

特厚煤层综放工作面瓦斯高效抽采技术研究

李锋, 梅洋洋, 张玉明, 阮淼

陕西彬长胡家河矿业有限公司, 陕西咸阳 713600

摘要 : 陕西彬长胡家河煤矿属高瓦斯易自然矿井, 主采4号煤层, 煤层主要为原生-碎裂结构煤层, 坚固性系数较高, 瓦斯含量较高、压力较低, 煤层透气性系数较小, 属可以抽采煤层。401110综放工作面瓦斯治理严格执行“安全第一, 预防为主、综合治理”的安全生产方针, 牢固树立“区域治理、局部强化、超前预抽、精准评判、多路防范”瓦斯治理理念, 不断完善“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”的瓦斯综合治理工作体系。制定了高位定向钻孔布置工艺, 积极引进国内外先进科学技术、设备, 科学化优化瓦斯抽采工程参数, 不断提高瓦斯抽采效率, 全面提升矿井瓦斯防治综合能力, 实现根治瓦斯的工作目标。

关键词 : 煤层; 瓦斯; 高位定向钻孔; 安全生产

Study On High Efficiency Gas Extraction Technology Of Fully Mechanized Caving Face Of Super Thick Coal Seam

Li Feng, Mei Yangyang, Zhang Yuming, Ruan Miao

Shaanxi Binchang Hujiahe Mining Co., LTD., Shaanxi, Xianyang 713600

Abstract : Hujiahe Coal Mine in Binchang, Shaanxi Province is a high gas prone natural mine, mainly mining No. 4 coal seam, coal seam is mainly primary and cataclastic structure coal seam, high firmness coefficient, high gas content, low pressure, small permeability coefficient of coal seam, can be extracted coal seam. 401110 Fully integrated caving face gas management strictly implement the “safety first, prevention first, comprehensive management” safety production policy, firmly establish the “regional governance, local strengthening, pre-pumping, accurate evaluation, multi-way prevention” gas management concept, and constantly improve the “reliable ventilation, extraction standards, effective monitoring, management in place” gas comprehensive management system. The high level directional drilling layout technology has been formulated, the advanced science and technology and equipment at home and abroad have been actively introduced, the parameters of gas extraction engineering have been scientifically and quantitatively optimized, the efficiency of gas extraction has been continuously improved, the comprehensive ability of mine gas prevention and control has been comprehensively improved, and the goal of radical gas treatment has been achieved.

Keywords : coal seam; gas; high directional drilling; safe production

一、工作思路

矿井坚持瓦斯灾害超前探查、超前治理、区域治理和系统治理, 持续提升矿井灾害治理能力、治理效率及安全保障能力, 系统构建瓦斯精准高效综合治理体系, 全力推进各项瓦斯防治措施落到实处, 确保实现全年瓦斯防治工作目标。

同时, 深化与平安煤矿瓦斯治理中心及各科研院校的合作, 持续提高瓦斯防治技术管理水平, 从盘区巷道布局、采掘工作面设计、抽采系统管理、现场施工细节、封孔工艺改进及钻孔效果检验等方面着手, 采用区域预抽、采前预抽、边采边抽、高位裂隙定向钻孔抽采、上隅角“迈步式”埋管抽采等方法对回采工作面本煤层及临近层瓦斯进行抽采。应用超高压水力割缝、注液态CO₂驱替瓦斯及水力压裂工艺, 有效提高煤层的透气性和瓦斯抽采效率, 统筹建立瓦斯抽采效果动态达标评价体系, 实现高瓦斯矿井低瓦斯开采。

二、总体设计

1. 在采煤工作面上隅角封堵墙体顶部迈步式压设两趟Φ315抽采管路, 管口伸入封堵位置以里6—12m, 紧贴巷道顶板吊挂, 用于抽采上隅角瓦斯, 并基于采空区煤自燃“三带”的分布, 确定上隅角最优埋管深度及迈步间距, 进一步提升上隅角瓦斯抽采效果。

2. 使用ZDY-15000LD型大功率定向钻机, 沿工作面走向施工大直径高位定向钻孔, 用于抽采采空区卸压瓦斯。共布置4组, 每组布置12个钻孔, 孔径Φ153mm, 孔深400—500m, 钻孔剖面层位布置于煤层顶板向上0~34m范围, 平面上布置于距回风巷正帮10~45m范围。

工作面回采后, 受采动影响, 顶板围岩上部平衡状态被打破, 工作面顶板煤层上部受应力作用产生裂隙, 继而形成顶板裂隙带。回采过程中, 采空区围岩及遗煤瓦斯大量解吸, 在空气浮力作用下沿裂隙带所形成的瓦斯通道上升至裂隙带上部离层, 并大量集聚于

采空区上覆层的“O”形圈内。将裂隙带抽采孔布置在瓦斯浓度最高、积聚量最大的区域，利用抽采系统进行带抽，以达到消除上隅角、采空区瓦斯积聚，避免上隅角、回风流瓦斯超限的目的。

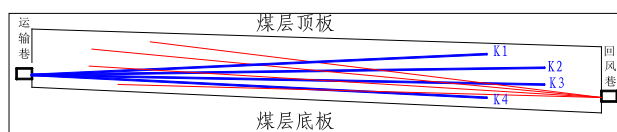
三、应用过程

401110工作面设计长度2280m，可采长度2025m，倾向长220m。该工作面为4号煤层，赋存稳定，煤层近乎水平，厚度12.8~27m，平均厚度约23m，上分层平均厚度约13.5m。

1. 采前预抽钻孔

401110工作面两顺共计施工预抽钻孔2453个，进尺41.7万m。其中：

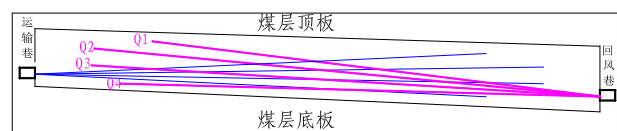
(1) 401110运输巷采前钻孔布置：从停采线向外50m至2275m段，每隔2m施工一个钻孔。401110运输巷计划施工钻孔1023个，进尺17.2万m。



> 图1 401110运输巷预抽钻孔施工剖面示意图

(2) 401110回风巷采前预抽钻孔布置：从停采线向外50m至里程2275m段，每隔1.5m施工一个倾向钻孔。401110回风巷计划施工倾向钻孔1287个，进尺21.8万m。

> 图4 401110回风巷预抽钻孔施工平面示意图



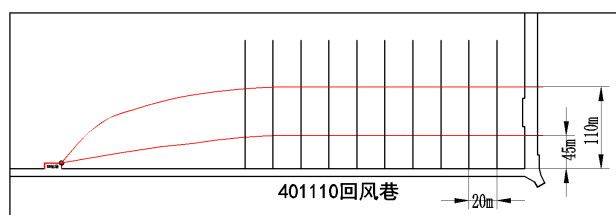
> 图2 401110回风巷预抽钻孔施工剖面示意图

2. “2-111” 钻孔布置

401110回风巷里程600m至1000m段，每隔3m施工一个割缝钻孔，目前累计完成割缝钻孔130个，进尺2.1万m；401110回顺超前200m范围内施工驱替钻孔10个，5钻场内施工长距离煤层定向驱替钻孔2个，共计施工驱替钻孔12个，灌注液态CO₂共50吨。驱替钻孔施工参数见下表，对应钻孔布置平面图如下图所示。

表1 401110回顺驱替钻孔施工参数表

401110回顺超前200m 范围驱替钻孔施工参数					
钻孔编号	孔深 /m	方位角 /°	倾角 /°	孔径 /mm	钻孔间距 /m
1~10#	160	0	3~6	113	20
401110回顺5# 钻场驱替钻孔施工参数					
钻孔编号	施工地点	孔深 /m	孔径 /mm	钻孔层位	
5-14#	5# 钻场	360	153	水平位置距回顺正帮45m； 垂直位置距巷道顶板10m。	
5-16#				水平位置距回顺正帮110m； 垂直位置距巷道顶板10m。	

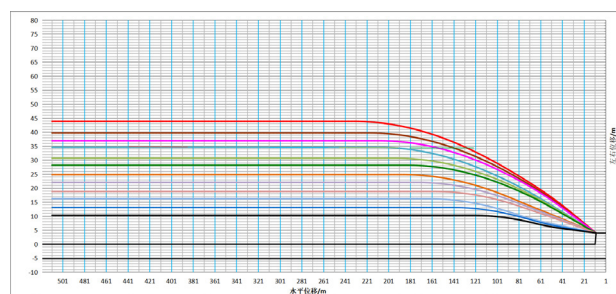


> 图3 401110回顺驱替钻孔布置剖面示意图

根据401110工作面考察分析结果：“2-111”钻孔平均瓦斯抽采浓度相较于普通预抽钻孔能提高3~5倍，抽采纯流量是普通预抽钻孔的2.5倍，驱替钻孔影响半径约25m。

3. 高位裂隙定向钻孔设计

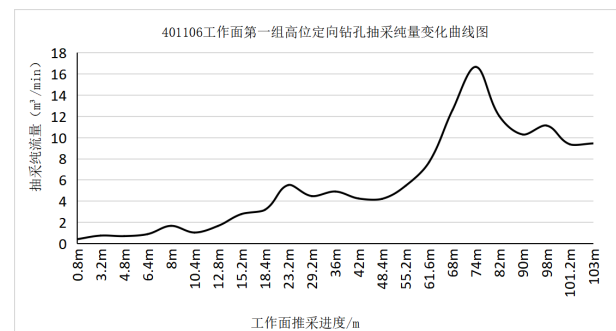
401110回风巷布置5个钻场，每个钻场设计施工12个钻孔，钻孔分上、中、下三层布置。钻孔平面位置内错回风巷10m~45m，相邻钻孔水平间距5m；下层钻孔剖面位置距煤层顶板0~12m，中层钻孔剖面位置距煤层顶板为12~24m，上层钻孔剖面位置距煤层顶板为24~34m。钻孔设计孔径Φ153mm，孔深360~540m，相邻两组钻孔水平段压茬不低于100m。401110回风巷单独敷设一趟Φ315mmPE管专门用于回采期间抽采高位裂隙定向钻孔。



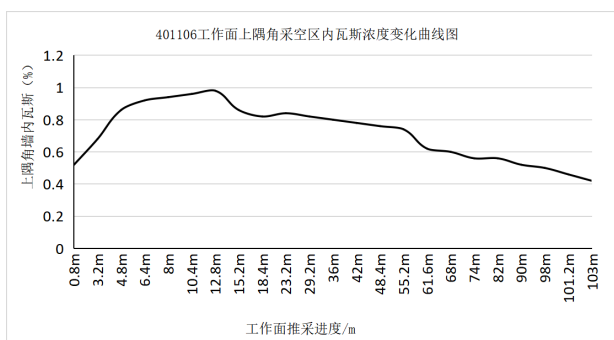
> 图4 401110工作面回风巷高位定向钻孔平面设计轨迹图

4. 401110工作面大直径高位定向钻孔瓦斯抽采效果分析

以401110工作面第一组高位定向钻孔抽采效果为实例进行分析研究，在工作面初采初放期间，随着推采进度增加高位定向抽采纯量逐步上涨，上隅角采空区内瓦斯浓度逐步下降，说明随着工作面推采高位定向钻孔与采空区顶板裂隙逐渐导通，形成抽采负压区，在高位定向钻孔抽采作用下，采空区瓦斯通过高位定向钻孔进行抽采，减少上隅角瓦斯涌出。高位定向钻孔抽采纯流量和上隅角采空区瓦斯浓度变化情况如图5、图6所示。



> 图5 401110工作面大直径高位定向钻孔抽采纯量变化曲线图



> 图6 401110工作面上隅角采空区内瓦斯浓度变化曲线图

四、取得的效益或成果

(一) “以孔代巷”取得效益及成果

1. 经济效益方面：原先施工一条专用高位瓦斯抽采巷，掘进成本为7000元/m，所需费用为1223万元。采用“以孔代巷”施工工艺后，平均每米结算费用为113元/m，所需费用为393万元，相较于原有工艺，直接产生经济效益830万元。2. 抽采效果方面：目前高位定向钻孔平均瓦斯抽采浓度为10.3%，平均抽采纯流量为10.39m³/min，相比较高抽巷平均抽采浓度为4%，平均抽采纯流量为8m³/min。通过分析、对比，高位定向钻孔平均抽采浓度、抽采纯量比原高抽巷分别提高25.7%和29.8%。

表-2 高抽巷与高位定向钻孔数据对比表

类别	抽采浓度 (%)	抽采纯量 (m ³ /min)	抽采率 (%)	所需成本 (万元)
高抽巷	4	8	65	1223
高位定向钻孔	10.3	10.39	80	393

(二) 上隅角“迈步式”埋管抽采效果

1. 单趟管路抽采效果：经统计，原先上隅角单趟抽采平均浓度为1.02%，平均混合流量为108.42m³/min，平均抽采纯流量1.11m³/min。2. “迈步式”抽采效果：根据5月1日-7月31日期间数据统计，上隅角1#抽采管路平均瓦斯抽采浓度为1.1%，最大瓦斯抽采浓度为3.08%，平均混合流量115.31m³/min，平均抽采纯流量1.26m³/min；上隅角2#抽采管路平均瓦斯抽采浓度为1.11%，最大瓦斯抽采浓度为6.42%，平均混合流量102.16m³/min，平均抽采纯流量1.13m³/min，两趟合计抽采纯流量为2.39m³/min。

相比较，“迈步式”埋管平均抽采浓度、抽采纯量比原单趟抽采管路分别提高216%和215%。同时，401110工作面初采初放期间，由于采空区顶板未充分垮落，上隅角“迈步式”抽采起到了重要作用，为工作面安全回采打下了坚实基础。初采初放期间，1#管路最大瓦斯抽采浓度为3.08%、平均浓度1.55%，2#管路最大瓦斯抽采浓度为3.39%、平均浓度1.53%，平均抽采纯量达3.61m³/min。

(三) 综合抽采效果

401110工作面采用“以孔代巷”+“迈步式”埋管技术治理采空区瓦斯的工作面，通过持续观测、分析，“以孔代巷”+“迈步式”埋管抽采纯流量达12.78m³/min，工作面瓦斯抽采率由65%

提升至80%，回采期间工作面回风平均瓦斯浓度0.16%，风排瓦斯量平均2.5m³/min，抽采效果极为明显。

五、经验总结

为进一步解决矿井冲击地压与瓦斯耦合共存条件下，煤层岩有效卸压、瓦斯高效抽采协同治理技术难题，胡家河矿坚持瓦斯与冲击地压灾害治理“同规划、同设计、同落实、同考核”，全面构建形成“12235”强冲击地压条件下瓦斯防治技术体系，即：一种核心理念、两种技术手段、两类卸压增透措施、三区联动模式、五项关键协同治理技术。

1. 一种核心理念

矿井牢固树立“区域治理、局部强化、超前预抽、精准评判、多路防范”的瓦斯治理理念，不断完善“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”的瓦斯综合治理工作体系。

2. 两种技术手段

矿井采用“预抽达标+精准卸压抽采”两种技术手段，预抽采取井下区域预抽、采前预抽，卸压瓦斯抽采采取高位定向钻孔、高位岩层裂隙钻孔、上隅角迈步式埋管抽采，确保实现精准卸压、抽采达标。

3. 两类卸压增透措施

“2-111”瓦斯高效抽采技术，即通过将高压水射流割缝和液态二氧化碳致裂两种增透技术结合，在抽采钻孔内进行一次割缝增透卸压、一次二氧化碳气相脱附驱替、一次导向扩孔驱气，进一步达到“煤体有效卸压、煤层透气性增加、瓦斯抽采效率更高”的协同治理效果。通过对“2-111”钻孔与普通钻孔预抽效果对比分析，“2-111”钻孔相比普通钻孔，抽采效率可提高2.5倍。

4. 三区联动模式

目前布置401、402、403三个盘区，401盘区为生产盘区，402盘区为近景准备盘区，403盘区为远景规划盘区。“现、近、远”三区统筹布局、递进协调，形成矿井三区联动模式，从而达到“采掘接续更加合理、采掘活动互不扰动、区域瓦斯超前治理”的目的。

5. 五项关键协同治理技术

(1) 区域预抽

坚持以“精排一年、细排三年、规划五年”为路线，构建形成“长距离定向钻孔、递进式钻孔两种工艺”+“开拓大巷、工作面顺槽两类施工区域”相结合的“2+2”区域瓦斯治理模式；即：一是利用开拓大巷采用定向钻机施工长距离定向钻孔，二是在工作面顺槽采用普通坑道钻机施工倾向递进式预抽钻孔。大力开展区域瓦斯治理，实现“区域煤体提前卸压、区域瓦斯超前治理”的灾害协同治理目的。

(2) 采前预抽

通过采用“一面一策”“一段一策”机制，立体交叉布置高、中、低位钻孔，做到钻孔均匀布置，实现全煤层瓦斯预抽。“高、中、低”位钻孔预抽“顶、本、底”煤体瓦斯，“中、低”位钻孔卸压“帮、底”煤体，实现瓦斯预抽“全覆盖”、煤体卸压“零

破坏”。

(3) “以孔代巷”高效抽采

通过使用 ZDY-20000LD 型大功率定向钻机,沿工作面走向施工大直径高位定向钻孔,用于抽采采空区卸压瓦斯。工作面共布置4组,每组布置12个钻孔,孔径 $\Phi 153\text{mm}$,孔深400~500m,钻孔层位布置于煤层顶板向上0~34m范围。通过与高抽巷经济效益、抽采效果两大方面进行对比,高位定向钻孔均实现双突破。

(4) 上隅角迈步式埋管及“树状集流式”插管抽采

采煤工作面上隅角在封堵墙体顶部迈步式压设2趟抽采管路,管口伸入封堵位置以里6~12m,紧贴巷道顶板吊挂,用于抽采上隅角瓦斯。通过分析不同埋设间距条件下的瓦斯抽采效果,确定了最优埋设间距,目前上隅角抽采浓度保持在0.6%~0.8%左

右。为进一步消除上隅角瓦斯威胁,在原有技术基础之上,将下部上隅角抽采管路进行改造并连接一趟 $\Phi 159\text{mm}$ 支管路,支管路末端安装“箱式集流器”,集流器一端安装5趟 $\Phi 51\text{mm}$ 软管均匀布置伸入封堵墙体内进行抽采,确保最大程度的拦截墙体内不同深度的瓦斯,以确保工作面瓦斯平稳、可靠。

(5) 推行“卸+压+抽”工艺

前期利用大功率定向钻机钻进至设计层位及孔深,后采用“双封单卡拖动式分段压裂”工艺,将压裂液通过高压泵压入煤层顶板上方的目标层位段,使完整的目标岩层内产生密集网状裂缝,形成人造“裂隙”。回采前,通过上覆岩层裂隙预抽本煤层瓦斯;回采后,随着工作面的推采,岩层裂缝进一步发育扩展,在采动应力作用下,上覆岩层及时、有序垮落,大幅降低破断失稳时的能量释放级别,并有效提升瓦斯抽采浓度及效率。

参考文献:

- [1] 张洪雨, 祁乐. 高位定向长钻孔高效瓦斯治理研究 [J]. 能源与环保, 2020, 42(10):12-16.
- [2] 于士芹, 杨宏民, 鲁小凯, 等. 王家岭煤矿高位定向长钻孔抽采顶板卸压瓦斯技术 [J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2018, 37(4):31-36, (54).
- [3] 许超, 刘飞, 方俊. 高位定向长钻孔瓦斯抽采技术及抽采效果分析 [J]. 煤炭工程, 2017, 49(6):78-81.
- [4] 张国枢. 通风安全学 [M]. 徐州: 中国矿大出版社, 2000.
- [5] 中华人民共和国应急管理部, 国家矿山安全监察局. 煤矿安全规程 [M]. 北京: 应急管理出版社, 2022.
- [6] 梁建玲, 杜小茹. 高瓦斯综采面单元法测定瓦斯涌出及分布规律 [J]. 陕西煤炭, 2015, 1(34):38-40.
- [7] 毕建乙. 马堡矿大直径顶板走向长钻孔抽采技术研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2015.
- [8] 郝光生, 陈宾, 申凯. 采空区顶板高位定向钻孔差异化布置与抽采效果分析 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(8):101-106.
- [9] 王依磊, 郭志军. 唐口煤矿高位定向钻孔工艺的优化及应用 [J]. 煤矿安全, 2018, 49(10):152-155.
- [10] 李彦明. 基于高位定向长钻孔的上隅角瓦斯治理研究 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(1):215-218.
- [11] 许红磊, 陈亮, 孙云川. 顶板走向高位钻孔瓦斯治理技术研究 [J]. 能源与环保, 2020, 42(8):37-41.
- [12] 谢和平, 周宏伟, 薛东杰, 高峰. 我国煤与瓦斯共采: 理论、技术与工程 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(8):1391-1397.