

第3版

电线电缆手册

2

上海电缆研究所

中国电器工业协会电线电缆分会 组编

中国电工技术学会电线电缆专业委员会

吴长顺 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电线电缆手册

第2册

第3版

上海电缆研究所

中国电器工业协会电线电缆分会

中国电工技术学会电线电缆专业委员会

组 编

吴长顺

主 编



机械工业出版社

《电线电缆手册》第3版共分四册,汇集了电线电缆产品设计、生产和使用中所需的有关技术资料。

本书为第2册,内容包括:电力电缆品种和结构、电性能参数及其计算、结构设计、热稳定性、载流量、性能测试以及充油电缆供油系统设计;电气装用电线电缆导线芯结构及绝缘层和护层的设计原则、品种、用途、规格、技术指标、试验方法及测试设备等;电缆护层的分类、结构、型号、特性和用途、设计与计算以及性能测试等;电线电缆的结构计算。

本书可供电线电缆的生产、科研、设计、商贸以及应用部门与机构的工程技术人员使用,也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电线电缆手册. 第2册/吴长顺主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2017.8

ISBN 978-7-111-57463-7

I. ①电… II. ①吴… III. ①电线-手册②电缆-手册
IV. ①TM246-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第172793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:付承桂

责任编辑:朱林

责任校对:张晓蓉 肖琳 封面设计:鞠杨

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2017年8月第3版第1次印刷

184mm×260mm·49.5印张·3插页·1627千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-57463-7

定价:220.00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

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

《电线电缆手册》第3版 编写委员会

主任委员：魏 东

副主任委员：毛庆传

委 员：（排名不分先后）

第1册 主 编 毛庆传

郑立桥 鲍煜昭 高 欢 谢书鸿 江 斌
姜正权 刘 涛 周 彬

第2册 主 编 吴长顺

陈沛云 周 雁 王怡瑶 黄淑贞 李 斌
房权生 孙 萍

第3册 主 编 张秀松

张举位 汪传斌 唐崇健 孙正华 朱爱荣
杜 青 吴 畏 庞玉春 单永东 项 健

第4册 主 编 魏 东

姜 芸 蔡 钧 张永隆 徐 操 刘 健
蒋晓娟 柯德刚 于 晶 张 荣

编写委员会秘书：倪娜杰

总 前 言

《电线电缆手册》是我国电线电缆行业和众多材料、设备及用户行业的长期技术创新、技术积累及经验总结的提炼、集成与系统汇总，更是几代电缆人的智慧与知识的结晶。本手册自问世以来，为促进我国电线电缆工业发展、服务国家经济建设产生了重要影响，也为指导行业技术进步和培养行业技术人员发挥了重要作用。本手册已经成为电线电缆制造行业及其用户系统广大科技人员的一部重要的专业工具书。

《电线电缆手册》第2版自定稿投入印刷至今已近20年了。近20年来，随着时代的进步、科学技术的飞速发展以及全球经济一体化的快速推进，世界电线电缆工业的产品制造及其应用发生了很大变化，我国的线缆工业更是发生了翻天覆地的变化，新技术迅猛发展、新材料层出不穷、新产品不断开发、新应用遍地开花、新标准持续涌现、新需求强劲牵引……在电线电缆制造与应用方面，我国已成为全球制造和应用大国，在工业技术及应用上与发达国家的距离也大大缩小，在一些技术和产品领域已经跻身于国际先进行列。

为了总结、汇集和展示线缆新技术、新产品、新应用和新标准，同时为了方便和服务于线缆制造业及用户系统广大科技人员的查阅、学习、参考及应用，由上海电缆研究所、中国电器工业协会电线电缆分会、中国电工技术学会电线电缆专业委员会联合组成编写委员会，在《电线电缆手册》第2版基础上进行修订编写，形成《电线电缆手册》第3版。新版内容主要是以新技术为指导，以方便实用为目的，增加新技术、新产品和新应用介绍，同时适当删除过时、落后的技术及产品。这是一项服务行业、惠及社会的公益性工作，也是一项工作量繁杂浩大的系统工程。

为了更好地编写新版《电线电缆手册》，由上海电缆研究所作为主要负责方，联合行业协会及专业学会共同组织，邀请行业主要企业及用户的相关专家组成编写委员会，汇集行业之智慧、知识、经验等各项技术资源，在组编方的统一组织策划下，在各相关企业及广大科技人员的大力支持下，经过编委会成员的共同努力，胜利完成了手册第3版的编写工作。在此，谨向为本手册编写做出贡献的各位专家及科技人员以及所在的企业、机构表示深深的谢意。同时，特别感谢上海电缆研究所及其各级领导和科技人员给予的人力、智力、物力及财力的大力支持。可以说，本手册的编写成功是线缆行业共同努力的结果，行业的发展是不会忘记众多参与者为手册编写做出的贡献的。

《电线电缆手册》第2版分为三册，即电线电缆产品、线缆材料和附件与安装各为一册。鉴于近20年线缆产品发展迅速，品种增加很多，因而，将第1册的线缆产品分为两册，从而使《电线电缆手册》第3版共分成四册出版，具体内容包括：

第1册：裸电线与导体制品、绕组线、通信电缆与电子线缆以及光纤光缆四大类产品的品种、用途、规格、设计计算、技术指标、试验方法及测试设备等。

第2册：电力电缆和电气装备用线缆产品的品种、规格、性能与技术指标、设计计算、性能试验与测试设备等。

第3册：电线电缆和光缆所用材料的品种、组成、用途、性能、技术要求以及有关性能的检测方法。材料包括金属、纸、纤维、带材、电磁线漆、油料、涂料、塑料、橡胶和橡皮等。

第4册：电力用裸线、电力电缆、通信电缆与光缆以及电气装备用电线电缆的附件、安装敷设及运行维护。

今天，《电线电缆手册》第3版将以新的面貌出现在读者面前，相信新的手册定将会在我国线缆行业转型升级的新一轮发展中发挥更加重要的作用。

限于编者的知识、能力和水平，手册中难免有不合时宜的内容和谬误之处，诚恳期待读者的批评和指正。

同时，科学技术的不断发展与进步，相关标准的持续更新与修订，也将使手册相关内容与届时不完全相符，请读者查询并参考使用。

《电线电缆手册》第3版编写委员会

总 论

1. 电线电缆的分类

电线电缆的广义定义为：用以传输电（磁）能、信息和实现电磁能转换的线材产品。广义的电电线电缆亦简称为电缆，狭义的电电缆是指绝缘电电缆。它可定义为由下列部分组成的集合体：一根或多根导体线芯，以及它们各自可能具有的包覆层、总保护层及外护层。电电缆亦可有附加的没有绝缘的导体。

为便于选用及提高产品的适用性，我国的电电线电缆产品按其用途分成下列五大类。

(1) 裸电电缆与导体制品 指仅有导体而无绝缘层的产品，其中包括铜、铝等各种金属导体和复合金属圆单线、各种结构的架空输电电缆以及软接电电缆、型电电缆和型材等。

(2) 绕组电电缆 以绕组的形式在磁场中切割磁力线感应产生电电流，或通以电电流产生磁场所用的电电缆，故又称电电缆，其中包括具有各种特性的漆包电电缆、绕包电电缆、无机绝缘电电缆等。

(3) 通信电电缆与通信光电缆 用于各种信号传输及远距离通信传输的线电电缆产品，主要包括通信电电缆、射频电电缆、通信光电缆、电子线电电缆等。

通信电电缆是传输电话、电报、电视、广播、传真、数据和其他电电信信息的电电缆，其中包括市内通信电电缆、数字通信对称电电缆和同轴（干线）通信电电缆，传输频率为音频~几千兆赫。

与通信电电缆相比较，射频电电缆是适用于无线电通信、广播和有关电子设备中传输射频（无线电）信号的电电缆，又称为“无线电电电缆”。其使用频率为几兆赫到几十吉赫，是高频、甚高频（VHF）和超高频（UHF）的无线电频率范围。射频电电缆绝大多数采用同轴型结构，有时也采用对称型和带型结构，它还包括波导、介质波导及表面波传输线。

通信光电缆是以光导纤维（光纤）作为光波传输介质进行信息传输，因此又称为纤维光电缆。由于其传输衰减小、频带宽、重量轻、外径小，又不受电磁场干扰，因此通信光电缆已逐渐替代了部分通信电电缆。按光纤传输模式来分，有单模和多模两种。按光电缆结构来分，有层绞式、骨架式、中心管式、层绞单位式、骨架单位式等多种形式。按其不同的使用条件和环境，光电缆可分为直埋光电缆、管道光电缆、架空光电缆、水下或海底光电缆等多种形式。

电子线电电缆在本手册中将其归类在通信线电电缆大类中。该类线电电缆产品主要用于电电器设备内部、内部与外部设备之间的连接，通常其长度较短，尺寸较小。主要用于600V及以下的各类家用电器设备、电通信设备、音视频设备、信息技术设备及电电信终端设备等。由于这些设备种类繁多、要求各异，因此，对该类线电电缆要求具备不尽相同的耐热性、绝缘性、特殊性能、机械性能以及外观结构等。

(4) 电电力电电缆 在电电力系统的主干（及支线）线路中用以传输和分配大功率电能的电电缆产品，其中包括1~500kV的各种电压等级、各种绝缘形式的电电力电电缆，包括超导电电缆、海底电电缆等。

(5) 电电气装备用电电线电缆 从电电力系统的配电点把电能直接传送到各种用电设备、器具的电源连接线路用电电线电缆，各种工农业装备、军用装备、航空航天装备等使用的电电气安装线和控制信号用的电电线电缆均属于这一大类产品。这类产品使用面广，品种多，而且大多要结合所用装备的特性和使用环境条件来确定产品的结构、性能。因此，除大量的通用产品外，还有许多专用和特种产品，统称为“特种电电缆”。

为了便于产品设计和制造的工程技术人员查阅，本手册将电电气装备用电电线电缆简单分为两大类：电电气装备用绝缘电电缆和绝缘电电缆，并按产品类别和名称直接分类。

本手册将按上述分类法介绍各类电电缆产品，在第1册及第2册中分别叙述。在其他场合，例如专利登记、查阅、图书资料分类等，也有按电电缆的材料、结构特征、耐环境特性等其他方式分类的。

2. 电线电缆的基本特性

电线电缆最基本的性能是有效地传播电磁波(场)。就其本质而言,电线电缆是一种导波传输线,电磁波在电缆中按规定的导向传播,并在沿线缆的传播过程中实现电磁场能量的转换。

通常在绝缘介质中传播的电磁波损耗较小,而在金属中传播的那部分电磁波往往因导体不完善而损耗变成热量。表征电磁波沿电缆回路传输的特性参数称为传输参数,通常用复数形式的传播常数和特性阻抗两个参数来表示。

电缆的另一个十分关键的基本特性是它对使用环境的适应性。不同的使用条件和环境对电线电缆的耐高温、耐低温、耐电晕、耐辐照、耐气压、耐水压、耐油、耐臭氧、耐大气环境、耐振动、耐溶剂、耐磨、抗弯、抗扭转、抗拉、抗压、阻燃、防火、防雷和防生物侵袭等性能均有相应的要求。在电缆的标准和技术要求中,均应对环境要求提出十分具体的测试或试验方法,以及相应的考核指标和检验办法。对一些特殊使用条件工作的电缆,其适用性还要按增列的使用要求项目考核,以确保电缆工程系统的整体可靠性。

正因为电线电缆产品应用于不同的场合,因此性能要求是多方面的,且非常广泛。从整体来看,其主要性能可综合为下列各项:

(1) **电性能** 包括导电性能、电气绝缘性能和传输特性等。

导电性能——大多数产品要求有良好的导电性能,有的产品要求有一定的电阻范围。

电气绝缘性能——绝缘电阻、介电常数、介质损耗、耐电压特性等。

传输特性——指高频传输特性、抗干扰特性、电磁兼容特性等。

(2) **力学性能** 指抗拉强度、伸长率、弯曲性、弹性、柔软性、耐疲劳性、耐磨性以及耐冲击性等。

(3) **热性能** 指产品的耐热等级、工作温度、电力电缆的发热和散热特性、载流量、短路和过载能力、合成材料的热变形和耐热冲击能力、材料的热膨胀性及浸渍或涂层材料的滴落性能等。

(4) **耐腐蚀和耐气候性能** 指耐电化腐蚀、耐生物和细菌侵蚀、耐化学药品(油、酸、碱、化学溶剂等)侵蚀、耐盐雾、耐日光、耐寒、防霉以及防潮性能等。

(5) **耐老化性能** 指在机械(力)应力、电应力、热应力以及其他各种外加因素的作用下,或外界气候条件下,产品及其组成材料保持其原有性能的能力。

(6) **其他性能** 包括部分材料的特性(如金属材料的硬度、蠕变,高分子材料的相容性等)以及产品的某些特殊使用特性(如阻燃、耐火、耐原子辐射、防虫咬、延时传输以及能量阻尼等)。

产品的性能要求,主要是从各个具体产品的用途、使用条件以及配套装备的配合关系等方面提出的。在一个产品的各项性能要求中,必然有一些主要的、起决定作用的,应该严格要求;而有些则是从属的、一般的。达到这些性能的综合要求与原材料的选用、产品的结构设计和生产过程中的工艺控制均有密切关系,各种因素又是相互制约的,因此必须进行全面的分析和研究。

电线电缆产品的使用面极为广泛,必须深入调查研究使用环境和使用要求,以便正确地进行产品设计和选择工艺条件。同时,必须配置各种试验设备,以考核和验证产品的各项性能。这些试验设备,有的是通用的,如测定电阻率、抗拉强度、伸长率、绝缘电阻和进行耐电压试验等所用的设备、仪表;有的是某些产品专用的,如漆包线刮漆试验机等;有的是按使用环境的要求专门设计的,如矿用电缆耐机械力冲击和弯曲的试验设备等,种类很多,要求各异。因此,在电线电缆产品的设计、研究、生产和性能考核中,对试验项目、方法、设备的研究设计和改进同样是十分重要的。

3. 电线电缆生产的工艺特点

电线电缆的制造工艺有别于其他结构复杂的电气产品的制造工艺。它不能用车、钻、刨、铣等通用机床加工,甚至连现代化的柔性机械加工中心对它的加工亦无能为力。电线电缆加工方法可简洁地归纳为“拉一包一绞”三大少物耗、低能耗的专用工艺。

通常用拉制工艺将粗的导体拉成细的;包是绕包、挤包、涂包、编包、纵包等多种工艺的总称,往往用于绝缘层的加工和护套的制作;绞是导线扭绞和绝缘线芯绞合成缆,目的是保证足够的柔软性。

实际的电线电缆专用生产设备与流水线分为拉线、绞线、成缆、挤塑、漆包、编织六大类。在 JB/T 5812~5820—2008 中,对上述设备的型式、尺寸、技术要求及基本参数都做了详细的规定。而在这些设备中大量采用的通用辅助部件,主要是放线、收线、牵引和绕包四大基本辅助部件,在 JB/T 4015—

2013、JB/T 4032—2013 及 JB/T 4033—2013 中也对这些设备的型式、尺寸、技术要求及基本参数都做了相应的规定。

电线电缆盘具是一种最通用的电缆专用设备部件,也是电线电缆产品不可缺少的包装用具。在我国已对电线电缆的机用线盘(PNS型)、大孔径机用线盘(PND型)和交货盘(PL型)分别制定了JB/T 7600—2008、JB/T 8997—2013 和 JB/T 8137—2013 标准;在JB/T 8135—2013 中,还对绕组线成品的各种交货盘(PC、PCZ型等)以及检测试验方法做出了具体规定。

实用的现代化电线电缆专用设备是将上述六类设备尽可能合理组合而成的流水线。

本手册中,尚未包括电线电缆生产工艺设备及其技术要求。

在改进产品质量和发展新品种时,必须充分考虑电线电缆产品的生产特点,这些生产特点主要如下:

(1) **原材料的用量大、种类多、要求高** 电线电缆产品性能的提高和新产品的发展,与选择适用的原材料以及原材料的发展、开发和改进有着密切的关系。

(2) **工艺范围广,专用设备多** 电线电缆产品在生产中要涉及多种专业的工艺,而生产设备大多是专用的。在各个生产环节中,采用合适的装备和工艺条件,严格进行工艺控制,对产品质量和产量的提高,起着至关重要的作用。

(3) **生产过程连续性强** 电线电缆产品的生产过程大多是连续的。因此,设计合理的生产流程和工艺布置,使各工序生产有序协调,并在各工序中加强半制品的中间质量控制,这对于确保产品质量、减少浪费、提高生产率等都是十分重要的。

4. 电线电缆材料及其特点

电线电缆所用材料主要包括:金属材料、光导纤维(光纤)、绝缘及护套材料以及各种各样的辅助材料。在本手册第3册中具体叙述。

(1) **金属材料** 电线电缆产品所用金属材料以有色金属为主,其绝大部分为铜、铝、铅及其合金,主要用作导体、屏蔽和护层。银、锡、镍主要用于导体的镀层,以提高导体金属的耐热性和抗氧化性。黑色金属在线缆产品中以钢丝和钢带为主体,主要用作电缆护层中的铠装层,以及作为架空输电线的加强芯或复合导体的加强部分。

(2) **塑料** 电缆工业用的塑料,几乎都是以合成树脂为基本成分,辅以配合剂如防老剂、增塑剂、填充剂、润滑剂、着色剂、阻燃剂以及其他特种用途的药剂而制成。由于塑料具有优良的电气性能、物理力学性能和化学稳定性能,并且加工工艺简单、生产效率较高、料源丰富,因此,无论是作为绝缘材料还是护套材料,在电线电缆中都得到了广泛的应用。

(3) **橡胶和橡皮** 橡胶和橡皮具有良好的物理力学性能,抗拉强度高,伸长率大,柔软而富有弹性,电气绝缘性能良好,有足够的密封性,加工性能好以及某些橡胶品种的各种特殊性能(如耐油和耐溶剂、耐臭氧、耐高温、不延燃等),因而在各类电线电缆产品中广泛地用作绝缘和护套材料。

(4) **电磁线漆** 电磁线漆是用于制造漆包线和胶粘纤维绕包线绝缘层的一种专用绝缘漆料。用于电磁线的绝缘材料还有纸带、玻璃丝带、复合带等。

(5) **光纤** 光纤主要用作光波传输介质进行信息传输。光纤的主要材质可分为石英玻璃光纤和塑料光纤。石英玻璃光纤主要是由二氧化硅(SiO_2)或硅酸盐材质制成,已经开发出多种可用的石英玻璃光纤(如特种光纤等)。塑料光纤(POF)主要是由高透光聚合物制成的一类光纤。光纤由中心部分的纤芯和环绕在纤芯周围的包层组成,不同的材料和结构使其具有不同的使用性能。

(6) **各种辅助材料** 包括纸、纤维、带材、油料、涂料、填充材料、复合材料等,满足电线电缆各种性能的需求。

5. 电线电缆选用及敷设

由于电线电缆品种规格很多,性能各不相同,因此对广大使用部门来说,在选用电线电缆产品时应该注意以下几个基本要求。

(1) **选择产品要合理** 在选择产品时应充分了解电线电缆产品的品种规格、结构与性能特点,以保证产品的使用性能和延长使用寿命。例如,选用高温的漆包线,将可提高电机、电器的工作温度,减小结构尺寸;又如在绝缘电线中,有耐高温的、有耐寒的、有屏蔽特性的,以及不同柔软度的各种品种,必须根

据使用条件合理选择。

(2) 线路设计要正确 在电线电缆线路设计的线路路径选择中,应尽量避免各种外来的破坏与干扰因素(机械、热、雷、电、各种腐蚀因素等)或采用相应的防护措施,对于敷设中的距离、位差、固定的方式和间距、接头附件的结构形式和性能、配置方式、与其他线路设备的配合等,都必须进行周密的调查研究,做出正确的设计,以保证电线电缆的可靠使用。

(3) 安装敷设要认真 电线电缆本体仅是电磁波传输系统或工程中的一个部件,它必须进行端头处理、中间连接或采取其他措施,才与电缆附件及终端设备组成一个完整的工程系统。整个系统的安装质量及可靠运行不仅取决于电线电缆本身的产品质量,而且与电线电缆线路的施工敷设的质量息息相关。在实际电线电缆线路故障率统计分析中,由于施工、安装、接续等因素所造成的故障率往往要比电缆本身的缺陷所造成的大得多,因此,必须对施工安装工艺严格把关,并在选用电缆时应特别注意电缆与电缆附件的配套。对光缆亦如此。

(4) 维护管理要加强 电线电缆线路往往要长距离穿越不同的环境(田野、河底、隧道、桥梁等),因此容易受到外界因素影响,特别是各种外力或腐蚀因素的破坏。所以,加强电缆线路的维护和管理,经常进行线路巡视和预防测试,采取各种有效的防护措施,建立必要的自动报警系统,以及在发生事故的情况下,及时有效地测定故障部位、便于快速检修等,这些都是保证电线电缆线路可靠运行的重要条件。

电线电缆制造部门,应在广大使用部门密切配合下,不断改进接头附件的设计。电线电缆的接头附件包括电线电缆终端或中间连接用各种终端头、连接盒,安装固定用的金具和夹具以及充油电缆的压力供油箱等。它们是电缆线路中必不可少的组成部分。由于接头附件处于与电缆完全相同的使用条件下,同时接头附件又必须解决既要引出电能,又要对周围环境绝缘、密封等一系列问题。因此,它的性能要求和结构设计往往比电缆产品本身更为复杂。同时,接头附件基本上是在现场装配,安装条件必然相对工厂的生产条件差,这给保证电缆接头附件的质量带来了一些不利因素。因此,研究改进接头附件的材料、结构、安装工艺等工作应引起制造和使用部门的极大重视。

电线电缆的附件及安装敷设技术要求在本手册的第4册中叙述。

本 册 前 言

本册为《电线电缆手册》第3版第2册，共分四篇，主要包括：电力电缆品种和结构、电性能参数及其计算、结构设计、热稳定性、载流量、性能测试以及充油电缆供油系统设计；电气装备用电线电缆导线芯结构及绝缘层和护层的设计原则、品种、用途、规格、技术指标、试验方法及测试设备等；电缆护层的分类、结构、型号、特性和用途、设计与计算以及性能测试等；电线电缆的结构计算。

本册由吴长顺担任主编并统稿。

第5篇 电力电缆。主要包括：电力电缆品种、结构和性能，电力电缆电性能参数及其计算，电缆的结构设计，电力电缆的载流量，电缆的热力学特性，电力电缆的性能测试以及充油电缆供油系统设计共七章。

第6篇 电气装备用电线电缆。主要包括：电气装备用电线电缆导线芯结构及绝缘层和护层的设计原则、电气装备用绝缘电线、电气装备用电缆和性能测试共四章。

第7篇 电缆护层。主要包括：电缆护层的分类、结构、型号、特性和用途，电缆护层的设计与计算，电缆护层的试验共三章。

第8篇 电线电缆的结构。主要包括：单根导体、绞线、绝缘层和电缆芯（成缆）共四章。

参与本册编写或提供相关资料并做出贡献的科技人员还有（排名不分先后）：

肖继东、杨立志、李骥、杨娟娟、贾欣、宗曦华、陈慧娟。

在此，一并致以诚挚谢意，并对其所在的企业及部门给予的大力支持表示感谢。

目 录

总前言	
总 论	
本册前言	

第5篇 电力电缆

第1章 电力电缆品种、结构和性能	3	1.9.4 压缩气体绝缘电缆	108
1.1 电力电缆品种	3	1.9.5 低温电缆	108
1.2 聚氯乙烯绝缘电力电缆	4	第2章 电力电缆电性能参数及其计算	110
1.2.1 品种规格	4	2.1 设计电压	110
1.2.2 产品结构	10	2.2 导体电阻	110
1.2.3 技术指标	13	2.2.1 导体直流电阻	110
1.3 交联聚乙烯绝缘电力电缆	15	2.2.2 导体交流电阻	111
1.3.1 1.8/3kV 及以下产品	15	2.3 电感及电磁力	113
1.3.2 3.6/6kV ~26/35kV 产品	28	2.3.1 电缆电感的计算	113
1.3.3 48/66kV ~290/500kV 产品	38	2.3.2 电缆护套的电感	116
1.4 塑料架空绝缘电缆	53	2.3.3 电磁力的计算	117
1.4.1 1kV 架空绝缘电缆	53	2.3.4 电缆的电抗、阻抗及电压降	118
1.4.2 10kV 架空绝缘电缆	59	2.3.5 金属护套的感应电压及电流	118
1.5 乙丙橡皮绝缘电力电缆	64	2.4 绝缘电阻	124
1.5.1 乙丙橡皮绝缘低压电力电缆	64	2.4.1 绝缘电阻的计算方法	125
1.5.2 乙丙橡皮绝缘中压电力电缆	68	2.4.2 几何因数计算	125
1.6 直流陆地用电缆	73	2.5 电缆的电容	127
1.6.1 品种规格	73	2.5.1 电容的计算	127
1.6.2 产品结构	74	2.5.2 多芯电缆的工作电容	129
1.6.3 技术指标	76	2.5.3 电容充电电流的计算	130
1.7 海底电缆	84	2.6 电缆的介质损耗	130
1.7.1 交联聚乙烯绝缘交流海底电缆	84	2.6.1 介质损耗的概念	130
1.7.2 交联聚乙烯绝缘直流海底电缆	94	2.6.2 介质损耗角正切的计算	130
1.8 超导电缆	102	2.6.3 油浸纸绝缘介质损耗角正切的特性	133
1.8.1 品种规格	102	2.7 电缆绝缘的老化及寿命	135
1.8.2 产品结构	102	2.7.1 绝缘的老化及寿命概念	135
1.8.3 技术指标	103	2.7.2 交流电压下电缆绝缘的老化及寿命	135
1.9 其他电缆	104	2.7.3 多次冲击电压作用下油纸绝缘的老化	137
1.9.1 自容式充油电缆	104		
1.9.2 粘性浸渍纸绝缘电缆	107		
1.9.3 钢管充油电缆	107		

2.7.4 直流电压下油纸绝缘的老化及寿命	137	第5章 电缆的热力学特性	179
2.8 电缆的电场分布及其计算	138	5.1 电缆的热稳定性	179
2.8.1 交流电工作状态的电缆	138	5.1.1 电缆的热稳定性条件	179
2.8.2 直流电工作状态的电缆	142	5.1.2 电缆的发热曲线	180
2.9 绝缘击穿强度的统计理论	145	5.1.3 电缆的散热曲线	181
2.9.1 绝缘材料的寿命曲线	145	5.2 电缆热力学性能设计	181
2.9.2 电缆绝缘击穿强度与电缆几何尺寸的关系	145	5.2.1 塑料绝缘电缆	182
第3章 电缆的结构设计	147	5.2.2 油浸纸绝缘电缆	183
3.1 导体结构设计	147	第6章 电力电缆的性能测试	187
3.1.1 绞合形式分类	147	6.1 导体直流电阻的测试	188
3.1.2 绞合角和绞入率	148	6.2 绝缘电阻的测试	191
3.1.3 最小节距比、层数与单线根数的关系	148	6.2.1 测试目的	191
3.1.4 线芯的填充系数	149	6.2.2 绝缘电阻与泄漏电流	191
3.1.5 导体结构	150	6.2.3 测试中电压与时间的选择	192
3.2 绝缘结构设计	153	6.2.4 测试方法选择	192
3.2.1 交流系统用的单芯、多芯电缆绝缘层中的电场分布	153	6.2.5 测试绝缘电阻的直流比较法	193
3.2.2 绝缘的电气强度	154	6.2.6 高温下绝缘电阻的测试方法	194
3.2.3 油浸纸绝缘电缆的绝缘设计	155	6.2.7 绝缘电阻温度换算系数	194
3.2.4 塑料及橡皮绝缘电缆的绝缘设计	158	6.3 电缆介质损耗角正切值的测试	195
3.2.5 直流单芯电缆的绝缘设计	160	6.3.1 测试介质损耗角正切 ($\tan\delta$) 值的意义	195
3.3 屏蔽结构设计	161	6.3.2 测试电压的选择	196
3.3.1 聚氯乙烯电缆屏蔽结构	162	6.3.3 $\tan\delta$ 的测试方法	197
3.3.2 交联聚乙烯电缆屏蔽结构	162	6.3.4 影响测试结果的因素及防护措施	199
3.4 护层结构设计	162	6.3.5 测试实例的质量分析	200
第4章 电力电缆的载流量	164	6.4 工频电压试验	202
4.1 长期允许载流量	164	6.4.1 试验类型与目的	202
4.1.1 导线交流电阻计算	164	6.4.2 交流耐压试验的方法	202
4.1.2 介质损耗计算	165	6.5 直流耐压与泄漏电流的测试	204
4.1.3 金属护套损耗系数计算	165	6.5.1 测试的目的与要求	204
4.1.4 铠装损耗系数计算	166	6.5.2 试验装置	206
4.1.5 电缆的热阻计算	167	6.5.3 测试中的技术要求及注意事项	206
4.2 电缆周期负载载流量	168	6.6 冲击电压试验	206
4.3 电缆短时过载载流量	169	6.6.1 试验目的	206
4.4 电缆的允许短路电流	169	6.6.2 试验装置及冲击电压的测量	207
4.5 强迫冷却下的电缆载流量	170	6.6.3 试验方法	208
4.5.1 强迫冷却的方式	170	6.7 电缆的电热老化试验	209
4.5.2 介质损耗对载流量的影响及提高传输容量的途径	170	6.7.1 试验目的	209
4.5.3 强迫冷却时允许载流量的计算	172	6.7.2 试验线路	209
4.5.4 冷却管道中压力降落的计算	174	6.7.3 试验中的电条件	209
4.5.5 电缆线路电气参数计算	174	6.7.4 试验中的热条件	209
		6.7.5 老化试验中的测量	210
		6.8 电缆系统的预鉴定试验	210
		6.8.1 概述和预鉴定试验的认可范围	210
		6.8.2 电缆系统的预鉴定试验要求	210

6.8.3 电缆系统的预鉴定扩展试验	211	7.2 供油箱的布置	229
6.9 电缆绝缘局部放电的检测	212	7.2.1 重力供油系统	230
6.9.1 测试目的	212	7.2.2 压力供油系统	230
6.9.2 局部放电测试原理	213	7.2.3 混合供油系统	230
6.9.3 测试回路及测量仪器	213	7.3 电缆系统的需油量	230
6.9.4 测试中的校正	215	7.4 供油箱数量的确定	231
6.9.5 外部干扰	218	7.5 暂态油压计算	231
6.9.6 局部放电测试方法	218	7.6 供油长度的确定	232
6.10 载流量试验	219	7.7 供油箱压力整定	233
6.10.1 试验目的	219	附录 常用电力电缆的载流量	234
6.10.2 试验内容	219	附录 A 1~35kV 纸绝缘电力电缆载流量表	234
6.10.3 试验方法	219	附录 B 1~35kV 塑料、橡皮绝缘电力电缆载	
6.10.4 用探针法测量土壤的热阻系数	221	流量表	238
6.11 电缆结构检查与理化试验	221	附录 C 橡皮、塑料绝缘电线、软线载	
6.11.1 结构检查	221	流量表	243
6.11.2 力学性能试验	224	附录 D 橡套电缆、塑料绝缘护套电缆载	
6.11.3 理化性能试验	225	流量表	246
第7章 充油电缆供油系统设计	226	附录 E 自容式充油电缆载流量表	249
7.1 供油箱的工作原理及型式	226	附录 F 110kV、220kV 交联聚乙烯绝缘铝套聚氯	
7.1.1 重力供油箱	226	乙烯外护套电缆长期载流量	252
7.1.2 压力供油箱	227	附录 G 不同敷设条件下载流量的校正	
7.1.3 平衡供油箱 (恒压供油箱)	229	系数	261

第6篇 电气装备用电线电缆

第1章 电气装备用电线电缆导电线芯结构及		2.2.4 使用要求与结构特点	305
绝缘层和护层的设计原则	265	2.3 屏蔽绝缘电线	305
1.1 导电线芯结构	265	2.3.1 产品品种	306
1.2 绝缘层的设计原则	268	2.3.2 产品规格与结构尺寸	306
1.2.1 绝缘材料的选择原则	268	2.3.3 性能指标	309
1.2.2 绝缘厚度的确定	268	2.3.4 使用要求与结构特点	310
1.3 护层的设计原则	270	2.4 汽车车辆用电线	310
1.3.1 护层的结构类型	270	2.4.1 产品品种	311
1.3.2 橡皮、塑料护套厚度的确定	270	2.4.2 产品规格与结构尺寸	312
第2章 电气装备用绝缘电线	272	2.4.3 汽车车辆用电线电缆的性能测试	
2.1 通用橡皮 (含交联型塑料)、塑料绝缘		项目及试验方法	314
电线	272	2.5 电机绕组引接软线	318
2.1.1 产品品种	272	2.5.1 产品品种和型号	318
2.1.2 产品规格与结构尺寸	274	2.5.2 产品规格与结构尺寸	319
2.1.3 性能指标	285	2.5.3 性能指标	322
2.1.4 试验要求与结构特点	293	2.6 航空用电线	323
2.2 通用橡皮、塑料绝缘软线	294	2.6.1 产品品种	323
2.2.1 产品品种	295	2.6.2 产品规格与结构尺寸	337
2.2.2 产品规格与结构尺寸	296	2.6.3 性能要求	362
2.2.3 性能指标	303	2.6.4 航空电线交货长度	373

2.6.5 航空电线载流量	374	3.5.1 橡皮绝缘橡皮护套电梯电缆	478
2.7 其他专用绝缘电线	377	3.5.2 塑料绝缘塑料护套电梯电缆	481
2.7.1 补偿导线	377	3.6 控制电缆和计算机及仪表电缆	481
2.7.2 不可重接插头线	378	3.6.1 产品品种	482
2.7.3 农用直埋铝芯塑料绝缘塑料 护套电线	379	3.6.2 产品规格与结构尺寸	499
2.7.4 控温加热线	381	3.6.3 性能指标	504
2.8 绝缘电线的载流量	382	3.6.4 使用要求和结构特点	511
2.8.1 空气敷设时的载流量	382	3.7 直流高压软电缆	511
2.8.2 穿管敷设时的载流量	383	3.7.1 产品品种	512
2.8.3 载流量校正系数	385	3.7.2 规格、结构与性能指标	512
第3章 电气装备用电线	386	3.7.3 使用要求和结构特点	517
3.1 橡套软电缆	386	3.8 核电站用电线	518
3.1.1 产品品种	386	3.8.1 品种规格	518
3.1.2 通用橡套软电缆	387	3.8.2 产品结构(核级电缆)	522
3.1.3 电焊机用软电缆	393	3.8.3 技术指标	522
3.1.4 防水橡套电缆	394	3.9 风力发电用电线	524
3.1.5 潜水泵用扁电缆	395	3.9.1 风力发电用 1.8/3kV 及以下电力 电缆	524
3.1.6 无线电台装置用电线	397	3.9.2 风力发电用 3.6/6kV 及以上电力 电缆	530
3.1.7 摄影光源软电缆	399	3.10 光伏发电用电线	532
3.2 矿用电缆	401	3.10.1 品种规格	532
3.2.1 产品品种	402	3.10.2 产品结构	534
3.2.2 产品规格与结构尺寸	403	3.10.3 技术指标	535
3.2.3 主要性能指标	408	3.11 轨道交通用电线	536
3.2.4 交货长度	411	3.11.1 产品品种	536
3.2.5 电缆线路电压降落与电缆电容 参考值	411	3.11.2 产品规格与结构尺寸	536
3.2.6 矿用电缆特殊试验方法	412	3.11.3 试验项目及试验方法	538
3.3 船用电缆	413	3.12 铁路机车车辆用电线	543
3.3.1 产品分类和命名	414	3.12.1 产品品种	543
3.3.2 产品品种和规格	416	3.12.2 产品规格与结构尺寸	543
3.3.3 船用电力电缆	428	3.12.3 测试项目和试验方法	557
3.3.4 船用控制电缆	452	3.13 机场灯光照明用埋地电缆	565
3.3.5 船用通信电缆	458	3.13.1 品种规格	565
3.3.6 船用射频电缆	460	3.13.2 产品结构	566
3.3.7 船用电缆交货长度	464	3.13.3 技术指标	566
3.3.8 船用电缆特殊试验方法	465	3.14 无机绝缘耐火电缆	567
3.3.9 船用电缆载流量	466	3.14.1 氧化镁矿物绝缘电缆	567
3.4 石油及地质勘探用电线	468	3.14.2 云母带绕包绝缘耐火电缆	572
3.4.1 产品品种	468	3.15 耐高温电缆	576
3.4.2 产品规格与结构尺寸	470	3.15.1 硅橡胶绝缘软电缆	576
3.4.3 主要性能指标	474	3.15.2 氟塑料绝缘电线电缆	578
3.4.4 使用要求和结构特点	476	3.15.3 无机绝缘耐高温电缆	580
3.4.5 特殊试验方法	477	3.16 海洋工程电气装备用电线	580
3.5 电梯电缆	478	3.16.1 卷筒电缆	580

3.16.2 拖令电缆	584	4.4.4 屏蔽效能试验	619
3.16.3 拖链电缆	586	4.4.5 表面放电电压的测定	620
3.16.4 石油平台用电力电缆	588	4.4.6 护套电晕开裂性能试验	621
3.17 其他电缆	590	4.4.7 耐表面电痕试验	621
3.17.1 单芯中频同轴电缆	590	4.4.8 抑制点火对无线电干扰性能试验	623
3.17.2 铝芯滤尘器用电缆	591	4.4.9 耐热、耐水、耐油试验后的电性能试验	624
3.18 热带地区对电线电缆的技术要求	591	4.5 力学性能试验	624
3.18.1 热带地区的气候条件	591	4.5.1 导电线芯弯曲试验	624
3.18.2 产品型号与技术要求	591	4.5.2 电缆弯曲试验	626
3.18.3 气候对产品性能的要求	592	4.5.3 电缆扭转试验	628
第4章 性能测试	593	4.5.4 耐磨耗试验	629
4.1 性能与测试项目	593	4.5.5 静态曲挠试验	629
4.1.1 性能与测试项目的分类	593	4.5.6 电缆横向密封性试验	630
4.1.2 工厂检测试验与研究性试验	596	4.6 耐热性、耐寒性和耐臭氧试验	630
4.2 结构尺寸检查	599	4.6.1 加速热老化试验	630
4.2.1 外径的测定	599	4.6.2 热寿命评定试验	635
4.2.2 厚度、厚度偏差率及偏心度的测定	600	4.6.3 热变形性能试验	638
4.2.3 节距的测定	601	4.6.4 耐寒性能试验	640
4.2.4 编织覆盖率的检测	601	4.6.5 耐臭氧试验	642
4.3 基本电性能试验	603	4.7 耐油性试验	644
4.3.1 导电线芯直流电阻试验	603	4.7.1 耐油性概述	645
4.3.2 浸水电压试验	606	4.7.2 试验条件与参数	645
4.3.3 火花耐电压试验	607	4.7.3 试验方法	646
4.3.4 绝缘电阻测试	611	4.7.4 试验实例	646
4.4 特殊电性能试验	614	4.8 耐气候性能试验	647
4.4.1 半导体屏蔽材料电阻率的测定	614	4.8.1 耐湿热试验	647
4.4.2 中高压电力电缆屏蔽层体积电阻介绍	616	4.8.2 防霉试验	650
4.4.3 半导体线芯电阻稳定性试验	618	4.8.3 光老化试验	651

第7篇 电缆护层

第1章 电缆护层的分类、结构、型号、特性

和用途	655
1.1 电缆护层的分类、结构和型号	655
1.1.1 电缆护层的分类	655
1.1.2 电缆护层的结构	655
1.1.3 电缆护层的型号	656
1.2 电缆护层的特性	657
1.2.1 金属护层的特性	657
1.2.2 橡塑护层的特性	659
1.2.3 组合护层的特性	660
1.2.4 特种护层的特性	660
1.2.5 外护层的特性	661

1.3 电缆护层的用途	664
-------------------	-----

1.3.1 电缆护层对各种绝缘的适用性	664
1.3.2 电缆外护层对各种内护套的适用性	664
1.3.3 电缆护层的使用范围	665

第2章 电缆护层的设计与计算

2.1 电缆护层结构尺寸计算	668
2.1.1 假定直径的计算	668
2.1.2 护套厚度的设计计算	670
2.1.3 复合铝带(或铅带)纵包重叠宽度的确定	672
2.1.4 皱纹金属套轧纹深度的确定	672

2.1.5 加强层厚度的设计计算	672	3.3.10 振动试验	689
2.1.6 带型内衬层和纤维外被层厚度的 确定	672	3.3.11 蠕变试验	689
2.1.7 铠装层厚度的确定	672	3.4 电缆护层环境与老化性能试验方法	689
2.2 电缆护层的机械强度计算及校核	673	3.4.1 耐寒性试验	689
2.2.1 电缆护层的受力计算	673	3.4.2 耐热性试验	690
2.2.2 电缆护层的应力计算	677	3.4.3 耐油性试验	690
2.2.3 电缆护层的强度校核	678	3.4.4 光老化试验	690
2.3 电缆护层橡塑材料的透过性	678	3.4.5 厌氧性细菌腐蚀试验	690
2.3.1 橡塑材料的透过性	678	3.4.6 环烷酸铜含量测定	691
2.3.2 影响橡塑材料透过性的因素	679	3.4.7 防霉试验	691
2.3.3 透过量的计算	680	3.4.8 盐浴槽试验	691
2.3.4 橡塑材料的透过系数	680	3.4.9 腐蚀扩展试验	692
2.4 电缆护层结构的防蚀设计计算	681	3.4.10 透潮性试验	692
2.4.1 电缆护层金属材料的腐蚀	681	3.4.11 耐药品性试验	694
2.4.2 电缆护层结构的防蚀设计	682	3.4.12 耐环境应力开裂试验	694
2.4.3 防蚀层厚度的确定	682	3.5 燃烧试验方法	695
2.4.4 橡塑护套的化学稳定性	682	3.5.1 氧指数测定方法	695
2.5 防雷护层的设计与计算	683	3.5.2 温度指数测定方法	698
2.5.1 雷电对电缆的影响	683	3.5.3 比光密度测定方法 (NBS 法)	698
2.5.2 电缆的防雷品质因数	683	3.5.4 氢卤酸含量测定方法	701
2.5.3 电缆护层雷击点感应电压计算	683	3.5.5 燃烧释出气体的酸度和电导率 测定方法	703
2.5.4 防雷护层的结构设计	684	3.5.6 毒性指数测定方法	703
第3章 电缆护层的试验	685	3.5.7 单根电线电缆垂直燃烧试验方法	704
3.1 电缆护层的试验项目	685	3.5.8 单根电线电缆水平燃烧试验方法	708
3.2 电缆护层的一般检查方法	685	3.5.9 单根电线电缆倾斜燃烧试验方法	710
3.2.1 外观检查	685	3.5.10 成束电线电缆燃烧试验方法	711
3.2.2 结构检查	686	3.5.11 电线电缆燃烧的烟密度试验 方法	715
3.2.3 尺寸检查	686	3.5.12 电线电缆冒烟试验方法	718
3.3 电缆护层力学性能试验方法	687	3.5.13 电线电缆耐火试验方法	719
3.3.1 扩张试验	687	3.6 电缆护层电性能试验方法	719
3.3.2 弯曲试验	687	3.6.1 耐电压试验	719
3.3.3 柔软性 (挠性) 试验	687	3.6.2 火花试验	720
3.3.4 拉伸试验	687	3.6.3 内衬层电阻测试	720
3.3.5 压缩试验	688	3.7 电缆护层特种性能试验方法	721
3.3.6 内压试验	688	3.7.1 防白蚁试验方法	721
3.3.7 冲击试验	688	3.7.2 防老鼠试验方法	721
3.3.8 扭转试验	689	3.7.3 核电环境试验方法	721
3.3.9 刮磨试验	689		

第8篇 电线电缆的结构

第1章 单根导体	727	1.1.2 双金属线	727
1.1 圆单线	727	1.1.3 有镀层的圆单线	728
1.1.1 单一材料圆单线	727	1.1.4 空心圆单线	728

1.2 扁线、带材及母线	728	3.1.3 半圆形与扇形紧压线芯的绝缘层 ...	752
1.2.1 矩形型线	728	3.1.4 多根平行线芯的绝缘层	752
1.2.2 梯形铜排	729	3.2 绕包绝缘层	753
1.2.3 多边形铜排	729	3.2.1 带状绝缘层	754
1.3 实心扇形、弓形及Z形线芯	730	3.2.2 绳状绝缘层	754
1.3.1 实心扇形线芯	730	3.2.3 线状绝缘层	755
1.3.2 弓形及Z形单线	731	3.2.4 绝缘浸渍材料的重量	758
1.4 双沟形接触线	731	3.3 其他形式绝缘层	758
1.4.1 单一材料双沟形接触线	731	第4章 电缆芯(成缆)	759
1.4.2 钢铝接触线	732	4.1 等圆绝缘线芯构成的电缆芯	759
第2章 绞线	734	4.1.1 圆形电缆芯	759
2.1 绞线计算中常用的几个基本参数	734	4.1.2 扁平形电缆芯	759
2.1.1 螺旋升角、节距、节圆直径与节 径比	734	4.1.3 三角形电缆芯	759
2.1.2 绞入率、绞入系数及平均绞入 系数	734	4.2 不等圆绝缘线芯构成的电缆芯	760
2.2 普通绞线及组合绞线	735	4.2.1 两大一小的电缆芯	760
2.2.1 普通绞线	735	4.2.2 三大一小的电缆芯	761
2.2.2 组合绞线	738	4.2.3 三大三小的电缆芯	763
2.3 束线及复绞线	738	4.3 电力电缆和通信电缆的电缆芯	763
2.3.1 束线	738	4.3.1 半圆形或扇形绝缘线芯构成的电力 电缆芯	763
2.3.2 复绞线	740	4.3.2 通信电缆的电缆芯	764
2.4 其他形式的圆形绞线	741	4.4 电缆芯的重量	767
2.4.1 扩径绞线及空心线芯	741	4.4.1 无填充物的电缆芯重量	767
2.4.2 压缩绞线及紧压线芯	742	4.4.2 有填充物和有垫芯的电缆芯重量 ...	767
2.4.3 电话软线的导电线芯	743	第5章 保护层	768
2.4.4 型线绞合	744	5.1 实体护层	768
2.5 扇形和半圆形紧压线芯	745	5.1.1 单芯电线电缆的护层	768
2.5.1 扇形及半圆形紧压线芯的填充 系数	746	5.1.2 2芯或3芯扁平形电线电缆的 护层	768
2.5.2 扇形及半圆形紧压线芯的结构 尺寸	746	5.1.3 多芯圆形电线电缆的护层	770
第3章 绝缘层	749	5.2 编织护层	771
3.1 实体绝缘层	749	5.2.1 有涂料的纤维编织护层	771
3.1.1 单根线芯的绝缘层	749	5.2.2 金属丝编织护层	773
3.1.2 圆形绞合线芯的绝缘层	750	5.3 铠装电缆外护层	773
		5.3.1 铅护套电缆外护层结构形式	773
		5.3.2 外护层外径及重量的计算	774