

煤矿空压机余热利用的降本增效实践与推广

张旭刚 鄢俊伟

(山西兰科煤层气利用科技有限公司)

摘要:空压机是煤矿生产的核心高耗能设备,其能耗占矿井总耗电量的 15%~20%,但仅 15% 电能转化为有效势能,85% 以热能形式浪费。本文以山西兰花科创百盛煤业空压机余热利用项目为研究对象,系统分析余热回收技术的理论可行性,通过精准数据量化其降本增效效益,并结合煤矿行业实际提出推广建议。结果表明:该项目采用的余热回收技术可实现 85% 以上的余热回收率,年净收益达 145.33 万元,投资回收期仅 1 年,同时延长空压机寿命、降低运维成本。该技术适配性强、经济效益显著,是煤矿行业实现“降本增效”与绿色转型的关键技术路径。

关键词:百盛煤业;空压机余热利用;降本增效;投资回收期;绿色矿山

1 引言

在“双碳”目标与煤炭行业“提质增效、降本减耗”政策导向下,高耗能设备的能源优化成为矿井运营的核心任务。空压机作为煤矿通风、支护、运输等环节的“动力核心”,长期面临“高能耗 + 热浪费”的双重问题——其运行过程中产生的 80~100℃润滑油余热与 90~110℃压缩空气余热,多通过冷却系统直接排放,既造成能源损耗,又增加冷却

设备负荷。

据行业调研,单矿空压机年耗电量可达数百万度,若能将 85% 的浪费余热回收用于“矿工洗浴、井口防冻”等高频用热场景,可实现“废热再用”的双向收益。百盛煤业于 2021 年实施的空压机余热利用项目,通过成熟技术方案实现了“短期回收投资、长期稳定节能”,其实践经验对煤矿行业具有重要借鉴意义。本文以该项目为核心,从技术原理、效益量化、推广路径三方面展开研究,为空压机余热利用技术的普及提供参考。

2 空压机余热利用技术原理与理论可行性

2.1 核心技术原理

百盛煤业空压机以“喷油螺杆式”为主,其余热分布具有明确规律性:70% 余热存储于 80~100°C 的润滑油中,30% 存储于 90~110°C 的压缩空气中。项目采用“板式换热 + 循环控温”技术路线,核心流程如下:

2.1.1 余热提取

在 3 台 250kW 厦门捷豹螺杆空压机的润滑油循环系统中,各加装 1 台 BS-NRST-250 型余热回收机组(316L 不锈钢板式换热器),利用高温润滑油与常温冷水进行密闭式热交换。

2.1.2 精准控制

通过温控阀调节油流量,将润滑油温度从 90~100°C 降至 60~70°C(保障空压机润滑性能),同时将冷水加热至 55~65°C(满足洗浴用水前置温度需求)。

2.1.3 系统保障设计

配置 2 台 NRST-500P 型二次逆流反冲阻垢换热器(防止管道结垢)、“一次循环泵(TD50-18/2)+二次循环泵(TD50-28/2)”(一用一备,保障水循环稳定),并通过西门子 PLC + 施耐德电气控制系统实现水温、水位自动调节,以及缺相、超温等故障报警。

2.2 理论可行性验证

2.2.1 技术适配性

项目针对煤矿主流的喷油螺杆空压机设计,与百盛煤业现有设备匹配度 100%;回收余热直接对接矿井洗浴系统(日均 800 人用水),无需改造用热终端,安装后即可投入使用,适配性强。

2.2.2 效率保障

项目运行数据显示,高温润滑油热量回收效率

达 65%,系统整体余热回收率(回收热量 / 总余热量)超 85%,换热功率稳定在 355kW,单台空压机运行即可满足日均 180 吨洗浴用水需求(水温 42~50°C)。

2.2.3 安全性与稳定性

换热系统采用密闭式结构,加装油温、水温双重保护装置,避免渗油渗水风险;同时,余热回收降低空压机运行温度,减少机械磨损与润滑油氧化,进一步提升设备运行稳定性。

3 百盛煤业空压机余热利用项目实践效果

百盛煤业为 3 台 250kW 螺杆空压机(1 用 2 备)配套余热回收系统,项目于 2021 年完成安装调试,运行至今数据完整,是“降本增效”的典型案例。

3.1 项目核心配置(见表 1)

表 1 百盛煤业空压机余热利用项目核心配置及参数

设备 / 系统类型	规格型号	数量	核心参数与功能
余热回收机组	BS-NRST-250	3 台	换热功率 355kW; 适配 250kW 螺杆空压机
二次防垢换热器	NRST-500P	2 台	逆流反冲设计; 阻垢率≥90%
循环水泵	一次:TD50-18/2; 二次:TD50-28/2	各 2 台	流量 50m³/h; 扬程 18/28m, 一用一备
软水处理系统	硅磷晶系统	1 套	防止管道结垢, 保障热水品质
自动化控制系统	西门子 PLC + 施耐德电气	1 套	实时监控油温(80~100°C → 60~70°C)、水温(冷→55~65°C), 支持故障报警与自动启停

3.2 降本增效效果

3.2.1 投资成本构成

项目总投资 137.97 万元,具体明细如下:

(1) 主体设备(余热机组、换热器、循环泵):110 万元(占比 79.7%)。

(2)辅材(管道、保温材料、软水处理耗材):15万元(占比 10.9%)。

(3)设计、安装与调试费:12.97 万元(占比 9.4%)。

3.2.2 运行费用

(1)系统年运行费用 17.74 万元,主要包括:

电费:9.74 万元(年运行 330 天×24 小时,总运行功率 21.2kW,工业电价 0.58 元/度)。

(2)维护费:8 万元(含设备季度检测、滤芯更换、润滑油补充等,年均维护 2 次)。

3.2.3 节能收益与净收益

若采用传统电加热满足同等洗浴需求(需匹配 355kW 电加热功率),年电费计算如下:

年电加热费 = $355\text{kW} \times 24\text{h} \times 330 \text{天} \times 0.58 \text{元/度} \approx 163.07 \text{万元}$

因此,项目年净收益 = 节能收益 - 运行费用 = $163.07 \text{万元} - 17.74 \text{万元} = 145.33 \text{万元}$;

投资回收期为: $137.97/145.33 \approx 1 \text{年}$ 。

3.3 附加效益

3.3.1 设备寿命延长

余热回收使空压机油温稳定在 60~70°C,润滑油氧化速度降低 20%,年均补充润滑油量减少 20%(年省润滑油费用约 1.2 万元);同时,空压机大修周期从原 2 年 1 次延长至 3 年 1 次,单次大修费用约 20 万元,年减少维修成本约 6.7 万元。

3.3.2 运营效率提升

自动化控制系统实现“无人值守”,无需额外配置运维人员,年减少人工成本约 5 万元。

3.3.3 环保效益

替代电加热减少年耗电量 153.33 万度,相当于年减少标准煤消耗约 511 吨(按 333g 标准煤/度电计算),降低 CO₂ 排放约 1275 吨,符合绿色矿山建设要求。

4 百盛项目凸显的空压机余热利用核心价值

从百盛煤业实践可见,空压机余热利用的降本增效价值集中体现如下:

4.1 短期核心价值

投资回收快,资金效率高。百盛项目 1 年的投资回收期,远低于煤矿行业“机电设备 5 年回收期”的平均水平,是“低风险、高回报”的优化选择。

4.2 长期核心价值

运行成本低,节能效果稳定。系统运行费用仅为传统电加热的 10.9%($17.74/163.07 \approx 10.9\%$),且随着电价上涨,节能收益将进一步提升。按工业电价年均上涨 1% 测算,项目第 5 年的年净收益可增至 150 万元,长期节能价值显著。

4.3 多维优化价值

设备运行风险降低:空压机运行温度稳定,减少因高温导致的故障停机(百盛项目实施后,空压机故障停机时间从原年均 12 小时降至 3 小时);环保效益明显:矿井满足“双碳”政策要求,避免因能耗超标面临的处罚风险;用热稳定性高:相较于太阳能、空气能等受环境影响较大的热源,空压机余热“随设备运行产生”,可稳定满足矿井用热需求(百盛项目热水供应稳定性达 99.5%)。

5 基于百盛经验的空压机余热利用推广建议

结合百盛煤业的成功实践,针对煤矿行业空压机余热利用技术的普及,提出以下可落地的推广路径:

5.1 分优先级推进现有矿井改造

参照百盛项目,优先选择“空压机余热未回收利用且用热需求稳定、传统加热以电/燃气为主”的矿井,这类矿井可快速复制百盛经验,实现降本增效,比如:望云煤矿、口前煤矿等。

5.2 新矿井规划阶段提前嵌入技术

在新矿井设计阶段,需同步规划空压机站与用热终端(洗浴、宿舍、井口)的布局,缩短管道距离(百盛项目管道长度控制在 50 米内,热损耗率仅 3%);预留余热回收系统接口(如循环泵进出口、温控探头安装位),避免后期改造的“破墙凿地”成本(可减少改造费用约 20%)。

5.3 政策机制配套

将空压机余热利用等节能项目列为“煤矿节能示范案例”,通过集团公司内部交流会、现场观摩等形式,分享技术方案与数据成果,提升各矿井参与积极性,同步可推广至化工化肥等高耗能企业。

6 结论

百盛煤业空压机余热利用项目的实践表明,该技术具有理论可行、效益显著、适配性强的特点:85% 以上的余热回收率保障了节能效果,1 年的投

资回收期实现了资金高效周转,年均 145.33 万元的净收益与设备寿命延长、运营效率提升的多维价值,充分验证了其在煤矿降本增效中的核心作用。

在煤炭行业向“绿色、高效、低碳”转型的背景下,空压机余热利用技术无需大规模改造现有设备,即可实现“废热变资源”的转化,是矿井“花小钱、办大事”的优化选择。基于百盛、唐安、同宝等矿井利用经验的推广路径,可助力更多煤矿快速落地该技术,推动行业整体能效提升与成本优化。

参考文献:

- [1] 山西兰花百盛煤业有限公司. 空压机余热回收系统装置技术协议书 [Z]. 2021.
- [2] 中国煤炭加工利用协会. 煤矿机电设备节能技术指南 [M]. 北京:煤炭工业出版社, 2023: 89–95.
- [3] 山西诺瑞斯特节能环保有限公司. BS-NRST 系列余热回收机组技术手册 [Z]. 2021.

(上接第 16 页)

万元。

(2)间接安全效益:精准的地质预测有效避免了揭煤、透水等重大安全风险,为矿井安全生产提供了前置保障。

(3)管理提升效益:推动了矿井数字化、智能化转型,培养了复合型技术人才,提升了部门的核心价值与话语权。

5 结论与展望

实践证明,地质测量专业是煤矿降本增效体系中潜力巨大的关键一环。通过技术创新与管理优化,将地质测量工作从被动服务转变为主动引领和

价值创造,能够从源头和过程中实现显著的降本增效。未来,我们将继续深化精准地质保障系统建设,探索与智能掘进、自动驾驶等系统的深度融合,为公司在严峻市场环境中实现高质量发展贡献更大的专业力量。

参考文献:

- [1] 袁亮. 煤炭精准开采科学构想 [J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 1–15.
- [2] 王凯, 李鑫. 随钻测量技术在煤矿地质保障系统中的研究与应用 [J]. 工矿自动化, 2023, 49(4): 65–70.
- [3] 张峰. 无人机摄影测量在矿山工程中的应用研究 [J]. 煤炭技术, 2024, 43(3): 112–115.