

Technology and Practice of Efficient Mining without Pillars in Colliery

Guichen Li^{1,2}, Nong Zhang^{1,2}, Ningning Liu¹, Guangyao Si¹

1. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China

2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Xuzhou, Jiangsu 221008, China

1. liguichen@126.com, 2. zhangnong@126.com

Abstract: The proportion of coal has always been around 70%, in China's primary energy production and consumption structure. For a long period of time in the future, coal as the main energy, its strategic position will not change. The efficient exploitation of coal resources is particularly important. Leaving less or no coal pillars roadway protection technology can help collieries achieve high efficiency. It has acquired new development and exaltation in recent years. This technology can significantly improve the recovery ratio of coal resources, and reduce the roadway-driving rate and per-ton cost to achieve efficient use of energy. The paper has elaborated the specific ways and significance of efficient mining without pillars, and gives an engineering example of no pillar gob-side entry retaining in the condition of solid roof in Zhuzhuang colliery, which has achieved satisfactory technical and economic effect. Efficient mining without pillars as a way to promote the rational development and utilization of coal resources will be widely applied in China.

Keywords: energy utilizes; collieries; no coal pillars; efficiency; mining technology

煤矿无煤柱高效开采技术及应用

李桂臣^{1,2}, 张农^{1,2}, 刘宁宁¹, 司光耀¹

1. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州, 中国, 221116

2. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州, 中国, 221008

1. liguichen@126.com, 2. zhangnong@126.com

摘要: 中国一次能源生产和消费结构中, 煤炭的比重一直都在 70% 左右。在未来相当长的时期内, 煤炭作为主要能源的战略地位不会改变, 煤炭资源的高效开采尤为重要。不留煤柱或少留煤柱的无煤柱护巷技术是一种有助于实现高产高效的技术, 近年来获得了新的发展和提高。该技术能够显著提高煤炭资源回收率, 有效降低巷道掘进率和吨煤成本, 实现能源的高效利用。论文阐述了无煤柱高效开采技术的具体方式和意义, 并给出了朱庄煤矿坚硬顶板煤层地质条件下沿空留巷无煤柱开采的工程实例。该技术的应用取得了良好的技术经济效益。作为一种促进煤炭资源合理开发利用的新技术, 无煤柱高效开采必将获得广泛应用。

关键词: 能源利用; 煤矿; 无煤柱; 高效; 开采技术

1 引言

随着经济的发展和人口的增长, 世界一次能源消费量持续不断增加。中国作为世界上经济增长速度最快和人口基数最大的国家, 对能源的需求量也日益加

大。中国《能源发展“十一五”规划》指出, 到 2010 年, 一次能源消费总量控制目标为 27 亿吨标准煤左右, 其中煤炭资源消费量仍占中国主体能源的 70% 左右^[1]。由此可见煤炭资源的合理开发利用对中国严峻的能源形势可起到明显的缓解作用。无煤柱护巷技术作为高产高效矿井的主要推广技术, 对提高煤炭资源采出率, 降低巷道掘进率, 改善采掘接替关系以及降低吨煤成本有着重要意义。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (50904064); 煤炭资源与安全开采国家重点实验室 (中国矿业大学) 自主研究课题 (SKLCRSM09X03); 中国矿业大学青年科研基金项目 (2008A004); 煤炭资源与安全开采国家重点实验室开放研究基金项目 (08KF10)。

2 煤矿能源开采中护巷技术现状

现阶段，中国所采用的回采巷道护巷方式主要有以下两种：留煤柱护巷和无煤柱护巷^[2]。常用回采巷道护巷方式分类如图 1。

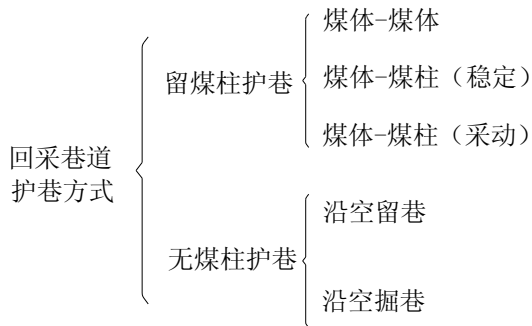


Figure 1. Classification of general roadway protection technology
图 1. 常用回采巷道护巷方式分类

常用回采巷道护巷方式平面布置如图 2。

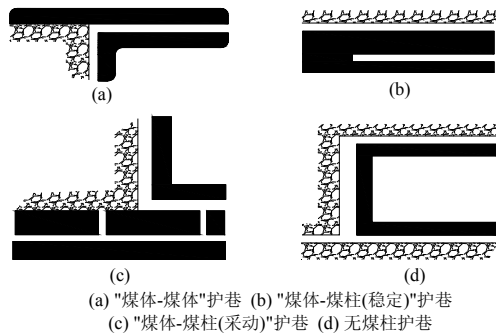


Figure 2. Layout figure of general roadway protection technology
图 2. 常用回采巷道护巷形式平面布置

留煤柱护巷作为传统回采巷道护巷方式仍为中国大部分煤矿所采用。此方式必须保证煤柱在回采巷道使用期内的稳定性，才能使巷道易于维护。理论上讲，护巷煤柱越宽，煤柱的稳定性越好。然而护巷煤柱的宽度越大所造成的煤炭资源损失也就越大，降低了煤炭资源的采出率，这与中国能源合理利用的趋势不符。目前中国煤矿回采巷道护巷煤柱的留设宽度一般为 6~20m，而西部神华矿区一些煤矿的护巷煤柱宽度甚至可达 40m，造成了煤炭资源的严重浪费。另外，虽然留设了护巷煤柱，但由于侧向固定支承压力影响，回风平巷维护仍然比较困难，特别是东部进入深部开采的矿井。“煤体-煤柱（采动）”护巷回采巷道顶底板移动全过程如图 3。

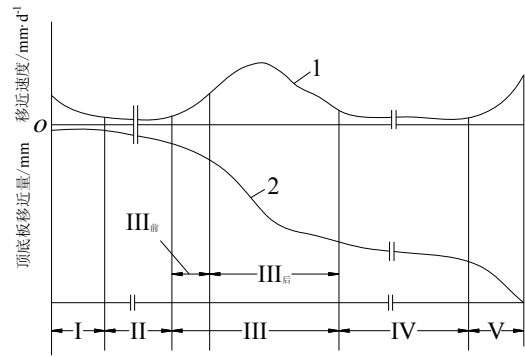


Figure 3. Complete roof and floor moving process of "coal - coal pillar (mining)" roadway protection technology
1 - Velocity; 2 - Displacement
图 3. “煤体-煤柱（采动）”护巷回采巷道顶底板移动全过程
1—移动速度 2—移动量

无煤柱护巷是一种不留煤柱或少留煤柱的护巷技术（一般留设 3-5m 的煤柱），主要包括沿空留巷和沿空掘巷两种方式。无煤柱护巷具有资源回收率高，巷道掘进率低，吨煤成本低以及有效避免煤柱上方产生应力集中等优点，是中国现代化矿井的发展方向。

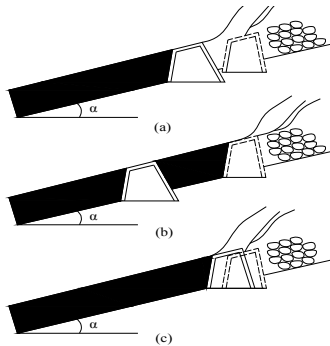
3 无煤柱开采的具体方式

3.1 沿空掘巷

在上一工作面区段运输平巷被废弃之后，经过一段时间，等待采空区上覆岩层移动基本稳定后，沿被废弃的巷道边缘，掘进下一个工作面的区段回风平巷，称为沿空掘巷。根据煤层赋存情况、地质条件及所采取的支护措施的不同，沿空掘巷又可分为完全沿空掘巷、留小煤柱墙沿空掘巷和保留老巷部分断面的沿空掘巷，如图 4 所示。理论和实践证明，沿空掘巷有利于巷道的维护，减少了区段煤柱损失。在瓦斯涌出量不大、煤层埋藏稳定的条件下，采用沿空掘巷可以取得良好的效果。

沿空掘巷虽然没有减少区段平巷的掘进长度，但是不留或只留很窄的煤柱，减少了煤炭损失和区段平巷之间的联络巷道，特别是减少了巷道维护工程量。但沿空掘巷必须在采空区跨落的顶板岩层活动稳定后掘进，否则，掘进的巷道要受移动支承压力的剧烈影响，掘进期间就需要维修，甚至难以维护。为此，单一煤层采区内多个工作面同时生产时，区段间或区段内各工作面需要通过“跳采”接替。由此会使得工作面生产系统分散，工作面搬家距离远，易出现“孤

岛”工作面，回采时受超前支承压力和侧向支承压力的叠加影响，围岩变形剧烈，在深部开采矿井中易诱发冲击地压^[3]。



(a) 完全沿空掘巷；(b) 留小煤柱墙沿空掘巷；(c) 保留老巷部分断面的沿空掘巷

Figure 4. Schematic diagram of gob-side entry driving

图 4. 沿空掘巷示意图

3.2 沿空留巷

在上区段工作面回采时，通过加强支护或采用巷旁支护等有效方法，将区段运输平巷保留下来，作为下一区段的回风平巷使用。沿空留巷的主要优点是下一区段回采时只需要施工一条巷道，从而大大降低了巷道掘进率；其次是从根本上消除了沿空掘巷需要滞后掘进的缺点，有利于上、下区段按正常的顺序连续开采，有利于矿井生产集中化和改善采掘接替关系^[4]。所以，从技术上看，沿空留巷是比沿空掘巷更为合理和先进的无煤柱护巷工艺。以目前的技术水平，沿空留巷的使用范围为：厚度 2~3m 以下的薄及中厚煤层，顶板属于易冒落和中等冒落程度，且底板不发生严重底鼓。

4 无煤柱开采煤炭能源意义

4.1 改善接替关系

采用沿空留巷的无煤柱护巷技术，在下一区段工作面准备时，将本区段的一条平巷保留下来。因此减少了一条区段平巷的掘进工程量，直接改善了采掘接替关系，缓和了采掘接替紧张的局面，显著的减少了巷道掘进率。

4.2 实现煤与瓦斯共采的关键技术

中国大多数矿区煤层气赋存具有低压力、低渗透率、低饱和度及非均质性强的“三低一强”的特性，尤其是低渗透率和非均质性，很不利于直接抽采^[5]。

而无煤柱护巷技术为瓦斯抽采走入煤矿井下、全面卸压开采、煤与瓦斯安全高效共采提供了新的思路^[6]。工作面采用“Y”型通风方式，在留巷段内通过低位钻孔和高位钻孔分别抽采采空区富集瓦斯和顶底板远程卸压煤层瓦斯，实现连续抽采瓦斯与综采工作面采煤同步推进，从而构建以留巷钻孔替代多岩巷抽采卸压瓦斯的煤气共采技术体系^[7,8]。

4.3 减少深部开采由于煤柱留设引起的应力集中和各种灾害

巷道开挖以后，煤柱的弹塑性变形区及应力分布如图 4 所示：

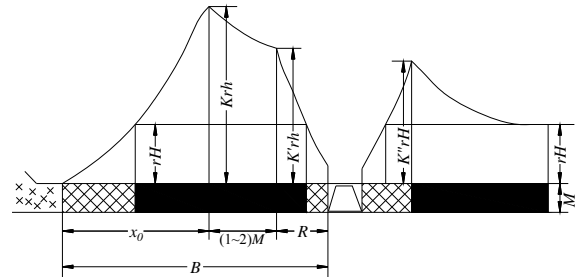


Figure 5. Elastic and plastic deformation zones and stress distribution in coal pillar

图 5. 煤柱的弹塑性变形区及应力分布^[9]

由图 5 可以看出，煤柱上方的支承压力可以达到 K 倍（应力集中系数，最大可达 4-5 以上）原岩应力。在煤柱顶板上方形成了明显的应力增高区，极易诱发顶板事故，在深部开采矿井中更是有诱发冲击矿压的危险^[10]。无煤柱护巷技术从根本上避免了此类顶板事故的发生，有益于顶板的安全管理。

4.4 节约大量资源，提升效益

采用无煤柱护巷技术因其不留或少留煤柱，降低了煤炭损失量，大大提高了煤炭资源的采出率。在不多掘巷道的前提下，增加了煤炭采出量，降低了吨煤成本，对改善煤矿的经济效益和社会效益都有不可估量的意义^[10]。

5 无煤柱开采工程实例

针对淮北矿业集团朱庄煤矿坚硬顶板的煤层地质条件进行了沿空留巷无煤柱开采的工业性试验。

5.1 巷道基本地质概况

试验巷道为 II646 工作面回风平巷，位于 II64 采区。II646 工作面平面位置如图 6 所示。

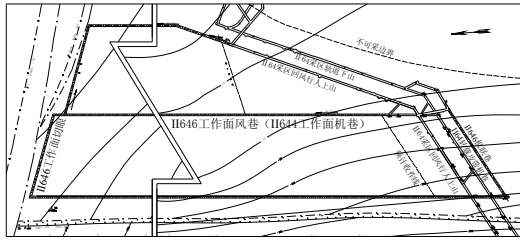


Figure 6. Schematic diagram of test roadway location
图 6. 试验巷道平面位置示意图

该采区 6 煤层顶部的 3、4、5 煤层均已回采完毕。采区内煤层底板标高上限为-223m，下限为-340m。地面标高为+32m。煤层为简单结构，煤层厚度为 0.8~1.9m，平均厚度约 1.6m。煤层倾角变化较大，为 4°~12°，浅部倾角较小。煤层直接顶均为灰~灰黑色薄层状中细粒砂岩，厚度约 10m；往上为灰色中粒砂岩，厚度 8.0m；再往上为灰黑色砂质泥岩，厚度 12~18m。直接底板为黑色砂质泥岩，厚 1.6m；往下为黑色条带状中细粒砂岩，厚度 6.0~10m；再往下依次为灰白色中粒砂岩，厚度 18m；黑色泥岩，厚 30m。地质构造复杂程度属中等，主要表现为断层、褶曲、岩浆侵蚀和古河床冲刷。采区最大涌水量 88m³/h，正常涌水量 76m³/h。煤层具有爆炸危险性，自然发火倾向属Ⅳ类（不易自然发火）。矿井为高瓦斯矿井。

5.2 沿空留巷工作面平面布置

II 646 工作面回风平巷采用原位沿空留巷的无煤柱开采方式。上端头采用充填模板支架，支架自行前移，机械立模。工作面平面布置图如图 7 所示。随工作面推进采用特制充填材料逐段对充填支架模板进行充填，以形成隔离采空区和回采巷道的充填墙体。

留巷段原支护设计不能满足沿空留巷的支护要求，在原支护基础上加大了支护强度，以确保留巷在采动应力作用下的稳定。

5.3 沿空留巷无煤柱开采的效益

沿空留巷是煤矿开采技术的一项重大改革，它对提高煤炭资源回收率，降低巷道掘进率，缓解采掘接替紧张状况，提高矿井的经济效益都有着十分重要的意义。

1) 直接经济效益

沿空留巷的直接经济效益从降低巷道掘进率上得以实现。以朱庄矿为例，综采工作面走向长度近 1000m。上一工作面只掘进两条 4m 宽 1000m 长的区

段平巷。回采时，留下一条平巷作为下一个区段的回采巷道使用。减少了 1000m 的巷道掘进工程量，节约巷道掘进费用 2000 余万元（其中巷道掘进、支护成本取为 20000 元/m）。同时缩短了准备时间，缓解了采掘接替紧张的被动局面。

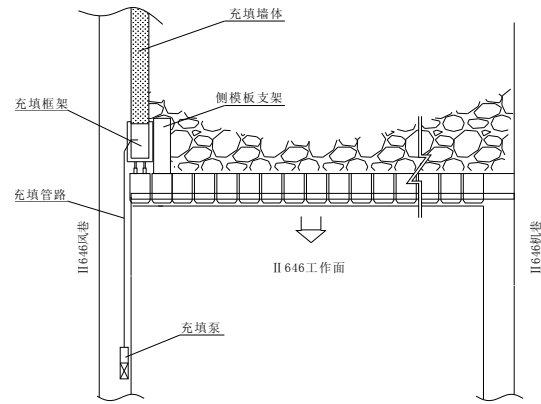


Figure 7. Layout figure of gob-side entry retaining face
图 7 沿空留巷工作面布置图

2) 间接经济效益

采用沿空留巷技术，可实现真正的无煤柱开采，因而可大幅度提高煤炭资源回收率。目前朱庄矿 II646 工作面走向长度近 1000m，采高 2.2m，假设工作面间留设 15m 宽的煤柱，则采用沿空留巷可以多采出煤炭近 4 万吨，按平均煤价 500 元/t 计算，提高回收率所带来的经济效益约为 2000 万元。

3) 社会效益

淮北矿业集团朱庄煤矿目前多为厚层坚硬顶板，在淮北矿区具有普遍性和代表性。针对朱庄煤矿的实际生产地质条件，对厚层坚硬顶板条件下沿空留巷无煤柱开采技术开展研究，为节约煤炭资源提供了技术保障，对综采工作面提高产量，实现煤炭行业减人提效起到积极作用。

6 结语

1) 至 2010 年 9 月 10 日，II 646 工作面回风平巷已回采约 240m，沿空留巷墙体已充填约 230m。整体施工效果良好，仅个别地段墙体有轻微裂缝、片帮。若墙体出现大变形或裂缝继续发育时，可根据加固方案对后方墙体进行加固。

2) 矿压观测表明工作面前方 20m 至工作面后方 40m 范围之内为采动影响剧烈带，此范围内巷道表面位移、深部围岩位移、巷道围岩应力均有增加。工作

面后方 40~90m 范围为采动影响缓和带, 在此范围内巷道表面位移及深部多点位移仍逐步发展, 最终趋于缓和。

3) 沿空留巷无煤柱护巷技术为中国同类矿井实现高产高效提供了有力的技术支持, 特别是对于类似条件工作面具有极其重要的现实意义, 应用前景十分广阔。

4) 煤矿无煤柱高效开采技术是煤炭开采技术的一项重大改革, 它对提高煤炭资源回收率, 降低巷道掘进率, 缓解采掘接替紧张局面, 提高矿井的经济效益, 特别是对能源的高效利用有着十分重要的意义。

References (参考文献)

- [1] China Energy Information Network Www.NengYuan.Net
Original link: <http://www.nengyuan.net/201008/02-616551.html>
中国能源信息网 Www.NengYuan.Net 原文链接:
<http://www.nengyuan.net/201008/02-616551.html>
- [2] XU Yong-qi. Mining Technology [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.
徐永圻. 采矿学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [3] Li Wenfeng, Bai Jianbiao, Yi Xi-feng etc. Isolated island pillar gob bottom drum mechanism and control technology [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(4), P17-20(ch).
李文峰, 柏建彪, 伊西锋等. 孤岛煤柱下沿空掘巷底鼓机理及控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(4), P17-20.
- [4] Huang Yan-li, Zhang Ji-Xiong, Ju Feng. Filling technology and mining pressure behavior of lane next to the gob [J]. Xi'an University of Technology, 2009, 29(5), P515-520(ch).
黄艳利, 张吉雄, 巨峰. 巷旁充填沿空留巷技术及矿压显现规律[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(5), P515-520.
- [5] Yuan Liang. Groups of loose and low-permeability coal seam gas extraction Theory and Technology [M]. Beijing: Coal Industry Press, 2004.
袁亮. 松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [6] LIU Hai-bo, CHENG Yuan-ping, etc. Pressure relief, gas drainage and deformation effects on an overlying coal seam induced by drilling an extra-thin protective coal seam [J]. Mining Science and Technology, Vol. 19 No.6, P724-729.
- [7] Yuan Liang. Simultaneous extraction of coal and gas leaving no pillar quickly, gob-side entry remaining, and Y-ventilation key technologies of low-permeability and high gas seam groups [J]. China Coal, 2008, 34(6), P9-13 (ch).
袁亮. 低透气性高瓦斯煤层群无煤柱快速留巷 Y 型通风煤与瓦斯共采关键技术[J]. 中国煤炭, 2008, 34(6), P9-13.
- [8] YUAN Liang. Study on Critical, Modern Technology for Mining in Gassy Deep Mines [J]. Journal of China University of Mining & Technology, Vol.17 No.2, P226-231.
- [9] Qian Ming-gao, Shi Ping-wu. Mine pressure and rock layers control [M]. Xuzhou: China University of Mining Technology Press, 2003.
钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [10] Ashok Jaiswal, B.K. Shrivastva. Numerical simulation of coal pillar strength. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 46, 2009, P779-788.