

国家863高技术研究发展计划项目(2002AA414610)支持

黄肖玲 著

Process
Industry
Manufacturing
Execution
System

MES

智能选矿制造执行系统

Process
Industry
Manufacturing
Execution
System

辽宁大学出版社

国家863高技术研究发展计划项目(2002AA414610)支持

黄肖玲 著

MES

智能选矿制造执行系统

Process
Industry
Manufacturing
Execution
System

辽宁大学出版社

© 黄肖玲 2006

图书在版编目(CIP)数据

智能选矿制造执行系统/黄肖玲著. —沈阳:辽宁大学出版社,2006.4

ISBN 7—5610—5087—9

I. 智... II. 黄... III. 智能—计算机管理系统—系统开发 IV.
TD928. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 034530 号

出版者: 辽宁大学出版社

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印刷者: 沈阳市第六印刷厂

发行者: 辽宁大学出版社

幅面尺寸: 170mm×228mm

印 张: 11.25

字 数: 220 千字

出版时间: 2006 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2006 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 马 静

封面设计: 邹本忠

责任校对: 芦义展

定 价: 20.00 元



作者简介

黄肖玲 工学博士，副教授，硕士研究生导师。现辽宁大学信息科学与技术学院任教，主讲“移动通信”、“物流与供应链管理”、“汇编语言与程序设计”、“微型计算机技术与应用”等门课程。近年来在国内、外主要学术期刊和会议上发表中、英文学术论文20多篇，其中被SCI/EI检索10余篇。

目前，主要研究方向为流程工业制造执行系统（MES）、生产计划与调度、智能优化方法、通信与计算机网络等。

E-mail: Hxiao0@yahoo.com.cn

前 言

制造执行系统 (Manufacturing Execution Systems, MES) 是制造过程的计算机在线管理系统, 处于计划、执行和控制三层结构的制造企业中的中间执行层, 是制造业信息化的关键系统。美国先进制造研究协会 (Advanced Manufacturing Research, AMR) 和制造执行系统协会 (Manufacturing Execution Systems Association, MESA) 大力推动 MES 的研发与应用。

在“十五”期间, 国家 863 高技术计划先进制造与自动化技术领域在流程工业 MES 方面设立了技术攻关和示范应用项目, 相继开发了钢铁企业 MES、石化企业 MES 和选矿企业 MES, 并且成功应用于生产实际, 取得显著效益。越来越多的流程企业认识到了 MES 的重要性, 纷纷开始实施 MES, 流程企业信息化工程正在从 ERP 和 PCS 向 MES 延伸。

本书结合国家 863 项目“流程工业制造执行系统集成平台及其应用研究”, 2002AA414610 以某企业选矿厂综合自动化系统研发为背景, 在考虑生产指标优化的基础上, 研究与开发了智能选矿 MES 系统。选题具有重要的理论意义与实际应用价值, 创新性地提出了生产指标逐层分解, 逐层优化控制的思想。主要工作成果是:

1) 针对选矿工艺流程和生产管理特点, 提出了实现选矿生产 MES 体系结构和系统功能, 设计并实施了以计划调度为主线和成本控制为核心的实现选矿生产指标优化的 MES 系统。

2) 研究了基于 MES/PCS (Process Control System) 的面向生产指标优化体系结构及相应的控制模式, 通过将综合生产指标与工序生产指标和操作过程的有机结合, 从而实现优化指标控制的可操作性。

3) 提出了将计划系统给出的综合生产指标分解为工序指标的方法, 该方法以保证选矿成本和精矿废品惩罚为最小的优化目标, 来确定原矿工序的各种原矿处理量和磁选工序的精矿品位。运用智能优化的微粒群 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法求解, 从而实现工序指标的优化。

4) 将优化的工序指标分解为工艺指标, 提出了在保证精矿品位合格的条件下, 实现最小库存和设备利用率最大的目标, 确定原矿工序的原矿处理量和磁选工序精矿品位的工艺指标的优化方法。运用多目标规划求解方法, 实现工艺指标的优化。

上述方面取得的理论联系实际创新性研究成果, 不但具有重要的学术价值, 而且对我国当前工业信息化与生产过程优化有重要的实际意义。对于推动和提高MES的应用水平和效果具有重要的作用。

内 容 提 要

制造执行系统 (Manufacturing Execution System, MES) 是位于上层的计划管理系统与底层的工业控制之间的面向车间生产的管理系统。它能够为车间管理人员提供生产计划与调度的执行、跟踪以及相关资源的当前状态等信息。制造执行系统在企业计划管理层与车间底层控制之间架起的一座桥梁, 填补了企业计划管理层和底层控制之间的“鸿沟”, 是综合自动化系统实现集成的关键。它对于实现生产全过程的总体调度和控制, 缩短生产周期, 降低生产成本, 提高企业管理的柔性化, 快速响应市场变化, 具有重要意义。本书结合国家 863 研究项目“流程工业制造执行系统集成平台及其应用研究”, 以“某钢铁集团公司选矿厂综合自动化系统”项目研发为背景, 综述了流程工业综合自动化系统研究与应用状况及国内外选矿自动化的发展状况, 对制造执行系统进行了以下几方面的研究:

1) 针对选矿工艺流程和生产管理特点, 对选矿企业生产过程制造执行系统进行深入探讨, 研究了选矿综合自动化系统两层结构, 提出了实现选矿生产指标优化的制造执行系统体系结构和系统功能, 设计并实施了以计划调度为主线和成本控制为核心的实现选矿生产指标优化的选矿制造执行系统。

2) 研究了基于 MES/PCS (Process Control System) 的面向生产指标优化体系结构及相应的控制模式, 通过将综合生产指标与工序生产指标和操作过程的有机结合, 建立指标间对应关系, 使综合生产指标转化为生产现场可控制的工艺参数, 从而实现优化指标控制的可操作性。

3) 提出了将计划系统给出的综合生产指标分解为工序指标的方法, 该方法以保证选矿成本和精矿废品惩罚为最小的优化目标, 来确定原矿工序的各种原矿处理量和磁选工序的精矿品位。运用智能优化 PSO (Particle Swarm Optimization) 算法求解, 从而实现工序指标的优化。

4) 在实现工序指标优化的基础上, 将优化的工序指标分解为工艺指标, 提出了在保证精矿品位合格的条件下, 实现最小库存和设备利用率最大的目标, 确定原矿工序的原矿处理量和磁选工序精矿品位的工艺指标的优化方法。运用多目标规划求解方法, 实现工艺指标的优化。

5) 提出了基于 PSO 的神经网络预测模型, 将上面分解优化的指标值与生产

过程统计指标值输入到生产指标预测模型，对关键的生产指标进行预测。准确的生产指标的预测对于合理地组织生产，及对生产过程进行超前控制具有重要的意义。

6) 运用以上几点，结合选矿厂生产实际，针对选矿生产过程控制与管理的复杂性，采用将生产指标逐层分解，逐层优化控制的思想，将人工智能的 PSO 和多目标规划数学优化相结合的方法，将 PSO 算法用于全流程优化（综合生产指标优化），利用全流程优化的结果，运用多目标规划的方法指导局部指标的优化（工序生产指标优化），利用局部优化的结果指导点的优化（工艺指标优化），实现生产指标优化的选矿 MES 系统。该系统已成功地运用于中国最大的红铁矿选矿厂。通过系统运行，降低了生产成本、提高了设备的运行效率，优化了生产运行管理，提高了管理效率，加快了信息传递及处理速度。实现了选矿生产过程的优化控制、优化运行和优化管理，真正实现了管理和控制一体化。

个人简历

黄肖玲,工学博士,副教授,硕士研究生导师。现在辽宁大学信息科学与技术学院任教,主讲“移动通信”“物流与供应链管理”“汇编语言与程序设计”“微型计算机技术与应用”等课程。近年来在国内、外主要学术期刊和会议上发表中、英文学术论文 20 多篇,其中被 SCI/EI 检索 10 余篇。

目前,主要研究方向为流程工业制造执行系统(MES)、生产计划与调度、智能优化方法等。

目 录

第一章 绪 论

1.1 流程工业综合自动化系统的发展状况	1
1.1.1 流程工业综合自动化发展趋势	1
1.1.2 流程工业综合自动化研究与应用状况	6
1.1.3 流程工业 MES 及其应用状况	8
1.2 选矿综合自动化研究现状	12
1.2.1 国外选矿综合自动化发展与现状	12
1.2.2 国内选矿综合自动化发展与现状	14
1.3 选矿生产过程中生产指标优化的研究现状	17
1.3.1 合理生产指标的设定研究	19
1.3.2 综合生产指标与工艺生产指标协调研究	19
1.3.3 生产指标的预测研究	20
1.3.4 相关软件的工程应用	21
1.4 存在问题及本书主要工作	21
1.4.1 存在问题	21
1.4.2 本书主要工作	23

第二章 选矿生产过程管理系统

2.1 引言	25
2.2 流程工业制造执行系统(MES)	26
2.2.1 流程工业 ERP/MES/PCS 三层结构	26
2.2.2 流程工业 MES 的功能和特点	29
2.2.3 流程工业 MES 总体解决方案	31
2.2.3.1 实时监控软件平台	32
2.2.3.2 综合集成软件平台	33
2.2.3.3 生产过程管理	35
2.2.3.4 MES 的主要应用软件模块	35
2.2.4 流程工业 MES 的发展趋势与关键技术	37
2.2.4.1 流程工业 MES 的发展趋势	37

2.2.4.2	流程工业 MES 的关键技术	40
2.3	选矿生产过程管理系统架构	42
2.3.1	选矿工艺	42
2.3.2	生产过程管理	42
2.3.2.1	综合生产指标的分解过程	43
2.3.2.2	生产指标分解过程存在的不足	45
2.3.3	选矿生产过程管理平台	46
2.3.3.1	生产计划管理子系统	46
2.3.3.2	生产调度管理子系统	50
2.3.3.3	成本控制管理子系统	54
2.3.3.4	质量管理子系统	56
2.3.3.5	设备管理子系统	56
2.3.3.6	能源管理子系统	57
2.3.3.7	综合查询子系统	58
2.3.4	现行的 MES 系统存在的问题及整体解决方案	60
2.4	小结	61
第三章 选矿生产指标优化的方法		
3.1	引言	62
3.1.1	综合生产指标、工序生产指标、工艺生产指标的定义	62
3.1.2	选矿生产指标优化重要性及目前存在的问题	64
3.1.3	生产指标优化目标	65
3.2	选矿过程中生产指标优化方法研究	66
3.2.1	生产指标优化方案	66
3.2.2	生产指标优化策略	66
3.3	原矿处理与磁选过程工序指标优化方法	68
3.3.1	优化目标	69
3.3.2	模型求解方法	71
3.3.2.1	粒子群优化算法的产生	72
3.3.2.2	PSO 的基本原理	72
3.3.2.3	PSO 主要参数	75
3.3.2.4	PSO 基本流程	75
3.3.2.5	遗传算法 GA 和 PSO 的比较	75
3.3.2.6	求解工序生产指标优化模型的改进 PSO 算法	76
3.3.3	实验仿真和结果分析	77
3.4	原矿处理与磁选过程工艺指标优化方法	80

3.4.1 优化目标描述	80
3.4.2 模型建立	80
3.4.3 模型求解	82
3.4.3.1 多目标规划简介	83
3.4.3.2 多目标优化问题的求解方法	83
3.4.3.3 工艺指标优化模型求解方法	87
3.4.4 优化方法实验	87
3.5 基于 PSO 的 BP 神经网络的生产指标预报	89
3.5.1 面向神经网络权重学习的 PSO 算法	89
3.5.1.1 编码方式	89
3.5.1.2 基于 PSO 的神网络算法	90
3.5.2 生产指标预报模型	92
3.5.3 模型应用与研究	92
3.6 小结	96
第四章 实现生产指标优化的 MES	
4.1 引言	97
4.2 流程工业计划调度集成体系结构研究	98
4.3 流程工业生产计划调度研究方法及应用	103
4.4 实现选矿生产指标优化的 MES 系统	109
4.4.1 体系结构	110
4.4.2 子系统功能	111
4.5 优化的计划与调度集成系统	112
4.5.1 面向指标优化的计划调度体系及策略	114
4.5.2 面向指标优化的计划与调度模型	115
4.6 小结	116
第五章 选矿厂的工程应用研究	
5.1 工程背景介绍	117
5.1.1 生产工艺过程	117
5.1.2 生产管理流程	119
5.2 选矿 MES 系统设计与开发	121
5.2.1 系统开发目标	121
5.2.2 选矿 MES 总体结构	122
5.2.3 系统分类编码设计	122
5.2.4 系统软件结构设计	125
5.2.5 系统运行环境	125

5.3 选矿生产指标优化 MES 应用	127
5.3.1 系统结构设计	127
5.3.2 系统功能设计	129
5.3.3 生产指标优化的 MES 系统平台	132
5.3.4 计划与调度集成系统在选矿厂的应用	135
5.3.4.1 生产计划与调度系统的模型结构与功能	135
5.3.4.2 调度软件系统的开发	137
5.3.4.3 计划与调度系统的集成应用	142
5.4 小结	146
第六章 结束语	148
参考文献	150
致谢	164
作者博士期间发表的论文	166
作者博士期间科研工作情况	168
后记	169

第一章 绪 论

1.1 流程工业综合自动化系统的发展状况

1.1.1 流程工业综合自动化发展趋势

计算机集成制造 CIM(Computer Integrated Manufacturing)的概念是由美国 J. Harrington 博士^[1]于 1973 年提出的,其基本思想是借助计算机,对企业生产过程与生产管理进行优化,将企业中与制造有关的技术系统集成起来,进而提高企业的竞争力。CIMS(Computer Integrated Manufacturing Systems)是基于 CIM 哲理而形成的系统,它是通过计算机软硬件,并综合运用现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术,将企业生产全部过程中有关的人、技术、经营管理三要素及其信息流与物流有机集成并优化运行的大系统^[2],这一定义是针对离散型工业而言,把 CIMS 概念扩展至流程工业,即形成了流程工业综合自动化系统 CIPS(Computer Integrated Process System),也可称流程工业计算机集成制造系统(CIMS in process industry)。

流程工业综合自动化是指产品设计、生产制造和生产管理等的全面自动化。综合自动化系统是通过将先进的制造技术与现代管理技术、信息技术、自动化技术、系统工程等有机结合,实现企业自动化方面的整体解决方案,即实现企业生产的各个环节,从市场分析、经营决策、管理、产品设计、加工制造、销售到售后服务等过程的全局的集成优化,是集控制、优化、调度、管理、经营于一体的自动化系统^[1-3]。

流程工业自动化可以大致分为四个阶段:20 世纪 70 年代以前的直接数字控制阶段 DDC(Direct Digit Control);70—80 年代的集散控制阶段 DCS(Distributed Control System);80 年代以后的 DCS⁺ 优化阶段;90 年代开始将生产调度、计划优化、经营管理与决策等引入计算机控制系统,使市场意识与优化控制相结合,促使计算机控制系统走向更加完善的综合自动化阶段^[4]。其发展过程如图 1.1 所示。

以往的自动化系统由于缺乏用 CIM 思想指导系统开发过程,这些生产过程控制与决策大都停留在单元自动化水平,众多生产状态信息通常缺乏有效的集成而分散于各局部生产过程,控制与决策所取得的效益常表现为局部最优,难以保证企

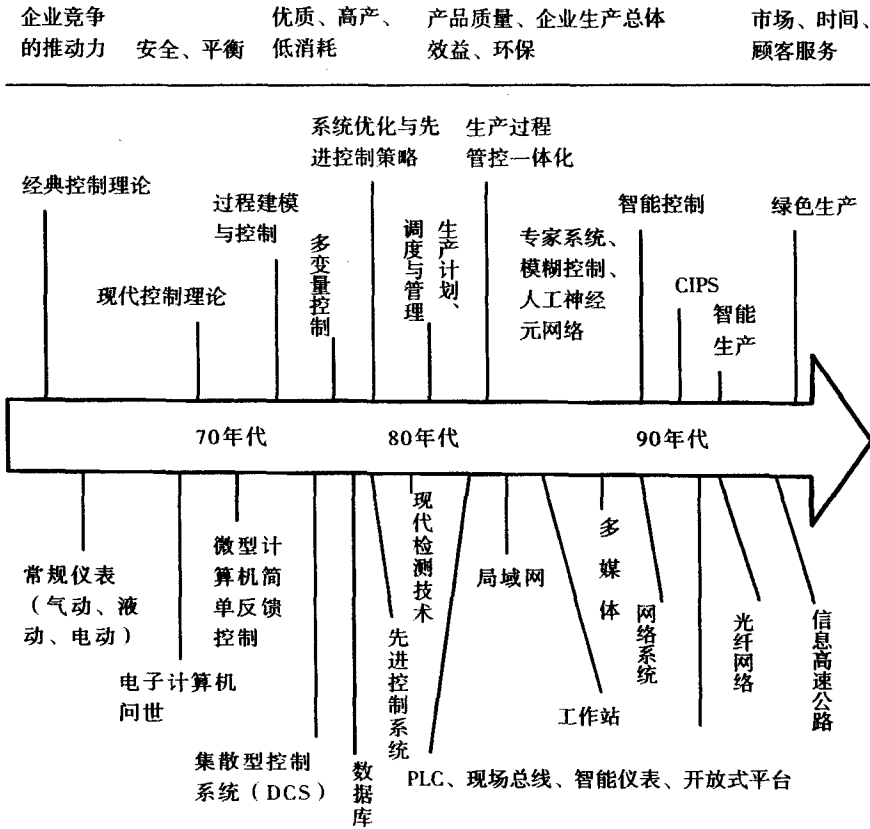


图 1.1 流程工业自动化发展阶段

Fig. 1.1 The development of process industry automation

业获得更大的经济效益。同时,由于分散与各局部的数量众多,形式多样的生产状态信息受到现场噪声污染,一些过程参数难以用直接的检测手段获得,带来了诸如信息可靠性、兼容性、一致性等问题。在不进行有效信息集成的条件下,企业很难及时准确评估当前的生产状态,并根据市场、原材料、劳动成本等因素的变化进行快速准确地管理与决策。

随着企业生产和经营管理水平的不断提高以及计算机和信息技术的飞速发展,更由于经济的全球化导致市场竞争的日趋激烈,流程工业企业已不再满足于只是通过生产过程自动化系统来保持生产安全平稳和过程参数优化以提高生产效率和经济效益的传统作法,而是对采用计算机和信息技术来综合应用生产和经营管理信息以应对瞬息万变的市场需求提出了更高的要求。面对复杂多变的原材料供应和市场客户需求,综合自动化系统已成为流程工业企业迅速调整生产计划和生产结构、降低生产成本、提高市场竞争力的重要手段。

利用计算机技术、通信技术、自动化技术以及有关生产技术,建立全企业或全厂的包括经营决策、管理信息、生产调度、监督控制和直接控制在内的管理及控制全部生产活动的综合自动化系统,从而达到提高企业经济效益和竞争力的目的^[5]。综合自动化系统核心是“综合”或“集成”,其体现是通过多种技术的综合,从而达到全厂或全企业的信息集成,即把全厂或全企业与经营、管理和生产活动有关的信息集成起来,实现决策、管理和控制一体化,达到提高生产柔性,提高企业适应能力的目的。

从发达国家情况来看,流程工业综合自动化的发展主要是根据企业需求由一些大型自动化公司和计算机公司推动的,这些公司都将流程工业的信息化作为巨大的商机,纷纷推出了各自面向流程工业的综合自动化系统和软件,并建立了各自的流程工业综合自动化系统的体系结构。这些系统和软件覆盖了流程工业运行的各个层次,如经营管理层的 ERP 软件,包括 SAP 公司的 R3,BAAN 公司的 Baan IV、ORACLE 公司的 Oracle Application、SSA 公司的 BPCS 等。调度优化以及先进控制层的软件则主要是由 AspenTech、Hollywell 和横河等传统的流程工业自动化系统和软件公司提供。AspenTech 和 Hollywell 这两大公司都已不再局限于过程自动化系统与软件领域,而是在其中下层自动化软硬件优势的基础上分别提出了面向企业整体解决方案,如 AspenTech 公司推出的 Aspen Engineering Suitetm、Aspen Manufacturing Suitm 和 Aspen Supply Chain Suitetm 套件,Hollywell HiSpec 的面向石油、造纸、化工工业的 Unified Manufacturing TM Solutions for Business Optimization 套件^[6,8,24],这些大公司通过收购和兼并,已逐步形成了对流程综合自动化软件和系统产品的垄断之势,并已开始大规模地向我国国内市场推销。

从国内来看,流程工业综合自动化系统的研究与开发近年来受到很大重视,国家 863 高技术计划正式将流程企业综合自动化系统列为研究专题,相关高等院校、科研院所和流程企业投入大量精力,进行针对我国企业特点的流程工业综合自动化系统软硬件产品的研发。研发范围也覆盖了从底层自动化系统、先进控制、过程优化、生产调度管理到企业经营决策和物流管理、供应链的所有层次。

流程工业综合自动化系统体系结构可以理解为用于描述构成综合自动化的宏观框架,是系统运行的总体结构。包括信息集成系统的构成、应用系统的构成,以及与相应的计算机硬件、软件互联的蓝图和规则体系,它对指导企业综合自动化的工程设计、实施与维护将起到重要的作用。目前,国际上较流行的体系结构有 Purdue 参考模型、CIM-OSA、GRAI/CIM 等。20 世纪 80 年代后期,欧共体 ESPRIT 提出了计算机集成制造开放体系结构(CIM-OSA)^[9-11]。如图 1.2 所示,是一种对计算机集成制造系统进行规划设计、实施、运行的系统工具,它对离散制造工业的 CIMS 提供一种参考结构,包括了组织和人的因素,作为国际标准化的预标

准而成为最受瞩目的一个。CIM-OSA 体系结构是面向系统全生命周期、标准化、规范化、开放性和结构化的规划设计方法,具有计算机可执行性,其应用范围是进行生产监控和管理的工厂^[12,13]。

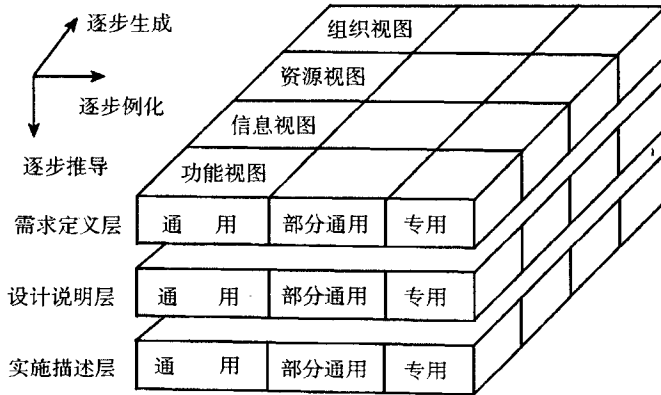


图 1.2 CIM-OSA 结构框架图^[14,15]
Fig. 1.2 The architecture of CIM-OSA^[14,15]

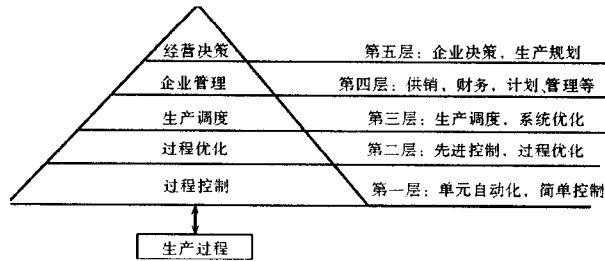


图 1.3 Purdue 模型
Fig. 1.3 The Purdue model

普渡企业参考体系结构 (Purdue Enterprise Reference Architecture, PERA)^[14,15] 是实施流程企业计算机集成制造系统的体系结构,如图 1.3 所示,将流程工业综合自动化自下而上从功能上被分为了过程控制、过程优化、生产调度、企业管理和经营决策五个层次,顶层为企业经营决策层,根据企业内外信息,对企业经营、生产加工、产品生产策略、中长期目标和发展规划提出决策支持决策企业发展方向,确定生产产品结构,寻求整体优化,以取得最大经济效益。第四层为企业管理层,该层根据企业经营决策层指令进行生产管理,包括制定生产计划,物资供应计划,资金运用计划,设备维修计划等。第三层为生产指挥调度层,该层以企业各生产车间和资源保障部门为对象,根据产品生产计划和系统资源优化模型,进行生产和资源调度与协调,确保整个企业各个环节均衡、稳定、高效生产。第二层为过程优化层,该层处于企业车间级,对产品生产全过程各个环节进行监督与控