

Research on the “joint precision” roof advanced treatment technology system for isolated working faces in medium thick coal seams

Jia Chen

Wu tongzhuang Coal Mine ,Jizhong Energy Fengfeng Group Co.,Ltd., Handan, Hebei, 056011, China

Abstract

In view of the complex geological conditions of the isolated working face outside the three mining coal pillars in Wutongzhuang Mine, a trinity roof advanced governance technology system of “high-strength prestressed anchor-grouting support-new inorganic material injection reinforcement-intelligent monitoring” was constructed. Through rock mechanics parameter inversion analysis, borehole stress-displacement joint monitoring and three-dimensional numerical simulation, the instability mechanism of isolated coal pillars was revealed. Field application shows that the technology system reduces the surrounding rock deformation by more than 80%, increases the bearing capacity of coal pillars by 3 times, and the annual efficiency of a single working face is 48.72 million yuan. The research results provide theoretical support and technical solutions for roof control under deep and complex conditions.

Keywords

medium-thick coal seam; isolated working face; roof control

中厚煤层孤岛工作面“联合精准”顶板超前治理技术体系研究

陈佳

冀中能源峰峰集团有限公司梧桐庄矿，中国·河北 邯郸 056011

摘 要

针对梧桐庄矿三采煤柱外孤岛工作面复杂地质条件，构建了“高强度预应力锚注支护—新型无机材料喷注加固—智能监测”三位一体的顶板超前治理技术体系。通过岩石力学参数反演分析、钻孔应力-位移联合监测及三维数值模拟，揭示了孤岛煤柱失稳机理。现场应用表明：该技术体系使围岩变形量降低80%以上，煤柱承载能力提升3倍，单工作面年增效4872万元。研究成果为深部复杂条件顶板控制提供了理论支撑和技术方案。

关键词

中厚煤层；孤岛工作面；顶板治理

1 引言

孤岛工作面因双侧采空区应力叠加效应，常面临顶板大面积垮落、煤柱失稳等灾害风险。传统治理手段存在支护-注浆脱节、适应性差等问题。本文提出“联合精准”治理理念，通过多参数耦合设计实现顶板主动加固，建立适用于中厚煤层孤岛工作面的超前治理技术体系。

2 工程地质条件

三采煤柱外工作面为孤岛工作面，工作面采长 270m，走向长度 140m，储量 18.7 万吨。工作面煤层老顶为 9.25m

厚的中砂岩，直接顶为 5.43m 厚的砂质页岩；老底为 5.85m 的细砂岩，直接底为 3.64m 的砂质页岩。

三采煤柱外工作面两巷为矩形断面，采用锚网索支护。其中，回风顺槽沿老巷掘进，与老巷之间留设 5m 宽煤柱；工作面内包含有 6 条与工作面回采方向平行、垂直、斜交的老巷，合计长度 1060m。包含断层 2 条，影响范围长 50m。工作面受老巷、断层影响，局部顶板破碎，影响工作面正常生产。

为减少顶板对回采的影响，减少巷道后期的变形，需对工作面顶板和巷道实施“联合精准”顶板超前治理，保证工作面正常生产。超前治理工程包括窄煤柱控制变形治理工程和工作面破碎顶板及断层破碎带超前治理工程。

【作者简介】陈佳（1986—），男，中国河北邯郸人，本科，工程师，从事采矿技术与安全管理研究。

3 沿空窄煤柱控制变形治理

3.1 打设注浆锚杆、注浆锚索

窄煤柱注浆加固治理的原理主要基于高强度预应力全长锚注支护技术和新型无机材料喷注加固技术的综合运用，形成一个连续、高强度的支护体系，并通过注浆改性提高煤柱和岩体的整体稳定性和承载能力。

加固流程：对窄煤柱侧帮施工注浆锚杆、注浆锚索施加高预应力→喷浆形成高强密实的制浆、保护层→围岩、煤体注浆改性。

具体施工工艺：施工注浆锚杆、注浆锚索。

①顶部：在中心线位置施工规格为 $\phi 22 \times 7000\text{mm}$ 中空注浆锚索，强度级别 2060MPa，间距 1600mm，破坏负荷

不低于 500kN，预紧力不小于 150kN。

②帮部：在原巷道支护的第 2 排（从顶至底）帮锚杆与第 3 排帮锚杆之间打设规格为 $\phi 22 \times 3500\text{mm}$ 中空注浆锚索，与帮部斜向上呈 75° 夹角，间距 1600mm，锚索强度级别为 2060MPa，破坏负荷不低于 500kN，并与 2m 长 16# 钢联锁使用。

锚杆杆体上单侧按 800mm 间距分布有两个注浆眼，距端头最小距离为 1000mm；锚索杆体上单侧按 800mm 间距分布有两个注浆眼，距端头最小距离为 1500mm。

通过在沿空侧帮部和顶部打设中空注浆锚杆和锚索，并施加高预应力，可以形成对煤柱及其周围岩体的有效约束。

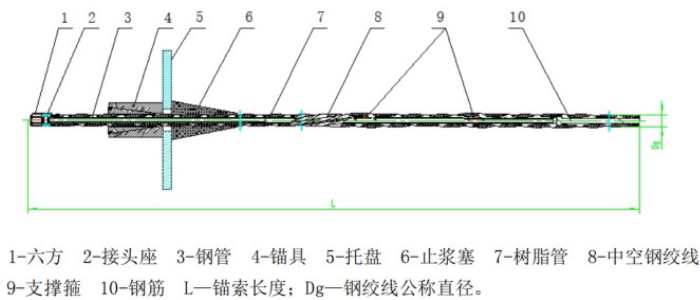
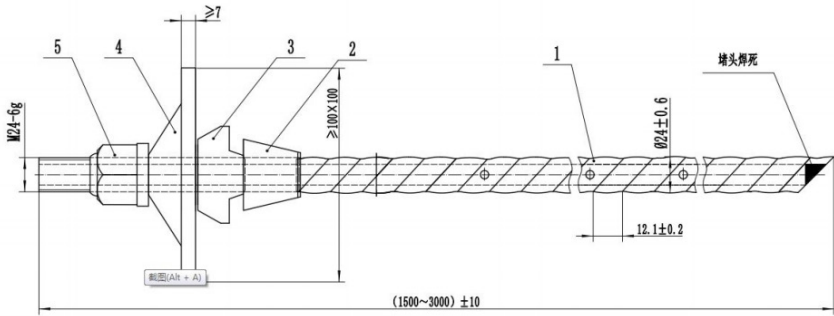


图 1 注浆锚索示意图



图中：1-杆体 2-止浆塞 3-密封垫 4-托盘 5-扭矩螺母

图 2 注浆锚杆示意图

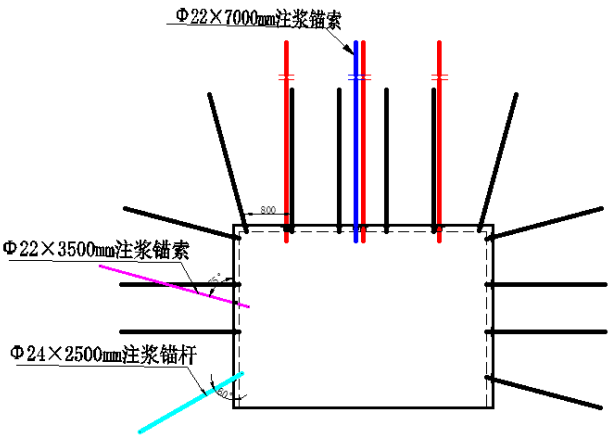


图 3 注浆加固布置图

3.2 喷浆

喷浆材料采用高强喷射加固复合材料,该材料是水泥、细骨料和其它有关材料混合而成,水灰比 0.13~0.18 : 1, 喷厚 50mm, 强度 C50。喷后 2~4 小时即应开始洒水养护。

通过喷浆形成高强密实的制浆、保护层,可以进一步加固煤柱的表面,防止其因风化、水侵蚀等因素而进一步弱化。这一步骤不仅提高了煤柱表面的强度,还为其提供了一个额外的保护层,减少了外界因素对煤柱稳定性的不利影响。

3.3 注浆

注浆材料为矿用无机速凝双组分高强新材料,由双组分材料组成(AB料),具有无收缩、微膨胀;渗透性好,可泵送;初凝快,抗压强度高;反应过程中温度低,安全性好;氯化物符合要求,抗腐蚀等优点。相较于普通水泥,采用新型注浆材料进行高压注浆,单轴抗压强度由 C20 提高到 C50,含水量变少,凝固时间缩短。

使用时通过双缸同步注浆泵将混合后的浆流注入破碎的煤岩体中,快速加固松散的煤岩体。初次凝结时间 $\leq 8\text{min}$, 终凝时间 $\leq 12\text{min}$, 2h 后抗压强度可达到 20MPa, 28d 抗压强度 $\geq 45\text{MPa}$ 。

3.4 制浆方法

①重量比水灰比: 0.3 : 1, 采用专用气动高速搅拌机拌浆,先加水后加入无机材料,分别按水灰比 0.3:1 拌浆后,再以 1 : 1 的比例,经过同步双缸泵和高压胶管输送到混合器内混合,再通过注浆管输送到孔内。A、B 料必须在搅拌机中搅拌不少于 10 分钟。②注浆泵采用厂家配置专用气动注浆泵,型号为 3ZBQ5/16,最大注浆压力为 18MPa。注浆时煤岩体温度的高低会影响注射灌浆凝固的时间。压浆应连续进行,一次完成。压浆应缓慢、均匀地进行,不得中断,并应将所有最高点的排气孔依次一一打开和关闭,使孔道内排气通畅。浆液自拌制完成至压入孔道的延续时间不宜超过 40min,且在使用前和压注过程中应连续搅拌,对因延迟使用所致流动度降低的浆液,不能通过额外加水增加其流动度。③压水实验:每孔终孔安设孔口管后接通输浆管路进行注浆液试验,压力由小到大逐步升压到终压(设计压力的 1.5 倍)注清水 1min。④注浆流程:无机材料浆液经充分搅拌→注浆泵→控制阀→孔口管→岩层裂隙→带压停泵→泄压洗泵。

有以下三种情况之一出现可关闭注浆泵停止注浆:

泵压力已达到设定的注浆压力上限;

虽未达到注浆压力,但从其他注浆孔窜浆;

注浆过程中发现有漏浆现象并确认无法封堵注浆。

注浆顺序:注浆先底部,后帮部,再顶部。

注浆顶锚索最大注浆压力至 6MPa,帮锚索和帮锚杆最大注浆压力至 5MPa。

通过围岩、煤体注浆改性,可以改变其物理力学性质,提高整体的稳定性和承载能力。

4 工作面破碎顶板及断层破碎带超前治理

通过定向钻机实施超长精准钻孔+远程高压注浆泵+高

速制浆机+无机系列材料对工作面复合顶板进行超前区域性综合治理,同时对工作面两巷的断层破碎带进行了治理,通过注浆加固避免了因采动影响导致的巷道断层区域破碎顶板二次破坏,有效消除了支护失效带来的局部冒落等安全隐患。

钻探设备采用 ZDY4000LD(C) 钻机施工定向钻孔,钻杆为 $\Phi 73\text{mm} \times 1.0\text{m}$ 的钻杆。钻头为 $\Phi 168\text{mm}$ 、 $\Phi 93.5\text{mm}$ 的合金钻头。

终孔处理论设计在距离煤层顶板 1 米左右,对工作面煤层实行“鱼刺”型覆盖面,钻孔终孔落点间距 30 至 40m。

钻孔采用 $\phi 168\text{mm}$ 开孔,钻进至超过下套管长度 1~3m 后停止钻进,下入 $\phi 159\text{mm}$ 套管 10m,固管凝固 24h 后扫过原孔深以下 0.5m,并安装抗压强度不小于 12MPa 的阀门注清水进行耐压试验,试验压力不小于 8MPa,稳压时间大于 30min。耐压试验合格后,采用 $\phi 93.5\text{mm}$ 孔径裸孔钻进至设计孔深。

工作面顶板注浆孔设计长度 138~210m,设计为 6 个钻孔,使用定向钻机施工。

利用棉纱和水泥砂浆对孔口进行封堵;通过螺栓链接孔口注浆闷盘、6 吋钢圈和岩芯管盘口,利用注浆闷盘内 $\Phi 25\text{mm}$ 注浆直通进行注浆;当返浆管漏浆时,关闭球阀,继续注浆。

注浆材料为矿用无机注浆填充加固材料,是一种以水泥为基础的无机注浆材料,产品添加了纳米级材料,制成的浆液体流动性好,渗透性强,易泵送,强度高,粘结性好,凝结后的产物微膨胀、不收缩。初凝时间 $\geq 45\text{min}$, 终凝时间 $\leq 600\text{min}$, 28d 抗压强度可达到 $\geq 60\text{MPa}$ 。

5 实施效果

①运用高强中空注浆锚杆、锚索,具有支护、注浆功能,达到“一杆两用”效果,实现全长锚固和围岩加固。②通过使用湿式混凝土喷射机组和矿用混凝土辅助喷射车,改变了传统的人工上料、拌料、持喷的喷浆工艺,形成智能化、自动化、少人化、标准化喷浆新工艺,达到了安全、环保、高效、减人的目的。③通过锚喷支护,增强了煤、岩体自身承载能力,提高了主动支护效果,解决了高应力复杂地质条件下巷道控制变形难度大、支护强度低的问题,解决了沿空窄煤柱稳定性差的难题,起到防漏风防火的目的,为后期安全回采创造有利条件。

参考文献

- [1] 王家臣. 极厚煤层煤矸界面识别及控制研究[J]. 煤炭学报, 2020, 45(3): 897-906.
- [2] 康红普. 我国煤矿巷道锚杆支护技术发展60年及展望[J]. 中国矿业大学学报, 2021, 50(1): 1-12.
- [3] 靖洪文, 等. 深部巷道围岩破裂场演化规律试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(S1): 2817-2826.