

ASEA

培训与考试指定参考丛书

ASEA
ASEA

自动化系统工程师资格认证

轻工与制药生产自动化

中国自动化学会 ASEA 办公室 组编
刘朝英 主编

0.6



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

TQ460.6
13

ASEA 培训与考试指定参考丛书

轻工与制药生产自动化

中国自动化学会 ASEA 办公室 组编

刘朝英 主编

沈英才 副主编

宋哲英 宋雪玲 参编



机械工业出版社

本书全面地介绍了轻工与制药生产过程自动化的基础知识、控制技术、系统分析及设计,并简要介绍了应用现状及最新发展。主要内容包括造纸工业自动化、制糖工业自动化、食品加工过程自动化、发酵食品加工自动化、制药生产自动化及轻工与制药自动化系统工程设计等。本书不仅是自动化系统工程师资格认证培训和考试的指定参考书,也可供轻工及制药行业的其他工程技术和管理人员自学,或作为大专院校有关专业的教学参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

轻工与制药生产自动化/中国自动化学会 ASEA 办公室
组编. —北京:机械工业出版社, 2006.3
(ASEA 培训与考试指定参考丛书)

ISBN 7-111-18731-8

I. 轻… II. 中… III. ①轻工业-生产工艺-自
动化技术-工程技术人员-资格考核-自学参考资料
②药物-生产工艺-自动化技术-工程技术人员-资格
考核-自学参考资料 IV. ①TS05-39②TQ460.6-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 023403 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:车忱 版式设计:张世琴

责任校对:姚培新 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·14 印张·343 千字

0 001—3 500 册

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379739

封面无防伪标均为盗版

自动化系统工程师资格认证 (ASEA)

领导小组

戴汝为 吴启迪 孙优贤 李衍达 孙柏林 马正午 李爱国

培训与教材编审委员会

主 任	吴惕华 (河北省科学院)
常务副主任	萧德云 (清华大学, 兼丛书执行主编)
副 主 任	韩崇昭 (西安交通大学)
秘 书 长	刘朝英 (河北科技大学)
	胡毓坚 (机械工业出版社)
委 员	(按姓氏笔画排序):
	马竹梧 (冶金自动化院)
	尹怡欣 (北京科技大学)
	王建辉 (东北大学)
	王钦若 (广东工业大学)
	刘祥官 (浙江大学)
	刘朝英 (河北科技大学)
	关新平 (燕山大学)
	孙鹤旭 (河北工业大学)
	杨煜普 (上海交通大学)
	金以慧 (清华大学)
	胥布工 (华南理工大学)
	段建民 (北京工业大学)
	胡毓坚 (机械工业出版社)
	董春利 (大连职业技术学院)
	廖晓钟 (北京理工大学)
	潘立登 (北京化工大学)

编者的话

为适应在我国开展自动化系统工程师资格认证 (Automation System Engineer Accreditation, ASEA) 的需要, 中国自动化学会全国 ASEA 办公室决定, 由 ASEA 培训与教材编审委员会负责策划、组织编写了这套《ASEA 培训与考试指定参考丛书》。全套丛书共有 20 本左右, 从 2006 年起开始陆续出版问世, 计划用 2~3 年时间完成, 以满足广大自动化系统工程技术人员参加不同层面的 ASEA 培训与考试的需求。

本套丛书主要面向 ASEA 考试, 同时兼顾 ASEA 培训及后续的工程教育, 分五大类出版: (1) 自动化专业基础知识, 包括自动控制理论、自动化控制系统、仿真技术、自动化元件等; (2) 自动化技术基础知识, 包括计算机控制、网络与通信、单片机技术、监控组态技术、嵌入式系统等; (3) 行业自动化专业知识, 包括石油化工自动化、电站过程自动化、冶金工业自动化、机械制造自动化、轻工与制药自动化、煤炭工业自动化、农业自动化、交通智能管理、航空航天自动化、军事工业自动化、建筑智能化、企业信息化、数字化服务、自动化系统工程设计、自动化项目管理等; (4) 自动化专业技能知识, 包括过程控制技能、运动控制技能、计算机控制技能等; (5) ASEA 培训与考试指南, 包括 ASEA 报考范围、考试规则、评审标准及有关 ASEA 的综合问答等。

本套丛书采用了“单元”与“模块”结构的编写风格, 每本书将所要涵盖的自动化知识分成若干“单元”, 每个“单元”由若干“模块”组成, 每个“模块”又按“知识点”、“知识点分析”和“考试训练”分节论述。其中, “知识点”给出本“模块”所应包含的知识要点, 起到画龙点睛的作用; “知识点分析”则以论述或实例的方式对本“模块”所涉及的知识点进行深入分析; “考试训练”就所述的知识点, 从考试训练的角度, 列出或设计出多种考试训练题, 包括思考题、论述题、综合题、设计题、计算题、选择题等题型, 并对考试训练题作必要的分析, 给出解题概要或提示, 以供备考之用。采用这种独具一格的编写风格是从 ASEA 培训与考试的实际需要出发的, 可以使参加 ASEA 培训与考试的学员以较高的效率掌握应知应会的知识点并以较快的速度进入临考状态。应该说, 这是一套系统性和实用性强, 既具有创新性和先进性, 又富有特色的 ASEA 培训与考试参考用书。

本套丛书的主要读者群是准备参加 ASEA 培训与考试的自动化专业及相关专业的工程技术人员和高等学校的本科生与研究生等。我们希望它既是 ASEA 培训与考试指定用书, 也能为广大自动化工程技术人员的知识更新与继续学习提供适合的参考资料。衷心感谢自动化同仁们的热情支持, 并欢迎对本丛书提出批评和意见。

ASEA 培训与教材编审委员会
2006 年 1 月于北京

序

为了逐步改变我国长期以来专业技术职称终身制的状况，不惟学历、不惟资历、以业绩和能力作为考核标准，进行社会化的专业技术资格认证，并逐步实现与国际接轨，在中国科协的领导下，中国自动化学会于2004年在自动化领域开始策划、开展了自动化系统工程师资格认证（Automation System Engineer Accreditation, ASEA）。这是落实中央人才工作会议精神，积极推进专业技术职称改革的一个重要举措，对充分开发和利用我国自动化人才资源，更好地为社会主义现代化建设服务也具有重要的意义。

中国科协学会学术部专门为这项工作进行了批复，要求中国自动化学会“按照国家有关政策，借鉴国外先进经验，积极探索，认真做好自动化系统工程师的培训、考核、认证以及相应的服务工作，并及时总结经验，推动学会改革发展，促进工程师资格的国际互认，促进我国专业技术人才成长和学科发展，不断提高技术人员水平，为我国自动化事业的发展做出新的更大贡献”。这正是我们开展 ASEA 工作的目的和准绳。

为了顺利开展 ASEA 工作，中国自动化学会专门成立了 ASEA 领导小组，下设 ASEA 办公室并分设若干委员会与工作部，依靠全国自动化领域的专家、教授和学者，按照中国科协的指示精神，正在一步一个脚印地开展起来了。

《ASEA 培训与考试指定参考丛书》是在 ASEA 办公室领导下，由 ASEA 培训与教材编审委员会策划、组织编写的，这是一项非常有意义的基础性工作。这套为 ASEA 培训和考试专门设计的参考丛书，内容涵盖自动化专业基础知识、自动化技术基础知识和国民经济主要行业的自动化专业知识，编写风格独树一帜，确有成效地将先进性、实用性和系统性有机地结合起来。在这套参考丛书的编写过程中，充分发挥了高等院校强大的师资力量，也全力调动了自动化企业技术人员的参与，从 ASEA 培训与考试的实际需要出发，全面考虑了理论和技能两个方面的知识考核，充分保证了 ASEA 的质量和水平。

相信本套参考丛书的出版，将为 ASEA 提供特色鲜明的培训与考试资料，对 ASEA 工作一定会起到积极的作用，对大学后的继续教育也是一套宝贵的参考资料。在此，我谨向参与这套参考丛书编写的自动化技术工程师、高校老师，致以诚挚的感谢。对参考丛书的整体结构到每本书的内容所存在的不足甚至谬误之处，还望使用本套参考丛书的各界人士不吝批评指正。

戴汝为 院士

2006年1月于中国科学院

前 言

轻工与制药行业是自动化技术应用的重要领域，日新月异的自动化技术不仅为传统产业的改造、生产技术水平的提升和产品的更新换代注入了强大的活力，也进一步推动了轻工与制药行业生产方式和理念的改变。为此，轻工与制药行业对自动化系统工程师的需求也随着技术的进步日益增加。开展自动化系统工程师认证是为了适应国民经济发展与改革的需要，进一步激励行业自动化技术人员不断创新和再学习的积极性，提高综合素质，促进人才竞争，规范职业水准，推动国际互认。这就是编写本书的宗旨。

本书为全国自动化系统工程师资格认证培训和考试的指定参考书，编写风格不同于一般教材。全书以“单元—模块”为基本结构，每个模块按“知识点—知识点分析—考试训练”格式编写。其中，“知识点”概括阐述了本模块应该掌握的主要知识；“知识点分析”则对该模块的知识点逐一进行简明扼要的论述；“考试训练”是以考题的形式给出本模块所要掌握的重点和资格认证考试的基本形式。这将有利于申报资格认证的读者掌握“应知应考”的内容。

本书内容体系以“系统”为主线，按工艺将控制装置、控制方法等内容有机结合起来；以实际应用为重点，突出基本概念，强调覆盖面和实用性。本书主要内容包括造纸工业自动化、制糖工业自动化、食品加工过程自动化、发酵食品加工自动化、制药生产自动化及轻工与制药自动化系统工程设计等。

本书由河北科技大学刘朝英教授担任主编，负责全书的统稿。沈英才担任副主编。第一单元、第二单元的第一、二模块由河北科技大学刘朝英教授编写，第二单元的第三模块及第五、六、七单元由河北科技大学沈英才编写，第二单元的第四、五模块及第四单元由河北科技大学宋哲英副教授编写，第三单元由河北科技大学宋雪玲编写。中国自动化学会自动化系统工程师资格认证培训教材编审委员会组织有关专家对本书认真地进行了审阅。本书在编写过程中得到了吴惕华教授及河北科技大学的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！

由于作者水平有限，加之初次尝试“单元—模块”的编写格式，书中错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

编者的话
序
前言

概论 1

第一单元 轻工与制药自动化

基础 4

- 模块一 工业自动控制系统 4
- 模块二 过程参数检测 7
- 模块三 控制器 11
- 模块四 执行器 12
- 模块五 计算机控制系统 15

第二单元 造纸工业自动化 20

- 模块一 造纸过程特性及参数检测 20
- 模块二 制浆过程自动控制系统 26
- 模块三 碱回收过程自动控制系统 40
- 模块四 造纸过程自动控制系统 46
- 模块五 废纸制浆过程废水处理
自动控制系统 52

第三单元 制糖工业自动化 56

- 模块一 制糖过程专业参数及测量 56
- 模块二 原料预处理过程自动化 60
- 模块三 提汁过程自动化 65
- 模块四 蒸发过程自动化 72
- 模块五 煮炼过程自动化 78

第四单元 食品加工过程自动化 89

- 模块一 流体输送设备、传热设备、动力
设备的控制 89
- 模块二 配料过程控制 93

- 模块三 罐头杀菌过程控制 98
- 模块四 蒸煮挤压过程控制 104
- 模块五 食品干燥过程控制 106

第五单元 发酵食品加工自动化 115

- 模块一 发酵过程模型及特性分析 115
- 模块二 发酵食品加工过程检测 120
- 模块三 食品加工制曲过程控制 125
- 模块四 发酵过程的灭菌控制及
染菌防治 129
- 模块五 食品发酵过程自动控制系统 133
- 模块六 食品结晶过程控制系统 140
- 模块七 酒精蒸馏过程控制系统 144

第六单元 制药生产自动化 151

- 模块一 制药过程模型及特性分析 151
- 模块二 制药工业流体输送和传热
过程自动化 155
- 模块三 制药工业发酵过程控制 165
- 模块四 制药工业提取和精制过程控制 170

第七单元 轻工与制药自动化系统

工程设计 180

- 模块一 自动化系统工程设计的基本任务
与基本步骤 180
- 模块二 工程初步设计的内容与
深度要求 182
- 模块三 过程自动化系统施工图设计 185
- 模块四 测量仪表及控制装置的选型 190
- 模块五 控制仪表流程图 201
- 模块六 仪表盘及配线设计 207
- 模块七 供电、供气系统设计 211

参考文献 215

概 论

过程自动化技术是研究用机器装置（仪表、PLC、工业计算机等）对生产过程或其他过程进行自动控制和信息处理的综合科学技术。实现生产过程自动化，能提高产量，保证质量，减少原材料和能量的消耗，降低生产成本，改善劳动条件，确保生产安全，收到良好的经济效益和社会效益。

一、自动化技术发展概况

自动化技术的发展与生产过程自身的发展休戚相关，经历了从简单到复杂，从局部到全局，从低级到高级的发展过程。控制理论的发展历程标示着人类社会化大生产由机械化时代进入电气化时代，并走向自动化、信息化和智能自动化时代。

自动化在工业生产过程中的应用，大致经历了三个发展阶段。

(1) 第一阶段。20世纪50年代以前可以归结为自动化发展的第一阶段。在这一时期，理论基础是经典控制理论。过程控制系统结构大多数为单输入、单输出（SISO）系统。被控参数主要是温度、压力、流量和液位四种参数；控制目标是保持这些过程参数的平稳和安全，属于局部自动化的范畴。当时，也出现了一些如串级、前馈补偿等十分有效的复杂系统，相应的控制仪表也由基地式发展到单元组合式，但总体说来自动化水平还处于低级阶段。

(2) 第二阶段。20世纪60年代的10年是工业自动化发展的第二个阶段。50年代末，生产过程迅速向着大型化、连续化的方向发展，工业过程的非线性、耦合性和时变性等特点十分突出，原有的简单控制系统已经不能满足要求。以状态空间分析为基础的现代控制理论的出现，为实现高水平的自动化奠定了理论基础。同时，计算机控制系统开始应用于生产过程控制领域，实现了直接数字控制（DDC）和计算机监督控制（SCC），并相继开发和应用了各种复杂的控制系统，如串级控制、前馈控制、比值控制和均匀控制等。但是对于生产过程机理复杂、建模困难、性能指标不易确定的对象，难以应用现代控制方法。在此期间，工厂企业实现了车间或大型装置的集中控制。

(3) 第三阶段。在20世纪70年代中后期，随着大规模集成电路制造的成功和微处理器的问世，计算机的可靠性及性价比大为提高，尤其是工业用控制机，采用了冗余技术和软硬件自诊断功能，满足了工业控制的应用要求。针对工业生产规模大、过程参数和控制回路多的特点，70年代中期发展了一种所谓“管理集中，控制分散”的集散型控制系统（DCS）。它是集计算机技术、控制技术、通信技术和图形显示技术于一体的计算机控制系统，对生产过程综合自动化技术的发展产生了深远影响。

在此阶段，控制理论和其他学科分支相互交叉，相互渗透，向着纵深方向发展，从而开始形成了所谓的第三代控制理论，即大系统理论和智能控制理论，极大促进了过程控制的发展。目前，智能控制在一些难以建立精确数学模型的复杂工业过程中已经取得了实际应用。

二、我国的过程自动化状况

我国轻工与制药行业的自动化也遵循了上述的发展过程。过程级的控制最初是采用常规调节仪表对流量、液位、浓度及压力等常规变量进行单回路控制，目的是保证生产过程能够尽可能地平稳进行。随着生产工艺的变革，设备的更新换代，生产规模的不断扩大，轻工与制药过程控制也越来越复杂，其复杂性体现为：对象的不确定性、状态的不完整性、参数间的强耦合性、纯滞后特性和非线性特性等。因此，除常规的热工参数需要检测控制外，还有一些特殊的、重要的参数需要检测和控制。计算机应用于轻工与制药工业始于 20 世纪 60 年代，最早的应用集中于采用工业控制计算机进行过程变量或质量的自动控制，控制方法与控制系统比较单一。现在，DCS 与 PLC 在一些大型工厂得到了广泛应用，自动化系统也逐渐由原来单一的过程控制向管理与控制一体化的综合自动化方向发展。目前，许多高校、科研单位与企业合作，针对生产过程控制系统，从数学模型、控制算法、系统硬件软件的组成实现技术、以及基本信息管理（如汽、电、水消耗和产量的统计等）等诸多方面进行研究，并取得了一系列的理论研究与应用开发成果，其中有许多直接应用于企业，获得了相当好的经济效益。

需要特别指出的是，在食品加工方面，现代食品加工逐步向高度连续化和大型化方向发展，装置与装置、设备与设备之间联系日益密切，计算机控制系统已逐步应用到食品加工过程中。不过，与发达国家相比，我国食品加工过程控制水平较低。究其原因，主要是我国国产设备技术含量低、自动控制系统与工艺流程设计和机械制造脱节、产品性能稳定性和成套性差、精度和自动化程度不高。因此，提高食品工业装备的自动化水平是提高食品加工过程控制水平的前提，是急需解决的问题。

三、过程自动化技术发展的方向

1. 工业检测新技术的应用

检测传感器及仪表是过程自动化的基础，其发展经历了机械式、电子式、微处理器等阶段。近十几年来，随着微电子、微机械、智能和集成等先进技术的迅猛发展，以及新材料和新工艺的发现和采用，工业中出现了很多科技含量高的检测方法和仪器，能使检测更加方便、准确、快捷。如在制糖行业，利用 γ 射线浓度计在线测量蒸发糖浆浓度的测量，利用红外光度法直接测量糖浆饱和度。目前检测传感器与仪表正向着微型化、数字化、智能化、网络化和虚拟化等方向进一步发展。

随着中国加入 WTO，为了提高产品的竞争力，相信国内的厂家会逐步提高对品质控制的认识，从而会使检测新技术得到应用和推广，带动整个行业的发展。

2. 过程控制系统

控制装置与系统是过程自动化的中枢，其发展从较早的基地式调节器（变送、指示、调节一体化的仪表）开始，经历了气动、电动单元组合仪表、计算机直接数字控制系统（DDC），到如今广泛应用的分散控制系统（DCS）和可编程控制器（PLC）。DCS 在系统的可靠性及可维护性、控制功能算法的丰富性及完善性、信息处理的能力及速度、组态软件的便捷性及友好性、系统联网能力和开放性等方面得到迅速发展，取得了令人瞩目的成就，已成为过程自动化控制系统的主流。PLC 以其结构紧凑、功能简洁、速度快、可靠性高、价格低

等优点，也迅速获得广泛应用，已成为与 DCS 并驾齐驱的另一种主流工业控制系统。目前以 PLC 为基础的 DCS 发展很快，PLC 与 DCS 相互渗透、相互融合、相互竞争，已成为当前工业控制系统的发展趋势。另外，后起的现场总线控制系统（FCS）也以其优良的互操作性和功能分散性、更强大的系统功能（如单一仪表或设备可提供多变量 I/O 能力、网络化的设备管理、更宽的诊断范围、丰富的状态信息等）、安装及组态的简易性、更高的测量和控制精确度、较低的工程及运行维护成本和规模灵活性等诸多特点逐渐显示出其强大生命力。

3. 过程控制方法

控制方法及策略是过程自动化的灵魂。20 世纪末以来，自动控制理论和方法的主要发展方向是人工智能技术的应用。过程自动化控制方法已从传统经典控制（包括 PID 控制、比值控制、串级控制、前馈控制等）发展到了最优控制、自适应与自整定控制、自学习控制、非线性控制、多级递阶智能控制、专家控制、模糊逻辑控制、神经网络控制、仿人智能控制、基于模式识别的智能控制、多模变结构智能控制、混沌控制等。此外，许多自动化产品供应商也相继推出了商业化的智能控制器，如 CyboSoft 推出的无模型自适应（MFA）控制器 Cybocon 和 Cybocon CE，针对不同过程可采用相应的算法（标准法、反时滞算法、非线性 MFA 算法、鲁棒 MFA 算法）等，可在相当程度上改进过程控制的效果。在经济全球化进程中，市场竞争会进一步加剧，先进控制策略将会得到更加广泛的应用。从控制目标出发，综合运用各种控制方法是构成先进控制系统的有效途径。

综上所述，过程自动化技术发展的主流趋势是：检测控制智能化、测量信息数字化、控制管理集成化。新型的过程自动化控制系统将为提高企业的市场竞争力、创造良好的社会和经济效益而不断提高性能。

第一单元 轻工与制药自动化基础

随着社会的进步，现代化的工业对生产过程控制提出了更高要求，轻工与制药工业的生产过程需要利用自动化技术，确保规模化生产的稳定、优质、高产、节能、降耗和环保等控制要求。我国是轻工与制药生产的大国，但不是强国，其重要原因之一，是我国轻工与制药工业自动化水平与世界发达国家相比差距较大。即使在国内，与石油化工行业相比也存在一定的差距。因此，提高我国轻工与制药工业自动化水平，缩小与国外差距势在必行。尽管我国轻工与制药工业自动化起步较晚，自动化水平较低，但石油化工行业自动化技术的成功经验可以借鉴。

模块一 工业自动控制系统

一、知识点

控制系统的基本组成、控制点流程图、控制系统方块图以及各个环节的作用；控制系统分类；生产过程对自动化系统的基本要求；过渡过程质量指标。

二、知识点分析

1. 工业自动化的基本概念

(1) 自动控制系统的组成

在工业生产中用自动装置代替人工操作的过程称为工业自动化。如工艺要求塔的液位稳定，则自动装置与被控对象组成的控制系统如图 1-1 和图 1-2 所示。

1) 带控制点流程图。图 1-1 为液位控制系统的带控制点流程。图 a 用文字表示，图 b 用符号表示，两者表示的意义完全相同。LT-121 是变送器、LRC-121 是控制器、调节阀是一种执行器，塔称作被控对象，塔的液位称为被控参数，塔的出口流量 $q_{V出}$ 称为控制参数或操纵变量。

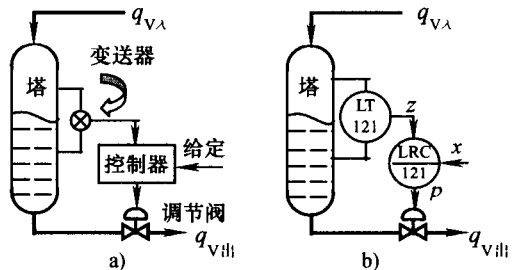


图 1-1 液位控制系统（带控制点流程）

2) 控制系统方块图。图 1-2 为简单控制系统方块图。系统方块图不仅给出了系统组成，而且清楚地表明了各环节间信息传递关系。图中各部分作用如下：

检测元件：将被测变量转换成位移或电量。变送器，将位移或电量转换成控制器所能接收的统一信号。

控制器（调节器）：事先将给定值 x （控制的目标值）折合成标准的信号值。先计算 $e = x - z$ ，再根据偏差 e 按已经确定的控制规律运算（决策），然后输出决策量 p 。

执行器：执行器根据控制器输出 p 的大小，改变控制参数 q_v ，使被控参数保持或者恢复到给定值附近。

干扰 f (扰动)：所有使被控参数偏离给定值的参数被称为干扰量或扰动变量。

闭环控制系统的工作过程是克服干扰的过程。换言之，干扰作用使被控参数偏离给定值，控制作用使被控参数恢复到给定值。

(2) 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法很多，按不同的方法有不同的分类。

1) 按控制方式分类：开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。

2) 按给定值变化规律分类：定值控制系统，给定值恒定不变；顺序控制系统，给定值按预先约定好的规律变化；随动控制系统，给定值是事先未知的随时间变化的函数。

3) 按系统数学描述分类：线性系统和非线性系统、连续系统和离散系统、定常系统和时变系统、确定性系统和不确定性系统、集中参数系统和分布参数系统等。

4) 按控制结构分类：简单控制系统和复杂（串级、比值、前馈、取代、分程等）控制系统。

2. 自动控制系统的性能指标

(1) 生产过程对自动控制系统的基本要求

尽管自动控制系统有不同的类型，不同工艺对系统也有不同的要求，但对各类控制系统，被控变量变化全过程提出的基本要求是相同的，即稳定性、快速性和准确性。

稳定性是保证系统正常工作的先决条件。对于稳定的系统，被控变量偏离期望值的初始偏差随时间的增加而减小或趋于零，反之，不稳定的系统无法完成预定的控制任务。快速性是反映系统动态性能的重要指标，常用过渡过程时间长短来描述。准确性是描述系统控制精度的重要指标，常用稳态误差描述。在技术指标中，一般对过渡过程时间和稳态误差都有具体要求。

不同类型的控制系统，对系统的性能指标的描述也不尽相同。但在过程控制中，常以过渡过程指标来评价控制系统的性能。

(2) 过渡过程指标

过渡过程是指被控参数从一个平衡状态进入另一个平衡状态的过程。因此，对衰减过程，阶跃响应如图 1-3 所示，性能指标定义如下：

衰减比 n ： $n = B : B'$ ，是两个相邻波距离稳态值的振幅之比。 $n > 1$ 衰减振荡； $n = 1$ 等幅振荡； $n < 1$ 发散振荡。

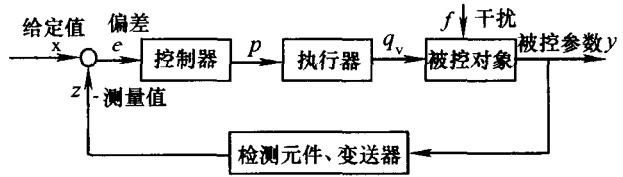


图 1-2 简单控制系统方块图

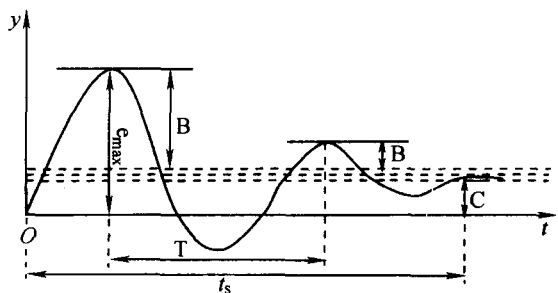


图 1-3 过渡过程品质指标示意图

最大偏差 e_{\max} : 第一波峰与给定值之差。

超调量 B : 第一波峰与稳态值之差。

过渡过程时间 t_s : 从一个平衡状态进入另一个平衡状态所需要的时间。

振荡周期 T : 两个相邻波峰之间的时间间隔。

稳态误差 C : 稳态值与给定值之差。

衰减比 n 、最大偏差 e_{\max} 和超调量 B 是描述系统平稳性的指标, 过渡过程时间 t_s 和振荡周期 T 是描述系统快速性的指标, 而静态误差 C 是描述系统准确性的指标。一般要求控制系统是一个衰减振荡的过程, 即 $n > 1$, 典型值 $n = 4:1 \sim 10:1$; e_{\max} 和 B 愈小, 平稳性愈好; 过渡时间 t_s 愈短, 系统响应愈快; C 愈小, 系统的精度愈高。

3. 自动化装置

自动化装置种类繁多, 其功能、内部结构及原理也存在较大差异。随着微电子技术的发展, 新型装置不断涌现。按功能可分为测量变送装置、控制器、执行器; 按使用能源可分为气动、电动和液动仪表; 按组成结构可分为基地式、单元组合式、组件式仪表和计算机装置等。基地式仪表将测量、显示及控制等机构集为一体。单元组合仪表是按控制系统中各部分功能而设计的独立单元, 各单元仪表之间用标准信号联系。常用的标准信号有: $0 \sim 10\text{mA DC}$ ($0 \sim 1.5\text{k}\Omega$ 负载)、 $0 \sim 20\text{mA}$ 或 $4 \sim 20\text{mA DC}$ ($0 \sim 500\Omega$ 负载) 和 $0.02 \sim 0.1\text{MPa}$ 空气。

三、考试训练

1. 自动控制系统按给定值变化分类可分哪几种类型?

参考答案: ①定值; ②顺序; ③随动。

2. 过程控制中常用的衰减比为 ()。

参考答案: $n = 4:1 \sim 10:1$ 。

3. 工业过程对自动化系统的基本要求为 ()、()、()。

参考答案: 稳、准、快。

4. 一个好的控制系统, 被控参数的过渡过程的衰减比 $n > 1$, 所以控制系统一定不允许 $n = 1$, 结论正确吗? 为什么? 举例说明。

参考答案: ①否; ②为了降低控制装置成本, 当 $n = 1$ 能够满足工艺要求时是允许的。例如, 双位式控制。

5. 某化学反应器工艺规定操作温度为 $600 \pm 10^\circ\text{C}$, 考虑安全因素, 温度偏离给定值最高不能超过 50°C 。该系统在最大阶跃干扰作用下的过渡过程曲线如图 1-4 所示。试求该系统过渡过程品质指标: 最大偏差、稳态误差、衰减比、振荡周期、过渡时间。该系统能否满足工艺要求?

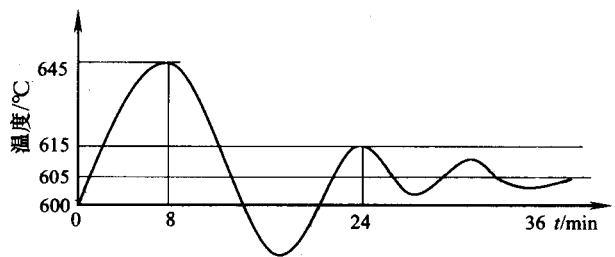


图 1-4 温度控制系统过渡过程曲线

参考答案: ① $e_{\max} = 45^\circ\text{C}$; ② C

$= 5^\circ\text{C}$; ③ $n = 4:1$; ④ $T = 16\text{min}$; ⑤ $t_s = 36\text{min}$; ⑥ $45 < 50$, 满足。

模块二 过程参数检测

一、知识点

轻工、制药生产过程中常规参数检测仪表的组成、基本原理及主要特点。温度、压力、流量、液位主要测量元件及其主要特点和使用场合。单元组合仪表采用的标准信号种类；变送器的基本组成、信号输出标准；压力变送器与差压变送器的主要区别。热电偶和热电阻的测温原理及温度变送器的基本构成。集成温度传感器、光电传感器的作用及特点。检测仪器的选择原则。了解磁氧分析仪和 pH 值检测仪器的测量原理及用途，成分检测仪器的主要特点及其检测目的。

二、知识点分析

1. 检测元件及变送器

测量仪表种类繁多，其内部结构及原理也存在较大差异。随着科学技术的发展，特别是电子技术的发展，新型仪表不断涌现。但从使用角度和仪表外部特性看，有许多相同之处。

测量仪表按使用能源分为气动、电动和液动仪表；按组成结构分为基地式、单元组合式、组件式仪表。

检测元件的作用是将被测变量转换成位移或电量（电容、电势、电阻……），变送器的作用是将位移或电量转换成标准信号，图 1-5 为其原理框图。测量元件及变送器统称测量仪表。

2. 检测元件及变送器

(1) 温度测量元件及变送器

常用的温度检测元件有热电阻、热电偶、热敏电阻等。

1) 热电阻。热电阻的测温原理是基于导体的电阻值随温度的变化而变化的特性来测量温度。金属导体都具有正的温度系数，温度每升高 1°C ，电阻值增加 $0.46\% \sim 0.6\%$ ，因此，利用金属导体作为测量元件，即可达到测温的目的。工业常用的热电阻有铜电阻和铂电阻，铜电阻的分度号为 Cu50 和 Cu100，测温范围是 $-50 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 。铂电阻分度号为 Pt10 和 Pt100，测温范围是 $0 \sim 630^{\circ}\text{C}$ 。

2) 热电偶。热电偶的测温原理是基于热电偶的热电效应，即热电偶产生的热电势 E 随被测温度 t 的变化而变化，因而可以用热电偶产生热电势的大小来表示温度的高低。热电偶是由两根不同材料的金属 A 和 B 两端相接而组成。由于不同的金属其自由电子的密度不同，在接触点电子密度大的向密度小的扩散，随着扩散增加伴随着漂移的出现，当达到动平衡时，在接触点产生热电势 E ，如图 1-6 所示。总热电势 E_{AB} 与热电偶热端温度 t 和冷端温度 t_0 有关，若 t_0 设定在 0°C ，则 $E_{AB} = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$ 成为单值函数，即 E_{AB} 只与热端温度 t 有关，而与自身长度、直径等无关。在使用热电偶测温时，应注意冷端温度补偿和补偿导线的选择。热电偶适合测量高温（ 450°C 以上），因为热电偶在测低温时产生的热电势较小，对测量仪表要求较高。

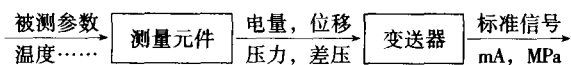


图 1-5 测量元件及变送器的原理框图

3) 热敏电阻。热敏电阻是电阻值随温度的变化而显著变化的一种半导体测温元件。按其温度系数的不同可分为：负温度系数、正温度系数和临界温度系数三种。

4) 电动温度变送器。电动温度变送器是将热电阻阻值的变化 ΔR_t 或热电偶产生的热电势 E_t 转换成标准的电信号，如图 1-7 所示。通过不平衡电桥可将 ΔR_t 转换成电压 e ，再将电压 e 转换成标准电流信号 I_0 输出。

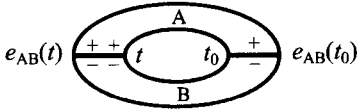


图 1-6 热电偶测温原理

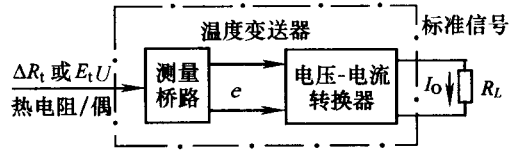


图 1-7 温度变送器的组成方框图

5) 集成温度传感器。集成温度传感器是将测温元件（如热敏晶体管）与放大电路、转换电路封装在同一芯片的器件。这种传感器具有输出信号强、体积小、线性好、测温精度高和成本低等特点。

集成温度传感器按输出量不同分为电压型（ $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ ）和电流型（ $10\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ）。集成温度传感器的工作范围为 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ ，其具体数值因型号和封装形式不同而异。

除以上介绍的测温仪表外，常用温度测量仪表如表 1-1 所示。

表 1-1 常用温度测量仪表

仪表名称	测温元件	测温范围/ $^\circ\text{C}$	适用场合
膨胀式	双金属片	$-200 \sim 700$	就地指示
压力式	温包	$0 \sim 300$	易燃、易爆、振动
铂电阻	Pt100, Pt10	$-200 \sim 600$	低、中温测量
铜电阻	Cu10, Cu50	$-50 \sim 150$	低、中温测量
热电偶	S、K、E	$0 \sim 1600$	中、高温测量
辐射式		$600 \sim 2000$	高温

(2) 压力测量元件及变送

压力、流量、液位的测量方法很多，目前应用最多的是根据流体力学和弹性元件变形原理的方法。同时流量、液位和压力也往往转换成差压或力来测量，其变送器也有许多共同之处。

压力测量多为弹性元件，如弹簧管、膜片、膜盒及波纹管等。弹性元件是依据其变形原理，将被测压力 p 转换成位移。通过转换装置，可将位移转换成气压或电信号远传。例如，电容式压力变送器的敏感元件虽然是电容，但其实质也是受压后使其变形而导致电容的变化。

(3) 流量元件及变送

流量测量仪表按测量原理不同可分为速度式、容积式和质量式。流量测量元件通常称作节流元件，如孔板、喷嘴、转子、椭圆齿轮等。流体在通过节流元件时，流速 v 发生变化，在节流元件两端产生静压差 Δp ，或改变流通截面积，常用流量测量仪表如表 1-2 所示。表中 Δp 是差压； h 是转子高度； V_0 是固定容积； v 是流速； e 是感应电势。表中节流元件输出信号均能转换成标准的输出信号。

表 1-2 常用流量测量仪表

仪表名称	节流元件	函数关系	主要特点
差压式	孔板等	$q_v = f(\Delta p)$	适用于大流量
转子	转子	$q_v = f(h)$	适用于小流量
椭圆齿轮	椭圆齿轮	$q_v = f(V_0)$	无颗粒,高粘度,低温
涡轮	涡轮	$q_v = f(v)$	精度高,耐高温
电磁	无	$q_v = f(e)$	精度高,导电介质

差压测量与压力测量方法一样,两者的区别在于前者有两个测量气室,后者有一个测量气室;此外,两者弹性元件的耐压不同。

(4) 液位测量元件及变送

常用的液位测量元件如表 1-3 所示,表中的各液位测量元件均可通过相应的电气转换装置,获得标准输出信号。除表中给出的接触式液位和物位测量仪表外,还有非接触式的测量仪表,如超声波、辐射式等。

(5) 光电传感器

光电传感器的作用是将光信息转换成电信号,即利用光电效应。常用的光敏元件有:光敏电阻、光敏二极管和光敏晶体管。

光电传感器可以广泛用于报警、转速测量、电能计量和包装生产线等自动控制领域。

表 1-3 常用液位测量元件

测量元件	作用原理	适用场合
浮球	恒浮力	温度、压力较低,高粘度介质
浮筒	变浮力	高温、高压、高粘度介质
差压式	静力学	适用面广,任何介质
电容式	介电常数	高压容器内液位

(6) 成分测量

在轻工、制药生产中,成分往往是原料质量和产品质量的直接指标。分析仪表用来检测物质的组成、特性及研究物质结构,种类繁多。常见的有:磁氧分析仪、热导式气体成分检测、电导式浓度检测、pH 值检测及色谱分析等。

1) 气敏传感器。气敏传感器是将检测气体的浓度、成分转换成电信号的器件,可用于工厂各种易燃易爆或对人体有害气体的检测、废气成分检测。气敏传感器种类很多,主要有氧化物半导体式、接触式、燃烧式、热传导式、固体电解式以及红外线吸收式等。目前,应用最多的是半导体式和接触燃烧式。

2) 磁氧分析仪。磁氧分析仪是基于氧的磁化率远大于其他气体,且磁化率随温度升高而急剧下降的“热磁效应”而制成的,多用于连续测定氧含量。气体磁化率绝对值很小,难以直接测量,因此磁氧分析仪采用间接测量的方法,即通过热磁对流现象,将磁化率的测量转换为热敏元件的温度变化,温度的差异在测量桥路中产生不平衡电压输出。输出信号的大小与氧含量成正比。磁氧分析仪的结构框图如图 1-8 所示。

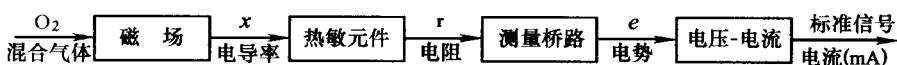


图 1-8 磁氧分析仪的组成方框图