

厚松散层下综放开采关键技术研究与应用

赵磊

河南能源焦煤公司赵固一矿，河南 焦作 454000

摘 要： 赵固一矿煤层赋存特点有埋藏深度大、底板高承压水和顶板含水层威胁、基岩薄、煤体节理发育等特点。矿井之前分别采用过分层开采技术和一次采全高技术，其中分层开采技术产量低、效率低，掘进量大，采掘接替紧张；一次采全高仅在18020工作面应用了，在5.5m采高条件下，应用效果较差^[1]，设备管理难度大，工作面掉矸片帮严重，不利于管理。放顶煤开采技术在赵固一矿的得到了很好的应用，但厚松散层下放煤工艺、放煤参数、支架选型、两带发育高度等问题仍需要进行深入研究。

关 键 词： 模拟模型；压力拱结构；上覆岩层

Research And Application Of Key Technologies For Fully Mechanized Mining Under Thick And Loose Layers

Zhao Lei

Zhao Guyi Mine, Henan Energy Coking Coal Company, Henan, Jiaozuo 454000

Abstract： The characteristics of coal seam occurrence in Zhaoguyi Mine include large burial depth, high pressure water on the floor and the threat of water bearing layer on the roof, thin bedrock, and developed coal joints. Previously, the mine used both layered mining technology and one-time full height mining technology. Among them, layered mining technology has low output, low efficiency, large excavation volume, and tight mining succession; The one-time full height mining was only applied on the 18020 working face. Under the condition of a mining height of 5.5 meters, the application effect was poor, the equipment management was difficult, and there were serious debris falling off the working face, which was not easy to manage. The top coal caving mining technology has been well applied in Zhaoguyi Mine, but further research is still needed on issues such as the coal caving process in thick loose layers, coal caving parameters, support selection, and the height of the two zones.

Keywords： simulation model; pressure arch structure; overburden

引言

顶板管理一直是回采工作面关注核心的问题之一。采动影响引起的上覆岩层的运动是采煤工作面中的矿压显现的主要原因，由于上覆岩层的岩性、赋存情况不同，其运动规律也各有差异。顶板上覆岩性条件及岩性特征决定了顶板的运动规律，也就决定工作面顶板的控制方式、方法，在对这个问题的研究过程中，曾提出“砌体梁”理论、岩板及弹性基础梁理论、关键层理论等各种采场矿山压力的假说。

针对赵固一矿厚松散层下开采，分层开采掘进工程量大、效率低，时间久，矿井接替十分紧张；一次采全工作面应力集中，顶板管理难度大。分层开采、大采高开采导致赵固一矿采掘接替十分紧张，而采用综放技术能够很好的解决上述问题。研究厚松散层下综放开采能够实现厚松散层下综放安全开采，相较于分层开采，能够减少搬家倒面次数，有利于缓解矿井采掘接替紧张的局面。

一、赵固一矿概况

矿井主采二叠系山西组2₁煤层，煤层倾角2°~12°，平均4°，煤厚5.5~6.93m，平均5.29m，煤层埋深、冲积层厚、基岩薄、矿压大。

18060工作面属于矿井-525m水平，位于矿井北翼，所属盘

区为西八盘区，开采二₁煤层，是赵固一矿首个放顶煤工作面。工作面内煤层顶板标高-481.8~-513.3m，对应地面位置标高为+86.7~+87.3m，平均埋深585.85m。工作面煤（岩）层产状0°~360°∠0°~9°，煤（岩）层平均倾角为4°。工作面对应地表为东王河村和南王河村（保护等级为Ⅲ级），西北为西王河村（保护等级为Ⅲ级）和高压线路（输电电压为35KV，保护等级

作者简介：赵磊，出生年月：1984年，男，河南新乡人，工程师，2010年毕业于华北科技学院，现从事煤矿安全管理的工作。

为Ⅳ级），南为赵固一矿铁路（Ⅳ级铁路，保护等级为Ⅳ级）、高压线路（输电电压为35KV，保护等级为Ⅳ级）和西风井工业广场。工作面北为F15断层，西为未采掘的西八盘区，南为回风大巷、东为18040工作面。18060工作面煤层厚度变化较大，最薄1.6m，最厚6.9m，平均煤厚4.58m。18060工作面切眼和上下顺槽均沿顶板布置，上顺槽长为501.6m，下顺槽长为499m，上下顺槽设计为矩形断面，切眼长为150m，回采长度为500m，平面面积为75045m²。

二、巷道布置及支护参数

上顺槽巷道净宽5000mm，净高3800mm，净断面积19.00m²；掘进宽度5200mm，掘进高度3900mm，掘进断面积20.28m²。

（一）顶板支护方式

顶板采用锚网索支护，锚杆规格 $\phi 20 \times 2400$ mm，锚索规格 $\phi 17.8 \times 2600$ mm。间排距800×900mm，另采用点锚索与槽钢梁锚索交叉布置补强支护，每间隔一排锚杆（索）打一排锚索，锚索规格 $\phi 21.6 \times 8300$ mm，槽钢梁锚索每排4根，点锚索每排3根，呈“4-3-4-3”布置方式，间排距1400×1800mm，点锚索及槽钢梁锚索均垂直顶板打设。

（二）帮部支护形式

帮部采用锚网索支护，间排距900×900mm，锚索规格： $\phi 17.8 \times 2600$ mm，肩窝及底脚锚索分别上扎、下扎10°，其余垂直于煤墙打设。

三、围岩物理力学参数试

岩石物理力学参数它是衡量煤矿工程设计与生产是否科学的重要依据之一。相似模拟实验以赵固一矿18060综采工作面围岩赋存情况为背景，模拟厚松散层下放顶煤开采工作面受采动影响上覆岩层的运动规律，实验使用的为二维相似模拟实验台，模型制作完成后如图1所示。



图1 相似模拟模型

（一）实验结果分析

为了避免从边缘地方模拟回采导致实验数据不准确，模拟回采实验从1.1m开始，模拟以6.25cm/h回采速度回采，尽量让模拟开采工作面与实际生产中相对应。为便于分析，文中描述的几何数值的比值均参照选取。

（二）覆岩“两带”演化过程

当模拟工作面回采至60m时，模拟工作面初次来压，关键层

较稳定，岩性破坏不明显，比较完整。关键层以下垮落，关键层以上上覆岩层未出现明显离层，初次来压步距为60m；当模拟工作面回采至90m时，顶板周期来压出现，上覆岩层出现离层，垮落带上方岩层相比初次来时不平整；随着模拟工作面回采推进，顶板纵向出现断细小裂带。当模拟工作面回采至125m时，关键层1断裂垮落，上覆岩层垮落至关键层2，垮落带高度增加；模拟工作面回采至135m时，直接顶“悬臂梁”暴露最大悬顶面积，垮落带发展至亚关键层1底部，断裂带继续向上发育；10min后直接顶“悬臂梁”断裂^[2]，岩块1跟着垮落，之后亚关键层断裂，随着岩块不断地垮落，涌向采空区，在有限的空间内，受自身重力和摩擦力的影响，形成铰接结构，暂时达到稳定状态，此时垮落带继续向上发育，直到第二个关键层起到支撑作用；当模拟工作面回采至150m时，直接顶断裂，岩块涌向老空区，并与采空区的垮落带岩块重新挤压胶结形成铰接结构，并慢慢趋于稳定。垮落带向上发展，垮落带与断裂带之间的裂隙导通后，并发育明显。当裂隙带发展到关键层3；当模拟工作面回采至165m时，直接顶失稳垮落；当模拟工作面推进至180m时，断裂带裂隙继续向上发育，此时断裂带到达关键层处，关键层下方的垮落带和断裂带内的岩层都以自身形成力学结构，垮落带内以“悬臂梁”结构存在，在断裂带内以“砌体梁”结构存在，垮落带和断裂带内以自身形成的力学结构支撑自身重量，避免了垮落带和断裂内的岩块下沉作用在工作面，促进了工作面安全开采；在工作面持续回采推进过程中，断裂带和垮落带内的关键层会以继续向上传递，在更大的范围内出现新的关键层。

四、压力拱结构特征

煤层回采后，上覆岩层破坏垮落，垮落的岩块重新铰接在一起，铰接位置高低不同，形成一个个能承载上覆岩层载荷的拱形结构，拱形结构的两端的支撑点分别作用在工作面煤壁和采空区中，随着工作面不断的推进，上覆岩层不断的涌向采空区，在采空区中，上覆岩层不断受到采动影响，会形成一个个新的拱形结构，重新形成应力平衡状态。工作面回采的不断推进，采空区的垮落高度不断增加，又会形成一个个更大的拱形结构。直到随着回采工作面的不断推进，高度不再增加，采空区一个个拱形结构趋于稳定，达到一种新的动力平衡，上覆岩层的破坏里不再向上传递。工作面再继续推进，上覆岩层的破坏力开始新一轮传递，在工作面水平向回采方向又会形成新的拱形结构形成周期，工作面上覆岩层出现“破坏—平衡”的重复循环过程，最终在达到应力平衡，此时上覆岩层断裂带高度达到最大。

受煤层埋藏深度、上覆岩性、赋存条件等影响，受采动影响上覆岩层的破坏、变化规律也各不相同，根据普氏天然平衡拱理论，工作面回采，采空区采用全部垮落法时，工作面回采后，上覆岩层受到采动影响破坏垮落，随着回采的推进，自然的形成稳定的压力拱，为建立煤层开采覆岩复合结构模型，假设采场可形成稳定的压力拱，且满足普氏理论基本假设，沿工作面长度方向平面投影近似呈抛物线拱形，工作面长度方向压力拱结构呈拱形

分布，走向方向上的压力结构认为是由长度方向上的平行压力拱组成、厚松散层放顶煤回采，随着工作面回采不断推进，在走向方向上形成新的拱形结构，压力拱的两端的支撑点作用的工作面两侧的煤壁上，按照压力拱的可分为开切眼压力拱和工作面压力拱。随着工作面不断向前推进，采空区的不断前移，工作面压力拱不断向前移动。

受工作面采动影响下，随着向切眼和工作面两端方向靠近，上覆顶板的不断下沉，在岩块自身重力和摩擦力在作用下，上覆岩层会形成新的压力拱，压力拱的高度也随着上覆岩层不断下沉而变小，新形成的压力拱的力学结构也更加稳定。

大量研究表明工作面开采后基岩的破断移动区呈倒漏斗型，而压力拱形态通常呈抛物线形或椭圆形，而关键层的对上覆岩层的影响起到控制性的作用，若关键层受采动影响失稳后，则在关键层断裂位置会重新形成压力拱结构。若压力拱发育到关键层，关键层没有被破坏，并处于稳定状态，侧压力拱位于关键层下放处于平顶状态

如前文所述，厚松散层近水平煤层覆岩存在若干关键层，煤层回采后，顶板垮落至关键层，随着回采的不断推进，顶板暴露面积的不断增加，关键层出现断裂垮落，关键层垮落后，在纵向方向上随着垮落高度的不断增加，会有新的关键层出现，这个过程不断重复，直到新的关键层不再发生破坏，在关键层附近形成了稳定压力拱。

五、支架选型

根据顶板压力估算公式：

$$P=8H\gamma g$$

式中： P —工作面顶板支护需要的支护强度，MPa；

8 —顶板垮落高度取8倍采高；

H —采高取5.5m；

γ —顶板岩石视密度，取 $2.6\times 10^3\text{kg/m}^3$ ；

g —9.8N/kg。

代入数据得： $P=8\times 5.5\times 2.6\times 10^3\times 9.8=1121120\text{ (N/m}^2\text{)}\approx 1.12\text{MPa}$ 。

工作面选用 ZF18000/20/38D、ZFG10000/27/40D型液压支架，液压支架额定工作阻力18000kN，护强度为1.82MPa，推移行程900mm，均满足工作面顶板支护需要强度。

六、结语

基于模拟模型和压力分析对厚松散层下综放开采覆岩破坏结构及其演化规律进行了研究，得到以下结论：（1）厚松散层下上覆岩层由断裂带转化为垮落带，垮落带高度增大；因采空区内上覆岩层压力和岩体的自身重力和摩擦力的作用，使采空区垮落的岩块不断压实，岩层间的裂隙不断缩小，趋于形成一个新的整体，采空区边界的裂隙为永久裂隙，是工作面溃水溃砂的主要通道。（2）工作面上覆岩层中低层位关键层失稳垮落后会引起上覆拱形结构的失稳，直到形成新的关键层，由在关键层下方形成新的拱形结构；采高及关键层类型对上覆岩层破坏形态及上覆岩层岩体力学结构影响显著。

参考文献

[1]王鹏. 18060综放工作面切顶卸压沿空留巷的维护技术应用. 山东煤炭科技 .2023 ,41 (06)35–37.
[2]杨达明. 厚煤层高强度开采覆岩“两带”特征及形成机制研究. 河南理工大学. 2019–04–01.DOI: 10.27116/d.cnki.gjzgc.2019.000002.