

高压输电线路工频电场强度预测与实测结果差异性影响因素分析

王浩然 宋振涛 孟凡兴

核工业航测遥感中心 河北 石家庄 050002

摘要: 本文针对同一输电线路同一塔型模型预测获得的工频电场强度数据与实际监测获得的数据存在很大差异性这一现象进行分析, 讨论了线路架设高度、运行工况、测量仪器、气候等因素的影响。经分析, 我们认识到: ①同一输电线路同一塔型模型预测获得的数据与实际监测获得的数据差异性可达 5~6 倍, 线路架设高度、运行工况、测量仪器、气候等因素都会对该差异性造成不同程度的影响; ②线路架设高度的变化对工频电场强度的影响最大, 实际工作可以通过增加线路架设高度来降低对环境的辐射影响; ③线路实际运行工况对工频电场强度的实际影响目前很难确定, 是否为成比例变换? 后续还需进一步进行研究。

关键词: 输电线路; 工频电场强度; 影响因素

Abstract: This paper analyzes the phenomenon that the power frequency electric field strength data obtained by the same tower model and same transmission line is very different from the data obtained by the actual monitoring. We discuss the influence of the line erection height, operating conditions, measuring instruments, climate and other factors. We realize that: the difference between the data predicted by the same tower model and the data obtained by the actual monitoring can reach 5 ~ 6 times. the line erection height, operating conditions, measuring instruments, climate and other factors will affect the difference to varying degrees. The change of line erection height has the greatest impact on the power frequency electric field intensity. We can reduce the radiation impact on the environment by increasing the line erection height in the actual work. At present, it is difficult to determine the actual influence of line operation conditions on power frequency electric field strength. Is it proportional transformation? Further research is needed.

Key words: Transmission lines; Power frequency electric field intensity; influencing factor

随着我国城市化发展速度的加快, 高压电网的建设规模日益扩大, 公众对于电磁辐射的环境影响日益关注, 针对输变电工程电磁环境与健康影响问题的投诉逐年增加, 环境影响已成为限制输变电工程建设和发展的重要因素。因此, 在输变电工程建设之前需进行环境影响评价、投入运行之后需进行竣工环境保护验收, 通过科学的技术方法分析预测输变电工程对环境的电磁辐射影响, 加强公众参与、减少环保纠纷是十分必要的。高压输电线路在建设前需进行环境影响评价, 该过程通过模型预测的方式预测其运行之后对环境的电磁辐射影响。投入运行后进行竣工环境保护验收, 该过程通过获取实际有效的监测数据对电磁辐射影响进行评估。在实际工作我们发现, 同一输电线路同一塔型模型预测获得的电场强度数据与实际监测获得的数据有很大的差异性, 差异性可达 5~6 倍。杜旭红等对 110kV 输电线路电场强度实测和理论计算两者之间的差异进行分析, 认为建筑物对输电线路产生的空间电场强度影响较大, 建筑物密集区的空间电场强度衰减较大。本文通过收集一条 220kV 输电线路同一塔型的模型预测结果及实际监测结果, 监测时排除地形、周边建筑的影响, 分析造成电场强度实测和理论计算差异性较大的原因, 讨论不同因素对差异性影响的程度。

1. 工频电场模型预测结果与实测结果对比

由于输电线路工频磁感应强度实际影响值远小于工频

磁感应强度曝露控制限制, 且工频磁感应强度不是造成制约输电线路设计的因素, 因此, 本文只针对输电线路工频电场强度影响进行分析预测。采用《环境影响评价技术导则 输变电》(HJ 24-2020) 附录 C 推荐的计算模型对工频电场强度进行预测。模型预测参数见表 1, 预测塔型及预测结果趋势线见图 1。实际测量过程中, 选择地形较为平坦区域、线路弧垂最低点进行监测, 避开高大建筑、林木、其他输电线路等的影响。测量时, 工频电场测量仪器采用型号是: KH5931/KH-T1 的电磁辐射分析仪。该仪器电场探头为边长 10cm 的正方体, 测量方法是通过光缆把监测信号传送至主机, 监测方法满足《交流输变电工程电磁环境监测方法(试行)》(HJ 681-2013), 并按照相关程序和规则进行测量。输电线路工频电场具体检测情况和检测数据见表 2, 输电线路工频电场监测结果见表 3。

表 1 输电线路模型预测参数一览表

名称	参数	名称	参数
电压等级	220kV	导线型号	2 × JL/G1A-400/35
架线方式	单回架空架设	导线分裂情况	双分裂, 分裂间距 400mm
呼高 (m)	24	导线半径 (mm)	13.8
弧垂点对地高度 (m)	10	电流 (A)	300

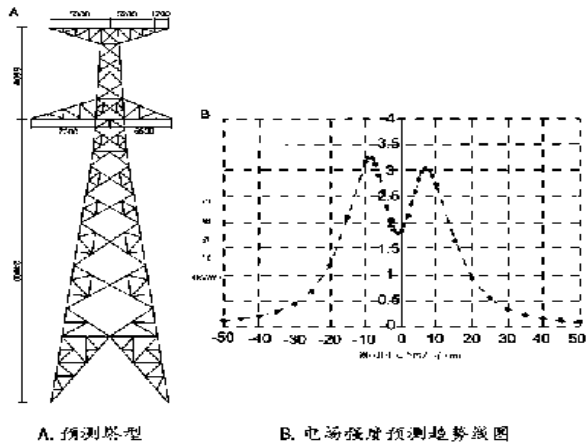


图 1 预测塔型及预测结果趋势线图

表 2 输电线路监测工况一览表

名称	最大电压	最小电压
220kV 输电线路	133.65	131.12

表 3 输电线路工频电场监测结果一览表

到线路中心线投影的距离(m)	工频电场强度(V/m)	到线路中心线投影的距离(m)	工频电场强度(V/m)
0	442.21	15	411.94
1	482.25	20	166.15
2	499.51	25	114.77
5	589.33	30	104.93
6	587.36	35	75.49
7	583.54	40	59.15
8	549.02	45	34.43
9	528.19	50	16.91
10	463.10	55	15.99

由表 1 可知,随着距线路中心线投影距离增大,工频电场强度呈现先增加,后降低的趋势,正方向上距线路中心线投影 7m 处达到最大值,为 3.019kV/m。由表 3 可见,工频电场强度实际监测数据与理论预测值变化趋势具有很好的一致性,最大值出现位置也较相似,出现在距线路中心线投影 5m 处,为 589.33V/m。不同的是,实际监测结果远小于模型预测结果,差异性可达 5 倍,并且这一现象具有普适性,同样适用于其他电压等级的输电线路。本文将对造成这一差异性的影响因素进行分析。

2. 差异性影响因素分析

本文采用国家标准导则中推荐的计算模型预测输电线路对地的工频电场强度,该模型在理想状态下进行预测,并未考虑气候、运行工况、仪器设备、人员误差等条件的影响,而实际工程环境确实复杂多变,本文针对上述不同影响因素进行分析,讨论其影响程度。

2.1 输电线路架设高度影响

在环评阶段,220kV 架空输电线路模型预测参数来源于项目可行性研究报告,由于线路未建设,线路弧垂最低点对地高度很难确定,一般依据经验、考虑最低可行的架线高度(表 1)。在竣工验收阶段,可收集施工图线路平断面定位图或实际测量线路弧垂最低点对地高度,来精确获取预测参数。本文采用线路平断面定位图获取的线路弧垂最低点对地高度重新计算 220kV 输电线路工频电场强度。线路平断面定位图见图 2,预测结果趋势线见图 3。由图 3 可知,由于 220kV 输电线路弧垂最低点对地高度增加,电场强度整体变化趋势未发生变化,但预测值整体变化较大,相应减小的幅度超过 100%。由此可见,输电线路弧垂最低点对地高度的变化对工频电场强度预测值具有很大影响,在实际应用中,可以通过增加线路对地高度的方法来降低电磁辐射对周围环境的影响。

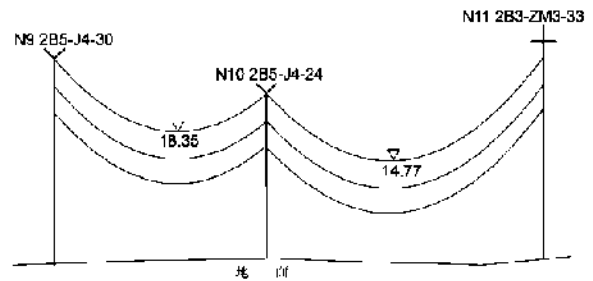


图 2 线路平断面定位图

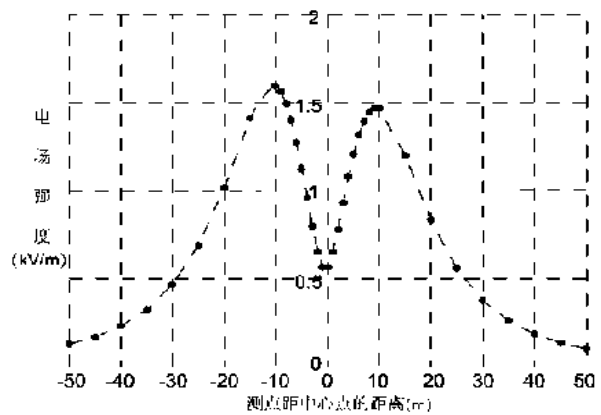


图 3 预测结果趋势线图

2.2 运行工况影响

本文采用《环境影响评价技术导则 输变电》(HJ 24-2020)附录 C 推荐的计算模型对输电线路工频电场强度进行预测,推荐模型中以额定电压的 1.05 倍作为计算电压,为满负荷工况进行预测。但实际工作中,项目很难达到满负荷运行,目前很难通过调节电力部门运行工况来研究不同工况下产生的实际电磁影响,因此该部分内容尚无具体研究。本文通过调节推荐模式中给出的预测参数,获得相应运行工况下电场强度与满负荷工况下电场强度之间的换算关系。依据推荐计算公式,监测当天实际工况下(表 2)与满负荷工

况下电场强度换算关系为 $E_i = E_0 / 1.65$ ，式中 E_i 为本项目实际运行电压下电场强度， E_0 为满负荷电压下电场强度。通过校正输电线路弧垂最低点对地高度，获取的正方向侧工频电场强度最大值为 $1.469 \times 103 \text{V/m}$ 。根据上述换算公式，确定实际工况下，校正的工频电场强度最大预测值为 890.30V/m 。这一结果与实际监测的最大值已经相当接近，也可确定输电线路运行工况对于工频电场强度也具有很大的影响。通过该方法确定相应运行工况下电场强度与满负荷工况下电场强度之间的换算关系也具有一定的不确定性，实施情况是否如此，还需要我们通过实际的研究进一步进行解释。

2.3 测量仪器影响

本文中工频电场测量仪器采用型号为 KH5931/KH-T1 的电磁辐射分析仪。根据仪器检定证书，在 50Hz 的频率下，实验室标定仪器显示 400V/m 的标称值，在本电磁辐射分析仪上显示 367V/m 的指示值，测量值与实际值降低 8.25%；标定仪器显示 1000V/m 的标称值，在本电磁辐射分析仪上显示 938V/m 的指示值，测量值与实际值降低 6.20%。本文对 220kV 输电线路实际测量的工频电场强度最大值为 589.33V/m ，对上述标称值、指示值进行内插计算，确定在 589.33V/m 的指示值下，标称值为 633.62V/m （实际值）。

2.4 气候影响

大量研究表明，温度、湿度等气候条件对工频电场测量值影响很大，彭继文等研究发现，环境相对湿度较大时，工频电场强度的变化也较大，两者变化呈指数级增加。俞集辉等研究发现，当温度一定时，工频电场强度也会随着湿度的增加而呈现增加现象；当湿度一定时，电场强度也随温度的升高而呈现增大现象。以上研究者研究结果表明，温度、湿度对工频电场的测量会产生较大影响，但他们对其变化影响的原因研究较少。孙涛等研究者研究发现，测量数据偏大的原因，主要是湿度引起测量仪器及其支架电气性能发生改变的问题，而非对空间电场分布产生的影响。综上，温度、湿度等气候因素会对电场强度测量数据产生影响。输电线路实际监测当天相对湿度为 34%，小于 60% 的分界值，本文考虑温湿度对测量结果的影响，取平均误差 8.5% 来进行分析。对于上述经校正后的实际最大测量值 633.62V/m 取 8.5%

的误差率，为 $(633.62 \pm 53.86) \text{V/m}$ 。该值与经过架线高度、运行工况等条件校正的最大预测值 890.30V/m 已很接近，存在较小差异性的原因可能是输电线路实际运行工况对工频电场强度的实际影响目前很难确定，实际测量的最大值位置可能还不是输电线路对地的最大影响位置，测量过程中人员操作不规范等造成的数据偏差。

3. 结束语

本文中选定的输电线路通过理论预测获得工频电场强度是实际监测结果的 5-6 倍，造成该差异性的原因主要有线路架设高度、运行工况、测量仪器、气候等因素，其中线路架设高度的变化对工频电场强度的影响最大，实际工作可以通过增加线路架设高度来降低对环境的辐射影响。线路运行工况的变化对工频电场强度的实际影响目前很难确定，是否为成比例变换？后续还需进一步进行研究。

参考文献：

- [1] 符义凡. 高压输变电工程的电磁辐射及环境保护 [J]. 环境与发展, 2019, 31(02):260-262.
- [2] 叶先军. 高压输变电工程的电磁辐射及环境保护探析 [J]. 机电信息, 2021(02),55-56.
- [3] 杨文燕. 输变电项目电磁环境影响预测要点分析 [J]. 资源节约与环保, 2019,000(008):116.
- [4] 曹碧波, 姜梅. 输变电工程电磁环境研究现状综述 [J]. 电力安全技术. 2020,22(01).
- [5] 张锋, 李海涛等. 输变电建设项目环保自验收流程优化及注意事项探讨 [J]. 2020,2(27)58-59.
- [6] 杜旭红, 游国强等. 110kV 输变电系统电磁辐射危害分析研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021(03),198-202.
- [7] 俞集辉, 罗玉凤等. 湿度和温度对工频电场强度的影响 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2108.03(02):137-140.
- [8] 孙涛, 何书恒等. 湿度对高压输电线路工频电场测量的影响 [J]. 通信电源技术, 2018(6):171-173.

作者简介：

王浩然 (1990.02-)，男，汉族，河北省沧州市人，硕士研究生学历，核工业航测遥感中心职工，主要研究方向：放射性检测和环境评价工作。