

“一罐制”铁水调度优化模型的研究

范波^a, 蔡乐才^b

(四川理工学院 a. 自动化与电子信息学院; b. 计算机学院, 四川 自贡 643000)

摘要:铁水转运是钢铁生产的一个关键衔接环节,对控制钢铁生产节奏、保证产品质量起着极其重要的作用。钢铁生产新工艺的“一罐制”铁水运输,缩短了钢铁界面流程,使生产的刚性和连贯性增强,对铁水转运系统的要求更高,因此钢铁企业日益重视对铁水转运调度的研究。在对行车起重机+铁水车“一罐制”铁水转运和调度的研究基础上,分析了新工艺流程中铁水转运系统的特点,对钢铁生产的调度计划进行优化,建立了基于“一罐制”铁水转运多目标径路优化模型,并给出了模型算法。算法实现了新工艺下铁水物流运输的智能优化调度,使铁水运输趋于准点,降低生产能耗。

关键词:一罐制;铁水运输调度;优化模型

中图分类号:TF325.2;TP273+1

文献标志码:A

引言

近年来,钢铁生产计划的调度问题越来越受到国内外专家的重视,建立了一些基于不同工艺流程的铁水调度模型:如文献[1]基于鱼雷罐车(Torpedo car, TPC)的铁水调度模型仿真,对铁水运输分区路径的动态和静态选择算法进行一定的研究;文献[2]为宝钢铁水调度配置机车,以及机车任务配置建立了数学模型并求解;文献[3]分析了铁水物流过程中的扰动情况,并开发了基于可视化图形化的铁水调度仿真系统;文献[4]建立了铁水分配问题的模型,在模型中由分配的铁水重量代替铁水重罐的数量,先通过枚举法获得铁水重罐整数解,然后基于两步骤的二进制搜索算法获得数量精确解。但这些模型并没考虑铁水重罐调度时间上的优化,而在钢铁实际生产中,如果铁水重罐运输不及时,会造成铁水一定温降,增大生产能耗。

现在关于铁水运输调度的文献绝大多数都是针对“TPC+机车”运输模型的分析 and 仿真,而关于“一罐制”

铁水调度优化问题还鲜有研究。本文在分析了某钢铁厂起重机+过跨铁水车“一罐制”铁水转运新工艺后,针对“一罐制”铁水运输工艺,建立了多目标调度优化模型,并求解分析结论。

1 “一罐制”铁水运输调度问题的描述

某钢铁厂目前一期炼铁区域建有 2500 m³ 高炉 3 座, KR 脱硫站 3 座, 炼钢区域配置 210 t 转炉 3 座, 如图 1 所示。

铁水运输采用国际钢铁业新近发展起来的“行车起重机+过跨铁水车”的“一罐制”工艺^[5]。这 3 座高炉各有 3 个出铁口,高炉两侧同时出铁。重罐转运流程如图 2 所示,在正常生产情况下,铁水罐在出铁场受铁。在受铁的同时,轨道称量,每罐铁均装铁水 190 ± 2(称此罐为重罐)方可进入转运跨。起重机将重罐吊运到脱硫站脱硫,脱硫结束后,重罐再经转运跨、起重机和铁水通廊铁水车转运至炼钢车间加料跨内等待。待转炉兑铁倒空后,铁水空罐由铁水通廊铁水车运回铁水转运跨,循环受铁。不合格罐,离线检修。

收稿日期:2013-09-24

基金项目:四川省科技厅青年科技创新团队基金(2012Z068);四川理工学院研究生创新基金(y2013017)

作者简介:范波(1989-),男,四川达州人,硕士生,主要从事控制理论及人工智能方面的研究,(E-mail) xuxielikai2009@163.com

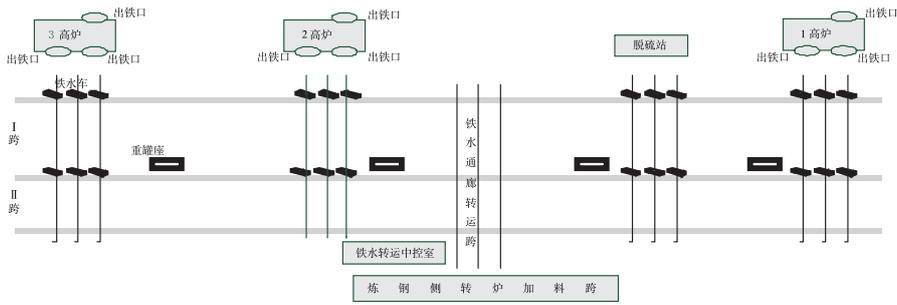


图1 行车起重机+过跨铁水车“一罐制”铁水转运工艺示意图



图2 重罐转运示意图

重罐和空罐的运输构成了整个铁水转运系统,这是一个环状的动态循环周期流程^[6]。整个铁水转运系统从空罐接满铁水变成重罐开始,重罐经过相应环节(扒渣、脱硫等)的转运处理,进入炼钢转炉,最终生成空罐,然后空罐经过相应环节(如离线检修)的处理,又去受铁生成重罐,循环反复以上这过程,使得铁水罐始终保持一个均衡状态。若重罐流程或空罐流程存在堵塞或运输不畅,都会打乱这个平衡,进而影响整个系统的运转效率。

2 “一罐制”铁水调度优化模型的建立

该铁水转运系统是一个多环节、多运输方式的生产动态运输过程,同时也是一个离散与连续相混合的动态运输过程^[6-7]。根据“一罐制”铁水运输系统组织结构,遵循从简到繁的原则,对模型中的部分问题进行假定:

- (1) 每个中心环节所进行的运输作业都满足生产规程。
 - (2) 所有环节的作业都是在准备就绪后进行。
 - (3) 每个环节作业开始以后就不允许中断。
 - (4) 铁水重罐在运输中间等待时间不能太长,因为等待时间过长,铁水会降温,不能直接送入炼钢转炉,则要将等待重罐放在车间就近重罐座重新加热。本文假定用铁水等待时间来衡量铁水的温降。
 - (5) 铁水的运输工具由过跨铁水车和行车起重机组成,在模型中,我们只关心两者时间是否会延迟,假定过跨车与行车的运行时间只根据转运距离确定。
 - (6) 不合格的空罐检修属于静态过程,并且检修时长不确定,所以只能单独作为一个模型来考虑。
 - (7) 只考虑一次出铁的重罐和空罐这两个方面。
- 基于上述假定,给出模型优化目标:确定一个调度

算法,使转运时间最少,每次用罐最少,起吊次数最少、重罐等待时间最少、转运周期时间最少、重罐均重最重,如图3所示。

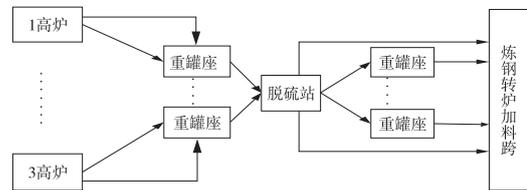


图3 铁水罐转运网络图

2.1 定义参数

t_{iz-d} : 第 i 个重罐估计等待时间,其中 $i=1,2,3,\dots$;
 μ_v : 因不同原因而等待的等待权重系数(根据生产情况确定);
 t_{jk-d} : 第 j 个空罐估计等待时间,其中 $j=1,2,3,\dots$;
 t_{zd} : 重罐最长一次等待时间;
 ω_{jh-i} : 计划安排铁水罐装载权重(根据生产时间计划);
 M_{ct} : 计划一次出铁的总质量;
 m_{iz} : 第 i 个重罐装铁水质量;
 m_{sj} : 铁水罐最佳装载量;
 M_{st} : 实际一次受铁的总质量;
 t_{ict-ts} : 第 i 个罐从出铁场到脱硫站转运的时间;
 T_{ct-ts} : 从出铁场到脱硫站完毕的总时间;
 x_{ct-ts} : 从出铁场到转运站的运输量;
 C_{us} : 脱硫站的作业能力,其中 $u=1,2,3,\dots$;
 t_{is-zl} : 从脱硫站到炼钢加料跨转运第 i 个重罐的时间;
 t_{zl} : 炼钢加料跨作业时间;
 T_{ts-zl} : 脱硫站到炼钢加料跨的转运总时间;
 x_{ts-zl} : 脱硫站到炼钢加料的运输量;
 T_{ct-s} : 一次转运计划中受铁实际时间。

铁水罐平均装载权重 $\bar{\omega}$ 计算方法:

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_i \omega_{jh-i}}{x_{ct-ts}}$$

出铁场到脱硫站作业完毕的总时间 T_{ct-ts} 为:

$$T_{ct-ts} = \sum_i \sum_u (t_{ict-ts} + C_{us} \cdot m_{iz}) \cdot x_{ct-ts} \cdot \bar{\omega}$$

脱硫站到炼钢加料跨的转运总时间 T_{ts-zl} 为:

$$T_{ts-zl} = \sum_i (t_{is-zl} + t_{zl}) \cdot x_{ts-zl} \cdot \bar{\omega}$$

所有罐等待的总时间 T_d 按式计算:

$$T_d = \sum_i \sum_j \sum_v (t_{zg-d} + t_{kg-d}) \cdot \mu_v$$

2.2 模型

以转运总时间 T_{total} 最小为目标函数建立模型:

$$\text{opt } T_{total} = \min \{ T_{ct-ts} + T_{ct-ts} + T_{ts-zl} + T_d \}$$

$$\text{s. t. } M_{st} \leq M_{ct}$$

$$\text{其中, } M_{st} = \sum_i m_{iz}, t_{iz-d} \cdot \mu_v \leq t_{zdl}, m_{iz} = m_j \pm 2t,$$

$$x_{ct-ts} \leq \sum_u C_{uts}, x_{ct-ts} \geq 0.$$

3 “一罐制”铁水调度优化模型的算法

为了使算法快速收敛,先对径路的安排进行排序,设计排序过程算法 A^[8]:

Step1: 根据铁水罐平均装载权重 $\bar{\omega} = \frac{\sum_i \omega_{jh-i}}{x_{ct-ts}}$, 计算

各个铁水罐的装载权重;

Step2: 若 $\omega_a > \omega_b$, 则 $D_a > D_b$, 且 $\mu_a < \mu_b$ (D 为铁水罐集合)。其中 $a, b \in [1, T]$ 且 $a, b \in N$ 。即有 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_T\}$, 其中 $D_a \leq D_b$, ($1 \leq a \leq b \leq T$)。

针对动态调度最优化模型,设计以下算法 B:

Step1: 调用算法 A。设 D, a , 其中 P_a 为安排标志;

Step2: $a = 1$;

Step3: 如果 $D_a > D_{a+1}$, 则优先安排 D_a , 按炼钢铁水需求量修正转运;若调度作业能力 $D_a = D_{a+1}$, 则选择 D_a 以后装载权重相等的铁水罐, 构成新的转运铁水罐集合 D' , $D' \subset D$, 在这样的情况下则只需要从等装载权重的铁水罐中随机选择一个作为此次计算处理的对象, $P_a = 1$, 修正集合 D , 得到安排集合 D_{ap} , 进入炼钢侧;

Step4: $a = a + 1$, 若 $a < T$, 则转至 Step3, 否则算法结束, 输出结果。

4 算法的应用及分析

铁水运输调度系统为了满足生产的刚性需求, 必须适应前后工序的衔接, 从而对重罐和空罐的协调性要求会更高。在转运过程主要经过脱硫工艺的处理每次将铁水罐转运到炼钢加料跨即可。在一次铁水转运全部送完的前提下, 铁水罐按生产计划从高炉快速、高效地运送到炼钢侧, 至于铁水罐到达炼钢厂后的转运由炼钢生产自行安排^[9-10]。某钢铁厂现基于“一罐制”铁水调度优化模型, 其运转网络如图 4 所示, 铁水罐经高炉 G

(三座高炉 G1, G2, G3), 脱硫 T, 炼钢加料跨 L 这三个环节进行转运。各环节作业时间如下:

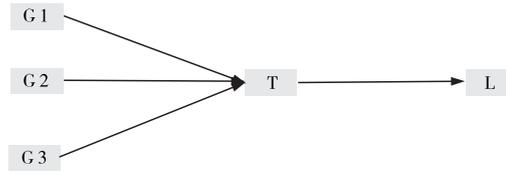


图 4 重罐转运网络图

(1) 各高炉到脱硫站的运输时间:

$$\left. \begin{matrix} G1: 5\text{min} \\ G2: 5\text{min} \\ G3: 8\text{min} \end{matrix} \right\} \rightarrow T$$

(2) 脱硫站到炼钢加料跨的运输时间:

$$T \rightarrow L: 12\text{min}$$

各高炉出铁场铁水罐集合 D 根据优化算法中铁水罐的平均装载权重确定, 具体表示为:

$$\{D_1/G1, D_2/G2, D_3/G3, D_4/T\}$$

由此则可以确定 D_1, D_2, D_3 到达脱硫站的平均时间: 6 min, 则知高炉到炼钢加料跨运输全过程的平均时间为 $G \rightarrow T: 18 \text{ min}$ 。

从分析得出的结果(表 1)看, 基于本模型优化后的转运全过程的平均时间耗时 $18 \text{ min} + \Delta t$ (Δt 为铁水罐进出脱硫站的冗余时间, 该时长一般都较短, 在本优化模型研究中处于可忽略的部分), 这比在某钢铁厂实际转运铁水记录中的最少时间 23 min 用时还少, 这大大减少了重罐在各环节运输过程中的等待时间。由此可见, 本文提出的优化模型更加高效, 能有效保证铁水配罐和转运调度的准时性, 减少铁水重罐的等待时间, 提高铁水罐的利用效率。

表 1 铁水重罐转运说明 (X 表示上下波动时间)

地点	排队容量	作业时间	作业设备	转运地点	转运工具	转运时长
出铁场	3	55min ± x	高炉铁水车	脱硫站	空罐到达	6min
脱硫站	3	40min	脱硫机	铁水通廊 转运跨	起重 行车	2min
铁水通廊 转运跨	3	10min ± x	起重 行车	通廊铁水 车、重罐座	起重 行车	不定
铁水通廊 转运跨	2	10min	起重 行车	炼钢加料跨	通廊铁 水车	10min

5 结束语

本文针对钢铁生产铁水转运新工艺流程, 分析了新工艺的特点和基于该工艺对铁水调度的要求。在结合新工艺流程的特点及调度要求的基础之上, 建立了综合

考虑调度过程和作业时间的铁水调度多目标径路优化模型,并确立了算法。算法分析表明,基于本优化模型的铁水调度系统,大幅减少了铁水的冗余等待时间,减少了温降,提高了调度效率,能及时满足炼钢转炉冶炼时间的配比要求,为铁水调度的径路优化问题提供了参考,从而进一步推进了基于“一罐制”工艺的铁水运输调度模型的研究。铁水运输的准时制提高了生产效率,降低了能耗,具有在钢铁生产中应用的价值。铁水调度优化问题势必会上日程,成为日后钢铁生产中节能减排的研究重点。

参考文献:

- [1] 崔建江,罗首章,刘峰,等.铁水运输仿真系统的设计与实现[J].系统仿真学报,2003,15(12):1799-1802.
- [2] Kuzuoglu M, Mittra R. Frequency dependence of the constitutive parameters of causal perfectly matched anisotropic absorbers[J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett(S1051-8207),1996,9(6):447-449.
- [3] 黄辉,柴天佑,郑秉霖,等.铁水调度仿真系统的设计与实现[J].系统仿真学报,2012,24(6):1192-1199.
- [4] Wang Feng, Liu Yuan, Xu Anjun, et al. Modeling and calculation for the molten iron preparation problem based on production scheduling of steelmaking area [C]//Jiang Y, Chen X G. Proceedings of the 2nd International Conference on Modeling and simulation, Liverpool, July 13-16, 2009:308-313.
- [5] 叶薇,邹忠平,苏莉,等.重钢铁水运输“一罐制”工艺[J].炼铁,2012,31(2):21-24.
- [6] 史永涛.钢铁生产新流程中的车间铁水转运调度仿真研究[D].重庆:重庆大学,2011.
- [7] 蒋国璋,孔建益,李公法,等.钢铁流程生产调度模型及其仿真研究[C]//Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, Beijing, July 29-31, 2010:5319-5323.
- [8] 张瑾.铁路集装箱运输网络模型与算法[D].长沙:中南大学,2007.
- [9] Tang Lixin, Wang Gongshu, Liu Jiyin. A branch-and-price algorithm to solve the molten iron allocation problem in iron and steel industry[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(10):308-303.
- [10] 黄辉,柴天佑,郑秉霖,等.面向铁钢对应的两级案例推理铁水动态调度系统[J].化工学报,2010,61(8):2021-2029.

Research on Scheduling Optimization Model of Hot Metal Can of System

FAN Bo^a, CAI Lecai^b

(a. School of Automation and Electronic Information; b. School of Computer, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: The transport of molten iron is a critical part of steel production and an important mean to ensure steel product quality. It is the crumple zone between the ironworks and steelworks and plays a crucial role to control the rhythm of the transport of molten iron. With the applications of “hot metal can of system” transport, the steel interface process is shortened, the rigidity and consistency of firm production are reinforced, and it demands a higher level of the molten steel transport system. So the iron and steel enterprises have begun to pay more attention on scheduling research of molten iron transport. Based on the scheduling research of crane and iron ladle of hot metal can of system, the characteristics of the system are analysed, then the operation plan of steel production is optimized and the scheduling optimization model based on hot metal can of system is established, finally, an algorithm of the model is obtained. The algorithm achieves the intelligent optimization scheduling of hot metal transport under the new technical process, which leads the iron and steel production tend to be on time and reduces the production energy consumption.

Key words: hot metal can of system; hot melt transport and dispatch; optimization model