

高电压试验工程

肖如泉 何金良 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高电压试验工程

肖如泉 何金良 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 摘 要

随着电力工业的发展,高电压试验已是电工技术的重要组成部分。

本书根据我国国家标准 GB311/83、电力工业行业标准 DL/T 596—1996 等有关标准,结合主要的电力设备(如电力变压器、电力电容器、电力电缆、线路绝缘子等),叙述了诸设备绝缘的试验方法,其中包括无破坏型的检查性试验、高压耐压试验、部分运行中的电力设备绝缘的在线状态监测以及接地系统的试验等。

本书可作为电类大学本科、专科生的教材及实验用书,也可供电力系统、电工制造部门的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

高电压试验工程/肖如泉,何金良编著. —北京:清华大学出版社,2000
ISBN 7-302-04096-6

I. 高… II. ①肖… ②何… III. 高压试验(电)-技术 IV. TM83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 75984 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京顺义振华印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:247 千字

版 次:2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04096-6/TM·33

印 数:0001~4000

定 价:18.00 元

前 言

高电压试验工程是高电压电工技术的重要组成部分。

多年来,随着我国电力工业的发展,输电电压已经提高到 500kV,不久还将建立许多 500kV 的输电线路,强大的电能将通过超高压、特高压输电线路传送到很远的大城市、大工业基地,所以,电工制造部门要造出各种高压的电力设备,电力运行部门要使电力设备正常运行,所有这些,都要有高电压的试验手段,方能保证电力系统的正常运行。

本书根据我国国家标准 GB311/83(高压输变电设备的绝缘配合,高电压试验技术),国家电力行业标准 DL/T 596—1996(电力设备预防性试验规程)及土壤电阻率和接地电阻测量的有关标准,叙述了高压电力设备绝缘的试验方法,其中包括无破坏型的检查性试验和高压耐压试验。为了更好地论述高电压试验方法,本书将以部分电力设备(如电力变压器、电力电容器、电力电缆、线路绝缘子等)为例,按有关标准,论述其试验原理、方法,试验所用的设备、线路、仪器、仪表,以及试验结果的判断等。

作者根据高电压试验的特点并结合对高电压试验的一些体会,认为高电压试验在电力工业中有着非常重要的作用,要进行高压试验必须掌握以下要点:

- (1) 高电压试验是高电压技术的基础与关键。
- (2) 高电压试验时,安全是最重要的。
- (3) 进行高电压试验,必须注意理论与实际相结合,还必须要有严谨踏实的工作作风。
- (4) 高电压试验还应进一步改进技术,提高水平。

本书第 1~4 章由肖如泉编写,第 5~6 章由何金良编写。在编写本书的过程中,作者参考了有关国家标准、多种教材及资料。

由于作者水平有限,书中会有许多不当之处,敬请读者、专家指正。

作 者

2000 年 10 月

目 录

前 言	I
第 1 章 绪论	1
1.1 高电压试验的意义	1
1.2 高电压试验的安全	5
1.3 高电压试验的分类	7
1.4 高电压试验的设备和测量	8
第 2 章 无破坏型的检查性试验	9
2.1 电力电缆的试验	10
2.2 电力变压器的部分试验	18
2.3 绝缘内部局部放电的测量	31
2.4 绝缘油的试验	41
2.5 电缆波阻抗的测量	53
第 3 章 电气设备绝缘的耐压试验	58
3.1 工频交流耐压试验	58
3.2 沿面放电及绝缘子工频干、湿闪络电压的测定	64
3.3 空气间隙的放电试验	73
3.4 雷电冲击电压波的产生和测量	79
3.5 冲击电压的试验	88
3.6 冲击电流试验与测量	96
第 4 章 电气设备绝缘的在线状态监测	105
4.1 绝缘各部分温度的测量	106
4.2 绝缘油溶解气体的色谱分析	108
4.3 绝缘内部局部放电的在线状态监测	108
4.4 绝缘介质的介质损耗因数($\tan\delta$)与泄漏电流的在线状态监测	110
第 5 章 土壤电阻率的测量	113
5.1 概述	113

5.2	电阻率的测量方法	114
5.3	四电极法测量土壤电阻率	119
5.4	深度电测法的现场应用	126
5.5	电阻率测量数据的分析方法	127
第 6 章	接地电阻的测量	134
6.1	电力系统对接地电阻的要求	134
6.2	测量小型接地装置接地电阻的简单方法	137
6.3	三极法测量接地电阻的原理	138
6.4	利用三极法测量接地电阻	145
6.5	影响三极法测量结果的因素	153
6.6	四极法测量接地电阻	156

第 1 章

绪 论

高电压技术以其电压很高的特殊性形成了一门独特的学科,又以其应用的广泛性,在电力工程、医疗器械、高新科技、建筑、邮电、计算机、家用电器等领域得到了广泛的应用。而且高电压试验技术与各学科,尤其是与电力工程、电子工程紧密相关。

本书将以电力工程为主论述高电压的试验方法、测量手段和绝缘性能(主要以电力设备为对象)的判断方法。

高电压试验技术的著作有多种版本,各有其特点。本书将根据实际的试验方法、试验线路和有关的国家标准来论述电气设备绝缘的试验原理、绝缘优劣的判断方法。具体的电气设备有:电力变压器、电力电缆、电力电容器、高压线路绝缘子等。

电力系统发变电站及输电线路杆塔接地装置是确保电力系统安全运行的保证,另外也是确保人身安全的保障,符合要求的接地装置能将危险的接触电压和跨步电压限制在安全范围。进行接地装置的设计时需要了解土壤的地质结构,即要进行土壤电阻率的测量;考察设计好的接地装置是否达到要求,运行多年的接地装置的接地电阻是否发生变化,即需要对接地装置进行接地电阻测量。因此本书包括了土壤电阻率和接地电阻测量的有关内容。

通过对本书的学习,可掌握高压电力设备绝缘的试验方法、有关标准和高压试验的安全技术等,这对电工设备制造部门的技术人员来说是必备的知识;对电力部门的科技人员来说,更是非常重要的,因为电力设备在运行中,其绝缘的状态如何,能否保证正常运行,是电力部门运行人员最关心的事。因此,必须掌握电力设备绝缘的各种试验方法,如离线测试的预防性试验方法、在线监测的方法等。所以,本书对电力部门中负责绝缘监督,发、变电站地网及输电线路杆塔接地测试与设计的人员,有着很好的参考作用。

1.1 高电压试验的意义

高电压试验是高电压技术的基础与关键。任何高压电力设备都要进行高压试验,否则不能投入电力线路运行。即使是经过试验已投入运行的设备,为了安全、正常的供电还要进行经常性的预防性试验,保证在各种环境条件,如晴天、下雨、下雪、打雷的天气或很

污浊的情况下,都能正常供电;而且在工作电压、大气过电压及内部(电力系统)过电压下也要正常运行。

为了进一步了解高压试验的意义,必须进一步了解高压试验的对象和有关标准。

1. 高电压试验的对象

高电压试验,主要是对电气设备绝缘进行试验,如对线路绝缘子的绝缘试验,是在绝缘子上、下金具间施加各种高压(工频高压、冲击高压),在规定的电压下不发生击穿、闪络或异常时,该绝缘子被视为合格的绝缘子,可以投入运行;又如电力变压器的绝缘试验,是在电力变压器的高压部位与低压部位、铁心与外壳之间施加交流或冲击电压,在规定的电压下不发生击穿、闪络或异常时,该变压器可视为合格的变压器。

从以上两例可以看出,所谓高压绝缘的试验,就是对高、低电位之间的绝缘介质(如绝缘子两金具之间的瓷介质,变压器高、低压部位的主、纵绝缘——油纸介质)的试验。从电容器的定义可知,两电极间有电介质存在时,就形成了一电容器。所以,实际上,高压绝缘的试验,就是对电容负荷的试验。

2. 高压试验的标准

电力设备多种多样,前面也已提到,各种设备都有它自身的试验标准。但从高压的角度来看,一般可按电压等级来规定其标准。在某一电压等级下,作用于电力设备上的最大电压有以下几种。

(1) 最高工作电压,约 $(1.10 \sim 1.15)U_N$ (U_N 为额定电压)。这样,线路上出现的最高工作相电压的峰值为

$$U_m = \frac{(1.10 \sim 1.15)U_N \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

(2) 雷电过电压。大气中的雷电现象将会给电力设备造成很大危害,而这种现象又是经常发生的,且其能量很大,所以,各种电压等级的电力设备都要有一定的抗雷击的能力。经试验研究,规定雷电过电压的标准波形为 $\pm 1.2/50\mu s$,还有截断波形。试验的峰值可按表 1.1.1 中的规定,其中极性以负极性居多。

(3) 操作过电压。在电力系统内部,负荷的投入、切断使系统参数发生变化时,会引起电磁能量的转化从而造成电压的升高。这种过电压比雷电更为频繁,对电力设备危害也很大,其试验的标准波形为 $\pm 250/2\ 500\mu s$, $\pm 100/2\ 500\mu s$ 或 $\pm 500/2\ 500\mu s$ 。

通过了解电力设备上将要承受什么样的电压、过电压,可以规定试验电压。但在进行高电压耐压试验以前,往往先要对电力设备进行检查性的试验。检查性试验相当于对电力设备的绝缘进行初步的诊断,看其绝缘有无明显的故障。检查性试验的内容很多,大致可归纳如下:

(1) 外观检查。零配件是否齐全,有无碰伤等现象,有无漏油现象等。

(2) 无破坏型试验。即对电力设备施加不太高的电压(无破坏型电压),测量一组数据,若不超过规定,可认为该设备可进行高电压的耐压试验;否则就不能进行高电压的试验。其试验内容有:绝缘电阻的测量、吸收比计算、泄漏电流、介质损耗因数($\tan\delta$)、局部

放电、变压器油性能的测试等。具体测试方法和有关标准将在以后的章节中予以叙述。

对于高电压的耐压试验标准,我国国家标准 GB311/83(高压输变电设备的绝缘配合和高电压试验技术),我国电力行业标准 DL/T 596—1996(电力设备预防性试验规程),对电力设备的试验有明确的规定。在不同的场合,对试验电压的数值上还有一些特殊的规定,如验收试验标准等。这可以根据具体情况在有关规定中查得,如试验与其规定不符,则易造成电力设备的损坏,所以不同场合试验电压值是有差别的。下面将根据我国国家标准 GB311/83,对输变电设备试验标准分别列表如表 1.1.1~表 1.1.4 所示。

表 1.1.1 3kV~500kV 输变电设备的 1 分钟耐受电压(有效值)

kV

额定电压	最高工作电压	内、外绝缘(干试与湿试)				母线支柱绝缘子	
		变压器	并 联 电 抗 器	耦 合 电 容 器、高 压 电 器、电 压 互 感 器 和 穿 墙 套 管	高 压 电 力 电 缆	湿 试	干 试
3	3.5	18	18	18		18	25
6	6.9	23/25	23/25	23		23	32
10	11.5	30/35	30/35	30		30	42
15	17.5	40/45	40/45	40	40/45	40	57
20	23.0	50/55	50/55	50	50/55	50	68
35	40.5	80/85	80/85	80	80/85	80	100
63	69.0	140	140	140	140	140	165
110	126.0	185/200	185/200	185/200*	185/200	200	265
220	252.0	360	395	360	360	360	450
		395		395	460	395	
330	363.0	460	510	460	460		
		510		510	570		
500	550.0	630	680	630	630		
		680		680	740		

注:斜线(/)左边的数值适用于该类设备的外绝缘,斜线右边的数值适用于该类设备的内绝缘。

带“*”的数值仅用于电磁式电压互感器的内绝缘。

表 1.1.2 3kV~500kV 输变电设备的雷电冲击耐受电压

kV

额定电压	最高工作电压	标准雷电冲击全波(内、外绝缘)						标准雷电冲击截波
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、电压互感器	高压电力电缆	高压电缆	母线支柱绝缘子、穿墙套管	变压器类设备的内绝缘
(有效值)		(峰值)						
3	3.5	40	40	40		40	40	45
6	6.9	60	60	60		60	60	65
10	11.5	75	75	75		75	75	85
15	17.5	105	105	105	105	105	105	115
20	23.0	125	125	125	125	125	125	140
35	40.5	185/200*	185/200*	185/200*	200	185	185	220
63	69.0	325	325	325	325	325	325	360
110	126.0	450/480*	450/480*	450/480*	450 550	450	450	530
220	252.0	850		850	850	850	850	935
		950	950	950	1 050	950	950	1 050
330	363.0	1 050		1 175	1 050	1 050	1 050	1 175
		1 175	1 175	1 300	1 300	1 175	1 175	1 300
500	550.6	1 425	1 550	1 550	1 425	1 425	1 425	1 550
			1 610		1 550	1 550	1 550	
		1 550	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675

注：带“*”的数值仅用于变压器类设备的内绝缘。

对高压电力电缆，表中所列耐受电压值是指在热状态下的耐受电压值。其雷电冲击耐受电压值应不超过相应电压等级中所列最高值。如需要更高的绝缘水平，可用更高电压等级的电缆。

表 1.1.3 330kV~500kV 输变电设备操作冲击耐受电压

kV

额定电压	最高工作电压	内、外绝缘(干试与湿试)(峰值)	
(有效值)		母线支柱绝缘子	本标准中除母线支柱绝缘子外,其他所有设备
330	363	850	850
		950	950
500	550	1 175	1 050
		1 240	1 175

注：电缆的操作冲击试验在热状态下进行。500kV 并联电抗器要采用保护水平能够配合的避雷器。

表 1.1.4 电力变压器中性点绝缘水平

kV

额定电压	最高工作电压 (有效值)	中性点接地方式	标准雷电冲击 全波和截波	1分钟工频耐受电压(内、 外绝缘,干试与湿试)
			(峰值)	(有效值)
110	126		250	95
220	252	死接地	185	85
		不死接地	400	200
330	363	死接地	180	85
		不死接地	550	230
500	550	死接地	180	85
		经小阻抗接地	325	140

注:特殊中性点的绝缘水平,由用户和制造厂协商确定。

1.2 高电压试验的安全

高压试验的安全是非常重要的。

对人来说,流过人体的电流达数十毫安时,人就会死亡。所以,凡有高压设备的场所都要有足够的安全距离。在实际工作中,要有严格的管理制度、操作规程。进行高压试验时,因为电力设备的试验电压比正常工作电压还要高许多倍,所以安全问题更为突出。另外,做高压试验时,不仅对人身安全要特别重视,也要重视试验设备的安全,因为试验仪器设备都比较昂贵。

为保证安全,应该在思想上对安全工作高度重视,各单位要经常进行安全教育,开展安全知识的学习,树立安全第一的观点。除思想重视以外,试验人员必须掌握必要的安全技术。下面介绍高压试验的安全技术。

1. 高压试验的基本安全技术

(1) 做高压试验,必须要有一定的安全措施,包括遮栏、联锁、接地和安全距离等。在加高压以前,一定要进行细致的检查。

(2) 按高压试验规则,要呼叫口令,并按试验操作规程进行。

(3) 试验者必须熟练地使用安全工具,如接地杆(放电杆)。

2. 高压试验中的安全操作规程

试验的操作规程包括四个部分,即试验前的工作、试验程序、试验后的整理以及其他注意事项。

(1) 试验前的工作

① 组织。高压试验必须要有严密的组织,要设试验组长及安全监护人,各项操作要

有专人负责。

② 认真准备。参加试验的人员必须做好试验前的准备工作,包括了解被试品、试验设备、试验标准、试验方法、测量方法等。

③ 试验前的检查。具体有

- 检查设备、仪器、仪表是否正常,如有损坏,应及时更换。
- 检查接线是否正确。
- 安全距离是否符合规定,带高压的部分与周围物体的距离必须符合表 1.2.1 的规定。

表 1.2.1 试验电压—安全距离表

电压/kV	距离/cm	
	交流或直流	冲击
100 以下	30	30
100~200	60	60
500	180	180
1 000	350	300

- 接地和接地杆。

接地必须可靠,固定设备的地线可用扁钢、铜条或铝条做成。

接地杆上的接地线需用多股裸线牢固地接在地线带上。加高压前,应将接地杆从高压端取下。凡不参与试验的设备,外壳均需接地,尤其是电容器,应将电容器短路接地。

• 遮栏与联锁。做高压试验,必须有遮栏。对于专用试验室,应设置固定接地的金属网或板(铁板、铁网最好)作为永久性的遮栏。对于临时性的现场试验,也应有临时设置的明显的“高压危险”、“不可靠近”标志的围栏。任何人必须在遮栏外,并不得向试区内探头、伸手。

固定的高压试验室,还应装有必要的联锁装置,如门联锁、零位联锁等。调压设备应处于零位。

• 防止反击的保护应完好。当高压试验中有放电或进行冲击电压、冲击电流试验时,应装设防止反击的保护装置。一般可用电容、非线性电阻等保护,也可用过电压保护器(浪涌抑制器)来保护。

(2) 试验程序

① 做高压试验必须严肃、认真、精力集中。高压操作者的手不要离开跳闸按钮,注意监视电表及现场,不得擅自离岗。试验时,不得谈笑或进行其他的工作,假若要讨论问题,应先跳闸,暂停试验后进行。

② 呼叫口令。在进行几项重要操作时,操作者要分别呼叫“高压合闸”、“放电”、“去掉接地杆”等口令,当监护人员同意并重复上述口令后,方能进行具体操作。

③ 升压时,必须从零均匀缓慢地升压;做完试验,应使调压器退回零位。当试品放电、击穿或加压过程中出现异常现象时,应立即跳闸,随即将调压器退回零位。当对电气

设备进行耐压试验时,若试验正常,试验完毕应先将调压器退回零位后再跳闸。

④ 故障处理。当试验中发生故障时,应立即跳闸,随即将调压器退回零位。若为人身事故,应立即全力抢救,即进行人工呼吸;若酿成火灾,应用灭火器扑火或报火警。

⑤ 放电。试验完毕或更换试件时,应切断电源,将调压器退回零位,并用接地杆对高压部位放电。当对电容器放电时,应先经电阻对电容器放电,然后再短路放电。

(3) 试验后

① 试验完毕,应对电容器、高压部位充分放电,并将接地杆挂在高压设备上。

② 清理场地,保持试验场地整洁。

(4) 其他注意事项

① 试验时,不得吸烟、点火。

② 发烧、头晕、精神不佳、精神失常者,不得进行试验。

③ 高压试验不得少于两人。

3. 高压试验其他安全问题

当试验电压很高且持续时间较长时,还应注意一些安全问题,如电磁场对人体的作用、高压放电时的辐射、高压试验时产生的臭氧。

1.3 高电压试验的分类

电气设备在不同的场合要进行各种不同的试验,一般可归纳为电气设备制造部门的试验和电气设备运行中的试验。

1. 按电气设备制造厂生产的角度来分类

(1) 检查性试验:在生产过程中,对成品、半成品的无破坏型的试验。

(2) 耐压试验:制造厂生产出的产品,必须要进行耐压试验。其试验方法和试验标准必须符合国家规定的规定。

(3) 型式试验:制造厂新设计、新研制、定型或改型的产品,必须要进行的全部性能的试验。

(4) 研究性试验:制造厂为设计新产品改用新工艺而进行的研究性试验。

2. 按电力部门运行的角度来分类

(1) 验收试验:电气设备从制造厂运输到运行部门后,运行前进行的检查性和耐受试验。

(2) 预防性试验:电气设备在运行中对其绝缘质量进行定期的检查试验。

① 离线测试:定期将电气设备退出运行,对其绝缘质量进行测试。其标准可参见DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规程。

② 在线监测:为提高供电的可靠性,随时监测电力设备绝缘情况,可在设备运行的情况下对其绝缘进行监测。

(3) 研究性试验:从运行角度出发,开展一些对绝缘监督、改进产品运行所进行的研究性的试验。

3. 按试验方法分类

从高压试验的对象可知,主要是对绝缘介质进行试验。绝缘介质包括气体、液体、固体或几种介质组合的绝缘。对绝缘介质,可看成一等值的电容性的试品。因此,其试验方法可归纳为:

(1) 无破坏型的检查试验:前面已论述。

(2) 耐压试验:由于电压高,容易造成电气设备的破坏,耐压试验一般都在检查性试验以后进行。

(3) 在运行电压下的在线监测:随时可以监测电气设备的绝缘状态。

(4) 研究性试验:无论制造单位、运行单位都要进行的新产品、新工艺的研究。为研究而进行的试验。

1.4 高电压试验的设备和测量

为进行高压试验,必须要有一系列的试验设备和测量方法。根据电力系统经常出现的电压和国家标准所作出的规定,电力设备一般要进行交流耐压试验、直流耐压试验和冲击试验,所以要有相应的测量设备:

(1) 交流试验及测量装置,一般频率为 50Hz。

(2) 直流试验及测量装置。

(3) 冲击试验及测量装置,又分为冲击电压发生器及测量系统和冲击电流发生器及测量系统。

(4) 无破坏型试验的测量仪器。

第 2 章

无破坏型的检查性试验

无破坏型试验一般不会使绝缘损坏,但能测试到绝缘的情况,如变压器受潮情况、绝缘子有无破裂等。这些试验方法在生产制造部门和运行部门都是适用的,在电力部门被视为预防性试验方法,试验项目如表 2.0.1 所示。

表 2.0.1 无破坏型检查试验项目

序号	试验名称	能发现的缺陷	不能发现的缺陷
1	绝缘电阻的测量	贯通的集中性缺陷 整体受潮或有贯通的受潮部分	未贯通的集中性缺陷 绝缘整体老化
2	泄漏电流的测量	贯通的集中性缺陷 整体受潮或有贯通的受潮部分以及 一些未完全贯通的集中性缺陷	未贯通的集中性缺陷 绝缘整体的老化
3	吸收比试验	受潮贯通的集中性缺陷	未贯通的集中性缺陷 绝缘整体的老化
4	测介质损耗因数 ($\tan\delta$)	整体受潮、老化、被试绝缘体体积 小时的贯通及未贯通缺陷	被试绝缘体体积大时的集中性 缺陷
5	测量绝缘内部的 局部放电	局部或多处的局部放电缺陷	虽有缺陷但不产生局部放电、 受潮
6	绝缘油的试验	气相色谱分析可测出持续性的局 部过热、局部放电缺陷	导致突然发生匝间短路的缺陷

预防性试验是运行部门保证设备安全运行的重要措施。通过试验,掌握电气设备绝缘的情况,及早发现缺陷,从而进行相应的维护与检修,防止运行中设备在工作电压或过电压作用下突然击穿造成的停电甚至发生严重损坏设备的事故。

电气设备的绝缘缺陷通常有两种情况:一种是制造时潜伏下来的;另一种是运行中在各种外界因素作用下发展起来的。外界作用有工作电压、过电压、大气条件的影响(如潮湿)、机械力、热、化学作用等。当然这些外界影响程度也和制造质量有关。电气设备在外界作用下,绝缘逐渐劣化也是不可避免的。绝缘监督人员经常对电气设备进行预防性试验,可发现许多缺陷,以减少突发事故的发生,保证安全供电。

绝缘的缺陷可分为两大类:第一类是集中性缺陷,例如悬式绝缘子瓷质开裂、发电机

绝缘局部磨损、破裂,电力电缆由于局部气隙在工作电压下发生局部放电逐步损坏绝缘及其他的机械损伤、局部受潮等;第二类是分布性缺陷,指电气设备整体绝缘性能下降,例如电机、变压器、套管等绝缘中有机材料的受潮、老化、变质等。绝缘内部有了上述缺陷后,其特性要发生一定的变化,可通过一些电压不高的试验把隐藏的缺陷检查出来。预防性试验就是这些检查试验。生产制造部门也同样使用这些对绝缘的试验方法。

为了更好地说明这些试验,本书将通过对几种类型的电力设备(电力变压器、电力电缆、电力电容器、线路绝缘子等)的试验来介绍其试验方法。

2.1 电力电缆的试验

电力电缆的试验包括绝缘电阻、泄漏电流的测量及直流耐压的试验。电力电缆是电力设备中传送和分配电能的重要设备之一,它一般埋设于土壤中或敷于室内、沟道、隧道中,不用杆塔,占地少,传输性能稳定,气候条件和周围环境影响小,且较少维护,安全性较高。对于电力的传输,电缆还可向高电压、大容量及低温、超导方向发展。

2.1.1 电力电缆的品种及型号

电力电缆的品种和型号如表 2.1.1 中所示。

表 2.1.1 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分相铅(铝)包型	1~35	1~3kV 80 6kV 65 10kV 60 20~35kV 50	ZLL, ZL, ZLQ, ZQ ZLLF, ZLQF, ZQF
	2. 不滴流电缆统包型分相铅(铝)包型	1~35	65~80	
	3. 自容式充油电缆	110~750	80~85	ZLQD, ZQD
	4. 钢管充油电缆	110~750	80~85	ZLLDF, ZQDF
	5. 钢管压气电缆	110~220	80	ZQCY
	6. 充气电缆	35~110	75	
塑料绝缘电缆	7. 聚氯乙烯电缆	1~10	65	VLV, VV
	8. 聚乙烯电缆	6~220	70	YLV, YV
	9. 交联聚乙烯电缆	6~220	10kV 及以下 90 20kV 及以上 80	YJLV, YJV
橡皮绝缘电缆	10. 天然丁苯橡皮电缆	0.5~6	65	XLQ, XQ, XLV
	11. 乙丙橡皮电缆	1~35	80~85	XV, XLBF, XLF
	12. 丁基橡皮电缆	1~35	80	
气体绝缘电缆	13. 压缩气体绝缘电缆	220~500	90	
新型电缆	14. 低温电缆			
	15. 超导电缆			

2.1.2 部分电力电缆的电气性能和结构

电力电缆种类很多,限于篇幅,本节仅介绍普通粘性浸渍电缆和滴流电缆的性能,如表 2.1.2 所示。

表 2.1.2 普通粘性浸渍电缆和滴流电缆的电气性能的要求

项目		普通粘性浸渍电缆							滴流电缆			
导线直流电阻系数/($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) (20℃时,不大于)		0.018 4(铜) 0.031 0(铝)							同左			
每公里绝缘电阻/M Ω (20℃时,不小于)		50(1kV~3kV) 100(6kV及以上)							同左			
工频耐压	出厂试验	额定电压/kV	1	3	6	10	20	35	6	10	35	
		试验电压/kV	3.5	10	16	25	50	88	12	20	68	
	型式试验	试验时间/min	10kV及以下电缆单芯 20,2芯 15,3~4芯 10							15	15	15
			20kV~35kV 电缆									
		额定电压/kV	6	10	20	35	6	10	35			
		试验电压/kV	24	40	60	100	15	24	81			
	试验时间/h	4	4	4	4	4	4	4				
$\tan\delta^{\text{①}}$	额定电压/kV	6	10	20	35	35						
	测量电压/kV	12	5	20	10	40	17.5	65	14	14~34	34~54	
	$\tan\delta$ (不大于)	0.015	0.008	0.014	0.008	0.01	0.008	0.01	0.008			
	$\Delta\tan\delta^{\text{②}}$ (不大于)	0.008 (4kV~12kV)	0.006	0.002 5	0.002 5				0.004	0.003		

① $\tan\delta$ 为电缆的介质损耗角正切值,下同。

② $\Delta\tan\delta$ 为 $\tan\delta$ 随试验电压增加后的增值,下同。

电力电缆在运行中,情况比较复杂,如存在过电流、过电压的作用、机械力的影响等,故运行中的电缆经过一段时间后,要进行一些检查性试验,即预防性试验。这样可以及早发现电缆的缺陷,采取补救措施。我国对电力电缆的预防性试验有明确的确定,在电力行业 DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规程中对各种电缆的预防性试验都有规定。本书以纸绝缘电力电缆线路为例,说明电力电缆的预防性试验方法。纸绝缘电力电缆包括粘性油纸绝缘电力电缆和滴流油纸绝缘电力电缆线路。其试验项目、周期和要求如表 2.1.3,表 2.1.4 所示。