

《国家信息化领域节能降碳技术应用指南与案例(2024 年版)》之九：数字化绿色化协同转型技术

（一）基于大数据的智能运营管控技术

1.技术适用范围

适用于流程型制造业生产工艺全过程管理。

2.技术原理及工艺

该技术依托大数据、人工智能、云计算等搭建工艺优化系统，将人工智能与工艺知识、工业场景和操作经验数据进行结合，对生产过程中复杂的物理、化学过程进行模拟和优化，将人工经验固化为模型，可形成规模化复制的优化决策资产，协助企业优化决策和智能控制，分工段对重点设备能耗和碳排放量进行监测，进行生产优化。系统架构如图 1 所示。



图 1 信息物理系统架构图

3.技术功能特性及指标

现已建立 20 多个工艺模型，将工业优化理论与大数据技术

融合，使物料流、能量流和信息流相融合。

- (1) 干燥部优化模型中，吨纸汽耗降低 3%；
- (2) 热分散模型中，吨纸能源成本降低 4%；
- (3) 应用调度优化模型，吨纸用电成本降低 5%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为广州博依特智能科技有限公司，应用单位为维达纸业（广东）有限公司。该企业干燥过程能耗占生产过程全部能耗的 60%以上，主要耗能种类为电，设备能耗管理水平较低，纸张的干燥工艺机理复杂。

(2) 主要技术改造内容：

基于历史过程工艺参数，建立工艺流程模型，构建基于大数据分析的行业智能运营管控平台，监测重点设备统计能源消耗，控制生产安排。项目改造周期 4 个月。

(3) 节能减碳效果及投资回收期：

经测算，企业年加权电价降低 8%，整体生产效率提高约 10%，折合年节约标准煤 1500 吨，减少二氧化碳排放 3990 吨。投资额为 500 万元，投资回收期为 1 年。

（二）基于云服务的智能化能碳一体管控技术

1.技术适用范围

适用于工业企业能源管理系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用“1+N”模式云服务的 SaaS 软件平台，其中“1”为能源管理系统，横向覆盖全厂用能数据，“N”为能源站系统。通过优化算法和专家模型，从平台管理和控制两方面，实现能源设备及系统的全面感知和优化运行。平台架构如图 2 所示。

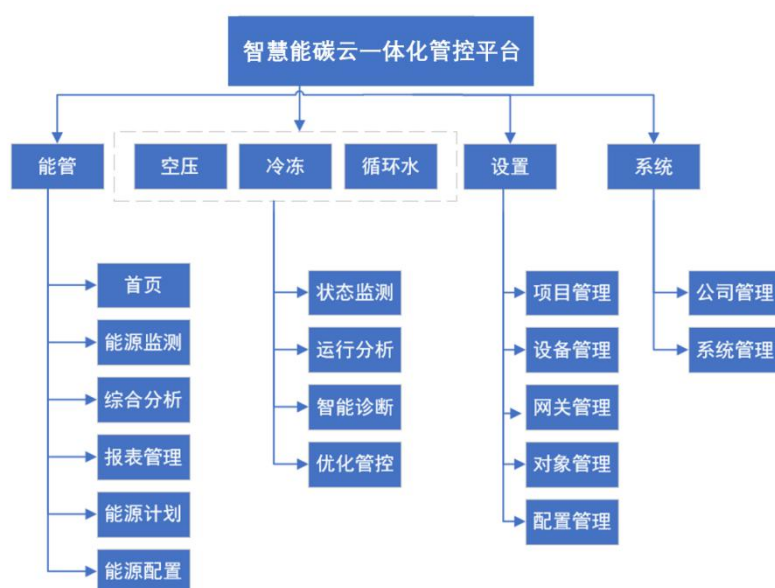


图 2 智能化能碳一体管控平台架构图

3.技术功能特性及指标

建立能源管理体系，合理优化调度用能，并通过信息化、智能化精细管理减少人员投入，综合降低企业成本。

- （1）一般功能响应时间 ≤ 2 秒；
- （2）复杂功能响应时间 ≤ 10 秒；

(3) 实时数据采集周期 10 秒~1 小时;

(4) 实时数据存储周期 10 年;

(5) 历史数据存储周期 20 年。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为杭州哲达科技股份有限公司,应用单位为河南省平顶山市叶县龚店乡平顶山化工产业集聚区。该空压站运行过程中,依靠人工进行设备的启停,空压站能耗偏高,主要耗能种类为电,全年综合电耗为 0.17 千瓦时/标立方米。

(2) 主要技术改造内容:

配置智慧能碳云管控一体化平台中的空压站智控模块,实时控制用能设备的运行状态。项目改造周期 7 个月。

(3) 节能减碳效果及投资回收期:

经测算,综合电耗低为 0.14 千瓦时/标立方米,按照一年 8000 小时的运行时间计算,年节电量 129.2 万千瓦时,折合年节约标准煤 400.5 吨,减少二氧化碳排放 1065.3 吨。投资额为 98 万元,投资回收期为 1 年。

（三）基于信息物理系统（CPS）的智慧能源寻优技术

1.技术适用范围

适用于用户侧分布式综合智慧能源与源网荷储微网能量管理与运行优化。

2.技术原理及工艺

该技术采用数字孪生、机理建模、大数据驱动等技术，以能量平衡为基础，综合考虑设备爬坡、容量约束，运用算法求解得到与分散式控制系统（DCS）设点相对应的低碳排放量、经济性最优工况，实现系统经济性及节能优化的动态寻优目标，根据寻优结果自动执行。系统架构如图 3 所示。

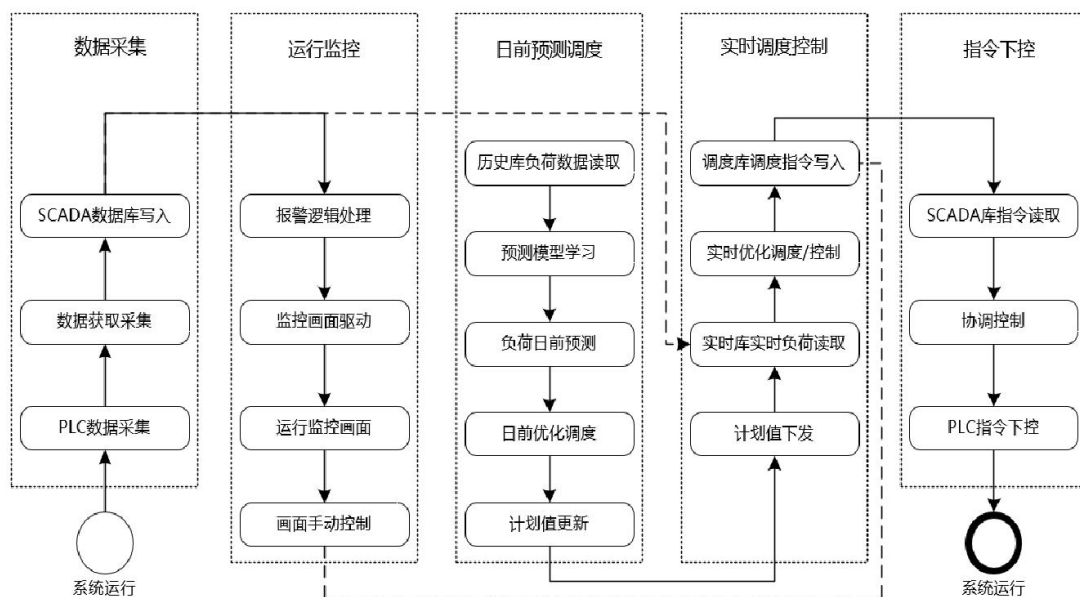


图 3 智慧能源寻优系统架构图

3.技术功能特性及指标

建立设备、管网的数学模型，实现运行智能寻优，并利用寻优模型及人工智能算法，深度挖掘系统节能空间。

- (1) 年平均节碳率 $\geq 10\%$;
- (2) 年边际成本减少 1%;
- (3) 负荷预测精度 $\geq 90\%$;
- (4) 系统可用率 $\geq 99.9\%$ 。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为国家电投集团科学技术研究院有限公司，应用单位为湖北省麻城市人民医院。该医院配备 2 台 800 千瓦燃气内燃机、4 台 900 冷吨电制冷机、2 台 2 蒸吨锅炉等用能设备，均由人员手动操作，设备未集中进行管理。

(2) 主要技术改造内容:

部署基于信息物理系统的智慧能源寻优系统，实现数据采集及预处理、负荷预测、工况参数智能寻优等功能。项目改造周期 1 年。

(3) 节能减碳效果及投资回收期:

改造完成后，经测算，节能率达 22.7%，年节电量 400 万千瓦时，折合年节约标准煤 1240 吨，减少二氧化碳排放 3298.4 吨。投资额为 500 万元，投资回收期为 5 年。

（四）基于人工智能的制造流程数字化碳管理技术

1.技术适用范围

适用于轻工行业数字化碳管理。

2.技术原理及工艺

该技术利用人工智能、大数据、智能控制等技术，对碳数据和能源数据进行采集、监控、分析、优化、管理，实现可信的碳数据管理，碳排放核算、碳效实时监测评估、碳资产管理、产品碳足迹计算分析、能耗管理、智能联控、智能分析等功能，提升工业制造过程能碳资源数字化管理水平。技术体系架构如图 4 所示。



图 4 基于人工智能的制造流程数字化碳管理技术体系架构图

3.技术功能特性及指标

数字化碳管理采用微服务架构，具有弹性可拓展特性，并针对烟草及造纸行业建立符合行业标识解析体系。

（1）“碳数据”年存储量 1T 以上；

(2) 平台操作响应时间和数据同步延迟时间 < 1 秒;

(3) 完成碳盘查核心数据收集 20 分钟;

(4) 标准化碳管理报告输出时间 30 分钟。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为北京远舫智能科技有限公司，应用单位为黑龙江省牡丹江市恒丰纸业。该企业生产设备多，工艺过程复杂，用能结构复杂，总体能耗偏高。

(2) 主要技术改造内容:

为企业建设工业数字化碳管理系统，对生产管理系统采集的用能数据进行分析，找出设备异常问题，并可对压缩空气系统、供水系统进行实时自动调节。项目改造周期 10 个月。

(3) 节能减碳效果及投资回收期:

经测算，节能率达 10%，年综合节约标准煤 3000 吨，减少二氧化碳排放 7980 吨。投资额为 45.8 万元，投资回收期 8 个月。

（五）基于工业互联网平台的智能化水管理技术

1.技术适用范围

适用于石化、化工、钢铁等行业循环水系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用多变量模型预测控制系统技术、系统流阻优化技术，建立从取水、供水、回水、废水的全流程智慧系统，实现恒温、恒压、变流量供水，可降低公辅设备能耗 15%；对全厂水系统实时控制优化运行，工业水系统全流程自适应控制，可降低设备运维工作量。技术原理如图 5 所示。

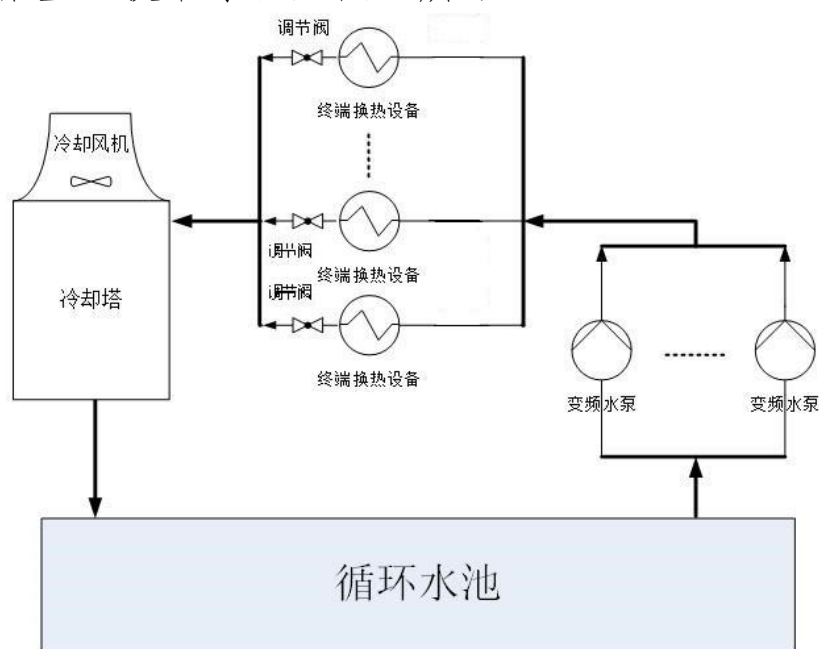


图 5 工业智能化水管理技术原理图

3.技术功能特性及指标

对动力设备进行集中监控和管理，并构建集能源管理、生产过程监控、能源优化为一体的信息化管理系统。

- (1) 降低用水量 5%;
- (2) 降低水系统运维工作量 7%;
- (3) 降低主要设备被控参数波动范围 > 10%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为海澜智云科技有限公司，应用单位为江苏华昌化工股份有限公司。该公司 13 台循环水泵机组均按照最高功率运行，主要耗能种类为电，对于低水压需求环节存在过压浪费。

(2) 主要技术改造内容:

对该企业的联碱车间循环水系统、尿素车间循环水系统、多元醇车间循环水系统、硝酸车间循环水系统和空分循环水系统进行整体的优化和变频改造。项目改造周期 2 个月。

(3) 节能减碳效果及投资回收期:

经测算，实际输出功率平均降低 25%，按照年运行时间 8000 小时计算，年综合节电量 2014.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 6244.0 吨，减少二氧化碳排放 1.7 万吨。投资额为 1390 万元，投资回收期 13 个月。

（六）智能决策优化技术

1.技术适用范围

适用于工业制造业的设备管理、生产制造、运营调度。

2.技术原理及工艺

该技术以国产自研求解器（COPT）为计算引擎，搭建智能制造决策优化平台，平台拥有底层计算能力，可通过产品的各应用模块和多种数字化系统与企业的产能、物料、工序、工艺、出口、环保等数据进行对接；利用智能决策技术，对期望目标（如产能利用率、库存、订单满足率、综合利润、成本、碳排放等）进行优化，实现从数据到决策的打通，寻找出更优的生产经营路径。技术架构如图 6 所示。



图 6 智能决策优化技术架构图

3.技术功能特性及指标

生成一体式的集成业务计划群，可实现多个不同策略计划对比和产能、物料等约束配置，优化生产计划。

（1）订单满足率提升 20%；

（2）产能损失率降低 30%；

（3）降低人工干预 70%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为杉数科技（北京）有限公司，应用单位为山西中升钢铁有限公司。该企业排产流程中缺少生产调度看板，计划制定过程无法参考实时数据，缺少对库存、产能、客户需求的综合考量及对临时调整的合理应对，主要耗能种类为电和焦煤。

（2）主要技术改造内容：

为企业建设采销智能决策平台，结合炼钢各工艺限制，分析各环节原燃料消耗，预估成本及收益，实现生产排产和销售协同的智能决策，提高资源利用率。项目改造周期 14 个月。

（3）节能减碳效果及投资回收期：

经测算，铁液配比成本降低 8%，钢液配比成本降低 5%，焦煤使用量减少 5%，综合年产量提升 1%~3%。投资额为 180 万元，投资回收期为 11 个月。

（七）工业设备智慧运维及系统能效优化与智能控制技术

1.技术适用范围

适用于钢铁、水泥、化工等行业脱硫、脱硝和除尘等工段设备运维管理。

2.技术原理及工艺

该技术基于数据中台和知识中台构建运维 AI 大模型，开发了多场景算法模型和边缘智控一体机、故障诊断一体机、安全隐患一体机等产品，采用系统级、过程级与设备级等多层级环保设施及设备运维能效管控系统等关键核心技术，实现设备智能化监测与故障诊断、系统能效优化与智能控制，为企业提供过程控制、能效优化、设备故障诊断和设备安全等智慧运维综合解决方案。技术路线如图 7 所示。

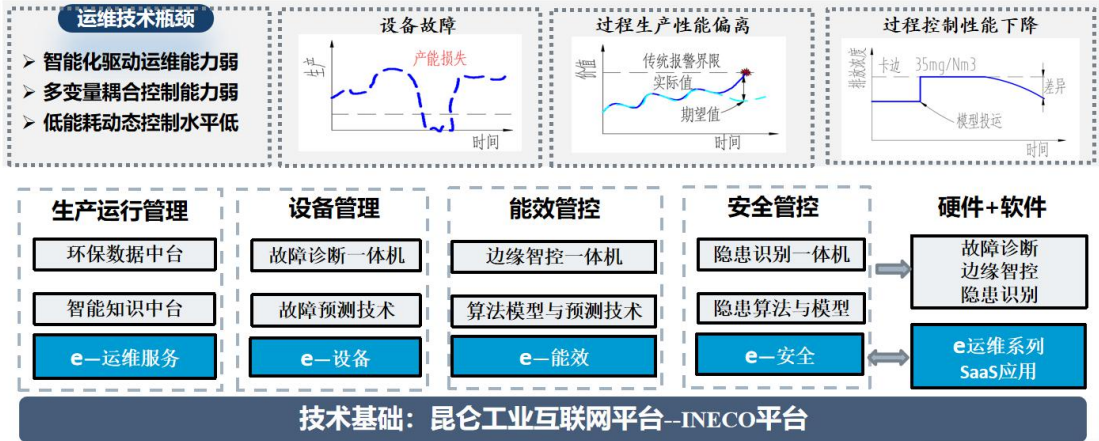


图 7 工业设备智慧运维系统技术路线图

3.技术功能特性及指标

可实现过程控制、能效优化、设备故障诊断和安全管控，提

供生产的综合解决方案。

(1) 系统及设备的故障预警准确率达 90%，故障诊断准确率达 85%以上；

(2) 运维工作量减少 30%；

(3) 物耗降低 5%~10%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为江苏昆仑互联科技有限公司，应用单位为吕梁建龙实业有限公司。该企业烧结烟气环保装置不能自动调控，排放不稳定，年用电量 2058.3 万千瓦时，高炉煤气耗量为 8176.2 万立方米，石灰 3776.3 吨，氨水 1445.7 吨。

(2) 主要技术改造内容：

对 1 台 200 平方米烧结机进行数字化升级，实现数字化设备管理、状态监控、能效管控、安全管控、决策分析和成本分析。项目改造周期 2 个月。

(3) 节能减碳效果及投资回收期：

经测算，项目节电量 10%，节约高炉煤气量 10%，节约石灰量 5%，节约氨水量 10%，年节约电量 205.8 万千瓦时，年节约高炉煤气量 817.3 万立方米，年节约石灰量 188.8 吨，年节约氨水量 144.6 吨。投资额为 530 万元，投资回收期 1.2 年。

（八）基于 5G 技术的钢铁企业多维度环保管控技术

1.技术适用范围

适用于钢铁行业能源智能化管理系统。

2.技术原理及工艺

该技术通过钢铁企业工业互联网平台体系架构与 5G 局域网技术、信创技术栈的实施与融合，将企业生产、环保、能源领域物联网的数据进行云计算整合，实现对“废气、废水、固废”的多级管控，形成“大屏端综合展示，计算机端专项管理和移动端实时监管”的立体化管控模式。系统架构如图 8 所示。

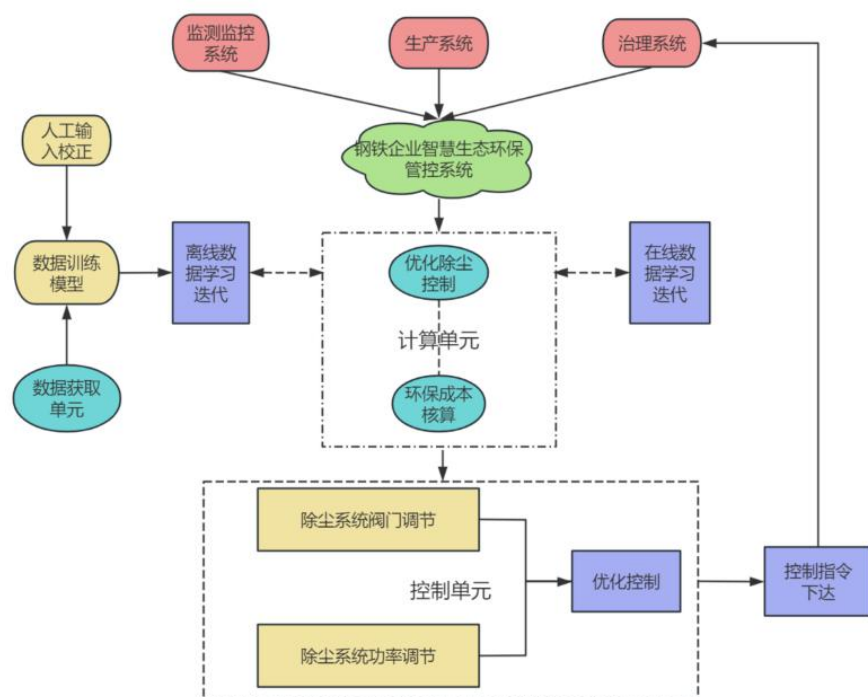


图 8 钢铁企业多维度环保管控系统架构图

3.技术功能特性及指标

可实现对废气、废水、固废等大屏端综合展示、以及 PC 端

专项管理、移动端实时监管的立体化管控。

（1）采用时序数据库，计算资源仅为传统方式的 1/2，存储资源仅为传统方式的 1/8；

（2）最大衍生 10000 条现场数据接入量。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为中冶京诚工程技术有限公司，应用单位为中国宝武集团武汉钢铁有限公司。该企业废弃物排放包含有组织废气、无组织废气、废水、固废等，其中炼铁、炼钢等主要生产工序除尘系统全年耗电量约 8.04 亿千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

完成对污染治理设施数据采集，对重点设备进行在线监控，建设数据大屏系统。项目改造周期 12 个月。

（3）节能减碳效果及投资回收期：

经测算，通过生态环保管控系统非同步运行报警及闭环管理等相关管控措施，可实现节电率约 5%，年综合节电量 4020 万千瓦时，折合年节约标准煤 1.3 万吨，减少二氧化碳排放 3.5 万吨。投资额为 7000 万元，投资回收期为 2 年。

（九）基于工业互联网面向工业窑炉节能燃烧的大涡湍流算法

1.技术适用范围

适用于工业窑炉智能燃烧系统。

2.技术原理及工艺

该技术通过大涡湍流燃烧模拟算法，按照工艺需求，设计适用于工业炉窑的燃烧系统，根据模拟所得参数对炉窑现有燃烧系统进行改造，将工业燃烧动态参数进行即时运算和呈现，实现精细化、数字化、稳定化燃烧，产品质量高、能耗低，燃烧相关的污染物排放低。工业生产基本逻辑原理如图 9 所示。

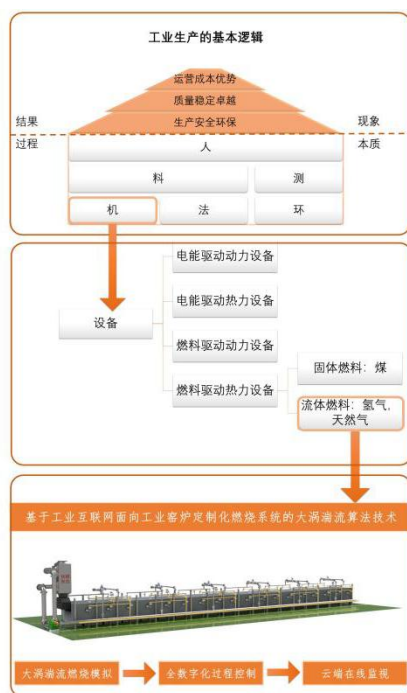


图 9 工业生产基本逻辑原理图

3.技术功能特性及指标

提高了生产过程的安全性，避免了欠烧和过烧引发的品质不

稳定问题；并可降低氮氧化物的排放 25%~50%。

（1）提高工业产品稳定性 3%以上；

（2）氮氧化物排放降低 25%；

（3）关键生产参数 100%上云。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为江阴优燃科技有限公司，应用单位为二重（镇江）重型装备有限责任公司。该公司窑炉 1—8 月份的天然气消耗量为 251.4 万立方米。

（2）主要技术改造内容：

对 2 号热处理炉进行升级，通过大涡湍流燃烧模拟，实现炉内温度的合理分布，提高能源使用率。项目改造周期 20 天。

（3）节能减碳效果及投资回收期：改造后，同等产量同周期该窑炉用气量为 201.1 万立方米，每台设备节能率为 20.3%，平均每月可节约天然气 6.3 万立方米，项目年节约天然气 75.5 万立方米。投资额为 400 万元，投资回收期为 14 个月。