

# 基于有限元法的 110kV 联合建设变电站电磁环境仿真分析

蒋 涛<sup>1</sup>, 还留龙<sup>2</sup>, 徐志科<sup>2</sup>

(1. 南京供电公司, 江苏 南京 210003; 2. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

**摘 要:** 变电站与高层建筑联合建设是解决城市中心供电紧张和土地稀缺矛盾的合理、经济的新途径, 针对变电站周围的电磁辐射的情况, 本文利用有限元分析软件 ANSYS 对 110kV 户内变电站进行电磁环境仿真分析, 仿真结果表明设计的变电站周围电磁辐射完全能达到国家工频磁场评价标准。

**关键词:** 变电站; 有限元; 电磁场; 仿真

## 0 引言

随着经济的不断发展, 特别是国内近几年房地产的开发发展, 供电负荷猛增, 相应变电站的分布越来越密, 并逐渐深入到市中心人口稠密区。城区房地产的开发和旧城改造, 使深入市中心的变电站越来越多, 其建设难度也越来越大。变电站与高层建筑联合建设是解决城市中心供电紧张和土地稀缺矛盾的合理、经济的新途径, 而且这种建设方式将成为今后的一种趋势。

变电站在运行过程中会因为感应产生电磁波, 为了研究变电站周围电磁场的情况, 本文利用有限元分析软件 ANSYS 对 110kV 户内变电站进行电磁环境仿真分析。

## 1 有限元分析工具

ANSYS<sup>[1]</sup>软件是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。由世界上最大的有限元分析软件公司之一的美国 ANSYS 开发, 软件主要包括三个部分: 前处理模块, 分析计算模块和后处理模块。前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具, 用户可以方便地构造有限元模型; 分析计算模块包括结构分析(可进行线性分析、非线性分析和高度非线性分析)、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析, 可模拟多种物理介质的相互作用, 具有灵敏度分析及优化分析能力; 后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、矢量显示、粒子流迹显示、立体切片显示、透明及半透明显示(可看到结构内部)等图形方式

显示出来, 也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。软件提供了 100 种以上的单元类型, 用来模拟工程中的各种结构和材料。

ANSYS 以 Maxwell 方程组作为电磁场分析的出发点。有限元方法计算的未知量(自由度)主要是磁位或通量, 其他关心的物理量可以由这些自由度导出。根据用户所选择的单元类型和单元选项的不同, ANSYS 计算的自由度可以是标量磁位、矢量磁位或边界通量。利用 ANSYS 可以完成二维、三维的静磁场、谐波磁场、瞬态磁场以及静电场、谐波电场、瞬态电场的分析, 并且可以完成三维低频、高频电磁场分析。

ANSYS 的基本分析步骤如下<sup>[2]</sup>:

- 1) 创建物理环境;
- 2) 建立模型, 划分网格, 对模型的不同区域赋予特性;
- 3) 加边界条件和载荷(激励);
- 4) 求解;
- 5) 后处理(查看计算结果)。

## 2 110kV 联合建设变电站电磁环境模型的建立

根据 ANSYS 分析步骤, 对 110kV 联合建设变电站内电磁情况进行仿真。该联合建设变电站主变设计为 2×80MVA, 一次建成, 110/10kV 两级电压, 110kV 线路共 2 回进线(带并接端口), 10kV 线路为 28 回电缆出线。

在变压器室内, 两组母线 110kV 母线通过额定电流 800A, 根据实际情况对室内的电磁环境仿真。根据实际尺寸, 建立模型, 模型由空气、墙壁、导

体（母线）以及虚拟无限边界组成，分别用使用 SOLID97 和 INFIN47 来对前面的实体分别进行剖分，实现模型的离散化。模型从内到外分别是导体（母线）、空气以及无限边界。首先，根据 ANSYS 分析步骤创建物理环境，并进行网格划分，实现实体的离散化，其模型如图 1 所示。

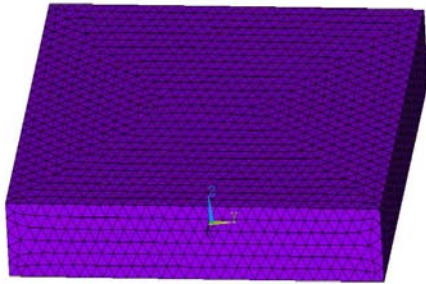


图 1 电磁环境有限元分析模型

模型中导体布置基本按照实际母线布置情况进行建立，如图 2 所示，外面矩形实体模拟的为主变室。为了简化模型，在该仿真分析中，只考虑 110kV 侧母线通过额定电流情况下的主变室内工频磁场分布情况。

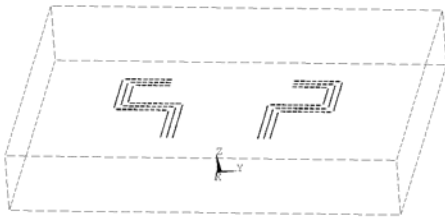


图 2 电磁环境有限元分析模型

根据前面分析，目前户内变电站均采用带有屏蔽层的电力电缆、母线等装置，不存在裸露导体存在于空气中，因此在正常运行中，系统中的电场可以认为完全达到国家规定标准范围内<sup>[3]</sup>。因此这里只需要进行磁场分析。

在模型上施加电流和电压载荷，这里首先分析单相母线通电时候磁场分布情况，施加电压载荷 110kV，电流为 800A，频率为 50Hz，忽略墙体内钢筋的导磁特性，利用 ANSYS 进行工频磁场的响应分析，仿真结果如图 3 所示。

图 3 中可以看到，磁感应强度 B 的大小可以根据颜色进行判断。从图中图示可以看出，磁感应强度为蓝色，数值最小，红色是数值最大，并且最大磁感应强度出现在母线处，达到 0.446mT，最小的出现在蓝色磁力线处，为 0.213μT。

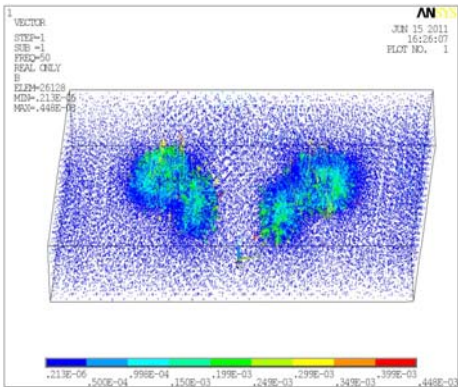
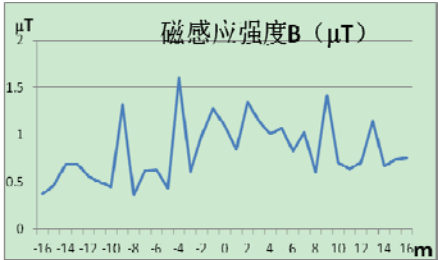
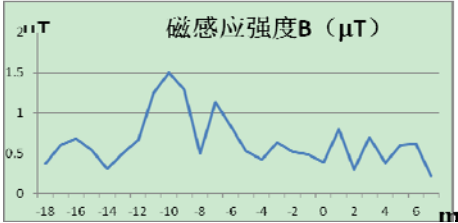


图 3 主变室内磁感应强度 B 分布情况

为了更好了解母线所产生的磁感应强度 B 在该变电站中的分布情况，根据仿真分析得到结果，获得主变室四周各个位置上磁感应强度 B 数值，如图 4 所示，其中的图 a)、b)、c)、d) 分别是主变室四周 B 的分布情况。



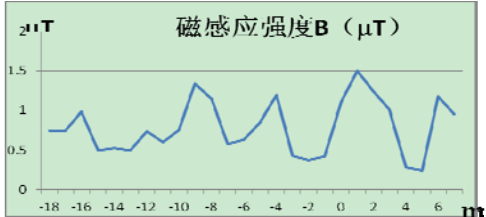
a) 主变室南部



b) 主变室东部



c) 主变室北部



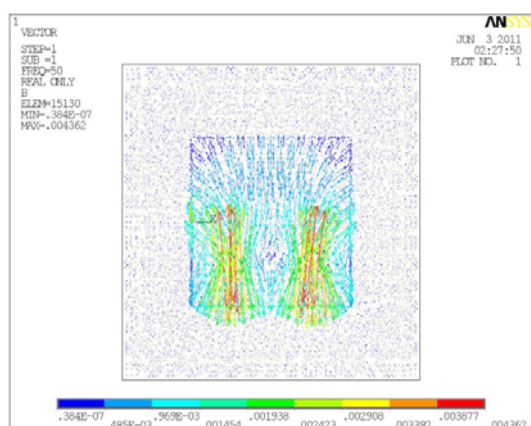
d) 主变室西部

图 4 主变室周围各个位置上磁感应强度分布

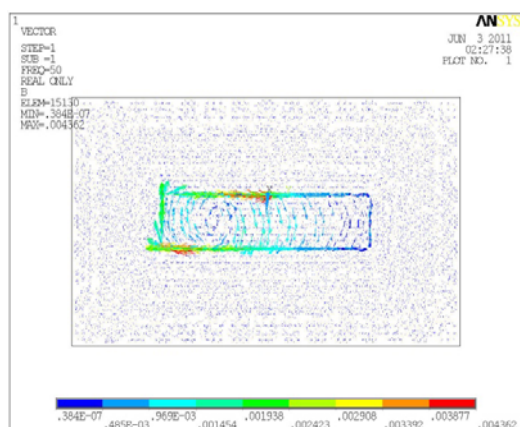
从上述分析可以得到,该主变室四周最大磁感应强度  $B$  不超过  $1.8\mu\text{T}$ ,完全能够达到对于国家工频电磁场在 HJ/T24-1998《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》中推荐以  $100\mu\text{T}$  为工频磁场的评价标准,以及 IEEE Std C95.6 和 ICNIRP 导则对 50Hz 的公众照射限值相同,磁场强度限值为  $100\mu\text{T}$  的标准。

### 3 电力电缆磁场有限元仿真分析

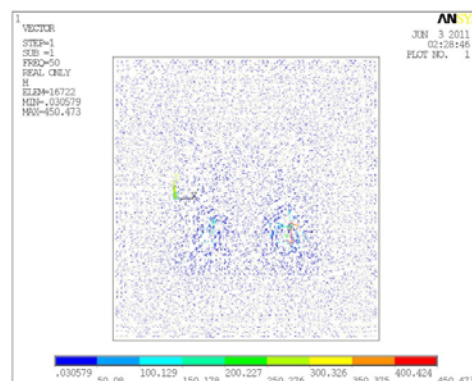
由于电力电缆<sup>[4]</sup>外部也设置有屏蔽层,因此电力电缆也只需要进行磁场分析,设置三相电力电缆存在于一个  $40\text{m}\times 40\text{m}\times 30\text{m}$  空间内,在该空间内还设置了一个  $24\text{m}\times 24\text{m}\times 5\text{m}$  的房间,房间墙壁假设为钢筋混凝土,一般来说,钢筋的相对磁导率在 500-3000 之间,这里将墙体考虑在电力电缆的电磁分析中,施加电压载荷 110kV,三相对称电流为 800A,频率为 50Hz,仿真结果如图 5 所示。



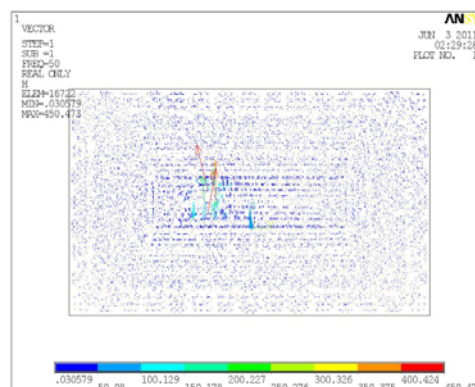
a) 磁感应强度  $B$  分布情况俯视



b) 磁感应强度  $B$  分布情况侧视



c) 磁场强度  $H$  分布情况俯视



d) 磁场强度  $H$  分布情况侧视

图 5 流过三相对称电流的电力电缆磁场分布情况

图 5 中可以看到,蓝色较密区域为墙体,这是由于墙体为一个实体单独建模,墙体位置的单元数目较多,因此计算得到的磁感应强度在该区域显示较密,磁感应强度的大小则可以根据颜色进行判断。从仿真计算中可以得到最大磁感应强度为  $4.3\text{mT}$ ,出现在电力电缆附近,空气中最小磁感应强度为  $0.038\mu\text{T}$ ,最大磁场强度为  $450.4\text{A/m}$ ,最小磁场强度为  $0.03\text{A/m}$ 。

### 4 结论

通过前面户内变电站的两组六根 110kV 高压母线以及电力电缆的仿真,完全能达到国家对于工频电磁场在 HJ/T24-1998《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》<sup>[5]</sup>中推荐以  $4\text{kV/m}$  作为居民区工频电场评价标准,以  $100\mu\text{T}$  为工频磁场评价标准。

#### 参考文献:

- [1] 李红云. ANSYS10.0 基础及工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

- [2] 谢德馨, 杨仕友. 工程电磁场数值分析与综合[M]. 北京: 机械工业出版社 2008.
- [3] 许杨, 张小青, 杨大晟. 高压输电线路工频电磁环境[J]. 电力学报, 2007, 22 (1): 9-14.
- [4] 张愉, 吴锁平, 窦飞, 等. 500kV 过江电缆空间工频磁场的研究[J]. 华东电力, 2010, 38(6): 881-886.
- [5] HJ/T24-1998, 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范[S].

---

**作者简介:**

蒋 涛 (1978-) 男, 江苏南京人, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统设计及建设管理工作;

还留龙 (1988-) 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 主要从事电力电子方面的研究工作;

徐志科 (1978-) 男, 江苏常州人, 博士, 副研究员, 主要从事电机与电器方面的研究工作。