

电 气 技 术 丛 书

35kV及以下电力电缆技术

● 丁雪峰 郑先锋 郑梅 编著

 化学工业出版社

TM75/3

2008

电 气 技 术 书

本书可作为电气工程及其自动化专业及相关专业本科生的教材，也可供从事电力电缆工作的工程技术人员参考。

- [1] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [3] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [6] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [7] 王雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.

35kV及以下电力电缆技术

● 丁雪峰 郑先锋 郑梅 编著



中国图书馆分类号 (CIP) 数据: 丁雪峰, 郑先锋, 郑梅. 35kV及以下电力电缆技术. 北京: 化学工业出版社, 2008. 3册. 1: 3... Ⅱ. 丁... 郑... 郑... Ⅲ. 电力电缆. Ⅳ. TM754. 中国图书馆分类号 (CIP) 数据 (5008) 第 032398 号

责任编辑: 刘...
封面设计: 于...

责任编辑: 刘...
封面设计: 于...

(110001)

丁雪峰, 郑先锋, 郑梅

出版发行: 化学工业出版社
社址: 北京东城区...
787mm×1092mm 1/16



化学工业出版社

北京

本书全面系统地介绍了 35kV 及以下电力电缆的基本知识,包括电力电缆的基本结构、选择、安装、敷设、试验、故障诊断技术、运行、维护、电缆三头制作工艺等内容。各部分章节既有联系,又保持相对的独立性。在文字叙述方面力求深入浅出,通俗易懂。

本书适合于从事电气工作的工程技术人员使用,也可以作为学校电气相关专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

35kV 及以下电力电缆技术/丁雪峰,郑先锋,郑梅
编著. —北京:化学工业出版社,2008.3

(电气技术丛书)

ISBN 978-7-122-02191-5

I. 3… II. ①丁… ②郑… ③郑… III. 电力电
缆 IV. TM247

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 022598 号

责任编辑:刘哲

文字编辑:吴开亮

责任校对:洪雅妹

装帧设计:于兵

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张11¼ 字数245千字 2008年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

化学工业出版社电气类图书

书 名	定 价/元
继电器及继电保护装置实用技术手册	85.00
电缆及其附件手册	72.00
电气材料手册	70.00
最新实用电工手册	148.00
电气工程手册——石化、石油、天然气行业电气工程师用书	69.00
电气技术丛书——UPS应用技术	28.00
电气技术丛书——自备电厂	45.00
电气技术丛书——防雷与接地技术	30.00
电气设备丛书——电机原理与应用	32.00
电气设备丛书——电气测量仪器	29.00
电气设备丛书——电热设备	38.00
电气设备丛书——防爆电器	29.00
电气设备丛书——防雷与接地装置	23.00
电气设备丛书——开关电源技术	35.00
PLC 技术及应用	18.00
电动机及控制线路	16.00
电工常用电气线路	18.00
电工常用工具和仪表	18.00
电工常用元器件和装置	18.00
电工必读	23.00
电气工人识图 100 例	23.00
电工计算 100 例	19.00
小功率异步电动机维修技术	39.00
电工技能训练	22.00
技术工人岗位培训读本——维修电工	28.00
技术工人岗位培训题库——运行电工	29.00
职业技能鉴定培训读本(初级工)——电工基础	23.00
职业技能鉴定培训读本(初级工)——电工识图	20.00
职业技能鉴定培训读本(技师)——维修电工	36.00
职业技能鉴定培训读本(高级工)——维修电工	31.00
电工技术培训读本——电气控制与可编程控制器	24.00
电工技术培训读本——实用电子技术基础	20.00
电工技术培训读本——继电保护与综合自动化系统	15.00
电工技术培训读本——电机应用技术	18.00
电工技术培训读本——电工材料	18.00
电工技术培训读本——工厂电气试验	19.00
电工技术培训读本——工厂供配电技术	19.00
电工技术培训读本——电路与电工测量	18.00
电工技术培训读本——电气运行与管理技术	14.00
实用电机控制电路维修技术	28.00
机电识图丛书——电气识图	35.00
特种作业安全技术培训教材——电工(低压运行维修)	25.00
特种作业安全技术培训教材——电工(高压运行维修)	18.00

以上图书由化学工业出版社机械·电气出版分社出版。如要出版新著,请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录,或者更多的专业图书信息,请登录 www.cip.com.cn。

地址:北京市东城区青年湖南街13号(100011)

购书咨询:010-64518888 编辑:010-64519260

丛书前言

进入 21 世纪,科学技术在许多领域,特别是在信息、先进制造、先进材料、生物、能源技术等高新技术领域的飞速发展,使社会、经济和人民生活发生了巨大的变化。我国加入世界贸易组织后机遇和挑战并存,全球范围的竞争主要表现在人才的竞争。国家“十一五”时期推进实施人才强国战略的主要任务之一,是实施专业技术人员知识更新工程和战略高技术人才培养工程。

科学是技术的源头,但直接作用于生产实际的是技术。加强工程教育,重视工程技术人才的培养,是一项长期的系统工程。“十一五”规划提出:加快构建终身教育体系,建立继续教育、终身学习的平台,完善终身学习保障机制,着力提高全民科学文化素质,提高公民的学习能力、实践能力和创新能力,加快建立学习型社会。对每一个投身工程领域的人,继续教育、终身学习已成为适应社会发展和科技进步的必需。科学发展和技术进步,体现在生产一线和工程实际中。已走出校门的工程技术人员除应当具有本专业领域比较深厚的理论基础外,相关领域的专业知识、工程应用和新技术也是要注意和涉猎的,这是专业交叉、学科融合的大趋势给我们提出的要求。

电能与其他二次能源相比,具有易于传输、方便控制、利用环保的优点。随着经济的发展和科技的进步,电能的利用越来越广泛,社会对电气工程人才的需求越来越大,要求越来越高。针对电气工程人才的社会需求,以及工程技术人员对电气工程领域的专业知识、工程应用和新技术的关注,南京师范大学电气与自动化工程学院组织编写了这套电气工程技术丛书,希望通过这套丛书将电气工程领域的有关技术和发展奉献给读者,以达到联系工科教育、工程技术和生产实际的目的。这套丛书从规划选题开始就确立了以基本原理为基础、以工程应用和新技术为主线的编写思路,内容涵盖了电气工程领域中发电、变电、继电保护、防雷与接地、绝缘技术、电源技术、电气控制技术、电气测量技术、电梯与照明技术以及变频器技术等。在编写上注意以基础理论够用,强调工程应用为原则,反映新技术,注重启发性和实践性。

这套丛书的编者有从事工科教育的高等学校教师,有生产一线的工程师。大家都怀着为读者奉献高质量图书的良好愿望,但不足之处一定会有,真诚地希望读者及时给予批评和指正。

南京师范大学电气与自动化工程学院

前 言

科学技术的突飞猛进,使电力系统取得了长足的发展。全国输电网建设“西电东送、南北互供、全国联网”的发展战略,极大地促进了我国输电网建设“远距离、大范围、大容量、高电压”格局的显现。而在配电网建设中,城市化发展和城市电网的大规模改造与建设,大型工业制造企业以及建筑业的发展,将会极大地促进对电力电缆的需求。预计“十一五”期间,电力电缆的年均增加率会达到13%~15%。与架空线路相比,电力电缆有它自身的优点:不受周围环境与污染的影响,送电可靠性高;占地少,无干扰电波;地下敷设时,不占空间,安全可靠,不易暴露目标,因此已得到广泛应用。其中35kV及以下电力电缆是配送电系统中用量最大的,这就要求电气工作者不但要掌握电力电缆的基本理论,而且还要不断地积累实践经验。

本书全面系统地介绍了35kV及以下电力电缆的基本知识,包括电力电缆的基本结构、选择、安装、敷设、试验,故障诊断技术、运行、维护、电缆三头制作工艺等。各部分章节既有联系,又保持相对的独立性。在文字叙述方面力求深入浅出,通俗易懂。相信本书会对电气工作人员在了解或提高电力电缆实用技术方面起到抛砖引玉的作用。

本书的出版得到南京师范大学的关心和帮助。本书第一章~第五章由南京师范大学建筑工程设计研究院丁雪峰编写,第七章、第八章由河南机电高等专科学校郑先锋编写,第六章、第九章由南京师范大学郑梅和李枫编写,全书由郑梅负责统稿和校核工作。

由于作者的理论水平有限,实践经验不足,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第一章 电缆的用途、种类和结构	1
第一节 电力电缆概述	1
第二节 电力电缆的种类	1
第二章 电缆的结构和材料特性	5
第一节 电力电缆基本结构	5
第二节 线芯、绝缘层和护层的材料与结构	14
第三节 电缆型号及应用范围	19
第三章 电缆的选择与敷设	23
第一节 电力电缆选择	23
第二节 电力电缆的运输与保管	28
第三节 电力电缆的敷设	29
第四节 电力电缆的固定	37
第五节 电力电缆构筑物的排水	40
第四章 电缆终端头和中间接头的种类及其一般制作方法	42
第一节 电缆终端头和中间接头的种类	42
第二节 制作电缆终端头和中间接头的附件	45
第三节 制作电缆终端头和中间接头常用的材料及安装工具	46
第四节 电缆终端头与中间接头的一般制作方法	50
第五章 35kV 及以下油浸纸绝缘电缆终端头和中间接头的制作方法	59
第一节 35kV 及以下油浸纸绝缘电缆附件的结构特点	59
第二节 35kV 及以下油浸纸绝缘热缩电缆终端头的制作	61
第三节 35kV 及以下油浸纸绝缘热缩电缆中间接头的制作	65
第六章 35kV 及以下交联电缆终端头和中间接头的制作方法	68
第一节 35kV 及以下交联电缆附件的结构特点	68
第二节 35kV 及以下交联电缆热缩终端头的制作	69
第三节 35kV 及以下交联电缆热缩中间接头的制作	73

第四节	35kV 及以下油浸纸绝缘交联电缆热缩中间接头制作	78
第五节	35kV 及以下交联电缆冷缩终端头的制作	81
第六节	35kV 及以下交联电缆冷缩中间接头的制作	92
第七节	35kV 及以下交联电缆预制终端头制作	105
第八节	35kV 及以下交联电缆预制中间接头的制作	112
第七章	电力电缆的电性能试验	116
第一节	电力电缆的试验项目	116
第二节	绝缘电阻的测量	123
第三节	泄漏电流及直流耐压试验	137
第四节	局部放电的测量	142
第八章	电缆故障的分类及测寻	146
第一节	电缆故障的原因及分类	146
第二节	电缆故障的测试方法	148
第九章	电缆的运行和维护	167
第一节	电缆线路的运行维护	167
第二节	电缆线路的防火	170
第三节	电缆线路的白蚁防治	171
参考文献	173

第一章

电缆的用途、种类和结构

第一节 电力电缆概述

发电厂把机械、热等形式的能量转换成电能，电能经过变压器和输电线路输送并分配给用户，再通过各种用电设备转换成适合用户需要的各种形式的能量。这些生产、输送、分配和消费电能的各种电气设备连接在一起组成的整体称为电力系统。电力系统中输送和分配电能的部分称为电力网，它包括升降变压器和各种输电线路。

把发电厂发出的电能传送到远方的变电所、配电所及用户的各种用电设备，是通过架空线或电缆来实现的。架空线路是将线路架设在杆塔上，敷设于户外地面上空。它由导线、避雷线（又称架空地线）、杆塔、绝缘子及金具等组成。将一根或数根导线绞合而成的线芯，裹以相应的绝缘层，外面包上密闭包皮（如铅、铝或塑料、橡胶等），这种导线称为电缆。电缆的种类很多，在电力系统中，最常见的电缆有两大类，即电力电缆和控制电缆。

在大多数情况下，用架空线传送电能比用电缆传送成本低。架空导线具有结构简单、制造方便、造价便宜、施工容易和便于检修等特点。但随着电力工业的发展，电缆用量在整个传输线中所占的比例逐年提高。与架空线相比，电缆线间绝缘间距小，一般埋于土壤或敷设于室内、沟槽、隧道中，不用杆塔，有利市容、厂容美观；不易受外界环境影响，可避免风、雷击、风筝和鸟等所造成的架空线的短路和接地等故障，提高供电可靠性；人不易触及导体，对人身比较安全；运行简单方便，维护工作量少，运行费用低；电缆的电容较大，有利于提高电力系统的功率因数。但电缆线路投资费用较高，故障测寻和修复的时间较长，而且不易分支。

在人口密集的城市，为减少占地、美化城市景观，一般采用电缆；在严重污染地区，为了提高输电的可靠性，一般采用电缆；对于跨越江河的输电线路，跨度较大，不宜敷设架空线，一般采用电缆。随着对市容整齐美观和供电安全可靠的要求提高，城市供电逐渐以敷设于地下的电缆线路来代替架空导线。目前，电缆已成为电力系统不可缺少的重要部分。随着新材料、新技术的开发和应用，电力电缆制造工艺逐渐简化，质量不断提高，价格不断降低，电缆的应用范围逐渐扩大。

第二节 电力电缆的种类

电缆的品种繁多，但从基本结构上讲，主要由三部分组成：导电线芯，用于传输电



能；绝缘层，保证电能沿导电线芯传输，在电气上保证导电线芯与外界隔离；保护层，起保护密封作用，加强绝缘性能。

电力电缆可以有多种分类方法，通常有按电压等级分类、按导线截面积分类、按绝缘材料分类等。

一、按电压等级分类

电力电缆都是按一定电压等级制造的，其电压等级和我国的供配电的电压等级基本一致。电力电缆的额定电压用 $U_0/U(U_m)$ 表示。 U_0 是电缆导体和接地的外屏蔽层（或金属套）之间的额定工频电压（有效值），其值与系统相对地电压有关，但非相电压。 U 是电缆在任何两导体之间的额定工作电压（有效值），是电缆在电力系统的标称电压，常见的为 1kV、3kV、6kV、10kV、20kV、35kV、60kV、110kV、220kV、330kV、500kV。其中，1kV 电压等级电缆广泛使用在居民配电及一般厂矿企业供配电系统中；3~35kV 电压等级的电力电缆多用于大中型企业主要供电线路中；在地区配电网中，以及在发电厂重要负荷和发电机出线中，常有采用 60~330kV 电压等级的电力电缆。 U_m 是设计采用电缆任何两导体之间的最高工频电压（有效值），对于 220kV 以下的电缆 $U_m=1.15U$ 。电缆按电压等级分类见表 1-1。

表 1-1 电缆按电压等级分类

名 称	U/kV	$U_0/U/\text{kV}$
低压电缆	1	0.6/1
中压电缆	6~35	6/6,6/10,8.7/10,12/20,21/35,26/35
高压电缆	45~150	38/66,50/66,64/110,87/150
超高压电缆	220~500	127/220,190/330,290/500

二、按导线截面分类

电力电缆的导电线芯一般简称为导线，它是按一定等级的标称截面制造的。我国电力电缆标称截面系列为：2.5mm²、4mm²、10mm²、16mm²、25mm²、35mm²、50mm²、70mm²、95mm²、120mm²、150mm²、185mm²、240mm²、300mm²、400mm²、500mm²、625mm²、1000mm²。

三、按导电线芯数分类

电力电缆导电线芯数常见的有单芯、二芯、三芯、四芯、五芯。单芯电缆通常用于传送单相交直流电，也可在特殊场合使用（如高压电机引出线等）。充油、充气高压电缆多为单芯。二芯电缆多用于传送单相交流电或直流电。三芯电缆主要用于三相交流电网中，在 35kV 及以下的各种电缆线路中得到广泛的应用。四芯电缆多用于低压配电线路、中性点接地的三相四线制（TNC）系统。五芯电缆常用于中性点接地的三相五线制（TNS）系统。电压等级为 1kV 的低压电缆一般采用二芯、四芯和五芯，中压和高压电缆多采用三芯和单芯电缆。

四、按绝缘材料分类

1. 油纸绝缘



油纸绝缘电缆是最早问世的一种电缆。油纸绝缘是电缆纸和浸渍剂复合绝缘材料，工作寿命长，结构简单，制造方便，但允许的工作场强较低。常分为：黏性浸渍纸绝缘型（分统包型和分相屏蔽型），电缆的浸渍剂是由电缆油和松香混合而成的黏性浸渍剂；滴干绝缘型电缆，它是绝缘层厚度增加的黏性浸渍纸绝缘电缆；不滴流浸渍纸绝缘型，电缆的浸渍剂是由电缆油和某些塑料及合成蜡的混合物；油压、油浸渍纸绝缘型（分自容式充油电缆和钢管充油电缆）；气压、黏性浸渍纸绝缘型（分自容式充气电缆和钢管充气电缆）。

2. 塑料绝缘

塑料绝缘电缆具有制作工艺简单、重量轻、维护方便、价格低廉等优点，但力学性能易受温度影响。常见的有聚氯乙烯绝缘型、聚乙烯绝缘型、交联聚乙烯绝缘型等。

3. 橡胶绝缘

橡胶绝缘电缆绝缘层柔软性较好，很大的温度范围内具有弹性，适宜用于多次拆装的线路并且有较强的耐寒性，有较好的电气性能和化学稳定性、弯曲半径小等优点，但耐电晕、耐热和耐油性较差。常见的有天然橡胶绝缘型、乙丙橡胶绝缘型。

五、按结构特征分类

- (1) 统包型 在各缆芯外包有统包绝缘，并置于同一护套内。
- (2) 分相型 分相屏蔽，一般用在 10~35kV 油浸纸绝缘或塑料绝缘。
- (3) 钢管型 电缆绝缘外有钢管护套，分钢管充油、充气电缆和钢管油压式、气压式电缆。
- (4) 自容型 护套内部有压力的电缆，分自容式充油电缆和充气电缆。
- (5) 扁平型 三芯电缆的外形是扁平状，一般用于较长的海底电缆。

六、按电缆的特殊用途分类

1. 输送大容量的电缆

常见的输送大容量的电缆有管道充气电缆和高温超导电缆。管道充气电缆是以压缩 SF₆ 气体为绝缘气体，也被称为 SF₆ 电缆，适用于电压等级在 400kV 及以上的超高压、输送容量在 1000MV·A 以上的大容量电站。由于管道充气电缆安装技术要求较高、成本较大，对气体的纯度要求非常严格，仅用于电厂或变电站内短距离的电气联络线路。超导电缆是利用超低温下出现失阻现象的某些金属及其合金作为导体的电缆。目前世界上投入运行的超导电缆是高温超导电缆，高温超导电缆是在液氮温度 77K（-196℃）及以上温度下处于超导状态的超导体，称为高温超导体。高温超导电缆的导体是由多层高温超导带绕包而成，其外层必须有十分完善和严密的绝热层结构。其传输容量远远大于普通电缆，相同截面情况下超导电缆的传输容量是普通电缆的 3~5 倍。

2. 防火电缆

防火电缆是具有防火性能的电缆的总称，主要包括阻燃电缆和耐火电缆两类。其主要适用于对防火有要求的场合。常见的有变电站的电缆层、电缆沟、电缆隧道和电缆竖井等。这些场合电缆比较密集，若某条电缆因自身故障或外界火源点燃，易于引燃相邻的电缆。阻燃电缆其型号常用 Z 表示，是用材料氧指数 ≥ 28 的聚烯烃作为护套，是阻



滞、延缓火焰沿其外表蔓延，控制火灾的电缆。耐火电缆其型号以 N 表示，是当受到外部火焰以一定高温和时间作用期间，在施加额定电压状态下具有维持通电运行功能的电缆。

3. 光纤复合电力电缆

光纤复合电力电缆是将光纤组合在电力电缆中，使其具有电力传输和光纤通信两种功能的电缆。由于其集两种功能于一体，因而降低了工程的建设投资和运行维护费用，具有明显的技术经济效益。

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

类代符材料类别

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

类代符材料类别

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

... (faded text) ...

第二章

电缆的结构和材料特性

第一节 电力电缆基本结构

电力电缆的基本结构主要由导电线芯、绝缘层和护层三部分组成。为了改善电场的分布情况，减小切向应力，一些电缆还增加有屏蔽层。多芯电缆绝缘线芯间还需增加填料，以便将电缆绞成圆形。

一、浸渍纸绝缘电缆

浸渍纸绝缘电缆历史悠久，使用广泛，主要用于 35kV 及以下电压等级，目前逐渐被塑料绝缘电缆所代替，但其仍占有一定的市场。浸渍纸绝缘电缆有黏性浸渍纸绝缘电缆、滴干电缆和滴流电缆三种。根据电缆绝缘层中电场的分布，黏性浸渍纸绝缘电缆可分为径向型和非径向型。

1. 黏性浸渍纸绝缘统包型电力电缆

统包型绝缘电力电缆广泛应用于 10kV 及以下电压等级。电缆由纸绝缘，绝缘厚度根据电压等级而定。绝缘线芯之间一般填以纸捻或麻等填料，外面再用绝缘纸统包起来。如果用于中性点接地的电力系统中，绝缘层的厚度较薄；如果用于中性点不接地的电力系统中，其绝缘层的厚度较厚。统包绝缘层不仅加强了各芯导体与铅（铝）护套之间的绝缘，同时也将三个绝缘线芯扎紧，使其不会散开，统包绝缘层外为多芯共用的一个金属护套。由于敷设环境不同，有的电缆在金属护套外还有铠装层，铠装层内外还分别有沥青防腐层和沥青黄麻防腐层。统包型绝缘电缆结构如图 2-1。

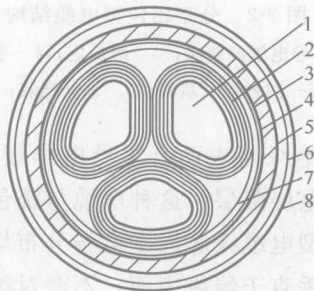


图 2-1 统包型绝缘电缆结构

- 1—线芯；2—相绝缘层；3—带绝缘层；4—金属护套；
5—内衬层；6—铠装；7—外被层；8—填料



为了减小电缆外形尺寸以节约材料，多芯电缆的线芯都不采用圆形线芯结构，而采用弓形、近似扇形或椭圆扇形线芯结构。虽然几何扇形线芯最节省材料，但在扇形尖角处电场过于集中，一般不采用。工作电压较低的电缆，线芯采用近似扇形线芯结构，而工作电压较高的电缆，线芯采用椭圆扇形线芯结构。

为了保证绝缘层与金属护套有较好的接触，6~10kV 电缆在带绝缘层表面有一层搭盖式绕包的半导电纸屏蔽层。对于 20~35kV 电缆，除了在带绝缘层表面有半导电纸屏蔽层外，在线芯与绝缘层之间还要有一层半导电纸组成的屏蔽层。

浸渍纸绝缘电缆必须有完全密封的护套，以防止绝缘层受周围水或潮气的侵入，一般采用铅或铝护套。

浸渍纸绝缘电缆由于含有大量的浸渍剂，当电缆运行温度降低时，浸渍剂的体积缩小，填料中会形成气隙，在电场的作用下产生气体游离，而且由于多芯之间电场分布不均匀，电场有沿绝缘表面方向的分量，对电缆绝缘产生正切应力，会大大降低电缆的击穿强度，导致绝缘损坏。一般这种电缆只适用于 10kV 及以下的电压等级和落差不大的场合。

2. 黏性浸渍纸绝缘分相铅包电缆

浸渍纸绝缘分相铅包型电力电缆各线芯绝缘层外是铅包，然后再与内衬垫及填料一起绞成圆形，用沥青麻带扎紧后，外加铠装和保护层。分相铅包型电力电缆结构如图 2-2 所示。

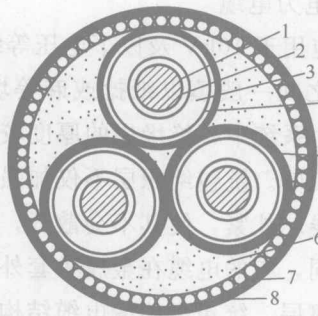


图 2-2 分相铅包型电缆结构

- 1—线芯；2—半导电纸屏蔽层；3—绝缘层；4—半导电纸屏蔽层；
5—铅套；6—内衬层及填料；7—钢丝铠装；8—外被层

6~10kV 分相铅包电缆，绝缘层表面有半导电屏蔽层；20~35kV 分相铅包电缆，导电线芯及绝缘表面均有半导电屏蔽层。这种电缆与统包型电缆比较，制造工艺比较复杂，价格较贵，由于分相铅包型电缆线芯周围电场分布均匀，线芯表面是一等位面，铅套是另一等位面，电场方向均垂直于绝缘表面，不会对绝缘产生正切应力。铅护套内没有浸渍的填料，可减少运行中的漏油现象和绝缘中的气隙形成，因而比统包型电缆绝缘性能好，故可适用于 20~35kV 电压等级。

3. 不滴流电缆



黏性浸渍型电缆当电缆敷设有较大落差时，浸渍剂会沿电缆向下流动，高端绝缘干涸，而使低端护套内油压增加，甚至造成低端电缆终端头漏油，绝缘水平下降。不滴流电缆的浸渍剂在浸渍温度下具有足够低的黏度以保证充分浸渍，但在电缆工作温度范围内不流动，成为塑性固体。在采用一定支撑敷设的情况下，不滴流电缆的敷设落差几乎不受限制。

不滴流电缆的结构与黏性浸渍纸绝缘电缆基本相同，制造工艺除浸渍工艺因浸渍剂黏度较高稍有不同外，也与黏性浸渍纸绝缘电缆基本一致。不滴流电缆允许敷设落差大、经济耐用、安全可靠，基本取代黏性浸渍纸绝缘电缆。

二、充油电缆

充油电缆是利用补充浸渍原理来消除绝缘层形成的气隙，以提高电缆工作场强度的一种电缆。其特点是利用压力油箱向电缆绝缘内部补充绝缘油以消除因温度变化而在绝缘层中形成的气隙，来提高电缆的工作电场强度。由于充油电缆纸绝缘的工作电场强度比一般电缆纸绝缘的工作电场强度高很多，所以广泛应用于 35~330kV 电压等级的电缆线路中。充油电缆根据护层结构的不同分成自容式充油电缆和钢管充油电缆两类。自容式充油电缆护层结构和一般电缆相同，采用铅护套或铝护套，而钢管充油电缆则是将三根屏蔽电缆拖入无缝钢管内，无缝钢管就是电缆的坚固护套。充油电缆有单芯和三芯两种，单芯电缆的电压等级为 110~330kV，三芯电缆的电压等级为 35~110kV。目前我国主要生产自容式充油电缆，电压等级已达 500kV。

1. 自容式充油电缆

自容式充油电缆一般导线中心留有可对电缆补充绝缘油的油道，与补充绝缘油的设备（供油箱等）相通。充油电缆所用的绝缘油一般采用低黏度的电缆油。电缆的油道通过管路与压力油箱相连。当电缆温度上升时，绝缘油受热，体积膨胀，膨胀出来的绝缘油流到压力油箱。当电缆温度下降时，绝缘油体积缩小，压力油箱中的绝缘油便流入电缆中。这样做能维持电缆内部的油压平衡，避免在绝缘层中产生气隙。单芯自容式充油电缆结构如图 2-3 所示。充油电缆按油压的大小分为低油压（0.02~0.3MPa）、中油压

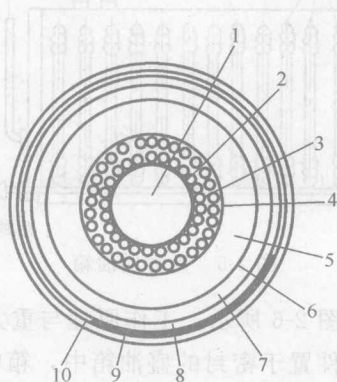


图 2-3 单芯自容式充油电缆结构

1—油道；2—螺旋管；3—导线；4—线芯屏蔽；5—绝缘层；

6—绝缘屏蔽；7—铅护套；8—内衬垫；9—加强钢带；10—外被层



(0.4~0.8MPa)、高油压 (1.0~1.5MPa)。

自容式充油电缆线路如图 2-4 所示,重力供油箱中的油用来补偿供给或储存,重力供油箱安装于电缆线路最高位置,而压力供油箱则根据线路的需要和可能,安装在电缆线路中任何地点。

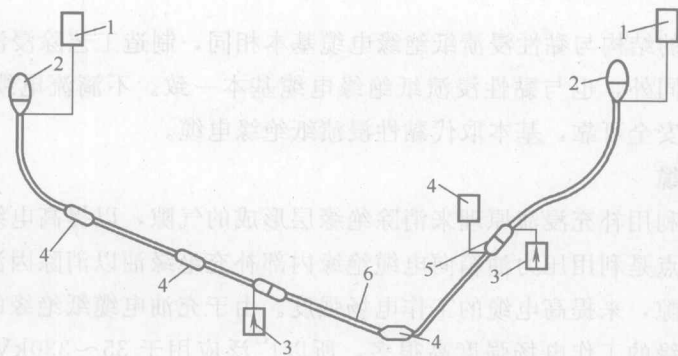


图 2-4 自容式充油电缆线路工作原理图

- 1—重力供油箱；2—终端接头盒；3—压力供油箱；
4—连接接头盒；5—阻止式连接接头盒；6—电缆

重力供油箱的结构原理如图 2-5 所示。它的主要组成部分是一组弹性元件。弹性元件内装有补充浸渍电缆的绝缘油,与电缆中油道相通,元件外面的油与电缆油道隔绝而与大气相通,用以指示供油箱的压力。当电缆温度升高时,电缆内受渍剂体积膨胀,多余的浸渍剂经电缆油道被压送到重力供油箱的元件内,弹性元件体积增大,弹性元件外的油面提高。反之,当电缆温度下降,浸渍剂体积收缩,弹性元件内浸渍剂经油道返回到绝缘层内,因而可以补充浸渍剂,消灭了气隙的形成。重力供油箱的压力主要由它在电缆线路中的位置决定。

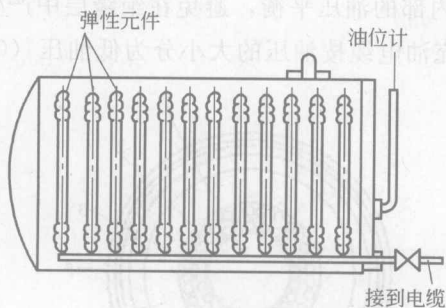


图 2-5 重力供油箱

压力供油箱的工作原理如图 2-6 所示。工作原理与重力箱相似,在弹性元件内充有一定压力的气体,这些弹性元件置于密封的盛油箱中,箱中的油与电缆油道中的油相接触。在相同供油量的情况下,压力供油箱可以适应不同的压力,因此它可以根据电缆的位置要求选择弹性元件内充气压力。重力供油箱只能依靠它本身相对电缆线路的高度改变其压力,因此重力供油箱一般只能安装在高处,否则需要采取其他措施抬高供油箱的

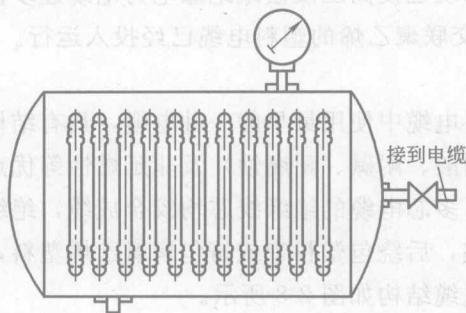


图 2-6 压力供油箱

地位，这样会增加电缆安装敷设费用。

2. 钢管充油电缆

钢管充油电缆结构如图 2-7 所示。它是由三根屏蔽的单芯电缆置于无缝钢管内组成。线芯用铝丝或铜丝绞合，没有中心油道。绝缘层结构与自容式充油电缆相同，只不过浸渍剂的黏度较高，以保证电缆拉入时浸渍剂不会大量从绝缘层流出。线芯有半导体纸或金属化纸的屏蔽，在绝缘层表面均包有打孔铜带屏蔽层。在打孔铜带屏蔽层外缠以 2~3 根半圆形（D 形）青铜丝，包缠间距约为 300mm，以减少电缆拖入钢管的拉力，防止电缆拖入钢管时损伤电缆绝缘层。同时，由于青铜丝使电缆绝缘外屏蔽与钢管内壁间保持一定距离，浸渍剂在这个间隙可以流通，因此还有降低电缆热阻、提高电缆载流量的作用。为了避免电缆在运输过程潮气侵入电缆，电缆表面挤有临时铅套，在拖入钢管前剥去。

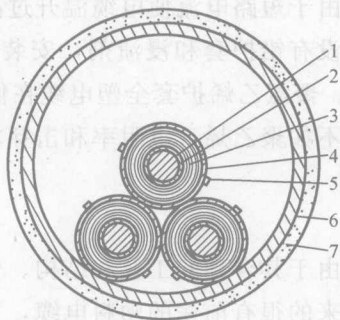


图 2-7 钢管充油电缆结构

1—线芯；2—线芯表面屏蔽；3—绝缘层；4—绝缘层表面屏蔽；

5—半圆形青铜丝；6—钢管；7—防腐蚀外被层

三、塑料电缆

用塑料做绝缘层材料的电力电缆称为塑料电力电缆。塑料绝缘电力电缆与油浸纸绝缘电力电缆相比，虽然发展较晚，但因制造工艺简单，不受敷设落差限制，电缆的敷设、连接、维护方便，具有耐化学腐蚀性等优点，已经成为电力电缆中迅速发展的品种。随着塑料合成工业的发展，在中、低压电缆方面，塑料电缆已经取代油浸纸绝缘电