

杨德林 编

电力电缆岗位技能 培训教材

POWER CABLE



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力电缆岗位技能 培训教材

POWER CABLE

杨德林 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书生动、具体地讲述了电缆的敷设以及电缆头的制作,非常具有实际操作性。全书共分 11 章,分别是电力电缆线路、电力电缆线路的敷设、电力电缆附件安装工艺的技术要求、35kV 及以下电缆终端头与中间接头、电缆附件安装的基本要求、35kV 及以下油浸纸绝缘电缆附件安装工艺、塑料电缆附件安装工艺、35kV 及以下塑料电缆冷缩附件安装工艺、电力电缆线路的运行维护、基础知识、电缆线路的运行管理、电缆线路故障及故障测寻。

本书适用于电力职工上岗后的业务培训,可以逐步指导电缆工进行作业,也可作为其他感兴趣电工的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电缆岗位技能培训教材/杨德林编. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6093-5

I. 电… II. 杨… III. 电力电缆-电缆敷设-技术培训-教材 IV. TM757

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 154701 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.25 印张 222 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

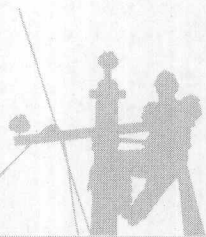
敬告读者

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

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

前言



电力电缆岗位技能培训教材

本书是根据国家劳动保障部和国家电网公司“全国供用电工人技能培训教材”和“职业技能鉴定指导书”的要求，对电力电缆初级工、中级工、高技工及技师和高级技师而编写的。本书全面系统地阐述了电力电缆线路安装、运行维护、检修应掌握的必备生产知识和操作技能，并根据设计、工艺标准及验收规范的要求进行编写，着力培养电力电缆安装、运行维护、电气试验、故障测寻、工程管理等各级技术工人。

本书为提高技术工人业务素质，把一些基本概念、公式与操作技能有机地结合起来，全书以 35kV 及以下油浸电缆和塑料电缆为主，依据“全国职业技能培训教材”和电力电缆施工，国家电网公司颁布的“电力电缆运行规程”和“电力电缆安装检修工艺规程”及电缆附件生产厂家的设计要求，介绍电缆附件安装的新技术、新方法、新工艺。符合当前电力电缆科技发展的方向，突出工艺和技能操作。

本书内容为：“第一章 电力电缆线路”，其中包括电力电缆基本结构及电缆型号。“第二章 电力电缆线路的敷设”，包括电缆线路设计、敷设方法和工程管理。“第三章 电力电缆附件安装工艺技术要求”，包括电缆附件材料特性，使用和保管及用途等。“第四章 35kV 及以下电缆终端头与中间接头”，包括各种材料使用条件、工器具的应用。“第五章 电缆附件安装的基本要求”。“第六章 35kV 及以下油浸纸绝缘电缆附件安装工艺”，包括终端头和中间头安装工艺热缩和浇灌式等。“第七章 塑料电缆附件安装工艺”，包括热缩户内外终端头和中间头制作工艺，绕包式热缩头制作等。“第八章 35kV 及以下塑料电缆冷缩安装工艺”。“第九章 电缆线路的运行管理”，包括电缆故障原因分析。“第十章 电缆线路故障的测寻”。“第十一章 电缆线路运行维护”和“第十二章 电缆的基础知识”。

本书由杨德林编写，哈尔滨理工大学朱建良教授在本书编写过程中给予了很多帮助并参加了审核，在此表示衷心地感谢！并向对本书的编写表示关心的朋友表示衷心感谢！

由于编者时间仓促、水平有限，书中不免有这样或那样的错误，望广大读者提出宝贵意见和建议，在此多谢。

杨德林

2007 年 10 月 8 日

目 录

电力电缆岗位技能培训教材

前言	1
编者的话	2
第一章 电力电缆线路	1
第一节 电力电缆线路的优缺点	1
第二节 电力电缆的基本结构和种类	2
第三节 电力电缆的型号	10
第二章 电力电缆线路的敷设	14
第一节 电缆线路的敷设图	14
第二节 电缆线路敷设的基本技术要求	15
第三节 电缆线路的常用敷设方法	23
第三章 电力电缆附件安装工艺的技术要求	33
第一节 电缆附件的种类	33
第二节 电缆附件的基本技术要求及操作工艺	34
第三节 电缆附件绝缘材料的使用和保管	36
第四章 35kV 及以下电缆终端头与中间接头	40
第一节 通用安装材料	40
第二节 常用工器具	43
第三节 专用工具	45
第五章 电缆附件安装的基本要求	48
第六章 35kV 及以下油浸纸绝缘电缆附件安装工艺	50
第一节 10kV 油浸纸绝缘电缆附件安装工艺	50
第二节 油浸纸绝缘电缆浇灌及热缩中间头工艺	55
第七章 塑料电缆附件安装工艺	60
第一节 交联聚乙烯绝缘电缆附件安装工艺	60
第二节 35kV 交联聚乙烯绝缘电缆附件安装工艺	67
第三节 1kV 及以下橡塑绝缘电缆附件安装工艺	70

第八章 35kV 及以下塑料电缆冷缩附件安装工艺	73
第一节 10kV 交联电缆冷缩附件安装工艺	73
第二节 35kV 交联绝缘电缆冷缩附件安装	77
第九章 电力电缆线路的运行维护	85
第一节 电缆线路的巡视监护	85
第二节 电缆线路机械外损的预防	88
第三节 电缆线路的维护工作	89
第十章 基础知识	95
第一节 电缆线路的防雷保护和接地装置	95
第二节 电缆线路的损耗	98
第三节 电缆长期允许载流量的近似计算	100
第四节 电缆额定电压的划分	105
第十一章 电缆线路的运行管理	107
第一节 电缆线路的竣工验收	107
第二节 电缆线路的技术资料	108
第三节 电缆线路常见故障	110
第十二章 电缆线路故障的测寻	114
第一节 电缆线路故障的性质	114
第二节 故障测寻	115
第三节 电缆护层绝缘损坏点的测定方法	139

电力电缆线路

电力电缆岗位技能培训教材

电力工业是国民经济的主要组成部分，它反映了一个国家的工业化水平。随着国民经济发展，发电量、用电量不断增长，必须进行大功率电能的输送和分配。为了解决城市中架空线路所占空间不够问题，就采取地下输送电力的方法。

电力电缆输电是一种地下的送电线路，与架空线路相比较各有其优缺点。



第一节 电力电缆线路的优缺点

一、电力电缆线路的优点

1. 占地少

这是电缆的突出优点。如 110kV 及以上进线的普通变电所常有四五十条 10、35kV 出线，如果都采用架空线路出线的话，考虑安全与检查方便就不能过多地进行同杆架设（不能重叠过多）。而采用电缆线路，只要建筑一条 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的隧道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。因而电缆应用越来越广泛。

2. 供电可靠

架空线路易受台风、暴雨、雪、雷电、交通事故、放风筝、外力损坏和鸟害等自然或人为的外界影响，造成断线、停电或其他故障。而电缆线路除了露出地面的户外终端部分外，不会受到自然环境的影响，人为损坏亦可减少到很小的程度，因此电缆线路供电的可靠性较好。

3. 触电可能性小

架空线路断线时经常会发生人、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内，只会造成跳闸，不会对人、畜有任何伤害，比较安全。

4. 有利于提高电力系统的功率因数

电缆的结构相当于一个电容器，一条 1km 长、10kV 三芯 240mm^2 的电缆，其电容量达 $0.58\mu\text{F}$ ，相当于一台 31kvar 的移相电容，因此电缆线路的无功功率输出是非常大的。这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。而架空线路相当于单根导线，其电容量很小（可忽略不计）。

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）只需定期进行路面观察以防止外损或 2~3 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，为保护安全、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

架空线路有碍城市上空的观瞻，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。

二、电缆线路的缺点

1. 投资费用大

同样的导线截面积，电缆的输送容量比架空线小。而且，如采用成本最低的直埋式来安装一条 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。

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很大。因电缆的机械保护层在地下易腐蚀，故安装后不易再搬迁。

3. 线路不易分支

一条输电线路往往需接上很多用户，这在架空线路上可轻而易举进行分支接到用户。而电缆线路在地下，需与地隔离，并且需相间隔离，中间分接以后的绝缘和密封不易处理。

4. 故障测寻、修复困难

架空线路发生故障一般都可直接观察到，较短时间内即可修复。而电缆线路在地下，故障点是无法看到的，必须使用专用仪器进行测量，并且必须有一定专业技术水平的人员才能准确测寻，比较费时。而且找到故障点后还要挖出电缆，做接头并进行试验，一般修复时间是架空线路的很多倍。

5. 电缆接头附件的制作工艺要求高、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，对电缆接头附件也同样要求密封保护。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。电缆接头附件安装后，无法用肉眼检查其内在质量，故要求工作人员必须具有高度的工作责任心。

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、需保密的部门，电缆线路已成为一种不可缺少的供电设备。世界上有不少重要都市，如莫斯科、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。但是，由于电缆线路的建造费用高，全部采用电缆线路供电费用更高，使电缆线路在目前情况下的应用受到了一定的限制。在什么情况下使用电缆线路，应从技术、经济和实际需要三个方面加以综合考虑而确定。

第二节 电力电缆的基本结构和种类

一、电缆的基本结构

电力电缆是指外包绝缘的绞合导线，有的还包有金属外皮并加以接地。因为是三相交流输电，所以必须保证三相送电导体相互间及对地间的绝缘，即必须有绝缘层。为了保护绝缘和防止高电场对外产生辐射并干扰通信，必须有金属护层。为防止外力损坏还必须有铠装和护套等。因此电力电缆由线芯（又称导体）、绝缘层、屏蔽层和保护层四部分组成，这四部分结构上的差异，就形成了不同的电缆种类。

（一）线芯

1. 作用

它是电缆的导电部分，用来输送电能，是电缆的主要部分。

2. 材料要求

(1) 导电性能好。在常温下金属具有一定的电阻,当电能在线芯中传输时有一定的功率损耗,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。由于温度对绝缘材料的绝缘性能有很大的影响,在过高温度下绝缘材料会加速老化,因此要求线芯材料的导电性能要好,这样就可减少发热而增大输送容量。

(2) 机械性能好。既要有一定的抗拉强度,又要有一定韧性,易于加工和使用。

(3) 资源丰富。电力电缆作为供电线路时,所需量很大,因此用作线芯的材料必须是丰富的资源,否则就无法广泛应用。金与银的导电率很高,但是资源贫乏,机械强度不够,不能广泛用于制作电力电缆。而铜和铝的导电率虽然比金、银的差,但是其资源丰富,易开采,而且机械性能好。其他金属的导电率都较差,机械性能有的太硬(如铁),有的太软(如铅、锡),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。为了便于设计制造和安装施工,电缆的截面必须采用规范化的方式进行定型生产,即电缆的截面由小到大按标称截面规格进行生产。标称截面规格在各国各不相同,我国目前 380V~35kV 电缆的导电部分截面有 2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、630、800mm² 十九种规格。其中 16~400mm² 是常用的规格(过去 16~240mm² 是常用的规格)。电压为 110kV 及以上电缆的截面有 100、240、400、600、700、845、920mm² 七种规格,现已有 1000mm² 及以上规格。

(2) 芯数。指电缆线芯输(通)电的相数,一般有单芯、双芯、三芯和四芯、五芯电缆五种形式。

(3) 形状。有圆形、椭圆形、中空圆形和扇形线芯四种。一般在 10kV 以上电压等级的电缆采用圆形线芯,这是因为圆形有利于电缆内部电场的均匀分布。在 10kV 及以上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带绝缘结构电缆中,可以减小电缆的外径,从而减少电缆的重量、造价且便于安装。中空圆形是充油电缆线芯所特有的一种形状,中空处作为油道用。在每种形状中还有压紧形与非压紧形之分。压紧形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,可使造价减少 15%~20%,并且使电缆重量减少,这对施工有利。

(4) 结构。电缆的线芯若用单根实心的金属材料制成,其柔软性较差,不能随意弯曲,而且截面越大弯曲越困难,这样就给施工带来了无法克服的困难。经研究,采用多股导线绞合线作为线芯是最好的结构,不但能使电缆的柔软性大大增加,而且可使弯曲时的曲度不集中在一处,而是分布在每股导线上。每股导线的直径越小,弯曲时产生的弯曲应力也就越小,因而在允许弯曲半径情况下不会发生塑性变形,从而不致损坏电缆的绝缘层。同时,弯曲时每股导线间能够滑移,各层方向相反扭绞,使得整个导体内外受到的拉力和压力分解。

线芯的可曲性与绞线的股数平方根值成正比,即同截面的情况下,股越多,越易弯曲。由于电缆的可曲性同时受到绝缘层、外护层的影响和限制,如果线芯制成很多股,虽然很软,但实际使用时没有必要,还给电缆的制造增加许多困难,因此股数并不是越多越好,在制造不同截面的电缆的线芯时,股数都有一定的规定。截面在 35mm² 及以下电缆的线芯可做单股的实心导体,其余规格均需采用多股绞合形式的线芯。现绞合的方式有很多种,在此仅介绍一种最常用的线芯排股方式(可参阅西安交通大学出版社 1995 年出版的《电力

缆结构设计原理》一书)。

简单规则圆形绞合的线芯是使用较广、结构最简单的一种绞合形式,其规律为:中心层是1股,其他各层是以6股为单位随层数递增,总股数计算公式如下:

$$K = 1 + 6 + 12 + 18 + \cdots + 6n \quad (1-1)$$

式中 n ——中心(1根)外算起的层数,其值为正整数1、2、3、…。

如果 n 是从中心算起的层数,则总股数:

$$K = 3n(n+1) + 1 \quad (1-2)$$

(二) 绝缘层

1. 作用

它是将线芯与大地以及不同相的线芯间在电气上彼此隔离,从而保证电能输送。绝缘层也是电缆结构中不可缺少的组成部分。

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很近,故绝缘层处于高电场中,一般在1~5kV/mm之间,110kV的电缆中达8~10kV/mm,500kV的电缆中高达14~16.5kV/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) 介质损耗低。绝缘介质处于交流电场中,绝缘层中将会有泄漏电流通过,使绝缘层(介质)发热,这部分损耗即为介质损耗。电缆电压等级越高,介质损耗越大。而介质损耗高会导致发热严重,并使绝缘加快老化,因此要求绝缘材料的介质损耗低。

(3) 耐电晕性能好。绝缘层的气泡或表面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,其性能易变化,它的绝缘水平就会随之发生变化,而通常这种变化是使绝缘性能变差,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,导致无法安装,所以要求有耐低温的性能。

(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,即绝缘材料的物理性能和化学性能不发生变化的最高允许温度越高,电缆线路允许通过的电流越大,因此绝缘材料的耐热性能要好。

(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,这样才有利于制造和安装。

(8) 使用寿命长。绝缘材料经过一定的时期,均会发生老化现象,性能下降,无法运行。由于电缆线路的成本、施工费用高,敷设难度大,因此对电缆使用寿命的要求更高。

(9) 价格便宜。价廉的材料能使造价降低,从而得到广泛的应用。

3. 目前电缆产品广泛使用的绝缘材料种类和特点简介

(1) 油浸纸绝缘的特点。①耐压强度高;②介质损耗低;③化学性能稳定;④价格便宜;⑤耐电晕性能好;⑥耐热性能较好,长期允许运行温度可达65℃;⑦使用寿命长。在20世纪70年代以前,油浸纸绝缘一直是电力电缆制造工业使用的主要绝缘材料。

(2) 橡胶绝缘的特点。橡胶有天然和合成之分, 早期电缆绝缘使用的是天然橡胶, 现在电缆中使用的是合成橡胶。合成橡胶的种类众多, 性能各异, 它们的基本特点如下: ①具有高的电气性能和化学稳定性; ②在很大的温度范围内具有高弹性; ③气体、水(潮气)对其的渗透性低; ④在 65°C 以下时热稳定性良好。

(3) 聚氯乙烯绝缘的特点。①电气性能较高; ②化学性能稳定; ③机械加工性能好; ④不延燃; ⑤价格便宜; ⑥介质损耗大; ⑦耐热性和耐寒性差; ⑧运行温度不能高于 65°C 。此类绝缘一般只用在 6kV 及以下的电力电缆绝缘层或作为电缆的外护层。

(4) 聚乙烯绝缘的特点。①耐压强度高; ②介质损耗低; ③化学性能稳定; ④耐低温; ⑤机械加工性能好; ⑥耐电晕性能差; ⑦耐温性能差, 60°C 以上时, 其耐压强度急剧降低; ⑧易燃、易熔和易产生环境应力而开裂。

(5) 交联聚乙烯绝缘的特点。①耐压强度高; ②介质损耗低; ③化学性能稳定; ④耐电晕; ⑤耐环境应力开裂性能较聚乙烯好; ⑥耐热性能好, 长期允许运行温度可达 90°C , 且能承受短路时的 $170\sim 250^{\circ}\text{C}$ 的瞬时温度。

交联聚乙烯是由聚乙烯材料在能射线或化学剂的作用下, 使分子结构由原来的线状结构改变成三度空间网状结构, 从而大大提高了聚乙烯的耐热性和机械性能。目前在 $10\sim 35\text{kV}$ 电压等级的电力电缆中, 交联聚乙烯绝缘电缆已占了主导地位。

(三) 屏蔽层

1. 作用

6kV 及以上电压等级的电缆一般都有导体屏蔽层和绝缘屏蔽层。导体屏蔽层的作用是消除导体表面的不光滑(多股导线绞合会产生的尖端)所引起导体表面电场强度的增加, 使绝缘层和电缆导体有较好的接触。同样, 为了使绝缘层和金属护套有较好接触, 一般在绝缘层外表面均包有外屏蔽层。

2. 材料要求

油纸电缆的导体屏蔽材料一般用金属化纸带或半导电纸带。绝缘屏蔽层一般采用半导电纸带。

塑料、橡皮绝缘电缆的导体或绝缘屏蔽材料分别为半导电塑料和半导电橡皮。对于无金属护套的塑料、橡胶电缆, 在绝缘屏蔽外还包有屏蔽铜带或铜丝。

3. 结构、种类

所谓金属化纸, 就是在厚度为 0.12mm 的电缆纸的一面, 贴有厚度为 0.014mm 的铝箔。所谓半导电纸, 即在一般电缆纸浆中, 掺入胶体碳粒所制成的纸, 它的电阻率 ρ_v 为 $10^7\sim 10^9\Omega\cdot\text{m}$ 。而半导电塑料、半导电橡皮, 则要求 ρ_v 在 $10^8\Omega\cdot\text{m}$ 以下。

(四) 保护层

1. 作用

保护层的作用是保护电缆免受外界杂质和水分的侵入, 以及防止外力直接损坏电缆, 因此它的质量好坏对电缆的使用寿命有很大影响。

2. 材料要求

保护层材料的密封性和防腐性必须良好, 并且有一定机械强度。

3. 结构、种类

保护层一般是由内护套、内衬层、铠装层和外被层(或外护套)等组合而成的。为适应

不同环境场合的需要,保护层在制造时,可以采用各个部分不同组合的结构,因此在实际使用中,应注意按不同的用途选择不同结构的保护层。

(1) 内护套。其作用是密封和防腐,所以应采用密封性能好、不透气、耐热、耐寒、耐腐蚀、具有一定机械强度且柔软又可多次弯曲、容易制造和资源丰富的材料。

1) 铅护套(铅包)。在 20 世纪 60 年代前期的产品几乎全部都是这种内护套,其特点是易焊接、耐腐蚀、易加工。

2) 铝护套(铝包)。在 20 世纪 60 年代中期铅资源缺乏的情况下,就选用了铝作为内护套的制作材料,虽然易腐蚀,密封连接困难,但是由于重量轻、资源丰富,所以还是被选用作制造内护套的主要材料。因其机械强度比铅护套大得多,所以在同样条件下其厚度可比铅护套薄。为了便于弯曲,一般的铝护套都制成波纹状。

3) 聚氯乙烯护套。这是一种非金属内护套,现基本用于聚氯乙烯和交联聚乙烯绝缘电缆。它的缺点是耐热性和耐寒性都差。

4) 聚乙烯护套。其绝缘强度比聚氯乙烯高,耐热性能和耐寒性能比聚氯乙烯的好,抗渗水性也比聚氯乙烯强。

(2) 外护层。其作用是保护内护套,增强抗机械外力损伤的强度。在不同的环境中敷设电缆,对外护层的要求是不一样的,如发电厂、变电所内、隧道及电缆沟内等场合的电缆对机械加强保护的要求低,而水中敷设的电缆,需一定的抗拉强度。外护层又可分为以下四个部分。

1) 内衬层。它在内护套和铠装层之间,其作用是防止内护套受腐蚀,防止电缆在弯曲时被铠装损坏。它主要是由麻布或塑料带等软性织物涂上沥青(包绕在内护套上)的材料,只要求它具有柔软和无腐蚀性。

2) 铠装层。它在内衬层和外被层之间,其作用为防止机械外力损坏内护套。它的材料主要为钢带或钢丝,要求它应具有较高的机械强度。

3) 外被层或外护套。它在铠装层外,是电缆的最外层,其作用是防止铠装层受外界环境的腐蚀。它的材料有麻布涂沥青、聚氯乙烯或聚乙烯等,现在一般采用聚氯乙烯或聚乙烯挤塑而成的外护套形式。

4) 加强层。这层结构是充油电缆所特有的,它直接包绕在内护套外,以增强内护套的机械强度,一般由铜带或不锈钢带作为材料。它应有一定的机械强度、柔韧性和不易腐蚀。

二、常用电力电缆的种类及结构

电力电缆的种类按不同的分类方法,其种类是不一样的。若按电压等级可分为 1、3、6、10、20、35、60、110、220、330、500kV 等,若按电缆芯数可分成单芯(用于传输直流电及特殊场合,如高压电机引出线)、两芯(用于传输单相交流电或直流电)、三芯(用于三相交流电网中)、四芯(用于低压配电线路或中性点接地的三相四线制电网中)、五芯以上(工作接地和保护接地分别占用两芯)。以上这些分法都不能全面表达电缆的特性,为此,一般采用按电缆结构和绝缘材料种类的不同对电力电缆进行分类。

(一) 不滴漏油浸纸带绝缘型(统包型)电缆

1. 基本结构(见图 1-1)

这种电缆的结构与油浸纸绝缘电缆相同。线芯由铜或铝制成,是电缆的导电部分。线芯绝缘由无潮电缆纸带包绕在线芯上构成,其最外一层用色纸或印有 1、2、3 字码的纸以示相

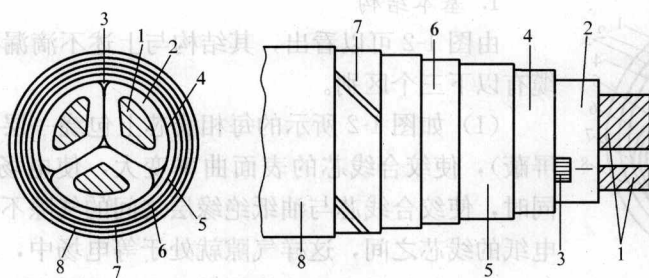


图 1-1 不滴漏油浸纸带绝缘型（统包型）电缆结构图

- 1—线芯；2—线芯绝缘；3—填料；4—带（统包）绝缘；
5—内护套；6—内衬层；7—铠装层；8—外被层（外护套）

色。填料是用无潮麻绳或纸绳将缆芯绝缘间的空隙填充，使电缆内部的空隙大大减少，从而提高电缆的电气性能。带（统包）绝缘也是用经真空干燥及不滴漏电缆油浸处理的无潮电缆纸带，将多根缆芯包绕在一起，因此，这种电缆曾被称为统包型电缆。内护套由铅或铝制成，使前述的各部分密封在护套内并将电场屏蔽。内衬层一般用沥青和麻布或厚纸、织带等包绕在内护套外。铠装层是用钢带或钢丝包绕在内衬层上，以增加电缆的机械性能。外被层是用沥青和麻布包绕在铠装层上，外护套是用聚氯乙烯挤塑在铠装层上。后者的防腐作用更强，它是电缆的最外层。

2. 电缆纸要求

（1）绝缘纸。

1) 厚度。相绝缘带的宽度一般为 14~30mm 电缆纸宽度，其厚度在 0.03~0.225mm 之间，统包绝缘带的厚度为 0.17mm。

2) 水分： $8 \pm \frac{1}{2}\%$ （未经油浸处理时）。

3) 包绕方式有衔接式、搭叠式、间隙式三种，目前带绝缘型电缆采用的方法是靠近线芯处两层和最外层用搭叠式，中间均为间隙式。

（2）半导电纸。

1) 在电缆纸的纸浆中掺入直径约为 20~300 μm 的胶体碳黑粒子制成的纸。

2) 因为绝缘层和内护层使用的材料不同，油浸纸中的油温发生变化时，其膨胀系数是铅的 7~8 倍，这样就会在绝缘和铅包之间形成永久空气隙，空气隙的绝缘性能差，在高电场中会产生游离，从而使绝缘层逐步损坏。有了半导电纸层后，使空气隙位于半导电纸与铅包之间。由于半导电纸是导电的，因此半导电纸与铅包间同电位，这样空气隙不再承受电压，防止了气体游离从而保护了绝缘层，使电缆的使用寿命延长。由于半导电纸含有胶体碳粒，还可以将绝缘层内的杂质、气体、电离产生的气体和不易发生氧化的杂质吸附，同样也可以改善绝缘层的绝缘特性。

3. 适用范围

由于三芯电缆的电场在同一个屏蔽内，电场的叠加使电缆内部的电场分布极不均匀，故而电缆绝缘层的绝缘性能就不能充分利用，因此这种结构的电缆只能用在 10kV 及以下的电压等级。

（二）不滴漏油浸纸绝缘分相型电缆

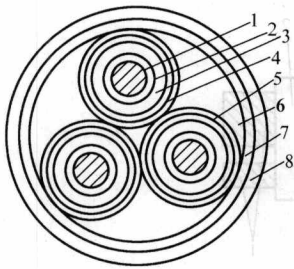


图 1-2 不滴漏油纸绝缘
分相铅包电缆结构图

1—线芯；2—线芯屏蔽；3—线
芯纸绝缘；4—绝缘屏蔽；5—铅
护套；6—内垫层及填料；7—铠
装层；8—外被层（或外护套）

1. 基本结构

由图 1-2 可以看出，其结构与上述不滴漏油浸纸带绝缘型电缆有以下三个区别。

(1) 如图 1-2 所示的每相线芯上包绕一层半导电纸（即线芯屏蔽），使绞合线芯的表面曲率变大，使电场分布变得更均匀。同时，使绞合线芯与油纸绝缘层之间的气隙不可避免地处于半导电纸的线芯之间，这样气隙就处于等电场中，不易发生游离。

(2) 每相缆芯的绝缘层外应包一层半导电纸作为绝缘屏蔽，然后挤上金属内护套，从而使每相电缆绝缘内部的电场分布均匀，绝缘层表面不产生电场应力，这样绝缘材料得到了充分应用。

(3) 填料在分相型电缆中仅起填充作用，故无绝缘要求，因此任何柔软的无腐蚀性的材料均可作为填料，一般采用麻绳作为填料。

2. 适用范围

由于结构上使电缆内部电场分布均匀和气隙减少，因此绝缘性能比前述的不滴漏油浸纸带绝缘型电缆结构好，故适用于 20~35kV 电压等级，有的还可使用在 66kV 电压等级上。

(三) 自容式充油电力电缆

1. 基本结构

单芯自容式充油电力电缆结构见图 1-3，与普通的油浸纸绝缘电缆相比有以下特点。

(1) 线芯中心由螺丝管支撑形成中心油道，油道和端部的供油装置（压力箱）连通，消除了因内部温度变化而产生的气隙，因此其允许工作场强度提高了。

(2) 为了使电缆内部的油在油道中通畅及提高浸渍补充速度，应使用低黏度的油。为了提高电缆的绝缘水平，采用的油是绝缘强度高、介质损耗低、纯净和经真空处理的低黏度的绝缘油，如十二烷基苯合成油等。

(3) 充油电力电缆在高于大气压的油压条件下工作，因而使电缆内部的气隙大大减少，油压越高则电缆内部的气隙越少，绝缘所适用的电压等级越高。由于电缆内部始终有压力存在，为了加强内护层的机械强度，在外护层中多了一层加强层的结构，这是一层比内护层机械强度高很多的材料，一般用铜带或不锈钢带包绕在内护层外，从而使内护层的机械强度增强。现有的充油电力电缆油压一般分为下列三种：

1) 低油压：0.02~0.3MPa。

2) 中油压：0.4~0.8MPa。

3) 高油压：1.0~1.5MPa。

2. 要求

(1) 电缆内部的绝缘油需经抽真空处理。

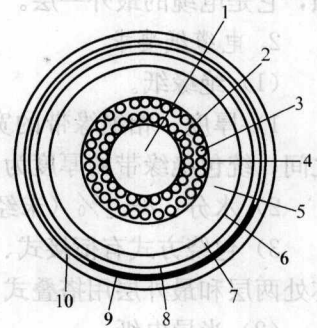


图 1-3 单芯自容式充油
电力电缆结构图

1—油道；2—螺纹管；3—线芯；
4—线芯屏蔽；5—绝缘层；6—绝
缘屏蔽；7—铅护套；8—内衬垫；
9—加强铜带；10—外护套

(2) 包绕绝缘的厚度应采用分阶绝缘方式,即根据处于不同的电场强度其厚度作相应变化,这样可以充分利用绝缘层材料的绝缘水平,降低绝缘厚度。

(3) 电缆内部不允许失压(电缆线路要求在任何时刻、任何一点的油压大于 0.02MPa)。

(4) 外护层在出厂时应经 10kV 直流耐压 1min 不击穿的合格试验(投运后其绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega/\text{km}$)。

3. 适用电压范围

由于其制造、运输、安装和接头工艺均复杂和昂贵,因此可用于超高压、大容量的输电线路。一般单芯充油电力电缆的电压等级在 $110\sim 500\text{kV}$ 之间。

(四) 橡塑电缆

1. 基本结构 (见图 1-4~图 1-5)

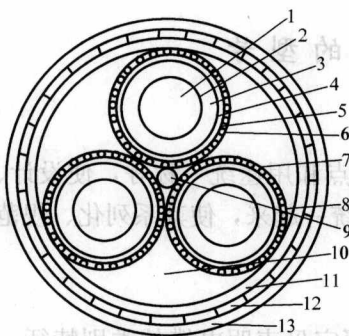


图 1-4 交联聚乙烯电缆结构

1—线芯; 2—线芯屏蔽; 3—交联聚乙烯绝缘; 4—绝缘屏蔽; 5—保护带; 6—铜丝屏蔽; 7—螺旋铜带; 8—塑料带; 9—中心填充芯; 10—填料; 11—内护套; 12—铠装层; 13—外护套

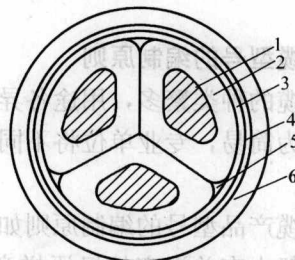


图 1-5 聚氯乙烯电缆结构

1—线芯; 2—聚氯乙烯绝缘; 3—聚氯乙烯内护套; 4—铠装层; 5—填料; 6—聚氯乙烯外护套

橡塑电缆的绝缘层是采用可塑性的材料,如橡胶、聚氯乙烯、聚乙烯和交联聚乙烯等绝缘强度高的可塑性材料,在一定的温度和压力下用挤注的方式制成的。它的半导电层和绝缘层一样,是一种半导电的橡塑材料,基本上是与绝缘层同时挤出成型的。因此该种电缆制造时,无论多长,其每相的绝缘层必是一个整体,故又称为整体绝缘层电缆。在 6kV 及以下电压等级的橡塑电缆中,只在绝缘层表面有半导电层,而在 10kV 及以上电压等级电缆中,在线芯表面和绝缘层外表都有半导电层。橡塑电缆的施工安装比较方便,故目前这种电缆的发展非常快,在 35kV 及以下电压等级的电力电缆中有取代油浸纸绝缘电缆的趋势。

2. 绝缘材料要求

(1) 绝缘层应无杂质和气泡,表面光滑。

(2) 线芯导体周围的绝缘层的厚度应均匀一致。绝缘厚度平均值应不小于规定的标称值,绝缘最薄点的厚度应不小于规定标称值的 90% ,即 0.1mm 。

3. 适用范围

由于橡塑电缆的绝缘层具有可塑性和整体性,因此,在施工弯曲时,只要绝缘层不发生

断裂或损坏，就不会影响绝缘水平。这种电缆的弯曲半径比上述纸绝缘电缆小，同时使敷设的高度差不受限制。这类电缆可适用于高落差、弯曲半径较小的场合。

(1) 交联聚乙烯绝缘电缆是一种比较理想的电缆，目前已逐步在 110~220kV 等级中使用，近几年已有 500kV 的交联聚乙烯电缆投入生产并试用。

(2) 聚氯乙烯绝缘电缆因其绝缘强度低、耐热性能差、介质损耗大，并且在燃烧时会释放氯气，对人体有害并对设备有严重的腐蚀作用，所以一般只在 6kV 及以下电压等级中应用。

(3) 橡胶绝缘电缆现在所采用的一般为乙丙橡胶（EPR）电缆。乙丙橡胶的介质损耗因数较大，因此只用在电压等级低于 138kV 的电力电缆线路中。由于乙丙橡胶有良好的抗水性，所以乙丙橡胶电缆适宜作为海底电缆；由于乙丙橡胶具有很好的柔软特性，所以更适宜在矿井和船舶上敷设使用。



第三节 电力电缆的型号

一、电缆型号的编制原则

电力电缆的种类繁多，用途各异，为了便于按其特点和用途统一称呼，使设计、订货、电缆盘标记更为简易，专业单位将不同种类的产品用型号统一起来，使其系列化、规范化、标准化。

我国电缆产品型号的编制原则如下：

(1) 一般由有关汉字的汉语拼音字母的第一个大写字母表明电缆的类别特征、绝缘种类、导体材料、内护层材料、其他特征。

(2) 对外护层的铠装类型和外被层类型则在汉语拼音字母之后用两个阿拉伯数字表示，第一位数字表示铠装层，第二位数字表示外被层。

(3) 字母的确定方法、排列顺序及含意。①一般用能说明该型号各组成部分特点的一个典型汉字的第一个拼音字母来表示，如油纸绝缘用纸（ZHI）的第一个字母 Z 表示，铅（QIANG）包用 Q 表示等；②为了减少型号字母的个数，最常见的代号可以省略，如导体材料在型号中只用 L 表明铝芯，铜芯 T 字省略，电力电缆号省略。电缆产品型号中字母含义见表 1-1。

表 1-1 电缆产品型号中字母含义

类别、特征	绝 缘	导 体	内护层	其他特征
电力电缆（省略）	Z—纸	T—铜芯（省略）	Q—铅包	D—不滴漏
K—控制	X—橡胶	L—铝芯	L—铝包	F—分相金属套
C—船用	V—PVC		Y—PE	P—屏蔽
P—信号	Y—PE		V—PVC	CY—充油
B—绝缘电线	YJ—XLPE			
ZR—阻燃				

(4) 外护层代号数字的含义见表 1-2。

表 1-2 外护层代号数字含义

代号	加 强 层	铠 装 层	外被层或外护套
0	—	无	—
1	径向铜带	连锁钢带	纤维外被
2	径向不锈钢带	双钢带	聚氯乙烯外护套
3	径、纵向铜带	细圆钢丝	聚乙烯外护套
4	径、纵向不锈钢带	粗圆钢丝	
5		皱纹钢带	
6		双铝带或铝合金带	

注 一般情况型号由两位数字组成，顺序按铠装层和外被层排列。特制外护套由三位数字组成，如充油电缆。

二、电缆型号举例

下面举例说明电缆型号的含义：

ZQ22-铜芯，纸绝缘，铅包，钢带铠装，聚氯乙烯外护套电力电缆。

ZLQD22-铜芯，不滴流纸绝缘，铅包，钢带铠装，聚氯乙烯外护套电力电缆。

ZQF22-铜芯，纸绝缘，分相铅包，钢带铠装，聚氯乙烯外护套电力电缆。

ZLL23-铝芯，纸绝缘，铅包，钢带铠装，聚乙烯外护套电力电缆。

VV22-铜芯，聚氯乙烯绝缘，钢带铠装，聚氯乙烯外护套电力电缆。

KXQ-铜芯，橡皮绝缘，裸铅包控制电缆。

YJV22-铜芯，交联聚乙烯绝缘，钢带铠装，聚氯乙烯外护套电力电缆。

三、电缆型号规范表示

设计、订货、线盘除标明型号外，还应注意工作电压、芯数、截面和长度。如 YJV22-26/35-3×400-500 GB 12706.3，表示铜芯，交联聚乙烯绝缘，钢带铠装，聚氯乙烯外护套电力电缆，额定电压为 26/35kV，三芯，标称截面 400mm²，长 500m，按 GB 12706.3 标准生产。

四、各种型号电缆的应用范围及选型原则

选型时既要保证电缆安全运行，能适应周围环境、运行安装条件要求，又要考虑经济、合理。

金属护套电缆适用外护套的主要适用敷设场所见表 1-3，非金属护套电缆适用外护套的主要适用敷设场所见表 1-4。

表 1-3 金属护套电缆适用外护套的适用敷设场所

型号	名 称	被保护的金属套	主要适用敷设场所												
			敷 设 方 式								特 殊 环 境				
			架空	室内	隧道	电缆沟	管道	一般土壤	多砾石土	竖井	水下	易燃	强电干扰	严重腐蚀	拉力
02	聚氯乙 烯外护套	铅套	△	△	△	△	△					△		△	
		铝套	△	△	△	△	△	△		△		△		△	
		皱纹钢套或铝套	△	△	△	△	△	△				△		△	