

文章编号: 1006-5911(1999)04-0066-06

基于架次管理的装配过程零件动态配套性算法¹

黎小平¹, 宁宣熙²

(1. 成都飞机工业公司, 四川 成都 610092; 2. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要: 介绍了成都飞机工业公司 CIMS 重点实施工程“波音转包项目装配生产管理系统”的关键实现技术——基于架次管理的装配过程零件动态配套性算法。文章对该算法的原理、内容及步骤进行了阐述, 并给出了计算实例。

关键词: 架次管理; 动态配套; 算法

中图分类号: TP205

文献标识码: A

架次管理是国际民机制造业广泛采用的先进生产过程控制方法。目前, 我国民机转包生产也在推行架次管理技术。架次管理与批次管理的区别在于, 对生产过程的控制是基于每架次产品, 而不是每批次产品, 因此管理更精细。架次管理要求对每架份产品的关键零部件制造过程进行单独跟踪与控制。对产品的装配过程, 架次管理要求不仅能控制每架份产品的装配进度, 而且能对装配线上每架份产品(以下简称在装产品)的零件配套情况进行监控, 实时了解每架份产品的缺件状态, 并及时向零件制造系统报缺。由于产品的零件配套状态涉及装配线上产品的数量、各产品的装配状态以及零件库存状态, 而这些状态都是动态变化的, 因此, 提出一套装配过程动态配套性算法是实现好架次管理的关键。

1 装配过程动态配套性的概念

1.1 动态配套性概念

一般而言, 制造系统由供应、零件制造、库房、装配等环节组成。装配过程的动态配套性是指在某一时刻装配线上各架次产品的零件配套状态。这一配套性概念需综合考虑下列 5 个要素:

- (1) 当前进入装配但尚未下线的产品数量;
- (2) 每架份在装产品的当前短缺零件种类与数量;
- (3) 当前零件库存余量状态(品种与数量);
- (4) 配套计算的优先顺序;
- (5) 装配过程零件报废情况。

1.2 动态配套性的分类

根据架次管理的实际需要, 动态配套可分为全过程配套和局部配套。两者的区别在于, 前者的配套是针对装配全过程(装配过程所有工位或整个装配周期)而言的, 而后者仅对指定工位或时段进行配套性计算。

局部配套对配套范围的限制, 其实质是对配套零件种类的限制, 即对范围之外的零件暂不作配套要求,

以求大幅度地降低零件库存量和零件制造的批量。

由于局部配套的装配过程动态监控技术是架次管理的重要支撑技术。因此, 局部配套的结果更具有指导生产的价值, 它为提高整个生产系统的监控管理水平和实现准时化运行奠定了基础。

2 算法描述

2.1 基本假设

假设: 某时刻装配线上共有 k 架份产品在线装配, 整个装配线共有 t 个工位, 对某系列产品(构型可以不完全相同), 其装配共涉及到 m 种零件, 不同构型产品所用到的零件不完全相同。下面, 按全过程配套概念来推出算法。设:

Z_{ij} ——第 i 号产品所需的第 j 种零件的额定数量;

P_{ij} ——第 i 号产品已分配到的 j 零件的数量;

$S_j^{(i-1)}$ ——第 $(i-1)$ 号产品进行配套计算后 j 零件的库存余量计算状态;

$SS_j^{(i-1)}$ ——第 $(i-1)$ 号产品进行配套计算后 j 零件虚拟的实际库存余量状态;

q_{ij} ——第 i 号产品 j 零件的缺件数量(其中 $i = 1, 2, \dots, k \quad j = 1, 2, \dots, m$)。

2.2 算法描述

根据上述设定, 在某一时刻, 对在装产品而言:

$$(1) \text{ 产品的缺件矩阵为: } Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{k1} & q_{k2} & \cdots & q_{km} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \cdots \\ Q_k \end{bmatrix}, \text{ 各产品 } m \text{ 种零件的缺件情况。}$$

$$(2) \text{ 产品已分配零件矩阵: } P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{km} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdots \\ P_k \end{bmatrix}, \text{ 在装产品已领用零件的状态。}$$

$$(3) \text{ 零件额定需求矩阵: } Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{k1} & z_{k2} & \cdots & z_{km} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \cdots \\ Z_k \end{bmatrix}, \text{ 单位产品所需零件的额定数量。}$$

$$(4) \text{ 库存余量计算矩阵: } S = \begin{bmatrix} s_1^{(0)} & s_2^{(0)} & \cdots & s_m^{(0)} \\ s_1^{(1)} & s_2^{(1)} & \cdots & s_m^{(1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_1^{(k-1)} & s_2^{(k-2)} & \cdots & s_m^{(k-1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S^{(0)} \\ S^{(1)} \\ \cdots \\ S^{(k-1)} \end{bmatrix}, \text{ 用于各在装产品缺件数据的计算。}$$

$$(5) \text{ 库存余量状态矩阵: } SS = \begin{bmatrix} ss_1^{(0)} & ss_2^{(0)} & \cdots & ss_m^{(0)} \\ ss_1^{(1)} & ss_2^{(1)} & \cdots & ss_m^{(1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ ss_1^{(k-1)} & ss_2^{(k-2)} & \cdots & ss_m^{(k-1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SS^{(0)} \\ SS^{(1)} \\ \cdots \\ SS^{(k-1)} \end{bmatrix}, \text{ 作配套计算时虚拟的各零件实际余量。}$$

(6) 求在装第 i 号产品第 j 种零件的缺件数量 q_{ij}

某时刻产品的缺件计算公式可表示为:

$$Q = Z - P - S \quad \text{即:} \quad \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \cdots \\ Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 - P_1 - S^{(0)} \\ Z_2 - P_2 - S^{(1)} \\ \cdots \\ Z_k - P_k - S^{(k-1)} \end{bmatrix}$$

动态配套的概念是对所有上线装配的产品而言的,因此在计算各在装产品的配套数据时,必须对整个装配过程进行通盘考虑,配套性的计算应按产品上线装配的先后顺序进行,即先上线装配的产品先进行配套性计算,后上线的后计算。此外,由于配套计算中还涉及库存余量状态,而库存余量状态是随着在装产品配套性计算过程而变化的。每进行一个架份在装产品的配套计算,库存余量都要减少一些。当然,这种变化只是为方便配套计算对库存余量状态所做的虚拟更新,库存实际余量在某时刻是不变的。从这个意义上看,动态配套计算的结果带有预测性。

假定某时刻作配套计算时库存余量初始状态为: $S^{(0)} = (s_1^{(0)}, s_2^{(0)}, \dots, s_m^{(0)}) = SS^{(0)}$ (此时必有 $s_j^{(0)} = ss_j^{(0)} \geq 0$ 成立, $j = 1, 2, 3, \dots, m$), 则其即为这一时刻第 1 架份产品作配套计算时的库存余量计算状态。若当前装配线上共有 k 架份产品要依次作配套计算, 则库存余量计算矩阵 $S^{(0)}, S^{(1)}, S^{(2)}, \dots, S^{(k-1)}$ 分别表示作配套计算时, 第 1, 2, 3, \dots, k 架份产品对应的库存余量计算状态。且有 $S^{(0)} \geq S^{(1)} \geq S^{(2)} \dots \geq S^{(k-1)}$ 成立。

根据以上论述, 在装产品零件配套计算的先后次序如下(假设 k 个产品上线顺序为: 1, 2, 3, \dots, k):

第 1 号产品: $Q_1 = Z_1 - P_1 - S^{(0)}$

第 2 号产品: $Q_2 = Z_2 - P_2 - S^{(1)}$

.....

第 k 号产品: $Q_k = Z_k - P_k - S^{(k-1)}$

由此可得:

第 i 号产品第 j 种零件缺件数量为:

$$q_{ij} = z_{ij} - p_{ij} - s_j^{i-1} \quad (i = 1, 2, \dots, k \quad j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

对式(1), 若 $q_{ij} \leq 0$, 则第 i 号产品不缺第 j 种零件。当前第 j 种零件剩余数量为 q_{ij} 。

$q_{ij} > 0$, 第 i 号产品第 j 种零件缺件, 缺件数量为 q_{ij} 。

(7) 求第 i 号产品短缺零件品种数 L_i

将式(1)中 $q_{ij} > 0$ 的项取出, 累加即得:

$$\text{第 } i \text{ 号产品的短缺零件品种数 } L_i = \sum_{j=1}^m l_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

$$\text{其中} \quad l_{ij} = \begin{cases} 1 & q_{ij} > 0 \\ 0 & q_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, k \quad j = 1, 2, \dots, m)$$

(8) 求库存余量计算矩阵 $S^{(i)}$ 和库存余量状态矩阵 $SS^{(i)}$

库存余量计算矩阵用于 q_{ij} 的计算。为便于 q_{ij} 的计算, 设定: 凡缺件的零件, 则最新库存余量计算状态均设定为 0, 这样, 可使得用式(1)求出的零件缺件数量为第 i 号产品第 j 种零件的缺件数量, 而不是第 j 种零件的累计缺件数量。

$$s_j^{(i)} = \begin{cases} |q_{ij}| & q_{ij} \leq 0 \\ 0 & q_{ij} > 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, k \quad j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

因此可得:

$$S^{(i)} = (S_1^{(i)}, S_2^{(i)}, \dots, S_m^{(i)}) \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

库存余量状态矩阵表示每架份产品配套计算后虚拟的库存实际余量状态(即零件的剩余情况和缺件情况)

$$ss_j^{(i)} = \begin{cases} |q_{ij}| & q_{ij} \leq 0 \\ -q_{ij} & q_{ij} \geq 0, ss_j^{(i-1)} > 0 \\ ss_j^{(i-1)} - q_{ij} & q_{ij} \geq 0, ss_j^{(i-1)} \leq 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

$$\text{从而:} \quad SS^{(i)} = (ss_1^{(i)}, ss_2^{(i)}, \dots, ss_m^{(i)}) \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

矩阵中的元素为正, 表示当前剩余零件数; 为负, 表示累计缺件数。

(9) 求 k 架份在装产品完成配套计算后, 总的零件缺件品种 q_p 及多余零件品种数 q_p

$$\text{总的零件缺件品种为:} \quad q_p = \sum_{j=1}^m l_j \quad (5)$$

其中:

$$l_j = \begin{cases} 1 & ss_j^{(k)} < 0 \\ 0 & ss_j^{(k)} \geq 0 \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, m)$$

总的零件多余品种:

$$q_p = m - q_p \quad (6)$$

(10) 求 k 架份在装产品完成配套计算后, 各种零件的累计短缺数量或剩余数量

由于 $SS^{(k)}$ 矩阵表示在装所有产品完成配套计算后的零件库存余量状态, 因此可得:

$$\begin{cases} j \text{ 零件累计缺件数量: } q_j = SS_j^{(k)} (ss_j^{(k)} < 0) \\ j \text{ 零件剩余数量: } q_j = SS_j^{(k)} (ss_j^{(k)} \geq 0) \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

(11) 判断第 $k+1$ 架产品上线装配的条件为:

即:

$$Q_{k+1} \leq 0$$

$$Z_{k+1} - P_{k+1} - S^{(k)} \leq 0$$

故只要:

$$z_{k+1,j} - p_{k+1,j} - s_j^{(k)} \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

成立, 则第 $k+1$ 号产品已具备上线装配的条件。

3 问题讨论

动态配套性算法既要具备可操作性, 又要易于用软件实现, 因此, 对该算法应用中涉及的一些问题作以下必要的规定和限制:

(1) 构型是算法中必须要考虑的问题。属同一系列, 但构型不同的产品, 其装配所需的零件种类和数量不完全相同。在算法中, 定义同一系列不同构型产品所需全部零件品种数为 m , 若某零件在某构型产品中未用到, 则设该零件额定需求量为 0。这实质上是为各种构型的产品设定了一个虚拟的共有构型。用这种方法可使算法适用于同一系列各种构型的产品。

(2) 零件一旦报废, 必须注销该零件。由于零件在装配前已办理领用手续, 库存状态已作了相应更新, 故只需将该零件从该产品的已分配零件矩阵中注销即可。

(3) 局部配套是全过程配套的一种特例。如果指定配套计算时只对某几个工位进行配套检查, 则这些工位以外的其它零件均不作为配套检查对象。同样, 可以通过设定配套范围之外的零件额定需求矩阵和已分配零件矩阵值为 0 的方法来解决局部配套计算问题。

(4) 并行处于同一工位上的多架在装产品配套计算的先后顺序可任意确定。

(5) 动态配套性算法要应用得好, 必须同时对库存管理进行改进。对在装产品所需零件的领用、发放特别要作出相应规定:

1) 要为每架份在装产品设置一个当前零件领用范围, 超出领用范围的零件不能领用。领用超出范围的零件属超领。超领会导致配套计算出现虚假的配套和缺件结论, 也使得配套计算的监控作用受到影响, 对生产过程极为有害。通常, 如果某产品当前零件领用范围大于它此时进行配套计算的零件检查范围, 则不利于生产和配套监控。因此, 确定合理的在装产品零件领用范围十分重要, 其原则是: ① 当前零件领用范围要小于当前配套计算的零件检查范围; ② 零件领用范围既不影响产品的装配进度又不预领过多; ③ 可结合装配工位和产品的构型来确定范围。

2) 要确定产品领用零件的优先顺序。先装配的架次优先领用、配套, 并可将零件领用改为按优先级原则配套发放的方式。

3) 每种零件预领数量不能超过该零件的单机额定数量。

4 计算实例

4.1 初始状态

如图 1 所示, 为便于计算, 假设产品构型相同, 且未限制零件领用范围。

当前状态为:

$$k = 3, m = 5$$

库存余量初始状态: $S^{(0)} = (10, 5, 7, 15, 8) = SS^{(0)}$

零件额定需求状态矩阵: $Z_i = (3, 5, 2, 7, 4) \quad (i = 1, 2, \dots, k)$

产品已分配零件的状态矩阵:

$$P_1 = (3, 5, 2, 3, 3), P_2 = (3, 5, 1, 0, 0)$$

$$P_3 = (2, 4, 1, 2, 0), P_4 = (0, 0, 0, 0, 0)$$

4.2 按全过程配套计算

(1) 1 号产品 划

按算法的假设: 产品所在工位之前所需的零件必已配套。根据公式(1)、(3)、(4)得:

$$q_{11} = -10, q_{12} = -5, q_{13} = -7,$$

$$q_{14} = 7 - 3 - 15 = -11, q_{15} = 4 - 3 - 8 = -7$$

$$S^{(1)} = (10, 5, 7, 11, 7), SS^{(1)} = (10, 5, 7, 11, 7)$$

结论: 零件全部配套。

(2) 2 号产品

$$q_{23} = -6, q_{24} = -4, q_{25} = -3$$

$$S^{(2)} = (10, 5, 6, 4, 3), SS^{(2)} = (10, 5, 6, 4, 3)$$

结论: 零件全部配套。

(3) 3 号产品:

$$q_{31} = -9, q_{32} = -4, q_{33} = -5, q_{34} = 1 > 0, q_{35} = 1 > 0$$

$$S^{(3)} = (9, 4, 5, 0, 0), SS^{(3)} = (9, 4, 5, -1, -1)$$

结论: 第 3 号产品的第 4、5 两种零件各缺 1 件, 累计各缺 1 件。1、2、3 三种零件分别剩余 9、4、5 件。

(4) 相同构型(第 4 号)产品上线装配的配套条件计算

$$q_{41} = -6, q_{42} = 1 > 0, q_{43} = -3, q_{44} = 7 > 0, q_{45} = 4 > 0$$

$$S^{(4)} = (6, 0, 3, 0, 0), SS^{(4)} = (6, -1, 3, -8, -5)$$

结论: 第 4 架份产品目前缺第 2、4、5, 三种零件各缺 1、7、4 件, 三种零件累计各缺 1、8、5 件, 其它零件不缺。第 4 号产品不具备上线装配的条件。

4.3 按局部配套计算

假设配套范围为两个工位。即: 产品所在工位+ 下一工位。

(1) 1 号产品(所在位置: 工位 3(末工位), 配套范围: 工位 3)

由式(1)、(3)、(4)得:

$$q_{14} = -11, q_{15} = -7$$

$$S^{(1)} = (10, 5, 7, 11, 7), SS^{(1)} = (10, 5, 7, 11, 7)$$

结论: 1 号产品所需零件全部配套。

(2) 2 号产品(所在位置: 工位 2, 配套范围: 2、3 工位)

$$q_{23} = -6, q_{24} = -4, q_{25} = -3$$

$$S^{(2)} = (10, 5, 6, 4, 3), SS^{(2)} = (10, 5, 6, 4, 3)$$

结论: 2 号产品所需零件全部配套。

(3) 3 号产品(所在位置: 工位 1, 配套范围: 1、2 工位)

$$q_{31} = -9, q_{32} = -4, q_{33} = -5$$

$$S^{(3)} = (9, 4, 5, 4, 3), SS^{(3)} = (9, 4, 5, 4, 3)$$

结论: 3 号产品所需零件全部配套。1、2、3、4、5 五种零件各剩余 9、4、5、4、3 件。

(4) 相同构型(第 4 号)产品上线装配的配套条件计算(所在位置: 0 号工位(即装配线入口处), 配套范

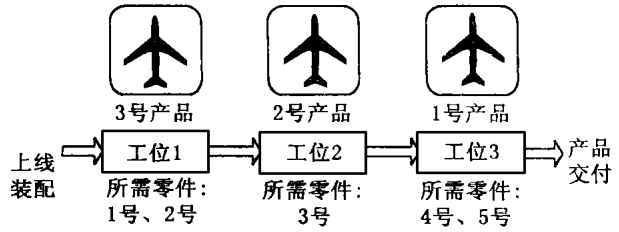


图1 产品装配过程示例

围: 工位 1)

$$q_{41} = -6, q_{42} = 1$$

$$S^{(4)} = (6, 0, 5, 4, 3), SS^{(4)} = (6, -1, 5, 4, 3)$$

结论: 第4号产品目前第2种零件缺1件, 累计缺1件, 其它零件不缺。第4号产品不具备上线装配条件。

比较全过程配套与局部配套两种算法的结果不难看出, 计算后的结论是不一样的。而局部配套算法更能精确地反映生产中各架次的实际配套情况, 有利于生产过程的调节与管理, 且为高效精细的生产过程控制提供了技术支持, 有利于企业提高生产过程运行与管理水平。

5 应用情况

“波音转包项目装配生产管理系统”是成都飞机工业公司CIMS三期工程的重点实施项目CAC-CIMS/MIS的一个重要集成子系统。该系统是为满足成都飞机工业公司波音转包生产需要, 提高波音转包生产系统运行水平, 改造传统生产模式而设计、开发的。波音转包生产用架次管理取代了传统的大组别批量生产管理, 装配过程零件的配套性要进行动态监控、实时报缺零件, 同时, 还要压缩零件库存量, 提高零件交付的准时率和准时交付的实际价值。基于架次管理的零件动态配套性监控技术则是实现这些目标的支撑技术, 其中, 基于架次管理的装配过程零件动态配套性算法是该技术的核心。

“波音转包项目装配生产管理系统”软件已开发完成并进入了试用阶段。从试运行情况看, 按该算法开发的装配过程零件动态配套性监控模块, 在对在装产品零件的配套性进行检查、监控和零件实时报缺等方面与传统管理相比较效果明显, 达到了设计要求。目前, 压缩零件库存、提高交付准时率等工作正与该模块的完善和相应保障体系的建立等工作同时推进。

参考文献:

- [1] 魏大鹏. 丰田生产方式研究: 准时化生产方式的技术支撑体系[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1996.
- [2] 陈启申. 制造资源计划基础[M]. 北京: 企业管理出版社, 1997. 8.
- [3] Finkel K. How to launch a successful warehouse management system[J]. IIE Solution, 1996, (2): 16-20.
- [4] Strayhorn L. Upgrading materials handling systems for top performance[J]. Industrial Management, 1997, (4): 29-31.
- [5] Tom Davis. Effective supply chain management[J]. Sloan Management Review, 1993, (4): 35-46.
- [6] David R O. Seven trends of highly effective warehouses[J]. IIE Solutions, 1996, (2): 12-14.

THE ALGORITHM OF DYNAMIC COMPLETENESS OF PARTS BASED ON LINE - UNIT MANAGEMENT IN ASSEMBLY PROCESS

LI Xiao - ping¹, NING Xuan - xi²

(1. Chengdu Aircraft Industrial Corporation, Chengdu 610092, China;

2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper introduces the algorithm of dynamic completeness of parts based on line - unit management in assembly process which is a key implementation technology of an important engineering, the Assembly Production Management System (APMS) of Boeing subcontracted project, for Computer Integrated Manufacturing System of Chengdu Aircraft Industrial Corporation (CAIC CIMS). The theories, contents and calculating steps of the algorithm are described and a calculation example is given in the article.

Key words: line - unit management; dynamic completeness; algorithm