

# 煤矿瓦斯抽采监测准确计量技术应用

傅国廷<sup>1</sup> 李波<sup>2</sup>

(1. 潞安矿业(集团)有限责任公司 瓦斯研究院 山西 长治 046204; 2. 郑州光力科技股份有限公司 河南 郑州 450001)

**摘要:** 针对瓦斯抽采监测系统存在的不同监测点准确计量难题,分析了瓦斯抽采管网监测准确计量影响因素,论述了基于超声相关法流量检测的钻孔汇流管测量仪在瓦斯抽采钻孔监测的技术优势,以及基于横向漫反射的瓦斯浓度检测和基于循环自激式的流量检测的管道瓦斯监测设备在瓦斯抽采管网监测的技术优势;并通过现场性能对比测试,2种设备与校准设备的瓦斯体积分数、流量误差均小于5%,进一步验证用于瓦斯抽采监测准确计量的可行性。

**关键词:** 瓦斯抽采; 管网监测; 互联网+; 钻孔汇流管; 准确计量

中图分类号: TD712.63 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)07-0064-05

## Accurate metrological technology applied to mine gas drainage monitoring and measuring

Fu Guoting<sup>1</sup>, Li Bo<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Mine Gas, Lu'an Mining Group Corporation Limited, Changzhi 046204, China;

2. Zhengzhou GL Tech Company Limited, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** According to an accurate metrological difficult problem of different measuring point existed in the mine gas drainage monitoring and measuring system, the paper analyzed influence factors of gas drainage pipe network monitoring, the paper stated the technical advantages of the borehole manifold measuring instrument applied to the borehole monitoring and measuring of the gas drainage drilling site based on the flow detection of the ultrasound related method, and analyzed the technical advantages of the pipeline gas monitoring and measuring equipment applied to the monitoring and measuring of the gas drainage pipeline network based on the lateral diffuse reflection gas concentration detection and based on the circulated self-excited flow detection. With the comparison measurement of the site performances, the gas concentration and flow error between the two equipments and calibration equipments was all less than 5% and could further approve the feasibility applied to the accurate metrology of the gas drainage monitoring and measuring.

**Key words:** gas drainage; monitoring and measuring of pipeline network; internet plus; borehole manifold; accurate metrology

## 0 引言

煤矿瓦斯抽采是瓦斯治理的最有效手段之一,瓦斯抽采达标后开采煤炭是保障矿井安全生产的“治本之举”<sup>[1]</sup>,而评价抽采达标最重要的依据就是准确可靠的瓦斯抽采计量。煤矿瓦斯抽采管网监测系统是瓦斯抽采计量的主要工具,通过对矿井抽采管道的瓦斯浓度、流量、温度和压力等参数的实时监

测,获取瓦斯抽采计量信息,实现煤层瓦斯抽采效果和抽采达标的评价、分析。瓦斯抽采计量最重要的是瓦斯浓度、流量的监测,它直接决定瓦斯抽采达标评价的准确性。文献[2]指出红外甲烷传感器在瓦斯抽采计量中的应用,在稳定性、测量精度和经济性方面都具有明显优势。文献[3-5]指出煤矿瓦斯抽采管道流量计量技术发展现状,阐述目前常用流量检测传感器的特点和应用情况,以及管道流量准确

收稿日期: 2016-01-11; 责任编辑: 赵瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.07.011

作者简介: 傅国廷(1963—),男,山西阳城人,高级工程师,现任潞安矿业(集团)有限责任公司瓦斯研究院院长。Tel: 13835509356, E-mail: fgt631125@163.com

引用格式: 傅国廷,李波.煤矿瓦斯抽采监测准确计量技术应用[J].煤炭科学技术,2016,44(7):64-68.

Fu Guoting, Li Bo. Accurate metrological technology applied to mine gas drainage monitoring and measuring [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 64-68.

计量的技术难点。《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》<sup>[6]</sup>(简称《规定》)要求,瓦斯抽采矿井应当建立瓦斯抽采管网监控系统,实现对瓦斯抽采泵站、主管、干管、支管、钻场等区域的瓦斯浓度、流量、温度、压力等参数在线监测,瓦斯抽采达标后开采煤炭。相较于传统的瓦斯抽采效果评价,只在预抽煤层工作面瓦斯抽采管路汇合点布置一个监测点进行总体计量、评价,《规定》对监测点部署更细化、科学,避免出现工作面瓦斯抽采总量达标时,存在部分区段不达标的情况。

## 1 瓦斯抽采钻场钻孔监测计量技术应用

### 1.1 瓦斯抽采钻场钻孔监测计量难点

瓦斯抽采钻场钻孔监测面临的主要技术难点如下<sup>[7-8]</sup>。

1) 单孔流量小且不稳定,通常只有 0.01~0.50 m<sup>3</sup>/min,波动范围大,低流量准确监测困难。

2) 单孔瓦斯浓度高但变化大,瓦斯浓度在极低流速下监测存在困难。

3) 目前,钻场钻孔瓦斯监测多采用人工定期检测,偏重于瓦斯浓度监测,监测参数单一,不能全面反映钻孔瓦斯抽采状况。

4) 钻场瓦斯监测环境恶劣,抽采管路内尘大、水多、易堵塞,对监测设备的环境适应性尤其是耐水性能要求较高。

5) 钻场钻孔抽采管径较小,通常为 DN25 mm 或 DN50 mm 管径,监测设备会加大抽采阻力,增加矿井瓦斯抽采系统的负担,降低抽采效率。

### 1.2 瓦斯抽采钻场钻孔流量计量设备选型

瓦斯抽采钻场钻孔监测面临的最大问题是流量的检测;针对上述技术难题,监测设备应满足以下 5 点要求:①流量监测数据准确且稳定性好,能适应高压、含尘、含水的环境条件下长期可靠运行;②由于抽采管路不同监测点间流量差异大、波动范围广,因此流量监测设备要具有高量程比、宽测量范围,且足够低的测量下限;③由于监测点处抽采管路平直管段较少,因此监测设备安装对平直管段要求不高;④要求安装的流量监测设备阻力尽可能小,减小抽采系统负担;⑤监测设备要安装、拆卸、校验方便等。

目前我国煤矿井下瓦斯抽采流量监测设备主要有孔板流量计、涡街流量计、V 锥流量计、循环自激式流量计、旋进漩涡流量计、超声波流量计等,能全部满足上述流量监测要求的流量计很少。钻场钻孔

瓦斯监测技术的关键是极低流量的准确检测,目前煤矿用于在线测量钻孔瓦斯的主要有旋进漩涡流量计和超声波流量计。

旋进漩涡流量计<sup>[9]</sup>的流速检测下限可低至 1 m/s 以下,且具有测量量程较宽、安装对直管段要求不高等优点,可满足钻场钻孔低流量监测;但由于设备起涡器体积较大,再加上中间管径的收缩,会造成抽采管路阻力大;受水汽和粉尘影响较大,遇粉尘易阻塞、清理困难;不适合大管径管路,互换性较差;且维护量较大,标校困难。旋进漩涡流量计测量原理如图 1 所示。

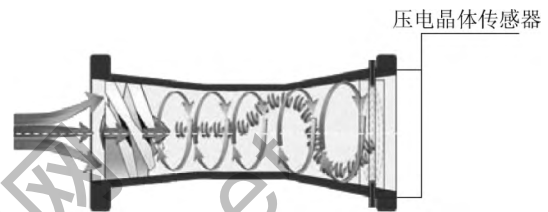


图 1 旋进漩涡流量计测量原理

Fig. 1 Measurement principle diagram of precession vortex flowmeter

钻场钻孔瓦斯抽采流量监测设备应用效果较好的是超声波流量计,它具有测量下限低、准确性高、稳定性好、环境适应性强、测量阻力小、维护方便等特点。

### 1.3 CJZ4Z 钻孔汇流管测量技术应用

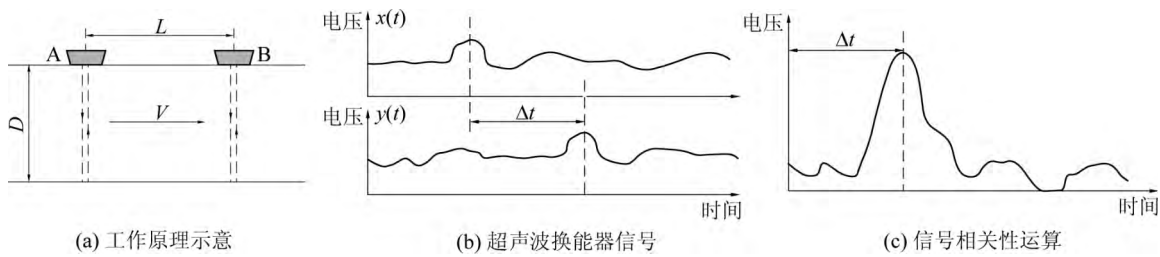
目前,潞安矿业(集团)有限责任公司(以下简称潞安集团)下属各煤矿使用的 CJZ4Z 钻孔汇流管测量仪监测效果良好,其流量监测采用超声波流量计,应用基于互相关原理的相位差法超声波气体流量检测技术,将相位差法和相关测量原理相结合,避免了普通相位差法测量抗干扰能力低、测量精度差的缺点,提高了系统的抗干扰能力和测量精度。超声相关法流量检测技术原理如图 2 所示<sup>[10-12]</sup>。

图 2 中,超声波换能器 A 和 B 交替作为接收端子和发射端子,其接收到的信号分别为  $x(t)$  和  $y(t)$ ,对  $x(t)$  和  $y(t)$  进行互相关运算得到互相关函数  $R_{xy}(\tau)$  为

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t - \tau) y(t) dt$$

式中: $\tau$  为时间位移; $T$  为取样信号的时间宽度; $t$  为测量过程中的某一时刻。

互相关函数  $R_{xy}(\tau)$  有一峰值,当时间位移  $\tau = \Delta t$  时  $R_{xy}(\tau)$  才出现峰值, $\Delta t$  为 2 组信号的时差,则信号的相位差为  $2\pi\Delta t/T$ ,而相位差和流体速度存在直



$D$ —管道直径;  $V$ —管道内气体平均流速;  $L$ —2个收发一体式超声波换能器A和B安装位置间距

图2 超声相关法测量检测技术原理

Fig. 2 Measuring technology principle diagram of ultrasonic related method

接关系,可根据相位差的变化求出流体速度。

硬件采用高度集成的数字处理芯片、高精度高分辨率AD转换器进行设计。软件处理算法上,离散化后的 $x(t)$ 和 $y(t)$ 信号,经过数字窗函数滤波,加上可靠的纠错补偿,然后进行正弦插值,最后经过相关算法,计算出可靠稳定的时差 $\Delta t$ ,进而求得气流速度、流量。

CJZ4Z钻孔汇流管测量仪采用先进的超声相关流量测量技术,一体式的流量传感器可监测流速小于 $0.1\text{ m/s}$ 的气体流量。在信号处理前端增加频谱分析措施,在极低流量情况下,实现信号频域内有效信号的提取和识别,以达到拓宽测量下限和提高抗干扰能力的目的。

CJZ4Z钻孔汇流管测量仪主要技术性能如下:

①测量下限低,即使钻孔瓦斯流速低于 $0.1\text{ m/s}$ ,也能准确测量;②仪器测量腔体没有阻流元件,保证抽采效率不因安装仪器而降低,同时减少尘堵的可能;③具备工况、标况2种测量模式,可设置仪器输出模式;④仪器应能同屏显示瓦斯抽采总量、纯总量、日累积量、日累积纯量。

CJZ4Z钻孔汇流管测量仪,能同时在线监测钻场钻孔内瓦斯浓度、流量、压力、温度等参数,可从源头计量瓦斯抽采量,能及时监测到预抽煤层各个区段的瓦斯含量情况,为钻场的瓦斯抽采效果分析和抽采管理提供很好的帮助,为煤层各区域瓦斯抽采达标评价提供数据支持,将瓦斯突出危险消灭在源头,保障煤层安全高效开采。

## 2 瓦斯抽采管网监测计量技术应用

### 2.1 瓦斯抽采管网监测准确计量影响因素<sup>[13-15]</sup>

1)水汽、水影响分析。顶底板水通过煤层裂隙到抽采钻孔进入抽采管道;抽采采空区瓦斯时,会将少量泥浆水和水汽带入抽采管道。抽采管道中积水过多,会造成监测数据不准确、可能损坏设备;多数

监测设备在水汽的长期影响下,会出现数据漂移、失真等情况。

2)粉尘影响分析。抽采管道内粉尘通过抽采钻孔进入,在粉尘环境对流量测量影响试验中,发现瓦斯管道流体杂质和密度变化对流量计测量数据有一定影响。不同测量原理的流量计,监测准确性受粉尘影响大小不同。

3)管道阻塞影响分析。巷道阻塞物来源:①抽采钻孔内粉尘、钻屑;②抽采钻孔水携带粉尘、钻屑;③管道漏气时,周围泥浆流入;④金属管道内壁老化脱落;⑤安装运输时,因疏忽将杂物遗留在管道内。粉尘、钻屑等漂浮到监测设备时,造成测量气室堵塞,测量值失真;阻塞物还会造成管道断面减小,管道阻力加大等。

4)管道漏气影响分析。抽采管道大多铺设于回风巷中,巷道维护能力较差,受巷道顶板淋水、冒顶、底鼓等影响,抽采管道会出现老化生锈以至于漏气、破裂,在抽采负压的作用下,管道易混入空气,造成瓦斯抽采效率降低,监测数据失真。

5)传输线路受干扰影响分析。受井下巷道环境所限,监测设备传输线缆不可能离动力线缆太远,且动力线缆一般和传输线缆平行铺设,从而形成耦合回路。当井下大型机电设备开停或变频设备启动时,产生强电磁脉冲干扰,造成监测数据出现“冒大数”现象。

### 2.2 CGWZ-100(A)管道瓦斯监测设备计量技术的应用<sup>[4,16]</sup>

目前,潞安集团下属各煤矿瓦斯抽采管网监测系统使用的管道瓦斯监测设备种类繁多,监测设备准确性、稳定性、灵敏度、可维护性等良莠不齐;其中,CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪在煤矿中应用效果较好,得到煤矿技术、管理人员认可。

CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪能同时在线监测管道内瓦斯浓度、流量、压力、温度等参数,采用基

于横向漫反射的瓦斯浓度检测技术和基于循环自激式的气体流量检测技术,测量精度高、使用方便、操作简单,实现抽采管道瓦斯浓度、流量连续准确计量。

瓦斯浓度检测基于红外漫反射的测量原理,通过增加检测甲烷气体反射光程,提高瓦斯浓度测量的灵敏性和准确性,不仅保持了传统红外传感器高稳定、高抗干扰、长寿命、免维护等优点外,自带防水结构,避免了水汽对传感器的影响,有效解决了传统红外原理传感器易受环境中水蒸气及其他杂质气体的干扰和温度漂移问题,使得传感器可以长期在尘大、水大等恶劣的环境下使用。

流量检测基于循环自激式检测技术,通过在流体中设置1个漩涡发生体,气流通过时产生脉动信号,使热微桥传感器的电信号发生周期性变化,进而测出管道内的流量。此测量技术对流速信号极为敏感,即使是低速信号也能得到有效识别和采集,从而测量范围宽,测量下限低,可测量低至1 m/s的管道气体,测量数据不受含尘、含水、温度变化的影响。

### 3 现场对比验证

为了验证CJZ4Z钻孔汇流管测量仪和CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪性能特征,利用煤矿上常用的标准孔板流量计、标校准的CJZ70便携瓦斯抽采综合参数测定仪、标校准的光干涉式甲烷测定器进行性能比对测试试验。

#### 3.1 CJZ4Z钻孔汇流管测量仪性能对比试验

CJZ4Z钻孔汇流管测量仪性能对比试验测试方法如下:在潞安集团下属某矿井下抽采钻孔处,将CJZ4Z钻孔汇流管测量仪2台和标校准的CJZ70便携瓦斯抽采参数测定仪1台串联安装在一起,如图3所示,分3种状态进行对比,对比结果见表1。

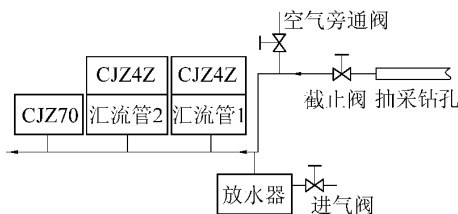


图3 CJZ70与CJZ4Z性能对比测试原理

Fig.3 Performance test principle of CJZ70 compared with CJZ4Z

1) 状态1: 截止阀打开、空气旁通阀关闭、放水器进气阀关闭,此时3台仪器的显示值均为钻孔的

正常抽采数据。

2) 状态2: 截止阀打开、空气旁通阀打开、放水器进气阀关闭,此时3台仪器的显示值为空气旁通阀流入空气与抽采钻孔气体混合后的抽采数据。

3) 状态3: 截止阀打开、空气旁通阀关闭、放水器进气阀打开,此时3台仪器的显示值为放水器进气阀流入空气与抽采钻孔气体混合后的抽采数据。

表1 CJZ4Z与CJZ70监测数据对比结果

Table 1 CJZ4Z compared with CJZ70 monitoring data

监测设备	流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )			瓦斯体积分数/%		
	状态1	状态2	状态3	状态1	状态2	状态3
CJZ70 测定仪	0.025	0.146	1.857	68.40	13.40	1.19
CJZ4Z 汇流管1	0.028	0.149	1.783	71.80	13.90	1.18
CJZ4Z 汇流管2	0.027	0.149	1.857	69.20	13.37	1.23

从表1可知,2台CJZ4Z汇流管的流量、体积分数测量数据基本吻合,流量相差百分比最大为3.98%,体积分数相差百分比最大为4.23%。2台CJZ4Z汇流管与标校准的CJZ70测定仪的流量、体积分数测量数据也基本吻合,流量相差百分比最大为12%(极低流量情况下,相差绝对值为 $0.003 \text{ m}^3/\text{min}$ ),高流量时相差百分比最大为3.98%;体积分数相差百分比最大为4.97%。因此CJZ4Z钻孔汇流管测量仪监测钻场钻孔瓦斯抽采参数是可行的,测量结果是准确可信的。

#### 3.2 CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪性能对比试验

CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪性能试验,具体测试方法如下:在潞安集团下属2个煤矿地面泵站瓦斯主管道上,采用CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪与标准孔板流量计、标校准的光干涉式甲烷测定器,在同一管道、同一时间测试并记录管道内流量、浓度数据,数据对比结果见表2。

从表2可知,CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪与孔板流量计测定的流量基本吻合,流量相差百分比最大为3.69%;CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪与光干涉式甲烷测定器测定的瓦斯浓度基本吻合,浓度相差百分比最大为4.43%。因此,CGWZ-100(A)管道瓦斯测量仪监测瓦斯抽采管网抽采参数是可行的,测量结果是准确可信的。

表2 CGWZ-100(A)监测数据对比试验结果  
Table 2 Contrast test results of CGWZ-100 (A) monitoring datas

煤矿	测点	CGWZ-100(A) 管道瓦斯测量仪		孔板流量计流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	光干涉甲烷测定器 瓦斯体积分数/%
		流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	瓦斯体积分数/%		
煤矿 1	测点 1	135.40	8.72	133.65	8.5
	测点 2	107.90	12.01	105.82	11.5
	测点 3	107.90	12.01	111.78	11.5
煤矿 2	测点 1	246.00	5.05	241.87	5.2
	测点 2	108.98	3.38	105.10	3.3

## 4 结 语

1) 基于超声相关法流量检测技术的 CJZ4Z 钻孔汇流管测量仪,可准确检测流速低于  $0.1 \text{ m/s}$  钻孔瓦斯流量,具有测量下限低、准确性高、测量阻力小等优点,适用于瓦斯抽采钻场钻孔监测。

2) 基于横向漫反射的瓦斯浓度检测和基于循环自激式的气体流量检测的 CGWZ-100(A) 管道瓦斯监测设备,具有测量精度高、稳定性好、环境适用性强、几乎无阻力、管径通用性好等特点,适用于瓦斯抽采管网监测。

3) 通过现场数据对比分析,CJZ4Z 钻孔汇流管测量仪与校准设备的流量、体积分数相差百分比最大分别为 3.98%、4.97%;CGWZ-100(A) 管道瓦斯测量仪与校准设备的流量、体积分数相差百分比最大分别为 3.69%、4.43%;测量误差小、准确性高。

### 参考文献(References):

- [1] 林柏泉.矿井瓦斯防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010:264-270.
- [2] 戚良矿.红外甲烷传感器在瓦斯抽采计量中的应用[J].淮南职业技术学院学报,2010,10(2):42-44.  
Qi Lianguang.Application of infrared methane sensor in gas extraction metering[J].Journal of Huainan Vocational & Technical College,2010,10(2):42-44.
- [3] 李涛.煤矿管道瓦斯流量计量技术研究[J].工矿自动化,2012(11):14-17.  
Li Tao.Research of metering technology of pipeline gas flow of coal mine[J].Industry and Mine Automation,2012(11):14-17.
- [4] 牛杰,杨胜强,杨相玉等.矿井瓦斯抽采管网计量监控系统现状分析[J].煤矿安全,2013,44(6):156-158.  
Niu Jie,Yang Shengqiang,Yang Xiangyu,et al.Current situation analysis of pipeline measurement monitoring system for mine gas extraction[J].Safety in Coal Mines,2013,44(6):156-158.
- [5] 刘辉.煤矿瓦斯抽采准确计量技术试验研究[J].能源技术与管理,2015,40(3):26-29.

Liu Hui.Experimental study on the mine gas extraction accuracy measurement technology[J].Energy Technology and Management,2015,40(3):26-29.

- [6] 安监总煤装(2011)163号.煤矿瓦斯抽采达标暂行规定[S].
- [7] 石俊鹤,李长青,安葳鹏等.瓦斯抽采源头监测系统的研究与设计[J].计算机测量与控制,2013,21(12):3222-3224.  
Shi Junhe,Li Changqing,An Weipeng,et al.Research and design for monitoring system of gas extraction's source[J].Computer Measurement & Control,2013,21(12):3222-3224.
- [8] 刘庆安,武金宝.瓦斯抽采小流量单孔计量系统[J].煤炭科技,2010(4):87-88.  
Liu Qing'an,Wu Jinbao.Small flow single hole metering system for gas drainage[J].Coal Science & Technology,2010(4):87-88.
- [9] 顾成常,吕德月,曹海彬.旋进漩涡流量计在瓦斯抽采自动计量系统中的应用[J].中国煤层气,2012,9(6):42-45.  
Gu Chengchang,Lyu Deyue,Cao Haibin.Applications of swirl meters in automatic gas extraction metering system[J].China Coalbed Methane,2012,9(6):42-45.
- [10] 乔榛.超声法一次风流速和煤粉浓度在线测量研究[D].南京:南京理工大学,2012.
- [11] 柴继河.超声相关流量计的设计[D].西安:西安理工大学,2004.
- [12] 桂永芳.相关法超声波流量计二次仪表的研究[D].杭州:浙江大学,2004.
- [13] 裴为华.瓦斯抽采主管道泄漏监测与漏点定位系统实验研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.
- [14] 宋国正.瓦斯抽采系统安全性研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.
- [15] 刘卫国.瓦斯抽采系统中有关参数的自动监测控制技术[J].矿业安全与环保,2007,34(2):48-49.  
Liu Weiguo.Automatic monitoring and control technology of parameters in gas drainage system[J].Mining Safety & Environmental Protection,2007,34(2):48-49.
- [16] 李波.CGWZ-100 循环自激式流量计在煤矿瓦斯监测中的应用[J].煤矿安全,2012,43(6):61-63.  
Li Bo.Application of CGWZ-100 Loop self-oscillating flowmeter in the coal mine gas monitoring[J].Safety in Coal Mines,2012,43(6):61-63.