



高压交联聚乙烯电缆 试验及维护技术

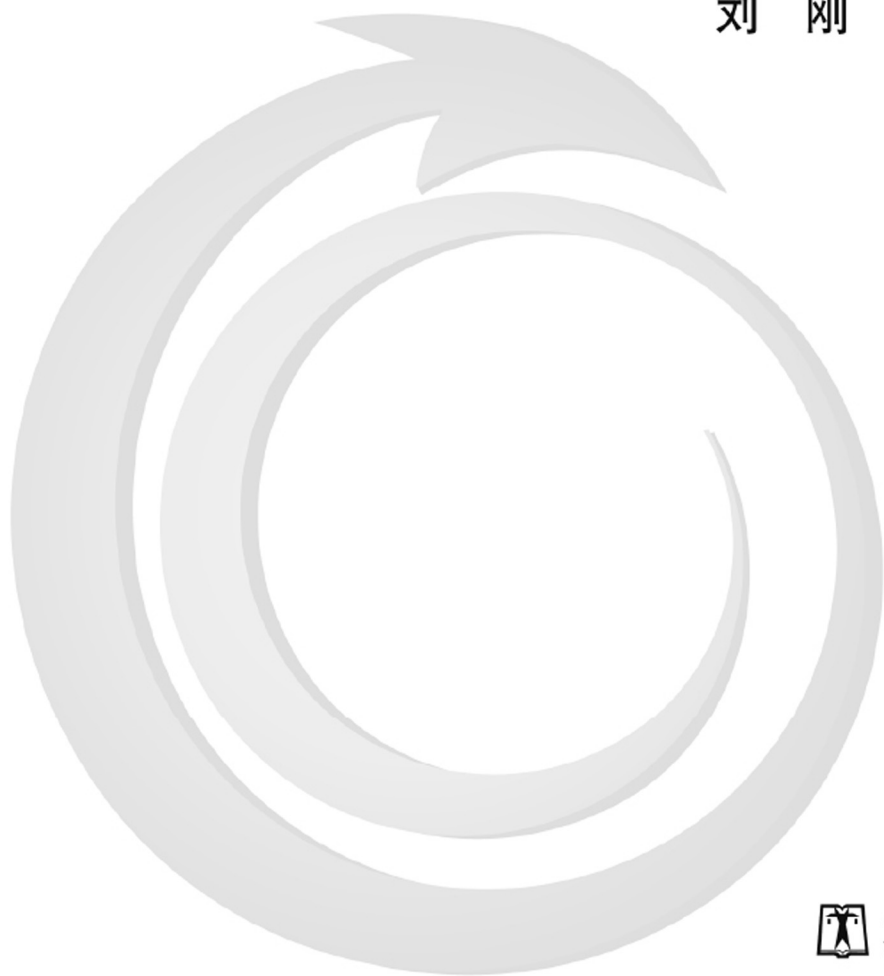
刘刚 刘毅刚 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高压交联聚乙烯电缆 试验及维护技术

刘 刚 刘毅刚 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从高压交联聚乙烯电缆的试验及维护出发,介绍了高压电缆的基本知识、试验和运行经验。全书分三篇十二章,包括高压电缆的发展及特点、老化、运行环境、试验方法、常见故障、日常维护、在线监测和状态评估等内容。本书理论性与实用性相结合,全面系统,注重运行经验总结,力求简明易懂,以便于翻阅参考。

本书可供从事电力电缆试验、运行和维护部门的专业技术人员和管理人员使用,也可供高等院校相关专业的学生学习时参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压交联聚乙烯电缆试验及维护技术/刘刚,刘毅刚编著.
北京:中国电力出版社,2011.6

ISBN 978-7-5123-1758-1

I. ①高… II. ①刘… ②刘… III. ①交联聚乙烯电缆:高压电缆-试验②交联聚乙烯电缆:高压电缆-维修 IV. ①TM247

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 101395 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

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 316 千字
印数 0001—3000 册 定价 28.00 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



前 言

自改革开放以来，我国国民经济高速增长，对电力的需求与日俱增。电力建设的发展直接可以带动国家经济的发展，而在电网的核心部分，通常是由电缆组成的电缆网。交联聚乙烯（简称 XLPE）电力电缆以其优越的电气、热及力学性能和敷设容易、运行维护简单等优点被广泛应用于电力系统各电压等级的输电线路和配电网中，并成为未来电缆发展的主流。110kV 及以上电压等级的线路中 XLPE 电缆的应用发展迅猛。据统计，截止到 2008 年 3 月底，国家电网公司已投入运行的 110kV 电缆超过 4600km，220kV 电缆超过 890km，且敷设量逐年递增。高压 XLPE 电力电缆的安全运行，已经成为电网可靠供电的重要保障。

为了满足我国高压 XLPE 电力电缆建设和运行的需要，考虑到其试验技术、维护技术的发展和运行经验的积累，编写一本理论结合实际、全面系统、实用性较强的高压 XLPE 电力电缆试验与维护方面的书，是本书的编写目的。

本书共分十二章，主要内容包括高压电缆的产生、发展、运行环境、试验方法、常见故障、日常维护、在线监测、带电检测和状态评估等。

本书可供从事电力电缆试验、运行和维护部门的专业人员和管理人员使用，也可作为高等院校有关专业的学生学习时参考。本书初稿的公式、图表编辑得到了研究生陈志娟的帮助。初稿的文字编校工作得到了古龙威（第一、二章）、梁钊（第三、四章）、李应宏（第五章）、梁伟杰（第六章）、安宁（第七、八章）、叶彦杰（第九、十章）、杨晔闻（第十一、十二章）等同志的大力帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，编者水平所限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 1 月于广州



目 录

前言

第一篇 高压交联聚乙烯电缆

第一章 高压电缆的发展及特点	3
第一节 高压电缆的产生与发展	3
第二节 高压电缆的种类及特点	5
第二章 高压交联聚乙烯电缆概述	11
第一节 高压交联聚乙烯电缆的基本结构	11
第二节 高压交联聚乙烯电缆的型号及传输容量	14
第三节 高压交联聚乙烯电缆的制造	24
第四节 高压交联聚乙烯电缆的敷设	32
第五节 高压交联聚乙烯电缆的运行	39
第三章 高压交联聚乙烯电缆的老化	44
第一节 聚乙烯老化机理	44
第二节 局部放电	50
第三节 电树枝老化	53
第四节 水树老化	61
第五节 热老化	69
第四章 高压交联聚乙烯电缆的运行环境及外力破坏分析	78
第一节 高压交联聚乙烯电缆的运行环境	78
第二节 高压交联聚乙烯电缆的外力破坏	81

第二篇 高压交联聚乙烯电缆试验

第五章 高压交联聚乙烯电缆试验方法	89
第一节 绝缘电阻的测量	89
第二节 正序及零序阻抗的测量	97
第三节 交流耐压试验	102
第四节 介质损耗测量	103

第五节	局部放电测量	118
第六节	泄漏电流测量	125
第六章	高压交联聚乙烯电缆的交接试验	132
第一节	交接试验的目的	132
第二节	交接试验方法	134
第七章	高压交联聚乙烯电缆的预防性试验	140
第一节	预防性试验目的	140
第二节	预防性试验方法	142

第三篇 高压交联聚乙烯电缆维护

第八章	外力破坏故障及老化故障	153
第一节	外力破坏故障	153
第二节	老化故障	154
第九章	高压交联聚乙烯电缆的日常维护	159
第十章	高压交联聚乙烯电缆的在线监测	164
第一节	载流量在线监测	164
第二节	局部放电在线监测	173
第三节	介质损耗、绝缘电阻在线监测	176
第十一章	高压交联聚乙烯电缆的带电检测	186
第一节	带电检测的目的	186
第二节	带电检测的方法	186
第十二章	高压交联聚乙烯电缆的状态评估	194
第一节	状态评估概述	194
第二节	高压交联聚乙烯电缆状态评估方法	197



第一篇

高压交联聚乙烯电缆

高压交联聚乙烯电缆试验及维护技术



第一章 高压电缆的发展及特点

第一节 高压电缆的产生与发展

自从 17 世纪初发明了电，人类就与电结下了不解之缘。为实现农业、工业、国防等各个行业的电气化，需要将电能从发电厂通过电缆和电线输送到用户。而连接供、用电设备的桥梁——电缆，则成为电力工程中不可或缺的部分。电缆能否安全可靠运行，将直接影响电力系统供电的正常与否。因此，电缆（及电线）对电气化的实现具有举足轻重的影响。

用于电力传输和分配的电缆称为电力电缆，其实物如图 1-1 所示。

随着国民经济的高速增长，广大电力用户对电力的需求与日俱增，并对其可靠性要求越来越高。而电缆供电以其较高的可靠性优势，越来越多地被应用于输电、配电、用电等领域。

我国将交流电压等级划分为 220/380V、3kV、6kV、10kV、35kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV 等，分为输电电压与配电电压两类。



图 1-1 电缆实物图

一、高压电缆的发展

1884 年，MacCracken 提出使用螺旋纸带绝缘的设想后，Vincentde Ferranti 于 1890 年制造出著名的 10kV 同轴电缆，首次安装在英国伦敦。1917 年，Emanueli 设计出中空的充油电缆，此后解决了高压和超高压的电能传输问题。

1920 年英国第一次设计并于 1926 年生产出 33~66kV 充油电缆。由于充油电缆运行后，性能良好，因而 20 世纪 30 年代英国城市的主要输电线路广泛地采用了 66kV 充油电缆。1927 年美国开始采用 132kV 充油电缆，1934 年又敷设了第一条 220kV 充油电缆。法国于 1952 年和 1960 年先后制成了 380~425kV 和 500kV 充油电缆，并于 20 世纪 70 年代初在一些国家投入运行。

由于管道充气电缆具有电容小（仅为充油电缆的 1/10 以下）、介质损耗低、气体绝缘的导热性好等特点，早就引起各国注意。从 20 世纪 60 年代开始，美国、英国、日本、瑞士等国积极从事这方面的研究工作。20 世纪 70 年代，美国开始建设超高电压的运行线路。1975 年 2 月，美国高压电力公司敷设了世界上第一根 500kV 级管道充气电缆线路。

1972 年以来，各国继续发展 110kV 及以上挤塑绝缘高压电缆。主要品种为聚乙烯和交联聚乙烯。挤塑绝缘电缆比传统的充油电缆结构简单、安装使用方便，对高压配电系统、落

差敷设等较为适宜。随后交联聚乙烯绝缘电缆也有较大发展。由于交联聚乙烯耐热性较好,当时欧洲对交联聚乙烯有所重视,在1974年CIGRE国际大电工会议上有主张把聚乙烯移到交联聚乙烯。

近年,加拿大和美国电缆的电压等级已分别达到了525kV和535kV。当今的制造技术允许地下输电电缆的电压等级高达1100kV,并且在意大利已安装了这种电缆。

电力电缆输配电技术的发展经历了120多年的风雨历程。电缆绝缘材料有油纸绝缘、不滴流油纸绝缘、充油绝缘、充气绝缘、挤出绝缘等;电压等级由早期的几百伏低电压到今天的特高压。尤其是20世纪70年代以后,材料科学、电工电子技术的发展极大地推动了电力电缆制造技术进步。

二、我国高压电缆的发展

早在1897年,上海市区首次采用低压路灯电力电缆,开启了我国应用地下电缆输电的先河。我国电力电缆的生产是在20世纪30年代后期开始的,到1949年,电力电缆的生产规模还很小,能力还很薄弱,曾生产过6.6kV橡胶绝缘铅护套电力电缆。

新中国成立后,随着国家大规模经济建设的开展,电力工业快速发展,电力电缆的品种和数量也迅猛增长。1951年研制成6.6kV铅护套纸绝缘电力电缆,在此基础上,生产了35kV及以下黏性油浸纸绝缘电力电缆的系列产品。1953年开始生产10kV油纸绝缘电缆;1956年生产出35kV油纸绝缘电缆;1966年生产了第一条66kV充油电力电缆,并在大连第二发电厂投入运行,同时研制生产了九江和南京燕子矶横过长江的110kV充油电力电缆。1969年我国第一条220kV充油电缆投入运行;1970年330kV充油电缆投入运行,并先后在刘家峡、新安江、渔子溪、江渡等水电站投入运行;为了提高黏性油浸纸绝缘电力电缆的敷设位差,1973年起我国生产了35kV及以下不滴流油浸纸绝缘电力电缆,后来又研制生产出滴干型油浸纸绝缘电力电缆,解决了浸渍剂流淌的问题。这种电力电缆允许工作温度高,老化稳定性好。不滴流油浸纸绝缘电力电缆已形成与黏性油浸纸绝缘电力电缆相应的系列产品。1982年500kV充油电缆试运行;1983年研制了500kV充油电力电缆,并在辽宁省投入试运行。

自容式充油电力电缆的绝缘结构性能较为优良,能承受很高的工作电场强度,且介质损耗低,散热性能良好,今后将会向更高一级电压的自容式充油电力电缆和管道式充气电力电缆发展,可使输电线路的容量大大地提高。

我国XLPE电缆的制造和推广应用起步较晚,1970年我国正式投产10~35kV交联电缆。改革开放以来,我国电力工业得到更为迅猛地发展。1985年广州、南京等城市首先引进110kV的XLPE电力电缆以后,相继在发电厂、变电站和抽水蓄能电站先后引进220、330、500kV XLPE电缆。1999年发电量已达12393亿kW·h,为1957年的64倍,电缆工业也随之迅速发展。新材料、新产品不断涌现,这期间生产了10kV及以下的聚氯乙烯绝缘电力电缆和35kV及以下交联聚乙烯绝缘电力电缆,并得到广泛使用。110kV交联聚乙烯绝缘电力电缆也开始生产并在电网上使用。220kV交联聚乙烯电力电缆随后也得到生产应用。1982年我国生产和敷设了超长的35kV海底电力电缆。1990年第一条国产110kV的XLPE电力电缆线路在首钢投入运行,1996年国产220kV XLPE电缆通过技术鉴定,并于2002年5月通过武汉高压研究所预鉴定试验和产品验收,逐步推广应用。

高压电力电缆的发展必然带动电力电缆附件的配套发展，这是国内需求增长的必然结果。电缆附件的品种较多，电缆终端有户外终端、户内 GIS 终端、变压器油浸终端、普通连接盒、绝缘连接盒、交叉换位箱、接地箱等；电缆接头有普通接头、绝缘接头、塞止接头、分支接头、过滤接头、转换接头、软接头等。

三、交联聚乙烯 (XLPE) 电缆

交联聚乙烯绝缘电力电缆由于具有良好的电气性能等一系列优点被广泛使用，其制造技术从低压到高压，从小截面到大截面，从普通结构到阻燃，从过氧化物交联、硅烷交联到辐照交联直至紫外光辐照均已日趋成熟，电缆切面实物如图 1-2 所示。20 世纪 80 年代末，沈阳电缆厂用 2+2 悬链工艺制造出我国第一根 110kV 交联电缆，90 年代初，上海电缆厂开始用立式交联工艺生产 110kV 交联电缆，郑州电缆（集团）股份有



图 1-2 电缆及其切面实物图

限公司在试制成功 110kV 交联电缆后，1996 年首次用立式全干法工艺生产的 220kV 交联电缆通过鉴定，填补国内空白，相继已有十多条生产线具备交联电缆的生产条件。

实际上国内高压交联电缆的应用还要超前于电缆的制造。可以说高压交联电缆的大量应用促进了制造行业的技术进步，而制造技术和工艺装备的发展又不断满足了电力工业的需要。目前，国产 110kV 和 220kV 高压交联电缆的制造技术已基本接近世界先进水平。在进一步加强企业内部管理，稳定产品质量，合理选择电缆种类和参数，提高与整个线路相关的技术水平的前提下，高压交联电缆线路的安全性、可靠性、经济性就会不断提高。

然而大城市电网建设，需要数万公里中高压交联电缆，所以，从事高压电力行业的人员，对高压交联聚乙烯电缆有更透彻的了解显得尤为重要。

第二节 高压电缆的种类及特点

一、高压电缆的种类

电力电缆的产品规格与型号有数千种，现将其中的一些典型结构做扼要的介绍，以便对电力电缆有一个比较全面的了解，并指导今后电力电缆线路的设计、施工、维护、检修及故障诊断等相关工作。由于各种电力电缆采用不同的结构形式和材料，其工作电压和使用条件也就不同。因此，电力电缆可以按具体的用途、采用的绝缘材料、传输的电能形式，以及不同的结构特征和运行环境等进行分类。

(一) 按绝缘材料分类

高压电缆按绝缘材料分可分为油纸绝缘电缆、塑料绝缘电缆、橡胶绝缘电缆和充气电缆。

1. 油纸绝缘电缆

- (1) 黏性油浸纸绝缘型，包括统包型、分相屏蔽型；
- (2) 不滴流油浸纸绝缘型，包括统包型、分相屏蔽型；
- (3) 充油式油浸纸绝缘型，包括自容式充油电缆、钢管式充油电缆；
- (4) 充气式黏性油浸纸绝缘型，包括自容式充气电缆、钢管式充气电缆。

2. 塑料绝缘电缆

- (1) 聚氯乙烯绝缘型（低压电力电缆）；
- (2) 聚乙烯绝缘型（中、低压电力电缆）；
- (3) 交联聚乙烯绝缘型（高、中、低压电力电缆）。

3. 橡胶绝缘电缆

- (1) 天然橡胶绝缘型，包括矿用电缆、船用电缆、电力电缆；
- (2) 乙丙橡胶绝缘型，包括矿用电缆、船用电缆、电力电缆；
- (3) 硅橡胶绝缘型，包括控制电缆、航线电缆、电力电缆等。

(二) 按结构特征分类

按结构特征可分为统包型、分相型、自容型、钢管型、扁平型等。

1. 统包型

统包型指绝缘线芯成缆以后，在外面包有统包绝缘，并置于同一内护套内，其结构如图 1-3 所示。国际上通称为非径向型电场电缆，电场分布如图 1-4 所示。

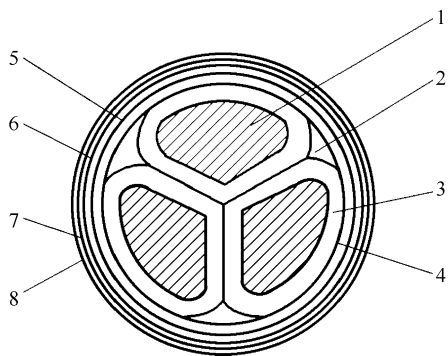


图 1-3 三芯统包型电缆

1—导体线芯；2—填充；3—线芯绝缘；4—统包绝缘；
5—铅包；6—沥青防腐层；7—铠装层；8—沥青黄麻层

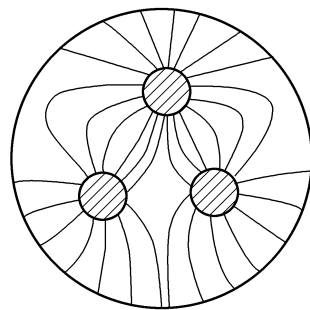


图 1-4 非径向型电场
电缆的电场分布

2. 分相型

分相型分为分相屏蔽型（结构见图 1-5）和分相铅（或铝）包型（结构见图 1-6），一般用于 10~35kV 的油纸绝缘及塑料绝缘电缆中。国际上通称为径向型电场电缆（电场分布见图 1-7）。

这两种分相型电缆的区别在于分相屏蔽型电缆在三根屏蔽线芯成缆后统包以公共的金属护套；而分相铅（或铝）包型电缆则是在每一根绝缘线芯上单独地挤压以铅（或铝）护套，三根铅（或铝）包线芯成缆后再统包公共的护套。

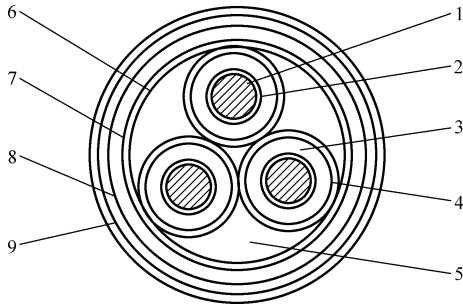


图 1-5 三芯分相屏蔽型电缆

1—导电线芯；2—线芯屏蔽；3—线芯绝缘；
4—外屏蔽层；5—填料；6—扎紧带；
7—金属保护；8—铠装层；9—外护套

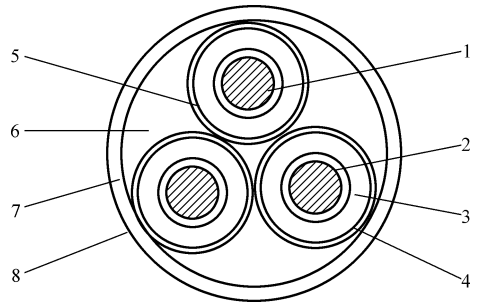


图 1-6 三芯分相铅包型电缆

1—导电线芯；2—线芯屏蔽；3—线芯绝缘；
4—外屏蔽层；5—铅护套；6—填料；
7—铠装层；8—外护套

3. 自容型

自容型指护套内部有压力的电缆，分为自容式充气电缆和自容式充油电缆，结构如图 1-8 所示。

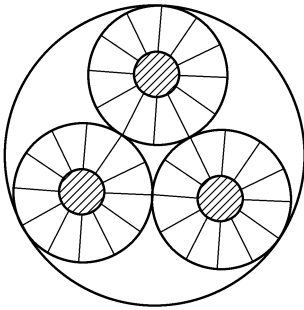


图 1-7 径向型电场电缆的电场分布

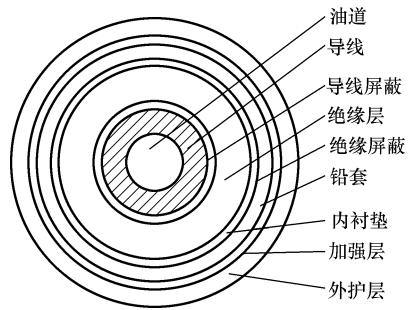


图 1-8 单芯自容式充油电缆结构

4. 钢管型

钢管型指具有钢管护套的电缆，分为钢管充油、充气电缆和钢管有油压、有气压电缆。钢管充油电缆结构如图 1-9 所示。

5. 扁平型

扁平型由三根电缆线芯组成，呈一字排开，外观呈扁平状，一般作为远距离水下及海底电缆使用。

（三）按敷设环境分类

1. 直埋电缆

直埋电缆指直接埋在地中或沟内，并加砂土覆盖的电缆。

2. 构架电缆

构架电缆指敷设在沟内或隧道内的支架上的电缆。

3. 水下电缆

水下电缆指敷设在湖泊、海洋和河流的电缆。

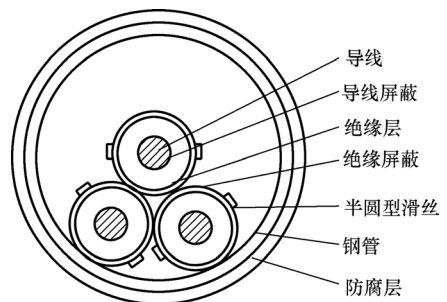


图 1-9 钢管充油电缆结构

(四) 其他分类

1. 按电流传输的形式

按电流传输的形式可分为交流电缆和直流电缆两类。

2. 按电压等级

按电压等级可分为特高压电缆、超高压电缆、高压电缆、中压电缆和低压电缆。

3. 按电缆的芯数

按电缆的芯数可分为单芯电缆及多芯电缆。

二、各类高压电缆的特点

(一) 油纸绝缘电缆

油纸绝缘电缆使用历史悠久，其系列与规格最完善。总体来说，油纸绝缘电缆具有耐电强度高、介电性能稳定、寿命较长、热稳定性好、材料来源丰富、价格低等特点。缺点是：不适宜高落差敷设、制造工艺较为复杂、生产周期长、电缆头制作技术比较复杂等。下面分别对各类油纸绝缘电缆的特点进行概述。

1. 黏性油浸纸绝缘电缆

这种电缆开发较早，制造质量比较稳定，电缆成本低，工作寿命长，结构简单，制造方便，绝缘材料来源充足，易于安装与维护。其缺点是电缆上端因浸渍剂下流而形成空隙，击穿强度下降，而下端浸渍剂淤积，压力增大，可能胀毁电缆护套，因此不宜作高落差敷设；另外，该电缆允许的工作电场较低，不宜在太高电压下使用。

2. 不滴流浸渍纸绝缘电缆

该电缆的浸渍剂在工作温度下具有不滴流性质。与黏性油浸纸绝缘电缆相比，除浸渍剂的特性和配方不同以外，其生产工艺基本相同。由于不滴流浸渍剂配方优异，使其工作寿命更长，绝缘稳定性更高，且适合高落差敷设和垂直运行环境；但成本较黏性油浸纸绝缘电缆高。

3. 充油式油浸纸绝缘电缆

该电缆利用补充浸渍剂的原理，即用低黏度的绝缘油充入电缆绝缘内部，并由供油设备供给一定的压力来消除电缆中的气隙。该法有效地提高了电缆的工作场强，因此改善了以上两种电缆由于易产生气隙而限制其使用电压等级的缺陷，主要应用于高电压（110kV及以上电压等级）、大容量的场合。这种电缆具有以下优点：使用寿命长、可靠性高、所需备品少、适用于更高的电压等级（采用PPLP绝缘结构后可用于500~800kV等级的电压）等。其缺点是：电缆敷设应用受地理环境及两终端头之间自然落差的限制、结构复杂、维护不便、有潜在的失火危险、敷设安装不方便、成本高等。

4. 充气式黏性油浸纸绝缘电缆

该电缆利用提高绝缘层中气隙的击穿强度原理来提高电缆的工作场强，也常应用于高压输电工程。该电缆同样存在结构复杂，施工、维护不便，成本高等特点。

(二) 塑料绝缘电缆

用塑料做绝缘层材料的电力电缆称为塑料绝缘电力电缆。塑料绝缘电缆与油纸绝缘电缆相比，虽然发展较晚，但因制造工艺简单，不受敷设落差限制，工作温度可以提高，电缆的敷设、连接、维护方便，耐化学腐蚀等优点而在电力电缆领域迅速发展。随着塑料合成工业

的发展, 该类电缆产量提高, 成本降低, 在中低压电缆方面已有逐步取代油纸绝缘电缆的趋势。而交联聚乙烯电缆的出现使塑料绝缘电缆取代高压油纸绝缘电缆成为可能。下面分别对各类塑料绝缘电缆的特点进行概述。

1. 聚氯乙烯绝缘电缆 (PVC)

该电缆工艺性能好, 易于加工, 化学稳定性高 (耐油、耐酸、耐碱和耐腐蚀), 非延燃性, 生产效率高, 价格低, 敷设维护简单, 在低压电缆方面已有取代油浸纸绝缘电缆的趋势。但是, PVC 电缆在火灾时会释放出有毒的气体, 且大量的 PVC 废料会造成环境污染。

2. 聚乙烯绝缘电缆 (PE)

该电缆有良好的介电性能, 其介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 小, 绝缘电阻高; 工艺性能好, 易于加工, 耐湿性好, 密度小。但该类电缆抗电晕及耐热性能差, 受热易变形或开裂, 容易形成气隙且燃烧, 因而用于较高的工作电压等级时, 必须加入特殊添加剂。

3. 交联聚乙烯绝缘电缆 (XLPE)

XLPE 电缆是固态绝缘的代表产品, 它是用常温下电性能极优的聚乙烯树脂 (PE) 绝缘材料通过辐照或化学方法进行交联处理制成的。这种处理方法使其分子由原来的线型结构变成网状立体结构, 改善了 PE 绝缘材料在高温下的电气性能和机械性能。该电缆具有电气性能 (击穿电场强度高、介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 小、绝缘电阻高) 优越; 热性能和机械性能良好, 允许的工作温度高, 载流量大; 敷设安装方便, 且不受高落差和垂直敷设限制等特点。另外, 该电缆在高电压等级使用方面与充油电缆相比具有结构简单, 制造周期短, 工作温度高, 无油, 敷设落差无限, 安装维护方便, 输电损耗小等优点。不仅广泛应用于中低压输电工程, 还可应用于高压和超高压输电系统中。电力电缆性能参数比较详见表 1-1。

表 1-1 高电压等级部分类型电力电缆性能参数的比较

性能参数		交联聚乙烯(XLPE)电缆	低密度聚乙烯(LDPE)电缆	充油电缆
电气性能	相对体积电阻系数 ($\Omega \cdot m$)	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{14}$
	相对介电常数 (20℃、50Hz)	2.3	2.3	3.5
	介质损耗角正切值 (20℃、50Hz)	0.0005	0.0005	0.0003
	击穿强度 (kV/mm)	30~70	30~50	—
耐热性能	导体最大工作温度 (℃)	90	75	65
	允许最大短路温度 (℃)	250	130	250
机械性能	抗拉伸强度 (N/mm^2)	18	14	—
	伸长率 (%)	600	700	—
耐老化性能	100%	优	良	良
	120%	优	熔化	中
	150%	良	熔化	差
其他性能	抗热变形 (150℃)	良	熔化	良
	耐油 (70℃)	良	良	—
	柔软 (-10℃)	良	差	—

(三) 橡胶绝缘电缆

橡胶作为电缆绝缘层材料已有悠久的历史, 电缆绝缘用的橡胶是以橡胶为主体, 加入各种添加剂制成的一种复杂的混合物, 其电气、机械、化学、物理性能在很大程度上取决于组成成分和工艺流程。总体来说, 橡胶绝缘电缆具有一系列优点, 它在很大的温度范围内具有高弹性, 对气体、潮气、水分等具有低的渗透性, 有较好的化学稳定性和电气性能, 同时橡胶绝缘电缆质软, 可曲度大; 但成本高, 耐电晕、耐臭氧、耐油性较差, 一般仅适用于低压及可曲度要求高的场合, 但人工合成的乙丙橡胶可用于 35kV 及以下电压等级的电缆。

(四) 充气电缆

充气电缆是充以绝缘气体作为绝缘或绝缘层的组成部分。这种电缆具有较高的电击穿强度、化学稳定性和不燃性等特性, 常用的绝缘气体有 N_2 、 SF_6 、氟利昂-12 等, 适用于垂直敷设的 10~110kV 线路。如果采用 SF_6 作为绝缘气体, 由于它的电容小、介质损耗低、导热性好, 故传输容量大, 且适合高落差敷设, 常用作大容量发电厂的高压引出线, 封闭电站与架空线路的连接段。但纯 SF_6 充气电缆具有价格高、制造和装配工艺要求高、液化温度不够低等缺点。

参 考 文 献

- [1] 李晓黎, 陈祖胜. 特高压直流输电技术发展综述. 广西电力[J]. 2009, 1: 23.
- [2] 王琼. 特高压输电技术发展现状及其应用. 企业技术开发[J]. 2009. 11, vol. 28: 6.
- [3] 江日洪编. 交联聚乙烯电力电缆[M], 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [4] 于景丰, 赵锋编著. 电力电缆实用技术[M], 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [5] 何善庆. 500kV 电缆的开发应用与型式选择. 电线电缆[J], 2001(6): 9~11.



第二章 高压交联聚乙烯电缆概述

第一节 高压交联聚乙烯电缆的基本结构

电力电缆同高压架空输电线一样在电力系统中是传输电能用的。现主要对高压交联聚乙烯绝缘电缆（XLPE）的基本结构和材料进行综述。标准型和防水型高压 XLPE 电缆结构分别如图 2-1、图 2-2 所示。

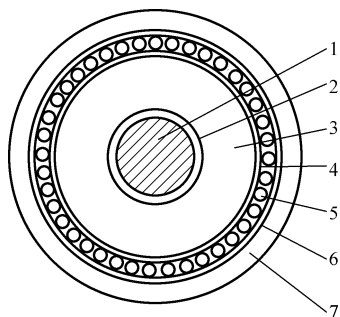


图 2-1 标准型高压 XLPE 电缆

- 1—导线；2—内半导体层；
- 3—XLPE 绝缘；4—外半导体层；
- 5—铜丝或铜带屏蔽；
- 6—垫层包带；7—外护套

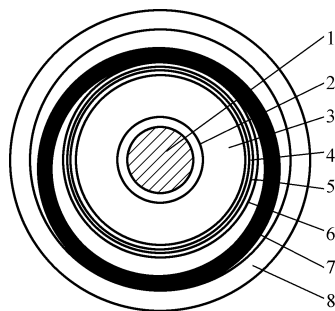


图 2-2 防水型高压 XLPE 电缆

- 1—导线；2—内半导体层；3—XLPE 绝缘；
- 4—外半导体层；5—外半导体层；
- 6—半导体垫层；7—轧纹铝管；
- 8—HDPE 外护套

一、XLPE 电缆导体

- (1) 导体应采用圆形单线绞合紧压导线截面，或实心铝导体、圆铜、铝单线结构。
- (2) XLPE 电缆的导体与其他电力电缆一样，分为铜导体和铝导体。

选择导体时应考虑两个方面，其一是载流量，其二是允许通过的短路电流。影响载流量的因素有损耗（即导体损耗、绝缘损耗、金属屏蔽层损耗和铠装层损耗）、热阻以及电缆敷设方式和环境条件等。在电缆敷设方式、环境条件和护层结构一定的前提下，电缆的载流量和短路电流的大小取决于导体直流电阻，也就是取决于导体的材料和导体的截面积。显然，铜的电阻率比铝的电阻率小得多，而且铜导体还具有接触电阻小、机械强度高、弯曲性能好等优点。但是铝的密度小，相对于相同直流电阻的铜导体来说，铝导体的质量不到铜导体质量的 50%，价格也比铜导体便宜，铝导体电缆与铜导体电缆相比具有明显的经济性。表 2-1 为 YJQ02 型 110kV 铜、铝导体电缆在直埋、平行敷设、土壤热阻系数为 $1.2\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ 、环境温度为 25℃ 、敷设深度为 1m 时的载流量和短路电流。

从表 2-1 可以看出，相同截面积的铜芯电缆的载流量约是铝芯电缆的 1.3 倍，短路电流约是铝芯电缆的 1.5 倍，并且铝芯电缆的载流量和短路电流与截面比其小两档的铜芯电缆接