

\* 1

# 李雅庄矿 2-6071 巷锚杆支护设计

李啸天

(霍州煤电集团有限责任公司 技术研究院,山西 霍州 031400)

**摘要:**为保证李雅庄矿 2-6071 巷的支护能够满足巷道服务年限,以邻近巷道矿压数据、地质力学参数为基础,利用 FLAC<sup>3D</sup>对锚杆预应力  $F$ 、锚杆长度  $L$ 、锚杆密度、锚固方式、锚杆角度  $\alpha$ 、钢护板、锚索等支护参数进行了数值模拟分析,得出了锚杆支护设计原则与范围,并结合实际巷道情况给出了具体的支护参数。

**关键词:**巷道矿压数据;地质力学参数;数值模拟;锚杆支护设计

中图分类号:TD353<sup>+</sup>.6

文献标识码:A

## Bolt Support Design in 2-6071 Roadway in Liyazhuang Mine

LI Xiaotian

(Institute of Technology, Huozhou Coal & Electricity Group, Huozhou 031400, China)

**Abstract:** To ensure the support in the 2-6071 roadway to meet the service time in Liyazhuang Mine, based on the mine pressure data and geomechanical parameters of adjacent roadways, FLAC<sup>3D</sup> is used to simulate the parameters of the bolt support, including bolt pre-stress  $F$ , length  $L$ , density, anchoring mode, angle  $\alpha$ , steel protective plate and anchor cables. Then, design principles and scope of the bolt support are concluded with detailed supporting parameters on the basis of the real roadways.

**Key words:** mine pressure data; geomechanical parameters; numerical simulation; bolt support design

支护设计从根本上决定了矿井巷道的锚杆支护的安全性及稳定性,是煤矿安全生产的关键。当前,国内外不少学者对锚杆支护进行的大量研究:康红普等人<sup>[1]</sup>研究了不考虑地应力影响下的预应力锚杆支护的相关参数;侯朝炯等人<sup>[2]</sup>通过实验研究得出巷道锚杆支护强化了锚固区围岩强度,使围岩保持稳定;杨振茂等人<sup>[3-4]</sup>基于地应力,通过数值模拟、现场试验与监测和工程类比等方法对锚杆支护进行了优化,并得出适合我国煤矿的锚杆支护设计方法。目前李雅庄煤矿 2-6071 巷存在高地应力和受采动影响的支护难题,为保证本巷支护能够满足巷道服务年限,故特对 2-6071 巷进行专项支护设计。

### 1 2-6071 巷地质概况

2-6071 巷位于 2-607 工作面,埋藏深度 516 m ~

617 m,设计长度 1 417 m。

煤岩层情况:2-6071 巷设计沿 2<sup>#</sup> 煤顶板掘进,2<sup>#</sup> 煤层平均厚度 3.3 m,煤层强度为 13.96 MPa,直接顶为 0~2.8 m 的层理发育砂质泥岩,老顶为 3 m ~6 m 的细砂岩,底板为细砂岩和泥岩,其顶底板岩层情况如表 1 所示。

表 1 顶底板岩层情况  
Table 1 Roof and floor strata

顶板名称	岩石名称	厚度/m	岩性特征
老顶	细砂岩	3.0~6.0	灰色中细砂岩,以石英、长石为主,钙质胶结
直接顶	砂质泥岩	0~2.87	灰色-深灰色砂质泥岩,层理发育,夹细煤纹颗粒
直接底	细砂岩	0~2.5	灰色细砂岩,水平层理

\* 收稿日期:2018-05-07

作者简介:李啸天(1986—),男,山西寿阳人,大学本科,工程师,从事煤矿巷道支护技术研究工作。

## 2 地质力学测试

在李雅庄矿六采区进行了3个测站的地质力学测试:第一测站位于2-6091系统巷80 m处;第二测站位于六采区轨道下山巷2 200 m处;第三测站位于2-6081巷。第二测站位于2<sup>#</sup>煤层上方2.1 m处,第三测站位于2<sup>#</sup>煤层中,选择第三测站地质力学参数指导6071巷支护参数设计。测站具体位置见图1。

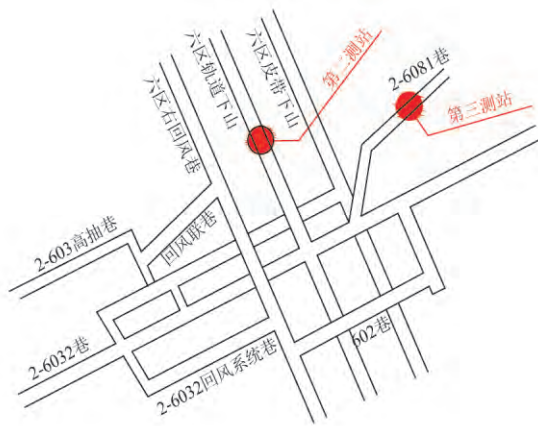


图1 地质力学测站位置示意图

Fig.1 The location of the geo-mechanical survey stations

通过测站的数据可知:

1)顶板岩层结构情况:①0~4.0 m为粉砂岩,灰色,裂隙发育,0.3 m~0.5 m和2.7 m~3.3 m处为纵向裂隙,1.1 m和1.4 m处裂隙明显,岩层完整性较差;②4.0 m~7.2 m为细砂岩,灰色,4.0 m~4.6 m处为纵向裂隙,4.6 m~5.5 m处该段岩层完整,5.5 m处裂隙明显,5.5 m~6.5 m处该段岩层完整,6.5 m~6.8 m处破碎;③7.2 m~9.7 m为砂质泥岩,灰色,7.2 m~8.4 m处裂隙发育,岩层完整性差,8.4 m~9.5 m处该段岩层较完整,9.5 m~9.7 m为煤线;④9.7 m~10.6 m为砂岩,灰白色,裂隙发育,岩层完整性较差。

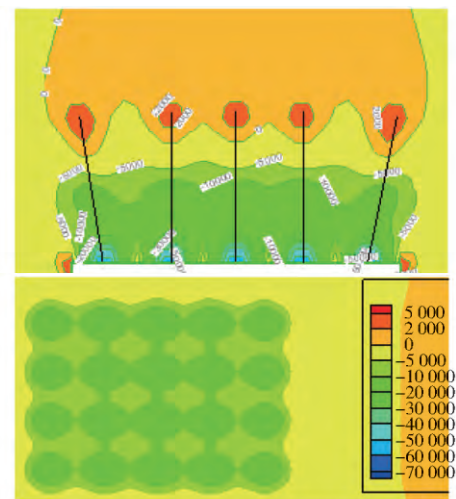
2)通过围岩强度测试可得:2号煤层顶板以上0~4.0 m为粉砂岩,岩层强度平均值为54.11 MPa,4.0 m~7.2 m为细砂岩,岩层强度平均值为52.01 MPa,7.2 m~9.7 m为砂质泥岩,岩层强度平均值为34.20 MPa,9.7 m~10.0 m为砂岩,岩层强度平均值为95.55 MPa。测站处2号煤煤体较完整,经计算煤体强度平均值为13.96 MPa。

3)通过地应力测量,初步分析2-6071巷附近应力场属于 $\sigma_V > \sigma_H > \sigma_h$ 型应力场。

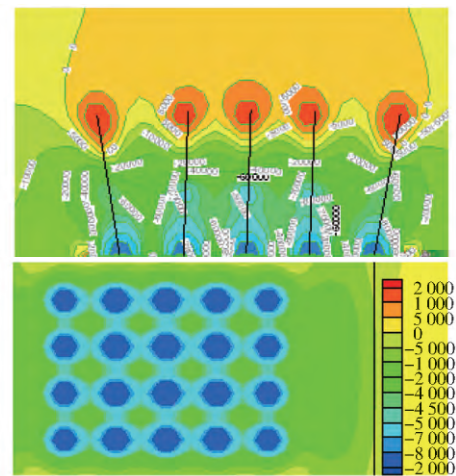
## 3 锚杆支护参数的选取

### 3.1 锚杆预应力 $F$

为了分析预应力对支护效果的影响,根据矿井实际资料,选择锚杆预应力  $F$  分别为20 kN(低)、100 kN(高)下进行分析,图2为各自条件下形成的附加应力场。



2-a  $F=20$  kN



2-b  $F=100$  kN

图2 不同预应力  $F$  下的附加应力场分布

Fig.2 Distribution of additional stress field under different pre-stress  $F$

在锚杆支护系统中,预应力是影响支护效果好坏最关键的参数。通过比对图2-a和图2-b,可以看出,预应力大小锚杆附加应力场分布有着明显地影响。图2-a中预应力过低,其对应的附加应力场整体值过低,所对应的压应力的影响区域过小,使之有效压应力区域不能形成一个整体存在;而图2-b中预应力高,其对应的附加应力场整体值高,所对应的压应力的影响区域大,造成有效压应力区构成一个整体,影响了整个顶板,这样完全地运用了锚杆的主

动支护。因此,为了保证支护效果良好,其锚杆预应力  $F$  的最佳区间为:  $[30\% \sigma_s, 50\% \sigma_s]$ , 其中  $\sigma_s$  表示锚杆杆体的材料屈服强度。

### 3.2 锚杆长度 $L$

不同锚杆长度  $L$  分别为 1.8 m、2.4 m、2.8 m 时,其形成的附加应力场见图 3。

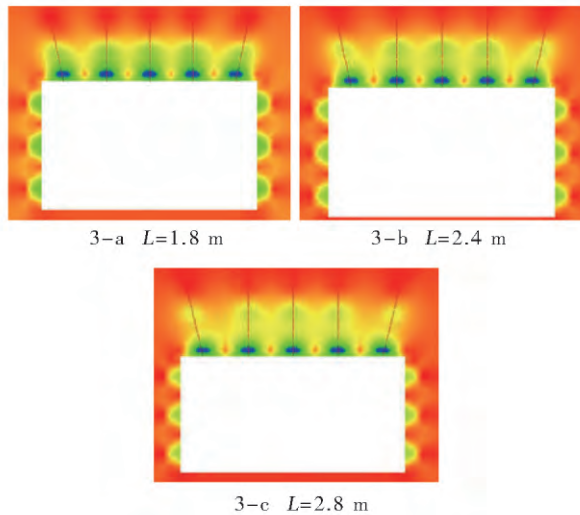


图 3 不同锚杆长度  $L$  下的附加应力场分布  
Fig. 3 Distribution of additional stress field under different bolt length  $L$

对比分析图 3-a、图 3-b 和图 3-c 可得出:随着锚杆长度  $L$  变大,锚杆作用范围扩大,即其对应的压应力影响的区域与厚度变大;但随着  $L$  进一步的变大,锚杆的中上部及两锚杆之间中部围岩的压应力在减小,这表明当预应力  $F$  固定时,锚杆  $L$  越长,预应力的影响越弱,越不能利用锚杆的主动支护,即当锚杆  $L$  越长时,为保证其支护效果良好,其对应的锚杆预应力  $F$  也越大。因此,要综合考虑锚杆预应力、强度来确定合适的锚杆长度  $L$ ,这样才能形成有效的支护系统,确保井下安全工作。

### 3.3 锚杆密度(锚杆间距)

不同锚杆密度下(单根、间距 1.4 m、间距 1 m、间距 0.8 m),其形成的附加应力场见图 4。

通过分析图 4-a、图 4-b、图 4-c 和图 4-d,可看出:当预应力保持固定时,单根锚杆的压应力分布呈“类似锥形”,即压应力在锚杆自由段中部较小、在锚固起始处附近次之、在锚固尾部附近最大,锚杆端部处于近零应力和较小的拉应力状态。锚杆量过于少时,单根锚杆形成的“类似锥形”压应力区域呈各自独立状态,无法形成整体,支护效果极差。随着锚杆密度增大,每个锚杆各自的“类似锥形”压应力区域逐渐靠近,其支护形态形成一个越来越稳固的整体

支护结构,支护效果也越来越好,当锚杆密度达到临界值,其对有效压应力区扩大、锚杆预应力的扩散作用影响明显减弱,其支护效果反而降低。

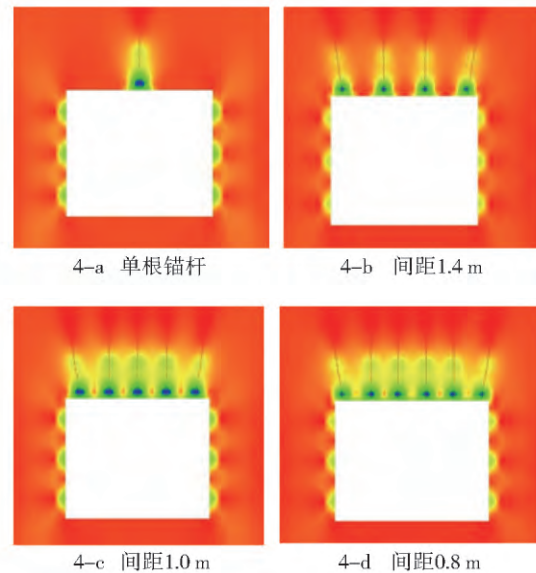


图 4 不同锚杆间距的附加应力场分布  
Fig. 4 Distribution of additional stress field under different bolt intervals

### 3.4 锚固方式

不同锚固方式下(端部锚固、加长锚固、全长锚固),其形成的附加应力场见图 5。

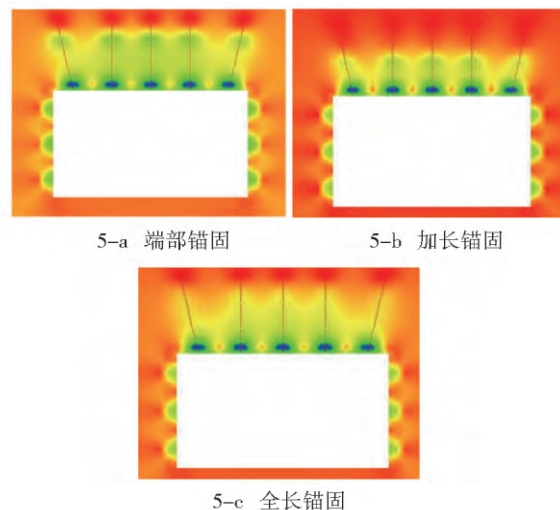


图 5 不同锚固方式锚杆的附加应力场分布  
Fig. 5 Distribution of additional stress field under different anchorage modes

通过图 5 可以看出锚固方式对锚杆附加应力场分布有着明显地影响:图 5-a 的端部锚固压应力分布区大致呈“葫芦”型,即其预应力的影响区域较大,而锚杆自由段的中部压应力相对较小;图 5-b 的加长锚固压应力分布区大致呈“锥形”型,即对应的预应力影响区域比端部锚固小,对应的有效压应力区

厚度小;图 5-c 的全长锚固压应力分布区大致呈“高脚杯”型,即相对端部锚固和加长锚固,其预应力影响区域与有效压应力区厚度最小;故端部锚固的效果最好。

### 3.5 锚杆角度 $\alpha$

与垂线不同的锚杆角度  $\alpha$  分别为  $0^\circ$  (垂直布置)、 $10^\circ$ 、 $30^\circ$  时,其形成的附加应力场见图 6。

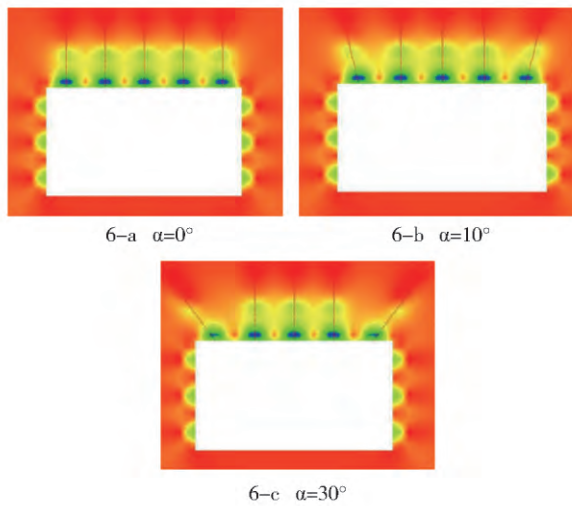


图 6 不同锚杆角度  $\alpha$  的附加应力场分布  
Fig. 6 Distribution of additional stress field under different bolt angles  $\alpha$

由图 6 可明显看: $\alpha=0^\circ$  (垂直布置) 时,锚杆预应力影响的效果最好,即角锚杆与中部锚杆出现的有效压应力区域的叠加面积最大,对应的压应力分布均匀且区域的厚度大,基本上覆盖了 95% 以上的顶板锚固区;但是随着角度  $\alpha$  的变大,角锚杆与中部锚杆组成的有效压应力区域不断分开,二者叠加的面积越来越小,当达到临界角度  $15^\circ$  时,角锚杆与中部锚杆形成的压应力区明显分开,二者叠加的面积为零;继续加大锚杆角度  $\alpha$ ,角锚杆与中部锚杆变成各自独立的状态,支护效果越来越差。因此,在近水平煤层巷道中,最好垂直布置,在实际井下施工时,其最大角度  $\leq 10^\circ$ 。

### 3.6 钢护板的作用

有、无钢护板的锚杆支护附加应力分布见图 7。从图中可得出:

1) 有钢护板时,锚杆形成的有效压应力区在沿钢护板的方向呈明显增大的变化。在顶板表面附近,有效压应力区呈椭圆形分布,相互连接,形成连续的有效压应力带,预应力扩散范围大,锚杆能有效支护锚杆之间的围岩。

2) 而无钢护板时,锚杆形成的有效压应力区是

彼此独立的,相互不连接,锚杆之间的压应力很小,预应力扩散范围小,不能有效支护锚杆之间的围岩。

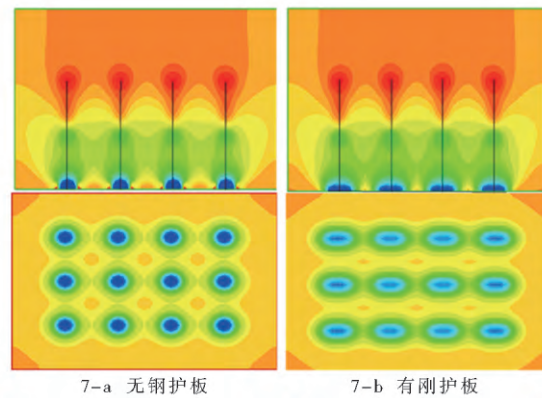


图 7 有无钢护板的附加应力场分布  
Fig. 7 Distribution of additional stress field with or without steel protective plate

3) 钢护板可有效地对锚杆预应力进行扩散,明显增强了对锚杆之间围岩的支护作用,显著增强了支护系统的整体支护效果。

### 3.7 锚索的作用

锚杆与锚索支护、锚索支护下的附加应力场分布见图 8。

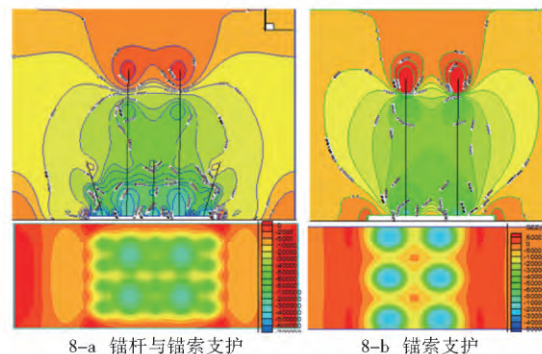


图 8 锚杆与锚索支护、锚索支护的附加应力场分布  
Fig. 8 Distribution of additional stress field in boltcable support and cable support

由图 8 可明显看出,锚索的作用主要有两方面:

1) 将深部围岩与锚杆支护形成的次生承载结构形成一个整体,提高其次生承载结构的稳定性,即更好地利用深部围岩的承载能力,使更大范围内的岩体共同承载支护。

2) 锚索施加一定的预紧力,提供有效压应力(图 8-b),与锚杆形成的压应力区形成整体的骨架网络结构(图 8-a),保持围岩完整性,使围岩强度不降低。

## 4 相关支护参数

结合邻近巷道矿压数据、地质力学参数及 2-6071 巷实际情况,对 2-6071 巷进行具体的支护设

计:其断面设计为矩形断面,掘宽 5 m,掘高 3.9 m,掘进断面 19.5 m<sup>2</sup>。

#### 4.1 顶板支护

1) 锚杆每排布置 6 根,间排距为 900 mm×900 mm;杆体为  $D 22$  mm 左旋无纵筋螺纹钢,长度 2.5 m,钢材屈服强度为 335 MPa,杆尾螺纹为 M24,螺纹长度 150 mm,配高强度螺母,预紧扭矩不低于 300 Nm;采用一支规格为 CK2340,另一支规格为 Z2360;钻孔直径为 28 mm,锚固长度为 1 370 mm。

2) 托板采用拱型高强度托,规格为:150 mm×150 mm×8 mm,托板高不低于 38 mm,力学性能与杆体相匹配,配调心球垫和减摩垫圈;单体锚杆配 W 钢护板,规格为厚度 4 mm,宽 280 mm,长度 450 mm。

3) 锚索每排布置 3 根,间排距 1 500 mm×1 800 mm,锚索安装在两排锚杆间顶板中部;锚索材料为  $D 21.6$  mm,1×7 股高强度低松弛预应力钢绞线,长度 6.3 m;锚索张拉预紧力不低于 160 kN;钻孔直径为 28 mm,采用 1 支 KC2340 和 2 支 Z2360

树脂锚固剂锚固,锚固长度 2 192 mm;采用 300 mm×300 mm×14 mm 拱形高强锚索托板,托板高不低于 60 mm,配调心球垫。

4) 锚杆、锚索角度要求沿帮部法线方向施工(包括肩角、底角锚杆),误差不得大于 5°。

#### 4.2 巷帮支护

1) 锚杆每排布置 3 根,间排距为 800 mm×900 mm;其他设计参数和顶板支护的均一致。

2) 煤柱侧帮部施工锚索,锚索为“一·二”布置,排距 1 800 mm,2 根时间距为 1 500 mm,1 根时布置在帮中部。

### 5 结束语

通过李雅庄矿邻近巷道矿压数据及 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟,得出了 2-6071 巷锚杆相关支护参数设计原则与范围,并结合邻近巷道矿压数据、地质力学参数及 2-6071 巷实际情况给出了具体的 2-6071 巷支护参数。由于 2-6071 巷暂时不具备矿压监测条件,故锚杆支护参数设计为初始设计。

#### 参考文献:

- [1] 康红普,姜铁明,高富强. 预应力锚杆支护参数的设计[J]. 煤炭学报,2008(7):721-726.  
KANG Hongpu,JIANG Tieming,GAO Fuqiaag. Design for Pretensioned Rock Bolting Parameters[J]. Journal of China Coal Society,2008(7):721-726.
- [2] 侯朝炯,勾攀峰. 巷道锚杆支护围岩强度强化机理研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000(3):342-345.  
HOU Chaojiong,GOU Panfeng. Mechanism Study On Strength Enhancement For the Rocks Surrounding Roadway Supported by Bolt[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2000(3):342-345.
- [3] 杨振茂,马念杰,孔恒,等. 以地应力为基础的锚杆支护设计方法[J]. 岩石力学与工程学报,2003(2):270-275.  
YANG Zhenmao,MA Nianjie,KONG Heng,et al, Design Method of Bolt Support for Coal Seam Roadway Based on Geostress [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2003(2):270-275.
- [4] 王卫军,侯朝炯. 回采巷道煤帮锚杆支护可靠性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2001(6):813-816.  
WANG Weijun,HOU Chaojiong. Reliability Analysis on Coal Wall Bolting of Extraction Gallery[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2001(6):813-816.

(编辑:樊 敏)