

电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书

电缆的安装敷设 及运行维护

DIANLAN DE ANZHUANG FUSHE
JI YUNXING WEIHU

白玉岷 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气工程 安装调试 运行维护 实用技术技能丛书

电缆的安装敷设及运行维护

白玉岷 等编著



机械工业出版社

本书以工程实践经验为主,并从理论基础出发,详细讲述电缆安装敷设工程及其辅助装置的安装、测试、运行、维护的工艺方法、技术技能、程序要点、规程要求、质量监督以及安全注意事项,是从事电气工作及电缆安装敷设工作人员的必读之物。

本书主要内容有电缆概述、安装敷设总体要求、准备工作及技术要求、各类电缆安装敷设工艺方法及技术措施、各类电缆终端的制作安装、矿用电缆的安装敷设、特种电缆的安装、电缆工程的交验、电缆工程的运行及维护等。

本书适合电缆安装敷设人员、运行维护人员及电工技师阅读,也可作为青年电工的培训教材,以及工科院校和职业技术学院电气专业师生的教学实践用书。

图书在版编目(CIP)数据

电缆的安装敷设及运行维护/白玉岷等编著. —北京:
机械工业出版社, 2011. 1

(电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书)

ISBN 978 - 7 - 111 - 32961 - 9

I. ①电… II. ①白… III. ①电缆敷设 IV. ①TM757

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 263618 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: 牛新国 责任编辑: 赵玲丽

版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英

封面设计: 马精明 责任印制: 李 妍

中国农业出版社印刷厂印刷

2011 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·10 印张·245 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 32961 - 9

定价: 29.00 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

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

当前,我们的国家正处于改革开放、经济腾飞的伟大转折时代。在这样的大好形势下,我们可以看到电工技术突飞猛进的发展,新技术、新材料、新设备、新工艺层出不穷、日新月异。电子技术、计算机技术以及通信、信息、自动化、控制工程、电力电子、传感器、机器人、机电一体化、遥测遥控等技术及装置已与电力、机械、化工、冶金、交通、航天、建筑、医疗、农业、金融、教育、科研、国防等行业技术及管理融为一体,并成为推动工业发展的核心动力。特别是电气系统,一旦出现故障将会造成不可估量的损失。2003年8月美国、加拿大大面积停电,几乎使整个北美瘫痪。我国2008年南方雪灾,引起大面积停电,造成1110亿人民币的经济损失,这些都是非常惨痛的教训。

电气系统的先进性、稳定性、可靠性、灵敏性、安全性是缺一不可的,因此电气工作人员必须稳步提高,具有精湛高超的技术技能,崇高的职业道德以及对专业工作认真负责、兢兢业业、精益求精的执业作风。

随着技术的进步、经济体制的改革、用人机制的变革及市场需求的不断变化,对电气工作人员的要求越来越高,技术全面、强(电)弱(电)精通、精通技术的管理型电气工作人员成为用人单位的第一需求,为此,我们组织编写了《电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书》。

编写本丛书的目的,首先是帮助读者在较短的时间里掌握电气工程的各项实际工作技术技能,使院校毕业的学生尽快地在工程中能够解决工程实际设计、安装、调试、运行、维护、检修以及工程质量管理、监督、安全生产、成本核算、施工组织等技术问题;其次是为工科院校电气工程及自动化专业提供一套实践读物,亦可供学生自学及今后就业参考;第三是技术公开,做好电气工程技术技能的传、帮、带的交接工作,每个作者都是将个人几十年从事电气技术工作的经验、技术、技能毫无保留,公之于众,造福社会;第四是为刚刚走上工作岗位的电气工程及自动化专业的大学生尽快适应岗位要求提供一个自学教程,以便尽快完成从大学生到工程师的过渡。

本丛书汇集了众多实践经验极为丰富、理论知识精通扎实、能够将科研成果转化为实践、能够解决工程实践难题的资深高工、教授、技师承担编写工作,他们分别来自设计单位、安装单位、工矿企业、高等院校、通信单位、供电公司、生产现场、监理单位、技术监督部门等。他们将电气工程及自动化工程中设计、安装、调试、运行、维护、检修、保养以及安全技术、读图技能、施工组织、预算编制、质量管理监督、计算机应用等实践技术技能由浅入深、由易至难、由简单到复杂、由强电到弱电以及实践经验、绝活窍门进行了详细的论述,供广大读者,特别是青年工人和电气工程及自动化专业的学生们学习、模仿、参考,以期在技术技能上取得更大的成绩和进步。

本丛书的特点是实用性强,可操作性强,通用性强。但需要说明,本丛书讲述的技术技能及方法不是唯一的,也可能不是最先进、最科学的,然而按照本丛书讲述的方法,一定能将各种工程,包括复杂且难度大的工程顺利圆满地完成。读者及青年朋友们在遇到技术难题

时,只需翻阅相关分册的内容便可找到解决难题的办法。

从事电气工作是个特殊的职业,从前述分析可以得知电气工程及自动化工程的特点,主要是:安全性强,这是万万不容忽视的;专业理论性强,涉及自动控制、通信网络、自动检测及复杂的控制系统;从业人员文化层次较高;技术技能难度较大,理论与实践联系紧密;工程现场条件局限性大,环境特殊,如易燃、易爆等;涉及相关专业广,如机、钳、焊、铆、吊装、运输等;节能指标要求严格;系统性、严密性、可靠性、稳定性要求严密,从始至终不得放松;最后一条是法令性强,规程、规范、标准多,有150多种。电气工作人员除了技术技能的要求外,最重要的一条则是职业道德和敬业精神。只有高超的技术技能与高尚的职业道德、崇高的敬业精神结合起来,才能保证电力系统及自动化系统的安全运行及其先进性、稳定性、可靠性、灵敏性和安全性。

因此,作为电气工程工作人员,特别是刚刚进入这个行业的年轻人,应该加强电工技术技能的学习和锻炼,深入实践,不怕吃苦、不怕受累;同时应加强电工理论知识的学习,并与实践紧密结合,提高技术水平。在工程实践中加强职业道德的修养,加强和规范作业执业行为,才能成为电气行业的技术高手。

在国家经济高速发展的过程中,作为一名电气工作者肩负着非常重要的责任。国家宏观调控的重要目标就是要全面贯彻落实科学发展观,加快建设资源节约型、环境友好型社会,把节能减排作为调整经济结构、转变增长方式的突破口。在电气工程、自动化工程及其系统的每个环节和细节里,每个电气工作者只要能够尽心尽责,兢兢业业,确保安装调试的质量,做好运行维护工作,就能够减少工程费用,减小事故频率,降低运行成本,削减维护开支;就能确保电气系统的安全、稳定、可靠运行。电气工作人员便为节能减排、促进低碳经济发展,保增长、保民生、促稳定做出了巨大的贡献。

在这中华民族腾飞的时代里,每个人都有发展和取得成功的机遇,倘若这套《电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书》能为您提供有益的帮助和支持,我们全体作者将会感到万分欣慰和满足。祝本丛书的所有读者,在通往电工技术技能职业高峰的道路上,乘风破浪、一帆风顺、马到成功。

白玉岷
2011年元月

目 录

前言

第一章 电缆安装敷设工程概述 1

一、常用电力电缆的种类及应用 1

二、电力电缆的测试及试验 9

第二章 电缆安装敷设总体要求 22

第三章 准备工作 24

一、检查电缆安装敷设预埋件
及对土建工程的要求 24

二、电缆保护管的加工及敷设 24

三、电缆支架的制作与安装 26

四、电缆的运输、保管及试验 26

五、其他准备工作及施工组织 28

第四章 电缆安装敷设技术要求 30

第五章 电缆的安装敷设工艺方法 34

一、地下直埋电缆敷设法 35

二、电缆沟内敷设法 40

三、钢索悬吊架空敷设 41

四、管道内敷设 43

五、电缆槽架内敷设 44

六、电气竖井内敷设 44

七、沿建筑物明设 46

八、电缆在穿越桥梁时的敷设 46

九、水底电缆的敷设 47

十、冬季电缆敷设的技术措施 49

十一、敷设电缆的安全注意事项 50

十二、电缆穿越建筑物孔洞时
的防火封堵方法 51

第六章 电缆终端头的制作及安装 57

一、电缆头的制作条件、准备
工作及要求 57

二、塑料绝缘电缆干包电缆头
的制作 61

三、室内环氧树脂电缆头的制作 67

四、室外环氧树脂电缆头的制作 71

五、室外生铁盒（WD 系列）
电缆头的制作 74

六、6~35kV 交联电力电缆热缩
型护套终端头的制作 77

七、3~35kV 交联电力电缆冷
缩型电缆头的制作 83

八、电缆头的安装 85

九、各类电缆中间接头的制作 86

十、电缆头制作的安全注意事项 91

十一、各种型式电缆头的试验 94

第七章 矿用电缆的安装敷设 95

一、矿用电缆接头与终端 95

二、矿用电缆的安装敷设 101

第八章 特种电缆的安装 109

一、防火电缆的安装工艺方法 109

二、屏蔽电缆的安装工艺方法 112

三、铝包对称通信电缆的安装 113

第九章 电缆安装敷设工程的交验 119

第十章 电缆工程的运行及维护 131

一、保证电力电缆安全运行
的条件 131

二、电缆线路巡视检查的周期
及项目内容 132

三、电缆线路停电检查、试验的
周期、项目内容及缺陷处理
的方法 133

四、建立相应制度，加强运行管理 135

五、预防性试验 136

六、故障点的测量定位 138

七、特殊环境电缆的运行维护 140

参考文献 152

第一章 电缆安装敷设工程概述

电缆作为一种输送电流的主要装置在电气工程及自动化工程中占有重要的位置，它的主要作用是输送电流、传输各种控制及检测信号，以及在通信中传输语言、图像、数字等信号。因此，从功能上区分可分为电力电缆、控制电缆及信号电缆三种。从电压等级上区分可分为高压电缆、低压电缆及信号电缆三种，电缆的电压等级低压为 500V，高压最高可达 500kV、750kV。

基于电缆功能、电压等级，电缆安装敷设工程首先是要确保电缆的产品质量，在施工前及施工后必须对其进行检测；第二是要确保施工工艺过程的规范性和标准性，不得随意更改工艺程序及技术指标；第三是对投入运行的电力电缆必须进行维护保养。这三点做到了，电气系统的安全运行便有了保障。

相比变配电工程、低压动力工程、自动控制及自动化仪表工程、弱电工程，电缆工程只是其中的一个分项工程，技术难度、工艺程序要简单一点，但是任何人在工程中不得掉以轻心、不得降低标准、不得偷工减料，否则将会带来巨大的损失，这是绝对不允许的。

一、常用电力电缆的种类及应用

电力电缆的种类很多，按绝缘类型区分可分为 5 大类 15 小类，见表 1-1。

表 1-1 电力电缆的品种及型号

绝缘类型	电 缆 名 称	电压等级 /kV	允许最高工作温度 /℃	代表产品型号
油浸纸绝缘电 缆	1. 普通粘性浸渍电缆 统包型	1 ~ 35	1 ~ 6kV 80 10kV 65 ~ 70	ZLL,ZL,ZLQ,ZQ
	分相铅(铝)包型		20 ~ 35kV 60 ~ 65	ZLLF,ZLQF,ZQF
	2. 不滴流电缆 统包型	1 ~ 35	1 ~ 6kV 80 10kV 65 ~ 70	ZLQD,ZQD,ZLLD,ZLD
	分相铅(铝)包型		20 ~ 35kV 65	ZLLDF,ZQDF
	3. 自容式充油电缆	110 ~ 750	80 ~ 85	CYZQ
	4. 钢管充油电缆	110 ~ 750	80 ~ 85	
塑料绝缘电缆	5. 钢管压气电缆	110 ~ 220	80	
	6. 充气电缆	35 ~ 110	75	
橡皮绝缘电缆	7. 聚氯乙烯电缆	1 ~ 10	65	VLV,VV
	8. 聚乙烯电缆	6 ~ 400	70	YLV,YV
	9. 交联聚乙烯电缆	6 ~ 500	90	YJLV,YJV
气体绝缘电缆	10. 天然丁苯橡皮电缆	0.5 ~ 6	65	XLQ,XQ,XLV,XV,XLHF,XLF
	11. 乙柄橡皮电缆	1 ~ 138	90	
	12. 丁基橡皮电缆	1 ~ 35	80	
新型电缆	13. 压缩气体绝缘电缆	220 ~ 500	90	
	14. 低温电缆			
	15. 超导电缆			

不同种类的电缆敷设场所及要求不尽相同,见表 1-2 ~ 表 1-11。

表 1-2 粘性浸渍纸绝缘电缆型号与敷设场合

型号 品种	单芯和多芯统包型		分相铅包型		外护层种类	敷 设 场 合
	铝芯	铜芯	铝芯	铜芯		
普通粘性 浸渍铅包电 缆	ZLQ	ZQ	—	—	裸铅护套	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力作用,对铅护套有中性环境
	ZLQ02	ZQ02	—	—	PVC 护套	
	ZLQ03	ZQ03	—	—	PE 护套	
	ZLQ20	ZQ20	ZLQF20	ZQF20	裸钢带铠装	敷设在室内、隧道及沟管中,其余同 ZLQ21
	ZLQ21	ZQ21	ZLQF21	ZQF21	钢带铠装、纤维外被	直埋于土壤中,能承受机械外力,不能承受大的拉力
	ZLQ22	ZQ22	ZLQF22	ZQF22	钢带铠装 PVC 护套	
	ZLQ23	ZQ23	ZLQF23	ZQF23	钢带铠装 PE 护套	
	ZLQ30	ZQ30	—	—	裸细钢丝铠装	敷设在室内及竖井中,其余同 ZLQ31
	ZLQ31	ZQ31	—	—	细钢丝铠装纤维外被	敷设在土壤中,能承受机械外力,并能承受相当的拉力
	ZLQ32	ZQ32	—	—	细钢丝铠装 PVC 护套	
	ZLQ33	ZQ33	—	—	细钢丝铠装 PE 护套	
	ZLQ41	ZQ41	ZLQF41	ZQF41	粗钢丝铠装纤维外被	敷设在水中,能承受较大的拉力
普通粘性 浸渍铝包电 缆	ZLL	ZL	—	—	裸铝护套	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力,对铝护套有中性环境
	ZLL1	ZL1	—	—	纤维外被层	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力,对铝护套有中性环境,但可用于对铝护层有腐蚀的环境
	ZLL02	ZL02	—	—	PVC 护套	
	ZLL03	ZL03	—	—	PE 护套	
	ZLL20	ZL20	—	—	裸钢带铠装	敷设在对铝护套有腐蚀的室内、隧道及沟管中,其余用 ZLL21
	ZLL21	ZL21	—	—	钢带铠装,纤维外被	直埋于对铝护套有腐蚀的土壤中,能承受较大的机械外力,但不能承受拉力

(续)

型号 品种	单芯和多芯统包型		分相铅包型		外护层种类	敷 设 场 合
	铝芯	铜芯	铝芯	铜芯		
普通粘性 浸渍铝包电 缆	ZLL22	ZL22	—	—	钢带铠装 PVC 护套	直埋于对铝护套有腐蚀的土壤中,能承受较大的机械外力,但不能承受推力
	ZLL23	ZL23	—	—	钢带铠装 PE 护套	
	ZLL30	ZL30	—	—	裸细钢丝铠装	敷设在室内、隧道及竖井中,其余同 ZLL31
	ZLL31	ZL31	—	—	细钢丝铠装,纤维外被	敷设在土壤和水中,能承受机械外力和相当的拉力
	ZLL32	ZL32	—	—	细钢丝铠装 PVC 护套	
	ZLL3	ZL33	—	—	细钢丝铠装 PE 护套	
	ZLL41	ZL41	—	—	粗钢丝铠装纤维外被	敷设在水中,能承受较大的拉力
不滴流浸 渍电缆	ZLLD	ZLD	—	—	裸铝护套	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力作用,对铝铅护套有中性环境
	ZLQD	ZQD	—	—	裸铝护套	
	ZLLD02	ZLD02	—	—	铝包 PVC 护套	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力作用,对铝铅护套有中性环境
	ZLQD02	ZQD02	—	—	铝包 PVC 护套	
	ZLLD03	ZLD03	—	—	铝包 PE 护套	敷设在室内、隧道及沟管中,其余同 ZLQD22、ZLQD23
	ZLQD03	ZQD03	—	—	铝包 PE 护套	
	ZLQD20	ZQD20	ZLQFD20	ZQFD20	铝包裸钢带铠装	敷设在室内、沟道中,并可直埋于土壤中,能承受机械外力,不能承受大的拉力
	ZLLD22	ZLD22	—	—	铝包钢带铠装 PVC 护套	
	ZLQD22	ZQD22	ZLQFD22	ZQFD22	铝包钢带铠装, PVC 护套	
	ZLLD23	ZLD23	—	—	铝包钢带铠装, PE 护套	
	ZLQD23	ZQD23	ZLQFD23	ZQFD23	铝包钢带铠装, PE 护套	
	ZLLD30	ZLD30	—	—	铝包裸细钢丝铠装	敷设在室内及竖井中
	ZLQD30	ZQD30	—	—	铝包裸细钢丝铠装	
	ZLQD31	ZQD31	—	—	铝包细钢丝铠装,纤维外被	敷设在土壤中及水下,能承受机械外力,并能承受相当的拉力

(续)

型号 品种	单芯和多芯统包型		分相铅包型		外护层种类	敷 设 场 合
	铝芯	铜芯	铝芯	铜芯		
不滴流浸渍电缆	ZLLD32	ZLD32	—	—	铝包细钢丝铠装, PVC 护套	敷设在土壤、竖井及水下,能承受机械外力,并能承受相当的拉力
	ZLQD32	ZQD32	—	—	铅包细钢丝铠装, PVC 护套	
	ZLLD33	ZLD33	—	—	铝包细钢丝铠装, PE 护套	
	ZLQD33	ZQD33	—	—	铅包细钢丝铠装, PE 护套	
	ZLQD41	ZQD41	ZLQFD41	ZQFD41	铅包粗钢丝铠装纤维外被层	敷设在水下,能承受较大的拉力

表 1-3 粘性浸渍纸绝缘电力电缆的允许敷设位差

电 缆 种 类	额定工作电压与结构类型		允许敷设水平差/m
普通粘性浸渍纸绝缘电力电缆 (铅包,铝包)	1 ~ 3kV	无铠装电缆	20
		钢带或钢丝铠装电缆	25
	6 ~ 10kV		15
	20 ~ 35kV		5
不滴流浸渍纸绝缘电力电缆	全部产品		没有敷设位差的限制

表 1-4 粘性浸渍纸绝缘电力电缆允许弯曲半径

额定电压/kV U_0/U	铅 套 电 缆			铝 套 电 缆	
	单芯	多芯	分相三芯	单芯	多芯
8.7/10 及以下	$18(D+d)$	$15(D+d)$	—	$25(D+d)$	$25(D+d)$
8.7/15 ~ 12/20	$21(D+d)$	—	$15(2.15D+d)$	$25(D+d)$	—
18/20 ~ 26/35	$25(D+d)$	—	$18(2.15D+d)$	$30(D+d)$	—

注: D —实测金属套外径 (mm); d —导体实测外径 (mm), 非圆形导体的 d 等于实测周长的 1/3. 14。

表 1-5 不滴流油浸纸绝缘电力电缆产品规格

型 号	芯数	额定电压 (U_0/U)/kV						
		0.6/1	1.8/3,3/3	3.6/6,6/6	6/10,8.7/10	8.7/15,12/15	12/20,18/20	21/35,26/35
		标称截面积/mm ²						
ZLLD,ZLD,ZLQD, ZQD,ZLLD02,ZLD02, ZLQD02,ZQD02, ZLLD03,ZLD03, ZLQD03,ZQD03	1	25 ~ 1000	50 ~ 1000	50 ~ 1000	50 ~ 1000	50 ~ 1000	50 ~ 1000	50 ~ 1000

(续)

型 号	芯数	额定电压(U_0/U)/kV						
		0.6/1	1.8/3,3/3	3.6/6,6/6	6/10,8.7/10	8.7/15,12/15	12/20,18/20	21/35,26/35
		标称截面积/mm ²						
ZLLD32,ZLD32, ZLQD32,ZQD32, ZLLD33,ZLD33, ZLQD33,ZQD33, ZLQD41,ZQD41, ZLQD42,ZQD42, ZLQD43,ZQD43	1	25~800	50~800	50~800	50~800	50~800	50~800	50~800
ZLLD,ZLD,ZLQD, ZQD,ZLLD02,ZLD02, ZLQD02,ZQD02, ZLLD03,ZLD03, ZLQD03,ZQD03, ZLQD20,ZQD20, ZLQD21,ZQD21, ZLLD22,ZLD22, ZLQD22,ZQD22, ZLLD23,ZLD23, ZLQD23,ZQD23, ZLLD32,ZLD32, ZLQD32,ZQD32, ZLLD33,ZLD33, ZLQD33,ZQD33, ZLQD41,ZQD41, ZLQD42,ZQD42, ZLQD43,ZQD43	2	25~400	—	—	—	—	—	—

表 1-6 聚氯乙烯绝缘电力电缆产品型号及敷设场所

型 号		护 层 种 类	敷 设 场 所
铝 芯	铜 芯		
VLV VLY	VV VY	聚氯乙烯护套,无铠装层 聚乙烯护套,无铠装层	敷设在室内、隧道及沟道中,不能承受机械外力的作用
VLV22 VLV23	VV22 VV23	内钢带铠装,聚氯乙烯护套 内钢带铠装,聚乙烯护套	直埋敷设在土壤中,能承受机械外力,不能承受大的拉力
VLV32 VLV33	VV32 VV33	细钢丝铠装,聚氯乙烯护套 细钢丝铠装,聚乙烯护套	敷设在室内、矿井及水中。能承受机械外力和相当的拉力
VLV42 VLV43	VV42 VV43	粗钢丝铠装,聚氯乙烯护套 粗钢丝铠装,聚乙烯护套	敷设在室内、矿井及水中,能承受较大的拉力

表 1-7 交联聚乙烯电缆品种与敷设场合

型 号		名 称	敷 设 场 合
铜芯	铝芯		
YJV	YJLV	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆	敷设在室内、隧道内须固定在托架上，混凝土管组或电缆沟中以及允许在松散土壤中直埋，但不能承受拉力和压力
YJY	YJLY	交联聚乙烯绝缘聚乙烯护套电缆	同 YJV、YJLV 型
YJV22	YJLV22	交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电缆	可土壤直埋敷设，电缆能承受机械外力作用，但不能承受大的拉力
YJV23	YJLV23	交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚乙烯护套电缆	同 YJV22、YJLV22 型
YJV32	YJLV32	交联聚乙烯绝缘细钢丝铠装聚氯乙烯护套电缆	敷设在水中或落差较大的土壤中，电缆能承受相当的拉力
YJV33	YJLV33	交联聚乙烯绝缘，细钢丝铠装聚乙烯护套电缆	同 YJV32、YJLV32 型
YJV42	YJLV42	交联聚乙烯绝缘粗钢丝铠装聚氯乙烯护套电缆	敷设在水中及落差较大的隧道或竖井中，电缆能承受较大的拉力
YJV43	YJLV43	交联聚乙烯绝缘粗钢丝铠装聚乙烯护套电缆	同 YJV42、YJLV42 型
YJLW02	YJLLW02	交联聚乙烯绝缘皱纹铝包防水层聚氯乙烯护套电缆	可敷设在隧道或管道中，可在潮湿环境及地下水水位较高的地方使用，并能承受一定的压力
YJQ02	YJLQ02	交联聚乙烯绝缘铅包聚氯乙烯护套电缆	同 YJLW02、YJLLW02 型，但不能承受压力
YJQ41	YJLQ41	交联聚乙烯绝缘铅包粗钢丝铠装纤维外被电缆	电缆可承受一定拉力，用于水底敷设

表 1-8 橡皮绝缘电力电缆的品种与敷设场合

品 种	型 号		外护层种类	敷 设 场 合
	铝芯	铜芯		
橡皮绝缘铅包电力电缆	XLQ	XQ	无外护层	敷设在室内、隧道及沟道中。不能承受机械外力和振动，对铅层应有中性环境
	XLQ21	XQ21	钢带铠装，外麻被	直埋敷设在土壤中，能承受机械外力，但不能承受大的拉力
	XLQ20	XQ20	裸钢带铠装	敷设在室内、隧道及沟管中
橡皮绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	XLV	XV	无外护层	敷设在室内、隧道及沟管中。不能承受机械外力
	XLV22	XV22	内钢带铠装	敷设在地下，能受一定机械外力作用，但不能受大的拉力
橡皮绝缘氯丁橡胶套电力电缆	XLF	XF	无外护层	敷设于要求防燃烧的场合，其余同 XLV

表 1-9 橡皮绝缘电力电缆的生产规格

型 号	芯 数		额定电压/V	
	主线芯	接地或 中性线芯	500	6000
			导线截面积/mm ²	
XLV,XLF	1	0	2.5 ~ 630	—
XV,XF			1 ~ 240	—
XLQ			2.5 ~ 630	4 ~ 500
XQ			1 ~ 240	2.5 ~ 400
XLV,XLF	2	0	2.5 ~ 240	—
XV,XF,XQ			1 ~ 185	—
XLV20,XLQ,XLQ21,XLQ20			4 ~ 240	—
XV22,XQ21,XQ20			4 ~ 185	—
XLV,XLF	3	0 或 1	2.5 ~ 240	—
XV,XF,XQ			1 ~ 185	—
XLV22,XLQ,XLQ21,XLQ20			4 ~ 240	—
XV22,XQ21,XQ20			4 ~ 185	—

表 1-10 自容式充油电缆的型号、名称与敷设场合

型 号	名 称	敷 设 范 围
CYZQ102(103)	铜芯纸绝缘铅包铜带径向加强聚氯乙烯(聚乙烯)护套充油电缆	敷设于土壤、隧道中,在使用时护套能保持良好的绝缘,电缆能承受较小的机械外力作用,不能承受拉力
CYZQ202(203)	铜芯纸绝缘铅包不锈钢带径向加强聚氯乙烯(聚乙烯)护套充油电缆	
CYZQ141	铜芯纸绝缘铅包钢带径向加强镀锌钢丝铠装纤维绳外护层充油电缆	敷设于水中或垂直敷设,电缆能承受较大的拉力
CYZQ241	铜芯纸绝缘铅包不锈钢带径向加强镀锌钢丝铠装纤维绳外护层充油电缆	

表 1-11 自容式充油电缆产品范围

额定电压/kV	标准截面积/mm ²	油道内径/mm
110 ~ 220	185 ~ 2000	12. 14
330	400 ~ 2000	12. 14
500	630 ~ 2000	12. 14

- 注: 1. 电缆线芯长期允许工作温度: 85℃。
2. 电缆敷设的环境温度: ≥0℃。
3. 电缆敷设弯曲半径: ≥电缆外径 25 倍。
4. 电缆敷设落差: ≤30m。

下面介绍几种结构复杂的电缆。

1. 钢管充油电缆

钢管充油电缆一般为三芯。将三根屏蔽的电缆线芯置于充满一定压力的绝缘油的钢管内，其采用钢管作为电缆护层，机械强度高，不易受外力损伤；钢管电缆的油压高，油的粘度大，所以电气性能较高；而且供油设备集中，管理维护较方便。对于大长度电缆线路，钢管充油电缆则不需要护套交叉互连接地，不必因此增加绝缘连接盒和普通连接盒。钢管电缆三芯在同一钢管内，占地少；但一相发生故障时会影响其余两相；敷设安装比自容式充油电缆复杂，且只能敷设于斜坡落差不大的场合，不宜敷设于垂直高落差的场合。

2. 压缩气体绝缘电缆

压缩气体绝缘电缆又称管道充气电缆，是在内外两个圆管之间充以一定压力（一般是 $0.2 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ）的 SF_6 气体。内圆管（常用铝管或铜管）为导电线芯，由固体绝缘垫片（通常是环氧树脂浇注体）每隔一定距离支撑在外圆管内。外圆管既作为 SF_6 气体介质的压力容器，又作为电缆的外护层。单芯结构的外圆管用铝或不锈钢管，三芯结构的可用钢管。压缩气体绝缘电缆的导线和护层结构有刚性和可挠性两种。

压缩气体绝缘电缆的电容小、介质损耗低、导热性好，因而传输容量较大，一般传输容量可达 2000 MVA 以上，常用于大容量发电厂的高压引出线、封闭式电站与架空线的连接线或在避免两路架空线交叉而将一路改为地下输电时使用。由于结构原因，压缩气体绝缘电缆在制造、安装、运行上有很多防护措施，技术难度相对要大得多，一般由专业施工队伍承接。

3. 低温电缆

低温电缆一般采用液氮或液氢浸渍非极性合成纤维纸，如聚乙烯合成纸，也有采用真空作为绝缘的。低温电缆的导体（高纯度铝或铜）为管形，内充有液氮、液氢或做成真空，导体在其冷却作用下，电缆散热能力提高，降低了损耗，增加了传输容量，低温电缆的输电容量达 5000 MVA 及以上。

同压缩气体绝缘电缆一样，其安装运行必须有防护措施，并由专业施工队伍承接。

4. 超导电缆

超导电缆输电容量大，可达 10000 MVA ，分直流和交流两种。其结构复杂，三芯同轴型超导电缆由隔热层、热绝缘、液氮管道、液氢管道、真空空间、铝基银超导体、防蚀钢管、超绝热层等构成。

5. 直流电缆

直流电缆一般采用粘性浸渍纸绝缘，当线路高差或电压特高时采用充油电缆。直流电缆对于跨越海峡的大输电距离的线路更为有利，且线路损耗较交流电缆小，直流电缆的护层结构主要考虑机械强度及防腐功能。一般采用铅护套，挤包聚乙烯或氯丁橡皮为防腐层。在中间垫镀锌钢带或不锈钢带加强，并有抗扭作用。海底直流电缆常用镀锌钢丝或挤塑钢丝铠装。直流电缆一般为 400 kV ，传输容量为 750 MVA 。

对于上述几种结构复杂或者没有接触过的电缆，首先是要按照其产品使用说明书的要求进行施工，达不到要求或技术装置能力不足的必须请有相应资质的单位协同进行。电气工程技术人員要随时掌握技术发展动态，及早学习新技术、新材料、新工艺、新设备，不断提高自己的能力和技术水平，这样才能永远立于不败之地，并能在职业生涯里取得更大的成就。

二、电力电缆的测试及试验

电缆的测试及试验是电缆工程中最重要技术手段，无论生产制造、安装使用、运行维护都必须对电缆进行测试和试验，以确保电缆的质量。

电力电缆试验的类别及项目见表 1-12。

表 1-12 电力电缆主要试验项目

序号	试 验 项 目	试 验 类 别					
		中间检查	出厂与验收试验	定期试验	研究性试验	安装后交接试验	运行监督试验
1	导体直流电阻		✓				
2	绝缘电阻		✓			✓	✓
3	整盘电缆介质损耗角正切 ($\tan\delta$)		✓				
4	交流短时耐压试验		✓				✓
5	交流长时耐压试验			✓			
6	直流耐压试验					✓	✓
7	热循环下的 $\tan\delta$ 试验			✓			
8	电容					✓	
9	正序及零序阻抗					✓	
10	泄漏电流及三相不平衡度的检查					✓	✓
11	老化试验			✓			
12	局部放电检测				✓		
13	载流量试验				✓		
14	电缆弯曲后的冲击电压试验			✓			
15	火花(干试机)试验	✓					
16	浸水耐压试验	✓					
17	结构尺寸检查	✓	✓	✓			
18	铅套扩张试验	✓	✓				
19	铅(铝)套密封性试验		✓				
20	铅套和加强层的液压试验			✓			
21	充油电缆油样试验	✓	✓			✓	✓
22	粘性电缆油样试验	✓					
23	浸渍剂滴出试验		✓				
24	交联度试验			✓			
25	橡塑类电缆的耐寒试验			✓			
26	浸渍含气量试验				✓		
27	$\tan\delta-t^{\circ}\text{C}$ 曲线			✓			
28	护层耐电压试验			✓			

注：✓—合格。

1. 电缆直流电阻的测试

直流电阻的测试一般用直流电桥法，测试时应注意以下几点：

1) 被测品的长度不得小于 1m；

2) 电桥的选用按被测电缆估算的范围选定，见表 1-13 ~ 表 1-15。其中，电桥精度不小于 0.5 级，读数应保证三位有效数字。

表 1-13 按被测电缆估算电阻选用电桥

测量电阻范围/ Ω	$10^{-5} \sim 2$	$2 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^6$
电桥型式	双臂电桥	双臂或单臂电桥	单臂电桥

表 1-14 第一种结构线芯的电阻值

标称截 面积/ mm ²	线芯中导 线最少根 数	20℃时线芯的最大电阻					
		铜 导 体				铝 导 体	
		单线镀金属		单线不镀金属			
		单芯/(Ω/m)	多芯/(Ω/m)	单芯/(Ω/m)	多芯/(Ω/m)	单芯/(Ω/m)	多芯/(Ω/m)
1	1	17.9×10 ⁻³	18.2×10 ⁻³	17.7×10 ⁻³	18.1×10 ⁻³	29.3×10 ⁻³	29.9×10 ⁻³
1.5	1	12.0×10 ⁻³	12.2×10 ⁻³	11.9×10 ⁻³	12.1×10 ⁻³	19.7×10 ⁻³	20.0×10 ⁻³
2.5	1	7.21×10 ⁻³	7.35×10 ⁻³	7.14×10 ⁻³	7.28×10 ⁻³	11.8×10 ⁻³	12.0×10 ⁻³
4	1	4.51×10 ⁻³	4.60×10 ⁻³	4.47×10 ⁻³	4.56×10 ⁻³	7.89×10 ⁻³	7.54×10 ⁻³
6	1	3.00×10 ⁻³	3.06×10 ⁻³	2.97×10 ⁻³	3.03×10 ⁻³	4.91×10 ⁻³	5.01×10 ⁻³
10	1	1.79×10 ⁻³	1.83×10 ⁻³	1.77×10 ⁻³	1.81×10 ⁻³	2.94×10 ⁻³	3.00×10 ⁻³
16	1	1.13×10 ⁻³	1.15×10 ⁻³	1.12×10 ⁻³	1.14×10 ⁻³	1.85×10 ⁻³	1.89×10 ⁻³
25	1	0.715×10 ⁻³	0.729×10 ⁻³	0.708×10 ⁻³	0.722×10 ⁻³	1.17×10 ⁻³	1.20×10 ⁻³
35	1	0.524×10 ⁻³	0.535×10 ⁻³	0.519×10 ⁻³	0.529×10 ⁻³	0.859×10 ⁻³	0.876×10 ⁻³
50	7	0.361×10 ⁻³	0.368×10 ⁻³	0.358×10 ⁻³	0.365×10 ⁻³	0.529×10 ⁻³	0.604×10 ⁻³
120	19	0.149×10 ⁻³	0.152×10 ⁻³	0.148×10 ⁻³	0.151×10 ⁻³	0.245×10 ⁻³	0.250×10 ⁻³
150	19	0.119×10 ⁻³	0.121×10 ⁻³	0.117×10 ⁻³	0.120×10 ⁻³	0.194×10 ⁻³	0.198×10 ⁻³
240	37	0.0767×10 ⁻³	0.0783×10 ⁻³	0.0760×10 ⁻³	0.0775×10 ⁻³	0.126×10 ⁻³	0.128×10 ⁻³
300	37	0.0609×10 ⁻³	0.0621×10 ⁻³	0.0603×10 ⁻³	0.0615×10 ⁻³	0.0998×10 ⁻³	0.102×10 ⁻³

表 1-15 第二种结构线芯的电阻

标称 截面 积/ mm ²	线芯中导线 最少根数			20℃时线芯的最大电阻					
	圆形 导体	压紧的圆形 或扇形导体		铜 导 体				铝导体	
				单线镀金属		单线不镀金属			
		<i>n</i> ₁ (一 般用于铜)	<i>n</i> ₂ (一 般用于铝)	单芯 /(Ω/m)	多芯 /(Ω/m)	单芯 /(Ω/m)	多芯 /(Ω/m)	单芯 /(Ω/m)	多芯 /(Ω/m)
1	7	—	—	21.2 × 10 ⁻³	21.6 × 10 ⁻³	20.8 × 10 ⁻³	21.2 × 10 ⁻³	34.8 × 10 ⁻³	35.4 × 10 ⁻³
1.5	7	—	—	13.6 × 10 ⁻³	13.8 × 10 ⁻³	13.6 × 10 ⁻³	13.3 × 10 ⁻³	22.2 × 10 ⁻³	22.7 × 10 ⁻³
2.5	7	—	—	7.41 × 10 ⁻³	7.56 × 10 ⁻³	7.27 × 10 ⁻³	7.41 × 10 ⁻³	12.1 × 10 ⁻³	12.4 × 10 ⁻³
4	7	—	—	4.60 × 10 ⁻³	4.70 × 10 ⁻³	4.52 × 10 ⁻³	4.61 × 10 ⁻³	7.55 × 10 ⁻³	7.70 × 10 ⁻³
6	7	—	—	3.05 × 10 ⁻³	3.11 × 10 ⁻³	3.02 × 10 ⁻³	3.08 × 10 ⁻³	4.99 × 10 ⁻³	5.09 × 10 ⁻³
10	7	6 ^①	1	1.81 × 10 ⁻³	1.84 × 10 ⁻³	1.79 × 10 ⁻³	1.83 × 10 ⁻³	2.96 × 10 ⁻³	3.02 × 10 ⁻³
16	7	6 ^①	1	1.14 × 10 ⁻³	1.16 × 10 ⁻³	1.13 × 10 ⁻³	1.15 × 10 ⁻³	1.87 × 10 ⁻³	1.91 × 10 ⁻³

(续)

标称 截面 积/ mm ²	线芯中导线 最少根数			20℃时线芯的最大电阻					
	圆 形 导 体	压紧的圆形 或扇形导体		铜 导 体				铝导体	
		n ₁ (一 般用 于铜)	n ₂ (一 般用 于铝)	单线镀金属		单线不镀金属		单芯 /(Ω/m)	多芯 /(Ω/m)
				单芯 /(Ω/m)	多芯 /(Ω/m)	单芯 /(Ω/m)	多芯 /(Ω/m)		
25	7	6	1	0.719 × 10 ⁻³	0.734 × 10 ⁻³	0.712 × 10 ⁻³	0.727 × 10 ⁻³	1.18 × 10 ⁻³	1.20 × 10 ⁻³
35	7	6	6 ^①	0.519 × 10 ⁻³	0.529 × 10 ⁻³	0.514 × 10 ⁻³	0.524 × 10 ⁻³	0.851 × 10 ⁻³	0.868 × 10 ⁻³
50 ^②	19	15	6 ^①	0.383 × 10 ⁻³	0.391 × 10 ⁻³	0.379 × 10 ⁻³	0.387 × 10 ⁻³	0.628 × 10 ⁻³	0.641 × 10 ⁻³
70	19	15	15 ^①	0.265 × 10 ⁻³	0.270 × 10 ⁻³	0.262 × 10 ⁻³	0.268 × 10 ⁻³	0.435 × 10 ⁻³	0.443 × 10 ⁻³
95	19	15	15 ^①	0.191 × 10 ⁻³	0.195 × 10 ⁻³	0.189 × 10 ⁻³	0.193 × 10 ⁻³	0.313 × 10 ⁻³	0.320 × 10 ⁻³
120	37	30	15 ^①	0.151 × 10 ⁻³	0.154 × 10 ⁻³	0.150 × 10 ⁻³	0.153 × 10 ⁻³	0.248 × 10 ⁻³	0.253 × 10 ⁻³
150	37	30	15 ^①	0.123 × 10 ⁻³	0.126 × 10 ⁻³	0.122 × 10 ⁻³	0.124 × 10 ⁻³	0.202 × 10 ⁻³	0.206 × 10 ⁻³
185	37	30	30 ^①	0.0982 × 10 ⁻³	0.100 × 10 ⁻³	0.0972 × 10 ⁻³	0.0991 × 10 ⁻³	0.161 × 10 ⁻³	0.164 × 10 ⁻³
240	61	53	30 ^①	0.0747 × 10 ⁻³	0.762 × 10 ⁻³	0.0740 × 10 ⁻³	0.0754 × 10 ⁻³	0.122 × 10 ⁻³	0.125 × 10 ⁻³
300	61	53	30 ^①	0.0595 × 10 ⁻³	0.0607 × 10 ⁻³	0.0590 × 10 ⁻³	0.0601 × 10 ⁻³	0.0976 × 10 ⁻³	0.100 × 10 ⁻³
400	61	53	53	0.0465 × 10 ⁻³	0.0475 × 10 ⁻³	0.0461 × 10 ⁻³	0.0470 × 10 ⁻³	0.0763 × 10 ⁻³	0.0778 × 10 ⁻³
500	61	53	53	0.0369 × 10 ⁻³	0.0377 × 10 ⁻³	0.0366 × 10 ⁻³	0.0373 × 10 ⁻³	0.0605 × 10 ⁻³	0.0617 × 10 ⁻³
630	127	114	114	0.0286 × 10 ⁻³	0.0292 × 10 ⁻³	0.0283 × 10 ⁻³	0.0289 × 10 ⁻³	0.0469 × 10 ⁻³	0.0478 × 10 ⁻³
800	127	—	—	0.0224 × 10 ⁻³	0.0228 × 10 ⁻³	0.0221 × 10 ⁻³	0.0226 × 10 ⁻³	0.0367 × 10 ⁻³	0.0347 × 10 ⁻³
1000	127	—	—	0.0177 × 10 ⁻³	0.0181 × 10 ⁻³	0.0176 × 10 ⁻³	0.0179 × 10 ⁻³	0.0291 × 10 ⁻³	0.0297 × 10 ⁻³

① 对于非常特殊用途的线芯可制成实心导体。

② 实际截面积约为 47mm²。

3) 被测线芯的温度应与环境温度相同。

4) 使用的仪器必须在检定周期内。

2. 电缆绝缘电阻的测试

绝缘电阻的测试一般直流比较法、绝缘电阻测试仪法、高阻计（电桥）法，测试时应注意以下几点：

1) 测试时对电缆施加的电压一般不小于 100V，最高不大于 3000V；

2) 绝缘电阻的测试应在耐压试验合格后进行；

3) 测试时的读数读取应在接通电流后 1min 时即时读取。

4) 注意测量时的环境温度并将测量结果按温度系数进行换算。电缆绝缘电阻温度换算系数见表 1-16。

3. 介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 的测试

介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 的测试一般采用交流电桥法、介质试验器法和低功率瓦特法，也可用 SB2204 型智能介质损耗测试仪进行，详见本丛书《电气设备、元件、材料的测试及试验》分册中的相应内容。试验时应注意以下几点：