ICS XX.XXX

XX

团 体 标 准

T/CSM XXXX-YYYY

LF精炼全自动化操作技术规范

Technical Specifications for Automatic Operation of LF Refining

征求意见稿

xxxx-xx-xx发布 xxxx-xx-xx实施

中国金属学会发布

目  次

[目  次 I](#_Toc54623327)

[前  言 II](#_Toc54623328)

[引  言 III](#_Toc54623329)

[LF精炼全自动化操作技术规范 1](#_Toc54623330)

[1 范围 1](#_Toc54623331)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc54623332)

[3 术语和定义 1](#_Toc54623333)

[4 主要特征、目标及考核指标 4](#_Toc54623334)

[4.1 主要特征 4](#_Toc54623335)

[4.2 总体目标 4](#_Toc54623336)

[4.3 指标 5](#_Toc54623337)

[5 体系架构 5](#_Toc54623338)

[5.1 总体要求 5](#_Toc54623339)

[5.2 系统构成 5](#_Toc54623340)

[5.3 主要功能 6](#_Toc54623341)

[6 LF精炼全自动化建设要求 7](#_Toc54623342)

[6.1 工艺模型化 7](#_Toc54623343)

[6.2 装备自动化 7](#_Toc54623344)

[6.3 操作自动化 7](#_Toc54623345)

[6.4 控制精准化 7](#_Toc54623346)

[6.5 生产高效化 7](#_Toc54623347)

[6.6 过程可视化 7](#_Toc54623348)

前  言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国金属学会提出并归口。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准起草单位： 北京科技大学、北京金自天正智能控制股份有限公司、中冶京诚工程技术有限公司、南京钢铁集团有限公司

本标准主要起草人：李晶、孙彦广，潘宏涛、闫威、俞江、吴国平、曹余良

本标准首次发布。

引  言

LF精炼是炼钢与连铸的质量纽带。随着我国对钢铁行业智能制造技术的推进，LF精炼全自动化作为其基础技术，必将会得到迅速发展。但是，LF精炼全自动化操作还没有统一标准，这限制了其在国内的统一推广应用。为进一步落实《中国制造2025》的战略部署要求，保护我国LF精炼相关技术方面的知识产权，促进钢铁行业智能制造的发展，特制订本标准。

本标准内容包括LF精炼全自动化的总体目标及指标、体系架构和建设要求部分。其中，LF精炼自动化以精益控制和高效低耗为总体目标，具有全自动化操作、精益化控制、模型化耦合与自优化、数据化集成协同优化、精炼过程安全化的特征。体系架构部分从监控与监测、自动决策和自动执行三个层面提出总体要求，通过计算机过程控制系统、基础自动化系统、在线分析与监测系统以及生产信息管理系统的架构实现温度在线预报与智能供电、考虑成本的钢液成份微调、最佳吹氩搅拌功率的选择、精炼渣成份的调整、喂线控制、全自动集成控制的功能。建设要求部分从工艺模型化、装备自动化、操作自动化、控制精准化、生产高效化和过程可视化方面对LF精炼全自动化项目建设给出了指导性建议。本标准的制定将为LF精炼升级改造提供可借鉴的技术体系架构和建设实施指南。

LF精炼全自动化操作技术规范

1. 范围

本标准规定了钢铁生产领域LF精炼全自动化操作技术的技术规范，包括实现LF精炼全自动化的术语和定义、计算机过程控制系统、基础自动化系统、在线分析与监测系统以及生产信息管理系统。。

本标准适用于钢铁企业对LF精炼工序进行新建或升级改造的技术选用及建设实施过程。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 30839.21-2015 工业电热装置能耗分等　第21部分：钢包精炼炉

GB/T32818-2016 冶炼设备 术语

GB/T2900.23-2008 电工术语 工业电热装置

GB/T 10067.2-2005 电热装置基本技术条件 第 2 部分：电弧加热装置

GB/T 10067.21-2015 电热装置基本技术条件　第21部分：大型交流电弧炉

GB/T 10066.1-2004 电热设备的试验方法 第1部分：通用部分

GB/T 10066.10-2005 电热装置的试验方法 第10部分：直接电弧炉

GB/T 10066.11-2005 电热装置的试验方法 第11部分：埋弧炉

JB/T 9640-2014 电弧炉变压器

GB/T 25486-2010 网络化制造技术术语

GB/T 32830.1-2016 装备制造业　制造过程射频识别　第1部分:电子标签技术要求及应用规范

GB/T 5271.9-2001 信息技术　词汇　第9部分：数据通信

GB/T 37413-2019 数字化车间 术语和定义

GB/T 5271.34-2006 信息技术　词汇　第34部分：人工智能　神经网络

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 30839.21-2015、GB/T 10067.21-2015、GB/T 32830.1-2016、GB/T 5271.9-2001、GB/T 37413-2019中的某些术语和定义。

3.1

钢包精炼炉（LF炉） ladle refining furnace

配备电弧加热装置、钢液搅拌装置、造渣及合金加料装置、喂丝装置等的钢液精炼设备。

注:根据精炼钢种的需要,也可以不包含造渣及合金加料装置、喂丝装置。

3.2

基础自动化系统 basic automatic system

基础自动化系统是利用自动化设备通过程序控制机械设备的开关启停，常用的基础自动化设备包括PLC和DCS系统。

3.3

过程控制级自动化系统 process control automation system

用于LF精炼炉生产线中各设备的温度、压力、流量、液位、质量、成分等工艺参数及必要的电气参数的采集、处理、运算、数据交互等的计算机系统。

3.4

二级工艺模型 level 2 process model

用于LF精炼炉生产线中各设备工艺控制的计算机程序，简称工艺模型。

3.5

电极调节器 electrode regulator

控制LF精炼炉电极的升降从而调节炉子输入功率的装置。

3.6

大数据big data

指无法在一定时间范围内用常规软件工具进行捕捉、管理和处理的数据集合，是需要新处理模式才能具有更强的决策力、洞察发现力和流程优化能力的海量、高增长率和多样化的信息资产。

3.7

测温取样机器人 Industrial robot for measuring temperature and sampling

自动控制的、可重复编程、用于LF精炼过程测温取样的操作机,可对三个或三个以上轴进行编程。它可以是固定式或移动式。在工业自动化中使用。

3.8

喂线 wire feeding

将金属包覆线(钙线或铝线丝)或粉料(硅化钙)包覆线给入钢包钢水中,精确控制加料和向钢水中加入金属元素的有效方法之一,主要用于深脱氧、脱硫、微调钢水成分及改善夹杂物形态。

3.9

射频识别 radiofrequencyidentification

使用电磁耦合或感应耦合,通过各种调制和编码方案,与电子标签进行双方向通信,并读取电子标签信息。

3.10

电子标签 RF tag

用于物体或物品标识、具有信息存储机制的、能接收读写设备的电磁场调制信号并返回响应信号的数据载体。

3.11

数据采集 data collection

将传感器、变送器及其他物理信号源和各业务系统的数据源以某种方式对测到的量值进行数据存储、处理、显示、打印或记录，从中获取和收集各种模拟量。数字量、脉冲量、状态量等形态数据的技术。

3.12

数据库

按照数据结构来组织、存储和管理数据的建立在计算机存储设备上的仓库。简单来说是本身可视为电子化的文件柜—存储电子文件的处所，用户可以对文件中的数据进行新增、截取、更新、删除等操作。

3.13

数据通信 data communication

按照管理数据传输和协调交换的规则的集合，在功能单元之间进行的数据传送。

3.14

互联互通 intercommunication

通过有线、无线等通信技术，实现机器之间、机器与控制系统之间、企业之间相互连接的功能。

3.15

5G The 5th Generation Mobile Communication Technology

第五代移动通信技术，简称5G。

3.16

工业互联网 Industry Internet

工业互联网是满足工业智能化发展需求，具有低时延、高可靠、广覆盖特点的关键网络基础设施，是新一代信息通信技术与先进制造业深度融合所形成的新兴业态与应用模式。

3.17

人工神经元网络 artificial neural network

由加权链路且权值可调整连接的基本处理元素的网络，通过把非线性函数作用到其输入值上使每个单元产生一个值，并把它传送给其他单元或把它表示成输出值。

3.18

制造执行系统（MES）manufacturing execution system

生产活动管理系统，该系统能启动、指导、响应并向生产管理人员报告在线、实时生产活动的情况。这个系统辅助执行制造订单的活动。

3.19

人机界面 human-machine interface

在操作人员与设备之间提供直接对话并能使操作人员控制与监视设备运行的设备部件。

1. 主要特征、目标及考核指标
   1. 主要特征

全自动化

以科学合理的生产操作规程及冶金质量控制技术为依据,低成本且精准的工艺模型为核心、计算机过程控制系统和运行可靠的基础自动化系统为基础，数据通讯与信息交换的安全快捷网络系统为纽带，借助在线监测系统，形成多位一体化综合控制系统，实现钢包到达精炼工位后，自动完成精炼的各种操作（定时、定量），即无人干预的全自动化操作。

数字化闭环的精益化控制

利用数字化模型指导生产操作与控制，并通过构建的多位一体化综合控制系统，形成精炼过程数字化闭环控制，提高生产过程稳定性和“窄窗口”控制产品质量的一致性。

模型化耦合与自优化

不同工艺模型相互关联，计算结果相互调用，耦合运行。建立基于精炼工艺参数的大数据平台，采用机器学习或神经网络等方法，使模型具有自学习功能，实现模型的自修正、自优化，确保模型运行的精准性。

数据化集成协同优化

全自动化操作既要实现相同层级之间工艺与模型的集成、控制系统单元与单元的集成、数据与数据的横向集成，又要实现工艺模型系统、基础自动化系统、在线分析和监测系统及数据传输系统的纵向集成。最终达到不同层级的整体集成与协同优化。所有冶炼数据、操作命令和信号通过网络数据形式传输和存储，相同层级之间及不同层级之间通过数据实现互联互通，避免人为影响，实现生产过程全自动数据化管控。

精炼过程安全化

应用钢包自动识别、氩气自动对接、测温取样机器人等自动化系统装备，通过现场和远程监控、自动化操作，使工人远离高温危险区域，提升安全水平。

* 1. 总体目标

以满足钢水成分、温度及产品洁净度窄窗控制的工艺模型为指导，完善的基础自动化系统及在线监测系统、计算机过程控制系统为基础，先进的网络通讯为纽带，建立LF精炼全自动化技术规范，形成生产高效、低成本、产品质量稳定等协同优化的LF精炼全自动化生产模式。

精益控制

将工艺模型与大数据挖掘相结合，保证工艺模型运行的精准可靠，通过先进的网络通讯，促使二级基础自动化系统准确执行工艺模型运行计算的相关结果，避免和减少人工对生产过程的干预，实现钢水成分、温度、洁净度的稳定化精益控制。

高效低耗

通过远程监控，依托工艺模型、自动化技术、智能装备、生产信息数据管理，实现高效决策、高效生产、高效操作、高效管理等全局生产效率的提高，提升产品质量，降低合金、电极等材料成本，降低供电等能量消耗。

* 1. 指标

（1） LF精炼过程的钢包车定位、钢包识别、氩气对接、测温取样、送样、出钢预脱氧、脱硫、喂线、合金成分调整、吹氩搅拌、渣成分调整、温度控制与预报、电极调节等操作，均实现无人化的自动控制。

（2） 自动化系统功能投用率在90%以上，实现基于模型控制及在线监测和远程控制功能。

（3） 实现钢液窄成分及温度控制，钢水成分命中率在95%以上、温度命中率90%以上。

（4）LF精炼炉冶炼电耗低于1.0kg/t、电极消耗低于35kwh/t。

1. 体系架构
   1. 总体要求

LF精炼全自动化操作技术规范包括监控与监测、自动决策和自动执行三个层面。

监控与监测。采用钢包内钢液面监控、钢包及包内物料称重等现场智能化装备，提高冶炼工艺精准化控制，同时，对精炼炉运行状态进行实时监控和预警，加强设备运行状态的监管和诊断，为精炼炉炼钢过程的稳定顺行提供保障。

自动决策。LF精炼全自动化体系以钢水质量，精炼效率、过程顺行、能量消耗和冶炼成本为中心，并与上下游工序相结合，统筹钢水条件、造渣原料条件、脱硫及脱氧、合金化要求、钢包状况、成本优化和在线分析监测结果等因素，基于精炼时序性，以工艺模型为依托，对精炼不同阶段所需加入的渣料量、脱氧剂及合金量、喂线量以及加热电极档位选择，进行自动决策。

自动执行。采用生产现场自动化装备技术，如通过人机界面自动控制，利用电子标签、射频识别和无线局域网技术进行钢包识别和钢包车定位，通过红外定位装置进行氩气管自动对接等。自动决策结果以数据形式传输给基础自动化系统执行相应操作。基础自动化操作结果也通过数据库反馈到各相关模型。模型计算结果与基础自动化的操作结果以及相应的操作都自动保存到操作记录中，以便查用。另外，通过精炼炉运行状态进行实时监控和预警，完成相关操作的自联锁与自解除。

* 1. 系统构成

LF精炼全自动化系统由计算机过程控制系统、基础自动化系统、在线分析与监测系统以及生产信息管理系统构成。

计算机过程控制系统

计算机过程控制系统集成物理参数、事件驱动及生产工艺，实现对生产过程的协调、组织、优化。它主要由能量平衡模型和冶金工艺模型系统构成，并经由生产信息管理系统提供信息数据支持。能量平衡模型包括智能温度预报模型、功率优化设定模型和电极智能调节模型。冶金工艺模型系统包括出钢脱氧预报模型、渣成分预报模型、吹氩搅拌模型、造渣模型、喂线模型、成分微调模型等。根据生产计划及实时冶炼数据调用不同控制模型计算得出最优化的冶炼过程数据，经生产信息管理系统的数据通信系统传递给基础自动化系统进行冶炼，并经由监测系统实时跟踪，实现冶炼过程的动态调节,达到质量成本最优、时间最短的全自动化冶炼的目的。

基础自动化系统

基础自动化系统包括：钢包车定位系统、底吹氩控制系统、加料（包括渣料和合金）控制系统、喂线控制系统、智能电极调节控制系统。这些系统协同作用，并通过数据通信，融合二级自动化控制系统与在线分析和监测系统，为顺序和闭环控制提供平台，满足自动化精准控制要求。

在线分析和监测系统

在线分析及监测系统包在线钢包液面监测系统，冷却水温度和滴漏监测报警系统、生产调度远程操作与监控系统等，在远程中央控制室即可实现现场设备运行状态的实时动态显示和动作控制。

生产信息管理系统

LF精炼生产信息管理系统主要包括网络配置系统、网络数据通信系统、生产跟踪及物流跟踪系统。网络配置系统包括外部系统网络、LF精炼炉二级系统网络、自动控制系统网络。网络数据通信系统包括与上级计算机系统通信完成作业计划及工艺参数和生产规程数据的接收以及实绩数据的反馈；与同级计算机系统通信接收化验室分析数据和收发EAF/BOF和VD/RH/CCM冶炼数据；时钟同步及网络连接状态在线监视；与智能调节器数据通信接收智能调节器计算数据和发送设定数据至智能调节器；与基础自动化系统通信收发本体PLC和加料PLC数据。生产跟踪及物流跟踪系统包括人机交互系统，以实现查询、修改生产作业计划、工艺参数、操作制度、手工数据录入和班组手动交接操作；管理支持系统以实现生产统计报表和生产实绩数据向上级管理计算机的发送、历史数据存储及查询及班组自动交接；操作支持系统用以实现当前及前后工位炉次炉次冶炼信息动态显示（钢水温度、成分等）、操作参数（炉料投入量、供电制度等）的显示预报等。最终实现数据信息的极速集成与共享，为LF精炼全自动化生产管控提供最佳数据通信方案。

* 1. 主要功能
     1. 温度在线预报与智能供电

考虑有效的输入能量（包括钢液自身热量、合金化学热、喂线化学热、成渣热、渣钢反应热、电极供热等）和损耗能量（包括加料能耗、废气能耗、冷却水能耗、吹氩搅拌能耗、钢包散热能耗等），建立机理模型、或用利用人工神经元网络技术建立反映钢水温度与各种非线性、时变因素间对应关系，或利用大数据挖掘的方法，建立钢液温度预报（控制）模型，实现温度实时更新预报。

根据冶炼工艺和生产节奏对钢液温度的要求，进行电极智能调节，合理的决策（弧压和弧流),在电弧功率满足工艺要求的情况下寻求最优功率设定点，实现电能输入的优化。

* + 1. 考虑成本的钢液成份微调

模型计算各种合金料用量时，必须考虑加入的所有合金对钢液量的影响，因为增加的那部分钢液也同样需要达到成份的要求。同时，在确定加入合金种类及数量时，考虑磷不超标且成本最优的因素，自动选择成本最优的合金加入。

* + 1. 最佳吹氩搅拌功率的选择

针对均匀钢液成份、温度和有利于脱氧、脱硫、去除非金属夹杂物的不同目的，采用不同的搅拌强度，提高钢液内部的传质、传热能力，促进渣、金之间的反应，加速钢、渣间物质的传递。

* + 1. 精炼渣成份的调整

具有调整渣成份和物化性能的功能，满足脱硫、夹杂物去除及塑性化控制的要求。

* + 1. 喂铝（钙）线控制

确定最佳喂速及喂入量。准确控制钢液中铝含量和钙含量，降低夹杂物含量、控制夹杂物的性态。

* + 1. 全自动集成控制

集冶炼过程不同环节的预报与控制模型于一体，考虑不同精炼工艺环节的时序性，从转炉出钢开始，在相应时刻调用相应模型执行相应预设操作，无需人工干预。模型的输入参数包括两部分，一部分是分析监测结果，一部分是前序模型的预报结果。一旦模型完成计算预报，计算结果将通过生产信息管理系统自动存储，并通过数据通信传递给基础自动化系统，基础自动化系统执行相应计算结果，执行完毕，进入下一精炼环节。

1. LF精炼全自动化建设要求

工艺模型化

LF精炼全自动化的冶金模型包括出钢脱氧及渣成份预报模型、吹氩搅拌模型、造渣模型、喂线模型、钢液成分微调模型。能量平衡模型包括钢液温度预报模型、电极功率优化及智能调节模型。所有工艺操作实现模型化控制，由工艺模型根据采集的数据精确计算相应结果，触发基础自动化系统执行相关的操作。

装备自动化

LF精炼现场采用钢包车自动定位装置、钢包自动识别装置、氩气自动对接装置、智能测温取样机器人、自动送样装置等自动执行装备，满足适应LF精炼过程的钢包车定位、钢包识别、氩气对接、测温取样、送样自动执行。自动执行设备接口支持多种互联协议，利用工业互联网平台实现远程诊断及运维。

LF精炼现场宜通过可视化和远程监控统对设备运行状态和运行参数进行实时监控、智能诊断和预警，保证设备的稳定顺行。

操作自动化

LF精炼操作包括：氩气流量（压力）调节、电极加热功率调节、喂线（铝、钙）、合金及造渣料加入、测温取样等，均实现自动化，提高效率，降低工人劳动强度。

控制精准化

LF精炼全自动化采用精准的工艺模型，通过装备自动化和操作自动化水平的提升，提高吹氩、加渣料及合金料、喂线、电极升降、升降温速度、测温取样位置等工序环节的控制精度和稳定化程度，提高产品质量，减少人为粗放操作的差异，保证产品性能一致性。

生产高效化

宜采用工业互联网、5G通讯等创新通信技术将基础自动化系统、过程控制系统、在线分析和监测系统以及转炉和连铸系统、分析化验系统、制造执行系统互联互通，实现数据高效传输，决策高效发布和执行。

过程可视化

建设一体化远程管控平台，对LF精炼炉生产情况进行远程监控，在三维平台上 实时动态显示、控制和预警现场各设备、仪表的运行状态。同时还可以查看历史画面，追溯已完成的生产过程数据。一级条内容。