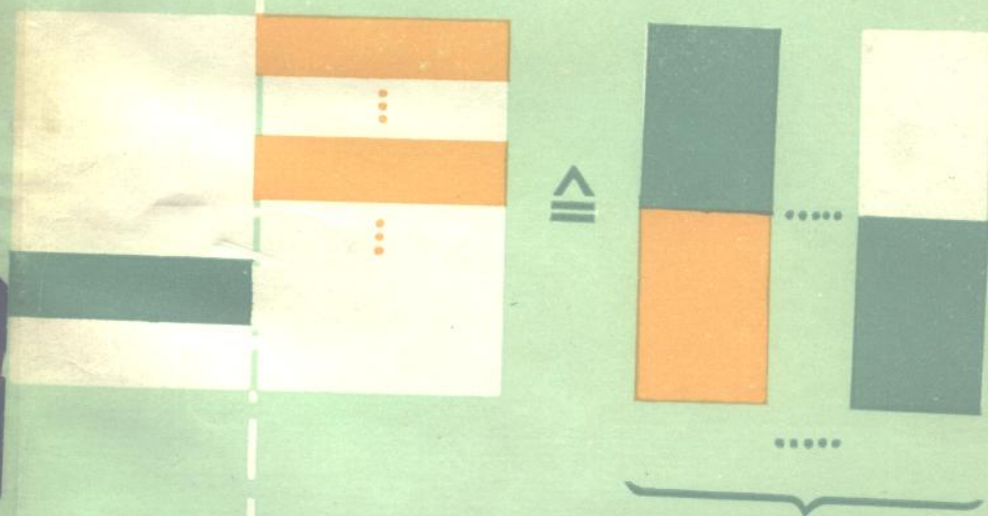


过程计算技术

〔联邦德国〕 G·费尔伯尔
煤炭工业出版社



过 程 计 算 技 术

〔联邦德国〕 G·费尔伯尔

黄贤容 译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书为慕尼黑工业大学教材，并作为《信息技术》丛书（第五卷）正式出版。它扼要地介绍了过程计算机的特点、体系结构和应用范围；系统地叙述了中央处理机、输入输出系统和过程外围等过程计算机硬件；详细地分析了实时操作系统的任务、组成部分和各种过程控制算法语言；并讨论了过程计算机系统可靠性的有关问题和系统设计方法。

本书可供高等院校自动控制专业师生参考，也可作为工矿企业电气技术人员学习计算机应用的入门读物。

责任编辑：李 秀 荣

JS460/17

Georg Färber

Prozeß-rechentechnik 第一版

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York 1979

过 程 计 算 技 术

〔联邦德国〕 G·费尔伯尔

黄贤容 译

*

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平北路16号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168¹/₃₂

印张 6³/₁₆

字数 162 千字

印数 1—10,220

1984年 8 月第 1 版

1984年 8 月第 1 次印刷

书号 15035·2644 定价 1.00 元

目 录

第一章 导言	1
第二章 过程自动化与过程计算机	3
2.1 过程计算机的特点	3
2.2 过程计算机的使用范围及实例	9
2.2.1 工业生产	10
2.2.2 能源技术	13
2.2.3 交通技术	14
2.2.4 实验室自动化	15
2.2.5 医疗领域	16
2.2.6 发展趋势	17
2.3 实时处理	18
2.4 程序和任务	23
第三章 过程计算机硬件	30
3.1 过程计算机的核心部件	30
3.1.1 数据类型及其表达方式	30
3.1.2 中央处理机的功能和任务	36
3.1.3 工作存储器接口	43
3.1.4 过程计算机的体系结构	48
3.1.5 中央处理机的特性	56
3.1.6 过程计算机实例	65
3.2 输入输出系统	71
3.2.1 输入输出通道和母线系统	71
3.2.2 程序控制的通道	74
3.2.3 外围设备的组织	78
3.2.4 程序中断系统	80
3.2.5 存储器直接存取通道	92
3.2.6 标准接口	97
3.3 过程计算机的数据外围设备	101

3.4 过程外围设备	103
3.4.1 数字输出设备	103
3.4.2 模拟输出设备	105
3.4.3 数字输入设备	108
3.4.4 模拟输入设备	112
3.4.5 实时时钟	124
3.4.6 过程敷设	126
3.5 可靠性和安全性	130
3.5.1 可用性和不可用性	130
3.5.2 提高可靠性的措施	137
3.5.3 关于安全性的看法	140
第四章 过程计算机软件	142
4.1 实时操作系统	142
4.1.1 实时操作系统的任务	142
4.1.2 简单实时操作系统的组成部分	148
4.1.3 操作系统的设计和应用举例	157
4.1.4 若干必要的扩充	164
4.1.5 磁盘实时操作系统	167
4.1.6 操作系统的附加功能	170
4.2 过程计算机语言	172
4.2.1 机器语言	172
4.2.2 汇编语言	172
4.2.3 带有实时扩展的面向过程的程序设计语言	176
4.2.4 过程程序设计语言	178
4.2.5 专用语言	181
第五章 过程计算机系统设计	185

第一章 导 言

早在本世纪六十年代初期，电子计算机就已经开始在工艺过程的控制上得到了应用：工艺过程有关参数经电子计算机收集并处理后，返回控制工艺本身。然而，由于当时计算机成本昂贵，加上早期计算机机型存在着一些技术上的缺陷，因此导致当时电子计算机在工艺过程控制方面的应用没有取得重大的进展。那时，为了实现计算机应用的经济性，必须使用同一台计算机去解决各种不同的应用领域的多种任务。这样，就造成设计和施工需要很长的时间。甚至出现这种情况：某些系统，开头以极大的热忱投入设计工作，结果到后来却根本无法实现，或者只是非常有限地利用电子计算机的部分功能。

现代技术的发展，特别是半导体技术的发展，从根本上打破了这种进退维谷的局面。目前，过程计算机硬件价格已经如此便宜，以致小型自动化项目采用过程计算机，在经济上已经是合理的。微处理机是以主要作为过程计算机使用为出发点来进行设计的。它的技术发展使得下列设想成为现实：一方面，原来由只有一台过程计算机的控制系统所承担的控制任务，现在由多台计算机来分担(分散的过程数据处理)；另一方面，利用微型过程计算机使得越来越小的工艺过程也成了自动化对象。今天，就连家庭中烧饭的电炉、缝纫机、洗衣机、电视机和录音机等都已经采用微处理机来控制了。因此，这种过程数据处理的原则方法已经得到了意想不到的广泛应用。人们可以有把握地期待，由于微处理机技术发展的影响，用不了很长时间，各生产部门的许多产品都将改变它们今天的面貌。

本书第二章讨论对过程计算机的特殊要求。正是这些特殊要求，使得早期计算机体系结构得到进一步地改善，从而逐渐地形成了今天这种功能很强的过程计算机系统。令人感兴趣的是：由于

过程计算机系统功能的增强，使它今天又挤入那些早先根本没有想到的市场。例如，商业上的小型系统（mittlere Datentechnik, MDT）就属于这方面的例子。对于此类系统，今天已提供大批成功的采用过程计算机的方案。另外，过程计算机所具有的特性，使它特别适合于用来解决数据远方处理领域的各项任务。

本书首先试图阐明过程计算机某些专门的特征，并借助若干具体例子说明它的应用范围（第二章）。接着，采取从中央处理机的体系结构出发，通过输入和输出系统，进而描述过程外围设备的方法，来介绍过程计算机的硬件（第三章）；过程计算机软件将在第四章讨论：开始先介绍实时操作系统的任务和实现的可能性，接着讲述用来表述各种过程控制算法的过程语言；本书最后一章将讨论过程计算机系统设计有关问题。

第二章 过程自动化与过程计算机

2.1 过程计算机的特点

本节任务是说明过程计算机具有哪些特点，即与其他数据处理装置的区别。归纳起来，过程计算机有四大特点。下面将通过具体例子来加以说明。

(一) 直接连接的工作方式

过程计算机的数据输入，不但可以用手工操作方式或者借助数据载体（如穿孔纸带或穿孔卡片），而且还可以通过把过程计算机直接接到工艺过程和工艺过程所属设备上来实现。过程计算机的数据输出也可以采用类似方法，即除了通常的打印机或者屏幕输出外，控制指令也可以直接输出到工艺过程。这种直接连接的方式也称为“在线”（Online）连接。下面通过三个方面的实例来说明这个特点。

1. 数据收集实例

图1表示离线数据收集的典型状况。首先，仪表监视人员必须在规定的时间内反复地读出一个或多个测量仪表的数值，并把这些数值记录在有关表格上。接着，这些数值要存放到数据载体上：比如，在穿孔卡片上，进行穿孔。然后，输入到通用的数据处理装置进行处理，得出计算结果并获得测量结果的记录。

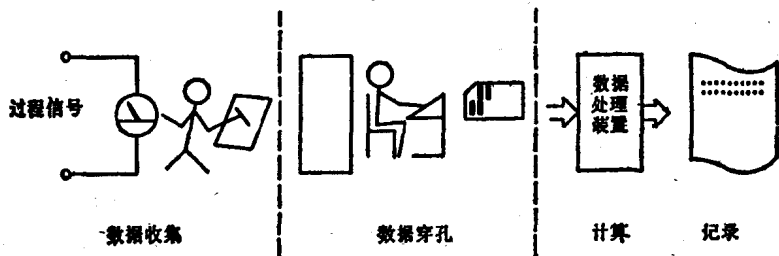


图1 离线数据收集过程

这种方法致命缺点在于：一方面，数据收集需要大量人力（这个自然可以通过采用测量值自动地传输到数据载体的方法加以减少）；另一方面，从读出测量值到算出结果需要很长时间。此外，测量数据收集的速度和范围自然就都受到极大地限制。

采用过程计算机时，就可以把测量仪表所提供的信号直接地，也就是说，在线地输入计算机、转换成计算机所能识别的信息并立即计算出结果。这样，运行费用大大减少，而且计算结果大大提前可供使用（见图2）。

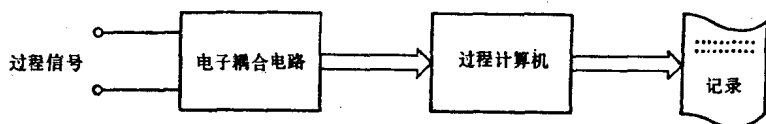


图2 在线数据收集过程

有关在线数据收集的必要性和优点，通过下面两个例子将看得一清二楚：

(1) 在神经生理学的科研工作中，要进行这样的试验：用极小的微电极引出单个神经细胞的电讯号，即神经脉冲；根据神经脉冲的统计规律以及他们在时间上的出现顺序，可以推断出所测神经细胞的功能。在这个科研领域未采用过程计算机之前，这些神经脉冲必须放在示波器的荧光屏上来加以观察。借助荧光屏上的刻度测出这些脉冲的空间间隔，然后换算成时间间隔。神经脉冲的中等速率为每秒50个。因此，一分钟内就必须如此费劲地去收集3000个测量值。但是，一个神经细胞往往需要观察几个小时，才有可能获得重要的信息。由此可见，在未采用过程计算机之前，计算时间就成为开展这项科研工作的重要限制因素。今天，神经脉冲可以由过程计算机直接读出，试验的同时，相应的信号统计数据已经可以提供给实验者进行判断使用。这仅是一个例子，类似的实验很多。在这类实验中，如今，过程计算机已经被看成是缩短试验时间的标准仪器。

(2) 破坏性试验又是一个突出的例子。比如, 在研制汽车时, 就要进行这种破坏性试验 (即安全性能试验)。当真正破坏的那一瞬间, 也就是在那紧急刹车, 或者说猛撞的那一瞬间, 大约一秒钟内就产生50万个测量数据。要收集这些数据, 并能如此迅速提供计算结果, 使它有可能用于下一次试验, 唯一的方法就是应用直接连接的过程计算机。

2. 控制方面实例

以往, 数控机床是这样工作的: 要在数控机床上加工的工件, 它的几何尺寸数据要输入到数据处理装置。这些数据要被转换成机床的单个控制指令 (比如数字轨迹控制)。这些控制指令要在穿孔纸带上进行穿孔。机床的穿孔纸带阅读器读出穿孔纸带上的控制指令并把它们离线地交给机床的各单个机组 (见图3)。采取这种方法时, 人们再也不能在机床旁修改控制程序。工件的细微修正都必须重新经过数据处理装置处理。也就是说, 每次修改, 哪怕是极细微的修正, 都必须与需要很长时间的穿孔纸带重新制作工作连在一起。

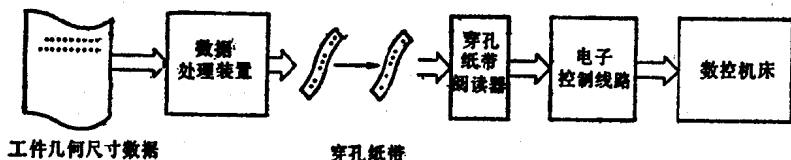


图 3 离线控制过程

现在, 采用过程计算机的在线连接时, 计算机就直接放在机床旁边, 负责接收工件的几何尺寸数据, 并把这些数据转换成机床的控制指令。这些控制指令通过电子耦合线路直接输到机床的控制部分 (见图4)。这时, 几何尺寸数据的修改就有可能不必花费大量时间去制作新的穿孔纸带。

3. 闭环系统实例

在上述两个简单的开环系统 (Open loop-Systeme) 的例子

中，过程计算机的应用带来了节省时间和费用等显著优点。而复杂的闭环系统（Closed loop-Systeme，闭环系统。它由数据收集、控制指令制订和控制操作组成），如果不利用过程计算机的在线特性，则无法实现。为了说明这个问题，让我们还是利用数控机床作例子。数控机床的闭环系统，除了具备前面讲过的机床控制各种功能外，还必须具备下列功能：对工件和/或工具进行测量，对几何尺寸数据的给定值和实测值进行比较，控制指令将根据比较结果来决定，然后输给机床的控制部分（见图5）。因此，闭环系统具备了开环系统所不可能具备的准确度高和对工具磨损及其他干扰不敏感的优点。它就是一个数字调节系统。

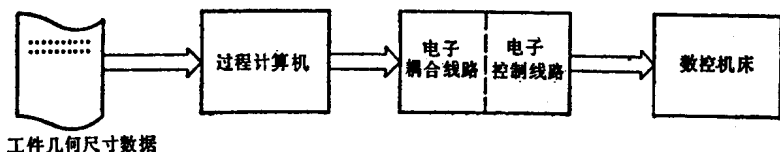


图4 在线控制过程

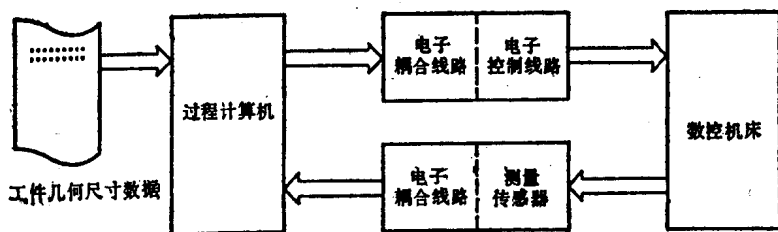


图5 闭环系统控制

（二）实时的工作方式

我们知道，在一个计算中心，某算题什么时候结束，这个问题并不是那么重要。可是，在过程计算机应用中，某些任务对时间条件的要求却是非常严格的。这里，在处理速度和反应时间方

面，必须满足一些特殊要求：计算机必须能够与由它进行采样和控制的工艺过程保持同步（请参阅第二章第三节）。

当然，不属于过程计算机系统的其他数据处理系统，也有实时的要求。特别是购票和预订票系统（例如预订飞机票），在回答时间方面，必须遵守相当严格的时间条件。然而，一般情况下，这些时间条件都是在若干秒的数量级。而在过程计算机系统中，回答时间却要求在毫秒或者甚至微秒范围内。

在上述的数控机床中，过程计算机完成下列任务所需要的时间，必须小于被调节对象的时间常数，否则就不能实现最佳化的反馈控制：

- (1) 几何尺寸的测定并转换成数字信号；
- (2) 有关工艺参数的收集；
- (3) 对所收集的参数进行加工；
- (4) 输出加工结果并转换成过程信号；
- (5) 对机床实行控制。

运输系统的道岔控制方案（见图6），是实时工作的又一个例子。在道岔前方设有一个阅读器，它能够读出运输容器上所贴

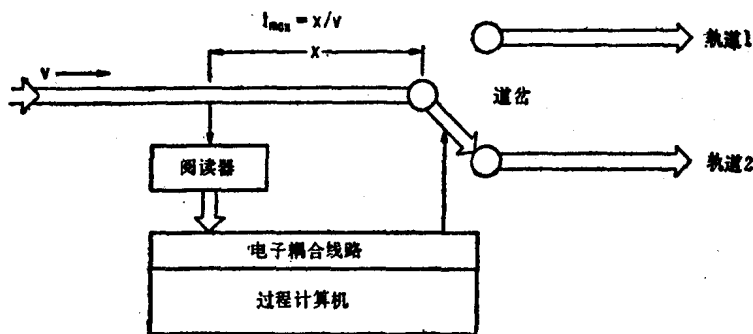


图6 道岔控制的实时条件

标志的内容。这个标志说明运输容器要运到的终点地址。过程计算机从阅读器那里接到标志词后，由此决定道岔的位置，并产生

相应的控制信号。

过程计算机的反应时间必须小于由距离 x 和运输速度 v 所决定的时间, 即 $t_{\max} = x/v$, 否则道岔位置就可能不处在正确的开通方向。由于此类运输系统可以是传递邮件的管道吸压系统, 也可以是铁路系统或者是医院中的容器运输系统, 因此速度 v 的变化范围很大。这就决定了对过程计算机实时条件的各种不同的要求。

过程计算机的硬件和软件都具有同时监视和控制多个过程的能力。直接数字控制 (DDC) 可以作为这方面的例子。在直接数字控制中, 过程计算机取代了众多控制回路里的控制器的作用。过程计算机可以控制几百个控制回路。这些控制回路必须循环反复地执行下列任务:

- (1) 取得测量值 (实际数值测量);
- (2) 根据规定的调节算法进行处理。必要时, 这个调节算法将通过一个上级程序使之最佳化;
- (3) 调节器的控制。

与上述道岔控制时的情况一样, 相对于控制回路的时间常数来说, 这个循环必须足够迅速地执行。如果一台过程计算机控制多个 (部分) 过程, 那末其中每一个部分过程的实时关系都必须能够得到保证。过程计算机要承担的任务, 通常并不象上述直接数字控制那样, 是解决许多相同部分过程自动化问题, 它要解决的是一个工艺过程中出现的各种各样的问题。

(三) 通过有关工艺进程进行控制

在所有现代的先进计算机系统中, 都是多个任务伪同时地排队等待处理。我们知道, 在传统的数据处理装置中, 是通过操作者来负责计算机 (和其他设备) 的分配的; 而在过程计算机中, 单个程序的运行则是由工艺过程中本身的有关进程所引起的。这时, 实时操作系统 (参阅第四章第一节) 承担如下任务: 根据多个 (几乎) 同时排队等待处理的任务的重要性 (即优先级), 在规定的允许时间范围内, 分别先后进行处理。

(四) 对安全可靠性方面的要求十分严格

我们知道,对大多数数据处理装置来说,一天中有一至二小时不能工作(例如,作为预防性的检修)是允许的;然而,对于过程计算机来说,却是经常要求一天二十四个小时不间断地工作。由于整个工艺过程的生产设备都是由过程计算机来控制,因此,一旦过程计算机出故障,将导致整个生产过程的崩溃。另外,过程计算机越来越多地被应用于这样一些生产领域:在这些生产领域中,如果过程计算机出故障,将会出现十分危险的情况(例如,在核电站或者大型化工装置)。过程计算机应用于医疗领域时,例如,当肩负监视病人任务的计算机出故障,这种危险性就更加明显了。这些对安全可靠性方面的严格要求,对于过程计算机硬件和软件的研制有重大影响。我们将在第三章第五节对若干有关提高安全可靠性方面的措施进行深入讨论。

“过程计算机”(Prozeßrechner)这个名称之所以被采用,是因为这种类型计算机主要用于“工艺过程自动化”。这里所谓的“工艺过程”,包含相当广泛的内容,例如生物学和医学的过程也属于“工艺过程”。“Prozeßrechner”(过程计算机)这个概念仅在德语中被使用。它可归于英语中所通行的“小型计算机”(Minicomputer)这个总名称之中。

联邦德国工业标准(66201)中,对“过程”(Prozeß)这个概念做了如下的定义:“物质、能量和/或信息的转换和/或传送。工艺过程是这样一种过程,它的参量能够借助技术手段进行测量、控制和/或调节”。

过程计算机就是用来实现工艺过程中测量、控制和调节自动化的。

2.2 过程计算机的使用范围及实例

本节首先通过工艺过程若干应用实例来概括介绍过程计算机不同的应用领域。然后试图展望一下过程计算技术今后的发展趋势及其前景。

人们可以根据不同的观点来进行工艺过程的分类：

- (1) 根据过程的时间进程种类：连续过程或非连续过程；
- (2) 根据被转换量或被传送量的种类：物质、能量或信息；
- (3) 根据应用领域：工艺、制造、运输、测量和检验；
- (4) 根据过程变量的种类：具有连续值域的物理量（流水过程）、二进制的信息单元（顺序过程）、能按单件物体来划分的信息单元（物件过程）。

由于绝大多数过程不可能被明确地划分为上述分类标准中的某一种，也由于通常总是利用过程计算机控制多种类型的过程，因此，我们认为根据具体使用范围，而不是根据某一结构特征来分类举例说明，似乎更加合理些。

2.2.1 工业生产

如今，过程计算机已经在工业生产所有领域得到了应用。第二章第一节所举的例子都属于这个领域中的应用。下面我们再举若干例子，使读者对过程计算机应用的广泛性有个概括的了解。

1. 造纸机的控制

过程计算机的任务是：数据收集、干扰监视、电力系统二次控制回路给定值的预先给定以及生产过程有关技术数据的记录和生产过程最佳化。

2. 轧钢机的控制

过程计算机对轧件的强度、温度和速度进行测定并监视其变化情况。根据温度及对轧件质量和强度等方面的要求，对轧件及轧件的速度进行最佳化调节。此外，过程计算机还肩负整个装置干扰监视的任务。

3. 高炉炼铁自动化

除了所有重要参数集中收集和寄存、迅速计算出结果和测量值监视之外，高炉生产自动化的目标首先在于提高高炉生产能力。为此要进行工艺过程的动态分析，并据此求出工艺过程控制最佳方案，返回控制工艺过程。所有这些都是过程计算机的任务。

4. 水泥厂自动化

这里使用过程计算机的目的在于：实现水泥各种成分配比的最佳化。根据水泥合成成分的分析，能够合理控制各种成分输入量。

5. 炼油厂自动化

过程计算机用于监视各类生产设备并实现工艺过程状态最佳化。

• 6. 化工工艺

化工工艺的控制往往采用直接数字调节（DDC）。这是因为它往往涉及到这样一些调节回路：被调节对象相当复杂，而反应速度十分缓慢。

7. 运输提升技术方面的任务

过程计算机承担运输器的监视和控制任务，比如在工厂装配线上，或在医院里的运输系统，或在飞机场行李服务部以及在邮政部门。

8. 仓库货架管理控制

这里过程计算机除负责运输器的控制和监视外，应使物品入仓和出仓路线最佳化。

9. 机床的控制

我们在第二章第一节已经讲过过程计算机在机床控制上的应用。当前，机床控制使用过程计算机的重要性，正与日俱增。这可以从缩写词DNC（Direct Numeric Control 直接数字控制）和缩写词CNC（Computer Numeric Control 计算机数字控制）的出现得到证明。

10. 纺织机械的控制

众所周知，纺织机械是属于最早实现自动控制的机械（Jacquard-Webmaschinen）。现代纺织机械，比如Rundstrickmaschinen，是采用过程计算机控制的。这样，已经可以做到一次完成从图案样品到成品的整个生产过程（把图案光扫描得到的信息，转换成机器指令，去控制纺织机械）。

11. 有关运行数据的收集

这里过程计算机的任务是生产设备运行故障的监视、数据直接收集（例如由秤输出的数据）或者直接来自生产线的件数收集。过程计算机接有运行数据收集终端。数据收集终端，一方面承担数据的直接收集和控制任务；另一方面负责与操作人员进行通讯联系。单一产品从开始直至装配的整个生产过程跟踪是个令人感兴趣的例子。不合格产品可以沿着它的生产流程返回跟踪检查，由此找出生产装置的薄弱环节。

运行数据收集往往与生产控制联系在一起。在这种情况下，比如，就有可能提出多个生产委托供操作人员选择。这样，管理人员的决定权将得到扩大。然而，过程计算机的生产控制，绝不仅仅是生产组织者的辅助手段。例如，在生产铝合金过程中，过程计算机选出正确的配方（和含有这种配方的容器），对炼出来的合金进行分析，并且根据加料计算，通过加进新成分，对配方进行合理调整。这种采用过程计算机的运行数据收集和生控制，在未来的年代，将越来越显示其重要性。

12. 质量检查

目前，质量检查越来越多地采用过程计算机。利用声学原理的质量检查是这方面的一个很有趣的例子。例如，一台正常运转的柴油机将产生一定的噪音频谱。一旦出现机器噪音频谱异常，就预示着机器短期内将出现故障。一台装在柴油机上的微型过程计算机能够及时发现这些潜在故障并引起相应的预防性维修，使潜在故障及时地得到排除。同样，这种过程计算机控制的利用声学原理的质量检查，对于纺织图案的监视，或者薄膜和薄板外表面的监视，都具有重要意义。

13. 检验设备自动化

用于产品的中间检查和最后检查的设备，越来越多地采用过程计算机控制。检验设备装有检查程序，合格产品顺利通过生产线；产品有缺陷时，能自动找出原因（Check out-Systeme）。

14. 材料试验