

DOI:10.13228/j.boyuan.issn1005-4006.20210108

缩短 120 t 顶底复吹转炉工艺时间的研究与实践

富 强, 赫英利, 刘真海

(本钢集团北营炼钢厂, 辽宁 本溪 117017)

摘 要: 为提高转炉产能, 有效降低成本消耗, 实现降耗增效、降本增效、提质增效、提产增效, 北营炼钢厂在现有设备工艺条件下, 推进转炉工艺优化, 通过提高供氧强度、优化复吹工艺、少渣冶炼等手段, 实现了缩短转炉工艺时间及冶炼周期约 5 min/炉, 且部分技术指标达历史最好水平, 其供氧强度、复吹碳氧积接近国内先进水平。

关键词: 120 t 复吹转炉; 工艺优化; 缩短工艺时间; 降本; 增效

文献标志码: A **文章编号:** 1005-4006(2022)03-0083-06

Research and practice of shortening process time of 120 t top and bottom compound blowing converter

FU Qiang, HE Ying-li, LIU Zhen-hai

(Beijing Steel Plant, Benxi Steel Group, Benxi 117017, Liaoning, China)

Abstract: In order to increase the converter capacity, effectively reduce the cost consumption, and realize the reduction of consumption and increase of efficiency, cost and increase of efficiency, increase of quality and increase of production and increase of efficiency, Beiyong steel plant promotes the converter process optimization under the existing equipment and process conditions, by means of increasing the oxygen supply intensity, optimizing the combined blowing process and smelting with less slag, the converter process time and smelting cycle can be shortened by about 5 min/furnace, and some technical indexes have reached the best level in history, the oxygen supply intensity and carbon-oxygen deposition of the combined blowing are close to the advanced level in China.

Key words: 120 t compound blowing converter; process optimization; shorten process time; reduce the cost; increase efficiency

本钢集团北营炼钢厂为有效提高产能、实现铁钢平衡, 达到降耗增效、降本增效、提质增效、提产增效的目的。从主要影响因素转炉冶炼周期^[1-5]开展研究, 炼钢厂 120 t 转炉原冶炼周期长, 约为 40 min/炉, 较同行业 35 min/炉、约长 5 min/炉, 有效作业率较低, 导致长期面临炼钢小于炼铁产能现状, 转炉产能成为制约铁钢平衡、总体产能及企业增效等的最主要、最关键的限制环节; 为有效突破转炉瓶颈效应、实现铁钢平衡、提高总体产能及企业效益, 通过优化转炉供气模式、氧枪参数、造渣工艺、补炉工艺等研究与探索, 有效缩短了转炉工艺时间。

1 北营炼钢厂主体设备简介

新区主体设备: 三座 120 t 顶底复吹转炉、两台小方坯连铸机(分别为六机六流、八机八流)、三台板坯连铸机(两台双流、一台单流), 其配套设备有三座铁水预处理脱硫站、三座 LF、两座 RH。

2 炼钢工艺路径

铁水鱼雷罐→倒罐站→(铁水预处理)→120 t 转炉(顶底复吹)→钢包底吹氩→(LF 或 RH 炉精炼)→连铸机。

3 转炉工艺优化与实践

3.1 提高供氧流量及强度

3.1.1 转炉炉内反应冶金原理

转炉吹炼过程中元素氧化顺序为 Fe、Si、Mn、P、C。炼钢脱碳主要反应为 $[C] + [O] \longrightarrow \{CO\}$, 反应速度受钢中的 $[C]$ 、 $[O]$ 浓度影响, 渣中 TFe 增加, 其钢液 $[O]$ 浓度也随之增加。炼钢脱磷反应是金属液与熔渣界面的反应, $[P]$ 先被氧化生成 (P_2O_5) , 后与 (CaO) 结合成稳定的磷酸钙 $(3CaO \cdot P_2O_5)$ 最稳定, $4CaO \cdot P_2O_5$ 次之。脱磷基本条件为高碱度、低温、高 FeO、大渣量, 渣良好流动性、良好搅拌力^[6-9]。

3.1.2 氧枪喷头参数原理及优化

喷头候口氧流量见式(1)^[10]。

$$Q_s=1.782C_D\times\frac{A_hP_0}{T_0^{1/2}}$$

(1)

式中: Q_s 为实际氧气流量(标态), m^3/min ; C_D 为喷孔流量系数,取 0.90~0.96; A_h 为喉口总断面面积, m^2 ; P_0 为理论设计氧压,MPa; T_0 为氧气滞止温

度,K,一般按当地夏季温度。

优化氧枪枪头参数,推行五孔氧枪设计,其氧枪喷头结构的合理性是供氧的基础,关键在于喷头参数的正确选择^[11-15],根据其理论原理对氧枪参数优化调整,具体见表 1,优化前后的枪头分别如图 1 和图 2 所示,由图 1 和图 2 可知,优化前的枪头为四孔氧枪枪头,优化后的枪头为五孔氧枪枪头。

表 1 氧枪参数优化

Table 1 Optimization of oxygen gun parameters

项目	孔数	夹角 $\beta/(\text{^\circ})$	喷头间距/mm	出口直径/mm	喉口直径/mm	扩张段长度/mm	枪头内径/mm
优化前	4	12	45	56.5	43.5	106.3	143
优化后	5	14	40	52.5	40.2	103.0	145
参数优化值	+1	+2	-5	-4.0	-3.3	-3.3	+2



图 1 四孔氧枪枪头

Fig.1 Four-hole oxygen gun head



图 2 五孔氧枪枪头

Fig.2 Five-hole oxygen gun head

3.1.3 提高供氧强度

供氧强度由 $3.06\sim3.44\text{ m}^3/(\text{t}\cdot\text{min})$ 提高至 $3.87\text{ m}^3/(\text{t}\cdot\text{min})$,即原流量 $28\,500\sim32\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 提高至最大设计流量 $36\,000\text{ m}^3/\text{h}$,提高了单位时间内吨钢供氧量、加速炉内供氧速度、增强炉内搅拌力、有效促进硅、碳、锰等元素快速反应^[16-18],有效缩短供氧时间,即由原 16.39 min 缩短至 12.93 min,缩短约 3.46 min,有效提高了转炉作业率及生产效率,其中供氧强度达到了国内同企业先进水平。供氧流量和供氧强度分别见表 2 和表 3,转炉吹炼时间见表 4,国内厂矿供氧强度对比见表 5。

3.2 转炉复吹工艺优化

3.2.1 复吹冶金原理

转炉复吹通过底吹加强底部钢水的搅拌,提高钢水的动力学条件,其底吹供气强度越高,钢水的搅拌越强,充分促进钢渣融合,进一步促进脱碳、脱硅、脱磷等反应,明显改善动力学条件及转炉终点氧化性,有效缩短反应时间、提高冶金效果等^[19-23]。

表 2 供氧流量

Table 2 Oxygen flow

m^3/h

项目	优化前	第一阶段				第二阶段			第三阶段		
时间	2020 前	2020-01	2020-02	2020-03	2020-04	2020-05	2020-06	2020-07	2020-08	2020-09	2020-10
供氧流量	28 500	29 000	31 000	32 000	33 000	34 000	34 000	34 000	35 000	36 000	36 000

表 3 供氧强度

Table 3 Oxygen supply intensity

$\text{m}^3/(\text{t}\cdot\text{min})$

项目	优化前	第一阶段				第二阶段			第三阶段		
时间	2020 前	2020-01	2020-02	2020-03	2020-04	2020-05	2020-06	2020-07	2020-08	2020-09	2020-10
供氧强度	3.06	3.12	3.33	3.44	3.55	3.66	3.66	3.66	3.76	3.87	3.87

表 4 转炉吹炼时间

Table 4 Blowing time of converter												min
项目	优化前	第一阶段				第二阶段			第三阶段			
时间	2020 前	2020-01	2020-02	2020-03	2020-04	2020-05	2020-06	2020-07	2020-08	2020-09	2020-10	
吹炼时间	16.39	15.25	14.66	14.27	14.28	14.21	14.10	14.07	13.37	13.71	12.93	

表 5 国内厂矿供氧强度对比

Table 5 Comparison of oxygen supply intensity between factories and mines in China						m ³ /(t·min)
北营炼钢	中天三炼钢	沙钢	鞍钢总部	新鞍钢	营口五矿	
3.87	3.59	3.37	3.67	3.40	3.67	

3.2.2 转炉复吹工艺模式优化

(1)提高转炉底吹流量。根据转炉吹炼前、中、后阶段炉内反应原理及耐火材料侵蚀机理^[24],分阶段提高支管流量,转炉底吹供气流量最大提高至 90 m³/h,较原供气流量 30 m³/h,增加了 3 倍,其冶炼最终供气模式见表 6。

表 6 冶炼各阶段供气模式

Table 6 Gas supply mode at each stage of smelting			
项目	吹炼 0~7 min	吹炼 7~12 min	12 min 至下 炉兑铁结束
供气流量/(m ³ ·h ⁻¹)	70	50	90
供气强度/ (m ³ ·t ⁻¹ ·min ⁻¹)	0.060	0.043	0.077

(2)复吹冶金效果及长寿命。复吹冶金效果及长寿命的关键是炉渣渣系、炉底渣层厚度控制^[25]。渣系不合理、溅渣不规范导致炉底渣层控制不稳定,严重时堵塞复吹风口、搅拌力差,炉底渣层过薄、复吹砖侵蚀严重,存在炉体安全运行隐患。合理的终渣组分(目标碱度 2.8、w([MgO])=8.0%)见表 7,优化溅渣及补炉工艺,实现了合理控制炉底渣层厚度 50~100 mm(图 4),维护好复吹风口“蘑菇头”形状^[26],有效降低了底吹砖侵蚀,提高了复吹风口寿命及冶金效果。转炉复吹风口形状和炉底测厚分别如图 3 和图 4 所示。

表 7 终渣组分

Table 7 Final slag composition				
w([CaO])/%	w([SiO ₂])/%	w([MgO])/%	w([FeO])/%	碱度
42.42	15.16	8.1	18.51	2.8
43.59	15.59	7.9	18.38	2.8
42.42	15.16	8.2	19.03	2.8

(3)复吹冶金效果对比分析。完善吹复工艺优化后,其碳氧积、终点氧、吨钢耗氧量、终点全铁含量均明显降低,其脱磷率、锰回收率均有所提高。

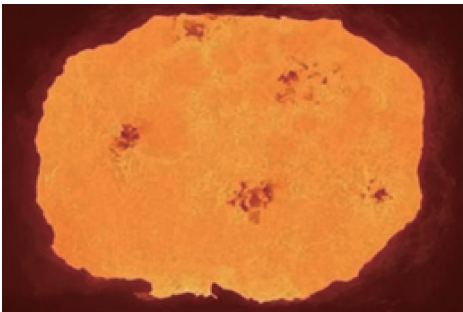


图 3 2 号转炉复吹风口形状

Fig. 3 Shape of the double blower nozzle of No. 2 converter

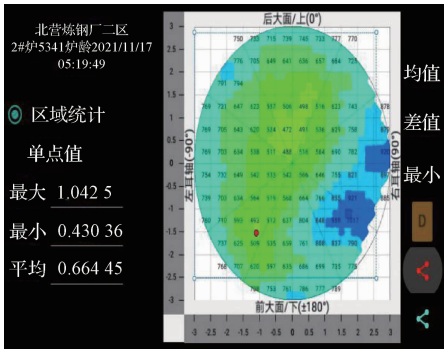


图 4 炉底炉底测厚

Fig. 4 Thickness measurement of furnace bottom

碳氧积:复吹碳氧积明显低于无复吹工艺,复吹时碳氧积达到 0.001 8~0.002 2,平均最佳达到 0.001 85,降低约 0.000 90,碳氧积见表 8。相同终点碳含量,其复吹炉次氧含量明显低于无复吹炉次,约低(140~250)×10⁻⁶,终点碳、氧趋势如图 5 所示。

表 8 碳氧积

Table 8 Carbon oxygen product			
1 号转炉	2 号转炉	3 号转炉	复吹
0.002 84	0.002 79	0.003 22	0.001 85

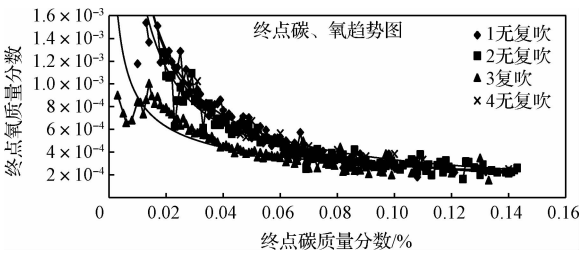


图 5 终点碳、氧趋势图
Fig. 5 Trend of end-point carbon and oxygen

其他冶金效果:终点炉渣 $w(T.[Fe])$ 降低 1.75% (其中复吹转炉 $w(T.[Fe])$ 为 18.65%、无复吹转炉 $w(T.[Fe])$ 为 20.40%)、脱磷率提高约 3.03%、锰回收率提高约 2.02%、吨钢耗氧量降低 1.3~1.86 m³。

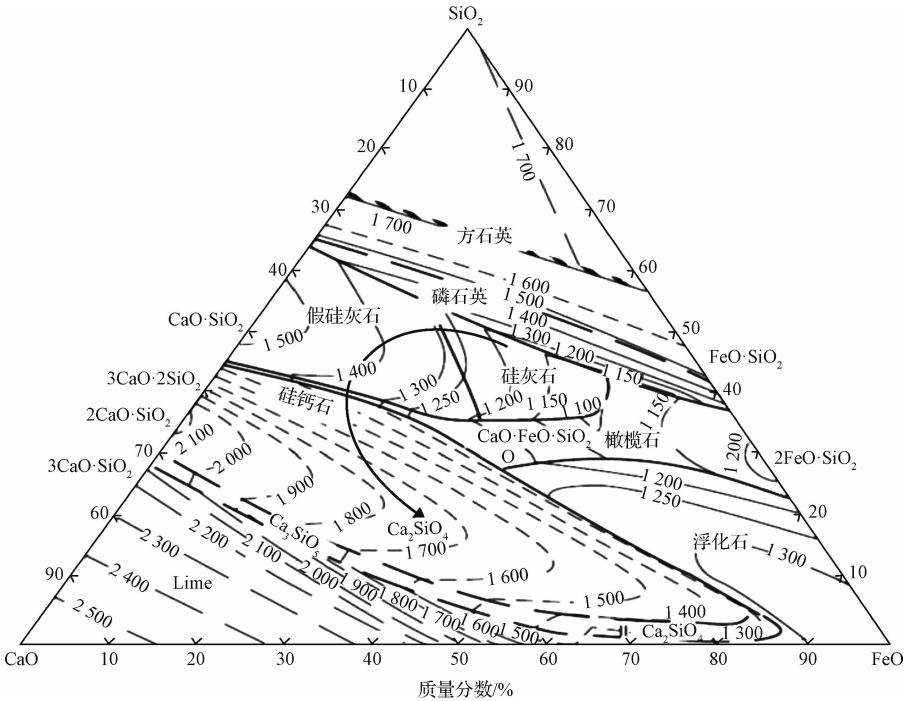


图 6 CaO-SiO₂-FeO 系状态图
Fig. 6 CaO-SiO₂-FeO system state diagram

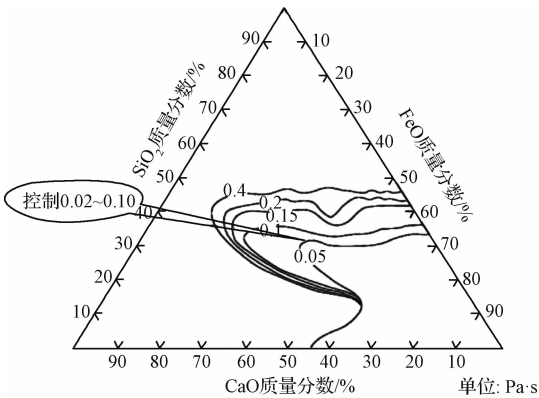


图 7 1 400 °C 下 CaO-SiO₂-FeO 系黏度
Fig. 7 CaO-SiO₂-FeO viscosity under 1 400 °C

3.3 少渣冶炼

3.3.1 少渣冶炼原理

炼钢任务的完成与熔渣有关。熔渣的物理化学性质取决于熔渣的结构,影响着炼钢的化学反应平衡及反应速率。合理炉渣组分是具有低熔点、良好流动性、良好冶金效果的基本条件^[8]。

炉渣中高熔点组元越多,熔化温度越高,吹炼返干时,其组分主要为 2CaO·SiO₂ (熔点 2 130 °C);冶炼返干 2FeO·SiO₂→CaO·FeO·SiO₂→2CaO·SiO₂,CaO-SiO₂-FeO 系状态如图 6 所示、1 400 °C 下 CaO-SiO₂-FeO 系黏度如图 7 所示,黏度控制 0.02~0.10;冶炼前期炉渣碱度为 1.4~1.7、终渣碱度为 2.8^[27-29]。

3.3.2 少渣冶炼工艺

通过提高石灰质量、“半留渣工艺”炉次比例达 66%、“全留渣工艺”炉次比例达 28%、合理控制炉渣碱度为 2.8、降低渣中 $w([MgO])$ 至 8%,改善炉渣流动性^[30],确保合理渣系及良好流动性,有效降低石灰单耗,最低石灰单耗为 26.17 kg/t、提高冶金效果 (其脱磷率为 83.86%),未留渣炉次相对较高,对其 2020 年 8-12 月份石灰单耗及脱磷率统计见表 9 和表 10。

3.4 优化出钢口参数

根据出钢口座砖及外出钢口结构及参数,对出钢口套管进行合理扩径^[31],原内径为 160 mm、外径

表 9 石灰单耗

Table 9 Lime consumption per unit kg/t

未留渣	留渣	全留渣
33.45	30.61	26.17

表 10 脱磷率

Table 10 Dephosphorization rat %

未留渣	留渣	全留渣
81.94	83.10	83.86

为 290 mm,扩至内径为 180 mm、外径为 300 mm,缩短钢水出钢时间约 1 min/炉。

3.5 采用白云石补炉新工艺

(1)通过对转炉终渣成分研究与分析,并合理计算白云石加入量、加入方式、烧结时间等,推行白云石与炉渣混合补炉工艺,即溅渣 1~2 min 后留渣 1/4、分批加入白云石 400~600 kg,有效控制 MgO 质量分数(目标为 8%~10%)、炉渣黏度,使其与炉衬完美结合,达到良好修补炉衬作用。

(2)逐步摸索与研究,炉渣调整后,转炉前后倾动 2~3 炉,使其炉渣均匀覆盖,与炉衬快速结合,提高补炉效果,从而替代“大面料”补炉,减少补炉频次,同时充分利用了转炉等待间隙时间,减少了补炉总时间,即每座转炉节省约 40 min/天,提高转炉有效作业率。

4 结 论

通过优化转炉工艺,提高供氧强度、优化复吹工艺、推行少渣冶炼等,有效缩短了转炉工艺时间及冶炼周期约 5 min/炉,转炉产能得到巨大提高,有效降低了成本消耗,实现了增产增效、降本增效,且部分技术指标达历史最好水平,其供氧强度、复吹碳氧积接近国内先进水平。

(1)缩短了转炉工艺时间、提高了转炉产能,突破了炼钢产能瓶颈效应、解决了铁钢不平衡矛盾。

(2)少渣冶炼、复吹工艺优化、白云石补炉等降低了生产成本。

(3)主要技术指标得到明显提高,其中通过提高供氧强度及复吹工艺优化攻关,供氧强度提高至 3.87 m³/(t·min),底吹强度提高 0.077 m³/(t·min),碳氧积为 0.001 8~0.002 2、最佳碳氧积达 0.001 85;通过少渣冶炼工艺,全留渣工艺石灰单耗降低至 26.17 kg/t。

参考文献:

[1] 蒋鲤平,于飞.120 t 转炉高效化冶炼工艺研究[J].河北冶金,

2021(7):46.

[2] 张利江.120 t 转炉高效化生产实践[J].河北冶金,2020(11):45.

[3] 吉祥利,张达.高效智能转炉冶炼技术的研发与应用[J].河北冶金,2020(增刊 1):65.

[4] 陈均.干法除尘工艺在 200 t 半钢炼钢转炉上的应用[J].钢铁,2016,51(7):89.

[5] 韩凯峰,韩少伟,朱良,等.基于共存理论的转炉脱磷热力学分析[J].中国冶金,2021,31(10):17.

[6] 王雨墨,陶林,郭皓宇,等.转炉铁水预处理脱磷的影响因素[J].钢铁,2020,55(9):29.

[7] 郭瑞华,王书桓,李晨晓,等.焦炭还原脱磷转炉熔渣的气化脱磷试验[J].钢铁,2020,55(9):118.

[8] 周兰花,刘松利,向国齐,等.冶金原理[M].重庆:重庆大学出版社,2016.

[9] 许旭东.转炉炼钢脱氧工艺研究[J].冶金与材料,2021,41(6):51.

[10] 闫心怡,廖轶,张少鹤,等.不同角度氧枪喷头射流试验设计与结果分析[J].冶金能源,2020,39(6):39.

[11] 张垚,史文礼.中小转炉缩短冶炼周期生产实践[J].天津冶金,2020(4):9.

[12] 张天,蒋鲤平,于飞,等.120 t 转炉高供氧强度冶炼工艺开发[J].特殊钢,2021,42(5):52.

[13] 段卫平,杨树峰,李京社,等.中国现代电弧炉炼钢废钢快速熔化技术进展[J].中国冶金,2021,31(9):78.

[14] 蒋晓放,杨文远,吴亚明,等.大型转炉双角度氧枪喷头高供氧强度炼钢[J].钢铁,2021,56(9):62.

[15] 金磊,司宇,栗克建.80 t 转炉提高废钢比的生产实践与炉况维护[J].连铸,2021(1):21.

[16] 丛铁地,彭飞,王甲贵.转炉高强度供氧技术[J].金属世界,2020(1):51.

[17] 赵斌,吴巍,吴伟,等.铁水脱磷顶吹氧+喷粉搅拌冶炼工艺的应用[J].钢铁,2019,54(11):33.

[18] 吕俊杰.提高 55 t 转炉双渣法脱磷率试验[J].河北冶金,2018(4):8.

[19] 张燕超,张彩军,曾凯,等.300 t 复吹转炉底吹系统优化模拟[J].钢铁,2021,56(5):31.

[20] 梁强,蔡俊.复吹转炉底吹氧气和石灰粉水模拟[J].钢铁,2020,55(5):26.

[21] 田宝生,田艺玄,田鹏,等.复吹转炉冶炼时钢中氮含量控制[J].河北冶金,2020(5):17.

[22] 蔡俊,曾加庆,梁强.复吹转炉顶吹枪位与非均衡底吹搅拌的水模拟[J].中国冶金,2019,29(10):26.

[23] 钟良才,朱英雄,曾兴富,等.复吹转炉熔池搅拌技术及应用[J].炼钢,2016,32(5):1.

[24] 杨春雷,张卫强,张继斌,等.120 t 转炉高强度长寿顶底复吹工艺优化及实践[J].云南冶金,2021,50(2):117.

[25] 边吉明,袁天祥,罗伯钢,等.首钢京唐降低转炉终点碳氧积控制技术[J].中国冶金,2015(7):33.

[26] 丰年,杨东利,张化德.莱钢 120 t 活炉底复吹转炉长寿技术的应用[J].山东冶金,2015,37(5):26.

[27] 程巨广,丁宁.转炉“留渣+双渣”炼钢工艺研究[J].冶金管理,2020(15):3.

[28] 富强,郭晓春,王志强,等. 120 t 转炉少渣冶炼工艺研究和实践[J]. 炼钢,2017,33(6):5.

[29] 李秋寒,贾雅楠,张超杰,等. CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-Cr₂O₃ 系黏度结构分析及 Iida 模型应用[J]. 钢铁,2019,54(4):99.

[30] 李翔,吴国平,闫辰,等. 减轻低碳低磷钢冶炼炉衬侵蚀及炉渣成分优化[J]. 中国冶金,2021,31(2):65.

[31] 朱国强,王鹏,张志文,等. 鞍钢 260 t 转炉高效生产技术[J]. 鞍钢技术,2018(2):46.



《连铸》2022 年“连铸智能化技术与装备”专刊 征稿通知

为了总结我国钢铁冶金生产中连铸工艺的关键共性技术和取得的创新突破成果,推动连铸工艺科研成果转化和新技术应用,加快连铸工艺新成果、新技术的开发和推广,《连铸》编辑部于 2021—2022 年策划出版“连铸保护渣”、“连铸工艺与新技术”、“结晶器冶金技术与装备”、“连铸坯质量与夹杂物控制”、“中间包冶金技术与钢液洁净化”、“连铸电磁冶金技术与装备”、“连铸智能化技术与装备”等七大专刊。

特邀请安徽工业大学张立强副教授和太原科技大学李怡宏副教授为七大专刊中“连铸智能化技术与装备”专刊责任编辑,组织“连铸智能化技术与装备”专刊论文并积极推广专刊中的技术,以期对从事相关工作的科研和技术人员起到学习和借鉴的作用。

1 征稿范围

从事“连铸智能化技术与装备”研究的全国冶金院校、科研院所和相关企业。基金类文章和产学研用结合类文章优先录用。

2 征文内容

- (1)连铸生产过程智能化控制技术
- (2)连铸生产及铸坯质量智能化模型开发
- (3)连铸过程大数据应用
- (4)连铸生产智能化装备研发
- (5)连铸智能化发展综述
- (6)其他相关连铸智能化技术与装备

3 投稿方式

请登录“钢铁期刊网”网站(<http://www.chinamet.cn>),点击“连铸”图标或刊名导航条进入期刊首页,从“作者投稿系统”进入系统进行投稿。

4 注意事项

- (1)投稿截止时间:2022 年 7 月 31 日。
- (2)论文投稿前需经过单位保密审查;本刊坚决拒绝一稿多投。
- (3)投稿时请务必在论文标题后标注“(2022 连铸智能化技术与装备)”,并上传版权协议。
- (4)论文投稿后,需通过编辑部的审稿流程。若未通过审稿,将作退稿处理。
- (5)论文通过审稿后,将发表在《连铸》杂志 2022 年第 6 期(12 月)正刊上。
- (6)论文版面费按照正刊版面费标准收取。

5 联系方式

安徽工业大学
张立强,电话:18395561066;E-mail:zhangsir508@163.com
太原科技大学
李怡宏,电话:13073558370;E-mail:liyih@tyust.edu.cn
《连铸》编辑部 电话:010-62183313
张亚然,电话:13520700491;E-mail:m13520700491@163.com
尚海霞,电话:18610027273;E-mail:shanghaixia123@126.com