

天车与冶炼炉作业调度的 Petri 网模型

凌 晖 熊德华 杨 杰

(南开大学, 天津 300071)

指导教师: 叶剑平

编者按:本文在分析问题基本特征基础上,应用 Petri 网作为模型,得出一个满足要求的优化调度方案。该文分析全面,说理清楚,在模型讨论与建议等方面都有独到之处。

关键词:Petri 网,容量函数,均衡原理

为方便说明,我们将各项工序的代号及其所需时间列表如下:

代号	工 序	用时
1	天车在 Q 处吊原料	$t_y = 3$
2	天车运行至 B_i	$t_x^* (3-i)$
3	放下满罐	$t_i = 3$
4	天车吊起原空罐	$t_k = 2$
5	天车返回 Q	$t_x^* (3-i)$
6	天车放下空罐	$t_k = 2$
7	B_i 冶炼半钢,到入空罐	$t_b = 27$
8	天车吊起半钢罐	$t_d = 3$
9	运至 A_j	$t_x^* (3+i-j)$
10	倒入 A_j	$t_e = 5$
11	天车返回 B_i	$t_x^* (3+i-j)$
12	放下空罐	$t_c = 2$
13	天车从 P 吊槽	$t_g = 2$
14	运行至 A_j	t_x^*
15	辅料加入 A_j	$t_f = 2$
16	天车与空槽返回 P	$t_x^* j$
17	放下空槽	$t_h = 1$
18	A_j 冶炼成品钢	$t_a = 48$

从原料到成品钢的全部生产流程由下图给出:

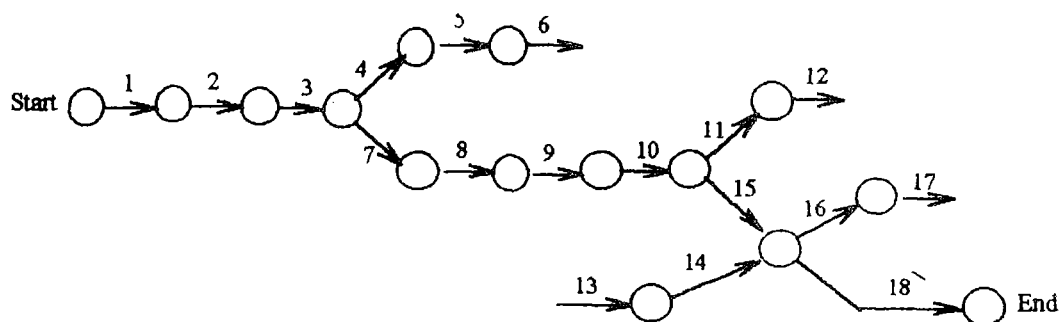


图 2

为使成品钢产量尽量高,就必须使 A 炉尽可能满负荷生产,即尽量减少 A 炉的待料时间,因 P 处辅料可按时供给,所以调度方案的设计归结为实现 A 组炉与 B 组炉生产间隔的最佳匹配问题,下面给出几个结果。

(1) 产品上限:当 A 组炉满负荷生产时,成品钢产量达到其上限:

一年有效作业时间 300 天/每炉最短生产周期 \times 每炉产量 \times 炉数=282 万吨

(2) 均衡原理:为实现 B 组炉, A 组炉的尽量满负荷生产,应在调度中力求使 A 组炉, B 组炉的冶炼间隔时间尽量均匀,且保证 A 组炉间隔大于 B 组炉间隔,否则必然会出现 A 组炉中某炉已炼完但 B 组炉不能及时供料,从而造成 A 炉的空闲,难以实现最大产量。

(3) 最小周期:因寻求最佳调度的核心归结为 A 组炉与 B 组炉的生产匹配问题,由两组炉数的互质性知:

最小周期: A 组炉数 \times B 组单炉平均生产周期

A 组单炉平均生产周期 \times B 组炉数

约 110 分

其间生产出 6 炉成品钢。

一、基本假设

1. 根据作业过程与工序要求,假设该车间至少有原料罐 3 个,辅料槽 1 个,半钢罐 1 个;
2. 天车之间无区别,任一台均可完成工序中涉及天车的所有操作;
3. 任意两个相邻工作点间距离相等,天车运行时间与通过的距离成正比;
4. 考虑到天车绝对不允许相撞,假设当一台天车完成炉上作业后离开至少 15 秒(即 τx)后,才允许另一台天车到达;记此安全延迟时间为 Δx 。
5. 假设天车技术性能良好,在运行过程中不会出现停车故障或脱钩事故。

二、模型一：Petri 网分析

(一) 初步分析

由图 2, 在 A 组炉满负荷生产情形下, 一个周期($110 \text{ 分} + 2\Delta x = 110 \text{ 分} 30 \text{ 秒}$)内天车运行总时间最少为:

$[\text{循环}(13, 14, 15, 16, 17) \text{ 时间} + \text{循环}(1, 2, 3, 4, 5, 6) \text{ 时间} + \text{循环}(8, 9, 10, 11, 12) \text{ 时间}] \times 6 = 168 \text{ 分}$, 而为了使天车作业率不超过 70%, 两台天车的工作时间至多为 $110 \text{ 分} 30 \text{ 秒} \times 2 \times 70\% = 154.7 \text{ 分} < 168 \text{ 分}$, 故至少应考虑三台天车。

(二) 系统的 Petri 网模型描述

1. Petri 网简介

Petri 网(有关定义参见附录一及参考文献[1])是关于分布式异步并行系统的理论, 是研究并行现象的强有力的工具, 若在 Petri 网中考虑时间因素, 为每个迁移规定一个发生延续时间, 即该迁移从发生到结束需要的时间, 就得到一个带定时的 Petri 网, 即时间网系统, 由于原问题是在一个较少规模的空间发生的, 所以时间网系统中引入的统一的全球时间是合理的。

下面是系统的 Petri 网描述图:

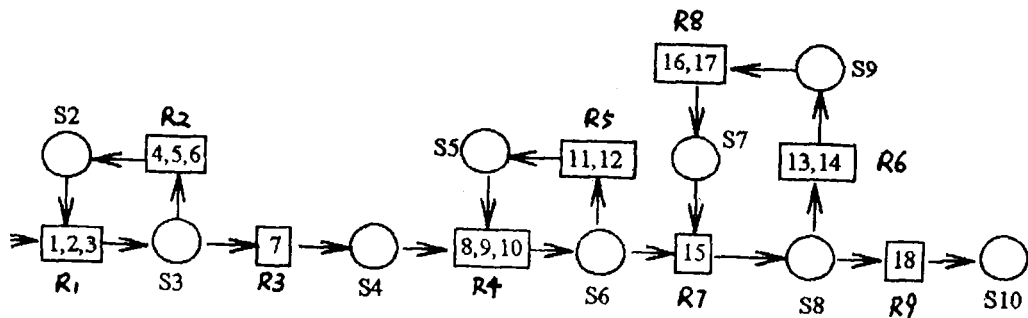


图 3

图中圆圈表示场所, 方框表示迁移, 方框中的数字为迁移代表的操作。

符号: S1: 原料场地 Q

S2: Q 处天车处于空闲状态

S3: 天车处于 Bi, 将要提起空罐, Bi 即将冶炼半钢

S4: Bi 处半钢冶炼完成

S5: 中部的天车处于空闲

S6: 半钢已倒入转炉 Aj

S7: 装载辅料的天车准备往 Aj 炉装料

S8: 装载辅料的天车加料完毕, A_j 炉将开始冶炼成钢

S9: P 处天车处于空闲

S10: 成品钢出炉

由此得出描述系统的 Petri 网 $P=(S,R,F,K,W,M_0)$, 其中容量函数 $K=(\infty, 1, 2, 2, m, 3, 1, 3, n, \infty)$, $1, m, n \geq 0$ 且 $1+m+n \leq 5$, 权函数 W 对每条边均为 1 (即每个操作对每种天车或原料只需一个单位), 初始标识 $M_0=(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ 。

现在对上述 Petri 网系统进行动态的分析。应用“均衡原理”, 我们令 $K(S_1)$ 不为无穷, 而是每隔 18 分左右产生一个 token, 且产生三个 token 的时间间隔为 55 分 15 秒, 从图上易算出 R₁, R₂ 循环, R₄, R₅ 循环, R₆, R₇, R₈ 循环的时间延迟都不超过 12 分, 迁移 R₃ 虽需 27 分, 但由于 S₃ 容量为 2, 所以 S₄ 能够以和 S₁ 产生 token 相同的间隔获得 token, 同理 S₆, S₈, S₁₀ 也如此。因此, 在 S₁ “均衡”产生 token 的前提下, S₁₀ 能够“均衡”地接收 token, 从而整个 Petri 网成为一个不发生冲撞和死锁的系统, 这种网络流动自然产生了一个初步的调度方案。

(三) 调度方案的确定

(1) 从 Petri 网的图示中易于看出 R₁, R₂ 循环, R₄, R₅ 循环, R₆, R₇, R₈ 循环分别代表天车的 3 种典型任务; 从 Q 处装原料并返回, 从 B 炉运半钢至 A 炉并返回, 三个循环的平均时间延迟分别为 10 分 30 秒, 11 分 30 秒, 5 分 30 秒, 其作业率最高的也只有 62%。因此, 天车数 $1=m=n=1$ 是满足条件的最基本方案, 并且由于此情况下天车作业互相独立, 易知实际的无冲突的作业调度方案是存在的。

(2) 由均衡原理”将 A 组单炉生产周期 55 分 15 秒划分为 18 分, 18 分, 19 分 15 秒, 可得以下调度方案:

各天车作业分工:

- 天车 T₁ 只负责从 P 装辅料至 A 炉, 每周期进行 6 次 R₆, R₇, R₈ 循环。
- 天车 T₂ 只负责从 B 炉装半钢至 A 炉, 每周期 6 次 R₄, R₅ 循环。
- 天车 T₃ 只负责从 Q 装原料至 B 炉, 每周期 6 次 R₁, R₂ 循环。

《工序清单》(略)

《天车—炉子作业运行图》(略)

《调度规则说明书》(略)

(3) 可以验证:

- 在本方案中已实现了 A 组炉的不间断生产, 故产量已达最高。
- 各天车的作业率 (在满负荷情形下, 一个周期 110 分 30 秒内)

天车	T1	T2	T3
作业累计时间	36 分	67 分 30 秒	64 分 30 秒
作业率	33%	61%	58%

可见, T₁, T₂, T₃ 的作业率均不超过 70%, 符合要求, 关于均衡性的进一步讨论见下

文天车数目的讨论。

3. 由天车—炉子作业运行图容易看出, T_1, T_2, T_3 任一时刻的位置至少相差相邻两个工作地点间的距离, 且保持顺序无交叉, 故绝对不会出现天车相撞事故。

4. 由《调度规则说明书》容易知道调度的基本原则和先后顺序, 参照各天车的详细工序清单, 调度的安排便一目了然了。

综上所述, 我们所提出的调度方案符合要求。

(四) 关于天车数目的进一步讨论:

注意到 $m(t)=n(t)=1$ 时, 对应模型一调度方案中的天车 T_2, T_3 , 其作业率分别为 61% 和 58%, 非常接近, 故若 $m(t)+n(t) \geq 3$, 而作业率又要尽量均衡的话, 一方面造成天车的作业率太低 (30%—40%), 另一方面, 因天车彼此的位置不能交换, 而天车数目增加, 不仅造成无效移动的增多 (为了让位给其他天车工作), 且增加相撞的可能性, 并导致调度方案的复杂化。

因此, 我们选择三台天车相对独立运行的调度方案, 不仅在产量上最大, 而且在实际生产的管理中也是合理的。

天车、冶炼炉作业调度的活动网络模型

丁 剑 张 德 冯 南

(东南大学, 南京 210096)

指导教师: 姚瑞波

编者按: 本文将三台 A 炉、二台 B 炉、三台天车的作业活动构造成一个活动网络模型, 对于确定型问题, 可用关键路径法找出达最大钢产量的调度方案增产到 300 万吨/年的各种措施的产量, 对于非确定性问题可用计划评审法讲座随机性的影响及控制方案。现将有关内容摘录如下。

关键词: 活动网络, 关键路径法, 计划评审法

(1) A_i^* 或 B_j^* : A_i (或 B_j) 冶炼

(2) $T_k \blacksquare \rightarrow \text{place}$: T_k 空着运至 place 处

(3) $T_k \square \rightarrow \text{place}$: T_k 带一空罐或槽运至 place 处