

基于现代炼钢生产工艺对钢包周转匹配的分析

董小明¹, 宋传文², 刘明华², 任德龙³, 唐成伟²

¹马鞍山钢铁股份有限公司, 特钢公司, 安徽 马鞍山

²马鞍山钢铁股份有限公司, 长材事业部, 安徽 马鞍山

³马鞍山钢铁股份有限公司, 经营财务部, 安徽 马鞍山

Email: 360882621@qq.com

收稿日期: 2021年8月3日; 录用日期: 2021年9月3日; 发布日期: 2021年9月10日

摘要

钢包周转主要受车间平面布局、工艺路线和组产等因素的影响。其周转可分为在线周转和包役周转。结合本厂情况统计分析钢包周转得知: 未过LF炉的钢包平均周转时间为91.4或99.1分钟, 过LF炉钢包平均周转时间152分钟, 需投入4或6个钢包才能满足生产需要。钢包总数主要与产量、包役平均时间和包龄有关。目前在本厂日产180炉, 包役平均时间12.37天, 平均包龄49.8炉的情况下, 钢包要维持在45个基本能与生产相匹配。

关键词

炼钢, 工艺钢包, 周转匹配

Analysis of Ladle Turnover and Matching Based on the Modern Steelmaking Process

Xiaoming Dong¹, Chuanwen Song², Minghua Liu², Delong Ren³, Chengwei Tang²

¹Special Steel Company, Ma'anshan Iron and Steel Co., Ltd., Ma'anshan Anhui

²Long Products Department, Ma'anshan Iron and Steel Co., Ltd., Ma'anshan Anhui

³Operation Finance Department, Ma'anshan Iron and Steel Co., Ltd., Ma'anshan Anhui

Email: 360882621@qq.com

Received: Aug. 3rd, 2021; accepted: Sep. 3rd, 2021; published: Sep. 10th, 2021

Abstract

Ladle turnover is mainly affected by workshop layout, process route, production plan and other factors. Ladle turnover can be divided into on-line turnover and ladle service turnover. Based on the actual situation of the factory, the statistical analysis conclusion of turnover time shows that the average turnover time is 91.4 mins or 99.1mins without LF refining treatment; the average

turnover time is 152 mins with LF refining treatment; 4 or 6 ladles are required to put into used the production. Total number of ladle is mainly related to production, ladle service time and ladle lining life. Under the condition of 180 heats daily capacity, when average ladle service time is 12.37 days and the average ladle lining life is 49.8 heats, the ladle should be maintained at 45 ind that can be matched the process.

Keywords

Steelmaking, Process Steel Ladle, Turnover Matching

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着钢铁厂界面技术的不断发展和完善, 周转于炼钢 - 精炼 - 连铸间的钢包除了作为钢水运输和炉外精炼容器外, 还起到了缓冲器的作用。钢包在线周转个数、运行效率和缓冲能力都是控制生产、协调匹配上下游工序的关键因素[1]。

钢包作为运输和冶炼钢水的重要载体, 合适的钢包使用数是实现炉机匹配的基础[2]。钢包周转受车间平面布置、工艺路线和组产等因素的影响。本文统计分析钢包在线周转和包役周转时间, 在此基础上采用时间计算法和周期匹配法[1] [2] [3]; 计算钢包在线周转个数; 结合产量、平均包役时间和包龄计算钢包周转总数, 为生产提供理论和数据支持。

2. 钢包周转过程解析

2.1. 工艺简介

本厂目前有 4 座 60 t 顶底复吹转炉、2 座 LF 炉和 4 台连铸机, 在线烘烤位 3 个、离线烘烤位 4 个、热修工位 2 个。炼钢厂平面布置见图 1。

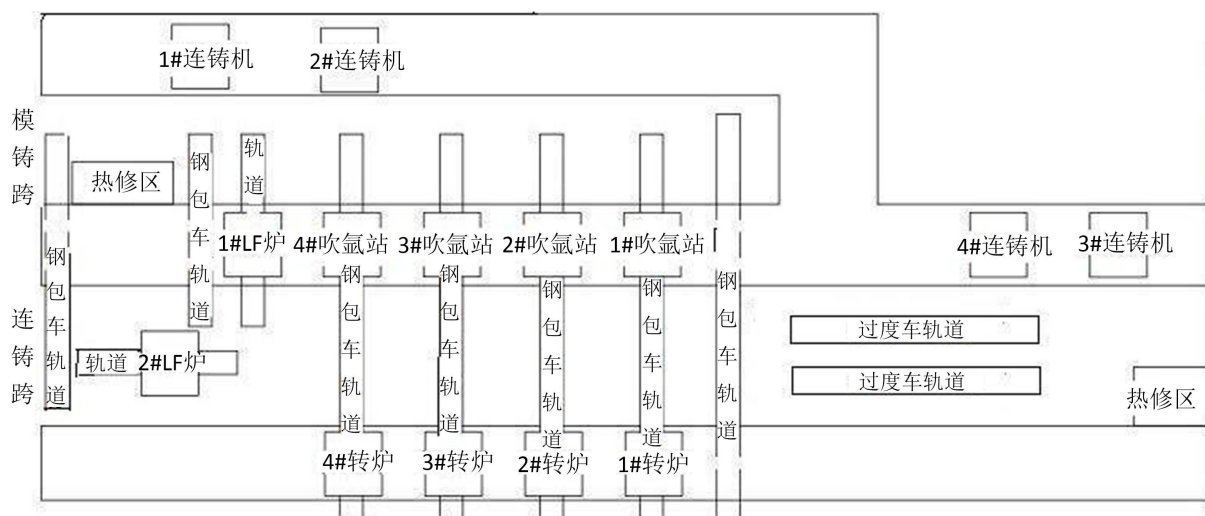


Figure 1. The layout of steel making plant

图 1. 炼钢厂平面布置

1[#]、2[#]机方坯连铸机位于连铸跨, 3[#]、4[#]异型坯连铸机位于模铸跨。新建的异型坯连铸机因半径较大造成其操作平台和行车轨道标高均高于 1[#]、2[#]机连铸机。钢水必须经过渡车运输, 高跨行车再次吊运后才能上铸机。

两座 LF 炉集中于厂房一侧。钢水必须经行车和轨道车多次倒运才能完成冶炼和浇铸, 造成钢包调运次数增多在线周转时间变长。

目前本厂转炉周期为 28~30 分钟, 连铸周期 20~33 分钟, 二者在绝大部分状态下不匹配, 造成炉机交叉, 钢包交错使用。

2.2. 钢包周转过程

钢包周转过程解析见图 2。

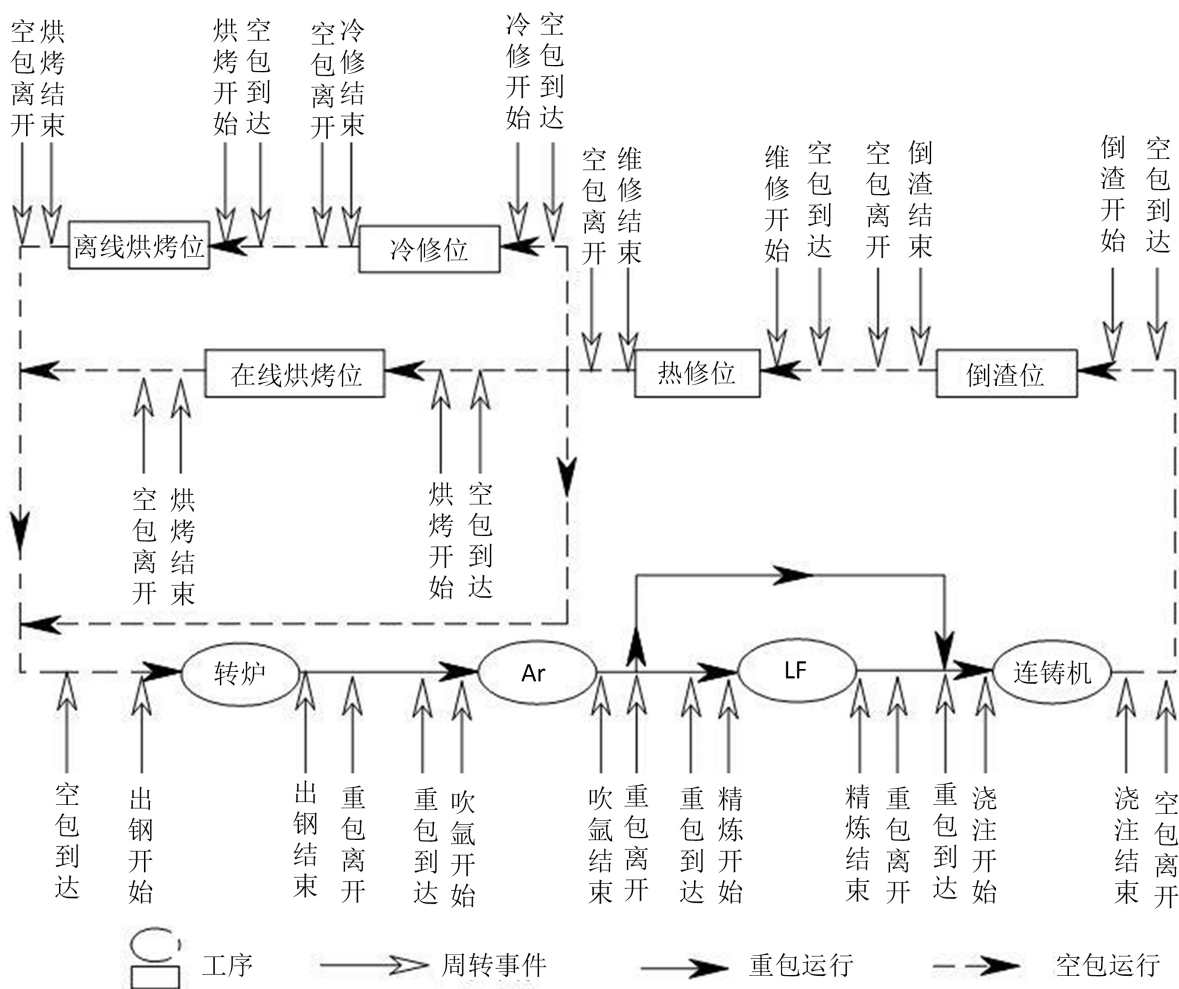


Figure 2. Analysis of ladle turnover process

图 2. 钢包周转过程解析

钢包周转主要由在线使用和下线冷修组成, 根据其组成可将钢包周转分为在线周转和包役周转两部分。

钢包在线周转是指钢包热运行过程中周转一个轮回的时间[4]。钢包在线周转分为重包运行、浇铸和空包运行[5]。

重包阶段主要包括：转炉出钢、精炼和连铸等。运行路径为：转炉 - 吹氩站/(吹氩站 - LF 炉) - 连铸机；空包阶段一般经历：翻渣、热修和在线烘烤等环节，周转路径有两条：1) 倒渣位 - 修水口位 - 灌砂位 - 转炉接钢；2) 倒渣位 - 修水口位 - 离线烘烤 - 转炉接钢。

钢包包役周转是指钢包修砌周转一个轮回的时间。其由钢包在线周转和冷修烘烤构成。钢包包役周转路径如下：下线 - 冷修 - 烘烤 - 备烘 - 上线(中途停再烘 - 再次上线) - 下线。其中中途停再烘 - 再次上线受组产和设备运行等状况的影响，并不是所有的钢包都会出现，但某些情况下一个钢包可能多次出现。

钢包在线周转可看作若干钢包有计划的上下线不断更替的过程；钢包必须投入合适的数量才能满足连续生产的需要。包役周转可看作单个钢包某个时间段在不同环节阶段性循环的过程。每个钢包在某个时间段内只能处于某一环节，且每个环节都对应一定的时间，基于上述原理可知钢包总数必须达到一定的数量才能满足钢包包役周转过程的顺畅衔接。

3. 钢包周转统计分析 with 个数计算

3.1. 钢包周转时间统计分析

结合车间布置和日常组产将钢包在线周转、LF 炉冶炼周期和包役周转分为若干环节。统计不同工序各环节的时间，统计结果见表 1、表 2 和表 3。

Table 1. The turnover of ladle on-line (minute)

表 1. 钢包在线周转时间(分钟)

序号	环节名称	T _{平均}	T _{最大}	T _{最小}	样本数	标准差
1	钢包上车至加砂结束	3.2	5	2	53	0.8
2	加砂结束至出钢开始	7.0	16	1	65	3.6
3	出钢开始至结束	3.4	5	2	66	0.8
4	出钢结束至吹氩毕	9.7	14	10	58	2.4
5	吹氩毕至吊起	4.5	16	1	58	3.5
6	过渡车	3.1	6	2	41	1.2
7	吊运至铸机回转台	3.5	8	2	68	1.6
8	满包回转至开浇工位	8.5	18	1	62	4.14
9	浇注结束空包转回	25.5	33	17	62	4.2
10	回转后至吊运	6.8	16	1	71	4.1
11	钢包落地	4.4	15	2	68	2.2
12	清理或重装水口	2.2	5	1	51	7.8
13	清理结束至吊起	7.7	31	1	51	7.8
14	过渡车	4.6	14	2	17	2.7
15	上吹氩站小车	5.0	10	2	20	2.1

1#、2#连铸机钢包平均周转时间 91.4 分钟，3#、4#连铸机钢包平均周转时间 99.1 min，铸机平均浇注时间 25.5 分钟。

对于钢包来说，所有的操作均为串联操作，即任何一个环节出现的异常均会给其后续一系列的环节带来不良影响[6]，所以在线钢包各个环节时间的合理掌控显得至关重要。根据钢包在线周转各环节耗时和

现场情况适当调控钢包热修节奏,合理调整清理水口、安装机构和控渣的时间以及罐砂质量等,确保每个环节符合要求,减少对生产的不利影响。

为缩短不必要的等待时间,LF炉采用单工位双钢包车布局。每座LF炉对应两台钢包车,加热位固定,钢包车自由开动。LF冶炼过程中钢包周转时间始于钢包到达某个钢包车,结束于钢包离开此钢包车。钢包落到钢包车时间计做零点,LF工序冶炼时间见表2。

Table 2. The time of LF (minute)

表 2. LF 炉冶炼时间(分钟)

序号	环节名称	T _{平均}	T _{最大}	T _{最小}	样本数	标准差
1	上车至加热停	12	40	1	271	9.40
2	测温取样加料	10	33	9	352	4.24
3	加热	8	33	3	334	7.77
4	测温取样加料	9	25	6	351	4.27
5	加热	5	28	3	159	6.59
6	测温取样	6	18	3	164	2.88
7	喂线	5	28	1	196	4.35
8	出站软吹吊离	6	26	5	247	7.36

钢水在LF炉冶炼的平均周转时间61分钟,其钢包总周转时间为152.4或者160.1分钟,为实现LF炉与铸机的匹配,铸机时间一般控制在30分钟。

Table 3. The turnover of ladle service (day)

表 3. 钢包包役周转时间(天)

序号	环节名称	T _{平均}	T _{最大}	T _{最小}	样本数	标准差
1	下线至开烘	4.88	14.96	1.36	209	2.09
2	烘停	0.79	1.17	0.74	249	0.05
3	备烘开	1.26	8.67	0.06	243	1.28
4	备烘停	0.70	6.81	0.12	251	0.69
5	中停再烘	2.26	8.63	0.24	103	1.61
6	再烘停	0.65	3.96	0.10	106	0.64
7	下线	3.28	9.00	0.63	213	1.17

钢包在线使用过程中途无停用的平均包役周转时间为10.91天,中途停用一次再上线使用的平均增加2.91天。因组产变化分厂约50%的钢包会出现中途停用烘烤再上线使用的情况。综合计算得知平均包役周转时间约为12.37天。

3.2. 钢包在线周转个数计算

1) 产量计算法

钢包在线个数与每天冶炼炉数、钢包热周转时间是定量对应关系[7]。钢包在线个数计算公式如(1)所示。

$$n = \frac{N_{heats} \times T_{ladle}}{1440} \quad (1)$$

式中： n —钢包在线使用个数； N_{heats} —每天最大冶炼炉数； T_{ladle} —钢包在线周转时间，分钟；1440—每天分钟数。

本厂上 LF 的钢种相对较少，占比 11%，且连续生产炉数一般不超过 20 炉，故产量计算法中钢包周转时间选用非 LF 炉钢种周转时间，99 分钟。统计分厂日产炉数，选取若干代表数据，计算结果见表 4。

Table 4. The number of ladle on-line in various yields

表 4. 不同产量下钢包在线数

日产炉数	144	150	165	180	186
钢包在线数	9.9	10.3	11.3	12.4	12.8

钢包在线周转个数随班产炉数增加而增加。但钢包实际使用个数与计算存在一定的误差，当组产出现较大波动特别是铸机开停机，钢包要成组投入或停用，造成实际与理论计算间出现一定的误差。

2) 周期匹配法

根据单台连铸机浇注时间来计算单台设备所需钢包数，然后将若干台铸机所需周转的钢包数进行加和计做钢包在线周转数。

单台铸机所需钢包数如公式(2)所示[2]:

$$n = \frac{T_{ladle}}{T_{cc}} \quad (2)$$

式中： n 表示钢包周转数，个； T_{ladle} ：钢包在线周转时间，分钟； T_{cc} ：连铸机浇注时间，分钟。将由表 1 所得的数据代入公式(2)得：

非 LF 炉钢种钢包在线个数：

$$n_1 = \frac{99.1}{25.5} = 3.89$$

1 台铸机需投入 4 个钢包才能确保生产，2 台铸机需要 8 个钢包，依次类推。

LF 炉钢种钢包个数：

$$n_2 = \frac{160.1}{30} = 5.37$$

钢水过 LF 炉时需投入 6 个钢包才能确保生产。

根据钢种和铸机台数将钢包个数线性加和得到钢包周转总数，与分厂实际投入数基本相符。考虑到钢包在使用过程中拉包口、水口掉渣以及行车紧张等影响因素，会适当增加 1 个钢包，以消抵不利因素影响。

产量计算较适用单炉冶炼周期变化较大的小吨位的转炉；周期匹配法较适用冶炼周期较为稳定大吨位的转炉[3]。本厂转炉容积 60 吨，相对来说属于中大型转炉，通过计算数据对比可知，周期匹配法更为合适本厂钢包在线周转个数计算，指导性更强。

3.3. 钢包总数计算

1) 基础计算

钢厂所需钢包总数一般由正常生产一天内周转数 N_1 、冷修包数 N_2 、外加每台连铸机配备的事故包 N_3 和计量包 N_4 组成[5] [7]。其计算公式如(3)、(4)所示：

$$N_1 = n \times \frac{T_1}{1440} \quad (3)$$

式中： n —日最大出钢炉数； T_1 —钢包在线周转时间，分钟；1440—每天分钟数；

$$N_2 = \frac{n}{X} \times T_2 \quad (4)$$

式中： n —日最大出钢炉数。

T_2 ：钢包从下线到投入使用的时间，单位：天。钢包冷修根据其修砌程度分为更换渣线、透气砖、座砖的小修、更换工作层的大修和浇注永久层、重新砌筑工作层的全修。一般小修需要 4 天，大修需要 5 天，全修需要 10 天。

X ：相应类型钢包的平均包龄，炉。

N_2 是三种类型的钢包单独求得之后的加和。

N_3 ：一般一台连铸机配备 2 个事故包。

N_4 ：计量包个数，一般配置 2 个，一大一小。

2) 现场统计计算

钢包总数是一个与产量和包役时间成正比，与包龄成反比的函数[5]。影响钢包总数的主要因素是产量和组产。产量决定着钢包日下线数，组产决定包役周转时间长短。合理组产减少波动对于控制钢包总数具有重要意义。计算公式如下。

$$N = \frac{n}{X} \times T_3 \quad (5)$$

式中： n ：日最大出钢炉数，炉/天； X ：小修钢包平均包龄，炉/个； T_3 ：钢包包役时间，天。

此公式有一定的局限性。只针对钢包热周转总数的计算，未包含事故包和计量包。

统计分析 2020 年钢包数据得知钢包平均 49.85 炉小修一次。将不同产量、包役平均时间 12.37 天和 小修平均包龄 49.85 炉/个和代入公式(5)计算得到所需钢包总数，见表 5。

Table 5. The total number of ladle in various yields

表 5. 不同产量下钢包总数

日产炉数	150	165	180	189
日下线个数	3.0	3.3	3.6	3.8
总数(均值)	37	41	45	47

在日产 180 炉的情况下至少要需要 45 个钢包才能实现钢包的良好运转，才能与生产相匹配。

4. 结论

1) 根据钢包状态可将钢包周转分为在线周转和包役周转两部分，包役周转由钢包在线周转和冷修烘烤构成。

2) 普通钢种钢包平均周转时间为 91.4 或 99.1 分钟，过 LF 炉钢种钢包平均周转时间约为 152 分钟，一台铸机需投入 4 个钢包，上 LF 炉需投入 6 个钢包。周期匹配法相比产量算法更准确，较适合本厂情况。

3) 钢包总数主要受到产量和组产的影响。产量决定着钢包日下线数，组产决定了包役周转时间。在日产 180 炉、平均包役时间 12.37 天、平均包龄 49.85 炉的情况下至少需要 45 个钢包才能实现钢包的良好运转，才能与生产相匹配。

参考文献

- [1] 黄帮福. 炼钢厂钢包互用优化模型研究[J]. 炼钢, 2016, 32(5): 48-49.
- [2] 蔡峻. 基于炉机匹配原则的周转钢包数量计算模型[J]. 钢铁, 2015, 50(7): 42-43.
- [3] 陈红. 钢包运行控制优化实践[J]. 钢铁, 2012, 47(10): 40-41.
- [4] 李勤, 王崇山, 等. 钢包高效化周转技术研究[J]. 山西冶金, 2019(3): 76-78.
- [5] 黄帮福, 王建军, 等. 钢包数量计算模型[J]. 钢铁研究学报, 2014, 26(5): 17-22.
- [6] 罗源奎. 炼钢厂三炉三机 7 个钢包周转的生产实践[C]//炼钢品种、质量提升研讨会论文集, 2015: 513-517.
- [7] 肖茂元, 王崇. 钢包周转的优化研究[J]. 连铸, 2016, 41(4): 18-22.