

隧道围岩自动化监测系统的探究

黄东琦¹ 董汉² 全泉¹ 李耀辉¹ 吴淑珊¹

1 中铁十五局集团第二工程有限公司 2 铁四院(湖北)监理工程咨询有限公司

DOI:10.12238/bd.v8i3.4187

[摘要] 《铁路隧道监控量测技术规程Q/CR9218-2015》中对隧道监控量测断面、测点布置、频率、监控量测极限值做了相关规定。本文以瑞梅铁路三百山隧道作为试点,采用隧道围岩自动化监测系统,对实验数据进行分析论证,证明该系统可以有效减少施工冲突,有效减少人力与全站仪设备的投入,保证监控量测频率,对隧道突发变形有明显预警效果,也对施工爆破开挖外扩量提供了数据支撑。文章还对该系统优劣势进行了阐述,对未来围岩自动化监测系统的发展提供了一定的参考思路。

[关键词] 围岩自动化监测系统; 监控量测; 突变预警; 隧道施工安全

中图分类号: TN954 文献标识码: A

Exploration of the Application of Tunnel Surrounding Rock Automation Monitoring System

Dongqi Huang¹ Han Dong² Quan Quan¹ Yaohui Li¹ Shushan Wu¹

1 China Railway 15th Bureau Group Second Engineering Co., Ltd

2 Tiesiyuan (Hubei) Engineering Supervision Consulting Co., Ltd

[Abstract] The Technical Specification for Monitoring and Measurement of Railway Tunnels Q/CR9218-2015 provides relevant regulations on the monitoring and measurement cross-section, measurement point layout, frequency, and monitoring and measurement limit values of tunnels. This article takes the Sanbaishan Tunnel of the Ruimei Railway as a pilot project and conducts experiments using an automated monitoring system for tunnel surrounding rock. The experimental data is analyzed and demonstrated, proving that the system can effectively reduce construction conflicts, reduce the investment of manpower and total station equipment, ensure monitoring measurement frequency, and have a significant warning effect on sudden deformation of the tunnel. It also provides data support for the expansion of construction blasting excavation. The article also elaborates on the advantages and disadvantages of the system, providing some reference ideas for the development of future automated monitoring systems for surrounding rocks.

[Key words] automated monitoring system for surrounding rock; Monitoring and measurement; Mutation warning; Tunnel construction safety

引言

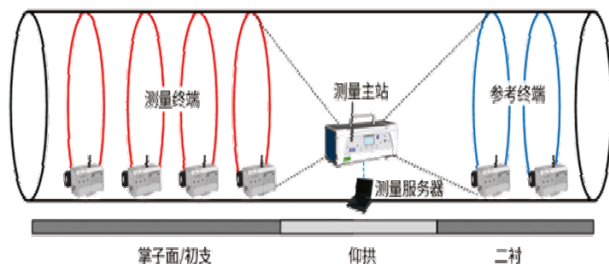
《铁路隧道监控量测技术规程Q/CR9218-2015》中对隧道监控量测断面、测点布置、频率、监控量测极限值做了相关规定。在隧道开挖过程中,初支断面容易受到各类因素的影响,出现较大或突变性的拱顶沉降、净空收敛,影响到隧道围岩安全。传统的全站仪监控量测,需要大量人力投入,受现场施工影响较大,较低的监测频率不能很好的反映围岩突变,存在一定的安全隐患。

2023年7月27日,南京派光智慧感知信息技术有限公司(以下简称南京派光)研发的隧道围岩变形自动监测系统(TCMS)部署于瑞梅铁路江西段三百山隧道出口里程DK133+797-DK133+872,对隧道围岩变形情况进行全自动、实时监测。

1 研究背景

1.1 隧道围岩自动化监测系统

南京派光研发的系统主要由测量主站、从站、终端、服务器和软件平台组成:



在仰拱或二衬区域安装测量主站,在掌子面、台阶区和初支区安装测量终端,并在二衬稳定区域安装参考终端,作为测量基准;通过主站对多监测断面的观测分析,结合参照坐标,达到对围岩形变实时监测的目的,精度达到±1.0mm以内;对于有遮挡的情况(掌子面区域被台车遮挡),安装级联测量从站,可有线/无线级联。

具有以下优势:(1)分钟级,甚至秒级,实时不中断地监测隧道结构变形,及时跟踪结构变形趋势。(2)自动监测分析,历史数据、报警数据、数据深度分析。(3)防水防尘、防爆破冲击、防振动,可应对遮挡问题,安全可靠、现场部署维护方便。(4)毫米级测量精度要求,拱顶下沉、净空变化、地表沉降等测试精度可为0.5mm~1mm。

1.2 三百山隧道试验段情况概述

三百山隧道位于寻乌县、安远县境内,全长10194m,起讫里程DK123+750~DK133+944(试验段位于三百山隧道出口),为单线和Ⅰ级风险管理隧道,是全线重点控制性工程之一。隧道出口位于东江源平胸龟国家级水产种质资源保护区,对环保要求高。隧道洞身穿越三百山国家级风景名胜区,受地质构造影响,洞身围岩稳定性较差,岩温43.2℃,热害等级Ⅲ级。



该工程设计图纸对试验里程区间地质评价如下:自然山坡稳定,植被较发育,灌木丛生,丘坡表层为 Q^{el+dl} 粉质黏土,下伏基岩为震旦系下细^{zn}变质砂岩夹板岩,全-弱风化,属较软岩,节理裂隙较发育,岩体较破碎-较完整,围岩级别为Ⅳ-Ⅴ级,自稳性差。地下水主要为基岩裂隙水,较发育。设计和施工时应加强衬砌结构及支护,并加强地表变形监测与围岩监控量测,做好安全防护措施,防止发生坍塌、冒顶等事故。

2 现场实验情况

三百山隧道出口部署的系统包含1台主站、1台级联从站(辅助主站采集测量数据)、6台测量终端和1台参考终端,断面监测点位部署于初支面、掌子面。根据不同围岩等级,依据《监控量测技术规程》确定监测断面间隔距离,测量主站、从站和测量终端的安装随隧道开挖向前推进。三百山隧道出口初支面长约70~80米,采用主站、级联从站的方式测量,其中主站安装于稳定区域仰拱的最前端,从站与主站异侧、有线级联安装(距离主站安装断面3米左右)。



至2023年8月7日,共计监测断面10个,DK133+857位于主站后方二衬位置,作为稳定参考点。监测断面分布如下图所示:



3 数据采集成果

类别	监测点位				
	DK133+797	DK133+807	DK133+812	DK133+817	DK133+822
测量周期	2023年8月4日-8月7日	2023年8月4日-8月7日	2023年7月27日-8月2日、8月4日-8月7日	2023年7月27日-8月2日、8月4日-8月7日	2023年7月27日-8月2日、8月4日-8月7日
周期内测量次数(次)	244	167	453	436	475
拱顶累计沉降(mm)	1.593	1.087	1.1175	-0.814	0.821
周边收敛S1累计值(mm)	0.2645	-2.126	-1.597	0.141	-1.707
周边收敛S2累计值(mm)	2.8056	0.421	-0.835	-2.480	0.415

类别	监测点位				
	DK133+827	DK133+832	DK133+837	DK133+857	DK133+872
测量周期	2023年7月27日-8月2日	2023年7月27日-8月2日	2023年7月27日-8月2日	2023年8月4日-8月7日	2023年7月27日-8月2日
周期内测量次数(次)	201	213	208	207	190
拱顶累计沉降(mm)	1.966	1.381	-0.264	-1.209	0.76
周边收敛S1累计值(mm)	1.0388	1.4742	-1.3754	-0.171	0.577
周边收敛S2累计值(mm)	1.154	-0.3237	0.2661	0.699	0.1432

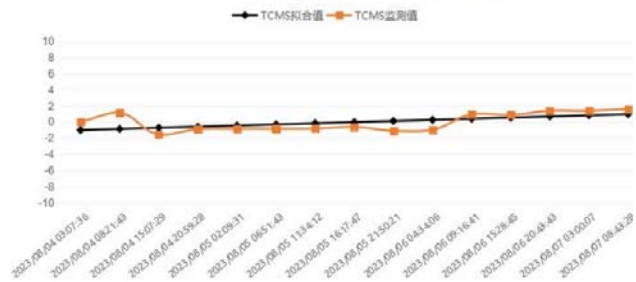
注:拱顶: +代表下沉, -代表上升; 周边收敛S1/S2: +代表净空值减小, -代表净空值增大

测量数据汇总表

系统于三百山隧道出口运行期间, 测量监测断面的拱顶变形量、周边收敛S1和周边收敛S2, 测量频次为30分钟/次。2023年7月27日至2023年8月7日, 共测量数据2794条, 其中每个断面测量数据平均约280条, 单断面连续观测时长平均为3~4天。

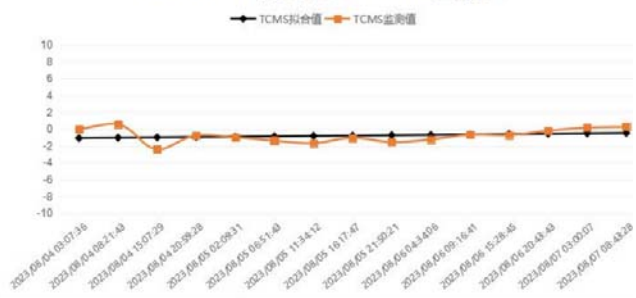
以DK133+797位置为例, 在测量周期内拱顶沉降累计值1.593mm, 周边收敛S1累计值0.2645mm和周边收敛S2累计值2.8056mm, 测量数据趋势如下图所示。

DK133+797拱顶沉降-TCMS监测值



2023年7月29日至2023年7月31日TCMS共监测7个点位, 分别是DK133+812、DK133+817、DK133+822、DK133+827、DK133+832、DK133+837、DK133+872。TCMS与全站仪监测数据对比情况如下。

DK133+797周边收敛S1-TCMS监测值



DK133+797周边收敛S2-TCMS监测值



通过TCMS与全站仪监测数据对比, 数值差可以稳定在3mm前后, 考虑因素为测量误差, 可以认定为TCMS监测数据较为可靠。

4 突发形变案例分析

2023年08月06日08:12:47, 系统监测到三百山隧道出口DK133+822处在30分钟内拱顶发生沉降2.45mm, S1周边收敛1.1mm。具体数值见下表:

TCMS与全站仪监测数据对比_2023/7/29-2023/7/31									
监测点位	拱顶累计沉降(mm)			S1 累计收敛(mm)			S2 累计收敛(mm)		
	全站仪	TCMS	差值(全站仪-TCMS)	全站仪	TCMS	差值(全站仪-TCMS)	全站仪	TCMS	差值(全站仪-TCMS)
DK133+812	-2.8	1.21	-4.01	2.2	0.6458	1.5542	-0.9	1.3633	-2.2633
DK133+817	-1.8	0.628	-2.428	0.6	0.3883	0.2117	3.2	-1.448	4.648
DK133+822	-2.3	0.56	-2.86	2	0.6273	1.3727	-1.1	0.2582	-1.3582
DK133+827	1.6	1.18	0.42	1.1	0.6404	0.4596	-0.5	0.6484	-1.1484
DK133+832	0.7	0.843	-0.143	-0.6	1.4261	-2.0261	-0.7	-0.9448	0.2448
DK133+837	6	-0.735	6.735	0.4	-1.7546	2.1546	0.5	-0.599	1.099
DK133+872	3.5	0.947	2.553	0.2	1.2506	-1.0506	-0.4	1.0079	-1.4079

4.1 拱顶沉降监测趋势分析

对DK133+822断面拱顶处最大变化点累计变形量进行趋势分析, 如下图所示:

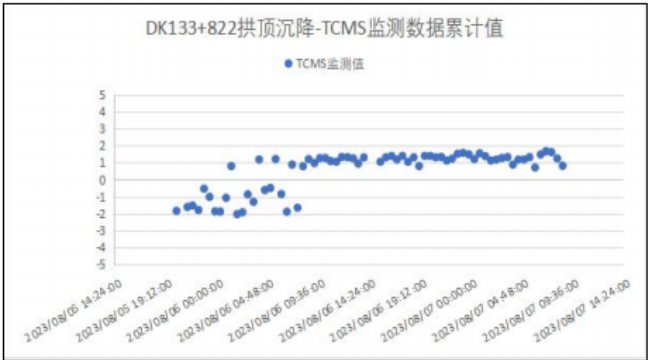
DK133+822		拱顶累计沉降/mm		S1 周边累计收敛/mm		S2 周边累计收敛/mm	
时间		监测值	拟合值	监测值	拟合值	监测值	拟合值
2023/08/06 06:41:16		-1.892	-1.893	-3.046	-3.047	-0.2599	-0.270
2023/08/06 07:41:51		-1.658	0.324	-2.589	-1.841	-0.462	-0.246
2023/08/06 08:12:47		0.792	0.527	-1.489	-1.840	-0.192	-0.227
2023/08/06 08:44:47		1.209	0.646	-1.699	-1.839	0.412	-0.210
2023/08/06 09:17:26		0.978	0.730	-1.574	-1.839	-0.045	-0.195
2023/08/06 09:48:03		1.269	0.796	-1.845	-1.838	-0.399	-0.182
2023/08/06 10:19:47		1.272	0.849	-1.744	-1.838	0.224	-0.170
2023/08/06 10:49:33		1.095	0.894	-1.649	-1.838	-0.471	-0.159

注: 拱顶: +代表下沉, -代表上升; 周边收敛 S1/S2: +代表净空值减小, -代表净空值增大

DK133+822监测断面在2023年08月06日08时12分, 拱顶处累计沉降量达到0.792mm, 07:41:51至08:12:47之间拱顶沉降2.45mm (0.792-(-1.658)=2.45mm)。在08月06日08:12:47~08月07日08:42:41, DK133+822断面拱顶区域的沉降情况已趋于稳定, 累计沉降数据在0.7mm至1.7mm之间, 单次沉降数据在0.1mm至0.5mm之间。

4.2 周边收敛监测趋势分析

对DK133+822周边S1处最大变化点累计变形量进行趋势分析, 如下图所示:



DK133+822监测断面在2023年8月6日8时12分, 周边收敛S1处累计收敛量达到-1.489mm, 07:41:51至08:12:47之间S1周边收敛1.1mm (-1.489-(-2.589)=1.1mm)。此后累计收敛变化趋于稳定, 累计收敛数据在-2.5mm至-1.5mm之间。

5 系统分析与展望

5.1 系统分析

围岩自动化监测必然成为隧道质量安全把控的趋势,在高风险隧道中广泛使用。《铁路隧道监控量测技术规程Q/CR9218-2015》目前正在修编,新版的技术规程势必会对围岩自动化监测做出新要求。通过试验数据,结合厂家目前的系统发展状况,对该系统的优劣势做以下阐述:

优势:(1)抽检拱顶下沉与收敛数据,使用高精度全站仪复核,精度可靠。(2)隧道内部施工工序衔接紧凑,爆破、喷浆、混凝土灌注等各工序都会使用大型机械设备,传统的监控量测经常出现施工冲突导致无法施测,围岩自动化监测系统有效减少施工冲突,保证监控量测频率。(3)传统的监控量测,需要组建专人团队,配合高精度全站仪,效率较低,围岩自动化监测系统可以减少人工与设备投入。(4)围岩自动化监测系统可以自行设置采样间隔时间,30分钟反馈一次数据,上传系统云平台,对突发变形有很明显预警效果。对拱顶沉降、拱腰收敛数值拟合预测,对施工爆破开挖外扩量提供数据支撑。(5)终端设备,发射窄带光,对隧道洞内人员影响小。

劣势:(1)目前围岩自动化监测还不普及,售价昂贵。工程施工单位注重经济效益,相比之下更倾向于采用传统的围岩监控量测。(2)作为精密的测量仪器,距离隧道掌子面越近,受爆破影响越大,仪器容易损坏。(3)系统主机(接收数据)较为笨重,随着隧道掘进需要往掌子面方向推进,迁站麻烦,需要连接电线与网络,线路容易损坏。(4)系统终端使用电池供电,续航短。

5.2展望

通过三百山隧道试验段所用的(南京派光)围岩自动化监测系统的应用探究,该系统在基于机器视觉的隧道变形结构光监测方法及装置处于世界领先地位,具有很大的创新性、先进性、实用性。

建议:(1)提高主站的数据接收能力,减少主站(从站)数量,过滤隧道其他可见光对监测数据的影响。(2)提高终端硬件质量,增加防爆属性,增加仪器使用寿命,使其更加轻量化,既轻便又可靠。终端增加隧道瓦斯监测、有毒气体、温度监测传感器,使用光信号传递给主站。(3)增加终端的监测范围,不仅仅是一个断面,是监测一个里程区间,减少终端数量,提效率、降成本,具备测量初支平整度与监控量测双重功能。(4)完成各项质量认证,使其成为一种测量工具。继续研究人工智能算法、优化变形计算与误差校正参数。降低仪器建造成本,自上而下主推,在高风险隧道主推,预测塌方,确保施工安全。

[参考文献]

- [1]《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR9218-2015.
- [2]吴国强,连捷,王列伟,等.基于机器视觉及结构光的隧道围岩结构变形测量方法及系统应用[J].铁路技术创新,2023,(5):49-55.
- [3]李福健.基于BIM和GIS的隧道围岩量测自动化监测系统研究与应用[J].土木工程信息技术,2017,9(06):89-93.
- [4]赵高锦,曾兆文.自动化监测技术在公路隧道施工中的应用[J].建筑技术开发,2019,46(16):134-135.