

# 企业清洁能源转型路径研究——以双钱集团“煤改气”项目为例

杨灏宇

(双钱集团(重庆)轮胎有限公司, 重庆 400900)

**摘要:** 本文以双钱集团(重庆)轮胎有限公司燃煤热电联产系统清洁能源技改项目为研究对象, 针对其高能耗、高排放及政策合规性问题, 提出以天然气锅炉替代燃煤锅炉的技术方案。通过对比分析技改前后的技术参数、经济指标及环境效益, 论证了项目的可行性。研究表明, 技改后单位轮胎能耗降低 48.7%, 年节约能源成本约 1 500 万元, 投资回收期为 1.6 年, 同时实现  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  及粉尘排放量显著下降。研究结果为传统制造业清洁能源转型提供了技术路径与经济参考。

**关键词:** 清洁能源技改; 天然气锅炉; 全生命周期成本

**中图分类号:** TQ330.8

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2025)08-0026-04

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2025.08.006

双钱集团(重庆)轮胎有限公司原有的热电联产机组, 长期以来为生产提供高压和低压微过热蒸汽。然而, 随着能源市场的变化和环保要求的日益严格, 该工艺逐渐暴露出一系列问题。近年来, 由于煤炭价格的持续上涨导致燃料成本大幅增加, 企业面临着巨大的经济压力。由于公司产能受限, 热电联产机组运行效率低下, 热负荷远低于设计值, 锅炉长期低负荷运行, 进一步加剧了能源的浪费。随着环保要求的提高使得企业需要投入大量资金进行超低排放技改, 以满足日益严格的环保标准。同时, 政府下达的限期煤改气环保整治任务, 也迫使企业必须尽快采取行动, 实现清洁能源结构的转型。

## 1 背景与现实意义

随着全球气候变化的加剧和能源结构的转型, 清洁能源的利用已成为各国实现可持续发展的关键路径。本文以双钱集团(重庆)轮胎有限公司燃煤热电联产系统清洁能源技改项目为研究对象, 探讨传统制造业清洁能源转型的路径与策略。

### 1.1 能源转型与政策驱动

近年来, 国内外学者对清洁能源转型进行了广泛研究。国外研究主要集中在能源政策、技术经济性分析及环境效益评估等方面<sup>[1-2]</sup>。国内研究则侧重于具体行业的清洁能源应用案例分析, 尤其是煤炭消费大户的转型路径<sup>[3-4]</sup>。

中国“双碳”战略要求 2030 年非化石能源占比 25%, 重庆市《打赢蓝天保卫战实施方案》明确淘汰 35 t/h 以下的燃煤锅炉, 政策层面积极倡导推动“煤改气”工作。从能源成本角度来看, 天然气锅炉的使用可以有效降低燃料成本, 提高企业的经济效益。从环保角度来看, 天然气锅炉的排放污染物远低于燃煤锅炉, 有助于企业实现环保目标, 提升社会责任及形象。

### 1.2 现状与改造迫切性

改造前公司采用 1 台 75 t/h 的燃煤锅炉为生产厂区供应高压及低压蒸汽。但是燃煤热电联产系统运行效率仅 38%, 年耗煤 6.16 万 t (实际煤热值为 4 200 kcal/kg), 轮胎单位产品能耗 0.316 tce/t 轮胎, 远超 GB 29449—2024 中规定的全钢子午线轮胎单位产品综合能耗 I 级标准 0.215 tce/t 轮胎。

目前的燃煤锅炉废气经炉内脱硫、SNCR 脱硝、布袋除尘器、炉后脱硫等治理工艺后, 经过在线数据测试,  $\text{SO}_2$  排放浓度为 200 mg/ $\text{Nm}^3$ 、 $\text{NO}_x$  排放浓度 50 mg/ $\text{Nm}^3$ 、粉尘排放浓度 20 mg/ $\text{Nm}^3$ , 虽然达标排放。但不满足超低排放标准:  $\text{SO}_2$  排放浓度 35 mg/ $\text{Nm}^3$ 、

**作者简介:** 杨灏宇 (1980—), 男, 研究生, 管理学硕士, 高级工程师, 项目管理专业 (PMP) 认证—美国项目管理协会 (PMI), 重庆工程师联合体工程科技智库专家, 主要从事橡胶设备管理、数字化及项目管理工作。

NO<sub>x</sub> 排放浓度 50 mg/Nm<sup>3</sup>、粉尘排放浓度 5 mg/Nm<sup>3</sup>。为了满足日益提高的环保要求，燃煤锅炉超低排放改造需投入约 1 200 万元，经济性不足。同时，大足区政府划定“禁煤区”，要求限期停用燃煤设备。设备

技术升级改造迫在眉睫。如果将传统的燃煤锅炉改造为天然气锅炉，排放指标将大幅降低，经过初步技术论证，改造之后的排放数据详见表 1 改造前后技术参数对比表。

表 1 改造前后技术参数对比表

| 序号 | 参数                                                            | 改造前（燃煤热电联产） | 改造后（天然气锅炉）                |
|----|---------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------|
| 1  | 热效率                                                           | 38%         | ≥ 90%                     |
| 2  | SO <sub>2</sub> 排放浓度 /[mg·(N·m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ] | 200 mg      | ≤ 35 mg                   |
| 3  | NO <sub>x</sub> 排放浓度 /[mg·(N·m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ] | 50 mg       | ≤ 30 mg                   |
| 4  | 粉尘排放浓度 /[mg·(N·m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]               | 20 mg       | ≤ 5 mg                    |
| 5  | 燃料年消耗量 / 万 t                                                  | 6.16        | 约 1 020 万 Nm <sup>3</sup> |

由此可见，采用天然气清洁能源技术升级改造后预计 SO<sub>2</sub> 排放趋零，NO<sub>x</sub> 排放下降至 < 30 mg/Nm<sup>3</sup>，粉尘排放下降至 < 3 mg/Nm<sup>3</sup>，助力区域空气质量改善。燃料消耗方面，天然气热值按 8 500 kcal/Nm<sup>3</sup>，煤热值 4 200 kcal/kg，热效率提升至 98% 后，天然气消耗量经热平衡计算得出年消耗约为 1 020 万 Nm<sup>3</sup>。重庆区域天然气气源相对稳定，采用清洁能源可以进一步降低能源成本并提升企业竞争力。由于天然气也同样存在价格波动的可能性，故在做经济效益分析的时候要考虑天然气涨价的因素做效益对比。

2 技术路径及选型

2.1 技术路径对比

现有热电联产机组因工艺特性差异，若实施技术升级改造为工业锅炉系统，则需配套新建完整的热力管网及辅助设施，涉及较高的资本投入。同时，根据重庆市各级生态环境主管部门颁布的污染物排放管控要求，结合区域环境容量分析，不建议采用燃煤工业锅炉技术路线。另外，通过对重庆及周边地区生物质

燃料市场的供给能力评估，发现当前生物质燃料供应链存在价格波动性大、原料供给稳定性不足等制约因素，技术经济性分析表明该方案不具备可行性，生物质锅炉不具备实施条件。

因此，综合技术适配性、环境合规性及经济性考量，针对公司的实际情况，本次清洁能源技术升级改造拟采用天然气锅炉系统及配套工艺技术方案。该方案充分考虑了重庆区域及周边的能源供应情况，以及企业的实际需求。该技术方案与生物质燃料相比，页岩气资源在重庆地区更为丰富，气源有保障，且价格相对稳定。该方案与燃煤锅炉相比，天然气炉将减少燃煤消耗量，减少烟尘和二氧化硫的排放，有利于保护环境。天然气管道建设工程及天然气锅炉技术成熟，使用低氮燃烧器，安全可靠，最终实现清洁能源优化充分利用，确保项目满足超低排放标准要求。

因此，选择天然气锅炉作为技术改造的方向，具有更高的可行性和经济性。且对三者运行成本进行比较，天然气炉相对运行成本最低，具体见表 2：运行成本对比表。

表 2 运行成本对比表

| 技术方案                      | 年运行成本 / 万元      | 单位轮胎费用成本 / (元·kg <sup>-1</sup> ) 轮胎 | 年节省费用 / 万元 | 投资回收期 / 年 |
|---------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------|-----------|
| 燃煤热电联产                    | 10 410.00       | 0.796                               | —          | —         |
| 35t/h 天然气锅炉<br>(较燃煤热电联产)  | 8 910.00<br>1.6 | 0.693                               | 1 500      |           |
| 35t/h 燃煤工业锅炉<br>(较燃煤热电联产) | 9 868.50<br>4.4 | 0.731                               | 541.5      |           |

2.2 主要核心部件选型

原热电联产机组提供 1.67 MPa，220 °C 高压蒸汽和 0.785 MPa、190 °C 低压蒸汽供应到生产车间。当轮胎产量达到 8 000 条 / 日时，锅炉产汽量约为 1 170 t / 日，供蒸汽量 440 t / 日，其中高压蒸汽 105 t / 日，日流量范围 2~8 t/h；低压蒸汽 335 t / 日（其中向工业园区用热单位供蒸汽 11 t / 日），日流量范围为 10~20

t/h。因此，需要重点考虑天然气锅炉的容量匹配，为充分考虑能源节约，燃烧器的选型要重点关注低氮高效燃烧器，同时考虑蒸汽在运输过程中的管道损失因素，改造后对工业园区用热单位不再外供蒸汽。

2.2.1 锅炉本体及附属设施

因硫化机台进灶时间及部分机台更换模具停机，现场耗用蒸汽流量存在较大峰值，蒸汽流量在

15.5~25.5 t/h 波动；除氧器蒸汽耗量按 2~4 t/h 计，最大蒸汽需量 29.5 t/h，考虑一定裕量，故新的天然气锅炉容量选择 35 t/h 较为适宜。在技术适配性方面，天然气锅炉相对原热电燃煤锅炉占地较小（2 250 m<sup>2</sup>），可依托现有的蒸汽管网将蒸汽输送至用汽区域。为确保输送至硫化机群的蒸汽品质，在设计时考虑选择微过热天然气锅炉。为消峰储能，考虑配置蒸汽蓄热器，以便能更好地适配硫化机群用汽波动特性。

因此，在项目实施前经过充分论证，选择无锡中正品牌的天然气锅炉，型号为 SZS-35-2.5/250-Q。锅炉型式为天然气蒸汽水管整装锅炉，全膜式水冷壁、双锅筒、对流管束、微正压燃烧且成套节能装置。设计蒸汽压力为 2.5 MPa，蒸汽温度 250 °C，并配置减温器实现温度精准控温，额定蒸发量为 35 t/h，且满足 30%~110% 锅炉负荷调节的能力。

### 2.2.2 燃烧器

燃烧器根据使用工况采用分体式低氮全自动电子比调燃烧器，设计使用寿命 20 年以上，在安全方面要求防护等级 IP54 以上，可调式火焰双控功能。在节能方面要求燃烧效率达到 99.9%，且有低氧稳焰技术，燃尽率 100%。燃烧器具有富余量满足锅炉的使用要求，满足 10% 的超负荷要求。

燃烧器配套 1 套电磁阀门组及管路附件，具有缓开速闭、自动调节并带稳压装置。为确保可靠性，品牌选择西门子。燃烧器前部管道布置具有足够的间隙，并预留检修空间，燃烧器外 1.5 m 处，噪声水平应小于 80 dB。选用欧宝（EBICO）品牌。

### 2.3 最终方案

主体设备为 1×35 t/h 天然气锅炉，型号为 SZS3 5-2.5-Q，配置欧宝（EBICO）低氮燃烧器，燃烧氮氧化物 NO<sub>x</sub> ≤ 30 mg/Nm<sup>3</sup>。锅炉本体配置省煤器、空预器和冷凝器等节能装置。以确保硫化工序产生的凝结水全部收集到疏水箱，经升压泵升压至除氧器。另外现场常温除盐水经冷凝器加热后输送至除氧器，除氧后经锅炉给水泵升压经过省煤器后进入汽包。实现锅炉高效运行。

烟囱直径为 1 200 mm，材质选用 304 不锈钢，厚度 ≥ 5 mm。烟囱整体高度 20 m，设计应考虑产生凝结水及腐蚀的问题，并有凝结水处理设施和防腐。预留烟气采样口，在符合环保部门要求位置建设在线监测平台及梯子平台，预留锅炉废气在线监测采样口和两个监督性采样口。

## 3 实施技术路径

### 3.1 分阶段实施计划

准备期（0~2 月）：完成气源协议签订，设备主体及土建基础工程招标、能评安评审批。

建设期（3~7 月）：基础完工，天然气锅炉到货安装，蒸汽管网改造。

运营期（8 月后）：建立采用 DCS 冗余控制系统进行集散控制，系统应符合 SIL3 标准，实现能源数字化监控，优化负荷分配。

### 3.2 关键技术节点

气源保障：天然气管道安全接入，厂内管道铺设约 400 m；锅炉本体安装就位；蒸汽蓄热：配置 150 m<sup>3</sup> 蒸汽蓄热器，有效平抑 15.5~25.5 t/h 的用汽峰谷波动。

## 4 项目经济效益

### 4.1 投资与成本对比

项目总投资为 2 066 万元，含天然气锅炉及蒸汽蓄热器等附属装置、水处理装置、RTO 装置、土建基础以及自动控制系统等。改进后年运行总能源费用为 8 910 万元（该费用为天然气费用以及全公司电力成本总和）较原燃煤方案（1.041 亿元）下降 14.4%。改进后轮胎单位能耗降至 0.162 tce/t 轮胎，降幅 27.2%。项目建设完成后的整体收益见表 3 实际效益统计表。

由此表可见，项目建设完成后连续统计 5 个月的运行数据，能源降本 623.65 万元，年化降本 1 496.76 万元（约 1 500 万元），完全符合项目预期。

### 4.2 敏感性分析

项目运行过程中要充分考虑天然气价格波动因素，若气价上涨 20%，投资回收期将由原来的 1.6 年延长至 2.1 年，仍优于传统燃煤方案。因此项目实施后产生的经济效益较大。后续通过产线效率提升，如轮胎产量增至 265 万条/年，现场进行局部改进，持续优化能源管控。单位能耗可进一步降至 0.160 tce/t 轮胎。

## 5 总结与展望

### 5.1 总结

本项目通过天然气锅炉替代燃煤热电联产系统，实现了能源效率提升、成本降低与污染物减排三重目标。技改后，企业年节约能源成本约 1 500 万元，单位轮胎能耗下降至行业较低水平（0.162 tce/t 轮胎），

表 3 实际效益统计表

| 项目           | 单位                     | 对比基准 / 公式 | 2024 年 2 月 | 3 月    | 4 月    | 5 月    | 6 月    | 合计      |
|--------------|------------------------|-----------|------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| a 入库轮胎重量     | t                      | 实际值       | 11 104     | 12 409 | 12 044 | 12 232 | 12 649 | 60 438  |
| b 财务能源成本     | 元 /kg 轮胎               | 实际值       | 0.743      | 0.683  | 0.68   | 0.681  | 0.682  | 0.693 8 |
| c 单位产品能源费用下降 | 元 /kg 轮胎               | 0.796     | 0.053      | 0.113  | 0.116  | 0.115  | 0.114  | 0.102 2 |
| d 与燃煤热电比能源降本 | 万元                     | =c·a      | 58.85      | 140.22 | 139.71 | 140.67 | 144.20 | 623.65  |
| e 单位产品综合能耗   | tce/t 轮胎               | 实际值       | 0.163      | 0.161  | 0.162  | 0.164  | 0.160  | 0.162   |
| f 单位产品碳排放量   | tCO <sub>2</sub> /t 轮胎 | 实际值       | 0.61       | 0.56   | 0.57   | 0.59   | 0.59   | 0.584   |
| g 碳减排量       | tCO <sub>2</sub>       | 燃煤热电      | 7 030      | 7 242  | 6 937  | 6 822  | 6 822  | 34 853  |

且完全满足重庆市超低排放要求。进一步降低了企业的能源费用，提升企业综合竞争能力。

5.2 展望

未来可进一步探索以下方向：多能互补模式推广进一步降低能耗，如结合光伏发电与储能系统，降低电网依赖，在智能化升级方面引入 AI 算法优化锅炉负荷分配以便能更好地匹配现场蒸汽有效利用。提高蒸汽利用效率。

参考文献：

[1] Smith, J, et al.Clean Energy Transition: Global Trends and Challenges. Journal of Energy Policy, 45(2), 123–135.

[2] Jones, A., et al.Economic Analysis of Coal-to-Gas Conversion Projects. Energy Economics, 62, 456–468.

[3] 李华，等 . 中国制造业清洁能源转型路径研究 . 中国能源，41(3),23–30.

[4] 张伟，等 .“煤改气”项目经济效益与环境效益评估 . 环境科学学报，40(5), 1 890–1 898.

Research on the path of enterprise clean energy transformation: taking the "coal to gas" project of Double Coin Group as an example

Yang Haoyu

(Double Coin Group (Chongqing) Tire Co. LTD., Chongqing 400900, China)

**Abstract:** This article takes the clean energy transformation project of Shuangqian Group (Chongqing) Tire Co. LTD.'s coal-fired cogeneration system as the research object, and proposes a technical solution to replace coal-fired boilers with natural gas boilers to address its high energy consumption, high emissions, and policy compliance issues. By comparing and analyzing the technical parameters, economic indicators, and environmental benefits before and after the technological transformation, the feasibility of the project was demonstrated. Research has shown that after the technological transformation, the energy consumption per unit tire has been reduced by 48.7%, with an annual energy cost savings of about 15 million yuan and an investment payback period of 1.6 years. At the same time, significant reductions in SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and dust emissions have been achieved. The research results provide technical paths and economic references for the clean energy transformation of traditional manufacturing industries.

**Key words:** clean energy technological transformation; natural gas boiler; full life cycle cost

(R-03)

