

开采技术与装备

厚煤层双凹字型综放回采巷道布置 和三段式回采工艺研究

郭灵飞¹, 康天合², 潘月军³

(1. 内蒙古科技大学 矿业与煤炭学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 太原理工大学 采矿工艺研究所, 山西 太原 030024;
3. 神东煤炭集团 洗选中心, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

[摘 要] 以山西西山晋兴能源公司斜沟煤矿13号煤层(煤厚14m)为研究背景, 针对缓倾斜厚煤层综放回采巷道布置方式和回采工艺进行研究分析, 应用对比分析法首先从技术上分析研究传统两巷(区段进风巷和区段回风巷)沿底布置、两巷一顶一底的错层位和分层开采巷道布置的优缺点, 并提出双凹字型巷道布置和三段式回采工艺; 其次从经济上分析两巷沿底布置、一顶一底的错层位布置、分层开采巷道布置和沿双凹字型巷道布置的各自煤炭损失量。研究表明: 厚煤层双凹字型布巷易于巷道掘进与支护, 利于瓦斯排放、减少煤柱宽度, 工作面每推进1m多回收煤炭127.81~162.14t。

[关键词] 厚煤层; 双凹字型布置; 综放回采巷道; 三段式回采工艺

[中图分类号] TD263 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2016) 04-0033-04

Three Stages Mining Technique and Fully Mechanized Mining Roadway Layout with Thick Coal Seam and Bi-directional Concave Shape

GUO Ling-fei¹, KANG Tian-he², PAN Yue-jun³

(1. Mining Industry and Coal College, Inner Mongolia of Science and Technology University, Baotou 014010, China;
2. Mining Technology Research Institute, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
3. Coal Washing Center, Shendong Coal Corporation, Erdos 017209, China)

Abstract: It taking the thirteen coal seam (thickness 14m) of Xiegou coal mine of Xishan Jinxing Energy Company in Shanxi province as studying background, and fully mechanized mining roadway distribution form and mining technique of gentle dip thick coal seam were studied, first, the merit and demerit of two roadways layout method were analyzed by compared and analysis, which include traditional two roadways (sectional in-take air roadway and sectional out-take air roadway) layout along floor, intersect layers layout (one along floor and another along roof) and roadway layout of slicing mining, bi-directional concave shape roadway layout and three stages mining technique were put forward, second, coal resource loss were analyzed from economic aspect about four kinds roadway layout, which included bi-directional concave shape roadway layout and other three traditional layout method. The results showed that bi-directional concave roadway layout was benefit for roadway driving and supporting, gas emission, decrease coal pillar width, about 127.81~162.14t coal resource was recycled in one meter of working face advanced.

Key words: thick coal seam; bi-directional concave shape layout; fully mechanized mining roadway; three stages mining technique

综放回采巷道布置和回采工艺的合理选择包括以下几个方面: 煤层的赋存条件, 包括煤层的倾角和厚度、围岩特征、地质构造、水文地质条件、瓦斯情况等; 采煤技术发展和装备水平, 主要是指生产中采掘设备供应条件和生产单位的购买能力, 以及设备的适用条件; 管理水平, 矿井技术管理水平和职工素质对高产高效和安全程度有很大影响; 国家的技术政策、法规和规程。一种适合综放开采的巷道布置系统和回采工艺, 能够易于瓦斯排放、利于弱化顶煤顶板、提高采出率、解决巷道掘进与支

护的困难等。

本文以山西西山晋兴能源公司斜沟煤矿13号煤层为研究背景, 该煤层平均厚度14m, 从技术和经济角度采用厚煤层双凹字型巷道布置系统和三段式回采工艺。

1 已有厚煤层采煤法的巷道布置和回采工艺

1.1 传统的两巷沿底布置和回采工艺

传统放顶煤工作面两巷沿煤层底板布置, 如图1所示。工作面开切眼、区段进风巷1和区段回风

[收稿日期] 2015-12-03

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.04.008

[基金项目] 内蒙古科技大学创新基金资助项目(2014QDL032)

[作者简介] 郭灵飞(1984-), 男, 山西吕梁人, 硕士, 讲师, 主要从事综放开采、巷道支护和煤层注水方面的教学和研究。

[引用格式] 郭灵飞, 康天合, 潘月军. 厚煤层双凹字型综放回采巷道布置和三段式回采工艺研究[J]. 煤矿开采, 2016, 21(4):33-36,14.

平巷 2 均沿煤层底板布置,回采过程中,采煤机沿底割煤,上方的顶煤在支架后方放出。综放开采一次采出煤量大,煤体释放出瓦斯量大,且瓦斯密度比空气小,具有明显的上浮效应,而回风巷沿底布置,不易排出瓦斯,易造成瓦斯积聚,为此需要内错或外错回风巷布置一条专用瓦斯巷。



1—区段进风巷;2—区段回风巷;3—上区段回风巷;4—下区段进风巷
图 1 传统两巷沿底布置示意

为了维护工作面端头的稳定性,从端头支架到中间支架之间有 2~3 架的过渡支架,过渡支架不放煤或少放煤,且由于工作面两端头矿山压力较小,对顶煤的破碎效果差^[1]。一般情况下,相邻工作面间留设 10~30m 的煤柱。

该布置方式在我国煤矿生产中已广泛应用,具有显著的优越性:

(1) 对煤层厚度变化大、稳定性差和地质构造复杂的煤层适应性强,大大提高了煤层的开采强度。

(2) 巷道布置简单,掘进率低,节省大量掘进和运输工作,缓解采掘接替紧张的矛盾。

(3) 工作面有 2 个出煤点,可以实现高产高效。

(4) 利用矿山压力破碎顶煤,节省电能,增加煤炭块度。

(5) 与分层开采相比,初次设备投资少,节省大量假顶材料费。

但综放技术有其自身的缺陷:

(1) 工作面采出率与分层开采相比偏低。

(2) 两巷沿煤层底板布置,而煤层属较松软岩体,在巷道掘进过程中经常出现冒顶,巷道不易维护。

(3) 瓦斯涌出量高,且不易排出,尤其是上隅角瓦斯经常超限。

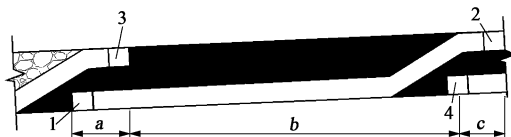
(4) 端头煤损多,顶煤放不净,在采空区遗留的浮煤多,存在自然发火的隐患。

(5) 一次采出煤层厚度大,使工作面粉尘量大,恶化井下作业环境^[2]。

1.2 两巷一顶一底的错层位综放回采巷道布置和回采工艺

两巷一顶一底的错层位综放回采巷道布置如图 2 所示。工作面区段进风巷 1 沿煤层底板布置,布

置在上一工作面区段回风巷 3 的三角煤柱中,区段回风巷 2 布置在煤层顶板中。两巷处于煤层的不同层位,相邻工作面间相互搭接布置,不留区段煤柱,但留设三角煤柱^[3]。



1—区段进风巷;2—区段回风巷;3—上区段回风巷;4—下区段进风巷
图 2 两巷一顶一底的错层位综放回采巷道布置示意

该布置方式回采工艺较为复杂, a 段在上一相邻工作面采空区下,采用网下回采工艺,在该段进行回采需要控制好采煤机割煤高度,否则易发生漏矸现象; b 段和传统两巷沿煤层底板布置的综放开采技术基本相同,所不同的是存在一段爬坡段; c 段需要进行铺网回采。

与传统两巷沿底板布置综放巷道布置相比,有如下的优点:

(1) 回风巷沿煤层顶板布置,高于工作面,工作面瓦斯易于排出。

(2) 对于煤层厚度不太大的情况,相邻工作面间不留煤柱,只有三角煤损失,煤损量减小,回采率增加。

该布置方式主要缺陷如下:

(1) 区段进风巷布置在三角煤中,上方已采空,无法实施锚杆支护,只能实施棚子支护,费时又费力。

(2) 工作面 a 段回采时,极易发生露矸,影响煤质。

(3) 回采过程中,工作面 a、b、c 三段的回采工艺不同,工作面回采工艺多样、设备繁杂,这样工作面一次投资大,而且要求职工的作业水平高。

1.3 分层综放开采回采巷道布置和回采工艺

图 3 为厚煤层分层综放开采时,分两个分层的回采巷道布置示意图。上分层回采工作面的区段进风巷和区段回风巷都布置在厚煤层的上部层位,下分层两巷道都布置在厚煤层的下部分层,下分层的巷道内错上分层的巷道布置。根据不同的煤层厚度,划分的分层数也不同^[4]。

上分层进行铺顶网或底网进行回采,下分层在假顶下回采。各个分层除铺网和假顶下进行回采之外,其他和传统放顶煤开采基本相同^[5]。

该布置方式的采煤法最大的优点是工作面采出率比较高,但是采同样厚度的煤层,所需掘进的巷道数量多,进而增加了巷道维护费,增加了吨煤成



1—上分层进风巷；2—上分层回风巷；

3—下分层进风巷；4—下分层回风巷

图3 分层开采回采巷道布置示意

本，而且一般下分层内错上分层一定宽度布置，这样增加了煤柱损失。

2 厚煤层双凹字型综放回采巷道布置和三段式回采工艺

图4为厚煤层双凹字型综放回采巷道布置示意图，图4(a)为该布置方式的平面图，图4(b)为该布置方式沿工作面推进方向上的剖面图，图4(c)为该布置方式沿工作面长度方向的剖面图^[6]。

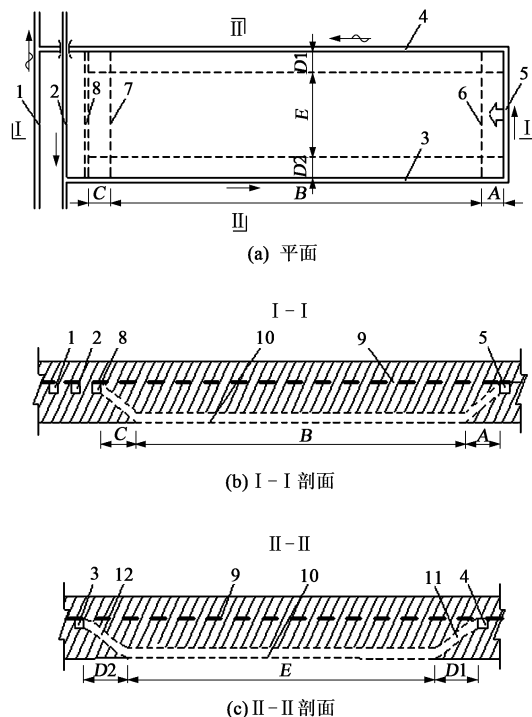


图4 厚煤层双凹字型巷道布置

2.1 厚煤层双凹字型综放回采巷道布置方式

2.1.1 回采巷道布置方式的实施

(1) 沿厚煤层稳定层掘进采区进风巷2、采区回风巷1、运输巷3、回风巷4、开切眼5，这些巷道的顶板为稳定层，采区进风巷2与回风巷4交叉时，回风巷4破顶板与采区进风巷2之上立体交叉，形成工作面生产系统。

(2) 回采工作面形成双凹字型布置：在工作面长度方向，运输巷3、回风巷4及工作面两端头位于稳定层9，工作面中间沿煤层底板10布置，

用变坡道Ⅰ11和变坡道Ⅱ12连接工作面长度方向上下3段，形成工作面长度方向上的凹字型（图4(c)中虚线所示）布置；在工作面推进方向，开切眼5与停采线处的设备回撤巷8沿稳定层9布置，工作面中间回采区段B沿煤层底板10布置，以 $\theta=15^\circ$ 变坡角连接工作面推进方向的上下三段，形成工作面推进方向上的“凹”字型（图4(b)虚线所示）布置。

(3) 变坡道Ⅰ11和变坡道Ⅱ12设计为：工作面起坡段每节溜槽抬高 3° ，用5节溜槽抬高至 15° ，然后保持与底板 15° 铺设N节溜槽，随后再铺设5节回落溜槽，每节回落 3° ，回落至与煤层底板10平行。

设煤层底板至巷道底板的高度为 H_{dd} ，每节溜槽长度为A，则N为：

$$N = \frac{[H_{dd} - 2A(\sin 3^\circ + \sin 6^\circ + \sin 9^\circ + \sin 12^\circ + \sin 15^\circ)]}{A \sin 15^\circ} \quad (1)$$

2.1.2 回采巷道布置方式优越性分析

(1) 矿井巷道布置在煤层的稳定层，巷道顶板是完整的煤层或矸石或顶板岩层，在掘进的过程中不易出现巷道顶板冒漏，能够加快掘进速度，而且因巷道所处层位稳定，对巷道支护要求较低。

(2) 锚杆锚索支护具有高强度、高稳定性、低成本且易于操作等优点，在煤矿巷道支护中已普遍应用，而对于锚杆特别是锚索来说，其支护效果的好坏很大程度取决于是否进入稳定的层位起到锚固作用，因此对于矿井的巷道沿煤层的稳定层布置，锚杆的锚固效果更好，锚索更易进入稳定坚硬的岩层中，这样在同等条件下能减小锚杆锚索的长度和降低支护密度，能够加快巷道的掘进，降低生产成本。

(3) 厚煤层沿稳定层布巷的双凹字型巷道布置方式，区段回风平巷的层位高于工作面，有利于工作面特别是其上隅角瓦斯排放。

(4) 厚煤层沿稳定层布巷的双凹字型巷道布置方式，巷道顶板稳定和工作面上下端头采高低，有利于实现小煤柱或无煤柱护巷，最大程度地减小了区段煤柱的损失，提高了矿井的采出率^[7]。

2.2 厚煤层双凹字型布巷的三段式回采工艺

2.2.1 三段式回采工艺的实施

在工作面推进长度方向形成下切、变平、上爬的三段式回采工艺：在工作面推进方向，在初采区段A，工作面从稳定层开始下切回采（下切角度为 $\theta=15^\circ$ ），直至初采停止线6，此时工作面沿煤层底板10布置；在中间回采区段B，工作面沿煤层

底板回采,直至中间回采停止线 7;在末采区段 C,工作面上爬回采(上爬角度为 $\theta = 15^\circ$),直至设备回撤巷 8。

在工作面长度方向上也形成下切、变平、上爬的三段式回采工艺:在工作面长度方向,在变坡回采段 I D1,或变坡回采段 II D2,工作面从一侧端头开始沿煤层稳定层 9 回采,下切沿变坡道 I 11,或变坡道 II 12 回采,直至煤层底板 10;在沿底回采段 E,工作面沿煤层底板 10 回采;在变坡回采段 II D2,或变坡回采段 I D1,工作面上爬沿变坡道 II 12,或变坡道 I 11 回采,直至煤层稳定层 9。

2.2.2 双向三段式长度的确定

2.2.2.1 工作面推进方向上的三段式长度

初采区段 A 和末采区段 C 的长度:

$$L_A - L_C = H_w / 0.9659 \quad (2)$$

式中, H_w 为稳定层距煤层底板的距离, m。

中间回采段 B 的长度:

$$L_B = L_T - 2L_A - L_C \quad (3)$$

式中, L_T 为工作面的推进长度, m。

2.2.2.2 工作面长度上的三段式长度

变坡回采段 I D1 和变坡回采段 II D2 的长度:

$$L_D = A(7.9180 + 0.9659N) \quad (4)$$

式中, A 为溜槽宽度, m; N 由式 (1) 可得。

沿底回采段 E 的长度:

$$L_E = L_C - 2L_D \quad (5)$$

式中, L_C 为工作面长度, m。

3 厚煤层双凹字型综放回采巷道布置的煤炭损失量计算分析

结合斜沟煤矿 13 号煤层的实际赋存情况和生产技术条件,对两巷沿底布置、一顶一底的错层位布置、分层开采巷道布置和双凹字型布置的各自煤炭损失量进行计算分析比较。

斜沟矿 13 号煤层平均厚度 14m,工作面采高 3.5m,采放比 1:3,两巷宽 5m,高 4m,煤的密度 $1.41\text{t}/\text{m}^3$,溜槽宽度 1.5m,工作面端头 3 架不放煤。

3.1 已有厚煤层综放回采巷道布置煤损量计算分析

3.1.1 传统沿煤层底板布置两巷煤损量计算分析

图 5 为厚煤层两巷沿底布置巷道煤损示意图,考虑相邻工作面间煤柱为 20m。

经计算煤损面积为 400.00m^2 ,每推进 1m 的煤损量为 564.00t 。

3.1.2 一顶一底错层位巷道布置煤损量计算分析

图 6 为厚煤层两巷沿底布置巷道煤损示意图。



图 5 传统两巷沿底板布置巷道的煤损示意

起坡段每节溜槽抬高 3° ,达到 15° 时,保持该角度上爬,之后抬升角度逐渐降低,每节降低 3° ,直至水平。考虑区段进风巷应用锚索支护,锚索长度 8m,顶板两角的锚杆倾斜 20° ,则下区段进风巷至少外错上区段回风巷 3m,才不至于将锚索打到采空区。



图 6 一顶一底错层位巷道布置的煤损示意

经计算煤损面积为 403.81m^2 ,每推进 1m 的煤损量为 569.37t 。

3.1.3 分层综放巷道布置煤损量计算分析

图 7 为分层综放布置巷道煤损示意图。14m 的煤层采用 2 个分层,每个分层采 7m,下分层巷道外错上层 10m。



图 7 分层综放布置巷道的煤损示意

经计算煤损面积为 424.34m^2 ,每推进 1m 的煤损量为 598.34t 。

3.2 厚煤层双凹字型综放回采巷道布置煤损量计算分析

图 8 为厚煤层双凹字型综放回采巷道布置的煤损示意图。稳定层位置距煤层底板 8m,相邻工作面煤柱考虑 10m。

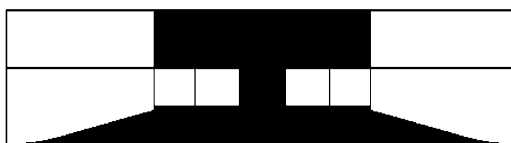


图 8 厚煤层双凹字型布置煤损示意

(下转 14 页)

的存在。

(2) 高压水射流压力在岩石模型强度以下时, 截齿受力整体水平未见明显改善; 高压水射流压力大于岩石模型强度时, 截齿受力综合水平降低; 有水射流辅助的情况下, 截割峰值均有不同程度的降低。

(3) 在射流压力低于岩石强度时, 截割比能耗未见明显改善; 当射流压力大于岩石强度时, 截割比能耗有明显的降低, 且射流压力越大, 比能耗降低幅度越大。

[参考文献]

- [1] Maurer W C. Advanced Drilling Techniques [M]. Tulsa: The Petroleum Publishing Company, 1980.
- [2] WANG Ruihe. Study on Rock Breaking Mechanism under High Pressure Water Jet [M]. China University of Petroleum Press, 2010, 12-18.
- [3] WANG Ruihe, NI Hongjian. Research of Rock Fragmentation Mechanism with High-pressure Water Jet [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2002, 26 (4): 118-122.
- [4] Ni Hongjian, Wang Ruihe, Ge Hongkui. Numerical Simulation on Rock Breaking under High Pressure Water [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23 (4): 550-554.
- [5] Wang Jianming, Gao Na, Gong Wenjun. Abrasive Water jet Machining Simulation by SPH Method [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010 (1): 227-234.
- [6] Gong Wenjun, Wang Jianming, Gao Na. Numerical Simulation for Abrasive Water Jet Machining Based on ALE Algorithm [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011 (1): 247-253.
- [7] Sevdá Dehkhoda, Michael Hood. The Internal Failure of Rock Samples Subjected to Pulsed Water Jet Impacts [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2014 (66): 91-96.
- [8] Liu X, Liu S, Ji H. Numerical research on rock breaking performance of water jet based on SPH [J]. Powder Technology, 2015 (286): 181-192.
- [9] Holmquist T J, Johnson G R. A computational constitutive model for concrete subjected to large strains, high strain rate, and high pressures [C]. 14th international symposium on ballistics. 1993 (9): 591-600.
- [10] Q. L. Qu, J. L. Wu, B. D. Guo, Numerical simulation of sphere impacting water by SPH with hydrodynamics, Adv. Mater. Res, 2013 (625): 104-108.
- [11] Wu Xutao, Li Yaoli, Heping. Research on the material constants of the HJC dynamic constitutive model for concrete [J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2010, 27 (2): 340-344.

[责任编辑: 徐亚军]

(上接 36 页)

经计算煤损面积分别为 309.36m², 每推进 1m 的煤损量为 436.19t。

煤损计算统计见表 1。

表 1 不同巷道布置方式的煤损计算统计

布置方式	推进 1m 煤损量/t
沿底布置	564.00
错层位布置	569.37
分层综放布置	598.33
双凹字型布置	436.19

4 结 论

(1) 工作面内区段进风平巷、区段回风平巷、开切眼和设备回撤巷等巷道均沿煤层中的稳定层布置, 在工作面长度方向和推进方向上均形成凹字型。

(2) 分析了双凹字型布巷的回采工艺, 确定了新系统下的工作面长度方向和推进方向上的三段式回采工艺, 进而确定了两个方向上三段式各自的长度。

(3) 通过与传统两巷沿底布置、一顶一底错层布置和分层综放巷道布置的比较, 体现了厚煤层双凹字型布巷易于巷道掘进与支护, 利于瓦斯排

放、减少煤柱宽度等优点。

(4) 通过与传统两巷沿底布置、一顶一底错层布置和分层综放巷道布置煤损计算比较, 可知工作面每推进 1m, 沿稳定层布巷多回收煤炭 127.81 ~ 162.14t。

[参考文献]

- [1] 靳钟铭. 放顶煤开采理论与技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [2] 徐永圻. 煤矿开采学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [3] 赵景礼. 厚煤层错层位巷道布置采全厚采煤法的研究 [J]. 煤炭学报, 2004, 29 (2), 42-45.
- [4] 翟德元. 特厚煤层分层开采技术研究 [J]. 中国煤炭, 2008, 34 (12), 37-41.
- [5] 闫卫国. 邢台矿厚煤层分层开采垂直布巷技术 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35 (3): 13-15.
- [6] 康天合, 郭灵飞, 柴肇云, 等. 厚煤层沿稳定层布巷的双向凹字型采煤方法 [P]. 中国专利: CN101915099A, 2010-12-15.
- [7] 郭灵飞, 康天合, 陈世江, 等. 缓倾斜厚煤层综放回采巷道布置方式的现状分析 [J]. 煤矿开采, 2014, 19 (2): 1-4, 23.

[责任编辑: 王兴库]