

电力工程质量监督专业资格考试教材

# 输电线路 分册

电力工程质量监督总站 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力工程质量监督专业资格考试教材

# 输电线路 分册

电力工程质量监督总站 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

为全面提升电力工程质量,提升电力工程质量监督人员的岗位胜任能力,电力工程质量监督总站组织相关专业技术人员编写了《电力工程质量监督专业资格考试教材》,由十三个分册组成。本套教材全面系统、实用性强。

本书为《输电线路分册》,包括概述、主要原材料及器材的质量监督、架空输电线路工程实体质量监督检查、电缆输电线路工程实体质量监督检查、架空输电线路主要质量管理资料监督检查、电缆输电线路主要质量管理资料监督检查和典型质量问题及分析。

本套教材作为电力工程质量监督专业资格考试教材,也可供相关专业及管理人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力工程质量监督专业资格考试教材. 输电线路分册/电力工程质量监督总站主编. —北京:中国电力出版社,2014.12  
ISBN 978-7-5123-6627-5

I. ①电… II. ①电… III. ①电力工程—工程质量监督—资格考试—教材②输电线路—工程质量监督—资格考试—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第233928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.ccpp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2014年12月第一版 2014年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 300千字

印数0001—3000册 定价36.00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

## 本书编委会

主 编	孙玉才			
执行主编	张天文			
副 主 编	丁瑞明	白洪海		
编写人员	宋晓磊	孙东海	郑晓广	李 迺
	张金龙	刘怀臣	余 波	高建波
	周宝华	武英利	梅志农	高小庆
	林 坚	郑文忠	李 海	陈越超
	胡嘉骏	蒋晓娟	钱天宇	许 强
	王 媚	杨小静	闵 红	范国平
审 核	张盛勇	贾秋枫	李 真	刘 博
	高全治	陈 卫	王新康	刘玉珍
	李春华			



# 前 言

工程质量监督是工程建设质量管理的基本制度，也是政府主管部门依法维护电力工程规范建设、保障工程质量安全的重要手段。随着我国电力工业的快速发展，电力技术水平不断提高，电力建设主体越来越多元化，为加强和规范电力工程质量监督工作，国家能源局分别于2012年9月和2014年5月印发了《电力工程质量监督管理体系调整方案》（国能电力〔2012〕306号文）和《关于加强电力工程质量监督工作的通知》（国能安全〔2014〕206号文），对于电力工程质量监督机构明确了“总站—中心站—项目站”的三级管理体系，对于电力工程质量监督工作确定了“国家能源局归口管理、派出机构属地监管、质监机构独立监督、电力企业积极支持”的工作机制。目前，在国家能源局的统一领导和大力支持下，电力工程质量监督各项规章制度正在逐步完善，各项工作正在逐渐步入正轨，为有效保证建设工程质量奠定了基础。

要做好电力工程质量监督工作，队伍建设和人才培养是关键。电力工程质量监督总站（以下简称总站）在认真总结多年来电力行业和全国各行业工程质量监督专业人员管理经验的基础上，确定了电力工程质量监督专业人员实行“高级专家—质量监督师—质量监督员”三级管理的工作模式，其中，高级专家实行评聘制，由总站主导，以技术委员会平台进行动态管理；质量监督师、质量监督员实行统一认证考试制度。在专业人员的工作职责方面，要求各质监机构在进行现场检查时，检查组组长必须持有高级专家证，检查组的专业负责人必须是质量监督师，一般检查人员必须持有质量监督员及以上资格证书。在企业内部的质量管理体系中将继续贯彻实施质量检查员持证上岗制度，允许质量检查员考取和持有质量监督师或质量监督员证书。为落实以上管理原则，进一步加强质量监督师、质量监督员的资格认证管理，总站于2014年3月印发了《电力工程质量监督人员资格认证和从业管理办法》，明确了资格认证实行向社会开放和教考分离的工作原则，同时详细划分了考试专业，确定了考试方式和考试科目。为理顺电力工程质量监督专业知识体系，构建针对性强、层次清晰、内容全面的认证考试平台，总站组织编制了本系列《电力工程质量监督专业资格考试教材》。

本系列教材包括建筑、锅炉、汽轮机、电气、热工控制、金属与焊接、水处理与制氢、核能动力、水工结构、水力机电、金属结构、输电线路和工程管理十三个专业分册。本系列教材以专业资格认证考试为立足点，重点强调了专业知识的系列性、完整性和实用性。各专业分册在章节划分和内容设置上基本保持一致；在知识点设置上强调了工程质量行为监督、专业基础理论、标准体系、设备材料、施工技术、工程实体质量监督等要点；在知识内容和

范围上重点从工程质量监督的角度出发，全面细致地讲解了工程勘察、设计、施工、验收、运行维护及管理活动的技术要求和所遵守的技术依据和准则，同时还就各专业在工程质量控制方面存在的一些通病和重点质量问题进行了总结和分析；各专业知识点丰富，重点突出。本系列教材不仅可以作为专业资格认证培训用书，也可以作为大家日常工作中随时查阅专业知识的工具书。

本系列教材由电力工程质量监督总站主编，本册为《输电线路分册》，其中架空输电线路部分由河南省电力建设工程质量监督中心站编写，电缆输电线路部分由上海市电力建设工程质量监督中心站编写。

在本系列教材的编写过程中得到了有关省（市、区）电力公司及施工、调试、监理、检测等单位的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，教材中难免有疏漏和不当之处，恳请广大读者和专家批评指正。

电力工程质量监督总站

2014年12月



# 目 录

前言

<b>第一章 概述</b> .....	1
第一节 输电线路简介.....	1
第二节 输电线路工程质量监督.....	9
<b>第二章 主要原材料及器材的质量监督</b> .....	16
第一节 混凝土结构的材料.....	16
第二节 预拌混凝土.....	32
第三节 预制混凝土构件.....	34
第四节 防水、防腐蚀材料.....	36
第五节 架空输电线路器材.....	47
第六节 电缆输电线路器材.....	66
<b>第三章 架空输电线路工程实体质量监督检查</b> .....	71
第一节 基础工程.....	71
第二节 杆塔工程.....	89
第三节 架线工程.....	101
<b>第四章 电缆输电线路工程实体质量监督检查</b> .....	124
第一节 土建设施.....	124
第二节 电缆系统.....	132
第三节 附属设施.....	134
<b>第五章 架空输电线路主要质量管理资料监督检查</b> .....	140
第一节 施工管理.....	140
第二节 质量验收.....	157

第三节	线路测试管理	160
第四节	强制性条文执行管理	161
<b>第六章</b>	<b>电缆输电线路主要质量管理资料监督检查</b>	<b>164</b>
第一节	施工管理	164
第二节	验收管理	171
第三节	试验管理	173
第四节	强制性条文执行管理	175
<b>第七章</b>	<b>典型质量问题及分析</b>	<b>178</b>
第一节	架空输电线路工程杆塔组立前典型质量问题及分析	178
第二节	架空输电线路工程导地线架设前典型质量问题及分析	182
第三节	架空输电线路工程投运前典型质量问题及分析	184
第四节	电缆输电线路工程安装前典型质量问题及分析	186
第五节	电缆输电线路工程投运前典型质量问题及分析	187
	<b>参考文献</b>	<b>189</b>





## 概 述

电力系统主要由发电厂、变电站、输电线路、配电系统和用户五部分组成。电力系统中由变电设备及各种电压等级输电线路组成的部分称为电力网。电力网中架设在发电厂升压变电站与地区变电站，以及地区变电站之间的线路称为输电线路。

作为电力网的重要组成部分，输电线路是电网各节点间的纽带，也是输送能量的通道，输电线路的质量水平对线路本身乃至整个电网的安全运行有着直接影响。参加工程建设的各质量责任主体（即参与工程项目的建设单位、勘察设计单位、施工单位和监理单位）应对输电线路工程的质量负责，除应做好工程质量的管控、检查、验收外，还应接受工程质量监督机构的质量监督。

工程质量监督是建设行政主管部门或其委托的工程质量监督机构依据国家的法律、法规和工程建设强制性标准，对责任主体和有关机构履行质量责任的行为，以及对工程实体质量进行监督检查、维护公众利益的行政执法行为。工程质量监督工作应以“加强政府监督，服务电力建设”为指导思想，以“独立、规范、公正、公开”为工作原则，以“各责任主体质量行为监督与工程实物质量监督”为工作重点。

监督机构对责任主体和有关机构质量行为的监督主要包括：抽查责任主体和有关机构执行有关法律、法规及工程技术标准的情况。对工程实体质量的监督检查主要包括：抽查施工作业面的施工质量，对关键部位重点监督，抽查涉及结构安全和使用功能的主要材料、构配件和设备的出厂合格证、试验报告、见证取样送检资料及结构实体检测报告。

### 第一节 输电线路简介

我国输电线路的发展经历了孤立线路、初级配电网、高压电网、超高压电网，以及近几年初步建成的特高压电网的发展历程。已建成的具有各种电压等级的强大电力网，为社会经济的快速发展提供了强有力的支撑。按输电线路结构的不同可分为架空输电线路和电缆输电线路。随着社会经济的发展和科技水平的进步，无论是架空输电线路还是电缆输电线路，在建设质量水平、新材料和新技术应用等方面都有了很大程度的提高。

#### 一、输电线路的发展

输电线路的发展可看作是电网发展的缩影。在 1949 年前，我国电力工业发展缓慢，输电线路的发展同样迟缓，仅有孤立的几条输电线路，无法形成电力网。1949 年新中国成立后，输电技术不断进步，逐渐形成经济合理的电压等级系列。推动电网向高电压等级逐步发展，

以将更大容量的电力源源不断输送到更远的负荷中心。

1952 年开始建设 110kV 输电线路，以后逐渐形成了京津唐 110kV 输电网。1954 年建成的丰满—李石寨 220kV 输电线路和相继建设的 220kV 输电线路形成了各省 220kV 骨干网架。1972 年建成刘家峡—关中 330kV 输电线路之后，逐渐形成西北电网 330kV 骨干网架。1981 年建成我国平顶山—武昌 500kV 超高压输电线路，而后相继建成的 500kV 输电线路逐步形成各区域（或跨区域联网）500kV 超高压网架。2005 年建成的青海官亭—甘肃兰州东 750kV 输电线路及后续建成的 750kV 输电线路形成了西北电网的 750kV 超高压网架。2008 年建成我国晋东南—南阳—荆门 1000kV 特高压交流输电线路，2009 年建成的云南—广东±800kV 特高压直流输电线路，以及后续建成的 1000kV 特高压交流输电线路和±800kV 特高压直流输电线路，初步形成了我国特高压交、直流输电网架。

现阶段，我国已经建成了强大的 35~110kV 配电网，220、500、750kV 区域电网，并初步建成了适于大型电源点向远方输电的交流 1000kV 特高压和直流±800kV 特高压跨区电网。

## 二、输电线路的分类

输电线路可以按输送的电流性质、电压等级、结构进行分类。

### （一）按电流性质分类

架空输电线路按输送电流的性质不同可分为交流输电线路和直流输电线路。交流输电线路具有不同电压间转换较为便利、变电设备成本较低等优点，目前的电网主要采用交流输电技术。但是，随着交流输电容量、线路长度的增大，以及电网的日益复杂化，高电压、远距离输电线路的电感、电抗会引起电压变化，需加装大容量补偿设备才能保证系统稳定，大大增加了设备的投资。与交流输电相比，直流输电具有不存在电感与电抗问题的显著优点。因此，我国三峡电站外送、西南水电和新疆坑口火电等大容量、远距离外送输电线路都采用了直流输电技术。

### （二）按电压等级分类

根据输电距离和输送容量的不同，输电线路通常采用不同的电压等级。目前，我国采用的电压等级有：交流 35、66、110、220、330、500、750、1000kV；直流±400、±500、±660、±800kV。

在我国通常称 35~220kV 输电线路为高压输电线路，330~750kV 输电线路为超高压输电线路，1000kV 输电线路为特高压输电线路；±660kV 及以下电压等级的输电线路为高压直流输电线路，±660kV 以上电压等级的输电线路为特高压直流输电线路。

35~110kV 输电线路主要用于供电电网，220~750kV 输电线路主要用于区域性电网，交流 1000kV、直流±800kV 及以上电压等级的特高压输电线路主要用于跨区域电网。

### （三）按结构分类

输电线路按结构不同可分为架空输电线路和电缆输电线路。架空输电线路是以杆塔为支撑，通过绝缘装置将导线架设在杆塔上。电缆输电线路是将电缆敷设在专用的管道、隧道、沟槽或直接埋入地下。

架空输电线路具有结构简单、建设费用低、输送容量大、检修维护方便等优点，但是易遭受雷击等自然灾害及外力破坏。电缆输电线路具有不易遭受雷击等自然灾害及外力破坏、

供电可靠性高、不影响城市景观等优点；但是电缆输电线路建设费用较高、输送容量较小。

鉴于架空输电线路和电缆输电线路的优缺点，高电压、大容量、远距离输电主要采用架空输电线路，市区城市配电及短距离输电通常采用电缆输电线路。

### 三、架空输电线路组成

架空输电线路由杆塔基础、杆塔、导线、避雷线（OPGW）、绝缘子、线路金具和接地装置等组成。

#### （一）杆塔基础

架空输电线路杆塔基础分为电杆基础和铁塔基础。电杆基础一般可分为预制底拉盘基础和现浇混凝土基础；铁塔基础按其承载力的特征可分为以下几种类型。

（1）“大开挖”类基础。埋置于预先挖好的基础坑内并将回填土夯实的基础，该类基础具有施工工艺简便的特点，是输电线路最常用的基础型式，主要型式有现浇钢筋混凝土阶梯式基础、现浇钢筋混凝土斜插式基础、钢筋混凝土大板式基础及预制装配式基础，主要适用于黏土、亚黏土、采空区及较软弱地质条件。

（2）掏挖扩底式基础。以混凝土和钢筋骨架灌注于机械或人工挖成的岩、土胎内的基础，是以天然岩、土构成的抗拔体保持基础的上拔稳定，能充分发挥原状土的特性，具有良好的抗拔能力和横向承载力。主要型式有掏挖扩底式基础和岩石嵌固式基础，主要适用于硬质黏土地质和强风化岩石。

（3）岩石锚桩类基础。以水泥砂浆或细石混凝土和锚筋灌注于钻凿成型的岩孔内的锚桩或墩基础，其具有较好的抗拔性能，特别是上拔和下压地基的变形比其他基础都小。该类基础充分发挥了岩石的力学特性，大大地降低了基础材料的使用量，在运输困难的高山地区具有显著的经济效益。主要基础型式有直锚杆基础和中空锚杆（压力注浆）基础。主要适用于岩石、中强风化岩地质。

（4）钻孔灌注桩基础。用专门的机具钻（冲）成较深的孔，并以水头压力和泥浆护壁，放入钢筋骨架在水下浇筑混凝土的桩基。适用于地下水位比较高的黏土或沙土等地质，特别是跨越江河的塔位。

（5）联合型基础。在以上类型的基础上进行组合的基础。如：大开挖和锚桩类基础结合形成的上部阶梯式基础和下部的锚桩（杆）基础；大开挖和桩基础结合而成的上部阶梯式基础下部的沉井（管）式基础。

#### （二）杆塔

杆塔是电杆和铁塔的总称。按杆塔使用材料的不同可分为钢筋混凝土电杆、钢管电杆和铁塔；按杆塔使用功能可分为直线塔（杆）、转角塔（杆）、耐张塔（杆）、终端塔（杆）、特种塔（杆）；按杆塔回路数可分为单回路塔（杆）、双回路塔（杆）、多回路塔（杆）。

##### 1. 电杆

电杆通常分为钢筋混凝土电杆和钢管电杆。电杆按结构不同可分为单杆、 $\pi$ 型杆；按电杆的截面变化可分为等径杆、锥形杆。

（1）钢筋混凝土电杆。钢筋混凝土电杆由环形断面的钢筋混凝土杆段组成，其特点是结构简单、价格便宜、运行维护量少，可分为有预应力和非预应力钢筋混凝土杆两种。与铁塔相比构件个体重量大，运输比较困难。

(2) 钢管电杆。钢管电杆是以分段连接的锥形钢管杆，连接型式有法兰连接和承插式连接。其特点是占地面积少、造型美观、造价高，适用于在市区内架设。

## 2. 铁塔

铁塔通常可分为角钢铁塔和钢管铁塔。按其形状也可分为酒杯型、猫头型、上字型、干字型和鼓型铁塔等。

(1) 角钢铁塔。角钢铁塔是由角钢、连接钢板和螺栓组成的空间桁架结构。杆件主要由单根角钢、组合角钢组成，杆件间采用螺栓连接，个别部件如塔脚、较大的连接板等由几块钢板焊接成一个组合件。铁塔构件的防腐采用热浸镀锌，热浸镀锌具有均匀、防腐、耐久、经济等特点。角钢铁塔可根据工程需要加工成各种高度和不同形状，具有机械强度大，使用年限长，维修工作量少等特点，是现有架空输电线路使用最广的铁塔型式。

(2) 钢管铁塔。钢管铁塔是由多个单根钢管、连接钢板和螺栓组成的空间桁架结构。除具有角钢铁塔的特点外，还具有以下优点：①可以减小塔身风压（构件体形系数，圆管比角钢几乎小 1 倍）；②在截面面积相等的情况下，圆管的回转半径比角钢大 20%左右；③提高了结构承载能力的同时还可减少杆件数量，与角钢铁塔相比钢管铁塔用钢量能够降低 10%~20%，可有效缩短组塔工期。

钢管铁塔的使用也存在着钢管型材规格品种有限、连接节点构造复杂、加工生产效率低、价格高等缺点。钢管铁塔主要用于大跨越、特高压等线路工程。

## 3. 杆塔的功能

架空输电线路各种型式的杆塔均具有其相应的功能，按其功能的不同被用于架空线路的不同位置，按杆塔使用功能可分为直线杆塔、耐张（力）杆塔、转角杆塔、终端杆塔和特种杆塔。

(1) 直线杆塔。直线杆塔分布在耐张杆塔之间，使用数量最多，在平坦地区，数量上占绝大部分。正常情况下，直线杆塔只承受垂直荷重（导线、地线、绝缘子串和覆冰质量）和水平的风压。因此，直线杆塔一般比较轻便，机械强度较低。

(2) 耐张（力）杆塔。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，该杆塔称为耐张（力）杆塔。两个耐张杆塔之间的距离叫耐张（力）段。

(3) 转角杆塔。线路转角处的杆塔称为转角杆塔，正常情况下转角杆塔除承受导、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。转角杆塔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，有 30°、60°、90°转角之分。

(4) 终端杆塔。线路终端处的杆塔称为终端杆塔，是架设在发电厂或变电站线路末端的杆塔。终端杆塔除承受导、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，其稳定性和机械强度都应比较高。

(5) 特种杆塔。特种杆塔主要有用于导线换相的换位杆塔、用于跨越江河的跨越塔和用于单双回路分界点的分歧塔等。

## (三) 导线

导线是用来传导电流、输送电能的元件，架空输电线路一般采用架空裸导线。根据输电

线路的环境和特殊性能需要选择不同型号的导线，对于大容量输电线路为了提高线路的输电能力、限制电晕改善电磁环境，多采用分裂导线。

#### 1. 导线的型号

导线型号主要有铝（合金）绞线、钢芯铝（合金）绞线、防腐型钢芯铝绞线、铝包钢芯铝（合金）绞线等。近几年通常采用的耐热铝合金导线、钢芯软铝绞线、碳纤维复合芯铝绞线、扩径导线、间隙型耐热铝合金导线等属于特种导线。

#### 2. 导线的排列方式

单回线路可采用水平、上字形或三角形排列，双回路线路可采用鼓形、伞形、倒伞形排列。

#### 3. 导线的分裂数

分裂导线是指每相（极）导线由几根直径较小的子导线组成，各子导线间隔一定的距离并对称排列，高压输电线路导线的分裂根数一般不超过 2 根，超高压输电线路的分裂导线数一般为 3~4 根，特高压输电线路的导线分裂数一般为 6~8 根，子导线间距一般为 0.3~0.5m。

### （四）避雷线（OPGW）

#### 1. 避雷线

避雷线悬挂于杆塔顶部，并在每基杆塔上通过接地线与接地体相连接。当雷云放电雷击线路时，因避雷线位于导线的上方，首先击中避雷线，并借以将雷电流通过接地体泄入大地，从而降低雷击导线的几率，保护线路绝缘免遭雷电过电压的破坏，起到防雷保护的作用。一般只有 110kV 以上电压等级线路才全线架设避雷线，避雷线常采用镀锌钢绞线。

#### 2. OPGW ( Optical Fiber Composition Overhead Ground Wire ) 光缆

OPGW 光缆也称为光纤复合架空地线，是把光纤放置在架空线路的地线中用以构成输电线路式的光纤通信网，常用于新建输电线路。OPGW 光缆的突出特点是可将通信光缆与输电线路上的架空地线结合为一个整体，既是避雷线又是架空光缆，既能实现通讯功能又能起到避雷的效果，在完成输电线路建设施工的同时也完成了通信线的建设。

### （五）绝缘子

绝缘子是安装在导线与杆塔的横担之间，并能够承受耐受电压和机械应力作用的器件。其主要型式有普通型悬式瓷绝缘子、耐污型悬式瓷绝缘子、悬式钢化玻璃绝缘子和合成绝缘子。

### （六）线路金具

将杆塔、导线、地线和绝缘子连接起来的金属零件统称输电线路金具。金具主要用于支持、固定、接续、保护导线和避雷线，线路金具将绝缘子连接成串。按照金具的性能及用途可分为悬垂线夹、耐张线夹、连接金具、接续金具和防护金具五大类。

### （七）接地装置

接地体和接地引下线总称为接地装置。架空地线在导线的上方，通过每基杆塔的接地装置与大地相连，当雷击地线时可迅速将雷电泄入大地中扩散。因此，输电线路的接地装置主要作用是泄导雷电流，降低杆塔顶电位，保护线路绝缘不致击穿闪络。接地装置与地线配合对导线起到了屏蔽作用。

#### 1. 接地体

接地体是指埋入地中并直接与大地接触的金属导体，分为自然接地体和人工接地体两

种。为减少相邻接地体之间的屏蔽作用，接地体之间必须保持一定距离。在土壤电阻率比较高的山区，接地体的长度不能满足时，可以加装接地模块以降低接地装置的接地电阻。

## 2. 接地引下线

接地引下线是指连接避雷线或杆塔与接地体的金属导体。对非预应力钢筋混凝土杆可以利用内部钢筋作为接地引线；对于金属结构的铁塔而言，铁塔本身就是导体，故将接地引下线和铁塔腿进行连接即可。

# 四、电缆输电线路组成

应用电缆输送电力的线路称为电缆输电线路。电缆可以敷设在地下或水底。电缆输电线路由土建设施、电缆系统（电缆及附件）、附属设施组成。

## （一）土建设施

土建设施是指与电缆系统和附属设施一起形成完整电缆线路的通道构筑物，主要包括直埋、水底电缆、电缆排管、电缆沟、电缆桥、电缆隧道、电缆竖井等。

### 1. 直埋

直埋是指把电缆放入开挖好的沟槽内，沿线在电缆上铺设一定厚度的砂土或细土后盖上预制钢筋混凝土（或其他）保护板，最后回填土并夯实的一种敷设方式。直埋电缆适用于电缆线路不太密集的城市地下走廊，如市区人行道、公共绿地、建筑物边缘地带等。直埋敷设不需要大量的土建工程，施工周期短，是一种较经济的敷设方式。直埋敷设电缆较容易遭受机械性外力损伤、土壤的化学或电化学腐蚀，电缆故障修理或更换电缆较为困难。

### 2. 水底电缆

水底电缆是指将电力电缆直接敷设在水底的一种电缆安装方式。敷设于江、河、湖、海水底下的电缆安装方式统称为水底电缆敷设。水底电缆敷设适应于跨越两个陆地之间水域的输配电电缆线路安装，或向岛屿和海中石油平台供电。敷设于水底的电缆，必须能承受较大纵向拉力，应选用钢丝铠装和聚乙烯外护套的电缆。

### 3. 电缆排管

电缆排管指按通道规划电缆根数开挖沟槽一次建成多孔电缆管道的地下构筑物。电缆拖拉管是排管的非开挖的实现形式，是借助顶进（或拖拉）装置，将电缆管道在地下逐节顶进（或拖拉）的非开挖施工技术。所谓非开挖技术是指即不开挖地表或以最小的地表开挖量进行各种地下管道（管线）探测、检查、铺设、更换或修复的施工技术。排管的位置一般在城市道路的非机动车道或建设在人行道或机动车道，在排管的土建作业一次完成之后，相同路径的电缆线路安装，可以不再重复开挖路面。置于排管中的电缆基本可消除外力机械损坏的可能性，为避免长期运行后铠装金属带锈蚀堵塞管道，其外护层不需要铠装。电缆排管建设投资较大，建设周期较长。

### 4. 电缆沟

电缆沟指封闭式不通行、盖板可开启的电缆构筑物，盖板与地坪相齐或稍有落差。电缆沟主要位于发电厂及变电站内、工厂厂区或城市人行道等场所，结构特点为钢筋混凝土或砖砌，电缆沟的断面尺寸取决于远景规划敷设电缆的根数。电缆沟中的电缆应满足防火要求，应采用不延燃的外护层或裸钢带铠装。电缆沟沟内容易积水、积尘，清除较为不便，且电缆沟一般深度较浅，空气散热条件有限，一定程度上影响了电缆的载流量。

## 5. 电缆桥

电缆桥主要位于工厂区、变电站、河道跨越等处，结构特点为钢筋混凝土或钢结构，内有支架，容纳电缆数量一般为 8 根及以上。在短跨距的交通桥梁上敷设电缆，应将电缆穿入内壁光滑、耐燃的管子内，在桥墩部位应设置过渡工井，以吸收过桥部分电缆的热伸缩量；在长跨距桥内敷设电缆，为降低桥梁震动对电缆金属护套的影响，一般在电缆下每隔 1~2m 加垫用弹性材料制成的衬垫，桥内电缆应采用耐火槽盒保护，全长作蛇形敷设，在桥梁伸缩缝处，电缆必须采用活动支架固定。

## 6. 电缆隧道

电缆隧道指容纳电缆数量较多、有供安装和巡视的通道、全封闭型的电缆构筑物。电缆隧道主要位于电厂、变电站出线、重要道路、穿越河道等处，型式一般为明挖、盾构、顶管等，容纳电缆数量一般为 16 根及以上。电缆隧道中有一定高度的人行通道，有照明、通风和自动排水装置，可随时进行电缆安装和维修作业，敷设在隧道中的电缆应满足防火要求，例如采用不延燃的外护套或裸钢带铠装，重要的线路应选用具有阻燃外护套的电缆。隧道中宜设置火灾报警设施和自动灭火系统。电缆敷设于隧道中，消除了外力损坏的可能性，对电缆安全运行十分有利。但隧道建设投资大，建设周期长。

## 7. 电缆竖井

电缆竖井指位于电站、电缆隧道出口、高层建筑、桥梁两侧等落差较大的电缆通道。一般为钢筋混凝土结构，位于大型建筑物内部，容纳电缆数量一般为 8 根及以上。竖井是垂直的电缆通道，上下高程差较大，竖井中电缆铠装层能承受纵向拉力，外护层应符合防火条件，如选用不延燃的塑料外护套、裸钢丝铠装或阻燃电缆，也可选用不滴流电缆或交联聚乙烯电缆。竖井的横断面尺寸是根据敷设电缆的根数和规格而确定的。一般在竖井的一侧安装固定电缆的支架和夹具。竖井中每隔一段距离应设一工作平台，并有上下工作梯和用于牵引电缆、起吊重物的拉环等设施。

## (二) 电缆系统

电缆系统指由电缆和安装在电缆上的附件所构成的系统，包括电缆、电缆接头、电缆终端。

### 1. 电缆

电缆指外包绝缘的绞合导线，或包有金属护套并加以接地。电缆主要包括线芯（又称导体）、绝缘层、屏蔽层和保护层四部分。按电缆的绝缘类型，可分为交联电缆和充油电缆。电缆敷设在地下，不占地面、空间，同一地下电缆通道可以容纳多回线路，自然气象条件（如雷电、风雨、盐雾、污秽等）和周围环境对电缆的影响很小，电缆隐蔽在地下，对人身比较安全，供电可靠性高，电缆线路运行维护费用比较小，在城市道路和大型工厂采用电缆供电还有利于市容、厂容整齐美观。

### 2. 电缆接头

电缆接头又称中间接头，是指安装在电缆与电缆之间具有一定绝缘和密封性能，使两根及以上电缆导体连通，使之形成连续电路的装置。接头可分为普通接头（直线接头）、绝缘接头、塞止接头、分支接头、过渡接头、转换接头、软接头等。电缆接头应满足以下要求：①电缆导体必须和出线接头、接线端子或连接管有良好的连接；②要有满足电缆线路在各种状态下长期安全运行的绝缘结构，并有一定的裕度，接头中应用应力锥、反应力锥或应力管

来控制轴向应力；③要能有效地防止外界水分或有害物质侵入绝缘，并能防止绝缘剂流失；④应能承受在各种运行条件下所产生的机械应力。

### 3. 电缆终端

电缆终端指安装在电缆线路末端，使电缆与电力系统其他电气设备相连接，并保持绝缘与密封性能至连接点的装置。电缆终端分为户内终端、户外终端、GIS 终端，电缆终端应清晰地标注相位色别，即 A 相黄色、B 相绿色、C 相红色，并与系统的相位一致，电缆终端的端部金属部件（含屏蔽罩）在不同相导体之间和各相带电部分对地之间，应符合相关设备安全净距的规定值。为了人身和设备的安全，电缆终端处必须按规定装设接地线，依据《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》的规定，将电缆终端的金属外壳、电缆金属护套、铠装层、金属支架，以及金属保护管采用等位连接线连通，等位连接线的截面积应满足通过电缆护层的循环电流的需要。

### （三）附属设施

附属设施是指与电缆系统和土建设施一起形成完整电缆线路的附属装置与部件，包括接地系统、油路系统、交叉互联系统、监控系统、照明系统、消防系统、排水系统、排风系统等。

#### 1. 接地系统

接地系统是指由接地网、接地预埋件等组成的满足电力系统接地电阻要求的电气装置。工井、电缆沟、隧道、变电站终端、电缆户外终端站接地电阻，以及接地网的接地电阻应符合技术规范要求。安装在工井内的金属构件应用镀锌扁钢与接地装置连接，电缆终端及附属设施接地部分应与接地装置可靠连接，隧道内的接地系统应形成环型接地网，隧道内的金属构件和固定式电器用具应与接地网连通。三芯电缆应在线路两终端直接接地，如在线路中有中接头，应在中接头处另加设接地；交流单芯电缆的金属护套或屏蔽层，在线路上至少有一点直接接地；长距离单芯水底电缆线路应在两岸的接头处直接接地。

#### 2. 油路系统

油路系统是充油电缆线路必不可少的组成部分，包含供油箱、压力阀、油管路、电接点压力表、真空压力表、绝缘缩节和油压警示系统等。当电缆线路负荷和环境温度发生变化时，将引起电缆内部油的膨胀或收缩，并导致电缆油压变化，油路系统能够自动调节该部分油量和油压变化，使充油电缆线路在规定油压值范围内持续安全运行。单芯充油电缆为了确保电缆线路暂态压力在允许值范围内而分成的油段，应有各自独立的供油系统，当采用一端供油方式时，供油箱宜设于标高较高的一端；当采用二端供油方式时，如果两端选用油容积不同的供油箱，则应将油容积较大的供油箱设置于标高较高的一端。供油装置应设有油压过高和过低的信号和报警系统。

#### 3. 交叉互联系统

交叉互联系统指相邻单元段电缆的金属护套或屏蔽层交叉连接，使每个金属护套或屏蔽层的连续回路依次包围三相导体的一种特殊互联方式系统，也是电缆护层接地方式中最常用的一种。交叉互联系统主要由交叉互联箱、接地箱、护层保护器、同轴电缆、接地线等组成，其作用是用来限制金属护套的过电压和感应电压，减少或消除护层上的环流，防止电缆外护层击穿，确保电缆的安全运行。对于较长的电缆线路，应用绝缘接头将金属护套分隔成多段，使每段的感应电压限制在规定的范围以内。金属护套采用交叉互联后，与不实行交叉互联相比较电缆线路的输送容量可以有较大提高。



#### 4. 监控系统

监控系统指由光纤电缆、监视探头、报警器、开关、低压缆线、路由器等组成的，用来监测高压电缆通道内火灾、有害气体、水位、人员的进出情况、电缆及隧道的温度和电缆本体、终端、接头相关状态量参数等信息，并能及时将监测的信息和数据发送到相关运行部门的专用设施系统。监控系统主要包含通风、火灾、水位及电等监控系统、分布式光纤测温系统、油压监控系统、视频监控系统、局放在线监测系统、隧道沉降监控系统、接地环流监控系统、终端电子围栏技防系统、隧道门禁防入侵系统等。监控系统一旦监测到可能导致灾害的因素时，电缆隧道中的警报器会及时发出警报，通知隧道内人员根据安全指示灯转移到安全区域。监控系统通常采用就地、远程等控制方式。

#### 5. 照明系统

照明系统指为电缆隧道内施工、运行、检修提供必要照度的灯具、连接箱、开关、低压缆线等组成的电气设备系统。照明系统分为正常照明、事故照明两类，其照度标准应满足相关标准，照明灯具宜选用防潮、防爆型，灯具宜安装于隧道顶部，应采用两路电源交叉供电。照明控制宜采用两地双向控制方式，事故照明的照明容量应满足较大的供电需求。

#### 6. 消防系统

消防系统指由火灾自动探测报警、防火分隔封堵、人工与自动灭火器材等构成的，限制火灾蔓延和扑灭电缆火灾的消防配置系统。一般每隔一段距离就应设一防火分区。在电缆隧道的进出口、每一防火分区内、每一电缆接头区内处应设置消防及防护器材，在电缆孔洞等部位应实施有效的防火封堵。

#### 7. 排水系统

排水系统指电缆隧道内设置的自动排水泵、集水坑、排水明沟、与城市排水系统衔接的排水管、控制箱、电源线等专用设施系统。为电缆隧道内施工、运行、检修提供干燥的环境，防止电缆隧道内各种系统因进水受潮而造成损坏。电缆隧道工作井及区间隧道的最低点应设置集水坑并采取排水措施，工作井的每个层面宜设置排水明沟，并引入集水坑，区间隧道内应设排水沟。排水管应就近接入城市排水系统，并有防止回水倒灌措施。

#### 8. 排风系统

排风系统指为电缆隧道内施工、运行、检修提供空气流通，防止毒气伤人而设置的通风口、鼓风机、排气管道、开关、低压缆线等专用设备系统。排风系统包括自然通风、机械通风及机械通风与自然通风相结合的方式，通风系统应按电缆隧道的最大电缆通过能力设计，并应满足人员通行、电缆运行的一般要求。隧道内的气流方向及风速应可调节，通风口噪声应符合环保要求。

## 第二节 输电线路工程质量监督

工程质量监督检查是监督机构根据国家相关法律、法规、工程技术标准和工程建设标准，对责任主体和有关机构履行质量责任的行为，以及对有关工程的实体质量及相关文件、资料等随机进行的抽样检查活动。输电线路的质量监督检查阶段通常按工程的施工阶段划分，质量监督机构按照工程质量监督阶段、质量监督计划和工程具体情况进行抽查及阶段监督检查。各阶段检查前，工程应具备《输变电工程质量监督检查大纲》规定的相应条件。