

ANSYS



仿真  
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

# ANSYS 在盾构法隧道工程中的应用

官林星 / 副总工程师

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

城市交通与地下空间设计研究院研发中心

# 汇报提纲

---

一

北横通道穿越轨道交通隧道

二

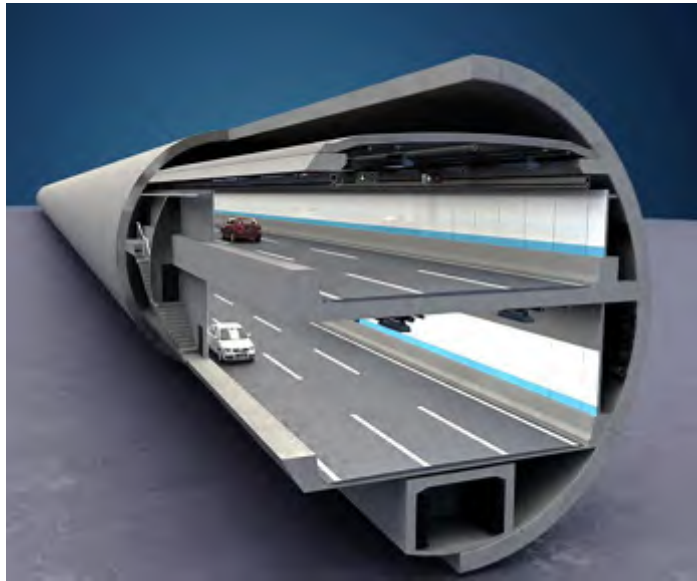
矩形盾构法隧道受力分析

## 1.1 工程背景



北横通道工程是上海市“三横三纵”主干路网的重要组成部分，西起北虹路，东至内江路，贯穿中心城北部区域，经长宁路~光复西路~苏州河~余姚路~新会路~天目西路~天目中路~海宁路~周家嘴路，向西接北翟快速路，向东接周家嘴路越江隧道，全长约19.1km。

# 北横通道盾构穿越轨道交通



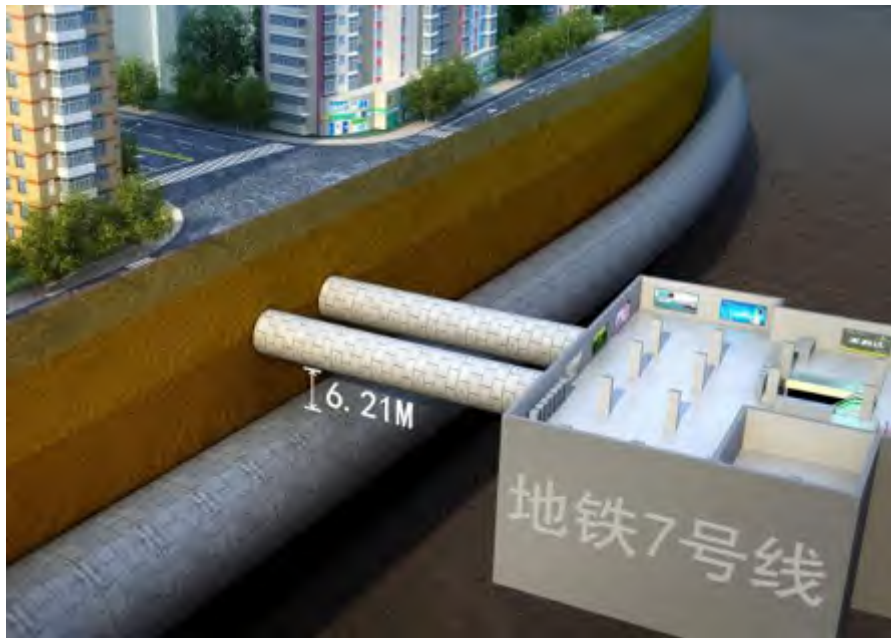
隧道外径15m，双向6车道



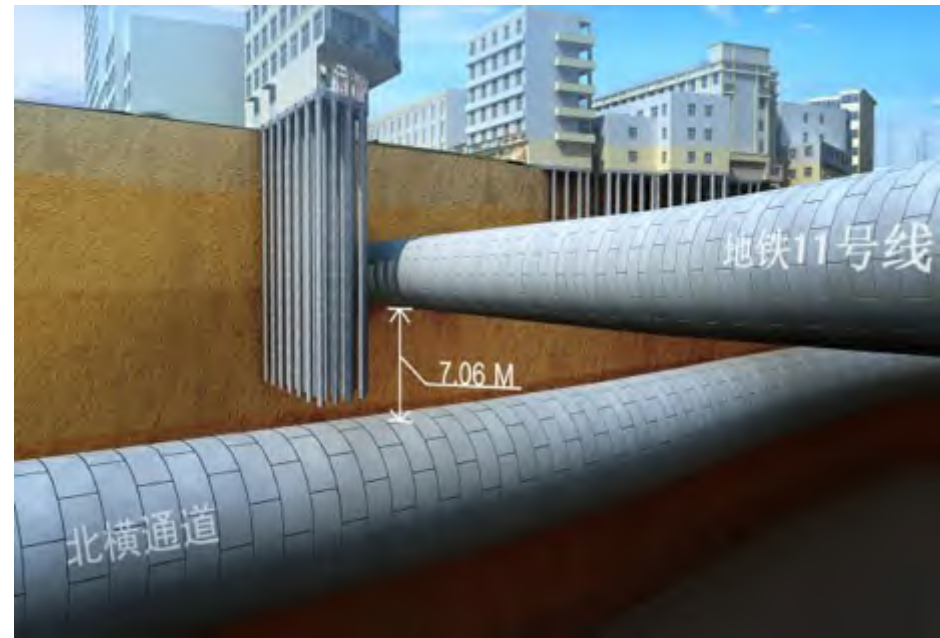
- 穿越已运营地铁盾构区间2次，
- 穿越待建地铁盾构区间2次

序号	轨道交通线	轨交结构形式	相互关系	轨交标高 ( m )		通道与轨交最小净距 ( m )
				底标高		
1	运营7号线	盾构区间	下穿，平面垂直	底标高	-19.8	6.21
2	规划14号线	盾构区间	下穿，平面垂直	底标高	约-13.4	8.22
3	运营11号线	盾构区间	下穿，交角约68度	底标高	-24.5	7.06
4	规划15号线	盾构区间	规划区间上跨交角约84度	底标高	约-20.00	5.00

# 北横通道与轨道交通位置关系图

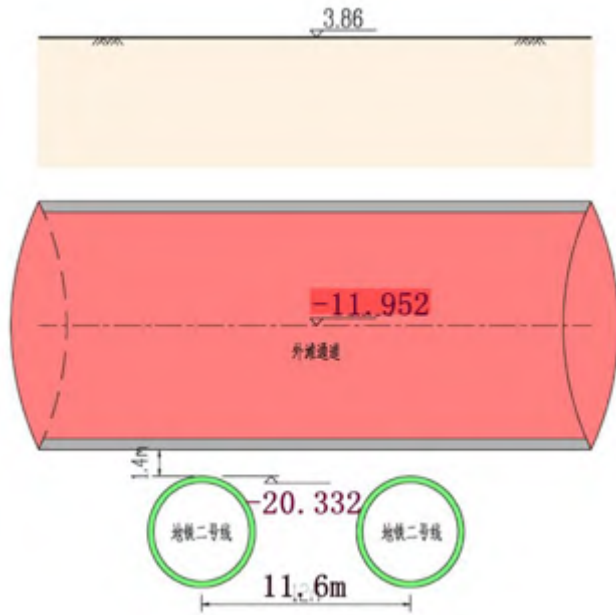


穿越轨道交通7号线

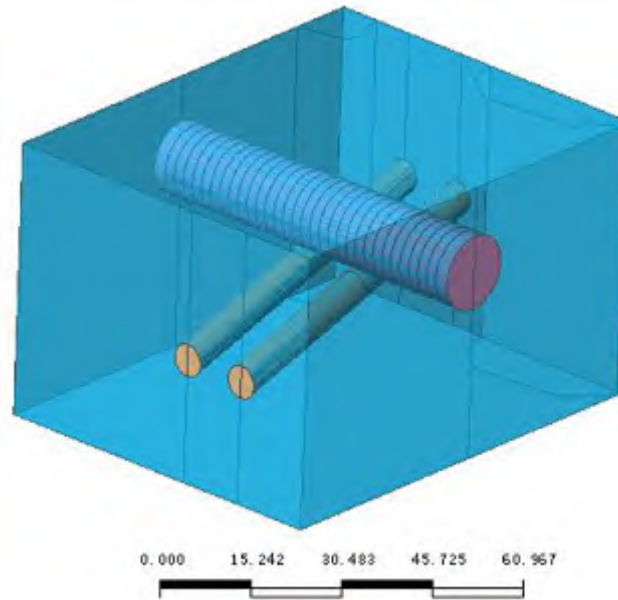


穿越轨道交通11号线

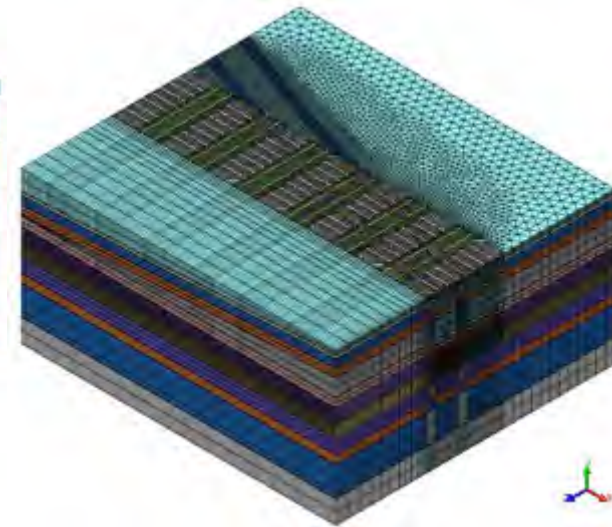
## 穿越轨道佳通分析方法的梳理



外滩通道穿越2号线位置关系图



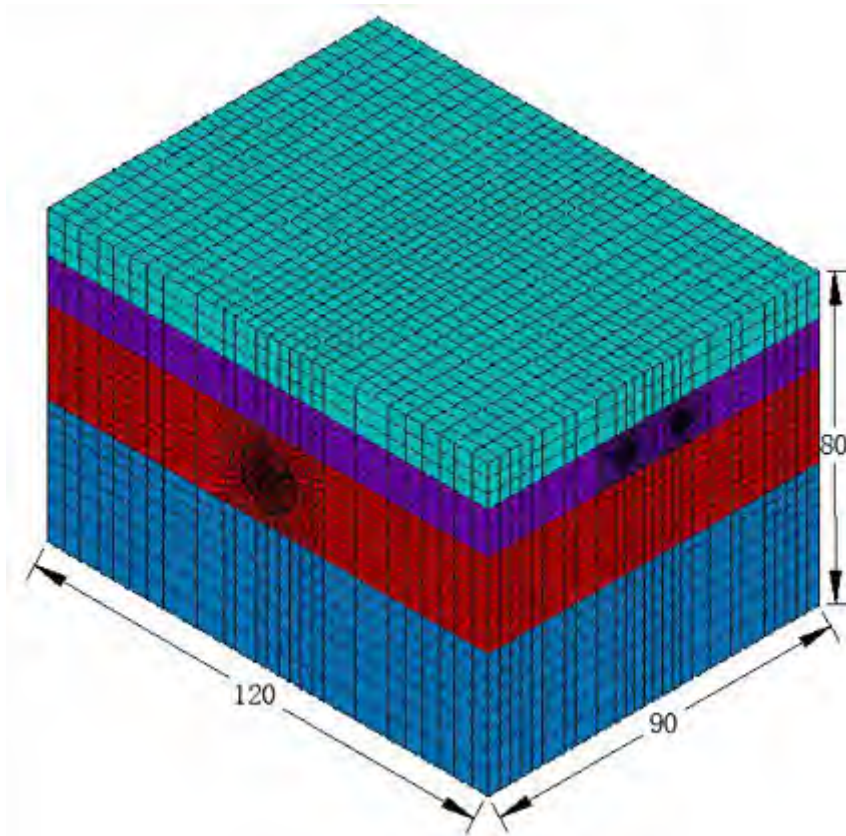
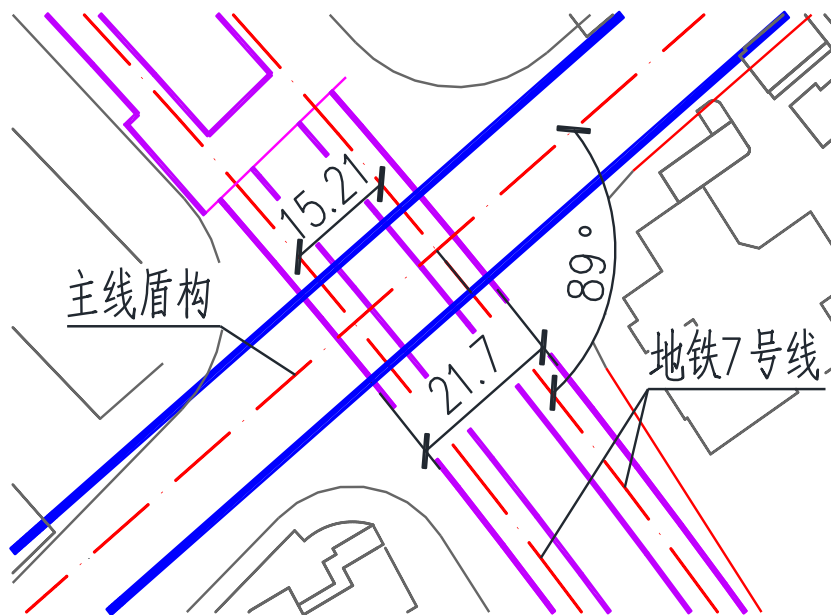
外滩通道穿越2号线有限元分析模型图



基坑开挖对地铁隧道影响有限元模型

上海几家大设计院的做法基本相同，大多采用MIDAS进行有限元建模进行计算。而高校注重研究，建的模型复杂，能考虑的因素较多，也有使用ANSYS，FLAC有限元分析软件进行计算的案例。

## 1.2 建模方法



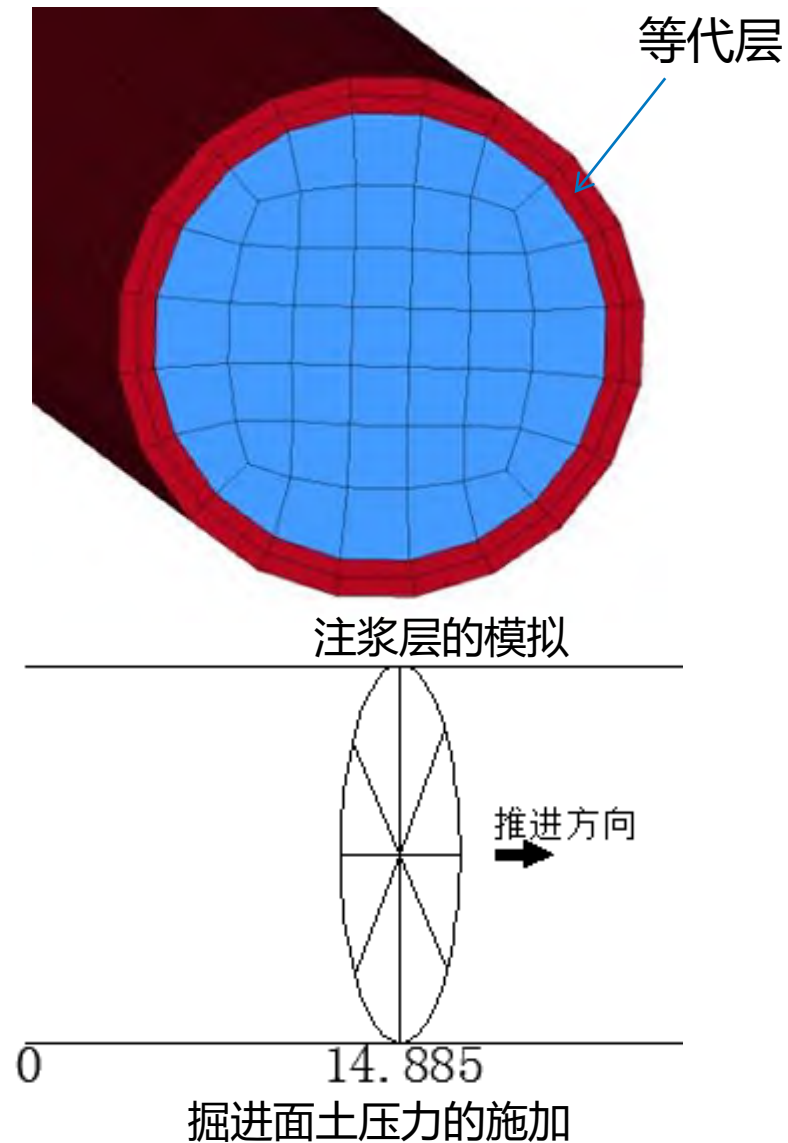
模型尺寸

土层名称	$\gamma / (\text{kN/m}^3)$	$\mu$	$E_s / \text{MPa}$	$c / \text{kPa}$	$\phi / ^\circ$
黄-灰色砂质粉土	18.5	0.35	12	3	30.6
灰色粉质粘土	17.8	0.33	10	15	15.4
草黄-灰色粉砂	18.8	0.31	35	1.5	32.1
灰色粘土	18.0	0.33	10	19	15

## 模拟方法

(1) 土体 衬砌层 注浆层采用八节点 solid45单元，按照理想弹塑性介质考虑，土体与注浆层采用Drucker-Prager强度准则。

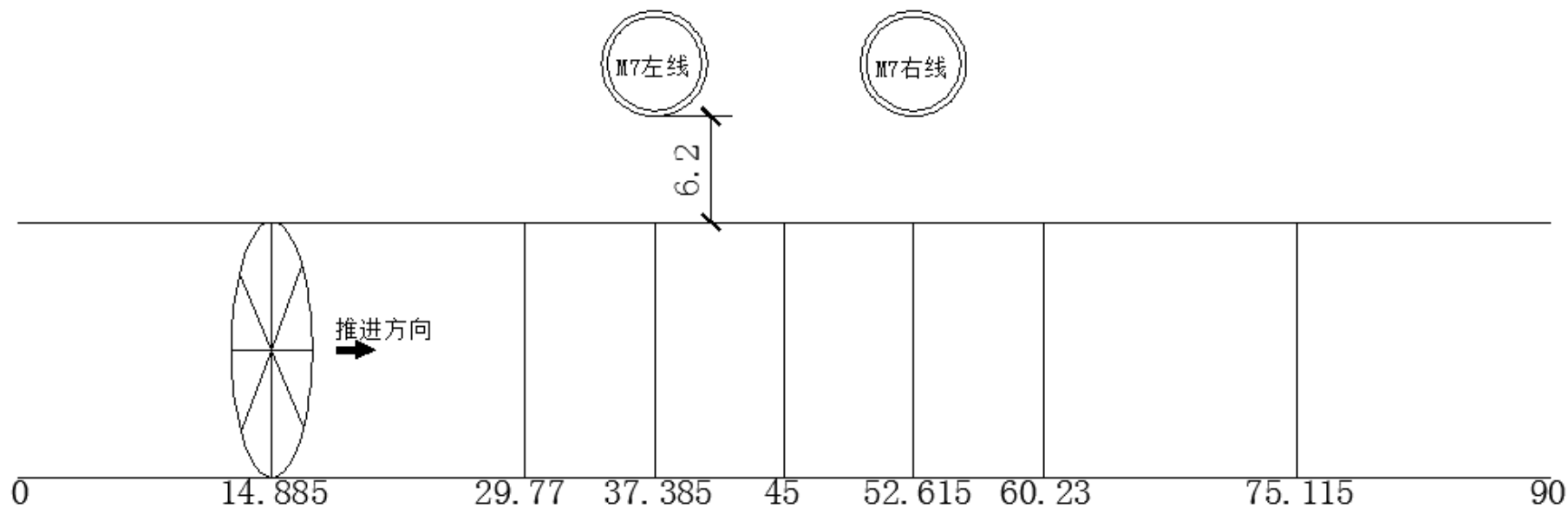
(2) 利用隧道的收敛及注浆层的收缩来模拟地层损失的发生。





# 盾构推进的模拟

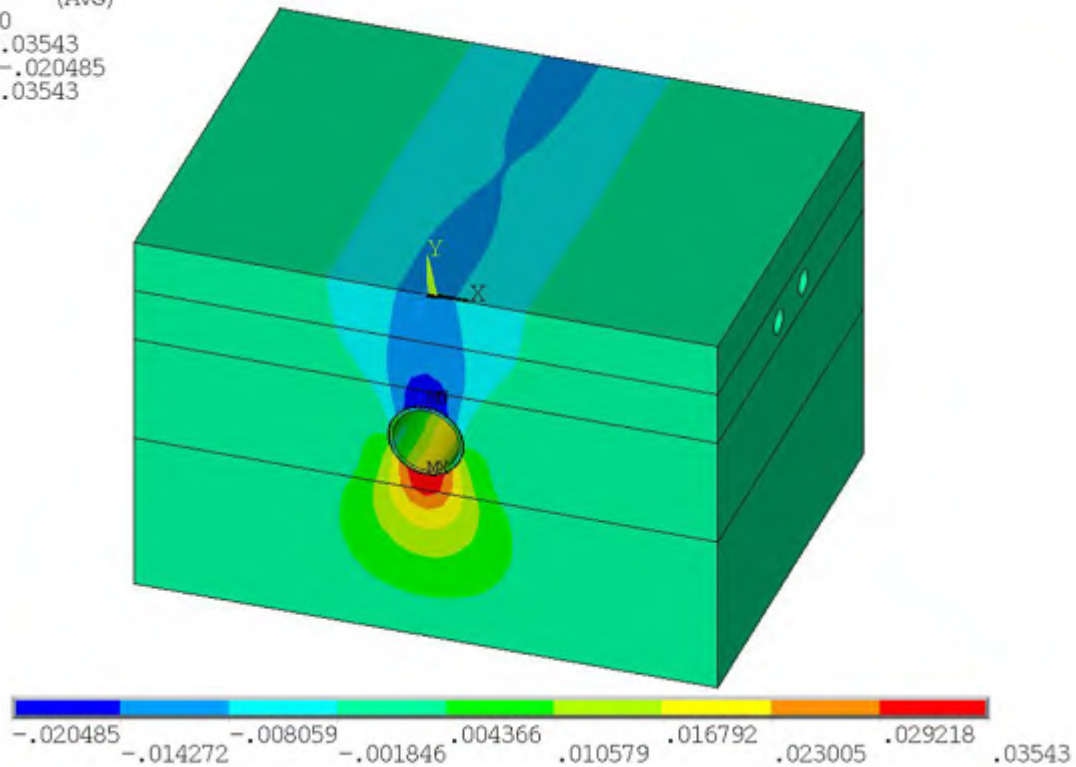
选取了八个不同开挖面位置进行了计算，得到盾构推进过程中地层、已有隧道的位移发展规律。



# 盾构推进时地层沉降

NODAL SOLUTION  
STEP=9999  
UY (AVG)  
RSYS=0  
DMX =.03543  
SMN =-.020485  
SMX =.03543

ANSYS  
PLOT NO. 1

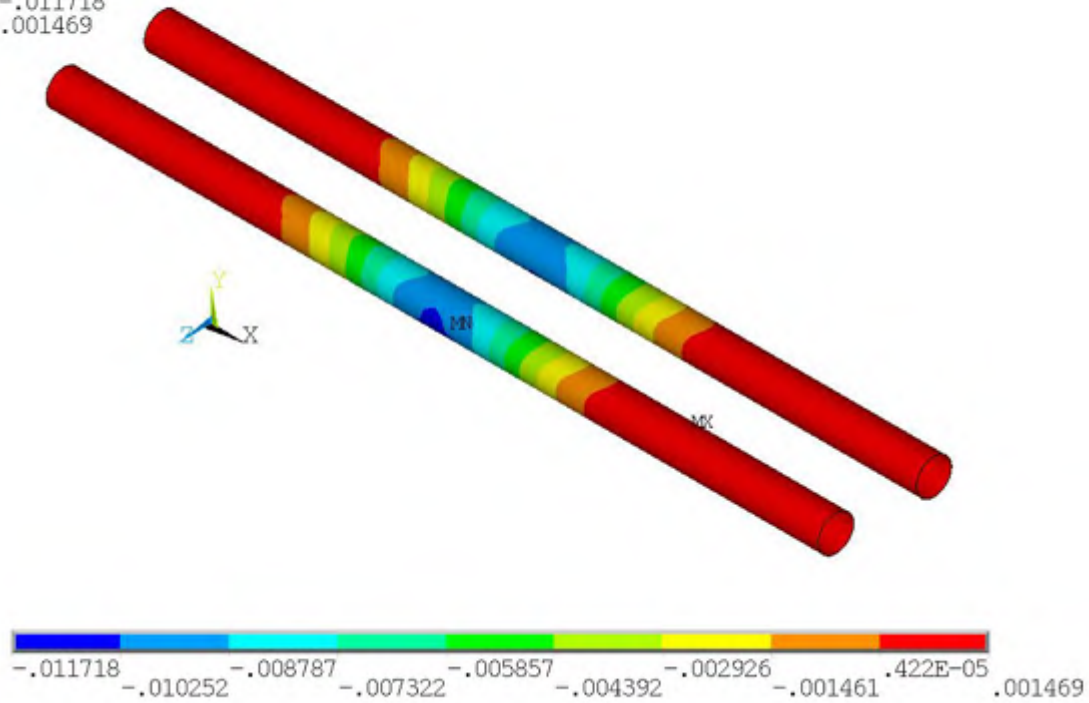


# 盾构推进时M7隧道沉降

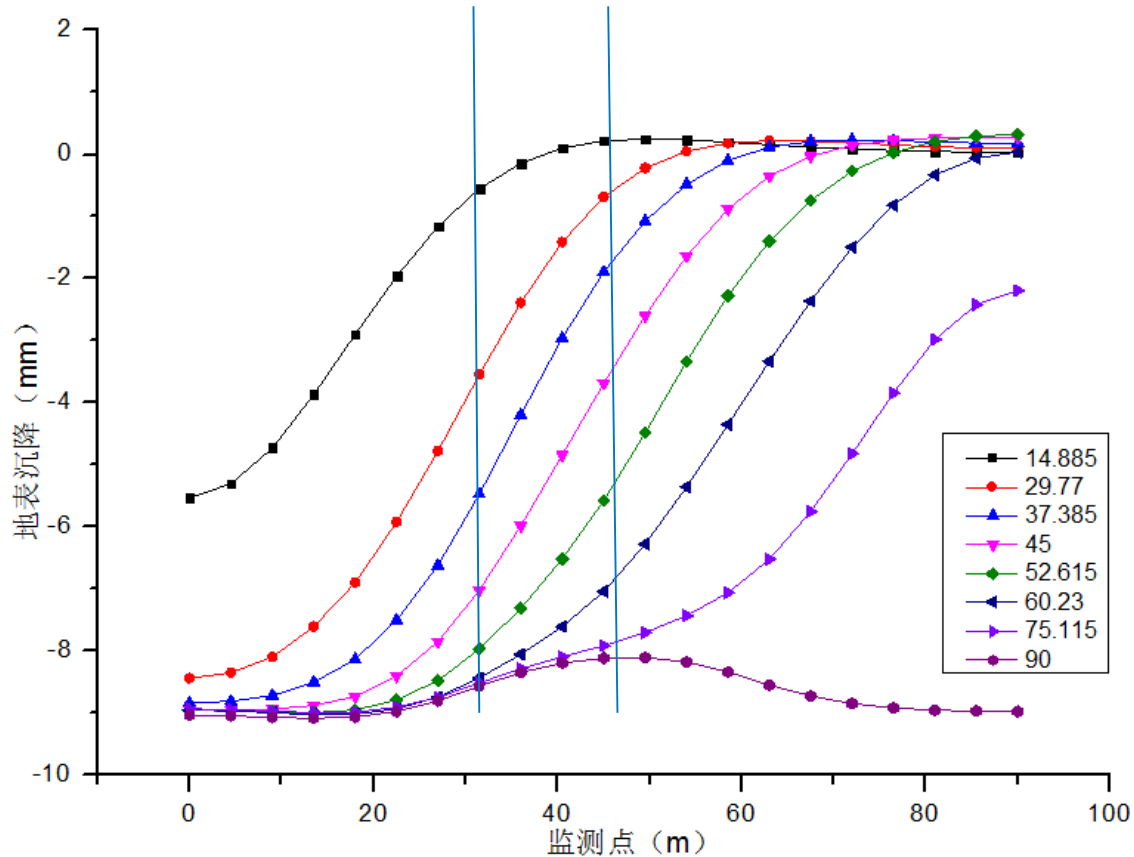
ANSYS

PLOT NO. 1

NODAL SOLUTION  
STEP=9999  
UY (AVG)  
RSYS=0  
DMX =.011718  
SMN =-.011718  
SMX =.001469

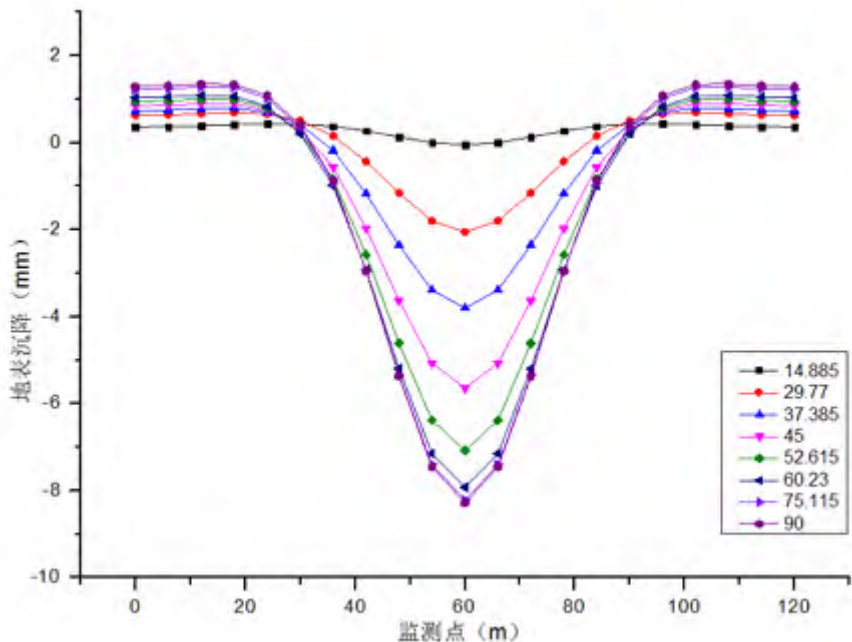


# 盾构推进时纵向地表沉降图

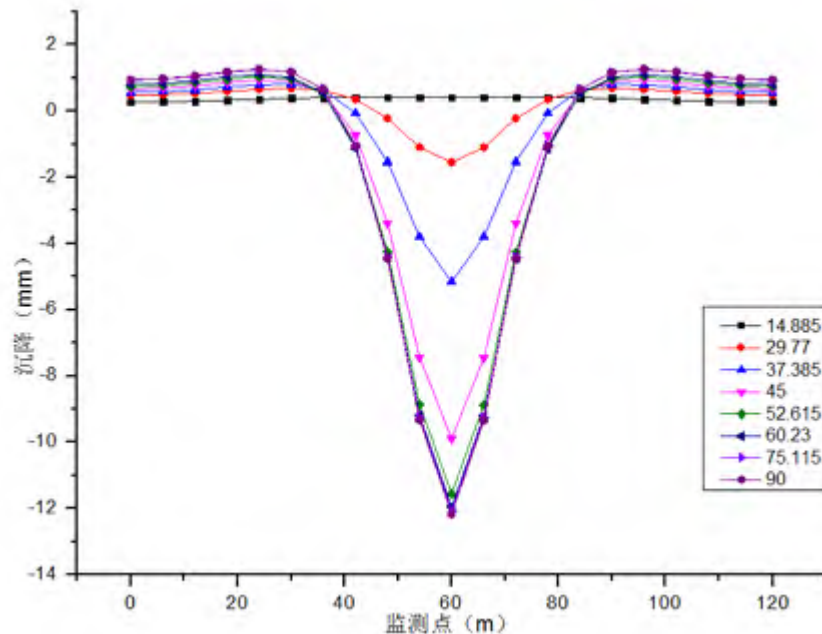


随着盾构的推进，隧道中轴线上方地表处的竖直沉降不断增大，最后稳定在9mm。地面没有出现明显的隆起，表明开挖面的支护压力设置的偏小。

## 不同开挖面时左线隧道沉降



左线地表沉降

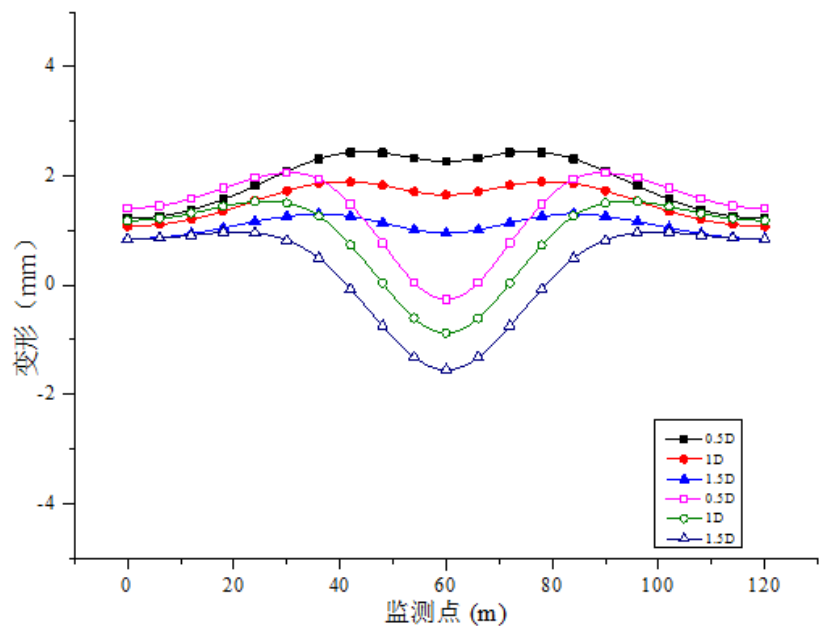
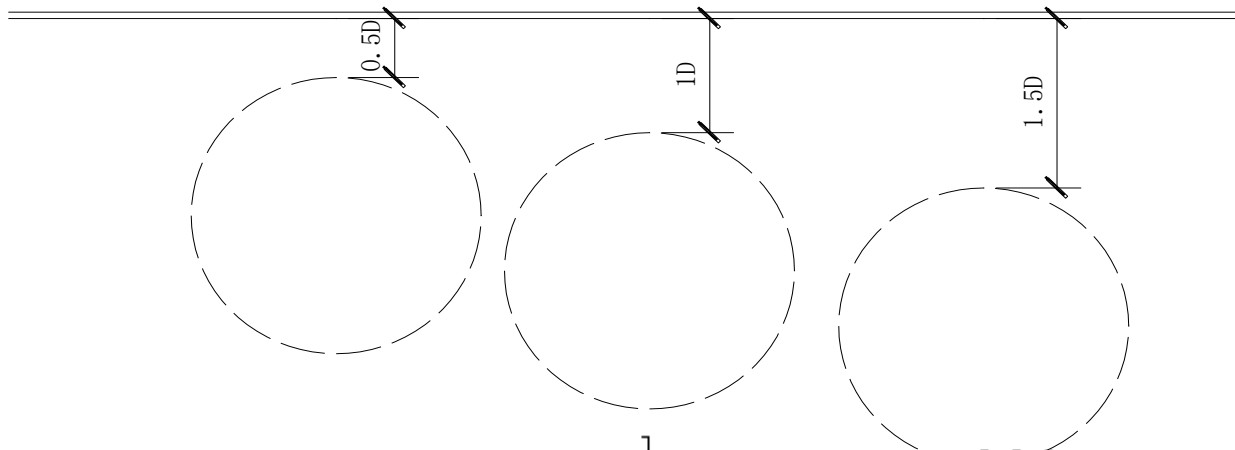


左线隧道沉降

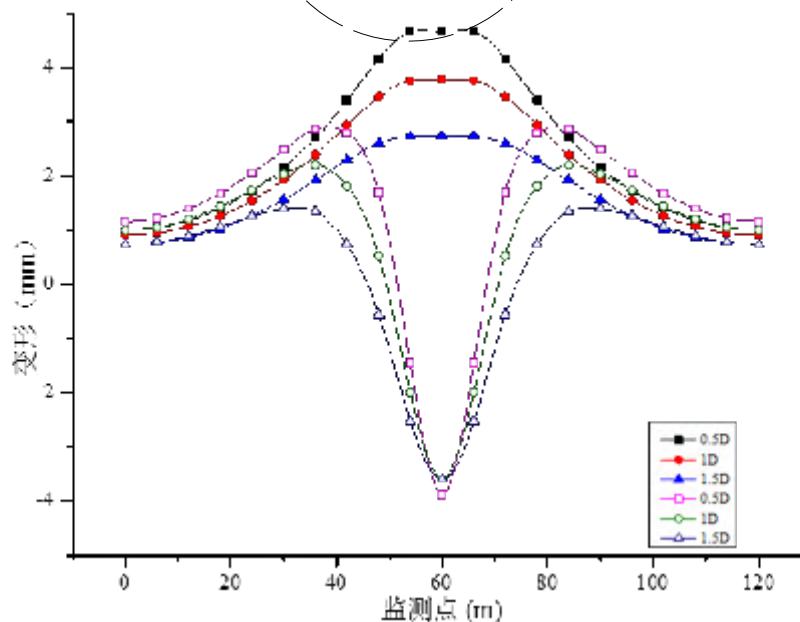
从图中可以看出，随着隧道推进，左线隧道的竖直沉降不断增大，地表达到8mm，隧道处的变形达到12mm，对地铁隧道的安全运营一定影响，因此在施工中应当加强同步注浆，并且进行补浆，控制沉降发展。

# 隧道与轨道交通不同净距的影响

M7线



左线既有隧道纵向地表变形



左线既有隧道纵向底部变形

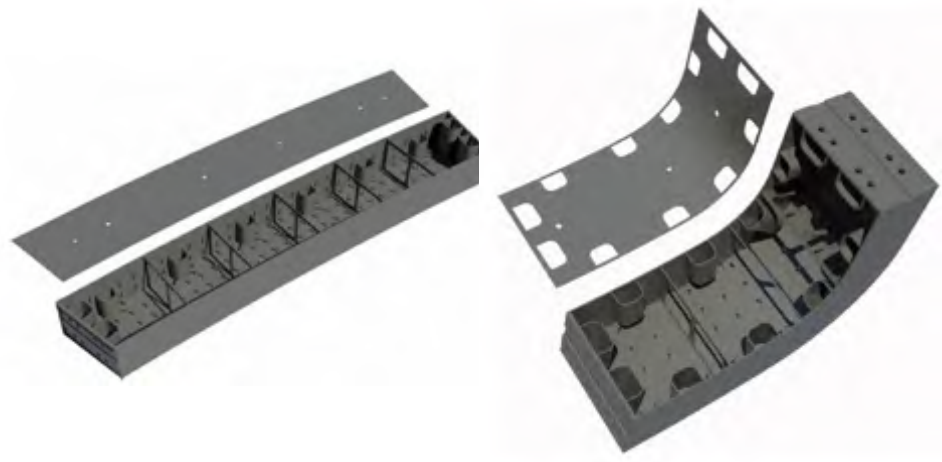
## 2.1 工程背景



国内首条矩形盾构法隧道



## 2.2 管片结构



封顶块

侧墙块



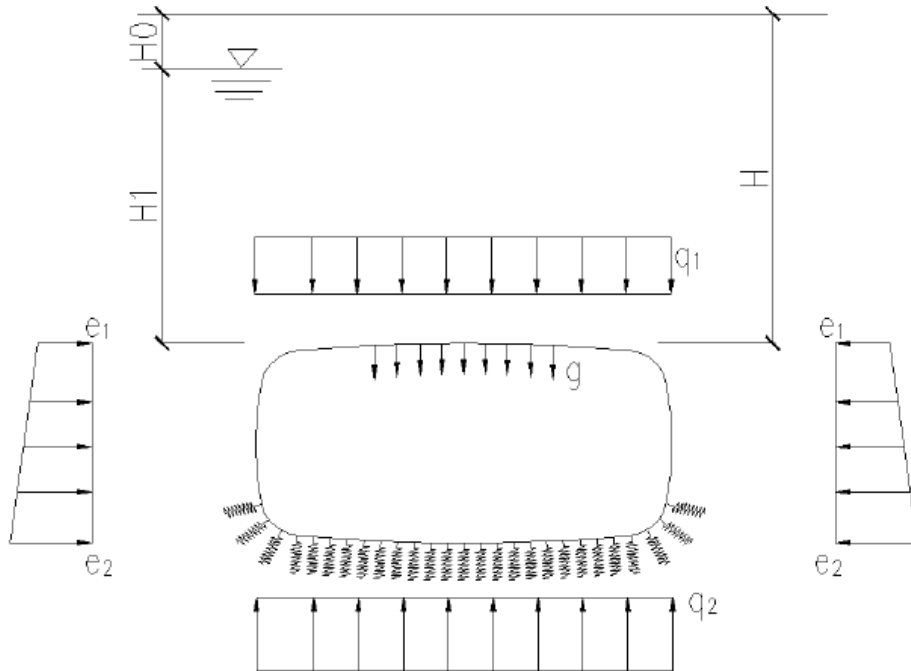
实际管片



栓钉

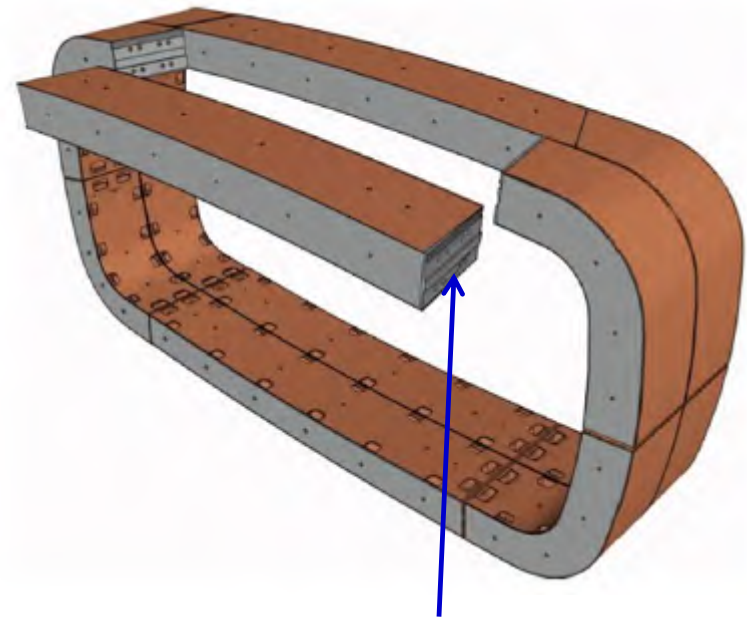


## 2.3 二维分析

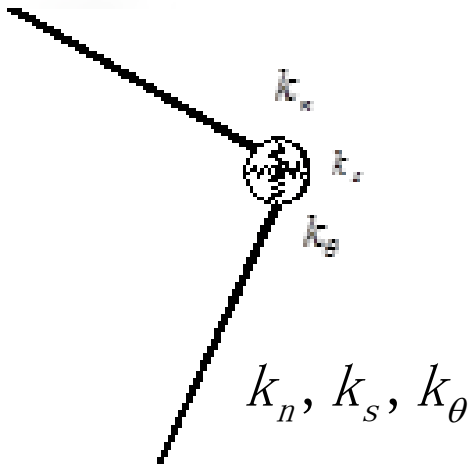


计算模型

投影荷载的实现



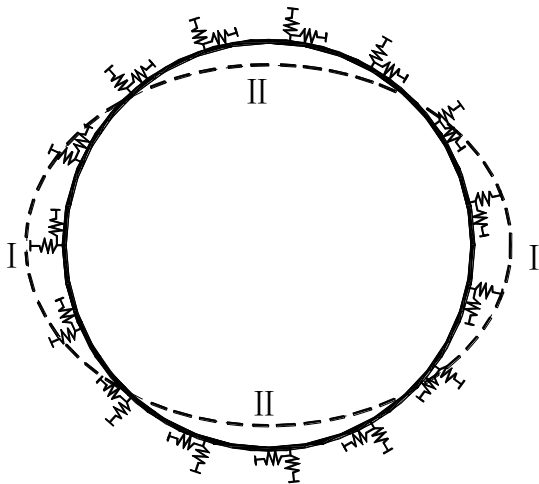
管片之间采用螺栓连接。  
接头的力学性能模拟成为难点。



接头模型

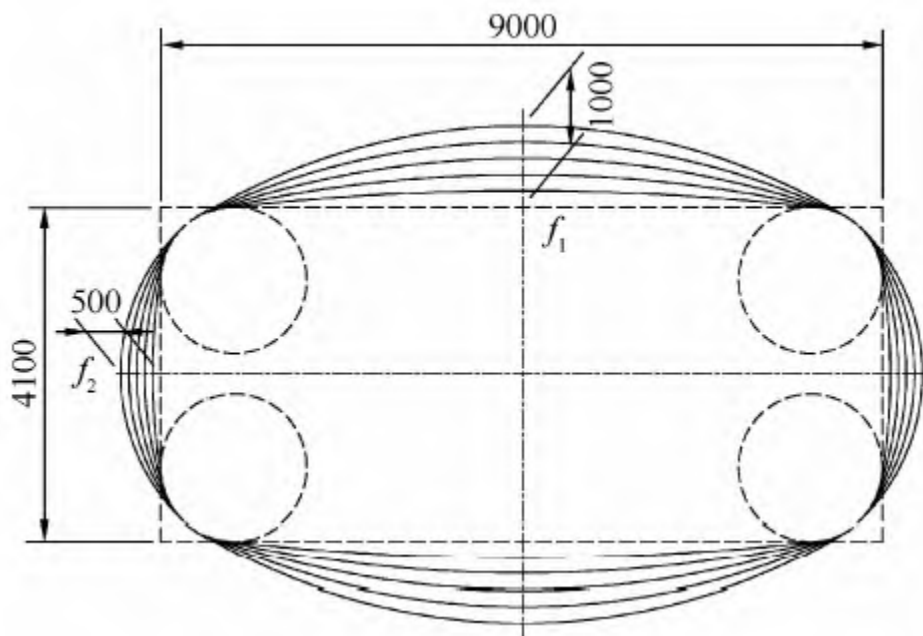
```

et,1,beam3
et,2,link10$KEYOPT,2,2,0$KEYOPT,2,3,1!只能受压
et,3,matrix27,,,4 !矩阵单元(定义刚度矩阵)弹性连接
mp,ex,1,50466e3$mp,prxy,1,0.3$mp,dens,1,2.835 !考虑自重,力单位为kN,注意设置密度
mp,ex,2,kz*elemsize !中间土弹簧弹性系数
mp,ex,3,kz*elemsize/2 !边土弹簧弹性系数
r,1,a0,lzz1,h !梁实常数
SecArea=1.0 !土弹簧截面积
r,2,SecArea !实常数土弹簧截面积
!刚度矩阵元素
r,3$rmodif,3,1,kx1$rmodif,3,7,-kx1$rmodif,3,58,kx1
$rmodif,3,13,ky1$rmodif,3,19,-ky1$rmodif,3,64,ky1
$rmodif,3,51,krz1$rmodif,3,57,-krz1$rmodif,3,78,krz1
  
```

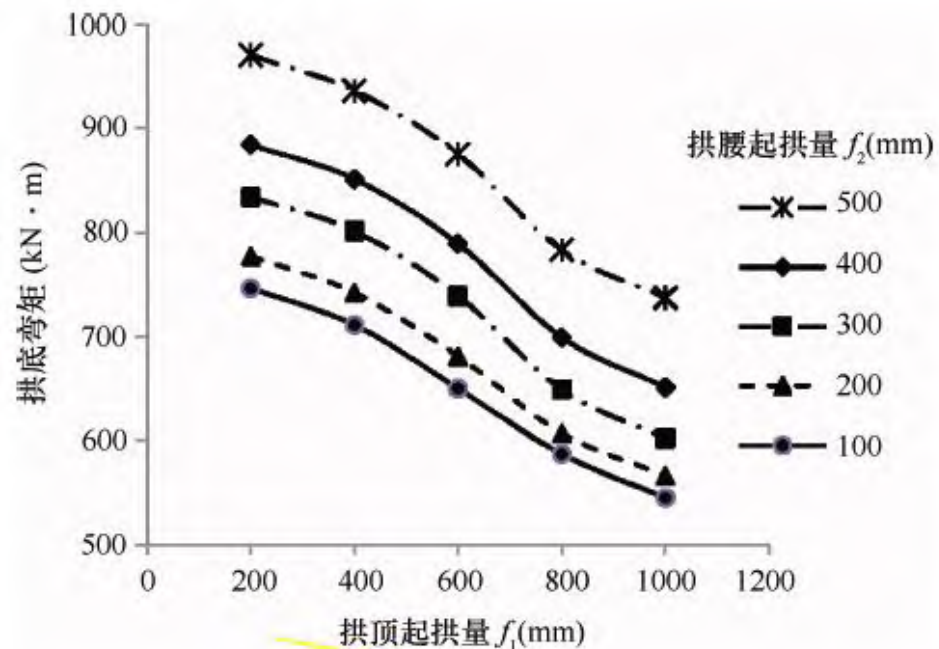


地层弹簧

拉压弹簧的实现

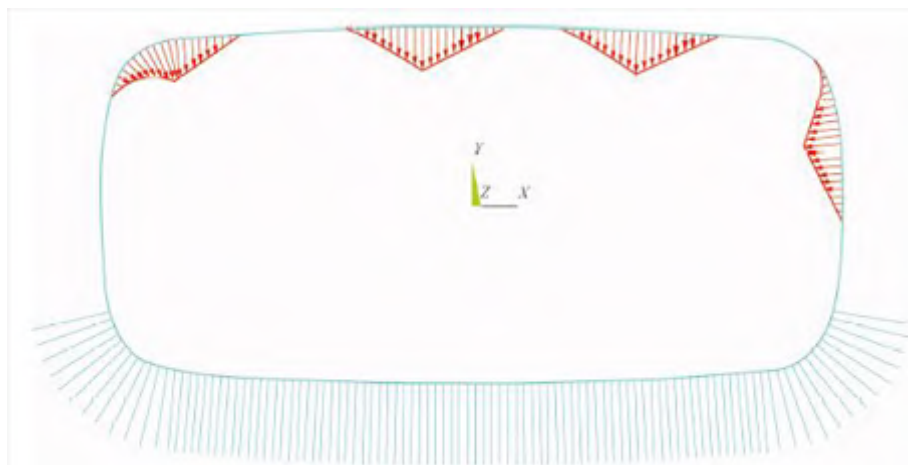
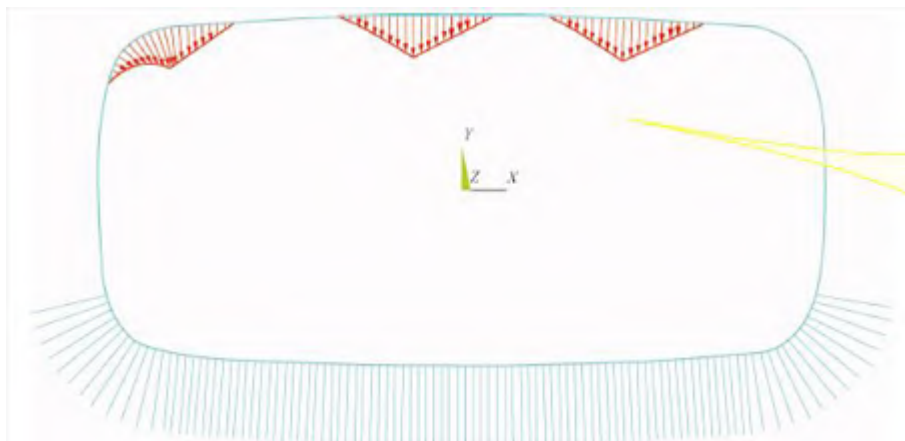
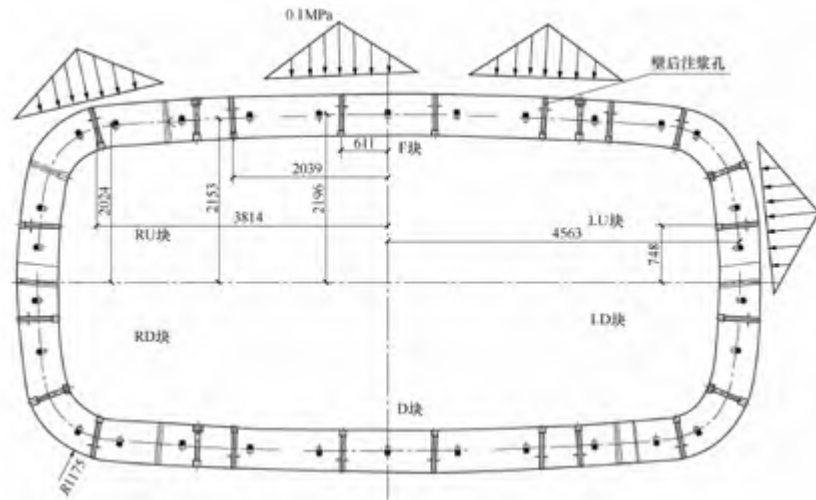
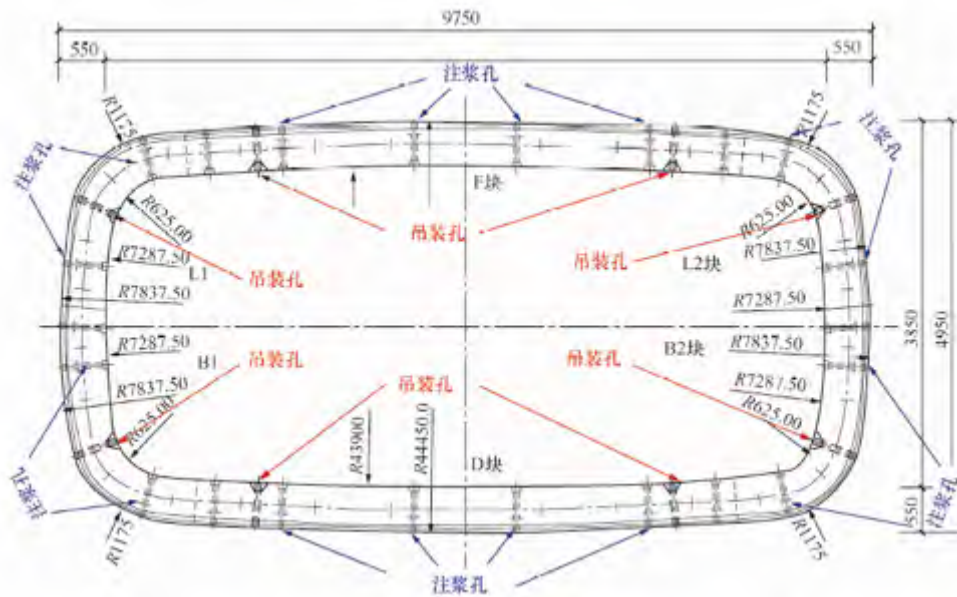


不同外形受力分析  
优化分析

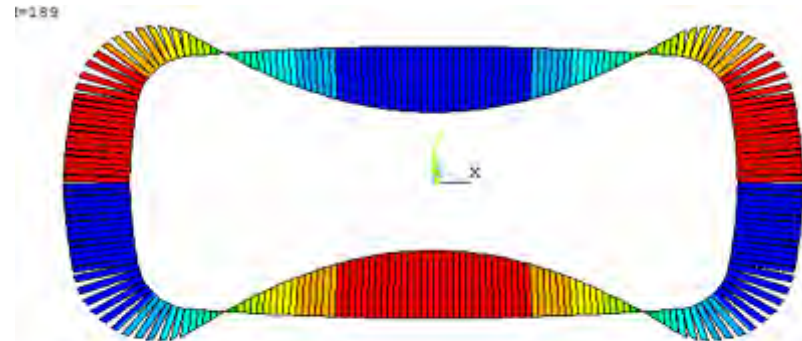
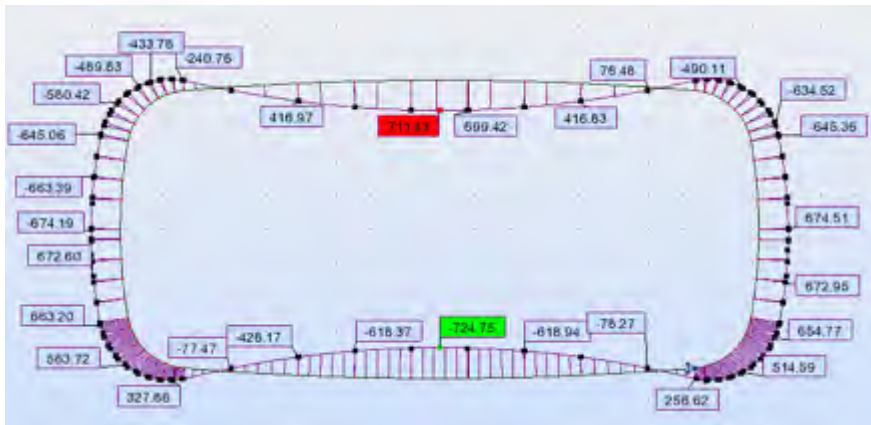


隧道的内力与不同起拱量 的关系

# 不同注浆的荷载

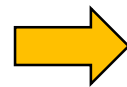
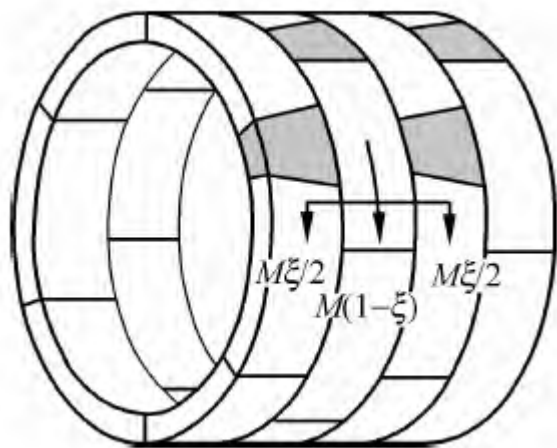


不同注浆荷载的施加，方便，高效

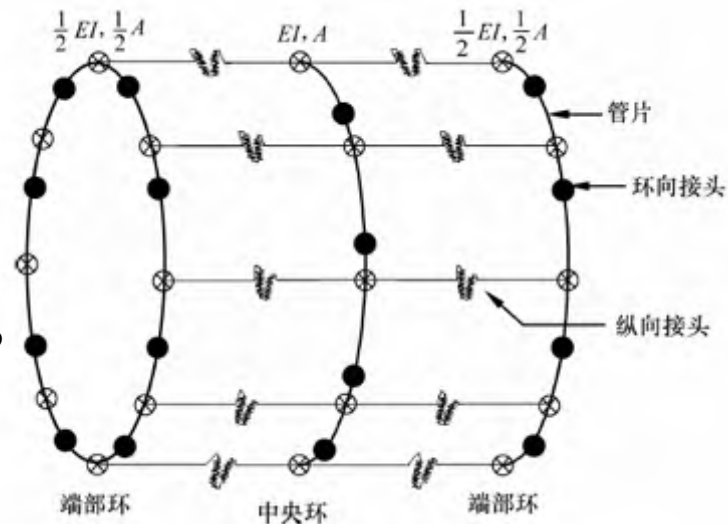


与Autodesk Robot 内力分析对比，误差在2%以内。

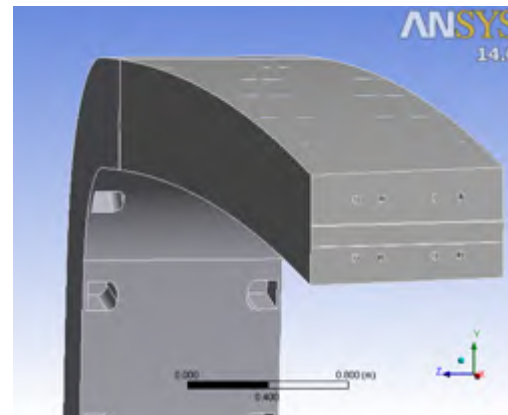
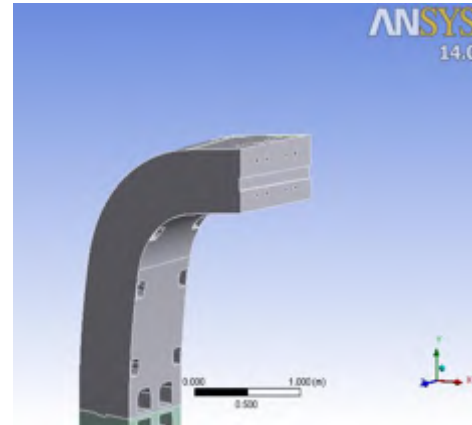
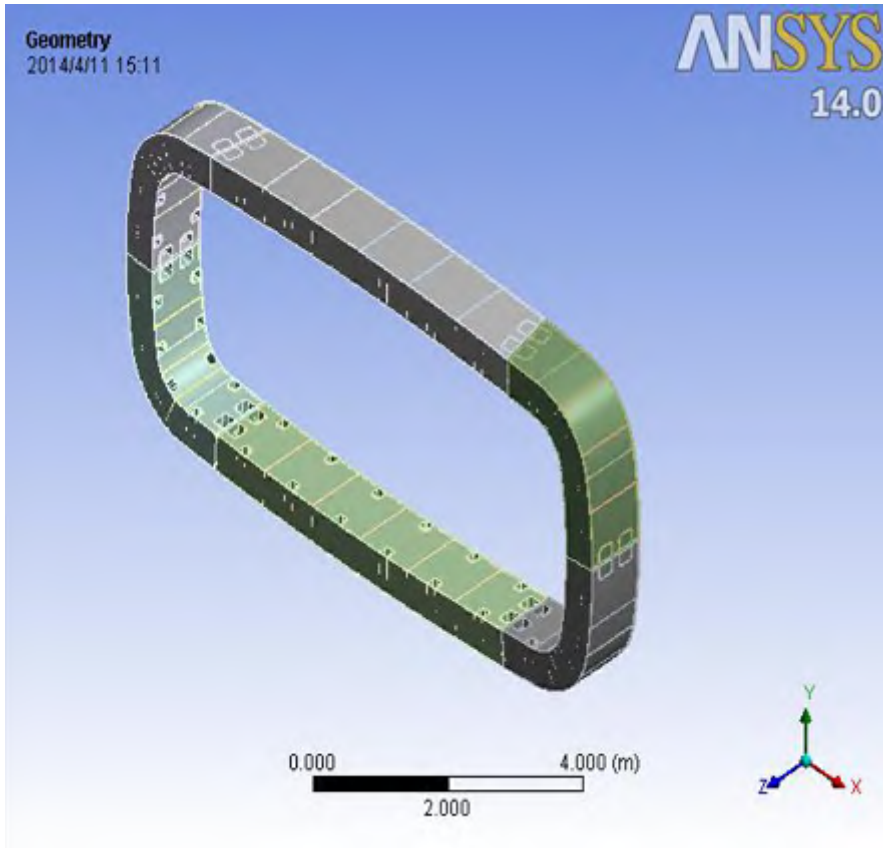
## 问题探讨



环间坐标系的转换？



## 2.4 三维分析



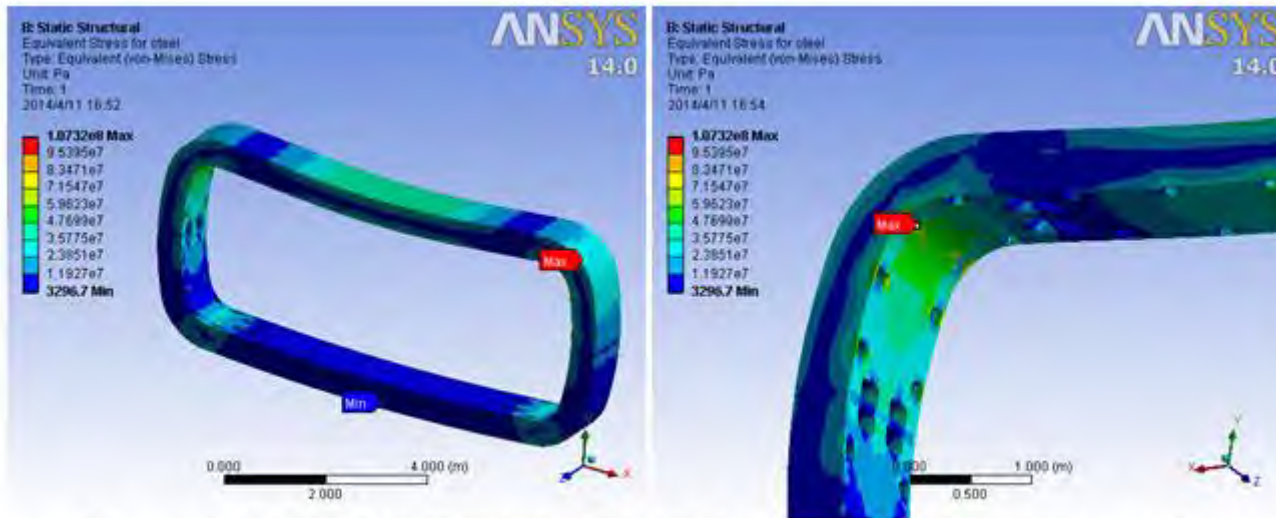
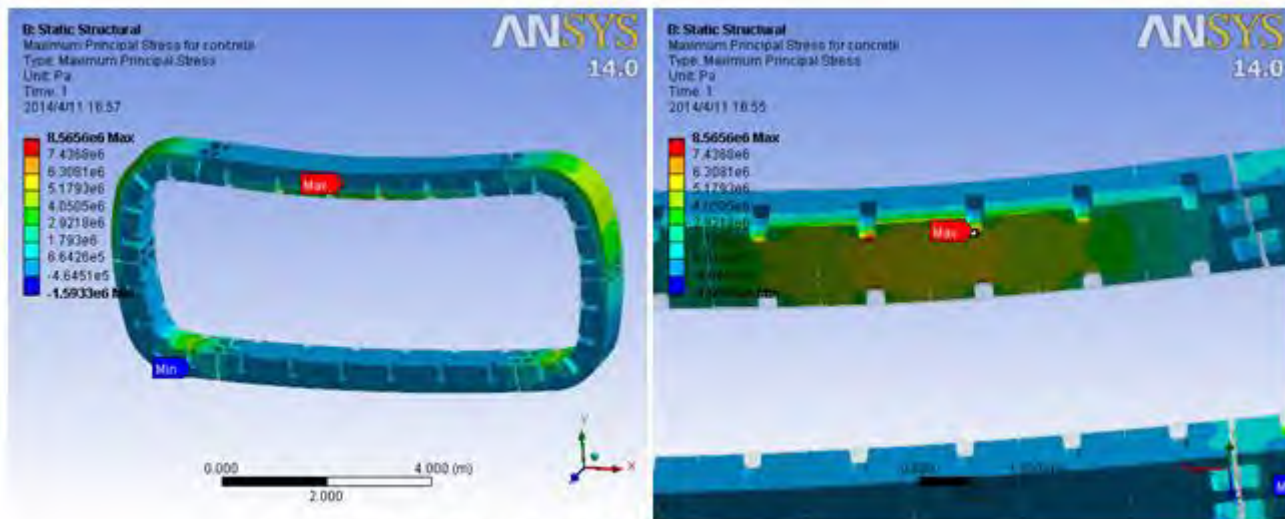
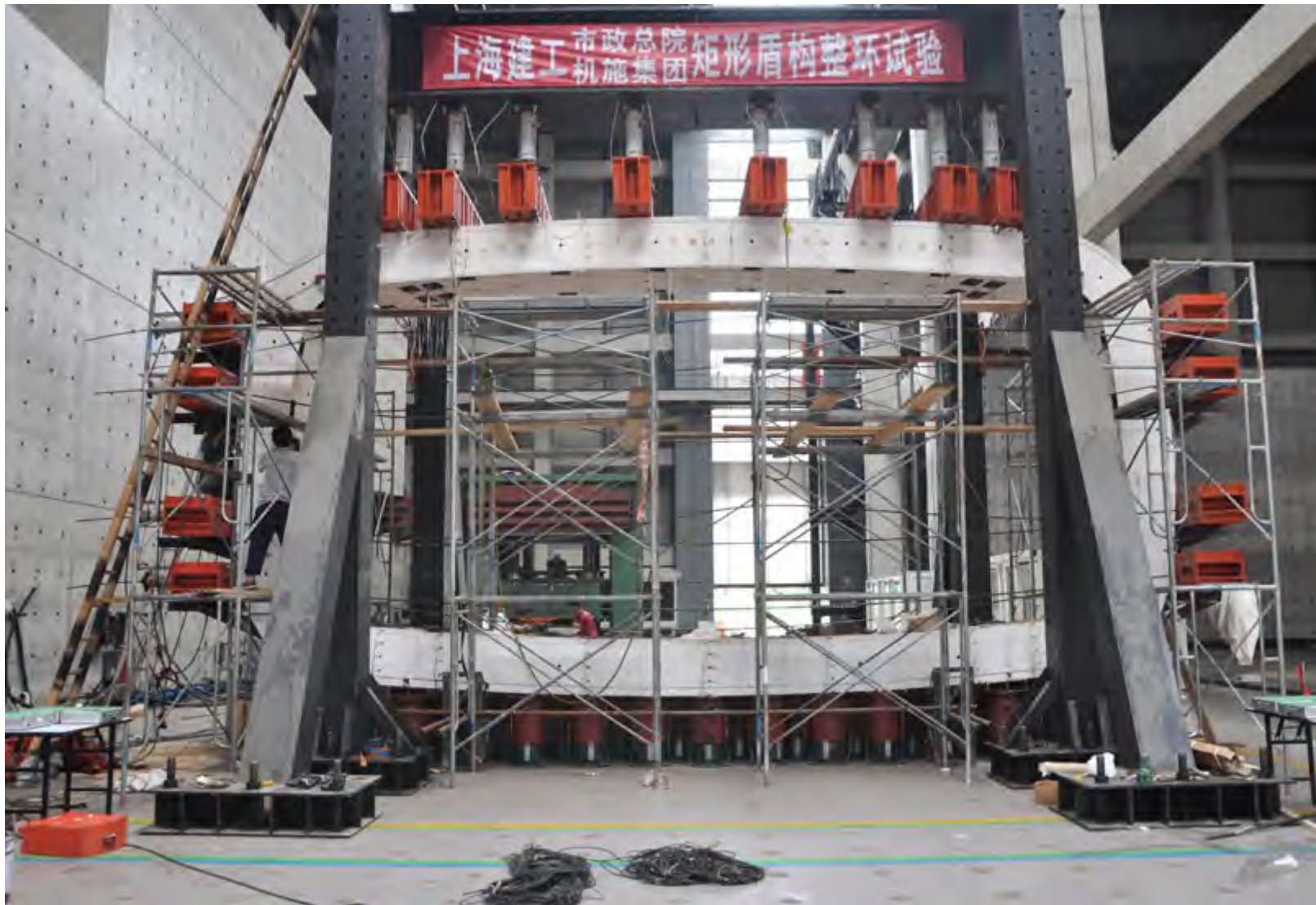


图 2-2 管片钢部分等效应力分布图（最大 VonMises 应力为 107.32MPa）



(1) 最大主拉应力（最大主拉应力为 8.5656MPa）

## 数值仿真分析+物理模型



为了验证工程的可靠性，开展整环试验，实现数值分析与物理模型的对比。



ANSYS



仿真  
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

感谢聆听



ANSYS-China