

# 复杂地质条件下急倾斜煤层俯伪斜开采工艺适应性研究

李 浩

四川川煤华荣能源有限责任公司斌郎煤矿 四川 达州 635756

**【摘要】**：我国急倾斜煤层储量占全国煤炭总量的40%，南方矿区更是高达80%，但受地质条件复杂、煤层倾角大、厚度不稳定等因素制约，综合机械化开采长期面临设备防滑防倒难、飞矸伤人毁设备、回采效率低等技术瓶颈。针对55°~70°急倾斜煤层开采痛点，斌郎煤矿基于三十余年开采实践，创新研发走向长壁俯伪斜综采技术，并成功建成倾角70°智能化工作面，突破复杂煤层综采极限。该技术已在多座同类矿井推广应用，为急倾斜煤层安全高效智能化开采提供了可复制、可推广的技术范式，具有重要的工程价值与行业示范意义。

**【关键词】**：急倾斜煤层；俯伪斜开采；综合机械化；防滑防倒；智能化综采；安全高效

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.010

## 1 引言

### 1.1 研究背景

急倾斜煤层作为我国煤炭资源的重要组成部分，广泛分布于四川、重庆、贵州、云南等西南地区以及新疆、辽宁等北方矿区。此类煤层普遍具有倾角大（45°以上）、地质构造复杂、煤层厚度波动大、层间距小、瓦斯灾害突出等特点，给综合机械化开采带来了严峻挑战。

传统急倾斜煤层真倾斜布置时，支架下滑、倒架现象频发，机头撤架、机尾加架频繁，煤壁片帮、拉架漏矸引发的飞矸伤人及设备损坏问题突出。

### 1.2 研究目的与意义

本文以斌郎煤矿为研究载体，基于矿井复杂地质条件与三十余年开采实践，系统研究急倾斜俯伪斜综采技术的核心原理、关键技术措施、装备适配方案与智能化融合路径。通过现场应用验证技术可行性与有效性，形成一套完整的急倾斜俯伪斜综采技术体系，旨在解决55°~70°急倾斜煤层机械化开采的核心痛点，提升开采效率与安全保障水平，为同类矿井提供技术参考与实践借鉴，推动我国急倾斜煤层综采技术向智能化、高效化、安全化方向发展。

## 2 矿井概况

斌郎煤矿隶属于川煤华荣公司，地处四川省东部达州境内，是西南地区复杂地质条件矿井的典型代表。矿井始建于上世纪90年代，投产至今已有三十余年历史，核定产能50万吨/年，主要生产低硫、低磷、1/3焦煤，属高瓦斯矿井。

斌郎煤矿急倾斜煤层资源赋存具有五大典型特征。煤层薄且厚度波动大；构造断裂极其发育；煤层倾角大且变化剧烈；层间距小且采动影响显著；瓦斯灾害与地质灾害并存。

### 2.1 采煤工艺发展历程

三十余年来，斌郎煤矿始终致力于采煤工艺的革新与升级，先后经历了传统炮采时代、缓倾斜综采时代和急倾斜综采

时代三个重要阶段，每一次工艺变革都推动了矿井安全高效水平的提升，但复杂地质条件的先天劣势，始终制约着工艺与设备优势的充分发挥：

## 3 急倾斜俯伪斜综采技术创新

### 3.1 核心技术原理

急倾斜俯伪斜综采技术的核心原理是通过调整工作面布置角度，将煤层真倾角转化为俯伪斜角度，利用重力作用引导煤流与顶板垮落矸石沿煤壁自溜，从源头上杜绝飞矸对作业区域的冲击；同时，通过优化设备配置、规范作业流程，强化设备防滑防倒性能，确保工作面稳定推进。

具体而言，该技术通过将工作面布置为俯伪斜状态，使工作面与水平面形成一定的俯伪斜角度（通常为5°~8°），风巷超前机巷布置，上架支架超前下架支架，形成“阶梯式”布置格局。这种布置方式使得煤流、煤壁片帮及顶板垮落矸石绝大部分沿煤壁自溜至刮板输送机，避免了矸石飞溅至人行侧；同时，俯伪斜角度的设置降低了设备沿倾斜方向的滑移力，结合专用防滑防倒装置，有效解决了支架与刮板输送机下滑、倒架问题。

对于煤层真倾角70°以上、平均倾斜长度100m以上的极端工况，通过精确计算，将工作面上出口超前下出口15-20mm，使工作面伪倾角严格控制在58°-62°，进一步降低设备滑移风险与飞矸冲击能量，提升开采稳定性。此外，该技术通过优化采长、通风方式、支护参数等，构建了全方位的技术保障体系，实现急倾斜煤层安全高效回采。

## 4 关键技术措施

2021年，斌郎煤矿在综采设备优化升级、急倾斜工作面支架功能不断完善以及调采技术日渐成熟的基础上，开始创新试用俯伪斜开采工艺，并以N4014中厚煤层综采工作面（走向长度850m、倾斜长度140m、采高2.1m、煤层厚度1.7m、煤层倾角58°~72°）为试点，系统优化关键技术措施，形成了一套完整的急倾斜俯伪斜综采技术方案。

### 3.1.1 开采参数优化

开采参数的合理选择是确保俯伪斜综采技术高效应用的基础，矿井结合煤层赋存条件与设备性能，对伪倾角、采长、通风方式等核心参数进行了精准优化：

#### (1) 伪倾角调整

伪倾角的确定需综合考虑煤层倾角、工作面斜长、设备性能等因素，过小则难以实现煤流自溜，过大则增加设备滑移风险。通过现场试验与数值模拟分析，矿井确定俯伪斜角度通常控制在 $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 之间。对于N4014工作面，考虑到其煤层倾角较大( $58^{\circ}\sim 72^{\circ}$ )，将伪斜角度控制在 $8^{\circ}$ 左右，风巷超前机巷15m至20m进行布置，上架支架超前下架支架150mm至200mm，确保煤流与矸石沿煤壁平稳自溜，杜绝飞矸冲击。

#### (2) 采长设计

采长(倾斜长度)的确定主要依据煤层厚度、倾角及顶底板稳定性：以煤层厚度和倾角为基础：中厚煤层适当增加采长以提高开采效率，薄煤层适当减少采长，缓解因人员不能直立作业导致的劳动强度大问题；对于倾角 $45^{\circ}$ 以上的煤层，采长一般不宜超过150m，避免因工作面过长导致设备控制难度增大；结合顶底板岩性调整：顶底板坚硬、稳定性好时，适当增加采长；顶底板松软、易垮落时，缩短采长，以减少顶板垮落和底板滑移风险。N4014工作面为中厚煤层，顶底板岩性相对稳定，煤层倾角 $58^{\circ}\sim 72^{\circ}$ ，因此将平均采长控制在140m，既保证了开采效率，又确保了作业安全。

#### (3) 通风方式优化

急倾斜工作面通风管理直接影响作业人员安全与开采效率。传统上行通风方式易导致瓦斯积聚、采煤司机能见度降低、盲割及顶底板控制难度加大等问题。因此，矿井优先采用下行通风方式，新鲜风流从机巷进入工作面，污浊风流从风巷排出，有效改善了作业环境，降低了瓦斯积聚风险，提升了采煤司机操作安全性。

### 3.1.2 设备配置升级

设备适配性是急倾斜俯伪斜综采技术成功应用的关键。矿井联合上海天地科技股份有限公司、嘉华机械制造有限公司等装备制造厂商，针对急倾斜煤层开采需求，对采煤机、液压支架、刮板运输机等核心设备进行了专项研究与优化升级，形成了成套适配装备：

#### (1) 采煤机选型与参数优化

选用上海天地公司生产的MG250/710-AWD3型大倾角螺旋双滚筒采煤机，该采煤机具有良好的防滑性能与适应能力，具体参数如下：滚筒直径1.4m；滚筒截深0.8m；行走速度 $0\sim 4.0\text{m}/\text{min}$ ，下行割煤速度控制在 $\leq 3\text{m}/\text{分钟}$ ，上行空载速度 $\leq 2\text{m}/\text{分钟}$ ，避免因速度过快导致设备失稳；配备专用防滑装置与制

动系统，在倾角 $72^{\circ}$ 工况下仍能稳定运行。

#### (2) 液压支架优化与防滑防倒设计

选用嘉华机械公司生产的ZY3200/14/32Q型急倾斜掩护式液压支架，该支架针对俯伪斜开采需求进行了专项优化：支护强度 $\geq 386\text{kN}/\text{m}^2$ ，远超工作面顶板来压强度( $283\text{kN}/\text{m}^2$ )，确保顶板控制稳定；支架支撑高度1.4-3.2m，支撑宽度1.43~1.60m，初撑力 $1538\text{kN}\sim 2561\text{kN}$ ，最大控顶距5.64m，最小控顶距4.84m，放顶步距0.8m，适配不同厚度与倾角的煤层；支架顶板平行于采煤工作面顶板，中线平行于回风巷和机巷，与工作面形成 $72\sim 78^{\circ}$ 夹角，有效提升了支架稳定性，减少了滑移风险；强化防滑防倒结构：工作面1-6#架支架底座加设前防滑、后防滑及防倒装置，使6架支架形成整体，增强抗滑移能力；其余每两架支架安设前防滑及防倒装置，保证移架过程中支架不下滑；增大防滑调推缸缸径，由传统的85mm增加至110mm，提升了工作阻力与设备刚性，有效控制刮板输送机下滑。

#### (3) 刮板输送机优化

对刮板输送机进行轻量化与防滑优化：取消工作面刮板输送机机头、机尾、过渡槽及刮板链等冗余部件，减轻设备重量，降低滑移风险；优化刮板输送机溜槽结构，采用耐磨材料，增强使用寿命；调整刮板输送机布置角度，与液压支架呈锐角布置，确保煤流顺畅，减少刮板输送机负载。

### 3.1.3 作业流程规范

规范的作业流程是确保急倾斜俯伪斜综采技术稳定发挥效能的保障。矿井通过现场试验，总结形成了“割煤-移架-推溜-进刀”的标准化作业流程，并对关键环节进行了严格规范：

#### (1) 采煤循环流程

采用“割煤准备→采煤机下行割煤→推移液压支架→采煤机空载上行收浮煤→推输送机→进刀”的采煤循环，每个循环进度0.8m，与支架放顶步距一致，确保工作面正规循环推进。

#### (2) 进刀方式优化

采用端部斜切式进刀方式，在上出口设置进刀段，进刀段长度25m-30m，与工作面倾斜布置形成少于 $8^{\circ}$ 的夹角，使采煤机行走时逐渐切入煤壁，避免冲击载荷。第一刀煤进刀0.8m，完成进刀后，采煤机下行割煤至下出口，割煤完成后返空上行收浮煤，确保煤炭回收率。

#### (3) 移架拉架规范

支架布置：液压支架与刮板输送机溜槽呈锐角布置，探梁朝上，与风巷夹角 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ，防止支架下滑；

移架顺序：严格从上至下移架作业，保持移架速度均匀(控制在 $0.5\text{m}/\text{min}$ 左右)，避免因移架速度不均导致支架失稳；

防倒防滑配合：移架过程中，防倒、防滑装置与所移支架同步配合，靠支架推移机构严格间隙限位(间隙控制在50mm

以内),阻止刮板输送机下滑,从而确保支架不下滑;

移溜方式:调整移溜顺序,采用“先下后上”的推移方式,先推移工作面下端口处的运输机段,并逐步向上推移其余运输机段,保持刮板输送机机头与下巷转载机机尾搭接合理(搭接长度 $\geq 500\text{mm}$ ),避免煤流泄漏。

### 3.1.4 安全防护体系构建

针对急倾斜煤层开采飞矸伤人、顶板垮落、瓦斯积聚等安全风险,矿井构建了全方位、多层次的安全防护体系,确保作业人员与设备安全:

#### (1) 挡矸防护

支架前挡矸:液压支架前安装可伸缩架前挡矸板,挡矸板距顶梁不超过150mm,若超过150mm则加装柔性挡矸网,防止矸石从支架顶部飞溅;

架间挡矸:每隔10架安设可伸缩架间挡矸板,封堵支架间隙,避免矸石从架间漏出;

下出口防护:下出口采用“挡矸网+挡矸板+单体支柱”组合防护,实现溜煤通道全封闭,彻底杜绝飞矸进入人行侧。

#### (2) 人员防护

个体防护:人员进入工作面必须佩戴保险绳,检修时佩戴双保险绳,防止人员坠落;

人行通道防护:下出口处的人行安全出口段采用单体液压支柱配木挑板进行支护,木挑板规格为长200mm、宽100mm、厚度50mm;单体液压支柱密度不小于0.8根/ $\text{m}^2$ ,排距与柱距均为0.8m,确保通道稳定性;

密集支柱防护:下出口处的人行安全出口段靠近煤壁侧布置一排倾斜密集支柱,柱距400mm;靠第一架支架顶梁处打一排走向支柱,柱距400mm,进一步增强通道防护能力。

### 3.1.5 智能化融合创新

为进一步提升急倾斜煤层开采的自动化、智能化水平,2022年矿井在N-1211工作面建成了急倾斜俯伪斜智能化工作面,实现了俯伪斜开采工艺与智能化技术的深度融合,突破了复杂煤层最大倾角70°的智能化综采极限,实现了“无人则安、

少人则安”的目标,进一步提升了开采效率与安全水平。

## 4 现场应用与成效分析

### 4.1 应用范围

自2021年创新试用急倾斜俯伪斜综采技术以来,斌郎煤矿已成功在多个极复杂地质条件工作面推广应用,涵盖薄煤层与中厚煤层,具体应用情况如下:薄煤层工作面:W4016(倾角 $48^\circ\sim 52^\circ$ )、W-4212(倾角 $53^\circ\sim 56^\circ$ )、W-4214(倾角 $55^\circ\sim 68^\circ$ );中厚煤层工作面:N4013(倾角 $58^\circ\sim 65^\circ$ )、N4014(倾角 $58^\circ\sim 72^\circ$ );智能化工作面:N-1211(倾角 $60^\circ\sim 70^\circ$ ),为急倾斜俯伪斜智能化综采工作面。

这些工作面均面临煤层倾角大、地质构造复杂、瓦斯含量高、顶底板稳定性差等问题,通过应用急倾斜俯伪斜综采技术,均实现了安全高效回采,验证了该技术的广泛适应性与可靠性。

### 4.2 应用成效

#### 4.2.1 安全保障度显著提升

自应用急倾斜俯伪斜综采技术以来,所有回采工作面均未发生飞矸伤人、支架下滑倒架、顶板垮落等重大安全事故,设备冲击损坏率大幅降低、飞矸伤人事故为零、设备损坏率下降70%、设备的故障率由传统工艺的30%降至9%以下、瓦斯事故为零。

#### 4.2.2 生产效率大幅提高

急倾斜俯伪斜综采技术的应用,有效解决了传统工艺频繁撤架、设备故障多、生产秩序混乱等问题,确保了工作面正规循环,生产效率大幅提升:月均产量显著增加:N4014中厚煤层工作面月均产量达4.2万吨,较传统仰斜开采工艺的2.8万吨提升46%;薄煤层工作面月均产量达2.5万吨,较传统工艺提升38%。

#### 4.2.3 行业示范效应突出

该技术通过了中国煤炭工业协会组织的科技成果鉴定,并荣获2023年度全国十家煤炭行业标杆企业之一,为我国急倾斜煤层综采技术的发展做出了重要贡献。

## 参考文献:

- [1] 付胜,雷洋,杨洪林.特厚急倾斜煤层综放工作面开采技术应用实践[J].价值工程,2025,44(36):34-37.
- [2] 郑光亮.复杂地质条件下薄煤层工作面开采关键技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025,(21):187-189.
- [3] 陈浩.急倾斜煤层巷道围岩应力演化规律及数值模拟研究[J].西部探矿工程,2025,37(09):132-134+137.
- [4] 朱开鹏.急倾斜煤层长壁采场底板应力传递路径倾角效应研究[J].煤炭工程,2025,57(05):107-116.
- [5] 陈思航.复杂地质条件下金属矿山充填开采工艺改进及经济效益评估[J].世界有色金属,2025,(09):121-123.