

DIANLI DIANLAN YINGYONG JISHU



主编 沈黎明

电力电缆 应用技术

 郑州大学出版社

DIANLI DIANLAN YINGYONG JISHU



主编 沈黎明

电力电缆 应用技术

 郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力电缆应用技术/沈黎明主编. —郑州:郑州大学出版社,2011.2
(电力行业技术丛书)
ISBN 978-7-5645-0332-1

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 (2010) 第 235377 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

邮政编码:450052

出版人:王 锋

发行部电话:0371-66966070

全国新华书店经销

南阳市风雅印务有限公司印制

开本:850 mm×1 168 mm 1/32

印张:10.75

字数:309 千字

版次:2011 年 2 月第 1 版

印次:2011 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0332-1 定价:28.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

作者名单

主 编 沈黎明

参 编 杨忠礼 李洪涛 张 巍
王 斌 王新宇 董琳萍
吴望阳 李广超

内 容 提 要

本书介绍了电力电缆的发展、电缆的基本结构、电力电缆的敷设和试验、电缆附件的制作及运行与维护等主要项目的施工与工作流程,描述了电力电缆作业的标准、质量要求及安全注意事项。

电力电缆的故障对供电可靠性具有直接影响,本书对电力电缆的故障进行了分类,介绍了电力电缆故障的查找及故障定位方法,列举了电力电缆施工的方案、故障查找的案例分析,详细记录了电力系统的标准化作业流程。

本书内容详实、条例清晰,适用于电力系统电力电缆的运行与维护人员、电力电缆的施工人员学习参考。

前 言

目前,我国正处于城镇化、工业化快速发展的时期。经济发展、城市建设和人民生活对电力的需求及可靠性要求不断提高。为此,国家电网公司提出了建设“一强三优智能电网”的目标,以满足日益增长的电力需求。由于电力电缆与架空线路相比,特别是在城市的配电网建设中具有其不可替代的优势,电力电缆的应用已经非常广泛。

早期运行的电力电缆一般是油浸电缆,由于其在运行中易发生渗漏油情况导致电缆故障运行维护复杂,所以充油电缆将逐步被淘汰。近年来由于交联聚乙烯绝缘介质的生产,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,对电缆的检测、试验、施工及运行维护提出了新的课题。电力电缆的制造、施工、运行维护与电缆的安全运行具有很大的关系。在大量电缆的运行、电缆的试验、检测、施工维护方面必须加以规范,保证供电的安全可靠。本书从现场实际出发,对电力电缆的施工、电缆的敷设、电缆试验、电缆的运行维护、电缆故障查找、电缆现场作业指导等方面,作了系统阐述,对电力电缆现场运行与维护作了简要经验总结。

电力电缆运行的安全性不仅与电缆的运行环境、电缆附件的质量有很大的关系,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,必须严格按照施工工艺,严格执行标准化流程,把握好施工的关键环节,本书从标准化作业的角度出发,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,以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。

由于作者水平有限、时间仓促,难免有不当之处,敬请读者批评指正。

作者

2010年8月

目 录

第一章 电力电缆基础知识	1
第一节 概述	1
第二节 电力电缆的分类和型号	3
第三节 电力电缆的结构与特性	10
第二章 电力电缆敷设	16
第一节 电力电缆线路工程设计	16
第二节 电力电缆敷设方式选择	21
第三节 电力电缆敷设工作程序	26
第三章 中低压电缆附件及制作	50
第一节 电缆附件概念及构成	50
第二节 电缆附件的基本性能	54
第三节 热缩式电缆附件安装	57
第四节 冷缩式电缆附件安装	70
第五节 预制式电缆附件安装	83
第六节 绕包式电缆附件安装	93
第四章 高压电缆附件及制作	98
第一节 高压电缆附件的概念	98
第二节 高压电缆附件的基本特性	104
第三节 高压电缆附件安装工艺要求	108
第四节 高压电缆附件终端制作	113
第五节 高压电缆附件中间接头制作	123
第五章 电力电缆试验	134
第一节 电力电缆试验的具体要求	134
第二节 绝缘电阻试验	138
第三节 谐振交流耐压试验	142



第四节	相位检查	146
第五节	电力电缆线路参数测试	148
第六章	电力电缆故障测寻	153
第一节	电缆故障概述及测寻步骤	153
第二节	电力电缆故障性质分类与故障原因分析	154
第三节	电缆故障诊断	155
第四节	电缆故障测试方法	157
第五节	电缆路径查寻	167
第六节	电缆故障精确定点	169
第七章	电力电缆运行管理与维护	173
第一节	电缆缺陷管理	173
第二节	电缆工程验收	177
第三节	电缆工程竣工资料管理	183
第四节	电缆线路的巡查	185
第五节	电缆线路防蚀防害	188
第六节	电缆技术资料管理	190
第七节	电缆线路负荷、温度监视和运行分析	192
第八章	电力电缆作业指导书	195
第一节	10 kV 电缆热缩终端头制作作业书	195
第二节	10 kV 电缆热缩中间头制作作业书	203
第三节	0.6/1 kV 电力电缆终端(中间)头制作作业书 ...	212
第四节	10 kV 电力电缆敷设作业书	218
第五节	10 kV 电力电缆试验作业书	224
第六节	10 kV 电力电缆巡视作业书	235
第七节	10 kV 电力电缆故障查找作业书	239
第八节	电力电缆运输和装卸作业书	249
第九节	电力电缆带电移位作业书	254
第十节	10 kV 电力电缆故障的挖掘及处理作业书	259
第十一节	10 kV 电缆沟的挖掘及过路管敷设作业书	264
第十二节	10 kV 电缆敷设用绞磨操作作业书	269



第十三节 电力电缆登高作业及缺陷处理作业书	273
第十四节 电力电缆一般缺陷处理作业书	279
附录一 电力电缆敷设施工方案样本	285
附录二 电力电缆敷设前的技术交底案例	293
附录三 电力电缆敷设的标准工艺案例	306
附录四 电缆敷设记录	322
附录五 橡塑绝缘电力电缆绝缘试验方案	323
附录六 电缆试验原始记录的内容	330
参考文献	331

第一章 电力电缆基础知识

第一节 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开始在英国投入运行,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 6.6 kV 橡胶绝缘铅护套电力电缆。1951 年研制成功了 6.6 kV 铅护套低绝缘电力电缆,在此基础上,生产了 35 kV 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 年和 1971 年间先后研制和生产了 220 kV 和 330 kV 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 500 kV 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。

1. 电力电缆线路的优点

- (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,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,减少电网对交通运输、城市建设的影响,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;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;有的国防与军事工程,为了避免暴露目标而采用电缆,也有的因建筑与美观的需要而采用电缆。

2. 电力电缆线路的缺点

(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 电力电缆的分类和型号

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。下面介绍通常几种电缆的分类方式。

(一)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、290/500 kV 共 19 种。

也可以从施工技术要求、电缆头结构及运行维护等考虑分为三类:1 kV 及以下低压电力电缆;6~35 kV 中压电力电缆;110 kV 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。

(二)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,油浸纸绝缘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 ~ 35 kV 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。不滴流浸渍剂系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 35 kV 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 10 kV 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 ~ 6 kV;聚乙烯电缆用于 1 ~ 400 kV;交联聚乙烯电缆用于 1 ~ 500 kV;乙丙橡胶电缆用于 1 ~ 35 kV。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 220 kV 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 500 kV 交联聚乙烯电缆,国内短距离 500 kV 交联聚乙烯电缆线路于 1998 年投入运行。

3. 压力电缆

压力电缆是在电缆中充以能够流动、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 110 kV 以上电压等级的电缆线路。



(三) 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 400 kV 及以上的超高压、传送容量 1×10^6 kV · A 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,35 kV 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

(一) 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)

(二) 导体代号

铝导体代号为 L(lu), 而铜导体代号为 T(TONG)可省略。

(三) 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。

(四) 护套代号

铅护套 Q
铝护套 L
聚氯乙烯护套、聚乙烯护套 Y

(五) 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。

(六) 外护层代号

外护层代号编制规则如下。

(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。表 1-1 为电缆外护层代号表。

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	

(七) 电缆型号应用实例

(1) YJV 32-101×185 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 10 kV、三芯、标称截面积为 185 mm^2 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、无铠装、聚氯乙烯护套、额定电压 20 kV、单芯、标称截面积为 630 mm^2 的自容式充油电缆。

下列图 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。