



移动扫码阅读

孙四清,陈冬冬,龙威成,等.煤油气共存矿井油型气精准治理技术及工程实践[J].煤炭科学技术,2021,49(5):60-66.doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.05.008

SUN Siqing, CHEN Dongdong, LONG Weicheng, *et al.* Technology of precise control of oil-type gas and engineering practice in coalmine with coal-oil-gas coexistence[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(5): 60-66. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2021.05.008

## 煤油气共存矿井油型气精准治理技术及工程实践

孙四清,陈冬冬,龙威成,赵继展,张 俭,郑凯歌,贾秉义,张静非

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710054)

**摘 要:**油型气是煤油气共存矿井新的隐蔽致灾地质因素。煤田地质勘探阶段对含煤地层中油型气很少关注,矿井生产中又面临着油型气涌出的实际威胁,油型气已是煤油气共存矿井安全高效开采不可回避且亟待解决的难题。针对油型气储集层赋存、油型气涌出规律和油型气抽采治理等关键问题,采用理论分析、测试化验、数值模拟和工程试验等手段在典型煤油气共存矿区开展了油型气精准治理技术及工程实践应用研究。研究结果表明:研究区2号煤层顶底板50 m回采扰动范围内发育有4个连续稳定分布的油型气储集层(直罗组一段砂岩、延二段七里镇砂岩、富县组下部砂岩和瓦窑堡组顶部砂岩);在距2号煤层底板垂深22.24~33.26 m(平均25.77 m)、相对回采工作面-0.23~-65.14 m段底板钻孔能够有效抽采到卸压油型气。建立了基于定向长钻孔的采前预抽、采中卸压抽和采后采空区抽的油型气精准立体综合抽采模式,工程应用实践显示抽采后回采工作面上隅角平均CH<sub>4</sub>体积分数由0.81%下降到0.48%,且回采期间工作面未发生油型气异常涌出和CH<sub>4</sub>浓度超限现象。实践探索形成了一套适合于煤油气共存矿井集油型气赋存、涌出和抽采于一体的精准治理技术体系,为煤油气共存矿井油型气灾害的防治提供理论指导和技术支撑。

**关键词:**煤油气共存矿井;油型气;精准抽采;鄂尔多斯盆地;黄陵矿区;油气

中图分类号:TE122.23

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2021)05-0060-07

### Technology of precise control of oil-type gas and engineering practice in coal mine with coal-oil-gas coexistence

SUN Siqing, CHEN Dongdong, LONG Weicheng, ZHAO Jizhan, ZHANG Jian, ZHENG Kaige, JIA Bingyi, ZHANG Jingfei

(Xi'an Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Oil gas is a new concealed disaster-causing geological body in coalmines with coal-oil-gas coexistence. During coal and oil gas geological exploration, few attentions is paid to the oil gas stored in coal-bearing strata, while the mine production is facing with the actual threat of oil gas emission. Oil gas disaster has become a difficult problem which can't be avoided and urgently needed to be addressed for safe and efficient mining in coalmines with coal-oil-gas coexistence. Aiming at the key problems of oil-type gas reservoir occurrence prediction, oil-type gas emission space-time law and oil-type gas control of drainage, by means of theoretical analysis, test, numerical simulation and engineering test, to research precise control technology and engineering application of oil-type gas in typical coalmines with coal-oil-gas coexistence. The findings suggestion: there are four oil-type gas reservoirs, which are continuous and stable distribution in the 50 m excavation disturbed area of the roof and floor of coal seam in studying area (sandstone of the first member of Zhiluo formation, Qili town sandstone of the second member of Yan'an Formation, sandstone of the lower part of Fuxian formation and sandstone of the top part of the Wayaobao formation). The pressure relief oil gas can be extracted effectively by drilling holes in the inner floor from 22.24 m to 33.26 m (average 25.77 m) and from -0.23 m to -65.14 m from the working face. Basic directional long bore hole, the precise three-dimensional comprehensive draining model of oil-gas is explored for pre-drainaging, pressure-relief drainaging and pressure-relief drainaging during mining and drainaging in the goaf after mining. The engineering practice shows the average concentration of CH<sub>4</sub> decreases from 0.81% to

收稿日期:2020-11-12;责任编辑:郭 鑫

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-002-002);中煤科工集团西安研究院有限公司创新基金资助项目(2018XAYZD09)

作者简介:孙四清(1977—),男,河南新县人,研究员,博士。E-mail: sunsiqing@cctegxian.com

0.48% in the upper corner of the working face after draining, and no abnormal oil-type gas emission and  $\text{CH}_4$  concentration exceeding the limit occurred in the working face during mining. A set of precise control technology system suitable for coal-oil-gas coexisting mine is formed, which include oil-type gas occurrence, gushing and drainage. It provides theoretical guidance and technical support for the prevention and control of oil-type gas disasters in coal-oil-gas coexisting mine.

**Key words:** coal mine with coal-oil-gas coexistence; oil-type gas; precise drainage; Ordos Basin; Huangling Mining Area; oil and gas

## 0 引言

鄂尔多斯盆地是我国煤炭、石油、天然气等多种矿产资源共生、伴生的盆地<sup>[1-2]</sup>,受油气区域地质背景影响<sup>[3-5]</sup>,盆地内已有多个煤矿区的矿井在煤炭开采过程中发生了油气异常涌出现象。如盆地南缘国家亿吨煤炭基地黄陇煤田的黄陵、焦坪、旬耀、彬长和永陇等矿区是我国典型的煤油气共存、共采矿区。焦坪矿区的崔家沟、陈家山矿井采空区 60%~70%的瓦斯来自围岩油气,且矿井采掘和井下钻探过程中均多次发生围岩油气异常涌出现象;黄陵矿区一号煤矿、二号煤矿和双龙煤矿均相继发生大面积油气涌出现象,油气异常涌出导致巷道瓦斯体积分数高达 8%、瞬时涌出速率高达  $187.2 \text{ m}^3/\text{min}$ ,单个涌出点的涌出气体体积最高达  $21 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;芦村一号煤矿在井筒检查孔施工至煤层顶板砂岩时发生大量油气井喷现象,井下探孔测得钻孔油气瞬间最大涌出量达  $16 \text{ m}^3/\text{min}$ 。大量油气瞬间涌入采掘空间,导致矿井瓦斯浓度严重超限,矿井停产停掘甚至采掘接续重新调整,给煤矿企业造成了重大的经济损失,给井下工人的生命安全造成了严重威胁。随着煤油气共存矿井开采区域及开采深度的加大,油气异常涌出规模和频次呈现出加剧趋势。

研究认为含煤地层中油气成因类型为油型气<sup>[6]</sup>,由于含煤地层油型气分布不均,远达不到地面油气开发利用程度,石油天然气勘查中对于含煤地层段的油型气赋存很少关注;煤田地质勘探过程中尽管也发现了含煤地层中有油迹、油侵、油气涌出等现象<sup>[7]</sup>,但也未做任何具体探测和研究工作。在地质勘查过程中含煤地层油气成为盲区,而在矿井煤炭开采过程中又面临着油气涌出的实际威胁。20 世纪 70 年代,煤炭开采领域开始关注煤炭开采过程中油气涌出问题,据焦坪矿区的研究认为矿井油气分布多受岩性、构造双重控制<sup>[8]</sup>。黄陵矿区采空区瓦斯中油型气占比为 77.61%<sup>[9]</sup>,远砂坝、河口砂坝和三角洲平原沼泽等微相沉积有利于砂岩透镜体和构造高部位控气<sup>[10]</sup>,提出了油型气赋存、预测指标及方法<sup>[11]</sup>、油型气涌出规律及机理<sup>[12-13]</sup>、油型气探测技术及方法<sup>[14]</sup>和油型气参与下的围岩巷道变化

规律<sup>[15-16]</sup>。

煤炭安全精准开采是发展必然趋势<sup>[17-19]</sup>,煤油气共存矿井油型气治理也必需走精准之路。煤油气共存矿井油气与煤层瓦斯在生成母质、成因类型、储集层、赋存状态、涌出规律、气体成分及爆炸特性上不同<sup>[20]</sup>。无法直接用煤层气(瓦斯)的理论方法来研究煤油气共存矿井油气的成因机制、赋存预测和涌出致灾机理等实际问题,而国内外又没有矿井油气灾害治理的成功经验。为此,在黄陵矿区开展了煤油气共存矿井油型气精准治理技术研究,实践探索油型气赋存、涌出预测及油型气定向长钻孔抽采的精准治理技术,为煤油气共存矿井煤炭资源安全高效开采提供了技术保障。

## 1 研究区油型气储集层赋存特征

黄陵矿区位于鄂尔多斯盆地南缘,矿区地层由老至新主要有三叠系、侏罗系、白垩系和第四系。侏罗系延安组富含煤炭资源,主采煤层为 2 号煤层,3 号煤层局部可采;三叠系延长组富含油气资源,油气资源储层主要分布在三叠系的瓦窑堡组、永坪组、胡家村组和铜川组(即延长群),目前油气资源开发主要集中在长<sub>4+5</sub>和长<sub>7</sub><sup>[21]</sup>。漫长地质演化过程中,延长组深部油气在构造运动作用下向上运移,该部分油气在煤层顶底板砂岩层中保存下来。为查明 2 号煤层顶底板采掘扰动范围(煤层顶底板各 50 m)油型气储集层分布情况,采用地面钻探(取心、测井、录井)和井下钻探绳索取心、油气井资料和煤田勘探钻孔资料再解译技术<sup>[22]</sup>等工程手段,勘查样品采集钻孔分布如图 1 所示,查得研究区 2 号煤层顶底板采掘扰动范围内连续稳定分布的油型气储集层有 4 层,由上而下分别为直罗组一段砂岩、延二段七里镇砂岩、富县组下部砂岩和瓦窑堡组顶部砂岩;根据采集到的岩心样品进行了储集层孔隙度和渗透率测试。4 个油型气储集层特征见表 1。

由表 1 可知,4 个油型气储集层厚度不稳定,同一储集层与 2 号煤层的间距变化也比较大,4 个储集层均以细粒砂岩为主。延二段七里镇砂岩、富县组下部砂岩和瓦窑堡组顶部砂岩孔隙度整体小于 5%,渗透率小于 0.1,属于致密低渗储集层;致密低

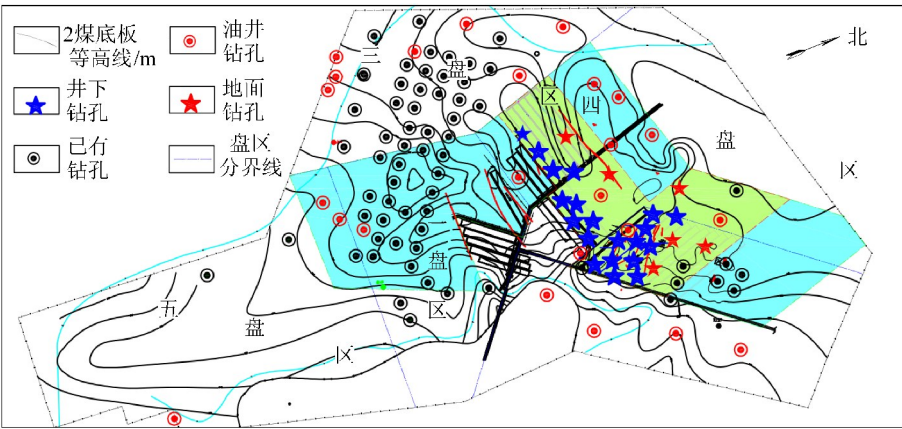


图1 研究区油型气储集层勘查样品采集钻孔分布

Fig.1 Engineering site of sample collection of oil-gas reservoir exploration in studying area

表1 研究区油型气储集层及储层特征

Table 1 Oil-type gas reservoirs and their characteristics in study area

采掘扰动影响内油型气储集层	相对2号煤层距离/m	储集层厚度/m	孔隙度/%	渗透率/(10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> )	岩性
直罗组一段砂岩	5.5~115.9/83.3	1.1~9.0/4.7	3.90~6.82/5.31	0.173~0.347/0.240	中粒、细粒砂岩
延二段七里镇砂岩	0~28.8/1.5	2.8~23.8/7.2	2.11~2.33/2.23	0.036~0.063/0.048	细粒砂岩
富县组下部砂岩	0~23.3/6.3	5.7~15.0/9.0	1.83~3.11/2.40	0.033~0.076/0.051	细粒砂岩
瓦窑堡组顶部砂岩	2.2~101.7/32.7	2.0~17.8/6.8	1.71~3.03/2.31	0.035~0.071/0.047	细粒砂岩

注:最小值~最大值/平均值。

渗储集层未受到人为改造或采掘扰动影响下,气体较难产出,抽采钻孔影响范围有限,煤炭采掘扰动后储集层气体极易涌向采场空间。

2 油型气涌出规律及原因分析

2.1 油型气涌出规律

为查明工作面煤炭回采扰动过程中煤层底板油型气涌出规律,在409工作面辅运巷布置了22个底

板油型气抽采钻孔,检测工作面煤炭回采前、回采中和回采后的底板抽采钻孔油型气抽采数据,以此分析煤层底板油型气涌出与工作面煤炭回采扰动的时空关系。据检测结果统计,有13组钻孔检测到了油型气涌出,9组未检测到油型气涌出现象。有油型气涌出的13组钻孔施工参数与油型气检测数据见表2,部分钻孔的油型气抽采量和浓度与钻孔距回采工作面距离之间的关系如图2所示。

表2 回采工作面采掘扰动下煤层底板油型气涌出检测数据

Table 2 Detection data of oil-type gas emission from coal seam floor under mining and excavation disturbance

钻孔编号	与煤层底板垂距/m	钻孔与巷帮距离/m	终孔相对回采工作面距离/m	钻孔持续出气时间/d	钻孔持续出气长度/m	钻孔最大涌出量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )
1-4	22.24	23	-10.4~-29.9	4	19.5	0.05
1-5	23.41	64	-0.2~-39.3	10	39.1	0.10
1-6	25.56	32	-2.6~-39.5	5	36.9	0.41
1-11	22.70	109	-13.1~-29.3	3	16.2	0.17
1-12	23.60	114	-9.6~-34.5	6	24.9	0.05
1-13	24.27	119	-5.5~-30.5	5	24.9	0.74
1-14	23.37	113	-1.3~-20.8	5	19.5	0.21
1-17	23.82	116	-11.5~-41.5	6	30.0	0.03
1-18	25.84	129	-9.1~-39.1	8	30.0	0.20
1-19	28.99	150	-9.6~-65.1	17	55.5	0.16
1-20	25.99	150	-8.0~-25.7	2	17.7	0.19
1-21	25.02	124	-7.2~-36.0	11	28.8	0.40
1-22	33.26	120	-4.2~-40.2	10	36.0	0.13



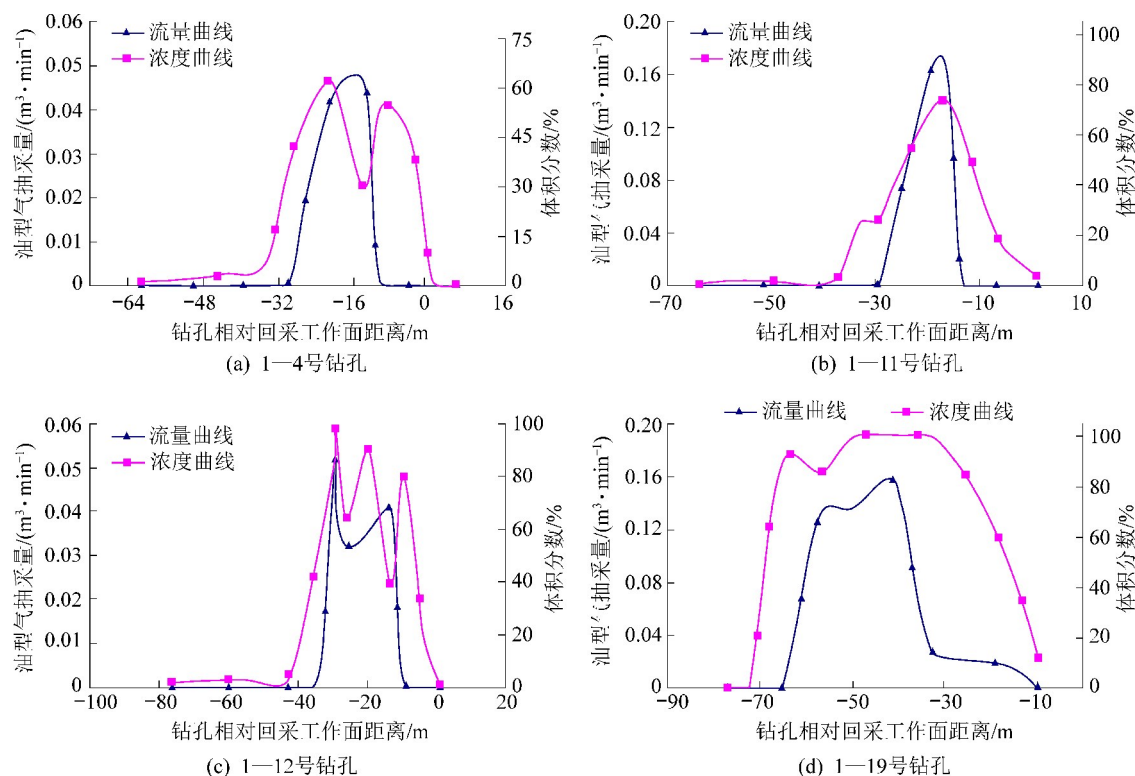


图2 油型气抽采量、体积浓度与钻孔相对工作面距离关系

Fig.2 Relationship between oil type gas production, concentration and distance between borehole and working face

由表2可知,有油型气涌出的钻孔垂深为22.24~33.26 m,平均25.77 m,钻孔与工作面巷帮距离为23~150 m,平均102.3 m,采掘扰动过程中抽采钻孔持续出气范围(开始出气与停止出气点至回采工作面的距离)为-0.23~-65.14 m,钻孔持续出气距离(长度)为16.20~55.50 m,平均30.05 m,钻孔持续出气时间为2~17 d。根据图2可知,工作面煤炭回采前抽采钻孔检测不到油型气涌出量,进入煤炭回采扰动范围后抽采钻孔开始出气,油型气产气量呈现先增大后降低规律,钻孔油型气涌出量为0.03~0.74 m<sup>3</sup>/min,煤炭回采后钻孔由呈现不产气现象。有9组钻孔未出气,其垂深为3.28~12.1 m,平均8.4 m,钻孔距工作面巷帮距离为0~36 m,平均13.5 m;因这9组钻孔布置层位距离2号煤层均较近,钻孔上覆岩层厚度薄,且岩层中采动裂隙发育,无法有效封堵卸压涌出的油型气,而是沿着采动裂隙直接涌向了采空区,故抽采钻孔往往抽采不到油型气。

## 2.2 油型气涌出原因分析

煤油气共存矿井工作面煤炭开采后形成了自由空间,打破了地层原有应力平衡,在强大地应力作用下岩层重新寻找新的平衡点,应力出现重新分布,沿工作面方向地层应力分布表现为原始应力、应力集中、卸压和应力恢复4种状态。不同的应力状态也引起底板岩层依次呈现不同的变形,其变形依次表

现为正常、压缩、膨胀和压实恢复4种状态<sup>[23-24]</sup>,随着工作面向前推进,4种应力、应变状态区交替重复出现。煤层底板岩层应力和变形分布如图3所示。黄陵矿区2号煤层底板发育有2层连续稳定分布的油型气储集层,距2号煤层底板平均距离分别为6.3 m和32.7 m,从工作面回采扰动数值模拟显示<sup>[15,20]</sup>2个储集层均分布在回采扰动影响范围内,2个储集层是回采工作面油型气涌出的主要来源。因2号煤层底板油型气储集层孔隙度低、渗透性差,在原始应力或应力集中状态下储集层中油型气较难抽出,故在工作面底板布置的抽采钻孔在原始应力区或应力集中区呈现钻孔不出气或出气极低现象。随着回采工作面向前推进,底板抽采钻孔进入到卸压区后,因地层应力降低,油型气储集层渗透性得到提高,卸压岩体膨胀变形又产生了较多的离层裂隙和穿层裂隙,将更大范围的油型气储集岩体沟通,综合作用促使储集层中的油型气涌出并在该部位聚集,所以在卸压区有利于底板钻孔抽采油型气。当抽采钻孔进入到压实恢复区后,因上覆岩层垮落,垂直应力增加,岩层重新恢复压实,渗透性下降,钻孔油型气抽采量也随之降低。因此,底板钻孔油型气抽采量主要受到岩层应力和变形的控制,卸压区是底板钻孔抽采油型气有利区域,由表2和图2可知,在黄陵矿区这有利区域主要集中在相对回采工作面-0.23~-65.14 m。

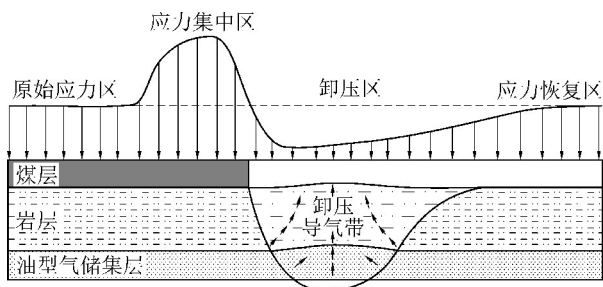


图3 回采工作面采动应力分布及卸压导气带形成示意

Fig.3 Distribution of mining stress and formation of pressure relief gas conduction zone in working face

### 3 油型气精准抽采治理

#### 3.1 精准立体抽采模式

基于研究区油型气赋存特征、油型气储集层物性特点和回采扰动下油型气涌出的时空规律,利用定向钻探施工工艺对钻孔轨迹的精确控制,在2号煤层围岩中沿工作面走向分别布置定向长钻孔实施油型气的精准立体综合抽采。工作面煤炭回采前,定向长钻孔实施围岩油型气的探、抽工作;工作面煤炭回采过程中,拦截抽采采掘扰动下涌向工作面的油型气;工作面煤炭回采后,继续抽采涌向采空区的油型气。在空间上,建立煤油气共生矿井回采工作面顶板、底板和煤层的立体、分源抽采;在时间上,形成采前探抽、采中卸压抽、采后采空区抽采的立体综合精准抽采模式。油型气精准立体综合抽采模式如图4所示。针对黄陵矿区,底板定向长钻孔优先布置在距离2号煤层底板20~30 m的油型气储集层或砂岩层中,对顶板定向长钻孔优先布置在回采扰动影响范围内、距2号煤层顶板15~45 m连续稳定的油型气储集层或砂岩层中;抽采钻孔终孔直径 $\phi 96$  mm以上,确保钻孔沿预定层位,钻孔轨迹垂向偏差需小于孔深的0.7%。

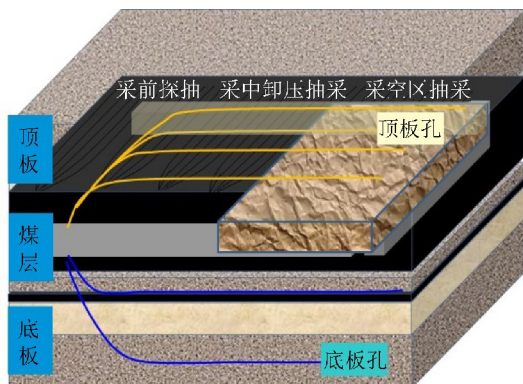


图4 油型气精准立体综合抽采模式示意

Fig.4 Mode of three-dimensional comprehensive precise draining oil-type gas

#### 3.2 工程应用试验

205工作面走向长3500 m,倾向宽240 m,顶板七里镇砂岩厚度3~27 m,整个工作面均有分布,顶面标高+740—+800 m,高差约60 m。工作面附近勘探钻孔显示有2层相对连续分布的稳定细粒砂岩层,可以看出,2号煤层顶除七里镇砂岩外,上部还有2层细粒砂岩,厚度分别为6.4、6.0~14.0 m。底板垂深50 m内富县组和瓦窑堡组分别各有1组相对连续稳定分布的砂岩层,其厚度分别为0~11.1 m和10.0~23.0 m。在该工作面3个钻孔测得油型气压力(表压力)分别为0.48、0.85、1.12 MPa,估算得1 m<sup>3</sup>砂岩含油型气0.11~0.48 m<sup>3</sup>。

在205工作面8联络巷布置钻场,在煤层顶板、底板和煤层中布置5个钻孔,其中顶板3个、底板2个。顶板定向钻孔布置垂高为20~40 m,底板钻孔布置垂深为20 m层位。定向抽采钻孔采用三级结构,一级钻孔直径 $\phi 193$  mm,下 $\phi 168$  mm套管;二级钻孔直径 $\phi 153$  mm,下 $\phi 146$  mm套管;三级钻孔为裸眼孔,其直径 $\phi 113$  mm,沿着预定层位钻进。定向长钻孔施工采用ZDY-6000LD履带式全液压定向钻机,配置BWD-350/10型泥浆泵、 $\phi 73$  mm中心通缆钻杆和YHD1-1000随钻测量系统。钻孔施工过程中安全防喷水汽分离装置,便于钻探施工过程中涌出的油型气及时进入抽采系统,钻孔施工完成后及时封孔、连接油型气抽采管路系统,全程检测煤炭回采过程中钻孔油型气抽采情况。该钻场5个定向长钻孔工程施工参数及钻孔油型气抽采数据见表3。

205工作面正常回采期间监测上隅角CH<sub>4</sub>浓度,将围岩定向长钻孔覆盖区域和未实施围岩抽采钻孔区域上隅角CH<sub>4</sub>浓度进行对比,对比结果如图5所示。从图中可以看出在未实施围岩抽采钻孔区域,上隅角CH<sub>4</sub>体积分数为0.32%~2.0%,CH<sub>4</sub>体积分数均值为0.81%,多次发生上隅角CH<sub>4</sub>浓度超限现象;在围岩定向长钻孔覆盖区域,上隅角CH<sub>4</sub>体积分数为0.8%~0.25%,CH<sub>4</sub>体积分数均值下降为0.48%,上隅角未发生CH<sub>4</sub>浓度超限现象。围岩定向长钻孔精准抽采减少了回采工作面风排瓦斯量,有效降低了工作面上隅角CH<sub>4</sub>浓度,保障了工作面煤炭安全高效回采。

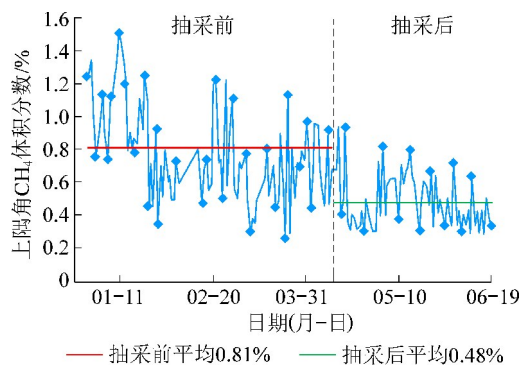
### 4 结 论

1)研究区2号煤层顶底板50 m内共发育有4层连续稳定分布的油型气储集层,其中顶板的2个油型气储集层分别为直罗组一段砂岩和延二段七里镇砂岩,底板的2个油型气储集层分别为富县组下

表3 定向长钻孔施工参数及油型气抽采情况

Table 3 Construction parameters of directional long boreholes and oil-type gas extraction conditions

钻孔 编号	布置 层位	与煤层 垂距/m	钻长/ m	孔径/ mm	至巷帮距离/ m	钻孔油型气抽采情况		
						体积分数/%	流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	累计量/ $\text{m}^3$
1	顶板	20	620	113	240	28.0	300	22 000
2		30	679	113	140	28.0	238	6 667
3	底板	40	748	113	40	17.0	290	8 708
4		20	656	113	160	4.30	101	4 424
5		20	722	113	70	20.0	178	8 524

图5 回采工作面上隅角  $\text{CH}_4$  浓度监测数据统计Fig.5 Statistical chart of  $\text{CH}_4$  concentration monitoring data in upper corner of working face

部砂岩和瓦窑堡组顶部砂岩。油型气储集层以细粒砂岩为主,总体上属于致密低渗储集层,原始储层条件下油型气较难产出,而采掘扰动下油型气又能迅速涌向采场空间。

2) 试验显示回采扰动下底板油型气抽采钻孔布置在垂深 22.24~33.26 m, 平均 25.77 m, 抽采钻孔持续出气(开始出气与停止出气点相对回采工作面的距离)-0.23~-65.14 m。分析认为在回采工作面卸压区因地层应力降低、岩层膨胀变形产生较多的离层裂隙和穿层裂隙,促使周围油型气涌向卸压区并在该部位聚集,这是底板钻孔抽采卸压区油型气的最佳位置。

3) 依据油型气储集层赋存特征和油型气涌出的时空分布规律,建立了基于定向长钻孔回采工作面油型气精准立体综合抽采模式,实现了油型气采前探抽、采中卸压抽和采后采空区抽采精准抽采治理。工程应用实践表明:抽采后工作面上隅角  $\text{CH}_4$  体积分数均值由 0.81% 下降到 0.48%,且上隅角未发生  $\text{CH}_4$  浓度超限现象。

4) 油型气精准治理技术不仅适用于煤油气共存矿井,也可在围岩瓦斯含量较大或多煤层开采矿井中推广应用,具有广阔的应用前景。

## 参考文献(References):

- [1] 魏永佩,王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 385-392.  
WEI Yongpei, WANG Yi. Comparison of enrichment patterns of various energy resources in Ordos basin[J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(4): 385-392.
- [2] 邓军,王庆飞,高帮飞,等. 鄂尔多斯盆地演化与多种能源矿产分布[J]. 现代地质, 2005, 19(4): 538-545.  
DENG Jun, WANG Qingfei, GAO Bangfei, et al. Evolution of Ordos Basin and its distribution of various energy resources[J]. Geoscience, 2005, 19(4): 538-545.
- [3] 赵文智,胡素云,王泽成,等. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 1-5.  
ZHAO Wenzhi, HU Suyun, WANG Zecheng, et al. Key role of basement fault control on oil accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration And Development, 2003, 30(5): 1-5.
- [4] 秦勇,韦重韬,张政,等. 沁水盆地中-南部煤系及其上覆地层游离天然气成藏的地质控制[J]. 地学前缘, 2016, 23(3): 24-35.  
QIN Yong, WEI Chongtao, ZHANG Zheng, et al. Geological controls of free natural gas reservoirs in coal measures and overlying strata in the central and southern Qinshui Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(3): 24-35.
- [5] 李五忠,孙斌,孙钦平,等. 以煤系天然气开发促进中国煤层气发展的对策分析[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 67-71.  
LI Wuzhong, SUN Bin, SUN Qinpeng, et al. Analysis on coal-bed methane development based on coal measure gas in China and its counter measure[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 67-71.
- [6] 唐恩贤. 黄陵矿区煤层底板异常涌出气体成因类型[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(6): 8-11.  
TANG Enxian. Genetic type of abnormal gas emission from coal seam floor in Huangling mining area[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(6): 8-11.
- [7] 俞桂英,冯景昌. 黄陵矿区煤、油、气共生概况及综合勘探的重要性[J]. 中国煤田地质, 1993, 5(3): 3-7.
- [8] 焦坪矿区油气赋存情况调查分析《煤油共生安全问题研究课



- 题》材料之一[J]. 陕西煤炭, 1982, 1(1): 2-6.
- [9] 殷民胜, 陈冬冬, 郑凯歌. 基于混源气计算模型的煤油气共存采空区瓦斯定量分析[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(5): 99-102.
- YIN Minsheng, CHEN Dongdong, ZHENG Kaige. Quantitative analysis of gob gas with coal-bed gas and oil-type gas coexistence Based on Calculation Model of Source-mixed Gas [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(5): 99-102.
- [10] 孙四清, 曲少东, 陈冬冬, 等. 陕西黄陵二号煤矿 203 工作面煤层底板沉积微相与瓦斯展布规律研究[J]. 中国煤炭地质, 2017, 29(1): 31-34.
- SUN Siqing, QU Shaodong, CHEN Dongdong, *et al.* Working face No. 203 coal floor sedimentary microfacies and gas distribution pattern study in Huangling No. 2 Coalmine, Shaanxi [J]. Coal Geology Of China, 2017, 29(1): 31-34.
- [11] 陈冬冬. 煤油气共生矿井围岩气多因素耦合区域预测技术: 以鄂尔多斯盆地黄陵矿区为例[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(2): 49-53.
- CHEN Dongdong. Prediction technology of surrounding rock gas zones by multiple factor coupling in coal mines with coal-oil-gas coexistence [J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(2): 49-53.
- [12] 赵继展, 张群, 郑凯歌, 等. 黄陵矿区煤矿井下围岩喷涌气体致灾机理及防治措施[J]. 天然气工业, 2018, 38(11): 114-121.
- ZHAO Jizhan, ZHANG Qun, ZHENG Kaige, *et al.* Disaster-causing mechanism of surrounding rock gas flowing underground in the Huangling coal mine and prevention measures [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(11): 114-121.
- [13] 孙四清. 煤油气共存矿井掘进工作面底板油型气涌出机理探讨[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(4): 90-94.
- SUN Siqing. Discussion on oil-type gas emission mechanism from heading face floor in coal-oil-gas Coexisting Mine [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44(4): 90-94.
- [14] 李川, 陈冬冬, 牟全斌. “测压-抽采”一体化底板油型气压力测定技术[J]. 煤矿安全, 2016, 47(8): 73-75.
- LI Chuan, CHEN Dongdong, MOU Quanbin. Pressure measurement and gas drainage integrated oil-type gas pressure measuring technology in coal seam floor [J]. Safety In Coal Mines, 2016, 47(8): 73-75.
- [15] 郑凯歌, 孙四清. 煤油气共存巷道掘进对底板扰动效应模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(11): 113-118.
- ZHENG Kaige, SUN Siqing. Simulation study on floor disturbance effect induced by coal and oil-gas coexistence roadway heading [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(11): 113-118.
- [16] 马功社, 孙四清, 郑凯歌, 等. 采动效应下煤层底板变形破坏数值模拟[J]. 煤矿安全, 2016, 47(9): 202-206, 209.
- MA Gongshe, SUN Siqing, ZHENG Kaige, *et al.* Numerical simulation of deformation failure characteristics of coal seam floor in mining process [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(9): 202-206, 209.
- [17] 袁亮. 煤炭精准开采科学构想[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 1-7.
- YUAN Liang. Scientific conception of precision coal mining [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(1): 1-7.
- [18] 孙四清, 张群, 龙威成, 等. 煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量精准测试技术及装置[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(4): 1-5.
- SUN Siqing, ZHANG Qun, LONG Weicheng, *et al.* Accurate test technology and device for coal seam gas Content in long borehole in underground coal mines [J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(4): 1-5.
- [19] 孙四清, 张群, 郑凯歌, 等. 地面井煤层气含量精准测试密闭取心技术及设备[J]. 煤炭学报, 2020, 45(7): 2523-2530.
- SUN Siqing, ZHANG Qun, ZHENG Kaige, *et al.* Technology and equipment of sealed coring for accurate determination of coalbed gas content in ground well [J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2523-2530.
- [20] 范京道. 煤矿油型气与瓦斯综合防治技术[M]. 徐州, 中国矿业大学出版社, 2020.
- [21] 王平, 张志升, 孟海峰. 鄂尔多斯盆地东南部延长群的划分及其在油田开发中的应用[J]. 地层学杂志, 2013, 37(1): 62-72.
- WANG Ping, ZHANG Zhisheng, WANG Haifeng. Stratigraphy of the yanchang group of southeastern ordos basin and its application to oilfield development [J]. Journal of Stratigraphy, 2013, 37(1): 62-72.
- [22] 杜天林, 唐恩贤. 基于气测解释的黄陵矿区延安组含油气性研究[J]. 煤炭与化工, 2016, 39(6): 82-84, 87.
- DU Tianlin, TANG Enxian. Study on oil-bearing properties of Yan'an strata in Huangling coal mining area based on gas logging interpretation [J]. Coal and Chemical Industry, 2016, 39(6): 82-84, 87.
- [23] 高召宁, 孟祥瑞, 郑志伟. 采动应力效应下的煤层底板裂隙演化规律研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(1): 90-95.
- GAO Zhaoning, MENG Xiangrui, ZHENG Zhiwei. Research on Evolution Rules of Coal Seam Floor Crack under Mining Stress Effect [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016, 12(1): 90-95.
- [24] 孟祥瑞, 徐铖辉, 高召宁, 等. 采场底板应力分布及破坏机理[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1832-1836.
- MENG Xiangrui, XU Chenghui, GAO Zhaoning, *et al.* Stress distribution and damage mechanism of mining floor [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1832-1836.