

文章编号: 1001-1609(2007)04-0289-03

基于 VC++调用 APDL 的 GIS 断路器电场计算

崔俊伟¹, 蔡川¹, 徐长太², 王建辉¹

(1. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240; 2. 上海市汽轮发电机有限公司, 上海 200240)

Numerical Computation of Electrical Field Inside GIS Breaker Based on Calling APDL by VC++

CUI Jun-wei¹, CAI Chuan¹, XU Chang-tai², WANG Jian-hui¹

(1. Department of electrical engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;
2. Shanghai Steam Turbine Generator Co. Ltd., Shanghai 200240, China)

摘要: 介绍了一种基于 VC 调用 APDL 进行 GIS 高压绝缘断路器内部电场计算的方法及其工作过程。通过调用 APDL 语言编写的建立模型分析程序, 实现了对电场计算一体化运行; 通过分析六氟化硫高压断路器内部的电场强度和电势分布云图, 研究了高压断路器绝缘气体耐压问题。结果表明, 该方法在很大程度上降低了 ANSYS 的使用难度并提高了对断路器进行优化设计分析的效率, 对提高断路器产品的质量和安全性有重要意义。

关键词: VC++; ANSYS; APDL; 电场计算

中图分类号: TM56

文献标志码: A

Abstract: A method of computation of electrical field based on calling APDL by VC++ was presented in this paper. In this paper its operational process was introduced in detail. The computation of electrical field was accomplished by calling the program of APDL by VC++. By analyzing the distribution of electrical field intensity and electrical potential, the part with high electrical field intensity inside the GIS breaker could be found. With this method, the structure optimizing design become much easier and it is very useful to improve the performance of GIS breakers.

Key words: VC++; ANSYS; APDL; electrical field calculation

0 引言

近年来, 国内在 110 kV 及以上电压等级已大量采用 SF₆ 断路器及 GIS。由于 110 kV 及以上电压等级的 SF₆ 罐式断路器的外壳接地, 内部电场分布不均均是造成该产品绝缘缺陷的主要因素。为了提高断路器的安全可靠性能, 在开发设计时进行断路器内部电场强度计算十分重要。笔者在对断路器有限元模型进行研究论证的基础上, 开发了基于 VC++调用 ANSYS 软件的有限元分析系统, 用该系统进行断路器的电场强度计算和有限元分析, 可缩短产品设计

周期, 减少实验费用, 为设计、研制和开发新产品创造良好的条件^[1-3]。

1 基于 VC 集成二次开发 ANSYS

1.1 系统设计目标

ANSYS 有限元程序软件包是较好的高压电场强度数值计算方法。它提供了参数化编程语言 (APDL)^[4], 该语言要求输入前处理参数, 然后自动运行 ANSYS 进行求解, 但完全用 APDL 编写宏文件还存在着弱点, 如用 APDL 语言较难控制程序进程, 而且只提供最简单的图形化界面输入, 交互性比较差。考虑到断路器内部结构的复杂性, 笔者利用 VC++对 ANSYS 调用^[5], 对 APDL 命令流进行后台封装, 用户只需要在该系统中导入断路器模型, 然后从数据库中材料性能和载荷, 安排给模型, 设定计算精度, 即可以调用后台的 APDL 宏模块进行计算, 最后计算结束, 结果将会返回给用户, 方便用户进行后处理。整个流程图见图 1。

1.2 VC 调用 ANSYS 实现参数化界面分析

运用 VC 编写界面可实现: ①前处理参数输入功能; ②根据用户输入参数修改得到的 ANSYS 宏文件中参数对应的参数值; ③将生成的宏命令文件提交给 ANSYS 程序进行批处理。笔者先用 APDL 语言编写参数化建模分析命令流 ansys.dat, 编写成对应的宏文件模块, 然后通过 VC 的读文件和写文件函数对该模块进行操作完成调用过程; ④程序需要判断 ANSYS 的批处理操作何时结束。当 ANSYS 批处理完成后, 会弹出个对话框, 显示“求解完毕”, 利用这个特点来判断进程是否运行完毕。

用户所看到的软件参数化界面见图 2。它分 4 个部分: 系统命令、计算参数、计算以及后处理。用户

收稿日期: 2007-02-04; 修回日期: 2007-05-28

作者简介: 崔俊伟(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电机电磁场的数值计算。

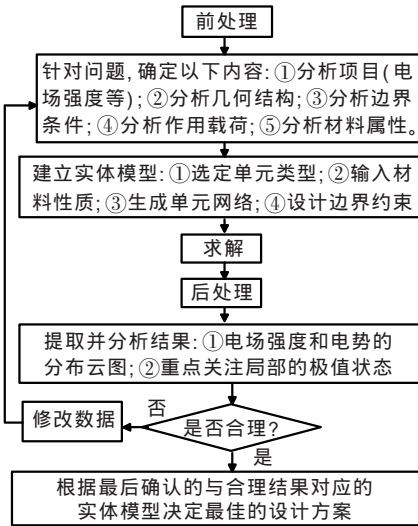


图1 有限元分析流程

首先在系统命令模块上输入参数,明确要导入模型的文件名和地址,以及计算结果要保存的地址等信息。在计算参数模块中,用户可以设置材料属性和分配材料给元件;然后划分网格,指定剖分精度(见图3)。在计算模块,整个计算过程调用 ANSYS 进行后台处理。计算结束后,进入后处理模块,用户可用下拉菜单选择观测电场强度分布云图或电势分布云图,通过“调整截面位置”按钮来观测不同位置、不同角度的云图。

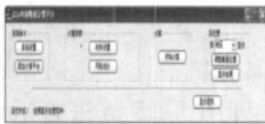


图2 软件参数化界面

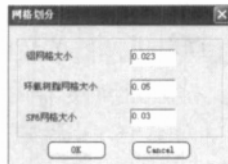


图3 剖分精度的指定

2 SF₆ 断路器的三维电场强度分析

采用笔者编写的软件,对 126 kV 等级的 SF₆ 高压断路器的三维电场强度进行分析^[6]。

2.1 模型前处理模块

图4给出了整个断路器的外壳形状,两侧共有4个圆形开口,用于输出和输入。图5中深色的元件是环氧树脂绝缘子,在断路器中容易被分布不均匀的电场损毁。将三相接线柱组装好构成整个三相断路器模型。

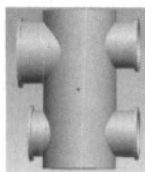


图4 断路器外形



图5 内部接线柱

三维模型以 IGES 格式保存,然后导入到 ANSYS 软件。制作模型的难点是做出内部充满 SF₆ 气体的模型,这也是用户设计时最关心的地方。但

SF₆ 气体充满整个断路器的内部空间,无法单独画出,解决的方法是在 ANSYS 中将导入的模型与一个大小相仿的立方体相叠加(类似于逻辑电路中的“与”操作),保留内部部分,删除多余部分得到 SF₆ 气体。这一部分在前处理部分完成。对应 APDL 命令是^[7]

```
VLSCAL, ALL, , , 0.001, 0.001, 0.001, , 0, 1
VOVLAP, ALL
*GET, Nmax, VOLUM, , NUM, MAX
VDELE, Nmax, , 1
```

2.2 场域剖分模块

整个断路器由于三相接线柱数目多,几何形状复杂,剖分难度大。剖分时应该控制单元大小,单元体积小则单元量多,计算量太大,占用内存过大;单元体积大则剖分单元量少,但精度可能达不到要求。图6为内部绝缘气体剖分图。剖分时根据不同的元件采取不同的剖分精度,其中断路器中填充的绝缘气体 SF₆ 为重点观测对象,也是电场计算的重点场域^[2]。

对应 APDL 命令是

```
ESIZE, 0.025, 0 ! meshing precision
MSHAPE, 1, 3D
MSHKEY, 0 ! free meshing
VMESH, num(1) ! num(1) is SF6
```

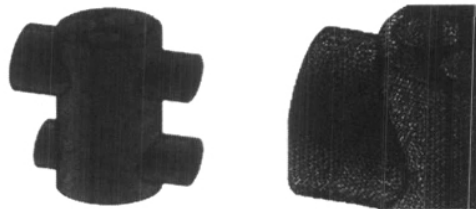


图6 内部绝缘气体的剖分图

2.3 边界条件模块

静电场问题计算服从 MAXSWELL 方程,整个断路器的外部铝壳取第 2 类边界条件^[3]: $\partial u / \partial n = 0$, 断路器三相接线柱均取第 1 类边界条件(即强制边界条件): $U = 110 \text{ kV}$ 。对应 APDL 命令是:

```
VSEL, S, VOLU, , NUM(2) ! num(2)=shell
ASEL, R, EXT
DA, ALL, VOLT, 0 ! boundary condition
VSEL, S, VOLU, , Va_BOUNDARY_NUM(3)
ASEL, R, EXT
DA, ALL, VOLT, 110000
ALLSEL, ALL
```

2.4 材料属性的分配模块

SF₆ 断路器所用材料的介电常数分别如下: SF₆ 气体: $\epsilon_1 = 1.0027$; 环氧树脂绝缘子: $\epsilon_2 = 4.5$; 铝: 电阻率 $= 0.0287 \text{ mm}^2/\text{m}$ 。

对应 APDL 命令是

```
MP, PERX, 1, prop_type_SF6
MP, PERX, 2, prop_type_epoxy
MP, RSVX, 3, prop_type_AL
mplist, all, , , ext
```

2.5 后处理模块

计算完毕, 用户点击显示按钮可以观察到电场强度分布云图和电势分布云图。图像以 JPEG 格式保存。对应 APDL 命令是

```
/VIEW, ALL, 1, 1, 1
/CONT, 1, 30, AUTO
/SHOW, WIN32C
/SHOW, JPEG, , 0 ! JPEG 格式
JPEG, QUAL, 75
JPEG, ORIENT, HORIZ
JPEG, COLOR, 2
JPEG, TMOD, 1
/GFILE, 800
/SHOW, CLOSE
```

2.6 计算结果分析

电场计算结果给出各点场强大小, 输出了分布云图。从图中可以观测电位分布的均匀性。计算结果为断路器的绝缘结构设计提供了可靠的理论依据, 借助电场计算可以对不太合理的原结构设计进行修改优化。在该次断路器的特性计算中, 最关心的是内部三相接线柱之间以及绝缘子部分电场强度的分布, 其均匀性和数值大小是判断 SF₆ 是否被击穿的重要依据。图 7~9 是断路器各点的电场强度和电势分布图。

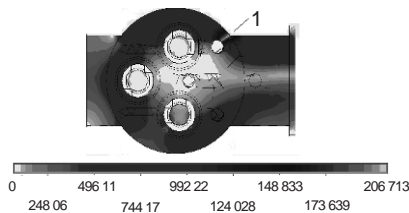


图 7 电场分布俯视图

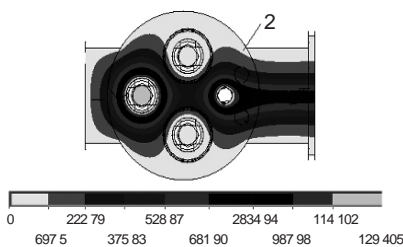


图 8 电场分布俯视图(结构优化后)

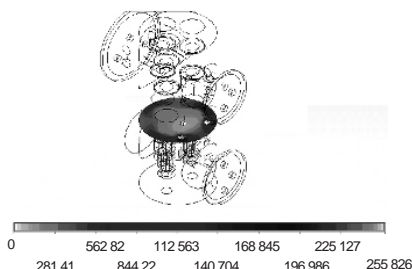


图 9 电场分布 3 维视图

从图 7 中可以看到右上角部分断路器柱子和外壳之间电场强度分布很不均匀(1 所指), 最大场强数值达到了 206.713 kV/mm, 说明此处结构尺寸设

计还可以改进。为了防止击穿绝缘气体 SF₆, 安全起见, 要求对该处的结构进行优化设计, 尽可能地降低该处的最大场强值, 使绝缘气体获得最大绝缘能力。通过对绝缘子高电压电极原设计形状进行修改优化设计后, 该部位场强进一步下降, 见图 8(2 所指)。

图 9、10 显示了其他几处的电场强度分布, 其情况属于正常。

图 10、11 是电势的分布图, 图中 3 点和 4 点所指部分代表的电压值很大, 5 点和 6 点所指部分代表的电压值为 0, 其数值可以根据图中标尺得到。从这两个图可以看出断路器内部工作的所加电压的情况。



图 10 电场分布前视图

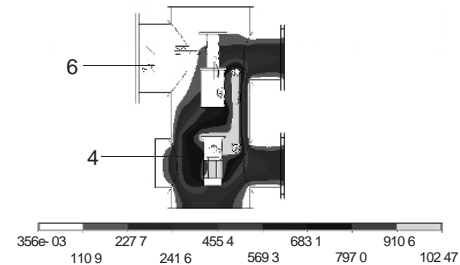


图 11 内部的电势分布图

3 结语

笔者介绍的基于 VC++ 调用 ANSYS 进行电场强度计算的方法具有效率高、可靠性好的优点, 使用该软件来计算断路器的三维电场, 为高压断路器的优化设计提供了依据, 减轻了工程技术人员的工作量, 对提高高压断路器的质量和安全指数有十分重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 刘志刚, 林 莘. SF₆ 罐式高压断路器三维电场计算与分析 [J]. 高电压技术, 2003, 29(3): 27.
- [2] 顿月芹, 孔 宇. 基于 VB 调用 ANSYS 与 MATLAB 的电机电磁场计算 [J]. 微特电机, 2006(2): 11.
- [3] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [4] ANSYS 工程应用教程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [5] 陈长冰. VC 和 APDL 的混合编程应用 [J]. 黄山学院学报 2005, 7(3): 73.
- [6] 曹云东, 王尔智. SF₆ 断路器室内三维电场数值模拟 [J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(1): 92.
- [7] 龚曙光, 谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.