

孟村矿业公司冲击地压灾害防治主要做法

一、矿井概况

孟村矿成立于 2014 年 3 月，设计生产能力 600 万 t/a。矿井采用立井单水平开拓，划分为五个盘区，中央并列式通风方式，抽出式通风方法，走向长壁分层综合机械化放顶煤开采，全部垮落法管理顶板。目前矿井正在进行联合试运转。

孟村矿井为严重冲击地压矿井，冲击地压类型主要为顶板型和构造型，采煤工作面附近以顶板活动（动载荷）为主导，构造区域以构造应力（静载荷）为主导。矿井为高瓦斯矿井，目前矿井绝对瓦斯涌出量为 31.63m³/min，401102 工作面绝对瓦斯涌出量为 10.52m³/min。4 号煤层属易自燃煤层，煤尘具有爆炸危险性，水文地质类型为复杂型。

矿井现回采 401102 工作面，剩余可采长度为 840m，计划 2023 年 4 月回采结束。现有 8 个掘进工作面，401 盘区 2 个掘进工作面（1 个煤巷、1 个岩巷），403 盘区 6 个掘进工作面（2 个煤巷、4 个岩巷）。

二、地质“透明化”助推精准治灾

（一）总体思路

矿井按照“灾害治理，地质先行”的工作思路，以打造地质

“透明化”矿井为总体目标，积极构建三维地质动态建模及可视化、多灾害源全程信息感知与动态监测、特殊地质因素动态评判与风险判识、超前预警等智慧模块于一体的矿井地质“透明化”模型，大力实施“三级网格”精细探查，提升治灾精准程度。

(二) 技术路线



(三) 实施方案

1. 一级网格

在地面进行三维地震勘探和钻孔勘探，查明矿井各个地层的构造、应力、岩性、层厚、物理力学参数等情况，为盘区开采设计、灾害治理提供详实地质资料。

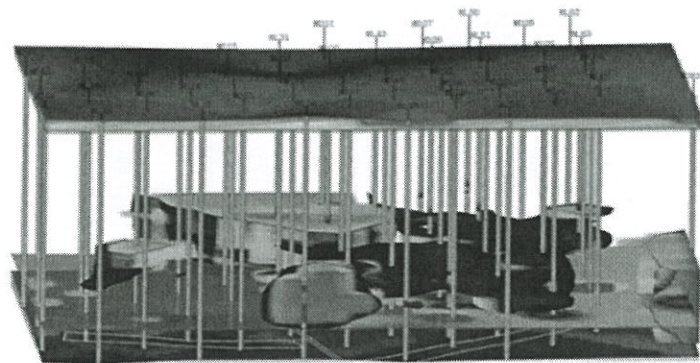


图1 一级网格

2. 二级网格

在地面施工高密度勘探钻孔、补勘孔及在井下施工长距离定向钻孔，查明地质可疑区，进行回采期间覆岩运动及洛河组水位孔内观测，为工作面开采设计、瓦斯区域预抽及井上下水平井压裂设计提供详实地质资料。

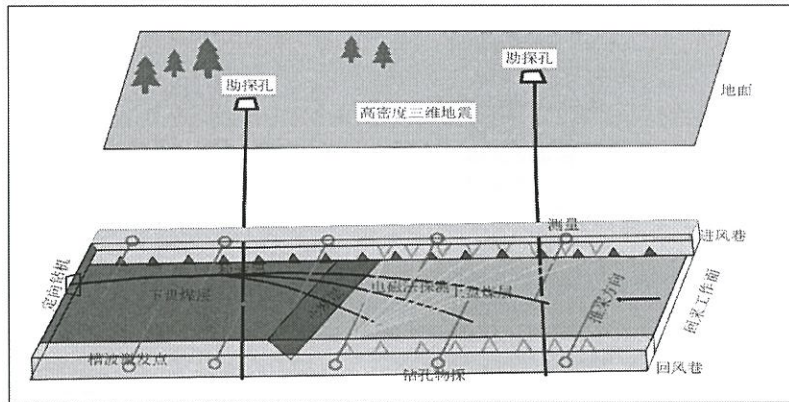


图 2 二级网格

3. 三级网格

在工作面顺槽施工覆岩探查钻孔、疏放水钻孔、探煤钻孔，查明区域内地质构造、煤层赋存、地质储量等情况，为工作面瓦斯高效抽采、防冲精准卸压、水害防治等提供详细地质资料。

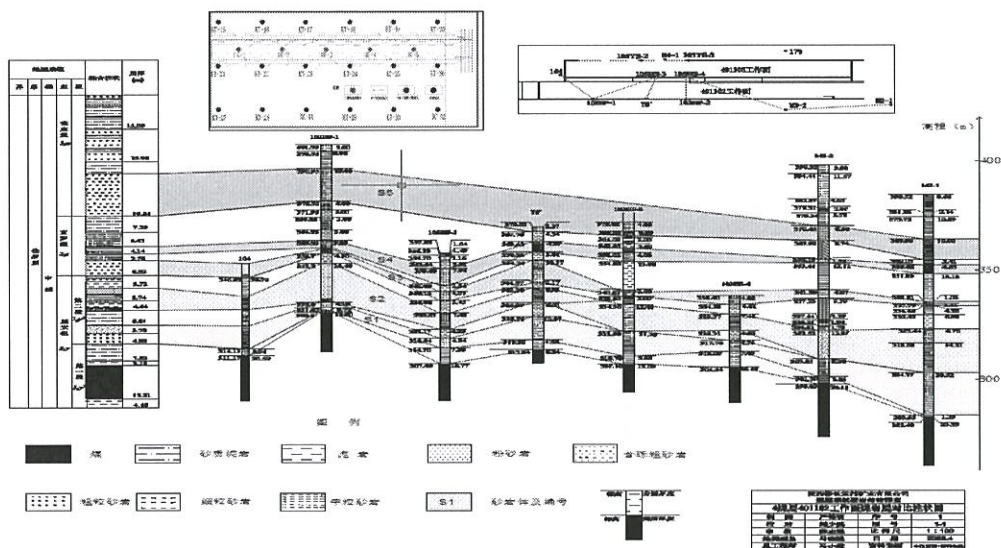


图 3 三级网格

（四）构建地质“透明化”模型

通过实施“三级网格”精细探查，查清了地质构造、煤层赋存变化、含水层富水性、各岩层的厚度及力学性质变化等内容，将地质资料信息与大数据、云计算、数字孪生、虚拟现实等新一代 ICT 技术融合，最终建立高精度动态三维地质可视化模型，为矿井生产及多元灾害防治提供基础支撑。

三、冲击地压防治“125678”工作法

矿井牢固树立煤（岩）“零冲击”目标，按照冲击地压“源头、超前、立体、协同”治理原则，坚持“可预、可防、可治”理念，在全面落实彬长公司“1155”井上下立体防治冲击地压模式的基础上，探索总结了孟村矿冲击地压防治“125678”工作法。

（“125678”工作法即：1—围绕一个目标；2—构建两项机制；5—坚持五项原则；6—攻坚六大课题；7—突出七强攻略；8—实现八项提升）

（一）优化生产布局，提升源头治理效果

1. **调整工作面回采顺序。**将工作面回采顺序由盘区内顺序开采调整为两个盘区跳采，形成“一井两区、分区跳采”生产布局。

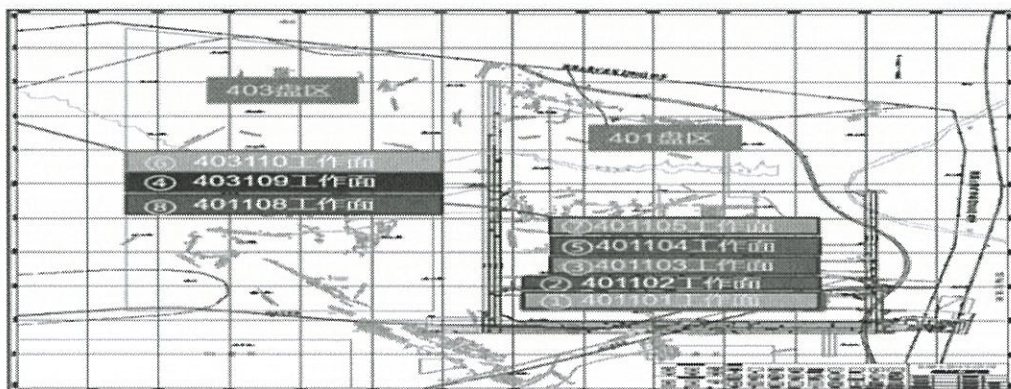


图4 工作面接续顺序示意图

2. 优化大巷层位布置。一是将中央大巷 DF29 断层影响区段由煤层调整至了岩层中；二是将中央大巷延伸段(403-405 盘区)及 403 盘区的准备巷道均由煤层布置调整为岩层布置，从源头消除冲击隐患。

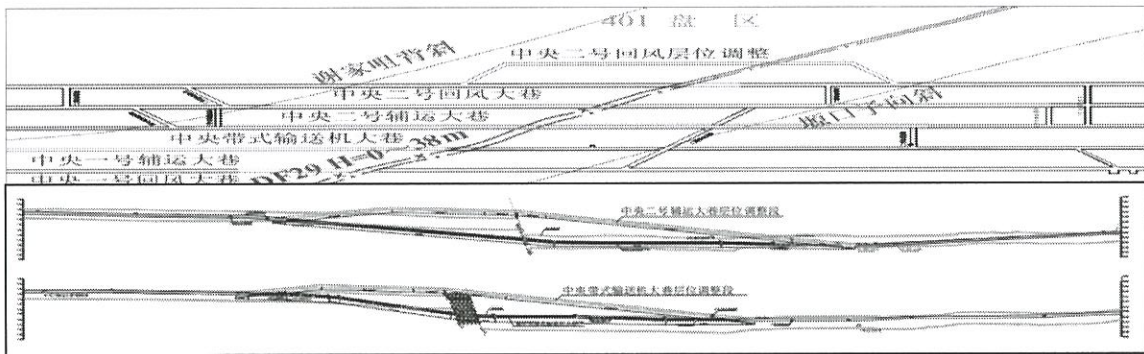


图 5 中央大巷断层构造区段层位调整示意图

(二) 实施立体监测，提升监测预警精度

1. 井上下立体联合监测。建成地面微震、井下微震、地音、煤体应力、支架工作阻力、锚杆（索）载荷应力、巷道围岩收敛变形、顶板离层等监测系统，形成了井上下立体联合监测台网，实现多元多参监测，提高监测精度。

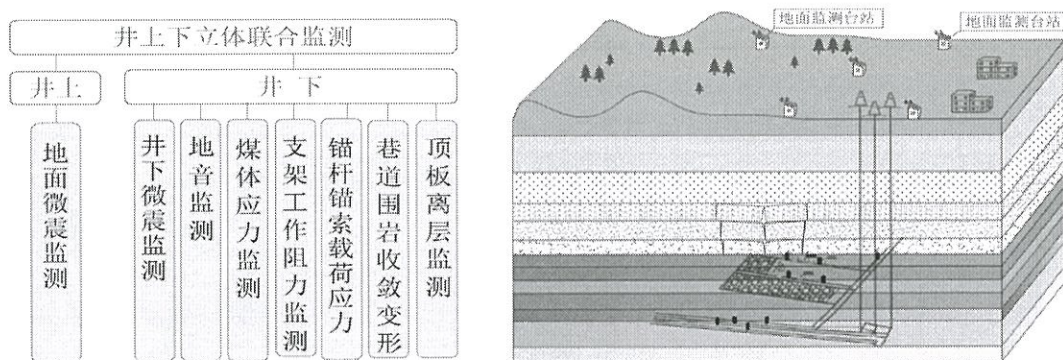


图 6 井上下立体联合监测示意图

2. 冲击地压风险智能辨识。建成集微震、地音、煤体应力等

监测系统为一体的冲击地压综合监测预警平台，实现了由点、局部、单参量监测至区域多场多参量综合预警的转变，克服单一预警指标缺陷，提高了监测预警精度和效率。

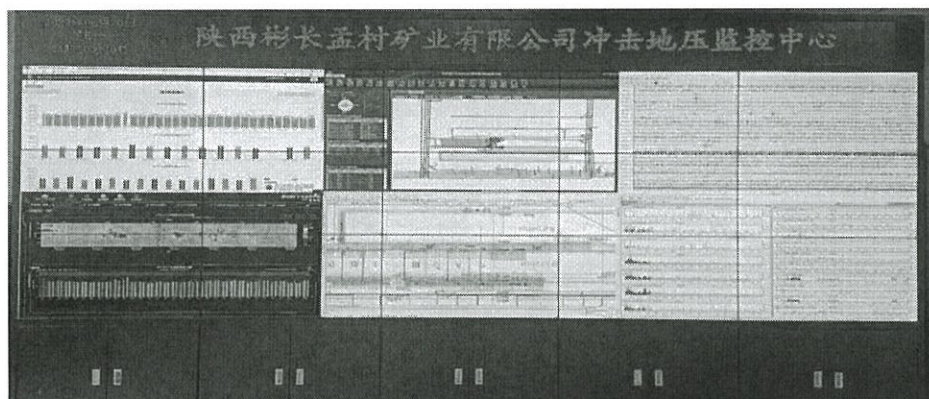


图7 冲击地压综合预警平台

(三) 开展立体防治，提升卸压解危效果

为应对4号煤层上方多层厚硬砂岩突然断裂诱发冲击地压的风险，构建了井上下立体协同卸压模式，即对上覆高位坚硬顶板采用地面L型水平井分段水力压裂技术进行弱化，对上覆中位坚硬顶板采用井下定向长钻孔水力压裂技术进行弱化，对低位坚硬顶板采用深孔预裂爆破进行弱化，对煤层采用长钻孔水力压裂、高压水射流割缝、大直径钻孔和煤体爆破等方法进行卸压。通过以上举措，使高、中、低位顶板产生的裂缝在垂向上实现贯穿，将顶板“切割”成相对规则的“块状”结构，形成“人造解放层”。

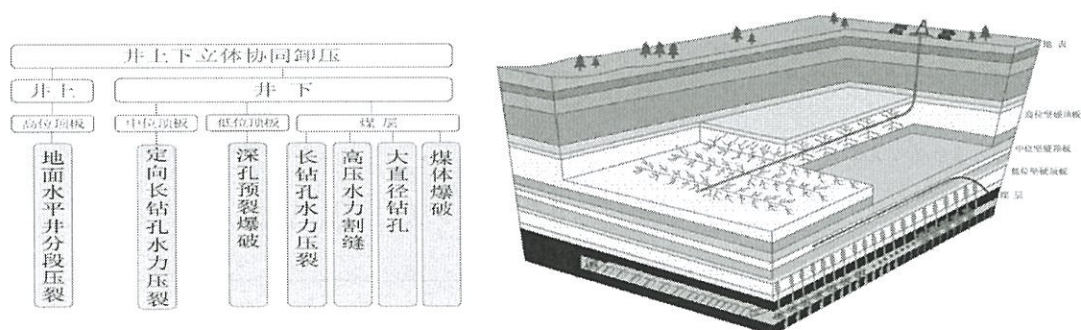


图8 井上下立体协同卸压示意图

1. **地面 L 型水平井分段压裂。**该技术以煤层上方 50m-90m 易形成大面积悬顶的坚硬含砾砂岩为目标岩层,通过采用地面大排量、大体积超高压水力压裂技术进行后退式分段压裂,从源头破坏目标岩层的储能结构,削弱冲击动载源,实现冲击地压超前、区域、源头治理。压裂期间监测数据显示,单段压裂缝长可达 340m,缝高可达 50m 以上。

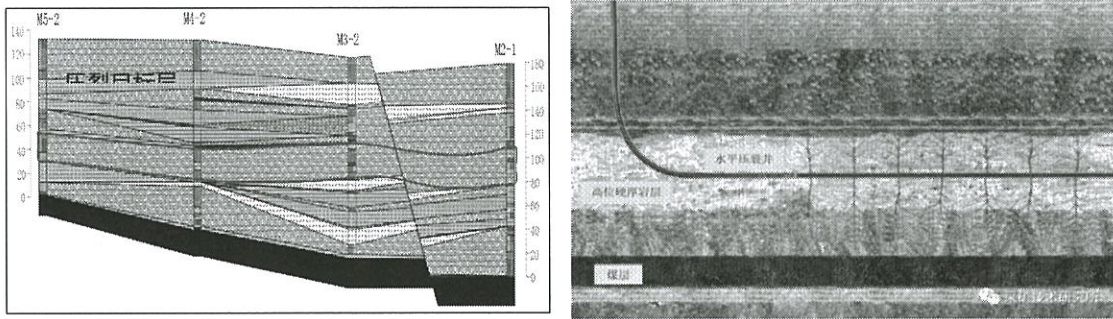


图 9 地面 L 型水平井分段压裂技术示意图

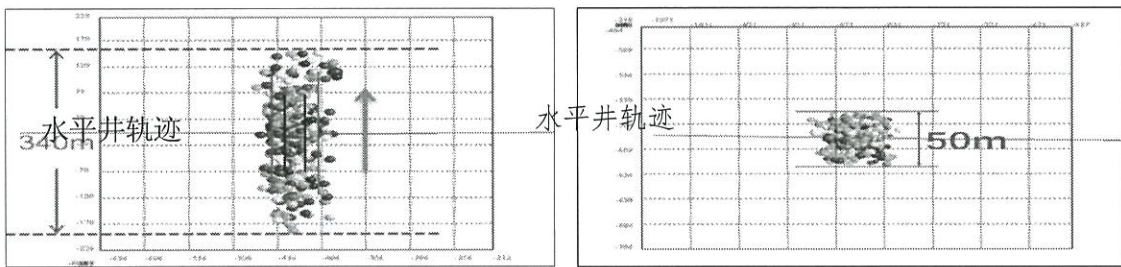


图 10 压裂期间裂缝扩展平、剖面图

2. **定向长钻孔水力压裂。**以煤层顶板上方约 40m 砂岩顶板为目标岩层,采用高压水致裂技术对目标岩层进行后退式分段压裂,压裂半径可达 25m,缝高可达 10m。

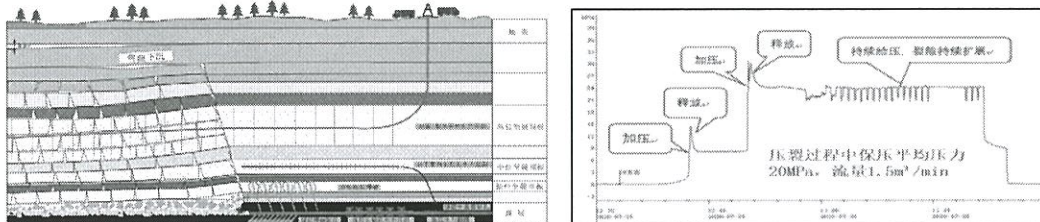


图 11 井下定向长钻孔压裂技术及监测曲线图

3. **顶板预裂爆破。**以煤层上方约 30m 砂岩顶板为目标岩层，采用深孔预裂爆破技术进行弱化处理，爆破影响半径可达 5-10m。

4. **煤体爆破。**采用爆破方法对煤层进行卸压，爆破半径影响可达 3-5m。

5. **大直径钻孔卸压技术。**通过在煤层施工 $\Phi 153\text{mm}$ 钻孔，对煤层进行卸压，卸压半径可达 1-1.5m。

6. 401102 工作面卸压效果评价

(1) 地面水平井压裂前、后应力分布对比：压裂前，震波 CT 探测结果整体为中等冲击危险，应力集中水平较高；压裂后，探测结果显示整体为弱冲击危险，高应力区域明显减少，应力集中程度大幅降低。

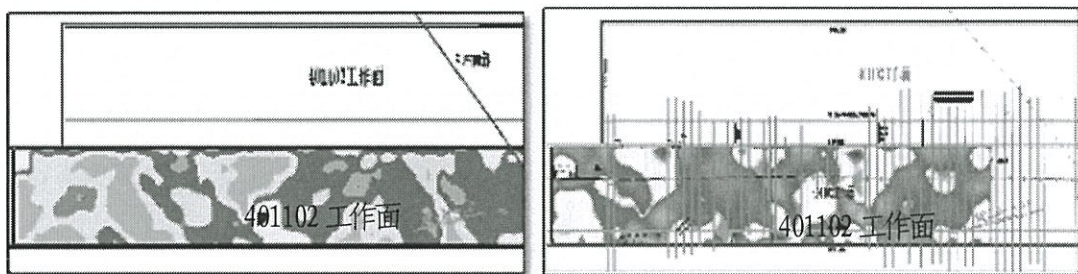


图 12 压裂前、压裂后震波 CT 探测应力分布云图

(2) 周期来压对比：**一是**与 401101 工作面相比，周期来压强度降低 23%，来压持续时间缩短 61%；**二是**未压裂区周期来压步距 18-22m、煤壁破碎片帮；压裂区周期来压不明显、煤壁齐整无片帮。



图 13 进入压裂区前、后周期来压步距与强度对比图

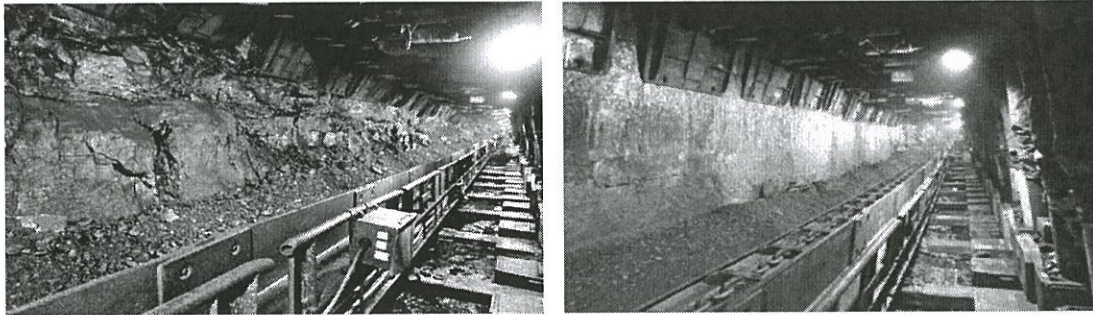


图 14 进入压裂区前、后工作面煤壁对比图

(3) 与 401101 工作面监测数据相比：401102 工作面超前 300m 范围和采空区后方 400m 范围内， 10^3J 以上微震事件频次下降 88%， 10^2J 及以下微震事件频次上升 43%，高能事件大幅降低、低能事件明显上升。

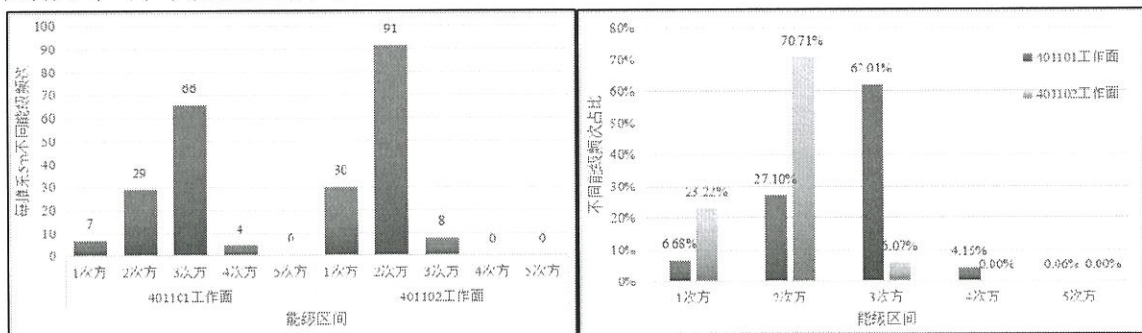
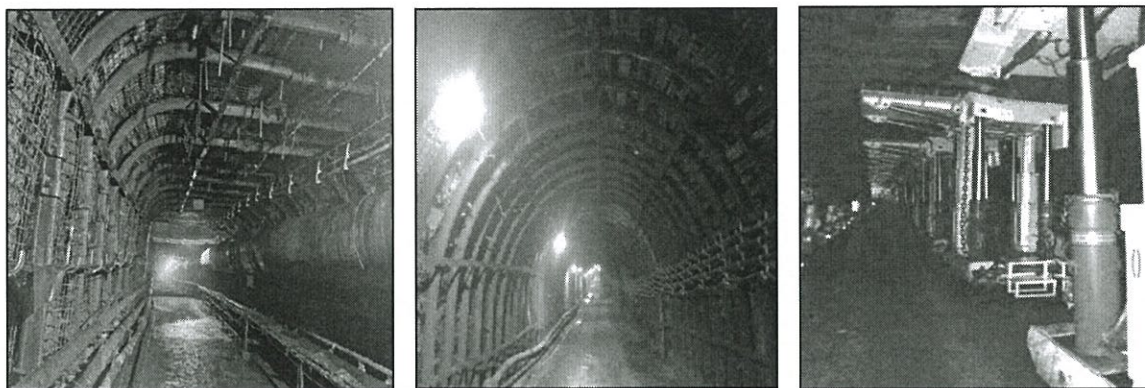


图 15 与 401101 工作面对比微震事件图

(四) 坚持强支强护，提升防冲抗冲能力

一是巷道支护采用规格为 $\Phi 22\text{mm}$ 、长度 2500mm 的高强度无纵筋锚杆， $\Phi 28.6\text{mm}$ 、长度 7100mm 的高延展率锚索，宽度 400mm、厚度 15mm 的蝶形托盘，宽度 280mm、厚度 5mm 的钢带及 $\Phi 6\text{mm}$ 的编织金属网护表。二是在顶板破碎、过断层、高应力区等区域采用超前预注浆、断层面注浆、注浆锚杆索、鸟窝锚索、可缩 U36 型支架及注浆改性等组合支护技术，建立减冲、抗冲、防冲的分级防控支护体系。三是回采工作面引进 18000kN 高工作阻力液压

支架,工作面超前 200m 范围采用 6400kN 防冲支架进行强化支护。



(a) 矩形可缩支架

(b) U36 型金属支架

(c) 防冲支架

图 16 加强支护现场图

(五) 强化风险研判, 提升分析预警能力

一是联合中国矿业大学、中煤科工开采研究院的技术人员成立监测分析小组, 每周召开一次冲击地压风险分析会议, 制定针对性防冲安全技术措施。二是每天召开防冲分析会, 共同研判现场防冲安全风险、部署卸压解危措施、调整生产组织安排。三是配优配强各层级防冲人员, 有效保障措施的落实兑现, 目前防治冲击地压管理部配置 7 名本科学历以上管理人员、7 名大专以上学历以上监测工, 防治冲击地压队配置 98 名职工、7 名管理人员, 安全监督管理部配置 6 名专职防冲措施验收员。

(六) 引进新型装备, 提升治灾装备水平

一是引进了 PASAT-M 便携式微震探测仪, 对采掘区域内地应力分布情况进行探测, 形成应力分布云图, 便于实施精准卸压。二是引进远程操作智能钻机, 远程控制钻机的走动、打钻、监控钻机倾角、角度定位等环节工作, 提高作业安全系数。三是引进

集高清摄像头于一体的卸压钻机，对卸压施工全过程监控。**四是**引进高清钻孔成像仪，对顶板预裂爆破、水力压裂等岩层裂缝拓展效果进行检验。

（七）深化企院合作，提升科技攻关水平

一是与中煤科工开采研究院签订了为期 5 年的技术服务协议，共同开展孟村矿井防冲开采规划与综合防治技术研究。**二是**与中煤科工开采研究院、陕西省煤层气公司、中石油渤海钻探工程公司合作，共同开展地面水平井分段压裂防治冲击地压技术研究。**三是**与中国矿业大学合作开展《深部强冲击矿井覆岩活动规律、周期性预警及精准卸压技术研究》项目，探索覆岩运移规律。**四是**与中煤科工开采研究院合作开展顶板定向长钻孔水力压裂技术研究。**五是**与中国矿业大学合作开展《深井冲击地压巷道长效主动防冲支护研究》，探寻主动长效防冲支护体系。**六是**发表科技论文 22 篇，获得发明、实用新型专利授权 6 项。

（八）紧跟科技前沿，提升治灾技术水平

一是积极参加各类煤矿动力灾害防治学术研讨会、深部岩石力学论坛等活动，随时掌握冲击地压灾害防治新技术、新工艺，并积极开展现场实验。**二是**积极与科研高校对接大数据发展动态，探索利用“大数据分析”找寻大能量微震事件发生机理及规律。**三是**开展应力场监测及防冲源头控制技术和井上下应力协同研究，构建矿井应力场分布模型，超前实施区域卸压及局部精准卸压，实现低应力环境开采。**四是**依托人工智能，与卸压钻机厂

家联合开发试验钻孔机器人，力争成为钻孔机器人技术创新策源地和集成应用新高地。

四、瓦斯防治“13345”工作法

矿井牢固树立瓦斯“零超限”目标，全面落实彬长公司“11533”瓦斯治理技术体系，坚持“局部治理向区域治理转变、过程治理向超前治理转变、常规抽采向高效抽采转变”的瓦斯治理理念，形成了“一个目标、三区联动、三个阶段、四种增透技术、五个验收评价环节”为一体的“13345”瓦斯防治工作法，从目标提出、区域规划、措施落实、验收评价等方面着手，实现全过程闭环管理。

（一）构建“三区联动”，实现区域超前治理

矿井自设计阶段开始，逐步构建了“三区联动”瓦斯超前治理模式，利用401盘区区域预抽巷及403盘区一号、二号灾害治理措施巷，施工顺层定向长钻孔开展超前预抽，实现401盘区和403盘区（南、北）煤层瓦斯的超前治理。

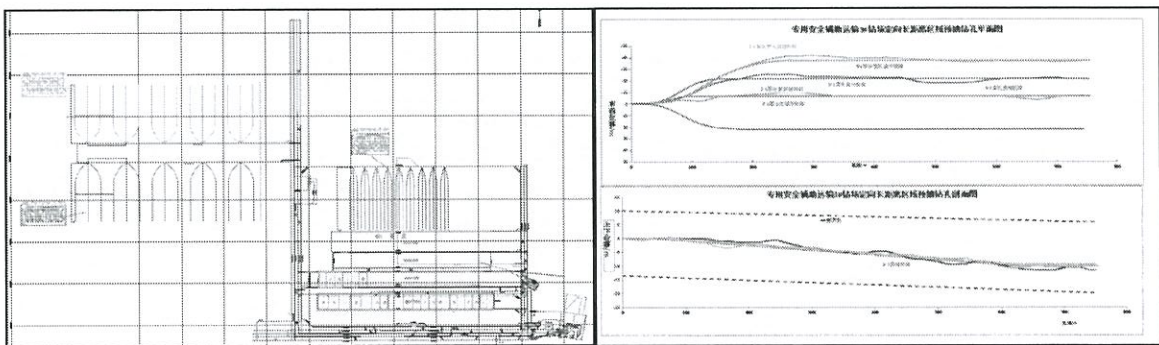


图 17 定向长距离区域预抽钻孔施工现场及曲线图

（二）把握“三个阶段”，实现分级分源治理

一是盘区准备期间利用区域预抽超前治理煤层瓦斯。二是巷

道掘进前施工“超前掘进灾害治理孔”，并开展水力压裂及高压水射流割缝技术，超前治理掘进期间巷道瓦斯。三是工作面回采前开展采前预抽、上隅角抽采、高位定向钻孔“以孔代巷”等瓦斯综合治理技术，对回采期间煤体及采空区瓦斯进行治理。

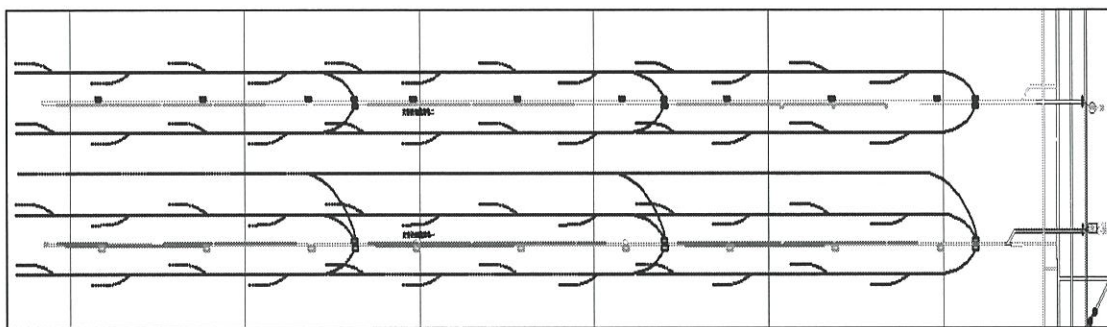


图 18 超前掘进灾害治理钻孔布置图

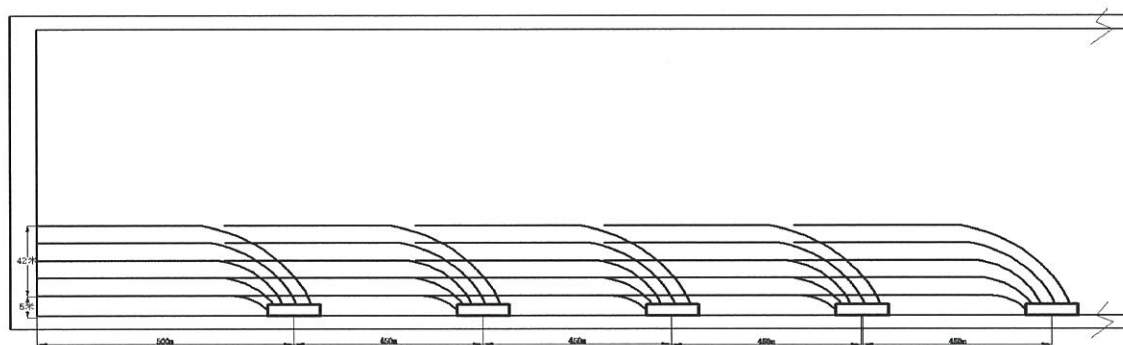


图 19 高位定向钻孔设计图

(三) 实施“四种增透”，实现高效精准抽采

4号煤层瓦斯含量为 $1.7\text{m}^3/\text{t}$ - $5.5\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯流量衰减系数平均值为 0.0382d^{-1} ，煤层透气性系数平均值为 $5.935\text{m}^2/\text{MPa}^2 \cdot \text{d}$ ，为克服煤层坚固性系数高、透气性差、抽采难度大等难题，矿井积极推行四种增透技术：

1. “2-111”瓦斯高效抽采技术。即在单孔内开展2种增透技术（高压水射流割缝技术、液态 CO_2 驱替技术），实现1次割缝卸压、1次气相脱附驱替及1次导向扩冲驱气等3种功能的瓦斯

高效抽采新技术。该技术可大幅提高煤体透气性，有效促进吸附态 CH_4 脱附置换，显著提高瓦斯抽采效率。

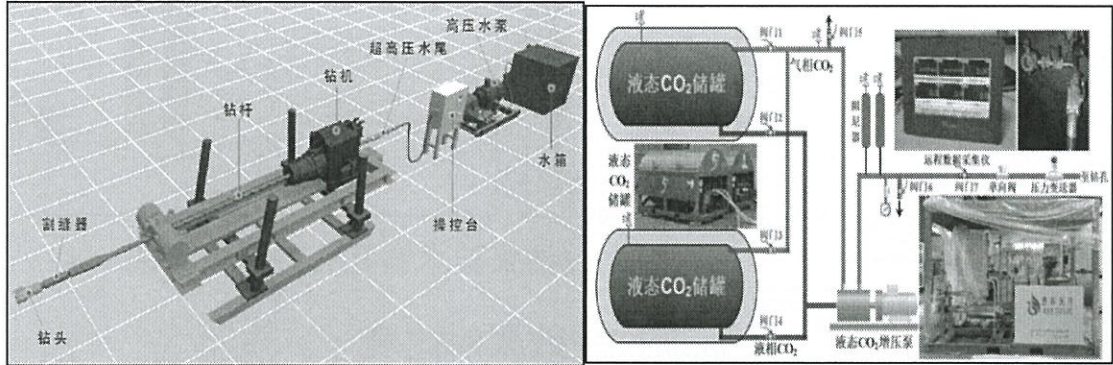


图 20 “2-111” 瓦斯高效抽采技术工艺图

(1) **技术参数：**高压水射流割缝压力 85MPa 以上，割缝半径 0.8m，缝宽 6cm，割缝间距 10m，割缝时长 13min，压注钻孔封孔深度 60m，单孔液态 CO_2 压注量 5 吨，有效影响半径为 26m， CO_2 衰减周期为 13 天，压注周期为 23 天。

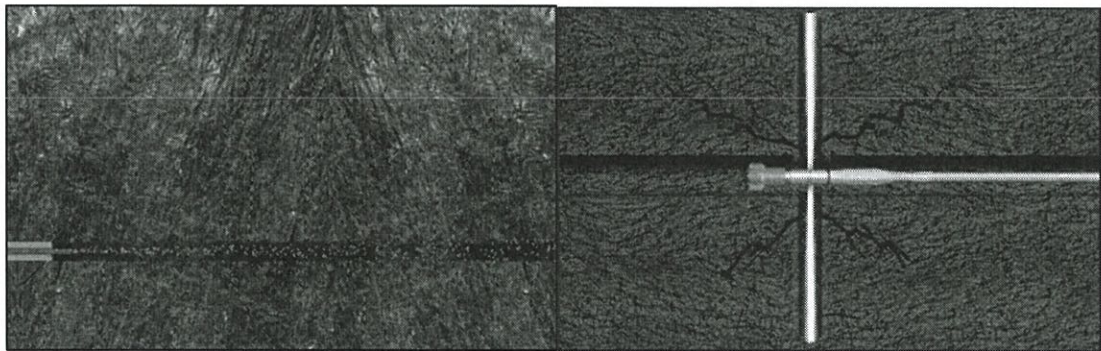


图 21 “2-111” 瓦斯高效抽采技术增透效果图

(2) **技术效果：**401102 工作面开展“2-111” 瓦斯高效抽采技术后，有效期内抽采量提高了 2.17 倍，煤层残余瓦斯含量 $2.18\text{m}^3/\text{t}$ ，相比 401101 工作面 $2.44\text{m}^3/\text{t}$ 降低了 12%，抽采达标时间缩短了 32 天；回采期间工作面瓦斯涌出量 $15.08\text{m}^3/\text{min}$ ，相比 401101 面 $17.45\text{m}^3/\text{min}$ 降低了 15.7%。

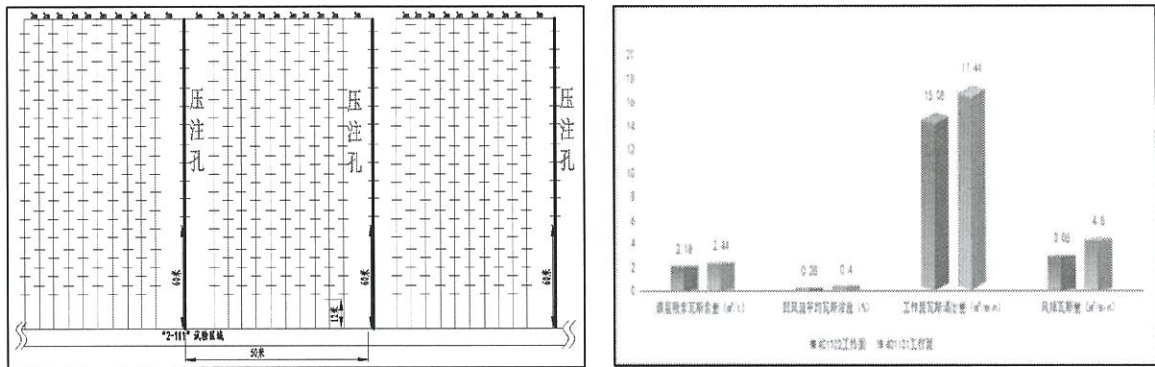


图 22 “2-111” 瓦斯高效抽采技术钻孔布置及效果图

瓦斯抽采效果对比表

区域	瓦斯浓度/%	流量/m ³ /min	瓦斯纯量/m ³ /min
普通区域	11.54	0.94	0.108
“2-111” 区域	17.54	1.34	0.235
平均倍数	1.52 倍	1.43 倍	2.17 倍

2. 定向长钻孔水力压裂技术。该技术以“分段扩张裂隙+整体沟通网络”为技术思路，依托水力压裂装备，将高压水通过定向钻孔作用于煤层，促使煤层产生新的裂缝系统，形成三维立体瓦斯运移导流通道，增大煤体透气性，提高瓦斯抽采率。通过数据监测，平均压裂压力为 15.2MPa，单孔总压裂水量为 1100m³，抽采浓度提高 1.5 倍。

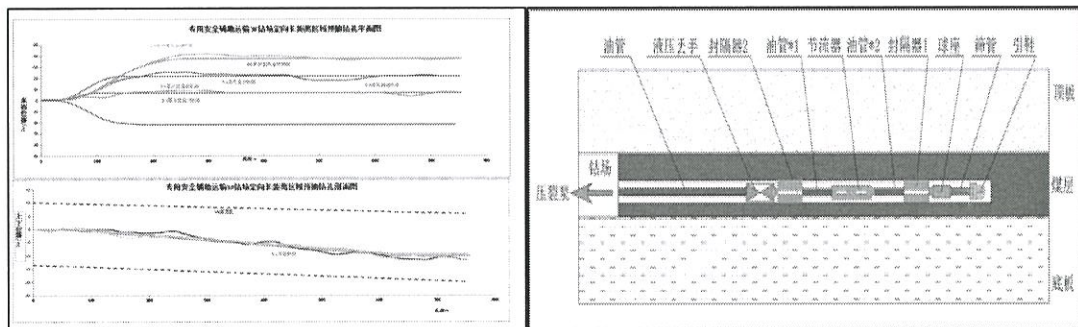


图 23 水力压裂技术示意图

3. 液态 CO₂相变致裂技术。利用液态 CO₂相变致裂特性，实现煤体增透，提高瓦斯抽采率。

(四) 严抓“五个环节”，实现规范科学评价

一是建立了“掘前、掘中、采前、采中、闭采”五个环节超前治灾验收评价标准和规范，从方案制定、技术资料、系统建设、工程项目等方面对各环节瓦斯治理进行效果验收评价，确保瓦斯灾害治理达标。二是按照瓦斯抽采达标规划和年度实施计划，开展抽采达标分单元评价。三是坚持通风瓦斯日分析制度，及时调整抽采参数，做到超前治理、达标治理。

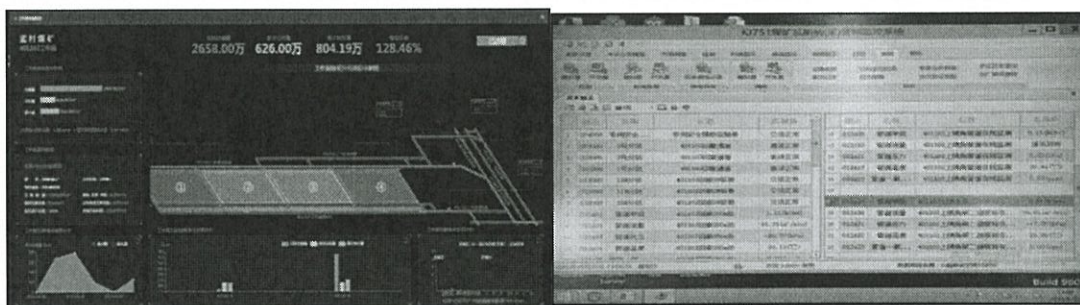


图 24 瓦斯抽采效果智慧化分单元评价系统

五、实施“1+N+X”多元灾害协同治理

面对多元灾害耦合叠加的威胁，矿井坚持多元灾害“协同治理、超前治理”原则，以地质“透明化”为基础，制定了“盘区准备期—巷道掘进前—工作面回采前”三阶段的灾害协同治理规划，形成了“1+N+X”多元灾害协同治理模式。

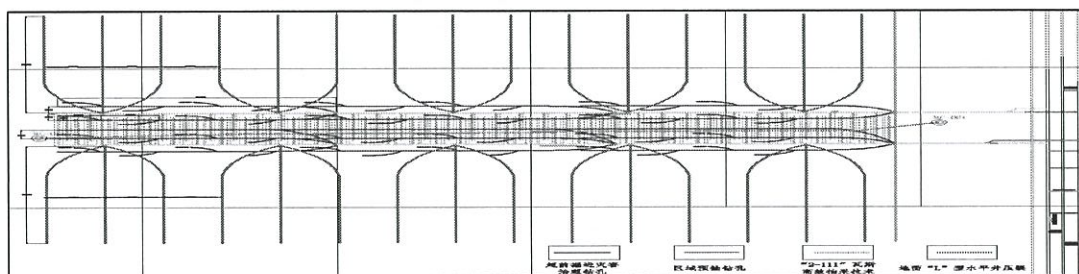


图 25 多元灾害协同治理钻孔布置图

（一）盘区准备期

通过实施“一级网格建设+灾害治理措施巷+区域预抽钻孔+水力压裂技术”，超前开展盘区内冲击地压防治、瓦斯预抽、地质探查、探放水等工作。

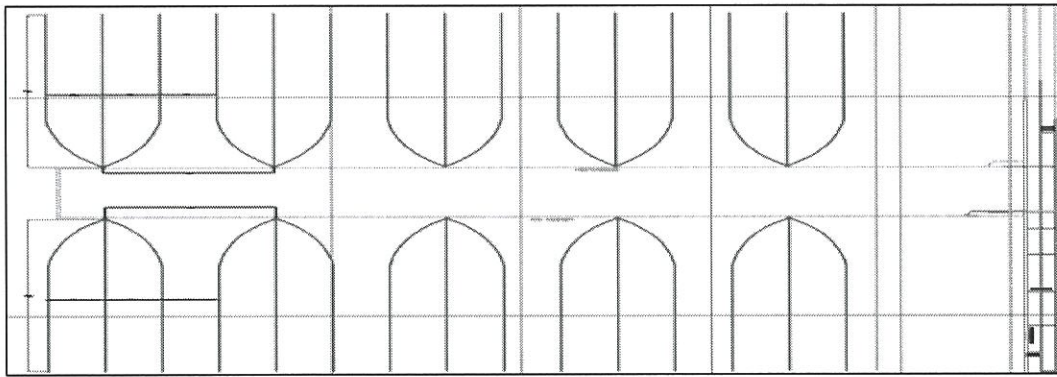


图 26 区域预抽钻孔布置图

（二）巷道掘进前

通过实施“二级网格建设+超前掘进灾害治理孔+水力压裂+高压水射流割缝”，超前开展冲击地压防治、瓦斯预抽、地质探查、探放水等工作。

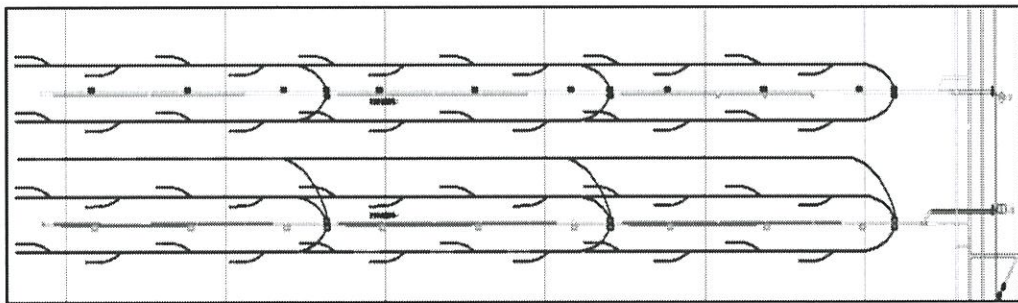
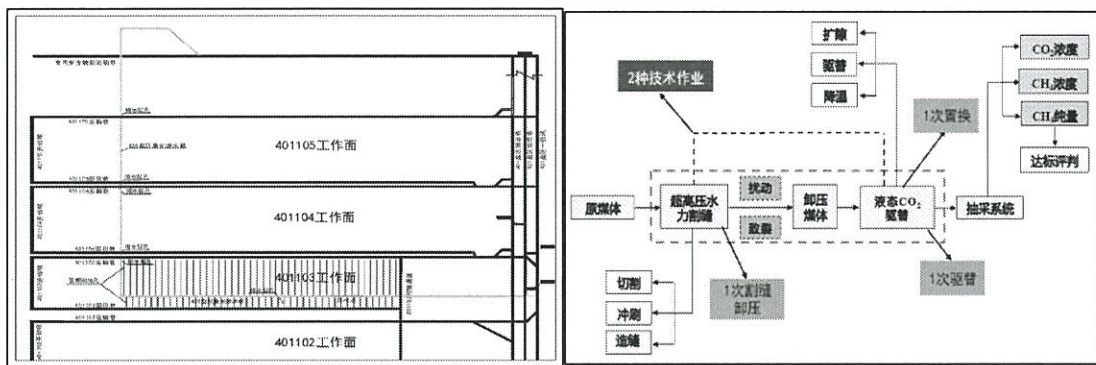


图 27 超前掘进灾害治理钻孔布置图

（三）工作面回采前

通过实施“三级网格建设+地面水平井压裂+高位定向钻孔+集中泄水巷+2-111 瓦斯高效抽采技术”，超前开展冲击地压、瓦斯、水、火、煤尘及地热等灾害治理工作。



(a) 盘区集中泄水巷布置图 (b) 2-111 瓦斯高效抽采技术图

图 28 回采前灾害协同治理方案示意图

六、“四化”建设提升灾害防控能力

矿井树立“科技治灾、智领发展”理念，按照“机械化换人、自动化减人、智能化无人”工作要求，积极引进先进装备、提升灾害治理工作能力、减少固定岗位工作人员，利用信息化、智能化等手段助推矿井超前治灾、防灾、减灾。

(一) 引进先进设备，提升治灾能力。孟村矿引进了 ZDY-15000LD 和 ZDY-20000LD 型定向钻机、ZDY-10000L 型大孔径钻机、ZYWL-4000Y 全自动钻机等各类灾害治理钻机 30 余台，购置了水力压裂、水射流割缝、液态 CO₂ 压注等先进设备，使用了钻孔测井分析仪、钻孔轨迹智能监测仪等先进仪器，在提升灾害防治能力的同时，做到对钻进全过程的视频监控，确保治灾措施落实。

(二) 智能综合管控，减人提效保安。一是建成一套快速掘进系统，由横轴式掘锚一体机、桥式转载机、自移机尾和双向变频运料输送机组成，创造了月单进 306 米的好成绩。二是建成一

套智能化综放工作面，形成“一个决策中心，两个远程控制平台和六个高效集控系统”。三是搭建综合自动化控制平台，实现在调度室对矿井供电、排水、主通风机、主运输、压风制氮等9个子系统远程集中控制，减少固定岗位40余人。

（三）三网融合联动，高效超前响应。一是以万兆环网为数据传输通道，以人员精准定位系统为依托，建成采掘工作面智能限员门禁、采面刮板机和主运皮带机头机尾转动部位电子围栏等，实现满员禁入、超员断电、危险区域禁入等。二是以安全监测监控系统、人员定位系统、应急广播系统为基础，建成“三网”联动告警平台，提升矿井应急响应能力，做到灾害预警超前响应。

（四）基于云端数据，智能分析决策。以融合私有云大数据中心为基础，有序推进“一通三防”智能化监测平台、智能综合管控平台、煤炭产供销价值链智慧联动示范标杆等项目建设，实现系统大融合大提升，以“系统智能化、智能系统化”为建设目标，全面提升矿井超前灾害预警能力。

（信息公开形式：主动公开）

陕西省应急管理厅办公室

2022年9月1日印发

承办单位：煤矿灾防处

经办人：王磊

电话：61166166

共7份