

中华人民共和国环境保护行业标准

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

Technical regulations on environmental impact
assessment of electromagnetic radiation produced
by 500kV ultrahigh voltage transmission and transfer
power engineering

1998—11—19 发布

1999—02—01 实施

国家环境保护总局 发布

中华人民共和国环境保护
行业标准
**500kV 超高压送变电工程
电磁辐射环境影响评价技术规范**
HJ/T 24—1998

中国环境科学出版社出版发行
北京市海淀区普惠南里14号
北京市燕山联营印刷厂印刷
版权专有 不得翻印

1999年1月第 一 版 开本 880×1230 1/16
1999年1月第一次印刷 印张 1¼
印数 1—2 000 字数 32 千字

ISBN 7-80135-682-9/X·1395

定价：8.00 元

ISBN 7-80135-682-9



9 787801 356826 >

前 言

为了指导 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响报告书的编制和规范内容,制定本规范。

本规范由国家环境保护总局提出,北方交通大学编制。

本规范主要起草人:蒋忠涌、李蓉。

本规范由国家环境保护总局负责解释。

目 次

1. 总则	(1)
2. 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响初步评价报告书编制的主要章节和内容	(1)
3. 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响最终评价报告书编制的主要章节和内容	(4)
附录 A(标准的附录) 高压送电线下空间工频电场强度的计算	(5)
附录 B(标准的附录) 高压送电线下空间工频磁场强度的计算	(11)
附录 C(标准的附录) 高压交流架空送电线路无线电干扰场强的计算	(12)
附录 D(标准的附录) 有关电磁辐射环境影响评价的国家标准	(14)

500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境
影响评价技术规范

HJ/T 24—1998

Technical regulations on environmental impact assessment of
electromagnetic radiation produced by 500kV ultrahigh
voltage transmission and transfer power engineering

1 总则

- 1.1 本规范根据国家环境保护局 18 号令《电磁辐射环境保护管理办法》及《辐射环境保护管理导则电磁辐射环境影响评价方法与标准》(HJ/T 10.3—1996)制定。
- 1.2 本规范制定的目的在于指导 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响报告书的编写,统一格式及规范内容。
- 1.3 本规范适用于 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价。也可参照本规范应用于 110kV、220kV 及 330kV 送变电工程电磁辐射环境影响评价。
- 1.4 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价分为初步评价和最终评价两个阶段。初步评价报告书应在获得工程项目规划建设许可文件(证)后进行。最终评价报告书在项目运行后一年左右完成。
- 1.5 初步评价报告书以相关调查资料、类比测量以及理论计算为主,对项目的电磁环境影响作出预测。最终评价报告书应以本项目设施正常运行时环境监测规定的实测数据为准作出实际环境影响评价。
- 1.6 电磁辐射环境影响报告书是一个独立的、完整的、正式的有法律效力的技术文件,须由持有电磁辐射环境影响评价专项证书的单位和有资格的技术人员编写。
- 1.7 电磁辐射环境影响报告书可由项目建设方委托有资格的单位编写,并对报告书负责。
- 1.8 电磁辐射环境影响报告书的编制费和评审费由项目建设方纳入建设费用。

2 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响初步评价报告书编制的主要章节和内容

2.1 前言

2.2 编制依据

2.2.1 项目名称、规模及基本构成

2.2.2 评价依据

2.2.2.1 采用的国家标准、规范名称及编号

2.2.2.2 采用的行业标准、技术导则名称及编号

2.2.2.3 项目建议书及批复文件

2.2.2.4 项目可行性研究报告、有关文件名称及文号

2.2.2.5 环境影响评价大纲及国家环境保护总局对环境影响评价大纲的批文

2.2.2.6 环境影响报告书编制委托书

2.2.2.7 城市规划批准文件

2.2.2.8 关于执行环境标准的认定文件

2.2.2.9 其他(包括利用国际金融组织贷款的有关文件等)

2.2.3 电磁辐射环境影响和保护目标

2.2.3.1 电磁辐射环境影响

分别按变电所和送电线路在施工期和运行期的电磁辐射环境影响进行说明。

2.2.3.2 环境保护目标

具体列出本项目电磁辐射环境影响敏感点的名称、分布和特征。例如医院、学校、居民区、通信、导航和军事设施等。

2.2.3.3 对敏感点部门初步协调结果

列出协调部门名称,给出初步协调结果(合同或意向)。

2.2.4 评价范围和评价标准

2.2.4.1 评价范围

以送电线路走廊两侧 30m 带状区域、变电所址为中心的半径 500m 范围内区域为工频电场、磁场的

评价范围。
以送电线路走廊两侧 2000m 带状区域、变电所围墙外 2000m 或距最近带电构架投影 2000m 内区域为无线电干扰评价范围。

2.2.4.2 评价标准

公众总受照剂量(包括已有电磁辐射背景影响和拟建项目设施可能或已经造成影响之和)不应大于国家标准《电磁辐射防护规定》(GB 8702—1988)的规定。对于单个项目的影响可取上述标准中场强限值的 $1/\sqrt{2}$ 或功率密度限值的 1/2。

对于高压送电线路的无线电干扰限值根据国家标准《高压交流架空送电线无线电干扰限值》(GB 15707—1995)规定在距边相导线投影 20m 距离处、测试频率为 0.5MHz 的晴天条件下不大于 55dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)。

对各种业务用无线电台干扰影响限值见附录 D(标准的附录)有关国家标准相应规定。

关于超高压送变电设施的工频电场、磁场强度限值目前尚无国家标准。为便于评价,根据我国有关单位的研究成果、送电线路设计规定和参考各国限值,推荐暂以 4kV/m 作为居民区工频电场评价标准,推荐应用国际辐射保护协会关于对公众全天辐射时的工频限值 0.1mT 作为磁感应强度的评价标准。待相应国家标准发布后,以其规定限值为准。

2.3 项目概论

2.3.1 项目概况

项目建设的必要性,变电所、送电线路的路径及组成,主要设计指标,投资情况等。

2.3.2 电磁辐射污染源分析

电磁辐射源分析,污染区域位置。

2.4 环境概况

2.4.1 自然环境

2.4.2 生态环境

2.5 电磁环境影响评价

2.5.1 电磁辐射现状调查

现有送电线路、变电所电压等级、电流、设备容量、架线型式、走向调查。

电磁辐射(包括电场、磁场和无线电干扰场)现状水平和分布情况的实际测量。

2.5.2 模拟类比测量

利用类似本项目建设规模、电压等级、容量、架线型式及使用条件的其它已运行送电线路、变电所进行电磁辐射强度和分布的实际测量,用于对本项目建成后电磁环境定量影响的预测。

送电线路的测量是以档距中央导线弛垂最大处线路中心的地面投影点为测试原点,沿垂直于线路方向进行,测点间距为 5m,顺序测至边相导线地面投影点外 50m 处止。分别测量离地 1.5m 处的电场强

度垂直分量、磁场强度垂直分量和水平分量。

变电所的测量应选择在高压进线处一侧,以围墙为起点,测点间距为 5m,依次测至 500m 处为止。分别测量地表面处和离地 1.5m 处的电场强度垂直分量、磁场强度垂直分量和水平分量。

无线电干扰电平的测量应分别在送电线路、变电所测试路径上以 2m 处测量。其中 $n=0,1,2,\dots,11$ 等正整数。

2.5.3 理论计算

根据本项目送电线路的架线型式、架设高度、线距和导线结构等参数计算送电线路形成的工频电场强度值、磁场强度值和无线电干扰场强值。

电场强度值的计算按附录 A 所述方法进行。

磁场强度值的计算按附录 B 所述方法进行。

无线电干扰场强值的计算按附录 C 所述方法进行。

2.5.4 电磁环境影响初步评价

2.5.4.1 运行期电磁辐射强度预测

由 2.5.1、2.5.2 及 2.5.3 所得电磁辐射强度和分布结果分析本项目运行期电磁辐射影响的增量和环境电磁强度的总量。

2.5.4.2 健康影响的预评价

由 2.5.4.1 的电磁辐射预测值,根据评价标准对人体健康影响作出预评价。

2.5.4.3 无线电干扰影响的预评价

由 2.5.4.1 的无线电干扰预测值,根据评价标准作出主要对接收电视信号和军用无线电设备的无线电干扰影响预评价。亦应注意对邻近无线通信、电台、导航等台站的干扰影响。如可能造成影响时,应提出消除干扰的有效措施。

2.5.5 其他环境因子影响的预评价

根据项目建设在施工期和运行期的具体情况,对自然环境、生态环境(包括动、植物自然保护区)、社会环境、生活质量环境(包括风景名胜和景观等)的影响进行预评价。

2.6 环保措施及建议

2.6.1 送电线路邻近居民区及敏感区

2.6.2 变电所邻近居民区及敏感区

2.6.3 送电线路与铁路、公路的交叉跨越

2.6.4 移民安置

2.7 环境经济损益分析

2.7.1 收益部分分析

运行后环保投资产生的经济效益、环保效益和社会效益的分析。

2.7.2 投入部分分析

本建设项目环保设施的直接和间接投入资金分析。

2.7.3 环境经济损益统计

2.8 公众参与

2.8.1 送电线路路径选线过程中的公众参与

2.8.2 专项调查的公众参与

2.8.3 公众参与调查结果

2.9 结论

2.9.1 项目建设必要性简述

2.9.2 项目及环境概况

2.9.3 环境影响评价

2.9.4 环境保护主要技术指标及设施

2.9.4 存在问题和建议

3 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响最终评价报告书编制的主要章节和内容

3.1 前言

3.2 编制依据

3.2.1 项目名称、规模及基本构成

本建设项目全部或分阶段竣工验收规模和基本构成情况。

实际建成规模与初步评价报告书所述的差异情况。

项目建设环境条件变动的说明。

项目实际建成规模、构成与设计的变动说明。

3.2.2 评价依据

本项目电磁辐射环境影响初步评价报告书简要说明。

国家环境保护总局对初步评价报告书的批复及文号。

因项目规模、构成变动引起的环境影响评价内容的增删情况。

有别于初步评价报告书中其他内容引起环境影响评价内容增删情况。

3.2.3 电磁辐射环境影响和保护目标

运行期电磁辐射实际影响说明。

电磁辐射实际影响敏感点的分布、名称和相对位置(必要时可附图说明)。

3.2.4 评价范围、评价标准

简述初步评价报告书的相应部分。

重点说明与初步评价报告书关于评价范围、评价标准的变动部分。

3.2.5 电磁辐射环境实际测量

对应初步评价报告书中未变化的工程设施应按原测量项目进行设施正常运行时环境影响的实际测试。

对应初步评价报告书中发生变动的工程设施应确定测量项目后在该设施正常运行时,按有关规定进行环境影响的实际测试。受条件限制不能实测时,应作类比测量或理论计算。

3.2.6 运行期实际环境影响评价

由 3.2.5 电磁辐射环境实际测量结果核证初步评价报告书和设计文件预测值,当差异较显著时,应分析原因。

若实测时设施未全功率运行,则应作出全功率运行时的附加影响。

评价本工程项目全部(或分阶段)设施投入运行后环境电磁辐射的增量和总量。

评价实际电磁辐射对人体健康的影响。

评价无线电干扰影响。如对敏感点未满足国标、军标规定限值要求造成干扰时,应采取措施消除干扰影响,并妥善解决既成干扰影响情况。

评价其他环境因子的影响

3.2.7 环保效益实际分析

送电线路邻近居民区及敏感区环保影响实际减缓措施和投资。

变电所邻近居民区及敏感区环保影响实际减缓措施和投资。

移民安置落实。

环保效益、经济效益和社会效益的实际分析。

3.2.8 结论

评价结论。

存在问题和对策。

高压送电线下空间工频电场强度的计算

根据“国际大电网会议第 36.01 工作组”推荐的方法,利用等效电荷法计算高压送电线(单相和三相高压送电线)下空间工频电场强度。

A1 单位长度导线上等效电荷的计算

高压送电线上的等效电荷是线电荷,由于高压送电线半径 r 远远小于架设高度 h ,所以等效电荷的位置可以认为是在送电导线的几何中心。

设送电线路为无限长并且平行于地面,地面可视为良导体,利用镜像法计算送电线上的等效电荷。

为了计算多导线线路中导线上的等效电荷,可写出下列矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \cdots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \cdots & \lambda_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \cdots & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} \quad \text{..... (A1)}$$

式中: $[U]$ ——各导线对地电压的单列矩阵;

$[Q]$ ——各导线上等效电荷的单列矩阵;

$[\lambda]$ ——各导线的电位系数组成的 n 阶方阵(n 为导线数目)。

$[U]$ 矩阵可由送电线的电压和相位确定,从环境保护考虑以额定电压的 1.05 倍作为计算电压。由三相 500kV(线间电压)回路(图 A1 所示)各相的相位和分量,则可计算各导线对地电压为:

$$\begin{aligned} |U_A| &= |U_B| = |U_C| \\ &= \frac{500 \times 1.05}{\sqrt{3}} \\ &= 303.1 \text{ kV} \end{aligned}$$

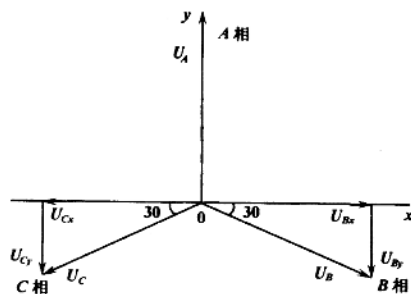


图 A1 对地电压计算图

各导线对地电压分量为:

$$\begin{aligned} U_A &= (303.1 + j0) \text{ kV} \\ U_B &= (-151.6 + j262.5) \text{ kV} \\ U_C &= (-151.6 - j262.5) \text{ kV} \end{aligned}$$

$[\lambda]$ 矩阵由镜像原理求得。地面为电位等于零的平面,地面的感应电荷可由对应地面导线的镜像电荷代替,用 $i, j, \dots$ 表示相互平行的实际导线,用 $i', j', \dots$ 表示它们的镜像,如图 A2 所示,电位系数可写为:

$$\lambda_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{R_i} \dots\dots\dots (A2)$$

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{ij}}{L_{ij}} \dots\dots\dots (A3)$$

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ji} \dots\dots\dots (A4)$$

式中: ϵ_0 ——空气介电常数; $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{F/m}$;

R_i ——送电导线半径,对于分裂导线可用等效单根导线半径代入, R_i 的计算式为:

$$R_i = R \sqrt{\frac{n}{R}} \dots\dots\dots (A5)$$

式中: R ——分裂导线半径;(如图 A3)

n ——次导线根数;

r ——次导线半径。

由 $[U]$ 矩阵和 $[\lambda]$ 矩阵,利用式(A1)即可解出 $[Q]$ 矩阵。

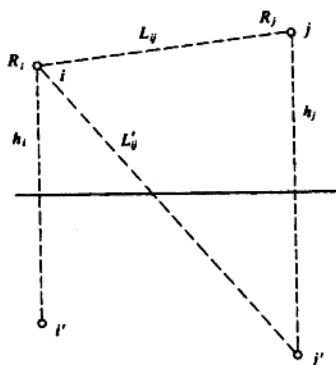


图 A2 电位系数计算图

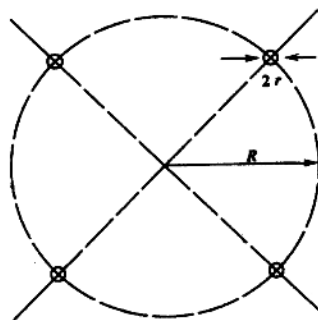


图 A3 等效半径计算图

对于三相交流线路,由于电压为时间向量,计算各相导线的电压时要用复数表示:

$$\bar{U}_i = U_{iR} + jU_{iI} \dots\dots\dots (A6)$$

相应地电荷也是复数量:

$$\bar{Q}_i = Q_{iR} + jQ_{iI} \dots\dots\dots (A7)$$

式(A1)矩阵关系即分别表示了复数量的实数和虚数两部分:

$$[U_R] = [\lambda][Q_R] \dots\dots\dots (A8)$$

$$[U_I] = [\lambda][Q_I] \dots\dots\dots (A9)$$

A2 计算由等效电荷产生的电场

为计算地面电场强度的最大值,通常取夏天满负荷有最大弧垂时导线的最小对地高度。因此,所计算的地面场强仅对档距中央一段(该处场强最大)是符合的。

当各导线单位长度的等效电荷量求出后,空间任意一点的电场强度可根据叠加原理计算得出,在 (x, y) 点的电场强度分量 E_x 和 E_y 可表示为:

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^m Q_i \left(\frac{x-x_i}{L_i^2} - \frac{x-x_i}{(L'_i)^2} \right) \quad \text{..... (A10)}$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^m Q_i \left(\frac{y-y_i}{L_i^2} - \frac{y+y_i}{(L'_i)^2} \right) \quad \text{..... (A11)}$$

式中: x_i, y_i ——导线 i 的坐标($i=1, 2, \dots, m$);

m ——导线数目;

L_i, L'_i ——分别为导线 i 及其镜像至计算点的距离。

对于三相交流线路,可根据式(A8)和(A9)求得的电荷计算空间任一点电场强度的水平和垂直分量为:

$$\begin{aligned} \bar{E}_x &= \sum_{i=1}^m E_{ixR} + j \sum_{i=1}^m E_{ixI} \\ &= E_{xR} + jE_{xI} \quad \text{..... (A12)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_y &= \sum_{i=1}^m E_{iyR} + j \sum_{i=1}^m E_{iyI} \\ &= E_{yR} + jE_{yI} \quad \text{..... (A13)} \end{aligned}$$

式中: E_{xR} ——由各导线的实部电荷在该点产生场强的水平分量;

E_{xI} ——由各导线的虚部电荷在该点产生场强的水平分量;

E_{yR} ——由各导线的实部电荷在该点产生场强的垂直分量;

E_{yI} ——由各导线的虚部电荷在该点产生场强的垂直分量。

该点的合成场强则为:

$$\begin{aligned} \bar{E} &= (E_{xR} + jE_{xI})\bar{x} + (E_{yR} + jE_{yI})\bar{y} \\ &= \bar{E}_x + \bar{E}_y \quad \text{..... (A14)} \end{aligned}$$

式中: $E_x = \sqrt{E_{xR}^2 + E_{xI}^2} \quad \text{..... (A15)}$

$$E_y = \sqrt{E_{yR}^2 + E_{yI}^2} \quad \text{..... (A16)}$$

在地面处($y=0$)电场强度的水平分量

$$E_x = 0$$

接地架空线对于地面附近场强的影响很小,对500kV单回路水平排列的几种情况计算表明,没有架空地线时较有架空地线时的场强增加约1%~2%,所以常不计架空地线影响而使计算简化。

计算举例:如图A4所示结构的单回路500kV三相架空送电线路,导线成水平状架设,采用 $n=4$ 的分裂导线,求 P 点($x=15\text{m}, y=1\text{m}$)处工频电场强度值。

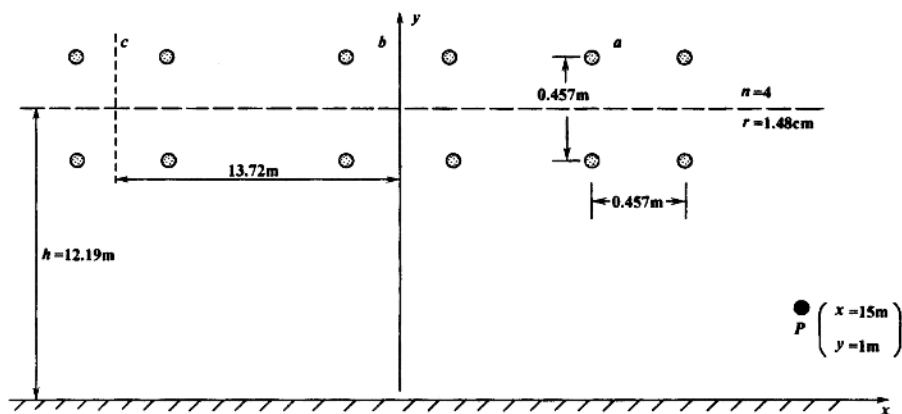


图 A4 计算例图

一、单位长度导线上等效电荷计算

$$\text{分裂导线半径 } R = 0.457 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.323\text{m}$$

$$\text{等效导线半径 } R_i = 0.323 \sqrt{\frac{4 \times 0.0148}{0.323}} = 0.211\text{m}$$

$$\text{导线对地电压 } U_a = (303.1 + j0)\text{kV}$$

$$U_b = (-151.6 + j262.5)\text{kV}$$

$$U_c = (-151.6 - j262.5)\text{kV}$$

依此可写成实部和虚部两个矩阵:

$$[U_R] = \begin{bmatrix} 303.1 \\ -151.6 \\ -151.6 \end{bmatrix} \quad [U_I] = \begin{bmatrix} 0 \\ 262.5 \\ -262.5 \end{bmatrix}$$

$$\text{电位系数 } \lambda_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{R_i} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times (4.75)$$

$$\lambda_{12} = \lambda_{21} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{12}}{L_{12}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times (0.71)$$

$$\lambda_{13} = \lambda_{31} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{13}}{L_{13}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times (0.29)$$

根据导线的对称关系,可知:

$$\lambda_{22} = \lambda_{33} = \lambda_{11}$$

$$\lambda_{23} = \lambda_{32} = \lambda_{12}$$

依此写出电位系数矩阵:

$$[\lambda] = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix}$$

则按式(A1)可得:

$$\begin{aligned} [U_R] &= [\lambda][Q_R] \\ [U_I] &= [\lambda][Q_I] \end{aligned}$$

$$\text{即: } \begin{bmatrix} 303.1 \\ -151.6 \\ -151.6 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1R} \\ Q_{2R} \\ Q_{3R} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 262.5 \\ -262.5 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1I} \\ Q_{2I} \\ Q_{3I} \end{bmatrix}$$

对上述两矩阵方程求解,可得等效电荷的矩阵值:

$$[Q_R] = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} 71.359 \\ -38.008 \\ -30.590 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ c/m}$$

$$[Q_I] = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} -5.886 \\ 65.819 \\ 64.742 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ c/m}$$

二、计算 P 点处工频电场强度的水平分量和垂直分量

各导线的坐标如图 A5 所示,则由 P 点($x=15\text{m}, y=1\text{m}$)坐标可得:

$$r_1^2 = (h-y)^2 + (x-d)^2 = 126.855 \text{ m}^2$$

$$r_2^2 = (h-y)^2 + x^2 = 350.22 \text{ m}^2$$

$$r_3^2 = (h-y)^2 + (x+d)^2 = 950.05 \text{ m}^2$$

$$r_4^2 = (h+y)^2 + (x-d)^2 = 175.61 \text{ m}^2$$

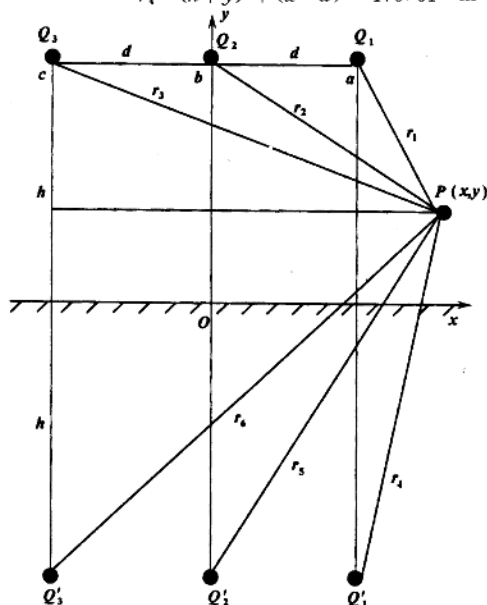


图 A5 各导线坐标图

$$r_3^2 = (h+y)^2 + x^2 = 398.98 \text{ m}^2$$

$$r_6^2 = (h+y)^2 + (x+d)^2 = 998.81 \text{ m}^2$$

实部电荷 Q_R 在 P 点产生的场强水平分量:

$$\begin{aligned} E_{xR} &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1R}(x-d)}{r_1^2} - \frac{Q_{1R}(x-d)}{r_4^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{Q_{2R}x}{r_2^2} - \frac{Q_{2R}x}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3R}(x+d)}{r_3^2} - \frac{Q_{3R}(x+d)}{r_6^2} \right] \right\} \\ &= -0.044 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

虚部电荷 Q_I 在 P 点产生的场强水平分量:

$$\begin{aligned} E_{xI} &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1I}(x-d)}{r_1^2} - \frac{Q_{1I}(x-d)}{r_4^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{Q_{2I}x}{r_2^2} - \frac{Q_{2I}x}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3I}(x+d)}{r_3^2} - \frac{Q_{3I}(x+d)}{r_6^2} \right] \right\} \\ &= 0.423 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

所以, P 点的场强水平分量为:

$$\bar{E}_x = (-0.044 + j0.423) \text{ kV/m}$$

$$E_x = \sqrt{(0.044)^2 + (0.423)^2} = 0.425 \text{ kV/m}$$

实部电荷 Q_R 在 P 点产生的场强垂直分量:

$$\begin{aligned} E_{yR} &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1R}(y-h)}{r_1^2} - \frac{Q_{1R}(y+h)}{r_4^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{Q_{2R}(y-h)}{r_2^2} - \frac{Q_{2R}(y+h)}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3R}(y-h)}{r_3^2} - \frac{Q_{3R}(y+h)}{r_6^2} \right] \right\} \\ &= -8.420 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

虚部电荷 Q_I 在 P 点产生的场强垂直分量:

$$\begin{aligned} E_{yI} &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1I}(y-h)}{r_1^2} - \frac{Q_{1I}(y+h)}{r_4^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{Q_{2I}(y-h)}{r_2^2} - \frac{Q_{2I}(y+h)}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3I}(y-h)}{r_3^2} - \frac{Q_{3I}(y+h)}{r_6^2} \right] \right\} \\ &= -4.938 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

所以, P 点的场强垂直分量为:

$$\bar{E}_y = (-8.42 - j4.938) \text{ kV/m}$$

$$E_y = \sqrt{(8.42)^2 + (4.938)^2} = 9.761 \text{ kV/m}$$

高压送电线下空间工频磁场强度的计算

根据“国际大电网会议第 36.01 工作组”的推荐方法计算高压送电线下空间工频磁场强度。

由于工频情况下电磁性能具有准静态特性,线路的磁场仅由电流产生。应用安培定律,将计算结果按矢量叠加,可得出导线周围的磁场强度。

和电场强度计算不同的是关于镜像导线的考虑,与导线所处高度相比这些镜像导线位于地下很深

的距离 d ,
$$d = 660 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (\text{B1})$$

式中: ρ ——大地电阻率($\Omega \cdot \text{m}$);

f ——频率(Hz)。

在很多情况下,只考虑处于空间的实际导线,忽略它的镜像进行计算,其结果已足够符合实际。

如图 B1,不考虑导线 i 的镜像时,可计算在 A 点其产生的磁场强度:

$$H = \frac{I}{2\pi \sqrt{h^2 + L^2}} \quad \dots\dots\dots (\text{B2})$$

式中: I ——导线 i 中的电流值。

对于三相线路,由相位不同形成的磁场强度水平和垂直分量都必须分别考虑电流间的相角,按相位矢量来合成。一般来说合成矢量对时间的轨迹是一个椭圆。

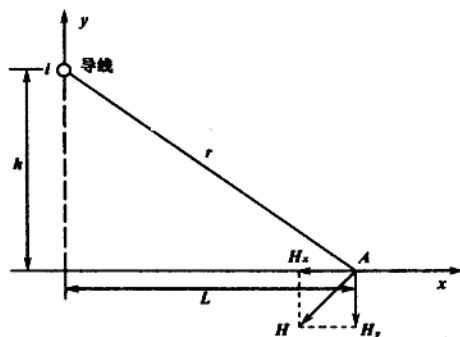


图 B1 磁场向量图

高压交流架空送电线路无线电干扰场强的计算

关于 110~500kV 交流架空送电线产生的 0.15~30MHz 频段无线电干扰场强,可根据国家标准《高压交流架空送电线无线电干扰限值》(GB 15707—1995)的附录进行计算:

C1 基本公式

由下式可计算 0.5MHz 时高压交流架空送电线的无线电干扰场强。

$$E = 3.5g_{\max} + 12r - 30 + 33\lg \frac{20}{D} \quad \text{..... (C1)}$$

式中: E ——无线电干扰场强, dB($\mu\text{V}/\text{m}$);

r ——导线半径, cm;

D ——被干扰点距导线的距离, m;

$g_{\max}$ ——导线表面最大电位梯度, kV/cm。

$$g_{\max} = g[1 + (n-1)\frac{d}{R}] \quad \text{..... (C2)}$$

式中: R ——通过次导线中心的圆周直径, cm;

n ——次导线根数;

d ——次导线直径, cm;

g ——导线的平均表面电位梯度。

$$g = \frac{Q}{\pi\epsilon_0 d n} \quad \text{..... (C3)}$$

式中: Q ——每极导线的等效总电荷,可由附录 A 中所述方法求出。

C2 高压交流架空送电线无线电干扰场强

根据式(C1)计算出高压交流架空送电线三相导线的每相在某一点产生的无线电干扰场强,如果有一相的无线电干扰场强值至少大于其余的每相值 3dB($\mu\text{V}/\text{m}$),则高压交流架空送电线无线电干扰场强值即为该场强值,否则按照下式计算。

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} + 1.5 \quad \text{..... (C4)}$$

式中: E ——高压交流架空送电线无线电干扰场强, dB($\mu\text{V}/\text{m}$);

E_1, E_2 ——三相导线中的最大两个无线电干扰场强, dB($\mu\text{V}/\text{m}$)。

C3 80%时间概率下、具有 80%置信度的无线电干扰场强值

由式(C1)计算的是好天气时 50%时间概率下的无线电干扰场强值,对于 80%时间概率、具有 80%置信度的无线电干扰场强值可由该值增加 6~10dB($\mu\text{V}/\text{m}$)得到。

C4 高压交流架空送电线无线电干扰限值的频率修正公式

高压交流架空送电线无线电干扰限值的频率修正可按下列公式计算:

$$\Delta E = 5[1 - 2(\lg 10f)^2] \quad \text{..... (C5)}$$

或

$$\Delta E = 20 \lg \frac{1.5}{0.5 + f^{1.75}} - 5 \dots\dots\dots (C6)$$

式中: ΔE ——相对于 0.5MHz 的干扰场强的增量, dB(μ V/m);

f ——频率, MHz。

注: 式(C5)的适用频率范围为 0.15~4MHz。

应用举例

当频率为 0.8MHz 时, 用式(C5)计算出 ΔE 为 -3dB(μ V/m), 对于 500kV 线路: 0.5MHz 时无线电干扰限值 E 为 55dB(μ V/m), 所以 0.8MHz 时的无线电干扰限值为 $E + \Delta E = 52$ dB(μ V/m)。

C5 无线电干扰场的距离修正

高压交流架空送电线无线电干扰距离特性由下式表示:

$$E_x = E + k \cdot \lg \frac{400 + (H-h)^2}{x^2 + (H-h)^2} \dots\dots\dots (C7)$$

式中: E_x ——距边导线投影 X m 处干扰场强, dB(μ V/m);

E ——距边导线投影 20 m 处干扰场强, dB(μ V/m);

X ——距边导线投影距离, m;

H ——边导线在测点处对地高度, m;

h ——测量仪天线的架设高度, m;

k ——衰减系数。

对于 0.15~0.4MHz 频段, k 取 18; 对于大于 0.4MHz 直至 30MHz 频率, k 取 16.5。式(C7)适用于距导线投影距离小于 100m 处。

根据式(C7)可以把距边导线投影不为 20m 处测量的干扰场强修正到 20m 处, 或计算出距离边导线投影不为 20m 处的无线电干扰限值, 以达到无线电干扰场强的距离修正。