

云南元磨高速公路隧道监控量测

温树林

秦之富 唐 健

(云南元磨高速公路建设指挥部) (重庆交通科研设计院元磨高速公路隧道量测组)

摘 要 监控量测是隧道新奥法设计与施工中所必须的,本文结合云南元磨高速公路隧道群的现场监控量测,介绍监控量测断面布置、数据采集、量测数据的处理、分析及应用。

关键词 新奥法 隧道围岩 监控量测 信息反馈

1 引言

在我国高速公路隧道建设中,越来越多地采用了新奥法施工,新奥法思想是把坑道周围岩体和各种支护结构作为一个完整支护体系的一种支护理论和方法,打破了围岩荷载完全由支护结构来承担的传统矿山法施工的思想。新奥法施工其主要的出发点是最大限度地保持和发挥围岩的自承能力,允许围岩产生局部应力松弛,也允许作为承载环的支护结构有限制地变形。而监控量测则是新奥法中不可缺少的重要组成部分,通过监控量测来决定围岩和支护结构的承载—变形—时间特性。

2 元磨高速公路隧道简述

元(江)~磨(黑)高速公路是昆明~景洪高速公路的一段,跨越元江、墨江和普洱三个自治县。线路位于云贵高原西部,横断山脉南延地区,云南省地貌分区的哀牢山中山亚区,区内属构造侵蚀地形。公路穿越崇山峻岭,高差起伏很大,主要位于高中山地区。在 150km 的线路范围内分布有大小隧道 22 座,其中双洞隧道 8 座,连拱隧道 14 座。最长的隧道 3300m,最短的隧道 105m,总里程达 12.43km。隧道限界高 5m,限界宽 9.75m。沿线人烟稀少,植被茂密,雨量充沛,崩塌、滑坡、泥石流现象突出。隧道穿越地层的岩性主要有三叠系、志留系的粉砂岩、泥岩、板岩、千枚岩等,岩石强度较低,受区域地质构造的影响,断层、节理裂隙、层理、褶皱发育,围岩极为破碎,一些洞口存在较大的偏压,部分边坡、仰坡处在古滑坡上。

3 监控量测的目的和意义

元磨高速公路隧道围岩多属Ⅱ、Ⅲ类,以泥岩、泥质粉砂岩和变质岩为主,强度较低,遇水易软化,节理裂隙发育,自稳能力差,且岩性变化较大,如施工工艺不当易造成围岩失稳,甚至可能发生大塌方,给工程带来不可弥补的经济和时间损失,因此实施隧道围岩现场监控量测具有重要的意义。

a. 通过施工和环境监测进行信息反馈及预测预报,优化施工组织设计,指导现场施工,确保隧道施工的安全与质量和工程项目的社会、经济和环境效益。

b. 掌握围岩动态,了解支护结构在不同工况时的受力状态和应力分布,对围岩稳定性作出评价。

c. 验证支护结构型式、支护参数,评价支护结构、施工方法的合理性及其安全性,确定支护

时间。

d. 为修改设计提供数据,为调整施工方法提供依据。

e. 为科研项目研究提供第一手信息,为长大公路隧道及连拱 M 型公路隧道在云南省特殊地质与水文条件下的修建水平提供科学依据和技术保证。

4 监控量测内容及断面布置

4.1 监控量测所需的原始资料

监控量测所需的基本资料见表 1。

表 1 隧道监控量测所需的基本资料

序号	项 目 名 称
1	隧道工程地质、水文地质资料及平面、纵、横剖面图和围岩分类
2	围岩(土)力学参数
3	隧道设计的规模、使用年限、尺寸、几何形状、支护参数、开挖程序等
4	隧道及支护设计,模型试验
5	勘探、试验、气象、地震、调查测绘原始资料

4.2 监控量测内容

根据云南元磨高速公路隧道群的地质、水文特性、新奥法施工中所需信息及隧道课题研究的需要,本次监控量测内容分必测项目和选测项目,其内容见表 2。

表 2 隧道主要监控量测项目表

编号	项目名称	要求及目的	量测类别
1	地质及支护状况观察	对岩性、岩层产状、结构面、溶洞、断层进行描述,观察支护结构裂缝。	必测
2	拱顶下沉量测	监视隧道拱顶下沉,了解断面的变形状态,判断隧道拱顶的稳定性。	
3	周边收敛量测	用周边收敛仪量测隧道两侧壁水平相对位移情况及变化趋势。	
4	地表下沉观测	从地表设点观测,根据下沉位移量判定开挖对地表下沉的影响,以确定隧道支护结构。	
5	围岩地质超前预报	探明前方围岩地质情况,地下水分布、裂隙发育、整体性,对围岩稳定性作出判断。	
6	围岩内部位移量测	了解隧道围岩内部的松弛区,不同测孔深度的位移量,为准确判断围岩的变形发展提供数据。	选测
7	锚杆轴力量测	根据锚杆所承受的拉力,判断锚杆布置是否合理,了解围岩内部应力的分布情况。	
8	喷射混凝土内轴向应力量测	量测喷射混凝土内轴向应力,了解初期支护内的受力状态。	
9	二次衬砌应力量测	量测二次衬砌内应力,了解二次衬砌内的受力状态。	
10	复合式衬砌围岩压力及层间接触压力	判断复合式衬砌中围岩荷载大小,判断初期支护与二次衬砌各自分担围岩压力情况。	
11	钢支撑应力量测	量测钢支撑内应力,推断作用在钢支撑上的压力大小,判断钢支撑尺寸、间距及设置钢支撑的必要性。	检测
12	锚杆拉拔检测	用锚杆拉拔计检测锚杆的抗拔能力是否符合设计要求。	
13	地质雷达检测	通过地质雷达检查衬砌的密实情况,衬砌背后有无空洞。	

4.3 量测断面布置

为了对围岩及支护结构的性态能较全面地分析,并且能获得完整的数据,同时又能使各项数据间能相互比较、相互验证,因此必测项目和选测项目的各项量测内容应尽量布置在同一个断面上。云南元磨高速公路既有双洞隧道也有连拱隧道,它们的断面布置分别如图1—图4。

- 双洞隧道和连拱隧道的量测断面测点布置基本相同;
- 在连拱隧道中墙表面布置两个衬砌表面应力量测点;
- 在中墙与拱脚的连接位置布置一个压力盒。

5 数据采集、处理及分析

在量测断面测点埋设后24h内测取初始读数,以后根据技术规范要求的采集频率和次数进行收集数据。但是,我们也根据隧道开挖、工程进度和所量测数据的变化情况作适当的调整,量测频率的确定主要是根据埋设断面时间间隔和与掌子面的距离来确定。

现场每次所量测到的数据都立即输入我们自行开发的公路隧道围岩与支护结构量测数据管理系统。该数据系统能够自动生成时

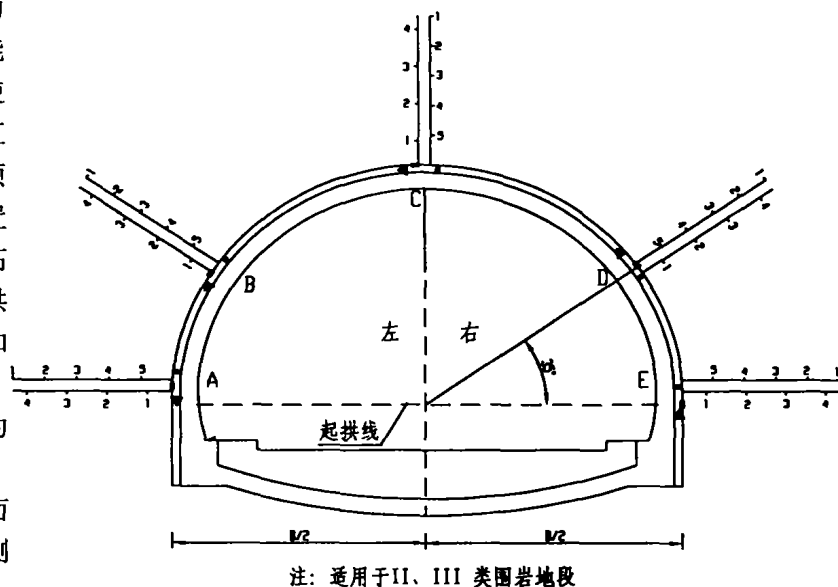


图1 双洞选测项目断面测点布置图

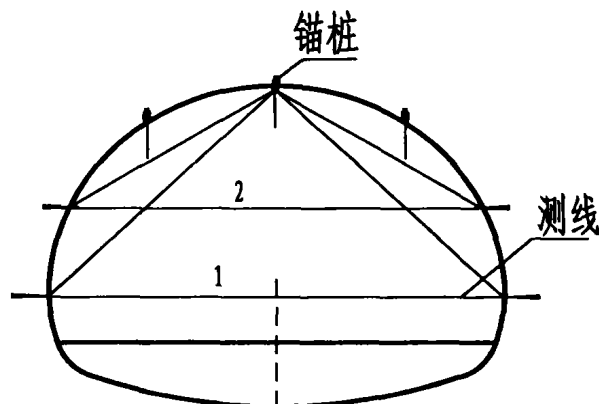


图2 双洞必测项目断面测点布置图

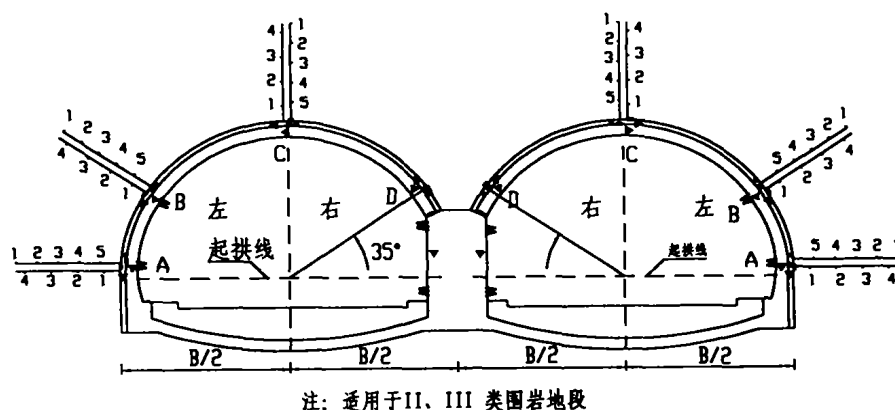


图3 连拱隧道选测项目断面测点布置图

空曲线图,并对数据进行整理、比较、分析,从时空曲线图上观察曲线的走势,预测围岩与支护结构的发展趋势,随时掌握隧道围岩和支护结构的动态变化,反馈信息,指导施工,预防坍塌事故的发生。

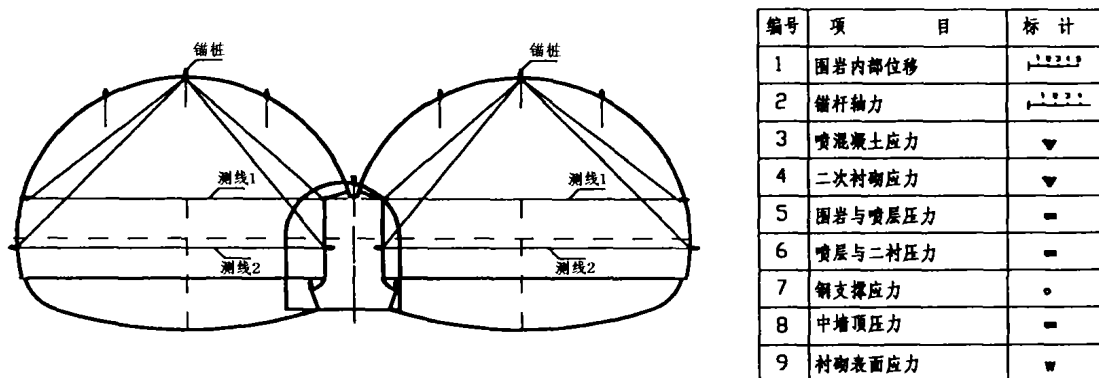


图 4 连拱必测项目断面测点布置图

由于现场量测条件和量测手段及人为等原因,现场量测所得的数据不可避免会有误差,为了消除这种量测中不可避免的必然误差和偶然误差对我们量测数据分析的影响,要对现场量测所得的数据进行回归分析,以预测数据的变化趋势,评价所测数据的可靠性和可用性。

以通关隧道 SK324+782 断面量测情况和数据处理分析为背景来详细介绍隧道监控量测中数据的采集、处理、分析及信息反馈。

5.1 工程概况

通关隧道是云南元磨高速公路上的重要构筑物之一,位于云南省墨江县通关镇,是一座分离式双洞两车道隧道,称上、下行隧道;穿越潘龙山山腰,下行隧道全长为 455m,最大埋深为 65m;上行隧道全长 500m,最大埋深为 62m。隧道设计净跨为 10.9m,净高为 7.2m 的半圆拱曲墙断面。本隧道区域出露地层以下白垩系地层为主,岩组为紫红、紫灰色砂岩与泥岩不等厚互层组成的半坚硬岩组。围岩类别:隧道进出口为Ⅱ类,其于为Ⅲ类。

5.2 SK324+782 断面的支护及围岩情况

该断面初期支护为型钢支撑,钢纤维喷射混凝土,超前管棚和径向小导管注浆,系统锚杆;围岩为泥质粉砂岩、泥岩和强风化砂,围岩破碎,节理裂隙发育,在开挖过程中容易掉块,围岩类别为Ⅱ类,埋深 16m。

5.3 数据采集及处理

数据采集为埋设一个星期内每天量测 1 次,其后每两天量测 1 次;但在 2001 年 7 月 10 日左右,由于数据变化异常,又改为每天采集 1 次;在 7 月 25 日左右,该断面的拱顶下沉、周边收敛和围岩内部位移的变化量非常明显,又及时改为每天收集两次数据,以随时掌握围岩及支护结构的动态变化。对每次收集到的数据进行及时处理,分析原因,并把信息反馈给施工有关单位,指导施工,修改设计参数。

5.4 数据分析

该断面钢支撑量测、围岩与喷射混凝土间压力、喷射混凝土内应变量测是从 2001 年 6 月 19 日开始,锚杆轴力、围岩内部位移是从 2001 年 7 月 17 日开始量测;由于该段采用环形开挖留核心土法施工,所以拱顶下沉和周边收敛量测于 7 月 22 日开始量测,二衬与初喷间压力和二衬内应变于 8 月 22 日量测。该断面各种量测项目的量测及分析如下:

钢支撑内力:该断面的钢支撑内力不大。到钢支撑内力收敛时各测点的内力分别如下:左

拱脚为 1.92kN, 左拱腰为 6.04kN, 拱顶为 25.32kN, 右拱腰为 -23.09kN, 右拱脚为 23.80kN。从该点的钢支撑内力一时空曲线的发展变化看, 钢支撑在埋设后 20 天(即 7 月 8 日)和 38 天时(即 7 月 27 日)曲线发生两次明显变化, 第一次是由于围岩荷载作用使钢支撑内力增大, 第二次是由于下台阶开挖, 钢支撑拱脚基础支撑力减弱, 钢支撑内力释放一部份。在这之后曲线基本呈水平曲线, 钢支撑内力收敛。(注: 左右区分为面向行车方向)。

围岩与喷射混凝土间接触压力: 该断面的围岩与喷射混凝土间接触压力都比较大, 在围岩压力稳定时, 各测点的压力分别如下: 左拱脚为 332.96kPa, 左拱腰为 134.71kPa, 拱顶为 205.20kPa, 右拱腰为 292.38kPa, 右拱脚为 230.54kPa。从围岩与喷射混凝土间接触压力一时空曲线的变化过程看, 该断面的压力变化在测点埋设后 30~40(即 7 月 18 日~7 月 28 日)天之间增大很明显, 此后压力变化趋于稳定。

喷射混凝土内应力: 左拱脚、拱顶、右拱脚三测点的喷射混凝土内应力都不大, 且三点的应力均为压应力变为拉应力。三测点拉应力的最终量测结果分别为: -1.85MPa, -2.00MPa, -2.06MPa; 从三测点的喷射混凝土内应力一时空曲线上分析, 三测点的应力已稳定。左拱腰测点的喷射混凝土内应力不大, 为压应力 4.46MPa; 该点的应力时空曲线变化平稳, 基本呈水平曲线, 说明该点的应力没有什么变化。右拱腰测点的应力很大, 该测点的应力是在 7 月 28 日左右增大的, 到 8 月 10 日变化趋于稳定, 应力值收敛于 17.39MPa。

锚杆轴力: 该断面在 7 月 28 日前后各测点的锚杆轴力的拉力基本达到最大, 在之后则其拉力逐渐减小或变为压力。虽然随着埋深的增加, 锚杆轴力所受拉力逐渐减小, 但深部的锚杆测点的受力也较明显, 说明围岩的松动范围已在 3.5m 左右, 因此对该段支护结构的系统锚杆长度应加长。锚杆轴力出现从受拉变为受压这种动态变化, 是由围岩的松动范围在逐渐增大, 围岩松动后反过来对锚杆施加了压力, 同时也是对支护结构采取了加固措施, 使支护结构的内空变形得到控制所引起的。在左侧拱脚处、左侧拱腰处的锚杆轴力较大, 各测点的最大拉力和收敛状态的受力分别如下:

测点编号	A1(埋深 0.5m)	A2(埋深 1.5m)	A3(埋深 2.5m)	A4(埋深 3.5m)
最大拉力(KN)	-18.54	-16.96	-5.61	-3.01
收敛状态(KN)	7.65	1.44	-2.11	0.14

测点编号	B1(埋深 0.5m)	B2(埋深 1.5m)	B3(埋深 2.5m)	B4(埋深 3.5m)
最大拉力(KN)	-18.69	-6.81	-5.02	-3.12
收敛状态(KN)	-2.26	2.85	22.82	-0.15

右侧拱脚和拱腰处的锚杆轴力相对要小些, 但轴力的变化趋势基本与左侧的相同。从各测点的锚杆轴力一时空曲线上看上去, 该断面的锚杆轴力在 8 月 10 日以后就已基本收敛。

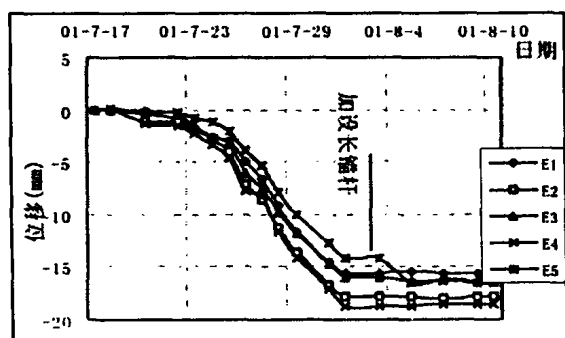


图 5 右侧拱脚围岩内部位移—时间曲线图

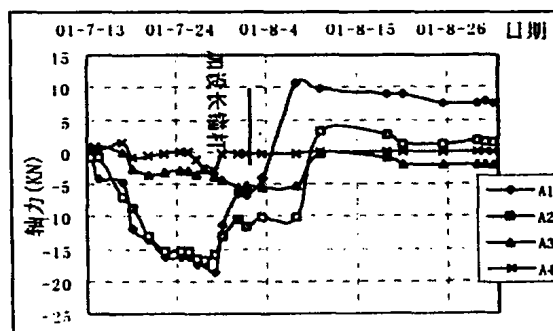


图 6 左侧拱脚锚杆轴力—时间曲线图

围岩内部位移:左侧拱脚处的围岩内部位移非常大,且从7月23日以来,围岩深部位移变化速率相当大,平均速率为3.494mm/天,最大变化量为19.735mm;左侧拱腰处围岩深部位移的变化速率为2.531mm/天,最大变化量为14.217mm;到7月28日,该两处围岩深部位移的变化已超过量程。右侧拱脚和拱腰两处围岩深部位移的变化速率相对要小一些,但最终位移量也相当大,分别为18.579mm,13.521mm。从围岩内部位移—时空曲线的变化趋势看,该两处的位移在8月4日后,变化速率变缓,并逐渐趋于收敛。从该断面各测点的位移变化,判断该隧道这一段的围岩松动圈已在3.5m左右,这与锚杆轴力量测结果相吻合。到7月27日,该断面的周边收敛值为32.656mm,左侧拱脚与右侧拱脚的围岩内部位移之和为33.304mm,周边收敛值与隧道两侧围岩内部位移之和是基本相吻合的,说明量测结果是可靠和可用的。

二次衬砌与喷射混凝土间的接触压力:该断面的二衬与喷混间的接触压力都非常小,最大接触压力为52.47kPa,为围岩与喷射混凝土间接触压力的16%。这和新奥法围岩荷载主要由锚喷支护来承担,并发挥围岩的自承能力,二次衬砌基本不受力的思想相一致。

二次衬砌内部应力:该断面的二衬内应力不大,最大值在左侧拱脚处,为3.93MPa,并且变化趋势也比较稳定。

拱顶下沉:该断面的拱顶下沉值很大。从7月24日开始,沉降变形的速率增大,最大变形速率测点是右测点,平均速率为6.315mm/天。到8月2日后沉降变形速率趋缓,并开始逐渐趋于收敛,到8月8日已基本收敛。各测点的最终沉降值分别如下:左测点62.13mm,拱顶51.71mm,右测点60.03mm。

周边收敛:该断面的周边收敛值很大。从7月24日到8月2日期间,周边收敛变形的速率非常快,在这9天中的变形量为54.984mm,平均速率为6.113mm/天,最终变形量为67.62mm,从8月4日后,收敛变形速率逐渐变小,并且逐渐趋于稳定。

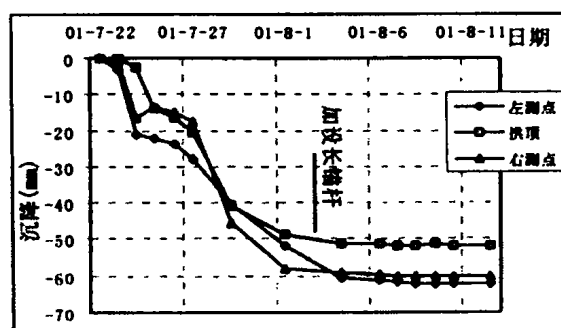


图7 拱顶沉降—时间曲线图

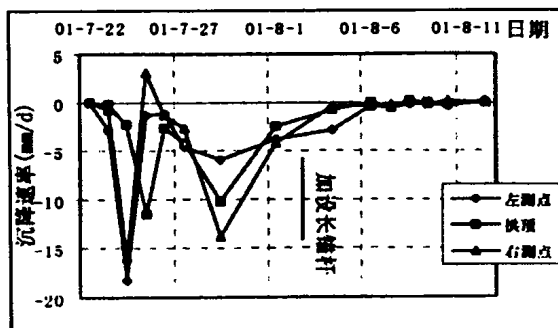


图8 拱顶沉降速率—时间曲线图

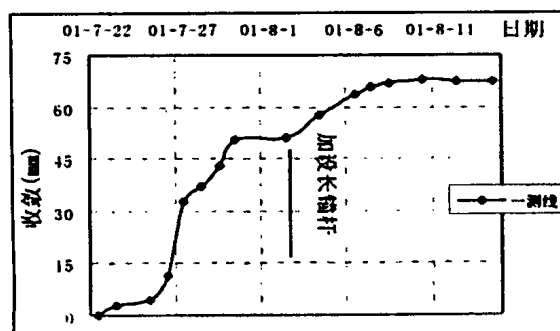


图9 周边收敛—时间曲线图

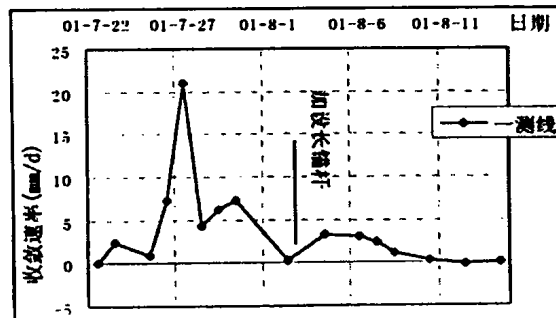


图10 周边收敛速率—时间曲线图

5.5 信息反馈

根据量测结果的变化情况,在7月25日向业主及有关施工单位通报该段围岩及支护结构的变形情况,并要求施工单位改变先拉中槽的施工方法,以保证两边拱脚基础的稳定,控制围岩及支护结构的变形。到7月29日,该段围岩和支护结构变形仍在加速,且变形量已相当大,周边收敛为50.424mm,拱顶沉降最大为45.46mm,围岩深部位移为19.735mm,并且围岩深部位移的部份测点已超过量程,因此及时向施工有关方报警,并要求对该段初期支护采取加固措施。于8月1日以紧急报告的形式再次向施工有关方通报了我们的量测情况:围岩及支护结构的变形发展仍然很快,并建议在该段初期支护拱腰以下部位打径向长锚杆和锁脚长锚杆。施工单位于8月3日按该建议对该段的支护结构进行了加固。从以上的数据分析部分可以看出,在施工单位对这段初期支护进行加固处理后,围岩及支护结构的变形立即得到控制,变形速率减缓,并逐渐开始趋于收敛。到8月8日左右,该段的围岩及支护结构变形已基本收敛,可以施作二次衬砌。

由于对围岩及支护结构的动态变化信息及时反馈,保证了支护结构的稳定和安全,预防了隧道的再次坍塌事故。

6 结束语

由于隧道工程的特殊性、复杂性和隧道围岩的不确定性,对隧道围岩及支护结构进行监控量测是保证隧道工程质量、安全的必不可少的手段。因此对监控量测资料的整理分析、预报和反馈应做好以下几点:

- a. 对监控量测资料的整理、分析和解释。
- b. 对隧道的安全、稳定状态进行评估、预测和预报,确保施工安全,预防避免各种失稳的安全事故。
- c. 对量测信息进行及时反馈,指导设计、施工和修改支护参数。
- d. 检验设计理论、物理力学模型和分析方法,改进隧道工程的设计施工方法,同时为隧道施工管理提供科学依据。