

## 平顶山五矿保护 层开采瓦斯治理技术研究

**摘要：**瓦斯问题是制约煤矿安全生产的瓶颈，煤与瓦斯突出的防治更是重中之重。保护层开采是目前公认的防止煤与瓦斯突出最有效、最经济的技术之一。针对于平顶山五矿的瓦斯地质条件实施了近距离保护层开采方案，结合对平顶山五矿保护层开采进行瓦斯综合治理技术研究。

论文阐述保护层开防治煤与瓦斯突出的原理，针对平顶山五矿在开采煤层群的过程中可能遇到的煤与瓦斯突出问题，确定了保护层掘进防突、回采瓦斯抽放技术等研究内容。结合现场实践，综合考虑《防治煤与瓦斯突出细则》，制定了保护层掘进期间综合防治煤与瓦斯突出措施，确保保护层工作面的安全采掘。

根据实际生产需要，提出保护层抽放设计的两种初步方案。第一种方案：高位钻孔抽放和采空区埋管抽放；第二种方案：顶板岩石水平长钻孔和穿层抽放。确定了具体的钻场布置钻孔设计参数，这样不仅可以有效预防保护层回采期的瓦斯突出和瓦斯超限，而且还可以大大降低被保护层的瓦斯压力，使之变为非突出煤层。

**关键字：**煤与瓦斯突出；保护层；防突；瓦斯抽放

## Research of gas Controlling Technology of Protective seam in Pingdingshan Coal Group No.5 Mine

**Abstract:** The problem caused by methane is a bottleneck, which limits safety-production in mines, so it is more important to control coal-gas outburst. Obviously, mining protective seam is one of most effective and economical technology against coal-gas outburst. According to the gas geological condition in Pingdingshan Coal Group No 5 Mining, this strategy was put in practice. Combined with the strategy, the paper studies the gas controlling technology in mining protective seam.

It was explored the principle mining protective coal seam for coal-gas outburst, Aiming at the problem of coal-gas outburst during the process of mining coal seals in Pingdingshan No.5 Mine, The research contents were the technology to avoid the risk of coal-gas outburst as coal roadway being excavated, to study techniques of gas drainage as mining workface to be extracted. According to the present practice and Detailed Rules to Avoid Risk of Coal-Gas Outburst, integrated measures of gas control were worked out to avoid risk of coal and gas outburst and safety measures were prepared to ensure protective seam working face to been safely excavated.

According to the produce practice, the first plan of gas drainage design is put forward. This thesis puts forward two schemes: one of the schemes is the high position bores and the goave gas drainage; the other is gas drainage by the long level bore along the coping rock and the bores through the soleplate .Not only the coal-gas outburst and the exceeding limit of gas concentration could be prevented during the process of protecting layer mined, but also the pressure of gas in the protected coal layer could be reduced. The protected coal layer could be turn into the no-outbursting layer.

**Keywords:** Coal-gas outburst; protective seam; gas control; gas drainage

## 目 录

1 引言 .....	1
1.1 背景 .....	1
1.1.1 平顶山矿区概况 .....	1
1.1.2 瓦斯制约生产 .....	2
1.2 保护层开采国内外研究现状 .....	3
1.3 平顶山矿区具备优越的保护层开采条件 .....	3
1.4 保护层开采的意义 .....	4
2 矿井及试验工作面概况 .....	6
2.1 位置 .....	6
2.2 矿井通风方式 .....	6
2.3 范围 .....	6
2.4 井田构造 .....	7
2.5 含煤地层 .....	7
2.6 已 <sub>15</sub> 、已 <sub>16、17</sub> 煤层及其顶、底板岩性特征 .....	7
2.7 矿井瓦斯涌出情况 .....	8
2.8 已 <sub>15</sub> —23190 保护层工作面概况 .....	8
3 保护层作用概述 .....	10
3.1 保护层概念 .....	10
3.2 保护层开防治煤与瓦斯突出作用原理 .....	10
3.3 保护层的有效保护层间距 .....	10
3.4 被保护层有效保护范围确定 .....	11
3.5 开采保护层应注意的问题 .....	12
4 保护层已 <sub>15</sub> —23190 挖进工作面防治煤与瓦斯突出方案 .....	13
4.1 瓦斯地质分析 .....	13
4.2 “四位一体”综合防治煤与瓦斯突出 .....	13
4.2.1 突出危险性预测 .....	13
4.2.2 防突技术措施 .....	15
4.3 防突措施的效果检验 .....	18
4.4 安全防护措施 .....	19
4.5 安全技术措施 .....	19
4.6 防突效果 .....	20
5 已 <sub>15</sub> —23190 保护层开采期间瓦斯治理方案 .....	21
5.1 保护层回采瓦斯涌出量预测 .....	22
5.2 瓦斯抽放的必要性与可行性 .....	25
5.2.1 瓦斯抽放的必要性 .....	25
5.2.2 通风需要 .....	26
5.2.3 瓦斯抽放的可行性 .....	26

# 河南理工大学本科毕业设计（论文）

---

6 保护层开采己 <sub>15</sub> —23190 工作面瓦斯抽放设计方案 . . . . .	28
6.1 瓦斯抽放方法的选择 . . . . .	28
6.2 合理布孔层位的确定 . . . . .	28
6.3 瓦斯抽放钻孔布置参数的确定 . . . . .	29
6.3.1 抽放钻孔布置的原则 . . . . .	29
6.3.2 抽放钻场布置参数 . . . . .	30
6.3.3 钻孔设计参数 . . . . .	30
6.4 采空区埋管抽放 . . . . .	31
6.5 顶板岩石定向水平长钻孔抽放 . . . . .	32
7 结论 . . . . .	34
致谢 . . . . .	35
参考文献 . . . . .	36
附录 A 英文翻译（原文） . . . . .	37
附录 B 英文翻译（译文） . . . . .	49

## 1 引言

### 1.1 背景

#### 1.1.1 平顶山矿区概况

平顶山矿区地处中原，是我国特大型煤炭基地，是中南地区最大的炼焦煤基地。矿区含有丰富的石炭一二叠纪煤炭和煤层瓦斯资源，含煤地层厚度 800m 左右，含 7 个煤组，88 层煤，自下而上为太原组的庚煤组、山西组的己煤组和上、下石盒子组的戊、丁、丙、乙、甲煤组，煤层平均总厚 30m，含煤系数 3.75%，可采煤层总厚 15~18m，其中主要可采煤层 3~7 层，局部可采煤层 6 层。平顶山矿区绵延百里，地跨平顶山、韩梁、朝川 3 个矿区，面积 767km<sup>2</sup>。已查明煤炭地质储量 75 亿 t，初步查明煤层瓦斯资源总量 652.27 亿 m<sup>3</sup>。加上禹县矿区，煤炭地质储量 100 余亿 t，煤层瓦斯资源总量近 1000 亿 m<sup>3</sup>。

平顶山矿区现有十对高、突矿井，其中四矿、五矿、八矿、十矿、十二矿为煤与瓦斯突出矿井。高瓦斯矿井和突出矿井煤炭产量占矿区总产量的 80% 左右，其中高突采区的比例占 60% 以上。截止到 2003 年 8 月，平顶山矿区丁煤组、戊煤组、己煤组已发生煤与瓦斯突出 131 次，突出总煤量 7822t、瓦斯量 473000m<sup>3</sup>，吨煤突出瓦斯量为 60.47m<sup>3</sup>。十对高瓦斯突出矿井的生产采区的煤层瓦斯含量一般都在 10~15m<sup>3</sup>/t 以上，相当一部分工作面的瓦斯涌出量达到 15~20m<sup>3</sup>/min 以上，最大达 25m<sup>3</sup>/min，工作面配风量 1500m<sup>3</sup>/min 左右。

平顶山矿区位于华北板块南缘带，同时又位于秦岭造山带后陆逆冲断裂褶皱带鲁山—平顶山—舞阳区段。尤其是燕山中期以来至喜马拉雅期，除受华北板块构造控制之外，更重要的是受秦岭造山带由南向北大规模的逆冲推覆挤压和右旋剪切活动的控制。因此造成煤层破坏严重，构造煤极其发育，从而造成煤层的透气性差。平顶山矿区丁、戊、己组煤层瓦斯透气性系数分别为 0.017m<sup>2</sup>/MP<sub>a</sub><sup>2</sup>d、0.11m<sup>2</sup>/MP<sub>a</sub><sup>2</sup>d 和 0.076m<sup>2</sup>/MP<sub>a</sub><sup>2</sup>d，主要为低透气性难抽放煤层。2002 年统计，平煤集团公司下属矿瓦斯抽放总量为 2732 万 m<sup>3</sup>，从 1997 年至 2002 年 5 年内累计增长率为 8.86%，年平均增长率 2.21%，瓦斯抽放增长率低于瓦斯涌出量增长率。全公司下属矿井采煤工作面瓦斯抽放率平均 11.4%，达不到 25% 规定要求。预抽一年的抽出率只有 10~15%，难以消除回采过程中的瓦斯突出和瓦斯超限问题。对于瓦斯涌出量大于 3m<sup>3</sup>/min 的长距离高突掘进工作面，除采用常规的“四位一体”的防突措施外，采用先抽后掘措施，在巷道迎

头施工 7~11 个 40~50m 深的钻孔，抽放 10~12d 后再进尺，放炮后瓦斯超限和动力现象仍很频繁，平均单进尺每月只有 40~50m。因此，瓦斯的治理问题是制约平煤集团公司高产高效安全生产的主要瓶颈。

## 1.1.2 瓦斯制约五矿生产

平煤集团公司下属矿井 1991 年瓦斯总涌出量  $185.9\text{m}^3/\text{min}$ ，2002 年为  $349.9\text{m}^3/\text{min}$ ，平均每年以 8.5% 的速度递增。随着采深的不断增加，煤层瓦斯含量和瓦斯压力在不断增加，高瓦斯矿井和突出矿井的数目还会不断的增加。由于煤与瓦斯突出危险的威胁，不能采用综合机械化掘进，掘进煤巷月进尺只有 40~60m，造成严重的采掘失调。由于瓦斯含量高造成回采工作面瓦斯集中涌出，从而无法实现工作面的高产高效。如八矿己  $15-12100$  采面，瓦斯涌出量  $25\text{m}^3/\text{min}$ ，曾一度严重的制约着安全生产，月产量只能徘徊在 4 万 t 左右。而预计平煤五矿己  $15-23190$  采面绝对瓦斯涌出量达  $21.12\text{ m}^3/\text{min}$ ，这会严重制约生产。

平顶山矿区瓦斯抽放属于全国抽放效果差的矿区，而平顶山煤业（集团）公司每年用于瓦斯抽放的补贴都在 2000 万元以上。平顶山矿区计划，经过 3~5 年的努力，使瓦斯抽放总量达到 8000 万  $\text{m}^3$ ，如果不采取有效的措施，很难实现这个目标，为解决这一难题，结合平顶山的实际情况，可以考虑利用保护层开采。

平顶山矿区储存着 100 亿 t 以上的煤炭和 1000 余亿  $\text{m}^3$  瓦斯的资源，随着开采深度的不断增加，平顶山矿区煤与瓦斯突出灾害日趋严重，再者煤层瓦斯透气性系数低，本煤层抽放效果不好。瓦斯成为了制约平煤集团公司发展的最大障碍。

平顶山五矿属于煤层群开采，含煤地层主要是受到燕山中期至喜马拉雅期受秦岭造山带的多次由南向北推挤和剪切破坏作用。按照地层顺序丁组煤层受挤压、剪切破坏作用大于戊组煤层；戊组煤层受挤压、剪切破坏作用大于己组煤层；己组煤层受挤压、剪切破坏作用大于庚组煤层，这一结论已经被研究所证实，理论上也是科学的。这些可采煤层之间进行比较，煤层厚度不一，构造煤发育程度不同，突出的强弱相差很大，其瓦斯含量有高有低。深入地研究保护层开采技术，按照瓦斯地质条件选择保护层和被保护层，进行合理地规划和瓦斯抽放设计、采掘工艺设计等，全面启动保护层开采战略，可以最有效地将突出煤层变成非突出煤层，将高瓦斯厚煤层变成低瓦斯厚煤层。在平顶山五矿

实施瓦斯治理保护层开采战略，这将是平煤五矿瓦斯治理技术上的一场革命，将会大大的改变五矿瓦斯治理的被动局面。

## 1.2 保护层开采国内外研究现状

开采保护层是防止煤与瓦斯突出最经济、最有效的技术措施之一。1933年法国最先进行开采保护层防止煤与瓦斯突出的试验，到目前为止，世界上几乎所有开采有突出或冲击地压危险煤层的国家，只要煤层赋存条件允许都优先开采保护层。我国从1958年开始在北票和重庆矿区进行试验，取得显著效果后已在全国有条件的突出矿井推广应用。

前苏联对开采保护层时煤层中的构造裂隙、内因裂隙、节理裂隙产生的机理和释放瓦斯的作用以及开采保护层对被保护层瓦斯涌出的影响进行过研究。王旭宏、贾秀俊、李玉民等通过对工作面周围处于封闭状态和非封闭状态下大量现场观测数据的分析，得出了两种采场条件下保护层开采时的瓦斯涌出和流动规律。钱鸣高、许家林、孟广石等应用相似材料模型实验，图像分析，离散元模拟等方法，对上覆岩层采动裂隙分布特征进行了研究，揭示了长壁工作面覆岩采动裂隙分布的两阶段特征与“O”形圈特征，建立了卸压瓦斯的“O”形圈抽放理论，并提出了煤气共采的概念。石必明、俞启香、周世宁等基于岩石破裂损伤理论和有限元计算方法，利用RFPA应用软件系统模拟保护层开采远距离动态发展过程，得出覆岩破裂移动规律，及随保护层工作面推进，被保护层煤体应力和变形分布特征，并分析了它对合理布置卸压抽放钻孔和消除被保护层突出危险性的影响。

## 1.3 平顶山五矿具备优越的保护层开采条件

平顶山矿区由下向上含有四个主要煤组，分别是太原组的庚煤组、山西组的己煤组、下石盒子组的戊煤组及上石盒子组的丁煤组。

己三下延采区位于五矿井田东北部，为己三采区的下延部分，采区标高为-450~-650m，对应地面标高为+165~+335m，埋深为615~985m，开采煤层为己<sub>15</sub>（平均厚度1.6m）、己<sub>16, 17</sub>煤层（煤厚3.4~4.0m），煤层走向NW60°，倾角6~10°，采区总工业储量为1500万吨。

己<sub>15</sub>-23190采面为五矿己三下延采区东翼的第二个工作面，可做己<sub>16, 17</sub>-23190采面的上保护层。己<sub>15</sub>-23190采面走向长1100m，开采己<sub>15</sub>煤层，储量57.0万吨，下部被保护层己<sub>16, 17</sub>-23190煤层，储量106.4万吨。由于己<sub>15</sub>煤层与己<sub>16, 17</sub>煤层层间距为2.4~11.2米，己<sub>15</sub>煤层开采时己<sub>16, 17</sub>煤层瓦斯极易大量

涌入采掘空间。

五矿的己煤组具备优越的保护层开采条件。己<sub>15</sub>煤层一般厚度1.5m左右，是非突出煤层，与己<sub>16、17</sub>煤层间距2.4~11.2m左右。己<sub>16、17</sub>煤层一般厚度3.0m以上，是突出煤层。将己<sub>15</sub>煤层作为上保护层开采，可以最有效地释放己<sub>16、17</sub>煤层的瓦斯。

## 1.4 保护层开采的意义

### (1) 保护层开采是防治煤与瓦斯突出十分有效、且经济的技术之一

到目前为止，煤与瓦斯突出灾害防治技术研究仍是全世界主要产煤国共同面临的国际性技术难题。凡是发生突出的煤层一般都是位于高应力带的煤体结构强烈破坏的且大于一定厚度的构造煤体。这种煤体是地质构造强挤压、剪切作用的产物；这种煤体含有极发育的细小剪切面，疏松多孔，能储存大量的高压瓦斯；这种煤体强度低，在高压作用下极容易压成煤砖，因此透气性极低。防治煤与瓦斯突出最有效的方法是提高煤的透气性，有效的把煤层中的高压瓦斯大面积的释放出来。但是对于瓦斯突出煤体，目前还没有直接有效的提高煤层透气性的办法。淮南矿区通过选择非突出煤层或者弱突出煤层作为首采层（保护层），首采层的超前开采，使上、下地层产生强烈地拉张破坏，原来的挤压应力变成了拉张应力；上覆煤岩层垮落、破裂、下沉弯曲或者下伏煤岩层的破裂、上鼓，使得煤岩层的大量裂隙张开，地应力大范围的有效释放，无论是构造对瓦斯的封闭，还是地应力对瓦斯的封闭作用都被彻底破坏，瓦斯压力会急剧下降，大量的瓦斯被解吸，煤层透气性系数成千倍以上的增强。人们可以大范围有效地抽取煤层卸压，使得突出煤层变成非突出煤层，使得高瓦斯含量煤层变成低瓦斯含量煤层。

### (2) 保护层开采可以使低透气性厚煤层实现高产高效安全生产

随着高新技术在煤矿采掘工艺中应用和发展，高产高效工作面造成的瓦斯集中涌出又赋予“保护层开采”治理瓦斯新的使命。先进采煤国家和我国神华、兖州矿区的发展经验得出的结论是：中国煤炭工业走新型工业化的道路，是用高新技术改造煤炭工业，实现煤矿安全、高效、洁净生产。在矿井开采方面，以日产万t的大型综合机械化采煤工作面为核心的生产工艺，从根本上改变了矿井生产面貌，机器人与人工智能和专家系统相结合，为采煤自动化开辟了新途径。矿井的普遍发展趋向为“一个矿井，一个采区，一个工作面”。得益于此，1980~1995年，美国煤矿开采全员效率由每工14.8t提高到每工43.24t，百万吨

死亡率由 0.17 人减少到 0.05 人。

### (3) 保护层开采结合瓦斯抽放可以产生巨大的环境效益

许多人注意到保护层开采产生的安全效益特别是经济效益，然而很少注意其给社会带来的环境效益。甲烷是大气中主要的温室气体之一，对红外线的吸收能力极强，其温室效应是二氧化碳的 25~30 倍。据估算大气中甲烷浓度每增加  $1\times10^{-6}$ ，可导致地球表面温度增加 1℃。仅煤矿开采过程中，甲烷的排放量就占从所有化石燃料中排放的甲烷的一半。而我国每年因采矿向大气中排放的瓦斯约  $200\times10^8\text{m}^3$ 。可见保护层开采技术与瓦斯抽放技术结合能产生巨大的环境效益。

## 2 矿井及试验工作面概况

平顶山煤业（集团）有限责任公司五矿1958年投产，设计生产能力为120万t/a。2002年豫煤安监一号文件重新核定为208万t/a。

平顶山矿区可供开采的保护层有近距离、中距离和远距离保护层，而近距离保护层保护效果最好，但首先要解决近距离保护层掘进、回采期间瓦斯问题，这也是保护层开采在平顶山矿区得以推广的保证。五矿已<sub>15</sub>—23190工作面为上保护层，已<sub>16、17</sub>—23190工作面为被保护层，两者层间距为2.4~11.2m，作为突破点，开展近距离保护层开采瓦斯治理技术研究。

### 2.1 位置

五矿位于平顶山矿区的西部，平顶山市西北郊约8km，为平煤集团的主干矿井之一。行政区划隶属平顶山市管辖，主井地理坐标东经113°13'26''，北纬33°47'03''，主井中心坐标X=3739648.00m，Y=38427926.00m，Z=119.788m。

### 2.2 矿井通风方式

矿井采用立、斜井水平大巷开拓方式，分区对角抽出式通风，走向长壁后退式采煤法，现有进风井5个，即新主井、老主井、副井、北山风井和戊四斜井。回风井2个，即己二风井和己三风井。矿井现有一个生产水平，即二水平，两个生产采区即己三采区及其下延和己二扩大采区。矿井总进风量10732m<sup>3</sup>/min，总排风量11086m<sup>3</sup>/min，有效风量率86.4%。

### 2.3 范围

五矿主要开采丁、戊、己、庚等四个煤段中的丁<sub>5、6</sub>、戊<sub>8</sub>、戊<sub>9、10</sub>、己<sub>15</sub>、己<sub>16、17</sub>煤层，自投产以来，由于矿井生产和建设的需要，井田边界与相邻矿井曾多次进行调整，现依据(88)平煤第377号文和平煤总字(93)63号、(94)平煤总字42号、46号文件确定的边界叙述如下：

北部：丁、戊、庚煤段煤层均以锅底山断层、己煤段煤层东翼以-450m等高线，西翼以锅底山断层与六矿为界；东部：丁煤段以煤层露头、戊和庚煤段分别以43勘探线东470m与200m与七矿相邻；己煤段深部以T0506~T0509坐标点与四矿相接，浅部以43勘探线东200m与七矿为界；南部止于各煤层露头风氧化带；西部丁、戊、己和庚煤段以50勘探线与十一矿毗邻；西南部以47-1孔为基点40°方位线及己煤段煤层-280m和-320m底板等高线与九矿接壤；西北部丁煤段以-600m、戊煤段以-650m、己和庚煤段均以-800m底板等高线为界。

## 2.4 井田构造

井田位于李口向斜的西南翼，总体为一缓倾斜的单斜构造，地层走向85°~125°，倾向0°~30°，倾角一般10°~15°，锅底山断层附近，由于断层影响，倾角变化较大。井田内褶皱、断层均较发育，但以中小型断层为主。

## 2.5 含煤地层

区内为石炭二叠系含煤地层，可采和局部可采煤层为庚<sub>20</sub>、己<sub>16、17</sub>、己<sub>15</sub>、己<sub>14</sub>、戊<sub>9、10</sub>、戊<sub>8</sub>、丁<sub>5、6</sub>和丙<sub>3</sub>等八层，庚<sub>21</sub>为偶尔可采煤层，分别赋存于太原组、山西组和下石盒子组中。其中庚<sub>20</sub>、己<sub>16、17</sub>、己<sub>15</sub>、戊<sub>9、10</sub>、戊<sub>8</sub>、和丁<sub>5、6</sub>煤层为全区可采，庚<sub>21</sub>、己<sub>14</sub>和丙<sub>3</sub>煤层为局部可采。

## 2.6 己<sub>15</sub>、己<sub>16、17</sub>煤层及其顶、底板岩性特征

### （1）己<sub>15</sub>煤层

位于山西组下部，上距砂锅窑砂岩(K5)39~81m，平均60m。伪顶为有炭质泥岩，直接顶为泥岩或砂质泥岩，厚5~10m，老顶为中粒砂岩，厚10~20m；伪顶为炭质泥岩，底板即己<sub>16、17</sub>煤层之顶板。

己<sub>15</sub>煤层厚0.1~6.37m，平均0.93m。煤呈块状、鳞片状、粒状，煤层结构简单，未见夹矸。在井田范围内，从东向西煤层厚度变薄，直至尖灭。在井田两翼多为不可采区，煤厚变异系数 $r=51.6\%$ ，可采指数 $K_m=68\%$ ，属不稳定煤层。

### （2）己<sub>16-17</sub>煤层

位于山西组下部，上距砂锅窑砂岩(K5)46~99m，平均70m，距己<sub>15</sub>煤层2~28m，平均18m。时有厚约0.2~0.5m的炭质泥岩伪顶，直接顶板为厚约10m的泥岩和细砂岩互层，老顶为5~8m的细~中粒砂岩；底板为厚4.8~10m的泥岩或砂质泥岩，致密坚硬。

己<sub>16、17</sub>煤层厚0.61~17.5m，平均5.12m，个别煤厚异常点属断层影响所致。煤多呈块状、粒状、间或有鳞片状，易碎为粉末。含夹矸1~3层，多数为一层，属结构简单型煤层。

据钻孔及井下揭露资料可知，己<sub>16、17</sub>煤层厚度一般较稳定，煤厚变异系数 $r=36.1\%$ ，可采指数 $K_m=98.6\%$ ，属全区较稳定可采煤层。

### （3）己<sub>15</sub>煤层顶、底板岩性特征

时有炭质泥岩伪顶，节理发育。直接顶为泥岩与砂质泥岩互层，厚约5~10m。老顶为厚约10~20m的中~粗粒砂岩，坚硬，裂隙不发育。为II类顶板；伪底

炭质泥岩，直接底为泥岩夹薄层细砂岩。

#### （4）己<sub>16、17</sub>煤层顶、底板岩性特征

井田东部有厚约 0.2~0.5m 的炭质泥岩、泥岩伪顶，较松软。直接顶板为泥岩夹薄层细砂岩，厚约 4~10m，泥岩硬度系数为 4~6。老顶为细~中粒砂岩，厚约 3~8m。致密坚硬，由西向东有增厚的趋势。为Ⅱ类顶板；直接底板为泥岩及砂质泥岩，厚约 4.8~10m，硬度系数为 10~12，不易底鼓。老底为细~中粒砂岩。

## 2.7 矿井瓦斯涌出情况

2003 年瓦斯鉴定结果，矿井绝对瓦斯涌出量为  $17.75\text{m}^3/\text{min}$ ，相对瓦斯涌出量为  $11.73\text{m}^3/\text{t}$ 。2004 年瓦斯鉴定结果，矿井绝对瓦斯涌出量为  $25.12\text{m}^3/\text{min}$ ，相对瓦斯涌出量为  $9.47\text{m}^3/\text{t}$ ，其中己三采区绝对瓦斯涌出量为  $16.73\text{m}^3/\text{min}$ ，相对瓦斯涌出量为  $8.6\text{m}^3/\text{t}$ 。且随着开采深度的不断增加，矿井瓦斯涌出量还会进一步增大。

## 2.8 己<sub>15</sub>—23190 保护层工作面概况

己三下延采区位于五矿井田东北部，为己三采区的下延部分，采区标高为 -450~ -650m，对应地面标高为 +165~ +335m，埋深为 615~985m，开采煤层为己<sub>15</sub>（平均厚度 1.6m）、己<sub>16、17</sub>煤层（煤厚 3.4~4.0m），煤层走向 NW60°，倾角 6~10°，采区总工业储量为 1500 万 t。己<sub>16、17</sub>煤层是煤与瓦斯突出煤层，己<sub>15</sub>煤层为非突出煤层。

己<sub>15</sub>—23190 采面为五矿己三下延采区东翼的第二个工作面，是己<sub>16、17</sub>—23190 采面的保护层。己<sub>15</sub>—23190 采面走向长 1100m，开采己<sub>15</sub>煤层，储量 57.0 万 t，下部被保护层己<sub>16、17</sub>—23190 煤层，储量 106.4 万 t。由于己<sub>15</sub>煤层与己<sub>16、17</sub>煤层层间距为 2.4~11.2m，己<sub>15</sub>煤层开采时己<sub>16、17</sub>煤层瓦斯极易大量涌入采掘空间。该采面上部的己<sub>15</sub>—23130 采面和己<sub>15</sub>—23170 采面在回采期间由于己<sub>16、17</sub>煤层瓦斯大量涌出造成瓦斯频繁超限，最大瓦斯绝对涌出量分别为  $14.18\text{m}^3/\text{min}$ 、 $15.64\text{m}^3/\text{min}$ 。

己<sub>15</sub>—23190 保护层工作面走向长 1100m，开采己<sub>15</sub>煤层，煤层平均厚度 1.6m，瓦斯含量  $7.0\text{ m}^3/\text{t}$ ，煤炭储量 57.0 万 t，下部被保护层己<sub>16、17</sub>—23190 工作面，煤层厚度 3.5m，瓦斯含量  $18\text{ m}^3/\text{t}$ ，煤炭储量 106.4 万 t。己<sub>15</sub>煤层与己<sub>16、17</sub>煤层层间距为 2.4~11.2m，层间岩性见图 2—1。

地层 岩 层 年 代 厚 度 度 度	累 计 厚 度	综合 柱状图	岩 石 名 称	岩性描述
	6.0		砂质 泥岩	灰色, 层理清晰, 含泥岩条带及菱铁质结核, 发育节理
	1.5	7.5	己 <sub>15</sub> 煤层	块状, 半亮型煤, 采面中西部变薄。
	6.0	13.5	砂质 泥岩	深灰色, 条带状结构, 水平层理致密。
PI	3.0	16.5	细粒 砂岩	灰白色, 致密状, 含细云母片, 层面含炭质, 东部缺失。
	2.5	19.0	砂质 泥岩	浅灰色, 条带状结构, 较致密, 东部变薄。
	0.3	19.3	泥岩	片状, 质软, 层状构造。
	3.1	22.4	己 <sub>16</sub> <sub>17</sub> 煤层	上部己 <sub>16</sub> 煤, 块状, 下部己 <sub>17</sub> 煤, 片状、粉末状。
	2.0	24.4	泥岩	深灰色, 块状, 含根化石。
	7.0	31.4	砂质 泥岩	灰色, 条带状或透镜状结构, 层理清晰, 含细砂岩条带及菱铁矿结核。
	1.5	32.9	泥灰岩	浅灰色, 块状, 含动物化石。
C3	4.5	37.4	砂质 泥岩	深灰色, 含薄层煤线。
			石灰岩	深灰色, 含燧石结核。

图2-1 煤岩综合柱状图

在己<sub>16</sub><sub>17</sub>—23131回风开口测压为1.85MPa, 测瓦斯含量为16.64 m<sup>3</sup>/t, 根据己三采区测压情况, 采区压力梯度为0.3MPa/百米, 煤层透气性系数Y=0.002m<sup>2</sup>/atm<sup>2</sup>d, 百米钻孔抽放量0.01m<sup>3</sup>/百米, 抽放半径(经验值) r=5m。

## 3 保护层作用概述

### 3.1 保护层定义

所谓保护层，一般是指在突出矿井的煤层群中首要进行开采的无突出危险煤层或突出危险性小的煤层。开采保护层后，对有突出危险的煤层产生保护作用，使之消除或减小突出的危险性，从而达到防止煤与瓦斯突出的目的。根据保护层的位置不同，可分为上保护层和下保护层。位于被保护层上部的叫上保护层，反之叫下保护层。按照保护层与被保护层之间的垂距  $h$  分为：近距离保护层  $h < 10m$ ；中距离保护层  $10m \leq h < 60m$ ；远距离保护层  $h \geq 60m$ 。

### 3.2 保护层开防治煤与瓦斯突出作用原理

保护层的超前开采，使上、下地层产生强烈地拉张破坏，原来的挤压应力变成了拉张应力；上覆煤岩层垮落、破裂、下沉弯曲或者下伏煤（岩）层的破裂、上鼓，使得煤（岩）层的大量裂隙张开，地应力大范围的有效释放，无论是构造对瓦斯的封闭，还是地应力对瓦斯的封闭作用都会被保护，瓦斯压力会急剧下降，大量的吸附瓦斯被解吸，煤层透气性系数成数百倍甚至数千倍的增强。保护层开防治煤与瓦斯突出的原理如图 3.1。保护层开采后，被保护层的应力、煤结构和瓦斯压力发生显著变化，从发生变化的时间看，卸压作用是最先出现的，有些卸压过程甚至在保护层工作面前方  $10 \sim 20m$  处开始，一般在工作面后方，当膨胀变形速度加快时，瓦斯压力才发生显著变化。

### 3.3 保护层的有效保护层间距

保护层的保护作用随层间距的增大而减小，达到某一临界距离时，保护作用已不明显，该临界距离称之为有效层间距。我国根据大量试验资料统计分析认为，在采深度小于  $550m$ ，保护层的有效保护层间垂距为：急倾斜煤层上保护层  $60m$ ，下保护层  $80m$ ，缓倾斜和倾斜煤层上保护层  $50m$ ，下保护层  $100m$ 。选择保护层时应根据保护层厚度、顶板管理方法，回采工作面长度和开采深度等因素确定有效垂距。

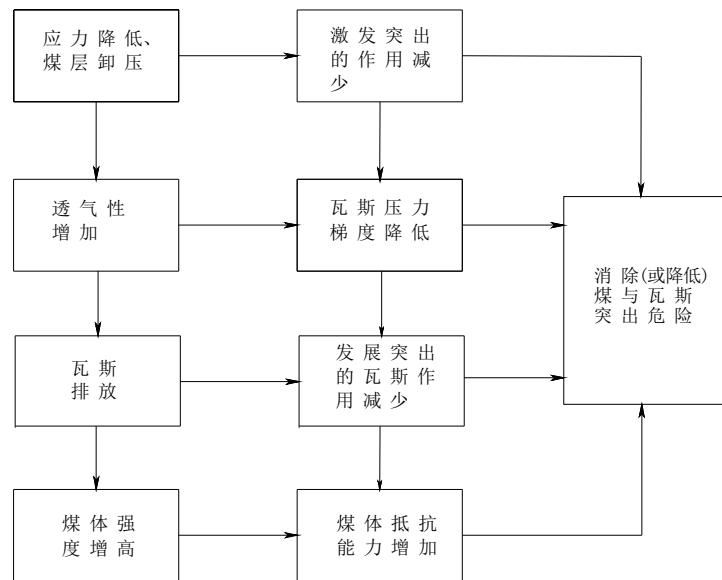


图 3.1 保护层开采防治煤与瓦斯突出的原理图

### 3.4 被保护层有效保护范围确定

### (1) 保护层沿走向的合理超前距

七十年代前苏联的研究认为：以被保护层变形值等于最大膨胀变形值 80% 为标准，则上保护层超前于被保护层不应小于 1 倍层间距，下保护层超前于被保护层不应小于 0.6 倍层间距。我国部分矿井的试验也证实了上述的结论。考虑到瓦斯排放和抽放，使被保护层不仅能充分卸压，并能充分排放或抽放瓦斯，认为保护层超前被保护层的距离不应小于 2 倍层间距，并不得小于 40m，实践证明，按照这一原则布置，对防治煤与瓦斯突出和治理瓦斯是有效的。根据上述原则，平顶山五矿己<sub>15</sub>—23190 应该超前己<sub>16,17</sub>—23190（其层间距在 2.4~11.2m 之间）至少 40m 左右。具体距离大小应根据实际情况决定。

## (2) 保护层沿走向卸压保护范围

在保护层工作面的始采线与停采线处,由于地压的传递作用,使得被保护层的有效保护范围应小于保护层的开采范围,被保护层的始采线与停采线应以保护层始采线和停采线内退一定距离,该距离与层间垂距有关,根据试验表明,对上保护层为0.55~0.67倍层间垂距为宜,具体数据应实际考察。但被保护层进入到距保护层始采线与停采线40m以内时,保护层开采应超前3个月以上。

保护层始采线和停采线内退 15m 左右为宜。

### 3.5 开采保护层应注意的问题

- (1) 被保护层采掘工作面尽量布置在保护范围内，减少其突出危险性；
- (2) 对不同矿井、不同保护层和被保护层，保护层的保护参数及保护效果应进行实地考察，根据考察结果指导下一步采掘和防突设计。

## 4 保护层己<sub>15</sub>—23190掘进工作面 防治煤与瓦斯突出方案

五矿己<sub>16、17</sub>煤层是煤与瓦斯突出煤层，瓦斯含量大，煤层透气性系数低（ $\lambda=0.002\text{m}^2/\text{atm}^2\text{d}$ ），属于较难抽放煤层。其上覆的己<sub>15</sub>煤层为弱突出煤层，己<sub>15</sub>煤层的瓦斯突出危险性小于己<sub>16、17</sub>煤层。开采己<sub>15</sub>煤层可以对己<sub>16、17</sub>煤层起保护作用，有利于实现己<sub>16、17</sub>煤层的安全、高产、高效开采。己<sub>15</sub>—23190工作面超前开采，有利于己<sub>16、17</sub>—23190工作面的瓦斯卸压释放，消除突出危险性，实现己<sub>16、17</sub>—23190工作面的安全、高产、高效回采。

《防治煤与瓦斯突出细则》第46条规定：矿井所有煤层都有突出危险时，应选择突出危险程度较小的煤层作为保护层，但在此保护层进行采掘工作时，必须采取防治突出措施。

### 4.1 瓦斯地质分析

己<sub>15</sub>—23190工作面标高：-510~-570m，距下部己<sub>16、17</sub>煤层层间距为2.4~11.2m。己<sub>15</sub>—23150风巷实测压力为1.85MPa（-450m），根据己三采区测压情况，采区压力梯度为0.3MPa/百米，预计己<sub>15</sub>—23190工作面最大瓦斯压力将达2.2MPa。

己<sub>15</sub>—23190工作面小断层发育，局部地质构造较复杂，主要表现在断层附近煤厚变化较大，地应力较大、瓦斯赋存不均匀，导致在其影响范围内煤体破碎、有效应力增高、瓦斯压力大。《防治煤与瓦斯突出细则》第52条规定：开采近距离保护层时，必须采取措施，严防被保护层初期卸压的瓦斯突然涌入保护层采掘工作面或误穿突出煤层。两者层间距在2.4~11.2m，层间岩性多为较软弱的泥岩、砂质泥岩，且己<sub>16、17</sub>煤层为高瓦斯突出煤层，故掘进过程中按突出威胁工作面管理。为了防止误穿己<sub>16、17</sub>煤层和防治己<sub>16、17</sub>煤层初期卸压的瓦斯突然涌入己<sub>15</sub>—23190掘进工作面，在掘进过程中必须执行探断层和探煤措施。

### 4.2 “四位一体”综合防治煤与瓦斯突出

#### 4.2.1 突出危险性预测

##### 4.2.1.1 预测指标和临界值的选定

根据《防治煤与瓦斯突出细则》和平顶山煤业（集团）有关规定，突出危险性预测必须采用两个或两个以上预测指标，结合五矿实际，决定在己<sub>15</sub>—

23190 掘进面采用钻孔瓦斯涌出初速度  $q$  和钻屑量  $S$  双指标进行突出危险性预测。判断煤层突出危险性的两个指标的临界值分别为

$S: 6.0\text{kg}/\text{m};$

$q: 4.0\text{L}/\text{min}.$

## 4.2.1.2 预测预报方法及操作要求

### 1) 预测仪器

预测  $q$  指标的仪器可采用煤气表，预测  $S$  指标的仪器可采用弹簧秤，并确保达到完好要求，测量精度符合相关标准。

### 2) 预测孔参数及其布置方法

根据《防治煤与瓦斯突出细则》第 38 条规定及平顶山煤业（集团）的经验，在掘进工作面软煤分层布置三个预测孔，预测孔深 8m、钻头直径 42mm，其中一个沿巷道中线方向布置，另两个靠巷道上、下帮布置，距帮 0.5m，控制到巷道轮廓线外 3m，分别与巷道中线水平夹角  $27^{\circ}30'$ ，图 4-1。与距已  $_{16, 17}$  煤层层间距小于 2m 的区段掘进时，要另外布置 3 个预测孔，预测钻孔要穿过已  $_{15}$ —23190 底板对已  $_{16, 17}$  进行预测。

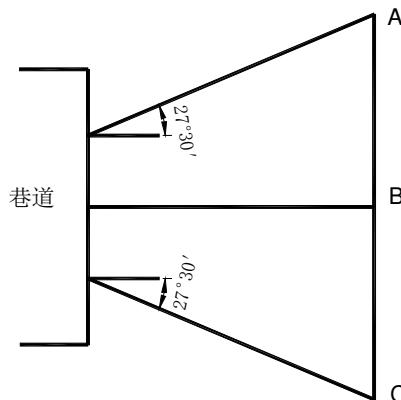


图 4-1 预测孔布置俯视图

### 3) 预测步骤

钻孔钻进至预定孔深 2m 时开始，每钻进 1m，测定一次  $S$  值和  $q$  值。测定  $q$  值时，测量室的长度为 1m， $q$  值的测定必须在 2min 内完成。

4) 当预测为无突出危险时，每预测循环留 2m 预测超前距。

### 5) 掘进面突出危险性判定方法

(1)当任何一个预测孔中的  $q > 4.0\text{L}/\text{min}$  或  $S > 6.0\text{kg}/\text{m}$  时，该工作面预测为突出危险工作面，必须采取防突措施；只有连续两次所有预测孔的  $q$  和  $S$  值均小

于其临界值时，工作面方可视为无突出危险工作面，无突出危险工作面可直接采取安全防护措施进行掘进作业。

(2)工作面遇以下五种情况均视为突出危险工作面，必须采取防突措施：

①在突出煤层的构造破坏带，包括断层、褶曲等。

②煤层赋存条件急剧变化的区域。

③应力叠加的区域。

④在工作面预测过程中出现喷孔、顶钻等动力现象时。

⑤工作面出现明显的突出预兆时。

## 6) 预测安全技术要求

(1)防突测试工必须经过培训合格后方可持证上岗作业。

(2)测试工具必须达到完好，打钻使用煤电钻接防突钻杆，测试工具用弹簧秤（测 S 值）和煤气表（测 q 值）。

(3)测试前掘进队跟班干部负责加固好迎头 5m 内的支护，防止片帮、冒顶危及测试人员安全。

(4)测试工作结束后，测试工必须立即按要求在现场如实填写防突措施牌板、移动测试标志牌、测试报告单，测试报告单必须由瓦检员、掘进队跟班干部和测试工现场共同签字，升井后由测试工报总工程师及防突科长签字。

(5)瓦检员按措施规定监督测试工作执行过程。

## 4.2.2 防突技术措施

### 4.2.2.1 措施选定

防突技术措施的选定要根据工作面的具体条件，经过分析对比后选择有效而又方便的防突技术措施。根据五矿经验和工作面实际情况，打超前排放钻孔的防突措施简便实用，而且效果好，故已 15—23190 掘进面仍采用超前排放钻孔排放瓦斯的防突措施。但遇断层时，应实施过断层防突措施后，方可掘进。

### 4.2.2.2 措施技术参数的确定

1) 排放钻孔施工工具使用防突轻便钻机，投影孔深 10m，孔径 89mm。

2) 89mm 孔径钻孔排放半径按五矿 2003 年实测的有效影响半径值为 1.0m。

3) 在层间距小于 2.0m 时，排放钻孔按 4 排 5 列共 20 个钻孔布置见图 4-2，图 4-3，钻孔参数见表 4-1。

4) 在层间距大于 2.0m 时，排放钻孔按 3 排 5 列共 15 个钻孔布置见图 4-4，图 4-5，钻孔参数见表 4-2。

5) 当掘进工作面瓦斯濒临超限或超限时, 改瓦斯排放为瓦斯抽放。

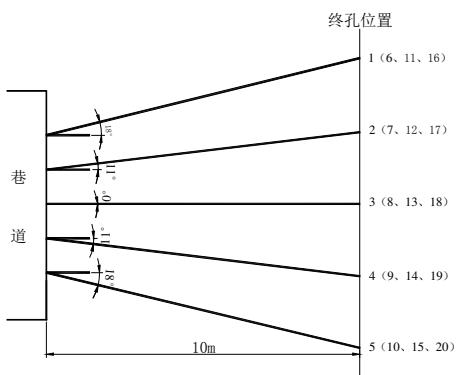


图 4-2 措施孔布置俯视图

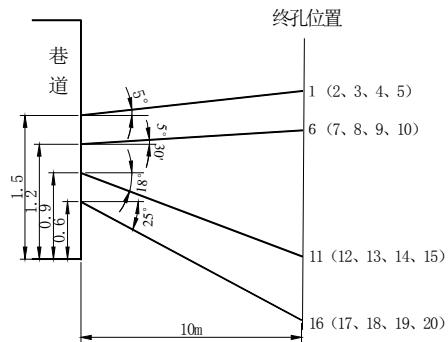


图 4-3 措施孔布置侧视图

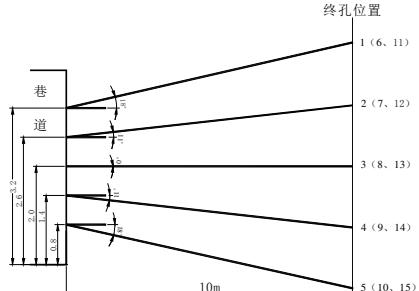


图 4-4 措施孔布置俯视图

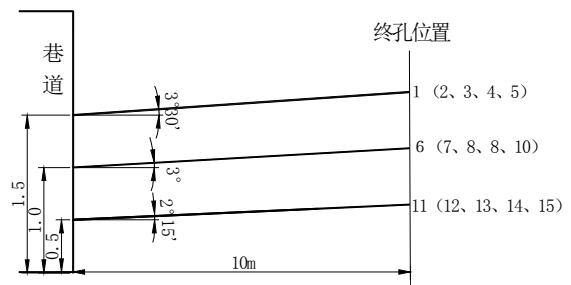


图 4-5 措施孔布置侧视图

表 4-1 措施孔参数表

孔号	投影孔深/m	钻孔倾角		备 注
		水平	垂直	
1	10	18°	5°	
2	10	11°	5°	
3	10	0°	5°	1) 孔径为 89mm,但在地质条件变化剧烈地带钻孔改为 42mm;
4	10	-11°	5°	2) 水平角为相对于巷道中线方向的偏角, “+”为顺时针, “-”为逆时针;
5	10	-18°	5°	3) 垂直角“0°”为平行巷道坡度, “+”为大于巷道坡度, “-”为小于巷道坡度。
6	10	18°	5°30'	4) 在有利于打钻的情况下, 应按已 <sub>16,17</sub> 煤厚考虑钻孔长度和垂直角。
7	10	11°	5°30'	
8	10	0°	5°30'	
9	10	-11°	5°30'	
10	10	-18°	5°30'	
11	10	18°	-18°	
12	10	11°	-18°	
13	10	0°	-18°	
14	10	-11°	-18°	
15	10	-18°	-18°	
16	10	18°	-25°	
17	10	11°	-25°	
18	10	0°	-25°	
19	10	-11°	-25°	
20	10	-18°	-25°	

表 4-2 措施孔参数表

孔号	投影孔深/m	钻孔倾角		备注
		水平	垂直	
1	10	18°	3°30'	
2	10	11°	3°30'	1) 孔径为 89mm,但在地质条件变化剧烈地带钻孔改为 42mm;
3	10	0°	3°30'	2) 水平角为相对于巷道中线方向的偏角, “+”为顺时针, “-”为逆时针;
4	10	-11°	3°30'	3) 垂直角“0°”为平行巷道坡度, “+”为大于巷道坡度, “-”为小于巷道坡度。
5	10	-18°	3°30'	
6	10	18°	3°	
7	10	11°	3°	
8	10	0°	3°	
9	10	-11°	3°	
10	10	-18°	3°	
11	10	18°	2°15'	
12	10	11°	2°15'	
13	10	0°	2°15'	
14	10	-11°	2°15'	
15	10	-18°	2°15'	

### 4.3 防突措施的效果检验

防治突出措施的效果检验指标和临界值同预测方法一致, 效检孔不少于 3 个, 孔深不大于 8m, 留不小于 3m 超前距, 布置在两排措施孔之间, 并不得与措施孔、预测孔交叉或重合。如果测得的指标都在该煤层突出危险临界值以下, 则认为措施有效, 否则, 认为措施无效。当措施无效时, 无论措施孔还留有多少超前距, 都必须采取防突补充措施, 并经效检有效后, 方可采取安全防护措施施工。

当效检孔孔深等于措施孔孔深 (效检孔与措施孔孔深均采用钻孔在巷道掘进方向的投影孔深, 简称投影孔深) 时, 经检验措施有效后, 必须留有 5m 投

影孔深的超前距。当效检孔孔深小于措施孔孔深，且两孔投影孔深的差值不小于3m时，经效检措施有效后，可采用2m投影孔深的超前距。

## 4.4 安全防护措施

安全防护措施包括震动性爆破、远距离放炮、避难所、压风自救系统和隔离式（压缩氧和化学氧）自救器等。

### 4.4.1 远距离放炮

当巷道施工长度不足300m时，放炮地点在反向风门外。当巷道施工长度超过300m时，放炮地点在200m以外的避难硐室。放炮前由当班班长负责所有人员撤到避难硐室内，并派人到车场口和防突风门以外警戒，防止人员进入，由瓦检员通知调度室，由调度室通知变电所切断本工作面回风流中(除监测)电源。放炮后30min，经当班班长、瓦检员、放炮员共同检查无异常时人员方可进入。

### 4.4.2 避难所、压风自救系统

巷道每掘进100m，于人行道侧施工一个避难硐室，硐室尺寸规格为：4m×3m×2.5m（宽×深×高）。设置向外并向掌子头方向开启的隔离门，门厚不少于50mm，并用铁皮包裹，以保证隔离门的强度。硐室墙壁用不燃性材料砌筑顶底封严，确保其密封性。硐室内配备不少于15个压风自救，有直通调度室的电话并将放炮母线扯入硐室。

压风自救系统设置在距采掘工作面25~40m的巷道内、放炮地点、撤离人员与警戒人员所在的位置以及回风道有人作业处。长距离的掘进巷道中，应每隔50m设置一组压风自救系统；每组压风自救系统供5~8个人用，压缩空气供给量，每人不少于0.1m<sup>3</sup>/min。

### 4.4.3 自救器

凡是进入该工作面及回风流人员都必须配带隔离式自救器，并能够正确使用。

## 4.5 安全技术措施

### 4.5.1 岩柱预控

保护层己<sub>15</sub>—23190属于近距离保护层，距己<sub>16</sub>、<sub>17</sub>煤层大部分层间距在2m以上，但为防止施工中误穿己<sub>16</sub>、<sub>17</sub>煤层和防止己<sub>16</sub>、<sub>17</sub>煤层卸压后的瓦斯突然大量涌入工作面危及生产，应打探煤钻孔控制距己<sub>16</sub>、<sub>17</sub>煤层岩柱岩性、厚度。

### 4.5.2 通风系统及瓦斯管理

- 1) 掘进巷道必须具有独立可靠的通风系统,回风巷必须直接与采区回风巷连通,其连接巷道口应与风流方向顺交。
- 2) 按掘进安全装备系列化一类标准进行管理。
- 3) 掘进工作面实行双风机双电源,严格执行“三专两闭锁”,风机自动换台,专、备用风机都必须使用专用电源。
- 4) 严格按《煤矿安全规程》完善监测及断电装置,每周校准一次,确保装置灵敏可靠。
- 5) 在巷道车场和出煤巷溜子道分别设两道防突反向风门,反向风门要牢固可靠,两道之间距离不小于4m,嵌入周边岩石的厚度不低于0.2m,墙垛厚度不低于0.8m,门框厚度不低于100mm,风门厚度不低于50mm,门扇内侧包铁皮,并安装逆止阀;所有过风墙的设施(如风筒、水沟、运输机等)必须安装防逆风装置。
- 6) 掘进工作面设专职瓦检员,瓦检员要熟知防突知识,随时检查瓦斯,并不得频繁更换瓦检员。
- 7) 进入该掘进工作面的所有人员必须了解突出预兆,当发现有突出预兆时,须立即停止作业并按避灾路线撤出。

有声预兆:地压显现,顶板来压,出现支架断裂声,顶板掉渣,手扶煤壁有冲击,工作面响煤炮,煤炮声先单响后连响,先沉闷后清脆,由远而近,突出前煤炮声接二连三,突出时伴有巨雷般响声;打钻时出现顶钻、夹钻、喷孔等现象。

无声预兆:煤层结构发生变化,层理紊乱,煤层厚度不一,特别是煤的软分层变厚。煤壁暗淡无光泽,煤体干燥,工作面煤尘飞扬;煤层倾角变大,出现底鼓;工作面瓦斯浓度突然增大或忽大忽小,工作面变冷,出现瓦斯涌出的蜂鸣声。

清理突出煤时,必须编制防止煤尘飞扬、杜绝火源、垮塌以及再次发生事故的安全防护措施。

## 4.6 防突效果

近距离保护层15—23190机、风巷两巷采取该措施进行施工,从2004年3月份开始掘进,至2005年5月份贯通形成采面取得了较好效果,平均月掘进进尺120m,掘进期间未发生一次突出事故和瓦斯超限事故。掘进期间机、风两巷瓦斯涌出量见表4-3。

# 河南理工大学本科毕业设计（论文）

**表 4-3 己 15-23190 工作面掘进期间瓦斯涌出量表**

机巷	时间	瓦斯浓	风量	瓦斯绝对涌出	风巷	时间	瓦斯浓	风量	瓦斯绝对涌
		度/%	/m <sup>3</sup> /min	量/m <sup>3</sup> /min			度/%	/m <sup>3</sup> /min	出量/m <sup>3</sup> /min
	上	0.2	293	0.59		上	0.2	290	0.58
04.05	中	0.1	291	0.29	04.05	中	0.3	288	0.86
	下	0.2	294	0.59		下	0.2	290	0.58
04.06	上	0.2	290	0.58	04.06	上	0.2	292	0.58
	中	0.1	288	0.29		中	0.2	286	0.57
04.07	上	0.2	294	0.59	04.07	上	0.2	296	0.59
	中	0.2	315	0.63		中	0.3	465	1.40
	上	0.3	566	1.70		上	0.6	523	3.14
04.08	中	0.3	564	1.69	04.08	中	0.4	533	2.13
	下	0.2	559	1.12		下	0.3	540	1.62
	上	0.3	551	1.65		上	0.3	588	1.76
04.09	中	0.2	582	1.16	04.09	中	0.2	577	1.15
	下	0.1	579	0.58		下	0.4	572	2.29
	上	0.4	567	2.27		上	0.2	566	1.13
04.10	中	0.4	573	2.29	04.10	中	0.2	566	1.13
	下	0.3	576	1.73		下	0.2	562	1.12
	上	0.4	575	2.30		上	0.2	573	1.15
04.11	中	0.3	573	1.72	04.11	中	0.2	571	1.14
	下	0.4	575	2.30		下	0.2	573	1.15
	上	0.3	572	1.72		上	0.2	582	1.16
04.12	中	0.3	573	1.72	04.12	中	0.2	576	1.15
	下	0.3	562	1.69		下	0.2	572	1.14
	上	0.2	558	1.12		上	0.2	574	1.15
05.01	中	0.1	556	0.56	05.01	中	0.1	566	0.57
	下	0.1	555	0.56		下	0.1	546	0.55

## 5 己<sub>15</sub>—23190 保护层开采期间瓦斯治理方案

### 5.1 保护层回采瓦斯涌出量预测

我国矿井瓦斯涌出量预测方法主要有以下几种：矿山统计法，瓦斯地质图法，分源计算法，类比法等。比较各种预测方法，结合平顶山五矿具体的瓦斯地质资料，保护层己<sub>15</sub>—23190 工作面瓦斯涌出量预测选用分源预测法。

保护层回采期间保护层的瓦斯涌出主要是来源于保护层本煤层和邻近层。

#### （1）保护层本煤层（包括围岩）瓦斯涌出量

$$q_1 = k_1 * k_2 * k_3 \frac{m_0}{m_1} * (X_0 - X_1) \quad (5-1)$$

式中：

$q_1$ —保护层本煤层（包括围岩）相对瓦斯涌出量， $\text{m}^3/\text{t}$ ；

$k_1$ —围岩瓦斯涌出系数， $K_1=1.15$ ；

$k_2$ —工作面丢煤瓦斯涌出系数， $k_2=1.2$ ；

$k_3$ —准备巷道预排瓦斯对工作面煤体瓦斯涌出影响系数，

$$k_3 = \frac{L - 2h}{L} = 0.831;$$

式中：

$L$ —回采工作面长度，190m；

$h$ —巷道瓦斯预排等值宽度，m；不同透气性的煤层其值可能不同，需实测；无实测值时。 $h=16\text{m}$ ；

$m_1$ —煤层开采厚度，m， $m_1=1.6$ ；

$m_0$ —煤层厚度，m， $m_0=1.6$ ；

$X_0$ —煤层原始瓦斯含量， $\text{m}^3/\text{t}$ ， $X_0=7$ ；

$X_1$ —煤的残存瓦斯含量， $\text{m}^3/\text{t}$ ， $X_1=3$ 。

经计算  $q_1=4.58 \text{ m}^3/\text{t}$ ，换算成绝对瓦斯涌出量见表 5-1。

表 5-1 保护层本煤层不同日产量对应的绝对瓦斯涌出量

日产量/t	500	800	1000	1500	2000
瓦斯涌出量 /m <sup>3</sup> /min	1.59	2.54	3.17	4.77	6.36

## (2) 邻近层瓦斯涌出量

$$q_2 = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m_1} k_i * (X_{0i} - X_{1i}) \quad (5-2)$$

式中：

$q_2$ —邻近层相对瓦斯涌出量,  $\text{m}^3/\text{t}$ ;

$m_i$ —第  $i$  个邻近层厚度,  $\text{m}$ ,  $m_i = 3.5$ ;

$m_1$ —开采层的开采厚度,  $\text{m}$ ,  $m_1 = 1.6$ ;

$X_{0i}$ —第  $i$  邻近层原始瓦斯含量,  $\text{m}^3/\text{t}$ ,  $X_{0i} = 17$ ;

$X_{1i}$ —第  $i$  邻近层残存瓦斯含量,  $\text{m}^3/\text{t}$ ,  $X_{1i} = 3.5$ ;

$k_i$ —第  $i$  邻近层瓦斯排放, 参考图 5-1, 取  $k_i = 0.56$ 。

经计算  $q_2 = 16.54 \text{ m}^3/\text{t}$ , 换算成绝对瓦斯涌出量见表 5-2。

## (3) 保护层工作面瓦斯涌出量

回采工作面瓦斯涌出量由开采层(包括围岩)、邻近层瓦斯涌出量两部分组成, 其计算公式为:

$$q_3 = q_1 + q_2 \quad (5-3)$$

式中：

$q_1 = 4.58 \text{ m}^3/\text{t}$ ;

$q_2 = 16.54 \text{ m}^3/\text{t}$ ;

$q_3$ —回采工作面相对瓦斯涌出量,  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

经计算  $q_3 = 21.12 \text{ m}^3/\text{t}$ , 换算成绝对瓦斯涌出量见表 5-3。

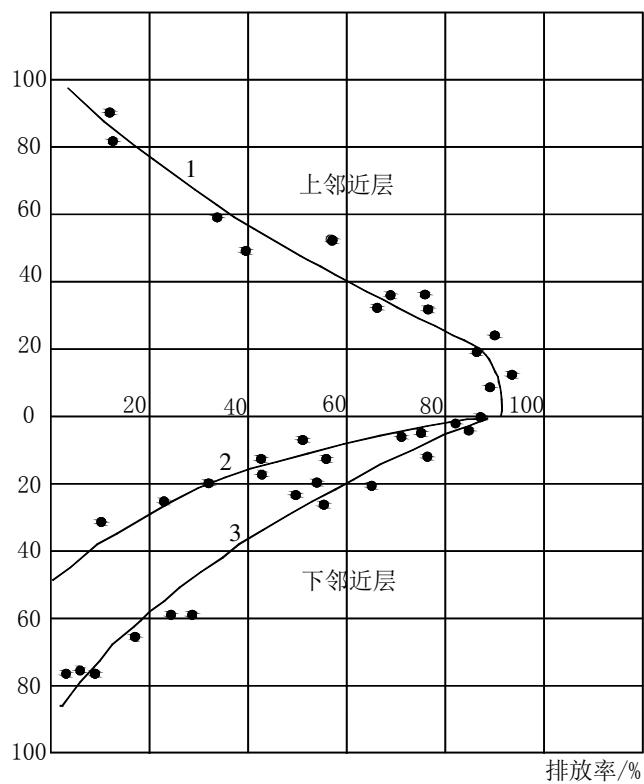


图 5-1 不同层间距邻近层的排放率图

1-上邻近层；2- 缓倾斜煤层下邻近层；3- 倾斜、急倾斜煤层下邻近层

表 5-2 邻近层不同日产量对应的绝对瓦斯涌出量

日产量/t	500	800	1000	1500	2000
瓦斯涌出量 /m³/min	5.74	9.19	11.49	17.23	22.98

表 5-3 保护层不同日产量对应的绝对瓦斯涌出量

日产量/t	500	800	1000	1500	2000
瓦斯涌出量 /m³/min	7.33	11.73	14.66	21.99	29.32

## 5.2 瓦斯抽放的必要性与可行性

### 5.2.1 瓦斯抽放的必要性

(1) 按照《煤矿安全规程》的有关规定及“先抽后采， 以风定产， 监测监控”的十二字方针，无论高瓦斯矿井的井型大小，也不管煤层有无煤与瓦斯突出危险性，必须建立地面永久抽放瓦斯系统或井下临时抽放瓦斯系统。五矿是高瓦斯突出矿井（见表 5-4），因此必须建立地面永久抽放瓦斯系统或井下临时抽放瓦斯系统。

表 5-4 五矿历年瓦斯鉴定相对涌出量一览表

年 份	全矿		鉴定 等级	已二扩大采区		已三采区		单位：m <sup>3</sup> /t
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	
1995	11.11	8.30	突出			3.69	3.05	
1996	11.02	9.05	突出			14.77	9.65	
1997	12.20	8.02	突出			10.17	5.16	
1998	12.50	6.91	突出			11.0	4.42	
1999	10.18	7.73	突出			12.97	8.23	
2000	18.21	9.30	突出	32.42	29.7	18.66	7.03	
2001	11.16	6.19	突出	7.59	4.44	12.35	4.82	
2002	10.36	7.25	突出	11.86	13.48	10.11	6.22	
2003	11.73	9.45	突出	23.35	19.39	9.3	7.4	
2004	9.74	5.13	突出	13.27	8.05	8.6	4.39	

(2)《煤矿安全规程》、《矿井瓦斯抽放管理规范》以及《煤炭工业设计规范》有关条款规定：当一个回采工作面的绝对瓦斯涌出量大于5m<sup>3</sup>/min或一个掘进工作面的瓦斯涌出量大于3m<sup>3</sup>/min，采用通风方法解决瓦斯不可能或不合理时应采用瓦斯抽放措施。已<sub>15</sub>—23190采面上部已<sub>15</sub>—23130采面在回采期间由于已<sub>16</sub>、<sub>17</sub>煤层瓦斯大量涌出造成瓦斯频繁超限，最大瓦斯绝对涌出量高达14.18m<sup>3</sup>/min。已<sub>15</sub>—23190回采期间瓦斯绝对涌出量预测值为14.66m<sup>3</sup>/min（日产1000t）。因此已<sub>15</sub>—23190回采期间进行瓦斯抽放是必要的。

(3)根据《煤矿安全规程》第一百九十八条的规定：“开采保护层时应同时抽放被保护层的瓦斯。”已<sub>15</sub>—23190采面是已<sub>16</sub>、<sub>17</sub>—23190采面的保护层，因此，对已<sub>15</sub>—23190采面的瓦斯抽放是必要的。

## 5.2.2 通风需要

(1) 工作面最大供给风量, 计算式如 (5-4):

$$Q_g = L * H * D * V * 60 \quad (5-4)$$

式中:

$Q_g$ —工作面可以供给风量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$L$ —最小控顶距,  $\text{m}$ ,  $L=3$ ;

$H$ —采高,  $\text{m}$ ,  $H=3.2$ ;

$D$ —有效断面系数,  $D=0.7$

$V$ —工作面允许最高风速,  $\text{m/s}$ ,  $V=4$ ;

则  $Q_g=1612\text{m}^3/\text{min}$ 。

(2) 通风方法可以解决的最大瓦斯涌出量, 计算式如 (5-5):

$$q = Q_g * C / K \quad (5-5)$$

式中:

$q$ —通风方法可以解决的最大瓦斯涌出量;

$K$ —瓦斯涌出不均衡系数, 取  $K=1.45$ ;

$Q_g$ —工作面可以供给风量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$C$ —《煤矿安全规程》允许的采掘工作面瓦斯浓度, %, 取  $C=1$ 。

则  $q=11.12 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

计算结果表明, 用通风方法可解决的瓦斯涌出量为  $11.12\text{m}^3/\text{min}$ , 按日产  $1000\text{t}$  而已<sub>15</sub>— $23190$ 回采期间的瓦斯涌出量预测值为  $14.66\text{m}^3/\text{min}$ 。故而仅用通风方法无法解决瓦斯问题, 必须采取瓦斯抽放措施。

## 5.2.3 瓦斯抽放的可行性

(1) 采面瓦斯储量是指在采面回采过程中能够向工作面排放瓦斯的煤层及围岩所储存的瓦斯量, 计算公式为 (5-6):

$$W_k = C * A * X \quad (5-6)$$

式中:  $W_k$ —工作面瓦斯储量, 万  $\text{m}^3$ ;

$C$ —围岩瓦斯储量系数, 取  $C = 1.05$ ;

$A$ —采面圈定工业储量, 万吨;

$X$ —平均瓦斯含量,  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

可抽量是指采面瓦斯储量中能被抽出的瓦斯量，由式（5—7）计算：

$$W_{kc} = \eta_k * W_k \quad (5-7)$$

式中：  $W_{kc}$ —采面瓦斯可抽量，万  $m^3$ ；

$\eta_k$ —采面瓦斯抽放率，取  $\eta_k = 30\%$ ；

$W_k$ —采面瓦斯储量，万  $m^3$ 。

表 5-5 已<sub>15</sub>—23190、已<sub>16、17</sub>—23190 瓦斯储量及可抽取量计算结果

	煤炭储量/万 t	瓦斯含量/ $m^3/t$	瓦斯储量/万 $m^3$	可抽量/万 $m^3$
已 <sub>16、17</sub>	106.4	16.64	1859.0	557.7
已 <sub>15</sub>	57.0	7.0	419.0	125.7
合计	163.4		2278.0	683.4

(2) 已<sub>15</sub>—23190 保护层的超前开采，使上、下地层产生强烈地拉张破坏，原来的挤压应力变成了拉张应力；上覆煤岩层垮落、破裂、下沉弯曲或者下伏煤岩层的破裂、上鼓，使得煤岩层的大量裂隙张开，地应力大范围的有效释放，无论是构造对瓦斯的封闭，还是地应力对瓦斯的封闭作用都被解放，瓦斯压力会急剧下降，大量的瓦斯被解吸，煤层透气性系数成百甚至上千倍以上的增加。因此，已<sub>15</sub>—23190 保护层回采期间，被保护层已<sub>16、17</sub>—23190 储存的大量瓦斯将通过这些裂隙涌入保护层。故抽放保护层、被保护层的卸压瓦斯及已<sub>15</sub>—23190 采空区的瓦斯，不仅可以有效杜绝瓦斯超限事故，而且可以降低突出煤层已<sub>16、17</sub>—23190 瓦斯压力使其变成非突出煤层，为其安全高效生产提供了条件。

## 6 保护层开采己<sub>15</sub>—23190 工作面 瓦斯抽放设计方案

### 6.1 瓦斯抽放方法的选择

由上一章可知，保护层回采期间瓦斯涌出量为 $14.66 \text{ m}^3/\text{min}$ （日产 $1000\text{t}$ ），其中保护层本煤层绝对瓦斯涌出量为 $3.17\text{m}^3/\text{min}$ （日产 $1000\text{t}$ ），而被保护层涌入保护层的瓦斯涌出量为 $11.49\text{m}^3/\text{min}$ （日产 $1000\text{t}$ ），被保护层瓦斯涌出占79%以上，可见保护层瓦斯主要来源于被保护层。而被保护层的瓦斯主要是通过保护层采空区的裂隙涌入到保护层的，因此保护层采空区瓦斯治理是保证保护层安全回采的关键。

瓦斯抽放的目的是降低被保护层己<sub>16</sub>、<sub>17</sub>—23190的瓦斯压力，甚至消除其突出危险性，有利于其实现安全、快速掘进和安全、高产、高效回采，同时避免保护层回风巷、上隅角瓦斯不超限并保证不发生底板突然臌起。

根据保护层瓦斯来源、瓦斯抽放目的及巷道布置确定两种方案，方案一：高位钻孔抽放和采空区埋管抽放；方案二：顶板岩石定向水平钻孔抽放和穿层钻孔联合抽放。

### 6.2 合理布孔层位的确定

高位钻孔和顶板岩石定向水平钻孔的合理钻孔布孔层位，对于抽放效果起着决定性的作用。首先确定钻孔不能布置在顶板的冒落带内，如果钻孔布置在冒落带内，随着顶板岩石的垮落，钻孔将被完全破坏，不能成孔，因而无法抽放；同时，钻孔不能布置在顶板的裂隙带以上，如果将钻孔打在裂隙带以上，由于无贯通裂隙，因而无法抽放。因此，应将钻孔布置在顶板的裂隙带中，通过采动裂隙网络对瓦斯进行抽放。

该保护层工作面采高 $1.6\text{m}$ ，倾角 $10^\circ$ ，冒落带高度为：

$$H = \frac{m}{(K - 1) \cos \alpha} \quad (6-1)$$

式中：

$H$ —冒落带高度， $\text{m}$ ；

$K$ —冒落带岩石碎胀系数， $K$ 取 $1.25$ ；

$m$ —工作面采高， $\text{m}$ ；

$\alpha$ —煤层倾角， $^{\circ}$ 。

则  $H=6.5m$ 。

裂隙带高度：

$$H_{j.s} = \frac{34}{m+2} + 4 \quad (6-2)$$

式中：

$H_{j.s}$ —近距离上抽放层的上部边界高度，m；

$m$ —煤层采厚，m。

则： $H_{j.s} = 19.1m$ 。

因此，高位钻孔和顶板岩石定向水平钻孔的合理钻孔布孔层位在  $8\sim 20m$ 。

## 6.3 瓦斯抽放钻孔布置参数的确定

### 6.3.1 抽放钻孔布置的原则

布置抽放卸压瓦斯钻孔必须遵守两条原则，一是钻孔底部必须有充足的瓦斯源，为此孔底及孔底部分的孔身要位于卸压带内；二是钻孔口部必须严密不漏气，为此，除要封孔严密以外，还要求孔口及孔口部分的孔身位于未卸压非裂隙区。这就是一要达到“抽而有(瓦斯)源”，二要达到“吸而不漏(空气)”，这样才能保证钻孔抽放瓦斯的效果。布置钻孔时，应注意下列各点：

- (1) 开孔点应避开地质破坏带或采动裂隙区，以免漏气短路。
- (2) 钻孔终孔点(孔底)必须位于卸压区内，当卸压边界不清楚时，钻孔向卸压区多偏些，要有3m左右的富裕量，以保证孔底位于卸压区内。当层间距不稳定时，钻孔的仰角按层间距最小值设计为宜。
- (3) 钻孔应做到抽出的瓦斯量最大、服务期长。为此，除要孔底位于抽放层的卸压区，而孔身应尽可能位于未卸压区，以免因岩石移动裂隙扩展，造成钻孔与采空区相通而漏气，使钻孔提前报废。
- (4) 扇形穿层钻孔的各终点应均匀分布在抽放层的卸压区内。因为卸压后往往会出现“离层”现象，而离层处正是聚集大量卸压瓦斯的场所，当钻孔打到这个地方时能获得较多的瓦斯。
- (5) 在近距离煤层开采过程中，曾出现过底板凸起，瓦斯突然喷出的特殊现象，造成事故。产生这种现象的主要原因是当工作面推过开切眼处  $10\sim 20m$  时，由于集中压力所形成的压力楔和底板煤层瓦斯大量解析的综合作用下，底

板岩石抵抗不住由于压力楔和瓦斯压力所形成的综合张力便会产生突然断裂，伴随而产生由底板中瓦斯突然喷出。因此，在布置抽放瓦斯钻孔时，应在开切眼附近，布置一定数量的钻孔，使开采保护层后大量卸压瓦斯，有通路通到钻孔，经管道抽出。

### 6.3.2 抽放钻场布置参数

在工作面回风巷走向方向每隔 60m，在巷道下帮开设钻场，规格为：宽 3m，深 4m，高 2m，钻场应满足打钻要求。在己<sub>15</sub>煤层的上部 3~4m 处有一层砂岩，而在 8~10m 处也有一层砂岩。为解决打钻困难和取得较好的抽放效果，钻场必须穿过距煤层顶板 3~4m 厚砂岩，布置在 8~10m 处一层砂岩的下部。支护方式采用锚网支护。正常抽放作业时，应至少保持三个钻场：一个正在抽放、一个备用、一个准备（打钻）。进入钻场的上坡段巷道高 2m，宽 1.5m，长度为 9m，爬升的坡度为 26° 30'。钻场中心点距离己<sub>15</sub>煤层顶板在法线方向上为 5m，铅垂方向上为 5.5m，距离回风巷下帮在水平面上的投影距离为 10m。见图 6-1。

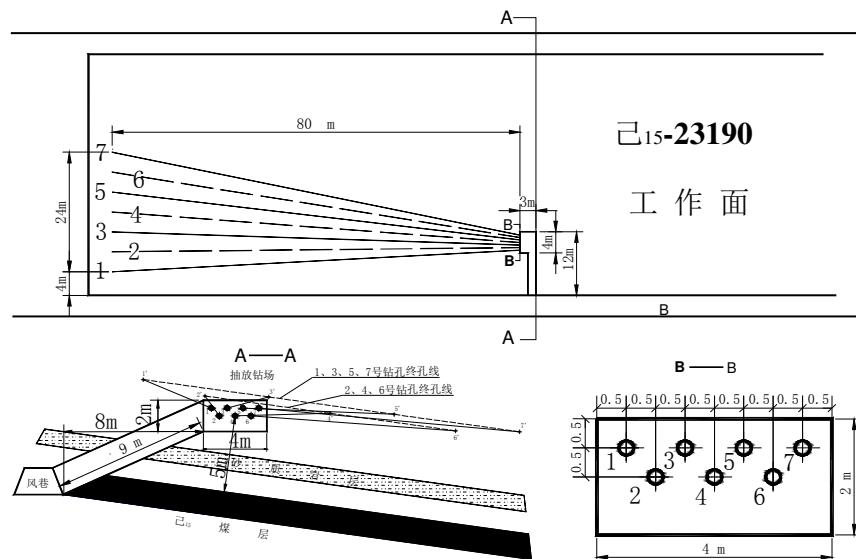


图 6-1 钻场及钻孔布置图

### 6.3.3 钻孔设计参数

抽放钻孔的布置如图6-1，钻孔深度80m，钻场间距60m，钻孔技术参数见表1。

表 6-1 钻孔设计参数

钻孔号	方位角	倾角	开孔高度	终孔高度/m (在煤层底板法线方向的距离)	钻孔直径/mm
1#	3°	3°15'	距钻场顶	8	89
3#	-2°	0°30'	距钻场顶	8	89
5#	-6°45'	-0°15'	距钻场顶	8	89
7#	11°3'	-1°	0.5m	8	89
2#	0°30'	1°	距钻场顶	7.5	89
4#	-4°15'	0°	距钻场顶	7.5	89
6#	-9°15'	-0°45'	1m	7.5	89

注：方位角：逆时针方向正值，顺时针方向负值；倾角：仰角为正值，俯角负值。

在己<sub>15</sub>煤层的上部3~4处有一层砂岩，而在8~10处也有一层砂岩，这给打钻造成了很大的困难。为此，在打钻时，终孔高度尽可能地落在煤层法线方向上靠近8~10处的砂岩底板。

需要注意的是设计中的瓦斯抽放钻孔参数仅供该矿工程技术人员参考。在生产实际中，应根据现场实际监测参数对抽放钻孔的布置进行调整，以达到最佳的抽放效果。

## 6.4 采空区埋管抽放

采空区抽放方法有埋管抽放、插管抽放（又叫上隅角抽放）、向冒落拱上方打钻孔抽放、在老顶岩石中打水平钻孔抽放、直接向采空区打钻抽放和地面垂直钻孔抽放等方法。结合五矿实际，采用埋管法抽放采空区瓦斯（图6-2）。

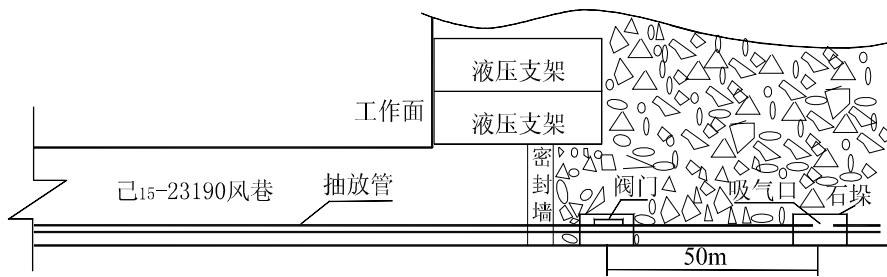


图 6-2 采空区瓦斯抽放系统布置

埋管抽放采空区瓦斯的具体方法是，在己<sub>15</sub>—23190工作面回风巷内铺设大直径管道（如轻质菱镁管），作为采空区瓦斯抽放的预埋管路，管路每隔一定距离按一个具有组合阀门的三通管件作为抽放采空区瓦斯的吸气口。随着工作面的推进，管路上的吸气口入采空区内最佳抽放位置（工作面后30~60m的范围内），吸气口组合阀门打开，通过此口抽放采空区瓦斯。当该吸气口进入采空区更深处时，尚可打开下一个三通管件的组合阀门。依此类推，使吸气口保持在最佳抽放位置。也可以同时打开几个吸气口组合阀门以调节抽放管中瓦斯浓度。

## 6.5 顶板岩石定向水平长钻孔抽放

顶板岩石定向水平钻孔抽放代替高位钻孔、穿层钻孔联合抽放和采空区埋管抽放。但是在断层附近或层间距小于2m时，要保留穿层钻孔抽放瓦斯。

保护层己<sub>15</sub>—23190工作面日产1000t时，预测绝对瓦斯涌出量为14.66m<sup>3</sup>/min，而通风方法能解决的最大瓦斯涌出量为11.12 m<sup>3</sup>/min，所以至少要抽放4m<sup>3</sup>/min。若按抽放浓度40%计算，则抽放混合气体流量为10m<sup>3</sup>/min。钻孔直径D设计为205mm，钻孔长度L为350m，钻孔孔口抽放负压预定为20000Pa，为了在孔底保证一定的抽放负压，取钻孔摩擦阻力为13600 Pa。钻孔过的最大气体流量Q的计算公式为：

$$Q = \sqrt{h * \alpha * D^5 / 10 / L / k / \phi} \quad (6-3)$$

式中：

$Q$ —钻孔的最大气体流量，m<sup>3</sup>/h；

$L$ —钻孔长度，m；

$h$ —钻孔摩擦阻力，Pa；

$D$ —钻孔直径， $D=20.5\text{cm}$ ；

$k$ —钻孔局部阻力系数, 取 $k=1.25$ ;

$\varphi$ —瓦斯对空气的相对密度,  $\varphi=0.00554C+(1-0.01C)$ ;

$C$ —混合气体的瓦斯浓度(%), 取值为30;

$a$ —钻孔摩擦阻力系数, 当 $D>150\text{mm}$ 时, 取 $a=0.071$ ;

根据(6-3)式, 可求得钻孔的最大气体流量为  $Q=830.5 \text{ m}^3/\text{h}=13.84 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

一个钻孔就可以满足抽放混合气体流量  $10 \text{ m}^3/\text{min}$  的要求, 但考虑到瓦斯涌出的不均衡性和异常性, 以及钻孔可能出现的成孔不好的情况, 因此, 设计布置两个钻孔, 一个与风巷方向平行, 仰角  $0^\circ$ , 一个与风巷方向夹角  $2^\circ$ , 仰角  $0.5^\circ$ ; 钻孔开孔高度:  $10\text{m}$ ; 封孔长度:  $10\text{m}$ ; 钻孔长度:  $350\text{m}$ ; 见图 6-3。如果钻孔直径减小, 应适当增加钻孔数量。

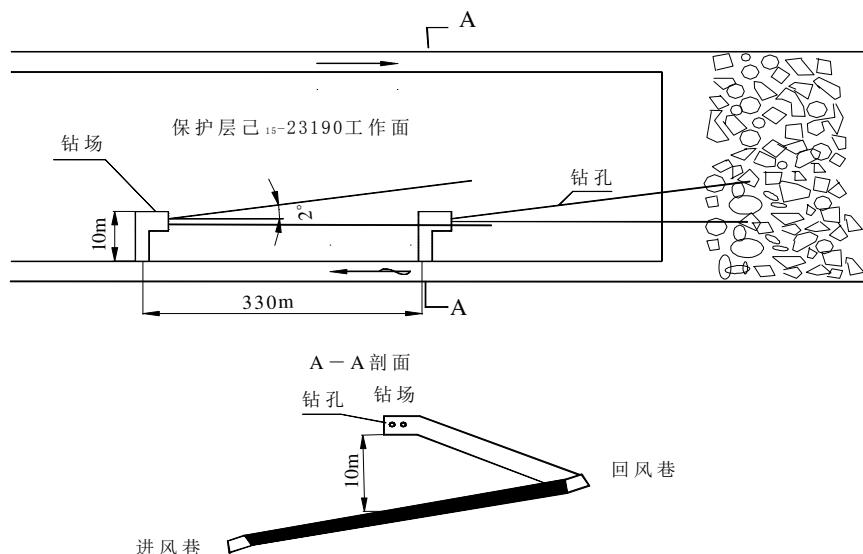


图 6-3 顶板岩石定向水平钻孔抽放布置示意图

## 7 结论

(1) 应用瓦斯地质理论分析了保护层己 15—23190 工作面瓦斯突出的危险性，认为其具有突出威胁，在掘进过程中必须执行探断层和探煤措施。

(2) 编写了适合五矿实际情况的“四位一体”综合防治煤与瓦斯突出措施和安全技术措施，实现了保护层己 15—23190 工作面的安全掘进，总掘进进尺达 1900 余 m，平均月掘进进尺 120m，掘进期间未发生突出事故和瓦斯超限事故。

(3) 应用分源预测法对保护层己 15—23190 工作面回采期间的瓦斯涌出量进行了预测，保护层回采期间相对瓦斯涌出量  $21.12 \text{ m}^3/\text{t}$ ，日产 1000t 时，绝对瓦斯涌出量  $14.66 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(4) 在保护层己 15—23190 回采过程中，日产 1000t 时，预计绝对瓦斯涌出量将达到  $14.66 \text{ m}^3/\text{min}$ ，用通风方法可解决的瓦斯涌出量为  $11.12 \text{ m}^3/\text{min}$ ，故而仅用通风方法无法解决瓦斯问题，必须采取瓦斯抽放系统。

(5) 根据保护层瓦斯来源、瓦斯抽放目的及巷道布置确定两种抽放方案，方案一：高位钻抽放和采空区抽放；方案二：顶板岩石定向水平钻孔抽放和穿层钻孔联合抽放。

## 致谢

值此论文完成之际，我谨以最诚挚的心情向我的指导老师张子敏教授和张玉贵教授致以最崇高的敬意！

本论文的研究工作是在两位导师的精心指导下完成的，从论文选题、研究到论文的定稿都离不开导师的精心指导，倾注了指导老师的许多心血。半年来，指导老师对我的严格要求，使我在各方面的能力有了很大提高。指导老师的悉心指导、大力支持和无私帮助令我万分感激！他们注重实践，并言传身教，这使我受益匪浅，在此向他们表示最诚挚的谢意！

在论文数据的取材过程中，得到了平煤五矿副总、防突科科长及五矿现场工程技术人员的热情支持与帮助，为论文提供了较为丰富的现场资料，并教会我许多书本上学不到的现场经验，在此，向他们表示衷心的感谢！

在论文进行期间，我还得到了研究生贾天让和刘永茜的关心、支持和帮助，在论文完成之际向他表示特别的谢意，感谢他在各方面所给予我的无私帮助！

在这四年学习期间，我也得到了安全学院各位领导和同志的支持和鼓励，在此我向他们表示深深的谢意！

最后，由衷地感谢参加我论文答辩的各位评委，感谢各位专家、教授在百忙之中评阅本论文。

## 参考文献

- [1] 林柏泉, 张建国等. 矿井瓦斯抽放理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [2] 于不凡. 开采解放层的认识与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社. 2004.12
- [3]. 袁亮. 松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社. 2004.12.
- [4] 焦作矿业学院瓦斯地质研究室. 瓦斯地质概论[M]. 煤炭工业出版社. 1990.8
- [5] 周照亭, 张建甫, 马三喜. 放顶煤工作面瓦斯治理的新途径[J]. 煤矿安全, 2000.
- [6] 中华人民共和国煤炭工业部. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京: 煤炭工业出版社. 1995.
- [7] 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社. 2001.
- [8] 李玉民. 3122 中上(二) 保护层工作面采动瓦斯的涌出和流动特征[J]. 煤炭工程, 2003, 10: 45-49.
- [9] 王兆丰. 矿井瓦斯涌出量分源预测法及其应用. 煤矿安全. 1991, 1: 8-12,

## 附录 A 英文翻译（原文）

### **Status of worldwide coal mine methane emissions and use**

**Abstract:** Underground coal mines worldwide liberate an estimated  $29 - 41 \times 10^9 \text{ m}^3$  of methane annually, of which less than  $2.3 \times 10^9 \text{ m}^3$  are used as fuel. The remaining methane is emitted to the atmosphere, representing the loss of a valuable energy resource. Methane is also a major greenhouse gas and is thus detrimental to the environment when vented to the atmosphere. Coal mine methane recovery and use represents a cost-effective means of significantly reducing methane emissions from coal mining, while increasing mine safety and improving mine economics.

The world's ten largest coal producers are responsible for 90% of global methane emissions associated with the coal fuel cycle. China is the largest emitter of coal mine methane, followed by the Commonwealth of Independent States, or CIS particularly Russia, Ukraine and Kazakhstan, the United States, Poland, Germany, South Africa, the United Kingdom, Australia, India and the Czech Republic. Most of these countries use a portion of the methane that is liberated from their coal mines, but the utilization rate tends to be low and some countries use none at all. Coal mine methane is currently used for a variety of purposes. Methane is used for heating and cooking at many mine facilities and nearby residences. It is also used to fuel boilers, to generate electricity, directly heat air for mine ventilation systems and for coal drying. Several mines in the United States sell high-quality mine gas to natural gas distributors. There are several barriers to decreasing methane emissions by increasing coal mine methane use. Many of the same barriers are common to a number of the subject countries. Technical barriers include low-permeability coals; variable or low gas quality, variations in gas supply and demand and lack of infrastructure.

Economic and institutional barriers include lack of information pertinent to development of the resource, lack of capital and low natural gas prices. A possible option for encouraging coal mine methane recovery and use would be international adoption of a traceable permit system for methane emissions.

Keywords: coalbed methane; global warming; coal mining; natural gas

## 1. Introduction

In recent years, coalbed methane has gained attention as a saleable natural gas resource. Methane can be extracted either from coal seams which will never undergo mining, or it can be produced as a part of the coal mining process. This paper focuses on methane which is produced in conjunction with coal mining operations (coal mine methane). According to the United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1994a), underground coal mines liberate an estimated  $29$  to  $41 \times 10^9 \text{ m}^3$  of methane annually, of which less than  $2.3 \times 10^9 \text{ m}^3$  are used as fuel. The remaining methane is vented to the atmosphere, representing the loss of a valuable energy resource. This paper examines the potential for recovering and using the methane which is currently being emitted from coal mines.

There are three primary reasons for recovering coal mine methane. The first reason is to increase mine safety. Worldwide, there have been thousands of recorded fatalities from underground mine explosions in which methane was a contributing factor. Using methane drainage systems, mines can reduce the methane concentration in their ventilation air, ultimately reducing ventilation requirements.

The second reason is to improve mine economics. By reducing emissions and preventing explosions and outbursts, methane drainage systems can cost effectively reduce the amount of time that the coal mine must curtail production. Moreover, recovered methane can be used either as fuel at the mine site or sold to other users.

The third reason for coalbed methane recovery and use is that it benefits the global and local environment. Methane is a major greenhouse gas and is second in global impact only to carbon dioxide; methane thus is detrimental to the environment if vented to the atmosphere. Although the amount of carbon dioxide accumulating in the atmosphere each year is orders of magnitude larger than that of methane, each additional gram of methane released to the atmosphere is as much as 22 times more effective in potentially warming the Earth's surface over a 100-year period than each additional gram of carbon dioxide (USEPA, 1994a). Compared with other

greenhouse gases, methane has a relatively short atmospheric lifetime. The lifetime of methane (defined as its atmospheric content divided by its rate of removal) is approximately 10 years. Due to its short lifetime, stabilizing methane emissions can have a dramatic impact on decreasing the buildup of greenhouse gases in the atmosphere.

Coal mine methane recovery and use represent a cost-effective means of significantly reducing methane emissions from coal mines. Methane, moreover, is a remarkably clean fuel. Methane combustion produces no sulfur dioxide or particulates and only half the amount of carbon dioxide that is associated with coal combustion on an energy equivalent basis.

Because of the environmental impact of coal mine methane emissions, the USEPA, the International Energy Agency's Coal Advisory Board (CIAB), and others have investigated methane emissions from coal mining worldwide. The USEPA (1994a) estimates that the coal fuel cycle (which includes coal mining, post-mining coal transportation and handling, and coal combustion) emits  $35$  to  $59 \times 10^9$  m<sup>3</sup> of methane to the atmosphere annually. Table 1 shows methane emissions from the world's ten largest coal producers, which are responsible for 90% of global methane emissions associated with the coal fuel cycle. Underground coal mining is the primary source of these emissions, accounting for 70 to 95% of total emissions.

There are many opportunities for decreasing coal mine methane emissions by increasing recovery of this abundant fuel. Section 2 examines the status of methane recovery and use in key countries worldwide.

## 2. Coal mine methane recovery and use in selected countries

### 2. 1. China

The Peoples Republic of China (China) produces about  $1.2 \times 10^9$  raw tons of hard coal annually (EIA, 1996). In 1990, coal mining activities in China emitted an estimated  $14$  to  $24 \times 10^9$  m<sup>3</sup> ( $10$  to  $16 \times 10^6$  ton) of methane to the atmosphere, contributing one-third of the world's total from this source. Not only is China the largest coal producer in the world; it is unique in that underground mines produce over 95% of the nation's coal. Because of the great depth and high rank

of China's coals, underground coal mines have higher methane emissions than surface mines.

There are currently 108 Coal Mining Administrations (CMAs) in China, which manage more than 650 mines. These state-owned mines are responsible for most of China's methane emissions, but there are numerous gassy local, township, and private mines that cumulatively produce over one-half of China's coal. However, these non-states owned mines are not gassy (International Energy Agency or IEA, 1994).

## 2.1.1. Methane recovery and use in China

China has a long history of coal mine methane drainage, and the volume of methane drained has increased markedly during the past decade. Nationwide, coal mine methane drainage at state-run mines nearly doubled in 14 years, increasing from  $294 \times 10^6 \text{ m}^3$  in 1980 to more than  $561 \times 10^6 \text{ m}^3$  in 1994. However, this is still less than 11% of the total methane liberated annually. Approximately 131 state-owned mines currently have methane drainage systems. Less than one-half of these mines are set up to distribute and use recovered methane. China's state-run coal mining administrations use about 70% of the methane they drain (USEPA, 1996a).

Most of the methane recovered from Chinese mines is used for heating and cooking at mine facilities and nearby residences. Methane is also used for industrial purposes, in the glass and plastics industries, and as a feedstock for the production of carbon black (an amorphous form of carbon used in pigments and printer's ink). Methane is also being used, to a lesser extent, for power generation. In 1990, the Laohutai Mine at the Fushun Coal Mining Administration built a 1200 kW methane-fired power station, the first in China.

Several barriers currently prevent China from developing economic methane recovery from coal mining to its full potential. Critical barriers include the lack of an appropriate policy framework, limited capital for project investments and equipment, the need for additional information and experience with technologies and the lack of a widespread pipeline network. Artificially regulated low gas prices and difficulty with repatriation of profits, create barriers to foreign investment in joint ventures for production of domestic energy resources (USEPA, 1993).

## 2.1.2. The future of methane development in China

Recognizing the need for a unified effort in advancing coalbed methane development, China's highest governing body, the State Council, established the China United Coalbed Methane Company (China CBM) in May 1996. As a single, trans-sectoral agency, China CBM is responsible for developing the coalbed methane industry by commercializing the exploration, development, marketing, transportation and utilization of coalbed methane. The State Council has also granted China CBM exclusive rights to undertake the exploration, development and production of coalbed methane in cooperation with foreign partners (China Energy Report, 1996).

More than 20 coalbed methane projects are underway or planned in China, and at least half of them are taking place at active mining areas. Some of the projects are state-sponsored, while others involve joint ventures with foreign companies. The future of the coalbed methane industry in China appears bright. The government recognizes coalbed methane's potential for meeting the nation's burgeoning energy needs and is generally supportive of efforts to develop this resource. With deregulation of energy prices, increased capital investment in pipeline infrastructure, and ongoing research efforts, China can likely overcome its remaining barriers to widespread coalbed methane use.

## 2.2. Russia, Ukraine and Kazakhstan

In 1994, Russia produced more than  $169 \times 10^6$  ton of hard coal; Kazakhstan produced nearly  $104 \times 10^6$  ton and Ukraine more than  $90 \times 10^6$  ton. The coal mining regions of these republics liberate approximately  $5.3 \times 10^9 \text{ m}^3$  of methane annually, of which less than 3% is utilized. This amount represents about 20% of world methane emissions from underground coal mining.

The energy sectors of these Republics are at a turning point. The coal mining industry, in particular, is undergoing restructuring, a process which includes decreasing or eliminating subsidies, and closing many of the most unprofitable mines. The industry is being compelled to become more efficient in order to increase profitability. Mining regions are also seeking to mitigate environmental problems resulting from producing and using coal. Thus, there is an impetus to utilize more

natural gas and decrease dependency on low grade coal. Increasing recovery and use of coalbed methane is a potential means of improving mine safety and profitability while meeting the regions' energy and environmental goals.

There are five coal basins in the Commonwealth of Independent States where hard coal is mined and which have the potential for coalbed methane development.

They are: (1) the Donetsk Basin (Donbass) , located in southeastern Ukraine and western Russia, (2) the Kuznetsk Basin Kuzbass , located in western Siberia (south-central Russia) , (3) the L'vov-Volyn Basin, located in western Ukraine, which is the southeastern extension of Poland's Lublin Basin, (4) the Pechora Basin, located in northern Russia and (5) the Karaganda Coal Basin, located in Kazakhstan.

Of the five basins, the Donetsk and Kuznetsk Basins appear to have the largest near-term potential for coalbed methane development (USEPA, 1994b) . Both of these regions are heavily industrialized and present many opportunities for coalbed methane use.

## 2.2.1. Options for methane use in the CIS

2.2.1.1. Heating mine facilities. Currently, most mines use coal-fired boilers to produce steam heat for drying coal, heating mine facilities and heating ventilation air. In some cases, mine boilers also supply thermal energy to the surrounding communities. Boilers can be retrofitted to co-fire methane with coal, a relatively simple and low-cost procedure. More than 20 mines in the Donetsk and Pechora Basins use methane to fuel boilers and several mines also use it for directly heating air for the mines' ventilation systems and for coal drying (Serov, 1995; Saprykin et al., 1995).

2.2.1.2. Use in furnaces in the metallurgical industry. Another viable market for methane use is the metallurgical industry. For example, the city of Novokuznetsk, in the southern portion of the Kuznetsk Basin, contains numerous gassy mines and is one of the biggest centers of metallurgy in Russia. The region's metallurgical industry consumes about 54 PJ of natural gas annually, which is equivalent to about  $1.4 \times 10^9 \text{ m}^3$  of methane (USEPA, 1996b) .

2.2.1.3. Power generation at mine facilities. Most mines purchase electricity from

the power grid. Co-firing coalbed methane with coal to generate electricity on-site may be a more economical option for these mines. Coalbed methane can be used, independently of or in conjunction with coal, to generate electricity using boilers, gas turbines and thermal combustion engines (USEPA, 1994b).

2.2.1.4. Use as a motor vehicle fuel. The Donetskugol Coal Production Association in Ukraine is draining methane in advance of mining using surface boreholes. The recovered methane is compressed on-site and used as fuel for the Association's vehicle fleet. The refueling station, which has been operating for more than three years, produces about 1,000 m<sup>3</sup> of compressed gas per day. Based on estimated gas reserves it is expected to operate for a total of eight years (Pudak, 1995).

While many mines in the CIS are utilizing their methane resources, the majority are not. Certain barriers must be overcome before recovery and use of coal mine methane becomes widespread. These barriers and their potential solutions are discussed in greater detail in Section 3 of this paper.

### 2.3. The United States

There are five major coal producing regions in the United States from which hard coal is mined and which have the potential for coalbed methane development. They are: (1) the Appalachian Basin, located in Pennsylvania, Ohio, West Virginia, eastern Kentucky and Tennessee, (2) the Warrior Basin, located in Alabama, (3) the Illinois Basin, located in Illinois, Indiana and western Kentucky, (4) the Southwestern region, including the Uinta, Piceance, Green River and San Juan Basins located in Colorado, Utah and New Mexico and (5) the Western Interior region, including the Arkoma Basin of Oklahoma and Arkansas.

In 1994, an estimated  $4.2 \times 10^9$  m<sup>3</sup> of methane were liberated by underground mining in these regions, of which less than  $0.7 \times 10^9$  m<sup>3</sup> were used (USEPA, unpublished data).

Currently in the United States, at least 17 mines in six states (Alabama, Colorado, Ohio, Pennsylvania, Virginia and West Virginia) recover methane for profit, primarily through sale to gas distributors. In 1995, the total methane recovered from these mines, including vertical wells draining methane in advance of mining, exceeded  $1 \times 10^9$  m<sup>3</sup>. By maximizing the amount of gas recovered via drainage systems,

these mines have greatly reduced their ventilation costs, improved safety conditions for miners and have collected and sold large quantities of high-quality gas. Following is a brief description of selected coal mine methane recovery activities in the United States.

### 2.3.1. Warrior basin: Alabama

Six of the seventeen US mines with commercial methane recovery systems are located in the Warrior Basin of Alabama. Today, energy companies recover methane from the Warrior Basin by horizontal wells, gob wells (in areas being mined) and vertical wells (in both mined and unmined areas). Most of this gas is sold to regional natural gas distributors, although there is some on-site mine use. In 1995, four mines operated by Jim Walter Resources produced more than  $380 \times 10^6 \text{ m}^3$  of methane for pipeline sale and USX's Oak Grove Mine recovered an estimated  $117 \times 10^6 \text{ m}^3$  of methane for use.

### 2.3.2. Appalachian region

Eight mines in Virginia and West Virginia have developed successful methane recovery and use projects. The Consol mines in Virginia are the most well-documented examples. Consol produces gas from a combination of vertical wells that are hydraulically stimulated, horizontal boreholes and gob wells drilled over longwall panels. In 1995, Consol produced approximately  $688 \times 10^6 \text{ m}^3$  of saleable methane from three mines. Methane recovery efficiency at these mines is higher than 60%.

### 2.3.3. Southwestern region

The Soldier Canyon Mine in Utah recovered about  $10.9 \times 10^6 \text{ m}^3$  of methane for sale annually until early 1994, when production was curtailed and gas sales ended due to low market prices.

### 2.3.4. Summary

While methane recovery has been economically implemented at the above-described mines, safety and high coal productivity remain the impetus for their degasification efforts. Methane drainage at many gassy mines in the United States is limited or nonexistent. Section 3 of this paper discusses potential avenues for increasing methane recovery and use in the United States and other countries.

## 2. 4. Germany

Germany produced nearly 54 million tons of hard coal in 1995, all from underground mines (Schiffer, 1995). Of this total, 43 million tons were mined from the Ruhr Basin in northwestern Germany (Von Sperber et al., 1996) and most of the remainder was mined from the Saar Basin in southwestern Germany. Until recently, hard coal mining was heavily subsidized in Germany, and the industry's future is in question (Schiffer, 1995). Even mines that are closed, however, can continue to liberate methane for long periods of time. An estimated  $1.8 \times 10^9 \text{ m}^3$  of methane are liberated annually from underground mining activities in Germany, of which  $520 \times 10^6 \text{ m}^3$ , or 30%, are drained (63 IEA, 1994). About  $371 \times 10^6 \text{ m}^3$ , or 71% of all drained methane is used, primarily for heating or power generation.

Government officials suggest that as much as 45% of the methane emitted from coal mining activities could be drained and used in a variety of applications. The primary barrier to increased methane recovery is low methane concentrations in the gas mixture.

Safety regulations in Germany prohibit any utilization if the methane content is less than 25%. If the average recovery efficiency at German mines is to be increased, it will be necessary to adopt practices that will recover methane in a more concentrated form.

## 3. Barriers to decreasing coal mine methane emissions

There are several barriers to decreasing methane emissions by increasing coal mine methane use. Some are technical, such as low coal permeability, while others are Institutional, such as low gas prices. In a few cases, certain barriers are country or region specific, but most cases, many of the same barriers exist in a number of countries. This section discusses obstacles to increased coal mine methane use, and potential ways to overcome these obstacles.

### 3. 1. Technical issues

#### 3. 1. 1. Low-permeability coals

Coal seams that exhibit low permeability pose special problems for developing successful methane drainage and recovery systems. Methane desorbs and flows through

natural pores and fractures until the gas reaches the mine face or borehole. Stimulation technology that enhances the flow of gases from the seam into a recovery system has been successfully used in the past several years. Early efforts to modify fracturing techniques for application in coal seams were largely unsuccessful (IEA, 1994) . The current practice of hydraulic stimulation in coals, however, minimizes roof damage while achieving extensive fracturing. Under ideal conditions, 60 to 70% of the methane contained in the coal seam can be removed using vertical degasification wells drilled more than 10 years in advance of mining. These efforts have been successful in the United States and other industrialized countries. Transfer of this technology to other countries can help increase coal mine methane recovery.

### 3.1.2. Lack of infrastructure

Many coal mining areas lack pipelines or gathering systems to collect and transport gas. In such cases, it is most economical to use coal mine methane locally where compression and long-distance transportation is unnecessary.

### 3.2. Economic and institutional issues

In addition to the technical obstacles described above, there are a variety of other issues that have prevented coal mine methane recovery from becoming more widespread.

These issues include lack of information, lack of capital, low natural gas prices and risks associated with foreign investment. Some issues are explored below.

The key strategy for overcoming informational barriers in the United States has been to develop outreach programs. Outreach programs work well when companies are shown that they can profit while at the same time reducing emissions or improving mine safety. Examples of outreach programs include the USEPA's Coalbed Methane Outreach Program, which is conducted in the United States, and the Coalbed Methane Clearinghouses in Poland, China and Russia. These institutions distribute information and link together interested parties, provide technical training, and in some cases perform pre-feasibility assessments for specific projects.

### 3.2.2. Lack of capital

Even when a pre-feasibility assessment has demonstrated that the economics of a coal mine methane project are attractive, a lack of financing may prevent projects from taking place. Coal companies often do not have surplus capital available to invest in coalbed methane recovery and use projects because available capital must be invested in their primary business of coal production. Additionally, some lending organizations may be unfamiliar with the relatively new concept of coal mine methane recovery and use, and project developers may thus be unable to secure the necessary up-front financing needed to cover the large capital investments required for such projects.

### 3.2.3. Low natural gas prices

In some countries natural gas prices are held at artificially low rates. Even in countries whose gas prices are at market levels, prices may be low due to low demand. In such cases, special types of incentives to encourage coal mine methane recovery could be implemented. For example, legislation could be enacted requiring local distribution companies to purchase recovered coal mine methane if it is sold at a competitive price. China has recently established preferential policies for projects which involve gas recovery and use from coal mines. The government has also passed a law exempting coalbed methane producers from royalties and land occupation fees for production of up to  $2 \times 10^9 \text{ m}^3$  of methane per year.

### 3.2.1. Lack of information

In the United States and other countries, one of the problems that has slowed coal mine methane project development is that some coal mine operators do not have adequate information regarding coal mine methane projects. While much has been published on the subject, methane recovery is still seen as a relatively new concept to many coal operators. A related constraint is that some coal operators simply do not have the time or resources to investigate the potential to develop a profitable project at their own coal mine.

## 4. Conclusions

As discussed above, coal mines worldwide emit large volumes of methane, much of which could be recovered and used as fuel. In many instances, countries whose mines emit large quantities of methane are in critical need of a domestic energy source, particularly one which is clean-burning. In countries whose economies are in transition, such as China, the former Soviet Union and the Eastern European nations, coal mine methane recovery offers economic benefits as a new industry that can help provide jobs for displaced coal miners or other workers. In countries whose economies are established, such as the United States, the United Kingdom and Australia, coal mine methane recovery may help increase the profit margin of mining enterprises.

The reduction of methane emissions can have a significant global impact, but incentives are needed to encourage more widespread recovery of coal mine methane. An incentive program offered on an international level would probably be the most effective means of stimulating development of the coal mine methane industry. Of the various options for international-level incentives, a system of tradeable permits for methane emissions would likely be the most cost effective.

Due to various technical, economic and institutional barriers, it will never be possible to completely eliminate emissions of methane from coal mines. However, a worldwide coal mine methane utilization rate of 25% may be realizable, particularly if an international incentive program is implemented. This would reduce the estimated emissions of coal mine methane to the atmosphere by  $7 \text{ to } 10 \times 10^9 \text{ m}^3$  annually, substantially reducing greenhouse gas emissions and curtailing the waste of a valuable energy source.

## 附录 B 英文翻译（译文）

### 全球煤矿瓦斯涌出及利用现状

**摘要：**全球煤矿每年释放瓦斯 $29\text{--}41\times10^9\text{ m}^3$ ，其中少于 $2.3\times10^9\text{ m}^3$ 的瓦斯用作燃料，其余的被直接排放到大气中，这是能源的一种浪费。并且瓦斯是造成温室效应的主要气体之一，当它被释放到大气，会对环境造成危害。矿井瓦斯的利用现状要求有一个节约成本且减少瓦斯涌出的方法，同时还要可以提高采煤的安全性及经济效益。

由于世界上十大煤生产国家燃烧煤、利用循环煤而排放的瓦斯占全球的90%，中国是排放矿井瓦斯的最大国家，紧随其后是独联体尤其是俄罗斯、乌克兰、哈萨克斯坦，美国，波兰，德国，南非，英国，澳大利亚，印度，捷克斯洛伐克。大部分国家利用煤矿瓦斯的一部分，但是其利用效率低，甚至一些国家根本没有利用。通常，利用煤矿瓦斯的目的不一。如用于家庭取暖、做饭，加热锅炉，发电，或直接为煤矿通风系统的空气加热和干燥服务。美国的许多煤矿向天然气开发商出售高质量瓦斯。通过提高煤矿瓦斯利用降低瓦斯排放存在重重困难，在许多未独立的国家存在同样的困难。技术方面的难题包括煤层底渗透率、瓦斯性质的多变、瓦斯质量低、市场供求多变、缺少基础设施。经济和体制方面的困难有开发瓦斯能源的信息不足、资金匮乏、价格低廉。国际部门发放煤矿瓦斯排放准许证鼓励煤矿瓦斯回收利用是一个可选择的方法。

关键词：煤层气；全球变暖；采煤；天然气

#### 1. 前言

近几年，煤矿瓦斯作为赢利资源越来越引起人们的关注。事实上如果瓦斯在煤矿不经开采情况下没有抽出，那么在煤开采过程中将产生瓦斯。本论文重点关注煤矿开采中产生的瓦斯。据美国环境保护署(USEPA, 1994年)调查，认为地下矿井每年释放出 $19\text{--}40\times10^9\text{ m}^3$ 瓦斯，其中仅有少于 $2.3\times10^9\text{ m}^3$ 的瓦斯被用作燃料。其余全部被排放到大气中，这无疑是资源浪费。论文审查目前煤矿抽放的瓦斯中可回收利用的潜力。

回收再利用矿井瓦斯主要有三个原因，第一是可以提高煤矿安全性，全世界范围内，由于瓦斯导致致命严重煤矿爆炸事故的记录不下千余起。煤矿利用瓦斯抽放系统可以降低通风中的瓦斯浓度，进而减少通风需要。第二个原因是可以提高煤矿经济效益。瓦斯抽放

系统的利用通过减少瓦斯涌出而避免爆炸和突出，进而实现高产高效。另外回收的瓦斯即可在煤矿用作燃料还可以售出。

第三个原因是，煤矿瓦斯回收利用有利于全球及地方环境。瓦斯是造成温室效应的主要气体之一，仅次于二氧化碳。如果瓦斯排放到大气，会破坏环境。虽然每年大气中增加的瓦斯少于二氧化碳，但大气中每增加1千克瓦斯对地球表面温度升高的潜在影响远超过二氧化碳22倍。（美环境保护署1994a）与其它温室效应气体相比，瓦斯在大气中的存在时间相对短暂。瓦斯生命（定义为它在大气中的含量除以其运移速率）大约10年。由于瓦斯生命短暂，稳定的瓦斯涌出对大气中温室气体的减少有显著的影响。

矿井瓦斯的回收利用是一种显著减少矿井瓦斯的有效方法。更重要的是瓦斯是洁净燃料，瓦斯燃烧不产生二氧化硫等物，且生成获得同样能量燃烧煤所产生二氧化碳的半量

由于煤矿瓦斯涌出对环境的影响，美环保署、CIAB及其它部门对全球范围的煤矿瓦斯涌出情况进行了调查。美环保署（1994文件）强调煤作为燃料循环（包括采煤、运煤、加工、燃烧）每年放出 $35-59 \times 10^9 \text{ m}^3$  瓦斯到大气中图表1显示世界十大产煤地的瓦斯涌出情况，其中全球90%的瓦斯涌出由煤燃烧循环造成。地下采煤是瓦斯涌出的主要来源，占70—95%，有很多的机会可以通过增加回收利用丰富的瓦斯以减少煤矿瓦斯涌出。本文第二部分讨论一些主要国家的瓦斯回收利用情况。

## 2.中国煤矿瓦斯的回收利用

### 2.1.中国

每年中国产原生煤大约 $1.2 \times 10^9$ 吨（EIA, 1996）。1990年，中国采煤向大气排放 $14-24 \times 10^9 \text{ m}^3$ 即 $10-16 \times 10^6$ 吨瓦斯，占全世界总量的1/3。中国不仅是世界上最大的产煤基地，尤其95%的煤是地下开采煤。由于中国煤矿越采越深以及高瓦斯矿具多，地下采煤便会比露天开采涌出较多瓦斯。

目前中国有108个煤矿管理机关，他们管理650多个矿井。中国的瓦斯涌出主要是国有矿井造成的，而中国有无数的地方煤矿、乡镇煤矿、私人煤矿，并且它们累计生产中国一半的煤。然而这些非国有煤矿一般不是高瓦斯矿。（国际能源署1994）

#### 2.1.1 中国的瓦斯利用情况

中国在瓦斯抽放方面有很长的历史，并且在过去10年间瓦斯抽放量有显著增加。在14年里，全国的国营煤矿的瓦斯抽放量几乎翻倍。由1980年的 $294 \times 10^6 \text{ m}^3$ 上升至1994年的 $561 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。然而这仍少于每年瓦斯释放总量的11%。大约131个国有煤矿有抽放系统。而仅有少于一半的抽放系统是为了出售回收利用瓦斯的。中国国有煤矿管理机构用了他们抽

放瓦斯的70%。

中国煤矿回收的大部分瓦斯被用作加热煤矿设备及周遍居民做饭。在工业方面，瓦斯可用于玻璃和塑料工业。瓦斯还可以在一定范围内用作发电。1990年，抚顺劳扶山煤矿建立一座1200kw的瓦斯-火力发电厂。

目前，各种障碍使中国难于回收利用潜能巨大的煤矿瓦斯来发展经济，其中关键的障碍包括缺少适当的政策框架、工程项目资金和设备受限，信息和技术不足、缺少广泛的网状管道。人为规定造成瓦斯价格低廉、销售取利困难，这使国内外联合生产中国的能源遇到许多困难。

## 2.1.2. 在中国瓦斯利用的前景

中国国务院（中国的最高管理部门）认识到共同努力开发煤层气的必要性，于是国务院于1996年五月成立中联煤层气瓦斯开发公司。作为一个独立的对外部门，中联煤层气瓦斯开发公司通过商业手段运转发展煤层气勘探、开发、经营、运输、利用。中国国务院赋予中联煤层气开发公司特权以便其与外国合作管理煤层气勘探、开发、生产。（中国能源报，1996）

中国规划至少20多个煤层气方面的项目，并且至少一半以上的项目在高瓦斯矿井区。一部分项目是国家投资赞助的，其它的项目有与外国公司联合经营的。在未来不久，中国煤层气产业的将来更加光明。中国政府认识到煤层气开发解决能源短缺的潜能，并且支持对能源开发的努力。由于能源价格的调整、管道基础设施的投入增加以及正在进行的项目努力等原因，中国很可能克服推广煤层气利用的种种障碍。

## 2.2 俄罗斯、乌克兰瓦斯利用的前景

这些国家的能源部门正在经历转折。尤其它们的煤炭产业正在经历结构重组，这一过程包括降低或免征税收、关闭多数亏损煤矿。为了增加利润，煤产业部门被迫提高效益。采煤地区也寻求减小由于开采应用煤而造成的环境污染。因而，这对天然气的应用和减少对低瓦斯的依靠是一种激励。回收利用煤层瓦斯气体是一个提高矿井安全、利润的潜在措施。并且可以达到地区能源利用、保护环境的目标。在独联体有五个煤盆地，那里开采硬煤并且有发展煤层气的潜力。

它们分别是：1) the Donetsk Basin (Donbass)坐落于Ukraine东南部、俄罗斯西部；2) the Kuznetsk Basin Kuzbass坐落于Siberia西部（俄罗斯中南部）；3) the L'vov-Volyn 盆地坐落于Ukraine西部，它的东南部延展到波兰的Lublin；4) the Pechora 盆地坐落于俄罗斯北部；5) the Karaganda 煤盆地坐落于Kazakhstan境内。

五个煤盆地中的the Donetsk and Kuznetsk 看起来有最大的短期开发煤层气的潜力（美环保署1994）。这两个地区的重工业比较发达，现在这有很多开发利用煤层气的机会，表3中列出了五个煤盆地的瓦斯涌出及利用比较。

## 2.2.1. CIS瓦斯利用

2.2.1.1. 用于加热矿井设备。目前，很多煤矿都采用燃煤锅炉来制造热蒸汽以干燥煤，加热矿井设备，加热通风空气。某些情况下，煤矿锅炉还用于为周边社区提供热能。煤矿锅炉还可以改造成低耗煤设备。CIS地区的瓦斯在燃烧锅炉方面的利用比 the Donetsk and Pechora煤盆地高20倍，在加热矿井通风系统空气和干燥煤方面比the Donetsk and Pechora煤盆地高很多倍。

## 2.2.1.2. 冶金工业炉利用瓦斯

冶金工业是有利于瓦斯利用市场化的另一优势。例如，Kuznetsk煤盆地南部的Novokuznetsk城市，有无数的瓦斯矿井，它是俄罗斯的最大冶金城市之一，每年，这一地区的冶金工业消费了大约天然气的54 PJ，那相当于 $1.4 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的瓦斯。（美环保署1996b）

## 2.2.1.3. 用于发电

许多煤矿从电力网购买电。不过对于煤矿，煤和煤层气用于现场发电是一种比较经济的方法。煤层气可以单独利用，也可以和煤结合利用用于锅炉发电、燃气涡轮发电、热燃机发电等。（美环保署1996b）

## 2.2.1.4. 用于动力燃料

Ukraine的 The Donetskugol煤矿生产协会利用地表打转孔预先抽放瓦斯。回收的瓦斯被现场压缩并用作协会的交通、运输燃料。供应站已经经营了三年多，每一天制造了大约 $1000 \text{ m}^3$ 的压缩瓦斯。根据估计的瓦斯储量，此供应站可以大约可运营8年左右。（Pudak, 1995）

然而在the CIS的一些煤矿在利用瓦斯资源，但是大部分煤矿没有这样做。如果想瓦斯回收利用得到普及，那么某些障碍是必须得到解决的。在论文的第三部分将对这些障碍和其有可能被用的解决方法进行讨论。

## 2.3 美国的情况

美国有五个主要产煤地区，那里开采硬煤并且有发展煤层气的潜力。五个主要产煤地区分别是：1) the Appalachian Basin, 坐落在Pennsylvania, Ohio, West Virginia, eastern Kentucky 和Tennessee之间；2) the Warrior Basin, 坐落在Alabama,; 3) the Illinois Basin, 位于Illinois, Indiana and western Kentucky之间；4) 西南部地区，包括Uinta, Piceance, Green

River 和坐落于Colorado, Utah 和新墨西哥之间的San Juan Basins; 5) 西部内陆地区, 包括Oklahoma的Arkoma Basin和Arkansas.

在这些地区, 仅1994年地下开采煤释放了大约 $4.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的瓦斯, 其中只有 $0.7 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的瓦斯被回收。（美国环保署非公开数据）。

目前, 在美国有6个州 ( Alabama, Colorado, Ohio, Pennsylvania, Virginia and West Virginia) 至少17个煤矿回收瓦斯, 他们主要通过出售回收的瓦斯给销售商取的利润。1995年, 包括开采前预先抽放的瓦斯, 回收瓦斯的总量达到了 $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。这些地区的矿井已经通过最大化瓦斯抽放系统的瓦斯抽放量大大降低了通风成本, 提高了矿井安全条件, 并且收集、出售了大量高质量瓦斯。下面简单描述一下在美国的煤矿瓦斯回收利用活动的情况。

### 2.3.1. Warrior盆地: Alabama

美国有17个煤矿有商业回收瓦斯系统, 其中的6个都在Alabama的Warrior Basin。现在, Warrior Basin地区, 能源公司从平硐、正在开采的矿井的采空区、正在开采和已经开采的立井中回收瓦斯。虽然被回收的瓦斯的一部分用于煤矿现场, 但大部分的瓦斯都卖给瓦斯销售商。1995年, Jim Walter Resources所经营的4个煤矿通过管道销售了 $380 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的瓦斯, 并且USX's Oak Grove煤矿回收了大约 $117 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的可用瓦斯。

### 2.3.2 Appalachian地区

Virginia and West Virginia的8个煤矿已经成功开发了瓦斯回收利用工程。Virginia的Consol煤矿最有见证的例子。在1995年, Consol的3个煤矿生产了大约 $688 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的可销售瓦斯。在这些煤矿的瓦斯回收率高达60%。

### 2.3.3 西南部地区

直到1994年瓦斯市场价格走低, Utah的Soldier Canyon煤矿每年都回收大约 $10.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的瓦斯用于销售。

### 2.3.4 小结

以上描述的矿井已经和高效率的、经济的回收瓦斯, 但为了安全地、高量地生产的目的, 分离瓦斯的努力依然很有诱惑。在美国, 许多瓦斯矿井被限制抽放瓦斯甚至不允许。

## 2.4 德国

1995年, 德国生产将近540万吨硬煤, 全部来自地下开采。（Schiffer, 1995）其中的430万吨由德国西北部的Ruhr Basin开采得到（Von Sperber et al., 1996）, 并且其余的大部分由德国西南部的Saar Basin开采得到。直到最近, 在德国硬煤开采得到大量补贴, 煤炭业的将来成为问题（Schiffer, 1995）。即使煤矿被关闭, 在相当一段时间里, 它

们依然会释放瓦斯。粗略估计，在德国每年由于地下采煤活动释放  $1.8 \times 10^9 \text{ m}^3$  的瓦斯。其中的  $520 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，即其中的 30% 是抽放出来的。（63 IEA, 1994）大约  $371 \times 10^6 \text{ m}^3$ （即抽放瓦斯的 71%）主要用于加热或发电。

政府部门提议：由于开采煤而涌出的瓦斯的45%都可以抽放并以各种形式利用。目前，提高瓦斯回收利用的主要障碍是混合气体中瓦斯浓度低。

德国安全规程规定：如果瓦斯浓度低于25%，那么禁止了利用。如果想进一步提高德国的瓦斯利用效率，那么有必要采取一些措施以高浓度瓦斯形式回收利用。

### 3. 降低瓦斯释放量的障碍

通过增加煤矿瓦斯利用来降低瓦斯释放的障碍重重。有技术因素，如煤的渗透性差，还有一些传统因素，像瓦斯价格低廉。许多年来，一些国家或地区面临特殊障碍，但大多的情况是许多国家面临着共同的困难。这一部分将探讨增加煤矿瓦斯利用方法及克服种种障碍的可行方法。

#### 3.1 技术困难

##### 3.1.1 煤的渗透性低

煤层的渗透性低给瓦斯的抽放和回收利用造成了很大的困难。瓦斯通过天然微孔及裂隙不断解吸、流动造成瓦斯到达工作面或大巷。很多年以前，增加由煤层而形成的瓦斯流，使其进入回收系统的模拟技术已经获得成功。在煤层早中应用改变其裂隙的技术也获得了巨大成功（IEA, 1994）。然而在矿上，目前的水力挤压模拟实验扩展裂隙的同时还使顶板的破坏最小化。在理想的情况下，在煤层开采前的10年多，它们中的60-70%的瓦斯就可以通过竖直钻孔进行预先抽放。在美国和一些工业化国家这些努力已经获得了成功。如果这些技术得以传播将有利于增加矿井瓦斯的回收利用。

##### 3.1.2 基础设施缺乏

许多矿区都因缺乏收集瓦斯、运输瓦斯的收集系统、管道系统。在一些情况下，如压缩、长距离运输瓦斯不很必要时，当地直接利用会是很经济的。

#### 3.2 经济和体制问题

不但存在以上描述的技术难题，还有很多阻碍矿井瓦斯回收利用推广的问题。这些问题包括信息不畅通、资料不全资金匮乏、天然气价格低、国内外共同投资的风险。下面将阐述一些问题。

##### 3.2.1 信息不畅、资料不全

在美国和一些国家，减缓瓦斯利用工程发展的一个原因是煤矿管理者没有关于矿井

瓦斯利用工程的充分资料。虽然相关瓦斯利用的资料、信息已经出版，但对许多的煤矿管理者来讲，瓦斯回收利用仍然是一个相对新的概念。煤矿管理者仅仅因为时间紧张、资料不足而没有调查研究他们自己的煤矿发展瓦斯利用项目的可取利润。

在美国，克服信息信息不畅、资料不全的困难的关键因素是发展极限伸距项目。伸距项目非常有效，他们取得利润的同时还降低了瓦斯涌出量、提高了矿井的安全性。

极限伸距项目的例子如已经启动的美国环境保护署的煤层气项目，在波兰、中国和俄罗斯的项目。这些机构出售信息、资料并且联系盈利部门，提供技能培训，有时还对特殊项目进行预可行性评估。

### 3.2.2 资金匮乏

即使煤矿瓦斯项目的预评估结果是很经济的、诱人的，但如果资金匮乏，那么项目可能难以实施。煤矿公司很少增加煤矿瓦斯回收利用工程方面的投资，因为可用资金大都投入到煤产品的买卖中。另外，一些借贷组织机构对相对较新的瓦斯回收利用概念不很了解，项目开发者也不能确保资金补进需要源源不断资金的项目。

### 3.2.3 瓦斯价格低廉

在一些国家认为控制天然气价格致使其价格低廉。即使在一部分国家天然气价格市场化了，但因为由于对天然气的需求不足其价格依然不高。在这种情况下，必须采取一些特殊措施刺激鼓励煤矿瓦斯回收利用工程的实施。例如，颁布法规规定：在自由竞争情况下，要求当地的经销公司收购煤矿回收的瓦斯。最近中国已经颁布了特惠政策以利于矿井瓦斯回收利用。政府还通过一向法规：凡年产 $2 \times 10^9$  m<sup>3</sup>瓦斯的天然气生产者免征矿山使用费用和占地税。

## 4 结论

如上所述，全球的煤矿放出大量瓦斯，其中被回收的大部分都是用作燃料。例如，在一些国内能源短缺并且瓦斯涌出量大的国家主要把瓦斯用于清洁燃料。在一些经济转型的国家例如中国、the former Soviet Union和东欧，煤矿瓦斯回收利用作为一个新型产业可以为下岗矿工和其他人员提供工作岗位，创造了经济效益。在一些发达国家例如美国、英国、澳大利亚，矿井瓦斯回收利用有利于增加煤矿企业的利润率。

瓦斯涌出量减少有全球性的重大影响，但是为了鼓励矿井瓦斯回收利用更加广泛，激励政策还很需要。一个国际性的激励项目将是刺激瓦斯回收利用发展的最有效方法。所有的国际性的激励措施中，瓦斯释放准许制度可能是最有效的方法。

因为种种的技术、经济、体制障碍，所以完全消除煤矿瓦斯涌出几乎是不可能的。不

过，矿井瓦斯回收利用达到25%是可能的，尤其如果国际性激励项目得以实施情况下。这将使每年矿井向大气中涌出的瓦斯量减少到 $7-10 \times 10^9 \text{m}^3$ ，大大降低温室气体的涌出量并且节约了可回收能源的浪费。