

10kV

电力电缆附件安装作业人员 培训教材

国网北京市电力公司电力科学研究院 编



扫一扫
看视频



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

10kV

电力电缆附件安装作业人员 培训教材

国网北京市电力公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

全书共分为四章，第一章为电力电缆基础知识，第二章介绍了 10kV 电缆附件安装的基本技能要求，第三章为各种型式的 10kV 电缆附件安装工艺，第四章为 10kV 电缆附件故障分析典型案例，附录部分收录了国网北京市电力公司所制定并执行的电缆附件安装相关标准、签证记录表等文件，仅供参考。

本书可作为 10kV 电缆附件安装作业人员的培训教材，也可作为配电网工作者的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

10kV 电力电缆附件安装作业人员培训教材 / 国网北京市电力公司电力科学研究院编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5198-1299-7

I. ① 1… II. ① 国… III. ① 电力电缆—电缆附件—安装—技术培训—教材
IV. ① TM247

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 256963 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 肖 敏 (010-63412363) 安 鸿

责任校对: 太兴华

装帧设计: 张俊霞 左 铭

责任印制: 邹树群

印 刷: 北京大学印刷厂

版 次: 2017 年 11 月第一版

印 次: 2017 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米 × 980 毫米 16 开本

印 张: 9.5

字 数: 162 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 80.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 任	陈 平			
副主任	周松霖	林 涛	李国昌	及洪泉
	仝瑞锋			
委 员	辛 锋	张文新	段大鹏	洪沅仲
	于希娟	袁 泉		

编写组成员

李 伟	李明春	任志刚	郭 卫	齐伟强
石 磊	马光耀	马寅喆	叶 宽	张 明
于克飞	罗 辉	王 立	刘若溪	刘弘景
周 恺	赵雪骞	冯 义	沈 静	张 磊
桂 媛	吴麟琳	徐兴全	车 瑶	周 峰
李邦彦	姚玉海	张雅静	苗 旺	张玉佳
王 维	蔡瀛森	张 琛	董方舟	马慧远
李 洋	王 伟	王小瑞	徐 楷	杨亚奇
黄 山	刘宏亮			

随着城市发展的日新月异,电力电缆作为一种输送电能的介质,在城市电网中的应用比例越来越大,其中10kV交联聚乙烯电力电缆在城市配电网中起到了关键性作用,对10kV交联聚乙烯电力电缆附件安装的质量控制关系配电网的安全性和可靠性。影响电缆附件安装质量的因素包括安装人员、附件材料、施工机具、施工方法和环境,其中安装人员的素质和操作技术水平,最直接、最真实、最具体地影响着电缆附件安装的质量。

10kV交联聚乙烯电力电缆附件安装是一项对技能要求非常高的工作,其安装人员应经过专门的技术理论学习和实际操作训练。安装人员必须对电缆处理各步操作的质量要求和操作手法非常熟悉,比如电缆的铠装处理、外半导体层处理、绝缘层处理等;又要有一定的电气理论和电气材料知识,如带电距离、接触电阻、载流量常识及绝缘带、半导体带、防水带各自的性能、用途和判断方法。只有安装人员具有了上述这些最基本的知识,才能够避免带材混用、手法错误造成绝缘损伤等一些基本的错误。为了进一步提高电缆安装人员的操作水平,特编写了本书。

本书主要内容:本书共分为四章,第一章为电力电缆基础知识,介绍了各电压等级电缆与电缆附件的作用、结构特点等;第二章为电力电缆安装的基本技能,介绍了电缆附件安装过程中常用工器具与使用方法,同时介绍了电缆附件安装的一些操作技巧;第三章为电缆附件安装工艺,重点介绍了各种10kV电缆附件安装工艺流程与安装质量控制要求;第四章为配电电缆线路设备故障分析典型案例,介绍了电缆附件安装常见质量问题。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏与不足之处,望读者多提宝贵意见。

陈平

2017年7月

前言

第一章 电力电缆基础知识	1
第一节 电力电缆的作用和特点	1
第二节 电力电缆的种类和结构	5
第三节 电力电缆的型号和应用场合	18
第四节 电力电缆的材料	22
第五节 电力电缆附件的基础知识	31
第二章 10kV 电力电缆附件安装基本技能	45
第一节 工具使用基本方法	45
第二节 基本操作工艺	55
第三节 操作技巧及要求	64
第三章 10kV 电力电缆附件安装工艺	68
第一节 冷缩型户内/户外终端安装	68
第二节 冷缩型中间接头安装	74
第三节 热缩型户内/户外终端安装	81
第四节 热缩型中间接头安装	86
第五节 预制型户内/户外终端安装	91
第六节 预制型中间接头安装	95
第七节 肘型终端安装	99
第八节 油纸-交联过渡接头安装	103

第四章 10kV 电力电缆附件故障分析典型案例	108
第一节 10kV 电缆线路故障特点与对策	108
第二节 10kV 电缆附件常见施工质量问题概述	110
第三节 10kV 电缆附件故障与异常典型案例	113
附录 A 10kV 电缆接头现场安装关键作业程序拍照标准	127
附录 B 《配电网施工工艺及验收规范》——电缆附件安装部分介绍 ...	131
附录 C 10kV 交联电缆终端头签证记录表	136
附录 D 10kV 交联电缆中间接头签证记录表	137
附录 E 《有限空间作业安全工作规定》——电力电缆附件安装相关 安全规定	138
参考文献	141

电力电缆基础知识

电力电缆是传输和分配电能的重要载体,在电力工业中已经得到了十分广泛的应用。采用电力电缆来输送和分配电能,能够提高空间利用率,提高供电的可靠性,改善环境的美观性,在大城市和供电密集场所,电力电缆具有无比的优越性,是架空线路无法替代的。随着经济的发展,电力电缆在电力传输和分配中会发挥越来越重要的作用。

第一节 电力电缆的作用和特点

一、电力电缆的定义

采用一根或多根导线经过绞合制作成导体线芯,再在导体上施以相应的绝缘层,外面包上密封护套如铅护套、铝护套、铜护套、不锈钢护套或塑料、橡胶护套等,这种类型的导线就叫作电缆。电缆的种类很多,在电力系统中,应用最多的电缆有两大类,即电力电缆和控制电缆。把用于输送和分配大功率电能的电缆称为电力电缆。

电力电缆作为输、配电线路主要可分为三种类型:

- (1) 地下输配电线路。地下输配电线路的电缆敷设方式有直埋、排管和填埋电缆沟。
- (2) 水下输电线路。水下输电线路是将电缆敷设于江河湖水底或海洋水底。
- (3) 空气中输配电线路。空气中输配电线路的电缆敷设方式有敷设在厂房、沟道、隧道内、竖井中、桥梁桥架上及架空电缆等。

二、电力电缆的作用及应用场所

1. 电力电缆的作用

电力电缆线路作为电网中输送和分配电能的主要方式之一，起着架空线线路所无法替代的重要作用。

(1) 由于线间绝缘距离很小，可以缩小空间、减少占地。

(2) 可沿已有建筑物墙壁或地下敷设，电缆做地下敷设，不占地面和地面上的空间，不用在地面架设杆塔和导线，有利于市容的整齐美观。

(3) 不受外界环境影响，可避免强风、雷击、雨雪、污秽、树木和鸟等造成架空线的短路和接地等故障，大大提高供电可靠性。

(4) 导体线芯外面有绝缘层和保护层，使人们不会直接接触及导电体，避免人身直接接触电，有利于保证人身安全。

(5) 运行安全可靠，减少运行维护的工作量。

(6) 电缆的电容较大，电缆线路本体呈容性，有利于提高电力系统的功率因数。一般情况下不需要采取改善功率因数的措施。

2. 电缆线路适合应用的场所

电缆线路适合应用于以下场所：

(1) 输电线路密集的发电厂和变电站，位于市区的变电站和配电所。

(2) 国际化大都市、现代大中城市的繁华市区、高层建筑区和主要道路。

(3) 建筑面积大、负荷密度高的居民区和城市规划不能通过架空线的街道或地区。

(4) 重要线路和重要负荷用户。

(5) 重要风景名胜區。

因此，在人口稠密的城市和厂房设备拥挤的工厂，为减少占地，多采用电缆线路；在严重污秽地区，为了提高送电的可靠性，多采用电缆线路；对于跨越江河的输电线路，跨度大，不宜架设架空线，也多采用电缆线路。有的从国防工程的需要出发，为避免暴露目标而采用电缆线路；有的为建筑美观而采用电缆线路；也有的为减小电磁辐射，而采用电缆线路。总之，电缆已成为现代电力系统不可或缺的组成部分。

三、电力电缆的优缺点

1. 电缆线路的优点

(1) 占用地面和空间少。这是电缆线路最突出的优点。如一个 110kV 及以上

普通变电站常有四五十条 10kV 和 35kV 出线，如果全部采用架空线路出线的话，为了安全与检修方便就不能过多的进行同杆架设（不能重叠过多），这样多的架空线路走廊所需要的占地是超乎想象的，也是不可能的。现在城市里的地价步步升高，为了减少占地，变电站设备一般都采用 GIS 设备，变电站外楼房林立，根本没有架空线路走廊，而且市政府和房地产开发商也不允许建架空线路，如果采用电缆线路，只需建筑 2~3 条 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的隧道或者排管就能将全部出线容纳。又如机场、港口等无法用架空线路的地方，只能用电缆来供电，因而电缆越来越被广泛使用。

(2) 供电安全可靠。架空线路易受强风、暴雨、冰雪、雷电、污秽、鸟害等自然因素，以及交通事故、放风筝、外力损坏等人为的外界影响，造成断线、短路、接地而停电或其他故障。而电缆线路除了露出地面暴露于大气中的户外终端部分外，不会受到自然环境的影响，人为的外力破坏也可减少到较低的程度，因此电缆线路供电的可靠性好。

(3) 触电可能性小。当人们在架空线路附近放风筝、钓鱼或起重作业时，就有可能接触导体而发生触电事故，而电缆的绝缘层和保护层保护人们即使触及了电缆也不会发生触电现象。架空导线断线时常常会引发人、畜触电伤亡事故；而电缆线路埋于地下，无论发生何种故障，由于带电部分在接地屏蔽部分和大地内，只会造成跳闸，不会对人、畜有任何伤害，所以比较安全。

(4) 有利于提高电力系统的功率因数。架空线路相当于单根导体，其电容量很小（可忽略不计），呈感性电路的特征，远距离送电后，功率因数明显下降，需采取并联电容器组等措施来提高功率因数。电缆线路整体特征呈容性，有较大的无功输出，对改善系统的功率因数、提高线路输送容量、降低线路损耗大有好处。

(5) 运行、维护工作简单方便。电缆线路在地下，维护量小，故一般情况（充油电缆线路除外）下只需定期进行路面观察、路径巡视防止外力损坏及 6~10 年做一次预防性试验即可。而架空线路易受外界影响和污染，为保证安全、可靠地供电，必须经常做维护和试验工作。

(6) 有利于美化城市，具有保密性。架空线路影响城市的美观，而电缆线路埋于地下，街道易整齐美观，并且在没有图纸情况下，一般是无法知道其走向的，因此需要进行保密的工程，均采用电缆线路来进行供电。

2. 电缆线路的缺点

(1) 一次性投资费用大。在同样的导线截面积情况下，电缆的输送容量比架

空线小，在同样输送容量的情况下需采用较大截面积的电缆。而且，如采用成本最低的直埋方式安装一条 35kV 电缆线路，其综合投资费用为相同输送容量架空线路的 4~7 倍。如果采用隧道或排管敷设综合投资在 10 倍以上。

(2) 线路不易变更。电缆线路在地下一般是固定的，所以线路变更的工作量和费用是很大的。因电缆绝缘层的特殊性，来回搬迁将影响电缆的使用寿命，故安装后不易再搬迁。

(3) 线路不易分支。一条供电线路往往需接上很多用户，在架空线路上可通过分支线夹或绑扎连接易于进行分支接到用户。然而，要进行电缆线路的分支，必须建造特定的保护设施，采用专用的分支中间接头进行分支，或者在特定的地点采用电缆分接箱，制作电缆终端进行分支。

(4) 故障测寻困难、修复时间长。架空线路发生故障时，通过直接观察一般都能找到故障点，并且在较短时间内即可修复。而电缆线路在地下，故障点是无法直接看到的，必须使用专用仪器进行粗测（测距）、定点，并且具有一定专业技术水平的人员才能测地准确，结合竣工图纸才能精确定点，比较费时。而且找到故障点后还要挖出电缆，制作电缆头和进行试验，一般修复时间比较长。对于敷设于隧道、电缆沟中的电缆，虽然可以直接看到故障点，但重新敷设电缆、制作电缆头和试验的时间也是比较长的。

(5) 电缆头的制作工艺要求高、费用高。电缆导电部分对地和相间的距离都很小，因此对绝缘强度的要求就很高。同时为了使电缆的绝缘部分能长期使用，故又需对绝缘部分加以密封保护，对电缆头也必须同样要求密封保护，为此电缆的接头制作工艺要求高，必须由经过严格技术培训的专业人员进行，以保证电缆线路的绝缘强度和密封保护的要求。

随着电力工业的发展，电缆线路的供电方式越来越广泛，尤其是繁华的城市中心、机场、港口码头、需保密的工程，电缆线路已成为一种不可缺少的供电方式。世界上有许多都市，如巴黎、伦敦、莫斯科、纽约等为了美化城市，都已没有架空输电线路，这说明了电缆线路是今后城市供电线路的发展方向。

四、电力电缆电压等级

我国电网输电与配电电压等级划分为 220/380V、3、6、10、20、35、110、220、330、500、750、1000kV 等，并划分为输电电压与配电电压两类。

参照有关标准和导则规定，将配电电压划分为：

低压配电电压：220/380V；

中压配电电压：10、20kV；

高压配电电压：35~110kV。

根据输电技术特点，将输电电压等级划分为三级：

高压输电电压：220kV；

超高压输电电压：330、500、750kV；

特高压输电电压：1000kV 及以上。

电力电缆的电压等级依照输、配电电压等级划分。电力电缆通常把 1kV 电压等级的电缆称为低压电缆；6~35kV 电压等级的电缆称为中压电缆；把 110kV 电压等级的电缆称为高压电缆；把 220~500kV 电压等级的电缆称为超高压电缆。

第二节 电力电缆的种类和结构

一、电力电缆的种类

随着电力电缆应用范围的不断扩大和电网对电力电缆提出的新要求，制造电力电缆的新材料、新工艺不断出现，电缆的电压等级逐渐增高，功能不断增强并细分，电力电缆的品种越来越多。电力电缆可以有多种分类方法，如按电压等级分类、按导体标称截面积分类、按导体芯数分类、按绝缘材料分类、按功能特点和使用场所分类等。

1. 按电压等级分类

电力电缆都是按照一定的电压等级生产制造的，不同电压等级的电缆应用于不同电压等级的电网，同一电压等级的电缆可以采用相同的绝缘厚度，也可以根据导体截面积不同、绝缘材料不同及接地方式运行情况不同，采用不同的绝缘厚度。我国电缆产品的电压等级包括 0.6/1kV、1/1kV、3.6/6kV、6/6kV、6/10kV、8.7/10kV、8.7/15kV、12/15kV、12/20kV、18/20kV、18/30kV、21/35kV、26/35kV、38/66kV、50/66kV、64/110kV、127/220kV、190/330kV、290/500kV 共 19 种。

电压等级有两个数值，用“/”分开，斜杠前的数值表示相电压值，斜杠后的数值表示线电压值。常用电缆的电压等级有 0.6/1kV、3.6/6kV、6/10kV、21/35kV、38/66kV、64/110kV、127/220kV，这类电压等级的电缆适用于变压器中性点直接接地且每次接地故障持续时间不超过 1min 的三相电力系统，而电

压等级为 1/1kV、6/6kV、8.7/10kV、26/35kV、50/66kV 的电缆适用于变压器中性点不接地或非直接接地且每次接地故障持续时间一般不超过 2h、最长不超过 8h 的三相电力系统，在选择使用电缆时应给予特别关注。

另外值得注意的是：在我国的电力系统中，纯粹的电缆线路是不装设重合闸的，也就是说电力电缆线路是不允许有单相接地故障发生后而继续运行的，这在一定程度上降低了供电的可靠性。

2. 按导体标称截面积分类

电力电缆的导体是按一定等级的标称截面积生产制造的，不是说客户要求什么样的截面积就有什么样的截面积。这样做是为了形成一定的规范，既便于制造，也便于施工。

我国电力电缆标称截面积系列为 1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、630、800、1000、1200、1400、1600、1800、2000、2500mm²，共 27 种。

在选择电缆导体的截面积时，能采用一个大截面积电缆时，就不要采用两个或两个以上的小截面积电缆并用。

3. 按导体芯数分类

电力电缆导体芯数有单芯、二芯、三芯、四芯和五芯共 5 种。单芯电缆通常用于传送直流电、单相交流电和三相交流电，一般中低压大截面积的电力电缆和高压超高压电缆多为单芯。二芯电缆多用于传送直流电或单相交流电。三芯电缆主要用于三相交流电网中，在 35kV 及以下各种中小截面积的电缆线路中得到最广泛的应用。四芯和五芯电缆多用于低压配电线路，一般情况下，只有 1kV 电压等级的电缆才有二芯、四芯和五芯。

4. 按绝缘材料分类

(1) 固体挤包绝缘电力电缆。固体挤包绝缘电力电缆包括聚氯乙烯绝缘电力电缆、交联聚乙烯绝缘电力电缆、聚乙烯绝缘电力电缆、橡胶绝缘电力电缆。

(2) 油浸纸绝缘电力电缆。油浸纸绝缘电力电缆是历史上应用最广泛的一种电缆。油浸纸绝缘电力电缆的绝缘是一种复合绝缘，它是以纸为主要绝缘体，用绝缘浸渍剂充分浸渍制成的。根据浸渍情况和绝缘结构的不同，油浸纸绝缘电力电缆又可分为下列几种：

1) 普通黏性油浸纸绝缘电缆。它是一般常用的油浸纸绝缘电缆。电缆的浸渍剂是由低压电缆油和松香混合而成的黏性浸渍剂。根据结构不同，这种电缆又分为统包型、分相铅（铝）包型和分相屏蔽型，统包型电缆的多线芯共用一个金

属护套；分相屏蔽型电缆的导体分别加屏蔽层，并共用一个金属护套。后两种电缆多用于 20~35kV 电压等级。

2) 不滴流油浸纸绝缘电缆。它的构造、尺寸与普通黏性油浸纸绝缘电缆相同，但用不滴流浸渍剂浸渍制造。不滴流浸渍剂系低压电缆油和某些塑料及合成地蜡的混合物。不滴流油浸纸绝缘电缆适用于 35kV 及以下高落差电缆线路以及热带地区。

3) 充油电缆。它包括自容式充油电缆和钢管充油电缆。电缆的浸渍剂，一般为低黏度的电缆油。充油电缆适用于 110kV 及更高电压等级的电缆线路中。

4) 气压油浸纸绝缘电缆。它包括自容式充气电缆和钢管充气电缆。多用于 35kV 及以上电压等级的电缆线路中。

5. 按功能特点和使用场所分类

(1) 阻燃电力电缆。普通电缆的绝缘材料有一个共同的缺点，就是具有可燃性。当电缆线路发生故障时，电缆可能因局部过热而燃烧，并导致事故扩大。阻燃电力电缆是在电缆绝缘或护层中添加阻燃剂，即使在明火烧烤下，电缆也不会燃烧。阻燃电力电缆的结构与普通聚氯乙烯绝缘电力电缆和交联聚乙烯绝缘电力电缆的结构基本相同，而用料有所不同。对于交联聚乙烯绝缘电力电缆，其填充物（或填充绳）、绕包层、内衬层及外护套等，均在原用材料中加入阻燃剂，以阻止延燃；有的电缆为了降低电缆火灾的毒性，电缆的外护套不用阻燃型聚氯乙烯，而用阻燃型聚烯烃材料。对于聚氯乙烯绝缘电力电缆，有的采用加阻燃剂的方法，有的则采用低烟、低卤的聚氯乙烯料作绝缘，而绕包层和内衬层均用无卤阻燃料，外护套用阻燃型聚烯烃材料等。至于采用哪一种型式的阻燃电力电缆，要根据使用者的具体情况进行选择。

(2) 耐火电力电缆。耐火电力电缆是在导体外增加耐火层，多芯电缆相间用耐火材料填充。其特点是可在发生火灾以后的火焰燃烧条件下，保持一定时间的供电，为消防救火和人员撤离提供电能和控制信号，从而大大减少火灾损失。耐火电力电缆主要用于 1kV 电缆线路中，适用于对防火有特殊要求的场合。

二、电力电缆的基本结构

不论是何种电力电缆，其最基本的组成有导体、绝缘层和护层三部分。对于中压及以上电压等级的电力电缆，导体在输送电能时，具有高电位。为了改善电场的分布情况，减小导体表面和绝缘层外表面处的电场畸变，避免尖端放电，电

缆还要有内外屏蔽层。总的来说，电力电缆的基本结构必须有导体（也可称线芯）、绝缘层、屏蔽层和护层四部分组成，这四部分在组成和结构上的差异，就形成了不同类型、不同用途的电力电缆，多芯电缆绝缘线芯之间，还需要添加填芯和填料，以利于将电缆绞制成圆形，便于生产制造和施工敷设。

（一）导体（线芯）

1. 作用

导体（线芯）的作用是导电，用来输送电能，是电缆的一个主要部分。

2. 材料要求

电缆线芯的材料应是导电性能好、机械性能高、资源十分丰富的，并且适宜生产制造和大量应用。

（1）导电性能好。在常温时，金属都具有一定的电阻，当电能在线芯中传输，电流通过线芯导体的过程中，会产生一定的功率损耗，并使导体发热，当发热和散热平衡时电缆就稳定在某一温度上。由于绝缘材料的绝缘性能受温度的影响很大，在过高温度下绝缘材料发生加速老化，所以要求线芯材料的导电性能好，以此来减少导体功率损耗和发热，进而增大电缆的输送容量。

（2）机械性能高。为了易于加工与使用，导体材料既要有一定的抗拉强度，又要有一定韧性。

（3）资源丰富。如前所述，用电力电缆作为供电线路时，所需的数量是很大的，因此用作线芯的材料必须有十分丰富的资源，否则就无法广泛生产。铜与铝这两种金属的导电率都比较高，而且在地球上的储量丰富，易开采和加工，机械性能高（既有一定的机械强度，又有一定的韧性）。因此目前电力电缆的线芯都采用铜和铝。

3. 规格与结构

（1）截面积规格。为了便于设计制造和安装施工，电缆的截面积必须采用规范化的方式进行定型生产，即电缆的截面积由小到大按标称截面积规格进行生产。标称截面积规格在各国是不同的，我国 380V~35kV 电缆的导电部分标称截面积规格为 1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、630、800mm² 共 20 种规格，目前 16~400mm² 的 12 种截面积是常用的规格；110kV 及以上电缆的导电部分标称截面积规格为 240、400、630、700、800、1000、1200、1400、1600、2000、2500mm² 共 11 种规格，经常用的几种截面积规格是 400、800、1200、1600mm²，220kV 电缆的导电部分标称截面积规格最大可达 2500mm²。

(2) 芯数形式。指电缆具有多少根线芯，一般有单芯、二芯、三芯、四芯、五芯电缆五种形式。

(3) 线芯形状。电缆线芯有圆形、椭圆形、中空圆形和扇形四种。在 10kV 以上电压等级的电缆中一般采用圆形线芯，这是因为圆形线芯有利于电缆绝缘内部的电场均匀分布。在 10kV 及以下电压等级的油纸电缆中基本采用扇形线芯，这是因为扇形线芯在统包绝缘结构电缆中，结构更加紧凑，能够有效减小电缆的外径，进而减少电缆的重量，降低造价，便于安装。但是，扇形线芯只能用于中低压电缆，因为扇形线芯在局部处的曲率半径发生了很大的变化，曲率半径较小处将出现电场集中现象，也就是电场强度会明显大于其他地方的电场强度，在中低压电缆中，导体的电位不是太高，由此引起的电场集中还不足以导致绝缘的击穿或者需增加绝缘厚度，不是主要矛盾，主要矛盾是解决整体结构紧凑，减小电缆的外径；随着电压等级的提高，导体电位升高，由此引起的电场集中足以导致绝缘的击穿或者需增加绝缘厚度，并成为主要矛盾，必须采用圆形线芯消除电场集中。中空圆形是充油电缆的线芯所特有的一种形状，中空处是作为油道通过电缆油使用的。椭圆形绞合导体用于外充气钢管电缆，椭圆形导体较圆形导体能更好地经铅护套向绝缘传送压力。在每种形状中还有紧压形与非紧压形之分。紧压的目的是减小线芯部分因采用多股绞合线形式而引起的外径变大，从而减少绝缘层和外护层的材料的使用量，能使造价减少 15%~20%，又使电缆整体重量减少，有利于电缆敷设施工。而且紧压形线芯还有利于电缆线芯的阻水和降低集肤效应的影响。

(4) 结构。若用单根实心的金属材料制成电缆的线芯，线芯的柔软性就会很差且不能随意弯曲，截面积越大弯曲越困难，这样必然给生产制造和电缆敷设施工带来无法克服的困难。经研究和实践证明，采用多股导线单丝绞合线作为线芯是最好的结构，这样的结构既能使电缆的柔软性大大增加，又可使弯曲时的曲度不集中在一处，而分布在每根单丝上，每根单丝的直径越小，弯曲时产生的弯曲应力也就越小，因而在允许弯曲半径内弯曲不会发生塑性变形，从而电缆的绝缘层也不致损坏。同时弯曲时每根单丝间能够滑移，各层方向相反绞合（相邻层一层右向绞合，一层左向绞合），使得整个导体内外受到的拉力和压力分解，这就是采用多股导线绞合形式线芯的原因。

(二) 绝缘层

1. 作用

它能将线芯与大地以及不同相的线芯间在电气上彼此隔离，从而保证在输送

电能时不发生相对地或相间击穿短路，因此绝缘层也是电缆结构中不可缺少的重要组成部分。

2. 材料要求

(1) 耐压强度高。由于电缆导电部分的相间距离及其对地距离都较小，所以绝缘层承受着很高的电场强度，一般在 $1\sim 5\text{kV/mm}$ ，110kV 的电缆中达 $8\sim 10\text{kV/mm}$ ，500kV 的电缆中高达 $14\sim 16.5\text{kV/mm}$ ，电压等级越高的电缆，对绝缘材料的耐压强度的要求越高。

(2) 介质损耗角正切值低。运行于交流电场中的绝缘介质，由于极性分子的存在，绝缘层中将会有泄漏电流通过，使绝缘层（介质）发热，这部分损耗称为介质损耗。电缆电压等级越高，介质损耗越大，这部分损耗高，发热就大，绝缘就会加速老化，因此要求绝缘材料的介质损耗角正切值低。

(3) 耐电晕性能好。绝缘层中的气泡或内外表面的凸起在很高电场下易被电离而产生放电现象，放电时产生的臭氧对绝缘层具有破坏作用，各种材料的耐电晕性能是不同的，因此要求选用耐电晕性能好的材料。

(4) 化学性能稳定。化学性能不稳定的材料，在外来因素的作用下，其性能易改变，它的绝缘水平就会随之发生变化，通常这种变化使绝缘性能变差，这对电缆的使用寿命有直接的影响，因此要选用化学性能稳定的材料。

(5) 耐低温。一般情况下，非金属材料的强度高，其脆化点高，电缆线路的施工（特别在北方地区）经常需在气温很低的情况下进行安装，一旦变脆很易损坏，无法安装，所以要求有耐低温的性能。在日平均气温 0°C 以下及敷设时温度低于 0°C 时，敷设高压电缆需预先加热后再施工。

(6) 耐热性能好。电缆的最高允许运行温度取决于绝缘材料的耐热性能，即在绝缘材料的物理性能和化学性能不发生变化时的最高允许温度越高越好，这样电缆线路允许通过的载流量越大，因此绝缘材料的耐热性能越高越好。

(7) 机械加工性能好。绝缘材料必须具有一定的柔性和机械强度，这样才有利于生产制造和施工安装。

(8) 使用寿命长。绝缘材料经过一定长的时间，均会发生老化现象，性能下降甚至无法运行。由于电缆线路的成本、施工费用高，敷设难度大，因此电缆必须经久耐用，对电缆的使用寿命也有更高的要求。目前电缆的设计使用寿命一般不少于 30 年。

3. 常见电缆绝缘材料的种类和特点简介

(1) 油浸纸绝缘的特点如下：