

# 天摩岭公路隧道施工围岩位移监测技术

朱迎宇

(中铁十八局集团第二工程有限公司,河北唐山 063030)

**摘要:**介绍了浙江省台州天摩岭公路隧道施工中的围岩位移监测技术,包括隧道周边、拱顶、地表的监测点布置与量测分析方法,并对监测结果进行分析,以指导隧道的设计与施工。

**关键词:**天摩岭公路隧道;围岩位移;监测

**中图分类号:**U456 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)05-0055-03

“新奥法”由于其先进性与适用性,目前在我国的隧道施工过程中已被广泛采用。根据《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94)的规定,需要将现场监控量测项目列入施工组织设计,掌握围岩和支护的动态信息并及时反馈,以指导施工作业,而且通过对围岩和支护的变位、应力的量测,修改支护系统的设计,达到最优的目标。因此,作为隧道“新奥法”施工三要素之一的施工监测便显得非常重要。

浙江省台州天摩岭公路隧道为双向两车道二级公路隧道,建筑界限净宽 11.4 m,净高 5.7 m,隧道内轮廓采用单心圆形式,为常见的公路隧道类型。但该隧址区地貌为低山-丘陵,隧道围岩为易溶性泥质灰岩,局部发育岩溶裂隙,围岩相当破碎。根据规范必须对隧道进行监测,并将监测的信息及时反馈,以正确指导该隧道的设计与施工。由于受篇幅限制,本文仅对该隧道周边的位移、隧道拱顶的下沉、隧道地表下沉进行分析。

## 1 监测点的布置与量测分析方法

### 1.1 隧道周边位移量测

为监测围岩及支护的稳定性,应对围岩及支护周边收敛的情况进行量测。每 30 m 布置一个量测断面,共计 32 个断面。隧道周边位移监测点布置在图 1 的 B、C 位置。此项监测所运用的工具为位移收敛计,收敛监测的灵敏度应该小于  $\pm 1$  mm。

此项监测的频率为:开挖后 1~15 天,每天观测 1 次以上;开挖后 16~30 天,每 2 天观察 1 次;当开挖后 1~3 个月,每周观测 1 次;开挖 3 个月后,每个月观察 3 次。

进行监控量测时,需要注意以下几点:

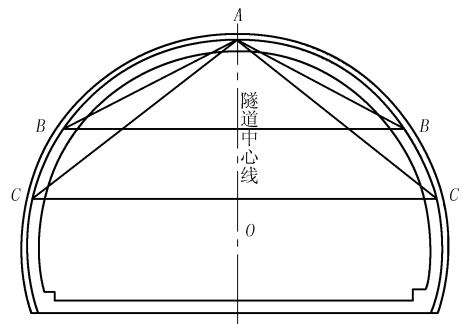


图 1 周边位移与拱顶下沉监控量测示意图

(1) 在施工初期阶段,或地质情况较差时,或位移下沉量及速度较大时,应适当增加量测断面及量测频率。

(2) 监测点设置应可靠,并应妥善保护,测量仪器使用前应严格标定。

(3) 各测量项目应尽可能布置在同一断面,测量点应尽可能选择具有代表性的地方,以便测量数据的分析及为以后的工作提供经验。

(4) 对量测资料的整理:①绘制位移量随时间变化的曲线;②绘制位移速度随时间变化的曲线;③绘制位移量与开挖面距离关系曲线;④找出位移-时间回归曲线,求出最终净空位移量;⑤根据各类围岩量测数据求出围岩的  $e$ 、 $c$ 、 $\varphi$  等物性参数。

(5) 当隧道水平位移收敛速度为 0.1~0.2 mm/天,拱顶下沉位移速度为 0.1 mm/天可以认为围岩已基本稳定,应根据量测结果确定二次衬砌施作的适当时间,施作过早可能使二次衬砌承受过大的荷载。

(6) 在监测过程中,若发现净空位移量过大或收敛速度无稳定趋势时,对结构应采取补强措施:①增加喷混凝土厚度,或加密锚杆,或加挂钢筋网;②

收稿日期:2007-03-22

作者简介:朱迎宇(1970-),男(汉族),吉林通化人,中铁十八局集团第二工程有限公司总工程师,掘进工程专业,从事隧道工程施工技术与管理工作,河北省唐山市丰润区,13231521296, Zyy715241@sohu.com。

提前施作二次衬砌,要求通过反分析校核二次衬砌强度;③按更低一级围岩类别施作衬砌。

(7)若发现净空位移收敛速度具有稳定趋势时,应据此求出隧道结构初期支护及二次衬砌上的最终荷载,以便对结构的安全度做出正确的判断。

(8)若经过对各种量测数据联合反分析后,发现初期支护或二次衬砌结构安全系数较大,在经过设计人员同意后,可对下一段与此地质类型相近的支护参数作适当调整。

(9)对围岩类别的变更及对支护参数的调整均必须有相应的量测数据并得到设计方认可。

## 1.2 隧道拱顶下沉量测

隧道拱顶下沉量测测点布置于图1中的A点,根据规范规定,每10~50m布置一个量测断面,所运用的仪器主要为水准仪、水准尺、钢尺或者测杆。

为了了解拱顶及结构物下沉的情况,应该进行拱顶及结构物下沉观测。每30m布置一个观测断面,共计32个断面。在隧道顶部、侧墙下部左右台阶处理设测点,采用水准仪进行量测,下沉的灵敏度应该小于 $\pm 1$ mm。

此项监测的频率为:开挖后1~15天,每天观测1次以上;开挖后16~30天,每2天观测1次;当开挖后1~3个月,每周观测1次;开挖3个月后,每个月观测3次。

注意事项参照隧道周边位移监测。

## 1.3 地表下沉量测

地表沉降监控测点布置见图2。监测位置布置在洞口浅埋地段,设置20个观测横断面,沿衬砌中线,每2~3m一个测点;监测工具为水平仪、水准尺;监测精度: $\Delta h = 0.1$ mm。

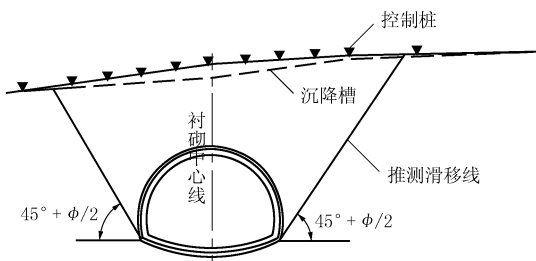


图2 隧道地表下沉量测布置示意图

监测频率:开挖面前 $> 30$ m,每2天观测1次;开挖面前后 $< 30$ m,每天观测2次;开挖面后30~80m,每2天观测1次;开挖面后 $> 80$ m,每7天观测1次。

进行地表沉降监测时,应注意以下几点:

(1)施工前应作好监测准备工作,如设置测点,

引入高程控制点,配置必要的人员及仪器。

(2)在布置测点时应注意在位移量较大的地段将测点布置密一些。

(3)地表量测与地下洞室各项监测应同步进行,以利于资料的相关分析。

(4)量测数据及分析结果全部纳入竣工资料,备查。

(5)在整理资料时,若发现地表位移量过大或下沉速度无稳定趋势时,对下部结构应采取补强措施:①增加喷混凝土厚度,或加长加密锚杆,或加挂更紧密更粗的钢筋网;②提前施作二次衬砌,要求通过反分析校核二次衬砌强度;③提前施作仰拱。

(6)在整理资料时,若发现地表下沉速度具有稳定趋势时,应据此求出隧道结构初期支护及二次衬砌上的最终荷载,以便对结构的安全度作出正确的判断。

(7)若经过对地表及隧道内的量测数据联合反分析后,发现初期支护或二次衬砌结构安全系数较大,在经过设计人员同意后,可对下一段与此地质类型相近的支护参数作适当调整。

## 2 监测结果整理

### 2.1 收敛变形

断面位于隧道下行线+450处,主要围岩类型为红砂岩,属于Ⅱ类围岩。由于受施工影响,上台阶掌子面开挖过23m后才布置收敛变形量测断面,图3为该量测断面上台阶开挖30~97m的收敛变形曲线,量测时间共45天。

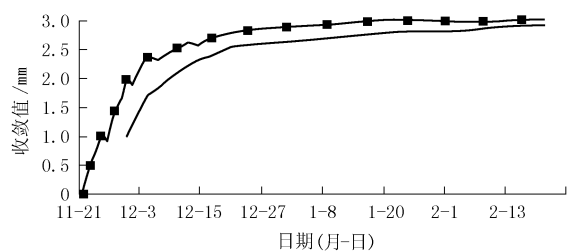


图3 周边位移总收敛值-时间关系曲线图

#### 2.1.1 收敛变形量测结果

在上台阶开挖30~97m的过程中,收敛量在3mm以内,说明在上台阶开挖过30m时,围岩的大部分应力已经释放,围岩的位移大部分已发生。水平测线AC数值最大,表明隧道侧压力比竖直压力大,其中的主要原因可能是隧道左侧成拱效应比右侧成拱效应差,因此隧道左侧受到更大的围岩压力。

#### 2.1.2 收敛变形的变化规律

通过对各测线数据的拟合(见图 3),可知各测线位移与时间的关系符合以下的指数规律:

$$u = ae^{b/t} \quad (1)$$

式中:  $u$ ——收敛位移, mm;  $t$ ——时间, 天;  $e$ ——自然对数;  $a$ 、 $b$ ——均为大于 0 的常数。

### 2.2 拱顶位移

#### 2.2.1 拱顶位移变化规律

图 4 为上台阶开挖后典型断面拱顶实测位移曲线,该断面位于下行线 +650 处,断面围岩主要为炭质板岩,属于 III 类围岩,围岩较破碎。

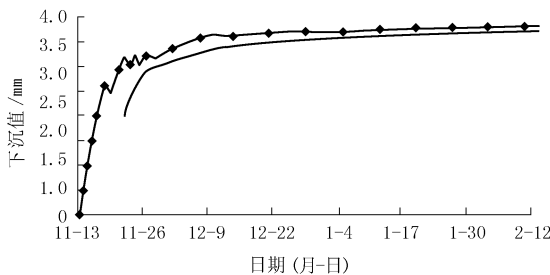


图 4 拱顶下沉累计值 - 时间变化图

通过对数据拟合(见图 4),可知位移均符合下式:

$$u = ae^{b/t^2} \quad (2)$$

式中:  $u$ ——拱顶位移, mm;  $t$ ——时间, 天;  $e$ ——自然对数;  $a$ 、 $b$ ——均为大于 0 的常数。

#### 2.2.2 围岩稳定性分析

由于位移满足式(2),则可得拱顶位移的拟合曲线为:

$$u = 28.83e^{7.46/t^2} \quad (3)$$

位移速率的拟合曲线为:

$$\frac{du}{dt} = 430.14 \frac{e^{-7.46/t^2}}{t^3} \quad (4)$$

位移速率随时间的变化率的拟合曲线为:

$$\frac{d^2u}{dt^2} = \left( \frac{6417.69}{t^6} - \frac{1290.42}{t^4} \right) \frac{e^{-7.46/t^2}}{t^3} \quad (5)$$

因此可以得到:

(1) 最终位移  $u_{\infty} = 28.83$  mm, 该值较大, 这主要是由于该断面所处围岩比较破碎, 且节理裂隙较发育。但在第 6 天位移即减小为 23.43 mm, 已达到最终位移的 81%, 这说明围岩很快趋于稳定。

(2) 当  $t = 16$  天时, 位移速率为 0.1 mm/天, 以后随着时间  $t$  的增长, 位移速率将越来越小。

(3) 通过分析位移速率随时间的变化率, 有:

$\frac{d^2u}{dt^2} > 0$  且  $t < 2.23$ , 位移速率增大, 围岩不稳定;

$\frac{d^2u}{dt^2} = 0$  且  $t = 2.23$ , 位移速率达到最大值;

$\frac{d^2u}{dt^2} < 0$  且  $t > 2.23$ , 位移速率减小, 围岩逐渐稳定。

定。

由此可以看到随着时间的推移(3 天以后), 围岩基本趋于稳定。

### 2.3 地表下沉

图 5 为地表下沉的监测结果。

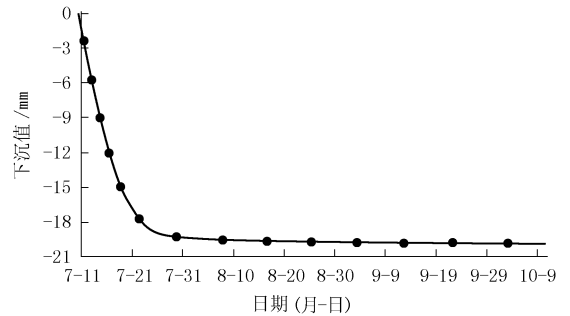


图 5 地表下沉监测结果图

从图 5 中可以看出, 当围岩开挖历经 20 天之后, 其地表下沉基本上就处于稳定状态, 而此时掌子面已经推进了将近 100 m, 所以洞口的地表下沉基本完成。

## 3 结论

通过对隧道的收敛变形、拱顶位移与洞口段地表变形的监测分析, 可以得出以下几点结论:

(1) 通过对隧道收敛的量测可知隧道的水平位移比垂直位移大, 且左侧的水平位移更大, 说明左侧的围岩压力比右侧大, 必须采取一定的措施加强左侧的围岩, 如加密锚杆或加厚喷射混凝土等。

(2) 采用正台阶法施工拱顶变形收敛较快, 开挖与临时支护 3 天以后即可进行隧道衬砌施工, 但如采用全断面法进行施工, 则须进一步进行量测。

(3) 洞口段地表的下沉在隧道推进 100 m 以后才处于稳定, 但最大变形值仅为 21 mm, 故不需要采取特殊的加固措施。

### 参考文献:

[1] 赵明阶, 徐容. 岩溶区全断面开挖隧道围岩变形规律及其监测[J]. 同济大学学报, 2004, 32(7): 866-870.  
[2] 陈秋南, 张永兴. 隧道塌方区加固后的施工监测与仿真分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(1): 158-162.  
[3] 申家国, 黄君文. 浅埋暗挖隧道监控量测的应用研究与比较[J]. 西部探矿工程, 2001, 13(5): 68-70.