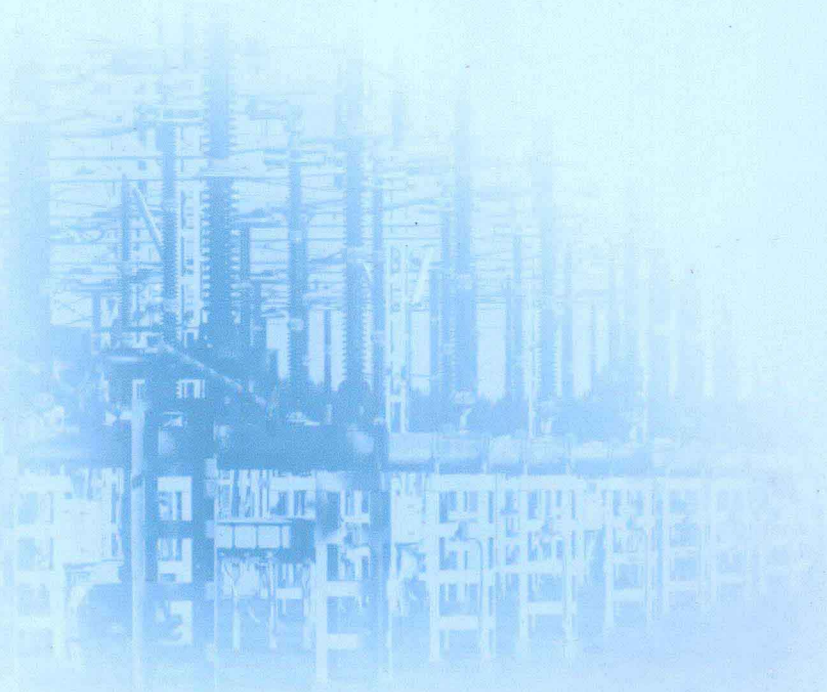


超特高压环境电磁场 测量、计算和生态效应

何 为 肖冬萍 杨 帆 著



科学出版社

超特高压环境电磁场测量、 计算和生态效应

何 为 肖冬萍 杨 帆 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书结合作者长期的科研工作,系统地介绍了超特高压输电线路和变电站电磁环境的仿真计算技术、高压交直流环境电场的测量技术以及超特高压工频电磁场的生物效应实验。全书共分13章,主要内容包括:交流输电线路工频电场和工频磁场、直流输电线路合成电场、交直流并行输电线路耦合干扰、变电站内工频电场和工频磁场、交流输电线路无线电干扰和噪声干扰的理论建模、计算方法和结果分析;交流工频电场、直流合成电场和高压放电光学测量设备的工作原理、软硬件系统设计、系统测试;高压环境电磁场对人体影响的仿真研究、特高压实验区动植物电磁暴露实验研究。

本书可供电力系统规划设计、运行和科学研究人员参考,亦可作为高等院校有关专业的研究生和教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

超特高压环境电磁场测量、计算和生态效应/何为,肖冬萍,杨帆著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-035914-8

I. ①超… II. ①何… ②肖… ③杨… III. ①特高压输电-电磁场-研究 IV. ①TM723

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 257928 号

责任编辑:张海娜 / 责任校对:宋玲玲
责任印制:张 倩 / 封面设计:耕 者

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013年1月第一次印刷 印张:18 3/4

字数:377 000

定价:79.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着社会经济的发展、人们生活水平的提高,我国的电力需求持续增长,电网规模也发生了重大变化。我国骨干电网已经由 20 世纪 80 年代的 220kV 发展到目前的 500kV,进而,国家已将发展特高压纳入“十二五”规划纲要。在未来几年,我国的超特高压电网将步入跨越式发展之路。超特高压电网的发展虽然有效地缓解了我国电力供需的紧张状况,但另一方面却导致了周边电磁环境的恶化,引起公众的极大关注。随着城镇规模的快速扩张,越来越多的输电线路和变配电设施接近或置于人口聚集区,伴随着公众环保意识的提高,人们对高压输变电系统的电磁环境问题和可能引起的生态效应非常担忧,相关研究和媒体报道也给公众造成了巨大的心理压力。集体妨碍和抵制新建电力设施,上访或进行法律诉讼的事件也时有发生,矛盾的激化影响社会的安定和谐。来自公众的阻力对输电线路走廊、变配电站的选址也造成许多困难。输电电压等级发展到特高压阶段,环境电磁问题可能成为制约电网发展的一个主要因素。

当前,我国高度重视和积极推动以人为本、全面协调的科学发展观,明确提出了建设生态文明的重大战略任务,强调节约资源和保护环境的基本国策,坚持走可持续发展的道路。深入研究超特高压输电工程环境电磁场的测量、计算和生态效应,对超特高压输电工程环境电磁场及其影响进行合理、有效的评估,进而采取适当的防护措施,具有十分重要的意义。

虽然电力系统已经运行了 130 多年,但是人们对于输变电系统电磁环境及其生物效应的关注仅起始于 20 世纪 60 年代。1960 年,苏联学者 Korobsova 首次提出工频电磁场的暴露有可能危害人体健康的假设,并于 1972 年在大电网会议上发表关于超高压变电站对站内工人身体影响的报告,引起了巨大轰动。随后,高压输电工程环境电磁问题受到各国学者和电力部门的重视和广泛研究。相比较而言,国内的研究起步较晚,虽然已经取得了一定的研究成果,但是仍有许多工作有待深入。本书总结了作者及其研究团队的相关研究成果,系统地描述了高压环境电磁场的仿真预测、测量系统的设计和生物效应实验,是一部理论和实践并重的专著。

全书共分 13 章,重点为超特高压输电线路和变电站电磁环境的仿真计算技术、高压环境电场的测量技术和超特高压工频电磁场的生物效应实验。

在超特高压环境电磁场仿真计算研究方面,本书涉及了交流输电线路工频电场和工频磁场、直流输电线路合成电场、交直流并行输电线路耦合干扰、变电站内工频电场和工频磁场、交流输电线路无线电干扰和噪声干扰等内容,建立了各类场

或电磁干扰的计算模型,介绍了数值计算方法并进行了算例分析,对比分析了各种影响因素并总结了影响规律。

在交流工频电场、直流合成电场和高压放电光学测量技术方面,本书详细介绍了作者和研究团队研制的几款测量设备的工作原理、软硬件系统,以及系统测试和性能比较。

在超特高压工频电磁场的生物效应方面,本书进行了高压环境电磁场对人体影响的仿真研究,重点进行了在某超特高压输电线路段实验区所开展的一系列动、植物电磁暴露实验研究,给出了一些较为稀缺的实验数据。

超特高压环境电磁场是一个较为复杂的问题,目前国内外研究也存在非一致性和很大的争议。本书的内容为作者现阶段的研究成果,后续研究工作正在深入。此外,由于作者的水平和写作经验有限,疏漏之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

本书的研究内容获得重庆大学输配电装备与系统安全及新技术国家重点实验室重点项目“超特高压输变电设备电磁兼容性关键技术研究”(2007DA10512709102)的资助,特此致谢。

目 录

前言

第 1 章 超特高压环境电磁场及其影响	1
1.1 高压输变电工程工频电场、磁场对环境的影响及其限值	2
1.1.1 工频电场、磁场对环境的影响	2
1.1.2 工频电场、磁场限值	3
1.2 直流输电线路离子流、合成电场对环境的影响及其限值	5
1.2.1 离子流和合成电场	5
1.2.2 直流输电线路的生态影响	6
1.2.3 离子流密度和合成电场的限值	7
1.3 输电线路的电晕放电对环境的影响及其限值	8
1.3.1 电晕现象	8
1.3.2 电晕效应	9
1.3.3 交流输电线路无线电干扰的限值	10
1.3.4 直流输电线路无线电干扰的限值	11
1.3.5 交流输电线路可听噪声的限值	12
1.3.6 直流输电线路可听噪声的限值	13
参考文献	14
第 2 章 超特高压交流输电线路工频电场分析	15
2.1 输电线路二维工频电场计算	15
2.2 计及弧垂的输电线路三维工频电场计算	17
2.2.1 悬挂点等高架空输电线路的相关力学计算	17
2.2.2 输电线路三维工频电场计算	19
2.3 输电线路工频电场分布	22
2.4 输电线路工频电场影响因素分析	24
2.4.1 特高压交流杆塔和线路基本参数	24
2.4.2 不同线路结构输电线下电场比较	26
2.4.3 控制场强下的导线最低架设高度和线路走廊宽度研究	27
2.4.4 气象条件和挡距的影响	28
2.4.5 导线类型及分裂导线数的影响	31
2.4.6 相导线间距的影响	33

参考文献	33
第3章 超特高压交流输电线路工频磁场分析	35
3.1 输电线路二维工频磁场计算	35
3.2 计及弧垂的输电线路三维工频磁场计算	35
3.2.1 输电线路电流计算	36
3.2.2 计及导线弧垂的三维工频磁场计算模型	37
3.3 输电线路工频磁场分布	38
3.4 输电线路工频磁场影响因素分析	40
3.4.1 不同线路结构输电线下电场比较	40
3.4.2 气象条件和挡距的影响	41
3.4.3 导线类型及分裂导线数的影响	43
3.4.4 导线架设高度的影响	44
3.4.5 相导线间距的影响	44
参考文献	45
第4章 超特高压直流输电线路合成电场分析	46
4.1 直流输电线路合成电场计算方法概述	46
4.1.1 解析法	46
4.1.2 半经验公式法	48
4.1.3 有限元法	50
4.1.4 伽辽金最小二乘无网格法	51
4.2 基于伽辽金最小二乘无网格法的合成电场计算	60
4.2.1 场域大小的求解及输电线等效半径的确定	60
4.2.2 起始电晕场强及起始电晕电压的确定	61
4.2.3 直流输电线路无网格法计算模型的建立	61
4.3 $\pm 800\text{kV}$ 直流线路的合成场强计算	63
4.3.1 基于无网格法的离子流场迭代计算	63
4.3.2 合成场强计算结果及分析	65
参考文献	70
第5章 交直流并行输电线路耦合干扰分析	71
5.1 并行输电线路的耦合干扰途径	71
5.1.1 电容性耦合	71
5.1.2 电感性耦合	72
5.2 耦合干扰模型	73
5.2.1 耦合干扰计算模型	73
5.2.2 输电线路参数计算	74

5.3 正常运行的交流线路对并行直流线路的耦合干扰分析	78
5.3.1 交流输电线路采用单回紧凑型排列	78
5.3.2 交流输电线路采用大截面导线输电方式	80
5.3.3 交流输电线路采用同塔双回排列	81
5.3.4 交、直流输电线路同杆塔	83
参考文献	88
第6章 超特高压变电站工频电场与磁场分析	90
6.1 超特高压变电站工频电场计算	90
6.1.1 高压变电站工频电场计算方法概述	90
6.1.2 变电站设备工频电场计算	97
6.1.3 变电站设备工频电场分布	100
6.2 超特高压变电站工频磁场计算	103
6.2.1 变电站大电流母排工频磁场计算	103
6.2.2 变电站设备工频磁场分布	104
参考文献	105
第7章 超特高压输电线路无线电干扰和噪声分析	106
7.1 超特高压架空输电线路电晕起始场强及影响因素	106
7.1.1 导线表面起晕场强	106
7.1.2 电晕过程影响因素	107
7.2 超特高压架空输电线表面最大场强	108
7.2.1 模拟电荷位置寻优算法	109
7.2.2 高压输电线表面电场分布特征	109
7.3 超特高压架空输电线无线电干扰及其计算	111
7.3.1 交流输电线路无线电干扰计算	111
7.3.2 直流输电线路无线电干扰计算	114
7.4 超特高压架空输电线可听噪声及其计算	115
7.4.1 交流输电线路可听噪声计算	115
7.4.2 直流输电线路可听噪声计算	116
参考文献	117
第8章 高压输电线路工频电场的逆问题	118
8.1 研究背景和意义	118
8.2 高压输电线工频电场逆问题的定义与数学模型	118
8.2.1 问题的提出及定义	118
8.2.2 计算模型与方程	119
8.2.3 逆问题的病态特性	120

8.2.4	Tikhonov 正则化	121
8.2.5	非线性逆问题的最小二乘解	122
8.2.6	全局正则化与阻尼高斯-牛顿法	123
8.2.7	计算实例	125
8.3	绝缘子电场逆问题研究	134
8.3.1	逆问题方程	134
8.3.2	计算实例	135
	参考文献	137
第 9 章	工频电场测量原理和系统设计	138
9.1	研究背景和意义	138
9.2	工频电场测量的原理	139
9.2.1	电场测量概述	139
9.2.2	球形电场传感器测量方向与电力线方向一致时的测量原理	146
9.3	测量系统硬件设计	153
9.3.1	传感器及信号处理单元	153
9.3.2	单片机综合分析单元	158
9.3.3	输出单元	161
9.3.4	电源单元	163
9.3.5	PCB 电路整体设计	166
9.4	测量系统软件设计	168
9.4.1	开发环境及主程序流程	168
9.4.2	AD 变换程序	169
9.4.3	输出单元	170
9.5	工频电场测量系统的试验	174
9.5.1	传感器信号的测量与获取	174
9.5.2	传感器线性度的校正	176
9.5.3	系统测试性能的比较	179
	参考文献	183
第 10 章	直流合成电场测量原理和系统设计	184
10.1	研究背景和意义	184
10.2	考虑风速影响的合成场强旋转测量仪的设计与制作	184
10.2.1	合成场强旋转测量仪原理	184
10.2.2	合成场强测量仪的设计要点	186
10.2.3	系统硬件设计与调试	190
10.3	测量装置实物图照片及测试	197

10.3.1 实物照片	197
10.3.2 测量装置测试	200
参考文献	202
第 11 章 高压放电光学测量原理和测量系统设计	203
11.1 研究背景和意义	203
11.2 气体放电光辐射的光谱和功率分析	204
11.2.1 气体放电光辐射的光谱分析	204
11.2.2 气体放电光辐射功率与放电功率的关系	207
11.3 紫外辐射的基本传播原理与光学计量	208
11.3.1 电磁波谱与光辐射	208
11.3.2 光辐射测量的基本定律	209
11.3.3 紫外测量三种模式辐照度计算	211
11.3.4 紫外辐射测量方法	216
11.4 紫外辐射测量技术和系统设计	217
11.4.1 日盲区紫外检测与传感器	217
11.4.2 基于紫外脉冲测量原理和系统设计	222
11.4.3 基于紫外脉冲计数的放电测量与应用	226
11.4.4 紫外光功率测量原理和装置	231
11.5 基于光功率的放电紫外特征量的提取及故障检测	241
11.5.1 放电强度变异性	241
11.5.2 放电强度变异性时域分析方法	242
参考文献	243
第 12 章 超特高压工频环境电磁场的生物效应	245
12.1 电磁场的生物效应	245
12.1.1 生物效应简介	245
12.1.2 超特高压工频电磁场生物效应国内外的研究现状	246
12.1.3 生化指标的生物特性	248
12.2 超特高压环境电磁场对人体影响的仿真研究	251
12.2.1 仿真软件及原理	251
12.2.2 仿真设计	253
12.2.3 仿真结果	254
参考文献	256
第 13 章 环境电磁场生物效应实验	257
13.1 实验场与实验设计	257
13.1.1 实验场分区	257

13.1.2	实验动植物选择	258
13.1.3	实验方案	258
13.2	动物实验	259
13.2.1	鸡实验结果及分析	259
13.2.2	兔实验结果及分析	265
13.2.3	超特高压电磁场对动物影响的结论	273
13.3	植物实验	274
13.3.1	白菜实验结果及分析	274
13.3.2	茄子实验结果及分析	277
13.3.3	辣椒实验结果及分析	282
13.3.4	玉米实验结果及分析	286
13.3.5	超特高压电磁场对植物影响的结论	289

第 1 章 超特高压环境电磁场及其影响

电磁场是物质存在的一种特殊形式。电荷在其周围产生电场;磁体和电流在其周围产生磁场。电磁场具有能量和动量,是传递电磁力的媒介,它弥漫于整个空间。电磁环境是存在于给定场所的所有电磁现象的总和,可分为天然电磁环境和人为电磁环境两大类。

天然电磁环境主要由地磁场和来自太阳的电磁波形成。人类已经适应了这一环境,一旦处于“电磁真空”的环境下反而会不适应。随着科学技术的发展,各种电气、电子设备在极大丰富和提高人类的物质和精神文化生活的同时,也形成了复杂而严重的人为电磁环境。超特高压输变电工程所形成的电磁环境便是其中之一。

虽然电力系统已经运行了一百多年,但是人们对于输变电系统电磁环境及其生物效应的关注和争论主要起始于 20 世纪 60 年代。1960 年,苏联学者 Korobsova 首次提出工频电磁场暴露有可能危害人体健康的假设,并于 1972 年在大电网会议上发表关于超高压变电站对工人身体影响的报告^[1],引起了巨大轰动。1979 年,一项流行病学研究^[2]首次提升了公众对工频磁场暴露与儿童白血病关联性问题的担忧。随后四十年多年,国际上关于高压输电线路电磁环境的长期生物效应研究一直非常热烈^[3~5],这是一个非常复杂的问题,因而研究结论存在非一致性和很大的争议。

随着社会经济的发展、人们生活水平的提高,电力需求不断增长,电网规模和配电格局都发生了重大变化。电网的电压等级从高压(110~220kV)提升到超高压(500kV),甚至是特高压(1000kV),必然导致输电线路及设备周围空间的电磁场强度增大,电磁环境问题恶化。另外,为了提高供电质量,越来越多的输电线路和变配电设施接近或置身于人口聚集区,人们对于高压输变电系统的电磁环境问题和可能引起的生物效应非常担忧,相关媒体的报道也给公众造成了巨大的心理压力。集体妨碍和抵制新建电力设施,上访或进行法律诉讼的事件也时有发生,矛盾激化影响社会安定和谐。来自公众的阻力对输电线路走廊、变配电站的选址也造成许多困难。

超特高压输变电工程对环境的影响主要包含以下几个方面:

(1) 输电线路和变电站需要占用大量土地,破坏环境的美观与和谐。

(2) 在交流输电线路和变电站周围存在工频电场和工频磁场,在直流输电线路周围存在标称电场与离子流电场形成的合成电场。这些电场和磁场对邻近其他设施,如通信设施、自动控制二次设备、地下金属管道等形成电磁感应,引起电磁兼

容性问题或电气安全问题。另一方面,这些电场和磁场还可能对动、植物和人体造成影响,即所说的生物效应。

(3) 高压输电线路电晕放电造成的无线电干扰、噪声、空气化学污染(产生臭氧和氮氧化物)等。

1.1 高压输变电工程工频电场、磁场 对环境的影响及其限值

50Hz 工频电场和工频磁场属于极低频(extremely low frequency, ELF)场。工频交流电的波长达 6000km,输电线路和设备本身的长度远远不足以构成有效的发射天线,不能形成能量辐射,因此,工频电场和工频磁场属近区场,主要存在于线路和设备附近的空间中。

1.1.1 工频电场、磁场对环境的影响

1. 工频电场对其场域中设施的影响

1) 工频电场对通信电缆的影响

当高压架空输电线与通信电缆同塔并行时,由于静电耦合作用,高压输电线形成的工频电场会在通信电缆中产生感应电压,当线路维护人员接触时会有电击的感觉。过大的感应电压会影响通信电缆正常的信号传输,造成信号失真或产生误码,严重时甚至还会对接入的通信设备造成损坏。此外,通信电缆在一定强度电场作用下会发生电蚀。

2) 工频电场对金属结构的影响

高压工频电场除了在金属结构(输油、输气、输水金属管道,设备外壳,车辆等)上形成感应电压之外,还有可能在其尖角、棱边等凸起部位形成火花放电,形成严重的安全隐患。为指导这类问题的解决,1995 年国际大电网会议 WG36.02 工作组专门发布了第 95 号导则,即“高压电力系统对金属管线的影响导则”。

2. 工频电场的生物效应

1) 短时效应

所谓工频电场的“短时效应”,是指人或动物在电场环境中感知器官直接产生的反应。主要体现为:当人体或动物接触电场中对地绝缘的导体时,可能会产生有刺痛感的电流,即电击。随着工频电场强度的增大,感应电流的强度也增大。如果电流很强,有可能导致人或动物呼吸困难、心室震颤等。

在高压工频电场中的工作人员除经常碰到比较明显的麻电现象以外,还时常

遇到一些其他的感知现象,如风吹感、蛛网感、嗡声感等,特别是在 110kV 以上的高压输变电设备上进行等电位作业时这些现象尤为突出。

当人体靠近带不同电势的物体时,也可能发生火花放电。

2) 长期效应

所谓工频电场的“长期效应”,是指电场对人或动物甚至植物长期的生物学和病理学影响,包括行为表现、血象、生化指标、脏器病理变化等。

人们对工频电场长期效应的关注源于 1972 年苏联学者在国际大电网会议上发表的关于超高压变电站的研究报告指出:与不受高电场作用的工作组对比,受 2~26kV/m 电场影响的工作人员出现头痛、疲倦、性功能减退等症状。由此,引发了世界范围内长达三十多年对于工频电场生物效应的研究,特别是输电线路电压等级发展到特高压阶段,众多国家都开展了相关的理论和试验研究工作,包括对输变电职工健康情况调查,流行病学研究,对志愿者实验室试验,动、植物电场暴露试验等。目前基本上得到的结论是:输变电工程工频电场未对生物体造成明显的长期效应。

3. 工频磁场的生物效应

交变磁场通过磁耦合在导体上产生感应电动势和感应电流,对人体或动物造成稳态的或暂态的电击。但是目前人们更为关心的是工频磁场的长期生物效应。

1979 年瑞典 Wertheimer 和 Leeper 发表文章认为,与居住在其他地方的儿童相比,临近输电线路居住的儿童罹患白血病的概率较高,由此引起了人们对工频磁场是否会引发癌症(如脑癌、淋巴瘤、乳腺癌、白血病等)以及各种生殖、遗传、免疫功能等疾病广泛而热烈的讨论。

工频磁场穿透能力强,容易穿透大多数物体,如建筑物、衣物/皮毛等进入生物体内,对生物体造成影响。目前,世界各国的学者已从生理、病理、生化、流行病、统计学等角度对极低频磁场生物效应进行研究,有分子、细胞水平的,也有整体水平的。但是,众多研究结果重复性差,其原因可能在于研究者利用不同的生物学研究体系(如不同的细胞或动物亚型、生物体处于不同生理状态等),或暴露的磁场强度不一致,或采用不一样的实验程序等。但是不论争论有多大,工频磁场的非热生物效应还是得到了广泛认可,对其进行深入研究并采取适当的防护措施是很有必要的。

1.1.2 工频电场、磁场限值

1. 国外标准

关于工频电磁场的“潜在的长期生物效应”争论很多,为了慎重起见,1998 年 4

月国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)提出了《限制时变电场、磁场和电磁场暴露的导则》(以下简称《导则》)^[6]。一些国家结合《导则》与本国具体情况,提出了相应的输电走廊工频电场和磁场限值建议,如表 1.1 所示。

表 1.1 有关国际组织和一些国家的工频电场、工频磁场暴露限值

国际组织或国家	发布时间	频率/Hz	E/(kV/m)		B/ μ T	
			职业暴露	公众暴露	职业暴露	公众暴露
ICNIRP	1998	50	10	5	500	100
		60	8.3	4.2	420	83
美国 ACGIH	2005	50/60	25	—	1000	—
美国 IEEE ^[7]	2002	50	20	5	2710	904
欧盟	2004	50	10	5	500	100
英国	1993	50	12	12	1600	1600
德国	1996	50	—	5	—	100
澳大利亚	1989	50/60	10	5	500	100
日本	1976	50	3	3	—	—

注:表中数值为工频正弦波作用下的有效值,不包括时间受限、局部暴露或特殊地点的场强。

对于各国制定的输电线路工频电磁场限值标准或规范,有以下几个特点^[8]:

(1) 工频电磁场限值,尤其是职业暴露限值与每日暴露时长密切相关。当暴露时间受限或局部暴露时,暴露限值比时间不受限时高许多。如澳大利亚标准中规定,在每日暴露时间很短(几小时)条件下,工频电磁场限值为 10kV/m 和 1000 μ T。俄罗斯、德国、意大利等国的标准也有类似特点。

(2) 许多国家对不同区域制定不同的工频电磁场暴露限值。原苏联提出荒无人烟处、横跨公路处、公众居住区的工频电场限值分别为 15kV/m、10kV/m 和 5kV/m。美国各个州输电线路电场限值大多具有这一特点。

(3) 一些国家对敏感区域,如公寓、学校、医院、长时间工作区等,制定了比一般工频电磁场暴露限值严格得多的预防性限值。波兰提出的工频电场预防性限值为 1kV/m;瑞典根据儿童白血病与工频磁场影响的相关性,提出了以 0.2 μ T 作为居民区工频磁场预防性限值;1995 年美国国家辐射防护与测量委员会(NCRP)建议新建房屋不要建在现有高压输电线下或邻近处,每天暴露于超过 0.2 μ T 磁场的的时间不超过两小时。

2. 国内标准

1) HJ/T 24—1998《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》^[9]

在我国,高压输电线路电磁环境控制标准的主要依据是 HJ/T 24—1998《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(以下简称《规范》)

执行。《规范》规定,对于居民区,电场限值为 4kV/m ,工频磁场限值为 $100\mu\text{T}$ 。

2) DL/T 5092—1999《(110~500)kV 架空送电线路设计技术规范》^[10]

DL/T 5092—1999 的 16.0.5 条规定:500kV 送电线路跨越非长期住人的建筑物或邻近民房所在位置离地 1m 处最大未畸变电场不得超过 4kV/m 。

3) 《中华人民共和国环境影响评价法》

2002 年 10 月通过的《中华人民共和国环境影响评价法》,其中《建设项目环境保护管理办法》规定,500kV 以下的输变电工程在敏感区要编制环境影响报告书,500kV 及以上的输变电工程在非敏感区也要编制环境影响报告表。

到目前为止,世界各国和相关国际组织还没有制定统一的特高压交流输电线路电磁环境限值,大多数研究都参照已有的 500kV 超高压线路标准,并且建议“1000kV 输电对电磁环境的影响不应超过现有 500kV 所带来的影响”。

1.2 直流输电线路离子流、合成电场 对环境的影响及其限值

合成场和离子流是高压直流输电的特有现象,也是与交流输电环境影响的重要差别之一。就交流输电线路而言,线路导线出现电晕时,由于电压的交替变化,电晕所产生的离子绝大部分被限制在导线附近或因中和而消失,基本上不存在这些离子离开导线的运动。而超高压直流输电线路的电场则比较复杂,在导线无电晕(或不计及电晕及其产生的离子时),导线周围及线下地面的电场只决定于导线电压和线路的几何尺寸,即仅存在“静电场”,或所谓的标称场;当直流输电线路导线表面电场强度大于起始电晕电场强度时,靠近导线表面的空气发生电离,电离产生的空间电荷将沿电力线方向运动。对于双极直流输电线路,整个空间大致可分为三个区域:在正极性导线与地面之间的区域充满正离子;负极导线地面之间区域充满负离子;正负极导线之间正负离子同时存在。这些空间电荷将造成直流输电线路所特有的一些效应:

(1) 空间电荷本身产生电场,它将大大加强由导线电荷产生的电场;

(2) 空间电荷在电场作用下运动,形成离子电流;

(3) 由正极性导线向大地流动的离子电流,遇到对地绝缘的物体,将附着在该物体上形成物体带电现象,可能引起暂态电击。

1.2.1 离子流和合成电场

1. 离子流

直流输电线路导线电晕所产生的离子存在的时间和空间都比交流输电线路的

长和广泛。在交流输电线路导线附近的正负离子在交变电场的影响下,不可能迁移较大的距离,而在直流输电线路,导线电晕所产生的离子在迁移距离上可达几百米之外。

离子电流密度的大小与导线表面电场强度及电晕起始场强有关;导线表面电场强度与导线结构,包括分裂数、子导线直径、极性导线间距和导线对地高度等有关;电晕起始场强与导线表面状况和天气等因素有关。

2. 合成电场

直流电场方向是不随时间变化的,除了导线电压产生的场强外,与其同一极性的空间电荷也产生场强,两者的矢量和构成总场强,称为合成电场。空间电荷在地表产生的场强可达导线电压产生场强的二倍以上,电荷漂移导致漂移方向上的合成场强增大明显。合成电场与导线表面电场强度及电晕起始场强有关;与导线结构,包括分裂数、子导线直径、极导线间距(直流)和导线对地高度等有关;电晕起始场强与导线表面状况和天气等因素有关。

高压直流输电线路下的合成电场高于同一电压等级的交流输电线路下的电场,在比较交、直流输电线路场强的大小时,不能只将直流线路的标称场强与交流线路的场强进行比较。因为在正常运行的直流输电线路下,没有通过电容耦合产生位移电流的现象,在相同大小的电场强度下两者产生的效应相差甚远。

1.2.2 直流输电线路的生态影响

1. 离子流的生态影响

离子由空间电荷组成,离子在电场力和风等条件下向线路导体的四周运动。同时,极性相反的离子的中和是经常发生的。

离子的存在不仅导致合成场的变化,也会由于各种离子吸附在线路附近的物体上,或飘浮在空中形成污染,或被人或者植物吸入。人或物体截获离子电流的起始感觉水平低于对电位产生的起始感觉。试验表明,在合成场强为 40kV/m 时,人体截获的电流仅为 $3\sim 4\mu\text{A}$ 。在直流输电线路下,对地绝缘良好的人或物体,截获离子电流后,由于电荷集聚,将使人或物体对地产生高电位。此时对地绝缘的人接触接地物体,或处于低电位的人接触对地绝缘的物体,在接触瞬间,人体上感应的电荷或聚集在对地绝缘的物体,以火花放电形式通过人体或物体释放到大地。暂态电击水平取决于接触瞬间通过人体释放的能量或电荷量,后两者又取决于物体的对地电压和对地电容以及物体的绝缘状况。

2. 合成电场的生态影响

直流电场,单是电场强度本身不能表征电场效应,人或物体直接截获的直流电