

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

高等学校教材
计算机科学与技术

计算机控制

——基于MATLAB实现

肖诗松 刘明 刘时进 朱长武 编著

清华大学出版社



高等学校教材
计算机科学与技术

计算机控制 ——基于MATLAB实现

肖诗松 刘明 刘时进 朱长武 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 MATLAB 为工具,对计算机控制系统的数学描述、变换、稳定性、性能、综合方法、可控性及可观测性进行了系统的讨论。本书共分 7 章。第 1 章绪论,除对计算机控制技术概念的简单论述外,还着重阐述了 I/O 通道在计算机控制系统中的地位和数学模型。第 2 章介绍了对计算机控制系统中数字信号进行分析所必需的基础数学方法。有些电信类专业的同学,如已经具备第 1、2 章的知识,可以从第 3 章开始学习。第 3 章对线性离散系统的数学描述作了介绍,其中,重点介绍了 Z 变换的相关知识。第 4 章分析了线性离散系统的稳定性和性能准则,并讨论了如何评价系统等。第 5 章和第 6 章,结合具体的实例,从不同的角度对计算机控制系统的综合与设计方法进行了探讨。第 7 章对计算机控制系统的可控性与可观测性的判据作了介绍。

本书是一本计算机控制技术、计算机控制理论与 MATLAB 工具软件相结合的、理论联系实践的教材,适用于计算机控制及计算机应用专业的本科生和研究生,也可供广大从事计算机控制和计算机应用的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制——基于 MATLAB 实现/肖诗松等编著. —北京:清华大学出版社,2006.12
(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 7-302-13780-3

I. 计… II. 肖… III. ①计算机控制—高等学校—教材 ②计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. ①TP273 ②TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 106643 号

责任编辑:魏江江 孙建春

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14 字 数:344 千字

版 次:2006 年 12 月第 1 版 印 次:2006 年 12 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13780-3/TP·8286

印 数:1~4000

定 价:21.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020596-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授
章 征 教授
王建民 教授
刘 强 副教授
冯建华 副教授

北京大学

杨冬青 教授
陈 钟 教授
陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授
吴超英 副教授
姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授
孟小峰 教授
陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授
吴百锋 教授
杨卫东 副教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

东华大学

乐嘉锦 教授

上海第二工业大学

蒋川群 教授

浙江大学

吴朝晖 教授

李善平 教授

南京大学

骆 斌 教授

南京航空航天大学

秦小麟 教授

南京理工大学

张功萱 教授

南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	副教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 侬	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: dingl@tup. tsinghua. edu. cn

随着计算机应用的深入,人们已不满足于计算机的简单应用了,希望有一套成熟而通用的理论和相应的软件工具,来解决众多具体的应用和控制问题。

得益于清华大学计算机系刘植桢教授、石纯一教授和孙增圻教授对原清华大学电子工程系“控七”班的教诲,本书作者通过 25 年的计算机控制与应用类课程的教学和计算机控制方向研究,针对目前信息类和计算机应用及控制类本科生与研究生的知识结构特点,结合 MATLAB 工具软件,对计算机控制的基本理论与技术知识进行了筛选整理,以求使那些已具有一定计算机应用基础的同学,借助于 MATLAB 工具软件,有一个理论上和解决这些理论问题能力上的提高。

借助于 MATLAB 工具软件研究计算机控制理论是本书的特点之一。在每个章节的理论推导中,总是尽可能地提供一个基于 MATLAB 工具软件的解决方案,使读者可以亲手实践,通过 MATLAB 工具软件对问题的分析研究,加深对计算机控制理论的理解,达到举一反三、触类旁通的目的。

本书还有一个特点是通过对计算机控制技术和理论的知识筛选,将那些同学们已掌握的知识作出简要的和概念上的说明,而对那些具有本质意义的知识结合 MATLAB 进行详实的说明,这样做无疑会节约大量的时间。

从本书的内容看,在系统覆盖计算机控制知识的同时,特别注重了 MATLAB 工具软件的同步应用,这是本书不同于那些只将 MATLAB 的命令作出简单翻译的书籍的另一特点。当然,在 MATLAB 的应用,尤其是在符号运算方面还有待进一步完善。殷切希望广大师生和专家学者不吝赐教。

为进一步加深对知识的理解,每章后面均附有习题,本书的附录部分附有答案,可以作为学习的参考。

本书是一本计算机控制理论与 MATLAB 工具软件相结合的、有理论、有实践的教材。如果说通过学习,同学们能在计算机控制问题及对这些问题的解决方法上得到帮助和启发的话,笔者将十分欣慰。

本教材知识的系统化方法及部分公式图表沿用了刘植桢、郭木河、何克忠编著的《计算机控制》的内容,特此说明。希望原作者与我们联系并给予指导。在此,谨代表本书所有参

编人员表示感谢。

本书编委委员还有:叶俊民、刘军波、陈怡、彭熙和储丽霞等,感谢他们为本书提出的指导性建议和意见。在本教材的编辑过程中,华中师范大学计算机科学系硕士生王楷、赵锦元和熊磊及部分本科生付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

由于计算机控制技术与理论在不断发展,加上作者水平有限,书中缺点、错误和疏漏之处在所难免,希望广大师生和专家学者批评指正,我们一定虚心接受,以期本教材不断完善。

编者

2006年8月

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统	1
1.1.1 计算机控制系统的概念	1
1.1.2 计算机控制系统的结构、组成及其典型形式	2
1.1.3 计算机控制系统的发展	3
1.2 工业控制机简介	4
1.3 输入输出接口与过程通道	5
1.3.1 数字量输入输出通道	5
1.3.2 模拟量输入输出通道	6
1.4 关于 MATLAB 工具软件	15
习题	15
第 2 章 数字信号分析基础	16
2.1 傅里叶级数和傅里叶变换	16
2.1.1 傅里叶级数	16
2.1.2 傅里叶变换的基本公式	18
2.1.3 傅里叶变换的性质	18
2.1.4 常用傅里叶变换对	22
2.2 脉冲函数 $\delta(t)$	23
2.3 卷积与相关	27
2.3.1 定义	27
2.3.2 卷积定理	31
2.3.3 相关定理	33
2.3.4 包含脉冲函数 $\delta(t)$ 的卷积	33
2.4 采样定理	35
2.5 离散傅里叶变换	37
2.5.1 提出问题	37

2.5.2	离散傅里叶变换是(连续)傅里叶变换的发展	37
2.5.3	离散傅里叶变换对的定义	40
2.5.4	离散卷积与离散相关	42
2.5.5	离散傅里叶变换的性质	43
2.6	快速傅里叶变换(FFT)	44
2.6.1	概述	44
2.6.2	FFT 算法步骤	45
2.6.3	MATLAB 中与 FFT 相关的函数	47
2.7	沃尔什变换	49
2.7.1	沃尔什函数	49
2.7.2	离散沃尔什函数的表示法	49
2.7.3	沃尔什函数的一些性质	51
2.7.4	沃尔什级数	52
2.7.5	沃尔什变换(WT)	53
习题		54
第3章	线性离散系统的数学描述	55
3.1	线性位移不变系统	55
3.2	线性常系数差分方程	56
3.3	Z 变换	58
3.3.1	Z 变换定义	58
3.3.2	Z 变换的基本性质和基本定理	61
3.3.3	Z 反变换	65
3.3.4	Z 变换与拉氏变换的对比	70
3.4	用 Z 变换求解差分方程	72
3.5	Z 传递函数	74
3.5.1	传递函数的定义	74
3.5.2	传递函数的模型	75
3.6	改进 Z 变换	80
3.7	离散状态空间表达式	84
3.7.1	状态变量和状态空间表达式	84
3.7.2	离散状态空间表达式的建立	85
3.7.3	化系统的 Z 传递函数为离散状态空间表达式	89
3.7.4	离散系统的特征方程式	101
3.8	离散系统的传递矩阵	103
3.9	离散状态方程的求解	105
3.10	计算机控制系统的状态空间表达式	107
习题		110

第 4 章 线性离散系统的稳定性和性能准则	112
4.1 Z 域分析法	112
4.1.1 稳定域	112
4.1.2 代数判据的推广	114
4.1.3 Nyquist 判据的推广	115
4.1.4 Z 平面上极点分布与冲激响应的关系	117
4.1.5 根轨迹法	119
4.2 时域分析法	119
4.3 T 、 K 对离散系统稳定性的影响	123
4.4 多回路不同采样周期的离散系统的稳定性分析	126
4.4.1 单变量多回路系统	126
4.4.2 多变量、多回路系统	131
4.5 性能准则和最佳化概念	133
4.5.1 静态误差	133
4.5.2 误差级数和动态误差系数	136
4.5.3 误差准则与最佳化概念	137
习题	140
第 5 章 模拟化综合与设计	141
5.1 概述	141
5.1.1 离散化分析	141
5.1.2 模拟化分析	143
5.2 计算机控制系统对计算机系统的要求	144
5.3 PID 调节数字化	145
5.4 数字滤波器法	148
5.4.1 数字滤波器的频率特性	149
5.4.2 冲激不变法设计数字滤波器	152
5.4.3 双线性变换法设计数字滤波器	155
5.5 对采样周期 T 的讨论	159
习题	160
第 6 章 离散化综合与设计	161
6.1 最少拍随动系统的设计	161
6.1.1 设计方法	161
6.1.2 零点、极点分布与最少拍设计	166
6.1.3 连续部分的饱和特性对采样频率的限制	170
6.1.4 最少拍随动系统的缺点	171
6.2 最少拍无纹波随动系统的设计	171

6.3 多变量随动系统的最少拍无纹波设计	176
6.3.1 在阶跃输入作用下的单变量系统	176
6.3.2 在单位速度输入作用下的单变量系统	179
6.3.3 在单位阶跃输入作用下的多变量系统	180
6.4 最小均方误差系统的设计	183
6.5 最小能量控制系统的设计	185
6.6 按二次型性能指标的设计方法	188
6.7 对象具有纯延迟的计算机控制系统的设计	191
6.7.1 大林算法	191
6.7.2 振铃现象及消除方法	195
习题	196
第7章 连续 LTI 系统的能控性和能观测性	197
7.1 概念	197
7.2 能控性的提法	198
7.3 连续 LTI 系统完全能控的判据的两种形式	199
7.4 能观测性的提法	202
7.5 连续 LTI 系统完全能观的判据的两种形式	203
习题	205
参考文献	208

绪 论

随着微电子科学技术的不断发展,基于计算机(网络)的控制理论与技术不断更新,其应用也更加普及。为了使读者对计算机控制的相关概念有一个基本的了解,本章首先对计算机控制系统的定义、结构、组成、典型形式及发展、工业控制机的组成结构及特点和输入输出接口与过程通道的有关概念作简要的阐述;并对计算机控制理论及其关键环节的物理意义进行介绍;最后简要说明工具软件 MATLAB 在计算机控制系统分析与设计中的作用。

1.1 计算机控制系统

随着计算机控制理论与技术在诸多领域广泛地应用,计算机已经成为计算机控制系统的重要组成部分。了解计算机控制系统的有关概念,有助于读者对计算机控制理论与技术的理解。

1.1.1 计算机控制系统的概念

计算机控制系统就是利用计算机(通常称为工业控制计算机,简称工控机)来实现对生产过程自动控制的系统。在计算机控制系统中,计算机主要有以下作用:

1. 取代常规控制中的众多仪表

计算机可取代常规控制中的众多仪表,实现控制所需的检测、校正与控制功能,系统可塑性好,集成度高。如采用嵌入式控制,则可进一步提高系统的集成度。

2. 具有快速而强大的计算功能

利用计算机快速而强大的计算功能,实现常规控制所不能胜任的、更全面和更复杂的控制策略,例如:

- 解耦控制 即对几个相互关联的控制系统进行处理,使之成为互不制约的独立系统。
- 优化控制或最优控制 即按指定目标的最大(或最小)值进行最合理的控制。这里的目标可能是以下的要求之一或者是它们的组合后的折衷指标,即系统的响应与希

望值的误差最小,能量消耗最小,产量最大和成本最低等。

自适应控制 即在控制的过程中,逐步完善控制对象的数学模型,使控制系统具有适应不同被控对象的能力。这种控制策略常用于一些特殊的情况,例如,在控制的开始阶段对被控对象的数学模型了解得不多,甚至系统的参数与阶数是随时间变化的情况。

当然,除上述几种策略,计算机还可以用其他的策略实施控制。

1.1.2 计算机控制系统的结构、组成及其典型形式

1. 计算机控制系统的结构

计算机控制系统的结构可以概括为三个部分。

- **实时数据采集** 及时而不失真地获取受控对象的即时状态,作为控制决策的依据;
- **实时控制决策** 根据对象状态与其数学模型以及预期达到的控制目标,及时计算出下一拍控制器应给出的控制;
- **实时控制输出** 将计算的控制量以受控对象易于接受的形式及时输出给受控对象,实施控制。

一般来说,要控制好一个对象,在实施控制之前就要了解对象的数学模型及其有关行为特征。当然,也可以边了解完善对象的数学模型边实施控制,即采用在线辨识控制策略或自适应控制策略,经过若干拍了解完善和控制后,对象的状态就可逐步接近所要求的状态。

要组成计算机控制系统,要掌握几个相关概念。

(1) 联机方式和脱机方式

- **联机方式** 生产过程与计算机直接连接,并受计算机的控制。
- **脱机方式** 生产过程不与计算机直接相连,且不受计算机直接控制,而是靠人工,根据计算机的计算结果做相应的操作。

本书主要讨论联机方式。

(2) 实时性

实时就是要求信号的采集输入、计算和输出都要在所规定的时间范围(控制周期或采样周期)内完成。这就要求计算机根据即时输入的信息,以足够快的速度去计算并实施控制,如果超出了这个限定的时间,计算机的计算结果就是错误的,就失去了控制的时机,控制也就失去了及时性和准确性。

2. 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由工业控制机(计算机)和生产过程(对象)两大部分组成。工业控制机是指按生产过程控制的特点和要求而设计的计算机,它包括硬件和软件两部分。有关工业控制机的组成结构及特点将在本章后面的小节中进行介绍。生产过程要根据具体的生产情况而定,一般而言,生产过程包括被控对象、测量变送、执行机构和电气开关等装置。

3. 计算机控制系统的典型形式

计算机控制系统所采取的具体形式是与它所控制的具体生产过程密切相关的,不同的

被控对象对控制系统有不同的要求。因此,计算机控制系统也应该有不同的控制方案。一般而言,计算机控制系统有如下几种典型的实现形式。

(1) 操作指控系统

操作指控系统属于开环控制系统。其优点是结构简单,控制灵活,运行安全。缺点是要求人工操作,因而速度受到限制,一般不能同时控制多个对象。

(2) 直接数字控制系统

直接数字控制系统一般设计成闭环控制系统。其特点是计算机直接承担控制任务,完成前述的实时数据采集、实时控制决策及实时控制输出。因而,要求实时性好、可靠性高和可塑性强。

(3) 监督控制系统

监督控制系统有两种不同的形式:一种是监督控制系统加上模拟调节器的控制系统,该系统是由微型机系统对各物理量进行巡回检测,并按一定的数学模型对生产工况进行分析,计算后得出控制对象各参数最优给定值送给调节器,使工况保持在最佳状态;另一种是监督控制系统加上直接数字控制系统的分级控制系统,该系统实际上是一个二级控制系统,当直接数字控制系统工控机出现故障时,可由监督控制系统工控机完成直接数字控制系统的控制功能,因而提高了系统的可靠性。

(4) 分散型控制系统

分散型控制系统采用分散控制、集中控制、分级管理、分级自治和综合协调的设计原则,可以把系统从上到下分为综合信息管理级、集中操作控制级和分散过程控制级的树型结构,形成分级分布式控制。这与 Internet 中的域的概念相似。

(5) 现场总线控制系统

现场总线控制系统是新一代分布式控制结构,它用两层结构完成了分散型控制系统的三层结构功能,因而降低了成本,提高了可靠性。

1.1.3 计算机控制系统的发展

1. 计算机控制系统的发展过程

从控制的具体策略看,计算机控制系统的发展过程可概括为开环控制、闭环控制、最优控制、鲁棒(抗干扰)控制、系统辨识与自适应控制及自学习等。涉及到的基本理论与方法有采样定理、差分方程、Z 变换、状态空间理论和系统校正与综合等。其中有些基本理论在本书的相关章节中将会进行详细论述。

2. 计算机控制系统的发展趋势

计算机控制理论与技术的快速发展,使得计算机控制系统正向信息化、智能化和嵌入式方向迈进。主要的分支有自适应控制、模糊控制、神经网络控制、基于知识的控制或专家控制、自学习控制等。当然,它们也可以是基于计算机网络的远程控制,有的已进入实际应用阶段。

1.2 工业控制机简介

计算机控制系统是利用工业控制机来实现生产过程的控制。因此,工业控制机是计算机控制系统中最重要的设备,被用于工业控制对象的实时控制和工厂、企业的信息管理。下面对工业控制机的组成、功能及其特点做简要介绍。

1. 工业控制机的组成

一般来说,工业控制机由硬件和软件两部分组成。

(1) 工业控制机的硬件组成

工业控制机的硬件包括主机(CPU、RAM、ROM)板、内部总线、外部总线、人-机接口、系统支持板、磁盘系统、通信接口和输入输出通道。

(2) 工业控制机的软件组成

软件是工业控制机的程序系统,它可以分为系统软件、支持软件和应用软件三部分。

(3) 工业控制机的总线结构

工业控制机的总线包括内部总线和外部总线。内部总线就是指计算机内部功能模板之间进行通信的总线,它是构成完整计算机系统的内部信息枢纽。而不同型号的计算机有其自身的内部总线。外部总线是指计算机与计算机之间或计算机与其他智能设备之间进行通信的连线。常用的外部总线有 IEEE 488 并行总线、RS-232C 串行总线、USB 2.0 和 IEEE 1394 等。

2. 工业控制机的主要功能

(1) 巡回检测 and 数据处理

对过程物理参数周期性地或随机地进行测量显示、打印记录,对于间接指标或参数进行计算处理。

(2) 顺序控制和数值控制

对复杂的生产过程可按一定的顺序进行启、停、开、关等操作,或对工件加工的尺寸进行精密数值控制。

(3) 操作指导

对生产过程进行测量,根据测量结果与预期目标作出比较判断,决定下一步应该怎样改变生产进程,将这种决定打印或显示出来供操作人员执行或参考。

(4) 直接数字控制

对生产过程直接进行反馈或前馈控制,代替常规的自动调节器和控制装置。如果采用分时形式,一台工业控制计算机可以同时控制众多的生产环节。

(5) 监督控制

对生产过程不进行直接控制,只监督生产过程的进行,根据生产过程的状态、环境和原料等因素,按照过程的数字模型(或控制算法)计算出最优状况或当时应采取的控制措施,把这种措施交给在现场起直接控制作用的计算机或常规控制仪表执行(整定其给定值)。

(6) 工厂管理或调度

对车间或全厂的自动生产线及生产过程进行调度管理。