

2022穗港澳新材料产学研融合高峰论坛，2022.11.8-9，广州

产学研深度融合 建设材料创新基础设施

钢铁共性技术协同创新中心，东北大学
轧制技术及连轧自动化国家重点实验室

2022年11月08日，线上

東 北 大 學

第十三届中国钢铁年会，2022.11.23，中国金属学会，线上

钢铁材料创新基础设施与 钢铁行业的数字化转型

王国栋

钢铁共性技术协同创新中心 东北大学
2022年11月23日，线上





数字时代来临：社会发展的“大势”

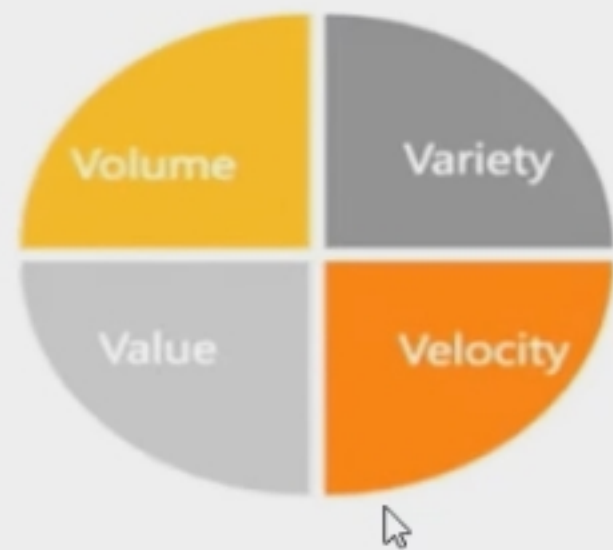
工业互联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术快速发展和应用，正式宣告了数字时代的来临。





信息技术推动全球数据指数级 爆发式增长

全世界范围收集的信息



IDC : data-age-2025-white-paper

数量越来越大、种类越来越多、速度越来越快、价值越来越高



数据成为数字时代社会发展的重要驱动力

- 数据是数字时代构建数字生产力、推动经济发展的新型生产要素
- 数据成为当今时代的核心资源，就像农业时代的土地、工业时代的能源一样
- 数据成为驱动力：数据渗透到整个经济运行过程，通过对海量数据的处理分析，以及与其他各行业结合的有效利用，提高全要素生产率，从而推动我国经济增长的质量变革、效率变革、动力变革

历史阶段		生产要素	代表人物/事件
农业时代		土地、劳动	威廉·配第，庞巴维克
工业时代	第一次工业革命	土地、劳动、资本	亚当·斯密，萨伊，约翰·穆勒
	第二次工业革命	土地、劳动、资本、企业家才能	马歇尔
数字时代		土地、劳动、资本、企业家才能、数据	十九届四中全会，《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》

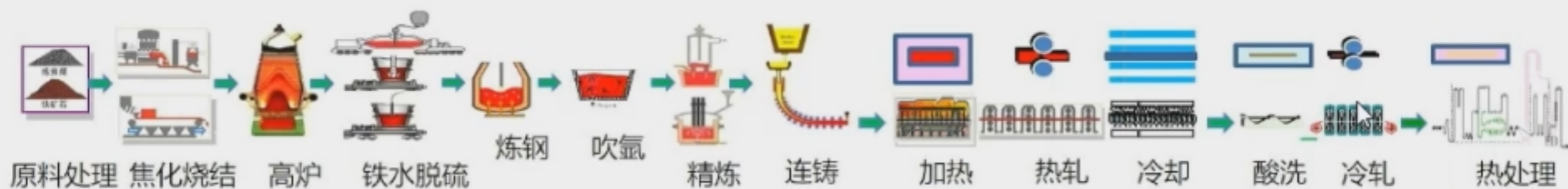
数据成为全球新一轮产业竞争的制高点、改变国际竞争格局的新变量



钢铁行业数字化转型的需求极为强烈

钢铁工业为大型复杂流程工业，巨大的**不确定性**是钢铁生产过程面临的重大挑战

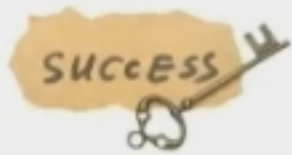
- 钢铁工业为大型复杂流程工业，全流程各工序均为 **黑箱**，实时信息极度缺乏
- 钢铁生产流程中物理与化学过程十分复杂、多相共存的动态系统，过程变量类型混杂、维数高、规模大，变量之间存在着多重相关性，具有多变量、强耦合、非线性和大滞后等特点
- 钢铁工业各单元为孤岛式控制，尚未做到单元间界面无缝、精准衔接



全流程“黑箱”、严重不确定性---事关钢铁行业面临的产品质量、效率、稳定性、成本、生态等最核心问题



信息技术和数据科学支撑钢铁行业数字化转型

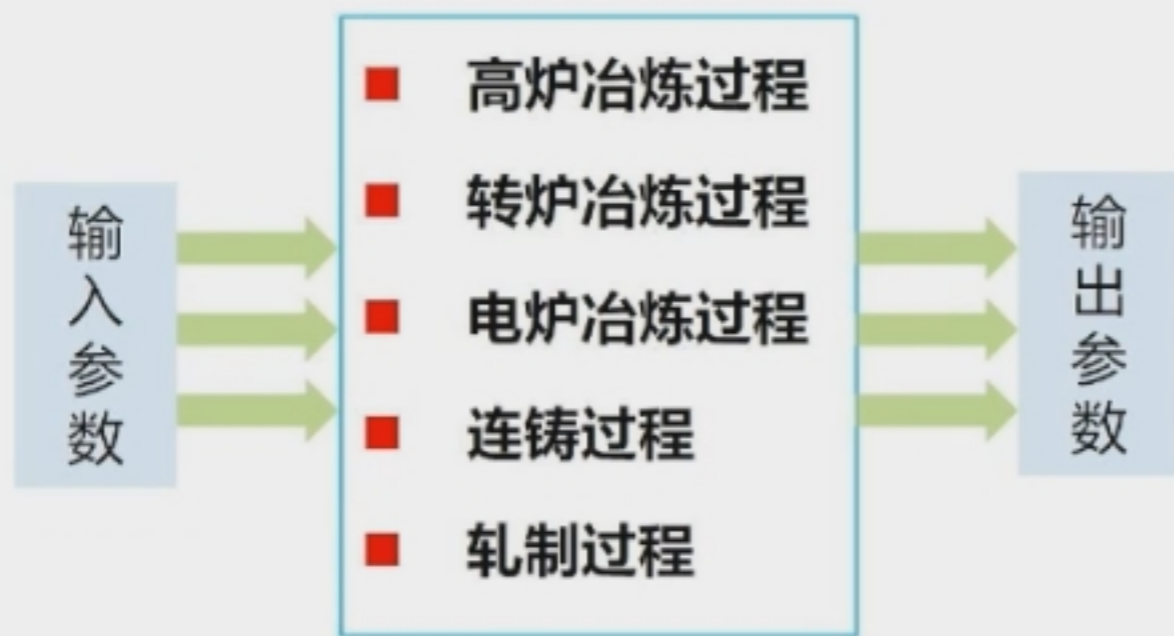


数据科学（数据/机器学习）、数字技术（数字化、网络化、智能化）是解决黑箱等不确定性问题的最好的钥匙！

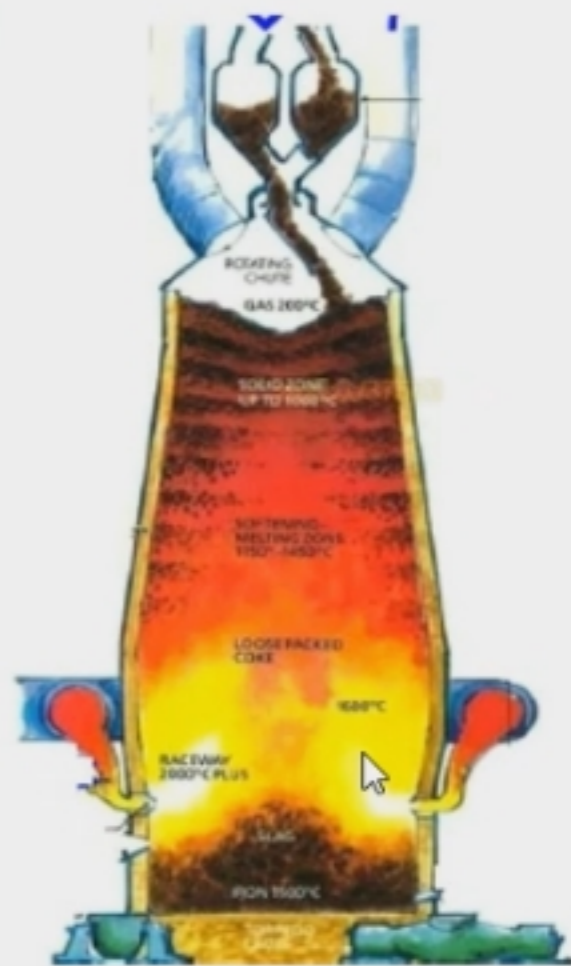


钢铁行业的产业数字化应用场景优势

解决不确定性问题，必须依赖数字科学与数字化技术。钢铁行业提供应用数字技术、数字化转型的最佳场景。



黑箱 过程 = 数字化技术应用最佳场景



丰富的应用场景资源是钢铁行业数字化崛起的重要机遇!



钢铁行业的数据资源优势

全面的数据采集和丰富的数据积累

钢铁工业发达的数据采集系统、自动化控制系统和研发设施，积累并可以提供大量的实验数据

（实验室实验，中试实验，生产线实验的历史数据、现实数据，生产大数据）。这些海量数据中蕴含企业生产过程的全部规律，它们是最宝贵的资源，是关键生产要素。



钢铁行业在充分合理利用丰富的数据资源、实现产业数字化方面有巨大潜力

计算嵌入到物料中：流程工业的动态数字孪生

美国国家科学基金会关于CPS的定义 (NSF, 2008) :

CPS是通过计算核心 (嵌入式系统) 实现感知、控制、集成的物理、生物和工程系统。在系统中, 计算被“深深嵌入”到每一个相互连通的物理组件中, 甚至可能嵌入到物料中。CPS的功能由计算和物理过程交互实现。

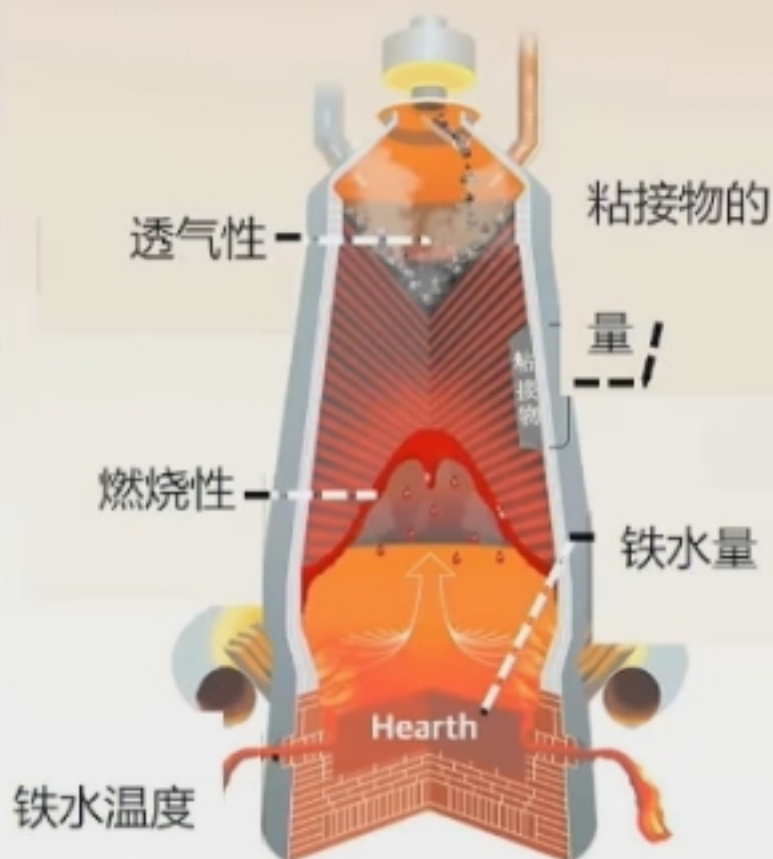


与制造业相比, 材料行业特有的优势: 直接反馈赋能于物料, 构成闭环赋能的信息物理系统。材料行业要充分利用这一优势, 抢先建设与应用信息物理系统



反映高炉运行状态的五大变量及数据/深度学习 (POSCO)

高炉运行状态五大变量



基于变量数据的深度学习

1. 大数据案例研究

2. 原燃料和高炉操作条件的自评估

3. 预测高炉操作结果

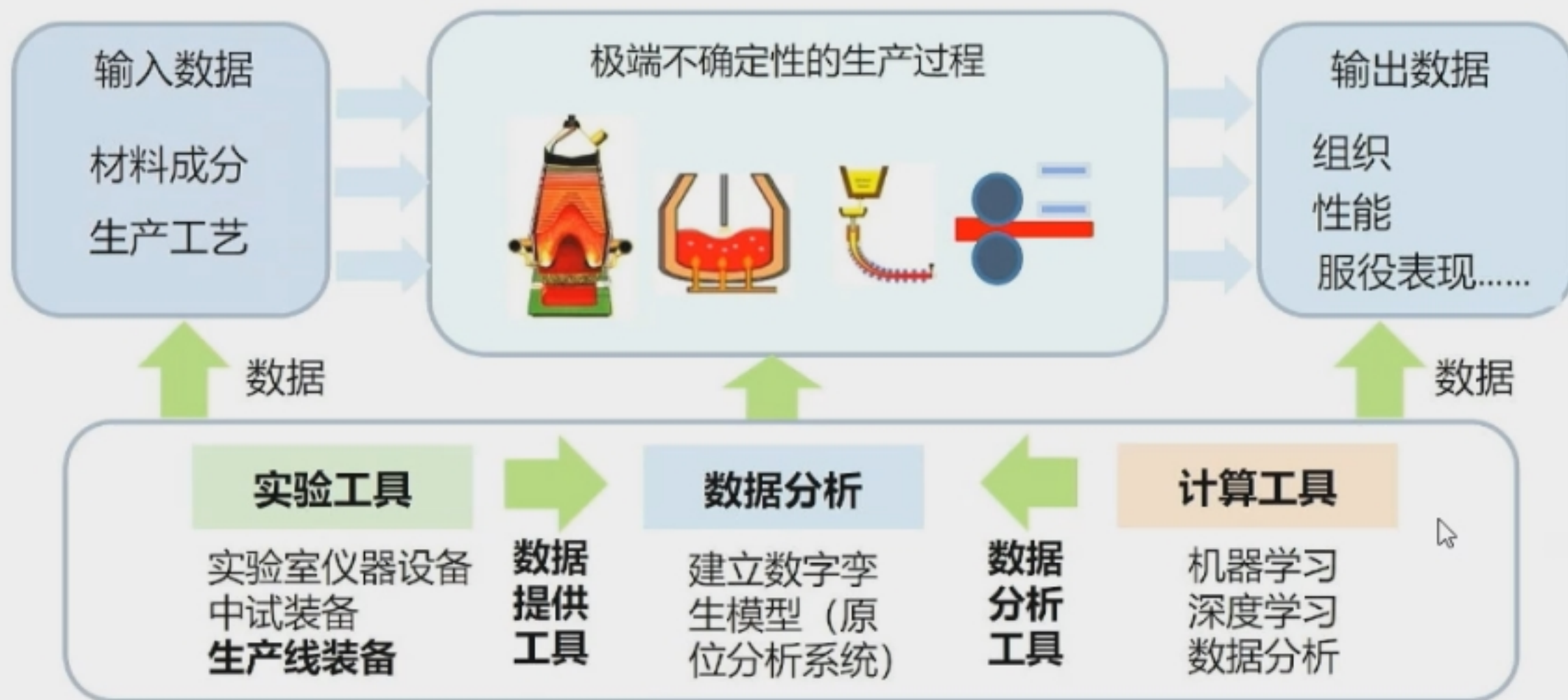
4. 自动预测操作条件

5. 给出最小偏差的最优综合结果

数据/机器学习时代到来！高炉运行状态智能预测与控制实现了几代钢铁人的梦想！



数据驱动的原位分析系统：数据+ML→数字孪生



钢铁企业数字化创新原位分析系统的基本构成



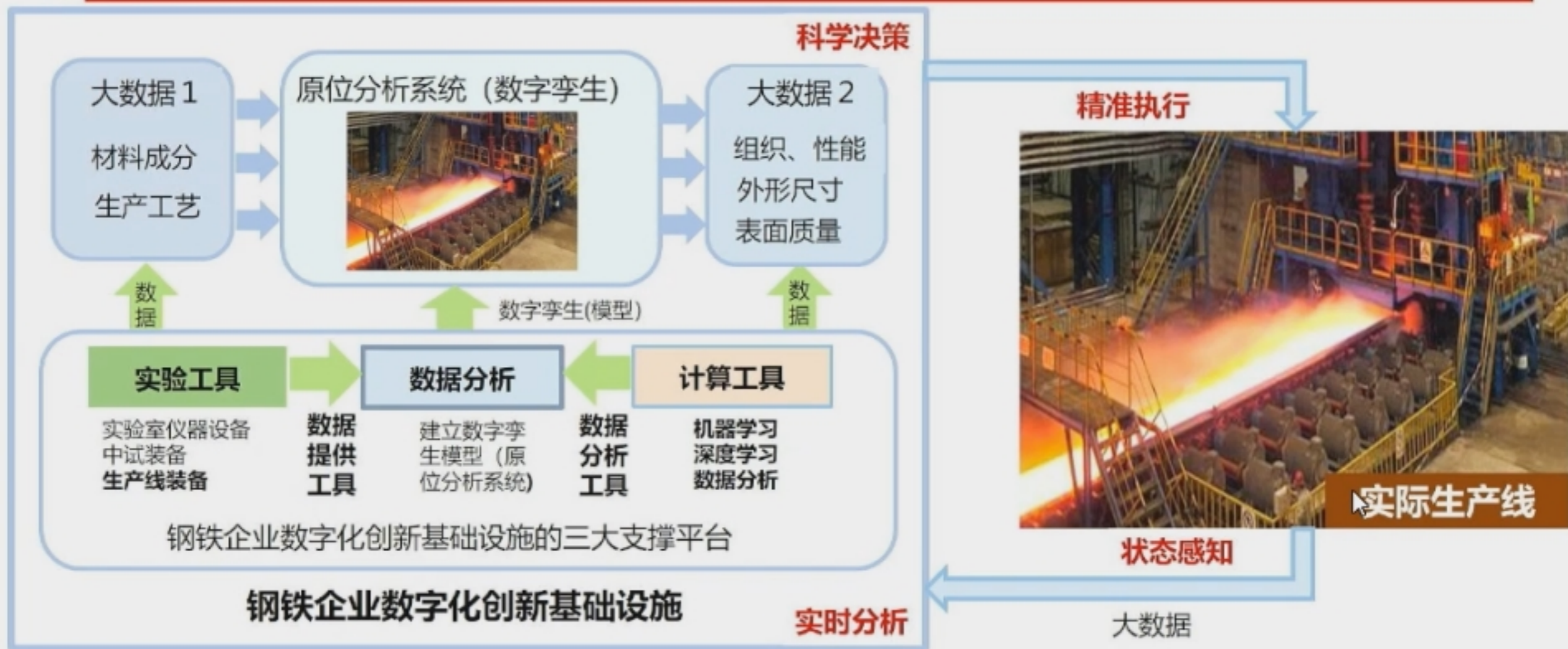
数据驱动的原位分析系统：数据+ML→数字孪生



钢铁企业数字化创新原位分析系统的基本构成



原位分析系统+科学决策+反馈赋能：钢铁企业的信息物理系统



基于数据自动流动的状态感知、实时分析、科学决策、精准执行的闭环赋能体系



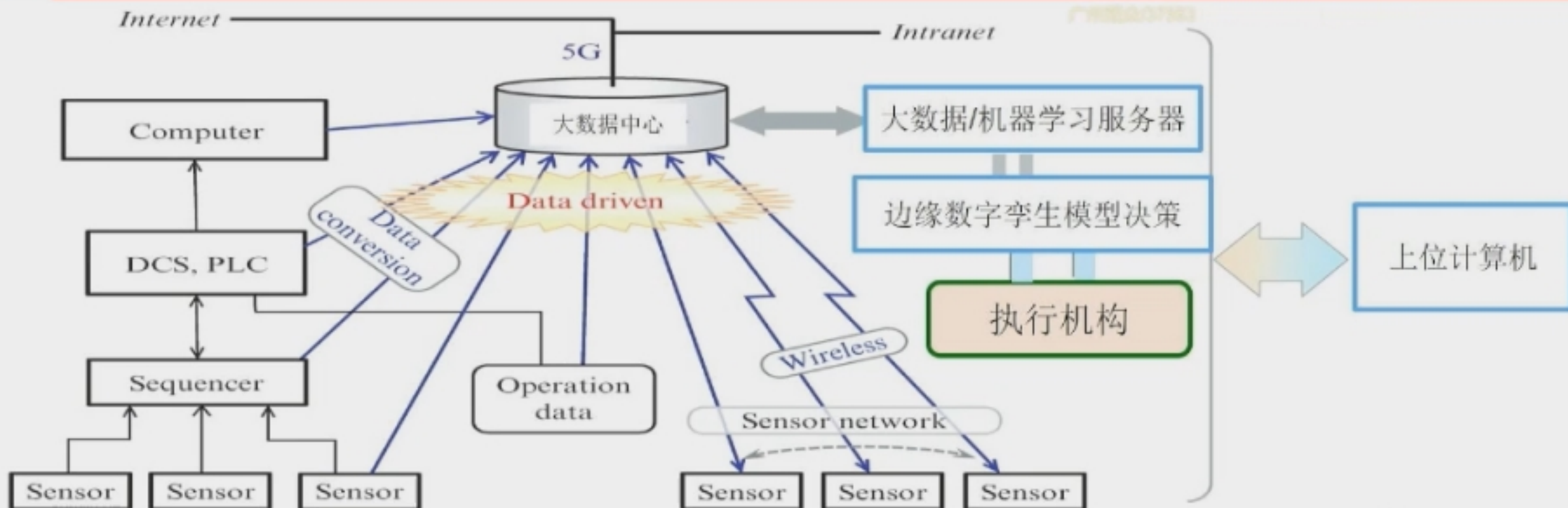
CPS是数据时代为流程工业量身定做的宝贵礼物



CPS集现代最先进信息技术之大成，是数字技术与实体经济结合的最高级智能控制系统



机理模型驱动的与数据驱动的控制系统架构



左侧所示为以往的系统，传感器信号汇集到定序器等下位计算机后，经过多个传感器的逻辑运算、阈值处理等，分层地汇集到上位计算机，常常不得不舍弃大量数据。在这样的结构中，大数据的分析和运用是困难的。

机理驱动的过程控制数学模型

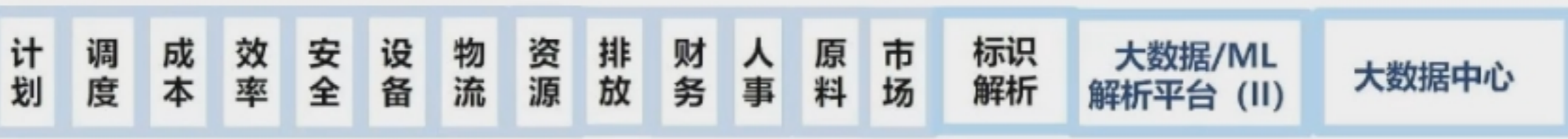
近年来广泛提倡将传感器等IoT化，右边所示为采用数据驱动型的基础设施，能够有效公平地收集所有数据。在边缘服务器等汇集数据后，从优先的数据群开始依次进行结构标准化等，并运用最新的数据转换技术和高速通信，推进数据驱动型结构的构筑。

数据驱动的数字孪生过程控制模型



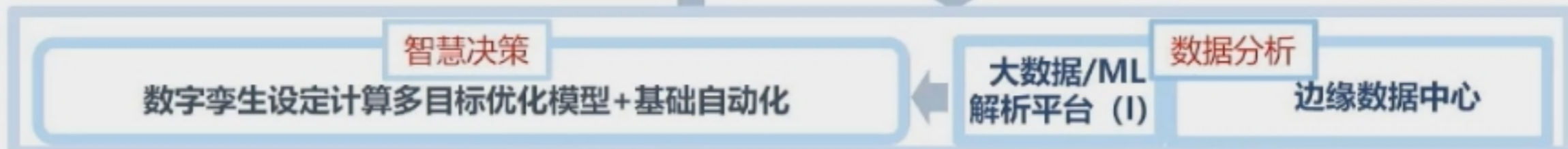
工业互联网架构下钢铁材料创新基础设施

资源配置管理云平台



工业云平台

边缘数字化核心平台



控制决策信息

反馈赋能

工业生产线

数据

信息感知

中试装置

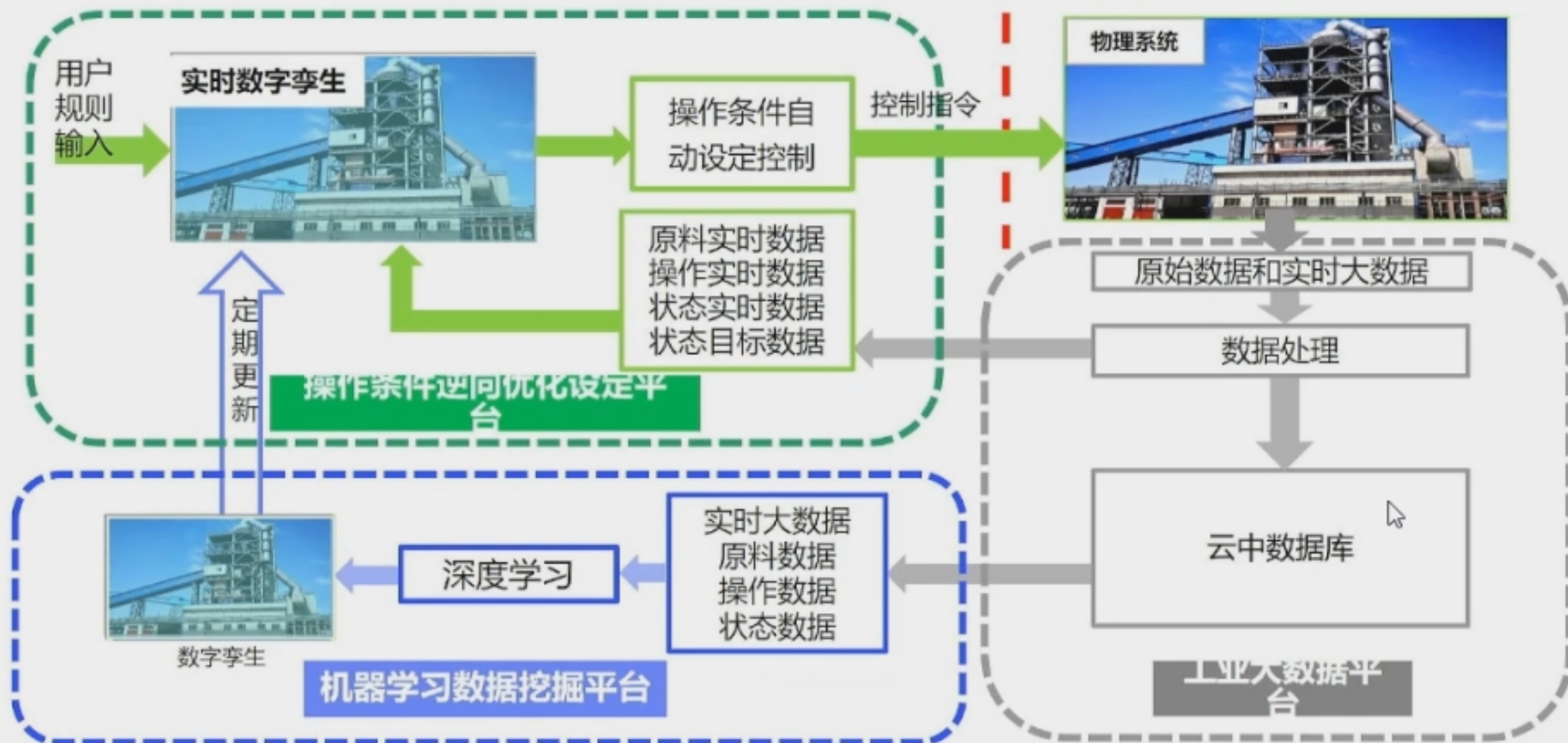
实验室仪器

钢铁实验设备

钢铁行业必须与数字经济、数字技术相融合，发挥钢铁行业应用场景和数据资源的优势，以工业互联网为载体、以底层生产线的信息感知和精准执行为基础、以边缘过程设定模型的数字孪生化和CPS化为核心、以数字驱动的云平台为支撑，建设钢铁企业数字化创新基础设施，加速建设数字钢铁。

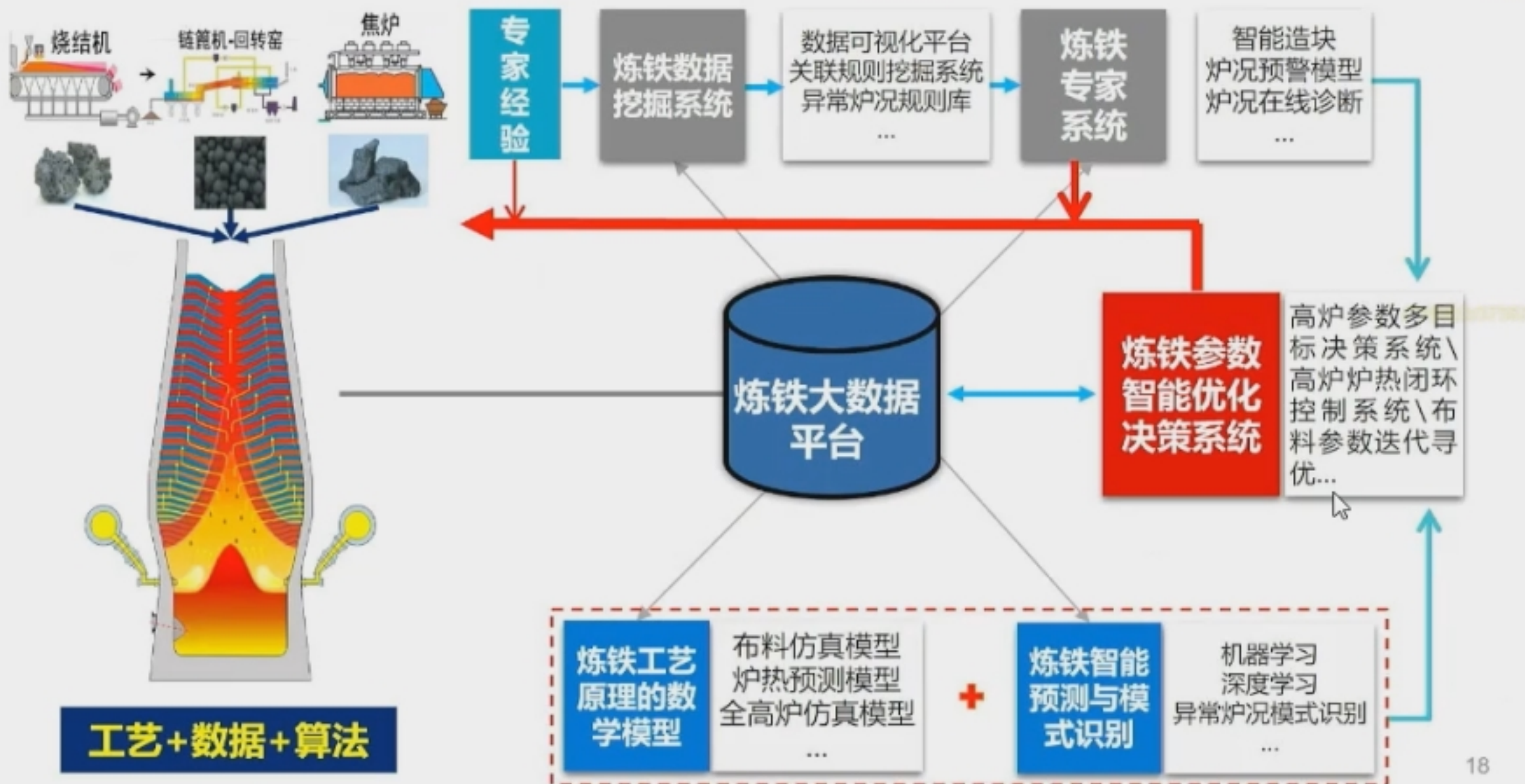


选冶团队：是最强大的选冶结合悬浮焙烧系统



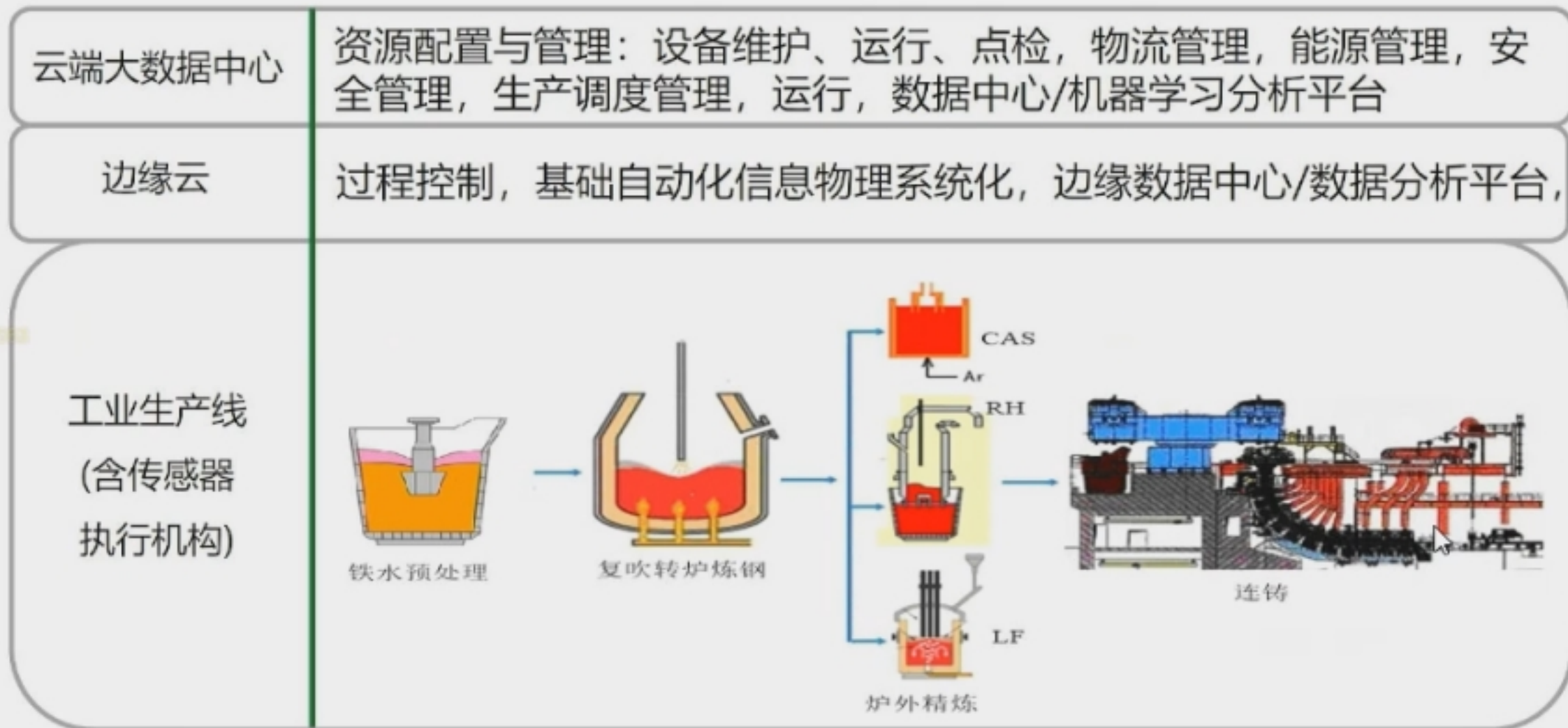


数字铁前系统取得巨大进展





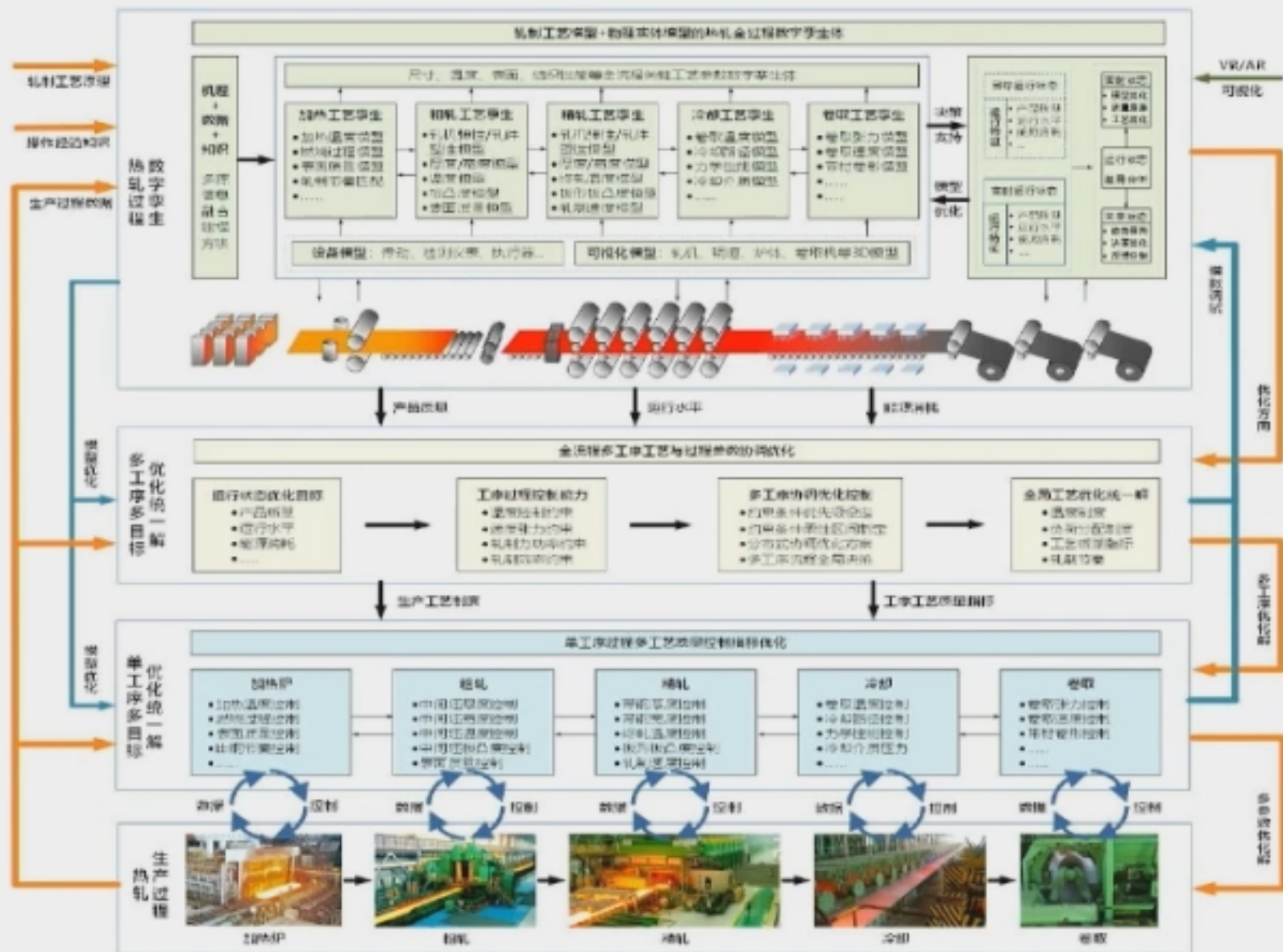
炼钢-连铸团队：炼钢区域系统架构



正在建龙抚顺新钢铁、邯钢2250、本钢北营各产线实施中，已经取得重要进展



轧制团队：轧制过程动态数字孪生体与CPS模块化工业软件



关键质量参数

- 尺寸—厚度、宽度、板形...
- 力学性能—屈服、抗拉、延伸...
- 表面—氧化铁皮、划伤...

高保真度动态数字孪生

- 融合机理模型与经验知识的架构
- 基于生产数据解析参数与结构

全局协调优化

- 工序关键工艺质量参数协调优化
- 跨工序质量遗传的关键参数优化

动态实时反馈

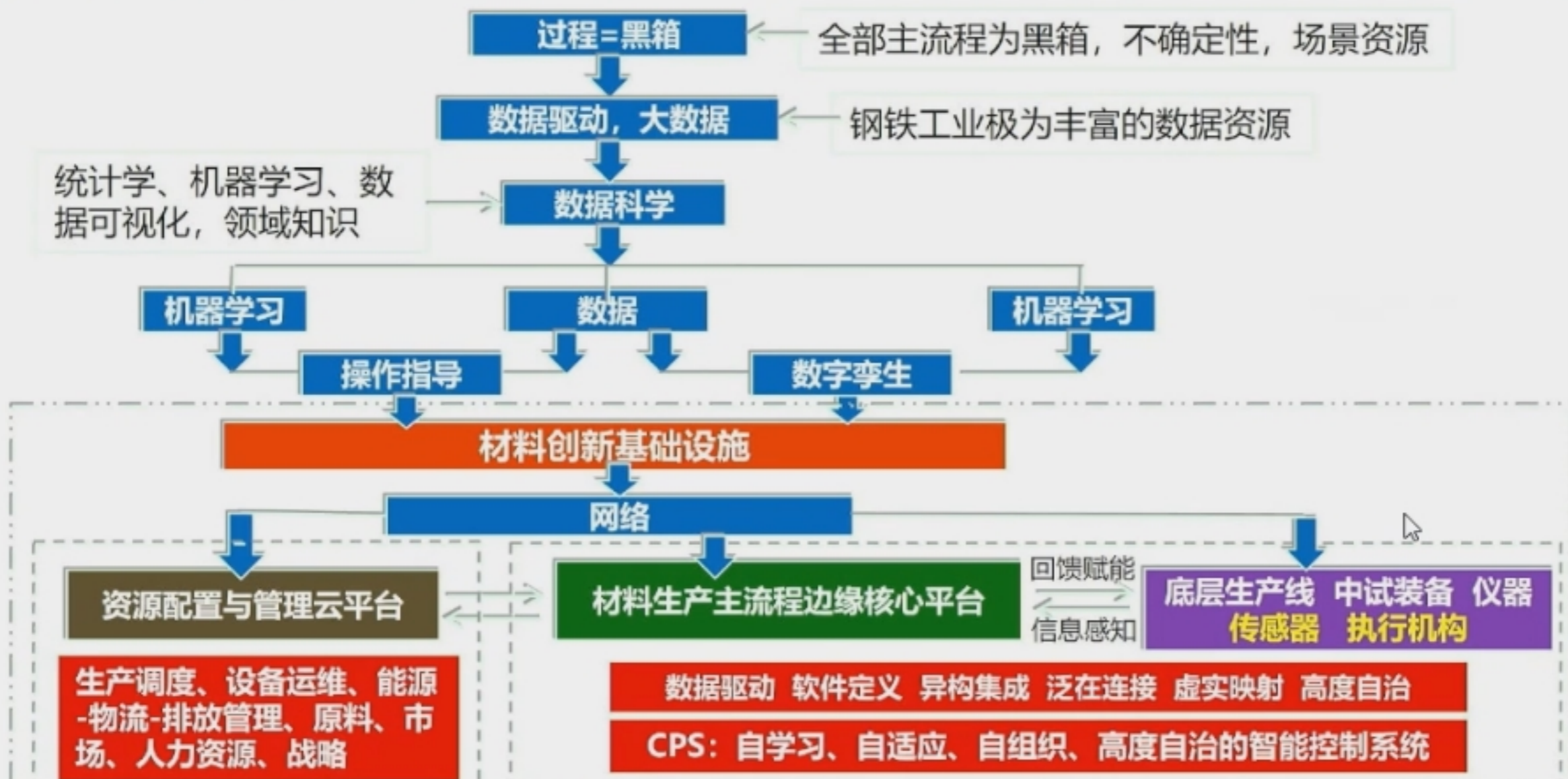
- 动态数字孪生与产线实时交互
- 实时表征轧线的行为和状态

钢铁行业数字化转型的14项关键共性技术

- 数据驱动的IT系统架构（简明、柔性）
- 数据驱动的信息感知：齐全、准确、可靠
- 数据驱动的数据中心：数据处理功能，提取、转换、加载（时间序列）
- 数据驱动的科学分析：数据科学---大数据/机器学习(AI) →数字孪生化
- 数字驱动的智慧决策：全流程数字孪生化的边缘过程设定控制
- 数据驱动的回馈赋能：执行机构精准、快速、安全
- 制造主流程、一体化的虚拟模型与实际过程实时融合的CPS化
- 数据驱动的资源配置与管理云平台：生产调度、设备运维、能源-物流-排放管理、-----
- 自动化系统补课：远程化、自动化、机器人化
- 软件定义：降低成本、提高效率、快速实现数字化转型
- 软件：标准化、参数化、图形化、推拉拽，简单易学，高速推广，形成数字化生态
- 网络：光纤+5G，无时不在，无处不在，即插即用，泛在网络
- 安全：网络安全，严格标准化
- 系统开发与上线：离线开发、调试---在线操作指导---在线运行（基于数据驱动的IT架构，安全上线，规避风险），安全、稳妥数字化转型

攻克数字化转型的关键共性技术，加快钢铁工业数字化转型

钢铁行业数字化转型的逻辑



钢铁行业数字化转型的时代特征

时代	工业时代	数字时代
问题	多数是确定性问题，不确定性问题无法	不确定性问题，“黑箱”问题
驱动	理论驱动、经验驱动	数据驱动（抢先利用数据）
分析方法	机理解析，经验推理	数据分析（数据/机器学习）
过程控制建模	理论模型或经验模型（预测）	数字孪生模型（预测性模型）
控制	过程机与基础自动化设定计算	全流程数字孪生模型设定计算
自治能力	极弱	自学习、自适应、自组织、高度自治
系统	自动控制系统、监控、回溯(单变量)	信息物理系统（全局性、实时性、相关性）
架构	多层	大数据/机器学习+底层物理系统
软件标准化	非标	标准化（数据个性化）
人员队伍	纯工艺人员+自动化人员	掌握数字技术的工艺人员+信息化专业队伍
可推广性	不易推广，垄断性	共享性，易推广，易掌握、创新数字化生态
作用		放大、倍增、叠加

钢铁工业欲解决不确定性问题，数字时代恰逢其时，数字驱动恰到好处



产学研深度融合，取得建设数字钢铁的经验

2017-2022，宝钢、鞍钢、河钢等企业与东大共同承担国家135重点计划原材料智能制造项目3项，确定了企业-学校合作共同开发信息物理系统，并在各企业实施。在此过程中，明确了在企业实施的4项重要经验：

1. 信息采集与精准执行是数字化转型的基础，是必备项，不完全、不完善要先补课
2. 软件定义：主要是软件改造，硬件可以利用已有的系统，这将大幅降低转型的成本，提高转型的效率
3. 数据驱动：采用数据/机器学习方法，对数据进行运算。机器学习的模型可以做到标准化，最终对不同规模的装置，采用各自的数据处理，建成最终的控制用的数据孪生模型。便于推广、掌握、共享，缩短工期、降低成本
4. 数据驱动的双层架构，离线调试-在线并行-实时上线，避免风险，快速过渡



产学研深度融合，高炉数字化转型成果斐然

- 在抚顺新钢铁700立高炉实现高炉数字化操作，完成“数据和机理双驱动的智能炼铁关键技术研发与应用”项目。21年底通过钢协鉴定
- 与抚顺新钢铁合作，承担发改委国家重大低碳项目“高炉大数据智能降碳关键技术研发与应用”
- 承担中国宝武“钢铁工业大脑”战略项目：
 - 宝钢4号高炉基于数据信息与机器学习的方法分析渣皮脱落对炉温的影响。
 - 宝钢4号高炉三维操作炉型在线监控模型的开发和应用
- 承担中国宝武低碳基金：基于工业大数据和人工智能的高炉智能化炼铁基础研究
- 本钢合作项目：高炉炉缸活跃性的智能化预测与反馈
- 昆钢合作项目：2500m³高炉炉缸工作状态仿真模型研发与应用
- 邯钢合作项目：基于邯宝产线铁前系统大数据的智能配矿系统开发及应用
- 抚顺新钢铁二期合作项目：智能化高炉控制因素及各因素逻辑关系的构建，高炉炉缸活跃性研究与应用，新型智能化高效烧结技术开发



产学研深度融合，轧钢厂数字化转型加速推进

- 与山钢合作，在山钢4300中厚板轧机完成项目“基于机器视觉的宽厚板轮廓及板形CPS智能制造技术研发与应用”，2021年底钢协鉴定，2022年获得冶金行业一等奖。
- 与中国重机研究院、北科大、燕大、太原科技大学等单位合作，完成的项目“高端精品带钢高效冷轧数智化生产关键核心技术攻关与产业化”获得2022机械工业科学技术一等奖。
- 在河钢邯钢2250热连轧机进行“基于数据驱动的高精度轧制负荷与宽厚控制模型开发”等热连轧过程数字化转型项目，已经通过验收，在钢材外形尺寸、组织性能控制方面取得突破性进展。
- 与宝钢等单位共同承担科技部十四五重点专项“钢铁轧制全流程工艺优化与管控软件开发”。
- 与北科大合作完成的冷轧项目“高精度冷连轧数字孪生模型与CPS系统关键技术研发及应用”已经完成，即将进行鉴定
- 承担辽宁省科技厅项目，“辽宁·鞍钢-东大高品质钢铁材料制备及应用中试基地项目”。含鞍钢三个轧钢厂项目，均为建设原位分析系统，实现数字化转型。项目进行中。名称：硅钢数字化原位分析系统与中试产品开发、冷轧数字化原位分析中试系统、鞍钢中厚板数字化原位分析中试系统开发

寄语

钢铁行业要充分发挥海量数据和丰富应用场景优势，促进数字技术与实体经济深度融合，建设钢铁创新基础设施，加速钢铁行业的数字化转型，增强企业核心竞争力，赋能高质量，打造新动能，将中国钢铁行业建设成为国际领先的工业集群！

