

DIANLI DIANLAN SHIGONG YUNXING YU WEIHU

电力电缆施工 运行与维护

主 编 沈黎明

副主编 李洪涛



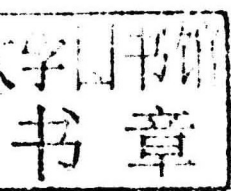
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLI DIANLAN SHIGONG YUNXING YU WEIHU

电力电缆施工 运行与维护

主 编 沈黎明
副主编 李洪涛
参 编 张 巍
主 审 王 斌
杨忠礼

王新宇 董琳萍
高利斌



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书围绕电力电缆的施工、运行与维护进行介绍。首先介绍了电力电缆的发展、分类、结构及特性等基础知识,接着重点介绍了电力电缆的敷设、电缆附件的制作和安装、电力电缆试验、电力电缆故障测寻,以及电力电缆的运行管理与维护。此外,本书的一个亮点是给出了电力电缆各种作业的标准、质量要求及安全注意事项,列举了电力电缆施工的方案、故障查找的案例分析。

本书内容全面、实用性强,可供电力电缆运行与维护人员、施工人员、管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电缆施工、运行与维护/沈黎明主编. —北京:中国电力出版社,2012

ISBN 978-7-5123-3273-7

I. ①电… II. ①沈… III. ①电力电缆 IV. ①TM247

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 153420 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 17.25 印张 320 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

目前,我国正处于城镇化、工业化快速发展的时期,经济发展、城市建设及人民生活对电力的需求及可靠性要求不断提高。与架空线路相比,电力电缆在城市配电网建设中具有不可替代的优势,电力电缆的应用越来越广泛。

早期运行的电力电缆一般是充油电缆,由于其在运行中易发生渗漏油,在没有油浸的阶段因绝缘降低易发生故障,所以充油电缆逐步被淘汰。近年来由于交联聚乙烯绝缘介质的量产,交联聚乙烯电缆已经广泛应用。新的绝缘材料的应用,特别是高压电缆的大量运行,对电缆的安装、试验、施工及运行维护提出了新的要求,要求保证电缆的安全运行,保证供电的安全可靠。本书从现场实际出发,对电力电缆的敷设、试验、运行与维护、故障查找等方面作了系统阐述。

电力电缆运行的安全性不仅与电缆的运行环境有很大的关系,与电缆附件的质量也有很大的关系,而且与电缆附件的制作工艺与施工流程有着更加直接的关系。保障电力电缆的安全运行,必须严格施工工艺,实施标准化流程,把握好施工的关键环节,本书从标准化作业的角度详细介绍了电力施工的标准、质量要求及安全注意事项。

目前由于各种原因造成的电缆故障很多,由于电缆大都深埋地下,对电缆故障的查找造成了一定的困难。目前我国在电力电缆的故障查找、故障定位及故障处理方面及走径探寻等方面还缺乏经验,本书总结了电缆故障的类型、电缆故障查找的方法,并举出实际查找故障的案例,希望能够对读者有所帮助。

限于作者水平,加之时间仓促,难免有不当之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2012年10月

前言

第一章 电力电缆基础知识	1
第一节 电力电缆概述.....	1
第二节 电力电缆的分类及结构.....	2
第三节 电力电缆特性	11
第二章 电力电缆敷设	15
第一节 电缆的敷设方式	15
第二节 电缆敷设的相关规定	17
第三节 直埋电缆敷设	18
第四节 电缆在排管内敷设	21
第五节 电缆在沟内及隧道内敷设	23
第六节 水底电缆的敷设	24
第七节 电缆的固定	25
第八节 110kV 及以上交联聚乙烯绝缘电缆敷设相关问题	27
第九节 电缆的敷设施工机具	28
第十节 电缆敷设质量通病的预防	29
第十一节 电缆敷设相关计算实例	31
第三章 35kV 及以下电缆附件安装	35
第一节 电缆附件概念	35
第二节 电缆附件的基本性能	38
第三节 1kV 电缆附件安装	40
第四节 10kV 电缆附件安装	43
第五节 35kV 电缆附件安装	72
第四章 110kV 电缆附件及制作	81
第一节 110kV 电缆附件简介	81

第二节	110kV 电缆附件的基本特性	85
第三节	110kV 电缆附件安装工艺要求	88
第四节	110kV 电缆附件终端制作	92
第五节	110kV 电缆附件中间接头制作	104
第五章	电力电缆试验	112
第一节	电力电缆试验的具体要求.....	112
第二节	绝缘电阻试验.....	115
第三节	谐振交流耐压试验.....	117
第四节	相位检查.....	124
第五节	电力电缆线路参数测试.....	125
第六节	直流耐压和泄漏电流试验.....	128
第七节	国内外新的电缆试验方法简介.....	130
第八节	国外交联聚乙烯电缆在线检测新方法.....	132
第六章	电力电缆故障测寻	136
第一节	电缆故障测寻概述.....	136
第二节	电缆故障性质判断.....	137
第三节	电缆故障测试方法.....	140
第四节	电缆路径查寻.....	148
第五节	电缆故障精确定点.....	149
第七章	电力电缆运行管理与维护	153
第一节	电缆缺陷管理.....	153
第二节	电缆工程验收.....	156
第三节	电缆工程竣工资料管理.....	161
第四节	电缆线路的巡查.....	162
第五节	电缆线路防蚀防害.....	164
第六节	电缆技术资料管理.....	166
第七节	电缆线路负荷、温度监视和运行分析.....	167
第八章	电力电缆施工作业指导书	170
第一节	10kV 电缆热缩终端头制作作业指导书	170
第二节	10kV 电缆热缩中间头制作作业指导书	176
第三节	0.6/1kV 电力电缆终端（中间）头制作作业指导书	182
第四节	10kV 电力电缆敷设作业指导书	187

第五节	10kV 电力电缆试验作业指导书	192
第六节	10kV 电力电缆巡视作业指导书	199
第七节	10kV 电力电缆故障查找作业指导书	202
第八节	电力电缆运输和装卸作业指导书.....	209
第九节	电力电缆带电移位作业指导书.....	213
第十节	10kV 电力电缆故障的挖掘及处理作业指导书	216
第十一节	10kV 电缆沟的挖掘及过路管敷设作业指导书	220
第十二节	10kV 电缆敷设用绞磨操作作业指导书	223
第十三节	电力电缆登高作业及缺陷处理作业指导书.....	226
第十四节	电力电缆一般缺陷处理作业指导书.....	230
附录		235
附录 A	电力电缆敷设施工方案样本	235
附录 B	电力电缆敷设前的技术交底案例	241
附录 C	电力电缆敷设的标准工艺案例	250
附录 D	电力电缆敷设记录	258
附录 E	电力电缆故障测寻记录	260
附录 F	橡塑绝缘电力电缆绝缘试验方案	262
参考文献		268

第一章

电力电缆基础知识

第一节 电力电缆概述

一、电力电缆发展情况

电力电缆是电力系统中传输和分配电能的主要设备。1890 年世界上第一条电力电缆在英国投入运行,距今已有 120 年的历史。我国电力电缆的生产是从 20 世纪 30 年代开始的,到 1949 年,电力电缆生产的规模还很小,能力比较薄弱,曾生产过 6.6kV 橡胶绝缘铅护套电力电缆。1951 年研制成功了 6.6kV 铅护套低绝缘电力电缆,在此基础上,生产了 35kV 及以下油浸纸绝缘电力电缆的系列产品。1966 年生产了第一条充油电力电缆。1968 年至 1971 年间先后研制、生产了 220kV 和 330kV 充油电力电缆,并先后在刘家峡、新安江、渔子溪、乌江渡等水电站投入运行。1983 年研制成功 500kV 充油电力电缆,并在辽宁省投入运行。近年来,电力电缆,特别是交联聚乙烯电缆,在高低压电网中都得到了十分广泛的应用。基本上取代了充油电缆。

二、电力电缆线路的优缺点

在电力系统中传输分配大功率电能的设备有架空线路和电力电缆两种方式。架空线路具有结构简单、投资小、便于维护等优点,而电力电缆能适应地下、水底等各种敷设环境,能满足长期、安全传输电能的需要。与架空线相比,电力电缆线路主要有以下优点:

- (1) 维护工作量小,不需频繁的巡视检查。
- (2) 不易受周围环境和污染的影响,供电可靠性高。
- (3) 线间绝缘距离小,占地少,无干扰电波。
- (4) 运行可靠,由于安装在地下等隐蔽处,受外力破坏小,发生故障的机会较少,供电安全,不会给人身造成危害。
- (5) 美化城市环境,不影响地面绿化和美观。
- (6) 有助于提高功率因数。

因此,在城镇市区人口稠密的地方,如大型工厂、发电厂、交通拥挤区、电网交叉区等,要求占地面积小,安全可靠,电网对交通运输、城市建设的影响小



时，一般多采用电缆供电；在严重污染区，为了提高输送电能的可靠性，多采用电缆供电；对于跨度大，不宜架设架空线的过江、过河线路，或为了避免架空线路对船舶通航或无线电干扰，也多采用电缆供电；有的国防与军事工程，为了避免暴露目标而采用电缆供电，也有的因建筑与美观的需要而采用电缆供电。

电力电缆线路具有上述优点，但也存在着不足之处：

(1) 电力电缆线路比架空线路成本高，一次性投资费用高出架空线路 7~10 倍。

(2) 电缆线路建成后不容易改变，电缆分支也很困难。

(3) 电缆故障测寻与检修困难，需要大量人力、物力、且非常费时。

三、电力电缆的作用

电力电缆是在电力系统中用于传输和分配大功率电能的主要元件。电力电缆线路一般都是埋入地下（水下）或敷设于管道、沟道、隧道中。随着我国电力工业高速发展，在输电线路中，电力电缆是架空输电线路的重要补充，实现架空输电线路无法完成的任务。同时，在城市配电网中电缆已经逐步取代架空配电线路，已在配电网中占主导地位。

第二节 电力电缆的分类及结构

一、电力电缆的分类

电力电缆的品种和规格有很多，分类方法多种多样。下面介绍常用的几种电缆的分类方式。

1. 按电压等级分类

由于电缆运行情况及绝缘材料的不同，需要不同的电压等级，电力电缆都是按一定的电压等级制造的。我国电力电缆的电压等级有 0.6/1、1/1、3.6/6、6/6、6/10、8.7/10、8.7/15、12/15、12/20、18/20、18/30、21/35、26/35、36/63、48/63、64/110、127/220、190/330、290/500kV 共 19 种。

若从施工技术要求、电缆头结构及运行维护等方面考虑，可分为三类：1kV 及以下低压电力电缆；6~35kV 中压电力电缆；110kV 以上高压电力电缆。与之相对应的电缆附件也就称为低压电缆附件、中压电缆附件和高压电缆附件。

2. 按所用绝缘材料分类

通常按绝缘材料不同，可分为纸绝缘电缆、挤包绝缘电缆和压力电缆三类。

(1) 纸绝缘电缆

纸绝缘电力电缆应用历史非常悠久，在 20 世纪 80 年代之前是应用最广和最常用的一种电缆。由于其成本低，寿命长，耐热、耐电性能稳定，在各种电压，

特别是在高电压等级的电缆中被广泛采用。纸绝缘电力电缆的绝缘是一种复合绝缘,它是以纸为主要绝缘体,用绝缘浸渍剂充分浸渍制成的。

根据浸渍情况和绝缘结构的不同,纸绝缘电力电缆又可分为以下几种。

1) 普通黏性油浸纸绝缘电缆。普通黏性油浸纸绝缘电缆的浸渍剂是由低压电缆油和松香混合而成的黏性浸渍剂。根据结构不同,这种电缆又分为统包型、分相铅包型和分相屏蔽型。此电缆多用于 10~35kV 电压等级。

2) 不滴流油浸纸绝缘电缆。不滴流油浸纸绝缘电缆的构造、尺寸与普通黏性油浸纸绝缘电缆相同,但用不滴流浸渍剂浸渍制造。不滴流浸渍剂是低压电缆油和某些塑料及合成地蜡的混合物。不滴流油浸纸绝缘电缆适用于 35kV 及以下高落差电缆线路。

3) 滴干绝缘电缆。滴干绝缘电缆是绝缘层厚度增加的黏性浸渍纸绝缘电缆,浸渍后经过滴出浸渍剂制成。滴干绝缘电缆适用于 10kV 及以下电压等级和落差较大的环境。

(2) 挤包绝缘电缆

挤包绝缘电缆又称为固体挤压聚合电缆,它是以热塑性或热固性材料挤包形成绝缘的电缆。挤包绝缘电缆有聚氯乙烯(PVC)电缆、聚乙烯(PE)电缆、交联聚乙烯(XLPE)电缆和乙丙橡胶(EPR)电缆等。聚氯乙烯电缆用于 1~6kV;聚乙烯电缆用于 1~400kV;交联聚乙烯电缆用于 1~500kV;乙丙橡胶电缆用于 1~35kV。交联聚乙烯电缆应用最广泛,是 20 世纪 60 年代以后技术发展最快的电缆品种,它与纸绝缘电缆相比,在加工制造和敷设应用方面有不少优点。其制造周期较短、安装工艺较为简便、导体工作温度可达到 90℃。目前,在 220kV 及以下电压等级,交联聚乙烯电缆已逐步取代了纸绝缘电缆。国外已在长距离线路上安装使用 500kV 交联聚乙烯电缆,国内短距离 500kV 交联聚乙烯电缆线路于 1998 年投入运行。

(3) 压力电缆

压力电缆是指在电缆中充以能够流动、并具有一定压力的绝缘油或气的电缆。油浸纸绝缘电缆的纸层间,在制造和运行过程中,不可避免地会产生气隙。气隙在电场强度较高时,会出现游离放电,最终导致绝缘层击穿。压力电缆的绝缘处在一定压力状态下(油压或气压),抑制了绝缘层中形成气隙,使电缆绝缘工作场强明显提高,可用于 110kV 以上电压等级的电缆线路。

3. 按特殊需求分类

按对电力电缆的特殊需求,主要有输送大容量电能的电缆、防火电缆、水底电缆和光纤复合电力电缆等品种。

(1) 输送大容量电能的电缆



1) 管道充气电缆。管道充气电缆 (GIC) 是以压缩的六氟化硫气体为绝缘的电缆, 也称六氟化硫电缆。这种电缆适用于电压等级在 400kV 及以上的超高压、传送容量 100 万 kVA 以上的大容量电能传输, 比较适用于高落差和防火要求较高的场所。管道充气电缆安装技术要求高, 成本较大。对六氟化硫气体的纯度要求很严, 仅被用于电厂或变电站内短距离的电气联络线路。

2) 超导电缆。利用超低温下出现失阻现象 (超导状态) 的某些金属及其合金作为导体的电缆称为超导电缆。

(2) 防火电缆

防火电缆是具有防火性能的电缆总称。它包括一般阻燃电缆和耐火电缆两类。防火电缆是以材料氧指数 ≥ 28 的聚烯烃作为外护套, 具有阻滞延缓火焰沿着其外表蔓延, 使火灾不扩大的电缆 (其型号冠以 ZR-阻燃)。在电缆比较密集的隧道、竖井或电缆夹层中, 为防止电缆着火酿成严重事故, 35kV 及以下的电缆应选用防火电缆。考虑到一旦发生火灾, 消防人员能够进行及时扑救, 有条件时应选用低烟无卤或低烟低卤护套的防火电缆。

(3) 水底电缆

水底电缆是能够承受纵向较大的拉力, 且具有较强的防水、防蚀、防机械损伤、防磨损的电缆。

(4) 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的结构层中, 使其同时具有电力传输和光纤通信功能的电缆。

二、电力电缆型号

电力电缆型号是以字母和数字组合表示。其中, 以字母表示电缆的产品系列、导体、绝缘、护套、特征及派生代号, 以数字表示电缆外护层。完整的电缆型号还应包括电缆额定电压、线芯数、标称截面等。即: 电缆型号=产品系列+导体+线芯数+护套+特征+外护套。

1. 产品系列

纸绝缘电缆: Z (Zhi);

橡胶电缆: X (Xiang);

丁基橡胶电缆: XD (X. Ding);

自容式充油电缆: CY (Chong you);

聚乙烯电缆: Y;

交联聚乙烯电缆: YJ (Y jiao);

聚氯乙烯电缆: V;

阻燃电缆: ZR (ZuRan);

耐火电缆：NH (NaiHuo)。

2. 导体代号

铝导体代号为 L(lu)，而铜导体代号为 T(tong)可省略。

3. 绝缘层代号

绝缘层代号与产品类别代号相同时，可以省略，例如黏性纸绝缘电缆，绝缘层代号“Z”可省略，但自容式充油纸绝缘电缆的绝缘层代号“Z”就不可省略。

4. 护套代号

铅护套：Q；

铝护套：L；

聚氯乙烯护套、聚乙烯护套：Y。

5. 特征代号

用以表示电缆产品某一结构特征，例如，分相铅包以 F(fen) 表示，不滴流以 D(di) 表示。

6. 外护层代号

外护层代号编制规则是：

(1) 内衬层结构基本相同，在型号中不予表示。

(2) 一般外护层按铠装层和外被层结构顺序以两个阿拉伯数字表示，每一个数字表示所采用的主要材料。

(3) 充油电缆外护层型号按加强层、铠装层和外被层的顺序，通常以三个数字表示。每一个数字表示所采用的主要材料。电缆外护层代号见表 1-1。

表 1-1 电缆外护层代号表

代号	加 强 层	铠 装 层	外被层(或外护套)
0		无	
1	径向铜带	联锁钢带	纤维外被
2	径向不锈钢带	双钢带	聚氯乙烯外套
3	径、纵向铜带	细圆钢丝	聚乙烯外套
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	

7. 电缆型号应用实例

(1) YJV32-101/3×185 表示铜芯、交联聚乙烯绝缘、细钢丝铠装、聚氯乙烯护套、额定电压 10kV、三芯、标称截面积为 185mm² 电力电缆。

(2) CYZQ102-220/1×630 表示铜芯、纸绝缘、铅护套、铜带径向加强、无



铝装、聚氯乙烯护套、额定电压 220kV、单芯、标称截面积为 630mm^2 的自容式充油电缆。

图 1-1~图 1-6 为不同电压、不同绝缘、不同构造的几种电缆分层主要结构图。

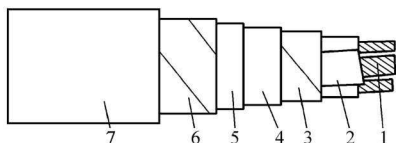


图 1-1 1kV 三芯油浸纸绝缘电缆
1—导体；2—油纸导体绝缘；3—油纸统包绝缘；4—铅护套；5—衬垫层；6—钢带铠装；7—麻或聚氯乙烯外被层

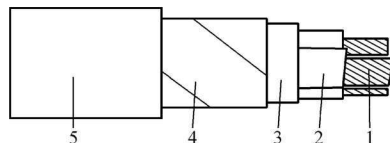


图 1-2 三芯聚氯乙烯绝缘内钢带铠装电缆
1—导体；2—聚氯乙烯绝缘；3—聚氯乙烯内护套；4—钢带铠装；5—聚氯乙烯外护套

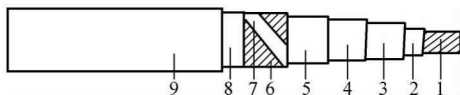


图 1-3 35kV 单芯交联聚乙烯电缆
1—导体；2—屏蔽层；3—交联聚乙烯绝缘层；4—屏蔽层；5—内护层；6—铜线屏蔽；7—铜带层；8—铠箔；9—聚氯乙烯护套

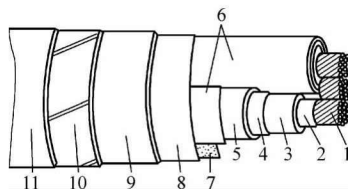


图 1-4 三芯分相铅套油纸绝缘铠装电缆
1—导体；2—屏蔽层；3—油纸绝缘；4—屏蔽层；5—铅护套；6—聚氯乙烯带；7—填料；8—玻璃纤维带；9—沥青黄麻层；10—钢丝铠装层；11—沥青黄麻层

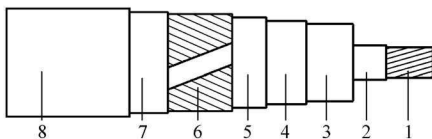


图 1-5 单芯交联聚乙烯绝缘电缆
1—导体；2—屏蔽层；3—交联聚乙烯绝缘；4—屏蔽层；5—保护层；6—铜线屏蔽；7—保护层；8—聚氯乙烯外护套

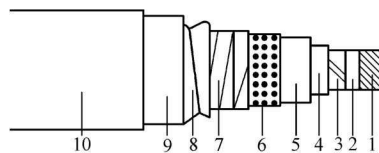


图 1-6 单芯纸绝缘皱纹铝套充油电缆
1—导体；2—屏蔽层；3—保护层；4—屏蔽层；5—油纸绝缘；6—金属化纸屏蔽；7—保护层；8—皱纹铝护套；9—衬垫层；10—聚氯乙烯外护套

三、电力电缆的结构

电力电缆主要由导体、绝缘层和护层三大部分组成，对于 6kV 及以上电缆，导体外和绝缘层外还有屏蔽层结构。

1. 电缆导体

(1) 导体材料及性能

电缆导体的作用是传送电流，为了起到减少线路损耗和电压降的作用，电缆导体通常采用高电导系数的金属铜或铝制造。铜的电导率大，机械强度高，易于进行压延、拉丝和焊接等加工。所以，铜是电缆导体最常用的一种材料。铝的电导率仅次于银、铜和金，它是地壳中含量最多的元素之一，仅次于硅和氧，所以用来代替铜作为导电材料。表 1-2 是铜和铝的主要性能比较。

表 1-2 铜和铝的主要性能比较

参 数	铜	铝
20℃时的密度	8.89g/cm ³	2.70g/cm ³
20℃时的电阻率	$1.724 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	$2.80 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
电阻温度系数	0.00393/℃	0.00407/℃

(2) 导体结构

电缆导体一般由多根导丝绞合而成。采用绞合导体结构，是为了满足电缆的柔软性和可曲度的要求。当导体沿某一半径弯曲时，导体中心线圆外部分被拉伸，中心线圆内部分被压缩，绞合导体中心线内外两部分可以相互滑动，使导体不发生塑性变形。

从绞合导体的外形来分，有圆形、扇形、腰圆形和中空圆形等种类。

圆形绞合导体几何形状固定，稳定性好，表面电场比较均匀。20kV 及以上油纸电缆，10kV 及以上交联聚乙烯电缆，一般都采用圆形绞合导体结构。

10kV 及以下多芯油纸电缆和 1kV 及以下多芯塑料电缆，为了减小电缆直径，节约材料消耗，可以采用扇形或腰圆形导体结构。

中空圆形导体用于自容式充油电缆，其圆形导体中央以硬铜带螺旋管支撑形成中心油道，或者以形线（Z 形线和弓形线）组成中空圆形导体。

在由多根导丝经绞合而构成的电缆导体中必然存在空隙。导体的实际截面积，即每根导丝的截面积之和 A_1 ，要比它的外接圆所包含的面积 A 小。 A_1 和 A 之比值，称为导体的填充系数，通常又称为紧压系数，用 η 表示，对于圆形绞合导体



$$\eta = \frac{A_1}{A} = \frac{\sum_{i=1}^z A_i}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

式中： A_1 为每根导丝截面积， z 为导丝总根数， D 为绞合导体外直径。

绞合导体经过紧压模（辊）紧压，导体结构更加紧凑，可节约材料消耗，降低成本。导体经过紧压，每根导丝不再是圆形，而呈现不规则形状。如图 1-7 所示为圆形导体紧压前后的截面图。

我国电缆的非紧压导体的紧压系数 $\eta = 0.73 \sim 0.77$ ；经过紧压之后，一般 η 可达到 $0.88 \sim 0.93$ 。对于交联聚乙烯电缆，为阻止水分沿纵向进入导体内部， η 值应大一些。国标规定，交联聚乙烯电缆导体的 η 要达到 $0.93 \sim 0.94$ ，美国、日本的电缆导体的 η 达到了 $0.95 \sim 0.97$ 。因此，在电缆安装时应选用合适的紧压线芯的金具，否则压接质量不好，容易引起连接部位发热。

对于大截面的电缆导体，为了减小其肌肤效应，常采用分割导体结构，各个分割单元用绝缘材料隔开，如图 1-8 所示。

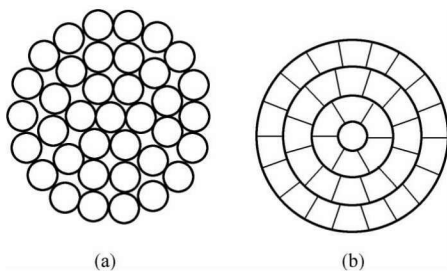


图 1-7 圆形导体紧压前后的截面图
(a) 导体线芯紧压前；(b) 导体线芯紧压后

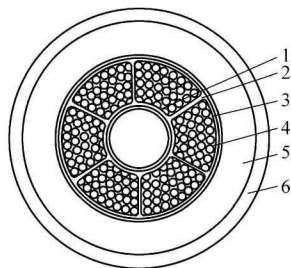


图 1-8 线芯由六个扇形导体组成的大截面单芯充油电缆的截面图

1—油道支撑螺旋管；2—隔开扇形导体的半导体纸；3—扇形导体；4—线芯屏蔽；5—纸绝缘；6—铅护套

2. 电力电缆的绝缘层

20 世纪 80 年代之前电力电缆的绝缘几乎全为油浸纸绝缘，随着我国电力工业的快速发展，现今，各个电压等级电力电缆中几乎全都采用聚乙烯绝缘电缆。但油纸绝缘优良的性能，多少年来使用中建立起来的可靠性和丰富的运行经验，是其他电缆所不及的，故仍占有一定份额，特别是超高压电力电缆方面，仍然大

量采用油浸纸绝缘。

电力电缆的绝缘层的主要性能应具有较高的击穿强度、较低的介质损耗角正切、极高的绝缘电阻、优良的耐树枝放电性能、具有一定的柔软性和机械强度，以及满足电缆绝缘性能长期安全稳定。

常用的电力电缆绝缘材料有纸绝缘、挤包绝缘和充油电缆绝缘三种。

(1) 纸绝缘电缆的绝缘层

纸绝缘电缆的绝缘层是采用窄条电缆纸带（通常纸宽为 5~25mm），一层层地包绕在电缆导体上，经过真空干燥后浸渍矿物油或合成油而形成的。纸带的包绕方式，除紧靠导体和绝缘层最外的几层外，均采用间隙式绕包，这使电缆在弯曲时，在纸带层间可以相互移动，在沿半径为电缆本身半径的 12~25 倍的圆弧弯曲时，不至于损伤绝缘。

电缆纸是木质纤维纸，经过绝缘浸渍剂浸渍之后成为油浸纸。油浸纸绝缘实际上是木质纤维素与浸渍剂的夹层结构。35kV 及以下的油纸电缆采用黏性浸渍剂，即松香光亮油复合剂。这种黏性浸渍剂的特性是，在电缆工作温度范围内具有较高的黏度以防止流失，而在电缆浸渍温度下，则具有较低的黏度，以确保良好的浸渍性能。

(2) 挤包绝缘电缆的绝缘层结构及其材料性能

挤包绝缘材料的各类塑料、橡胶是高分子聚合物，经挤包工艺一次成型紧密地挤包在电缆导体上。塑料和橡胶属于均匀介质，这是与油浸纸的夹层结构完全不相同的。聚氯乙烯、聚乙烯、交联聚乙烯和乙丙橡胶的主要性能如下。

1) 聚氯乙烯塑料是以聚氯乙烯树脂为主要原料，加入适量配合剂、增塑剂、稳定剂、填充剂、着色剂等经混合塑化而制成的。聚氯乙烯具有较高的电气性能和较高的机械强度，具有耐酸、耐碱、耐油性能，工艺性能也比较好。缺点是耐热性能较低，绝缘电阻率较小，介质损耗较大，因此只能用于 6kV 及以下的电缆绝缘。

2) 聚乙烯具有优良的电气性能，介电常数小、介质损耗小、加工方便。缺点是耐热性差、机械强度低、耐电晕性能差。

3) 交联聚乙烯是聚乙烯经过交联反应后的产物。采用交联的方法，将线形结构的聚乙烯加工成网状结构的交联聚乙烯，从而改善了材料的电气性能、耐热性能和机械性能。

聚乙烯交联反应的基本机理是，利用物理的方法（如用高能粒子射线辐照）或者化学的方法（如加入过氧化物化学交联剂）来夺取聚乙烯中的氢原子，使其成为带有活性基的聚乙烯分子。而后带有活性基的聚乙烯分子之间交联成三度空间结构的大分子。

4) 乙丙橡胶是一种合成橡胶。用作电缆绝缘的乙丙橡胶是由乙烯、丙烯和少量第三单体共聚而成。乙丙橡胶具有良好的电气性能、耐热性能、耐臭氧和耐



气候性能。缺点是不耐油，可以燃烧。

(3) 充油电缆的绝缘层结构及其材料性能

充油电缆是利用补充浸渍剂原理来消除气隙，以提高电缆工作场强的一种电缆。按充油通道不同，充油电缆分为两类，一是自容式充油电缆，另一是钢管充油电缆。运行经验表明，自容式充油电缆具有电气性能稳定、使用寿命较长的优点。自容式充油电缆油道位于导体中央，油道与补充浸渍剂的设备（供油箱）相连，电缆温度升高时，浸渍油膨胀，多出的某一体积的油通过油道流至供油箱。而当电缆温度降低时，浸渍剂收缩，供油箱中的浸渍剂又通过油道返回绝缘层，以填补空隙。这样既消除了气隙的产生，又防止电缆中产生过高的压力。为使媒介剂能够流动顺畅，浸渍剂采用低黏度油，如十二烷基苯等。充油电缆中浸渍剂压力必须始终高于大气压。在一定的压力下，不仅使电缆工作场强提高，而且可以有效防止一旦护套破裂潮气侵入绝缘层。

3. 电缆屏蔽层

电缆屏蔽层可以分为内半导体屏蔽层、外半导体屏蔽层和金属屏蔽层。所谓“屏蔽”，实质上是一种改善电场分布的措施。

(1) 内半导体屏蔽层、外半导体屏蔽层

电缆导体由多根导丝绞合而成，它与绝缘层之间易形成气隙，导体表面不光滑，会造成电场集中。在导体表面加一层半导体材料的屏蔽层，它与被屏蔽的导体等电位，并与绝缘层良好接触，从而避免在导体与绝缘层之间发生局部放电。这一层屏蔽，又称为内屏蔽层。

在绝缘表面和护套接触处，也可能存在间隙，电缆弯曲时，电缆绝缘表面易造成裂纹，这些都是引起局部放电的因素。在绝缘层表面加一层半导体材料的屏蔽层，它与被屏蔽的绝缘层有良好接触，与金属护套等电位，从而避免在绝缘层与护套之间发生局部放电。这一层为外半导体屏蔽层。

半导体屏蔽层的材料是半导体材料，其体积电阻率为 $10^3 \sim 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 。油纸电缆的屏蔽层为半导体纸，这种纸是在普通纸中加入了适量胶体碳黑粒子。半导体纸还有吸附离子的作用，有利于改善绝缘电气性能。挤包绝缘电缆的屏蔽层材料是加入碳黑粒子的聚合物。没有金属护套的挤包绝缘电缆，除半导体屏蔽层外，还要增加用钢带或铜丝绕包的金属屏蔽层。这个金属屏蔽层的作用，在正常运行时通过电容电流；当系统发生短路时，作为短路电流的通道，同时也起到屏蔽电场的作用。在电缆结构设计中，要根据系统短路电流的大小，对金属屏蔽层的截面积提出相应的要求。

半导体屏蔽层厚度一般为 $1 \sim 2\text{mm}$ ，根据国家标准， 10kV 及以下电缆的外半导体层为可剥离层， 35kV 以上为不可剥离层，这种要求的主要原因是因为可