

特高压设备的绝缘试验技术

王建生 崔东

(西安高压电器研究院, 西安 710077)

摘要: 特高压技术近年来在我国得到了突飞猛进的发展,但在绝缘试验领域还有很多有待深入研究的课题和关键技术。本文介绍IEC 和我国国家标准涵盖交流特高压输变电设备的绝缘水平,标准中试验要求的相关内容修订和增加。对特高压绝缘试验中的关键技术、实施措施和易存在问题的解决给出建议。

关键词: 特高压设备; 绝缘试验; 标准化

1 前言

随着电力负荷的日益快速增长和远距离、大容量输电需求的增加,大容量规模电厂的建设,以及高压、超高压输电线路和变电站的数目日益增多,为实现规模经济、减小网损,避免输电设备的重复容量,确保电力系统可靠性,使输电线路的影响最小,美国、日本、前苏联、意大利和巴西等国的电力公司,于上世纪60年代末70年代初根据电力发展需要开始进行了特高压输电可行性研究。我国从上世纪80年代起开展了"特高压输电前期研究"项目,开始了对特高压交流输变电项目的研究。

早先由苏联、美国、加拿大、瑞典、意大利、日本等国先后开展了大量的试验研究工作。研究的重点是空气间隙和绝缘子放电特性、导线电晕特性等,以搞清楚特高压输电是否有不可克服的技术困难,特别是要搞清楚在操作冲击电压作用下,空气间隙放电特性的饱和现象是否会成为特高压输电的不可逾越的障碍。

目前苏联在1981年开始建设495千米试验线路,这条线路最终全部降压运行或停运。美国1971年在西海岸建立两条百万伏电压等级的试验线段,目前计划搁浅。日本在20世纪90年代后期建起了百万伏六氟化硫气体绝缘变电站和一段试验线路一直在带电试验运行,但不输送功率。

目前正式投运的国家电网晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程,是世界上正在运行的电压等级最高、技术水平最高、输送能力最强的输变电工程,标志着中国在远距离、大容量、低损耗的特高压核心技术和设备国产化上取得重大突破。

国内在相关高等学校和研究所中进行过系统技术参数、线路变电站绝缘、线路防雷等项研究。建成了特高压户外试验场和试验线段。

已进行相关特高压绝缘试验,但在绝缘试验领域还有有待深入研究的课题和关键技术:

- 1) 制订电压范围至特高压的国家标准,涉及到绝缘水平和试验要求。
- 3) 实际试验包括雷电冲击过冲问题的解决方法或高频过冲对绝缘特性的实际影响,成为需要深入研究的课题。
- 4) 特高压绝缘试验,由于产品自身均压考虑增加断口并联均压电容,引起的联合电压试验中的电压跌落问题的研究。
- 5) 特高压局放试验,对与高电压、所占空间非常的大检测回路,背景环境噪声和干扰如何去除成为此试验的重点。
- 6) 800kV特高压直流换流阀绝缘试验。

并且同时建立了较为完整的特高压标准,完成特高压绝缘试验。本文就IEC 和我国国家标准涵盖交流特高压输变电设备的绝缘水平,标准中试验要求的相关内容修订和增加进行了介绍,对特高压绝缘试验中的关键技术、实施措施和易存在问题的解决给出建议。

2 国家标准涵盖特高压设备的绝缘水平和试验要求

2.1 GB311.1绝缘配合标准新增特高压绝缘水平

正在修订GB311.1-20XX,内容涵盖特高压设备的绝缘水平和2010-1-18颁布实施的IEC60071-1, ,见表1、2。

表1 $U_m > 1000$ kV的标准绝缘水平(GB 311.1-20XX)

系统标称电压 U_s (有效值)	设备最高电压 U_m (有效值)	额定操作冲击耐受电压(峰值)				额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定短时工频耐受电压(有效值)
		相对地	相间	相间与相对地之比	纵绝缘 ²⁾	相对地	纵绝缘	相对地
1000	1100	1675			1800	1675 (+900)1)	2250	(1100)
		1800				2400		

表2 $U_m > 1000$ kV的标准绝缘水平(IEC60071-1)

设备最高电压 U_m (有效值)	标准额定操作冲击耐受电压(峰值)			标准额定雷电冲击耐受电压(峰值)
	纵绝缘	相对地	相间与相对地之比	
1 100	-	1 425	-	1 950
				2 100
	1 425	1 550	1,70	2 100
				2 250
	1 550	1 675	1,65	2 250
				2 400
1 200	1 675	1 800	1,6	2 400
				2 550
	1 550	1 675	1,70	2 100
				2 250
	1 675	1 800	1,65	2 250
			2 400	
	1800	1 950	1,60	2 550
				2 700

2.2 GB/T16927.1高电压试验技术标准修订

作为高压输变电设备高电压试验方法标准,目前正在修订的GB/T 16927.1与IEC 60060-1相同,同时能及时反映我国近几年特高电压试验技术的研究成果。技术上主要修订内容如下:

1) 重新定义“叠加过冲或振荡的雷电冲击参数”并新增计算方法

将过冲幅值频率与绝缘强度的渐变关系,引入本标准改变以往500 kHz作为边界的突变关系,定义明确的基准曲线(双指数波),可以获得很低的测量不确定度。

2) 大气修正因数的重复计算

考虑到我国有多个实验室处于高海拔(高于海平面1000米),此时由于实验室本身处于高海拔,空气压力低,修正时要用到 U_{50} ,而 U_{50} 本身又与不同地点的大气条件有关,因此,求得的 K_t 数值可能很小,从而导致 K_t 的误差很大,需进行重复计算。

3) 关于雷电冲击过冲允许值

GB/T 16927.1-1997中对雷电冲击波峰处存在振荡时过冲的限制是不能超过试验电压幅值的5%。这对冲击试验电压小于1800 kV,一般的试验回路可以满足。根据国内800 kV(高海拔)和1100 kV设备雷电冲击试验的结果来看,对超过1800 kV的雷电冲击试验,由于回路很大,不可能达到。因此,本标准中对雷电冲击过冲限值提高到10%,这基本上可以涵盖设备最高电压为550 kV设备的雷电冲击试验(试验电压小于2000 kV),对于试验电压在2000 kV以上的如果有效地缩小回路引线、增加高压回路滤波设备可满足要求。

4) 关于增加我国对800kV及以上产品湿耐受电压试验的具体要求

通过进行实际特高压产品试验,我们根据自身经验在标准中给出具体的要求和如下:

对于高度超过3m的试品,测量段的数目应增加至覆盖试品的整个高度,但不重叠;对高度超过8m的试品,测量段数不少于5段。

已有的试验经验表明对于超过8m以上的试品,淋雨排宽度 ≥ 2 m,高度 ≥ 15 m,最高喷嘴离地高度 ≥ 20 m的淋雨装置较易满足试验要求。

3 特高压绝缘试验关键问题和解决方案

3.1 雷电冲击试验中的过冲问题

特高压产品的雷电冲击试验,按GB/T16927.1-1997标准对雷电过冲要求不高于5%,已无法达到,原因在于:对于特高压产品和试验空间和设备,使得试验回路非常大,在回路中存在的杂散参数无法消除。线路、试验设备自身电感都较大,冲击电压发生器产生标准雷电冲击波,过冲由于线路固定参数无法降低,使得过冲超出限值。

根据多国试验室提出的研究报告,表明电压等级超过500kV产品应将过冲增加至10%,目前IEC在2008年已作出做出相关修订。

对应实际实施试验时可采取相关措施抑制过冲:

- 1) 采用可移动式冲击电压发生器,缩短回路引线进行试验;
- 2) 在高压引线端增设滤波装置可有效过滤高频过冲并降低过冲幅值。

3.2 联合加压试验的电压跌落问题

在考核特高压产品纵绝缘冲击试验中要求,两端加压,一端加冲击,另一端加工频反峰值。

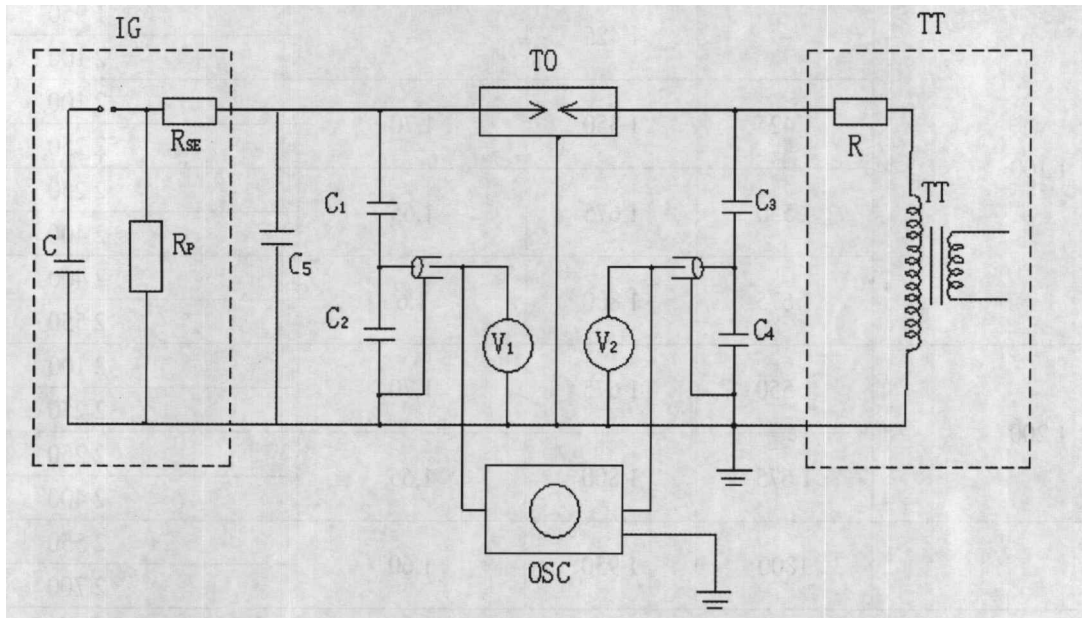


图1 联合加压试验回路图

在对开关设备的隔离（或断路器）断口绝缘实施冲击与工频的联合电压时,相关标准对工频侧电压的幅值跌落有严格的规定,即不能超过工频侧施加电压的5%。在此次试验中,为了减少电压跌落并对开关断口绝缘按照标准规定进行考核,实验室采取以下措施来使得断口绝缘实际承受的电压达到3300kVp（雷电+工频）,2575kVp（操作+工频）。

由于断路器断口间存在的耦合均压电容,导致一端冲击电压实施时,在工频侧会耦合出相应电压导致该侧施加工频电压的绝对值跌落,标准中要求跌落幅值范围不能大于施加工频电压的5%,因此如何采取措施符合要求成为该试验考核的关键,在无任何措施条件下,进行特高压产品联合加压,可导致工频电压跌落值高达20%以上。

建议采取以下措施,

- (1) 增加工频试验变压器容量足够大,使得耦合过来的电压不足以产生跌落现象。但这无疑增加成本投入。
- (2) 在工频侧增加补偿电容是很好的补偿办法,图2,3给出操作冲击联合加压试验增加补偿电容前后电压跌落明显改善的波形,补偿结果是将跌落电压从20%降到5%,可见,此办法是很有效的抑制电压跌落的措施。

3.3 局部放电的测量和实施

关键在于如何测量由试品产生的局部放电。由于回路非常大,电压高,对于背景环境噪声和干扰如何去除成为此试验的重点。

我们实验室进行过一些UHV局放试验,解决方案如下:

- 1) 考虑背景及周围环境接地良好和屏蔽的问题。
- 2) 考虑连接导线的无晕化处理的问题。
- 3) 考虑抑制外部干扰的措施,分析外部干扰源,用超声波探测器探测干扰源位置,排除干扰源并从测量系统出滤除该干扰信号。

3.4 800kV特高压直流换流阀绝缘试验

特高压直流输电,由于其电压等级高、电流及输送容量大等特点,根据国家的建设规划,特高压直流输电工程

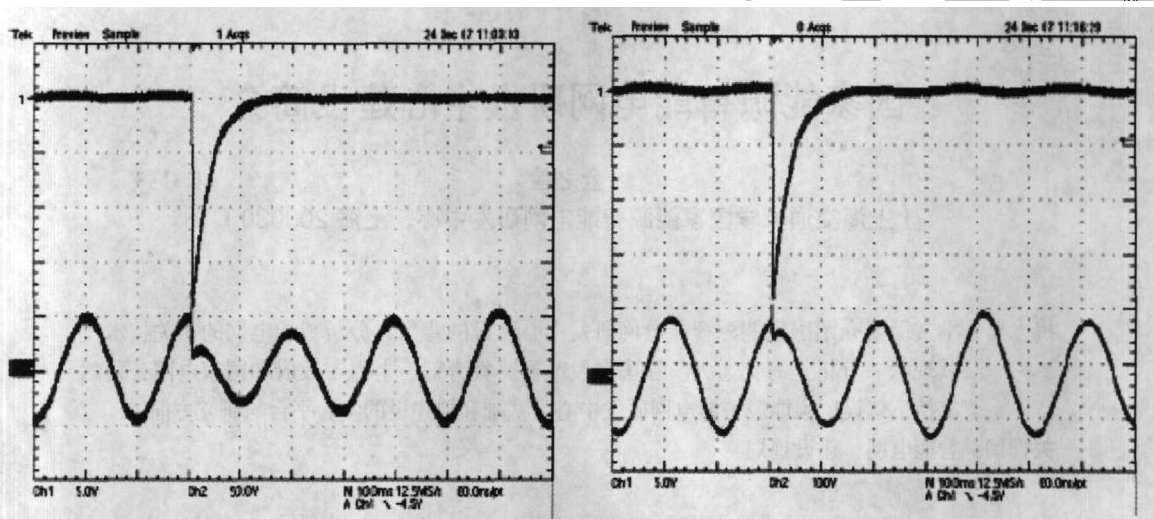


图2 并联电容器前操作冲击与工频联合电压试验典型示波图

图3 并联电容器后操作冲击与工频联合电压试验典型示波图

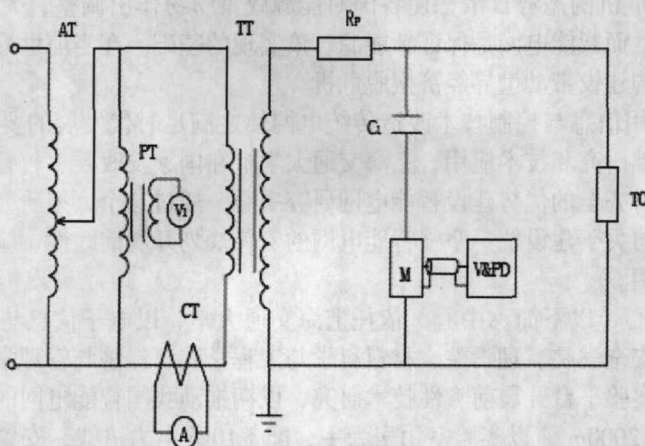


图4 局部放电测量试验回路图

是未来的建设重点，特高压输电技术研究和设备研制也是目前的重中之重。而对于特高压直流输电关键设备绝缘试验技术，一直以来ABB、SIEMENS垄断着此项技术，2004年我国开始进行120kV灵宝换流阀绝缘试验、2005年500kV三上工程换流阀绝缘试验，直到2009年刚完成800kV绝缘试验，均证明了我国该项技术的先进性和打破垄断性，目前绝缘试验技术研究重点在于特高压直流输电换流阀冲击电位分布的模型分析，从换流阀自身结构和参数配置的模型基础上，并考虑外界的杂散参数，给出实际试验和运行中冲击电位分布情况，为产品设计和制造以及型式试验提供参考依据。通过这些基础研究给出标准制订的依据和原则，将具体的工程与研究相结合，根据实际的经验来制定特高压直流输电标准。

4 结论

特高压示范工程的良好运行证明了之前进行的绝缘配合和实际试验研究的有效性和正确性，并因此给出了具体的绝缘配合耐受电压水平的建议和具体试验实施要求和问题解决方案。这些对国家以及国际标准的制修订有着很大的影响，同时也为特高压输电设备的安全运行给予了良好的前期要求和试验考核。

参考文献

- [1] GB311.1-20XX 绝缘配合-第1部分：定义、原则和规则
- [2] GB/T16927.1-20XX 高电压试验技术-第1部分：一般定义及试验要求
- [3] IEC60071-1 Ed.8.0: Insulation co-ordination part 1: Definitions, principles and rules.
- [4] IEC60060-1 Ed.3.0: High-voltage test techniques part 1: General definitions and test requirements.