

太旧高速公路北茹隧道围岩变形监测

王彦武

(马鞍山矿山研究院 马鞍山 243004)

摘要 介绍山西省太旧高速公路北茹隧道新奥法施工过程中监测围岩变形的项目、手段及数据处理方法。基于测试结果,分析了围岩变形的特性,建立了围岩收敛变形预测模型,预测了围岩失稳和基本稳定的时间,并对支护效果作了评价。

关键词 高速公路隧道,新奥法施工,围岩变形监测

1 工程概述

太旧高速公路西起太原市,东至山西省境内的旧关,是山西省与河北省石家庄市联接的主要干线。北茹隧道位于太旧公路中段第10标段,北茹村西北约1.0 km处,进口位于龙门沟内,距阳泉市20 km,出口位于潘峪沟内。该隧道为越岭分离式双洞单向行驶隧道。洞口里程及长度分别为:左线SZK90+935~SZK92+000,全长1 065 m,右线SYK91+000~SYK92+060,全长1 060 m,两条隧道中心距50 m。

该隧道范围属中低山区,地形起伏较大,山势陡峻,相对高差约200 m,最大埋深140 m。隧道区域地质构造受燕山运动影响,在进口端SZK91+040~SZK91+065,SYK91+048~SYK91+065地段发育一条正断层。层面产状为 $330^{\circ} \ 65^{\circ}$;断距10~12 m。断层带内岩体破碎,断层带与隧道轴线近于正交,对隧道施工影响不大。隧址区内出露二迭系上统砂岩、砂质泥岩,部分地段覆盖第四系更新统坡积层碎石土。隧道区域含水量较小,主要为基岩裂隙水,受大气降水控制。洞身围岩节理裂隙发育,层理对隧道开挖稳定影响较大。隧道开挖揭露的围岩(太端左线565 m、右线560 m)中II类围岩占 $2/3$,III类围岩占 $1/3$ 。

隧道采用新奥法设计与施工。用半断面开挖法施工,先开挖隧道的上部(高5.5 m),后开挖下部(高3.5 m)。拱部开挖采用一次全断面控制爆破,每次进尺2 m,爆破后及时进行初期支护。II类围岩、洞口偏压段及行车过渡段采用喷锚网加钢格栅支护;III类围岩采用喷锚网支护。

在隧道开挖过程中设有专门的围岩变形监测小组,对围岩的动态及初期支护效果进行监控量测,在确认围岩变形基本稳定后,施作柔性塑料防水层、二次衬砌及仰拱。

1996年10月14日收到初稿,1996年12月26日收到修改稿。

2 围岩变形监测方法

2.1 监测项目及手段

2.1.1 洞内观察

隧道开挖过程中, 监测人员经常在现场肉眼查看围岩及初期支护体的状态变化, 并对量测断面进行地质素描。

2.1.2 隧洞周边收敛及拱顶下沉量测

由于量测断面大、工期紧, 围岩变形量测只能利用凿岩、爆破和装运间隙进行。加上铲运机紧张, 决定选用马鞍山矿山研究院研制的卷尺式收敛计, 量测隧洞周边收敛变形, 通过三角计算获得拱顶下沉量。

2.2 量测断面测线布置

根据围岩类别和地质构造情况, 左线布置 10 个量测断面, 右线布置 9 个量测断面。在这 19 个量测断面中又分重要量测断面和次要量测断面, 以突出重点, 减轻量测工作量。具体测线布置见图 1。

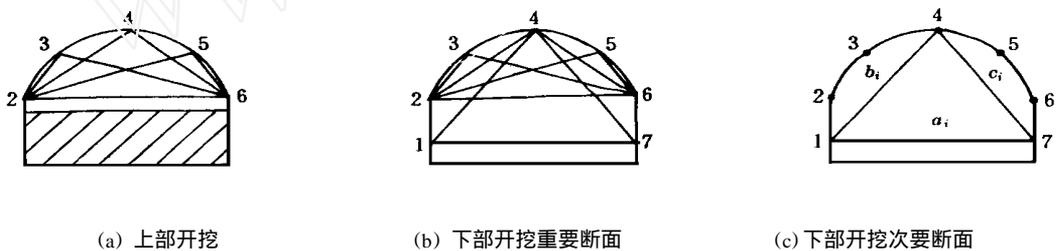


图 1 北茹隧道收敛变形量测基线布置

Fig 1 Layout of surveying lines for the convergence of Beiru tunnel

2.3 量测数据的处理

2.3.1 拱顶下沉量计算

设第 i 次量测水平基线长 a_i , 两条斜基线长分别为 b_i , c_i , 如图 1(c), 则 k 次量测拱顶累计下沉量为

$$u_k = \sum_{i=2}^k (d_i - d_{i-1}) \quad (1)$$

式中: $d_i = \frac{2}{a_i} \sqrt{S_i(S_i - a_i)(S_i - b_i)(S_i - c_i)}$, $S_i = \frac{1}{2}(a_i + b_i + c_i)$ 。

这里公式推导有两个条件:

- (1) 用联通管布设 1, 7 及 2, 6 测点, 保证 1~7, 2~6 测线为水平线。
- (2) 1~7, 2~6 测线靠近底板, 而且隧道在沉积岩中掘进, 无底鼓现象。因此 1, 7 或 2, 6 测点在垂直方向位移较小, 近似为零处理。

2.3.2 围岩收敛变形预测模型

(1) 围岩变形趋于稳定的曲线拟合, 根据均方误差最小原则选用^[1]下列函数:

$$\begin{aligned}
 u &= A (e^{-Bt_0} - e^{-Bt}) \\
 u &= A [\lg(B + t) - \lg(B + t_0)] \\
 u &= A [(1 + Bt_0)^{-2} - (1 + Bt)^{-2}]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

(2) 围岩失稳变形预测, 用灰色预测模型^[2]。其微分方程为

$$\frac{du}{dt} + au^{(1)} = b
 \tag{3}$$

时间响应 $\hat{u}^{(1)}(t) = (u^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a}$

离散响应 $\hat{u}^{(1)}(k) = (u^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}$

有关式(2), (3)的推导过程和变量含义可参见文[1, 2]。

将预测序列与原序列作关联度计算, 若关联度过小, 再作残差辨识, 即将预测序列与原序列之差再建立灰色模型, 将残差灰色模型预测值加于原来的预测值上, 以提高预测精度。

2.3.3 微机处理系统

在每次量测后, 要及时将记录本上的原始数据进行整理与计算, 并完成记录表和成果表的填写。为直观地分析围岩的稳定性, 还要画出围岩变形时间曲线。通过对量测数据建立回归预测模型, 确定围岩基本稳定时间和失稳时间。由于量测断面多, 数据处理量大, 采用传统的手算方法已无法满足监测信息反馈及时有效的要求。为此笔者用汉字 Foxbase+ 语言编制了新奥法施工监测微机处理系统, 并在现场微机上投入使用, 从而建立了完整的围岩变形监测数据库。该系统包括数据录入计算、编辑、排序、拷贝、绘制曲线、回归预测、打印等子模块。

3 监测成果

3.1 围岩变形特性

(1) 隧道半断面开挖, 对应的围岩 2 次变形如图 2。

(2) 围岩收敛变形曲线均呈非线性特征。在 II 类围岩中, 作喷锚网加钢格栅支护, 拱顶下沉变形一般呈双曲线或指数曲线或对数曲线变化规律。水平收敛变形一般呈双曲线变化规律。如左洞 06 断面上部开挖拱顶 3, 4, 5 测点下沉变形回归函数分别为

$$\begin{aligned}
 u_3 &= 4\ 859 - 6\ 64(1.169t)^{-2} \\
 u_4 &= 3\ 194 - 3\ 859e^{-0.189t} \\
 u_5 &= 2\ 993[\lg(1.038 + t)] - 0\ 925
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

均方误差分别为 0.015, 0.014, 0.012; 水平收敛回归函数为

$$u_{2-6} = 1.83 - 4.42(1.554t)^{-2}
 \tag{5}$$

均方误差 0.129。III 类围岩, 作喷锚网支护, 拱顶下沉变形和水平收敛变形一般呈指数变化规律。

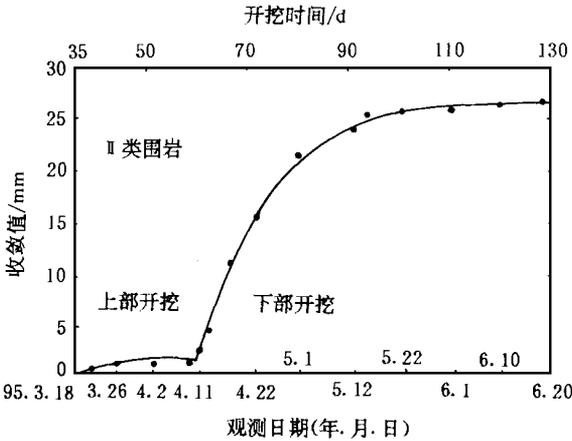


图 2 右洞 01 断面 2~ 6 测线收敛变形曲线

Fig 2 Contracted displacement curve of 2~ 6 survey line in right tunnel 01# section

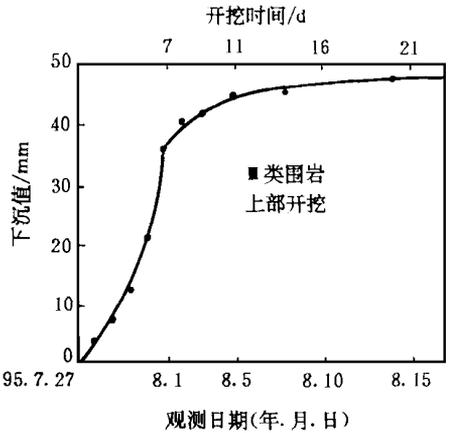


图 3 左洞 08 断面拱顶 4 号测点下沉变形曲线

Fig 3 Subsidence displacement curve of upper part 4# point in left tunnel 08# section

3.2 围岩失稳预测与基本稳定时间

根据支护体的宏观变形状况、围岩变形速率及收敛变形时间曲线形态，对两处不稳地段及时进行预报，后经补强支护，长期观测，围岩趋于稳定。如在左洞里程 K91+ 210 处，拱顶上部变形加剧(图 3)，1995 年 7 月 31 日对前面 4 组数据建立下沉变形累加预测模型为

$$\hat{x}(k) = 10\ 500\ 48e^{0.51682(k-1)} - 6\ 250\ 48 \quad (6)$$

关联度为 0.75959。预测 8 月 1 日、2 日下沉速率分别为 13.52mm/d、22.67mm/d。8 月 1 日监测的实际下沉速率达 15.11mm/d，发现拱部出现开裂，且伴有大量裂纹，立即增设锚杆，并复喷混凝土，后监测该处围岩趋于稳定。

根据隧道设计书要求，围岩水平收敛值小于 0.2mm/d，拱顶下沉值小于 0.15mm/d，方可施作二次衬砌。对回归函数求导，并与临界收敛变形速率比较，可确定围岩基本稳定时间(图 4)。

3.3 支护效果的评价

II类围岩、偏压段、过渡段，采用喷锚网加钢格栅支护，围岩变形量小、稳定快。III类围岩采用喷锚网支护，除个别部位开裂作了补强支护，围岩收敛变形均趋于稳定。说明隧道施工的初期支护质量是好的，同时验证初期支护设计是可靠的。

4 结语

开发了新奥法施工变形监测微机处理系统，在山西省太旧高速公路北茹隧道新奥法施工现场得到成功的应用。根据施工过程中测得的围岩变形，采用灰色预测模型，预测了围岩失稳和基本稳定时间，并对支护效果进行了评价。本文的成果可供类似工程应用参考。

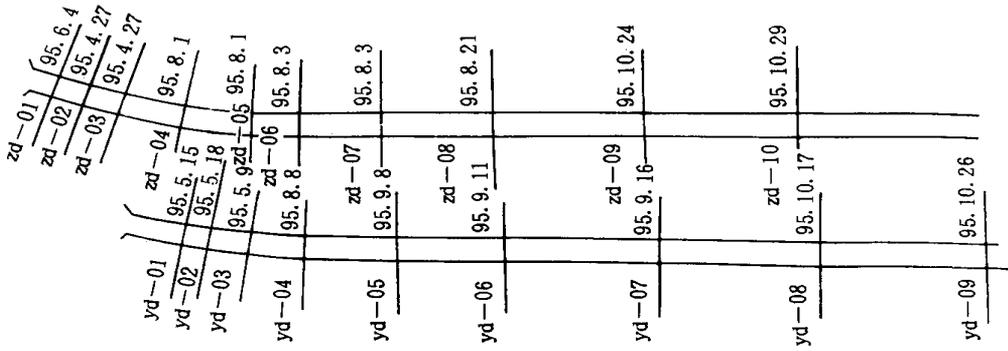


图 4 预测的左右两洞围岩基本稳定时间

Fig. 4 Predicting basic stable time of host rock in left and right tunnels

参 考 文 献

- 1 王建宇. 隧道工程监测和信息化设计原理. 北京: 中国铁道出版社, 1999. 63~ 78
- 2 邓聚龙. 灰色控制系统. 武汉: 华中工学院出版社, 1985. 319~ 324, 374~ 390
- 3 马鞍山矿山研究院, 中国华冶二公司马万水工程队. 太旧高速公路中段十标段北茹隧道监控量测工作总结报告, 1996

MONITORING THE SURROUNDING ROCK DEFORMATION IN THE BEIRU TUNNEL OF TAIJIU EXPRESSWAY

Wang Yanwu

(Maanshan Institute of Mining Research, Maanshan, 243004)

Abstract The contents, technique, and data process method of deformation monitoring are described for the surrounding rocks of Beiru tunnel of Taijiu expressway designed and tunnelled with NATM. Based on the measured data, the deformation properties are analysed and the prediction model is formed for the convergence of surrounding rocks. The unstable and restable times are predicted for the rocks. The effect of support is evaluated, as well.

Key words tunnel of expressway, tunnelled with NATM, deformation monitoring of surrounding rock