

±1 100 kV 特高压直流换流站直流场设计选型

谭威¹, 简翔浩¹, 施世鸿¹, 岳云峰¹, 官澜²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 国网北京技术经济研究院, 北京 102209)

摘要: ±1 100 kV 特高压直流输电工程是迄今为止世界上电压等级最高的直流输电工程。合理的直流场设计型式选择对于降低设备制造难度和成本、提升换流站运行可靠性具有重要的意义。基于准东-皖南±1 100 kV 特高压直流输电工程, 文章从设备外绝缘要求、制造水平以及不同型式的技术经济比较进行分析, 得出了推荐1 100 kV 特高压直流换流站直流场采用户内直流场设计的结论。

关键词: ±1 100 kV; 特高压直流换流站; 户内直流场; 户外直流场

中图分类号: TM721.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)04-0023-06

Selection of ±1 100 kV UHVDC Converter Station DC Field

TAN Wei¹, JIAN Xianghao¹, SHI Shihong¹, YUE Yunfeng¹, GUAN Lan²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. State Power Economic Research Institute, Beijing 102209, China)

Abstract: The ±1 100 kV UHVDC transmission projects are the highest voltage class DC transmission projects in the world. Reasonable selection of DC field design type has great significance to enhance reliability of converter station and reduce the difficulty and cost of equipment manufacturing. Based on the Zhundong-Wannan ±1 100 kV UHVDC transmission project, requirement of equipment external insulation, manufacture level of equipment, technical and economic comparison of different type of DC field layout were discussed. The indoor DC field layout is recommended for ±1 100 kV UHVDC transmission projects.

Key words: ±1 100 kV ; UHVDC converter station; indoor DC field; outdoor DC field

准东-皖南±1 100 kV 特高压直流输电工程是落实“西电东送”能源战略、落实科学发展观、走可持续发展路线的一项重要举措, 对于推进新疆地区经济发展, 加快准东地区煤电基地开发和外送, 减轻铁路运输压力和东部地区的环保压力, 解决华东地区能源资源匮乏问题具有重要意义。该工程为世界上首个±1 100 kV 特高压直流输电工程, 电压等级高, 输送距离长达3 300 km^[1]。

本文结合本工程送端±1 100 kV 昌吉换流站实

际环境条件, 在充分调研国内外设备厂家制造水平的前提下, 进行户内外直流场技术经济比较, 并提出了推荐方案。

1 户内直流场应用现状

对于户外直流场, 相同运行条件下, 由于直流的静电吸尘及雨闪等效应, 相同电压下直流积污要远严重于交流积污, 相同的积污水平下直流污闪电压要低于交流。因此, 在同一环境条件下, 直流设备的外绝缘要求高于常规交流设备。此外, 随着直流电压的提高, 特别是对于±1 100 kV 电压等级, 设备的外绝缘要求相较于常规±800 kV 直流设备已明显提高, 极大地增加了设备研发和制造难度, 导致了设备投资成本剧增。

对于国内已建直流工程, 在极线设备外绝缘不受限制、设备制造能力满足的条件下, 一般大多选

收稿日期: 2017-01-17

基金项目: 中国能建广东院科标项目: ±1 100 kV 级特高压直流输电设计关键技术研究(ER04121W)

作者简介: 谭威(1987), 男, 湖北英山人, 工程师, 硕士, 主要从事特高压直流换流站及接地极的设计工作(e-mail) tanwei@gedi.com.cn。

择户外直流场布置。目前,只有国内 ± 660 kV 宁东换流站、 ± 500 kV 政平换流站和穆家换流站^[2-4]由于户外爬电比距要求高,最终推荐采用户内直流场布置。

三峡—常州直流输电工程政平换流站若采用户外直流场布置,爬电比距设计值需达到 75 mm/kV,要求的支柱绝缘子高度将大幅增加,在当时的技术水平下,设备的机械性能难以满足,可靠性难以保证,制造难度极大。而采用户内直流场后,设计爬电比距低于 30 mm/kV,降低了设备制造难度,工程投产以来运行状况良好。

2 常规直流主设备外绝缘要求

直流主设备外绝缘要求主要是应耐受系统直流工作电压、内过电压和系统外部的雷电过电压。雨、雾、水、污秽等环境因素以及海拔高度都会对直流主设备外绝缘产生不同程度的影响^[5]。具体来讲,直流主设备的外绝缘主要是需要满足干弧距离和爬电距离的要求。

设备干弧距离确定了设备的高度。一般来讲,换流站直流场及阀厅内设备的干弧距离主要由设备的操作冲击水平确定。

根据国内对 ± 800 kV 向家坝—上海和锦屏—苏南直流工程系统过电压进行的初步研究提出的换流站设备绝缘水平值,换流站 ± 800 kV 设备操作冲击绝缘水平可取 $1\ 600$ kV,文[6]中通过试验给出了不同布置情况下所要求的干弧距离。

而爬电距离主要取决于工作电压下绝缘子的污秽特性。与交流不同,由于直流电压的静电吸尘作用,直流外绝缘表面积污严重,因此在各种潮湿环境条件下对直流外绝缘的设计要求极为苛刻。当设备布置于户内时,情况则完全不同,由于污秽的隔离和湿度的控制,直流设备防污特性得到极大的改善。

3 常规直流主设备外绝缘要求 $\pm 1\ 100$ kV 直流主设备外绝缘要求

3.1 干弧距离

根据 $\pm 1\ 100$ kV 直流输电系统的过电压和绝缘配合研究结论,直流线路(平抗侧)设备的操作冲击耐受水平为 $2\ 100$ kV。

对于雷电冲击而言,国外大量的试验数据表

明^[7-14],其闪络电压与间隙长度成线性关系,而对于操作冲击而言,闪络电压与间隙长度为非线性关系,由国外美、日、意等国家进行了大量冲击电压试验所提供的棒—板间隙临界闪络电压与间隙长度资料可以看出,随着电压等级的提高,放电电压呈现非线性饱和趋势,在 $1\ 600$ kV 左右为非常明显的拐点位置。

根据国内外学者提出的不同间隙距离与操作冲击放电电压的经验公式,本工程所要求的 $1\ 100$ kV 空气净距将超过 10 m。

综合国内外关于长空气间隙的操作冲击放电特性试验与理论研究成果,以及 IEC 相关规定,操作冲击电压下长空气间隙的取值与以下因素有关:

3.1.1 间隙系数

文[15]中针对棒—棒间隙、棒—板间隙、棒—线间隙等不同类型的长空气间隙开展了操作冲击放电试验,并获得了不同空气间隙的 50% 放电电压与间隙距离的关系曲线,并将不同间隙类型对棒—板空气间隙的间隙系数定义为不同结构类型空气间隙的 50% 放电电压与棒—板空气间隙的 50% 放电电压的比值,以此来表征不同结构类型间隙的放电特性。目前间隙系数的概念已广泛应用于输电工程的外绝缘设计中。

一般来讲,外绝缘空气净距间隙系数主要有三种典型间隙: Ring-Ring(均压环对均压环)、Rod-Rod(棒棒间隙,即导体对导体)、Rod-Plate(棒板间隙,即导体对墙)。一般工程中均可根据实际设备布置选定空气间隙的间隙系数,但对于 $\pm 1\ 100$ kV 直流工程而言,设备并联支撑的大量应用对于间隙系数的影响不可忽视。尤其是若采用户内直流场布置,为尽量缩小建筑物面积而进一步压缩设备间距,以及设备周围墙体的存在均会一定程度上影响间隙系数的确定。

3.1.2 操作冲击电压波前时间

特高压输电系统操作过电压的波前时间和常规高压输电系统相比,将进一步加长,一般可到达 $1\ 000 \sim 3\ 000$ μs ^[16]。

美国、日本、意大利等国通过试验获得的不同波前时间冲击电压下棒—板间隙试验曲线^[17]。图1中可以看出棒—板间隙正极性冲击电压在不同波前时间冲击电压下存在临界放电电压。间隙距离越大,临界放电电压对应的波前时间越大。

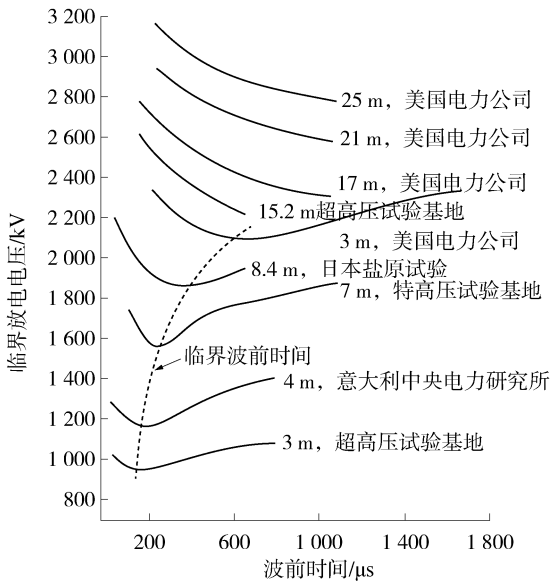


图 1 棒—板空气间隙的正极性冲击电压和波前时间的关系曲线

Fig. 1 Relationship between positive polarity impulse voltage of rod-plane air gap and waveform front time

3. 1. 3 并联布置以及邻近结构

与在试验室开展的长空气间隙操作冲击试验不同, 实际工程中对于一个典型的间隙, 其往往会受到其邻近结构的影响, 从而改变电极系数。

特别是当电压等级提升至 $1\ 100\ \text{kV}$ 以后, 直流场设备荷载及绝缘子高度更高, 在满足机械强度要求的前提下, 绝缘子及隔离开关可能采用多柱并联方式。从图 2 中可以看出由于并联配置绝缘导致间隙耐受电压降低, 并联柱数越多, 降低越明显^[18]。

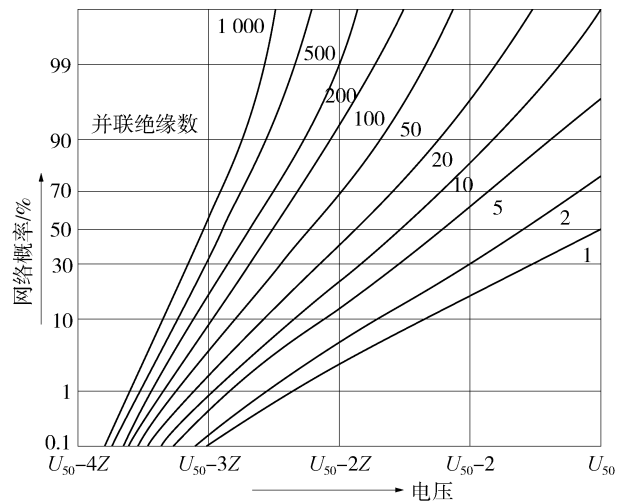
当设备周围分布有其他支架和结构体时, 这些支架和结构体同样会影响电场的分布, 减小间隙系数, 降低放电电压。设备周围的支架和结构体距离设备越近、分布越密集, 对间隙系数的影响就越大。

3. 1. 4 淋雨

淋雨会破坏干态条件下的电极形状, 影响干态条件下的电场分布, 减小间隙系数, 降低间隙操作冲击放电电压。电极形状越好影响越大, 反之越小。

若采用户外直流场布置, 空气净距的取值时需要考虑淋雨的影响。采用户内直流场则不需考虑。

中国电科院开展了长空气间隙操作冲击试验研究工作, 并研究了各种因素对间隙距离的影响规律, 并最终提出了 $1\ 100\ \text{kV}$ 直流工程极线设备操作冲击耐受电压所要求的干弧距离分别为: 户内直流



注: U_{50} 、 Z 分别为单个间隙的 50% 网络电压及标准偏差

图 2 并联配置绝缘使耐受电压降低的变换图

Fig. 2 Conversion chart for the reduction of the withstand voltage due placing insulation configurations in parallel

场不小于 $13\ \text{m}$, 户外直流场不小于 $18\ \text{m}$ 。

3. 2 爬电距离

确定换流站站址的污秽水平是换流站设备爬距设计的首要前提, 对于换流站的直流设备, 其爬电距离主要由站址直流支柱绝缘子的有效盐密决定, 而直流支柱绝缘子的有效盐密又由交流支柱盐密及直交流等值盐密比决定。科研单位通过收集站址附近交流绝缘子的积污情况并判断周围环境的发展趋势, 预测出站址交流等值盐密和交直流等值盐密比, 结果如表 1 所示。

表 1 站址交直流等值盐密

Tab. 1 AC/DC equivalent salt density

交流悬式盐密 $/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$	交流支柱盐密 $/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$	直交流等值 盐密比	直流支柱等值盐密 $/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$
0.090	0.068	1.700	0.116

若采用户外直流场布置型式, 采用复合绝缘, 直流场大小伞型各类复合支柱绝缘子和垂直复合套管的爬电比距设计值可取为 $46 \sim 53\ \text{mm/kV}$, 爬电总距离为 $51.612 \sim 59.466\ \text{m}$, 设备支柱总高度可能大于 $18\ \text{m}$; 若采用瓷绝缘, 相应的爬电比距可取为 $72 \sim 78\ \text{mm/kV}$, 爬电总距离不小于 $80.784\ \text{m}$, 设备支柱高度大于 $18\ \text{m}$ 。

若采用户内直流场布置型式, 并控制户内温湿度, 使户内场不受外界污秽的影响, 采用复合绝缘, 户内部分爬电比距按照不小于 $25\ \text{mm/kV}$ 考

虑,爬电总距离不小于 28.050 m,设备支柱高度小于 13 m;采用瓷绝缘,户内部分爬电比距按照不小于 36 mm/kV 考虑,爬电总距离不小于 40.392 m,设备支柱高度小于 13 m。

4 ±1 100 kV 直流主设备制造能力分析

根据上一章对 1 100 kV 直流主设备外绝缘要求的分析,以及科研单位的研究成果:

对于户内直流场,满足设备干弧距离所要求的绝缘支柱需不小于 13 m;爬电距离所要求的绝缘支柱高度不超过 13 m,设备外绝缘主要由设备干弧距离确定,按不小于 13 m 考虑。

对于户外直流场,满足设备干弧距离所要求的绝缘支柱需不小于 18 m;若采用复合绝缘,爬电距离所要求的绝缘支柱高度不超过 18 m,设备外绝缘仍由设备干弧距离确定,按不小于 18 m 考虑;若采用瓷绝缘,则爬电距离所要求的绝缘支柱高度将超过 18 m,设备外绝缘由设备爬电距离确定。

4.1 支柱绝缘子

1 100 kV 支柱绝缘子是换流站中重要的电气设备,可作为导电部分的绝缘和支撑用,也广泛应用于隔离开关、接地开关、直流电抗器等作为支柱。主要有瓷质支柱绝缘子和复合外套型支柱绝缘子。

1) 瓷质支柱绝缘子

通过对厂家生产能力的调查,目前已有厂家研制出总高为 14.7 m 的单柱绝缘子,抗弯强度为 16 kN,已经通过型式试验,可以满足户内直流场使用要求。但户外直流场用高度超过 18 m 的支柱绝缘子无法通过单柱满足机械性能要求,需考虑采用多柱并联结构,目前仍在研制中。

2) 复合外套型支柱绝缘子

户外直流场用复合绝缘子(满足 18 m 干弧距离要求)目前已有初步技术方案,但由于设备较高,额定弯曲负荷下绝缘子顶部偏移量较大,机械稳定性较差,需考虑双柱或多柱并联支撑结构,同时设备抗震性能需进一步研究。

4.2 平波电抗器

目前,针对户内直流场用 1 100 kV 平波电抗器,已有国内厂家研制并生产出了样机,通过了型式试验,开展了抗震性能研究,可满足户内直流场布置要求。

而对于户外直流场用 1 100 kV 平波电抗器,国内厂家均仅停留于概念设计阶段,并未开展试验研究,设备的可靠性具有不确定性。户内型用 1 100 kV 平波电抗器高度约为 20 m,而户外型设备总高度达到 30 m,设备高度的增加对于设备的抗震要求也大大提高,加大设备的制造难度。

4.3 隔离开关

国内目前已有多家设备制造厂家设计制造了瓷支柱高度为 14.5 m 的 1 120 kV 直流隔离开关产品,并相继完成了型式试验,可满足户内直流场使用要求。

而户外型 1 100 kV 隔离开关需要将支柱绝缘子提高至 18 m 以上,同时需要控制支撑结构的偏移量不大于 30 mm 以确保开关的正常开合,需要采用至少四柱并联支撑结构。目前仍需重新进行研发设计,并进行相关型式试验。

4.4 直流测量装置

户内型 1 100 kV 直流分压器已经通过型式试验,干弧距离为 14.5 m 左右,可以满足户内直流场的要求。

而户外型干弧 18 m 的直流分压器可行性仍需进一步论证,重新研发。

1 100 kV 直流电流测量装置一般采用光 CT 或者光电式 CT,悬吊式安装,设备制造不存在难度。

4.5 其他设备

通过对国内外设备厂家的调研了解到,户内型 1 100 kV 旁路断路器、PLC 电抗器、避雷器等均已通过了型式试验,而户外型直流设备的研制、样机制造及试验均需耗时较长,设备高度的增加导致设备综合性能下降,可靠性降低。

5 ±1 100 kV 户内外直流场技术经济比较

5.1 技术比较

根据上述研究结果,分别从直流设备外绝缘要求、抗震性能要求、设备运行条件以及研发现状,配套新增土建工程量、站用电负荷、直流场占地等多方面展开户内外直流场技术比较,结果如表 2 所示。

若采用 1 100 kV 户内直流场设计,则 1 100 kV 直流设备干弧距离可按照 13 m 考虑,户内设备爬电比距按照 25 mm/kV,设备高度主要由设备干弧距离决定,目前现有 800 kV 户外直流设备通过一

表2 户内外直流场技术用比较

Tab. 2 Technical comparison of Indoor and outdoor DC field

项目	户内直流场	户外直流场
直流设备外绝缘要求	设备干弧距离要求 13 m, 爬电距离不是设备外绝缘的控制因素, 直流设备制造难度相对较低;	设备干弧距离要求 18 m, 同时爬电距离要求打, 外绝缘要求相对较高, 直流设备制造难度相对较大
直流设备抗震性能要求	设备高度和重量相对较小, 设备抗震性能相对较优	设备高度和重量相对较大, 设备抗震性能相对较差
直流设备运行条件	运行环境相对较好, 可以减少直流场设备的维护和污秽清扫次数, 降低高压电容元件的损坏率	设备污秽水平受外界影响较大。运行环境相对较差, 需要考虑大风、低温、风沙等极端工作环境
1100 kV 直流设备研发情况	在现有 800 kV 设备技术基础上进行局部改进就可以满足 13 m 干弧距离要求, 部分设备已通过型式试验	目前仅处于概念设计阶段, 仅有初步的图纸设计方案, 设备高度的大幅度增加使设备的综合性能降低, 设备机械稳定性及抗震性能等论证不充分, 需进一步开展试验研究
配套新增土建工程量	全站需要增加 2 座户内直流场建筑(单层厂房)建筑物, 以及相应的吊装、消防、暖通和配电设备	无
站用电负荷	户内直流场需要考虑通风空调以及配电装置室照明负荷	无
直流场占地	114.5 m × 355 m	153 m × 355 m

定的改进和试验能够满足 1100 kV 户内运行条件, 因此设备生产难度相对较低, 技术相对成熟。

若采用户外直流场, 与 ± 800 kV 支柱绝缘子相比, 无论是设备长度、平均外径还是抗弯性能, ± 1100 kV 户外支柱绝缘子均提升明显, 现阶段仅处于概念设计, 尚无进行生产制造和试验样品, 设备制造难度以及运行可靠性上都将面临极大考验。

5.2 经济比较

针对 1100 kV 户内直流场和户外直流场方案, 分别从电气设备、建筑结构、通风空调和照明等几方面进行经济比较, 如表 3 所示。

表3 户内外直流场投资费用比较

Tab. 3 Investment cost comparison of Indoor and outdoor DC field

项目	户内直流场/万元	户外直流场/万元
电气设备费用	-372.2	0
建筑结构费用	+854.0	0
通风空调费用	+131.0	0
照明费用	+421	0
合计	+653.9	—

从表 3 中可以看出, 户内直流场建筑结构本体费用是造成户内外直流场造价差异的重要原因。而户内直流场建筑的后期运维(通风空调、照明)也是投资增加的原因。

与户内直流场相比, 户外直流场可以节省 2 支

1100 kV 直流穿墙套管, 但其设备费用仍显著增加, 这是由于户外设备外绝缘要求高、设备机械性能及抗震性能提升导致设备高度增加或支柱并联柱数增加引起的。

总体来看, 1100 kV 户内直流场比户外直流场总投资多 6539 万元。

6 结论

本文根据对换流站直流场设备外绝缘性能要求进行分析, 在充分调研国内外设备厂家制造水平的前提下, 对户内外直流场进行技术经济比较, 结论如下:

1) 户外直流场方案: 1100 kV 户外直流主设备均需重新研发设计, 设备干弧距离的增大, 设备高度的增加导致设备抗震性能以及机械稳定性等需要进一步开展研究, 研发风险大, 设备可靠性低。

2) 户内直流场方案: 1100 kV 户内直流主设备与 ± 800 kV 户外直流场设备技术指标差异不大, 设备较为成熟, 大部分厂家已开发出样机。设备不受外界环境条件制约, 能够降低绝缘子污闪的概率, 降低设备的整体高度, 更好地保证设备在机械性能方面的稳定性, 有更大的空间适应更恶劣的环境, 可获得更大的设计裕度, 设计风险较小, 可靠性较高。

3) 经济指标方面, 若采用户内直流场, 初期投资费用较高, 较户外直流场投资增加约 12% (主要

是建筑物本体的投资)。

4)综合考虑工程可靠性,从工程全寿命周期的角度来看,推荐采用1 100 kV 户内直流场方案。

参考文献:

[1] 姚斌, 施世鸿, 陈荔. ± 1 100 kV 特高压直流换流站直流场导体的电磁计算与设计选型 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 37-41.
YAO B, SHI S H, CHEN L. Electromagnetic environment calculation and design of ± 1 100 kV DC conductor in UHVDC converter station [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 37-41.

[2] 张先伟, 杨明, 袁瀚笙, 等. ± 500 kV 穆家换流站设计原则及自主化设计特点 [J]. 中国电力, 2012, 45(7): 13-15.
ZHANG X W, YANG M, YUAN H S, et al. Principles and characteristics of independent design of ± 500 kV mujia converter station [J]. China Power, 2012, 45(7): 13-15.

[3] 胡劲松. 基于 ± 500 kV 户外型开关设备的特高压换流站户内开关场的探讨 [J]. 电力建设, 2006, 27(11): 19-21.
HU J S. Study on UHVDC indoor switchyard based on ± 500 kV outdoor switchgear [J]. Electric Power Construction, 2006, 27(11): 19-21.

[4] 杨金根, 张凌, 钟伟华. 特高压户内直流场设计研究 [J]. 电力建设, 2007, 28(5): 1-7.
YANG J G, ZHANG L, ZHONG W H. Design study on UHV indoor DC field [J]. Electric Power Construction, 2007, 28(5): 1-7.

[5] 赵婉君. 高压直流输电工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[6] 孙昭英, 廖蔚明, 丁玉剑. ± 800 kV 直流输电工程空气间隙放电特性试验及间隙距离选择 [J]. 电网技术, 2008, 32(22): 8-12.
SUN Z Y, LIAO W M, DING Y J. Air gap flashover characteristics and selection of gap distances for ± 800 kV UHVDC transmission project [J]. Power System Technology, 2008, 32(22): 8-12.

[7] 万启发, 霍锋, 谢梁. 长空气间隙放电特性研究综述 [J]. 高电压技术, 2012, 38(10): 2499-2505.
WAN Q F, HUO F, XIE L. Summary of research on flashover

characteristics of long air gaps [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(10): 2499-2505.

[8] WATANABE T. Switching surge flashover characteristics of extremely long air gaps [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1967, 86(8): 933-936.

[9] Les Renardieres Group. Research on long air gap discharges at Les Renardieres [J]. Electra, 1972, 38(29): 53-157.

[10] Les Renardieres Group. Research on long air gap discharges at Les Renardieres-1973 results [J]. Electra, 1974, 40(35): 49-156.

[11] Les Renardieres Group. Positive discharges in long air gap discharges at Les Renardieres-1975 results and conclusions [J]. Electra, 1977, 43(53): 31-153.

[12] Les Renardieres Group. Negative discharges in long air gaps at Les Renardieres [J]. Electra, 1981, 47(74): 67-216.

[13] HARADA T, AIHARA Y, AOSHIMA Y. Influence of switching impulse wave shape on flashover voltages of air gaps [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1973, PAS-92(3): 1085-1093.

[14] THIONE L. Evaluation of switching impulse strength of external insulation [J]. Electra, 1983, 49(94): 77-95.

[15] PARIS L. Influence of air gap characteristics on line-to-ground switching surge strength [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1967, 86(8): 936-947.

[16] 刘振, 周春雨, 余芳. 长空气间隙长波前操作冲击放电特性 [J]. 高电压技术, 2009, 35(10): 2401-2406.
LIU Z, ZHOU C Y, YU F. Characteristics of the long-fronted switching impulse discharge [J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(10): 2401-2406.

[17] ANDERSON J G. 345 kV and super high voltages transmission lines [M]. Beijing: Electric Power Industry Press, 1981.

[18] 国际电工委员会. 绝缘配合 第2部分 应用指南: IEC 60071-2-1996 [S]. 日内瓦: 国际电工委员会, 1996.
International Electrotechnical Commission. Insulation co-ordination-part 2 application guide: IEC 60071-2-1996 [S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1996.

(责任编辑 郑文棠)

广 告

- 中国能建广东院获中国数据中心行业最高奖项..... 封二
- 东莞中电新能源热电厂2×470 MW 天然气热电联产工程荣获国家优质工程奖 封三
- 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司..... 封四