

基于施工监测数据及数值回归的山岭 隧道围岩稳定性分析

田庆¹, 李官群²

(1.保靖县农村交通建设技术咨询服务站, 湖南 保靖 416000; 2.保靖县交通运输局, 湖南 保靖 416000)

摘要: 在山岭隧道施工中,通过对开挖围岩进行监控量测,可及时掌握围岩稳定情况,既为隧道施工安全提供有利依据,又为后期二次衬砌施作提供合理时机。文中以湖南 G209、S318 保靖龙溪至迁陵公路屋场坪隧道为工程背景,对监控量测所得周边位移和拱顶下沉数据进行数值回归分析,得出其围岩变化规律以指导施工。

关键词: 隧道; 围岩稳定性; 施工监测; 数值回归分析

中图分类号: U456.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)02-0123-03

山岭隧道最常见的施工方法是新奥法,其主要思想是充分发挥围岩的自稳能力,开挖后进行打锚杆和喷射砼,使其有机结合形成初期支护约束围岩变形,同时在相应位置布置观测点进行施工监测,为安全施工提供依据。文献[1]通过线性回归分析了围岩的变化情况,得出前 7 d 为围岩变形增长速度较快的阶段,围岩整个变形周期为 20 多 d。文献[2]通过对监控数据的线性回归分析,得到采用三次多项式对周边围岩与时间的关系、拱顶下沉与时间的关系有着较好的拟合性。文献[3-5]对隧道监控量测进行研究,积累了大量数据处理方法,可为不同地质情况提供围岩稳定性分析方法。该文以湖南 G209、S318 保靖龙溪至迁陵公路上屋场坪隧道为工程背景,对施工监测数据进行数值回归分析,分析围岩变形规律。

1 工程概况

屋场坪隧道起讫里程为 K10+655—K11+473,全长 818 m,设计标高为 297.15~273.43 m。全线位于直线段,路拱横坡为 1.5%,纵断面(进口至出口方向)均为-2.9%下坡。隧道区属于侵蚀剥蚀丘陵地貌,隧道穿越一个丘陵体,该丘陵体地面标高为 296.23~494.21 m,相对高差 197.98 m。隧道最大埋深约 208.66 m。

2 监控量测方法

根据 JTG F60—2009《公路隧道施工技术规范》,隧道施工中的必测项目有洞内外观察、周边位

移、拱顶下沉和地表下沉。洞内观察主要是在掌子面开挖过程中,结合工程地质资料对掌子面前方和开挖面初期支护周围的掌子面岩性、岩体结构、有无不良地质构造及地下水发育等进行观察,确保施工安全性。地表下沉主要是在进、出口段进行加强量测的项目,该隧道的观察点设置在 K10+990,距离进口有 335 m,地表沉降影响特别小,故对地表下沉不进行详细分析,主要分析周边位移、拱顶下沉情况,监测断面布置见表 1。

表 1 周边位移、拱顶下沉监测断面布置间距 m

围岩级别	断面间距	围岩级别	断面间距
V	5~10	Ⅲ	20~30
Ⅳ	10~20	I~Ⅱ	30~50

2.1 周边围岩收敛监测

预埋挂钩,喷完砼后,采用 JSS30A 型数显式收敛计测量周边围岩位移。为消除钢尺松紧程度所带来的测量读数误差,在其竖向指标指到第 3 条格时开始读数,每次读数进行 3 次,分别为第 3 条格微左、中、微右,取 3 次读数的平均值作为测量结果。按下式对周边位移测量数据进行温度修正,得到实际水平收敛值:

$$u = u_i + \alpha L (t_w - t_0) \quad (1)$$

式中: u 为实际收敛值; u_i 为收敛计读数平均值; α 为收敛计系统温度线胀系数; L 为基线长; t_w 、 t_0 分别为收敛计观测时、标定时环境温度。

2.2 拱顶下沉监测

采用精密水准仪进行拱顶下沉监测。在洞内找一个永久点并确定其坐标,把 5 m 长塔尺挂到预埋

的挂钩上进行测量。按下式计算拱顶标高:

$$h=O_z+h_1+(H-h_2) \quad (2)$$

式中: h 为实测拱顶标高; O_z 为后视点 z 坐标; h_1 为后视点读数; H 为塔尺总长度; h_2 为前视点读数。

3 施工监控数据及回归分析

3.1 现场施工监控数据

主要对 V 级围岩 K10+990 断面所测数据进行分析,测量结果见表 2。

表 2 K10+990 断面周边位移和拱顶沉降测量结果

时 间 /d	水平总收敛 $\sum \Delta l$ / mm	拱顶总沉降 $\sum \Delta h$ / mm	时 间 /d	水平总收敛 $\sum \Delta l$ / mm	拱顶总沉降 $\sum \Delta h$ / mm
1	0.00	0.00	16	2.80	13.83
2	0.31	1.66	17	2.79	13.95
3	0.74	3.41	18	2.81	14.03
4	1.15	5.12	19	2.84	14.11
5	1.51	6.52	20	2.89	14.26
6	1.92	7.96	21	2.93	14.33
7	2.21	9.45	22	2.96	14.40
8	2.36	10.33	23	3.01	14.51
9	2.47	11.01	24	3.05	14.59
10	2.58	11.66	25	3.09	14.65
11	2.66	12.21	26	3.11	14.71
12	2.70	12.43	27	3.13	14.82
13	2.72	12.97	28	3.15	14.90
14	2.72	13.39	29	3.15	14.94
15	2.75	13.67	30	3.16	14.99

注: Δl 为本次测量与上次测量的收敛增量; $\sum \Delta l$ 为收敛总量,正号表示收敛值为正、测边变短,负号表示收敛值为负、测边变长。

3.2 数值回归分析

对监测数据进行回归分析可预测周边位移、拱顶下沉最终值和各阶段围岩变形变化速率,为二次衬砌施作提供合理时机。借助 MATLAB 软件进行回归分析。目前数据拟合处理的主要函数有指数函数、对数函数、双曲线函数,其表达式见式(3)~(5)。

$$u=a \cdot e^{-b/t} \quad (3)$$

$$u=a+b/\ln(t+1) \quad (4)$$

$$u=t/(a+b \cdot t) \quad (5)$$

式中: u 为位移值(mm); a 、 b 为回归常数; t 为初读数后的时间(d)。

采用 3 种函数进行回归分析,取相关系数最接近于 1 的曲线方程作为回归分析拟合函数,回归分

析结果见表 3。

表 3 3 种函数回归分析结果

项目	拟合函数	拟合方程	相关系数 R
水平收敛	指数函数	$u=3.6461e^{-4.1035/t}$	0.9933
收敛一时间	对数函数	$u=3.9489-3.3893/\ln(x+1)$	0.9285
拱顶沉降	双曲线函数	$u=x/(1.8629+0.2451x)$	0.9761
拱顶沉降一时间	指数函数	$u=17.9633e^{-4.6448/t}$	0.9971
拱顶沉降一时间	对数函数	$u=18.8986-16.5047/\ln(x+1)$	0.9150
拱顶沉降一时间	双曲线函数	$u=x/(0.4397+0.0487x)$	0.9828

由表 3 可知:指数函数的相关系数最高,其拟合程度最高,表明采用指数函数可更好地拟合监控量测数据,达到满意的预测结果。指数函数回归曲线见图 1、图 2。

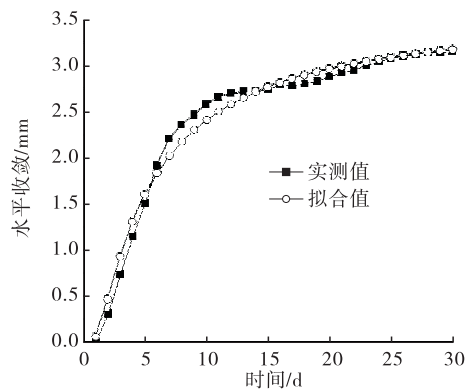


图 1 水平收敛一时间回归曲线

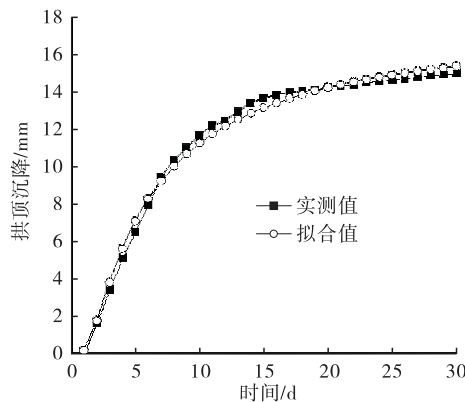


图 2 拱顶沉降一时间回归曲线

3.3 结果分析

根据 JTG F60—2009《公路隧道施工技术规范》,围岩变形达到基本稳定时,其收敛量应达到最大值的 80%~90%。当围岩趋于稳定时,便可施作二次衬砌。对指数函数进行回归方程求极限,得到监测断面的最终位移值,其中水平收敛为:

$$u_{\max} = \lim_{t \rightarrow \infty} 3.646 \ 1 e^{-4.103 \ 5/t} = 3.646 \ 1 \text{ mm}$$

拱顶沉降为:

$$u_{\max} = \lim_{t \rightarrow \infty} 17.963 \ 3 e^{-4.644 \ 8/t} = 17.963 \ 3 \text{ mm}$$

30 d 的拱顶沉降收敛度为 $14.99/17.963 \ 3 = 83.4\%$, 水平位移收敛度为 $3.16/3.646 \ 1 = 86.6\%$, 每天的增量都低于 0.1 mm/d , 表明监测断面支护合理, 围岩变形已趋于稳定, 可施作二次衬砌。

4 结语

以屋场坪隧道为工程背景, 采用最小二乘法原理对施工监控量测数据进行回归分析, 得出指数函数拟合度最高。通过指数函数进行最终沉降量计算, 判断该隧道 30 d 时围岩变形已超过 80% , 趋于稳定, 可施作二次衬砌。

施工监控量测作为新奥法施工的重要法宝之一, 其数据处理非常重要。现场测量数据难免因为各种原因存在数据离散和误差, 需对其进行回归处理, 通过回归分析准确地预测隧道支护安全状况, 确保施工安全。

参考文献:

[1] 贺云. 公路隧道监控量测及围岩稳定性分析[J]. 华东公

路, 2018(2): 32—35.

- [2] 李品钰. 隧道现场监控量测数据分析中回归模型的选择与优化[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
- [3] 陈棉生, 韩峰, 沈家坝 2 号隧道监控量测方案设计及数据分析[J]. 铁道勘察, 2018(2): 12—15.
- [4] 王胜涛, 梁小勇, 周亦涛. 隧道监控量测的数据回归分析探讨[J]. 隧道建设, 2009, 29(6): 629—632.
- [5] 密士文, 龚书林. 隧道监控量测的数据处理及分析[J]. 中国西部科技, 2010, 9(1): 32—33.
- [6] 中交第一公路工程局有限公司. 公路隧道施工技术规范: JTG F60—2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [7] 王毅才. 隧道工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [8] 吴跃华. 长冲隧道施工围岩变形监测与超前地质预报研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.
- [9] 张玉良. 打括隧道监控量测结果的一元非线性回归分析[J]. 广西科技大学学报, 2007, 18(2): 54—57.
- [10] 柳厚祥, 蒋婷婷, 李易承. 基于 MySQL 数据库的公路隧道围岩云分级系统[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2019, 16(1): 58—65.
- [11] 张永杰, 马文琪, 罗伟庭, 等. 基于经验强度准则的岩体力学参数敏感性分析[J]. 交通科学与工程, 2019, 35(3): 1—7.

收稿日期: 2020—08—04

(上接第 122 页)

程度, 其识别精度和效率高, 能识别的损伤单元数多, 可用于较大规模结构的损伤程度识别。

(4) 以既有旧桥的拱肋为研究对象, 对文中损伤识别方法结果与外观检测发现的裂缝位置分布状况、静载试验反演的结构弯曲刚度结果、芯样的弹性模量试验结果和钢筋锈蚀程度测试结果进行对比分析, 验证了文中损伤识别方法的可行性和合理性。

(5) 在数值模拟中, 桥梁结构损伤识别的模式数据未考虑噪音的影响, 下一步研究中值得关注。

参考文献:

- [1] 唐盛华, 罗成志等. 振型归一化对梁结构柔度曲率损伤指标的影响[J]. 计算力学学报, 2019, 28(1): 5—8.
- [2] 崔飞, 袁万成. 基于静态应变及位移测量的结构损伤识别法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2000, 28(1): 5—8.
- [3] 张启伟, 范立础. 利用动静力测量数据的桥梁结构损伤识别[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1998, 26(1): 528—532.

- [4] 周楠. 基于柔度曲率矩阵的梁桥损伤识别方法[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2018.
- [5] 唐小兵, 沈成武. 结构损伤识别的柔度曲率法[J]. 武汉理工大学学报, 2001, 23(8): 18—20.
- [6] 万小朋, 李小聪, 鲍凯, 等. 利用振型变化进行结构损伤诊断的研究[J]. 航空学报, 2003, 24(5): 422—426.
- [7] 张聪, 赵忠岳, 韩建刚. 基于改进曲率法和数据融合的梁体损伤识别方法[J]. 科技通报, 2018, 29(1): 72—76.
- [8] 饶尚坤. 基于改进遗传算法的传感器优化布置和损伤识别研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
- [9] 黄斌, 郭文豪, 鲁溢, 等. 随机梁式结构静力损伤识别的一种改进方法[J]. 计算力学学报, 2018, 24(4): 79—82.
- [10] 毛云霄, 王英杰, 肖军华, 等. 基于过桥车辆响应的遗传算法桥梁损伤识别[J]. 振动、测试与诊断, 2018, 24(4): 79—82.
- [11] 王胜楠. 移动荷载作用下超长线状结构损伤识别研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [12] 曹水东. 桥梁结构损伤识别研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2006.

收稿日期: 2020—07—02