

基层供电企业员工岗前培训系列教材

输电线路基础

河南省电力公司 组编

王生甫 主编

郭海云 主审

专业类



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

基层供电企业员工岗前培训系列教材

输电线路基础

河南省电力公司 组编

王生甫 主编

郭海云 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》是依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》，结合生产实际编写而成的。

继 2010 年本套教材推出 14 个分册之后，2012 年又推出 8 个分册，目前，本套教材共有 22 个分册。本册为《输电线路基础》，全书共 5 个单元，具体内容有：输电线路基本知识，导线的应力弧垂分析，导线安装计算，架空输电线路的杆塔和基础，架空输电线路的路径和杆位。

本书可作为基层供电企业新员工、复转军人入职和生产技术人员提升职业能力的培训用书，也可供电力职业院校教学使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路基础/河南省电力公司组编. —北京：中国电力出版社，2012.8

基层供电企业员工岗前培训系列教材

ISBN 978-7-5123-3444-1

I. ①输… II. ①河… III. ①输电线路—岗前培训—教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 203050 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.75 印张 251 千字

印数 0001—3000 册 定价 34.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

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

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》

编 委 会

主 任 凌绍雄

副 主 任 焦银凯 杨义波

委 员 孙永阁 陈水增 王 静 张 静 邓启民

李忠强 惠自洪 郭海云 戴 泌 付红艳

易 帆 王生甫 赵玉谦

前 言

为了增强基层供电企业员工岗前培训的针对性和实效性,进一步提高岗前培训员工的综合素质和岗位适应能力,河南省电力公司牵头组织,河南省电力公司技术技能培训中心郑州校区和南阳校区的教学管理人员及部分教师共同策划、编写了《基层供电企业员工岗前培训系列教材》。该套教材按照电网主要生产岗位的能力素质模型和岗位任职资格标准,实施基于岗位能力的模块培训,提高培训教学的针对性和可操作性,培养具有良好职业素质和熟练操作技能、快速适应岗位要求的中高级技能人才。

该套教材针对基层供电企业员工岗前培训的特点,在编写过程中贯彻以下原则:

第一,从岗位需求分析入手,参照国家职业技能标准中级工要求,精选教材内容,切实落实“必须、够用、突出技能”的教学指导思想。

第二,体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路,较好地处理了基础知识与专业知识、理论教学与技能训练之间的关系,有利于帮助学员掌握知识、形成技能、提高能力。

第三,按照教学规律和学员的认知规律,合理编排教材内容,力求内容适当、编排合理新颖、特色鲜明。

第四,突出教材的先进性,结合生产实际,增加新技术、新设备、新材料、新工艺的内容,力求贴近生产实际,缩短培训与企业需要的距离。

继2010年本套教材推出14个分册之后,2012年又推出8个分册。目前,本套教材共有22册。本书共5个单元,主要介绍输电线路基本知识、导线的应力弧垂分析、导线安装计算、架空输电线路的杆塔和基础、架空输电线路的路径和杆位。本书由河南省电力公司技术技能培训中心王生甫主编,郭海云主审。在编写中参考了有关资料、文献,在此对资料和文献的作者表示感谢。

由于编写时间仓促,水平有限,难免出现疏漏,敬请读者在使用中多提宝贵意见,以便修订时加以完善。

编 者

2012年7月

目 录

前言

单元一 输电线路基本知识	1
课题一 概述	1
思考与练习	4
课题二 导线	4
思考与练习	10
课题三 避雷线和接地装置	10
思考与练习	14
课题四 绝缘子和绝缘子串	14
思考与练习	25
课题五 线路金具	25
任务一 悬垂线夹、耐张线夹、连接金具	25
思考与练习	35
任务二 接续金具、保护金具和拉线金具	35
思考与练习	44
课题六 杆塔	44
思考与练习	46
课题七 基础	47
思考与练习	51
课题八 架空输电线路的运行环境	51
思考与练习	57
课题九 输电线路导线截面选择	57
思考与练习	62
课题十 输电线路施工图	62
思考与练习	68

单元二 导线的应力弧垂分析

78

课题一 导线的比载	78
任务一 垂直比载	78
思考与练习	80
任务二 水平比载	80
思考与练习	82
任务三 综合比载	82
思考与练习	84
课题二 导线的机械物理特性和应力	84
思考与练习	88
课题三 悬点等高时,导线的弧垂、应力和线长	89
任务一 悬点等高时,导线的弧垂、应力关系	89
思考与练习	93
任务二 悬点等高时,导线的线长、应力关系	94
思考与练习	95
课题四 小高差档距中导线的弧垂、应力和线长	96
任务一 小高差档距中导线的弧垂	96
思考与练习	101
任务二 小高差档距中导线的线长和应力	101
思考与练习	103
课题五 水平档距和垂直档距	104
思考与练习	109
课题六 代表档距	110
思考与练习	111
课题七 临界档距	111
思考与练习	114
课题八 导线的机械特性曲线	114
思考与练习	117

单元三 导线安装计算

118

课题一 导线安装曲线	118
思考与练习	121
课题二 特殊耐张段的安装	122

思考与练习	126
课题三 导线的振动和舞动	126
任务一 导线的振动和影响因素	127
思考与练习	131
任务二 导线的防振	132
思考与练习	138
任务三 导线的次档距振动和舞动	138
思考与练习	140

单元四 架空输电线路的杆塔和基础 141

课题一 杆塔的外形尺寸	141
思考与练习	146
课题二 输电线路中的电杆	147
思考与练习	152
课题三 输电线路中的铁塔	152
思考与练习	161
课题四 杆塔基础	161
任务一 杆塔基础及土壤的力学特性	161
思考与练习	167
任务二 杆塔基础的型式	167
思考与练习	171

单元五 架空输电线路的路径和杆位 172

课题一 架空输电线路的路径选择	172
思考与练习	178
课题二 输电线路的平断面图	179
思考与练习	184
课题三 输电线路杆塔的定位	184
思考与练习	188
课题四 输电线路杆塔的定位校验	188
任务一 杆塔使用条件校验	188
思考与练习	192

任务二 架空线运行条件校验	192
思考与练习	196
附录 A 常用架空导线和地线的规格和性能	197
附录 B 弱电线路等级	207
附录 C 公路等级	208
参考文献	209

单元一

输电线路基本知识

课题一 概 述

学习目标

1. 能解释动力系统、电力系统、电力网的概念。
2. 能说出我国采用的电压等级。
3. 能说出架空输电线路的主要组成元件。

知识点

1. 动力系统、电力系统、电力网的概念。
2. 输电线路的分类。
3. 输电线路的主要组成元件。

技能点

指出输电线路主要组成元件。

学习内容

一、输电线路的任务

地球上的煤、石油和江河等动力资源的分布是自然决定的，通常远离电力负荷中心。火力发电厂可以建在能源基地，也可以建在负荷中心附近，这取决于远距离输电经济还是运送燃料经济。一座 300 万 kW 的燃煤发电厂，其年耗原煤 1500 万～2000 万 t，若将其建在负荷中心附近，所耗原煤的年运量将超过一条铁路专用线的年运输量，此外负荷中心往往是人口密集区，大量原煤燃烧会产生严重的污染。因此从技术上、经济上和环境污染等方面比较，现代化的大型火力发电厂均应建在能源基地。水力发电厂则只能建在江河流域水位落差大的地方。这些电厂发出的电能通过输电线路向负荷中心输送。

为了减少系统的备用容量，错开高峰负荷，实现跨区域、跨流域调节，增强系统的稳定性，提高抗冲击负荷的能力，需将孤立运行的发电厂用输电线路进行联络（联网），组成统一的电力系统。电力系统的联网，既提高了系统的安全性、可靠性

和稳定性，又可实现经济调度，使各种能源得到充分利用。

通常将发电机、变电站、用电设备之间用电力线路连接起来的整体，叫做电力系统。电力系统中除发电机和用电设备外的部分，即输变电设备及各种不同电压等级的电力线路所组成的部分，叫做电力网。电力系统加上发电厂的动力部分（如锅炉、汽轮机等）所组成的整体，叫做动力系统，如图 1-1 所示。

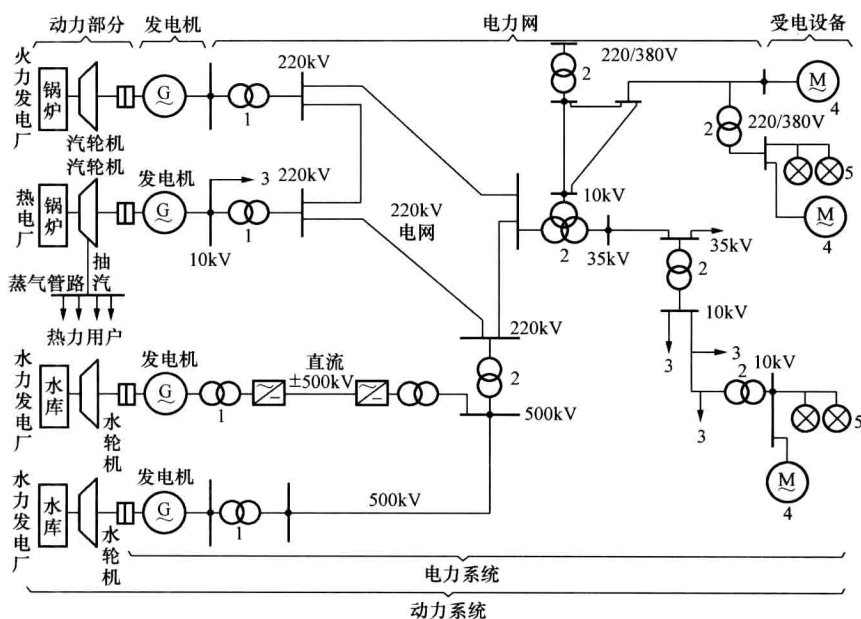


图 1-1 电力系统和电力网示意图

1—升压变压器；2—降压变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯

二、输电线路的分类

电力线路是电力系统的重要组成部分，它担负着输送和分配电能的任务。从发电厂向电力负荷中心输送电能的线路以及电力系统之间的联络线路称为输电线路（或送电线路）。由电力负荷中心向各个电力用户分配电能的线路称为配电线路。

为减少电能输送过程中的损耗，根据输送距离和输送容量的大小，输电线路采用各种不同的电压等级。目前我国采用的交流电压等级有 35、110、220、330、500、750、1000kV。通常称 35~220kV 的线路为高压输电线路；330kV 及以上、1000kV 以下的线路为超高压输电线路；1000kV 及其以上的线路为特高压输电线路。2005 年 9 月 26 日，我国第一条世界上海拔最高的西北 750kV 输变电示范工程——青海官亭至甘肃兰州东 750kV 输变电工程正式投入运行。2008 年 12 月 30 日 1000kV 特高压交流试验示范工程——晋东南—南阳—荆门 1000kV 输电线路工程投入试运

行, 该工程起自 1000kV 晋东南变电站, 经 1000kV 南阳变电站, 止于 1000kV 荆门变电站, 线路路径全长约 640km。

输电线路按架设方式可分为架空线路和电缆线路。架空线路由于具有结构简单、施工简便、建设费用低、施工周期短、检修维护方便、技术要求较低等优点, 得到广泛地使用, 但是, 线路设备长期露置在自然环境中, 易受各种气象条件 (如大风、覆冰雪、气温变化、雷击等) 的侵袭、化学气体的腐蚀以及外力的破坏, 出现故障的概率较高。电缆线路受外界环境因素的影响小, 但需用特殊加工的电力电缆, 费用高, 施工及运行检修的技术要求高, 目前仅用于城市居民稠密区和跨海输电等特殊情况。

输电线路按输送电流的性质分为交流线路和直流线路, 最常见的是三相交流线路, 与交流线路相比, 在输送相同功率的情况下, 直流线路需要的投资较少, 主要材料消耗低, 线路的走廊宽度也较小, 作为两个电力系统的联络线, 改变传送方向迅速方便, 可以实现相同频率甚至不同频率交流系统之间的不同步联系, 能降低主干线及电力系统间的短路电流。随着换流技术的不断完善和换流站造价的降低, 超高压直流输电有着广泛的应用前景。1987 年 9 月我国建成了第一条 $\pm 500\text{kV}$ 超高压直流输电工程——葛 (葛洲坝) —上 (上海) 线, 该工程全长 1051km, 每极采用 $4 \times \text{LGJQ}-300$ 型导线, 输送容量 1200MW。云南—广东 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程, 线路全长 1438km, 西起云南楚雄州禄丰县, 东至广东增城市, 额定输电容量达 5000MW。

输电线路按杆塔上的回路数目分为单回路、双回路和多回路线路。除架空地线外, 单回路杆塔上仅有一回三相导线, 双回路杆塔上有两回三相导线, 多回路杆塔上有三回及以上的三相导线。

输电线路按三相导线之间的距离分为常规型线路和紧凑型线路。

三、输电线路的组成

输电线路组成如图 1-2 所示, 为保证架空输电线路带电导线与地面及交叉跨越物间保持一定的安全距离, 必须用杆塔来支撑导线。直线杆塔对导线进行支撑, 导线伸展后把张力传递到承力杆塔上, 这样整条线路就形成一个索状稳定结构。空气是架空输电线路导线之间及导线对地之间的绝缘介质。导线在杆塔上则通过绝缘子串与杆塔、横担进行电气隔离。绝缘子串又通过金具分别和导线、横担相连接并固定在杆塔横担上。

相邻两基杆塔中心线之间的水平距离 l (图 1-2 中 $l_1 \sim l_5$) 称为档距。相邻两基承力杆塔之间的几个档距组成一个耐张段。图 1-2 中, 5~9 号杆塔为一个耐张段, 该耐张段由 4 个档距组成。如果耐张段中只有一个档距, 则该耐张段称为孤立

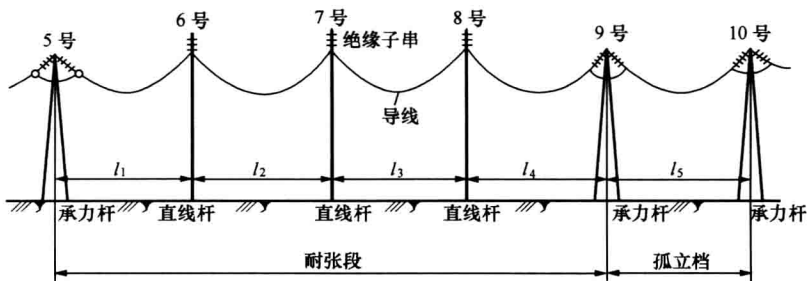


图 1-2 输电线路组成

档，如图 1-2 中 9~10 号杆塔之间。一条输电线路总是由很多个耐张段组成的，其中包括孤立档。

架空输电线路主要由导线、避雷线（或称架空地线，简称地线）、杆塔、绝缘子（串）、金具、基础以及接地装置等部分组成，如图 1-3 所示。

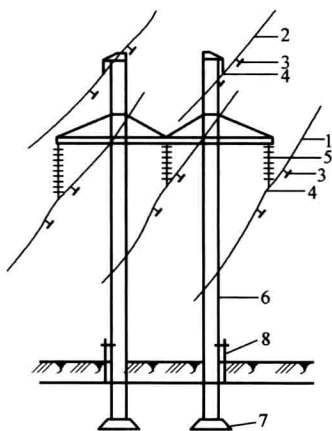


图 1-3 架空输电线路的组成

1—导线；2—避雷线；3—防振锤；4—线夹；
5—绝缘子；6—杆塔；7—基础；8—接地装置

思考与练习

- (1) 什么叫电力系统？什么叫电力网？
- (2) 电力线路可分为哪几类？我国采用的电压等级有几种？
- (3) 什么叫档距？什么叫耐张段？什么叫孤立档？
- (4) 架空输电线路由哪些主要元件组成？

课题二 导 线

学习目标

1. 能说明架空线路导线的作用。
2. 能解释导线型号的意义。
3. 知道导线的排列方式。
4. 知道导线换位的原因及换位的方式。

知识点

1. 架空线路导线的作用。
2. 对架空线路导线材料的要求。
3. 导线的型号规格。
4. 导线在架空线路空间的排列方式。
5. 导线的换位。

技能点

识读导线的型号。

学习内容

一、对架空线路导线材料的要求

导线是用来传输电流、输送电能的。由于架空线路的导线架设在杆塔上，长期处于露天环境下运行，经常承受风、冰等外部荷载的影响以及气温的剧烈变化和空气污染的侵袭，同时它又受国家资源和线路投资等因素的限制。因此，对导线的材料有一定的要求。

(1) 导线的材料应具有较高的电导率，使传输电能时电压损耗和电能损耗最小。

(2) 耐热性能好（热稳定性好），提高线路的输送容量。

(3) 机械强度高，柔软性好，易于弯曲加工、运输、施工。

(4) 抗腐蚀能力强，能适应自然环境条件，使用寿命长。

(5) 耐振性能好，耐磨损，质量轻、价格低廉。

架空线路导线常用的材料有铜、铝、铝合金和钢。

铜是理想的导线材料，其导电性能和机械强度均好，但价格较贵，除特殊需要外，输电线路一般不使用。

铝质轻价廉，导电性能仅次于铜，但机械强度较低，纯铝导线仅用于两相邻杆塔间档距较小的 10kV 及以下线路。此外，铝的抗腐蚀性也较差，不宜在污秽区使用。

铝合金的导电性能与铝相近，机械强度接近铜，价格却比铜低，并具有较好的抗腐蚀性能，不足之处是铝合金受振动断股的现象比较严重，使其使用受到限制。随着断股问题的解决，铝合金将成为一种很有前途的导线材料。

钢具有较高的机械强度，且价格较低，但导电性能差。钢材料的架空线一般作为地线使用，为防腐蚀，钢线需要镀锌处理。

二、常用架空导线的结构及型号规格

输电线路用架空导线基本都由多股圆线同心绞合而成，各种架空线的结构如

图 1-4 所示。

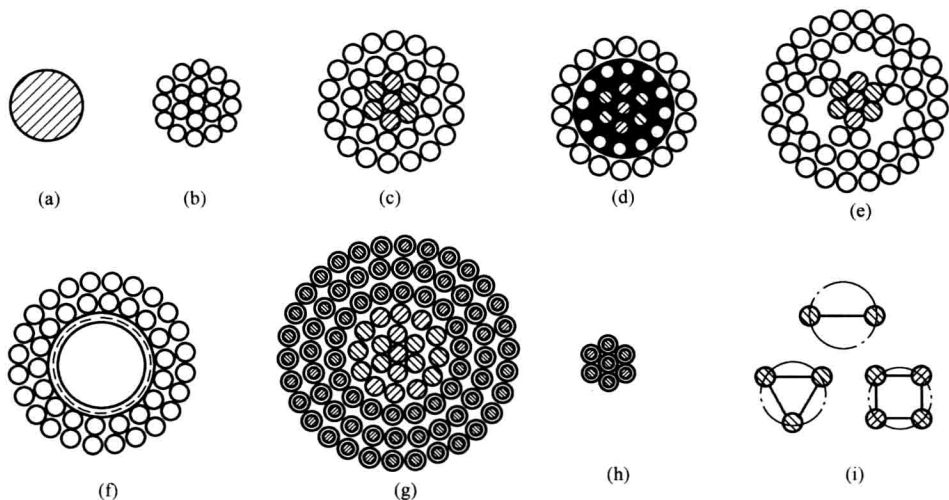


图 1-4 各种导线和地线的断面结构

(a) 单股导线；(b) 单一金属绞线；(c) 钢芯铝绞线；(d) 防腐钢芯铝绞线；(e) 扩径钢芯铝绞线；
(f) 空心导线（腔中为蛇形管）；(g) 钢芯铝包钢绞线；(h) 铝包钢绞线；(i) 分裂导线

我国现行导线标准采用 GB/T 1179—2008《圆线同心绞架空导线》，该标准修改采用了国际电工委员会的架空线路导线标准 IEC 61089: 1991，在导线设计、制造和检验方面基本与国际接轨。在该标准中，导线用型号、标称截面、绞合结构及标准编号表示。

型号第一个字母均用 J，表示同心绞合；单一导线在 J 后面为组成导线的单线代号，组合导线在 J 后面为外层线（或外包线）和内层线（或线芯）的代号，二者用“/”分开；在型号尾部加防腐代号 F，则表示导线采用涂防腐油结构。

标称截面是表示导电材料截面的名义值或标志值，单位为 mm^2 。

绞合结构用构成导线的单线根数表示。单一导线直接用单线根数表示，组合导线采用前面为导电铝线（铝合金线）根数，后面为内层加强芯线根数，中间用“/”分开来表示。

绞线常用的单线有硬圆铝线 L，高强度铝合金线 LHA1、LHA2（LH 表示架空绞线用铝合金圆线，A 表示高强度系列，导电性能用 1 或 2 表示，1 对应于 52.5% IACS，2 对应于 53% IACS），绞线用镀锌钢线 G1A、G1B、G2A、G2B、G3A（G 表示绞线用镀锌钢线，1、2、3 分别表示普通强度、高强度、特高强度系列，A、B 表示镀层厚度等级：普通、加厚），电工用铝包钢线 LB1A、LB1B、LB2（L 表示铝，B 表示包覆，1、2 表示导电性能，1 对应于 20.3% IACS，2 对应

于 27%IACS, A、B 表示机械性能系列)。

例如: JL—500—37 表示由 37 根硬铝线绞制成的铝绞线, 其标称截面为 500mm^2 。

JLHA1—500—37 表示由 37 根 1 型高强度铝合金线绞制成的铝合金绞线, 其标称截面为 500mm^2 。

JL/G1A—500/35—45/7 表示由 45 根硬铝线和 7 根 A 级镀层普通强度镀锌钢线绞制成的钢芯铝绞线, 硬铝线的标称截面为 500mm^2 , 钢的标称截面为 35mm^2 。

JLHA1/G3A—500/65—54/7 表示由 54 根 1 型高强度铝合金线和 7 根 A 级镀层特高强度镀锌钢线绞制而成的钢芯铝合金绞线, 铝合金线的标称截面为 500mm^2 , 钢的标称截面为 65mm^2 。

JL/LB1A—485/60—54/7 表示由 54 根硬铝线和 7 根 20.3%IACS 电导率 A 型铝包钢线绞制成的铝包钢芯铝绞线, 硬铝线的标称截面为 485mm^2 , 铝包钢的标称截面为 60mm^2 。

JLB1A—120—19 表示由 19 根 20.3%IACS 电导率 A 型铝包钢线绞制成的铝包钢绞线, 铝包钢的标称截面为 120mm^2 。

JG1A—250—19 表示由 19 根 A 级镀层普通强度镀锌钢线绞制成的镀锌钢绞线, 钢线的标称截面为 250mm^2 。

上述示例表示中, 为简化, 均省略了标准编号。

目前在架空输电线路中大量使用着按旧标准制造的架空线。在 GB 1179—1983《铝绞线及钢芯铝绞线》中, 架空线的型号规格由材料、结构和标称载流面积三部分组成。材料和结构以汉语拼音的第一个字母大写表示, 标称截面积以 mm^2 为单位表示。如: LJ—120 表示标称截面为 120mm^2 的铝绞线; LGJ—300/50 表示标称截面铝 300mm^2 、钢 50mm^2 的钢芯铝绞线; LGJF—150/25 表示标称截面铝 150mm^2 、钢 25mm^2 的防腐型钢芯铝绞线。

在 GB 1179—1974 中, 按铝钢截面比的不同, 将钢芯铝绞线分为普通型 (LGJ)、加强型 (LGJJ) 和轻型 (LGJQ) 三种, 如 LGJ—300、LGJJ—300、LGJQ—300。

钢芯铝绞线的内芯为单股或多股镀锌钢绞线, 外层为单层或多层的铝绞线。由于交流电的集肤效应, 四周电阻率较小的铝部截面主要起载流作用, 机械荷载则主要由芯部的钢线承受。因此钢芯铝绞线既有较高的导电性, 又有较好的机械强度, 成为目前最常用的导线品种。分裂导线使用普通型号的导线, 安装间隔棒保持其间隔和形状, 如图 1-4 (i) 所示, 这相当于大大增加了导线的半径, 提高了临界电晕电压水平, 减少了线路上的电能损耗, 提高了线路的输送容量, 因此超高压输电

线路中广泛采用了分裂导线,我国 220kV 和 330kV 线路多用二分裂导线,500kV 线路多用四分裂导线也有的采用六分裂导线,1000kV 线路采用八分裂导线。

三、导线的排列方式

导线的排列方式主要取决于线路的回路数、线路运行的可靠性、杆塔荷载分布的合理性以及施工安装、带电作业是否方便,并应使塔头部分结构简单、尺寸小。单回线路的导线常呈三角形、上字形和水平排列,双回线路有伞形、倒伞形、六角形和双三角形排列,如图 1-5 所示。

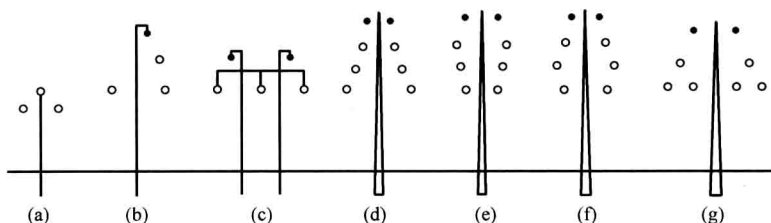


图 1-5 导线的排列方式

(a) 三角形; (b) 上字形; (c) 水平排列; (d) 伞形; (e) 倒伞形; (f) 六角形; (g) 双三角形

运行经验表明,在重冰区、多雷区和电晕严重地区的单回线路,采用水平排列比三角形好。这是因为水平排列的线路杆塔高度较低,雷击机会减少;三角形排列的下层导线因故(如不均匀脱冰)向上跃起时,易发生相间闪络和导线间相碰事故。但导线水平排列的杆塔比三角形排列的复杂、造价高,并且所需线路走廊也较大。一般,普通地区可结合具体情况选择水平排列或三角形排列,重冰区、多雷区宜采用水平排列,电压在 220kV 以下导线截面不太大的线路采用三角形排列比较经济。

由于伞形排列不便于维护检修,倒伞形排列防雷性比较差,因此目前双回线路同杆架设时多采用六角形排列。这样可以缩短横担长度,减少塔身扭力,获得比较满意的防雷保护角,提高耐雷水平。

四、导线的换位

当三相导线在空间中的排列不对称时,即三相导线的几何位置不在等边三角形的顶点,三相中各相导线的电抗和电纳的数值是不等的,各相的电流和电压降也不相等,并且还会对线路附近的其他弱电线路造成干扰。为了限制和减少电力系统正常运行时的不对称电流和不对称电压,并减少输电线路对电信线路的干扰,架空输电线路的导线必须换位。

换位的原则是保证各相导线在空间每一位置的长度总和相等。图 1-6 示出了全线采用整循环换位的情况。图 1-6 (a) 为一个整循环换位,达到首端和末端相