

# 走马岭隧道围岩变形监测及工程地质评价

张会刚<sup>1</sup>, 姜志玲<sup>2</sup>, 张强<sup>3</sup>, 靳小光<sup>4</sup>

(1. 铁道第二勘测设计院地勘分院地质二所, 成都 610031; 2. 华东交通大学电气学院, 南昌 330013;  
3. 成都理工大学, 成都 610059; 4. 重庆大学, 重庆 610072)

**摘要:** 基于隧址区地质环境条件的复杂性, 有必要进行施工围岩变形监测。系统地介绍了隧道围岩变形监测的原理和方法分析; 并以走马岭隧道施工过程的深部围岩变形监测为依据, 获取围岩动态综合信息以分析围岩变形规律, 指导施工; 提出围岩变形监测为隧道大变形预测、优化二次支护时间等提供科学依据和施工建议, 是岩土工程信息化设计、施工的重要手段。

**关键词:** 走马岭隧道; 施工工程地质; 围岩变形监测; 优化二次支护时间

中图分类号: TU412

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0195-03

## The Surrounding Rock Deformation Monitor and Engineering Geology Evaluation of Zoumaling Tunnel

ZHANG Hui-gang<sup>1</sup>, JIANG Zhi-ling<sup>2</sup>, ZHANG Qiang<sup>3</sup>, JIN Xiao-guang<sup>4</sup>

(1. The Second Survey & Design Institute of China Railways, Chengdu 610031, China;  
2. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;  
3. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;  
4. Chongqing University, Chongqing 610072, China)

**Abstract:** Based on the complexity of geological environmental conditions of Zoumaling tunnel, it is necessary to monitor the deformation of deep surrounding rock. The principle and method are presented by the numbers and surrounding rock dynamic composite information of the tunnel is obtained and transformation disciplinarian of surrounding rock is analyzed based on Zoumaling road tunnel engineering practice of deep surrounding rock deformation monitor. Surrounding rock deformation monitor offers the scientific basis for large deformation and majorized quadratic bearing time and rational suggestion in safety tunnel construction, which is an important method of geotechnical engineering information design and construction.

**Key words:** Zoumaling tunnel; construction engineering geology; surrounding rock deformation monitor; majorized quadratic bearing time

### 1 工程概况

走马岭隧道是石万公路关键性控制工程, 隧道全长 2.469 km, 隧道标高约 690 m, 最大埋深近 400 m, 隧道穿越的主要地质构造单元为方斗山背斜。隧道方向与背斜轴近于正交, 背斜自两翼向轴部为三叠系上统须家河组砂岩、中统巴东组泥灰岩、下统嘉陵江组和大冶组灰岩组成。因隧道地段地质构造复杂, 地应力水平较高, 岩体破碎, 围岩类别变化大, 坚硬岩体和软弱岩体相间分布, 且隧道埋深较大, 局部较大规模的坍塌或大变形均显露迹象。为了尽量避免意外情况的出现, 在勘探地质资料和理论分析作为参考依据的情况下, 有必要进行深部围岩变形监测, 对隧道的围岩实现掘进面附近时空变形的预测和预报分析, 并对隧道的衬砌状态及隧道岩体进行评价, 为施工设计提供指导性依据和现场监控手段, 以达到安全施工和优化支护设计目的。

### 2 环境背景

#### 2.1 气候条件

隧道所处的万州区属亚热带季风气候区, 气候温暖潮湿, 四季分明, 雨量充沛。该区气象站资料, 多年平均气温 18.1℃, 多年平均降水量 1181.2 mm, 历年最大降水量 1635.2 mm, 降水多集中在 5~9 月, 约占每年降雨总量的 70%。夏季多大雨、暴雨等集中降水过程, 历年最大月降水量 711.8 mm, 最大日降水量 243.3 mm, 暴雨频率达 32.4%; 最长连续降雨 16 日, 最大连续降雨量 488.7 mm。2000 年 5 月~8 月, 万州区降水量达 985.1 mm, 为当年降水总量的 83.4%。

#### 2.2 地质条件

走马岭隧道穿越地层主要有侏罗系下统珍珠冲组 (J<sub>1</sub>zh), 三叠系上统须家河组 (T<sub>3</sub>xj), 中统巴东组 (T<sub>2</sub>b), 下

\* 收稿日期: 2005-11-02

作者简介: 张会刚 (1975-), 男, 河南许昌人, 助理工程师, 主要从事铁路、公路、地铁、水利水电工程地质勘察及建设用地灾害危险性评估工作。

统嘉陵江组(T<sub>1j</sub>)、大冶组(T<sub>1d</sub>)，岩性主要为泥岩、泥灰岩和白云质灰岩。地质构造较发育，地貌上主要表现为“三峰夹两谷”，呈 NNE- NEE 向弯曲延伸的“峰”和“谷”。隧道主要受到 F18 断层以及方斗山背斜的影响，隧道区域内岩层多

发生揉皱，构造节理发育；特别是断层附近岩层破碎，并且可能发生岩层大变形、涌水等事故，所以必须加强围岩深部变形及位移监测。

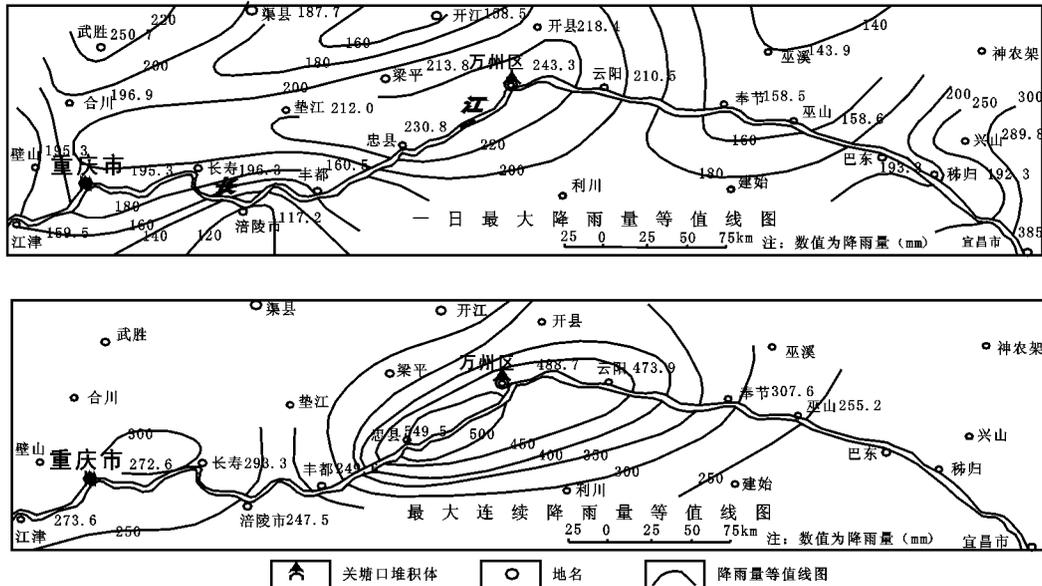


图 1 隧址区降雨情况曲线

表 1 隧址区地层岩性

地层名称			厚度/m	地层简述	
系	统	组			
三 叠 系	下统	珍珠冲组	J <sub>1zh</sub>	247~ 361	灰色中厚层细粒岩屑石英砂岩，泥质粉砂岩，夹页岩及泥岩，下部含薄层煤及菱铁矿结核，与下伏地层整合接触
		须家河组	T <sub>3xj</sub>	193~ 553	浅灰、灰绿色厚层状岩屑石英砂岩，夹泥岩、炭质泥岩及薄煤层，上部夹含砾砂岩及砾岩透镜体，下部夹菱铁矿结核
	中统	巴东组	T <sub>2b</sub>	341~ 559	上部为灰色薄—中厚层状泥灰岩夹黄灰色泥岩，中部为紫红色泥岩夹薄—中厚泥灰岩，下部为灰色薄—中厚层泥灰岩夹白云质灰岩及泥岩
		嘉陵江组	T <sub>1j</sub>	552~ 748	浅灰色、灰色白云质灰岩，灰岩，夹角砾状灰岩，生物碎屑灰岩，局部夹紫红色薄层泥质白云岩及鲕状灰岩，具缝合线构造
下统	大冶组	T <sub>1d</sub>	310~ 524	顶部 24~ 50 m 为紫红色泥岩，泥质灰岩，白云质页岩，中部、下部为灰、浅灰色灰岩，泥灰岩夹泥岩	

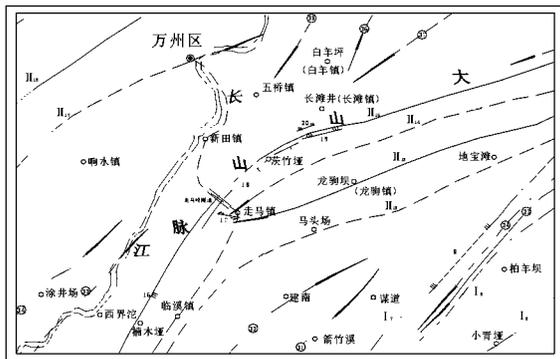


图 2 走马隧址区构造纲要简图

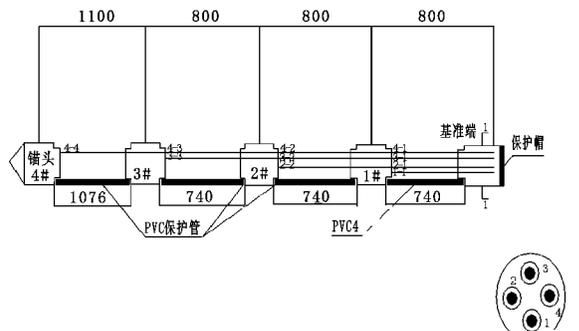


图 3 JW-4型机械位移传感器按编号示意图

图 3 多点位移监测仪

### 3 变形监测原理及方法

#### 3.1 变形监测原理

隧道开挖前，岩体每个质点均受初始应力作用而处于相对平衡状态；开挖后，因洞壁岩体质点失去原有岩体的支撑，破坏了原有的受力状态，造成隧道周边岩体向隧道空间膨胀，

其结果又会改变邻近岩体质点的相对平衡状态，从而引起应力、应变的调整，以达到新的平衡，形成新的应力状态。隧道深部围岩变形监测主要目的是了解围岩的径向位移分布和松弛范围，优化锚杆参数，指导施工。深部位移量测一般采用单点式或多点式位移计量测。常用的有机械式多点位移计 BM-1 型、两点杆式位移计 WYJ-2 型、杆式钻孔多点位移计

GDW421 型和机械式八点伸长仪等, 多点式位移计不仅可测各测点间的相对位移, 而且若将孔底测点位置设置在开挖空间的影响范围之外, 则各测点相对于孔底测点的相对位移即可近似地认为是各点的绝对位移。本次采用 JW-4 型机械位移传感器(图 3), 其基本原理为埋设在钻孔内的各测点与孔壁紧密连接, 岩层移动时能够带动测点一起移动。变形前各测点钢带在孔口的读数为  $S_0$ , 变形后第  $n$  次测量时各点钢带在孔口的读数为  $S_n$ 。测量钻孔不同深度岩层的位移, 也就是测量各测点相对于钻孔最深点的相对位移。第  $n$  次测量时, 测点 4 相对于孔口的总的位移量为  $S_{4n} - S_{40} = D_1$ , 测点 3 相对于孔口的总位移量为  $S_{3n} - S_{30} = D_3$ , 测点  $i$  相对于孔口总的位移量  $S_{in} - S_{i0} = D_i$ , 于是测点  $i$  相对于测点 4 的位移量是  $\Delta S_{in} = D_i - D_4$ 。当在钻孔内布置多个测点时, 就能分别测出沿钻孔不同深度岩层的位移值。锚头的深度越大, 本身受到开挖影响越小, 所测出的位移值越接近真实值。

3.2 变形监测方法

量测断面应具有代表性, 本次量测断面主要选择在 F18

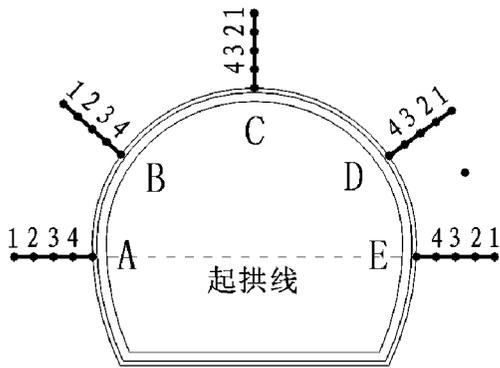


图 4 测点布置图

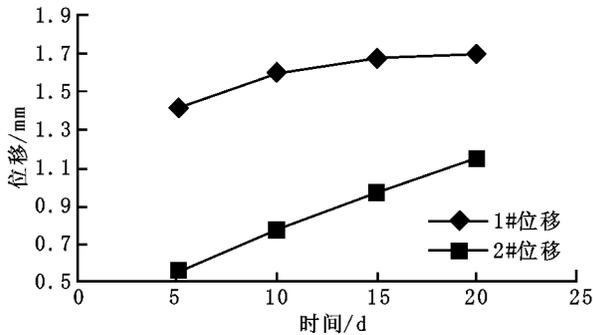


图 6 1# 点位移- 深度曲线、2# 点位移- 时间曲线

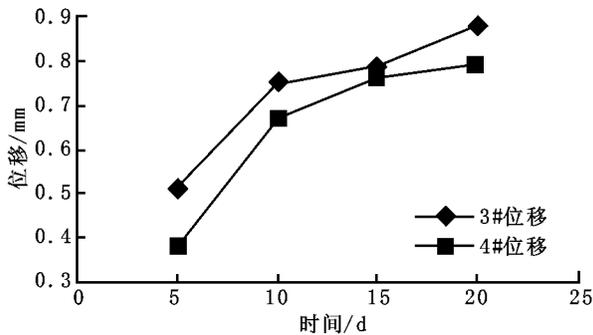


图 7 3# 点位移- 深度曲线、4# 点位移- 时间曲线

隧道位移- 深度曲线显示, 不同深度的围岩, 其松弛变形不同。一般随围岩内部深度的增加, 相应的松弛变形减小。如 0.8 m 的围岩相对位移 1.69 mm, 1.6 m 的围岩相对位移为 1.14 mm, 2.4 m 围岩相对位移为 0.88 mm, 3.5 m

断层附近的  $T_{20}^{2,2}$  泥岩和  $T_{3j}^{3,3}$  灰岩及白云质灰岩, 断层带附近按照每隔 20~50 m 设置一个量测断面; 其余地段根据地质条件, 量测断面间距可适当加大, 但必须保证沿隧道轴线每类围岩至少有一个量测断面; 对于地质条件好且连续可视隧道围岩收敛值稳定情况适当加大量测断面间距; 对于围岩较差、收敛值长期不稳定、开挖进度快或分部开挖等情况, 可缩小量测断面间距。每一个量测断面埋设 5 个测点, 其测点的布置尽量靠近掌子面, 快速埋设, 尽早埋设。测点一般设置在开挖工作面 2 m 范围内, 下次爆破前测取初始读数。变形监测频次为埋设 20 d 内 1~2 次/d; 20~50 d 间, 量测频率可依据相邻两次量测结果延长为 1 次/2 d; 以后可延长量测间隔时间, 最终量测频率为次/月或次/3 个月。如果量测的结果差别很大, 则需要增加频率。

4 变形监测结果分析

通过一个月围岩深部位移量测, 将量测结果绘成位移- 深度关系曲线和位移- 时间关系曲线。(图 5~9)

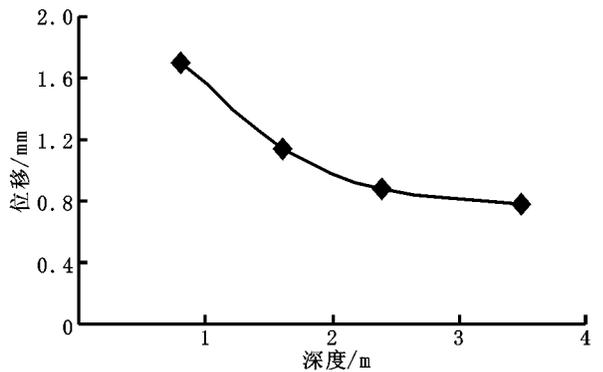


图 5 位移- 深度曲线

围岩相对位移为 0.79 mm。位移的增长值在前 1 个月内较大, 每天位移量在位移- 深度关系曲线显示相邻两点的位移基本上并没有突然变化, 说明松弛围岩的界面并没有在此深度范围内, 即塑性区的范围超过了多点位移计的最大深度 3.5 m; 同时实测位移曲线较平缓, 与弹性位移曲线近似, 为稳定围岩所特有。

按照一般岩石弹塑性理论, 围岩因开挖而产生的位移是瞬时完成的, 与时间无关。而实际上, 围岩是粘弹塑性体, 围岩松弛变形与时间有关; 围岩在小于徐变限界的恒定应力作用下, 围岩松弛变形由急剧增长到变化渐缓, 最后达到基本稳定, 此即围岩松弛变形的时间效应; 本次施工监测位移- 时间关系曲线显示在开挖后前 5 d 位移增长较大, 位移增长速率迅速减小; 开挖 20 d 后, 围岩变形基本停止。

5 变形监测结论

(1) 隧道内部相邻测点间位移并没有突然变化, 位移变化比较均匀, 而最深点的位移并不大, 围岩受扰动范围不大, 仅靠调整锚杆长度可以解决支护问题, 但是锚杆长度至少应超过 3.5 m。

(2) 通过位移与时间变化可以指导施工, 确定复喷的时间和二次衬砌的施工时间在断面开挖后 20 d 左右比较合适。

(3) 总体上位移变化不大, 最大也不到 2 mm, 表明岩体稳定性是比较好的; 同时也说明喷锚临时支护后围岩的稳定过程是由表及里地渐进变化, 即喷混凝土, 锚杆对围岩的作用是由浅及深地与岩体联系在一起的。

(4) 围岩在不断的调整其应力和变形以适应开挖和支护

(下转第 200 页)

### 3.2 生态环境变化结果分析

生态环境的变化主要是受人类活动与脆弱生态环境相互作用的影响<sup>[4]</sup>。利用 GIS 的空间分析功能, 针对土地利用/ 覆盖中林地、耕地、草地、建设用地(居民点工矿和交通用地)、未利用土地和水体 6 大类, 对工作区进行了用地面积统计分析。并通过 2000~ 2004 年土地利用/ 覆盖动态变化图(图 3) 以及 2000 年与 2004 年两个时相的土地利用/ 覆盖图比较, 主要对林地、耕地、草地、建设用地等类型的土地利用变化进行分析。根据 GIS 分析量算功能, 同时参考有关部门技术资料, 得出四川省生态环境遥感动态变化的结果: 林地在各种土地利用类型中占的比例最大, 2004 年达 35.632%, 且呈逐年递增趋势, 2000~ 2004 年期间共增加 43 223.38 hm<sup>2</sup>, 但年变化率很小, 只有 0.29%。草地面积占 34.345%, 草地面积逐年减少, 5 年间草地面积减少了 16 028.37 hm<sup>2</sup>。耕地面积在各种土地利用类型中占 24.998%, 由于退耕还林还草工程、区域城镇化进程的加快、部分坡耕地改种果树和花椒等经济作物等原因, 5 年间耕地面积减少了 62 707.82 hm<sup>2</sup>, 其中旱地减少占耕地减少总面积的 69.42%。建设用地面积在各种土地利用类型中占 0.67%, 呈逐年递增趋势, 5 年间增加 35 748.10 hm<sup>2</sup>, 建设用地的年变化率最大高达 10.99%。水域稍有增加, 未利用土地相对减少, 但变化率都较小。在土地利用变化中, 主要是耕地转化成建设用地(居民点工矿和交通用地)和林地, 草地转化成林地、建设用地和耕地, 未利用土地转化成草地和林地。

由上述数据可以得出, 土地利用的总体趋势是耕地、草地和未利用土地的减少, 建设用地、水域、林地明显增加; 土地利用

- 参考文献:
- [1] 陈涛, 杨武年. 3S 技术在生态环境动态监测中的应用研究[J]. 中国环境监测, 2003, 19(3): 19- 22.
  - [2] 孙静, 赵伟, 赵鲁全. 土地利用遥感动态监测技术方法介绍[J]. 山东国土资源, 2005, 21(4): 38- 41.
  - [3] 刘玉机, 胡远满, 等. 中巴地球资源卫星在辽东区域环境监测中的应用评价研究[J]. 测绘科学, 2000, 25(2): 30- 32.
  - [4] 杨武年, 濮国梁, 袁配新, 等. 岷江中上游流域生态环境的遥感动态监测分析[J]. 遥感信息, 2003, 26(1): 19- 21.
  - [5] 罗扬, 朱军, 等. 中巴资源卫星数据在贵州森林资源调查中的应用[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(2): 92- 95.

(上接第 197 页)

后新的边界条件和应力环境, 符合新奥法的设计施工原理。围岩位移量测是量化分析围岩围岩稳定的最主要手段和方法。锚杆支护、喷混凝土支护和现场量测被喻为新奥法施工的三大支柱, 而锚杆支护、喷混凝土支护参数的确定是靠现场量测结果的分析、判断、修改、反馈来实现的。

(5) 不同的施工方法, 会对围岩产生不同程度的破坏, 不同的支护形式, 将不同程度地控制围岩的变形。控制爆破比普通爆破的松弛变形量要小; 加锚、加网可减小松弛变形量; 尽早支护比延迟支护的松弛变形量要小; 预支护可减小松弛变形量。

(6) 围岩某处的松弛变形, 随着开挖面的向前推进, 其变位速度有一个从逐渐增加到渐渐减缓的变化过程。当开挖面至监测点 3~ 5 m 内, 围岩松弛变形还有发展趋势, 个别测点变化速度还较大; 掌子面距监测点 5 m 后继续向前推进,

- 参考文献:
- [1] 钟长平, 许汉才. 围岩松弛变形影响因素初探[J]. 西安公路学院学报, 1994, 14(1): 14- 18.
  - [2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
  - [3] 王忠勋. 隧道围岩变形监控量测的实践[J]. 铁道建筑, 2000, (2): 7- 10.
  - [4] 陈炳祥. 隧道施工围岩稳定与适时支护[J]. 铁道标准设计, 2000, 20(11): 25- 28.
  - [5] 胡时友, 姜昭群. 围岩监控量测技术在浅埋大断面公路隧道中的应用[J]. 探矿工程, 1994, (2): 16- 18.
  - [6] 吉随旺. 铁路隧道的施工工程地质及围岩量测数据处理系统[J]. 地质灾害与环境保护, 1998, 9(1): 61- 64.
  - [7] 靳晓光, 王兰生, 卫宏. 公路隧道围岩变形监测及其应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(1): 19- 23.

变化是以土地开发复垦、生态退耕、农业结构调整以及建设用地占用等为主导的变化过程, 同时伴随着土地退化和森林砍伐的环境恶化过程; 土地利用总体趋势较好, 生态环境不断改善, 但是局部地区土地利用仍然存在如乱占耕地等极不合理的现象。土地利用/ 覆被的变化除了受地形条件和自然灾害的影响外, 更重要的是受人口增长、城市化进程以及政府决策等社会经济因素的驱动<sup>[5]</sup>。如果继续天然林保护工程、退耕还林还草工程和生态环境建设治理工程的实施, 同时有效进行人类合理开发利用自然资源, 四川省生态环境的恢复与重建将会得以实现。

## 4 结 论

本文结合 2000 年土地利用现状的 GIS 本底矢量数据库, 利用中巴资源卫星(CBERS- 02) 资料为主要数据源进行 2004 年的生态环境遥感动态更新。研究表明, CBERS- 02 遥感数据的引入, 能充分利用地物的纹理和结构特征, 有助于目标地物的识别, 减少了同物异谱、异物同谱的现象, 基本满足大中比例尺的生态环境遥感动态更新要求。同时证明 CBERS- 02 数据影像清晰, 信息量丰富, 图像质量好, 适用于生态环境动态监测、国土资源详查等大中比例尺调查中, 成为遥感数据更新的主体。但 CBERS- 02 影像的象元灰度对比度偏低, 影像较为模糊, 噪声大, 需要进行颜色均衡和去噪声处理, 后继星应改进 CCD 相机质量。由于本次研究所用图像时相限制, 加之研究时间有限, 所以 CBERS- 02 卫星数据在生态资源动态监测中许多潜在的应用, 还有待在今后的应用中进一步开发。

围岩内部相对位移还在继续增加, 但速度逐渐降低; 当掌子面距监测点 1.5~ 2.0 倍洞径时, 位移速率趋近于零, 围岩基本上达到稳定。

(7) 岩体坚硬完整的 I 类围岩, 应力重分布在岩体弹性极限内围岩只有弹性变形而无塑性, 支护多是为了制止风化应力进入岩体内部; II~ III 类围岩支护施工宜在围岩应力重分布没有完成以前, 支护结构承受变形的山岩压力; IV~ V 类隧道开挖后, 围岩自稳时间短, 地质情况复杂地段宜采取预加固措施, 支护结构承受的力多为松动山岩压力。

总之, 深部围岩位移监测能反映围岩的物理力学状态, 表明围岩位移随时间和开挖面的推进而变化的规律, 能反馈外界因素对围岩的扰动程度并确定其松动范围; 量测结果可作为判断隧道稳定性的重要指标, 且量测方法简便经济, 稳定可靠, 量测结果可直接用来指导施工。