

500 kV 变电站作业场所工频电磁场强度分析

刘跟生, 江红, 沈竞为, 张永

摘要: [目的] 分析不同类型 500kV 变电站运行人员接触工频电场及工频磁场的强度。[方法] 利用 PMM 8053A/EHP-50C 电磁场强度测试仪检测作业场所工频电场及工频磁场强度, 将检测结果与相关标准进行比较。[结果] 本次研究共检测 148 个作业点的工频电场及工频磁场强度, 其中 44 个作业点的工频电场强度大于 5 kV/m, 其中 1 个作业点工频电场强度达 10 220 V/m; 所有作业点中工频磁场强度最大值为 35.11 μ T; 采用时间加权法, 计算得出不同类型 500kV 变电站运行人员每周 56 h 接触工频电场强度值分别为 738 V/m、481 V/m 和 144 V/m。[结论] 不同类型 500kV 变电站运行人员接触工频电场的强度值均符合小于国家职业卫生标准限值的要求, 接触工频磁场强度值也均符合小于国家电力行业标准限值的要求。

关键词: 500kV 变电站; 工频电场; 工频磁场

Analysis on Power Frequency Electric and Magnetic Field Intensity at Workplace of 500kV Substations
LIU Gen-sheng, JIANG Hong, SHEN Jing-wei, ZHANG Yong (Institute of Chemical and Environmental Engineering, Shandong Electric Power Research Institute, Jinan, Shandong 250002, China)

Abstract: [Objective] To analyze the power frequency electric and magnetic field intensity exposed to the operators at the workplace of 500kV substations. [Methods] The levels of power frequency electric and magnetic fields were measured with PMM 8053A/PMM EHP-50C. The results were compared with relevant standards. [Results] The power frequency electric and magnetic field intensity of 148 work sites were measured. Among these results, 44 were greater than 5 kV/m in respect of power frequency electric field intensity, and 1 reached 10 220 V/m. The maximum power frequency magnetic field intensity was 35.11 μ T. The calculated levels of power frequency electric field exposure in terms of time-weighted strength per week (56 h) were 738 V/m, 481 V/m and 144 V/m in various types of 500kV substations. [Conclusion] In these 500kV substations, the operators' exposure to power frequency electric field meet the national occupational health standards, and their exposure to power frequency magnetic field meet the national power industry requirements.

Key Words: 500kV substation; power frequency electric field; power frequency magnetic field

目前, 国家职业卫生标准《工作场所有害因素职业接触限值 第 2 部分: 物理因素》(GBZ 2.2—2007)^[1]规定, 8 h 工作场所工频电场职业接触限值为 5 kV/m; 《电力行业劳动环境监测技术规范 第 7 部分: 工频电场、磁场监测》(DL/T 799.7—2010)^[2]规定, 工频磁场职业接触限值为 500 μ T。500 kV 变电站运行人员接触的的作业场所工频电场及工频磁场强度, 尤其是工频电场强度, 是否超出国家标准限值的规定, 已经成为当前变电站运行人员以及职业卫生相关工作人员关注的焦点。

本次研究拟针对不同类型的 500 kV 变电站进行作业场所工频电场及工频磁场的检测, 将工频电场的检测结果进行相关数据分析, 并与目前国家的职业卫生标准以及国际非电离辐射防护委员会 (ICNIRP) 发布的《限制时变电场和磁场暴露的导则 (1 Hz~100 kHz)》(2010 版)^[3]等国际标准进行比较分析。

[作者简介] 刘跟生 (1982—), 男, 硕士, 工程师; 研究方向: 职业卫生、环境监测; E-mail: nutritiongen@163.com

[作者单位] 山东电力研究院化学与环境工程研究所, 山东 济南 250002

1 对象与方法

1.1 监测对象

选择具有代表性的 3 个 500 kV 变电站进行工频电场及工频磁场检测, 3 个变电站的类型分别为: A 变电站的 220 kV 及 500 kV 配电装置均采用户外敞开式; B 变电站的 220 kV 配电装置采用户外六氟化硫封闭式组合电器 (GIS), 500 kV 配电装置采用户外敞开式; C 变电站的 220 kV 及 500 kV 配电装置均采用户外 GIS。检测时, 3 个变电站的运行工况见表 1。

1.2 监测仪器

监测仪器选用意大利 PMM 公司的 PMM 8053A/EHP-50C 电磁场强度测试仪, 仪器经过检定合格, 证书号为 [2010] 检字 EMC 007 号。

1.3 监测依据方法

监测依据《电力行业劳动环境监测技术规范 第 7 部分: 工频电场、磁场监测》(DL/T 799.7—2010)^[2], 《工作场所物理因素测量 第 3 部分: 工频电场》(GBZ/T 189.3—2007)^[4]。电磁场强度测试仪的探头距离地面高度为 1.5 m, 对每个测量点进行检测时, 若测量仪读数稳定, 则记录稳定时的读数; 若测

量仪读数波动,则每 1 min 读数一次,取 5 min 的平均值为测量读数。

A 变电站共检测 54 个作业点, B 变电站共检测 56 个作业点, C 变电站共检测 38 个作业点, 各变电站的检测点大致沿巡视路线均匀分布。各变电站运行人员的巡视严格按照操作规程进行, 运行人员的持卡及非持卡巡视时间通过对站长的调查得知。持卡巡视表示运行人员手持记录卡, 记录变电站各设备运行参数的巡检; 非持卡巡视表示运行人员仅对变电站各设备进行不记录其运行参数的巡检。

表 1 3 个变电站运行工况

Table 1 Operating conditions of 3 substations

位置 Location	电流(A) Current	电压(kV) Voltage
A 变电站 #1 变压器高压侧 The high-voltage side of A Substation's #1 transformer	124.5	528.9
A 变电站 #2 变压器高压侧 The high-voltage side of A Substation's #2 transformer	96.7	528.5
B 变电站 #1 变压器高压侧 The high-voltage side of B Substation's #1 transformer	310.0	526.5
B 变电站 #2 变压器高压侧 The high-voltage side of B Substation's #2 transformer	290.0	527.0
C 变电站 #1 变压器高压侧 The high-voltage side of C Substation's #1 transformer	251.5	528.7
C 变电站 #2 变压器高压侧 The high-voltage side of C Substation's #2 transformer	255.0	528.2

2 结果

2.1 工频电场监测结果

本研究共检测 148 个作业点, 其中工频电场强度检测结果在 0~5 kV/m 范围内的作业点为 104 个, 占 70.3%; 检测结果在 5 kV/m 以上的作业点为 44 个, 占 29.7% [其中检测结果在 10 kV/m 以上的作业点为 1 个, 占总作业点数的 0.7%, 该电场强度大于 10 kV/m 的作业点来自 B 站 500 kV 户外敞开式配电装置作业区的“500 kV 四串联络 5042 开关(西侧)”作业点, 测量值为 10 220 V/m]。

A 站共检测 54 个作业点, 其中工频电场强度大于 5 kV/m 的作业点共 25 个, 占 46.3%。其中, 来自 220 kV 配电装置作业区及主变低压侧的作业点为 6 个, 占 11.1%; 来自主变高压侧及 500 kV 配电装置作业区的作业点为 19 个, 占 35.2%。控制室检测结果为 0.906 V/m。

B 站共检测 56 个作业点, 其中工频电场强度大于 5 kV/m 的作业点共 17 个, 占 30.4%。220 kV 配电装置作业区及主变低压侧所有作业点的检测结果均未超过 5 kV/m。工频电场强度检测结果大于 5 kV/m 的作业点全部来自主变高压侧及 500 kV 配电装置作业区。控制室检测结果为 1.205 V/m。

C 站共检测 38 个作业点, 其中工频电场强度大于 5 kV/m 的作业点共 2 个, 占 5.3%, 为“500 kV 某线线路 CT A 相”及“500 kV 某线线路 CVT A 相”作业点, 其电场强度分别为 8 327 kV/m 及 7 747 kV/m。控制室检测结果为 13.11 V/m。

2.2 工频磁场监测结果

本研究共检测 148 个作业点, 工频磁场检测结果最大值为 35.11 μ T, 来自于 A 站的“220 kV 分段 II 22F 开关 B 相”作业点。

B 站的工频磁场检测结果最大值为 21.57 μ T, 来自于“#1 主变 220 kV 侧避雷器”作业点。C 站的工频磁场检测结果最大值为 24.55 μ T, 来自于“#2 主变 220 kV 侧 203 开关西侧”作业点。

2.3 作业人员接触不同强度工频电场的时间分布调查

变电站运行人员执行三值运转方式(每值工作 2 d, 休息 4 d, 每值 3~4 人), 工作的 2 d 中每天 10:00、15:00、21:00 对设备进行巡视, 其中 15:00 对设备进行持卡巡视, 巡视时间最长。巡视路线根据各站的具体情况进行设置, 不同类型变电站的单次巡视时间不同。

单个工作周期(2 d)工作时间内总巡视时间为 6 次单次巡视的时间之总和, 共包括 4 次非持卡巡视和 2 次持卡巡视。单个工作周期的工作时间内, 一般的运行值班人员能够参加全部的 6 次巡视, 其巡视时间最长。3 个变电站单次巡视时间及单个工作周期巡视时间见表 2。

表 2 3 个变电站巡视时间表

Table 2 Inspection time of 3 substations

变电站名称 Substation	单次巡视时间 Single inspection time	单个工作周期巡视时间 Inspection time of a single work cycle
A	持卡巡视 Inspection with record card	1 h 30 min
	非持卡巡视 Inspection only	480 min
B	持卡巡视 Inspection with record card	1 h 15 min
	非持卡巡视 Inspection Only	390 min
C	持卡巡视 Inspection with record card	1 h
	非持卡巡视 Inspection only	300 min

运行人员每单个工作周期 2 d(即 48 h)的工作时间内, A 站、B 站、C 站运行人员巡视时间分别为 480 min、390 min 和 300 min。

变电站运行人员执行三值运转方式, 即工作时间由三值平均, 则运行人员一周(168 h)的工作时间为 168 h/3, 即 56 h。

从长期的平均水平而言, 全部参加 6 次巡视的运行人员一周 56 h 的工作时间内其平均巡视时间 A 站、B 站、C 站分别为 480 min $\times$ 56 h/48 h=560 min、390 min $\times$ 56 h/48 h=455 min、300 min $\times$ 56 h/48 h=350 min。

全敞开式变电站 A 站运行人员每周巡视时间为 560 min, 检测的 54 个作业点在巡视路线上大致均匀分布, 运行人员在每个作业点区域的接触时间约 10 min 20 s, 工频电场强度超过 5 kV/m 的作业点共 25 个, 运行人员每周巡视接触工频电场强度超过 5 kV/m 作业点区域的时间约 260 min, 接触工频电场强度未超过 5 kV/m 的巡视作业点区域的时间约 300 min, 控制室工作时间为 2 800 min, 工频电场强度为 0.906 V/m。

根据相同的计算方法, 可知 B 站、C 站运行人员每周巡视接触工频电场强度超过 5 kV/m 作业点区域的时间分别约为 138 min 和 18 min, 未超过 5 kV/m 的作业时间分别约为 317 min 和 332 min, 控制室工作时间分别为 2 905 min(电场强度为 1.205 V/m)、3 010 min(电场强度为 13.11 V/m)。

3 讨论

《工作场所有害因素职业接触限值 第2部分:物理因素》(GBZ 2.2—2007)^[1]规定,8h工作场所工频电场职业接触限值为5kV/m。若作业人员8h的工作场所固定,则此固定工作场所的作业人员在8h接触工频电场强度的限值为5kV/m,进行作业人员接触工频电场强度的计算时,需要将不同时段工频电场强度值并结合持续时间进行推算。若作业人员8h的工作场所不固定,则需要根据作业人员接触不同工作场所的工频电场强度值以及其接触时间,进行8h接触工频电场强度的推算。

目前,职业卫生标准并未给出如何计算8h工频电场职业接触值的方法,部分文献给出了按时间加权进行计算的思路^[5-9]。

若按此思路,巡视时间最长的变电站运行人员接触工频电场的强度为:根据每个作业点区域的工频电场强度及停留时间,进行时间加权,粗略计算运行人员每周56h作业时间接触的工频电场强度值,结果显示,A、B、C站运行人员每周56h接触工频电场强度值分别为738V/m、481V/m、144V/m。

目前的限值标准是以“标准的”工作制度(每天工作8h,每周工作5d)为基础制订的,当面对非常规的用工制度时,需要对相应的职业接触限值进行调整。目前关于职业接触工频电场限值调整的研究较少,本研究中采纳职业接触限值调整的通用模型(Brief和Scala模型)^[10],此模型显示,每周工作时间超过40h时,超时限值=标准限值×调整因子(regulate factor, RF), $RF=40/\text{时间(h)} \times [168-\text{时间(h)}]$ 。若按照每周工作56h,则其超时限值的RF为0.625,则每周工作56h的超时限值标准为 $5000\text{V/m} \times 0.625=3125\text{V/m}$ 。

采用上述计算方法,则巡视时间最长的变电站运行人员接触的工频电场强度符合小于接触限值的要求。

2006年,世界卫生组织(WHO)以正式出版物形式,正式发布了名为《制订以健康为基础的电磁场标准的框架》^[11]官方文件。WHO强烈推荐成员国采纳电磁场的国际标准,其中关于保护人体基本标准的“暴露标准”,WHO推荐ICNIRP及电气与电子工程师协会/国际电磁安全委员会(IEEE/ICES)制订的标准。

ICNIRP发布的《限制时变电场和磁场暴露的导则(1Hz~100kHz)》(2010版)^[3]规定,针对50Hz职业暴露容许的电场强度参照水平为10kV/m。导则中规定,50Hz频率照射的基本限值采用的参数为电流密度,ICNIRP建议,瞬间或短期峰值场产生的电流密度限值应被视为瞬间值,不应按照时间进行平均。电场强度参照水平为基本限值(电流密度)的导出限值,ICNIRP提示,为了证明遵循基本限值的目的是,电场和磁场的导出限值视为独立,而不是累加,出于保护的考虑,电场和磁场产生的电流不具有累加性。同时,ICNIRP导则指出,对特殊职业,在可排除接触带电荷的导体产生的间接有害影响的情况下,电场强度参照水平可增加一倍,即20kV/m。

3个变电站共检测148个作业点,只有1个作业点的电场强度超过10kV/m,为10220V/m,略高于限值。参照ICNIRP导则10kV/m的标准,99%以上的作业点符合暴露标准;参照20kV/m的特殊情况下的标准,则全部符合暴露标准。

美国IEEE标准C95.6标准^[12]中针对50Hz电场最大容许暴露水平为20kV/m,按此标准,则3个变电站的所有作业点均

符合暴露标准要求。

ICNIRP发布的《限制时变电场和磁场暴露的导则(1Hz~100kHz)》(2010版)^[3]规定,针对50Hz职业暴露容许的磁场强度参照水平为1mT,因此变电站运行人员接触工频磁场的强度值亦完全符合此导则的要求。

500kV变电站作业场所工频磁场强度完全符合国家标准的要求,变电站运行人员接触工频磁场强度完全符合标准要求;目前,国家职业卫生标准中并未给出如何计算8h工频电场职业接触值的方法,本研究通过时间加权的方法对作业人员接触工频电场强度进行计算的结果显示,变电站运行人员接触工频电场强度符合小于国家职业卫生标准限值的要求。

本研究尝试通过“时间加权”的方法计算了500kV变电站作业人员接触工频电场的累积强度,然而迄今关于“时间加权法”计算接触工频电场强度的基础研究仍较少,故本研究采用的“时间加权”计算方法还需要做进一步的基础研究。国际相关限值标准更注重的是工频电场的短时间暴露对人体的影响,在目前时间加权计算接触工频电场强度的研究尚不完全成熟的情况下,工频电场的接触限值还应参考国际工频电场的有关限值标准。500kV变电站部分作业场所的工频电场强度较高,作业人员因工作需要进入此处作业场所时,应加强个体防护。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部. GBZ 2.2—2007 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分:物理因素[S]. 北京:人民卫生出版社,2007.
- [2] 国家能源局. DL/T 799.7—2010 电力行业劳动环境监测技术规范 第7部分:工频电场、磁场监测[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [3] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)[J]. Health Phys, 2010, 99(6): 818-836.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 189.3—2007 工作场所物理因素测量 第3部分:工频电场[S]. 北京:人民卫生出版社,2007.
- [5] 李红,文湘闽,尹燕,等. 500kV高压变电站作业场所工频电场强度评价[J]. 职业卫生与病伤, 2003, 18(4): 287.
- [6] 王兵,刘静坤. 高压工频电场对作业人员神经行为功能影响的研究[J]. 职业与健康, 2004, 20(8): 1-2.
- [7] 秦景香,刘武忠,周敏,等. 工频电场作业人员神经行为功能和健康状况的研究[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(10): 590-593.
- [8] 尹艳,李红,文湘闽,等. 四川电力系统变电站工频电场辐射调查[J]. 职业卫生与病伤, 2004, 19(2): 113.
- [9] 郎燕,尹艳. 南充500kV变电站工频电磁场强度监测结果分析[J]. 工业卫生与职业病, 2010, 36(2): 107-110.
- [10] BRIEF RS, SCALA RA. Occupational exposure limits for novel work schedules[J]. Am Ind Hyg Assoc J, 1975, 36(6): 467-469.
- [11] 世界卫生组织(WHO). 制订以健康为基础的电磁场标准的框架[M]. 杨新村,李毅,吕斌,译. 北京:中国电力出版社,2008.
- [12] IEEE. C95.6. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields in the frequency range 0~3kHz[S]. New York: IEEE, 2004.

(收稿日期: 2011-07-10)

(英文编审:薛寿征;编辑:王晓宇;校对:徐新春)