



ANSYS结构分析在脱硫脱硝工程中的应用

杨秀杰/ 高级工程师

大唐环境产业集团股份有限公司

目 录

- **1、行业背景**
- **2、脱硫脱硝工程结构分析应用**
- **3、脱硫工程应用案例**
- **4、脱硝工程应用案例**
- **5、专业模块开发**

1、行业背景

当前我国大气污染状况依然十分严重，主要表现为煤烟型污染。电力行业是燃煤主体，近年来在环保领域付出的努力有目共睹，脱硫脱硝除尘工程数量与火电厂机组容量同步。

2015年12月2日，国务院总理李克强召开国务院常务会议，决定全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造，大幅降低发电煤耗和污染排放。会议决定，在2020年前，对燃煤机组全面实施超低排放和节能改造，对落后产能和不符合相关强制性标准要求的坚决淘汰关停，东、中部地区要提前至2017年和2018年达标。

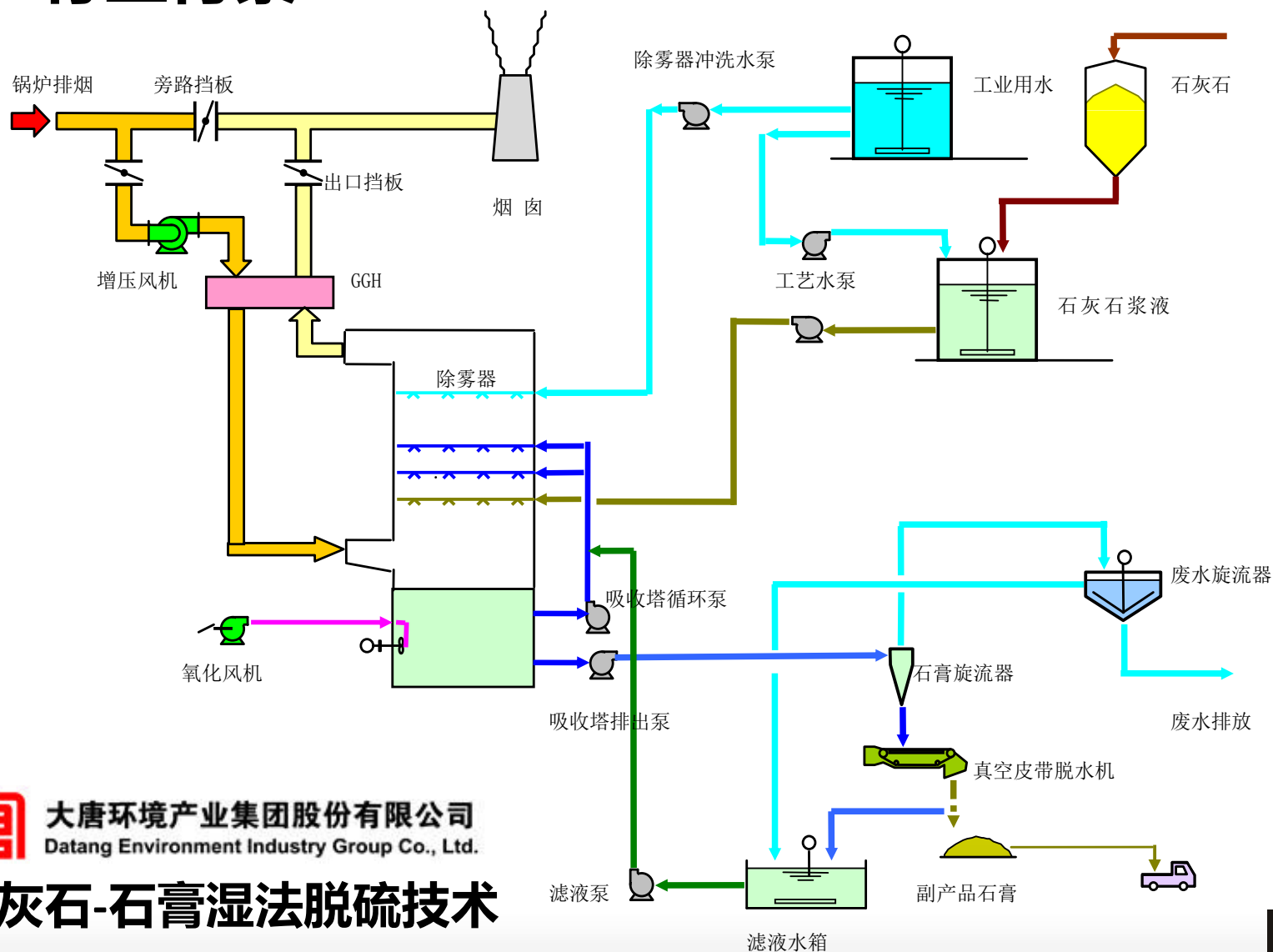
1、行业背景



大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd.

- **大唐环境产业集团股份有限公司是中国大唐集团公司发展环保节能产业的唯一平台。**
- **我们致力于发展环保技术、电力能源建设与服务等业务领域，是中国电力行业环保节能领域的主导者和领先者。**
- **我们能够为客户提供便捷、优质的研发、设计、产品、投资、运营等一揽子环保节能解决方案。**

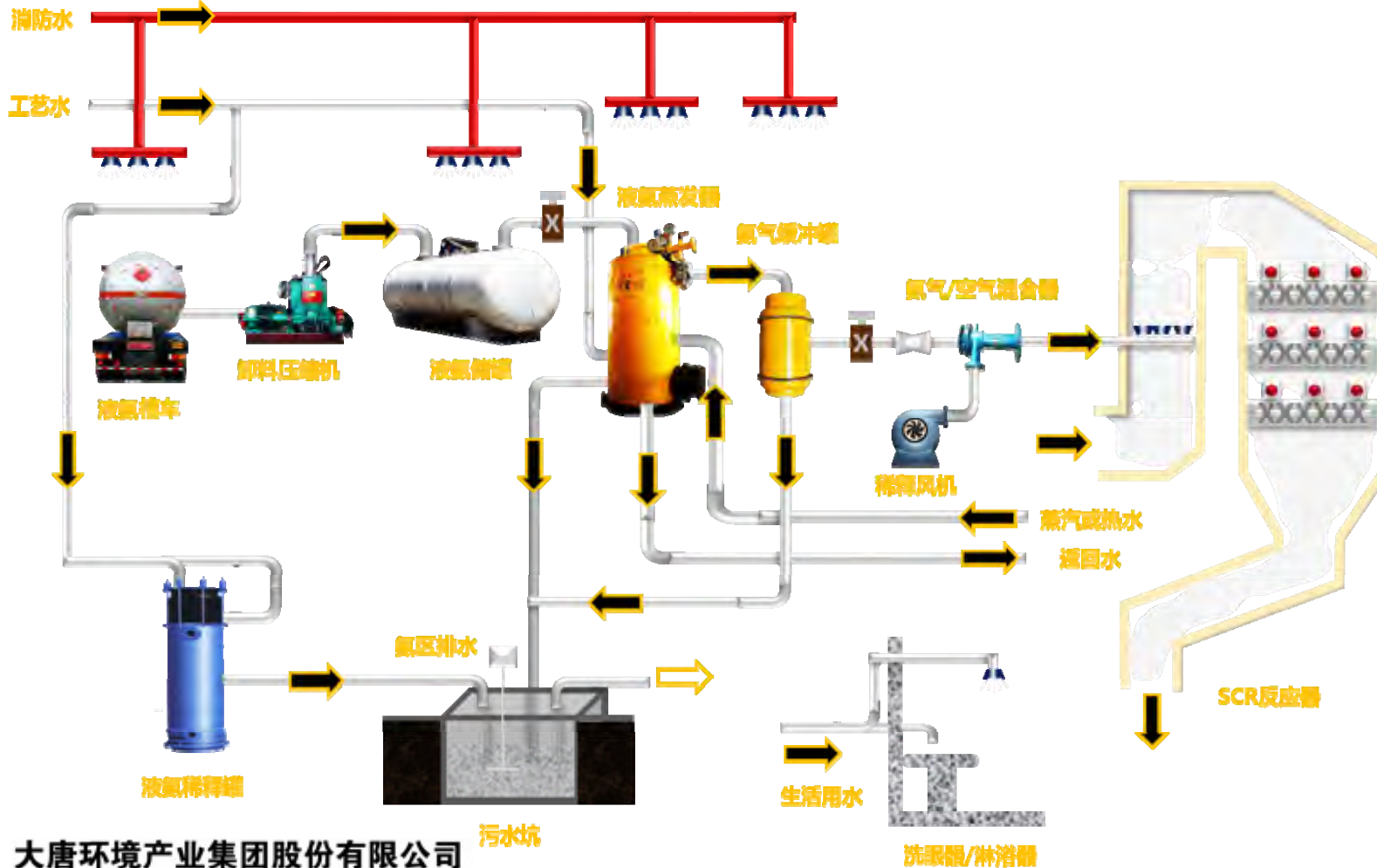
1、行业背景



 大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd.

石灰石-石膏湿法脱硫技术

1、行业背景



唐 大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd.

选择性催化还原(SCR)脱硝技术

2、脱硫脱硝工程结构分析应用

工程中进行结构分析的主要设备：

- 脱硫吸收塔
- 塔顶临时烟囱
- 脱硫塔内部件
- 烟道
- 箱罐
- 石灰石粉仓及锥斗
- 脱硝反应器
- 反应器出口烟道

2、脱硫脱硝工程结构分析应用

进行结构分析设备的特点：

- 设备外形尺寸大
- 壁厚薄
- 加固肋较多
- 设备功能固定
- 改造项目多
- 形式多样
- 超出设计标准范围

2、脱硫脱硝工程结构分析应用

ANSYS软件使用特点：

- 采用梁、壳单元进行分析；
- 载荷处理时运用表面效应单元；
- 分析工作充分运用APDL命令实现参数化；
 - ✓ 快速高效；
 - ✓ 使用方便；
 - ✓ 便于优化设计；
 - ✓ 可以利用VB.NET等软件进行专业模块开发

3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

吸收塔为一圆筒形立式设备，其结构的特点是塔体直径大，塔壁厚度小。高径比一般均不超过3，在外观上与立式圆筒形储罐相近；吸收塔内中上部设有喷淋层、除雾器等部件，重量较大，下部储存的浆液高度较高，特别是烟气进、出口开孔尺寸较大，这些都有别于常规设备结构，没有专门的设计标准。目前通常采用有限元分析方法进行设计。

3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

参照设备、结构相关专业标准，计算中考虑塔体及附件自重、液柱静压力、设计压力、地震载荷、风载荷、雪载荷，校核时对各种载荷进行组合。

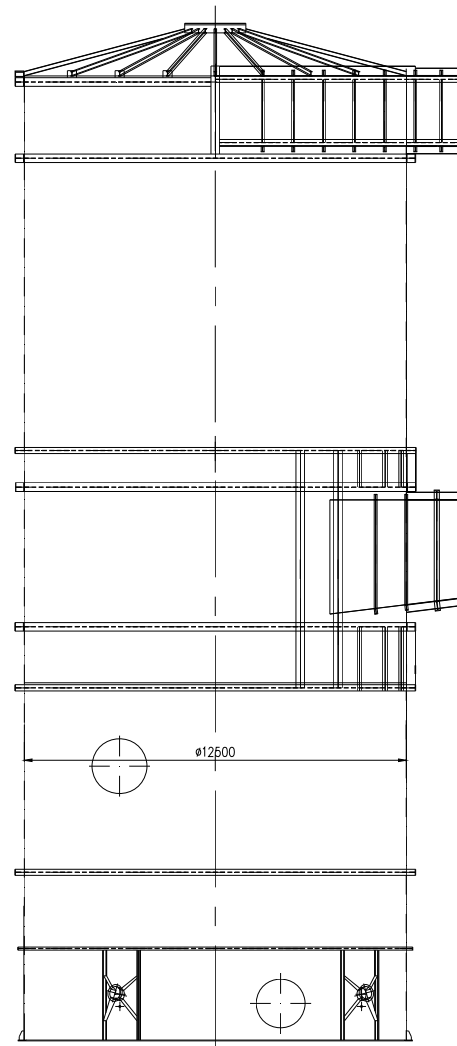
主要考虑以下四种组合工况：

- I . 自重 + 液柱静压力 + 内压
- II . 自重 + 液柱静压力 + 外压
- III . 自重 + 液柱静压力 + 外压 + 风载荷 + 雪载荷
- IV . 自重 + 液柱静压力 + 外压 + 地震载荷 + 25%风载荷 + 雪载荷

3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

- 碳钢Q235B材料
- 浆液中上部接大直径联通管
- 烟气出口宽度大



3、脱硫工程应用案例

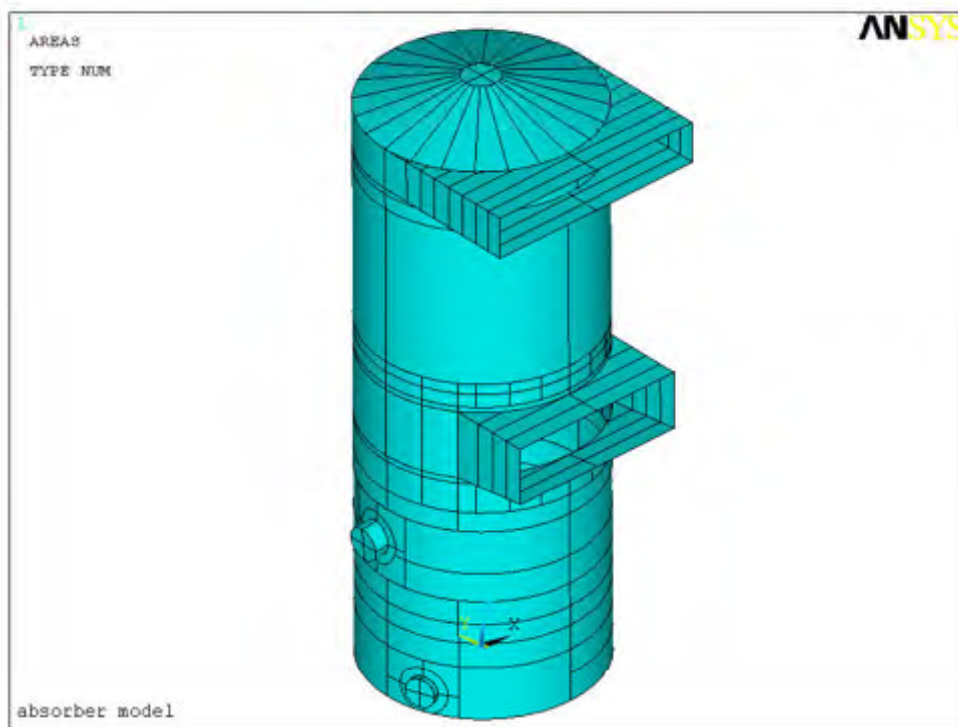
(1) 脱硫吸收塔

吸收塔主要尺寸数据

塔体内径(mm)	12500
塔体总高度(mm)	33400
原烟气进口尺寸(mm)	10000×3200
原烟气进口端面中心标高(mm)	16100
出口烟道截面尺寸(mm)	12500×2300
出口烟道中心标高(mm)	30450
浆液最高液位(mm)	11900

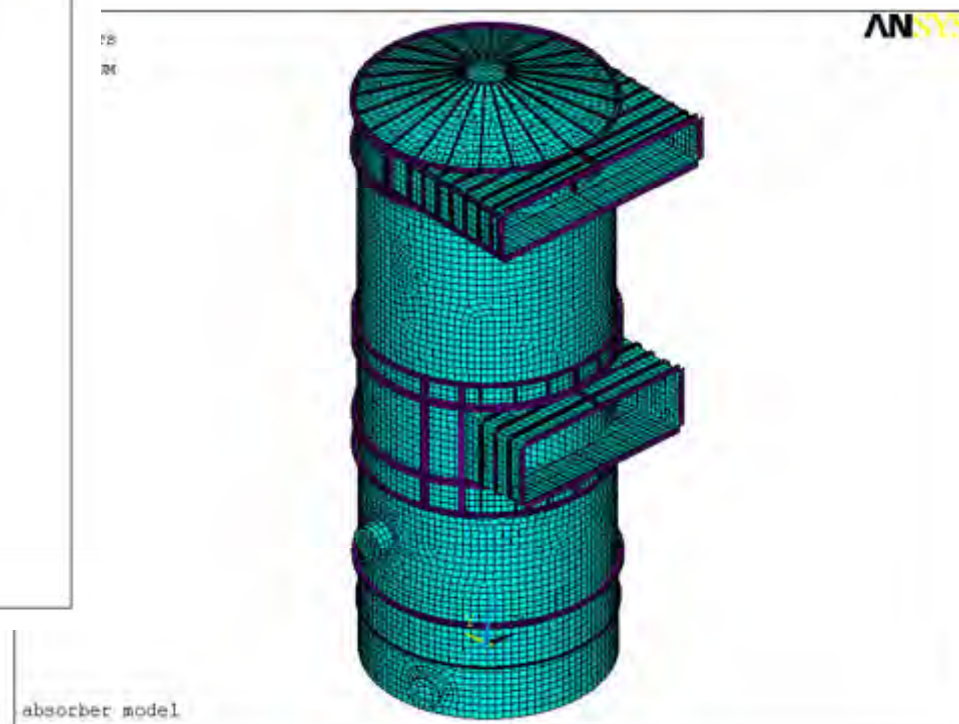
3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔



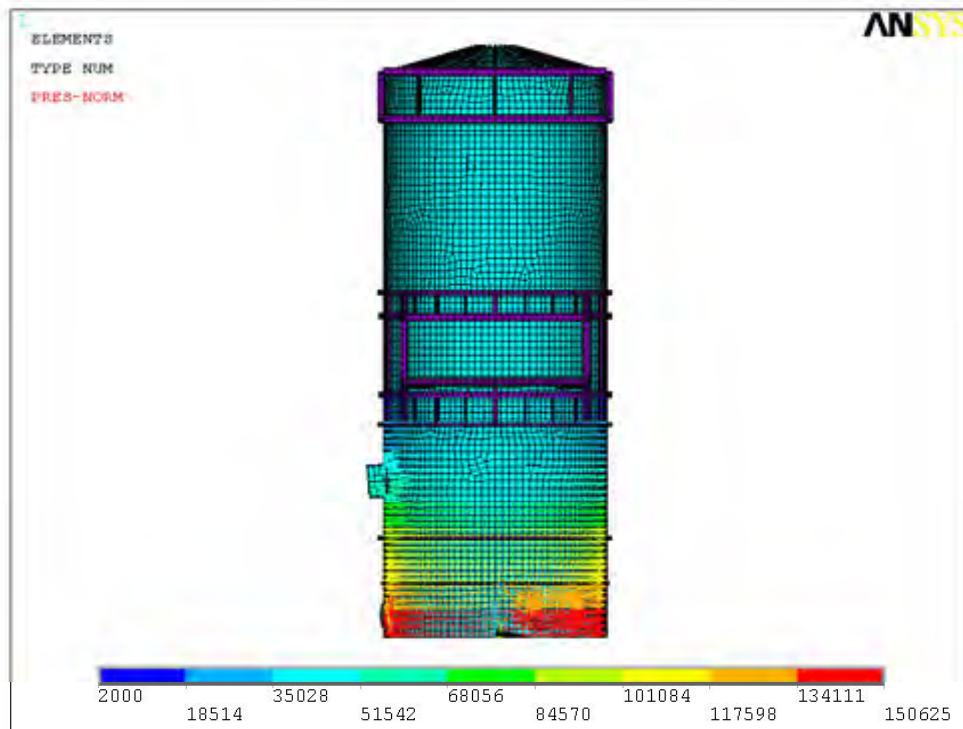
采用Shell181、Beam188单元

$D=12500/d=1800$



3、脱硫工程应用案例

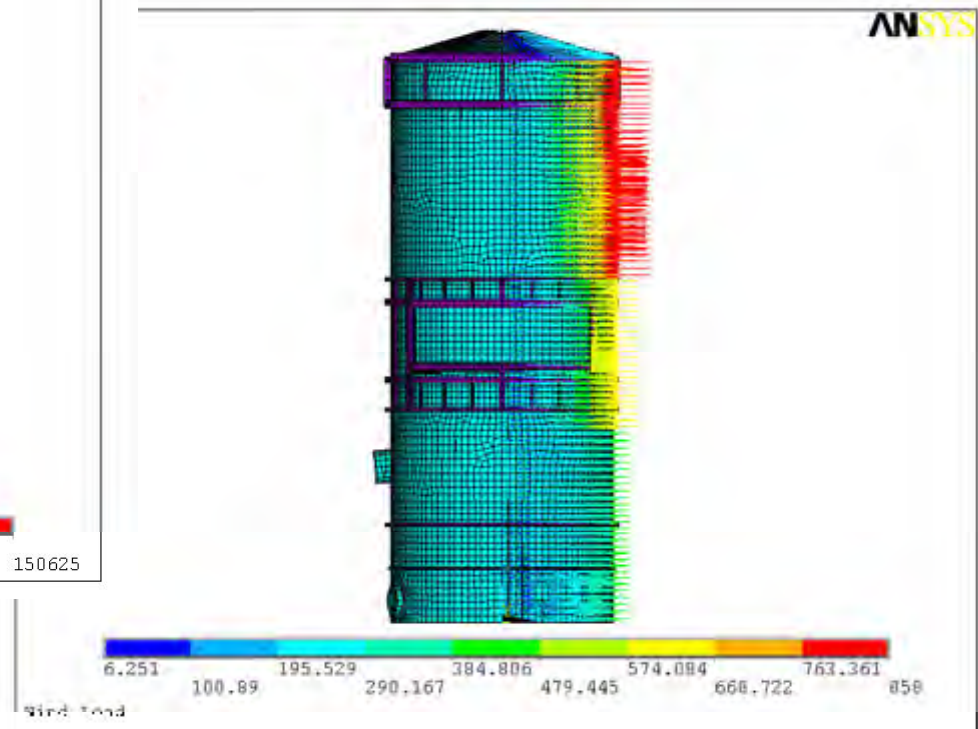
(1) 脱硫吸收塔



线性变化的液压

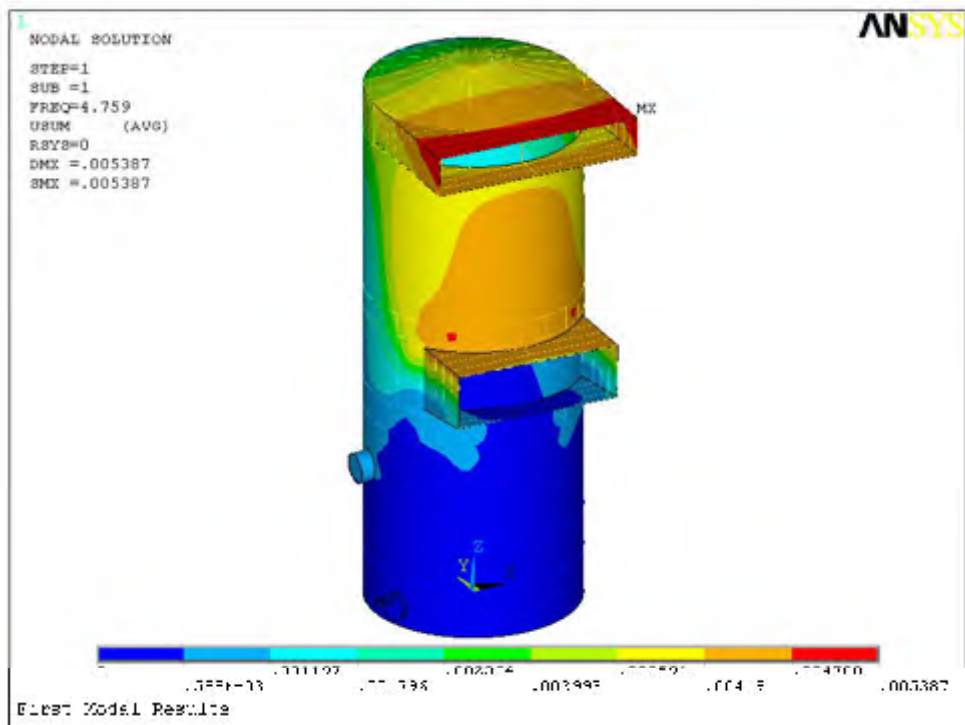
沿高度变化的风压

采用表面效应单元SURF154



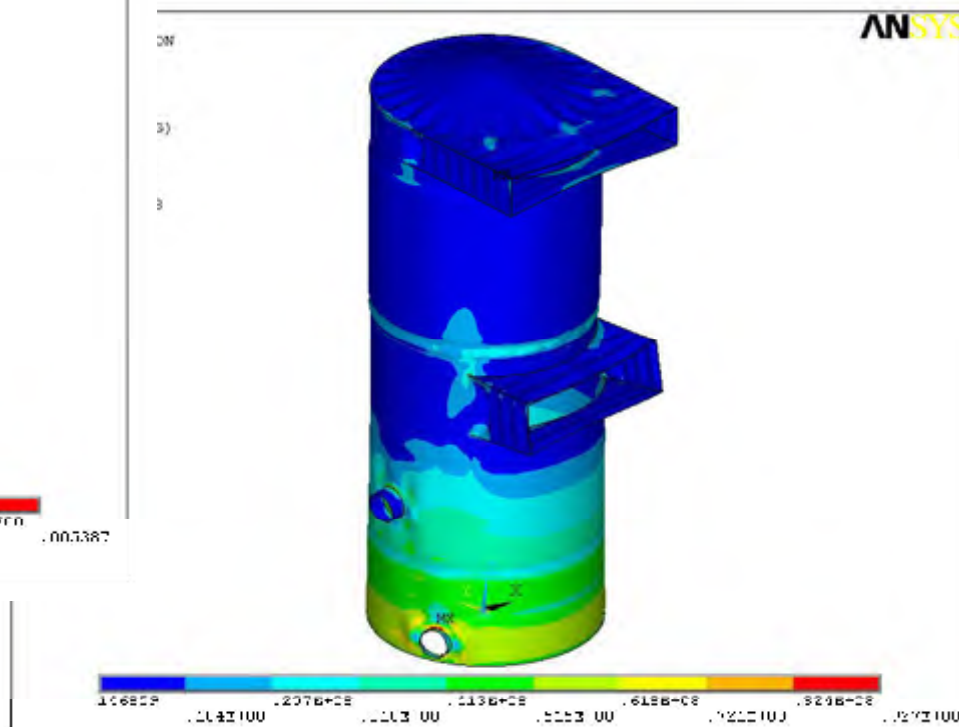
3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔



一阶自振频率

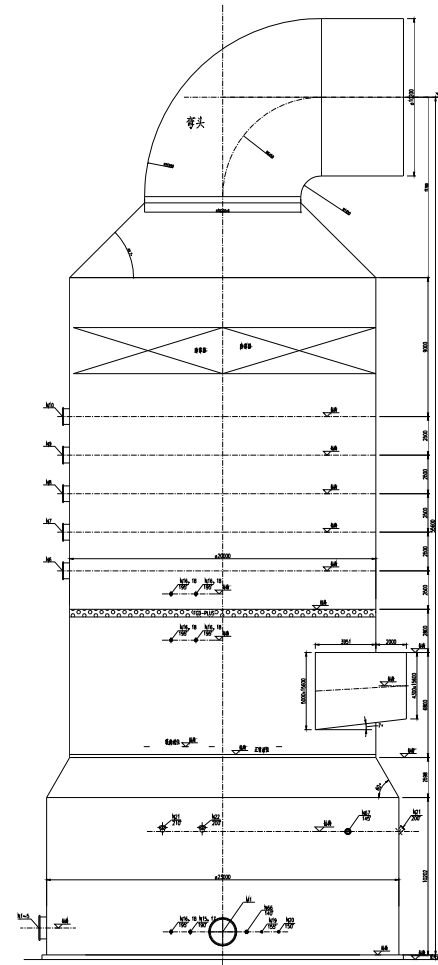
应力分布云图



3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

- 碳钢Q235B材料
- 塔体直径大
- 上部圆形烟道顶出
- 下部浆液带变径



3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

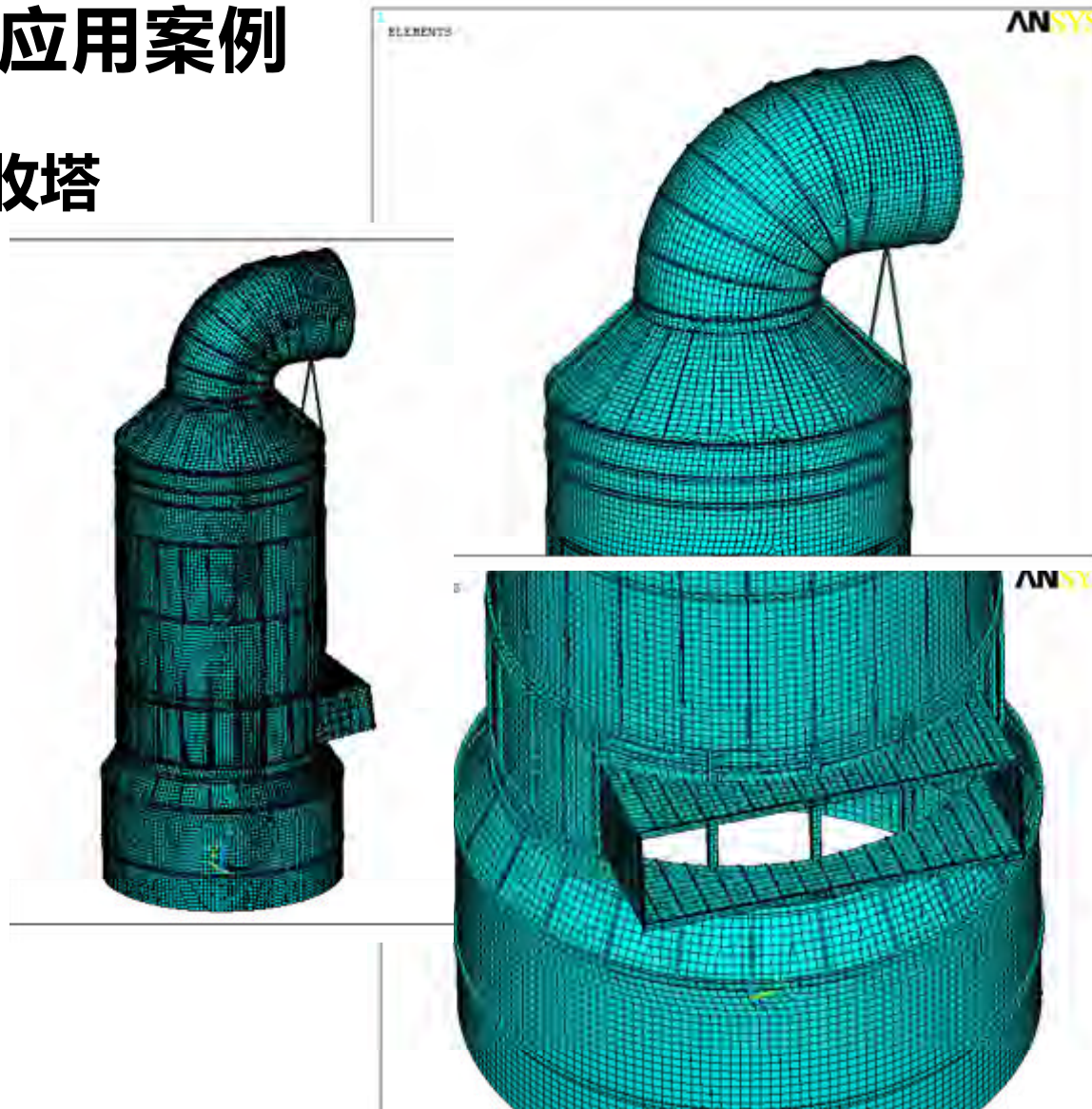
吸收塔主要尺寸数据

塔体内径(mm)	23000/20000
塔体顶出锥段以下高度(mm)	43900
原烟气进口尺寸(mm)	15600×4300
原烟气进口端面中心标高(mm)	17450
出口圆形净烟道直径(mm)	10200
出口烟道中心标高(mm)	55600
浆液最高液位(mm)	13500

3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

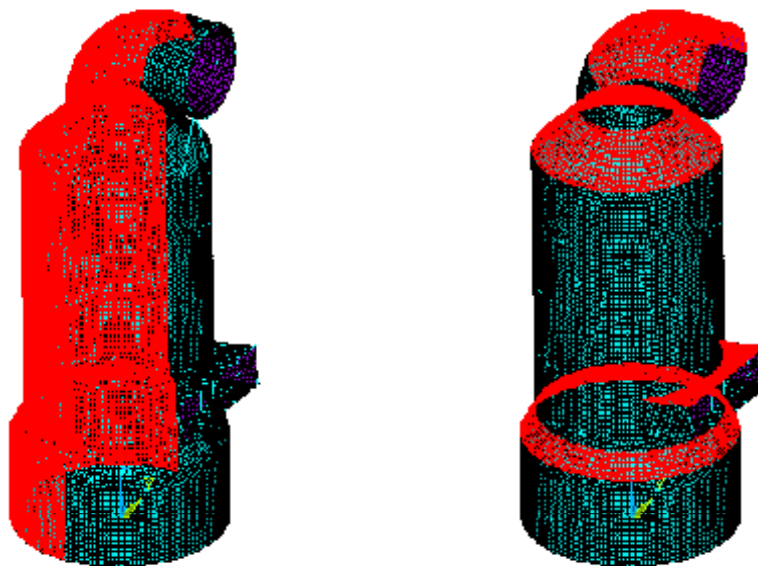
吸收塔整体结构为薄壳结构，采用梁单元、壳单元对结构进行建模。塔壁、烟气进出口壁板等采用Shell181壳单元，加强筋等采用Beam188梁单元。



3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

风载荷和雪
载荷采用表
面效应单元
SURF154进
行施加。

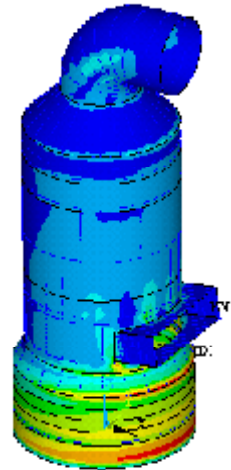


3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

```

*MODEL, 50, TET10
$STEP=1
$OE=-1
TRES=1
$EXT=(AVT)
MIDDLE
CMD: -.066166
$RM=-.63723
$RD: -.9303-C3
    
```



Total (Mpd)

ANSYS

```

*MODEL, 50, TET10
$STEP=1
$OE=-1
TRES=1
$EXT=(AVT)
MIDDLE
$RES=C
CMD: -.066166
$RM=-.663E+08
$RD: -.1507-C3
    
```



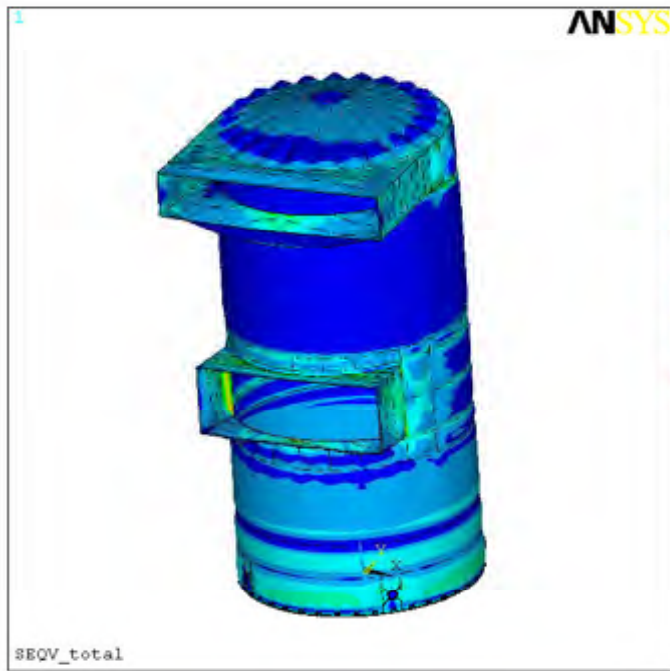
Total (Mpd)

ANSYS

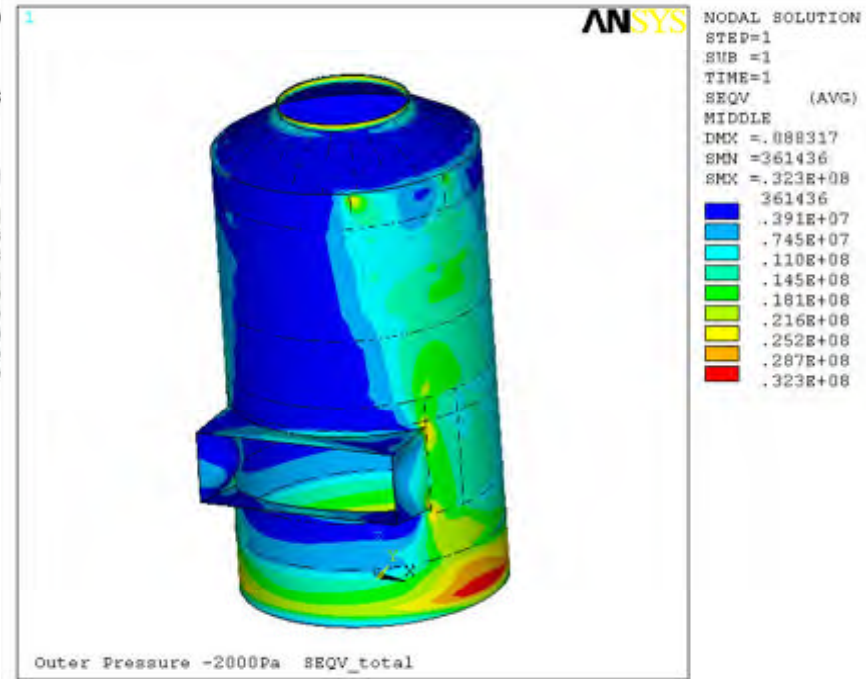
ANSYS

3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔



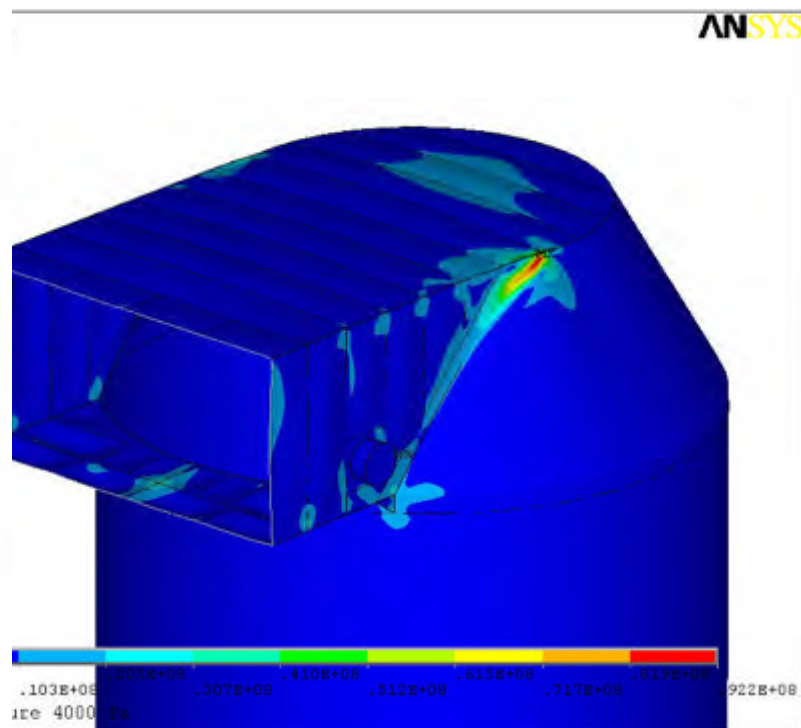
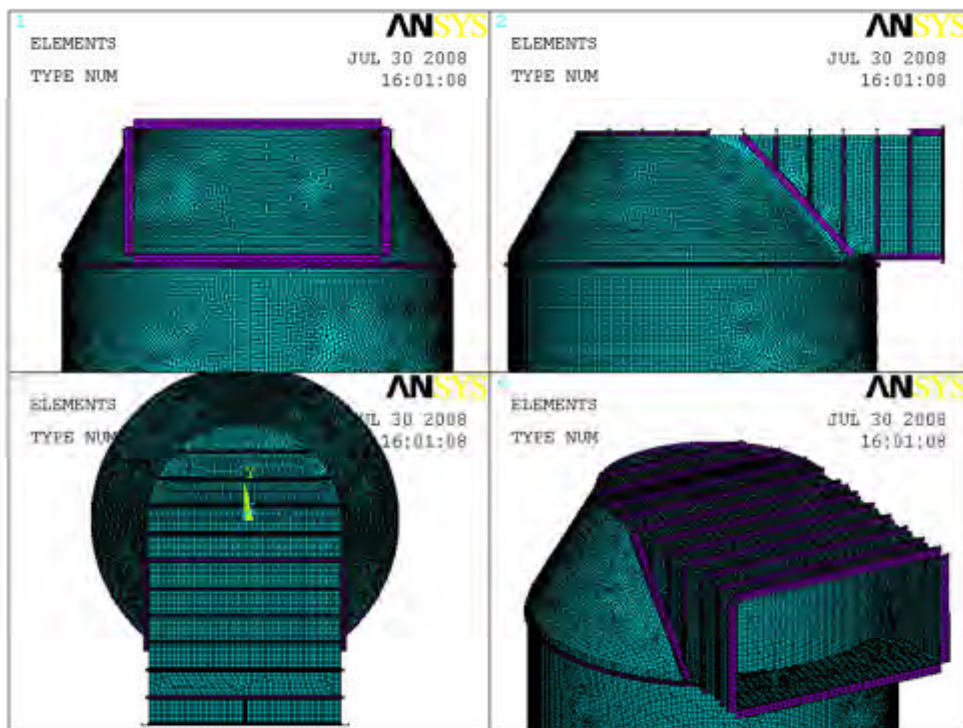
D=17500



D=13000

3、脱硫工程应用案例

(1) 脱硫吸收塔

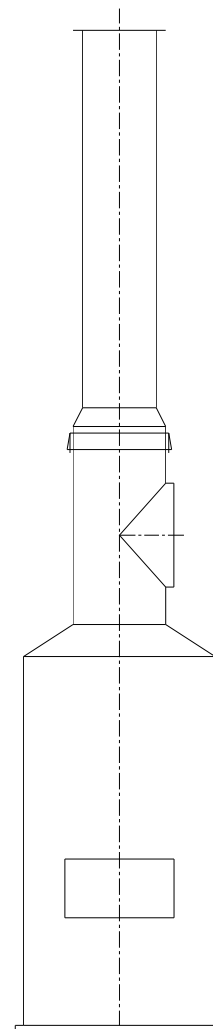


D=11000

3、脱硫工程应用案例

(2) 塔顶临时烟囱

- 设计条件与吸收塔相同
- 增加顶部临时烟囱
- 临时烟囱高度大
- 受力更为复杂



3、脱硫工程应用案例

(2) 塔顶临时烟囱

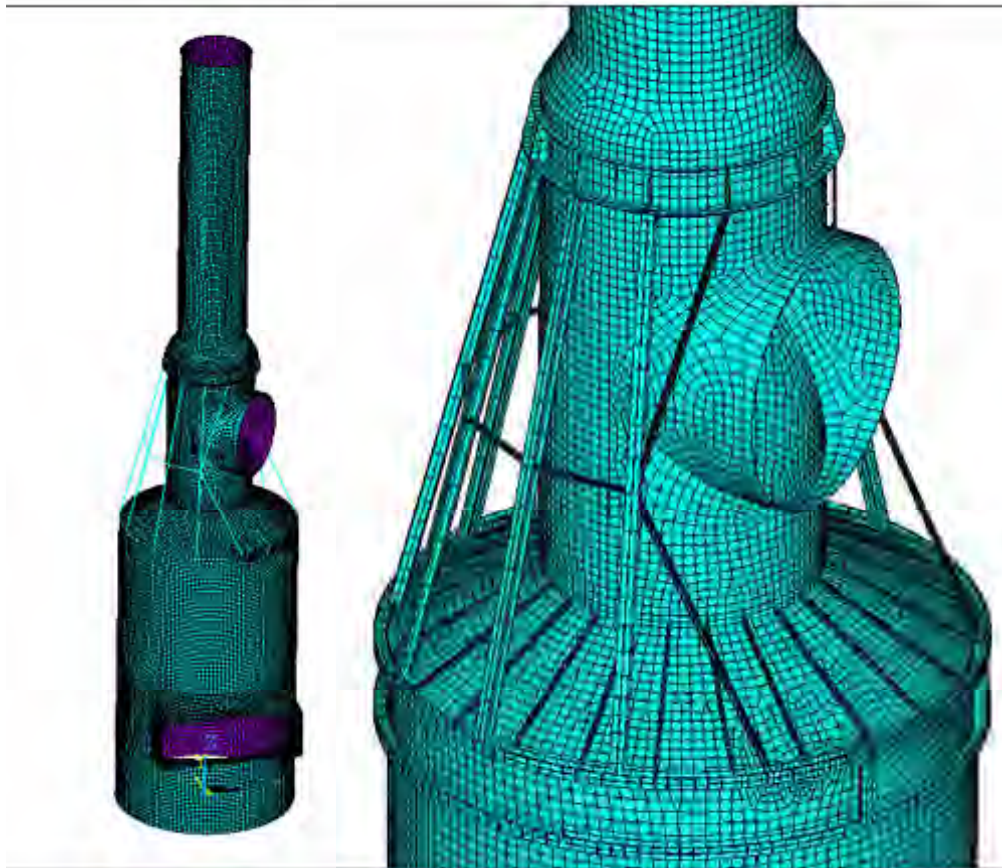
吸收塔及临时烟囱主要尺寸数据

塔体内径(mm)	13000
塔体烟囱以下高度(mm)	22350
原烟气进口尺寸(mm)	10400×3600
原烟气进口端面中心标高(mm)	8350
烟囱直径(mm)	6300
烟囱顶标高(mm)	60580
浆液最高液位(mm)	5000

3、脱硫工程应用案例

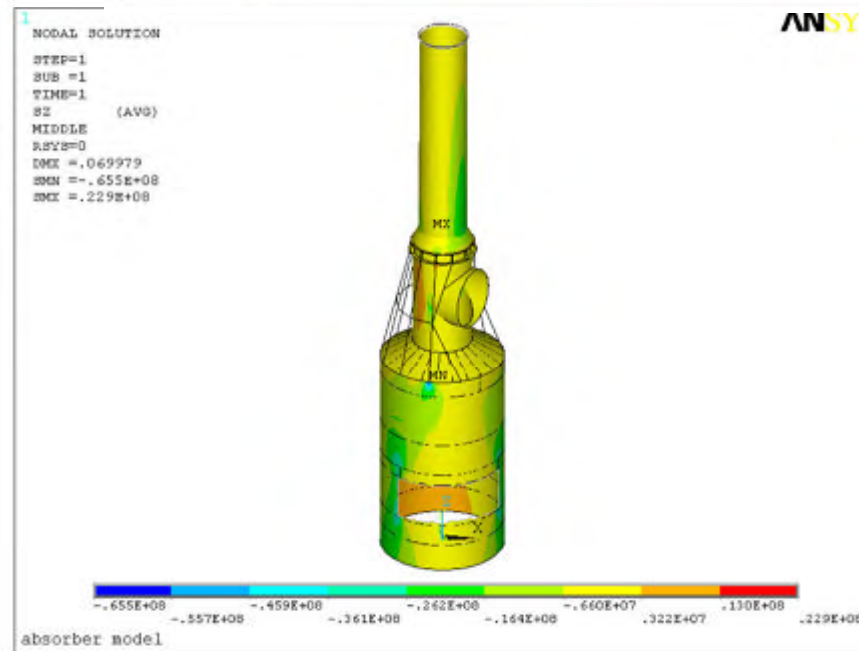
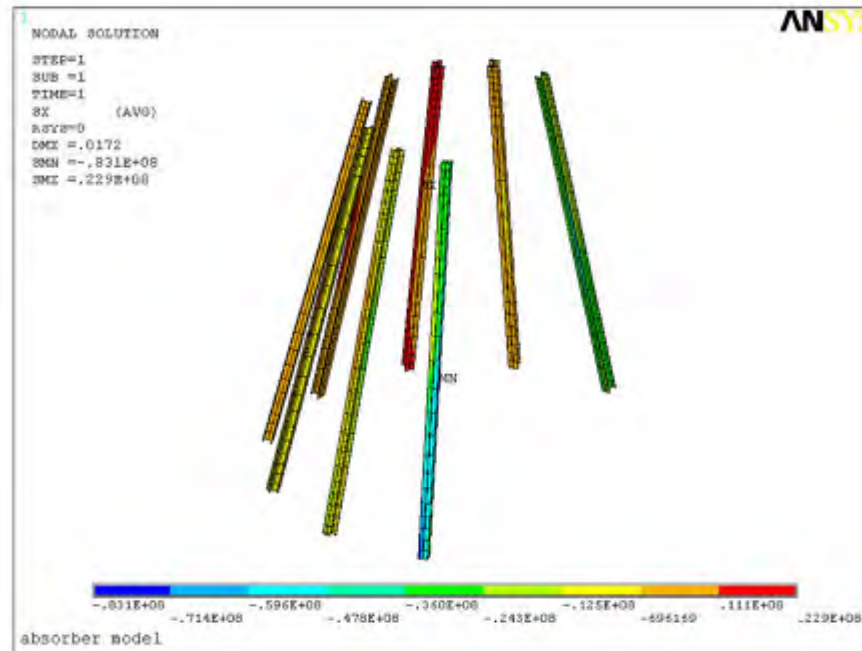
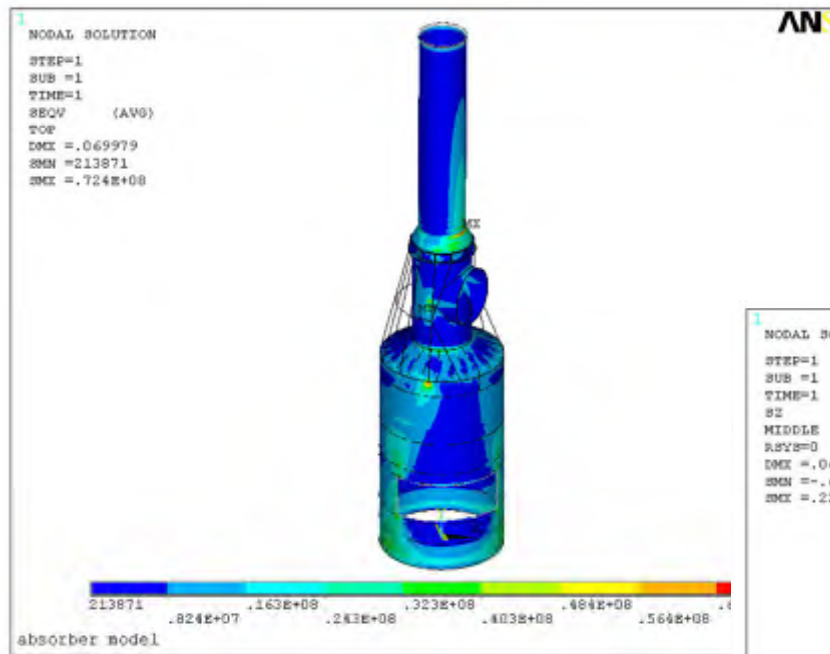
(2) 塔顶临时烟囱

计算中考虑塔体及附件自重、液柱静压力、设计压力、地震载荷、风载荷、雪载荷；
主要考虑四种组合工况。



3、脱硫工程应用案例

(2) 塔顶临时烟囱



3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件

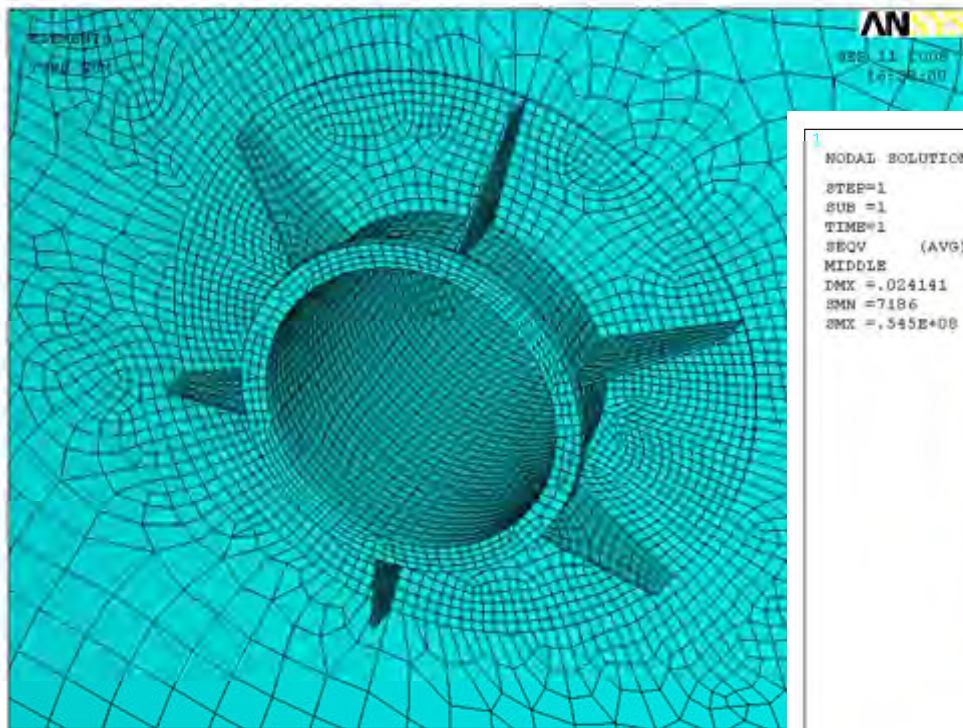
脱硫塔内部件结构分析主要考察结构自身或支撑结构是否满足强度要求。

支撑梁截面较大，采用壳单元SHELL181进行建模分析。

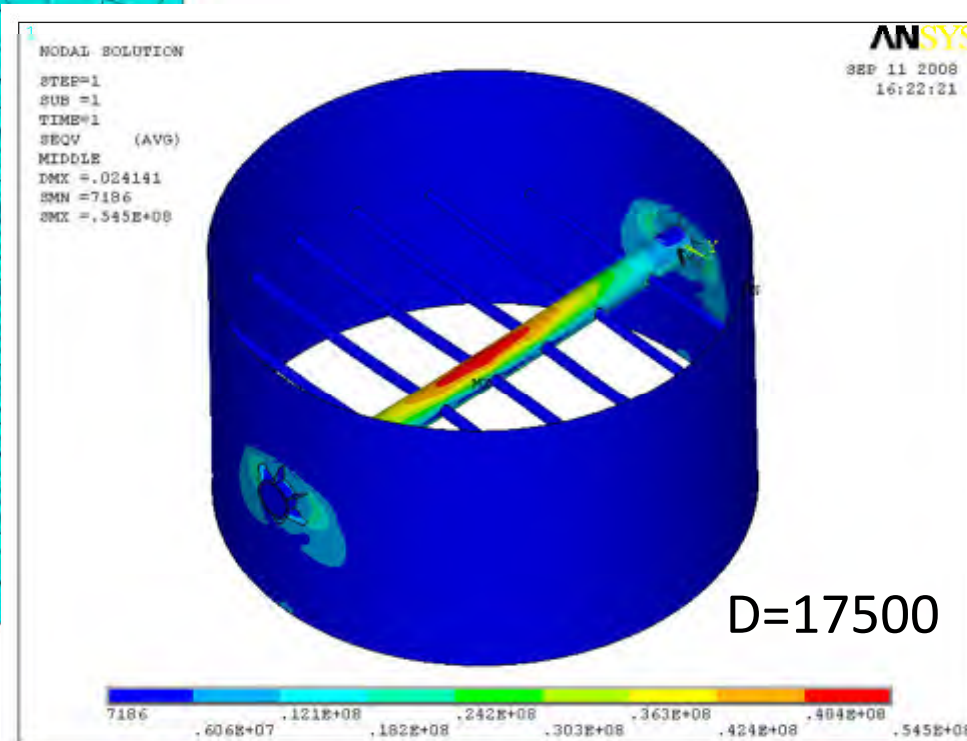
- **喷淋层**
- **除雾器支撑梁**
- **提效装置支撑结构**

3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件



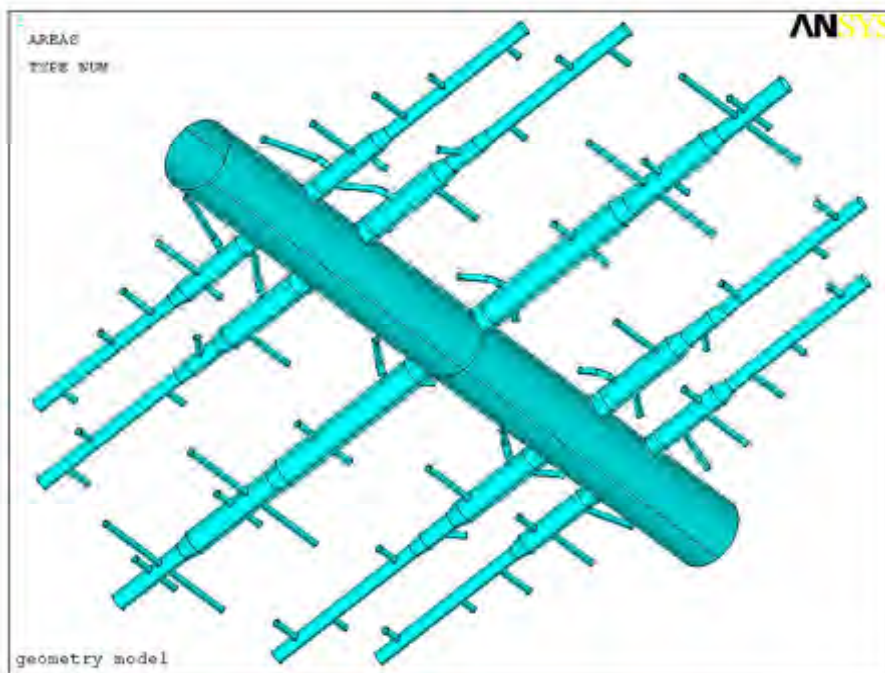
d=1200



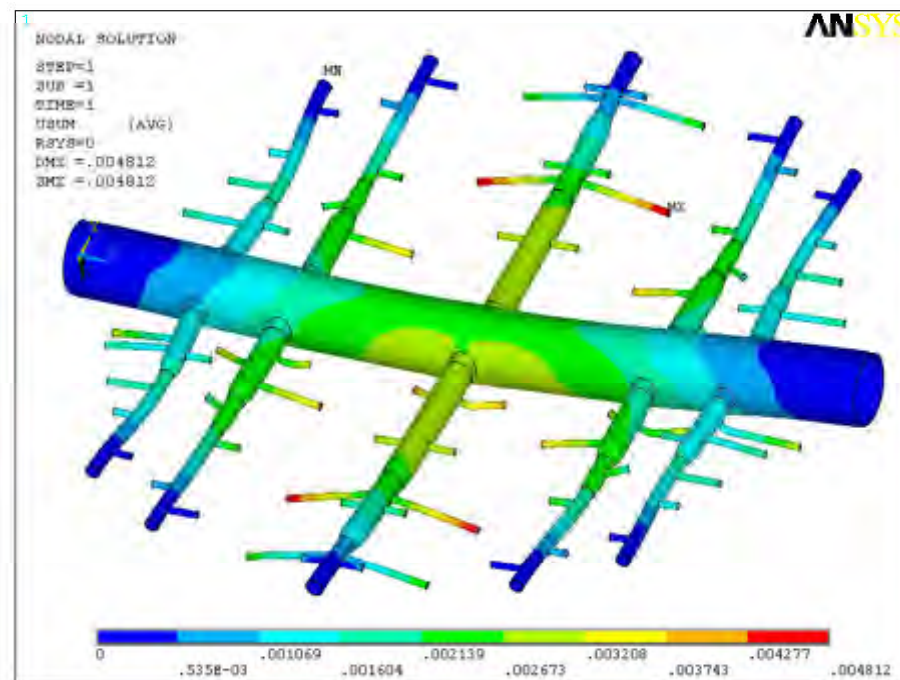
喷淋层主管道结构分析

3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件



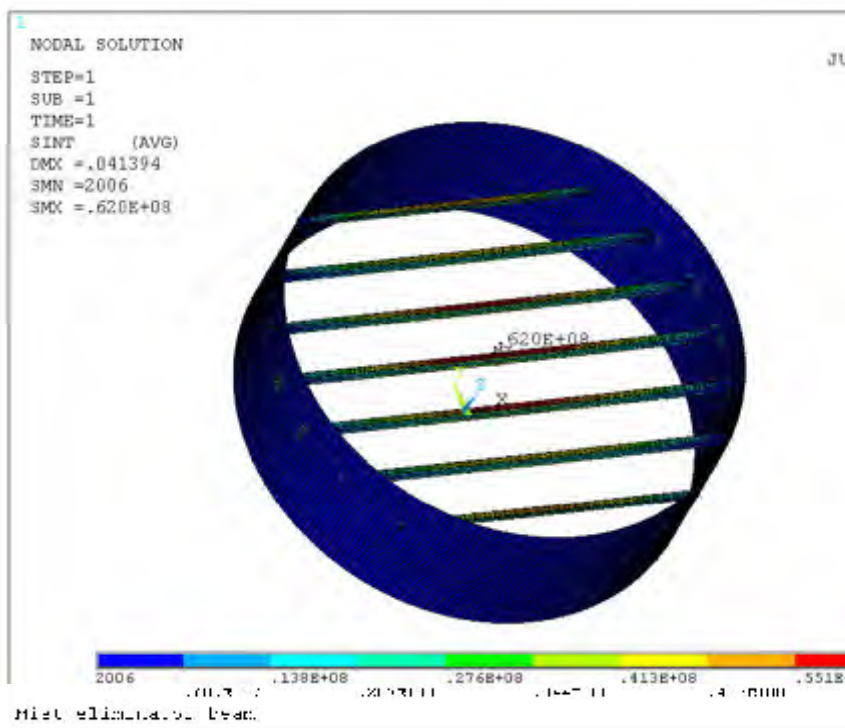
d=1000



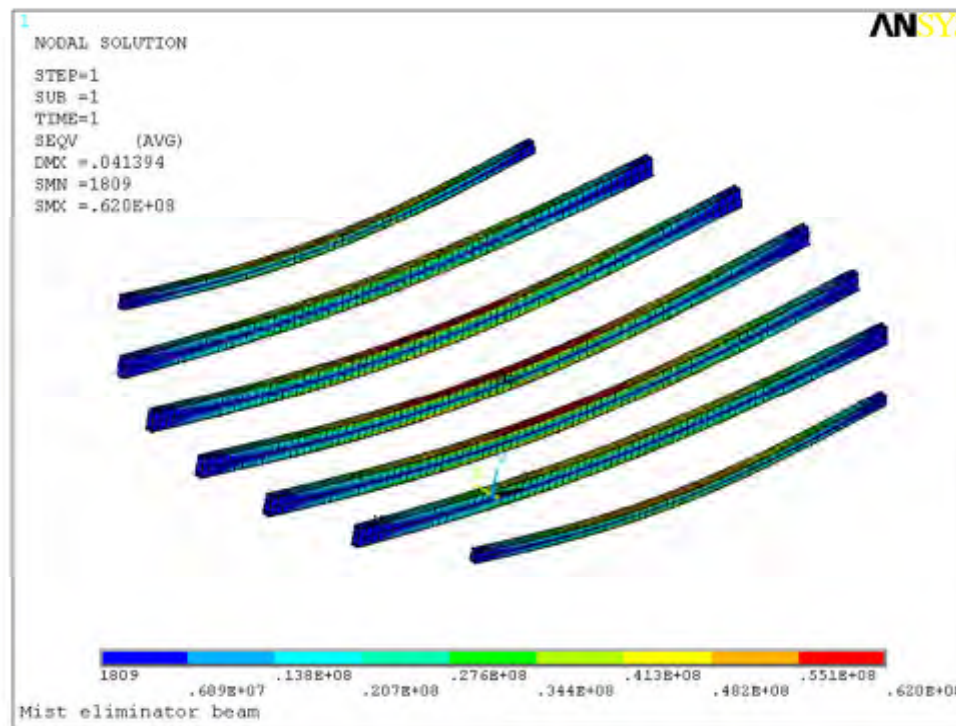
喷淋层主管与支管结构分析

3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件



D=17500/梁截面500×200

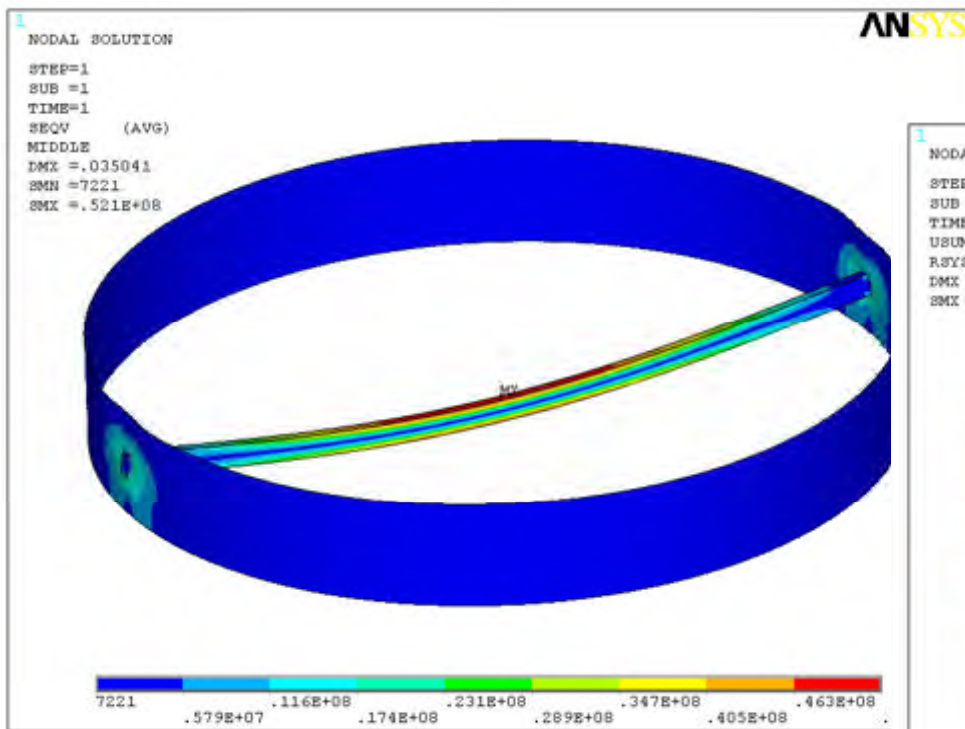


支撑梁采用Beam188单元

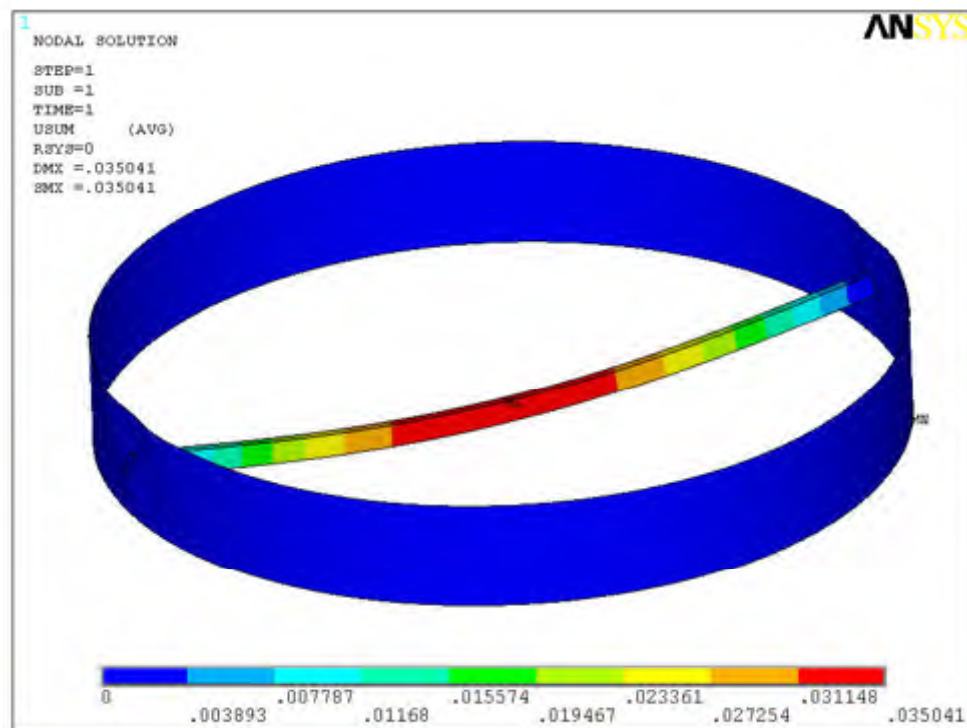
除雾器支撑梁结构分析

3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件



D=17500/梁截面500×200

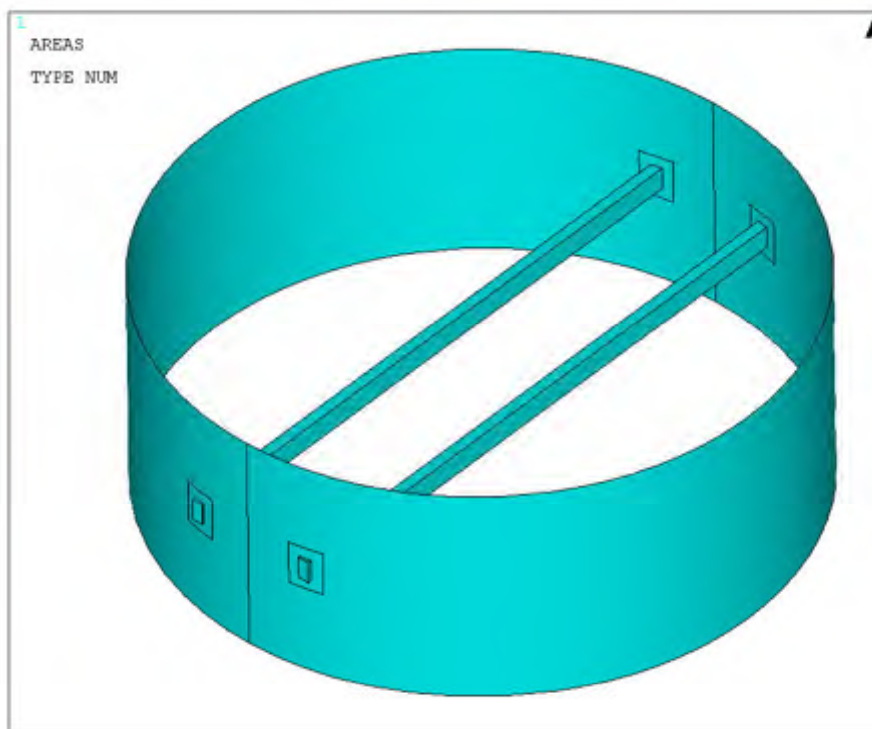


支撑梁采用Shell181单元

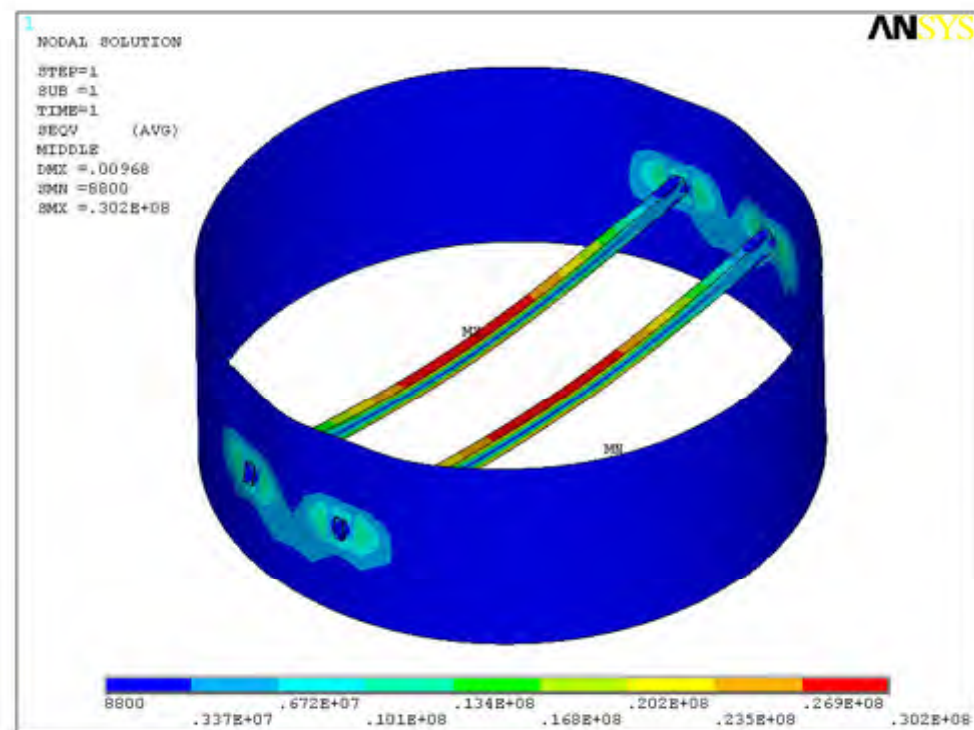
除雾器支撑梁结构分析

3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件



支撑梁采用Shell181单元



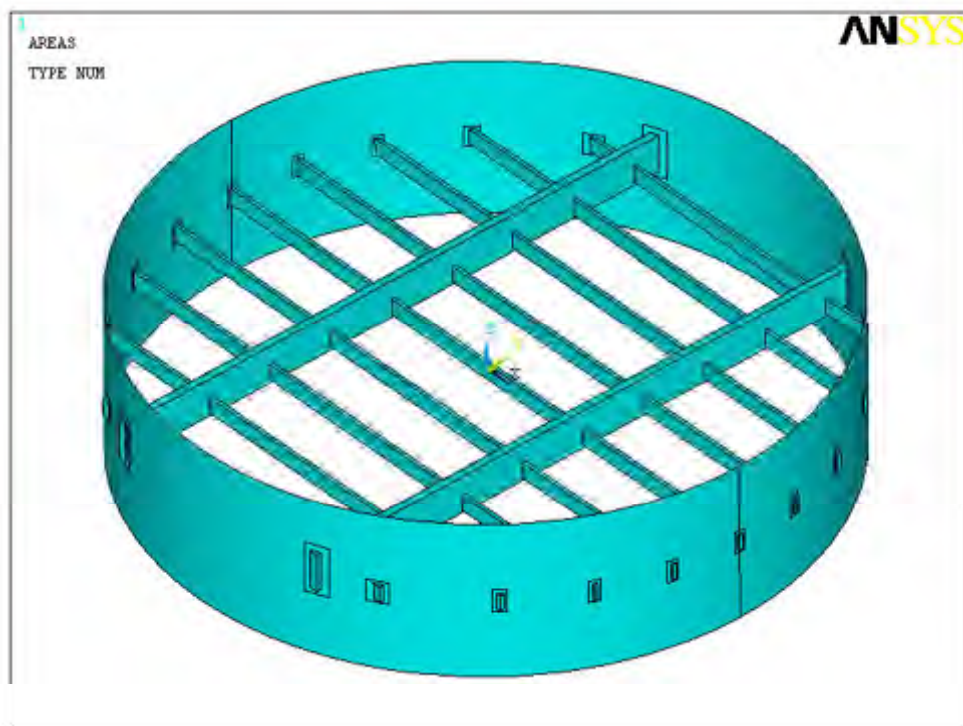
除雾器支撑梁结构分析

3、脱硫工程应用案例

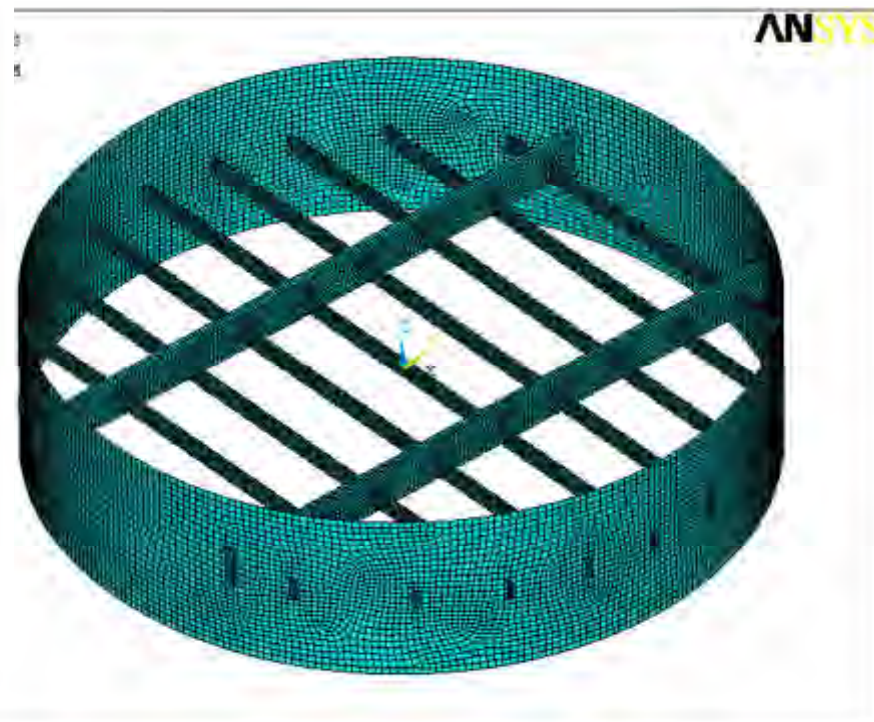
(3) 脱硫塔内部件

D=20000

梁截面1200×250/500×120



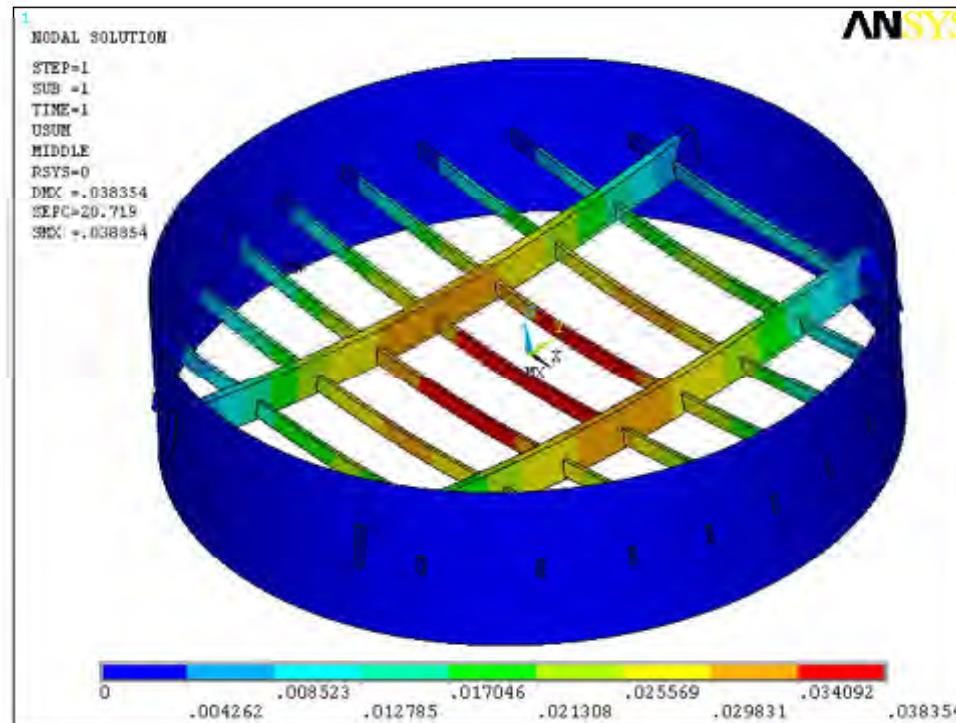
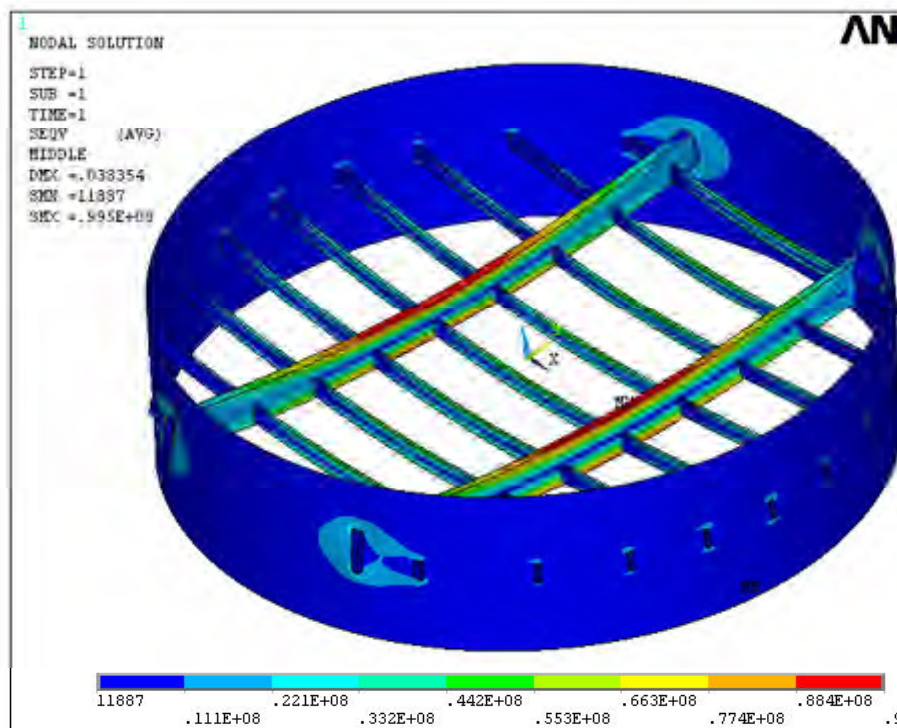
支撑梁采用Shell181单元



提效装置支撑结构分析

3、脱硫工程应用案例

(3) 脱硫塔内部件

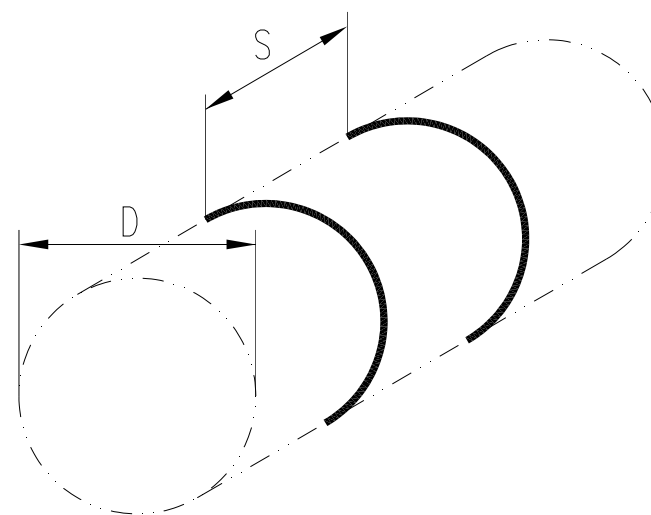
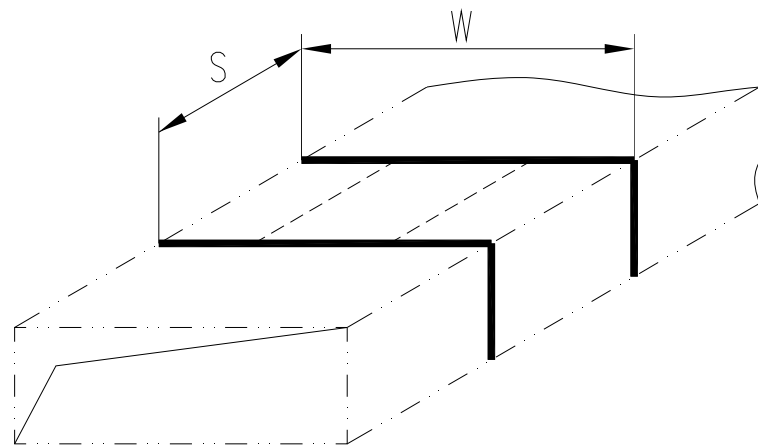


提效装置支撑结构分析

3、脱硫工程应用案例

(4) 脱硫系统烟道

依据DL/T 5121-2000
《火力发电厂烟风煤
粉管道设计技术规程》
(简称《烟规》)进
行烟道设计。



3、脱硫工程应用案例

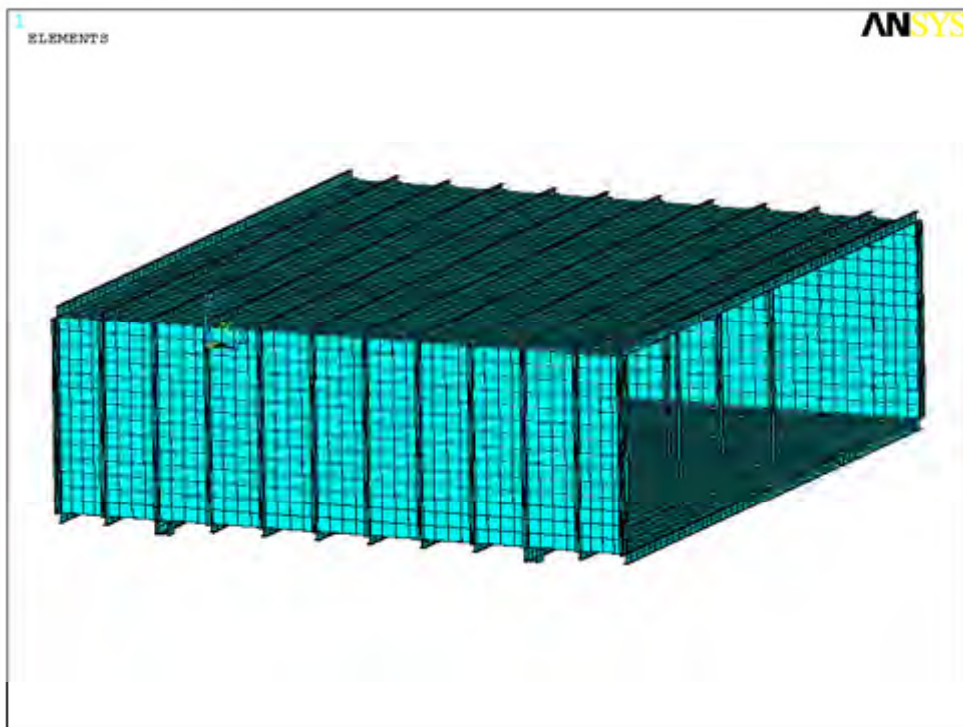
(4) 脱硫系统烟道

主要考虑的载荷条件：

- 1.烟道自重
- 2.烟道雪载荷
- 3.风载荷
- 4.积灰载荷
- 5.地震载荷
- 6.外压或内压
- 7.其它：保温重量等

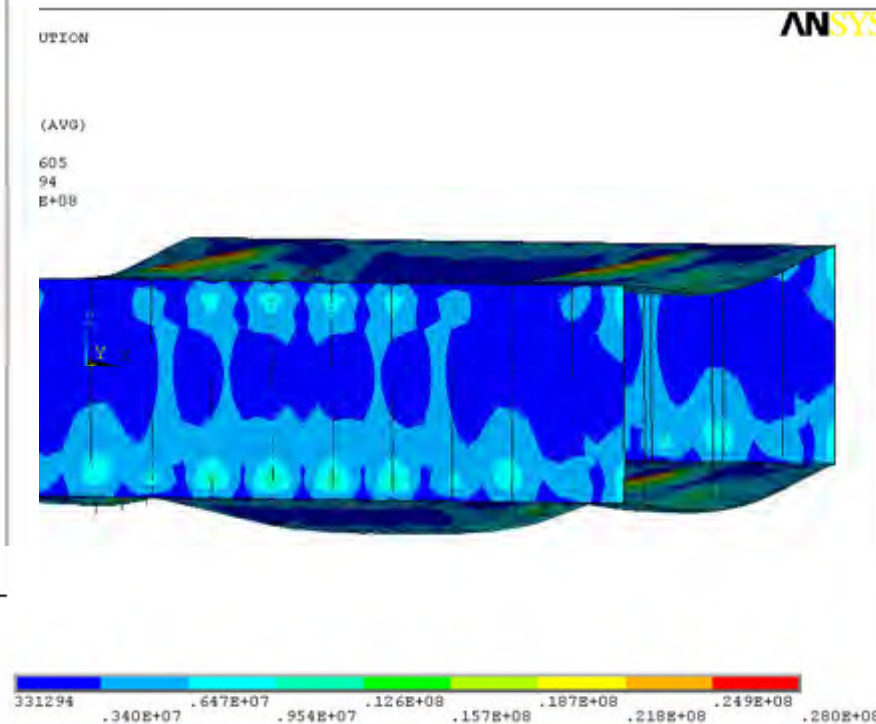
3、脱硫工程应用案例

(4) 脱硫系统烟道



采用Shell181、Beam188单元

烟道截面12550×3500



常规方形烟道结构分析

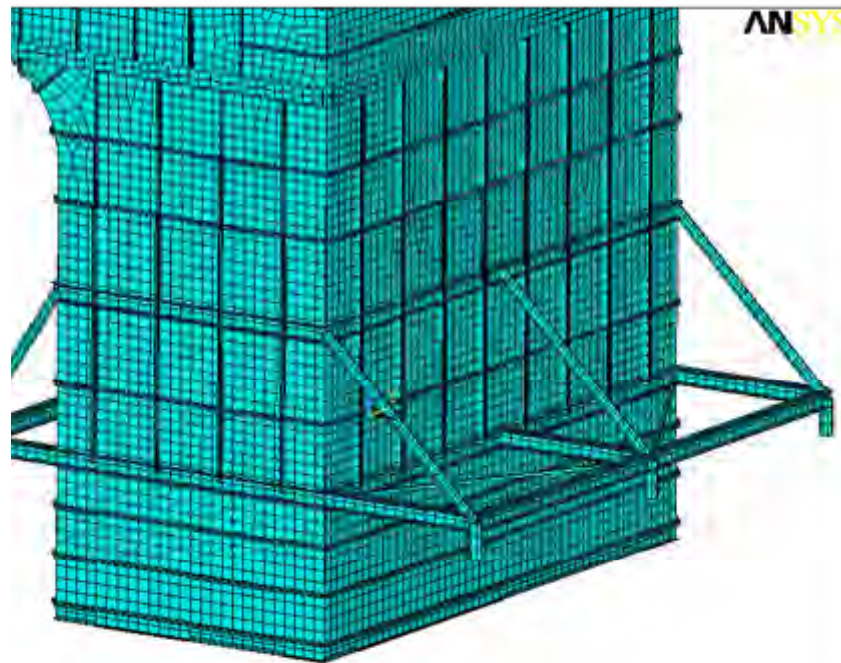
3、脱硫工程应用案例

(4) 脱硫系统烟道



采用Shell181、Beam188单元

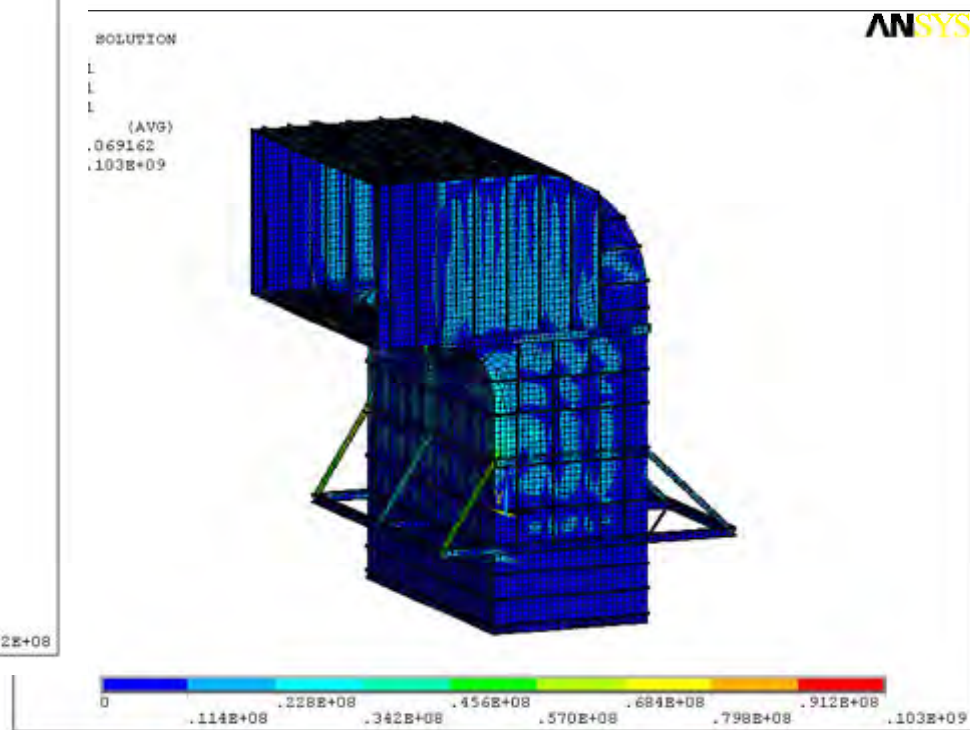
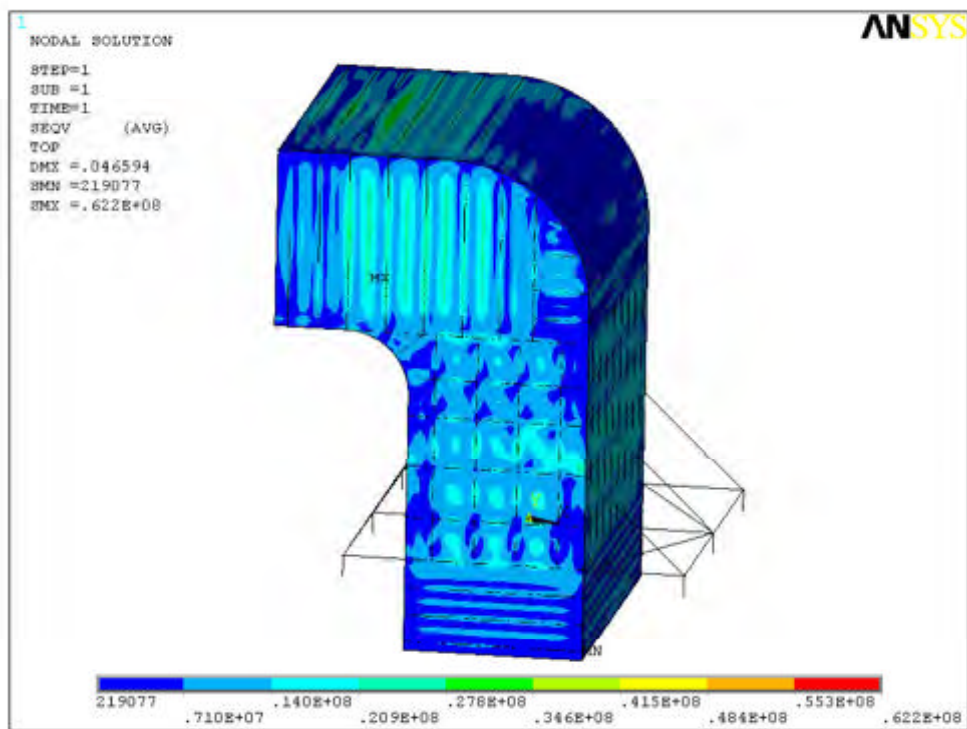
烟道截面10200×5110



特殊支撑条件方形烟道结构分析

3、脱硫工程应用案例

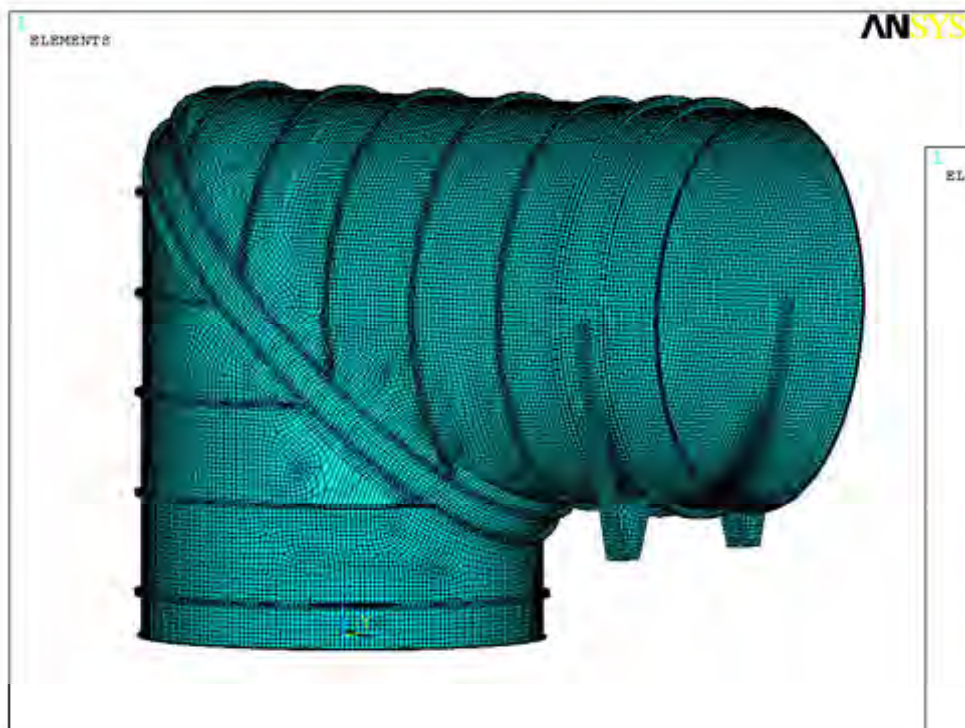
(4) 脱硫系统烟道



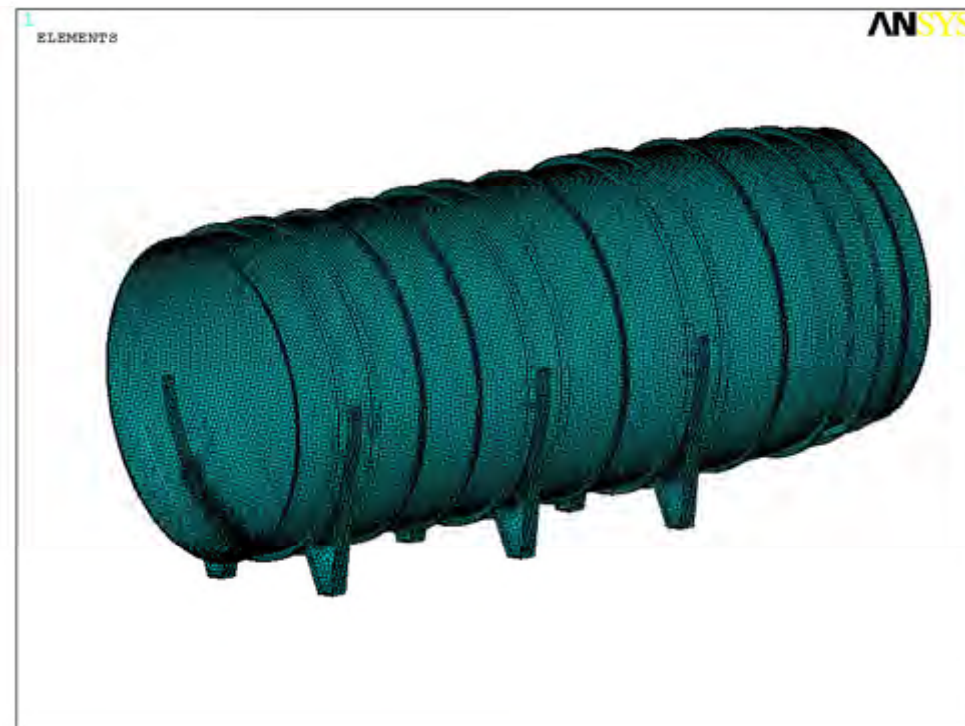
特殊支撑条件方形烟道结构分析

3、脱硫工程应用案例

(4) 脱硫系统烟道



烟道截面 $\Phi 8000$

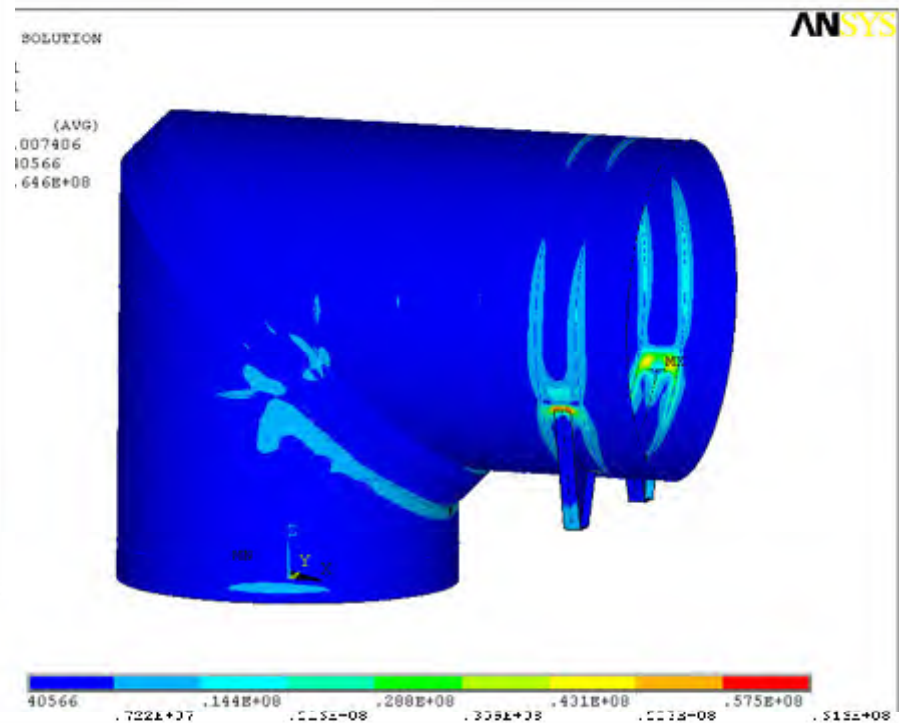
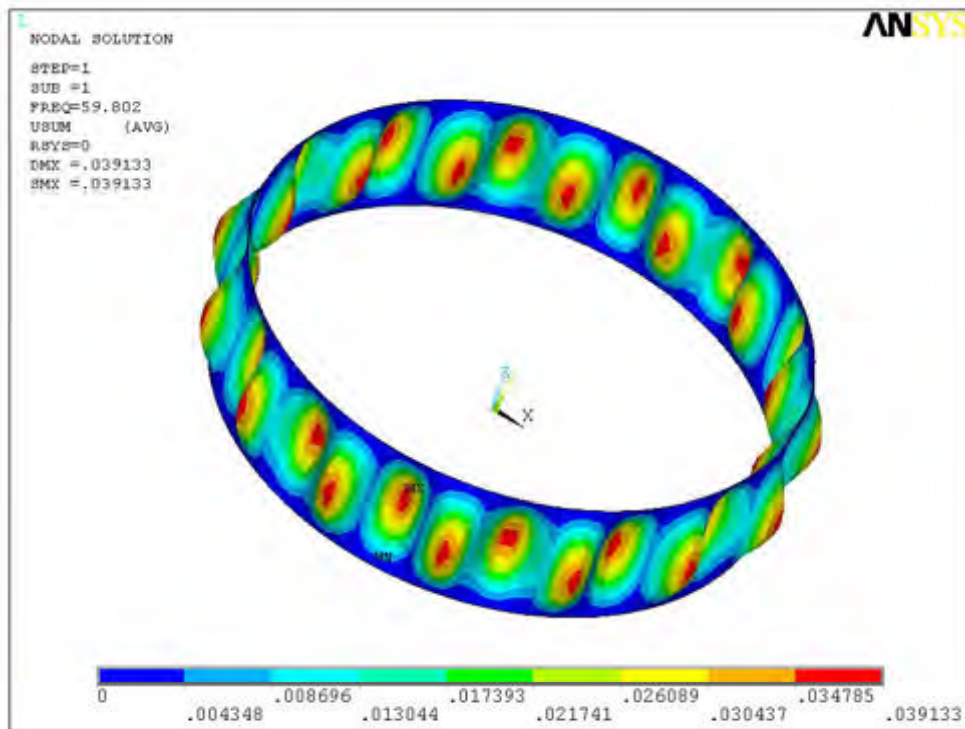


采用Shell181、Beam188单元

圆形烟道结构分析

3、脱硫工程应用案例

(4) 脱硫系统烟道

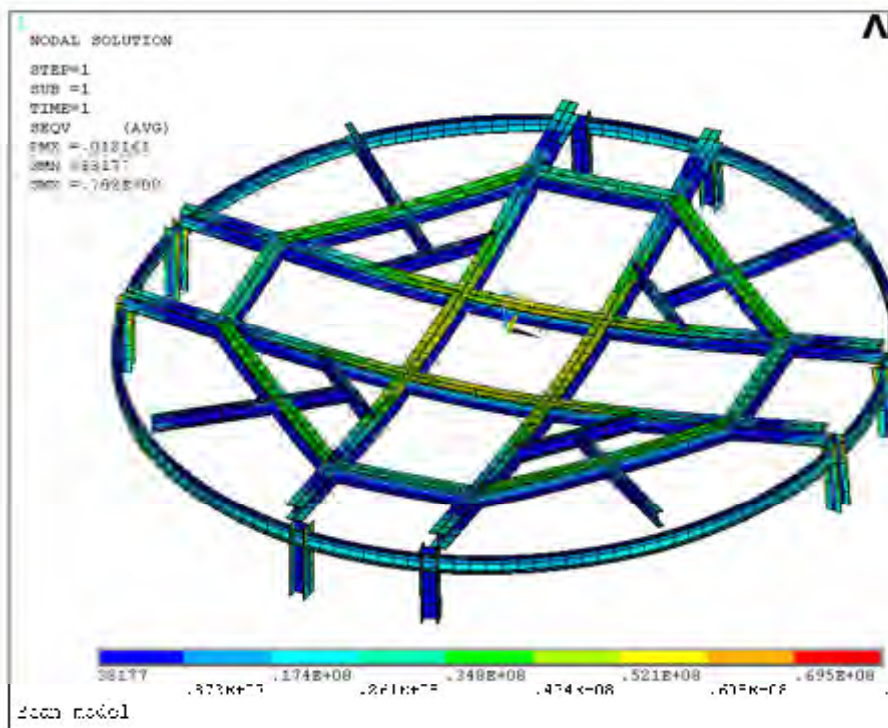


第一阶自然频率 $f = 59.802\text{Hz} > 20\text{Hz}$

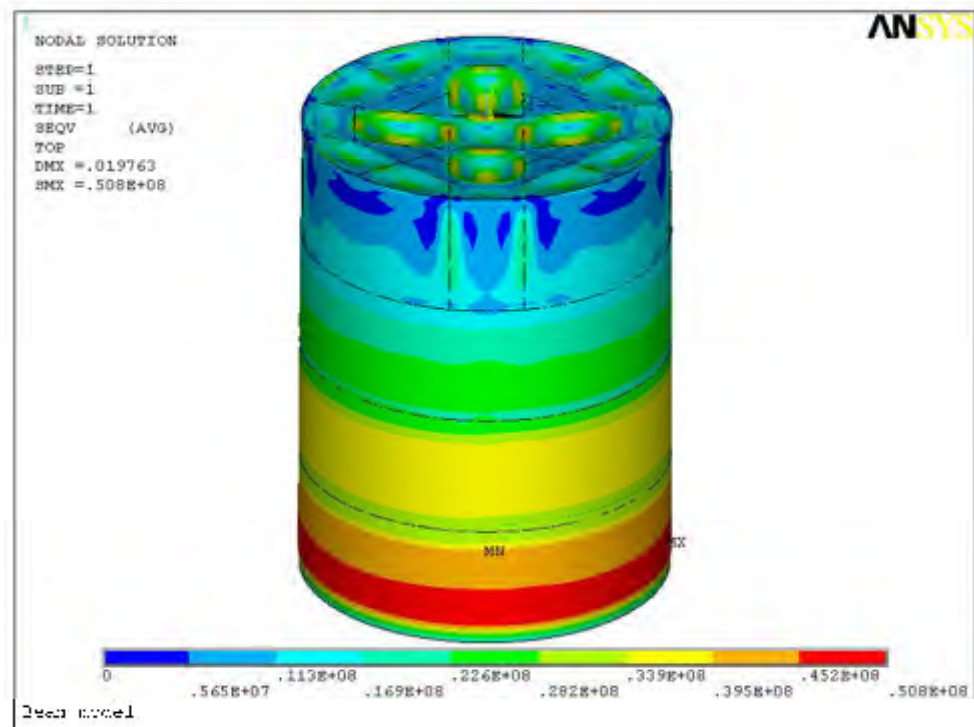
圆形烟道结构分析

3、脱硫工程应用案例

(5) 箱罐



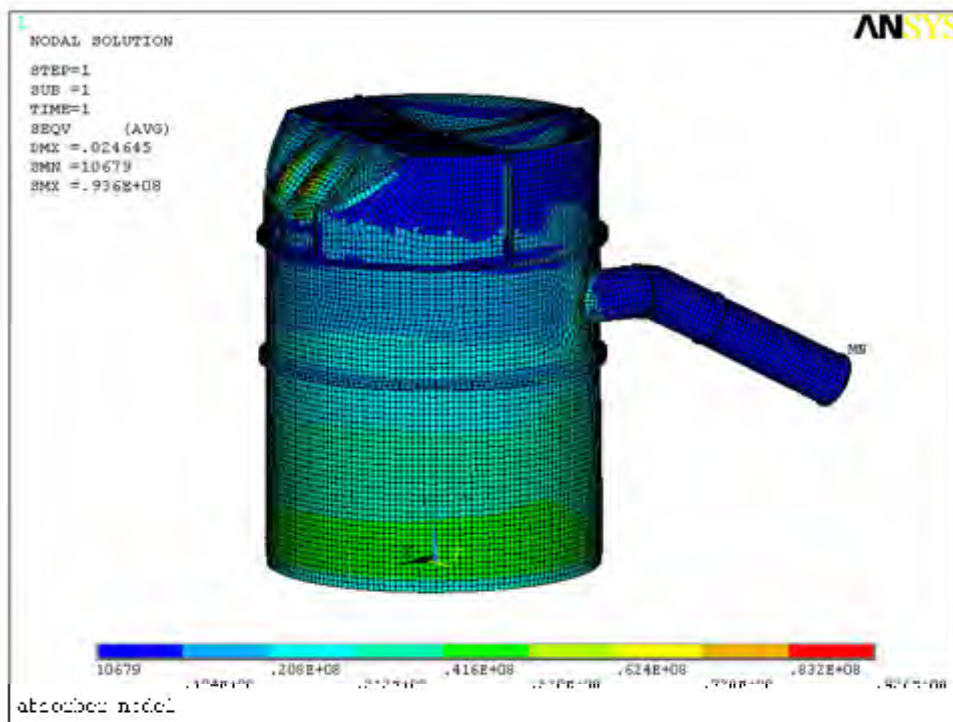
D=9000



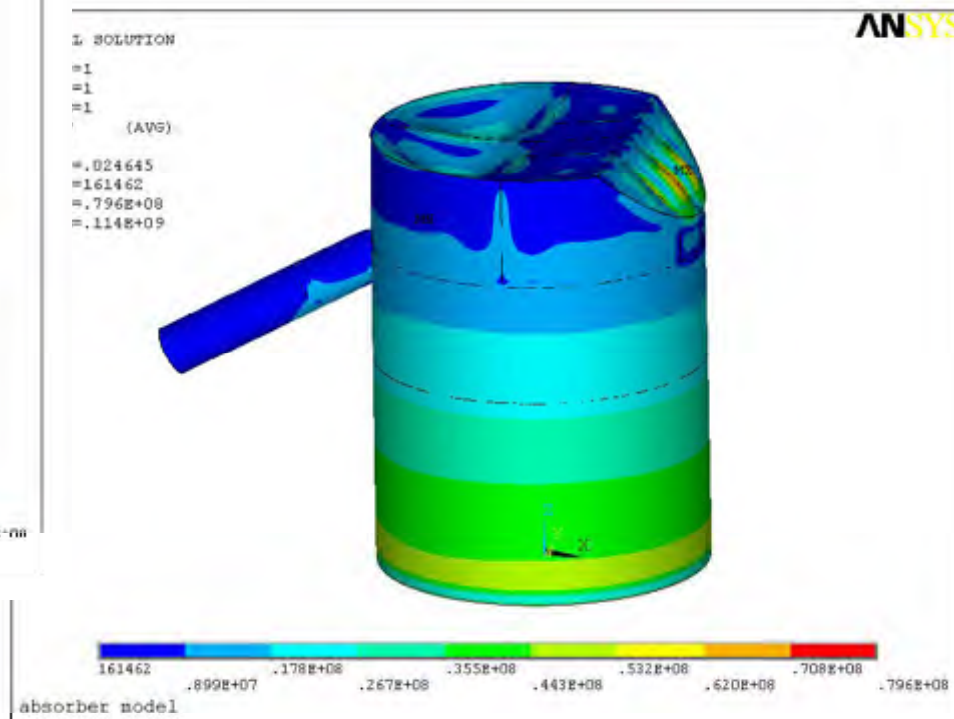
采用Shell181、Beam188单元

3、脱硫工程应用案例

(5) 箱罐



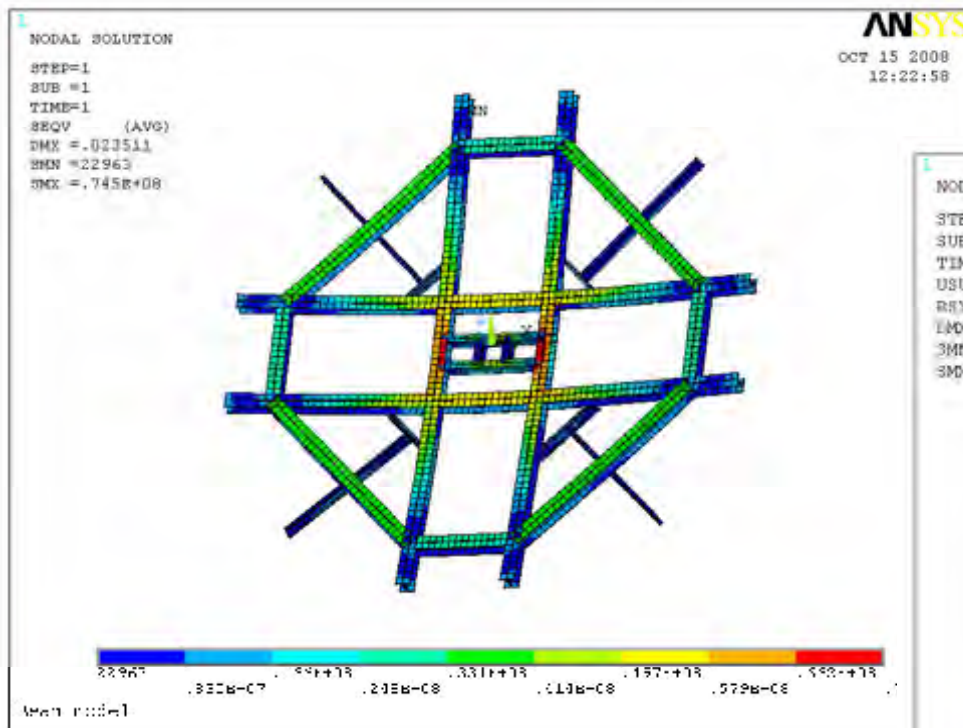
特殊结构，带联通管，D=9000



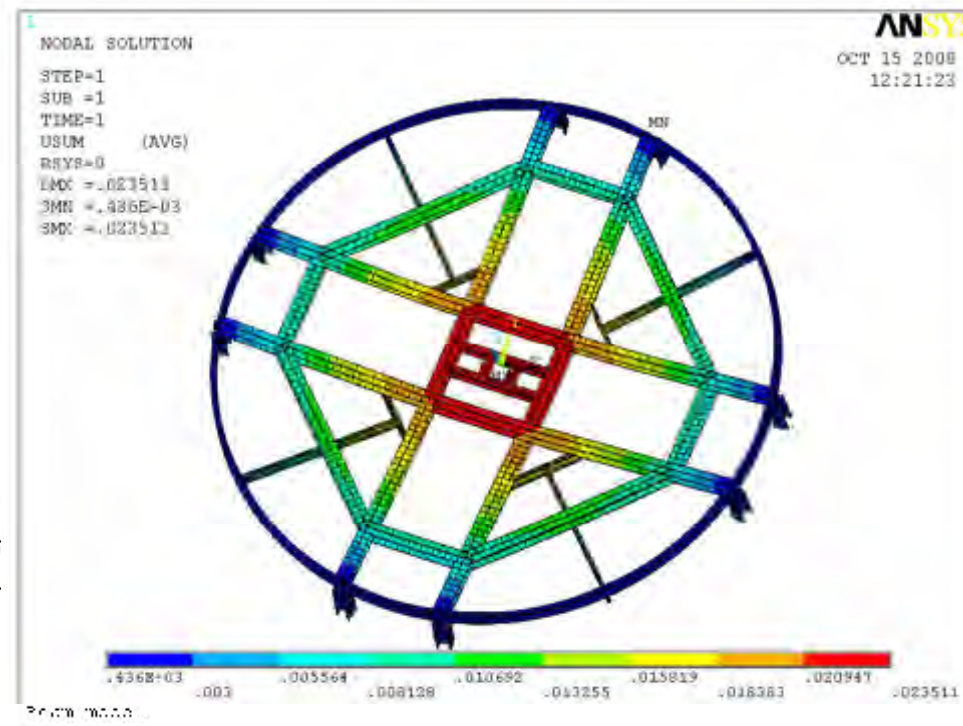
采用Shell181、Beam188单元

3、脱硫工程应用案例

(5) 箱罐



支撑搅拌器，D=16000



采用Beam188单元分析支撑梁

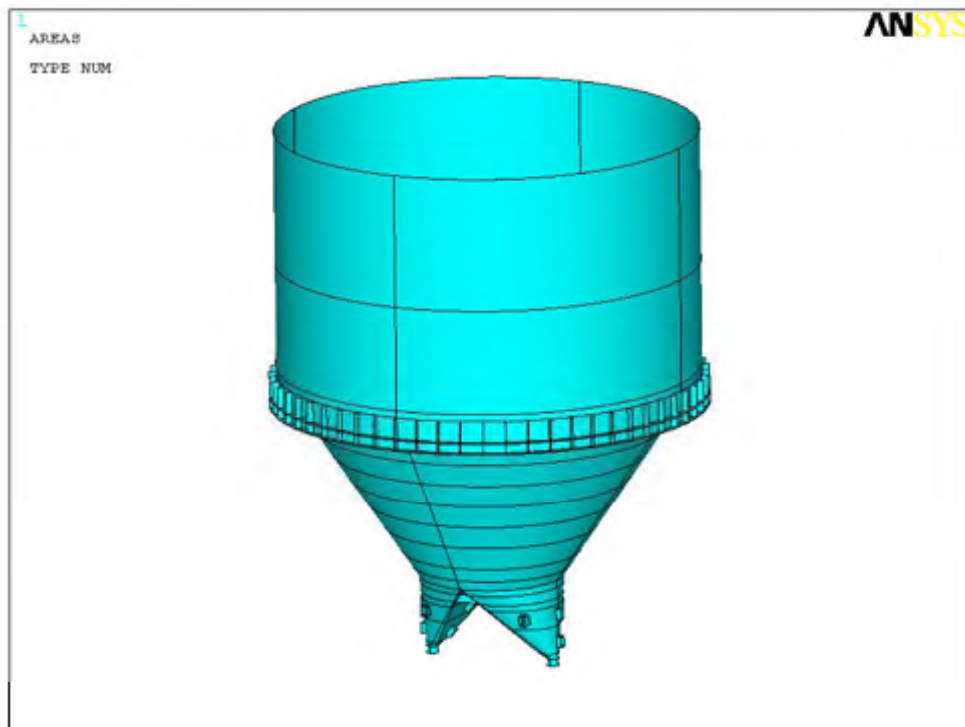
3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗

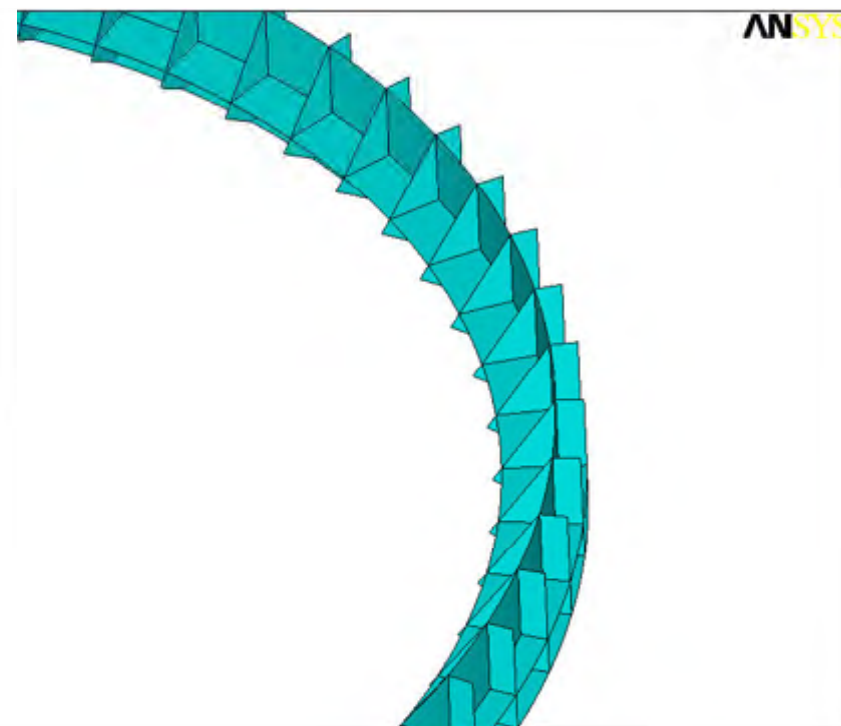
- ◆石灰石仓壁所受的荷载主要是石灰石或粉散料压力产生的载荷，分别为垂直于壁板方向的正压力和散料流动时产生的沿着壁面向下的切向力。
- ◆物料压力计算采用GB50077-2003《钢筋混凝土筒仓设计规范》中的詹森（Janssen）计算方法。
- ◆采用表面效应单元Surf154施加在壁面上。

3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗



D=12000

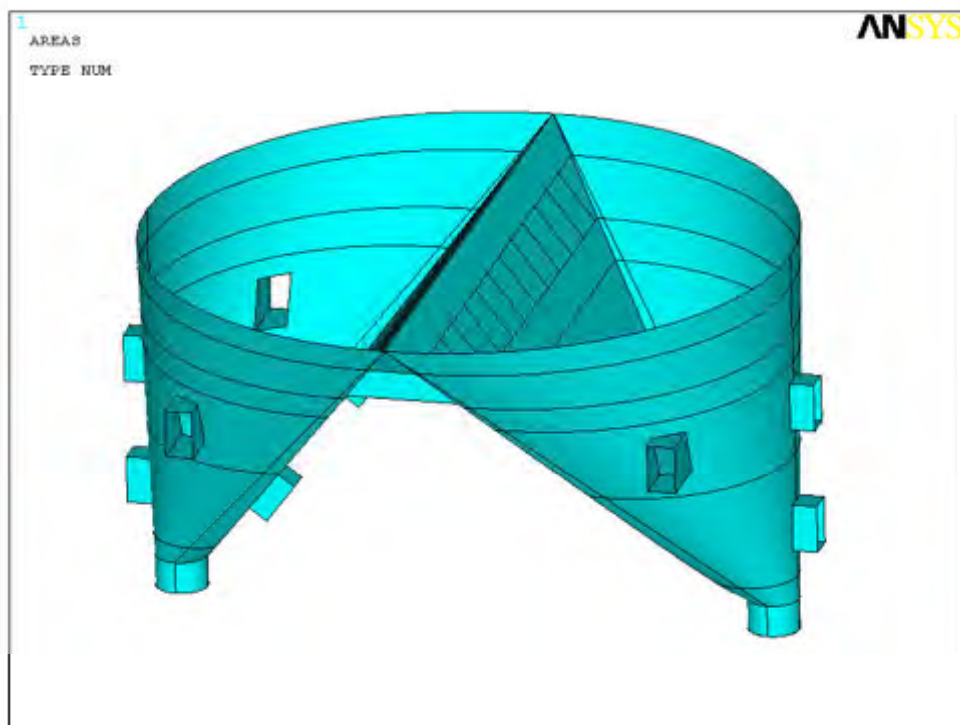


采用Shell181、Beam188单元

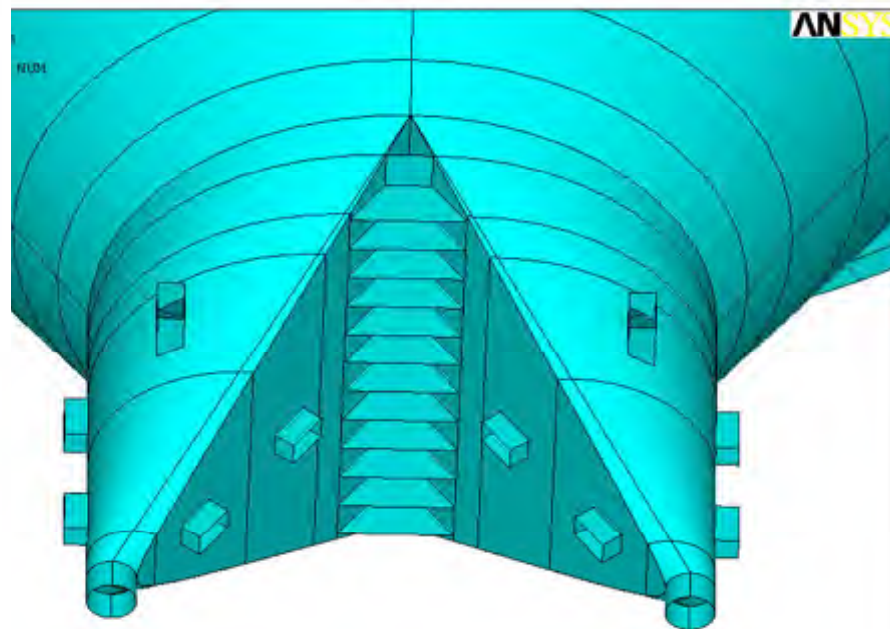
粉仓、锥斗及支撑结构分析

3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗



D=12000

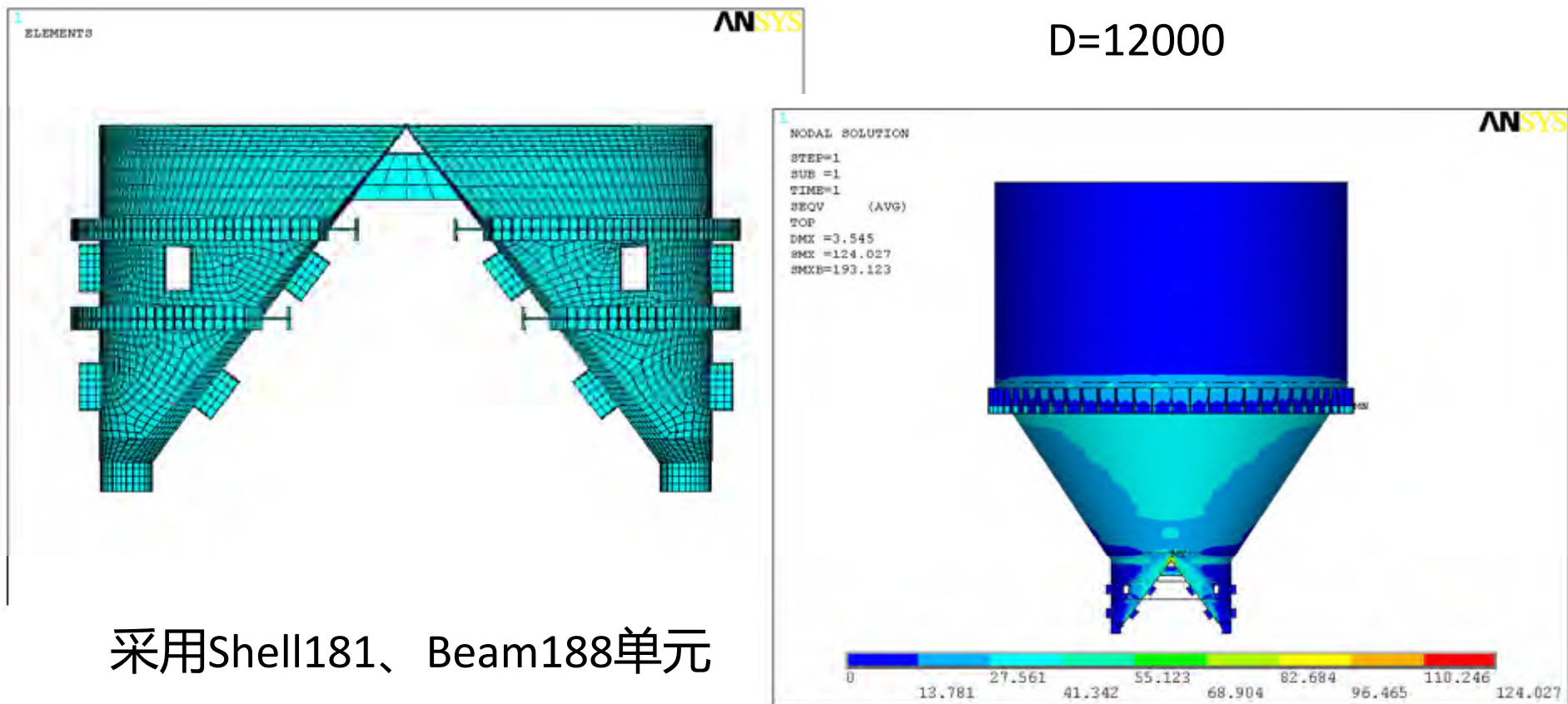


采用Shell181、Beam188单元

粉仓、锥斗及支撑结构分析

3、脱硫工程应用案例

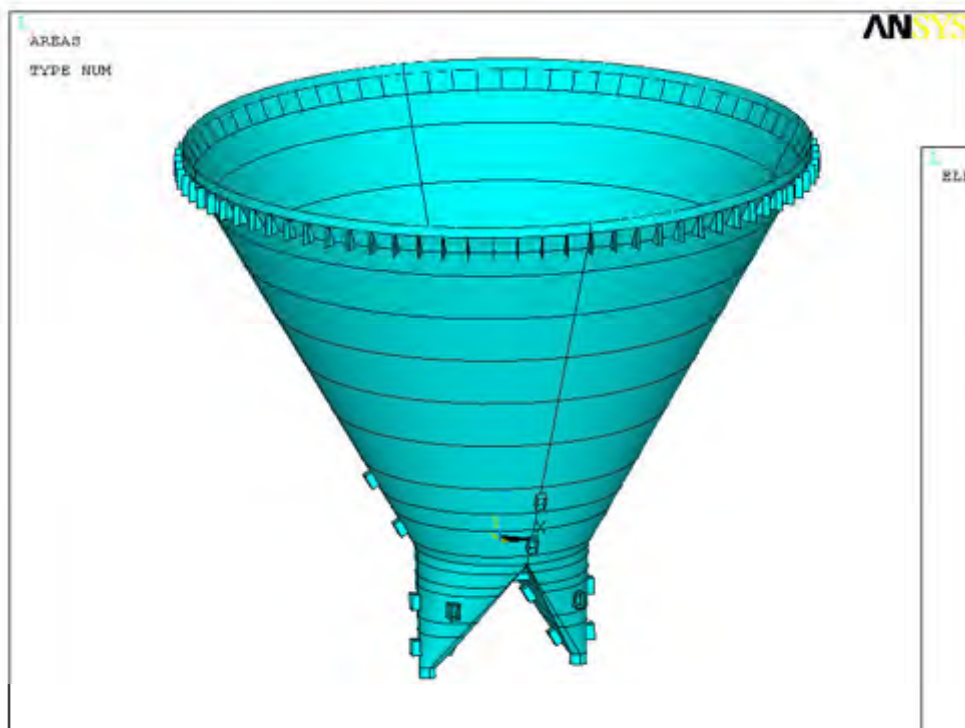
(6) 石灰石粉仓及锥斗



粉仓、锥斗及支撑结构分析

3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗



D=11000



采用Shell181、Beam188单元

锥斗结构分析

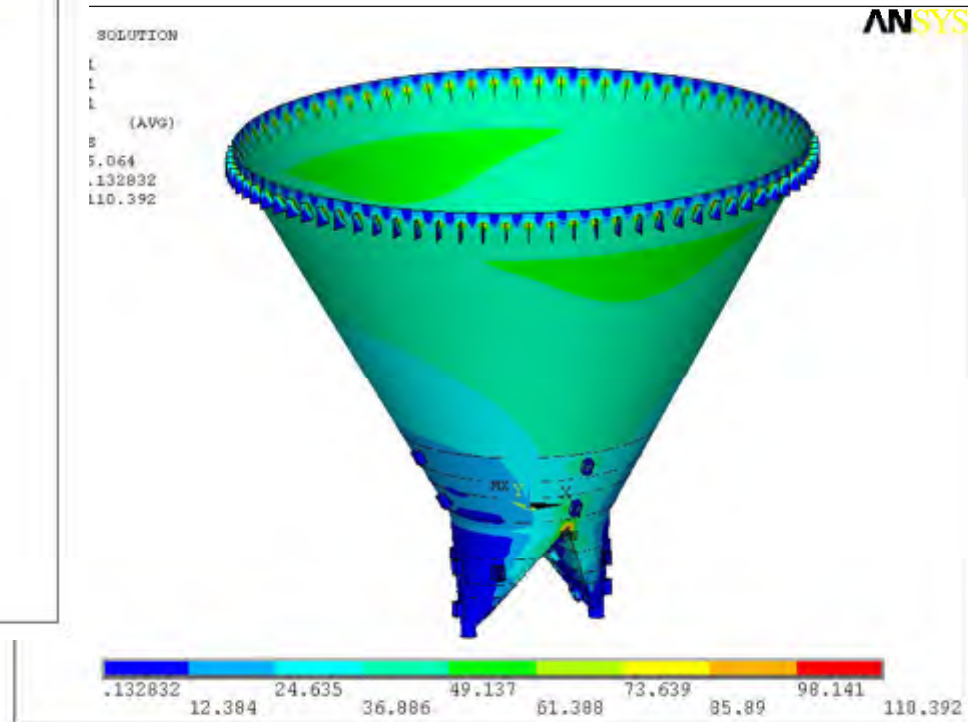
3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗



采用Shell181、Beam188单元

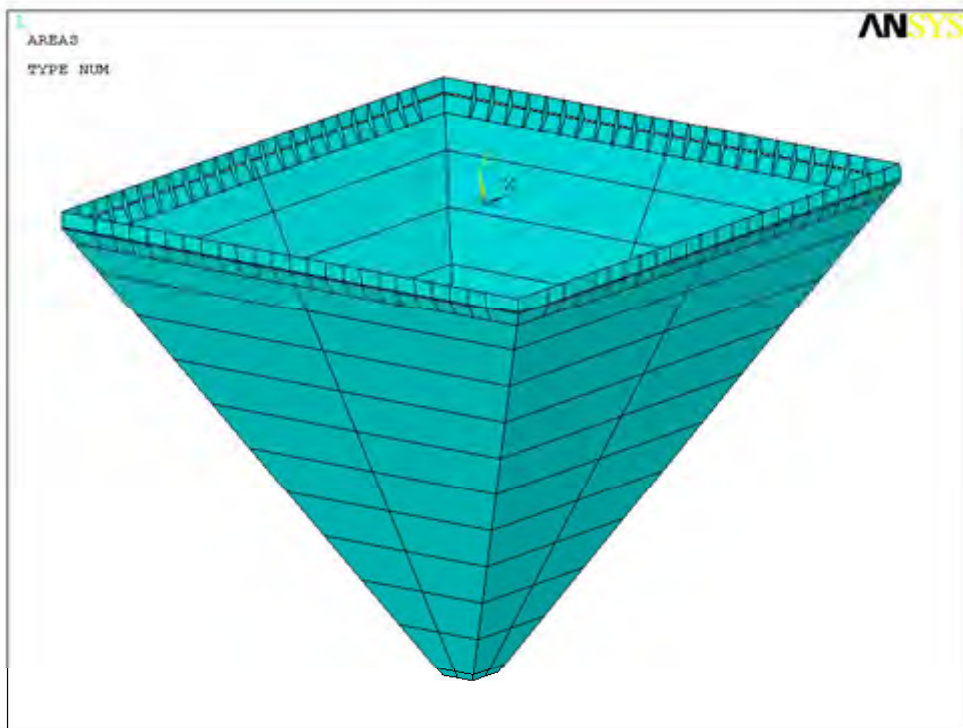
D=11000



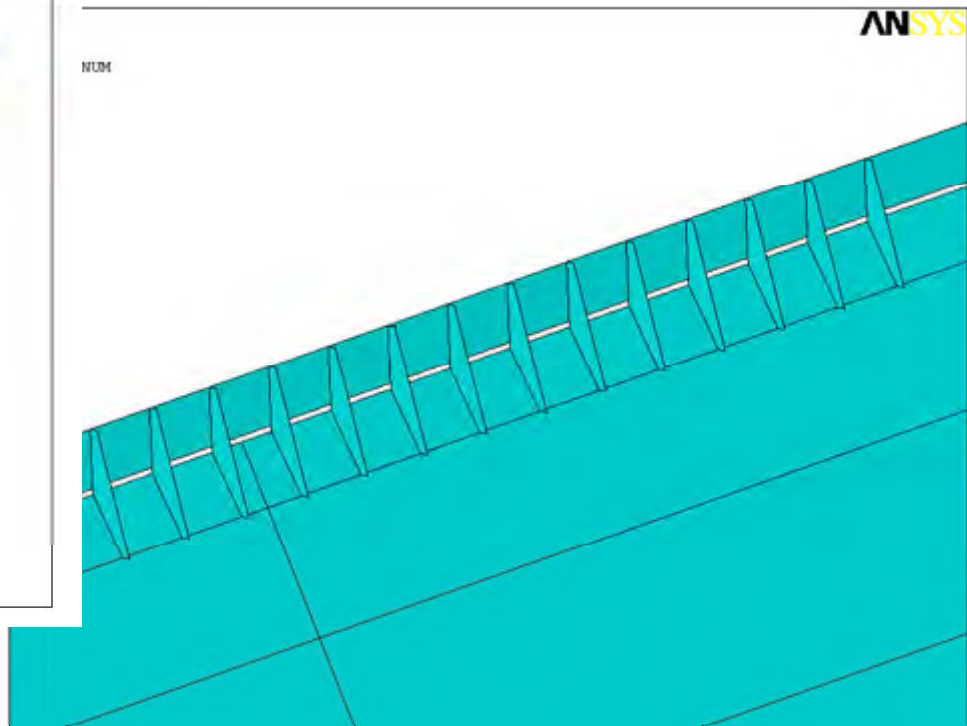
锥斗结构分析

3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗



大端截面7500×7700

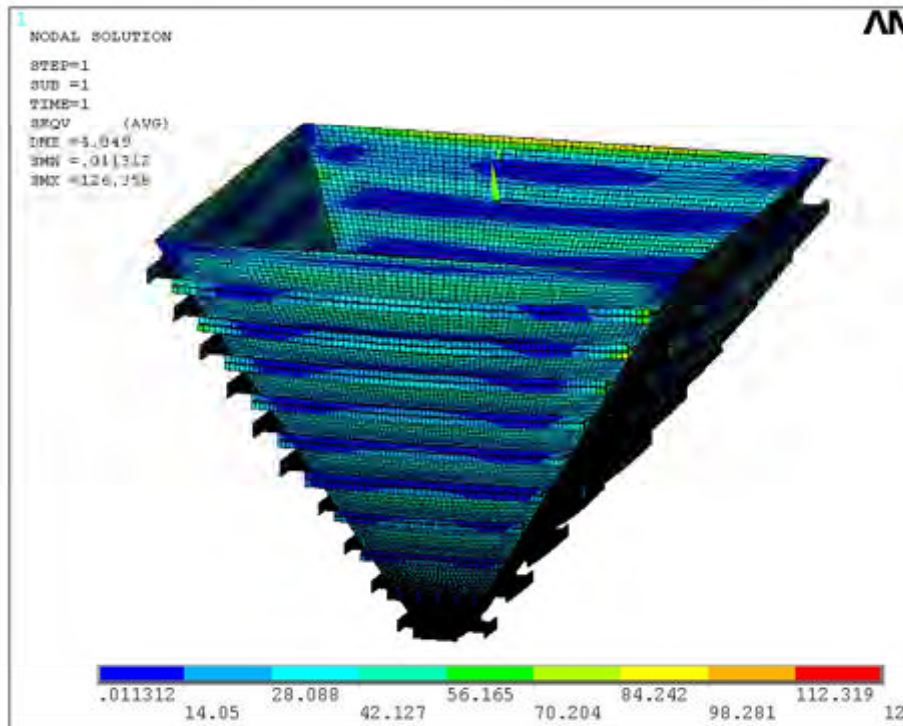


采用Shell181、Beam188单元

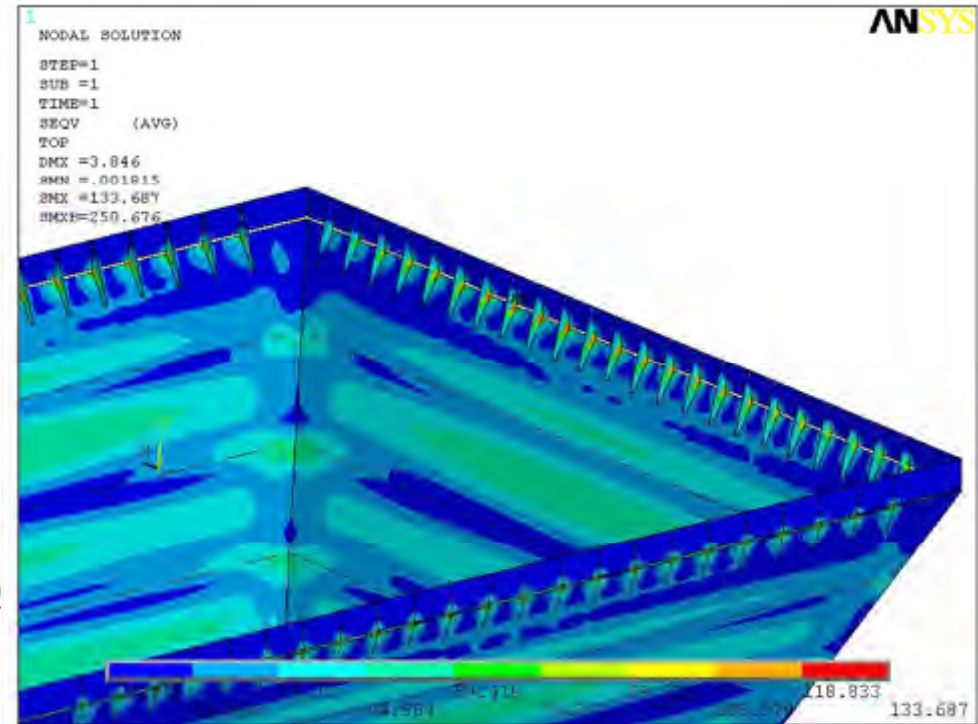
方形锥斗结构分析

3、脱硫工程应用案例

(6) 石灰石粉仓及锥斗



大端截面7500×7700



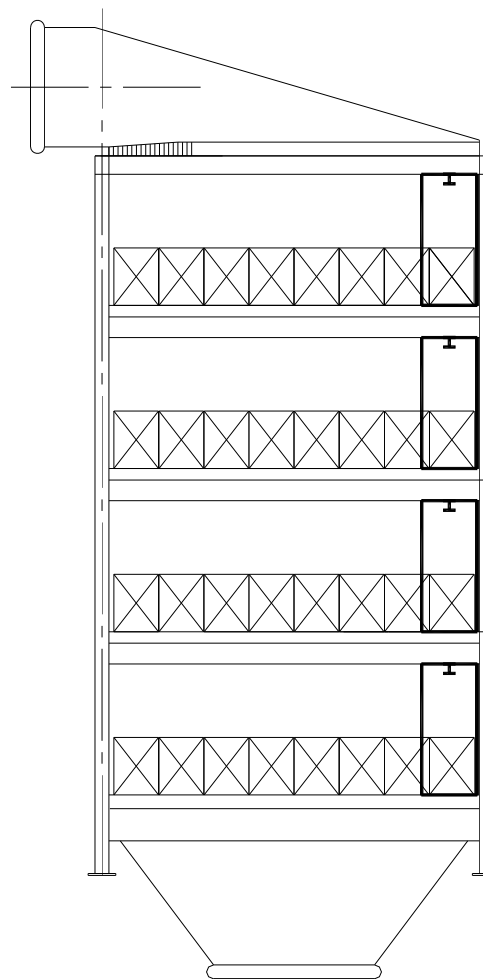
采用Shell181、Beam188单元

方形锥斗结构分析

4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器

- 碳钢Q345B材料
- 结构庞大
- 运行温度高
- 采用梁、柱框架结构



4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器

◆SCR反应器是由柱、梁和支撑以及密封壁板等组成的空间支撑系统，整个结构为框架结构，其承受的主要载荷为催化剂模块的重量，其特点为运行环境为高温环境。

◆SCR反应器一般使用材料为Q345B，设计温度400℃左右。

◆分析计算校核方法采用许用应力设计方法，参考使用的标准及规范如下：

DL/T5121-2000 《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》

GB150-2011 《压力容器》

GB50017-2003 《钢结构设计规范》

GB50009-2012 《建筑结构荷载规范》

GB50011-2010 《建筑抗震设计规范》

4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器

载荷工况表

工况号	工况名称	工况说明	备注
1	DL	恒载	
2	LL Negative pressure	活载（包括积灰、平台和外压推力）	此2种工况不同时出现
3	LL Positive pressure	活载（包括积灰、平台和内压推力）	
4	WIND LOAD +Y	Y正向风荷载	此4种工况不同时出现
5	WIND LOAD -Y	Y负向风荷载	
6	WIND LOAD +X	X正向风荷载	
7	WIND LOAD -X	X负向风荷载	
8	Seismic Load +Y	Y正向地震荷载	此4种工况不同时出现
9	Seismic Load -Y	Y负向地震荷载	
10	Seismic Load +X	X正向地震荷载	
11	Seismic Load -X	X负向地震荷载	

4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器

强度校核按第四强度理论等效应力，柱稳定性校核按轴向应力，对各种载荷进行合理组合，并分别取不同的应力限值。主要考虑以下两种组合形式，分别对最危险组合进行校核：

- I. 恒载+活载，应力限值为 $1.0[\sigma]$ ，柱的稳定性应力限值为 $\phi[\sigma]$ ；
- II. 恒载+活载+地震+风载，应力限值为 $1.2[\sigma]$ ，柱的稳定性应力限值为 $\phi[\sigma]$ 。

其中 ϕ 为轴心受压构件的稳定系数，依据材料高温性能数值按GB50017-2003《钢结构设计规范》附录C注1公式计算而得。对于刚度条件，取各主梁挠度限值为跨度的1/800。

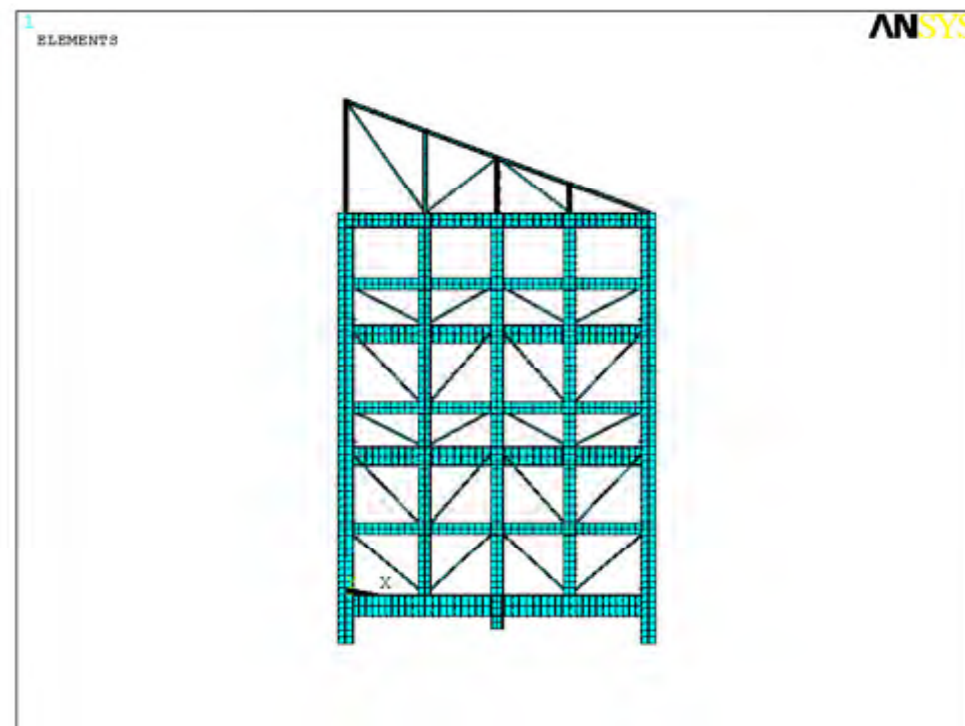
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



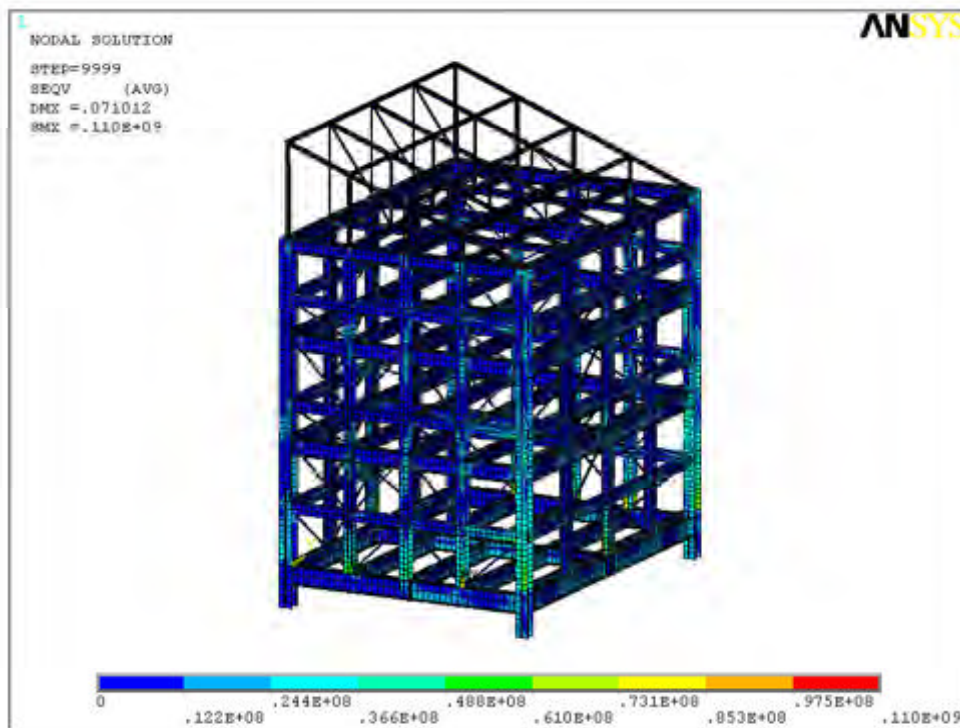
采用Beam188单元

长宽高：11000×8100×13500

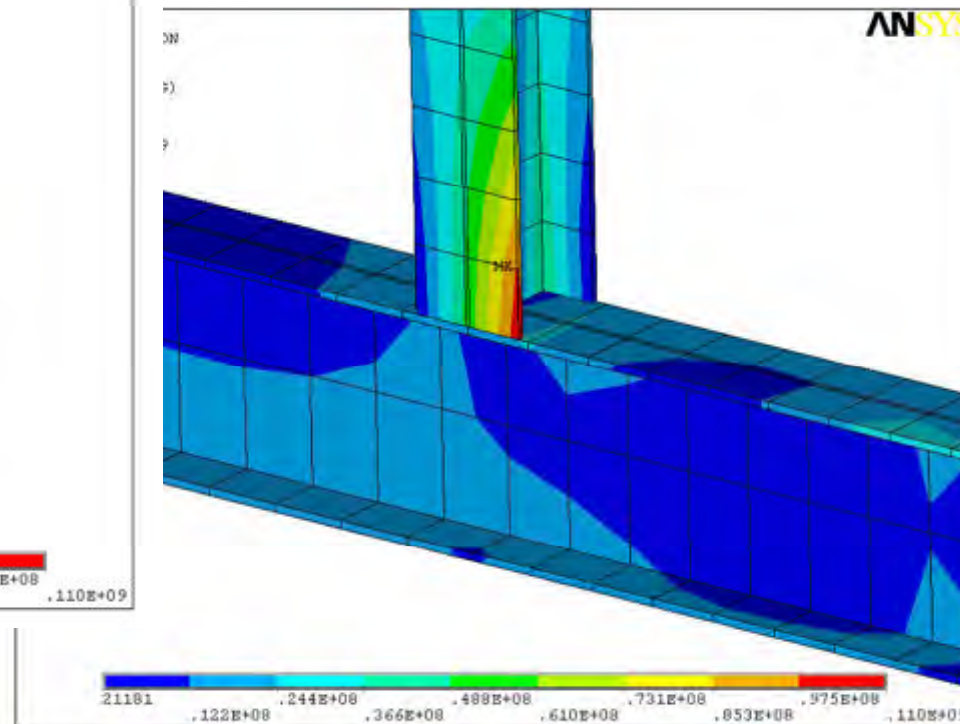


4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器

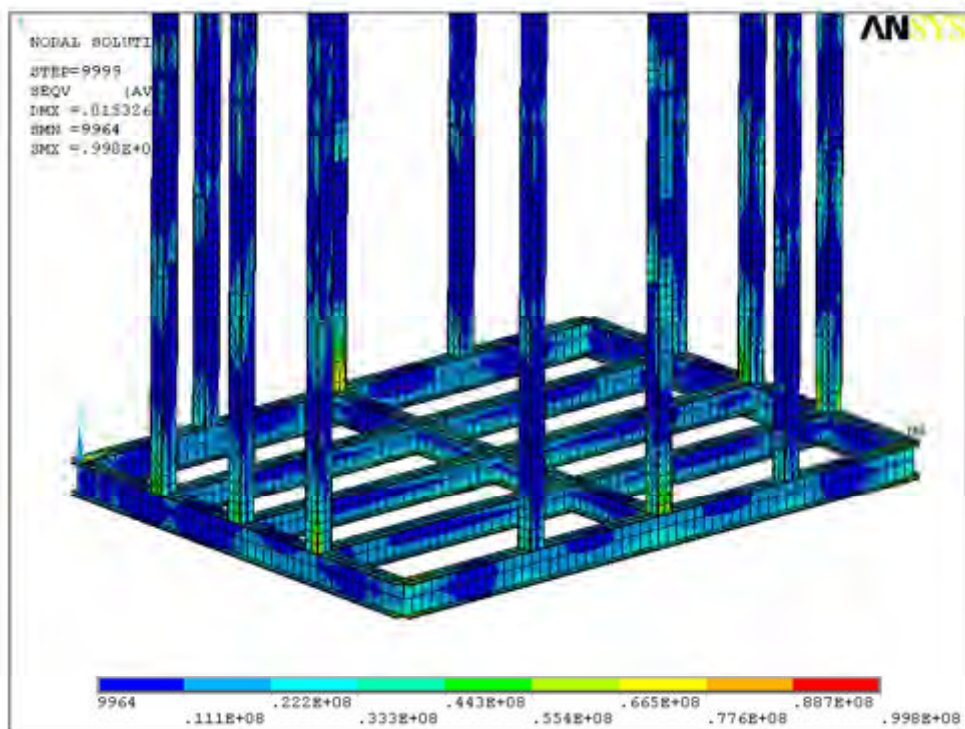


局部应力过大



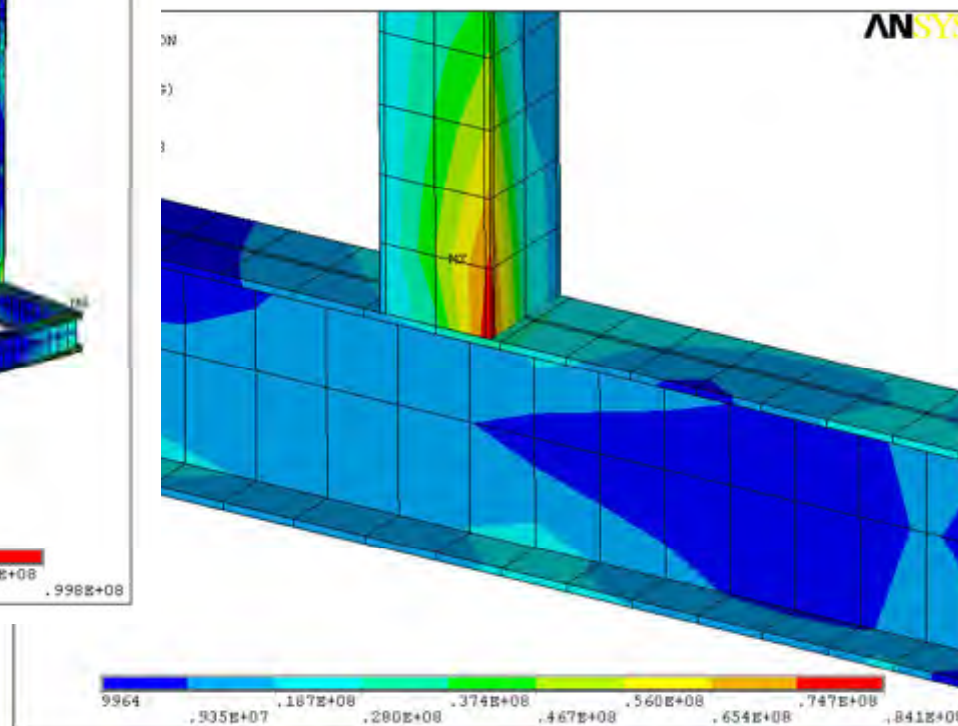
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



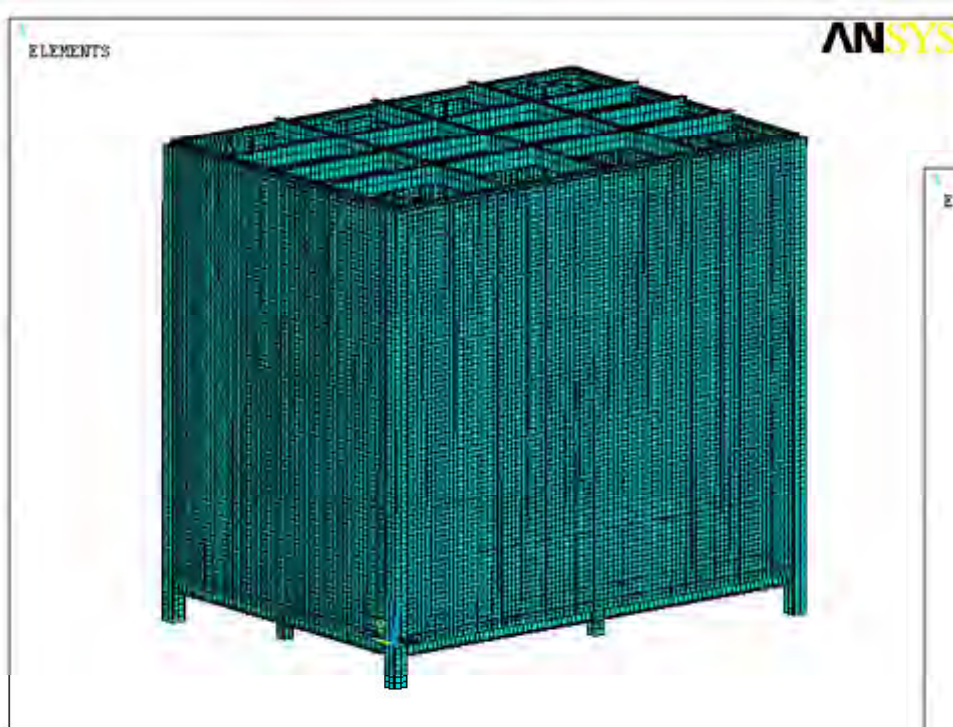
立柱加固后应力分布

立柱局部应力

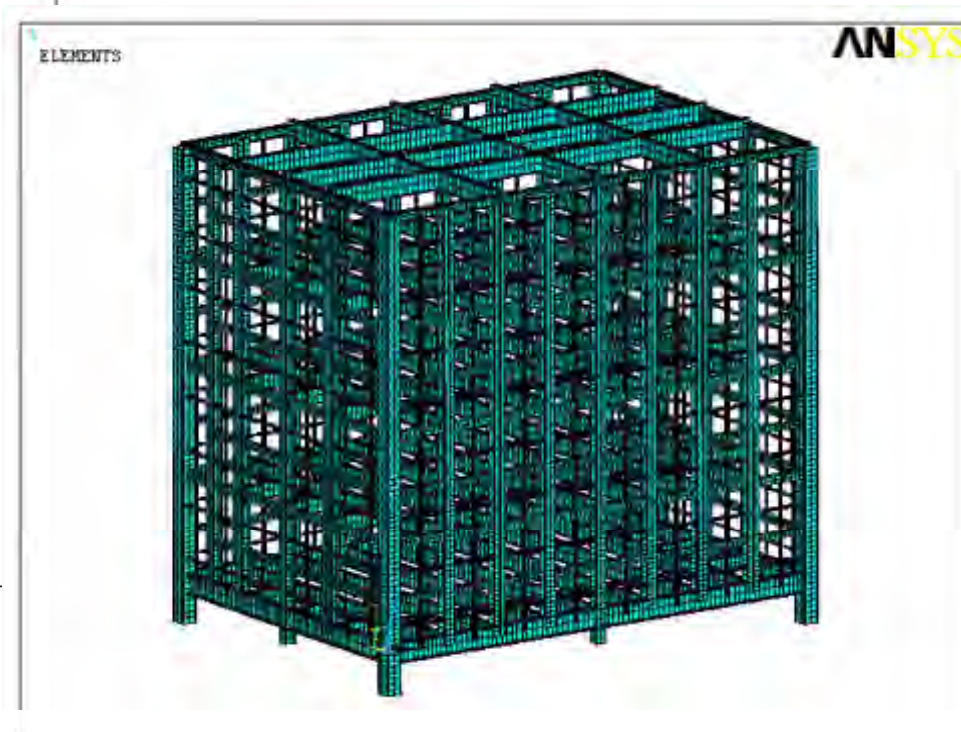


4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



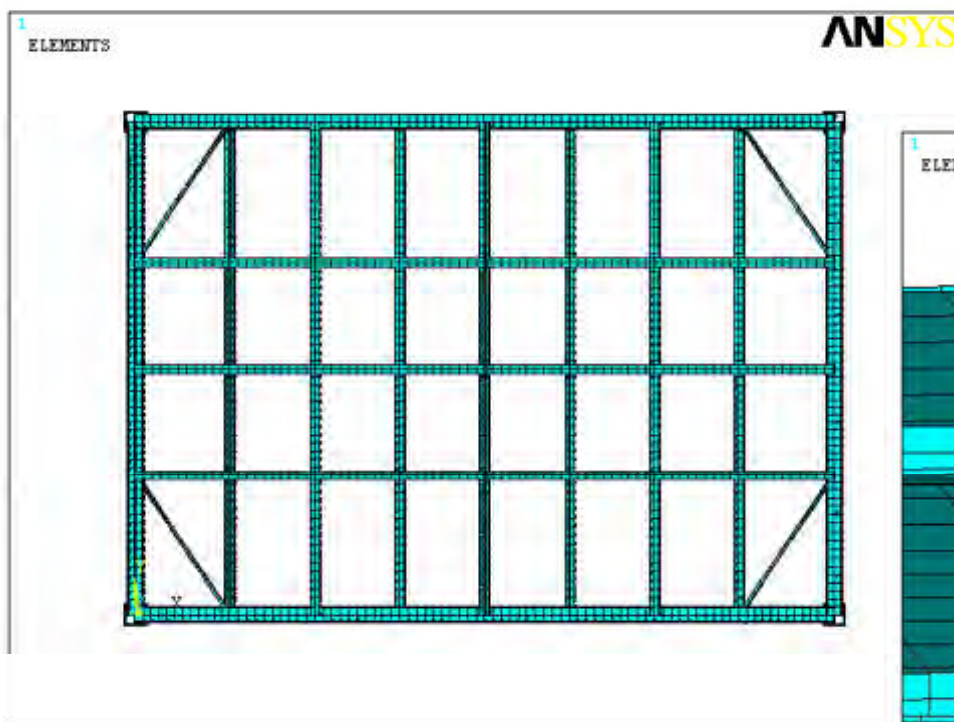
长宽高：15900×11200×14000



采用Shell181、Beam188单元

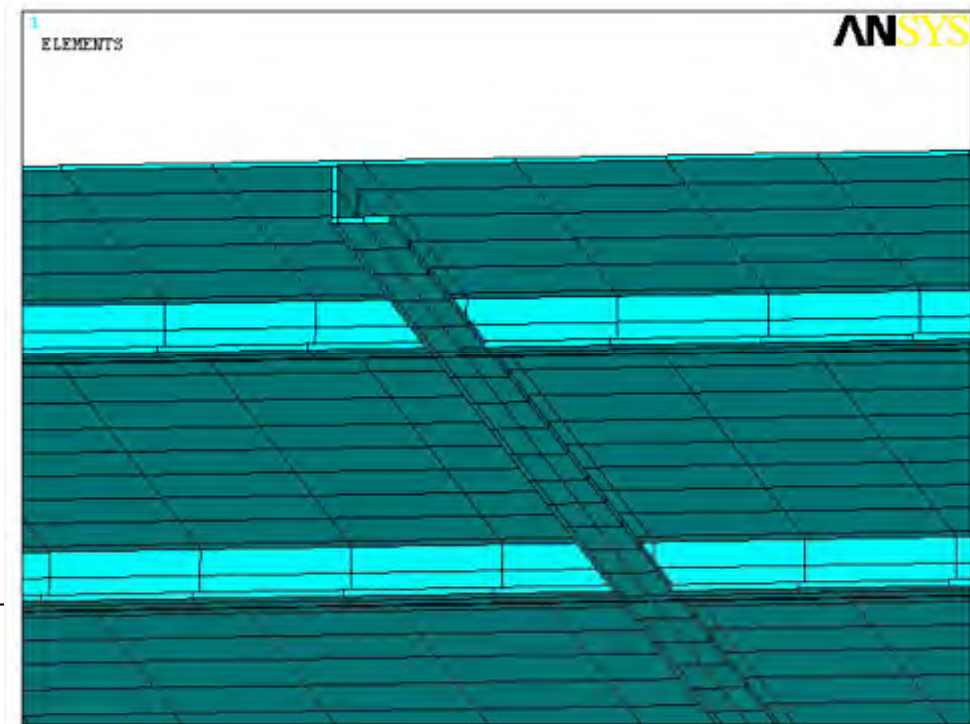
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



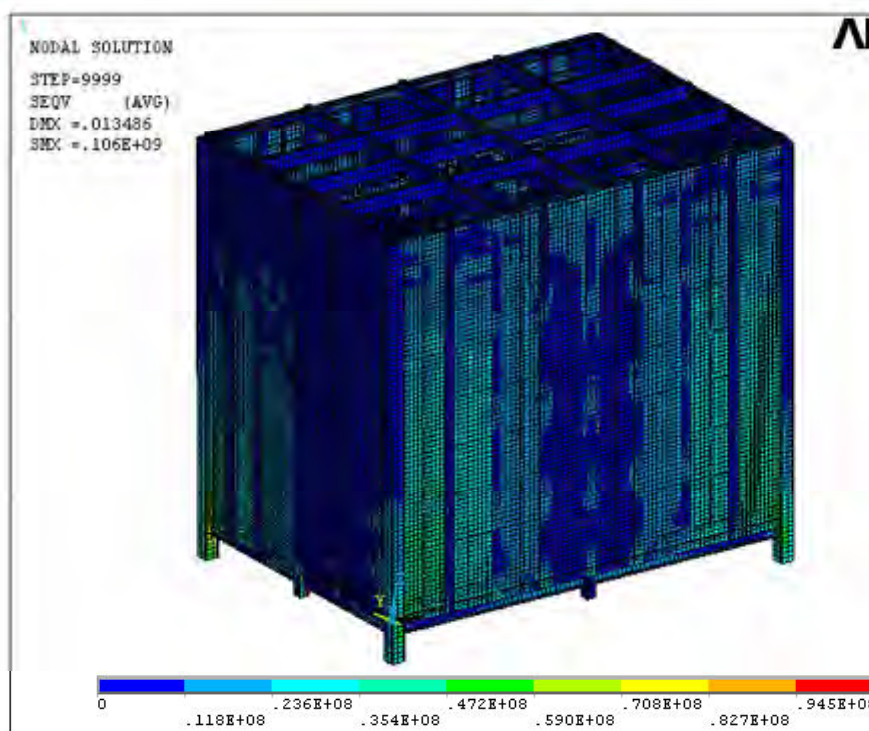
支撑梁层平面图

壁板加强角钢



4、脱硝工程应用案例

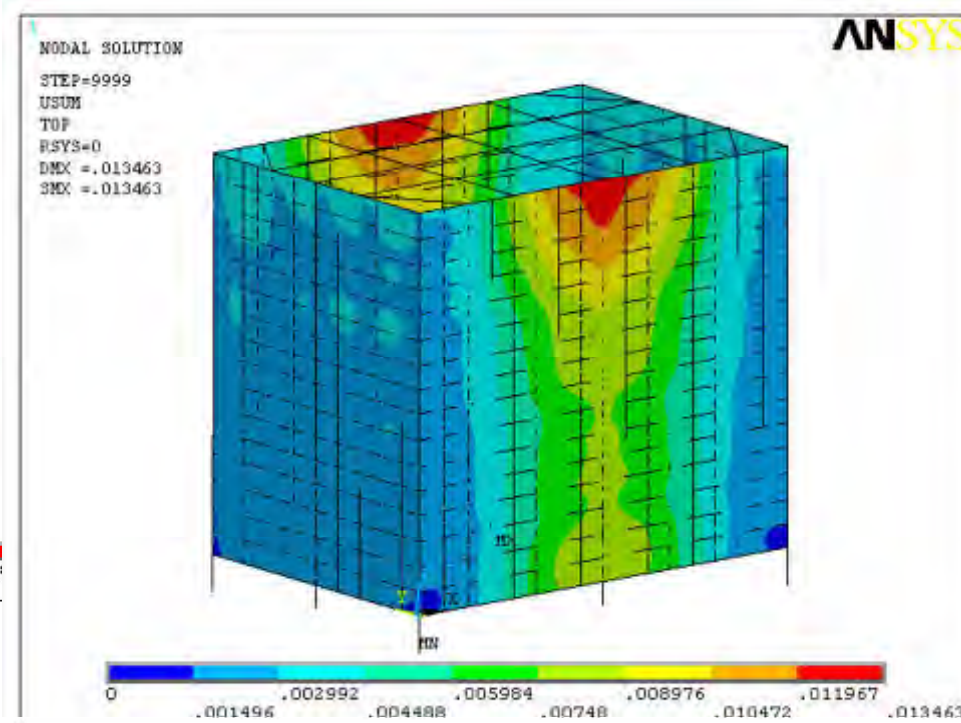
(1) 脱硝反应器



整体应力分布云图

ANSYS

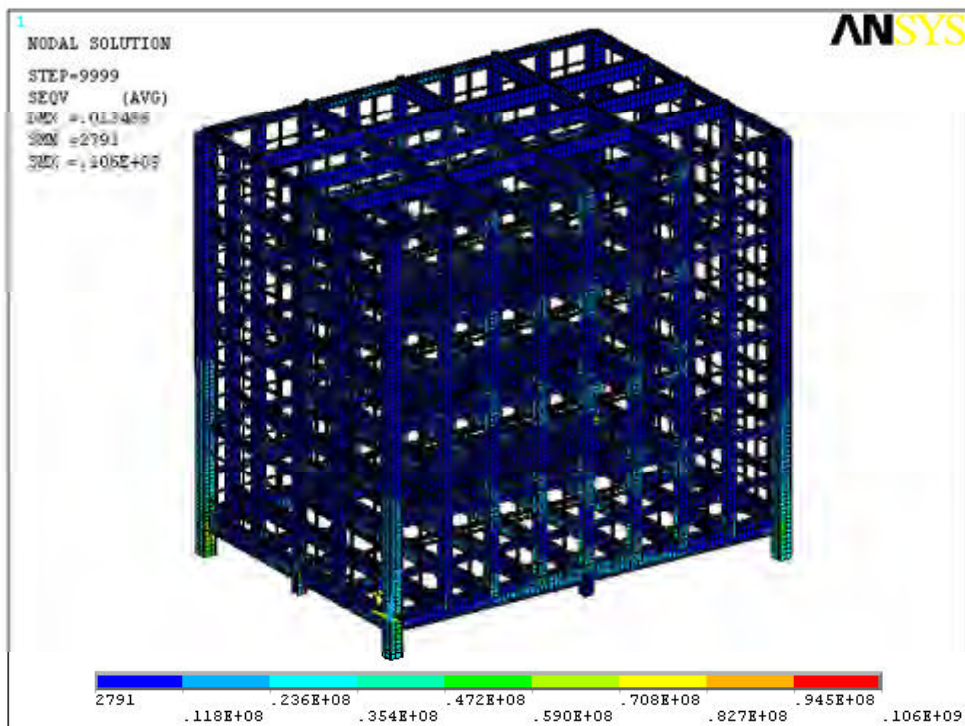
整体位移分布云图



ANSYS

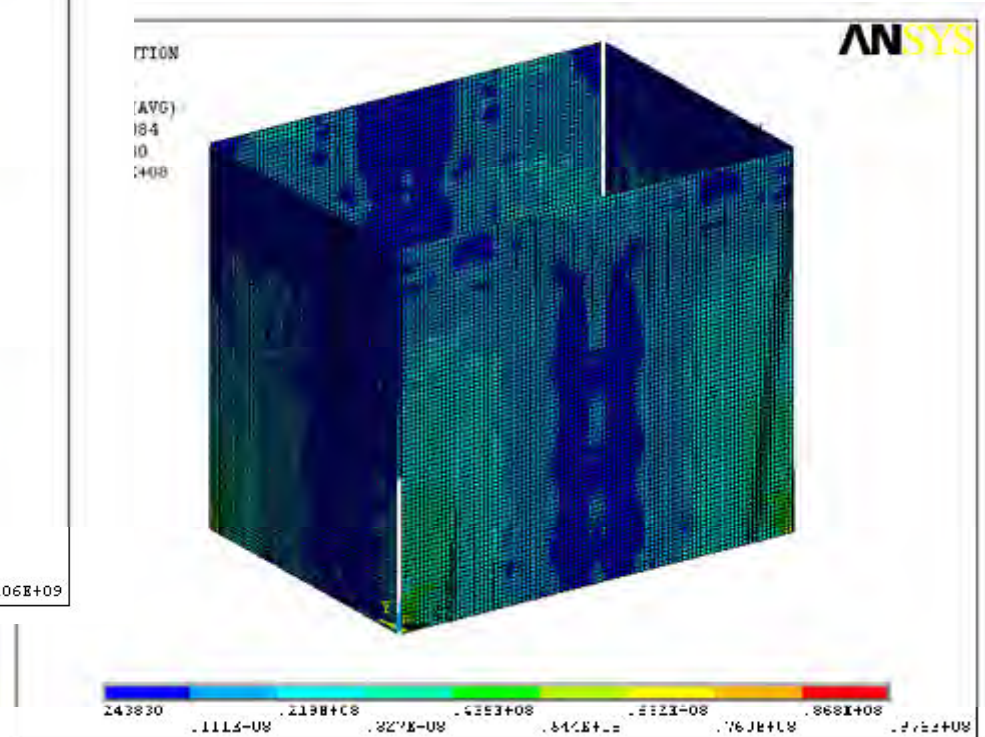
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



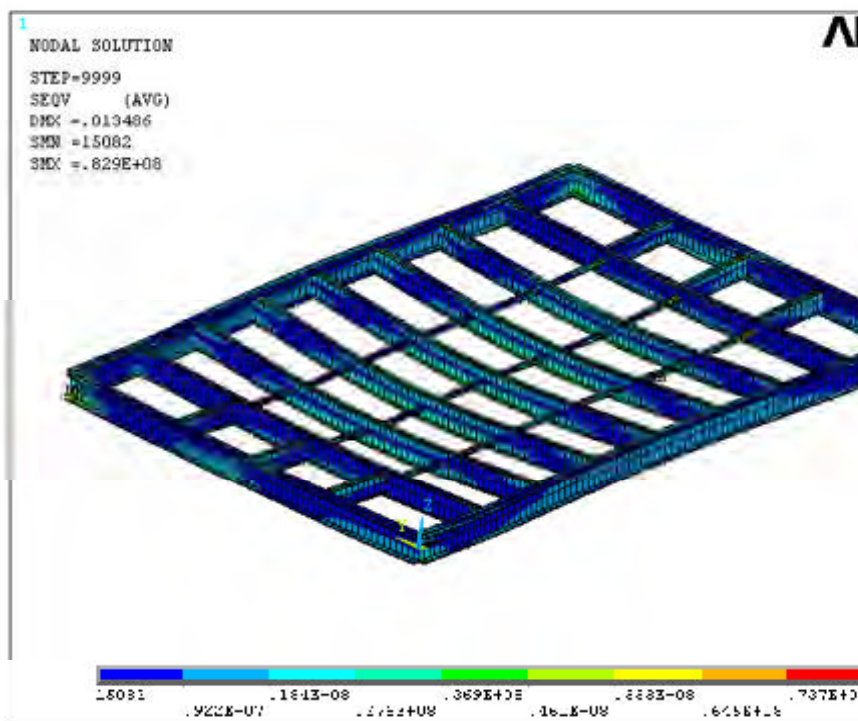
梁、柱应力分布云图

壁板应力分布云图



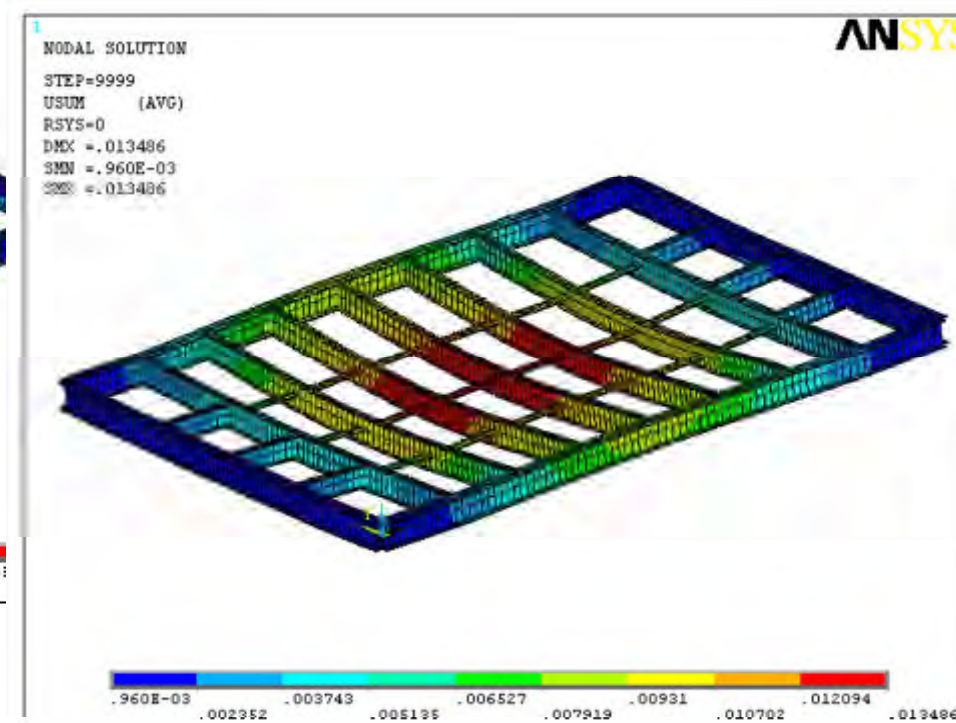
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



模块支撑梁应力分布云图

模块支撑梁位移分布云图

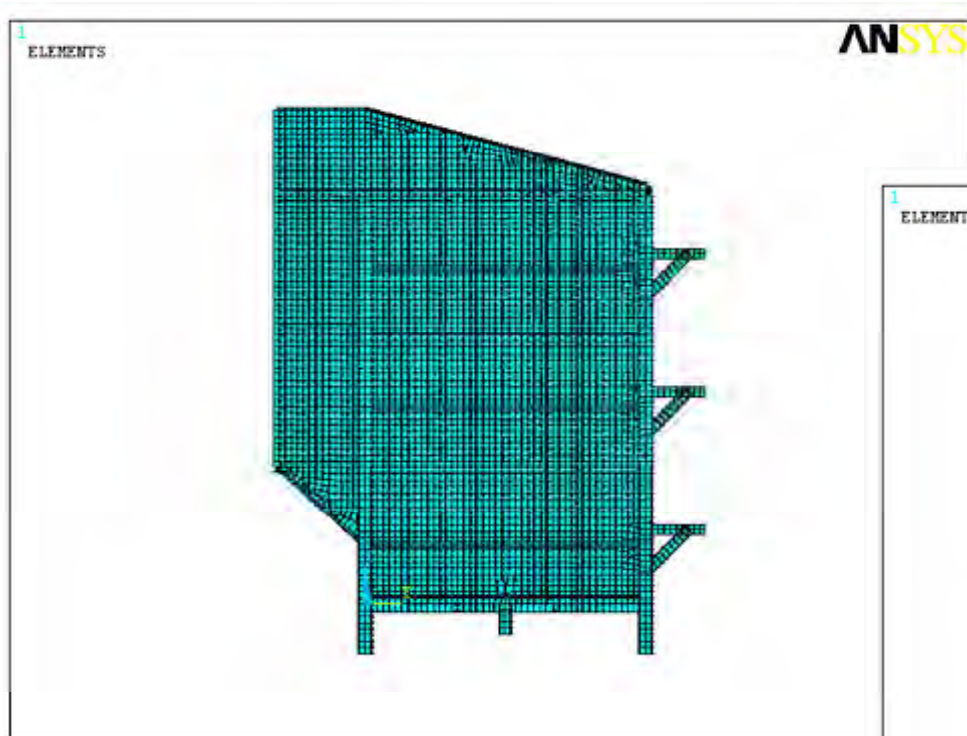


4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器

合体烟道宽：2600

长宽高：10000×8500×15100

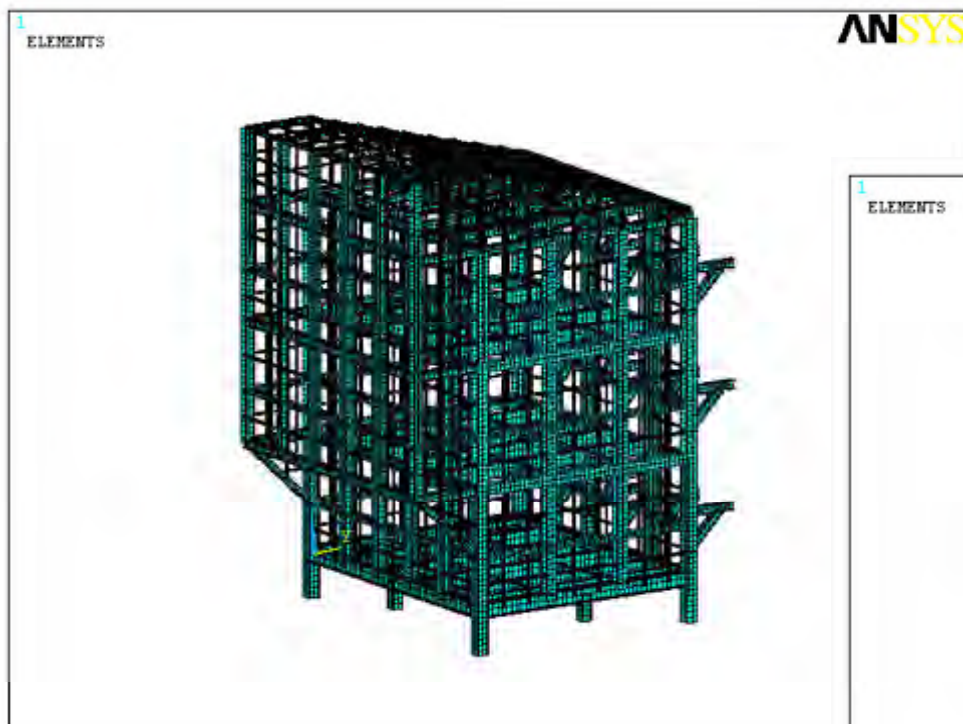


采用Shell181、Beam188单元

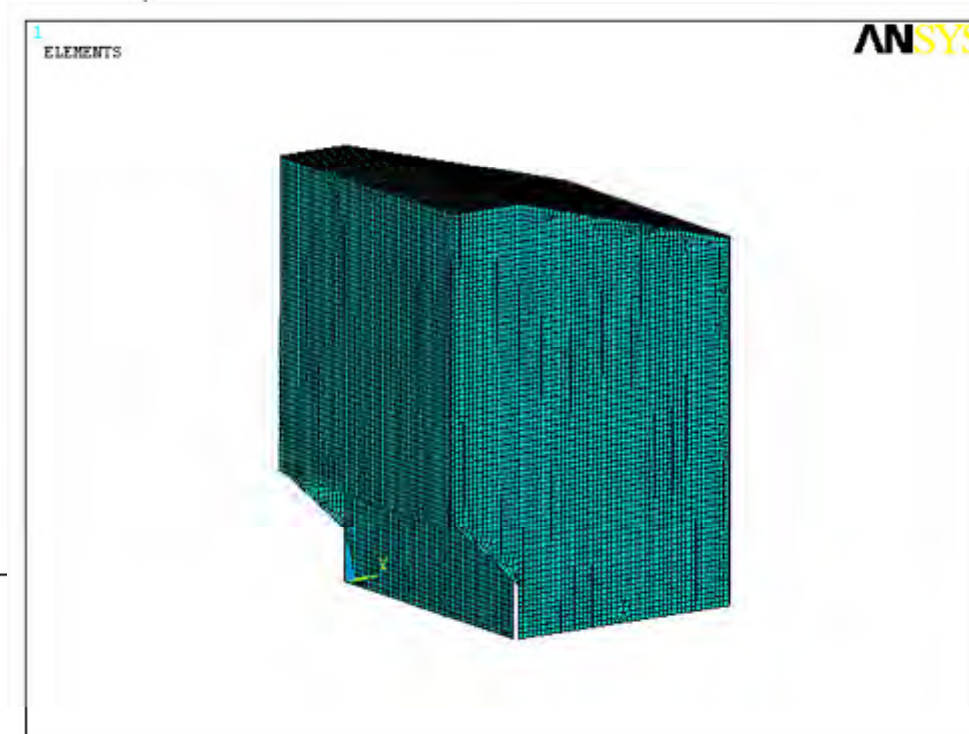


4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



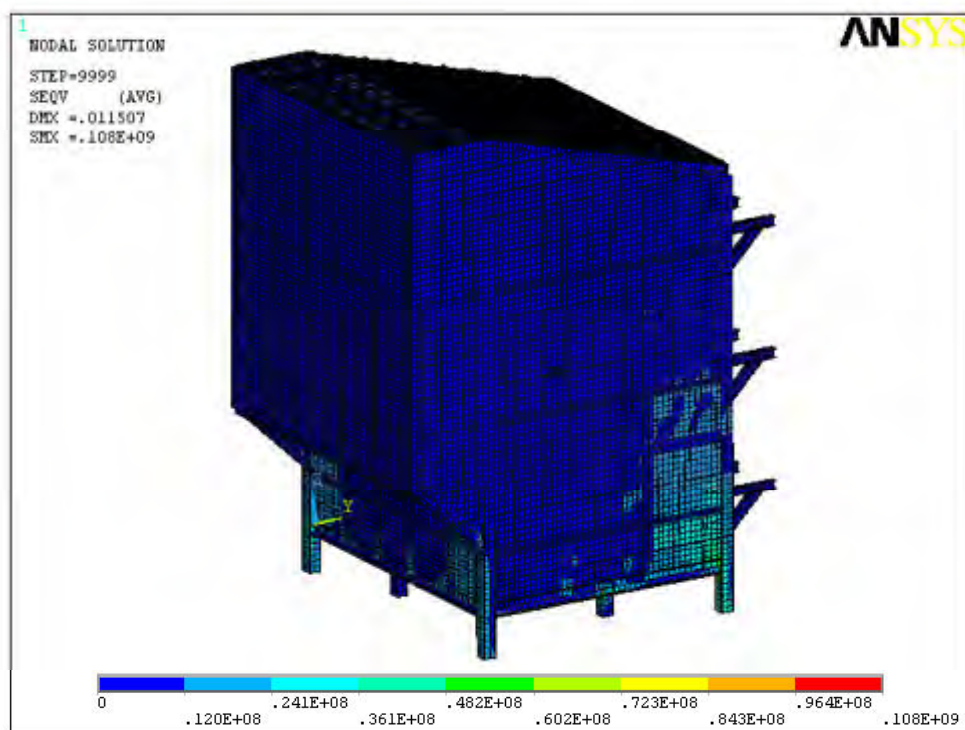
长宽高：15900×11200×14000



采用Shell181、Beam188单元

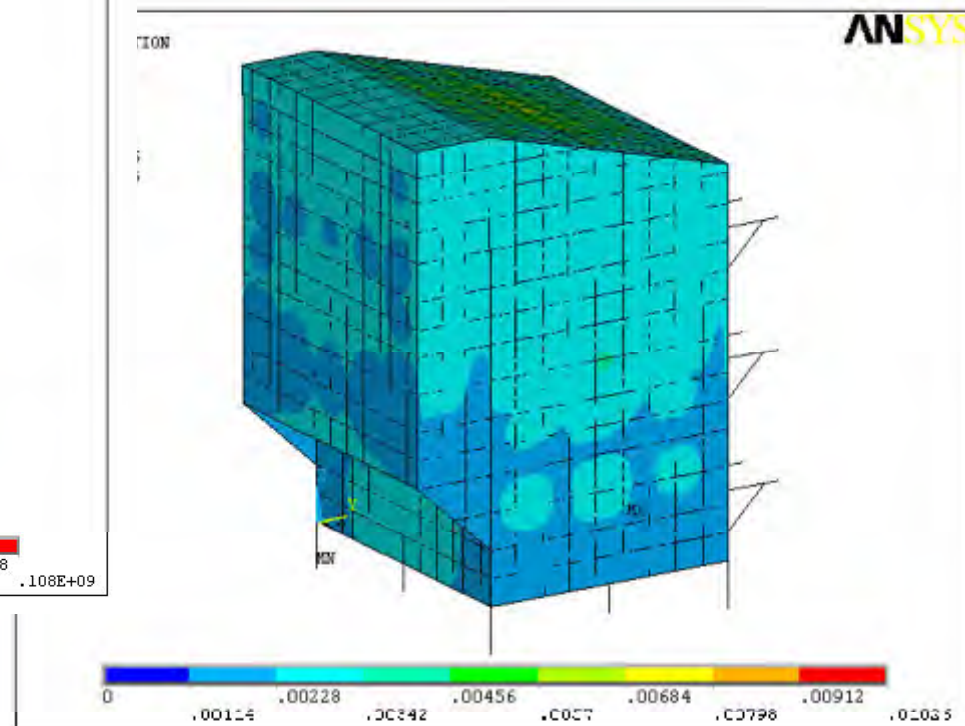
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



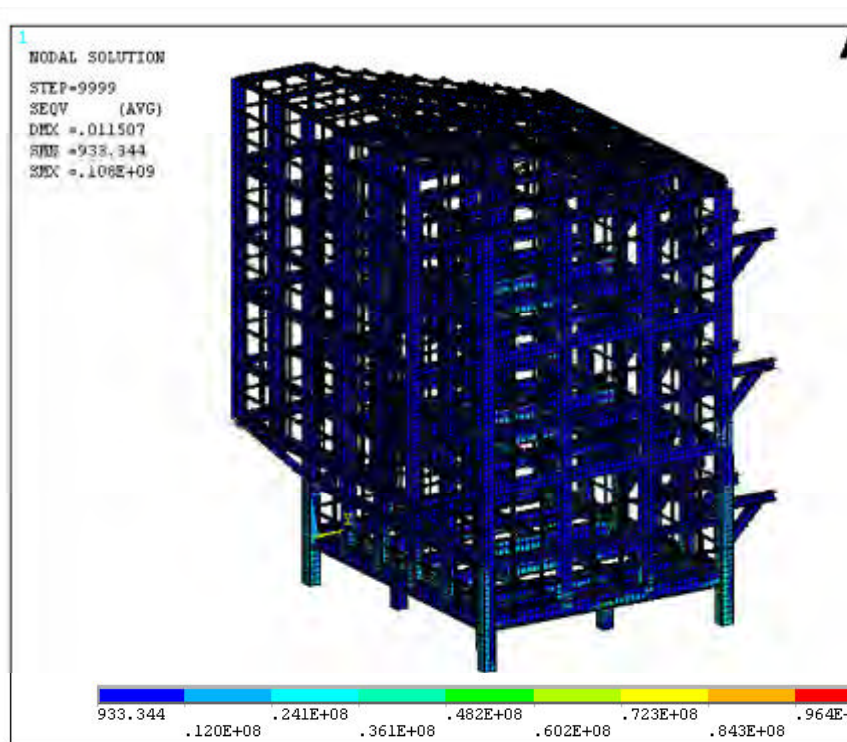
整体应力分布云图

整体位移分布云图



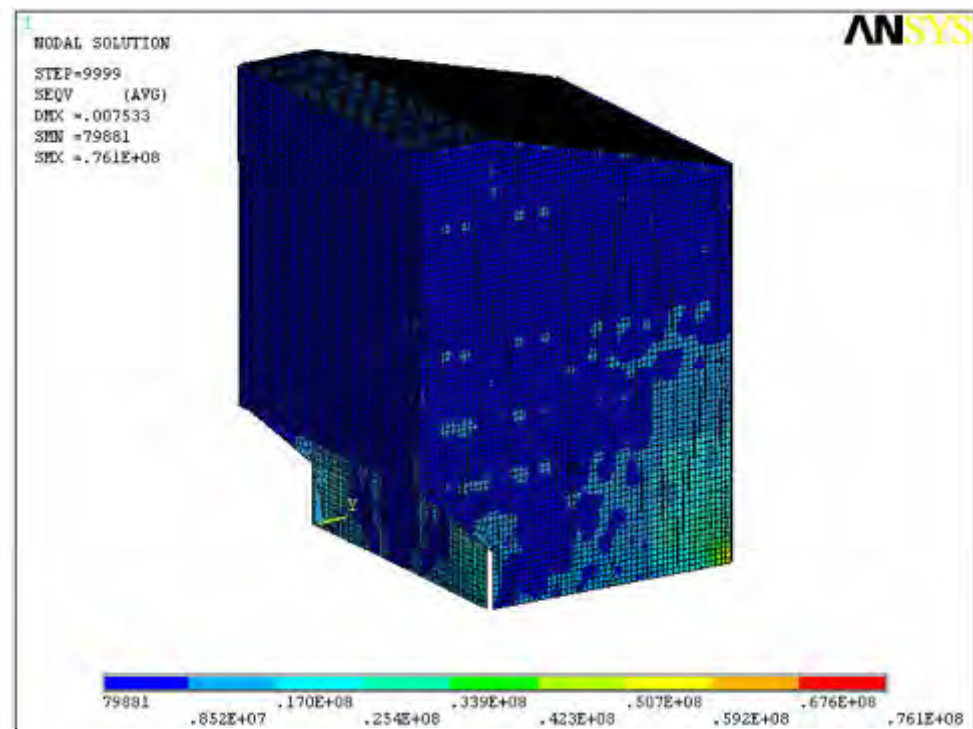
4、脱硝工程应用案例

(1) 脱硝反应器



梁、柱应力分布云图

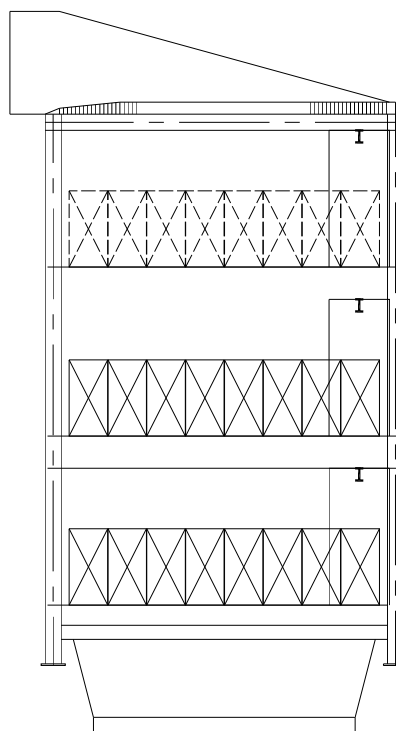
壁板应力分布云图



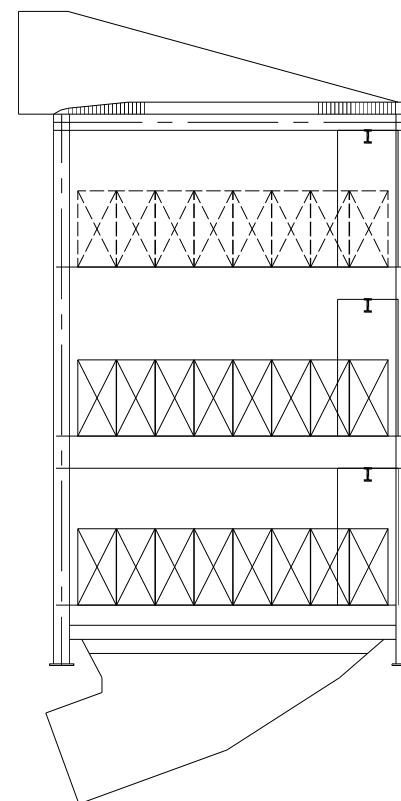
4、脱硝工程应用案例

(2) 反应器出口烟道

- 异形结构
- 积灰载荷较大
- 内撑杆复杂



常规结构

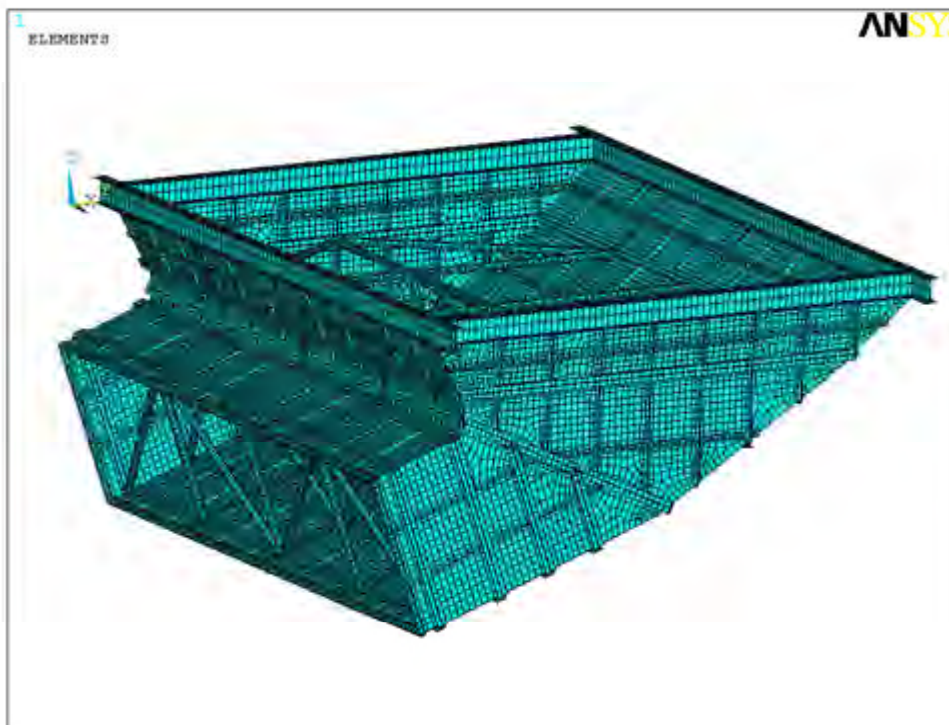


异形结构

4、脱硝工程应用案例

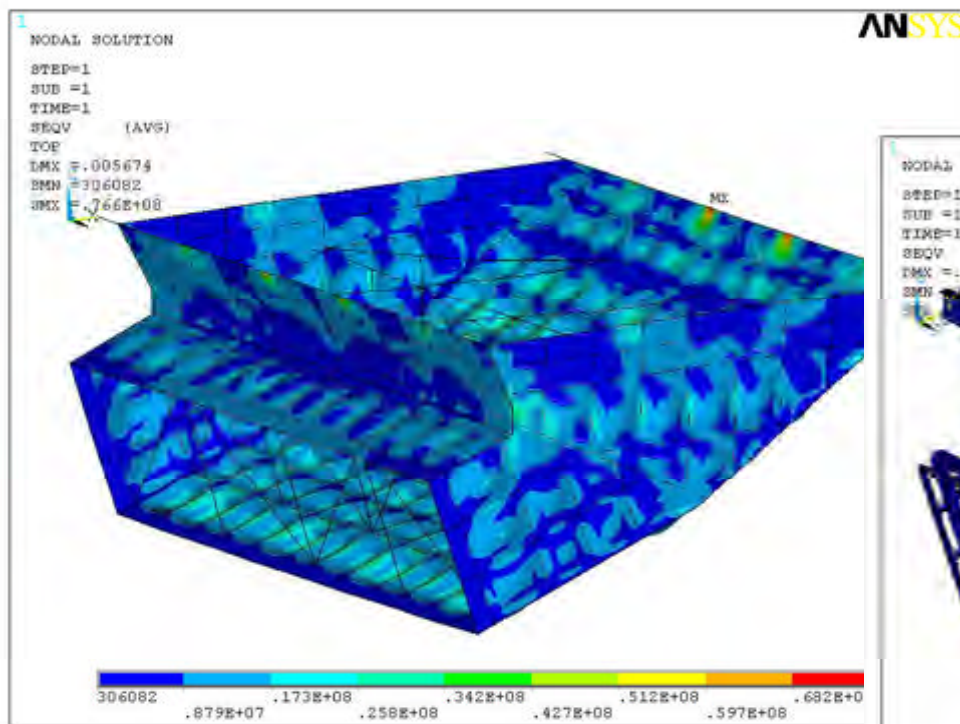
(2) 反应器出口烟道

反应器本体接口
尺寸为 $9\text{m} \times 7.5\text{m}$ ，
经转弯变径后，
与外部烟道接口
尺寸为
 $8.8\text{m} \times 2.4\text{m}$

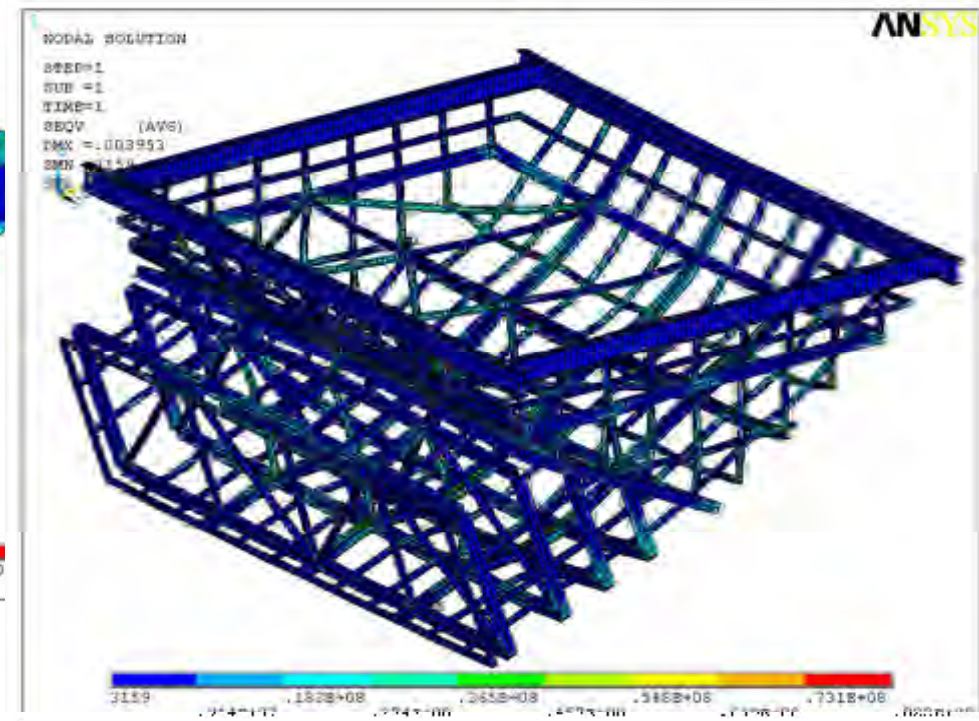


4、脱硝工程应用案例

(2) 反应器出口烟道



加固肋应力分布云图



5、专业模块开发

(1) 简要说明

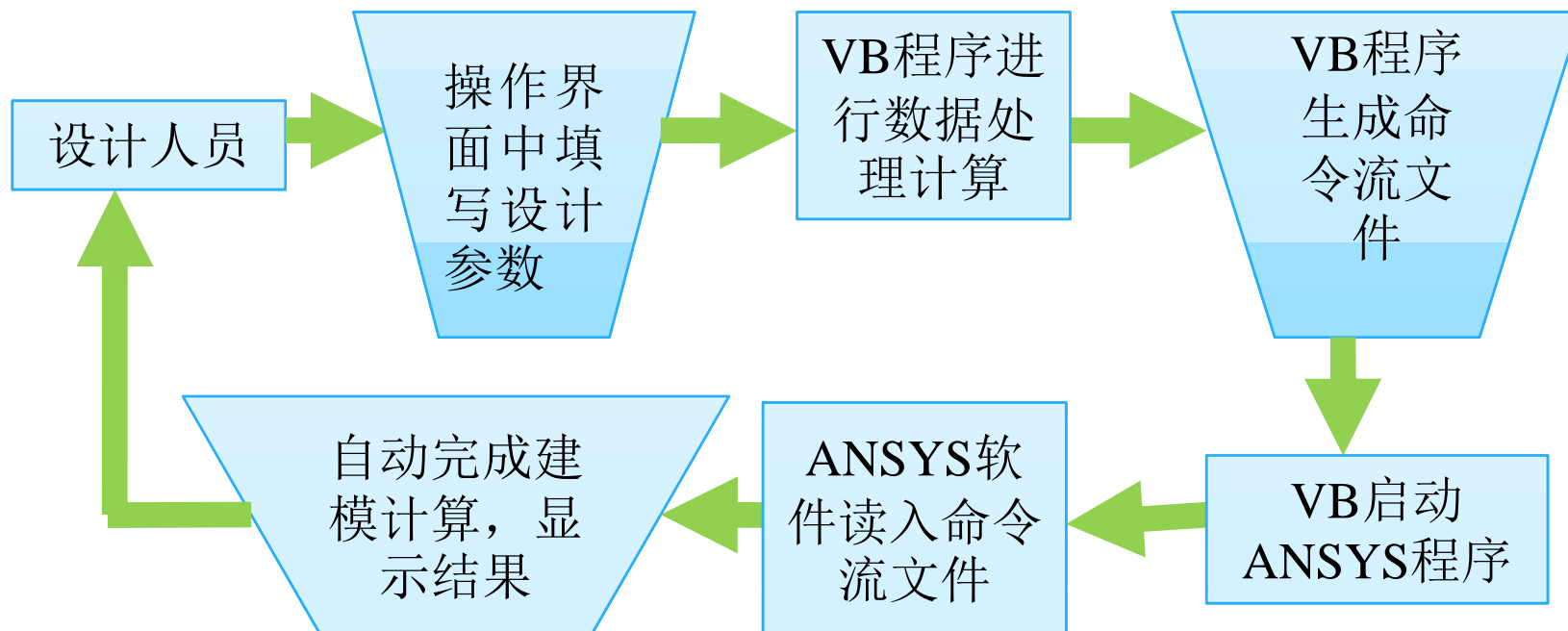
脱硝反应器设备功能、具体结构相对固定，不同项目外形结构相似，只是外形尺寸、钢材截面型号不同。

这样的结构非常适合进行专业模块开发。

关键点：运用ANSYS APDL语言实现参数化建模分析

5、专业模块开发

(2) 专业模块程序结构



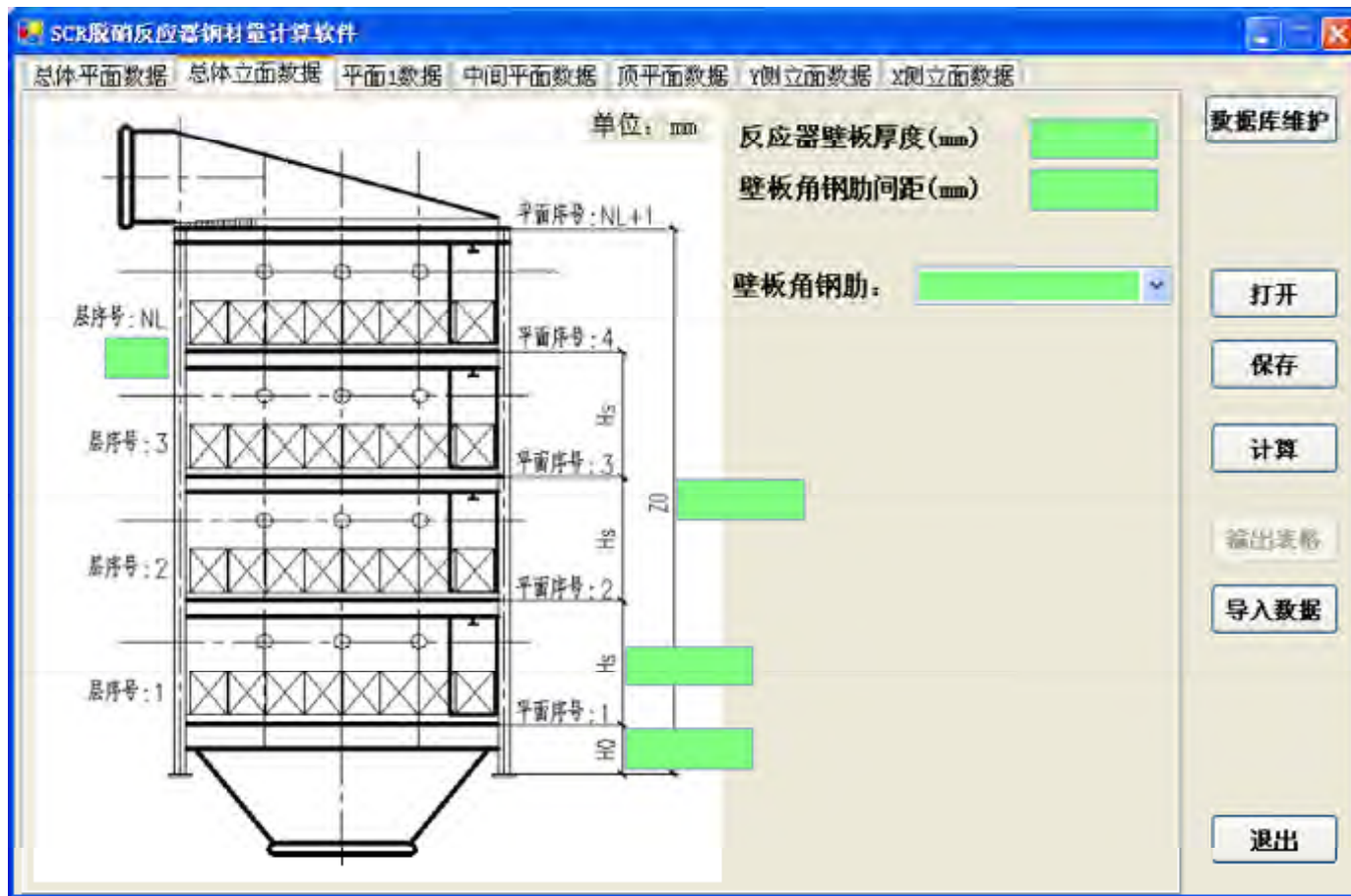
5、专业模块开发

(3) 专业模块开发的特点

- 结构有限元分析全过程实现可变设计参数的命令流集合；
- 使用VB.NET开发操作界面，通过操作界面程序建立设计参数与ANSYS计算工具的直接调用与数据对接；
- 只需输入参数即可做到一键式完成有限元分析过程；
- 使用十分方便、快捷，计算周期大大缩短；
- 便于进行优化设计。

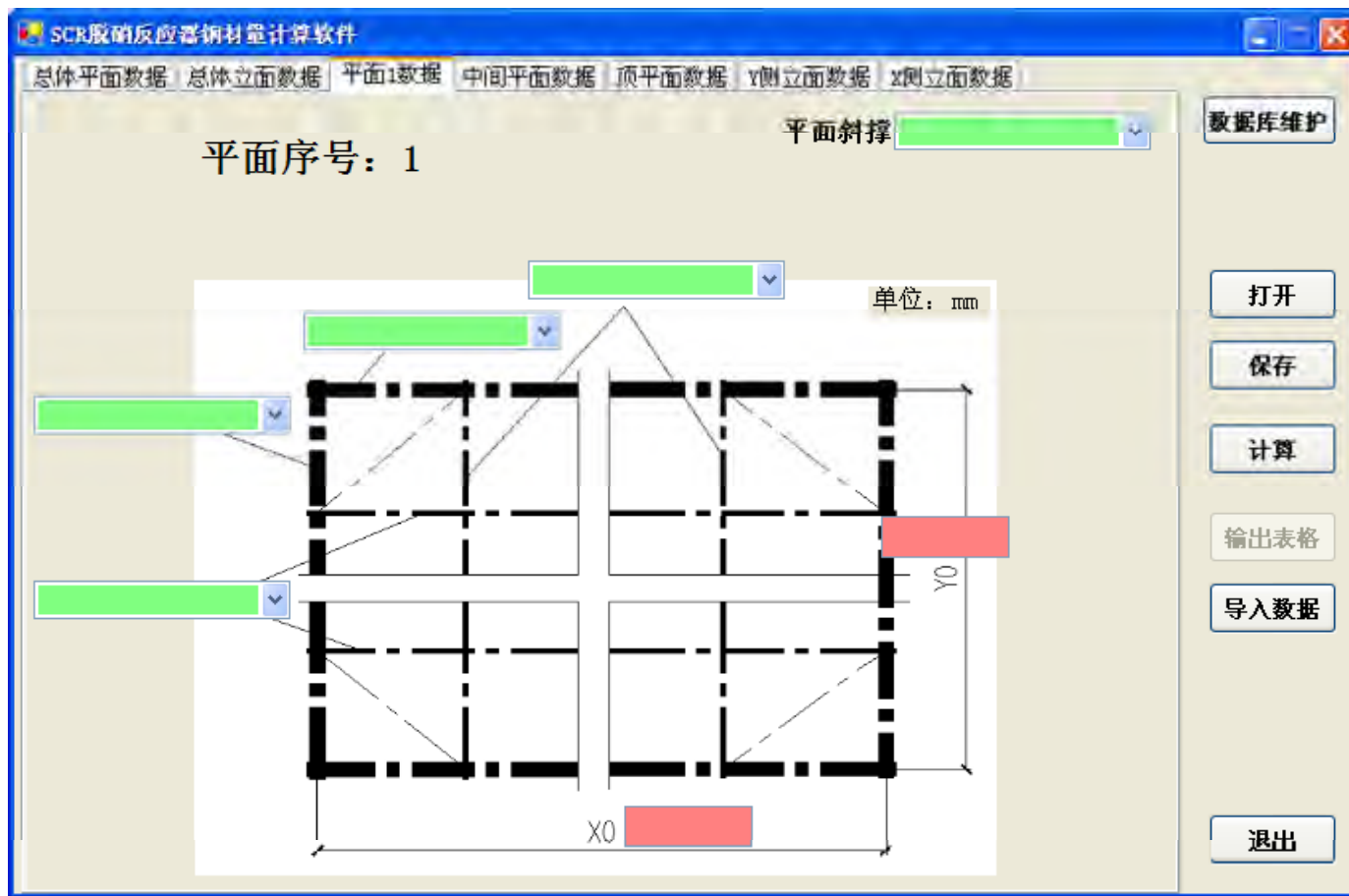
5、专业模块开发

(4) 案例介绍



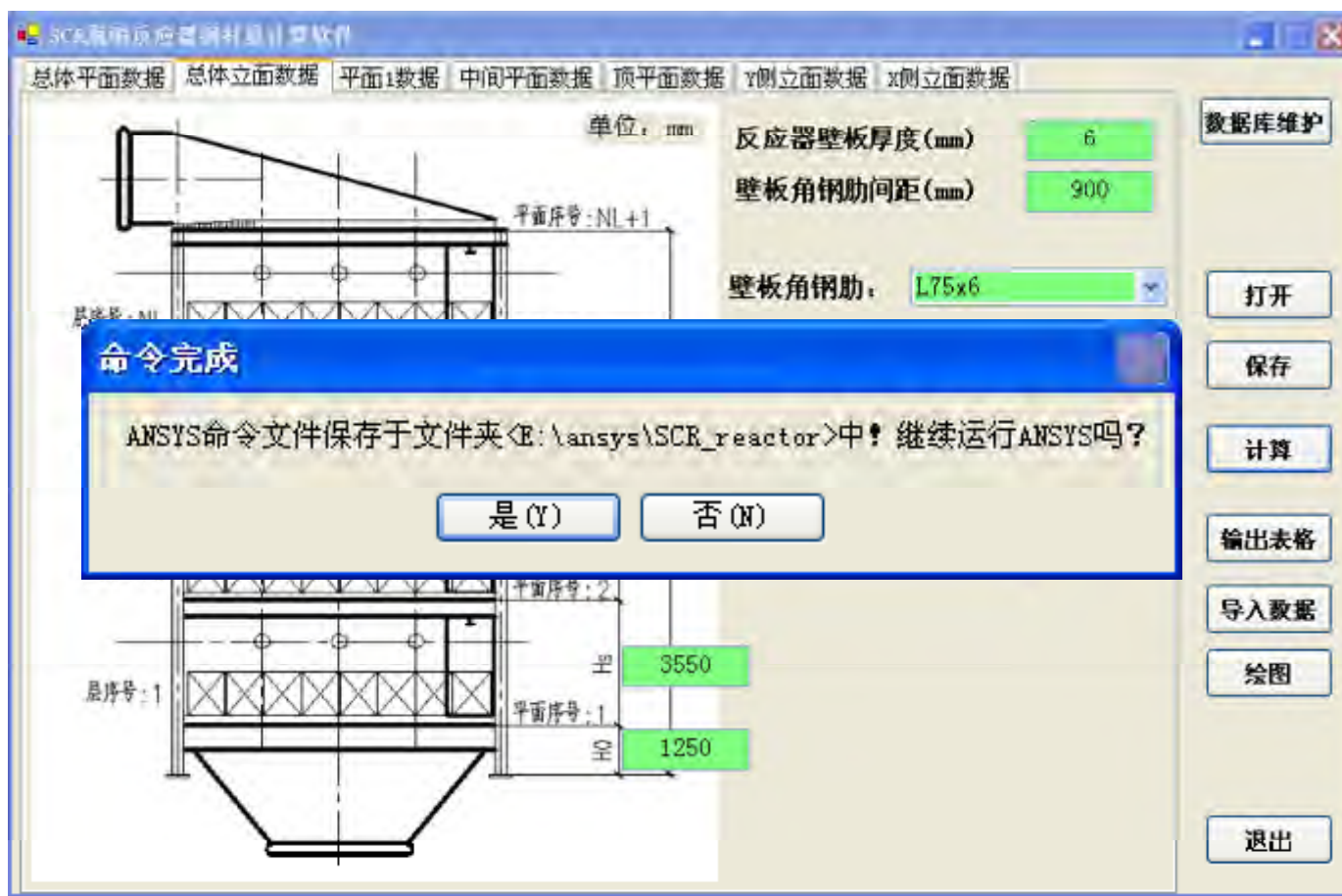
5、专业模块开发

(4) 案例介绍



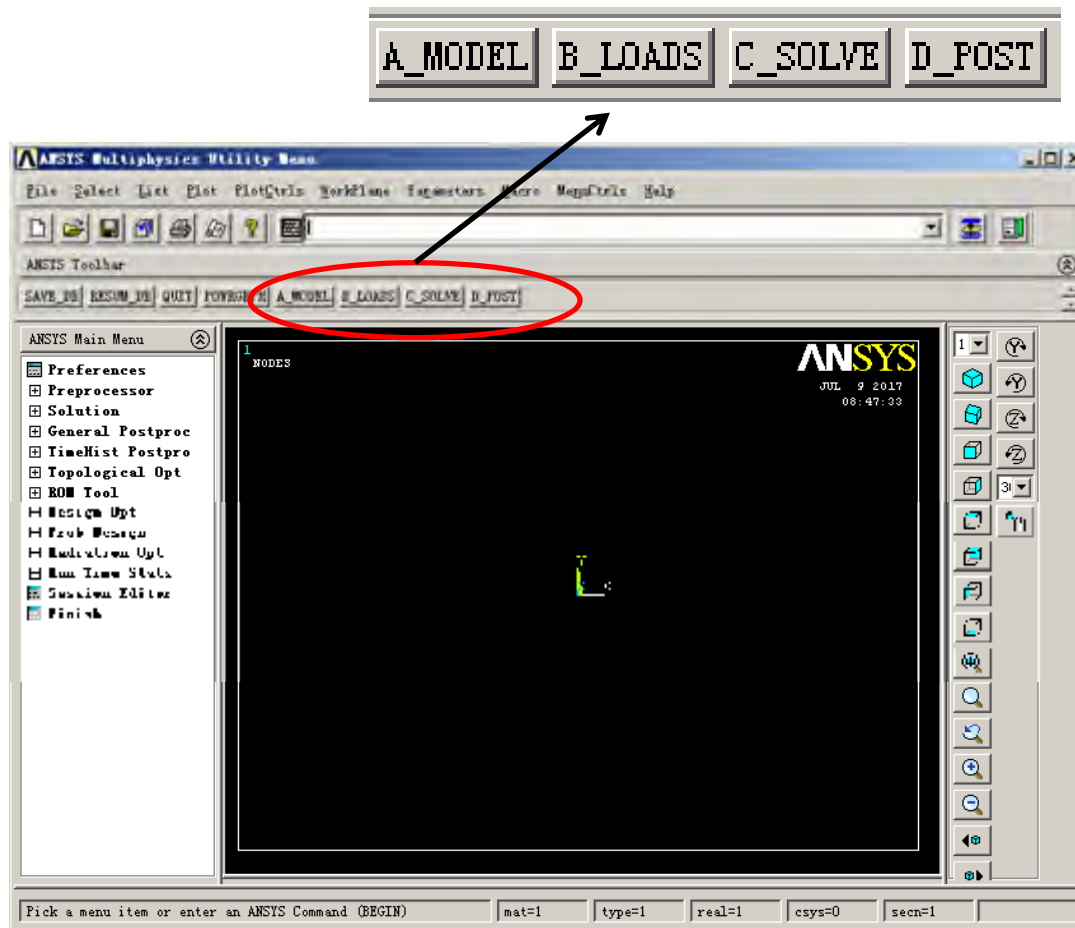
5、专业模块开发

(4) 案例介绍



5、专业模块开发

(4) 案例介绍



【A_MODEL】建模命令

【B_LOADS】加载命令

【C_SOLVE】求解命令

【D_POST】后处理命令



大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd.

电力设计研究院

杨秀杰

电话：18910983239

Email: yangxj@dteg.com.cn

微信：yangxiujie01120205



感谢聆听

