

DOI:10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20210361

高效低成本洁净钢生产实践探索

杨春政

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 河北 唐山 063210)

摘要: 首钢京唐钢铁厂基于新一代钢铁流程动态有序、协同连续的设计理念,通过优化高炉出铁工艺、铁钢界面系统开发实现铁钢界面智能化管控,结合专线化、快节奏生产组织及低温出钢技术,辅以板坯库管理优化和铸轧一体化,成功实现了洁净钢的高效低成本生产。实践表明,构建简捷顺畅的流程网络是实现物质流高效快捷流动、能量流最小耗散、信息流全面贯通的基础,先进的铁水预处理、转炉冶炼、二次精炼、高效连铸技术是构建洁净钢平台的支撑性技术,专线化生产运行是实现高效、低成本、批量稳定生产最有效途径。

关键词: 洁净钢; 高效低成本; 铁钢界面; 钢轧界面; 专线化

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2021)08-0020-06

Practice and exploration of clean steel production with high efficiency and low cost

YANG Chun-zheng

(Shougang Jingtang United Iron and Steel Co., Ltd., Tangshan 063210, Hebei, China)

Abstract: Shougang Jingtang United Iron and Steel plant is constructed based on the new generation steel manufacturing process. The design concept is dynamic-orderly and coordinated consistent. With the optimization of the art of BF tapping and the system development of BF tapping-KR pretreatment connecting interface, the intelligent control is accomplished. Combined with the special line and fast rhythm production and BOF low-temperature tapping technology and supplemented with the slab yard optimization and casting-rolling integration, the clean steel production with high efficiency and low cost is achieved. The result shows that the constructor of briefness and smooth process network is the basis for high efficiency material flow and the least dissipation of energy flow and also the implement of the overall throughout of information flow. Advanced hot metal pretreatment, converter end-point control, secondary refining and high-speed casting are supportive technologies to construct the clean steel production platform. In addition, the special line production is the most effective way.

Key words: clean steel; high efficiency and low cost; BF tapping-KR pretreatment interface system; casting-rolling interface; dedicated production

高效低成本生产洁净钢是钢铁工作者的不懈追求。在当前“碳达峰、碳中和”的大背景下,既有钢铁厂通过工艺技术创新、工序界面优化,实现生产效率提升、成本降低、产品质量性能提高,是实现钢铁厂碳减排的“快赢”机会^[1-2]。首钢京唐钢铁公司定位于高端精品板材生产基地,近年来汽车板、镀锡板等高端品种日益增量,实现高效低成本生产洁净钢,提高企业的盈利能力^[3-6]。围绕炼铁-炼钢、炼钢-热轧界面间物质流、能量流、信息流高效快捷传输^[7-9]及洁净钢高效低成本冶炼浇铸技术持续开展研发,逐步探索创新,形成了一套首钢京唐自主知识产权的洁净钢生产工艺技术,建立了高效低成本洁净钢生

产技术平台,创造了显著的经济和社会效益,对促进中国钢铁工业整体工艺技术水平提高具有重要意义。

1 洁净钢生产平台构建

1.1 新一代钢铁流程

首钢京唐钢铁厂建设基于新一代钢铁流程的设计理念,以《冶金流程工程学》理论为指导,实现钢铁厂物质流、能量流、信息流“动态有序、协同连续”运行为原则,采用一系列先进钢铁生产技术、节能环保技术、资源循环利用技术,实现钢铁厂低成本钢铁产品制造、能源转换、废弃物利用3大功能。

采用“2+1+2”的流程结构,建设2座5 500 m³大型高炉、1个大型转炉炼钢厂和2条热连轧生产线以及相应的冷轧、涂镀生产线,全流程按年产970万t精品钢能力配置。钢铁厂总图布置呈“一”字型,充分体现了新一代钢铁厂制造流程动态运行的先进理念,物流短捷顺畅,工序衔接紧密。各生产工序之间、工序内部设备设施之间,在满足物料传输要求的前提下,尽量紧凑布置,缩短物料传输距离,使物质流传输时间最短、能量流耗散损失最少、信息流传递快速通畅。包括原料及成品码头、原料场在内钢铁厂吨钢占地为0.9 m²[10]。

1.2 炼钢厂关键界面技术优化

构建高效低成本洁净钢平台必须在对炼钢厂整体工艺布局优化的基础上,充分考虑炼铁-炼钢界面及炼钢-热轧界面衔接技术的优化。铁钢界面衔接采用铁水罐“多功能化”技术,取消了混铁炉、鱼雷罐车以及炼钢厂内的倒罐站;炼钢-热轧界面衔接技术是通过辊道实现铸坯“红送”,最大限度地减少厂内天车运输。炼钢厂内部总图布置以“铁素流”为中心,优化流程路径,以物料运输连续、顺畅、不落地、不折返为目标,最大限度地规范并缩短铁素流流动路径,减少物流作业的交叉干扰,构建了钢铁制造流程“动态有序、协同连续”运行的基础构架——静态网络结构。

1.3 二期一步工程建设思路

二期一步工程以“盘活存量资产、优化品种结构、降低运营成本、增强企业竞争力”为出发点,以高炉大比例球团、多模式全连续铸轧(MCCR)等世界领先技术为支撑,实现一、二期高效协同的新生产格局。

新建了2台500 m²球团带式焙烧机、2座70孔7.63 m焦炉、1座5 500 m³高炉、1个200 t转炉炼钢厂、1条MCCR多模式全连续铸轧生产线、4 300和3 500 mm中厚板轧机各1套,以及后续相配套的产品深加工产线及相应公辅设施。

新建3号高炉与第二炼钢厂之间的界面衔接仍采用铁水罐“多功能化”技术,新200 t铁水罐与一期300 t铁水罐共用运输车,大大增强了生产组织的灵活性。全量铁水KR法深脱硫,为洁净钢生产奠定了坚实基础。MCCR产线是世界首条多模式全连续铸轧生产线,它从本质上简化了铸机与轧机之间的衔接-连通功能,实现了铸轧一体化生产,年生产能力达210万t。二期一步工程于2019年6月建成投产,京唐钢铁公司的制造流程体系结构也随

之发生了变化。

2 新流程体系炼铁-炼钢界面智能化管控

2.1 炼铁-炼钢界面功能变化

二期工程投产后,铁钢界面承接铁水、运输铁水、储存铁水、脱硫扒渣、铁水保温、铁水称量、铁水罐周转7大功能中,其中6大功能发生较大变化,这些变化使界面“物质流、能量流、信息流”管控变得更加复杂。此外,3座5 500 m³高炉供应2个炼钢厂铁水,二炼钢厂2台中厚板铸机及1条MCCR薄板坯连铸连轧产线,生产节奏及对铁水质量要求均与一炼钢厂有显著差异,铁水分配、铁包周转管控难度增加。

2.2 炼铁-炼钢界面管控目标

炼铁-炼钢界面管控围绕5大目标。(1)铁水罐承接铁水±0.5 t装准率不小于95%;(2)铁水罐承接完铁水至运输到炼钢厂的时间小于40 min;(3)铁水温降(高炉铁沟铁水温度-铁水罐到脱硫站铁水温度)小于110℃;(4)铁水罐周转次数不小于4.5次/d;(5)脱硫后铁水 $\omega(S) \leq 0.003\%$ 比例大于95%。

2.3 高炉出铁工艺优化

制约铁水罐周转的主要因素之一是高炉每次出铁3.2~3.5罐,约35%的铁水罐需二次出铁。因此,对高炉出铁工艺进行优化:(1)通过调整材质,优化高炉炮泥性能,解决了开铁口困难的问题,高炉日均出铁次数由13次减少到10次,铁水罐二次出铁比例由35%降低到28%。(2)组织尾罐转场出铁,缩短二次出铁等待时间,减少二次出铁温降20℃。

2.4 炼铁-炼钢界面智能管控系统

智能管控系统通过对炼铁-炼钢界面运行参数的全面感知,以1号、2号高炉为一炼钢厂供应铁水,3号高炉为二炼钢供应铁水,减少交叉物流,实现物质流层流运行为优先原则;以减少“在途铁”、缩短等待时间、加快铁罐周转为基本原则,根据2个炼钢厂铁水需求、高炉出铁状态、铁罐周转状态以及机车运行状态等多因素,应用排队论智能决策铁水调配,自动规划运输路径,通过智能管控系统与铁路微机联锁系统交互通讯,实现对炼铁-炼钢界面运行决策的精准执行,新流程体系炼铁-炼钢界面如图1所示。

2.5 铁水罐自动热检系统开发

铁水罐作为炼铁-炼钢界面物质流、能量流传输

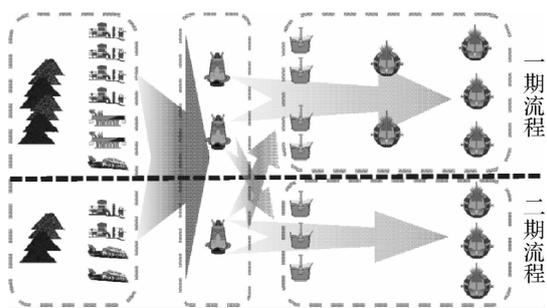
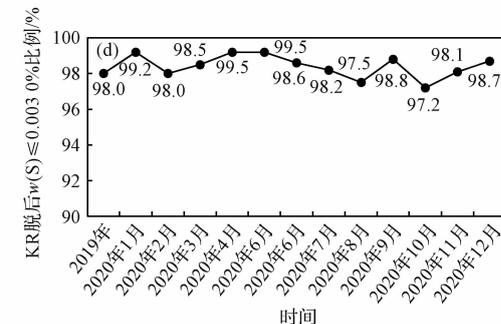
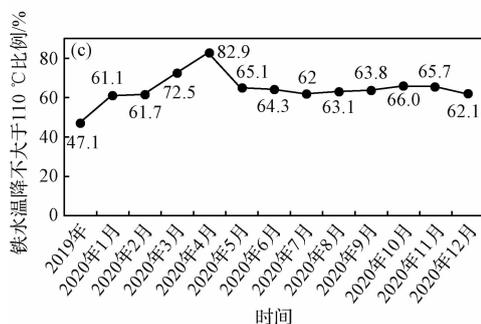
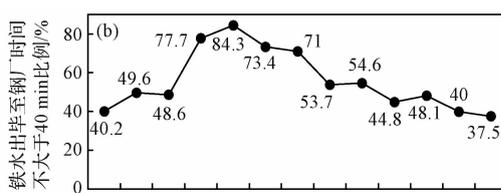
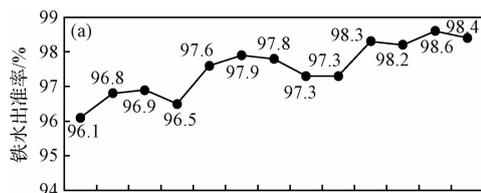


图 1 新流程体系炼铁-炼钢界面管控示意图

Fig. 1 Schematic of hotmetal-steel interface under new process

的重要载体,其使用安全对界面平稳运行起着至关重要的作用,铁水罐自动化热检系统开发是对铁水罐运行安全实施有效监测的重要手段。铁水罐自动化热检系统集成了红外热像技术、激光测厚技术、高



(a) 铁水出准率; (b) 铁水出毕运至炼钢厂时间不大于 40 min 比例;
(c) 铁水温降不大于 110 °C 比例; (d) KR 脱后 $w(S) \leq 0.003 0\%$ 比例。

图 2 铁钢界面管控目标

Fig. 2 Key indexes of hot metal-steel interface

3 低温高效洁净钢生产实践

一炼钢厂通过采用专线化生产、快速冶炼、高效精炼、提升钢包保温效果、高拉速连铸等一系列措施实现高效快节奏生产,使生产过程钢水温降损失不断减少,转炉出钢温度持续下降。通过全程控时、全程控温、全程控氧,不断提升高效低成本洁净钢平台的运行质量。为化解二期投产初期阶段性铁钢不平衡创造了有利条件。

3.1 专线化生产

专线化生产组织原则:以铸机为中心、品种质量优先、物流短捷顺畅、生产流程高效。见表 1。

温照相技术及天车智能控制技术,并依此开发铁水罐热检管控系统软件包,实现对铁水罐全自动在线热检。

2.6 新流程体系炼铁-炼钢界面的运行实绩

通过开发应用铁水罐智能化管控系统,对炼铁-炼钢界面铁水罐进行精准调度,铁水罐在等待接铁、重罐运输、空罐组对返回等环节的周转时间比二期投产初期明显缩短,一炼钢厂铁水罐周转率为 4.4 次/d,二炼钢厂铁水罐周转率为 4.9 次/d。2020 年铁钢界面的重点管控指标也有不同程度提升,在 2020 年 3—5 月,由于 1 座高炉停产检修,铁水供应不足,运输采用“一罐一拉”,使铁水重罐运输时间明显缩短,铁水温度降减少。一炼钢厂炼铁-炼钢界面重点管控指标如图 2 所示。

3.2 高效快节奏生产组织

提高供氧强度,缩短吹炼周期。开发双角度大流量氧枪喷头,转炉供氧强度由 3.22 提高到 3.60 $\text{m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ (标准态),吹炼周期缩短 1.1 min,炉渣 $w(\text{TFe})$ 降低 2.1%。相关工艺参数优化见表 2。

扩大出钢口尺寸,缩短出钢时间。转炉采用滑板挡渣出钢后,在保证滑板寿命的前提下,扩大出钢口内径增加通钢量,优化后出钢口增加 10~20 mm,滑板寿命达到 18 炉。170~190 型出钢口出钢时间缩短 0.67 min,出钢温降减少 2.74 °C。180~190 型出钢口出钢时间缩短 0.81 min,出钢温降减少 4.52 °C。

表 1 各品种专线化生产一览表

Table 1 Schematic of special line production for different steel grades

铸机	精炼工艺	品种分类	备注
1号 CC	RH	汽车板(镀锌、连退、铝镁外板)、普通低碳钢	具备在线火焰清理条件, 配备倒角结晶器, 断面大于 1 400 mm 的钢种, 优先安排在 1 号、2 号铸机生产
2号 CC	LF/RH	管线、车轮、裂纹敏感	
3号 CC	RH/CAS	低碳马口铁、低碳钢、集装箱	断面不大于 1 400 mm 的钢种优先安排在 3 号、4 号铸机生产。
4号 CC	RH/CAS/LF	DP 钢、包晶、低碳马口铁、集装箱	

表 2 转炉吹炼工艺参数优化

Table 2 Parameter optimization of converter smelting

指标	原参数	优化参数
总体平均混匀时间/s	48.82	46.1
总体平均冲击深度/m	0.512	0.521
总体平均冲击面积/m ²	0.305	0.302
马赫数	2.1	2.1
喷孔夹角/(°)	16	16

优化护炉工艺, 缩短溅渣时间。通过调整终点降枪时间, 降低终渣 TFe 含量; 调整终渣 MgO 含量, 减少留渣量, 控制溅渣料加入量, 常规炉次溅渣时间缩短 1.6 min。

优化精炼工艺, 缩短精炼周期。优化精炼工艺, 通过预抽真空、优化提升气量、开发脱碳模型、优化喷补工艺及料粒径配比, 使 RH 精炼周期大幅度缩短, 部分钢种实现 RH 单工位生产。IF 钢真空处理时间由优化前的 33 降至 23 min。

提高连铸拉速, 缩短浇钢周期。通过开发中间包冶金技术、结晶器液面稳定控制技术、结晶器流场控制技术、高拉速漏钢预报系统、高拉速连铸保护渣等系列技术, 实现连铸拉速的稳步提升, 超低碳钢拉速稳定在 2.0 m/min 以上, 最高达到 2.5 m/min, 连铸炉次浇铸周期进一步缩短, 低碳钢浇铸时间由 42.4 降至 38 min/炉, 超低碳钢浇铸时间由 44.2 降至 38 min/炉^[11]。

3.3 低温出钢

优化精炼工艺, 提高连铸拉速, 使精炼周期和浇钢周期大幅缩短; 高效化生产组织, 压缩工序间隔时间, 实现了全流程高效化, 高水平炉机匹配, 有效降低了过程能量损失。

钢包全程加盖技术。采用全新四插齿结构, 运行更平稳; 通过优化钢包盖耐火材料材质及规范操作, 钢包盖使用寿命已达 3 000 次。钢包加盖后转炉出钢前钢包内壁温度较未加盖钢包平均升高

218 ℃。

钢包纳米绝热层技术。将绝热层由耐火纤维板替换为纳米绝热板, 厚度减少 13 mm, 钢包内钢水温降速率将从 0.40 降至 0.37 ℃/min。

钢包一体化管理系统。建立了钢包信息动态跟踪、生产计划和钢包信息动态配包, 掌握钢包周转过程的真实状态和精确位置信息, 做到按需合理选用钢包, 实现按照生产计划和产品品种要求进行精确配包, 确保钢水质量稳定。

得益于上述措施的实施, 转炉平均出钢温度持续下降, 全品种月度平均出钢温度由 2016 年的 1 676 ℃降低至 2020 年的 1 647 ℃^[12]。

3.4 低氧位控制

通过优化氧枪参数、吹炼过程枪位、留渣溅渣工艺; 优化底吹枪布置, 提高底吹供气强度 (0.19 m³/(t·min)(标准态)); 研究“气-渣-金”三相流动规律及转炉熔池及炉底侵蚀规律; 强化炉况维护, 实现全炉役复吹等系列措施, 实现转炉全炉役平均碳氧积逐年下降, 如图 3 所示。

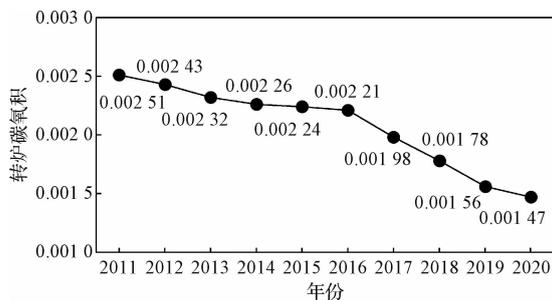


图 3 转炉碳氧积降低趋势

Fig. 3 Decrease of carbon and oxygen product

通过转炉低氧控制技术、钢包顶渣改质技术、RH 技术、中间包预吹氩、密封浇铸技术及保护渣性能优化, 实现了全流程低氧控制, 钢水洁净度不断提高, 超低碳钢中间包 $\omega(T[O])$ 由 0.002 8% 降低至 0.001 5%, 水口堵塞率由 6% 降低至 1.04%^[13]。

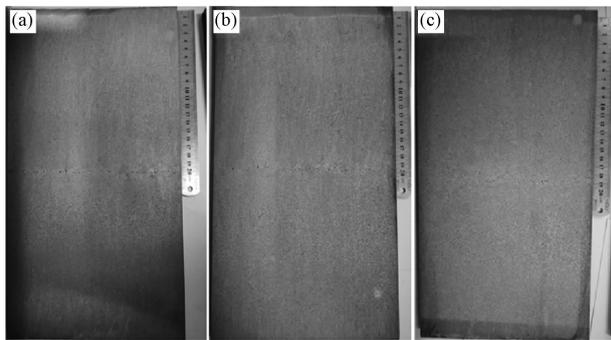
4 炼钢-热轧界面技术优化提升与创新

4.1 优化连铸工艺

倒角结晶器技术的应用,实现了微合金化钢无缺陷连铸坯的高效化生产,铸坯角横裂率实现了不大于 0.5%,质检下线比例由 26%降低至 8%,板坯检验时间由原来的平均 28 h 缩短至 3.4 h。采用二次倒角装置,消除了板材边直裂缺陷。

采用铸坯在线表面质量检查仪,动态监测铸坯表面质量,板坯缺陷自动报警,划伤、纵裂、毛刺、结疤、异物压入等缺陷检出率达到 97.17%、缺陷误检率 1.76%。

在二炼钢厂 1 号 400 mm 厚板坯铸机开发应用铸坯大压下技术,利用铸坯凝固末端逆向温度场实施大压下,减轻乃至消除连铸坯的中心疏松和缩孔,提高铸坯芯部组织致密度,如图 4 所示。轧制 150~200 mm 特厚板 Z 向性能提高 35%~60%,实现低轧制压缩比稳定生产高质量厚板和特厚板。



(a) 压下量为 0 mm; (b) 压下量为 10 mm; (c) 压下量为 20 mm。

图 4 400 mm 厚 Q345B 连铸坯不同压下量时低倍组织

Fig. 4 Macrostructures of 400 mm Q345B under different soft reduction amounts

针对高级别汽车板用钢采用火焰机清,通过设备改造和工艺优化,亮面率由 0 逐步提高至 90%以上,板坯检验时间由原来的平均 32 h 缩短至 14 h。

4.2 炼钢-热轧界面“三流”动态管控

产销一体化管控系统。通过实现炼钢热轧一体化排程,板坯带订单生产,从炼钢 KR 脱硫工序开始实现计划管理,按照合同组织生产;通过开展板坯垛位优化提升板坯上料能力。通过炼钢-热轧界面“信息流”全面贯通,实现了“物质流”高效协同运行。

板坯库低库存运行。采用板坯库自动仓储信息系统,实时账物相符率 100%;逻辑分区替代物理分区,提高垛位利用率;建立垛位推荐模型和上料优化

模型,减少无效倒垛,提高天车有效作业率。通过开展规范材料处置流程,板坯库存稳定在 6 万 t 水平。推进整炉评审、优化板坯判定、以优充次规则、拓展板坯消化渠道,板坯余材降至 3 万 t 以内。

提升板坯热送热装率。通过开展板坯缺陷攻关、大辊期轧制、降低出钢温度、重难点订单全天候轧制等措施,有效减少能量耗散,热轧综合热装率保持在 53%以上,烧损率降至 1.04%。

不断提升轧钢系统能力,提升后道工序的“拉力”。通过优化板坯上料组织、提高板坯热装直装比例、推进低温出钢、热装全线程序连锁优化、增加中间坯冷却设备、自主开发精轧防压钢和防追尾控制程序等措施,热轧小时卷数持续提高,在板坯充足、4 炉生产时最高机时卷数达到 34 卷/h,2 条热轧产线具备年产 1 100 万 t 热轧卷的生产能力。

4.3 薄板坯连铸铸轧一体化

京唐二期一步工程建成的 MCCR 产线全长 288 m,年设计产能 210 万 t,产品厚度为 0.8~12.7 mm,宽度为 900~1 600 mm,MCCR 产线连铸-热轧界面采用隧道式均热炉作为衔接和缓冲,产线具有无头轧制、倍尺多卷轧制、单坯轧制 3 种生产模式,增加了连铸和轧机之间缓冲,可实现连铸不停浇换辊,连铸头尾坯可以轧制成卷,提高金属收得率 1%以上,铸坯温度均匀,提高带钢边部质量,适合生产微合金钢。使连铸-热轧界面从流程中的主界面转变成了“亚界面”。在无头轧制模式下,实现连铸和热轧间物质流、能量流、信息流的无缝衔接,实现“铸轧一体化”全连续生产。相比常规 1580 热连轧产线,MCCR 产线具有产线短、拉速高、能耗低的特点。

5 结论

(1)构建简捷顺畅的流程网络是实现物质流高效快捷流动、能量流最小耗散、信息流全面贯通的基础;其空间结构和工序间衔接界面应避免过度缓冲和冗余,最大限度地减少“耗散”。

(2)先进的铁水预处理、转炉冶炼、二次精炼、高效连铸技术是构建洁净钢平台的基础支撑性技术,必须做到“精益求精”。

(3)动态-有序、协同-连续是高质量运行洁净钢平台根本遵循,是高效低成本生产钢铁产品,实现产品品牌化的必由之路。

(4)采取专线化生产运行,是实现高效、低成本、批量稳定生产最有效途径,不应使一条作业线品种

“全覆盖”、“万能化”。

参考文献:

- [1] 李新创, 李冰, 霍咚梅, 等. 推进中国钢铁行业低碳发展的碳排放标准思考[J]. 中国冶金, 2021, 31(6): 1. (LI Xinchuang, LI Bing, HUO Dong-mei, et al. Concerns on drafting carbon emission standard for improvement of China's iron and steel industry with sustainable development[J]. China Metallurgy, 2021, 31(6): 1.)
- [2] 张福明, 银光宇, 李欣. 现代高炉高温关键技术问题的认识与研究[J]. 中国冶金, 2020, 30(12): 1. (ZHANG Fuming, YIN Guang-yu, LI Xin. Research and cognition on key technical problems of high blast temperature for modern blast furnace[J]. China Metallurgy, 2020, 30(12): 1.)
- [3] 殷瑞钰. 高效率、低成本洁净钢“制造平台”集成技术及其动态运行[J]. 钢铁, 2012, 47(1): 1. (YIN Rui-yu. Integration technology of high efficiency and low cost clean steel "Production Platform" and its dynamic operation[J]. Iron and Steel, 2012, 47(1): 1.)
- [4] 钱宏智, 胡丕俊, 邱成国, 等. 基于洁净钢制造平台的智能控制系统[J]. 冶金自动化, 2013, 37(4): 1. (QIAN Hong-zhi, HU Pi-jun, QIU Cheng-guo. Intelligent control system based on clean steel production platform[J]. Metallurgical Industry Automation, 2013, 37(4): 1.)
- [5] 罗伯钢, 张丙龙, 袁天祥. 低成本高效洁净钢体系生产实践[J]. 中国冶金, 2012, 22(11): 30. (LUO Bo-gang, ZHANG Bing-long, YUAN Tian-xiang. Practice of cleaning steel production by low cost and high efficiency[J]. China Metallurgy, 2012, 22(11): 30.)
- [6] 单庆林, 赵长亮, 景财良, 等. 高效率、低成本洁净钢生产技术集成与生产实践[C]//第十八届(2014年)全国炼钢学术会议论文集. 北京: 中国金属学会炼钢分会, 2014: 6. (SHAN Qing-lin, ZHAO Chang-liang, JING Cai-liang, et al. High efficiency, low cost clean steel production technology integration

and practice[C]//Proceedings of the 18th (2014) National Steelmaking Academic Conference. Beijing: Steelmaking Branch of the Chinese Society for Metals, 2014: 6)

- [7] 刘浏. 洁净钢冶炼, 向高效化、经济化发展[N]. 中国冶金报, 2011-12-29(B03). (LIU Liu. Clean steel smelting, high efficiency and economic development[N]. China Metallurgy, 2011-12-29(B03).)
- [8] 刘浏. 如何建立高效低成本洁净钢平台[J]. 钢铁, 2010, 45(1): 1. (LIU Liu. How to build a clean steel platform with high efficiency and low cost[J]. Iron and Steel, 2010, 45(1): 1.)
- [9] 邓帅. 首钢京唐“全三脱”炼钢过程铁素物质流调控的应用基础研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2020. (DENG Shuai. Basic Study on the Regulation of Ferruginous Mass Flow in the De[S]-De[Si]/De[P] Pretreatment of Shougang Jingtang's Steelmaking Process[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2020.)
- [10] 杨春政. 新一代钢铁流程运行实践[J]. 钢铁, 2014, 49(7): 30. (YANG Chun-zheng. Operation practice of the new steel production process[J]. Iron and Steel, 2014, 49(7): 30.)
- [11] 陈凌峰, 赵长亮, 邓小旋, 等. 首钢京唐板坯连铸技术的进步[J]. 世界金属导报, 2020-04-21(B03). (CHEN Ling-feng, ZHAO Chang-liang, DENG Xiao-xuan, et al. Progress of slab continuous casting technology in Shougang Jingtang [J]. World Metal Bulletin, 2020-04-21(B03).)
- [12] 赵长亮, 孟德伟, 王雷川, 等. 降低转炉出钢温度生产实践[J]. 炼钢, 2018, 34(5): 26. (ZHAO Chang-liang, MENG De-wei, WANG Lei-chuan, et al. Production practice of reducing tapping temperature of converter[J]. Steelmaking, 2018, 34(5): 26.)
- [13] 蒋鹏, 何文远, 乔焕山, 等. 汽车外板连铸结晶器流场与 SEN 出口形状优化[J]. 炼钢, 2020, 36(1): 34. (JIANG Peng, HE Wen-yuan, QIAO Huan-shan, et al. Optimization of mold flow field and SEN outlet shape for automobile outer plate continuous casting[J]. Steelmaking, 2020, 36(1): 34.)

作者简介



杨春政 现任首钢副总工程师、首钢京唐副总经理。长期从事钢铁冶金生产工艺技术研发与管理, 参与主持首钢京唐一、二期等重大工程项目建设; 在炼钢、连铸、薄板坯连铸连轧等专业领域创新成果在行业具有引领作用。获国家科技进步二等奖两项, 冶金科技进步一等奖三项。