

文章编号: 1000-7598 (2011) 04-1273-05

某公路瓦斯隧道综合勘察技术应用

王国斌^{1,2}, 利奕年¹

(1. 湖北省交通规划设计院, 武汉 430051; 2. 中国地质大学(武汉) 工程学院, 武汉 430074)

摘 要: 瓦斯赋存位置的确定和瓦斯动态监测是瓦斯隧道勘察的两大关键问题。针对某公路隧道掘进过程中发现的瓦斯气体, 采用地质调绘、施工地质预报(物探、地质超前钻探)、瓦斯监测等手段进行综合勘察, 研究瓦斯储气构造, 分析瓦斯成因, 并对该隧道未开挖洞段的围岩瓦斯特征进行了预测预报, 提出瓦斯风险段落。研究表明, 虽然该隧道具有充分的瓦斯形成地质背景, 但瓦斯赋存特点是分散型、浓度低、储量低; 瓦斯通过单斜构造中的岩石裂隙、孔隙富集运移, 分析认为, 该地区不具备大量瓦斯生成的地质构造条件。综合勘察技术的应用有助于提高预报精度, 为保证隧道施工安全提供了可靠的地质依据, 对类似隧道工程建设具有一定的指导作用。

关 键 词: 隧道; 瓦斯; 施工地质预报; 监测

中图分类号: U 456.3+3

文献标识码: A

Application of comprehensive survey technique to gas tunnel of highway

WANG Guo-bin^{1,2}, LI Yi-nian¹

(1. Hubei Communications Planning and Design Institute, Wuhan 430051, China;

2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074 China)

Abstract: Locating of gas-bearing structure and dynamic monitoring are two key problems in methane tunnel exploration. As far as methane found in Jijiapo Tunnel in the Three Gorges Dam highway, using geological survey, geological prediction in construction (geophysical prospect and geological drilling), comprehensive gas monitoring and other means of investigation are adopted to analyze gas-bearing structure, study formation cause of gas, and predict gas feature of surrounding rock mass in front of the cutting face and determine dangerous position. It is concluded that gas in this tunnel is characterized by disperse, low density and small volume. The gas flows through fissures and pores in rock mass without tectonic condition for large gas-bearing structure. Comprehensive survey can help to improve predicting accuracy and provide reliable geological support, and can be of great guidance to construction of similar tunnel project.

Key words: tunnel; gas; construction geological prediction; monitoring

1 引 言

随着新一轮西部大开发战略的实施, 隧道工程的地质灾害(岩溶、瓦斯等)超前预报工作显得越来越重要^[1-3]。在某公路隧道掘进过程中, 发现存在有害气体瓦斯, 严重危害施工安全和工程进度。如何查明该隧道瓦斯储藏地质构造特征, 分析瓦斯成因及对未开挖段落的瓦斯情况作出预测预报, 规避瓦斯泄露地质灾害, 是本文讨论的主要问题。

2 地质背景分析与开挖修正

2.1 瓦斯隧道地质背景

本文研究对象为三峡翻坝高速公路季家坡隧

道。该隧道地层体为南华纪~震旦纪上扬子盆地北部缓斜坡带形成的一组陆缘冰碛碎屑岩至海相碳酸盐岩, 岩石中藻类等有机物质十分丰富, 这些原始低等藻类植物遗体堆积后, 受堆积环境中的水、氧及微生物活动的影响, 进行分解和分解产物的化合等作用, 从而转变为腐泥, 具有充分的瓦斯形成地质背景。

2.2 补充地质勘察与开挖修正

勘察资料反映该隧道右洞围岩南沱组与上覆陡山沱组分界于 YK14+540, 围岩为灰绿色块状冰碛砾岩与陡山沱组中厚层白云岩接触带, 局部为泥质灰岩夹页岩, 节理裂隙较发育, 白云岩局部岩溶较发育, 岩体局部较破碎。但根据开挖揭露表明南

收稿日期: 2010-10-08

第一作者简介: 王国斌, 男, 1974 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事岩土工程与地质灾害方面的研究工作。E-mail: vocar@sina.com

沱组与上覆陡山沱组分界应于 YK14+680, 围岩为浅灰绿色块状冰碛砂质泥砾岩、炭质白云岩、灰质白云岩, 节理裂隙较发育, 炭质灰岩中赋存瓦斯。

因此, 应对地质纵断面图作出相应修正, 调整该地层与隧道相交的段落范围, 提高瓦斯存在段落识别的准确性。

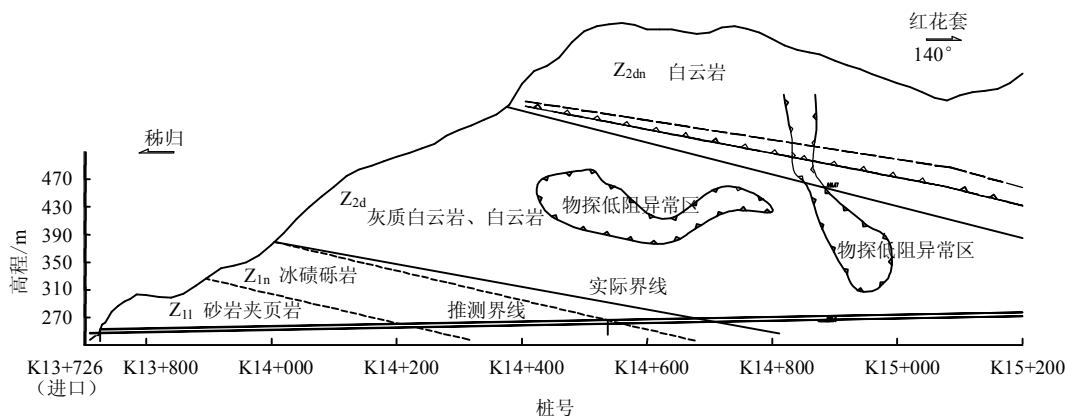


图 1 地勘资料与开挖揭露对比修正示意图

Fig.1 Comparison diagram of the geological survey data and revision after excavation

3 施工地质预报

施工地质预报是以地质资料为基础, 采用物探、钻探、超前导洞等技术手段预测开挖工作面前方地质特征的技术, 能更精确预测隧道开挖工作面前方的地质特征, 为施工提供安全保障信息支撑。

3.1 预报方法选择

根据开挖工作面揭露的地质资料显示: 该断面围岩为冰碛砂质泥砾岩、炭质白云岩、灰质白云岩, 节理裂隙较发育, 且已经发现瓦斯泄露, 因此, 应选择防火、防爆、快速长距离操作简单的预报方法, 达到既满足预报需要又减少在隧道内的停留时间, 确保预报人员的安全。

3.2 物探法施工地质预报

物探方法在隧道地质超前预报中应用广泛^[4-5]。为了适应隧道防火、防爆的工作环境要求, 选择 TRT (tunnel reflection tomography) 技术开展预报工作。TRT 技术是一种三维弹性波反射法应用技术^[6], 采用锤击方式激发弹性波, 安全可靠, 可实现三维地质成像, 能更好地分析隧道围岩地质特征, 查明瓦斯储气构造。该隧道左、右洞 TRT 探测成果图如图 2、3 所示。

该隧道为左右洞分离式, 右洞掘进进度早于左洞, 由 TRT 施工地质预报成果结合洞内地质调绘分析: 相同里程段落 (ZK14+670~ZK14+680 段、ZK14+685~ZK14+695 段) 上可能存在瓦斯泄露的地质灾害, 应采取相应预防措施。

3.3 地质超前水平钻探预报方法

该隧道采用地质超前水平钻探直接揭示隧道

开挖工作面前方围岩地质特征, 结合地质分析与钻孔口瓦斯动态监测, 实时监控瓦斯泄露浓度变化, 实现了地质钻探与瓦斯监控的结合。

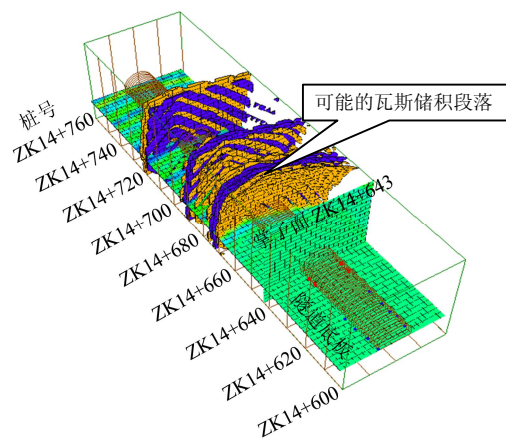


图 2 隧道左洞 TRT 探测成果图

Fig.2 Detection result of TRT in left tunnel

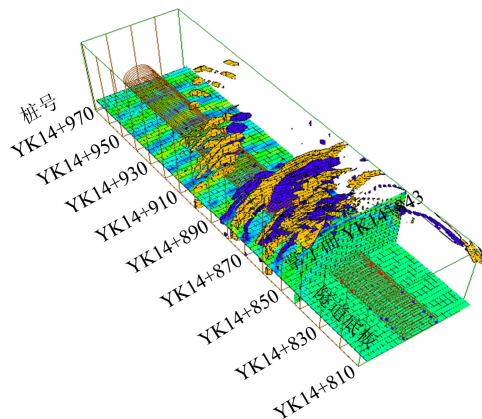


图 3 隧道右洞 TRT 探测成果图

Fig.3 Detection result of TRT in right tunnel

本次地质超前钻探采用 RPD-150C 多功能快速钻机进行,该钻机钻速快,操作简便灵活,适应在隧道中进行水平钻探作业,钻孔数量 1 个,钻孔位于隧道中线附近(起拱线上方约 2 m),孔深为 40 m,钻进深度范围为 YK14+845~YK14+885,钻探不取岩芯,通过转进速度、破坏能、打击力等钻探参数间接判断围岩特征。本次地质超前钻探钻进范围与 TRT 施工地质预报探测范围有部分重叠,通过物探与钻探相结合,提高预报的可靠性与准确度。图 4 为地质超前钻探钻速与破坏能曲线图。

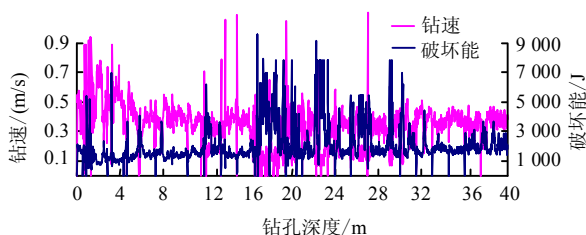


图 4 地质超前钻探钻速与破坏能曲线图

Fig.4 Penetration rate and failure energy curves for geological drilling

经钻探成果与 TRT 探测对比分析,得到围岩特征里程对照表如表 1 所示。

表 1 地质超前钻探围岩特征预测表

Table 1 Features forecast table of surrounding rock mass using geological drilling

隧道里程桩号	钻进速度 /(m/min)	破坏能 /J	围岩特征预测
YK14+845~ YK14+861.7	0.41	1 549	节理、裂隙发育,围岩破碎;
YK14+861.7~ YK14+868.5	0.22	3 091	该段节理发育,围岩破碎, 其中 YK14+864.5~YK14+ 867 段岩质软;
YK14+868.5~ YK14+885	0.32	2 111	该段节理发育,围岩破碎, 围岩条件差异不大,其中局 部段落围岩相对较硬。

在钻探过程中,监测人员对围岩中的瓦斯浓度进行监测,发现围岩中瓦斯储量极其有限,浓度约为 0.26%~0.28%,浓度低,从 18:00 开始至 20:45 进行监测,这段时间的监测记录如表 2 所示。

表 2 钻孔口瓦斯浓度监测表

Table 2 Gas concentration monitoring table near hole exit

序号	监测时间/min	钻孔深度/m	瓦斯浓度/%
1	0	10	0.26
2	75	20	0.28
3	160	30	0.27
4	205	40	0.26

3.4 超前导洞预报方法

超前导洞预报方法是利用超前导洞揭示隧道地质特征指导隧道的开挖,该预报方法属于直接揭示法。超前导洞预报方法可分为平行超前导洞法和正洞超前导洞法。线间距较小的两座隧道可互为平行导洞,利用超前施工的隧道所揭示的地质特征来推测后施工的隧道可能遇到的地质问题。由于该隧道右洞先于左洞开挖,因此,可利用隧道右洞开挖揭示的围岩地质特征,预测左洞未开挖段落的地质特征,超前导洞推断示意图如图 5 所示。

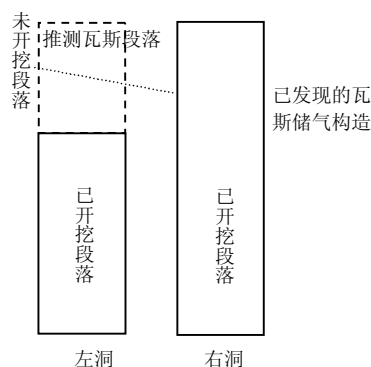


图 5 某隧道超前导洞预报示意图

Fig.5 Prediction sketch of proceeding cave for tunnel

4 瓦斯动态监测

瓦斯是无色、无味、无臭的一种混合气体。遇明火容易发生爆炸,以自由气体状态存在于煤层或围岩的裂缝、孔隙之中,其量的大小主要决定于贮存空间的体积、压力和温度,瓦斯极易燃烧,但不能自燃,当与空气混合到一定浓度时,遇火源才能燃烧或爆炸。当隧道中的瓦斯浓度小于 5%或大于 16%时,遇到火焰只是在火源附近燃烧而不会爆炸;瓦斯浓度在 5%~6%到 14%~16%时,遇到火源便会爆炸,9.5%左右时爆炸威力最大。

在该隧道中采取了多种方法进行瓦斯监测:开挖工作面与隧道洞身动态实时监测、超前钻探孔监测。施工单位根据瓦斯浓度变化采取相应的气体稀释措施,保障施工安全。

4.1 开挖工作面与隧道洞身动态实时监测

瓦斯监测组在隧道开挖工作面布置多个监测点,监测瓦斯在开挖工作面上的分布情况。开挖工作面监测点布置如图 6 所示。监测组还在隧道洞身范围布置固定观测点,定期观测瓦斯在隧道洞身的分布情况,洞身监测点分布如图 7 所示。在洞身布置 2 条测线,沿边墙布设(从洞口到开挖工作面,间隔 20 m 测量 1 次瓦斯浓度),距隧道底板 2 m。

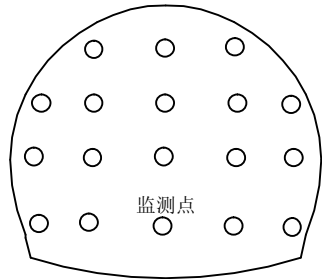


图6 开挖工作面监测点分布图

Fig.6 Distribution of monitoring points in the cutting face

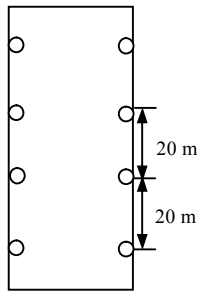


图7 隧道洞身监测点分布图

Fig.7 Distribution of monitoring points in side wall of the tunnel

经过长期的瓦斯监测数据显示：已开挖段洞内空气瓦斯浓度为 0.2%~0.5%（进口左洞）、0.28%~0.5%（进口右洞），低于国家安全施工有关标准及规范，属安全作业区。掘进开挖工作面瓦斯浓度为 0.3%~3.1%（进口左洞）、0.35%~2.5%（进口右洞），远远高于标准限定值 0.5%，属于风险作业区域，应采取通风稀释措施。

4.2 超前钻探孔监测

监测组在隧道开挖钻爆破孔及地质超前钻探时，针对钻探孔口及孔内瓦斯浓度进行监测，利用超前钻孔直接探查隧道开挖工作面前方的瓦斯特征，取得良好效果。图 8 为隧道地质超前钻探孔内监测瓦斯浓度定期监测曲线图。

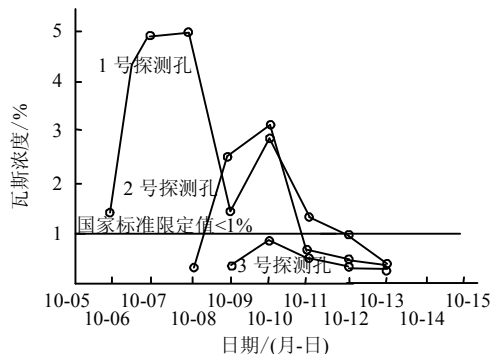


图8 YK14+683 开挖工作面超前钻孔内瓦斯浓度曲线

Fig.8 Curves of gas concentration of preceding hole in the cutting face of YK14+683

由图 8 可以看出，各超前探测孔成孔初期的瓦斯浓度较低，这与凿岩过程中泥浆附孔壁有关系。成孔后 6~12 h，孔壁泥浆干涸，瓦斯从孔壁裂隙涌出至孔口，瓦斯浓度逐渐增加，并在成孔 2~3 d 后瓦斯浓度上下波动变化。总变化趋势是瓦斯浓度逐日略有下降。随着隧道通风风筒移近开挖工作面，通风效果较好，超前孔的瓦斯溢出浓度明显下降，瓦斯监测浓度仅为 0.2%~0.5%。

5 瓦斯成因分析与评价

震旦系南沱组过渡到陡山沱组（大陆冰川沉积~海相沉积）是海进过程。陡山沱黑色炭质岩系中亦含有丰富的微古植物化石。岩石成岩后，在后期的岩浆侵入等构造作用下，当地下温度、压力达到一定条件时，有机质含量高的岩石经过变质形成石墨，而在该过程中也会伴随瓦斯的生成。

通过在该隧道中运用补充地质调绘、物探、地质超前水平钻探、瓦斯监测等综合手段进行勘察后发现：该隧道未开挖段属震旦纪地层，早于形成“石煤”的寒武纪。该时期生物界还处于非常原始阶段，为一些菌藻类低等植物。加之该地层中岩石有机质含量极低（最新岩样检测成果为 3.58%），而有机质又是煤的主要组成部分。因此，该时期不具备成煤条件。隧道以开挖段落逸出的瓦斯气体属于碳酸岩地层在海相沉积过程中，在密闭环境下零星产生的少量烷、烃类气体被封闭在岩石孔裂隙中，在隧道开挖后别揭露释放出来，其产出段落不具规律性，瓦斯浓度也极低。

该隧道的瓦斯评价：岩石有机质含量低（最新岩样检测成果为 3.58%），产生大量瓦斯的可能性极小；加之该区域属单斜构造，不利于瓦斯的储藏；而该时期不具备成煤条件，也就不具备大量瓦斯的生成条件。

6 结论与建议

（1）采用地质宏观分析与地质调绘相结合，从隧道围岩形成背景、区域地质特征综合分析，可有效判断隧道瓦基本储藏特征。根据物探、钻探、瓦斯监测成果，结合本隧道地质背景可知，三峡翻坝高速公路季家坡隧道的瓦斯赋存特点是分散型、浓度低、储量低；瓦斯通过岩石裂隙、孔隙富集运移，分析认为，该地区不具备大量瓦斯生成条件。

（2）应结合前期勘察资料分析，通过开挖揭露隧道围岩地质特征，实时修正勘察资料，调整支护参数，确保施工安全。

(3) 以地质为基础的施工地质预报是探明隧道瓦斯储气构造、规避隧道地质灾害风险的有效手段。施工地质预报应以地质为基础, 多种预报手段相结合, 综合解决围岩探测问题。在瓦斯隧道中实施施工地质预报应严格满足防火、防爆要求, 保障预报人员安全。

(4) 隧道瓦斯气体浓度监测是隧道施工安全的有效保障, 监测的合理性及有效性是保证监测质量的关键。

参考文献

- [1] 马亢, 徐进, 张志龙, 等. 雪峰山公路隧道的超前预测预报研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1381—1386.
MA Kang, XU Jin, ZHANG Zhi-long, et al. Research on advanced prediction and forecast of Xuefeng Mountain Highway tunnel[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(5): 1381—1386.
- [2] 赵永贵. 国内外隧道超前预报技术评析与推介[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(4): 1344—1352.
ZHAO Yong-gui. Analysis and recommendation of tunnel prediction techniques at home and abroad[J]. **Progress in Geophysics**, 2007, 22(4): 1344—1352.
- [3] 金新锋, 夏日元, 梁彬. 宜万铁路马鹿箐隧道岩溶突水来源分析[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(2): 71—75.
JIN Xin-feng, XIA Ri-yuan, LIANG Bin. Analysis of bursting water source of Maluqing tunnel, Yichang-Wanzhou railway[J]. **Hydrogeology and Engineering Geology**, 2007, 34(2): 71—75.
- [4] 李章喜, 顾汉明, 冉昌国. CSAMT 在摩天岭隧道地质勘察中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2006, 3(3): 187—191.
LI Zhang-xi, GU Han-ming, RAN Chang-guo. Application of CSAMT method to geological exploration in the Motian mountain tunnel[J]. **Chinese Journal of Engineering Geophysics**, 2006, 3(3): 187—191.
- [5] 王振卿, 何振起. TSP203 地质预报系统在岩溶地区的应用[J]. 工程地球物理学报, 2006, 3(1): 60—63.
WANG Zhen-qing, HE Zhen-qi. The application of TSP203 system to the karst area[J]. **Chinese Journal of Engineering Geophysics**, 2006, 3(1): 60—63.
- [6] 刘玉山, 陈建平. TRT 技术在乌池坝隧道超前预报中的应用[J]. 铁道建筑, 2008, 35(9): 59—61.
YOU Ming-qing, HUA An-zeng. Triaxial confining pressure test of rock sample[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 1998, 17(1): 24—29.
- [7] 高春玉, 徐进, 何鹏, 等. 大理岩加卸载力学特性的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3): 456—460.
GAO Chun-yu, XU Jin, HE Peng, et al. Study of mechanical properties of marble under loading and unloading conditions[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(3): 456—460.
- [8] 李宏哲, 夏才初, 闫子舰, 等. 锦屏水电站大理岩在高应力条件下的卸荷力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 2104—2109.
LI Hong-zhe, XIA Cai-chu, YAN Zi-jian, et al. Study of marble unloading mechanical properties of Jinping hydropower station under high geostress conditions[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2007, 26(10): 2104—2109.
- [9] 汪斌, 朱杰兵, 邬爱清, 等. 锦屏大理岩加、卸载应力路径下力学性质试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(10): 2138—2145.
WANG Bin, ZHU Jie-bing, WU Ai-qing, et al. Experimental study of mechanical properties of Jinping marble under loading and unloading stress paths[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2008, 27(10): 2138—2145.
- [10] 尤明庆, 华安增. 岩石试样的三轴卸围压试验[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(1): 24—29.
YOU Ming-qing, HUA An-zeng. Triaxial confining pressure test of rock sample[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 1998, 17(1): 24—29.
- [11] 谢红强, 何江达, 徐进. 岩石加卸载变形特性及力学参数试验研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(3): 336—338.
XIE Hong-qiang, HE Jiang-da, XU Jin. Deformation characteristics of rock under loading and unloading conditions and experimental study of mechanical parameters[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2003, 25(3): 336—338.
- [12] 黄润秋, 黄达. 卸荷条件下花岗岩力学特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2205—2213.
HUANG Run-qiu, HUANG Da. Experimental research on mechanical properties of granites under unloading condition[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2008, 27(11): 2205—2213.
- [13] 李永明, 陈连城, 魏胜利, 等. 煤岩轴向应力恒定卸围压条件下力学参数的研究[J]. 矿业快报, 2007, (4): 23—25.
LI Yong-ming, CHEN Lian-cheng, WEI Sheng-li, et al. Research on mechanical parameters under the condition of unloading confining pressure in constant axial stress of coal rock[J]. **Express Information of Mining Industry**, 2007, (4): 23—25.

上接第 1050 页