

DOI: 10.3969/j. issn. 1001-3881. 2016. 07. 036

## ZZ13000/28/60 型液压支架的设计与仿真分析

宣宏斌<sup>1,2</sup>, 廉红珍<sup>3</sup>, 寇子明<sup>1</sup>

(1. 太原理工大学机械工程学院, 山西太原 030024;

2. 大同煤矿集团晋华宫矿, 山西大同 037016;

3. 太原城市职业技术学院机电工程系, 山西太原 030027)

**摘要:** 针对大同矿区 6 m 厚煤层和“两硬”煤层条件, 建立了支架与工作面围岩的力学关系模型, 依据 12 号煤层其他工作面现场经验、矿山压力显现监测和相应的计算公式, 确立了支架的工作阻力。为保证支架的支护强度, 对支架支撑能力和支撑顶板比压进行了计算。基于三维建模软件 SolidWorks 和分析软件 COSMOS 建立了液压支架虚拟样机并进行了动态仿真分析, 对支架双扭线进行了优化, 对切顶力与采高关系和支护强度与采高的关系进行了分析。结果表明: 支架的切顶力达到 7 222.8~8 235.95 kN 时, 支架具有良好的切顶效果和支护效果; 支架的梁端距在 52.077~63.298 cm 间变化较好; 支护强度达到 1.26~1.36 MPa 时, 支撑效率较高。

**关键词:** ZZ13000/28/60 型液压支架; 力学模型; 切顶力; 梁端距; 支护强度

**中图分类号:** TD355.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3881 (2016) 07-143-4

### Design and Simulation Analysis of ZZ13000/28/60 Type Hydraulic Support

XUAN Hongbin<sup>1,2</sup>, LIAN Hongzhen<sup>3</sup>, KOU Ziming<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi 030024, China;

2. Jinhuaogong Mine; Datong Coal Mine Group, Datong Shanxi 037016, China; 3. Department of Mechanical and Electronic Engineering, Taiyuan City Vocational College, Taiyuan Shanxi 030027, China)

**Abstract:** By directed against 6 m thick coal seam in mining area and the “Two-hard” coal seam conditions, the mechanical relationship model between the support and the surrounding rock of the working face was established. According to the on-site experience in other working face of No. 12 coal seam, coupled with the mining pressure monitoring display and the corresponding calculation formula, the working resistance of support was established. In order to ensure the support strength of the support, the support ability of support and than the pressure of supporting roof were calculated. Based on three dimensional (3D) modeling software of SolidWorks and analysis software of COSMOS, the virtual prototyping of hydraulic support was established and carried on dynamic simulation analysis. The support four connecting rod mechanism's design of double twisting lines was optimized. The relationship between top cutting fore and mining height, and the relationship between support strength and mining height were analyzed. The results show when the top cutting fore reached 7 222.78~8 235.95 kN, the support has a better roof cutting and supporting effect, the better variation distance of the beam end and support is 52.011~63.298 cm, and it has a higher efficiency when the support strength reached 1.26~1.36 MPa.

**Keywords:** ZZ13000/28/60 Type hydraulic support; Mechanical model; Top cutting fore; Distance of beam end; Support strength

## 0 前言

我国绝大多数高产高效的煤矿以厚煤层开采为主, 厚煤层储量占 44%, 而厚煤层采出的产量占 45% 以上<sup>[1]</sup>。煤矿厚煤层的开采一般采用综采放顶煤开采和大采高综采两种方式, 放顶煤开采广泛应用于 6~20 m 厚煤层一次采全高, 但存在采出率低、夹矸率高、煤尘大等许多难以解决的技术难题。对于 4~6 m 厚煤层, 尤其是在“顶板硬、煤硬(两硬)”条

件下的煤层<sup>[2]</sup>, 采用放顶煤开采具有技术难度较大和设备性价比不佳问题。相对而言, 采用大采高综采具有更好的技术和经济优势。

ZZ13000/28/60 型液压支架是针对大同矿区侏罗纪 6 m 厚煤层和“两硬”煤层条件而研制的坚硬顶板大采高液压支架。根据煤层其他采煤工作面矿压观测资料及矿压参数参考值, 建立支架与工作面围岩的力学关系模型, 确定合理的架型和架型参数, 并对支

收稿日期: 2015-03-31

作者简介: 宣宏斌 (1965—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为采煤机械及矿山机电。E-mail: zmkou@163.com。

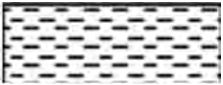
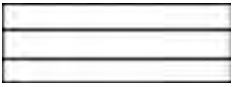


护强度进行计算与分析,设计出切顶能力强、抗冲击能力和稳定性好的液压支架。

### 1 工作面地质条件

大同矿区侏罗纪煤层煤体的坚硬度系数为  $f > 3.5$ ,顶板的坚硬度系数为  $f > 11$ 。工作面为 402 盘区 8210 工作面,所采煤层为 12 号层,位于 402 盘区巷

道的西侧,8210 工作面走向长度 1 700 m。工作面综合柱状图如表 1 所示,试验工作面顶板自下往上,伪顶为深灰色砂质页岩,夹薄层细砂岩,厚度为 0.9 m;直接顶为深灰色细砂岩,夹小层粉砂岩只在东部赋存,厚度为 2.3 m;基本顶为灰白色中粗砂岩,含  $FeS_2$  煤条,厚度为 18.2 m<sup>[3]</sup>。

表 1 402 盘区 8210 工作面综合柱状图

柱状图	层厚/m	累厚/m	岩性描述
	2.3	326.21	深灰色细砂岩,夹小层粉砂岩,只在东部赋存
	0.9	327.11	深灰色砂质页岩,夹薄层细砂岩
	5.7	323.81	12 号煤层,半量型,含 $FeS_2$ 和夹石
	18.2	323.91	灰白色中粗砂岩,含 $FeS_2$ 煤条

### 2 支架与工作面围岩的力学关系模型

支架支撑着直接顶,而基本顶的运动作用于支架上,使得支架发生压缩变形,支架位态的变化又影响着基本顶和直接顶运动。这种支架和围岩的相互作用决定着采场支架工作阻力值以及围岩运动规律,也决定着支架控制围岩的基本特征<sup>[4-5]</sup>。

如图 1 所示,支架与围岩相互作用的力学模型。为了便于分析,将支架和围岩简化为理想介质。基本顶 B 简化为刚体,在力学模型中起主动力作用,给定整个系统转动和滑移变化。直接顶 A 可视为损伤破裂体,而支架可视为弹性滑移体,它是控制采场围岩的主体,主要维护生产空间和围岩的稳定性。底板可视为弹性体。由于采高的增大,直接顶垮落矸石充填采空区的程度降低,直接顶和基本顶垮落和运移的空间增大,使得基本顶悬臂长度、回转角度和活动程度加强。

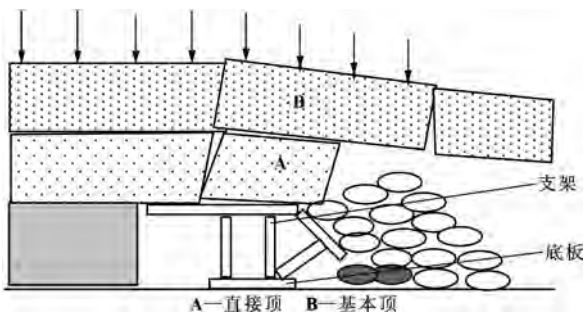


图 1 支架与围岩相互作用力学模型

### 3 支架关键参数确定

两柱掩护式支架虽结构简单、掩护性好、前端支护力大,但切顶力较小,不适用于 12 号煤层坚硬难冒厚砂岩顶板条件要求。四柱支撑掩护式支架具有承载力大、切顶能力强、抗冲击性强、稳定性好等特点。因此,大采高压液支架应采用四柱支撑掩护式基本架型进行设计。

#### 3.1 支架工作阻力计算

从对 12 号层煤层其他工作面采煤的实践观察、经验数据分析和研究来看,12 号煤层上覆顶板岩层分层厚度大、节理裂隙不发育,来压时强度大,动压强烈,具有典型的坚硬顶板特征,属难冒型顶板。经过对相似材料模拟试验的结果进行研究和分析表明:直接顶初次垮落步距 13 m,垮落厚度仅为 2 m。基本顶初次来压步距 33.5 m,周期来压步距大于 20 m,且基本顶活动层位高、整体性强,易形成悬顶,呈现了明显的坚硬顶板矿压显现特征。

(1) 采用基本顶延米支护阻力公式计算支架工作阻力

基本顶延米支护阻力  $R_H$  是按照 MT554-1996IV 级基本顶延米支护阻力下限计算公式进行计算<sup>[6]</sup>。

$$R_H = (241.3 \sin L_0 + 52.6 h_m - 15.5 N - 455) B \cdot C_K \quad (1)$$

在灰白色中粗砂岩顶板厚度在 18.2 m 的一般条件下,代入有关数据得:

$$R_H = (241.3 \sin 35 + 52.6 \times 5.7 - 15.5 \times 2.3 - 455) \times$$

$6.7 \times 1.5 = 6\ 704\ \text{kN/m}$

式中:  $L_0$  为初次来压步距, 35 m;  $h_m$  为采高, 选 5.7 m, 软岩直接顶厚度, 选 2.3 m;  $B$  为最大控顶距, 6.7 m;  $C_k$  为载荷系数取 1.5。

支架中心距按 1.75 m 考虑, 则每架工作阻力下限为 11 732 kN。

(2) 根据赵宏珠教授<sup>[7]</sup>研究, 基本顶来压强度计算公式

$$p = \frac{100h_m}{1.2h_m + 2} \gamma \cdot S \cdot C \quad (2)$$

式中:  $h_m$  为采高, 选 5.7 m;  $\gamma$  为岩重, 取 28 kN/m<sup>3</sup>;  $S$  为支护面积;  $C$  为修正系数, 取 0.5。

代入相关数据得:

$$p = 10\ 584\ \text{kN}$$

(3) 依据大采高顶板控制力学模型计算

$$p = 4h_m B \gamma (L + 2h_m \cot \alpha) \quad (3)$$

式中:  $h_m$  为采高, 取 5.7 m;  $L$  为最大控顶距, 取 6.7 m;  $\alpha$  为岩层破断角, 取 60°。

代入相关数据得:

$$p = 13\ 200\ \text{kN}$$

如图 2 所示, 采用尤洛卡综采压力自动记录仪支架在各种工况下的初撑力和工作阻力, YHY-60A 光控数字压力计安装在综采支架上, 通过高压油管与前后立柱连接, 连续记录支架的压力情况。

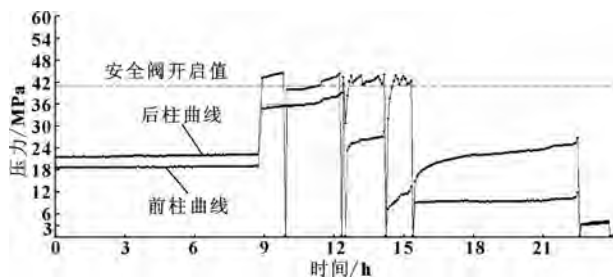


图 2 ZZ13000/28/60 型四柱支撑掩护式液压支架原始压力曲线

试验现场矿山压力显现监测结果表明: 8210 工作面综采过程中, 基本顶初次来压步距 36 m, 周期来压步距平均 20 m, 基本顶来压强烈, 支架承受较大冲击载荷, 尤其是在煤柱附近工作面来压强度剧烈, 支架最大工作阻力达到 43~45 MPa, 设计选择的架型及工作阻力参数是基本合理的<sup>[8]</sup>。

### 3.2 支架支护强度计算

(1) 支架合理的支护强度的设计

采用经验公式计算

$$Q_1 = 9.81 \cdot h_m \cdot \gamma \cdot k \quad (4)$$

式中:  $Q_1$  为工作面合理支护强度, kN/m<sup>2</sup>;  $h_m$  为采

高, 取 5.7 m;  $\gamma$  为顶板岩石容重<sup>[9-10]</sup>, 取 2.5 t/m<sup>3</sup>;  $k$  为工作面支架应该支护的上覆岩层厚度与采高之比, 一般取 4~8, 煤层较薄, 顶板条件好, 周期来压不明显取低倍数, 反之取高倍数。

$$Q_1 = 9.81 \cdot h_m \cdot \gamma \cdot k = 9.81 \times 5.7 \times 2.5 \times 8 = 1\ 118.3\ \text{kN/m}^2$$

工作面合理支护强度  $Q_1$  确定为 1 120 kN/m<sup>2</sup>。

(2) 支架支撑能力的计算

$$R_1 = K_g \cdot K_z \cdot K_b \cdot K_h \cdot K_a \cdot R =$$

$$0.99 \times 0.95 \times 0.9 \times 0.9 \times 1.0 \times 13\ 000 = 9\ 903.465\ \text{kN} \quad (5)$$

式中:  $K_g$  为工作系数, 取 0.99;  $K_z$  为增阻系数, 取 0.95;  $K_b$  为不均匀系数, 取 0.9;  $K_h$  为采高系数, 取 0.9;  $K_a$  为倾角系数, 取 1.0;  $R$  为支架工作阻力, 取 13 000 kN。

(3) 支架支撑顶板比压

$$P = R_1 / F = 9\ 903.465 / 8.98 = 1\ 102.84\ \text{kN/m}^2 = 1.10284\ \text{MPa} \quad (6)$$

式中:  $F$  为支架最大支护面积, 初步设计取 8.98 m<sup>2</sup>。

支架支撑顶板比压  $P$  与合理的支护强度  $Q_1$  相近, 可见, 支架工作阻力的确定与工作面合理支护强度相吻合, 按此数据设计的支架及选用的结构件材料能够满足工作面的支护要求。

## 4 支架仿真分析

在 ZZ13000/28/60 型支架的设计中, 采用三维建模软件 SolidWorks 和分析软件 COSMOS 建立了液压支架虚拟样机并进行了动态仿真分析, 对支架进行了四连杆机构优化设计, 得到支架切顶力随采高变化曲线、梁端距随采高的变化曲线和支护强度随采高的变化曲线, 选择合理的参数使支架平稳运行, 且具有很好的切顶和支护效果。

(1) 切顶力与采高的仿真分析

如图 3 所示为 ZZ13000/28/60 型液压支架切顶力随采高变化曲线。

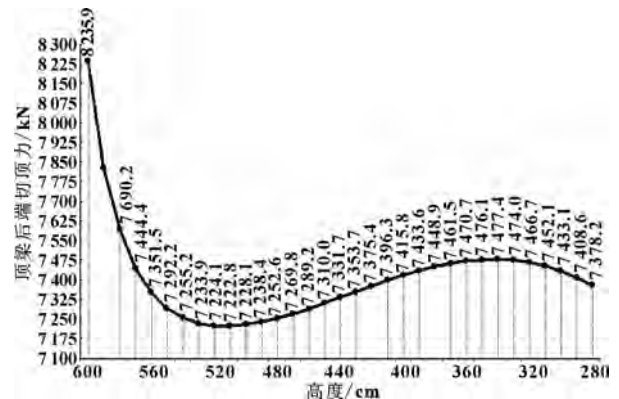


图 3 ZZ13000/28/60 型液压支架切顶力随采高变化曲线

从图中可以看出，切顶力随采高的增加先逐渐减小，当采高达到 5.6 m 以上时切顶力急剧增加。当采高为 6 m 时，切顶力达到 8 235.95 kN。当采高维持在 5~6 m 时，支架的切顶力达到 7 222.8~8 235.95 kN，支架的切顶力较大，确保支架具有良好的切顶效果和支护效果好。

(2) 梁端距与采高的仿真分析

如图 4 所示为 ZZ13000/28/60 型液压支架梁端距随采高变化曲线。从图中可以看出，四连杆轨迹自上而下呈双扭线变化。当采高在 2.8~6 m 变化时，支架的梁端距在 52.077~63.298 cm 之间变化，使支架前端点与煤壁间的距离变化大大减小，有利于顶板管理。

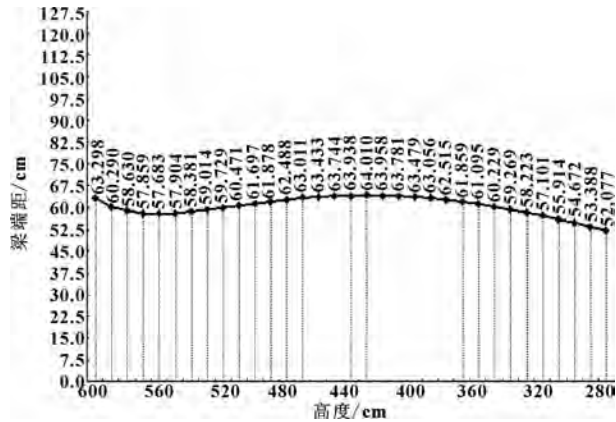


图 4 ZZ13000/28/60 型液压支架梁端距随采高变化曲线

(3) 支护强度与采高的仿真分析

如图 5 所示为 ZZ13000/28/60 型液压支架支护强度随采高变化曲线。从图中可以看出，当采高在 2.8~6 m 变化时，支护强度达到了 1.26~1.36 MPa，支撑效率较高。

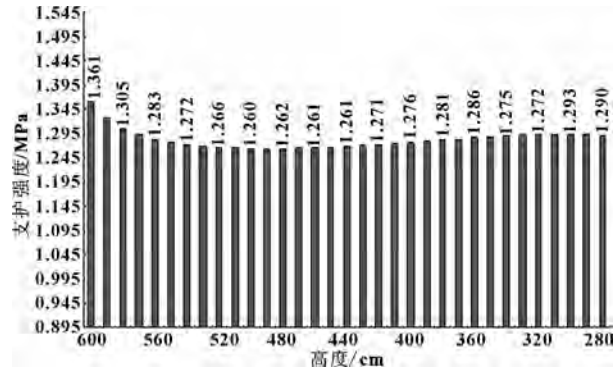


图 5 ZZ13000/28/60 型液压支架支护强度随采高变化曲线

5 结束语

针对大同煤矿坚硬顶板、坚硬煤层条件及 6 m 厚煤层的条件，并通过理论计算与试验现场监测，确定

支架工作阻力、支护强度等技术参数。采用大采高 ZZ13000/28/60 型液压支架，此支架支护强度高、工作阻力大、工作稳定性好，具有很强的切顶能力、抗冲击能力。

采用 COSMOS 分析软件对支架整体参数进行优化，在切顶力与采高关系曲线中，支架的切顶力达到 7 222.8~8 235.95 kN 时，支架具有良好的切顶效果和支护效果好；在支架四连杆机构运动轨迹曲线中，支架的梁端距在 52.077~63.298 cm 之间变化较好；在支护强度与采高的关系曲线中，支护强度达到 1.26~1.36 MPa 时，支撑效率较高。

参考文献:

- [1] 郭振兴.大采高采场围岩控制及支架稳定性研究[D].西安:西安科技大学,2010.
- [2] 王明明,武维承,勾靖国.坚硬顶板大采高 ZZ13000/28/60 型液压支架受力分析[J].山西大同大学学报:自然科学版,2012,28(5):65-67,70.
- [3] 宋银林.同煤集团坚硬顶板特厚煤层 6 m 一次采全高液压支架研究[J].煤矿开采,2012,17(4):38-40,59.
- [4] 魏锦平,宋选民,靳钟铭,等.综放采场围岩复合结构力学模型及其控制研究[J].湘潭矿业学院学报,2003,18(2):5-8.
- [5] 史元伟.综放工作面围岩动态及液压支架载荷力学模型[J].煤炭学报,1997,22(3):253-258.
- [6] 宋德军.“两硬”条件大采高液压支架工作阻力计算[J].太原理工大学学报,2006(9):568-570.
- [7] 赵宏珠.综采面矿压与液压支架设计[M].徐州:中国矿业大学出版社,1987.
- [8] 苏林军.大采高综放液压支架的设计研究[J].煤矿开采,2010,15(3):77-79.
- [9] 薛仁龙,单春海,魏成刚,等.大采高液压支架设计与稳定性研究[J].煤矿机械,2012,33(2):23-25.
- [10] 郭朋星,赵辉.大采高液压支架选型及适应性分析[J].煤炭技术,2010,29(12):4-6.

**欢迎订阅!**  
**欢迎投稿!**  
**欢迎刊登广告!**  
<http://www.jeyyy.com.cn>