

高炉瓦斯灰基本特性与磁化焙烧实验研究

技术中心 仪桂兰 史永林

摘 要 本文对高炉瓦斯灰的基本特性(粒度分布、化学组成、物相组成)进行了研究,在此基础上,对瓦斯灰进行了磁化焙烧——弱磁选工艺实验研究。研究表明:瓦斯灰按粒度分组的化学组成不均匀,碳主要集中于较大的颗粒中,铁和锌主要集中于较小的颗粒中;瓦斯灰中铁主要是以 Fe_2O_3 或 Fe_3O_4 形式存在,锌主要以 FeZn_{15} 、 ZnFe_2O_4 和 $\text{CaZn}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ 形式存在;瓦斯灰磁化焙烧——弱磁选工艺的最佳试验条件是:焙烧温度 750°C ,焙烧保温时间 60min,磁选激磁电流 0.4A。利用该工艺,磁选后的瓦斯灰铁品位达 57.9%,含 Zn 0.25%,回收率达 67%。

关键词 瓦斯灰 粒度 物相 磁化焙烧 弱磁选

高炉瓦斯灰是炼铁过程中由高炉煤气携带出的炉尘,它由高炉炉料粉末和在高温区激烈反应而产生的微粒组成,是钢铁企业主要固体排放物之一^[1-3],高炉煤气经过一次除尘(重力除尘器)除去较粗的颗粒,然后经过二次除尘(布袋过滤)滤掉较细的颗粒,产生净煤气,二次布袋除尘过滤的较细颗粒就是瓦斯灰。

高炉瓦斯灰中铁、碳含量都较高,具有较好的回收利用价值。太钢有 3 座高炉,年产生瓦斯灰 7 万 t。为开发瓦斯灰的利用工艺,本文在研究高炉瓦斯灰基本特性的基础上,进行了磁化焙烧——弱磁选工艺实验研

究。

1 瓦斯灰的基本特性研究

1.1 瓦斯灰的粒度

分析了太钢 3 号、5 号、6 号高炉的瓦斯灰粒度,见表 1 和表 2。

由表 1 可知,瓦斯灰的粒度主要在 150~160 目左右;由表 2 可知,3 号高炉瓦斯灰中,-150 目的占 30.66%,粗颗粒较多。

1.2 不同粒度瓦斯灰的化学成分

1.2.1 3 号高炉

分析了 3 号高炉不同粒度瓦斯灰的化学成分,见表 3。根据分析结果,不同粒度瓦

表 1 瓦斯灰的粒度分布 /wt%

名称	-100 目	100~120 目	120~150 目	150~160 目	160~180 目	180~200 目	200~300 目	+300 目
3# 高炉	12.14	7.41	11.11	26.95	1.44	17.28	9.26	14.40
5# 高炉	6.15	4.10	4.30	57.58	1.23	14.55	1.64	10.45
6# 高炉	7.74	8.42	8.08	38.05	0.67	12.46	13.47	11.11

表 2 瓦斯灰的粒度分布 /wt%

名称	-150 目	150 ~ 160 目	160 ~ 200 目	+200 目
3# 高炉	30.66	26.95	18.72	23.66
5# 高炉	14.55	57.58	15.78	12.09
6# 高炉	24.24	38.05	13.13	24.58

表 3 3 号高炉不同粒度瓦斯灰的化学成分 /wt%

粒度	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	Na ₂ O	K ₂ O	Zn	C 固
原灰	34.57	6.41	6.59	2.67	5.78	1.3	0.031	0.46	0.4	1.95	0.91	29.2
65 ~ 100 目	22.95	4.13	6.46	3.69	3.4	0.95	0.027	0.65	0.35	1.44	0.64	48.4
100 目 ~ 120 目	22.95	4.67	6.62	3.32	4.83	1.22	0.024	0.64	0.39	1.84	0.7	52.9
120 ~ 150 目	35.99	5.72	6.53	3.01	5.52	1.31	0.03	0.52	0.32	1.83	0.77	29.2
150 ~ 160 目	36.52	6.68	6.81	2.51	6.63	1.47	0.017	0.4	0.57	3.3	1.42	23.2
160 ~ 180 目	37.64	7.15	6.74	2.31	6.46	1.42	0.03	0.39	0.43	2.52	1.1	24.2
180 ~ 200 目	32.62	7.11	6.67	2.32	6.38	1.39	0.024	0.43	0.35	1.64	0.73	24.1
200 ~ 300 目	38.84	7.5	6.32	2.12	6.02	1.29	0.034	0.4	0.44	2.2	1.05	23.9
300 ~ 325 目	38.92	7.13	6.47	2.1	6.05	1.26	0.033	0.4	0.51	2.72	1.33	22
325 ~ 400 目	33.22	7.2	6.35	2.16	6.13	1.27	0.032	0.42	0.82	4.4	2.17	22.7
+800 目											0.49	

斯灰的 TFe、Zn、C 含量见图 1、图 2、图 3。

由表 3 和图 1、图 2 和图 3 可知,随着粒度减小,瓦斯灰中 Fe 含量增加,Zn 含量增加,C 含量减小。

1.2.2 5 号高炉

分析了 5 号高炉不同粒度瓦斯灰的化学成分,见表 4。

由表 4 可知,随着粒度减小,瓦斯灰中 Fe 含量增加,Zn 含量增加,C 含量减小,和 3 号高炉分布规律是一致的。

1.2.3 6 号高炉

分析了 6 号高炉不同粒度瓦斯灰的化学成分,见表 5。

由表 5 可知,随着瓦斯灰粒度减小,瓦

斯灰中 Fe 含量增加,Zn 含量增加,C 含量减小,和 3 号、5 号高炉分布规律是一致的。

1.3 瓦斯灰物相

1.3.1 3 号、5 号、6 号高炉瓦斯灰物相组成

利用 XRD 衍射仪分析了瓦斯灰的物相组成,见图 4、图 5、图 6。

由图 4、图 5、图 6 可知,3 号高炉、6 号高炉瓦斯灰主要由 Fe₂O₃、Fe₃O₄、SiO₂ 和 FeZn₁₅ 组成。5 号高炉瓦斯灰主要由 Fe₂O₃、Fe₃O₄、SiO₂ 和 CaZn(Si₂O₆) 组成。

1.3.2 不同粒度的 5 号高炉瓦斯灰物相组成

分析了 -325 目、325 ~ 400 目、400 ~ 800 目瓦斯灰的物相组成。见图 7、图 8、图 9

-325 目的 5 号高炉瓦斯灰主要由

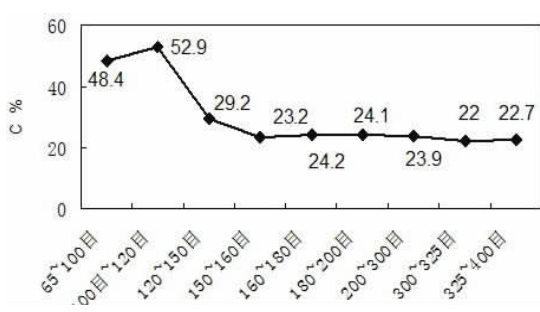


图 2 3 号高炉不同粒度瓦斯灰的 C 含量

[illegible]

表 5 6 号高炉不同粒度瓦斯灰的化学成分 /wt%

粒度	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	Na ₂ O	K ₂ O	Zn	C 固
原灰	41.26	5.91	2.14	5.37	1.25	0.01	0.5	0.12	0.53	0.74	24.9
>65 目	12.58	5.88	3.8	2.23	0.6	0.01	0.63	0.13	0.44	0.51	67
65 ~ 100 目	28.2	5.76	2.89	4.69	1.14	0.01	0.54	0.15	0.59	0.64	44.1
100 ~ 120 目	35.92	5.74	2.3	6.08	1.39	0.01	0.48	0.11	0.48	0.66	36.5
120 ~ 150 目	37.94	5.84	2.22	6.12	1.43	0.01	0.49	0.11	0.48	0.64	34.5
150 ~ 160 目	43.95	6.08	1.96	5.83	1.39	0.01	0.41	0.12	0.5	0.69	20
160 ~ 200 目	47.73	5.99	1.81	5.81	1.32	0.01	0.37	0.12	0.53	0.75	13.7
200 ~ 300 目	48.34	5.81	1.7	5.39	1.24	0.01	0.42	0.13	0.56	0.8	12.9
300 ~ 325 目	50.59	5.5	1.59	4.93	1.14	0.01	0.35	0.13	0.49	0.72	11.8
325 ~ 400 目	47.31	5.59	1.98	4.76	1.09	0.01	0.66	0.24	1.08	1.98	11.7
400 ~ 800 目										1.03	
-800 目										0.79	

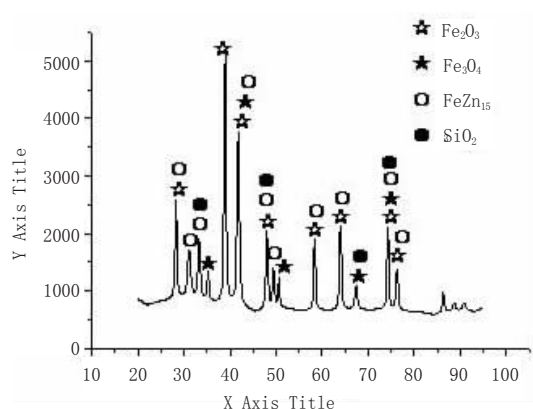


图 4 3 号高炉瓦斯灰

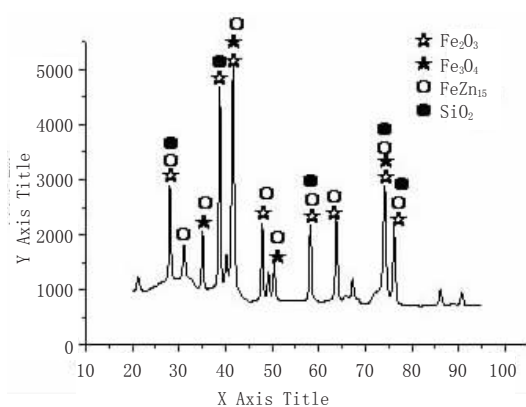


图 5 6 号高炉瓦斯灰

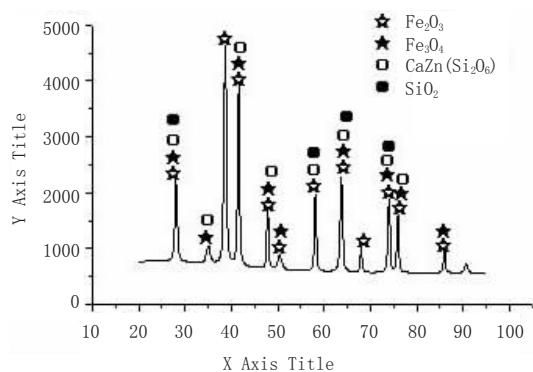


图 6 5 号高炉瓦斯灰

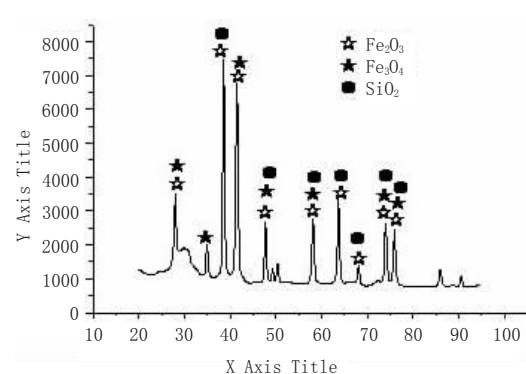


图 7 5 号高炉瓦斯灰(-325 目)

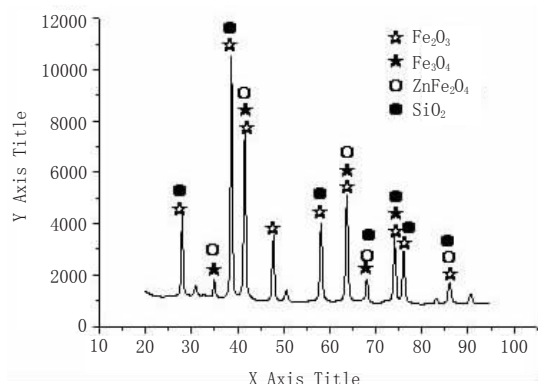


图8 5号高炉瓦斯灰(325目~400目)

Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 和 SiO_2 组成。325~400 目的 5 号高炉瓦斯灰主要由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 SiO_2 和 ZnFe_2O_4 组成。400~800 目的 5 号高炉瓦斯灰主要由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 SiO_2 和 $\text{CaZn}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ 组成。

2 单一弱磁选实验

在不同激磁电流即不同磁场强度下,对瓦斯灰进行弱磁选。实验所用设备为 XCGS-50 型磁选管,其最大电流强度为 0.4A,实验结果见图 10,随着电流强度增大,磁场增强,瓦斯灰磁选品位降低,TFe 由 58.3%降低至 52.74%。但回收率提高,达到 40%。

3 磁化焙烧——弱磁选工艺实验

采用单一弱磁选工艺,回收率最高达

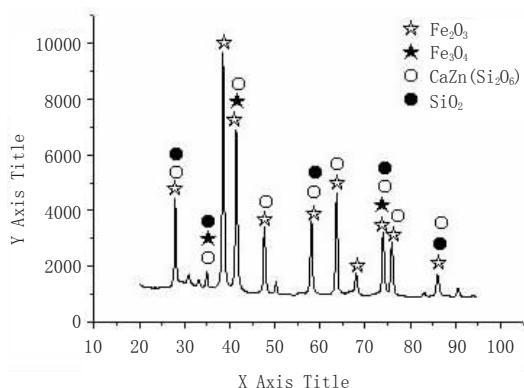
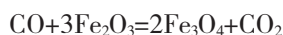
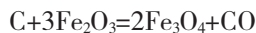


图9 5号高炉瓦斯灰(400目~800目)

40%,从工业化角度考虑,回收率偏低,此工艺不可取。为提高瓦斯灰的回收率,进行磁化焙烧——弱磁选工艺实验。

3.1 原理

采用磁化焙烧改变铁物相,由于瓦斯灰矿相主要以赤铁矿形式存在,而且含有一定的碳,在焙烧过程中,碳与弱磁性 Fe_2O_3 发生还原反应,生成强磁性 Fe_3O_4 ,使瓦斯灰磁性增强,然后磁选,从而提高瓦斯灰的磁选品位和回收率。



影响磁化焙烧——弱磁选工艺的主要因素有:焙烧温度、焙烧时间^[4]和磁选电流强度。

3.2 焙烧温度对瓦斯灰回收率和铁品位的影响

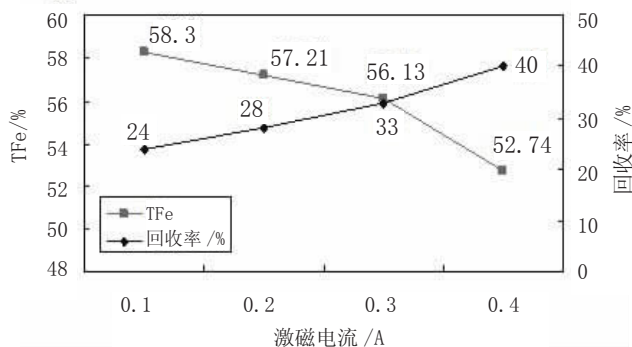


图10 电流强度与磁选品位、回收率的关系

3.2.1 实验方案

实验方案见表 6, 焙烧时间和磁选电流

强度不变, 焙烧温度分别为 650℃、700℃、750℃和 800℃。

表6 实验方案

方案	焙烧温度 /℃	焙烧时间 /h	磁选电流强度 /A	分析
方案 1	650	1	0.4	TFe C
方案 2	700	1	0.4	TFe C
方案 3	750	1	0.4	TFe C
方案 4	800	1	0.4	TFe C

3.2.2 实验结果

实验结果见图 11 和表 7。磁选瓦斯灰品位和回收率都是先上升, 在 750℃达到一个峰值(TFe 为 57.9%, 回收率为 67%)后开始下降。碳大部分发生反应。

3.2.3 实验分析

在低于碳气化温度(700~800℃)时是固-固反应, 以直接还原为主, 反应速率较慢; 当体系温度超过碳气化反应起始温度时, 反应体系中开始产生大量 CO, 这时还原反应以间接还原为主, 还原反应速率大大增加, 在 750℃磁选精矿品位和回收率达到某一峰值; 当还原温度继续上升, 就发生过还原, 以致矿物在还原区过还原成弱磁性的浮氏体或含铁硅酸盐, 强磁性矿物质量减少, 降低了精矿品位和回收率^[5]。

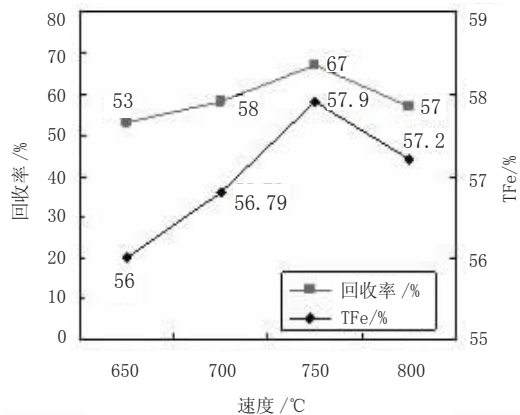


图 11 焙烧温度与回收率、TFe 的关系

表7 不同温度下焙烧瓦斯灰磁选后的成分 /wt%

焙烧温度	TFe	C
650℃	56	5.21
700℃	56.79	4.58
750℃	57.9	2.77
800℃	57.2	2.52

3.3 焙烧保温时间对瓦斯灰回收率和铁品位的影响

3.3.1 实验方案

实验方案见表 8, 由于焙烧温度 750℃时瓦斯灰品位较高, 焙烧温度选定为 750℃, XCGS-50 型磁选管磁选电流强度最大为 0.4A, 电流强度选定为 0.4A, 焙烧时间分别为 40min、60min、80min、100min。

3.3.2 实验结果及分析

实验结果见图 12, 由图 12 可知, 随着

表8 实验方案

方案	焙烧温度 /℃	焙烧时间 /min	磁选电流强度 /A
方案 1	750	40	0.4
方案 2	750	60	0.4
方案 3	750	80	0.4
方案 4	750	100	0.4

焙烧保温时间的增加,铁品位和回收率也随着增加,焙烧保温时间 60min 时,TFe 达 57.9%,回收率达 67%,随后铁品位和回收率曲线开始下降。如果在 750℃下保温时间过长,就容易产生过度焙烧的现象,直接导致焙烧过程中弱磁性的浮氏体或含铁硅酸盐的生成,进而严重影响焙烧效果。因此,选定 60min 为理想焙烧时间。

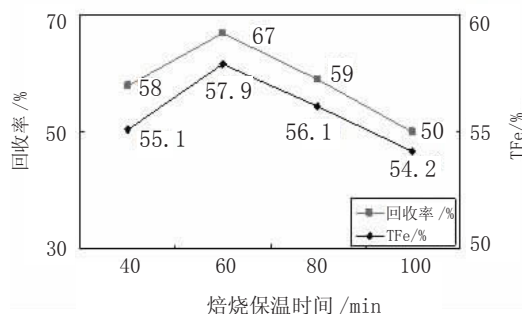


图 12 焙烧保温时间与 TFe、回收率的关系

4 磁化焙烧的瓦斯灰物相分析

对 650℃和 750℃焙烧的瓦斯灰进行物相分析,见图 13 和图 14。750℃焙烧的瓦斯灰物相变化较明显,Fe₃O₄ 衍射峰明显增强,Fe₂O₃ 衍射峰明显变弱,石墨衍射峰消失。

5 结论

(1) 瓦斯灰主要成分为铁、碳和少量的锌。

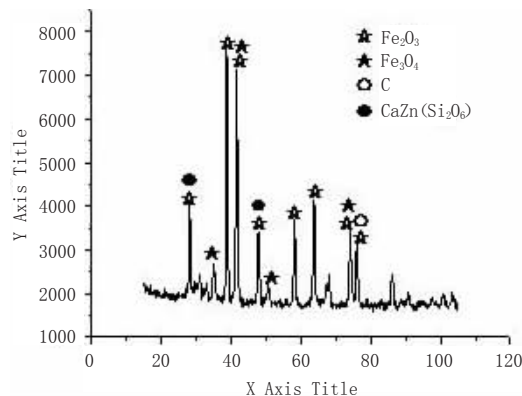


图 13 650℃瓦斯灰

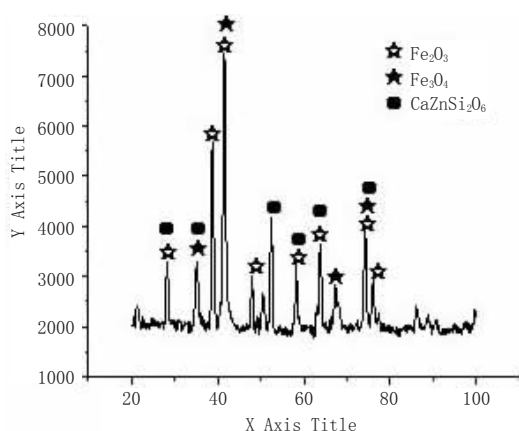


图 14 750℃瓦斯灰

(2) 瓦斯灰按粒度分组的化学组成不均匀,碳主要集中于较大的颗粒中,铁和锌主要集中于较小的颗粒中。

(3) 瓦斯灰中铁主要是以 Fe₂O₃ 或 Fe₃O₄ 形式存在。锌主要以 FeZn₁₅、ZnFe₂O₄ 和 CaZn(Si₂O₆) 形式存在。

(4) 利用单一磁选工艺可提高瓦斯灰品位,但回收率偏低。

(5) 瓦斯灰磁化焙烧——弱磁选工艺的最佳试验条件是:焙烧温度 750℃,焙烧保温时间 60min,磁选激磁电流 0.4A。利用该工艺,磁选后的瓦斯灰铁品位达 57.9%,含 Zn 0.25%,回收率达 67%。

参考文献

- [1] 古王胜,邓茂忠.高炉瓦斯灰的无害化处理及综合利用[J].粉煤灰综合利用,1997,(3):54-56.
- [2] 张金保.关于从高炉瓦斯灰及转炉烟尘中回收有价金属元素的可行性研究[J].环境与开发,1994,(1):193-197.
- [3] 胡晓洪,张志芳,黎燕华.高炉瓦斯泥综合利用的研究[J].矿业快报,2004,(8):14-16.
- [4] 王成行,童雄,孙吉鹏.某鲕状赤铁矿磁化焙烧-磁选试验研究[J].金属矿山,2009,(5):57-59.
- [5] 白丽梅,等.张家口地区鲕状赤铁矿还原焙烧-磁选试验研究[J].中国矿业,2009,18(3):83-87.

电弧热装铁水对冶炼工艺的影响

技术中心 王志军 张永亮

摘 要 本文研究了 150t 电弧炉热装铁水从 41% 增加达到 75% 时,对其冶炼操作工艺参数的影响,如吹氧、累积电耗和冶炼时间等。随着热装铁水(铁比)的增加,可以减少累积电耗消耗,但保持冶炼时间,并显著增加向电弧炉熔池喷吹的氧气量。使用一个最佳的氧气喷吹模型可以提高化渣速率,并且在固定吹氧模式下,冶炼时间随铁比从 0.41 到 0.75 之间变化,显示每增加 1t 铁水将缩短冶炼时间 0.45min。当铁比为 0.61 时,脱碳速率随氧消耗增加呈线性增加。通过观察改变氧气喷吹工艺的炉渣发泡情况,显示炉渣随吹氧流量增加到约 6000Nm³/h 时开始发泡,在吹氧流量达到 8000Nm³/h 时炉渣泡沫完全发泡。

关键词 电弧炉 热装铁水 操作工艺 炉渣

1 前言

钢铁生产工艺分为以高炉铁水为原料的炼钢工艺和电弧炉全废钢炼钢工艺。如今这两种炼钢工艺的划分没有明显的界限,如拥有电弧炉的大型钢铁生产企业拥有大量的铁水,但铁水的充分利用成为一个难题,而废钢和电能已不能满足企业的需求。当拥有多余铁水,且面对日益短缺的优质废钢和电能,钢铁生产企业不仅有能力用含铜和锡较低的铁水作为替代品供应电弧炉,而且能为电弧炉炉内增加热量并降低电能消耗,同时降低冶炼时间,提高生产效率。不同于碱性氧气转炉(BOF),配备有脱碳、造渣用超音速氧枪系统,电弧炉的吹氧能力较转炉弱,降低了脱碳效率。电弧炉的最初设计没有脱碳功能,炉容比较转炉小;随着电弧炉热装铁水比例的提高,脱碳反应产生的大量气体导致炉渣发泡,使炉渣通过渣门溢出,严重影响了电弧炉生产效率。

段先生等人研究了电弧炉冶炼不锈钢

过程加入铁水的影响,而这里指的铁水在进入电弧炉前已在一个单独的容器中进行了脱碳处理。研究结果表明利用热铁水时,可显著降低电弧炉冶炼不锈钢的能耗和冶炼时间。捷门等人讨论了铁水通过炉壁耐材连续加入到一个埋弧电炉中,使铁比达到 0.4。当碳含量控制在 0.15%~0.25% 之间时可获得最佳泡沫渣,并可提高电极和耐材寿命。戈塔迪等人详细介绍了电炉中铁比达到 0.7 时的脱碳情况以及铁水中 Si、Mn 和 C 等成分变化带来的问题,这些都会影响脱碳速度。热装铁水比大约 70% 时不需要供电,供氧强度为 50Nm³/t 钢时脱碳速度能达到 0.13%℃/min。有文献研究了铁水在电弧炉冶炼过程中的加入时机,可为生产及时提供热量。然而,对于在电弧炉利用超量铁水很少有详细的研究能同时提供对冶炼时间和生产效率的影响降到最小的解决方案。

本研究,讨论了电弧炉热装铁水达 75% 时出现的问题和解决方案以及对其它工艺参数的影响,如氧耗、电耗和冶炼时间等。此

表1 铁水和炉渣的化学成分

输入材料	温度 /K	化学成分 /%					
		C	P	S	Mn	Cu	Sn
铁水	1593	4.3 ~ 4.5	<0.09	0.01 ~ 0.09	<0.35	痕量	痕量
炉渣	298	0.05 ~ 0.3	0.03	0.03	0.5	0.25	0.005
		CaO	MgO	Si ₂ O	H ₂ O	CO ₂	LOI
轻烧白云石	298	46	31	2.0	<3	<10	5.5
石灰	298	86	—	1.6	<5	<8	2.4

外,还介绍了改变吹氧工艺对炉渣发泡性的评价。

2 实验研究

2.1 铁水和炉渣发泡剂的化学成分与性能

铁水成分随高炉入炉原料而变化,但其主要化学成分范围见表 1。此外也给出了炉渣的化学成分和温度。铁水化学成分分析使用光电直读光谱仪和碳硫分析仪。

2.2 电弧炉的设计规范

直流电弧炉的详细参数见表 2。炉子里的留钢量大约为 60t,冶炼时每炉向电弧炉内加入大约 150t 废钢和铁水。根据电弧炉内质量平衡初步计算显示,冶炼结束后大约

15t 原料进入渣或灰尘中。

炉子上总共安装了 6 支助燃氧枪,其中四支安装在炉壁上,一支安装在渣门,另一支安装在略高于偏心炉底(EBT)出钢口的位置。四支助燃氧枪位于熔池炉壁金属熔液表面上方 180 ~ 250cm 处。一支马赫数为 2 ~ 3、具有超音速气流的喷枪安装在距金属熔液面上方 10 ~ 20cm 处、向下倾角 45°。电弧炉装有偏心炉底出钢机构,但缺少搅拌装置。

炉内还安装了 4 支碳喷枪,三个喷吹流量为 40kg/min 的碳喷枪安装在炉壁上,一个喷吹流量为 80 ~ 120kg/min 之间的主碳喷枪在渣门。热装铁水炼钢时,不使用主碳

表2 直流电弧炉的主要参数

项目	参数	说明
电弧炉类型	150t 直流电弧炉	双炉壳
制造商	新日本制铁(NSC)	德国巴登(BSE)改造
平均出钢量 /t·炉 ⁻¹	135	
留钢量 /t·炉 ⁻¹	60	
炉壳内径 /m	7	
变压器功率 /MVA	102	
氧燃枪 /Nm ³ ·h ⁻¹ ·支 ⁻¹	2000 ~ 4000	6 支
氧气吹入量 /Nm ³ ·h ⁻¹	4000 ~ 8000	
碳粉喷入量 /Nm ³ ·h ⁻¹	80 ~ 120	

喷枪。当吹氧过程中炉渣发泡严重时,需要使用主碳喷枪。当铁水比增加时,需要向炉内喷吹 80~100kg/min 的碳粉;全废钢时,需要向炉内喷吹 120kg/min 的碳粉。碳粉的喷入量取决于炉渣的发泡状态和在冶炼过程中热装铁水量。全废钢时,碳粉的喷入量为 15~17kg/t 钢;当热装铁水比为 0.4 时,碳粉的喷入量为 9~11kg/t 钢;当热装铁水比为 0.6 时,碳粉的喷入量为 5~7kg/t 钢。

2.3 电弧炉入炉原料

在电弧炉中广泛使用铁水,大量的硅进入炉内,造渣材料显著增加,如石灰和轻烧白云石。硅在钢水中优先氧化,导致渣量显著增加,为形成泡沫渣和精炼必须控制炉渣碱度($\text{CaO}\%/\text{SiO}_2\%$),必须增加炉渣 CaO 含量。为了将目标熔渣碱度控制在 1.8~2.5,并保护渣线部分的耐火材料,需要石灰和轻烧白云石两者结合使用。表 1 给出了造渣材料的主要化学成分含量。

本研究中的电炉是双炉壳操作,助燃氧枪和留钢能提供一些热能加热废钢,在增加铁水前,在 40~50min 的待机期间废钢平均温度估计可以达到 523K(250℃)。

2.4 在电弧炉中提高铁水比例的限制环节

图 1 显示在没有显著改变工艺参数时,采用传统电弧炉生产工艺过程中铁比对冶炼时间的影响。根据电弧炉冶炼热装铁水的数量,电弧炉生产效率最初以废钢熔化和达到炼钢目标温度 1873K(1600℃)为限制性环节。增加废钢熔化速度可以通过提高能量输入和增加铁水实现。随着铁水加入量的增加,大量含碳原材料进入电弧炉导致脱碳成为限制性环节,随后增加了脱碳过程的冶炼时间并降低了生产效率。因此,根据以往的研究工作从工厂 A 到 D,随着铁比增加到 0.4,冶炼时间减少;但当铁比超过 0.4,延长的脱碳时间开始影响整个炼钢过程,从而增

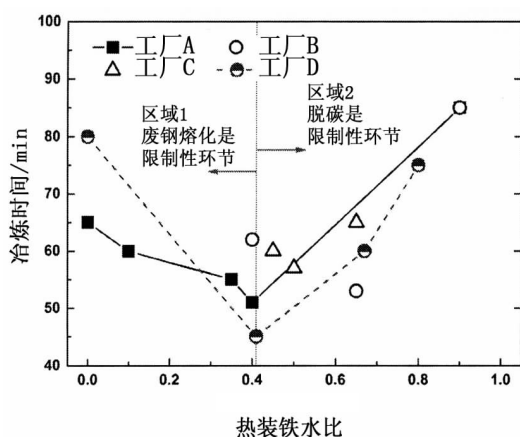


图 1 传统电弧炉冶炼过程中不同工厂铁比与冶炼时间的关系

加冶炼时间,这同罗斯等人的研究一致。综合看,传统电弧炉生产工艺中铁水的利用比例将限制在大约 40%。然而,随着吹氧工艺的优化实践,脱碳限制环节得到解决,并在不延长冶炼时间的情况下增加铁水比,在某些情况下可减少冶炼时间从而提高生产效率。对于本研究使用的炉型结构,在没有热装铁水时电弧炉冶炼时间大约为 65min。

2.5 脱碳过程和脱碳速率的计算

当吹氧流量超过 2000Nm³/h 时,随脱碳反应开始,铁水脱碳在吹氧流量达到最大的 10000Nm³/h 时开始进行。如果电弧炉中不加铁水,吹氧开始时间相对较晚。这是由于如果不加入铁水,整个钢液熔池形成较晚。如果电弧炉中不加铁水,最大的吹氧流量为 8000Nm³/h。平均脱碳速率用公式(1)计算。

$$\text{Rate}_{\text{Decarb}}(\text{d}\%C/\text{d}t) = (\%C_{\text{初始}} - \%C_{\text{最终}}) / (\text{吹氧时间})[\%/\text{min}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

初始的碳含量($\%C_{\text{初始}}$) 在废钢完全熔化和吹氧开始时使用碳硫分析仪测定。当钢液完全成熔化状态时开始吹氧脱碳,吹氧时间就是指这个过程的时间。最终的碳含量($\%C_{\text{最终}}$) 从出钢的试样中测定。出钢后的目标碳含量和其他元素含量范围见表 3。

表3 出钢目标温度 1893K(1620℃) ~ 1923K(1650℃)之间的钢水成分范围

元素	C	P	S	Cu	Sn	O _{自由}
%	0.034 ~ 0.045	0.01 ~ 0.02	<0.02	0.2 ~ 0.35	<0.06	0.065 ~ 0.1

3 结果分析

3.1 铁比对累积电耗的影响

根据 150t 电弧炉的 280 炉工厂试验数据,热装铁水比对电耗的影响见图 2(a)。较高的热装铁水电耗较低,出钢温度为 1893K(1620℃)到 1923K(1650℃)。在未加入铁水时,电弧炉冶炼时间大约为 65min、电耗为 438kWh/t 钢。图 2(b)为 280 炉试验炉次中的 59 炉,其氧流消耗在相对固定范围内。图中电耗的明显偏差是由于随后的二次精炼和连铸不同工艺条件造成的,如为增加合金要求提高出钢温度。对于 150t 的电弧炉,热装铁水为 0.4 与 0.45 之间的电耗为 $3.75 \times 10^4 \sim 2.6 \times 10^4$ kWh。用线性拟合法推到铁比达到 0.75 时,在电弧炉中增加铁水将使吨钢减少电耗约 1700kWh。

3.2 铁比对总氧消耗的影响

提高的热装铁水比必然需要增加氧气供应以完成钢液脱碳,在出钢前使目标碳含量控制在 395 ± 55 ppm。如图 3(a)所示,增加热装铁水比到 0.41、0.61,电弧炉初始碳

含量分别达到约 1.9%、2.8%。总氧消耗随着电弧炉中热装铁水比增加而增加。在热装铁水比一定的情况下试验炉次总氧消耗数据有些分散,这与冶炼时间、铁水成分、入炉原料有关,如发泡剂和废钢。总体趋势显示氧气消耗随热装铁水比提高而增加。图 3(b)为 150t 电弧炉在钢水成分和目标温度条件基本相当情况下冶炼时间与氧消耗关系。在 50 ~ 65min 的冶炼时间内,热装铁水比与氧气消耗关系与图 3(a)类似。热装铁水比与氧气消耗的回归分析见公式(2)。

总氧消耗(Nm³)=−112.85+10468.2×铁比(HMR).....(2)

随着炼钢过程总氧消耗数量增加,推测冶炼末期钢液会发生吸氧;但分析出钢氧含量表面在热装铁水比为 0.41 和 0.61 时,氧气消耗和钢液溶解氧含量没有直接的相关性。

3.3 热装铁水比对冶炼时间的影响

随着电弧炉热装铁水比的提高,冶炼需要的电能减少。随着铁比提高,在不增加冶炼时间的情况下,氧气消耗数量显著增加以

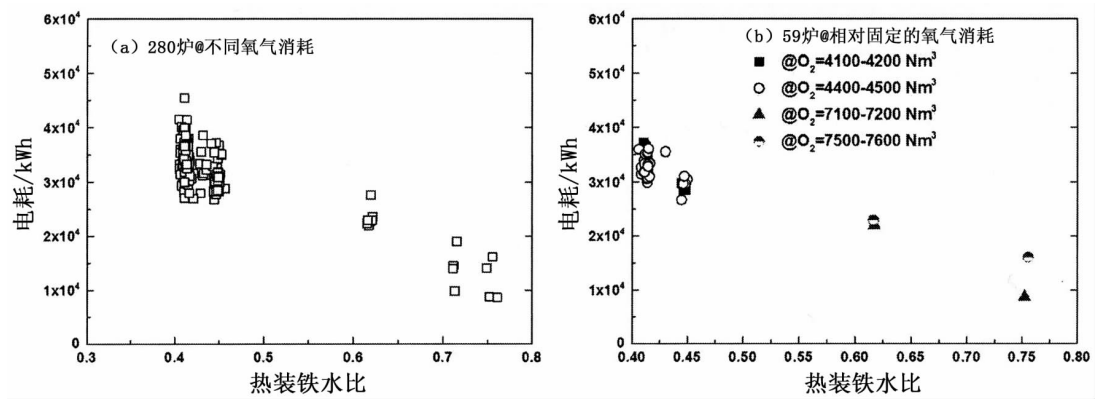


图2 150t 直流电弧炉出钢温度 1893K(1620℃) ~ 1923K(1650℃)时热装铁水比对电耗的影响

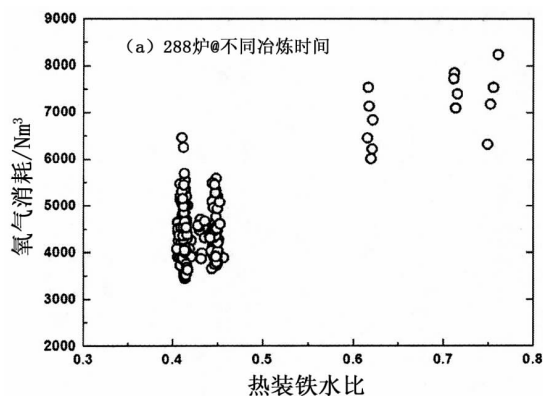
获得目标碳含量。根据试验数据分析得到氧气消耗与热装铁水比回归方程、冶炼时间与热装铁水比线性关系如图 4(a)。大部分试验炉次热装铁水比在 0.40 ~ 0.45 之间进行, 试验热装铁水比增加到 75% 以上是为获得热装铁水比在更大范围内与冶炼时间的定量分析关系。不同氧气消耗下冶炼时间与热装铁水比的关系见图 4(b)。热装铁水比和冶炼时间的线性关系可由公式(3)给出。

冶炼时间 (min) = 83.7 - 60.9 × 热装铁水比(HMR) (3)

根据上式可计算出一吨铁水代替废钢加入电弧炉内可降低冶炼时间约 0.45min。

3.4 脱碳速率与热装铁水比

当 150 t 电弧炉的热装铁水比为 0.41



($C_{\text{初始}} = 1.9\%$) 和 0.61 ($C_{\text{初始}} = 2.8\%$) 时脱碳速率同总氧消耗的关系见图 5(a)。根据热装铁水比提高的数量, 研究发现脱碳速率同氧气消耗有明显的差异。当热装铁水比增加到 0.41 时, 脱碳速率相对不受总氧消耗影响。当热装铁水比增加到 0.61 时, 脱碳速率随总氧消耗线性提高, 其相关性可由速率公式(4)给出。

$$\text{Rate}_{\text{脱碳}}^{\text{HMR}=0.61} (\%C/\text{min}) = 0.012 + 8.52 \times 10^{-6} \times \text{总氧消耗}(\text{Nm}^3) \quad \dots\dots\dots (4)$$

当热装铁水比为 0.4 时脱碳速率与氧气消耗的关系如图 5(b), 图中试验数据的条件是冶炼时间相同, 脱碳速率在 $3.66 \sim 4.19 \times 10^{-2}/\text{min}$ 范围内, 与氧气消耗关系不明显的平均脱碳速率为 $3.93 \times 10^{-2}/\text{min}$ 。在

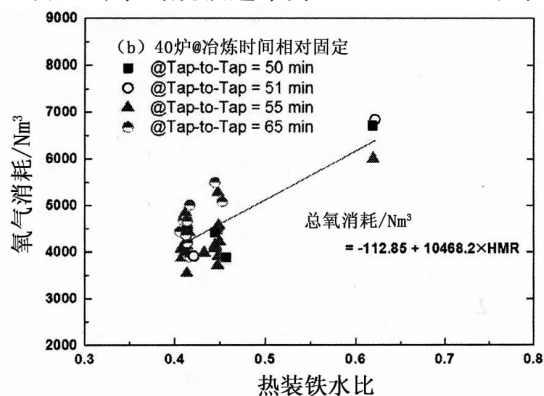


图 3 150t 直流电弧炉出钢温度 1893K(1620℃) ~ 1923K(1650℃)氧枪流量与热装铁水比的关系

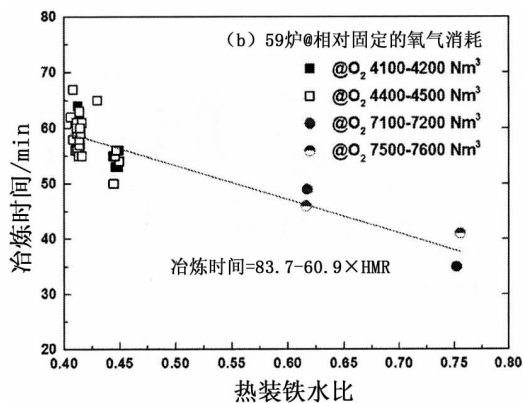
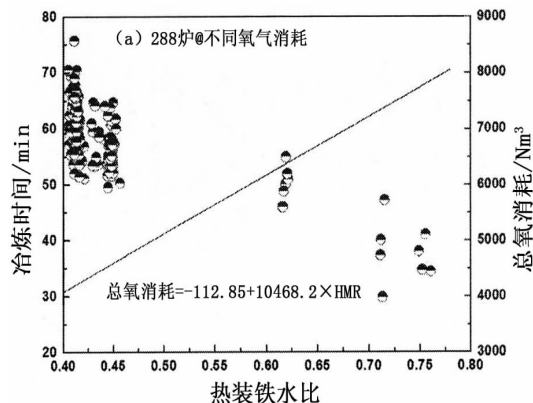


图 4 热装铁水比对冶炼时间的影响

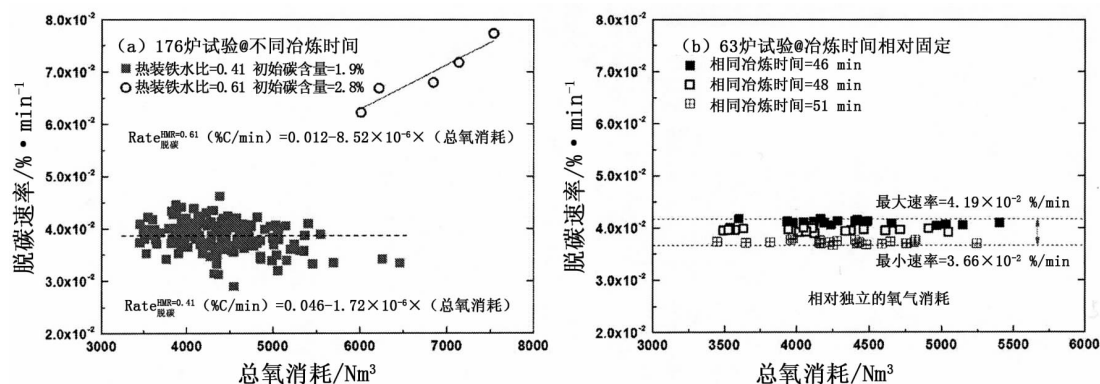


图5 脱碳速率与氧气耗之间的关系

铁比相对较低时,钢水内的碳含量决定了为脱碳提供的氧气数量充足且反应不受限制。因此,氧比碳的质量流量相对较高,同时由于碳的质量流量受动力学反应限制,增加氧的质量流量对脱碳反应影响有限。然而,在较高的铁比为0.61时,碳含量超过了为脱碳提供的氧气数量,氧的质量流量限制了整个脱碳速率。

3.5 热装铁水比对烟气温度和渣量的影响

对使用铁水时烟气温度的定性分析即从出口煤气系统的冷却室的平均温度和最高温度进行推测,在没有使用铁水的传统电弧炉炼钢过程中,冷却室的平均烟气温度和最高温度分别为597K(324℃)和800K(527℃)。当电弧炉冶炼热装铁水比为0.61时,在冷却室测量的烟气温度见图6(a)。热装铁水比增加到0.61与没有使用铁水的传统电弧炉生产工艺相比,烟气的最高温度均低于800K,平均温度略高。这可以说明铁水的使用对烟气温度没有直接影响。表明废钢与铁水之间的传热要比从电极产生的电弧加热更有效,因此当热装铁水比较低时的烟气最高温度可能与较低的电能消耗有关。

渣量和铁比之间的关系见图6(b)。提高热装铁水比使渣量略有增加,由于Si的氧化反应的热动力学比C高,铁水中Si在

脱碳反应过程中优先氧化。高铁比增加电弧炉中入炉Si含量,使在冶炼过程中渣量增大,为改善渣的流动性及控制渣碱度在1.8~2.5之间,必须添加石灰和白云石来造渣。渣量的增加是由于铁水中的Si含量增加,本研究中电弧炉热装铁水比的炉次中大部分铁水Si含量控制在0.5%以下。

在试验炉次中热装铁水比为0.4与0.45之间时,部分炉次的渣量在图中是离散点,这可能是由于钢水中Si含量偏差和废钢加入时带入的部分含硅材料造成的。总的来说,当铁水中Si含量控制在0.5%以下时,随电弧炉热装铁水比例的提高炉渣增加量小于预期。本研究中铁水Si含量在0.3%~0.6%之间时,铁比为0.41时每炉有13~15t的渣量,而铁比为0.61时渣量再增加约20%。

4 讨论

图7(a)电弧炉全废钢冶炼吹氧过程,冶炼时间基本相当的炉次中,冶炼20~25min时间内,形成的钢液体积基本相当,但是电能消耗巨大。钢水熔池一旦形成,随碳粉喷入炉内,氧气吹入使熔池产生化学热,并在炉内形成泡沫渣,在传统的电弧炉冶炼过程最大的吹氧流量为8000Nm³/h。图

7(b)为电弧炉热转铁水比为 0.61 时的电弧炉冶炼吹氧过程。由于铁水的加入,加入废钢的熔化速度较全废钢的传统电炉操作工艺快,同时吹氧提前,吹氧在加入废钢后大约 10min 开始,最大的吹氧流量将达到 $10000\text{Nm}^3/\text{h}$,比全废钢工艺吹氧时间长。吹

氧时间和流量根据热装铁水比来确定,炉渣发泡操作也一样。在某些情况下,过度的吹氧易使炉渣发泡过度,从而使泡沫渣从渣门溢出,给冶炼操作带来问题。

对于热装铁水电弧炉炉渣发泡操作,必须优化吹氧操作工艺以适应炉渣发泡操作。

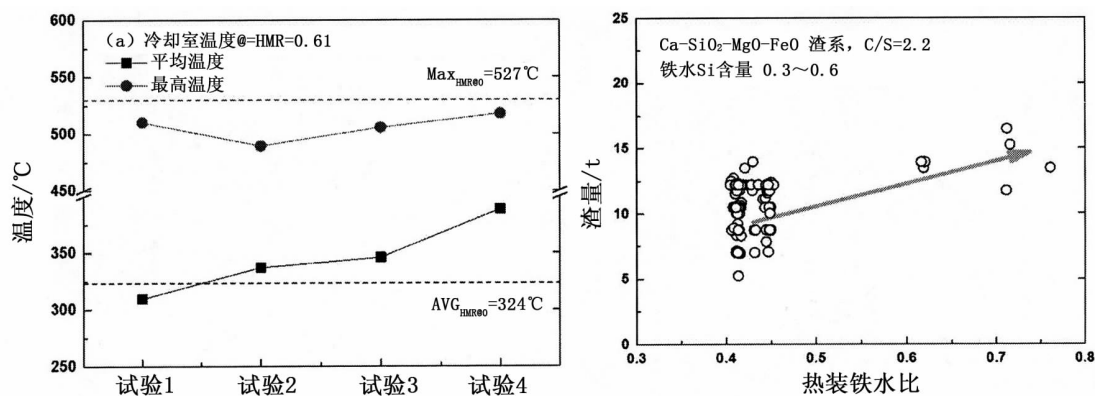


图 6 (a)传统电弧炉冶炼过程中热装铁水比增加到 0.61 与不加铁水工艺下的冷却室烟气平均温度和最高温度 和(b)冶炼过程中根据质量平衡计算渣量与铁水之间的关系

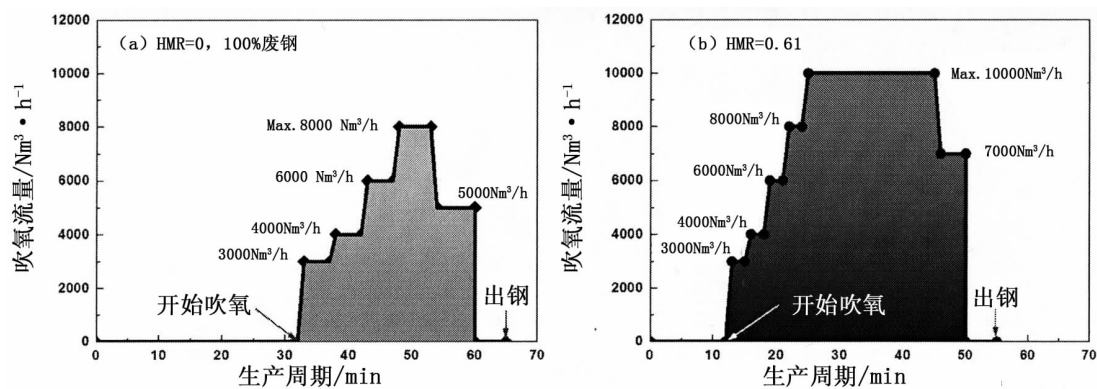


图 7 热装铁水工艺随炼钢过程不同时间段下的吹氧工艺

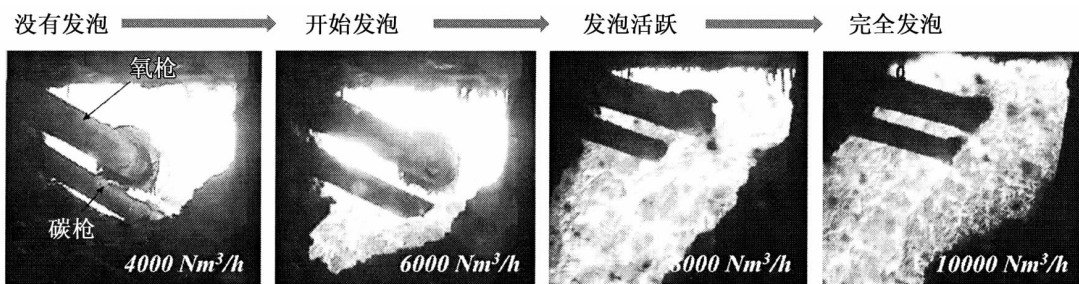


图 8 在热装铁水比 0.41 时不同吹氧操作工艺下炉渣发泡情况的实物图像

大量实验和中试测试表明炉渣中气体溢出速度受氧气流量和 CO 气体形成量,及炉渣发泡指数的影响。图 8 为热装铁水比为 0.41 时炉渣发泡实物图像。在初始吹氧流量为 $4000\text{Nm}^3/\text{h}$ 时,没有观察到炉渣发泡,随吹氧流量增加到约 $6000\text{Nm}^3/\text{h}$ 时,炉渣开始发泡,并且碳氧枪较低的区域已浸泡在发泡渣中。当吹氧流量达到 $8000\text{Nm}^3/\text{h}$ 时,炉渣泡沫完全浸泡碳氧枪和部分氧枪,大约 1/2 和 2/3 的渣门被泡沫渣占领。当氧流量达到最大 $10000\text{Nm}^3/\text{h}$ 时,泡沫渣充分扩展,碳氧枪和氧枪完全浸泡在泡沫中。此时炉渣完全发泡,泡沫渣占领几乎渣门的 3/4。当吹氧流量超过 $10000\text{Nm}^3/\text{h}$ 时,已严重超过目前电弧炉的出渣系统的承受能力。在热装铁水时,可使用视觉图像解释炉渣发泡现象,用于适

当修改吹氧操作工艺。

5 结论

本文研究了电弧炉热装铁水比从 0.41 到 0.75 对电炉冶炼操作工艺参数的影响结果。在电弧炉炼钢中热装铁水每增加 1t 可约降低 1700kWh 电耗。目标碳含量为 $395 \pm 55\text{ppm}$, 随热装铁水比增加吹入炉内氧气数量明显增加,本文提出了总氧消耗与铁比的线性关系式。在氧气消耗相当的情况下热装铁水比从 0.41 到 0.75 之间变化时,冶炼时间随铁比变化的关系显示随吹氧操作的改变每增加 1t 铁水将缩短冶炼时间 0.45min 。热装铁水比为 0.41 时,脱碳速率不受总氧消耗的影响,但当热装铁水比为 0.61 时脱碳速率随氧消耗增加呈线性增加。

太钢在国内率先研发成功热交换器 用新型不锈钢材料

近日,国内首款 112 台热交换器从上海通华不锈钢压力容器工程有限公司启运,交付上海国际金融中心生活热水供给系统安装。这批热交换器的构件全部采用太钢新研发成功的高等级新型不锈钢材料制作。这是该类产品在国内生活热水供给系统中的首次批量应用。

不锈钢热交换器因其具有抗氧化、防腐蚀、防结垢性能优异和传热效果好、使用寿命长、安全卫生等特点,广泛应用于环保、食品、医药、化学、采暖、生活用水、空调回水等领域。

作为上海国际金融中心生活热水供给系统的关键环节,不锈钢热交换器对材料的性能和质量要求极其严格。今年 9 月,应上海国际金融中心新设计理念的要求,太钢与

上海通华不锈钢压力容器工程有限公司达成新材料研发生产合作意向。经过短短两个多月的协同攻关,太钢研发团队在材料制造、成型、焊接等一系列关键工艺技术上取得突破,在国内率先研发成功热交换器用新型不锈钢材料,实现了传统镍系不锈钢材料的升级换代。与传统材料相比,太钢热交换器用新型不锈钢材料强度更高、耐震耐压耐冲击性能更优、导热系数更高、寿命周期更长,同时,因其不含贵重镍金属,性价比也更高,是典型的绿色产品。新材料经加工企业使用,产品性能优异、质量稳定可靠,受到客户好评,成为太钢以创新驱动品种结构优化升级、助力中国高端制造的又一成功范例。

(摘自相关报道)

Analysis of the causes of hard descaling behavior of 9Ni steel slab during hot rolling

Technology center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co., Ltd.

Rui Ma, Hairui Wei, Peimao Fu

Abstract Samples taken from 9Ni and X70 steel slabs were oxidized at 1190℃ for up to 3 h in air. Oxidized products and their morphologies were characterized using OM, SEM (EDS) and XRD. Results showed that, oxides formed on 9Ni steel slab had a complicated structure: an outer oxide scale comprised of outer Fe_2O_3 , middle Fe_3O_4 , inner FeO; a middle FeO + Ni-rich phase layer; and an inner eutectic FeO/ Fe_2SiO_4 + Ni-rich phase layer at the scale/matrix interface. The FeO + Ni-rich phase entangled layer accounted effectively for hard descaling behavior of 9Ni steel slab.

Keywords 9 Ni steel slab hard descaling oxide scale structure

1 Introduction

In order to improve the environment, save energy and cut down emissions more effectively, natural gas had been used extensively as a kind of high quality clean energy. According to data from the National Bureau of Statistics of China^[1], natural gas consumption jumped from 24.503 billion m^3 in 2000 to 170.537 billion m^3 in 2013, in the meantime, natural gas import jumped from 950 million m^3 in 2006 to 42.06 billion m^3 in 2012. It is expected that natural gas consumption and import will keep an increment for a long time in the future. The imported gas is transported by land pipelines, or liquefied natural gas (LNG) carriers, and then part of them is stored in underground gas storages (UGSs) or LNG storage tanks. Unfortunately, China's gas storage capacity became the bottleneck, which

cannot ensure a stable supply of gas or even national strategic reserve. For example, as of today, China's peak shaving capacity of UGSs that have been put into production is only 2% of gas sales volume, far lower than the average level of 11% of UGS working gas volume in annual gas consumption abroad.^[2]

Therefore, it is expected that more and more LNG storage tanks will be built in coastal cities in the near future. The steel plate used for these storage tanks needs to possess a combination of high strength, excellent fracture toughness at ultra-low temperature, and good surface quality. For this purpose, 9% (wt%, here and throughout) nickel (9Ni) steel plate had been developed and widely used over the past few decades. However, in the manufacturing process of 9Ni steel plates, the oxide scale formed on slab during reheating adheres strongly to the

matrix, which leads to a hard descaling process, even under high pressure water of 19 MPa. After subsequent hot rolling, the remained oxides bring about undesirable defects, such as pits, red or black stripes, which influence the production quality of finished plates. At present, mills tend to avoid the above problem by coating the slab in mass production, on the other hand, coating increases production cost.

So far few investigations about high temperature oxidation of 9Ni steel were reported.^[3,4] Existing investigations still cannot explain the hard descaling behavior well and there exist two main problems. The first one is that samples were taken from the finished plate; its oxidation behavior may differ from oxidation behavior of slab due to their completely different original grain sizes. The second one is that systematic characterization of oxide scale formed during oxidation is still lacking. Thus, it is necessary to conduct an oxidation experiment of 9Ni steel slab, which will play an important role in understanding the reason for its hard descaling be-

havior during hot rolling. In this paper, the samples were taken from 9Ni and X70 slabs, and then reheated according to their reheating schedules in mass production. Both steel slabs possess similar reheating schedules, but quite opposite descaling behaviors.

2 Material and methods

Samples ($20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$) were taken from upper surface layers of 9Ni and X70 steel slabs produced by Taiyuan Iron & Steel (Group) Co., Ltd., and thicknesses of these slabs were 200 mm and 230 mm, respectively. Their compositions were listed in Table 1. Rust on the surfaces of samples were removed and polished to minimize the influence of roughness on the adherence of oxide scale. These samples were ultrasonically cleaned in alcohol, dried, heated from room temperature to 1190 °C in a furnace to simulate the reheating process, taken out after holding various periods (10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h) at 1190 °C, and then air cooled to room temperature.

Table 1 chemical compositions of experimental materials /wt%

Grade	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Fe
9Ni	0.04	0.23	0.55	0.003	0.001	0.03	9.10	Bal.
X70	0.05	0.20	1.52	0.011	0.002	0.033		Bal.

Note: X70 contains a small amount of Ti, V, and Nb.

Firstly, the oxide scales formed on the upper surfaces of samples were analyzed by FEI 430 or Zeiss scanning electron microscope (SEM) attached with energy dispersive spectrometer (EDS). During subsequent preparation, we detached the outermost oxide scales, collected them and powdered for phase identi-

fication. Constituent phases were determined using a Philips X' Pert Pro MPD X-ray diffraction (XRD) apparatus with Co target. Then the remained oxide scales were observed again. Lastly, the cross sections of oxidized samples were ground, polished, and observed by Leica DM4000M optical microscope, then further an-

alyzed using SEM and EDS.

3 Results

Fig. 1 shows the XRD patterns for powder and the remained oxide scales. The detached oxides were Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , and $\text{Fe}_{0.975}\text{O}$ (Fig. 1a). Although oxide scales were detached in varying degrees, $\text{Fe}_{0.975}\text{O}$ remained on all samples. In addition, γ phase was detected in the 9Ni samples held for 10 min and 30 min; and α phase of matrix was detected in the X70

sample held for 3 h (Fig. 1b).

Fig. 2 shows the cross section OM micrographs of oxidized samples. One distinctive layer with bright and dark phases existed above the matrix of all oxidized 9Ni samples; the scale/matrix was relatively planar; some oxidic pegs penetrated into the matrix along the grain boundaries; and many small particles existed inside the matrix near the interface (Figs. 2a ~ e). For X70 sample held for 3 h, an evident internal oxidation layer appeared, being locally

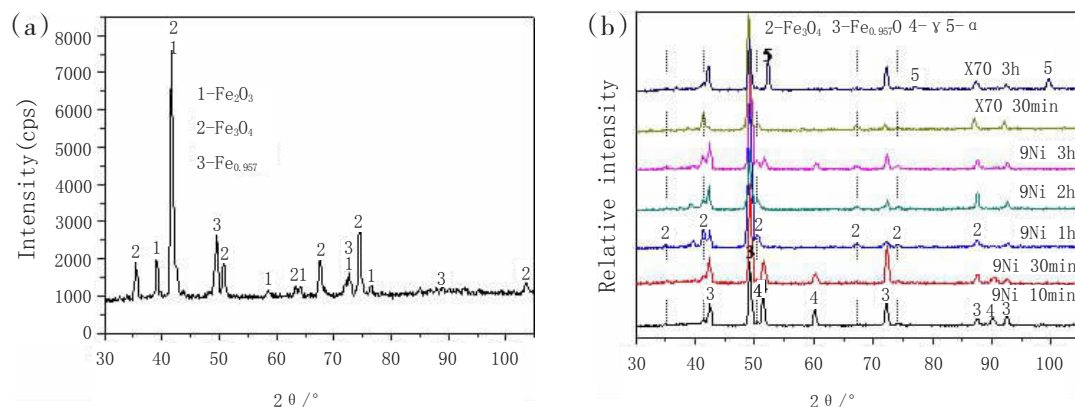


Fig. 1 XRD patterns for powder and remained oxide scales.

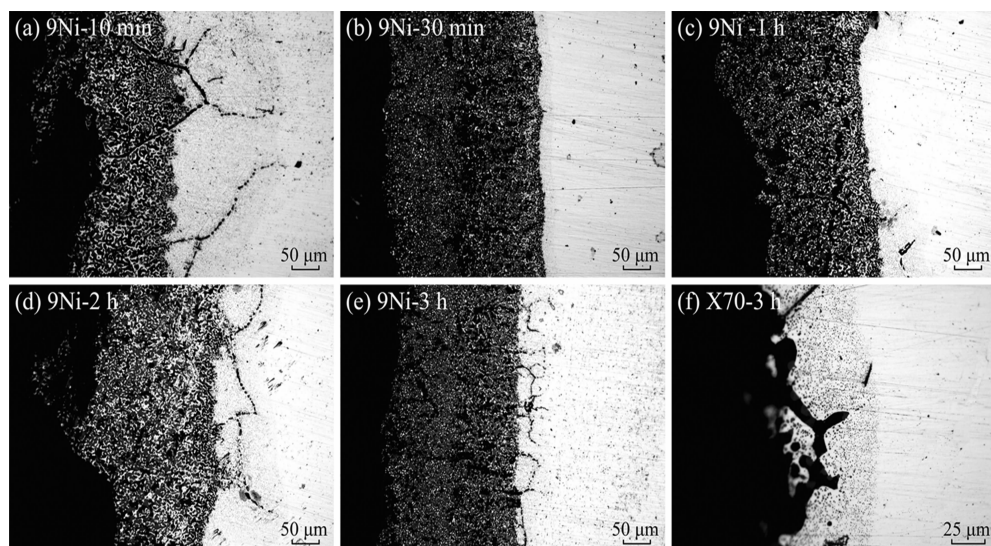


Fig. 2 Cross section optical micrographs of oxidized 9Ni and X70 samples held for various periods.

penetrated by some dark phase (Fig. 2f).

Fig. 3 shows the cross section SEM micrographs of 9Ni sample held at 1190 °C for 30 min. The cross section can be divided four parts from surface to matrix: FeO (dark phase) + Ni-rich phase (bright phase) area, eutectic

FeO/Fe₂SiO₄+ Ni-rich phase area, internal oxidation area, and matrix (Fig. 3a). Thicknesses of the former three areas were around 370 μm, 20 μm, 20 μm, respectively. The morphology and composition of Ni-rich phase changed with increasing depth. Outer Ni-rich phase (near

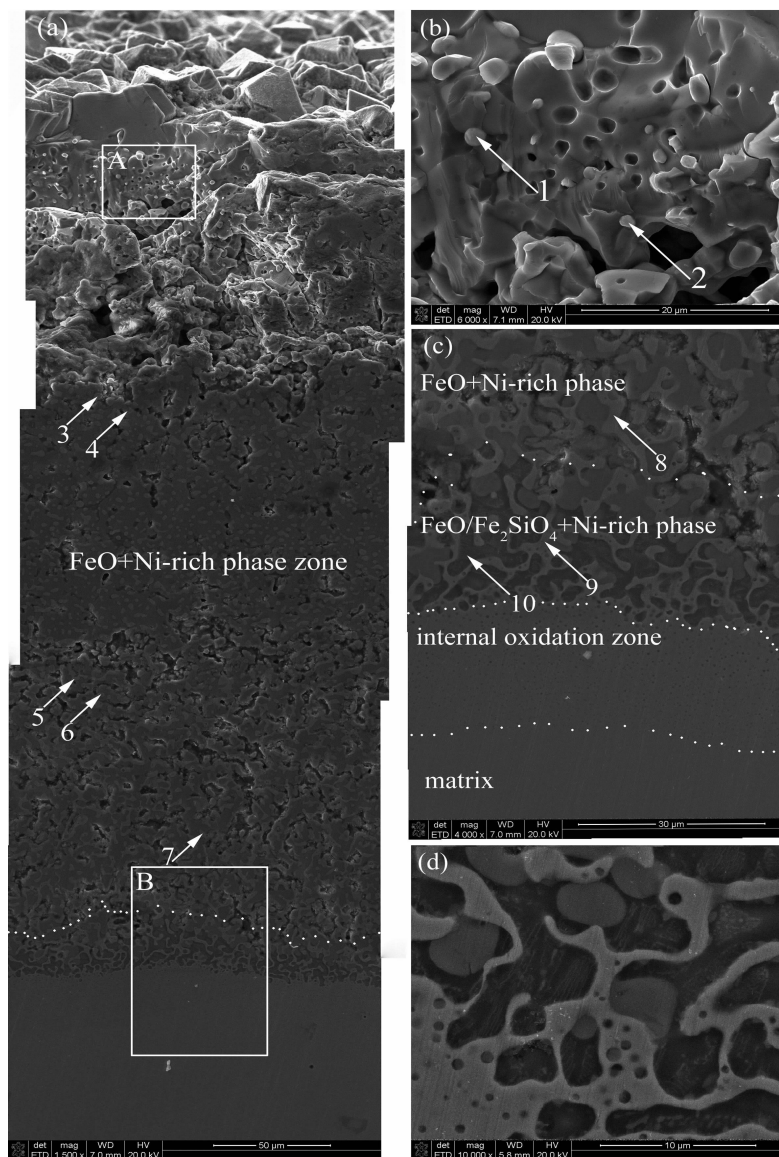


Fig. 3 Cross section SEM micrographs of 9Ni sample held at 1190 °C for 30 min: (a) a full cross section; (b) high magnification view of area A in (a); (c) high magnification view of area B in (a); (d) high magnification view of typical eutectic compound of FeO/Fe₂SiO₄.

Table 2 EDS analysis of the points shown in Fig. 3.

Point	Ni	Si	O	Fe
1	52.86		6.35	Bal.
2	51.55		7.01	Bal.
3	51.86			Bal.
4	51.42			Bal.
5	42.50			Bal.
6	42.62			Bal.
7	33.58		4.07	Bal.
8	32.93			Bal.
9	28.94			Bal.
10		11.33	31.51	Bal.

the surface of remained scale) exhibited granular shape, and inner Ni-rich phase exhibited much irregular shape, entangling with FeO (Figs. 3a ~ c). Ni content in Ni-rich phase decreased with increasing depth, dropping from 52% or higher (even 60%, not shown in Table 2) to ~25% (Table 2). Similar structures and composition distributions were obtained for other 9Ni samples. Eutectic FeO/Fe₂SiO₄ near the scale/matrix interface exhibited a lamellar structure (Fig. 3d), as observed by other investigators^[5].

Fig. 4 shows the cross section SEM micrographs of X70 sample held at 1190 °C for 3 h. Compared with 9Ni samples, the structure was much simpler: an outer continuous and thin FeO scale, and an inner eutectic FeO/Fe₂SiO₄ layer near the scale/matrix interface, and an internal oxidation layer. The scale/matrix interface was irregular.

4 Discussions

This paper simulated oxidation behaviors of 9Ni and X70 steel slabs during reheating, compared their oxidized products and morphologies to explain the reason for hard descaling behavior of 9Ni steel slab during hot rolling.

The two steels for present experiment possess different composition systems, based on different applications and requirements. Matrix of X70 approximates to pure iron, while that of 9Ni steel to Fe-9Ni alloy. Due to 9% Ni addition, oxidized products and morphologies changed remarkably. X70 formed a classical ternary scales structure: outer Fe₂O₃, middle Fe₃O₄, and inner FeO. This is consistent with other researches.^[6] 9Ni formed a similar outer scale structure comprised of outer Fe₂O₃, middle Fe₃O₄, and inner FeO; however, inner FeO co-existed with Ni-rich phase; i.e., FeO + Ni-rich phase. Such differences in oxidized products and their structures determined their entirely different descaling behaviors.

Previous investigations proved that, addition of Ni increases the difficulty of descaling.^[7-9] Small addition of Ni accelerates unevenness of scale/matrix interface^[7,8], with increasing Ni content, formation of an entangled layer favors^[9]. Melfo et al. showed that, after oxidation at 1250~1310°C, Fe-0.06C-1.8Mn-0.15Si formed no entangled layer, while Fe-0.06C-1.6Mn-1.1Ni-0.15Si formed an entangled layer with a thickness of 20 ~ 50 μm. In addition, much thicker the entangled layer, much thicker the remained scale after hydraulic descaling.^[9] The 9Ni steel used in this experiment contained much higher Ni than the above mentioned steel,

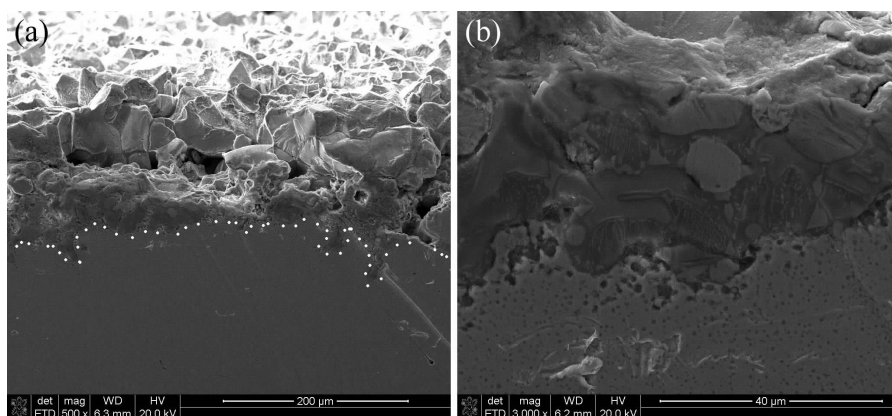


Fig. 4 Cross section SEM micrographs of X70 sample held at 1190 °C for 3 h.

thus much easier to form a thick entangled layer. We can find that inner FeO + Ni-rich phase area (near the eutectic FeO/Fe₂SiO₄ + Ni-rich phase area) exhibited an entangled structure in which FeO and Ni-rich phase interlocked each other (Fig. 2a ~ e, Fig. 3a, Fig. 3c). This complicated entangled structure can effectively suppress crack propagation during hydraulic descaling, resulting in much poor descaling ability.

In addition, existence of Si also influences the descaling behavior.^[5, 10] In Si-containing steels ($\geq 0.5\%$ Si), the compound of FeO/Fe₂SiO₄ forms at the scale/steel interface during slab reheating. At a high temperature above 1173 °C, liquid FeO/Fe₂SiO₄ penetrates irregularly into both upper FeO and lower steel sides. Descaling is quite difficult to perform due to the anchor effect, resulting in formation of red or black stripes and poor surface quality. In this paper, although Si content in both steels ($\sim 0.2\%$) could not ensure formation of a continuous protective SiO₂ scale, both alloys formed eutectic FeO/Fe₂SiO₄ near the scale/matrix interface (Fig. 3, Fig. 4). By com-

parison, eutectic FeO/Fe₂SiO₄ penetrated locally into the matrix in X70, however eutectic FeO/Fe₂SiO₄ interlocked the Ni-rich phase in 9Ni steel, and there was no obvious interface between the Ni-rich phase and the matrix, adhering more tightly to the matrix. In addition, oxide scale of X70 sample was continuous and compact, providing a good protection for matrix. Many voids existed in the oxide scale of 9Ni sample, providing a poor protection for matrix, thus thickness of oxide scale formed on 9Ni steel was much thicker (Fig. 3). As a result, much thinner oxide scale with a less entangled structure explains why descaling is easy to perform for X70 slabs. That is also proved in mass production: descaling is easy to perform for low alloy steels containing $< 0.5\%$ Si. On the contrary, thicker oxide scale with a much more entangled structure increases the difficulty of descaling for 9Ni slabs. This is in agreement with others' findings. Synergistic effects of Ni and Si enhanced the difficulty of descaling. After oxidation at 1250~1310 °C, Fe-0.06C-1.6Mn-1.1Ni-0.05Si formed an entangled layer with a thickness of 10~15 μm, while

Fe-0.06C-1.6Mn-1.1Ni-0.15Si formed a thicker entangled layer.^[9] However, because the thickness of Ni-rich phase + FeO entangled layer was greater, and this layer was above the eutectic FeO/Fe₂SiO₄ + Ni-rich phase entangled layer, that is to say it should be impacted by high pressure water earlier, Ni-rich phase + FeO entangled layer played a more important role in hard descaling behavior.

Apart from above reasons, oxidic pegs penetrating along grain boundaries, and uneven surface of original slab also increase the difficulty of descaling to some extent.

5 Conclusions

This paper simulated oxidation behaviors of 9Ni and X70 steel slabs during reheating, compared their oxidized products and morphologies to explain the reason for hard descaling behavior of 9Ni steel slab during hot rolling. Conclusions are as follows:

(1) After oxidation at 1190 °C oxides formed on 9Ni steel slab had a complicated structure: an outer oxide scale comprised of outer Fe₂O₃, middle Fe₃O₄, inner FeO; and a middle FeO + Ni-rich phase layer, and an inner eutectic FeO/Fe₂SiO₄ + Ni-rich phase layer at the scale/matrix interface.

(2) The FeO + Ni-rich phase entangled layer accounted effectively for hard descaling behavior of 9Ni steel slab.

Acknowledgments

We are very grateful to Jie Zhou for phase analysis, and to Yanhua Xue for powder preparation, and to Caihuan Wang for supplying the 9Ni slab, and to Zailong Liu for supplying the

X70 slab, and to Dr. Dongfeng Liu for helpful discussions.

References

- [1] <http://www.stats.gov.cn/>.
- [2] G. Ding, C. Li, J. Wang, H. Xu, Y. Zheng, Q. Wanyan, Y. Zhao, The status quo and technical development direction of underground gas storages in China, *Natural Gas Industry B* 2 (2015) 535–541.
- [3] Y.-z. Liu, C.-f. Yang, F. Chai, T. Pan, H. Su, High Temperature Oxidation Resistance of 9Ni Steel, *J. Iron Steel Inst.* 21 (2014) 956–963.
- [4] Y. He, L. Wei, X. Zhang, X. Zhou, S. Wang, X. Shan, S. Ye, Influence of a protective coating slurry on enhancing the descaling ability and oxidation resistance of 9% nickel steel, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 29 (2014) 1252–1257.
- [5] T. Fukagawa, H. Okada, Y. Maehara, Mechanism of Red Scale Defect Formation in Si-added Hot-rolled Steel Sheets, *ISIJ Int.* 34 (1994) 906–911.
- [6] R.Y. Chen, W.Y.D. Yuen, Review of the High-Temperature Oxidation of Iron and Carbon Steels in Air or Oxygen, *Oxid. Met.* 59(2003) 433–468.
- [7] T. Fukagawa, H. Okada, Y. Maehara, H. Fujikawa, Effect of Small Amount of Ni on Hydraulic-descaling-ability in Si-added Hot-rolled Steel Sheets, *J. Iron Steel Inst. Jpn.* 82 (1996) 63–68.
- [8] T. Asai, T. Soshiroda, M. Miyahara, Influence of Ni Impurity in Steel on the Removability of Primary Scale in Hydraulic Descaling, *ISIJ Int.* 37 (1997) 272–277.
- [9] W. Melfo, H. Bolt, M. Rijnders, D. Staalman, C. B. Castro, D. Crowther, B. Jana, Experimental Study on Primary Scale Formation and Descalability on Steels Containing Ni and Ni+Si, *ISIJ Int.* 53 (2013) 866–873.
- [10] H. Okada, T. Fukagawa, H. Ishihara, A. Okamoto, M. Azuma, Y. Matsuda, Prevention of Red Scale Formation during Hot Rolling of Steels, *ISIJ Int.* 35 (1995) 886–891.

550MPa 级高强度耐大气腐蚀钢组织和性能控制

技术中心 辛建卿 何 晋

摘 要 设计了 550MPa 级高强度耐大气腐蚀钢的化学成分和热连轧工艺,并对其组织和性能进行了调控。生产实践表明,按照上述成分和工艺生产的高强度耐大气腐蚀热轧钢带的组织为铁素体+少量贝氏体,其拉伸性能波动范围小,冷弯性能和冲击性能优异,耐大气腐蚀性能良好,可满足出口铁路货车制造要求。

关键词 高强度 耐大气腐蚀 热轧钢带 组织 性能

1 前言

耐大气腐蚀钢主要用于制造铁路货车、集装箱、石油井架以及工程机械等要求具备耐大气腐蚀性能的产品,其中铁路货车和集装箱制造业对耐大气腐蚀钢的需求量较大且稳定。我国铁路货车的主要发展趋势是重载、快运和安全,提高钢材强度以减轻车体自重是满足这一要求的重要手段,因此采用高强度耐大气腐蚀钢取代低强度钢种已成为必然选择。进入 21 世纪以来,屈服强度级别为 450MPa 的高强度耐大气腐蚀钢已在 70t 和 80t 级铁路货车上获得了广泛应用^[1],但更高强度级别的耐大气腐蚀钢在国内铁路货车上的应用并不普遍。针对出口铁路货车需求,山西太钢不锈钢股份有限公司研制了屈服强度级别为 550MPa 的高强度耐大气腐蚀热轧钢带,本文叙述了其组织和性能控制情况。

2 化学成分设计

提高耐大气腐蚀钢强度最经济的方法是提高 C 含量,但是随着 C 含量的提高,钢

的塑性、冲击韧性、成型性能和焊接性能却明显下降。为了使成品耐大气腐蚀钢具有良好的综合力学性能,应当在订货技术条件所允许的成分范围内,尽可能降低 C 含量,由此产生的强度下降则通过提高耐大气腐蚀钢中其它合金元素含量来弥补。

Si 在铁素体中的固溶强化系数比 Mn 高,它对提高耐大气腐蚀钢的强度非常有效,但却降低钢的冲击韧性,因此采用 Si 合金化的幅度有限。

Mn 具有较强的固溶强化作用,使耐大气腐蚀钢屈服强度和抗拉强度呈线性增加趋势。Mn 是奥氏体形成元素,能够降低奥氏体转变温度(A_{r3}),具有稳定奥氏体的作用。Mn 可提高铁素体形核率,降低铁素体晶粒长大速度,即具有细化铁素体晶粒的作用。但 Mn 含量提高可使耐大气腐蚀钢的碳当量(C_{eq})提高,对焊接性能不利。为了综合改善耐大气腐蚀钢的强韧性并兼顾焊接性能,应适当提高 Mn 含量。

P 虽然能使钢的强度提高并使耐大气腐蚀性能得到改善,但它对钢的塑性、冲击韧性、成型性能和焊接性能都是有害的。P

在耐大气腐蚀钢中易形成 Fe_3P , 增加钢的脆性, 剧烈降低钢的低温冲击韧性; P 在 γ 铁和 α 铁中的扩散速率小, 易形成偏析, 从而对钢的成型性能造成不利影响。P 会恶化钢的焊接性能。因此, 应尽可能降低耐大气腐蚀钢中的 P 含量。

较高的 S 含量可导致耐大气腐蚀钢产生热脆缺陷, 降低其热加工塑性。加入钢中的 Mn 可与 S 形成 MnS 塑性夹杂物, 减轻 S 对钢热加工性的有害影响。但 MnS 在轧制过程中沿轧制方向延伸易使热轧钢带形成带状组织, 显著降低钢带的横向冲击韧性和成型性能。因此, 应尽可能降低耐大气腐蚀钢中的 S 含量。

Cu 和 Cr 对耐大气腐蚀钢的固溶强化作用不强, 但可显著提高其耐大气腐蚀性能。Cu 改善钢耐大气腐蚀性能效果突出, 它能够在耐大气腐蚀钢的锈层中富集, 提高锈层的附着性和致密程度, 减缓腐蚀介质对钢板基体的进一步腐蚀^[2]。Cr 能够增强耐大气腐蚀钢的钝化能力, 在钢的锈层中富集的 Cr 的氧化物提高了锈层抵抗腐蚀介质入侵的能力^[3]。

Ni 也具有提高钢耐大气腐蚀性能的作用, 但近年来研究表明^[4], 其效果并不明显。向耐大气腐蚀钢中加入 Ni 的主要目的在于消除高 Cu 含量导致的热脆表面缺陷。

加入 Nb、V、Ti 等微合金元素是提高耐大气腐蚀钢强度和韧性并改善其焊接性能的重要手段。在加热过程中溶解于奥氏体中的 Nb、V、Ti 的碳化物、氮化物或碳、氮化合物可有效阻止奥氏体晶粒长大, 这对改善钢材的焊接性能可起到积极作用。在热轧过程

中形变诱导析出的上述化合物与晶界、亚晶界及位错的交互作用, 阻止了晶界的移动及合并, 延迟了形变奥氏体动态再结晶, 使形变奥氏体晶粒及终态组织细化; 相变后在铁素体基体上析出的更细小弥散的 Nb、V、Ti 的碳化物、氮化物或碳、氮化合物则起到了析出强化作用。

根据相关合金元素对高强度耐大气腐蚀钢组织和性能的影响规律, 以及出口铁路货车对热轧钢带的性能要求, 确定了 550MPa 级高强度耐大气腐蚀钢热轧钢带的化学成分控制范围, 见表 1。

3 热连轧工艺控制

3.1 加热

将高强度耐大气腐蚀钢铸坯加热到奥氏体区域的目的首先在于减小钢的屈服应力, 降低变形抗力; 同时要使所添加 Nb、V、Ti 等微合金元素全部固溶, 以使其在随后的热轧和冷却过程中再次析出且充分发挥细晶强化和析出强化作用; 通过加热, 还应使铸坯成分均匀化, 并使奥氏体晶粒不过分长大。

微合金元素 Nb、V、Ti 完全固溶所需要的最低温度是由 Nb、V、Ti、C、N 含量决定的。在 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀钢的既定成分范围内, 虽然在较低的加热温度下 Nb、V、Ti 即可完全溶解于奥氏体中并达到控制奥氏体晶粒长大的目的, 但出于降低轧制负荷、宜于组织生产目的考虑, 确定 TQ550NH 连铸坯的均热温度为 1260 ~ 1280℃。

3.2 粗轧

表 1 550MPa 级高强度耐大气腐蚀钢的牌号和化学成分 /%

牌号	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Cu)	w(Cr)	w(Ni)	w(Nb+V+Ti)
TQ550NH	≤0.18	≤0.80	≤2.10	≤0.030	≤0.020	0.15 ~ 0.65	0.35 ~ 1.50	0.30 ~ 0.80	≤0.22

粗轧的物理冶金目的在于破坏铸态组织,通过多次再结晶有效细化奥氏体晶粒,获得晶粒均匀的奥氏体组织。晶粒不均将对成品力学性能的均匀性产生影响。为了避免混晶现象,TQ550NH 粗轧道次变形率按照 $\geq 16\%$ 控制。

3.3 精轧

精轧工艺制度的确定主要考虑实现奥氏体未再结晶区的控制轧制。未再结晶控制轧制的特点是在轧制过程中不发生奥氏体的再结晶现象,使奥氏体晶粒拉长,并在晶粒内部形成变形带。变形奥氏体晶界是奥氏体向铁素体转变时铁素体的优先形核位置,因被拉长的奥氏体晶粒表面积与体积之比增加,转变后的铁素体晶粒更细。随着精轧变形率的提高,晶内变形带的数量增加且分布更加均匀,相变后铁素体晶粒也就更加细小均匀。为了使 TQ550NH 完成未再结晶控制轧制,以在 950°C 以下温度区间内的累计变形率 $> 60\%$ 为原则设计了其精轧工艺。

3.4 冷却

卷取温度对高强度耐大气腐蚀热轧钢带的强韧性有明显影响。当卷取温度降低,即冷却速率提高时,过冷度增大,相变温度降低,铁素体形核率增加,铁素体晶粒得以细化。同时,高的冷却速率可阻止或延迟

Nb、V、Ti 的碳化物、氮化物或碳、氮化合物在冷却过程中的过早析出,使其在随后的缓冷过程中弥散析出,增强析出强化作用。高的冷却速率还可增加组织中晶粒更细小、位错密度更高的贝氏体相的比例,进一步提高钢的强韧性。根据以上机理确定的高强度耐大气腐蚀热轧钢带的卷取温度为 $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。

4 组织和性能控制

4.1 显微组织

按照上述化学成分控制原则和热连轧工艺制度,山西太钢不锈钢股份有限公司在 2250 热连轧生产线上开展了 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀热轧钢带的批量性试制工作,检测结果表明,128 批钢带的晶粒度均 ≥ 10 级,典型试样的金相组织见图 1。在扫描电镜下观察到的典型 TQ550NH 试样的组织形貌见图 2,由该图可以看出,TQ550NH 热轧状态的组织为铁素体 + 少量贝氏体,晶粒尺寸达到了 $5\mu\text{m}$ 以下。

4.2 拉伸性能和冷弯性能

128 批 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀热轧钢带的拉伸和冷弯性能控制情况见表 2。由表 2 可以看出,TQ550NH 热轧钢带的拉伸性能除符合出口铁路货车订货标准外,还



图 1 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀热轧钢带试样的金相组织

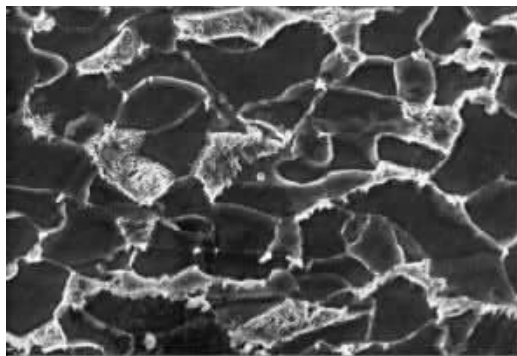


图 2 在扫描电镜下观察到的典型 TQ550NH 试样的组织形貌

表 2 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀钢的拉伸性能和冷弯性能

标准或 实际水平	钢带厚度 /mm	拉伸性能			冷弯性能	
		Rel 或 Rp _{0.2} /MPa	Rm /MPa	A /%	180° d=a 冷弯	180° d=0 冷弯
标准	4.0 ~ 10.0	≥550	≥600	≥18	完好	完好
最小值 - 最大值 / 平均值	4.0 ~ 10.0	585 ~ 636 /606	630 ~ 695 /658	20 ~ 25 /23	完好	完好

实现了窄范围控制,不同批次钢带屈服强度 Rel 或 Rp_{0.2}、抗拉强度 Rm 和延伸率 A 的变化范围分别为 51MPa、65MPa 和 5%,可满足铁路货车制造对热轧钢带拉伸性能稳定性的苛刻要求。TQ550NH 热轧钢带 180° d=0 冷弯检验完好(见图 3),表明其冷成型



图 3 TQ550NH 热轧钢带 180° d=0 冷弯试样性能优异,能够适应铁路货车部件对热轧钢带加工性能的多样化需求。

4.3 冲击韧性

典型 7.0mm 厚 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀热轧钢带的冲击韧性检测结果见表 3,冲击韧性随温度的变化趋势见图 4。由表

3 可以看出,试样尺寸为 5 × 10 × 55mm 的 TQ550NH 在 -40℃ 时的横向平均 V 形冲击功为 98J,折算为 10 × 10 × 55mm 全尺寸试样的相应值为 196J,大于出口铁路货车订货标准所规定的 60J 的下限值,且裕量较大。图 4 表明,当温度降低到 -60℃ 时,试样尺寸为 5 × 10 × 55mm 的 TQ550NH 的横向平均 V 形冲击功为 92J,折算为 10 × 10 × 55mm 全尺寸试样的相应值为 184J,这说明 TQ550NH 热轧钢带的韧脆温度转变点在 -60℃ 以下,低温韧性优异。

4.4 耐大气腐蚀性能

取典型 TQ550NH 和 Q345B 试样,在 TB/T 2375 《铁路用耐候钢周期浸润腐蚀试验方法》所规定的试验条件下进行了周期浸润腐蚀试验,试验时间 72h,试验结果见表 4。由表 4 可以看出,Q345B 普通钢和 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀钢的平均腐蚀失重速率分别为 2.22g/m²/h 和 0.93g/m²/h,若确定 Q345B 的腐蚀速率为 100%,则 TQ550NH 相对于 Q345B 的腐蚀速率为 41.9%,符合出口铁路货车订货标准所规定的 TQ550NH 相对腐蚀速率 ≤ 50% 的要求,

表 3 7.0mm 厚 TQ550NH 高强度耐大气腐蚀钢的系列冲击性能

试样尺寸 /mm	试样 方向	V 形冲击功 /J				
		-60℃	-40℃	-20℃	0℃	20℃
5 × 10 × 55	横向	89,91,95	101,97,95	114,112,119	125,120,118	122,127,120
	纵向	104,101,99	107,109,113	119,117,124	128,122,124	128,125,132

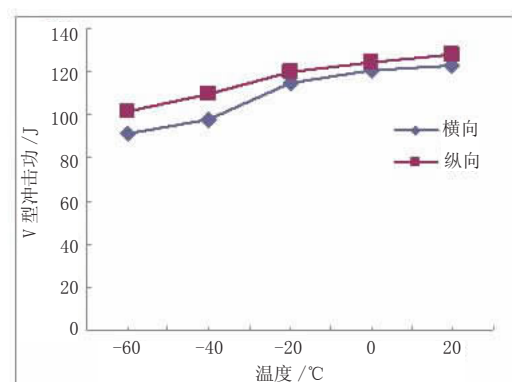


图4 7.0mm厚TQ550NH高强度耐大气腐蚀钢冲击韧性随温度的变化趋势

表4 TQ550NH和Q345B周期浸润腐蚀试验结果

钢种	试样编号	平均腐蚀失重速率/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$	相对腐蚀速率/%
Q345B	1	2.22	100
TQ550NH	2	0.93	41.9

TQ550NH具有良好的耐大气腐蚀性能。

5 结论

(1)设计了铁路货车用550MPa级高强度耐大气腐蚀钢的化学成分和热连轧工艺,其 $w(\text{C})\leq 0.18\%$, $w(\text{Si})\leq 0.80\%$, $w(\text{Mn})\leq$

2.10% , $w(\text{P})\leq 0.030\%$, $w(\text{S})\leq 0.020\%$, $w(\text{Cu}):0.15\%\sim 0.65\%$, $w(\text{Cr}):0.35\%\sim 1.50\%$, $w(\text{Ni}):0.30\%\sim 0.80\%$, $w(\text{Nb}+\text{V}+\text{Ti})\leq 0.22\%$ 。连铸坯均热温度 $1260\sim 1280^{\circ}\text{C}$,粗轧道次变形率 $\geq 16\%$, 950°C 以下温度区间内的累计变形率 $> 60\%$,卷取温度 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。

(2)批量生产的550MPa级高强度耐大气腐蚀热轧钢带的组织为铁素体+少量贝氏体,其耐大气腐蚀性能良好,拉伸性能波动范围小,冷弯性能和冲击性能优异,可满足出口铁路货车制造要求。

参考文献

- [1]汤楚强,李加良.铁路货车车体材料的发展与展望[J].铁道车辆,2010,48(5):30.
- [2]王祖滨,东涛.低合金高强度钢[M].北京:原子能出版社,1996:201.
- [3]Kamiura T,Stratmann M.The Influence of Chromium on the Atmospheric Corrosion of Steel[J].Corrosion Science,2001,43(3):428.
- [4]王俊山,史培阳,刘承军等.镍含量对高强耐候钢组织与性能的影响[J].材料与冶金学报,2015,14(2):137.

太钢捧回华意压缩“战略供应商”奖杯

2016年11月28日,在华意压缩机股份有限公司2017年度供应商大会上,太钢获得华意压缩“战略供应商”称号,并被授予“战略供应商”奖杯。

华意压缩是中国首家研发制造环保型冰箱压缩机的生产企业,连续14年保持国内冰箱压缩机行业市场份额第一,产销量连续3年位居全球行业第一。

太钢与华意压缩机股份有限公司的合作始于1997年。太钢向其提供稳定、可靠的硅钢系列产品,双方还在压缩机及材料研发方面展开深度合作。目前,太钢已成为华意压缩硅钢材料的第一大供应商。此次华意压缩授予太钢“战略供应商”奖杯,是对太钢产品保供能力和服务能力的高度肯定。

(摘自相关报道)

低碳钢表面氧化铁鳞压入缺陷预防与控制

热连轧厂 张怀富

摘 要 氧化铁鳞压入带钢表面产生缺陷是影响热轧带钢表面质量的重要原因,特别是对于冷轧用料是一种致命缺陷。本文通过对低碳钢 SPHC 表面产生氧化铁鳞压入缺陷的分析,找出了形成氧化铁鳞缺陷的因素,研究分析认为,合理使用轧机冷却水,有效利用工艺控制水,保持良好的轧辊辊面、辊温是保证带钢表面质量良好的前提条件。结合太钢 1549mm 热连轧机组的工艺装备情况,采取相应措施,解决了表面氧化铁鳞质量缺陷。

关键词 热轧带钢 表面 氧化铁鳞 轧辊

1 前言

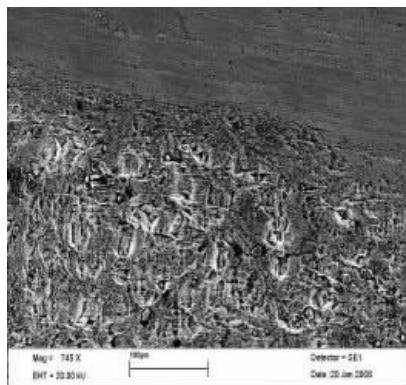
太钢 1549mm 热连轧供某厂冷轧用料 SPHC 热轧带钢曾出现大批量表面氧化铁鳞压入缺陷,经酸洗冷轧后缺陷部位起皮、麻点现象严重,造成用户无法按原工艺正常冷轧薄规格产品,产生大量残次品,造成较大的经济损失。

2 缺陷的表现形式

经跟踪观察,在冷轧酸洗前的热轧板能

够明显看到表面色泽不一,存在大量的麻点状缺陷,主要集中在传动侧上表面距边部 150mm 的位置,宽度约 200 ~ 300mm,其它部位也存在,但呈现于散状分布,规律不明显。存在缺陷的部位经酸洗后在钢板表面上留下大小、深浅不一的点状小麻坑,有的坑内还残留有大量的黑红色粉末状异物,表象近似为酸洗不净。对酸洗板取样进行扫描电镜观察分析,如图 1 所示。对酸洗后缺陷坑内残留的异物进行成分分析,主要元素为 O、Fe、Cl 离子,确定坑内异物主要是氧

(a)



(b)

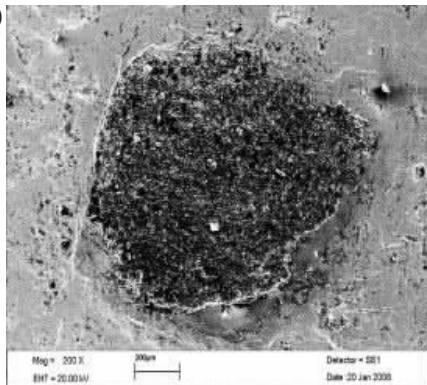


图 1 有缺陷的热轧板酸洗后扫描电镜照片

(a)缺陷部位与无缺陷部位对比;(b)缺陷坑内残留的异物

化铁鳞。

3 带钢表面氧化铁鳞压入缺陷原因分析

对产生缺陷的钢种 SPHC 的生产周期、工艺条件、规格等进行查证统计分析,发现如下特点:

- (1)SPHC 材质较软,轧制温度高,带钢主要化学成分和精轧终轧温度(FDT)如表 1;
- (2)缺陷卷厚度规格不一,宽度窄,主要

- 宽度规格为 930mm;
 - (3) 缺陷卷生产时编排在轧制单位末期,该钢种轧制前有一定量的硬质低合金钢生产;
 - (4)在轧制 SPHC 等低碳钢时精轧后段机架粉尘严重,无法及时排走;
 - (5)同期生产过程中精轧机前段机架下机辊温高,辊面氧化膜剥落严重,如图 2 所示。
- 通过以上现象分析,带钢表面氧化铁鳞

表 1 SPHC 化学成分和精轧终轧温度(FDT)表

牌号	化学成分 1%						FDT/℃
	C	Si	Mn	P	S	Al	
SPHC	≤0.07	≤0.04	0.20~0.40	≤0.020	≤0.015	0.02~0.07	900

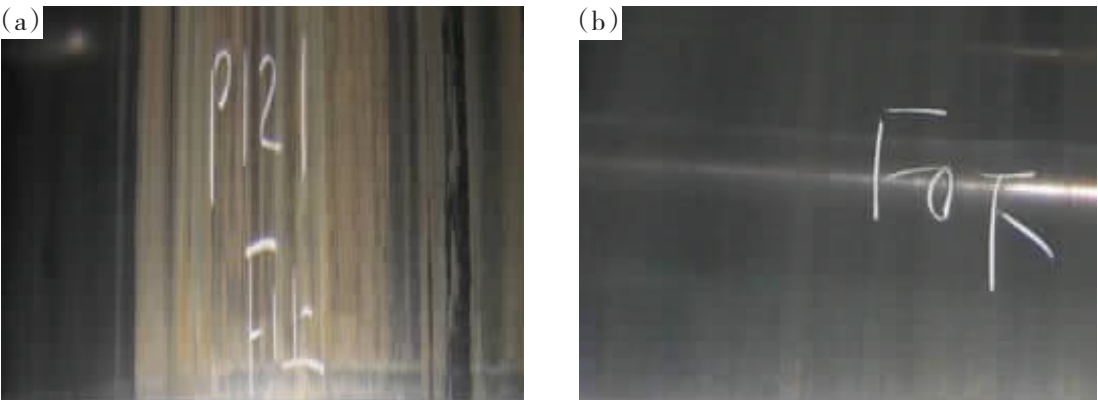


图 2 精轧机下机轧辊辊面照片
(a)辊面剥落严重的轧辊;(b)辊面良好的轧辊

压入缺陷主要产生于精轧轧制过程中, SPHC 等冷轧用低碳钢带进入精轧机组轧制时往往温度较高,在精轧机前的高压水除鳞后一般能将二次氧化铁鳞除净,但在随后的轧制过程中带钢表面很快生成三次氧化铁鳞,这时如果轧辊辊面良好,带钢表面形成的薄层三次氧化铁鳞不易被破坏,以良好的表面状态进入下一机架轧制,最终得到良好的成品带钢表面质量;如果轧辊辊面质量

不好,辊面越粗糙,剥落越严重,则带钢表面的三次氧化铁鳞很容易在交变应力的作用下被破坏而掉落,压入后续带钢表面,形成表面缺陷;同时带钢通过粗糙表面的轧辊轧制时,与相邻部位相比,增大了带钢表面粗糙度,加厚了不断生成的三次氧化铁鳞,对带钢表面形成不利的影响。

在精轧机组下游机架轧制时,带钢表面产生的粉尘不能及时排走,污染轧线通道,

粉尘遇水后结成小颗粒散落于带钢表面,被下一机架压入带钢表面而形成表面氧化铁鳞压入缺陷。

那么要想得到良好的成品带钢表面质量,对精轧机组的工艺技术管理提出以下三个方面要求:

(1)保持带钢表面良好的均匀的薄层三次氧化铁鳞;

(2)在辊面良好的条件上进行该类钢种的轧制;

(3)保持良好的轧线通道环境条件。

4 采取措施

4.1 保持带钢表面良好的均匀的薄层三次氧化铁鳞

针对以上分析,由于精轧机组前段机架轧制 SPHC 等低碳钢种时温度高、速度低,为保证带钢在精轧机组内生成均匀的薄层三次氧化铁鳞,前三机架投入铁鳞抑制水,目的是为了带钢在进入精轧机架轧制前表面得到快速冷却而形成薄层铁鳞,抑制铁鳞的生长过程,得到良好的表面质量。

4.2 保持良好的轧辊辊面质量

经过一段时间的轧辊跟踪统计分析,辊面剥落、粗糙等不良行为主要发生在前段机架,而且下机时良好的轧辊辊面往往辊温也比较稳定;不良的轧辊表面温度也较高,通过统计确定了合理的轧辊温度控制范围,如表 2 所示。

4.2.1 核算轧辊冷却能力

表 2 轧辊温度控制范围

机架	1	2	3	4	5	6	7
温度/℃	55 ~ 60	50 ~ 55	45 ~ 50	40 ~ 50	40 ~ 50	35 ~ 45	30 ~ 40

按各机架辊温控制要求重新核算轧辊冷却能力,增大了冷却水水咀型号,调整了冷却水水温、流量,使辊温能够控制在要求的范围内。

4.2.2 细化轧辊冷却水水咀的管理

细化轧辊冷却水水咀的管理与维护制度,制定完善的作业标准,消除轧辊局部冷却不均的现象,提高轧辊冷却水的管理水平。

4.2.3 轧制计划与生产的优化

轧制计划编排时要特别注意钢种规格的过渡,根据现有的生产情况,冷轧用低碳钢编排在轧制单位的中前期,编排总量限制在一定范围内;轧制低碳钢前不编排低合金钢、合金钢的生产,以强度低于或接近该类

钢为宜;同一规格连续编排及薄规格编排总量不超过 350t。

4.3 保持良好的轧线通道环境条件

在易产生粉尘污染的后段机架轧线两侧通道内增设侧吹,生产低碳钢时开启,有效吹扫带钢表面残留的粉尘,保持良好的通道环境,有利带钢表面质量的提高。

5 结论

通过对以上措施的实施,并经过半年来的跟踪,低碳钢 SPHC 表面氧化铁鳞压入缺陷没有再发生,说明采取措施是有效的、合理的。保持带钢良好的薄层三次氧化铁鳞,保持良好的轧辊辊面质量、保持良好的轧线通道环境等才能得到良好的带钢表面质量。

模糊控制方法在硅钢、不锈钢热轧带钢尾部活套控制中的应用

热连轧厂 张世厚

摘 要 为了减少带钢甩尾并获得更好的活套控制效果,根据液压活套控制系统实际情况,提出了活套转小套后力矩控制优先于套量控制的思想,同时应用专家系统和模糊控制方法消除各种干扰对系统控制性能的影响,有效地解决了带钢抛钢过程中的带钢虚套和甩尾现象。该控制方法已在实际的热轧现场得到了应用,并取得了很好的控制效果。

关键词 液压活套 模糊控制 硅钢 不锈钢 张力

0 引言

在热连轧精轧区有轧机 F0~F6 机架和 0#~5# 活套,任何相邻两个机架之间都有其对应的活套。技改后,硅钢、不锈钢带钢坯重增加,精轧轧制时硅钢带钢尾部实际温度要比带钢头部低,表现在精轧机组内带钢尾部板形变化大,造成活套检测带钢实际不准,极易造成带钢尾部活套控制不稳定,导致带钢表面产生大量辊印,严重时会产生大量废钢、故障时间,大大影响轧线稳定生产和带钢表面产品质量。尤其在活套套量基准大于实际套量时,若活套实际力矩小于活套基准力矩,会造成带钢尾部抛钢时虚套严重,产生了硅钢、不锈钢尾部跑偏轧废、甩尾等问题,给我厂带来很大的经济损失。

1 液压活套系统

1.1 活套控制基本模型

活套套量与张力力矩系统是一个典型的双输入双输出耦合系统。套量变化经套量偏差调节计算,可以得到上游机架的速度增

值,然后按照速度逐移原理调节上游各机架的速度值,以确保相关机架间秒流量匹配,使套量调节系统正常工作。活套力矩偏差通过本机架活套控制调节器实现控制,最终液压活套装置是通过伺服阀电流来控制油缸以满足活套必要的力矩,由于活套调节为高响应比例伺服阀,其调节速度不能适应高速下带钢变化所带来的控制要求。液压活套系统力矩控制示意图如图 1、速度补偿控制示意图如图 2 所示。

活套控制给定力矩 M_{REF} 的公式如下:

$$M_{REF}=M_W+M_B+M_T+M_D$$

式中, M_W 为活套辊自重力矩; M_B 为带钢重力力矩; M_T 为带钢张力力矩; M_D 为带钢挠曲力矩。

带钢实际力矩是通过在液压缸两侧油路上各安装了压力传感器来检测无杆腔和有杆油压,然后各乘以作用面积相减后得到液压缸实际压力 F ,再乘以相应的力臂得到。

$$M_F = F \times LH, F = P_{PS} \times A_{PS} - P_{ROD} \times A_{ROD}$$

式中, P_{PS} 为无杆腔压力传感器值; A_{PS}

为无杆腔面积; P_{ROD} 为有杆腔压力传感器值; A_{ROD} 为有杆腔面积; LH 为 F 的力臂。活

套力矩偏差 $\Delta M = M_{\text{REF}} - M_F$

常规情况下,根据活套力矩偏差大小控

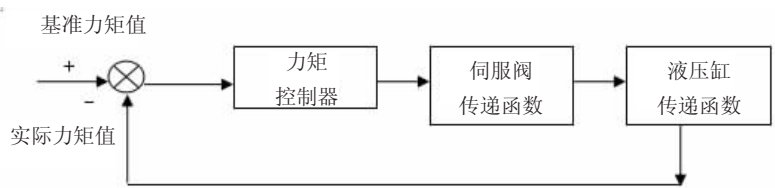


图1 力矩控制示意图

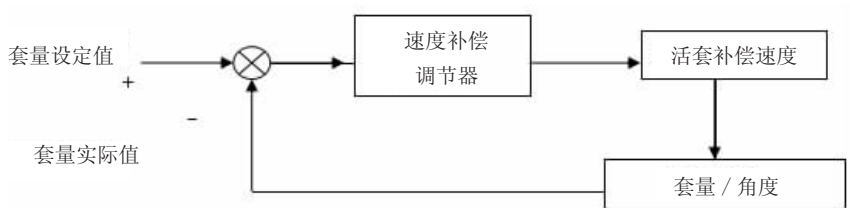


图2 速度补偿控制示意图

制调节活套伺服系统。

活套套量基准取固定值 15mm,实际套量 $L_{\text{act}} = k_1 \times \theta$, θ 为活套角度, k_1 为设备角度系数,活套套量偏差: $\Delta L = 15 - L_{\text{act}}$

通常情况下,套量正偏差越大即活套越低送套速度越大。

1.2 活套控制改进

基于上述情况,在硅钢不锈钢轧制尾部活套落套控制中,提出了带钢活套力矩优先的专家系统模糊速度系数控制,也就是确保活套在低套位时带钢的活套力矩,从而活套实际补偿主机速度 V_a 为活套计算补偿速度 L_v 乘以速度系数 K_i 以确保带钢不虚套。

为此,系统运用专家的知识、模糊逻辑原理和求解控制时的 If-Then 原则来构造控制策略。把活套套量偏差和活套力矩偏差作为模糊控制器的输入,速度系数 K 作为输出,通过应用模糊控制器的基本原理,在输入输出论域上,均定义有 7 个基本模糊子集:(负大,负中,负小,零,正小,正中,正大)。 ΔL 论域上的基本模糊子集用符号表

示为 (NB,NM,NS,P0,PS,PM,PB), ΔM 论域上的基本模糊子集用符号表示为 (FB,FM,FS,Z0,ZS,ZM,ZB)。在输出速度系数 K 论域上基本模糊子集用符号表示为 (YB,YM,YS,J0,JS,JM,JB), $J0$ 表示速度系数为 1,不改变原活套计算补偿速度值。离散论域上基本模糊子集的隶属度采用三角形函数形式。

本系统采用单变量二维模糊控制器。根据我厂现场实际情况和活套计算补偿速度 L_v 的正负,特制定控制语句形式和模糊控制规则如表 1、2。

Rule: If $\Delta L \geq A_i$, and $\Delta M \geq B_i$, Then $K = C_i$

($i=1,2,3,\dots$)

其中, A_i, B_i, C_i 是定义在套量偏差、力矩偏差、速度系数论域上的模糊集。

经过现场实际调试确定当 $L_v \geq 0$ 时,速度系数 K_i 域 [0.2, 1.0]; $L_v < 0$ 时,速度系数 K_i 域 [2, 1.0]。 $L_v < 0$ 和 4# 活套为例,基于模糊控制的速度系数查询表 3。

表 1 Lv 大于等于零模糊控制规则							
ΔM	ΔL						
	PB	PM	PS	PO	NS	NM	NB
ZB	JS	JS	JS	JS	JO	JO	JO
ZM	JS	JM	JM	JM	JO	JO	JO
ZS	JM	JM	JB	JB	JO	JO	JO
ZO	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO
FS	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO
FM	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO
FB	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO

表 2 Lv 小于零模糊控制规则							
ΔM	ΔL						
	PB	PM	PS	PO	NS	NM	NB
ZB	JB	JB	JB	JB	JO	JO	JO
ZM	JB	JM	JM	JM	JO	JO	JO
ZS	JM	JM	JM	JS	JO	JO	JO
ZO	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO
FS	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO
FM	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO
FB	JO	JO	JO	JO	JO	JO	JO

表 3 模糊控制速度系数表							
力矩偏差	套量偏差						
	8	4	2	0	-2	-4	-8
1000	1.8	1.8	1.5	1.5	1	1	1
500	1.5	1.5	1.3	1.3	1	1	1
100	1.3	1.3	1.2	1.2	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
-100	1	1	1	1	1	1	1
-500	1	1	1	1	1	1	1
-1000	1	1	1	1	1	1	1

2 运行分析及结论

这种基于模糊控制规则的控制器的已经在太钢热轧现场得到应用,并且取得了很好的控制效果。针对活套力矩调节不及时带钢虚套跑偏废钢或抛钢时甩尾问题,既稳定不拉窄带钢又调节及时,完全满足了生产质量要求,突破传统活套模型研究的局限,符合现场实际液压活套控制系统的工作情况,表

明在热轧现场采用的专家模糊控制策略是有效的。

参考文献

[1] 张景进.热连轧带钢生产[M].北京:冶金工业出版社,2005: 54-119.
[2] 陈连生等.热轧薄板生产技术[M].北京:冶金工业出版社,2006: 43-66.

HICON/H₂[®] 全氢罩式退火炉 CH 设备功能 比对改进分析

热连轧厂 谢 璐

摘 要 本文对太钢 2250mm 生产线 HICON/H₂[®] 全氢罩式退火炉目前退火冷却工艺过程中冷却能力进行系统的分析,直观对现有的 48 座奥地利 EBNER 公司全氢罩式退火炉(18 座纯进口,30 座国产设备)与 6 座德国 LOI 公司全氢罩式炉冷却工艺处理的方式差别和冷却能力进行对比,通过提出设备预改进方案来实现缩短退火工艺周期,提高目前 2250mm 生产线全氢罩式炉整体退火效率。

关键词 冷却能力 设计参数 冷却方式 原理差别 构造改进

1 引言

太钢 2250mm 生产线自 2007 年 8 月开始进行罩式炉全氢式退火热处理,先后引进了 18 座奥地利 EBNER 公司生产的进口罩式退火炉,还有 30 座太钢设计院设计完成的国产罩式炉。太钢集团天管不锈钢公司于 2006 年从德国 LOI 公司引进 6 台专业用于不锈钢退火处理的全氢罩式炉。2016 年 3 月太钢不锈决定建设“山西太钢不锈钢股份有限公司热连轧厂新建罩式炉项目一期工程”。其中以租赁方式将“太钢天管 6 座罩式炉”搬迁到热连轧 2250mm 厂区投入使用。前期 48 座罩式炉冷却罩退火冷却原理相同,与新建 6 座 LOI 炉冷却罩存在较大的差异,冷却能力较 LOI 炉冷却罩明显较弱,通过各项比对分析,提出设备预改进方案,提高 EBNER 冷却罩冷却能力。

2 冷却过程能力比对分析

2250mm 全氢式罩式炉退火以 430 为

主要品种,占每月退火品量 80%左右,故所有工艺冷却时间以 430 为对比分析对象。

2.1 EBNER 冷却能力分析

对近期工艺执行正确且退火过程中无明显故障报警的 430 退火卷进行退火曲线分析,得出平均冷却时间需求为 17h,平均冷却速率为 24.6℃/h。对于采用 4 卷装炉的 430,基本全程退火工艺理论时间(无设备故障影响,不包含换罩时间)要求为:

9h(升温 1)+7h(保温 1)+4.2h(升温 2)+10h(保温 2)+18h(冷却)+2h(两次密检)=50.2h(实际为 51.2h,需 1h 装出炉操作)

·每炉保温结束后受客观条件影响,等待换冷却罩时会带加热罩缓冷,通过对数据进行分析,发现带加热罩缓冷第一小时由于卷温较高所以停火后降温较快,其次递减,全月缓冷时间控制在 2~3h。缓冷速率如表 1 左侧所示。

·一般冷却罩开始工作时起始温度平均为 600℃左右,且随着冷却过程卷温降低,冷却速率越来越慢,如表 1 右侧所示。

表 1 EBNER 冷却情况

EBNER	带罩缓冷降温分析				冷却罩冷却降温分析										平均 速率 /℃·h ⁻¹
	起始 温度 /℃	结束 温度 /℃	时间 /h	速率 分布 /℃	起始 温度 /℃	结束 温度 /℃	时间 /h	降温分布 /℃(每 2.5h 为一个记录点)							
								1	2	3	4	5	6	7	
1	830	780	0.67	75	599	245	15	117.5	90.5	53.5	44.5	28	18		23.48
2	850	778	1.60	45	616	245	14.7	104	105	53	45	43	21		24.72
3	830	726	2.57	41	652	245	16.5	129	106	67	49	41	20		27.44
4	850	656	9.55	20	656	245	15.5	167	71	58	39	37	33	22.5	24.44
5	850	775	0.83	90	663	245	15	135	100	90	51	43	32		30.04
6	830	704	3.83	33	687	245	17	102.5	81	58	50	42	37	32	23
7	830	700	3.42	38	633	245	16	112	87	59	45	36	30		24.6
8	830	740	1.92	47	590	245	15	102	61	54	45	41	32		22.32
9	830	745	2.28	37	604	245	16	94	94	52	45	36	27	25	21.28
10	830	755	1.33	56	605	245	14.5	103	97	55	55	37	30		25.12
缓冷 1h 速率			82.5℃/h												
缓冷 2h 速率			46℃/h												
缓冷 3h 速率			38.5℃/h												
缓冷 4h 速率			30℃/h												

·冷却罩第一小时降温速率明显较好,越到冷却结束越慢。整个冷却周期平均冷却速率为 24.6℃/h。

·每炉保温结束后,等待换罩及换罩作业过程中损失能量如表 1 左侧所示,大约控制在 2~3h 左右,综合全月 430 退火数据分析,冷却时间约为(830-82.5-46-38.5-245)/24.6=17h。

2.2 LOI 冷却能力分析

·每炉保温结束后受客观条件影响,等待换冷却罩时会带加热罩缓冷,通过对数据进行分析,因为 LOI 加热罩在保温结束后风机同时停止,所以降温较慢,缓冷时间控制在 8.7h,缓冷速率如表 2 左侧所示。

·一般冷却罩开始工作时起始温度平均为 760℃左右,且随着冷却过程卷温降低,冷却速率越来越慢,如表 2 右侧所示。

·冷却罩第一小时降温速率明显较好,越到冷却结束越慢。整个冷却周期平均冷却速率为 43.84℃/h。

·每炉保温结束后,等待换罩及换罩作业过程中损失能量如表 2 左侧所示,大约控制在 8.7h 左右,综合 430 退火数据分析,冷却时间约为(830-8.7×8-245)/43.84=11.75h。

2.3 EBNER 与 LOI 的 CH 设备冷却功能对比(表 3)

2016 年 7 月设备初投入阶段,LOI 罩式炉多采用 3 卷装炉结构,与 EBNER15 炉同

表 2 LOI 冷却情况

LOI	带罩缓冷降温分析					冷却罩冷却降温分析																			平均 速率 /℃·h ⁻¹	
	起始 温度 /℃	记录 温度 /℃	结束 温度 /℃	时 间 /h	速度 分布 /℃	起始 温度 /℃	结束 温度 /℃	时间 /h	降温分布 /℃(每 1h 为一个记录点)																	
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
1	850	811	688	20.5	6	605	245	9.3	136	46	32	26	26	25	23	22	21									39.7
2	830	779	716	12.6	5	610	245	11	90	40	28	23	21	21	18	17	18	17	12							27.7
3	830	812	774	2	19	764	245	10	232	64	40	34	28	28	24	24	22	20								51.6
4	830	812	750	6.25	9	750	245	12.5	200	60	40	30	25	25	22	22	20	19	19	18	10					39.2
5	830	830	716	12	9	715	245	11.75	215	148	32	25	25	21	22	19	18	18	16	15						47.8
6	850	795	795	4	13	795	245	10.5	230	94	46	32	29	22	20	20	16	19								52.8
7	830	820	800	2	10	800	245	9.5	283	61	43	33	30	25	25	25	20	18								56.3
8	830	820	760	11	6	750	245	11.75	220	47	35	27	27	23	23	21	18	20	18	15						41.2
9	830	830	818	1	12	818	245	13.7	240	46	35	28	26	23	22	20	19	20	17	18	16					38.6
10	830	830	727	16	6	727	245	11	221	55	34	28	24	21	21	19	19	21	16							43.5
缓冷 5h 以 内速率			13.5℃/h																			43.84				
缓冷 6 ~ 10h 速率			8℃/h																							
缓冷 10h 以上速率			5.75℃/h																							

样装炉结构进行退火冷却时间的数据采集及比对得出:EBNER 退火 3 卷装炉的 430 平均工艺冷却时间为 15.12h, 冷却速率为 26.64℃/h, LOI 的平均工艺冷却时间为 10.3h, 冷却速率为 43.76℃/h, 如图 1。

2016 年 9 月各自选择近似炉重、温度条件的钢卷各 7 炉(四卷装炉结构)进行相同时段降温比较, LOI 冷却罩全程冷却速率较好, 比较如图 2。

3 设备构造差异分析

3.1 参数比对(表 4)

3.2 外形设计比对(图 3、图 4)

BAF 与 LOI 的 CH 冷却原理均采用空气对流方式进行物理冷却, BAF 采用罩体下部进行空气吸入流通, LOI 采用通体针孔式(208 个孔洞)吸入空气流通。

通过图 5、图 6 对比可以明显看出差异, LOI 的冷却罩与炉台密封接触, 通体通过 208 个密集排列的孔洞, 采用下密上疏, 下大上小的排列模式通体进行空气流动冷却。BAF 的冷却罩采用冷却罩底部与炉台之间进行空气流动冷却。

LOI 冷却罩通体采用 208 个孔洞, 具体

表 3 EBNER 与 LOI 的 CH 设备冷却功能比较

原 48 座炉台						LOI 新建				
数据垛号	装炉结构	起始温度 /℃	冷却时间 /h	冷却速率 /℃·h ⁻¹		数据垛号	装炉结构	起始温度 /℃	冷却时间 /h	冷却速率 /℃·h ⁻¹
1	2016002339	3 卷	600	14.5	24.48	1#	3 卷	596	9	39.00
2	2016002075	3 卷	703	14.5	31.59	1#	3 卷	756	10	51.10
3	2016002092	3 卷	732	12.1	40.25	1#	3 卷	703	9.9	46.26
4	2016002053	3 卷	632	16	24.19	3#	3 卷	668	9.6	44.06
5	2016002039	3 卷	590	12	28.75	3#	3 卷	724	11	43.55
6	2016002026	3 卷	650	12	33.75	3#	3 卷	705	10.2	45.10
7	2016002000	3 卷	543	12	24.83	4#	3 卷	675	10.8	39.81
8	2016001975	3 卷	651	17	23.88	4#	3 卷	765	10.8	48.15
9	2016001936	3 卷	609	14	26.00	4#	4 卷	711	10.7	43.55
10	2016001919	3 卷	634	20	19.45	5#	3 卷	772	10.3	51.17
11	2016001911	3 卷	632	19	20.37	5#	3 卷	670	9.8	43.37
12	2016001909	3 卷	626	14.5	26.28	5#	3 卷	665	11	38.18
13	2016001870	3 卷	646	13.5	29.70	6#	3 卷	580	10.4	32.21
14	2016001866	3 卷	619	20	18.70	6#	3 卷	740	10.3	48.06
15	2016001859	3 卷	680	15.8	27.53	6#	3 卷	707	10.8	42.78
均值				15.12	26.64	均值			10.3	43.76

排列参数参照 CAD 图(图 7a、b)。

3.3 设备改进试行方案

对现有 BAF 冷却罩进行罩体改进：

(1)参照 LOI 设备改进现有冷却罩体底部与炉台全密闭接触,如图 8 所示。中部上下各两排、底部围一周进行打孔,孔径可以参考 LOI 孔洞进行选择,如图 9 所示。以此来增加现有设备空气进入量,提高冷却效率。

(2)更换炉台风机,提高径流风机冷却空气流量。

4 改进效果预期分析

同等装炉结构下,LOI 冷却罩冷却时效比 BAF 提高 17.12℃/h,整个冷却周期缩短 4.82h。

以全月 30 天 720h 计算,采用 BAF 现有冷却罩,全月单个炉台理论退火 430 系 720/51.2h=14.06 炉;采用 LOI 冷却罩,全月单个炉台理论退火 430 系 720/46.38=15.52 炉,增加 1.46 炉退火量。按照 48 座计算,理论增加 70.08 炉。9 月 LOI 冷却罩每炉较

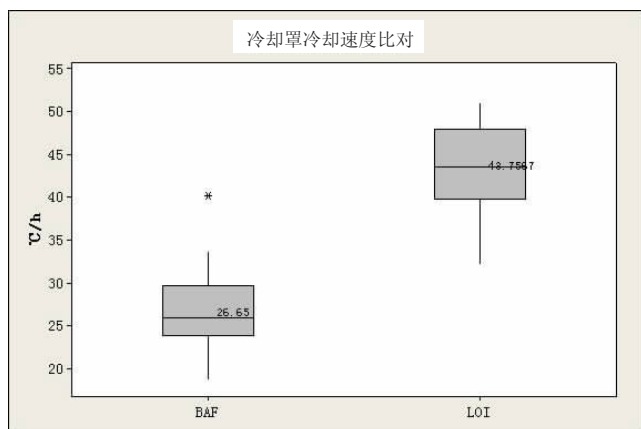


图 1 3 卷装炉 CH 功能速率比对

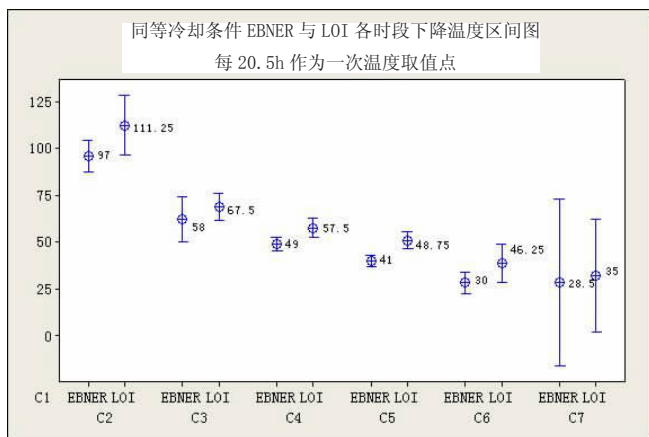


图 2 4 卷装炉 CH 功能速率比对

表 4 BAF 与 LOI 参数比对

	BAF	LOI
径流风机冷却空气流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	16000 × 3	20000 × 2
风机压力 /mbar	7.2	10
电机额定值 /kW	7.5 × 3	7.5 × 2
风机速度 /rpm	1000	1450
内径 /mm	2608	3090
总高度 /mm	7633	7840
板厚 /mm	4	4
总重 /t	3.8	5.4
设备配置	型钢加固不锈钢钢板结构	碳钢加强的单体
	罩拱顶 3 个电动风机	2 套导向臂、吊梁、支撑腿
	耐热叶片	2 台冷却风机(冷却罩顶部)
	三相电机,配置为 B3/B5	1 套电气控制盒、插座及电缆



图3 EBNER 冷却罩外观



图4 LOI 冷却罩外观



图5 EBNER 冷却罩底部



图6 LOI 冷却罩底部

EBNER 冷却周期缩短 5.25h, 可以做出如下换算:

• EBNER 退火 414 炉 430, 如果换成采用 LOI 冷却罩, 共理论节省: $5.25 \times 414 = 2173.5\text{h}$ 。

• LOI 退火 430 全周期为 9h (升温 1)

+7h (保温 1)+4.2h (升温 2)+10h (保温 2)+11.75h (冷却)+2h (两次密检)=44h (实际为 45h, 需 1h 装出炉操作) 那么节省的时间理论可以多增加 $2173.5/45=48.3$ (炉)。

• 按照 9 月 430 平均炉重 78.3t, 理论可以增加 $48.3 \times 78.3=3781.89\text{t}$ 。(以上数据为

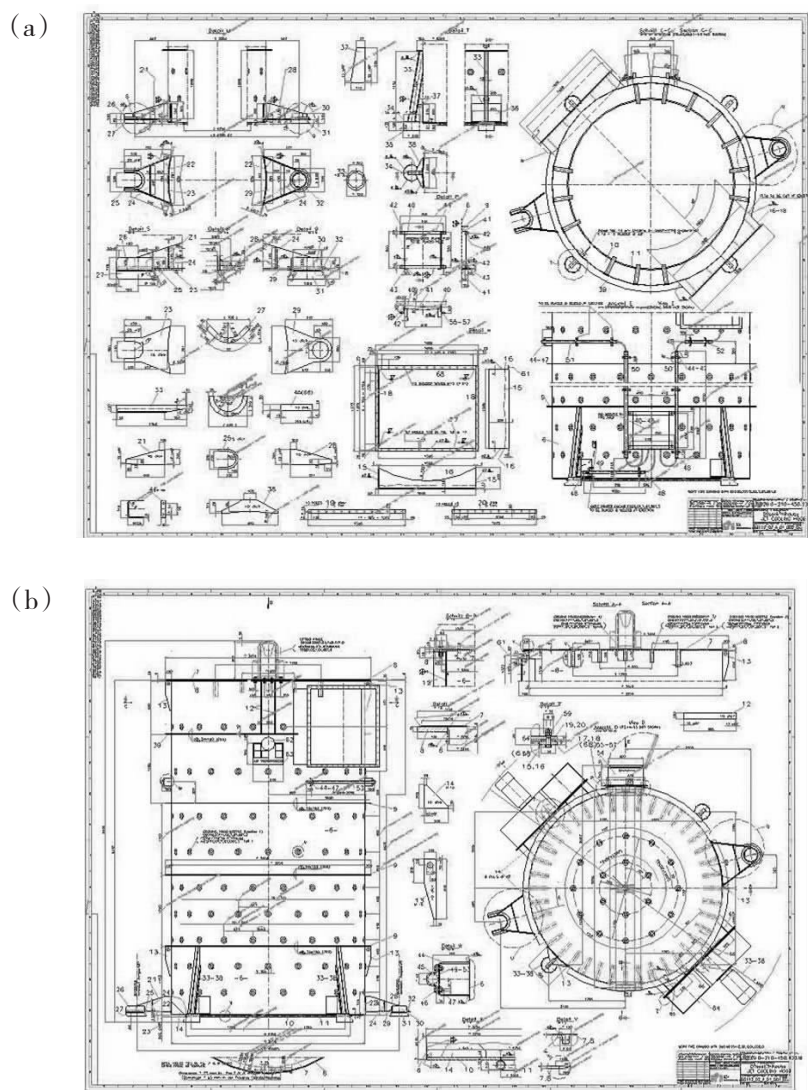


图 7 COI 冷却罩 CAD 图



图 8 EBNER 冷却罩底部细节图



图 9 LOI 气流孔洞图

不受设备故障、介质干扰的前提下)。

5 结束语

目前我厂“山西太钢不锈钢股份有限公司热连轧厂新建罩式炉项目一期工程”中第一部分“太钢天管 6 座罩式炉搬迁工程”和第二部分“热连轧厂新建 6 座罩式炉”两部

分已全部正式投入使用,从改进措施中可以看出,只有通过不断学习了解设备各项功能指标,提高设备功能精度,才能不断完善系统工艺存在的问题,提高工艺执行力,降低能源消耗,在保证质量优化的前提下不断增加产品产量,提高我厂的罩式炉退火的综合实力。

太钢助力集装箱行业可持续发展

面对激烈的市场竞争,作为太钢重点品种之一的罐箱用不锈钢冷轧板,其国内市场占有率连续多年保持第一,目前已经达到 80% 以上,成为太钢众多“国内市场占有率第一”家族中的重要成员。

集装箱是指海、陆、空不同运输方式进行联运时,用以装运货物的一种容器。集装箱运输是货运的发展方向,对于降低全社会综合物流成本、提高国内外和国际供应链的效率和效能意义重大。集装箱按照不同用途可分为诸多种类。罐式集装箱是一种专为运输食品、药品、燃料油、化工品等液体货物而制造的特殊集装箱,故又称液体集装箱,其结构特点是在一个金属框架内固定上一个液罐。因罐式集装箱主要为长时间海上运输,加上运输品多有较强的腐蚀性,所以罐体采用不锈钢材料成为主流。

2007 年之前,国内罐式集装箱及其制造材料全部依靠进口。从 2008 年起,国内试制罐式集装箱正式起步。之后几年里,多条罐式集装箱生产线在国内陆续建成投产,对不锈钢材料的需求量也迅速增加。为适应罐式集装箱行业的发展趋势,太钢与国内集装箱制造界领军企业开展战略合作,共同研发

罐箱用不锈钢产品,加速替代进口产品。

罐式集装箱制造商对不锈钢材料性能及表面要求极其严格,创新工艺技术、提高质量控制水平是关键。太钢组成罐箱用不锈钢产品的产销研一体化攻关团队,先后开展一系列工艺技术攻关,突破一个个技术难关,成功打通工艺路线。全线强化生产组织与质量跟踪控制,精益求精,打造精品,最终成功开发出高性能、高品质的罐箱用不锈钢产品,并迅速形成以“量身定制”为特点的批量化生产能力,打破了长期以来国外产品在该领域的垄断局面,成功替代进口。罐箱用不锈钢冷轧板也由此成为太钢众多“首发首创首用”产品的典型代表。目前,太钢已成为国内三大罐式集装箱制造商所需不锈钢材料的主要材料供应商。

据了解,罐式集装箱除了具有集装化运输的全部优点外,与一般运输方式相比,可提高 45% 的装运量,同时具有快捷、安全、环保、美观等突出优点。为此,世界发达国家日益强制推行以罐箱运输替代桶装运输,国内集装箱运输行业也在大力推行集约、环保的运输方式,罐箱用不锈钢材料的前景十分广阔。
(摘自相关报道)

单偏心推式抱紧外支撑装置

热连轧厂 赵秉江

摘 要 本文通过对热轧厂卷取机卷筒支撑装置的结构、工作原理以及受力分析,对其结构进行了重新优化,设计出一种单偏心推式抱紧外支撑装置,解决了由于原来的外支撑装置偏心销轴数量多,造成调整工作量大、所需时间长、使用当中偏心销轴及相关部件容易损坏的问题,达到一次调整保证长周期的设备稳定运行的目的。

关键词 卷取机 卷筒 支撑装置 偏心销轴

1 卷取机介绍

卷取机在冶金行业板带生产线使用普遍,卷取机的核心部件为卷筒,卷筒可以实现胀缩动作,在卷钢板时,卷筒膨胀;在需要脱出钢卷时,卷筒回缩。卷取的钢卷单重达 45t。在上世纪 60 年代前,卷筒普遍为悬臂式,即卷筒传动端固定在基础上,操作端没有任何支撑装置,不但限制了钢卷的单重和生产线的产能,而且卷筒的使用寿命也受到影响。随着技术的发展和生产线的要求,现在的卷取机卷筒均设计有外支撑装置。

2 多偏心拉式抱紧外支撑装置结构介绍

外支撑装置安装位置在卷筒操作侧,在卷钢时,外支撑关闭、紧紧抱住卷筒的一端;脱出钢卷时,外支撑通过油缸无杆腔给压,连杆机构向上运动,外支撑打开(图 1)。外支撑旋转轴支点固定在卷取机机架上,分左右两部分,每部分由油缸、支撑臂、摆动臂、连接臂组成,其中摆动臂、油缸下销轴、支撑臂通过偏心销轴与机架固定,其余为圆柱销轴(图 2),通过调整 6 个偏心销轴,达到支

撑臂抱紧卷筒,上偏心销轴与下偏心销轴(图 3)为同一零件,油缸偏心销轴外形尺寸稍小(图 4)。上偏心销轴与下偏心销轴调整后最终达到:3# 中心高于 1# 与 2# 的中心连线 3mm(图 5)。油缸偏心销轴调整后最终达到:4# 与 5# 的中心连线距离大于油缸在全收缩状态时两个销轴间距离。调整完毕,必须将锁紧圆盘(图 6、图 7)反复转动,让锁紧键块找到一个合适的锁紧槽,然后紧固螺栓锁死,这样才能使外支撑起到抱紧卷筒的作用。但是这 6 件偏心销轴互相影响,必须对其反复调整,非常繁琐,调整一次需要 10~12h。另外,在实际使用过程中,由于偏心销轴自身结构特点,偏载力作用在偏心轴上,由此产生轴座螺栓拉长、锁紧键块撞击磨损以及固定螺栓剪断的隐患。这种结构的外支撑被命名为“多偏心拉式抱紧外支撑装置”。

多偏心拉式抱紧外支撑装置一旦出现不能有效抱紧卷筒端部的情况,钢卷卷形会出现异常,同时影响到卷筒使用寿命,严重者会导致卷筒轴承底座的镗孔异常磨损或基础螺栓松动。

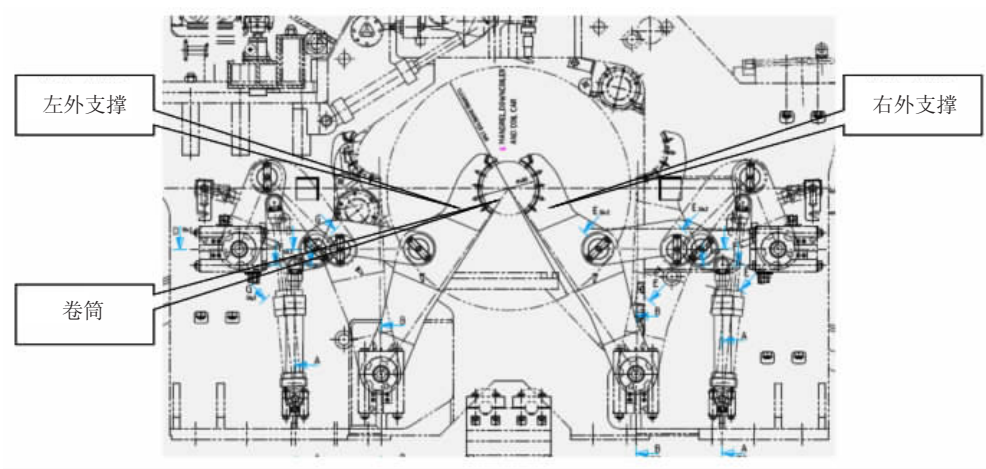


图 1 多偏心拉式抱紧外支撑装置总装配图

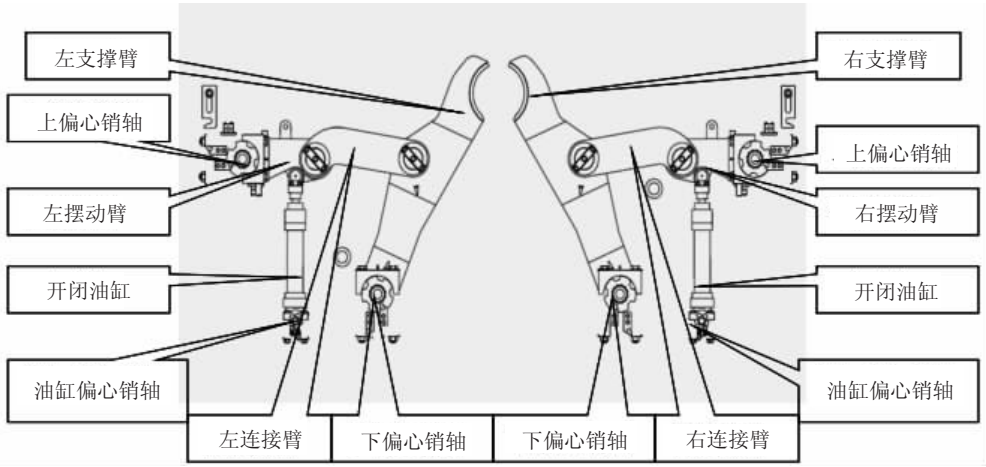


图 2 多偏心拉式抱紧外支撑装置机构组成

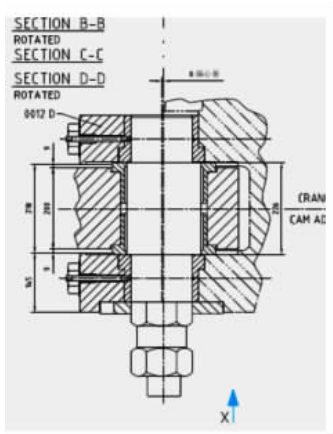


图 3 上下偏心销轴

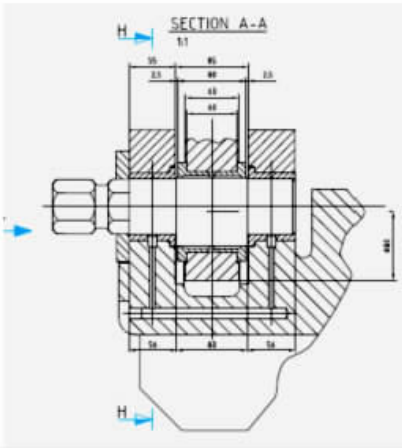


图 4 油缸偏心销轴

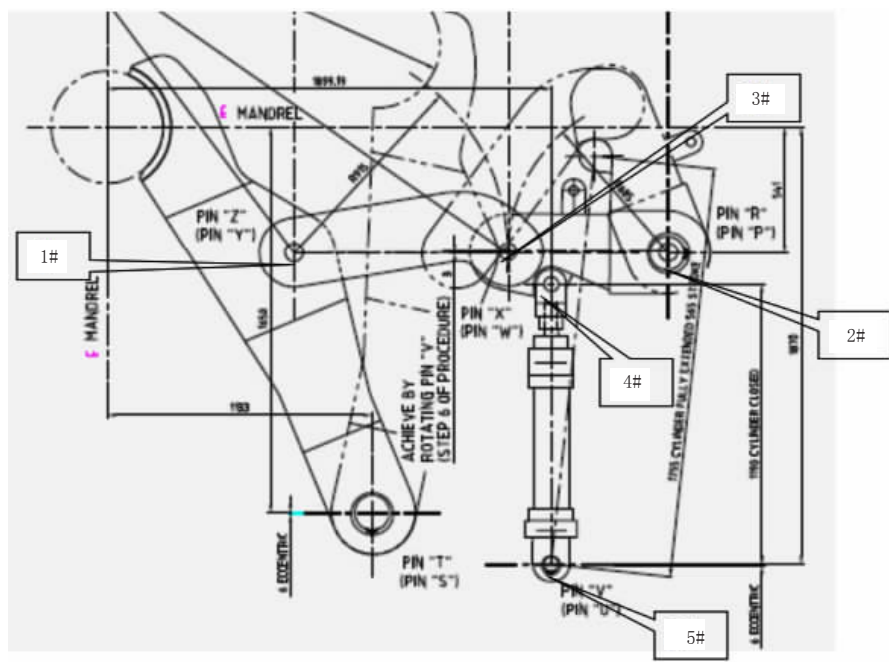


图5 多偏心拉式抱紧外支撑装置

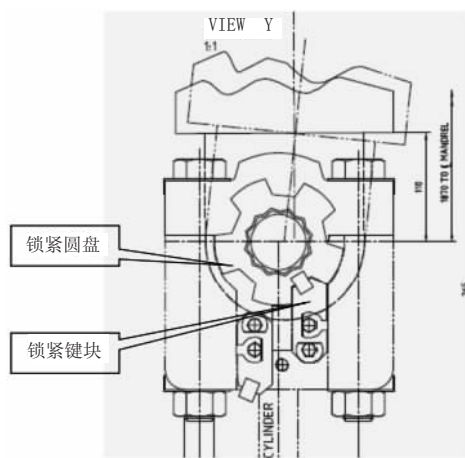


图6 上下偏心销轴锁紧机构

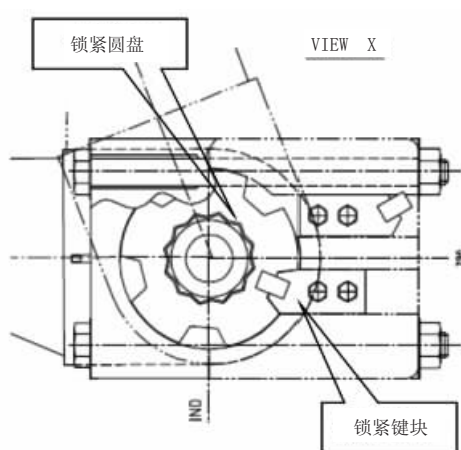


图7 油缸偏心销轴锁紧机构

3 改进过程及效益计算

3.1 改进思路

围绕尽可能减少偏心销轴数量、所取消的偏心销轴通过其他结构代替的思路来展开。

(1)在支撑臂上采用轴承座结构,一次

调整到位,取消支撑臂下偏心销轴。

(2)增大抱紧力:在抱紧状态时,由原来的液压缸有杆腔给压拉紧改为无杆腔给压推紧。

(3)取消油缸偏心销轴,油缸由两端连接改为中间耳轴铰接连接。

因此,该装置命名为“单偏心推式抱紧

外支撑装置”。

3.2 单偏心推式抱紧外支撑装置结构简要描述

支撑臂下方的回转支点由偏心销轴改为圆柱销轴,支撑臂设计为安装有可以实现垂直和水平方向调整的轴承座的两体结构。已知圆柱销轴到卷筒中心的水平距离和卷筒中心到两圆柱销轴的中心连线垂直距离,

可以计算出圆柱销轴的中心到卷筒中心的斜边距离,通过调整轴承座下的垫片来达到轴承座圆弧与卷筒贴合。然后旋转上偏心销轴,使 2# 中心低于 1#、3# 的中心连线 3mm,最后调整液压缸的位置。

3.3 安装应用

2012 年以前老式结构的外支撑装置用在太钢热连轧 1549mm 生产线的 1# 卷取

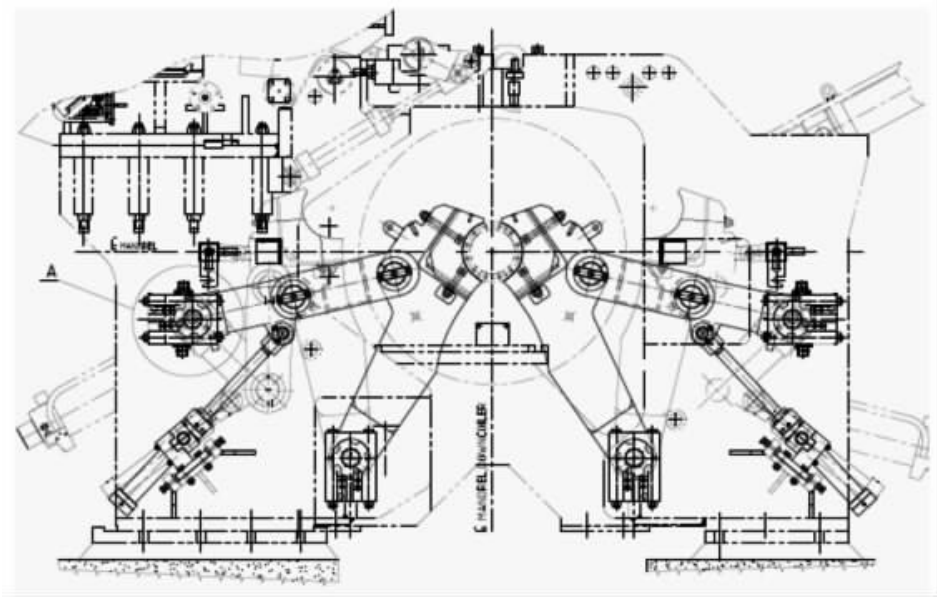


图 8 单偏心推式抱紧外支撑装置总装配图

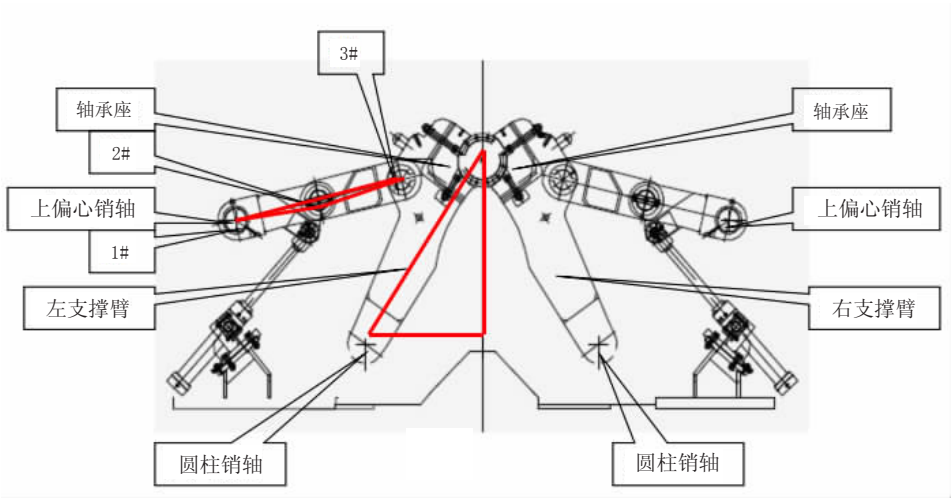


图 9 单偏心推式抱紧外支撑装置调整示意图

机,在2010年期间的1549 mm生产线改造的卷取机设计阶段对该方案提出构想,并通过计算验证可行后进入设备制造阶段。2012年10月,新安装的3#卷取机投用单偏心推式抱紧外支撑装置。与此同时,现场就地拆除1#卷取机的外支撑装置,也安装了同样结构的单偏心推式抱紧外支撑装置。

3.4 效益计算

多偏心拉式抱紧外支撑装置,每调整一次需要12h/6人,零部件磨损更换后也需要重新调整,每年需要调整4次。单偏心推式抱紧外支撑装置安装投用后,两年调整一次,每次需要2h/3人,每年可节省47h。

$47\text{h} \times 500\text{t/h} \times 150\text{元/t} = 352.5\text{万元}$ (按照机时产量500t计算)

4 结束语

通过对卷取机外支撑结构进行分析,在保证原设备功能精度的前提下,采用独立偏心销轴调整机构、可调油缸轴承座、轴承座式支撑臂、推式抱紧连杆机构的联合应用,取代了多偏心拉式抱紧外支撑装置。单偏心推式抱紧外支撑装置的安装使用,不仅降低了设备维护调整的难度,为生产赢得了更多的时间,而且减少了设备的维护备件和人工成本。

太钢加快推进炼焦配煤的精细化智能化

日前,作为山西省炼焦配煤联合实验室主体部分的太钢炼焦配煤实验室建成投运,标志着山西省煤基重点科技攻关项目——“精细化智能配煤系统开发与示范”项目取得突破性进展。

山西作为煤炭资源大省,不仅储量大,而且品种全,既有大量优质煤炭,也有丰富的高硫高灰劣质煤。适应可持续发展要求,强化炼焦配煤技术攻关,提高焦化行业煤质管理水平、推进高硫高灰等劣质煤炭资源的有效开发利用,为炼焦提供更加环保、安全、低成本的煤基洁净燃料,显得日益迫切。

“精细化智能配煤系统开发与示范”项目由省科学技术厅组织招标并实施。2014年,太钢联合中科院山西煤化所、太原理工大学和山西汾渭能源开发有限公司,成功中标该项目。山西省炼焦配煤联合实验室作为该项目的核心,由太钢联合中科院山西煤化所、太原理工大学和山西汾渭能源公司

共同组建。其中,太钢炼焦配煤实验室是联合实验室的主体,该实验室作为山西省最先进的精细化智能配煤技术研究中心,将为焦化企业开展技术研究和提供服务提供重要的技术支持。

太钢焦化厂相关负责人表示,新建设的配煤实验室,以300kg实验焦炉为核心开展试验研究,具备了煤质精细分析、煤岩分析、40kg实验焦炉炼焦、300kg实验焦炉炼焦和焦炭精细分析等全流程煤焦分析能力和技术手段,能够模拟顶装和捣固装煤形态,所炼焦炭指标及数据与工业化大型焦炉具有很高的相关性,可以指导煤资源的评价、配煤方案的制定与修正,形成实验室研究、小型焦炉验证、工业性试验乃至高炉使用环节的全流程研究体系,对于优化配煤结构、节约主焦煤资源、降低配煤成本具有重要意义,经济和社会效益显著。

(摘自相关报道)

大数据 Hadoop 技术的企业应用研究

自动化 祁 颢

摘 要 本文通过对大数据技术的深入学习和研究,详细阐述了当前最流行的 Hadoop 技术,从五个不同的方面逐步归纳总结了 Hadoop 技术的核心内容和系统应用。最后结合太钢目前的实际状况,给出切实可行的解决方案和建议,对今后太钢信息化发展中大数据技术平台的建设给予展望并具有一定的指导意义。

关键词 海德汉 iTNC530 TNCremoNT 备份 恢复

1 概述

Hadoop 是一个由 Apache 基金会所开发的分布式系统基础架构。用户可以在不了解分布式底层细节的情况下,开发分布式程序。充分利用集群的威力进行高速运算和存储。

Hadoop 实现了一种分布式文件系统(Hadoop Distributed File System),简称 HDFS。HDFS 有高容错性的特点,并且设计用来部署在低廉的(low-cost)硬件上;而且它提供高吞吐量(high throughput)来访问应用程序的数据,适合那些有着超大数据集(large data set)的应用程序。HDFS 放宽了(relax)POSIX 的要求,可以以流的形式访问(streaming access)文件系统中的数据。

Hadoop 的框架最核心的设计就是:HDFS 和 MapReduce。HDFS 为海量的数据提供了存储,则 MapReduce 为海量的数据提供了计算。

2 Hadoop 能够解决的问题

企业搭建 Hadoop 平台,主要可以解决

以下几方面的问题:

(1)部署在多台机器上构成集群,把多台机器的处理能力集合在一起。如可以部署在一些淘汰的旧机器上,实现资源的节约。

(2)海量数据需要及时分析和处理。如要从大量数据中找出某一条需要的记录,多结点同时查找,速度快。只有 Hadoop 才能满足大数据快速查找要求。

(3)海量数据需要深入分析和挖掘。如要从大量数据中分析得到有意义的预测结果等。

(4)数据需要长期保存。由于 Hadoop 是分布式存储数据,在多个节点,数据不容易丢失,适合长期保存。

针对目前企业中部署的大量传统的单实例应用系统来说,如果数据量不断增大而不做清理,磁盘 io 将会成为一种瓶颈(非 cpu 资源)。数据读写的网络带宽也将会是一种稀缺资源。另外,硬件故障也将成为影响系统稳定的一大因素。相比较而言,Hadoop 都很好地解决了这些问题。正是因为 Hadoop 在处理大数据方面的优势,所以其在国内的使用越来越广泛。如:奇虎 360、

京东、百度、华为、淘宝、阿里、一些广告类公司等都有 Hadoop 的应用。

总之, Hadoop 从内存、磁盘、cpu 三个方面都实现了硬件资源的最大利用率。这也是采用 Hadoop 技术平台的优势。

3 Hadoop 中 HDFS 的工作原理

3.1 基本概念

HDFS (Hadoop Distributed File System) Hadoop 分布式文件系统, 是根据 google 发表的论文的翻版。论文为 GFS (Google File

System)Google 文件系统。HDFS 有以下主要特点:

(1)保存多个副本,且提供容错机制,副本丢失或宕机自动恢复。默认存 3 份。

(2)运行在廉价的机器上。

(3) 适合大数据的处理。多大? 多小? HDFS 默认会将文件分割成 block, 64M 为 1 个 block。然后将 block 按键值对存储在 HDFS 上, 并将键值对的映射存到内存中。如果小文件太多, 那内存的负担会很重。

如图 1 所示, HDFS 也是按照 Master 和

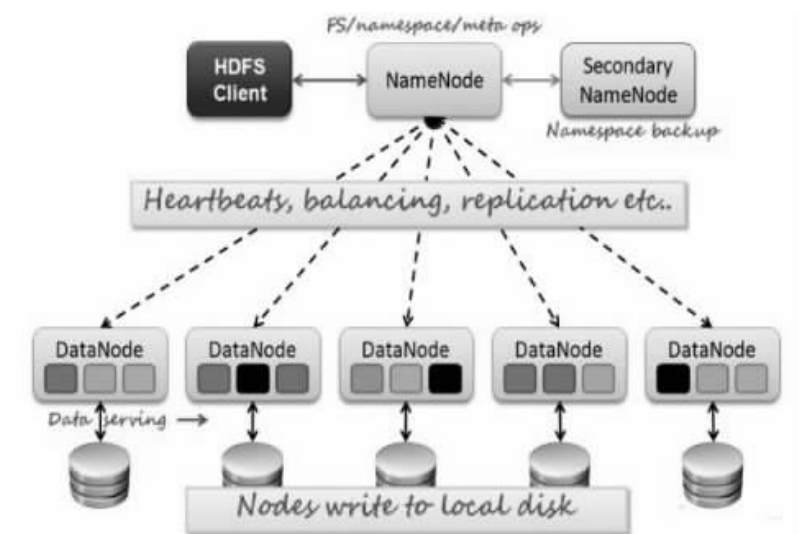


图 1 Hadoop 文件系统架构

Slave 的结构。分 NameNode、SecondaryNameNode、DataNode 这几个角色。

NameNode: 是 Master 节点, 是“大领导”。管理数据块映射、处理客户端的读写请求、配置副本策略、管理 HDFS 的名称空间。

SecondaryNameNode: 是一个“小弟”, 分担“大哥”NameNode 的工作量; 是 NameNode 的冷备份; 合并 fsimage 和 fsedit 然后再发给 NameNode。

DataNode: Slave 节点, “奴隶”, 干活的。负责存储 client 发来的数据块 block; 执行数

据块的读写操作。

Host: DataNode 下的 Rack (机架) 中的逻辑或物理主机。

另外也涉及如下一些概念:

fsimage: 元数据镜像文件 (文件系统的目录树)。

edits: 元数据的操作日志 (针对文件系统做的修改操作记录)。

NameNode 内存中存储的是 =fsimage+edits。

SecondaryNameNode 负责定时默认 1h,

从 NameNode 上获取 fsimage 和 edits 来进行合并,然后再发送给 NameNode。减少 NameNode 的工作量。

3.2 读写操作的工作原理

3.2.1 写操作的工作原理

例如:有一个文件 FileA,100M 大小。Client 将 FileA 写入到 HDFS 上。HDFS 按默认配置。HDFS 分布在三个机架上 Rack1、Rack2、Rack3。写入过程:

(1)Client 将 FileA 按 64M 分块。分成两块,block1 和 block2。

(2)Client 向 NameNode 发送写数据请求。

(3)NameNode 节点,记录 block 信息。并返回可用的 DataNode。

若 client 为 DataNode 节点,那存储 block 时,规则为:副本 1,同一 client 的节点上;副本 2,不同机架节点上;副本 3,同第二个副本机架的另一个节点上;其他副本随机挑选。

若 client 不为 DataNode 节点,那存储 block 时,规则为:副本 1,随机选择一个节点上;副本 2,不同于副本 1 的机架上;副本 3,同副本 2 相同的另一个节点上;其他副本随机挑选。

(4)client 向 DataNode 发送 block1;发送过程是以流式写入。发送完 block1 后,再发送 block2。

(5)发送完 block2 后,向 NameNode,host 向 Client 发送通知,说“我写完了”。

3.2.2 读操作的工作原理

读操作简单一些,client 要从 DataNode 上,读取 FileA。而 FileA 由 block1 和 block2 组成。读操作流程为:

(1)client 向 NameNode 发送读请求。

(2)NameNode 查看 Metadata 信息,返回 fileA 的 block 的位置,具体在哪些 host 上。

(3)block 的位置是有先后顺序的,先读 block1,再读 block2。如果 client 位于机架内某个 DataNode 上,那么读取的时候,遵循的规律是优选读取本机架上的数据。

3.2.3 读写小结

通过以上读写过程,我们可以了解到:

(1)写 1T 文件,我们需要 3T 的存储,3T 的网络流量带宽。

(2)在执行读或写的过程中,NameNode 和 DataNode 通过 HeartBeat 进行保存通信,确定 DataNode“活着”。如果发现 DataNode“死掉”了,就将“死掉”的 DataNode 上的数据,放到其他节点去。读取时,要去读其他节点。

(3)如果宕掉一个节点,没关系,还有其他节点可以备份;甚至,宕掉某一个机架,也没关系,其他机架上,也有备份。

4 Hadoop 中映射和化简的工作原理

Mapreduce(映射和化简)的思想早就已经有了,不过 google 最早实现了这一思想,开源 Hadoop 项目中也提供了相类似的接口功能,供开发人员编写并行处理的 mapReduce 程序。

流程分析:

(1)在客户端启动一个作业。

(2)向 JobTracker 请求一个 Job ID。

(3)将运行作业所需要的资源文件复制到 HDFS 上,包括 MapReduce 程序打包的 JAR 文件、配置文件和客户端计算所得的输入划分信息。这些文件都存放在 JobTracker 专门为该作业创建的文件夹中。文件夹名为该作业的 Job ID。JAR 文件默认会有 10 个副本 (mapred.submit.replication 属性控制);输入划分信息告诉了 JobTracker 应该为这个作业启动多少个 map 任务等信息。

(4)JobTracker 接收到作业后,将其放在

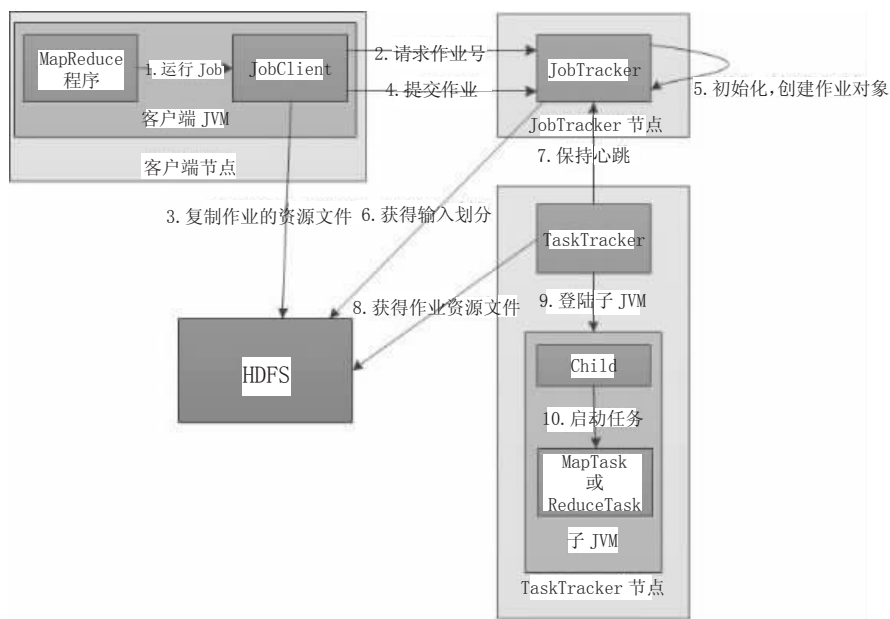


图 2 MapReduce 的工作流程图

一个作业队列里,等待作业调度器对其进行调度(这里是不是很像微机中的进程调度呢),当作业调度器根据自己的调度算法调度到该作业时,会根据输入划分信息为每个划分创建一个 map 任务,并将 map 任务分配给 TaskTracker 执行。对于 map 和 reduce 任务,TaskTracker 根据主机核的数量和内存的大小有固定数量的 map 槽和 reduce 槽。这里需要强调的是 map 任务不是随随便便地分配给某个 TaskTracker 的,这里有个概念叫“数据本地化(Data-Local)”。意思是将 map 任务分配给含有该 map 处理的数据块的 TaskTracker 上,同时将程序 JAR 包复制到该 TaskTracker 上来运行,这叫“运算移动,数据不移动”。而分配 reduce 任务时并不考虑数据本地化。

(5)TaskTracker 每隔一段时间会给 JobTracker 发送一个“心跳”,告诉 JobTracker 它依然在运行,同时“心跳”中还携带着很多的信息,比如当前 map 任务完成的进度等信

息。当 JobTracker 收到作业的最后任务完成信息时,便将该作业设置成“成功”。当 JobClient 查询状态时,它将得知任务已完成,便显示一条消息给用户。

通过 MapReduce 的处理,可以将一个庞大的处理任务分解为一系列并行处理的小任务来执行,大大加速了海量数据处理的能力。

5 Hadoop 的生态系统

Hadoop 是一个能够对大量数据进行分布式处理的软件框架。具有可靠、高效、可伸缩的特点。

Hadoop 的核心是 HDFS 和 MapReduce, Hadoop2.0 还包括 YARN。

图 3 为 Hadoop 的生态系统。

一套 Hadoop 系统的核心主要是由三部分组成:

(1)数据库。nosql 数据库,key-value 存储,能够最大地利用内存,如 Hbase 等。

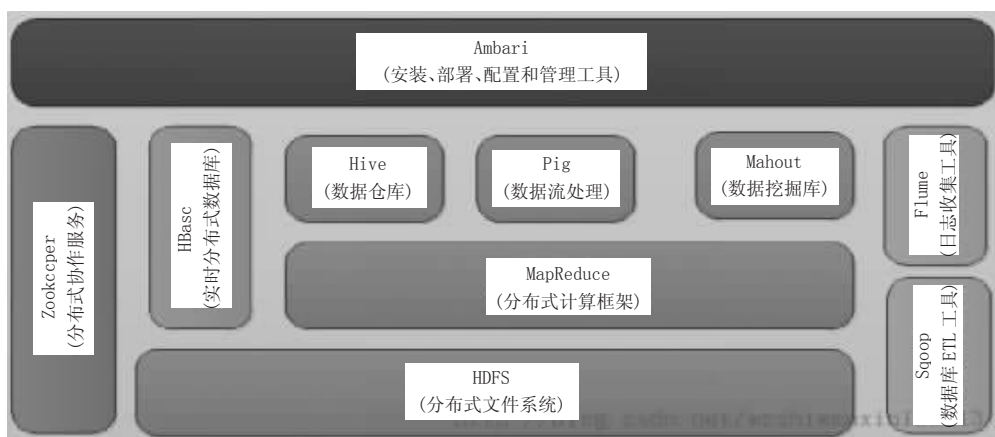


图3 Hadoop 的生态系统

(2)文件系统。采用 hdfs(hadoop distribute file system)分布式文件系统,可以最大地利用磁盘。

(3)编程模型。借助 MapReduce,主要用来做数据的分析,可以最大化利用 cpu 处理能力。

其余部分针对不同的 Hadoop 项目均实现了不同的应用及管理功能,使系统功能不断完善。

例如:

(1)Hive 是基于 Hadoop 的数据仓库:定义了一种类似 SQL 的查询语言 (HQL),将 SQL 转化为 MapReduce 任务在 Hadoop 上执行。

(2)Hbase:是一个针对结构化数据的可伸缩、高可靠、高性能、分布式和面向列的动态模式数据库。和传统关系数据库不同, HBase 采用了 BigTable 的数据模型:增强的稀疏排序映射表(Key/Value),其中键由行关键字、列关键字和时间戳构成。HBase 提供了对大规模数据的随机、实时读写访问,同时,HBase 中保存的数据可以使用 MapReduce 来处理,它将数据存储和并行计算完美地结合在一起。

(3)Zookeeper(分布式协作服务):解决

分布式环境下的数据管理问题,统一命名,状态同步,集群管理,配置同步等。

(4)Sqoop(数据同步工具):Sqoop 是 SQL-to-Hadoop 的缩写,主要用于传统数据库和 Hadoop 之间传输数据。数据的导入和导出本质上是 MapReduce 程序,充分利用了 MR 的并行化和容错性。

(5)Pig(基于 Hadoop 的数据流系统):设计动机是提供一种基于 MapReduce 的 ad-hoc(计算在 query 时发生)数据分析工具。定义了一种数据流语言——Pig Latin,将脚本转换为 MapReduce 任务,在 Hadoop 上执行,通常用于进行离线分析。

(6)Mahout(数据挖掘算法库):主要目标是创建一些可扩展的机器学习领域经典算法的实现,旨在帮助开发人员更加方便快捷地创建智能应用程序。Mahout 现在已经包含了聚类、分类、推荐引擎(协同过滤)和频繁集挖掘等广泛使用的数据挖掘方法。除了算法,Mahout 还包含数据的输入/输出工具、与其他存储系统(如数据库、MongoDB 或 Cassandra)集成等数据挖掘支持架构。

(7)Flume(日志收集工具):开源的日志收集系统,具有分布式、高可靠、高容错、易于定制和扩展的特点。它将数据从产生、传

输、处理并最终写入目标的路径的过程抽象为数据流,在具体的数据流中,数据源支持在 Flume 中定制数据发送方,从而支持收集各种不同协议数据。同时,Flume 数据流提供对日志数据进行简单处理的能力,如过滤、格式转换等。此外,Flume 还具有能够将日志写往各种数据目标(可定制)的能力。总的来说,Flume 是一个可扩展、适合复杂环境的海量日志收集系统。

随着 Hadoop 技术的不断发展,新的更好的工具会不断出现,完善 Hadoop 的生态系统。

6 太钢对 Hadoop 应用的展望

Apache Hadoop 是一种用于分布式存储和处理商用硬件上大型数据集的开源框架。Hadoop 可让各企业迅速从海量结构化和非结构化数据中获得洞察力。

制造业的经理们主要想做三件事,增加产量、降低成本和提高质量。没有很好的正确的技术做支撑,这些目标的实现会发生冲

突。例如,我们如何生产出更好的产品,同时减少每单位生产成本呢?

现在相对廉价的传感器在供应链中的许多点和生产线都可以经常收集和传输数据。这些实时的数据流能够帮助生产者很快判断问题所在。大数据的处理和分析对未来企业目标的实现越来越重要。制造业客户可以对基于 Hadoop 平台分析历史数据,提前采取行动,避免错误,主动改进经营和生产过程。

大量 Apache Software Foundation 项目构成了企业部署、集成和使用 Hadoop 所需的服务。这些项目中的每一个都经过部署,提供明确的功能,都有自己的开发人员群体和各自的发布周期。图 4 是美国大数据公司 Hortonworks 给出的目前企业部署和使用 Hadoop 所需要架构,可以作为今后太钢大数据平台建设软件架构的参考。

目前太钢的信息化技术正在不断深入发展,随着企业资源计划(ERP)、制造执行系统(MES)、产销一体化等重要系统的数据

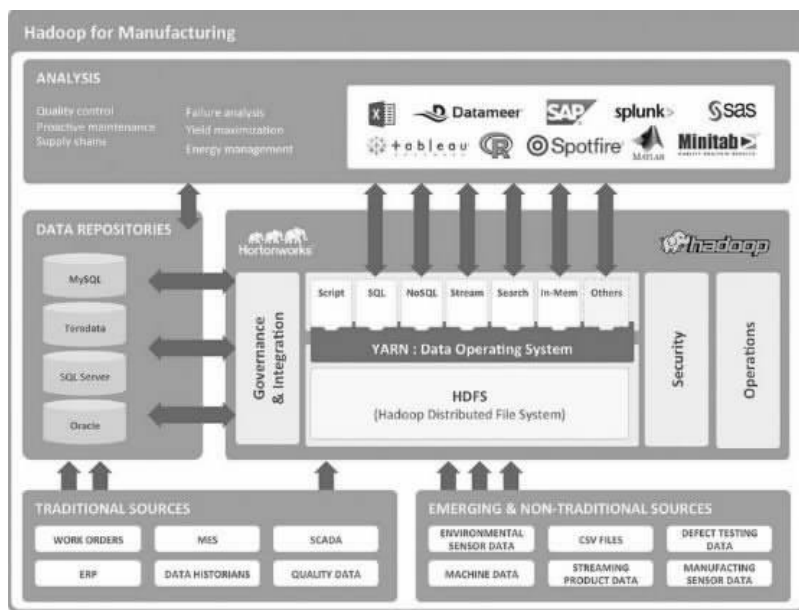


图 4 Hortonworks 企业架构

量不断增长,许多信息对太钢未来的发展起到举足轻重的作用,如何更好地存储这些海量数据并从中挖掘出潜在的价值,是未来信息系统建设的新要求。尝试使用 Hadoop 技术,可以充分节约硬件成本,建设太钢自己的大数据平台是一种很好的选择,很期待这一技术在日后会更好应用到太钢的各个信息化系统中。

7 结束语

随着信息时代的不断发展,大数据在企业的应用会越来越迫切,海量数据的存储与挖掘将会成为企业经营决策的重要手段之

一。Hadoop 这样的技术在实时处理和经济预测性方面是可行的,但最终也需要和现有的一些企业系统集成,才能提供真正的业务洞察力和价值。

值得注意的是:企业要实现 Hadoop 的话需要雇佣一些 Hadoop 专家来帮助编写软件和搭建整个系统。这些专家的需求是非常大的,所以非常昂贵。而且他们会写一些自定义的脚本,这相当于又给代码库增加了一些额外的技术费用。由此看来,Hadoop 作为新技术应用到企业具有极大挑战性,但如果应用的好,也会给我们带来更多发展的机会。

太钢整体成型不锈钢方管中标巴基斯坦核电项目

近日,太钢自主研发生产的整体成型不锈钢方管成功中标哈电集团供巴基斯坦两座核电站装备制造项目,此举标志着太钢不锈钢又一新产品成功进入国际核电建设领域。

不锈钢方管主要应用于第三代先进技术核电反应堆余热排出系统换热器,是确保反应堆安全运行的关键部件。传统的不锈钢方管设计采用钢板冷弯焊接工艺,用户在使用过程中发现焊接产品存在较大残余应力,不仅费时费工,还存在潜在的安全隐患。为此,太钢相关部门及时捕捉市场信息,早在 2010 年就开始着手研发整体成型的核电用不锈钢方管,以代替传统的焊接产品。核电行业准入门槛高,技术要求尤其复杂,在产品试制过程中,技术人员与操作人员齐心协力,克服装备限制,解决了大尺寸厚壁不锈钢无缝四方管成型困难、矫直困难、表面粗

糙等一系列问题,采用了一系列新工艺新技术,成功研发出整体成型的不锈钢方管产品。新产品全过程无焊接,各部分性能均匀一致,无残余内应力,耐蚀性能优异,完全满足第三代先进技术核电反应堆的使用要求。用户使用后认为,该产品各项性能全面超过传统的焊接产品。目前,此类反应堆部件设计也已基本更改为新工艺。

近年来,太钢人发扬“闻新则喜、闻新则动、以新制胜”的创新精神,产销研协同,创造性地研制出一系列独具特色的高端产品。在核电领域,太钢先后在国内首创了核电用 C 型、L 型、U 型、T 型、H 型和矩形钢管,相继得到用户认可。这次方管的成功研发,让核电用钢管家族又添新军,再次展示了太钢雄厚的研发实力和独特的竞争优势。

(摘自相关报道)

《太钢科技》投稿指南

《太钢科技》是太原钢铁(集团)有限公司根据党和国家的政策、法令创办的,经山西省新闻出版局批准备案的科学技术刊物。主要刊登太钢矿山、耐火、焦化、炼铁、炼钢、连铸、轧钢、锻造、理化检验、能源、机械、土建、计控、自动化、环保、安全等专业以及科研、工艺质量攻关、产品开发、技术开发和技术管理等方面的试验研究、科技成果、技术总结、综合评述和经验介绍等。

《太钢科技》由太钢技术中心主办,太钢技术中心科技管理科编辑出版,发往全国冶金企事业单位、冶金科研院所、大专院校和太钢各单位、部门,是太钢广大科技工作者交流经验的园地和展示成果的窗口。为加强对刊物的科学管理,适应太钢发展的新形势,使本刊编排格式标准化和科学化,现介绍本刊投稿方面的一些事项。

1 稿件要求

(1)来稿要求观点明确,论据充足,论述简练,语句通顺,图形文字要妥善加工,资料数据务求核实准确。稿件内容涉及保密诸事项,请作者严格把握,投稿前须经作者单位保密审核。

(2)正文(含图表)以 3000~6000 字为宜。

(3)来稿的文字、数字、计量单位和符号务必按照有关国家标准和法规书写清楚,计量单位和外文大小写区分清楚。

(4)稿件要求提供电子版,通过太钢科技创新与科研管理系统(<http://tims.tisco.com.cn>)在线投稿,每个单位技术部门设有端口,或通过邮箱投稿(tgjskw@tisco.com.cn)。

2 稿面要求

稿件题名为小二号宋体,一级标题为四号黑体,正文为四号宋体,图表及参考文献中文字为小四号宋体。

2.1 题名(标题)

文章的题名要求简明扼要,概述全篇。

(1)题名的字数一般控制在 20 个汉字以内。

(2)一般不设副题名。如必须设副题名,可用破折号与主题名分开,或用较小字号另行起排。

(3)题名中应尽量避免使用非公知通用的缩略词、字符、代号和公式等。

2.2 作者

(1)文章署名是作者文责自负和拥有版权的标志。

(2)文章的作者应署个人真实姓名,并附所在单位全称。作者就是文章的起草、修改和定稿者,一般 1~3 人,多于 3 人时只列前 3 名,后加“等”字。作者认为有必要,可在文章结尾处向有关同志表示致谢。

(3)文章的最后一页附第一作者简介,包括姓名、性别、出生年月、何时毕业于何校、何专业、现职称及从事工作、联系电话等内容。

2.3 摘要

国家标准规定,摘要是报告和论文的内容不加注释和评论的简短陈述。

(1)摘要一般应说明研究工作的目的、方法、结果和最终结论。以不超过 200 个汉字为宜。

(2)摘要应采用第三人称,具有独立性,一般不用图表和非公用符号或缩写略词。

2.4 关键词

(1)关键词是将文章中起关键作用,最能说明问题的、代表文章内容特征的或最有意义的词选出来,以供微机检索。

(2)一般标引 3~8 个关键词。

(3)每两个关键词之间空一字距,不用标点符号,最后也不用任何标点符号。

2.5 前言(引言)

文章的前言是简要说明研究工作的目的、范围、相关领域的前人工作及知识空白、理论基础及分析、研究设想、研究方法、实验设计、预期结果和意义等。

字数控制在 400 个汉字以内为宜。

2.6 正文

正文写作应做到实事求是、客观真切、准确完备、合乎逻辑、层次分明和简练可读。

2.6.1 文内标题层次

(1)正文层次标题力求简短,一般不宜超过 15 个汉字。

(2)各层次一律用阿拉伯数字连续编号,不同层次之间用圆点“·”相隔,最末数字后不加标点符号,一律左满格。

(3)在一个自然段内分项叙述,一律用(1)···、(2)···、(3)···。

(4)文内层次不宜过多,一般 3~4 级。

(5)正文标题编写规则:

一级标题:1、2、3·····左满格。

二级标题:1.1、2.2、3.1·····左满格。

三级标题:1.1.1、2.1.1、3.1.2·····左满格。

2.6.2 表格

(1)表格应有表序和表题。一篇文章中只有一个表者可不用序号,于表题前加“表”字。

(2)表题要确切,不宜超过 15 个汉字,末尾不加句号。

(3)表序与表题之间空一字距,居中排在表格上方。

(4)表格设计应简洁,具有自明性,符合统计学制表原则,采用三线表形式。

(5)表内各栏参数应标明单位,若所有栏或多数栏内单位相同,可将相同单位标注在表的右上角,个别不同者注在有关栏内。

(6)表内数字一律用阿拉伯数字,上下对齐,同一栏内有效位数应一致。相邻栏内数字或内容相同,不能用“同上”、“同左”和“//”等。

(7)表内不设“备注”项,如需注释,可列在表下方,表内用“*”注明。

2.6.3 插图

(1)插图包括线条图与照片,一定要精选,避免与文字和表的内容重复。

(2)插图应有图序和图题,一篇文章中只有一个图者可不用序号,于图题前加“图”字。

(3)图题应简短准确,一般不宜超过 15 个汉字,末尾不加标点,图序与图题间空一字距,居中排在图的下方。

(4)线条图应比例适当,粗细均匀,线条清晰。

(5)图形要求清晰、美观且大小适中。

2.6.4 方程式和反应式

(1)文章中重要的或后文中需要重新提及的方程式和反应式等用阿拉伯数字连续编排序号,序号加圆括号,顶格排在该行右方。

(2)长式换行时,首先在“=”、“≈”、“<”和“>”等之后,其次在“+”、“-”、“×”和“÷”等之后。反应式在反应方向符号“←”和“→”之后换行。式中反应条件用小一号字体标注在反应方向符号的上方或下方。

(3)分式应尽量写成横式(1/A)或负数幂(A⁻²),少用叠式。

(4)化学元素在构成复合词时要写成中文形式,如含氧量不要写成“含 O₂ 量”。

2.6.5 计量单位

文稿计量单位和书写符号一律采用国家法定计量单位。单位名称和符号书写方式一律采用国际通用符号(参照《中华人民共和国法定计量单位使用方法》)。

2.6.6 数字用法

(1) 凡是可以使用阿拉伯数字而且又很得体的地方, 均应使用阿拉伯数字, 如 2800t 不能写成二千八百吨。

(2) 多位的阿拉伯数字不能换行。小数点前或后若超过 4 位数(含 4 位数)应从小数点起向左或向右每三位数之间空 1/4 字距, 废止使用千分撇“,”。尾数零多于 5 位以上数字或小数点后零多的纯小数, 可采用 $\times 10^n$ (n 为正整数或负整数) 的写法。

(3) 年份使用公元纪年, 不能简写, 如 1998 年不能写成 98 年。

2.6.7 汉字与标点

(1) 文中汉字的使用应严格执行国家语言文字工作委员会汉字处公布的《现代汉语通用字表》和国家语言文字工作委员会 1986 年 10 月 10 日重新发表的《简化字总表》。

(2) 标点符号的用法以国家语言文字工作委员会等部门 1990 年 3 月修订发布的《标点符号使用法》为准。

2.6.8 外文字母书写规则

应特别注意外字母的正斜体、大小写、黑白体、上下角标(高低位置明显)以及单词的换行。易混淆的希腊字母和罗马字母, 如 α 与 a, ρ 与 P, β 与 B, μ 与 u, 必须分清。

2.6.9 名词术语及缩略词

(1) 专业名词术语以各专业公知公用或权威出版社的专业词汇和词典为准。新兴科学的名词术语尚无通用译名的, 在文中第一次出现时, 应附原词或注释。

(2) 地名应以《世界地名词典》为准。外国人名应用习惯译名, 无习惯译名者译名后加注原文。

(3) 凡已被公认的缩略词可不加说明直接引用。不常用的和新科学的缩略词, 文内第一次出现时, 在该词后加注全称。

2.7 结论

报告和论文最终的结论, 不是正文中各小段小结的简单重复。结论是根据试验结果

分析、判断和推理而形成的总的观点和看法。要求结论应该准确、完整、明确和精炼, 避免以试验结果代替结论。

如果不可能导出应有的结论, 也可没有结论而进行必要的讨论。

结论的字数一般在 300 个汉字以内。

2.8 参考文献

参考文献应附于文本末, 只列主要者及作者亲自查阅过的文献或公开出版物, 不宜过多。其书写格式如下:

(1) 书: 作者、书名、版次(初版不写)、出版地、出版单位、年份和起止页。

(2) 期刊: 作者、题名、刊名(按各刊规定缩写)、年份、卷、期和起止页。

(3) 中译本书: 原作者、中译本书名、译者、出版单位、年份和起止页。

(4) 文献: 作者、文献名、编号、年份和起止页。

参考文献在正文中被引用, 可采用顺序编码制。文献序号按文中出现的先后顺序, 用阿拉伯数字加方括号以右上角标的形式标注于正文涉及的地方或所指引部分。

3 其他

(1) 来稿必须执行太钢有关的保密制度。

(2) 编辑过程对来稿有删改权, 如不愿意者请声明。

(3) 稿件刊用与否均不退回。

(4) 来稿一经刊登, 将按《太钢科技刊物稿酬规定》酌付稿酬, 并赠送当期杂志一份。

(5) 来稿请写明作者真实姓名、详细工作地址和联系电话。

(6) 太钢技术中心科技管理科联系方式: 0351-2132206。

《太钢科技》热忱欢迎太钢广大科技工作者踊跃投稿, 所发表的文章均可作为工程师等职称评定的依据之一。

(太钢技术中心科技管理科)