

DIANLI DIANLAN SHIGONG
YU YUNXING JISHU

电力电缆施工 与运行技术

魏华勇 孙启伟 彭 勇 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLI DIANLAN SHIGONG
YU YUNXING JISHU

电力电缆施工 与运行技术

魏华勇 孙启伟 彭 勇 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了满足供用电人员职业技能鉴定及日常工作需要,依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范——配电网》和相关规程标准的规定,并结合供用电生产实际情况组织编写的。全书共包括五章,主要介绍了电力电缆的基础知识,电力电缆线路施工,电力电缆运行、维护与电力电子保护器件,XLPE绝缘电力电缆的试验,电力电缆故障探测等内容。

本书可供电力系统中从事电力电缆施工人员、运行维护人员及线路管理部门阅读参考,亦可作为电力电缆高技能人才的培训参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电缆施工与运行技术/魏华勇等编. —北京:
中国电力出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-5123-4005-3

I. ①电… II. ①魏… III. ①电力电缆-电缆敷设②电力
电缆-电力系统运行 IV. ①TM757②TM247

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 017834 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 372 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 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

《电力电缆施工与运行技术》

编 委 会

主编人员：魏华勇 孙启伟 彭 勇

参编人员：张苏予 魏丽芳 熊 炬 张升学

黄 文 王 磊 林玉怀 吴 勇

袁 斌 李 丹 孙立存 伏 林

翁 澍 刘 蓉 赵玉谦 杨 辉

翟胜利

前言

为了配合国网公司和省电力公司共同启动的加强职工队伍“双师”建设，满足供用电人员现场作业及日常工作需要，根据实用性、通俗性，为电力生产服务的原则，尽可能地反映生产实际，而组织编写了《电力电缆施工与运行技术》，力争能使该书成为现场从事电缆工作人员手中的一本工具参考书。

随着国家经济的高速发展，由于电力电缆与架空线路相比具有极大的优越性，因此电力电缆在电网供电中广泛采用，城市电网高低压线路已普遍实行电缆化。近几年，我国电力电缆线路的增长迅速，其中以 35kV 及以下电力电缆所占的比例最大，因此，提高电力电缆及附属设备的设计、安装施工质量和安全运行水平，及时、准确排除电缆故障以迅速恢复供电，已成为各级供电部门一项极其重要的工作。

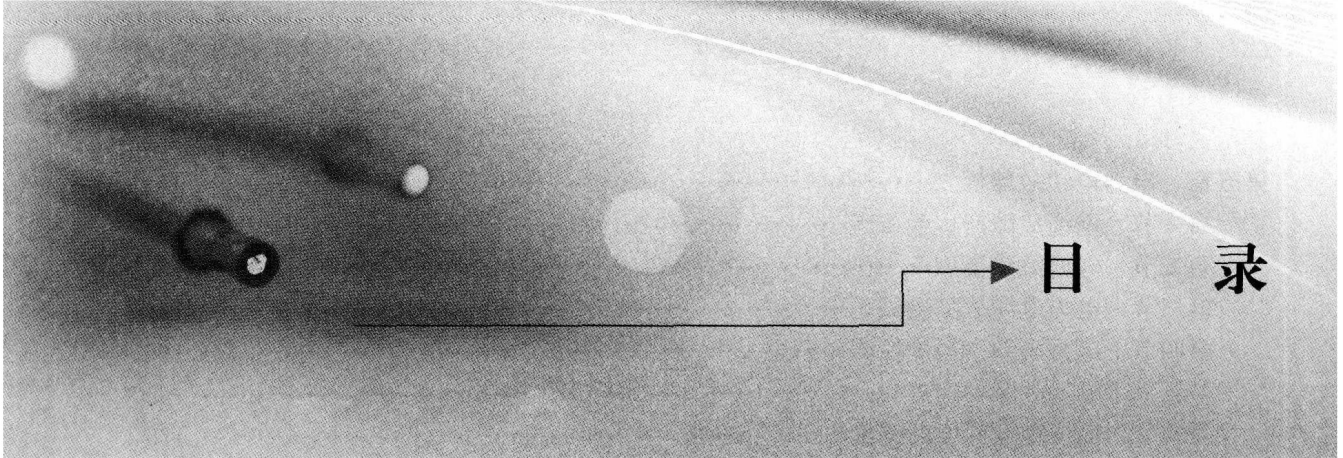
为满足广大供用电技术人员学习和掌握电力电缆施工、运行和故障探测技术的需要，我们在广泛参考有关技术资料的基础上，结合自己多年的工作实践，编写了这本电力电缆技术书，书中所编内容既有实际操作的具体方法，又有必要的深入浅出的理论分析，力求能帮助读者提高独立分析与解决电缆技术问题的能力。

在编写过程中，同时参考了近年来在电力电缆技术领域的大量书籍、资料、研究成果和相关的国家标准、电力行业标准，力求最大限度地、全面地反映在配网中有关电力电缆方面的成果和技术进步。

由于编者水平有限，书中定有不足之处，恳切希望读者、专家提出宝贵意见。

作者

2013. 4. 8



目 录

前言

第一章 电力电缆的基础知识	1
第一节 电力电缆线路的特点.....	1
第二节 交联聚乙烯绝缘电缆发展状况.....	2
第三节 电力电缆种类及特点.....	3
第四节 交联聚乙烯绝缘电缆结构及其材料性能.....	6
第五节 电力电缆连接设备	13
第六节 电力电缆接头的结构特点	15
第二章 电力电缆线路施工	20
第一节 电力电缆线路基本要素	20
第二节 电力电缆敷设	28
第三节 电力电缆类型、制作与安装缺陷分析	43
第四节 电力电缆线路工程验收	64
第五节 电力电缆敷设施工组织设计方案	69
第三章 电力电缆运行、维护与电力电子保护器件	78
第一节 运行技术	78
第二节 维护技术.....	102
第三节 状态检测技术及应用.....	116
第四节 电力电缆电子保护设施.....	130
第四章 XLPE 绝缘电力电缆的试验	137
第一节 电力电缆导电线芯及铜屏蔽层直流电阻试验.....	137
第二节 绝缘电阻试验.....	139
第三节 电力电缆相序的检测.....	141
第四节 直流耐压试验和泄漏电流测量.....	142
第五节 串联谐振交流耐压试验.....	145
第六节 超低频交流耐压试验.....	150
第七节 橡塑电力电缆内衬层和外护套破坏进水的确定.....	153

第五章 电力电缆故障探测..... 154

第一节 电缆故障产生的原因..... 154

第二节 电缆故障类型..... 155

第三节 电力电缆故障测试..... 156

第四节 电力电缆路径的探测..... 166

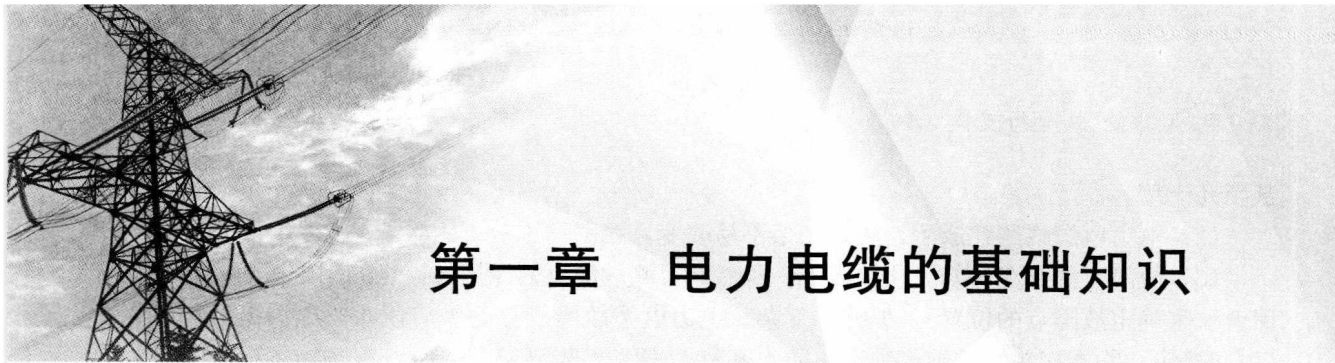
第五节 电缆故障的定点..... 169

第六节 电缆埋设深度的测量..... 175

第七节 电缆安全刺扎器..... 176

附录 现场实测波形汇编..... 178

参考文献..... 237



第一章 电力电缆的基础知识

电缆是一种特殊的导线，具有对电力或信息进行传输和控制的功能。它由一根或多根相互绝缘的导体外包优质的绝缘材料和各种保护层制成，与普通的导线相比，因其具有各种优点，所以有着越来越广泛的应用前景。在电力系统中，最常见的电缆有两大类，即电力电缆和控制电缆，能够长期、安全、可靠地传输大功率电能的电缆叫电力电缆，本书只讨论交联聚乙烯电力电缆及其连接附属设备。

第一节 电力电缆线路的特点

1. 电力电缆线路的优点

(1) 架空线易受暴风、暴雨、雷电、雪灾、冰雹、沙尘暴等自然灾害的影响而造成断线、短路等故障。电力电缆敷设于地下，除电缆分支箱和户外终端部分外，隐蔽性强，受气候和环境条件影响小，受外力破坏的几率小，对人身伤害的可能性降低，供电、输电性能稳定，安全性、可靠性高。

(2) 电力电缆往往包裹多个屏蔽层，电场、电磁屏蔽效果好，受外来电磁波干扰小。

(3) 节省有效面积。架空线走廊占地面积大，一般比较平直，其走向通常与城市道路方向不相符，使城市建筑布局困难。走廊下面大都不允许搭建任何建筑物，对寸土寸金的都市而言空间与通道的矛盾突出。电力电缆不占地面与空间，不影响城市景观。

(4) 有利于提高线路功率因数，减少电能损耗。电缆芯线与其外面的接地屏蔽层构成一个分布电容器，其结果相当于每相加进无功补偿电容器，容性无功电流分量将部分补偿线路上感性无功电流分量，使总电流幅值降低。

(5) 电力电缆一般接地可靠，泄漏雷击电流的通道通畅，雷击几率小。

(6) 电力电缆由于安装隐蔽，维护工作量小，不需频繁的巡视，有利于提高工作效率。

因此，在城镇市区人口稠密的地方，如繁华的商业中心、机场、车站、港口码头、主要道路、重点旅游区、保密部门和按城市规划不宜架设架空线的地区等都需要电力电缆供电。

负荷密集地区，供电可靠性要求特别高的地段；深入市区负荷中心的高压输电线路；输电走廊狭窄或建筑物对架空线距离小于安全距离的地区；大气中有严重腐蚀介质及易受各种自然灾害侵袭的地区；跨度大，不宜架设架空线的过江、过河线路，或为了避免架空线路对船舶通航或无线电干扰，也多宜采用电力电缆。虽然电力电缆的应用正朝着大规模方向发展，然而根据我国国情，眼前只能优先考虑一些重点地区和场所。

2. 电力电缆线路的不足之处

(1) 电力电缆线路比架空线路成本高，一次性投资费用可能高出架空线路几倍甚至几倍

甚至几十倍。

(2) 电力电缆线路建成后,网络构架不易改变,线路增添分支困难。

(3) 故障点的寻测和修复比较困难。虽然有寻测故障点的专用仪器(如用电桥法或脉冲回波法来确定故障点的位置),但操作复杂。电力电缆故障测寻与维修困难,电力电缆附件(中间接头、终端接头)的绝缘强度、防水密封、安装工艺要求高,所以现场施工操作人员需要经过专业培训,需要具有较高的专业技术水平。

第二节 交联聚乙烯绝缘电缆发展状况

1879年,美国人爱迪生发明了由黄麻沥青作为绝缘的电力电缆,是世界上出现最早的电力电缆;次年,英国人卡伦德发明了沥青浸渍纸绝缘电力电缆,距今已有一百多年的历史。历史上,电力电缆历经了铅包电缆、低黏度绝缘油浸渍纸绝缘电缆、油浸纸绝缘电缆、自容式充油电缆、聚氯乙烯(PVC)绝缘电缆、聚乙烯(PE)绝缘电缆、交联聚乙烯(XLPE)绝缘电缆等种类的发展,特别是交联聚乙烯(XLPE)绝缘电缆,由于其具有机械性能好、安装维护方便、绝缘性能优异、传输容量比同截面油纸绝缘电缆大、生产工艺简便、利于大规模生产等优点,所以随着材料工业及相关产业的不断发展,使XLPE绝缘电缆在电力系统中的应用日益广泛。

XLPE绝缘电缆最早出现在20世纪50年代的美国,60年代在日本得到推广应用。虽然其使用和发展只有几十年的历史,但XLPE绝缘电缆已在电力系统应用中显示出其良好的性能。

目前,XLPE绝缘电缆在输配电系统中的实用电压已经达到500kV。在发达国家,早在20世纪四五十年代就已有中低压的XLPE绝缘电缆投入运行。随着电压的升高,油纸绝缘、PVC绝缘、不滴流纸绝缘、丁基橡胶绝缘等品种的电缆已无法适应,于是XLPE绝缘材料在第二次世界大战后迅速发展起来,且速度越来越快,电压等级越来越高。20世纪70年代后,又发展出了110kV级以上的XLPE绝缘电缆。

20世纪80年代末、90年代初,10kV级中,XLPE绝缘电缆已略超过油纸绝缘电缆,特别是新项目上,油纸绝缘电缆已被淘汰;20~30kV级中,XLPE绝缘电缆加上其他橡塑电缆占80%或更高;高压电力电缆领域,XLPE绝缘电缆也已达到油纸绝缘电缆占有率。虽然在超高压等级上,如750kV电压,XLPE绝缘电缆还无法和充油电缆竞争,但从现在已运行的500kV级XLPE绝缘电缆的制造水平来看,在不久的将来,XLPE绝缘电缆赶上或超过充油电缆是可能的。这主要是由于XLPE绝缘电缆具有较高的运行温度,使得电缆载流容量增加;XLPE绝缘电缆还具有弯曲半径小、质量轻、无需供油系统、维护和安装都较容易等优点。2006年,贵州三板溪电站500kV XLPE绝缘电缆工程,电缆回路长480m,其中竖井敷设高差达到146m。该项目是自2000年以来国内首个500kV XLPE绝缘电缆水电站项目,其中户外电缆终端是世界上第一个500kV XLPE绝缘电缆户外终端。2010年,上海500kV静安(世博)输变电工程投运,采用两回路500kV XLPE绝缘电缆供电,全线敷设于静安—三林电缆专用隧道内,隧道全长15.45km,是国内第1条长距离500kV输电电缆线路,具有截面最大、距离最长、中间接头数量最多等特点。

第三节 电力电缆种类及特点

电力电缆制造材料来源丰富、种类繁多，综合技术要求电力电缆制造结构简单、经济合理、工艺简易、成本较低。

1. 按电力电缆的额定电压等级划分

电力电缆的额定电压等级依照我国输、配电电压等级，依次划分为 500kV、330kV、220kV、110kV、35kV、10kV、1kV、750V、380V 等级，并划分 35kV 及以下电压等级的电力电缆为中低压电力电缆，110、220kV 的电力电缆为高压电力电缆，330、500、750kV 的电力电缆为超高压电力电缆。

2. 按电力电缆的绝缘和结构划分

按电力电缆的绝缘和结构不同，可分为纸绝缘电力电缆、挤包绝缘电力电缆和压力电力电缆三大类。

(1) 纸绝缘电力电缆。纸绝缘电力电缆是绕包绝缘纸带浸渍绝缘浸渍剂（油类）后形成绝缘的电力电缆，它是使用历史最久的电力电缆，在 19 世纪末便问世了。它具有使用寿命长、价格便宜、热稳定性高等优点，缺点是制造和安装工艺比较复杂。

根据浸渍剂的不同，纸绝缘电力电缆可以分为黏性浸渍纸绝缘电力电缆和不滴流浸渍纸绝缘电力电缆两个系列。这两个系列的电力电缆的结构完全一样，制造过程除浸渍工艺有所不同外，其他均相同。不滴流浸渍纸绝缘电力电缆的浸渍剂黏度大，在工作温度下不滴流，能满足落差较大的地方（如矿山、竖井等）使用。

按不同的绝缘结构，油纸电力电缆主要可分为三芯统包绝缘电力电缆、分相屏蔽电力电缆和分相铅套电力电缆三种。

10kV 三芯统包油浸纸绝缘电力电缆的结构如图 1-1 所示。

35kV 分相铅包纸绝缘电力电缆的结构如图 1-2 所示。

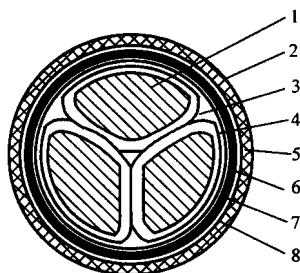


图 1-1 10kV 三芯统包油浸纸绝

缘电力电缆的结构

- 1—导体；2—绝缘；3—填料；
4—统包层；5—铅包；6—内
衬层；7—铠装；8—外护套

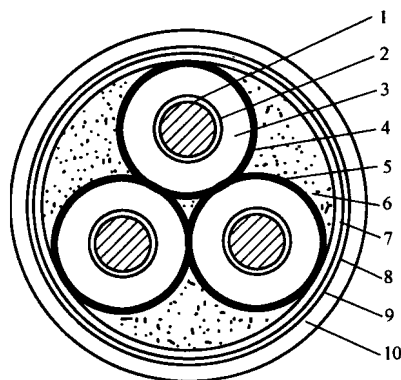


图 1-2 35kV 分相铅包纸

绝缘电力电缆的结构

- 1—导体；2—半导体纸屏蔽；3—绝缘层；
4—半导体纸屏蔽；5—铅包；6—PVC 带；
7—麻填料；8—内衬垫；9—钢带铠装；
10—外护套

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

目前，挤包绝缘电力电缆有聚氯乙烯（PVC）电力电缆、聚乙烯（PE）电力电缆、交联聚乙烯（XLPE）电力电缆和乙丙橡胶（EPR）电力电缆等。这些电力电缆使用在不同的电压等级，聚氯乙烯电力电缆用于 1~6kV，交联聚乙烯电力电缆用于 1~500kV，乙丙橡胶电力电缆用于 1~35kV。

交联聚乙烯电力电缆是 20 世纪 60 年代以后技术发展最快的电力电缆品种，它与纸绝缘电力电缆相比，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℃。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以及红外辐照交联工艺等，使得交联聚乙烯电力电缆具有优良的电气性能，能满足城市电网建设和改造的需要。

35kV 交联聚乙烯电力电缆的结构如图 1-3 所示。

(3) 压力电力电缆。压力电力电缆是在电力电缆中灌注能够流动并具有一定压力的绝缘油或气的电力电缆。纸绝缘电力电缆的纸层间，在制造和运行过程中，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。压力电力电缆的绝缘处在一定压力（油压或气压）状态下，抑制了绝缘层中形成气隙，使电力电缆绝缘工作场强明显提高，由于成本高、施工难度大，所以一般用于 63kV 及以上电压等级的电力电缆线路。

为了抑制气隙，用带压力的油或气填充或压缩气体，这是压力电力电缆的结构特点。压力电力电缆可分为自容式充油电力电缆、充气电力电缆、钢管充油电力电缆和钢管压气电力电缆等品种。

220kV 单芯自容式充油电力电缆的结构如图 1-4 所示。

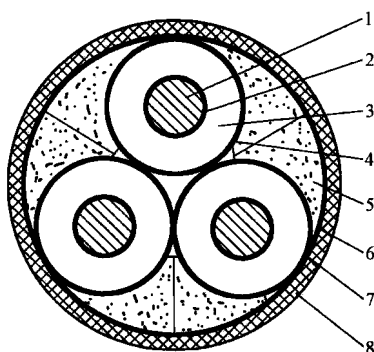


图 1-3 35kV 交联聚乙烯电力电缆的结构

1—导体；2—内半导电层；3—交联聚乙烯绝缘；4—外半导电层；5—填料；6—铜屏蔽；7—包带；8—外护套

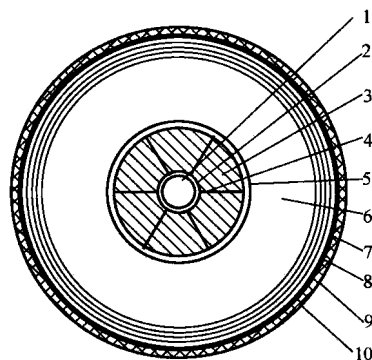


图 1-4 220kV 单芯自容式充油电力电缆的结构

1—油道；2—螺旋管；3—导体；4—分隔纸带；5—内屏蔽纸；6—绝缘层；7—外屏蔽纸；8—铅护套；9—加强带；10—外护套

3. 按特殊需求分类

电力电缆按特殊需求分类，主要有输送大容量电能的电力电缆、阻燃电力电缆和光纤复

合电力电缆等品种。

(1) 输送大容量电能的电力电缆。

1) 管道充气电力电缆。管道充气电力电缆 (GIC) 是以压缩的六氟化硫气体为绝缘的电力电缆, 也称六氟化硫电力电缆。这种电力电缆适用于电压等级在 400kV 及以上的超高压、传送容量在 100 万 kVA 以上的大容量电能传输, 适用于高落差和防火要求较高的场所。由于安装技术要求较高、成本较大, 对六氟化硫气体的纯度要求严格, 仅用于电厂或变电站内短距离的电气联络线路。

2) 低温有阻电力电缆。低温有阻电力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) 状态下工作的电力电缆。在极低温度下, 导体材料的电阻随绝对温度急剧降低。利用导体材料的这一性能, 将电力电缆深度冷却, 从而满足传送大容量电能的需要。

3) 超导电力电缆。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力电缆。在超导状态下, 导体的直流电阻为零。因此, 可以大大提高电力电缆的输送容量, 减小损耗。

低温有阻电力电缆和超导电力电缆与周围媒介之间, 都必须有可靠、严密的绝热层, 通常采用“超级热绝缘”, 即以真空喷涂铝层的聚酯薄膜和尼龙编织网组成。低温有阻电力电缆和超导电力电缆的结构分别如图 1-5 和 图 1-6 所示。

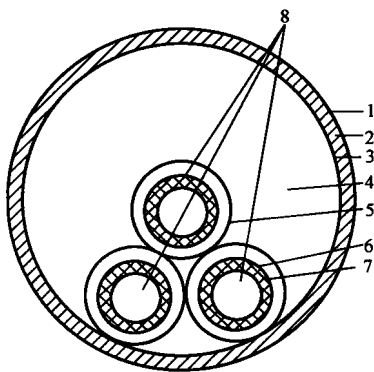


图 1-5 低温有阻电力电缆的结构

- 1—外护套; 2—热绝缘层;
3—钢管; 4、8—冷却媒
质通道; 5—静电屏蔽层;
6—绝缘; 7—线芯

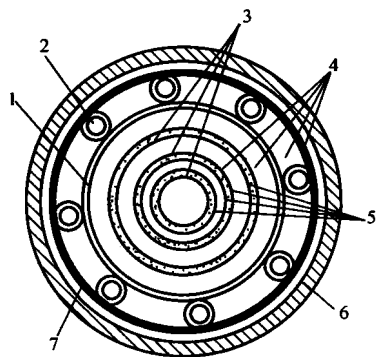


图 1-6 超导电力电缆的结构

- 1—热绝缘层; 2—液氮管道;
3—液氮管道; 4—真空;
5—超导合金; 6—防腐蚀钢管;
7—超级绝缘层

(2) 阻燃电力电缆。阻燃电力电缆有一般阻燃电力电缆和高阻燃电力电缆之分。

1) 一般阻燃电力电缆。以材料氧指数大于或等于 28 的聚烯烃作为外护套, 能够阻延缓火焰沿着其外表蔓延, 使火灾不扩大的电力电缆, 其型号冠以 ZR。在电力电缆比较密集的隧道、竖井或电力电缆层中, 为防止电力电缆着火酿成严重事故, 应选用一般阻燃电力电缆。考虑到一旦发生火灾, 消防人员能够及时进行扑救, 有条件时, 应选用低烟无卤或低烟低卤护套的阻燃电力电缆, 减少有害气体的排放。

2) 高阻燃电力电缆。其产品型号冠以 GZR, 是具有特殊结构的阻燃电力电缆, 用于防火要求特别高的场所。其结构特点是, 在绝缘芯和外护套之间挤填了一层无机金属化合物, 如 $Al(OH)_3$ 。当遇火时, 这层化合物立即分解, 析出结晶水, 并生成一层不可燃、不熔融的胶状金属氧化物, 包敷在绝缘外, 隔绝氧气, 阻止燃烧。因此, 这种电力电缆又称为高阻燃隔氧层电力电缆。

(3) 光纤复合电力电缆。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。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总费用, 具有明显的技术经济意义。在制造过程中, 这种电力电缆将光纤与三相电力电缆一起成缆, 光纤位于三相电力电缆芯的空隙间, 得到电力电缆铠装和外护套的机械保护。

20kV 带光纤的交联聚乙烯海底电力电缆的结构如图 1-7 所示。

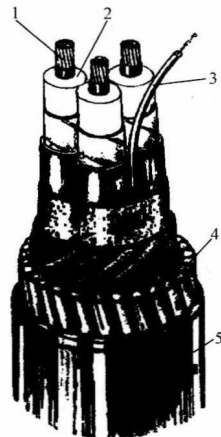


图 1-7 20kV 带光纤的交联聚乙烯海底电力电缆的结构

1—导体; 2—交联聚乙烯绝缘; 3—光纤; 4—钢丝铠装; 5—聚乙烯护套

第四节 交联聚乙烯绝缘电缆结构及其材料性能

1. 交联聚乙烯绝缘电缆结构

交联聚乙烯绝缘电缆是以交联聚乙烯作为绝缘的塑料电力电缆。国产的 XLPE 绝缘电缆用 YJLV 和 YJV 表示, YJ 表示交联聚乙烯, L 表示铝芯 (铜芯可省略), V 表示 PVC 护套。

单芯交联聚乙烯绝缘电缆结构如图 1-8 所示。

三芯交联聚乙烯绝缘电缆结构如图 1-9 所示。

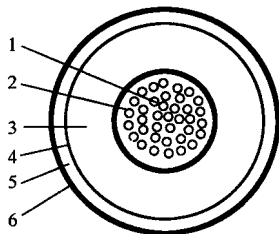


图 1-8 单芯交联聚乙烯绝缘电缆结构

1—导体; 2—内层半导电层;
3—绝缘体; 4—外层半导电屏蔽层; 5—护套;
6—保护 (防腐蚀) 层

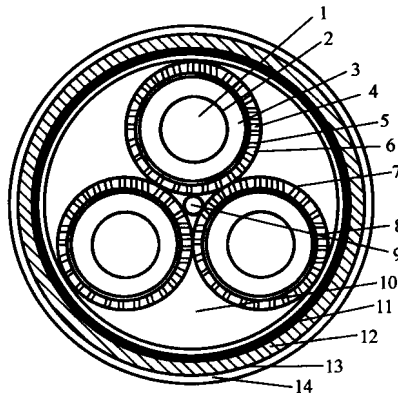


图 1-9 三芯交联聚乙烯绝缘电缆结构

1—导线; 2—导线屏蔽层; 3—交联聚乙烯绝缘;
4—绝缘屏蔽层; 5—保护带; 6—铜带屏蔽;
7—螺旋铜带; 8—塑料带; 9—中心填芯;
10—填料; 11—内护套; 12—扁钢带铠装;
13—钢带; 14—外护套

交联聚乙烯绝缘电缆所用线芯除特殊要求外，均采用紧压型线芯，其作用如下：

- (1) 使外表面光滑，防止导丝效应，避免引起电场集中。
- (2) 防止挤塑半导电屏蔽层时半导电料进入线芯。
- (3) 可有效地防止水分沿线芯进入。

因此，在电力电缆安装时应选用配合紧压线芯的金具，否则压接质量不好，引起连接部位发热。

绝缘内外的半导电屏蔽层均采用加炭黑的交联聚乙烯料，早期交联电力电缆的外半导电屏蔽层也有使用石墨布绕包形成的，但这种结构性能不好，随着内、外半导电屏蔽层及绝缘层同时挤出工艺的成熟，现在已经被淘汰，当选用电力电缆时应尽量不采用绕包型屏蔽结构的电力电缆。半导电屏蔽层的电阻率一般在 $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下，其厚度一般为 1mm。根据国家标准，10kV 及以下电力电缆的外半导电屏蔽层为可剥离层（剥离力一般要求在 8~40N），35kV 以上为不可剥离层，其主要原因是可剥离层在高电压等级中的存在使电力电缆抗局部放电能力降低，当安装附件时，会在微小局部造成气隙。

电力电缆金属屏蔽层，又称铜带屏蔽，它将为电力电缆故障电流提供回路并提供一个稳定的地电位，铜带（丝）的截面可按故障电流大小、持续时间以及接地为一端还是两端选定。

35kV 及以下电压等级的单芯和三芯交联电力电缆用镀锌钢带作为铠装层，起机械保护作用。110kV 及以上电压等级的 XLPE 绝缘电缆的铠装均采用波纹铝（铜、铅、不锈钢）护套，作为铠装和内防水护套用，因为无论是 PE 还是 PVC 护套，其吸水率分别为 0.01% 和 0.15%~1%，而金属几乎不透水，所以超高压电力电缆均用不透水的金属内护套。另外，在超高压电力电缆内护套中，还有防水带等隔水工艺，使得已进入的水分不易扩散。

单芯 XLPE 绝缘水底电力电缆结构（单层钢丝铠装）如图 1-10 所示，三芯 XLPE 绝缘水底电力电缆结构（单层钢丝铠装）如图 1-11 所示。在特殊情况下，电力电缆还可采用两层钢丝铠装。

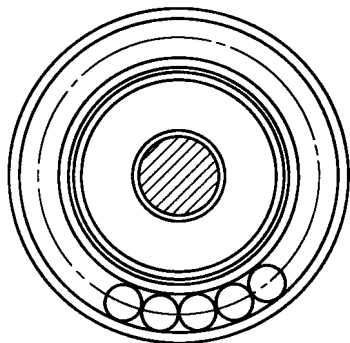


图 1-10 单芯 XLPE 绝缘水底电力电缆结构

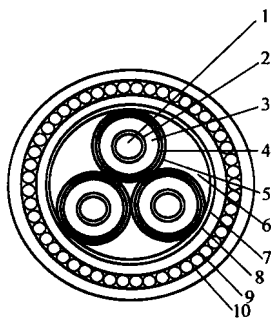


图 1-11 三芯 XLPE 绝缘水底电力电缆结构
 1—导体；2—导体半导电屏蔽层；3—绝缘；
 4—绝缘半导电屏蔽层；5—金属屏蔽层；
 6—填料；7—包扎带；8—内护套；
 9—粗丝铠装；10—外护套

几种电缆结构尺寸见表 1-1～表 1-3。

表 1-1 10kV YJV22-8. 7/15-3×400mm² 铜芯电缆结构参考尺寸

序 号	项 目	规 格
1	压缩圆形铜绞线导体截面 (mm ²)	400
2	内屏蔽层平均厚度 (mm)	0. 8
3	绝缘层标称厚度 (mm)	4. 5
4	外屏蔽层标称厚度 (mm)	0. 8
5	金属屏蔽层厚度 (mm)	0. 1
6	PVC 内护套厚度 (mm)	2. 2
7	镀锌铠装层厚度 (mm)	0. 8
8	PVC 外护套厚度 (mm)	3. 4
9	电缆总外径 (mm)	103
	单位电缆质量 (kg · m ⁻¹)	19. 934

表 1-2 10kV YJLV22-8. 7/15-3×400mm² 铝芯电缆结构参考尺寸

序 号	项 目	规 格
1	压缩圆形铜绞线导体截面 (mm ²)	400
2	内屏蔽层平均厚度 (mm)	0. 8
3	绝缘层标称厚度 (mm)	4. 5
4	外屏蔽层标称厚度 (mm)	0. 8
5	金属屏蔽层厚度 (mm)	0. 1
6	PVC 内护套厚度 (mm)	2. 2
7	镀锌铠装层厚度 (mm)	0. 8
8	PVC 外护套厚度 (mm)	3. 4
9	电缆总外径 (mm)	103
	单位电缆质量 (kg · m ⁻¹)	12. 346

表 1-3 110kV 700mm² 铜芯电缆结构尺寸

序号	项 目	规 格
1	压缩圆形铜绞线导体截面 (mm ²)	700
2	内屏蔽层厚度 (mm)	0. 8
3	绝缘层厚度 (mm)	18. 6
4	外屏蔽层厚度 (mm)	0. 8
5	金属屏蔽层厚度 (mm)	0. 1
6	波形铝护套厚度 (mm)	2. 2
7	PVC 外护套厚度 (mm)	4. 3
8	电缆总外径 (mm)	101
9	单位电缆质量 (kg · m ⁻¹)	142

国产中低压、高压 XLPE 绝缘电缆型号及应用场合分别见表 1-4 和表 1-5。

表 1-4 国产中低压 XLPE 绝缘电缆型号及应用场合

型号	电 缆 名 称	应 用 场 合
YJLV (YJV)	铝 (铜) 芯 XLPE 绝缘 PVC 护套电力 电缆	电缆敷设在室内, 隧道、管道中, 也允许在土壤中直埋, 不能承受机械外力作用, 但可经受一定的敷设牵引力
YJLVF (YJVF)	铝 (铜) 芯 XLPE 绝缘分相 PVC 护套电 力电缆	电缆敷设在室内, 隧道、管道中, 也允许在土壤中直埋, 不能承受机械外力作用, 但可经受一定的敷设牵引力
YJLV ₂₀ (YJV ₂₀)	铝 (铜) 芯 XLPE 绝缘 PVC 护套裸钢带 铠装电力电缆	电缆敷设在室内, 隧道、管道中, 能承受机械外力作用, 但不能承受大的拉力

续表

型号	电 缆 名 称	应 用 场 合
YJLV ₂₉ (YJV ₂₉)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PVC 护套内钢带 铠装电力电缆	电缆敷设在地下,能承受机械外力作用,但不能承受大的 拉力
YJLV ₃₀ (YJV ₃₀)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PVC 护套裸细钢 丝铠装电力电缆	电缆敷设在室内,隧道及矿井中,能承受机械外力作用, 并能承受相当的拉力
YJLV ₃₉ (YJV ₃₉)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PVC 护套内细钢 丝铠装电力电缆	电缆敷设在水中或具有落差较大的土壤中,能承受相当 的拉力
YJLV ₅₀ (YJV ₅₀)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PVC 护套裸粗钢 丝铠装电力电缆	电缆敷设在室内,隧道及矿井中,能承受机械外力作用, 并能承受较大的拉力
YJLV ₅₉ (YJV ₅₉)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PVC 护套内粗钢 丝铠装电力电缆	电缆敷设在水中,能承受较大的拉力

表 1-5 国产高压 XLPE 绝缘电缆型号及应用场合

型号	电 缆 名 称	应 用 场 合
YJLV (YJV)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PVC 护套电力 电缆	电缆可敷设在隧道或管道中,不能承受拉力和 压力
YJLY (YJY)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘 PE 护套电力电缆	电缆可敷设在隧道或管道中,不能承受拉力和 压力,防潮性较好
YJLLW ₀₂ (YJLW ₀₂)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘皱纹铝包防水层 PVC 护套电力电缆	电缆可敷设在隧道或管道中,不能承受拉力, 可在潮湿环境及地下水位较高的地方使用,并能 承受一定压力
YJLQ ₀₂ (YJQ ₀₂)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘铅包 PVC 护套电 力电缆	电缆可敷设在隧道或管道中,不能承受拉力和 压力
YJLQ ₁₁ (YJQ ₁₁)	铝(铜)芯 XLPE 绝缘铅包粗钢丝铠装纤 维外被电力电缆	电缆用于水底敷设,可承受一定拉力

2. 导体材料

(1) 电力电缆导体采用高电导率的金属铜或铝制造。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。铜是电力电缆导体最常用的材料,铝也是用作电力电缆导体比较理想的材料,铜和铝的主要性能见表 1-6。

表 1-6 铜和铝的主要性能

名称	20℃时的密度 (g/cm ³)	20℃时的电阻率 (10 ⁻⁸ Ω·m)	电阻温度系数 (℃)	抗拉强度 (N/mm ²)
铜	8.89	1.724	0.003 93	200~210
铝	2.70	2.80	0.004 07	70~95

电力电缆导体一般由多根导丝绞合而成,采用绞合导体结构是为了满足电力电缆的柔软性和弯曲度的要求。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。

按绞合导体的外形来分，有圆形、扇形、腰圆形和中空圆形等种类。

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

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

中空圆形绞合导体用于自容式充油电力电缆。中空圆形绞合导体的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）组成中空圆形绞合导体。

在由多根导丝经绞合而构成的电力电缆导体中必然存在空隙。导体的实际截面积 A_1 （每根导丝的截面积之和），要比它的外接圆所包含的面积 A 小。 A_1 和 A 的比值，称为导体的填充系数，通常又称为紧压系数，用 η 表示，对于圆形绞合导体

$$\eta = \frac{A_1}{A} = \frac{\sum_{i=1}^{i=Z} A_i}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

式中： A_i 为每根导丝的截面积， Z 为导丝总根数， D 为绞合导体外直径。

绞合导体经过紧压模（辊）紧压后，导体结构更加紧凑，可节约材料消耗，降低成本。导体经过紧压，每根导丝不再是圆形，而呈现不规则形状，导体绞合前后的结构如图 1-12 所示。

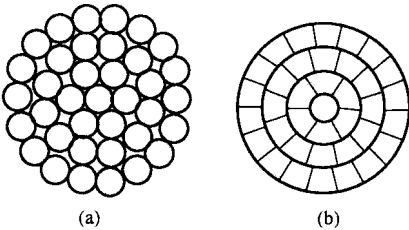


图 1-12 导体绞合前后的结构
(a) 绞合前；(b) 绞合后

非紧压导体的 η 为 0.73~0.77；经过紧压之后，一般 η 可达到 0.88~0.93。对于交联聚乙烯电力电缆，为防止水分沿纵向进入导体内部， η 值应大一些。国标规定，交联聚乙烯电力电缆导体的 η 要达到 0.93~0.94。

对于大截面的电力电缆导体，为了减小其集肤效应，常采用分割导体结构，各个分割单元用绝缘材料隔开。

(2) 电力电缆线芯结构。对于 66kV 及以上的充油电力电缆，常采用中空圆形线芯，中间空道用作油或绝缘气体的流动通道。为了增加电力电缆的柔软性和弯曲度，较大截面的电力电缆线芯均由多根较小直径的导线绞合而成。由多根导线绞合的线芯柔软性好、弯曲度大，股数越多弯曲越容易。

电力电缆的弯曲度大约与线芯股数的平方根成正比，但电力电缆的弯曲性同时也受到外护层等方面的限制，而股数过多也会增加制造上的困难，因此，在制造不同标称截面的电力电缆线芯时，都规定了一定的导线根数，各种标称截面的导线的线芯组合应符合 GB/T 3956—2008《电缆导体》相关规定，见表 1-7。

表 1-7 各种标称截面的导线的线芯组合

导线标称截面 (mm ²)	圆形		紧压圆形	
	铜	铝	铜	铝
25~35	7	7	6	6