

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2017.02.007

## 钢包互用条件及影响因素

黄帮福<sup>1,2</sup>, 田乃媛<sup>3</sup>, 施哲<sup>1,2</sup>, 马志伟<sup>1,2</sup>, 周晓雷<sup>1,2</sup>

(1.昆明理工大学 冶金与能源工程学院,昆明 650093;2.云南省高校复杂铁资源清洁冶金重点实验室,昆明 650093;  
3.北京科技大学 冶金与生态工程学院,北京 100083)

**摘要:**为深入研究炼钢厂多台连铸机间钢包产生互用的条件及影响因素,以 H 炼钢厂的钢包为研究对象,简要解析了钢包运行过程及运行时间。分析了钢包周转次数、周转数与浇铸炉次数之间的关系;运用甘特图模拟出两台连铸机浇次重叠时间为 50 min 条件下的钢包运行过程。研究表明:钢包产生互用的前提条件为钢包在先停浇连铸机不再承担运输任务,且先停浇连铸机的钢包空包结束时间应在后开浇连铸机钢包的重包开始时间之前。分析了浇次重叠时间对钢包互用的影响,结果表明:浇次重叠时间内连铸机浇铸的钢包数少于围绕连铸机周转的钢包数时才能产生钢包互用。研究了连铸机单炉浇铸时间与钢包周转周期对钢包互用的影响,结果表明:科学控制钢包周转周期和连铸机单炉浇铸时间,合理匹配二者关系,可使浇次最后不需要周转的钢包数增加,提高钢包的互用几率。

**关键词:**炼钢厂;钢包;互用条件;影响因素;浇次计划;甘特图

**中图分类号:**TF758

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2017)02-052-08

## Precondition and influence factors of steel ladle interaction

HUANG Bangfu<sup>1,2</sup>, TIAN Naiyuan<sup>3</sup>, SHI Zhe<sup>1,2</sup>, MA Zhiwei<sup>1,2</sup>, ZHOU Xiaolei<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, P.R.China; 2. Clean Metallurgy Key Laboratory of Complex Iron Resources, Kunming 650093, P.R.China; 3. School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P.R.China))

**Abstract:** For further research on the precondition and the influence factors of ladle interaction among continuous casters, we took steel ladle of H steelmaking plant as the research object and analyzed the operation process and time of steel ladles. The relationship among turnover times, turnover numbers and cast numbers were analyzed. And the steel ladle's turnover process of 2 continuous casters with overlapping time of 50 min was simulated with Gantt chart. The simulation results show that the precondition of steel ladle interaction is the steel ladle no longer undertakes the transport task at 2# continuous caster and the empty ladle's ending time is prior to heavy ladle's starting time of 1# continuous caster. After researching the influence of overlapping time on ladle interaction, it's concluded that the precondition of steel ladle

**收稿日期:**2016-06-13

**基金项目:**中国博士后科学基金第 57 批面上资助项目(2015M572647XB),云南省教育厅科学研究基金项目(2014Y069)。

Supported by China Postdoctoral Science Foundation(No.2015M572647XB) and Science Research Fund of Yunnan Provincial Education(No.2014Y069).

**作者简介:**黄帮福(1983-),男,博士,主要从事钢铁冶金研究,(E-mail)kmusthbf@163.com。

interaction is the cast number during overlapping time is less than the turnover number of steel ladle. By researching the influence of turnover cycle and casting time of single ladle on ladle interaction, it's showed the rational control and matching can raise the non-turnover number and probability of steel ladle interaction.

**Keywords:** steelmaking plant; steel ladle; interaction precondition; influence factor; casting schedule; Gantt chart

钢包是炼钢厂转炉至连铸界面<sup>[1-2]</sup>钢水运输的主要容器,同时也是炼钢厂控制钢水温度和生产节奏的主要工具。炼钢厂在生产过程中多台连铸机往往同时浇铸,围绕某台连铸机周转的钢包也会在结束钢水运输任务后,吊运至其他连铸机继续使用,即实现钢包互用。多台连铸机间产生钢包互用时,炼钢厂的钢包周转总数会减少,与此同时钢包的调度难度也会降低。但钢包互用产生的条件及影响因素,目前研究成果鲜见于文献。已有钢包控制研究成果中,刘青等<sup>[3]</sup>采用产量算法、时间算法和周期匹配法以及钢包分类法<sup>[4]</sup>对钢包数量进行计算,该研究成果只适用于单台设备的理想状态,且限定条件较多。蔡峻等<sup>[5-7]</sup>在钢包周转方面做了大量研究,主要运用甘特图方法模拟出单浇次和多浇次钢包周转规律,提出浇次重合炉数不同条件下的钢包周转数量计算模型,此类计算方法只考虑重合炉数未考虑其他因素对多铸机间钢包互用的影响。笔者在钢包数量计算模型方面也做了大量研究,主要根据 2 台连铸机和 3 台连铸机浇次重叠时间不同,分别提出了 2 台连铸机钢包数量计算模型<sup>[8]</sup>和 3 台连铸机钢包数量计算模型<sup>[9-10]</sup>;针对炼钢厂攒包生产条件下的钢包周转模型也进行了深入的研究<sup>[11]</sup>,提出了转炉单炉冶炼周期分别大于和小于连铸机单炉浇铸时间条件下的钢包数量计算模型。分析以上文献可知:已有研究成果均未深入探讨钢包产生互用的条件及影响因素,采用现有理论或方法对钢包互用进行指导,显然无法获得很好的应用效果。

针对已有研究的不足,以 H 炼钢厂的钢包为研究对象,在简要解析钢包运行过程和运行时间基础上,深入探讨钢包产生互用的前提条件,分析连铸机间浇次重叠时间、单炉浇铸时间和钢包周转周期因素对钢包互用的影响。

## 1 钢包运行解析

H 炼钢厂现有 2 座 120 t 转炉(BOF)、2 座在线吹氩站、1 座 LF 炉、2 台方坯连铸机(CC)。其中,1<sup>#</sup>连铸机为 5 机 5 流大方坯,最大连浇炉数 15 炉;2<sup>#</sup>连铸机为 7 机 7 流小方坯,最大连浇炉数 24 炉。另有 2 个钢包在线烘烤位、5 个钢包离线烘烤位、1 个修水口位和 2 个倒渣位。解析钢包运行过程,如图 1 所示。

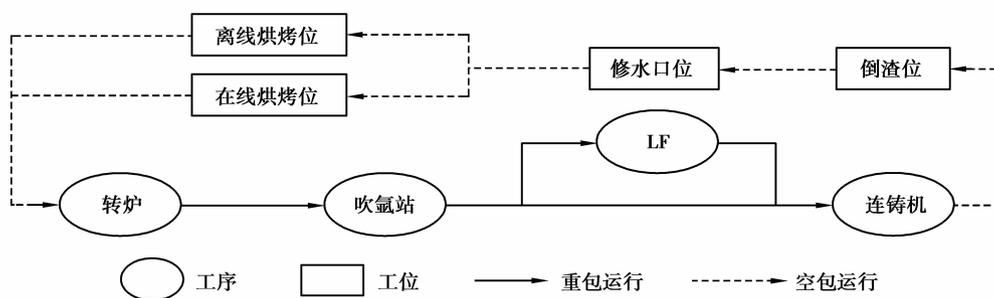


图 1 钢包运行过程解析

Fig.1 Operation process analysis of steel ladle

由图 1 可知,钢包的重包运行路径有 2 条:“转炉-吹氩站-连铸机”和“转炉-吹氩站-LF-连铸机”。经调

研, H 钢厂主要生产普碳钢, 故钢水处理工艺路径采用“转炉-吹氩站-连铸机”居多, 与之对应的空包运行路径主要为“倒渣位-修水口位-在线烘烤-转炉接钢”。针对以上重、空包运行路径的各段时间进行解析, 得出如表 1 所示的时间值。

表 1 钢包运行时间

Table 1 Operation time of steel ladle

时间项	时间明细	平均时间值/min
重包运行时间	转炉出钢时间+转炉至氩站运输时间+氩站处理时间+氩站至连铸机运输时间+过程等待时间	34
浇铸时间	1# 连铸机单炉浇铸时间	40
	2# 连铸机单炉浇铸时间	25
空包运行时间	连铸机至倒渣位运输时间+倒渣时间+倒渣位至修包位运输时间+修包时间+修包位至烘烤位运输时间+烘烤时间+烘烤位至出钢位运输时间+过程等待时间	71

由表 1 中的时间项可知, 钢包的周转周期可表示为

$$T_{\text{cycle}}^{\text{ladle}} = T_{\text{heavy}}^{\text{ladle}} + T_{\text{cast}}^{\text{CC}} + T_{\text{empty}}^{\text{ladle}}, \quad (1)$$

式中:  $T_{\text{cycle}}^{\text{ladle}}$  为钢包周转周期, min;  $T_{\text{heavy}}^{\text{ladle}}$  为钢包重包运行时间, min;  $T_{\text{cast}}^{\text{CC}}$  为连铸机单炉浇铸时间, min;  $T_{\text{empty}}^{\text{ladle}}$  为钢包空包运行时间, min。

根据表 1 各段时间值, 运用公式(1), 可算出 1# 连铸机的钢包周转周期为 145 min, 2# 连铸机的钢包周转周期为 130 min。

## 2 单浇次钢包周转数量计算模型

为深入研究钢包互用条件, 需先明确单台连铸机单浇次的钢包周转数量。查阅相关文献, 研究成果中已有成熟的单浇次钢包周转数量计算方法<sup>[5-6, 12]</sup>, 如公式(2)所示。

$$n_{\text{ladle}}^{\text{CC}} = \left\lceil \frac{T_{\text{cycle}}^{\text{ladle}}}{T_{\text{cast}}^{\text{CC}}} \right\rceil, \quad (2)$$

式中:  $n_{\text{ladle}}^{\text{CC}}$  为单台连铸机单浇次钢包周转数, 个;  $\lceil \cdot \rceil$  为向上取整符号。

根据表 1 相关参数, 运用公式(2)可算出 1# 连铸机单浇次共需 4 个钢包周转, 2# 连铸机单浇次共需 6 个钢包周转。将连铸机 1 浇次连浇炉数用钢包周转次数、周转数与最后周转数进行表示, 如公式(3)所示。

$$N_{\text{heat}}^{\text{CC}} = i^{\text{CC}} \times n_{\text{ladle}}^{\text{CC}} + h_{\text{ladle}}^{\text{CC}}, \quad (3)$$

式中:  $N_{\text{heat}}^{\text{CC}}$  为连铸机 1 浇次的连浇炉数, 炉;  $i^{\text{CC}}$  为钢包完整周转次数, 次;  $h_{\text{ladle}}^{\text{CC}}$  为  $n_{\text{ladle}}^{\text{CC}}$  个钢包周转完  $i^{\text{CC}}$  次后, 还需再周转 1 次的钢包数,  $0 \leq h_{\text{ladle}}^{\text{CC}} < n_{\text{ladle}}^{\text{CC}}$ , 个。

由 1# 连铸机 1 浇次连浇 15 炉, 结合公式(3)可得出表达式  $15 = 3 \times 4 + 3$ , 可知围绕 1# 连铸机周转的 4 个钢包, 均需完整周转 3 次, 且前 3 个钢包需多周转 1 次, 才能完成 15 炉的钢水运输任务。由 2# 连铸机 1 浇次连浇 24 炉, 结合公式(3)可得出表达式  $24 = 4 \times 6 + 0$ , 可知围绕 2# 连铸机周转的 6 个钢包, 每个钢包正好周转完 4 次即可完成 24 炉的钢水运输任务。

## 3 连铸机间钢包互用条件

甘特图<sup>[12-14]</sup>是以横轴表示时间, 纵轴表示活动(项目), 线条表示在整个期间计划和实际活动完成情况的一组线条图。鉴于甘特图是解决车间生产排序问题的有效工具, 能够清晰地展现生产计划与各工序间的关系<sup>[15]</sup>。采用甘特图再现 2 台连铸机的钢包运行过程, 用图例直观地展现钢包运行过程在各段时间内的进程,

以此为依据深入研究连铸机间钢包产生互用的条件及影响因素。首先设定 2# 连铸机先开浇和先停浇,1# 连铸机后开浇,两台连铸机浇次重叠时间为 50 min。由公式(3)的计算结果可知,甘特图只需绘制 1# 连铸机开始浇铸 4 炉和 2# 连铸机最后连浇 6 炉的钢包运行关系,如图 2 所示,即可分析两台连铸机的钢包互用可行性。

图 2 所示的钢包运行过程示意图,对某台连铸机而言,每种颜色的线段表示一个钢包。由此可知,1# 连铸机有 4 种颜色的线段,共需周转 4 个钢包;2# 连铸机有 6 种颜色的线段,共需周转 6 个钢包。分析连铸机间产生钢包互用可行性时,需研究先停浇的 2# 连铸机某个钢包是否可在结束钢水吊运任务后,交换至 1# 连铸机继续使用,代替 1# 连铸机的某个钢包。

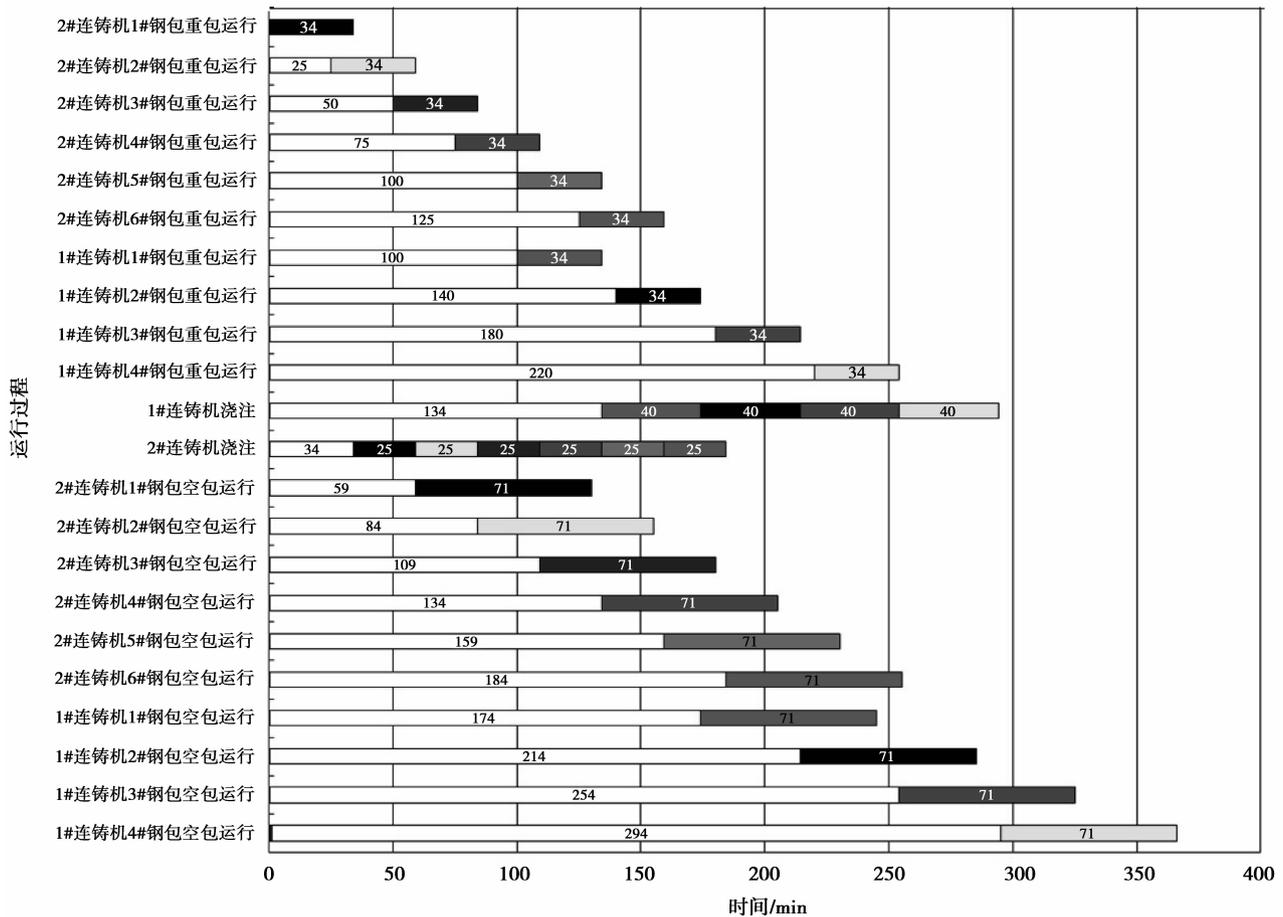


图 2 两台连铸机钢包周转甘特图

Fig.2 Steel ladle Gantt chart of 2 continuous casters

分析图 2 所示的各钢包重包运行时间、浇铸时间和空包运行时间,可知连铸机间的钢包是否能够互用,与空包结束时间和重包开始时间有密切的关系。对两台连铸机的钢包运行时间进行详尽分析,提炼出连铸机某包钢水开浇时间表达式,如公式(4)所示。

$$T_{ks}^{CC} = t_{1s}^{CC} + (k - 1) \times T_{cast}^{CC}, \tag{4}$$

式中: $T_{ks}^{CC}$ 为连铸机第  $k$  包钢水开始浇铸时间, min; $t_{1s}^{CC}$ 为连铸机第 1 包钢水开始浇铸时间, min; $k$  为连铸机连浇炉数序号。

根据公式(4),可将第  $k$  包钢水结束浇铸时间表示为

$$T_{ke}^{CC} = t_{1s}^{CC} + (k - 1) \times T_{cast}^{CC} + T_{cast}^{CC} = t_{1s}^{CC} + k \times T_{cast}^{CC}, \tag{5}$$

式中: $T_{ke}^{CC}$ 为连铸机第  $k$  包钢水结束浇铸时间, min。

进一步将第  $k$  包钢水的空包结束时间表示为

$$T_{ke-e}^{CC} = t_{1s}^{CC} + k \times T_{cast}^{CC} + T_{empty}^{ladle} = T_{ke}^{CC} + T_{empty}^{ladle}, \quad (6)$$

式中:  $T_{ke-e}^{CC}$  为连铸机第  $k$  包钢水空包结束时间, min。

同样可将第  $k$  包钢水的重包开始时间表示为

$$T_{kh-s}^{CC} = t_{1s}^{CC} + (k-1) \times T_{cast}^{CC} - T_{heavy}^{ladle} = T_{ks}^{CC} - T_{heavy}^{ladle}, \quad (7)$$

式中:  $T_{kh-s}^{CC}$  为连铸机第  $k$  包钢水的重包开始时间, min。

分析图 2 的钢包运行过程, 结合公式(6)和公式(7)可知, 要想实现 2<sup>#</sup> 连铸机的钢包交换至 1<sup>#</sup> 连铸机继续使用, 需满足以下条件:

①该钢包不需要在 2<sup>#</sup> 连铸机承担钢水运输任务。

②该钢包在 2<sup>#</sup> 连铸机的空包结束时间, 应早于其要替换的 1<sup>#</sup> 连铸机某个钢包的重包开始时间, 即  $T_{ke-e}^{CC2} - T_{kh-s}^{CC1} \leq 0$ 。

由以上交换条件可知, 多台连铸机浇次间的重叠时间、连铸机单炉浇铸时间和钢包周转周期的变化, 都会对钢包互用产生一定的影响。以下分别针对钢包互用的影响因素展开探讨。

## 4 钢包互用影响因素

### 4.1 重叠时间

重叠时间是指两台或多台连铸机浇次间互相重叠的时间, 其主要与浇次间开始浇铸时间和结束浇铸时间有关。由图 2 可看出, 重叠时间内 1<sup>#</sup> 连铸机可完整浇铸 1 炉钢水, 2<sup>#</sup> 连铸机可完整浇铸 2 炉钢水。根据重叠时间与浇铸炉数之间的关系, 提炼出浇次重叠时间内, 连铸机可浇铸的钢包数计算公式, 如公式(8)所示。

$$n_{overlap}^{CC} = \left\lfloor \frac{T_{overlap}^{CC1-CC2}}{T_{cast}^{CC}} \right\rfloor, \quad (8)$$

式中:  $n_{overlap}^{CC}$  为浇次重叠时间内连铸机可浇铸的钢包数, 炉;  $T_{overlap}^{CC1-CC2}$  为两台连铸机浇次重叠时间, min。

进一步分析: 若  $n_{overlap}^{CC} \geq n_{ladle}^{CC}$ , 说明重叠时间内浇铸的钢包数大于或等于两台连铸机各自周转的钢包数, 围绕各台连铸机周转的钢包均需承担相应的钢水运输任务, 没有空闲钢包提供给其他连铸机使用, 即连铸机间无法实现钢包互用。

若  $n_{overlap}^{CC} < n_{ladle}^{CC}$ , 表示重叠时间内连铸机浇铸的钢包数少于围绕连铸机周转的钢包数。对于先停浇的连铸机而言, 说明至少有 1 个钢包在结束最后一次周转后处于空闲状态。

根据两台连铸机的单炉浇铸时间分别为 40 min 和 25 min, 由图 2 所示浇次重叠时间为 50 min, 将以上参数带入公式(8), 可得出  $n_{overlap}^{CC1} = 1 < n_{ladle}^{CC1} = 4$ ,  $n_{overlap}^{CC2} = 2 < n_{ladle}^{CC2} = 6$ , 说明 2<sup>#</sup> 连铸机重叠时间内可浇铸 2 个钢包, 有 4 个钢包在重叠时间开始前就结束浇铸任务; 此条件满足钢包互用条件第 1 条, 但能否实现钢包互用, 还需要根据钢包互用条件 2 进行判断。

### 4.2 连铸机单炉浇铸时间与钢包周转周期

由公式(3)可知, 浇次结束时还需周转的钢包数与不需要周转数成反比, 与连铸机连浇炉数、钢包周转数和周转次数有直接的对应关系; 当连浇炉数不变而钢包周转数变化时, 其对应的周转次数和浇次结束时还需周转的钢包数也随之变化, 同时不需要周转的钢包数也随之变化。根据钢包互用条件 1 可知, 投入合理的钢包周转数可增加浇次结束时的不需要周转数, 即增加钢包互用几率。再由公式(2)可知, 钢包周转数与单炉浇铸时间成反比, 与钢包周转周期成正比。为深入研究连铸机单炉浇铸时间对钢包互用的影响, 设定钢包周转周期  $T_{cycle}^{CC1-ladle} = 145$  min、 $T_{cycle}^{CC2-ladle} = 130$  min 恒定不变, 1<sup>#</sup> 连铸机单炉浇铸时间在 35~50 min 区间变化; 2<sup>#</sup> 连铸机单炉浇铸时间在 20~35 min 区间变化。为研究钢包周转周期对钢包互用的影响, 设定连铸机单炉浇铸时间  $T_{cast}^{CC1} = 40$  min、 $T_{cast}^{CC2} = 25$  min 恒定不变, 1<sup>#</sup> 连铸机钢包周转周期在 85~160 min 区间变化, 2<sup>#</sup> 连铸机钢包周转周期在 75~150 min 区间变化。将以上参数及参数范围带入公式(2), 可算出相应条件下的钢包周转数量, 如表 3 所示。由表 3 可知, 钢包周转周期一定条件下, 连铸机单炉浇铸时间越长, 围绕其周转的钢包数就越多; 当单炉浇铸时间一定时, 钢包周转周期越长, 则钢包周转数越多。将连铸机 1 浇次最后几炉不需要周转的钢包数表示为

$$g_{ladle}^{CC} = n_{ladle}^{CC} - h_{ladle}^{CC}, \tag{8}$$

式中: $g_{ladle}^{CC}$ 为连铸机 1 浇次最后不需要周转的钢包数,个。

表 3 不同条件下的钢包周转数量

Table 3 Turnover number of steel ladle under different conditions

1# 连铸机						2# 连铸机					
钢包周转周期恒定			单炉浇铸时间恒定			钢包周转周期恒定			单炉浇铸时间恒定		
$T_{cycle}^{CC1-ladle}$	$T_{cast}^{CC1}$	$n_{ladle}^{CC1}$	$T_{cast}^{CC1}$	$T_{cycle}^{CC1-ladle}$	$n_{ladle}^{CC1}$	$T_{cycle}^{CC2-ladle}$	$T_{cast}^{CC2}$	$n_{ladle}^{CC2}$	$T_{cast}^{CC2}$	$T_{cycle}^{CC2-ladle}$	$n_{ladle}^{CC2}$
/min	/min	/个	/min	/min	/个	/min	/min	/个	/min	/min	/个
	35	5		85	3		20	7		75	3
	36	5		90	3		21	7		80	4
	37	4		95	3		22	6		85	4
	38	4		100	3		23	6		90	4
	39	4		105	3		24	6		95	4
	40	4		110	3		25	6		100	4
	41	4		115	3		26	5		105	5
	42	4		120	3		27	5		110	5
145	43	4	40	125	4	130	28	5	25	115	5
	44	4		130	4		29	5		120	5
	45	4		135	4		30	5		125	5
	46	4		140	4		31	5		130	6
	47	4		145	4		32	5		135	6
	48	4		150	4		33	4		140	6
	49	3		155	4		34	4		145	6
	50	3		160	4		35	4		150	6

由表 3 数据,结合公式(3)和公式(8),可算出 1# 连铸机和 2# 连铸机同时浇铸时,各自需要周转的钢包数和不需要周转的钢包数,具体如表 4 所示。

表 4 需要周转的钢包数与不需要周转的钢包数

Table 4 Number of turnover and non-turnover

1# 连铸机					2# 连铸机				
$N_{heat}^{CC1}$	$n_{ladle}^{CC1}$	$i^{CC1}$	$h_{ladle}^{CC1}$	$g_{ladle}^{CC1}$	$N_{heat}^{CC2}$	$n_{ladle}^{CC2}$	$i^{CC2}$	$h_{ladle}^{CC2}$	$g_{ladle}^{CC2}$
15	3	5	0	3	24	4	6	0	4
15	4	3	3	1	24	5	4	4	1
15	5	3	0	5	24	6	4	0	6

由表 4 可知,当钢包需要周转的数量( $h_{ladle}^{CC}$ )越多时,不需要周转的钢包数量( $g_{ladle}^{CC}$ )就越少,即可实现钢包互用的钢包数就越少。由此可知,科学控制钢包周转周期和连铸机单炉浇铸时间,且合理匹配二者关系可使

1 浇次最后不需要周转的钢包数 ( $g_{ladle}^{CC}$ ) 最大化, 甚至  $g_{ladle}^{CC} = n_{ladle}^{CC}$ , 从而增加钢包互用的几率。与此同时, 求出  $g_{ladle}^{CC}$  后, 再运用判定条件  $T_{ke-e}^{CC1} - T_{kh-s}^{CC2} \leq 0$  来判断是否可实现钢包互用。

## 5 钢包互用可行性分析

将钢包互用条件运用于如图 2 所示的钢包运行甘特图, 分析 2 台连铸机浇次重叠时间在 50min 条件下的钢包互用可行性及互用方案。运用公式(6)计算 2# 连铸机所有钢包的空包结束时间, 运用公式(7)计算 1# 连铸机所有钢包的重包开始时间, 对比分析后得出如表 5 所示的钢包互用方案。

表 5 钢包互用可行性

Table 5 Feasibility of steel ladle interaction

1# 连铸机钢包		2# 连铸机钢包		
包号	$T_{kh-s}^{CC1}/\text{min}$	包号	$T_{ke-e}^{CC2}/\text{min}$	可替换的 1# 连铸机钢包
1#	100	1#	130	2#、3#、4#
2#	140	2#	155	3#、4#
3#	180	3#	180	3#、4#
4#	220	4#	205	4#
		5#	230	—
		6#	255	—

由表 5 可知, 2 台连铸机间的钢包互用情况为: 2# 连铸机的 1#、2#、3# 和 4# 钢包可分别组合, 最多替换 1# 连铸机的 2#、3# 和 4# 3 个钢包; 其中, 2# 连铸机的 4# 钢包只能替换 1# 连铸机的 4# 钢包。而 2# 连铸机的 5# 和 6# 钢包, 由于空包结束时间比 1# 连铸机的 4 个钢包重包开始时间都晚, 故无法与 1# 连铸机实现钢包互用。

综上所述, 连铸机间浇次重叠时间越少, 则钢包的互用几率就越高; 先停浇连铸机钢包空包开始与后停浇连铸机钢包重包开始时间间隔越长, 则钢包互用的可能性就越大。

## 6 结 论

1) 运用甘特图模拟出两台连铸机浇次重叠时间为 50 min 条件下的钢包运行过程, 分析得出: 连铸机间产生钢包互用的条件为钢包在先停浇连铸机不再承担钢水运输任务, 且先停浇连铸机的钢包空包结束时间应早于后停浇连铸机的钢包重包开始时间。

2) 分析了重叠时间对钢包互用的影响, 得出: 重叠时间内连铸机浇铸的钢包数少于围绕连铸机周转的钢包数时才可实现钢包互用; 研究了连铸机单炉浇铸时间与钢包周转周期对钢包互用的影响, 得出: 科学控制钢包周转周期和连铸机单炉浇铸时间, 且合理匹配二者关系可使浇次最后不需要周转的钢包数增多, 甚至等于浇次所需钢包周转数, 从而增加钢包互用几率。

3) 运用交换条件分析两台连铸机钢包互用可行性, 得出: 先停浇连铸机的钢包空包开始与后停浇连铸机的钢包重包开始时间间隔越长, 则钢包互用可能性越大。

### 参考文献:

- [1] 殷瑞钰. 冶金流程工程学[M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2009.  
YIN Ruiyu. Metallurgical process engineering[M]. 2<sup>nd</sup> Edition. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [2] 殷瑞钰. 冶金流程集成理论与方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.  
YIN Ruiyu. Theory and method of metallurgical process integration[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013.

(in Chinese)

- [3] 刘青,赵平,吴晓东,等.钢包的运行控制[J].北京科技大学学报,2005,27(2):235-239.  
LIU Qing, ZHAO Ping, WU Xiaodong, et al. Control strategy for ladle running[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(2): 235-239. (in Chinese)
- [4] Keshari K K, Mukhopadyay B, Das P C. Superheat control with efficient ladle management[C]//Proceedings of 14th IAS Steelmaking conference,2003, San Nicolas, Argetina. [S.l.]:[s.n.],2003:395-400.
- [5] 蔡峻,贺东风,汪红兵,等.基于浇次计划的钢包周转数量计算模型[J].重庆大学学报,2013,36(11):58-65.  
CAI Jun, HE Dongfeng, WANG Hongbing, et al. Calculation model for the turnover number of steel ladle based on casting schedule[J]. Journal of Chongqing University, 2013, 36(11): 58-65. (in Chinese)
- [6] 蔡峻,汪红兵,贺东风,等.炼钢厂钢包周转率的影响因素[J].北京科技大学学报,2013,35(8):1072-1079.  
CAI Jun, WANG Hongbing, HE Dongfeng, et al. Affecting factors of the turnover rate of steel ladle in steelmaking plants[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2013, 35(8): 1072-1079. (in Chinese)
- [7] 蔡峻,汪红兵,徐安军,等.基于钢包跟踪的钢水温度在线补偿系统[J].冶金自动化,2013,37(5):37-41.  
CAI Jun, WANG Hongbing, XU Anjun, et al. Molten steel temperature on-line compensation system based on steel ladle tracking[J]. Metallurgical Industry Automation, 2013, 37(5): 37-41. (in Chinese)
- [8] 黄帮福,王建军,朱道飞.钢包数量计算模型[J].钢铁研究学报,2014,26(5):17-22.  
HUANG Bangfu, WANG Jianjun, ZHU Daoifei. Calculation model of steel ladle's turnover number[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2014, 26(5): 17-22. (in Chinese)
- [9] 黄帮福,施哲,朱红波,等.基于甘特图的钢包运行控制模型研究[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(7):2164-2170.  
HUANG Bangfu, SHI Zhe, ZHU Hongbo, et al. Operational control model of steel ladle based on Gantt chart[J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2014, 45(7): 2164-2170. (in Chinese)
- [10] Huang B F, Zhou X L, Zhang G F, et al. Control model of steel ladle base on overlap time among the different casts[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014(633/634):155-163.
- [11] Huang B F, Zhou X L, Zhang G F, et al. Saving ladle control model of steel ladle in steelworks[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1015:700-707.
- [12] 贺东风,于港,徐安军,等.基于精准设计的甘特图组合产能核算[J].北京科技大学学报,2010,32(12):1618-1622.  
HE Dongfeng, YU Gang, XU Anjun, et al. Productivity calculation ustin Gantt chart combination based on precise design[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2010, 32(12): 1618-1622. (in Chinese)
- [13] 王金明,张坤,吕胜会.运用甘特图确定不锈钢连浇炉数[J].山东冶金,2009,31(5):83-85.  
WANG Jinming, ZHANG Kun, LV Shenghui. Determining stainless steel continuous casting heats by Gantt chart[J]. Shandong Metallurgy, 2009, 31(5): 83-85. (in Chinese)
- [14] Maylor H. Beyond the gantt chart: project management moving on[J]. European Management Journal, 2001, 19(1): 92-100.
- [15] 蔡峻.迁钢二炼钢钢包一体化管控系统的研究与应用[D].北京:北京科技大学,2015.  
CAI Jun. Application and research on integrated management and control system of steel ladle in the second steelmaking plant of Qiangang[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2015. (in Chinese)

(编辑 王维朗)