

行业标准项目建议书

| | | | | | | | |
|----------------|---|------------------------------|------------------------------|----------------|--|----------------------------|--|
| 建议项目名称 (中文) | 物联网 钢铁行业 车间数字孪生系统 技术要求 第1部分：板带热轧 | | | 建议项目名称 (英文) | IoT - Technical Requirements for Digital Twin System in Iron and Steel Industry Workshop - Part 1: Hot Rolling of Strip and Sheet | | |
| 制定或修订 | <input checked="" type="checkbox"/> 制定 | | <input type="checkbox"/> 修订 | 被修订标准号 | | | |
| 采用程度 | <input type="checkbox"/> IDT | <input type="checkbox"/> MOD | <input type="checkbox"/> NEQ | 采标号 | | | |
| 国际标准名称 (中文) | | | | 国际标准名称 (英文) | | | |
| 采用快速程序 | <input type="checkbox"/> FTP | | | 快速程序代码 | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C | |
| ICS 分类号 | | | | 中国标准分类号 | | | |
| 牵头单位 | 东北大学 | | | 体系编号 | | | |
| 参与单位 | 中国钢铁工业协会、冶金自动化研究设计院有限公司、鞍钢股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、首钢集团有限公司、冶金科技发展中心、太原科技大学、江苏省沙钢钢铁研究院有限公司、中国钢研科技集团有限公司、鞍钢集团自动化有限公司、中国石油大学（华东）、常州工业职业技术学院、探宇（北京）科技有限公司、河北燕山钢铁集团有限公司、北京金自天正智能控制股份有限公司、河北河钢材料技术研究院有限公司 | | | 计划完成周期 | 12 个月 | | |
| 目的、意义或必要性 | <p>国务院《中国制造 2025》、工业和信息化部、国家标准化管理委员会《国家智能制造标准体系建设指南（2024 版）》和《物联网标准体系建设指南（2024 版）》等文件发布，配套出台了一系列政策措施，将钢铁行业智能制造作为主攻方向，着力推动全流程数字孪生系统建设。钢铁行业作为国民经济的重要支柱产业，在推动国家工业化进程中发挥着关键作用。近年来，随着全球制造业向智能化转型，钢铁行业也面临着巨大的变革压力。数字孪生技术作为智能制造的核心技术之一，通过构建与物理实体相对应的虚拟模型，实现对生产过程的实时监测、优化控制和预测性维护，为钢铁行业的智能化发展提供了有力支撑。</p> <p>板带热轧数字孪生技术作为钢铁行业全流程智能制造系统重要技术之一，是提升产线数字化和智能化水平、提高产品质量、提高质量管理水平的关键技术，已成为行业政策推动和鼓励技术之一。本标准用于指导钢铁行业板带热轧过程数字孪生系统的开发者、系统解决方案供应商、用户建立对“板带热轧过程数字孪生系统”的统一认识，包括数字孪生系统架构、基本要求、模型要求与应用场景等方面，作为“钢铁行业智能制造”标准之一，助力热轧产线的智能化建设。</p> <p>目前国内鞍钢、河钢等钢铁企业开展的热轧过程数字孪生系统的建设，主要集中在轧制、冷却区等局部工序的数字孪生建设工作；为规范热轧数字孪生系统的建设，充分发挥数字孪生系统的作用，开展钢铁行业板带热轧全流程数字孪生系统应用标准的研究工作十分有必要，标准的制定能够为热轧产线智能化建设提供参考和指导。</p> | | | | | | |

| | |
|-----------------------|--|
| <p>范围和主要 技术内容</p> | <p>1 范围</p> <p>本标准规定了板带热轧数字孪生系统架构、基本要求、模型要求与应用场景等。 本标准适用于指导钢铁企业板带热轧数字孪生的开发及应用。</p> <p>2 规范性引用文件</p> <p>下列文件中的内容通过对文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。</p> <p>GB/T 40021-2021《信息物理系统 术语》 GB/T 43441.1-2023《信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求》</p> <p>3 术语和定义</p> <p>GB/T 40021-2021 定义的以及下列术语和定义适用于本文件。</p> <p>3.1 数字孪生 digital twin</p> <p>基于传感器更新、运行历史、物理模型等孪生数据，完成从物理实体到数字虚体的模型映射，以及从数字虚体反馈至物理实体的过程。 注：改写GB/T 40021-2021，定义2.13</p> <p>3.2 虚实映射 virtual-real mapping</p> <p>通过虚拟模型来模拟、预测和优化物理实体模型状态和行为的动态交互过程。</p> <p>3.3 虚拟模型 virtual model</p> <p>物理对象的多边形表示，利用一些基本的几何元素通过一系列几何操作来构建复杂的场景和对象。注：几何元素包括立方体、球体等，集合操作包括平移、旋转、拉伸以及布尔运算等。</p> <p>4 缩略语</p> <p>下列缩略语适用于本文件。</p> <p>PLC：可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller） PCS：过程控制系统（Process Control System） ERP：企业资源计划（Enterprise Resource Planning） MES：制造执行系统（Manufacturing Execution System） PDI：原始数据输入（Primary Data Input） TVD：时间-速度-位置（Time Velocity Distance）</p> <p>5 板带热轧数字孪生系统架构</p> <p>板带热轧数字孪生系统架构应根据实际板带热轧产线建立，涵盖物理层、数据层、模型层和应用层在内的虚实映射过程。将物理层各设备实体的生产数据采集至数据层，经过数据处理、数据存储后供模型层模型使用。基于生产设备实体设计虚拟模型，运用冶金原理、轧钢原理、传热原理等，并适当应用机器学习等技术构建热轧过程各个工艺段的控制模型，组建热轧数字虚体。通过热轧数字虚体与热轧生产设备实体间的虚实映射，实现数字虚体与生产设备实体的信息交互、反馈控制和迭代优化，满足热轧生产工艺制定、生产状态监测、未来过程预测、质量缺陷追溯和工艺优化等应用需求。板带热轧数字孪生系统架构见图1。</p> |
|-----------------------|--|

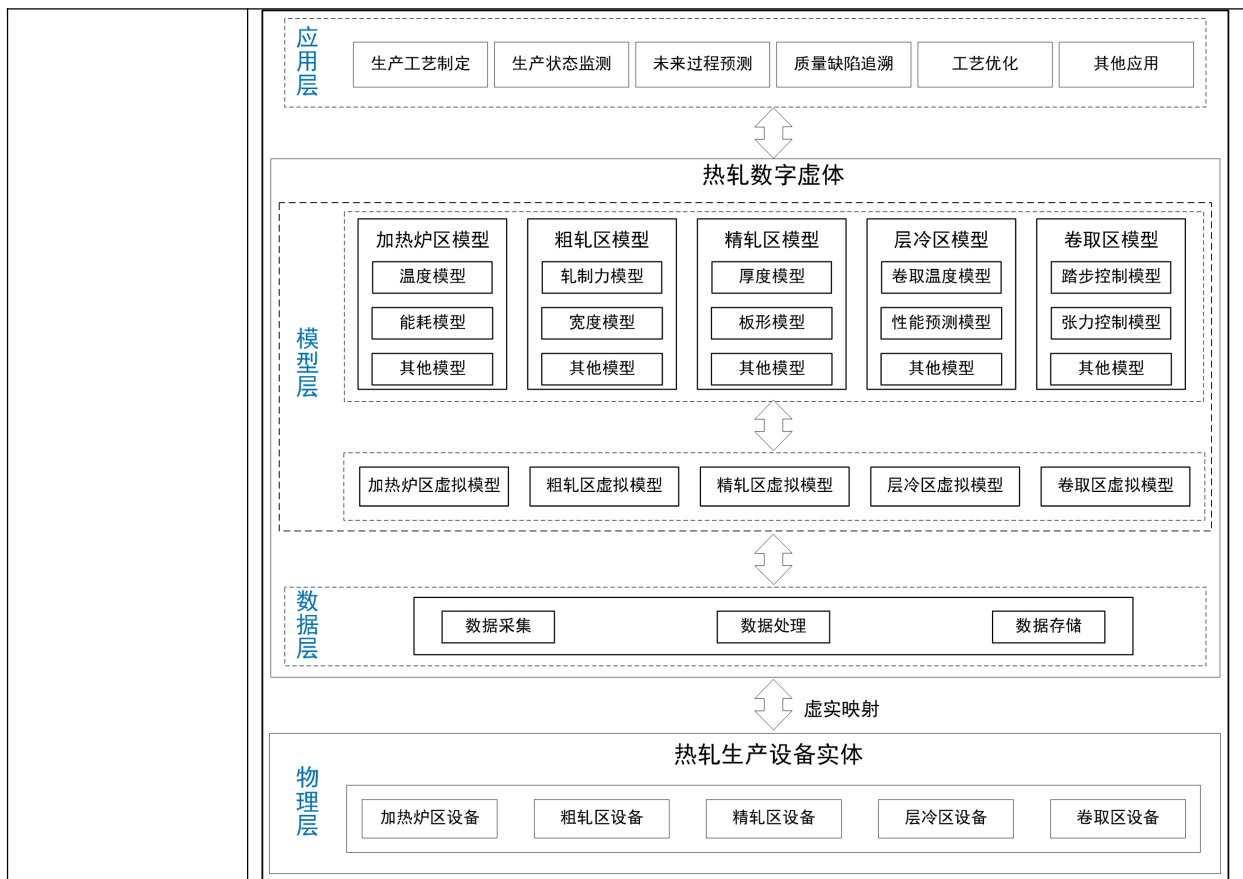


图1 板带热轧数字孪生系统架构

6 板带热轧数字孪生基本要求

板带热轧数字孪生除应满足 GB/T 43441.1-2023《信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求》第6章基本要求外，还应满足以下要求。

6.1 数据层基本要求

数据层作为数字孪生系统的数据中心，应实现生产过程数据的采集、处理和存储，主要包括来源于 PLC、PCS、MES 和 ERP 等实际过程数据。

数据层应能够解决不同类型数据采集与接入问题，支持不同类型数据的采集与多源异构数据源的接入并实现数据格式的转换，完成数据处理过程。

数据层宜采用时序数据库与关系数据库相结合的架构，汇总物理层和模型层各类数据，深入挖掘数据应用价值，为板带热轧数字孪生系统提供数据支撑。

6.2 模型层基本要求

板带热轧数字孪生模型应包括热轧各工序生产设备虚拟模型和工艺模型，共同支撑板带热轧数字孪生的呈现和运行。

虚拟模型应利用主流三维可视化建模软件，结合热轧生产车间内设备、物料及运行状态等，对位置信息、设计尺寸及物理空间关系进行等比例建模。

工艺模型应能够基于热轧生产过程设备状态数据、轧制计划数据以及过程参数，采用冶金学、传热学原理对生产过程进行建模。利用生产过程数据建立反应轧制过程工艺参数与质量指标的输入输出关系，真实反应板带热轧产品在加热、轧制、冷却等生产过程中的金属流动规律和内部组织演变规律；并能够根据实际生产数据进行模型校正，提升模型的精度。

6.3 虚实映射要求

将热轧生产设备实体中控制器和传感器数据上传至数据层，作为数字虚体的模型输入，在数字虚体中模拟其活动状态，通过模型分析后，将模型输出结果与生产设备实体实际输出对比，根据分析验证结果，对数字虚体和设备实体进行优化。板带热轧数字孪生虚实映射逻辑架构图如图2所示。

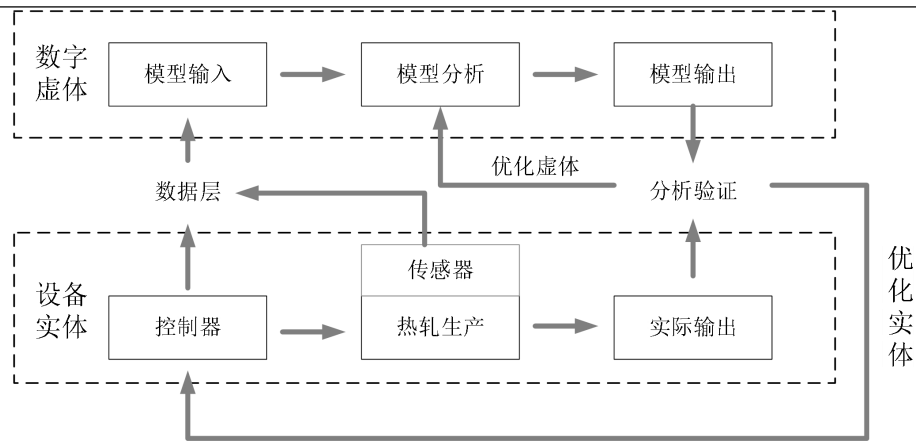


图2 板带热轧数字孪生虚实映射逻辑架构图

板带热轧数字孪生的虚实映射应包括但不限于以下要求：

- a) 数字虚体和设备实体应满足双向映射、动态交互和实时连接要求；
- b) 数字虚体和设备实体应满足状态、相态和时态上一致性要求；
- c) 数字虚体应能够对设备实体的状态数据进行监视、分析和推理，优化工艺参数和运行参数，满足决策需要。

7 板带热轧数字孪生模型要求

7.1 虚拟模型要求

7.1.1 建模对象

虚拟模型是板带热轧生产过程各类设备和轧件的三维虚拟化呈现。建模范围应基于典型板带热轧过程车间平面布置，包括加热炉区、粗轧区、精轧区、层冷区、卷取区等工艺段。

板带热轧虚拟模型建模对象应包括但不限于：

- a) 加热炉区应包含入炉辊道、加热炉本体、推钢机、托钢机、加热单元、加热喷嘴单元、出炉辊道；
- b) 粗轧区应包含粗除鳞段、定宽机、立辊机组、平辊机组、中间辊道；
- c) 精轧区应包含精除鳞段、平辊机组、活套、机架间冷却水阀；
- d) 层冷区应包含粗调集管（上、下集管）、精调集管（上、下集管）、侧喷集管、运输辊道；
- e) 卷取区应包含导板、夹送辊、卷取机本体、助卷辊等附属机构。

7.1.2 建模要求

- a) 虚拟模型应包含设备实体和轧件的信息（尺寸、形状和位置），在满足应用要求的前提下，宜对已有的虚拟模型进行简化处理；
- b) 虚拟模型应能够反应设备实体的动态行为和属性特征，并对映射结果进行直观显示；
- c) 虚拟模型应能够根据轧件三维尺寸变化情况，赋予虚拟模型不同的尺寸属性；
- d) 虚拟模型应能够根据轧件温度变化情况，赋予虚拟模型不同的颜色属性。

7.2 加热炉区模型要求

7.2.1 温度模型

温度模型用于计算炉内板坯温度分布随时间的变化情况，判断炉温是否合理。应满足以下要求：

- a) 能够根据板坯的成分、规格和目标出炉温度，确定预热段、加热段和均热段的炉温设定；
- b) 能够根据实际的板坯加热曲线，获得板坯的最短在炉时间和板坯炉内的温度分布；
- c) 能够根据板坯累计在炉时间和在炉位置，获得板坯剩余在炉时间和板坯出炉时温度分布。

7.2.2 能耗模型

| | |
|--|---|
| | <p>能耗模型根据加炉内轧件温度情况，计算加热过程中的能源消耗。该模型应满足以下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 能够确定达到板坯目标出炉温度所需的最小能耗； b) 能够根据炉温分布和板坯温度，获得板坯累计氧化烧损量； c) 能够根据炉内燃料的消耗量和炉温分布，获得加热炉预热段、加热段和均热段的能源消耗。 <p>7.3 粗轧区模型要求</p> <p>7.3.1 负荷分配模型</p> <p>负荷分配模型能够按照生产工艺要求，实现粗轧各道次出口厚度和宽度的分配。该模型应满足以下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 能够根据 PDI 数据，按照压下率、轧制力、功率等分配要求，获得粗轧机组各道次的出口厚度和宽度； b) 能够确定轧件在粗轧机组各道次的速度制度，包括各道次咬钢速度、最高速度和抛钢速度； c) 能够根据质量、效率、成本等目标要求，构建多目标函数并进行求解，获得满足目标要求的粗轧机组各道次最优出口厚度和宽度。 <p>7.3.2 速度模型</p> <p>速度模型能够根据负荷分配模型得到的轧件速度制度，确定轧辊速度和运输辊道的速度。该模型应满足以下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 能够根据轧件速度确定各道次的轧辊转速以及运输辊道的速度； b) 能够根据咬钢后轧辊的实际转速，获得轧件的实际速度； c) 能够根据抛钢后运输辊道的实际速度，获得轧件的实际速度； d) 能够获得轧件在变形区内前滑区、中性面和后滑区的速度分布以及变形区内轧件变形速率； e) 能够根据电机电流变化情况，对轧辊转速进行动态调整，保证机架间微张力的恒定。 <p>7.3.3 温度模型</p> <p>温度模型能够计算轧件在运输和变形过程中的温度变化情况，为轧制过程力能参数计算和冷却过程冷却路径设计提供前提条件。该模型应满足以下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 能够根据轧件在运输辊道输送的时间，获得轧件与环境接触产生的温度变化； b) 能够根据除鳞水流量、压力和除鳞时间等，获得轧件与除鳞水接触产生的温度变化； c) 能够根据机架间冷却水流量、压力和冷却时间等，获得轧件与冷却水接触产生的温度变化； d) 能够根据轧件在变形区变形情况，获得轧件由于摩擦、热接触和变形产生的温度变化； e) 能够根据产线位置和轧制时间，获得轧件在任一时刻三维温度分布情况； f) 能够根据轧件实际温度和轧制节奏，获得轧辊的温度变化情况。 <p>7.3.4 轧制力模型</p> <p>轧制力模型能够计算轧件发生变形所需的轧制力大小，为有载辊缝位置等计算提供前提条件。该模型应满足以下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 能够根据 PDI 数据，计算轧件宽度方向、厚度方向发生变形时所需的轧制力； b) 能够根据轧制力计算结果，判断压下系统或设备是否处在安全范围内； c) 能够根据轧制过程实际轧制力变化，获得轧辊压扁情况； d) 能够根据轧制过程实际轧制力变化，获得轧件宽向轧制压力分布。 <p>7.3.5 有载辊缝模型</p> <p>有载辊缝模型能够根据轧辊状态和轧制过程轧辊受力情况计算轧件断面形貌。该模型应满足以下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 能够根据温度模型获得的轧辊温度分布情况，获得轧辊的热凸度； |
|--|---|

| | |
|--|---|
| | <p>b) 能够根据轧制力、轧制时间、轧制长度以及轧制重量等, 获得轧辊的磨损轮廓;</p> <p>c) 能够根据轧辊倾斜量、弯辊力、窜辊位置等参数, 获得不同受力状态下的轧辊变形情况;</p> <p>b) 能够根据轧辊的热凸度、轧辊磨损和轧辊变形情况, 获得机架实时有载辊缝, 确定机架出口的轧件断面形状。</p> <p>7.3.6 宽度模型</p> <p>宽度模型用来描述变形过程中金属宽向流动情况, 满足中间坯宽度控制要求, 宽度模型应包括宽度计算模型和宽度控制模型。该模型应满足以下要求:</p> <p>7.3.6.1 宽度计算模型</p> <p>a) 能够根据立辊设定工艺参数, 获得立辊出口的狗骨形貌;</p> <p>b) 能够根据平辊设定工艺参数, 获得狗骨宽展量和自由宽展量, 计算轧件的出口宽度;</p> <p>c) 能够根据轧制过程立辊和平辊的实际工艺参数, 计算轧件在该道次出口的宽度变化情况。</p> <p>7.3.6.2 宽度控制模型</p> <p>a) 应具备前馈控制功能。根据上一道次的轧制力、宽度等变化情况, 对下一道次的立辊辊缝进行动态调整, 以保证轧件在各道次的宽度控制精度;</p> <p>b) 应具备反馈控制功能。根据测宽仪测量得到的轧件实际宽度, 对当前道次立辊辊缝进行动态调整, 以保证轧件在各道次的宽度控制精度;</p> <p>c) 应具备短行程控制功能。立辊辊缝能够按照一定的轨迹进行动态调整, 对轧件头、尾失宽进行补偿, 以保证轧件头尾的宽度控制精度。</p> <p>7.3.7 厚度模型</p> <p>厚度模型用来描述变形过程中轧件厚向流动情况, 满足中间坯厚度控制要求。厚度模型应包括厚度计算模型和厚度控制模型。该模型应满足以下要求:</p> <p>7.3.7.1 厚度计算模型</p> <p>a) 能够根据轧制力变化、轧件宽度变化, 获得轧辊的弹跳变形量, 计算达到目标出口厚度所需的辊缝位置;</p> <p>b) 能够根据轧制过程中温度、速度等工艺参数的变化情况, 计算轧件在当前辊缝下各机架出口的厚度变化情况。</p> <p>7.3.7.2 厚度控制模型</p> <p>a) 应具备前馈控制功能。根据上一道次的轧制力、温度变化情况, 对下一道次的平辊辊缝进行动态调整, 以保证轧件在各道次的厚度控制精度;</p> <p>b) 应具备反馈控制功能。根据测厚仪测量得到的轧件实际厚度, 对当前道次平辊辊缝进行动态调整, 以保证轧件在各道次的厚度控制精度。</p> <p>7.3.8 扣翘模型</p> <p>扣翘模型用来描述生产过程中轧件头、尾偏离轧制水平线的程度。该模型应满足以下要求:</p> <p>a) 能够根据不同的工艺参数, 获得轧件在粗轧过程各道次头、尾偏离轧制水平线的程度;</p> <p>b) 能够根据各道次头、尾偏离轧制水平线的程度, 确定轧件恢复水平时所需的工艺参数(辊速比、压下量等)的调整范围;</p> <p>c) 能够根据各道次头、尾偏离轧制水平线的程度, 对粗轧区穿带过程进行安全性评估。</p> <p>7.4 精轧区模型要求</p> <p>除满足 7.3.3、7.3.4 粗轧工艺段模型要求之外, 还应满足以下要求。</p> <p>7.4.1 负荷分配模型</p> <p>负荷分配模型能够按照生产工艺制度要求, 实现精轧各机架出口厚度的分配。模型应满足以下要求:</p> <p>a) 能够根据 PDI 数据, 按照压下率、轧制力、功率等分配比例要求, 获得精轧机组各机</p> |
|--|---|

| | |
|--|--|
| | <p>架的出口的厚度；</p> <p>b) 能够确定轧件在精轧机组的穿带速度、加速度和机架间水阀的初始状态；</p> <p>c) 能够根据质量、效率、成本等要求，通过构建多目标函数并求解，获得满足目标要求的精轧机组各机架的最优出口厚度；</p> <p>d) 能够根据上游机架的实际生产数据，对下游机架的负荷分配进行动态调整，保证精轧机末机架的出口厚度。</p> <p>7.4.2 速度模型</p> <p>速度模型除满足 7.3.2 粗轧区速度模型要求之外，还应满足以下要求：</p> <p>a) 能够根据轧件的终轧温度控制要求，确定精轧轧制过程 TVD 曲线；</p> <p>b) 能够根据活套高度的变化，对上游机架轧辊转速进行动态调整，维持活套量恒定，保证机架间秒流量恒定；</p> <p>c) 能够根据下游机架轧辊转速的变化，对上游机架轧辊转速进行动态调整，保证机架间秒流量恒定；</p> <p>d) 能够根据本机架辊缝的变化，对本机架轧辊转速进行动态调整，保证机架间秒流量恒定。</p> <p>7.4.3 宽度模型</p> <p>宽度模型除满足 7.3.6.1 宽度计算模型要求之外，还应满足以下要求：</p> <p>a) 能够根据精轧机架间活套高度和张力的变化情况，获得成品宽度变化情况；</p> <p>b) 能够根据卷取机张力的变化情况，获得成品宽度变化情况。</p> <p>7.4.4 厚度模型</p> <p>厚度模型用来描述变形过程中轧件厚向流动情况，满足成品厚度的控制要求。厚度模型应包括厚度计算模型和厚度控制模型，该模型应满足以下要求：</p> <p>7.4.4.1 厚度计算模型</p> <p>a) 能够根据轧制力变化、轧件宽度变化，获得轧辊的弹跳变形量，计算达到目标出口厚度所需的辊缝位置；</p> <p>b) 能够根据轧制过程中温度、速度等工艺参数的变化情况，计算轧件在当前辊缝下各机架出口的厚度变化情况；</p> <p>7.4.4.2 厚度控制模型</p> <p>a) 应具备前馈控制功能。根据上游机架的轧制力、温度和厚度变化情况，对下游机架的平辊辊缝进行动态调整，以满足产品厚度目标要求；</p> <p>b) 应具备反馈控制功能。根据末机架出口厚度的实际测量结果，对平辊辊缝进行动态调整，以满足产品厚度目标要求。</p> <p>7.4.5 板形模型</p> <p>板形模型能够根据过程工艺参数和板形调节机构状态对轧件板形进行计算，并能通过板形调节机构状态调整，实现产品板形控制。板形模型应包括板形计算模型和板形控制模型，该模型应满足以下要求：</p> <p>7.4.5.1 板形计算模型</p> <p>a) 能够分析轧辊倾斜、弯辊、窜辊等板形调节机构对板形的影响规律；</p> <p>b) 能够根据热轧原料状态和目标板形要求，计算各机架板形调节范围，确定最优的各机架倾斜量、弯辊力和窜辊位置；</p> <p>c) 能够根据中间坯凸度、轧辊倾斜量、弯辊力、窜辊位置等工艺参数，获得各机架出口板形变化情况；</p> <p>d) 能够根据机架间张力和温度变化情况，获得机架间的板形变化情况。</p> <p>7.4.5.2 板形控制模型</p> <p>a) 应具备前馈控制功能。根据轧制过程中当前机架和机架间的板形计算结果，对下游机架的弯辊力进行动态调整，以满足产品板形目标要求；</p> |
|--|--|

| | |
|--|---|
| | <p>b) 应具备反馈控制功能。根据末机架出口成品的凸度和平直度测量结果, 对各机架的弯辊力进行动态调整, 以满足产品板形目标要求。</p> <p>7.4.6 终轧温度模型</p> <p>终轧温度模型能够对轧件到达末机架出口时的温度进行计算和控制。终轧温度模型应包括终轧温度计算模型和终轧温度控制模型, 该模型应满足以下要求:</p> <p>7.4.6.1 终轧温度计算模型</p> <p>a) 能够根据机架间冷却水阀的开闭状态、流量变化和轧辊速度变化情况, 获得轧件在各机架出口的温度分布;</p> <p>b) 能够根据机架间冷却水阀的开闭状态、流量变化和轧辊速度变化情况, 获得末机架出口轧件全长的温度分布。</p> <p>7.4.6.2 终轧温度控制模型</p> <p>a) 应具备前馈控制功能。能够根据实际精轧入口温度的变化情况, 对机架间冷却水阀开闭状态、冷却水流量进行调整, 满足产品终轧温度目标要求;</p> <p>b) 应具备反馈控制功能。能够根据精轧出口终轧温度的实际测量结果, 对机架间冷却水阀开闭状态、冷却水流量、穿带速度进行调整, 满足产品终轧温度目标要求。</p> <p>7.4.7 性能预测模型</p> <p>性能预测模型利用物理冶金学原理, 计算热轧过程中轧件微观组织演变和分布。该模型应满足以下要求:</p> <p>a) 能够根据板坯成分、轧制过程压下量、变形速率、温度等工艺参数, 得到轧制过程中轧件微观组织演变分布;</p> <p>b) 能够根据微观组织与力学性能的对对应关系, 获得轧件经精轧区轧制变形后的抗拉强度、屈服强度和延伸率。</p> <p>7.5 层冷区模型要求</p> <p>7.5.1 卷取温度模型</p> <p>卷取温度模型能够对轧件到达层流冷却出口时的温度进行计算和控制。卷取温度模型应包括卷取温度计算模型和卷取温度控制模型, 该模型应满足以下要求:</p> <p>7.5.1.1 卷取温度计算模型</p> <p>a) 能够根据产品规格、目标终轧温度、目标卷取温度和轧件速度, 获得层流冷却粗调集管、精调集管以及侧喷集管的开闭状态;</p> <p>b) 能够根据层流冷却集管的层流冷却粗调集管、精调集管、侧喷集管的开闭状态以及轧件速度变化情况, 获得轧件在层流冷却任一位置的温度和卷取温度变化情况。</p> <p>7.5.1.2 卷取温度控制模型</p> <p>a) 应具备前馈控制功能。能够根据实际终轧温度、宽度、速度, 动态调整层冷区粗调集管、精调集管以及侧喷集管的开闭状态, 以满足产品卷取温度目标要求;</p> <p>b) 应具备反馈控制功能。能够根据卷取温度的实际测量结果, 动态调整层冷区精调集管的开闭状态, 以满足产品卷取温度目标要求。</p> <p>7.5.2 性能预测模型</p> <p>性能预测模型是利用物理冶金学原理计算冷却过程中微观组织的演变情况, 实现产品力学性能的预测。该模型应满足以下要求:</p> <p>a) 能够根据板坯成分、层流冷却过程冷却速率、温度等工艺参数, 得到冷却过程中带钢组织演变和组织分布情况;</p> <p>b) 能够根据微观组织与力学性能的对对应关系, 获得轧件经冷却区冷却后的抗拉强度、屈服强度和延伸率。</p> <p>7.6 卷取区模型要求</p> <p>7.6.1 张力模型</p> <p>张力模型能够满足轧件成卷过程中的张力稳定性控制要求。该模型应满足以下要求:</p> |
|--|---|

| | |
|--|---|
| | <p>a) 能够根据卷筒建张状态、夹送辊速度、卷筒卷速和成卷层数计算卷取过程实时卷径;</p> <p>b) 能够确定成卷过程中夹送辊所需的单位张力, 实现夹送辊恒张力控制;</p> <p>c) 能够确定成卷过程中卷筒所需的单位张力, 实现卷筒张力稳定性控制。</p> <p>7.6.2 压力模型</p> <p>压力模型能够满足轧件成卷过程中的压力稳定性控制要求。该模型应满足以下要求:</p> <p>a) 应具备导板压力闭环控制功能, 能够确定导板短行程控制后压力, 实现压力稳定性控制;</p> <p>b) 应具备夹送辊压力闭环控制功能, 能够确定夹送辊压力, 防止因夹送辊压力不稳而跑偏;</p> <p>c) 应具备助卷辊压力闭环控制功能, 能够确定助卷辊头部压力, 满足踏步功能要求;</p> <p>d) 应具备压尾功能, 能够确定助卷辊压尾压力, 保证夹送辊失张后轧件尾部张力的稳定。</p> <p>7.6.3 辊缝模型</p> <p>辊缝模型能够对轧件成卷过程中导板开口度、夹送辊辊缝和助卷辊辊缝进行计算, 满足成卷过程执行机构的位置控制要求。该模型应满足以下要求:</p> <p>a) 应具备导板短行程控制功能, 能够确定短行程距离, 保证导板能够快速接近轧件;</p> <p>b) 应具备导板位置闭环控制功能, 通过导板开口度动态调整, 辅助带钢卷形控制;</p> <p>c) 应具备夹送辊位置闭环控制功能, 通过夹送辊辊缝动态调整, 保证带钢顺利进入卷取机;</p> <p>d) 应具备助卷辊位置闭环控制功能, 通过助卷辊辊缝动态调整, 保证成卷过程中头部穿带、踏步控制和尾部成卷过程稳定。</p> <p>7.6.4 速度模型</p> <p>速度模型能够计算夹送辊、助卷辊和卷筒速度, 保证带钢成卷过程顺利进行。该模型应满足以下要求:</p> <p>a) 能够计算速度超前率和滞后率, 保证夹送辊、助卷辊和卷筒速度与轧件之间的速度匹配;</p> <p>b) 能够计算带钢减速率, 确定带钢减速度点, 保证轧件尾部顺利进入卷取机成卷。</p> <p>8 板带热轧数字孪生应用场景</p> <p>8.1 生产工艺制定</p> <p>基于产线设备状态, 使用热轧工艺数字孪生模型, 得到不同工艺条件下轧件在加热、轧制和冷却过程中温度、厚度、宽度、板形和性能等质量指标的变化情况。通过对比确定满足产品质量要求的最优生产工艺制度, 缩短新产品的研发周期。</p> <p>8.2 过程状态监测</p> <p>将热轧生产实际过程数据与产品工艺规范进行对比, 判断实际过程数据是否超出工艺规范允许范围, 通过分析数据的极值大小和波动范围, 判断当前生产过程是否处于可控状态, 对生产过程进行稳定性评价, 实现生产过程状态监测。</p> <p>8.3 未来过程预测</p> <p>利用热轧工艺数字孪生模型, 分析轧件在上游工序的实际生产数据和历史数据, 预测轧件达到下游工序时的温度、厚度、宽度、板形和性能等质量指标的变化情况, 将预测结果与产品目标要求进行比较, 给出分类预警, 并将预测结果和预警结果推送至操作人员, 以便提前进行工艺调整。</p> <p>8.4 质量缺陷追溯</p> <p>针对生产过程已出现的厚度、宽度、板形等缺陷, 能够通过板带工艺数字孪生模型及相关性分析等方法, 确定各工艺参数对该质量缺陷的贡献程度, 按照贡献程度大小对工艺参数进行排序, 确定引起质量缺陷的关键工艺参数及对应的生产工序, 实现质量缺陷追溯。</p> <p>8.5 工艺优化</p> <p>根据质量追溯结果, 在工艺要求的可调整范围内, 对引起质量缺陷的各工艺参数进行调</p> |
|--|---|

| | |
|-----------------------|---|
| | <p>整, 利用热轧数字孪生模型, 分析工艺参数变化对产品质量的影响规律, 确定能够最大程度消除产品质量缺陷的生产工艺区间, 保证生产过程产品质量。</p> |
| <p>国内外情况 简要说明</p> | <p>1.国内外研究情况</p> <p>国外在钢铁行业板带热轧数字孪生技术的研究起步较早, 技术相对领先。众多知名钢铁企业与科研机构积极投入研发, 在系统构建、模型精度提升等方面取得了一定成果。例如, 德国的西门子公司将数字孪生技术应用于板带热轧生产, 通过构建虚拟的热轧生产线, 实现对实际生产过程的实时模拟与监控, 为工艺优化和设备维护提供有力支持。在技术进程上, 国外不断将先进的传感技术、人工智能算法等融入板带热轧数字孪生系统。通过高精度的传感器采集海量生产数据, 利用人工智能算法对数据进行深度分析, 从而优化轧制参数, 提高产品质量和生产效率。未来, 国外的研究将更注重实现全生命周期的数字孪生管理, 从板带热轧的原料准备到成品交付, 进行全流程的数字化管控, 同时进一步提升系统的实时性和智能化水平。</p> <p>国内近年来对板带热轧数字孪生技术的研究关注度日益提高, 高校、科研院所与钢铁企业紧密合作, 开展了大量的研究与实践工作。东北大学、上海交通大学等高校在板带热轧数字孪生模型的构建、仿真算法等方面进行了深入研究, 为技术的应用奠定了理论基础。企业方面, 宝钢、鞍钢等大型钢铁企业积极推进板带热轧数字孪生系统的建设与应用。宝钢的热轧数字孪生系统能够实时反映轧机的运行状态, 通过虚拟调试和优化, 有效缩短了新产品的研发周期, 提高了生产的稳定性。国内的技术发展进程呈现出快速追赶的态势, 在数据采集与融合、系统集成等方面不断取得突破。未来, 国内将进一步加强自主创新, 推动板带热轧数字孪生技术与实际生产的深度融合, 提升钢铁企业的核心竞争力</p> <p>目前, 板带热轧数字孪生技术处于不断发展和完善的阶段, 尚未完全稳定。虽然在部分企业的应用中取得了较好效果, 但在复杂工况下的模型适应性、多系统协同工作的稳定性等方面仍存在不足。预计在未来 3-5 年内, 随着技术研究的持续深入、行业实践经验的不断积累以及相关标准的逐步完善, 该技术将逐渐趋于稳定。本标准项目的提出, 基于当前技术发展现状, 对板带热轧数字孪生系统的关键技术和模型等要求进行规范。其规定的系统架构、模型构建标准等内容, 能够为技术的未来发展提供统一的框架和指导, 引导行业内的技术研发和应用朝着标准化、规范化的方向进行, 从而加速技术的成熟与稳定。</p> <p>2.国际标准或国外先进标准采用程度</p> <p>当前, 国际上与数字孪生相关的标准陆续出台, 如 ISO/IEC 30173:2023《数字孪生 概念和术语》, 该标准对数字孪生的术语和相关概念进行规定, 为数字孪生技术在各行业领域的拓展应用打好基础, 但并非专门针对钢铁行业板带热轧。此外, IPC 发布的 IPC - 2551 国际标准, 涵盖数字孪生产品、制造和生命周期框架, 但与钢铁行业板带热轧业务场景适配度有限。IEEE 发布的 IEEE P3144 Draft Standard for Digital Twin Maturity Model and Assessment Methodology in Industry 定义了工业数字孪生成熟度模型及评估方法, 可在一定程度上为钢铁行业数字孪生系统成熟度评估提供参考。同时, 一些国外先进企业在板带热轧数字孪生技术应用方面形成了自身的企业标准和技术规范, 具有一定的参考价值。</p> <p>在本标准制定过程中, 将积极借鉴国际通用标准中关于数字孪生的基础定义、术语和技术原则, 确保标准与国际接轨。对于国外先进企业的技术规范和经验, 将结合国内钢铁行业板带热轧的实际生产特点和需求, 进行合理的吸收和转化。在采用国外先进标准时, 注重兼容性和适用性, 既保证标准的先进性, 又充分考虑国内企业的实际情况, 避免盲目照搬, 形成符合我国国情的板带热轧数字孪生系统技术要求。</p> <p>3.与国内相关标准间的关系</p> <p>目前尚未有专门针对钢铁行业车间数字孪生系统技术要求中板带热轧部分的标准。但在</p> |

| | | | | | |
|--|-----------------|---------|-----------------|-------|-----------------|
| <p>钢铁行业信息化、自动化领域已存在一些相关标准，如部分涉及钢铁生产过程数据采集、传输的标准，以及关于钢铁生产设备自动化控制的标准等。这些标准为钢铁行业数字化发展奠定一定基础，但对于数字孪生这一新兴且复杂的技术体系，在系统架构、模型构建、应用功能等关键方面缺乏全面、深入的规范。</p> <p>本标准项目与现有相关标准是相互补充、相互协调的关系。现有标准侧重于板带热轧生产的具体工艺和设备等方面，而本标准则聚焦于数字孪生系统的技术要求，是对现有标准体系的完善和拓展。在标准体系中，本标准属于物联网钢铁行业智能制造领域的重要组成部分，处于承上启下的位置。它向上衔接国家关于智能制造和数字经济的战略规划及总体标准，向下指导板带热轧企业数字孪生系统的建设、应用和维护，与其他相关标准共同构成完整的钢铁行业数字化标准体系，推动钢铁行业的智能化转型。</p> <p>4.知识产权</p> <p>经全面调研与分析，在本标准制定过程中，暂未发现明显的知识产权问题。</p> | | | | | |
| 牵头单位 | (签字、盖公章) 月 日 | 标准化技术组织 | (签字、盖公章) 月 日 | 部委托机构 | (签字、盖公章) 月 日 |

[注 1] 填写制定或修订项目中，若选择修订必须填写被修订标准号；

[注 2] 选择采用国际标准，必须填写采标号及采用程度；

[注 3] 选择采用快速程序，必须填写快速程序代码；

[注 4] 体系编号是指在各行业（领域）技术标准体系建设方案中的体系编号