

文章编号: 1002-0268 (2007) 06-0086-06

# 盾构隧道施工地表沉降数值分析研究

李小青, 朱传成

(华中科技大学 土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 隧道施工引起的地层损失所导致的地表沉降变形预测和控制, 是隧道工程领域重要的研究课题之一。以盾构隧道开挖引起地表沉降变形为研究对象, 采用有限元数值分析软件模拟盾构隧道施工过程, 分析盾构隧道引起的土体应力场、位移场变化, 对比分析不同的地层损失、不同的土体本构模型、土体排水和不排水条件下隧道施工引起的地表沉降变形规律, 并进行了不同影响因素的敏感性分析。结果表明, 地表沉降槽近似正态分布曲线, 地表沉降的主要影响因素依次为隧道埋深、内摩擦角、压缩模量、粘聚力和泊松比; 提出了盾构隧道施工引起的地表沉降计算模型, 并采取有针对性的措施来减少地表沉降, 减小对周围环境的不良影响。

**关键词:** 隧道工程; 盾构隧道; 数值分析; 地表沉降; 影响因素; 敏感性

**中图分类号:** U455.43; P642.26

**文献标识码:** A

## Numerical Analysis on the Ground Settlement Induced by Shield Tunnel Construction

LI Xiao-qing, ZHU Chuan-cheng

(School of Civil Engineering & Mechanics, HUST, Hubei Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Forecast and control of the deformation caused by stratum loss in the tunnel construction is one of the important research issues in the field of tunnel engineering. The ground settlement induced inevitably by shield tunnel excavation is taken as a study object. The process of the shield tunnel excavation is simulated by FEM, the variation of the stress and displacement field caused by tunnel excavation is analyzed, and the ground settlement induced by the stratum loss is studied. The ground settlement of the different soil constitutive equations, soil drained and undrained is compared, the sensitivity of the main influence factor of the ground settlement is analyzed. The results show that the transverse distribution of the groove of the ground settlement is the same as the Gaussian distribution. Main influence factors of the ground settlement are embedded depth, inner friction angle, modulus of compression, cohesive and Poisson ratio in file. The calculating model of the ground settlement induced by shield tunnel construction is proposed. And the correlation measures reducing the ground settlement and diminishing the badness influence on the surrounding environment may be taken.

**Key words:** tunnel engineering; shield tunnel; numerical analysis; ground settlement; influencing factor; sensitivity

## 0 引言

盾构隧道施工不可避免地会引起地表沉降, 影响邻近的建筑物和地下管线的正常使用。为减少隧道施工对周围环境的不良影响, 必须对地表沉降变形进行预测及控制。目前国内外已经有较多的关于预测地表沉降的方法, 但在盾构隧道施工过程中, 影响地表沉降的因素有很多, 任何简单实用的计算方法均无法反应众多因素的综合影响。由于数值分析方法可以较为

全面地考虑影响地表沉降的各种因素, 较为准确地预测隧道施工引起的地表沉降变形, 因此, 对隧道施工引起的地表沉降进行数值分析研究具有极为重要的理论和现实意义。

Ghabboussi<sup>[1]</sup> (1983) 采用了二维和三维有限单元法模拟分析了在 2 条地下通道上方施工穿越隧道的力学影响, 并与实测进行了对比。Sagaseta<sup>[2]</sup> (1987) 提出了仅考虑土体损失的应变法。Lee 和 Rowe<sup>[3]</sup> (1990) 采用三维有限单元法, 分析参数选取对隧道

收稿日期: 2006-11-15

基金项目: 武汉长江隧道工程关键技术研究项目 (WHCSJ/KY/04-02-2005)

作者简介: 李小青 (1965 -), 男, 湖北罗田人, 博士后, 副教授, 从事道路方面的教学与科研工作. (lixiaoqing108@163.com)

开挖计算结果的影响, 得出各项参数对开挖计算结果的影响规律。Loganathan<sup>[4]</sup> (1998) 在数值分析中认为隧道周围土体会产生椭圆形的非等量径向位移。国内外研究表明有限元方法是研究隧道开挖问题的有效方法。

本文以武汉长江隧道工程为背景, 采用 ADINA 有限元软件模拟盾构隧道施工过程, 开展隧道施工引起的地层损失所导致的地表沉降变形的数值分析研究, 研究地表沉降变形规律及地表沉降变形影响因素, 从而有针对性地采取措施控制、减少地表沉降, 减小对周围环境的不良影响。

## 1 盾构隧道施工数值模拟

### 1.1 隧道施工的数值模拟分析思路

(1) 建立隧道施工模拟的有限元分析模型, 如图 1 所示。模型宽度取 100 m, 深度取 60 m, 隧道直径  $D = 10$  m, 隧道中心埋深  $H = 20$  m。

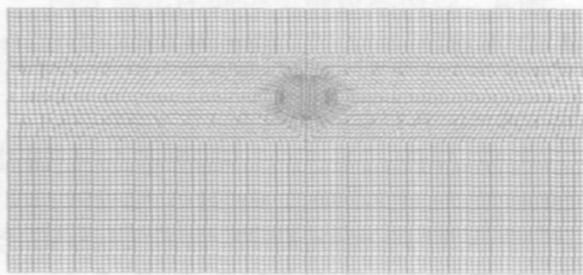


图 1 有限元网格模型

Fig. 1 FEM gridding model

(2) 定义相关的边界条件、重力荷载和土体材料属性等; 计算自重条件下产生的地表沉降, 消除土的先期沉降对隧道开挖后沉降的影响;

(3) 利用 ADINA 支持模型中单元生死定义, 模拟复杂的开挖和衬砌支护过程<sup>[5]</sup>, 激活衬砌单元, 计算隧道开挖引起的土层损失所产生的地表沉降。

在这个过程中, 通过杀死隧道开挖的土体单元, 同时激活隧道四周的衬砌单元, 当激活衬砌单元之后, 杀死衬砌四周土体损失的单元来模拟隧道开挖所形成的土体损失, 从而模拟隧道开挖引起的土体损失所造成的地表沉降。

### 1.2 模型参数的确定

土体物理力学性能参数如表 1 所示。在分析过程中, 土体本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型、Drucker-Prager 模型和 Cam-Clay 模型<sup>[6]</sup>, 同时利用二次开发出的 Duncan-Chang 模型进行对比分析。Duncan-Chang 模型参数如表 2 所示。

表 1 土体物理力学性能指标

Tab. 1 The physical and mechanical characteristics index of soil

序号	土质	厚度 /m	重度 /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$E/\text{MPa}$	$\mu$	$C/\text{kPa}$	$\varphi/(\circ)$	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	填土	4.0	18.0	5.0	0.35	10.0	25	$1.0 \times 10^{-8}$
2	粉质粘土	6.0	18.5	9.0	0.35	15.0	20	$1.5 \times 10^{-9}$
3	粘土	20.0	19.9	10.2	0.35	20.0	20	$3.0 \times 10^{-9}$
4	粉砂	20.0	18.6	25.0	0.25	7.5	30	$2.0 \times 10^{-6}$
5	中砂	10.0	18.0	40.0	0.30	5.0	35	$2.0 \times 10^{-5}$
6	衬砌结构	0.50	25.0	35 000	0.17	-	-	-

表 2 土体 Duncan-Chang 模型参数

Tab. 2 The parameter of Duncan-Chang model

序号	土质	$C/\text{kPa}$	$\varphi/(\circ)$	$K$	$n$	$R_f$	$G$	$F$	$D$	$k_{ur}$
1	填土	10.0	25	93.1	0.30	0.76	0.34	0.03	2.5	140.0
2	粉质粘土	15.0	20	47.7	0.14	0.77	0.31	0.03	2.1	75.0
3	粘土	20.0	20	46.6	0.28	0.73	0.28	0.12	2.0	70.0
4	粉砂	7.5	30	152.8	0.29	0.75	0.30	0.02	2.8	229.2
5	中砂	5.0	35	140.7	0.27	0.74	0.29	0.03	2.7	212.3

采用 ADINA 考虑土体渗流的时候, 需要输入多孔介质的渗透率。渗透率是表征多孔介质渗透性能的常数, 只与多孔介质本身性质有关, 常用  $k$  表示, 单位是  $\text{m}^2$ ; 渗透系数常用  $K$  表示, 单位是  $\text{m/s}$ , 它与渗透率  $k$  之间存在以下关系<sup>[7]</sup>:

$$K = gk/\mu, \quad (1)$$

式中,  $\rho$  为液体的密度, 计算中即水的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $\mu$  为液体的动力粘度系数,  $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ , 25 水的  $\mu$  为  $0.001 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

由式(1)可知, 土层的渗透系数  $K$  通过计算可以转化为 ADINA 程序需要的渗透率  $k$ 。在工程计算中压力和模量采用 Pa 为单位, 时间采用 s 为单位, 因此只要把渗透系数  $K$ (单位是  $\text{m}/\text{d}$ ) 除以 10 作为  $k$  就可以得到相同的结果, 即:

$$k = K/10. \quad (2)$$

## 2 模拟计算结果分析

### 2.1 地层损失引起的地表沉降

国内外实践表明, 隧道施工会产生地层损失, 隧道周围土体在弥补地层损失中, 发生地层移动, 引起地表沉降。图 2 为不同地层损失时地表沉降变形计算结果。

(1) 地表沉降的横向分布近似为正态分布曲线, 这与 Peck<sup>[8]</sup> (1969) 提出的地表沉降槽变化规律是一致的。地表沉降影响范围为  $-30 \sim 30$  m 之间, 因此在施工过程中应对此范围内的建筑物及地下管线加强监测、保护工作。

(2) 随着地层损失率(由 0.5% 增至 2.0%) 的增

大,地表沉降增大,且增加幅度较大,因此在隧道施工过程中要加强施工管理,严格控制地层损失,以减小地表沉降。

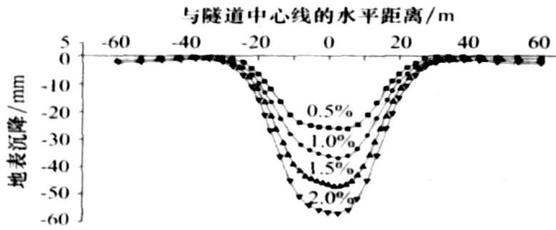


图 2 不同地层损失时地表沉降变形规律

Fig. 2 The ground settlement pattern of different stratum loss

### 2.2 不同本构模型的地表沉降变形

图 3 为采用不同土体本构模型计算得出的地表沉降变形结果。结果显示,Drucker-Prager 模型沉降槽最浅,Duncan-Chang 模型其次,Mohr-Coulomb 模型较深,Cam-Clay 模型的沉降槽最深。随着离隧道中心的距离越来越远,各沉降槽逐渐靠近,并最终趋近于零,但是不同的沉降槽趋近于零的快慢不同,沉降槽的宽度恰好体现了这种趋近的速度。按沉降槽由浅到深的顺序,各种模型的沉降槽宽度依次为 90、70、70、60 m。即在 4 种模型中,沉降槽最浅的 Drucker-Prager 模型对周边地表影响范围最大,沉降槽最深的 Cam-Clay 模型对周边地表影响范围最小。

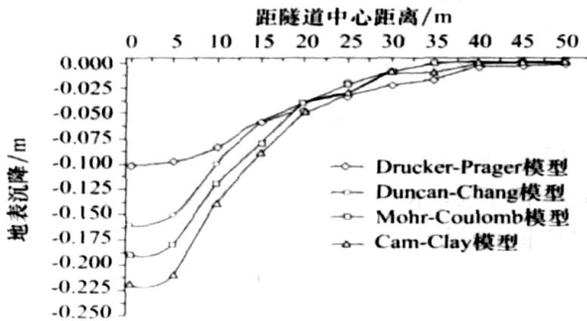


图 3 不同本构模型地表沉降曲线

Fig. 3 The curve of the ground settlement of different soil constitutive equations

根据 Peck 地表沉降理论计算得  $\max = 0.18$  m。而利用 4 种模型所计算的最大沉降值分别为 0.103、0.22、0.16、0.19 m,因此采用 Mohr-Coulomb 模型计算的结果较为接近 Peck 理论分析结果,在以下的分析中均采用此本构模型。

图 4 为隧道开挖前后土体沉降变形云图。为了消除土体历史沉降的影响,在开挖隧道之前,首先计算土体在自重作用下的沉降变形(图 4(a)),土体在自重作用下沉降是均匀的、分层的。图 4(b)为隧道开挖之后

的土体沉降变形云图,土体在受到隧道开挖的扰动之后,隧道上方的土体会继续发生沉降,在隧道上方沉降较大,当逐渐远离隧道时,沉降则逐渐减小,当超过一定范围之后,对地表沉降不再产生影响。

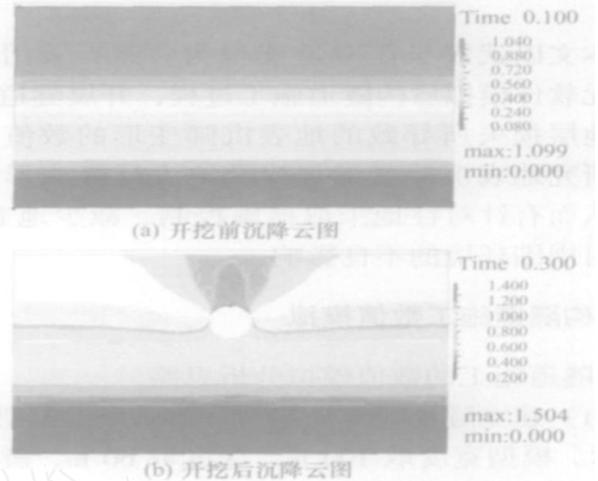


图 4 盾构隧道施工引起的沉降云图

Fig. 4 The nephogram of settlement induced by shield tunnel construction

### 2.3 排水与不排水计算结果对比分析

图 5 为考虑开挖过程中土体排水与不排水情况下地表沉降槽曲线对比结果。由图 5 结果可以看出,土体排水与不排水时地表沉降槽均近似为正态分布曲线。但不排水条件下的沉降最大值为 0.19 m,排水条件下沉降最大值为 0.25 m,排水条件比不排水条件下沉降最大值大 31.6%。从沉降槽的宽度来看,不排水的沉降槽宽度为 70 m,排水条件下沉降槽宽度为 80 m。可见,排水情况下的沉降结果比不排水情况下的要大,地表影响范围更宽,不排水情况下的沉降槽曲线完全被包裹在排水沉降槽之内,但当逐渐远离隧道中心的时候,两者之间的差距逐渐减小。

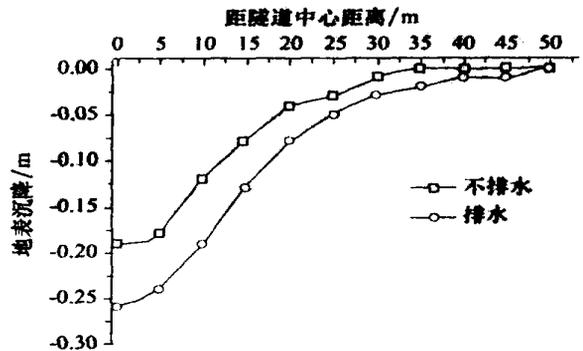


图 5 土体排水与不排水时地表沉降槽对比

Fig. 5 Contrast of the ground settlement groove between soil drained and undrained

### 3 地表沉降影响因素的敏感性分析

#### 3.1 影响地表沉降的因素

影响地表沉降的因素很多,包括隧道埋深、土体强度参数、设计与施工方法、结构类型、开挖前土体的加固方式以及开挖过程中地下水的流失等等。本文主要对相对埋深、土体强度等主影响因素进行敏感性分析。

#### 3.2 相对埋深的影响

相对埋深  $H/D$  为隧道中心点到地表的距离  $H$  与隧道直径  $D$  之比。相对埋深  $H/D$  对地表沉降影响的计算结果如图 6、图 7 所示。

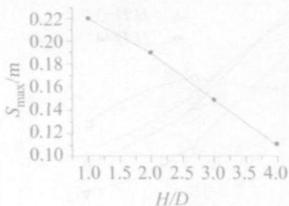


图 6 地表最大沉降随  $H/D$  变化曲线

Fig. 6 The curve of the maximal ground settlement changed with  $H/D$

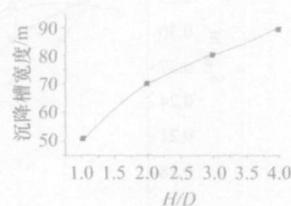


图 7 地表沉降槽宽度随  $H/D$  变化曲线

Fig. 7 The curve of the width of the ground settlement groove changed with  $H/D$

结果显示:当  $H/D$  从 1 到 4 变化的时候,地表最大沉降量依次为 0.22、0.19、0.15、0.11 m,地表沉降槽的宽度依次为 50、70、80、90 m。可见,随着埋深的增大,地表最大沉降越来越小,近似呈线性关系,而沉降槽正好相反,其宽度越来越大,也近似呈线性关系。考虑到地表最大沉降的迅速减小,结合图 8(a)、图 9(a)、图 10(a)、图 11(a)可看出,随着隧道埋深的增大,隧道开挖过程中产生的土体损失对地表沉降的影响越来越小。

#### 3.3 土体性质的影响

土体强度对地表沉降有着非常大的影响,为了定量地分析土体参数对地表沉降的影响,分别改变土体的压缩模量、粘聚力、泊松比和摩擦角等 4 个参数,来分析土体参数对地表沉降的影响。为了在一个统一的标准上进行对比分析,分别取压缩模量为 10 MPa,粘聚力为 20 kPa,泊松比为 0.4,摩擦角为 35° 作为基准,每次仅仅改变其中 1 个参数进行分析。

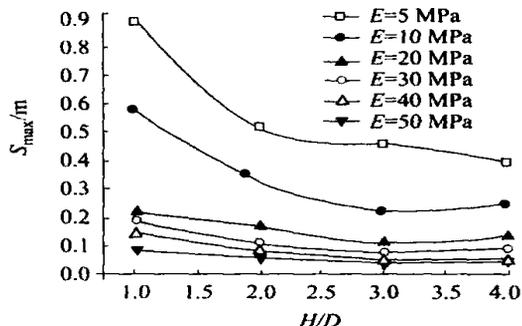
##### 3.3.1 压缩模量的影响

图 8 给出了不同土体压缩模量时地表最大沉降量的变化情况。由图 8 的结果可以看出:

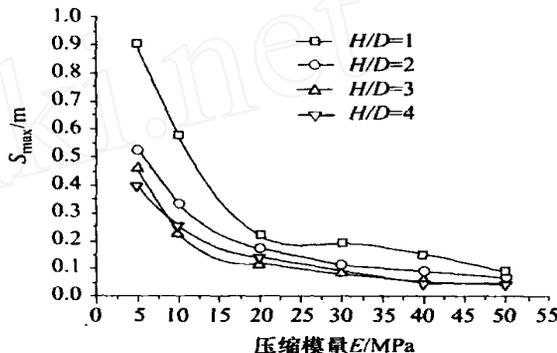
(1) 随着压缩模量的增大,地表沉降逐渐减小;当压缩模量增大到一定的程度后,压缩模量的增大对减

小地表最大沉降的作用越来越小。

(2) 随着压缩模量的增大,地表沉降受隧道埋深的影响越来越小,尤其当压缩模量为 50 MPa 时候,地表沉降几乎不随隧道埋深的变化而发生变化。



(a) 沉降随相对埋深变化曲线



(b) 沉降随压缩模量变化曲线

图 8 不同压缩模量地表最大沉降变化曲线

Fig. 8 The curve of the maximal ground settlement changed with modulus of compression

##### 3.3.2 粘聚力的影响

图 9 为不同土体粘聚力时地表最大沉降量的变化情况。结果显示:

(1) 随着粘聚力的增大,地表沉降逐渐减小;

(2) 当  $H/D$  小于 2.0 的时候,不同粘聚力下的地表沉降差别较大,且随着粘聚力呈倍数的增加,地表沉降呈倍数下降;

(3) 当  $H/D$  大于 2.0 的时候,不同粘聚力情况下的地表沉降几乎没有差别。

##### 3.3.3 泊松比的影响

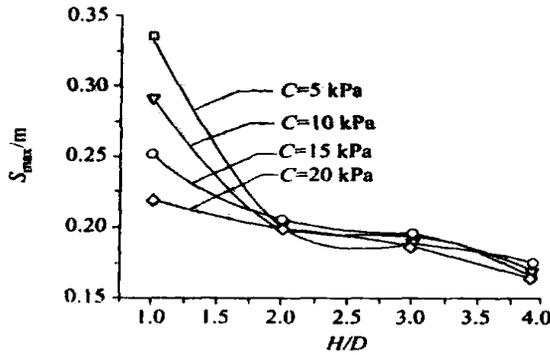
图 10 为不同土体泊松比时地表最大沉降量的变化情况。由图 10 结果可看出:

(1) 随着泊松比的增大,地表沉降逐渐减小;

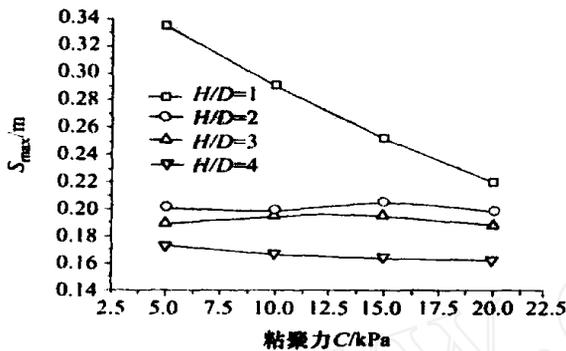
(2) 随着隧道埋深的增加,地表沉降随泊松比的变化较小,说明泊松比对地表沉降的影响较小;

(3) 当  $\mu = 0.1$  和  $\mu = 0.2$  时,沉降曲线互相交叉,可以看出不同泊松比情况下的地表沉降的最大值相差不大。

##### 3.3.4 内摩擦角的影响



(a) 沉降随相对埋深变化曲线



(b) 沉降随粘聚力变化曲线

图 9 不同粘聚力地表最大沉降变化曲线

Fig. 9 The curve of the maximal ground settlement changed with cohesive

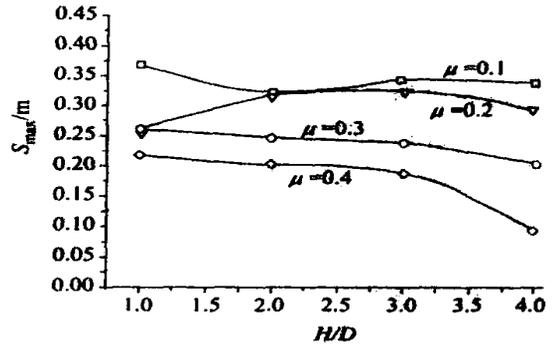
图 11 给出了不同土体内摩擦角时地表最大沉降量的变化情况。结果显示：

(1) 随着内摩擦角的增大,地表沉降逐渐减小。

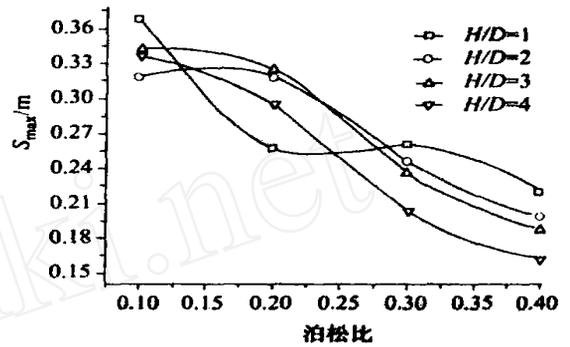
(2) 当内摩擦角小于 25° 的时候,地表沉降随着隧道埋深的增大迅速减小;当内摩擦角大于 25° 的时候,地表沉降随着隧道埋深的增大而减小的程度逐渐降低,对地表沉降的影响逐渐减小。随着内摩擦角的增大,隧道埋深变化对地表沉降的影响逐渐减小,说明当土体强度足够高的时候,再继续增加土体强度对地表沉降影响较小。

### 3.4 地表沉降影响因素的敏感性分析

表 3 为不同的地表沉降影响因素的影响程度对比分析结果。由表 3 可以看出,泊松比的影响最大,但其变化范围较小,因此表 3 中泊松比的值与其他几个参数不具有可比性,综合图 10 计算结果,泊松比变化对地表沉降变化影响较小。因此,影响地表沉降的最大因素是隧道相对埋深  $H/D$ ,其次是摩擦角、压缩模量、粘聚力和泊松比。可见,在条件允许的情况下,加深隧道开挖的深度可以显著减小对地表的影响,但是根据上述分析,当隧道相对埋深大于 2.5 的时候,隧道埋深的变化几乎对地表沉降没有影响,且会增大经济成本,因此建议将隧道相对埋深控制在此范围左右为宜。



(a) 沉降随相对埋深变化曲线



(b) 沉降随泊松比变化曲线

图 10 不同泊松比地表最大沉降变化曲线

Fig. 10 The curve of the maximal ground settlement changed with Poisson ratio

表 3 不同影响因素的敏感性对比分析

Tab. 3 The contrast of the sensitivity of the influence factor of ground settlement

各影响因素变化值	$H/D$	$E/\text{MPa}$	$C/\text{kPa}$	$\mu$	$I(\%)$
	1	10	5	0.1	10
最大沉降变化平均值/cm	4.7	7.2	1.3	4.3	10.9
最大沉降变化最大值/cm	38	36	4.4	11.1	36.9
最大沉降变化最小值/cm	0.8	0	0	0	3.0
沉降变化平均值/单位因素变化	4.7	0.72	0.26	43	1.09

### 3.5 地表沉降计算模型

国内外参考文献针对各参数与地表沉降之间的关系式有不同的表达,结合这些已有表达式<sup>[9]</sup>,根据前述数值分析结果,本文给出地表沉降计算表达为:

$$s_{\max} = \frac{1}{E} \cdot A \cdot \frac{H}{D}, \quad (3)$$

式中,  $s_{\max}$  为地表最大沉降量, cm;  $E$  为土体压缩模量, MPa;  $H$  为隧道中心距地表距离, m;  $D$  为隧道直径, m;  $A$  为无量纲参数, 与  $H/D$  有关, 当  $H/D = 1$  时, 建议取 400 ~ 600; 当  $H/D = 2$  时, 建议取 100 ~ 200; 当  $H/D = 3$  时, 建议取 70 ~ 80; 当  $H/D = 4$  时, 建议取 50 ~ 70。

地表沉降槽宽度表达式为:

$$L = \frac{B}{E} \cdot \sqrt{\frac{H}{D}}, \quad (4)$$

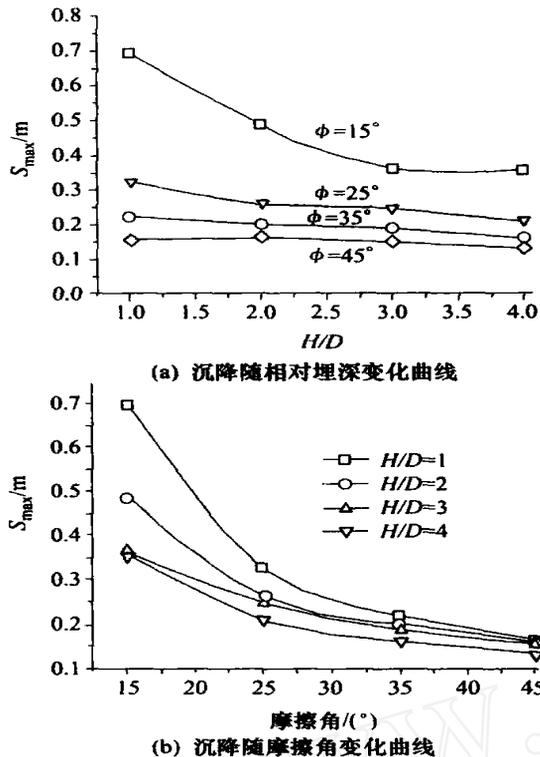


图 11 不同内摩擦角地表最大沉降变化曲线

Fig. 11 The curve of the maximal ground settlement changed with inner friction angle

式中,  $L$  为地表沉降槽宽度,  $m$ ;  $B$  为无量纲参数, 与  $E$  有关, 当  $E < 5$  MPa 时, 建议取 300; 当  $5$  MPa  $< E < 10$  MPa 时, 建议取 300 ~ 600; 当  $10$  MPa  $< E < 20$  MPa 时, 建议取 600 ~ 800; 当  $20$  MPa  $< E < 30$  MPa 时, 建议取 800 ~ 1 200; 当  $E > 30$  MPa 时, 建议取 1 200 ~ 1 400。

#### 4 结论与建议

(1) 地表沉降槽变化近似正态分布曲线, 随着地层损失率的增大, 地表沉降增大, 且增加幅度较大, 因此在隧道施工过程中要严格控制地层损失, 以减小地表沉降。同时施工过程中对地表沉降影响范围内的建筑物及地下管线加强监测、保护工作。

(2) 随着隧道埋深的增大, 地表最大沉降呈线性

关系迅速减小; 沉降槽宽度 (即沉降变形影响范围) 却呈线性关系越来越大, 但影响程度越来越小。因此, 在条件许可的情况下, 尽量增大隧道的埋深以减小对地表的影响。

(3) 当相对埋深  $H/D$  超过 2 的时候, 地表沉降的减小速率明显降低, 超过 2.5 的时候, 地表最大沉降基本上不再随着隧道埋深的变化而变化。因此, 隧道埋深也不宜过深, 否则不但无益于减小地表沉降, 反而会加大建设成本。

(4) 在隧道的施工开挖过程中, 影响地表沉降的主要因素是隧道相对埋深  $H/D$ , 其次是内摩擦角、压缩模量、粘聚力和泊松比等。因此在隧道设计、施工过程中, 选择合理的隧道埋深及适宜的地质条件。

#### 参考文献:

- [1] GHABOUSSI J, HANSMIRE W H, PARKER H W. Finite Element Simulation of Tunneling Over Subways [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1983, 109 (3): 318 - 334.
- [2] SAGASETA C. Analysis of Undrained Soil Deformation Ground Loss [J]. Geotechnique, 1987, 37 (3): 301 - 320.
- [3] LEE K M, ROWE R K. Finite Element Modeling of the Three-dimensional Ground Deformations Due to Tunneling in Soft Cohesive soils: Part II-Results [J]. Computers and Geotechnics, 1990 (10): 111 - 138.
- [4] LOGANATHAN N, POULOS H G. Analytical Prediction for Tunneling-induced Ground Movement in Clays [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1998, 124 (9): 846 - 856.
- [5] ADINA 北京代表处. ADINA 中文培训手册 [M]. 北京: 亚得科技, 2004.
- [6] ADINA 北京代表处. ADINA 中文土木练习手册 [M]. 北京: 亚得科技, 2004.
- [7] 薛禹群, 朱学愚. 地下水动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997: 11 - 20.
- [8] 尹旅超, 朱振宏, 李玉珍, 等. 日本隧道盾构新技术 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999: 54 - 65.
- [9] 阳军生, 刘宝琛. 城市隧道施工引起的地表移动及变形 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [10] 程晓, 潘国度. 盾构施工技术 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1990.

(上接第 79 页)

- [5] IRVINE M. Cable Structures [M]. New York: Dover, 1992.
- [6] MANABU ITO. Cable-supported steel bridge: design problem and solutions [J]. Journal of construct steel research, 1996, 39 (1): 69 - 84.
- [7] 谷音, 郑振. 白塔大桥模型实验分析 [J]. 福州大学学报, 2000, 28 (5): 72 - 76.
- [8] 潘家英, 余振生, 辛学忠, 等. 大跨径独塔斜拉桥全桥空间模型试验与分析 [J]. 土木工程学报, 1998, 31 (5): 3 - 14.

- [9] 曾攀, 钟铁毅, 闫贵平. 大跨径斜拉-悬索协作体系桥动力分析 [J]. 计算力学学报, 2002, 19 (4): 472 - 477.
- [10] 张哲, 张宏斌, 宋广君, 等. 混合梁弯塔斜拉桥动力模型试验及理论分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37 (9): 1 295 - 1 297.
- [11] 丰硕, 项贻强, 谢旭. 超大跨度悬索桥的动力特性及地震反应分析 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (8): 31 - 35.