

柔性掩护液压支架采煤法在急倾斜煤层开采中的应用

张雄飞¹, 赵选奎², 柏林昆¹

1. 泸西县能源局, 云南 泸西 652499

2. 泸西县顺鸿煤业有限公司, 云南 泸西 652499

DOI:10.61369/ETQM.2026020019

摘 要 : 本文探讨柔性掩护液压支架采煤法在急倾斜煤层开采中的应用情况。首先介绍了柔性掩护液压支架采煤法的基本原理, 特点及适用条件, 分析了该采煤法在提高煤炭资源回收率, 保障安全生产, 降低开采成本等方面的优势。通过实际案例, 详细阐述了柔性掩护液压支架采煤法的工艺流程, 支架结构与安装调试技术。针对实际应用中出现的问题, 如支架变形, 移架困难等, 提出了相应的优化措施与改进建议, 包括支架结构优化设计, 加强顶板管理, 改进移架工艺等。研究表明, 柔性掩护液压支架采煤法在急倾斜煤层开采中具有显著的技术经济效益, 通过不断优化能够进一步提高开采效率和安全性, 为急倾斜煤层的高效开采提供有力的技术支持。

关 键 词 : 柔性掩护; 液压支架; 煤层开采; 工艺流程

Application of Flexible Shield Hydraulic Support Coal Mining Method in Steeply Inclined Coal Seam Mining

Zhang Xiongfei¹, Zhao Xuankui², Bo Linkun¹

1. Energy Bureau of Luxi County, Luxi, Yunnan 652499

2. Luxi County Shunhong Coal Industry Co., Ltd., Luxi, Yunnan 652499

Abstract : This paper explores the application of the flexible shield hydraulic support coal mining method in steeply inclined coal seam mining. Firstly, it introduces the basic principles, characteristics, and applicable conditions of this coal mining method, analyzing its advantages in enhancing coal resource recovery rates, ensuring safe production, and reducing mining costs. Through practical case studies, the paper elaborates in detail on the technological process, support structure, and installation and commissioning techniques of the flexible shield hydraulic support coal mining method. In response to issues encountered in practical applications, such as support deformation and difficulties in support movement, corresponding optimization measures and improvement suggestions are proposed, including optimized support structure design, strengthened roof management, and improved support movement techniques. Research indicates that the flexible shield hydraulic support coal mining method offers significant technical and economic benefits in steeply inclined coal seam mining. Continuous optimization can further enhance mining efficiency and safety, providing robust technical support for the efficient mining of steeply inclined coal seams.

Keywords : flexible shield; hydraulic support; coal seam mining; technological process

引言

在世界各国煤炭开采中, 急倾斜煤层的开采是世界性的难题。急倾斜煤层由于其特殊的赋存条件, 开采难度较大, 传统采煤方法往往面临着资源回收率低, 安全隐患大等问题。柔性掩护液压支架采煤法作为一种适合急倾斜煤层开采的高效采煤方法, 在保障安全生产, 提高煤炭资源回收率等方面具有独特优势, 近年来在云南煤炭行业得到了广泛应用和发展。对柔性掩护液压支架采煤法进行深入研究, 对于推动急倾斜煤层开采技术的进步, 实现煤炭资源的可持续开采具有重要意义。

一、柔性掩护液压支架采煤法概述

（一）基本原理

柔性掩护液压支架采煤法是利用柔性掩护液压支架将采空区和工作空间隔开，在支架的掩护下进行煤炭开采作业。支架沿着煤层的倾斜方向布置，随着采煤工作面向前推进，支架不断下放，始终保持对采空区的有效掩护，防止采空区矸石涌入工作空间，为采煤作业人员提供安全的工作环境。

（二）特点

1. 安全性高：柔性掩护式液压支架的主要作用为将采空区与操作空间隔开，阻挡矸石涌入，维护操作空间安全，起掩护作用；大大降低了顶板垮落，矸石飞溅等对作业人员的伤害风险，保障了采煤作业的安全。

2. 生产效率较高：该采煤法的作业流程相对简单，能够实现连续采煤，减少了采煤过程中的辅助作业时间，提高了煤炭开采效率。

3. 资源回收率高：支架能够紧密贴合煤层顶板和底板，有效控制煤炭损失，提高了煤炭资源的回收率，减少了煤炭资源的浪费。

4. 适应性强：可适用于不同厚度和不同倾角的急倾斜煤层，对于煤层赋存条件变化有一定的适应能力。

（三）适用条件

1. 煤层倾角大于 40° 的倾斜及急倾斜甚至有倒转的工作面；
2. 煤层中厚及以上且对煤厚变化大的煤层有很强的适应性；
3. 采用倾斜或伪倾斜壁式俯斜开采布置的工作面；
4. 可采用分层开采的方式应用该采煤法；同时要求煤层顶底板比较稳定，能够为掩护支架的安装和运行提供良好的条件。如果煤层顶底板破碎，需要采取相应的加固措施来保证采煤作业的安全进行。

二、柔性掩护液压支架采煤法的工艺流程

（一）准备工作

1. 巷道布置

在开采区域内布置回风巷、运输巷和开切眼。回风巷和运输巷沿煤层走向布置，开切眼沿煤层倾斜方向布置，布置为伪斜工作面，用于安装掩护支架和初始采煤作业。

2. 支架运输

液压件及液压管路在搬运前应用塑料盖封好注液口，包扎好注液接头及过液口，以免进入脏物或杂物。

搬运液压缸及液压支柱时，必须将活塞杆收回，拴牢。

液压件在搬运过程中严禁摔碰，尤其是活柱体、活塞杆、注液接头等关键件及各类阀体结合面要保护好，防止损坏密封件和镀层。

用平车整包装运进入工作面车场，运输时要捆绑牢靠。人工搬运时需拆解并避免摔碰。

3. 安装前准备

在开切眼内清理浮煤和杂物，平整底板，为支架安装创造良好条件。同时，在开切眼内设置好通风、排水和供电系统，确保安

装和后续采煤作业的正常进行。

（二）支架安装

1. 安装前的检查

两人现场打包，共同清点，核实所需零部件的数量、规格、型号，以保证顺利连续安装。各种管路、液压件必须现场拆封，安装前必须冲洗干净。安装液压阀件时，必须在现场打包，在保证干净的条件安装，螺纹处要抹黄油，液压支柱使用前必须全行程升降四次以上，以排尽上、下腔内空气。检查各项安装工具是否准备齐全，安装工具不全不得安装。

2. 对工作面进行全面检查

检查顶板是否有开裂、脱落现象；检查煤壁（煤槽）是否有片帮、垮塌现象；检查原有支护是否支设牢固，划背密实；检查巷道是否有杂物、大的跳坎儿等障碍。如有以上现象必须处理达到安全可靠。

3. 安装位置及安装顺序的确定

一般从巷道（开切眼？）的下端向上依次安装。

4. 安装支架

将组装好的支架按安装方向放置在巷道底板上，在所要安装位置旁支好支撑柱或打好起吊锚杆等，将架头（导向梁或顶梁端部）、架尾（尾梁端部）找好位置，调整好迎山角度并固定支架。接下来，再用手拉葫芦利用同一个支点将第二架吊起与第一架并列，将两架之间的连接装置连接好并固定牢靠，其它支架安装重复以上步骤。

5. 调整

整个工作面支架安装完成后，必须对支架进行终检和整体调整，确保支架间隙、连接以及支设状态均符合要求；并对多余支柱进行清理回撤，对巷道进行整理，确保巷道干净整洁，畅通无阻。^[1-4]

（三）连接质量检查

安装完成后，要对支架的连接部位进行全面检查，确保连接件安装牢固，钢丝绳与钢梁连接紧密，无松动、脱落等现象。通过拉力试验等方法对连接部位的强度进行检测，保证支架整体的稳定性。

（四）调试运行

在支架安装调试完成后，进行试运转。在试运转过程中，观察支架的运行情况，检查支架是否存在卡阻、变形等问题。同时，对采煤设备、运输设备等进行联合调试，确保整个采煤系统能够正常运行。

（五）采煤作业

破煤：采用爆破或机械采煤的方式进行破煤作业。在爆破采煤时，根据煤层硬度和厚度合理确定炮眼布置、装药量和爆破顺序，以保证破煤效果和作业安全。机械采煤可（视煤层的变化）采用小型采煤机或风镐等设备，提高采煤效率。

装煤与运煤：破落的煤炭通过人工或机械方式装入刮板输送机，刮板输送机将煤炭运输到运输巷，再通过胶带输送机等运输设备将煤炭运出采区。

移架：随着采煤工作面的推进，当支架前方的煤炭采出后，需要及时下放支架。移架时，先拆除支架下端的临时支撑，然后通过控制支架的油缸缓慢下放支架，使其沿煤层倾斜方向移动到相应的位置。下放过程中要注意调整支架的角度和位置，确保支架能够有效掩护采空区。

（六）收尾工作

当采煤工作面推进到预定位置后，进行收尾工作。首先逐渐回收支架，将支架从采煤工作面下端向上端逐架拆除，并运输到地面。然后对采空区进行处理，一般采用全部垮落法使顶板自行垮落充填采空区，以减少地表下沉和变形。最后封闭回风巷，运输巷和开切眼等巷道，完成整个采煤过程。

三、柔性掩护液压支架结构、特点与原理

（一）结构

支架一般由导向梁、顶梁、掩护梁及尾梁四部分组成，各肢之间呈一定固定或可调夹角；相邻支架由四道链环进行连接。

1. 导向梁

导向梁安装在顶梁体的前端，通过销轴与顶梁体铰接，主要作用是保证顶梁体前端与顶板的有效接触和支撑，除满足一定的刚度和强度外，还可有效避免因顶板的凹凸不平起伏变化而出现阻滞现象，保证有效滑动。本梁也可与顶梁成一定夹角固定连接或可去掉。

2. 顶梁

顶梁采用钢板拼焊园弧箱形结构。两个半园弧管，上下盖板形成箱式顶梁外形。顶梁双侧适当位置开槽，用于安装架间连接链；顶梁双侧适当位置加焊凸块，用于架间限位。顶梁为便于运输或煤层厚度变化需要可设计成 1 至 2 段。本梁可设计为伸缩梁结构以便调整其长度。

3. 掩护梁

掩护梁与顶梁同样采用钢板拼焊园弧箱形结构，为上宽下窄的倒梯形；掩护梁与顶梁之间连接有三种方式：（1）成一定夹角焊接；（2）在掩护梁靠近折弯处采用插接并用销轴固定；（3）轴向连接杆配螺栓固定。设计通常采用（2）、（3）方式。（2）、（3）方式的优点是两梁可拆解组装，便于运输和现场安装。

4. 尾梁

尾梁与掩护梁、顶梁同样采用整体箱形结构，用钢板拼焊而成。尾梁与掩护梁单铰接并安装千斤顶（分别与掩护梁和尾梁铰接）用来使尾梁在一定的范围内摆动。尾梁的下端与底板相接，为便于滑动尾梁端部采用弧形脚设计。尾梁仍然是上宽下窄的倒梯形。尾梁的主要作用为：（1）通过调整尾梁与掩护梁的夹角以适应煤层厚度的变化；（2）通过尾梁的摆动，可实现后部机械放煤。（3）可调整支架运行状态并在支架运行受到卡阻或运行困难时，驱动支架移动。

5. 架间连接装置

架间连接大致有两种方式：

（1）连接板连接。由双孔连接板与相邻支架分别铰接。铰接方式有与梁平行销接和与梁垂直销接两种，其优缺点为平行销接可在垂直方向获得较大落差和转折；垂直销接可在平行方向获得较大位移和转折。连接板连接道数一般为顶梁两道，掩护梁上辅以一到两道钢丝绳连接。

（2）链条连接。一般架型为顶梁两道，掩护梁一道，一般

架型为三道连接（采厚较大的架型可为五道连接），相邻两架间根据架间距需要在梁体双侧焊接一定数量和长度的凸块以避免咬架。

（二）支架特点

1. 支架柔性好

采用链条配顶梁侧面凸块限位连接方式，可使支架在任何方向都有一定的位移量，即所谓“万向”结构，所以，支架柔性好。

2. 支架安全性好

工作面全部支架通过连接机构柔性连为整体，具有较强的整体性和稳定性；标准支架为梁宽 320mm，架间隙仅 30mm（因客户要求不同而异）的整体箱式结构，掩护采空区的面积可达 95% 以上，不漏矸，对操作空间实现了全封闭管理；同时，移架工序可在无人的情况下完成，实现了本质安全。

3. 支架效能高

支架的行走移动主要靠来自采空区矸石的推挤和支架本身重力实现自动移架，无需动力和人工，从而节约了能源，降低了成本。

4. 支架适应性好

支架带导向梁，能适应顶板变化；支架尾梁由千斤顶控制实现摆动，既可使支架适应局部变薄地质条件，又可在煤层变厚时，利于侧放煤；在支架主梁适当位置留有柱位，以便加挂支柱辅助支撑或用于调整支架状态。

5. 支架性价比高

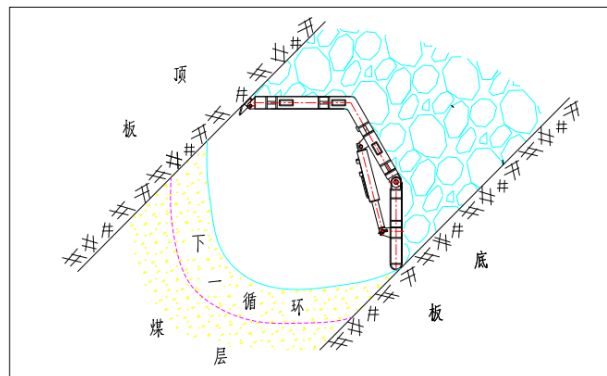
支架结构简单，体积小，重量轻，液压件比例低，移动灵活，易操作，运输方便，特别是维护成本极低，相比其它支护有明显的优势。

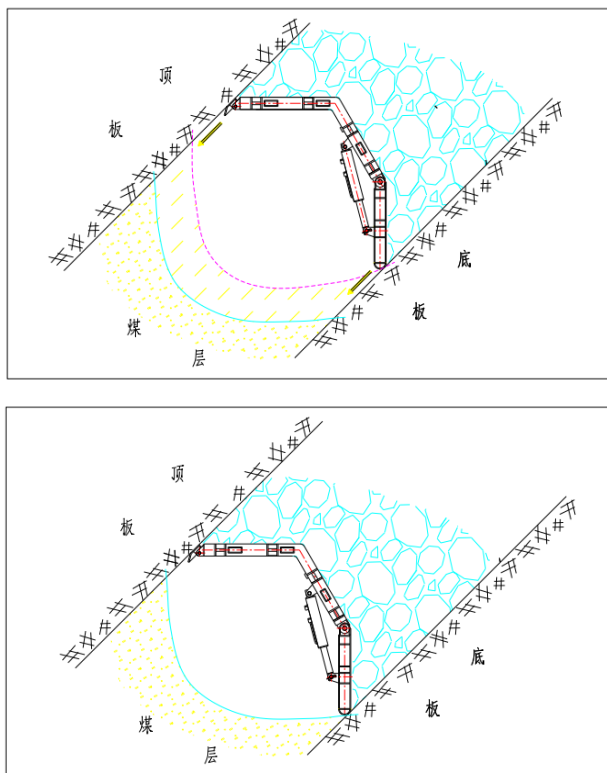
（三）工作原理

1. 概述

支架沿顶板布置，一端由导向梁贴顶板（或煤壁）支撑，另一端由尾梁支在底板（或底煤）上形成支架的两个最基本的支点；随着煤壁或煤槽（地沟）推进或开挖，支架的下支点失去支撑，在架后（采空区）矸石推挤和本身重力双重作用下实现移动。安装精度控制：在支架安装过程中，要严格控制支架的安装精度。支架的倾斜角度要与煤层倾角一致，偏差不得超过规定范围；支架的水平度要保证，避免出现歪斜现象，影响支架的正常运行和安全性。

2. 支架工作原理图示





四、柔性掩护液压支架采煤法应用中的问题及优化措施

（一）存在的问题

1. 支架变形

在采煤过程中，由于受到顶板压力，煤层起伏变化等因素的影响，掩护支架容易发生变形，导致支架的稳定性下降，影响采煤作业的安全进行。支架变形主要表现为钢梁弯曲，钢丝绳断裂，连接件松动等。

2. 移架困难

当煤层顶板破碎，底板不平整或支架与煤层之间摩擦力过大时，会出现移架困难的问题。移架困难不仅会影响采煤进度，还可能导致支架损坏，增加维修成本。

3. 顶板管理难度大

急倾斜煤层顶板在采动影响下容易垮落，尤其是在支架安装和拆除过程中，顶板管理难度更大。如果顶板管理措施不到位，容易发生顶板事故，危及作业人员的安全。

4. 煤炭损失控制难度较大

在采煤过程中，由于煤层赋存条件复杂，支架与煤层贴合不紧密等原因，会导致煤炭损失增加。煤炭损失不仅降低了资源回收率，还会对环境造成一定的影响。

（二）优化措施

1. 支架结构优化设计

针对支架变形问题，通过对支架结构进行优化设计，提高支架的强度和稳定性。例如，增加钢梁的规格和强度，改进钢丝绳的布置方式，采用新型的连接件等，增强支架抵抗变形的能力。

同时，根据煤层的具体赋存条件，对支架进行个性化设计，使其更好地适应开采环境。

2. 改进移架工艺

为解决移架困难问题，改进移架工艺。在移架前，对顶板和底板进行处理，平整底板，加固顶板，减少支架与煤层之间的摩擦力。采用先进的移架设备和技术，如液压移架装置等，提高移架效率和安全性。同时，合理控制移架速度和步距，避免因移架不当导致支架损坏或顶板事故。

3. 加强顶板管理

加强顶板管理是保障采煤作业安全的关键。在采煤过程中，根据顶板的稳定性，合理选择支护方式和支护参数。在支架安装和拆除过程中，采取有效的顶板加固措施，如超前支护，锚杆支护等，防止顶板垮落。加强对顶板的监测，及时掌握顶板的动态变化，以便采取相应的措施进行处理。

4. 优化煤炭损失控制措施

为降低煤炭损失，优化煤炭损失控制措施。在采煤过程中，加强对煤层厚度和倾角的测量，及时调整支架的高度和角度，确保支架与煤层紧密贴合。合理控制采煤工艺参数，减少煤炭的破碎和丢失。同时，采用先进的采煤技术和设备，提高煤炭开采的精度和效率，降低煤炭损失率。

五、案例分析

以泸西县顺鸿煤矿11601采煤工作面开采为例，煤矿采用ZRY15/26L型柔性掩护液压支架采煤法进行煤炭开采。该工作面煤层倾角为 62° ，厚度为1.28m，顶底板较稳定。在开采过程中，严格按照柔性掩护液压支架采煤法的工艺流程进行作业。

在支架安装阶段，通过精确测量和精心施工，保证了支架的安装精度和连接质量。在采煤作业过程中，采用风镐落煤采煤方式，合理控制推进速度，有效提高了破煤效果。同时，通过加强移架管理和顶板管理，确保了采煤作业的安全和顺利进行。

通过对该煤矿的开采实践进行分析，结果表明柔性掩护液压支架采煤法在该煤层开采中取得了良好的效果。煤炭资源回收率达到了90%以上，相比传统采煤方法采煤效率明显提高；安全生产得到了有效保障，开采过程中未发生重大安全事故。

然而，在开采过程中也出现了一些问题，如部分支架在顶板压力作用下发生了轻微变形，移架时偶尔出现卡阻现象。针对这些问题，煤矿采取了相应的优化措施，如对支架结构进行局部加固，改进移架工艺，加强顶板管理等。通过这些措施的实施，有效解决了存在的问题，进一步提高了开采效率和安全性。

六、结论

柔性掩护液压支架采煤法作为一种高效、安全的急倾斜煤层开采方法，在煤炭行业具有广阔的应用前景。通过对其基本原理、工艺流程、支架结构与安装调试技术的研究，以及对应用中存在问题的分析和优化措施的探讨，可以得出以下结论：

1. 柔性掩护液压支架采煤法具有安全性高,生产效率较高,资源回收率高,适应性强等优点,适用于多种急倾斜煤层的开采。

2. 合理的工艺流程和先进的支架结构与安装调试技术是保证柔性掩护液压支架采煤法成功应用的关键。在实际应用中,要根据煤层的具体赋存条件,精心设计和施工,确保采煤作业的顺利进行。

3. 针对柔性掩护液压支架采煤法应用中出现的支架变形,移架困难,顶板管理难度大,煤炭损失控制难度较大等问题,通过采取支架结构优化设计,改进移架工艺,加强顶板管理,优化煤炭损失控制措施等,可以有效解决这些问题,进一步提高开采效率和安全性。

4. 案例分析表明,柔性掩护液压支架采煤法在急倾斜煤层开

采中能够取得显著的技术经济效益,通过不断优化和完善,该采煤法将在急倾斜煤层开采中发挥更大的作用,为煤炭资源的高效,安全开采提供有力的技术支持。

5. 未来,随着煤炭开采技术的不断发展和进步,柔性掩护液压支架采煤法还需要进一步研究和创新,以适应更加复杂的煤层赋存条件和更高的安全生产要求。例如,开展智能化柔性掩护液压支架采煤技术的研究,实现采煤过程的自动化控制和远程监控,提高采煤作业的安全性和生产效率。同时,加强对支架材料和结构的研究,开发新型的高强度,轻量化支架材料,进一步优化支架结构,降低支架成本,提高支架的性能和可靠性。

参考文献

- [1] 沈平,姜永东,杨启军,等.大倾角煤层沿空留巷弓形柔性掩护支架控制技术[J].煤炭科学技术,2021,49(3):37-42.
- [2] 唐锋.液压可伸缩柔性掩护支架在斌郎煤矿的应用研究[J].煤炭工程,2018,50(2):78-80.
- [3] 杨帆.急倾斜煤层采动覆岩移动模式及机理研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2006.
- [4] 谢和平,吴立新,郑德志.2025年中国能源消费及煤炭需求预测[J].煤炭学报,2019,44(07):1949-1960.