

# 煤矿深部巷道预应力协同支护技术研究

何宗礼 陈高君

(平顶山天安煤业股份有限公司 十一矿 河南 平顶山 467047)

**摘要:**为解决深部复杂区域高应力破碎围岩巷道支护难度大的问题,采用相似模拟、数值模拟和理论分析的方法对预应力协同支护技术进行研究,通过松动圈测试确定巷道顶、底板及两帮的松动破坏范围分别为1.92、1.10~1.40、2.50 m。据此提出了深部复杂区域高应力破碎围岩巷道采用锚网索的支护措施,选用预应力协同支护技术,确定选取锚索和锚杆预应力分别为100、40 kN,综合考虑取锚杆间排距为800~900 mm,并进行了巷道变形量观测。结果表明:采用预应力协同支护技术巷道两帮变形量由普通支护的280.0 mm减少为95.5 mm,顶板变形量由47.0 mm减少到43.2 mm,且巷道逐渐趋于稳定。

**关键词:**深部巷道;协同支护;高应力;破碎围岩;相似模拟

**中图分类号:**TD353      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2013)03-0035-04

## Study on Pre-Stressed Coordinated Support Technology of Deep Mine Roadway

HE Zong-li ,CHEN Gao-jun

(No. 11 Mine Pingdingshan Tian'an Coal Mining Corporation Ltd. Pingdingshan 467047, China)

**Abstract:** In order to solve high difficult support problems of the mine roadway with high stress and broken surrounding rock in a deep complicated area of some mine, a similar simulation, numerical simulation and theoretical analysis method were applied to study the pre-stressed coordinated support technology. With the loose circle measured and tested, the loose and failure scope of the roof, floor and two sidewalls of the mine roadway were determined individually as 1.92, 1.10~1.40, 2.50 m. Thus the support measures with the bolt-steel mesh-anchor were provided for the mine roadway with high stress and broken surrounding rocks in the deep complicated area of the mine. The pre-stressed coordinated support technology was selected. The pre-stress of the anchor and bolt selected were 100 and 40 kN individually. The row distance of the bolt comprehensively considered was 800~900 mm. The deformation observation of the mine roadway was conducted. The results showed that the two sidewall deformation value of the mine roadway with the pre-stressed coordinated support technology was reduced from 280.0 mm of the conventional support to 95.5 mm, the roof deformation value was reduced from 47.0 mm to 43.2 mm and the mine roadway was steadily in stable.

**Key words:** deep mine roadway; synergistics support high stress; broken surrounding rock; similar simulation

## 0 引言

随着矿井开采深度的不断增加,巷道围岩在深部应力场的作用下显现出比浅部更加显著及难以控制的变形、失稳和破坏现象,单一的支护形式无法满足深部巷道支护的需要。因此,大多数矿井选择组合支护,组合支护是指多种不同性能的单一支护的叠加,如锚网喷支护、锚网喷架支护等。复合支护是指多种支护形式的组合或采用复合材料进行支护,

如锚杆桁架支护、锚喷—弧板支护等。耦合支护是指对软岩巷道围岩由于塑性大变形而产生的变形不协调部位,通过支护的耦合而使其变形协调,实现支护一体化、荷载均匀化,达到巷道稳定的目的<sup>[1]</sup>。盛天宝等<sup>[2]</sup>对软岩复合顶板突出煤层巷道耦合支护技术进行研究,解决了复合顶板突出煤层巷道的支护问题;李国峰等<sup>[3]</sup>对深部软岩巷道锚注支护技术进行研究,得出了该条件下巷道支护方案,有效解决了巷道变形量大的问题;孙晓明等<sup>[4]</sup>采取锚网索

收稿日期:2012-11-17;责任编辑:杨正凯

作者简介:何宗礼(1965—),男,河南南阳人,高级工程师,硕士,现任平顶山天安煤业股份有限公司十一矿总工程师。E-mail: sykzbs@163.com

引用格式:何宗礼,陈高君.煤矿深部巷道预应力协同支护技术研究[J].煤炭科学技术,2013,41(3):35-38.

支护技术解决深部松软破碎煤层巷道支护问题;曾明胜等<sup>[5]</sup>对深部综放工作面巷道强力超前支护系统进行设计。也有许多学者采用协同力学理论对巷道支护进行研究,该理论是一门研究各个学科领域中关于合作、协作、或协同的学说。预应力协同支护是指将协同力学理论引入,在现有理论基础和支护类型的基础上,在支护设计中,分析各支护构件之间的相互影响、相互作用关系,以及围岩荷载在它们之间的相互转移关系,充分考虑支护体的材料性能、支护性能以及对围岩支护作用范围的相互协同性,以保证各支护体相互补充,互相协调,共同作用,合理发挥各种支护构件的工作性能,实现主动支护<sup>[6-7]</sup>。韩立军等<sup>[8]</sup>针对构造复杂区域巷道控顶卸压原理与支护技术进行实践;王振等<sup>[9]</sup>对深部软岩底鼓巷道锚注联合支护技术进行了研究;牛福龙<sup>[10]</sup>对锚杆锚索变形匹配技术在巷道支护中的应用进行了研究;李书民等<sup>[11]</sup>对深部回采巷道锚网索联合支护技术实践进行了研究。在锚杆-锚索支护协同设计时,不仅考虑锚杆自身各协同因素的匹配,同时也要考虑到锚索与锚杆的协同配合,对锚索的预紧力、锚固方式、布置方式以及锚索长度等协同因素的研究,只有它们之间相互合理匹配,才能使锚杆、锚索预应力协同支护的效果达到最优<sup>[12-13]</sup>。基于此,笔者以十一矿高强让压锚杆配合锚索预应力协同支护为研究对象,以期达到提高深部煤层巷道稳定性,减少巷道变形量,降低巷道维护成本,保证安全生产的目的。

## 1 工程概况

十一矿丁<sub>5-6</sub>煤层26041工作面埋深804 m,埋深较大,工作面内有F1逆断层和张庄逆断层穿过,2个断层的最小落差为5 m,最大达23 m,且区内小断层发育,采区巷道处于以水平应力为主、垂直应力较高的应力环境中。工作面回风巷和运输巷基本沿煤层顶板布置,煤层顶板以砂质泥岩、泥岩为主,膨胀性矿物组分含量较高,具有遇水膨胀、受风化作用后强度降低的性质。巷道顶板为典型的厚层复合顶板,矿压显现比较剧烈,特别是帮部变形及底鼓较为严重。在-700 m水平对丁组煤层顶板细砂岩和泥岩取样,并进行岩石物理力学参数试验,得出平均抗压强度分别为92.17、74.60 MPa,平均弹性模量分别为24.76、28.57 GPa,平均容重分别为26.39、25.67 kN/m<sup>3</sup>,泊松比均为0.11。顶板岩石的软化

系数大于0.5,反映出巷道围岩强度对水的敏感度很高,即遇水后巷道顶板的强度会显著降低。运用RAMAC地质雷达进行围岩松动圈测试,确定围岩松动破坏的范围为围岩松动以两帮为最大(2.50 m),顶板最大松动范围0~1.92 m,底板围岩松动范围1.10~1.40 m,其整体破坏规律为左帮最大,顶板和右帮次之,底板破坏范围相对较小。

## 2 预应力协同支护相似模拟

采用WYQ1000-I型地下工程综合模拟试验系统,选用砂与石蜡的混合物模拟巷道围岩及煤层。巷道模型开挖完成后,分别模拟无支护、U型钢支护和均布压力支护条件下的巷道受力变形破坏情况,丁<sub>5-6</sub>煤层基本顶为粗粒砂岩,直接顶为泥岩和砂质泥岩,底板为泥岩及砂质泥岩。试验模型几何相似比1:30,模型中岩石物理力学参数见表1。

表1 主要岩层物理力学参数

岩层	弹性模量/GPa	抗压强度/MPa	泊松比	容重/(kN·m <sup>-3</sup> )	内摩擦角/(°)
泥岩	19.3	32.3	0.38	26.0	27.8
粉砂岩	26.3	43.0	0.22	26.5	32.1
细砂岩	20.0	56.3	0.26	26.5	35.0
煤	6.0	10.9	0.35	14.0	16.0

模拟结果表明,支护可加快围岩承载结构的形成,存在较大松动圈时较小的支护力(不小于松动荷载)仍可使围岩处于平衡状态。提高两帮稳定性一定程度上等效于减小顶板悬露跨度。及时、有效的初始支护能有效调动围岩成拱,单一的U型钢支护不适合大松动圈巷道的支护。因此,深部巷道围岩支护必须选择合理的支护方式、支护时机,并选择与之相适应的支护刚度进行预应力协同支护。

## 3 预应力协同支护数值模拟

1) 模拟方法。选用FLAC<sup>3D</sup>软件对锚网索支护的26041工作面巷道的协同性进行数值模拟,煤岩物理力学参数见表1。具体模拟试验为:①当锚杆间距为700 mm×700 mm时,锚杆预应力取30、40、50、60、70 kN,锚索预应力取80、90、100、110、120 kN,模拟时把每个因素的每个水平进行组合,共进行25次模拟试验,以便确定合理的锚杆与锚索预应力匹配值。②选用确定的锚杆与锚索预应力值,改

变锚杆间排距,从700~1 200 mm(每次增加100 mm),共进行11次模拟试验,确定最佳的锚杆间排距。

2) 锚杆锚索预应力对巷道变形的影响。当锚杆锚索预应力产生预应力协同支护效应时,巷道围岩的收敛量明显降低,应力集中现象得到改善,应力分布更加均匀,锚杆锚索平均利用率高,避免锚杆锚索单独受力,达到协同工作的目的。通过对锚杆锚索的不同预应力匹配进行综合比较分析得出:对锚杆施加40 kN的预应力与锚索120~140 kN的预应力协同性较好,锚杆60 kN的预应力与锚索140~160 kN的预应力支护时协同性较好。

3) 锚杆预应力对巷道变形的影响。当锚索预应力为80 kN时,随着锚杆预应力的增大,巷道各部位的变形均相应减小,且巷道各部位变形与锚杆预应力分别呈线性关系。由各部位变形对比可知,锚杆预应力的变化对巷道各部位变形的影响程度从大到小排序分别为:左帮、右帮、顶板、底板(图1)。



图1 锚杆预应力作用下巷道各部位变形

4) 锚索预应力对巷道变形的影响。要减小顶板变形量,可适当增大锚杆与锚索预应力;要减小底板、两帮变形量,可适当增大锚杆预应力,并减小锚索预应力。因此,存在一个合理的锚杆与锚索预应力匹配取值,使巷道变形控制在合理的范围。综合考虑,选取锚索预应力为100 kN,选取锚杆预应力为40 kN,巷道变形如图2所示。

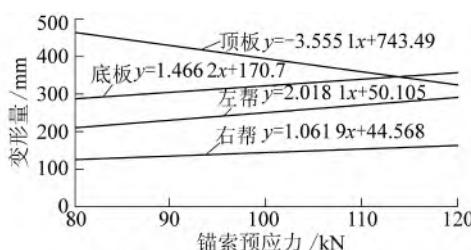


图2 锚索预应力作用下巷道各部位变形

5) 锚杆间排距对巷道变形的影响。锚杆间排距的改变对巷道各部位变形的影响程度从大到小排

序分别为:左帮、顶板、右帮、底板。锚杆间排距有一个合理的取值,小于此值会造成支护成本增加,大于此值则可能使顶板变形加大。综合考虑取锚杆间距和排距均为800~900 mm。

## 4 工业试验

### 4.1 巷道支护方案

根据十一矿深部巷道的地质力学环境,以“大断面、高强预应力匹配、加固帮角控制围岩稳定、强化巷道底板治理、局部巷道全封闭形成预应力协同支护效应”为原则。同时保证了施工方便、减少工艺环节,提高了施工速度,保证支护质量与效果,提出高预应力锚网索带预应力协同支护方案:①顶板采用φ22 mm×2 200 mm高强锚杆,间排距为800 mm×900 mm,采用1个K2335型和1个Z2380型树脂药卷锚固,锚杆安装转矩不小于400 N·m,并搭配采用M5钢带和菱形金属网。选用φ22 mm×6 300 mm的桁架锚索,锚索间排距2 000 mm×1 800 mm,采用1个K2335型和2个Z2380型树脂药卷锚固。②两帮选用φ22 mm×2 200 mm的高强锚杆,间排距800 mm×900 mm,采用1个Z2380型树脂药卷锚固,安装扭矩不小于300 N·m,并搭配采用M5钢带和菱形金属网。选用φ20 mm×4 300 mm桁架锚索,间排距1 400 mm×1 800 mm,采用1个K2335型和2个Z2380型树脂药卷锚固。③巷道底角采用φ22 mm×2 400 mm预应力锚杆,采用2个Z2380型树脂药卷锚固,安装转矩不小于400 N·m,在破碎段巷道底角采取注浆加固,巷道支护方案如图3所示。

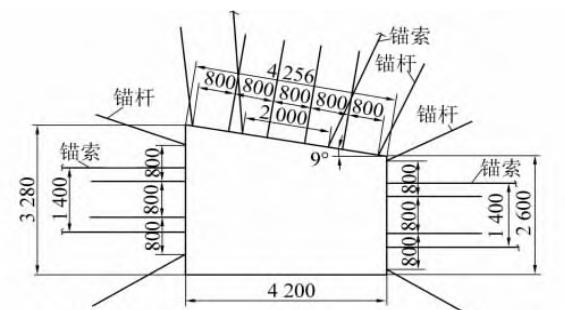


图3 巷道支护方案示意

### 4.2 支护效果分析

为了分析支护效果,优化支护参数,分别对26041工作面运输巷采用普通锚网支护和预应力协同支护的区段进行巷道变形量观测,如图4和图5所示,由图4和图5可知,①26041工作面运输巷采

用普通锚网支护区段两帮变形量较大(280 mm),且后期巷道围岩一直处于变形阶段,直至破坏;巷道顶板变形量相对较小(47 mm),而底鼓较严重,说明普通锚网支护不能满足高应力巷道的支护要求,需要采取有效措施控制两帮和底板变形。②26041工作面运输巷预应力协同支护区段有效控制了巷道顶板的下沉和两帮的变形,顶板平均变形量43.2 mm,两帮平均变形量95.5 mm,且巷道的逐渐趋于稳定,表明预应力协同支护较好地满足高应力大松动圈破碎顶板煤巷的支护要求。

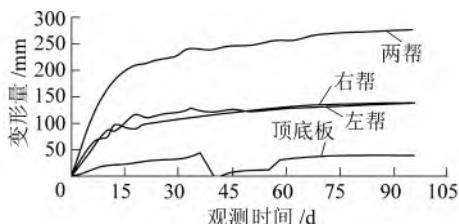


图4 普通锚网支护巷道变形

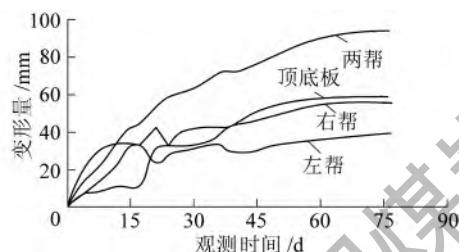


图5 预应力协同支护巷道变形

## 5 结语

通过研究和分析巷道的变形破坏机理,提出解决构造复杂区域高应力破碎围岩巷道支护问题的途径,即采用预应力协同支护技术解决这类高应力破碎围岩巷道的支护问题。锚杆、锚索支护参数协同,能使锚杆、锚索的个体作用达到最大,并产生预应力协同支护作用的效果,模拟试验结果与现场观测结果较符合,表明预应力协同支护有效性。运用“预应力协同支护”与锚注加固等技术,提出预留变形量、大断面宽巷掘进,解决了该类高应力破碎围岩巷道的支护问题。将协同力学理论应用于支护设计系统,这种尝试给学术研究者提供了一个新的视角,为支护设计开辟了一个新的研究手段。

### 参考文献:

- [1] 康红普,王金华,林健.高预应力强力支护系统及其在深部巷道中的应用[J].煤炭学报,2007,32(12):1233-1238.
- [2] 盛天宝,王俊臣,郭建周.软岩复合顶板突出煤层巷道耦合支护技术研究与应用[J].煤炭科学技术,2002,30(3):47-49.
- [3] 李国峰,蔡健,郭志滩.深部软岩巷道锚注支护技术研究与应用[J].煤炭科学技术,2007,35(4):44-46.
- [4] 孙晓明,何满潮,冯增强.深部松软破碎煤层巷道锚网索支护技术研究[J].煤炭科学技术,2005,33(3):47-50.
- [5] 曾明胜.深部综放工作面巷道强力超前支护系统设计[J].煤炭科学技术,2011,39(6):26-29.
- [6] 李敏,李光锦,陈斌等.桃园煤矿深部巷道二次加强支护技术[J].煤炭科学技术,2008,36(7):16-19.
- [7] 何满潮,李乾,蔡健等.兴安煤矿深部返修巷道锚网索耦合支护技术[J].煤炭科学技术,2006,34(12):1-4.
- [8] 韩立军,蒋斌松,贺永年.构造复杂区域巷道控顶卸压原理与支护技术实践[J].岩石力学与工程学报,2005,24(11):5499-5502.
- [9] 王振,刘超,张建新等.深部软岩底鼓巷道锚注联合支护技术[J].煤炭科学技术,2012,40(8):24-27.
- [10] 牛福龙.锚杆锚索变形匹配技术在巷道支护中的应用[J].煤炭科学技术,2010,38(6):29-33.
- [11] 李书民,孙小岩,白杨杨.深部回采巷道锚网索联合支护技术实践[J].煤炭科学技术,2012,40(1):39-41.
- [12] 牛双建,靖洪文,张忠宇等.深部软岩巷道围岩稳定控制技术研究及应用[J].煤炭学报,2011,36(6):914-919.
- [13] 鲁德丰.突出煤层工作面沿空留巷修复技术[J].煤炭科学技术,2012,40(1):49-51.

(上接第34页)

### 参考文献:

- [1] 郭庆宏,董方庭.围岩松动圈与巷道支护[J].矿山压力与顶板管理,1995,12(3/4):111-114.
- [2] 孟庆彬,门燕青,杨以明等.巷道围岩松动圈支护理论及测试技术[J].中国矿山工程,2010,39(3):47-51.
- [3] 吕兆海,来兴平.松动圈测试技术在巷道支护设计中的应用[J].地下空间与工程学报,2009,5(2):336-340.
- [4] 郭亮,李俊才,张志铖等.地质雷达探测偏压隧道围岩松动圈的研究与应用[J].岩石力学与工程学报,2011,30(S1):3009-3015.
- [5] 白冰,周健.探地雷达测试技术发展概况及其应用现状[J].岩石力学与工程学报,2001,20(4):527-531.
- [6] 郑维忠.地质雷达原理及其在隧道超前预报中的应用[J].山西建筑,2007,33(24):308-309.
- [7] 石建军,马念杰,闫德忠等.巷道围岩松动圈测试技术及应用[J].煤炭工程,2008(3):32-34.
- [8] 杨永杰,刘传孝,蒋金泉等.巷道围岩松动圈的地质雷达探测及应用[J].工程地质学报,1997,5(3):276-281.
- [9] 宋宏伟,王闯,贾颖绚.用地质雷达测试围岩松动圈的原理与实践[J].中国矿业大学学报,2002,31(4):370-373.
- [10] 董方庭.巷道围岩松动圈支护理论[J].煤炭学报,1994,19(1):21-32.