

附件 1

编号：

2021 年度千人智库科技成果奖

申 报 书

项目名称： 新型矿用水泥基材料巷道加固关键技术及应用

完成单位： 山西华晋明珠煤业有限责任公司

(加盖公章) 应急管理部信息研究院

单位联系人： 任竹清 刘超林

联系电话： 13835141078/15210567560

申报年度： 2021 年度

申报日期： 2021 年 8 月 4 日

一、项目基本情况表

项目名称	新型矿用水泥基材料巷道加固关键技术及应用								
完成单位	第一完成单位：山西华晋明珠煤业有限责任公司								
	第二完成单位：应急管理部信息研究院								
	第三完成单位：								
主要完成人	序号	姓名	性别	年龄	职称、职务	负责人	重要参加人	参加人	
	1	赵利	男	48	高工/董事长		√		
	2	于雷	男	46	教高/处长		√		
	3	刘超林	男	35	高工/博士在读		√		
	4	任竹清	男	44	高工	√			
	5	申琢	女	38	高工/博士		√		
	6	李秀生	男	52	高工		√		
	7	刘志文	男	59	教高	√			
	8	孙超	男	40	高工/副处长			√	
	9	司剑	男	44	高工			√	
	10	许阳	女	31	工程师			√	
	11	张炜敏	男	37	工程师		√		
	12	赵启涵	男	29	工程师			√	
	13	张晓勇	男	38	工程师			√	
	14	龚庆	男	26	助理工程师			√	
专业领域	A. 水泥√ B. 玻璃 C. 陶瓷 D. 砂浆 E. 混凝土及其原材料 F. 石膏 G. 石灰 H. 涂料 I. 保温 J. 防水 K. 地坪 L. 装配式建筑 M. 化学建材 N. 装饰装修材料 O. 复合材料√ P. 新型材料√								
项目起止时间	起始：2018年10月					完成：2019年12月			
项目自评	经济效益	方面	A. 节约能源 B. 节约资源 C. 减少污染 D. 提高生产率 E. 提高产品质量 F. 安全生产管理√ G. 其它						
		效果	A. 显著√ B. 较好 C. 一般						
	社会效益		A. 显著√ B. 较好 C. 一般						
已获奖等级、类型	无								
成果评价证书编号	无								
科技查新证书编号	20211100300445000								
投入资金 (万元人民币)	总 额					96 万元			
	其中	单位自筹					96 万元		
		其它来源					0		
项目成果提供形式	A. 新产品 B. 新设备 C. 新材料√ D. 新工艺√ E. 新技术 F. 专利√ G. 新标准 H. 其他, 请说明:								

项目主要研究内容（不超过 350 字）：

本项目根据现场调研情况，采用理论分析、实验室试验、示范工程等相结合的研究方法，在总结明珠煤矿以往巷道围岩加固技术、传统注浆材料及工艺优缺点的基础上，针对西翼轨道巷约 100m 范围内，通过分析围岩工程地质条件特性，研究围岩变形产生机理；针对明珠煤矿现用水泥性质，研制一种符合明珠煤矿注浆材料材料和工艺特点的复合添加剂及注浆材料，能够调整和改变水泥浆液的物理力学性质，明显提高水泥类浆液围岩加固效果；并分析研究围岩注浆加固技术的适用性及合理化的工程配比参数，提出了“喷浆+浅孔低压+局部深孔高压”的分层次锚喷注耦合加固工艺技术，从而达到优化注浆条件、注浆工艺及流程的目的，合理提高注浆质量及控制围岩变形。

解决的关键技术问题及主要创新点（不超过 350 字）：

解决的关键技术问题：根据现场实际工程条件，研制水泥基矿用无机复合添加剂，并对注浆参数及工艺进行优化，提高巷道安全支护效率的同时，降低工人劳动强度和巷修成本。

创新点：

（1）以现用水泥为底料，研发水泥基矿用无机复合添加剂，具有绿色环保、低碳经济、对金属支护材料无腐蚀等优势；并基于“水平衡原则”确定最优工程配比参数，解决明珠矿西翼轨道巷道加固问题，提高支护效率，显著降低劳动强度和成本。

（2）分析了涵盖围岩岩性、围岩松动圈、地应力、支承压力等 4 种影响巷道变形的因素，提出了“喷浆+浅孔低压+局部深孔高压”的分层次锚喷注耦合加固工艺技术，增加围岩内聚力及内摩擦角等参数，从而提高深部围岩强度。

（3）研发了“外端固定，全孔长注浆”的矿用无机材料注浆加固装置，提出“先帮后顶、先奇后偶”的注浆空间施工顺序，从而实现巷道围岩稳定和有效加固支护。

技术方案和技术路线（不超过 350 字）：

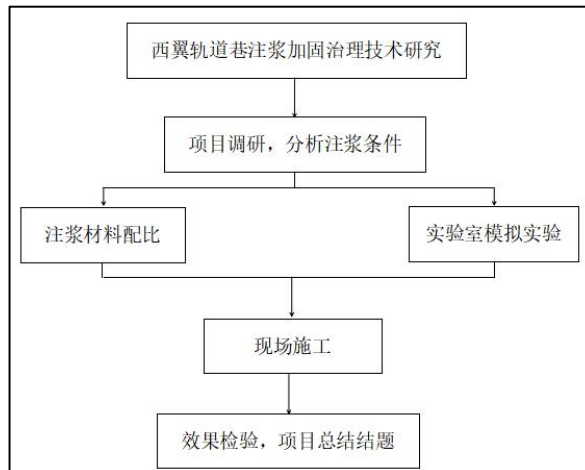
本项目技术方案包含以下方面：

1. 现场调研收集相关技术资料，对工程地质、水文地质及巷道围岩特性进行调查，分析研究巷道围岩变形的机理及规律，探究注浆加固的时空工艺流程。

2. 根据工程地质和水文地质情况，进行注浆材料添加剂的室内配方实验和模拟实验，确定合理的水灰比等重要注浆加固参数。

3. 围岩注浆加固工程示范，对围岩注浆加固技术进行局部参数的优化，并制定完整的施工工艺流程及安全技术措施。

4. 工程施工完毕后，对工程进行技术、经济性总结，并提交相应的技术总结报告。



申请或已获专利等知识产权情况（与本项项目有关）

类别	申请号	授权号	申请或授权时间	项目名称
发明专利	CN201910447 134.0	CN111995287A	2019-05-27	一种喷射混凝土用的复合添加剂及其制备方法和混凝土组合物
	CN201910618 557.4	CN112211649A	2019-07-10	一种湿式混凝土喷射机组及其运行方法
	20191028102 3.7	CN111792871A	2020-10-20	一种用于注浆材料的复合添加剂及注浆材料
实用新型专利	CN201921025 313.7	CN210343367U	2019-07-03	一种湿式混凝土喷射机组
其它	T/CBMF 75—2020		2020-01-13	团体标准：喷射混凝土干混料

二、项目详细内容

1、项目背景介绍（立项背景或实施背景）

随着国民经济的发展，当前我国地下工程进入了一个新的阶段，能源、钢铁等旺盛需求促使矿山建设和开采向深部不断延伸。

山西华晋明珠煤矿目前采掘工程位于+838水平，由于煤层赋存条件的影响，开采深度达700m以上。揭露的地质资料显示，+838水平开采2号煤层，2号煤层位于山西组下部，属缓倾斜煤层，含1层夹矸，夹矸主要为炭质泥岩，煤层厚度2.78-3.5m，平均厚度为3.14m。直接顶为细粒砂岩、炭质泥岩、1号煤，其中细粒砂岩为灰白色，砂质结构，性脆易碎；炭质泥岩为黑色，发亮，松软。老顶为粉砂岩、细粒砂岩，其中粉砂岩为灰黑色，致密块状结构；细粒砂岩为灰白色，砂质结构。直接底为泥岩，灰黑色，泥质结构。

西翼轨道巷在使用过程中，原架设29U型钢棚变形严重、两帮回缩，影响矿井通风、行人，明珠矿采取对该变形段扩帮、拉底、重新支护、架棚、喷浆等断面扩刷方式进行巷道修复，扩刷后巷道为宽度5.8m，高度4.5m的半圆拱半煤岩巷道。因U型钢棚在加工和架设时，成本及劳动强度极大，明珠矿决定与应急管理部信息研究院合作，选取100m长度进行巷道修复、喷浆后的注浆加固治理技术研究。

注浆技术以其实用性较强、应用范围广等特点，被广泛应用到岩土工程的各个领域，如煤矿、边坡、基坑、隧道、桥梁、地基等多个领域。煤岩体的注浆加固工程技术是通过施加一定的压力将不同类型的浆液注入到煤岩体中，浆液注入到煤岩体中后，首先对煤岩体中的裂缝及裂隙进行充填，随着注浆压力的加大，浆液在煤岩体逐步进行渗透，并对煤岩体进行劈裂，最终随着浆液的凝固，使破碎的煤岩体形成一个完整的整体，煤岩体的物理力学性质及完整性得到改善和提高，达提高了煤岩体的整体性、稳定性等。

注浆技术自从19世纪初开始出现，主要用于矿井和隧道围岩的加固，后来又被用于岩土工程的堵水防漏等。通过注浆工程现场长期的实践证明，针对破碎煤岩体的加固，注浆技术是一种方便、快捷、经济、有效的方法，有很好的发展前景。

课题研究不仅对明珠煤矿的安全生产是十分必要的，而且还对减少巷道重复修复次数，降低工人劳动强度，减少累计维修成本具有明显效果。项目开展在其他条件类似的矿井均有广泛的推广应用前景。

2、详细的技术内容（技术思路、技术原理或技术方法）

（一）巷道围岩变形原因分析

西翼轨道巷（338米上山段）原巷道沿2#煤顶板掘进，因巷道整体变形，不具备使用条件。2018年明珠矿将该段巷道进行了加宽修复，沿1#煤顶板掘进，与避难硐室、西皮交叉点实施下山作业贯通。



1. 围岩岩性影响

根据西翼轨道巷岩层柱状可知，巷道为复合岩层，所处的岩体大多为泥岩、碳质泥岩，强度相对较低，受力作用后变形量都比较大，若是有水存在的情况下，存在膨胀和易风化等问题。

2. 围岩松动圈影响

根据现场及其他巷道位置探测，明珠矿的松动范围比较大，一般在2-4m左右，且破碎区易出现分化现象，因此会出现巷道围岩断面严重变形缩小的情况。

因巷道受开挖、爆破等的影响，以及所受应力的作用，巷道表面附近围岩出现破碎区是不可避免的。在破碎区内，破裂岩石完全失去强度。如果不及时支护，破碎区岩石将在自重的作用下变形。因此可见，破碎区的大小和范围是选择巷道支护形式的重要依据，如果支护强度不够，破碎区范围逐渐扩大，导致破碎区岩石冒落，同时，破碎区内松散岩石与空气和水接触后表面积和体积都会大大增加，从而导致岩体膨胀，出现膨胀地压。因此，巷道支护不仅能有效地控制破碎

区的发展，而且能阻挡岩体与空气和水接触，防止其进一步的膨胀作用。

3. 巷道埋深较大，受应力水平高

明珠煤矿目前采掘工程位于+838水平，开采深度达700m以上，西翼轨道巷属于深部巷道。根据经验数据，该类深度下的巷道围岩抗压强度R的范围为36-82MPa，静压作用下垂直主应力约为13MPa，围岩稳定性系数自然状态下 $S < 0.4$ ，巷道所受的围岩自重应力比较大，静压作用下巷道围岩有可能失稳。

4. 巷道支承压力集中

西翼轨道巷南部存在20101、20103工作面采空区，并且煤层厚度在3.3左右，煤层较厚，该区域煤层现阶段已基本采空，只留下部分保护性煤柱，受采空区应力重新分布的影响，造成巷道支承压力比较集中。

（二）水泥浆复合添加剂的研制

复合添加剂利用多种不同水泥添加剂单料的性质，如减水剂能提高水泥颗粒的分散效果，有效增加水泥浆液的流动性，并使坍落度保持良好；膨润土具有较强的吸湿性和膨胀性，在液体介质中能分散成胶凝状和悬浮状，有效改变水泥浆液水灰分离的不稳定状态；速凝剂能加速水泥浆液的水化硬化，在很短的时间内形成足够的强度，可以有效调节水泥浆液硬化速度问题；膨胀剂遇水后生产大量膨胀结晶水化物-水化硫铝酸钙（即钙矾石），产生适度膨胀，能有效补偿其析水硬化收缩，大大提高抗裂防渗性能。并根据不同的工程需求，通过合理调配多种不同单料的用量，混合后使之形成具有特定性质的复合添加剂，通过合适的水灰配比实验，最终达到调控水泥浆液不同物理力学性质，从而满足不同注浆需求的目的。

复合添加剂按重量份计包括如下组分：聚羧酸减水剂1份~3份、膨润土2份~5份、磷酸二氢镁2份~4份、聚合硫酸铝0.5份~2份、硫酸铝钙2份~6份、纤维素醚0.5份~1份和聚丙烯腈纤维0.2份~0.8份。

作为优选的技术方案，复合添加剂的添加量为硅酸盐水泥质量的8%~9%，注浆材料的水灰比为0.4~0.5，所述的注浆材料在该水灰比条件下到达的效果最优。

复合添加剂的成分符合《混凝土外加剂质量标准》《混凝土外加剂应用技术规范》的现行标准、规定和要求，均采用绿色环保型产品，

且无污染、无毒害、对金属支护材料无腐蚀等优势。

(三) 添加剂浆液煤体加固实验

按照水泥净浆的标准实验流程,进行掺和复合添加剂的水泥浆物理力学实验。并对工程用的水灰比做了最优化研究,最终确定水灰比为 0.4:1,水泥规格为 P.O42.5 普通硅酸盐水泥,粉状高性能外加剂为水泥量的 9~10%。

水泥(P.O42.5): 添加剂: 水(质量比)=1:0.094:0.438,折合重量比水泥: 添加剂: 水=250kg(5袋): 25kg(1袋): 115kg,现场施工可局部略微调整。

添加剂使用与否实验结果对比(水灰比 0.4: 1)

序号	实验项目	水泥净浆	添加剂净浆	增加比例	
1	流动度(mm)	275	310	12.73%	
2	凝结时间 (min)	初凝	140	210	50.00%
		终凝	235	325	38.30%
3	抗压强度 (MPa)	1d	5	6.5	30.00%
		7d	20.5	25.8	25.85%
		28d	40.5	46.2	14.07%

(四) 西翼轨道巷注浆加固工艺设计

1. 施工步骤

施工设计结合井下西翼轨道巷现场情况,提出“中孔低压+局部深孔高压”分层次耦合注浆加固方案。施工步骤如下:

首先,对轨道巷注浆段进行巷道修复,工作内容包括挑顶、帮部修复等将巷道断面恢复到设计规格,并对修复后的巷道进行表层喷浆支护及封闭,作用是对巷道进行喷浆支护及对煤岩裂隙进行全部封堵,为后续的注浆工作奠定基础。(现场完成巷道修复工作后,巷道局部底角待注浆时现场采用高强堵漏剂处理)。

其次,布置深度中等的注浆管进行围岩浅部注浆,控制注浆压力,增大注浆密度,目的是通过注浆封堵浅部围岩内部的裂隙、孔隙、各类通道,将浅部围岩胶结成一个整体,提高浅部围岩的自稳能力,为后续的深孔注浆打好基础。(主要施工工程)

第三步,中孔注浆工程全部结束后,在局部顶板和帮部变形较严重地段施工不小于 5m 的简易注水实验孔,根据孔隙率判定是否进行深孔注浆地段。布置深度较大的注浆管进行围岩深部注浆,提高注浆压力,使浆液充分注入深部围岩的裂隙,提高围岩的内聚力及内摩擦

角等参数，从而提高深部围岩强度，使其达到充分的自稳能力及承载能力，从而实现围岩的稳定性和巷道的有效加固支护。

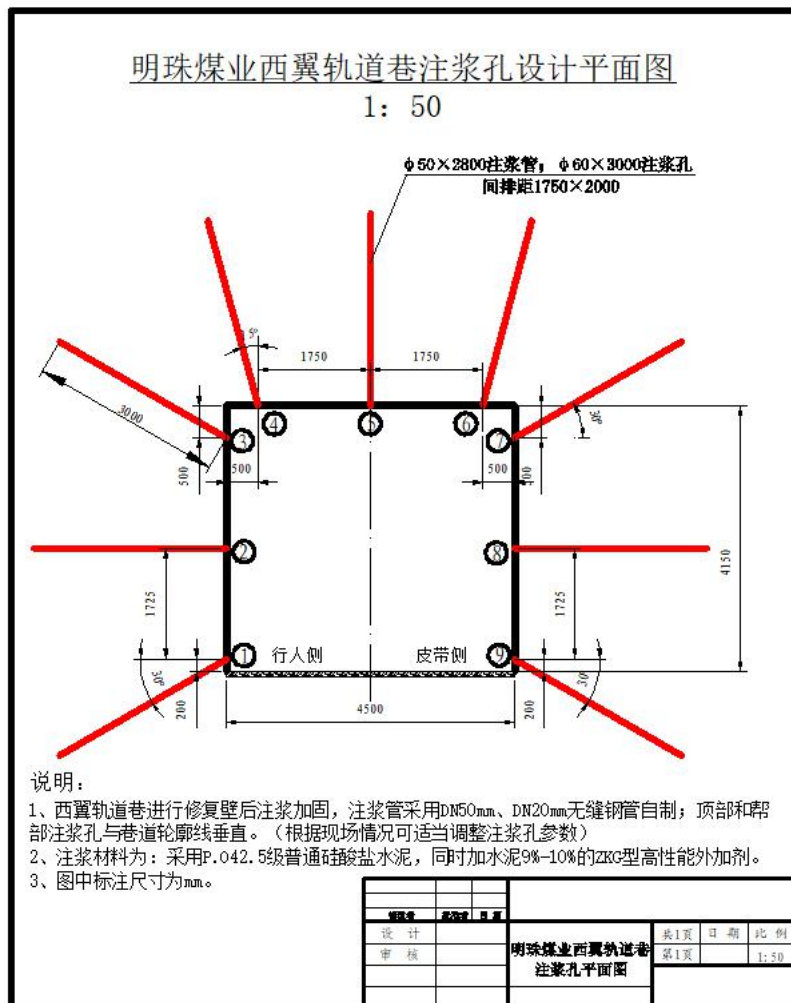
2. 注浆孔参数设计

顶部和帮部注浆孔在巷道轮廓线上均匀布置，沿前进方向与巷道轮廓线垂直。施工注浆孔使用气腿式凿岩机，配套 $\text{O}60\text{mm}$ 球齿钻头。

具体施工时，自轨道巷由里向外注浆施工。采取10m一循环的模式，在巷道注浆区域10m的巷道范围内，按照注浆孔参数要求，施工全部注浆钻孔，然后进行先帮后顶、先奇后偶的顺序进行注浆，待帮部注浆结束24小时以上时间后，对顶部进行注浆。完毕后进行下一循环打孔注浆。（视现场情况需要局部调整）。

每排9个注浆孔，开孔间距1.75m，钻孔排距2m，底角注浆孔距底板0.2m，肩部注浆孔距离顶板0.5m。钻孔长度3.0m（视现场情况需要局部调整），孔径 $\text{O}60\text{mm}$ 。

注浆孔序：1→9→3→7→2→8→4→6→5。



注浆加固钻孔设计平面图

3. 注浆压力及流量控制

注浆时，注浆压力控制在 2MPa 以下；当注浆压力达到约 2MPa、流量 1L/min 持续 1 分钟以上时，停止注浆；当巷道表层发生大量跑浆时，暂停本孔注浆，用高强堵漏剂及时进行裂隙的封堵，待堵漏剂凝固有一定强度后，继续进行复注。

4. 其他

(1) 注浆管规格（严格按照项目组提供的模型或设计图自制加工）

注浆管：DN50mm×800mm 和 DN20mm×2800mm 铁管焊接。



注浆管加工参数表

型号	内管		外管		进、回浆管		封堵盘		数量 (根)
	直径 (mm)	长度 (mm)	直径 (mm)	长度 (mm)	直径 (mm)	长度 (mm)	直径 (mm)	厚度 (mm)	
注浆管	20	2800	50	800	20	40×2	70	5	450

说明：(1) 注浆管用直径 20、50mm 的铁管及 5mm 厚的钢板加工焊接而成；
(2) 累计用直径 20mm 铁管 1300m；直径 50mm 铁管 360m；5mm 厚钢板 2m²

(2) 注浆材料配比设计

水灰比为 0.4:1（水泥+添加剂），水泥规格为 P.O42.5 普通硅酸盐水泥，粉状 ZKG 型高性能外加剂为水泥量的 9~10%。

水泥(P.O42.5)：添加剂：水（质量比）=1:0.094:0.438，折合重量比水泥：添加剂：水=250kg（5 袋）：25kg（1 袋）：115kg（700mm 内径的搅拌桶 30mm 水位），现场施工可局部调整。

(五) 西翼轨道巷井下示范工程开展

2019 年 5 月份，注浆泵、复合添加剂相继到位进场。明珠煤矿经过设备调试、浆液配比调整。于 8 月 25 日正式在井下西翼轨道巷

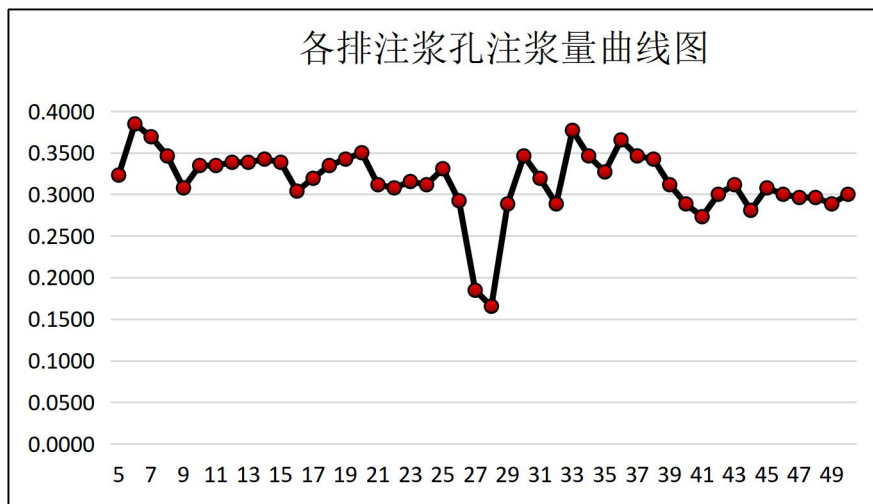
100m 试验段开始进行新材料、新工艺的注浆试验示范工程。

每排 9 个注浆孔，开孔间距 1.75m，钻孔排距 2m，底角注浆孔距底板 0.2m，肩部注浆孔距离顶板 0.5m。钻孔长度 3.0m（视现场情况需要局部调整），孔径 $\text{O}60\text{mm}$ 。则 100m 的试验段共计施工 50 排注浆孔（即 450 个）

100m 注浆试验段共注水泥浆 15.1129m^3 ，按照浆液密度 1.8 吨/ m^3 计算，注入浆液 27.2032 吨；按照水泥(P.O42.5)：添加剂：水（质量比）=1:0.094:0.438 计算，则注入水泥 17.5 吨、添加剂 1.75 吨。

注浆孔孔径 $\text{O}60\text{mm}$ ，则 450 个注浆孔的体积为 3.8m^3 ，从而计算得出注入西翼轨道巷围岩裂隙中的水泥浆体积为 $15.1129-3.8=11.313$ 立方米。

100m 试验段加固的围岩体积约为 6540m^3 ，则围岩孔隙率约为 0.173%。从而间接反映围岩的密实程度较高，裂隙发育及连通性较差。



从上图可以看出：

1.除第 27、28 排注浆孔外，每排注浆孔的注浆量较为稳定，约为 0.3m^3 ；

2.第 27、28 排注浆孔附近围岩裂隙不发育，围岩较为稳定。

西翼轨道巷巷道变形量观测采用“十字”布点法，选择在巷道顶帮较完整处，选择 4 组基点，在顶帮明显位置坐标记，并在基点处挂工程线。顶底板移近量观测选择在巷中，两帮移近量选择在腰线位置处。

使用挂线观测，读数精确到毫米，通过前后数据对比，可准确计算出巷道前后的围岩变形量。

围岩变形观测数据统计表

观测日期	测点编号	顶底板 (mm)		两帮 (mm)		备注
		顶板	底板	左帮	右帮	
2019.8.30	1	3000	1650	3500	3150	基点
	2	3000	1389	2919	3062	
	3	3000	1403	3480	3140	
	4	3000	1650	3500	3150	
2019.9.30	1	3000	1650	3500	3150	第一次观测
	2	3000	1389	2919	3062	
	3	3000	1403	3480	3140	
	4	3000	1650	3500	3150	

由上表可以得知，注浆工程结束一个月后，围岩没有发生变形。经持续监测，9月份注浆结束后截止目前，围岩没有发生变形，巷道稳定。

(纸面不敷，可另增页)

3、创新点

(1) 项目以明珠矿现用水泥为底料，研发了水泥基矿用无机复合添加剂，具有绿色环保、低碳经济、对金属支护材料无腐蚀等优势；并基于“水平衡原则”确定水泥浆最优工程配比参数，使水泥浆具有高流动性、不析水、不收缩等性质，解决明珠矿西翼轨道巷道加固问题，提高支护效率，显著降低劳动强度和成本。

(2) 分析了涵盖围岩岩性、围岩松动圈、地应力、支承压力等4种影响巷道变形的因素，提出了“喷浆+浅孔低压+局部深孔高压”的分层次锚喷注耦合加固工艺技术，提高浅部围岩自稳能力的同时，使水泥浆液充分注入深部围岩的裂隙，增加围岩内聚力及内摩擦角等参数，从而提高深部围岩强度。

(3) 研发了“外端固定，全孔长注浆”的矿用无机材料注浆加固装置，提出“先帮后顶、先奇后偶”的注浆空间施工顺序，建立适用明珠矿井下围岩地质条件的注浆加固技术，从而实现巷道围岩稳定和有效加固支护。

(纸面不敷，可另增页)

4、实际应用效果及推广情况

通过项目的研究，水灰比为 0.4: 1 的条件下，掺和有添加剂的水泥浆液与破碎煤体有很好的胶结性，28 天单轴抗压强度为 20.2MPa，较好的改变了破碎煤体的物理力学性质。在使用新材料、新工艺后，100m 注浆试验段共注水泥浆 15.1129m³，采用 4 组基点“十字”布点法观测西翼轨道巷巷道变形量，经持续监测，围岩没有发生变形，巷道稳定。

主要使用单位应用时间及使用量如下：

(一) 山西华晋明珠煤业有限责任公司

2019 年 6 月 5 日，采购 AJD 型-水泥浆复合添加剂 15 吨；

(二) 芜湖和成矿业发展有限公司

2019 年 11 月 4 日，采购 AJD 型-水泥浆复合添加剂 5 吨；

(三) 山西亚美大宁能源有限公司

2020 年 6 月 12 日，采购 AJG 型-水泥浆复合添加剂 10 吨；

2020 年 7 月 20 日，采购 AJG 型-水泥浆复合添加剂 8 吨；

(四) 太原华润煤业有限公司

2021 年 5 月 16 日，采购 AJG 型-水泥浆复合添加剂 25 吨；

(纸面不敷，可另增页)

5、与当前国内外同类技术主要参数、效益、市场竞争力的比较

经机械工业信息研究院出具的科技查新结果表明：经文献检索并对相似文献分析对比，国内外未见与本项目“新型矿用无机材料巷道加固关键技术及应用”相同的文献报道。

目前的矿用常见的注浆加固材料，主要分为两大类：其一是无颗粒材料，也称之为化学浆液。该类材料不足之处在于：浆液凝固后强度较低，耐久性较差，对周围环境产生污染，价格较贵，或多或少都有些毒性，并且具有可燃性。2020年5月20日国家煤矿安监局印发《煤矿井下反应型高分子材料安全管理办法（试行）》，对于高分子材料严格控制、严格管理。因此，在一般的井巷注浆加固工程较少采用。其二是颗粒性材料，包括水泥浆、黏土浆等。该类材料具有原料来源丰富、价格低廉且固化后强度高优点，是目前常用的一种经济使用的注浆材料之一，但该浆液的不足之处在于：结石体干压缩量大，后期强度下降迅速；在水中养护28-90天后，强度就明显下降，半年后就开裂甚至崩解为粉末，从而丧失使用价值。此外，硅酸盐水泥注浆浆液存在析水率大、稳定性差、凝结时间较长，且不易灌入微小裂隙、生产污染环境、消耗大量能源和资源、成本高等的缺陷。本项目研制的复合添加剂将较好的解决上述材料存在的问题，具有明显的技术先进性，加入到水泥类浆液（尤其是硅酸盐类水泥）中，能够调整和改变水泥浆液的物理力学性质，明显提高水泥类浆液围岩加固截水堵漏、地质构造治理工程效果。一方面可以加速水泥浆液的水化硬化，在很短的时间内形成足够的强度，可以有效调节水泥浆液硬化速度问题；另一方面，可以提高其可注性，能迅速渗透到巷道围岩（煤）的细小裂缝内，同时具有优异的物理性能，快速凝固，不收缩，遇水不影响材料性能。

价格方面，化学材料价格一般在2.5-3万元，价格较高市场难以接受，本材料作为水泥的辅助添加剂，其浆液的整体物理力学性能远高于纯水泥浆，其用量为水泥量的8-10%，1m³单位体积的浆料成本约为2000元，经过市场推广接受度较高。

（纸面不敷，可另增页）

6、经济效益和社会效益

经济效益：

明珠矿在使用注浆工艺前，井下全部巷道均采用架 29U 型钢棚加强支护工艺。以下为注浆工艺及架棚工艺的经济成本对比（只考虑材料+人工费用）。

一．架棚工艺成本分析

根据矿上架棚定额计算结果，29U 型钢棚支护工艺材料+人工费用施工成本为 22296 元/m（详见矿定额计算）。

则 100m 试验段若采用架棚工艺，则总成本为 $22296 \times 100 = 222.96$ 万元

二．注浆工艺成本分析

注浆工艺所涉及的材料有水泥、添加剂、高强堵漏剂、注浆管及阀门等。

1. 喷浆成本计算

按照煤矿定额编号 3414 计算，喷射混凝土人工费用为 1533.8 元/m、材料费用为 845.3 元/m。

则 100m 试验段喷浆总成本为 $(1533.8 + 845.3) \times 100 = 23.8$ 万元

2. 注浆设备成本计算

因注浆工程的需要，明珠煤矿采购一套注浆系统，费用约为 30 万元。

3. 注浆成本计算

（1）材料成本：

由研究报告可知，100m 注浆试验段共注水泥浆 15.1129m^3 ，按照浆液密度 1.8 吨/ m^3 计算，注入浆液 27.2032 吨；按照水泥(P.O42.5)：添加剂：水（质量比）=1:0.094:0.438 计算，则注入水泥 17.5 吨、添加剂 1.75 吨。

按照山西临汾地区 PO425 水泥单价为 435 元/吨，添加剂 1.85 万元/吨的基础上计算。

则注浆材料总费用为： $17.5 \text{ 吨} \times 435 \text{ 元/吨} + 1.75 \text{ 吨} \times 18500 \text{ 元/吨} = 3.99875 \text{ 万元} \approx 4 \text{ 万元}$ 。

（2）注浆管成本计算：

本工程累计共使用直径 20mm 铁管 1300m；直径 50mm 铁管 360m；5mm 厚钢板 2m^2 。

按照直径 20mm 铁管每米理论重量 1.63kg、直径 50mm 铁管每米理论重量 4.88kg、5mm 厚钢板理论重量 39.25kg/平方米.计算，则直径 20mm 铁管 2119kg（2.119 吨）、直径 50mm 铁管 1756.8kg（1.76 吨）、5mm 厚钢板 78.5kg。

考虑到材料购置后人工焊接加工，按照 100 元/根计算，则注浆管总费用为 100 元/根×450 根=4.5 万元。

（3）高强堵漏剂成本计算：

整个工程共消耗了 6 吨高强堵漏剂，单价 5000 元/t。

则高强堵漏剂总费用为 5000 元/吨×6 吨=3 万元。

（4）其他材料：

其他消耗材料暂按照（材料+注浆管+高强堵漏剂）的 30%计算。

则 $(4+4.5+3) \times 0.1=3.45$ 万元。

（5）人工费用：

按照煤矿定额编号 6724 计算，壁后注浆人工单价为 119.56 元/m³，100m 注浆试验段共注水泥浆 15.1129m³，

则 100m 试验段注浆人工成本为 $119.56 \times 15.1129=0.2$ 万元

综上，100m 注浆试验段注浆工艺总成本：

$$23.8+30+4+4.5+3+3.45+0.2=68.95 \text{ 万元}$$

三．两种工艺成本对比分析

由以上计算得知，明珠煤矿西翼轨道巷 100m 的试验段采用注浆工艺总成本为 68.95 万元，若采用架棚工艺则需要 222.96 万元。注浆工艺较架棚工艺节省成本：

$$222.96-68.95=154.01 \text{ 万元。}$$

则每米可节约成本 1.54 万元，因明珠煤矿每年约有 1000m 左右的巷道修复计划，若坚持采用注浆工艺替代架棚工艺，则每年可节约约 1540 万元。

社会效益：

本项目研制的水泥浆复合添加剂，成分符合《混凝土外加剂质量标准》《混凝土外加剂应用技术规范》的现行标准、规定和要求，均采用绿色环保型产品，且无污染、无毒害、对金属支护材料无腐蚀等优势。产品推广使用后，提高巷道安全支护效率的同时，降低工人劳动强度和巷修成本。

（纸面不敷，可另增页）