

## 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:

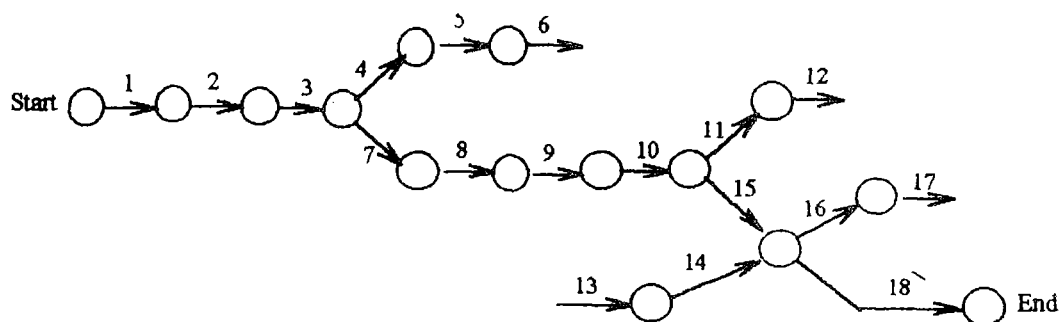


图 2

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  $\tau x$ )后,才允许另一台天车到达;记此安全延迟时间为  $\Delta x$ 。
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:

[循环(13,14,15,16,17)时间+循环(1,2,3,4,5,6)时间+循环(8,9,10,11,12)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:

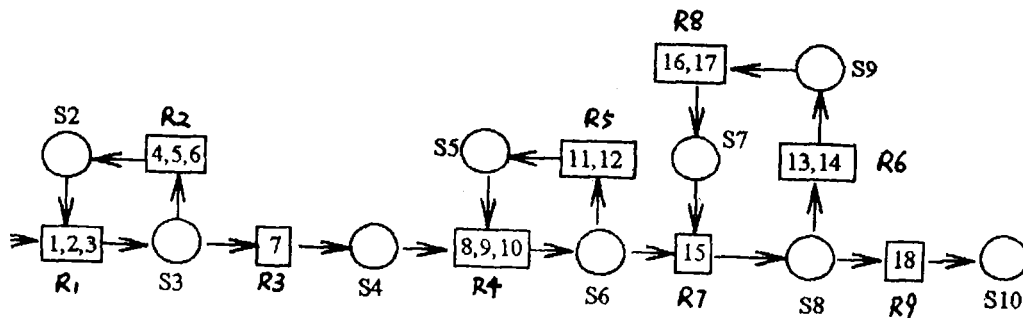


图 3

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<sub>j</sub> 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 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> 循环, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub> 循环, R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub> 循环的时间延迟都不超过 12 分, 迁移 R<sub>3</sub> 虽需 27 分, 但由于 S<sub>3</sub> 容量为 2, 所以 S<sub>4</sub> 能够以和 S<sub>1</sub> 产生 token 相同的间隔获得 token, 同理 S<sub>6</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>10</sub> 也如此。因此, 在 S<sub>1</sub> “均衡”产生 token 的前提下, S<sub>10</sub> 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 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> 循环, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub> 循环, R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub> 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:

- a. 天车 T<sub>1</sub> 只负责从 P 装辅料至 A 炉, 每周期进行 6 次 R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub> 循环。
- b. 天车 T<sub>2</sub> 只负责从 B 炉装半钢至 A 炉, 每周期 6 次 R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub> 循环。
- c. 天车 T<sub>3</sub> 只负责从 Q 装原料至 B 炉, 每周期 6 次 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> 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:

1. 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。
2. 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	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
作业累计时间	36 分	67 分 30 秒	64 分 30 秒
作业率	33%	61%	58%

可见, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> 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