

李昌禧 等 编著

测量、控制与管理 一体化技术

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

测量、控制与管理 一体化技术

李昌禧 张洪 李跃忠 刘红丽 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书首先介绍了测量变换方法和测量系统的典型结构,然后详细分析了较为复杂的闭环结构测量系统(闭环仪表)的动静态特性、建模分析方法和控制算法;介绍了刚刚兴起的软测量技术和提高测量水平、保证测量结果真实可靠的计量管理技术;介绍了DCS系统、FCS系统和综合自动化系统;介绍了模糊控制和专家控制两种智能控制技术。本书还介绍了现代生产管理的基本原理与ERP系统,介绍了全新的实时数据库等现代数据库技术。本书自始至终强调测量、控制与管理一体化技术,强调综合处理测量、控制、优化、调度管理与决策问题,因为测量、控制与管理之间常常互为条件、互相影响、互相渗透,所以通过一体化技术可以协调关系,可以纵观全局,可以系统地解决问题。

本书在各章都列举了实例,并进行了详细分析(或求解),力图使读者在基本概念的基础上加深对有关技术的理解 and 应用系统的认识。在本书编写过程中,作者总结了多年的科研成果,参考了最新的文献资料,力求论述清楚,内容丰富新颖,主线与各部分联系紧密。

本书可以作为高等院校自动化类、测控技术与仪器仪表类等相关专业的本科生与硕士研究生的教学参考书(或教材),也可供广大从事自动控制、检测技术与仪器仪表、计算机应用、系统工程、企业管理等方面工程技术工作的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量、控制与管理一体化技术/李昌禧等编著. —北京:国防工业出版社,2004.1
ISBN 7-118-03367-7

I. 测... II. 李... III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 114741 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 461 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

信息技术是一个多学科融合的复杂的技术体系,按系统层功能可分为信息获取技术、信息传输技术、信息存储技术、信息处理技术和信息应用技术。测量是信息获取技术,是信息技术的源头;控制是信息处理技术;而管理是信息处理与信息应用技术。通过信息传输技术与传输网络,测量、控制和管理相结合,形成了各种各样的应用系统,在工业生产、航空航天、物流商贸和科学研究中发挥着极其重要的作用。

在测量、控制和管理技术的长时间发展过程中,测量与控制往往互为条件,互相影响,互相渗透。航天测控包括对飞行器的测轨、遥测和遥控,所形成的测控系统是分割的一个整体。现代综合自动化技术统一处理控制、优化、调度管理与决策问题,综合了控制技术与管理技术,是控制与管理一体化的体现。可见测量、控制和管理技术应用更加全面,结合更加紧密,正向着测量、控制和管理一体化技术方向发展。

测量、控制与管理一体化技术是指将检测技术、信息技术、控制技术、微电子技术、计算机技术、管理技术以及通信网络技术结合起来的一种综合技术。一体化技术的应用产生了测量、控制和管理一体化系统。这样的系统不仅可以实现生产的先进控制和产品质量的自动检测与管理,还可以使企业获得最好的经济效益和社会效益。例如闭环仪表也是一种随动控制系统,必须先解决控制问题,才能取得应有的测量效果,说明控制与测量紧密联系在一起,应该用一体化技术去分析和解决问题。又如许多企业虽然建立了EPR系统,却缺乏制造执行系统(MES),结果生产控制系统与生产管理系统脱节,生产和效益都受到了制约,因此必须建立控制、管理一体化系统。

根据信息技术的发展趋势,作者结合多年的科研和教学经验编写了本书,旨在引起从事测量、控制和管理工作的广大科技工作者的重视,共同推动测量、控制和管理一体化技术与系统的发展。

本书由华中科技大学李昌禧教授担任主编。李昌禧编写了第1章~第3章;张洪编写了第5章~第7章;李跃忠编写了第4章、第8章;刘红丽编写了第9章。方华京教授对本书作了认真审阅,提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

还要向为本书的资料收集和画图工作付出辛勤劳动的代勇、卢月琼、王兵等同志表示感谢。

由于作者水平有限,缺点、不足甚至错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量、控制与管理	1
1.2 一体化技术	4
1.3 系统工程方法	6
第 2 章 闭环仪表的控制	9
2.1 平衡式测量变换	9
2.1.1 测量与平衡式变换	9
2.1.2 测量系统结构	10
2.2 闭环仪表的特性	12
2.2.1 闭环仪表概述	12
2.2.2 闭环仪表的静态特性	13
2.2.3 闭环仪表的动态特性	15
2.3 闭环仪表的模型与分析	16
2.3.1 闭环仪表的动态研究方法	16
2.3.2 闭环仪表的建模与分析	19
2.3.3 闭环仪表分析实例	28
2.4 闭环仪表的控制算法	36
2.4.1 模拟式闭环仪表与数字式闭环仪表	36
2.4.2 基本数字 PID 算法	36
2.4.3 改进型 PID 算法	39
2.4.4 搜索逼近算法	40
2.4.5 数字平衡式指示记录仪的控制算法	41
2.5 闭环仪表测量与控制的关系	43
第 3 章 软测量技术与建模	44
3.1 概述	44
3.1.1 软测量技术的意义	44
3.1.2 软测量技术的内容	45
3.2 软测量技术的建模	47
3.2.1 机理建模	47
3.2.2 机理建模与经验建模相结合	47
3.2.3 回归分析建模	48
3.2.4 人工神经网络建模	48

3.2.5 其他方法建模	48
3.3 回归分析	49
3.3.1 最小二乘法与回归分析	49
3.3.2 多元线性回归分析	53
3.3.3 部分最小二乘法	55
3.4 人工神经网络(ANN)	56
3.4.1 概述	56
3.4.2 BP 网络	59
3.4.3 RBF 网络	67
3.5 软测量技术应用实例	72
3.5.1 软测量技术在啤酒发酵糖度测量中的应用	72
3.5.2 软测量在常压塔筛料干点测量中的应用	75
3.6 软测量建模与控制建模	77
第 4 章 测量与计量管理	78
4.1 计量管理	78
4.1.1 测量与计量管理	78
4.1.2 测量与产品质量	80
4.1.3 工业测量的法制管理	82
4.1.4 测量装置许可证与计量认证制度	84
4.2 测量数据统计方法与分析处理	86
4.2.1 数据分布与统计图	86
4.2.2 参数估计	92
4.2.3 假设检验	98
4.3 检测能力指数 M_{CP} 值	105
4.3.1 M_{CP} 的概念和提出的意义	105
4.3.2 检测能力等级与 M_{CP} 值	106
4.3.3 M_{CP} 值计算举例	114
4.4 计量器具管理	115
4.4.1 计量器具检定	115
4.4.2 计量器具管理系统	117
4.4.3 计量器具的可靠性	125
第 5 章 先进控制系统	128
5.1 控制系统的发展	128
5.2 DCS 控制系统	129
5.2.1 DCS 控制系统的产生和发展	129
5.2.2 DCS 控制系统的组成	130
5.2.3 DCS 控制系统的可靠性工程	135
5.2.4 典型 DCS 控制系统分析与应用	138
5.3 现场总线控制系统基础	144

5.3.1	现场总线控制系统的特点	144
5.3.2	FCS 与 DCS 的分析比较	144
5.3.3	现场总线控制系统的结构	145
5.3.4	现场总线控制系统的基本设备	146
5.3.5	现场总线控制系统的设备管理	147
5.3.6	现场总线控制系统对测量、控制与管理一体化的影响	148
5.4	综合自动化系统	149
5.4.1	综合自动化系统的产生	149
5.4.2	制造执行系统 MES	151
5.4.3	ISA SP95 标准	155
5.4.4	OPC 技术标准	156
第 6 章	智能控制技术	159
6.1	智能控制技术概述	159
6.1.1	智能控制及其特点	159
6.1.2	智能控制与传统控制	160
6.2	模糊控制	160
6.2.1	模糊集合及其运算规则	161
6.2.2	模糊关系和模糊推理	165
6.2.3	模糊控制器的设计	168
6.2.3	模糊控制器的设计实例	172
6.3	专家系统	175
6.3.1	专家系统概述	175
6.3.2	知识表示	176
6.3.3	基于知识的推理	179
6.3.4	专家控制系统	181
第 7 章	工业通信和网络技术	187
7.1	工业控制网络概述	187
7.1.1	工业控制网络的特点	187
7.1.2	工业控制网络的基本要素	188
7.1.3	开放系统互连参考模型	190
7.2	典型的工业控制网	192
7.2.1	令牌网	193
7.2.2	以太网	194
7.2.3	TCP/IP 协议	198
7.2.4	FDD I 网	206
7.3	现场总线	207
7.3.1	现场总线技术概述	207
7.3.2	IEC 通过的 8 种现场总线标准简介	210
7.3.3	FF 现场总线标准	211

第 8 章 现代生产管理	222
8.1 现代生产管理简介	222
8.1.1 概述	222
8.1.2 现代工业企业生产运作原理	222
8.1.3 一体化技术中的先进管理模式	229
8.2 ERP 基本原理	232
8.2.1 ERP 概念及形成过程	232
8.2.2 MRP 基本原理	233
8.2.3 企业资源计划 ERP	237
8.2.4 ERP 今后的发展趋势	240
8.3 ERP 系统组成、设计及其实施	240
8.3.1 ERP 系统基本组成	240
8.3.2 ERP 系统设计简介	244
8.3.3 ERP 的实施	250
8.4 ERP-U8 系统及其应用举例	253
8.4.1 系统简介	254
8.4.2 系统管理与基础设置	256
8.4.3 应用举例	259
第 9 章 现代数据库技术	267
9.1 概述	267
9.2 实时数据库技术	268
9.2.1 传统数据库、实时系统和实时数据库	268
9.2.2 实时数据库的特征	270
9.2.3 实时数据库管理系统的体系结构	271
9.2.4 实时事务的模型	272
9.2.5 实时事务的调度	273
9.2.6 实时数据库及其管理系统采用的关键技术	276
9.2.7 一种测控系统的实时数据库	277
9.3 主动数据库技术	279
9.3.1 概述	279
9.3.2 主动数据库模型	281
9.3.3 主动数据库管理系统(ADBMS)	284
9.3.4 实现技术	286
9.3.5 主动实时数据库系统	288
9.4 时态数据库技术	288
9.4.1 概述	288
9.4.2 时态数据表示与操作	290
9.4.3 时态数据库技术的模型与实现方法	292
9.4.4 时态数据库管理系统	294

9.5 测量、控制与管理一体化技术中的数据库配置	296
9.5.1 测量、控制与管理一体化技术中的数据库	296
9.5.2 现场控制与现代数据库技术	299
9.5.3 管理决策与数据库技术	304
参考文献	309

第 1 章 绪 论

1.1 测量、控制与管理

1. 测量

确定被测量大小、正负的过程称为测量，它包括利用一定技术手段(工具、设备)，通过与标准量进行比较并计算、确定被测量的整个过程。这一过程可以是自动的、半自动的或手动的。

测量的基本方程为

$$N = \frac{x}{S} \quad (1-1)$$

x ——被测量，例如质量、温度；

S ——标准量，例如砝码，水银温度计的刻度。

检测主要指实时在线条件下的测量，包括检出、变换、预处理、显示、传送等内容。而测试则往往指试验条件下的测量，其过程一般是离线的，但要按检验、测试规程确定的步骤连续进行。

2. 测量的意义(作用)

1) 实现自动控制

早期人们只能凭目测和其他感观确定产品质量，然后用手动的方法调整机器，使其达到预期的要求。而现代生产必须进行自动控制，才能保证生产速率和产品质量。

如图 1-1 所示，现代的自动控制都是闭环控制，即反馈控制，而反馈只有靠检测才能实现。这就体现了测量与控制的密切关系，有了自动检测才能实现自动控制。

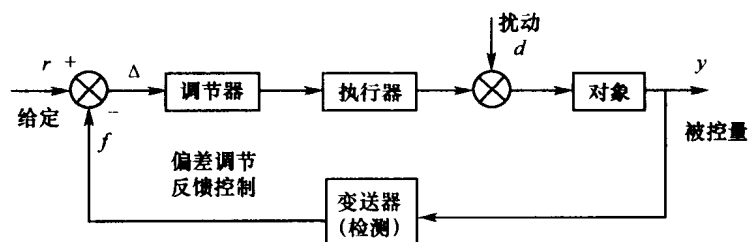


图 1-1 自动控制系统框图

2) 加强计量管理

物流调度管理、生活与商业中的贸易结算都依赖于计量。只有提高测量水平和人们对测量的认识,才能加强生产和流通领域的计量管理。

3) 支撑科学研究

科学研究的过程和结果都应该获得记录和数据,测量就是获得记录和数据的手段。

4) 帮助医疗诊断

用 CT、心电图仪、超声波探测仪等医疗仪器对人体进行测量,可以获取人体内的结构和组织变化信息,并以图像或曲线的形式提供给医生,帮助医生诊断人体状况和病情。

3. 测量的变换

按一定规律将被测量和标准量转换成便于比较处理和传输的中间量的过程称为变换(或转换)。

被测量与标准量的比较方式有直接比较(例如质量、电压常常直接比较)和间接比较两种基本形式。间接比较时,被测量和标准量都要转换成便于两者比较的中间量。例如测量压力时常将被测量和标准量转换成敏感元件的位移,再将位移转换成电量,然后进行比较。完成这种变换任务的装置(Device)称敏感元件或传感器。

4. 测量系统

由若干环节组合,能完成测量功能的系统(装置)称为测量系统。测量系统的基本功能有3个:

- (1) 测量变换;
- (2) 信号选择与比较;
- (3) 保持基准。

5. 控制与自动控制

通过观察、分析和操作(调节阀门、投料、加水等),使对象(动力学系统)的某些状态达到预定要求的过程称为控制。

早期工艺过程的控制是人工手动的控制形式。自动控制是模仿人工控制的形式进行的,以自动检测和显示等装置代替人的“耳目”,以具有比较、判断、运算、指挥等功能的调节器、计算机等代替人的“脑”,以自动执行机构代替人的“手脚”,即可用自动控制来完成人工控制的全部作用。

可以说,自动控制是指机器(装置、仪表、计算机)在无人介入的情况下,按预先给定的值(恒值)或程序,自动进行测量、判断、推理和自动进行操作的统称。

6. 自动控制系统

自动控制系统由测量装置、控制装置(调节器和执行器)和被控对象组合而成。当对象因扰动使被控量偏离给定值时(最简单情况),控制装置能自动改变控制量,使对象重新平

衡。

自动控制系统可用框图形式描述,以表示系统中各单元的功能和信号的传递关系,如图 1-1 所示。

自动控制系统按参考量(输入)的特征分为:

(1) 恒值(定值)控制系统(恒温、恒压、恒速、恒浓度等):这时,被控量应维持在一个恒定的给定值上。

(2) 程序控制系统:参考量(输入)是预先确定的一种时间函数(另外的变量的函数),这种控制称作时间程序控制(或其他变量程序控制)。

(3) 随动控制系统:参考量(输入)是一个未知的的时间函数,本身就是一个被测量。系统的反馈量必须跟随被测量的变化而变化,以便维持它们的比例或平衡关系。

自动控制系统按系统性质和分析方法可分为:

(1) 线性系统:满足齐次性和叠加原理;

(2) 非线性系统:静态特性不是过原点的直线,动态特性要用非线性微分方程描述;

(3) 集中参数和分布参数系统:元件尺寸远小于信号波长,传输时间长,分析系统涉及时间和空间;

(4) 单变量和多变量系统:多输入、多输出。

7. 控制品质和控制理论

由于系统(装置本身和对象)存在惯性、延滞,当参考量(输入)变化时,被控量往往要经过一个过渡过程才能达到要求,甚至长时间达不到要求。与理想的控制系统相差甚远。

对控制系统具体有 3 方面的品质要求:

(1) 系统必须稳定,这是系统正常工作的前提;

(2) 系统稳态误差要小(偏差要小),即获得较高的精度;

(3) 系统瞬态质量要好,包括:超调小,过渡过程时间要短,或者说响应频带宽。

为了获得好的控制品质,人们不断总结,深入研究,推动了控制理论的发展。控制理论是指导控制系统分析和设计的理论方法,经过“经典控制理论”、“现代控制理论”,现已发展到“大系统理论”、“智能控制理论”、“复杂巨系统控制理论”阶段。早期理论用于对反馈系统进行动态特性的分析、校正和综合,之后就发展到对系统的状态估计和系统辨识、稳定性分析、灵敏度分析以及各种控制方法(算法)、结构方案、分解方法和协调优化方法。

8. 控制的发展及其与管理的结合

由于任务的需要、控制理论的深入和自动化装置的不断进步,自动控制在加工制造、生产流程、航空、航天等领域都取得了辉煌的成绩,获得了广泛的应用。当前,各种先进控制策略不断涌现,尤其智能控制(专家控制、模糊控制和人工神经网络控制)已成为研发和应用的热点。控制系统正进一步向开放式和网络化方向发展,以方便用户将不同制造厂的产品互连,并与局域网、互联网相连。

在过程控制中,过程优化往往可获得更大的经济效益和社会效益。而综合自动化统

一处理控制、优化、调度管理和决策等功能作用，兼顾了控制和管理两个方面，是控制和管理一体化的体现。

9. 管理与管理信息系统

管理对生产、企业乃至社会都有非常重要的作用。管理在技术上已获得了深入的发展，综合了管理理论、控制论、信息论、运筹学和统计学等科学理论以及技术方法，在实际中获得了广泛的应用，从项目、财务、设备(库存)、人事到生产、销售，大多数单位都建立了管理系统。

以往的管理与高度集中的计划紧密联系在一起，现代的管理则以适应市场的需求，提高经济效益，提高生产效率，提高人员、物质、资金的最大利用率为原则。

管理信息系统(Management Information System)简称 MIS 系统，用计算机管理生产(或企业、单位)的信息流，能形成一个收集、传输、存储、处理信息的人—机系统，为生产(企业或单位)管理决策服务，是目前进行生产(企业或单位)管理的一种流行的形式。例如在机械制造企业中广泛应用的制造资源计划系统(Manufacturing Resources Planning，简称 MRP-II)就是一种管理信息系统，它面向生产，能将企业的物料、设备、人力、资金、信息 5 大资源进行全面规划和优化控制，合成一个有机整体，给企业带来显著的效益。

目前还有一种流行的作法，在一个企业建立人力、财务、生产、销售 4 个 MIS 系统，再在其上构造一个决策支持系统(Decisive Support System, DSS)，便可以对企业进行综合决策、全面管理。

管理信息系统的特点如下：

- (1) 信息数据的集中统一：将各种原始数据分类整理、保存、统一格式的统计备查；
- (2) 应用数学模型分析、预测：能解几千个变量的方程，从中找出最优解、最优方案，能根据过去的数据分析、预测未来；
- (3) 有控制功能：合理地计划和安排每一项工作，每一个人员；
- (4) 具有决策支持功能：向自适应、自学习方向发展，可模拟人的决策过程。

1.2 一体化技术

1. 一体化技术与一体化系统

一体化的概念先见于 Mechatronics，日本人称之为机械电子学，我国称为机电一体化。关于这一词义的解释并无统一的标准，以日本机械振兴协会经济研究所的提法较容易为人们接受：“机电一体化这个词乃是指机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引入了电子技术，并将机械装置和电子设备以及软件等有机结合起来构成的系统的总称”。这里包含两个含义，即“机电一体化技术”和“机电一体化产品”。以后，人们还提出了光机电一体化。

20 世纪 80 年代，发达国家就工业自动化的发展又提出 EIC 一体化，即电控(E)、仪控(I)和计算机控制(C)一体化，又被冶金行业称为三电一体化。其宗旨是考虑原来按专业划分的控制装置、控制功能已相互渗透，互相替代，应该在计算机控制技术的基础上全

局优化, 结合成为一个有机的整体, 实现一体化。

今天, 测量、控制和管理已有微机和通信网络这一共同的硬件基础, 已有公共的组态和编程软件, 通过优化结合成一个有机整体将有重要意义。毫无疑问, 测控与管理一体化也包括“一体化技术”和“一体化系统”两个含义。

测控与管理一体化技术指将检测技术、信息技术、控制技术、管理技术、微电子技术、计算机技术、网络技术相结合的一种综合性技术。

测控与管理一体化系统不同于单纯的测量装置或控制系统, 也不同于一般的管理系统, 它是测量与控制结合的自动化装置, 是测量、控制、管理与计算机相结合的新一代系统。

2. 相关技术

一体化技术是传统技术与高新技术结合的产物, 因此相关技术很多, 如上所述。其中: 测量技术、控制技术、管理技术作为传统技术, 信息技术、微电子技术、计算机技术与网络技术视作高新技术。

3. 一体化系统的特点

- (1) 功能增强(多功能);
- (2) 结构简化(合多为一, 统筹设计, 脱胎换骨);
- (3) 性能提高(技术互补, 新技术, 新原理);
- (4) 可靠性更好(技术进步, 容错与诊断, 直接连接, 接口元件减少, 可靠性提高)。

4. 一体化技术(作用)意义

工业生产中, 一体化技术产生了测量、控制和管理一体化系统。它可以进行实时的数据采集和集中监测, 可以实现生产过程(工艺过程)的先进控制和产品质量的自动检测, 求取生产效益整体目标的最优值, 使企业获得最好的市场经济效益和社会效益。

在空间事业中, 测控系统(测控中心)的作用更是不言而喻, 大量空间信息的管理也是至关重要的。现在测控与管理一体化系统是电子技术与计算机技术应用最活跃、最具潜力的一个领域。

5. 一体化技术及系统的发展方向

1) 分布式、开放式的测控一体化

由于高可靠性、高实用性和扩展灵活性, 分布式系统已成为测控与管理系统的方向发展。

分布式系统由节点和网络组成, 有分布式操作系统、网络通信软件、分布式数据库等软件支持, 具有以下特点:

- (1) 任务、功能、危险、资源分布(分散), 时间重叠, 工作并行;
- (2) 节点结构完整、工作平等独立, 而又协作。

测控与管理系统又分多个层次, 成为分级分布式系统。例如 3 层结构(测控级、监控级和管理级), 2 层结构(测控级与综合管理级), 5 层结构(基础测控、先进与优化控制、计

划调度、管理、决策)。现场总结控制系统是2层结构。其中第一层一定是现场测控级,具有一体化结构,能独立同时完成现场的测量和控制功能,又能经过通信网络互相联系,与上层交换信息,构成完整的一体化系统。

2) 数据通信与网络技术

分布式系统能成为一个整体的关键在于数据通信,尤其现场级的通信,虽然速率要求不是很高(低速),但可靠性要好,因此系统通信尤其是现场级的通信是目前世界各国都在集中研发的课题。

1.3 系统工程方法

1. 系统与系统工程

1) 系统

由众多相互有机联系的要素(单元)所构成的能完成一定功能的统一整体,称为系统。

系统可大可小,可指测量部分、控制部分,也可指测量、控制与管理一体化整体。这里提出系统的概念,旨在强调一部分事物总与更大系统的其他部分有着密切的联系,进行研究和设计的时候应该考虑到这种联系,要有开阔的视野,要用系统工程的观点和方法,不能只简单地局限地处理问题。

2) 系统的主要特性

(1) 集合性: 系统由众多要素集合而成;

(2) 关联性: 系统内要素之间、系统与外部环境之间都相互关联;

(3) 整体性: 系统具有各要素本质不可能具备的新功能,测量、控制与管理的结合可实现生产质量、产量、能耗的综合优化目标(综合效益);

(4) 层次性: 系统体现出一定的层次、顺序结构,如现场测控、过程监控、生产管理的上下层次。

3) 系统工程

系统工程是研究复杂系统设计的应用学科,主要运用软技术,研究内容包括确定系统的目标与功能,研究各要素之间及与整体之间的协调配合,使系统整体达到最优目标。

系统工程要求纵览全局,着眼整体,利用各学科的思想和方法,从不同角度,借助于数学方法与计算机工具,规划、设计、组建和运行整个系统,使其技术、经济和社会效益达到最优。

4) 系统工程观念(原则)

(1) 目的性原则: 把选定正确的目标放在首位。例如一个卫星的测控管理系统是为完成卫星的任务而工作,因此越简单越好。

(2) 整体观念: 全局观点、长远观点、标准化、开放性。

(3) 综合观念: 各种技术综合,各部分综合。综合处理传感器、测量电路、数据采集、控制算法等部分问题,以获得最好效果为原则。

(4) 全过程观念: 要考虑系统(工程)生命周期全过程。

5) 系统工程的设计步骤

- (1) 调查研究, 明确开发、设计的任务目的;
- (2) 建立指标体系和初步评价准则;
- (3) 设计可能的方案;
- (4) 对每一方案进行建模和分析;
- (5) 对各方案进行效果、风险、成本、效益评价;
- (6) 综合评选出最优方案, 拟订实施计划。

2. 系统需求分析和设计决策

1) 需求分析

明确需求, 才有设计的依据。需求的调查对象是用户。用户可能是一个实际的单位, 也可能是一个更大的系统(分解任务的大系统)。

用户的要求不一定是合理的, 一定要把握尺度, 不合理的要求要协商调整。

要求内容包括:

(1) 功能要求。包括:

- 测量功能: 哪些量, 有实时在线要求否, 什么输出形式 (显示、打印、传输、通信……);
- 控制功能: 什么对象, 模型为何, 哪些状态, 需构成什么系统(随动、恒值、串级……控制);
- 管理功能: 操作要求、数据库要求、打印报表、决策分析、统计分析等。

(2) 性能要求。包括:

- 测量控制范围;
- 测量控制精度;
- 测量灵敏度(分辨率);
- 稳定性、可靠性要求(MTBF);
- 响应速度;
- 超调量;
- 数据库浏览(查询)方式、容量、安全性。

(3) 对象特性。包括: 输入输出关系(传递函数、用户以往的经验、做法、其他图纸资料), 各变量的性质(幅度、变化率、分布性等)和生产使用规律

(4) 环境条件。包括: 温、湿度, 电源条件、干扰情况(电磁环境), 粉尘、水、油情况, 力学环境、冲击振动情况、安装条件, 使用人员的素质、维护力量(硬、软件), 用户经济能力。

(5) 其他: 用户长远发展规划、扩展、升级的计划。

(6) 调查研究的结果应形成需求分析报告, 以便设计方案。

2) 设计决策

完成需求分析之后就应设计多个总体方案。设计总体方案是一件很重要的事, 总体方案好就为成功打下了坚实的基础。设计总体方案是一件复杂的工作, 一般需要有多方面(博)的知识和丰富的工程经验。

多个方案还要经过决策、综合、优化才能形成最终方案。在评价不同方案，综合不同专家意见的时候，可采用以下科学的方法。

(1) 建立评价准则(集)。包括：

- 达到预期功能和性能指标的程度；
- 可靠性(含可维护性、安全性等)；
- 技术先进性(新技术，可扩展、可更新性等)；
- 经济性(成本、效益、生产成本等)；
- 时间性(提前、按期、拖延等)；
- 其他。

(2) 对评价准则加权。通过讨论确定。不同的系统，各个评价准则的重要性是不同的。其中一个做法是，由每个专家对各个评价准则的重要性进行每两个比较打分，总分为 100 分，由抽出比较的两个评价准则分摊。例如对 G_1 、 G_3 打分， $G_1 \Rightarrow 70$ 分， $G_3 \Rightarrow 30$ 分，即 $G_1: G_3=70: 30$ ，这样，一共有 C_n^2 对两两组合。

(3) 按准则给各方案评分。定性评价较多，评分最高为 1，如表 1-1 所列。

表 1-1 各方案评分表

理想差	极差	差	中等	好	很好	理想好
0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0

(4) 综合处理

将所有专家的评分去掉最高和最低分后取平均，按平均分排序，即可确定最优方案。实际工作中往往将几个方案中的优点集中到一起产生一个最终的新方案。