

文章编号: 0253-9993(2013)01-0001-08

大直径地面钻井采空区采动区瓦斯抽采理论与技术

袁 亮¹ 郭 华² 李 平¹ 梁运培² 廖斌琛¹

(1. 淮南矿业(集团)有限责任公司 安徽 淮南 232001; 2. The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation ,PO Box 883 ,Queensland Australia #069)

摘 要: 地面钻井抽采采空区采动区瓦斯技术在世界范围内的应用越来越广泛,然而仍存在着瓦斯流量和浓度偏低以及钻井稳定性差的问题。基于淮南矿业集团和澳大利亚的应用实践,开展了大直径地面钻井提高瓦斯抽采效果的理论与技术研究。通过对围岩采动影响和瓦斯抽采效果的数值模拟,参考瓦斯高效抽采范围的高位环形体理念,进行了抽采管径分别为 244.5 mm 和 177.8 mm 的大直径地面钻井设计和抽采瓦斯试验。试验结果表明:大直径地面钻井在抽采效果、控制工作面瓦斯涌出以及钻井稳定性上均明显优于普通钻井,瓦斯抽采总量可达 316.7 万 m³,瓦斯纯量达 170 万 m³,服务时间达 106 d,能够有效地控制工作面回风瓦斯浓度;地面钻井布置于回风巷一侧在抽采效果上优于进风巷一侧,前者瓦斯抽采量和浓度分别高于后者 33.7% 和 75.3%。

关键词: 大直径钻井;采空区;采动区;瓦斯;地面钻井;钻孔稳定性

中图分类号: TD712.6 **文献标志码:** A

Theory and technology of goaf gas drainage with large-diameter surface boreholes

YUAN Liang¹, GUO Hua², LI Ping¹, LIANG Yun-pei², LIAO Bin-chen¹

(1. Huainan Mining (Group) Co. Ltd. Huainan 232001, China; 2. The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, PO Box 883, Kenmore Queensland #069 Australia)

Abstract: Coal mine goaf drainage with surface boreholes is increasingly used in coal mines worldwide. However, poor performance of some of these surface gas boreholes is often experienced in terms of the gas concentration, flowrate and borehole stability. In order to improve performance, theoretical studies and field investigations were carried out to develop optimal surface borehole designs based on the experience from Huainan and Australia in recent years. Through the extensive numerical modelling of mining impact in the surrounding strata and performance of various gas drainage configurations, and by applying the concept of the 3D annular-shaped overlying zone for optimal methane drainage, the trials using large diameter boreholes with diameters of 244.5 mm and 177.8 mm were designed and implemented. The trial results demonstrate that the large diameter boreholes perform significantly better than conventional boreholes in terms of total gas captured, longwall gas control effectiveness and borehole stability. The total gas captured from a single large borehole can reach 3.167 million m³ with 1.7 million m³ of pure methane, and the borehole productive life is 106 days. The methane concentration in the longwall return gateroad is effectively controlled during the operation of the large boreholes. The trial results also show that the surface borehole located on the longwall return side performs better than that on the intake side. The total gas captured from the return side borehole is 33.7% more than that from the intake side and the methane concentration is 75.3% higher.

Key words: large-diameter borehole; goaf; mining disturbed zone; methane gas; surface borehole; borehole stability

地面钻井是采空区、采动区瓦斯抽采的主要技术之一,在世界范围内得到了广泛应用。它既可以抽采

收稿日期: 2012-12-20 责任编辑: 张晓宁

作者简介: 袁 亮(1960—) 男,安徽金寨人,中国工程院院士。E-mail: yuanl_1960@sina.com。通讯作者: 廖斌琛(1963—) 男,湖南涟源人。E-mail: hnkylbc@163.com

空区瓦斯,又可以抽采动区邻近层卸压瓦斯,适用于低透气性煤层群开采^[1-4]。我国淮南、淮北、晋城、平顶山、铁法、唐山、宁煤等矿区都已开展了地面钻井抽采采空区瓦斯技术的应用,抽采技术已有较大的发展^[5-6]。然而,与国际先进水平相比,还有相当数量的地面钻井应用效果不够理想,表现在瓦斯浓度低($<50\%$)、流量低($<15\text{ m}^3/\text{min}$)和服务范围小($<200\text{ m}$)。引起这些问题的原因除煤层自身开采条件及地质条件外,与钻井的直径、结构、位置等都有很大关系^[7-8]。

2008 年以前,淮南矿业集团普遍采用的地面钻井的工作管径为 127 mm 和 133 mm。应用过程中存在的突出问题是钻井的稳定性差、出气量少、成功率低。在澳大利亚,地面钻井是煤矿广泛应用的采空区瓦斯抽采措施,钻井稳定性较好,单井抽采瓦斯流量为 30 ~ 60 m^3/min ,抽采瓦斯浓度平均为 80% 左右^[9-11]。澳大利亚常用的采空区地面钻井内径通常为 200 ~ 250 mm^[10-13],是淮南矿区常用内径的 1.5 ~ 2.0 倍。

基于此,澳大利亚联邦科学与工业研究组织和淮南矿业集团合作,依托亚太清洁发展与气候伙伴计划(APP)煤与瓦斯共采项目,开展了大直径地面钻井提高瓦斯抽采效果的理论与技术研究,进行了现场抽采试验,并考察了钻井倾向布置位置对抽采效果的影响。

1 试验工作面概况

潘三矿主采煤层为 11-2 和 13-1 煤层。17171(1) 为 11-2 煤层工作面,标高 -700 ~ -750 m,走向长 760 m,倾向宽 220 m。煤层倾角 7° ,厚 2.0 m,原始瓦斯含量 10.8 m^3/t 。工作面采用走向长壁后退式综采工艺,全部垮落法管理顶板,U 型通风方式。工作面于 2011-01-28 开始回采,2011-09-16 收作。

17171(1) 工作面邻近煤层参数见表 1。其中,13-1 煤层是主要的上邻近层,距 11-2 煤层 72 m,平均厚度 3.94 m,煤层原始瓦斯含量为 10 m^3/t 。17171(1) 工作面作为 13-1 煤层的保护层工作面,先期开采 11-2 煤层。表 1 同时给出了未抽采条件下预测的工作面瓦斯涌出量,其中开采层和 13-1 煤层是工作面瓦斯涌出的主要来源,约占瓦斯涌出总量的 78%。

2 围岩采动影响和瓦斯抽采效果的三维数值模拟

为对地面钻井的优化设计提供依据,采用 CSIRO 和日本 NEDO、JCOAL 共同开发的 COSFLOW 模拟软

件和 CFD 计算流体力学软件 Fluent,对 17171(1) 工作面开采围岩卸压、渗透率变化和瓦斯流动的规律进行三维数值模拟。

表 1 17171(1) 工作面邻近层参数及瓦斯涌出量预计

Table 1 Surrounding coal seam parameters and estimated gas emissions at the 17171(1) working face

煤层	厚度/ m	间距/ m	瓦斯含量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	瓦斯涌出量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	涌出量 比例/%
15	0.50	95.0	9.0	0.50	1.72
14-1	0.60	89.0	9.0	0.69	2.37
13-2	0.70	74.0	10.0	1.85	6.39
13-1	3.94	72.0	10.0	11.44	39.41
12	0.50	70.0	9.0	1.32	4.56
11-2	2.00	0	10.8	11.13	38.33
11-1	0.60	3.7	6.0	2.10	7.24
合计				29.03	100

2.1 采动围岩影响规律的三维 COSFLOW 模拟

2.1.1 COSFLOW 模型

COSFLOW 是固、气、液三相耦合的三维有限元数值计算程序,其节理模型建立在 Cosserat 理论上,特别适用于层状岩体受力变形的模拟分析^[14]。建立的 COSFLOW 模型长 3 400 m,宽 2 500 m,高 1 125 m,共有计算单元 162 万个。图 1 为模型平面上的单元划分, x 方向和 y 方向分别代表了最大和最小水平主应力方向。为给模型提供真实、可靠的地质结构和地层走向,笔者根据潘三矿 166 个勘探钻孔资料建立了三维地质模型,简化后导入至 COSFLOW 地层结构的建立中。地层力学参数是根据潘三矿所做的测试资料以及 CSIRO 在淮南矿业集团其它矿的测试结果综合确定的。

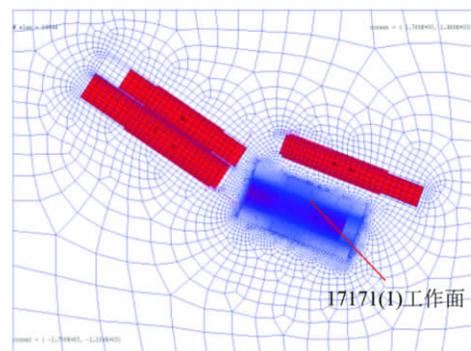


图 1 COSFLOW 三维模型在平面上的单元网格划分

Fig. 1 Mesh of the 3D COSFLOW model (plan view)

2.1.2 围岩卸压特征和渗透率变化

图 2 为模拟的围岩卸压特征。可见,卸压程度达到 80% 的岩层高度可达 108 m,邻近煤层中 11-1, 13-1 和 14-1 都处于该充分卸压范围内。工作面后

方 60 m 后采动区压力开始逐渐回复, 至 140 m 后压力趋于稳定。采动区两侧始终保留一定范围的充分卸压, 沿采动区形成一个环形的卸压区。顶板在走向和倾向上的充分卸压角分别为 70°和 75°。

图 3 为模拟的围岩及 13-1 煤层内的渗透率变化。水平和竖向渗透率增加 3~8 个数量级的高度分

别达顶板 105 m 和 54 m。邻近煤层中, 水平和竖向渗透率均显著增加的煤层有 11-1, 13-1 和 14-1 煤层。在同一高度上, 水平渗透率增加的幅度大于竖向渗透率增加的幅度。渗透率大小的分布与应力分布特征类似, 沿采动区周边同样形成一个环形的渗透率发育区。

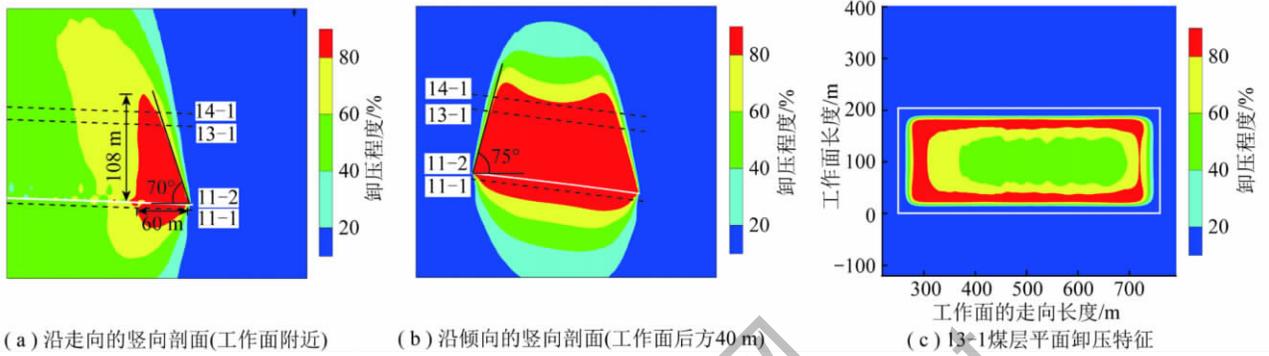


图 2 模拟的 17171(1) 工作面围岩卸压特征

Fig. 2 Modelled strata de-stressing at the 17171(1) working face

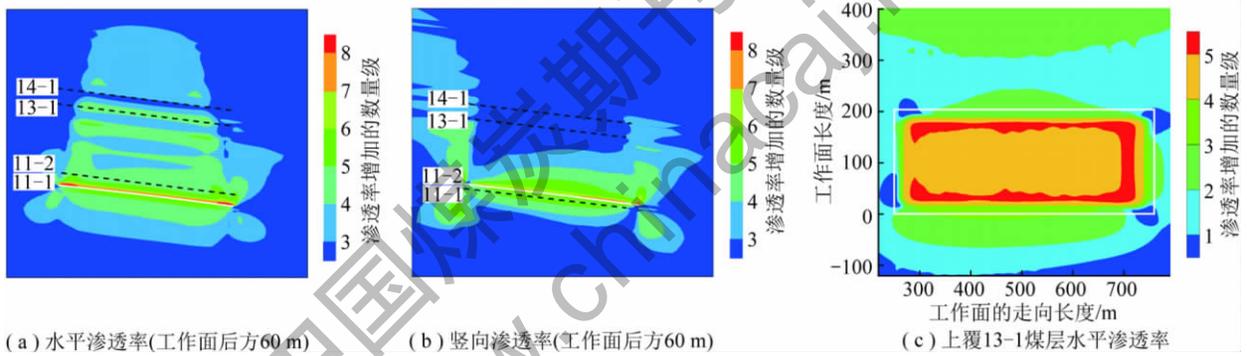


图 3 模拟的 17171(1) 工作面围岩及 13-1 煤层内的渗透率变化

Fig. 3 Modelled permeability changes of surrounding rock at the 17171(1) working face and 13-1 coal seam

2.1.3 17171(1) 工作面瓦斯高效抽采范围的判别

为确立瓦斯高效抽采的三维空间范围, CSIRO 和淮南矿业集团在广泛的现场实测、数值模拟以及实践经验的基础上提出了瓦斯高效抽采的“高位环形体”^[15-16]。其确立的依据是高瓦斯解吸程度、高渗透率和高瓦斯浓度, 布置在该环形体内的钻孔或巷道可实现持续高流量和高浓度的瓦斯抽采。

根据文献 [15-16] 提出的高位环形体的判别原则以及对 17171(1) 工作面 COSFLOW 的模拟结果, 可建立 17171(1) 工作面的瓦斯高效抽采范围的三维“环形体”, 如图 4 所示。它确定的瓦斯高效抽采范围在顶板高度上为 20~108 m, 在该范围内的煤层包括上邻近层 13-1 和 14-1 以及下邻近层 11-1; 高效抽采范围在走向长度为工作面后方 140 m, 在采空区水平倾向宽度上为距离边界 60 m 以内, 13-1 煤层高度为采空区边界 20~70 m。

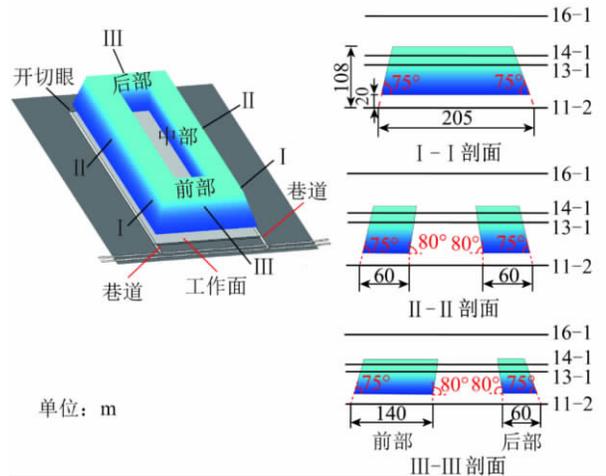


图 4 17171(1) 工作面瓦斯高效抽采的三维环形体

Fig. 4 3D annular zone for optimal gas drainage at 17171(1) working face

2.2 瓦斯抽采效果的 CFD 模拟

为进一步优化钻井位置, 在 COSFLOW 模拟结果

的基础上,利用计算流体动力学(CFD)模拟软件Fluent对17171(1)工作面采空区的气体流动和地面钻井位置对瓦斯抽采效果的影响进行三维数值模拟。

2.2.1 CFD模型

建立的CFD模型长670 m,宽220 m,高100 m,倾角 7° 。模型设置4个地面钻井来研究钻井位置对抽采效果及对工作面瓦斯浓度的影响。模型的几何尺寸以及钻井位置如图5所示。

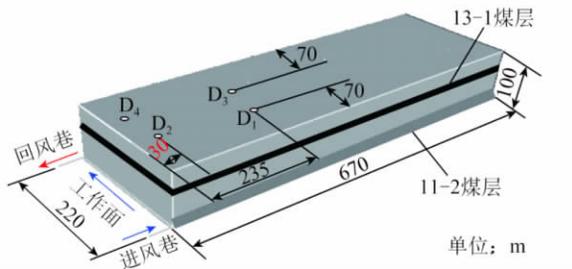


图5 三维CFD模型

Fig. 5 3D geometry of the CFD model

采空区渗透率和孔隙率等参数的设置,是在前面所述COSFLOW模拟结果以及CSIRO以前进行的采空区示踪试验结果和CFD模拟经验^[17-18]基础上确定的。模拟中瓦斯涌出总量(含抽采量)设为 $50 \text{ m}^3/\text{min}$,其中13-1煤层占总涌出量的70%,工作面占20%,采空区遗煤占10%。进风量 $2000 \text{ m}^3/\text{min}$ 为进风边界条件,回风巷为流出边界。每次模拟只有一个地面钻井工作,钻井抽采流量设置为 $30 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

2.2.2 钻井位置对瓦斯抽采效果的影响

图6为无地面钻井抽采以及不同位置地面钻井抽采情况下的50 m顶板高度上的瓦斯浓度分布。可见,地面钻井抽采对瓦斯流动和聚集具有明显的影响,回风巷侧的地面钻井 D_4 可抽采到比进风巷侧的钻井 D_2 更高浓度的瓦斯,而且 D_4 抽采效果比位于同一侧但距离工作面235 m的地面钻井 D_3 明显要好。

2.2.3 钻井位置对工作面瓦斯浓度分布的影响

图7和表2分别为CFD模拟的地面钻井抽采对回风巷风流中瓦斯浓度的影响。结果表明,无地面钻井抽采时回风巷风流中的瓦斯浓度高达1.4%,地面钻井抽采则显著降低了回风巷风流中的瓦斯浓度。回风巷侧钻井抽采比进风巷侧钻井抽采更能有效地降低回风巷风流中瓦斯浓度。位于工作面较近的地面钻井(D_4)对回风巷风流中瓦斯浓度控制起主要作用,地面钻井距离工作面较远时(如 D_2)对回风巷风

流中瓦斯浓度的控制效果明显降低。此外,根据模拟结果,地面钻井布置间距建议小于235 m。

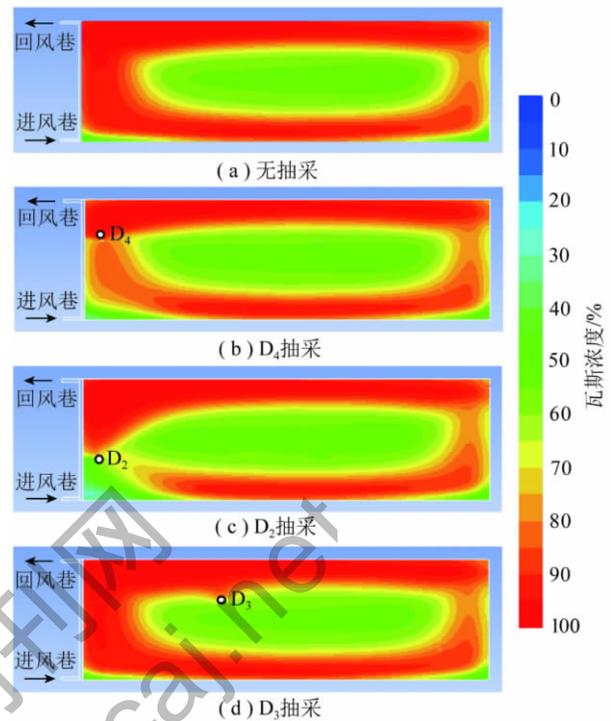


图6 不同条件下顶板50 m平面上瓦斯浓度分布

Fig. 6 CH_4 concentration distributions at 50 m above working level in different conditions

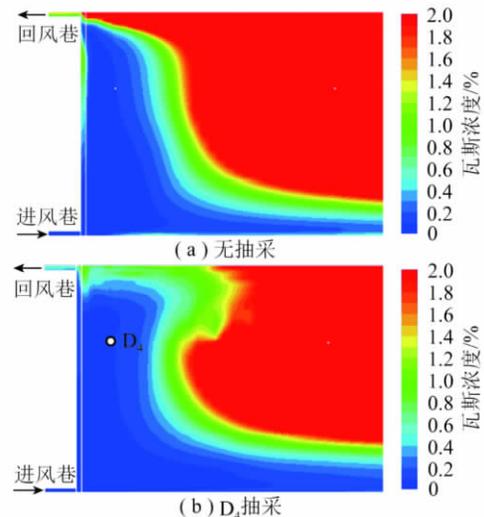


图7 采空区距离底板高1.5 m处的瓦斯浓度分布

Fig. 7 Goaf CH_4 concentration distributions at 1.5 m above mining seam floor

表2 CFD模拟的不同抽采条件下回风巷风流中的瓦斯浓度

Table 2 Modelled CH_4 concentration at the return gateroad under different drainage schemes

无地面钻井抽采	仅 D_4 钻井抽采	仅 D_3 钻井抽采	仅 D_2 钻井抽采	仅 D_1 钻井抽采
1.4	0.6	0.9	0.7	1.1

3 大直径地面钻井优化设计和试验

3.1 钻井直径

淮南矿区部分失效钻井的探孔检查认为钻井的主要破坏形式有两种: ① 剪切破坏导致钻井闭合, 或被剪切破坏后泥沙涌入造成钻井堵塞; ② 抽采管被压缩变形导致断面减小。澳大利亚的实践表明, 地面钻井直径越大, 钻井稳定性越好。基于此, 决定设计和试验大直径地面钻井, 以提高钻井抗变形和破坏的能力。同时, 增大钻井直径, 可以减少抽采负压损失, 提高抽采能力。

3.2 钻井倾向位置

钻井布置于高位环形体内有利于保持持续高流量的瓦斯抽采。图 6 的 CFD 模拟结果说明, 将地面钻井布置在靠近回风巷侧, 既能抽采到高浓度瓦斯, 又能更好地降低回风巷风流中的瓦斯浓度。因而地面钻井的位置宜布置于回风巷一侧。由图 4 给出的瓦斯高效抽采的高位环形体可知, 工作面后方 140 m 后回风巷侧环形体在 13-1 煤层高度上距回风巷 20~70 m。综合考虑钻孔的稳定性问题, 将钻井布置在距回风巷 70 m 的位置。

3.3 钻井间距

图 7 和表 2 给出的 CFD 模拟结果表明, 为了有效控制工作面回风巷风流中的瓦斯浓度, 地面钻井的布置间距应不大于 235 m。淮南矿区地面钻井抽采的应用实践表明, 地面钻井的有效抽采范围约为 211 m^[19]。此外, 考虑到 17171(1) 工作面为该区域的首采工作面, 回采过程中瓦斯涌出量高, 因此适当缩小钻井间距, 设计间距为 200 m。

3.4 钻井结构及固井措施

淮南集团以往的地面钻井在表土层段安装固井套管, 安装范围一般从地表到基岩面以下 10 m。潘三矿表土层厚 330 m。为了提高钻井的稳定性, 采用双层套管, 外层固井套管安装范围从地表到 647.5 m 距 13-1 煤层顶板 10 m, 并在套管和钻孔间充填混凝土。为了使煤层瓦斯能流入钻井, 在上邻近层所处的孔段安装筛孔管或采用裸孔。

3.5 地面钻井的优化设计和实施方案

根据以上分析, 同时为了考察钻井倾向位置对抽采效果的影响, 共设计了 4 个地面钻井, 其中 1 号钻井布置于靠近进风巷一侧, 距离切眼 75 m, 距离进风巷 50 m, 其余 3 个孔布置于靠近回风巷一侧, 钻井间距 200 m, 距离回风巷 70 m。图 8 为地面钻井的设计布置位置。其中 3 号地面钻井工作管径为 244.5 mm×13.85 mm, 其余 3 个钻井工作管径为 177.8 mm×9.2 mm。

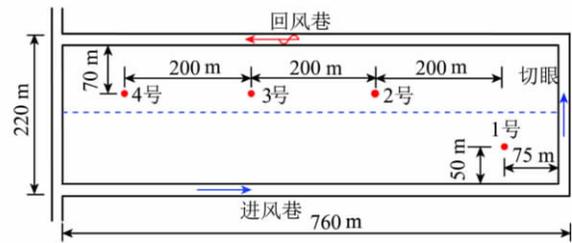


图 8 地面钻井平面布置

Fig. 8 Schematics of surface borehole arrangement

3 号地面钻井的结构如图 9 所示。在表土层段和基岩段使用双层套管。施工钻井直径 450 mm, 安装外径为 340 mm 的套管, 安装范围从地表到 647.5 m。套管内安装外径 244.5 mm、内径 216.8 mm 的抽采管, 在套管和孔壁之间以及套管和抽采管之间注射混凝土。在钻井穿过上邻近层 13-1 和 14-1 段安装了筛孔管, 不注射混凝土。其余 3 个地面钻井, 施工钻井直径 350 mm, 安装外径为 273 mm 的套管, 安装范围从地表到 370 m。套管内安装外径 177.8 mm、内径 159.4 mm 的抽采管, 在套管和孔壁之间以及套管和抽采管之间灌注混凝土。

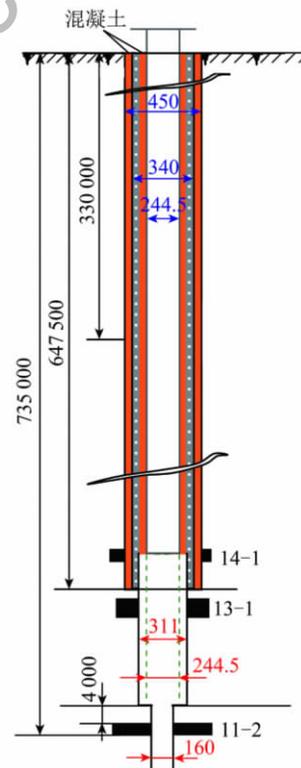


图 9 17171(1) 工作面 3 号钻井结构示意图

Fig. 9 Configuration of borehole No. 3 at the 17171(1) working face

4 大直径地面钻井抽采效果

4.1 大直径地面钻井抽采效果

表 3 和图 10 分别总结和对比了 3 号和 2 号地面

钻井在抽采瓦斯浓度、瓦斯流量、抽采瓦斯总量等试验结果。两者的对比同时可以反映钻井直径对抽采效果的影响。可见3号大直径地面钻井的抽采平均瓦斯流量为 $14.9 \text{ m}^3/\text{min}$,比2号钻井提高了17.3%;抽采瓦斯纯量达170万 m^3 ,提高了38.5%;服务期限达106 d,是2号钻井服务期限的2倍。这些结果充分表明了大直径地面钻井在抽采效果上具有显著的优越性,而且钻井直径越大,抽采效果越好。

表3 3号与2号地面钻井抽采效果比较

Table 3 Comparison of gas drainage performance between borehole No. 3 and No. 2

项目	服务期限/d	平均瓦斯浓度/%	平均瓦斯流量	抽采瓦斯纯量/万 m^3	钻井成本/万元
2号钻井	54	75.4	12.7	121	240
3号钻井	106	55.0	14.9	170	260
提高比例/%	96.3	-27.1	17.3	38.5	8.3

注:平均瓦斯流量单位为 m^3/min 。

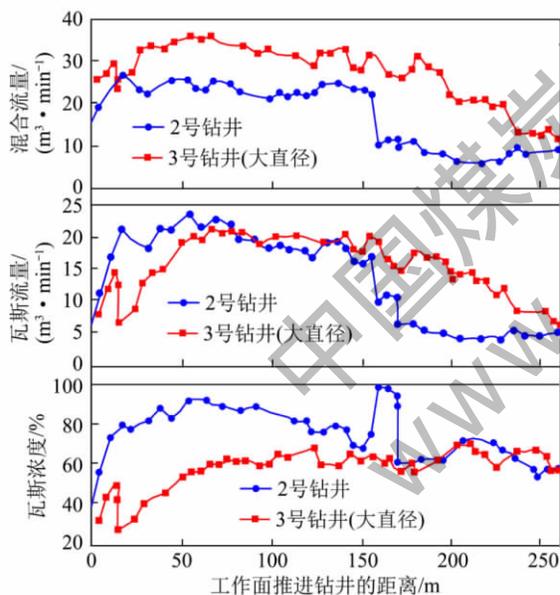


图10 2号和3号地面钻井抽采瓦斯混合流量、流量和瓦斯浓度的变化

Fig. 10 Changes of gas flow rate, pure methane flow rate and purity of methane between boreholes No. 2 and No. 3

4个大直径地面钻井均取得了成功,相对于普通直径钻井的低成功率来讲,大直径地面钻井显著改进了钻井的稳定性,保证了地面钻井的出气量。同时,3号地面钻井在服务期限、抽采总量,以及抽采流量的稳定性上均明显优于2号钻井,表明钻井直径越大稳定性越好。

3号地面钻井抽采的平均瓦斯浓度为55%,低于2号钻井的平均瓦斯浓度75.4%,这表明两钻井在抽采瓦斯来源的比例上有所不同。17171(1)工作面地

面钻井抽采瓦斯的来源主要为上邻近层13-1和14-1的高浓度瓦斯和采空区内的低浓度瓦斯,3号钻井瓦斯浓度低表明其抽出的采空区低浓度瓦斯的比率高,这与前述的在井口负压相同的情况下大直径钻井要比普通钻井在采空区位置的抽采负压高的分析是一致的。进一步讲,3号地面钻井抽采到较高比例的采空区瓦斯表明,钻井直径越大,对工作面瓦斯涌出的控制作用越有效。

4.2 大直径地面钻井治理瓦斯效果

图11为3号大直径地面钻井抽采期间回风巷风流中瓦斯浓度随瓦斯抽采量的变化。3号地面钻井抽采期间,工作面回风巷风流中平均瓦斯浓度为0.28%,最大值0.65%,显著低于《煤矿安全规程》规定的1.0%^[20]和淮南矿业集团规定的0.8%的浓度极限。

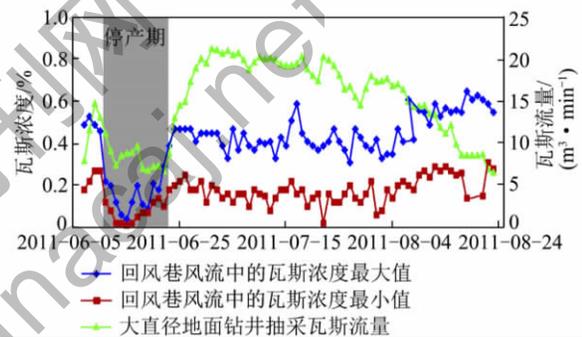


图11 3号地面钻井抽采对回风巷风流中瓦斯浓度的影响
Fig. 11 Effect of the borehole No. 3 drainage on CH_4 concentration in the return airflow

由图11可知,当大直径地面钻井抽采瓦斯流量增加的时候,回风巷风流中的瓦斯浓度随之降低,反之亦然,表明大直径地面钻井对工作面瓦斯涌出起到明显的控制作用。

4.3 钻井倾向位置对抽采效果的影响

1号和2号地面钻井除了布置位置不同外,其余各参数均相同。1号钻井靠近进风巷,2号钻井靠近回风巷。表4和图12对比显示了两个地面钻井的抽采效果。分析可见,回风巷侧2号地面钻井的平均瓦斯流量为 $12.7 \text{ m}^3/\text{min}$,比进风巷侧1号钻井提高了33.7%,平均瓦斯浓度为75.4%,比1号钻井提高了75.3%。这充分表明地面钻井布置于回风巷一侧在抽采瓦斯流量和浓度上均优于进风巷一侧。

4.4 大直径地面钻井推广应用效果

在潘三矿研究试验的基础上,大直径地面钻井在淮南矿区得到了推广应用。同时,为进一步适应更深钻进的施工及稳定性,对钻井长度超过900 m的钻孔,在结构上进行了改进,抽采煤层段孔径扩大至420 mm。

表 4 1 号和 2 号地面钻井抽采效果比较

Table 4 Comparison of gas drainage performance between boreholes No. 1 and No. 2

项目	服务期限/d	平均瓦斯浓度/%	平均瓦斯流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	瓦斯抽采总量/ 万 m^3
1 号钻井	58	43.0	9.5	90.0
2 号钻井	54	75.4	12.7	121.0
提高比例/%	-6.9	75.3	33.7	34.4

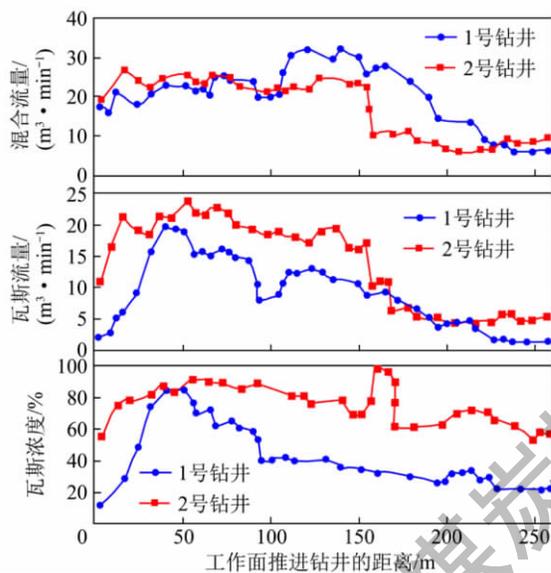


图 12 1 号和 2 号地面钻井抽采混合流量、瓦斯流量和瓦斯浓度的变化

Fig. 12 Changes of gas flow rate pure methane flow rate and purity of methane between borehole No. 1 and No. 2

应用统计表明, 大直径钻井在各矿应用共 47 口, 共抽采瓦斯量 6 467.65 万 m^3 , 平均单井抽采量 137.61 万 m^3 , 最大单井抽采量 401.8 万 m^3 (朱集矿 1111(1) 工作面 4 号钻井)。表 5 为改进后的部分钻井应用效果。

5 结 论

(1) 提出了大直径地面钻井提高瓦斯抽采效果和钻井稳定性的技术方案, 在 17171(1) 工作面设计和试验了抽采管径分别为 244.5 mm 和 177.8 mm 的大直径地面钻井, 这比抽采管径为 133 mm 的普通钻井分别提高了 84% 和 34%。

(2) 基于 COSFLOW 计算程序和 CFD 软件对围岩采动影响规律和钻井位置对瓦斯抽采效果影响的模拟研究, 参考瓦斯高效抽采范围的高位环形体理念, 获得了地面钻井布置参数的优化依据, 即: 地面钻井布置在瓦斯高效抽采的高位环形体范围内, 并位于回风巷一侧。

表 5 大直径地面钻井应用抽采情况

Table 5 Application and performance of large-diameter surface boreholes

矿名	工作面	孔号	抽采量/ m^3	备注
顾桥矿	1121(1)	1	1 277 369	
		2	1 726 364	
		1	3 262 062	
		2	1 496 500	
		3	4 326 273	
丁集矿	1412(1)	4	581 960	
		5	2 964 376	
		1	2 647 738	
		2	2 650 244	
		3	1 631 529	
朱集矿	1252(1)	4	180 738	
		5	2 266 286	
		1	1 627 738	
		2	1 817 603	还在抽采
		3	979 212	
潘一东	1252(1)	4	1 220 843	
		1	1 663 107	
		2	1 423 614	
		3	2 199 835	2, 3 号孔还在抽采
		4	4 017 876	
朱集矿	1111(1)	5	2 049 352	
		6	1 169 231	
		1	2 211 500	
		2	1 518 355	2, 3 号孔还在抽采
潘一东	1252(1)	3	690 371	
		1	1 845 396	
		2	947 649	
		3	220 632	还在抽采
朱集矿	1112(1)	4	2 631 337	

注: 数据统计截至 2012 年 10 月。

(3) 试验的 4 个大直径地面钻井均取得了成功, 试验结果表明了大直径地面钻井在抽采效果和钻孔稳定性上均明显优于普通钻井。研究期间大直径地面钻井单井瓦斯抽采总量达 316.7 万 m^3 , 瓦斯纯量达 170 万 m^3 , 服务时间达 106 d, 有效控制了工作面回风巷风流中的瓦斯浓度。

(4) 抽采管径 244.5 mm 的 3 号钻井在抽采总量、抽采流量的稳定性以及服务时间上均优于抽采管

径为 177.8 mm 的其它钻井,反映了钻井直径越大抽采效果越好,钻井稳定性越高。3 号钻井抽采瓦斯浓度平均为 55%,稍低于其它钻井的抽采瓦斯浓度,反映了地面钻井直径越大,对采空区瓦斯向工作面涌出的控制能力越好。3 号钻井作用期间,回风巷风流中的瓦斯浓度最大 0.65%,平均 0.28%,远低于安全浓度极限。

(5) 地面钻井布置于回风巷一侧在抽采效果上明显优于进风巷一侧。回风巷侧 2 号地面钻井抽采平均瓦斯流量和浓度分别为 $12.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 和 75.4%,相对于进风巷侧 1 号钻井分别提高了 33.7% 和 75.3%。

(6) 淮南矿区推广应用证明:在钻井结构改进,特别是过煤段扩大孔径后,大直径地面钻井在抽采效果、服务期限、钻井稳定性和控制工作面瓦斯涌出上均比普通钻井具有明显的优越性,在类似地质和开采条件下具有推广和应用价值。

参考文献:

- [1] 袁 亮. 松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社 2004.
Yuan Liang. Theory and technology of gas drainage and capture in soft multiple coal seams of low permeability[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House 2004.
- [2] 袁 亮. 留巷钻孔法煤与瓦斯共采技术[J]. 煤炭学报, 2008, 33(8): 898-902.
Yuan Liang. The technique of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling[J]. Journal of China Coal Society 2008 33(8): 898-902.
- [3] 袁 亮. 低透气性煤层群无煤柱煤气共采理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社 2008.
Yuan Liang. Theory and practice of integrated pillarless coal production and methane extraction in multiseams of low permeability[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House 2008.
- [4] 袁 亮. 卸压开采抽采瓦斯理论及煤与瓦斯共采技术体系[J]. 煤炭学报 2009 34(1): 5-12.
Yuan Liang. Theory of pressure relieved gas extraction and technique system of integrated coal production and gas extraction[J]. Journal of China Coal Society 2009 34(1): 5-12.
- [5] 张铁岗. 矿井瓦斯综合治理技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
Zhang Tiegang. Comprehensive techniques of coal mine gas management[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House 2001.
- [6] 王显政, 杨 富, 朱凤山, 等. 煤矿安全新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社 2002.
Wang Xianzheng, Yang Fu, Zhu Fengshan, et al. New techniques of coal mine safety[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House 2002.
- [7] Karacan C Özgen. Reconciling longwall gob gas reservoirs and vent-hole production performances using multiple rate drawdown well test analysis[J]. International Journal of Coal Geology 2009 80(3-4): 181-195.
- [8] Karacan C Ö. Development and application of reservoir models and artificial neural networks for optimizing ventilation air requirements in development mining of coal seams[J]. International Journal of Coal Geology 2007 72: 221-229.
- [9] Guo H, Balusu R. Coal mine drainage and recent developments in Australia[A]. Proceedings of China International Conference on Coal Mine Gas Control and Utilisation[C]. Huainan, 2008: 159-183.
- [10] Balusu R, Tiffs N, Peace R, et al. Longwall goaf gas drainage and control strategies for highly gassy mines[A]. Proceedings of Eighth International Mine Ventilation Congress[C]. Melbourne, 2005: 201-209.
- [11] Lunarzewski L W. The Australian black coal mining industry[A]. Mining in the New Millennium-Proceedings of the American-Polish Mining Symposium[C]. Las Vegas 2000: 55-62.
- [12] Meyer T. Surface goaf hole drainage trials at Illawarra Coal[A]. Proceeding of Coal Operators' Conference[C]. Wollongong 2006: 200-209.
- [13] Gray A, Aminossadati S M, Stolberg D. Goaf drainage design for Moranbah North mine[A]. Proceedings of Australian Mining Technology Conference[C]. Vines 2007: 333-348.
- [14] Guo H, Adhikary D P, Craig M S. Simulation of mine water inflow and gas emission during longwall mining[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering 2009 42: 25-51.
- [15] 袁 亮, 郭 华, 沈宝堂, 等. 低透气性煤层群煤与瓦斯共采中的高位环形裂隙体[J]. 煤炭学报 2011 36(3): 357-365.
Yuan Liang, Guo Hua, Shen Baotang, et al. Circular overlying zone at longwall panel for efficient methane capture of multiple coal seams with low permeability[J]. Journal of China Coal Society, 2011 36(3): 357-365.
- [16] Guo H, Yuan L, Shen B T, et al. A study into mining-induced strata stress changes, fractures and gas flow dynamics in multi-seam longwall mining[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science 2012 54: 129-139.
- [17] Balusu R, Humphries P, Harrington P. Optimum inertisation strategies[A]. Proceedings Queensland Mining Industry Health and Safety Conference[C]. Townsville 2002.
- [18] Balusu R, Ren T, O'Grady P, et al. Proactive inertisation to prevent heatings in active longwall panels[A]. 31st International Conference of Safety in Mines Research Institutes[C]. Brisbane 2005.
- [19] 袁 亮. 淮南矿区瓦斯综合治理技术及管理[A]. 第一届中国国际煤矿防治与利用大会论文集[C]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
Yuan Liang. Comprehensive gas treatment technology and management in Huainan mining area[A]. The 1st China International Conference Proceedings on Coal Mine Gas Control & Utilisation[C]. Beijing: China Coal Industry Publishing House 2005.
- [20] 国家安全生产管理局. 煤矿安全规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社 2011.
SAWS. Coal Mine Safety Regulations[S]. Beijing: Coal Industry Publishing House 2011.