



移动扫码阅读

郝元伟,杨洋,涂辉,等.煤矿封闭采空区瓦斯发电气源储量预测方法研究[J].煤炭科学技术,2019,47(6):151-157.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.06.023
 HAO Yuanwei, YANG Yang, TU Hui, et al. Research on prediction method of gas source reserve for gas power generation in closed goaf of coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(6): 151-157. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.06.023

煤矿封闭采空区瓦斯发电气源储量预测方法研究

郝元伟,杨洋,涂辉,柳炳俊

(煤矿瓦斯治理国家工程研究中心,安徽 淮南 232001)

摘要:为解决山西省重点工程高河煤矿乏风氧化发电项目瓦斯气源不足问题,提出了通过抽采已封闭采空区瓦斯,用以补充气源的方案,探讨了各类采空区瓦斯储量的计算方法及可利用性的评估方法。研究结果表明:高河煤矿W1303和W1305采空区瓦斯储量分别为508 508 m³和1 163 879 m³,抽采可持续性较强,而E1302采空区瓦斯储量仅为105 147 m³,储量少,抽采时间短,可持续性较差,此采空区压斯预计抽采时间能够达到一年,但半年后有新的采空区可以接替,从而实现采空区抽采的持续性。此方法对瓦斯发电工程前期投资中瓦斯可利用性评估具有重要指导意义。

关键词:瓦斯利用;采空区;氧化发电;瓦斯抽采

中图分类号:TD712 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2019)06-0151-07

Research on prediction method of gas source reserve for gas power generation in closed goaf of coal mine

HAO Yuanwei, YANG Yang, TU Hui, LIU Bingjun

(State Engineering Research Center of Mine Gas Control, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to solve the gas source shortage problem of a mine ventilation gas oxidized power generation project in Gaohe Mine of Shanxi Provincial Key Project, a plan to drain the mine gas from the closed goaf to replenish the gas resources was provided and a discussion was conducted on the calculation method and the availability evaluation method of the mine gas reserves in different goaf. The study results showed that the mine gas reserves in Goaf W1303 and W1305 of Gaohe Mine was 508 508 m³ and 1 163 879 m³ individually. The sustainability of the gas drainage was high. But the mine gas reserves in Goaf E1302 was 105 147 m³, the gas reserves was low, the gas drainage time was short and the sustainability was poor. The expected gas drainage time could be a year. After a half year of the gas drainage, there would be a new goaf to be replaced. Therefore, the sustainability of the gas drainage from the goaf could be realized. The method would have important guide significances to the evaluation of the mine gas availability in the initial investment of the gas power generation.

Key words: gas application; goaf; oxidation power generation; gas drainage

0 引言

煤矿瓦斯的主要成分是甲烷,严重威胁煤矿安全生产,但同时又是优质的清洁能源。做好煤矿瓦斯的抽采与利用工作,可以变害为利、变废为宝,意义重大^[1-2]。我国在瓦斯利用方面主要涉及民用燃料、化工原料和瓦斯发电。目前,通过井下瓦斯抽采系统所抽采的瓦斯约占煤矿瓦斯总量的15%,压斯体积分数在3%~80%,较适合瓦斯发电^[3]。我国相

关企业在国家发改委下发的《关于利用煤层气(煤矿瓦斯)发电工作实施意见的通知》指导下,大规模进入瓦斯发电领域。由于前期设备资源投入巨大,气源不足问题成为制约企业投资和发展的关键。山西潞安集团高河煤矿乏风氧化发电项目是山西省重点工程,由于矿井采掘接替延伸,中央风井及泵站服务区域瓦斯气源渐显不能满足利用项目需求。该发电系统装机容量30 MW,实际发电量仅为12 000 kW,为了提高瓦斯发电系统运行效率,煤矿瓦斯治

收稿日期:2018-12-26;责任编辑:王晓珍

作者简介:郝元伟(1984—),男,江苏徐州人,工程师,硕士。E-mail:869289917@qq.com

理国家工程研究中心联合高河煤矿对瓦斯可利用气源保障进行科研攻关,对高河煤矿各类采空区瓦斯储量及可利用性进行研究,为下一步采空区瓦斯抽采技术方案选择奠定了基础。

高河煤矿开采形成的采空区储存了大量瓦斯,在矿井通风负压和大气压变化的影响下,会通过密闭墙或煤柱裂隙进入采区或矿井巷道中,从而增加矿井通风负担^[4-6]。已封闭采空区内存储的瓦斯量在很大程度上取决于密闭墙的气密性质量。已封闭采空区抽采瓦斯体积分数一般在初期较大,以后逐渐降低到20%~25%^[7-8],甚至更小,抽采量则和采空区内瓦斯存储量、采空区范围以及封闭采空区的时间长短有关。对封闭采空区瓦斯进行抽采并加以合理开发利用,对矿井开采、瓦斯治理、环境保护具有积极的意义^[9]。

1 封闭采空区概况

高河煤矿现有封闭采空区W1303、W1305、E1302三处。W1303工作面地面位于小庄村西侧,西南为长临公路,南北均为农用耕地。该工作面所在地面标高为+926—+932 m,工作面底板标高为+383—+478 m。工作面运输巷长1 470 m,回风巷长1 354 m,工作面开切眼长205 m,实际回采走向长度539 m。走向长壁后退低位放顶垮落式顶板管理机械化采煤。工作面采高为3.2 m,平均煤厚6.5 m,煤体视相对密度1.4 t/m³,循环进度0.8 m。从2010年1月开始回采,至2012年8月回采结束后封闭。

W1305工作面为西一盘区工作面,周边均为未采区域,巷道底板最高点标高+469.2 m,最低点标高+398.1 m。工作面开切眼长度275 m,工作面设计可采长度1 687 m,工作面煤层计算厚度6.35 m,煤体视相对密度1.4 t/m³,采出率93.1%,无自然发火现象,属不易自燃煤层。走向长壁后退低位放顶机械化采煤,垮落式顶板管理。从2011年12月开始回采,至2014年1月回采结束后封闭。

E1302工作面于2011年开始回采,中间受断层影响重新开掘第2开切眼,于2013年回采结束封闭。E1302辅运巷在E1302工作面回采结束后,兼做邻近工作面E1303的进风巷。其工作面开切眼长度为235 m,工作面走向长度为2 156 m。

2 实测方案及数据

2.1 掘进工作面实测

目前为单一煤层开采,相邻层层间距较大,因此不考虑邻近层对掘进工作面瓦斯涌出量的影响,掘

进瓦斯涌出包括3个部分,即巷帮瓦斯涌出、掘进工作面煤壁瓦斯涌出和落煤瓦斯涌出,计算公式为

$$q_j = q_m + q_h + q_l \quad (1)$$

其中: q_j 为掘进工作面的瓦斯涌出量; q_m 为煤壁的瓦斯涌出量; q_h 为巷帮的瓦斯涌出量; q_l 为落煤的瓦斯涌出量。测点布置如图1所示。



图1 W1313回风巷测点布置示意

Fig.1 Sketch map of point layout in No.W1313 return airway

2.2 采煤工作面实测

采煤工作面选择邻近的W1309工作面进行考察,测点布置如图2所示,实测数据见表1。W1309工作面瓦斯涌出来源包括4个部分,即巷帮瓦斯涌出、工作面煤壁瓦斯涌出、落煤瓦斯涌出和采空区瓦斯涌出,计算公式^[10-17]为

$$q_c = q_h + q_m + q_l + q_k \quad (2)$$

式中: q_c 为采煤工作面的瓦斯涌出量; q_k 为采空区瓦斯涌出量。

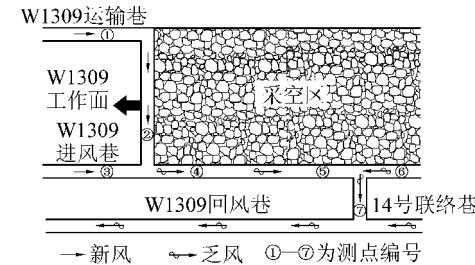


图2 W1309工作面测点布置示意

Fig.2 Sketch map of point layout in No.W1309 working face

表1 W1309工作面瓦斯涌出量实测数据

Table 1 Measured data of gas source gushing in No.W1309 working face

测点 编号	瓦斯体积分数/%		风速/ (m·s ⁻¹)	巷道断 面积/m ²	风量/ (m ³ ·min ⁻¹)
	停采	回采			
①	0.04	—	2.68	12.00	1 930
②	0.55	—	—	—	—
③	0.05	—	0.53	17.30	550
④	0.30	0.54	2.24	14.73	1 980
⑤	0.34	0.46	3.05	10.70	1 960
⑥	0.18	—	2.02	8.07	980
⑦	0.32	0.38	3.19	15.99	3 060

注:截至2015年8月17日,W1313工作面已回采1 432 m,单刀进尺0.8 m。

2.3 采空区实测

依据高河煤矿开采布局,针对采空区特点,对各

采空区进行考察。通过现场实测各采空区封闭墙内的瓦斯体积分数、墙内外压差等,分析预测采空区内压实情况、瓦斯分布、漏风等情况。根据工作面通风系统特点和密闭墙设置情况,每个采空区设置4个测点,均位于闭墙外口。测点布置如图3所示,实测数据见表2。

截至2015年8月17日,W1313回风巷道已累计掘进进尺270 m,综掘机掘进速度约0.9 m/h。该巷道断面积为18.15 m²,风速为0.9 m/s,风量为980 m³,测点①处停止掘进期间瓦斯体积分数为0.16%,掘进落煤期间瓦斯体积分数为0.22%。测点②处停

止掘进期间瓦斯体积分数为0.24%,掘进落煤期间瓦斯体积分数为0.26%。

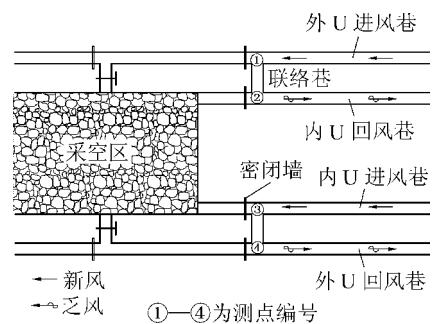


图3 采空区考察测点布置示意

Fig.3 Sketch map of point layout in goaf

表2 采空区测点实测数据

Table 2 Measured data of point in goaf

测点位置	风速/(m·s ⁻¹)	风量/(m ³ ·min ⁻¹)	密闭墙内外压/Pa	密闭墙内瓦斯体积分数/%	密闭墙外瓦斯体积分数/%	绝对压力/Pa	温度/℃	湿度/%
W1303 工作面	外U进风巷	1.820	1 960	60(外高内低)	31.90	0.07	95 420	26.50
	内U回风巷	—	—	50(外高内低)	34.40	0.08	95 410	26.00
	内U进风巷	0.575	560	20(外高内低)	25.00	0.08	95 540	25.30
	外U回风巷	—	—	无压差	31.00	0.01	95 570	25.62
W1305 工作面	内U进风巷	0.520	477	20(外低内高)	68.00	0.10	95 070	25.60
	外U回风巷	—	—	10(外低内高)	90.00	0.16	95 070	25.18
	外U进风巷	0.480	570	130(外低内高)	61.80	0.45	94 820	25.90
	内U回风巷	—	—	140(外低内高)	60.50	0.51	94 840	24.75
E1302 工作面	回风巷	0.610	600	50(外低内高)	5.00	0.10	93 210	25.25
运输巷	—	—	1 650(外高内低)	0.38	0.12	95 020	24.12	65

3 采空区瓦斯可采性定性分析

3.1 采空区瓦斯体积分数分析

W1303及W1305工作面因其采空区周边均为未采区域,在两工作面开采后,其周边煤体源源不断地向其采空区补充瓦斯,因此采空区封闭墙内瓦斯浓度较高,瓦斯储量较大。另外,采空区内瓦斯浓度的测量点布置在密闭墙内侧,根据采空区“O”型圈理论,可以推断W1303及W1305采空区上部环形裂隙圈内瓦斯体积分数会更高。而E1302工作面开采后,其运输巷改为邻近面E1303的进风巷道,受其采动影响,煤岩体裂隙发育,密闭墙漏风加剧,导致采空区瓦斯大量逸散,因此胶带封闭墙内的瓦斯体积分数仅为0.38%,瓦斯浓度较低,瓦斯储量较小。

3.2 采空区内裂隙通道情况分析

根据采空区考察数据(表3),通过间接计算可得出各封闭墙内绝对气压 P_n ^[18-19]。计算结果见表4。

$$P_n = P_w + P_y \quad (3)$$

式中: P_n 为封闭墙内绝对气压,Pa; P_y 为封闭墙内外压差,Pa。

在采空区范围内,取2条外U巷道的墙内气压之差 h ,此压差可以看成巷道大气压力之差及采空区漏风阻力之和。通过间接计算可以得出采空区漏风阻力,若采空区漏风阻力数值较大,说明采空区连通性较差,采空区裂隙已闭合,抽采难度较大,抽采纯量衰减较快,抽采价值低。若采空区漏风阻力较小,则说明采空区裂隙发育,连通性较好,有利于抽采。

$$h_c = h - \Delta h_d \quad (4)$$

式中: h_c 为采空区漏风阻力,Pa; Δh_d 为外U巷道大气压力之差,Pa。

根据气态方程及道尔顿的分压定律,即可推导出湿空气密度计算式为:

$$\rho_w = 3.48P(1 - 0.378\psi P_b/P)/T \quad (5)$$

式中: ψ 为空气相对湿度,%; P_b 为饱和水蒸气压力,Pa; P 为空气的压力,Pa; T 为热力学温度,K。

表3 密闭墙内外气压测量

Table 3 Measurement of pressure inside and outside the closed wall

测点位置	密闭墙内外压差/Pa	墙外绝对气压/Pa	墙内绝对气压/Pa	标高/m
W1303 工作面	外U进风巷 60(外高内低)	95 420	95 360	+437
	内U回风巷 50(外高内低)	95 410	95 360	—
	内U进风巷 20(外高内低)	95 540	95 520	—
	外U回风巷 无压差	95 570	95 570	+434
W1305 工作面	内U进风巷 20(外低内高)	95 070	95 090	—
	外U回风巷 10(外低内高)	95 070	95 080	+446
	外U进风巷 130(外低内高)	94 820	94 950	+450
	内U回风巷 140(外低内高)	94 840	94 980	—
E1302 工作面	回风巷 50(外低内高)	93 210	93 260	+496
	运输巷 1650(外高内低)	95 020	96 670	+485

根据表4计算数据,得出W1303采空区漏风阻力为216.8 Pa,W1305采空区漏风阻力为123.3 Pa,E1302采空区漏风阻力为3 403 Pa。E1302采空区漏风阻力为W1303及W1305采空区漏风阻力的16倍和28倍,说明其采空区漏风阻力较大,采空区连通性较差,采空区裂隙已闭合,抽采难度较大,预计抽采纯量衰减较快。W1303采空区开切眼与终采线位置落差达到30 m,采空区大量积水,按平均煤厚6.5 m计算,其环形裂隙圈位置在距煤层顶板19.5~32.5 m,如图4、图5所示。水位不可能淹没整个环形裂隙圈。气源的通道畅通,只是存储的空间变小。根据实测,W1303采空区漏风阻力较小,采空区煤连通性较好,适于抽采。

表4 采空区漏风阻力计算数据

Table 4 Calculation data for air leakage resistance in goaf

测点位置	墙内绝对压力/Pa	标高/m	大气压力/Pa
W1303 工作面	外U进风巷 95 360	+437	4 706.577
	外U回风巷 95 570	+434	4 699.786
W1305 工作面	外U回风巷 95 080	+446	4 812.251
	外U进风巷 94 950	+450	4 828.950
E1302 工作面	回风巷 93 260	+496	5 239.942
	运输巷 96 670	+485	5 247.312

W1305采空区在19号联络巷处变坡,19号联络巷与开切眼位置落差70 m,与终采线位置落差30 m。受变坡和积水影响,开切眼至19号联络巷积水区域会淹没部分环形裂隙区,但大部分环形裂隙区还是位于积水面上,尤其19号联络巷至终采线位置上覆环形裂隙区不受积水影响,气源通道畅通,适于抽采。

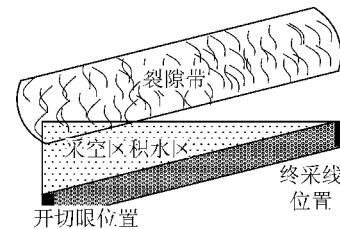


图4 W1303采空区积水示意

Fig.4 Schematic diagram of water accumulation in No.W1303 goaf

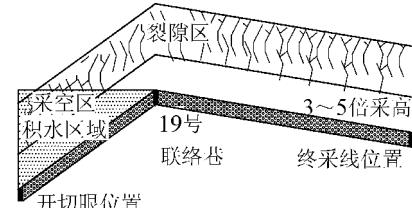


图5 W1305采空区变坡示意

Fig.5 Slope diagram of in No.W1305 goaf

综上所述,结合采空区瓦斯体积分数及裂隙发育情况判断,W1303采空区可抽采,抽采可持续较强。W1305采空区抽采持续性最强,而E1302抽采效果不佳。

4 采空区瓦斯储量分析

采空区瓦斯储量可看作是瓦斯风排和抽采后的剩余瓦斯量,可表示为:

$$Q_p = Q_i - Q_j - Q_k - Q_f - Q_e \quad (6)$$

式中: Q_p 为采空区瓦斯储量, m^3 ; Q_i 为采空区赋存范围内的原始煤岩瓦斯储量, m^3 ; Q_k 为工作面回采期间的抽采及风排瓦斯量, m^3 ; Q_j 为掘进期间抽采及风排瓦斯量, m^3 ; Q_f 为采空区封闭后通过密闭墙逸散的瓦斯量, m^3 ; Q_e 为残余瓦斯量。

煤流运输是逆着矿井风流方向,运输过程中煤体解吸的大部分瓦斯随着进风流进入掘进及回采工

作面的风流中,剩余的极少部分瓦斯在煤仓或地面解吸,但和采空区的存储量相比,可忽略不计,因此运煤过程中煤体解吸瓦斯应基本包含在掘进及回采期间的风排量中。

4.1 原始煤体瓦斯储量

W1305 工作面开切眼左侧存在原始煤柱,因

此计算原始瓦斯储量时需减去^[20],计算结果见表 5。

$$Q_i = q_y abc \gamma \quad (7)$$

式中: q_y 为原始煤体吨煤瓦斯含量, m^3/t ; a 为工作面走向长度, m ; b 为工作面倾向长度, m ; c 为平均煤厚, m ; γ 为煤体视相对密度, t/m^3 。

表 5 原始煤岩瓦斯储量

Table 5 Gas reserves of the original coal and rock

巷道名称	a/m	b/m	c/m	$\gamma/(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	$q_y/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	Q_i/m^3
W1303	581	265	6.50	1.4	7.0	9 807 570.50
W1305	1 762	283	6.35	1.4	7.0	31 030 740.58
	544	72	6.35	1.4	7.0	2 437 424.64
E1302	2 156	235	6.40	1.4	7.6	34 501 519.36

注:W1305 工作面开切眼左侧存在原始煤柱,因此计算原始瓦斯储量时需减去,测算后 $Q_i = 28 593 316 \text{ m}^3$ 。

4.2 掘进期间抽采及风排瓦斯量

W1305 因巷道掘进及回采期间抽采及风排瓦斯量,可以类比参考同一区域相邻掘进及回采面的实测数据。

$$Q_j = Q_{je} + Q_{jf} \quad (8)$$

式中: Q_{je} 为巷道掘进期间抽采量, m^3 ; Q_{jf} 为掘进期间风排瓦斯量, m^3 。

$$Q_{jf} = q_j T_j \quad (9)$$

$$Q_{je} = 10\% M_j q_y \quad (10)$$

式中: T_j 为巷道掘进时间,min; M_j 为掘进出煤量,t。

W1305 掘进工作面的 Q_{je} 为 $213 698 \text{ m}^3$, Q_{jf} 为 $3 194 640 \text{ m}^3$, Q_j 为 $3 408 338 \text{ m}^3$ 。

可以推算 W1303 掘进工作面的瓦斯排放量 $1 091 779 \text{ m}^3$ 。E1302 掘进工作面的瓦斯排放量 $4 112 599 \text{ m}^3$ 。

4.3 回采期间风排及抽采瓦斯量

因回采期间抽采及风排瓦斯量时间久远,资料匮乏,可以类比参考同一区域相邻掘进及回采面的实测数据。根据本次 W1309 工作面现场考察结果,各量合理的取其系数进行计算。W1305 采空区计算结果如下:

Q_l/m^3	60 167
Q_h/m^3	2 936 006
Q_m/m^3	6 252 212
Q_c/m^3	651 456
Q_{ef}/m^3	9 859 135
Q_{cc}/m^3	4 288 997

$$Q_k = Q_{cc} + Q_{ef} \quad (11)$$

式中: Q_{cc} 为工作面回采期间抽采瓦斯总量,按正常抽采率 15% 给定, m^3 ; Q_{ef} 为工作面回采期间风排瓦

斯总量, m^3 ; Q_k 为工作面回采期间抽采及风排瓦斯量, m^3 。

$$Q_{ef} = Q_l + Q_h + Q_m + Q_c \quad (12)$$

$$Q_l = (q_l / b_{W1309}) b T_e \quad (13)$$

$$Q_h = (q_h / L_{W1309}) L T_e \quad (14)$$

$$Q_m = (q_m / b_{W1309}) b T_e \quad (15)$$

$$Q_c = 0.5 q_c T_e \quad (16)$$

式中: Q_l 为落煤期间风排瓦斯量, m^3 ; Q_h 为巷帮风排瓦斯量, m^3 ; Q_m 为煤壁风排瓦斯量, m^3 ; Q_c 为采空区风排瓦斯量, m^3 ; q_l 为实测的 W1309 工作面落煤绝对瓦斯涌出量 $1.93 \text{ m}^3/\text{min}$; q_m 为实测的 W1309 工作面煤壁绝对瓦斯涌出量 $6.44 \text{ m}^3/\text{min}$; q_c 为实测的 W1309 工作面采空区绝对瓦斯涌出量 $1.16 \text{ m}^3/\text{min}$; q_h 为实测的 W1309 工作面巷帮的绝对瓦斯涌出量 $1.05 \text{ m}^3/\text{min}$; b_{W1309} 为 W1309 工作面开切眼长度, 325 m ; b 为工作面开切眼长度, m ; L_{W1309} 为 W1309 工作面进风巷道总长度, $1 142 \text{ m}$; L 为工作面进风巷道总长度, m ; T_e 为开始回采到回采结束的时间, min 。

依据 W1305 计算结果,可以根据比例计算出 W1302 工作面采煤期间风排瓦斯量为 $3 334 574 \text{ m}^3$, 采煤期间抽采瓦斯的量为 $1 471 136 \text{ m}^3$ 。E1302 工作面采煤期间风排瓦斯的量为 $10 739 216 \text{ m}^3$, 采煤期间抽采瓦斯的量为 $5 460 618 \text{ m}^3$ 。

4.4 密闭墙逸散瓦斯量

由于采空区封闭时间较长,采空区内封存的瓦斯通过密闭墙进入回风流不断逸散,会损失一部分采空区内游离的瓦斯。按照气体扩散规律,取扩散梯度系数为 0.01。

$$Q_f = 0.01 Q_{fl} C t \quad (17)$$

式中: Q_{fl} 为巷道进风量, m^3 ;C为封闭墙外瓦斯体积分数,%; t 为采空区封闭时间,min。

W1303采空区累计逸散瓦斯为24 969 m^3 ,W1305采空区累计逸散瓦斯为28 697 m^3 。因E1302工作面开采后,其运输巷改为邻近面E1303的进风巷道,受其采动影响,煤岩体裂隙发育,密闭墙漏风加剧,导致采空区瓦斯大量逸散,所以取扩散梯度系数为0.08,E1302采空区累计逸散瓦斯为25万 m^3 。

4.5 残余瓦斯量

$$Q_{\text{ey}} = q_{\text{ey}} abc\gamma \quad (18)$$

式中: Q_{ey} 为残余瓦斯量, m^3 ; q_{ey} 为残余瓦斯含量,2.41 m^3/t 。

经计算,W1303采空区残余瓦斯量3 376 606 m^3 ,W1305采空区残余瓦斯量9 844 270 m^3 。E1302采空区残余瓦斯量11 543 939 m^3 。

4.6 采空区瓦斯存储量计算

W1303采空区瓦斯储量约为508 508 m^3 ,W1305采空区瓦斯储量约为1 163 879 m^3 ,E1302采空区瓦斯储量约为105 147 m^3 ,在不考虑周边煤体瓦斯补充的条件下,W1303采空区抽采纯量按3 m^3/min ,W1305采空区抽采纯量按9 m^3/min 。预计W1303采空区抽采时间为118 d,W1305采空区抽采时间为90 d。E1302可以按2 m^3/min 作为配量的气源灵活使用。

5 结 论

1) W1303及W1305工作面因其采空区周边均为未采区域,在两工作面开采后,其周边煤体源源不断地向采空区补充瓦斯,因此采空区封闭墙内瓦斯浓度较高,瓦斯储量较大。结合采空区瓦斯浓度及漏风阻力分析,W1303采空区可抽采,抽采可持续性较强,W1305采空区抽采持续性更强。

2) E1302工作面开采后,其运输巷改为邻近面E1303的进风巷,受其采动影响,煤岩体裂隙发育,密闭墙漏风加剧,导致采空区瓦斯大量逸散,因此封闭墙内的瓦斯体积分数仅为0.38%,瓦斯浓度较低,瓦斯储量较小,预计E1302抽采效果不佳。

3) 在考虑周边煤体瓦斯补充的情况下,W1303采空区抽采纯量按3 m^3/min 计算,预计抽采时间能够达到半年;W1305采空区抽采纯量按9 m^3/min 计算,预计抽采时间能够达到一年,半年后有新的采空区可以接替,从而实现采空区抽采的持续性。

参考文献(References):

[1] 陈江峰.中国煤层气产业化发展的机遇与挑战[J].中国煤田地

质,2001,13(3):26-30.

CHEN Jiangfeng.Opportunities and challenges of CBM industrialization development in China [J].Coalfield Geology of China,2001,13(3):26-30.

- [2] 瞿光明,文渊.煤层气是天然气现实的接替资源[J].天然气工业,2004(5):1-3.
- ZHAI Guangming, WEN Yuan. Coalbed methane is a realistic alternative resource for natural gas [J]. Natural Gas Industry, 2004 (5):1-3.
- [3] 崔永君.废弃矿井瓦斯—值得关注的煤层气资源[J].中国煤层气,2005,2(3):27-31.
- CUI Yongjun. Abandoned coal mine methane - A noteworthy CBM resource [J]. China Coalbed Methane. 2005, 2(3):27-31.
- [4] 秦伟,许家林,胡国忠,等.老采空区瓦斯储量预测方法研究[J].煤炭学报,2013,38(6):948-953.
- QIN Wei, XU Jialin, HU Guozhong. Study on computing method of old goaf methane reserves [J]. Journal of Coal, 2013, 38(6): 948-953.
- [5] 韩保山,张新民,张群.废弃矿井煤层气资源量计算范围研究[J].煤田地质与勘探,2004,32(1):29-31.
- HAN Baoshan, ZHANG Xinmin, ZHANG Qun. Theoretical study on calculation limits of CBM resource of old coal mine [J]. Coal Geology Exploration, 2004, 32 (1): 29-31.
- [6] 张培河.废弃矿井瓦斯资源量计算主要参数确定方法[J].中国煤层气,2007,4(3):15-17.
- ZHANG Peihe. Determination method of main parameters for calculating gas resources in abandoned mines [J]. China Coalbed Methane, 2007, 4 (3): 15-17.
- [7] 韩保山.废弃矿井煤层气储层描述[J].煤田地质与勘探,2005,33(2):10-15.
- HAN Baoshan. Coalbed methane reservoir description of abandoned mine [J]. Coalfield Geology and Exploration, 2005, 33 (2): 10-15.
- [8] 沈广辉,樊艳虹,樊斌,等.采空区瓦斯分布规律及瓦斯抽采方法的研究[J].工矿自动化,2009,35(4):95-96.
- SHEN Guanghui, FAN Yanhong, FAN Bin, et al. Study on gas distribution law and gas extraction method in goaf [J]. Industrial and Mining Automation, 2009, 35 (4): 95-96.
- [9] 张继周,王浩.矿井采空区瓦斯抽采技术的研究及应用[J].煤矿机械,2017(4):25-29.
- ZHANG Jizhou, WANG Hao. Research and application of gas extraction technology in goaf [J]. Coal Mine Machinery, 2017 (4): 25-29.
- [10] 王恩营.煤层瓦斯含量预测的瓦斯地质方法研究[J].煤,2007(3):35-39.
- WANG Enying. Gas geology method for predicting gas content in coal seam [J]. Coal, 2007 (3): 35-39.
- [11] 闫海丰.影响煤层瓦斯含量的多地质因素线性回归分析[J].中州煤炭,2010(7):6-9.
- YAN Haifeng. Linear regression analysis of multi - geological factors affecting gas content in coal seam [J]. Zhongzhou Coal, 2010 (7): 6-9.
- [12] 龙威成.线性回归确定煤层瓦斯含量主控因素的方法探讨[J].煤炭工程,2009(3):85-86.

- LONG weicheng. Discussion on the method of determining the main controlling factors of coal seam gas content by linear regression [J]. Coal Engineering, 2009(3):85-86.
- [13] 赵志银,吴基文,王定武.张集煤矿13-1煤层甲烷含量的逐步回归分析[J].中国煤田地质,2003,15(3):12-14.
- ZHAO Zhiyin, WU Jiwen, WANG Dingwu. Stepwise regression analysis of methane content in 13-1 coal seam of Zhang ji Coal Mine [J]. Coalfield Geology of China, 2003, 15 (3):12-14.
- [14] 尚梦强.综放回采工作面瓦斯来源及涌出规律的分析[J].山西煤炭,2009(1):12-15.
- SHANG Mengqiang. Analysis of gas source and emission law in fully mechanized caving face [J]. Shanxi Coal, 2009(1):12-15.
- [15] 王义江,杨胜强,许家林,等.阳泉三矿大采长综放工作面瓦斯涌出特征分析[J].河南理工大学学报:自然科学版,2007(1):17-20.
- WANG Yijiang, YANG Shengqiang, XU Jialin, et al. Analysis of gas emission characteristics of large mining length fully mechanized caving face in Yangquan No.3 Coal Mine [J]. Journal of Henan University of Technology:Natural Science Edition, 2007 (1):17-20.
- [16] 吕国金,赵万旭,运宝珍.影响综放面瓦斯涌出量的相关因素探索[J].煤矿安全,2000,31(12):32-34.
- LYU Guojin, ZHAO Wanxu, YUN Baozhen. Exploration of the relevant factors affecting gas emission in fully mechanized caving face [J]. Safety in Coal Mines, 2000, 31 (12):32-34.
- [17] 王全龙.回采工作面相邻采空区瓦斯涌出影响因素分析及治理对策[J].煤炭工程,2006,31(9):45-47.
- WANG Quanlong. Analysis of influencing factors of gas emission in adjacent goaf of mining face and Countermeasures [J]. Coal Engineering, 2006, 31(9):45-47.
- [18] 杨勇,王乔文.影响矿井瓦斯涌出量的因素[J].内蒙古煤炭经济,2005(4):93-94.
- YANG Yong, WANG Qiaowen. Factors affecting gas emission from mines [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2005 (4):93-94.
- [19] 李岗.关于采空区瓦斯涌出量影响因素的分析[J].能源与节能,2017(9):20-23.
- LI Gang. Analysis of the influencing factors of gas emission in goaf [J]. Energy and Energy Saving, 2017 (9):20-23.
- [20] 赵继展,韩保山,陈志胜.煤层瓦斯含量计算方法探讨[J].中国煤田地质,2016,15(5):22-23.
- ZHAO Jizhan, HAN Baoshan, CHEN Zhisheng. Discussion on calculationmethod of coal seam gas content [J]. Coalfield geology of China, 2016, 15(5):22-23.