

# 高瓦斯急倾斜煤层群联合开采技术研究

高九华<sup>1</sup>, 屠洪盛<sup>2</sup>, 赵忠义<sup>3</sup>

<sup>1</sup>煤炭科学技术研究院有限公司, 北京

<sup>2</sup>中国矿业大学, 矿业工程学院, 江苏 徐州

<sup>3</sup>六盘水师范学院, 贵州 六盘水

收稿日期: 2022年2月22日; 录用日期: 2022年3月24日; 发布日期: 2022年3月31日

## 摘要

目前对于75°以上的中厚及厚急倾斜煤层还没有能够形成一种安全高采出率的采煤方法。论文针对阿戛煤矿高瓦斯突出近距离煤层平均倾角78°的地质赋存条件, 综合利用采矿学原理、工程类比和理论分析的方法, 发明了新形的急倾斜“立U形”工作面采煤方法, 确定了阿戛煤矿近距离煤层联合开拓巷道的层位、长度、断面尺寸及支护方式, 设计了包括高位瓦斯巷、下位运输巷和工艺联络巷的回采巷道系统, 配套了工作面ZF6800/17/31型放顶煤液压支架、ZFD18000/17/30型巷道液压支架组、MG200/WD型采煤机等主要技术装备, 实现了阿戛煤矿急倾斜煤层的安全高效开采, 解决了特大倾角煤层的机械化采煤技术难题。

## 关键词

急倾斜煤层, 联合开采, 设备配套, 突出煤层

# “Vertical U-Shaped” Combined Mining Method of High Gas and Close Distance in Steeply Coal Seams

Jiuhua Gao<sup>1</sup>, Hongsheng Tu<sup>2</sup>, Zhongyi Zhao<sup>3</sup>

<sup>1</sup>China Coal Science and Industry Group, Beijing

<sup>2</sup>School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu

<sup>3</sup>Liupanshui Normal University, Liupanshui Guizhou

Received: Feb. 22<sup>nd</sup>, 2022; accepted: Mar. 24<sup>th</sup>, 2022; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

At present, there is no coal mining method that can form a safe and high production rate for medium and thick steeply inclined coal seams above 75°. Paper aimed at ending o gas outburst close seam average Angle 78° of geological occurrence conditions, comprehensive utilization of mining science principle, engineering analogy and theory analysis method, invented a new type of steep “u-shaped” working face mining method, to determine the ending coal o close coal seam joint development road of the horizon, length, section size and the supporting method, the design including the high gas, lower transportation lane and process connection extraction roadway system. The main technical equipment, such as ZF6800/17/31 type caving hydraulic support, ZFD18000/17/30 type roadway hydraulic support group and MG200/WD coal mining machine, has been provided for the safe and efficient mining of sharp inclined coal seam in The Aga coal mine, and the technical problem of mechanized coal mining in extremely inclined coal seam has been solved.

## Keywords

Steeply Inclined Coal Seam, Roadway Supporting, Numerical Simulation, Surrounding Rock Deformation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

急倾斜煤层是指煤层倾角大于 45°的煤层，其储量约占我国煤炭总储量的 15%~20%，在我国煤炭资源不均衡分布的现状条件下，西南矿区 50%以上矿井都在开采急倾斜煤层，且煤种主要为焦煤、无烟煤和一些稀缺煤种，是工业和区域经济发展不可或缺的动力燃料和工业原材料，因此不得不开采此类赋存条件复杂的煤层[1]。根据急倾斜煤层厚度和倾角不同，相关专家学者开展急倾斜煤层开采方法方面的研究主要有：设计柔性掩护支架对煤层采场进行全空间封闭，充分利用急倾斜煤层倾角大、矿山压力显现特征，形成了柔性掩护支架支护、放炮破煤的长壁开采方法；针对急倾斜薄煤层(厚度小于 1.3 m)地质赋存条件，从综采工作面的设备防滑、防倒、飞煤矸易伤人、损坏设备方面着手，研究了急倾斜煤层走向长壁俯伪斜开采方法，并研发了与其相适应的液压支架、采煤机、导向输送机及配套装备，解决了倾角在 55~70°范围内的薄煤层开采技术难题[2]；针对急倾斜厚及特厚煤层的赋存特征，采用水平分层或水平分段的方法沿煤层倾斜方向将其划分为一定高度的水平煤层开采，成功解决了薄及特厚急倾斜煤层的安全高效开采。综上所述可以看出目前对于 75°以上的中厚及厚急倾斜煤层还没有能够形成一种安全高采出率的采煤方法，为此本研究将针对此类煤层赋存条件，研发一种合理的综采开采方法，促进特大倾角煤层安全高效开采。

## 2. 工程地质概况

阿戛煤矿位于贵州省水城县新城南东约 26 km，隶属水城县阿戛乡管辖，矿区属高原溶蚀地貌，煤系地层出露地段相对较缓，总体地貌形态东西向带状展布，两边形成高山，中间为沟谷，最低海拔 1390

m, 最高海拔 1926 m, 相对高差 536 m。矿井可采煤层有 14 层, 主采煤层为 18<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 14<sup>#</sup>、18<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 14<sup>#</sup> 在煤质和小窑开采的影响下现阶段不适合作为主采煤层开采, 然而 18<sup>#</sup>煤层又可分为 18a 和 18b 两层, 18a 煤层厚度 5~7 m, 18b 煤层厚度约 2 m, 中间夹矸层厚度 4.5~7 m, 煤层倾角 78°, 属于典型的近距离煤层群赋存条件, 顶板岩性为含植物化石之泥岩, 粉砂岩, 有时含石英细鲕粒, 夹矸多为泥岩, 有一层较稳定的隐晶质高岭石泥岩, 煤质松软, 多为粉状煤, 底板为泥岩, 煤层瓦斯含量高, 属煤与瓦斯突出矿井。

采煤方法改革之前, 矿井采用伪倾斜柔性掩护支架走向壁式为基础的巷柱式高落放顶煤采煤法, 每采煤一次, 工作面沿走向推进 1.0~1.2 m, 然后拆除溜槽, 再进行下一循环的打眼、装药、放炮、出煤、支护、调整支架等工作, 存在人员配备多、系统复杂、管理困难、资源回收率低(40%~60%)等问题。在国家和贵州省煤矿机械化综采技术推广应用的要求下, 为此需结合阿戛煤矿高瓦斯近距离煤层群赋存条件研发一种合理的综采开采方法。

### 3. 采煤工艺选择

根据国内外厚煤层开采技术发展现状, 结合本矿特大倾角 18a 和 18b 近距离煤层群厚度及层间距特点, 可供选择的采煤方法主要有: 分层开采、伪斜长壁柔性支架炮采, 机械化分段一次采全高和机械化分段放顶煤开采。

分层综采指的是沿煤层倾斜方向将厚煤层沿煤层高度方向分成若干层厚度较薄的煤层, 利用已有的综合机械化开采装备进行开采, 对于阿戛煤矿煤层倾角 78°条件, 开采过程中存在顶板管理困难、产量低、效率低、设备围岩稳定控制困难的难点, 且现阶段国内外还没有相应的综合机械化长壁工作面开采成功的先例, 因此分层长壁综采并不适合阿戛煤矿地质赋存条件。

伪斜长壁柔性支架炮采采煤工艺, 工作面采用柔性掩护支架形成防护空间, 采用放炮工艺落煤, 人员劳动强度高、效率低、安全系数差等, 也不适合阿戛煤矿地质赋存条件。

分段开采的原理是沿煤层倾斜方向按照一定高度将其分为若干层水平煤层进行开采, 但工作面的长度较短, 近视为煤层的实际厚度。对于大采高一次采全高采煤工艺, 目前国内最大的开采高度在 7 m 左右, 针对阿戛煤矿地质赋存条件采用分段一次采全高采煤工艺, 工作面长度短, 一次开采高度低, 工作面产量难以达到矿井的设计产能, 通过工作面产能的前期核算不宜采用。

分段放顶煤开采具有分段高度大, 一次能够采出煤炭资源量多, 工作面成水平布置, 现有水平煤层放顶煤开采装备成熟等优点; 同时由于 18a 和 18b 煤层的节理裂隙较为发育, 煤层的硬度系数  $f \leq 0.5$ , 有利于顶煤的破碎与放出; 另外由于 18a 和 18b 煤层的厚度变化较大, 放顶煤开采对于厚度变化大的煤层具有较好的适应性, 综合分析分段放顶煤短壁综采可作为阿戛煤矿的首选采煤工艺。

根据《煤炭安全规程》中对于放顶煤工作面采放比不大于 1:3 的规定, 结合矿井设计生产能力的核算, 确定放顶煤开采的开采高度为 3 m, 放煤高度为 9 m, 每个工作面的高度设计为 12 m。

## 4. 工作面巷道系统布置

### 4.1. 常用巷道系统布置方式

根据 18a 和 18b 近距离煤层群的地质赋存条件, 采用分段放顶煤开采时的回采巷道系统布置有两种常用方法。第一种方法为: 为了尽可能降低巷道的掘进工程量, 增加工作面长度, 可将 18a 和 18b 两层煤看成一层煤统一设计, 在 18a 煤层的顶板和 18b 煤层的底板附件分别布置运输平巷和回风平巷, 如图 1 所示。

此种布置方法具有巷道系统简单便于管理、受煤层倾角和厚度影响小的优点, 但存在中间夹矸厚度大, 随煤层一次采出后煤层含矸率高、矸石的运输成本高、一次开采厚度大, 影响范围广易于波及地表

造成生态破坏等严重的环境问题等缺点。

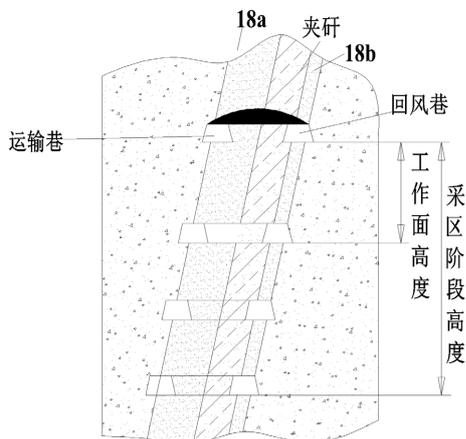


Figure 1. The layout of the whole mining roadway  
图 1. 整层开采巷道布置

第二种方法为：将 18a 和 18b 近距离煤层群分别作为单独的煤层，每层煤分别采用在煤层的顶板煤层的底板附件布置运输平巷和回风平巷的方式形成单独的工作面回采系统进行放顶煤开采。此种方法具有巷道系统布置复杂、巷道掘进工程量大，对于阿戛煤矿高瓦斯煤层赋存条件需要单独掘进瓦斯预抽巷道等，影响工作面开采效益的同时增加了开采成本。

#### 4.2. 新形“立 U 形”巷道布置方式

走向短壁立 U 通风放顶煤开采工艺技术主要适用于煤层倾角大于  $45^\circ$ ，煤层厚度在 1~5 m 厚的煤层条件下使用，与传统的走向长臂伪斜柔性支架和刚性柔性支架开采工艺相比有以下优越特点：

- 1) 将倾斜开采转化为水平分层开采，降低了传统特大倾角机械化开采难度，提高了安全性。
- 2) 工作面半煤岩沿空留巷的运输巷道和半煤岩沿空留巷的回风巷道之间所做的阶段半煤岩沿空留巷的工艺联络巷，保证采煤工作面时时通风和有两个安全通道出口。
- 3) 采用水平分层沿空留巷开采工艺，上分层工作面的运输巷道可以做下一分层工作面的回风巷道，实现一巷多用，掘进工作量少，可以降低掘进开拓工作量 35%~40%，降低企业的投资，工作面永远施工一条巷道，有效的解决采掘失调问题。
- 4) 开拓系统不受顶底板破碎及其走向断层的影响，适应性强、工作面搬家少，便于生产管理。
- 5) 操作人员在支护好的水平巷道完成工作面采煤，采用机械化开采，用工少，劳动强度低，安全可靠(工作面用工人数可以降低 50%)。
- 6) 采煤工作面沿走向可以根据需要无限长，满足高产高效的需要(1000~2000 m)，(年产量是现有伪斜长臂悬移支架产量 2~3 倍)。
- 7) 对于多煤层矿井而言，可以实现单翼多煤层联合多面开采，实现高产高效生产。
- 8) 在开采工程中，沿着工艺巷道实现沿空充填工艺，可以有效的解决地表的塌陷，与此同时还可以有效高效率的解决煤层瓦斯抽采、采煤面瓦斯排和采空区瓦斯治理、煤层及其残煤发火、工作面粉尘、地表水和雨季水对井下灾害以及其地表塌陷对环境的影响。

根据上述有点，对于阿戛煤矿 18a 和 18b 煤层开采而言，将 18a 和 18b 煤层独立开采，采用上回风巷，下运输巷道开拓系统布置，采用沿空留巷支护技术，从而达到开拓系统最佳布置。

鉴于上述两种巷道布置系统的布置,坚持降低工作面开采成本、减少巷道掘进率、利于煤层瓦斯治理等要求为出发点,在上述第二种巷道系统布置的基础上,采用减少煤层底板回风巷、增加工作面高度范围内沿煤层顶板等间距布置工艺斜联巷的巷道布置方法对其进行开采,如图2所示,工作面运煤通过下工作面巷道进行运输,通过上工作面巷道进行回风,此种布置方法的核心就是将近水平的煤层工作面的边界式通风(四川矿区的部分高瓦斯矿井已经成功采用此方法)和Y型通风沿着煤层高度立起来看的原理。

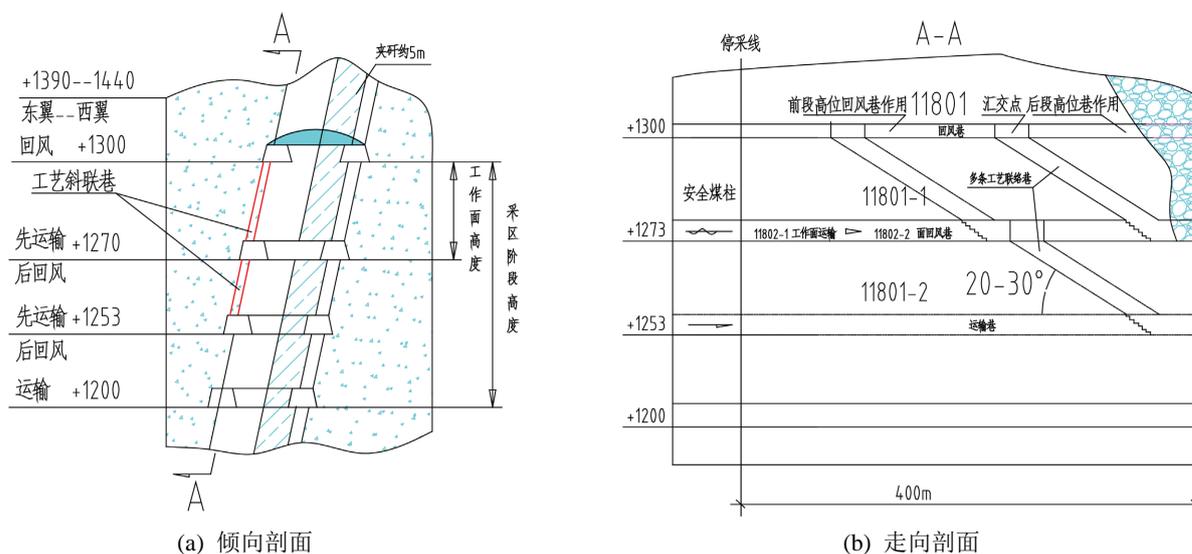


Figure 2. “U-shaped” roadway layout  
图 2. “立 U 形”巷道布置图

## 5. “立 U 形”工作面布置要求及参数

### 5.1. 开拓巷道

**运输大巷:**沿 18a 煤层顶板布置半煤岩巷道,其标高为+1253 m 水平,沿煤层走向长度约 980 m,巷道断面为  $4.5 \times 3$  m,考虑大巷服务距离和时间长、后期维护费用高,采用锚网支护与水平 U 型钢桁架组合支护。

**回风大巷:**沿 18b 煤层底板侧布置半煤岩巷道,其标高为+1270 m 水平,向西向长度约 980 m,巷道断面为  $4.2 \times 3$  m,考虑大巷服务距离和时间长、后期维护费用高,采用锚网支护与水平 U 型钢桁架组合支护。

### 5.2. 回采巷道

**下位运输巷(运输平巷):**对于单个工作面开采高度内的煤层,将运输平巷布置在煤层下方的顶板中,采用半煤岩方式布置,巷道断面为  $3.8 \times 2.8$  m,随着采面向前推进在采空区侧做沿空留巷,如图3、图4及图6所示,在回风巷道同时铺设 $\phi 600$  mm 瓦斯抽放管道,每 6 m 留抽放口,用于抽放采空区空间内瓦斯,同时做下一区段高位回风瓦斯抽放。在运输巷道内做沿空留巷挡风墙,将运输巷分成两个部分即采空区和通风巷,使风从工作面沿着立 U 连巷回到上部回风巷,在工作面上布置液压支架,如图5。

**高位瓦斯巷(回风平巷):**由于 18#煤层为高瓦斯突出煤层,考虑瓦斯治理过程中各种施工措施及相关技术要求,充分对煤层释放瓦斯进行合理稀释,在+1270 m 水平布置高位瓦斯回风巷作为辅助回风,巷

道断面为  $3.8 \times 2.8 \text{ m}$ ，在高位瓦斯巷与工艺联络巷交点处将其作风分为：交点至工作面采空区段的巷道作为采空区高位瓦斯的抽采；交点至工作面前方巷道作为工作面的回风作用。

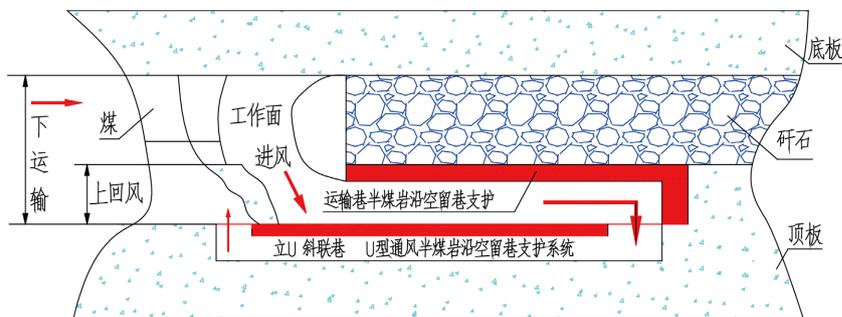


Figure 3. The layout of the lower transport lane

图 3. 下位运输巷布置方式

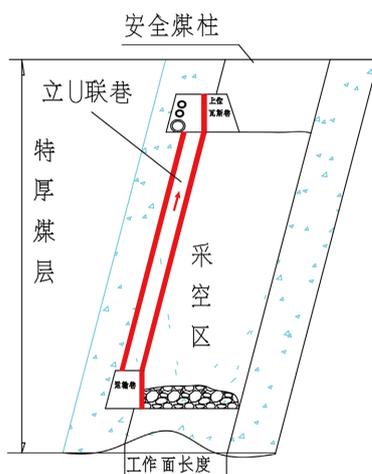


Figure 4. Section view of lower transport lane, upper return air lane and working face

图 4. 下运输巷、上回风巷及工作面剖面图

**工艺联络巷：**主要作用时在下位运输巷与高位瓦斯巷之间建立一个联络通道，兼顾上下巷道之间的行人通风要求，工艺联络巷采用倾斜巷道的布置方式，倾斜角度一般小于  $30^\circ$  与上下巷呈斜交方式，如图 2(b) 所示。

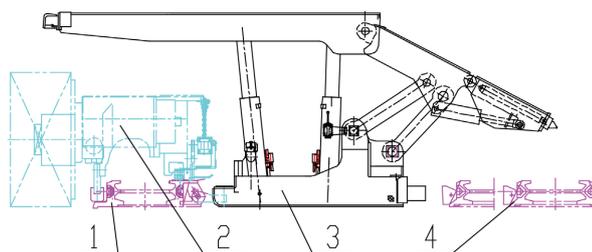
高位瓦斯巷、下位运输巷道、中间工艺联络斜巷构成垂直方向的“立 U 形”通风系统，工艺联络巷与上位回风巷相交后将高位瓦斯巷分成两个部分，前端主要用于回风，后段主要用于高位瓦斯治理，高位瓦斯巷。

### 5.3. 工作面装备配套

由于阿嘎煤矿 18a 煤层厚度  $5\sim 7 \text{ m}$ ，18b 煤层厚度  $2 \text{ m}$ ，一次开采煤层高度在  $12 \text{ m}$  左右，煤层为软煤，剪切角在  $75^\circ$  左右，对于 18a 工作面，根据常规放顶煤开采经验可知一次很难放净，因此，18a 工作面采用多轮放煤工艺，18b 工作面选用随走随推的一次放煤工艺，见到矸石停止放煤，放煤步距  $800 \text{ mm}$ ，工作面每推进  $800 \text{ mm}$  放顶煤一次。

工作面采用 ZF6800/17/31 型放顶煤液压支架，如图 5 所示，数量 3~5 架，巷道采用 ZFD18000/17/30

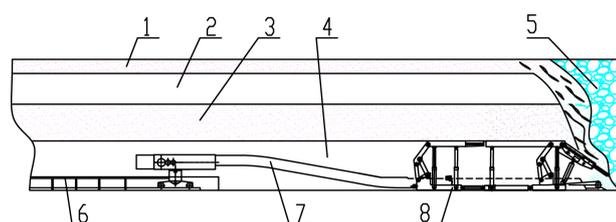
型端头液压支架组,如图6所示,工作面整体装备配套见表1。



1 前刮板输送机 2 采煤机 3 放顶煤液压支架 4 后刮板输送机

**Figure 5.** ZF6800/17/31 type hydraulic support for top coal caving

**图 5.** ZF6800/17/31 型放顶煤液压支架



1 顶板 2 回风巷 3 顶煤 4 进风巷 5 松动煤体 6 带式输送机 7 桥式转载机 8 端头支架

**Figure 6.** Working surface layout

**图 6.** 工作面布置方式

**Table 1.** Work surface equipment matching table

**表 1.** 工作面装备配套表

序号	设备名称	形号	数量
1	采煤机	MG200/WD	1
2	中部支架	ZF6800/17/31	3~5
3	巷道支架(组)	ZFD18000/17/30	1
4	前部刮板输送机	SGZ800/75	1
5	后部刮板输送机	SGZ800/75	1
6	转载机	SZZ730/132	1
7	破碎机	PCM90	1
8	胶带输送机	SSJ800/.2×75	1

## 6. 结论

1) 阿夏煤矿采用了立 U 通风开采工艺设计,与原有的采煤工艺相比简化了开拓系统,提高了工作面的安全性。

2) 针对急倾斜煤层柔性掩护支架采煤中采用落后的打眼放炮落煤工艺[3],工作面安全系统和效率低,

结合阿夏煤矿高瓦斯突出近距离煤层平均倾角  $78^\circ$  的地质赋存条件,打破已有的急倾斜煤层走向长壁和水平分段放顶煤综采巷道布置特点,发明了新形的急倾斜“立 U 形”工作面采煤方法,解决了特大倾角煤层的采煤难题。

3) 根据工程类比确定了阿夏煤矿近距离煤层宜采用分层单独布置回采系统联合布置共用开拓系统的方法开采,在此基础上分析了开拓大巷的层位、长度、断面尺寸及支护方式。

4) 设计了工作面回采巷道主要包括:高位瓦斯巷、下位运输巷和工艺联络巷的回采巷道系统,三条巷道构成垂直方向的“立 U 形”通风系统,工艺联络巷与上位回风巷相交后将高位瓦斯巷分成两个部分,前端主要用于回风,后段主要用于高位采空区瓦斯治理。

5) 配套了工作面 ZF6800/17/31 型放顶煤液压支架、ZFD18000/17/30 型巷道液压支架组、MG200/WD 型采煤机等主要技术装备,实现了阿夏煤矿急倾斜煤层的安全高效开采,采煤工作面人数降低了 20%,月产量增加了 100%,经济效益得以全面提高。

## 基金项目

1) 项目:山西省科技重大专项资助项目,项目名称:大口径内排渣深孔泄压定向钻机与钻抽一体化技术研发,编号:20201101010;

2) 项目:贵州省六盘水市科技重大专项资助项目,名称:高压气体脉动蠕变预裂增透瓦斯抽采技术研究,编号:52020202009125。

## 参考文献

- [1] 屠洪盛,黄昌文,刘送永,等.急倾斜煤层工作面巷道稳定控制机理研究[J].煤炭技术,2020,39(12):12-16.
- [2] 陈朝鲜,沈大富.急倾斜薄煤层俯伪斜综合机械化开采的研究[J].煤矿机电,2017(6):29-32.
- [3] 葛耀国.浅谈柔性掩护支架采煤法在急倾斜不稳定煤层中的应用与优化[J].大科技,2018(23):170-171.