

高压交流输变电工程电磁环境影响探讨

廖磊¹, 严青¹, 佟如意²

(1. 四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610041; 2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘要: 根据交流输变电工程的频率特征解释了工频电场、工频磁场的产生机理及影响因素, 列举了国内外多个组织机构对工频电场强度、工频磁感应强度标准限值的规定, 进一步明确了中国电磁环境控制标准的安全性。通过对中国交流输变电设施的调查, 表明中国变电站、输电线路产生的工频电场强度、工频磁感应强度均满足相应标准要求。根据国际权威机构的评估结论, 没有足够的证据表明极低频场与癌症、流行性疾病等存在强烈关联性。

关键词: 交流; 输变电; 工频; 电场强度; 磁感应强度

Abstract: According to the frequency characteristics of AC transmission and transformation project, the theory and influencing factors of power frequency electric field and power frequency magnetic field are explained. Moreover, the different limitations of power frequency electric field intensity and power frequency magnetic introduction intensity from several organizations at home and abroad are listed to further specify the security of Chinese limitations. The investigations of AC transmission and transformation facilities show that power frequency electric field intensity and power frequency magnetic introduction intensity of domestic substations and transmission lines are under the limitations. And according to the assessments by international authority, there is no intense correlation between extremely low frequency field and the diseases such as cancer and epidemics.

Key words: AC; power transmission and transformation; power frequency; electric field intensity; magnetic introduction intensity

中图分类号: TM752 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2016)05-0078-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.05.017

0 引言

近年来, 随着城市用电负荷日益增加, 导致 110 kV、220 kV 及以上电压等级的输变电设施开始逐步出现在居民集中区, 对周围居民工作和生活产生了一定程度的干扰, 由此导致的居民投诉事件日益增多。随着电压等级逐渐提高, 电磁环境问题已成为制约电网发展的重要因素^[1]。为解决日益冲突的矛盾, 需引导公众对输变电工程产生的电磁环境影响进行科学的解释和客观的认知。

1 交流输变电工程频率特征

在中国及世界上大部分国家, 交流电力系统频率采用 50 Hz, 也有部分国家采用 60 Hz(如美国), 属于极低频率(ELF, 0~300 Hz)范畴, 因此在电力或动力领域中, 通常将 50 Hz(或 60 Hz)频率称为电源工作频率, 即工频。相较雷达、卫星通信、微波炉

等高频领域, 工频电力设施波长长达 6 000 km, 远大于变电站和输电线路长度, 因此变电站和输电线路无法形成有效的能量辐射。

2 工频电场、工频磁场特性

2.1 工频电场

1) 工频电场产生机理

当电气设备接通电源后, 便与周围空间存在电压差, 从而导致工频电场产生, 采用一定方向上单位距离的电位差来度量, 即工频电场强度, 单位为 V/m 或 kV/m。

2) 工频电场强度影响因素

变电站站内的工频电场主要受断路器、电流互感器等电气设备的影响, 但是受到围墙的屏蔽作用, 站内工频电场衰减较快, 站外工频电场主要受进出线路影响。

单回输电线路周围的工频电场强度与电压等级、导线参数(包括导线直径、导线分裂数和分裂间

距等)、塔型结构、架设高度^[2]等因素有关,当多回路输电线路同塔架设或平行架设时,工频电场强度还与其相序排列情况有关。

一般情况下,工频电场强度随着电压等级升高、导线直径增大、导线分裂数增加、分裂间距增大而增大。

通常,对于地面上同一观测点,输电线路产生的工频电场强度随线路距离地面高度的增加而降低,且不同架设高度线路的工频电场强度在水平方向上的变化规律一致,即在边导线投影附近达到最大值后,随着距边导线投影距离增大逐渐呈指数型减小^[3]。

对于单回线路,其他参数一致时,比较正三角排列、倒三角排列、水平排列三种架线型式产生的工频电场强度,其最大值及高场强区的范围从大到小依次为水平排列、正三角排列、倒三角排列。对于同塔双回线路,6种架设方式中以逆相序排列的工频电场强度最小,相较同相序排列降低 35%,且在两相导线间存在明显的低峰峰值。

2.2 工频磁场

1) 工频磁场产生机理

当电气设备工作或运转时,其间流过的交流电随着方向转换在周围空间产生感应磁场,该磁场在周围单位面积介质中产生的磁通量即为工频磁感应强度,单位为 T(一般采用 mT 或 μT)。

2) 工频磁感应强度影响因素

变电站站内的工频磁场主要受高压电抗器等电气设备的影响,但是受到围墙的屏蔽作用,站内工频磁场衰减较快,站外工频磁场主要受进出线路影响。

单回输电线路周围的工频磁感应强度与电压等级、运行电流、塔型结构、架设高度等因素有关,当多回路输电线路同塔架设或平行架设时,工频磁感应强度还与其相序排列情况有关。

一般情况下,工频磁感应强度随着电压等级、运行电流升高而增大。

与工频电场强度变化趋势一致,输电线路产生的工频磁感应强度随线路距地面高度增加而降低,且不同架设高度线路的工频磁感应强度在水平方向上的变化规律一致,即在边导线投影附近达到最大值后,随着距边导线投影距离增大逐渐呈指数型减小。

2.3 工频电场与工频磁场的相互关系

根据麦克斯韦方程式描述的宏观电磁现象,只有在高频率、远场区域,才存在由于电场变化导致的感应磁场及磁场变化导致的感应电场,此时电场和

磁场相互作用和耦合,形成了动态电磁场,并以电磁波的形势向前传递能量^[4]。而根据中国交流输变电设施的工频特性,在其近场区域内工频电场和工频磁场分别存在、分别作用,是一种稳场或缓变场^[5],不存在电场与磁场的相互耦合与加强,无法形成电磁波能量传递形式,因此也不存在有效的能量辐射。

3 工频电场与工频磁场执行标准

《环境影响评价技术导则 输变电工程》(HJ 24-2014)及《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)中对中国交流输变电工程中的工频电场强度和工频磁感应强度公众曝露控制限值作了相应规定,与其他区域或组织采用的限值标准比较情况见表 1。

表 1 中国与其他区域或组织采用的工频电场强度、工频磁感应强度公众曝露控制限值对照表(50 Hz)

| 标准名称 | 工频电场强度 /($\text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$) | 工频磁感应强度 / μT |
|----------------------------------|--|----------------------------|
| 《电磁环境控制限值》 (GB 8702-2014)(中国) | 4 | 100 |
| 国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)导则(1988) | 5 | 100 |
| 欧洲共同体法规 (1999/519/EC) | 5 | 100 |
| 英国国家辐射防护委员会 NRPB 建议(1999) | 12 | 1 600 |
| 日本产业卫生 学会标准(2002) | 5 | 100 |

上述标准均获得 WHO(世界卫生组织)等权威机构的认可,中国采用的标准相较于其他区域或组织更严格,表明中国的工频电场强度、工频磁感应强度公众曝露控制限值更加安全、可靠。

4 中国交流输变电设施的工频电磁场

本次对中国已经投运的部分 110 kV、220 kV、500 kV 等电压等级的变电站和输电线路(位于居民区)产生的工频电场与工频磁场进行调查,调查结果见表 2,其中某 110 kV 变电站站界外工频电场强度、工频磁感应强度随距围墙的距离变化情况分别见图 1、图 2,某 220 kV 同塔双回输电线路的工频电场强度、工频磁感应强度随距线路中心线距离、导线对地高度的变化情况见图 3。

表 2 中国典型变电站和输电线路的工频电场与工频磁场调查结果

| 项 目 | 电压等级/kV | 工频电场强度/(kV·m ⁻¹) | 工频磁感应强度/μT |
|-----------|---------|--|--|
| 变电站站界最大值 | 110 | $5.57 \times 10^{-2} \sim 1.13$ | $5.30 \times 10^{-5} \sim 1.1583 \times 10^{-3}$ |
| | 220 | $1 \times 10^{-3} \sim 1.710$ | $8.47 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-3}$ |
| | 500 | $6 \times 10^{-3} \sim 1.802$ | $7.41 \times 10^{-5} \sim 3.156 \times 10^{-3}$ |
| 输电线路线下最大值 | 110 | $4.438 \times 10^{-2} \sim 7.009 \times 10^{-1}$ | $5.3 \times 10^{-5} \sim 2.65 \times 10^{-4}$ |
| | 220 | $9.3 \times 10^{-2} \sim 1.948$ | $9.8 \times 10^{-5} \sim 5.19 \times 10^{-4}$ |
| | 500 | $1.10 \times 10^{-1} \sim 2.733$ | $1.80 \times 10^{-4} \sim 1.718 \times 10^{-3}$ |

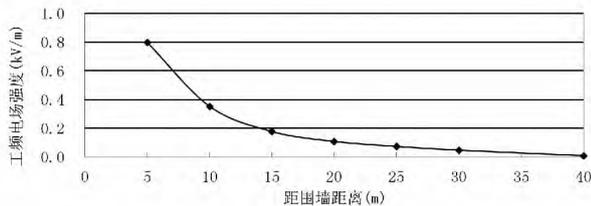


图 1 某 110 kV 变电站站界外工频电场强度随距围墙的距离变化情况

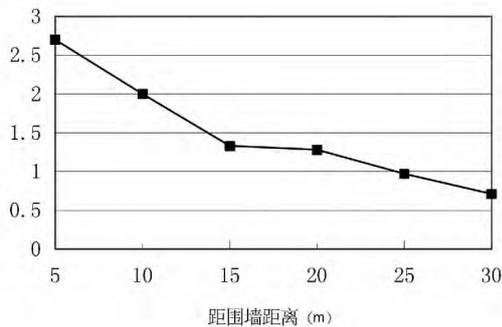


图 2 某 110 kV 变电站站界外工频磁感应强度随距围墙的距离变化情况

由表 2 可知,中国各电压等级的变电站站界及输电线路下方(位于居民区)的工频电场强度、工频磁感应强度均满足《电磁环境控制限值》中的相关规定。这是基于两个方面的原因:其一是各电压等级的变电站均可通过采取合理布置站内导线相序、安装电气设备接地装置等措施降低电磁环境影响,使得站界的工频电场强度、工频磁感应强度满足标准要求;其二是 110 kV 电压等级的输电线路产生的电磁环境影响较小,往往采用《110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545-2010)中的最低导线高度即可使线下的工频电场强度、工频磁感应强度满足居民区的标准要求;而对于 220 kV、500 kV 电压等级的输电线路来说,若采用规程中的最低导线高度则会导致线下的工频电场强度、工频磁感应强度超标。基于工频电场强度、工频磁感应强度随着导线对地高度增加而减小的变化趋势(见图 3),因此需要提升导线对地高度,直至工频电场强度、工

频磁感应强度满足居民区的标准要求。

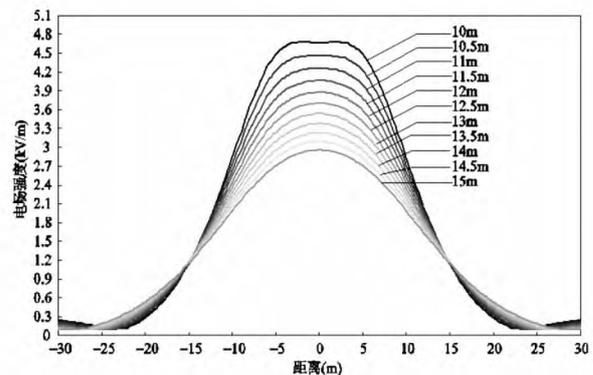


图 3 某 220 kV 同塔双回输电线路的工频电场强度、工频磁感应强度随距线路中心线距离的变化情况

由图 1、图 2 可知,变电站外工频电场强度、工频磁感应强度均随距变电站围墙距离增加而降低,由图 3 可知,输电线路附近工频电场强度、工频磁感应强度均随距输电线路边导线投影距离增加呈指数型降低,鉴于上述工频电场、磁场的衰减理论,同时考虑到周围树木、建筑物等因素的屏蔽作用,因此在输变电设施附近居民点处的工频电场强度、工频磁感应强度也满足《电磁环境控制限值》中的相关规定。

此外对于 220 kV、500 kV 线路,在无居民分布区域,往往不会抬升导线架设高度,但是对工频电场强度、工频磁感应强度超过上述标准的区域会划定电磁环境影响防护区域,在该区域内禁止新建建筑物,以最大限度地保护附近居民。

5 高压交流输变电设施的危害分析

近年来,随着公众意识的增强,社会各界对输变电设施对人体健康影响的关注度也逐渐提高,对此,WHO 开展了“国际电磁场计划”工作框架^[6],对 EMF(电场、磁场、电磁场)进行健康风险评估。根据评估结论,交流输变电设施产生的极低频场在人

体中只会引起微弱的感应电流^[7],而没有相关证据表明会对机体的生物分析及 DNA 造成直接损伤,对于极低频场与个别流行性疾病之间的微弱关联并不能排除其他原因。同时,IRAC(国际肿瘤研究机构)、NRPB(英国国家辐射防护委员会)等机构的研究表明^[8],未找到成人居所或职业性暴露到极低频场对任何癌症有增加危险的一致性结论,而且对观察到的儿童期白血病危险增加与居所极低频场暴露增加间的联系,没能建立起科学的解释。NIEHS(美国国家环境卫生科学研究所)将与致癌性相关的证据强度分为足够、有限、不足、缺乏的致癌性证据四类,将支持其评估的机理和体外证据分为弱、中、强三个等级。针对流行病学与极低频场暴露关系的研究最终评估结论表明,对各种健康观察终点的评估证据均属于有限和不足的,对磁场强度低于 100 μT 的毒理学研究或基因突变率研究,支持度均属于弱支持,因此不支持工频电场、工频磁场存在累积效应或长期影响的假设^[9]。

综上,交流输变电设施产生的工频电场、工频磁场属于极低频场,没有足够的证据表明其与癌症、流行性疾病等存在强烈关联性,因此针对其对人体健康影响的担忧缺乏依据,国内外相关导则标准对保护公众健康的安全性也是毋庸置疑的。但是针对公众对环境问题敏感性日益增强这一趋势,WHO 强调应在全球范围内对不确定性风险采取预防政策^[10],将电磁环境控制标准建立在防止已确认的危害基础上。预防政策主要包括预防性原则、谨慎回避、合理达到尽可能低三个方面,预防政策的实质内涵体现在:

1) 预防政策应建立在对风险与危害正确评估基础上,对健康风险的科学评估结论不应因采用任何预防性政策而被破坏;

2) 公众暴露控制限值应建立在预防已知的健康危害基础上,以科学为依据的公众暴露控制限值不应因采用任何预防性政策而被破坏;

3) 对健康风险是否采取适当的预防性措施应根据风险与危害的大小,进行采取行动或不采取行动的效益-费用分析方法确定。

6 结 论

针对中国交流输变电设施的频率特征及其产生

的工频电场、工频磁场特性进行了研究,研究结论如下:

1) 中国交流输变电工程采用工频 50Hz,属于极低频率范畴;

2) 工频电场、磁场的影响因素较多,其量度分别为工频电场强度、工频磁感应强度,不存在有效的能量辐射;

3) 中国采用的标准相较于其他区域或组织更严格、安全、可靠;

4) 中国各电压等级的输变电设施在设施位置及附近居民处产生的工频电场强度、工频磁感应强度均满足相关标准规定;

5) 根据国际权威机构的评估结论,没有足够的证据表明极低频场与癌症、流行性疾病等存在强烈关联性,但是针对公众对环境问题敏感性日益增强这一趋势,应在全球范围内对不确定性风险采取预防政策。

参考文献

- [1] 肖冬萍,姜克儒,张占龙,等. 工频电磁环境条件下的超/特高压输电线路结构布局寻优方法[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(9): 2333-2341.
- [2] 孙自安,姚金雄,吕娜,等. 输电线路工频电磁场环境研究[J]. 陕西电力, 2015, 43(4): 88-91.
- [3] 邵方殷. 220 kV~500 kV 输电线路跨越和邻近住宅时的工频磁场[C]. 中国电机工程学会输变电电气四届二次学术年会论会集, 2002.
- [4] 倪光正,等. 工程电磁学原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [5] 杨宪章,邹玲,樊亚东,等. 工程电磁场[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [6] 世界卫生组织(WHO). 制定以健康为基础的 EMF 标准的框架[M]. 瑞士: 世界卫生组织, 2006.
- [7] 世界卫生组织(WHO). 电磁场和公众健康——生物系统中的物理性质和影响[OL]. 1998.
- [8] ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer. Doc NRPB, 12, 2001.
- [9] NIEHS Working Group Report. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-line Frequency Electric and Magnetic Fields[OL]. Minnesota: NIEHS, 1998, 6.
- [10] 世界卫生组织(WHO). 电磁场和公众健康——警戒性政策[OL]. 2000.

(收稿日期: 2016-07-16)