

# 季家坡隧道易燃气体监测分析及其安全对策

杨 曼<sup>1</sup>, 彭兴文<sup>2</sup>, 胡文军<sup>1</sup>

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中南财经政法大学安全科学与管理学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**针对施工过程中逸出易燃气体的季家坡隧道内各预设监测断面测点进行有害气体成分及浓度监测, 并凿超前孔进行孔口瓦斯及其他有害气体检测。通过对监测数据进行分析得出, 已经开挖隧道沿程空气瓦斯浓度(体积分数,下同)为0.1%~0.2%,属于安全作业区。而在掘进掌子面,尽管隧道正常通风,其上部区域瓦斯浓度仍为4.6%~5%,属于高风险作业区;隧道前方地层是高浓度、低压力的瓦斯赋存。提出了加强通风、施工全过程安全监测、加强施工安全管理的建议。

**关键词:**隧道;瓦斯;监测;通风;安全

中图分类号:TD712

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.05.018

## 0 引 言

湖北省三峡翻坝公路 S3 标段季家坡隧道右洞掘进至 YK14+683 时(掘进长度为 953 m,此处隧道埋深 416 m),掌子面左侧锚杆孔施钻完毕后,从多个孔内溢出不明气体,随即被电焊火星引燃,并伴有浓厚异味。着火范围主要集中在掌子面左侧开挖轮廓线附近(距洞底 3 m 处至拱顶),另在 YK14+681 拱顶沿裂隙及层理亦有不明气体燃烧。火焰多呈蓝色,部分呈黄色,焰高达 30~40 cm。掌子面上部围岩为震旦系陡山沱组灰黑色、黑色碳质白云岩,厚度约 1.5 m,含有磷与黄铁矿;其上(拱顶)为深灰色薄层灰质白云岩;掌子面中下部围岩为震旦系南沱组浅灰绿色冰碛砂质泥砾岩,砾含量较小,砾径多以 0.5~1 cm 居多。南沱组与上覆陡山沱组呈平行不整合接触。可见有两条(系同一组)裂隙发育,裂隙倾向 SE150~160°,倾角为 70~80°,延伸长度大于 6 m,从左至右贯穿掌子面,着火范围主要沿其中一条裂隙分布。

这种险情严重地影响了隧道施工。为此,笔者在隧道内各预设监测断面测点进行有害气体成分及浓度监测,并凿超前孔进行孔口瓦斯及其他有害气体检测,对隧道中逸出的易燃气体成因、储藏条件、前方地层存在瓦斯的可能性做出预测,从而有针对性地提出该隧道施工过程的安全对策。

## 1 监测方案

**监测仪器仪表:**甲烷检测采用美国华瑞公司复合气体检测仪器;测定涌出气体压力采用 DP10000-III B 精密气压测定仪配 1 m 气体测定皮托管;测定隧道内风速采用组合式 0.2~50 m/s 风速测定仪;测定隧道内空气温度与湿度数字式温度、湿度测定仪器;气体取样泵、取样气袋采取隧道内气样,气体成分分析实验室(色谱仪)分析气样袋内气体成分及浓度<sup>[1]</sup>。

在隧道内,在隧道口 20 m 处、以后每隔 100 m 处分别设置监测点(依次为 1#至 10#)。隧道沿程监测位置见图 1。在掌子面分上部、中部和下部,分别设置监测点,连续对隧道内各预设测点进行有害气体连续监测,分别测试各监测点的 CH<sub>4</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO 等有害气体浓度、温度、湿度、风速等参数<sup>[2]</sup>。监测掌子面及其裂隙的瓦斯及有害气体浓度、压力等参数。监测其随时间的变化规律。隧道掌子面检测位置图如图 2。超前探测孔呈倒品字型布置(1#、2#、3#孔孔径均为 50 mm,孔深分别为 40、43、35 m),钻探人员为煤矿瓦斯勘测专业人员,采用煤矿瓦斯探钻设备凿水平超前孔。各超前孔每掘进 5 m,就停机检测一次,监测指标为 CH<sub>4</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO 等有害气体浓度、气压等。超前孔掘进完成后,每天上午 9:00~12:00、下午 2:00~5:00 对孔口进行巡检,监测上述监测指标的变化情况。超

收稿日期:2010-03-27

作者简介:杨 曼(1982-),女,湖北洪湖人,硕士研究生。研究方向:矿井通风与环境保护。

指导老师:胡文军,男,教授,博士。研究方向:系统安全分析与监测,矿井通风与安全。

前探测孔孔位布置见图 3。

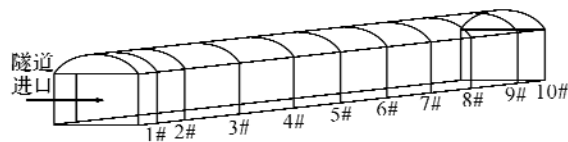


图 1 监测断面布置图

Fig. 1 Layout of the monitoring sections in Jijiapo Tunnel

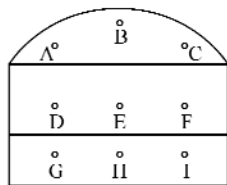


图 2 隧道掘进掌子面监测点布置图

Fig. 2 Layout of the monitoring points at the tunneling working face

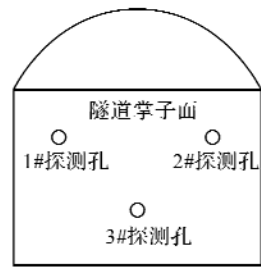


图 3 隧道掌子面超前孔孔位布置图

Fig. 3 Layout of the advance bores drilled at the tunneling working face

## 2 有害气体监测结果

隧道内瓦斯浓度(体积分数/% ,下同)监测结果见表 1。

3 个超前探测孔监测数据见表 2。各超前孔在掘进过程中,均未检出有害气体及瓦斯。成孔后 6 ~12h,才逐步有瓦斯及其他有害气体溢出,但是

表 1 隧道内瓦斯气体监测数据汇总表

Table 1 Monitoring data glossary of gas in the tunnel

监测位置	10 月 2 日	10 月 3 日	10 月 4 日	10 月 5 日	10 月 6 日	10 月 7 日	10 月 8 日	10 月 9 日	10 月 10 日	10 月 13 日
1#	0.1	0.15	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.15	0
2#	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
3#	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
4#	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0
5#	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
6#	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
掌子面上部左侧	2.6	4.6	4.9	5	4.5	4.6	4.4	4.5	4.6	0.25
掌子面上部右侧	0.2	1.5	1.4	1.2	1.2	1.2	0.85	1.1	0.8	0.21
掌子面中部左侧	0.35	0.25	1.1	1.2	0.9	0.9	1.2	1.3	0.6	0.15
掌子面中部右侧	0.21	0.28	1.1	1.1	0.8	0.8	1.1	1.2	1.0	0.15
掌子面下部左侧	0.2	0.29	0.6	0.7	0.7	0.9	0.9	0.8	0.7	0.1

表 2 超前探测孔监测数据汇总表

Table 2 Monitoring data glossary of the advance bores

孔号	1#孔瓦斯 体积分数/%	2#孔瓦斯 体积分数/%	3#孔瓦斯 体积分数/%	备注
10 月 6 日	0	未成孔	未成孔	
10 月 7 日	4.9	0	未成孔	
10 月 8 日	4.8	0.2	0	检出各孔口 气压为 1~2 Pa
10 月 9 日	1.5	2.7	0.2	同上
10 月 10 日	2.8	3.1	0.95	同上
10 月 11 日	1.5	0.7	0.5	同上
10 月 12 日	0.8	0.3	0.3	检出各孔口 气压为 0 Pa
10 月 13 日	0.2	0.1	0.1	同上
10 月 14 日	0.2	0.1	0.1	同上
10 月 15 日	0.2	0.1	0.1	同上
10 月 16 日	--	--	--	

气压很低,仅为 1~2 Pa。各孔的瓦斯及其他有害气体浓度保持每日略有下降的变化趋势。从 13 日开始,由于通风风筒靠近掌子面,通风效果好,孔口瓦斯浓度显著下降。

已开挖隧道内空气瓦斯浓度、掌子面瓦斯浓度以及超前探测孔瓦斯浓度变化趋势曲线分别见图 4、图 5、图 6。

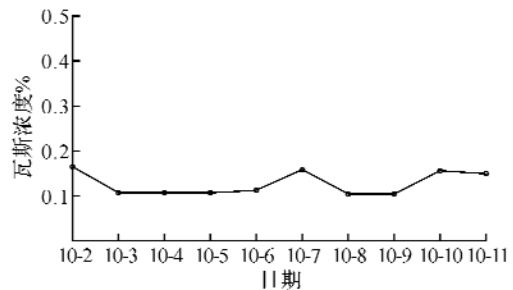


图 4 隧道内空气瓦斯浓度变化趋势曲线

Fig. 4 Variation trend curve of the gas concentration in the tunnel

3 个超前孔在掘进过程中,均未检出有害气体及瓦斯。成孔后 6 ~12 h,才逐步有瓦斯及其他有害气体溢出,但是气压很低,仅为 1~2 Pa。各孔的瓦斯及其他有害气体浓度保持每日略有下降的变

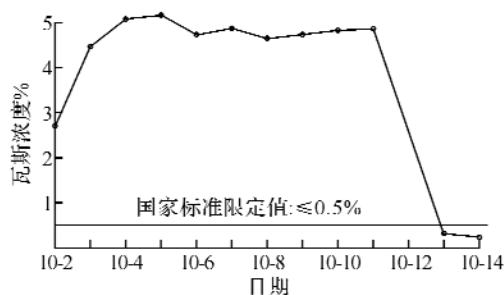


图5 掌子面瓦斯浓度变化趋势曲线

Fig.5 Variation trend curve of the gas concentration at the working face

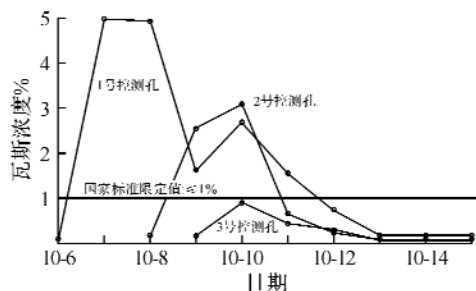


图6 超前探测孔瓦斯浓度变化趋势曲线

Fig. 6 Variation trend curve of the gas concentration in the advance bores

化趋势。从13日开始,由于通风风筒靠近掌子面,通风效果好,孔口瓦斯浓度显著下降。

### 3 监测数据分析评估

#### 3.1 瓦斯监测数据分析

从监测数据可以看出,已经开挖隧道沿程空气瓦斯浓度为0.1%~0.2%,低于国家隧道施工标准规定(可参照《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120-2002))<sup>[3]</sup>的限定值,属于安全作业区。在正常通风的前提下,该区域的施工是可以保障安全的。

而在掘进掌子面,尽管隧道正常通风,而其上部区域瓦斯浓度仍为4.6%~5%,远远高于国家安全标准规定的不超过0.5%的限定值,属于高风险作业区,具有导致发生特别重大安全事故的瓦斯浓度条件,是隧道掘进施工的重大安全隐患。

掌子面涌出瓦斯气体压力低,仅为1~3Pa,说明该地层瓦斯储量低,瓦斯仅局部富积,发生大规模瓦斯突出的可能性较低。超前探测孔瓦斯及其他有害气体监测表明,该隧道前端40 m范围有瓦斯富积,隧道前方区域瓦斯浓度初期较高,监测数据变化范围为0.2%~5%,瓦斯气体压力为1~5 Pa,其浓度变化规律是成孔后当天监测值低,第2日达到峰值,以后逐天降低。说明前方地层局部瓦斯浓度高、赋存量较小,而且分散。

#### 3.2 其他有害气体数据分析

在本项目监测过程中,检出其他有害气体,包括:CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S等。根据国家标准GBZ21-2007和GBZ2.2-2007<sup>[4-5]</sup>要求,除1#超前探测孔SO<sub>2</sub>的浓度超过国家卫生标准值10×10<sup>-6</sup>外,其余监测点的CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S等浓度均在国家标准允许范围之内。

#### 3.3 前方未开挖隧道有害气体赋存情况分析 & 预测

根据地质勘测资料,季家坡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,为甲烷气体生成作好了物质准备<sup>[6]</sup>。

季家坡隧道的岩石地层结构包括南沱组和陡山沱组。

南沱组属大陆冰川作用沉积,由块状灰绿色冰碛砾岩、冰碛含砾砂泥岩、冰碛砂质泥砾岩组成。岩石疏松,顶部明显见小空洞。南沱组为大陆冰川环境沉积的粗细不均的碎屑岩,基底式胶结为主,为孔隙度较大的岩石结构,在后期成岩过程中,经过冰融脱水、挥发、收缩,因此,在南沱组顶部形成收缩空洞。当石中的藻类生物经液化形成甲烷后,便沿后期生成的一些垂直裂隙和节理向上运移,储存于空洞之中,便形成理想的储气层。所以,本组是成气、储气主要层位。瓦斯气体的特点是分布不均匀,压力低,局部浓度高。

陡山沱组分上、下两部分。下部为深灰、灰黑色薄板状泥质条带灰质白云岩、含磷质白云岩夹含碳白云质灰岩,藻类较植物丰富,同时由于岩性结构紧密,沉积体内水分含量较少,故藻类不易分解气化。因此,本组不是理想的成气、储气层位。但本组下部的方解石晶洞中仍存在少量易燃气体的可能性。

因此,前方未掘进隧道中的瓦斯气体主要赋存区为震旦系南沱组、陡山沱组及灯影组岩石地层中,其中分布较为集中、有一定储量的主要位于南沱组地层的顶部和陡山沱组地层底部的交界位置。该地层的瓦斯赋存特点是浓度高,分散呈局部赋存,瓦斯气体压力低。

### 4 安全对策

针对上述监测分析结果,提出如下安全对策:

#### a. 安全技术对策。

强化隧道内通风和作业面通风,增加通风设备(包括增加主通风机及射流局部通风机),使作

业面涌出瓦斯得以及时稀释,保证隧道施工安全。

更换一般照明灯具及电缆为防爆级。使用煤矿安全防爆炸药,使用安全雷管。

加强隧道施工的全过程安全监测,坚持打 30~50 m 超前瓦斯探测孔,对隧道内空气、作业面瓦斯(包括超前孔的瓦斯)及其他有害气体浓度及压力实现 24 h 连续监测,掌握瓦斯浓度及压力变化情况,为隧道安全施工及安全监管提供可靠数据。

#### b. 安全管理对策。

施工部门应成立低瓦斯隧道施工安全管理机构,指定专职安全管理人员,强化对施工现场的监管。

隧道作业人员(包括管理人员、施工人员及特种作业人员)应该接受相应的瓦斯隧道安全施工基本安全知识培训,持证上岗。

制定并落实隧道施工现场安全管理制度。制定用火安全制度,不得在隧道内抽烟、携带火种等,加强用电安全管理,提供电力安全防范等级。

施工管理部门应定期(每周一次)和不定期对隧道安全施工进行检查,及时处理暴露的安全问题,及时消除安全隐患,确保隧道施工任务安全顺利完成。

施工单位应制定隧道瓦斯及 CO、SO<sub>2</sub> 等有害气体安全事故专项应急预案,应经评审并报当地安监部门备案。应急预案应时常演练。

## 5 结 语

本文针对施工过程中逸出易燃气体的季家坡隧道,在隧道内各预设监测断面测点进行有害气体成分及浓度监测,并凿超前孔进行孔口瓦斯及其他有害气体检测。在现有通风系统正常运行状态下,已经开挖隧道沿程空气瓦斯浓度为 0.1%~0.2%,低于国家隧道施工标准规定的限定值,属于安全作业区。在正常通风的前提下,该区域的施工是可以保障安全的。而在掘进掌子面,尽管隧道正常通风,而其上部区域瓦斯浓度仍为 4.6%~5%,远远高于国家安全标准规定的不超过 0.5%

的限定值,属于高风险作业区,具有导致发生特别重大安全事故的瓦斯浓度条件,是隧道掘进施工的重大安全隐患。对超前探测孔的瓦斯浓度、压力的连续监测表明,隧道前方地层有高浓度、低压力的瓦斯赋存。个别监测点有 SO<sub>2</sub> 等有害气体超标现象发生,应引起注意。根据对季家坡隧道有害气体连续监测数据的分析和地质勘探资料分析,初步认定该施工隧道为低瓦斯隧道作业区。为避免安全事故的发生,实现安全施工,施工单位应采取各种安全技术及安全管理对策措施,如强化隧道内通风和作业面通风,加强隧道施工的全过程安全监测,坚持凿 30~50 m 超前瓦斯探测孔,对隧道内沿程和掌子面的瓦斯(包括超前孔的瓦斯)及其他有害气体浓度及压力实现 24 h 连续监测;成立低瓦斯隧道施工安全管理机构,指定专职安全管理人员,强化对施工现场的监管,隧道作业人员(包括管理人员、施工人员及特种作业人员)应该接受相应的瓦斯隧道安全施工基本安全知识培训,持证上岗,制定并落实隧道施工现场安全管理制度,定期(每周一次)和不定期对隧道安全施工进行检查,制定隧道瓦斯及 SO<sub>2</sub> 等有害气体安全事故专项应急预案。

#### 参考文献:

- [1] 施文. 有害气体检测仪器原理[M]. 北京:化学工业出版社,2009:97-116.
- [2] 于立勋. 有害气体检测仪器选择与使用[J]. 中小企业管理,2009,22:287.
- [3] 铁道部. TB10120-2002 铁路瓦斯隧道技术规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2006.
- [4] 卫生部政策法规司. GBZ2. 1-2007 国家职业卫生标准工作场所有害因素职业接触限值,第1部分:化学有害因素[S]. 北京:人民卫生出版社,2008.
- [5] 卫生部政策法规司. GBZ2. 2-2007 国家职业卫生标准工作场所有害因素职业接触限值,第2部分:物理因素[S]. 北京:人民卫生出版社,2008.
- [6] 刘传正. 长江三峡库区地质灾害成因与评价研究[M]. 北京:地质出版社,2007:189-207.

(下转第 73 页)

## The production methods study of $\text{SiO}_x$ coating film deposited on PET substrate

*LIU Yu-lan, WANG Jian-hua, XIONG Li-wei, LIU Chang-lin*

( School of Material Science and Engineering, Province Key Laboratory of Plasma Chemistry and Advanced Material, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Polyethylene terephthalate (PET) has been widely favored in the field of packaging for its good temperature, pressure, stability, and high-barrier and other properties. In order to meet the PET material in the beverage, beer packaging requirements, in the inner wall of PET materials, coating of silicon oxide film is a very effective method. The authors of this article adapted two production methods of  $\text{SiO}_x$  coating film deposited on the PET substrate magnetron sputtering and microwave plasma chemical vapor deposition and comparing their principle, virtue separately, also analyzed the relation between the parameters on the barrier properties, such as deposition time, discharge pressure, and plasma power.

**Key words:** PET;  $\text{SiO}_x$  coating film; magnetron sputtering; PECVD; barrier properties

本文编辑: 龚晓宁

☆

(上接第 69 页)

## Analysis of the monitoring figures and countermeasures of the flammable gases in Jijiapo tunnel

*YANG Man<sup>1</sup>, PENG Xing-wen<sup>2</sup>, HU Wen-jun<sup>1</sup>*

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Safety Science and Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430074 China)

**Abstract:** This paper presents the monitoring result of the ingredients and concentration of the harmful gases at the preset-monitoring points of the sections in the Jijiapo Tunnel where flammable gases run out in construction process. In addition, advance bores are drilled to detect the methane and other hazardous gases. According to analysis of the monitoring data, this paper concludes that the gas concentration is 0.1% - 0.2% along the tunnel excavated that belongs to safe work zone, while the gas concentration at 4.6% - 5% at the tunneling working face belongs to high-risk work zone of gas emission although normally ventilated, and the layer of rock in front of the tunnel is occurrence of gas with high concentration and low pressure. This paper puts forward some advice for enhancing ventilation, risk monitoring during whole the process of construction and strengthening safety management.

**Key words:** tunnel; gas; monitoring; ventilation; safety

本文编辑: 龚晓宁