

能源革命与绿色发展丛书



SELECTION AND APPLICATION OF CABLE

电缆的选型与应用

常瑞增 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电缆的选型与应用

主编 常瑞增



机械工业出版社

本书介绍了220kV及以下电缆的选型和应用；包括对导电线芯、绝缘层和保护层材质的比较和选用；对电缆额定电压、中高压电缆金属护层的感应电压和电流等基本性能的选用；按稳定负荷、断续和短时负荷、冲击负荷、允许电压降、短路热稳定、经济电流密度等要求选择电缆截面积；对中性线、保护接地线、金属屏蔽层截面积的选用；对交联聚乙烯绝缘电缆、阻燃电缆、耐火电缆、矿物绝缘电缆、预制分支电力电缆、防（耐）水电力电缆、风电用耐扭曲电力电缆、耐高温电缆、交联聚乙烯绝缘耐寒电缆、防白蚁电缆、氟塑料绝缘电力电缆、通用橡套软电缆、矿用橡套软电缆、船用乙丙橡胶绝缘电缆、常用控制电缆、本质安全型信号控制电缆、常用计算机电缆、中、低压变频器专用电缆、高铁和城市轨道交通用控制信号电缆和交、直流牵引电缆、海底电力电缆、光纤复合低压电力电缆、海底光纤复合电力电缆、光纤电力复合扁形橡套软电缆、电缆附件、电缆型号等内容，说明了其结构特征、技术性能，总结了选用的方法、经验和注意事项，给出许多算例和应用实例。在满足规范标准的前提下和设备电网需求的基础上，探讨了电缆选用的合理性、经济性和实用性。

本书是电气设计、管理和施工维修人员选用电缆的重要工具用书，可供电缆生产和科研部门的技术人员使用以及编写电缆招、投标书人员参考，也可以作为大专院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

电缆的选型与应用/常瑞增主编. —北京：机械工业出版社，2016.6
ISBN 978-7-111-53973-5

I. ①电… II. ①常… III. ①电缆—基本知识 IV. ①TM246

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 126609 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：林春泉 责任编辑：林春泉

责任印制：常天培 责任校对：胡艳萍 陈秀丽

北京京丰印刷厂印刷

2016 年 11 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·25.5 印张·621 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-53973-5

定价：78.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

前言

随着新电缆材料的研发、生产,以及电缆制造工艺、设备的不断进步,越来越多的新型电缆正在生产和应用。如交联聚乙烯电缆的制造工艺采用了多项新技术,使其品质越来越优秀,已基本取代了常规的油浸纸绝缘电缆。近年来,超净交联聚乙烯通过化学交联工艺成功地进入超高压电缆市场,大有与充油电缆一决雌雄的趋势。

曾进入辉煌发展年代的聚氯乙烯绝缘电缆因其绝缘燃烧时会释放出氯化氢等有毒气体,危害人体健康。另外,它的稳定剂通常含有重金属,经废弃掩埋后会向外扩散、污染环境。有些地区已明文规定在配电网中不再采用聚氯乙烯绝缘电缆或限制它的生产使用。

合成的乙丙橡胶具有优良的绝缘、耐热老化性能,尤其是其工作温度(90°C)比天然(丁苯)橡胶高 25°C ,得到越来越广泛的应用,合成的乙丙橡胶软电缆大有取代资源匮乏、价格昂贵的天然橡胶软电缆的趋势。

随着城市和工厂经济建设规模的不断扩大,用电负荷的大量增加,在城市中心地区、人口稠密的小区、工厂内部等地设置了 35kV 、 110kV ,甚至 220kV 室内变配电站,为了供电安全、减少地面用地,使市容或厂容美观,应采用中、高压电缆直接埋地,地下电缆排管、地下电缆沟敷设等。不采用架空裸绞线或架空绝缘电缆。

对高层建筑、超高层建筑、城市轨道交通车站、重要的体育场馆等人员密集的场所,以及重要的政治经济场所,要求选择阻燃、低烟无卤阻燃、耐火电缆,低烟无卤耐火电缆,矿物绝缘电缆等。

高层建筑的大批涌现,超高层建筑的不断增加,对供电可靠性提出了越来越高的要求,电气竖井内的供电干线,先后被母线槽、穿刺线夹、预制分支电缆替代了普通电缆。

我国并网风力发电的主流机型——大型兆瓦级风力发电机组,由于风机大都处于三北(华北、东北、西北)的寒冷性地区;沿海及岛屿的潮湿地带,因此对风电场用电缆提出了特殊要求。

电气化高速铁路的兴建,城市轨道交通的迅猛发展,对电缆提出许多新的更高性能要求。

在电气传动系统中,为了降低变频器高次谐波对电缆及设备的不良影响,降低电机噪声,要求选用变频器专用电缆。

在爆炸危险场所,要求选用本质安全型信号控制电缆或本质安全电路计算机电缆。

为了保证为计算机可靠地输送电能和传递信号,要求选用屏蔽性能优良的计算机用电缆。

我国是海洋大国,由陆地向近岸的海岛或海岛向海岛供电;向石油、天然气等海上生产平台供电,或者海上钻井平台之间的电网连接;海上风力发电与陆地上的联网,都需要提供越来越多的海底电缆。

为了节约成本,降低敷设次数,要求将光纤单元与电力电缆复合在一起,同时输送电能和传输数据,光纤复合低压电缆、光纤复合海底电缆以及光纤电力复合扁形橡套软电缆应运

而生。

我们曾经熟悉的一些电缆品种已经被淘汰或渐渐淡出电缆市场，一些采用新材料、新工艺的新品种电缆已经成功的应用。那种凭借经验选择电缆往往是“需要的没选上，选上的不需要”。为此，本书针对设计、管理、施工维修人员选用现行电缆和新品种时，提供必要的基础知识、性能参数，力求理论和经验并重，强调实用性。根据我们的工作经验，参考了许多书籍、杂志，并收集了工厂企业的产品技术资料，总结并给出一些新品种电缆的截面积选择，计算方法，选择应用时应注意的问题和应用实例等。有些新品种电缆还没有国家标准，目前执行的是企业标准，书中内容若与新修订的标准规范和有关规程条款不一致时，应以国家公布的现行规范和规程为准。

本书由常瑞增主编，参加编写的还有陈秉祥、刘增敏、王存龄、王璞、常青等。本书在编写中得到机械工业出版社林春泉编审的大力支持和帮助，在此对她表示诚挚的感谢。

由于本书介绍的电缆多为新品种，且水平有限，可能有不够全面，甚至有不对的地方，希望同行们对本书中的错误和不足给与批评指正。

向支持、协助本书编写工作并提供产品技术资料的企业表示感谢！

常瑞增

2016年7月

目 录

前言

第1章 电缆结构类型的选择..... 1

1.1 导电线芯的选择	1
1.1.1 导体材料的选择	1
1.1.2 四类不同的电缆导体	2
1.1.3 导体的关键指标——20℃直流 电阻值	2
1.1.4 1kV 及以下对 1~5 芯线缆的 选择条件	3
1.1.5 中、高压电缆芯数的选择	4
1.1.6 中、高压 3 芯与 3 根单芯电缆 的比较	4
1.2 常用绝缘层材质的选择	5
1.2.1 油浸纸绝缘层	5
1.2.2 常用的塑料绝缘层	5
1.2.3 常用的橡胶绝缘层	6
1.2.4 矿物绝缘层	6
1.2.5 绝缘层的标称厚度	6
1.2.6 淘汰中低压油浸纸绝缘电缆的 原因	8
1.2.7 限制聚氯乙烯绝缘电缆的生产 和使用的原因	8
1.3 对绝缘层类型选择的有关规定	9
1.3.1 一般选择规定	9
1.3.2 对不同环境和用电回路选择 的有关规定	9
1.3.3 对选择低、中、高压电缆绝缘层的 有关规定	9
1.4 屏蔽层	10
1.5 常用保护层材质的选择	10
1.5.1 金属护层的选择	10
1.5.2 金属套电缆通用外护层的数字 型号、名称、适用场所和结构 标准	11
1.5.3 橡塑护层的选择	12
1.5.4 橡塑外护套的数字型号、名称、 适用场所和结构标准	13

1.5.5 组合护层的选择	14
1.5.6 按敷设方式和环境条件选用 外护层	14
1.5.7 按环境温度选用外护层	15
1.6 对保护层类型选择的有关规定	15
1.6.1 一般选择规定	15
1.6.2 直埋敷设电缆保护层的选择 规定	15
1.6.3 在空气中固定敷设时电缆保护层 的选择规定	16
1.6.4 在水下敷设时电缆保护层的 选择规定	16
1.6.5 几种环境下的用电回路电缆 保护层的选择规定	16
1.7 使用中、高压单芯电缆的注意事项	16
1.7.1 单芯电缆的感应电压安全允许值 提高引起的变化	16
1.7.2 中、高压单芯交流电缆在 50mm ² 以上的优越性	17
1.7.3 中、高压单芯交流电缆不应采用 磁性材料铠装	17
1.7.4 单芯交流电缆应穿非磁性保护管 过马路或过墙	17
1.7.5 单芯交流电缆应采用非磁性材料 固定在桥架支架上	17
1.7.6 单芯电缆的标注要与多芯电缆有 明显区别	18
1.8 多芯电缆采用填充绳（条） 的选择	18
1.8.1 多芯电缆采用的填充绳	18
1.8.2 多芯电缆采用的圆形填充条	18
1.8.3 多芯电缆采用的复合填充条	18
1.8.4 多芯电缆采用的扇形填充条	19

第2章 电缆基本电性能的选择..... 20

2.1 电缆额定电压的选择	20
2.1.1 额定电压名义值 U_0/U 和 U_m	20
2.1.2 A、B、C 三类输电系统	20

2.1.3 电缆额定电压的选用	21	3.1.8 电缆直埋并列敷设时的载流量修正 (K_5)	37
2.1.4 按电压划分的电缆种类	21	3.1.9 日照对电缆载流量的修正 (K_6)	38
2.2 电缆的电阻	22	3.2 按断续和短时负荷下的允许载流量选用电缆芯截面积	38
2.2.1 电缆的直流电阻	22	3.2.1 断续和短时负荷下的允许载流量	38
2.2.2 电缆的交流电阻	22	3.2.2 短时工作软起动装置按热平衡选择电缆截面积的方法	38
2.3 电缆的电感	24	3.2.3 短时工作软起动装置按热平衡选择电缆截面积的实例	39
2.4 电缆的阻抗	24	3.3 按冲击负荷下的允许载流量选用电缆芯截面积	40
2.4.1 电缆的正序 (负序) 阻抗	24	3.3.1 电气化铁道和地铁供电是冲击非线性负荷	40
2.4.2 电缆的零序阻抗	25	3.3.2 电气化铁路冲击负荷对电缆线路的影响	41
2.5 电缆的电容参数	26	3.3.3 直埋冲击负荷下的电缆载流量的计算	41
2.5.1 电缆的工作电容	26	3.3.4 对冲击负荷选择 220kV 电缆截面积的工程实例	41
2.5.2 通过工作电容检查电缆绝缘	27	3.4 按允许电压降选用电缆芯截面积	44
2.5.3 通过电容电流选择中压接地方式	27	3.4.1 电缆回路的允许电压降	44
2.5.4 通过电容电流选择电缆漏电整定值	28	3.4.2 按负荷电流和电缆长度核算电压降选电缆芯截面积	45
2.5.5 通过电容电流限制的交流输电距离	28	3.4.3 核算电压降选电缆芯截面积	46
2.6 电缆金属护层的感应电压及电流	28	3.4.4 查表格按电压降速选电缆芯截面积	46
2.7 单芯电缆的感应电压安全允许值和最大值	29	3.5 用校核允许最大电缆长度来替代校核电压降	49
2.8 限制中、高压单芯电缆感应电压及环流的接地方式	29	3.5.1 不同截面积配电回路的电缆最大允许长度	49
2.9 大截面单芯 10kV 电缆限制环流的工程实例	31	3.5.2 不同截面积的电动机回路中电缆最大允许长度	51
第 3 章 缆芯、中性线和金属屏蔽层截面积的选择和实例	32	3.5.3 照明回路不同截面积的电缆最大允许长度	52
3.1 稳定负荷按允许持续载流量选用电缆芯截面积	32	3.6 按最大短路电流的热稳定选用电缆芯截面积	53
3.1.1 按允许持续载流量选择缆芯截面积	32	3.6.1 电缆短路热稳定计算的最小截面积	53
3.1.2 电缆的长期允许工作温度	33	3.6.2 查表格速核短路电流的热效应, 选	
3.1.3 电缆允许持续载流量的环境温度	34		
3.1.4 不同电缆运行环境温度的载流量修正 (K_1)	34		
3.1.5 电缆在空气中并列敷设时的载流量修正 (K_2)	36		
3.1.6 电缆在空气中穿管敷设时的载流量修正 (K_3)	36		
3.1.7 电缆敷设土壤热阻不同时的载流量修正 (K_4)	37		

用电缆芯截面积	58	3.13 按抗拉要求选择的水下电缆截面积	75
3.6.3 根据短路电流热效应选用电缆芯 截面积的算例	59	第4章 交联聚乙烯绝缘电力电缆的 选择	76
3.7 按经济电流密度选用电缆芯截面积	60	4.1 交联聚乙烯绝缘材料特性	76
3.7.1 经济电流密度的计算方法	60	4.2 选用普通交联聚乙烯电缆注意 事项	77
3.7.2 经济电流密度的参考表	61	4.3 交联聚乙烯电力电缆的型号、名称 及使用范围	77
3.7.3 电缆的经济电流范围	61	4.4 低压交联聚乙烯绝缘电缆载流量和 结构尺寸	78
3.7.4 按经济电流范围等条件选电缆 截面积的算例	63	4.5 6kV 及以上电力电缆的屏蔽结构	87
3.7.5 按经济电流选择电缆截面积时 应注意的事项	64	4.5.1 内半导电屏蔽层的作用和 结构	88
3.8 交流供电回路由多根电缆并联时截面 积的选择	64	4.5.2 外半导电屏蔽层的作用和结构	88
3.8.1 并联电缆的必要使用条件	64	4.5.3 金属屏蔽层的作用和材料	88
3.8.2 并联电缆的允许持续载流量	65	4.5.4 金属屏蔽层的接地和截面积的 选择	89
3.8.3 使用并联电缆的注意事项	66	4.6 中压交联聚乙烯绝缘电缆的载流量 和结构尺寸	89
3.9 中性线、保护线、保护接地中性线 截面积的选择	66	4.7 高压交联聚乙烯绝缘电缆的绝缘 问题	98
3.9.1 中性线、保护线、保护接地中性 线的截面积	66	4.8 高压交联聚乙烯绝缘电缆的防水 问题	98
3.9.2 考虑谐波影响的中性线截面积 选择算例	67	4.9 高压交联聚乙烯绝缘电缆的金属护 套（屏蔽层）的选择	98
3.10 爆炸及火灾危险环境导线截面积的 选择	67	4.10 高压交联聚乙烯绝缘电缆外护套 材料的选择	100
3.11 按机械强度校验电缆芯截 面积	68	4.11 接地方式对高压交联聚乙烯绝缘 电缆载流量的影响	100
3.12 电力电缆金属屏蔽层截面 积的选择	68	4.12 敷设方式对高压交联聚乙烯绝缘 电缆载流量的影响	101
3.12.1 金属屏蔽层截面积应通过热稳定 计算来确定	68	4.13 64/110kV 和 127/220kV 电缆的结构 尺寸和载流量	101
3.12.2 三种金属屏蔽层截面积的 计算	69	4.14 上海小洋山工程应用 110kV 交联聚 乙烯电缆实例	106
3.12.3 金属屏蔽层短路电流容量 的计算	70	第5章 常用电缆的选择	109
3.12.4 交联聚乙烯电缆金属屏蔽层最小 截面积推荐值	72	5.1 电缆阻燃、防火的必要性	109
3.12.5 确定金属屏蔽层截面积的两个 算例	72	5.2 阻燃电线电缆	110
3.12.6 金属屏蔽层截面积和允许短路 电流两个算例	73	5.2.1 阻燃电线电缆概述	110
3.12.7 选购电缆必须注明金属屏蔽层 的结构和截面积	75	5.2.2 按阻燃特性分为 A、B、C、D 四级 电缆	111
		5.2.3 按电缆的非金属含量选择对应的	

阻燃级别	112	依据	137
5.2.4 按烟密度划分的阻燃级别	113	5.5.8 矿物绝缘电缆在高层、超高层建筑的应用实例	138
5.2.5 氧指数与阻燃级别之间的联系	113	5.5.9 矿物绝缘电缆在国家体育场的应用实例	139
5.2.6 无卤低烟辐照交联聚乙烯绝缘电缆（阻燃级别 I A）	115	5.5.10 矿物绝缘电缆在地铁站的应用实例	139
5.2.7 无卤低烟辐照交联聚乙烯电缆和其他电缆的性价比	115	5.6 预制分支电力电缆	140
5.2.8 选择无卤低烟辐照交联聚乙烯绝缘电缆的依据	116	5.6.1 预制分支电力电缆概述及主要特点	140
5.2.9 无卤低烟阻燃电缆的型号、名称和规格	116	5.6.2 预制分支电力电缆型号、名称及规格	141
5.2.10 对无卤低烟阻燃电缆的两种不妥标注	118	5.6.3 预制分支电缆的技术数据	142
5.2.11 选用阻燃电缆应注意的问题	118	5.6.4 预制分支电缆和母线槽的应用比较	145
5.3 耐火电力电缆	120	5.6.5 预制分支电缆和穿刺线夹的应用比较	148
5.3.1 耐火和阻燃电缆的不同点	120	5.6.6 预制分支电缆适合（超）高层建筑的原因	148
5.3.2 耐火电缆的结构、材料和工艺	120	5.6.7 工程设计中选择预制分支电缆的要点	149
5.3.3 A、B 两类耐火电线电缆	121	5.6.8 预制分支电缆应用实例和性能价格比	153
5.3.4 低压耐火电缆的型号、名称和规格	121	5.7 防（耐）水电力电缆	155
5.3.5 中高压耐火电力电缆	122	5.7.1 防水电缆概述和三种类型防水电缆	155
5.3.6 选用耐火电缆应注意的问题	123	5.7.2 普通型和防水性交联聚乙烯绝缘电缆结构	155
5.3.7 无卤低烟阻燃耐火电缆的型号、名称和规格	123	5.7.3 交联聚乙烯绝缘电力电缆的径向阻水结构	155
5.3.8 无卤低烟阻燃耐火电缆在地铁的应用实例	124	5.7.4 交联聚乙烯绝缘电力电缆的纵向阻水结构	157
5.4 阻燃、耐火电缆适用场合的选择	126	5.7.5 交联聚乙烯绝缘电力电缆的全阻水结构	158
5.5 矿物绝缘电缆（超 A 类耐火）	126	5.7.6 26/35kV 及以下防水交联电缆的型号、规格、载流量等	158
5.5.1 矿物绝缘电缆的概述和优良特性	126	5.7.7 工程中选用防水电缆应注意的问题	161
5.5.2 矿物绝缘电缆与其他类型电缆价格的对比	128	5.8 风力发电用电力电缆	161
5.5.3 矿物绝缘电缆的特殊吸潮性	129	5.8.1 风电市场的发展对电缆的需求	161
5.5.4 矿物绝缘电缆型号、名称、载流量等数据	129	5.8.2 35kV 及以下风电用耐扭曲电力	
5.5.5 矿物绝缘电缆的选择	136		
5.5.6 超高层建筑偏移对矿物绝缘电缆的影响	137		
5.5.7 超高层建筑采用矿物绝缘电缆的			

电缆	162	5.12.8 船用乙丙橡胶绝缘电缆的型号、规格及载流量	199
5.8.3 三北风电: 35kV 及以下用耐寒传输、并网电缆	164	5.12.9 乙丙橡胶绝缘软电缆在港口机械的应用	201
5.8.4 三北风电场 35kV 电缆附件的选择	164	5.13 城市轨道交通用直流牵引电缆	202
5.8.5 沿海风电场 35kV 及以下用传输、并网电缆	165	5.13.1 采用直流牵引的优点	202
5.8.6 在工程中选用风电场用电缆注意的问题	166	5.13.2 直流牵引电缆的技术要求	202
5.9 耐寒交联聚乙烯绝缘电缆的名称、型号和规格	167	5.13.3 直流牵引电缆的选型结构	203
5.10 防白蚁电缆	168	5.13.4 直流牵引电缆的特殊性能试验与要求	206
5.10.1 白蚁对电缆的危害和防治	168	5.13.5 直流牵引电缆的型号名称	206
5.10.2 淘汰化学防治白蚁方法的原因	169	5.13.6 地铁使用 1 500V 直流牵引电缆的实例	206
5.10.3 防白蚁合理的对策是采用物理防治	169	5.14 京津高速铁路采用交流牵引电缆的实例	207
5.10.4 规范对防白蚁电缆的规定	171	5.15 电气化铁道 27.5kV 交联聚乙烯电缆	208
5.10.5 防白蚁(鼠)电缆的型号、名称及规格	171	5.15.1 电气化铁道 27.5kV 供电系统特点	208
5.10.6 防白蚁电缆的应用实例	172	5.15.2 电气化铁道多采用 27.5kV 专用电缆	208
5.11 氟塑料绝缘高温防腐电力电缆	173	5.15.3 电气化铁道 27.5kV 电缆的型号、结构和技术参数	209
5.11.1 氟塑料绝缘高温防腐电缆概述和主要特点	173	5.15.4 电气化铁道 27.5kV 电缆不能用 26/35kV 电缆代替	210
5.11.2 氟塑料绝缘高温防腐电力电缆型号、名称及规格	173	5.16 变频器专用电缆	211
5.11.3 氟塑料绝缘电缆在工程中应用实例	177	5.16.1 耐热硅橡胶绝缘及护套变频器专用电缆	211
5.12 橡胶绝缘电缆	180	5.16.2 交联聚乙烯绝缘变频器专用电缆	212
5.12.1 橡胶绝缘电缆的特点	180	5.16.3 中压大功率变频驱动系统用电力电缆	213
5.12.2 橡胶绝缘编织软电缆型号、名称及规格	180	5.17 耐热耐寒扁平电缆	213
5.12.3 橡皮绝缘电力电缆型号、规格及载流量	182	第 6 章 海底电缆的选择	215
5.12.4 通用橡套软电缆型号、规格及载流量	188	6.1 高质量的海底电缆需求增大	215
5.12.5 矿用橡套软电缆型号、规格及载流量	194	6.2 海缆运行外部事故的主要原因	215
5.12.6 乙丙橡胶绝缘有取代天然橡胶的趋势	197	6.3 按环境条件保护海缆的方法	216
5.12.7 中、低压乙丙橡皮绝缘电缆的型号、规格及载流量	197	6.4 海底电力电缆的特殊性	217
		6.5 海缆的导体结构特点	218
		6.6 海缆绝缘材料的选择	218
		6.7 海缆的铅或铝合金护套的选择	219
		6.7.1 海缆径向阻水须采用铅(铝合金)	

护套	219	7.1.11 选用光纤复合低压电缆需要 注意的问题	251
6.7.2 铅(铝合金)护套的厚度 计算	219	7.1.12 光纤复合低压电缆的典型 应用	252
6.7.3 铅和铝合金的性能比较	219	7.2 海底光纤复合电力电缆	252
6.8 海缆的塑料增强保护(PE)层	220	7.2.1 采用海底光电复合缆越来越多 的原因	252
6.9 海缆的外护层选择	220	7.2.2 光电缆在3芯海底光电复合缆 的位置	253
6.9.1 海缆铠装防护的选择	220	7.2.3 光电缆在单芯海底光电复合缆 的位置	254
6.9.2 三芯中、高压海缆的铠装 选择	220	7.2.4 海底光缆的技术特点	254
6.9.3 单芯中、高压海缆的铠装 选择	222	7.2.5 海底光纤复合电缆的型号、 名称和使用环境	256
6.9.4 海缆内、外被层的选择	222	7.2.6 三芯海底光纤复合电缆的 结构	256
6.10 海缆的固定接头与软接头的选择	223	7.2.7 单芯海底光纤复合电缆的 结构	257
6.11 海缆交流输电受限距离的探讨	223	7.2.8 三芯海底光纤复合电缆的 结构参数	257
6.12 海缆的截面积选择	224	7.2.9 单芯海底光纤复合电缆的 结构参数	262
6.13 海缆附件的选择与配置	224	7.2.10 三芯海底光纤复合电缆的 载流量等电性能参数	262
6.14 中、高压交联聚乙烯绝缘海缆的 结构和载流量	224	7.2.11 单芯海底光纤复合电缆的 载流量等电性能参数	266
6.15 两个交联聚乙烯绝缘海缆的工程 实例	233	7.2.12 海岸滩涂风电场35kV光 电复合电力电缆实例	266
6.15.1 虾峙岛—桃花岛35kV海缆 联网工程实例	233	7.2.13 35kV海底光纤复合电力电 缆实例	268
6.15.2 崇明—长兴110kV海缆联 网工程实例	233	7.2.14 三芯110kV海底光纤复合 电力电缆实例	270
第7章 光纤复合电力电缆的选择	236	7.2.15 单芯110kV海底光纤复合 电力电缆实例	271
7.1 光纤复合低压电力电缆	236	7.2.16 舟山输电线路220kV光纤 复合海缆工程实例	272
7.1.1 光纤复合低压电缆是“四网 融合”入户端的最佳方案	236	7.3 光纤电力复合扁形橡胶套电缆及 实例	274
7.1.2 光纤复合低压电缆的优点	236	第8章 控制电缆和计算机电缆的 选择	276
7.1.3 光纤复合低压电缆的型号 命名	237	8.1 控制电缆的选择	276
7.1.4 光纤复合低压电缆的光单元	238	8.1.1 控制电缆的额定电压	276
7.1.5 光纤复合低压电缆的类型	238		
7.1.6 光单元在光纤复合低压电缆中 的位置	240		
7.1.7 光纤复合低压电缆主要技术 参数	241		
7.1.8 光纤复合低压电缆光单元主要 技术参数	249		
7.1.9 光纤复合低压电缆的机电 特性	250		
7.1.10 光纤复合低压电缆的选型	251		

8.1.2 控制电缆的硬结构和软结构	276	8.3.5 交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套计算机电缆	329
8.1.3 控制电缆的屏蔽结构选择	276	8.3.6 阻燃计算机电缆	335
8.1.4 控制电缆的铠装、阻燃、耐火和耐热结构	277	8.3.7 交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套耐火阻燃计算机电缆	340
8.1.5 控制电缆的允许弯曲半径	278	8.3.8 无卤低烟阻燃计算机电缆	341
8.1.6 控制电缆线芯数的选择	278	8.3.9 无卤低烟聚烯烃绝缘耐火计算机电缆	346
8.1.7 控制电缆截面选择的计算	278	8.3.10 耐热耐寒型测量和计算机输入用电缆	346
8.1.8 橡胶绝缘控制电缆	280	8.3.11 耐高温、防腐和耐油计算机电缆	347
8.1.9 塑料绝缘控制电缆	286	第9章 电缆附件的选择	352
8.1.10 交联聚乙烯绝缘控制电缆	289	9.1 电缆附件选择的意义	352
8.1.11 交联聚乙烯阻燃控制电缆	293	9.2 电缆中间接头和终端头的种类	352
8.1.12 无卤低烟阻燃控制电缆	294	9.3 制作中间接头和终端头的配件	353
8.1.13 无卤低烟阻燃耐火控制电缆	296	9.4 中低压交联电力电缆附件的选择	354
8.1.14 氟塑料绝缘耐高温防腐控制电缆	298	9.4.1 中低压塑料电力电缆附件的结构	355
8.1.15 高温为 500℃ 耐火控制电缆	308	9.4.2 中低压塑料电力电缆附件的比较和选择	356
8.1.16 耐寒交联控制电缆	309	9.4.3 低压 0.6/1kV 热塑型电缆附件的电气性能和规格	360
8.1.17 耐热耐寒型数字巡回检测装置屏蔽控制电缆	310	9.4.4 中压 6/10 ~ 8.7/15kV 热缩式电缆附件的电气性能和规格	363
8.1.18 变频器用控制电缆	311	9.4.5 中压 18/30 ~ 26/35kV 热缩式电缆附件的电气性能和规格	364
8.1.19 城市轨道交通用控制信号电缆	312	9.5 交联聚乙烯 110kV 电力电缆中间接头的选择	366
8.2 本质安全型信号控制和计算机电缆	314	9.6 交联聚乙烯 110kV 电力电缆终端头的选择	367
8.2.1 易爆危险场所要求电缆“本质安全”	314	9.6.1 交联聚乙烯 110kV 电力电缆终端头的型式选择	367
8.2.2 本质安全型信号控制电缆的定义	314	9.6.2 交联聚乙烯 110kV 电力电缆终端头的结构选择	368
8.2.3 本质安全型信号控制电缆的结构	314	9.6.3 交联聚乙烯 110kV 电力电缆终端头选型应注意的问题	371
8.2.4 本质安全型信号控制电缆的型号、名称	315	9.7 交联聚乙烯 110kV 典型电缆附件的结构和电气参数	371
8.2.5 耐热耐寒型本质安全系统用检测仪器电缆	316	9.7.1 交联聚乙烯 110kV 一体式绝缘/直通接头 YJJ12/YJJT12	372
8.2.6 本质安全电路计算机电缆	317	9.7.2 交联聚乙烯 110kV 干式油浸	
8.3 常用的计算机电缆	322		
8.3.1 计算机电缆的特点及概述	322		
8.3.2 计算机电缆的屏蔽选择	322		
8.3.3 对计算机电缆屏蔽接地方式的规定	322		
8.3.4 聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套计算机电缆	323		

终端 YJZYG	372	第 10 章 电缆型号的选择	381
9.7.3 交联聚乙烯 110kV 干式 GIS		10.1 电力电缆产品型号的一般规律	381
终端 (470 型) YJZGG	373	10.1.1 电缆产品的名称	381
9.7.4 交联聚乙烯 110kV 干式 GIS		10.1.2 电缆型号的组成和顺序	381
终端 (757 型) YJZGG	374	10.1.3 电缆型号中字母和数字的	
9.7.5 交联聚乙烯 110kV 瓷套户		意义	382
外终端 YJZWC4	376	10.2 常见电力电缆型号的举例说明	383
9.7.6 交联聚乙烯 110kV 复合户		10.3 有特殊要求的电缆型号标注方法	388
外终端 YJZFC4	377	10.4 电缆型号中根数、芯数和截面积标注	
9.8 规范对电缆附件选择的规定	378	的注意事项	389
9.8.1 对中间接头的要求规定	378	10.5 电缆清册的内容及电缆编号	390
9.8.2 对终端头的要求规定	379	参考文献	392
9.9 电缆附件型号中字母与数字的			
意义	380		

电缆是传输电能和电信号的载体，是人们生活、生产不可或缺、用途十分广泛的电工器材。只有对其结构参数、技术性能、用途特点、使用的注意事项等问题有比较清楚的了解，才能根据负荷性质、载流量、电压等级、输电系统类别、敷设方式、环境条件、运行状况、用户对电缆的特殊要求、较好的性价比等因素恰如其分地选定电缆的型号、规格提出适宜的招标书，使它物有所值。

第 1 章 电缆结构类型的选择

电缆的基本结构一般主要由以下三部分组成：用于传输电能或信号的导电芯线，保证电能或信号沿导电芯线传输和保证导电芯线与外界隔离而承受电网电压的绝缘层，包覆在绝缘层上起保护密封作用并能使绝缘性能长期保持的保护层。此外，电压等级稍高的电缆，为了将电场、磁场屏蔽在电缆内并保护电缆免受外电磁场影响，一般在导体外和绝缘层外用半导体或金属材料制成屏蔽层；为了使成缆线芯圆整，需要对绝缘线芯空隙进行填充。

1.1 导电线芯的选择

1.1.1 导体材料的选择

金属导电性能最好的是银，其次是铜、铝。由于银的价格昂贵，除在特殊场合及特殊用途下使用银外，各种电缆常用的导体是铜芯线或铝芯线，铜是电的良导体，导电性能仅次于银；机械强度高，易于进行压延、拉丝和焊接等加工，有良好的物理力学性能和优异的工艺性能。

鉴于铜、铝资源趋于减少的状况，铜大约是地球上最早枯竭的矿产资源。从科学发展的角度看问题，以铝代铜是必然的发展趋势。就电线电缆导体而言，由于铝的强度较低，拉制细线比较困难，目前加工软导体和特软导体还不现实。但截面积为 4mm^2 以上的电线电缆完全可以放心采用铝导体，大力推行以铝代铜，既可以保证传输功能，又可以降低投入成本，符合可持续发展的战略。

目前，以铝为基础材料制成的电缆产品在市场上常见的有 0.6/1kV 铝导体的电缆、0.6/1kV 铝合金电缆，还有超高压（500kV）耐热铝合金导线。在欧美电缆市场已使用多年的 0.6/1kV 世德合金低压电力电缆，其导体是采用在铝行业协会的牌号 AA8030 的铝合金制成，该合金是在铝中加入铜、镁、铁、硼、钛、锌、硅等元素。使用该合金制成的导体，经过退火处理，具有良好的防腐性能、抗蠕变特性、导体柔软、抗弯折能力强，最小弯曲半径可以达到 7 倍电缆直径。0.6/1kV 世德合金低压电力电缆在我国逐步推广应用，已经有超过 500 个项目使用了世德合金电缆。

应采用铜芯电线电缆的场合如下：

1) 需要确保长期运行中连接可靠的回路，如重要电源、重要的操作回路及二次回路、电机的励磁、移动式设备的线路、振动剧烈场合的线路。

2) 有爆炸危险或火灾危险场合的线路。

- 3) 对铝腐蚀严重而对铜腐蚀轻微的场所。
- 4) 特别重要的公共建筑物, 军队的指挥中心场所, 党政的重要办公楼、地铁车站。
- 5) 高温设备旁的场所。
- 6) 与应急系统, 消防系统有关的场合。
- 7) 耐火电缆。
- 8) 工作电流较大, 需增多电缆根数的场合。

此外, 在高层建筑, 大、中型计算机房的建筑, 重要的公共建筑、适应国外要求的国内外工程 and 外资工程等应优先选用铜线芯的导体, 因为小截面铝导体的接头技术在我国未得到可靠的解决, 而铝导体接头部位容易引起火灾事故。

1.1.2 四类不同的电缆导体

按国家标准 GB/T 3956—2008《电缆的导体》或国际标准 IEC 60228《绝缘电缆的导体》的规定, 电缆导体分为以下四类:

1) 1 类导体为实芯导体, 即导体由一根导线构成, 有圆形线和扇形线, 对于大截面圆形导电线芯, 为了减小趋肤效应, 有时采用四分割, 五分割等分割线芯, 分割线芯大多由扇形组成。

2) 2 类导体为紧压绞合导体, 截面有圆形、扇形、瓦形等几种, 其压紧系数(或填充系数)可达 0.9 以上, 即其中空隙截面小于 10%, 绞制线芯经过紧压, 提高了导体结构稳定性, 缩小了导体外径, 可减少绝缘和护层材料, 从而降低电缆重量和生产成本, 同时有利于实现导体纵向阻水, 是工厂生产能力水平的体现, 它是应用最多的电缆导体, 但不是衡量电缆质量的技术指标。这里应该指出的是, 交联聚乙烯电缆一般采用紧压绞合导体是为了避免挤出和交联时, 在压力作用下绝缘料被挤进导体间隙, 同时为防止水分通过导体间隙扩散。圆形绞合导体几何形状固定、稳定性好, 表面电场比较均匀。10kV 及以上交联聚乙烯电缆一般都采用圆形绞合导体结构, 1kV 及以下多芯塑料电缆, 为了减小电缆直径, 节约材料消耗, 有的采用扇形或腰圆形导体结构。

3) 5 类导体为通用软导体, 即用作一般移动电缆的导体。

4) 6 类导体为特软导体, 用于特殊移动电缆, 如电焊机龙头线。

其中, 5 类导体和 6 类导体又分为镀锡铜导体与不镀锡铜导体。

1.1.3 导体的关键指标——20℃直流电阻值

导体是电线电缆的核心构件, 占成本比重大, 是用户最关心的内容, 其结构性能是各种电线电缆设计、加工、检验及使用的依据。在《电缆的导体》标准中, 规定了衡量电缆导体合格与否的关键指标——20℃直流电阻的最大值。如果导体截面积偏小或采用不纯的导体材料, 导体直流电阻就会比关键指标值大; 反之, 如果导体截面积偏大, 而电缆外径一定, 则绝缘厚度变薄(规定绝缘厚度为标称值), 这两种情况都不符合要求。导体的直流电阻是导体的一个基本技术指标, 但不是导体工作时的电阻。导体工作时的实际电阻与导体工作温度, 电流的性质, 导体截面积大小和结构状况以及敷设状态等有关。关键指标即标准值见表 1-1, 常使用的导体截面积、外径和重量等数据均为“标称值”, 而“标称值”只是一种名义称为, 不规定取值偏差界限, 不等于“标准值”, 不作衡量指标。

表 1-1 电缆芯线的直流电阻值^[1]

标称截面积 /mm ²	20℃ 直流电阻 ≤/(Ω/km)			标称截面积 /mm ²	20℃ 直流电阻 ≤/(Ω/km)		
	Cu		Al		Cu		Al
	1 类/2 类	5 类/6 类	1 类/2 类		1 类/2 类	5 类/6 类	1 类/2 类
1 × 0.5	36.0	39.0	—	1 × 70	0.268	0.272	0.443
1 × 0.75	24.5	26.0	—	1 × 95	0.193	0.206	0.320
1 × 1.0	1.81	1.95	—	1 × 120	0.153	0.161	0.253
1 × 1.5	12.1	13.3	18.1	1 × 150	0.124	0.129	0.206
1 × 2.5	7.41	7.98	12.1	1 × 185	0.099 1	0.106	0.164
1 × 4	4.61	4.95	7.41	1 × 240	0.075 4	0.080 1	0.125
1 × 6	3.08	3.30	4.61	1 × 300	0.060 1	0.064 1	0.100
1 × 10	1.83	1.91	3.08	1 × 400	0.047 0	0.048 6	0.077 8
1 × 16	1.15	1.21	1.91	1 × 500	0.036 6	0.038 4	0.060 5
1 × 25	0.727	0.780	1.20	1 × 630	0.028 3	0.028 7	0.046 9
1 × 35	0.524	0.554	0.868	1 × 800	0.022 1	—	0.036 7
1 × 50	0.387	0.386	0.641	1 × 1 000	0.017 6	—	0.029 1

注：表中的数据为不镀锡铜导体的 20℃ 直流电阻值。镀锡铜导体的电阻值约增大 1%。

1.1.4 1kV 及以下对 1~5 芯线缆的选择条件

1. 单芯电缆

1) 线路较长、工作电流较大的回路或水下敷设时，为避免或减少中接头，或单芯电缆比多芯电缆有较好的综合技术经济时，可选用单芯电缆，但应注意用于交流系统的单芯电缆不得采用磁性材料铠装（如钢带铠装）。

2) 低压直流供电回路，当需要时可采用单芯电缆。

2. 2 芯电缆

1) 1kV 及其以下电源中性点直接接地时，单相回路的电缆芯数，当保护线和中性线合用同一导体时，应采用 2 芯电缆。

2) 直流供电回路，宜采用 2 芯电缆。

3. 3 芯电缆

1) 1kV 及其以下电源中性点直接接地时，单相回路的电缆芯数为：当保护线和中性线各自独立时，宜采用 3 芯电缆。

2) 除上述 1) 的情况外，对三相平衡的交流供电回路宜用 3 芯电缆。

4. 4 芯电缆

1kV 及其以下的 4 芯电缆（3+1 电缆），其中的第 4 芯除作为保护接地外，还要输送电力系统在不平衡电流及短路电流。它的大小由不平衡电流及短路电流来确定，但一般不得小于相线的 1/2。20 世纪 90 年代，随着计算机和晶闸管的广泛应用，电路中非线性阻抗大量增加，造成 3 次谐波电流在中性线（PN 线）通过时电流很大，达到了相电流同样大小水平。这样中性线要求扩大到相线截面水平，即所谓 4 等截面。

1kV 及其以下的三相四线制低压配电系统，当保护线和中性线合用同一导体时，应采用

4 芯电缆,而不得采用 3 芯电缆加单芯电缆组合成一回路的方式,甚至直接利用 3 芯电缆的金属护套或铠装层等作中性线的方式。否则,当 3 相电流不平衡时,相当于单芯电缆的运行状态,容易引起工频干扰。对铠装电缆来说,则使铠装发热,从而降低了电缆的载流能力,甚至导致热击穿。

5. 5 芯电缆

1kV 及其以下的三相四线制低压配电系统,有些安全性要求较高的电气装置配电线路,以及有些既要保证电气安全,又要抗干扰接地的通信中心和自动化设备,宜采用 5 芯线的 TN-C 低压配电系统,使保护线(PE 线)和中性线(PN 线)各自独立,缆芯截面积一般为 3 大 2 小或 4 大 1 小或 5 大。建筑部门多数需要 4+1 芯结构,其他用户也有要求 3+2 芯结构,5 芯电缆以圆形电缆居多。

1.1.5 中、高压电缆芯数的选择

1) 对 3~35kV 三相供电回路电缆芯数的选择。当工作电流较大的回路或电缆敷设于水下时,每回路可选用 3 根单芯电缆;除上述情况外,应选用 3 芯电缆,3 芯电缆可选用普通统包型,也可选用 3 根单芯电缆绞合构造型。

2) 对 110kV 三相供电回路,除敷设于湖、海水下等场所且电缆截面不大时可选用 3 芯外,每回路可选用 3 根单芯电缆。

3) 对 110kV 以上三相供电回路,每回路应选用 3 根单芯电缆。

4) 电气化铁路等高压交流单相供电回路,应选用 2 芯电缆或每回选用 2 根单芯电缆。

5) 高压直流输电系统,宜选用单芯电缆;在湖、海等水下敷设时,也可选用同轴型 2 芯电缆。

1.1.6 中、高压 3 芯与 3 根单芯电缆的比较

1) 工作电流较大的回路或水下或重要的较长线路,每回路可选用 3 根单芯电缆(注意用于交流系统的单芯电缆不得采用钢带铠装,应采用非磁性铠装电缆),3 根单芯电缆虽然比普通 3 芯电缆投资大,但具有以下优点:

①电缆与柜盘内终端连接时,由于可减免交叉,使电气安全距离较大,改善了安装作业条件。

②对长线路工程,可减少甚至不用电缆中间接头,运行可靠性加大。

③和 3 芯电缆相同截面积下,单芯电缆载流量可增大 10% 左右,在载流量相同的情况下,可选择降低一档的电缆截面积。

④相间绝缘容易保障,若接地短路发生,不易发展成相间短路。

⑤弯曲半径可减小,有利于大截面积电缆的敷设。例如,根据 GB 50054—2011《低压配电设计规范》规定,600/1000V 非金属护套电缆弯曲半径,单芯电缆为 $20D$,多芯电缆为 $15D$ (D 为参考直径)。若选 YJV 非铠装 $1 \times 185\text{mm}^2$ 单芯电缆的参考直径 $D = 25\text{mm}$,其弯曲半径 $R = 20D = 500\text{mm}$;而 $4 \times 185\text{mm}^2$ 4 芯电缆的参考直径 $D = 58\text{mm}$,其弯曲半径 $R = 15D = 870\text{mm}$ 。

⑥电缆运输较为方便,敷设较为容易;一盘电缆可做的比较长。

缺点:电缆本身不能带铠装防护,抗外力破坏能力较差;电缆根数较多,占地面积大;