

# Study on Old Goaf Gas Drainage Technology of Production Coal Mine Based on Gas Utilization Aim

Yang Yang

National Engineering Technology Institute of Coal Mining, Huainan Anhui  
Email: [yyangcumt@163.com](mailto:yyangcumt@163.com)

Received: Aug. 10<sup>th</sup>, 2019; accepted: Aug. 30<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 6<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In order to solve the problems that the gas supply of low concentration gas power station in Gaohe coal mine is inadequate, technique solution that uses the conditions of underground roadway to extract old goaf gas is proposed. Based on the investigation and analysis of every old goaf in the coal mine, old goaf gas drainage program and safety precautions are developed. Combining with adjustment and control of gas drainage process with monitoring data, safe and effective old gas drainage is ensured.

## Keywords

Gas Utilization, Gas Heat Accumulation Oxidation, Old Goaf, Gas Drainage, Spontaneous Combustion

---

# 基于瓦斯利用目的的生产矿井老采空区瓦斯抽采技术研究

杨 洋

煤炭开采国家工程技术研究院, 安徽 淮南  
Email: [yyangcumt@163.com](mailto:yyangcumt@163.com)

收稿日期: 2019年8月10日; 录用日期: 2019年8月30日; 发布日期: 2019年9月6日

---

## 摘 要

为解决高河煤矿低浓瓦斯蓄热氧化发电站气源供应不足的问题, 提出了利用井下巷道条件抽采已封闭的

老采空区瓦斯的技术思路。在对井下各老采空区考察分析的基础上, 研究制定了老采空区瓦斯抽采方案和安全抽采保障措施, 并根据抽采监控数据对抽采过程进行调整控制, 保证了老采空区瓦斯的安全高效抽采。

## 关键词

瓦斯利用, 瓦斯蓄热氧化, 老采空区, 瓦斯抽采, 自然发火

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

煤层瓦斯是煤矿生产过程中的主要灾害源, 易导致井下工作人员窒息、瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出等事故。瓦斯中的主要成分  $\text{CH}_4$  还是强烈的温室气体, 同比产生的温室效应是  $\text{CO}_2$  的 20 倍。但同时,  $\text{CH}_4$  也是一种洁净能源和优质化工原料。因此, 瓦斯利用既可以充分利用地下资源, 又可以降低因其向大气逸散而产生的温室效应, 社会经济效益显著。根据《煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十三五”规划》, “十二五”末我国煤矿瓦斯的利用率仅为 35.3%, 利用部分主要为浓度 6%~30% 的低浓瓦斯和 30% 以上的高浓瓦斯。而大部分浓度在 6% 以下的超低浓瓦斯则未经利用排放到大气中, 主要包括矿井风排瓦斯和抽采的低浓度瓦斯。瓦斯蓄热氧化技术为超低浓瓦斯的利用提供了新的技术途径。该技术将超低浓度抽采瓦斯与空气或超低浓度抽采瓦斯与乏风掺混后进入蓄热氧化装置, 进气  $\text{CH}_4$  浓度仅为 0.25%~1.2%, 大大拓宽了矿井瓦斯利用范围[1]。

2015 年 5 月, 山西潞安矿业(集团)有限责任公司高河煤矿建成了总装机容量 30MW 的瓦斯蓄热氧化发电站, 安装有 12 台热氧化炉设备, 每分钟可消耗瓦斯纯量  $210 \text{ m}^3$ , 通过中央风井乏风与中央泵站抽采瓦斯掺混供给气源。但是, 由于井下采掘延伸, 中央风井及泵站服务区域瓦斯气源逐渐满足不了发电站的气源需求,  $\text{CH}_4$  实际可利用量仅为  $100 \text{ m}^3/\text{min}$  左右, 发电量不到总装机容量的一半, 导致电站处于亏损状态下运营。而且高河煤矿计划在鲍村风井新建一座瓦斯抽采泵站, 将东翼采区改由鲍村抽采泵站抽采(距中央泵站越 2.0 Km), 因此未来的气源紧张局面将进一步加剧。为充分利用生产矿井老采空区瓦斯, 增加地面瓦斯蓄热发电站瓦斯利用量, 提出了利用井下巷道条件布置抽采钻孔抽采已封闭的老采空区瓦斯的技术思路。

## 2. 井下老采空区考察

高河煤矿主要开采矿区内的 3 号煤层, 有 W1303、W1305、E1302 三处封闭采空区, 各采空区考察情况见表 1。

Table 1. Investigation situation of old goaf in Gaohe coal mine

表 1. 高河煤矿老采空区考察情况

老采空区名称	采空区面积( $\text{m}^2$ )	采空区内最大瓦斯浓度(%)	采空区内外最大气压差(Pa)
W1303	153,965	34.4	60
W1305	537,814	90.0	140
E1302	506,660	5	1650

W1303 采空区、W1305 采空区周边均为未采区域，在工作面停采后，周边煤体解吸瓦斯不断进入采空区，而且封闭性较好，因此采空区内瓦斯浓度较高。而 E1302 工作面开采后，其运输顺槽改为邻近面 E1303 的进风巷道，受其采动影响，煤岩体裂隙发育，加剧了密闭墙漏风，导致采空区瓦斯大量逸散，瓦斯浓度较低。根据高河矿井下各老采空区实际考察情况，选择瓦斯浓度高、瓦斯储量大的 W1305 采空区进行试验性抽采。

### 3. 老采空区瓦斯富集规律

在煤层开采过程中，随着工作面的推进，地层中原始应力场的平衡状态遭到破坏，使岩层和地表产生移动。覆岩的移动和破坏具有明显的分带性，根据整个上覆岩层直至地表的整体运动规律，覆岩移动可分为“横三区”和“竖三带”，即上覆岩层移动由下而上分为垮落带、裂隙带及整体弯曲下沉带，而沿工作面推进方向上覆岩层分别经历煤壁支撑影响区、离层区和重新压实区[2]。当工作面推进至一定距离后，位于采空区中部的离层裂隙基本被压实，而在采空区四周存在一连通的离层裂隙发育区，其形状与老顶岩板破断的“O-X”相似，称之为采动裂隙“O”形圈[3]，如图 1 所示。“O”形圈裂隙区内离层裂隙和竖向破断裂隙发育，煤岩体透气性较好。

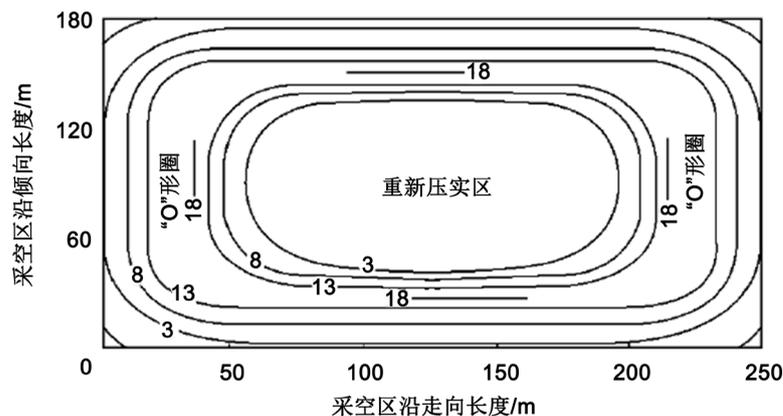


Figure 1. “O” shape circle of mining-induced fissure distribution

图 1. 采动裂隙分布“O”形圈

$\text{CH}_4$  标准状态时的密度为  $0.716 \text{ kg/m}^3$ ，比空气轻，与空气相比的相对密度为 0.554，而且其分子直径较小，可以在微小的煤体孔隙和裂隙中流动，扩散速度是空气的 1.34 倍[4]。从空区遗煤、煤柱及邻近煤岩层释放的瓦斯在浓度差和密度差的作用下不断扩散、升浮，直到上方受阻或与周围环境气体的密度差为零时在采动裂隙带上部积聚[5]。实践表明，采动裂隙“O”形圈的存在，为采空区瓦斯流动和贮存提供了通道和空间，“O”形圈相当于一条“瓦斯河”，周围煤岩体中的瓦斯解吸后通过渗流不断地汇集到这条“瓦斯河”中[3]。

### 4. 老采空区瓦斯抽采方案及安全保障措施

现有的老采空区瓦斯抽采一般有两种方式：一是以瓦斯利用为目的，通过地面钻井抽采废弃或关停矿井的老采空区瓦斯[6] [7] [8]；二是以煤矿瓦斯治理为主要目的，通过地面钻井抽采生产矿井采空区瓦斯[9] [10]。而以瓦斯利用为主要目的，利用生产矿井的井下巷道条件抽采老采空区瓦斯技术则鲜有相关经验可供借鉴。因此，需根据老采空区内的瓦斯储存情况和井下实际条件制定针对性的瓦斯抽采方案，设计技术流程如图 2 所示。

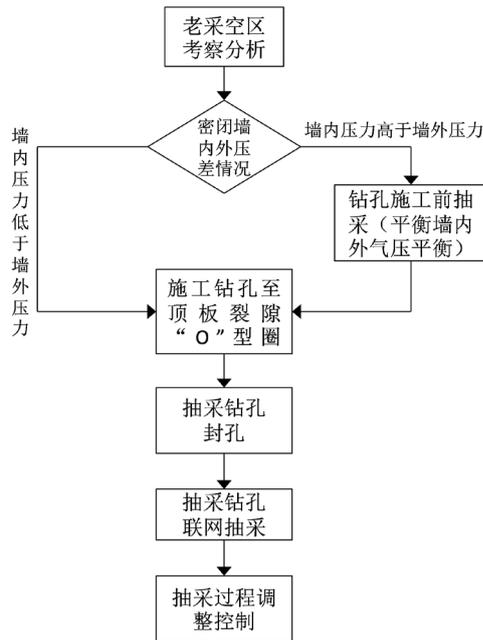


Figure 2. Technique process of old goaf gas drainage  
图 2. 老采空区瓦斯抽采技术流程图

### 4.1. W1305 老采空区概况

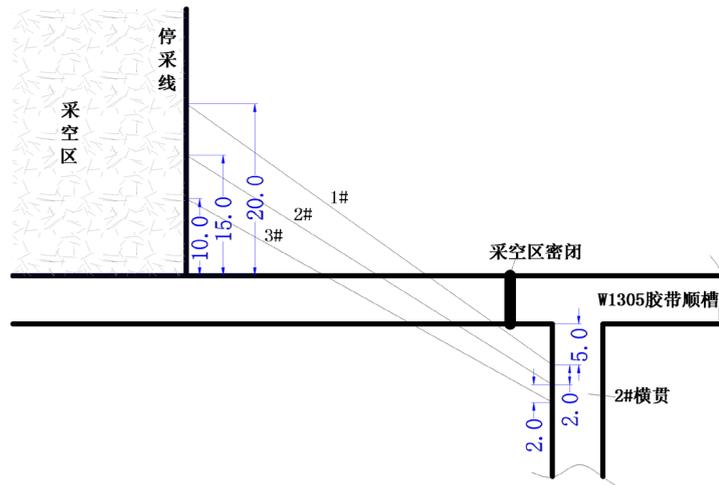
高河矿 W1305 工作面开采 3 号煤层，巷道底板标高在 398.1~469.2 m，切眼长度 275 m，工作面周边为未采区域。3 号煤层煤厚 6.35 m，倾角为 3°~15°，平均 8°。W1305 工作面停采后，共施工了 4 道密闭墙对工作面进行封闭，各密闭墙内瓦斯浓度和墙内外压差情况见表 2。

Table 2. Gas concentration in sealing wall and differential pressure in and out sealing wall  
表 2. 密闭墙内瓦斯浓度和墙内外压差情况

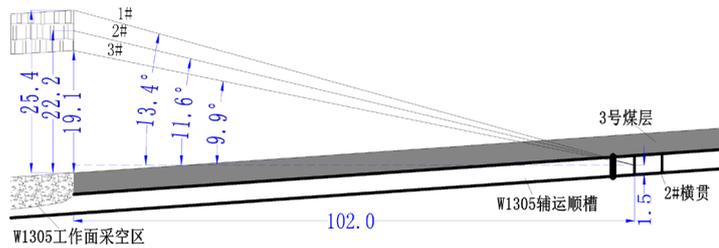
密闭墙位置	墙内瓦斯浓度(%)	墙内绝对气压(Pa)	墙外绝对气压(Pa)	密闭墙内外压差(Pa)
回风顺槽	68	95,070	95,090	20
外 U 回风顺槽	90	95,070	95,080	10
辅运顺槽	61.80	94,820	94,950	130
胶带顺槽	60.50	94,840	94,980	140

### 4.2. 抽采钻孔布置

根据老采空区瓦斯赋富集规律，从空区遗煤、煤柱及邻近煤岩层释放的瓦斯积聚在采动裂隙“O”形圈内，钻孔与其沟透后，能够抽采出高浓度、大流量的瓦斯。同时根据井下巷道条件和采空区两侧的气压差，设计开孔位置位于 W1305 胶带顺槽和 W1305 辅运顺槽之间的 2#横贯内，布置三个 Φ133 mm 钻孔，终孔点位于采空区顶板裂隙“O”形圈，分别内错采空区 10 m、15 m、20 m，终孔高度分别为 3 倍、3.5 倍、4 倍采高，具体设计参数见图 3 和图 4。



**Figure 3.** Plan sketch of gas drainage borehole of W1305 old goaf  
**图 3.** W1305 老采空区抽采孔平面示意图



**Figure 4.** Side view of gas drainage borehole of W1305 old goaf  
**图 4.** W1305 老采空区抽采孔侧视图

钻孔参数见表 3。

**Table 3.** Data of gas drainage borehole of W1305 old goaf  
**表 3.** W1305 老采空区抽采钻孔参数

孔号(#)	方位角(°)	倾角(°)	预计孔深(m)	备注
1	285.9	13.4	109.0	
2	284.4	11.6	107.4	实际钻进至钻孔不返水为止
3	282.8	9.9	106.2	

### 4.3. 抽采参数及管路布置

W1305 老采空区瓦斯抽采拟采用低负压抽采，设计管路平均流速取 10 m/s，抽采纯量 9 m<sup>3</sup>/min，抽采浓度 30%，选择管径 355 mm。

W1305 老采空区抽采瓦斯作为地面乏风氧化发电机组补充气源，增敷管路就近并入采区回风大巷 Φ 500 mm 低负压管路，由 W1305 辅运顺槽抽采管路抽采至中央回风立井地面泵站。

抽采路线：地面泵站→地面 Φ630 mm 低负压抽采管路→回风立井 Φ630 mm 管路→+450 水平西翼总回风大巷 1Φ500 mm 管路→北翼东回风大巷 Φ500mm 管路→南翼东回风大巷 Φ500 mm 管路→南翼西回风大巷 Φ500 mm 管路→W1305 胶带顺槽 Φ355 mm 管路。

## 4.4. 安全保障措施

### 4.4.1. 钻孔施工前平衡闭墙内外压力

W1305 老采空区内瓦斯浓度和气压情况现场考察结果表明, 采空区内瓦斯浓度在 60.5%~90%之间, 各闭墙内的气压均高于墙外巷道空间气压, 其中辅运顺槽和胶带顺槽闭墙内外压差分别达到 130 Pa、140 Pa。

因此, 在钻孔施工前, 需采取措施调整闭墙内外压力差, 通过闭墙上埋设的观测孔抽采采空区内部瓦斯, 使采空区内气压等于或略小于外部气压, 确保钻孔施工到顶板裂隙“O”形圈后采空区内的高浓瓦斯不会突然涌出。

### 4.4.2. 防灭火措施

建立防灭火备用系统, 如地面注氮系统, 灌浆系统, 或者井下移动注氮系统; 在 W1305 老采空区抽采支管与采区抽采干管连接处前端装设喷粉易爆装置; 加强监测监控, 在各回风密闭墙外的回风流中安设 CO 传感器, 在采空区瓦斯抽采管路上安设 CO 传感器, 并定期取样检测抽采气样中自然发火指标气体情况; 对采空区密闭墙外进行喷浆堵漏, 减少采空区漏风; 加强日常巡检, 检查密闭墙外的空气温度、瓦斯浓度, 密闭墙内外气压差以及密闭墙外观质量。

## 5. 抽采过程控制及效果考察

### 5.1. 抽采过程控制

整个抽采考察期从 2016 年 6 月 14 日至 2017 年 6 月 30 日。抽采过程中对各个钻孔以及抽采干管路的抽采浓度、负压、混合量、纯量分别进行了监控计量, 并根据抽采浓度、自然发火指标监测结果、闭墙内外压差等情况, 对抽采过程进行了控制调整, 按抽采时间顺序总结如下。

#### 1) 2016 年 6 月 14 日~2016 年 6 月 15 日

该阶段抽采是为了平衡闭墙内外气压差, 防止瓦斯的异常涌出。在钻孔施工前, 通过闭墙上埋设的观测孔对采空区进行了气压平衡抽采, 抽采负压 5 KPa 左右, 抽采浓度在 59.2%~64.2%, 闭墙内外压差由 120 Pa 降为 0。

#### 2) 2016 年 6 月 15 日~2016 年 7 月 1 日

2016 年 6 月 15 日早班 3#钻孔首先施工完成, 停止了观测孔的气压平衡抽采, 开始接抽 3#孔, 抽采浓度高达 81.1%; 6 月 19 日 2#钻孔施工完成, 同时接抽 2#、3#钻孔, 抽采浓度均为 66%左右; 7 月 1 日 1#钻孔施工完成, 同时对三个钻孔进行抽采。但是 1#孔接抽后, 抽采气体分析报表显示 CO 浓度达到 25 ppm, 从 7 月 2 日~7 月 10 日暂停了抽采。

钻孔瓦斯抽采浓度随抽采时间变化曲线如图 5 所示。从图中可以看出, 3#钻孔的浓度衰减较快, 从 6 月 15 日的 81.1%降低到 7 月 1 日的 29.2%。2#钻孔的抽采浓度相比 3#钻孔衰减较慢, 从 6 月 19 日的 66.6%降低到 7 月 1 日的 51.4%。从抽采纯量看, 单独抽采 3#孔的情况下抽采纯量在 5.46~5.85 m<sup>3</sup>/min, 2#、3#孔同时接抽后, 抽采纯量明显增加, 最大达到 8.05 m<sup>3</sup>/min, 但是随着抽采浓度的降低, 纯量也逐渐降到 3.11 m<sup>3</sup>/min。

根据抽采浓度数据变化及采空区自然发火指标气体监测情况, 制定了以下抽采控制调整措施: ① 优先抽采 1#、2#孔, 控制 3#孔抽采: 根据 W1305 采空区瓦斯抽采钻孔竣工图, 1#、2#、3#钻孔的终孔位置分别距煤层顶板 24.7 m、23.8 m 和 19.5 m, 因此首先对终孔位置较高的 1#孔进行抽采, 在抽采纯量低于设计的 9 m<sup>3</sup>/min 的情况下, 再打开 2#孔, 同时对 1#孔和 2#孔进行抽采; ② 密切观测抽采管路内的 CO 浓度, 在 CO 浓度高于 24 ppm 的情况下, 暂停抽采; ③ 对密闭墙进行刷浆堵漏: 用生石灰与水体积

比为 1:1.5 的石灰水对 W1305 辅运顺槽、胶带顺槽、外 U 回风顺槽和回风顺槽密闭墙及其周边巷帮进行刷浆堵漏，通过多次的刷浆处理封堵密闭墙的漏风通道，减少闭墙漏风。

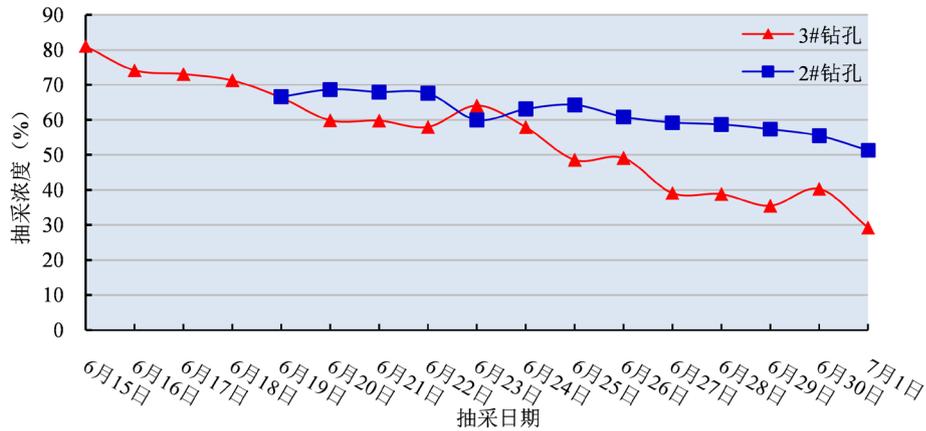


Figure 5. Change situation of borehole gas drainage concentration  
图 5. 钻孔瓦斯抽采浓度变化情况

3) 2016 年 7 月 11 日~7 月 22 日

根据上述抽采调整措施，7 月 11 日开始首先对 1#孔进行抽采，抽采浓度最高 54.8%，纯量 12.07 m<sup>3</sup>/min。随着抽采时间延长，浓度开始降低，至 7 月 15 日抽采纯量降至 6.77 m<sup>3</sup>/min，后打开 2#孔，同时接抽 1#、2#孔，抽采纯量基本能够维持在 9 m<sup>3</sup>/min 左右。但是随着抽采时间的延长，闭墙内外压差逐渐增加，且在抽采负压逐步降低后仍有增大趋势，在 7 月 22 日达到 3690 Pa，如图 6 所示。

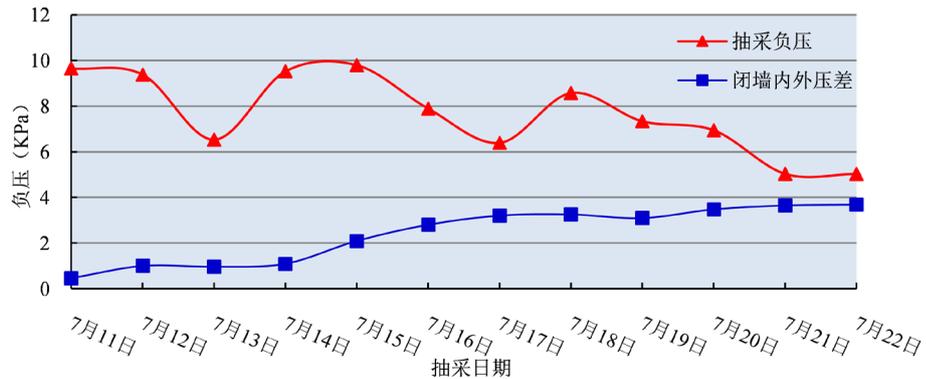


Figure 6. Change situation of gas drainage negative pressure and differential pressure in and out sealing wall  
图 6. 抽采负压和闭墙内外压差变化情况

由于闭墙在设计和施工时未考虑采空区瓦斯抽采的，压差过大势必对其整体安全稳定性有影响，因此从安全角度考虑，7 月 22 日后再次暂停了抽采，并制定了以下补充应对措施：① 密切观测闭墙内外压差，压差高于 4 KPa 时暂停抽采；② 适当降低抽采负压，并根据闭墙内外压差变化趋势适时调整；③ 可通过闭墙上埋设的观测孔向采空区内注入氮气，作用有三：一是达到平衡强内外压差的作用，二是可以通过氮气驱替采空区遗煤中的甲烷来增加瓦斯抽采量，三是可以起到抑制采空区自然发火的作用。

4) 2016 年 8 月 10 日~2017 年 6 月 30 日

2016 年 8 月 10 日重新接抽 1#、2#孔。在此期间，主要从防止采空区自然发火和降低压差对闭墙安全稳定性影响的角度出发，采用间歇性抽采的方法进行老采空区瓦斯抽，即当监测的自然发火指标气体

浓度或闭墙内外压差超过限定值时暂停抽采，各监测值降到安全值以下后重新抽采。间歇性抽采一方面可以保证老采空区瓦斯抽采在安全稳定的状态下进行，另一方面给瓦斯解吸和运移提供了时间，有利于提高瓦斯抽采浓度。2017年2月21日后，通过降低抽采负压的方法，保证了在低负压(2 KPa左右)状态下的连续抽采。在此期间，1#孔抽采浓度大多在 20%~40%，2#孔抽采浓度大多在 30%~40%，抽采纯量 2~7 m<sup>3</sup>/min。

### 5.2. 瓦斯抽采效果

抽采考察期间瓦斯浓度呈逐渐降低的趋势。抽采初期浓度最高达到 70.2%，期间受间歇性抽采影响瓦斯浓度波动较大，每次暂停抽采一段时间后重新抽采的浓度有比较明显的增大，后期逐渐降至 20%~35%之间。抽采纯量与抽采浓度直接相关，最大达到 12.07 m<sup>3</sup>/min，抽采后期在 2 m<sup>3</sup>/min 左右。

整个抽采考察期间抽采浓度和抽采纯量随抽采时间的变化情况如图 7 所示。

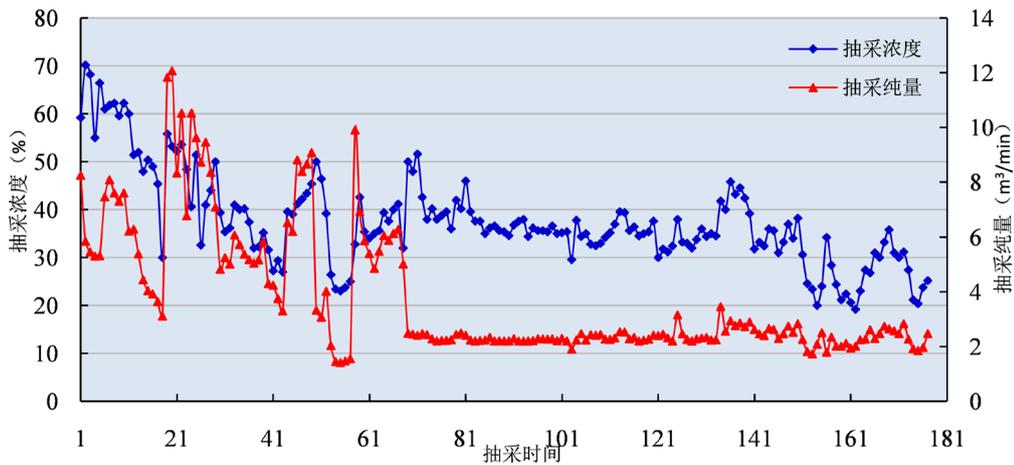


Figure 7. Change situation of gas drainage concentration and quantity with drainage time  
图 7. 抽采浓度和抽采纯量随抽采时间变化情况

经统计，W1305 老采空区瓦斯抽采总混合量为 2,382,028.016 m<sup>3</sup>，标况纯量 914,628.2 m<sup>3</sup>。根据项目前期开展的高河矿老采空区瓦斯抽采可利用性考察情况，预计 W1305 老采空区瓦斯储量分别为 1,163,879 m<sup>3</sup>，计算得到 W1305 老采空区瓦斯抽采率达到 78.6%。

### 6. 效益分析

老采空区瓦斯抽采到地面泵站，与矿井乏风掺混后进入氧化炉。矿井乏风瓦斯浓度约为 0.3%，掺混后进入氧化炉的浓度为 1.01%，可得到如下两式：

$$2382028.016 + Q_{\text{乏}} / 0.3\% = Q_{\text{总}} / 1.01\% \tag{1}$$

$$914628.2 + Q_{\text{乏}} = Q_{\text{总}} \tag{2}$$

式中：Q<sub>乏</sub>——乏风瓦斯纯量，m<sup>3</sup>；

Q<sub>总</sub>——进入氧化炉总的瓦斯纯量，m<sup>3</sup>。

式(1)、式(2)联立计算可得消耗乏风瓦斯纯量 376,281.17 m<sup>3</sup>，进入乏风氧化炉的瓦斯纯量约 1,290,909.37 m<sup>3</sup>。矿井乏风氧化发电机组的瓦斯发电效率 2.4 KWh/m<sup>3</sup>，因此 W1305 老采空区瓦斯抽采共增发电量 3,098,182.48 KWh。

老采空区瓦斯抽采利用即可以充分利用地下资源，又可以改善煤矿井下安全生产条件，同时对减少

温室气体排放、保护环境等均具有重要意义, 相关经验能够为类似条件下的老采空区瓦斯抽采和瓦斯利用工程气源补充提供技术参考, 社会经济效益显著。

## 7. 结束语

1) 生产矿井实施老采空区瓦斯抽采, 应在采场规划设计的同时考虑老采空区瓦斯抽采规划, 采空区周边为未采区域时易于瓦斯封存, 同时周边煤体瓦斯向采空区流动, 有利于瓦斯抽采。

2) 将老采空区瓦斯抽采钻孔的终孔点布置在采动裂隙“O”形圈内易于抽到高浓度、大流量的瓦斯, 为提高抽采效果, 应研究考察采动裂隙“O”形圈的发育高度, 尽量把抽采钻孔终孔点设置在“O”形圈上部。

3) 应根据瓦斯抽采浓度、纯量、负压以及自然发火指标气体监测情况加强对老采空区瓦斯抽采过程的控制调整, 确保安全高效抽采。

## 参考文献

- [1] 冯兵. 60000 Nm<sup>3</sup>/h 煤矿瓦斯蓄热氧化装置设计开发[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017: 2-3.
- [2] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 179-180.
- [3] 袁亮. 煤与瓦斯共采[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2016: 50-54.
- [4] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007: 182.
- [5] 秦伟. 地面钻井抽采老采空区瓦斯的理论与应用研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2013: 20-22.
- [6] 郭庆勇, 张瑞新. 废弃矿井瓦斯抽放与利用现状及发展趋势[J]. 矿业安全与环保, 2003, 30(6): 23-26.
- [7] 焦民杰. 废弃矿井煤层气抽采利用技术政策研究——以晋煤集团为例[J]. 能源与节能, 2018(6): 22-23.
- [8] 祁铭. 废弃矿井瓦斯钻孔抽采利用技术中存在的问题分析[J]. 产业创新研究, 2018, 14(12): 121-122.
- [9] 曹文梁, 年军, 王会斌. 采空区地面钻孔瓦斯抽采技术分析[J]. 煤炭技术, 2015, 34(4): 169-171.
- [10] 胡千庭, 梁运培, 林府进. 采空区瓦斯地面钻孔抽采技术试验研究[J]. 中国煤层气, 2006, 3(2): 3-6.