

急倾斜厚煤层水平分段放顶煤开采液压支架选型

刘文郁

(中煤科工集团工程科技有限公司, 北京 100013)

[摘要] 针对阿刀亥煤矿 Cu_2 煤层为急倾斜厚煤层的实际情况, 采取了水平分段综合机械化放顶煤开采工艺, 通过估算法和数值模拟法对液压支架选型进行了对比分析, 得出阿刀亥煤矿 Cu_2 煤层合理支护强度为 0.7MPa; 经过研究决定, 工作面中部支架选型定为 ZF3800/17/28 支撑掩护式放顶煤液压支架, 放顶煤过渡支架选型定为 ZFG3800/17/28H 型。结果表明: 架型参数合理, 满足了工作面回采需要。

[关键词] 急倾斜厚煤层; 液压支架选型; FLAC^{3D}; 数值模拟

[中图分类号] TD355.42 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225(2016)01-0050-03

Hydraulic Support Selection for Horizontal Section Top Coal Caving in Steep-inclined and Extremely Thick Seam

急倾斜煤层是指工作面倾角在 45° 以上的煤层, 厚煤层是指煤层厚度在 3.5m 以上的煤层, 这类煤层占我国煤田开发总数的 40% 以上, 赋存较为广泛。在我国国有重点矿井开采急倾斜厚煤层的矿井数量占国有重点矿井总数的 17% 左右, 地方矿井开采急倾斜厚煤层的矿井数量占地方矿井总数的 40% 左右^[1]。由于受煤层的赋存条件、煤层结构、地应力分布等因素影响, 急倾斜厚煤层开采方法多种多样。急倾斜厚煤层水平分段放顶煤开采时, 由于受煤层厚度的限制, 工作面长度一般比较短。根据煤层的赋存特征, 当开采急倾斜厚煤层的工作面长度确定后(这种煤层的工作面长度一般比较短), 增加煤炭产量的主要方法是提高水平分段的高度(18~25m 一般是比较合理的水平分段高度)^[2-5]。在急倾斜厚煤层水平分段开采中, 合理地提高分段高度可以简述为“三低一高”: 降低了掘进成本和百万吨掘进率; 减少了搬家倒面次数; 提高了单位推进度的煤炭产量^[6-8]。依据急倾斜厚煤层综放工作面的矿压显现及围岩活动规律, 结合液压支架的选择原则, 为阿刀亥煤矿 0.9Mt/a 综放工作面进行了合理的液压支架设备选型, 为类似条件工作面选型提供参考。

1 工作面概况

阿刀亥煤矿 Cu_2 煤层采用水平分段综合机械化放顶煤开采, 机采高度定为 2.6m, 放煤高度

13.4m, 工作面采煤设备按照 0.9Mt/a 能力设计, 工作面长度 63m。矿井主采煤层为石炭二迭纪 Cu_2 煤层, 煤层平均厚度 60m, 煤层倾角一般在 70° 以上。煤层瓦斯含量 $6.25m^3/t$, 瓦斯压力 0.6MPa。煤尘具有爆炸性, 爆炸指数 $18.07\% \sim 20.65\%$ 。煤层自燃倾向性等级为 II 级, 为自燃煤层。开采过程中绝对瓦斯涌出量为 $25.916m^3/min$, 相对瓦斯涌出量为 $13.049m^3/t$, 属高瓦斯矿井。考虑到阿刀亥煤矿煤层瓦斯相对涌出量较大, 该工作面瓦斯含量较高, 采用放顶煤工艺进行开采之前采取了瓦斯抽放的办法来降低矿井瓦斯, 采用的瓦斯抽放方法包括顶板高位抽放、本煤层抽放和挂耳巷抽排等。

2 急倾斜厚煤层液压支架选型

2.1 煤矿液压支架选型设计

针对阿刀亥煤矿已有支架的使用情况, 支架采用整体顶梁带伸缩梁结构。由于工作面长度较短, 支架中心距确定为 1.25m。结合该煤矿 Cu_2 煤层实际情况, 支架架型选用四柱低位放顶煤支架。

2.2 液压支架支护强度确定

2.2.1 估算法^[9]

该估算法建立在液压支架工作阻力基础之上, 工作面支护强度采用经验公式计算:

$$P_1 = 9.81hrk \quad (1)$$

式中, P_1 为工作面合理的支护强度, kN/m^2 ; h 为放

[收稿日期] 2015-08-24

[作者简介] 刘文郁(1972-), 男, 内蒙古凉城人, 硕士, 高级工程师, 现任中煤科工集团工程科技有限公司副总经理, 研究方向为矿山压力及其岩层控制。

[引用格式] 刘文郁. 急倾斜厚煤层水平分段放顶煤开采液压支架选型 [J]. 煤矿开采, 2016, 21(1): 50-52, 36.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.01.013

顶高度, m; r 为顶板岩石密度, 1.54t/m^3 ; k 为工作面上覆岩层厚度与采高之比, 一般为 $2 \sim 8$, 对于急倾斜短壁综采放顶煤工作面一般选 $2 \sim 3$ 。

$$P_1 = 9.81hrk = (9.81 \times 13.4 \times 1.54 \times 3) = 607.3 \text{ (kPa)} = 0.61 \text{ (MPa)}$$

2.2.2 数值模拟法^[10-12]

运用 FLAC^{3D} 数值模拟软件, 建立阿刀亥煤矿三维数值模型: 模型的长 \times 宽 \times 高 = $800\text{m} \times 600\text{m} \times 1000\text{m}$ 。煤岩层共分为 11 层, 倾角为 70° 。煤岩层的物理力学参数见表 1。

表 1 阿刀亥煤矿煤岩体物理力学参数

层位	岩性	厚度/m	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	弹性模量/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/ $(^\circ)$	泊松比
1	混合岩	130	2517	45.0	3.05	18000	15.40	33.2	0.31
2	粗砂岩	15	2521	50.0	3.45	19000	16.80	35.4	0.30
3	细砂岩	15	2548	53.0	3.48	19022	17.20	35.7	0.30
4	灰岩	30	2480	34.0	3.21	17645	15.60	32.4	0.34
5	粉砂岩	15	2239	46.0	3.32	16547	14.70	32.7	0.35
6	砂质泥岩	10	2432	14.0	2.25	11200	13.00	30.3	0.32
7	泥岩	10	2237	12.0	2.21	10958	12.00	30.2	0.34
8	煤层	60	1400	6.3	0.65	1200	1.65	28.9	0.38
9	泥岩	10	2437	15.0	2.27	10932	13.00	30.2	0.32
10	砂岩	5	2519	18.0	2.38	2330	3.50	37.5	0.29
11	混合岩	150	2578	58.0	4.40	2200	3.72	35.8	0.30

为了在数值分析中体现这种综放面工程地应力的规律, 采用快速应力边界法 (S-B 法) 来模拟煤矿综采面的初始地应力场。根据岩石力学理论进

行分析, 并结合现场测试所得的资料, 本次数值分析初始计算采用弹性模型, 开挖计算采用摩尔-库伦本构模型。模拟结果见图 1。

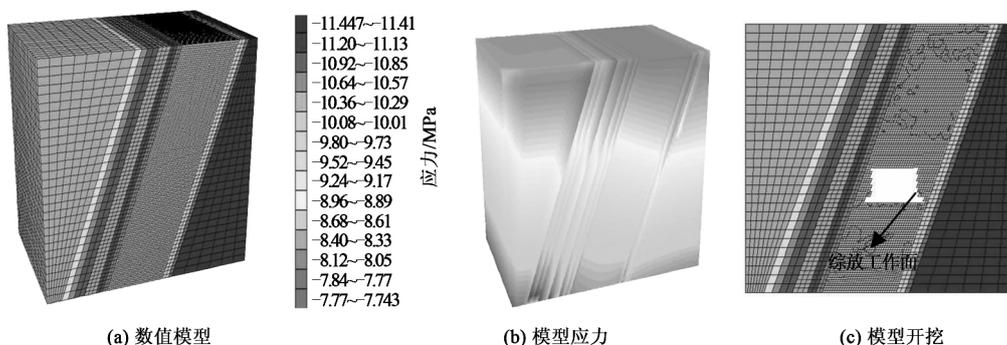


图 1 阿刀亥矿 Cu_2 煤层综放工作面开采模拟

该数值模拟法建立在液压支架与围岩相互作用关系基础之上, 针对阿刀亥煤矿 Cu_2 煤层的赋存条件及模拟的上覆围岩的应力分布规律, 运用 FLAC^{3D} 对其 Cu_2 煤层开采构建数值模拟模型, 从图 1 (b) 可以看出阿刀亥煤矿急倾斜厚煤层的应力分布自上而下逐渐增加, 符合地应力规律。

图 2 为不同支护强度与控顶区顶板下沉位移关系曲线。

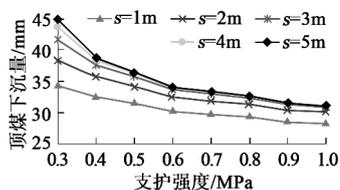


图 2 不同支护强度与控顶区顶板下沉位移关系曲线

分析图 2 可知 (s 为距工作面煤壁距离), 液压支架支护强度为 0.7MPa 时是对顶煤下沉影响的一个拐点。由此可以判断出, 该煤矿 Cu_2 煤层开采综放支架的合理支护强度应为 0.7MPa 。

3 液压支架主要技术参数及结构特点

3.1 工作面中部液压支架选型

3.1.1 液压支架技术参数

工作面中部支架选型为 ZF3800/17/28 支撑掩护式放顶煤液压支架, 工作阻力 3800kN , 最低高度 1.7m , 最大高度 2.8m , 采高 $1.9 \sim 2.6\text{m}$ 。液压支架主要技术参数见表 2。

3.1.2 液压支架主要结构特点

(1) 架型稳定性好, 具有足够的抗扭能力, 安全可靠。该架型为正四连杆支撑掩护式低位放顶

表 2 ZF3800/17/28 型液压支架主要技术参数

名称	参数	名称	参数
高度/mm	1700~2800	底板比压 (前端)/MPa	0.94~1.33
中心距/mm	1250	推溜力/拉架力 ($P=31.5\text{MPa}$)/kN	272/360
宽度/mm	1180~1350	移架步距/mm	700
初撑力 ($P=31.5\text{MPa}$)/kN	3217	泵站压力/MPa	31.5
工作阻力 ($P=37.3\text{MPa}$)/kN	3800	操作方式	手动本架操作
支护强度/MPa	0.74	支架重量/t	约 12

煤液压支架，支护、推移、移架机构完善，人行道大，前连杆为双连杆，抗扭能力强，稳定性好。

(2) 支架顶梁前端带有伸缩梁，行程为 700mm，可及时支护新暴露的顶板，解决顶煤破碎架前冒顶问题。

(3) 放煤机构靠尾梁回转，插板伸缩实现放煤。尾梁可向上回转，保证后运输机修理作业空间，正常运煤空间高约 750mm。

(4) 推移为短推杆机构，千斤顶正装，结构可靠、拆装方便、可实现快速移架。

(5) 支架配置先进可靠的 200L/min 的大流量控制系统，以保证快速移架。液压系统中用阀的流量均与系统流量匹配，安全可靠。

(6) 支架前、后均配置喷雾降尘系统。为改善放顶煤支架架后放煤的喷雾降尘效果，尾梁喷雾采用随动控制方式，在插板和尾梁动作时，喷雾系统进行自动喷雾^[14]。

3.2 过渡支架主要技术参数及结构特点

3.2.1 液压支架技术参数

过渡支架选型为 ZFG3800/17/28H 放顶煤过渡支架，支架最低高度 1.7m，最大高度 2.8m，工作阻力 3800kN，具体参数见表 3。

表 3 ZFG3800/17/28H 支架主要技术参数

名称	参数	名称	参数
高度/mm	1700~2800	底板比压 (前端)/MPa	0.22
中心距/mm	1250	推溜力/ 拉架力/kN	178/454
宽度/mm	1180~1350	移架步距/mm	600
初撑力 ($P=31.5\text{MPa}$)/kN	3204	泵站压力/MPa	31.5
工作阻力 ($P=37.3\text{MPa}$)/kN	3800	操作方式	本架操作
支护强度/MPa	0.63~0.65	支架重量/t	约 14

3.2.2 支架的结构特点

(1) 该支架为反四连杆四柱支撑掩护式放顶煤排头支架。结构紧凑，可满足前、后运输机及采

煤机配套要求，使前、后运输机有合理的布局空间。立柱升缩比大，降低支架的运输高度。

(2) 支架尾梁用 2 根 160mm 千斤顶支撑，支撑能力大，调节范围高，为后部运输机机头的布置和维护创造了有利条件。

(3) 顶梁为带有伸缩前梁的铰接式结构，对顶板适应性好。采用伸缩前梁机构，可实现及时支护，能上挑 3~5°，可及时支护新暴露的顶板，解决顶煤破碎、架前冒顶问题^[15-17]。

3.3 现场应用情况

通过估算法和数值模拟选择急倾斜短壁综采放顶煤工作面支护强度为 0.7MPa，选择了 ZF3800/17/28 支撑掩护式放顶煤液压支架，过渡支架选型定为 ZFG3800/17/28H 放顶煤过渡支架。通过现场联合试运转使用效果来看，以上支架选型可以满足综合机械化放顶煤的要求，没有发生倒架、歪架和压死支架的情况，能够保证煤矿的高产、高效、安全生产。

4 结 论

(1) 通过建立在支架工作阻力构成分析基础之上的估算法得出急倾斜短壁综采放顶煤工作面支护强度为 0.61MPa，通过建立在支架与围岩相互作用关系基础之上的数值模拟方法得出阿刀亥煤矿 Cu₂ 煤层开采综放支架的合理支护强度为 0.7MPa，经对比分析研究确定工作面支护强度为 0.7MPa。

(2) 通过估算法和数值模拟法对比分析研究，最终确定工作面中部支架选型定为 ZF3800/17/28 支撑掩护式放顶煤液压支架，过渡支架选型定为 ZFG3800/17/28H 放顶煤过渡支架。

(3) 实际应用结果表明，阿刀亥煤矿急倾斜厚煤层放顶煤开采选用双输送机插板式四柱低位单伸缩放顶煤支架在现场应用中是合适的，可以极大地提高工作效率，保障工作面回采过程安全。

[参考文献]

[1] 张义顺. 急倾斜水平分层矿压显现规律 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1992 (2): 12-15.
 [2] 黄庆享. 急倾斜放顶煤工作面来压规律 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1993 (1): 22-25.
 [3] 曹胜根, 缪协兴. 超长综放工作面采场矿山压力控制 [J]. 煤炭学报, 2001, 26 (6): 2-5.
 [4] 石平五, 高召宁. 急斜特厚煤层开采围岩与覆盖层破坏规律 [J]. 煤炭学报, 2003, 28 (1): 25-28.
 [5] 石平五, 漆涛, 张嘉凡, 等. 较薄急斜近距厚煤层水平分段放顶煤科学性分析 [J]. 煤炭学报, 2004 29(4): 35-38.

(下转 36 页)

柱内垂直应力峰值逐渐向背离沿空巷道一侧移动,即随着煤柱宽度的增加,沿空巷道所受应力越来越小;并且由于小煤柱宽度的增加,小煤柱的稳定性也随之增加:当煤柱宽度为 5m 和 6m 时,煤柱内产生了塑性屈服,应力集中明显,煤柱逐渐压裂膨胀并开始破坏;煤柱宽度为 7~8m 时,煤柱中部开始出现弹性核,煤柱有了一定的稳定性。

因此,通过数值模拟结果发现:当小煤柱宽度为 7~8m 时,小煤柱中部出现弹性核,具有较好的稳定性,且小煤柱的应力峰值远离沿空巷道,从而保证了巷道的稳定性。

4 现场实践

根据谢桥煤矿 1222 (1) 工作面上下区段已回采完毕的实际情况,回风巷道和运输巷道的布置方式为平行布置且都采用沿空掘巷留小煤柱护巷,支护方式主要采用锚联网支护。回采期间安排专职人员每小班对工作面上隅角和回风巷道中的 CO 进行取样并在实验室进行全气样分析并记录,分析结果表明 CO 浓度在回采期间始终不超过 24×10^{-6} ,说明留设的 7m 小煤柱对工作面回采期间防止采空区煤炭自燃具有很好的效果。

5 主要结论

(1) 通过对小煤柱中产生的极限平衡区宽度的计算和小煤柱漏风距离分析,得出小煤柱合理的留设宽度为 7~8m 时巷道围岩比较稳定,小煤柱的破坏程度比较小。

(2) 通过数值模拟发现留设的小煤柱宽度对小煤柱内的垂直应力分布影响较大,当小煤柱宽度从 5m 增大到 8m 时,小煤柱内最大垂直应力先增大然后又趋于平衡,小煤柱内的垂直应力近似抛物

线形分布。

(3) 现场实践表明,当小煤柱留设宽度为 7m 时,既能保证沿空巷道围岩稳定性,又能防止采空区遗煤自燃,为类似工作面小煤柱留设问题提供了借鉴。

[参考文献]

- [1] 鲁 义,殷召元,马 东,等. 沿空掘巷工作面停采期煤自燃防治技术 [J]. 煤炭科学技术,2015,43 (3): 48-51.
- [2] 李瑞群,吴士良,安伯超. 综放工作面留设合理小煤柱尺寸研究 [J]. 煤矿开采,2007,12 (3): 8-11.
- [3] 林继凯. 厚煤层无区段煤柱错层位开采巷道支护技术研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学,2013.
- [4] 秦红星,戴广龙,唐明云,等. 高地压超长工作面收作期间防灭火技术 [J]. 煤矿安全,2015,46 (1): 101-104.
- [5] 赵吉峰,王海春. 软岩矿区小煤柱沿空送巷煤层自然发火的防治 [J]. 煤矿开采,2005,10 (5): 61-62.
- [6] 蒋力帅,马念杰,赵志强,等. 综放工作面沿空开切眼布置与支护技术研究 [J]. 采矿与安全工程学报,2014,31 (1): 22-27.
- [7] 黄显华. 易自燃煤层残留煤柱开采防灭火技术研究 [D]. 北京: 中国矿业大学 (北京),2015.
- [8] 杨开贵. 窄煤柱沿空掘巷及其维护分析 [J]. 矿山压力与顶板管理,2002 (4): 40-41,45.
- [9] 赵 宁,戴广龙. 煤矿坚硬顶板弱化策略分析 [J]. 矿业工程研究,2013 (2): 52-55.
- [10] 马平原. 东怀煤矿沿空掘巷小煤柱合理宽度及支护技术研究 [D]. 湘潭: 湖南科技大学,2014.
- [11] 张开智,韩承强,李大勇,等. 大小护巷煤柱巷道采动变形与小煤柱破坏演化规律 [J]. 山东科技大学学报 (自然科学版),2006,25 (4): 6-9.
- [12] 刘听成. 无煤柱护巷的应用与进展 [J]. 矿山压力与顶板管理,1994 (4): 2-10,80.
- [13] 赵祉君,王茂军. 深部动压巷道小煤柱护巷的锚杆支护 [J]. 锚杆支护,2000 (3): 27-29.
- [12] 黄庆享,黄克军,刘素花. 急倾斜厚煤层长壁开采模拟研究 [A]. 安全高效矿井建设与开采技术——陕西省煤炭学会学术年会论文集 (2010) [C]. 北京: 煤炭工业出版社,2010.
- [13] 华 乐. 天河煤矿急倾斜厚煤层采煤方法优化研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学,2014.
- [14] 刘小军. 急倾斜厚煤层水平分段综放开采合理段高研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2014.
- [15] 边 昌. 宝积山煤矿急倾斜特厚煤层综放面安全开采技术研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2014.
- [16] 雷伟杰. 急倾斜坚硬顶板松软煤层异形巷道变形破坏特征试验研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2014.
- [17] 张特华. 急倾斜特厚煤层动压巷道围岩稳定性研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2014.

[责任编辑: 林 健]

[责任编辑: 徐亚军]

(上接 52 页)

- [6] 李维光,张占海. 赵家坝煤矿急倾斜煤层群联合开采的工程实践 [J]. 岩石力学与工程学报,2005,24 (3): 123-126.
- [7] 陈建强. 铁厂沟矿急斜临界角煤层综放开采高产高效关键技术研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2007.
- [8] 邵小平. 急斜煤层水平分段放顶煤开采围岩结构及其控制性研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2005.
- [9] 邵小平,石平五. 急斜煤层大段高开采采空场围岩稳定性 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版),2010 (3): 43-45.
- [10] A. F. 沙帕尔,肖通遥. 急倾斜矿体开拓与开采方式的关系特点 [J]. 国外采矿技术快报,1985 (1): 8-13.
- [11] 孔德慧,王世仓,邓春柱. 急倾斜煤层群联合采有关问题的探讨 [J]. 淮南职业技术学院学报,2002 (4): 34-36.