

DOI:10.13228/j.boyuan.issn1005-4006.20200092

80 t 转炉提高废钢比的生产实践与炉况维护

金 磊¹, 司 宇², 栗克建²

(1. 日照钢铁有限公司型材制造部, 山东 日照 276806; 2. 重庆科技学院冶金与材料工程学院, 重庆 401331)

摘 要: 转炉炼钢的主要原材料为废钢和铁水, 由于国内外铁矿资源和优质焦煤资源的不断消耗以及节能减排的要求愈发严格, 导致高炉铁水的生产成本提高, 而废钢价格逐渐降低, 故通过提高废钢比, 降低铁水消耗量, 以实现降低转炉炼钢消耗成本的目的。废钢提量后采用新的氧枪枪位控制、灵活加入轻烧白云石和石灰两种辅料、采用无烟煤作为热源提高转炉前期温度等方式后, 钢厂最高吃废钢 250 kg/t, 平均出钢量为 83.5 t, 炉龄控制在 14 000~17 000 炉。

关键词: 废钢比; 转炉炼钢; 炼钢操作; 护炉工艺; 生产实践

文献标志码: A **文章编号:** 1005-4006(2021)01-0021-05

Production practice and furnace condition maintenance of 80 t converter to increase scrap ratio

JIN Lei¹, SI Yu², LI Ke-jian²

(1. Profiles Materials Manufacturing Department Rizhao Steel Co., Ltd., Rizhao 276806, Shandong, China; 2. School of Metallurgy and Materials Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China)

Abstract: Main raw materials for converter steelmaking are scrap steel and molten iron. Due to the continuous consumption of domestic and foreign iron ore resources and high-quality coking coal resources, as well as the increasingly stringent requirements for energy conservation and emission reduction, the production cost of molten iron in blast furnaces has increased, while the price of scrap has gradually decreased. Increase the scrap ratio and reduce the consumption of molten iron to reduce the cost of converter steelmaking. After the scrap steel is increased, the new oxygen lance position control, the flexible addition of light-burned dolomite and lime two auxiliary materials, and the use of anthracite as the heat source to increase the temperature of the converter in the early stage, the steel mill eats up to 250 kg/t of scrap, and the average tapping volume is 83.5 t, and the furnace age is controlled between 14 000 and 17 000 furnaces.

Key words: scrap ratio; converter steelmaking; steelmaking operation; furnace protect process; production practice

转炉炼钢在中国大部分炼钢企业中是不可或缺的环节, 转炉炼钢是一种长流程炼钢方法, 它的主要原料为高炉冶炼的液态铁水、废钢。近年来对于转炉炼钢中废钢的利用^[1]关注度很高, 根据中国废钢铁应用协会的统计, 2019 上半年全国废钢铁资源产生总量为 1.16 亿 t, 同比增加 1 300 多万 t, 增幅 11.2%。钢铁企业自产废钢 0.27 亿 t, 占总量的 23%; 社会采购废钢 0.89 亿 t, 占总量的 77%^[2]。由于国内外的铁矿资源不断消耗导致铁矿石价格增长, 同时国家对绿色环保要求更加严格, 一方面造成铁水生产成本的提高, 另一方面, 在铁水单耗高的情况下, 热量富余, 为了平衡热量需要加入矿石, 导致转炉炼钢成本升高。而废钢价格逐渐降

低, 目前废钢价格为 2 000~2 400 元/t。同时, 中国钢铁产业粗钢产量远远大于废钢消耗量, 导致了国内钢铁产业废钢比逐年下降, 远低于世界平均水平, 预测未来国内废钢资源充足, 这会大大减少钢铁企业对进口矿石的依赖, 使中国钢铁产业的废钢比大大提高, 并鼓励国内钢厂多吃废钢^[2-3]。对此, 许多钢厂为了增加经济效益和积极响应国家号召, 选择减少转炉过程中矿石的用量, 多吃废钢。

国内对于转炉炼钢中废钢的提量进行了很多研究^[4-9], 如使用动力煤作为热源提高转炉前期温度能够使 50 t 转炉废钢比提升 6%~7%。不过当转炉炼钢吃废钢多时容易出现冒烟、卡斗等问题, 这些问题需要通过对废钢质量以及合理控制各类料型装入量

基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究资助项目(KJQN201901515); 重庆市高校创新研究群体资助项目(CXQT19031)

作者简介: 金 磊(1984—), 男, 大专, 助理工程师; **E-mail:** 270676642@qq.com; **收稿日期:** 2020-08-03

通讯作者: 栗克建(1988—), 男, 博士, 高级工程师; **E-mail:** likejiann@126.com

的配比来解决^[10-11];废钢比的提高对转炉炉衬维护带来巨大压力^[12],主要是因为提高废钢比后溅渣护炉的效果变差。

在中国钢铁产业提高废钢比这一趋势下,国内大部分钢铁厂进行废钢提量操作,本文依靠钢厂实际生产,介绍了废钢提量后的转炉操作过程,对于一些生产问题提出了解决方式,对转炉炼钢生产实践具有一定的指导意义。

1 转炉炼钢工艺过程

1.1 转炉工艺条件

钢厂转炉工艺条件见表 1。

表 1 转炉工艺条件	
Table 1 Converter process conditions	
工艺条件	工艺参量
公称吨位/t	80
平均出钢量/t	83.5
冶炼周期/min	22
纯供氧时间/min	10.0~11.5
冶炼钢种	HRB400E11、Q235、Q355B-7
日产出钢量/t	9 000~11 000(两炉座)
出钢温度/℃	1 610 左右

1.2 各个环节参数控制

1.2.1 装入量及辅料消耗

炉容比为 0.81~0.87 m³/t;装入制度为分阶段定量装入,装入量为(90±1) t。

本钢厂采用石灰和轻烧白云石两种辅料,其 2020 年 1—6 月的消耗量见表 2。

表 2 近 6 个月辅料消耗量		
Table 2 Excipient consumption in last six months		
月份	石灰消耗量/(kg·t ⁻¹)	轻白消耗量/(kg·t ⁻¹)
1 月	23.89	16.4
2 月	21.70	17.4
3 月	22.30	17.0
4 月	22.80	15.7
5 月	22.60	14.1
6 月	23.50	13.5

1.2.2 供氧

供氧流量为 23 500 m³;供氧强度为 4.69 m³/(min·t);氧枪参数详见表 3。

表 4 80 t 转炉入炉铁水条件

Table 4 80 t converter molten iron condition						
项目	w(C)/%	w(Si)/%	w(P)/%	w(Mn)/%	w(S)/%	温度/℃
范围	4.46~4.63	0.26~0.34	0.10~0.12	0.32~0.49	0.02~0.03	1 287.1~1 319.8
均值	4.54	0.31	0.11	0.42	0.02	1 302.5

表 3 氧枪参数

Table 3 Oxygen lance parameters				
名称	型号	关键参数	单位	数量
氧枪头	φ245-4	出口 50.5 mm; 喉口 38.8 mm;角度 11.6°	个	2
外管	φ245	标准件	根	1

枪位控制:氧枪操作方式采用恒压变枪,因废钢提量后,为减小氧枪枪头损坏,采用高枪位点火,根据观察炉口火焰及化渣的状况来调节枪位,枪位变化曲线如图 1 所示,根据铁水条件及前期化渣、溢渣情况不同,分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3 种不同的操作模式,详细介绍见下文。

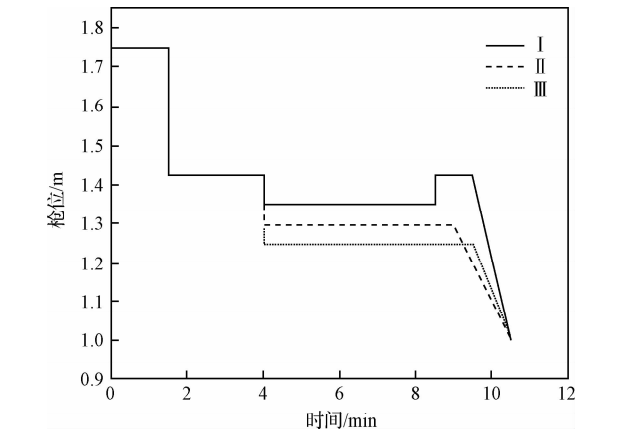


图 1 枪位变化曲线图

Fig. 1 Curves of gun position change

1.2.3 造渣

采用全留渣操作,由于终渣有较高的碱度、温度和一定的 TFe 含量,将其留在炉中有利于初期渣尽早形成,能有效地脱磷,并减少前期酸性渣对炉衬的侵蚀作用,对炉衬起到保护作用。同时全留渣操作能有效降低石灰消耗。

1.2.4 终点控制

终点出钢中碳质量分数为 0.05%~0.09%;出钢温度为 1 600~1 620 ℃,为尽可能多吃废钢,降低终点出钢温度低的问题,采取炉后精炼的方法,在该过程对成分进行微调,并控制温度。

1.2.5 铁水条件及废钢消耗

钢厂 2020 年 1—6 月的铁水成分、铁水温度、铁水消耗量、废钢消耗量见表 4 和表 5。

表 5 80 t 转炉近 6 个月铁水、废钢消耗量

Table 5 Hot metal and scrap consumption of 80 t converter in recent 6 months

月份	废钢消耗/(kg·t ⁻¹)	铁水消耗/(kg·t ⁻¹)
1 月	242.3	815.9
2 月	114.0	937.1
3 月	93.0	957.0
4 月	234.0	941.0
5 月	177.0	886.4
6 月	228.7	838.1

1.3 转炉工艺流程

转炉炼钢的工艺流程图如图 2 所示,本文对其做了详细的介绍,具体内容如下。

首先在上一炉次出钢后,进行挡渣操作;之后进行溅渣操作:为了护炉底,开氮气的同时加入下一炉次的头批料轻烧白云石溅渣,完毕后炉前倒炉铺大面,护大面;检查炉衬和倾动设备等并进行必要的修补和修理;装量:倾炉,加废钢、兑铁水,摇正炉体(至垂直位置);当准备工作完毕后,降枪开吹,开吹 1 min 左右开始加入头批料;约 3.5 min 后加入二批料头仓料,以平衡前期温度,4 min 左右根据炉内化渣情况,分批次加入二批料,随后根据铁水条件及前期化渣情况、溢渣情况调整枪位,这里大体有 3 种情况。

(1)若炉口表面无渣,炉口烟气大,过程枪位 1.35 m,至 7 min 未见明显起渣,8.5 min 时,枪位至 1.40~1.45 m 进行调查,当出渣后根据火焰状态逐步压枪。

(2)若炉口表面轻微有渣跳跃,火焰柔和,过程枪位约 1.30 m,至吹炼至 8 min 左右仍有渣跳跃,9 min 开始根据火焰状态进行压枪操作。

(3)若炉口表面有明显渣片跳跃,火焰柔和,且伸缩有弹性,过程压枪至 1.25 m 左右,吹炼至 8 min 炉口仍有活跃渣,9.5 min 左右开始根据火焰状态逐步压枪。

最终压枪位至 900~1 000 mm,压枪时间大于 30 s。倒炉,测温、取样,并确定补吹时间或出钢;采取炉外精炼的方式控制钢中元素含量。

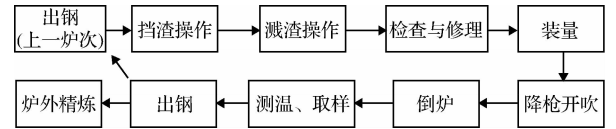


图 2 转炉炼钢工艺流程

Fig. 2 Process flow of converter steelmaking

2 废钢提量后转炉的侵蚀分析

2.1 高废钢比对转炉炉衬的影响及原因

在整个炉役期间,废钢使用量的提高以及相应的炼钢工艺的改变,导致对炉衬的侵蚀损坏方式、侵蚀部位都与提量前有所差异,这会对提高有效经济炉龄有所制约,因此有必要对其进行分析,找出原因并解决。

不利影响及原因有:

(1)转炉溅渣护炉的难度提升,提高废钢比后,为了确保终点温度达到合适的出钢温度,导致终点碳含量下降,终渣氧化性强,影响溅渣效果。

(2)补炉次数增加,导致转炉耐材消耗的增大,大大增加了经济消耗,这也与提高废钢比的初衷相反。

(3)废钢提量后,炉口维护变差,炉口及内侧涨的快,由于炉口口径小,导致加废钢时容易掉到渣道,影响当炉次钢铁料消耗,且加废钢的同时卡废钢次数增多,加废钢时间长,废钢掉入渣道重量只能预估,吹炼过程温度及终点温度不好控,影响终点成分及温度命中率,导致一倒率下降;严重影响炉前生产节奏及冶炼周期。

(4)由于铁水加入量的减少,造成 SiO₂、w(CaS)/w(CaSO₄)、Ca₃(PO₄)₂ 的生成量也相应地减少,而为了维持终渣碱度,加入的造渣料也应减少,这都造成了最终渣量的减少,而最终渣量的减少会使溅渣护炉时渣层的厚度变薄,溅渣护炉的效果变差。同时使出钢温度降低,导致终渣温度也低,这就造成炉渣易反干,影响其附着力。

(5)提高废钢比会使转炉前期炉温较低,导致石灰溶解慢,炉渣生成量低。而当氧气吹入熔池,使熔池中的硅氧化形成低碱度渣,和炉衬发生反应,从而侵蚀炉衬。

2.2 炼钢过程中的喷溅现象及其对炉衬的影响

研究表明转炉冶炼过程的喷溅,主要是由于炉渣中 FeO 含量过高,剧烈的 C-O 反应在瞬间产生具有巨大能量的 CO 气体而造成的。

吹炼前期,由于炉内温度低,容易产生低温泡沫渣,炉渣中 FeO 易积累(且由于留渣操作,上一炉次中炉渣中 FeO 积累),当达到 C-O 反应所需的温度时,C 发生剧烈的氧化反应并且 FeO 会产生一个附加供氧量,使气体产生量骤增,低温喷溅溢渣严重。

研究发现,对于进行留渣操作后的前期喷溅现

象,可以通过添加适量小粒生烧白云石或轻烧白云石压渣,也可以下调氧气压力或提高氧枪枪位的方式来减缓这一现象。因废钢提量后,加之辅料消耗控制严格,为确保终点磷受控,钢厂采用全留渣操作,导致前期渣量和 FeO 的积累,故前期采取低枪位吹炼,枪位较提量前低。

喷溅既增加金属损失,使钢铁料消耗增高,同时会造成炉帽粘钢严重,环保冒烟等,所以在操作过程中要减少这一现象的发生。总之,在转炉炼钢操作中,通过对氧枪枪位和氧压的及时调整,二批料的加入时机及批量,过程温度保持均匀上升,低枪位操作,使炉渣中的 FeO 保持合适的含量和 C-O 反应平稳正常地进行,就可以有效地控制好炼钢过程中的喷溅现象。

2.3 侵蚀部位

图 3 所示为生产实践中转炉常见的损坏方式及部位。为控制喷溅及降低终渣 FeO 含量,确保前期温度不过低,操作枪位必须采用低枪位吹炼,这就容易造成炉底下降,因废钢提量后终点碳含量低,炉渣氧化性强,溅渣效果差,大面及出钢面侵蚀严重,特别是炉底接缝位置,容易出现炉壳发红及温度升高的问题,存在漏钢的重大安全隐患。

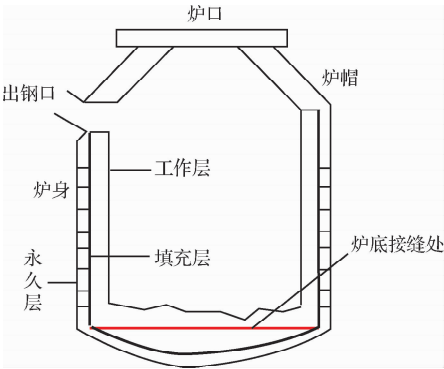


图 3 转炉炉底侵蚀

Fig. 3 Bof bottom erosion

3 转炉炉况维护

(1)废钢比的提高导致前期升温较慢,为保证前期化渣及废钢熔化,防止低温喷溅及终点挂料,采取氧枪低枪位吹炼;采取增加热源(无烟煤)的方式提高前期温度。

(2)废钢量增加,要对废钢中存在的尖锐处进行处理,并且避免大型废钢直接加入,减少对炉衬的直接冲击损伤。

(3)废钢提量后,为了避免枪头顶到废钢,采取

高枪位点火,开吹枪位高。

(4)对于提高废钢比后导致溅渣护炉效果减弱的问题,应该及时解决。由于目前废钢量大,终点拉碳低的问题,要确保压枪时间来减少渣中 FeO 的含量。另外由于炉渣氧化性强,选择加入下一炉次头批轻白,既可以垫炉底又可以起到调渣的作用,还能缩短溅渣时间,减少氮气消耗,提高冶炼周期,减少炉温损失。

(5)利用清炉口时间在溅渣前加石灰石粘补大面,出钢面维护只能在缓节奏时间用补炉料或手投料粘补维护。

(6)炉口维护,一是用氧枪吊炉口,但是容易造成氧气消耗高,活动烟罩易漏水;二是更换粗的炉后人工烧氧管,这是因为出钢的时间短,细氧管烧不出效果,粗氧管流量大烧起来效果好,但同时会导致人工劳动强度增加。

4 工艺实践效果

钢厂采用上述转炉工艺及护炉措施,最高吃废钢 250 kg/t,在尽可能提高废钢比的情况下,1—6 月的终点成分检测及废钢消耗见表 6。终点碳含量高废钢消耗低,终点碳含量低废钢消耗高;为保证钢种质量,炉后采取过精炼微调成分及温度。一个月内的转炉炉况(两座炉)见表 7,转炉仍在投入使用中,转炉厂一个炉服役期的炉龄控制在 14 000~17 000 炉。2020 年 1—6 月的炉渣中 FeO 含量见表 8,终渣中 FeO 含量既能反应出钢铁料消耗,同时又能体现出炉衬的侵蚀及其对溅渣护炉的影响。

表 6 转炉出钢 C、Mn、P 元素含量
Table 6 C、Mn、P content of converter steel

日期	出钢 w(C)/%	出钢 w(Mn)/%	出钢 w(P)/%	废钢消耗/ (kg·t ⁻¹)
1 月	0.048	0.062	0.018	242.3
2 月	0.070	0.101	0.022	114.0
3 月	0.070	0.080	0.022	93.0
4 月	0.070	0.143	0.025	234.0
5 月	0.068	0.147	0.024	177.0
6 月	0.058	0.107	0.021	228.7

5 结论

(1)转炉高废钢比工作过程需要补充更多热源,采用添加无烟煤、降低枪位吹炼等方案,可有效促进前期的升温,减少金属损失。

表 7 1 个月内 80 t 转炉炉况

Table 7 80 t converter condition within 1 month			
炉座	炉龄/h	炉底高度/mm	液面高度/mm
2 号	4 284	7 300~7 200	7 040~6 910
2 号	4 342	7 200~7 400	6 960~6 900
2 号	4 362	7 400~7 300	6 900~6 880
2 号	4 383	7 300~7 400	6 880~6 900
2 号	4 422	7 350~7 400	6 900~6 850
2 号	4 779	7 100~7 350	7 060~7 000
2 号	4 835	7 300~7 350	7 100~7 030
2 号	4 877	6 950~7 300	7 060~6 920
2 号	4 897	7 300~7 350	6 910~6 850
2 号	4 958	7 200~7 450	6 910~6 860
2 号	5 004	7 200~7 250	6 910~6 880
2 号	5 024	7 250~7 350	6 880~7 030
2 号	5 282	7 200~7 150	7 050~6 950
2 号	5 347	7 150~7 150	6 980~6 880
2 号	5 426	7 400~7 300	6 930~6 830
3 号	5 517	7 300~7 350	7 300~7 130
3 号	5 558	7 350~7 400	7 130~7 130
3 号	5 695	7 300~7 350	7 100~7 100
3 号	6 009	7 300~7 350	7 130~7 150
3 号	6 197	7 300~7 380	7 060~7 060
3 号	6 510	7 300~7 350	7 150~7 180
3 号	6 549	7 350~7 450	7 180~7 080

注:炉底和液面数据显示为起始监控数据。

表 8 2020 年 1—6 月炉渣 FeO 含量(质量分数)

Table 8 FeO content of slag from January to June, 2020					
%					
1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
18.20	15.30	15.10	16.95	17.60	19.30

(2)为了提高经济效益,实现少渣冶炼,钢厂仅采用了石灰和轻白两种辅料,为确保脱磷效果,采用全留渣操作,同时进行留渣操作可以减少前期酸

性渣对炉衬的侵蚀作用。

(3)溅渣时加入下一炉次的头批轻烧白云石垫炉底,既可起到调渣的作用又可以缩短溅渣时间,溅渣完毕后摇炉铺大面,确保炉壁的倒渣侧受到保护;下一炉次开吹加少量轻烧白云石,减少辅料用量及前期温度不过低,防止前期产生大量低温泡沫渣造成喷溅溢渣。

参考文献:

[1] 杨文远,张先贵,杨勇. 转炉炼钢利用废钢的研究综述[J]. 中国冶金,2012,22(2): 1.

[2] 上官方钦,郦秀萍,周继程,等. 中国废钢资源发展战略研究[J]. 钢铁,2020,55(6): 8.

[3] 卜庆才,吕江波,李品芳,等. 2020—2030 年中国废钢资源量预测[J]. 中国冶金,2016,26(10): 45.

[4] 李伟东,何海龙,李冰,等. 鞍钢提高转炉废钢比的生产实践[J]. 鞍钢技术,2019(5): 53.

[5] 蔡常青,姜迪刚. 120 t 转炉高废钢比冶炼技术探讨[J]. 福建冶金,2017,46(6): 19.

[6] 佟岩. 转炉高废钢比的研究及实践[J]. 炼钢,2018,34(5): 8.

[7] 管挺,王耀,刘飞,等. 180 t 转炉高废钢比冶炼工艺开发[J]. 特殊钢,2019,40(3): 19.

[8] 冯春松,肖步庆,田晓涛,等. 转炉炼钢最佳废钢比计算模型[J]. 炼钢,2020,36(3): 7.

[9] 冯耀刚,胡亮. 转炉应用增热剂提升废钢比的生产实践[J]. 中国冶金,2019,29(2): 50.

[10] 曾垚,邓深,刘川俊,等. 转炉炼钢废钢质量控制[J]. 冶金设备,2019(6): 79.

[11] 曾垚,邓深,刘川俊,等. 低铁耗下废钢入炉问题探讨[J]. 柳钢科技,2018(1): 3.

[12] 聂波华. 提高废钢比对转炉炉衬的影响[J]. 耐火与石灰,2019,44(3): 4.

[13] 饶怀祖. 转炉炼钢过程喷溅产生原因分析及控制[J]. 冶金丛刊,2010(2): 36.

[14] 尹建妙. 转炉留渣操作工艺实践[J]. 天津冶金,2014(6): 8.

(上接第 14 页)

[4] 陈芝会,王恩刚,张兴武,等. 静磁场控制板坯连铸结晶器液面波动[J]. 钢铁研究学报,2008,18(2):25.

[5] 李壮,徐宇,王恩刚. 板坯电磁连铸结晶器内钢/渣界面波动及流动行为的数值模拟[J]. 连铸,2016(2):1.

[6] 李杰. CSP 薄板坯连铸结晶器内钢液非对称流场的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2019.

[7] 伍旋,王明林,张延玲,等. 高拉速板坯结晶器流场影响因素的模拟研究[J]. 炼钢,2020,36(1):27.

[8] 薛瑞,张燕超,张彩军,等. 160 mm×160 mm 小方坯连铸结晶器内流场数值模拟[J]. 中国冶金,2020,30(1):51.

[9] 吴振刚,陈永范,王爱东,等. 薄板坯高拉速浸入式水口研究与优化[J]. 连铸,2020(1):29.

[10] 马浩冉,李双江,刘洪波,等. 水口结瘤对板坯连铸结晶器钢水行为影响的数值模拟[J]. 连铸,2020(3):14.

[11] 王永胜,王新华,王万军. 高拉速板坯连铸结晶器液面波动影响因素研究[J]. 中国冶金,2009,19(9):24.

[12] 庄迎,李吉东. 不锈钢方坯连铸结晶器内钢渣界面行为的数值模拟研究[J]. 连铸,2016(5):26.

[13] 张建伟,苏旺,崔衡,等. PIV 测速技术分析异型坯连铸结晶器流场[J]. 连铸,2019(1):54.

[14] Akira Matsushita, Katsuyuki Isogami, Masami Temma, et al. Direct observation of molten steel meniscus in CC mold during casting[J]. Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, 2006, 28(7):531.

[15] 周士凯,徐学华,王宝峰,等. 连铸智能化物理模拟创新平台的建设与实践[J]. 连铸,2018(2):20.