



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电线电缆结构设计

乔月纯 李吉浩 主 编
郑先锋 全峰涛 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电线电缆结构设计

顾 问	张立庆	华 峰
主 编	乔月纯	李吉浩
副主编	郑先锋	全峰涛
编 写	田 丰	陈君香
	姚 楠	常 江
主 审	王 波	李望北



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书主要讲述了电力电缆和电线的结构设计与计算。全书共分9章,主要包括电力电缆的典型结构,1~35kV电力电缆结构设计,高压和超高压电力电缆结构设计,特殊要求电力电缆的结构设计,电力电缆的电气参数和电磁力的计算,电缆的电场分布和绝缘厚度设计,电缆金属护套和铠装的损耗及厚度的计算,电缆热流场特性和载流量计算,电气装备用电线电缆的结构等。

本书根据我国电力电缆制造技术的发展,并结合近几年颁布和修订的一系列国家标准和设计规范的基础上进行编写,内容先进实用,且论述深入浅出,便于自学。

本书可作为高职高专电线电缆制造技术专业的教材,也可作为工厂职工培训教材及相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电线电缆结构设计/乔月纯,李吉浩主编. —北京:中国电力出版社,2010.12

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-1082-7

I. ①电… II. ①乔… ②李… III. ①电线—结构设计—职业教育—教材②电缆—结构设计—职业教育—教材 IV. ①TM240.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第218812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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年4月第一版 2011年4月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 16.25印张 398千字
定价 27.50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

本书以职业岗位群的基本知识和核心技能为出发点,本着“理论以必需、够用”的原则,在注重基本理论、基本概念、基本分析方法的基础上,突出应用性、综合性,力求体现高等职业教育的特点和要求。书中内容层次清晰,主次分明,循序渐进,通过反映生产实际的例题和习题,使学生熟悉电线电缆结构设计的基本原理和基本方法,提高学生查阅有关规范和标准的实际应用能力以及分析问题和解决问题的能力。

本书由乔月纯、李吉浩任主编,郑先锋、全峰涛任副主编。李吉浩、全峰涛、姚楠、常江编写第1章、第7章和附录,乔月纯编写第2章第1~2节、第3章、第4章第1~4节、第6章和第8章及全部例题和习题,天津塑力集团超高压电缆有限公司陈君香编写第2章第3~5节,河南机电高等专科学校田丰编写第4章第5~6节和第9章第6~8节,郑先锋编写第5章和第9章第1~5节。全书由乔月纯修改并统稿,由王波、李望北主审。

本书在编写过程中,曾得到国家电网公司电力科学研究院杨荣凯、徐明忠,河南机电高等专科学校王卫东、常文平等专家学者的支持和帮助,在此表示感谢。同时,还要感谢河南机电高等专科学校电缆054班部分同学在收集和整理资料过程中给予的支持。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评、指正。

编者

2010年9月

目 录

前言

1 电线电缆概述	1
1.1 电线电缆的用途及分类	1
1.2 电线电缆的选用	3
习题	6
2 电力电缆的典型结构与材料	7
2.1 统包型和分相屏蔽型电力电缆的结构	7
2.2 电线电缆用导体的结构与材料	8
2.3 电力电缆绝缘层的结构与材料	29
2.4 电力电缆屏蔽层的结构与材料	34
2.5 电力电缆护层的结构与材料	36
习题	42
3 1~35kV 电力电缆结构设计	43
3.1 1~35kV 挤包绝缘电力电缆	43
3.2 高压和超高压 XLPE 绝缘电力电缆	55
3.3 高压和超高压充油电缆	67
习题	72
4 不同敷设环境用电缆的结构设计	73
4.1 阻水电力电缆	73
4.2 阻燃和耐火电缆	76
4.3 矿物绝缘电缆	82
4.4 防白蚁电力电缆	87
4.5 风力发电用耐扭曲软电缆	88
4.6 架空绝缘电缆	100
习题	106
5 电缆电气参数和电磁力的计算	107
5.1 导体的直流电阻和交流电阻	107
5.2 电缆的电感	112
5.3 电缆的绝缘电阻和介质损耗	118
5.4 电缆的电容	121
5.5 电缆中的电磁力	122
习题	125

6	电缆的电场分布及绝缘厚度设计	126
6.1	电缆绝缘层中的电场分布与计算	126
6.2	电缆绝缘的老化与寿命	130
6.3	电缆绝缘层的击穿统计理论	133
6.4	电缆在运行中承受的电压	137
6.5	电缆绝缘层厚度的设计	141
	习题	146
7	电缆金属护层的感应电动势和损耗	148
7.1	电缆金属护套或屏蔽层中的电感和感应电动势	148
7.2	电缆金属护套或屏蔽中的损耗	156
7.3	电缆铠装及钢管中的损耗	164
7.4	电缆金属护层厚度的确定	167
	习题	170
8	电缆热流场特性和载流量计算	171
8.1	电缆的发热方程和等效热路	171
8.2	电缆本体各部分热阻的计算	177
8.3	电缆周围媒质热阻的计算	182
8.4	电缆恒定负载下连续额定载流量的计算	194
8.5	电缆短时负载电流的计算	198
8.6	电缆短路电流和短路温度的计算	202
8.7	影响电缆载流量的因素	205
8.8	电缆发热与散热的关系曲线	207
	习题	209
9	电气装备用电线电缆的结构	210
9.1	概述	210
9.2	低压通用塑料和橡皮绝缘电线电缆	215
9.3	计测、信号和控制电缆	217
9.4	电机电器、仪器仪表用电线电缆	220
9.5	交通运输设备用电线电缆	224
9.6	石油探测开采和矿用电缆	233
9.7	直流高压软电缆	244
9.8	核电站用电缆	245
	习题	249
	附录 确定护层尺寸的假设计算方法	250
	参考文献	254

电线电缆概述

自 1836 年世界上生产出第一条低压电力电线（橡皮带绕包铜导线）至今，电线电缆已发展成为用途广泛、品种繁多的一大产品类别。我国电线电缆行业经过 70 多年的发展，也取得了较大的进步，生产的电线电缆有 200 多个品种、25 000 多个型号规格。本章简述电线电缆的用途、分类及选用。

1.1 电线电缆的用途及分类

1.1.1 电线电缆的用途

电线电缆是用于传输电能、传递信息、实现电磁能量转换或作为电气设备内部的连接线的的一大类电工产品，其应用可归纳为以下三大领域。

一、传输电能

从发电厂发出的电能到用电户可能有成百上千千米的输电距离，为了减少远距离输电线路上的导体电阻损耗，要将发出的电能经过变电站升至高压后再把电能（经超高压电缆和架空裸导线）传输到用电地区，然后经变电站逐级降压变配电，最终到达用电点实施供电。因此，发电厂、变电站、用户之间就靠电线电缆连接成发电—输配电—用电的整个电力系统。在电力系统中，输、配、供电各级要采用不同电压等级的电线电缆，包括架空导线、架空绝缘电缆、电力电缆、母线（汇流排）以及主要供用电设备用的电气装备用电缆。

二、传递信息

1841 年敷设了世界上第一条海底电报线路。如今，世界范围内的音频传输、视频传输、宽带数据传输、无线与有线的互联、太空与地面的互联以及家庭与世界的互联等现代通信技术的发展，带动了市话电缆、同轴电缆、电子线缆、射频电缆和光缆制造业的发展。

广义来说，各种控制与测试系统中用的电线电缆，也属于传送信号的通信电线电缆，它把信号从一个系统传送到另一个系统，或从一个系统内部把信号从一个部件传送到另一个部件，以实现该系统或装置的控制作用和测试目的。但在五大分类中，控制与测试系统中用的电线电缆是属于电气装备用电线电缆类别。

三、能量转换或设备连接

在电力和信息两大系统中，从系统源头（如发电机、信息发射机）经过系统中无数个节点（如变压器、程控交换机）到用户终端（如家电、电视、电脑），使用着无数电工设备、电气仪表，它们都使用大量的电线电缆，如发电机、电动机、变压器、仪表内部用于变换电磁场、产生电磁力用的绕组线（做成线圈）以及电工电子、通信设备、开关柜、仪器仪表、家电等装置内作为各元器件的连接线。

1.1.2 电线电缆的分类

电线电缆按其结构、性能及应用不同，可分为裸导线（架空导线）与裸导体、电力电

缆、电气装备用电线电缆、绕组线（电磁线）、通信电缆和光缆五个大类，每个大类以下又依次分为小类、系列、品种、规格等。

一、裸导线（架空导线）与裸导体

这类产品是只有导体没有绝缘层的产品。它本身不分电压等级，同一系列的导线原则上从低压到中压再到高压都可以使用。但 330kV 及以上输电线路用导线为减少导线表面的电晕（电场使周围空气电离，会增大线路损耗），对导线表面及外径大小有特殊要求。如用导电性能好的铜、铝及其合金做成的架空导线，以及铜、铝汇流排（母线）和特种导电制品，必须在安装时加装绝缘体相互隔离，如架空导线安装在一定高度的铁塔或线杆上，并使各相导线之间保持足够距离，同时以绝缘子使导线与铁塔或混凝土杆绝缘，其加工技术是属于有色金属的压力加工（如拉制、绞合等）。

二、电力电缆

由导体、绝缘层、屏蔽层（可以没有）和护层组成。根据绝缘材料不同可分为油浸纸绝缘电缆、塑料绝缘电缆、橡皮绝缘电缆、充油电缆和固体（MgO 粉末）绝缘电缆。电力电缆结构较复杂、制造工序较多、造价较高，一般用于城市的输配电线路和工矿企业的动力引入和厂区的主干线路，或跨越江河、海峡、铁路站场、贯穿地下的隧道等不宜采用架空线的场合；并且不需架设杆塔，既美化市容市貌，又相对安全。电力电缆是强电传输（高电压、大电流），其技术性能主要是导体具有高的导电性、绝缘在高电场下的稳定可靠性及电场均匀性、电缆整体结构发热与散热的平衡性、电动应力以及机械力的承受能力。

三、电气装备用电线电缆

电气装备用电线电缆使用范围很广，品种系列繁多，生产量大，工艺种类繁杂。主要涉及供电、配电和用电所需要的各种通用或专用的电线电缆，各种电气设备内部的连接安装线，石油矿山探测开采用电线电缆，交通运输及航空航天器具用电线电缆，以及控制、信号、仪表和测温等弱电系统中所使用的电线电缆。

多数产品的工作电压不高，但由于使用要求各不相同，其性能指标差异很大。如耐高、低温，抗屏蔽性，耐弯曲疲劳、柔软，抗拉抗压、抗震动、抗扭转，耐臭氧、耐大气、耐油或溶剂，耐辐照，阻燃、耐火等，有些要求还是综合性的，这就导致该类产品在结构设计、材料选择、加工工艺及试验方面都具有针对性。如热工仪表用线缆要在很高的温度（350℃、500℃）环境下工作；有的计测控制用线缆要抵抗多种类型的电磁场干扰；石油钻井平台或机器人用线缆要求特别柔软，并能承受几万次的小半径弯曲而不扭曲、不断裂等。

按照使用要求或使用场合的不同，有许多通用产品系列，以满足一般环境和大多数使用条件的需要，如通用绝缘电线、绝缘软线，通用橡胶套电缆等。对于许多特殊使用环境及特殊设备专用电缆，则需要设计和制造各种专用产品和特殊产品。如船用、汽车用、飞机用、矿用、高温计测用以及特别柔软型等产品。详见 9 电气装备用电线电缆的结构。

四、绕组线（电磁线）

产品按绝缘分为漆包线和绕包线两个小类，主要用做电机、电器、变压器、电抗器以及其他电气设备的绕组线圈。其技术特性除了导电和绝缘性能外，主要是适应安装的要求，即所属电机电器的耐温等级、与周围材料的化学相容性、安装时的柔软性和耐刮性等。

五、通信电缆和光缆

以往的通信电缆主要包括对称电缆和同轴电缆。近年来，随着光缆产品的发展和大规模

应用,使信息传输系统用电线电缆产品迅速发展。其技术理论是电磁波和光波的有线传输理论,要求导体的电导率很高,绝缘电阻很大而介电常数很小,整根导体上结构尺寸的均匀性、一致性以及对金属导体通信电缆的高屏蔽性,以保证以极高速率将信息准确、清晰地传递到接收方。

对称电缆亦称市话电缆,是由一对电线构成的一个通信回路,多对这样的回路绞合在一起,外面再加上保护层,就构成了对称电缆。它传输的信号频带较窄,传输的距离较短,多用于城市内的电话通信。同轴电缆是由同轴心的内外导体构成,内导体为导体线芯,外导体是同轴空心圆管,两导体间用介质损耗很小的绝缘材料支撑。它输送的信号频带很宽,传输的距离也比较长。光缆是由光纤和包层构成同轴圆柱体,外面再加一层缓冲保护层。它传输的是光信号,传输频带更宽,衰减更小,可用于传输超高频信号和长距离输送通信信号。

1.2 电线电缆的选用

电线电缆必须保证供电线路长期安全可靠地运行,以免造成国家财产和人身安全的重大损失。在电线电缆事故中,除了电线电缆本身质量引起之外,有些是由于电线电缆的选用和使用不当引起的。因此必须正确、合理地选择和使用电线电缆。

1.2.1 考虑电线电缆的工作条件

一、电压类型和电压等级要与系统电压相符合

(1) 电压类型。电线电缆在不同的使用场合下,承受的电压可能是直流、交流、脉冲等不同类型,交流电压的波形和频率也可能不同。对于不同类型的电压,绝缘体的击穿机理和损耗机理都不同。导体由于集肤效应等的影响,导电性能也会有变化,因此在不同类型电压下使用的电线电缆在结构和材料上都有许多差别。如直流电缆与交流电缆相比,电场分布不同,在直流电缆中场强是按绝缘材料的电阻率正比来分配的,而在交流电缆中场强是按介电常数反比来分配的;对同样的绝缘材料,直流电压下的击穿电压高,介质损耗小,因此直流电缆就不能用到同一电压等级的交流电压下工作(直流 100kV 仅能用于交流 35kV 下)。

(2) 电压等级。电线电缆承受的工作电压,大致分为 220/380、300/500V, 0.6/1、1.8/3、3.6/6、6/10、8.7/10、21/35、26/35、64/110、127/220、190/330、290/500kV 等。电压等级不同,其绝缘材料和绝缘厚度各不相同,电缆的结构设计也不同。如通用橡皮或聚氯乙烯绝缘一般只用在 6kV 及以下电压等级;交联聚乙烯绝缘可用于上述所有电压等级,但其结构、材料和交联工艺及设备各不相同;乙丙橡皮绝缘多用于 35kV 及以下电压等级,也可用于 110kV 等级;自容式充油电缆可用于 110~500kV 或更高电压等级。

另外,我国中低压供电系统大多采用消弧线圈接地系统,当 A、B、C 三相有一相因故障接地时,另两相的对地电压就变成了对地故障的线电压,即为正常相电压的 1.73 倍。因此,如果选用 GB/T 12706—2008《额定电压 1kV ($U_m = 1.2kV$) 到 35kV ($U_m = 40.5kV$) 挤包绝缘电力电缆及附件》C 类接地系统时,应选用相电压较高(即绝缘较厚)的电缆,如 6/10kV 和 8.7/10kV, 21/35kV 和 26/35kV 均应选择后者。

二、额定载流量(允许发热条件)与经济电流相结合

按照额定载流量选择电缆截面积,是目前电力电缆设计和运行单位为降低工程造价而普

遍采用的一种方法。该方法同时考虑短路电流及环境温度差异、直埋敷设时土壤热阻系数差异、多根并列方式、户外架空敷设日照等影响因素，并对其进行适当校正。其理论依据是，电缆在正常运行或短路情况下，导体的最高工作温度应不超过绝缘材料最高允许温度，以确保电缆长期安全稳定地运行。这种方法的优点是初期投资成本低，降低工程造价；缺点是电缆正常运行导体温度高，接近绝缘最高允许工作温度，使线路损耗增大，以致本来就紧张的电能损耗在电缆发热上，并使线路安全性能下降，经济运行寿命周期内维护成本增加。

按照经济电流密度来选择电缆截面积，是在保证安全运行的条件下，达到初始投资和经济运行寿命周期内线路损耗总费用最少的目的。其优点是电缆正常运行时导体温度较低（40℃左右），线损小，线路的安全性能高，经济运行年限内线路的维护成本小；缺点是按经济电流密度方法选择电缆截面积，一般比按使用允许载流量来选择的电缆截面积大1~4级，从而使电缆初期投资增加较多。2000年我国发布等同采用 IEC 60287-3-2 的 JB/T 10181.6—2000《电缆载流量计算 第3部分：电力电缆截面的经济优化选择》，至此，我国开始大力推广应用，特别是在高压架空输电电路上，已经取得很大的经济效益。

1.2.2 考虑电缆的热性能参数

一、允许的长期工作温度

对于不同绝缘材料，其电线电缆导体允许的长期工作温度不同。例如：PVC为70℃、PE为70℃、XLPE为90℃、EPR为90℃、F46为-85~200℃、硅橡胶（HTV）为-90~250℃。国际上电缆热寿命按著名的阿仑尼乌斯（S. Arrhenius）方程计算，同种电线电缆导体长期工作温度越高，其使用寿命越短。如XLPE绝缘电缆在长期工作温度不超过90℃情况下，其寿命不少于40年。若长期工作温度每提高8℃，则热寿命降低一半。

二、允许的短路工作温度

不同绝缘材料的允许短路工作温度不同。GB/T 12706.1—2008《额定电压1kV（ $U_m=1.2kV$ ）到35kV（ $U_m=40.5kV$ ）挤包绝缘电力电缆及附件 第1部分：额定电压1kV（ $U_m=1.2kV$ ）和3kV（ $U_m=3.6kV$ ）电缆》给出了短路时导体的最高温度（短路时间最长持续5s），如导体截面积300mm²及以下的PVC绝缘为160℃、导体截面积300mm²以上为140℃，XLPE绝缘和EPR绝缘为250℃。如果在允许短路温度下，短路时间超过5s或导体最高温度超过规定的允许温度，将会对电线电缆造成致命的损伤。

三、允许的短时过负荷温度

对于电线电缆短时过负荷温度及时间，我国没有相关规定，其他国家也没有规定，一般推荐不超过120℃。美国电机制造商协会（NEMA）标准规定：如果负荷超过10%，时间应不超过15min，短时超负荷导体温度应小于130℃。长时间连续过载下运行，对电缆的使用寿命也有非常大的影响。过载温度时的过载电流与额定温度时的额定电流之比称为过载系数，见表1-1。

表 1-1

交联聚乙烯绝缘电缆过载时温度与过载系数

短时过载时的温度（℃）	95	100	105	110	115	120	125	130
过载系数	1.04	1.08	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27

四、电缆的并联使用

有的用户在扩容改造老线路时，原来电缆的载流量达不到要求，考虑到经济性，就在原有线路上并联一根电缆以便达到扩容负荷。对于相同截面积的两根电缆，其电阻相同，电流也相同。

但在使用过程中，由于受到环境温度和负荷的影响，电缆导体的温度可能会有较大波动，出现热胀冷缩现象。如果其中一根电缆接头出现接触不良或松动（接触电阻增加），就会造成两根电缆的导体电阻不一致，导致其中一根电阻小的电缆的电流有较大的增加，从而造成电缆急剧发热甚至击穿或电气配电柜烧坏的事故。电缆线路越短，导体截面积越大，这种危险性越大。

1.2.3 考虑敷设方式、环境和气候条件

电线电缆敷设方式主要有直埋、管道、电缆沟、桥架、悬挂（垂）、垂直固定等。

当电缆直埋于流沙层和回填土地带（落差较大）时，要承受大的拉力和压力，可选用钢丝或钢带铠装电缆；在潮湿渗水的环境中或在江河、海峡水下敷设的中高压电缆要有径向防水层（铝塑综合护套或金属护套）和纵向阻水结构，并有钢丝铠装；直埋于受鼠类、白蚁侵蚀的地区，要采用防蚁、防鼠电线电缆，可采取物理方法（使用邵氏硬度大于70的护套料）和化学方法（护套材料中加入环保型驱避剂）相结合。

金属铝护套电缆可使用在腐蚀较严重，但无硝酸、醋酸、有机质（如泥煤）及强碱性腐蚀质，且受机械力（拉力、压力、振动等）不大的场所。皱纹铝护套电缆可用于腐蚀不严重和要求承受一定机械力的场所（如直接与变压器连接，敷设在桥梁上和竖井中等）。不锈钢护套电缆可用于腐蚀严重或承受机械力比铝护套更大的场所。若传输距离越远，电缆越长，传输的电能损耗越大，同时承受的机械应力也大，应考虑选用合适的电缆。

电缆用在寒冷地区要用耐寒型电缆，如环境温度低于 -20°C 就不宜使用PVC绝缘电线电缆，可选用交联聚乙烯、耐寒橡皮、硅橡胶、氟塑料绝缘电缆。温度高于 60°C 以上的场所应根据经受的高温、持续时间和绝缘类型要求，选用耐热聚氯乙烯、交联聚乙烯、辐照交联聚乙烯或乙丙橡皮绝缘等耐热型电缆。温度在 100°C 以上的高温场所可选用氟塑料、硅橡胶、聚酰亚胺、聚醚砜、聚醚醚酮等绝缘或矿物绝缘电缆。在核电站等放射线作用场合宜选用聚醚酰亚胺、乙丙橡皮、交联聚乙烯绝缘电缆。在高原地区等紫外线较强的场合，要选择耐紫外线（日光）老化的电缆。

敷设在高原地区的大气空间的电缆，因空气稀薄、大气压低，端部容易表面放电，保护层容易膨胀，应采取相应措施。

1.2.4 考虑敷设条件与性能要求

阻燃与非阻燃电线电缆或阻燃耐火等级不一样的电线电缆不宜敷设在同一通道内；直埋或单独穿管的电线电缆可以选用非阻燃电线电缆；敷设于半密封桥架、带盖板的电缆沟内的电线电缆，阻燃性能可以降低一个等级；空气流动较好、接近火种或火种易到达地区所选择的电线电缆其阻燃性能要提高一个等级。当同一通道中细电线电缆（直径小于20mm）居多时，其阻燃要从严考虑；粗电线电缆（直径大于40mm）居多时，其阻燃性能宜选偏低类别；对于高层建筑、银行金融中心、大型超市等重要建筑、重点区域，都应选择A类阻燃

电缆。

控制电缆、耐火电缆、220kV 及以上电力电缆、用于振动剧烈、靠近高温设备的场合以及重要电源、移动式电气设备等需要保持高可靠性连接的回路，应采用铜芯电线电缆。

220kV 及以上高压配电装置，宜选用 0.6/1kV 的控制电缆，或在有良好屏蔽时可选用 450/750V 的控制电缆。

习 题

1. 电线电缆的用途和分类是怎样的？
2. 如何正确、合理地选择电线电缆？

电力电缆的典型结构与材料

电力电缆广泛用于输电和配电网络，要求能长期安全可靠地传输电能。结构设计上要求电缆具有优良的绝缘性能，良好的耐热老化性，足够的机械强度等。对于1~35kV的中低压电力电缆，除截面积较大的采用单芯结构外，大多数采用多芯结构；而对于110kV及以上的高压电力电缆，应为单芯结构。本章主要讲述电力电缆导体、绝缘、屏蔽和护层的结构与材料。

2.1 统包型和分相屏蔽型电力电缆的结构

按绝缘层内电场分布的不同，多芯电缆分为统包（或带绝缘）型电缆和分相屏蔽（或分相铅包）型电缆。

一、统包（或带绝缘）型电缆

统包（或带绝缘）型电缆都是对多芯较低电压电缆而言的。统包型用于挤包绝缘，带绝缘型用于油浸纸绝缘。

统包型即先将制好的每相绝缘线芯进行绞合填充成缆，再统包金属层（屏蔽、同心导体、金属护套或铠装），最后挤包外护层而成，如图2-1所示。带绝缘型是在绝缘线芯绞合成缆后，在缆芯外再绕包一定厚度的纸带绝缘（以使相对相之间和相对地之间具有相同的耐电强度），经干燥浸渍后再挤包铅护套，最后挤包外护层，如图2-2所示。

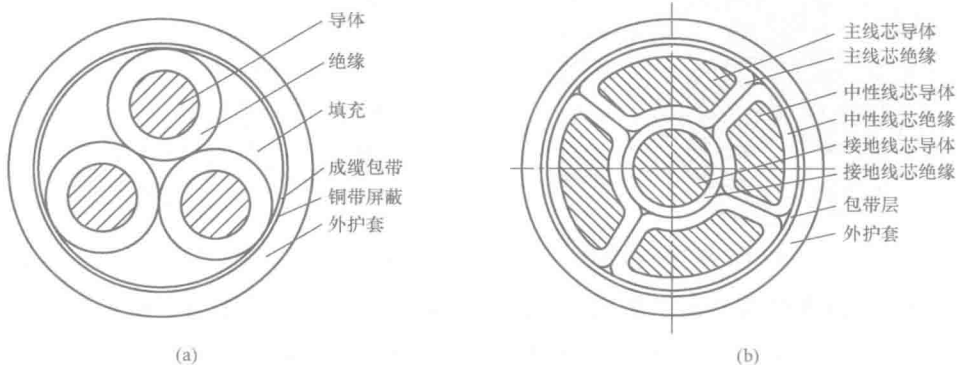


图 2-1 统包型电缆结构
(a) 三芯圆形；(b) 五芯瓦型

统包型或带绝缘型电缆的电场分布很不均匀，各相绝缘和填充物都受到时刻在变化的电场作用，电力线既有径向分量，也有切向分量，故也称非径向型电缆，其电力线在不同时刻的分布如图2-3所示。

由于切向场强分量易使塑料绝缘产生树枝老化，并且填充物比绝缘的耐电强度低，从而使整个电缆的耐电强度不高。因此，统包型结构多用于0.6/1kV、1.8/3kV电压等级的PVC绝缘、XLPE绝缘和EPR（HEPR）绝缘电力电缆。1kV电缆的电压低，电场强度小，对绝缘电

性能的要求不高,除截面积较小的电缆采用多芯圆形统包结构外,截面积较大的电缆多采用扇形或瓦型多芯结构,如三相系统用的三芯电缆、三相四线制用的四芯电缆、三相五线制用的五芯电缆,以节省材料。1.8/3kV 电缆必须有金属屏蔽层,主要采用三芯统包圆型结构。



图 2-2 三芯扇形带绝缘电缆结构

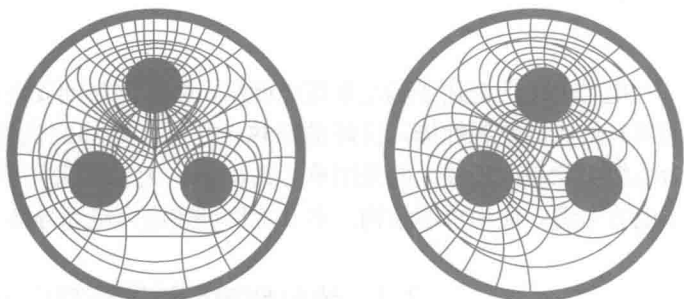


图 2-3 非径向型电缆不同时刻的电力线分布

二、分相屏蔽（或分相铅包）型电缆

在每相绝缘线芯制成后,先包金属屏蔽或金属护套(铅套或铝套),然后经填充成缆、挤隔离套或内衬层、金属铠装(如果有)、挤外护套而制成的多芯电缆,称为分相屏蔽(或分相铅包)电缆,如图 2-4 所示。

分相屏蔽型电缆能将电场屏蔽在每一相的绝缘层内,每一相的金属屏蔽层外无电场,即耐电强度较低的填充物不受电场作用,电力线全部沿每相绝缘芯的径向(又称径向型电缆),无切向场强分量,其电场分布如图 2-5 所示。

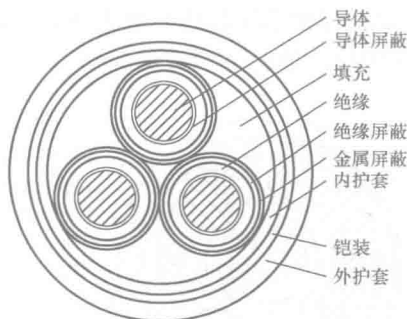


图 2-4 分相屏蔽型电缆结构

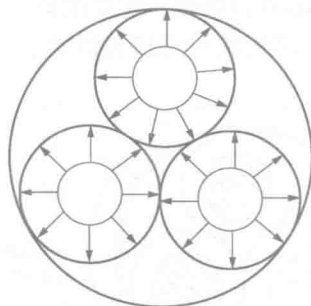


图 2-5 径向型电缆的电场分布

由于分相屏蔽使电缆绝缘的耐击穿强度比统包型高许多,所使用的电压等级也提高很多。因此,6kV 及以上电力电缆多采用圆型分相屏蔽结构,以提高绝缘的耐击穿强度。截面积较大的电缆可采用单芯结构。

2.2 电线电缆用导体的结构与材料

电线电缆导体的结构包括实心导体和绞合导体。绞合导体如作为导线直接用于架空输电线路,称为裸绞线,如果作为电线电缆的导体用于供配电线路时,称为电缆的导体(或导电线芯)。

2.2.1 电线电缆用导体的类型及要求

根据 GB/T 3956—2008《电缆的导体》规定,电线电缆用导体分为四种(即第 1 种、第 2

种、第5种和第6种)。第1种和第2种导体用于固定敷设的电缆中,包括实心 and 绞合铜、铝及铝合金导体,由不镀金属或镀金属的退火铜线组成,或由铝或铝合金线组成。第5种和第6种导体用于软电缆和软线中,也可用于固定敷设,由不镀金属或镀金属的退火铜线构成。

一、实心导体(第1种)

(1) 实心铜导体应为圆形截面,标称截面积 25mm^2 及以上的实心铜导体仅用于特殊类型的电缆(如矿物绝缘电缆)。

(2) 截面积 $10\sim 35\text{mm}^2$ 的实心铝导体或实心铝合金导体应是圆形截面。更大尺寸的导体,对于单芯电缆应是圆形截面;对多芯电缆可以是圆形或成型截面。

(3) 实心圆形铜导体、铝导体和铝合金导体的直径应符合表2-1的尺寸范围。

(4) 按规定测量时,每根导体 20°C 时的电阻值应不超过表2-2规定的最大值。

表2-1

导体的直径

单位: mm

标称截面积 (mm^2)	固定敷设用电缆导体						软导体 (第5种、 第6种)	
	实心导体(第1种)				紧压绞合圆形导体 (第2种)			绞合导体 (第2种)
	最小直径		最大直径		最小直径	最大直径	最大直径	最大直径
	铜	铝或铝合金	铜	铝或铝合金	铜、铝或铝合金		铜、铝或 铝合金	铜
0.5			0.9				1.1	1.1
0.75			1				1.2	1.3
1			1.2				1.4	1.5
1.5			1.5				1.7	1.8
2.5			1.9				2.2	2.4
4			2.4				2.7	3
6			2.9				3.3	3.9
10	3.4	3.4	3.7	3.7	3.6	4	4.2	5.1
16	4.1	4.1	4.6	4.6	4.6	5.2	5.3	6.3
25	5.2	5.2	5.7	5.7	5.6	6.5	6.6	7.8
35	6.1	6.1	6.7	6.7	6.6	7.5	7.9	9.2
50	7.2	7.2	7.8	7.8	7.7	8.6	9.1	11
70	8.7	8.7	9.4	9.4	9.3	10.2	11	13.1
95	10.3	10.3	11	11	11	12	12.9	15.1
120	11.6	11.6	12.4	12.4	12.3	13.5	14.5	17
150	12.9	12.9	13.8	13.8	13.7	15	16.2	19
185	14.5	14.5	15.4	15.4	15.3	16.8	18	21
240	16.7	16.7	17.6	17.6	17.6	19.2	20.6	24
300	18.8	18.8	19.8	19.8	19.7	21.6	23.1	27
400	21.2	21.2	22.2	22.2	22.3	24.6	26.1	31
500		24	—	25.1	25.3	27.6	29.2	35
630		27.3	—	28.4	28.7	32.5	33.2	39
800		30.9	—	32.1			37.6	—
1000		34.8	—	36			42.2	—
1200		37.8		39				

注 1. 软导体的数值对第5种和第6种导体均适用。

2. 由于紧压技术通常未确定,截面积 630mm^2 以上导体的尺寸范围未作规定。

3. 对 $1.5\sim 6\text{mm}^2$ 范围的紧压铜导体,未给出数值。

表 2-2 单芯和多芯电缆用第 1 种实心导体 20℃ 的电阻值

标称截面积 (mm ²)	20℃时导体最大电阻 (Ω/km)		
	圆形退火铜导体		圆形或成型铝导体和 铝合金导体
	不镀金属	镀金属	
0.5	36	36.7	—
0.75	24.5	24.8	—
1	18.1	18.2	—
1.5	12.1	12.2	—
2.5	7.41	7.56	—
4	4.61	4.7	—
6	3.08	3.11	—
10	1.83	1.84	3.08
16	1.15	1.16	1.91
25	0.727	—	1.2
35	0.524	—	0.868
50	0.387	—	0.641
70	0.268	—	0.443
95	0.193	—	0.32
120	0.153	—	0.253
150	0.124	—	0.206
185	0.101	—	0.164
240	0.0775	—	0.125
300	0.062	—	0.1
400	0.0465	—	0.0778
500	—	—	0.0605
630	—	—	0.0469
800	—	—	0.0367
1000	—	—	0.0291
1200	—	—	0.0247

注 1. 实心铝合金导体的电阻为与相同标称截面铝导体的电阻值乘以 1.162。

2. 对于截面积 95~300mm² 的铝或铝合金导体单芯电缆, 四根扇形成型导体可以组合成一根圆形导体。该组合导体的最大电阻值应为单根构件导体的 25%。

二、非紧压绞合圆形导体 (第 2 种)

(1) 非紧压绞合圆形导体的最大直径不应大于表 2-1 的相应值, 每根导体的单线根数应不少于表 2-3 的规定值, 且单线的标称直径应相同。

(2) 绞合铝导体或铝合金导体的截面积应不小于 10mm²。

(3) 每种导体 20℃ 时的测定电阻值不应超过表 2-3 规定的最大值。

表 2-3 单芯和多芯电缆用第 2 种绞合导体的最少单线数量和最大电阻

标称截面积 (mm ²)	导体的最少单线数量 (根)						20℃时导体最大电阻 (Ω/km)		
	圆 形		紧压圆形		成 型		退火铜导体		铝或铝合金 导体 ^①
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	不镀金属 单线	镀金属 单线	
0.5	7	—	—	—	—	—	36	36.7	—
0.75	7	—	—	—	—	—	24.5	24.8	—
1	7	—	—	—	—	—	18.1	18.2	—
1.5	7	—	6	—	—	—	12.1	12.2	—
2.5	7	—	6	—	—	—	7.41	7.56	—
4	7	—	6	—	—	—	4.61	4.7	—
6	7	—	6	—	—	—	3.08	3.11	—
10	7	7	6	6	—	—	1.83	1.84	3.08
16	7	7	6	6	—	—	1.15	1.16	1.91
25	7	7	6	6	6	6	0.727	0.734	1.2
35	7	7	6	6	6	6	0.524	0.529	0.868
50	19	19	6	6	6	6	0.387	0.391	0.641
70	19	19	12	12	12	12	0.268	0.27	0.443
95	19	19	15	15	15	15	0.193	0.195	0.32
120	37	37	18	15	18	15	0.153	0.154	0.253
150	37	37	18	15	18	15	0.124	0.126	0.206
185	37	37	30	30	30	30	0.0991	0.1	0.164
240	37	37	34	30	34	30	0.0754	0.0762	0.125
300	61	61	34	30	34	30	0.0601	0.0607	0.1
400	61	61	53	53	53	53	0.047	0.0475	0.0778
500	61	61	53	53	53	53	0.0366	0.0369	0.0605
630	91	91	53	53	53	53	0.0283	0.0286	0.0469
800	91	91	53	53	—	—	0.0221	0.0224	0.0367
1000	91	91	53	53	—	—	0.0176	0.0177	0.0291
1200	②						0.0151	0.0151	0.0247
(1400) ^③							0.0129	0.0129	0.0212
1600							0.0113	0.0113	0.0186
(1800) ^③							0.0101	0.0101	0.0165
2000							0.009	0.009	0.0149
2500							0.0072	0.0072	0.0127

① 对于与铝导体标称截面积相同的绞合铝合金导体，其电阻值由制造方与买方商定。

② 标称截面积 1200~2500mm² 的最小单线数量未作规定，可由 4~6 个分割导体构成。

③ 括号内的尺寸不推荐。