



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

配电电缆

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

配电电缆

国家电网公司人力资源部 组编
张东斐 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《配电电缆》,全书共7个部分22章63个模块,主要包括电力电缆基础知识,电气识、绘图,电缆敷设安装,电缆工程验收,电缆的运行维护,电缆故障测寻及试验,电缆附件安装。

本书可作为供电企业配电电缆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

配电电缆/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 978-7-5123-0808-4

I. ①配… II. ①国… III. ①配电线路—电缆—技术培训—教材
IV. ①TM726.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第169329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>)

北京丰源印刷厂印刷

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 18.75印张 576千字

印数0001—3000册 定价29.00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	俞学豪			
成 员	张东斐	王光明	严有祥	张 行	张淑琴	
	李 强	曾 光	鞠宇平	倪 春	江振宇	
	李群雄	曹爱民	白春钢	贾长朱	郭海云	



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《配电电缆》。

本书中第一部分电力电缆基础知识，由陕西省电力公司陈旭、景晓东，福建省电力有限公司严有祥编写；第二部分电气识、绘图，由上海市电力公司王克强编写；第三部分电缆敷设安装，由辽宁省电力有限公司曾光，江苏省电力公司王光明、张行编写；第四部分电缆工程验收，由江西省电力公司李强编写；第五部分电缆的运行维护，由上海市电力公司蒋洪权编写；第六部分电缆故障测寻及试验，由天津市电力公司陈其三编写；第七部分电缆附件安装，由天津市电力公司张淑琴，陕西省电力公司陈旭编写。全书由天津市电力公司张东斐担任主编。北京市电力公司姜绿先担任主审，周作春、李洪涛、徐绍军、张重仁参审。

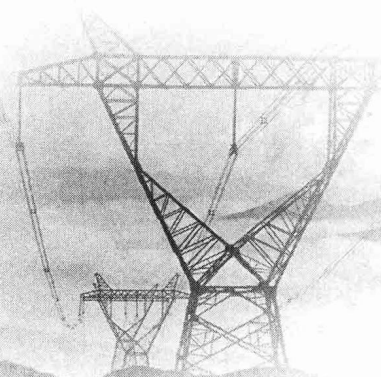
由于编写时间仓促，本套教材难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使之不断完善。



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 电力电缆基础知识

第一章 电力电缆基本知识	3
模块 1 电力电缆的种类及命名 (GYDL00101001)	3
模块 2 电缆的结构和性能 (GYDL00101002)	7
模块 3 高压电缆绝缘击穿原理和高压电缆绝缘厚度确定 (GYDL00101003)	9
模块 4 电力电缆的载流量计算 (GYDL00101004)	12
模块 5 高压电缆的机械特性 (GYDL00101005)	17
模块 6 交联聚乙烯电力电缆绝缘老化机理 (GYDL00101006)	22
模块 7 金属护层感应电压 (GYDL00101007)	24
模块 8 改善电场分布的方法 (GYDL00101008)	27
模块 9 电缆主要电气参数及计算 (GYDL00101009)	30
第二章 电缆构筑物	34
模块 1 电缆保护管 (GYDL00103001)	34
模块 2 电缆构筑物 (GYDL00103002)	38

第二部分 电气识、绘图

第三章 电力电缆专业识、绘图	45
模块 1 电缆结构图 (GYDL00505001)	45
模块 2 电气系统图 (GYDL00505002)	49
模块 3 电气接线图 (GYDL00505003)	51
模块 4 电缆附件安装图 (GYDL00505004)	60
模块 5 电缆路径图 (GYDL00505005)	67

第三部分 电缆敷设安装

第四章 施工方案及作业指导书编制	75
模块 1 施工方案的编制 (GYDL00202001)	75
模块 2 电缆作业指导书的编制 (GYDL00202002)	81
第五章 电缆及附件的储运及验收	85
模块 1 电缆及附件的运输、储存 (GYDL00203001)	85
模块 2 电缆及附件的验收 (GYDL00203002)	87
第六章 电缆敷设方式及要求	90
模块 1 电缆的直埋敷设 (GYDL00204001)	90

模块 2	电缆的排管敷设 (GYDL00204002)	95
模块 3	电缆的沟道敷设 (GYDL00204003)	99
模块 4	电缆敷设的一般要求 (GYDL00204004)	105
模块 5	交联聚乙烯绝缘电缆的热机械力 (GYDL00204005)	111
模块 6	水底和桥梁上的电缆敷设 (GYDL00204006)	112
第七章	敷设工器具和设备的使用	120
模块 1	电缆敷设的常用机具的使用及维护 (GYDL00205001)	120

第四部分 电缆工程验收

第八章	工程竣工验收及资料管理	127
模块 1	电缆线路工程验收 (GYDL00206001)	127
模块 2	电缆构筑物工程验收 (GYDL00206002)	131
模块 3	电缆工程竣工技术资料 (GYDL00206003)	134

第五部分 电缆的运行维护

第九章	电缆的运行维护基础	139
模块 1	电缆线路运行维护的内容和要求 (GYDL00102001)	139
第十章	电缆设备巡视	143
模块 1	电缆线路的巡查周期和内容 (GYDL00301001)	143
模块 2	红外测温仪的使用和应用 (GYDL00301002)	152
模块 3	温度热像仪的使用和应用 (GYDL00301003)	154
第十一章	设备运行分析及缺陷管理	158
模块 1	电缆缺陷管理 (GYDL00302001)	158
模块 2	电缆缺陷处理 (GYDL00302002)	163

第六部分 电缆故障测寻及试验

第十二章	电缆故障测寻及处理	169
模块 1	电缆线路常见故障诊断与分类 (GYDL00303001)	169
模块 2	电缆线路的识别 (GYDL00303002)	170
模块 3	常用电缆故障测寻方法 (GYDL00303003)	172
第十三章	电缆交接、预防性试验	180
模块 1	电缆交接试验的要求和内容 (GYDL00304001)	180
模块 2	电缆预防性试验要求和内容 (GYDL00304002)	183
模块 3	电力电缆试验操作 (GYDL00304003)	187

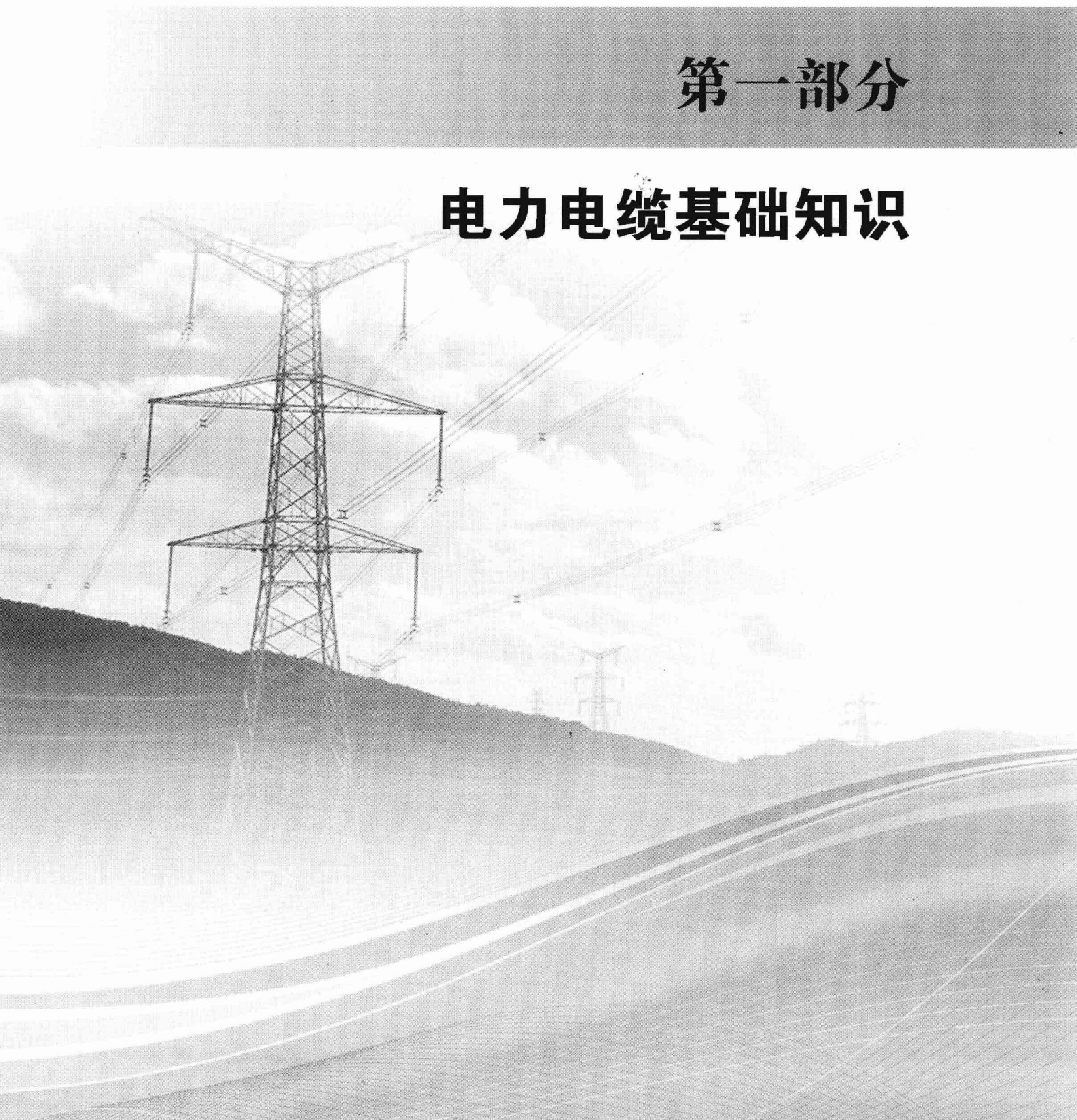
第七部分 电缆附件安装

第十四章	电力电缆附件种类和安装工艺要求	197
模块 1	35kV 及以下电缆附件的种类 (ZY0600101001)	197
模块 2	35kV 及以下电缆附件的安装工艺要求 (ZY0600101002)	197
第十五章	电缆附件安装的基本操作	200
模块 1	油纸绝缘电缆剖铅、胀铅和封铅操作 (GYDL00201001)	200

模块 2	电缆线芯的连接 (GYDL00201002)	202
模块 3	电缆的剥切 (GYDL00201003)	206
模块 4	火器的使用 (GYDL00201004)	209
模块 5	常用带材的绕包 (GYDL00201005)	210
模块 6	登高作业 (GYDL00201006)	213
第十六章	1kV 及以下电力电缆终端制作	216
模块 1	1kV 及以下各类电力电缆终端制作程序及工艺要求 (ZY0600102001)	216
模块 2	1kV 电力电缆终端安装 (ZY0600102002)	217
第十七章	10kV 电力电缆各种类型终端制作	220
模块 1	10kV 电力电缆各种类型终端头制作程序及工艺要求 (ZY0600103001)	220
模块 2	10kV 电力电缆终端头安装 (ZY0600103002)	226
第十八章	35kV 电力电缆各种类型终端制作	235
模块 1	35kV 电力电缆各种类型终端头制作程序及工艺要求 (ZY0600104001)	235
模块 2	35kV 电力电缆终端头安装 (ZY0600104002)	240
第十九章	1kV 及以下电力电缆中间接头制作	249
模块 1	1kV 及以下各类电力电缆中间接头制作程序及工艺要求 (ZY0600105001)	249
模块 2	1kV 电力电缆中间接头安装 (ZY0600105002)	250
第二十章	10kV 电力电缆各种类型中间接头制作	254
模块 1	10kV 电力电缆各种类型中间接头制作程序及工艺要求 (ZY0600106001)	254
模块 2	10kV 电力电缆中间接头安装 (ZY0600106002)	259
第二十一章	35kV 电力电缆各种类型中间接头制作	265
模块 1	35kV 电力电缆各种类型中间接头制作程序及工艺要求 (ZY0600107001)	265
模块 2	35kV 电力电缆中间接头安装 (ZY0600107002)	270
第二十二章	避雷器安装	278
模块 1	避雷器安装方法 (GYDL00207001)	278
附录 A	《配电电缆》培训模块教材各等级引用关系表	284
参考文献		289

第一部分

电力电缆基础知识





第一章 电力电缆基本知识

模块 1 电力电缆的种类及命名 (GYDL00101001)

【模块描述】本模块介绍电力电缆的种类及命名。通过概念描述、要点讲解，熟悉电力电缆的种类及命名规则，掌握常用电缆型号及规格的含义。

【正文】

电力电缆品种规格很多，分类方法多种多样，通常按照绝缘材料、结构、电压等级和特殊用途等方法进行分类。

一、电力电缆的种类和特点

(一) 按电缆的绝缘材料分类

电力电缆按绝缘材料不同，可分为油纸绝缘电缆、挤包绝缘电缆和压力电缆三大类。

1. 油纸绝缘电缆

油纸绝缘电缆是绕包绝缘纸带后浸渍绝缘剂（油类）作为绝缘的电缆。

根据浸渍剂不同，油纸绝缘电缆可以分为黏性浸渍纸绝缘电缆和不滴流浸渍纸绝缘电缆两类。二者结构完全一样，制造过程除浸渍工艺有所不同外，其他均相同。不滴流电缆的浸渍剂黏度大，在工作温度下不滴流，能满足高差较大的环境（如矿山、竖井等）使用。

按绝缘结构不同，油纸绝缘电缆主要分为统包绝缘电缆、分相屏蔽和分相铅包电缆。

(1) 统包绝缘电缆，又称带绝缘电缆。统包绝缘电缆的结构特点，是在每相导体上分别绕包部分带绝缘后，加适当填料经绞合成缆，再绕包带绝缘，以补充其各相导体对地绝缘厚度，然后挤包金属护套。

统包绝缘电缆结构紧凑，节约原材料，价格较低。缺点是内部电场分布很不均匀，电力线不是径向分布，具有沿着纸面的切向分量。所以这类电缆又叫非径向电场型电缆。由于油纸的切向绝缘强度只有径向绝缘强度的 $1/2 \sim 1/10$ ，所以统包绝缘电缆容易产生移滑放电。因此这类电缆只能用于 10kV 及以下电压等级。

(2) 分相屏蔽电缆和分相铅包电缆。分相屏蔽和分相铅包电缆的结构基本相同，这两种电缆特点是，在每相绝缘芯制好后，包覆屏蔽层或挤包铅套，然后再成缆。分相屏蔽电缆在成缆后挤包一个三相共用的金属护套，使各相间电场互不相关，从而消除了切向分量，其电力线沿着绝缘芯径向分布，所以这类电缆又叫径向电场型电缆。径向电场型电缆的绝缘击穿强度比非径向型要高得多，多用于 35kV 电压等级。

2. 挤包绝缘电缆

挤包绝缘电缆又称固体挤压聚合电缆，它是以热塑性或热固性材料挤包形成绝缘的电缆。

目前，挤包绝缘电缆有聚氯乙烯（PVC）电缆、聚乙烯（PE）电缆、交联聚乙烯（XLPE）电缆和乙丙橡胶（EPR）电缆等，这些电缆使用在不同的电压等级。

交联聚乙烯电缆是 20 世纪 60 年代以后技术发展最快的电缆品种，与油纸绝缘电缆相比，它在加工制造和敷设应用方面有不少优点。其制造周期较短，效率较高，安装工艺较为简便，导体工作温度可达到 90°C 。由于制造工艺的不断改进，如用干式交联取代早期的蒸汽交联，采用悬链式和立式生产线，使得 110~220kV 高压交联聚乙烯电缆产品具有优良的电气性能，能满足城市电网建设和改造的需要。目前在 220kV 及以下电压等级，交联聚乙烯电缆已逐步取代了油纸绝缘电缆。



3. 压力电缆

压力电缆是在电缆中充以能流动、并具有一定压力的绝缘油或气体的电缆。在制造和运行过程中, 油纸绝缘电缆的纸层间不可避免地会产生气隙。气隙在电场强度较高时, 会出现游离放电, 最终导致绝缘层击穿。压力电缆的绝缘处在一定压力(油压或气压)下, 抑制了绝缘层中形成气隙, 使电缆绝缘工作场强明显提高, 可用于 63kV 及以上电压等级的电缆线路。

为了抑制气隙, 用带压力的油或气体填充绝缘, 是压力电缆的结构特点。按填充压缩气体与油的措施不同, 压力电缆可分为自容式充油电缆、充气电缆、钢管充油电缆和钢管充气电缆等品种。

(二) 按电缆的结构分类

电力电缆按照电缆芯线的数量不同, 可以分为单芯电缆和多芯电缆。

(1) 单芯电缆。指单独一相导体构成的电缆。一般在大截面导体、高电压等级电缆多采用此种结构。

(2) 多芯电缆。指由多相导体构成的电缆, 有两芯、三芯、四芯、五芯, 等等。该种结构一般在小截面、中低压电缆中使用较多。

(三) 按电压等级分类

电缆的额定电压以 $U_0/U(U_m)$ 表示。其中: U_0 表示电缆导体对金属屏蔽之间的额定电压; U 表示电缆导体之间的额定电压; U_m 是设计采用的电缆任何两导体之间可承受的最高系统电压的最大值。根据 IEC 标准推荐, 电缆按照额定电压 U 分为低压、中压、高压和超高压四类。

(1) 低压电缆: 额定电压 U 小于 1kV, 如 0.6/1kV。

(2) 中压电缆: 额定电压 U 介于 6~35kV 之间, 如 6/6, 6/10, 8.7/10, 21/35, 26/35kV。

(3) 高压电缆: 额定电压 U 介于 45~150kV 之间, 如 38/66, 50/66, 64/110, 87/150kV。

(4) 超高压电缆: 额定电压 U 介于 220~500kV 之间, 如 127/220, 190/330, 290/500kV。

(四) 按特殊需求分类

按对电力电缆的特殊需求, 主要有输送大容量电能的电缆、阻燃电缆和光纤复合电缆等品种。

1. 输送大容量电能的电缆

(1) 管道充气电缆。管道充气电缆(GIC)是以压缩的六氟化硫气体为绝缘的电缆, 也称六氟化硫电缆。这种电缆又相当于以六氟化硫气体为绝缘的封闭母线。这种电缆适用于电压等级在 400kV 及以上的超高压、传送容量 100 万 kVA 以上的大容量电站, 高落差和防火要求较高的场所。管道充气电缆由于安装技术要求较高, 成本较高, 对六氟化硫气体的纯度要求很严, 仅用于电厂或变电所内短距离的电气联络线路。

(2) 低温有阻电缆。低温有阻电缆是采用高纯度的铜或铝作导体材料, 将其处于液氮温度(77K)或者液氢温度(20.4K)状态下工作的电缆。在极低温度下, 由导体材料热振动决定的特性温度(德拜温度)之下时, 导体材料的电阻随绝对温度的 5 次方急剧变化。利用导体材料的这一性能, 将电缆深度冷却, 以满足传输大容量电力的需要。

(3) 超导电缆。指以超导金属或超导合金为导体材料, 将其处于临界温度、临界磁场强度和临界电流密度条件下工作的电缆。利用超低温下出现失阻现象的某些金属及其合金为导体的电缆称为超导电缆, 在超导状态下导体的直流电阻为零, 以提高电缆的传输容量。

2. 防火电缆

防火电缆是具有防火性能电缆的总称, 它包括阻燃电缆和耐火电缆两类。

(1) 阻燃电缆。指能够阻滞、延缓火焰沿着其外表蔓延, 使火灾不扩大的电缆。在电缆比较密集的隧道、竖井或电缆夹层中, 为防止电缆着火酿成严重事故, 35kV 及以下电缆应选用阻燃电缆。有条件时, 应选用低烟无卤或低烟低卤护套的阻燃电缆。

(2) 耐火电缆。是当受到外部火焰以一定高温和时间作用期间, 在施加额定电压状态下具有维持通电运行功能的电缆, 用于防火要求特别高的场所。

3. 光纤复合电力电缆

将光纤组合在电力电缆的结构层中, 使其同时具有电力传输和光纤通信功能的电缆称为光纤复合

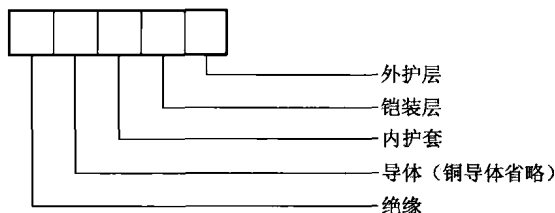
电力电缆。光纤复合电力电缆集两方面功能于一体，因而降低了工程建设投资和运行维护费用。

二、电力电缆的命名方法

电力电缆产品命名用型号、规格和标准编号表示，而电缆产品型号一般由绝缘、导体、护层的代号构成，因电缆种类不同型号的构成有所区别；规格由额定电压、芯数、标称截面积构成，以字母和数字为代号组合表示。

1. 额定电压 1 ($U_m=1.2\text{kV}$) ~ 35kV ($U_m=40.5\text{kV}$) 挤包绝缘电力电缆命名方法

(1) 产品型号的组成和排列顺序如下：



(2) 各部分代号及含义见表 GYDL00101001-1。

表 GYDL00101001-1

代 号 含 义

导体代号	铜导体	(T) 省略	铠装代号	双钢带铠装	2
	铝导体	L		细圆钢丝铠装	3
绝缘代号	聚氯乙烯绝缘	V	铠装代号	粗圆钢丝铠装	4
	交联聚乙烯绝缘	YJ		双非磁性金属带铠装	6
	乙丙橡胶绝缘	E		非磁性金属丝铠装	7
	硬乙丙橡胶绝缘	HE		聚氯乙烯外护套	2
护套代号	聚氯乙烯护套	V	外护层代号	聚乙烯外护套	3
	聚乙烯护套	Y		弹性体外护套	4
	弹性体护套	F			
	防潮层聚乙烯护套	A			
	铅套	Q			

举例：铜芯交联聚乙烯绝缘聚乙烯护套电力电缆，额定电压为 26/35kV，单芯，标称截面积 400mm^2 ，表示为：YJY-26/35 1×400。

2. 额定电压 110kV 及以上交联聚乙烯绝缘电力电缆命名方法

(1) 产品型号依次由绝缘、导体、金属套、非金属外护套或通用外护层以及阻水结构的代号构成。

(2) 各部分代号及含义见表 GYDL00101001-2。

表 GYDL00101001-2

代 号 含 义

导体代号	铜导体	(T) 省略	非金属外护套代号	聚氯乙烯外护套	02
	铝导体	L		聚乙烯外护套	03
绝缘代号	交联聚乙烯绝缘	YJ	阻水结构代号	纵向阻水结构	Z
金属护套代号	铅套	Q			
	皱纹铝套	LW			

举例：(1) 额定电压 64/110kV，单芯，铜导体标称截面积 630mm^2 ，交联聚乙烯绝缘皱纹铝套聚氯乙烯护套电力电缆，表示为：YJLW02 64/110 1×630。

(2) 额定电压 64/110kV，单芯，铜导体标称截面积 800mm^2 ，交联聚乙烯绝缘铅套聚乙烯护套纵向阻水电力电缆，表示为：YJQ03-Z 64/110 1×800。



3. 额定电压 35kV 及以下铜芯、铝芯纸绝缘电力电缆命名方法

(1) 产品型号依次由绝缘、导体、金属套、特征结构、外护层代号构成。

(2) 各部分代号及含义见表 GYDL00101001-3 和表 GYDL00101001-4。

表 GYDL00101001-3

代 号 含 义

导体代号	铜导体	(T) 省略	特征结构代号	分相电缆	F
	铝导体	L		不滴流电缆	D
绝缘代号	纸绝缘	Z		黏性电缆	省略
金属护套代号	铅套	Q			
	铝套	L			

表 GYDL00101001-4

纸绝缘电缆外护层代号含义

代号	铠装层	外被层或外护套	代号	铠装层	外被层或外护套
0	无	—	4	粗圆钢丝	—
1	联锁钢带	纤维外被	5	皱纹钢带	—
2	双钢带	聚氯乙烯外套	6	双铝带或铝合金带	—
3	细圆钢丝	聚乙烯外套			

外护层代号编制原则是：一般外护层按铠装层和外被层结构顺序，以两个阿拉伯数字表示，每一个数字表示所采用的主要材料。

举例：铜芯不滴流油浸纸绝缘分相铅套双钢带铠装聚氯乙烯套电力电缆，额定电压 26/35kV，三芯，标称截面积 150mm^2 ，表示为：ZQFD22-26/35 3×150。

4. 交流 330kV 及以下油纸绝缘自容式充油电缆命名方法

(1) 产品型号依次由产品系列代号、导体、绝缘、金属套、外护层代号构成。

(2) 各部分代号及含义见表 GYDL00101001-5。

表 GYDL00101001-5

代 号 含 义

产品系列代号	自容式充油电缆	CY	绝缘代号	纸绝缘	Z
导体代号	铜导体	(T) 省略	金属护套代号	铅套	Q
	铝导体	L		铝套	L

外护层代号：充油电缆外护层型号按加强层，铠装层和外被层的顺序，通常以三个阿拉伯数字表示。每一个数字表示所采用的主要材料。

外护层以数字为代号的含义见表 GYDL00101001-6。

表 GYDL00101001-6

充油电缆外护层代号含义

代号	加 强 层	铠装层	外被层或外护套
0	—	无铠装	—
1	铜带径向加强	联锁钢带	纤维外被
2	不锈钢带径向加强	双钢带	聚氯乙烯外套
3	铜带径向加强窄铜带纵向加强	细圆钢丝	—
4	不锈钢带径向窄不锈钢带纵向加强	粗圆钢丝	—

举例：铜芯纸绝缘铅包铜带径向窄铜带纵向加强聚氯乙烯护套自容式充油电缆，额定电压 220kV，单芯，标称截面积 400mm^2 ，表示为：CYZQ302 220/1×400。

【思考与练习】

1. 电力电缆按绝缘材料和结构分类, 有哪几类?
2. 挤包材质不同, 挤包电缆有哪几种?
3. 举例说明额定电压 $1(U_m=1.2\text{kV})\sim 35\text{kV}(U_m=40.5\text{kV})$ 挤包绝缘电力电缆的型号是怎样编制的。
4. 电力电缆按电压等级分类有哪几类?

模块 2 电缆的结构和性能 (GYDL00101002)

【模块描述】本模块介绍电力电缆的结构和性能。通过要点介绍, 掌握电缆导体、屏蔽层、绝缘层的结构及性能, 熟悉电缆护层的结构及作用。

【正文】

电力电缆的基本结构一般由导体、绝缘层、护层三部分组成, 6kV 及以上电缆导体外和绝缘层外还增加了屏蔽层。

一、电缆导体材料的性能及结构

导体的作用是传输电流, 电缆导体(线芯)大都采用高电导系数的金属铜或铝制造。铜的电导率大, 机械强度高, 易于进行压延、拉丝和焊接等加工。铜是电缆导体最常用的材料, 其主要性能如下:

20℃时的密度 8.89g/cm^3 ;

20℃时的电阻率 $1.724\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$;

电阻温度系数 $0.00393/^\circ\text{C}$;

抗拉强度 $200\sim 210\text{N/mm}^2$ 。

铝也是用作电缆导体比较理想的材料, 其主要性能如下:

20℃时的密度 2.70g/cm^3 ;

20℃时的电阻率 $2.80\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$;

电阻温度系数 $0.00407/^\circ\text{C}$;

抗拉强度 $70\sim 95\text{N/mm}^2$ 。

为了满足电缆的柔软性和可曲性的要求, 电缆导体一般由多根导线绞合而成。当导体沿某一半径弯曲时, 导体中心线圆外部分被拉伸, 中心线圆内部分被压缩, 绞合导体中心线内外两部分可以相互滑动, 使导体不发生塑性变形。

绞合导体外形有圆形、扇形、腰圆形和中空圆形等。

圆形绞合导体几何形状固定, 稳定性好, 表面电场比较均匀。20kV 及以上油纸电缆及 10kV 及以上交联聚乙烯电缆一般都采用圆形绞合导体结构。

10kV 及以下多芯油纸电缆和 1kV 及以下多芯塑料电缆, 为了减小电缆直径, 节约材料消耗, 采用扇形或腰圆形导体结构。

中空圆形导体用于自容式充油电缆, 其圆形导体中央以硬铜带螺旋管支撑形成中心油道, 或者以型线(Z形线和弓形线)组成中空圆形导体。

二、电缆屏蔽层的结构及性能

屏蔽, 是能够将电场控制在绝缘内部, 同时能够使绝缘界面处表面光滑, 并借此消除界面空隙的导电层。电缆导体由多根导线绞合而成, 它与绝缘层之间易形成气隙; 而导体表面不光滑会造成电场集中。在导体表面加一层半导体材料的屏蔽层, 它与被屏蔽的导体等电位, 并与绝缘层良好接触, 从而可避免在导体与绝缘层之间发生局部放电。这层屏蔽又称为内屏蔽层。

在绝缘表面和护套接触处, 也可能存在间隙; 电缆弯曲时, 油纸电缆绝缘表面易造成裂纹或皱折, 这些都是引起局部放电的因素。在绝缘层表面加一层半导体材料的屏蔽层, 它与被屏蔽的绝缘层有良好接触, 与金属护套等电位, 从而可避免在绝缘层与护套之间发生局部放电。这层屏蔽又称为外屏蔽层。

屏蔽层的材料是半导体材料, 其体积电阻率为 $10^3\sim 10^6\Omega\cdot\text{m}$ 。油纸电缆的屏蔽层为半导电纸。半



导电纸有吸附离子的作用,有利于改善绝缘电气性能。挤包绝缘电缆的屏蔽层材料是加入碳黑粒子的聚合物。没有金属护套的挤包绝缘电缆,除半导体屏蔽层外,还要增加用铜带或铜丝绕包的金属屏蔽层。其作用是:在正常运行时通过电容电流;当系统发生短路时,作为短路电流的通道,同时也起到屏蔽电场的作用。在电缆结构设计中,要根据系统短路电流的大小,采用相应截面的金属屏蔽层。

三、电缆绝缘层的结构及性能

电缆绝缘层具有承受电网电压的功能。电缆运行时绝缘层应具有稳定的特性,较高的绝缘电阻、击穿强度,优良的耐树枝放电和局部放电性能。电缆绝缘有挤包绝缘、油纸绝缘、压力电缆绝缘三种。

1. 挤包绝缘

挤包绝缘材料主要是各类塑料、橡胶。其具有耐受电网电压的功能,为高分子聚合物,经挤包工艺一次成型紧密地挤包在电缆导体上。塑料和橡胶属于均匀介质,这是与油浸纸的夹层结构完全不同。聚氯乙烯、聚乙烯、交联聚乙烯和乙丙橡胶的主要性能如下:

(1) 聚氯乙烯塑料以聚氯乙烯树脂为主要原料,加入适量配合剂、增塑剂、稳定剂、填充剂、着色剂等经混合塑化而制成。聚氯乙烯具有较好的电气性能和较高的机械强度,具有耐酸、耐碱、耐油性,工艺性能也比较好;缺点是耐热性能较低,绝缘电阻率较小,介质损耗较大,因此仅用于 6kV 及以下的电缆绝缘。

(2) 聚乙烯具有优良的电气性能,介电常数小、介质损耗小、加工方便;缺点是耐热性差、机械强度低、耐电晕性能差、容易产生环境应力开裂。

(3) 交联聚乙烯是聚乙烯经过交联反应后的产物。采用交联的方法,将线形结构的聚乙烯加工成网状结构的交联聚乙烯,从而改善了材料的电气性能、耐热性能和机械性能。

聚乙烯交联反应的基本机理是,利用物理的方法(如用高能粒子射线辐照)或者化学的方法(如加入过氧化物化学交联剂,或用硅烷接枝等)来夺取聚乙烯中的氢原子,使其成为带有活性基的聚乙烯分子。而后带有活性基的聚乙烯分子之间交联成三度空间结构的大分子。

(4) 乙丙橡胶是一种合成橡胶。用作电缆绝缘的乙丙橡胶是由乙烯、丙烯和少量第三单体共聚而成。乙丙橡胶具有良好的电气性能、耐热性能、耐臭氧和耐气候性能;缺点是不耐油,可以燃烧。

2. 油纸绝缘

油纸绝缘电缆的绝缘层采用窄条电缆纸带,绕包在电缆导体上,经过真空干燥后浸渍矿物油或合成油而形成。纸带的绕包方式,除仅靠导体和绝缘层最外面的几层外,均采用间隙式(又称负搭盖式)绕包,这使电缆在弯曲时,在纸带层间可以相互移动,在沿半径为电缆本身半径的 12~25 倍的圆弧弯曲时,不至于损伤绝缘。电缆纸是木纤维纸。

3. 压力电缆绝缘

在我国,压力电缆的生产和应用基本上是单一品种,即充油电缆。充油电缆是利用补充浸渍剂原理来消除气隙,以提高电缆工作场强的一种电缆。按充油通道不同,充油电缆分为自容式充油电缆和钢管充油电缆两类。我国生产应用自容式充油电缆已有近 50 年的历史,而钢管充油电缆尚未付诸工业性应用。运行经验表明,自容式充油电缆具有电气性能稳定、使用寿命较长的优点。自容式充油电缆油道位于导体中央,油道与补充浸渍油的设备(供油箱)相连,当温度升高时,多余的浸渍油流进油箱中,以借助油箱降低电缆中产生的过高压力;当温度降低时,油箱中浸渍油流进电缆中,以填补电缆中因负压而产生的空隙。充油电缆中浸渍剂的压力必须始终高于大气压。保证一定的压力,不仅使电缆工作场强提高,而且可以有效防止一旦护套破裂潮气浸入绝缘层。

四、电缆护层的结构及作用

电缆护层是覆盖在电缆绝缘层外面的保护层。典型的护层结构包括内护套和外护层。内护套贴紧绝缘层,是绝缘的直接保护层。包覆在内护套外面的是外护层。通常,外护层又由内衬层、铠装层和外被层组成。外护层的三个组成部分以同心圆形式层层相叠,成为一个整体。

护层的作用是保证电缆能够适应各种使用环境的要求,使电缆绝缘层在敷设和运行过程中免受机械或各种环境因素损坏,以长期保持稳定的电气性能。内护套的作用是阻止水分、潮气及其他有害物质侵入绝缘层,以确保绝缘层性能不变。内衬层的作用是保护内护套不被铠装扎伤。铠装层是电缆具

备必须的机械强度。外被层主要是用于保护铠装层或金属护套免受化学腐蚀及其他环境损害。

【思考与练习】

1. 电力电缆的基本结构一般由哪几部分组成?
2. 电缆屏蔽层有何作用?

模块3 高压电缆绝缘击穿原理和高压电缆绝缘厚度确定 (GYDL00101003)

【模块描述】本模块介绍高压电缆绝缘击穿原理和高压电缆绝缘厚度的确定。通过概念讲解和要点介绍,了解高压电缆绝缘击穿机理,熟悉影响高压电缆绝缘厚度的因素,掌握电缆绝缘厚度的计算方法。

【正文】

一、高压电缆绝缘击穿原理

(一) 固体绝缘击穿特性的划分

固体绝缘的击穿形式有电击穿、热击穿和电化学击穿。这几种击穿形式都与电压的作用时间密切相关。

1. 电击穿

电击穿理论是建立在固体绝缘介质中发生碰撞电离的基础上的,固体介质中存在的少量传导电子,在电场加速下与晶格结点上的原子碰撞,从而击穿。电击穿理论本身又分为两种解释碰撞电离的理论,即固有击穿理论与电子崩击穿理论。

电击穿的特点是电压作用时间短,击穿电压高,击穿电压和绝缘介质温度、散热条件、介质厚度、频率等因素都无关,但和电场的均匀程度关系极大。此外和绝缘介质特性也有很大关系,如果绝缘介质内有气孔或其他缺陷,会使电场发生畸变,导致绝缘介质击穿电压降低。在极不均匀电场及冲击电压作用下,绝缘介质有明显的不完全击穿现象。不完全击穿导致绝缘性能逐渐下降的效应称累积效应。绝缘介质击穿电压会随冲击电压施加次数的增多而下降。

2. 热击穿

由于绝缘介质损耗的存在,固体绝缘介质在电场中会逐渐发热升温,温度的升高又会导致固体绝缘介质电阻下降,使电流进一步增大,损耗发热也随之增大。在绝缘介质不断发热升温的同时,也存在一个通过电极及其他介质向外不断散热的过程。当发热较散热快时,介质温度会不断升高,以致引起绝缘介质分解炭化,最终击穿。这一过程即为绝缘介质的热击穿过程。

3. 电化学击穿(电老化)

在电场的长期作用下逐渐使绝缘介质的物理、化学性能发生不可逆的劣化,最终导致击穿,这种过程称电化学击穿。电化学击穿的类型有电离性击穿(电离性老化)、电导性击穿(电导性老化)和电解性击穿(电解性老化)。前两种主要在交流电场下发生,后一种主要在直流电场下发生。有机绝缘介质表面绝缘性能破坏的表现,还有表面漏电起痕。

(1) 电离性老化。如果绝缘介质夹层或内部存在气隙或气泡,在交变电场下,气隙或气泡内的场强会比邻近绝缘介质内的场强大得多,但气体的起始电离场强又比固体介质低得多,所以在该气隙或气泡内很容易发生电离。

此种电离对固体介质的绝缘有许多不良后果。例如,气泡体积膨胀使介质开裂、分层,并使该部分绝缘的电导和介质损耗增大;电离的作用还可使有机绝缘物分解,新分解出的气体又会加入到新的电离过程中;还会产生对绝缘材料或金属有腐蚀作用的气体;还会造成电场的局部畸变,使局部介质承受过高的电压,对电离的进一步发展起促进作用。

气隙或气泡的电离,通过上述综合效应会造成邻近绝缘物的分解、破坏(表现为变酥、炭化等形式),并沿电场方向逐渐向绝缘层深处发展。在有机绝缘材料中,放电发展通道会呈树枝状,称为“电