

利用矸石充填置换开采条带煤柱的新技术

孙希奎^{1,2}, 李学华³

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 淄博矿业集团有限责任公司, 山东 淄博 255120; 3. 中国矿业大学能源与安全工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 提出了在煤柱中掘进巷道并利用矸石回填以置换开采出部分条带煤柱的新技术. 研究了条带开采后煤柱中充填巷的布置位置、数目, 并分析了置换开采前后上覆围岩的稳定性. 提出在条带煤柱集中布置 2 条宽 4.0 m、高 5.0 m 的矸石充填巷, 巷间煤柱宽 4.0 m, 并进行了工程实践. 结果表明, 提出的矸石置换开采技术可有效控制地表变形在 I 级的前提下, 置换开采出条带开采留设煤柱的 15% 左右的煤量, 同时实现矿井矸石井下处理, 做到矸石不上井.

关键词: 矸石充填; 置换开采; 条带煤柱; 地表控制

中图分类号: TD823.7 **文献标识码:** A

The new technology of waste-filling replacement mining on strip coal pillar

SUN Xi-kui^{1,2}, LI Xue-hua³

(1. School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Zibo Coal Mining Group Co. Ltd., Zibo 255120, China; 3. School of Mining & Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: New technology droved roadways in strip coal pillar and filled coal refuse in them was put forward. The place and number of waste-filling roadways was studied, and overlying strata structure before and after replacement mining was analyzed. Based on the principia that core exists in pillar after replacement mining, two filling roadways were laid together in center with high-width size of 4.0 and 5.0 m, and the pillar width of 4.0 m in filling roadway, this technical project was practiced in a coal mine. The results show that under the precondition which the earth's surface deformation can be controlled in Grade I, the waste-filling replacement technology can recover about 15% of the strip coal pillar, and the coal refuse is disposed under ground.

Key words: waste-filling; replacement mining; strip coal pillar; surface control

从我国部分矿区的长远发展看, 制约矿井生产的问题主要在于: ① 随着开采规模的加大, 易采资源日趋减少, “三下”呆滞煤又得不到合理开采, 成为制约矿区可持续开采和矿区生产稳定发展的重要问题之一^[1~4]; ② 矿山开采中, 矸石的处理方式主要采用地面堆积的方法. 目前全国历年累计堆放的煤矸石约 45 亿 t, 规模较大的矸石山有 1 600 多座, 占用土地约 1.5 万 hm², 而且堆积量还以 1.5 ~ 2.0 亿 t/a 的速度增加, 地面矸石的大量堆积, 对人类的生态环境和条件带来了很大的威胁与危害^[5~8].

因此, 如何在保证安全和有效控制地表沉陷的前提下, 合理采出部分“三下”压煤, 同时又可实现井下矸石直接处理而不需上井的问题已成为煤矿开采的重大技术难题. 本文以某煤矿工程实践为例, 介绍

了一种利用井下矸石直接充填以置换开采部分条带煤柱的新技术, 为该问题的解决提供了新思路。

1 工程概况

某煤矿 130 采区南翼Ⅳ区主采煤层为下二叠统山西组 $3_{\text{下}}$ 煤层, 煤层结构较简单, 厚度 3.5 ~ 5.2 m, 平均约为 5.0 m, 煤层倾角 $0 \sim 8^\circ$, 密度 1.35 t/m^3 , 煤层普氏硬度 $f=2 \sim 3$ 。煤层埋深约 290 m, 属浅埋深煤层。煤层覆岩呈现薄基岩 (基岩厚度仅为 60 m 左右)、厚冲积层 (第四系松散冲积层厚度约为 224 m) 的特点。煤层顶、底板岩性见表 1。覆岩与煤层物理与力学性质见表 2。

表 1 煤层顶、底板岩性
Table 1 Roof and floor lithologic

岩层名称	平均厚度/m	岩层描述
中砂岩	37.25	灰白色, 厚层状, 以石英为主, 高角度裂隙发育, 富水性强
细砂岩	14.10	浅灰色, 水平波状, 层理发育, 黏土质胶结, 夹较多炭质条带
$3_{\text{下}}$ 煤层	4.90	黑色, 沥青煤质光泽, 碎块至条带状结构
粉砂岩	2.22	深灰色, 参差状断口
粉细砂岩互层	7.71	灰黑色粉砂岩与浅灰色细砂岩互层, 波状、浑浊状层理发育

表 2 130 采区南翼Ⅳ区煤层及顶底板主要岩石力学性质
Table 2 Mechanical property of seam, roof and floor strata in the south IV area of 130 mine area

岩层名称	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	密度 $/(t \cdot m^{-3})$	抗剪强度 /MPa	内摩擦角 $/(^\circ)$
中砂岩	63.7	2.60	2.48	15.40	30
细砂岩	55.6	2.30	2.63	10.60	38
$3_{\text{下}}$ 煤层	14.8	4.12	1.35	5.46	33
粉砂岩	45.3	1.90	2.55	8.00	30
粉细砂岩互层	67.1	3.50	2.60	14.20	27

该区域地面村庄建筑较为密集, 建筑物和水体下压煤面积占到了 68.7%。自 2002 年以来, 该煤矿针对“三下”压煤问题, 在 130 采区开展了条带开采技术的实践, 确定的采宽为 38 ~ 50 m, 留煤柱宽为 46 ~ 58 m。结果表明: 采用条带开采后, 地面村庄内水平变形 $\varepsilon \leq 1 \text{ mm/m}$, 曲率 $k \leq 0.08 \text{ mm/m}^2$, 倾斜 $i \leq 1.46 \text{ mm/m}$ 。地表变形均控制在了煤炭行业规定的 I 级保护规定的范围之内。

可见, 采用条带开采后, 采出率较低, 煤炭资源损失仍十分严重。因此, 寻找新的技术途径, 进一步回收损失的煤炭资源成为必然。

2 置换开采的技术原理与方案

2.1 置换开采条带煤柱的技术原理

针对条采煤柱损失大和矿井井下产矸多的问题, 提出了利用矸石充填置换开采条采后留设煤柱的新技术^[9~13], 该技术的基本原理如图 1 所示。

主要原理: 针对条带开采后留设煤柱的状况, 结合围岩条件和地面建筑物结构情况, 通过在条带开采后所留设的大煤柱中合理布置巷道, 利用掘进的方法采煤, 然后利用井下产生的矸石对该巷道进行回填, 并通过其它一些必要的加强和注浆加固技术措施, 保证进行充填开采后所留的煤柱, 与原条带开采留设煤柱相比, 仍具有较强的承载能力, 这样就不会出现巷道上覆围岩的大面积垮落, 从而实现将地表变形控制在规定的 I 级范围之内, 既可采出部分条带开采后留设的大煤柱, 增加煤炭的产出, 也不会造成地面建筑物的变形破坏, 同时可以处理井下矸石, 使其不上井。

2.2 置换开采的技术方案

2.2.1 合理的采出宽度

煤柱具有足够的稳定性, 才能长期地支撑上覆岩层, 从而维护地表稳定而不塌陷。置换开采是在原条

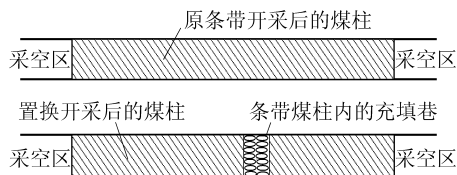


图 1 置换开采条带煤柱的技术原理

Fig. 1 Technology principle on replacement mining on strip coal pillars

带开采留设的大煤柱中掘进充填巷, 然后再进行矸石充填. 在此过程中, 一方面掘充填巷会影响整个置换开采后留设煤柱的稳定性; 另一方面, 过多的采出原大煤柱也会造成地表更大的变形. 因此, 置换开采后所留设的煤柱宽度必须满足一定承载能力要求, 使其整体稳定性和承载能力较置换开采前的大煤柱无较大丧失, 就可实现安全置换开采.

条带开采后, 所留设的大煤柱两侧处于采空状态, 其边缘遭受破坏后会形成一定范围的“屈服区”, 而煤柱中央部分相对稳定, 且受到屈服区围岩的侧向约束, 处于三向受力状态, 承载能力很大, 这也是煤柱承载的区域, 称之为“核区”^[14~16]. 因此, 只有保留煤柱宽度在屈服带宽度的2倍以上时才有核区存在. 屈服带宽度 $L = 0.0049mH$, 其中, m , H 分别为开采厚度和开采深度, m .

按该矿130采区南翼Ⅳ区埋深为290 m、开采厚度为5.0 m计算, 可以得到置换开采后留设煤柱的宽度不小于14.3 m. 故合理的条采煤柱(宽度在45 m左右)采出宽度不大于15 m即可.

2.2.2 充填巷布置位置

在条带开采所留设的煤柱中进行“掘充填巷矸石置换开采”时, 充填巷位置有3种, 如图2所示.

(1) 充填巷均匀布置在原大煤柱中. 根据充填巷数目, 将其均匀布置在条带开采后所留设的大煤柱中, 则“二次”开采后所剩煤柱的宽度全部一样.

(2) 充填巷集中布置在原大煤柱中央. 根据确定的充填巷数目, 将其集中布置在条带开采后大煤柱中央, 这样在原大煤柱两侧就会形成2个相对较大的煤柱, 以支撑上覆围岩层.

(3) 充填巷分开布置在原大煤柱两侧. 充填巷分别布置在条带开采后的大煤柱靠近采空区侧, 这样相当于加大了原来的采宽, 只在原大煤柱中央形成一个相对较大的煤柱, 以此来支撑上覆围岩层.

通过分析可知: 方案(1)将可能破坏原大煤柱承载结构, 上覆围岩的垮落不可控, 煤柱设置不合理时会导致地表变形过大, 故不采用; 方案(3)则相当于变相加大了原条带开采设计中的采宽, 煤柱稳定性同样会丧失, 故也不采用; 而对于方案(2), 即可在原大煤柱中形成另外2个相对较大的煤柱, 又不会破坏上覆围岩的煤柱承载结构, 同时采出率又不降低, 集中布置充填巷后, 可进一步通过巷内锚杆(索)支护、矸石充填与加固等手段, 约束充填巷两侧留设的煤柱, 以加大其“核区”, 实现置换开采后所留较小的煤柱承载效果与原大煤柱承载效果大体相当的目的, 从而达到控制地表移动在允许的变形范围之内. 故确定选择方案(2). 在本置换开采设计中, 考虑采用掘巷开采煤柱的方式, 即采用原大煤柱中央集中布置充填巷的方法, 初步确定充填巷为矩形, 尺寸为4.0 m×5.0 m(宽×高), 充填巷间的煤柱宽度为4.0 m. 当本条件下条带开采煤柱的采出宽度为8.0 m时, 满足保留煤柱宽度在屈服带宽度2倍以上的要求.

3 上覆岩层稳定性的数值计算

利用 UDEC 研究了置换开采后上覆岩层的稳定性, 模型的本构关系为 Mohr - Coulumb. 考虑模型左右边的开采及影响范围, 模拟方案的走向范围取 4 000 m×310 m, 条带开采采宽 45 m, 留煤柱 46 m, 在该煤柱中央布置 2 条充填巷, 相关的力学参数见表 2.

数值模拟得到条带开采和条带煤柱置换开采后, 随覆岩高度变化的煤柱和采空区中部沿高度方向上垂直应力分布如图 3 所示. 由图 3 可见: (1) 条带工作面开采和置换开采后, 随覆岩高度变化, 煤柱和采空区中部上方的应力分布范围均在 16.4 ~ -1.5 MPa 之间, 应力变化高度在采高的 20 倍(100 m)左右的范围内; (2) 条带开采结束后, 煤柱中部的垂直应力集中系数约为原岩应力的 2.2 倍, 沿高度方向平稳递减, 在 100 m 高度时与原岩应力一致; (3) 置换开采后, 煤柱中的垂直应力集中系数约为原岩应力

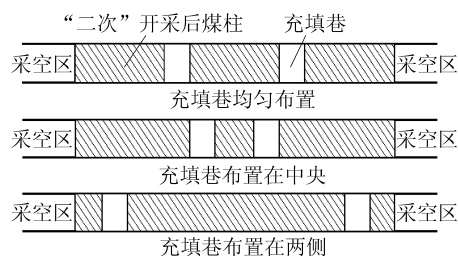


图2 充填巷布置位置

Fig. 2 The filling-roadway layout

的 2.0 倍, 但沿高度方向衰减较快, 在到达老顶上部时应力分布与条带开采结束后一致; (4) 采空区上方一定范围内为垂直应力低值区, 表明老顶上分层与其下岩层发生了离层, 上覆岩层垂直应力主要由上分层老顶承担。但在老顶范围之上, 采空区上方的垂直应力逐渐与原岩应力趋于一致。

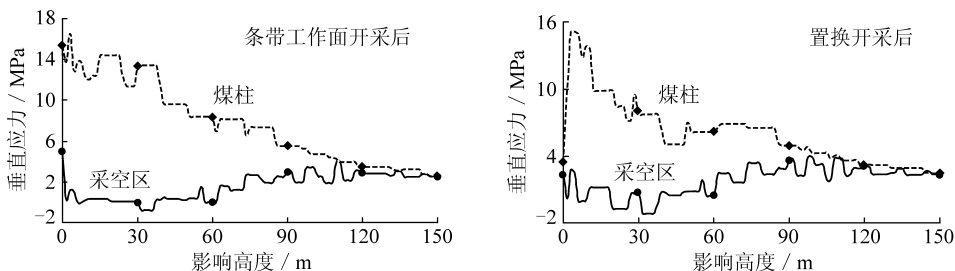


图 3 随覆岩高度变化的煤柱和采空区中部垂直应力分布

Fig. 3 Vertical stress distribution along high direction change in pillars and the center of gob area

计算结果表明: 置换开采后围岩的垂直应力分布发生变化的范围主要集中于老顶岩层之下的范围内, 而其上应力分布与条带开采结束后的状况无明显差别。这说明, 老顶之上的岩层稳定性不会因置换开采而发生较大变化。本置换开采方案不会引起上覆围岩较大的活动, 地表的变形控制是有保证的。

4 矸石充填性能分析

现场矸石压实的试验结果如图 4 所示。由图 4 可以看出: ① 轴向应力较小时, 矸石压实系数增幅很大; 随着应力的增加, 压实度的增幅趋缓; ② 矸石的碎胀系数随着轴压的增加而减小。自然堆积状态下的矸石充填体能缓解地表的下沉但幅度不大, 由于矸石受顶板及充填巷两帮有一定的变形后由自然充填转变为到压实状态, 即矸石充填体在后期对充填区域的顶板起到较高的支撑作用, 因此在矸石置换开采中, 矸石充填过程中必须考虑矸石的压实、膨胀等特性对充填效果的影响。从矸石充填的角度看, 控制地表可通过 2 种方式达到: ① 矸石充填体能有效约束置换开采后所剩煤柱的向巷内变形, 保证煤柱稳定, 则其承载能力不会下降, 这是有效控制地表的根本; ② 提高矸石充填巷的充填效果配合其它加固措施, 与充填巷支护相结合, 对煤柱整体稳定性的提高十分有益; 而且良好的充填密实效果在后期也可起到较大的支撑作用。

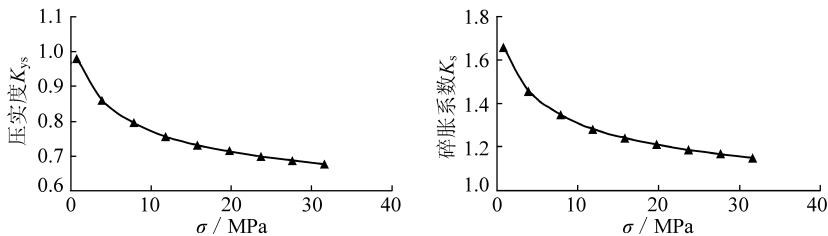


图 4 矸石的压实试验结果

Fig. 4 The results of coal refuse compaction test

5 现场工业性试验

现场在 130 采区南翼Ⅳ区试验的基本方案: 每个条带开采保护煤柱中间布置 2 条矸石充填巷, 充填巷尺寸为: 4.0 m × 5.0 m (宽 × 高), 巷间煤柱为 4.0 m。

矸石充填系统包括充填上部车场、矸石仓、充填胶带巷、充填巷及其它辅助巷道等。充填上部车场位于 -255 m 水平, 在 130 采区轨道大巷与 130 采区南翼Ⅳ区集中轨道巷之间布置矸石仓。矸石仓上口位于上部车场里段, 下口与充填胶带巷相连。矸石仓上部设置有翻车器、破碎机, 下部安装给煤机。充填胶带巷一端与 130 采区南翼Ⅳ区集中轨道巷相连, 另一端与矸石仓下口相连。

矸石置换开采的主要工艺流程:岩巷掘进头产生的矸石→(装车后经各运输巷道)130 轨道大巷→-255 m 水平的充填工程上部车场→矸石仓上口→(由推车机、翻车机,经过破碎机把矸石破碎到 ≤ 300 mm 粒径)矸石仓→给料机→(胶带运输)充填巷迎头→抛矸机→充填巷迎头充填。

充填巷的支护方案:巷道均选用 $\phi 18 \times 2\ 400$ mm 的锚杆。顶板布置 4 根,间距 1 000 mm,两侧锚杆距煤帮约 500 mm,锚杆布置角度一般垂直顶板,但两角可适当倾斜。巷道两帮每帮布置 6 根,第 1 次掘进时间距为 800 mm;第 2 次掘进时为 900 mm。上下锚杆距顶板和底板分别为 300 和 500 mm,除顶角锚杆外,其余均垂直煤帮布置。锚杆均采用加长锚固,每根锚杆用 2 支 MSCK2350 树脂药卷锚固。锚杆排距为 900 mm。

现场实践中,对地表变形进行了观测,结果表明:置换开采后,地表未发生明显变形。说明矸石置换开采没有改变条带开采后的顶板结构,其对地表也未有大的影响,可保证地表建筑物的变形在 I 级变形之内。通过现场工业性试验,共处理矸石 12.5 万 t,采出煤炭 13.5 万 t,节省地面矸石处理费 312.5 万元/a,取得了明显的经济与社会效益。

6 结 论

针对煤矿面临的“三下”压煤、条带开采煤柱的合理“二次”开采、井下矸石合理处理 3 个主要问题,在分析和研究目前状况的基础上,提出了利用矸石置换开采条带煤柱的新技术。针对煤矿生产实际提出了条带煤柱中央布置 2 条矸石充填巷的技术方案,并成功地进行了工业性试验。该技术对解决我国“三下”压煤、条带开采煤柱的回收、井下矸石利用等问题开创了一条新的技术途径,并为类似条件下建下煤柱的合理回收提供了可借鉴之处,经济和社会效益显著。

参考文献:

- [1] 钱鸣高,许家林,缪协兴. 煤矿绿色开采技术 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (4): 343 ~ 347.
- [2] 徐法奎,李凤明. 我国“三下”压煤及开采中若干问题浅析 [J]. 煤炭经济研究, 2005 (5): 26 ~ 27.
- [3] 郭文兵,邓喀中,邹友峰. 我国条带开采的研究现状与主要问题 [J]. 煤炭科学技术, 2004, 32 (8): 7 ~ 11.
- [4] 胡炳南,孙希奎. 村庄建筑物下压煤高效开采研究 [J]. 煤炭科学技术, 2001, 29 (9): 37 ~ 39.
- [5] 李鹏波,胡振琪. 煤矸石山的危害及绿化技术的研究与探讨 [J]. 矿业研究与开发, 2006 (4): 93 ~ 96.
- [6] 宋建军. 推进煤矸石资源化利用的对策建议 [J]. 中国煤田地质, 2006 (2): 9 ~ 12.
- [7] 张吉雄,缪协兴. 煤矿矸石井下处理的研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35 (2): 197 ~ 200.
- [8] 徐友宁,袁汉春. 煤矸石对矿山环境的影响及其防治 [J]. 中国煤炭, 2004, 30 (9): 50 ~ 52.
- [9] 王有俊. 煤矿矸石井下处理技术 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2005, 22 (1): 115 ~ 117.
- [10] 刘建功,赵庆彪,张文海,等. 煤矿井下巷道矸石充填技术研究与实现 [J]. 中国煤炭, 2005, 31 (8): 36 ~ 38.
- [11] 谢文兵,史振凡,陈晓祥,等. 部分充填开采围岩活动规律分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (2): 162 ~ 165.
- [12] 刘长友,杨培举,侯朝炯. 充填开采时上覆岩层的活动规律和稳定性分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (20): 166 ~ 169.
- [13] 郭广礼,王悦汉,马占国. 煤矿开采沉陷有效控制的新途径 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (2): 150 ~ 153.
- [14] 邹友峰,柴华彬. 我国条带煤柱稳定性研究现状及存在问题 [J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23 (2): 141 ~ 145.
- [15] 王连国,缪协兴. 条带开采煤柱破坏宽度计算分析 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28 (6): 767 ~ 769.
- [16] 刘克功,王家臣. 短壁机械化开采方法与煤柱稳定性研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34 (1): 24 ~ 29.