



移动扫码阅读

陈召英,郝海金,郝春生,等.煤层气井地面压裂和井下长钻孔联合抽采技术研究[J].煤炭科学技术,2019,47(8):142-146.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.08.018

CHEN Zhaoying,HAO Haijin,HAO Chunsheng,*et al.* Study on combined extraction technology of underground long borehole and CBM ground-well fracturing[J].Coal Science and Technology,2019,47(8):142-146.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.08.018

煤层气井地面压裂和井下长钻孔联合抽采技术研究

陈召英^{1,2},郝海金^{1,2},郝春生^{1,2},赵晋斌^{1,2},田庆玲^{1,2}

(1.煤与煤层气共采国家重点实验室,山西 晋城 048000;2.易安蓝焰煤与煤层气共采技术有限责任公司,山西 晋城 048000)

摘 要:晋城矿区煤层含气量高、渗透率低,单一的地面或井下抽采效果不理想,为使煤矿安全开采,须结合井下长钻孔部署的局部范围卸压增渗的瓦斯预抽技术,使煤层渗透性得到成倍提高。采用微地震法及电位法等人工裂缝监测技术,对试验井压裂的裂缝形态和有效半径进行了评价,以试验区百米钻孔瓦斯流量、瓦斯浓度等相关参数作为考察对象,分析研究了地面压裂与井下长钻孔施工的时空衔接关系。研究结果表明:试验区地面井压裂影响范围呈椭圆区间,长半轴为 120~150 m,短半轴为 50~80 m,裂缝形态以水平裂缝为主;压裂影响区内百米钻孔瓦斯流量是压裂区外的 1.33~17.50 倍,瓦斯体积分数平均提高了 35%;地面压裂与井下抽采衔接越紧密抽采效果越好,地面压裂施工后优先施工稳定性较好的煤层顶板钻孔,待压裂裂缝与煤体达到新的动态平衡后再施工顺煤层钻孔;综合考虑抽采效果及井下安全,压裂井井底与已掘巷道、已施工钻孔距离 150~200 m 为宜。

关键词:松软低渗煤层;地面井压裂;井下长钻孔抽采;抽采效果;时空关系

中图分类号:TD712

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)08-0142-05

Study on combined extraction technology of underground long borehole and CBM ground-well fracturing

CHEN Zhaoying^{1,2},HAO Haijin^{1,2},HAO Chunsheng^{1,2},ZHAO Jinbin^{1,2},TIAN Qingling^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Coal and CBM Co-mining,Jincheng 048000,China;

2.Yi'an Lanyan Coal and Coalbed Methane Co-mining Technology Company Limited,Jincheng 048000,China)

Abstract: Due to the high gas content and low permeability of coal seam in Jincheng mining area, the single ground or underground gas drainage effect is not ideal. In order to make the coal mining safe, a continuous exploration that combined ground fracturing with underground long holes gas drainage to increase permeability become more and more important. The fracture morphology and effective radius of the test well fracturing were evaluated by artificial seismic monitoring techniques such as microseismic method and potential method. The parameters such as gas flow and gas concentration in the test area were investigated, and the temporal-spatial relationship between ground fracturing and underground gas extraction were analyzed. The results show that the fracturing range of the ground well in the test area was elliptical, with the long semi-axis being 120~150 m and the short semi-axis being 50~80 m, and most of the crack form was horizontal. The gas flow rate of 100-meter borehole in the affected zone is 1.33~17.50 times outside the fracturing zone, and the gas concentration increased by an average of 35%. The closer the ground fracturing is combined with the downhole drainage, the better the drainage effect is. The coal seam with better construction stability after ground fracturing construction is preferred. After the fracturing crack and the coal body reach a new dynamic balance, and then drilling the coal seam. After comprehensively considering the drainage effect and the safety of the well, that the distance between the bottom of the fractured well and the excavated roadway and the constructed drilling hole distance of 150~200 m is suitable.

Key words: soft and low permeability coal seam; ground fracturing; underground long holes gas drainage; gas drainage effect; temporal-spatial relationship

收稿日期:2019-03-21;责任编辑:王晓珍

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05067001-08);山西省科技重大专项资助项目(MQ2016-01);山西省煤层气联合研究基金资助项目(2014012009)

作者简介:陈召英(1987—),男,山东德州人,工程师,硕士。E-mail:chenzhaoying2008@163.com

0 引 言

我国煤层气地质条件具有构造复杂、煤体结构破坏严重、渗透率普遍偏低的特点,直接引进国外煤层气抽采技术难以奏效。不管是从煤层气资源利用的角度还是煤矿瓦斯防治的角度,都决定了中国煤层气产业化发展必须走煤与煤层气协调开发的道路,实行煤层气地面与井下相结合的抽采方式^[1]。

地面水力压裂是当前煤层气开发最主要的增产改造措施,具有施工方便、安全、影响范围大等优点,可以对煤矿瓦斯提前预抽,但也有施工成本高、抽采覆盖不均匀、抽采效果差异大等缺点;井下抽采具有针对性强、抽采密度高等优点,但也存在井下施工安全隐患大、压裂规模小等问题。因此晋煤集团积极探索井下千米长钻孔定向钻进技术,与地面抽采技术相配合,成功实现了地面与井下联合抽采,形成了“采煤采气一体化”的立体抽采模式,取得了较好的抽采效果^[2-4]。

“十二五”期间,晋煤集团在赵庄井田一盘区部署施工了5口地面井开展试验,提出了在地面井煤层压裂增渗的同时,结合井下长钻孔部署的局部范围卸压增渗的方法。考察了试验区瓦斯含量、百米钻孔瓦斯流量、瓦斯抽采量及瓦斯浓度等相关参数,对压裂影响区和无压裂影响区抽采效果进行了对比分析。由于井下抽采作业与试验井地面压裂严重脱节,完井方式为裸眼完井,裂缝多分布在煤层顶板,导致抽采效果不理想^[5]。为了更合理地验证井下抽采效果,在地质条件类似的成庄井田布置了5口试验井,笔者围绕地面压裂影响范围、瓦斯抽采效果、地面井下衔接时间等方面开展研究,以促进该模式在不同矿区的推广应用。

1 地质概况

成庄井田位于沁水煤田南翼,晋城市西北20 km处,跨泽州和沁水两县。构造形态总体表现为倾向北西的单斜构造,主体构造上发育有宽缓的次级背向斜,地层平缓,倾角3°~15°,一般小于10°。区内发育落差较小、延展长度较短的高角度正断层,陷落柱较发育,以中小型圆柱形为主。井田面积74 km²,可采煤层为3、9、15号煤层,矿井核定生产能力达到8.3 Mt/a,主采3号煤层。井田内3号煤层平均瓦斯含量7.66~15.62 m³/t,平均值为10.19 m³/t;瓦斯压力为0.14~0.69 MPa;透气性系数为0.103 2~26.580 0 m²/(MPa²·d)^[6-7]。

地应力测试结果(表1)表明,测深311~338 m

最大水平主应力 σ_H 为7.2~9.4 MPa,最小水平主应力 σ_h 为5.6~7.5 MPa,铅直应力 σ_z 为8.1~8.8 MPa。根据工程经验,对测深内岩体应力水平进行分析可知,该应力水平为中等。最大水平主应力方向为N85°—88°E,该区域的最大水平主应力方向主要受区域地质构造(断层)的影响。

表1 地应力测试结果

Table 1 Ground stresses test result								
序号	孔深/ m	P_0 / MPa	σ_1 / MPa	σ_H / MPa	σ_h / MPa	σ_z / MPa	λ	σ_H 方位
1	311	3.1	0.3	7.9	5.6	8.1	0.98	N85°E
2	332	3.3	2.1	9.4	6.7	8.7	1.09	N88°E
3	335	3.4	0.8	8.5	7.5	8.7	0.97	—
4	337	3.4	0.6	7.2	6.2	8.8	0.82	—

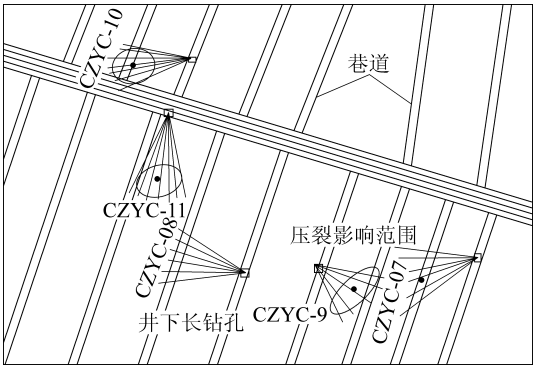
注: P_0 为岩石孔隙压力; σ_1 为岩石抗拉强度; λ 为最大水平主应力方向的侧压系数。

2 抽采工程布置

2.1 抽采钻孔布置

成庄井田采用斜井石门开拓方式,在井田浅部开凿一对斜井担负矿井的主、辅运输工作,主斜井标高为+730 m,副斜井标高为+640 m。另外,在井田中部还有2个立井:1个排矸进风井和1个中央回风井,排矸进风井担负进风和排矸任务,中央回风井担负全矿井的回风任务。一水平共划分为5个盘区,盘区走向长度平均为1 400~3 100 m。回采工作面走向长1 400~2 000 m,倾斜长度为200 m左右。各工作面共布置3条巷道,分别为运输巷、回风巷和尾巷,运输巷进风,回风巷和尾巷回风。

在成庄井田四盘区布置了5口地面井开展试验,采用地面水力压裂改造目的煤层,通过施工顺煤层长钻孔和煤层顶板长钻孔进行井下瓦斯抽采,达到快速降低吨煤瓦斯含量的目的(图1)。煤层埋藏深度304~476 m,完井方式为套管完井。



CZYC-07—CZYC-11 为试验井编号

图1 试验井部署及顺煤层长钻孔示意

Fig.1 Well location selection and underground long boreholes

吸取赵庄井田试验井的经验教训,在完善成庄试验井方案时,刻意缩短了井下钻孔抽采时间与压裂时间的间隔(表 2)。

表 2 试验井压裂抽采时空关系
Table 2 Fracturing and extraction
temporal-spatial relationship

井号	至巷道的 距离/m	至长钻孔 的距离/m	井下钻孔滞后 压裂时间/月
CZYC-07	285	149	5
CZYC-08	276	101	12
CZYC-09	329	11	0
CZYC-10	301	172	1
CZYC-11	401	302	15

2.2 裂缝监测方法

目前,煤层气井压裂裂缝监测方法主要有地面微地震裂缝监测法、大地电位法、井温测试法和井下微地震裂缝监测法等手段,本次裂缝监测方法主要采用地面微地震监测法和电位法,同时结合压裂前后邻近井生产情况进行综合分析。

地面微地震法监测人工裂缝是利用压裂施工中地层岩石破裂产生的微地震波,测定裂缝方位及几何形态等重要参数,即对微地震信息经过叠加和成

图处理形成反映水力压裂裂缝大小的图像,它是时间、总翼长、翼不对称性、裂缝高度和裂缝方位的函数。实践证明,微地震监测法简便、直接、可靠,作业成本低,现场可及时处理,在煤层气井中应用广泛^[8-11]。

电位法监测技术是以传导类电法勘探的基本理论为依据,多在水平地表的情况下,通过测量注入到目的层的高电离能量的工作液所引起地面电场形态的变化,来解释获得注水推进方向及压裂裂缝方位等相关参数^[12-13]。

3 工程实施效果分析

3.1 地面井煤层压裂效果

本次同时采用微地震监测法和大地电位法对 CZYC-09、10、11 井进行了压裂裂缝实时监测(表 3),同时通过分析邻近井压前、压后地面排采参数的变化,间接确定裂缝长度。

微地震监测方法以压裂井为中心,在周围选择 6 个监测台站,并用 GPS 测量各个台站与目标井的距离及方位,然后对 6 个监测台逐一进行调试。压裂开始的同时开机监测,直至压裂结束时停止监测,见表 3。

表 3 压裂裂缝监测结果
Table 3 Results of fracture monitoring

井号	压裂井段/m	微地震法				电位法		裂缝产状
		裂缝全长/m	东翼缝长/m	西翼缝长/m	裂缝方位/(°)	裂缝全长/m	裂缝方位/(°)	
CZYC-09	469.54—475.64	285	145	140	NE49°	169	NE60°	水平
CZYC-10	385.65—391.26	393	216	177	NE81°	213	NE45°	水平
CZYC-11	304.54—310.74	378	221	157	NE70°	163	NE45°	水平

电位法测试以试验井井口为圆心环形布置呈放射状对应的三环测点,测点间夹角 15°,测环半径选择为 30、50、70 m,三环共布置 72 个测点,起始点方位角为 0°。在裂缝产状及方位上,电位法监测结果与微地震法基本一致,但裂缝长度明显较短。导致这种差异的原因,可能由于地形原因,电位法测点布置间距比较小造成的。

通过对 5 口试验井周围 300 m 以内的生产井进行压前、压后排采数据对比分析,出现井底压力或产气量突变的井间距一般为:短轴方向 100~160 m,长轴方向 240~300 m,由此初步判断,压裂裂缝为短半轴 50~80 m,长半轴为 120~150 m 的椭圆形区域。

3.2 井下瓦斯抽采效果分析

压裂影响区内外抽采效果对比见表 4,CZYC-07 压裂井压裂影响区内的瓦斯浓度和百米钻孔流量两参数比较,压裂区内分别是压裂区外的 1.28 和 1.7 倍。

CZYC-08 压裂井压裂影响区内的瓦斯浓度和百米钻孔流量两参数比较,压裂区内分别是压裂区外的 1.35 和 1.33 倍。

CZYC-09 压裂井压裂影响区内的瓦斯浓度和百米钻孔流量两参数比较,压裂区内分别是压裂区外的 1.19 和 17.5 倍。

CZYC-10 压裂井压裂影响区内的瓦斯浓度和百米钻孔流量两参数比较,压裂区内分别是压裂区外的 1.71 和 2.17 倍。

CZYC-11 井压裂影响区内瓦斯体积分数 82%, 百米钻孔流量是 0.021 m³/min, 由于压裂区外没有

钻孔施工, 未能进行数据监测, 因此不予对比。

表 4 压裂影响区内外抽采效果对比

Table 4 Comparison of fracturing in and out of affected area

井号	百米钻孔流量/(m ³ ·min ⁻¹ ·hm ⁻¹)		瓦斯体积分数/%		提高幅度/%
	压裂区内	压裂区外	压裂区内	压裂区外	
CZYC-07	0.015	0.009 0	72	56	28.6
CZYC-08	0.036	0.027 0	83	68	22.1
CZYC-09	0.220	0.012 6	89	75	18.7
CZYC-10	0.026	0.012 0	77	45	71.1
CZYC-11	0.021	—	82	—	—

3.3 地面压裂与井下抽掘作业时时空关系

3.3.1 地面压裂对井下长钻孔成孔率的影响

前人研究认为, 在井下钻孔滞后地面压裂 0~2 个月时, 煤层透气性系数增大, 抽采效果较好, 但煤体结构破碎, 易出现塌孔、卡钻现象^[14-15]。施工顶板定向长钻孔受压裂影响不明显, 不容易塌孔, 成孔率较高, 且单孔进尺和最大孔深更大, 抽采效果更好。

CZYC-07 井以顺煤层长钻孔抽采为主(图 2), 当钻孔进入压裂影响区范围内距中心靶区 70 m 的区域时, 出现塌孔集中区(图 2 中煤体破碎区), 说明此区域为煤体破碎区。压裂区外出现塌孔集中的煤体破碎区, 是因为此区域位于 CZ-054 抽采井的压裂影响范围, 此外钻孔到达此区域时, 钻孔深度达已有 450 m 左右, 钻孔也容易出现塌孔。

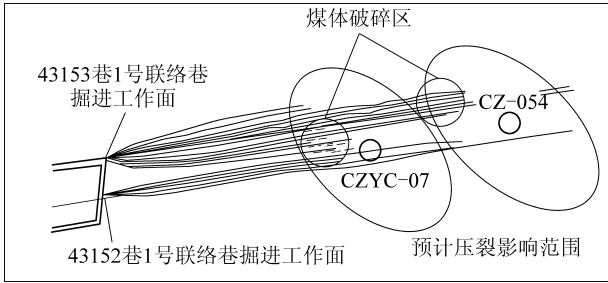


图 2 CZYC-07 井钻孔施工分布示意

Fig.2 CZYC-07 well underground long boreholes distribution

CZYC-10 井地面压裂与井下作业衔接较紧密, 压裂后施工了部分煤层顶板定向长钻孔, 成孔率高、抽采效果好。以压裂影响范围内的 2014 年的 6 号钻孔为例, 平均体积分数在 89% 左右, 百米钻孔流量 0.79~1.78 m³/min, 平均 1.28 m³/min, 并且维持 5 个多月后衰减很小(图 3), 说明钻孔所在区域受地面压裂井的影响, 煤层透气性显著增加, 瓦斯大量释放, 钻孔瓦斯来源持续稳定, 提高了钻孔利用率, 保证了良好的抽采效果。

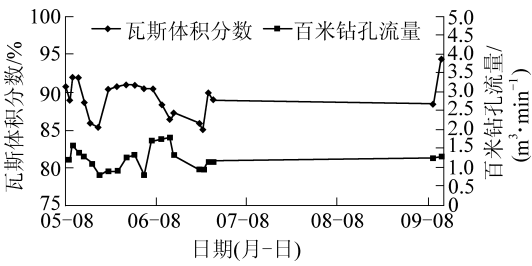


图 3 压裂影响范围内 6 号钻孔瓦斯抽采效果

Fig.3 Extraction effect of No.6 borehole in affected area of fracturing

3.3.2 抽采效果与压裂时间的关系

综合分析研究区抽采数据可知, CZYC-09、10 井压裂与井下采掘衔接紧密, 抽采效果最好; CZYC-07 井压裂时间与井下钻孔考察时间间隔约 5 个月, 抽采效果次之; CZYC-08 井压裂时间与井下钻孔考察时间间隔 1 年, 虽然压裂影响区内比影响区外的抽采数据有一定程度的提高, 但是抽采效果并不很理想。这与赵庄井田试验结果基本一致, 压裂效果随着时间的推移逐渐消失^[8], 只有合理的滞后抽采衔接时间才能保持较高的抽采浓度和百米钻孔流量, 实现抽采效益最大化。

4 结 论

1) 成庄井田试验井煤层埋深 304~476 m, 地面微地震监测压裂裂缝形态以水平裂缝为主, 裂缝长度 285~378 m, 大地电位监测压裂裂缝形态以水平裂缝为主, 裂缝长度 112~138 m, 2 种测试方法监测裂缝长度差距较大, 但主裂缝方位基本一致(NE49°—NE81°)。根据井下钻孔抽采情况及地面邻近生产井的排采数据推测压裂影响区为长轴 120~150 m、短轴 50~80 m 的椭圆区域。

2) 压裂影响区内, 瓦斯抽采浓度及百米钻孔流量都有明显提高, 压裂影响区内百米钻孔瓦斯流量是

压裂区外的1.33~17.50倍;压裂区内瓦斯浓度是压裂区外的1.19~1.71倍,平均提高了35%。

3)井下钻孔与地面压裂时空衔接越紧密,井下钻孔抽采效果越好,井下钻孔滞后地面压裂时间以不超过5个月为宜。受地面压裂的影响,煤体裂隙发育,结构破碎,钻孔施工困难,易出现塌孔、卡钻现象,钻孔施工速度较慢,成孔率低,影响抽采效果。建议地面压裂0~2个月内优先施工稳定性较好的顶板钻孔,待压裂裂缝与煤体达到新的动态平衡后再施工顺煤层钻孔。

4)根据压裂裂缝延展方向及影响范围,初步确定压裂井井底与已掘巷道、已施工钻孔的距离应大于150 m,以确保井下生产安全;但为了保证地面压裂与井下钻孔衔接的紧密性,此距离应小于200 m。

参考文献(References):

- [1] 秦勇,汤达祯,刘大锰,等.煤储层开发动态地质评价理论与技术进展[J].煤炭科学技术,2014,42(1):80-88.
QIN Yong, TANG Dazhen, LIU Dameng, *et al.* Geological evaluation theory and technology progress of coal reservoir dynamics during coalbed methane drainage[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1):80-88.
- [2] 贺天才,王保玉,田永东.晋城矿区煤与煤层气共采研究进展及急需研究的基本问题[J].煤炭学报,2014,39(9):1779-1785.
HE Tiancai, WANG Baoyu, TIAN Yongdong. Development and issues with coal and coal-bed methane simultaneous exploitation in Jincheng mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9):1779-1785.
- [3] 张遂安.采煤采气一体化理论与实践[J].中国煤层气,2006,3(4):14-16.
ZHANG Suian. Theory and practice about integrated coal mining and gas extraction[J]. China Coalbed Methane, 2006, 3(4):14-16.
- [4] 张志义.晋煤集团高瓦斯矿井煤层气抽采及利用效果[J].煤炭技术,2008,27(11):91-92.
ZHANG Zhiyi. Effect of extraction and application of coal seam gas in high gassy mine of Jincheng Coal Industry Group[J]. Coal Technology, 2008, 27(11):91-92.
- [5] 王保玉,白建平,郝春生,等.煤层气地面井压裂-井下长钻孔抽采技术效果分析[J].煤炭科学技术,2015,43(2):100-103.
WANG Baoyu, BAI Jianping, HAO Chunsheng, *et al.* Effect analysis on fracturing of coalbed methane surface well and long distance bore-hole gas drainage technology in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2):100-103.
- [6] 孟召平,郝海金,张典坤,等.晋城成庄井田煤层气直井开发后煤

层底板突水危险性评价[J].煤炭学报,2014,39(9):1899-1906.
MENG Zhaoping, HAO Haijin, ZHANG Diankun, *et al.* Assessment of water inrush risk of coal floor after CBM development using vertical wells at Chengzhuang mine field in Jincheng[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9):1899-1906.

- [7] 王勃,姚红星,王红娜,等.沁水盆地成庄区块煤层气成藏优势及富集高产主控地质因素[J].石油与天然气地质,2018,39(2):366-372.
WANG Bo, YAO Hongxing, WANG Hongna, *et al.* Favorable and major geological controlling factors for coalbed methane accumulation and high production in the Chengzhuang Block, Qinshui Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2):366-372.
- [8] 唐书恒,朱宝存,颜志丰.地应力对煤层气井水力压裂裂缝发育的影响[J].煤炭学报,2011,36(1):65-69.
TANG Shuheng, ZHU Baocun, YAN Zhifeng. Effect of crustal stress on hydraulic fracturing in coalbed methane wells[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(1):65-69.
- [9] 宋维琪,胡建林,刘磊,等.微地震压裂裂缝网络分形混沌优化[J].地球物理学进展,2018,33(1):236-242.
SONG Weiqi, HU Jianlin, LIU Lei, *et al.* Micro-seismic fracturing fracture networks fractal chaos optimization[J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(1):236-242.
- [10] 赵博雄,王忠仁,刘瑞,等.国内外微地震监测技术综述[J].地球物理学进展,2014,29(4):1882-1888.
ZHAO Boxiong, WANG Zhongren, LIU Rui, *et al.* Review of micro-seismic monitoring technology research[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(4):1882-1888.
- [11] 尹陈,刘鸿,李亚林,等.微地震监测定位精度分析[J].地球物理学进展,2013,28(2):800-807.
YIN Chen, LIU Hong, LI Yalin, *et al.* The precision analysis of the microseismic location[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2):800-807.
- [12] 刘艳艳,刘大伟,刘永良,等.水力压裂技术研究现状及发展趋势[J].钻井液与完井液,2011,28(3):75-78.
LIU Yanyan, LIU Dawei, LIU Yongliang, *et al.* Study progresses of hydraulic fracturing technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(3):75-78.
- [13] 杨晓丁.电位法压裂裂缝监测方法研究[D].北京:中国石油大学,2016.
- [14] 王飞.余吾煤矿掘进工作面千米钻机抽采钻孔稳定性与优化布置研究[D].太原:太原理工大学,2015.
- [15] 申凯.晋城矿区地面压裂与井下抽采时空衔接关系研究[J].矿业安全与环保,2018,45(4):22-26.
SHEN Kai. Temporal-spatial relationship between ground fracturing and underground gas extraction in Jincheng Mining Area[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2018, 45(4):22-26.