

# 隧道降水施工对既有市政管线隧道影响研究

贾媛媛<sup>1</sup>, 路军富<sup>2</sup>, 魏龙海<sup>3</sup>, 崔光耀<sup>4</sup>

(1. 西华大学建筑与土木工程学院, 成都 610039; 2. 成都理工大学地质灾害防治下地质环境保护  
国家重点实验室, 成都 610059; 3. 中交第二公路规划勘察设计研究院, 武汉 430056;  
4. 西南交通大学土木工程学院, 成都 610031)

**摘要:** 针对成都某新建铁路隧道近接下穿既有市政管线隧道的降水施工方案, 运用有限差分法和流固耦合理论, 分析研究了降水施工过程中, 既有市政管线隧道的受力特性及位移变化规律, 研究结果表明: 距离降水井约 50m 范围内, 地表沉降量变化显著, 易发生差异沉降; 既有管线隧道初期与二衬结构应力和位移变化及分布规律几乎一致, 交叉处界面位移最大, 沿隧道纵向向两端逐渐减小且呈对称分布; 交叉处 30m 范围内, 初期支护和二次衬砌拱顶纵向应力主要为负值即压应力, 仰拱纵向应力主要为正值即拉应力且最大拉应力超过了混凝土的极限抗拉强度。由此可知, 降水施工对上部市政管线隧道的影响较大, 降水施工前应采取一定的特殊辅助措施, 以保证隧道结构安全性。

**关键词:** 既有市政隧道; 降水施工; 数值模拟; 力学特性

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)06-0043-06

随着我国城市的不断扩张, 城市地下铁道和公路隧道的建设日益增多, 新建隧道难免在空间上与既有市政隧道发生近距离交叉、重叠和并行等现象, 新建隧道施工对既有市政隧道的影响是隧道施工中必须考虑的问题, 而隧道降水施工是新建隧道施工前的必要工作, 特别是对于地下水位较高的地区。所以, 开展降水施工对既有隧道的影响研究, 确保既有隧道正常使用和新建隧道的顺利施工, 是许多工程和科研人员关注的问题。

隧道近接施工降水势必引起既有隧道围岩水位和应力场发生改变, 从而打破原有的力学平衡状态进行应力重分布, 导致既有隧道周围土体变形, 引起其位移和结构内力发生变异, 对其结构安全产生不利影响<sup>[1~4]</sup>。既有市政管线隧道和污水隧道对沉降变形极其敏感。如果隧道降水施工中变形过大, 会造成煤气管线、自来水管线以及污水隧道开裂, 引起煤气泄漏, 饮用水流失等问题, 从而对城市居民生活和生命财产安全造成巨大损失。因此, 开展隧道近接降水施工对既有市政隧道影响研究具有重要的工程实际意义。目前, 降水施工对周围环境的影响已进行了诸多研

究<sup>[5~10]</sup>, 但隧道近接施工降水对既有市政隧道的影响研究较少。

成都某新建铁路隧道正交穿越市政污水管道、煤气管线和自来水管线隧道, 见图 1。地下水位为地表下约 4m, 设计采用暗挖法施工, 所以隧道施工前必须先进行降水, 将地下水位降到隧道仰拱设计标高以下。

为弄清隧道施工期间, 降水施工对既有市政管线隧道的影响, 从而确定设计方案及措施。本文采用流固耦合理论和有限差分法, 对隧道降水施工影响范围以及对既有市政管线隧道结构的影响进行了数值分析, 依据分析结果确定既有市政管线隧道受降水施工影响后的结构力学特性及位移变化规律。

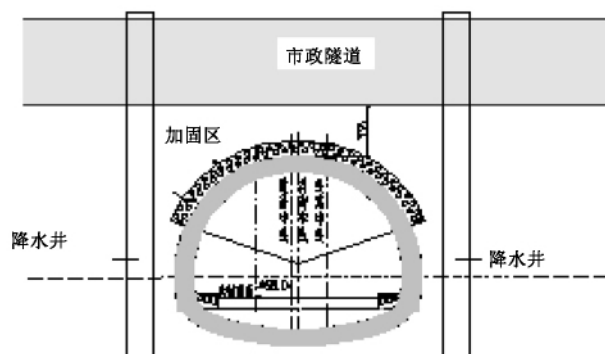


图 1 新建隧道与降水井位置示意图

Fig. 1 Location of the newly built tunnel and dewatering well

收稿日期: 2010-03-28; 修订日期: 2010-07-20

作者简介: 贾媛媛 (1979 -), 女, 硕士, 讲师, 主要从事城市规划、隧道及地下工程及其景观方面的研究工作。

E-mail: jyyuan521@126.com

1 隧道降水施工对既有市政管线隧道影响计算概况

1.1 降水施工过程模拟

依据现场工程实际情况,本模拟采用井点降水法,采用流固耦合理论和有限差分法进行计算,设定地下水位为地表下 4m,当降水后水位达到隧道工程施工要求水位时,停止降水计算。

1.2 工程地质与水文地质条件

隧道周围土层由上至下为:上覆第四系全新统人工填筑土( $Q_4^{ml}$ )卵石土、粉质粘土、第四系上更新统冰水-流水堆积层( $Q_3^{fgl+al}$ )粉质粘土、粘土、松软土、砂、卵石土,下伏基岩为白垩系上统灌口组( $K_2^g$ )泥岩。

地下水主要有两种类型:一是松散土层孔隙潜水,二是基岩裂隙水。主要赋存于上更新统( $Q_3$ )中砂、卵石土中,渗透性好,含水极其丰富,形成一个整体含水层,含水层总厚度约 4~25m,为孔隙潜水,局部由于地形和上覆粘土控制,具微承压性。主要受地表水、大气降水补给。本次勘察期间钻孔水位埋深 2~8m。

1.3 计算参数

依据地质资料和工程设计施工图,获得围岩以及上部既有市政管线隧道的物理力学参数,见表 1。

表 1 围岩及支护结构物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of surrounding rock and support

介质	$\gamma$ (kN/ $m^3$ )	粘聚力 $c$ (kPa)	泊松 比 $\mu$	内摩擦 角 $\varphi$ ( $^\circ$ )	弹性 模量 $E$ (MPa)	渗透系数 (cm/s)	厚度 (m)
填土	19.5	25	0.3	12	7.20	$1.2e-6$	2.5
粉质粘土	19.5	30	0.3	12	7.2	$1.2e-6$	6
卵石土	21	5	0.23	40	35	0.02	13
泥岩	24	5	0.2	55	1 300	$0.35e-5$	基岩
加固圈	23	—	0.25	—	10.1	—	—
管线 初支	23	—	0.2	—	28 000	—	—
隧道 二衬	25	—	0.2	—	31 000	—	—

1.4 计算模型

1.4.1 计算模型

(1)降水施工影响范围模拟

本研究采用二维模型计算,降水井深度取地表以下 23m,水位取地表以下 4m。模型计算所取土体参数见表 1,模型土层厚度 40m,宽度 300m,降水井布置在模型一侧 5m 处。模型中土体均采用实体单元。计算模型网格划分如图 2 所示。

(2)降水施工对既有市政管线隧道影响模拟

本研究采用三维模型计算,上部市政管线隧道与

下部新建隧道在水平面上的投影近似正交,管线隧道拱顶二衬距地面 3.9m,底部二衬在开挖隧道初期支护上方 2.2m。模型计算范围:沿上部管线隧道纵向(X 方向)60m,下部开挖隧道纵向(Z 方向)40m,土层厚度(Y 方向)60m;降水井深度取为地表以下 23m,水位为地表以下 4m。模型中,围岩、二次衬砌、初期支护均采用实体单元。计算模型网格划分如图 3 所示。

1.4.2 模型的边界条件

边界条件前后左右面受水平约束,下边界受竖向约束,上边界(地表)为自由边界。整体模型加自重应力场  $g = 9.8m/s^2$ ;降水井侧壁为零水压边界。渗流边界条件:降水井内边界为已知流量边界,外边界为定水头边界。



图 2 降水试验二维模型

Fig. 2 2D model of dewatering test



图 3 近接上下交叉隧道整体三维模型

Fig. 3 3D model of up-down cross adjacent tunnel

2 数值计算结果分析

2.1 降水施工影响范围的确定

通过计算分析,获得降水后地层内水压分布规律和地表沉降影响范围。

降水前和降水完成后两阶段,土层水压分布云图,见图 4。

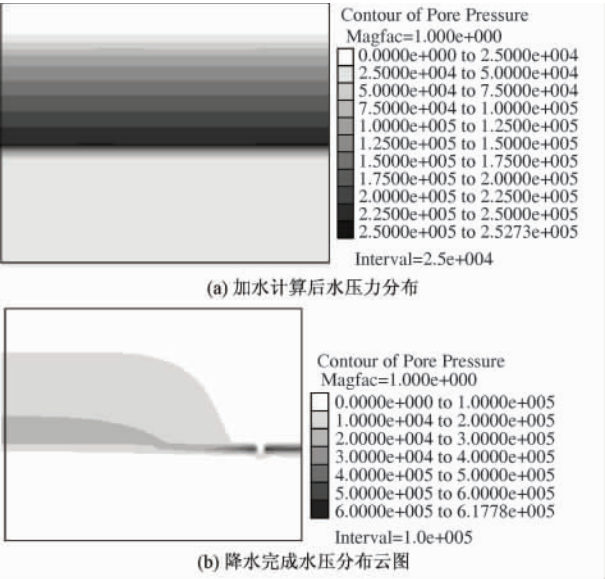


图 4 降水前后土层水压分布云图

Fig.4 Distribution cloud picture of water pressure of soil layer at different dewatering construction stages

由图 4 可知,降水前土体中最大水压力约为 0.25MPa,降水后地下水位降低,井点周围形成漏斗状的弯曲水面。

降水完成后,地表及土体内部位移分布云图,见图 5。

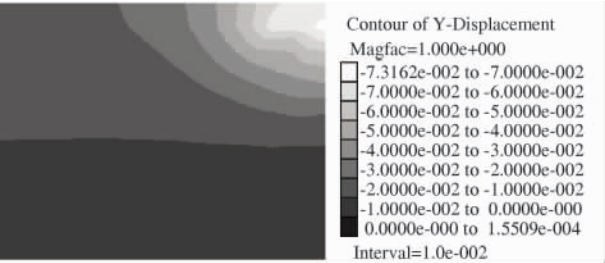


图 5 降水完成后地层位移分布云图

Fig.5 Distribution cloud picture of displacement of soil after dewatering construction

由图 5 可知,降水井周围地表位移沉降量最大,随着距离降水井半径逐渐增大,地表位移逐渐趋于稳定的值。

距降水井不同距离处,地表位移变化规律见图 6。

由图 6 分析可知:

- (1)降水井上方 1m 范围内地表沉降量最大,约为 61.2mm;
- (2)随着距降水井半径逐渐增大,地表沉降量减小迅速,当半径约为 50m 时,地表沉降趋于稳定,约为 5mm;
- (3)当距离降水井半径大于 90m 时,地表沉降量几乎相等,约为 3.9mm。

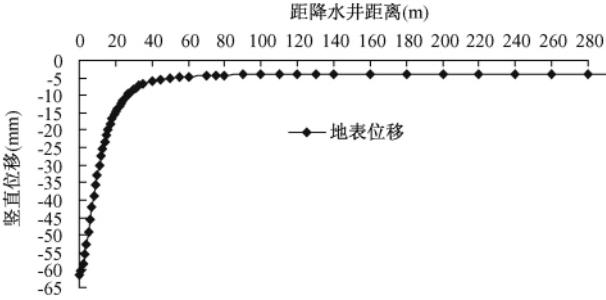


图 6 距降水井不同距离处地表沉降变化规律

Fig.6 Curves of ground settlement in different distances to the dewatering well

由此可知,距离降水井半径 50m 范围内,地表沉降量变化显著,易发生差异沉降,对周围建(构)筑物结构会造成不利影响。

距降水井不同距离范围,地表沉降量取值范围,见表 2。

表 2 距降水井不同距离处地表沉降量取值

Table 2 Values of ground settlement in different distance to the dewatering well

距离范围 (m)	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 90	90 ~ 300
地表沉降量 (mm)	61 ~ 32	32 ~ 15	15 ~ 8	8 ~ 5	5 ~ 4	< 4

2.2 施工降水对既有市政管线隧道影响结果分析

通过降水计算,获得降水后既有市政管线隧道结构力学特性及其位移变化规律。

降水前和降水完成后两阶段,土层水压分布云图,见图 7。

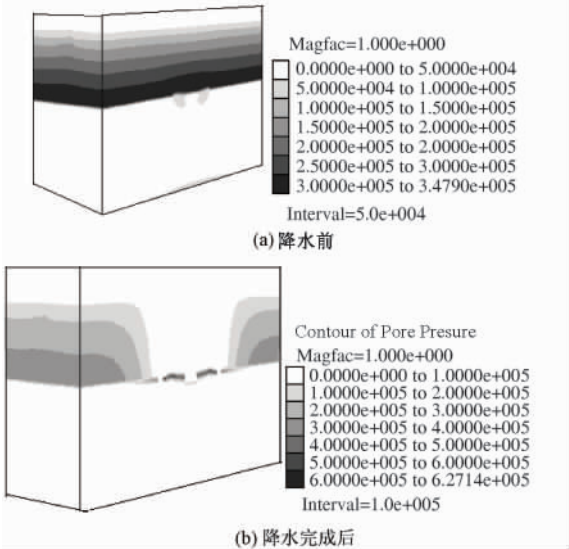


图 7 不同降水阶段土层水压分布云图

Fig.7 Distribution cloud picture of water pressure of soil layer at different dewatering construction stages

由图 7 可知,降水完成后,新建隧道上方及其周围的水压力趋于 0MPa,即由降水前最大水压力 0.15 ~ 0.2MPa 逐渐降至 0MPa。

## 2.2.1 既有管线隧道结构位移分析

### 2.2.1.1 各降水阶段上部管线隧道位移分析

通过降水计算结果可知降水完成后上部管线隧道位移分布云图,见图 8。

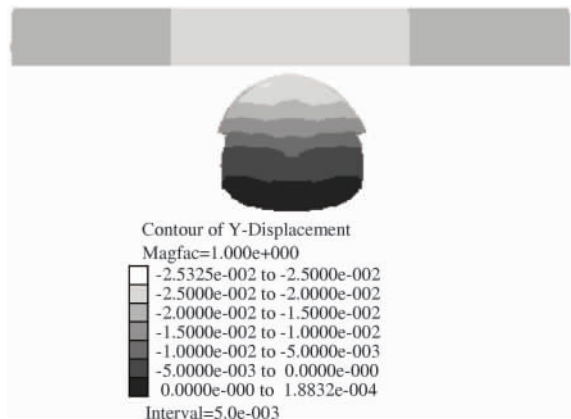


图 8 降水完成后上部管线隧道位移分布云图

Fig. 8 Distribution cloud picture of displacement of existing pipeline tunnel after dewatering construction

由图 8 可知,两隧道交叉处,上部既有管线隧道位移下沉量最大,且沿隧道纵向向两端逐渐均匀减小。

各降水阶段,上部既有管线隧道交叉处初期支护及二次衬砌拱顶和仰拱竖直位移变化规律,图 9 ~ 图 10。

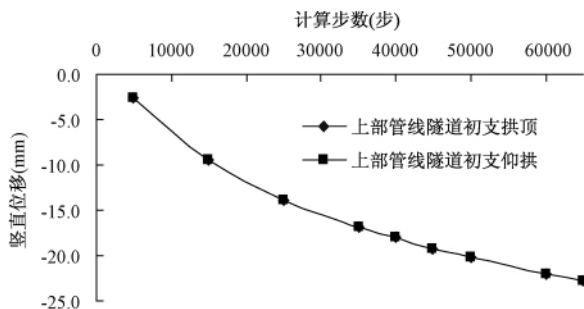


图 9 交叉处截面各降水阶段初支位移变化规律

Fig. 9 Curves of vertical displacement of primary support at infall section at different dewatering construction stages

由图 9、图 10 分析可知:

(1) 随着降水时间增加,交叉处界面竖直位移逐渐增加,降水前期位移增加速率较大,随着时间的推移,位移下沉量增加缓慢;

(2) 初期支护与二次衬砌拱顶和仰拱结构位移几乎相同,二者相差仅 0.03mm,变形规律几乎一致。

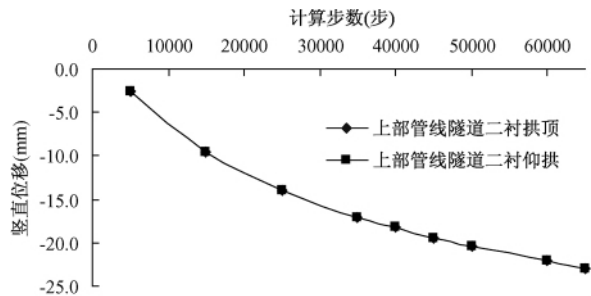


图 10 交叉处截面各降水阶段二衬位移变化规律

Fig. 10 Curves of vertical displacement of second lining at infall section at different dewatering construction stages

### 2.2.1.2 上部既有管线隧道整体沉降分析

通过对降水完成后上部既有管线隧道沿纵向拱顶和仰拱下沉位移量进行分析,获得其纵向变形规律,见图 11 和图 12。图中横坐标 0 处即为上下隧道交叉位置处。

上部既有管线隧道沿纵向初期支护位移分布规律,见图 11。

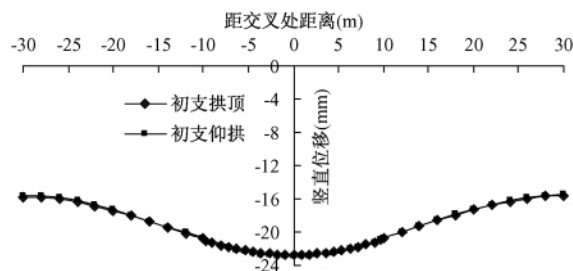


图 11 沿纵向初期支护竖直位移变化规律

Fig. 11 Curves of vertical displacement of primary support along the longitudinal direction

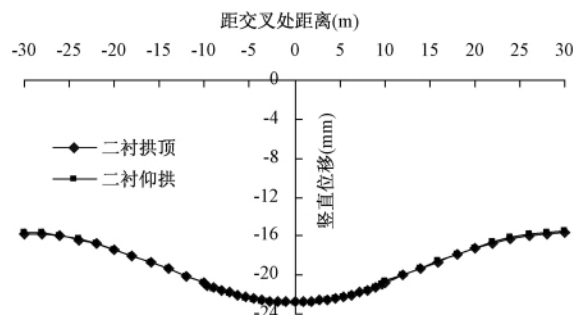


图 12 沿纵向二次衬砌竖直位移变化规律

Fig. 12 Curves of vertical displacement of secondary lining along the longitudinal direction

由图 11 分析可知:

(1) 交叉处截面下沉量最大,约为 22.89mm,沿隧道纵向两端逐渐减小,位移沿两边呈对称分布;

(2) 既有隧道中间与两端差异沉降约为 7.31mm,



大于控制基准(不超过 5mm)的要求。

上部既有管线隧道沿纵向二次衬砌位移分布规律,见图 12。

由图 12 分析可知:

- (1) 交叉处截面下沉量最大,约为 22.92mm,沿纵向向两端逐渐减小,位移沿纵向向两边呈对称分布;
- (2) 上部既有管线隧道中间与两端差异沉降约为 7.40mm,大于控制基准(不超过 5mm)的要求;
- (3) 二次衬砌拱顶和仰拱结构位移变化规律几乎一致。

## 2.2.2 既有管线隧道结构纵向应力分析

各降水阶段,上部既有管线隧道交叉处截面初期支护及二次衬砌拱顶和仰拱纵向应力变化规律,见图 13、图 14。

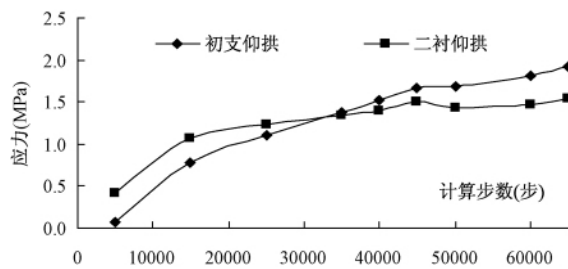


图 13 各降水时刻交叉处截面仰拱纵向应力

Fig. 13 Curves of longitudinal stress of at infall invert section at different dewatering construction stages

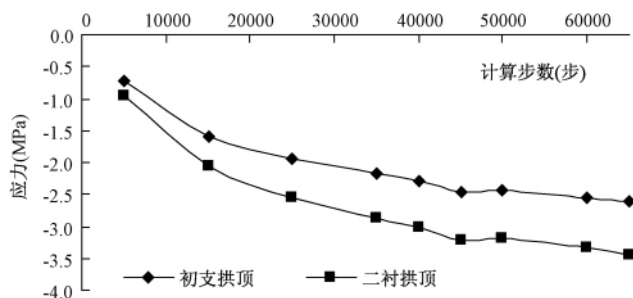


图 14 各降水时刻交叉处截面拱顶纵向应力

Fig. 14 Curves of longitudinal stress of infall arch crown section at different dewatering stages

由图 13、图 14 分析可知:

- (1) 随着降水时间的增加,仰拱处表现为拉应力,拱顶处表现为压应力,降水初期阶段管线纵向应力增加速率较大,随着时间的推移应力增加缓慢;
- (2) 初期支护仰拱最大拉应力为 1.92MPa,二次衬砌仰拱最大拉应力为 1.54MPa。

依据计算结果,分析降水完成后上部既有管线隧道沿纵向初期支护和二次衬砌截面拱顶和仰拱处纵向

应力变化规律。

依据计算结果,分析上部管线隧道沿纵向截面初期支护拱顶和仰拱处纵向应力变化规律,见图 15。

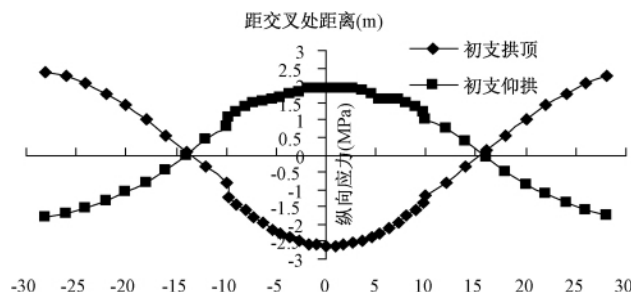


图 15 沿纵向初期支护纵向应力变化规律

Fig. 15 Curves of longitudinal stress of primary support along the longitudinal direction

由图 15 分析可知:

- (1) 交叉处 30m 范围内,拱顶纵向应力主要为负值即压应力,仰拱纵向应力主要为正值即拉应力;隧道两端处拱顶最大拉应力为 2.37MPa,隧道中间处仰拱最大拉应力为 2.62MPa;
- (2) 距交叉处既有管线隧道沿纵向结构应力几乎呈对称分布。

依据计算结果,分析上部管线隧道沿纵向二次衬砌截面拱顶和仰拱处纵向应力变化规律。

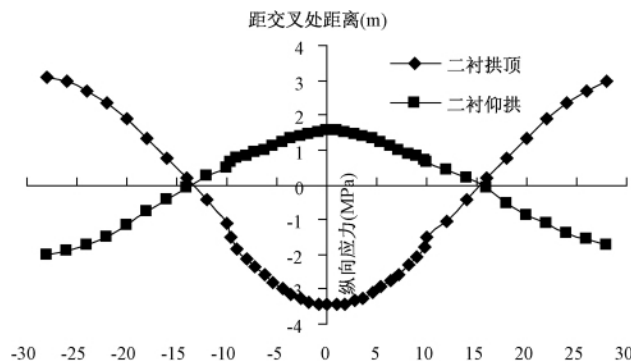


图 16 沿纵向二次衬砌纵向应力变化规律

Fig. 16 Curves of longitudinal stress of secondary lining along the longitudinal direction

由图 16 分析可知:

- (1) 交叉处 30m 范围内,拱顶纵向应力主要为负值即压应力,仰拱纵向应力主要为正值即拉应力;隧道两端处拱顶最大拉应力为 3.09MPa,隧道中间处仰拱最大拉应力为 1.54MPa;
- (2) 距交叉处既有管线隧道沿纵向结构应力几乎呈对称分布。

### 3 结论

(1) 随着距降水井距离半径逐渐增大,地表沉降量减小迅速,当半径约为 50m 时,地表沉降趋于稳定,约为 5mm。由此可知,距离降水井半径 50m 范围内,地表沉降量变化显著,易发生差异沉降,对周围建(构)筑物结构会造成不利影响;

(2) 随着降水时间增加,既有管线隧道结构位移和应力量值逐渐增加,降水初期阶段其增加速率较大,后期阶段增加缓慢;

(3) 降水施工对既有隧道初期支护和二衬位移和应力影响规律几乎一致,交叉位置处竖直位移最大,约为 22.89mm,位移沿隧道纵向两端逐渐减小且呈对称分布;

(4) 降水施工引起的既有隧道中间与两端差异沉降约为 7.31mm,均大于控制基准(不超过 5mm)的要求;

(5) 距交叉处既有管线隧道两端的应力几乎呈对称分布,交叉处 30m 范围内,拱顶纵向应力主要为负值即压应力,仰拱纵向应力主要为正值即拉应力;

(6) 上部管线隧道初期支护仰拱的最大拉应力分别为 2.62 MPa,超过 C25 喷射混凝土的极限抗拉强度(1.3 MPa);二次衬砌在拱顶的最大拉应力为 3.09 MPa,超过 C30 混凝土的极限抗拉强度(2.2 MPa)。

降水施工对上部既有管线隧道的影响较大,由于不均匀沉降易造成管线隧道开裂,所以在不采取特殊辅助措施的情况下,不宜进行降水。

### 参考文献:

- [1] 关宝树. 隧道设计要点集[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- [2] 吴波,刘维宁,索晓明. 隧道降水施工地表沉降的渗流-应力耦合分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S1):2979-2984.
- [3] 李文广,胡长明. 深基坑降水引起的地面沉降预测[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(1):181-184.
- [4] 张勇,赵云云. 基坑降水引起地面沉降的实时预测[J]. 岩土力学, 2008, 29(6):1593-1596.
- [5] 李朝淮. 深基坑降水施工中防止相邻建筑沉降的技术措施[J]. 福建建筑, 2009(6):60-62.
- [6] 李涛,曲军彪,周彦军. 深基坑降水对周围建筑物沉降的影响[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(12):1630-1636.
- [7] 裴红星,李纪云,王学武. 基坑降水引起地表沉降过程数值模拟[J]. 郑州大学学报:理学版, 2009, 41(3):89-92.
- [8] 耿冬青,贾振宇,韩建聪. 关于降水引起地面沉降问题的探讨[J]. 施工技术, 2005(S1):49-50.
- [9] 金小荣,俞建霖,祝哨晨. 基坑降水引起周围土体沉降性状分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(10):1575-1581.
- [10] 吴波,高波,索晓明. 地铁隧道开挖与失水引起地表沉降的数值分析[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(4):59-63.

## Research on the influence of the tunnel dewatering construction on existed municipal pipeline tunnel

JIA Yuan-yuan<sup>1</sup>, LU Jun-fu<sup>2</sup>, WEI Long-hai<sup>3</sup>, CUI Guang-yao<sup>4</sup>

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chongdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. The Second Highway Survey, Design and Research Institute, China Communications, Wuhan 430056, China;

4. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Based on the dewatering construction design of a new railway tunnel construction in up-down cross existing municipal pipeline tunnel in Chengdu, this paper demonstrates the stressing characteristics and displacement of existing municipal pipeline tunnel in the process of dewatering construction with the theory of Fluid-Mechanical coupling of finite discrete method (FDM). The study shows that the value of ground

settlement showed significant change and the differential settlement is easy to occur in the range of 50 m in dewatering well position; the variation and distribution of stressing and displacing of primary support and secondary lining of existing municipal pipeline tunnel tends to be uniform. The value of displacement of infall section is the largest, which decreases gradually with tunnel from medial position to other position and symmetric distribution. The longitudinal stress in the arch crown of the tunnel is compressive stress and invert of tunnel is tension stress in the range of 30 m in infall position, the biggest value of tension stress is more than the ultimate tensile strength of concrete, thus the influence of dewatering construction is larger. Therefore, it is necessary to take some measures to guarantee the safety of the existing tunnel.

**Key words:** existing municipal tunnel; dewatering construction; numerical simulation; mechanical characteristics

责任编辑:张若琳

---

(上接第 37 页)

## Study on calculating method of horizontally reinforcement beneath embankment constructed in Karst terrain

HE Wei, FU Hong-yuan, YIN Miao-miao

(School of Civil & Architecture, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** It is often necessary to implement geosynthetics to reduce risk of sinkhole for road engineering in Karst terrain, while the theory for design and analysis is far behind the engineering practice, so it is of great important to study it. Firstly, the load on the reinforcement was analyzed, and the Terzaghi's arch theory in ideal soil was introduced to calculate load above cavity. The reinforcement was considered composing of three portions which are free-surface portion, changeover portion and anchored portion adjacent to cavity according to various loading transfer behavior. The relationship between horizontal tension and displacement at the edge of cavity was deduced for free-surface portion; the tension loss was obtained by introducing Coulumb friction law for changeover portion; the anchored portion was divided into elastic and plastic sections to solve, and the analytical solution and length of plastic section were obtained considering anchored portion with finite or infinite length. On the basis of this, the curve-cross method was proposed to solve the problem, which was applied to analyze results of pull-out test and full-scale test, and the calculated value agrees well with the measured. The method proposed is of clearly physical meaning and simple to apply into engineering practice.

**Key words:** embankment engineering; Karst terrain; composite foundation; horizontally reinforcement

责任编辑:张明霞