

空压机余热回收利用的原理及效益探讨

王万保（青海盐湖蓝科锂业股份有限公司，青海 格尔木 816000）

摘要：作为工业领域应用十分广泛的动力源，压缩空气技术不仅具有无公害、性能调节、传输方便的特点，且具有较高的安全性。本文从事空压机余热回收利用研究，首先对空压机余热概念加以分析，其次，对空压机余热回收利用的原理进行分析。在明确原理基础上，最后本文针对案例企业空压机余热回收利用效益开展探讨，以充分展示空压机余热回收技术的优势与价值，仅以本文供我国煤炭企业加以借鉴。

关键词：空压机余热；能源回收；HRS；效益探讨

对空压机余热进行利用，除了能够有效改善空压机本身工作性能之外，同时可实现能源回收利用、成本节约，减少企业面向自然环境的污染排放。作为一项新型、高效的回收利用技术，目前大量生产型企业正不断探讨如何有效利用空压机余热回收，为企业创造更高的经济效益。因此，对空压机余热回收利用的原理与效益加以探讨，对于我国生产性企业成本的控制、节能减排目标的落实乃至“双碳”目标的落实均有一定的研究价值。

1 空压机余热概念分析

空压机运行期间伴随着大量压缩热，在机组运行功率中，压缩热消耗能量占机组总能量消耗的85%以上。一般情况下，该部分能量会基于机组风冷系统、水冷系统交换至大气环境中。倘若能够有效将该部分压缩热回收，通过对压缩机结构合理的改造，原本向大气缓解经排放的热量将被有效收集、利用，如此将有效减少其他用途对燃料的使用^[1]。以煤矿企业常用的螺杆式空压机为例。螺杆式空压机，其工作流程为先让空气，通过进气过滤器，过滤到大气内的杂质与尘埃，随后经过进气控制阀，进入到压缩机体内实现空气压缩。在控制压缩过程中，会同冷却润滑油充分混合，空气与油的混合气体，会从压缩腔排入到油气分离罐之内，油气分离罐负责分理处高温与高压的油体、气体，高温与高压油气，会被送入到各自的冷却系统。压缩空气基于冷区外实现冷却之后，最后送入到使用系统，高温高压的润滑油会从汽油桶排除，经历热控阀降温与油过滤器将杂质去除，最终返回至系统进入下一轮生产循环。

空压机运行阶段，其产生的气量，将随机组运行温度上升而下降，实际应用期间空压机的产气工作通常不会稳定与标定温度水平，当温度上升1℃，产气量随之下降0.5%，温度持续上升则产气量将随之陆续

下降。一般情况下，风冷散热空压机的运行温度会集中在80-100℃范围内，产气量降幅维持在4-8%左右，气候进入夏季后更是有所提升。对空压机应用余热回收技术，可有效降低空压机运行阶段的油温，增加产气量，促进空压机运行效率攀升^[2]。

2 空压机余热回收利用原理分析

2.1 设备启动状态

在空压机冷态启动状态下，冷却油有着较低的温度，此刻，油冷器的旁通阀处于关闭状态，热交换器的旁通阀处于关闭状态。该阶段，冷却油不会经过热交换器、冷却器，而是直接进入空压机内部^[3]。

2.2 HRS 机组工作状态

待空压机运行一定周期后，温度开始逐渐上升，冷却温度提升至热交换器旁通阀预设值后，热交换器旁通阀自动进入开启状态，此刻冷却的热油需要进入热交换器，将热量向冷却水传递，随后再进入到下一流程。倘若经过热交换器之后，系统判定油温低于冷却器旁通阀设定值，则冷却油直接进入压缩机，无需进入冷却器。反之，若判定油温仍然高于冷却器旁通阀设定值，则先进入冷却器进行油温冷却，向冷却水传递温度，随后再进入压缩机循环流程^[4]。

2.3 热水机组工作状态

在能量回收装置不再需要热水，停止热停止供应，该情况下热交换器内不再进行热量交换，此刻冷却油仍旧保持在高温状态下，一般情况下，此刻冷却油的温度会高于油冷却器旁通阀预设值，因此系统会让冷气器油流经冷却器旁通阀，实现冷却之后再流入到空压机内部，确保空压机始终处于正常工作状态^[5]。

2.4 将温控阀设置于 HRS 与空压机连接油路中

在 HRS 与空压机之间的连接油路中设置温控阀，设置阶段，HRS 出油管同温控阀的进油口连接，将空压机冷却器进口连接到温控阀高温出口，将冷却器的

出口连接至温控阀的低温出口。空压机运行阶段，空压机的热油在经过 HRS 系统换热之后，进入到温控阀内。倘若油温在换热之后仍然超出温控阀的预设温度值，此刻让由进入空压机冷却器进行再次冷却，随后流入到空压机机头部位。倘若换热之后，油温已经低于温控阀预设温度值，则无需再次冷却，系统直接将油输送到空压机机头部位，如此方依据油温，确认空压机油是否需要经历两次换热降温，不仅有效提升 HRS 取热效率，同时亦可保证空压机始终处于正常、稳定运行状态^[6]。

2.5 HRS 余热回收系统应用优势

2.5.1 降低企业供热成本

对企业内空压机进行改造，加入 HRS 余热回收系统，可实现一次投资、长期回报的效益，投入成本通常在 1 年之内便可收回，但 HRS 余热系统可为企业提供长达 10 年的经济效益获取。表 1 为余热回收同其他供热方式效益对比。

基于表 1 分析可以发现，空压机余热利用供热方式，无其他费用，无人工费用，且能源类型完全采用空压机余热，不仅运行成本低，且针对环境不存在污染影响。

2.5.2 空压机运行效率提升

通过改装，利用 HRS 余热回收系统回收空压机生产阶段的余热，空压机排气温度将显著降低，冷却水温度亦会随之降低^[7]，如此将实现冷却器使用寿命的提升，且有效增加排气量，保证空压机具有较高的运

行效率。

2.5.3 降低空压机维修与保养成本

基于 HRS 余热回收系统回收孔阿姨级余热，可降低空压机的运行温度，减少电能消耗，同时延长冷却器、油气分离器等设备使用寿命，减少维修与保养成本，提升机组整体运行经济性^[8]。

2.5.4 运行不受自然条件影响

HRS 余热回收系统热量源自于空压机的余热，只要确保空压机处于运行状态，余热回收系统便可实现热量回收、应用，不会受到任何自然环境的影响，且不受季节影响^[9]。

3 空压机余热回收利用效益探讨

3.1 企业机组概况

某煤矿企业浴池，以锅炉房提供热水，锅炉房内设置 2 台 6/h 链条炉锅炉（一用一备），每年供应浴池热水的原煤燃烧消耗量为 2500t，可实现 26.61MJ/kg 平均发热量，折标煤 1843.6tce，锅炉常年处于效率较低状态，严重浪费煤炭资源。锅炉运行阶段，所产生的饱和蒸汽温度 140℃，蒸汽经过换热之后供应浴池热水，浴池热水用量为 250t/日，平均温度为 45℃。

空压机房方面，该煤矿企业空压机房总装机容量为 1775kW，设置 5 台 355kW 螺杆空压机设备，平均每月实际运行功率为 430kW，平均循环油温度为 105℃，根据计算，未利用的可回收热功率高达 258-344kW。

基于企业供应浴池热水长期消耗大量燃煤，制约企业节能减排战略的落实，且每年需支付高额燃煤成

表 1 余热回收模式与其他供热方式效益对比

供热方式 / 效益	空压机余热利用	电热水炉	燃煤热水炉	燃油 / 燃气热水炉	太阳能热水炉	热泵热水炉
能源类型	余热	电能	燃煤	柴油 / 液化气	太阳能 + 电能补充	电能
危险性	无危险	中危险性	高危险性	高危险性	低危险性	低危险性
设备寿命	10-15 年	5-8 年	5-8 年	5-8 年	5-6 年	10-12 年
环境影响	无污染	无污染	严重污染	严重污染	无污染	无污染
安装场所	天台 / 机房	专用区域	专用区域	专用区域	天台	天台
占地面积	较小	中等	较大	较大	极大	较小
人工费用	无	1 人工费	2-3 人工费啊	2-3 人工费	无人工费	无人工费
安全性与安全隐患	仅水泵用电，安全性高	加热管老化、漏电	隶属易燃品	隶属易燃易爆品	加热管老化、漏电	冷媒泄露、漏电
噪声	无噪音	噪音小	噪音大	噪音大	噪音小	噪音小
其他费用	无费用	年检费用	年检费与审批费	年检费与审批费	无费用	无费用

表 2 不同热水供应方式费用对比

加热方案	单价	能耗	费用	每年费用
余热回收方案	0	0	0	0
企业原燃煤锅炉	0.9 元 / kg	18.18kg	16.362 元	235.6 万元
液化气	5.8 元 / kg	6.38kg	37.00 元	532.8 万元
管道煤气	2 元 / m ³	10.4m ³	20.84 元	300.0 万元
柴油锅炉	6.2 元 / kg	5.95kg	36.70 元	528.5 万元
电热水器	0.65 元 / °	64.6°	42.00 元	604.8 万元
天然气	4 元 / m ³	7.44m ³	29.76 元	428.6 万元

本,经企业董事会决议后,决定引入 HRS 余热回收系统实现 5 台空压机余热回收,以余热回收形式供应企业浴池热水,拆除原有 2 台 6h 链条炉锅炉。

3.2 改造方案

于该煤矿企业空压机房加装 HRS 余热回收系统,改变浴池消耗能量为空压机余热资源与一小部分水泵电能,按照进水 17℃,出水 45℃ 标准,若按照热能回收率 80% 计算,可实现 344kW 空压机余热回收,每小时可实现 10.53t 热水产出,每天可实现 252t 热水生产。按照热能回收率 70% 进行计算,可实现 301kW 热量回收,每小时可生产 9.21t 热水,每天可实现 221t 热水生产。按照热能回收率 60% 计算,可实现 256kW 热量回收,每小时可生产 7.9t 热水,每天可实现 190t 热水生产。

同时,随着季节变化,空压机余热回收后的热水产量,将稳定控制在 190~225t 范围,春秋热量不足情况下,回收浴池余热,可实现 50~80kW 余热的二次回收,加上空压机余热回收,足够满足浴池热水需求。在企业用水量或是空压机开机数量较少,则采用空气能热泵进行热量补充,该企业空气源热泵加热功率设计值为 160kW/h,可实现日产热水 100t^[10]。

3.3 空压机改造实际经营效益

在明确改造方案后,还企业自空压机机房引入 HRS 余热回收系统,针对 5 台空压机均进行改造,共计加装 5 套 HRS 余热回收装置,在运行一年后,进行空压机余热回收效益统计。

企业 5 台空压机加入 HRS 余热回收系统后,每台空压机每分钟产气量以 82℃ 温度测定给定,空压机产气量,随机组运行维度提升逐渐下降,其反比程度为温度提升 1℃,产气量下降 0.5%,案例企业空压机运行温度在 80~95℃ 范围内,降幅在 4~6% 左右。HRS 余热回收后,能够将空压机温度降低 8~12℃,产气量提升 6%,成功实现企业浴池热水供应耗能所需要的费用。经济效益分析阶段,经计算获取不同热水供应方式费用对比,如表 2。

基于表 2 浴池热水供应经济效益可以显著得出,在企业实现空压机余热回收供应热水后,企业拆除燃煤锅炉,燃煤能耗下降至 0,浴池热水供应完全凭借空压机余热回收实现热水加热,每年支付能耗费用为 0 元,企业原燃煤锅炉每年供给热水燃煤成本为 235.6 万元,该笔款项成功得到节约。同时,5 套 HRS 余热回收设备预计可使用 10 年,将为企业创造高度可观

的经济效益。

此外,空压机运行期间,余热回收实现电能消耗的降低,且提升了每台空压机 6% 左右的产气量,同时空压机运行温度显著下降,有效降低了设备故障率与检修成本、维修成本,提升了空压机使用寿命^[11]。

4 结语

本文针对空压机余热回收的原理以及经济效益作出研究,以案例煤矿企业空压机改造项目为例,引入 HRS 余热回收系统。经实际改造后,证明该企业节约了浴池热水供应全部燃煤成本,每年节约成本额度达 235.6 万元,且空压机设备的检修、维护成本,运行阶段电能成本得到有效节约,充分论证应用空压机余热回收技术,可让企业实现成本节约同时促进节能减排目标的落实,有效提升企业在市场竞争中的实力。

参考文献:

- [1] 朱国峰. 空压机余热回收利用的原理及效益分析 [J]. 冶金管理, 2022(01):187-189.
- [2] 刘晓峰, 张昌建, 王雪, 野佳汇, 刘伟, 罗景辉. 段王矿空压机余热回收利用系统设计 [J]. 煤炭与化工, 2021, 44(11):111-113.
- [3] 赵卫. 空压机余热回收利用在常村煤矿的应用 [J]. 能源与节能, 2021(06):66-67.
- [4] 张泽飞, 殷卫峰, 向艳蕾, 等. 煤矿空压机余热利用技术现状与展望 [J]. 煤质技术, 2022, 37(2).
- [5] 孙翔. 基于废热驱动喷射制冷的压缩空气干燥系统性能研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [6] 翟博士. 矿井地面空压机余热回收利用研究 [J]. 自动化应用, 2020(11):165-167.
- [7] 郭冲冲, 张林兵, 刘晓峰, 等. 煤矿空压机余热回收利用项目设计 [J]. 河北工业科技, 2022, 39(2).
- [8] 周翔, 孔德文, 宋荣志. 离心式空压机余热回收系统设计分析 [J]. 机械工程师, 2020(10).
- [9] 于盛林, 祝仲伦, 李江涛. 浅谈空压机余热的多级利用与设计 [J]. 内燃机与配件, 2019(2):182-183.
- [10] 韩惠畴. 火电厂空压机余热利用效益分析 [J]. 低碳世界, 2019(10).
- [11] 黄森, 王云华. 食品厂空压机余热回收方案设计与节能分析 [J]. 科学技术创新, 2019(22).

作者简介:

王万保 (1983-), 男, 甘肃兰州人, 本科 (非全日制), 助理工程师, 研究方向: 化工工艺。