

文章编号:0253-9993(2013)02-0199-05

厚冲积层下大采高综放工作面顶板控制机理与实践

马立强^{1,2,3},张东升^{1,2,3},孙广京⁴,崔泰贺^{1,2,3},周 焱^{1,2,3}

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院,江苏 徐州 221116;2. 中国矿业大学 深部煤炭资源开采教育部重点实验室,江苏 徐州 221116;3. 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室,江苏 徐州 221116;4. 山东新巨龙能源有限责任公司,山东 菏泽 274918)

摘 要:龙固煤矿主采煤层上覆基岩厚度平均不足 200 m,但基岩上方赋存着厚度平均超过 700 m 的厚冲积层,针对厚冲积层条件下工作面矿山压力与顶板的控制难题,分析了大采高长壁综放工作面上覆厚冲积层在采动卸荷条件下的承载特性,以及基岩发生台阶下沉的可能性及其对应临界厚度。研究表明,厚冲积层在其底部煤层大范围开挖后,自承载能力不强,其自重将以载荷形式作用在下伏基岩上,但当基岩厚度大于 120 m 时,断裂带岩层可以形成稳定的力学承载结构,确定工作面顶板具有可控性。在此基础上,研发了工作阻力为国内最大的 ZF15000/23/43 综放支架,对厚冲积层下大采高综放面围岩进行了有效控制。

关键词:厚冲积层;大采高;综放工作面;顶板控制;液压支架

中图分类号:TD823.2 **文献标志码:**A

Thick alluvium full-mechanized caving mining with large mining height face roof control mechanism and practice

MA Li-qiang^{1,2,3},ZHANG Dong-sheng^{1,2,3},SUN Guang-jing⁴,CUI Tai-he^{1,2,3},ZHOU Tao^{1,2,3}

(1. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining, Ministry of Education of China, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China; 3. State Key Laboratory of Coal Resources & Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China; 4. Shandong Xinjulong Energy Co., Ltd., Heze 274918, China)

Abstract: The average thickness of the overlying bedrock of Longgu primary mineable coal seam is less than 200 m, but there is a thick alluvium averaging above 700 m above the bedrock. The bearing characteristic of fully mechanized longwallcaving face with large mining height on the condition of unloading, the possibility of step sinking and its critical thickness are analyzed in order to solve the problems of the mine pressure at mining face and strata control under thick alluvium condition. The results show that, while its bearing capacity is not strong after large excavation under the bottom of deep alluvium and its weight is loaded on the underlying bedrock, the fracture zone can form a stable mechanical bearing structure when the thickness of the bedrock is more than 120 m, so the coal face roof can be controlled. On this basis, ZF15000/23/43 hydraulic support has been developed, with the largest working resistance in China. With this hydraulic support, the surrounding rock in fully mechanized caving coal face with large mining height under thick alluvium can be controlled.

Key words: thick alluvium; large mining height; full-mechanized caving mining; roof control; hydraulic support

我国已经探明的煤炭储量,埋深超过 1 000 m 的为 2.95 万亿 t, 约占总量的 53%。随着对矿产需求量的日益增加,开采强度的不断增大,开采向深部发展是必然趋势。我国煤矿开采深度平均以 8 ~ 12 m/a 的速度在增加,其中东部矿井正以 100 ~

250 m/10 a 的速度发展。由于在煤系地层中广泛发育沉积结构面、软弱夹层和泥化夹层,加之多数深部岩体处于“三高”(高应力、高地温和高水压)的复杂环境,煤矿进入深部开采后,由于岩层压力大地质条件复杂等原因使得矿井生产的难度普遍加大^[1]。

龙固煤矿为巨野煤田新建深部矿井,矿井设计生产能力 6.0 Mt/a。但矿区所处地貌类型为黄河冲积平原,主采煤层上方赋存深厚冲积层,自投产伊始,就一直受到矿山压力显现剧烈等问题的严重威胁^[3-4]。为保证矿井的正常开采,首先需要研究清楚深厚冲积层赋存条件下煤层的开采可行性及其临界条件。

本文以 2301 大采高长壁综放工作面为示范点,分析了厚冲积层采动卸荷条件下的承载特性,验证了厚冲积层下大采高综放工作面顶板的可控性。确定了支架工作阻力,研发了 ZF15000/23/43 综放支架,实测了顶板来压规律,并对支架适应性进行了分析。

我国有大量的煤炭资源被埋藏在厚的冲积层下,仅目前已列入开发计划的 12 个深部矿井来说,生产能力超过 5 000 万 t/a。龙固煤矿厚冲积层下大采高综放工作面顶板控制机理与实践成果,可被借鉴用于深部资源的开采。

1 采矿地质条件

龙固矿 2301 工作面位于-810 m 水平,平均埋深近千米,倾向长度 254 m,走向长度平均 1 600 m。主采煤层 3 煤,煤厚 3.6 ~ 10.4 m (平均 9.2 m),倾角 3.8° ~ 7.8°。煤层上覆基岩(砂岩)厚度平均不足 200 m,但基岩上部赋存平均超过 700 m 的厚冲积层。煤层及顶底板岩层的关键力学参数见表 1。

表 1 煤层顶底板情况

Table 1 Coal seam roof and floor conditions

名称	岩性	厚度/m	特征	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa
覆岩	砂岩	27.60	硅质胶结	144.85	8.26
基本顶	细砂岩	4.00	硅质基底式胶结	100.17	8.38
直接顶	粉砂岩	2.63	硅质胶结	32.13	2.93
煤层	3 煤	9.20		14.40	0.60
直接底	粉砂岩	3.56	硅泥质胶结	95.58	4.12

工作面采用走向长壁后退式综合机械化放顶煤采煤法,机采高度 4.0 m,放煤高度 5.2 m,采放比为 1.0 : 1.3,全部垮落法管理顶板。

2 厚冲积层承载能力分析

2.1 模拟参数与方案

为研究 2301 工作面采后上覆基岩及冲积层的运动变化规律,建立如图 1 所示的全地层完整模型。模型中基岩采用 Mohr-Coulumb 模型(厚度 150 m),冲积层采用 drucker-prager 模型^[5-7]。

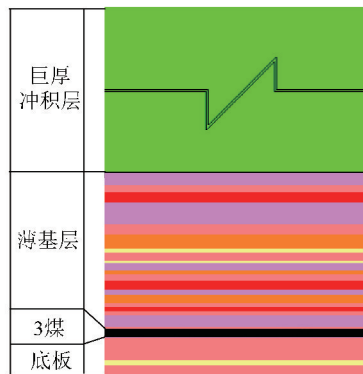


图 1 UDEC 全地层数值模型示意

Fig. 1 Schematic diagram of UDEC numerical model

2.2 模拟结果

不同开采空间下,冲积层底部监测线的垂直应力如图 2 所示(工作面开切眼位置位于图中 $X=500$ m 处)。

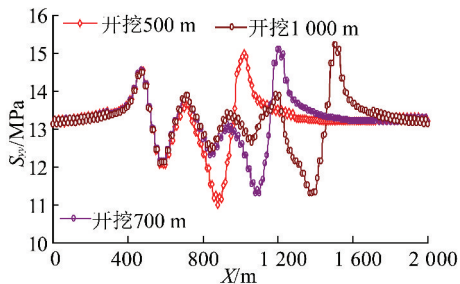


图 2 不同开采空间冲积层底部垂直应力

Fig. 2 Vertical stress at the bottom of the alluvial layer

开采初期(约 300 m 范围以内),冲积层底部形成的应力集中系数约为 1.26。冲积层垂直位移云图近似为半圆拱,可以推断厚冲积层在此阶段有一定自承载能力^[8-10]。开采后期冲积层底部形成的应力集中系数约为 1.15,冲积层垂直位移云图变为椭圆状,在基岩与厚冲积层交界处,有一明显折点,此时冲积层不能承载其自身重力,随其下伏基岩整体下沉,如图 3 所示(煤层底板位于图中纵轴 50 m 处)。可以推断,煤层大范围开挖后,厚冲积层虽具有一定的自承载能力,但自承载能力不强,冲积层在运动变形中具有整体性。

3 基岩承载能力分析

在煤层大范围开挖条件下,由于厚冲积层自承载能力不强,为了判断深厚冲积层条件下长壁工作面顶板的可控性,需要进行(较薄)基岩的承载能力分析。

根据整个龙固矿区的地质报告,深厚冲积层下的基岩厚度在不同区域存在着差异。因此分别设定 180,150,120 和 100 m 四种不同基岩厚度进行模拟计算。

图 4 是不同开采空间与基岩厚度条件下,基本顶

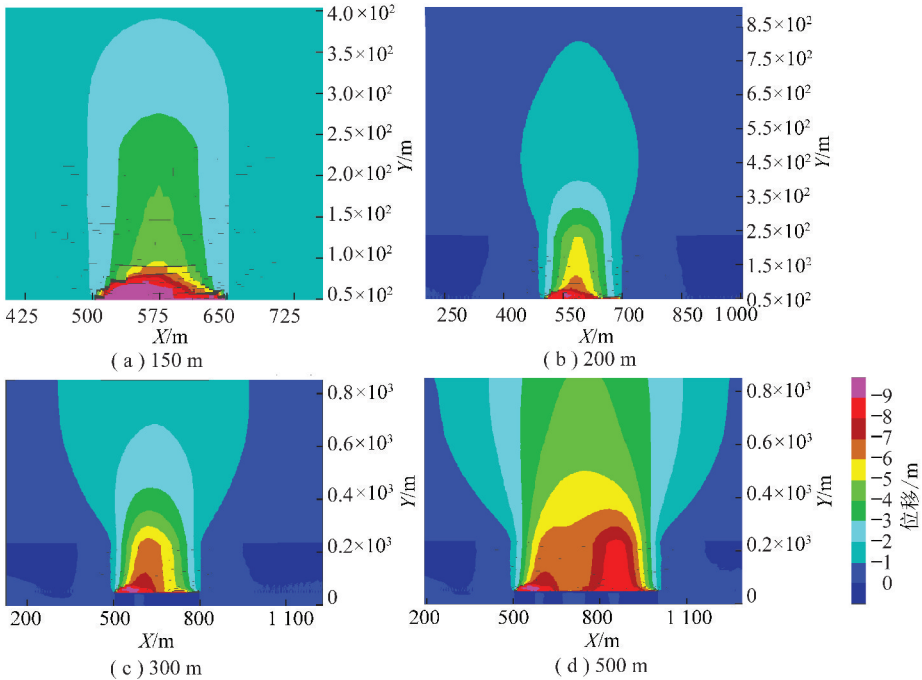


图 3 不同开采空间覆岩垂直位移云图(基岩厚度 150 m)

Fig. 3 Vertical displacement contour of overlying strata(the bedrock thickness 150 m)

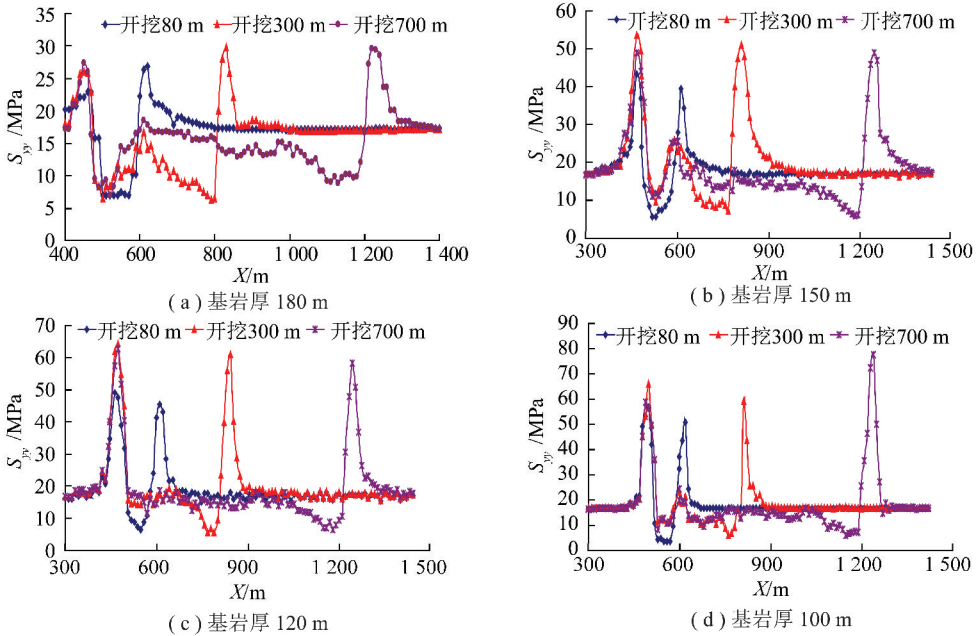


图 4 基本顶顶部垂直应力

Fig. 4 Vertical stress on the top of main roof

顶部的垂直应力。随着基岩厚度的减小,垂直应力峰值逐步增高,应力超前影响范围逐步减少,最大垂直应力集中系数见表 2。

基岩厚度为 100 m 时,基本顶顶部最大垂直应力集中系数达到了 4.6,且当工作面推进至 300 m 时,工作面顶板发生了“全厚切落式”来压,如图 5 所示。即当基岩厚度小于 120 m 时,在煤层开采过程中,基岩不能承载上覆厚冲积层对其产生的载荷,难以形成稳定结构^[11-12]。

表 2 基本顶顶部最大垂直应力集中系数

Table 2 The maximum vertical stress concentration coefficient on the main roof top

基岩厚度/m	最大应力集中系数	超前应力影响范围/m
180	2.2	70
150	2.6	60
120	2.8	40
100	4.6	30

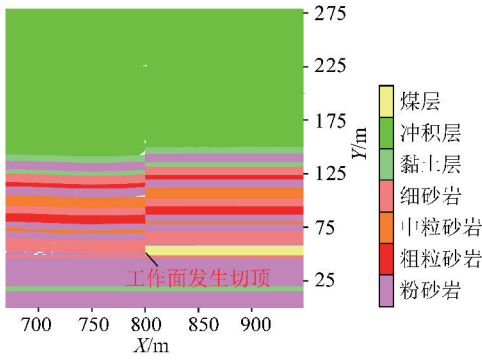


图 5 工作面顶板“全厚切落式”来压(基岩厚 100 m)

Fig. 5 Coalface roof “full thickness cut off type” to pressure(the bedrock thickness 100 m)

当基岩厚度大于 120 m 时,(即使)在深厚冲积层载荷作用下,基岩能形成稳定的力学承载结构。2301 工作面煤层上覆基岩的厚度普遍超过 120 m,覆岩垮落带高度约 25 m,断裂带高度约 105 m,基岩(断裂带岩层)能形成稳定的承载结构,工作面顶板具有可控性。

4 综放支架参数确定

尽管大范围开挖后,深厚冲积层难以形成稳定的强承载机构,但基岩(断裂带岩层)能形成稳定承载结构,工作面支架的工作阻力只需支撑工作空间及采空区上方垮落带岩层的重力^[13-14]。

3 煤属于中硬偏软煤层,如采用两柱式支架,则支架易抬头,片帮冒顶不好控制,支架位态不合理,从而造成顶板较难控制,故选择四柱式支架^[15-16]。带入龙固煤矿的地质条件,根据综放垮落带岩层力学结构,支架支护阻力确定为 15 MN。研发出 ZF15000/23/43 综放液压支架控制工作面顶板,如图 6 所示,主要技术参数见表 3。



图 6 ZF15000/23/43 液压支架

Fig. 6 ZF15000/23/43 hydraulic support

5 2301 工作面顶板控制实践

5.1 顶板来压规律

2301 工作面基本顶初次来压步距平均 36 m,来

表 3 ZF15000/23/43 液压支架技术参数

Table 3 ZF15000/23/43 hydraulic support parameters

参数	值
支架结构高度/mm	2 300 ~ 4 300
支架宽度/mm	1 660 ~ 1 860
支架中心距/mm	1 750
初撑力/MN	12. 778 (P=31. 4 MPa)
支架工作阻力/MN	15 (P=36. 86 MPa)
支护强度/MPa	1. 46

压持续 8 个循环,影响距离 6.4 m。初压期间,循环末阻力平均 12.7 MN,支护强度为 1.20 MPa,工作面初次来压动载系数 1.40。

基本顶周期来压步距 19.6 m,来压持续影响时间为 20 h,最大影响距离 13.2 m。周压期间,支护阻力平均 12.751 MN,支护强度 1.24 MPa,是额定支护强度的 85%,工作面上中下各测区的周期来压规律见表 4。

表 4 工作面各测区周期来压规律

Table 4 Periodic pressure law of the 2301 coalface

测区	来压步距/m	持续时 间/h	平均初撑 力/MN	平均末阻 力/MN	动载 系数
上部	22.2	12	10. 770	12. 089	1. 13
中部	16.4	20	12. 010	14. 560	1. 30
下部	20.3	15	10. 363	13. 169	1. 27

5.2 支架适应性

ZF15000/23/43 支架平均工作阻力 12.207 MN,占额定值的 81.3%。支架阻力主要分布在 9 ~ 12 MN 之间,如图 7 所示。

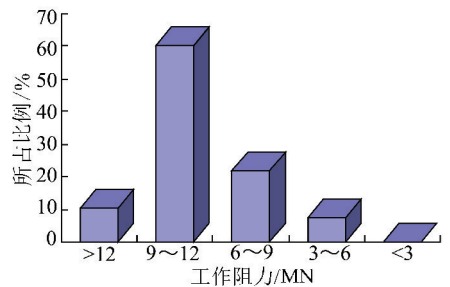


图 7 支架工作阻力分布

Fig. 7 Distribution histogram of support working resistance

实测表明,支架能保持良好的位态,保持了工作面良好的支架围岩关系,确保了工作面生产的良性循环,该支架在 2301 综放工作面具有较好的适应性,能够满足厚冲积层下的大采高工作面顶板支护。2301

综采工作面工效 100.2 t/工,最高日产 3.4 万 t,事故百万吨死亡率为 0。

6 结 论

(1)深厚冲积层在大范围开挖条件下,其自承载能力不强。在采动运动变形中具有整体性。

(2)当基岩厚度小于 120 m 时,在深厚冲积层载荷作用下,基岩将难以形成稳定的力学承载结构,工作面顶板有“全厚切落式”来压的可能。当基岩厚度大于 120 m 时,(即使)在冲积层载荷作用下,基岩亦能形成稳定的力学承载结构。

(3)ZF15000/23/43 液压支架平均工作阻力 12.207 MN,占额定值的 81.3%。支架维持了工作面良好的支架围岩关系,能适应顶板的支护要求。

(4)我国有大量的煤炭资源被埋藏在深厚的冲积层下,龙固煤矿厚冲积层下大采高综放面顶板控制机理与实践,可被借鉴用于深部资源的开采。

参考文献:

- [1] 袁 亮. 煤与瓦斯共采:领跑煤炭科学开采[EB/OL]. http://big5.cas.cn/xw/zjcd/201102/t20110221_3073262.html, 2011-02-21/2012-02-10.
Yuan Liang. Co-extraction of coal and methane; lead mining coal science[EB/OL]. http://big5.cas.cn/xw/zjcd/201102/t20110221_3073262.html, 2011-02-21/2012-02-10.
- [2] 史元伟,张声涛,尹世魁. 国内外煤矿深部开采岩层控制技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [3] 刘金海,姜福兴,王乃国,等. 深井特厚煤层综放工作面支承压分布特征的实测研究[J]. 煤炭学报,2011,36(S1):18-22.
Liu Jinhai, Jiang Fuxing, Wang Naiguo, et al. Survey on abutment pressure distribution of fully mechanized caving face in extra-thick coal seam of deep shaft[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1):18-22.
- [4] 山东新巨龙矿业有限责任公司,中国矿业大学,新汶矿业集团. 龙固特大型千米深井生产技术[R]. 2011.
Shandong Xinjulong Mining Co., Ltd., China University of Mining and Technology, Xinwen Mining Group Co., Ltd. Longgu extra-large one thousand meters deep coal mine production technology[R]. 2011.
- [5] Guo Weijia, Yin Liming. Three-dimensional semi-analytical numerical calculation method on mining subsidence[A]. Proceedings of 2009 International Symposium on Risk Control and Management of Design, Construction and Operation In Underground Engineering[C]. 2009:14-17.
- [6] 成云海,姜福兴,庞继禄. 特厚煤层综放开采采空区侧向矿压特征及应用[J]. 煤炭学报,2012,37(7):1088-1093.
Cheng Yunhai, Jiang Fuxing, Pang Jilu. Research on lateral strata pressure characteristic in goaf of top coal caving in extra thick coal seam and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(7):1088-1093.
- [7] 杜 锋,白海波. 厚松散层薄基岩综放开采覆岩破断机理研究[J]. 煤炭学报,2012,37(7):1105-1110.
Du Feng, Bai Haibo. Mechanism research of overlying strata activity with fully mechanized caving in thin bedrock with thick alluvium[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(7):1105-1110.
- [8] 俞启香,程远平,蒋承林. 厚冲积层大采深村庄下综放开采实践[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2005.
- [9] 蒋斌松,张 强,韩立军. 采动岩层荷载计算方法修正[J]. 煤炭学报,2007,32(6):581-585.
Jiang Binsong, Zhang Qiang, Han Lijun. Modification of calculation method for the load of mining-induced strata[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(6):581-585.
- [10] 孔令海,姜福兴,刘 杰,等. 特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度的微地震监测[J]. 煤炭学报,2008,25(1):23-25.
Kong Linghai, Jiang Fuxing, Liu Jie, et al. High precision microseismic monitoring system to reasonable width of segment coal pillar in extra thick coal seam fully mechanized top coal caving mining[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 25(1):23-25.
- [11] 高庆潮,胡炳南. 特厚冲积层条件下大采高综采地表移动变形特征[J]. 煤矿开采,2003,8(2):19-21.
Gao Qingchao, Hu Bingnan. Features of surface deformation and moving with great cutting-height fully mechanized mining under extra-thick alluvium deposit[J]. Coal Mining Technology, 2003, 8(2):19-21.
- [12] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [13] 岑传鸿,窦林名. 采场顶板控制与监测技术(第二版)[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2004.
- [14] 姜福兴,马其华. 深部长壁工作面动态支承压压力极值点的求解[J]. 煤炭学报,2002,27(3):273-275.
Jiang Fuxing, Ma Qihua. Mechanical solution of the maximum point of dynamic abutment pressure under deep long-wall working face[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(3):273-275.
- [15] 闫少宏,尹希文. 大采高综放开采几个理论问题的研究[J]. 煤炭学报,2008,33(5):481-484.
Yan Shaohong, Yin Xiwen. Discussing about the main theoretical problems of long wall with top coal caving[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(5):481-484.
- [16] 闫少宏,毛德兵,范韶刚. 综放工作面支架工作阻力确定的理论与应用[J]. 煤炭学报,2002,27(1):64-67.
Yan Shaohong, Mao Debing, Fan Shaogang. The theory and its application of determining working resistance of powered support in longwall with top-coal caving technology[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(1):64-67.