

李日富. 松藻矿区采动稳定区煤层气地面井抽采试验及应用效果[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(2): 44-48.
文章编号: 1008-4495(2018)02-0044-05

松藻矿区采动稳定区煤层气地面井抽采试验及应用效果

李日富

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037; 2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037)

摘要:为验证采动稳定区煤层气资源评估、地面井优化设计和安全抽采等成套技术的适用性,在松藻矿区石壕煤矿进行了采动稳定区煤层气地面井抽采试验。在提出稳定区煤层气资源量评价选区基本原则的基础上,利用分源加法评估技术估算了试验点的可抽采煤层气量,进行了230 d的抽采试验,采出煤层气49.7万 m^3 ,约占估算可采气量的30%,拟合的长期最大可采气量达94万 m^3 。试验表明:试验点采动稳定区内煤层气浓度约30%,分源加法评估结果的准确率受浓度等关键参数取值影响显著;影响采动稳定区地面井抽采效果的关键问题不是地面井筒的变形破坏,而是布井位置选择、钻井设备及工艺的选择、钻完井质量控制等因素,清水钻进工艺在钻越采动裂隙带时宜谨慎使用。

关键词:采动稳定区;煤层瓦斯;地面井;瓦斯抽采;分源叠加评估模型

中图分类号:TD712 文献标志码:B

Drainage Test of CBM Ground Well in Mining Stability Area of Songzao Coal Mine

LI Rifu^{1,2}

(1. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China;
2. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to verify the applicability of CBM resources assessment, optimization design of ground wells and safety extraction techniques in mining stability area, a drainage test of CBM ground well in mining stability area was implemented in Shihao Coal Mine of Songzao. On the basis of putting forward the basic principles of evaluating the constituency, the amount of CBM in the test area was estimated with divided resource overlay evaluation model, and then the 230 days pumping test was carried out, the gas output was 497 thousand m^3 , which accounted for about 30% of the max recoverable. The max output gas of the long term fitting was 940 thousand m^3 . The test showed that the gas concentration in SCMA region is about 30%, and the accuracy of the source added evaluation result is significantly influenced by the key parameters such as concentration; the key factors that affect the extraction effect of ground well in SCMA region were not the failure of wellbore, but the well location selection, drilling equipment and technology selection, drilling quality control factors, and the clean water drilling should be used carefully when drilling through fractured zone.

Keywords: mining stability area; coal seam gas; the ground well; gas extraction; divided resource overlay evaluation model

煤层气(煤层瓦斯)是一种优质能源,其燃烧热值是普通煤气的2倍,而所产生的污染仅为煤炭的

1/800,其探勘、开发和利用技术的研究历来受到世界各国的重视^[1]。煤矿生产在我国形成了数以千万计的采动稳定区,由于回采率的制约,约有50%的煤炭残留于煤矿井下(包括可采煤层和不可采煤层),保存着大量煤层气^[2-3]。充分开发利用采动稳定区煤层气资源在保障煤矿安全生产的同时,能够有效缓解我国的能源短缺问题。“十一五”以来,国家出台了一系列政策^[4-6],鼓励对煤层气资源的勘探、开发。

重庆松藻矿区是我国西南最大的无烟煤生产基

收稿日期:2017-12-01,2018-03-12 修订

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05045-001-006);
国家自然科学基金项目(51374236)

作者简介:李日富(1981—),男,山东威海人,博士,副研究员,从事煤层气地面井抽采技术及煤矿瓦斯灾害治理技术研究工作。Tel:023-65239891,E-mail:cqlirifu@163.com。

地和重庆市动力煤的主要生产基地。矿区地质构造复杂,灾害种类较多,属薄煤层群(含煤6~14层,煤层总厚度6.04 m)、低透气性(原始透气性系数 $5.71 \times 10^{-3} \sim 3.19 \times 10^{-2} \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$)、矿区煤层气储量丰富(-200 m水平以上煤层气总储量374亿 m^3),是我国松软低透复杂地质条件煤矿区的典型代表^[7-9]。近50年的开采历史使得矿区内存在大量老采空区(采动稳定区),为了验证及完善采动稳定区煤层气资源评估、地面井优化设计和安全抽采等成套技术的适用性,同时探索合理的采动稳定区地面井施工工艺,在松藻矿区石壕煤矿进行了采动稳定区煤层气地面井抽采试验。

1 试验点煤层气资源评估

1.1 煤层气资源评估基本原则

煤层气地质评估主要取决于煤层气资源基础和形成条件,传统煤层气资源量评估技术在选区评估方面形成了一系列评估原则与指标,结合采动稳定区煤层气储层特点^[10-11],稳定区煤层气资源量评价选区原则主要包括以下几点:

1) 竖向向上,以煤层开采卸压高度为计算单位,多煤层开采且卸压范围交叉重叠的煤层组可以合并为一个计算单元。

2) 横向向上,以单一开采煤层底部或多个开采煤层中部埋深作为边界划分计算单元。多煤层开采时,由于各煤层回采区域在垂向上彼此交叉,导致以某一开采煤层为基准进行煤层气资源量评估时,很可能会出现邻近煤层的围岩卸压范围比基准煤层更大的问题。需要在基准煤层卸压区域的基础上进行评估目标区域的适当延展,延展范围以邻近开采煤层与基准层直接交叉重叠的采场卸压围岩范围为准。可根据实际情况进一步划分出次一级计算单元,划分原则以地质边界或人为技术边界为依据,例如构造线、井田或采区边界、预测区边界、水平标高线、煤层开采工艺变化线或煤厚突变线等。

3) 多煤层开采时,注意各开采煤层卸压范围的交叉重叠,避免重复计算。

4) 切实掌握煤层实际开采情况,明确哪里是采空区哪里是由于断层构造、煤质问题及技术条件等原因遗留的实体煤区。

1.2 试验点对应工作面概况

经过实地勘察,地面试验井对应于石壕煤矿井下的N1714工作面及N1815工作面采动稳定区。

1.2.1 N1714工作面概况

N1714工作面走向长度约420 m,倾向长度约

260 m,开采7#煤层,煤岩平均倾角 6° ,对应地面标高+735 m,工作面平均标高+395 m。南翼留有100 m北一石门保安煤柱,西邻N1712工作面采空区,东邻N1716工作面采空区,北邻N1725工作面采空区。

该工作面自1990年开始回采,于1992年回采结束,局部区域由于地质断层密集等原因未开采,工作面回采率为90%,采区回采率为83%。

1.2.2 N1815工作面概况

N1815工作面对应地表平均标高为+735 m,工作面平均标高为+390 m。工作面西邻1813工作面采空区,东以北胶带上山保安煤柱为界,北部为实体未采煤,南部为实体未采煤。工作面走向长度为120 m,倾向长度为730 m,开采8#煤层,煤层位于煤系中部,煤层平均厚度2.6 m,属中厚煤层,上距长兴含水层约40 m,下距茅口灰岩30 m。开采煤层倾角 $3^\circ \sim 5^\circ$,原始瓦斯含量 $14.7 \text{ m}^3/\text{t}$,煤体密度 $1.5 \text{ t}/\text{m}^3$,工业煤炭储量约41万t。

该工作面自1998年开始回采,于2000年回采结束,参考邻近同时期工作面,工作面回采率为95%,采区回采率为85%。

1.3 煤层气资源量评估

由于目标矿区开采时间久远,井下资料收集困难,故选用分源加法评估模型完成煤层气资源量评估;矿区为多煤层开采,使用煤层群多煤层开采条件煤层气资源量评估模型^[12]:

$$G = \sum_j \{ M_{1(j)} q_{1(j)} R_{fa(j)} + n_j V_j R_{fg(j)} + \sum_i M_{0(i,j)} [(1 - \eta_{i,j})(q_{0(i,j)} - q_{c(i,j)}) + q_{c(i,j)}] R_{fa(i,j)} \} - Q_{re} R_{fre} \quad (1)$$

式中: $M_{1(j)}$ 为第j层开采煤层采场内遗留煤炭总量,t; $q_{1(j)}$ 为第j层开采煤层采场内遗煤残存煤层气含量, m^3/t ; $R_{fa(j)}$ 为第j层开采煤层吸附气量采收率,%; n_j 为第j层开采煤层采动稳定区内煤层气体积分数,%; V_j 为第j层开采煤层采动稳定区孔隙体积, m^3 ; $R_{fg(j)}$ 为第j层开采煤层采动稳定区孔隙内游离气量采收率,%; $\eta_{i,j}$ 为第j层开采煤层的第i邻近层煤层气排放率,%; $M_{0(i,j)}$ 为第j层开采煤层的第i邻近层原始煤炭总量,t; $q_{0(i,j)}$ 为第j层开采煤层的第i邻近层原始煤层气含量, m^3/t ; $q_{c(i,j)}$ 为第j层开采煤层的第i邻近层残存煤层气含量, m^3/t ; $R_{fa(i,j)}$ 为第j层开采煤层的第i邻近层吸附气量采收率,%; Q_{re} 为因邻近煤层卸压范围重叠引起的煤层气资源重复计算量, m^3 ,具体计算分析详见文献[13]附录; R_{fre} 为重复计算的煤层气资源量采收率,%。

1.3.1 煤层气资源估算区域划定

根据评估基本原则,结合矿区井下工作面部署,

地面井抽采影响范围对应 N1714 工作面采空区、N1815 工作面采空区、N1716 工作面采空区、N1813 工作面采空区、N1811 工作面采空区和 N1812 工作面采空区。

1.3.2 试验点煤层气资源量

1) 各工作面采空区内遗留煤炭总量。由于煤层薄化等原因,7#煤层及8#煤层的工作面仅局部回采,估算试验点对应井下各工作面采空区内的遗留煤炭约为 29.05 万 t。

2) 各工作面卸压煤炭总量。试验点开采煤层为近水平煤层,其卸压角为 105°,根据各工作面顶底板围岩层的赋存特征及岩性参数,估算工作面卸压煤炭约为 144.95 万 t(扣除重叠煤量)。

3) 采动稳定区内遗煤残存煤层气含量。抽采试验点对应的工作面开采时间较早,其采动稳定区内未进行埋管抽放,且未采用顺层钻孔预抽措施,内部遗煤煤层气含量较高,结合邻近层抽采煤层气排放率经验曲线,取开采煤层及邻近煤层的排放率及残存煤层气含量见表 1。

表 1 遗煤排放率及残存煤层气含量

邻近煤层	原始含气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	排放率/ %	残存煤层气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	残存可解吸煤层 气量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)
M5 煤线	10.43	70	4.92	2.36
6-1 煤线	10.43	80	4.13	1.57
6-2 煤线	10.43	90	3.35	0.79
6-3 煤层	10.43	90	3.35	0.79
7-1 煤线	10.97	90	2.41	0.95
7#煤层	10.97	90	2.41	0.95
8#煤层	14.70	90	3.47	1.25
煤线	14.70	80	4.72	2.50
9#煤层	14.70	80	4.72	2.50

4) 采动稳定区内煤层气体积分数。参考采空区密闭埋管抽采煤层气数据^[13],采动稳定区内煤层气体积分数取 40%。

5) 采动稳定区内孔隙体积。利用相关公式^[14],估算采动稳定区内岩层的孔隙体积为 321.29 万 m^3 。

6) 可抽采资源储量。采动稳定区废弃气体压力约 0.04 MPa,则游离气量采收率为 62%,各邻近煤层吸附气量采收率约为 70%。将各参数代入式(1),计算最大可抽采煤层气资源量约 164.81 万 m^3 。

2 地面井试验方案及施工

2.1 地面井施工设计

2.1.1 钻进工艺

为减少钻进工程对煤层气储层裂隙的影响,采动稳定区地面井应优先选用空气钻进工艺,尤其是生产井段,如果现场条件不具备,可考虑清水快速钻进工艺。

2.1.2 井型结构

1) 一开井身使用 $\Phi 311.50 \text{ mm}$ 的钻头无芯钻进到距离表土层下方 10 m 处,下入 J55 级 $\Phi 244.48 \text{ mm} \times 10.03 \text{ mm}$ 表层套管,使用 42.5# 硅酸盐高强度水泥全段封固井壁环空,直至井口返出纯水泥浆。

2) 二开井身使用 $\Phi 215.90 \text{ mm}$ 钻头钻进至开采煤层顶板裂隙带上方,止深在地下 200 m,下入 J55 级 $\Phi 177.80 \text{ mm} \times 9.19 \text{ mm}$ 石油套管,套管高出地表 0.50 m,使用 42.5# 硅酸盐高强度水泥全段封固井壁环空,直至井口返出纯水泥浆。

3) 三开井身使用 $\Phi 149.20 \text{ mm}$ 钻头钻进至 275 m,下入长 80 m 的 J55 级 $\Phi 139.70 \text{ mm} \times 7.72 \text{ mm}$ 筛管,自然放置。

地面井施工结构设计见图 1。

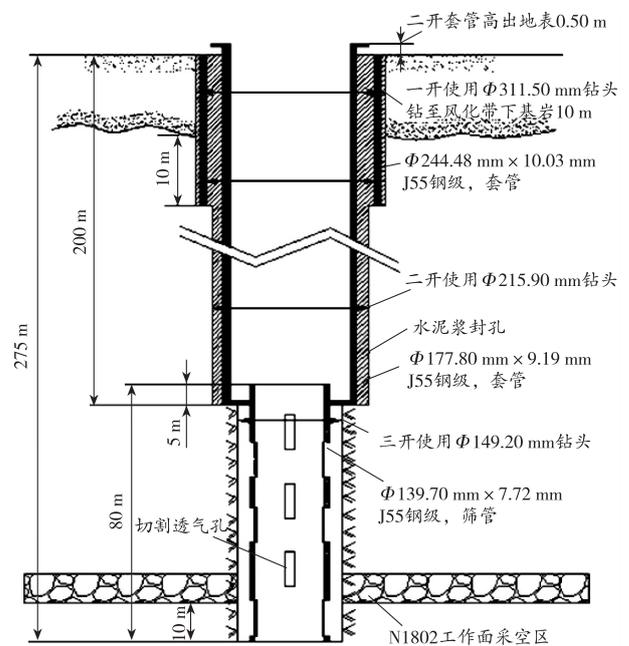


图 1 地面井施工结构示意图

2.2 地面抽采系统设计

2.2.1 地面抽采管道系统

1) 地面煤层气抽采管路管径。地面煤层气抽采管的管径按单井平均混合流量 25 m^3/min 进行计算,最终地面抽采管路选用 $\Phi 219 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 型的无

缝钢管。

2) 地面煤层气抽采设备。进行采动稳定区煤层气抽采的主要设备包括:水环真空泵、水封泄爆器、防回火器、气水分离器、放空器、循环水箱、循环水泵和分流管路系统等。

2.2.2 地面抽采安全监控系统

为时刻掌握采出的煤层气浓度,防止井下遗煤自然发火,抽采试验监测参数包括:甲烷浓度、氧气浓度、抽采负压、抽采流量、抽采气体成分等。监控系统设备包括:GD₄型瓦斯抽放多参数传感器、氧气传感器、U型压差计和光干涉甲烷测定仪。其中GD₄型瓦斯抽放多参数传感器、氧气传感器用于日常自动监控系统监测相关参数,U型压差计和光干涉甲烷测定仪用于监控系统出现故障时的人工测量管道煤层气流量和浓度。

2.3 地面井施工

试验点为沟谷地貌,毗邻民居,道路交通不便,大型设备无法进场,使用HTYM500小型潜孔锤钻机,全程采用空气钻进技术完成钻井工程。

由于钻机机型偏小、钻杆强度偏低,钻进过程中随着地应力逐渐增大,且破碎带岩层岩性变化剧烈,地面井井斜随钻进深度增加逐渐增大,至238 m埋深处水平偏斜位移已达6.55 m,在下放三开筛管段时,阻塞感明显,为避免三开段垮孔,使用钻机将筛管段顶至预设层位。

3 地面井抽采数据分析

地面井抽采系统于2014年9月18日正常抽采运行,平均日运行22 h,持续运行230 d后,因抽采量较小及运行成本等原因停止试验,累计抽采煤层气纯量约49.7万m³。地面井部分运行数据见表2,连续运行数据变化曲线见图2。通过拟合长期抽采流量趋势线,预计地面井连续运行600 d后抽采流量会逐渐降低至0,极限抽采煤层气总量约94万m³。

表2 地面井部分运行数据

日期	瓦斯浓度/ %	混合流量/ (m ³ ·min ⁻¹)	瓦斯纯流量/ (m ³ ·min ⁻¹)	负压/ kPa
2014-11-01	29	5.24	1.519 6	46
2014-11-02	32	5.42	1.734 4	44
2014-11-03	36	5.36	1.929 6	45
2014-11-04	32	5.37	1.718 4	41
2014-11-05	28	5.31	1.486 8	44
2014-11-06	32	5.20	1.664 0	45

表2(续)

日期	瓦斯浓度/ %	混合流量/ (m ³ ·min ⁻¹)	瓦斯纯流量/ (m ³ ·min ⁻¹)	负压/ kPa
2014-11-07	28	5.30	1.484 0	44
2014-11-08	31	5.23	1.621 3	44
2014-11-09	30	5.42	1.626 0	44
2014-11-10	32	5.57	1.782 4	44
2014-11-11	32	5.04	1.612 8	43
2014-11-12	30	5.51	1.653 0	43

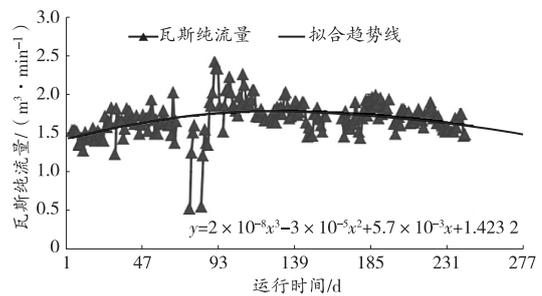


图2 地面井抽采运行数据变化曲线

分析表2及图2可知,地面井正常运行期间,煤层气抽采数据基本稳定,采出气甲烷体积分数约为30%,混合气流量约5 m³/min,抽采负压约45 kPa。地面井运行期间使用钻孔成像仪对井筒内部进行探视,未发现井筒发生变形。地面井持续运行7个月数据未发生大幅度变化,说明井内煤层气抽采通道畅通,但抽采流量偏低,抽采负压较大,分析认为这是由于地面井井斜控制较差,终孔位置偏离标靶严重,导致有效出气通径减小,影响采气效果;同期试验的另一口地面井全程使用清水钻进工艺施工,在钻进至覆岩采动裂隙带后卡钻、掉钻事故频发^[15],严重影响钻进速度及完井质量,后期抽采发现井壁围岩内裂隙被泥浆完全封堵,井筒内积水严重,无法产气。表明影响采动稳定区地面井抽采效果的关键问题,不是地面井筒的变形破坏,而是布井位置选择、钻井设备与工艺的选择、钻完井质量控制等因素,应该尽量减少对采动裂隙通道的污染,在钻越采动裂隙带时清水钻进工艺宜谨慎使用。

试验期间由于煤矿矸石山电力故障及井场设备检修等原因停抽4次,停抽间隔1~7 d不等,停抽后重新抽采时采出气浓度和流量等参数均有明显下降,且下降幅度与停抽时间长短成正比,然后逐渐升高恢复正常水平,表明采动稳定区地面井运行状态对抽采效果影响较大。

4 结论

1) 结合采动稳定区煤层气储层特点,提出了稳定区煤层气资源量评价选区的基本原则,应该在竖向及横向上明确评估计算单元,多煤层开采条件时需要考虑开采卸压范围的交叉重叠问题,为稳定区煤层气资源量评估技术的应用提供基本依据。

2) 试验点估算最大可抽采煤层气量约 164.81 万 m³,地面井实际抽采气甲烷体积分数约为 30%,持续运行 230 d 累计采出气量 49.7 万 m³,拟合的长期最大抽采气总量可达 94 万 m³,实际采出气量约占计算可采气量的 30%。

3) 采动稳定区煤层气分源加法评估模型的评估结果受浓度等关键参数取值影响显著,实际运用中应该利用现场抽采数据对评估参数及时修正以校准资源量评估结果。

4) 影响采动稳定区地面井抽采效果的关键问题不是地面井筒的变形破坏,而是布井位置选择、钻井设备与工艺选择、钻井质量控制等因素,清水钻进工艺在钻越采动裂隙带时宜谨慎使用。

参考文献:

[1] 贾建造. 煤层气资源储量评估方法[M]. 北京:石油工业出版社,2007.
[2] 于不凡. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
[3] 张铁岗. 矿井瓦斯综合治理技术[M]. 北京:煤炭工业出

版社,2001.
[4] 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)[R]. 2006.
[5] 国务院办公厅. 能源发展战略行动计划(2014—2020年)[R]. 2014.
[6] 国家能源局. 煤层气开发利用“十三五”规划[R]. 2016.
[7] 黄昌文,杨良智. 松藻矿区瓦斯抽采的现状和发展方向[J]. 矿业安全与环保,2009,36(4):69-72.
[8] 刘宁宁,崔刚,马国强. 松藻矿区复杂条件与煤层气抽采协调的开采技术体系[J]. 煤炭技术,2015,34(10):31-34.
[9] 吕东亮,郝会安,廉洁. 石壕煤矿工作面综合防治水技术应用[J]. 能源与环保,2017,39(3):113-117.
[10] 郑得文. 煤层气资源储量评估方法与理论研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
[11] 李日富,赵国栋. 采动影响稳定区煤层气储层空间计算方法[J]. 矿业安全与环保,2013,40(2):8-11.
[12] 李日富,文光才. 采动影响稳定区煤层气资源量分源叠加评估模型[J]. 煤炭科学技术,2015,43(10):116-121.
[13] 李日富. 采动影响稳定区煤层气储层及资源量评估技术的研究与应用[D]. 重庆:重庆大学,2014.
[14] 孙海涛. 成庄煤矿采空区煤层气地面井抽采试验[J]. 矿业安全与环保,2014,41(1):1-3.
[15] 钟沛,李彦明,郭志军. 松藻煤矿采动稳定区瓦斯地面抽采井施工工艺[J]. 煤矿安全,2015,46(7):155-158.

(责任编辑:李 琴)

(上接第 39 页)

[3] CHUAHA T G, GIMBUNB J, CHOONGA T S Y. A CFD study of the effect of cone dimensions on sampling aerocyclones performance and hydrodynamics [J]. Powder Technology, 2006, 162(2):126-132.
[4] 王乐勤,郝宗睿,王循明,等. 通体长度对旋风分离器内流场影响的数值模拟[J]. 工程热物理学报,2009,30(2):223-226.
[5] 袁惠新,姚宇婷,付双威,等. 锥端长度对微型旋流分离器内流场影响的数值模拟[J]. 化工机械,2011,38(3):341-344.
[6] 魏名山,马朝臣,李向荣,等. 用 PIV 进行静电旋风除尘器流场的测定[J]. 北京理工大学学报,2000,8(4):

497-499.
[7] 李强. 旋风除尘器优化设计及分离特性研究[D]. 长沙:中南大学,2008.
[8] 尚珍. 关于旋风除尘器减阻措施的实验研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2001.
[9] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
[10] 冯进,张慢来,冯仲. 带粒液流中圆形弯管的冲蚀模型研究[J]. 长江大学学报(自然科学版),2008,5(3):74-80.

(责任编辑:李 琴)