

文章编号: 1000-7598 (2009) 增刊 2-0446-06

隧道施工时地表沉降监测控制标准探讨

安永林^{1,2}, 彭立敏², 张 峰³, 吴 波³

(1.湖南科技大学 湖南省普通高等学校土木工程施工过程与质量安全控制重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 2.中南大学 土木建筑学院, 长沙 410075;
3.中国中铁四局集团有限公司, 合肥 2300231)

摘 要: 地表沉降是判断浅埋隧道地层稳定的一个重要指标。在分析地表沉降监测重要性和隧道埋深的关系基础上, 阐述了地表沉降控制标准确定的原则; 针对隧道无邻近结构物段, 从地层围岩稳定、经验公式和相关规范的角度探讨地表沉降控制标准, 并以武广客运专线浏阳河隧道为例子进行验证。结果表明, 城市隧道变形控制标准要比山岭隧道更严格, 浅埋隧道要比深埋隧道控制标准更严格; 围岩越坚硬、跨度越小、边墙高度越小, 则允许的位移越小, 反之则越大; 允许的变形控制标准主要影响因素是围岩自身条件, 其次是隧道的跨度。

关 键 词: 隧道工程; 沉降控制标准; 隧道施工; 地层稳定

中图分类号: U 459.2

文献标识码: A

Discussion on settlement standard of ground surface during tunnelling

AN Yong-lin^{1,2}, PENG Li-min², ZHANG Feng³, WU Bo³

(1.Hunan College Key Laboratory of Construction Process, Quality and Safety of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2.School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;
3.China Railway No.4 Engineering Group Co., Ltd., Hefei 230023, China)

Abstract: Ground surface settlement is an important factor to evaluate surrounding rock stability of shallow tunnel. Based on analyzing of the relation between surface settlement monitoring importance and the depth tunnel, determination principles of the settlement standard are discussed. Focusing on the section without neighboring structures, settlement standard of the ground surface is studied considering rock stability, empirical formula and relative codes. The method is applied to Liuyang River tunnel in Wuhan-Guangzhou passenger dedicated line. Results show: urban tunnel's deformation standard is lower than mountain tunnel's standard; shallow tunnel's deformation standard is lower than that deep tunnel's; the harder the rock is, the lower the deformation standard is; the smaller the tunnel span is, the lower the deformation standard is; the higher the side wall is, the lower the deformation standard is; the main influence factor is the rock's property, the next is tunnel span.

Key words: tunnel engineering; settlement standard; tunnel construction; rock stability

1 引 言

随着隧道的开挖, 地层变形不断发生变化^[1]: 一般经历前期微小变形、变形急剧增大、缓慢变形 3 个阶段。诱发地层变位的基本原因是隧道施工引起的地层损失和周围围岩受扰动或受剪切破坏的重塑土的再固结。

地表沉降变形监测监测结果能反映隧道施工中围岩变形的全过程, 并能反映围岩的稳定性; 监测

的重要性随埋深变浅而加大, 但沉降控制标准的确定并不是一件容易的事, 国、内外并无统一的标准^[2]。李文江^[3] (2005 年) 用数学力学的基本分析方法, 建立了相应的隧道施工地表沉降控制标准; 范文兴^[4] (2007 年) 研究了浅埋暗挖地铁隧道沉降控制标准的经验公式; 姚宣德^[1] (2007 年) 统计分析了地铁浅埋暗挖法施工引起的地表沉降控制标准。

本文主要对隧道无邻近结构物施工下地表沉降控制标准进行探讨。

收稿日期: 2009-08-18

基金项目: 湖南省研究生创新基金项目(No. 3340-74236000004); 铁道部课题(No. 2005K002-D-3); 中铁四局课题(No. 2006-19)。

第一作者简介: 安永林, 男, 1981 年生, 博士, 主要从事隧道结构和防灾方面的研究。E-mail: anyongling@yahoo.com.cn

2 隧道地表变形监测标准探讨

2.1 隧道地表沉降控制标准确定的原则

地表沉降控制标准是隧道施工风险评估的重要内容之一,也是风险监控工作实施的前提,是为确保被监控对象安全而确定的最大允许值。监测过程中,一旦监测数据超过控制基准值,监测部门应该在监测报表中醒目地标出,予以报警,并与有关部门共同研究分析,必要时可对控制基准值进行调整。一般参照以下原则确定控制基准^[2]:①应满足现行相关设计和施工的规程、规范和指南等的要求。②由建设、设计、监理、施工等相关部门共同确定,列入监测方案。③有关隧道邻近结构物监测控制基准值应保证其安全和正常使用,并考虑邻近结构物主管部门所提出的要求。④监测控制基准值应具有工程施工可行性,在满足安全的前提下,应考虑提高施工速度和减少施工费用。⑤对一些目前尚未明确规定控制基准值的监测项目,可参照国外类似工程的监测资料确定。⑥应根据具体工程现场监测结果和工程经验,分析围岩及支护结构的稳定状态及周边环境的安全状况,对预先确定位移允许值进行修正。

另外,奥地利 J. Golser^[2]博士认为,城市地下铁道或隧道通过城市建筑群时位移基准值应控制的尽量小,而山岭隧道位移基准值可适当大一些。

2.2 隧道无邻近结构物段地表沉降控制标准研讨

无邻近结构物情况下,地表沉降控制标准主要取决于围岩和支护结构的稳定性。在隧道开挖过程中,若发现量测到的位移超过某一临界值,或者根据已测位移预计最终位移将超过某一临界值时,则意味着围岩不稳定,支护系统须加强。然而,该临界值的确定并不是一件容易的事,国、内外并无统一的标准。隧道在邻近结构物下,其控制标准还要考虑具体邻近结构物的特性及其与隧道位置关系等而综合确定。

2.2.1 从围岩稳定角度推导变形标准

从考虑围岩稳定的角度确定最大允许地表沉降值就是从保证施工安全角度,以隧道侧壁或正上方土体不发生坍塌时且地层处于力学平衡临界状态时允许产生的最大地表沉降值作为控制基准(临界状态指地层发生整体失稳的情况,不包括局部失稳)。

(1) 地层失稳的形式及条件^[5]

分2种情况分析,以导出考虑地层稳定的地表沉降允许值:

①软弱围岩 这类围岩可作为连续介质加以分析。由软弱围岩中发生坍塌失稳的工程实例可知,坍塌形式大致有两种:第1种情况(图1(a)),坍塌为“漏斗形”,这可用破裂面 $AB(A'B')$ 上的剪应力达到或超过地层极限剪应力时的地层破坏结果加以解释,以库仑准则为破坏判据,破裂面与水平面夹角为 θ (可取为 $45^\circ + \varphi/2$, φ 为围岩的内摩擦角)。第2种情况(图1(b)),坍塌体为以洞周为边界的垂直柱体,破裂面与水平面呈 90° 夹角。在进行下沉量控制基准值计算时,为便于计算,可作为第1种情况的特例 $\theta=90^\circ$ 处理。

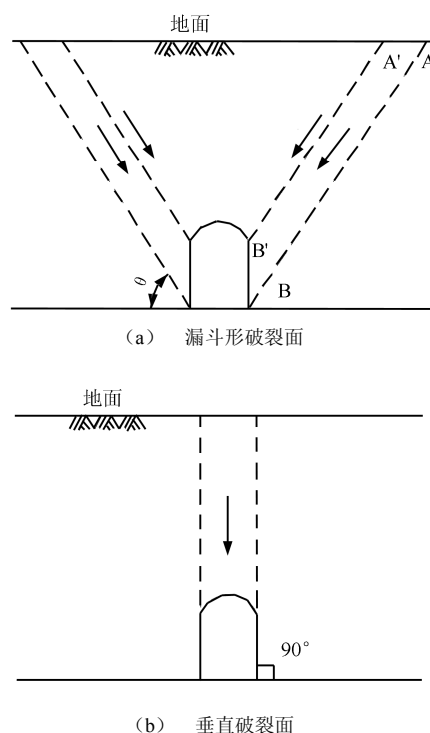


图1 软弱围岩地层失稳形式
Fig.1 Instability forms in weak rock

②坚硬围岩 这类围岩强度由岩石强度和软弱结构面强度两部分组成,因此岩体的破坏形式有3种:①岩石部分出现受拉破坏或压剪破坏;②软弱结构面出现受拉破坏或压剪破坏;③前两种的混合类型。很显然,第2种形式岩体强度最低。当软弱结构面强度远低于岩石强度时,以软弱结构面破坏形式作为地层稳定的控制条件,此时结构面上的应力(σ, τ)及结构面强度均是结构面方向的函数:

$$\sigma = f_1(\phi); \quad \tau = f_2(\beta) \quad (1)$$

式中: ϕ 为软弱结构面走向与水平面夹角。

σ 与 φ 的关系曲线如图 2 所示。当 φ 在 $\phi_{\min} - \phi_{\max}$ 之间时, 岩体的破坏为沿软弱结构面破坏, 否则, 为岩石的破坏。 $\phi = 45^\circ + \varphi_j/2$ 为软弱结构面的最不利位置 (φ_j 为软弱结构面内摩擦角)。

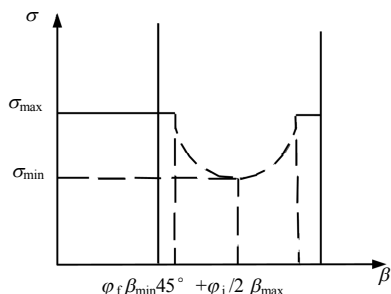


图 2 α 与 β 的关系曲线
Fig.2 Relation between α and β

(2) 地层允许沉降^[6]

由地层位移的实测结果 (洞内拱顶下沉及地表下沉) 可知, 地层的位移是自洞内临空面向地表逐渐延伸的, 这意味着破裂面的形成也是由隧道周围向地表逐渐扩展的。

国、内外隧道施工经验表明浅埋软弱隧道地表沉降曲线可用 Peck 公式描述:

$$S = S_{\max} \exp\left(\frac{-x^2}{2i^2}\right) \quad (2)$$

Peck 曲线拐点处的剪应变最大, 因此, 以该拐点达到剪应变极限值时当作地层处于极限状态, 从而推导地表沉降控制基准值, 过程如下:

由弹性力学平面问题的基本理论可知, 在迪卡尔坐标系中, 地层中某点的剪应变可写为

$$\gamma_{xy} = \partial v / \partial x + \partial u / \partial y \quad (3)$$

式中: $\partial v / \partial x$ 为地层垂直位移在 x 方向的变化率;
 $\partial u / \partial y$ 为地层水平位移在 y 方向的变化率。

若忽略水平方向的位移, 则有

$$\gamma_{xy} = \partial v / \partial x \quad (4)$$

对 Peck 公式求导可得沉降曲线的最大斜率发生在 $x=i$ 处, 计算式如下:

$$\eta = \frac{0.61}{i} S_{\max} \quad (5)$$

假设地层的极限剪应变 γ_p 与 η 相等, $\gamma_p = K \tan \beta$, 则

$$\gamma_p = \frac{[\tau]}{G} = \eta = \frac{0.61}{i} S_{\max} \quad (6)$$

于是得到最大允许地表沉降:

$$[S_{\max}] = \frac{i}{0.61} \eta = \frac{i}{0.61} K \tan \beta \quad (7)$$

式中: $[\tau]$ 为地层抗剪强度, 可由极限剪应变求得;
 G 为地层剪切模量; $[S_{\max}]$ 为最大允许地表沉降值;
 K 为经验系数, 在软岩中 $K = (1.1 \sim 1.3) \times 10^{-3}$, 在硬岩中, $K = 1 \times 10^{-3}$; i 为沉降槽宽度系数, 即曲线拐点到隧道中心的距离, 可通过回归或经验公式求得, 在实际监测中, 根据测量的数据, 还可以反推 i , 具体可参见文献[7]。

从式 (4)、(5) 可知, 地表最大的允许沉降与围岩的极限剪应变、沉降槽宽度系数 i 成正比, 而 i 一般正比于埋深, 因此深埋隧道的允许最大地表沉降要大于浅埋的, 也表明浅埋隧道较深埋隧道地表沉降控制的更严格。

求得地表允许沉降和沉降槽宽度影响系数后, 即可得到地层允许的损失及损失率。地层损失率不仅与工程地质、水文地质条件有关, 还和施工方法、施工技术水平和管理水平等因素有关^[5-7]。总体来说, 地层损失率的范围在 0.22%~6.90% 之间。

2.2.2 根据经验公式推算变形标准

前苏联学者通过对大量隧道监测数据的整理, 得出了用于计算隧道周边允许最大位移值的经验公式为式 (8) 和式 (9)^[2]。

拱顶允许最大位移 (mm):

$$\delta_1 = 12 \frac{b_0}{f^{1.5}} \quad (8)$$

边墙允许最大位移 (mm):

$$\delta_2 = 4.5 \frac{H^{1.5}}{f^2} \quad (9)$$

式中: f 为普氏系数, 取为 $f = R_b / (100 \sim 150)$, 其中 R_b 为岩石饱和单轴极限抗压强度, 在没有试验的条件下, 可取 $R_b = 2c \tan(45^\circ + \varphi/2)$, 或查相关表格; b_0 为隧道跨度; H 为边墙自拱脚至底板的高度。

分析上述经验公式可以看出:

①公式 (8)、(9) 考虑了岩石的坚固系数 (普氏系数)、隧道跨度、隧道高度的影响, 而未考虑埋深的影响。

②围岩越坚硬、跨度越小、边墙高度越小, 则允许的位移越小; 而相对的软弱围岩、大跨度、高边墙下, 允许的位移则越大;

③由于拱顶允许的最大位移与隧道跨度的 1 次方成正比, 而与普氏系数的 1.5 次方成反比, 可知拱顶允许的最大位移的主要影响因素是围岩自身条件 (可看作内因), 其次是隧道的跨度 (即隧道形状,

可看作外因),边墙的允许最大位移也表现出这种特性。

工程实践和理论分析表明,更多情况下控制浅埋隧道稳定性的主要指标是拱顶下沉值,而不是水平收敛值。在求得洞内拱顶沉降后,然后由数值模拟或经验获取拱顶沉降和地表沉降的关系,即可求出与拱顶最大沉降对应的地表最大沉降。

隧道开挖引起地层应力释放,而地层变形则从拱顶向上传递又会造成地表沉降。一般规律应为拱顶沉降值大于地表沉降值,但在富水含砂地层会出现地表沉降大于拱顶沉降^[8],经对相关隧道的统计后发现,拱顶沉降与地表沉降比值多数介于 0.5~1.5 之间^[9]。

2.2.3 根据国外相关规范确定变形标准

(1) 法国的相关规范标准^[2]

法国 M.Louis 提出最大容许位移随埋深增大而增加,约为埋深的 1/1 000。

法国工业部制定的隧道位移基准值见表 1(隧道断面 50~100 m²)。该基准可作为初选位移基准值的参考,重要的是靠工程经验积累。从表 1 中分析可以看出,①该标准考虑了围岩条件和埋深的影响,而未考虑隧道开挖形状的影响;②同样埋深下,软岩的允许拱顶沉降大于硬岩的;③同样围岩条件下,容许拱顶沉降随埋深增加而增大。

表 1 法国不同埋深的拱顶和地表容许下沉值

Table 1 Allowable settlement of ground surface and the crown under different cover

隧道埋深 /m	洞内拱顶容许下沉/mm		地表容许下沉/mm	
	硬岩	软岩	硬岩	软岩
10~50	10~20	20~50	10~20	20~50
50~100	20~60	100~200	20~60	150~300
100~500	50~100		50~100	200~400
500~750	40~120	200~400	40~120	300~600

(2) 日本的相关规范标准^[2]

日本某公司提出根据岩石单轴抗压强度来确定拱顶下沉的临界值^[2],见表 2。从表中分析也可得到。其考虑了岩石的强度影响及不同警戒水平的要求,但未考虑隧道埋深和隧道形状的影响。同样,警戒水平下,抗压强度越低,容许的拱顶沉降越大;而在同一抗压强度下,警戒水平越高,容许的拱顶沉降越小。

日本《NATM 设计施工指南草案》^[2]提出按照监测的总位移值(或根据已监测位移预计的最终位移值)给出围岩类别,然后,根据以确定与围岩类别相应的支护系统。净空变化值与围岩类别的关系

见表 3。

对该表的深入分析可知,①其考虑了围岩类别和隧道跨度 2 个因素的影响,而未考虑埋深的影响;②同样跨度下,围岩越差,允许的净空变化值越大;③同样围岩条件下,跨度越大,允许的净空变化值越大。

表 2 拱顶下沉值

Table 2 Settlement of the crown

警戒水平	岩石单轴抗压强度(MPa)/沉降/cm		
	$R_c > 100$	$R_c = 5 \sim 100$	$R_c = 0.5 \sim 5$
I	0.3~0.5	0.5~1	1~3
II	1~1.5	1.5~4	4~9
III	3~4	4~11	11~27

表 3 净空变化值与围岩类别的关系

Table 3 Relation between convergence and rock class

围岩类别	净空变化值/mm	
	单线	双线
I~II	>75	>150
II~III	25~75	50~150
III~V	<25	<50

2.2.4 国内的相关规定

在参照国外有关资料,并对我国一些工程的实测数据进行统计分析的基础上,我国《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》^[10],《锚杆喷射混凝土支护技术规范》^[11],《公路隧道设计规范》^[12]采用允许相对位移值的方法,见表 4。

对该表做进一步分析可知:①该表考虑了隧道埋深和围岩类别 2 项因素,未考虑隧道的跨度或开挖断面的大小;②同样围岩条件下,埋深越大,允许的相对收敛越大;③同样埋深下,围岩条件越差,允许的相对收敛越大。

表 4 洞周允许相对收敛值

Table 4 Allowable relative convergence in tunnel

围岩级别	不同埋深(m)/相对收敛/%		
	<50	50~300	>300
II	0.1~0.3	0.2~0.5	0.4~1.2
III	0.15~0.5	0.4~1.2	0.8~2.0
IV	0.2~0.8	0.6~1.6	1.0~3.0

注:①相对位移值是指实测位移值与两测点距离之比,或拱顶位移值与隧道宽度之比;②坚硬围岩取小值,软弱围岩取大值。

我国北京、广州根据地区经验^[2],建议了地铁工程施工相应的监测控制基准见表 5、6。

2.2.5 国内、外的地铁工程相关规定的对比

表 7 给出了国、内外地铁工程变形监测基准的对比。从表中可以看出,我国的变形控制标准比国

外的变形控制标准要严格些^[6]。

表 5 北京地铁盾构法、浅埋暗挖法施工监测控制基准
Table 5 Deformation standard in Beijing subway using
shielding method and shallow tunneling method

方法	监测项目	基准值 /mm	位移平均和最大速度 控制值/(mm/d)
盾构法	地表沉降	20	平均为 1, 最大为 3
	拱顶下沉	20	平均为 1, 最大为 3
浅埋 暗挖法	地表沉降	区间	平均为 2, 最大为 5
		车站	
	拱底隆起	区间	平均为 2, 最大为 5
		车站	
	拱顶下沉	区间	平均为 2, 最大为 5
		车站	
	水平收敛	区间	平均为 2, 最大为 3
		车站	

表 6 广州地铁施工监测控制基准
Table 6 Deformation standard in Guangzhou subway

监测项目	基准值/mm	控制基准
地表沉降/mm	I、II类围岩, III、IV类围岩	30 19
拱顶下沉/mm	I类围岩, II类围岩, III、IV类围岩	50 30 19
变形速度/(mm/d)	I、II类围岩, III、IV类围岩	5 3
建筑物倾斜/%	全线	3

表 7 国、内外地铁工程变形监测基准对比
Table 7 Deformation standard comparison

标准	地面最大沉降 /mm	地面沉降槽 拐点曲率	地层损失 系数 /%	洞内边墙 水平收敛 /mm	洞内拱 顶下沉 /mm
日本、法国、德国 规范综合	50	1/300	5	20~40	75~ 229
我国的管理标准	30	1/500	5	20	50

3 地表沉降控制标准研讨实例

以武广客运专线浏阳河隧道 DIK1563+320~DIK1563+410 无邻近结构物地段为例进行说明。

3.1 地表沉降控制标准

3.1.1 从围岩稳定性考虑拟定变形标准

从围岩的稳定性考虑, 浏阳河隧道在 DIK1563+320~DIK1563+410 地段无邻近结构物, 埋深约 25 m (地表到隧道中心的距离), 围岩主要以强风化和全风化的砂、砾岩为主, 围岩的内摩擦角取为 34° , K 取 1.2×10^{-3} , 则由式 (7) 可得

$$[S_{\max}] = \frac{i}{0.61} \times 1.2 \times 10^{-3} \tan(45^\circ + 34^\circ / 2) \quad (10)$$

根据沉降槽宽度系数 i , 即可确定地表允许的沉降。根据等代圆的原理, 浏阳河隧道的等代圆半径为 7 m。根据不同学者提出的 i 计算公式, 求得 i 大都在 10~14 m, 所以取 $i=12$ m, 则 $[S_{\max}] = 44.4$ mm。

3.1.2 根据经验公式拟定变形标准

根据抗压强度, 求得普氏系数 f 较小 ($=0.014$); 另查表可得: $f=0.7$ 。这里以查表为准, 隧道最大跨度约为 15 m, 则拱顶允许沉降为 $\delta_1 = 12 \frac{15}{0.7^{1.5}} = 307$ mm。

利用数值软件, 求得地表沉降和拱顶沉降的比值约为 0.68, 则可得地表允许的沉降为 208.8 mm。

3.1.3 根据相关规范拟定变形标准

法国的规定: 可得地表容许的沉降约为 25~30 mm。由日本的规定: 取拱顶容许沉降为 150 mm, 则地表容许沉降为 102 mm; 综合国外各国地铁的规定, 则地表容许沉降为 50 mm; 综合我国地铁的规定, 则地表容许沉降为 30 mm;

因我国规范的规定未给 V 级围岩的相对收敛, 所以, 取容许的相对收敛为 0.9 %, 则可得容许的拱顶沉降为 135 mm, 此时, 对应的地表容许沉降为 91.8 mm。

3.1.4 无近邻结构物段的地表沉降控制标准拟定

综合上述的标准, 可知按照普氏理论计算的标准最大, 其次是由日本的规定而确定的标准, 我国地铁的沉降标准最小, 也最严格。制定标准时, 以围岩稳定和国外地铁的相关规定为依据, 则本研究推荐无邻近结构物下浏阳河隧道 DIK1563+230~DIK1563+410 地段最大容许地表沉降标准为 50 mm, 此时容许的地层损失为 $1.5 \text{ m}^3/\text{m}$, 容许的地层损失率为 0.97 %。

3.2 地表沉降监测管理基准和监测流程

参照《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》^[11]中以位移控制基准的 1/3 和 2/3 作为分级管理, 吴波等^[6]提出以位移基准的 0.6 和 0.8 进行管理, 浏阳河隧道邻近建筑物的变形控制管理基准^[13]为: 以控制标准的 60 %作为预警值, 80 %作为警戒值。若超过预警值, 要加强监测频率。超过警戒值, 应立即修正支护参数, 采取措施后方能继续施工。同时, 在实际监测中还应根据沉降时程曲线的形状, 对监测数据进行形象化判释^[13-14]: 如果位移时态曲线始终保持 $d^2u/dt^2 < 0$, 说明位移速率不断下降, 这是稳定的标志, 可正常施工。当位移-时间曲线出现反弯点 (如

图 3 中的 A 点所示), 表明围岩和支护已呈不稳定状态或危险状态, 需发出警告, 应加密监视, 并适当加强支护, 必要时应立即停止开挖, 在进行施工处理后方可进行开挖。

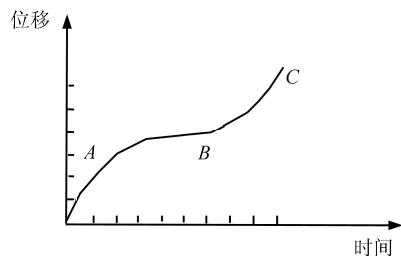


图 3 沉降时程曲线

Fig.3 Settlement-time curve

4 结 论

(1) 地表沉降控制标准的确定要综合考虑围岩的稳定性、邻近结构物的安全性、相关部门的规范和指南要求等, 并要结合现场监测进行修正。

(2) 城市隧道变形控制标准要比山岭隧道更严格, 浅埋隧道要比深埋隧道控制标准更严格; 围岩越坚硬、跨度越小、边墙高度越小, 则允许的位移越小, 反之则越大; 允许的变形控制标准主要影响因素是围岩自身条件(可看作内因), 而其次是隧道的跨度(即隧道形状, 可看作外因)。

(3) 结合武广客运专线浏阳河隧道研究了无邻近结构物段的变形控制标准, 制定了三级管理基准, 提出可根据沉降时程曲线形态进行形象化判释隧道施工的安全性。

参 考 文 献

- [1] 姚宣德, 王梦恕. 地铁浅埋暗挖法施工引起的地表沉降控制标准的统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(10): 2030—2035.
- [2] 刘招伟. 城市地下工程施工监测与信息反馈技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [3] 李文江, 刘志春, 朱永全. 铁路站场下暗挖隧道地表沉降控制基准研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(7): 1165—1169.
- [4] 范文兴. 浅埋暗挖地铁隧道沉降控制与分析[J]. 市政技术, 2006, 24(6): 398—402.
- [5] 梁睿. 北京地铁隧道施工引起的地表沉降统计分析与预[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [6] 吴波. 复杂条件下城市地铁隧道施工地表沉降研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [7] 韩焯, 李宁, STANDING J R. Peck 公式在我国隧道施工地面变形预测中的适用性分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(1): 23—29.
- [8] 张顶立, 黄俊. 地铁隧道施工拱顶下沉值的分析与预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (10): 1073—1077.
- [9] 岳广学, 何平, 蔡炜. 隧道开挖过程中地层变形的统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增 2): 3793—3802.
- [10] 中华人民共和国铁道部. TB10108—2002 铁路隧道喷锚构筑法技术规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [11] 国家冶金工业局. GB50086—2001 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.
- [12] 重庆交通科研设计院. JTGD70—2004 公路隧道设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [13] 安永林. 结合邻近结构物变形控制的隧道施工风险评估研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [14] 王建宇. 对隧道工程中监控量测问题的探讨[J]. 现代隧道技术, 2008, (增刊): 7—14.