

# 大断面巷道裂隙围岩级式立体支护技术

周国荣<sup>1</sup>, 何忠全<sup>1</sup>, 李青锋<sup>2\*</sup>, 彭跃金<sup>2</sup>

(1. 湖南省煤业集团有限公司宝源矿业公司, 湖南 郴州 423404;  
2. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:**针对宝源煤矿北平硐42采区425<sub>2</sub>1工作面煤层5<sup>#</sup>煤的第二分层的复杂地质构造,对该矿脆性裂隙围岩大断面巷道级式立体支护技术展开研究,提出了级式立体锚网支护的技术路线和支护机理,对锚-网-索支护参数进行优化.通过改进锚杆、锚索施工工艺,调整巷道支护结构实现浅层载荷的深部长期稳固,降低巷道围岩变形量,实现大断面综采巷道在巷道服务期内的长期稳定.

**关键词:**裂隙围岩;级式立体支护;大断面巷道

中图分类号:TD353 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2018)04-0017-05

## Research On Three-dimensional Stage Supporting Technology of Large Section Roadway in Fractured Surrounding Rock

Zhou Guorong<sup>1</sup>, He Zhongquan<sup>1</sup>, Li Qingfeng<sup>2</sup>, Peng Yuejin<sup>2</sup>

(1. Baoyuan Mineral Company, Hunan Coal Industry Group Co., Ltd., Chenzhou 423404, China;  
2. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In view of the complex geological structure of the second layers of coal seam 5<sup>#</sup> coal in the 425<sub>2</sub>1 working face of the 42 mining area of north adit mine in Baoyuan Coal Mine, the extensional three-dimensional support technology for the large section roadway of brittle fractured surrounding rock is studied, and an extension type three-dimensional model is proposed. The technical route and supporting mechanism of anchor net support are optimized for anchor-net-cable support parameters. By improving the construction technology of anchor bolt and anchor cable, the tunnel supporting structure can be adjusted to realize the long-term stability of shallow load and reduce the deformation of roadway surrounding rock, and the long-term stability of large section fully mechanized roadway in the service period of the roadway is achieved.

**Keywords:** fractured surrounding rock; three-dimensional stage supporting; large section roadway

巷道围岩稳定性问题一直以来是广大学者孜孜不倦的研究内容,现有研究表明<sup>[1-5]</sup>:巷道围岩不稳定是由多种因素造成的,其中包括巷道围岩力学特性、开采引起断层裂隙活化、局部爆破引起的微震效应以及巷道支护问题等.在开采过程中,巷道周边区域出现裂隙发育状况,致使在巷道周边倾斜裂隙区出现应力集中.针对裂隙巷道围岩支护,不少学者进行较为深入的研究.陈兴洲<sup>[6]</sup>等认为:岩石材料在控制岩石自身变形、破坏等方面作用微乎其微,而岩石的组合结构承载了大部分的力.在层状裂隙岩体中,预应力锚杆优化布置的角度以及量级的选择,对锚杆锚固效果有较大的影响.许厂煤矿通过增加临时支护,提高支架初撑力,在巷道顶板布置预应力锚索以解决其巷道顶板破碎,岩层不稳定等问题<sup>[7]</sup>.杨峰<sup>[8]</sup>等结合锚杆和

收稿日期:2018-06-21

基金项目:湖南省自然科学基金面上资助项目(2018JJ2130)

\*通信作者, E-mail: liqingfeng0712@163.com

工字钢联合支护方式,使锚杆锚固区域分布在不同的岩层中,使岩层形成一个整体,对避免出现离层现象具有关键的作用。

根据北平硐 42 采区地质资料得知巷道顶板围岩本身节理裂隙发育,现场设计采用的控制巷道顶板的锚杆长度为 1.8 m,其锚固段位于巷道顶板上方 1.4~1.8 m 处,锚固段围岩较完整,巷道顶板上方 1.4 m 以下弱面离层变形时锚杆本身可进行一定控制(控制效果与锚杆预应力有关)。而锚杆锚固区以外(巷道顶板 1.4 m 以上)的弱面离层变形时只有通过锚索来控制,由于受钢绞线伸展率的限制,当锚索发挥或达到其本身支护强度时巷道顶板围岩已经发生较大的离层变形,另外,大部分锚索对巷道顶板围岩实施的是点锚固,由于围岩本身节理裂隙发育和顶板局部破碎,若锚杆锚固区内锚固效果不好,则锚索无法有效地对巷道顶板围岩实施整体锚固。同时,由于巷道两帮和底板是 5<sub>2</sub><sup>#</sup> 煤层,比顶板岩层强度低 2 倍左右,在矿山压力作用下巷道底板除了容易出现底鼓以外,煤体本身也给巷道顶板下沉变形提供了移动空间。另外,由于巷道支护工艺和支护质量等因素对巷道围岩裂隙伸展和变形的影响,也会造成巷道围岩严重变形。

综上所述,巷道围岩中的节理、裂隙对巷道围岩稳定性影响极大,目前比较有效的是锚-网-索支护。但是针对层理裂隙发育、极易垮落、时有冒顶、顶板管理困难的巷道支护技术并没有做过多深入的分析。因此,依托宝源煤矿北平硐 42 采区 425<sub>2</sub>1 工作面煤层 5<sup>#</sup>煤的第二分层的复杂结构,本文针对脆性裂隙围岩大断面巷道级式立体支护技术展开研究,对锚-网-索支护参数进行优化,通过改进锚杆、锚索施工工艺,调整巷道支护结构实现浅层载荷的深部长期稳固,降低巷道围岩变形量,实现大断面综采巷道在巷道服务期内的长期稳定。

## 1 宝源煤矿北平硐 42 采区 425<sub>2</sub>1 工作面煤层地质条件

北平硐 42 采区 425<sub>2</sub>1 工作面煤层为 5<sup>#</sup>煤的第二分层,其组成结构复杂,多为鳞片状、质劣、属半暗型煤层,容重 1.6 t/m<sup>3</sup>,厚度 1.9~4.1 m,平均厚度 3 m;煤层倾角 18°~39°,平均 19°。5<sub>2</sub> 煤层直接顶厚为 6.5 m 左右的深灰砂质泥岩,含细砂岩条带,局部含炭质,顶板层理、裂隙发育,抗压强度中等,极易垮落,时有冒顶,顶板较难管理;老顶厚度 14.95 m 左右,为浅灰-灰色,以石英砾岩为主,含少量燧石砾岩,硅质胶结,致密坚硬,分选性、滚圆度差,次棱角状,粒径为 0.5~2.0 cm,对下伏地层常有冲刷现象,上部为粗砂岩;中部为深灰色砂质泥岩,含植物化石碎片;下部为粗砾砂岩。底板为灰-深灰色砂质泥岩,含植物根部化石,并含有铁质结核,中下部夹一层瓣状结构的粉砂岩,具微波状水平层理。从直接顶的厚度和岩层性质来看,直接顶岩层极易离层,易使锚杆、锚索受力不协调,达不到协调变形的目的。

通过在井下采集 5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤、5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤顶板试样,利用长沙矿冶研究院的德国布鲁克 ADVANCE 型 X 射线衍射仪对其进行 XRD 分析,分析结果表明:5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤顶板含有石英、高岭石、云母、蒙脱石和锐钛矿等,以石英、高岭石、云母为主;5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤中也含有部分高岭石和石英,说明 5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤层巷道围岩为软岩,其矿物成份为流变创造了条件。

通过对顶底板岩石的点载荷试验和一组煤的点载荷试验,得出 5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤层直接顶的单轴抗压强度为 26.7 MPa;5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤层的单轴抗压强度为 9.0 MPa。同时使用 CXK6 型数字式全景钻孔摄像系统详细观察围岩内部结构,得出了 5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤层巷道顶板直接顶为深灰砂质泥岩,且泥岩成份比重较大,其含有多条薄层细砂岩条带,将岩层分割成中薄层泥岩。这种软、薄硬岩层交互赋存现象在巷道顶板与稳定的基岩之间形成了多层弱面,且巷道顶板围岩本身节理裂隙发育。

## 2 级式立体锚网索支护的技术路线和支护机理

### 2.1 级式立体锚网索支护的技术路线

掘进和回采使巷道周边围岩应力状态发生变化,发生不同程度的变形,如巷道两帮变形开裂、底鼓以及顶板离层,控制顶板离层是围岩变形控制的关键环节<sup>[9,10]</sup>。巷道围岩变形演变的机理,这也符合岩体在矿山压力作用下出现的“断裂-损伤-流变”变化规律<sup>[11,12]</sup>。巷道围岩层状分布及离层变形显现状况见图 1。

考虑到 5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤层巷道顶板直接顶为深灰砂质泥岩,泥岩成份比重较大,含有多条薄层细砂岩条带,将岩

层分割成中薄层泥岩.这种软、薄硬岩层交互赋存现象自然的在巷道顶板与稳定的基岩之间形成了多层弱面,而且,根据地质资料得知巷道顶板围岩本身节理裂隙发育.同时,由于巷道两帮和底板是5<sub>2</sub><sup>#</sup>煤层,比顶板岩层强度低2倍左右,在矿山压力作用下巷道底板除了容易出现底鼓以外,煤体本身强度不足以支撑顶板变形而导致顶板下沉.为了有效地支护和控制巷道围岩,就需要对岩层组中的薄硬岩层以及不稳定的岩层及时补强,采取加强锚索等补强措施,使围岩整体承载能力加强,并达到整体稳定的承载效果,如图2所示的级式立体支护.



图1 巷道围岩高层变形

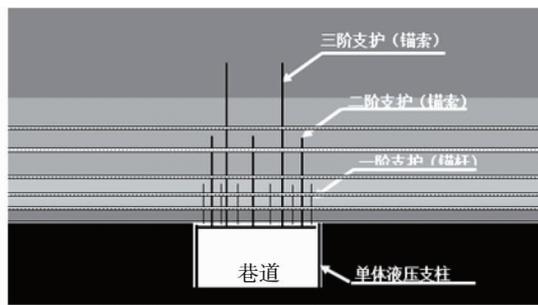


图2 级式立体支护与控制

## 2.2 级式立体锚网索支护机理

根据脆性裂隙岩体巷道围岩中厚软、薄硬岩层组在矿山压力作用下的变形特征和变形规律,以及巷道表面围岩应力呈不均匀性衰减,岩层组中软、硬岩层交互面易于发生离层等特性.通过对巷道围岩实施整体加固,不断缩小巷道围岩三向应力差值等支护手段,达到及时恢复巷道围岩三向应力平衡状态的目的.级式立体支护的支护机理:(1)首先利用锚杆在巷道表面围岩造壳,利用锚杆和短锚索支护控制直接顶中下部厚软、薄硬岩层组,利用长锚索控制围岩实施整体锚固,形成围岩表面补偿强度大、围岩深部补偿强度小的级式支护结构;(2)级式立体支护可对顶板围岩产生一定水平应力,可有效提高巷道顶板的抗弯拉能力、抗剪切能力等,减小或抵消在巷道表面产生的拉应力和剪应力.

## 3 级式立体锚网索支护方式理论分析

因巷道两帮是非稳定围岩,巷道顶板破断拱的跨度向外偏移距离为 $a$ ,巷道宽度为 $b$ ,顶板锚杆支护组合梁长度 $l=a+b$ ,高度为 $h_1$ ,平均容重 $\gamma_1$ .上覆岩层对锚杆支护组合梁的作用力为 $q_1$ ,巷道两帮对锚杆支护组合梁的反力为三角形分布载荷,梁端的峰值为 $q_0$ ,顶板岩层容重为 $r_1$ ,则有

$$q_1 = \sum_{i=2}^n r_i h_i. \quad (1)$$

式中: $h_i$ 为岩层厚度.

由外力平衡得

$$q_0 = \frac{(q_1 + r_1 h_1) l}{a}. \quad (2)$$

以矩形断面巷道顶部中心点为原点建立直角坐标系, $x$ 轴为巷道跨度方向, $y$ 轴为顶板高度方向.顶板岩梁任意截面 $x$ 处得剪应力为

$$Q = \begin{cases} \frac{q_1}{2a^2} \left( \frac{l}{2} + x \right) \left( 2ab + \frac{b^2}{2} + lx \right), & -\frac{l}{2} < x < -\frac{b}{2}; \\ -q_1 x - \frac{1}{2} \gamma_1 h_1 l, & -\frac{b}{2} \leq x \leq \frac{b}{2}; \\ \frac{q_1}{2a^2} \left( \frac{l}{2} - x \right) \left( 2ab + \frac{b^2}{2} - lx \right), & \frac{b}{2} < x < \frac{l}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

设任意截面上的剪应力均布,则巷道两帮上方剪应力最大,剪应力为

$$|\tau| = \frac{1}{2h_1}bq_1 - \frac{1}{2}\gamma_1 l. \quad (4)$$

同样可得到顶板岩梁上任意截面上的弯矩为

$$M = \begin{cases} \frac{q_1 l}{2a^2} \left(\frac{l}{2} + x\right)^3 - \frac{q_1}{2} \left(\frac{l}{2} + x\right)^2, & -\frac{l}{2} < x < -\frac{b}{2}; \\ \frac{q_1 l}{2} \left(\frac{l}{2} + x\right) - \frac{q_1}{2} \left(\frac{l}{2} + x\right)^2, & -\frac{q_1 la}{3} - \frac{b}{2} \leq x \leq \frac{b}{2}; \\ \frac{q_1 l}{2a^2} \left(\frac{l}{2} - x\right)^3 - \frac{q_1}{2} \left(\frac{l}{2} - x\right)^2, & \frac{b}{2} < x < \frac{l}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

则最大拉应力位于巷道顶板中部为

$$\sigma = \frac{(2a+b)(3b-2a)}{24} \frac{q_1}{\frac{h_1^2}{6}} = \frac{(2a+b)(3b-2a)}{4h_1^2} q_1. \quad (6)$$

复合顶板采用级式立体锚网索支护方式时,长锚索将下位复合顶板悬吊到上部稳定岩层,锚杆支护与短锚索控制复合顶板的离层,形成厚度大于锚杆支护组合梁的组合梁顶板结构,厚度为 $h_{1-j}$ .级式立体锚网索支护与一般锚网索支护相比,级式立体锚网索支护的最大剪应力值减小约为 $\frac{1}{2}b\left(\frac{q_1}{h_1} - \frac{q_j}{h_{1-j}}\right)$ ,两者的最大拉应力值之比为 $\sigma = \frac{h_1^2 q_j}{h_{1-j}^2 q_1}$ ,级式立体锚网索支护的最大剪应力值和最大拉应力值都明显降低,巷道围岩应力状态得到优化,巷道顶板稳定性显著提高.

#### 4 级式立体锚网支护实践与应用分析

通过在425<sub>2</sub>1工作面切眼进行了支护实践,切眼施工采取先掘小断面巷道,后刷帮扩巷的方式进行施工;掘巷时的断面为2.7 m×2.6 m,顶板采用4根锚杆+1根短锚索的方式进行支护,两帮采用单体液压支柱实施靠帮支护;小断面巷道对穿后进行刷扩,刷扩后的大断面支护方式为:顶板再增加3根锚杆+2根短锚索+2根长锚索,两帮仍然采用单体液压支柱实施靠帮支护.其中,切眼支护设计图和运输平巷和回风平巷支护设计图分别如图3和图4所示.

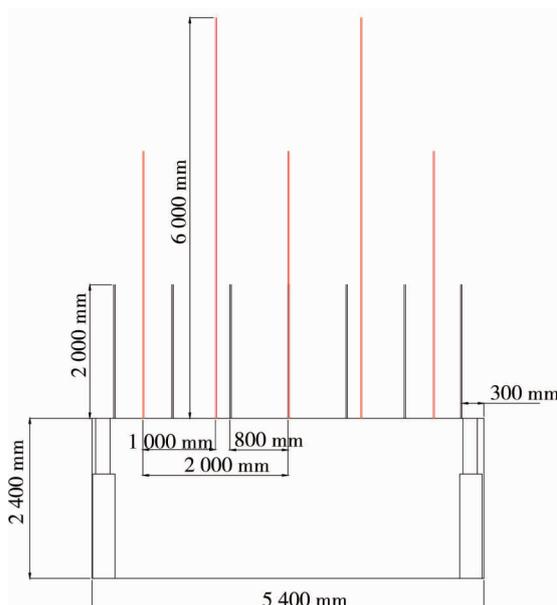


图3 切眼支护设计

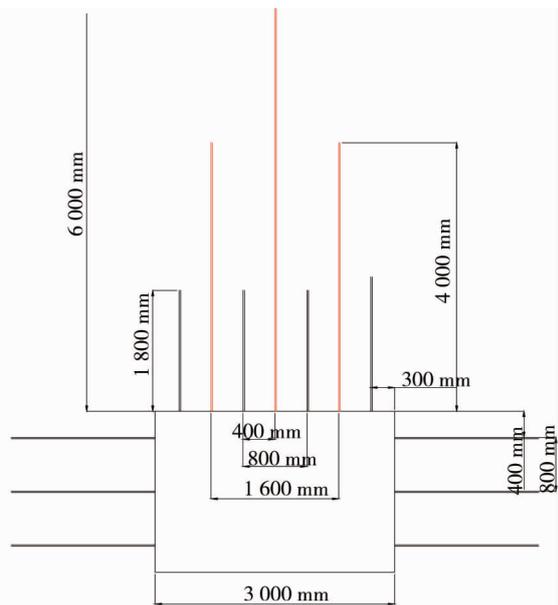


图4 运输平巷和回风平巷支护设计

巷道表面位移测量和锚杆、锚索的受力检测表明:

1) 切眼除个别地段因靠帮柱与壁面间未背紧、背牢而产生局部分帮外,其他地段的帮部位移量 40 mm 以下,顶、底板移近量 80 mm 以下,说明顶板采用级式立体锚网支护、两帮采用单体液压支柱补强支护是可行的。

2) 顶、底板移近量较大地段的顶板锚杆预紧力普遍较低,在 0.5~1.0 t,较低的预紧力无法起到锁紧浅部围岩主动加固的作用,从而容易使浅部岩层离层,增大顶、底板移近量。

3) 当锚杆拉拔力在 60 kN 以上时,拉拔位移大部分接近 40 mm,说明锚杆的锚固刚度偏低,应在后期下一区段运输平巷和回风平巷支护中降低锚杆孔孔径。

## 5 结论

1) 级式立体锚网支护技术与传统锚网支护技术相比,具有控制巷道围岩变形能力强、支护参数合理、施工工艺简单等特点,适合于节理裂隙发育、岩层间夹薄层的巷道围岩条件。

2) 级式立体锚网支护技术采用锚杆、长、短锚索组成的立体支护体系能有效地抑制巷道顶板岩层与岩层之间的离层变形,支护效果明显。

3) 级式立体锚网支护技术通过有效地对巷道围岩不同深度岩层和薄岩面进行补强,及早形成了抵御矿山压力和岩层变形的承载结构体,有效地提高了巷道围岩的整体稳定性和承载能力。

## 参考文献:

- [1] 王鲁明,赵洪先,华安增.分层介质对巷道裂隙围岩稳定性影响的数值分析[J].矿山压力与顶板管理,2004(3):8-10.
- [2] 李涛.原岩应力状态下交叉巷道的研究[D].邯郸:河北工程大学,2012.
- [3] 肖同强,李怀珍,李允生.高应力巷道围岩稳定控制研究[J].煤炭工程,2013(8):89-91.
- [4] 李之军.浅析临时补掘巷道期间通防安全管理[J].山东煤炭科技,2004(1):12.
- [5] 张伟,孙龙华.巷道交叉角度对围岩稳定性影响分析研究[J].煤炭工程,2014(12):101-104.
- [6] 陈兴周,李建林,朱岳明.单裂隙卸荷岩体力学特性分析[J].水力发电,2006(10):35-37.
- [7] 董付科.许厂煤矿煤巷围岩控制技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2008.
- [8] 杨峰,王连国,贺安民,等.复合顶板的破坏机理与锚杆支护技术[J].采矿与安全工程学报,2008(3):286-289.
- [9] 娄金福.动压巷道离层变形特征及支护技术研究[J].煤炭科学技术,2015,43(4):6-10.
- [10] 赵志强.大变形回采巷道围岩变形破坏机理与控制方法研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2014.
- [11] 刘涛影,曹平,章立峰,等.高渗压条件下压剪岩石裂纹断裂损伤演化机制研究[J].岩土力学,2012,33(6):1801-1808.
- [12] 郑少河,姚海林,葛修润.裂隙岩体渗流场与损伤场的耦合分析[J].岩石力学与工程学报,2004(9):1413-1418.