第十篇

电力电缆工程的竣工试验

第一章　电缆试验基础知识

电缆的试验不仅要对电缆线路的缺陷进行检查和发现，确保设备健康、安全地投入运行，而且还应通过试验积累数据和经验，为制定反事故措施、设备技术改造和改进运行管理工作提供科学的依据，所以必须认真做好此项工作。

第一节　电缆试验项目及技术标准

一、预防性试验项目及技术标准

预防性试验是电缆在运行中对其绝缘水平进行周期性监视的重要手段。其主要作用是判断电缆线路在试验电压作用下的绝缘性能，并且与原始记录进行比较，以判明电缆线路绝缘性能的变化情况，确定电缆的状态检修项目和处理方法，确定电缆能否继续运行。

(一)电缆试验的周期

(1)对于新敷设的电缆线路投入运行 3～12 个月，一般应作一次直流耐压试验，以后再按正常周期试验。

(2)重要的无压力电缆，一般每年应试验一次，其它电缆如纸绝缘电缆应三年至少试验一次、橡塑 3.6/6kV 及以下电缆应五年至少试验一次。保持压力的电缆一般试验不作规定，但是失压和修复后应进行试验。对护层有绝缘要求的，应同电缆主绝缘要求相同。

(3)凡是停电超过一星期但不满一个月的电缆线路,应用兆欧表测量该电缆导体对地绝缘电阻,如有疑问时,必须用低于常规直流耐压值进行试验,加压时间 1mm ;停电超过一个月但不满一年的电缆线路,必须作 50% 的规定试验值的直流耐压试验,加压试验 1min ;停电超过一年的电缆线路,必须作常规的直流耐压试验。

(4)根据试验结果被列为异常或不合格,但经过综合分析判断允许在监护条件下投入试运行的电缆,其试验周期应缩短,如在不少于 6 个月时间内,经过连续 3 次以上试验,其试验结果不变坏,则以后可以按正常周期进行试验。

(5)对于重新制作的电缆终端头和中间接头,须进行直流耐压试验。在受到外力损伤或发生运行中严重闪络、爬电或者重污染后,应根据运行情况适当缩短试验周期。

(6)负责电缆线路运行维护的管理人员,应根据电缆试验结果和运行情况,在年初按试验季节,提出年度试验计划,每季度应编制季度试验重点,每月按试验计划向有关部门提出计划停电申请。

(二)电缆试验项目及试验电压

(1)纸绝缘电力电缆线路试验项目及电压。这里的纸绝缘电力电缆是指粘性油浸纸绝缘电缆和不滴流油纸绝缘电缆。其试验项目和直流耐压试验电压分别如表 10 - 1 - 1 和表 10 - 1 - 2 所示。

表 10 - 1 - 1　纸绝缘电力电缆试验项目及要求

电缆试验项目	要　求
绝缘电阻	①测量各电缆线芯对地;②测量各线芯之间;③测量线芯对金属屏蔽;④额定电压 0.6/1kV 电缆用 1000V 兆欧表,绝缘电阻值不低于 100MΩ;⑤额定电压 0.6/1kV 以上电缆用 2500V 兆欧表,绝缘电阻值不低于 200MΩ;⑥一般在直流耐压试验前进行
直流耐压试验	①试验电压值按表 10 - 1 - 2 规定,加压时间 5min,不击穿;②耐压 5min 时的泄漏电流值不应大于耐压 1min 时的泄漏电流值;③三相之间的泄漏电流不平衡系数不应大于 2;④6/6kV 及以下电缆的泄漏电流小于 10μA,8.7/10kV 电缆的泄漏电流小于 20μA 时,对不平衡系数不作规定

表 10 - 1 - 2　纸绝缘电力电缆的直流耐压试验值　kV

电缆额定电压 U_0/U_N	直流试验电压	电缆额定电压 U_0/U_N	直流试验电压
1.0/3	12	6/10	40
3.6/6	17	8.7/10	47
3.6/6	24	21/35	105
6/6	30	26/35	130

注　U_0 为电缆线芯对地或对金属屏蔽层间的额定电压,U_N 为电缆额定电压。

(2)橡塑绝缘电力电缆试验项目及电压这里所指橡塑电缆主要是指聚氯乙烯绝缘、交联聚乙烯绝缘和乙丙橡皮绝缘的电缆。其试验项目和试验电压如表 10－1－3 和表 10－1－4 所示。

表 10－1－3　橡塑绝缘电力电缆试验项目及要求

电缆试验项目	要　　求
电缆主绝缘绝缘电阻	①1kV 及以下电压等级的电缆,一般不作直流耐压试验,只测量其绝缘电阻值 ②其他测量要求同纸绝缘电缆的绝缘电阻的要求
电缆内衬层绝缘电阻	①测量时采用 500V 兆欧表 ②绝缘电阻值不应低于 0.5MΩ/km,若低于 0.5MΩ/km 时,需判断外护层是否进水 ③本项试验只适用于三芯电缆的外护套
铜屏蔽层电阻和导体电阻比	①在重作电缆终端头或接头后内衬层破损进水时,进行本项目试验 ②当比值较投运前增加时,表明铜屏蔽层的直流电阻增大,铜屏蔽层有可能被腐蚀;当比值较投运前减少时,表明附件中的导体连接点的接触电阻有增大的可能
电缆主绝缘直流耐压试验	①其试验电压值按表 10－1－4 所示 ②其他要求同表 10－1－2 相同
交叉互联系统	①在每段电缆金属屏蔽或金属套与地之间施加直流电压 5kV,加压时间 1min,不应击穿 ②试验时必须将护层过电压保护器断开

表 10－1－4　橡塑绝缘电力电缆的直流耐压试验电压　kV

电缆额定电压 U_0/U_N	直流试验电压	电缆额定电压 U_0/U_N	直流试验电压
1.8/3	11	8.7/10	37
3.6/6	18	21/35	63
6/6	25	26/35	78
6/10	25		

二、交接性试验项目及技术标准

交接性试验技术标准是为了检验出厂电缆的制造缺陷,检测电缆线路在敷设、安装过程中的电缆隐患,是确定新安装设备或者改造后设备能否投入运行的依据,也是保证电缆线路长期稳定运行的重要手段。

(一)绝缘电阻试验

电缆的绝缘电阻值与其结构、长度以及测量时的温度等因素有关。测量其绝缘电阻

主要用兆欧表，其测量方法如表 10－1－5 所示，各类电缆换算到 20℃时的每公里的最低绝缘电阻参考值如表 10－1－6、表 10－1－7 和表 10－1－8 所示。

表 10－1－5　电缆绝缘电阻测量方法

电缆线路的额定电压	测量使用仪器（兆欧表）	电缆线路的额定电压	测量使用仪器（兆欧表）
100V 以下	250V	1000～6000V	2500V
100～500V	500V	6000V 及以上	5000V
500～1000V	1000V	电缆内衬层、外护套绝缘电阻	500V

注　电缆绝缘电阻是指各电缆线芯对地或对金属屏蔽层间和各电缆线芯间的绝缘电阻。

表 10－1－6　粘性油浸纸和不滴流油浸纸绝缘电缆最低绝缘电阻值

额定电压（kV）	0.1～1	6 及以上
绝缘电阻（MΩ）	100	200

表 10－1－7　额定电压 6kV 及以下的橡皮绝缘电缆最低绝缘电阻值

电缆截面（mm^2）	50 及以下	70～185	240
绝缘电阻（MΩ）	50	35	20

表 10－1－8　塑料电缆最低绝缘电阻值

电缆额定电压（kV）		1	6	10	35
绝缘电阻（MΩ）	聚氯乙烯电缆	40	60	—	—
	聚乙烯电缆	—	1000	1200	3000
	交联聚乙烯电缆	—	1000	1200	3000

（二）直流耐压及泄漏电流试验

（1）直流耐压试验电压标准，如表 10－1－9、表 10－1－10、表 10－1－11 和表 10－1－12、表 10－1－13 所示。

表 10－1－9　粘性油浸纸绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0/U_N	(kV)	0.6/1	6/6	8.7/10	21/35
直流试验电压	(kV)	$6U_N$	$6U_N$	$6U_N$	$5U_N$
试验时间	(min)	10	10	10	10

注　U_N 为电缆额定电压，U_0 为电缆线芯对地或对金属屏蔽层间的额定电压。下列表中相同。

表 10－1－10　不滴流油浸纸绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0/U_N	(kV)	0.6/1	6/6	8.7/10	21/35
直流试验电压	(kV)	6.7	20	37	80
试验时间	(min)	5	5	5	5

表 10－1－11　塑料绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0	(kV)	0.6	1.8	3.6	6	8.7	12	18	21	26
直流试验电压	(kV)	2.4	7.2	15	24	35	48	72	84	104
试验时间	(min)	15	15	15	15	15	15	15	15	15

表 10－1－12　橡皮绝缘电力电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_N(kV)	6
直流试验电压 (kV)	15
试验时间 (min)	5

表 10－1－13　充油绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_N(kV)	66	110	220	330
直流试验电压 (kV)	2.6	2.6	2.3	2
试验时间 (min)	15	15	15	15

(2)泄漏电流的试验标准。

①由于泄漏电流值除与电缆本身的绝缘性能和电缆长度有关外，还受到外界诸多因素的影响，因此泄漏电流值只能作为判断绝缘情况的参考，不能作为确定能否投运的标

准依据。

②电缆试验时，试验电压可分 4～6 个阶段均匀升压，每个阶段停留 1min，并读取泄漏电流值。测量时应消除杂散电流的影响。

③电缆耐压 5min 时的泄漏电流值不应大于耐压 1min 时的泄漏电流值。35kV 及以下电压油浸纸绝缘电缆长度为 250m 及以下时，泄漏电流参考值不应大于表 10－1－14 所示。

表 10－1－4　油浸纸绝缘电缆泄漏电流参考值

电缆型式	工作电压（kV）	试验电压（kV）	泄漏电流（μA）	说　明
三芯电缆	35	140	85	①微安表接在高压端或采用消除杂散电流影响的其它接线方式 ②测量泄漏电流时，一般应在直流耐压过程中于 0.25、0.5、0.75、1.0 倍试验电压下各停留 1min 读取泄漏电流值 ③在试验电压下，应读取 1min 及 5min 的泄漏电流值 ④电缆长度超过 250m 时，泄漏电流可按长度适当增加
	20	80	80	
	10	50	50	
	6	30	30	
	3	15	20	
单芯电缆	10	50	70	
	6	30	45	
	3	15	30	

④虽然泄漏电流值只作为分析判断的参考数值，但是泄漏电流具有下列情况之一者，电缆绝缘可能有缺陷，应找出缺陷部位，并予以处理。A. 泄漏电流很不稳定；B. 泄漏电流随试验电压升高急剧上升；C. 泄漏电流随试验时间延长有上升现象。

（三）充油电缆绝缘油的试验

其试验项目和标准如表 10－1－15 所示。

表 10－1－15　充油电缆使用的绝缘油试验项目和标准

项　目	标　准	说　明
电气强度试验	工频击穿强度：对于 110～220kV 的，不应低于 45kV；对于 330kV 的不应低于 50kV	使用 2.5mm 平板电极常温
介质损耗角正切值 tgδ（%）	当温度为 100±2℃时：对于 110～220kV 的，不应大于 0.5，对于 330kV 的不应大于 0.4	

（四）电缆相位的试验

（1）应使电缆接头两端的相位一致。

（2）应使电缆接头的相位同电网相位相符合。

（3）除根据初级工本有关的方法来核定相序外，根据现场实际要求（如两个电源点连

接),还需进行带电相位的核定。

第二节　常用试验仪器的种类、工作原理及特点

一、试验仪器种类及其适用范围

供电电压为 6～110kV 的工矿企业中,电力电缆常规试验所需的主要仪器种类和适用范围如表 10－1－16 所示。

表 10－1－16　电缆常规试验所需的主要仪器种类及用途

仪器种类	型　号	规　范		适用范围
高压试验变压器	YDJ－5/50	5kVA	50000V/220V	10kV 及以下电缆交流耐压试验
	DSB(G)－1	1kVA	50000V/200V	35kV 及以下电缆交流耐压试验
	DSB(G)－2.5C	2.5kVA	50000V/200V	
	DSB(G)－5C	5kVA	50000V/200V	
	TSB	1.5、3、6、10kVA	50000V/200V	
泄漏电流试验变压器	TDM－60/2.5	输出 60kV	输出 2.5mA	6～110kV 电缆的直流泄漏试验及直流耐压试验
直流高压发生器	KGF－60	60kV	1mA	
	JGF	80、100、120、200、300、600kV	1、0.5、1.2、2、3mA	
直流高压试验器	JGS－2	60kV	1000mA	
	KGS	200、400、600kV		
电缆探伤仪	QF_1－A	输出电压:15～600V		①测量电缆接地、相间短路和断线故障 ②测量电缆芯线电阻、线间电容和对地电容

仪器种类	型　号	规　　范	适用范围
电缆故障测试仪	DGC－711	包括：①闪络测距仪，5m 以内；②故障定点仪，相对误差≯3%，短电缆绝对误差≯1m；③路径测寻仪	测量 1～35kV 电缆的低阻、高阻、短路、开路和闪络故障
	SCY	包括：①闪络测距仪，有闪法、冲闪法＜5m；②故障定点仪，粗测相对误差≯3m，定点绝对误差≯1m	
脉冲电容器		额定电压：20kV，电容量：10μF	电线故障点声测
	MY－0.011/110	额定电压：110kV，电容量：0.011μF	35kV 电缆直流耐压时倍压整流
直流电阻分压器	JDF－120	额定电压：120kV	测量直流电压
高压静电电压表	Q3－V Q4－V	额定电压：0～7.5～15～30kV 额定电压：0～25～50～100kV	测量交直流高压
万能电桥	QS18A	电容：1pF～1100μF 电感：1μH～110H 电阻：10MΩ～11MΩ	测量电容、电感和电阻等
	QS14	电容：10pF～100μF 电感：10μH～100H 电阻：0.1Ω～10^6Ω 损耗角：1×10^{-4}～6×10^{-1}	
直流单臂电桥	QJ23	测量范围：1～0.9999×10^6Ω	测量中等大小电阻
	QJ24	测量范围：10^{-3}～9.999×10^3Ω	
	QJ26	测量范围：10^{-4}～11Ω	测量直流电阻
	QJ44	测量范围：10^{-5}～11Ω	
	QJ57	测量范围：10^{-5}～10^3Ω	
直流单双臂电桥	QJ47	测量范围：10^{-4}～10^6Ω	测量各种导体电阻
兆欧表	ZC11－8	500V，100MΩ	测量高低压电缆的绝缘电阻
	ZC25－4	1000V，1000MΩ	
	ZC11－10	2500V，2500MΩ	
	ZC11－5	2500V，10000MΩ	
	ZC48	5000V，100000MΩ	

仪器种类	型　号	规　　范	适用范围
万用表	MF35	V 0～1000V≃ I 0～5A≃ R 0～20MΩ	一般测量
	MF20	V 0～600V≃ I 0～30mA≃ R 0～20MΩ	

二、常用试验仪器的工作原理及特点

(一)试验变压器

试验变压器的工作原理与电力变压器的相同,但具有如下特点。

(1)工作电压较高,容量较小。

(2)使用时间短,温升较低,不必采用复杂的冷却系统。

(3)不会受到过电压的侵袭,绝缘的安全裕度可较小。

(4)由于绝缘裕度小,允许温升低,故在额定电压和额定功率下只允许短时运行。

(5)短路阻抗较大。

(6)对波形畸变率及局部放电量有较严格的要求。

(7)通常通过调压供电,以输出可调节的工频高电压。

(8)通常情况下其负载较小,并且呈现为电容性负载。

试验变压器的容量一般决定于被试品的电容值和试验电压值,应根据试验工作所需的最大试验容量来选择。一般情况下,6～10kV 电缆线路试验,采用 200～220V/30～35kV、0.5kVA 试验变压器;35kV 及以上电缆线路,采用 200V/50kV、1kVA 的试验变压器,并经倍压整流来进行耐压试验。

调压变压器用以调节试验变压器进出线电压。根据调压方式的不同可分为:①自耦调压器;②移卷式调压器;③电动发电机组。现场多用自耦调压器调压,大容量被试品试验时常用移圈式调压器,当容量很大时也有用电动发电机组的。自耦调压器的容量一般是试验变压器的 0.75～1 倍。

(二)直流高压发生器

直流高压发生器是用交流高压整流的办法产生直流高压的试验装置,在电缆试验采用,一方面可减小试验设备对容量的较高要求,另一方面可避免交流高压在电缆试验中电容电流对试验产生的影响。

产生直流高电压的方法主要有交流高压整流和静电发电机两种。前者在现场实际中使用得最为广泛,容量也较大,目前交流高压整流有三种:一是简单的整流电路,包括半波整流电路和全波整流电路;二是串级直流高压发生器,是将倍压整流电路多级串联起来,升高电压;三是高压硅堆整流器,是利用若干个高压硅堆(或称硅棒、硅柱)串联组成电压较高的高压硅整流器。

当简单的整流电路产生的直流高压无法满足要求时,需采用多级串联组成的串联直流高压发生器,如图 10－1－1 所示。其原理是:变压器高压绕组右端为正时,硅整流器 Vn 导通,给电容器 C'_n 充电到电压峰值 U_M。当高压绕组左端为正时,硅整流器 V_n 导通,电容器 C'_n 及变压器绕组对电容器 C_n 充电到 $2U_M$,n 点电位升为 $2U_M$,当变压器绕组右端再为正时,电容器 C'_n 上的 $2U_M$ 经整流器 $V'n-1$ 给 C'_{n-1} 充电至 $2U_M$。另端为正时电容 C'_{n-1} 上的 $2U_M$ 经硅整流器 $Vn-1$ 给电容 C_{n-1} 充电至 $2U_M$,这时 n 点电压为 $2U_M$,$n-1$ 点电位为 $4U_M$……,如果是 N 级串联发生器,则其输出端电压可达 $2NU_M$ 幅值的直流高压。如果是 4 级,即 $N=4$,输出直流电压为 $8U_M$。

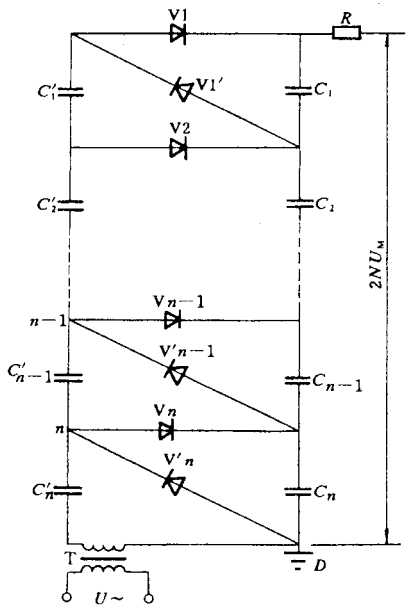

图 10－1－1　串联直流高压发生器

$V1 \sim V_n$,$V1' \sim V'_n$—硅整流器;$C_1 \sim C_n$,$C'_1 \sim C'_n$—充电电容;T—试验电源变压器;D—接地点

(三)电缆故障测试仪

电缆故障测试仪,一般由闪络测试仪(简称闪测仪)、路径仪、定点仪三部分组成。其基本工作原理是:先在故障电缆一端对故障相加高电压,用闪测仪进行粗测,故障点一旦被击穿,屏幕上将显示故障点电缆到测试端的距离波形。然后由路径仪查明故障电缆的路径或走向,最后根据粗测结果,用定点仪精确测定出故障点的具体位置。

下面介绍 DGC－711 型电缆故障闪络测试仪的工作原理。其面板布置如图 10－1－2 所示。闪测仪电路原理基本结构方框图和基本波形图如图 10－1－3 和图 10－1－4 所示。用低压脉冲、直流高压闪络、冲击高压闪络等方法分别对低阻、短路、开始故障时进行测量;对闪络性故障和高阻故障进行测量;对高阻泄漏故障和一般高阻故障进行测量。根据取得的信号,经分压器后加到贮能示波器的 Y 偏转板,另一方面用来启动主控脉冲产生器,产生三个相隔为 5ms 的主控触发脉冲。其中一个送到锯齿波产生器,从而发出锯齿波扫描电压,送 X 偏转板记录被测信号。后两个主控触发脉冲相继送到刻度波产生器,产生两组时隔 5ms 的时标刻度波。大刻度波之间的间隔为 5μs,小刻度波间的间隔为 1μs。每个小刻度代表 80m 距离(对油浸纸绝缘电缆而言)。

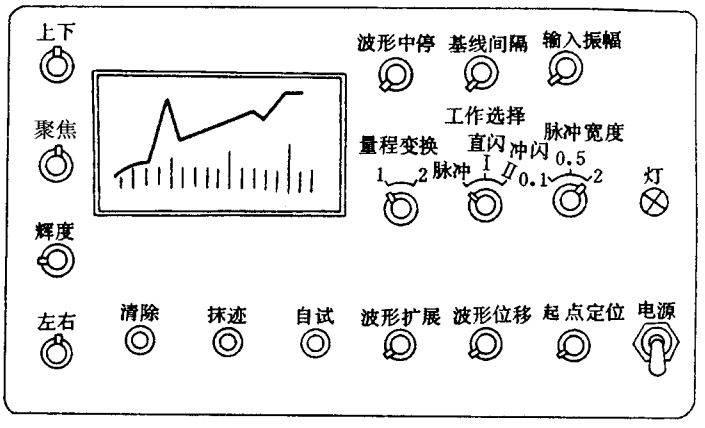

图 10－1－2　DGC－711 型电缆故障闪测仪面板布置图

DGC－711 型电缆故障路径仪的电气原理方框图如图 10－1－5 所示。它是根据感应法(音频法)定点的原理输入一个频率为 15kHz 的音频电源,它由文氏振动器产生、经射极跟随器及推动级放大后送至推挽功率放大器输出。通过输出变压器抽头的变换来使输出阻抗与被测电缆相匹配,为使耳机中得到明显的辨认信号,由方波发生器产生间隔为 0.5s 的方波信号控制 15kHz 振荡器,使其成为 15kHz 的断续信号,便于寻测电缆走向。

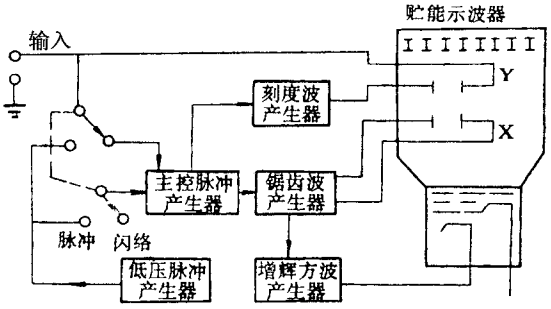

图 10－1－3　闪测仪基本结构方框图

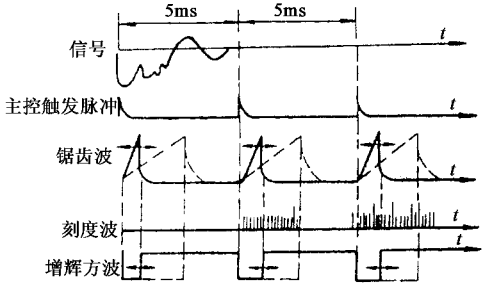

图 10－1－4　闪测仪基本波形图

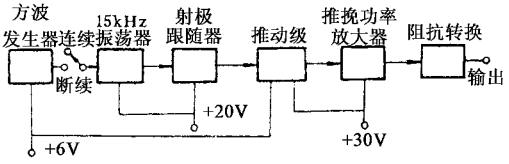

图 10－1－5　DGC－711 型电缆故障路径仪电气原理方框图

DGC－711 型电缆故障定点仪主要是采用冲击放电声测法的原理制成。在故障电缆一端的故障相上加直流高压或冲击高压，使故障点放电，利用压电晶体探头接收故障点的放电声波并把它变成电信号，经几级放大后，再用耳机还原成声音。找出声音最大位置，即为故障点位置。

第三节　电缆试验的安全知识

一、试验现场的安全管理

由于电缆的交接、预防性试验工作，多在生产现场，使电缆试验工作常处于检修、运行操作繁忙等环境中，这给试验工作造成一定困难。如果邻近有带电设备，也会给试验工作的安全带来不利影响。所以加强试验现场的安全管理，完善试验工作的安全组织措施和技术措施，才能保证试验工作的顺利进行。

（一）试验工作的安全组织措施

（1）首先应做好试验联系工作。由于试验工作是整个电缆敷设、安装、检修工作的重要组成部分。为了避免生产现场交叉作业的相互影响和人身设备安全，在试验工作开始前，必须与工作总负责人相互联系或者与相关部门、车间、班组负责人相互联系。

（2）试验工作过程中，要向设备管理部门办理组织措施。①工作票制度；②工作许可制度；③工作监护制度；④工作间断、转移和终结制度。具体内容详见《电业安全工作规程》的规定。

（3）在试验工作中，要明确所有试验人员的安全责任，职责清楚。试验工作至少应有两人（不熟习本工作者不得承担主要工作），试验前现场负责人应对全体试验人员详细布置试验任务、明确各自承担的工作以及现场试验工作的安全技术措施，有关安全注意事项。

（4）由于电缆试验工作的特殊性，试验过程中，必须传达正确的口令，必须做到有呼必应。

（二）试验工作的安全技术措施

（1）首先应将所有与试验电缆有电联系的电源全部停电。

（2）将已停电的电缆，再用合格的验电器进行三相验电，验证电缆确已无电压。

（3）在验明电缆三相确无电压后，在工作电缆的两端分别悬挂好短路接地线。

（4）在工作地点及周围的有关设备上悬挂相应的标示牌、装设必要的遮栏，提醒或告诫所有工作人员，同时限制工作人员的活动范围。

（5）试验负责人在试验开始前，应再次检查安全措施布置是否符合现场实际要求，试

验接线是否正确无误、试验设备的选择是否符合现场试验要求等。而后通知所有试验无关人员撤离试验区域，并派专人看守试验区域内的各个通道。

(6)试验工作人员在得到工作负责人明确的许可后，方可进行接通电源试验。试验中变换线或试验完毕时，试验人员必须首先切断试验电源，并对试验设备和试验电缆放电接地后，方可进行其他工作。

二、操作试验的安全注意事项

(1)应选派了解试验设备、试验仪器性能、原理、结构和使用方法的人作为试验人员，要选派熟习有关试验技术标准、技术规程的试验人员作为主要工作人员。

(2)要合理、科学地布置试验场所、保证试验人员的活动范围和与带电部分的最小安全距离符合表 10－1－17 的规定。

(3)试验设备的高压引出线应尽量缩短，应与接地体、无关设备的距离？留有足够的安全裕度，防止试验中对接地体和其他物件放电，防止附近工作设备产生的感应电压而击伤人。

表 10－1－17　操作人员活动范围和与带电设备的最小安全距离

电压等级(kV)	6～10	25～35	60～110	220
不设防护栅时　(m)	0.7	1.0	1.5	3.0
设防护栅时　(m)	0.35	0.6	1.0	2.0

(4)试验人员应集中精力、有条不紊地操作，当发现异常情况时，应首先停止升压，随后降压、断电、放电，分析异常原因采取措施。

(5)试验结束后，试验人员应拆除自装的接地短路线，并对被试电缆进行全面检查、清理工作现场的杂物。

(6)及时填制试验记录，整理试验报告，同时恢复试验中所拆或所变更的设备引线。

第四节　电缆试验技术资料的管理

电缆试验资料的管理是电缆技术资料管理的重要组成部分。本节就电缆试验报告、故障测寻记录的格式与内容，以及试验资料的管理进行说明。

一、电缆试验报告的格式及内容

电缆试验报告是电缆常规试验项目的技术参数和设备绝缘状况的综合反映，是重要的技术资料。其格式如表 10－1－18 所示。

其填写内容是：①电缆的运行编号和名称；②电缆的型号、规范和试验日期；③明确的试验理由；④简单说明试验所用仪器和仪表，以及接线图；⑤各个试验项目名称和测量数据；⑥最后要填试验结论性意见；⑦要写明试验时的环境条件、操作人员、负责人，审核负责人审查签注意见。

表 10－1－18　电缆试验报告　　配电室名称：

电缆编号	电缆名称	电缆额定电压（kV）	电缆型式	电缆规范	电缆长度	试验日期	揭示	
							记录	
							统计	

试验理由：定期□，监试□，运行故障□，耐压故障□，交接□，改接□

试验仪器：试验变压器□，硅整流器□，微安表□，高阻计□，其他□

绝缘电阻□ V 兆欧表		相位	直流耐压值（kV）	持续时间（min）	泄漏电流（μA）			试验结果意　见	备注
					试验电压（kV）	耐压前（μA）	耐压后（μA）	能否投运结论	
A ~ *D*									
B ~ *D*									
C ~ *D*		*A*							
O ~ *D*									
A ~ *B*									
B ~ *C*		*B*							
C ~ *A*									
A ~ *O*									
B ~ *O*		*C*							
C ~ *O*									

天气：　室温：　℃　　试验负责人：　　试验人员：　　审核者：

二、电缆故障测寻记录的格式及内容

电缆无论是运行故障还是试验性故障，在故障测寻后，都必须填写故障测寻记录和修理记录，作为试验技术资料档案进行管理。其格式如表 10－1－19、表 10－1－20 所示。

表 10－1－19　电缆故障测寻记录

电缆线路名称：	电压(kV)：	长度(m)：
故障性质：	接地或短路电阻：	Ω
回路电阻：　　端(～)　　Ω	端(～)　　Ω	
等价回路长度(cm^2)：		m
＿＿端 正接法： 反接法：	＿＿端 正接法： 反接法：	
次平均距离　　端　　m	回算距离	m
经声测证明实际故障点距离：　　端　　末(第　　号接头)		
校验误差百分率：$\frac{\text{校验距离}(\quad)-\text{实际故障距离}(\quad)}{\text{总长度}(\quad)}\times 100\%$		
其他故障记录：		
校验用仪表：　　天气：　　室温：　　℃		
校验日期：　　年　　月　　日　　试验者：　　审核者：		

表 10－1－20　电缆修复报告

电缆线路名称：

日期及时间	运行/停役		停用时间：日　时　分
	恢复使用		少送电度：
损坏地点	电缆□ 接头□ 终端头	离＿＿m 在＿＿路＿＿路＿＿相损坏 编号＿＿在＿＿路＿＿路＿＿相损坏 在＿＿路＿＿路＿＿相损坏	
有关损坏装置资料	电缆□ 接头□ 终端头□	＿＿伏＿＿mm^2 型号＿＿厂名＿＿敷设日期＿＿ 图样编号＿＿剂＿＿管型＿＿技工＿＿接头日期＿＿ 图样编号＿＿剂＿＿型式＿＿技工＿＿接头日期＿＿	

<table>
<tr><td rowspan="2">日期及时间</td><td>运行/停役</td><td colspan="3"></td><td colspan="3">停用时间 :日　时　分</td></tr>
<tr><td>恢复使用</td><td colspan="3"></td><td colspan="3">少送电度：</td></tr>
<tr><td rowspan="3">损坏原因</td><td>电缆□</td><td colspan="6">项号　　共使用　年　月　日</td></tr>
<tr><td>接头□</td><td colspan="6">项号　　共使用　年　月　日</td></tr>
<tr><td>终端头□</td><td colspan="6">项号　　共使用　年　月　日</td></tr>
<tr><td>损坏分析</td><td colspan="7">现象：
分析：</td></tr>
<tr><td rowspan="3">试验记录</td><td></td><td colspan="3">检修前(μA)</td><td colspan="3">检修后(μA)</td></tr>
<tr><td>相与地</td><td>A ~ D</td><td>B ~ D</td><td>C ~ D</td><td>A ~ D</td><td>B ~ D</td><td>C ~ D</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>新装置</td><td>备　注</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>新装置</td><td>电缆
接头
终端头</td><td colspan="6">____伏____mm² 型号____厂名____长度____m 敷设日期____
接头编号____图样编号____剂____接头日期____
图样编号_____剂
_____接头日期____</td></tr>
<tr><td>一般观察</td><td colspan="7">天气　　气温　　℃土壤情况　　干/湿/积水</td></tr>
<tr><td>前次记录</td><td colspan="7">试验日期　　年　　月　　日</td></tr>
<tr><td>人　工</td><td colspan="5">接头技工　　其他人工</td><td colspan="2">总工日(包括加班)</td></tr>
<tr><td>帐　号</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td>工作进度</td><td colspan="7">通知日时　　动工日时　　完工日时</td></tr>
<tr><td>路面修复</td><td colspan="4"></td><td colspan="3">修改图样及记录单者：</td></tr>
<tr><td>检修工
作情况</td><td colspan="7"></td></tr>
</table>

填报_____日期_____审核_____日期_____

电缆故障测寻记录反映出了故障测寻的方法、故障的性质,也指出了电缆故障存在的方位和误差范围。其填写内容如下：

(1)根据电缆原始资料及实际情况、填写电缆线路名称、规范及有关参数；

(2)根据故障测试的结果,填写故障性质和有关测试数据；

(3)根据实际测试方法,分别填写其电缆各端部测试的回路电阻值及等价电缆长度；

(4)根据实际测试接线方法,分别填写在正、反接法测试的结果中,并且计算校验后的电缆故障距离；

(5)根据声测法进行确定其电缆故障部位,并且计算其故障距离；

(6)最后整理、复核记录,填写测寻时间和环境条件等。

电缆故障修复表,主要是反映电缆的整个修复过程,体现出故障电缆的损坏情况、修复后电缆的装置情况,以及检修人员和试验人员的相互配合协作能力,它作为电缆原始资料,归入技术资料档案。

三、试验技术资料的管理

试验技术资料的管理分作填制、校核、传递、保管和借阅等五个方面,其具体要求如下。

(1)填制。每条电缆线路必须建立相应的绝缘试验档案和参数试验档案,并按电缆线路称号(编号和名称),分类分项建立存放。各试验报告、试验记录等的格式应统一形式(参照《电力电缆运行规程》规定有关部分)、统一方法填写,并且要做到查、借、阅便利。

试验技术资料应按序建立和存放,以便积累大量资料,寻找变化规律,总结经验教训,改进试验工作。

(2)校核各种试验资料,应由现场工作负责人填写,经上级技术负责人核审,对于重要试验报告,也可经上级专业技术领导复审,然后送达各有关单位(班组、车间等)。

(3)传递。各种试验报告的传递要达到及时和准确。它可分为口头形式和书面形式两种。对于重大、危急性绝缘隐患或不能投入运行的电缆,都应迅速用口头、电话、传真等快捷方式告知有关单位和上级领导。在正常情况下,都应用书面形式在5日内送达各有关单位,当日内送达运行部门作为是否投运电缆的重要依据。

(4)保管及借阅。试验技术资料应由专人负责保管和借阅,制定相应的管理制度和借阅办法。

上述试验报告的格式、内容和管理要求是较正规的模式,各工矿企业电缆运行维护单位可根据本单位的实际情况,适当简化。但其主要内容不可缺少。

电缆试验工作应严格按照(GB50150—91)《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》进行,并遵守《电业安全工作规程》的有关规定。

第二章　电缆线路施工及验收标准

我们在中级工本中对电缆线路施工常见敷设方式和敷设方法进行了阐述，本章着重就电缆线路施工质量标准及验收技术标准进行介绍，供从事电缆施工、运行人员学习运用。

第一节　电缆线路敷设的质量标准

一、电缆管的加工与敷设

(1)电缆管不应有穿孔、裂缝和显著的凹凸不平，内壁应光滑。金属电缆管不应有严重锈蚀；硬质塑料管不得用在温度过高或过低的场所；在易受机械损伤的地方和在受力较大处直埋时，应采用足够强度的管材。

(2)电缆管的内径与电缆外径之比不得小于1.5；混凝土管、陶土管、石棉水泥管除应满足上述要求外，其内径尚不宜小于100mm。每根电缆管弯头不应超过3个，直角弯头不超过2个。

(3)电缆管明敷时应符合下列要求：①电缆管应安装牢固；电缆管支持点间的距离，当设计无规定时，不宜超过3m。②当塑料管的直线长度超过30m时，宜加装伸缩节。

(4)电缆管的连接应符合下列要求：①金属电缆管连接应牢固，密封应良好，两管口应对准。套接的短套管或带螺纹的管接头长度，不应小于电缆管外径的2.2倍。金属电

缆管不宜直接对焊。②硬质塑料管在套接或插接时,其插入深度宜为管子内径的 1.1～1.8 倍。在插接面上应涂以胶合剂粘牢密封;采用套接时套管两端应封焊。

(5)电缆管的敷设应符合下列要求:①电缆管的埋设深度不应小于 0.7m;在人行道下面敷设时,不应小于 0.5m。②电缆管应有不小于 0.1%的排水坡度。③电缆管连接时,管孔应对准,接缝应严密,不得有地下水和泥浆渗入。

二、电缆支架的配置与安装

(1)电缆支架应焊接牢固、横平竖直,要经防腐处理。各支架的同层横档应在同一水平面上,其高低偏差不应大于 5mm。托架支吊架沿桥架走向左右的偏差不应大于 10mm。在有坡度的电缆沟内或建筑物上安装的电缆支架,应有与电缆沟或建筑物相同的坡度。电缆支架最上层及最下层至沟顶、楼板或沟底、地面的距离,当设计无规定时,不宜小于表 10－2－1 的数值。

表 10－2－1　电缆支架最上层及最下层至沟顶、楼板或沟底、地面的距离　mm

敷设方式	电缆隧道及夹层	电缆沟	吊架	桥架
最上层至沟顶或楼板	300～350	150～200	150～200	350～450
最下层至沟底或地面	100～150	50～100	～	100～150

(2)电缆桥架的各组成部件和附件的质量应符合现行的有关技术标准;其规格、跨距及防腐类型应符合设计要求。梯架(托盘)在每个支吊架上的固定应牢固;梯架连接板的螺栓应紧固,螺母应位于梯架的外侧。当不同金属的梯架连接或固定时,应有防电化腐蚀的措施。当直线段电缆桥架超过 30m、铝合金或玻璃钢制电缆桥架超过 15m 时,应有伸缩缝,其连接宜采用伸缩连接板;电缆桥架跨越建筑物伸缩缝处应设置伸缩缝。

(3)电缆支架全长均应有良好的接地。

三、电缆的敷设

(一)电缆敷设的一般规定

(1)电缆敷设前应按下列要求进行检查:①电缆通道畅通,排水良好,金属部分的防腐层完整,隧道内照明、通风符合要求。②电缆型号、电压、规格符合设计要求。③电缆外观应无损伤、绝缘良好,当对电缆的密封有怀疑时,应进行潮湿判断,敷设的电缆应经试验合格。④电缆放线架应放置稳妥,钢轴的强度和长度应与电缆盘重量和宽度相配合。⑤敷设前应按设计和实际路径计算每根电缆的长度,合理安排每盘电缆,减少电缆

接头。

(2)电缆敷设时,电缆应从盘的上端引出,不应使电缆在支架上及地面摩擦拖拉。电缆上不得有铠装压扁、电缆绞拧、护层折裂等未消除的机械损伤。敷设时不应损坏电缆沟、隧道、电缆井和人井的防水层,并且在端头与接头附近宜留有备用长度。

(3)电缆敷设时,粘性油浸纸绝缘电缆最高点与最低点之间的最大位差,不应超过表10-2-2的规定,当不能满足要求时,应采用适应于高位差的电缆。电缆敷设时,电缆允许敷设最低温度,在敷设前24h内的平均温度以及敷设现场的温度不应低于表10-2-3的规定,当低于规定值时,应采取措施。

表10-2-2　粘性油浸纸绝缘铅包电力电缆的最大允许敷设位差

电压(kV)	电缆护层结构	最大允许敷设位差(m)
1	无铠装	20
	铠装	25
6~10	铠装或无铠装	15
35	铠装或无铠装	5

表10-2-3　电缆允许敷设最低温度

电缆类型	电缆结构	允许敷设最低温度(℃)
油漫纸绝缘电力电缆	充油电缆	-10
	其他油纸电缆	0
橡皮绝缘电力电缆	橡皮或聚氯乙烯护套	-15
	裸铅套	-20
	铅护套钢带铠装	-7
塑料绝缘电力电缆		0
控制电缆	耐寒护套	-20
	橡皮绝缘聚氯乙烯护套	-15
	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套	-10

(4)电力电缆接头的布置应符合下列要求:①并列敷设的电缆,其接头的位置宜相互错开。②电缆明敷时的接头,应用托板托置固定。③直埋电缆接头盒外面应有防止机械损伤的保护盒(环氧树脂接头盒除外)。位于冻土层内的保护盒,盒内宜注以沥青。

(5)电缆敷设时应排列整齐,装设的标示牌应符合下列要求:①在电缆终端头、电缆

接头、拐弯处、夹层内、隧道及竖井的两端、人井内等地方应装设标志牌。②标志牌上应注明线路编号；当无编号时，应写明电缆型号、规格及起迄地点；并联使用的电缆应有顺序号；标志牌的字迹清晰不易脱落。③标示牌规格宜统一。标志牌应能防腐、挂装应牢固。

(6)电缆的固定，应符合下列要求：①垂直敷设或超过45°倾斜敷设的电缆，在每个支架上及桥架上每隔2m处都应固定。②水平敷设的电缆，在电缆首末两端及转弯、电缆接头的两端处，以及当对电缆间距有要求时，每隔5～10m处都应固定。③交流系统的单芯电缆或分相后的分相铅套电缆的固定夹具不应构成闭合磁路。④裸铅(铝)套电缆的固定处，应加软衬垫保护。⑤护层有绝缘要求的电缆，在固定处应加绝缘衬垫。

(二)生产厂房内及隧道、沟道内电缆的敷设

(1)电缆的排列应符合下列要求：①电力电缆和控制电缆不应配置在同一层支架上。②高低压电力电缆，强电、弱电控制电缆应按顺序分层配置，一般情况宜由上而下配置，但在含有35kV以上高压电缆引入柜盘时，为满足弯曲半径要求，可由下而上配置。

(2)电缆在支架上的敷设应符合下列要求：①控制电缆在普通支架上，不宜超过1层；桥架上不宜超过3层。②交流单芯电力电缆，应布置在同侧支架上。当按紧贴的正三角形排列时，应每隔1m用绑带扎牢。⑧交流三芯电力电缆，在普通支吊架上不宜超过1层，桥架上不宜超过2层。

(3)明敷在室内及电缆沟、隧道、竖井内带有麻护层的电缆，应剥除麻护层，并对其铠装加以防腐。

(三)直埋电缆的敷设

(1)直埋在地下的电缆，一般应使用铠装电缆。只有在修理电缆时，才允许使用短段无铠装电缆，但必须外加机械保护。

(2)电缆埋置深度应符合下列要求：①电缆表面距地面的距离不应小于0.7m。穿越农田时不应小于1m。在引入建筑物、与地下建筑物交叉及绕过地下建筑物处，可浅埋，但应采取相应保护措施。②电缆应埋没于冻土层以下，当受条件限制时，应采取防止电缆受到损坏的措施。⑧禁止电缆平行敷设于管道的上方或下方。

(3)电缆与铁路、公路、城市街道、厂区道路交叉时，应敷设于坚固的保护管或隧道内。电缆管的两端宜伸出道路路基两边各2m；伸出排水沟0.5m，在城市乡村街道应伸出车道路面。电缆与周围树木主干的距离，一般不宜小于0.7m。如城市、厂区绿化达不到上述距离时，可采取措施，由双方协商解决。

(4)直埋电缆的上、下部应铺以不小于100mm厚的软土或沙层，并加盖保护板，其覆

盖宽度应超过电缆两侧各 50mm，保护板可采用混凝土盖板或砖块。软土或沙子中不应有石块或其它硬质杂物。

(5)直埋电缆在直线段每隔 50～100m 处，电缆接头处、转弯处、进入建筑物等处、应设置明显的方位标志或标桩。

(四)水底电缆的敷设规定

(1)水底电缆应是整根，允许有软接头。电缆全长应尽量埋设在河床下至少 0.5m 深，否则应采取保护措施。

(2)水底敷设的电缆，必须平放水底，不得悬空，引到岸上的部分应穿管或加保护盖板等保护措施，其保护范围，下端应为最低水位时船只搁浅及撑篙达不到之处；上端高于最高洪水位。在保护范围的下端，电缆应固定。

(3)水底电缆敷设后，应在两岸设置标志牌或有关警告标志。

(五)管道内电缆的敷设规定

(1)在下列地点，电缆应有一定机械强度的保护管或加装保护罩：①电缆进入建筑物、隧道、穿过楼板及墙壁处。②从沟道引至电杆、设备、墙外表面或屋内行人容易接近处，距地面高度 2m 以下的一段。③其它可能受到机械损伤的地方④保护管埋入非混凝土地面的深度不应小于 100mm；伸出建筑物散水坡的长度不应小于 250mm，保护罩根部不应高出地面。

(2)穿入管中电缆的数量应符合设计要求；单芯交流电缆不得单独穿入钢管内。

(六)电缆敷设后的接地规定

(1)在三相系统中，电缆中间接头和终端接头处，电缆的铠装、铅包和金属接头盒应有良好的电气连接，使其处于同一电位。在电缆两端及其附件的接地应按 GB50169—92《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》的规定接地。

(2)不允许将三芯电缆中的一芯接地运行。当单芯电缆的铅包只在一端接地时，铅包另一端上的正常感应电压不应超过 36V，否则应采取措施。当单芯电缆线路的铅包只有一点接地时，应优先考虑在架空线的一侧接地。

(3)三相线路使用单芯电缆或分相铅包电缆时，每相周围应无紧靠的铁件构成的铁磁环路。

第二节　电缆终端和接头安装质量标准

一、电缆终端和接头安装一般要求

(1)电缆终端头或接头的制作,应在气候良好条件下进行,严格控制其环境湿度,应尽量避免在雨天、雾天、风雪天或湿度较大的环境下安装,并且须有防止尘土和外来污物影响的措施。施工现场应备有消防器材,在夜间、室内或隧道、夹层等施工中应有充足的照明保证。

(2)制作电缆终端和接头前,应按下列要求进行检查:①电缆绝缘状况良好,无受潮;塑料电缆内不得进水;充油电缆施工前应对电缆本体、压力箱、电缆油桶及纸卷桶逐个取油样来做电气性能试验,并应符合标准。②所采用的电缆附件规格应与电缆一致;零部件应齐全无损伤;采用的附加绝缘材料除电气性能应满足要求外,尚应与电缆本体绝缘具有相容性;密封材料不得失效。壳体结构附件应预先组装,清洁内壁;试验密封,结构尺寸符合要求。③施工用机具齐全,便于操作,表面清洁,消耗材料齐备,清洁塑料绝缘表面的溶剂宜遵循工艺导则要求。

(3)电缆线芯连接金具,应采用符合标准的连接管和接线端子,其内径应与电缆线芯紧密配合,间隙不应过大;截面宜为线芯截面的 1.2 ~ 1.5 倍。采用压接时,压接钳和模具应符合规格要求。

(4)电力电缆终端接地线应采用铜绞线或镀锡铜编织线,其截面不应小于表 10 – 2 – 4 的规定。110kV 及以上电缆的接地线截面应符合设计要求。

表 10 – 2 – 4　电缆终端接地线截面

电缆截面(mm^2)	接地线截面(mm^2)
120 及以下	1.6
150 及以上	25

二、电缆终端和接头的制作规定

(1)制作电缆终端与接头,从剥切电缆开始应连续操作直至完成,缩短绝缘暴露时

间。剥切电缆时，不应损伤线芯和保留的绝缘层。附加绝缘的包装、装配、热缩等应清洁。

(2)电缆终端和接头应采取加强绝缘、密封防潮、机械保护等措施。6kV 及以上电缆的终端和接头，尚应有改善电缆屏蔽端部电场集中的有效措施，并应确保外绝缘相间和对地距离。

(3)35kV 及以下电缆在剥切线芯绝缘、屏蔽、金属护套时，线芯沿绝缘表面至最近接地点(屏蔽或金属护套端部)的最小距离应符合表 10－2－5 的要求。

表 10－2－5　电缆终端线芯与最近接地点的最小距离

额定电压(kV)	最小距离(mm)	额定电压(kV)	最小距离(mm)
1	50	10	125
6	100	35	250

(4)塑料绝缘电缆在制作终端头和接头时，应彻底清除半导电屏蔽层。对包带石墨屏蔽层，应使用溶剂擦去碳迹；对挤出的屏蔽层，剥除时不得损伤绝缘表面，屏蔽端部应平整。

(5)三芯油纸绝缘电缆应保留统包绝缘 25mm，不得损伤。剥除屏蔽碳墨纸，端部应平整。弯曲线芯时应均匀用力，不应损伤绝缘纸；线芯弯曲半径不应小于其直径的 10 倍。包缠或灌注、填充绝缘材料时，应消除线芯分支处的气隙。

(6)电缆线芯连接时，应除去线芯和连接管内壁油污及氧化层。压接模具与金具应配合恰当。压缩比应符合要求。压接后应将端子或连接管上的凸痕修理光滑，不得残留毛刺。采用锡焊连接铜芯，应使用中性焊锡膏，不得烧伤绝缘。

(7)三芯电力电缆接头两侧电缆的金属屏蔽层(或金属套)、铠装层应分别连接良好，不得中断，跨接线的截面不应小于表 10－2－4 规定。直埋电缆接头的金属外壳及电缆的金属护层应做防腐处理。

(8)三芯电力电缆终端处的金属护层必须接地良好；塑料电缆每相铜屏蔽和钢铠应锡焊接地线。电缆通过零序电流互感器时，电缆金属护层和接地线应对地绝缘，电缆接地点在互感器以下时，接地线应直接接地；接地点在互感器以上时，接地线应穿过互感器接地。

(9)装配、组合电缆终端和接头时，各部件间的配合或搭接处必须采取堵漏、防潮和密封措施。塑料电缆宜采用自粘带、粘胶带、胶粘剂(热熔胶)等方式密封；塑料护套表面应打毛，粘接表面应用熔剂除去油污，粘接应良好。

(10)电缆终端上应有明显的相色标志,且应与系统的相位一致。

(11)电缆终端出线应保持固定位置,其带电裸露部分之间及至接地部分的距离不得小于表 10－2－6 的规定。

表 10－2－6　电缆终端引出线裸露部分间及接地部分间距离　　mm

电压(kV)	1～3	6	10	20	35	110
户内	75	100	125	180	300	850/900
户外	200	200	200	300	400	900/1000

注　110kV 为接地系统,其数据中,分子为相对地距离,分母为相对相之间的距离。

三、电缆的防火与阻燃规定

(1)电缆防火阻燃应采取下列措施:①在电缆穿过竖井、墙壁、楼板或进入电气盘、柜的孔洞处,用防火堵料密实封堵。②在重要的电缆沟和隧道中,按要求分段或用软质耐火材料设置阻火墙。③对重要回路的电缆,可单独敷设于专门的沟道中或耐火封闭槽盒内或对其施加防火涂料、防火包带。④在电力电缆接头两侧及相邻电缆 2～3m 长的区段施加防火涂料或防火包带。⑤根据实际需要,采用耐火或阻燃型电缆。⑥对电缆密集场所或重要回路设置报警和灭火装置。

(2)在封堵电缆孔洞时,封堵应严实可靠,不应有明显的裂缝和可见的孔隙。包带在绕包时,应拉紧密实,缠绕层数或厚度应符合材料使用要求,绕包完毕后,每隔一定距离应绑扎牢固。对于阻火墙两侧电缆应施加防火包带或涂料。

(3)对易受外部影响而着火的电缆密集场所或可能着火蔓延而酿成严重事故的电缆回路,必须按设计要求的防火阻燃措施施工。

第三节　电缆线路的验收标准

一、施工中的电缆线路验收

(1)电缆线路在施工过程中,工程建设管理单位或运行管理部门应派驻工地代表,经常进行监督和分阶段验收。

(2)在验收安装中的电缆线路时,施工安装机构应具有下列资料:①电缆线路路径的

协议文件及城市电缆规划走廊资料详图；②电缆线路的设计书，设计资料图纸、电缆清册、变更设计的证明文件、电缆线路路径敷设位置图和平面图；③制造厂提供的产品说明书、试验记录、合格证件等技术文件；④电缆线路的原始记录，包括型号、规格、长度、电压、终端和接头的型式及安装日期；⑤敷设和安装后的试验资料等。

(3)对于隐蔽工程应在施工过程中进行中间验收，并作好签证手续。

二、竣工后的电缆线路验收

(1)电缆线路竣工后的验收，应由电缆运行部门，设计和施工安装部门的代表所组成的验收小组来进行。

(2)在验收时，施工安装部门应提交施工验收中所有的全部资料。

(3)在验收时，应按下列要求进行检查：

①电缆规格应符合规定；排列整齐，无机械损伤；标志牌应装设齐全、正确、清晰。

②电缆的固定、弯曲半径、有关距离和单芯电力电缆的金属护层的接线、相序排列等应符合要求。

③电缆终端、电缆接头及充油电缆的供油系统应安装牢固，不应有渗漏现象；充油电缆的油压及表计整定值应符合要求。

④接地应良好；充油电缆及护层保护器的接地电阻应符合设计要求。

⑤电缆终端的相色应正确，电缆支架等的金属部件防腐层应完好。

⑥电缆沟内应无杂物，盖板齐全，隧道内夹层、竖井中应无杂物，照明、通风、排水等设施应符合设计要求。

⑦直埋电缆路径标志，应与实际路径相符。路径标志应清晰、牢固，间距适当，安装位置符合设计要求。

⑧水底电缆线路两岸，禁锚区的标志和夜间照明装置应符合设计要求。

⑨电缆线路的电气性能符合 GB50150—91《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》所规定的项目和标准。

⑩电缆线路的防火措施应符合设计要求，并且施工质量合格。

⑪检查电缆线路引出线的安全距离符合有关规定要求。

第三章　电力电缆绝缘电阻测试

电力电缆敷设完毕投入运行必须经过试验合格后才能投入运行。

第一节　绝缘电阻测试周期规定

电力电缆交接试验和预防性试验中应摇测绝缘电阻，重要电缆，主进电缆每一年一次，其它电缆每 1～2 年进行一次绝缘电阻测量，运行中的电缆退出运行时间超过 48 小时，再次投入运行前，摇测绝缘电阻，电缆出线开关掉闸后，再次合闸前摇测绝缘电阻。

第二节　摇测电缆绝缘电阻的目的

摇测电缆绝缘电阻是反映电缆绝缘特性的重要指标，它与电缆能否承受电击穿或热击穿的水平与绝缘中的介质损耗，以及绝缘材料在工作状态下逐步劣化都存在着极为密切的关系。电缆绝缘电阻测量可检查工艺中的缺陷，如绝缘干燥程度不够，绝缘污染或有导电杂物混入及护套损坏受潮等对于运行中的电缆能反映出绝缘的水平及劣化程度。

第三节　绝缘电阻与泄漏电流

当电缆绝缘层加上直流电压时，沿绝缘表面和绝缘内部均有微弱少量电流通过，对应这两种电流的电阻称为表面电阻和体积电阻，运行中表面电阻和体积电阻为并联运行，一般不加特别注明的电阻均指体积绝缘电阻。

加上电压后流过绝缘内部的电流有四种。

一、充电电流

充电电流是因介质极化而产生的电流，就是以导体和外电极（金属护套或屏蔽层各作为一个直流电极构成一个电容器的充电电流。充电电流在数毫秒内完成数值接近于零。

二、不可逆吸收电流

不可逆吸收电流是由绝缘材料中的电解电导而产生的，在通电后经数秒钟衰减至零。

三、可逆吸收电流

可逆吸收电流是绝缘材料的位移电流，在施加电压的瞬间达到最大值，然后逐渐趋向稳定，约经数分钟后才能消失。

四、电导电流

电导电流又称为泄漏电流，它是由绝缘介质中的自由离子及混杂的导电杂质所产生的，与电压施加时间无关。在电场强度不太高时符合欧姆定律，且随温度增高而增加很快。泄漏电流值的大小反映绝缘品质的优劣。对于恒定的电导电流的电阻才是体积绝缘电阻，它是测试的主要目的。

第四节　电缆绝缘电阻的测试方法

绝缘电阻试验的目的是检查电缆绝缘状况，有无受潮、脏污或存在局部缺陷。

一、使用的仪表材料

(1)仪表：1000V、2500V MΩ(兆欧表)。

对于被测电缆额定电压在 1kV 以下选用 1000V MΩ 表，额定电压在 1kV 及以上的电缆选用 2500V MΩ 表。仪表选好后外观检查应良好，做“开路”和“短路”试验。

①开路试验：

将仪表水平放置，两只表笔分开，摇动仪表手柄(120r/min)，仪表指针指在“∞”。

②短路试验：

将仪表水平放置，轻轻摇动仪表手柄，两只表笔瞬间短接(点一下)，仪表指针指“0”。

(2)短路线一条，放电棒一组。

(3)绝缘手套一付。

(4)裸铜线(约 2～3m)。

二、安全注意事项

(1)运行中的电力电缆摇测前应按安全技术措施规定退出运行。

电缆退出运行的操作顺序为：

①停电；②验电；③放电；④在电缆两端各挂一组临时接地线；⑤拆下电缆压接螺栓；⑥布设临时遮栏，悬挂“止步危险”标示牌(在电缆头非测量端)。

(2)被测电缆的另一端必须作好安全措施，布设遮栏，挂标示牌或有人看护，勿使人接近被测电缆，更不能造成返送电源事故。

(3)测量电缆绝缘电阻时，应两人进行，穿绝缘靴，戴绝缘手套。

(4)为了防止电缆测量绝缘电阻时，电缆对 MΩ 表放电造成仪表损坏，测量时摇起 MΩ 表手柄(120r/min)，将“L”表笔接于电缆线芯，撤开“L”表笔后，MΩ 表停止摇动。

三、接线

电力电缆绝缘电阻测试项目为相间及地(铅包、铝包、金属铠装、金属屏蔽层即对地)

的绝缘电阻值，即 U－V、W 及“地”，V－U、W 及“地”，W－U、V 及“地”。

测量一相电缆电阻时，例如 U 相将非测量两相线芯（V、W 相）及外皮用裸导线短接，接 MΩ“E”接线柱，将 U 相绝缘用裸导线缠绕 3～5 匝接 MΩ 表“G”接线柱，见图 10－3－1 所示。摇起 MΩ 表手柄（120r/min），将“L”端子表笔接 U 线芯上，继续摇动 MΩ 表手柄取 15s、60s 时的绝缘电阻值，待仪表指针平稳 60s 后取读数；记下阻值取下表笔，MΩ 表停止摇动。戴绝缘手套用短路线将被测电缆线芯与非被测短接线芯间反复多次放电，直至无火花无放电声音为止。按上述方法测量其它两相 V 相、W 相绝缘电阻值。

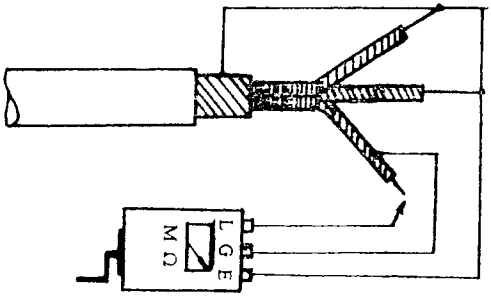

图 10－3－1　摇测电缆绝缘电阻接线图

四、电力电缆绝缘电阻合格值

测量电力电缆绝缘电阻值无规定标准，经实践证明可参照以下规定：

表 10－3－1　电力电缆绝缘电阻试验参考值

额定电压（kV）	1 以下	3	6～10	20～35
绝缘电阻（MΩ）	10	200	400	600

电力电缆绝缘电阻，三相不平衡系数一般不应大于 2.5，与上次测试值换算到同一温度时绝缘电阻值不应下降 30%，吸收比的试验应合格。

吸收比：用 60s 的电阻值比 15s 的电阻值不应低于 1.3 倍，即 $\frac{R60s}{R15s} \geqslant 1.3$。

第四章　泄漏电流试验和直流耐压试验

电缆的泄漏电流试验和直接耐压试验都是在直流电压作用下，检验电缆绝缘的电气特性的试验，它们都属于直流电压试验。泄漏电流试验与直流耐压试验相比，虽然方法一致，但其作用不同。前者是检查电缆绝缘的状况，后者是用于考验电缆绝缘的耐电压强度。因此，两种方法各有着眼点，现分别介绍如下。

第一节　泄漏电流试验

一、泄漏电流试验的理论知识

(一)定义

电缆的泄漏电流试验是测量一定直流电压下流过被试电缆绝缘的持续电流，它可以有效地发现电缆绝缘内部的缺陷。

(二)原理

泄漏电流试验和绝缘电阻试验的基本原理是相同的。泄漏电流试验所用的电源，一般比兆欧表的电源容量大，电压高，并且能随意调整。在测试回路中还串联了微安表，能直接读取泄漏电流的数值并观察其变化。因此泄漏电流试验比用兆欧表测量绝缘电阻更容易发现绝缘中存在的问题。

当在电缆绝缘上施加直流电压后，电缆绝缘中产生的电流 i_0 可分解为泄漏电流 i_1、

吸收电流 i_2 和充电电流 i_3，如图 10－4－1 所示。随着时间的延长，充电电流很快衰减到零，吸收电流也将降至很小数值，这时电缆中通过的电流基本上只有泄漏电流，此时泄漏电流的大小基本上就反映出了绝缘电阻的高低。

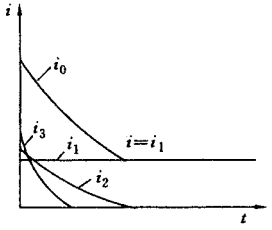

图 10－4－1　电缆绝缘施加直流电压后产生的三种电流

i_0—总电流；i_1—泄漏电流；

i_2—吸收电流；i_3—充电电流

从理论上讲，对于绝缘良好的电缆，其绝缘电阻应为一恒定值，不应随所加电压的高低而变动，即伏安特性（泄漏电流与所加电压的关系）为一直线。但在实际试验时，泄漏电流的大小并非完全与电压成正比，而是成正交（即其伏安特性曲线只是接近于直线而非直线），即电压愈高时，泄漏电流不仅愈大，并且其上升速度将大于电压的上升速度。特别当电缆绝缘有缺陷或受潮时，泄漏电流的伏安特性曲线的弯曲将更厉害，在接近击穿电压时，泄漏电流将急剧上升，如图 10－4－2 所示。

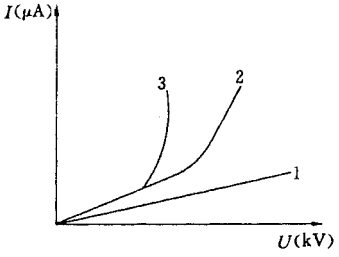

图 10－4－2　各种绝缘状况时电缆泄漏试验的伏安特性图

1—理论的良好绝缘；2—实际情况的绝缘；3—有缺陷或受潮的绝缘

产生这种现象的主要原因是绝缘材料内部的不均匀性引起的：当绝缘层中有气泡时，由于气体的电阻系数高于绝缘材料的电阻系数，因而总的绝缘电阻很高，当试验电压增高使电场强度达到某一定值后，气体发生游离击穿，总的绝缘电阻随之降低，泄漏电流

也就增加。当电压愈高，电场强度愈大，或者电缆的缺陷和受潮的情况愈严重时，气体击穿现象就愈严重，泄漏电流上升的速度也就越快；另一个原因是测试设备和电缆绝缘表面受泄漏电流试验接线的电晕放电等外来因素所影响，引起泄漏电流的非线性上升。在试验中应正确判断，并在试验中采取将表计屏蔽和尽量使其靠近电缆的高压端或接地端以消除这类非电缆本身因素的影响。

由以上论述可知，可以通过泄漏电流试验来发现电缆绝缘中存在的缺陷，预防电缆事故的发生。

二、泄漏电流试验的接线方式与仪器设备

(一)采用半波整流电路的泄漏电流试验

1. 接线方式

泄漏电流试验一般采用半波整流电路，其接线方式有两种，两种接线方式各有其优缺点，应用范围也有所不同。

(1)微安表在高压侧的接线方式：

接线如图 10－4－3 所示。目前看，这是一种较好的、也是最常用的一种接线方式。由于微安表在高压侧，表中通过的电流有电缆的泄漏电流(包括电容电流和吸收电流)、电缆两端表面的泄漏电流以及微安表至电缆高压引线的电晕电流。为了防止电缆表面的泄漏电流和高压引线的电晕电流，可采用如图 10－4－3(a)中虚线所示的方法进行屏蔽：高压引线采用屏蔽线，把屏蔽线一端的屏蔽层接到微安表的电源侧；电缆套管上作一屏蔽环，与屏蔽层连接；微安表本身也装在金属屏蔽罩内。这样流过微安表中的电流就只有电缆内泄漏的电流，因此测量准确，不受外界的影响。这种接线方法的另一个优点是变压器只需一个引出套管，另一端直接接地，绝缘要求不高，因此变压器体积可以减小，重量减轻。其缺点是微安表处于高压，读数及切换微安表的短路开关或变换量程均比较困难。这种接线方式适合于试验电压较高的情况，如做 10kV 及以上电缆的泄漏电流测试。

(2)微安表在低压侧的接线方式：

接线如图 10－4－3(b)所示。这种接线方式和前一种比较，其优点是微安表在低压侧，读数方便及切换微皮表的短路开关和变换量程容易；其缺点是高压引起的电晕电流无法屏蔽，杂散电流的影响较大，另外变压器的交流泄漏电流在通过微安表时会引起指针抖动，这些都将影响试验结果的准确性。电缆套管表面的泄漏电流可采取图 10－4－3(b)中虚线所示方法进行屏蔽：在靠近地的一端作屏蔽环，用导线将表面的泄漏电流引至

微安表的电源侧，使其不经过微安表以消除其影响。这种接线方法适合于试验电压较低的情况，例如做 10kV 以下电缆的泄漏电流测试。

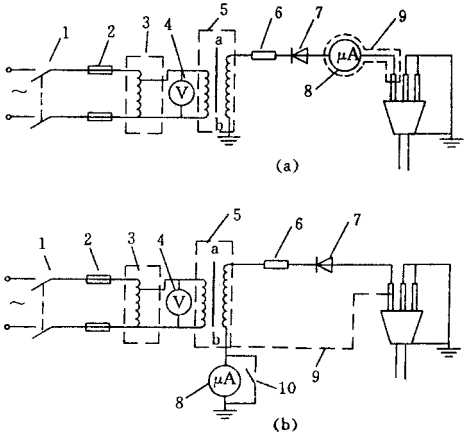

图 10－4－3　半波整流电路泄漏电流试验的接线

(a)微安表在高压侧；(b)微安表在低压侧

1—电源开关；2—熔断器；3—调压器；4—交流电压表；

5—升压变压器；6—保护电阻；7—硅堆；8—微安表；

9—屏蔽线；10—短路开关

2. 仪器设备及其选择

仪器设备包括调压器、高压试验变压器、高压硅堆、保护电阻等设备。

(1)调压器及其选择　在图 10－4－3 的电路中，调压器 3 的调压范围为 0～250V，做试验时，可根据试验电压的需要进行调节。调压器的容量应根据试验变压器一次侧的电压来决定。一般调压器的输出电压约为 0～250V，若试验变压器的一次电压为 200V，则调压器的容量一般选择与试验变压器容量相等即可；若试验变压器的一次电压为 100V 左右，则调压器的容量应比试验变压器的容量大 1 倍左右。一般在 10kV 及以下的电缆试验中，可选用 0.2～0.5kVA 的调压器；在 35kV 的电缆试验中，可选用 1～2kVA 的调压器。

调压器的输出电压

$$U_{\sim}=\frac{U_{-}}{\sqrt{2}K} \qquad (10-4-1)$$

式中　$U_{\sim}$ ——调压器输出的交流电压，V；

U_{-} ——电缆的直流测试电压，V；

K——试验变压器的变压比。

【例】　有一条 10kV 纸绝缘电缆，要做 60kV 直流耐压试验，并在 1/4、1/2、3/4 全电压及全电压时测量泄漏电流。如试验变压器的一次电压为 100V，二次电压为 50kV，求各试验电压时低压侧应加多少电压。

解　根据公式(10－4－1)可得试验变压器的变比为

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{50 \times 10^3}{100} = 500$$

当整流后的电压为 60kV($U_- = 60\text{kV}$)时，变压器的低压侧应加交流电压为

$$U_\sim = \frac{U_-}{\sqrt{2} \cdot K} = \frac{60 \times 10^3}{\sqrt{2} \times 500} = 84.9(\text{V})$$

在(1/4) U_- 时，变压器的低压侧应加电压为

$$U_\sim = (1/4) \times 84.9 = 21.2(\text{V})$$

在(1/2) U_- 时，变压器的低压侧应加电压为

$$U_\sim = (1/2) \times 84.9 = 42.2(\text{V})$$

在(3/4) U_- 时，变压器的低压侧应加电压为

$$U_\sim = (3/4) \times 84.9 = 63.6(\text{V})$$

(2)高压试验变压器及其选择：高压试验变压器将调压器输出的电压升高至试验电压。高压试验变压器是目前泄漏测试中最笨重的设备，为了减轻其重量，除采用高导磁率的硅钢片作变压器的铁芯外，还应根据电缆泄漏电流的大小合理确定变压器的容量。例如 10kV 电缆作 60kV 直流试验时，其交流电压有效值为 42.4kV，电缆的泄漏电流一般不超过 1mA，若考虑电缆的充电电流等其他因素的影响，高压侧按 5mA 计算，则变压器容量约为 $5 \times 10^{-3} \times 42.4 \times 10^3 = 212\text{VA}$。但由于试验变压器是断续地使用，正常试验时泄漏电流只有几十至几百微安，因此变压器的容量采用 200VA 就完全可以了。

(3)高压硅堆的选择：高压硅堆具有单向导电的特性，将试验变压器输出的高压交流电进行整流，变为高压直流电。在图 10－4－3 半波整流电路中，试验变压器高压侧 a、b 两端的极性是随着电压的频率变化的。当变压器的接地端 b 为正，高压端 a 为负时，高压硅堆导通，变压器向电缆充电，其电压等于试验变压器高压侧 a、b 两端输出电压的峰值(有效值的$\sqrt{2}$倍)，而当变压器的高压端 a 为正，接地端 b 为负时，高压堆硅不导通。因此高压硅堆的耐压应大于两倍的试验电压。例如测试 10kV 电缆，在正半周时，高压硅堆导通，电缆被充上 60kV“负”极性电压(即电缆线芯为“负”，地为“正”)。而在负半周时，高压硅堆不导通，此时变压器 a 端对地为 +60kV，电缆线芯对地为 －60kV，高压硅堆的两

端承受 120kV 的电压。高压硅堆的耐压应大于 120kV。所以在半波整流电路中，硅堆的最高使用电压不得超过其额定反峰电压的$\frac{1}{2\sqrt{2}}$倍。由于高压硅堆系由许多二极管串并联组成，其中无均压电阻，容易因电压分布不均而引起局部击穿，最后导致整个硅堆被击穿。因硅堆承受过电流的性能很差，极容易烧坏，因此在选用高压硅堆时均应考虑一定的安全系数。

(4)保护电阻的选择：保护电阻用来保护硅堆，限制试验时对电缆进行充电的充电电流和电缆发生击穿时的短路电流。

(5)其他仪表及设备：交流电压表用来测量试验变压器的一次电压。微安表用来测量电缆的泄漏电流。熔断器在电缆或试验设备发生故障时熔断，防止损坏试验设备。当合上电源开关后，调节调压器的输出电压(通过电压表来监视测试电压的高低)，并通过试验变压器升压和高压硅堆整流，得到所需要的直流测试电压；在此同时可通过微安表来测量各电压值时的泄漏电流。

(二)采用倍压整流电路的泄漏电流试验

在 10kV 及以下电压等级的电缆试验中，由于试验电压较低，设备不很笨重，因而很少采用倍压整流电路。但对于 35kV 及以上电压等级的电缆，其试验电压较高(例如 35kV 电缆的试验电压为 140kV，需要 100kV 的试验变压器)，因此一般 35kV 电缆的试验，均采用倍压整流电路以提高试验电压，减轻设备重量。采用较多的是二倍压整流电路，如图 10－4－4 所示。

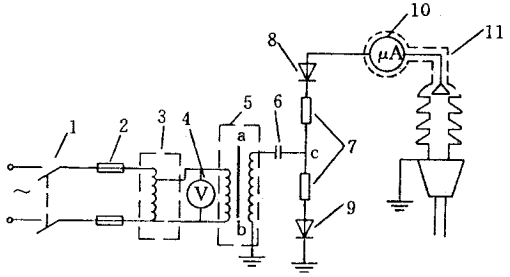

图 10－4－4　二倍压整流电路泄漏电流试验的接线

1—电源开关；2—熔断器；3—调压器；4—交流电压表；5—升压变压器；6—电容；7—保护电阻；8、9—硅堆；10—微安表；11—屏蔽线

当输入电压为正半周时，试验变压器 a 端为正，b 端为负，高压硅堆 9 导通，对电容器 6 充电，电容器两端的电压等于交流电压 U_{ab} 的$\sqrt{2}$倍；当电压为负半周时，变压器的 a 端

为负，b 端为正，此时高压硅堆 9 截止，电容器上的电压与变压器上的电压串联相加，使 cb 两点间的最高电压等于 $2\sqrt{2}U_{ab}$，并通过高压硅堆 8 向电缆充电，此时高压硅堆 9 两端承受值为 $2\sqrt{2}U_{ab}$的反向电压。当下一个周波试验变压器的 a 端为正，b 端为负时，9 又导通，再向电容充电，c 点的电位又因 9 导通而接近于零电位，此时电缆对地的电压为 $-2\sqrt{2}U_{ab}$。因此当高压硅堆 9 导通时，高压硅堆 8 也将承受 $2\sqrt{2}U_{ab}$的反向电压。当再一个半周的 a 端为负，b 为正时，9 又截止，8 又导通，再以 $2\sqrt{2}U_{ab}$的电压向电缆充电。因此电缆线芯上的电压为 $2\sqrt{2}U_{ab}$，极性为负。

从上述二倍压的整流过程可知：高压硅堆的额定反峰电压值不应小于电缆试验电压；试验变压器的额定电压不应小于电缆试验电压的$\frac{1}{2\sqrt{2}}$倍，例如 35kV 电缆的试验电压为 140kV，则其试验变压器的电压不应小于以下值

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \times 140 = 49.5\text{kV}$$

电容器 6 在试验时要承受$\sqrt{2}U_{ab}$的电压。在 35kV 电缆试验中一般采用 MY－110－0.011 型脉冲电容器，其额定电压为 110kV，电容量为 0.011μF，两个保护电阻 7，应根据高压硅堆的容量进行选择。

除了二倍压整流外，还有三倍压、四倍压……等多级倍压整流电路，但用 50 周的工频电源作倍压整流时，倍数一般不宜过多，因为随着倍压级数的增加，输出直流电压的波动也加大。为了解决电压波动影响倍压整流的倍数问题，可采用将频率提高方法，已有不少单位采用晶体管直流试验器，将试验变压器改为 1000～4000Hz 的中频变压器，进行 6～12 倍的倍压整流，这样就减轻了试验设备的重量。对于 10kV 及以下电压等级的电缆试验，有的还为试验设计了蓄电池供电的晶体管电路，在无交流电源的情况下，可用蓄电池作试验电源。但这类设备容量极小，若所试验的电缆较长时，需要很长的充电时间。

三、试验过程、结果判断、异常情况分析及注意事项

(一)试验过程

(1)按选定的接线方式进行接线；

(2)计算调压器的输出电压；

(3)测量试具和试验用导线的泄漏电流，并作记录；

(4)将电缆的一相接入试验回路进行试验；

(5)调节调压器，分别读取 0.25、0.50、0.75 倍试验电压下各停留 1min 的泄漏电流

值，在试验电压下应读取 1min 及 5min 的泄漏电流值，并作记录；

(6)每相试验完毕后，先将调压器退回零位，然后切断调压器电源，再切断总电源，并将电缆经电阻放电；

(7)测试电缆另两相时重复上述步骤(4)、(5)、(6)；

(8)将测得的泄漏电流值减去试具和导线的泄漏电流值，即为电缆的泄漏电流值。

(二)试验结果的判断

1. 泄漏电流三相不平衡系数的判断

新电缆的泄漏电流三相不平衡系数不应大于 1.5，运行中的电缆不应大于 2。电缆线路三相的泄漏电流应基本平衡。如果在试验中发现某一相的泄漏电流特别大时，则应当分析泄漏大的原因，消除外界因素的影响，当确实证明是电缆内部绝缘的泄漏电流大时，可将耐压试验延长至 10min，若泄漏电流无上升现象，则应根据泄漏值过大的情祝，决定 3 个月或半年再作一次监视性试验。如果泄漏电流的绝对值很小，而最大一相的泄漏电流对于 10kV 及以上的电缆小于 20μA，对于 6kV 及以下的电缆小于 10μA 时，则可按试验合格不必再做监视性试验。

2. 泄漏电流耐压后比耐压前升高

由于电缆的泄漏电流中包含了随加压时间延长而减小的充电电流和吸收电流，故耐压后泄漏电流应减小。一条绝缘良好的电缆线路，耐压前的泄漏电流值与耐压后的泄漏电流值之比约为 1.3～1.5，甚至比值超过 2。对于短段电缆，往往由于现场条件限制，其比值在 1.1～1.2 左右，甚至比值等于 1。若在试验中发现泄漏电流值不但没有吸收现象，反而升高时，则应分析检查是否由于外界因素的影响。若确系电缆本身泄漏电流上升，则应采取以下步骤：

(1)提高试验电压或延长耐压时间，任其泄漏电流继续上升，甚至击穿。

(2)在提高试验电压或延长耐压时间后，泄漏电流不再继续上升，稳定在某一数值，未发生击穿现象时，则可先投入运行，根据其泄漏值上升的情况在 2～6 个月内，再进行一次监视性试验。

3. 电缆的泄漏电流应稳定

不应有周期性的摆动，如发现泄漏电流有周期性的摆动时，则首先应分析是否是外界因素的影响(如试验电压的波动，试验引线的晃动甚至树枝随风摇动而对户外终端时近时远，都可以引起泄漏电流周期性的摆动等等)。如确系电缆本身绝缘问题，则说明电缆有局部空隙性缺陷，在一定电压作用下，空隙被击穿，使泄漏电流突然增大，这时电缆电容经被击穿的空隙放电而改变，使电压下降，直到空隙绝缘恢复后，泄漏电流又减小。

电缆被重新充电到一定电压时，空隙再次被击穿。这样就造成泄漏电流的周期性摆动。对于这种情况，电缆可以投入运行，但应在半年内再作一次试验。外界的影响因素有：

(1)高压连接导线对地泄漏电流的影响：由于与被试电缆连接的导线通常暴露在空气中，被试电缆加压端也在空气中，周围空气有可能发生游离，产生对地的泄漏电流，尤其在海拔高空气稀薄的地方更容易游离，这种对地泄漏电流将影响测量的准确度。应增加导线直径，减小尖端或加防晕罩，缩短导线，增加对地距离等措施，可减少对测量结果的影响。

(2)空气湿度对表面泄漏电流的影响：当空气湿度大时，表面泄漏电流远大于电缆本身泄漏电流，被试电缆终端头表面脏污易于吸潮，使表面泄漏电流增大，所以必须擦净表面，必要时应加屏蔽。

(3)温度的影响：直流泄漏试验同绝缘电阻试验一样，高温对试验结果所产生的影响极为显著，随温度上升而泄漏电流增加。

(4)残余电荷的影响：被试电缆绝缘中的残余电荷是否放尽，直接影响泄漏电流的数值，因此，试前被试品必须进行充分放电。

(三)异常情况分析

1. 从微安表反应的现象分析

试验中，微安表有不正常的表现，可作如下分析：

(1)指针来回摆动，可能有交流分量通过微安表，读数取平均值，若无法读，则检查微安表保护回路，或加大滤波电容，必要时改变滤波方式。

(2)指针周期性摇摆，可能是被试电缆绝缘不良或受外部的影响，产生周期性放电，应查明原因，并加以消除。

(3)指针突然冲击，向减小方向，可能是电源回路引起的；向增大方向，可能是回路或电缆出现闪络，或内部断续性放电引起的。

(4)指针所指数值随时间变化，若逐渐下降，可能是充电电流减小或被试电缆表面绝缘电阻上升引起的；若逐渐上升，可能是被试品绝缘老化引起的。

2. 从泄漏电流数值反应的情况分析

泄漏电流数值异常，可作如下分析：

(1)泄漏电流过大，应先检查试验回路各设备状况和屏蔽是否良好，在排除外因之后，才能对被试电缆作出正确的结论。

(2)泄漏电流过小，应检查接线是否正确，微安表保护部分有无分流与断线。

(四)注意事项

(1)高压回路限流电阻的选择原则，应将短路电流限制在二极管短时容许电流范围

之内，又不造成过大压降，并能保证过流继电器可靠动作。当被试电缆击穿后，过流继电器应在 0.02s 内切断电源。

(2)微安表接于高压侧时，绝缘支柱应牢固可靠，防止摇摆倒塌。

(3)试验设备的布置要紧凑，连接线要短，宜用屏蔽导线，既要安全又便于操作，对地要有足够的距离，接地线应牢固可靠。

(4)将被试品表面擦拭干净，并加屏蔽，以消除被试电缆表面脏污带来的误差。

(5)能分相试的电缆应分相试，非试验相应短路接地。

(6)试验结束后，应对电缆通过电阻充分放电，严禁经地直接放电，以防止损坏电缆。

(7)试验必须符合部颁《电业安全工作规程》要求，试验中使用的绝缘工具必须经试验合格后方可使用。

四、泄漏电流试验中的若干技术处理

(一)微安表量程的扩大

微安表的量程总是有一定的范围，任何一具微安表都很难适应测量各种电缆泄漏电流的需要。为了用一具微安表测量各种不同的电缆线路的泄漏电流，可以给微安表配备大小不同的分流器，以扩大量程。图 10－4－5 所示是扩大量程最简单也最常用的方法：用一个比微安表内阻小的电阻与微安表并联，当开关 K 接通不同的电阻时，可获得不同的扩大的量程，且并联的电阻越小，扩大的倍数越大。其中当开关置于空档 1 时，微安表的量程不变。

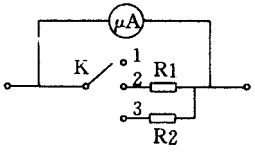

图 10－4－5　微安表量程扩大接线图之一

K—转换开关；R1、R2—电阻

扩大量程所需分流电阻的计算公式为

$$R_X = \frac{R_m}{N-1} \qquad (10-4-2)$$

式中　N——所需扩大倍数；

R_m——微安表内阻，Ω；

R_X——扩大量程所用分流电阻，Ω。

【例】　有一量程为 100μA、内阻为 1000Ω 的电流表，求用于测量 500μA 和 1000μA 时应配多大电阻。

解　设 R_5 为扩大量程 500/100 = 5 倍时的分流电阻，R_{10} 为扩大量程 1000/100 = 10 倍时的分流电阻，则根据公式(10－4－2)可得

$$R_5 = \frac{R_m}{N-1} = \frac{1000}{5-1} = 250(\Omega)$$

$$R_{10} = \frac{R_m}{N-1} = \frac{1000}{10-1} = 111(\Omega)$$

另外，还有一种闭路式分流电路的接线方式，如图 10－4－6 所示，这种接线方式的接触电阻对电路中电流分配不发生影响，因而测量准确可靠，但其计算较繁琐，本书就不作介绍了。

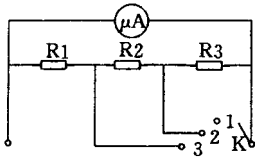

图 10－4－6　微安表量程扩大接线图之二

K—转换开关；R1，R2，R3—电阻

(二)微安表的保护

由于泄漏试验通常采用半波整流电路，因而微安表将有一定的交流分量通过；另外一方面在试验过程中，发生放电或试验击穿时，或微安表在高压侧，在试验后的放电过程中由于放电不当时，都将有大量的电流通过微安表，很容易将微安表烧坏。因此对微安表进行保护是非常必要的。

1. 用硅二极管保护微安表

从硅二极管的伏安特性曲线可知：当加于二极管的正向电压小于起始电压时，二极管呈现电阻很大，不导通；当正向电压超过起始电压后，二极管的电阻变得很小，正向电流迅速增长而导通。硅二极管的起始电压约为 0.6～0.7V。因此微安表两端的电压超过 0.6～0.7V，二极管即导通，起到保护微安表的作用。采用此法时也应测量一下微安表内阻 R_m，使微安表在流过量程范围内的电流 I 时，产生的压降 $U_{\mu A}$ 不超过二极管的起始电压 U，即

$$U \geqslant U_{\mu A}$$

$$U_{\mu A} = IR_m$$

如果 $U < U_{\mu A}$ 时，则在微安表通过的电流还不达到满刻度时，二极管即导通无法进行测量。为了使微安表正、反两方面通过电流都有保护，可采用类似图 10－4－7 所示用两只极性相反二极管（V1、V2）并联的连接方法。

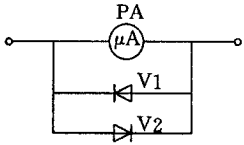

图 10－4－7　硅二极管保护微安表接线图

PA—微安表；V1、V2—硅二极管

2．用放电管保护微安表

图 10－4－8 所示为放电管保护微安表的接线图。一般采用的放电管的放电电压约为 50～150V，在微安表通过量程范围内的电流时，不可能产生 50～150V 的压降，因此要在微安表回路中串联一个电阻，以提高电压。当微安表通过的电流超过允许值时，放电管将放电，使微安表短路，以保护微安表。

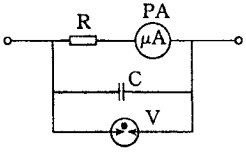

图 10－4－8　放电管保护微安表接线图

PA—微安表；R—增压电阻；C—滤波电容；V—放电管

增压电阻 R 的数值，可按下式计算

$$R = \frac{U}{I_{\mu A}} \times 10^6, \Omega;$$

式中　U——放电管的放电电压，V；

$I_{\mu A}$——微安表的量程，μA。

由于微安表的电阻 R_m 与增压电阻 R 比较相差很大，因此在计算中可将微安表的内阻 R_m 忽略不计。图中的滤波电容一般取 2μF，它用来滤掉测量回路的交流分量，使放电管放电稳定并减小故障电流和放电电流的冲击。

第二节　直流耐压试验

直流耐压试验是绝缘预防性试验的一个重要项目，即对绝缘加一个比工作电压高得多的直流电压进行试验。直流耐压试验是电缆试验的主要项目，电缆能否运行，也往往以能否通过直流耐压为标准。耐压试验的基本原则是在电缆绝缘上加上高于工作电压一定倍数的电压值，保持一定的时间，要求电缆应能经受所加试验电压值，而不发生击穿。

一、直流耐压试验的特点

为检验设备在各种电压下的绝缘特性，可进行耐压试验。根据绝缘所施加的电压特性不同，耐压试验可分为直流耐压试验和交流耐压试验。现将两者比较如下。

(一)直流耐压试验的优点

(1)试验设备容量较小、轻便：做直流耐压试验时，电缆的泄漏电流只有几十微安，最多也只有 1～2mA。而做交流耐压试验时，给电缆充电的电容电流就有几百至几千毫安。因而交流耐压试验所用设备的容量要比直流耐压大几十至几百倍，使得现场进行交流耐压试验几乎不可能。

(2)直流耐压试验时，可同时测量泄漏电流，根据泄漏电流的大小与泄漏电流的变化情况来判断电缆好坏。但做交流耐压试验时，电容电流很大，在试验中绝缘发生变化，泄漏电流的变化情况，无法从电流表中观察到。

(3)在做直流耐压试验时，绝缘层中电压分布是与电阻成正比的，当绝缘中有会发展的、局部的缺陷存在时，其绝缘电阻将降低，大部分试验电压将作用在其余未损坏部分上。此时若未损坏部分因电场强度过高而发生击穿时，则原有绝缘较低部分将发生击穿，导致贯穿性的绝缘击穿。在做交流耐压时，绝缘层中电压分布是与电容量成反比的。例如当绝缘中含有空气泡时，由于空气的介电常数为 1，其电容量小，分布电压高，容易发生击穿，在击穿后电压加到未击穿的部位上(绝缘上)，却由于绝缘耐压水平高而不会继续发生绝缘击穿。从以上所述可知，在做交流耐压试验时，可能使局部绝缘遭受永久性的破坏(即局部绝缘击穿)，但又不发生贯穿性的绝缘击穿，使局部缺陷不被发现，而是给

绝缘留下缺陷。

(4)直流耐压试验时对绝缘损伤较小,如果被试电缆绝缘中有气泡时,在直流电压作用下,当作用较高电压,以致于在气泡中发生局部放电后,在电场作用下,气泡中的正负电荷将分别反向移动,停留在气泡壁上。这样,使外电场在气泡里的强度不断减弱,从而抑制了气泡内部的局部放电过程,当正负电荷慢慢地通过周围的泄漏电阻中和后,才会再发生一次放电。另外,直流耐压试验不会发生热击穿,因此击穿电压与加压时间关系不大(当将电压作用时间由几秒钟增加到几小时,击穿电压约减小 8% ~ 15%),一般缺陷在加压后 1min 即可发现,因此规程中规定预防性试验时间为 5min。如果在交流电场中,每当电压改变一次方向,空间电荷非但不减弱,却反而会加强气泡里的电场强度,因而加强了局部放电的发展。不仅如此,做交流耐压试验时,每个半波都要发生局部放电。这种局部放电会促进油和有机绝缘材料的分解与老化、变质等,并使其绝缘性能降低,扩大其局部缺陷。交流耐压由于介质损耗的影响,容易发生热击穿,有一个绝缘温度升高的过程,因此击穿电压与加压时间关系很大。

(二)直流耐压试验的缺点

与交流耐压试验电压相比,直流耐压试验对绝缘的考验不如交流耐压试验接近实际和准确。

由以上的比较可知,对于电缆的耐压试验而言,直流耐压试验优于交流耐压试验,因此现今被广泛使用。

二、直流耐压试验的方法及结果的判断

(一)试验方法

直流耐压的试验方式和泄漏电流试验的接线方式完全一样,试验过程也相同,且通常在泄漏试验的同时进行直流耐压试验。由于在直流耐压试验过程中可能引起绝缘设备的损坏,因此通常在绝缘电阻试验之后才能进行,即在初步检验电缆绝缘合格后方可进行。

(二)结果判断

(1)判断直流耐压是否合格的依据是试验中电缆绝缘无闪络式击穿现象。但耐压试验合格并不能完全证明电缆质量就是好的,因为电缆的绝缘裕度较高,很多缺陷在萌芽状态时,无法通过试验发现,因而,往往会出现有些电缆在耐压试验后不久(如一周或一个月)即发生事故的例子。因此在制订试验计划时,还要根据电缆本身的施工和运行情

况制订试验周期。

(2)在耐压试验中若发现闪络现象时,则应将试验时间延长,并提高至规定试验电压,若仍不断发生闪络,则应停止运行并进行故障测寻;若闪络后又自行封闭,不再发生闪络(经耐压 10min),则可投入运行,在 3～6 个月内再进行监视试验,经两次试验无闪络现象时,可按正常试验周期安排预防性试验。

第五章　电缆相位检查与电缆油的试验

第一节　电缆相位检查

电缆敷设完毕在制作电缆终端前，应核对相位，终端制作后应进行相位标志。这项工作对于单个用电设备关系不大，但对于输电网络、双电源系统和有备用电源的重要用户以及有并联电缆运行的系统有重要意义，相位不可有错。

核对相位的方法很多。比较简单的方法是在电缆的一端任意两根导体接入一个用干电池 2～4 节串联的低压直流电源，假定接正极的导体为 A 相，接负极的导体为 B 相，在电缆的另一端用直流电压表或万用表的 10V 电压档测量任意两根导体，如图 10－5－1 所示。如有相应的直流电压指示，则接电压表正极的导体为 A 相，接电压表负极的导体为 B 相，第三根导体则为 C 相。若电压表没有指示，说明电压表所接的两根导体中，有一根导体为 C 相，此时可任意换一根导体接到电压表上进行测试，直到电压表有正确指示为止。

采用零点位于中间的电压表更方便。如果电压表指示为正值，则接电压表正极的导体为 A 相，接电压表负极的导体为 B 相。如果电压表指示为负值，则接电压表正极的导体为 B 相，接电压表负极的导体为 A 相。第三根导体为 C 相。

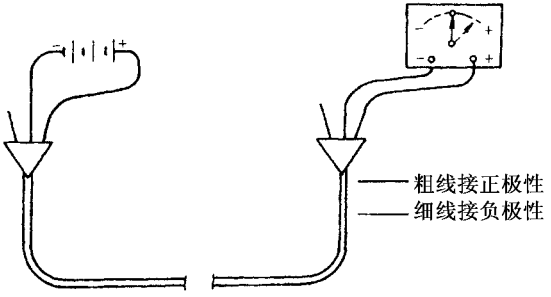

图 10－5－1　核对电缆导体相位的方法

第二节　电缆油的试验

一、电缆油试验的要求

充油电缆施工前应对电缆本体、压力箱、油桶及纸卷桶逐个取油样；电缆终端及中间接头安装完毕充油达到整定油压，静置 72h 后也要取油样。对取出的油样分别进行工频击穿电压试验和介质损耗因数 $tg\delta$ 的测量。这是电缆油电气性能的两个重要指标，是关系充油电缆施工质量的重要环节。油样试验结果应符合下列要求：

(1)油温 20 ± 10℃时，工频击穿电压应不小于 50kV。

(2)油温 100 ± 1℃和电场梯度 1kV/mm 时，介质损耗因数 $tg\delta$ 应小于表 10－5－1 的规定。

表 10－5－1　电缆油介质损耗因数($tg\delta$)试验标准

额定电压(kV)	油样来源	$tg\delta$	额定电压(kV)	油样来源	$tg\delta$
110	施工前电缆本体，纸卷桶	0.005	330	纸卷桶	0.003
	电缆终端			施工前电缆本体	
220	电缆中间接头				
110～330	油桶	0.003	330	电缆终端	0.004
	压力箱			电缆中间接头	

如电缆本体内的油不合格，应按第十七章的方法进行处理，使其达到要求后，才能开

始施工。如果电缆终端或中间接头内的油不合格，应把终端或中间接头内的油放出，重新进行真空浸渍处理。

制作电缆终端和中间接头，多采用手工绕包绝缘，施工条件一般较差，因此要求注入终端和中间接头的油的 $tg\delta$ 值小于电缆终端和中间接头内油的数值。

二、电缆油的介质损耗因数（$tg\delta$）测试方法

电缆油在电场作用下引起的能量损耗，称为电缆油的介质损耗。油的介质损耗与介质损耗角正切成正比，因此通常采用高压电桥，在工频下测量电缆油的介质损耗角正切值即可评价电缆油的介电性能。介质损耗角正切通常以 $tg\delta$ 表示，也称介质损耗因数。

电缆油的介质损耗因数主要由介质电导所引起，而电导主要取决于杂质，因此用测量电缆油的介质损耗因数的方法作为衡量电缆油存在可游离杂质的污染程度是很有价值的。测量介质损耗因数时，电极杯的清洗和干燥程度，施加电压的频率和场强大小，加热和恒温的时间长短及测试温度高低等试验条件对测量值影响很大。因此必须对电极杯进行严格地清洗，按试验条件进行测试。

（一）测试设备和仪器

电缆油 $tg\delta$ 测定的主要仪器设备是：高压交流电桥成套装置、电极杯、恒温鼓风烘箱、温度计、湿度计和油浴装置。

高压交流电桥成套装置的测量范围要求是 $tg\delta$ 在 0.0001 至 1 之间，图 10－5－2 所示是它的接线图。

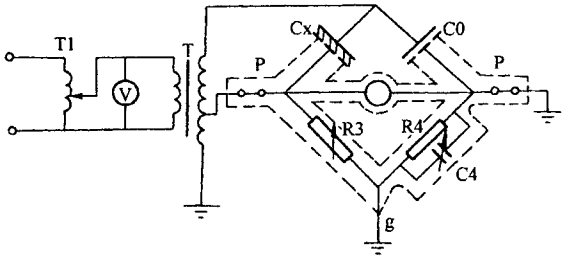

图 10－5－2　高压交流电桥基本电路图

T—试验用变压器；C0—标准电容器；G—检流计；g—屏蔽套；Cx—电极和试验物；R3，C4—可变电阻和可变电容器；P—放电器；T1—调压变压器

图 10－5－3 分别示出筒状和平板状两种测量电缆油介质损耗因数用的电极杯结构，其标准尺寸见表 10－5－2。用上述两种结构的电极杯可以取得相同的测量结果。

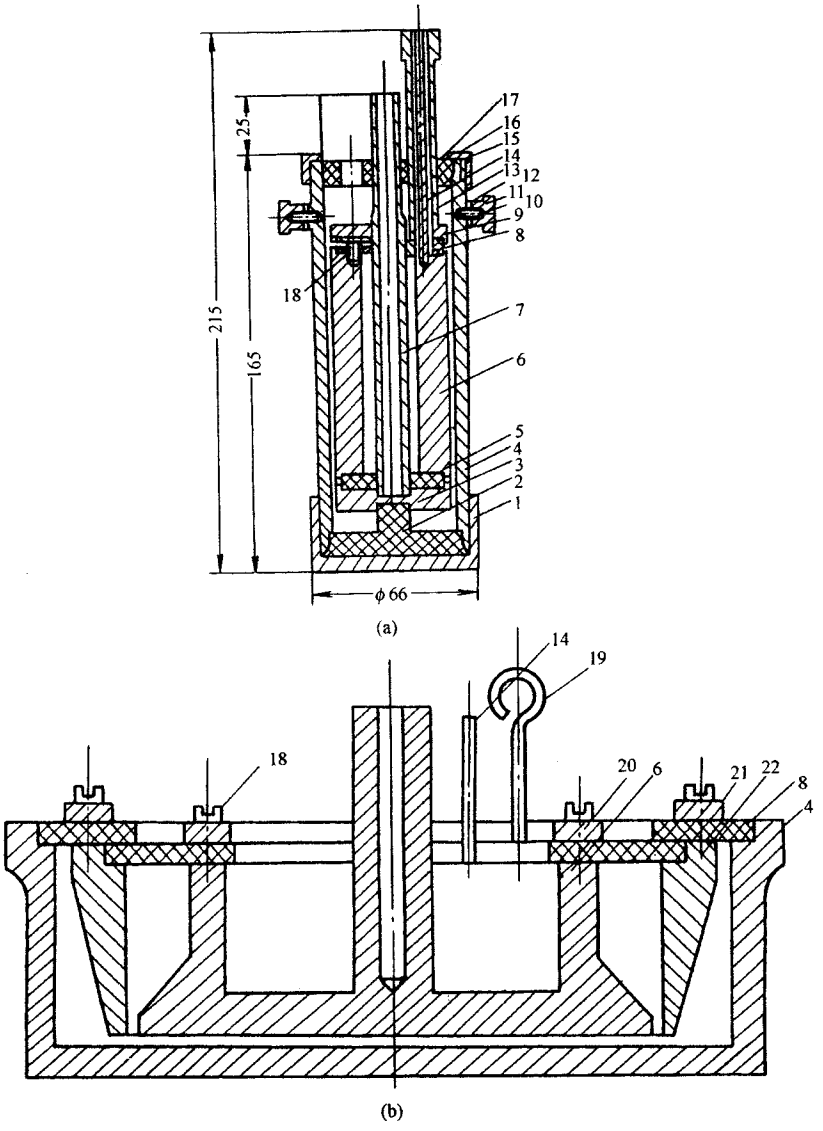

图 10－5－3　测量电缆油介质损耗因数用的电极杯(单位：mm)

(a)筒状电极杯；(b)平板状电极杯

1—外电极底；2—下绝缘支撑垫；3—下屏蔽电极；4—外电极(高压电极)；5—绝缘垫块；6—内电极(测量电极)；7—中心杆；8—上绝缘垫块；9—上屏蔽电极；10—螺栓；11—接线螺帽；12—垫圈；13—引线绝缘；14—引线柱；15—引线柱屏蔽；16—外电极上盖；17—上绝缘支撑块；18—固定位螺钉；19—吊环；20—测量电极支持块；21—护环支持块；22—护环

表 10－5－2　电极杯尺寸　（mm）

电极名称	电极尺寸		电极名称	电极尺寸	
	筒状	平板状		筒状	平板状
高压电极内径	50	不小于 146	保护电极宽	不小于 6	不小于 6
测量电极外径	46	120	保护电极高		比测量电极和高压电极的高度高 5
测量电极长	90				

电极杯用黄铜或不锈钢制成，电极杯的工作表面必须镀铬或镍，镀层应均匀且表面粗糙度应达到▽9。测量电极与保护电极间的绝缘垫用石英或硬质玻璃、聚四氟乙烯制成，也可以用质量较好、不吸油、与洗涤剂不起化学作用的酚醛胶木制成。测量电极与高压电极之间的距离为 2 ± 0.1mm。空电极的电容最好不要小于 50μF。

恒温鼓风烘箱的最高温度应不低于 150℃，灵敏度为 ±1℃，应具有能引入高压电源的绝缘套管以使高压电源能穿过烘箱与电极连接。

温度计测量范围为 0～120℃，分度为 1℃。

（二）电极杯的清洗、干燥

（1）先将电极杯全部拆开，各部件均以石油醚（或溶剂汽油）彻底清洗，再依次用丙酮、中性洗涤剂洗涤，然后在 5% 磷酸钠溶液中煮沸 5min，再用蒸馏水洗涤，最后在蒸馏水中至少煮 1h。清洗后切勿用手接触电极表面。

（2）将所有部件放在温度为 105～110℃的烘箱中干燥 60～90min。

（3）带上清洁不脱绒的手套在烘箱内将处于热状态的电极杯组装好，然后置于比试验温度高 5～10℃的烘箱内待用。

（4）当连续测量一批同一类型试样油时，如果前一次被测试油的 $\mathrm{tg}\delta$ 小于规定值，则在作下一次试验时可不清洗电极杯，但必须用不小于三倍电极杯容量的待测试油涮洗几次，否则作下一次试验之前，必须彻底清洗。

（三）试验步骤

（1）将洗净干燥后的电极杯先做空电极耐压试验，对空电极施加 1.5～2 倍工作电压 1min。目的是防止在测试过程中电极击穿而损坏电桥。

（2）空电极通过耐压试验后，可先测量空电极杯的 $\mathrm{tg}\delta$，检查电极本身有无损耗。在 20℃下，电极本身的 $\mathrm{tg}\delta$ 应不大于 0.01%。

（3）将装有测试油的油瓶放入烘箱，使测试油加热到超过测试温度 5～10℃，加热和保温的时间不应超过 1h。加热前不要打开瓶塞，使其密封、避光，保存于相对湿度不超过

70%的试验室内。

(4)当烘箱内电极杯的温度超过试验温度时,可取出电极杯将内电极提出,将已加热的试油瓶倾斜,并缓慢旋转使试油均匀,但不要产生气泡。然后用干净的绸布擦净瓶口,并倒出一点试油冲洗瓶口,最后将试油注满电极杯,剩余的试油放回烘箱。把内电极放回油杯中并两次提起和放下涮洗电极杯,再提出内电极,倒掉涮洗油液,并立即注入放回烘箱内的试油。提出内电极时,使其不要接触任何表面。

(5)将装好试油的电极杯,放入试验箱内,接好电路,加热 15min,使内电极温度达到试验温度 ± 1℃范围内。如试油未经预热而直接注入电极杯内预热时,必须使试油在 1h 内达到试验温度 ± 1℃。

(6)采用 50Hz 工频电压按电极间隙 1kV/mm 施加试验电压进行测定,从 70℃开始每隔 10℃测定一次,直到 100℃。由于加热时间对测试值有影响,应尽快完成测量,测量完后,立即倒出试油。

(7)取试油冲洗电极杯一次,再进行第二次测量,操作过程同上,直至相邻两次测量结果的差值,不超过 0.0001 加两个值中较大一个的 25%时为止。取两次有效测量中较小的一个值,作为 $tg\delta$ 的测定结果。

(四)电缆油 $tg\delta$ 的"峰值现象"

电缆油的介质损耗因数值有时会出现随温度升高或时间延长而增大,并超过标准值,然后随温度继续升高或时间继续延长,又会恢复到正常值,这种现象称为"峰值现象"。图 10-5-4 中曲线 3 所示为有"峰值现象"电缆油的介质损耗因数与温度的关系。

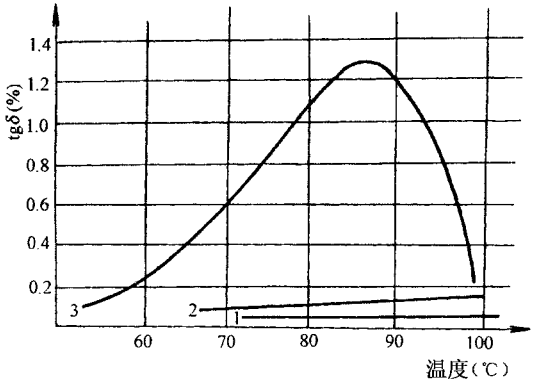

图 10-5-4　电缆油的介质损耗因数与温度的关系

"峰值现象"的机理目前还是学术上争论的问题。如果电缆中的油发生"峰值现象",比较谨慎的处理方法是用合格的油冲洗电缆,直至"峰值现象"消除为止。

三、电缆油工频击穿电压试验方法

电缆油的击穿电压是衡量其耐受电场应力的能力，击穿电压的大小是衡量电缆油中含水、灰尘或导电微粒等杂质的程度。电缆油的击穿电压试验是十分重要的。

(一)测试设备和仪器

电缆油工频击穿电压试验的主要设备仪器是油试验器、油杯、电极、标准规、秒表和温度计等。全部元件装在一个接地铁箱内。铁箱上端有一个可开启的盖，供装卸油杯用。盖上有玻璃窗，试验时能看到箱内油杯的情况。

油杯的容量不小于 200mL。油杯用瓷或玻璃制成。图 10－5－5 所示为电极的结构尺寸。电极系黄铜或不锈钢制成，直径为 25mm，电极工作表面的粗糙度为▽9。电极与油杯壁及试样液面的距离须不小于 15mm。

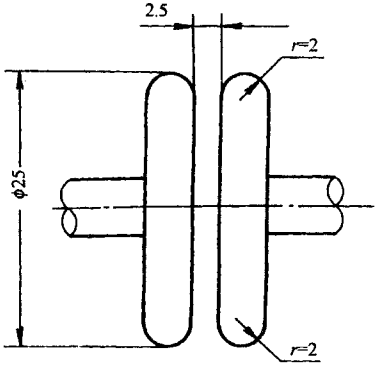

图 10－5－5　油击穿试验的电极(单位：mm)

标准规呈直径为 2.5±0.05mm 的圆柱形或厚度为 2.5±0.05mm 的矩形，能准确测量 2.5mm 的间距。

(二)测试工作

电缆油工频击穿电压试验的方法和要求如下：

(1)油杯和电极需保持清洁，在停用期间，必须盛以合格的电缆油保护。试验油杯长期停用后，重新使用时或试验过劣质油后，应用无绒的绸绢将油杯和电极擦净，然后以溶剂汽油或四氯化碳将油杯电极及电极的支持件仔细洗净，烘干后再用经过滤处理后的电缆油涮洗一遍倒掉。用上述油进行击穿电压试验，如击穿电压在 50kV 以上则认为清洗合格，否则必须重新清洗。

(2)当电极拆卸重新装在油杯上，或每批试油的第一次试验前，必须用标准规检查并

核对电极的间隙，其值应为 2.5mm。

(3)试油必须在不破坏原有贮装密封的状态下，在试验室内放置一段时间，待油温和室温相近方可揭盖试验。在揭盖前将试油小心地颠倒数次，但不要使试油留有气泡。

(4)试验前用试油将油杯洗涤 2～3 次，然后将试油徐徐沿油杯内壁注入，以减少气泡。试验杯中试油的液面超过电极高度应不小于 15mm，试油倒入试验杯后必须静止 10～15min，使气泡逸出方可升压试验。在操作中严禁用手指接触电极、油杯内部和试油。

(5)试验在室温 15～35℃、湿度不高于 75%的条件下进行。当准备工作全部就绪后即可开始试验。试验时升压必须从零开始，并以每秒约 3k 的速度均匀地一直升到试油击穿、开关脱扣时为止。击穿后立即将调压器把手退回到起始点。在升压过程中，如发生不大的破裂声或电压表指针震动(不是击穿)，应继续升压。

(6)对一杯试油连续作 5 次击穿试验，每次击穿后用直径小于 2mm 的玻璃棒在电极间拨弄数次以除掉因击穿而产生的游离碳，然后静止 5min 再进行下一次试验。5 次击穿电压的算术平均值，作为试油的平均击穿电压。

第六章　充油电缆的竣工试验

充油电缆线路安装完工之后，投入运行之前，应做下列试验。

第一节　外护层试验

电缆敷设后埋土前，用 1kV 兆欧表测量电缆金属护套对地的绝缘电阻。正常情况下绝缘电阻约为 3～5MΩ。

电缆线路敷设安装后，对聚氯乙烯外护套应进行 10kV 直流电压 1min 的耐压试验，护层绝缘应不击穿。电压加在金属护套或铠装与外护层表面的石墨导电层之间。

第二节　电缆导线直流电阻的测量

电缆终端头出线杆与电缆导线的连接，过去采用卡接方法。电缆在运行中由于负荷温度的变化引起导体热胀冷缩，出线杆与电缆导线的连接会出现松动，使接触电阻增大造成发热。现在采用压接方法，情况会好一些。为了检查出线杆与电缆导线的连接质量及其它缺陷，可测量电缆两端出线杆之间（包括电缆导线）的直流电阻，其值不应大于同长度电缆导线的电阻。该试验数据可留作电缆运行后与测得的直流电阻比较，以判断出

线杆松动与否。

电缆导线直流电阻的测量，可用电桥法，也可用压降法，测量一相电缆的导线直流电阻时，可用其它一相电缆作为另一端的电压和电流引线。

第三节　充油电缆的直流耐压试验

充抽电缆直流耐压试验除按本章第 2 节的有关方法以外还应符合下列要求。

(1)直流耐压试验之前，整个电缆线路包括中间接头及两个终端头必须与供油系统接通，其油压应符合设计要求。在电缆导线与护套之间进行 15min 的直流耐压试验，绝缘应不击穿，所加电压应符合表 10－6－1 的要求。

表 10－6－1　充油电缆直流试验电压值　kV

电缆额定电压		直流试验电压
U	U_0	
110	64	290
220	130	520
330	200	700

(2)试验前必须将电缆终端瓷套的表面用无水酒精仔细擦干净，以消除对泄漏电流读数的影响。每相电缆两端的金属护套、铜带、铠装层和压力箱以及邻近电缆两端的电气设备必须良好接地，如有电容器还需两极短路接地。交叉互联电缆线路绝缘接头处的金属护套应短接，金属护层应多点接地。在对一相电缆进行试验时，其它各项电缆的导电线芯均应良好接地。采取以上措施是为了防止试验时产生的感应电压可能危及人身安全。

(3)试验时被试电缆导线接负极，试验设备引出的高压引出线应同时连接到电缆终端头的出线杆和上法兰上。

(4)试验电压必须十分稳定，以消除因电压波动所产生的充电电流对泄漏电流的影响。试验全过程，电缆两端均须有人监视，出现问题互相联系。试验完毕的电缆经过一段时间的自放电后，再通过适当的电阻进行放电。

第四节　接地装置的试验

如充油电缆线路护套为一端接地，另一端经放电间隙接地，则需要对放电间隙进行调整，以达到设计要求的放电电压值。对于经氧化锌保护器接地的则需测试保护器的起始动作电压（U_{1mA}）和泄漏电流，其值应符合制造厂的规定。

第五节　油流试验

电缆线路施工完毕，为了检查电缆及附件的油道以及连接电缆与供油设备之间的管道是否畅通无阻，可以对电缆线路的每一相或每一段油路（分段供油时），进行油流试验。在一定的油压差情况下，假定油的粘度和比重没有变化，则油的流量基本上与油道直径的四次方成正比，而与油道的长度成反比。油流试验步骤如下。

（1）试验时在电缆线路下终端头接一辅助压力箱，上终端头接上带有阀门及压力表的溢油管，如图 10－6－1 所示。将辅助压力箱的油压调到使电缆最高点的压力在 0.05～0.1MPa 范围内。

（2）关闭工作压力箱上的阀门 6，打开辅助压力箱上的阀门 8，电缆承受压力 1h 后将溢油管上的阀门 7 打开。

（3）溢油管射流稳定后，使油注入量筒达 $0.001m^3$ 为止，并记录溢油管开始溢流入量筒至结束溢流所经过的时间和辅助压力箱的油压。

（4）按下式计算出单位时间流入量筒的油的体积。即

$$Q=\frac{0.001}{t}\quad m^3/s \tag{10－6－1}$$

式中　t——流出 $0.001m^3$ 油的时间，s。

（5）按理论公式计算单位时间应流出油的体积。即

$$Q'=\frac{(10.2p-h\gamma)r^4}{\eta l}\quad m^3/s \tag{10－6－2}$$

式中　p——油溢流入量筒期间，辅助压力箱的平均过剩压力，MPa；

h——被试电缆上端与下端之间的位差，m；

γ——油的密度，$10^3kg/m^3$；

r——油道半径，m；

l——油道长度，m；

η——在试验温度下油的粘度，Pa·s。

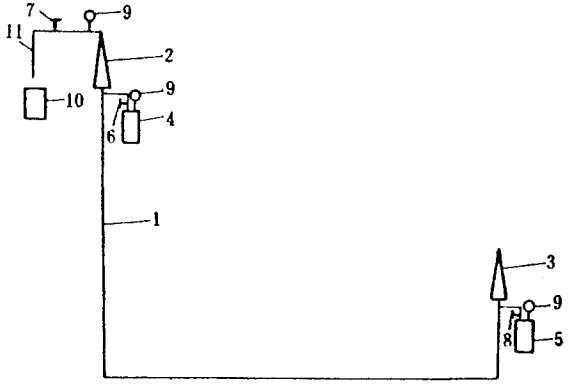

图 10－6－1　油流试验布置图
1—电缆；2—上终端头；3—下终端头；4—工作压力箱；5—辅助压力箱；
6、7、8—阀门；9—压力表；10—量筒；11—溢油管

单位时间实际流出油的体积 Q 应不小于按理论公式计算应流出的体积 Q' 的 80%。

第六节　浸渍系数试验

为了检查电缆终端头及中间接头施工中浸渍的完善程度和测量绝缘中气体的含量，可进行电缆线路的浸渍系数试验。

试验的管路布置如图 10－6－2 所示，假设电缆线路里有初始压力 P_0、电缆内部油中含有气体体积为 V_0，当电缆内压力增加 Δp 时，油中气体被压缩减少体积 ΔV，它被同体积的油所补充，假如电缆铅护套由于 ΔP 压力引起的变形忽略不计，根据气体定律可得下式。

$$_0V_0 = (_0 + \Delta p)(V_0 - \Delta V)$$

$$V_0 = \Delta V\left(\frac{}{\Delta p} + 1\right)$$

由于 Δp 比 P_0 小得多，因此

$$V_0 \approx \Delta V \frac{P_0}{\Delta p} \qquad (10-6-3)$$

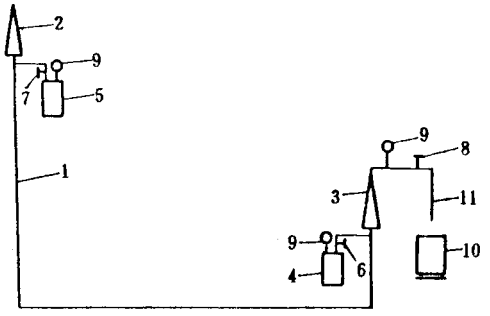

图 10－6－2　浸渍系数试验布置图

1—电缆；2—上终端头；3—下终端头；4—工作压力箱；5—辅助压力箱；

6、7、8—阀门；9—压力表；10—量筒；11—溢油管

所以只要测量 ΔP 和 ΔV 即可算出 V_0，根据电缆的几何尺寸计算油的体积 V，电缆中气体体积 V_0 与油的体积 V 之比的百分数，即为电缆的含气量（V_0/V）$\times 100\%$。

可按下式计算浸渍系数 K，该值是表示电缆绝缘中含气量特性的参数。即

$$K=\frac{\Delta V}{\Delta P\cdot V} \tag{10－6－4}$$

式中　V——被试电缆线路中油的体积，m^3；

ΔV——被试电缆线路流入量筒中的体积，m^3；

ΔP——在油流出开始前及结束后，电缆中压力之差，MPa。

浸渍系数 K 应不大于 60×10^{-4}。

浸渍系数试验在每一相电缆线路上进行，步骤如下。

(1)将辅助压力箱的压力调到 0.05～0.1MPa，先关闭工作压力箱上的阀门 6，再打开辅助压力箱上的阀门 7，使电缆线路增加 0.05～0.1MPa 压力，绝缘中的气体被压缩，待 1h 压力稳定后将辅助压力箱上的阀门 7 关闭。

(2)打开溢油管阀门 8，使油溢流入量筒中，记录开始放油前的油压，放完油后将溢油管阀门 8 关闭，并记录放完油后的油压，此量筒中的油量即为油中气体压缩的体积 ΔV。

(3)将测得量筒中油的体积 ΔV 和开始放油前及结束后油压差值 ΔP 代入(10－6－4)式可求得浸渍系数 K。

第七章　充油电缆的试运行和交接验收

第一节　投入运行前的检查

充油电缆运行前应对整个电缆线路工程进行检查，并审查试验记录，确认工程全部竣工，符合设计要求，施工质量达到有关规定后，电缆线路才能投入试运行。检查内容如下。

(1)电缆的排列应整齐，电缆的固定和弯曲半径应符合设计图纸和有关规定，电缆应无机械损伤，无渗漏油现象，标志牌应装设齐全、正确、清晰。

(2)供油系统安装应牢固，无渗漏油现象，供油、压力报警及测温系统的安装应符合设计图纸要求，油压整定值及电接点压力报警值应符合要求。

(3)电缆金属护套的连接与接地应符合设计图纸要求，质量良好。

(4)电缆线路的试验项目应齐全，试验结果应符合要求。

第二节　试运行中的检查与测试

一、试运行中的检查

(1)电缆带负荷后应定期检查压力箱油压的变化是否正常。对于一个回路的三相充

油电缆，其三个独立的供油系统的压力变化应基本相同，如有显著差别，则表示已有不正常情况产生。运行时压力箱的压力以一定的滞后时间随着负荷电流的增加而上升，如压力表指示压力连续下降时，表明电缆某些地方可能发生漏油，应进一步检查漏油点。电缆只发生微量渗漏油时，只要压力箱尚能供油给电缆以补偿漏去的油，而油压又能维持在最低允许值以上时，即使在漏油的情况下，电缆还可以维持运行，此时应加强油压监视，并作好准备，安排适当时间进行处理。如果需要对电缆补充油时，必须使用同一产地，同一型号的电缆油，并经过真空去气处理后，才允许补充到压力箱内。

(2)检查电缆及其终端头、中间接头的外表，应无渗漏油现象。对终端头铅封部分，瓷套上下法兰密封处以及供油管路接头和焊接部位应特别加强检查，因为这些部分最容易发生渗漏油。

二、金属护套感应电压和电流的测试

金属护套两端接地的电缆线路，当负荷电流接近额定值时，可分别测量两端接地线的环行电流，其值相差应很小。如果相差很大，说明护层绝缘有损坏。对于护层一端接地的电缆线路，在额定电流时，测量直接接地端接地线的电流，其值应为零，如果电流很大，说明护层绝缘损坏。另外测量非直接接地端金属护套的感应电压(相对地)，和回流线接地的电流。对于护套交叉互联的电缆线路应测量各相铅套电流，交叉互联处铅护套感应电压及绝缘接头两侧铅套接地电流。

三、电缆带负荷后的温度测量

充油电缆运行温度的监测，目前尚无好的方法，一般通过埋于铅护套外的传感元件来间接测量，传感元件可用康铜丝或半导体温差电阻。为了不损坏铠装层，通常在终端头施工时将传感元件埋在终端头尾管铅封以下的铅护套上。当电缆带上负荷后，测定电缆铜带的温度，通过表 10－7－1 的换算求得电缆导电线芯的温度。在满负荷下测算出电缆导线的温度并与电缆允许的温度进行比较。

由于传感元件埋设位置离导线较远，同时各处的环境温度和散热条件不相同，因此测算和推算出的导线温度，准确度较差，今后需要进一步研究更好的测温装置。

下表所列数据是电缆铜带温升与导线温升换算对照，实际应用时还应考虑环境温度，换算方法如下。

根据实测的铜带温度减去环境温度得铜带温升。在表 10－7－1 上查得铜带温升对应的导线温升，再加上环境温度即为导线的温度。例如 220kV 截面 700mm^2 的电缆，环

境温度为 10℃时，测得铜带温度为 34℃，将其减去环境温度 10℃后得 24℃，即为铜带温升，按下表查 220kV，截面 700mm²，铜带温升 24℃对应的导线温升为 70℃，再加上环境温度 10℃后得 80℃，即为导线的温度。

表 10－7－1　电缆铜带温升与导线温升之换算(空气敷设，护套一端接地)

电缆额定电压 kV	导线截面 mm²	导线温升 ℃	60	65	70	75	80	85	90	95	100
110	120	铜带温升 ℃	25	27	29	31	33	35	37	39	41
	240		26	28	30	33	35	37	39	41	44
	400		28	30	32	34	37	39	41	44	46
220	240		20	22	23	25	26	28	29	31	32
	400		21	22	24	25	27	28	30	31	33
	700		21	23	24	26	27	29	31	32	34
330	400		18	19	20	21	22	23	25	26	27

第三节　交接验收应提供技术资料

电缆线路竣工交接验收时应提交下列技术资料。

(1)电缆线路的敷设布置图，终端头、中间接头及供油系统的安装图，测温及油压报警系统接线图，变更设计部分的实际施工图及变更设计的证明文件。

(2)制造厂提供的产品说明书，试验记录，合格证件及安装图纸等技术文件。

(3)电缆敷设及终端头、中间接头的施工技术记录 如电缆的规格 实际敷设长度 弯曲半径 终端头、中间接头的施工日期 湿度、天气情况，绝缘绕包的实际尺寸 真空浸渍时间和真空度 施工中发生的问题，处理方法和结果 电缆油型号，以及压力箱上、下限压力整定值 电接点压力表高低压报警值等。

(4)提交下列试验记录：

①电缆、终端头、中间接头及压力箱的电缆油的介质损耗因数和工频击穿电压试验记录；

②电缆导线直流电阻测量记录；

③电缆线路直流耐压试验记录；

④压力箱油压上、下限整定及油压报警系统调试记录；

⑤电缆接地装置测试记录；

⑥电缆带负荷后导线温度测试记录；

⑦电缆护套感应电压和电流测试记录；

⑧电缆线路油流试验记录；

⑨浸渍系数试验记录。

第八章　高压交联聚乙烯绝缘电缆的竣工试验

第一节　交联聚乙烯绝缘电缆安装后验收原则

和其他类型电缆一样，交联聚乙烯绝缘电缆的竣工试验是为了检查电缆的敷设及附件的安装工作是否正确，确认电缆线路施工是否按合同条款执行，以便将电缆线路的所有权从施工单位转交给用户。

高压交联电缆线路的竣工验收试验通常包括两个主要项目：①根据国家标准 GB 11017 或 IEC 840 对电缆线路的主绝缘进行耐压试验；②根据国家标准 GB 11017 或 IEC 229 对电缆线路外护套进行耐压试验。

在上述两个竣工验收试验项目中，电缆外护套的耐压试验是十分必要的。这是因为交联电缆在运输、搬运、存放、敷设和回填的过程中，都有可能受到意外伤害。但是，电缆有坚固的外护套，当外护套完好无损时，对交联电缆而言，主绝缘是不会受到伤害的。因此，在检查施工后的电缆外护套受损情况的同时，实际上也间接检查了电缆主绝缘受到损伤的可能性，施工后电缆外护套是否受到损伤可以通过电缆外护套的耐压试验进行检查。电缆线路主绝缘的耐压试验是检查施工后的电缆和附件安装质量的重要手段。然而，检查高压交联电缆线路施工安装质量仅靠主绝缘的耐压试验是不够的。高压交联电缆线路施工安装和交接的基础应该是有效的质量保证体系。竣工试验是上述质量保证体系中的一个重要的检查手段，而不是全部。严格讲，这一原则也适用于其他电缆系统，

但是对于高压交联电缆线路而言，必须特别强调这一原则。

这套质量保证体系至少应包括以下内容：

(1)仔细检查各种安装工序和土建工序是否足以避免给电缆造成伤害；

(2)安装和施工人员是否受到严格培训和有足够施工经验；

(3)不同单位和部门之间的协调是否良好；

(4)以往的施工经验。

有些国家在严格检查以上质量保证体系的前提下，只进行外护套的试验而不做电缆系统的主绝缘耐压试验。

第二节　交联聚乙烯绝缘电缆竣工试验的现状

如上所述，高压交联电缆的竣工试验方法通常是由厂家和用户共同商定的，其协议的基础是相关的试验设备和适用的国际标准或国家标准。不同设备的标准之间缺乏足够的协调。以下给出当今通常的作法。

油纸绝缘电缆用于中压、高压电缆已 50 多年，由于这些电缆有很大电容，通常都不做现场工频交流电压试验。同时，这些油纸绝缘电缆的绝缘电阻远低于橡塑电缆，判断电缆绝缘的好坏用直流电压试验很成功。因此，对于油纸绝缘电缆，厂家和用户意见一致地认为油纸绝缘交流电缆缺陷的检查采用直流电压试验可以获得可靠的信息。油纸绝缘电缆做直流耐压试验已有几十年的经验。

然而，对于交联聚乙烯绝缘电缆的情况就不同了。越来越多的运行单位已不再采用直流试验方法，这是因为：

(1)直流的场强分布不同于交流场强分布；

(2)直流试验效果不准确；

(3)直流试验甚至有害且危险。

经过国内外一些有关权威研究机构长时期的研究(例如国际大电网会议成立了一个专门工作组 CIGRE SC21 WG21－09 进行专题研究)后得出结论：交联聚乙烯绝缘电缆实行现场高压直流耐压后不仅无效甚至有害。因此，推荐使用工频及近似工频(30～300Hz)的交流电压耐压试验方法。这种交流电压可以重现与运行工况下相同的场强，这种试验方法已被证明是最有效的方法。表 10－8－1 为推荐的耐压试验电压及时间。

交流电压试验结合局部放电测量被证明效果更好，局部放电测量的方法及设备有待继续研究开发。现场的局部放电试验主要是检查电缆附件及接头。因为电缆本身已进行出厂检验，现场还做了外护套试验，是不会有问题的。局部放电试验正在被广泛地应用于现场试验。目前主要是利用超高频和超声波进行现场局部放电探测，测量点主要是接头和终端。

表 10－8－1　CIGRE SC21 WC21－09 推荐的交流电压耐压试验电压及时间

额定相间电压 U(kV)	推荐的现场试验电压 U_0 的倍数	耐压时间	额定相间电压 U(kV)	推荐的现场试验电压 U_0 的倍数	耐压时间
65～115	2.0	1h	275～345	1.3	1h
130～150	1.7	（对所有电压等级）	380～400	1.2	（对所有电压等级）
220～230	1.4		500	1.1	

第三节　试验标准及试验项目的确定

现行的国家标准 GB 11017《额定电压 110kV 铜芯、铝芯交联聚乙烯绝缘电力电缆》是参照国际标准 IEC 840《额定电压 30kV～150kV 挤包绝缘电力电缆试验》中的规定制订的。IEC 840 标准第 6 条明确规定了竣工试验的项目和内容。而在制订国家标准 GB11017 时，考虑到主绝缘耐压试验的方法及其效果（本节第一点所述内容），已将竣工试验的项目和内容作为参考件列在附录 C 中，目的是让用户有更大的自主选择余地。这两个标准的竣工试验方面的内容基本是一致的，而且 IEC 标准的规定更为具体。

一、外护套耐压试验标准

在国家标准附录 C《安装后电性能试验》第 C3 条规定，非金属护套进行直流耐压竣工试验的试验电压是参照例行试验（出厂试验）的试验电压值（电缆屏蔽与地之间加 25kV 直流电压，耐压 1min）由生产厂家和用户双方协商决定。而在 IEC 840 标准第 6.2 条及 IEC 229 标准第 5.1.1 款规定中，对外护套厚度大于等于 2.5mm 的电缆，在电缆屏蔽与地之间加 10kV 直流电压，耐压 1min。因此在电缆屏蔽与地之间加 10kV 负极性直流电压，耐压 1min 也就成为国内用户流行的外护套耐压试验标准。这一试验足以检测严重的外护套损伤。注意，在外护层受损伤修复后，也要重复此试验。

保证上述试验成功的前提条件是电缆外护套的外表面与地接触良好。在外护套的外表面加导电石墨层是有效的办法。没有导电石墨层的电缆敷设在电缆沟或管道中，做此项试验就比较麻烦。例如可以往电缆沟内充水作为地极，但实际上是不太可能做到的。

二、主绝缘耐压试验标准

国家标准 GB 11017 附录 C 和 IEC 840 第 6.1 条款规定主绝缘耐压试验有两种方法：

直流耐压：$3U_0$，　　15min

交流耐压：$1.73U_0$，　　5min 或 $1U_0$，24h

直流耐压试验源于油纸绝缘的电缆试验。由于直流耐压试验设备的重量轻、可测电缆长度长等特点，尽管直流耐压的有效性存在疑点，但 IEC 标准仍然将它作为标准采用。我国国家标准也将它作为参考文件推荐使用。

交流试验在电压强度分布方面重现了电缆的运行工况，$1U_0$ 和 $1.73U_0$ 的电压可以直接从运行电网的电压上得到。

顺便提一下，在有些国家不按照 IEC 标准而自行制订竣工试验标准，例如在 130～150kV 的系统下使用 $1.73U_0$，1h 交流耐压，取得过一些效果。

三、交联聚乙烯绝缘电缆竣工试验项目

有绝缘电阻试验、接头直流电阻的测量、直流或交流耐压试验及相位检查等。

试验项目的确定，应按照现行的有关标准，根据现场的具体情况来确定。是否进行主绝缘耐压试验，或者采用哪种方法进行试验，取决于各运行单位的管理原则。有的运行单位对其施工安装质量保证体系（第一点中讲述）很有信心，不必进行主绝缘试验，而其他运行单位则要求必须进行主绝缘耐压试验。

在确定进行主绝缘耐压试验时，就必须了解各种不同的试验方法及其效果。应尽可能避免直流耐压试验，因为直流耐压试验的效果差且有危害。如果运行单位与施工单位达成协议，建议进行交流主绝缘耐压试验。主绝缘交流耐压试验的试验电压及时间可以按照国家标准和 IEC 标准规定选取，也可以参照表 10－8－1 的推荐数值。

第四节　竣工试验设备

直流耐压试验用的设备已在本章第二节作了详细介绍，这里主要介绍交流耐压试验用的设备。

众所周知，采用工频及近似工频的交流电压耐压试验作为交联聚乙烯绝缘电缆线路竣工试验存在的最大困难是对长线路需要容量很大的试验设备。按照我国国家标准对电缆绝缘厚度的规定，高压交联聚乙烯绝缘电缆的电容量及工频 50Hz 下的充电电流见表 10－8－2。由表 10－8－2 可见，采用交流电压耐压试验需要高电压大容量交流电压试验设备。例如，对一根长度 3km 的 110kV、630mm^2 交联聚乙烯电缆进行交流电压耐压试验。试验电压为 128kV，试验电流达 22.7A，试验容量是 128kV × 22.7A = 2.9 MV·A。考虑试验设备的安全裕度，做这一试验需要一台容量是 4.9MV·A 的交流电压试验设备。很难将这样庞大试验设备移动到现场做试验工作。为了减小输入容量，必须采用串联谐振装置。已经开发的串联谐振装置有调感式和调频式两种。调感式串联谐振装置采用固有频率(50Hz)，用改变电感的方法达到串联谐振；调频式采用固定电感，用改变频率(通常为 30～300Hz)达到串联谐振。调感式串联谐振装置一般在试验室试验时使用，现场进行交流电压耐压竣工试验时一般都采用调频式串联谐振装置。

表 10－8－2　国产 110kV 和 220kV 交联电缆的电容量及工频电压下的充电电流

电缆导体 (mm^2)	110kV 交联电缆		220kV 交联电缆	
	电容(μF/km)	充电电流(A/km)	电容(μF/km)	充电电流(A/km)
240	0.129	2.59		
300	0.139	2.79		
400	0.156	3.13	0.118	4.17
500	0.169	3.40	0.124	4.94
630	0.188	3.78	0.138	5.50
800	0.214	4.30	0.155	6.18
1000	0.231	4.64	0.172	6.86
1200	0.242	4.86	0.179	7.14
1400	0.259	5.20	0.190	7.58
1600	0.273	5.49	0.918	7.90

电缆导体（mm^2）	110kV 交联电缆		220kV 交联电缆	
	电容（$\mu F/km$）	充电电流（A/km）	电容（$\mu F/km$）	充电电流（A/km）
1890	0.284	5.71	0.207	8.25
2000	0.296	5.95	0.215	8.57
2200			0.221	8.81
2500			0.232	9.25

调频式串联谐振装置的电路原理如图 10－8－1 所示。它是由变频单元（包括控制系统）FC，励磁变压器 ET、电抗器 L 及测量电压的分压器 C 所组成。

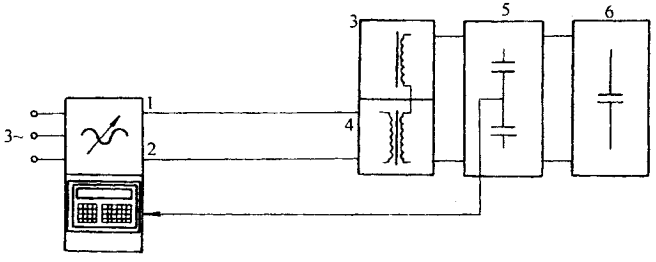

图 10－8－1　调频式串联谐振装置的电路原理图

1—变频单元；2—控制与测量单元；3—固定式电抗器；

4—励磁变压器；5—电容分压器；6—被试电缆组

谐振频率取决于电抗器的电感和被试品的电容

$$f \approx 1/(2\pi \quad LC) \tag{10-8-1}$$

当被试品的电容确定后，谐振频率可以通过调节频率达到。这种设备的重量可以做到 0.5～2kg/kV·A，最适合于现场试验。我国一些大城市的供电局已经装备了这种设备。

此外，顺便提一下，国外从 80 年代起探索过一些新的试验方法，包括超低频（0.1Hz）电压试验、振荡波电压试验等试验方法。从效果上看，现场竣工试验的最佳试验方法还是交流电压耐压试验。

第九章　电力电缆的试运行和交接验收

第一节　投入运行前的检查

电力电缆运行前应对整个电缆线路工程进行检查，并审查试验记录，确认工程全部竣工、符合设计要求、施工质量达到有关规定后，电缆线路才能投入试运行。检查内容如下。

(1)电缆排列应整齐，电缆的固定和弯曲半径应符合设计图纸和有关规定，电缆应无机械损伤，标志牌应装设齐全、正确、清晰。油浸纸绝缘电缆及充油电缆的终端、中间接头应无渗漏油现象。

(2)充油电缆的供油系统安装应牢固，无渗漏油现象，供油、压力报警及测温系统的安装应符合设计图纸，油压整定值及电接点压力报警值应符合要求。充油电缆的油压应正常，油压报警系统应在运行状态。

(3)35kV 以上交流系统中单芯电缆金属护套的连接与接地应符合设计图纸要求，质量应良好。

(4)电缆沟及隧道内应无杂物，电缆沟的盖板应齐全，隧道内的照明、通风、排水等设施应符合设计要求。

(5)直埋电缆的标志桩应与实际路径相符，间距符合要求。标志应清晰、牢固、耐用。

(6)水底电缆线路两岸、禁锚区内的标志和夜间照明装置应符合设计要求。

(7)电缆的防火设施应符合设计要求，施工质量合格。

(8)电缆线路的试验项目应齐全,试验结果应符合要求。

第二节　试运行中的检查与测试

一、试运行中的检查

(1)电力电缆带负荷试运行后,应检查电缆的负荷电流,其值不应超过电缆的持续允许载流量。

(2)检查油浸纸绝缘电缆、充油电缆及其终端、中间接头的外部,应无渗漏油现象。对终端铅封部分、瓷套上下法兰密封处、供油管路的接头及焊接部位应特别加强检查,因为这些部位最容易发生渗漏油。

(3)充油电缆带负荷后应定期检查压力箱油压的变化是否正常。对于一个回路的三相充油电缆,其三个独立的供油系统的压力变化应基本相同,如有显著差别,则表示已有不正常情况产生。运行时压力箱的压力以一定的滞后时间随着负荷电流的增加而上升,如压力表指示压力连续下降时,表明电缆某些地方可能发生漏油,应进一步检查漏油点。电缆只发生微量渗漏油时,只要压力箱尚能供油给电缆以补偿漏去的油量,而油压又能维持在最低允许值以上时,即使在漏油的情况下,电缆还可以维持运行,此时应加强油压监视,并作好准备,安排适当时间进行处理。如果需要对电缆补充油时,必须使用同一产地、同一型号的电缆油,并经过真空去气处理后,才允许补充到压力箱内。

(4)电缆在负荷电流下,由于导体电阻的损耗、绝缘介质的损耗以及金属护套和金属铠装的损耗,使电缆发热,温度升高。温度过高将使电缆绝缘加速老化。为了使电缆安全运行,应限制电缆导体的运行温度。电力电缆的最高允许温度不应超过附录 B 所列数值。35kV 以上重要回路高压电缆宜装设有效的测温装置,以便在运行中对电缆进行监测。

(5)110kV 及以上电压的直埋电缆,当其表面温度超过 50℃时,应采取降低负荷电流或改善回填土的散热性能等措施。

(6)电缆同地下热力管道交叉或接近敷设时,电缆周围的土壤温度,在任何时候不应超过本地段其他地方同样深度的土壤温度 10℃。

二、35kV 以上交流单芯电缆金属护套感应电压和电流的测试

金属护套两端接地的电缆线路，当负荷电流接近额定值时，可分别测量两端接地线的环行电流，其值相差应很小。如果相差很大，说明接地不良或护层绝缘有损坏。对于护层一端接地的电缆线路，在额定电流时，测量直接接地端接地线的电流，其值应为零，如果电流很大，说明护层绝缘损坏。另外可测量非直接接地端金属护套的感应电压（相对地）和回流线接地的电流。对于护套交叉互联的电缆线路应测量各相金属护套电流、交叉互联处金属护套感应电压及绝缘接头两侧金属护套接地电流。

三、充油电缆带负荷后的温度测量

充油电缆运行温度的监测，目前尚无成熟的经验，一般通过埋于金属护套外的传感元件来间接测量，传感元件可用康铜丝或半导体温差电阻。为了不损坏铠装层，通常将传感元件埋于金属护套接地端的终端尾管铅封以下的金属护套上。当电缆带上负荷后，测定电缆铜带的温度，通过查表换算到电缆导体的温度。在满负荷下测算出电缆导体的温度应不超过 75℃。

表 10－9－1～表 10－9－4 列出了充油电缆导体温度在 75℃时的铜带温度。根据实测的铜带温度，可查该表求得电缆导体的温度，方法如下：

如实测铜带温度为 T'，根据电缆的规格及其敷设条件，查得表中的铜带温度为 T，两者之差为

$$\Delta T = T - T'$$

则此时电缆导体的温度为

$$T_C = 75 - \Delta T$$

举例：

（1）一回 220kV、无铠装、导体截面 700mm² 的充油电缆线路，空气中敷设，电缆间距 S 为 250mm，电缆金属护套一端接地，实测运行电缆的铜带温度为 40℃，试计算电缆导体温度。

查表 10－9－1 铜带温度为 49℃，两者之差为

$$\Delta T = 49 - 40 = 9(℃)$$

则此时电缆导体的温度为

$$T_C = 75 - 9 = 66(℃)$$

（2）一回 110kV、无铠装、导体截面 400mm² 的充油电缆线路，直埋敷设，电缆间距 S

为 250mm，埋设深度 1500mm，土壤热阻系数 ρ 为 1.2℃·m/W，电缆金属护套一端接地，实测运行电缆的铜带温度为 53℃，求电缆导体温度。

查表 10－9－3 铜带温度为 65℃，两者之差为

$$\Delta T = 65 - 53 = 12(℃)$$

则此时电缆导体的温度为

$$T_C = 75 - 12 = 63(℃)$$

表 10－9－1　油浸纸绝缘铅护套无铠装充油电缆空气中敷设导体温度 75℃、环境温度 30℃时的铜带温度　　（℃）

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	电缆排列方式及相间距离 / 护层接地方式	紧靠品字形		“一”字形，电缆中心距离 S(mm)					
					S = 0		S = 250		S = 500	
			一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
110	100		55	55	55	55	51	55	51	55
	240		56	58	56	58	52	59	52	59
	400		57	60	57	60	53	61	53	62
	600		58	61	58	61	54	63	54	64
	700		58	62	58	62	54	64	54	64
220	240		51	53	51	53	47	53	48	53
	400		53	55	53	55	48	56	48	57
	600		54	57	54	57	49	58	49	59
	700		54	58	54	58	49	59	49	60
	845		55	58	55	58	50	59	50	59
330	400		53	55	53	55	49	55	48	56
	600		54	57	54	57	49	57	49	58
	700		54	57	54	57	49	58	49	58

表 10－9－2　油浸纸绝缘铅护套钢丝铠装充油电缆空气中敷设导体温度 75℃、环境温度 30℃时的铜带温度　　（℃）

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	电缆排列方式及相间距离 / 护层接地方式	紧靠品字形		“一”字形，电缆中心距离 S(mm)					
					S = 0		S = 250		S = 500	
			一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
110	100		55	56	55	56	51	52	51	52
	240		57	59	57	59	53	55	53	55
	400		58	61	58	61	53	58	53	58
	600		60	63	60	63	54	59	54	59
	700		60	63	60	63	55	60	55	60

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	电缆排列方式及相间距离 / 护层接地方式	紧靠品字形		“一”字形，电缆中心距离 S(mm)					
					$S=0$		$S=250$		$S=500$	
			一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
220	240		52	53	52	53	47	53	47	53
	400		53	55	53	55	48	55	48	55
	600		55	57	55	57	49	53	49	53
	700		56	57	56	57	49	53	49	53
	845		57	57	57	57	51	54	51	54
330	400		54	55	54	55	48	51	48	51
	600		55	56	55	56	49	52	49	52
	700		56	57	56	57	50	53	50	53

表 10－9－3　油浸纸绝缘铅护套无铠装充油电缆直埋敷设导体温度 75℃、环境温度 30℃时的铜带温度　(℃)

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	埋设深度(mm) / 电缆排列方式 / 土壤热阻系数 / 护层接地方式	“一”字形，电缆中心距离 250mm				“一”字形，电缆中心距离 500mm			
			$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W		$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W	
			一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
110	100	1000	57	60	61	64	55	59	59	63
		1500	58	61	62	65	57	60	61	64
	240	1000	59	64	62	67	57	64	61	66
		1500	60	65	64	68	59	65	62	67
	400	1000	60	67	64	69	58	66	62	68
		1500	62	68	65	70	60	67	63	69
	600	1000	61	69	65	70	60	68	63	70
		1500	63	69	66	71	61	69	65	71
	700	1000	62	69	65	71	60	69	64	70
		1500	63	70	66	71	61	69	65	71
220	240	1000	55	61	60	65	53	60	58	64
		1500	57	63	62	66	55	61	60	65
	400	1000	57	64	62	67	55	63	59	66
		1500	59	65	63	68	57	64	61	67
	600	1000	58	66	63	69	56	65	60	68
		1500	60	67	64	70	58	67	62	69

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	埋设深度(mm)	电缆排列方式	“一”字形，电缆中心距离250mm				“一”字形，电缆中心距离500mm			
			土壤热阻系数	$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W		$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W	
			护层接地方式	一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
220	700	1000		59	67	63	70	57	66	61	69
		1500		60	68	65	70	58	67	63	70
	845	1000		60	67	64	69	57	66	62	69
		1500		61	68	65	70	59	67	63	70
330	400	1000		58	64	63	68	55	63	60	66
		1500		60	66	64	69	57	64	62	68
	600	1000		59	67	64	69	57	65	62	68
		1500		61	68	65	70	59	67	63	69
	700	1000		60	67	65	70	57	66	62	69
		1500		62	68	66	71	59	67	64	70

表 10－9－4　油浸纸绝缘铅护套钢丝铠装充油电缆直埋敷设导体温度75℃、环境温度30℃时的铜带温度　（℃）

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	埋设深度(mm)	电缆排列方式	“一”字形，电缆中心距离250mm				“一”字形，电缆中心距离500mm			
			土壤热阻系数	$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W		$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W	
			护层接地方式	一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
110	100	1000		57	58	60	62	55	57	58	61
		1500		58	60	60	63	57	59	59	62
	240	1000		59	62	61	63	57	62	59	65
		1500		60	63	61	66	59	62	61	66
	400	1000		60	64	63	67	58	62	61	67
		1500		62	65	63	68	60	64	62	67
	600	1000		62	66	63	69	60	66	62	68
		1500		63	67	65	70	61	66	63	69
	700	1000		62	67	64	69	60	67	62	68
		1500		64	67	65	70	61	69	63	69
220	240	1000		56	58	61	63	54	57	59	62
		1500		58	60	62	64	56	59	60	63
	400	1000		58	61	62	65	56	60	60	63
		1500		59	63	63	66	57	62	61	65

额定电压(kV)	导体截面(mm²)	埋设深度(mm)	电缆排列方式	“一”字形，电缆中心距离250mm				“一”字形，电缆中心距离500mm			
			土壤热阻系数	$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W		$\rho=0.8$℃·m/W		$\rho=1.2$℃·m/W	
			护层接地方式	一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
220	600	1000		59	63	63	67	57	62	61	66
		1500		61	65	65	68	59	64	63	67
	700	1000		60	64	64	67	58	63	62	66
		1500		61	65	65	68	59	64	63	67
	845	1000		61	64	65	67	59	63	63	66
		1500		62	66	60	68	60	65	64	67
330	400	1000		59	61	63	66	57	60	61	65
		1500		60	63	65	67	58	62	63	66
	600	1000		61	63	65	67	59	62	63	66
		1500		61	65	66	69	59	64	63	68
	7700	1000		61	64	65	68	59	63	63	67
		1500		63	66	67	69	61	65	65	68

第三节　交接验收应提供的技术资料

电缆线路竣工后，在交接验收时应提交下列技术资料。

(1)设计图纸资料、电缆清册、变更设计的证明文件和竣工图。

(2)电缆线路路径协议文件。

(3)充油电缆线路的敷设布置图，终端、中间接头及供油系统的安装图，测温及油压报警系统接线图。

(4)直埋电缆线路的敷设位置图，比例尺一般为1∶500，地下管线密集的地段不应小于1∶100，管线稀少且地形简单的地段可为1∶1000。平行敷设的电缆线路，可合用一张图纸，但必须标明各条线路的相对位置，并有标明地下管线的剖面图。

(5)制造厂提供的产品说明书、试验记录、合格证件及安装图纸等技术文件。

(6)电缆敷设及终端、中间接头的施工技术记录：如电缆的规格、型号，实际敷设长度，弯曲半径，终端、中间接头的型式及施工日期，温度、天气情况，绝缘绕包的实际尺寸，

填充的绝缘材料名称、型号，施工中发生的问题、处理方法和结果，充油电缆真空浸渍时间和真空度，电缆油型号等。

(7)提交下列试验记录：

①电缆线路交、直流耐压试验和泄漏电流记录。

②高压单芯电力电缆外护套绝缘电阻及耐压试验记录，护套绝缘保护器试验记录。

③充油电缆除以上两项以外，尚应提交下列试验记录。A. 电缆、终端、中间接头及压力箱电缆油的介质损耗因数和工频击穿电压试验记录；B. 电缆导体直流电阻测量记录；C. 压力箱油压上、下限整定及油压报警系统调试记录；D. 电缆带负荷后导体温度测试记录；E. 电缆金属护套感应电压和电流测试；F. 电缆线路油流试验记录；G. 浸渍系数试验记录。