

5G+智慧炼钢系统

4.9GHz 频段 5G 工业互联网首次工业应用

鞍钢集团自动化有限公司是鞍钢集团旗下集设计开发、系统集成和技术服务于一体的高新技术企业。公司遵循“视质量为生命、以质量占市场、靠质量求发展、用质量赢信誉”的质量方针，紧密围绕“互联网+先进制造”的发展战略，始终注重产品研发和持续改进，及时向客户提供周到的服务，充分体现以客户为中心的经营理念，为客户创造最大的价值。

一、项目概况

钢铁制造是典型的长流程工业，生产工序众多，工艺流程复杂，大型设备集中，且工艺参数繁多，多参数间耦合性强。我国各钢铁企业的生产过程数据均存放在各工序独立的一二级与三四级系统中。由于数据架构、技术平台和数据采集技术的局限，使得日累计达上百 GB 的生产数据形成信息孤岛，无法共享、融合，更有大量非结构数据无法被利用参与分析。

1. 项目背景

2015 年，我国政府工作报告提出“互联网+”行动计划，推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等与现代制造业相结合，大数据产业逐步从理论研究加速进入应用时代。

在中国制造 2025，互联网+行动计划指引下，移动互联网、云计算、大数据、物联网、5G 技术与现代制造业融合势在必行。炼钢厂每日上百 GB 非结构化数

据形成信息孤岛，无法利用参与分析，以炼钢为代表的长流程工业生产工序难以实现智能制造是摆在面前的难题。鞍钢集团自动化公司通过打通一二三四级计算机网络，解决各计算机层级通讯问题；打通前后工序信息通道，解决长流程工序衔接问题；通过云计算+5G 应用，解决非结构化数据传输与边缘计算机算力不足问题。

鞍钢集团自动化有限公司多年以来在炼钢转炉、精炼、连铸等生产工艺环节通过大量的工程项目积累了丰富的生产经验，拥有多项专利技术与丰富的先进生产操作法；中国移动拥有国家颁布的 4.9GHz 频段 5G 工业互联网牌照，在鞍钢厂区部署了最快速最安全的工业互联网；中兴公司拥有 5G 通讯模组开发能力，与鞍钢集团自动化有限公司合作进行 5G 通讯模组的开发和应用；鞍钢集团自动化有限公司拥有独立的数据中心“精钢云”，提供高速、稳定、低价、安全的云计算平台。

2. 项目简介

本项目应用于原材料工业— 黑色金属/钢铁工业行业，转炉炼钢生产控制领域。首次实现 4.9GHz 频段 5G 工业互联网的工业场景应用，建成基于云边端架构的 5G+智慧炼钢系统，实现转炉氧枪、副枪、投料、终点全自动控制的智慧炼钢。

3. 项目目标

实现在鞍钢股份炼钢总厂三分厂五号线转炉车间，通过平板电脑，无线启动 5G+智慧炼钢系统，应用 5G 网络实现由“精钢云”数学模型实时控制转炉氧枪、副枪、投料、终点全自动生产。

二、项目实施概况

通过 5G 等通讯技术将声呐、吊车等信息孤岛与“精钢云”高速连接，同时解决了非结构数据的传输问题，通过大数据处理更精准的识别转炉的工作状态，云计算强大的算力支持，实现了动态精确生产控制。解决了钢铁冶炼无法精准动态控制的问题。

1. 项目总体架构和主要内容

1.1 项目总体架构

(1) 技术方案

本方案以鞍钢集团自动化有限公司“精钢云”为云平台，以鞍钢股份炼钢总厂数据集成平台为边缘服务器，以炼钢总厂三分厂五号线 E 转炉声呐、吊车、摄像头、氧枪、副枪、料仓等为终端设备，横跨 5G 通讯技术、云计算技术、钢铁冶金工艺控制三大技术领域，与中国移动、中兴公司在鞍钢联手打造 4.9GHz 频段 5G 工业互联网云边端架构的 5G+智慧炼钢系统。

基于 4.9GHz 频段 5G 智慧钢铁专网项目基于 SA 组网模式+MEC 边缘计算架构，通过在厂区机房内独立建设边缘计算设备（MEC）与私有云进行对接，实现数据不出厂，保障工业数据和信息安全。新建的 4.9GHz 频段专用基站不用考虑与现网基站并存，适合在厂房内或局域场景独立建网进行应用，与公网用户完全物理隔离，保障数据安全、提升抗干扰能力。同时，基于特殊的 3U1D 帧结构满足超级上行需求，灵活配置上下行速率，实现上行峰值速率 700Mbps。基于网络切片技术定制 5G 专网，按需提供网络服务、容量、分布式部署，确保安全、资源、操作维护隔离，提供差异化 SLA 服务，切片之间独立监控、运营、管理，满足各类应用的差异化网络需求。

以“一种转炉炉渣状态检测控制装置及方法”、“一种转炉冶炼终点碳含量预报装置及预报方法”、“一种转炉副枪过程碳含量预报方法”等 15 项专利为冶金技术支撑，结合云计算、自学习算法、大数据处理、声呐分析、5G 网络通讯架构、APP 开发等计算机技术与 PLC、OPC UA 等自动化控制技术形成 5G 通讯技术、冶金技术、云计算技术、与自动控制技术的完美结合。

通过设立“精钢云”服务器、架设 4.9GHz 频段 5G 工业互联网、打通一二三四级网络建立云边端智慧工厂架构，建立声呐、吊车、摄像头、化验室、MES 的通讯接口，开发与应用氧枪、副枪、投料、终点四大冶炼工艺模型，使用 PAD 经由 4.9GHz 频段 5G 工业互联网实现氧枪自动、副枪自动、投料自动、冶炼终点自动控制的一键智慧炼钢。

(2) 实施方案

系统建设主要包括三个层次四大部分，三个层次分别是本地执行层、生产监控层和云端，四大部分分别是一键炼钢（包括钢包数据接口）、转炉监控、工业大数据平台和智能专家系统。

本地执行层以一键炼钢为核心建设目标和系统支撑，分为声呐氧枪控制系统、副枪自动控制系统、自学习下料系统、智能终点控制系统四部分；同时实现与声呐系统、吊车系统的数据对接。

生产监控层包括转炉监控系统和工业大数据平台两大部分：

转炉监控系统：主要实现转炉生产控制和状态监视，同时作为专家系统的本地端，既可以由系统设置为专家系统直接执行分析优化后的生产指令，也可以设置为只为生产操控人员提供操作指导。

工业大数据平台：作为系统数据核心，主要包括数据接入、数据集控、数据过滤、数据存储四大部分功能。数据接入即实现与包括二级向一级延伸（倾动系统、氧枪系统、副枪系统、料仓系统、煤气回收系统等）、三级向四级延伸（化验系统、MES 系统等）的数据实时通讯功能；数据集控包括声呐系统，吊车定位系统、钢水罐定位系统数据的通讯与数据处理；数据过滤包括数据清洗与数据整理；数据存储包括数据记录与参数维护。

云端即利用鞍钢集团自动化有限公司的“精钢云”搭建的智慧炼钢支撑系统，主要功能为炼钢工业大数据的管理和对本地算法模型进行训练优化。

本地执行层

主要设计范围包括氧枪自动、副枪自动、料仓自动、终点自动四大功能；分为声呐氧枪控制系统、副枪自动控制系统、自学习下料系统、智能终点控制系统四部分；

接入设备包括倾动系统、氧枪系统、副枪系统、料仓系统、煤气回收系统、声呐系统、吊车定位系统、钢水罐定位系统、化检验系统、三级计划系统、数据库系统、通讯系统、吹氩站设备等。

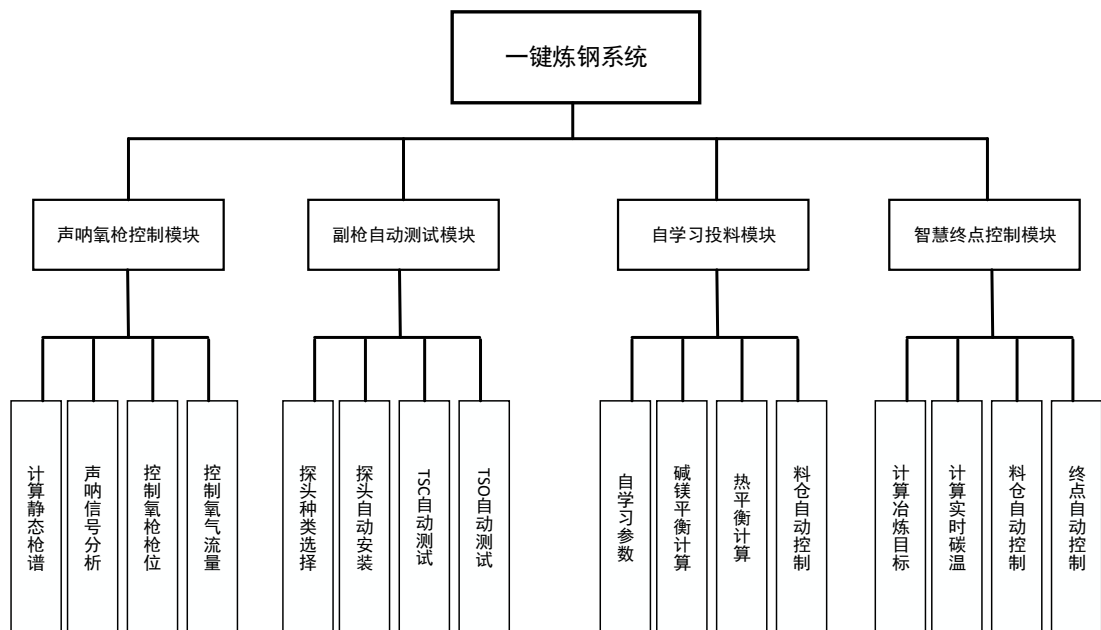
接入网络包括四级网络、三级网络、二级网络、一级环网等。

通讯协议包括 TCP/IP、UDP、OPC DA、OPC UA、REST、MQTT、HTTP、WEBSERVICE 等；

接入数据库包括 SQL SERVER 数据库、ORACLE 数据库、DATABASE 等。

声呐氧枪控制模块、副枪自动测试模块、自学习投料模块、智慧终点控制模块的调试与应用；通过增设二级服务器、工控机，连接氧枪系统、副枪系统、散料料仓系统、合金料仓系统、声呐系统、吊车定位系统、钢水罐定位系统、三级系统、化检验系统，通过声呐氧枪控制模型、副枪自动测试模型、自学习投料模型、智慧终点控制模型，实现氧枪、副枪、下料、终点自动控制。

功能架构



功能描述

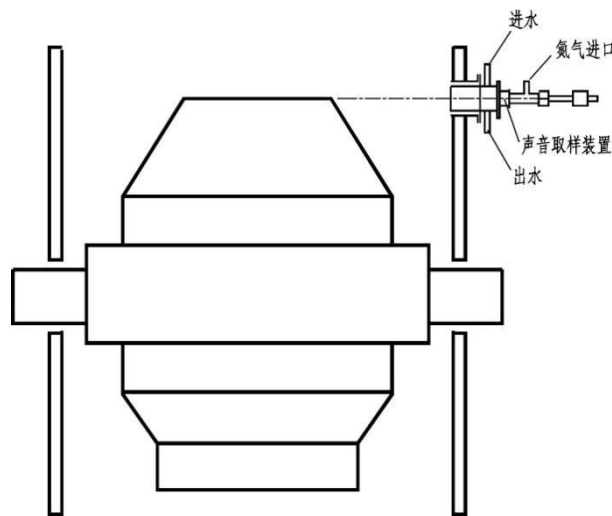
声呐氧枪控制模块

声呐氧枪控制模块由计算静态枪谱、声呐信号分析、控制氧枪枪位、控制氧气流量四部分组成。共分为声呐模式、静态枪谱模式、质谱仪模式（预留）三种控制模式。

● 声呐模式

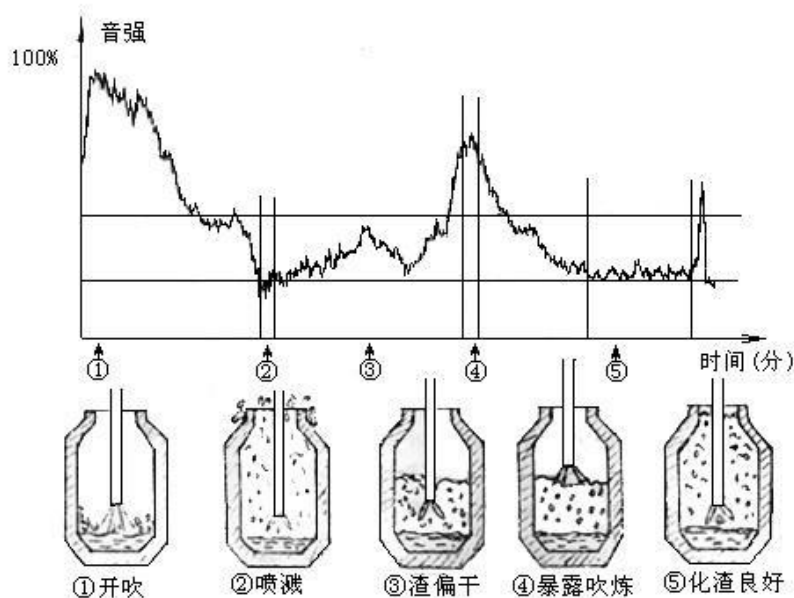
声呐氧枪模块需要连接声呐检测设备，本模块机理为运用声呐微机监控装置对转炉造渣过程的音强变化进行现场测定研究分析造渣制度，通过音强信号的相对模型、喷溅和返干预警线的自动调节和确定最佳化渣区域。

在转炉炉口或烟道中拾取噪声，并经过电子设备处理，可以提供一个与炉内渣水平有关的信号。该信号经操作者或计算机进行正确的解释，作为对转炉吹炼过程的控制。用这种方法进行计算机控制下的炼钢过程可降低钢铁料的消耗，减少废品，缩短吹炼时间，增加产量。



噪声源为吹炼喷枪枪嘴处氧气膨胀发出的声音。谱线分析表明，大多数炉座的曲线峰值出现在低频范围内(100Hz-500Hz)。实践证明特征频率的声强与渣面水平有关。峰值的中心频率主要取决于转炉的尺寸，以及其他一些现场的共鸣条件和各种干扰源的情况。噪声强度等级取决于由炉渣水平面距氧枪口的距离或浸入程度所引起的衰减。在吹炼开始时噪声强度很高这与转炉的低渣面相一致，随着吹炼造渣的进行，渣面逐渐升高，噪声等级逐渐下降。选出特定转炉吹炼时能代表渣面变化的“特征”噪声信号，滤除和抑制杂散干扰后，经声信号处理后如果噪声大幅度下降，操作人员不采用适当方式操作，随之就会发生喷溅，大量炉

渣从炉口喷出造成钢铁料的损失。反之，噪声等级在吹炼几分钟以后又出现增大的现象，就意味着炉内泡沫的减少，即所谓反干现象。这种现象如不采取适当的操作方式处理，往往造成钢水的最终成分的超标。



声呐氧枪模块通过大数据分析 with 声呐系统反馈生成动态氧枪枪位、流量控制指令，通过在转炉电气 PLC、仪表 PLC 编写氧枪自动控制程序及增加通讯接口，实现氧枪动态自动控制；通过动态控制氧枪，减少跑渣或溢渣现象，提高钢水收得率。

● 静态枪谱模式

对于没有声呐系统或声呐系统故障的转炉，在冶炼过程中氧枪通过静态枪谱的模式进行控制。静态枪谱分为经验型和大数据型两种控制方式。

经验型枪谱是根据铁水成份（硅含量、钛含量等）、铁水重量、废钢重量及废钢成份等入炉原料情况，精确计算转炉材料总体情况，选择适合的氧枪谱模型，通过 DBLC 液位计算模型及静态枪谱模型生成氧枪静态控制枪谱，通过在转炉电气 PLC、仪表 PLC 编写氧枪自动控制程序及增加通讯接口，对氧枪进行自动控制。

● 质谱仪模式（预留）

对于有质谱仪的转炉，可选择质谱仪模式动态控制氧枪操作。由于质谱仪系统可以实时准确的分析烟气成份，结合烟气流量可测算出转炉炉内的碳氧反应速率。根据大数据求出转炉冶炼各阶段的理想反应速率，并确定跑渣与返干的速率区间，通过质谱仪模型，在转炉电气 PLC、仪表 PLC 编写氧枪自动控制程序及增

加通讯接口动态控制氧枪，使转炉脱碳反应速度保持在理想脱碳曲线区间内，从而实现转炉氧枪动态自动控制，达到减少跑渣与返干现象的发生，提高钢水收得率，稳定钢水成份的作用。

副枪自动测试模块

副枪自动测试模块由探头种类选择、探头自动安装、TSC 自动测试、TSO 自动测试四部分组成。

副枪是重要的转炉冶炼检测设备，是一键炼钢的重要组成部分，每炉钢水的冶炼通常需要 TSC、TSO 两次副枪测试；TSC 测试需要在吹氧开始时，首先选择 TSC 探头仓，安装 TSC 探头，在吹氧过程中，当副枪自动测试模型发出测试指令时，自动调整氧枪枪位与氧气流量至测量氧枪枪位与测量氧气流量，副枪根据速度目标曲线调整副枪枪位至将副枪探头插入钢水中设定插入深度，静置至贺利氏仪表检测出钢水温度与钢水结晶温度两个温度信号号，将副枪抬出炉口，并自动旋转并自动退掉 TSC 探头后，自动安装 TSO 探头，并旋转至测量位，待冶炼结束后，副枪自动测试模型判断钢水静置时间达到目标静置时间后，启动副枪 TSO 测试，将副枪降至副枪探头达到目标钢水插入深度，贺利氏仪表检测出钢水温度、钢水氧电动势后，自动将副枪抬出炉口，并退掉 TSO 探头。

自学习投料模块

自学习投料模块由自学习参数、碱镁平衡计算、热平衡计算、料仓自动控制四部分组成。通过大数据分析专家模型确定自学习参数；通过碱镁平衡计算确定熔剂种类及加入量；通过热平衡计算确定降温材料或升温材料加入量；通过料仓自动控制将各熔剂与降温材料或升温材料通过模拟人工手动加入方式，多批次小批量适时加入炉内；

通过在转炉电气 PLC、仪表 PLC 编写料仓阀门、称量斗、汇总斗等设备自动控制程序及增加通讯接口，实现料仓系统自动控制；通过计算机计算，取代人工计算，提高计算精度，通过增加粘度设计，可有效保护炉衬，提高转炉炉龄，延长转炉底吹寿命，降低钢铁料成本。

智能终点控制模块

智能终点控制模块由计算冶炼目标，计算实时碳温，料仓自动控制，终点自动控制四个部分组成。

模块在副枪 TSC 测试时启动运行，首先根据三级 IBM WEBSHERE MQ 协议发送的冶炼计划电文及钢水罐定位系统数据，计算冶炼目标温度与目标碳含量；根据副枪 TSC 测试熔池温度与结晶温度、吹氧量等数据计算实时碳温曲线；根据冶炼目标与实时碳温趋势控制料仓自动加料；

通过七段论转炉冶炼终点控制法生成转炉终点操作指令，通过在转炉电气 PLC、仪表 PLC 编写转炉终点控制程序及增加通讯接口，实现冶炼终点自动控制；七段论包含了转炉冶炼终点可能出现的七种状态，各种状态都给出合理的解决方案，可实现任何情况下最理想的碳温平衡输出结果。

生产监控层

HMI 人机界面

HMI 人机界面包括生产控制和状态监视。包括对氧枪控制参数进行设定、副枪测试过程测试时机设定、冶炼终点判断原则设定、终点测试等候时间设定等参数设定。HMI 人机界面包括氧枪吹氧过程曲线、声呐曲线、副枪测试氧副枪联动曲线、冶炼后吹时段碳温升温曲线等冶炼数据动态监视。

专家指导

专家指导系统包括决策指导与闭环控制两种模式。当操作人员选择手动操作时，专家指导系统将给出推荐计算结果，为操作人员提供决策指导；当操作人员选择自动控制模式时，智慧炼钢系统根据生产状态自动启动运行，自动进行氧枪、副枪、料仓及冶炼终点自动生产控制。

工业大数据平台

数据接入

一二级系统接口：在一键炼钢服务器上建设基于 OPC UA 通讯协议的一二级数据集控平台，电气 PLC、仪表 PLC、煤气 PLC、合金 PLC、副枪 PLC 等通过工业以太网协议集控在数据集控平台，二级系统通过 OPC UA 协议与数字孪生技术与数据集控平台通讯。

三四级系统接口：建设三四级通讯的 IBM WEBSHERE MQ 数据通讯队列管理器，设计三四级通讯电文接口，编写通讯程序，将 MQ 队列管理器数据写入 SQL 数据库对应数据表，实现与三四级通讯。

数据集控

声呐数据集控：通过增设网线将声呐仪表接入炼钢网络，与声呐厂家联合开发声呐系统通讯接口，建设 MICROSOFT SQL SERVER 数据库将声呐数据写入数据库。通过 ODBC+OPC UA 技术将声呐信号接入数据集控平台，实现声呐数据接入智慧炼钢系统。

吊车数据集控：通过增设网线将吊车系统接入炼钢网络，与吊车厂家联合开发吊车系统通讯接口，建设 MICROSOFT SQL SERVER 数据库将吊车数据写入数据库。通过 ODBC+OPC UA 技术将吊车信号接入数据集控平台，实现吊车数据接入智慧炼钢系统。

数据清洗

通过高效的过滤处理，将抽取各环节的有效数据，将生产过程中的分散、零乱、标准不统一的数据整合到一起，将设备故障、仪表故障、人为操作失误等造成的错误数据进行清洗，避免对自动生产控制产生影响，为数据分析提供坚实的基础。

数据整理

数据的抽取、转换、装载是构建数据仓库的重要环节。大数据分析系统与生产车间的一二级系统、三四级系统、ERP 系统、检化验系统、物联网设备、移动设备进行全面对接，收集所有工序的生产、控制、工艺、能源介质、设备运行、质量参数等数据及图像视频资料。系统将这些多源、多类型数据经过整理转换成统一可用的数据格式。

数据记录

采用海量数据仓库管理及分布式数据处理技术，不但提高了系统的可靠性、可用性和存取效率，而且易于扩展。数据存储机制通过多节点的冗余处理有效保障了系统的数据安全。先进的流处理技术使得系统具备高速的数据采集能力，满足钢铁企业各生产车间，尤其是毫秒级数据采集存储需求。

数据存储后形成数据湖，为数据挖掘，工艺改进，生产问题查询，模型优化提供了数据基础。

参数维护

采用数据集控平台与数据库的数字孪生技术实现炼钢冶炼参数与数据传递，不但提高了系统的可靠性，而且提高了大数据平台的数据传递效率。先进的流处

理技术使得系统具备高速的数据传递能力，满足 HMI 人机界面、一键炼钢模型、云端的参数运算需求。

在本地系统中利用算法工具建立各执行层控制模块的生产及工艺模型，这些模型是参与生产控制的核心模块，同时为了提高模型精度，系统将在云端通过历史数据对算法模型进行不断优化验证后，形成新的参数，通过数字孪生技术返回给本地系统中，从而反复提高算法模型的适用性和准确度。

云端

大数据管理

收集所有工序的生产、控制、工艺、能源介质、设备运行、质量参数等数据资料。系统将这些多源、多类型数据经过清洗和转换形成统一格式存入数据仓库。

收集订单、技术协议、产品质量、原料成本数据形成钢铁产品全生命周期大数据，收集炼铁、预处理、转炉、氩站、精炼、连铸炼钢生产全工序大数据，为后期数据挖掘、模型开发提供数据湖。

模型优化系统

在大数据湖的基础上，通过数据挖掘，利用云端的算力优势，进行智能炼钢参数自优化计算。通过云边数字孪生技术，进行智慧炼钢系统参数动态更新，实现智慧炼钢生产工艺参数在线动态优化。

质量判定系统

利用大数据湖对影响钢种质量的数据进行分析，根据钢种作业指导书，对转炉生产工序质量进行预判，对操作工提出操作建议。

指标分析系统

利用大数据湖对影响成本的钢铁料、白灰单耗、氧气单耗等指标进行分析，当指标异常时，通过 HMI 画面及声音报警等方式对操作工进行提示。

2. 网络、平台或安全互联架构

2.1 本地系统网络架构

本地系统网络架构主要设计范围包括氧枪自动、副枪自动、料仓自动、终点自动四大功能；分为声呐氧枪控制系统、副枪自动控制系统、自学习下料系统、智能终点控制系统四部分；

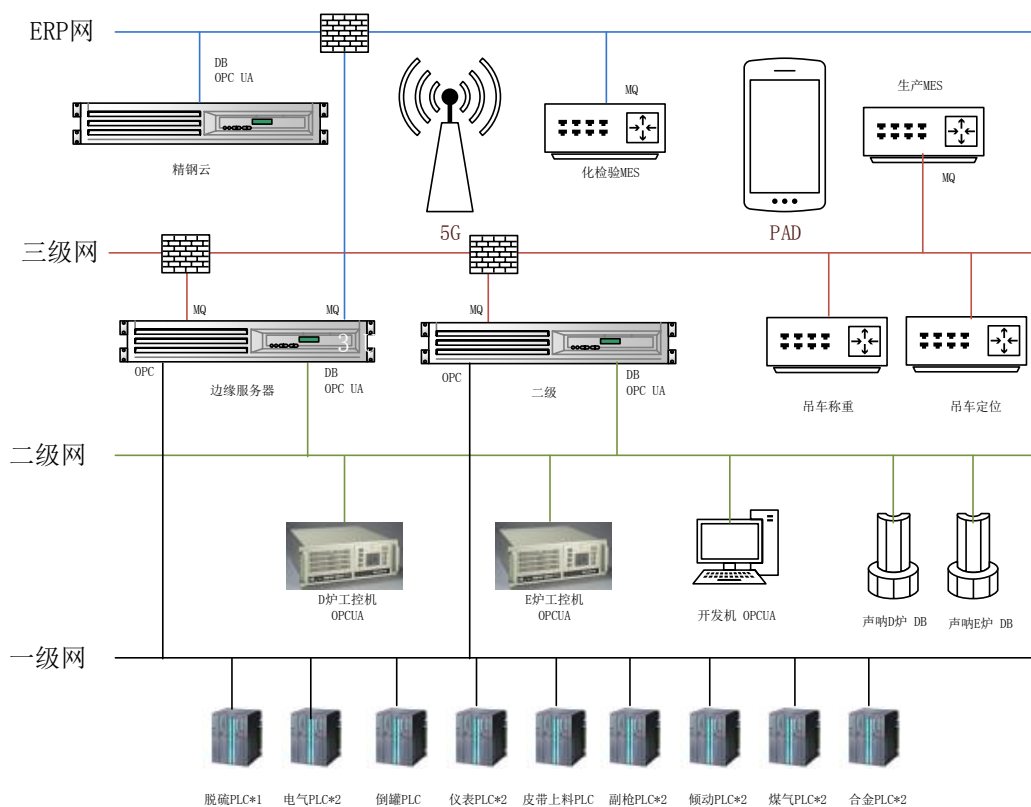
接入设备包括倾动系统、氧枪系统、副枪系统、料仓系统、煤气回收系统、声呐系统、吊车定位系统、钢水罐定位系统、化检验系统、三级计划系统、数据库系统、通讯系统、吹氩站设备等。

接入网络包括四级网络、三级网络、二级网络、一级环网等。

通讯协议包括 TCP/IP、UDP、OPC DA、OPC UA、REST、MQTT、HTTP、WEBSPPHERE MQ 等；

接入数据库包括 SQL SERVER 数据库、ORACLE 数据库、DATABASE 等。

声呐氧枪控制模块、副枪自动测试模块、自学习投料模块、智慧终点控制模块的调试与应用；通过增设二级服务器、工程机，连接氧枪系统、副枪系统、散料料仓系统、合金料仓系统、声呐系统、吊车定位系统、钢水罐定位系统、三级系统、化检验系统，通过声呐氧枪控制模型、副枪自动测试模型、自学习投料模型、智慧终点控制模型，实现氧枪、副枪、下料、终点自动控制的一键炼钢生产方式。



3. 具体应用场景和应用模式

钢铁制造是典型的长流程工业，生产工序众多，工艺流程复杂，大型设备集中，且工艺参数繁多，多参数间耦合性强。我国各钢铁企业的生产过程数据均存放在各工序独立的一二级与三四级系统中。由于数据架构、技术平台和数据采集技术的局限，使得日累计达上百 GB 的生产数据形成信息孤岛，无法共享、融合，更有大量诸如视频、图片的非结构数据无法被利用参与分析。

炼钢总厂五号线于 2015 年 1 月 16 日建设投产，采购了武汉自动化公司副枪设备、镭目公司声呐检测设备（RM-200S 多频段音频分析仪）、余姚太平洋公司吊车定位与钢水罐定位设备、辽宁光电公司下渣检测设备、鞍钢集团自动化有限公司 PLC 及集控设备等。

由于供货厂商繁多，设计范围、通讯标准各不相同，导致声呐设备、吊车称重设备、钢水罐定位设备、化检验设备等各自独立运行，未实现数据及时互联互通。

其它使用的炼钢各系统存在问题如下：

1、信息孤岛化：由于声呐、吊车、副枪、氧枪、料仓等设备网络不通，冶炼系统不能接收声呐数据；不能自动接收三级计划（接收不到冶炼目标）；不能自动接收三级作业指导书（接收不到合金目标）；不能自动采集铁水罐号、成份、温度，废钢槽号、重量等信息（无法收到钢铁料数据）；由于网络复杂，不能及时接收化检验数据，各系统皆为信息孤岛；

2、人机界面不友好：吹炼开始前，需要操作工人录入百余项数据，在现场操作工人减员的情况下，冶炼系统无法投入运行；吹炼开始后，收到正确的入炉材料信息也不能自动修正模型运算；数据时延长，生产节奏快，冶炼系统无法投入运行；

3、氧枪不能动态控制：氧枪只有固定枪谱，没有动态控制。跑渣返干现象严重，钢铁料损失大，成本高，钢水质量合格率低，不满足鞍钢成本质量要求；

4、下料系统不能加料：二级系统有时启动计算有熔剂值，有时不计算没有熔剂值；下料操作有时阀门动作有时不动作（实际熔剂加入量与计算量不一致，存在丢料现象）；TSC 测试结果后，只能自动加入一种降温材料（当 TSC 温度高时，加料不及时，不能满足生产需要）；

5、终点控制过氧化：终点温度控制不准确（当碳含量低时经常造成钢水严重过氧化，损害转炉炉衬，可引发安全事故；

6、参数维护不及时：炼钢工艺是随着原材料成本及客户要求变化而变化的，需要持续的技术支持与维护服务，武汉公司不能根据现场工艺变化及时计算和修正工艺参数，现场没有专职参数维护工程师，不能及时调整参数，因而未能应用一键炼钢。

建设切入点

炼钢作为钢铁行业的重要生产环节，国内各大钢厂近三年来纷纷开展智能制造的相关项目建设工作，以宝钢“一键炼钢”为代表，沙钢、首钢陆续开展和建设了各自的一键炼钢等智能制造项目。在炼钢生产环节，各家智能制造的发力点基本围绕以下几点，包括：生产集控、黑灯工厂、一键炼钢、中包智能操作、无人坯厂、钢包跟踪等。上述这些方面基本都处在起步或确定初步成果的状态。

2017年鞍钢正式开启了两化融合、智能制造项目开始大规模建设。2019年鞍钢股份决定将炼钢5#线全线打造成为智慧炼钢示范工厂。

开发环节

氧枪系统改造

采集接口：增加氧枪 PLC 数据通讯,包括氧枪绝对高度、氧枪实际枪位、熔池深度、氧气实际流量、氧阀状态、氮气实际流量、氮阀状态等数据通讯接口；

控制接口：增加氧枪自动模式、氧枪吹炼模式、氧枪溅渣模式、氧枪吹炼点、氧枪等候点、氧枪上极限点、氧枪设定枪位、氧气设定流量、氮气设定流量控制信号通讯接口；

PLC 编程：在氧枪半自动模式基础上，增加两种氧枪自动控制模式；

自动吹炼：当氧枪自动模式、氧枪吹炼模式、氧枪吹炼点信号同时为开时，氧枪自动降枪到氧枪设定枪位、开启氧气阀门并 PID 调节氧气实际流量至氧气设定流量；

自动溅渣：当氧枪自动模式、氧枪溅渣模式、氧枪吹炼点信号同时为开时，氧枪自动降枪到氧枪设定枪位、开启氮气阀门并 PID 调节氮气实际流量至氮气设定流量；

枪位控制：当氧枪设定枪位小于氧枪实际枪位时，启动氧枪下降控制；当氧

枪设定枪位大于氧枪实际枪位时，启动氧枪上升控制；

氧气流量控制：当氧枪设定流量小于氧枪实际流量时，启动阀开度增大 PID 控制；当氧枪设定流量大于氧枪实际流量时，启动阀开度减小 PID 控制；

氮气流量控制：当氮枪设定流量小于氮枪实际流量时，启动氮气阀开度增大 PID 控制；当氮枪设定流量大于氮枪实际流量时，启动氮气阀开度减小 PID 控制；

副枪系统改造

采集接口：增加副枪 PLC 数据通讯,包括熔池温度值、结晶温度值、氧电势值等数据通讯接口；

控制接口：增加副枪自动模式、探头仓选择、副枪连接周期、副枪测量周期等控制信号通讯接口；

当副枪在待机位转炉氧枪吹氧开始时，选择 TSC 探头仓打开，当探头下降至旋转位时，转动机柜手臂，将探头旋转 90 度。将副枪高度下降至装探头高度，检测探头导通信号，导通成功后，抬至旋转位，并将副枪枪架旋转至测量位；

当收到副枪自动测试模型测量命令后，将副枪下降至探头插入深度达到目标值，并将贺利氏仪表检测结果发送给副枪自动测试模型接口；将副枪抬出炉口并退掉 TSC 探头；

将 TS0 探头仓打开，探头下降至旋转位时，转动机柜手臂，将探头旋转 90 度。将副枪高度下降至装探头高度，检测探头导通信号，导通成功后，抬至旋转位，并将副枪枪架旋转至测量位；

当收到副枪自动测试模型测量命令后，将副枪下降至探头插入深度达到目标值，并将贺利氏仪表检测结果发送给副枪自动测试模型接口；将副枪抬出炉口并退掉 TS0 探头。

下料系统改造

采集接口：增加料仓 PLC 数据通讯,包括各料仓称量值、汇总值、炉内值、称量信号、振动器、翻板阀信号等数据通讯接口；

控制接口：增加各料仓称量目标值、称量控制接口、汇总阀控制接口等控制信号通讯接口；

增设下料自动模式,当下料自动模式且收到自学习投料模型下达各料仓称量目标值时，将各料仓称量目标值写入 PLC 各料仓称量目标值；

当下料自动模式且收到自学习投料模型下达称量控制信号时，将振动器启动，当各料仓称量重量达到设定目标值时，振动器停止，并打开称量斗，散料进入汇总斗后，关闭称量斗开关，并将料仓称量目标值清零；

当下料自动模式且收到自学习投料模型下达汇总控制信号时，将汇总斗打开，延时一定时间后，自动关闭。

声呐系统改造

采集接口：增加声呐系统通讯，包括吹氧信息、加料信息、声呐频率等数据通讯接口；

控制接口：增加声呐启动控制、反冲洗启停控制通讯接口；

当吹炼开始时，将声呐系统启动，声呐频率信号通过数据接口传输到数据共享平台；当吹炼检测结束后，启动氮气反冲洗装置。

吊车系统改造

采集接口：通过与厂家合作，建立天车定位和钢包定位系统通讯，编写数据采集软件，实现废钢入炉量采集、铁水/回炉钢入炉量采集、出钢重量采集、浇铸重量采集；为炼钢工序钢铁料分析与控制提供基础数据。

废钢入炉量采集

吊废钢槽的数据采集以天车电子秤为准。天车吊起废钢槽向炉前运行，当行驶到转炉位置向转炉加废钢时，系统根据读卡器读到的标签信息判断出炉座号，根据重量减小变化判断出天车向转炉加了废钢。取加之前的重量减去加之后的重量，得到入炉废钢重量。保存的数据有熔炼号、炉座号、天车、入炉时间、毛重、皮重、废钢重量。

铁水/回炉钢入炉量采集

铁水天车吊着满包铁水向炉前运行，当行驶到转炉位置向转炉加铁水时，系统根据读卡器读到的标签信息判断出炉座号，根据重量减小的变化判断出天车向转炉加了铁水。取加之前的重量减去加之后的重量，得到铁水重量。铁水和回炉钢增加一个转换开关区分。保存的数据有熔炼号、炉座号、天车、入炉时间、毛重、皮重、铁水重量。

出钢重量采集

出钢跨天车从空包区吊起一个空包，到达某一个转炉位置放空包。系统检测到转炉位置、小车位置和重量变化，采集空包重量。转炉出钢后，天车从钢包车上吊起满包，系统根据转炉位置、小车位置和重量变化，采集满包重量，满包重量减去空包重量得到出钢重量。保存的数据有熔炼号、炉座号、空包时间、空包天车、空包重量、满包时间、满包天车、满包重量、钢水重量。

浇铸重量采集

天车从转炉钢包车或其它地方吊起的包，吊到铸机位置放到大包回转台上，系统检测到铸机位置、小车位置和重量变化，采集上机重量。下机时根据信号变化采集下机重量，上机重量与下机重量相减得到浇铸重量。这样采集的上机和下机可能不是同一个罐，如果要得到每一罐的浇铸重量，则需要加钢包号识别系统。保存的数据有熔炼号、炉座号、上机时间、上机天车、上机重量、下机时间、下机天车、下机重量、浇铸重量。

通过设立“精钢云”服务器、架设 4.9GHz 频段 5G 工业互联网、打通一二三四级网络建立云边端智慧工厂架构，建立声呐、吊车、摄像头、化验室、MES 的通讯接口，开发与应用氧枪、副枪、投料、终点四大冶炼工艺模型，使用 PAD 经由 4.9GHz 频段 5G 工业互联网实现氧枪自动、副枪自动、投料自动、冶炼终点自动控制的一键智慧炼钢。

4. 安全及可靠性

“精钢云”：鞍钢集团自动化有限公司数据中心，位于鞍钢厂区内。

5G 设备：4.9GHz 频段 5G 设备由中兴公司研发，保证数据安全。

5G 网络：5G 私有云工业互联网为中国移动公司设计及组网，数据不出厂。

数学模型：鞍钢集团自动化有限公司开发，拥有自主知识产权。

数据可靠：生产实时数据通过 OPCUA 存储在精钢云服务器上。

5. 其他亮点

	国外引进	国内先进	智慧炼钢系统亮点
氧枪自动	静态枪谱 (跑渣、返干严重)	静态枪谱 (跑渣、返干严重)	自学习枪谱+质谱仪/声呐动态控制 (有效减少跑渣返干)
副枪自动	按氧控制(碳控制不准) 氧副枪简单联动(测成率较一般)	按氧控制(碳控制不准) 氧副枪不联动(测成率低)	按碳控制(碳自优化控制) 氧副枪预动作联动(测成率高)
下料自动	2 批量(不准确) 静态料谱(计算 1 次)	20 批料(不动作) 静态料谱(计算 1 次)	每料斗 5 批料(精准控制) 实时计算+动态称量+智能投料
终点自动	副枪+质谱仪(维护成本高)	副枪(过氧化严重)	副枪+质谱仪(可选)+七段论(碳温协调)
数据采集	自动(人工补充数据 20 余项)	手动(人工录入数据 60 余项)	全自动(无人工录入)
升级维护	仍用 2004 年系统, 无法升级	没有维护, 无法升级	鞍钢自主知识产权, 持续升级 精钢云冗余计算, 7*24 贴身服务

三、下一步实施计划

中国移动为 4.9GHz 频段 5G 工业互联网的服务运营商, 中兴公司为 4.9GHz 频段 5G 设备制造商, 随着 4.9GHz 频段 5G 工业互联网的推广与普及, 联手推广 5G+智慧炼钢系统。

鞍钢集团自动化有限公司拥有 20 多年的转炉建设经验, 主持参与了国内 200 余座转炉建设项目, 是转炉自动化建设领域资深企业, 5G+智慧炼钢系统作为鞍钢集团自动化公司的最新炼钢自动化产品, 在设计与实验期间, 已有一些钢厂提

出合作意向，下一步准备开展商务洽谈。

按照公司领导安排，下一步与中兴等 OEM 公司联合开发 5G 仪表与工业设备。朝阳钢铁公司已将智慧炼钢建设写入十四五规划，已开展前期商务与技术洽谈。

四、项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

本项目为 4.9GHz 频段 5G 工业互联网首次工业应用，代表我国 4.9GHz 频段 5G 工业互联网在工业领域率先实现突破。

代表我国率先建成由“精钢云”云计算实时远程控制的智慧炼钢工厂，率先完成由一二三四级架构向云边端架构转变的现代工业革命。

代表鞍钢作为共和国工业长子积极践行国家“新基建”战略，在 5G、云计算、人工智能、工业互联网、智能制造等国家战略方面引领钢铁行业新技术的发展。

该项目由鞍钢集团自动化公司、中国移动、中兴公司共同实施，从此我国拥有自主知识产权的全套 5G+智慧炼钢系统，代表炼钢生产迈入 AI 时代。

2. 实施效果

解决痛点

通过 5G 等通讯技术将声呐、吊车等信息孤岛与“精钢云”高速连接，同时解决了非结构数据的传输问题，通过大数据处理更精准的识别转炉的工作状态，云计算强大的算力支持，实现了动态精确生产控制。解决了钢铁冶炼无法精准动态控制的问题。

经济效益

(1) 转炉命中率提高，转炉终点钢水氧含量降低约 64ppm，每炉可节约脱氧铝铁消耗 41kg，效益计算：

$$7.5 \times 41 \div 260 = 1.18 \text{ 元/吨钢}$$

7.5 — 铝球单价，元/kg

(2) 转炉终点碳含量、温度可实现精准预测，低硅钢、中碳钢等约 45%的

炉次可实现终点不测试出钢，节省探头消耗效益：

$$110/260 \times 45\% = 0.19 \text{ 元/吨钢}$$

110 — TS0 探头价格，元/支

45% — 终点不测试比例

(3) 造渣辅原料实现成本最优下的动态计算，约可降低石灰消耗 1kg/吨、轻烧 1.2kg/吨，降低辅料成本效益计算：

$$0.7 \times 1 + 0.53 \times 1.2 = 1.34 \text{ 元/吨钢}$$

(4) 合金优化配置，高碳类、低成本合金取代低碳类、高成本合金，实现单炉成本最优化，合金钢每炉可节省合金成本约 2.6 元/吨钢，按照合金钢比例 65% 计算效益：

$$2.6 \times 65\% = 1.69 \text{ 元/吨钢}$$

(5) 加料、氧枪、合金化、钢包底吹、溅渣等过程操作实现标准化、加之过程防错纠错预警，可有效减少各种人为误操作和成分不合造成的成本浪费，可降低成本约 0.7 元/吨钢。

总成本降低： $1.18 + 0.19 + 1.34 + 1.69 + 0.7 = 5.1$ 元/吨钢。

按照吨钢平均降低成本 5.1 元计算，鞍钢炼钢总厂 5# 线年产钢约 200 万吨。

按此计算每年节省成本 1020 万元。