



移动扫码阅读

孙海良,赵静雅,孙家悦.深部高地应力巷道组合锚索高压注浆技术研究[J].煤炭科学技术,2020,48(12): 68-73. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.12.007
SUN Hailiang.Study on high-pressure grouting technology with combined anchor and cable under high ground stress roadway[J].Coal Science and Technology,2020,48(12):68-73. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.12.007

深部高地应力巷道组合锚索高压注浆技术研究

孙海良,赵静雅,孙家悦

(平顶山天安煤业股份有限公司 开拓处,河南 平顶山 467000)

摘要:为了解决深部高地应力巷道普遍存在的变形严重、支护困难等问题,对深部高应力巷道围岩变形破坏特征及其影响因素进行了分析,探讨了高强锚注支护作用机理,并对组合锚索注浆支护技术及配套施工工艺进行了研究,设计了组合锚索高压注浆技术方案及工艺参数,并研制了新型组合锚索注浆封孔装置。研究表明:组合锚索注浆分为封口注浆和封孔注浆 2 部分,一次注浆后孔口被固化,承受注浆压力明显增强,由原来的 3 MPa 增大到 8 MPa,注浆压力提高后浆液扩散半径明显增大,浆液沿着岩层的裂隙扩散,增加了破碎岩层的黏聚力和围岩整体强度,在巷道周围形成了稳定的承压组合拱,提高了巷道的稳定性;通过对比分析,组合锚索注浆支护段的巷道围岩控制效果明显好于普通支护段,通过组合锚索注浆的应用,大幅增强了巷道围岩支护强度,巷道围岩变形较普通支护段减小 50% 以上,较好控制了巷道围岩变形。

关键词:高地应力;封孔装置;组合锚索;高压注浆

中图分类号:TD353 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2020)12-0068-06

Study on high-pressure grouting technology with combined anchor and cable under high ground stress roadway

SUN Hailiang,ZHAO Jingya,SUN jia Yue

(Driving office, Pingdingshan Tian'an Coal Industry Co.,Ltd.,Pingdingshan 467000,China)

Abstract:In order to solve the problems commonly existed in deep roadway with serious deformation, and difficult support of surrounding rock, etc., the deformation and failure characteristics of deep high stress roadway surrounding rock and its influencing factors were analyzed, and the mechanism of high strength bolting support was discussed, the combined anchor cable grouting support technology and supporting construction technology were studied, the combined anchor cable high-pressure grouting technology scheme and process parameters were designed, and a new type of combined anchor cable grouting sealing device was designed.The results show that: the grouting of the combined anchor cable can be divided into two parts:sealing grouting and hole sealing grouting. After the first grouting, the orifice is solidified and the grouting pressure is significantly increased from 3 MPa to 8 MPa.After the grout pressure is increased, the grout diffusion radius is obviously increased, the grout spreads along the cracks of the rock layer, which increases the cohesion of the fractured rock strata, and improves the overall strength of surrounding rocks, and forms a stable pressurized composite arch around the roadway, which will improve the stability of the roadway. Through comparison and analysis, the control effect of the roadway surrounding rock in the combined anchor cable grouting support section is significantly better than that of the ordinary support section.The supporting strength of surrounding rock of roadway is greatly strengthened, and the integrity of surrounding rock is improved, the surrounding rock of roadway deformation is reduced by more than 50% compared with the ordinary support section, and the surrounding rock deformation is better controlled.

Key words:high ground stress; sealing device; combined anchor; high-pressure grouting

0 引 言

我国煤炭资源储量丰富,但随着经济的快速发展和煤炭资源的大力开采,大多数矿井面临着煤炭

资源开采由浅部向深部发展的客观规律^[1-2]。目前,新汶、开滦、邢台、淮南、徐州、平顶山等矿区的许多矿井开采深度已经超过 1 000 m,且越来越多的矿井将逐渐进入深部开采阶段。矿井进入深部开采阶

段后,巷道周围的岩体承受的应力越来越大,矿山压力显现强烈,巷道围岩滑移变形越来越强烈^[3-4]。近年来,国内外众多学者对深部巷道围岩结构特点和支护技术进行了卓有成效的研究,提出了一系列围岩控制措施。李季等^[5]提出了软岩巷道长锚杆协调支护技术,实现了长短锚杆与围岩间相互作用力的协调配合,对高应力巷道围岩变形起到了较好的控制作用。康红普等^[6]提出了采用高预紧力、强力锚杆支护系统,必要时配合注浆加固,强调锚杆预应力及其扩散的决定性作用,能有效控制巷道围岩的强烈变形。王襄禹等^[7]通过对锚注结构的承载特性以及巷道流变变形进行了理论分析,得到了锚注结构承载力的计算公式,方便了对锚注支护软岩巷道位移场的预测预报。谢生荣等^[8]针对深部软岩巷道提出了集密高强锚杆承压拱、厚层钢筋网喷层拱和滞后注浆加固拱于一体的锚喷注强化承压拱支护技术,并阐明其成拱及强化支护的机理。虽然现阶段已取得了大量的巷道围岩支护研究成果,但是对于大埋深高应力巷道而言,巷道变形机理复杂、巷道变形严重,且各个工程均有其特殊性和复杂性,亟须进行新技术的探索研究和现场应用。组合锚索注浆支护作为目前新型的支护技术将组合锚索支护技术和注浆加固技术的两者优势集成一体,在保证巷道的高强支护的同时,实现对围岩结构的加固,提升了围岩的整体承载能力。组合锚索注浆支护通过增加组合锚索并进行注浆加固,与原锚喷支护形式形成联合支护,对于该技术在深部高地应力巷道支护工程中的应用探讨意义重大。因此,在对深部高地应力巷道破坏变形特征及影响因素分析的基础上,对组合锚索注浆支护技术及配套施工工艺进行了研究,设计了成套支护方案和新型组合锚索注浆封孔装置,并对巷道支护控制效果进行了考察。

1 工程概况

平顶山天安煤业股份有限公司一矿是平煤集团下属大型骨干矿井之一,现阶段正在进行三水平煤层(丁6煤层)开采,煤层厚 1.85 m,煤层倾角 $6^{\circ} \sim 9^{\circ}$,三水平下延-950 m 水平回风大巷顶板距丁6煤层底板 19~40 m,巷道开口位置位于三水平下延-950 m 水平轨道石门与西回风石门联巷和西回风石门交岔口,设计全长 1 607 m,巷道净宽 5 300 mm,净高 4 270 mm。

巷道施工处位于泥质砂岩、细粒砂岩中,顶板为中、细粒砂岩,底板为泥质砂岩、砂质泥岩,巷道岩石

以灰色、灰绿色砂质泥岩为主,其次为灰白色,灰色及灰绿色细粒砂岩。附近已掘进区段巷道的围岩变形特点表明,深部高地应力软岩巷道采用传统锚、网、喷、浅孔注浆等支护形式导致巷道锚杆、锚索拉断失效,两帮收敛及巷道底鼓严重。

2 深部高地应力巷道破坏变形分析

2.1 深部巷道围岩破坏变形影响因素

随着开采深度的增加,巷道围岩应力相应递增,巷道围岩将逐渐进入不稳定状态,传统支护方式超过围岩强度而发生破坏,出现大面积顶板下沉、底鼓、支护失效等问题,其主要影响因素有以下 2 个方面。

1) 高地应力。高地应力是导致深部围岩变形破坏加剧的直接因素^[9-10]。对同一岩性的巷道而言,在浅部容易维护;到深部以后,巷道破坏范围和变形明显增大,出现顶板下沉、底鼓、两帮失稳等问题^[11-13]。巷道掘进过程中,高地应力的影响不仅包括原岩应力(含构造应力)的影响,还包括采动引起的二次应力叠加^[14-15]。

2) 支护形式。支护形式对深部巷道围岩稳定性影响较大。从深部巷道变形破坏看,巷道开挖围岩松动圈范围增大^[16],传统锚网索及浅孔注浆无法满足支护需求。普通锚索施加预紧力,抗变形能力不强,无法锚固在深部稳定岩层中,防止围岩破坏向深部岩层扩散。为了抑制巷道围岩变形向深部转移,选择合适支护物与围岩共同作用,达到两者强度、刚度结构匹配,才能有效维护巷道围岩稳定^[17]。

2.2 深部巷道围岩破坏变形特征

在高地应力作用下,深部巷道存在大变形、岩爆、底鼓等问题,围岩控制难度增大。一方面,巷道开挖后产生自由面,围岩稳定性变差,松动圈范围快速向深部转移,经过一段时间后,围岩趋于稳定,缓慢变形,但围岩松动圈范围远大于浅部围岩,如果不对巷道围岩进行有效控制,当围岩破坏变形发展到一定程度时,会出现片帮、顶板冒落,围岩破坏严重。另一方面,在高地应力作用下,巷道围岩会随着时间的增长而持续变形,即围岩流变性质明显。由于岩体一直受高地应力作用,围岩会随时间增加而持续变形,当达到一定程度后,巷道发生严重破坏。

因而,在支护选择上,采用锚网索喷联合支护配合组合锚索注浆,通过支护物有效抑制松动圈扩散范围,进而达到围岩平衡状态。

3 巷道支护方案设计

3.1 高地应力巷道支护方案选择

巷道开挖后以“护”、“让”为主,允许围岩充分变形,以高强注浆锚杆端锚为主;待围岩应力和变形的剧烈调整基本结束后,以“支”、“限”为主,进行中空注浆锚杆注浆工作,实现锚杆的全长锚固并对巷道的浅部围岩进行注浆加固;由于深井巷道地应力高、围岩松软,巷道围岩的破裂范围超过锚杆的锚固范围,第 3 阶段采用高强注浆锚索进行支护,达到巷道的长期稳定。

根据已施工巷道变形情况、支护情况、实际揭露岩石情况,并参考大量的实践经验,确定巷道支护形式——锚网索喷+组合锚索注浆联合支护。该工艺通过增加砂浆组合锚索与原设计支护形式形成联合支护,加强巷道的支护强度,其主要施工工序可大致表述为:锚网喷→施工普通钢绞线锚索→组合锚索注浆。

3.2 高强锚注支护机理

高强锚注就是采用高强度注浆锚杆、高强度注浆锚索、高强度注浆材料、高压注浆进行巷道支护,实质为将锚固支护技术和注浆加固技术有机结合在一起,利用中空锚杆、中空锚索兼做注浆管,在保证全长锚固的前提下,利用注浆材料改善围岩的性质,提高围岩的强度和自承能力,保持巷道的稳定。

理想状态下,注浆液均匀分布于扩散区域内,与整体支护结构共同组成支护圈。中空注浆锚杆与围岩共同作用,特别是切向的作用力,保证了承压拱的稳定性,注浆加固后提高了承压强度。注浆锚索形成的承压拱与注浆锚杆形成的浆体承压拱共同组合,形成注浆承压拱体,增强了围岩与被锚固体的承压能力。由于锚索较锚杆长,浆液的扩散范围更大,浆体承压拱结合体的一部分应力传递到更深的岩体内,并与更深部的岩体共同作用,形成承压拱,进一步提高了围岩的稳定性。

砂浆组合锚索原理类似于树脂锚索,都是通过 对巷道松动圈范围的岩层进行有效的悬吊,形成稳定的组合梁(拱)与围岩共同作用,改变围岩应力状态,同时通过对裂隙岩体施加挤压作用,提高围岩的抗剪、抗压强度和围岩自身的承载能力。其优点在于能够大幅提高锚固强度,组合锚索采用水泥砂浆充填,每组 4 根,锚固强度是树脂锚索强度的 4 倍,锚固长度是树脂锚索锚固长度的 3.5~5.5 倍。根据目前的围岩松动圈,组合锚索的适用能力可满足目前的施工技术要求。

组合锚索注浆能让浆液沿着岩层的裂隙及软弱破碎岩层扩散,扩散的浆液对破碎的围岩起胶结作用,增加了破碎岩层的接触力,避免了围岩的离层现象,提高了围岩的抗剪、抗压强度,改善了围岩的力学性能,同时提高了围岩自身的承载能力和巷道支护的稳定状况。在巷道周围形成稳定的承压组合拱,提高巷道的稳定性,防止巷道的变形破坏。

3.3 高地应力巷道支护参数确定

1) 锚喷支护参数。锚杆采用 $\phi 22\text{ mm}\times 3\ 000\text{ mm}$ 的 KMG22-600 型高强树脂锚杆,间排距为 $700\text{ mm}\times 700\text{ mm}$,19 根每排;锚索采用 $\phi 21.6\text{ mm}\times 8\ 000\text{ mm}$ 的 19 丝钢绞线锚索,间排距 $1\ 400\text{ mm}\times 1\ 400\text{ mm}$,9 根每排;金属网均采用 $\phi 6\text{ mm}$ 钢筋网,网格间距 $80\text{ mm}\times 80\text{ mm}$,搭接长度不小于 100 mm ;喷射混凝土厚度 150 mm ,喷射混凝土强度不低于 C20(图 1)。混凝土配合比为水泥:砂:石子=1:2:2(体积比),喷砼时速凝剂掺量为混凝土质量的 2.5%~4.0%。

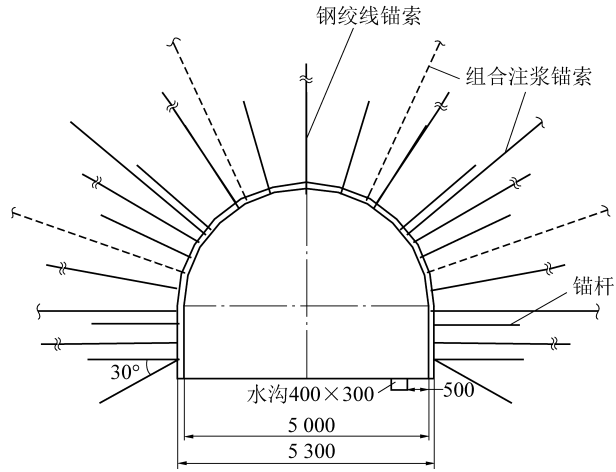


图 1 高地应力巷道支护断面

Fig.1 Support sectional drawing of high ground stress roadway

2) 组合锚索支护参数。组合注浆锚索每组由 3 根 $\phi 22\text{ mm}\times 16\ 000\text{ mm}$ 的钢绞线组合而成,间排距 $2\ 400\text{ mm}\times 2\ 800\text{ mm}$,4 或 5 根每排,交错布置,整束锚索由钢绞线、导向帽、塑料套管、支撑架,排气管组合而成。组合锚索注浆尾端 5 m 段套入 $\phi 25\text{ mm}$ 塑料管,在 3 根 $\phi 22\text{ mm}\times 16\ 000\text{ mm}$ 的钢绞线中间插入 $\phi 8\text{ mm}$ 塑料管作为注浆施工时的排气管。导向帽采用 DN50 mm \times 200 mm 钢管加工,钢管端头做成锥形,方便锚索穿入锚索孔。3 根单根钢绞线靠支撑架固定,每 2 m 绑扎 1 个支撑架。支撑架采用 $\phi 24\text{ mm}$ 螺帽外焊接 3 根 $\phi 6\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 钢筋加工而成。

3) 组合锚索注浆参数。注浆以水泥单液浆为

主,水泥采用 P.O42.5 级新鲜硅酸盐水泥,注浆终孔压力 6~8 MPa 为宜。采用深浅孔注浆管交错布置的全断面注浆方式,深部注浆孔深 4.0 m,浅部注浆孔深 2.2 m,深孔、浅孔注浆锚杆交错布置,深、浅孔间排距 1 500 mm×1 500 mm,每排 10 根。注浆管 $\phi 20$ mm,深孔长度 2.5 m,浅孔长度 1.5 m。注浆浆液为水泥浆,浅孔注浆压力为 1.5~2.0 MPa,深孔注浆压力为 2.5~3.0 MPa。

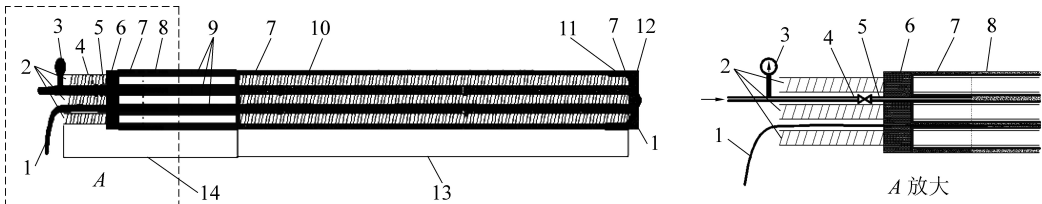
4 组合锚索高压注浆施工关键技术

4.1 组合锚索注浆封孔装置

目前封孔装置主要采用棉纱充填空隙封孔,而对于深部巷道采用注浆组合锚索支护技术注浆施工时,受高地应力影响,巷道掘进后松动圈不断增大,围岩容易出现裂隙。钻孔封孔装置封堵不严,浆液

容易从裂隙中渗漏;注浆压力超过 3 MPa 就容易将封孔器冲开,造成注浆效果不良或者直接失败。

为克服注浆封孔技术问题,设计一种既能控制漏浆,又能对钻孔封堵提高注浆压力的组合锚索注浆封孔装置。将注浆管路使用棉纱包裹后固定在注浆孔口,首先使用少量浆液将组合锚索注浆孔口及附近围岩裂隙充填,浆液凝固前打开注浆管路阀门,多余浆液通过注浆管路排出;待孔口附近浆液固化后再次注浆,透气管排浆后就证明注浆组合锚索孔内已经注满,然后封堵排气管,继续注浆,随着注浆压力升高将附近围岩裂隙充填。一次注浆后孔口被固化,承受注浆压力明显增强,由原来的 3 MPa 增大到 8 MPa,注浆压力提高后浆液扩散半径明显增大,围岩裂隙充填效果更好。封孔装置如图 2 所示。



1—导气管;2—锚索;3—压力表;4—供液管路;5—注浆管道;6—封孔器;7—一次注浆后填充的浆液;8—二次注浆后填充的浆液;9—蛇皮管;10—锚索支撑架;11—组合锚索钻孔;12—导向帽;13—注浆孔的锚固段结构;14—注浆孔的胀拉段结构

图 2 组合锚索注浆封孔装置

Fig.2 Sealing device scheme of combinatorial anchor grouting

4.2 组合锚索注浆施工工艺

注浆组合锚索钻孔采用 ZDY2300LX 煤矿用履带式液压钻机钻孔,孔深不得少于 15.5 m,组合锚索外露长度不得超过 0.5 m。注浆组合锚索由导向帽、支撑架、 $\phi 6$ mm 导气管及 $\phi 32$ mm 塑料套管组成,其中支撑架每 2 m 安装 1 个,3 根锚索分散在支撑架周边,导气管由支撑架内孔穿过,全长 16 m,一端用胶带绑在锚索上,另一端在锚索安装好后露在孔外。

组合锚索注浆分为封口注浆和封孔注浆 2 个部分。封口注浆在组合锚索穿好之后,封孔注浆是在封口注浆 48 h 之后。通过供浆管路、阀门和注浆管道再次注浆,待导气管排浆后将导气管封堵(导气管排浆后就证明注浆孔内已经注满)。继续注浆至设计压力 6~8 MPa,维持 10 min,随着注浆压力升高将附近围岩裂隙充填;10 min 后关闭注浆管球阀,打压机泄压,注浆结束后用清水清洗注浆泵及注浆管路,严防堵塞管路。10 d 后对组合锚索注浆逐根进行张拉,张拉前安装锚盘时要先找平孔口,安装完锚具,然后穿上千斤顶进行张拉,张拉要逐股分组循环张拉,单根锚索张拉强度

不得小于 100 kN。

5 巷道支护效果检验

5.1 巷道表面位移监测分析

1) 测站布置及监测频率。在巷道中普通支护段和组合锚索注浆支护段分别布置 3 个巷道表面位移测站,测站采用“十”字布点法进行布置,测站间距为 30~50 m。为了提高测量数据的准确性和监控的及时性,安排专门技术人员每 3~5 d 下井对各个测站的顶底板及两帮数据进行读取,对数据进一步整理,得到各个测站位置处的巷道顶板下沉量、底鼓量和两帮移近量,并对普通支护段和组合锚索注浆支护段巷道变形情况进行对比分析。

2) 巷道表面位移监测分析。根据监测数据,进一步处理分析分别得到普通支护段和组合锚索注浆支护段的巷道表面位移曲线,对比不同阶段的巷道顶板下沉量、底鼓量及两帮移近量,选取最具有代表性的 1 组,如图 3 所示。

由图 3a 可得,普通支护段的巷道顶板下沉量最大值为 115 mm,且曲线并没有变缓趋势,巷道顶板下沉量仍将继续增大;组合锚索注浆支护段的巷道

顶板下沉量最大值约为 60 mm,变形量减小了 50%,且 50 d 后开始逐渐变缓,巷道顶板下沉逐渐趋于稳定。由图 3b 可得,巷道底鼓变形较为严重,其中普通支护段的巷道底鼓量最大值为 500 mm,且继续增大趋势明显;组合锚索注浆支护段的巷道底鼓量最

大值约为 100 mm,变形量减小了 67%,且曲线逐渐趋于稳定。由图 3b 可得,普通支护段的巷道两帮移近量最大值为 300 mm,且明显呈现出继续增大的趋势;组合锚索注浆支护段的巷道两帮移近量最大值为 150 mm,变形量减小了 50%,且逐渐趋于稳定。

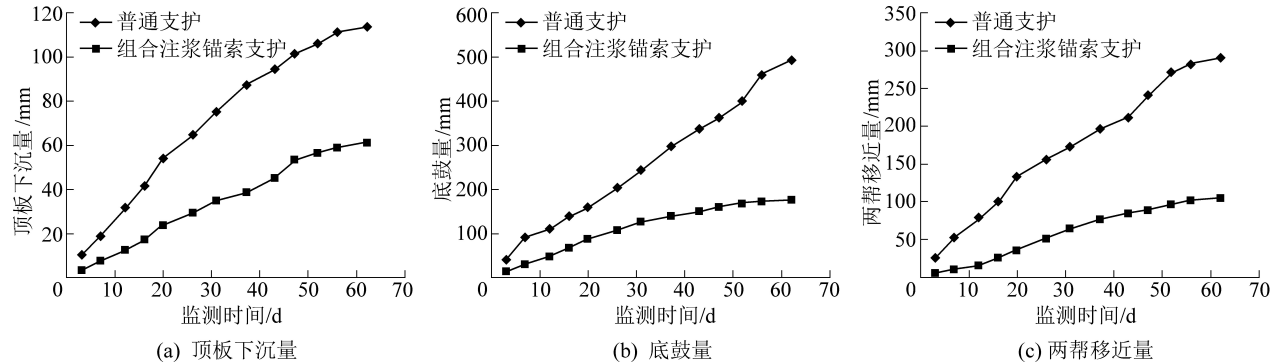


图3 巷道表面位移
Fig.3 Displacement of roadway surface

通过上述对比分析可以明显看出,深部高地应力巷道中应用了组合锚索注浆支护技术后,巷道围岩整体稳定性提高,巷道围岩变形明显减小。

5.2 组合锚索注浆前后对比分析

除了对巷道表面位移进行监测分析外,还采用组合锚索注浆前后对比分析对高地应力巷道围岩支护效果进行考察。受高地应力影响普通组合锚索支护段的巷道围岩松动圈范围扩散严重,深部围岩出现明显离层,导致顶板出现明显下沉,组合锚索张拉失效。通过对组合锚索进行高压注浆充填,使得组合锚索达到最佳支护状态。大幅加强了巷道围岩支护强度,扩大了控制范围,提高了围岩完整性,较好的控制了巷道围岩变形。

6 结 论

1) 设计了深部高地应力巷道的组合锚索注浆支护技术方案,该支护形式在传统的锚网索支护基础上,加入组合锚索注浆工艺,形成全长锚固支护,能够最大程度充填围岩裂隙,有效抑制围岩松动圈向深部转移,提高巷道围岩的整体性和稳定性。

2) 设计一种既能控制漏浆,又能对钻孔封堵提高注浆压力的深部高地应力组合锚索注浆封孔装置。一次注浆后孔口被固化,承受注浆压力明显增强,由原来的 3 MPa 增大到 8 MPa,注浆压力提高后浆液扩散半径明显增大,围岩裂隙充填效果更好。

3) 研制出一种由导向帽、支撑架、 $\phi 6\text{ mm}$ 导气管及 $\phi 32\text{ mm}$ 塑料套管组成的组合锚索,其注浆工艺为封孔注浆滞后封口注浆 48 h,待导气管排浆即说明注浆孔已满,10 d 后对锚索进行张拉。

4) 通过现场应用,采取巷道表面位移监测及组合锚索注浆前后对比分析的手段,对该技术应用效果进行了分析,分析发现,在深部高地应力巷道中应用了组合锚索注浆支护技术后,取得了显著的技术应用效果,大幅加强了巷道围岩支护强度,提高了巷道围岩的完整性,对于巷道围岩变形控制起到了积极作用,巷道围岩变形较普通支护段减小 50% 以上。

参考文献 (References):

[1] 朱永建,朱二磊,陈鑫源,等. 超深井高地应力巷道围岩弱化规律及控制技术[J]. 湖南科技大学学报, 2015,30(1): 15-21.
ZHU Yongjian, ZHU Erlei, CHEN Xinyuan, et al. Weakening rules and its control technology of deep & high stress roadway Surrounding rock[J]. Journal of Hunan Technical University: Natural Science, 2015,30(1): 15-21.

[2] 刘 具,何瑞敏,杨 朋,等. 深部沿空留巷顶板变形破坏规律及其控制研究[J]. 煤炭科学技术, 2019,47(7): 142-148.
LIU Ju, HE Ruimin, YANG Peng, et al. Research on deformation and failure law and control of roof in deep gob-side entry retaining [J]. Coal Science and Technology, 2019,47(7): 142-148.

[3] 张 臻,张 农,许兴亮,等. 高地应力破碎软岩巷道强化控制技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2010,27(1): 13-18.
ZHANG Can, ZHANG Nong, XU Xingliang, et al. Supprot technique intensifying soft broken roadway with high ground stress[J]. Journal of Mining & Safty Engineering, 2010,27(1): 13-18.

[4] 杨景贺. 高应力软岩巷道变形破坏与控制机理数值模拟研究 [J]. 煤炭科学技术, 2019,47(8): 52-58.
YANG Jinghe. Numerical simulation study on deformation, failure and control mechanism of high stress soft rock roadway [J]. Coal Science and Technology, 2019,47(8): 52-58.

[5] 李 季,冯吉成,张胜凯,等. 软岩巷道长短锚杆协调支护技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2015,43(3): 17-21, 25
LI Ji, FENG Jicheng, ZHANG Shengkai, et al. Study on long and

short bolt coordinate support technology of mine soft rock roadway [J]. Coal Science and Technology, 2015,43(3):17-21.

[6] 康红普,王金华,林 健.煤矿巷道锚杆支护应用实例分析[J].岩石力学与工程学报,2010,29(4):649-664.

KANG Hongpu, WANG Jinhua, LIN Jian. Case studies of rock bolting in coal mining roadways[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2010,29(4):649-664.

[7] 王襄禹,柏建彪,陈 勇,等. 软岩巷道锚注结构承载特性的时变规律与初步应用 [J]. 岩土工程学报,2013,35(3):469-475.

WANG Xiangyu, BAI Jianbiao, CHEN Yong, *et al.* Time - dependent laws and initial application of bearing features of bolt-grouting structure in soft rockroadway [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2013,35(3):469-475.

[8] 谢生荣,谢国强,何尚森,等. 深部软岩巷道锚喷注强化承压拱支护机理及其应用[J]. 煤炭学报,2014,39(3):404-409.

XIE Shengrong, XIE Guoqiang, HE Shangsen, *et al.* Anchor - spray - injection strengthened bearing arch supporting mechanism of deep soft rock roadway and its application [J]. Journal of China Coal Society, 2014,39(3):404-409.

[9] 薛光辉,管 健,程继杰,等.深部综掘巷道超前支架设计与支护性能分析[J].煤炭科学技术,2018,46(12):15-20.

XUE Guanghui,GUANJian,CHENG Jijie, *et al.* Design of advance support for deep fully-mechanized heading roadway and its support performance analysis[J].Coal Science and Technology,2018,46(12):15-20.

[10] 赵万里,杨战标.深部软岩巷道强力锚注支护技术研究[J].煤炭科学技术,2018,46(12):92-97.

ZHAO Wanli, YANG Zhanbiao. Study on strong anchor support technology in deep soft rock roadway[J].Coal Science and Technology,2018,46(12):92-97.

[11] 吴拥政,何 杰,司林坡,等.义马矿区深部矿井地应力分布规律研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(10):16-21.

WU Yongzheng, HE Jie, SI Linpo, *et al.* Study on geostress distribution law of deep mine in Yima Mining Area [J]. Coal Science and Technology,2018,46(10):16-21.

[12] 许兴亮,张 农,徐基根,等. 高地应力破碎软岩巷道过程控制原理与实践[J]. 采矿安全与工程学报,2007,24(1):51-55.

XU Xingliang, ZHANG Nong, XU Jigen, *et al.* Principle and practice of process control over soft broken roadway with high ground stress[J]. Journal of Mining & Safty Engineering, 2007, 24(1):51-55.

[13] 马永忠.高地应力巷道底鼓影响因素及支护对策研究[J].煤炭工程,2015,47(6):40-42.

MA Yongzhong. Study on influencing factors and countermeasure of floor heave in high ground stress roadway [J]. Coal Engineering,2015,47(6):40-42.

[14] 余伟健,李 可,张 靖,等. 采动影响下深埋软岩巷道变形特征与控制因素分析[J]. 煤炭科学技术,2020,48(1):125-135.

YU Weijian, LI Ke, ZHANG Jing, *et al.* Deformation characteristics and control factors of the surrounding rockin the deep buried soft rock roadway under the influence of mining[J]. Coal Science and Technology, 2020,48(1):125-135.

[15] 徐佑林,张 辉. 动压影响下的软岩巷道加固治理技术研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(1):68-73.

XU Youlin, ZHANG Hui. Research on reinforcement and treatment technology for softrock roadway under dynamicpressure[J]. Coal Science and Technology, 2018,46(1):68-73.

[16] 王 成,汪良海,张念超. 高应力软岩巷道围岩流变动态演化研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(1):14-18.

WANG Cheng, WANG Lianghai, ZHANG Nianchao. Research on the dynamic evolutionary of rock rheology in soft rock with high grond stress [J]. Journal of Mining & Safty Engineering, 2013,30(1):14-18.

[17] 魏夕合,黄庆显,蒋敬平,等. 深部巷道高强全锚注一体化技术研究与应用[J]. 煤炭工程,2017,49(2):43-45,48.

WEI Xihe, HUANG Qingxian, Jiang Jingping, *et al.* Research and application of integrated technology of high—strength full bolt-grouting in deep roadway [J]. Coal Engineering,2015,47(6):2017,49(2):43-45,48.