

1000 kV 交流特高压输电线路运行特性分析

易 辉¹, 熊幼京²

(1. 武汉高压研究所, 湖北省 武汉市 430074; 2. 国家电网公司 生产部, 北京市 西城区 100031)

Analysis on Operating Characteristic for 1000 kV AC UHV Transmission Line

YI Hui¹, XIONG You-jing²

(1. Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan 430074, Hubei Province, China; 2. Department of Production, State Grid Corporation of China, Xicheng District, Beijing 100031, China)

ABSTRACT: Based on the research results of UHV transmission line home and abroad as well as the operating experiences of UHV transmission line in Russia and Japan, and considering the features of UHV demonstration project in China and operating experiences of UHV transmission lines in different voltage classes which locate in the path where the UHV demonstration project passes through, the operating characteristics of the 1000 kV AC UHV demonstration project from southeastern Shanxi province via Nanyang in Henan province to Jingmen in Hubei province after its complete and putting into operation. Especially, the prevention characteristics for disaster, such as lightning stroke, flashover caused by pollution and the damage caused by icing, wind and bird, are emphatically analyzed. The electromagnetic environment of this project after its complete is evaluated and its performance indices are also forecasted.

KEY WORDS: UHV transmission line; operating characteristic; electromagnetic environment; fault rate; external insulation under contamination condition

摘要: 依据我国及世界各国特高压输电研究成果以及前苏联和日本特高压输电线路运行经验,并结合我国的特高压输电示范工程路径的特点和途径地区已有各电压等级输电线路的运行经验,对晋东南—南阳—荆门 1000 kV 交流特高压输电示范工程建成投运后的运行特性及其对自然环境的影响进行了分析,重点分析了特高压输电线路的雷电、防污闪、冰风、防鸟害等特性,对建成后特高压输电线路的电磁环境进行了评估,并对特高压输电线路的运行指标作出了预测。

关键词: 特高压输电线路; 运行特性; 电磁环境; 故障率; 污秽外绝缘

0 引言

我国的第一条 1000 kV 交流特高压输电试验示范工程晋东南—南阳—荆门输电线路,全长 600 余公里,目前正在进行紧张的初步设计工作。围绕着特高压交流输电示范工程所进行的前期科研以及

试验基地的建设也在紧锣密鼓地进行着。与此同时,人们更关注 1000 kV 交流特高压输电试验线路建成投运后的运行特性及其对自然环境的影响。本文依据世界各国围绕特高压输电所进行的科研工作、运行经验以及我国对交流特高压输电所开展的科研工作的初步结论^[1-11],对我国第一条 1000 kV 交流特高压输电线路的运行特性进行分析,评估其对电磁环境的影响,并对 1000 kV 交流特高压输电线路的运行指标作出预测。

1 塔型的初步选择与绝缘结构

我国第一条 1000 kV 交流特高压输电试验线路北起山西境内的晋城,途经河南省南阳,南至湖北省的荆门市^[6],路径条件较好,80%左右为平原地区。为减少输电走廊的宽度、压缩用地,平原地区拟采用三相导线三角形排列的猫头型杆塔,如图 1 所示;而山丘地区则采用三相导线水平排列的酒杯型杆塔,如图 2 所示。为控制中相塔窗的尺寸,

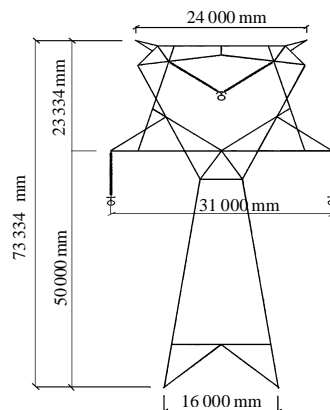


图 1 M 型三角排列猫头型塔
Fig. 1 The cat head tower with M type triangular configuration

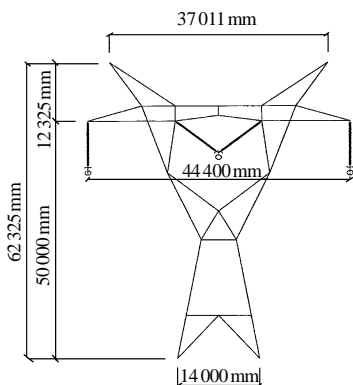


图2 M型水平排列酒杯型塔

Fig. 2 The cup type tower with M type horizontal configuration

猫头型杆塔和酒杯型杆塔的中相导线均拟采用 V 形绝缘子串悬挂, 边相导线采用 I 形绝缘子串悬挂, 即线路采用 M 型绝缘结构。这种绝缘结构既可减小中相塔窗尺寸又可降低边相横担的长度, 且防雷特性要优于 3 V(三相均采用 V 形绝缘子串)型绝缘结构^[7]。

2 雷电特性分析

由于交流特高压输电线路杆塔的高度和宽度均较超高压输电线路增加很多, 因此线路的落雷数量也会大幅增加; 但交流特高压线路的绝缘水平提高很多, 尤其是反击耐雷水平很高, 约为 300kA 左右。大幅值雷电流出现的概率很低, 因此特高压线路的反击闪络率较超高压线路有较大的降低, 本文对国内外典型杆塔的雷电反击闪络率进行了计算, 计算结果如表 1 所示。

表1 特高压架空输电线路的雷电反击闪络率

Tab. 1 The lightning backflashover rate of UHV transmission line

塔型	塔高/m	导线排列	单回闪络率	双回闪络率
拉线 V 型(前苏联)	46	水平	1.6×10^{-4}	—
自立塔(中国)	73.3	水平(M 串)	4.7×10^{-4}	—
自立塔双回(日本)	88~148	双回垂直	3.9×10^{-3}	3.4×10^{-4}

注: 计算时自立塔的塔高取为 108 m。

特高压线路绕击闪络率较超高压线路增加很多的原因除杆塔高度大大增加以外, 还因为导线上工作电压幅值很大易由导线上产生向上先导, 这些因素会使避雷线屏蔽性能变差。例如, 雷电活动不太强烈的前苏联 1150kV 特高压架空输电线路在运行期间(3000km·a)内已发生雷击跳闸 21 次, 跳闸率高达 0.7 次/(100 km·a)。这比我国 500kV 输电线路的运行统计值 0.14 次/(100 km·a)高得多。跳闸的

基本原因是特高压线路的边导线保护角设计为 22°, 过大的保护角使得暴露弧区增大, 尤其是在耐张转角塔处雷电绕击边导线。前苏联研究人员认为提高特高压输电线路耐雷性能的主要措施是采用更小的边导线保护角。

日本 1000kV 交流特高压架空输电线路东西线所在地区的年雷暴日数为 25, 在以 500 kV 降压运行期间雷击跳闸率却高达 0.9 次/(100 km·a)。尽管其避雷线采用了 -12° 的负保护角, 但综合分析认为是同塔双回线路杆塔太高遭到线路侧面雷击导线而引起的绝缘子串闪络。

因此, 我国特高压输电线路应吸取国外特高压输电线路的经验教训: 一是采用较小的边导线保护角, 甚至负保护角; 二是尽可能降低杆塔的高度。经过精心设计的特高压输电线路的雷电绕击跳闸率是可以大幅降低的, 甚至可优于超高压输电线路。因此初步确定采用单回线路, 平原地区杆塔的边导线保护角宜选在 5° 以下, 山丘地区杆塔的边导线保护角宜采用 -10° 左右的负保护角。而特高压双回线路除尽可能降低杆塔全高以外, 宜全线采用 -10° 左右的负保护角。

3 污秽外绝缘特性分析

目前确定输电线路绝缘子的串长通常有 2 种方法:

(1) 根据线路所经地区的污秽级别要求的相应爬电比距(依据国标 GB/T 16434-1996^[12])来决定绝缘子的串长。该方法简单易行, 在工程设计中被广泛采用且经过实践的验证; 但该方法没有与绝缘子的污闪电压建立起直接的联系, 且不同绝缘子爬电距离的有效系数也由人工污闪电压的试验结果确定。

(2) 根据试验得到绝缘子在不同污秽程度下的耐污闪电压, 使选定的绝缘子串的耐污闪电压大于该线路的最大工作电压, 并留有一定的裕度。该方法与实际绝缘子的污耐受能力直接联系在一起, 是一种较好的绝缘子串长的确定方法; 但该方法还需做较多试验。

根据目前特高压输电污秽外绝缘科研课题的初步研究结论以及相关会议协调的结果^[3-5,13], 确定 1000 kV 交流特高压架空线路的污秽外绝缘基本配置为: I 级污区采用 300kN、结构高度 195mm 的盘形绝缘子 50 片, 串长达 9.75 m。中级及以上污秽区采用复合绝缘子。

我国的特高压输电污秽外绝缘配置与世界各国的比较如下:

(1) 美国 1100 kV 线路采用 V 形串,瓷/玻璃绝缘子串长在轻污秽地区取 8.3 m;在中等污秽地区取 10.1 m 或采用 8.8 m 长的复合绝缘子或半导体釉绝缘子;在重污秽地区使用 9.3 m 长的半导体釉绝缘子^[14]。

(2) 日本的 1 000 kV 同塔双回线路均采用 I 形串,采用钟罩型绝缘子,串长最大为 7.9 m^[14]。

(3) 前苏联的 1150 kV 线路,初期建设的线路全部采用玻璃绝缘子。边相悬垂串采用单串 45 片 π C 300K 型(后改用双串),有效长度 7.8 m,中相采用 V 形串 49 片 π C 400A 型。后建的 1150 kV 线路边相采用了复合绝缘子。耐张串为 4 串并联,每串 47 片,避雷线每串 4 片绝缘子,型号均为 π C 300 型。跳线采用 π C 300 型 47 片双串。1150 kV 线路绝缘子的额定机械破坏负荷分别为 300 kN 和 400 kN。日本和前苏联特高压线路的绝缘子串配置详见表 2^[14]。

表 2 前苏联和日本特高压输电线路的绝缘子串配置
Tab. 2 Insulator string configuration of UHV transmission line in ex-USSR and Japan

绝缘子串		前苏联			日本		
悬垂串	串形	I 串和 V 串			I 串		
	形状和材料	盘形, 玻璃			盘形, 瓷		
	盘径/mm	300	320	390	320	340	380
	额定机械破坏负荷/kN	210	300	400	330	420	540
	片数	44~55	43~45	49~61	40	38	32
耐张串	绝缘子串数/相	1~2	1~2	2~4	2	2~3	2
	串长/m	8~10	10~14	12~14	7.8	7.9	7.68
	形状和材料	盘形, 玻璃			盘形, 瓷		
	盘径/mm	320	320		340	380	
	额定机械破坏负荷/kN	300	330		420	520	
	片数	47~57	40		38	32	
	绝缘子串数/相	4	4		4	4	
	串长/m	12~14	7.8		7.79	7.68	

由上述分析可以看出,目前我国根据工作电压选取的 1000 kV 特高压输电线路所需绝缘子片数与国外数据相比基本是合理的,也有一定的裕度。但需要特别注意的是,确定环境污秽等级时一定要考虑到发展,取上限值并留有一定裕度,才能确保特高压输电线路的防污性能。

4 防鸟害特性分析

近年来由于环境条件的逐渐改善,各种鸟类繁殖起来了,对输电线路的危害也日益加剧。21 世纪以来,人们对各种鸟类的的生活习性和对输电线路的危害方式进行了深入的探索和研究^[15],结果表明,

鸟害故障一般有 4 种类型^[15]:①鸟展翅飞翔时身体短接空气间隙;②鸟筑巢时所衔金属导体短接空气间隙;③鸟粪污染绝缘子表面,导致其在潮湿空气中的沿面闪络;④大鸟在杆塔上排便时,粪便造成导线与塔体瞬间短路。

分析多年的鸟害造成线路故障跳闸的统计资料可知^[15],①、②类鸟害故障对 35 kV 及以下电压等级线路的危害较大,③、④类鸟害故障对所有电压等级的输电线路均有危害,尤其是④类鸟害故障已造成国内多条次 500 kV 输电线路跳闸,跳闸主要发生在直线塔的中相、边相以及耐张转角塔的跳线串。

山西、河南、湖北属于我国输电线路鸟害故障的多发区,大型迁徙性候鸟对输电线路的危害较大。尽管特高压输电线路的绝缘子串长近 10 m,但成群的大型迁徙性候鸟聚集在杆塔横担,发生④类鸟害故障的几率还是很高的。因此特高压输电线路的运行维护管理部门应对鸟害故障高度重视,防患于未然。将来应多注意观察,事先作好各种“驱鸟”、“惊鸟”、“稳鸟”的预案,尽量降低鸟害造成的线路跳闸故障,以保证特高压输电线路的安全可靠运行。

5 防冰风特性分析

5.1 覆冰(雪)故障

覆冰(雪)引起故障的原因有:①因覆冰(雪)荷载超过设计允许值造成断线、倒塔事故;②对于上下排列的导线,下部导线因覆冰(雪)脱落而发生跳跃,造成上下导线接近或碰线而闪络;③架空地线因覆冰而弧垂增大,缩小了与导线的距离,发生闪络;④线路各档覆冰(雪)厚度不均匀,某些档导线的弧垂过大造成对地或交叉跨越距离不够,发生闪络;⑤绝缘子串覆冰(雪)降低了绝缘水平,覆冰、积雪量过大会引起绝缘子串闪络。山西、河南、湖北也属于我国输电线路冰害故障的易发区,湖北荆门地区连续 2 年 500 kV 线路的覆冰倒塔事故^[16]时至今日仍记忆犹新。因此应加强对微气象地区的调查,尽量避开不利地形,避开不开时应采取抗冰措施。线路运行中要加强观察,防止上述 5 类冰害故障的发生。

5.2 风灾故障

大自然中各种不同速率的风均会对特高压输电线路造成危害,飓风会造成杆塔倾覆、导地线折断;短时的飊线风会引起导线发生严重风偏,造成闪络跳闸故障。河南、湖北等地区 2004 年 1—7 月

集中发生的多起 500 kV 输电线路风偏跳闸事故^[17]说明这一地区存在类似的故障隐患。因此 1 000 kV 交流特高压架空线路的风速不均匀系数应按 0.75 逐基杆塔进行校核。

交流特高压架空线路分裂导线的振荡是风作用在分裂导线上所引起的。特高压所采用的 8 分裂导线较高压、超高压线路所采用的 2、4、6 分裂导线更易受到各种速率风的影响。导线振荡的形式与风的特性(即风速及其持续性和稳定性)以及风与线路路径的方向有关,并与导线覆冰或冰雪混合物的形状和密度有关。

导线具有 3 种基本振荡形式:导线微风振动、次档距振荡和导线舞动^[18]。这 3 种振荡形式既与风速、风向相关,且振动强度与线路路径条件有很大关系,即在开阔平坦地区 and 山丘地区导线的振幅有较大的区别。因此针对特高压输电线路应对防导线微风振动及次档距振荡进行精心设计。山西、河南、湖北属于我国的导线易舞动带区域,对于导线防舞动应与特高压输电线路同时进行设计,尽量减少导线舞动对特高压输电线路带来的危害。

6 电磁环境特性分析

6.1 概述

特高压输电线路投入运行后,其电晕效应和电磁场效应会对环境造成一定的影响,一般统称为电磁环境特性。电晕效应包括无线电干扰、电视干扰和可听噪声。电磁场效应源于交流输电线路周围存在工频电场和磁场。电场一般用电场强度描述;磁场通常采用磁场强度或磁通密度描述。这些效应的程度主要取决于 2 方面的因素:线路结构和气候条件。体现线路结构的因素主要有:导线结构,包括分裂数和子导线直径;相导线间距;导线对地高度。影响导线电晕放电的最主要因素是导线表面场强。气候对电晕放电的影响非常复杂,一般需要通过试验进行研究^[2,8,13]。

6.2 可听噪声

输电线路的可听噪声是指导线周围的电晕和火花放电所产生的一种能直接听到的噪声,属于音频干扰。过去由于电压等级不高,输电线路引起的可听噪声通常很小,没有引起人们的注意。随着输电电压等级的提高,特别是特高压输电线路的电晕放电引起的噪声将会增大,如果处理不好,可能会影响特高压输电线路附近居民的正常生活和工作,因此,在发展特高压输电时必须慎重对待。

在干燥或晴朗天气下,导线上主要有由尘埃、昆虫和导线本身的毛刺等引起的电晕源点,其噪声水平比较低。对于交流输电线路,最重要的是考虑雨天情况。由于下雨的几率比雾和雪大,尤其是下毛毛雨或下小雨、中雨时,雨滴在导线上的碰撞与聚集,会产生大量沿导线随机分布的电晕放电,每次放电均会爆发一次噪声,所以通常根据雨期所产生的噪声来估量噪声的特性和限制水平。此外,由于雨天电晕噪声的产生过程十分复杂,随机因素多,分散性大,很难从理论上推导出一种精确预测电晕噪声的公式。因此,各国对可听噪声的预测都是通过电晕笼内模拟或在试验线段上长期实测数据的统计、分析而演绎得出的。

按国际惯例^[10],输电线路的可听噪声限值采用雨天时的 50% 可听噪声值。由于交流输电线路晴天时的可听噪声比雨天时的约低 15~20 dB(A),因此,这实际上是对最严重情况下噪声的限制,在其它情况下噪声都小很多。如将雨天时输电线路产生的可听噪声限制在 55 dB(A),在晴天时也只有 35~40 dB(A)。在雨天,线路电晕引起的可听噪声虽增大,但下大雨时的背景噪声也大,线路电晕引起的可听噪声将会被湮没;阴雨天,雨声不大,线路电晕噪声会比较突出,考虑该情况,在线路临近民房时,应适当减小噪声,以使传播到屋内的噪声不影响居民休息。

6.3 无线电干扰和电视干扰

输电线路电晕和某些部位放电时会向空中辐射电磁波,可能对无线电和电视接收产生干扰;此外,外界信号、无线电噪声作用于线路及铁塔,还将引起反射、传导或再辐射,形成无用信号,也可能对无线电接收产生干扰。无线电干扰和电视干扰通常分别指对调幅广播频段 535~1 605 kHz 和电视广播低频段 48.5~92 MHz 的干扰。电晕放电是无线电干扰的主要根源。输电线路电晕产生的无线电干扰的主要特性可用其频谱特性、横向衰减特性和统计分布特性来表征。

美国、日本、加拿大和前苏联等国在交流特高压输电的基础研究中都对输电线路的无线电干扰进行过研究^[9-10]。美国邦纳维尔电力局选择 8×41 mm 和 7×41 mm 分裂导线在 1 150 kV 试验电压下进行了测试研究,距离这 2 种导线边相投影外 15 m 的无线电干扰分别为 46 dB、58 dB(0.5 MHz)。结果表明,1 200 kV 试验线路的无线电干扰水平与 550 kV 输电线路的接近。日本对 8×34.2 mm、8×

34.8 mm 的钢芯铝绞线(steel reinforced aluminum conductor, ACSR)分裂导线进行了测试,两者产生的无线电干扰水平分别为 59 dB、53dB。这与已存在的采用 4×28.4 mm ACSR 分裂导线的 500 kV 线路的无线电干扰水平相当。加拿大魁北克实验室对 4 种分裂导线(6×46.3 mm、6×50.7 mm、8×41.4 mm 和 8×46.3 mm)进行试验和综合考虑各种因素后认为,8×41.4 mm 分裂导线产生的无线电干扰水平是可以接受的。原苏联对 1150 kV 线路的测试证明,间距为 0.4 m 的 8 分裂 AC 330/43 型导线的无线电干扰水平与 750 kV 线路的没有多大区别。研究结果表明:适当选择导线分裂数和子导线直径可使交流特高压输电线路的无线电干扰水平与已运行的某些超高压输电线路的相当。

特高压输电线路导线的特点是大截面、多分裂(4 分裂以上)。我国在 20 世纪 90 年代曾针对特高压输电线路对环境的影响进行过研究^[10,19],提出了特高压线路的无线电干扰限值(0.5 MHz)在 55~60 dB 之间取值的建议。它是对若干种特高压线路可能采用的导线参数计算分析后提出的。我国 1 000 kV 交流特高压输电线路的无线电干扰限值目前暂取 58 dB,参考频率为 0.5 MHz,参考点为边相导线投影外 20 m 处,与国外限值相比还是比较严格的。根据武汉高压研究所对 1000 kV 级交流输电工程的电磁环境及其对生态环境影响的研究结果,采用这一限值在技术上是可行的,在不需考虑海拔高度影响的地区,经济上也可以接受。

电视信号的频率比广播信号的高得多,由输电线路电晕产生的干扰信号的频谱特性可见,输电线路对电视的干扰比对无线电的干扰小得多。由于电视信号的特殊性,在以下 2 方面值得注意:①放电产生的电磁噪声对电视图象信号接收产生干扰,引起图象质量变差;②线路及杆塔对电视信号的屏蔽和反射,引起信号衰减及产生重影。电视伴音属调频制,有其固有的抗干扰特性,不受影响。电视干扰源主要有以下几种:

(1)因绝缘子瓷件断裂或破损造成的断续放电。各元件的金属零件绞接处,绝缘子钢脚的球头与铁帽的碗头之间因铁锈形成绝缘壁垒,其电场强度非常高,它们在交变电压下发生连续式微电弧放电。

(2)在金具尖端发生强烈放电。由于火花放电的频率范围一直伸展到特高频段,因此它是对电视产生干扰的最主要根源;但这种干扰的影响一般只局限

于很小的范围,且容易找出干扰源的位置予以消除。

6.4 工频电磁场

工频电场能在人与物体上感应出电压;在强电场中,对地绝缘的人接触接地物体,处于地电位的人接触对地绝缘的物体,可能会有感觉到的电流流过人体或出现不愉快的火花放电。工频磁场能在生物体和物体内感应产生电流和电场;磁场也能在靠近输电线路附近的物体上感应出电压,可能引起使人不愉快的电击。输电工程的工频电场和磁场的长期生态影响已受到许多人的关注。

工频电场和磁场对人体的影响程度取决于电场和磁场强度的大小。特高压输电工程的工作电压比超高压输电工程的高,输送容量大,导线上的电荷量和导线内的电流也大。因此,在离导线相同的距离和方位的空间内,特高压输电工程导线周围的工频电场和磁场一般比超高压导线的高。如何控制特高压输电工程的电磁环境,是特高压电网建设和运行需要考虑的主要问题之一。我国在发展交流特高压输电时,原则上将地面工频电场和工频磁场水平控制在与超高压输电工程相同的水平上。一般通过规定限值、合理设计,将地面场强控制在可接受的范围内使其不对环境造成有害影响。

从工频电场强度的计算结果可知^[20],空间某点电场强度值与每根导线上电荷的数量以及该点与导线之间的距离有关;导线上的电荷量除与所加电压有关以外,还与导线的几何位置及其尺寸有关。因此,导线的布置形式、对地距离和相间距离、分裂根数以及双回路时两回路间电压的相序等,都直接影响线下电场强度的分布和大小。

交流特高压输电线路的工频电场在产生机理和分析方法上与交流超高压输电线路的没有差别。可采取以下措施减小输电线路下的电场强度:调整导线离地高度、相间距离、分裂导线结构尺寸、相导线的布置方式等。研究表明^[20],在这几种措施中,为减小线下空间场强,适当增加导线对地高度最有效。通过减小相间距离来减小场强,将受到绝缘的限制,效果也不如适当增加导线对地高度明显。减小分裂导线数目虽能减小线下场强,但可听噪声、无线电干扰水平有所增加。对于单回线路,采用倒三角形布置,对于双回线路,采用逆相序排列,可减小线下场强和节省线路走廊。

由上述分析可见,只要对导线进行合理设计并选择合适的对地高度,可使交流特高压输电线路的

工频电场水平与已接受的 500 kV 交流输电线路的一样。从保护环境出发, 我国特高压输电线路的工频电场限值与 500 kV 交流输电线路的完全相同。即线路下地面上 1.5 m 处的工频电场强度: 对于一般地区, 如公众容易接近的地区、线路跨越公路处, 场强限值取 7 kV/m; 跨越农田, 场强限值取 10 kV/m。线路邻近民房时, 房屋所在位置离地 1 m 处的最大未畸变场强取 4 kV/m。

我国有关科研设计单位^[10]曾对 1000 kV 交流特高压输电线路的工频磁场进行了计算, 计算时导线对地最低高度取 15~23 m, 对于单回路和同塔双回路, 在额定电流下, 地面上 1 m 处的最大磁感应强度均小于 35 μ T。对我国超高压输电线路的工频磁场的普测分析表明^[9], 500 kV 输电线路对应 1000 A 电流时, 地面上 1 m 处工频磁感应强度的典型值为 20 μ T。可见, 当输送最大功率时, 特高压输电线路的工频磁场水平与超高压输电线路的相当。

7 运行指标预测

我国对于架空输电线路的技术管理已积累了丰富的经验, 曾经根据多年全国架空输电线路的实际运行统计值在 2000 年左右提出了一个各电压等级输电线路故障跳闸率的目标值^[16], 如表 3 所示。表 3 所列指标与世界各国的运行统计值相比处于偏上水平。一直指导着我国各网省电力公司的线路运行、维护及技术管理工作。

表 3 我国各电压等级输电线路故障跳闸率的目标值

Tab. 3 Objective of fault trip-out rate for transmission line in China

线路电压等级/kV	110(66)	220	330	500
线路综合故障跳闸率/(次/(100 km·a))	0.75	0.45	0.285	0.20
线路雷击跳闸率/(次/(100 km·a))	0.525	0.315	0.20	0.14

1000 kV 交流特高压输电线路是我国国家级骨干电网, 其传输容量之大, 在系统中地位之重要, 是不言而喻的。但输电线路的设计和运行都是经过经济技术比较后选择一个合理的指标, 特高压输电线路也不例外, 不可能永不发生故障跳闸。按照前述特高压输电线路防雷、防污、防冰、防风、防鸟害等特性的分析以及历年来我国各电压等级输电线路的实际运行情况, 提出我国 1000 kV 交流特高压输电线路故障跳闸率的目标值, 即线路综合故障跳闸率不大于 0.15 次/(100 km·a), 其中线路雷击跳闸率不大于 0.10 次/(100 km·a)。

目前 1000 kV 交流特高压输电线路正处于初步

设计阶段, 也正是广泛征求和听取各方面的意见的阶段, 本文提出的特高压输电线路故障跳闸率预测值, 既是研究分析后提出来的, 也是抛砖引玉, 希望大家探讨, 使 1000 kV 交流特高压输电线路设计更为合理, 将来投入运行后也更为安全可靠。

8 结论

(1) 特高压输电线路的雷击故障以绕击闪络跳闸为主, 因此单双回线路均应重点防护雷电绕击。只要综合考虑, 精心设计, 就可以将特高压线路的雷击故障率控制在目标值之内。

(2) 我国的污秽外绝缘设计, 即绝缘子串的选取还是按照所经地区不同污秽级别要求的相应爬电比距的方法来确定的, 正在向污耐压法过渡。选定的绝缘子种类及数量与世界各国的情况基本相当, 且略有裕度。因此特高压线路的防污性能应该是优良的。

(3) 特高压输电线路进入湖北境内, 尤其是荆门附近具有较多的微气象区, 应将线路的防舞设计纳入工程设计之中, 同时对重点区段也应进行覆冰观测, 以防冰闪和冰灾的发生。

(4) 1000 kV 交流特高压晋东南—南阳—荆门输电线路, 其无线电干扰、电视干扰、可听噪声以及地面电场强度、磁场强度均可控制在限值之内, 不会对环境造成大的影响。

参考文献

- [1] 舒印彪, 刘泽洪, 袁骏, 等. 2005 年国家电网公司特高压输电论证工作综述[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 1-8.
- [2] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ± 800 kV 6400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 1-8.
Shu Yinbiao, Liu Zehong, Gao Liying, et al. A preliminary exploration for design of ± 800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6400 MW[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 1-8(in Chinese).
- [3] 齐旭, 曾德文, 史大军, 等. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 1-6.
Qi Xu, Zeng Dewen, Shi Dajun, et al. Study on impacts of UHVDC transmission on power system stability[J]. Power System Technology, 2006, 30(2): 1-6(in Chinese).
- [4] 苏宏田, 齐旭, 吴云. 我国特高压直流输电市场需求研究[J]. 电网技术, 2005, 29(24): 1-4.
Su Hongtian, Qi Xu, Wu Yun. Study on market demand of UHVDC power transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(24): 1-4(in Chinese).
- [5] 舒印彪. 1000 kV 交流特高压输电技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2005, 29(19): T1-T6.
- [6] 张运洲. 对我国特高压输电规划中几个问题的探讨[J]. 电网技术, 2005, 29(19): T11-T14.

- [7] 吴敬儒, 徐永禧. 我国特高压交流输电发展前景[J]. 电网技术, 2005, 29(3): 1-4.
Wu Jingru, Xu Yongxi. Development prospect of UHV AC power transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(3): 1-4(in Chinese).
- [8] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2005, 29(14): 1-3.
Yuan Qingyun. Present state and application prospect of ultra HVDC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 1-3(in Chinese).
- [9] 周浩, 余宇红. 我国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 1-9.
Zhou Hao, Yu Yuhong. Discussion on several important problems of developing UHV AC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 1-9(in Chinese).
- [10] 邵方殷. 我国特高压输电线路的相导线布置和工频电磁环境[J]. 电网技术, 2005, 29(8): 1-7.
Shao Fangyin. Phase conductor configuration and power frequency electromagnetic environment of UHV transmission lines in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(8): 1-7(in Chinese).
- [11] 许伟, 陈水明, 何金良. 1 000 kV 交流输电线路的故障激发过电压研究[J]. 电网技术, 2005, 29(21): 10-13.
Xu Wei, Chen Shuiming, He Jinliang. Research on switching overvoltage caused by faults in 1 000 kV UHV AC transmission line[J]. Power System Technology, 2005, 29(21): 10-13(in Chinese).
- [12] GB/T 16434-1996, 高压架空线路和发电厂、变电所环境污秽分级及外绝缘选择标准[S].
- [13] 胡毅. 特高压输电试验线段及相关技术问题的探讨[J]. 高电压技术, 2004, 30(12): 37-39.
Hu Yi. UHV transmission test line and approach of technology question[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(12): 37-39(in Chinese).
- [14] 张文亮, 吴维宁, 胡毅. 特高压输电技术的研究与我国电网的发展[J]. 高电压技术, 2003, 29(9): 16-18.
Zhang Wenliang, Wu Weining, Hu Yi. Study of UHV transmission technology and developing of power system in China[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(9): 16-18(in Chinese).
- [15] 刘亚新. 输电线路鸟害调查及防范措施[J]. 线路通讯, 2002, (2): 5-7.
- [16] 易辉, 陶文秋. 《架空输电线路管理规范》解读[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [17] 胡毅. 500 kV 输电线路风偏跳闸的分析研究[J]. 高电压技术, 2004, 30(8): 9-10.
Hu Yi. Study on trip caused by windage yaw of 500 kV transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(8): 9-10(in Chinese).
- [18] 陆延昌. 中国电力百科全书(第二版), 输电与配电[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [19] 陈勇. 关于我国特高压导线和杆塔结构的探讨[J]. 高电压技术, 2004, 30(6): 38-41.
Chen Yong. Discussions on UHV conductors and tower structure in China[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(6): 38-41(in Chinese).
- [20] 亚历山大罗夫. 超高压送电线路的设计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.

收稿日期: 2006-03-04。

作者简介:

易 辉(1950—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事输电线路外绝缘和带电作业的研究工作;

熊幼京(1959—), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力安全管理、电网生产管理和技术管理工作。

(责任编辑 马晓华)

国家电网积极应用国内自主创新技术成果成效显著

国家电网公司以科技为先导, 以建设坚强电网为目标, 鼓励先进和倡导创新, 积极推动国内装备在电网项目中的应用和推广, 一批国内自主创新技术在 2006 年上半年跨区电网建设项目中得到成功应用, 并取得了显著效益。

2006 年上半年, 国家电网公司直接经营的跨区电网项目共投产了 5 个变电站工程, 其中变电容量 3 750 MVA, 线路 567 km, 串补容量 1 720 Mvar, 在这些项目中积极推动了国内装备。

其中阳城送出加强工程的三堡串补装置由中国电力科学研究院系统设计、集成、生产和供货, 是我国自主设计、制造、安装的具有完全自主知识产权的第一套国产 500 kV 超高压串联补偿装置, 该工程的投运标志着我国成为世界上第 4 个能够自主生产超高压串联补偿装置的国家。据测算, 三堡串补装置的建设节约了一条 500kV 线路和两个 500 kV 配电装置间隔的投资, 计 3 亿 8 000 万元, 同时减少了线路走廊和农田占用, 降低了线路损耗, 大大提高了线路输送能力。三堡串补的投运打破了国外公司在我国 500 kV 串补市场的垄断, 大幅度压低了国外厂商的串补设备报价, 取得了众多技术突破, 多项核心技术居世界领先地位。

三峡输变电配套工程 500 kV 咸宁变电站是湖北、江西两省消纳三峡电力的枢纽变电站, 其 550 kVH-GIS 中采用的 550 kV 单断口 SF₆ 断路器由西安西开高压电气股份有限公司自主研发、独立设计, 具有自主知识产权。该产品填补了国内空白, 达到了国际先进、国内领先水平, 它的开发成功标志着我国在高电压、大容量开关设备方面取得了重大突破, 使我国高压电器行业制造水平上了一个新的台阶, 并为 1 100 kV 产品的研发奠定了良好的基础。