

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

三相空心电抗器振动噪声研究

曲光磊/主任工程师

特变电工沈阳变压器集体有限公司

汇报内容

- 一. 研究背景及意义
- 二. 电抗器电磁场分析
- 三. 电抗器振动分析
- 四. 电抗器噪声分析

研究背景及意义

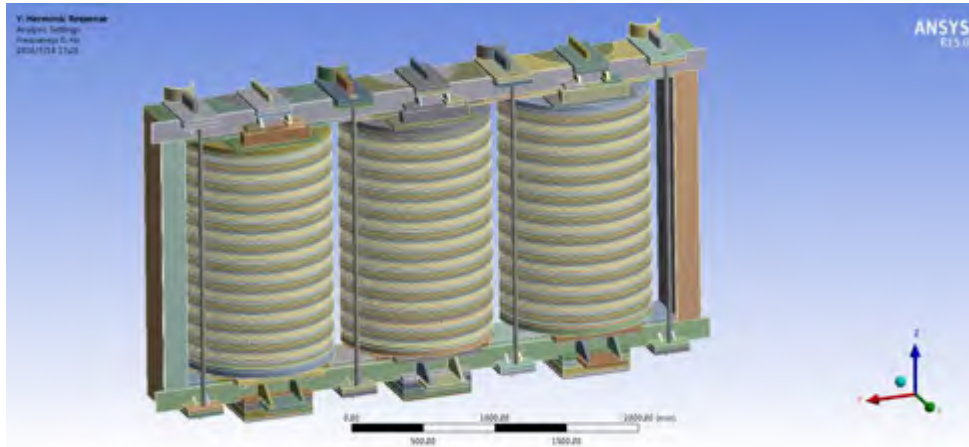
随着国民经济的发展，很多新建或扩建的变电站建在靠近居民处或直接建在居民区内，因为变压器工作时会产生高次谐波噪声，这些噪声将严重影响居民的生活和休息，因此，控制变电站噪声和制造出低振动、低噪声的电力变压器具有重要意义。

研究目标与内容

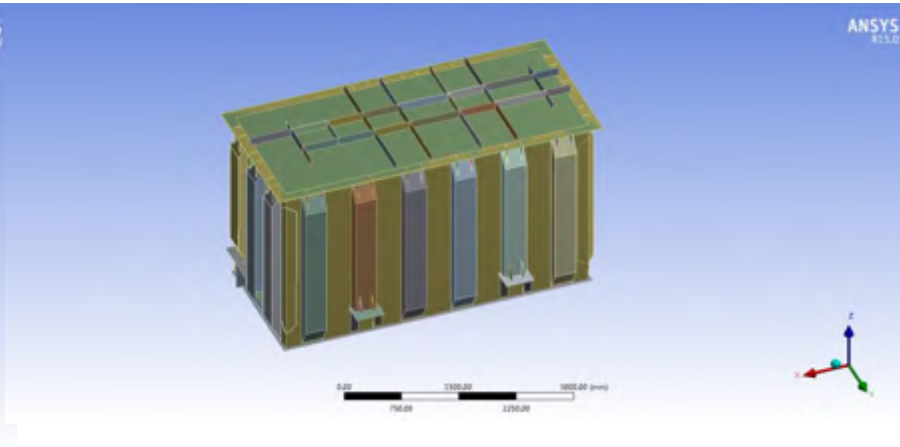
本项目的目标与内容如下：

- 对三相电抗器进行磁场分析，了解三相空心电抗器的磁路分布。
- 建立电抗器三维结构有限元模型进行器身、箱体与变压器油的流固耦合分析。
- 通过不同方案的振动对比分析，确定出影响铁心振动的主要因素。
- 建立电抗器噪声辐射模型，分析出测量点的噪声云图并与试验值进行对比分析。

电抗器结构简介



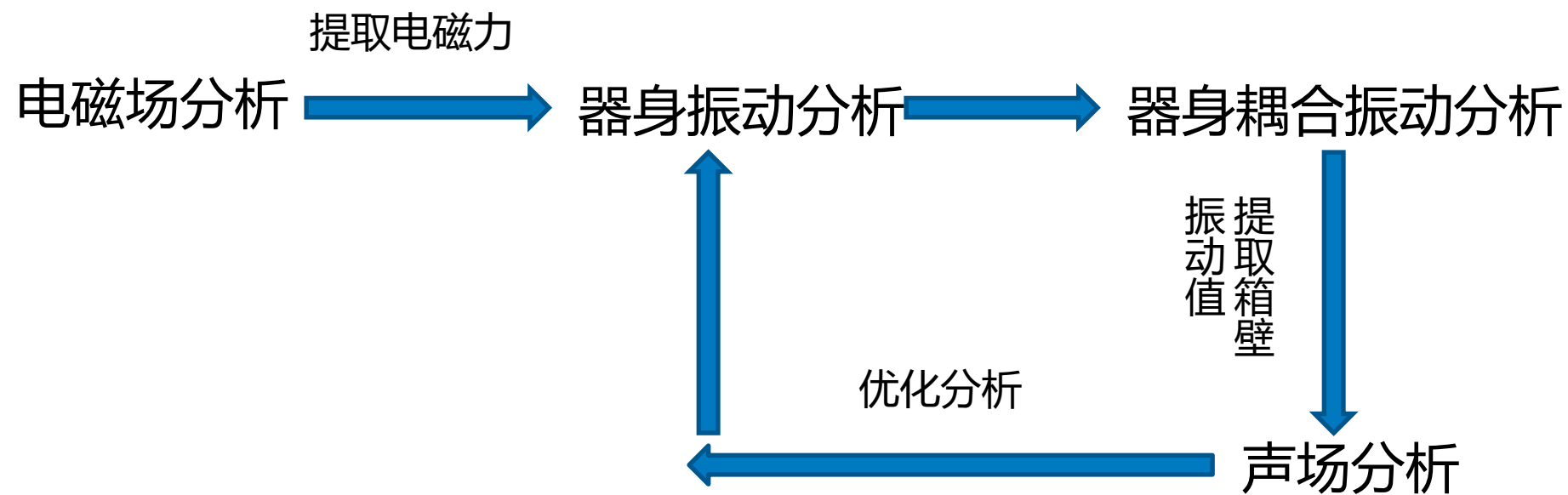
器身几何模型



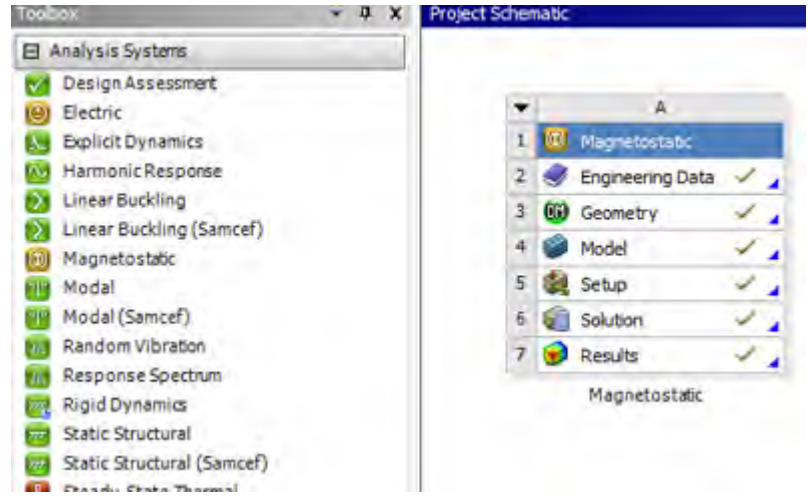
油箱几何模型

电抗器从大的方面讲主要分为两部分:器身和油箱
电抗器产生振动噪声的原因:线圈通电产生磁场,在交变磁场作用下线圈及铁芯就产生交变的力。

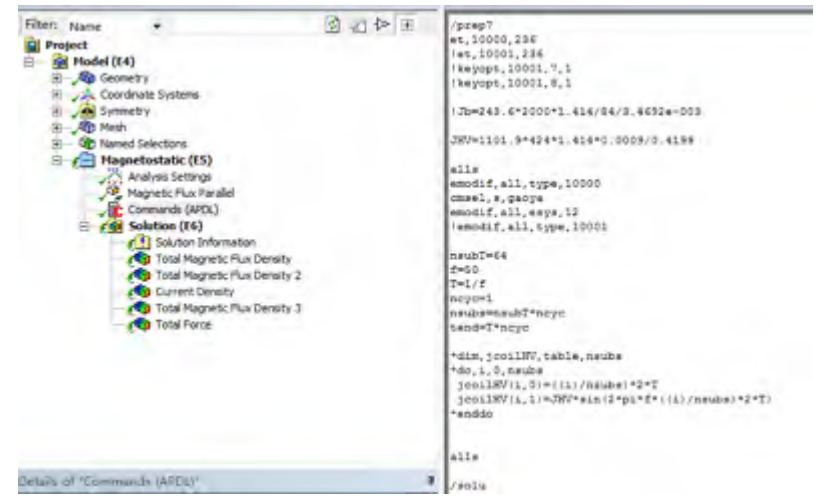
分析流程



电抗器磁场分析



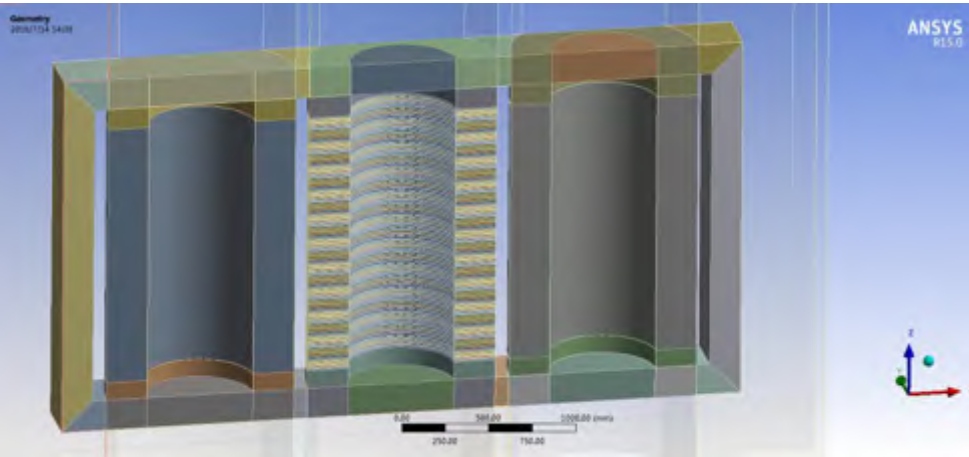
emag模块



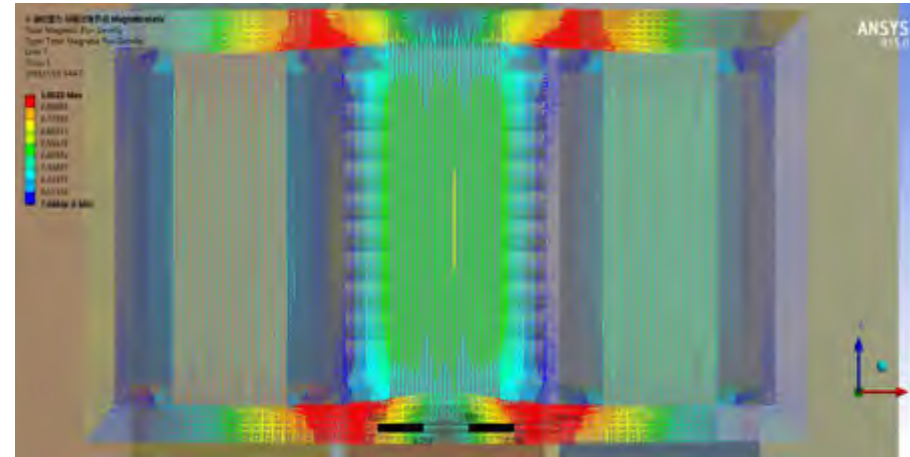
电磁场分析命令流

分析方法：应用ansys emag模块,通过插入命令流的方式进行分析。

电抗器磁场分析



几何模型



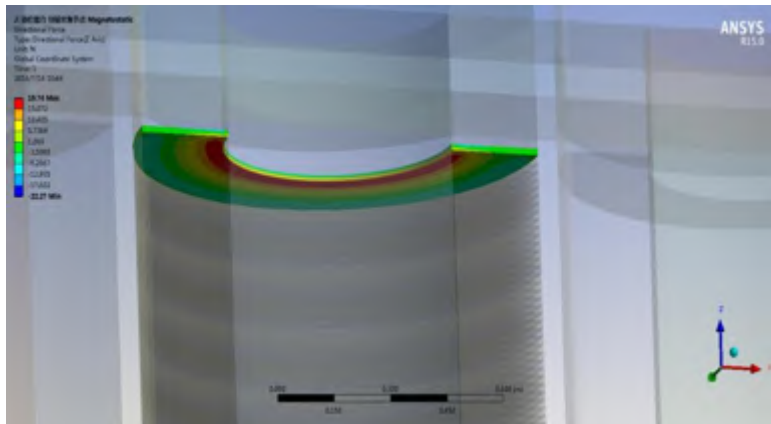
电磁场分析结果

在分析电磁场时只关心铁心及线圈中的磁通，故建立铁心及线圈模型其他部位做相应的简化。

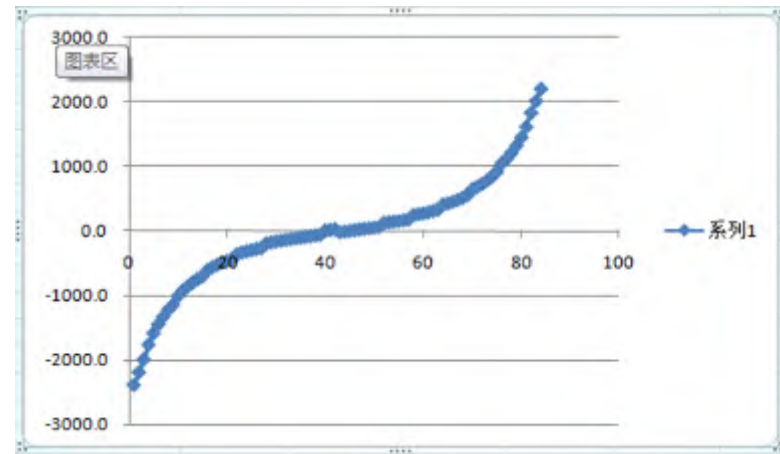
从上图可以看出厄上磁通最大为1.0T，与设计值基本一致，不存在过饱和的现象。

电抗器磁场分析

□ 电磁力计算



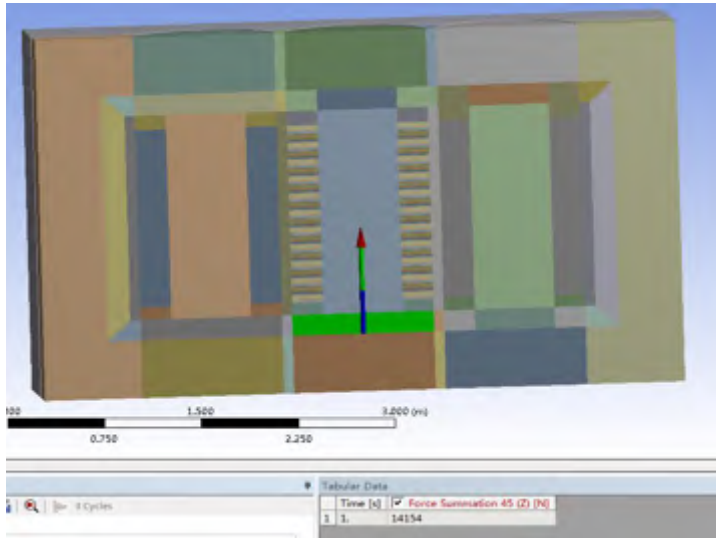
任取一饼线圈的受力云图



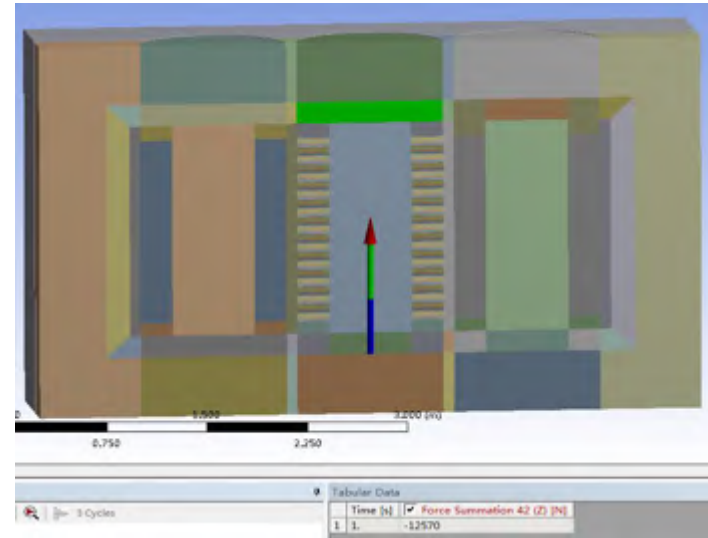
线圈饼轴向受力曲线（从上到下）

□ 线圈两端向中部挤压的力，且越远离中部越大

电抗器磁场分析



下铁厄受力



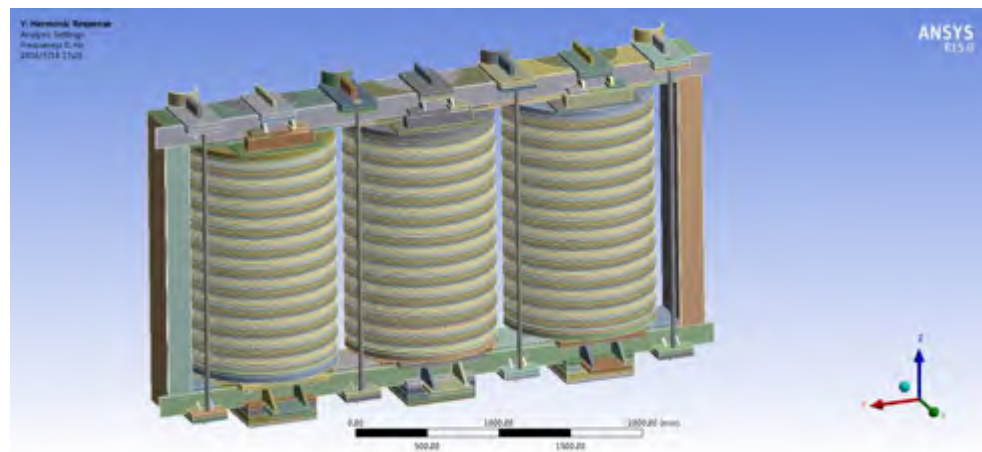
上铁厄受力

铁厄上受到的力远远大于线圈上所受到的力，对振动起主要贡献作用

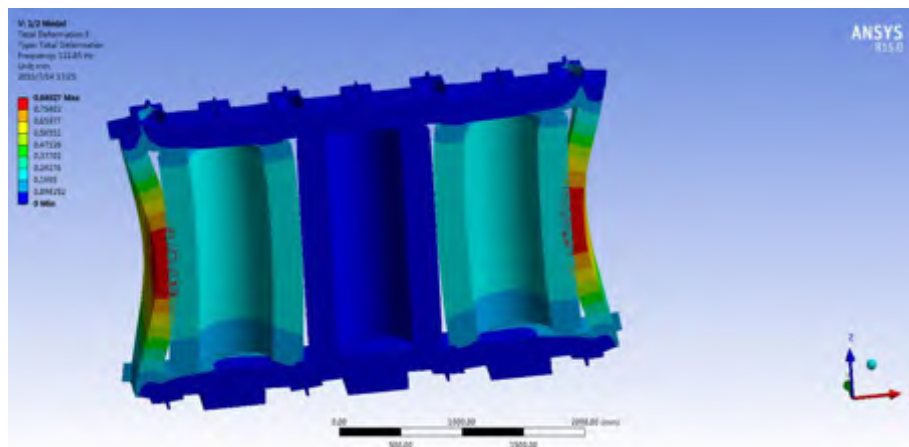
电抗器振动分析-模态分析

□ 模态计算

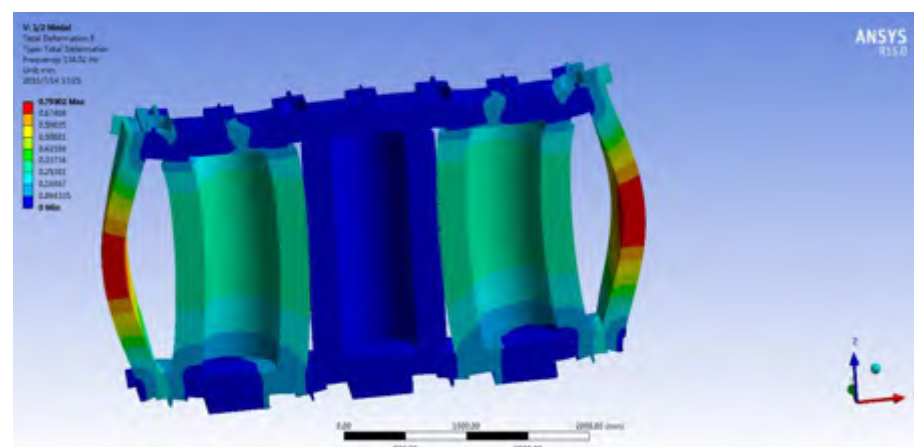
模态分析是振动分析的基础，可以通过模态分析得到器身的固有频率及基本振型。



几何模型



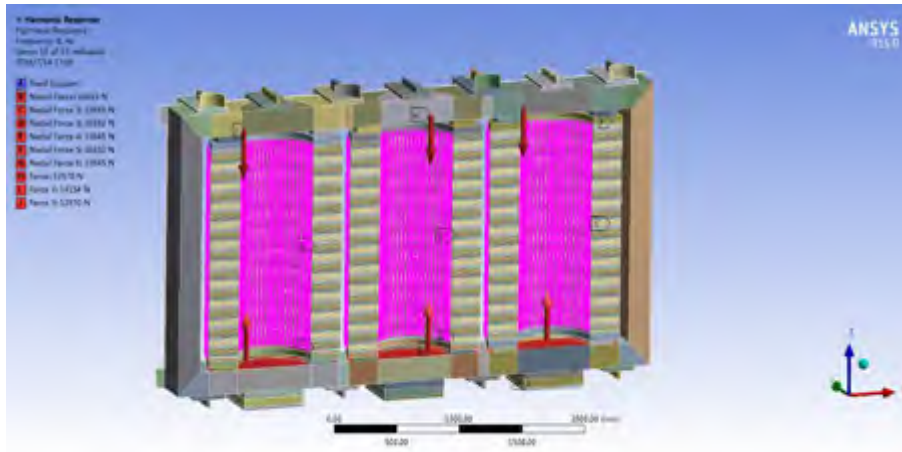
6阶模态振型



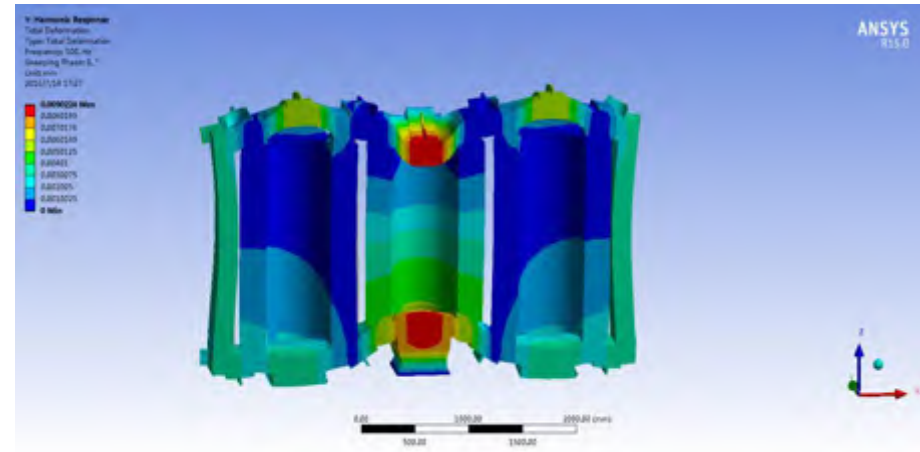
8阶模态振型

电抗器振动分析-器身振动分析

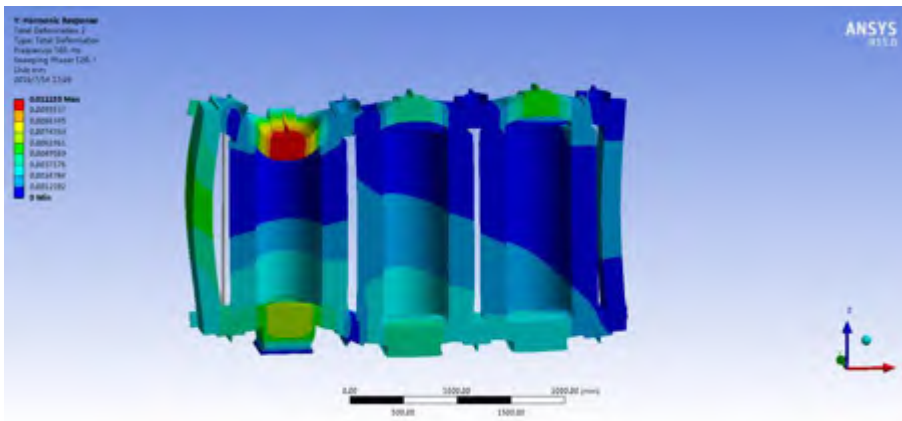
□ 器身振动计算



几何模型



器身振动变形云图 (0度相位角)



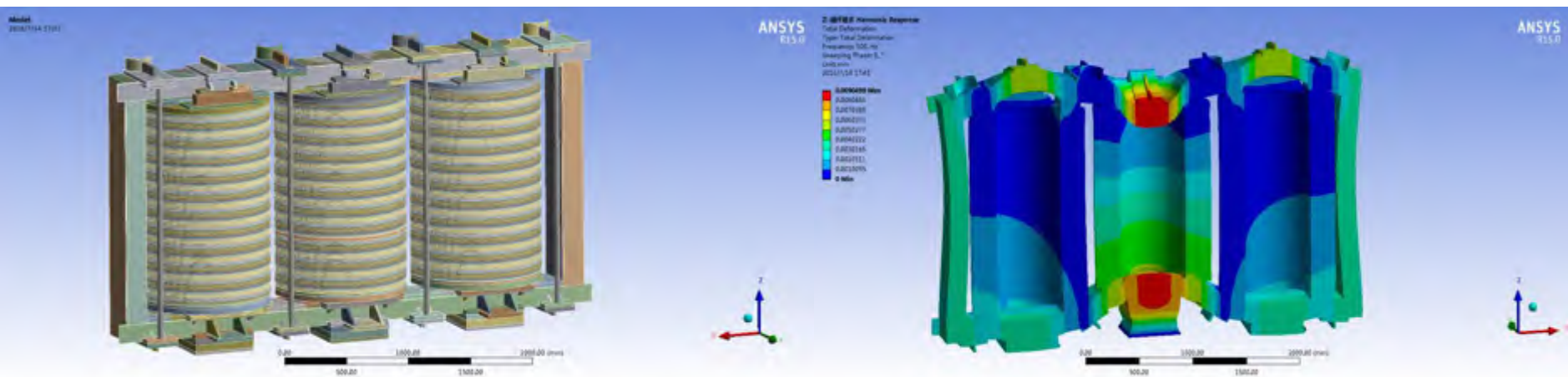
器身振动变形云图 (120度相位角)

将电磁场分析得到的每一饼线圈的力及铁心上的力分别施加到器身上，对器身进行振动分析。三个线圈上力相位角相差120度。

振动分析-器身振动分析

□ 器身振动计算-增加拉杆数量

将拉螺杆变粗相当于在同一位置将数量变多，在保证与直径为36mm器身模型同一网格的情况下进行振动分析。



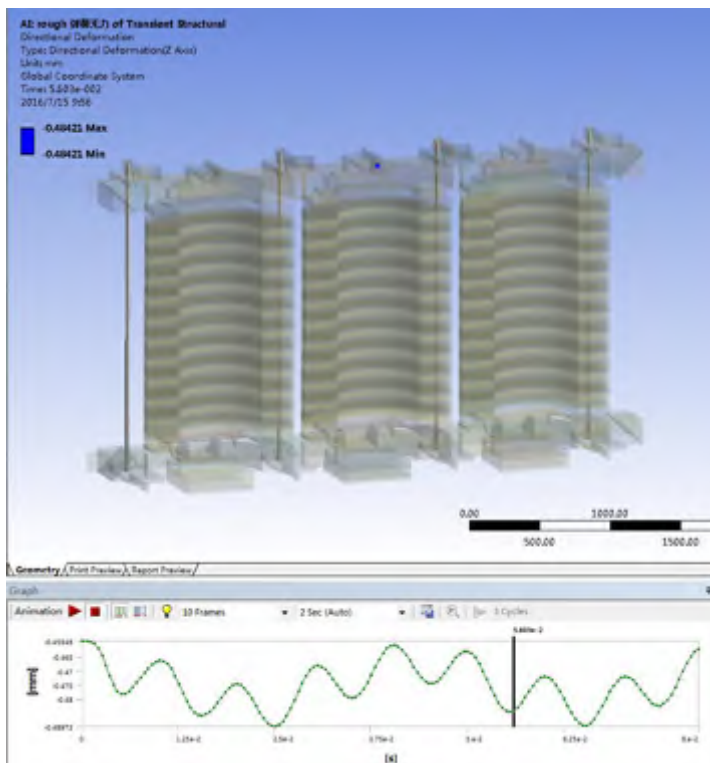
几何模型

器身振动变形云图（0度相位角）

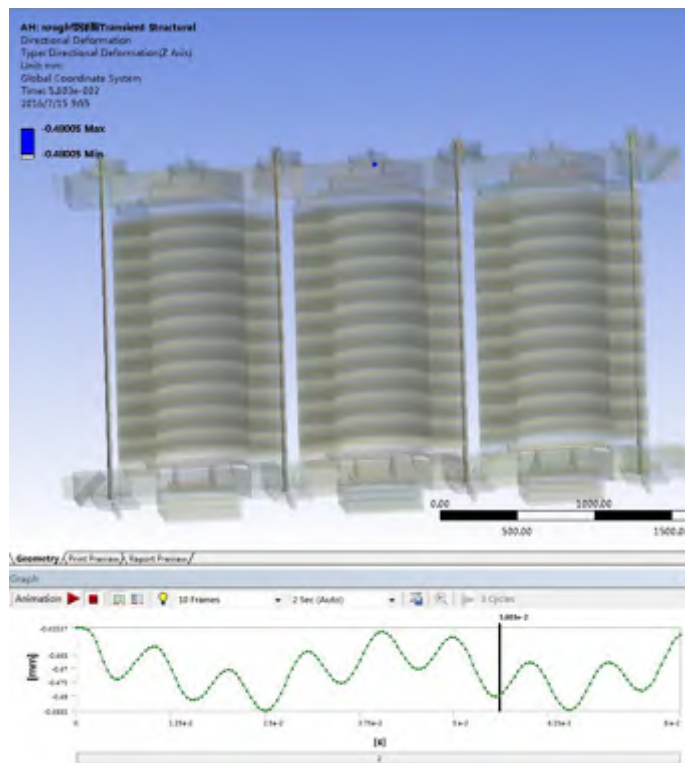
结论：原结构振动变形为0.009mm，将拉螺杆加粗为48mm时振动变形为0.009mm，故将螺杆加粗结构振动不会发生改变。

电抗器振动分析-器身振动分析

器身振动计算-增加拉杆拉力



小预紧力



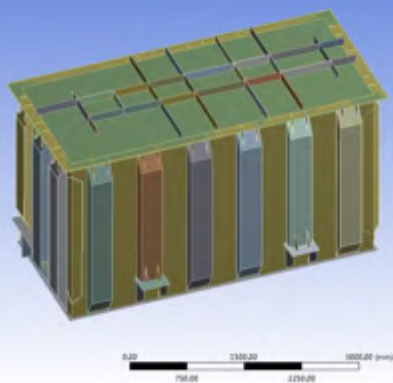
大预紧力

计算表明增加拉杆预紧力对振动影响几乎无影响，与实际情况相符。

电抗器振动分析-器身耦合振动

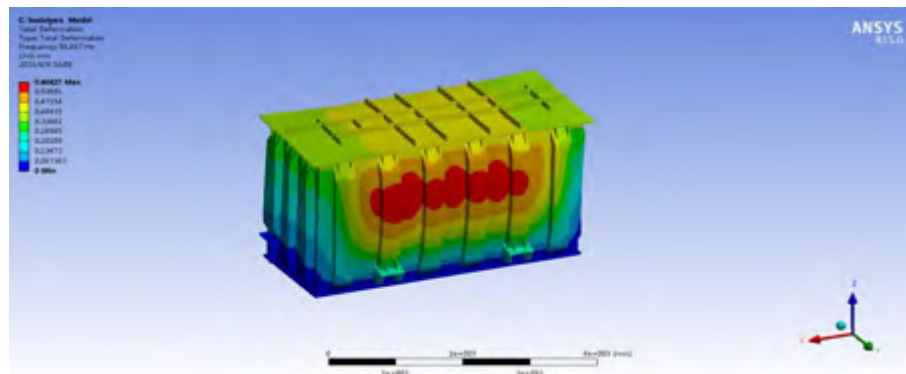
□ 油箱模态分析

耦合振动分析是指器身浸入在充满油的油箱中的振动分析，与实际运行工况是一致的。

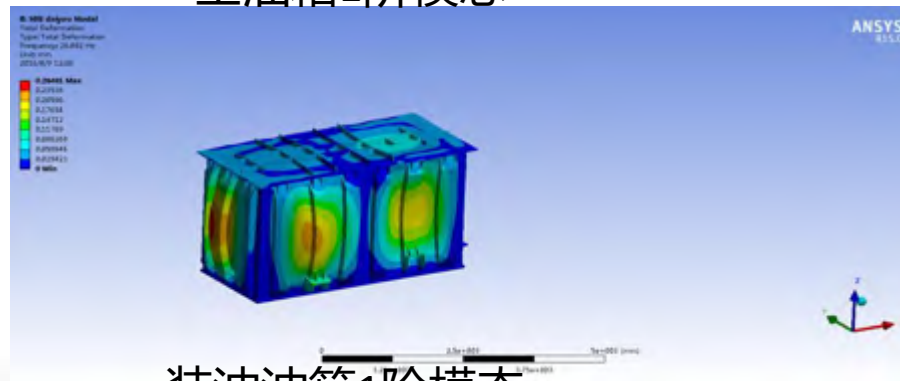


油箱模型

计算表明空油箱与装油油箱无论是频率及振型都不一样，故电抗器中的油不可以忽略。



空油箱1阶模态



装油油箱1阶模态

振动分析-器身耦合振动

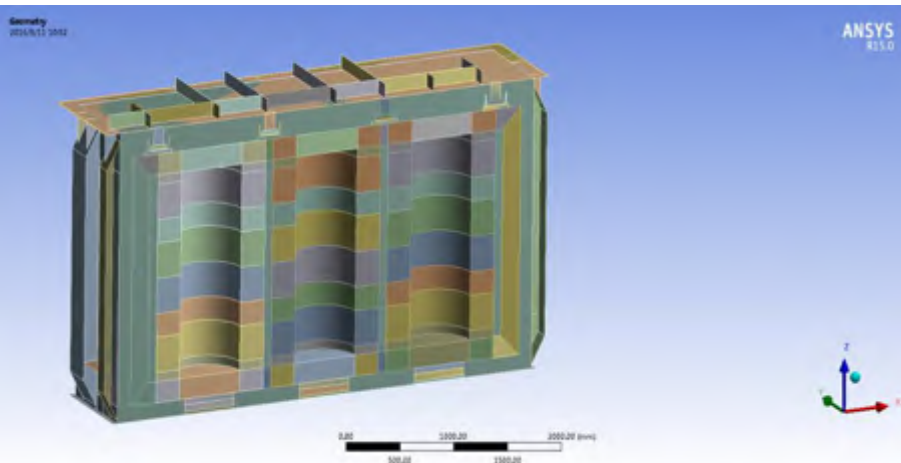
□ 油箱模态分析

表 4.1 空油箱与充油油箱模态对比

阶次	空油箱频率	充油油箱频率
1	58.867	26.882
2	61.334	31.263
3	71.573	35.834
4	75.173	44.029
5	86.084	45.854
6	88.056	46.717

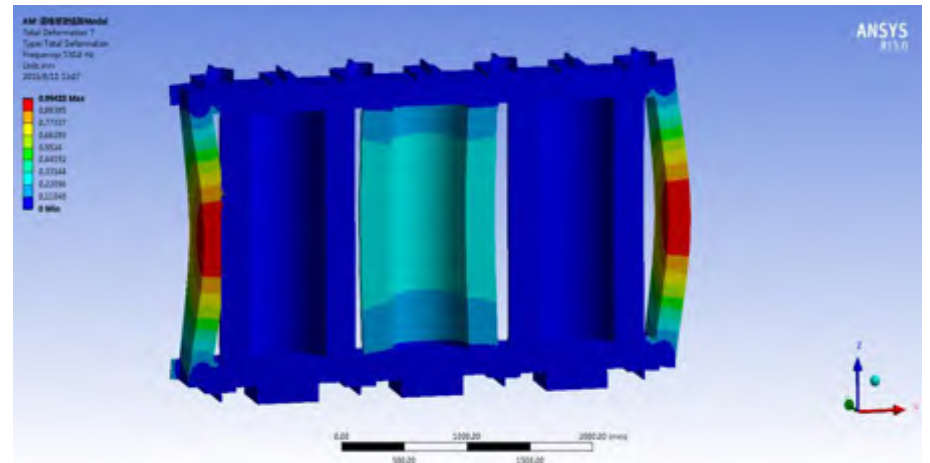
振动分析-器身耦合振动

□ 整体模态分析

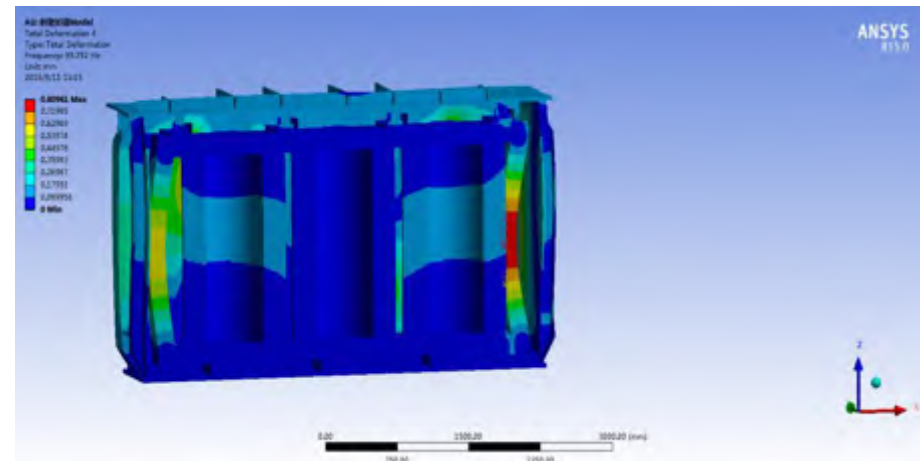


整体模型

器身频率在油中降低的原因就是由于油的附加质量造成的。正好接近了激励频率100HZ。



器身在空气中的模态

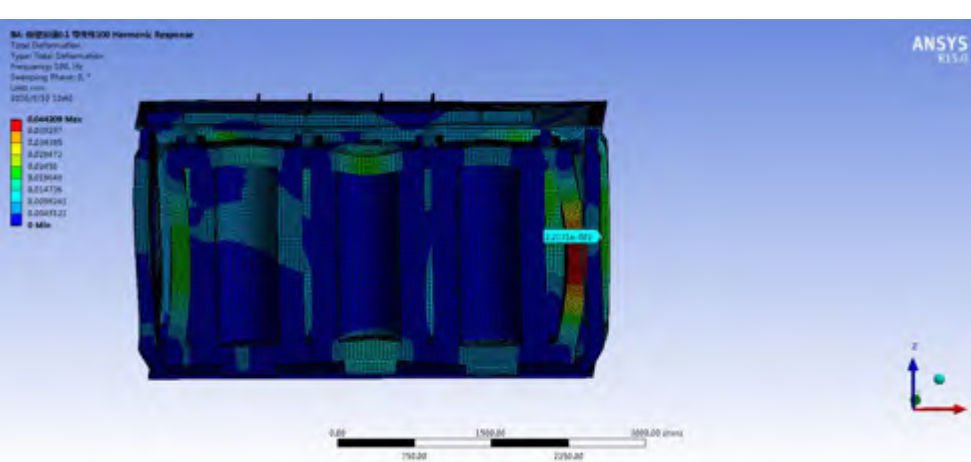


器身耦合模态

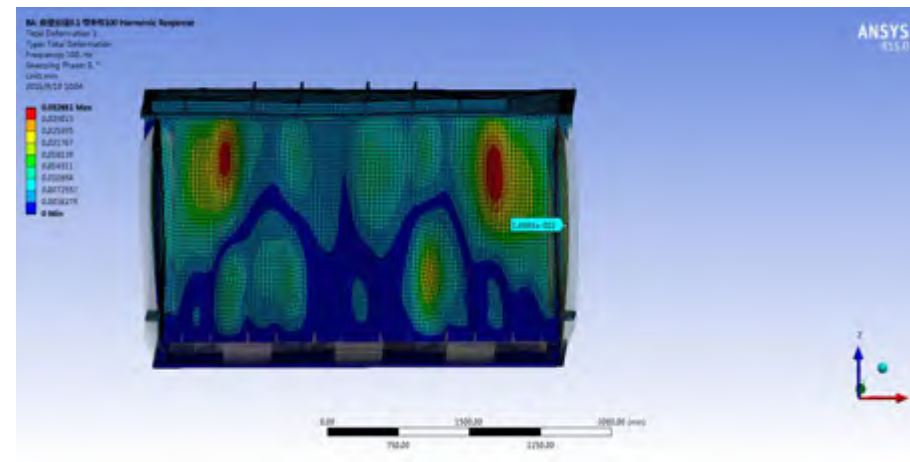
振动分析-器身耦合振动

□ 耦合振动分析

器身最大振动幅值为44.2um
油箱最大振动幅值为32.7um



整体振动云图



橡胶垫原厚度时油箱振动云图

振动分析-器身耦合振动

耦合振动分析-橡胶垫厚度的影响

表 4.3 不同橡胶垫厚度下的器身振动幅值。

橡胶垫厚度	器身振动幅值(um)	油箱振动幅值(um)
1/2	48.1	35.3
1	44.2	32.7
2	42.3	31.4

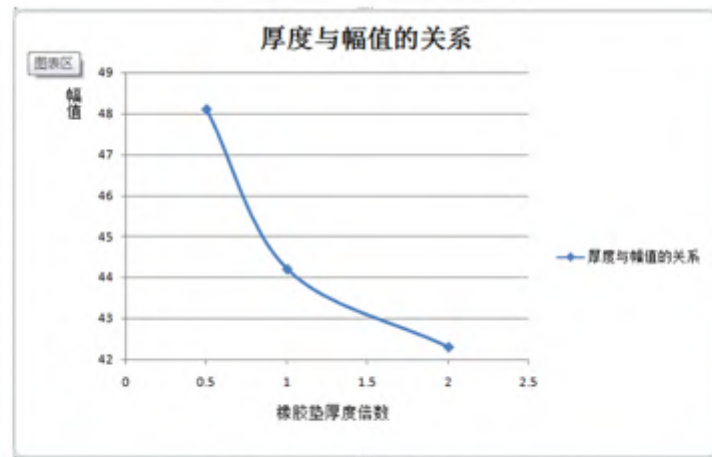
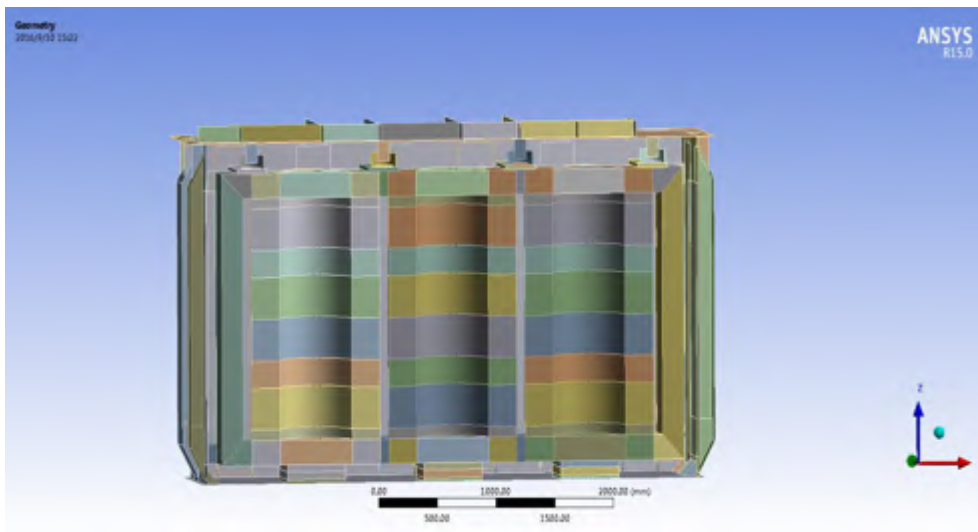


图 4.25 橡胶垫厚度与幅值的关系。

橡胶垫越厚越好，但与幅值并不是线性关系，橡胶垫厚到一定程度再增加厚度对幅值的减小就不明显了。

振动分析-器身耦合振动

□ 耦合振动分析-器身定位钉与箱盖是否接触



器身与油箱是否接触	器身振动幅值(um)	油箱振动幅值(um)
接触	44.2	32.7
不接触	36.4	29.0

从结果上看器身与油箱不接触确实能够降低振动幅值，但是不会降低很多，这是因为通过定位钉传递的器身振动能量只占一部分，大部分的能量是通过油传递到油箱上的。

振动分析-振动优化分析

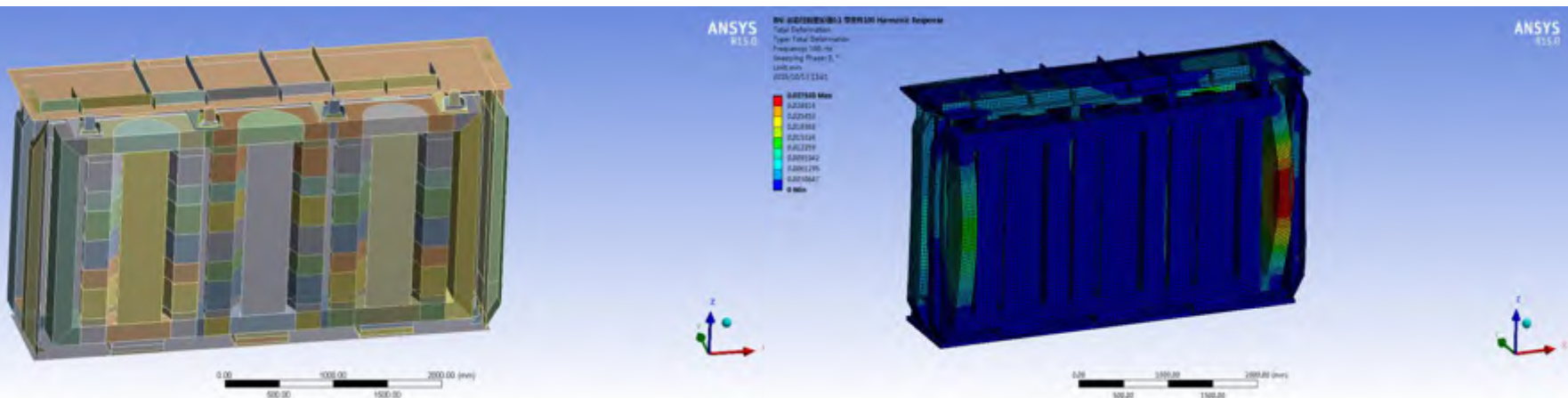
□ 优化方案

通过以上分析可知铁厄由于长度较长导致在长轴方向上刚度较小，致使振动较大，故采取措施增加长轴方向上的刚度，减小旁厄的振动。主要有三种可行方案：

- 一是在线圈中间增加支撑
- 二是取消旁厄结构
- 三是采用品字型器身结构

电抗器振动分析-振动优化分析

□ 在线圈中间增加支撑



线圈中间加支撑结构

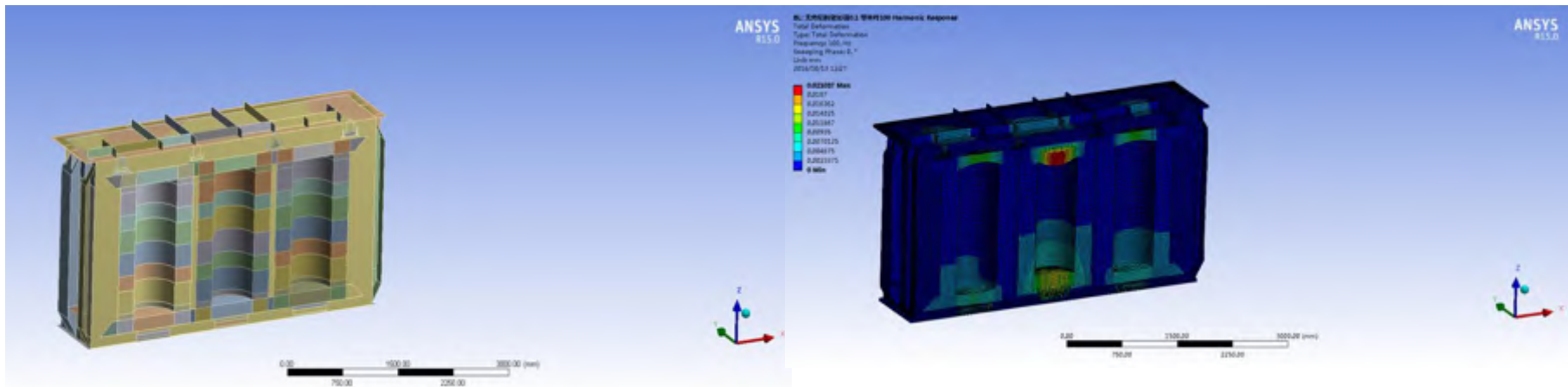
振动结果

器身与油箱是否接触	器身振动幅值(um)	油箱振动幅值(um)
原结构	44.2	32.7
线圈中间加支撑	27.6	20.3

加支撑与原结构振动对比表

振动分析-振动优化

取消旁厄结构



取消旁厄结构

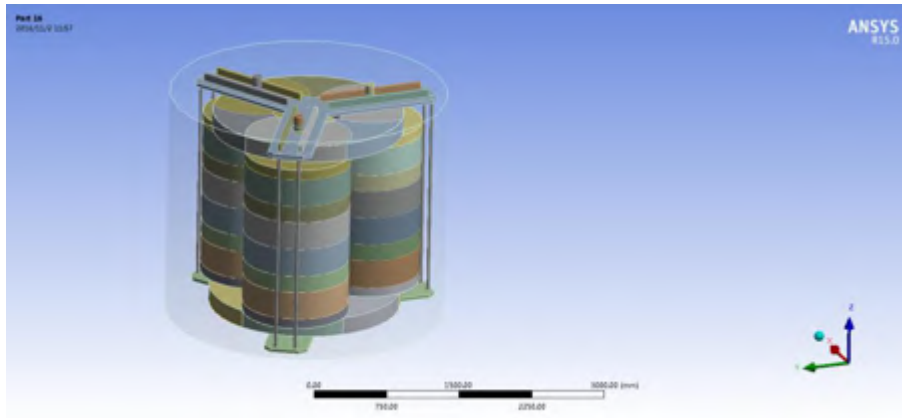
振动结果

	器身振动幅值(um)	油箱振动幅值(um)
原结构	44.2	32.7
取消旁厄结构	21.0	7.1

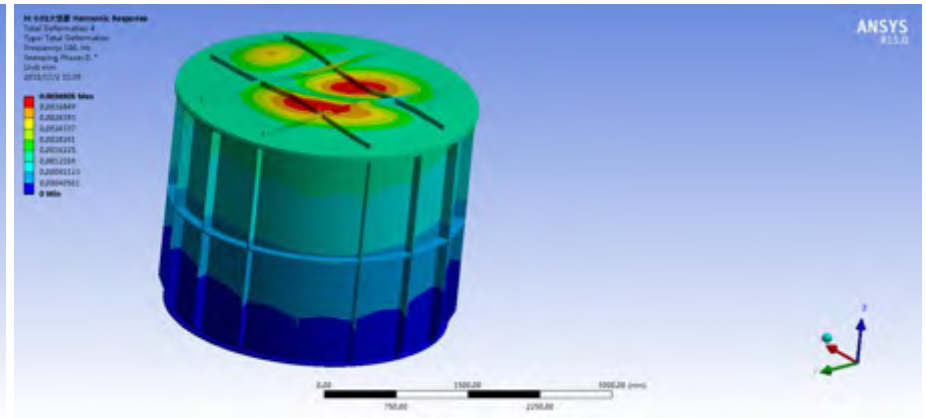
取消旁厄与原结构振动对比表

振动分析-振动优化分析

□ 品字型结构



品字型结构



振动结果

器身结构形式	器身振动幅值 (max)	油箱振动幅值 (max)
一字型	44.2	32.7
品字型	14.9	3.7

品字型结构与原结构振动对比表

从上图结果可以看出器身改为品字型结构后无论是器身还是油箱幅值都有明显的减小。效果最佳。

电抗器噪声分析

□ 噪声计算

噪声计算思路：将之前振动计算的幅值结果导入到噪声软件中，然后在规定的位置建立噪声结果提取面，(本课题计算与实验测量位置一致为0.3m)然后进行噪声计算

将对以下四种情况的噪声进行对比分析。

分析软件采用声学模块

原结构噪声分析

线圈中间增加支撑的噪声分析

器身取消旁厄噪声分析

品字型器身结构噪声分析

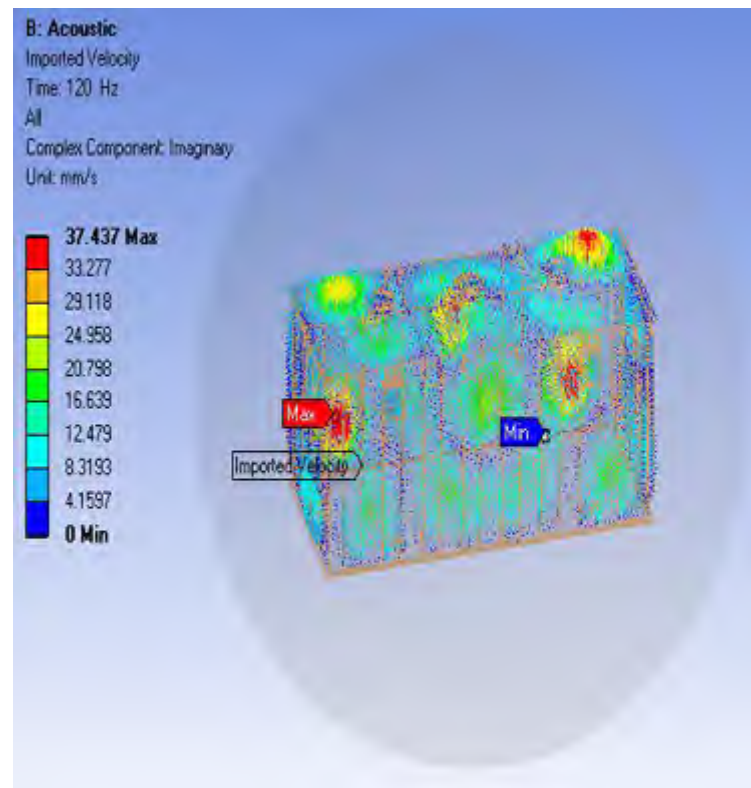
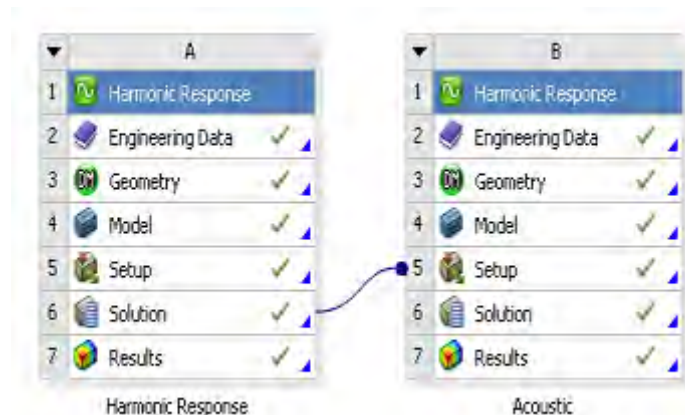
电抗器噪声分析



画一个半径约5米的球将电抗器包住，然后进行布尔减法运算将内部结构全部减掉，只留下外围的空气部分，将外壳上的节点的振动结果映射到外围的空气网格中，来进行噪声计算。

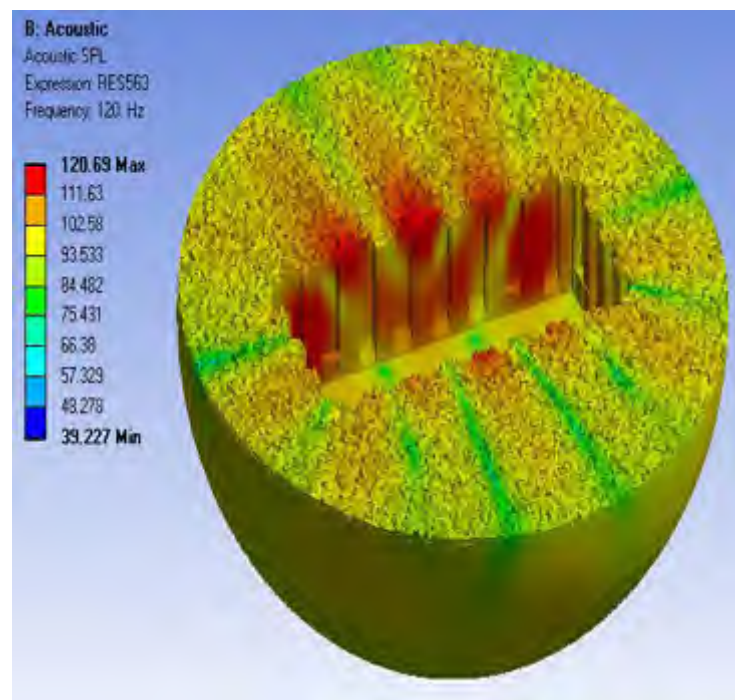
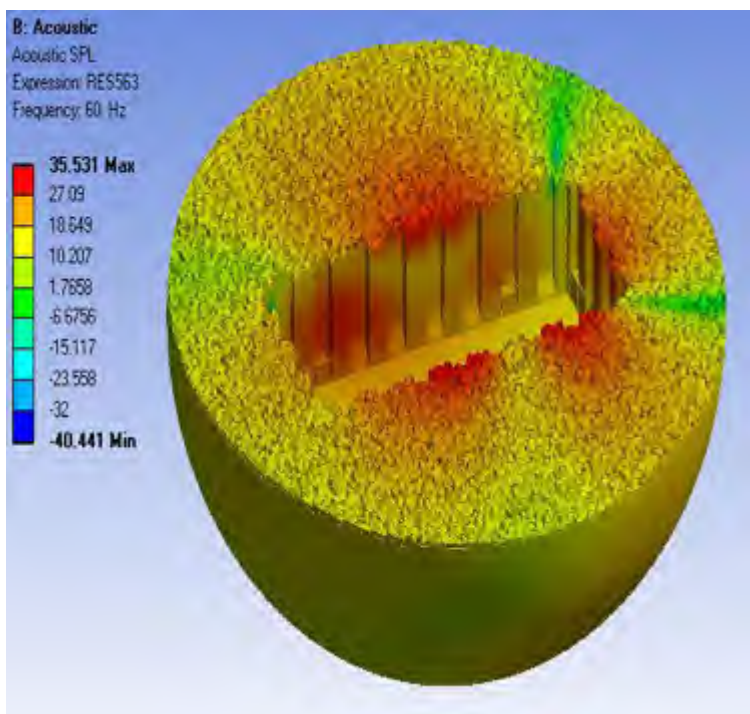
电抗器噪声分析

振动速度映射到空气网格中



电抗器噪声分析

噪声分析结果



电抗器噪声分析

□ 噪声对比计算

四种不同结构的振动及噪声对比

结构形式	器身振幅	油箱振幅	油箱振动形态	1/3处噪声	2/3处噪声
原结构	44.2	32.7		96.1 (实验值94)	98.3 (实验值96)
增加支撑	27.6	20.3	与原结构一致	91.2	95.9
取消旁厄	21.0	7.1	改变	86.7	82.7
品字型	14.9	3.7	改变		

品字型结构改动较大，噪声测量基准面发生了变化，如上图所示，在测量面上任取相对应的四个点噪声值分别为76.5 dB、73.5 dB、66.8 dB、74.7dB。均值为72.9 dB满足协议要求的75 dB。

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

感谢聆听



ANSYS-China