

# 非串行 CIMS 生产线可靠性 建模、分析与综合\*

疏松桂 谭 民

(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

**摘 要** 采用等效工作站方法, 对非串行 CIMS 生产线可靠性进行了研究, 得到了一条缓冲库可用度的定理, 并推导出在稳态情况下, 非串行 CIMS 系统(如装配线和拆卸线)可以转变成串行系统求解. 同时分析出加工过程不丢失工件的充要条件和若干必要条件, 绘出一幅  $P_K - K$  曲线, 可以给出可行解的大致范围, 有助于具体问题的求解.

**关键词** CIMS 可靠性, 复杂系统可靠性, 大系统可靠性.

## 1 引言

CIMS 生产线的建模与分析是工程设计中一个复杂的问题, 其可靠性的研究难度更大. 关于串行 CIMS 生产线可靠性问题, 已在文献[1, 2]及疏文<sup>3)</sup>中作了较详细的讨论. 但对非串行 CIMS 生产线可靠性的研究成果尚不多见, 张文<sup>1)</sup>、王文<sup>2)</sup>也只是作了一般近似的分析.

本文在文献[2]提出的等效工作站的基础上, 对非串行可修的 CIMS 生产线(合并线和分裂线)进行了比较深入的研究, 得到了分析的精确解, 并举出四个计算例子, 以表明在工程设计中的应用.

## 2 合并生产线的建模及求解

典型的合并生产线就是装配线, 如图 1 所示.

图中  $M_i$  表示第  $i$  个可修工作站,  $\beta_i$  表示第  $i$  个缓冲库(最后一个表示成品库), 其存贮容量为  $K_i$  (包括工作站本身一个单位在内) 次工作站输出量. 各工作站的生产率、修复率、失效率分别为  $\omega_i, \mu_i, \lambda_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ .

\* 《自动化学报》20 卷第 6 期, 641—649 页.

1) 张一刚. CIMS 生产线的可靠性建模与分析. 中国科学院自动化所博士论文, 1991 年.

2) 王殿群. CIMS 局部网络可靠性分析. 中国科学院自动化所硕士论文, 1991 年.

3) 疏松桂, 张一刚. 级联生产线的可靠性分析. 中国自动化学会第三届全国学术年会论文集, 1991 年.

### 2.1 假设条件

下面提出 5 条假设作为后面分析求解的依据:

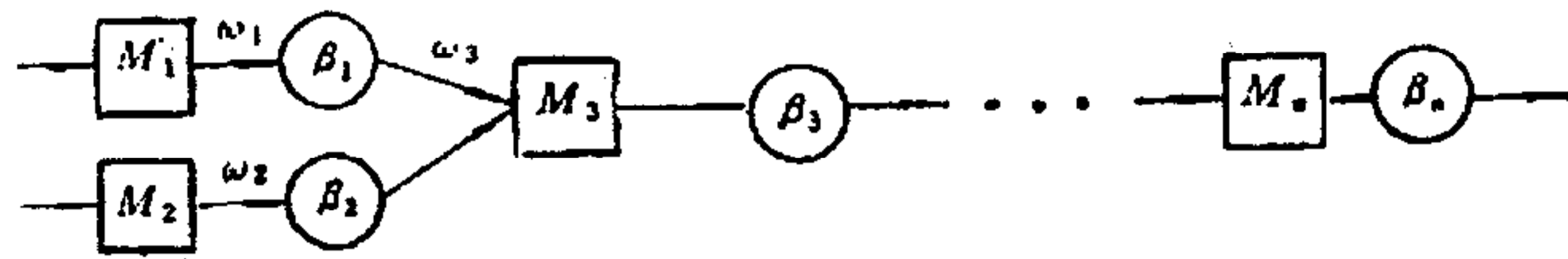


图 1 可修装配线结构框图

- 1) 各工作站出现故障都得到及时修理, 修复后完全恢复正常功能, 工作站加工时间、故障时间和修复时间服从  $\omega_i, \lambda_i, \mu_i$  的指数分布;
- 2) 缓冲库传递工件过程中无故障;
- 3) 加工工件存入到缓冲库中或从库中取出的时间很短(相对生产率而言), 可以忽略不计;
- 4) 首级工作站不因缺料而空闲(即有足够的原材料);
- 5) 任一工作站停车待命期间(无论是阻塞停车还是缺料停车)都不发生失效。

### 2.2 缓冲库的存贮状态

文献[2]对缓冲库进行了状态分析, 给出稳态解(为了清晰起见, 略去  $\rho$  和  $K$  的脚标  $i$ ):

$$P_j = \rho^j (1 - \rho) / (1 - \rho^{K+1}), j = 0, 1, 2, \dots, K. \tag{1}$$

其中  $\rho_j = \omega$  (输入) /  $\omega$  (输出),  $K$  为缓冲库的容量. 当  $\rho = 1$  时, 则  $P_j = 1 / (1 + K)$ .

为了下面构造等效工作站之用, 现列出缓冲库的 4 种状态概率:

$$\left. \begin{array}{l} \text{全满} \quad P_K = \rho^K (1 - \rho) / (1 - \rho^{K+1}), \\ \text{有空位} \quad P_{\bar{K}} = 1 - P_K = (1 - \rho^K) / (1 - \rho^{K+1}), \\ \text{全空} \quad P_0 = (1 - \rho) / (1 - \rho^{K+1}), \\ \text{有库存} \quad P_{\bar{0}} = 1 - P_0 = \rho(1 - \rho^K) / (1 - \rho^{K+1}). \end{array} \right\} \tag{2}$$

缓冲库中存件平均数为

$$MK_j = P_1 + 2P_2 + \dots + KP_K = \frac{\rho - (1 + K)\rho^{K+1} + K\rho^{K+2}}{1 - \rho - \rho^{K+1} + \rho^{K+2}}. \tag{3}$$

### 2.3 等效工作站

按照文献[2]的概念, 将工作站前后相邻的缓冲库对本站工作的影响考虑在一起, 从而构成一个等效工作站. 这里对非串行的 CIMS 生产线, 也用同样的方法.

对装配线而言, 图 1 中第三个工作站是关键, 这里只有缓冲库  $\beta_1$  和  $\beta_2$  同时有库存,  $M_3$  才不缺料, 就是说  $\beta_1$  和/或  $\beta_2$  全空, 则  $M_3$  缺料停车.

$M_3$  总共有以下五种独立工作状态概率 ( $P_{01}, P_{02}$  和  $P_{K3}$  都是独立事件的概率):

- 1)  $M_3$  正常工作概率为  $P'_{a3} = P_{\bar{01}} P_{\bar{02}} P_{\bar{K3}} P_{a3}$ ; 2)  $M_3$  输入缺料空闲停车概率为  $(1 - P_{\bar{01}} P_{\bar{02}}) P_{\bar{K3}} P_{a3}$ ; 3)  $M_3$  输出通道阻塞停车概率为  $P_{\bar{01}} P_{\bar{02}} P_{K3} P_{a3}$ ; 4)  $M_3$  输入缺料同时输出阻塞停车概率为  $(1 - P_{\bar{01}} P_{\bar{02}}) P_{K3} P_{a3}$ ; 5)  $M_3$  故障状态, 停车修理的概率为  $P_{b3}$ . 上列前 4 项都表

示  $M_3$  处于完好的状态  $P_{a3}$ , 而第 5 项则表示  $M_3$  在故障停车的状态, 将 5 种状态概率相加, 得

$$[P_{01}P_{02}P_{K3} + (1 - P_{01}P_{02})P_{K3} + P_{01}P_{02}P_{K3} + (1 - P_{01}P_{02})P_{K3}]P_{a3} + P_{b3} = 1. \quad (4)$$

可以证明, 上式左边方括号内 4 种概率相加等于 1, 于是得

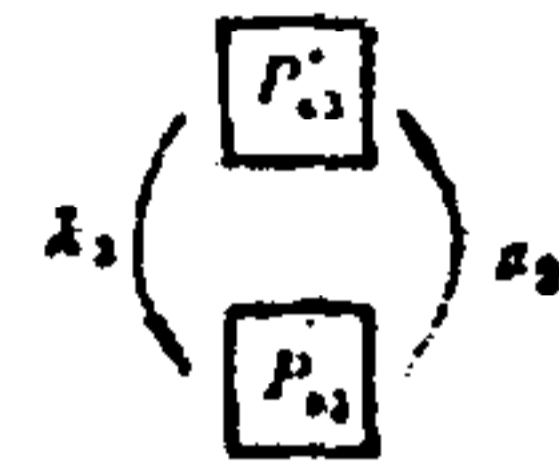
$$P_{a3} + P_{b3} = 1. \quad (4a)$$

根据前述第 5 条假设, 可知工作站  $M_3$  的失效是状态型的, 其失效状态转移是在  $P'_{a3}$  (不是  $P_{a3}$ ) 与  $P_{b3}$  之间进行的, 如图 2 所示.

定义. 前后相邻的缓冲库相对  $M_3$  而言的总合可用度为  $B_3 = P_{01}P_{02}P_{K3}$ .

从图 2 可得稳态时  $M_3$  正常工作概率为

$$P'_{a3} = \frac{\mu_3}{\lambda_3} P_{b3} = B_3(1 - P_{b3}),$$



解得

$$P_{b3} = B_3 \lambda_3 / (\mu_3 + \lambda_3 B_3). \quad (5)$$

图 2  $M_3$  等效工作站状态转移图

$M_3$  等效工作站的稳态可用度为

$$A'_3 = P'_{a3} = B_3 \left(1 - \frac{B_3 \lambda_3}{\mu_3 + \lambda_3 B_3}\right) = \frac{\mu_3 B_3}{\mu_3 + \lambda_3 B_3}. \quad (6)$$

$M_3$  工作站本身的稳态可用度为

$$A_3 = P_{a3} = 1 - P_{b3} = \mu_3 / (\mu_3 + \lambda_3 B_3). \quad (7)$$

$M_3$  等效工作站的稳态生产率为

$$W_3 = A'_3 \omega_3 = \mu_3 B_3 \omega_3 / (\mu_3 + \lambda_3 B_3). \quad (8)$$

$M_3$  等效工作站的有效度为

$$E_3 = W_3 / \omega_3 = \mu_3 B_3 / (\mu_3 + \lambda_3 B_3) = A'_3. \quad (9)$$

工件在  $M_3$  工作站中平均加工时间为

$$T_{D3} = 1 / W_3. \quad (10)$$

从前面的假设条件(4)及有关说明可以推知:

$$M_1 \text{ 正常工作的概率为 } P'_{a1} = P_{K1} P_{a1} = \mu_1 B_1 / (\mu_1 + \lambda_1 B_1),$$

$$M_2 \text{ 正常工作的概率为 } P'_{a2} = P_{K2} P_{a2} = \mu_2 B_2 / (\mu_2 + \lambda_2 B_2),$$

.....

$$M_n \text{ 正常工作的概率为 } P'_{an} = P_{0(n-1)} P_{Kn} P_{an} = \mu_n B_n / (\mu_n + \lambda_n B_n).$$

## 2.4 装配线系统可靠性分析

将上述各等效工作站连接成一个完整的装配生产线, 如图 3 所示. 由于等效工作站

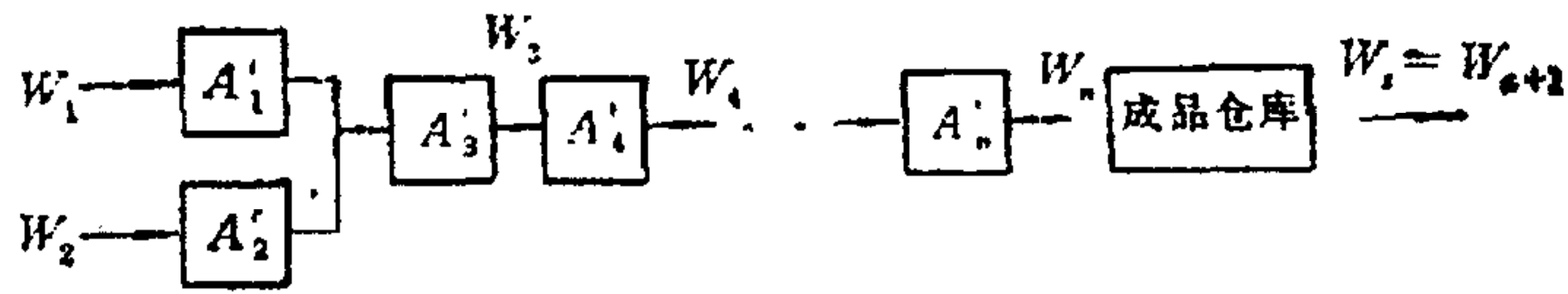


图3 等效装配线

3 需要同时从等效工作站 1 和 2 各取一个工件才能进行加工, 而装配成一个综合件. 根据工件流平衡的原理, 在稳态运行时和途中不丢失工件的情况下, 有

$$W_3 = (W_1 + W_2) / 2,$$

即  $\omega_3 P'_{a3} = (\omega_1 P'_{a1} + \omega_2 P'_{a2}) / 2$ . 其中  $W_1 = W_2$  (稳态平衡), 所以有  $\omega_3 P'_{a3} = \omega_2 P'_{a2} = \omega_1 P'_{a1}$ . 这时系统稳态生产率为

$$W_s = \frac{\omega_1 \mu_1 B_1}{\mu_1 + \lambda_1 B_1} = \frac{\omega_2 \mu_2 B_2}{\mu_2 + \lambda_2 B_2} = \frac{\omega_3 \mu_3 B_3}{\mu_3 + \lambda_3 B_3} = \dots = \frac{\omega_n \mu_n B_n}{\mu_n + \lambda_n B_n} \quad (11)$$

(11) 式表明: 利用等效工作站及工件流平衡原理, 可以验证一个装配系统等效于一个串行 CIMS 系统, 只是其中缓冲库可用库的计算方法不同而已. 在装配线中,  $M_1$  和  $M_2$  都是首级工作站, 可以认为  $B_1 = B_2$ ,  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ,  $K_1 = K_2 = K$ , 于是有

$$B_1 = B_2 = P_{0(1-1)} P_{K2} = P_{K2} = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}}.$$

等效工作站  $M_3$  的缓冲库可用度为

$$B_3 = P_{01} P_{02} P_{K3} = (P_{02})^2 P_{K3} = (\rho P_{K2})^2 P_{K3} = (\rho B_2)^2 P_{K3}.$$

将  $B_3$  代入 (11) 式, 并考虑  $\rho = \omega_2 / \omega_3$ , 则得

$$\frac{\mu_2}{\mu_2 + \lambda_2 B_2} = \frac{\mu_3 P_{K3} (\rho B_2)}{\mu_3 + \lambda_3 P_{K3} (\rho B_2)^2}. \quad (11a)$$

上式为装配线中前三站不丢失工件的充要条件. 这个公式中含有  $\rho_i$  和  $B_i$  及工作站可靠性数据  $\lambda_i$  和  $\mu_i$  之间相互制约的关系, 而且  $P_{K3}$  还隐含有第 4 个工作站生产率  $\omega_4$  在内, 直接求解比较困难. 虽然其中  $B_i$  和  $P_{Ki}$  都可以化为  $\rho_i$  的多项式, 从数学理论上是有解的, 但其中虚数解没有实际意义.

这里再就 (11a) 式探讨一些有解的必要条件.

1) 如将 (11a) 式对  $\rho$  求解, 则得

$$\rho = \frac{\mu_3 (\mu_2 + \lambda_2 B_2) \pm \sqrt{\mu_3^2 (\mu_2 + \lambda_2 B_2)^2 - 4 \lambda_3 \mu_2^2 \mu_3 / P_{K3}}}{2 \lambda_3 \mu_2 B_2} \quad (11b)$$

因为  $\rho$  必为正实数, 所以 (11a) 式有解的必要条件为

$$B_2 \geq \frac{\mu_2}{\lambda_2} \left( 2 \sqrt{\frac{\lambda_3}{\mu_3 P_{K3}}} - 1 \right). \quad (12)$$

又因  $B_2$  为小于 1 的正数, 有

$$\frac{4\lambda_3}{\mu_3} > P_{K3} \geq \frac{4\lambda_3\mu_2^2}{\mu_3(\lambda_2 + \mu_2)^2}. \quad (13)$$

2) 如将 (11a) 式对  $P_{K3}$  求解, 则有

$$P_{K3} = \frac{\mu_2\mu_3}{(\mu_2 + \lambda_2 B_2)\mu_3(\rho B_2) - \lambda_3\mu_2(\rho B_2)^2}, \quad (11c)$$

因为  $P_{K3}$  为小于 1 的正数, 于是有

$$\rho B_2 < \frac{(\mu_2 + \lambda_2 B_2)\mu_3}{\lambda_3\mu_2} \quad (12a)$$

$$-\frac{\lambda_3}{\mu_3}(\rho B_2)^2 + \left(1 + \frac{\lambda_2 B_2}{\mu_2}\right)(\rho B_2) \geq 1. \quad (13a)$$

上面 (11a) 或 (11b) 或 (11c) 式为 (11) 式有解的充要条件 (装配线不丢失工件的情况), 而 (12), (12a), (13) 和 (13a) 式均为 (11) 式有解的必要条件, 所有这些条件均有助于解决实际问题.

如果这些条件不能满足, 那就意味着在给定的条件下, 无法实现中途不丢失工件的系统.

假如所有工作站都完全可靠, 则  $\lambda_i = 0$ , 于是 (11) 式化为

$$W_s = \omega_1 B_1 = \omega_2 B_2 = \omega_3 B_3 = \cdots = \omega_n B_n. \quad (11d)$$

而 (11a) 和 (11c) 式化为

$$P_{K3} = 1 / \rho B_2. \quad (11e)$$

以上着重讨论了三个工作站组成的装配生产线 (其中第一站和第二站基本相同). 至于后面各站的解法, 则与一般串联相同<sup>[2]</sup>, 这里不再讨论.

### 3 分裂生产线的建模及求解

典型的分裂生产线是拆卸线, 如图 4 所示. 拆卸线是装配线的反演, 这里还是用等效工作站的方法进行分析, 所用的假设条件与前面相同. 从图 4 的结构可以绘出等效工作站的生产线, 如图 5 所示.

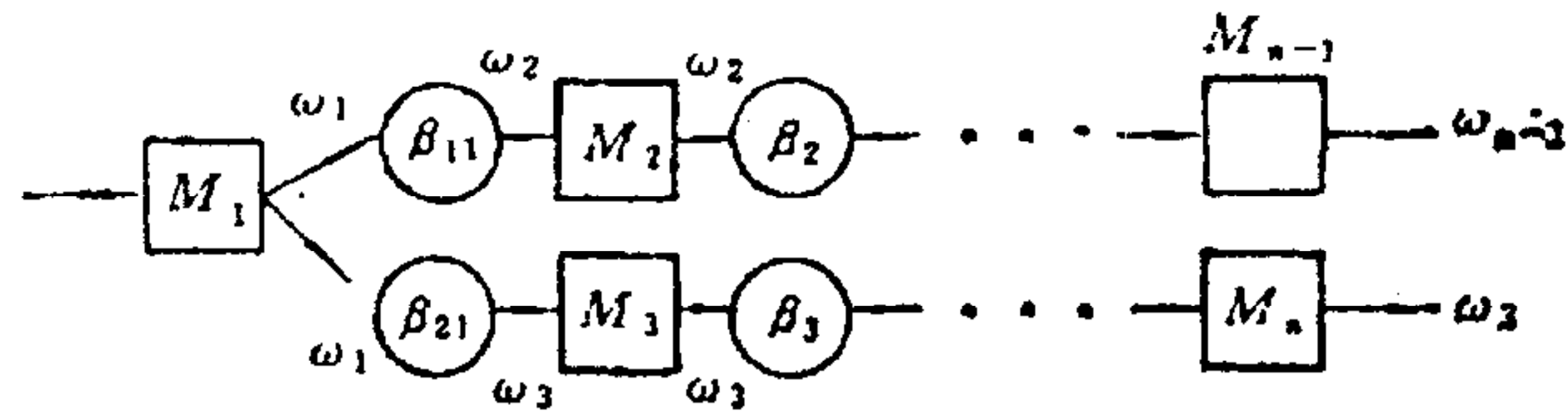


图 4 可拆卸线结构

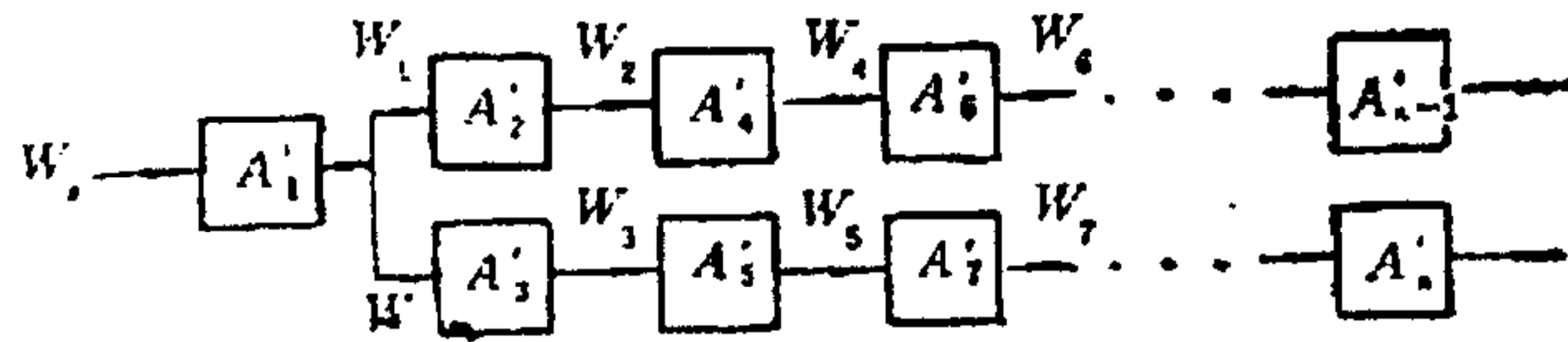


图 5 等效拆卸线

第  $i$  个等效工作站的稳态可用度为

$$A'_i = P'_{ai} = \mu_i B_i / (\mu_i + \lambda_i B_i). \tag{14}$$

第  $i$  个等效工作站的稳态生产率为

$$W_i = A'_i \omega_i = \omega_i \mu_i B_i / (\mu_i + \lambda_i B_i). \tag{15}$$

根据工件流稳态平衡原理, 得

$$W_1 = (W_2 + W_3) / 2. \tag{16}$$

工作站  $M_1$  将一个输入工件拆为两个工件, 通过缓冲库分别送到工作站  $M_2$  和  $M_3$ . 在稳态运行和途中不丢失工件的情况下, 各个工件站的平均生产率必然相等, 于是有

$$W_s = W_1 = W_2 = \dots = W_n, \omega_1 P'_{a1} = \omega_2 P'_{a2} = \dots = \omega_n P'_{an},$$

$$W_s = \frac{\omega_1 \mu_1 B_1}{\mu_1 + \lambda_1 B_1} = \frac{\omega_2 \mu_2 B_2}{\mu_2 + \lambda_2 B_2} = \dots = \frac{\omega_n \mu_n B_n}{\mu_n + \lambda_n B_n}. \tag{17}$$

从上式可见, 一个拆卸系统也等价于一个串行 CIMS 系统, 只是有关缓冲库可用度  $B_i$  的计算方法要按照实际情况变化一下即可.

这里, 只有当缓冲库 11 和 21 同时有空位时, 工作站  $M_1$  才不被堵塞, 所以按照假设条件 4, 则有

$$B_1 = P_{0(1-1)} P_{K11} P_{K21} = P_{K11} P_{K21} = (P_{K11})^2 = (P_{K1})^2,$$

$$B_2 = P_{011} P_{K2} = \rho_{11} P_{K11} P_{K2} = \rho_{11} P_{K1} P_{K2},$$

$$B_3 = P_{021} P_{K3} = \rho_{21} P_{K21} P_{K3} = \rho_{21} P_{K1} P_{K3}.$$

因一般  $\beta_{11} = \beta_{21}$ , 并令  $\rho_{11} = \rho_1$ , 代入 (17) 式, 整理后可得

$$\frac{W_s}{\omega_2} = \frac{\mu_1 \rho_1 B_1}{\mu_1 + \lambda_1 B_1} = \frac{\mu_2 B_2}{\mu_2 + \lambda_2 B_2}, \frac{\mu_1 \rho_1 B (P_{K1})^2}{\mu_1 + \lambda_1 (P_{K1})^2} = \frac{\mu_2 \rho_1 P_{K1} P_{K2}}{\mu_2 + \lambda_2 \rho_1 P_{K1} P_{K2}},$$

$$\frac{\mu_1 P_{K1}}{\mu_1 + \lambda_1 (P_{K1})^2} = \frac{\mu_2 P_{K2}}{\mu_2 + \lambda_2 \rho_1 P_{K1} P_{K2}} \quad (17a)$$

上式为(17)式有解的充分条件(不丢失工件),下面再探讨(17a)式有解的必要条件.

1) 如将(17a)对  $P_{K2}$  求解, 则得

$$P_{K2} \{ [\mu_1 + \lambda_1 (P_{K1})^2] \mu_2 - \mu_1 \lambda_2 \rho_1 (P_{K1})^2 \} - \mu_1 \mu_2 P_{K1} = 0,$$

$$P_{K2} = \frac{\mu_1 \mu_2 P_{K1}}{(\mu_1 + \lambda_1 P_{K1}^2) \mu_2 - \mu_1 \lambda_2 \rho_1 P_{K1}^2} \quad (17b)$$

因为  $P_{K2}$  为小于 1 的正数, 所以有

$$\rho_1 < \frac{1}{\lambda_2 P_{K1}^2} + \frac{\lambda_1 \mu_2}{\mu_2 \mu_1} \quad (18)$$

和

$$\rho_1 \leq \frac{(\mu_1 + \lambda_1 P_{K1}^2) \mu_2 - \mu_1 \mu_2 P_{K1}}{\lambda_2 \mu_1 P_{K1}^2} \quad (18a)$$

2) 如将(17a)式对  $P_{K1}$  求解, 则有

$$(\lambda_2 \mu_1 \rho_1 P_{K2} - \lambda_1 \mu_2 P_{K2}) P_{K1}^2 + \mu_1 \mu_2 P_{K1} - \mu_1 \mu_2 P_{K2} = 0,$$

$$P_{K1} = \frac{-\mu_1 \mu_2 \pm \sqrt{(\mu_1 \mu_2)^2 + 4(\lambda_2 \mu_1 \rho_1 - \lambda_1 \mu_2) \mu_1 \mu_2 P_{K2}^2}}{2P_{K2}(\lambda_2 \mu_1 \rho_1 - \lambda_1 \mu_2)} \quad (17c)$$

因为  $P_{K1}$  为一正数, 所以有

$$\mu_1 \mu_2 + 4\lambda_2 \mu_1 \rho_1 P_{K2}^2 \geq 4\lambda_1 \mu_2 P_{K2}^2,$$

即  $P_{K2}^2 \leq \frac{\mu_1 \mu_2}{4(\lambda_1 \mu_2 - \lambda_2 \mu_1 \rho_1)}$  必须为一小于 1 的正数, 则有

$$\rho_1 < \frac{\lambda_1 \mu_2}{\lambda_2 \mu_1}, \quad \rho_1 \leq \frac{\mu_2}{\lambda_2} \left( \frac{\lambda_1}{\mu_1} - \frac{1}{4} \right) \quad (18b), (18c)$$

上面(17a), (17b)或(17c)为(17)式有解的充要条件, 而(18), (18a), (18b)和(18c)均为(17)式有解的必要条件.

将前面讨论的装配线和拆卸线分析结果联系起来, 可以归结出一条缓冲库可用度定

理:在多输入、多输出工作站中,各个输入端的缓冲库有库存( $P_0$ )及各个输出端缓冲库有空位( $P_{\bar{K}}$ )均起串联作用.

为了便于求解问题和检查可行解及其界限,我们描绘出一幅  $P_{\bar{K}} - K$  曲线族,如图 6 所示.

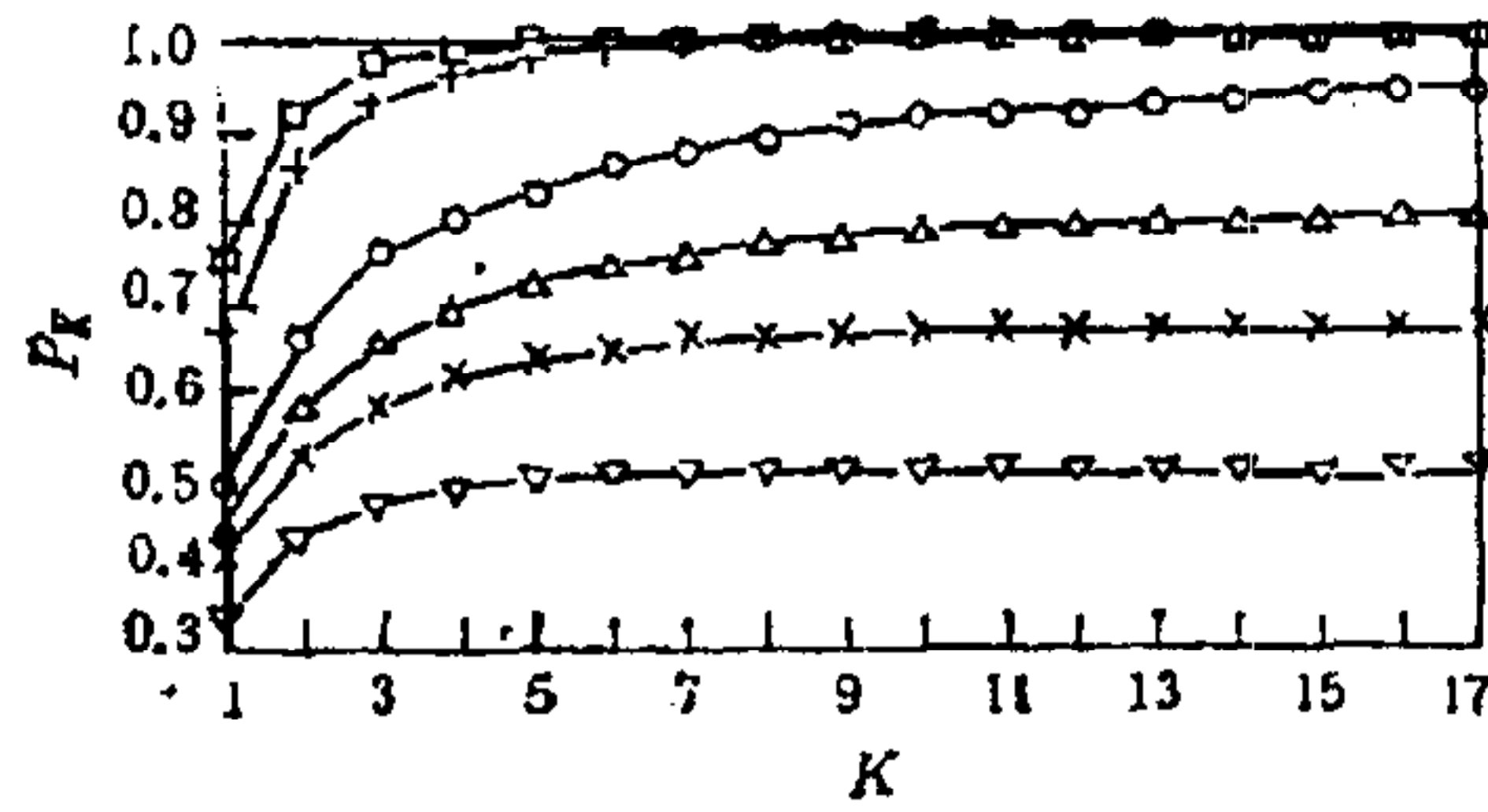


图 6  $P_{\bar{K}} - K$  曲线族

## 4 计算实例

### 4.1 装配生产线

例 1. 给定一套三站装配线的的数据如下表示,  $W_s = 10$  件/小时, 中途不丢失工件, 求各站的额定生产率及其各缓冲库和成品库的容量.

$i$	1	2	3
$\lambda_i$	0.012	0.012	0.010
$\mu_i$	0.02	0.02	0.04

解. 用 (13) 式验证, 得必要条件  $1 \geq P_{\bar{K}3} \geq 0.39625$  (证明有解).

查图 6, 取  $B_2 = P_{\bar{K}2} = 0.8$ ,  $K_{21} = 4$ ,  $\rho = 1$ , 代入 (11d) 式得  $P_{\bar{K}3} = 0.9765625$ , 于是利用 (11) 式得

$$\omega_2 = \frac{W_s(\mu_2 + \lambda_2 B_2)}{\mu_2 B_2} = 18.5 \text{ 件/小时} = \omega_1,$$

$$\omega_3 = \frac{W_s(\mu_3 + \lambda_2)(\rho B_2)^2 P_{\bar{K}3}}{\mu_3(\rho B_2)^2 P_{\bar{K}3}} = 18.5 \text{ 件/小时},$$

$$\rho_2 = \frac{\omega_2}{\omega_3} = 1.$$

从图查出, 当  $P_{\bar{K}3} = 0.98$ ,  $K_3 = 3$  (成品库容量) 时,  $\rho_2 = 0.3333 = \omega_3 / \omega_1$ , 所以,  $\omega_4$  (成品库额定输出



率) =  $\omega_3 \times 3 = 55.5$  件/小时.

**例 2.** 给定数据同例 1, 如果假设成品库容量不限, 即  $P_{K_3} = 1$ , 求解此题.

解. 取  $\rho_1 = \rho_2 = \rho = 1, K_1 = K_2 = K_3 = 4$ , 于是

$$B_1 = B_2 = P_{K_2} = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} = \frac{K}{K+1} = 0.8,$$

$$B_3 = (P_{02})^2 = \rho P_{K_2} = \left(\frac{K}{K+1}\right)^2 = 0.64.$$

由(11)式得

$$\omega_1 = \omega_2 = 18.5 \text{ 件/小时}, \omega_3 = 18.125 \text{ 件/小时}.$$

#### 4.2 拆卸生产线

**例 3.** 试设计一套三站拆卸线, 要求各站之间不丢失工件,  $W_s = 10$  件/小时. 给定数据如下表, 求解各站额定生产率及各库的容量.

$i$	1	2	3
$\lambda_i$	0.002	0.001	0.001
$\mu_i$	0.03	0.02	0.02

解. 从必要条件(18b)式得

$$\rho_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} < \frac{\lambda_1 \mu_2}{\lambda_2 \mu_1} = \frac{4}{3} = 1.3333.$$

查图 6, 当  $\rho_1 = 1.0, B_1 = P_{K_1} = 0.8, K_1 = 4$ , 则从(17b)式得  $P_{K_2} = 0.7916$ . 从图中查出当  $\rho_2 = \omega_2 / \omega_4 = 1$  时,  $K_4 = 4$ , 即可满足  $P_{K_2}$  的要求. 再用(17)式得

$$\omega_1 = \frac{W_s(\mu_1 + \lambda_1 B_1)}{\mu_1 B_1} = 16.2917 \text{ 件/小时},$$

$$\omega_2 = \frac{W_s(\mu_2 + \lambda_2 \rho_1 P_{K_1} P_{K_2})}{\mu_2 \rho_1 P_{K_1} P_{K_2}} = 16.2917 \text{ 件/小时},$$

成品库额定输出率  $\omega_4 = \omega_5 = \omega_2 = 16.2917$  件/小时.

**例 4.** 在例 3 中, 若成品库足够大 ( $P_{K_2} = P_{K_3} = 1$ ), 求解此题.

解. 取  $\rho_{11} = \rho_{21} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = 1, K_{11} = K_{21} = K = 4$ , 则有

$$B_1 = (P_{K_1})^2 = \left(\frac{K}{K+1}\right)^2 = 0.64, B_2 = P_{K_1} = 0.8.$$

由(11)式得

$$\omega_1 = \frac{W_s(\mu_1 + \lambda_1 B_1)}{\mu_1 B_1} = 16.291667, \omega_2 = \omega_3 = 13.0.$$

## 5 结束语

本文应用文献[2]提出的等效工作站方法,对非串行 CIMS 生产线可靠性问题进行了讨论,得到了以下结果:

1) 推导出非串行 CIMS 系统可以等价于串行系统,只是把复杂结构问题转化到缓冲库可用度之中,从而归结出一条缓冲库可用度定理.

2) 从工件平衡原理导出中途不丢失工件的充要条件,并推导出若干必要条件,以便判断问题是否有解及其可行解的参数范围.

3) 根据缓冲库存贮状态概率公式,给出一族  $P_{\bar{K}} - K$  曲线,从而可以直接看出具体问题可行解的界限.

4) 举出四个应用例题,对装配、拆卸线在成品库有限和无限情况下,得到了设计的结果.

5) 这里提出的等效工作站方法是将离散连续工作系统转化为连续工件系统,于是利用马尔可夫方法可以求出动态和稳态精确解.此外这种方法能够直接应用到其他带有缓冲库的问题.

### 参 考 文 献

[1] 疏松桂. 计算机综合制造系统(CIMS)可靠性及生产率的预计. 控制理论及应用年会论文集, 西安 1989年.

[2] 疏松桂. 带有缓冲库的 CIMS 分析及可靠性的研究. 自动化学报, 1992, 18(1): 15—22.

## MODELING ANALYSIS AND SYNTHESIS OF THE RELIABILITY OF NON-SERIES CIMS PRODUCTION LINE

SHU Songgui TAN Min

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** This paper studies the reliability of non-series CIMS production line. By using the method of an equivalent workstation, a theorem on availability of buffers is proposed. In steady state, a non-series CIMS system, such as an assembly line and disassembly line, can be solved through transformation into a series system. Additionally, analysis of a sufficient condition and several necessary conditions for not losing any workpieces during operation is given. Finally the curve of  $P_{\bar{K}} - K$  is shown to hint the probable scope of available solution to a real problem.

**Key words** CIMS reliability, complex system reliability, large system reliability.