

元磨高速公路隧道监控量测的应用

赵 阳

唐 健 秦之富

(重庆交通学院桥梁与隧道工程系 重庆 400067) (重庆交通科研设计院 重庆 400067)

摘 要 本文以元磨高速公路多座隧道的监控量测实践为依据,利用多种量测手段对围岩和支护系统的变形和受力状态进行监控,获取围岩的动态信息以指导施工,为支护体系的优化提供依据,并将量测位移用于反分析,预测由开挖引起的变形,以达到安全、经济施工的目的。

关键词 连拱隧道 新奥法 监控量测 反分析

1 工程概况

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,边坡、仰坡也处在古滑坡上。

2 围岩监控量测

2.1 监控量测的意义

元磨高速公路沿线各隧道均按新奥法设计和施工。新奥法以“管超前、少扰动、早喷锚、勤量测、紧封闭”为施工原则,以光面或预裂爆破为开挖方式,以喷混凝土、锚杆、钢筋网、钢拱架为初期支护。通过施工过程中的监控量测对围岩的稳定性、支护参数的合理性作出评价,并对二次衬砌的施作时间提出建议。因此量测工作是监视设计、施工是否正确的眼睛,是监视围岩是否安全稳定的手段,它始终伴随着施工的全过程,是新奥法构筑隧道非常重要的一环。

由于元磨高速公路上隧道开挖断面大,地质条件差,遇到的不良地质灾害多。为了防止洞内发生塌方,防止洞口边、仰坡失稳,确保合同工期,同时使隧道投资更加经济合理,在洞内外进行全方位、全过程现场围岩和地表监测成为非常有效的手段。通过对洞口地表下沉的监测,确保顺利进洞;通过对洞内围岩的监测,可以判定围岩是否稳定,围岩类别是否正确,支护参数是否合理,确保施工安全,投资经济合理,同时为二次衬砌提供可靠依据。

2.2 监控量测项目

隧道的监控量测内容分为必测项目和选测项目。

必测项目是必须进行的常规测量,是判断围岩稳定状态、支护结构工作状态、指导设计施工的经常性量测,是新奥法量测的重点项目。该项目主要包括隧道内目测观察、拱顶沉降量测、周边收敛量测等项。这类量测方法简单、可靠性高、费用少,但对修改设计、指导施工所起的作

用却非常大。由于开挖面积大,量测精度要求高,周边收敛量测采用带式收敛计,拱顶沉降为精密水准仪配合钢卷尺、塔尺量测。量测断面间距一般为 20~50m,但对于洞口段、浅埋地段,特别软弱地层段则小于 20m。测点布置见图 1。

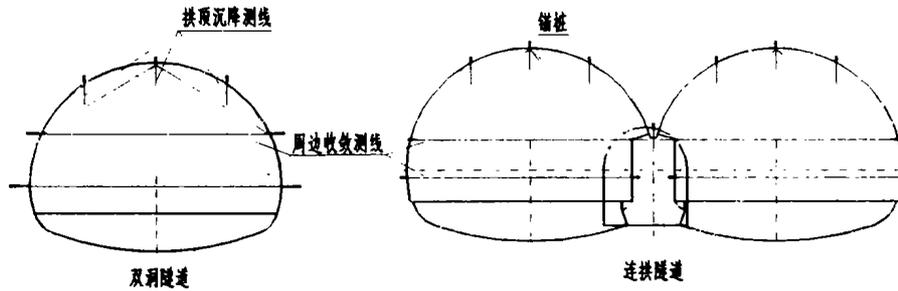


图 1 必测项目测点断面布置图

选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段进行补充测试,以便更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果,指导未开挖区的设计与施工。这类量测主要包括围岩内部变位、锚杆轴力、喷混凝土层应力、围岩压力及围岩物理性能、力学性能等项目。这类量测项目较多,测试较为麻烦,花费较大,一般根据需要选择部分项目。内部变位采用杆式五点位移计配合百分表量测;压力和应力量测是在各式钢弦式压力盒、应力计、钢筋计埋设后,通过频率仪测定其频率,再按照标定的公式计算压力和应力。测点布置见图 2。

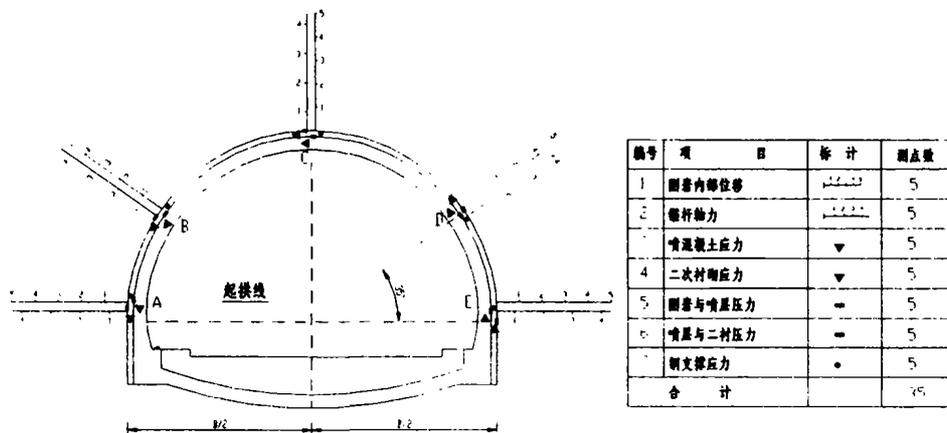


图 2 选测项目测点断面布置图

2.3 量测数据分析

测点应在断面开挖后尽快安设,并且与开挖面距离不超过 2m。量测仪器在安设就位以后应立即测取其初始读数,以后采集数据的频率和次数原则上按规范的要求进行。现以桥头隧道为例对量测数据进行分析。

桥头隧道位于元磨高速公路 16 合同段 K342+375~K342+655 之间,全长 280m,为带中墙的整体式双跨连拱结构隧道。隧道围岩类别为 I、III、IV 类,岩性为灰、灰白色石英砂岩夹紫色泥岩,最大埋深 74m,最大开挖跨度为 24.65m,采用上下台阶法开挖,两洞口均位于滑坡和偏压地段。为确保洞口段围岩的稳定和施工的顺利进行,防止塌方发生,在 K342+402 处布置

了量测断面。

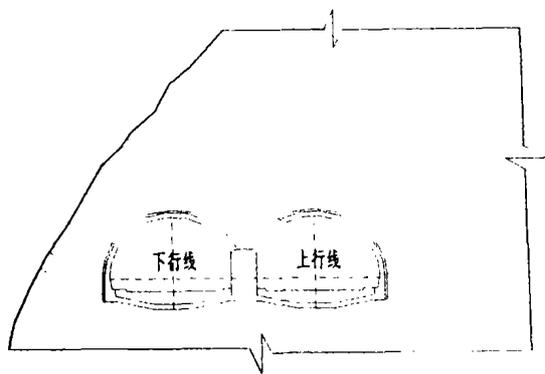


图3 桥头隧道横断面位置图

根据《公路隧道施工技术规范》规定的频率对围岩进行量测,并对量测数据及时进行处理、绘图和分析。上、下行线 K342+402 断面的拱顶沉降和周边收敛变化曲线如图 4、5、6、7 所示。从图中可知,在隧道上台阶开挖初期,围岩变形发展较快,约 7 天后变形速率逐渐减小。左右洞拱顶均有较小的沉降;上行断面的水平收敛为向内收缩,下行断面的水平收敛则呈向两边扩展态势。施工方在开挖上采取了左右洞交替开挖,掌子面齐头并进的方式。当左、右洞下台阶开挖临近该量测断面并分别于 6 月 5 日、6 日通过时,围岩的变形速率迅速增大。拱顶均发生了较大的沉降,且三根测线的沉降值从左到右依次加大;左洞的水平收敛值急剧增大,右洞的水平收敛则由扩展转变为收缩,收敛速率均较大;拱腰部位的多点位移计在不同深度各个测点的位移值在这段时间也有大幅的增长;在左右洞靠近中隔壁的拱腰位置,压力盒数据显示,围岩压力分别达到了 400KPa 和 500KPa。通过现场目测发现,靠近中隔壁的拱腰位置,喷射混凝土壁面有环向裂纹,且中隔壁也有开裂现象。

发生了较大的沉降,且三根测线的沉降值从左到右依次加大;左洞的水平收敛值急剧增大,右洞的水平收敛则由扩展转变为收缩,收敛速率均较大;拱腰部位的多点位移计在不同深度各个测点的位移值在这段时间也有大幅的增长;在左右洞靠近中隔壁的拱腰位置,压力盒数据显示,围岩压力分别达到了 400KPa 和 500KPa。通过现场目测发现,靠近中隔壁的拱腰位置,喷射混凝土壁面有环向裂纹,且中隔壁也有开裂现象。

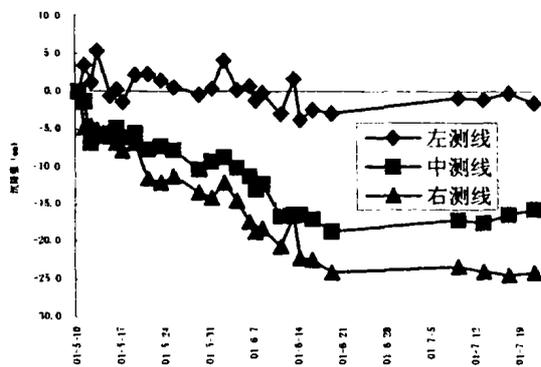


图4 SK342+402 拱顶沉降变化曲线

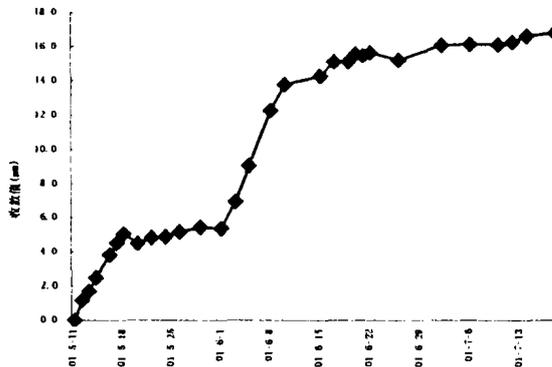


图5 SK342+402 周边收敛变化曲线

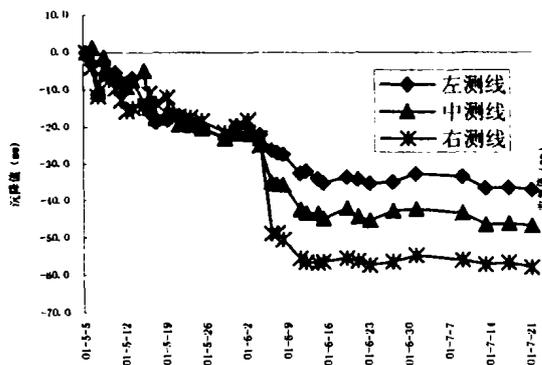


图6 XK342+402 拱顶沉降变化曲线

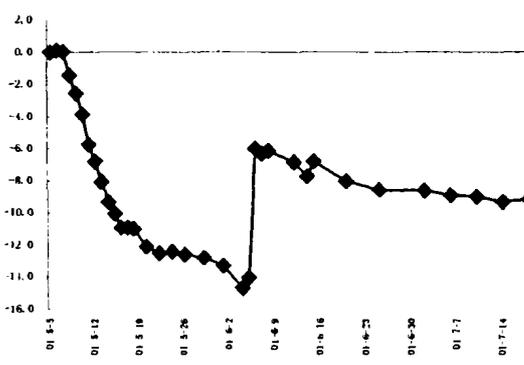


图7 XK342+402 周边收敛变化曲线

根据综合量测数据、现场观测和施工情况进行分析,监控方认为导致这一不利局面的主要原因在于施工方法欠妥。施工方左右洞交替开挖且掌子面相距很近,这无疑加大了对围岩的扰动。从多点位移计的量测数据可知,围岩的松动范围已超出了位移计的长度(3.7m)。中隔墙施工完成后,没有进行必要的回填,这就使洞室的开挖宽度增大了一倍,导致围岩压力的剧增而使喷射混凝土开裂。下台阶开挖速度过快,但支护没有及时跟进,初期支护的拱脚处于悬空状态,且洞室承受偏压,这导致拱顶产生了大的沉降,并表现出从左到右递增的非对称特征,中隔墙也由于承受过大的不对称压力而出现裂缝。监控方将这一危险情况及时通知了甲方和施工方。为防止险情的进一步恶化,经研究决定暂停施工。

监控方建议在施工时应加大上下行线掌子面间距,施工工序上,应先开挖上行隧道,在上行隧道的二次衬砌超过下行隧道掌子面 30~40m 后,下行隧道掌子面方能向前掘进;在中导坑上,两洞衬砌之间的空洞一定要回填密实。在随后的施工中,施工方采纳了监控方的建议,避免了类似现象的再次出现。由于及时采取了措施,从拱顶沉降和周边收敛变化曲线上看,围岩变形得到了很好的控制,已趋于收敛。该隧道部分量测断面的沉降和周边收敛量测值见表 1。从表中的数据可见围岩类别越高,洞室开挖达到稳定后的变形值就越小。

表 1 部分量测断面的沉降和周边收敛量测值

断面桩号	岩性	围岩类别	洞室埋深 (m)	围岩变形终值(mm)	
				周边收敛值	拱顶沉降值
SK342+402	砂岩	I	15	16.8	24.5
XK342+402	砂岩	I	18	-9.5	57.8
SK342+442	砂岩夹泥岩和泥质砂岩	IV	35	4.8	7.6
XK342+446	砂岩夹泥岩和泥质砂岩	IV	46	-0.5	1

3 反分析应用

围岩在开挖过程中产生的变形是直接与其稳定性相关的物理量,是围岩与周围环境等各种因素综合作用的结果,是其稳定性的真实反映。利用施工过程中获取的围岩变形信息进行反分析可对前方未开挖围岩的稳定性进行预测,以提高施工的安全性。

在现场监控量测过程中,监控方使用了蒋树屏博士开发的 EKFFEM 反分析软件,其核心是非确定性反分析理论。这一理论将计算系统的输入信息如位移、应变或应力增量量测值等视为随机不确定量,使系统输出量初始地应力或材料特性参数等也视为随机不确定量。该软件在计算过程中引入了原属最优控制理论的卡尔曼滤波器(Kalman filter),它具有将输入的位移值进行修正—预测的功能,通过反演计算可得出岩体特性参数和初始地应力参数,并能估计各时刻围岩随开挖推进的塑性区变化情况。通过现场应用,对预测围岩变形,保证施工安全起到了良好的效果。

4 结论

通过对元磨高速公路多座隧道的监控量测,可得出以下结论:

a. 围岩变形与掌子面的距离有密切的关系,变形量主要发生在掌子面距离量测断面 2~3 倍洞径范围内,表现出明显的空间效应。同时,开挖方式的选择对围岩变形有很大的影响。

b. 围岩压力的实测值远小于理论计算值,体现出围岩的承载拱效应;在围岩较好段,待变形收敛后再施作二次衬砌,测得二衬承受的变形压力很小;而在进出口浅埋段,应在变形发展到一定程度时及时施作二衬,让二衬与初衬共同承受变形压力,这样才较经济、安全。

c. 将量测结果及时反馈,防止了塌方事故的发生,保证了施工安全,起到了指导施工和优化设计的目的,也为以后类似工程的施工积累了经验。

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,1990
- 2 韩瑞庚·地下工程新奥法·科学出版社,1987
- 3 交通部重庆公路科学研究所·公路隧道施工技术规范·北京:人民交通出版社,1995
- 4 刘洪洲·华蓥山隧道新奥法施工中的位移量测分析·世界隧道,No. 3,1999

* * * * *

湖南路桥公司成立隧道公司

湖南省公路隧道公司是凭借雄厚的湖南路桥公司在人力、财力、机械、技术等方面的各种优势迅速发展起来的一支新兴隧道专化的公司。公司盯着国内巨大市场,公路走向山区、迈向西部这个大好时机,积极购置新型机械,引进精湛的配套人才,以新科技为动力来壮大自己。目前购置的专用机械有:芬兰汤姆洛克多臂钻车,全自动整体模块衬砌台车,混凝土输送泵,大型混凝土拌合楼,以及钢纤维湿喷混凝土等配套机械,以达到提高质量、加快进度、降低成本、安全生产的目的。在人才方面,采取从路桥公司调入和对外引进双管齐下的方针,并以一些高校聘入一些新生力量,形成一支既具有专业技术,又懂企业管理的高、中、初级和老、中、青相结合的工程施工队伍。在此基础上,公司还采取了以任务代培养从实践中锻炼人才。

目前,隧道公司已承担了长沙至浏阳公路的焦溪岭隧道群,张家界至清水洞公路的老木峪隧道,张罗公路青天坪隧道,张家界峪园公路隧道和永连公路分水岭隧道等工程。尤其是峪园公路隧道是座长 2764m 的长隧道,投资约 1.3 亿元人民币。对隧道公司来说是项大工程,是一个良好的机遇,但也会有许多艰险呈现在他们面前,也是一个严峻的挑战。公司目前立足于湘、桂、赣山区,逐渐扩展到西部,以公路隧道为主,还瞄准市政、水电、矿山的地下工程。

公司决心发扬湘军能战斗的精神,勇攀高峰,不畏艰难,树立良好的信誉,创造优良的品牌工程。

孔祥金 供稿