

掘锚机掘进过程整机后退机理及防治措施研究

王 军

国家能源集团神东煤炭集团高端设备研发中心, 陕西 神木

收稿日期: 2024年7月10日; 录用日期: 2024年9月30日; 发布日期: 2024年10月23日

摘 要

本文针对某矿掘锚一体机掘进过程中出现整机后退问题进行了分析, 并根据问题的分析提出掘锚一体机防退机对策。依据现场退机现象, 进行设备故障排查, 理论计算分析退机现象, 提出掘锚一体机防退机对策, 主要对策有: 采用“顶天立地”支撑结构、加大护盾支撑压力度、护盾顶板增加防滑齿、匹配掏槽速度和切割速度等。

关键词

掘锚一体机, 整机后退, 支撑结构

Research on Mechanism and Prevention Measures of the Whole Machine Retreats in the Driving Process

Jun Wang

High-End Equipment R&D Center of Shendong Coal Group, China Energy Group, Shenmu Shaanxi

Received: Jul. 10th, 2024; accepted: Sep. 30th, 2024; published: Oct. 23rd, 2024

Abstract

This paper analyzes the problem of whole machine backing up in the course of driving and anchoring integrated machine in a mine, and puts forward the countermeasure of preventing the machine backing up. According to the phenomenon of machine withdrawal on the spot, the equipment failure is checked, the phenomenon of machine withdrawal is calculated and analyzed in theory, and the countermeasures for preventing machine withdrawal of the driving and anchoring integrated machine are put forward, the main countermeasures include adopting “Not Scared to Die” supporting structure, increasing shield support pressure, increasing anti-skid teeth on shield roof, matching

cutting speed and cutting speed.

Keywords

Digging and Anchoring Machine, Whole Machine Back, Support Structure

Copyright © 2024 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. 前言

采掘技术和采掘装备水平直接关系到煤矿生产的安全和能力。高效率的掘进机械化与支护技术是实现煤矿高产高效的必要条件,同时也是未来掘进技术的发展方向。煤矿掘进是十分关键的工作部分,其对于煤矿开采的安全性效率有着质量的影响,掘锚一体机作为煤矿生产开采中的重要机械设备,其应用水平直接影响着煤矿生产开采工作[1]。掘锚一体机为煤矿巷道掘进提高了安全性和效率,是实现煤矿智能化、少人化的关键环节,所以在大型井工煤矿被广泛使用[2]。当掘进巷道地质条件复杂时,掘锚机在掘进过程中容易出现工作面煤壁对整机反作用力过大的现象,进而导致截割煤体时整机后退问题发生。本文分析了某矿掘锚一体机整机后退问题,并提出了相应的防退机对策。

2. 掘锚一体机现场故障排查

某矿掘进工作面的掘锚一体机整机重 112 t,掘锚机实际工作高度 3 m,掘锚一体机在掘进过程中容易出现整机后退现象,特别是在一定角度的斜坡上或者是截割岩石时掘进时整机后退现象更加明显。根据现场服务人员反馈 2 月 17 日已经开始正式生产,设备进行割煤,负载较小,掘进工作中截割功率基本运行在 260 KW 左右,自 2 月 23 日开始,掘进巷道变为几乎全岩面,截割过程中,掘进工作中截割功率基本处于 463 KW 左右,自 3 月 10 日转为半煤岩,掘进工作中截割功率处于 409 KW 左右,3 月 16 日之后半煤岩转为全煤层,掘进工作中截割功率处于 359 KW 左右,记录如图 1 所示。巷道通过掘锚机设备开口,碰到全岩巷道掘进时,掘锚机截割功率大,受到的反作用力也随之增加,加之泥岩地面存在附着力不足,观察到最大掏槽压力值 16 MPA 时存在后退现象。

根据掘进巷道现场的条件分析,后退发生的原因主要以下几点:(1) 现场煤层底板为泥岩,掘进过程中涌水量正常涌水 50 m/h,最大水量 90 m/h,泥岩本身强度较低,又长期被水浸湿,变得更加松软,强度大大降低,无法给掘锚机提供较高的地面附着系数[3]。(2) 现场是掘进半煤岩甚至全岩巷道,截割功率高,掘锚机掘岩石时反冲击作用力大。(3) 破煤齿突出滚筒,一般破煤齿高于滚筒皮 60 mm,现场高出筒皮 115 mm。(4) 掘进巷道存在坡度,坡度大小约 4°~6°,坡度越大机身越不稳定,越容易出现退机。

3. 掘锚一体机退机原因分析

现场分析总结起来,掘锚一体机受到掘进条件和机身参数这两点的影响,才导致掘锚一体机掘进过程出现退机的现象,巷道掘进条件主要包括底板条件、截割煤岩的强度、巷道倾斜角度等;机身参数主要包括:整机重量、护盾支撑力和结构、截割滚筒结构、截割速度等。归根结底是掘进时机身的巷道底板附着力 $F_2 <$ 退机主动力 F_1 ,如图 2 所示。

现场技术服务人员记录下了掘锚一体机整机在掘进过程中后退时的重要参数,如表 1 所示,表中参数用于理论计算分析。

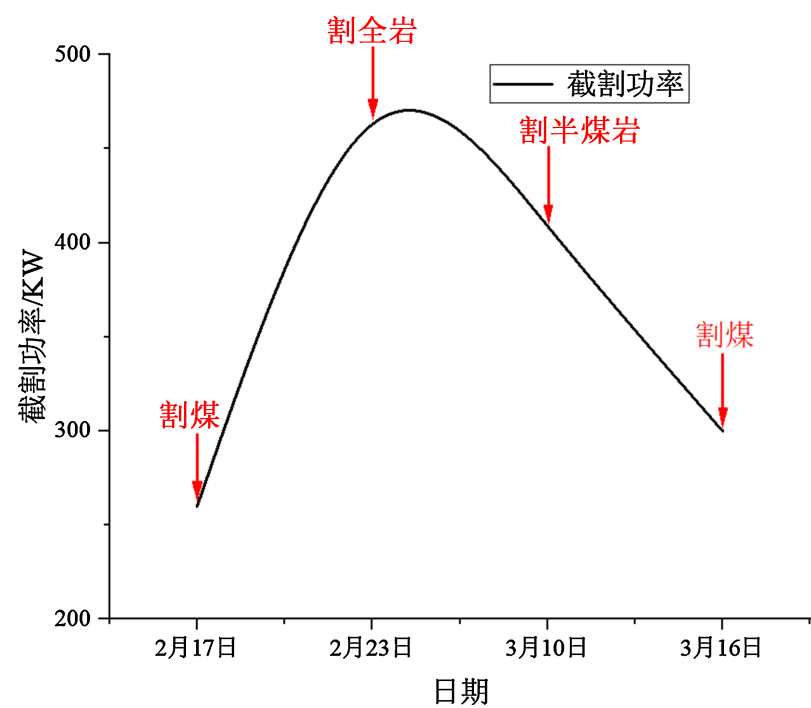


Figure 1. Roadheader cutting power variation chart
图 1. 现场掘锚机截割功率变化图

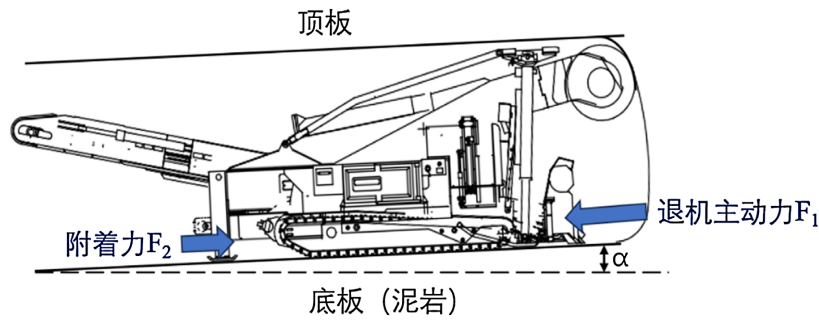


Figure 2. Bolter and miner withdrawal mechanism schematic diagram
图 2. 现场掘锚一体机退机原理示意图

Table 1. Whole machine withdrawal calculation parameters table
表 1. 整机退机计算参数表

名称	项目	参数	单位
掘锚一体机整机重量	/	112	t
实际掘锚机工作高度	/	3000	mm
截割部参数	截割功率	540	KW
	截割扭矩	200,000	N*m
	滚筒直径	1250	mm
护盾油缸参数	缸径	120	mm
	杆径	100	mm

续表

	实际工作压力	18	MPa
	护盾油缸与底板夹角	75	°
后支腿支撑油缸	缸径	100	mm
	杆径	70	mm
	实际工作压力	25	MPa
掏槽油缸	缸径	200	mm
	杆径	100	mm
	实际工作压力	25	MPa

退机主动力 F_1 可认为来自两个方面，一是煤(岩)壁对掏槽油缸产生的反作用力 F_{11} ，二是煤(岩)壁对旋转滚筒反作用力 F_{12} ：

$$F_{11} = (P_1 - P_2) \times A \quad (1)$$

式(1)中， P_1 、 P_2 分别为掏槽油缸的实际工作压力和掏槽油缸开始工作压力，现场反馈，当掏槽油缸工作压力达到 10 MPa 时，滑移架开始沿导向柱运动； A 为掏槽油缸缸径的截面积。

$$F_{12} = \frac{2 \times M}{D} \quad (2)$$

式(2)中， M 、 D 分别为滚筒截割扭矩和滚筒直径的直径。

结合表 1 参数，现场掘锚机受煤(岩)壁对掏槽油缸产生的反作用力

$F_{11} = (25 - 10) \times \pi (200/2)^2 \text{ N} \approx 471 \text{ kN}$ ；掘锚机受煤(岩)壁对旋转滚筒反作用力

$F_{12} = (2 \times 2 \times 10^5) / 1250 \text{ kN} = 320 \text{ kN}$ 。退机主动力 $F_1 = F_{11} + F_{12} = 791 \text{ kN}$ 。

巷道底板附着力 F_2 是退机的阻力，主要来源于两方面整机重量对底板的作用产生的附着力和护盾油缸支撑产生的底板附着力，计算公式如下：

$$F_2 = (F_G \cdot \cos \alpha + 4 \cdot F_{ZC}) \cdot f \quad (3)$$

式(3)中， F_G 、 F_{ZC} 分别为掘锚一体机整机重力、护盾油缸支撑顶板的力； α 为巷道底板的倾角，现场 $\alpha \leq 6^\circ$ ； f 为履带式机械的附着系数，根据现场底板条件取 0.4。

结合表 1 参数，现场掘锚机整机重力 $F_G = 1120 \text{ kN}$ ，护盾油缸支撑顶板的力

$F_{ZC} = 18 \times \pi \times \left(\frac{120}{2}\right)^2 \times \sin(75^\circ) \text{ N} \approx 196.6 \text{ kN}$ ，因此根据式(3)计算最差情况下($\alpha = 6^\circ$ 时)掘锚一体机巷道底板附着力：

$$F_2 = (F_G \cdot \cos \alpha + 4 \cdot F_{ZC}) \cdot f = (1120 \cdot \cos(6^\circ) + 4 \cdot 196.6) \cdot 0.4 \text{ kN} \approx 760.1 \text{ kN}$$

目前掘锚机的设计安全系数为： $n = F_2 / F_1 \approx 0.96$ ，小于 1 导致巷道掘进过程中整机发生后退。

4. 防退机对策

根据上节对目前掘锚一体机掘进过程中退机原因的分析，可知引起掘锚一体机掘进过程中退机因为掘锚一体机巷道底板附着力小于退机主动力，无法形成整机的稳定，可以从提高底板附着力或者减少退机的主动力两方面入手，在此我们主要以改进护盾油缸的参数来提高掘锚一体机底板附着力，在其他条件不变的情况下，将护盾油缸的工作压力提高到 30 MPa，重新计算设计安全系数。

只是改变护盾油缸的工作压力，退机主动力 F_1 还是没有变化的，所以只需要重新计算巷道底板附着力 F_2 。结合表 1 参数，现场掘锚机整机重力 $F_G = 1120 \text{ KN}$ ，护盾油缸支撑顶板的力

$F_{ZC} = 30 \times \pi \times \left(\frac{120}{2}\right)^2 \times \sin(75^\circ) \text{ N} \approx 327.7 \text{ KN}$ ，因此根据式(3)计算最差情况下($\alpha=6^\circ$ 时)掘锚一体机巷道底板附着力：

$$F_2 = (F_G \cdot \cos \alpha + 4 \cdot F_{ZC}) \cdot f = (1120 \cdot \cos(6^\circ) + 4 \cdot 327.7) \cdot 0.4 \text{ KN} \approx 969.9 \text{ KN}$$

改变油缸参数后的设计安全系数为 $n = F_2 / F_1 \approx 1.23$ ，根据对比分析分析 270 kW 掘锚机的安全系数，270 kW 掘锚机退机主动力 645 KN，退机阻力 714.6 KN，安全系数 = 1.11，安全系数 ≥ 1.11 不会发生退机现象，当前 540 kW 掘锚一体机在现场最差情况下不会发生退机故障。

具体护盾改进如图 3 所示，在护盾顶板焊接防护齿，来增加附着系数，采用“顶天立地”结构，加大护盾油缸支撑压力，将支撑力加大到 300 KN，按照计算结果，设备在现场巷道最差条件下安全系数达到 1.23，解决整机退机问题。

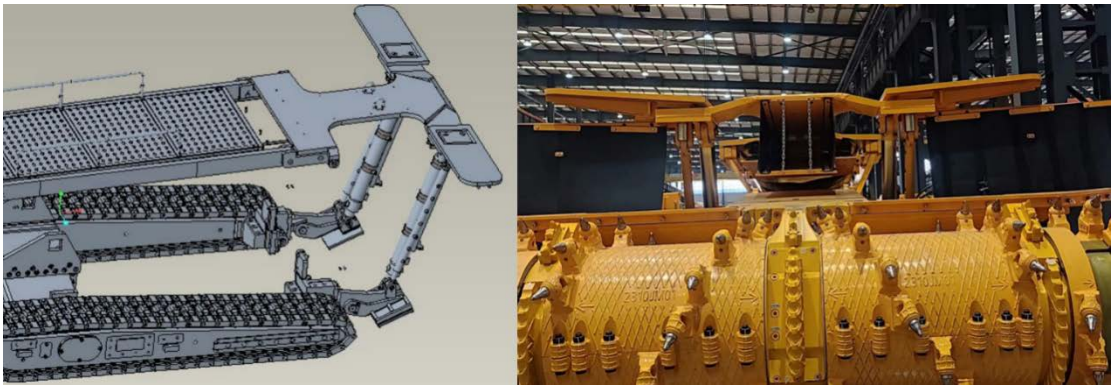


Figure 3. Bolter and miner shield improvement diagram
图 3. 掘锚一体机护盾改进图

为了满足“顶天立地”结构护盾模式的强度要求，护盾油缸支撑座必须有足够高的结构强度，表 2 所示为护盾油缸支撑座各零部件材料强度，图 4 所示为护盾油缸支撑座受护盾油缸 350 KN 撑顶力载荷所引起的应力分布图。整体结构最大应力 265 MPa，小于 Q690E 焊缝许用应力，结构件安全系数 3，满足强度要求。螺栓大小由 M24 变为 M30，整体提高强度；螺栓极限状态下结算结果为 118 MPa，满足螺栓强度要求，护盾油缸支撑座结构安全。

改变护盾参数只是从提高整机底板附着力入手，为了更好保障掘锚一体机的掘进过程不出现退机，除此之外，还可采取以下措施：

Table 2. Basic information of design materials
表 2. 设计材料基本信息

零部件	屈服极限(MPa)	抗拉极限(MPa)	母材许用应力(MPa)	焊缝许用应力(MPa)
结构件	690	770-940	460	308
底盘锻件	835	980	550	320
12.9 螺栓	1080	1200	120MPa	/

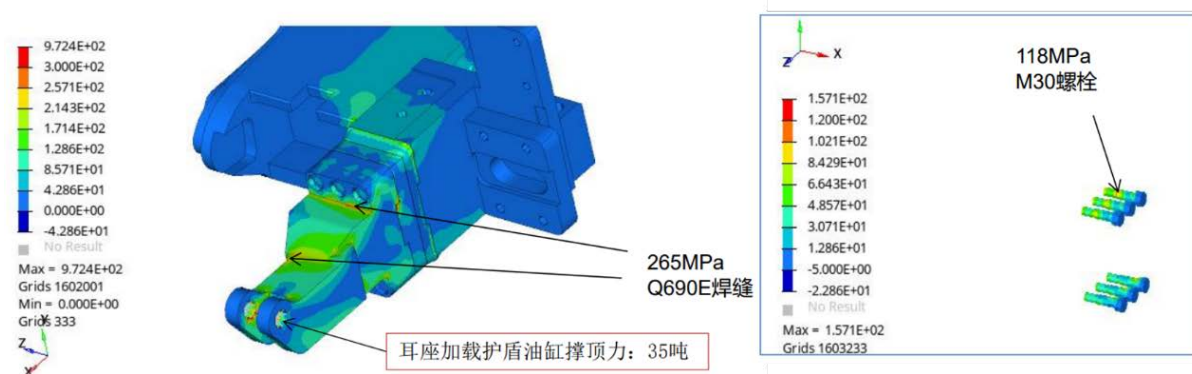


Figure 4. Shield cylinder support seat stress distribution diagram

图 4. 护盾油缸支撑座应力分布图

- (1) 如果底板条件不好, 加强对底板的管理, 如及时排出掘进面的积水等;
- (2) 顶部掏槽时, 调整掏槽程序, 将掏槽压力和掏槽速度数据进行匹配, 实现空载时快速, 带载时慢速掏槽;
- (3) 设计成加宽履带板的结构形式, 将履带板的防滑板高度提升到 25 mm, 提高同地面的摩擦系数;
- (4) 优化截割滚筒截齿布局, 割除滚筒过高的破煤齿, 减少割煤阻力;
- (5) 增大后稳定器的接地面积, 并在后稳定器增加防滑齿。

5. 结语

总而言之, 随着我国煤矿开采能力的提高和增强, 加快煤矿巷道掘进速度, 并保证煤矿巷道掘进工作安全进行, 掘锚一体机成为了最重要的采掘设备。掘锚一体机在掘进过程中不免会出现各种问题, 特别在掘进条件不好的巷道, 大功率掘锚一体机掘进过程整机退机现象容易出现, 退机的出现严重影响煤(岩)巷的掘进, 甚至造成设备的破坏和影响操作人员人身安全。掘锚一体机退机现象将直接影响整机的正常运行, 本文从此出发进行分析研究, 对掘锚一体机在掘进过程中整机退机原因进行分析阐述, 并提出相应的防退机对策, 在现场应用过程中效果很好, 在掘进坡度 6°的巷道也没有出现过退机现象, 对此希望能够帮助其他类似工况条件下巷道掘进提高掘进效果, 推动煤矿生产开采工作发展。

参考文献

- [1] 孙端. 掘锚护一体机在煤巷掘进中的应用[J]. 能源与节能, 2018(10): 181-182.
- [2] 关汉杰. 掘锚一体机在煤矿掘进施工中的应用[J]. 煤, 2017, 26(5): 42-43.
- [3] 唐经世. 工程机械底盘学[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1999.