

附件 1

课题 QZKF2025-01：机理-数据驱动的轧钢机轴承性能退化与状态演化规律研究

课题要求：面向轧钢生产过程中强瞬变、强噪声的复杂运行环境，围绕轧钢机轴承早期故障难识别、状态模糊、数据缺失等核心问题，基于机理约束和对抗生成原理构建多模态(振动、噪声、力、温度等)工况自适应的数据增强与治理框架，突破原始数据局限，构建能全面反映其健康状态的特征指标体系；结合冶金生产、材料、力学等领域知识，构建轧钢机轴承的精细化物理退化演化模型，揭示其性能退化路径；形成以机理与数据协同驱动为核心的多模态数据治理、特征提取、状态识别与剩余寿命评估的一体化体系，实现对轧钢机轴承状态演化的动态预测和剩余寿命的概率性预测，实现预测性维护，避免非计划停机，提升生产效益。

技术指标：适用轧制工艺 ≥ 1 种；数据增强与治理后数据完备率提升 $\geq 40\%$ 、信噪比提升 $\geq 6\text{dB}$ 、时频特征相对偏差 $\leq 8\%$ 、覆盖稀有工况样本占比提升 $\geq 40\%$ 、机理约束违例率 $\leq 1\%$ ；随机缺失 30%模态数据时性能下降 $\leq 5\%$ ；在强噪声与强瞬变条件下，早期故障召回率 $\geq 96\%$ ；误报率 $\leq 1\%$ ；平均预警提前量 ≥ 7 天（或 ≥ 3 个班次）；RUL 相对百分比误差 $\leq 20\%$ ；90%置信区间覆盖率 $[85\%, 95\%]$ ；校准误差 ≤ 0.05 ；退化拐点提前识别 ≥ 3 天。

指标检验：通过多模态数据增强与治理测试，验证模型在强瞬变、强噪声场景下提升数据完备率、信噪比与特征保真的能力。通过物理退化机理一致性测试，验证退化演化模型与冶金工艺过程、力学、润滑、退化及失效等机理约束的相符性及有效性。通过状态演化识别测试，验证该一体化方法在低信噪比与复杂工况条件下对弱故障的召回率、误报控制、预警提前量、设备状态动态识别及寿命预测性能及能力。

QZKF2025-02：知识-模型融合驱动的钢铁冶金知识图谱推理增强与决策研究

课题要求：面向钢铁生产过程中的多源异构知识体系，研究基于知识图谱与大语言模型协同的动态增强机制。重点攻克领域知识碎片化、语义歧义与复杂推理等难题，构建覆盖冶金工艺、设备与质量控制等核心要素的高质量知识图谱。研究基于知识图谱与大模型协同的检索增强、可解释推理与决策优化方法，实现工艺

知识问答、工艺反推与故障因果链条推理等功能，推动冶金工业知识感知与决策的智能化升级。

技术指标：覆盖钢铁冶金主要工艺环节 ≥ 3 个；领域知识图谱本体数量 ≥ 100 个；知识图谱补全与推理置信度 $\geq 85\%$ ；基于知识图谱与大模型协同的推理与辅助决策工具 ≥ 2 个。

指标检验：制定覆盖炼铁、炼钢、连铸的核心知识本体清单，通过统计分析确定覆盖度；基于仿真场景构建推理任务，测试图谱补全和语义一致性，验证推理准确率；通过检索增强生成实验，验证知识-模型融合驱动方法在可解释性推理和决策优化上的有效性。

QZKF2025-03：面向钢铁智能生产过程知识图谱构建与推理技术研究

课题要求：面向钢铁智能生产过程中的复杂物理化学反应，研究工业多源异构数据的知识抽取技术，结合反应机理模型与专家先验知识的引导，实现机理、数据和知识耦合协同的实体、关系抽取，构建钢铁智能生产复杂反应过程知识图谱；研究基于“黑箱”复杂反应过程工业知识图谱的知识发现与推理技术，结合图结构分析，逻辑规则等方法，实现对知识图谱的链接预测，关联关系推理，为钢铁智能生产提供高效知识引导。

技术指标：“黑箱”式复杂反应过程生产工序覆盖 ≥ 1 种；知识图谱覆盖目标领域知识 $\geq 85\%$ ；知识图谱覆盖目标领域的本体数量 ≥ 130 个；复杂反应过程知识推理准确性 $\geq 90\%$ ；面向钢铁智能生产复杂反应过程知识推理技术工具 ≥ 4 个；推理工具场景验证案例 ≥ 8 个。

指标检验：制定目标领域知识的详尽清单，包括所有关键概念、本体、实体和关系，对比知识图谱中的内容与清单，通过统计分析确定知识图谱的覆盖度；通过知识推理工具测试，每个工具完成至少两种以上的场景推理验证，并评估工具的有效性与准确性。

QZKF2025-04：钢铁生产高温熔融关键装备内衬服役材料的性能预测研究

课题要求：钢铁生产工序中关键装备的重要耐火材料低碳钢包砖，在高温、高腐蚀和剧烈温差等极端环境下的服役寿命与可靠性问题至关重要，将直接影响

钢铁生产过程的安全、产品质量和能源消耗。传统的低碳钢包砖性能预测方法存在精度不足、适应性差等问题，引入智能化技术以提升其性能预测能力。本课题研究高维时序特征解耦技术，补充基于对抗生成网络增强的异常工况数据，构建支持工艺流程分析和优化的多源数据集；研究基于数据知识双驱动的“机理建模-特征挖掘-迁移学习”融合模型构建技术，结合 SVM/XGBoost/LSTM/等算法对钢包砖生产过程中的工艺参数、设备状态、材料性能等多维度数据进行特征提取，在深度学习模型基础上组合集成热力学计算、微观组织演化等冶金机理模型，建立时空耦合的钢包砖性能预测模型。通过本课题研究能够建立低碳钢包砖配比—组织结构—性能之间的定量化关系，实现低碳钢包砖在汽车板、家电板、硅钢等高附加值钢铁产品生产中的应用推广。

技术指标：（1）**数据集技术指标：**数据集类型：覆盖材料设计、工艺过程、服役行为及性能反馈的全链条，具体如配比-结构数据：原料配比、组织特征、粒度分布等；工艺过程数据：烧成温度、保温时间、预热速度、成型压力等关键工艺参数；服役工况数据：钢包所处温度变化、钢水接触次数、氧势、渣侵蚀环境、使用周期等；性能反馈数据：抗压强度、热震循环次数、体积密度、剥蚀深度、残余寿命、失效形式等；数据集数量：结构化样本总量不少于 2000 条完整数据记录；历史周期数据应覆盖连续 6 个月以上的生产周期数据，以确保模型具备时序适应能力；数据集来源：数据应来源于现场生产数据系统、材料性能测试平台、技术人员人工记录历史档案资料与生产质量报告等。（2）**预测模型技术指标：****预测精度：**模型的预测误差要求 $\leq 5\%$ ，能够准确预测钢包砖的耐用性与性能表现。**模型适应性：**智能模型应能适应不同生产线的环境变化，具备 $\geq 90\%$ 的适应性。**数据处理速度：**模型的预测响应时间要求 ≤ 1 分钟，确保实时性应用。

指标检验：（1）**数据集检验：**数据完整性检验：检查数据集是否包含所有必要的生产工况数据，如原料配比、环境参数、性能数据等，确保数据集覆盖所有实验环境。数据准确性检验：通过与历史实验数据对比，确保数据的准确性。误差范围应控制在 $\leq 2\%$ 以内。数据一致性检验：确保不同来源的实验数据在同一标准下进行处理，数据格式统一、内容一致，防止数据偏差。（2）**预测模型技术检验：**误差范围检验：通过对比预测值与实际生产数据，检验模型的误差范围，确

保预测误差不超过 5%。稳定性检验：通过在不同工况下多次测试，确保模型输出的结果在不同的环境条件下具有稳定性，适应性误差 $\leq 5\%$ 。实时响应检验：测试模型对实时生产数据的处理能力，确保响应时间 ≤ 1 分钟，能够实时更新并提供准确的性能预测。

QZKF2025-05：氢冶金深度减排技术路线的经济性评估与国际竞争力研究

课题要求：聚焦氢冶金（ H_2 -DRI $\rightarrow$ EAF 等）替代碳冶金的需求与约束，开展以技术经济性评估、碳市场及绿电绿氢机制支撑、国际竞争力与全球价值链重构（含 CBAM）为核心的系统研究。研究在统一口径下的协同建模方法，将能源要素、政策工具与国际碳市场规则联动，构建覆盖单位钢成本与单位减排成本的参数化技术经济性评估模型与政策—边境规则情景引擎，打通“成本 $\rightarrow$ 价格 $\rightarrow$ 到岸平价”的传导链条，支撑多区域、多强度政策情景下形成可比结论与可解释计算。围绕国际竞争力与全球价值链重构，聚焦 DR 级球团供给、可再生电可得性、氢能储运、融资成本等关键约束的量化评估，构建价值链重构对比框架，识别不同氢冶金路径集在不同国家和地区的优势与短板，形成机遇—挑战矩阵、绿色溢价能力测算与环节附加值评估，实现在 CBAM 约束下“成本—价格—竞争力”的一体化评估，为国际化布局与政策协同提供可解释、可用、可复用的决策依据。

技术指标：选取氢冶金典型代表性路径 ≥ 3 个，并设置 BF-BOF 长流程基准；建立覆盖单位减排成本与单位钢成本的参数化评估模型 1 套；构建耦合国内碳政策相关机制与 CBAM 国际规则的动态情景模型 1 套，完成 ≥ 3 种政策强度组合对 IRR、投资回收期的量化分析，并生成覆盖 3 类典型区域（资源禀赋强/中/弱）与企业的国际竞争力响应曲线；构建可量化的国际价值链竞争力评估体系 1 套，覆盖 ≥ 2 个典型国家或地区、 ≥ 3 家全球领先钢铁厂商，并对 3 条核心氢冶金技术路线完成建模分析，输出单位产品成本、价值链各环节附加值与基于碳足迹的绿色溢价能力。

指标检验：制定技术路径与样本清单，建立参数化评估模型，结合电力、氢能、煤炭价格波动及装置负荷率、区域能源结构等因素，形成典型场景下的经济性边界测试分析；对政策模型设置高、中、低三类政策强度情景，输入碳价、电价等参数运行并分析输出结果，将国际竞争力响应曲线和政策建议与历史政策效果比

对，验证逻辑合理性与结果可靠性；对比模型结论与相关国家地区的实际投资环境及项目数据，复核不同技术路线组合下的成本优势与竞争性，衡量其在全球市场的竞争力。