

掘进机移动平台托举锚网装置研发与设计

范永刚

开滦(集团)有限责任公司高级技工学校

DOI:10.32629/jsse.v4i4.21716

[摘要] 针对煤矿综掘巷道人工托举锚网支护用人多、风险高、掘进效率低、空顶区管控难等痛点,依托唐山矿区多矿现场掘进工艺调研,研发掘进机机载液压托举锚网一体化装置。该装置集成折叠伸缩机械主体、矿用防爆液压系统、角钢网格托举平台、双重自锁安全机构,可搭载于悬臂掘进机摇臂平台,自动托举锚网、钢带贴合顶板,替代人工高空作业;拆除铺网模块后可单独作为托梁器。该装置实现掘、铺、锚工序机械化协同,落实主动防护,为中小矿井低成本掘锚一体化改造提供成套装备方案。

[关键词] 综掘巷道; 机载托举装置; 液压支护; 锚网铺设; 结构优化

中图分类号: TD355 **文献标识码:** A

Research and Design of the Mobile Platform Support System for Anchor Net Devices of the Excavator

Yonggang Fan

Senior Technician School of Kailuan (Group) Co., Ltd.

[Abstract] In response to the problems such as the large number of workers, high risks, low excavation efficiency, and difficult control of the unsupported area in the coal mine's comprehensive excavation tunnels, which are caused by manual support of anchor nets, based on the investigation of excavation processes in multiple mines in the Tangshan mining area, an integrated hydraulic support device for the excavator was developed. This device integrates a folding and telescopic mechanical body, a mine-used explosion-proof hydraulic system, an angle steel grid support platform, and a dual self-locking safety mechanism. It can be installed on the swivel arm platform of the cantilever excavator and automatically supports the anchor net and aligns the steel belt with the roof, replacing manual high-altitude operations; after removing the laying module, it can be used independently as a support beam. This device realizes the mechanized coordination of excavation, laying, and anchoring processes, implements active protection, and provides a complete equipment solution for the low-cost integrated excavation and anchoring transformation in small and medium-sized mines.

[Key words] Comprehensive excavation tunnel, Carrier-supported device, Hydraulic support, Anchor net laying, Structural optimization

1 引言

1.1 研究背景与行业需求

目前,采煤设备、工艺更新迭代,采煤进度不断加快,给掘进工作以很大压力,加快对掘进工艺持续投入研发、创新,是进一步提高掘进效率的迫切要求。

冀东三矿井掘进工作面联网,有采用打好锚杆后人力托举锚网装置对眼联网,有打锚杆时将锚杆穿过钢带锚杆眼两边人力扶着锚网一起随锚杆打上去,速度慢需要多人配合,而且多人在顶板随时有掉块掉渣的危险的临时支护下作业,安全风险大。

现有托联网设施状况:使用托梁器将顶网及钢带无法与掘

进机联动;成套掘锚一体机悬臂掘进机体积大无法在中小矿井难以普及。亟需研发折叠隐藏、兼具铺网与托梁功能的低成本机载托举装置。

1.2 国内外研究现状

国外:欧美澳煤矿掘进工作面使用的掘锚一体机自动化程度高,但整机尺寸大、维护成本高,窄断面矿井适配性差;简易托梁机构无折叠结构,功能单一。

国内:国内煤机企业,多聚焦在大断面掘进巷道成套铺网机械臂;研究使用的小型托网架结构固定、占用空间大,又需独立液压泵站,仅可托网,无法支撑重型钢梁。

1.3 研究内容与创新点

一机双用模块化: 铺网框架可拆卸, 可实现托举铺网、托举重型钢梁双重功能;

折叠伸缩结构紧凑: 两级槽钢伸缩臂加大角度旋转关节, 整套收拢尺寸小;

共用主机液压源: 无需新增泵站, 直接接驳主机阀组, 简化井下管路;

轻量化网格平台: 镂空结构可直接钻孔, 无需二次移位, 兼顾强度与自重;

自锁限位安全体系: 液压控制 + 机械限位, 满足瓦斯巷道防爆规范。

1.4 研究意义

保证安全: 人员托举装置下作业, 液压锁持续保压, 杜绝坠矸、冒顶伤人;

促进生产: 减少掘进铺网用工, 缩短循环时间, 提升巷道掘进进度;

丰富理论: 创新机载液压支护模块化设计理论, 创建伸缩折叠托举机构力学计算模型;

积极推广: 适配现有掘进机, 改造成本低、回收期短, 适合中小型煤矿普及。

2 矿井现场调研与技术需求分析

2.1 调研

调研3座国有矿井EBZ系列掘进机掘进工作面, 针对矩形、梯形巷道, 详细记录人员配置、工艺时长、空间约束、载荷配置、安全风险等核心数据。

2.2 传统人工锚护工艺缺陷

人工直接托举: 空顶下举网用工2~4人, 单循环铺网用时12~18min, 掉掉砸伤风险高;

穿铺网钻眼施工: 多人近距离扶持钢带锚网, 钻孔冲击围岩脱落隐患大, 锚杆合格率低;

简易托梁器: 仅支撑托举钢带, 锚网仍需人工铺设, 托梁器频繁搬运, 效率提升不足。

2.3 现场约束条件

(1) 工况约束: 满足煤安防爆标准, 具备防尘、防锈、抗冲击、防偏载结构; (2) 空间约束: 收拢后尺寸不大于1.3m×0.7m×0.15m, 展开适配4m长标准钢带; (3) 动力约束: 共用掘进机液压系统, 不再增设独立泵站; (4) 载荷约束: 轻载托网不大于70kg, 重载托梁300~600kg, 设计液压缸托举载荷不小于3t。

2.4 设计总目标

折叠伸缩机构模块化, 铺网托梁双功能, 共用主机液压, 全防爆、低成本改造, 实现机械化。

3 方案比选与确定

方案对比

方案一: 截割头部位前置安装式

优势: 结构简单, 管路少; 缺陷: 截割时持续冲击大, 易受煤矸石砸碰而损坏, 予以淘汰。

方案二: 摇臂后半部折叠伸缩式(最终方案)

整套装置安装在掘进机摇臂后半段机身平台上, 底座采用铰接或焊接方式固定; 主体采用两节槽钢嵌套伸缩臂加旋转折叠关节, 上部为可拆卸折叠铺网框架, 下部为可伸缩托举底座。

工作原理: 掘进截割作业阶段, 伸缩臂完全回缩, 上部铺网机构水平旋转折叠收拢, 整机尺寸控制在1.3m×0.7m×0.15m以内, 隐藏于摇臂后方; 巷道成型后, 旋转展开铺网框架, 液压油缸伸出伸缩臂, 将角钢托举平台连带钢带、锚网整体顶紧巷道顶板, 人工完成联网、锚杆钻孔, 架棚时拆除上铺网框架可单独托举钢梁。

4 机械结构详细设计与材料选型

4.1 承载底座

20mm厚Q355B钢板铰接或焊接; 双侧导柱防偏, 多组安装孔适配全系列EBZ掘进机。

4.2 两级伸缩臂

22号、24号槽钢嵌套, 内置自润滑系统; 总行程800mm, 支护高度1.1~3.5m; 双油缸同步驱动, 避免单侧卡滞。

4.3 旋转折叠关节与铺网框架

180°旋转锁紧销轴, 展开支撑4m钢带; 30×30角钢镂空框架, 销轴快速拆装切换托梁模式。

4.4 托举承载平台

30号角钢网格, 表面设钢带定位销、边缘设撑网装置; 镂空可直接钻孔。

4.5 安全防护结构

伸缩极限刚性限位、弧形防尘罩、双侧侧向防偏机构。

5 矿用防爆液压系统设计与力学校核

5.1 液压回路总体方案

直接取用掘进机16~18MPa液压动力, 无独立泵站。油路流程: 主机高压油→手动换向阀→双作用油缸; 升至顶板后双向液压锁锁死保压; 溢流阀限定20MPa过载压力, 节流阀平稳控制升降速度; 纯手动阀组无电气元件, 适配高瓦斯工作面, 配备应急手动泄压。

5.2 油缸参数力学校核

推力公式: $F = P \cdot \frac{\pi D^2}{4}$, 推导缸径 $D = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}}$ 。

已知单缸载荷30000N、压力16MPa, 计算理论缸径48.86mm, 选用国标Φ50mm油缸, 预留安全余量。

缸筒采用27SiMn无缝钢管, 活塞杆40Cr电镀硬铬, 配套矿用聚氨酯防爆密封, 油缸内置双向液压锁, 失压自动锁止防坠落。

5.3 液压系统核心指标

额定压力16~18MPa, 过载保护20MPa; 单缸推力30kN, 双缸总推力60kN; 升降行程800mm, 全行程升降24s; 液压锁24h压降≤0.5MPa, 长期托举无沉降。

6 整机性能指标与仿真测试结果

2026年7—8月完成三维建模, 进行仿真试运转, 整机标定测试:

(1)在极限高度总推力为 60kN情况下,无结构变形、焊缝开裂;(2)锚杆孔一次对位成型,托举定位误差保持在 $\pm 5\text{mm}$;(3)整体装置升降动作平缓,无卡阻、冲击速滑现象;(4)疲劳循环关键部件磨损不超标,液压锁性能安全可靠;(5)收拢尺寸保持在 $1.3\text{m}\times 0.7\text{m}\times 0.15\text{m}$ 之内,不干扰正常掘进。

7 操作流程与维护方案

7.1 作业步骤

(1)打开防尘保护罩,展开铺网框架并锁死;(2)接通液压管路并排查渗漏情况;(3)钢带、锚网放置平台上,定位销固定钢带,撑网装置全平面铺网;(4)操作换向阀升顶贴紧顶板,液压锁自动保压;(5)人员在安全区域完成定位、联网、钻孔、锚固;(6)完成工序收回油缸,旋转收拢铺网机构恢复截割状态;(7)架棚托梁前拆除上铺网框架,切换为重型钢梁托梁器。

7.2 维护与故障处置

7.2.1 每班维护。清理伸缩臂积尘,检查铰接点或焊缝、液压管路、油缸、铰接销轴,测试阀组动作。

7.2.2 定期维护。拆解防尘罩清理内部积尘杂物,校核液压系统压力,补刷防腐漆,更换渗漏密封圈。

8 应用效益分析

以单掘进工作面为测算基准,从安全、生产、经济三方面量化收益。

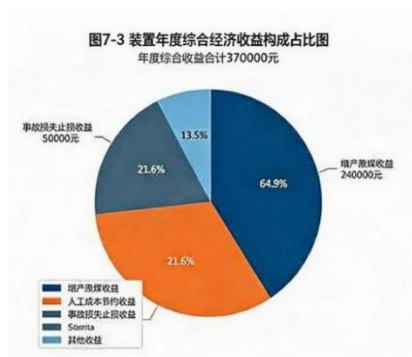
8.1 安全效益

可消除空顶区坠矸、人员高空坠落风险;全方位持续支护缩短空顶暴露时间,降低冒顶灾害;锚网铺设均匀,定位准确,巷道修复工程量大幅减少。单工作面年度规避各类安全损失合计50000元。

8.2 生产效益

(1)掘进效率提升:单支护循环缩短6~10min,月进尺提升12%,年新增原煤0.08万吨,原煤单价300元/吨,新增产值24万元;(2)优化人力成本:减少2~3名专职铺网工人;(3)整体支护合格率提升至96%以上,减少了返工工时,年度效率间接收益合计28000元。

8.3 经济效益



(1)年规避安全事故损失:5万元;(2)年节约人工成本:2人 $\times$ 4万元/人=8万元;(3)年增产原煤产值:24万元;(4)年度综合总收益:37万元;(5)设备改造成本42万元,静态投资回收期 ≈ 1.3 年;年度维保费用低于1万元,长期使用经济性突出。

收益饼图显示,增产原煤产值占总收益64.9%,人工节约、事故止损为辅助收益,收益结构稳定,推广价值显著。

9 结论与推广价值

9.1 研究结论

(1)兼顾轻量化与井下空间约束,做到收拢后尺寸小,可拆卸框架实现铺网、托梁两用;(2)共用掘进机主机液压回路,双油缸总推力足,液压锁、机械限位;(3)装置定位精度、承载能力、疲劳寿命全部达标;(4)投资回收期短,年度综合收益高,实现有效支护,安全生产效益突出;(5)完善机载液压支护装备研发与设计理论,为现有悬臂掘进机低成本改造提供成套方案。

9.2 不足与优化方向

9.2.1 现有局限。当前整套装置自动化智能化程度低,未实现在线连续安全功能监测。

9.2.2 后续研发方向。(1)适当加装传感器,实现无线遥控,最终实现自动调高等无人化功能;(2)为适应巷道破碎凹凸顶板,托举平台增设弹性缓冲装置和折叠关节;(3)为实现故障预警与数字化管控,集成压力、应力在线监测;(4)采用高强度轻量化合金,保证降重不降效。

9.3 推广价值

本装置改造投入低,兼容现有掘进设备,安全增效明显,适配国内大量中小型煤矿,其结构设计、力学计算、液压回路方案可为同类临时装备研发提供参考,助力掘进工作面机械化、智能化升级,落地井下安全管控体系。

【参考文献】

- [1]王国法,胡相棒,刘新华,等.千米深井大采高俯采工作面四柱液压支架适应性分析[J].煤炭学报,2020,45(3):865-875.
- [2]周威,邓海顺,贾志军.综掘巷道锚护协作机的稳定性分析[J].煤炭技术,2023,42(12):229-232.
- [3]李悦,张阳玉,王东杰.综掘巷道快速掘进工艺及钻锚运输车结构设计[J].煤矿机械,2021,42(10):99-101.
- [4]贾志军.综掘巷道无重复临时支护装备特性分析[D].淮南:安徽理工大学,2023.
- [5]刘万财.机载式掘进临时支护装置结构优化设计[J].煤炭科学技术,2024,52(4):112-118.
- [6]赵磊.悬臂掘进机配套临时铺网装置力学仿真分析[J].矿山机械,2024,52(7):36-4.

作者简介:

范永刚(1971--),男,汉族,河北万全人,本科,采煤工程师,采掘工程及其安全领域。