

# 对连续过程系统适应调度的若干看法<sup>1)</sup>

蒋慰孙

(华东理工大学自动化研究所 上海 200237)

蒋敏倩

(上海第二工业大学管理信息系上海 200001)

顾幸生

(华东理工大学自动化研究所 上海 200237)

**摘要** 本文论述了连续过程系统中适应性调度的意义、重要性和进行本项工作的原始和基础资料(数据);分析和探讨了由现象→事件→对策的推理决策过程,从而指出专家系统是完成该任务的最合适工具,阐明了本方案的几个技术关键及优越性。

**关键词** 适应性调度,实时专家系统,决策过程。

## 1.问题的提出

在过程工业中,连续型与间歇型生产都占有重要地位。前者继续沿大型化道路发展,追求规模效益,后者则循精细方向前进,追求高品质、高价值。前者虽然品种较少,但生产量大,而且起着基础性的作用,后者虽然总产量较少,但品种极多,单价甚高。间歇生产过程的产品总值一般认为占总体的40%以上,不可小视。

连续生产过程的调度,无疑要比间歇生产过程简单得多。间歇过程的调度命题,尽管由于内容的复杂性,在理论和方法上大有文章,学术意义强,在经济效益上更是非常可观,所以在国际上早已成为研究热点,但在我国,恐怕还提不到综合自动化的议事日程。权衡工业需求的迫切性,本文只讨论连续生产过程的调度问题,间歇生产过程的问题将另作说明。

生产调度有两类。一类可称为计划性调度,生产计划确定了产品的年、季、月产量,原料和辅料的需求量,能源(包括蒸汽、电力、工业用水)的需要量等等。对连续生产过程来说,计划性调度是确定实现计划的具体措施,用哪些设备生产,原料、辅料的流量,单位时间蒸汽、电力、工业用水的需要量各是多少,从而给出各支物料流和能量流的设定值等等。应该说,只要做好了计划,实现计划性调度比较简单(与间歇生产过程不一样),依据设备生产能力,利用物料恒算和能量恒算关系很易求出。另一类称为适应性调度(reactive scheduling),是当出现了影响完成计划性调度事件和情况后,应该如何调整决策,并力争完成计划,而且考虑提高经济效益。在连续生产过程的调度岗位上,调度员忙的主要是适应性调度工作。

值得提出,生产调度是整个生产运行管理中非常重要的一环。如果将整个综合自动

<sup>1)</sup> 863-511-945-001 项目和国家自然科学基金 69874012 项目资助

化系统画成递阶结构的层次，调度是在生产管理控制的最上层，与经营管理的决策、计划系统相接。

## 2. 适应性调度的原始和基础资料（数据）

要进行适应性调度，下列原始和基础资料看来是必要的，应置入数据库：

- (1) 生产计划及按时作出的计划性调度方案，
- (2) 原料、辅料的库存量（包括贮罐存量），
- (3) 产品的库存量（包括贮罐存量），
- (4) 废料、废水的处理和排送能力，
- (5) 蒸汽、燃料气、电力和工业用水的供应能力，
- (6) 设备、机器的生产能力，
- (7) 设备的完好情况，
- (8) 设备的操作界限值（约束条件），
- (9) 停车程序（小范围的、全装置的），
- (10) 开车程序，
- (11) 经济核算算法。

这里有些是数据，有些是算法和程序。有些是恒定的，有些是计算得到而且会随情况而变化的数值，有些是函数关系。但是，它们都是适应性调度的基础资料。

## 3. 需要调整计划性调度方案的情况

也就是需要进行适应性调度的情况，大体有以下几类“事件”：

- (1) 由于生产任务的调整，需要增产或减产，或改变产品的类型，
- (2) 由于物料流或能量流供应不足，或产品出货困难，或废料废水排放有困难
- (3) 设备、机器、仪表出现故障
- (4) 操作失常（包括误操作）或特大扰动以致不能完全执行计划性调度方案。

由出现的“现象”来判定“事件”，需要经过检验分析。单凭一种现象往往是不够的，因为不同事件也可能出现同一种现象。下面就以上四大类事件作一些说明。

(1) 生产任务的调整，通常是经营管理人员根据市场情况提出的决策。对此由决策计划层作出的信号，调度层尚需检验装置是否有能力增产或减产，如果条件满足（经过与原始和基础资料第 6 项的比较），即遵照执行，否则应受第 6 项的约束。执行情况要报告决策计划层。

(2) 关于物料流或能量流的匮乏，在遇到储罐或仓库存储量太少，或是管道阀门开度很大而流量仍然很小，都是该类事件出现的现象。

但是，由现象判断事件，同样需要经过校验。例如，管道的流量信号为零，也可能是流量检测元件或变送器失灵，并不是物料流或能量流不足。也可能是由于流体冷冻或



管道堵塞等，尽管所引起的后果相似，但处理的对策并不相同。

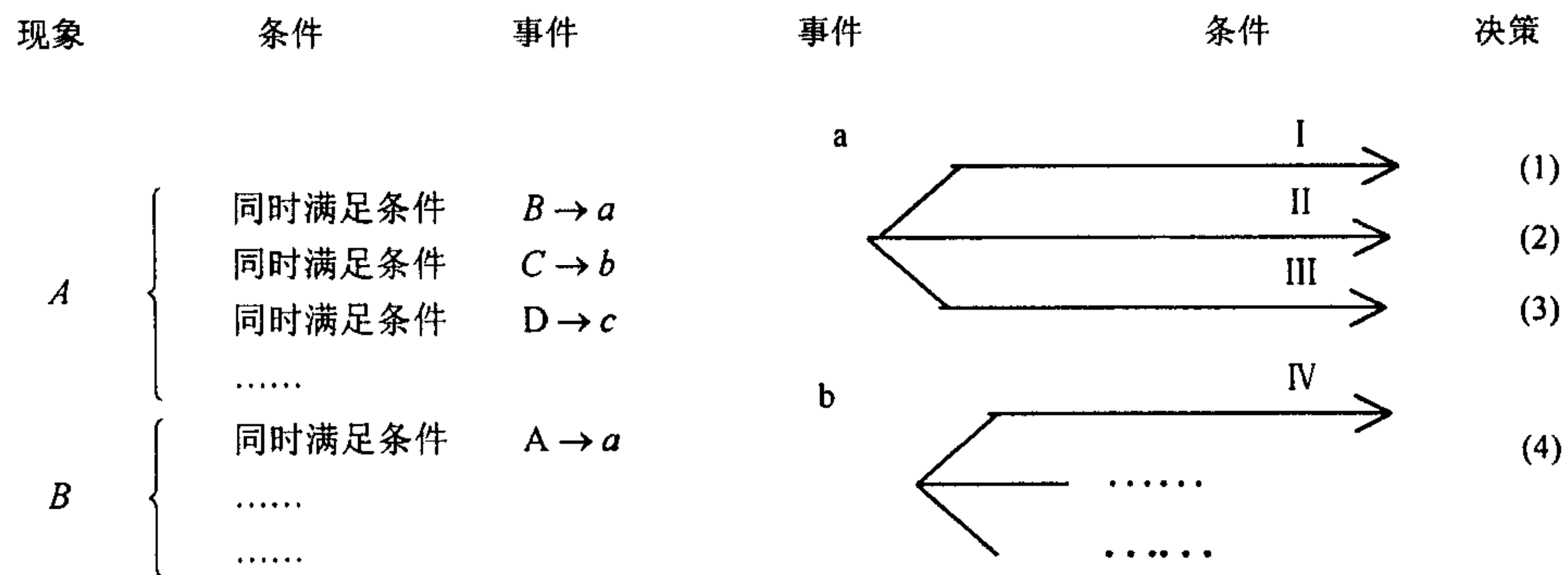
为作出正确的对策，还需估计匮乏的程度与持续时间的长度。

(3) 设备、仪表和机器的故障，现在已经有依据不同原理的故障检测和诊断 (FDD) 方法，因此，应将各种有效的 FDD 算法编入方法库。

自动化系统的设计有三种类型：第一种，单独设置 FDD 系统，将故障事件信号送至自动调度系统；第二种，对检测信号进行面上普查，遇到信号突然跳跃或出现其它异常情况时，送来本系统，这种类型的优点是察觉故障的时间间隔可以比较短，在几秒钟的周期可以面上普查一次；第三种是将 FDD 系统与本系统结合在一起，似乎第二和第三种类型要更好一些，虽然这与习惯上的做法不相一致。

FDD 本质上也是由“现象”→“事件”的命题。作为工程应用方法，提出两点建议：第一，单是一种现象往往远远不能确定是何种事件，要再加上由另外现象的存在（或不存在），则往往可作出正确的诊断。第二，在进行由“现象”→“事件”的推理过程中，宜先取发生概率高的事件来匹配，然后再考虑次高的，依次进行，这样总的的时间较省。遇到少数复杂事件，不能用上列方式解决，则需采用更高级的 FDD 算法。另外，如果缺乏具体统计资料，按概率排序似乎很困难，这时候可依据机理分析与各个组成部分的可靠性指标来安排次序，只要不将事件遗漏，排序不正确也没有大问题。

图一表明由“现象”→“事件”的推理过程。如出现现象 A，出现概率最大的事件是 a，此时尚需同时存在现象 B，才能确定。依次进行，如果有现象 C 同时出现，事件将是 b，.....。如果出现的现象是 B，则当同时出现现象 A，则事件将是 a 等等。



图一. 由“现象”→“事件”的推理过程

图二. 由“事件”→“决策”的推理过程

(4) 操作失当（或误操作）与特大扰动，也有现象显示，由“现象”→“事件”的推理过程也正相似。

例如，对一个精馏塔，如果沿塔板的温度分布偏离正常区域，那往往是由于操作失当或特大扰动引起。另外，如果系统中设有扰动观测器，或者能直接检测扰动变量，则在扰动超过界限值时，系统将无法忍受，不能正常工作。



## 4. 适应性调度的决策

适应性调度的目标, 是通过操作条件(也包括生产负荷, 控制策略)的调整, 使得在出现具体事件的情况下, 使生产能够在保持产品合格的条件下继续进行下去; 必要时只能适当降低产量; 如果还办不到, 则只好暂时停车, 停车的区域范围越小越好. 总之, 要求在出现具体事件时, 仍能保证安全, 并使经济损失减到最低程度.

发生了一种事件, 该采用什么策略, 还必须结合其它条件一起考虑. 遇到不同的情况, 可能需要不同的策略.

总之, 由“事件”→“决策”的推理过程如图 2 所示(见上页)

适应性调度的总体要求是力求完成计划规定的任务, 而且要有较高的经济效益. 因此, 遇到产量下降的情况, 则在事件消失后, 要看一看能否合理增产, 提高经济效益. 另外, 即使原来能完成, 遇到可以合理增产时, 也应向计划决策层提出增加产量的建议.

## 5. 实时专家系统及几个有关问题

从以上任务来看, 作为自动化技术工具, 实时专家系统(RTES)无疑是最合适的选择. 用 RTES 可以寻找和确定当前所处的工况位置, 并依据工况位置和当时条件提出相应的决策. 这样的思路可说是智能控制的灵魂. 我们所要求的自动化技术工具应该既具逻辑分析和处理能力, 又具解析计算的功能. 全方位利用知识, 是根本性的要求. 用 RTES, 应有可能实现这样的任务. 当然, 象人工神经网络和模式识别方法, 在一定程度上也可实现定位和决策的功能, 但是要处理这样的大型复杂命题, 整体框架非用专家系统不可.

对用在这里的 RTES, 有四个值得注意的要求:

(1) 必须充分体现知识的全面性. 这里的知识应该以工艺机理和控制理论为主体, 要吸收专家的经验, 在今天, 专家的经验已向知识的深层次发展, 必须体现科学性, 有科学理论做指导, 决不是单纯的经验主义. 今天有许多人说过程机理复杂, 不确定性严重, 从更高要求看, 这种看法不错, 但要认清一个基本事实, 通过几代人的努力, 人们已能在主流上掌握了过程的特性, 已能给出基本上可靠的数学模型.

(2) 正因为如此, 在采用产生式规则来实现“现象”→“事件”的检测和诊断和“事件”→“决策”的制定时, 必须充分考虑逻辑推理与解析计算两方面的知识. 例如, 一条  $\text{if } a > b \text{ then } c$  的规则,  $a$  可能是检测值, 也可能需要通过复杂计算的数值;  $b$  可能是常数, 也可能需通过微分方程或代数方程求解得出的数值;  $c$  可能是一条简单的指令, 也可能是一串程序, 有的还要经过复杂的计算. 总之, 是将相当复杂的决策过程统一于产生式规则的形式.

(3) 也正因为如此, 专家系统外壳应该用 C++ 等高级语言编程, 这有利于两大类知识的交融. 用到的逻辑推理实质上并不复杂, 不需要 LISP 等只适用于逻辑推理而不便于进行数字解析计算的专用语言.



(4) 一个装置有上千或万个过程变量, 现在有许多文章强调化工过程的关联性与复杂性. 但千万要注意, 多变量系统的复杂性和关联性是与单输入单输出 (SISO) 系统相对而言的. 如果用需要由成千上万变量的关系矩阵来描述输出输入关系, 那必须指出, 该矩阵是高度稀疏的. 完全可以划分成若干个维数相当低的子矩阵, 而各个子矩阵间的关联通道不多, 谈不上复杂. 倒是实时性问题必须给予适当的注意.

## 6. 优点和进一步推广的可能性

将适应性调度的内容置于 RTES 的总框架内, 显然有如下的优点:

(1) 化难为易. 人们办事, 依据不同事件的性质, 采用不同的方法, 是一种化难为易的思路. 要组装一台复杂的仪表, 在安装的流水线上, 每一步往往是相当简单的工序. 现在将“事件”分门别类, 先完成“现象”到“事件”的检测诊断, 然后各自提出相应措施, 无疑比组合在一起的一个无所不包的算法要简单得多, 实用得多, 可靠得多.

(2) 非常适用于现场总线的结构. 今天, 现场总线的推广已成定局. 现场总线系统是把基本的控制功能放到基层去实现的, 这里提出的适应性调度的指令, 很易于在基层实施. 当然, 在开始应用的时候, 调度命令应经过人的认可.

(3) 还应该说, 这样的利用全方位知识, 不仅可用于调度, 而且可用于控制与优化<sup>[1]</sup>

在操作优化方面, 区域优化是一种值得鼓励的措施, 与其时时刻刻去费力地追逐最优点, 往往还不如是操作条件和工作状态保持在合适的, 也许可称为“次优”的区域内, 经济效益的差距很小. 用专家系统去确定合适的工作区域, 并使工作状态进入和保持在该一区域是很有希望的.

在控制方面也一样, 要找出一条统一的控制规律去对付各样不同的情况 (包括负荷、环境条件、其它扰动及设备特性的变动等), 有时极度困难, 甚至是不可能的. 采用专家系统, 依据具体的情况, 选择合适的控制规律, 是有效的化难为易的策略. 适应性控制问题现在面临的一些困难可得到解决.

尽管象 Astrom 教授等都曾提倡过专家规则控制<sup>[2]</sup>, 但在今天, 应用上的发展似乎不快, 去年举行的 IFAC 大会, 专家规则控制的论文要比模糊控制和人工神经网络都少. 但是, 应用全方位的专家规划系统, 只要注意上面提出的 4 个技术关键, 潜力显然很大. 国际上今天的潮流, 我们当然要注意, 要迎头赶上, 然而, 如能另辟蹊径, 其意义和价值会更高.

### 参 考 文 献

- 1 蒋慰孙. 对专家规划控制的若干看法, 化工自动化及仪表, 1999, 26 (5): 1-4
2. Astrom K J, Anron J J, Arzen K J. Expert Control. *Automatica*, 1986, 22 (3): 277-286