接头除外。

(3) 导线绞捻的紧密程度应满足机械张力放线的要求，放线后不得出现严重鼓包。

(4) 导线为同心式绞合，各相邻层间的绞制方向应相反，最外层铝线的绞制方向应为右向。

(5) 导线产品必须符合 GB 1179—1983《铝绞线及钢芯铝绞线》关于验收规则和验收方法的规定，每盘出厂的导线应附有制造厂的产品质量检验合格证，要求制造厂提供每批导线的化学、物理、机械性能证明。

(6) 导线外观检查应绞合紧密均匀一致，不得有缺股、跳股、松股、折叠、交叉、断裂及损坏等缺陷。导线表面应光洁平滑、圆整，不得有起槽、起波、裂纹、腐蚀、斑点与夹杂物。

(7) 导线表面镀锌层应良好，无锈蚀等缺陷。

四、±500kV 宜华线导线地线技术参数

1. 直流导线技术参数（见表1-3）

表 1-3 直流导线技术

设备名称	导线	制造厂家	无锡电缆厂	型号	JL/LB1A-720/50
技 术 参 数					
1. 材料		钢芯铝绞线		5. 综合弹性系数 (MPa)	65 000
(1) 钢 (铝包钢)	根×直径 (mm)	7×3.02		6. 综合温度膨胀系数 (℃ ⁻¹)	21.5×10 ⁻⁶
	截面积 (mm ²)	50.14		7. 计算拉断力 (N)	167 000
(2) 铝	根×直径 (mm)	45×4.53		8. 拉力重量比	7.287
	截面积 (mm ²)	725.27		9. 安全系数	2.5
2. 总截面积 (mm ²)		775.41		10. 最大使用应力 (MPa)	81.841
3. 直径 (mm)		36.2		11. 平均运行应力 (MPa)	51.15
4. 单位质量 (kg/km)		2337		12. 20℃时直流电阻 (Ω/km)	0.039 05

2. 架空避雷线技术参数（见表1-4）