

煤矿巷柱式采空区上部煤层安全开采技术研究

杨昶

国家矿山安全监察局陕西局救援指挥中心

DOI:10.32629/pe.v4i2.20024

[摘要] 为探究煤矿5²煤层巷柱式采空区上部2²、3²煤安全开采技术的可行性,文章采用现场调研、资料与文献收集整理、理论分析、FLAC^{3D}数值模拟及工程类比等多种方法,结合实测与模拟数据展开论证分析。结果表明:3²煤层在全开采周期内塑性区破坏特征不明显;2²与3²煤层采动影响倍数均满足 $K \geq 7.5$ 的安全判定标准;5²煤层与2²、3²煤层的层间距(125.5m、85m)远大于必需层间距(20.415m、19.105m);5²煤层巷柱式采宽6m、留宽8m,煤柱面积比率达133%,顶板结构稳定;工作面底板破坏带与采空区最大垮落断裂带总高度小于各煤层间岩层厚度,下部采空区未影响上部煤层稳定性,且上部煤层采动应力未破坏下部遗留煤柱。该研究证实了上部煤层安全开采的可行性,为同类矿井安全回采提供技术借鉴与工程示范,助力煤炭开采领域资源回收、瓦斯治理、防灭火、防治水等技术升级。

[关键词] 采空区稳定性;巷柱式采空区;近距离煤层;可行性;煤矿

中图分类号: TD82 文献标识码: A

Research on Safe Mining Technology of Upper Coal Seams Above Gate-Pillar Goaf in Guoneng Coal Mine

Chang Yang

Rescue Command Center of the Shaanxi Bureau, State Mine Safety Administration

[Abstract] To investigate the technical feasibility of safely mining the upper No. 2² and No. 3² coal seams above the gate-pillar mined-out area of the No. 5² coal seam in Guoneng Coal Mine, This paper comprehensively adopts multiple methodologies including field investigation, Literature review, theoretical analysis, FLAC^{3D} numerical simulation, and engineering analogy; Combined with on-site measurement and simulation data, a systematic demonstration and analysis are conducted. The results indicate that the plastic zone failure characteristics of the No. 3² coal seam remain insignificant throughout the entire mining period; The mining influence multiples of both the No. 2² and No. 3² coal seams meet the safety criterion of $K \geq 7.5$. The inter-seam distances between the No. 5² coal seam and the No. 2², No. 3² coal seams are 125.5 m and 85 m respectively, which are significantly larger than the theoretically required inter-seam distances of 20.415 m and 19.105 m; Adopting gate-pillar mining technology for the No. 5² coal seam with a mining width of 6 m and a pillar width of 8 m results in a coal pillar area ratio of 133%, ensuring the overall stability of the roof structure; Furthermore, the total height of the floor failure zone and the maximum caving fracture zone of the goaf is less than the thickness of the rock strata between each coal seam. The lower goaf does not compromise the stability of the upper coal seams, and the mining-induced stress from the upper coal seams does not cause failure to the lower remaining coal pillars; This study verifies the feasibility of safely mining the upper coal seams. It provides technical references and engineering demonstrations for the safe recovery of similar mines, and significantly contributes to the technological upgrading of resource recovery, gas control, fire prevention, and water hazard control in the coal mining industry.

[Key words] Goaf stability; Gate-pillar mined-out area; Closely-spaced coal seams; Feasibility; Guoneng Coal Mine

引言

通常煤层群开采遵循“自上而下”的顺序,但是,受到资源

枯竭、残采区遗留及地质结构复杂等因素的制约,部分矿井面临“先形成下部采空区、后回采上部煤层”的特殊工程需求。在

实际开采过程中,上部煤层开采的稳定性受层间距、围岩破坏程度、采空区实际状况的协同控制,当层间比值低于6时,上煤层受下煤层开采扰动破坏显著,需待下煤层开采完成1年以上方可回采。针对这一状况,国内外相关人员开展了深入研究,对开采技术进行改造与升级,现已形成了以比值判别法、“三带”判别法、围岩平衡法为核心的可行性判别体系,且长壁垮落采空区上部煤层开采技术已趋于成熟。然而,面对近距离煤层、巷柱式采空区等特殊条件,如何保证上部煤层安全开采的稳定性、构建扰动响应机制等,仍然是煤矿亟待解决的重要课题。对此,本文结合国能煤矿巷柱式采空区上部煤层安全开采的技术研究,对同类矿井安全回采提供技术借鉴。

1 矿井概况

1.1 矿井地质条件及生产现状

国能煤矿位于陕西省榆林市府谷县三道沟镇后开崩村,行政区划隶属府谷县三道沟镇管辖。井田范围由13个拐点坐标圈定,东西长约4.3km,南北宽约3.3km,井田面积7.6341km²,开采深度由+1255m至+1170m标高,批准开采煤层为2⁻²、3⁻²号煤层,现生产规模1.20Mt/a。

1.2 巷柱式采空区和上部煤层巷道现状

现场勘测结果表明,5⁻²煤层采用巷柱式采煤法,开采巷道宽度约6m,高度约3.5m,留设煤柱约22m×20m。

5⁻²煤层采空区与2⁻²、3⁻²煤层的层间距分别为125.5m、85m,采空区采厚3.5m。为直观反映现场巷道开采状况,本研究以201盘区东运输大巷为工程实例,现场巷道状况表明,2⁻²煤层巷道受下部5⁻²煤层巷柱式采空区、西侧20101工作面采空区、东侧在采20101-1综采工作面的影响较小,巷道变形与受破坏程度较轻。

2 巷柱式采空区上部煤层安全开采分析

本研究采用现场调研、资料收集、理论分析、FLAC3D数值模拟、工程类比等方法,结合比值法、“三带”判别法、围岩平衡法、数理统计法开展类比分析,研究巷柱式采空区上部煤层开采的可行性。

2.1 比值判别法

先开采下部5⁻²煤层、后回采上部2⁻²、3⁻²煤层,应用采动影响倍数K判别。5⁻²煤层采空区采厚M₂=3.5m,与2⁻²、3⁻²煤层间距H分别为125.5m、85m,将各项数据代入采动影响倍数计算公式,得出K为35.56、24.3,均满足中硬岩层K≥7.5的判定标准,上部煤层开采具有可行性^[1]。

2.2 “三带”判别法

5⁻²煤层采用巷柱式开采(采宽6m、留宽8m),未达到长臂充分开采条件,仅局部块段可能出现类似“三带”型破坏,但变化规律相一致,仍可参考“三带”判别法。

假设垮落岩石充满采空区,利用顶板厚度计算公式得出厚度为17.5m。5⁻²煤层顶板至2⁻²、3⁻²煤层底板间距远大于导水裂缝带最大高度(28.7m),上部煤层位于导水裂缝带上,完整性不受影响。且现场调查显示,5⁻²煤层回采已数十年未出现大面积

垮塌现象,下部开采未破坏上部煤层,因此上部煤层开采安全可行。

2.3 围岩平衡法

运用围岩平衡法进行评估时,计算除层间距为30.9m。因5⁻²煤层与2⁻²、3⁻²煤层间距(125.5m、85m)均大于岩平衡高度H₀,所以下部煤层采空区不影响上部煤层正常回采^[2]。

2.4 数理统计法

煤炭科学研究院北京开采所刘天泉院士团队根据我国煤矿受下部一个煤层采动影响的104个上部煤层开采样本统计,回归分析得出,上煤层开采必需层间距H需按照公式2-3进行计算。已知国能煤矿下煤层5⁻²煤层采厚M=3.5m,上煤层2⁻²、3⁻²煤层厚度M_s分别为2.31m、1.00m,代入公式得出H分别为20.415m、19.105m。因实际间距远大于计算结果,故上部煤层开采可行。

2.5 巷柱式采空区上部煤层开采可行性类比分析

2.5.1 类比分析的选择依据

文献检索表明,国内巷柱式采空区上部煤层开采实例较少,本研究选取大同永定庄矿、陕西省丁家梁煤矿等类似工程案例进行对比分析,发现各矿采动影响倍数均满足安全要求,上部煤层均实现安全开采,具体实例如下:

(1)大同矿区局永定庄矿巷柱式采空区上部煤层开采实例。该矿区下煤层为11号煤层,采厚1.9~3.5m,煤层倾角3~4°,采煤方法为巷柱式采煤法。上煤层为9号煤层,采厚1.3m,采用长壁垮落法开采,与11号煤层间距为26m,计算得出采动影响倍数K=10.9,上下煤层开采时间间隔为180个月,共计开采三个采面,各采面采掘正常。

(2)陕西省丁家梁煤矿浅埋近距离煤层巷柱式采空区上部煤层开采。丁家梁煤矿上煤层III-2号煤平均厚度3m,倾角0~3°,埋深约50m,上部煤层长壁开采。下煤层IV-2号煤平均厚度2.75m,倾角1~3°;直接顶为泥岩,平均厚约4.2m,基本顶为厚而坚硬的细砂岩,平均厚约17m;巷柱式采煤法,采宽与留宽均为6m,采高为3m。III-2号煤和IV-2煤层间距约35m。计算得出K=11.7,上部煤层开采成功^[3]。

2.5.2 开采方法对比

结合国内煤矿开采现状,采空区上部煤层开采多以长壁垮落法开采为主,但也有刀柱法、房柱法等开采类型。这3种开采方法的差异主要体现在上部煤层开采对下部采空区的扰动影响。应用长壁垮落法开采,采空区经过一定时间后,顶板垮落、开裂趋于稳定,上部煤层开采时采空区“活化”风险较低。应用房柱法,有可能会因上部煤层的开采引起下部房柱和顶板的扰动而失稳,但煤柱留设多,整体影响有限。应用刀柱法,采空区上部煤层开采面积比率只有15~20%,仍然实现了上部煤层安全开采的目的,未因开采方式影响开采效果^[4]。因此,针对国能煤矿巷柱式采空区上部煤层开采而言,煤柱面积比率大于刀柱法面积比率,可以采用长壁垮落法进行开采。

2.5.3 类比分析结论

通过与类比工程实例对比论证可知,国能煤矿无论是地质

采矿条件, 开采方法及采动影响系数等均与目前已经进行过采空区上部煤层开采的矿井相似, 且在某些方面呈现出较好的状态, 因此, 巷柱式采空区条件下上部煤层开采具有可行性。

3 巷柱式采空区稳定性分析

针对国能煤矿下部5²煤层巷柱式采空区是否失稳导致上部拟开采的2²、3²煤层产生大面积突然垮塌, 以及上部2²、3²煤层开采过程中是否对煤层底板, 即对下部5²煤层巷柱式采空区, 尤其是留设的煤柱产生明显的动载, 导致房柱失稳, 从而发生大面积突然垮塌, 增加动力灾害发生风险等问题。在研究国能煤矿5²煤层巷柱式采空区上部煤层开采时, 为保证开采安全可行, 应聚焦以下两个判定标准: 一是5²煤层巷柱式开采是否对2²、3²煤层的完整性、连续性造成破坏, 2²、3²煤层能否按照正常的方式布置工作面, 并能正常地进行开采; 二是5²煤层巷柱式采空区是否会失稳, 以及2²、3²煤层的长壁全部垮落法开采是否会引起5²煤层巷柱式采空区失稳, 从而发生大面积的突然垮塌, 造成动力灾害的发生。

3.1 上部2²、3²煤开采前巷柱式采空区稳定性评价

经对下部5²煤层巷柱式采空区留设的巷柱和顶板稳定性影响因素分析计算, 巷柱式采空区留设的煤柱稳定性安全系数为2.11, 煤柱处于稳定状态。另外, 结合大同矿务局留煤柱控制顶板工程实例, 中厚煤层采空区内煤柱面积比率超过25~30%时, 即可避免顶板出现大面积冒落, 而国能煤矿下部5²煤层煤柱的面积比率高达133%, 因此顶板稳定可靠。综上所述, 国能煤矿上部2²、3²煤层开采前5²煤层巷柱式采空区整体稳定。

3.2 上部2²、3²煤开采后下部5²煤巷柱式采空区稳定性分析

科学试验与大量的开采实践表明, 位于巷柱式开采区上方近距离煤层的开采, 会对已形成的巷柱式开采区内的房柱和顶板产生一定的影响。这是因为上部煤层开采时, 会对底板岩层产生一定的采动影响破坏区, 若底板采动影响破坏区与巷柱式开采区的煤柱甚至房采区上部顶板的破坏区相互重叠产生扰动, 有可能使煤柱应力发生变化、失稳, 造成老空区“活化”。国能煤矿上部的2²、3²煤层距离下部已采的5²煤层巷柱式开采区距离较远, 因此, 其开采的影响程度相对较小。对上部2²、3²煤开采对下部5²煤层巷柱式开采区稳定性的具体分析是在下部5²煤层巷柱式采空区失稳条件下得出的, 而现场实际表明5²煤层巷柱式采空区顶板大部分未发生垮落。工作面底板破坏带深度和巷柱式采空区最大垮落断裂带高度之和为50.98m, 小于5²煤层和2²、3²煤层的层间距, 因此, 上部2²、3²煤层开采后, 下部5²煤层巷柱式采空区处于稳定状态。

4 数值模拟计算分析

此分析是通过二维有限差分程序FLAC扩展而来, 能够对土体、岩体以及其他材料等三维结构体进行受力和塑性分析。通过设置三维结构中的网格类型, 来模拟实际过程中的结构类型, 当外加荷载和设置的边界条件合理时, 其三维结构中的网格将会发生移动和变形。主要采用混合离散法来模拟结构中的塑性破坏和塑性流动, 并通过动态运动方程处理物理失稳问题^[5]。

4.1 建立数值模拟模型

以国能煤矿2²、3²煤层走向长壁采煤法与5²煤层巷柱式开采为原型, 结合矿井现有地质资料, 借助FLAC^{3D}数值模拟软件进行模拟分析, 主要目的:

(1) 模拟5²煤层在进行巷柱式开采后, 对上部岩层稳定性是否产生影响。

(2) 探究2²煤层回采结束与5²煤层巷柱式开采后, 再开采3²煤层的可行性。

(3) 3²煤层回采过程中下方5²煤层中煤柱是否稳定。

本次模拟重点分析3²煤层开采过程, 故选取关键地层构建数值模型。结合现场勘测与开采参数, 选取最不利工况(其采宽6m、留宽8m)作为研究对象, 以此研究极端条件下巷柱式采空区对上部煤层开采的扰动影响。

4.2 模拟结果与分析

综合分析结果表明, 顶部2²煤层工作面回采后, 下部5²煤层煤柱整体位移较小, 塑性破坏区主要集中在2²煤层上方。3²煤层、5²煤层遗留煤柱及采空区均未出现新增破坏, 区域内应力分布连续且稳定。

5 结论

综上所述, 本研究系统收集了国能煤矿的基本情况、煤矿生产资料, 并对井下2²煤层巷道变形情况进行实地勘察, 发现巷道变形和受破坏程度较小, 为本次开采技术研究提供了基础依据。同时, 经分析验算, 5²煤层巷柱式采空区在2²、3²煤层开采前后, 煤柱与顶板均保持稳定, 研究表明, 国能煤矿在合理设计、科学组织、严格管控前提下, 具备实施在巷柱式采空区上部开采煤层的可行性与安全性。未来还需进一步深化国能煤矿巷柱式采空区上部煤层安全开采技术研究, 探索极近距离煤层、特殊采空区、高应力等条件下上行开采机理研究, 为我国其他产煤地区在巷柱式、房式、刀柱式老采空区上方实施上覆煤层安全开采提供重要参考与借鉴, 对推动我国煤炭行业安全、高效、绿色、可持续发展具有积极意义。

[参考文献]

- [1]刘亚明.煤柱失稳条件下浅埋房柱式采空区上部地层变形特征[J].兰州大学学报(自然科学版),2024,60(4):494-500+508.
- [2]刘亚明,谷天峰,王闰超,等.基于物理模拟试验的房柱式采空区变形特征研究[J].煤炭科学技术,2024,52(S1):30-36.
- [3]张少春.神广煤矿房式采空区上部煤层开采可行性研究[J].西安科技大学学报,2023,43(03):476-485.
- [4]刘熙.井下覆房柱式采空区对上部煤层开采影响研究[J].山西焦煤科技,2023,47(05):14-17.
- [5]黄庆享.采空区上部煤层开采围岩稳定性分析[J].煤炭学报,2012,37(05):721-726.

作者简介:

杨昶(1995--),男,汉族,陕西省铜川市人,硕士研究生,工程师,单位:国家矿山安全监察局陕西局救援指挥中心,方向:应急救援。