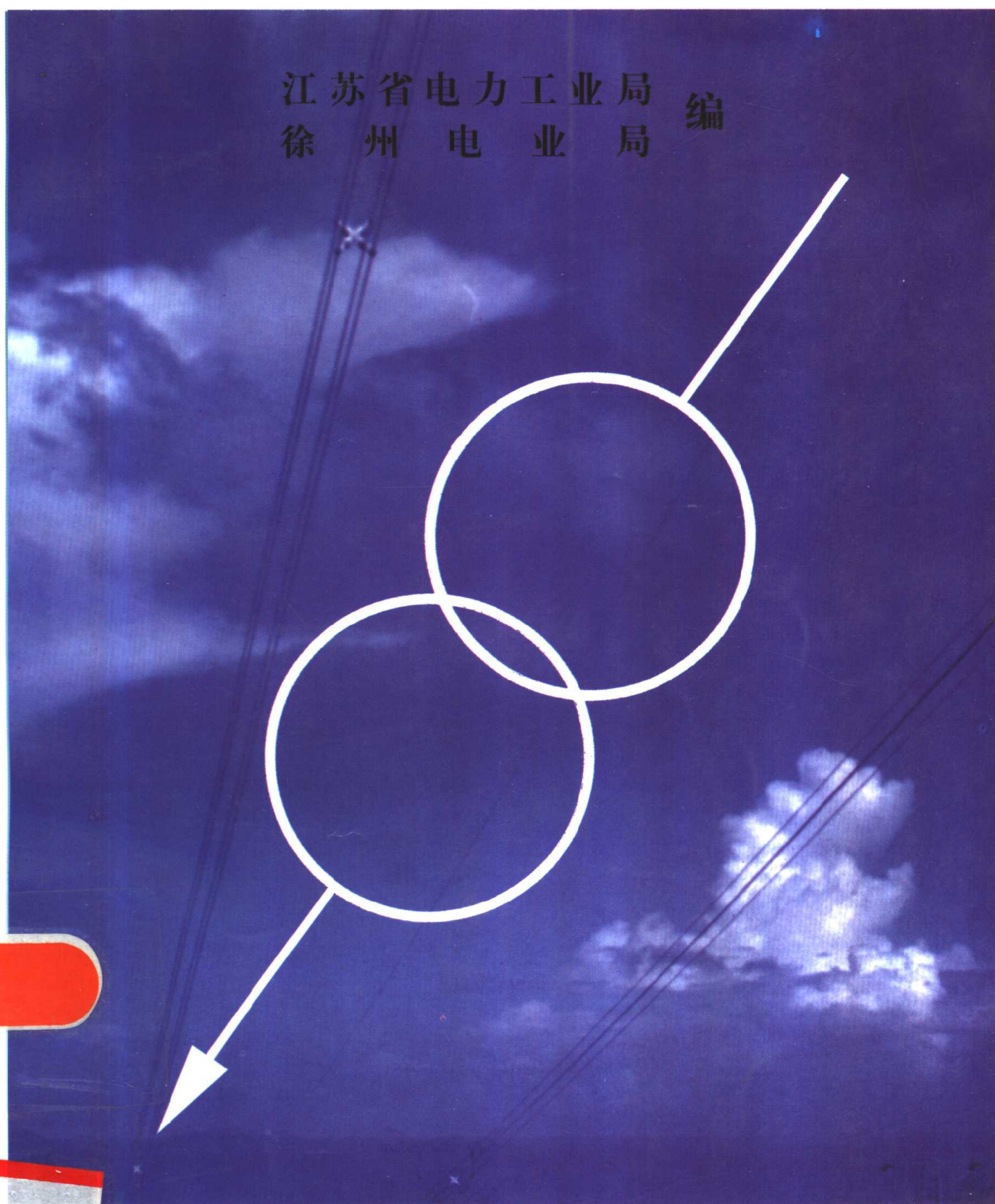


35

送电线路技能培训教材

江苏省电力工业局 编
徐州电业局



中国电力出版社

199116

TM726

J401

送电线路技能培训教材

江苏省电力工业局 编
徐 州 电 业 局

中国电力出版社,

内 容 提 要

本书根据《电力工人技术等级标准》和部颁有关送电线路岗位规范的要求,结合电力生产的在岗培训、上岗培训和转岗培训的实际需要,在制订技能培训大纲的基础上编写的,突出操作技能的培训。具体内容有:送电线路的结构、送电线路的巡视与维护,送电线路施工、送电线路检修和带电作业。

本书可作为送电线路工人技能培训的教材,供电力系统从事送电线路作业、设计的工程技术人员参考,也可作为中专及技工学校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

送电线路技能培训教材/江苏省电力工业局,徐州电业局编. -北京:中国电力出版社,1998.9

ISBN 7-80125-853-3

I. 送… I. ①江… ②徐… II. 输配电线路-电力工程-技术培训-教材 N. TM75

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第21154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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年1月第一版 1999年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 8.5印张 203千字

印数 0001—5150册 定价 15.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

为适应电力生产安全、经济运行的需要，提高送电线路职工的工作能力和生产技能，江苏省电力工业局、徐州电业局在多年线路运行与检修岗位培训实践的基础上，根据部颁《电力工人技术等级标准》和有关规程制度的要求，使送电线路运行和检修工作走向正规化、标准化、系统化，提高线路运行检修质量，特编写了《送电线路技能培训教材》。

本教材主要介绍送电线路运行和检修中常用的基本技术知识、运行经验、施工方法和有关技术数据、计算方法和设备材料等。

在编写内容方面，注意系统性和完整性，力求简单实用，深入浅出，通俗易懂，并注意到准确性和普及性，是一本适合线路工人技能培训和考核的教材。此书也适用于自学，既可以作为现场工程技术人员的参考书又可作为技工、中专学校的教学参考书。

《送电线路技能培训教材》第一、二章由龙可克编写，第三、四、五章由鲁鹏编写，第四章第二节由盛玉平编写，李波参与教材插图的绘制工作。本教材由乔中华同志进行初审并对第三章的一、八节进行补充，徐州电业局教育培训中心校核，镇江供电局副总工程师刘云龙同志主审。

由于编写时间仓促，水平有限，教材中难免存在错误和不足之处，希望广大读者在使用中及时提出修改意见，以便再版时修订和完善。

江苏电力教育研究会

徐 州 电 业 局

1998年8月

目 录

前 言

第一章 送电线路的结构	1
第一节 概述	1
第二节 导线和避雷线	3
第三节 杆塔	8
第四节 绝缘子	12
第五节 线路金具	15
第六节 杆塔基础	18
第七节 接地装置	20
第二章 送电线路的巡视与维护	23
第一节 运行组织	23
第二节 送电线路巡视与检查	24
第三节 送电线路的维护与检修	28
第四节 线路运行中的测量和试验	32
第三章 送电线路施工	48
第一节 力和起重基本知识	48
第二节 施工测量	56
第三节 基础工程	62
第四节 杆塔组装	69
第五节 杆塔起立	76
第六节 导、地线架设	85
第七节 接地装置施工	101
第八节 施工验收	102
第四章 送电线路检修	106
第一节 概述	106
第二节 保证安全的组织技术措施	107
第三节 线路绝缘部分的检修与更换	110
第四节 线路金具部分的检修与更换	113
第五节 电杆横担部分的检修与更换	115
第六节 线路导地线部分的检修与更换	117
第五章 带电作业	120
第一节 常用绝缘材料的性能和分类	120

第二节	带电作业基本要求和安全技术条件.....	122
第三节	带电作业的基本方法.....	124
第四节	常规带电作业工器具及试验方法.....	126

第一章 送电线路的结构

第一节 概 述

一、电力系统和电力网的构成

电力系统主要由五部分组成：发电厂、送电线路、变电所、配电系统和用户，如图 1-1 所示。发电厂所发出的电能，经过送电线路送到变电所降压后，送到配电系统，再由配电线路把电能分配到各用户，这样一个整体称为电力系统。在电力系统中，由送电线路与变电所连成的网络，叫电力网。

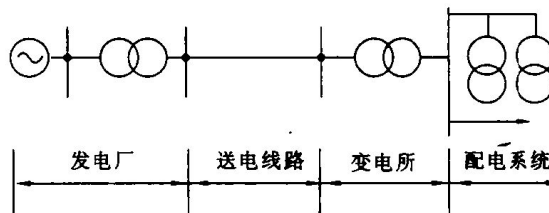


图 1-1 电力系统示意图

1. 发电厂

发电厂的基本任务是把其他形式的能量转变为电能，发电厂按所用能量，可分为水力发电、火力发电和原子能发电，另外还有太阳能、风力、地热、潮汐和沼气等发电。

目前我国已形成的大型电力系统中，主要以火力发电为主。发电厂的主要设备有发电机、汽轮机、水轮机和锅炉等。

2. 变电所

变电所是转换和分配电能的场所，发电厂发出的电能通过升压变电所升压后由送电线路送出，降压变电所则将线路送来的电能降压后分配至配电系统。变电所主要由升（降）压变压器、断路器、互感器及二次设备构成。

3. 送电线路

送电线路是电力网的重要组成部分，线路三相导线分别与两端变压器的三个绕组连接。因此，送电线是以三相交流送电，每相导线分别用字母 A、B、C 表示（或以黄、绿、红三种颜色表示）。线路每三相称为一回路或单回路。

送电线路有架空线路和电缆线路之分。架空送电线路和电缆线路相比，具有投资省、易于发现故障、便于维修等特点。电缆线路不易受雷击、自然灾害及外力破坏，供电可靠性高，但电缆的制造、施工、事故检查和处理较困难，工程造价也较高，故远距离送电线路多采用架空送电线路。

目前我国送电线路的电压等级主要有 35、60、110、154、220、330kV 和 500kV，其中 154kV 为非标准电压等级，60kV 和 330kV 为限制发展电压等级。一般说，线路输送容量越大，输送距离越远，要求输电电压就越高。送电线路的输送容量和线路电压的平方成正比。表 1-1 列出了送电线路的电压、输送容量和输送距离的关系。

4. 配电系统

配电系统一般分为高压配电网和低压配电网两级，高压配电网的电压一般为 6~35kV，有些大城市已发展到 110kV 或 220kV，低压配电网的电压为 380V 和 220V 的三相四线制。

表 1-1

送电线路的电压、输送容量和输送距离表

线路电压 (kV)	输送容量 (MVA)	输送距离 (km)	线路电压 (kV)	输送容量 (MVA)	输送距离 (km)
35	2~10	20~50	220	110~500	100~300
110	10~50	50~150	500	1000~1500	150~850

5. 用户

用户是指在供电部门管辖范围分界点以下的工矿企业，它包括属用户所有的变电所、线路和各种用电设备。

二、电力系统的优点

1. 提高供电可靠性

当电力系统中部分发电厂、变电所或线路发生事故停电，或进行设备停电检修时，可由其他发电厂和线路向用户供电，从而保证供电的连续性和可靠性。

2. 保证电能质量

保证电压和频率符合规定值。由于电力系统的容量大，对于局部负荷的增加或减少，不致于影响系统的电压和频率大幅度的变化，所以可获得良好的供电质量。

3. 提高供电的经济性

当某一地区的用电量减少时，可将该地区的多余电力输送给其他地区，整个电力系统内的电力可互相调剂，使电力分配合理，做到经济运行。

4. 减少装机容量

由于电力系统可互相调剂电力，从而可减少各地区的备用发电设备，降低电厂建设规模和投资。

5. 充分利用动力资源

在动力资源（煤炭、水力、石油、天然气、地热等）丰富的地区建设大容量的发电厂，可利用送电线路将电力输送到动力资源缺少的用电地区，从而充分利用动力资源。

三、电力系统的接线

电力系统的接线主要有以下两种，即开式串形接线和闭式环形接线。

1. 开式串形接线

从一个发电厂用单回或双回导线向负荷中心供电的接线方式称为开式串形接线，见图 1-2。这种接线方式，当线路发生故障时或系统电力不足的情况下，只能用切负荷的办法来保证设备安全。因此，从可靠性和经济性上讲，是不理想的。

2. 闭式环形接线

将几个发电厂送电线路连接起来成为闭式环形系统，见图 1-3。这种接线方式在供电安全可靠性和经济性上都比较好的。

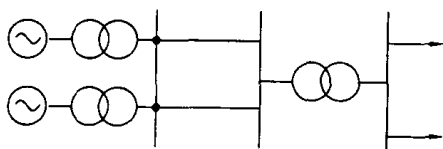


图 1-2 开式串形接线

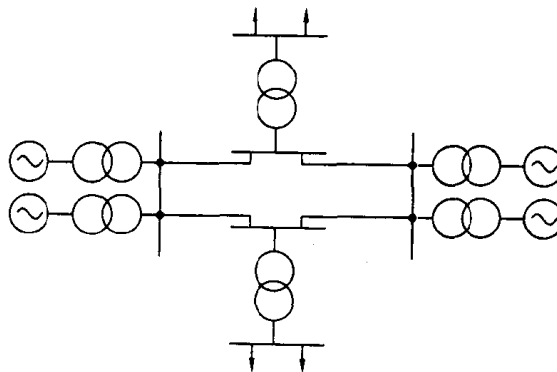


图 1-3 闭式环形接线

第二节 导线和避雷线

导线是用来传送电能的。送电线路一般都采用架空裸导线，每相一根，220kV 及以上线路由于输送容量大，同时为了减少电晕损失和电晕干扰而采用相分裂导线，即每相采用两根及以上的导线。采用分裂导线能输送较大的电能，而且电能损耗少，有较好的防振性能。

一、架空导线的排列方式

导线在杆塔上的排列方式：对单回线路可采用上字形、三角形或水平排列，对双回路线路可采用伞形、倒伞形、干字形或六角形排列，见图 1-4。

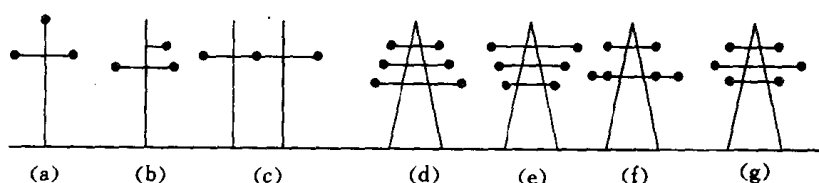


图 1-4 导线在杆塔上排列方式示意图

(a) 三角形；(b) 上字形；(c) 水平形；(d) 伞形；(e) 倒伞形；
(f) 干字形；(g) 六角形

导线在运行中经常受日光、风、雨、冰、雪、空气中的水气、粉尘污秽、化学物质等的侵蚀，必须具有导电性能好、机械强度高、质量轻、价格低、耐腐蚀性强等特性。由于我国铝的资源比铜丰富，加之铝和铜价格差别较大，故送电线路除特殊情况外，几乎全部采用钢芯铝线。

避雷线一般不与杆塔绝缘而是直接架设在杆塔顶部，并通过杆塔或接地引下线与接地装置连接。避雷线的作用是减少雷击导线的机会，提高耐雷水平，减少雷击跳闸次数，保证线路安全送电。

目前我国建设的 500kV 超高压送电线路，为了利用避雷线作载波通信，同时减少避雷线的电能损失，而将避雷线悬挂在绝缘子上与杆塔绝缘，即所谓绝缘避雷线。

根据送电线路的重要性和沿线雷电活动情况，110kV 及以上线路全线架设一条或两条避雷线，35kV 线路可只在两端发电厂（变电所）进出线附近架设 1~2km 的避雷线，而其他地段的杆塔则不架设避雷线。

线路上架设的避雷线应具有较高的机械强度和抗疲劳强度，以及良好的耐腐蚀性能，因此，一般多采用镀锌钢绞线。如用避雷线做载波通信时，一般采用良导体（如钢芯铝绞线、铝镁合金线，铝包钢绞线）以减少通信衰耗，提高通信质量。

二、导、地线分类

导、地线一般可按所用原材料或构造方式来分类。

(一) 按原材料分类

按原材料的不同，裸导线一般可以分为铜线、铝线、钢芯铝线、镀锌钢绞线等。

1. 铜线

铜是除银以外导电性能最好的金属，硬拉铜线的机械强度也较高，绞线的拉断力可达 $380 \sim 400\text{N/mm}^2$ ，另外铜线容易接续，运行中表面形成极薄的氧化层，能抗腐蚀。但比重大，价格高，且机械强度不能满足大档距的强度要求，现在的架空送电线路一般都不采用。

2. 铝线

铝的导电率为铜的 60% 左右，但质量轻，价格低，在电阻值相等的条件下，铝线的质量只有铜线的一半左右，价格只有铜线的 $1/3$ 不到；缺点是机械强度较低，硬拉铝绞线的拉断力为 $160 \sim 180\text{N/mm}^2$ ，只有硬拉铜绞线的 40% 多一点，运行中表面形成氧化铝薄膜后，导电性能降低，抗腐蚀性差，故在高压配电线路用得较多，送电线路一般不用铝绞线；

3. 钢芯铝线

钢的机械强度高，铝的导电性能好，导线的内部有几股是钢线，以承受拉力；外部为多股铝线，以传导电流。由于交流电的集肤效应，电流主要在导体外层通过，这就充分利用了铝的导电能力和钢的机械强度，取长补短，互相配合。但接续工艺要求高，也较复杂。目前架空送电线路几乎全部使用钢芯铝线。作为良导体地线和载波通道用的地线，也采用钢芯铝线。

4. 镀锌钢绞线

钢的机械强度虽高，但导电性能差，抗腐蚀性也差，易生锈，一般都只用作地线或拉线，不用作导线。

(二) 按构造方式分类

按构造方式的不同，裸导线可分为一种金属或两种金属的绞线。

1. 一种金属的多股绞线

一种金属的多股绞线有铜绞线、铝绞线、镀锌钢绞线等。由于送电线路采用较少，故这里不作介绍。

2. 两种金属的多股绞线

两种金属的多股绞线主要是钢芯铝绞线，绞线的优点是易弯曲。绞线的相邻两层绕向相反，一则不易反劲松股，再则每层导线之间距离较大，增大线径，有利于降低电晕损耗。钢芯铝线除正常型外，还有减轻型和加强型两种，钢芯有单股的、两层 7 股的及三层 19 股的。外面的铝股有第一层 9 根，第二层 15 根，或第一层 12 根，第二层 18 根，第三层 24 根共 54 根的。加强型钢芯有的为两层，钢线和铝线的单线直径一样，也有的为两层或三层，铝线的单线直径都比钢线的大。

三、导、地线的规格

我国于 1974 年曾制定了标准代号为 GB1179—74 的国家标准导线规格，标准中的导线型号有 LJ 型铝绞线，LGJ 型钢芯铝绞线，LGJQ 轻型钢芯铝绞线和 LGJJ 加强型钢芯铝绞线。1983 年我国又制定了标准代号为 GB1179—83 的新国家标准导线规格，新标准和国际电工委员会 (IEC) 规格相一致，从而在国际上可广泛采用。

(一) 钢芯铝线

裸导线的规格一般标明股数及单线直径 (mm) 和计算直径 (mm)，温度为 20°C 时的直流电阻 (Ω/km)，单位长度质量 (kg/km)，计算拉断力 (N) 以及长期允许电流 (A) 等。长期允许电流是按导线周围空气温度为 25°C ，导线最高允许温度为 70°C 计算的。

常用的钢芯铝线型号和规格见表 1-2～表 1-5。

(二) 镀锌钢绞线

镀锌钢绞线分 7 股和 19 股两种, 便于加工和施工。50mm² 以上截面均采用 19 股绞制。现将常用的几种镀锌绞线型号和规格列于表 1-6。

表 1-2 LGJ 钢芯铝绞线规格表 (GB1179—74)

标称面积 (mm ²)	股数/单线直径 (mm)		计算截面 (mm ²)		电线外径 (mm)	直流电阻 (Ω/km)	拉断力 (N)	允许电流 (A)	参考质量 (kg/km)
	铝	钢	铝	钢					
50	6/3.2	1/3.2	48.26	8.01	9.60	0.609	15500	210	195
70	6/3.8	1/3.8	68.05	11.34	11.40	0.432	20870	265	275
95	28/2.07	7/1.8	94.23	17.81	13.68	0.315	34200	330	401
120	28/2.3	7/2.0	116.34	21.99	15.20	0.255	42230	380	495
150	28/2.53	7/2.2	140.76	26.61	16.72	0.211	49780	445	598
185	28/2.88	7/2.5	182.40	34.36	19.02	0.163	68360	510	774
240	28/3.22	7/2.8	228.01	43.10	21.28	0.130	77220	610	968
300	28/3.8	19/2.0	317.62	59.69	25.20	0.0935	108970	690	1348
400	28/4.17	19/2.2	382.40	72.22	27.68	0.0778	131610	835	1628

表 1-3 LGJQ 轻型钢芯铝绞线规格 (GB1179—74)

标称面积 (mm ²)	计 算 面 积 (mm ²)					计 算 外 径 (mm)	单 位 质 量 (kg/km)	直流电阻 (28℃时) (Ω/km)	拉断力 (N)	线膨胀系数 α (1/℃)	弹性系数 E (N/mm ²)
	铝股	钢芯	综合	铝股	钢芯						
150	143.58	17.81	161.39	24×2.76	7×1.8	16.44	537	0.207	40700	19×10 ⁻⁶	78400
185	176.50	21.99	198.19	24×3.06	7×2.0	18.21	661	0.168	50110		
240	253.86	31.67	285.55	24×3.67	7×2.4	21.88	951	0.117	69620		
300	297.84	37.16	335.00	54×2.65	7×2.6	23.70	1116	0.0997	84630		
300*	298.58	37.16	335.74	24×3.98	7×2.6	23.72	1117	0.0994	81900		
400	397.12	49.48	446.60	54×3.06	7×3.0	27.36	1487	0.0748	108660		
400*	398.86	49.48	448.34	24×4.60	7×3.0	27.40	1491	0.0744	105230		
500	478.81	59.69	538.50	54×3.36	19×2.0	30.16	1795	0.0620	136020		
600	580.61	72.22	652.83	54×3.70	19×2.2	33.20	2175	0.0511	159360		
700	692.23	85.95	778.18	54×4.04	19×2.4	36.24	2592	0.0429	189683		

注 LGJQF1 型单位质量较表列数加 1.6%; LGJQF2 型单位质量较表列数加 5.1%。

* 粗股铝线。

表 1-4 LGJJ 加强型钢芯铝绞线规格 (GB1179—74)

标称 面积 (mm ²)	计 算 面 积 (mm ²)					计 算 外 径 (mm)	单 位 质 量 (kg/km)	直流电阻 (20℃时) (Ω/km)	拉断力 (N)	线膨胀系数 <i>a</i> (1/℃)	弹性系数 <i>E</i> (N/mm ²)
	铝股	钢芯	综合	铝股	钢芯						
150	147.26	34.36	181.62	30×2.50	7×2.5	17.50	677	0.202	60510	18×10 ⁻⁶	81340
185	181.73	13.10	227.83	30×2.80	7×2.8	19.60	850	0.161	70610		
240	241.27	56.30	297.57	30×3.20	7×3.20	22.40	1110	0.123	92280		
300	317.25	72.22	309.57	30×3.60	19×2.2	25.68	1446	0.0937	122500	18×10 ⁻⁶	
400	409.72	93.27	502.99	30×4.17	19×2.5	29.18	1868	0.0726	158282		

注 LGJJF1 型单位质量较表列数加 1.6%; LGJJF2 型单位质量较表列数加 5.1%。

表 1-5

LGJ、LGJF 型钢芯铝绞线规格 (GB1179—83)

(铝/钢) 标称面积 (mm ²)	计算面积 (mm ²)			股数×单线直径 (mm)		计算外径 (mm)	计 算 拉断力 (N)	直流电阻 (20℃时) (Ω/km)	单位质量 (kg/km)
	铝 股	钢 芯	综 合	铝 股	钢 芯				
10/2	10.6	1.77	12.37	6×1.50	1×1.50	4.50	4120	2.706	42.9
16/3	16.13	2.69	18.82	6×1.85	1×1.85	5.55	8130	1.779	66.2
25/4	25.36	4.23	29.59	6×2.32	1×2.32	6.96	9290	1.131	102.6
35/6	34.86	5.81	40.67	6×2.72	1×2.72	8.16	12630	0.823	141.0
50/8	48.25	8.04	56.29	6×3.20	1×3.20	9.60	16870	0.5946	195.1
50/30	50.73	29.59	80.32	12×2.32	7×2.32	11.60	42620	0.5692	372.0
70/10	68.05	11.34	79.39	6×3.80	1×3.80	11.40	23398	0.4217	275.2
70/40	89.73	40.67	110.40	12×2.72	7×2.72	13.60	58300	0.4141	511.3
95/15	94.39	15.33	109.72	26×2.15	7×1.67	13.61	35000	0.3058	380.8
95/20	95.14	18.82	118.96	1×4.16	7×1.85	13.87	37200	0.3019	408.8
95/55	96.51	56.30	152.81	12×3.20	7×3.20	16.00	78110	0.2992	707.7
120/7	118.89	6.61	125.50	18×2.90	1×2.90	14.50	27570	0.2422	379.0
120/20	115.67	18.82	134.49	26×2.38	7×1.85	15.07	4100	0.2496	466.8
120/25	122.48	24.25	149.73	7×4.72	7×2.10	15.74	47880	0.2345	526.6
120/70	122.15	71.25	193.40	12×3.60	7×3.60	18.00	98370	0.2364	895.6
150/8	144.76	8.04	152.80	18×3.20	1×3.20	16.00	32860	0.1989	461.4
150/20	145.68	18.82	164.50	24×2.78	7×1.85	16.67	46630	0.1980	549.4
150/25	148.86	24.25	173.11	26×2.70	7×2.10	17.10	54110	0.1939	601
150/35	147.26	34.36	181.72	30×2.50	7×2.50	17.50	65020	0.1962	676.2
185/10	183.22	10.18	193.40	18×3.60	1×3.60	18.00	40880	0.1572	584
185/25	187.04	24.25	211.29	24×3.15	7×2.10	18.90	59420	0.1542	706.1
185/30	181.34	29.59	210.93	26×2.98	7×2.32	18.88	64320	0.1592	732.6
185/45	184.73	43.10	227.83	30×2.80	7×2.8	19.60	80190	0.1564	848.2
210/10	204.14	11.34	215.48	18×3.80	1×3.85	19.00	45140	0.1411	650.7
210/25	209.02	27.10	236.12	24×3.33	7×2.22	19.98	65990	0.1380	789
210/35	211.73	34.36	246.09	26×3.22	7×2.50	20.28	74250	0.1363	853.9
210/50	209.24	48.82	258.06	30×2.98	7×2.98	20.86	90830	0.1381	960.8
240/30	244.29	31.67	275.96	24×3.60	7×2.40	21.60	75620	0.1181	922.2
240/40	238.85	38.90	277.75	26×3.42	7×2.66	21.66	83370	0.1209	964.3
240/55	241.27	56.30	297.57	30×3.20	7×3.20	22.40	102100	0.1196	1108
300/15	296.88	15.33	312.21	42×3.00	7×1.67	23.01	68060	0.09724	939.8
300/20	303.42	20.91	324.33	45×2.93	7×1.95	23.43	75680	0.09520	1002
300/25	306.21	27.10	333.31	48×2.85	7×2.22	23.76	83410	0.09433	1058
300/40	300.09	38.90	338.99	24×3.99	7×2.66	23.94	92220	0.09614	1133
300/50	299.54	48.82	348.38	26×3.83	7×2.98	24.26	103400	0.09636	1210
300/70	305.36	71.25	376.61	30×3.60	7×3.60	25.20	128000	0.09463	1402
400/20	406.40	20.91	427.31	43×3.51	7×1.95	26.91	88850	0.07104	1286
400/25	391.91	27.10	419.01	45×3.33	7×2.22	26.64	95940	0.07370	1295
400/35	390.88	34.36	425.24	48×3.22	7×2.50	26.82	103900	0.07389	1249
400/50	399.73	51.82	451.55	54×3.07	7×3.07	27.63	123400	0.07232	1511
400/65	398.94	65.06	465.00	26×4.42	7×3.44	28.00	135200	0.07286	1611
400/95	407.75	93.27	501.02	30×4.16	19×2.50	29.14	171300	0.07087	1860
500/35	497.01	34.36	531.37	45×3.75	7×3.44	30.00	119500	0.05812	1642
500/45	488.58	43.10	531.68	48×3.60	19×2.80	30.00	128100	0.05912	1688
500/65	501.88	65.06	566.94	54×3.44	7×3.44	30.96	154000	0.05760	1897
630/45	623.45	43.10	666.55	45×4.20	7×2.80	33.60	148700	0.04633	2060
630/55	639.92	56.30	696.22	48×4.12	7×3.20	34.32	164400	0.04514	2209
630/80	635.19	80.32	715.51	54×3.87	19×2.32	34.82	192900	0.04551	2388
800/55	814.30	56.30	870.60	45×4.80	7×3.20	38.40	191500	0.03547	2690
800/70	808.15	71.25	879.40	48×4.63	7×3.60	38.58	207000	0.03574	2791
800/100	795.17	100.88	896.05	54×4.33	19×2.60	38.98	241100	0.03835	2991

注 LGJF 型单位质量应在表列数中增加防腐涂料的质量,其值为钢芯涂防腐涂料者增加 2%;内部铝钢各层间涂防腐涂料者增加 5%。

表 1-6

常用镀锌钢绞线规格表

钢线 $1 \times 7 = 7$				钢线 $1 \times 19 = 19$			
型 号	钢线外径 (mm)	股数 $\times$ 单线 直径 (mm)	截 面 (mm ²)	型 号	钢线外径 (mm)	股数 $\times$ 单线 直径 (mm)	截 面 (mm ²)
GJ-25	6.6	7×2.2	26.6	GJ-50	9.0	19×1.8	48.3
GJ-35	7.8	7×2.6	37.2	GJ-70	11.0	19×2.2	72.2
GJ-50	9.0	7×3.0	49.5	GJ-100	13.0	19×2.6	101.0
				GJ-120	14.0	19×2.8	117.0

注 镀锌钢绞线的瞬时破坏应力是 1176N/mm^2 。

(三) 特种导线

近年来由于超高压送电线路的出现和大跨越的需要，一般的钢芯铝线满足不了载流量大和机械强度高的要求，需要选用以下几种型号的导线：

- (1) 铝合金线—HLJ- $\times \times \times$ ；
- (2) 铜包钢线—GTB- $\times \times \times$ ；
- (3) 铝包钢线—GLJ- $\times \times \times$ ；
- (4) 压缩型（光体、外形呈圆形）钢芯铝绞线—LGJY- $\times \times \times$ （普通型）；
—LGJJY- $\times \times \times$ （加强型）。

型号中各符号的一般含义如下：

- J——多股绞合线； L——铝；
B——包线； T——铜；
G——钢； H——合金；
Y——压缩。

型号后面 $\times \times \times$ 表示电线的标称截面积， mm^2 。

此外，还有用于沿海及有腐蚀气体地区的“防腐型钢芯铝绞线”，这种线的钢芯或铝股外表涂有防腐剂。

四、避雷线与导线的配合

避雷线与导线的配合关系见表 1-7。

表 1-7

避雷线与导线型号的配合

导线型号	LGJ-35	LGJ-95	LGJ-240	LGJ-400
	LGJ-50	LGJ-120	LGJ-300	LGJQ-500 及以上
	LGJ-70	LGJ-150	LGJQ-240	
		LGJ-185	LGJQ-300	
		LGJQ-150	LGJQ-400	
避雷线型号	GJ-25	GJ-35	GJ-50	GJ-70

五、导线的机械物理特性

导线的机械物理特性见表 1-8。

表 1-8

导线的机械物理特性

导线种类		机械物理特性	瞬时破坏应力 (N/mm ²)	弹性系数 (N/mm ²)	热膨胀系数 (1/℃)
钢芯铝绞线		LGJ-70 及以下	264.6	78400	19×10 ⁻⁶
		LGJ-95~400	284.2		
轻型钢芯铝绞线		LGTQ-150~300	245	72520	20×10 ⁻⁶
		LGJQ-400~700	235.2		
加强型钢芯铝绞线		LGJJ-150~240	303.8	81340	18×10 ⁻⁶
		LGJJ-300~400	313.6		
铝绞线	7 股	股径≤3.5mm	147	58800	23×10 ⁻⁶
		股径>3.5mm	137.2		
	19 股	股径≤3.5mm	147	55860	
		股以>3.5mm	137.2		
	37 股		137.2	55860	
	61 股		132.2	53900	

第三节 杆 塔

杆塔是电杆和铁塔的总称。杆塔的用途是支持导线和避雷线，以使导线之间、导线与避雷线之间、导线与地面及交叉跨越物之间保持一定的安全距离。

一、杆塔按材料分类

杆塔一般可以按原材料分为水泥杆和铁塔两种。

(一) 水泥杆 (钢筋混凝土杆)

电杆是由环形断面的钢筋混凝土杆段组成，其特点是结构简单、加工方便，使用的砂、石、水泥等材料便于供应，并且价格便宜。混凝土有一定的耐腐蚀性，故电杆寿命较长，维护量少。与铁塔相比，钢材消耗少，线路造价低，但重量大，运输比较困难。结合我国国情，110kV 送电线路应尽量使用水泥杆，220kV 送电线路，在有条件的开阔地区也可采用水泥杆。

水泥杆有非预应力钢筋混凝土杆和浇制前对钢筋预加一定张力拉伸的预应力钢筋混凝土杆两种。目前，送电线路使用较多的是非预应力杆。

(二) 铁塔

铁塔是用型钢组装成的立体桁架，可根据工程需要做成各种高度和不同形式的铁塔。铁塔有钢管塔和型钢塔。铁塔机械强度大，使用年限长，维修工作量少，但耗钢材量大、价格较贵。有些塔需拉线配合，占地面积很大，故铁塔多用于 500、300、220kV 和部分 110、35kV 线路中。在变电所进出线和通道狭窄地段 35~110kV 可采用双回路窄基铁塔。

二、杆塔按用途分类

按用途分为直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆和特种杆五种。特种杆又包括：跨越通航河流、铁路等的跨越杆，长距离送电线路的换位杆、分支杆。

(一) 直线杆

直线杆又叫中间杆。它分布在耐张杆塔中间，数量最多，在平坦地区，约占电杆总数的

80%。正常情况下，直线杆只承受垂直荷重（导线、地线、绝缘子串和覆冰重量）和水平的风压。只有在断线时，才承受导线的不平衡张力，因此，直线杆一般比较轻便，机械强度较低。

（二）耐张杆

耐张杆也叫承力杆。为了防止线路断线时整条线路的直线杆塔顺线路方向倾倒，必须在一定距离的直线段两端设置能够承受断线时顺线路方向的导、地线拉力的杆塔，把断线影响限制在一定范围以内。两个耐张杆塔之间的距离叫耐张段，35~220kV 一般为 3~5km，部分 220kV 线路可以长些，超高压线路考虑张力放线方便，平坦开阔地区耐张段长度可达 10~20km。在正常情况下，耐张杆在运行中承受的荷重可认为和直线杆相同或稍重，但在断线情况下应能承受顺线路方向的导、地线拉力。

（三）转角杆

线路转角处的杆塔叫转角杆。正常情况下转角杆除承受导、地线的垂直荷重和内角平分线方向风力水平荷重外，还要承受内角平分线方向导、地线全部拉力的合力，见图 1-5。转角杆的角度是指原有线路方向的延长线和转角后线路方向之间的夹角，见图 1-6。有转角 30°、60°、90°之分，即转角在 5°~30°之间时，采用 30°转角杆；转角在 30°~60°之间时，采用 60°转角杆；转角在 60°~90°之间时采用 90°转角杆。转角度不宜超过 90°。转角小于 5°时可以采用直线型转角杆，也可采用耐张杆。

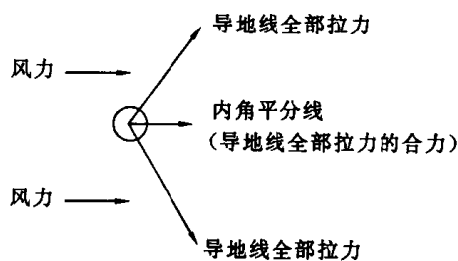


图 1-5 转角杆受力情况

（四）终端杆

线路终端处的杆塔叫终端杆。终端杆是装设在发电厂或变电所的线路末端杆塔。终端杆除承受导、地线垂直荷重和水平风力外，还要承受线路一侧的导、地线拉力，稳定性和机械强度都应比较高。

（五）特种杆

特种杆主要有换位杆、跨越杆和分支杆等。超过 100km 以上的送电线路要用换位杆进行导线换位；跨越杆设在通航河流、铁路、主要公路及电线两侧，以保证跨越交叉垂直距离；分支杆也叫“T”型杆或叫“T 接杆”，它用在线路的分支处，以便接出分支线。

三、水泥杆的规格

水泥杆的规格数据包括长度、梢径、根径、破坏弯矩四种。长度的单位是 m，梢径、根径的单位是 mm，破坏弯矩的单位是 kN·m。由于水泥杆的重量大，所以有时又加上参考重量，单位是 kg。破坏弯矩是指使水泥杆破坏时的弯矩，有的地方也用容许弯矩，容许弯矩是指水泥杆允许承受的弯矩，等于破坏弯矩除以安全系数。

送电线路水泥杆全部是机械化成批生产的锥型环形钢筋混凝土杆或等径环形钢筋混凝土杆。

锥型水泥杆一般用在配电线路上，送电线路的转角杆塔、耐张杆塔、终端杆塔和直线杆塔，均采用等径水泥杆。

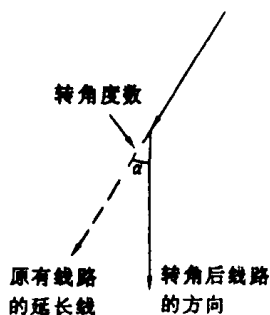


图 1-6 转角杆角度

锥型水泥杆的梢径有 190mm 和 230mm 两种, 拔梢度是 1/75。若已知杆顶直径 d , 则距杆顶垂直高度为 x 处的电杆直径 D_x , 可按下式求得

$$D_x = d + x/75 \quad (1-1)$$

式中 D_x ——距杆顶垂直高度为 x 时的电杆直径, mm;

d ——杆顶直径, mm;

x ——距杆顶的垂直高度, mm。

前者用于导线截面较小, 后者用于导线截面较大的线路。壁厚一般为 45mm。杆高一般分为 10m、12m、15m 三种, 根据需要也可做成分段式。

等径环形水泥杆的梢径和根径相等, 有 300mm 和 400mm 两种。前者用于导线截面较小, 后者用于导线截面较大的线路。为方便制造和运输, 等径杆多为分段结构, 一般制做成 9m、6m 和 4.5m 等三种, 使用时以电、气焊方式进行连接。直线杆的单杆用一根水泥杆, A 型杆、门型杆 (Π 型杆) 各用两根水泥杆。转角杆、耐张杆、终端杆用 A 型, 门型杆、三联杆加拉线。一般说来, 水泥杆加拉线占地面积并不比铁塔少, 妨碍机耕, 维修工作量大, 优越性并不显著。

为了适应不同导线截面拉力不同的需要, 水泥杆可根据需要配置不同型号的钢筋, 因而破坏弯矩也不一样, 故领料时要特别注意, 以免错领造成倒杆断线事故。分段锥型和等径水泥杆的规格分别见表 1-9 和表 1-10。

表 1-9 分段锥型水泥杆规格表

型 号	梢 径 (mm)	根 径 (mm)	长 度 (m)	破坏弯矩 (kN·m)	参考质量 (kg)
B-19-09-7 3/1	190	310	9 (上段)	73	800
B-19-12-8 7/1	190	350	12 (上段)	87	1100
B-23-09-8 7/1	230	350	9 (上段)	87	900
B-23-09-9 7/1	230	350	9 (上段)	97	900
B-35-06-15 7/2	350	430	6 (中段)	157	840
B-35-06-18 3/2	350	430	6 (中段)	183	840
B-31-06-11 5/3	310	390	6 (下段)	115	740
B-31-09-14 9/3	310	430	9 (下段)	149	1200
B-35-06-12 2/3	350	430	6 (下段)	122	840
B-35-06-14 5/3	350	430	6 (下段)	145	840
B-35-09-13 7/3	350	470	9 (下段)	137	1300
B-35-09-16 4/3	350	470	9 (下段)	164	1300
B-35-09-19 2/3	350	470	9 (下段)	192	1300
B-43-06-23 1/3	430	510	6 (下段)	231	100

注 1. 表中型号由第一节的汉语拼音字母和第二节到第四节的数字组成。B 表示拔梢 (锥型) 水泥杆, 第二节的数字表示梢径, 第三节的数字表示长度, 第四节的数字分子表示破坏弯矩, 分母中 1 表示分段的上段, 2 表示中段, 3 表示下段。例如: B-31-06-115/3, B 表示拔梢, 梢径 310mm, 长 6m, 破坏弯矩 115kN·m, 下段。

2. 分段组合时上段的梢径和下段的梢径要一致。

四、横担

杆塔通过横担将三相导线分隔一定距离, 用绝缘子和金具等将导线固定在横担上, 此外, 还需和地线保持一定的距离。因此, 要求横担要有足够的机械强度和使导、地线在杆塔上的布置合理, 并保持导线各相间和对地 (杆塔) 有一定的安全距离。

表 1-10

常用等径水泥杆规格表

型 号	直径 (mm)	长度 (m)	破坏弯矩 (kN·m)	参考质量 (kg)	型 号	直径 (mm)	长度 (m)	破坏弯矩 (kN·m)	参考质量 (kg)
D-30-09-48/1	300	9(上段)	48	950	D-30-09-48/3	300	9(下段)	48	950
D-30-09-69/1	300	9(上段)	69	950	D-40-09-105/1	400	9(上段)	105	1300
D-30-06-48/2	300	6(中段)	48	600	D-40-06-105/2	400	6(中段)	105	900
D-30-06-69/2	300	6(中段)	69	600	D-40-09-105/2	400	9(中段)	105	1300
D-30-09-48/2	300	9(中段)	48	950	D-40-06-105/3	400	6(下段)	105	900
D-30-06-48/3	300	6(下段)	48	600	D-40-06-105/3	400	9(下段)	105	1300
D-30-06-69/3	300	6(下段)	69	600					

注 表中型号栏内第一节 D 表示等径杆, 第二节表示电杆直径, 第三节和第四节的数字表示方法和锥型水泥杆相同。

(一) 横担按材料分类

1. 铁横担

铁横担机械强度大, 安全可靠、寿命长, 可根据需要设计长短, 灵活性较好。缺点是在化工地区易腐蚀, 耗钢材、价格贵。

2. 瓷横担

瓷横担广泛使用始于 70 年代, 是一种新产品, 它不但能够当作横担使用, 而又是绝缘子。组合式瓷横担在 110~220kV 线路上使用, 它的优点是绝缘程度好、价廉、寿命长、维护人工省; 缺点是机械强度较小, 除垂直压力外, 侧向力较差, 运行中如受较大振动时易断裂。适用于导线截面不大的直线杆上使用, 在污秽地区因其爬电距离较小, 不宜使用。

(二) 横担按用途分类

1. 直线横担

它和直线杆塔受力情况相同, 在断线的瞬间为了减小断线张力, 可将横担作成转动横担、变形横担, 或配合释放线夹使用, 以减少对杆塔的破坏程度。

2. 耐张横担

受力情况和耐张杆塔相同, 能承受断线张力, 缩小倒杆断线事故范围。

3. 转角横担

受力情况和转角杆塔相同, 为了使导线保持对杆塔一定的安全距离, 转角外侧横担要长些, 内侧横担可短一些, 长、短比例随着转角角度的增大而增大, 相应地机械强度也随之增大。

五、对杆塔的要求

预应力钢筋混凝土杆不得有裂纹, 非预应力钢筋混凝土杆保护层不得腐蚀、脱落、钢筋外露、裂纹宽度不应超过 0.2mm, 铁塔主材弯曲度不得超过 5/1000。

六、杆塔防盗技术措施

为防止因杆塔拉线 UT 线夹被盗造成倒杆, 铁塔地脚螺母被盗造成倒塔等现象, 各地运行单位应采取一些相应的防盗技术措施, 如:

- (1) 拉线 UT 线夹配置相应的防护帽, 使用专用工具施工。
- (2) 铁塔地脚螺母浇制混凝土保护帽 (详见第五节)。
- (3) 铁塔在地面以上适当距离内采用防盗螺栓。
- (4) 铁塔螺栓点焊。
- (5) 铁塔螺栓丝扣打卯。
- (6) 采用防盗胶防盗。