

# 基于采动应力精准控制的巷道围岩协同支护技术研究与应用

常飞彪

(山西兰花科创玉溪煤矿有限责任公司)

**摘要:**针对玉溪煤矿深部开采过程中面临的巷道变形严重、返修率高、支护成本巨大等难题,本文提出了一种以“采动影响规律研究为基础,围岩应力精准控制为核心”的巷道围岩协同支护技术。该技术通过综合运用现场监测、数值模拟与理论分析,精准掌握了工作面回采过程中的超前支承压力分布规律及影响范围。基于此,创新性地提出了“高强度预应力锚杆索主动支护+关键区域局部补强”的协同支护方案,替代了传统被动、强化的支护模式。目前,该技术正处于工业性试验阶段,初步监测数据表明,试验巷道围岩变形量降低了约40%以上。本技术的应用,不仅能显著提升巷道安全性,更在支护材料成本、人工维护费用及因停产整修带来的产量损失等方面实现了巨大的“降本增效”,为同类条件矿井的巷道维护提供了具有重要借鉴价值的“金点子”。

**关键词:**采动影响;围岩控制;降本增效;协同支护;锚杆索;玉溪煤矿

## 1 引言

随着煤矿开采深度和强度的不断增加,复杂地质条件和强烈采动影响下的巷道围岩控制问题日益突出。传统的被动式、高强度支护方式(如密集U型钢支架、厚层混凝土碇等)虽在一定程度上保证了安全,但存在材料消耗大、施工效率低、后期维护频繁等问题,已成为制约矿井“降本增效”的瓶

颈。以玉溪煤矿为例,部分高应力巷道年均返修率高达2-3次,单次返修成本(含材料、人工、设备及停产损失)超过百万元,造成了巨大的资源浪费和经济损失。

因此,探索并应用一种既能保障安全生产,又能从根本上降低支护成本的主动控制技术,迫在眉睫。我单位近三年来立项开展的“玉溪煤矿采动影响规律及巷道围岩控制关键技术研究”,正是立足于

这一现状,旨在通过技术创新,实现安全与效益的双赢。本文即是对该研究项目中核心“金点子”——基于采动应力精准控制的巷道围岩协同支护技术的阶段性总结与效益前景分析。

## 2 工程概况

### 2.1 实验地点及原支护方案

本次工程实验地点为玉溪煤矿东瓦斯抽放巷里程350m~550m段,全程200m。东瓦斯巷采用锚网索喷+钢筋托梁联合支护,原有支护方案见图1所示。

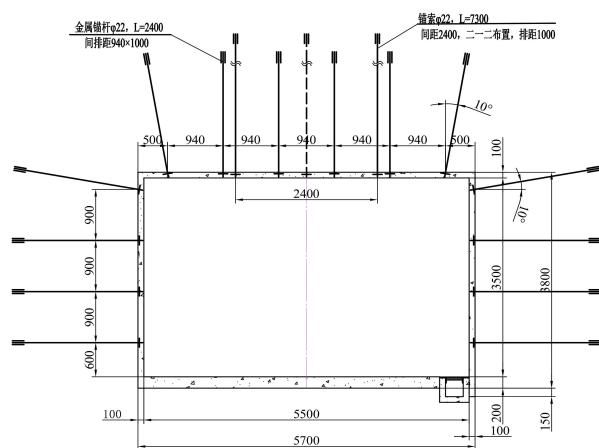


图1 原巷道支护断面图

### 2.2 巷道加固技术方案

2.2.1 根据井下现场情况不需要对巷道进行扩刷断面,仅处理部处理巷道变形破坏部位,其加固技术方案如图所示。支护技术方案共包含4种断面,分别为锚杆支护断面A、锚索基本支护断面B、锚索结构补偿断面C和注浆断面D。

2.2.2 支护技术方案共包含4种断面,分别为锚杆支护断面A、锚索基本支护断面B、锚索结构补偿断面C和注浆断面D。

#### (1) 锚杆支护断面A

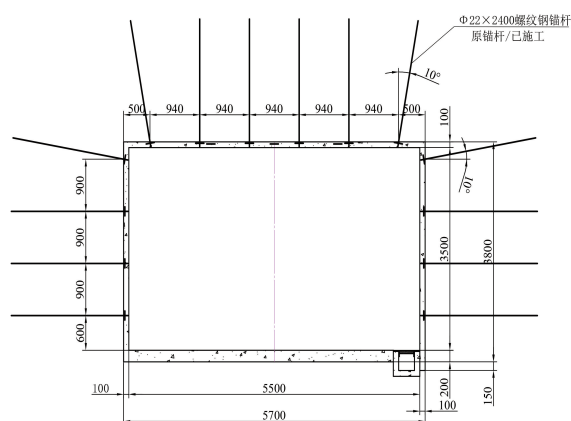


图2 锚索基本支护断面A

锚杆形式和规格:A断面锚杆为 $\Phi 22 \times 2400$ mm左旋无纵筋螺纹钢锚杆,顶部间距940mm,帮部间距900mm,排距皆为1000mm,每排共14根锚杆,见图3。配套调心球垫及配套减磨塑料垫圈。托盘:150×150×10mm高强度碟形托盘,每根锚杆使用1支MSK2335快速锚固剂和1支MSZ2360中速锚固剂。锚杆预紧力矩大于400N·m,见图2。

#### (2) 锚索基本支护断面B

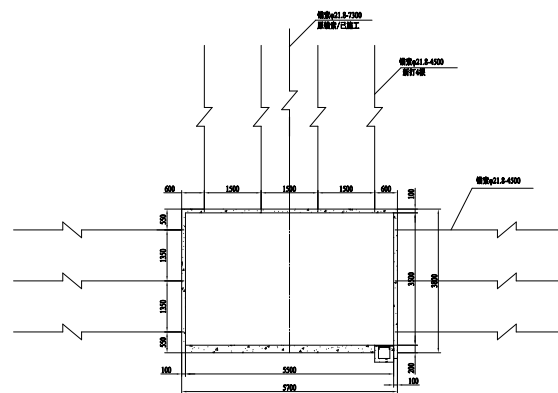


图3 锚索基本支护断面B

B断面为 $\Phi 21.8 \times 4500/7300$ mm-19股高强预应力锚索(强度级别1860MPa),共11根(顶部中间1根为原有7300mm长锚索,已施工;其他10根为4500mm长锚索),顶板锚索间距1500mm,排距2000mm;每帮3根 $\Phi 21.8 \times 4500$ mm锚索,间距1350mm,排距2000mm,见图3。

#### (3) 锚索结构补偿断面C

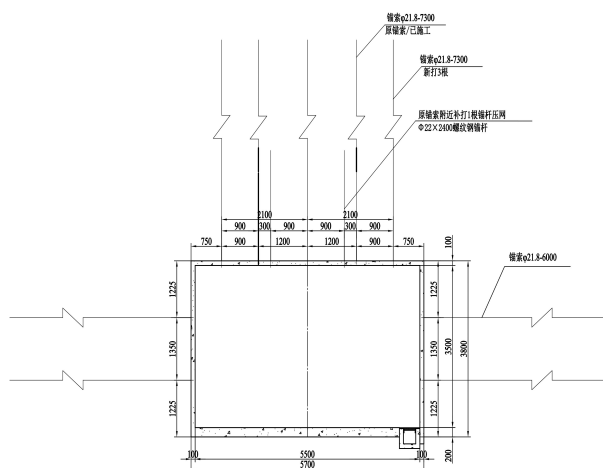


图4 锚索结构补偿断面C

C 断面顶板锚索为  $\Phi 21.8 \times 7300\text{mm}$ -19 股高强预应力锚索(其中 2 根原锚索,已施工),共 5 根,间距 900/1200mm,排距 2000mm。帮部锚索为  $\Phi 21.8 \times 6000\text{mm}$ ,每帮共 2 根,间距 1350mm,最下面一根锚索距底板 1225mm,排距 2000mm,见图 4。需要说明的是:为压住金属网,需要在距离顶板原锚索位置 300mm 位置补打 1 根  $\Phi 22 \times 2400\text{mm}$  左旋无纵肋螺纹钢锚杆,共补打 2 根。

B 和 C 断面锚索托板统一采用 300mm×300mm×16mm 高强度拱形托板及配套锁具。锚索锚固方式均为加长锚固,采用三支树脂锚固剂,一支规格为 MSK2535 型(先放),另两支规格为 MSZ2560 型(后放)。B 和 C 断面锚索张拉力均不低于 300kN。

#### (4) 注浆加固

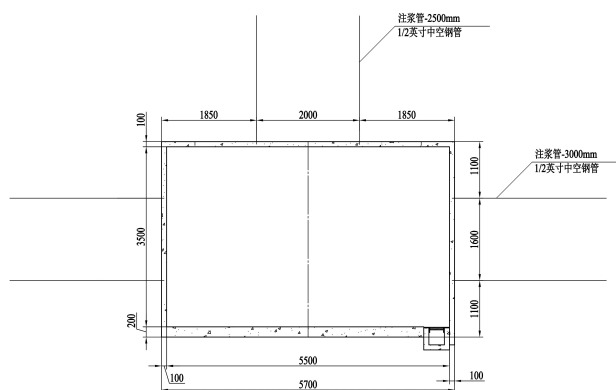


图5 注浆断面D

D断面为注浆断面,注浆管材料为1/2英寸中空钢管加工而成,顶帮注浆管长度分别为2500、3000mm,注浆管间排距分别为1600/2000×2000mm(帮部最下面一根注浆管距底板1100mm),每个断面共布置6根,见图5。

帮部注浆管长度为3000mm,其中注浆段长度为2400mm,封孔段长度为600mm,尾端螺纹段长度为100mm。注浆段均匀布置22个 $\Phi 8\text{mm}$ 注浆孔;封孔段与注浆段由挡圈隔开,挡圈用厚度为6mm圆环加工制成;螺纹段与注浆泵出浆管用快速接头连接。注浆管结构如图6所示。

顶板注浆管长度为2500mm,其中注浆段长度为1900mm,封孔段长度为500mm,尾端螺纹段长度为100mm。注浆段均匀布置18个 $\Phi 8\text{mm}$ 注浆孔;封孔段与注浆段由挡圈隔开,挡圈用厚度为6mm圆环加工制成;螺纹段与注浆泵的出浆管用快速接头连接。注浆管结构参考图6所示。

注浆管密封采用麻绳和着水泥,缠绕着注浆管,

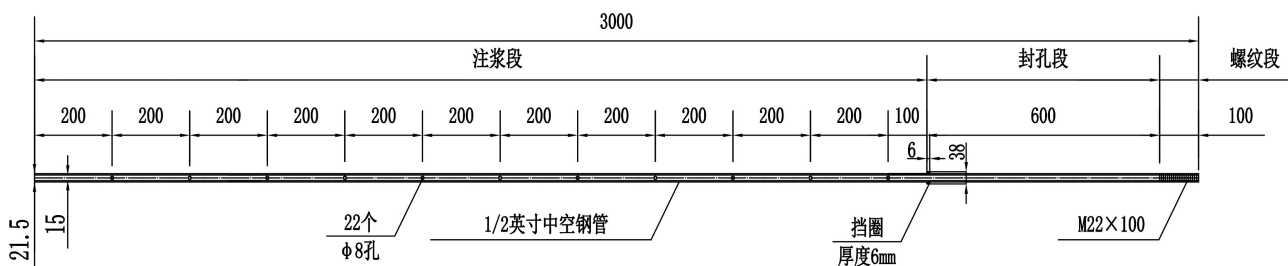


图6 3000mm长注浆管结构示意图

用冲压管顶进孔中,封孔效果较好。

### 2.3 围岩观测分析

根据对东瓦斯抽放巷巷道补强段围岩为期2个月观测,其顶板及巷帮最大变形量为0-21mm,在可控范围内。证明该支护方案对巷道围岩变形有明显的控制作用。

## 3 当前巷道支护存在的问题与成本分析

(1)支护材料成本高昂:传统支护为应对不确定性,往往采用“过度保守”的设计,大量使用钢材、水泥等,材料费用占比超过总支护成本的60%。

(2)维护工作量大,人工成本高:频繁的巷道返修挤占了大量一线作业人员,人工成本持续攀升,且影响正常采掘接续。

(3)隐性损失巨大:巷道维修通常需要停产作业,直接导致产量损失。同时,维修作业本身也存在较高的安全风险。

(4)能源消耗间接增加:支护材料的加工、运输,以及维修设备的运行,都间接增加了全矿的能源消耗,与“节能降耗”的宗旨相悖。

## 4 预期效益分析与“降本增效”成果展望

尽管项目尚处于试验阶段,但通过数值模拟和初步现场数据对比,其“降本增效”前景十分显著:

### 4.1 直接经济效益(降本)

(1)材料成本节约:协同支护方案预计可减少约15%-20%的锚杆、锚索及锚固剂用量。按单条巷道支护预算500万元计算,可直接节约材料成本75-100万元。

(2)维护成本大幅降低:巷道返修率由年均2.5次预计降至0.5次以下。单条巷道年均节约返修费用(按150万元/次计)约 $(2.5-0.5) \times 150 = 300$ 万元。

(3)人工效率提升:减少维修班次,可将更多人力投入采煤一线,间接提升工效。

### 4.2 间接与安全效益(增效)

(1)保障生产接续:巷道稳定性提高,避免了因维修造成的停产,保障了工作面的正常推进,提高了矿井整体产能利用率。

(2)节能降耗:减少了支护材料的生产与运输能耗,减少了维修设备(如装载机、矿车)的燃油或电力消耗,契合绿色低碳发展理念。

(3)安全效益巨大:巷道长期稳定从根本上消除了因围岩失稳带来的顶板、片帮等安全隐患,实现了本质安全,其价值无法用金钱衡量。

## 5 结论与推广价值

本研究针对玉溪煤矿高应力巷道的支护难题,提出的“基于采动应力精准控制的巷道围岩协同支护技术”,是一个经过科学论证、具有极强实践性的“金点子”。

(1)创新性:将研究重心从“如何支”前移至“为何变”,通过精准掌握采动规律,实现了支护设计的量化、科学化和动态化。

(2)实践性:技术方案紧密结合玉溪煤矿现场实际,正处于工业试验阶段,数据详实,方案可行。

(3)推广价值:该技术思路和方法不仅适用于玉溪煤矿,对集团公司内乃至行业同类地质条件的矿井均具有重要的参考和借鉴意义,是实现“少人则安、提质增效”战略目标的有效技术路径。

下一步,我们将继续完善试验数据的采集与分析,优化支护参数,形成一套可在全公司范围内推广的标准化作业流程,为兰花集团的“节能降耗、降本增效”工作贡献玉溪力量。

### 参考文献:

- [1]何满潮,等.深部软岩巷道耦合支护理论与技术[J].岩石力学与工程学报,2005.
- [2]康红普,等.煤矿巷道锚杆支护应用实例分析[J].煤炭学报,2010.
- [3]玉溪煤矿地质勘察报告及采掘工程平面图[R].内部资料,2022.