

# 中国土木工程学会隧道及地下工程分会文件

---

## 2016 中国隧道与地下工程大会（CTUC）暨中国土木工程学会 隧道及地下工程分会第十九届年会征文通知

（第 1 号）

### 各理事及相关单位：

2016 中国隧道与地下工程大会暨中国土木工程学会隧道及地下工程分会第十九届年会定于 2016 年 10 月 22 日-26 日在四川省成都市举行。本次大会的举办，旨在进一步推进隧道及地下工程规划、设计、施工、运营管理等方面的新发展，进一步交流工程经验与成果，推动隧道及地下工程的新理念、新理论、新技术、新工艺、新材料和新成果。

### 主办单位

中国土木工程学会隧道及地下工程分会

### 承办单位

西南交通大学

交通隧道工程教育部重点实验室

### 协办单位

中铁科学研究院有限公司

### 大会主题

# 现代隧道工程的挑战

## 主要议题

- 1、深埋长大隧道工程的先进理念与设计
  - (1) 深埋长大隧道的勘察、设计与研究
  - (2) 深埋长大隧道的新技术、新材料、新工艺
  - (3) 深埋长大隧道维修保养技术
- 2、地铁及城市地下空间的先进修建技术
  - (1) 城市轨道交通修建技术
  - (2) 城市地下空间施工技术
  - (3) 地铁及城市地下空间维修保养技术
- 3、水下隧道的先进修建技术
  - (1) 越江隧道修建技术
  - (2) 海底隧道修建技术
  - (3) 水下隧道维修保养技术
- 4、隧道工程环保与防灾救灾技术
  - (1) 隧道工程环保技术与预防措施
  - (2) 隧道工程修建与运营防灾救灾技术
  - (3) 隧道工程病害治理技术
- 5、重大工程案例研究
  - (1) 成兰铁路隧道
  - (2) 蒙华铁路隧道
  - (3) 公路隧道案例
  - (4) 城市地下综合交通枢纽工程

## (5) 渤海海峡隧道

### 日程安排:

时 间	事 项	地 点
10月22日	会前培训 (“深长隧道的岩石力学与工程问题”)	西南交通大学
10月23日	会前培训 (“城市地下空间开发与利用”)	西南交通大学
10月24日	年会会议	西南交通大学
10月25日	年会会议	西南交通大学
10月26日	会后参观考察: 成兰铁路工地/ 成都地铁	

### 会前培训报名:

报名相关事宜请参见会议二号通知

### 论文征稿

- 1、 热烈欢迎各位人士踊跃投稿, 会议录用论文较优秀者将推荐到《现代隧道技术》等正式出版, 其余论文将以《现代隧道技术》(增刊)形式收录在《论文集》中。
- 2、 论文应具有一定的学术或应用推广价值, 并且未在国内外公开发表过。**论文全文提交截止日期: 2016年4月31日。**

### 会议参展:

会议期间将设立精品展示区域，展示内容主要包括隧道与地下工程低碳生态型设计与规划、隧道与地下工程优秀施工管理、施工和检测的先进设备、绿色环保材料与工艺宣传等，欢迎各相关单位参与。参展报名截止日期为 2016 年 3 月 31 日。具体报名相关事宜请参加会议二号通知。

**联系方式：**

中国土木工程学会隧道及地下工程分会联系人：常翔 副秘书长  
(0379-62632097)

邮箱：crtgcx@163.com

承办单位联系人：许炜萍（13541297309）邮箱：xwp1981@126.com

附件 1：论文编辑格式与要求

附件 2：作者联系方式

附件 3：样稿格式



抄报：中国土木工程学会

# 《现代隧道技术》论文排版格式

## 1、标题

正标题二号小标宋居中，如需排两行，为上长下短。如有副标题，副标题在正标题下方，前加破折号，三号仿宋居中。

## 2、姓名

楷体四号居中，姓名为两个字的中间空一格。当有多个作者时，作者姓名之间用逗号隔开，最后一个姓名后不加任何标点符号。

## 3、作者单位

五号仿宋，居中（包括单位全称，所在地及邮编）

## 4、摘要

摘要按照 EI 要求撰写。对于科技期刊的文章，文摘主要由 3 部分组成，即：研究的问题、过程和方法、结果。

中文摘要为小五号宋体，摘要二字为小五号黑体，中间空两个空格（即以个汉字长度）并加粗，如：“**摘 要**”。

英文摘要字体一律采用 Times New Roman 字体，字体大小为五号，**Abstract** 一词加粗且首字母大写。

## 5、关键词

中英文关键词的位置放在相应的摘要内容后另其一行顶格。中文关键词字体为小五号黑体，如“**关键词**”。关键词内容文字为小五号宋体。

英文关键词字体字体一律采用 Times New Roman 字体，**Keywords** 一词加黑且首字母大写号。

例如：

**关键词** 隧道 现场试验 空气动力学

**Keywords** Tunnel; In-situ experiment; Aerodynamic

## 6、正文

正文字体为宋体，大小为五号。段落行距为最小行距。

## 6、文中标题

正文中标题后一般不加任何标点符号，标题一般不超过三个层次：

一级标题：四号宋体，顶格书写，序号用 1, 2, 3……，序号后不用任何标点符号（比如“、”）；

二级标题：五号黑体，顶格书写，序号用 1.1, 1.2, 1.3……，表示；

三级标题：五号宋体，顶格书写，序号用 1.1.1, 1.1.2, 1.2.3……，表示。

以上标题下正文另起一行。

## 7、度量单位和符号

均使用国家标准和国际通用符号。变量符号用斜体，单位符号用英文正体，如  $V=10\text{m/s}$ ， $\text{km}^2$ ， $\text{kg}$  等；元素符号用英文正体（注意区分大小写），公式、算式、方程式均在右侧编排序号，并加圆括号；面积请勿用“亩”表示，而需换算为  $\text{hm}^2$ （公顷）；每个数字后需加量词，如 2~3 亿， $30\text{cm}\times 20\text{cm}$ ，破折号占两字格；单位一律用外文符号表示，如  $1.314\times 10^5\text{kW h/a}$ 。

## 8、数字

文中明确表示数量和年、月、日及年代均用阿拉伯数字（如 2002 年 5 月 1 日，20 世纪 90 年代）。习惯用语和表示大意的词语可用汉字（如三五年、三省一市），序数词用汉字（如第一、第二），百分比用数字表示，每个都需加百分号（如 5%~11%），数字单位和符号间空 1/4 格，数字 3 位空 1/4 格。

## 9、图表

表头名字体为小五号黑体，居中，写在表格上方。表序号和表名中间空一格。表用 3 线格，不加竖线，表中文字用小五号宋体。

图名在图下方，字体为小五号宋体，居中，与图序号间空一格，不加标点符号。图中文字用六号宋体。

## 10、参考文献

“参考文献”四字字体为五号黑体。正文为小五号宋体。参考文献必须为公开出版物，参考文献序号用阿拉伯数字。正文中引用文献在文章中的引用处右上角加注序号，并加方括号。论文的参考文献条数应不少于 8 条。参考文献为中英文对照形式，英文题目可通过相关文献数据库（知网、万方等）查询。

### （1）专著写法：

“序号 作者. 书名[M]. 版次（2 版以上）. 出版地：出版者，出版年”

例如：

[1] 赵选民，徐伟等. 数理统计[M]. 第 2 版. 北京：科学出版社，2000

注：如有两个以上作者，作者姓名间用逗号分开，出版年后不加任何标点符号。

## (2) 译著写法:

“(原作者国籍)原作者中文译姓名. 中译书名[M]. 译者. 版次(2版以上). 出版地: 出版者, 出版年”

例如:

[2] (美) 西恩科 MJ 等著. 化学实验[M]. 吕云阳等译. 北京: 人民教育出版社, 1982

注: 外国作者的缩写名后不加“.”。

## (3) 期刊写法

“序号 文章作者. 文章名. 刊名[J], 年(期), 卷: 页次”

例如:

[3] 陶仁骥. 密码学与数学. 自然杂志[J], 1984, 7(7): 527~533

## (4) 会议文献

[序号] 析出文献主要责任者.析出文献题名 [A] .原文献主要责任者(可选).原文献题名 [C] .出版地: 出版者, 出版年.起止页码

例如:

[4] 钟文发.非线性规划在可燃毒物配置中的应用 [A] .赵炜.运筹学的理论与应用——中国运筹学会第五届大会论文集[C].西安:西安电子科技大学出版社,1996.468.

## (5) 学位论文

“序号 作者. 论文名称: [学位论文]. 出版地: 出版者, 出版年”。

例如:

[5] 王选仓. 路面设计中的交通参数分析: [博士论文] . 上海: 同济大学, 1993

## 11、作者简介

“作者简介”用六号黑体左起顶格排, 后空一格, 简介内容包括姓名、性别、职称、学位、研究领域、基金资助等内容。字体用六号宋体。

## 附件 2: 作者联系方式

作者姓名		单位 / 职务、职称	
E-mail			
联络地址		联络电话 / 传真	
邮编			

# 巷道注浆加固围岩稳定参数敏感性分析

×××<sup>1</sup> ×××<sup>2</sup> ×××<sup>1</sup> ×××<sup>1</sup> ×××<sup>1</sup>  
(1××科技大学,北京 100000; 2×××工程局,北京 100000)

**摘要** 在玲珑金矿工程地质调查研究等前期工作的基础上,将围岩参数弹性模量  $E$ 、泊松比  $\mu$ 、内聚力  $C$ 、内摩擦角  $\phi$ ,以及注浆压力  $P$ 和注浆时间  $t$ 作为围岩稳定影响因素,采用无量纲化的敏感性分析方法,通过数值模拟得到各参数条件下巷道二期注浆开挖施工过程中围岩右边墙和底部的位移,进而计算和分析注浆加固过程中各围岩参数及注浆参数对巷道稳定性的影响,以指导巷道开挖、加固与治理。

**关键词** 巷道围岩 稳定性 注浆 参数 敏感性  
**中图分类号**:TD322.4 **文献标识码**:B

## 1 概述

目前,数值分析方法广泛地应用于巷道围岩的稳定性分析,最常用的有边界元法、有限元法、有限差分法和离散元法等。这些数值分析方法计算速度快、精度高,但其结果的准确性和可靠性则要看计算分析的力学或数学模型、边界条件及各类计算参数等能否正确选择<sup>[1]</sup>。然而影响围岩稳定的因素和参数很多,这些因素和参数计算出来的结果,又该如何评价?本文以玲珑金矿 255 m 水平运输巷道为例,对影响围岩稳定性的参数敏感性进行分析。

## 2 敏感性分析方法

### 2.1 简介

敏感性分析在岩土工程领域中已有一定的应用<sup>[2,3]</sup>。设有一个系统,其系统特性  $\Psi$  主要有  $n$  个因素  $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  所决定,即  $\Psi = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ 。在某一基准状态 ( $\alpha^* = \alpha_1^*, \alpha_2^*, \dots, \alpha_n^*$ ) 下,系统特性为  $\Psi^*$ 。分别令这些因素在各自的可能范围内变动,分析由于这些因素的变动,系统特性  $\Psi$  偏离基准状态  $\Psi^*$  的趋势和程度,这种分析方法称为敏感性分析方法<sup>[4]</sup>。

敏感性分析首先要建立系统模型,即系统特性与因素之间的函数关系  $\Psi = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ 。这种函数

关系可用解析式表示,对于较复杂的系统,也可用数值方法或图标法表示。

其次,根据所要分析的具体问题给出基准参数集。基准参数集确定后,就可对各参数进行敏感性分析。分析参数  $\alpha_k$  对系统特性  $\Psi$  的影响时,可令其余参数取基准值且不变,而令  $\alpha_k$  在其可能的范围内变动,此时,系统特性  $\Psi$  表现为:

$$\Psi = f(\alpha_1^*, \dots, \alpha_{k-1}^*, \alpha_k, \alpha_{k+1}^*, \dots, \alpha_n^*) = \varphi(\alpha_k) \quad (1)$$

特性曲线  $\Psi - \alpha_k$  如图 1 所示,可了解系统特性  $\Psi$  对参数  $\alpha_k$  扰动的敏感性。在  $\alpha_k = \alpha_{k1}$  附近,  $\alpha_k$  微小变化将引起  $\Psi$  较大变化,此时  $\Psi$  对  $\alpha_k$  很敏感;而在  $\alpha_k = \alpha_{k2}$  附近,  $\alpha_k$  在较大范围内变动,而  $\Psi$  变化甚微,此时  $\Psi$  对  $\alpha_k$  不敏感,  $\alpha_k$  为低敏感参数。

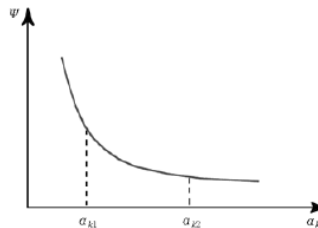


图 1 系统特性曲线  $\Psi - \alpha_k$

Fig.1 System characteristic graph  $\Psi - \alpha_k$

修改稿返回日期:2007-06-22

基金项目:国家自然科学基金重大项目(50074002)。

作者简介:×××,男,讲师。



2.2 无量纲化处理

以上分析仅能了解系统特性对单因素的敏感行为,在实际系统中,决定系统特性的各因素往往是不同的物理量,其单位各不相同。凭借以上分析,无法对各因素之间的敏感程度进行比较。因此,需进行无量纲化处理,定义无量纲形式的敏感度函数和敏感度因子。将系统特性  $\Psi$  的相对误差  $\delta_\Psi = |\Delta\Psi|/\Psi$  与参数  $\alpha_k$  的相对误差  $\delta_{\alpha_k} = |\Delta\alpha_k|/\alpha_k$  的比值定义为参数  $\alpha_k$  的敏感度函数  $\gamma_k(\alpha_k)$ 。

$$\gamma_k = \frac{|\Delta\Psi|}{\Psi} \bigg/ \frac{|\Delta\alpha_k|}{\alpha_k} = \left| \frac{\Delta\Psi}{\Delta\alpha_k} \right| \frac{\alpha_k}{\Psi} \quad (2)$$

当  $|\Delta\alpha_k|/\alpha_k$  较小时,  $\gamma_k(\alpha_k)$  可以近似地表示为:

$$\gamma_k = \left| \frac{d\Psi}{d\alpha_k} \right| \frac{\alpha_k}{\Psi} \quad (3)$$

敏感度函数曲线  $\gamma_k-\alpha_k$  如图 2 所示。

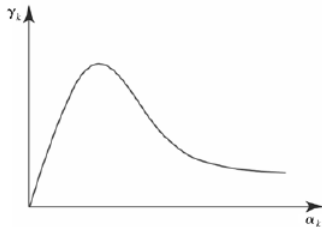


图 2 敏感度函数曲线  $\gamma_k-\alpha_k$

Fig.2 Sensitivity function graph  $\gamma_k-\alpha_k$

取  $\alpha_k = \alpha_k^*$ , 即可得到参数  $\alpha_k = \alpha_k^*$  的敏感度因子  $\gamma_k^*$ :

$$\gamma_k^* = \left| \frac{d\phi(\alpha_k)}{d\alpha_k} \right| \frac{\alpha_k^*}{\Psi_k} \quad (4)$$

$\gamma_k^*, k=1,2,\dots,n$ , 为无量纲非负实数。 $\gamma_k^*$  越大,表明在基准状态下,  $\Psi$  对  $\alpha_k$  越敏感。通过对  $\gamma_k^*$  的比较, 就可以使系统特性对各因素的敏感性进行比较评价。

3 玲珑金矿巷道围岩稳定性的参数敏感性分析

应用上述敏感性分析方法, 对影响山东玲珑金矿 255 m 水平主运输巷道围岩稳定性的各主要因素作参数敏感性分析。

3.1 计算模型和网格划分

本文采用 FLAC<sup>3D</sup> 对巷道开挖围岩稳定性进行模拟<sup>[9]</sup>。根据巷道围岩条件建立三维计算模型, 如图 3 所示。模型沿巷道方向长 160 m, 横向宽 129.8 m, 平均高 115 m。模型包括新、旧两条主运巷, 主运巷

距地表 35 m、距模型底面 80 m, 巷道界面尺寸为  $D=2.3\text{ m}, H=2.6\text{ m}$ , 巷道采用全断面开挖法进行开挖, 新巷开挖支护段位于模型中部。从巷道至模型边界共划分 50 480 个立方体单元。边界条件: 模型侧面限制水平移动, 底面限制垂直移动, 上部为自由面。图 4 为三维计算模型 X-Z 剖面图。

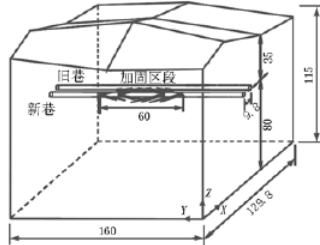


图 3 三维计算模型(单位:m)

Fig.3 3-D computation model

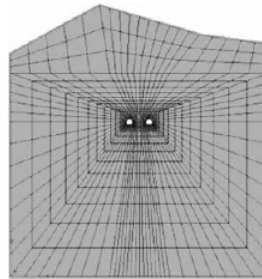


图 4 计算模型 X-Z 剖面

Fig.4 X-Z section of computation model

3.2 巷道围岩稳定性敏感参数

本次计算范围主要是模拟在新巷加固的二期注浆开挖工程。系统特性, 即巷道围岩系统的稳定性, 用新巷的右边墙和底部的位移  $s$  来表征。

进行敏感性分析的围岩参数为弹性模量  $E$ 、泊松比  $\mu$ 、内聚力  $c$ 、内摩擦角  $\phi$ 。由于此次模拟的是一个注浆加固工程, 所以除了考虑前面四个参数外, 还要考虑注浆压力  $P$  和注浆时间  $t$  的敏感影响。

3.3 计算参数

(1) 围岩的力学参数

从地表到 115 m 深度范围的岩体, 根据风化和受采动程度的不同大致可分为三类。表 1 给出不同深度岩体及计算所涉及的其它材料, 如注浆充填材

表 1 计算中各介质参数

Table 1 Media parameters for computation

名称	深度/m	容重 /(kg/m <sup>3</sup> )	弹模 /MPa	泊松比 $\nu$	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	粘结力 /MPa	内摩擦角 /°
风化花岗岩体	0~25	2 400	4 000	0.2	35.0	0.6	1.1	32
弱风化花岗岩	25~45	2 612	8 028	0.17	72.88	1.02	1.9	30
花岗岩体	45~115	2 598	11 590	0.274	77.46	0.96	2.05	34
注浆区岩体	$R=10$ m	2 400	3 927	0.227	25.0	4.0	3.0	37
锚固区岩体	$R=3.8$ m	2 500	11 520	0.2	40.0	5.5	4.5	40
C <sub>20</sub> 初喷混凝土层	$\Delta=0.2$ m	1 500	20 000	0.198	6.0	0.5	2.4	34
C <sub>20</sub> 二次衬砌混凝土; $E=2.6 \times 10^4$ MPa, $\mu=0.163$ , $\Delta=0.35$ m, $C=2$ MPa, $\phi=45^\circ$ 20b 轻型工字钢; $E=2.1 \times 10^5$ MPa, $\mu=0.25$ , $@=0.5$ m								

料、混凝土喷层等的力学参数。所有力学参数都是从现场取样,并经实验室试验测定<sup>[6]</sup>。

(2) 敏感性参数取值

根据工程实际情况给出的基准参数表及相关工程手册,将数值模拟时的参数取值列于表 2~表 4,其中第 6 水平为围岩基准参数集。

表 2 0~25 m 的参数取值

Table 2 Adopted parameter values for 0~25 m

水平	E/MPa	$\mu$	C/MPa	$f/(^\circ)$	P/MPa	t/h
1	250	0.1	0.1	22	1.5	0.5
2	1 000	0.12	0.3	24	2	1
3	1 750	0.14	0.5	26	2.5	1.5
4	2 500	0.16	0.7	28	3	2
5	3 250	0.18	0.9	30	3.5	2.5
6	4 000	0.2	1.1	32	4	3
7	4 750	0.22	1.3	34	4.5	3.5
8	5 500	0.24	1.5	36	5	4
9	6 250	0.26	1.7	38	5.5	4.5
10	7 000	0.28	1.9	40	6	5
11	7 750	0.3	2.1	42	6.5	5.5

(3) 地应力场分布规律

原岩应力场由实测获得,1996 年~1997 年共进行了玲珑金矿九曲分矿和大开头分矿 5 个水平和 12 个测点的地应力测量工作,得到了矿区地应力场的分布规律<sup>[7]</sup>,最大水平主应力、最小水平主应力和垂直主应力随深度变化的回归方程如下:

$$\begin{aligned} \sigma_{b\max} &= 0.72+0.05591H(\text{MPa}) \\ \sigma_{b\min} &= 0.80+0.0234H(\text{MPa}) \\ \sigma_v &= 0.32+0.0280H(\text{MPa}) \end{aligned} \quad (5)$$

3.4 计算结果

表 3 25~45 m 的参数取值

Table 3 Adopted parameter values for 25~45 m

水平	E/MPa	$\mu$	C/MPa	$f/(^\circ)$	P/MPa	t/h
1	500	0.12	0.9	20	1.5	0.5
2	2 000	0.13	1.1	22	2	1
3	3 500	0.14	1.3	24	2.5	1.5
4	5 000	0.15	1.5	26	3	2
5	6 500	0.16	1.7	28	3.5	2.5
6	8 028	0.17	1.9	30	4	3
7	9 500	0.18	2.1	32	4.5	3.5
8	11 000	0.19	2.3	34	5	4
9	12 500	0.2	2.5	36	5.5	4.5
10	14 000	0.21	2.7	38	6	5
11	15 500	0.22	2.9	40	6.5	5.5

表 4 45~115 m 的参数取值

Table 4 Adopted parameter values for 45~115 m

水平	E/MPa	$\mu$	C/MPa	$f/(^\circ)$	P/MPa	t/h
1	4 000	0.17	1.05	24	1.5	0.5
2	5 500	0.19	1.25	26	2	1
3	7 000	0.21	1.45	28	2.5	1.5
4	8 500	0.23	1.65	30	3	2
5	10 000	0.25	1.85	32	3.5	2.5
6	11 500	0.27	2.05	34	4	3
7	13 000	0.29	2.25	36	4.5	3.5
8	14 500	0.31	2.45	38	5	4
9	16 000	0.33	2.65	40	5.5	4.5
10	18 500	0.35	2.85	42	6	5
11	20 000	0.37	3.05	44	6.5	5.5

按照表 1~表 4 中的参数值,计算出新巷在二期工程中,位于巷道右边墙和底部的位移  $s-E$ 、 $s-\mu$ 、 $s-c$ 、 $s-\phi$ 、 $s-P$ 、 $s-t$  曲线,如图 5 所示。

由公式(3)和公式(4),得出各参数在基准点的敏感度函数  $\gamma$ (表 5),各参数其它值代入,得出敏感度曲线(图 6)。

3.5 结果分析

根据位移曲线(图 5)及敏感度曲线(图 6)可知:

(1) 在基准值点,敏感因子值最小的是泊松比  $\mu$ ,最大的是弹性模量  $E$ ,其次是注浆压力  $P$ 。

(2) 弹性模量  $E$ 是最敏感的一个参数,右边墙和底部的位移曲线相似,变化幅度大,分别为 1.586 mm 和 2.301 mm;对于右边墙敏感因子在中间点变化最大,两端变化幅度较小,底部敏感因子总体变化幅度不大,但在中间部位变化幅度也比较大。

(3) 最不敏感的因素泊松比  $\mu$ ,虽然位移变化幅度比较大,但其敏感曲线变化幅度是所有参数中

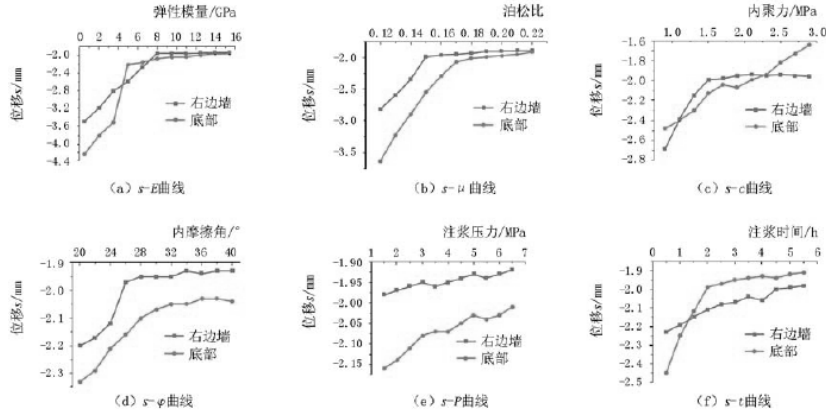


图 5 巷道位移曲线

Fig.5 Displacement graph of the tunnel

最小的,同样是在中间点处的曲线变化率最大,右边墙呈明显上升趋势,底部则比较平滑,由此可知泊松比  $\mu$  对右边墙和底部位移的影响程度是不一样的。

(4) 对于粘聚力  $c$  来说,右边墙和底部位移随着粘聚力的增大而减小,右边墙位移曲线逐渐趋于

表 5 各参数基准点的敏感度因子

Table 5 Sensitivity factors for parameter references

名称	$\gamma_E$	$\gamma_\mu$	$\gamma_c$	$\gamma_\phi$	$\gamma_P$	$\gamma_t$
右边墙	36.41	4.45	12.02	29.30	26.42	31.44
底部	7.38	1.29	5.54	6.83	26.30	22.94

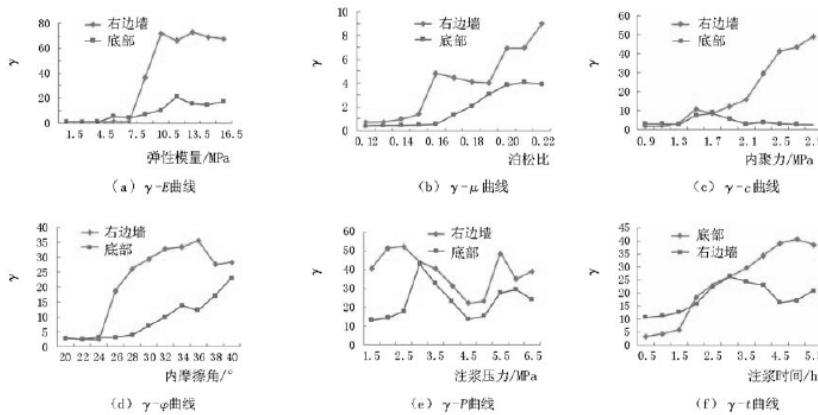


图 6 敏感度曲线

Fig.6 Sensitivity graph

