

# 高地应力巷道组合托梁支护技术

令狐建设<sup>1</sup> 沈春明<sup>2</sup>

(1. 山西阳泉煤业(集团)有限责任公司 山西 阳泉 045000; 2. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院 北京 100013)

**摘要:** 基于新景煤矿高应力大断面回采巷道支护难度大的问题,在芦南3号煤层二区7204工作面巷道采用组合托梁支护技术,在分析组合托梁结构特征的基础上,设计了组合托梁的钢带参数,模拟分析支护承压中的花碗型钢带的性能及支护能力,并对支护效果进行分析。结果表明:碟碗型钢带承压性能优越,与锚杆锚索的铰接连接方式形成组合托板托梁结构;碟碗型钢带现场施工简单便捷,支护围岩变形量明显小于传统钢带支护,将巷道断面收缩率控制在12%以内,且锚杆锚索荷载变化无明显差异,有效解决了高应力大断面回采巷道支护难度大的问题。

**关键词:** 巷道支护; 组合托梁; 碟碗钢带; 高应力

中图分类号: TD353 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)12-0020-04

## Study on Combined Joist Support Technology of High Geostress Gateway

LINGHU Jian - she<sup>1</sup>, SHEN Chun - ming<sup>2</sup>

(1. Shanxi Yangquan Coal Industry Group Corporation Limited, Yangquan 045000, China;

2. Mine Safety Branch, China Coal Research Institute Company Limited, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Based on high support difficult problems of mining gateway in high stress and large cross section coal mining face of Xinjing Mine, the combined joist support technology was applied to the gateway of No. 7204 coal mining face in No. 2 block of Lu'nan No. 3 seam. Based on an analysis on the structure features of the combined joist parameters of a steel band were designed, the performances and support capacity of the flower bowl steel band in the support pressure loading were simulated and analyzed and an analysis was conducted on the support effect. The results showed that the support pressure loading performances of the bowls and dishes type steel band were excellent and with the articulated connection method of the bolt and anchor, the steel band could form a combined plate and bracket structure. The bowls and dishes type steel band would be simple and convenient in site construction, the deformation value of the supported surrounding rock was obviously less than the conventional steel band support and the cross section convergence of the gateway could be controlled in less than 12%. There was no obvious difference in the load variation of the bolt and anchor and the high support difficult problems of the mining gateway in the high stress and large cross section coal mining face were effectively solved.

**Key words:** mine gateway support; combined joist; bowls and dishes type steel band; high stress

## 0 引言

巷道支护是煤炭开采的一项关键技术<sup>[1-3]</sup>,直接制约着煤矿井下安全生产。合理的巷道支护技术既能确保地下工程的安全,又能够明显提高经济效益<sup>[4-6]</sup>。由于我国煤矿开采深度和强度的不断加大,对井下巷道支护技术提出了更新、更高的技术要求<sup>[7-12]</sup>。新景煤矿由于回采巷道断面大且处于高

地应力区域,导致W型钢带撕裂,致使巷帮二次支护频繁,传统的锚固支护已无法满足安全、经济、适用的原则;而大跨度、大断面锚固支护参数设计,也成为新景煤矿巷道支护亟待解决的技术难题。国外在复杂地层多采用预应力桁架结构<sup>[13-14]</sup>,但这种方法施工复杂、费用高,而且预应力桁架的横向拉杆与巷道顶板不能紧密接贴。国内最早出现的W型和M型等钢带已经不能适应破碎围岩高应力地

收稿日期: 2014-05-22; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2014.12.006

作者简介: 令狐建设(1966—),男,山西运城人,工程师,现任山西阳泉煤业(集团)有限责任公司总工程师。E-mail: cumtscm@163.com

引用格式: 令狐建设,沈春明.高地应力巷道组合托梁支护技术[J].煤炭科学技术 2014 A2(12): 20-23.

LINGHU Jian - she, SHEN Chun - ming. Study on Combined Joist Support Technology of High Geostress Gateway [J]. Coal Science and Technology 2014 A2(12): 20-23.

层<sup>[15~16]</sup>;组合托梁虽然没有横向预应力,但与传统托梁比起来,连续托梁采用较小的间隙能在巷道围岩的微小变形下使整个锚网支护体系形成桁架力学体系;连续托盘承受较高的拉应力使顶板挤压应力区加强,比传统托梁能更好地加固顶板和增强稳定性<sup>[17]</sup>。组合托梁钢带与锚索组合形成的桁架结构<sup>[18]</sup>,主要在大型煤矿深井煤巷、围岩压力显现突出或具有冲击地压危险的巷道中应用,能保证巷道具有可靠的桁架支护效果。基于此,笔者在组合托盘钢带锚固支护基础上,研究设计新型钢带结构以及与锚杆锚索的连接参数,提高控制巷道围岩变形的能力,以期解决矿井大断面支护难题。

## 1 工程概况

试验巷道为新景煤矿芦南二区3号煤层7204辅回风巷,该巷道沿3号煤层底板掘进,设计长度为1 373.76 m,施工长度为1 179 m。7204工作面位于芦南二区北翼东部,井下标高+527.0—+590.5 m,地面标高+990—+1 172 m,工作面南为7203工作面,西为7206工作面,东部为7202工作面,这3个工作面均已回采完毕,北部为采区边界。该工作面北部总体为一轴向EW的较宽缓向斜构造,两翼倾角为3°~8°;中部总体为2个背斜1个向斜组成的褶皱构造,两翼倾角为2°~10°;南部为一轴向NW的向斜构造,两翼倾角为2°~10°,试验巷道掘进煤层厚1.87~3.20 m,煤层倾角3°~12°,煤层普氏系数0.6~1.5,煤层绝对瓦斯涌出量3.24 m<sup>3</sup>/min,煤层相对瓦斯涌出量31 m<sup>3</sup>/t,煤层较发育,无自然发火倾向。

煤矿工作面巷道锚网支护的顶板钢带一般不作为主要构件,在遇到顶板矿压突出或是其他支护强度不足时才采用高强度钢带加固。新景煤矿采用多种钢带,如W型钢带、M钢带和槽钢等,现场施工使用的W型钢带支护方式结构复杂,使用构件多,施工复杂,操作难度较大。受工作面采空区影响,7204辅回风巷处于高地应力区,W型钢带支护局限性凸显,需要设计更加简便、有效的支护方案。

## 2 组合托梁结构特征及参数设计

### 2.1 结构特征

普通托梁结构的W型钢带或梯子梁在设计时考虑锚杆安装的方便性,把锚杆孔位设计成大孔径或长条孔,这就使得托梁只起到承托作用,而无法起

到加强岩梁底部薄弱部位的作用。组合托梁为组合托盘结构,由于其设计的锚杆孔与锚杆的间隙很小,而且锚固螺母与组合托板的托梁之间为球形铰接的方式,使得锚杆杆件与组合托板之间形成铰接,形成桁架结构,大幅提高了锚网支护结构力学性能。

### 2.2 顶板水平拉应力及补强作用

当巷道埋深350 m、巷道宽度4 m时,假设顶板岩石抗拉强度为2 MPa,根据自稳隐形拱方程<sup>[19]</sup>计算可得巷道水平应力影响深度为2.5 m;根据巷道顶板表面拉应力计算模型<sup>[20]</sup>计算顶板最大拉应力为3.2 MPa。在这种应力状态下,一般顶板岩层都会出现塑性破坏。为了克服这种巷道表面处的高应力的影响,可以将钢材制成组合托梁实现巷道沿顶补强。

组合托梁的横向抗拉力对巷道顶板补强作用力学参数为

$$F = Bl\sigma/2$$

其中:F为钢带的抗拉强度,取0.208 MPa;B为锚杆排距,取0.8 m;l为常规托梁对顶板影响深度,m;σ为顶板岩层抗拉强度,取2 MPa。计算可得l=0.26 m。如果考虑桁架的整体作用,F按组合托梁的抗拉强度0.416 MPa计算,1个组合托梁对顶板影响深度为0.52 m。

因此在极端情况下,这种组合托板具有一定的安全储备。实际上,顶板岩体一般多含裂隙或节理弱面,在这种情况下选取组合托板的钢带的水平作用显得尤为重要。

### 2.3 组合托梁的钢带参数设计

组合托梁的主要组成为钢带,因此对组合托梁的分析即对钢带的选取。由于单碗偏心孔的倾角从原理上很难超过20°,不能满足锚杆有足够的转角。为了能够保证开孔既能满足铰接配合,又具有足够的转角以满足巷道顶板两端较大倾斜锚杆锚索与组合托梁钢带保持良好的力学特性,采用了如图1所示的结构形式。

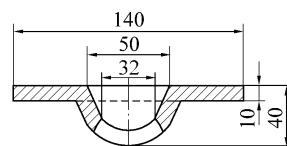


图1 组合托梁的钢带断面

根据实际生产情况,断面采取组合托梁钢带断面,厚度10 mm,宽度140 mm,高度40 mm,工作承载435 kN,破断荷载676 kN。

### 3 组合托盘钢带数值模拟分析

1) 数值模型建立。采用 COSMOSXpress 软件数值模拟分析 W 型钢带与花碗型钢带在支护承压和受压情况下,钢带受力、位移等参数变化。模型中 W 型钢带和花碗型钢带的材质分别为铸铁碳钢、普通碳钢,载荷均为 150 kN,W 型钢带的屈服强度大于花碗型钢带。模拟计算中,每种钢带受约束和载荷加载分为 2 种情况,每种情况下的施加载荷均为 150 kN。

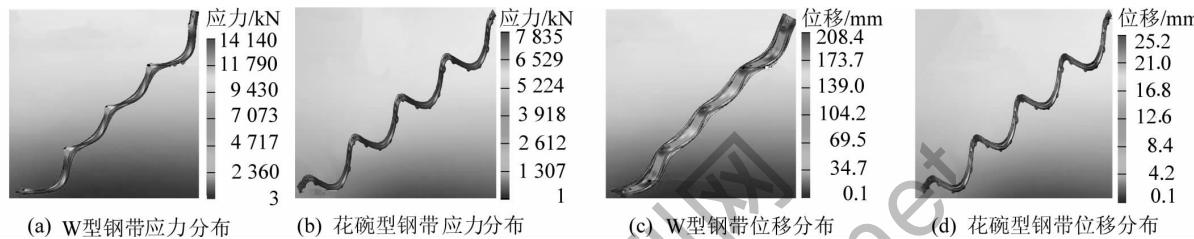


图 2 2 种钢带的应力及位移分布

### 4 工业试验

笔者在 2013 年 12 月分别对采用组合托梁支护的巷道断面 A、B 的锚索支护承压能力进行检测,锚索采用花碗钢带组成的组合托板,锚索工作载荷监测布置如图 3 所示,断面 A、B 锚索布置情况相同,记录锚索工作载荷变化。

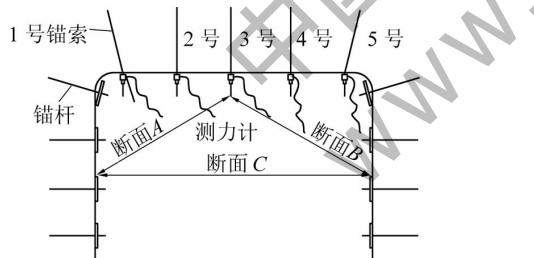


图 3 锚索工作荷载监测布置

巷道断面 A 承托力分布变化如图 4a 所示,锚索安装初期的承托力在 6.3~11.0 kN,其中 4 号锚索的初期承托力仅为 26.7 kN,顶板中间的 3 号锚索初期承托力最大为 41.3 kN,承压分布符合自稳隐形拱理论;支护初期,各锚索承托力增长较小,最小增量为 3.0 kN,最大为 12.0 kN;锚索安装 5 d 后,锚索的承托力突然增大,顶板中间的 4 号锚索承托力增加量最大,而且承托力也为 5 个锚索中的最大,比初期承托力增加了 160 kN,而 2 号锚索增加量最小达 78.3 kN。

巷道断面 B 承托力分布变化如图 4b 所示,锚

2) 模拟结果分析。2 种钢带的应力及位移分布如图 2 所示,由图 2 可知,在相同预紧力条件时,花碗钢带的受力较均匀,受载位置位移更大,说明在支护作用时,花碗型钢带较 W 型钢带更能够与支护面贴合,形成整体受力结构。在相同承压条件时,2 种钢带的受力及位移分布均相似,但花碗型钢带的承压受力明显小,且最大位移明显要小于 W 型钢带,说明了在支护承压时,花碗型钢带承压性能要优越于 W 型钢带。因此,花碗型钢带在支护中具有显著的优势。

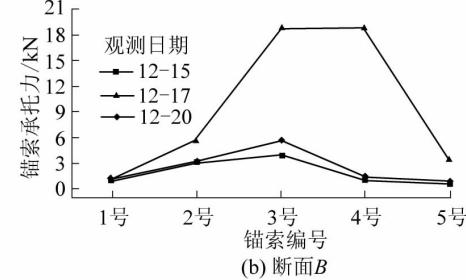
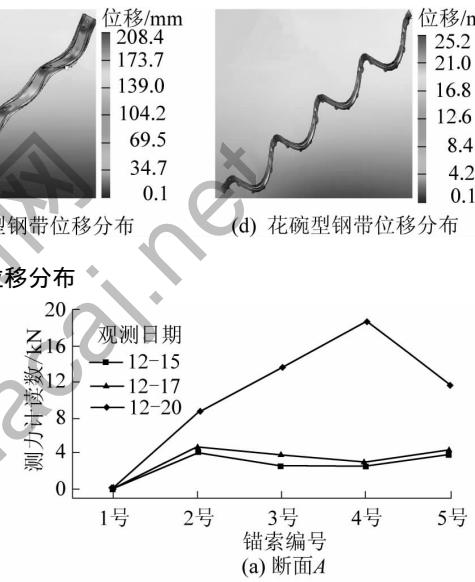


图 4(b)展示了巷道断面 B 锚索承托力分布变化。锚索安装初期的承托力在 6.3~11.0 kN,其中 5 号锚索的初期承托力仅为 6.4 kN,顶板中间的 3 号锚索初期承托力最大为 10.33 kN;同样在锚索安装 5 d 后,数值变化曲线陡增,顶板中间的 3、4 号锚索承托力增加的数值最大,分别达到 188、187 kN 的承托力,两边的 1、2、5 号锚索数值增加相比较小,其中 1 号锚索变化量最小。因此,锚索变化无明显差异,说明组合托梁可有效支护巷道。

巷道变形量能直接反映巷道的稳定性,因此,对巷道变形量的观测十分重要,笔者在采用花碗钢带组成的组合托梁巷道段对巷道变形量进行观测分

析,巷道变形量曲线如图5所示。在支护后的前20 d内,巷道变形量较大,支护30 d后,巷道基本稳定。巷道断面C最大变形量为530 mm,巷道宽度收缩率为12%;巷道断面A、B最大变形量分别为332、362 mm,左右两边的收缩率分别为14.6%、13.7%。试验中支护的巷道,帮壁没有破碎垮落发生。其他未采用组合托板的巷道段,30 d内巷道宽度缩减率最高达21%,高度缩减率最高达33%,局部来压显著区出现钢带撕裂和拉穿的现象,表明采用组合托板有效防止了巷道的变形,保证了巷道的稳定性。

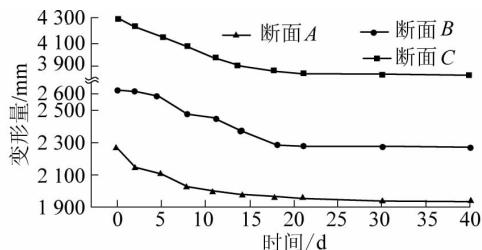


图5 巷道围岩变形量

## 5 结 论

1) 碟碗型钢带与铰接方式设计是组合托板托梁结构和桁架结构形成的关键,强化了钢带的力学性能,从结构上简化了施工安全工艺。

2) 相似模拟和现场试验发现,组合托梁的抗撕裂性能强,现场施工简单便捷,支护围岩变形量明显小于传统钢带支护,巷道断面收缩率达12%,且巷道面锚杆锚索荷载变化无明显差异,支护性能优越。

3) 合托板钢带整体强度高,施工迎头采用单体柱直接顶升作为临时支护,能够简化超前支护工艺,保证顶板安全,解决了新景矿巷道断面较大的支护难题。

## 参考文献:

- [1] 张农,袁亮,王成,等.卸压开采顶板巷道破坏特征及稳定性分析[J].煤炭学报,2011,36(11):1784-1789.
- [2] 袁亮,薛俊华,刘泉声,等.煤矿深部岩巷围岩控制理论与支护技术[J].煤炭学报,2011,36(4):535-543.
- [3] 张农,李桂臣,阚甲广.煤巷顶板软弱夹层层位对锚杆支护结构稳定性影响[J].岩土力学,2011,33(9):2753-2758.
- [4] 王金华.我国煤巷锚杆支护技术的新发展[J].煤炭学报,2007,32(2):113-118.
- [5] 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.
- [6] 高延法,曲祖俊,牛学良,等.深井软岩巷道围岩流变与应力场演变规律[J].煤炭学报,2007,32(12):1244-1252.
- [7] 谢和平,周宏伟,薛东杰,等.煤炭深部开采与极限开采深度的研究与思考[J].煤炭学报,2012,37(4):535-542.
- [8] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.
- [9] 韦四江,勾攀峰.锚杆预紧力对锚固体强度强化的模拟实验研究[J].煤炭学报,2012,37(12):1987-1993.
- [10] 康红普.深部煤巷锚杆支护技术的研究与实践[J].煤矿开采,2008,13(1):1-5.
- [11] 康红普.高强度锚杆支护技术的发展与应用[J].煤炭科学技术,2000,28(2):1-4.
- [12] 康红普,鲍海山,张津平,等.阳泉矿区回采巷道锚杆支护设计[J].煤炭科学技术,1996,24(9):1-5.
- [13] 刘洪涛,马念杰,赵飞虎,等.煤巷破碎顶板锚固串结构及其力学性质分析[J].煤炭科学技术,2010,38(5):5-8.
- [14] 崔希鹏,谷拴成,苏锋.煤巷复合顶板变形破坏机理及支护技术[J].煤炭科学技术,2013,41(11):56-59.
- [15] 陈城,韩立军,张后全,等.破碎软岩斜井巷道锚网喷注耦合支护技术[J].采矿与安全工程学报,2009,27(3):288-291.
- [16] 高振勇,樊正兴.深井软岩巷道二次锚网索支护技术[J].煤炭科学技术,2014,42(2):12-15.
- [17] 康红普,吴拥政,李建波.锚杆支护组合构件的力学性能与支护效果分析[J].煤炭学报,2010,35(7):1057-1065.
- [18] 贾江伟,刘伟,刘平,等.巷道支护中钢带托梁作用机理及变形规律研究[J].内蒙古煤炭经济,2013(2):109-111.
- [19] 柏建彪,王襄禹,贾明魁,等.深部软岩巷道支护原理及应用[J].岩土工程学报,2008,30(5):632-635.
- [20] 侯朝炯,张农,柏建彪,等.巷道锚杆支护围岩强度强化理论研究[J].锚杆支护,2001(1):1-4.

(上接第19页)

- [9] 褚晓威.小孔径预应力锚索预应力损失机理及试验研究[D].北京:煤炭科学研究院,2010:22-24.
- [10] 贺友平.先张法预应力空心板梁钢绞线断丝、滑丝原因浅析及预防措施[C]//沪宁高速公路江苏段建设论文集.北京:人民交通出版社,1997:56-62.
- [11] 冯大斌,裴彊,朱莹.关于当前预应力钢绞线硬度与锚具夹片的匹配建议[J].预应力技术,2010(4):9-12.
- [12] 周明华.影响夹片式锚具锚固性能的综合因素[J].施工技术,2001,30(7):28-30.
- [13] 柳斌.影响夹片式锚具锚固性能的因素[J].低温建筑技术,2004(4):60-61.
- [14] 贺孝宇.张拉锚固施工中锚索损伤的原因分析[J].金属制品,2011,37(5):83-85.
- [15] 唐小萍.超高强预应力钢绞线锚具的研究[D].南京:南京理工大学,2001:61.
- [16] 朱万旭,唐小萍,黄颖,等.HVM型锚固体系锚具[C]//第十一届全国混凝土及预应力混凝土学术交流会论文集.北京:中国土木工程学会,2001:225-230.
- [17] 谢天刚,刘晓辉,万龙.钢绞线索夹片式锚具张拉要点及常见问题[J].桥梁机械与施工技术,2006(7):37-40.