



国家电网
STATE GRID

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训专用教材

输电线路带电作业

国家电网公司人力资源部 组编

GUOJIADIANWANGGONGSI
SHENGCHANJINENG RENYUAN
ZHIYENENGLI PEIXUN
ZHUANYONG JIAOCAI



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



国家电网
STATE GRID

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训专用教材

输电线路带电作业

国家电网公司人力资源部 组编

冯振波 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训教材》是按照国家电网公司生产技能人员模块化培训课程体系的要求,依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(简称《培训规范》),结合生产实际编写而成。

本套教材作为《培训规范》的配套教材,共72册。本册为专用教材部分的《输电线路带电作业》,全书共6个部分15章43个模块,主要内容包括输电线路基础知识,带电作业基础知识,带电作业工器具管理,带电作业基本技能,带电更换绝缘子,带电作业综合技能。

本书可作为供电企业输电线路带电作业工作人员的培训教学用书,也可作为电力职业院校教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路带电作业/国家电网公司人力资源部组编. —北京:中国电力出版社,2010.9

国家电网公司生产技能人员职业能力培训专用教材

ISBN 978-7-5123-0830-5

I. ①输… II. ①国… III. ①输电线路-带电作业-技术培训-教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第172598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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年9月第一版 2010年9月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 13.5印张 414千字
印数0001—3000册 定价22.00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

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训专用教材》

编 委 会

主 任 刘振亚

副 主 任 郑宝森 陈月明 舒印彪 曹志安 栾 军
李汝革 潘晓军

成 员 许世辉 王风雷 张启平 王相勤 孙吉昌
王益民 张智刚 王颖杰

编写组组长 许世辉

副 组 长 方国元 张辉明 陈卫中

成 员 冯振波 刘俊龙 何晓亮 郑雄俊 夏 冰
曾林平 鞠宇平 倪 春 江振宇 李群雄
曹爱民 李功新 金昌榕 曹 晖



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训专用教材

前 言

为大力实施“人才强企”战略，加快培养高素质技能人才队伍，国家电网公司按照“集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设”的工作要求，充分发挥集团化优势，组织公司系统一大批优秀管理、技术、技能和培训教学专家，历时两年多，按照统一标准，开发了覆盖电网企业输电、变电、配电、营销、调度等34个职业种类的生产技能人员系列培训教材，形成了国内首套面向供电企业一线生产人员的模块化培训教材体系。

本套培训教材以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(Q/GDW 232—2008)为依据，在编写原则上，突出以岗位能力为核心；在内容定位上，遵循“知识够用、为技能服务”的原则，突出针对性和实用性，并涵盖了电力行业最新的政策、标准、规程、规定及新设备、新技术、新知识、新工艺；在写作方式上，做到深入浅出，避免烦琐的理论推导和验证；在编写模式上，采用模块化结构，便于灵活施教。

本套培训教材涵盖34个职业的通用教材和专用教材，共72个分册、5018个模块，每个培训模块均配有详细的模块描述，对该模块的培训目标、内容、方式及考核要求进行了说明。其中：通用教材涵盖了供电企业多个职业种类共同使用的基础、专业基础、基本技能及职业素养等知识，包括《电工基础》、《电力安全生产及防护》等38个分册、1705个模块，主要作为供电企业员工全面系统学习基础理论和基本技能的自学教材；专用教材涵盖了单一职业种类专用的所有专业知识和专业技能，按照供电企业生产模式分职业单独成册，每个职业分为I、II、III等3个级别，包括《变电检修》、《继电保护》等34个分册、3313个模块，可以分别作为供电企业生产一线辅助作业人员、熟练作业人员和高级作业人员的岗位技能培训教材，也可作为电力职业院校的教学参考书。

本套培训教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，充分发挥企业培养高技能人才主体作用的重要举措，是加快推进国家电网公司发展方式和电网发展方式转变的迫切要求，也是有效开展电网企业教育培训和人才培养工作的重要基础，必将对改进生产技能人员培训模式，推进培训工作由理论灌输向能力培养转型，提高培训的针对性和有效性，全面提升员工队伍素质，保证电网安全稳定运行、支撑和促进国家电网公司可持续发展起到积极的推动作用。

本套教材共72个分册，本册为专用教材部分的《输电线路带电作业》。

本书中第一部分输电线路基础知识，由福建省电力有限公司郑雄俊、江苏省电力公司何晓亮、安徽省电力公司刘俊龙编写；第二部分带电作业基础知识，由江苏省电力公司何晓亮编写；第三部分带电作业工器具管理，由西北电网有限公司曾林平、朱欣军编写。第四部分带电作业基本技能，由安徽省电力公司刘俊龙、四川省电力公司夏冰、福建省电力有限公司冯振波编写；第五部分带电更换绝缘子，由西北电网有限公司曾林平、朱欣军、福建省电力有限公司冯振波编写；第六部分带电作业综合技能，由四川省电力公司夏冰、安徽省电力公司刘俊龙、江苏省电力公司何晓亮、福建省电力有限公司冯振波编写；全书由福建省电力有限公司冯振波担任主编。国网电力科学研究院王力农担任主审，国家电网公司生产运行部吕军、国网电力科学研究院刘凯、吕万辉参审。

由于编写时间仓促，本套教材难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使之不断完善。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训专用教材

目 录

前言

第一部分 输电线路基础知识

第一章 输电线路组成及型式	3
模块 1 输电线路基本知识 (ZY0700101001)	3
模块 2 输电线路各种杆塔结构型式 (ZY0700101002)	11
第二章 输电线路受力分析及计算	15
模块 1 弧垂应力计算的简化方程 (ZY0700102001)	15
模块 2 安全系数和最大使用应力 (ZY0700102002)	16
模块 3 弧垂、应力和线长的关系 (ZY0700102003)	18
模块 4 振动产生的原因及其危害 (ZY0700102004)	22
模块 5 导、地线防振 (ZY0700102005)	26
模块 6 导线集中荷载的受力分析与计算 (ZY0700102006)	31
模块 7 避雷线支持力的概念 (ZY0700102007)	34
模块 8 导线断线张力的概念 (ZY0700102008)	36
模块 9 杆塔荷载的分析与计算 (ZY0700102009)	42
模块 10 杆塔基础受力分析与计算 (ZY0700102010)	46
第三章 输电线路元件的运行、检修要求	49
模块 1 输电线路元件的运行要求 (ZY0700301001)	49
模块 2 输电线路元件的检修要求 (ZY0700301002)	52
第四章 输电带电作业施工、安装图的识读	58
模块 1 识读线路路径图和杆型图 (TYBZ00506001)	58
模块 2 识读线路平断面图、相序图、系统图 (TYBZ00506002)	63
模块 3 识读线路杆塔结构和金具安装图 (TYBZ00506003)	66

第二部分 带电作业基础知识

第五章 带电作业安全技术	73
模块 1 气象条件对带电作业的影响 (GYDD00101001)	73
第六章 输电带电作业规程、规范及标准	76
模块 1 带电作业相关标准和导则 (ZY0700401001)	76

第三部分 带电作业工器具管理

第七章 带电作业工器具管理	83
模块 1 带电作业工器具的使用、运输和保管 (ZY0700201002)	83

模块 2 带电工器具的库房管理 (ZY0700201003)	91
模块 3 带电作业工器具的试验方法 (ZY0700201001)	93

第四部分 带电作业初级技能

第八章 输电带电作业流程及相关要求	99
模块 1 现场标准化作业流程 (ZY0700202001)	99
第九章 带电作业基本技能	103
模块 1 带电检测绝缘子 (ZY0700203001)	103
模块 2 进出电场操作方法 (ZY0700204001)	106
模块 3 带电修补导线 (ZY0700205001)	112
模块 4 带电更换防护金具 (ZY0700206001)	116

第五部分 带电更换绝缘子

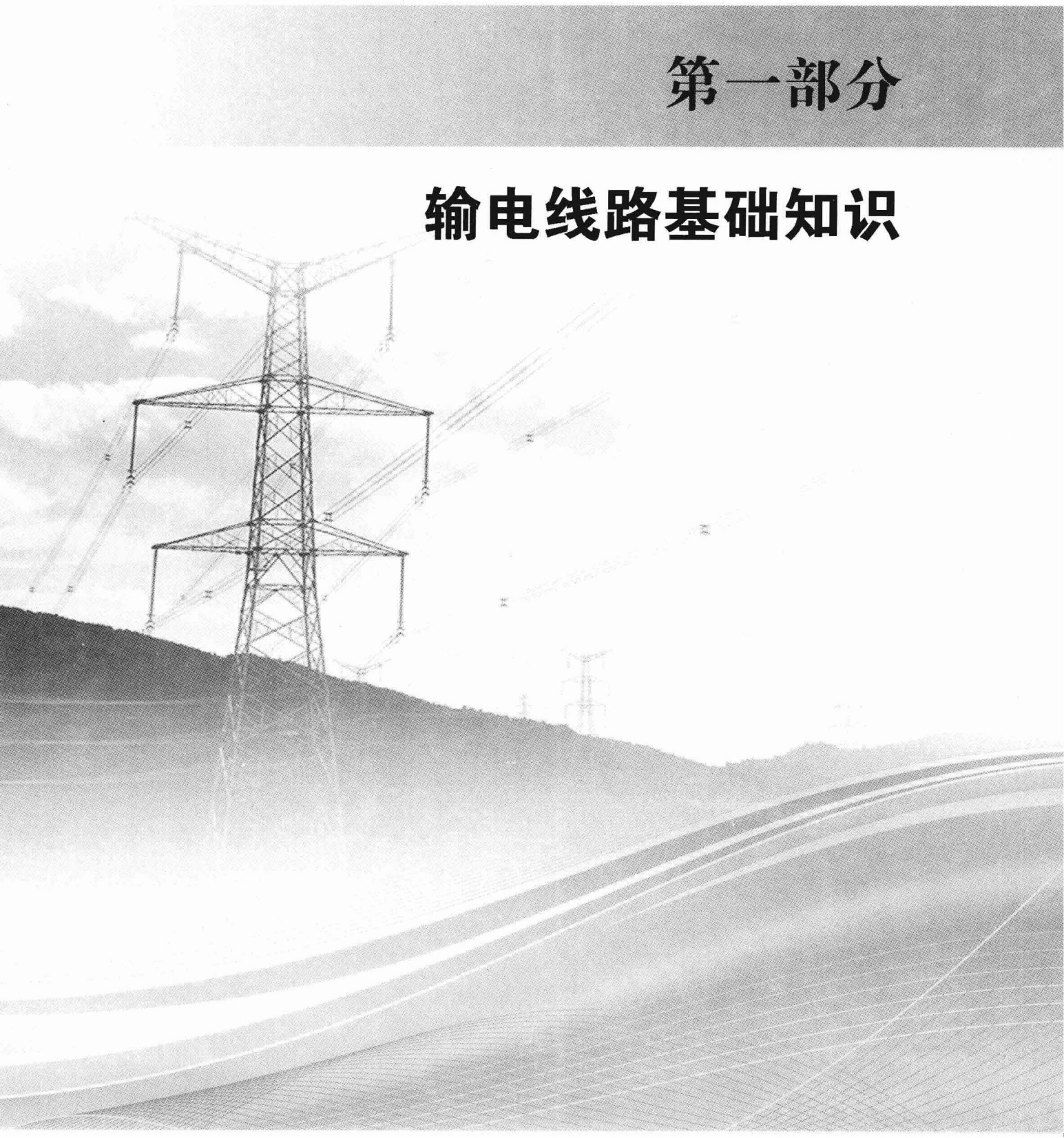
第十章 带电更换绝缘子	125
模块 1 更换 110kV 直线绝缘子 (ZY0700203002)	125
模块 2 更换 110kV 单串耐张绝缘子 (ZY0700203003)	129
模块 3 更换 220kV 直线绝缘子 (ZY0700208001)	132
模块 4 更换 220kV 整串耐张绝缘子 (ZY0700208006)	137
模块 5 更换 330kV 及以上悬垂单串绝缘子 (ZY0700208002)	142
模块 6 更换 330kV 及以上悬垂双串绝缘子 (ZY0700208003)	146
模块 7 更换 330kV 及以上直线转角和 V 形绝缘子串 (ZY0700208004)	150
模块 8 更换 330kV 及以上直线单片绝缘子 (ZY0700208005)	154
模块 9 更换 330kV、500kV 耐张单片绝缘子 (ZY0700208007)	157

第六部分 带电作业综合技能

第十一章 导线连接器过热带电处理	165
模块 1 导线连接点过热带电处理 (ZY0700207001)	165
第十二章 带电断、接引线	170
模块 1 断、接 110kV 空载线路引线 (ZY0700209001)	170
第十三章 带电作业项目组织	175
模块 1 编写各种带电作业项目指导书 (ZY0700210003)	175
模块 2 组织指挥基础带电作业项目 (ZY0700210001)	185
模块 3 组织指挥复杂或特殊带电作业项目 (ZY0700210002)	186
第十四章 事故案例分析	193
模块 1 带电作业项目案例分析 (ZY0700210004)	193
第十五章 特殊带电作业项目介绍	197
模块 1 输电特殊项目带电作业 (ZY0700210005)	197
附录 A 《输电线路带电作业》培训模块教材各等级引用关系表	203
参考文献	207

第一部分

输电线路基础知识







第一章 输电线路组成及型式

模块 1 输电线路基本知识 (ZY0700101001)

【模块描述】本模块介绍输电线路的分类、架空输电线路的结构及其组成元件、导线的比载计算。通过概念讲解、结构介绍和定量分析计算，了解输电线路的分类方式及其特点、熟悉架空输电线路主要组成元件的结构及其要求，掌握导线比载的计算方法。

【正文】

电力线路是电力系统的重要组成部分，它的作用是输送和分配电能。从电源向电力负荷中心输送电能的线路称为输电线路。

一、输电线路的分类

1. 按电压等级分类

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。目前我国采用的电压等级有：35、66、110、154、220、330、500、750、1000kV。在我国，通常称 110~220kV 的线路为高压输电线路，330~750kV 的线路为超高压输电线路。1000kV 及以上的线路为特高压输电线路。

起分配电能作用的线路，称为配电线路。我国配电线路的电压等级有：380/220V、6kV、10kV，其中把 1kV 以下的线路称为低压配电线路，1~10kV 线路称为高压配电线路。

2. 按敷设方式分类

输电线路按结构又可分为电缆线路和架空线路。架空线路与电缆线路相比有许多显著的优点，如结构简单、施工周期短、建设费用低、技术要求较低、检修维护方便、散热性能好、输送容量大等。本书只介绍高压架空输电线路的基础知识。

二、架空输电线路的结构

为保证输电线路带电导线与地面之间保持一定距离，必须用杆塔来支撑导线，如图 ZY0700101001-1 所示。相邻两基杆塔中心线之间的水平距离 L 称为档距。相邻两基耐张杆塔之间的几个档距组成一个耐张段，如图中 1~5 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称为孤立档，如图中 5 号和 6 号杆塔之间。一条输电线路总是由多个耐张段组成的，也包括孤立档。

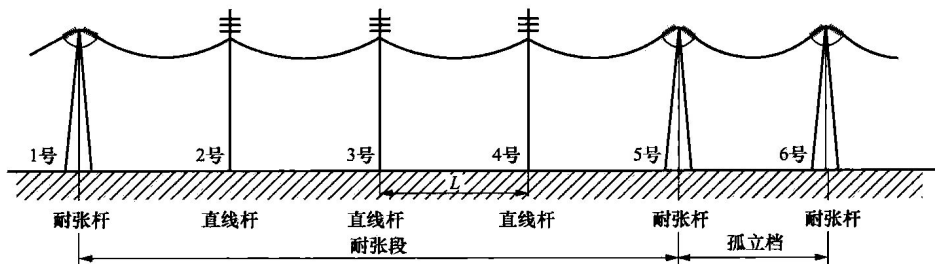


图 ZY0700101001-1 输电线路示意图

架空输电线路主要由导线、避雷线、杆塔、基础、绝缘子、拉线、接地装置和金具等元件组成。

(一) 导线

架空线路导线是用于输送电能的，因此，制造导线的材料不仅要求其具有良好的导电性能，同时还要求它有足够的机械强度和较好的耐振、抗腐蚀性能，密度也要尽可能小。为此，架空线路导线一



一般采用铜、铝、铝合金及钢等材料制造。对于裸导线，其型号是用导线材料、结构和截面三部分表示的，其中导线材料和结构用汉语拼音字母表示，如：T—铜、L—铝、G—钢、J—多股绞线或加强型、Q—轻型、H—合金、F—防腐、TJ—铜绞线、LJ—铝绞线、GJ—钢绞线、LHJ—铝合金绞线、LGJ—钢芯铝绞线、LGJJ—加强型钢芯铝绞线、LGJQ—轻型钢芯铝绞线、LH_AJ—热处理铝镁硅合金绞线、LH_BGJ—钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线、LH_AGJF1—轻防腐型钢芯热处理铝镁硅合金绞线；导线的截面单位为 mm^2 ，如：LGJ—240/30 表示铝线标称截面为 240mm^2 、钢芯标称截面为 30mm^2 的钢芯铝绞线。多股绞线比单股导线的机械强度高，且具有柔性、易弯曲和便于施工等特点，因此，架空线路导线一般采用多股绞线结构。

1. 铜导线

铜导线具有优良的导电性能和较高的机械强度，且耐腐蚀性强。但由于铜在工业上用途非常广泛，资源少价格高，因此在输电线路很少使用，铜导线一般用于电流密度较大或化学腐蚀较严重地区的配电线路。

常用的裸铜导线规格主要有 TJ-120、95、70、50、35、25、16 等。为减少架空线路初伸长，提高导线的强度，架空裸导线一般采用硬拉铜制造。

2. 铝导线

铝导线的导电性能和机械强度都比铜导线差，铝的导电系数比铜小 1.6 倍，铝的机械强度也比较小，但铝的密度小。由于铝导线的机械强度比较小，因此在输电线路上也很少使用，铝绞线一般用于档距比较小的 10kV 及以下配电线路。另外，由于铝绞线抗化学腐蚀能力较差，因此，在沿海地区或化工厂附近不宜使用。

常用裸铝线规格主要有 LJ-185、150、120、95、70、50、35、25、16 等。与铜导线相同的原因，架空线路用铝导线一般采用硬铝制造。

3. 镀锌钢绞线

镀锌钢绞线的导电性能很差，但钢绞线机械强度高。由于钢绞线的导电性能差，因此，架空输、配电线路不采用钢绞线作导线。常用镀锌钢绞线规格主要有 GJ-120、100、70、50、35、25、20 等型，其中 GJ-35、50、70 钢绞线多用于架空电力线路的避雷线、接地引下线和拉线等，也可用作绝缘导线、通信线等的承力索。其中，GJ-35、50、70、100、120 型一般用作拉线，而 GJ-20、25 型一般仅用作通信线等的承力索。

4. 钢芯铝绞线

为了充分利用铝和钢两种材料的优点互补，而把它们结合起来制成钢芯铝绞线。钢芯铝绞线具有较高的机械强度，它所承受的机械应力是由钢芯线和铝线共同分担的，而且，交流电流的集肤效应可使钢芯中通过的电流几乎为零，电流基本上由铝线传导。

钢芯铝绞线广泛用于架空输电线路。普通型、轻型钢芯铝绞线多用于一般地区，对大跨越的输电线路有时采用加强型钢芯铝绞线或铝包钢等特种导线。

常用钢芯铝绞线截面主要有：630、400、300、240、185、150、120、95、70、50、35 mm^2 等。

在输电线路中，为减小电晕以降低损耗及其对无线电等的干扰，以及为减小电抗以提高线路输送电能的能力，高压、超高压输电线路的导线应尽量采用扩径导线、空心导线和分裂导线等，但由于扩径导线、空心导线的制造、安装极为不便，因此，高压、超高压输电线路多采用分裂导线。

5. 铝合金绞线

铝合金含有 98% 的铝和少量的镁、硅、铁、锌等元素，其质量与铝相等，电导率与铝接近，机械强度大小与铜接近，在电气、机械性能方面兼有铜和铝的优点，也是一种比较理想的导线材料。但铝合金绞线的缺点是其耐震性能比较差。

6. 稀土铝导线

将普通铝经稀土优化综合处理后的稀土铝导体，它具有电导率高、耐腐蚀性强的特点。稀土铝导线，其比普通铝导线的直流电阻率略有下降，抗拉强度提高 1%~3%，耐腐蚀能力提高 1.2~1.8 倍，从而大大提高了导线的使用寿命。

（二）避雷线

避雷线，又称架空地线，它的作用是把雷电流引入大地，以保护线路设备绝缘免遭雷击损坏。避雷线通常悬挂于杆塔顶部，其根数视线路电压等级、杆塔型式和雷电活动程度而定，可采用双地线和单地线。220kV 及以上电压等级的送电线路一般为双架空地线。另外按照系统的要求架空地线有绝缘、不绝缘和部分绝缘之分。避雷线的形式较多，常见的有镀锌钢绞线（GJ）、铝包钢绞线（GLJ）、钢芯铝绞线（LGJ）、光纤复合架空地线（OPGW）、全介质自承式光缆等。

（三）杆塔

杆塔是用以支持导线和避雷线，并使导线和导线间、导线和避雷线间、导线和杆塔间，以及导线和大地、建筑物、电力线、通信线等被跨越物或邻近物之间保证一定的安全距离。架空电力线路杆塔的种类繁多，按材料一般分为木杆、钢筋混凝土杆、钢杆、角铁铁塔及钢管铁塔等；按用途则可分为直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔、终端杆塔和特殊杆塔。

1. 直线杆塔

直线杆塔，又称中间杆塔。直线杆塔主要用于线路直线段中，支持导线、避雷线。在线路正常运行情况下，直线杆塔一般不承受顺线路方向的张力，而只承受垂直荷载（即导线、避雷线、绝缘子、金具的重量和冰重），以及水平荷载即（风压力），只有在杆塔两侧档距相差悬殊或一侧发生断线时，直线杆塔才承受相邻两档导线间的不平衡张力。

2. 耐张杆塔

耐张杆塔，又称承力杆塔、锚型杆塔或断连杆塔。在正常运行情况下，耐张杆塔除承受与直线杆塔相同的荷载外，还承受导线、避雷线的不平衡张力。在断线情况下，耐张杆塔还要承受断线张力，并将线路断线、倒杆事故控制在一个耐张段内。

3. 转角杆塔

转角杆塔位于线路前进方向发生改变的地方，转弯点两侧线路间的夹角的补角称为线路转角。转角杆塔除承受导线、避雷线等的垂直荷载和风压外，它还承受导线、避雷线的转角合力（即角荷）。角荷的大小决定于转角的大小和导线、避雷线的张力。转角杆塔的类型则根据其角荷大小分为耐张型和直线型两种。

4. 终端杆塔

终端杆塔位于线路首、末端，它是一种承受单侧导线、避雷线等的垂直荷载和风压，以及单侧导线、避雷线张力的杆塔。

5. 特殊杆塔

特殊杆塔主要有跨越、换位、分支杆塔等。

（1）跨越杆塔。跨越杆塔是用于架空线路跨越铁路、公路、河流、山谷、电力线、通信线等，它分为直线跨越杆塔和耐张跨越杆塔两种。

（2）换位杆塔。换位杆塔是用于架空输电线路的导线换位。导线换位的目的是平衡三相导线的电感、电容和电阻，以减轻其对发电机、电动机和电力系统运行及对输电线路附近弱电线路造成的不良影响。架空输电线路的导线换位主要有直线换位、耐张换位和悬空换位等形式。

（3）分支杆塔。分支杆塔在架空线路中间需设置分支线时使用，在配电线路上常见。

（四）基础

杆塔埋入地下部分统称为基础。基础的作用是保证杆塔稳定，不因其垂直荷载、水平荷载、事故断线张力和外力等作用而上拔、下沉或倾覆。杆塔基础一般分为电杆基础和铁塔基础两大类。

1. 电杆基础

钢筋混凝土电杆基础常采用三盘（即底盘、卡盘、拉线盘），一般为钢筋混凝土预制件或天然石料加工件。在特殊情况下，电杆基础也有采用现场浇制混凝土基础、桩基础或其他类型基础的。

2. 铁塔基础

铁塔基础是根据铁塔类型、地形、地质及施工条件等实际情况确定的，常用的铁塔基础有混凝土或钢筋混凝土现场浇制基础、预制钢筋混凝土基础、灌注桩基础、金属装配式基础、岩石基础等



类型。

(五) 绝缘子

架空输电线路绝缘子的作用是支持导线,并使导线与杆塔之间保持绝缘。由于线路绝缘子是长期暴露在大气中的,因此绝缘子除承受线路电压外,还要承受导线上荷重和温度等作用。因此要求绝缘子首先必须具有良好的电气性能和足够的机械强度,其次要能适应周围大气条件的变化,如温度和湿度变化对它本身的影响等。

架空输电线路用绝缘子,按其绝缘材料一般可分为瓷绝缘子、钢化玻璃绝缘子、复合绝缘子等。

1. 盘形悬式瓷质绝缘子

盘形悬式瓷质绝缘子按其金属附件连接方式可分为球型和槽型两种,可根据需要选择。盘形悬式瓷质绝缘子主要用于 10kV 架空配电线路的耐张杆、分支杆和终端杆,以及 35kV 及以上电压等级的架空输电线路。

(1) 普通型盘形悬式瓷质绝缘子。普通型悬式瓷绝缘子其产品型号主要有:XP-70、XP-100、XP-120、XP-160、XP-210、XP-300、XP-70C 等型。悬式绝缘子的特征代号为:X—悬式、P—按机电破坏强度规定负荷、第一节的右下角数字—产品设计序号、第二节数字—表示机电破坏负荷(kN)、C—槽型连接方式(球型连接方式不表示)、W—防污。

(2) 防污型盘形悬式瓷质绝缘子。对于严重污秽地区,架空电力线路常使用防污型悬式瓷绝缘子,其高度和普通型相等,但改变了伞盘造型,加大盘径,增加了爬电距离,主要产品型号为XWP。

2. 盘形悬式钢化玻璃绝缘子

悬式钢化玻璃绝缘子具有重量轻、尺寸小、机械强度高、电气性能好、寿命长、不易老化、维护方便等优点,当绝缘子存在缺陷时,由于冷热剧变或机械过载,绝缘子会自爆,运行人员很容易检查出来,但悬式钢化玻璃绝缘子的耐气温骤变能力差,自爆率较高。

悬式钢化玻璃绝缘子目前主要有普通型钢化玻璃绝缘子(LXP)、标准型钢化玻璃绝缘子(LXY)、球面型钢化玻璃绝缘子(LXQY)和空气动力型钢化玻璃绝缘子(LXAY)四种,其主要机电破坏负荷(kN)有:70、100、120、160、210、300等。有时,不同厂家产品的型号表示方法也不尽相同,应以说明书为准。

3. 棒形悬式复合绝缘子

棒形悬式复合绝缘子是由芯棒、硅橡胶伞裙和护套、钢脚及钢帽等组合而成,又称合成绝缘子,其机电破坏负荷一般有70、100、120、160、210、300、400、530kN八个等级,它主要用于35kV及以上电压等级的架空电力线路。硅橡胶材料的耐污秽性能较好,在相同污秽条件下,复合绝缘子爬电比距的配置可以比瓷绝缘子降低1/4左右,并且复合绝缘子重量比较轻,运行后不必清扫,故安装、维护较为方便。但硅橡胶材料极易受外力损伤造成内部芯棒击穿而引发事故,并且悬式复合绝缘子抗弯曲、抗扭转负荷能力比较差等。

棒形悬式复合绝缘子的型号不同生产厂家型号也不完全相同。

4. 横担式复合绝缘子

横担式复合绝缘子除其额定弯曲负荷主要为4、8、20kN三个等级,以及使用负荷不应大于其额定值的1/4之外,其余特性与悬式复合绝缘子基本相同。横担式复合绝缘子的型号表示主要有SGH,其最高使用电压一般不得超过220kV。

5. 瓷质棒形绝缘子

棒形悬式绝缘子也是近几年出现的一种新型绝缘子,它的两端是金属连接构件,中间是高强度铝质瓷制成的绝缘体,瓷件的长度可以根据需要制作,根据绝缘的需要也可以将几个棒形悬式瓷件相互串联。棒形悬式瓷件在构造上有直棒形和伞裙两种。棒形悬式绝缘子的优点是:①它是一种不可击穿结构,从而避免了盘形瓷质绝缘子因泥胶膨胀或电热故障引起的钢帽爆炸;②长棒形使金具数量减少;③电气性能优良,爬电比距增大,使耐污性能大为提高;④使无线电干扰水平大大改善;⑤不存在零值和低值绝缘子的问题。

(六) 拉线

拉线主要是用于平衡杆塔所承受的水平风力和导线、避雷线的张力等，输电线路常见的拉线型式主要有“X”拉线、“V”拉线等。

(七) 接地装置

电力设备、架空线路杆塔、避雷线、避雷针、避雷器等通过接地引下线与接地体连接的叫做接地。接地体和接地引下线总称为接地装置。其中，接地体是指埋入地中直接与大地接触的金属导体，分自然接地体和人工接地体两种。自然接地体是指直接与大地接触的金属构件、铁塔金属基础等；人工接地体是指为接地而专门敷设的金属导体，主要有水平接地体和垂直接地体两种，水平接地体多采用圆钢或扁钢制作，其敷设埋深一般不应小于 0.6m。垂直接地体常采用角钢或钢管制作。

为保证接地体与大地可靠连接，接地体和接地引下线，其规格的选择不仅要满足接地电阻的要求，而且要能耐受一定年限的腐蚀。

(八) 金具

金具按其不同的用途和性能，一般可分为线夹、连接金具、接续金具、保护金具和拉线金具五大类。

1. 线夹

(1) 悬垂线夹。悬垂线夹的作用是支持导线或避雷线，使导线或避雷线固定在绝缘子或杆塔上，它一般用于直线杆塔以及耐张杆塔的跳线上。悬垂线夹按其性能一般可分为固定型和释放型两种。固定型线夹可使导线在线夹中牢固固定。释放型线夹，在正常情况下，与固定型线夹一样夹紧导线，当发生断线时，由于线夹两侧导线的张力严重不平衡，使绝缘子串发生偏斜，当偏斜张力达到某一数值时，导线就会连同线夹的船体从挂架中脱落至挂架下部的滑轮中，并顺线路方向滑到地面，这样做的目的是为了减小直线杆塔在断线情况下所承受的不平衡张力、减轻杆塔受力而不致使杆塔发生倾倒，但释放型线夹不适用于居民区或线路跨越铁路、公路、河流、电力线、通信线等的杆塔。

(2) 耐张线夹。耐张线夹的作用是在耐张、终端、转角、分支等杆塔上紧固导线或避雷线，使其通过绝缘子串固定在横担上，它一般可分为螺栓型、楔型和压接型三种。耐张线夹的握着力要求：不小于导线计算拉断力的 90%。

1) 螺栓型耐张线夹。螺栓型耐张线夹施工较为方便，其安装方式一般都是倒装型的。由于握着力限制，螺栓型耐张线夹一般用于 240mm^2 及以下的导线上。

2) 压接型耐张线夹。压接型耐张线夹分液压和爆压两种，适用于 240mm^2 及以上规格的导线。

3) 节能型耐张线夹。为减少电能损耗、方便施工，目前，架空电力线路已开始使用节能型耐张线夹。其型式主要有：楔型、螺栓型和混合型三种，其中，楔型耐张线夹主要由楔形块、开口金属外壳等构成，使线夹形不成闭合磁回路，无磁滞、涡流损耗产生，因而具有节能效果，并且，楔型耐张线夹是靠楔形块产生压力紧固导线的，施工极为方便。

2. 连接金具

连接金具分专用、通用连接金具两种。专用连接金具的作用是配合球窝型绝缘子串连接，如球头挂环、球头挂板等。通用连接金具主要用于绝缘子串与杆塔、线夹间相互连接，以及避雷线夹与杆塔之间或其他金具间的连接，如 U 形挂板、U 形挂环、直角挂板、平行挂板、联板、延长环等。

3. 接续金具

接续金具的作用是接续导线、避雷线，它分承力接续和非承力接续两种方式。其中，承力接续金具主要有导线、避雷线压接管和接续预绞丝等。导线压接管主要有液压管、爆压管和钳压管三种，液压管、爆压管一般呈圆形，它主要适用于 240mm^2 及以上规格导线的承力连接；钳压管一般呈椭圆形，它适用于 240mm^2 及以下规格导线的承力连接。对于架空绝缘导线，为保证其连接强度和绝缘不受损伤，一般应使用液压方式进行承力连接。避雷线的承力压接管，一般采用镀锌厚壁无缝钢管制作。非承力接续金具主要有铜线卡子、并沟线夹、异型并沟线夹及穿刺线夹等。另外，用于修补导线的金具主要有补修管、补修预绞丝等也属于非承力接续金具。为了节能，导线非承力载流连接应尽量采用无磁滞和涡流损耗的线夹。



4. 保护金具

保护金具分电气和机械两大类。电气类保护金具一般用于防止绝缘子串或瓷设备上的电压分布过分不均匀而损坏绝缘子或设备，主要有均压环等。机械类保护金具主要有防振锤、护线条、预绞丝、间隔棒及重锤等。其中，防振锤、护线条、预绞丝等主要是用于防止导线、避雷线断股，间隔棒主要是用于防止分裂导线在档距中间互相吸引和鞭击，在悬垂线夹下悬挂重锤是为了防止直线杆塔的悬式绝缘子串摇摆角过大或在寒冷天气中出现“倒拔”现象。

5. 拉线金具

拉线金具主要是将杆塔与拉线盘进行连接，主要有楔型线夹、UT型可调线夹、抱箍、二联板、延长环及拉线棒等。配电线路的拉线中间常加一拉线绝缘子，使拉线上把与下把间保持绝缘，防止断线时行人触电。

三、导线的比载

作用在导线上的机械荷载有自重、冰重和风压。这些荷载可能是不均匀的，但为了便于计算，一般按沿导线均匀分布考虑。在导线计算中，常把导线受到的机械荷载用比载表示。所谓比载是指导线单位长度、单位截面积上的荷载，其常用单位是 $N/(m \cdot mm^2)$ 。常用的比载共有七种，具体计算如下。

1. 自重比载 g_1

导线本身重量所造成的比载称为自重比载，按下式计算

$$g_1 = \frac{9.807G}{A} \times 10^{-3} \quad (\text{ZY0700101001-1})$$

式中 g_1 ——导线的自重比载， $N/(m \cdot mm^2)$ ；

G ——每公里导线的质量， kg/km ；

A ——导线截面积， mm^2 。

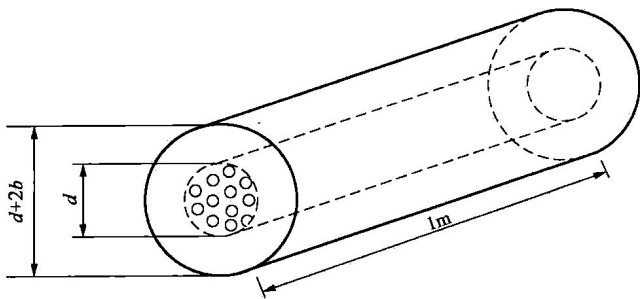


图 ZY0700101001-2 导线覆冰圆柱体

2. 冰重比载 g_2

导线覆冰时，由于冰重产生的比载称为覆冰比载，假设冰层沿导线均匀分布并成为一个空心圆柱体，如图 ZY0700101001-2 所示。

冰重比载可按下式计算 g_2

$$g_2 = \frac{27.728b(d+b)}{A} \times 10^{-3} \quad (\text{ZY0700101001-2})$$

式中 g_2 ——导线的冰重比载， $N/(m \cdot mm^2)$ ；

b ——覆冰厚度， mm ；

d ——导线直径， mm ；

A ——导线截面积， mm^2 。

3. 导线自重和冰重总比载 g_3

导线自重和冰重总比载等于二者比载之和

$$g_3 = g_1 + g_2 \quad (\text{ZY0700101001-3})$$

式中 g_3 ——导线自重和冰重总比载， $N/(m \cdot mm^2)$ 。

4. 无冰时风压比载 g_4

无冰时作用在导线上的风压产生的比载称为无冰时风压比载，可按下列公式计算

$$g_4 = 0.625\alpha C d \frac{v^2}{A} \times 10^{-3} \quad (\text{ZY0700101001-4})$$

式中 g_4 ——无冰时导线风压比载， $N/(m \cdot mm^2)$ ；

C ——风载体型系数，当导线直径 $d < 17mm$ 时， $C = 1.2$ ，当导线直径 $d \geq 17mm$ 时， $C = 1.1$ ；

d ——导线直径， mm ；

v ——设计风速， m/s ；

A ——导线截面积, mm^2 ;

α ——风速不均匀系数, 采用表 ZY0700101001-1 所列数值。

表 ZY0700101001-1 各种风速下的风速不均匀系数

设计风速 (m/s)	20 以下	20~30 以下	30~35 以下	35 及以上
α	1.0	0.85	0.75	0.7

5. 覆冰时的风压比载 g_5

覆冰导线的风压产生的比载称为覆冰风压比载, 可按下式计算

$$g_5 = 0.625\alpha C(d+2b)\frac{v^2}{A} \times 10^{-3} \quad (\text{ZY0700101001-5})$$

式中 g_5 ——冰风时的风压比载, $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$;

C ——风载体型系数, 覆冰时不论导线直径大小, 一律取 $C=1.2$;

其他符号意义同 g_4 。

6. 无冰有风时的综合比载 g_6

无冰有风时, 导线上作用的比载有垂直方向的比载 g_1 和水平方向的比载 g_4 , 按向量合成的综合比载 g_6 , 如图 ZY0700101001-3 (a) 所示, 即

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_4^2} \quad (\text{ZY0700101001-6})$$

式中 g_6 ——无冰有风时的综合比载, $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ 。

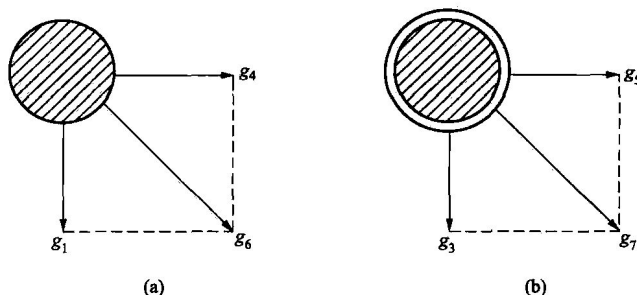


图 ZY0700101001-3 导线的综合比载

(a) 无冰有风; (b) 有冰有风

7. 有冰有风时的综合比载 g_7

导线有冰有风时, 线上作用的比载有垂直方向的比载 g_3 和水平方向的比载 g_5 , 按向量合成的综合比载 g_7 , 如图 ZY0700101001-3 (b) 所示, 可按下式计算

$$g_7 = \sqrt{g_3^2 + g_5^2} \quad (\text{ZY0700101001-7})$$

式中 g_7 ——有冰有风时的综合比载, $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ 。

【例 ZY0700101001-1】某架空线路采用 LGJ—120/20, 通过IV类典型气象区, 试计算导线的各种比载。

已知 LGJ—120/20 导线的规格参数为: 计算直径 $d = 15.07\text{mm}$, 总截面 $A = 134.49\text{mm}^2$, 单位长度质量 $G = 466.8\text{kg}/\text{km}$ 。由全国典型气象区气象参数表查得IV类典型气象区的气象数据为: 覆冰厚度 $b = 5\text{mm}$, 覆冰时风速 $v = 10\text{m}/\text{s}$, 最大风速 $v = 25\text{m}/\text{s}$, 雷电过电压时风速 $v = 10\text{m}/\text{s}$, 内过电压时风速 $v = 15\text{m}/\text{s}$ 。

解: (1) 自重比载为:

$$g_1 = \frac{9.807G}{A} \times 10^{-3} = \frac{9.807 \times 466.8}{134.49} \times 10^{-3} = 34.039 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$



(2) 冰重比载为:

$$g_2 = \frac{27.728b(d+b)}{A} \times 10^{-3} = \frac{27.728 \times 5 \times (15.07 + 5)}{134.49} \times 10^{-3} = 20.689 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

(3) 自重和冰重总比载

$$g_3 = g_1 + g_2 = 34.039 \times 10^{-3} + 20.689 \times 10^{-3} = 54.728 \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

(4) 无冰时风压比载:

当风速为 25m/s 时, 由表 ZY0700101001-1 查得风速不均匀系数 $\alpha=0.85$, 因为导线的计算直径 $d=15.07\text{mm} < 17\text{mm}$, 故知导线的风载体型系数 $C=1.2$, 此时风压比载为

$$g_{4(25)} = 0.625\alpha Cd \frac{v^2}{A} \times 10^{-3} = 0.625 \times 0.85 \times 1.2 \times 15.07 \times \frac{25^2}{134.49} \times 10^{-3} = 44.646 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

当风速为 15m/s 时, 由表 ZY0700101001-1 查得风速不均匀系数 $\alpha=1.0$, 导线的风载体型系数 $C=1.2$, 此时风压比载为

$$g_{4(15)} = 0.625\alpha Cd \frac{v^2}{A} \times 10^{-3} = 0.625 \times 1.0 \times 1.2 \times 15.07 \times \frac{15^2}{134.49} \times 10^{-3} = 18.909 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

当风速为 10m/s 时, 由表 ZY0700101001-1 查得风速不均匀系数 $\alpha=1.0$, 导线的风载体型系数 $C=1.2$, 此时风压比载为

$$g_{4(10)} = 0.625\alpha Cd \frac{v^2}{A} \times 10^{-3} = 0.625 \times 1.0 \times 1.2 \times 15.07 \times \frac{10^2}{134.49} \times 10^{-3} = 8.404 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

(5) 覆冰时的风压比载:

由覆冰时风速 $v=10\text{m/s}$, 由表 ZY0700101001-1 查得风速不均匀系数 $\alpha=1.0$, 导线的风载体型系数 $C=1.2$, 此时风压比载为

$$\begin{aligned} g_5 &= 0.625\alpha C(d+2b) \frac{v^2}{A} \times 10^{-3} = 0.625 \times 1 \times 1.2 \times (15.07 + 2 \times 5) \times \frac{10^2}{134.49} \times 10^{-3} \\ &= 13.9805 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]} \end{aligned}$$

(6) 无冰有风时的综合比载:

风速为 $v=25\text{m/s}$ 时的综合比载为

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_{4(25)}^2} = \sqrt{34.039^2 + 44.646^2} \times 10^{-3} = 56.142 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

风速为 $v=15\text{m/s}$ 时的综合比载为

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_{4(15)}^2} = \sqrt{34.039^2 + 18.909^2} \times 10^{-3} = 38.938 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

风速为 10m/s 时的综合比载为

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_{4(10)}^2} = \sqrt{34.039^2 + 8.404^2} \times 10^{-3} = 35.061 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

(7) 有冰有风时的综合比载为

$$g_7 = \sqrt{g_3^2 + g_5^2} = \sqrt{54.728^2 + 13.9805^2} \times 10^{-3} = 56.486 \times 10^{-3} \text{ [N/(m} \cdot \text{mm}^2\text{)]}$$

【思考与练习】

1. 请表述架空输电线路主要由哪些元件组成?
2. 杆塔的用途是什么? 杆塔按用途可分为几类?
3. 悬式绝缘子按其绝缘介质材料一般可分为几种?
4. 金具按其不同的用途和性能一般可分为哪些类型?
5. 请说明比载的概念及其种类。