

# 雷达电子战系统 数学仿真与评估

王国玉 汪连栋 等著



国防工业出版社

# 雷达电子战系统 数学仿真与评估

王国玉 汪连栋 王国良 著  
肖顺平 王雪松 申绪润

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书全面系统地论述了雷达电子战系统数学仿真与评估的基本理论和方法、仿真与评估数学模型以及典型仿真示例等。本书内容新颖,系统性强,理论联系实际,具有很强的实际应用背景,基本反映了近年来雷达电子战系统数学仿真与评估研究领域的新理论、新方法和新成果,具有较高的学术水平和应用价值。

全书内容主要包括:概论,雷达系统仿真数学模型,雷达侦察系统仿真数学模型,雷达干扰系统仿真数学模型,电磁波传输仿真数学模型,雷达电子战系统评估模型,数学仿真试验、实装对抗试验与替代等效推算综合评估方法与模型,雷达电子战系统数学仿真与评估有效性检验,以及雷达电子战系统数学仿真与评估软件、硬件系统等。

本书可供电子系统尤其是雷达电子战系统分析研究、研制与试验评估以及建模仿真等领域的工程师使用,亦可作为高等院校信息与通信工程、电子技术、计算机应用等相关专业的教师和研究生进行有关课题研究或课程教学时的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

雷达电子战系统数学仿真与评估 / 王国玉等著. —北京:国防工业出版社,2004.6

ISBN 7-118-03433-9

I.雷... II.王... III.①电子战-仿真-数学模型②电子战-评估-数学模型 IV. E869

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014211 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 700×960 1/16 印张 36½ 插页 4 695 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:82.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 前 言

20世纪80年代末以来,伴随着现代计算机技术的迅猛发展,利用计算机作为仿真建模与仿真试验工具的数学仿真技术在科学研究领域和工程技术领域得到了广泛的应用。通过仿真模型的建立与试验,对已存在、设计中或概念中系统的本质特性进行分析研究,可获得难以估量的技术效果和经济效益。

在国防科技领域,计算机数学仿真技术已成为军事电子信息系统、导弹武器系统、航空航天工程等研制与试验中的先导技术,没有仿真技术的支持,重大国防工程和武器装备的发展就不可能像今天这样如此迅速。数学仿真技术已是追求“投资少、效率高、技术好”这一理想目标的重要手段,它使军事装备的研制、试验、训练与使用方法产生了巨大的变奏。计算机数学仿真已逐渐成为内容十分丰富的既独立于理论研究、实验研究,又与各相关领域基本理论与技术紧密相联的基本科学活动之一。

本书研究讨论雷达电子战系统数学仿真与评估基本理论及方法,共9章,从结构上可分为以下四部分。

第一部分(第1章)从系统角度描述了雷达电子战系统数学仿真的概念、建模方法以及仿真方法等。

第二部分(第2章~第5章)从雷达、雷达侦察、雷达干扰系统以及目标与环境特性数学仿真试验角度出发,系统全面地讨论了仿真过程中涉及的数学模型,对于雷达、雷达侦察、雷达干扰系统的仿真分别从功能仿真和信号仿真角度详细阐述了数学仿真所需模型。雷达系统的仿真包括单部雷达、双基地雷达和雷达网的仿真;雷达侦察系统仿真包括雷达电磁信号环境仿真、侦察系统功能仿真以及侦察系统信号仿真;雷达干扰系统仿真包括遮盖性干扰的功能仿真以及遮盖性和欺骗性干扰的信号仿真;在电磁波传输模型中讨论了大气和地理环境对电磁波传输的影响等。

第三部分(第6章~第8章)讨论了雷达电子战系统评估方法以及仿真与评估的有效性检验问题。阐述了雷达电子战系统技术战术单一指标以及多项指标的性能评估,典型电子作战环境下的雷达电子战武器系统的效能评估,基于典型实装对抗试验数据的替代等效推算评估以及数学仿真试验、实装对抗试验、替代等效推算三结合的综合评估方法。同时分析了雷达电子战系统数学仿真模型、

仿真系统以及替代等效推算模型有效性验证的基本方法。

第四部分(第9章)阐述了雷达电子战系统仿真与评估的软件、硬件环境。从软件、硬件体系结构出发,给出了构建雷达电子战数学仿真系统所需的各种数据库系统功能、组成和设计过程,并详细论述了二维态势、三维视景仿真的建模、表现等内容。

本书内容新颖,系统性强,理论联系实际,具有一定的学术水平和实际应用价值,基本反映了近年来雷达电子战系统仿真试验技术研究领域的新理论、新方法和新成果,是作者多年来在相关领域深入研究与实践的结晶。

在本书的撰写过程中,得到了许多同志的大力支持与帮助。阮祥新、陈永光、霍万利、戚宗锋、马孝尊、聂孝亮、唐忠、孔德培、韩来彬、狄东宁、蒙洁、洪丽娜、冯润明、冯富强、周颖、谢晓霞、丹梅、柴舜连、徐振海、张文明、刘建成、赵艳丽、郝晓军、董晓博、张伟、尹照武、秦卫东、高修宾等同志参加了部分模型的研讨,并提出了宝贵建议,作者在此一一致谢。

由于本书内容涉及面广,有些问题还在进一步深入研究,加之作者水平有限,书中定有缺点与短见之处,恳望读者不吝指教。

作者

2003年12月

# 目 录

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 系统	1
1.2.1 系统的概念	1
1.2.2 系统的特性	2
1.2.3 系统的类型	4
1.2.4 系统的研究方法	5
1.3 数学模型	6
1.3.1 模型的概念	6
1.3.2 模型的性质	7
1.3.3 数学模型分类	7
1.3.4 建立数学模型的方法	9
1.3.5 系统数学模型形式化描述	10
1.4 数学仿真	11
1.4.1 仿真的分类	11
1.4.2 数学仿真的发展	11
1.4.3 数学仿真的难点与优点	15
1.4.4 数学仿真的步骤	16
1.4.5 数学仿真的应用	19
1.5 蒙特卡罗仿真	20
1.5.1 一般原理	20
1.5.2 概率收敛性	23
1.5.3 误差	24
1.5.4 特点	24
1.5.5 蒙特卡罗仿真与数学仿真的比较	25
1.6 连续系统数学仿真	25
1.6.1 数学模型	25
1.6.2 仿真方法	27

1.6.3	数值积分方法的选择	28
1.6.4	数值积分与连续系统仿真的区别	29
1.7	离散事件数学仿真	30
1.7.1	数学模型	30
1.7.2	仿真过程	32
1.7.3	典型离散事件系统——排队系统	34
1.8	雷达电子战系统	45
1.8.1	电子战	45
1.8.2	雷达电子战系统	46
1.9	雷达电子战系统数学仿真	48
1.9.1	基本概念	48
1.9.2	功能仿真	48
1.9.3	信号仿真	50
1.9.4	仿真评估过程	55
1.9.5	仿真模型需求	57
1.10	雷达电子战系统评估	59
1.10.1	基本概念	59
1.10.2	试验评估资源	60
1.10.3	雷达电子战系统评估	63
<b>第2章</b>	<b>雷达系统仿真数学模型</b>	<b>64</b>
2.1	概述	64
2.1.1	雷达系统基本概念	64
2.1.2	雷达系统功能	64
2.1.3	雷达系统分类	65
2.1.4	雷达系统主要技术战术参数	66
2.1.5	仿真数学模型	67
2.2	目标特性数学模型	68
2.2.1	目标雷达截面数学模型	68
2.2.2	目标幅度起伏数学模型	77
2.2.3	目标角闪烁数学模型	79
2.3	雷达天线仿真数学模型	83
2.3.1	普通雷达天线	83
2.3.2	相控阵雷达天线	94
2.4	雷达系统功能仿真主要数学模型	115
2.4.1	雷达回波仿真数学模型	115

2.4.2	接收机噪声仿真数学模型 .....	116
2.4.3	综合信干比 .....	116
2.4.4	雷达抗遮盖性干扰改善因子数学模型 .....	117
2.4.5	雷达目标检测和确认仿真模型 .....	124
2.4.6	部分仿真试验结果简析 .....	124
2.5	雷达系统信号仿真主要数学模型 .....	127
2.5.1	雷达发射信号模型 .....	127
2.5.2	目标回波信号模型 .....	129
2.5.3	接收机噪声信号模型 .....	130
2.5.4	雷达接收信号模型 .....	130
2.5.5	信号处理模型 .....	131
2.5.6	数据处理模型 .....	141
2.5.7	部分仿真试验结果 .....	167
2.6	杂波特性数学模型 .....	170
2.6.1	杂波后向散射系数 .....	170
2.6.2	地面杂波 .....	171
2.6.3	海面杂波 .....	176
2.6.4	气象杂波 .....	180
2.7	双基地雷达仿真数学模型 .....	182
2.7.1	双基地雷达概述 .....	182
2.7.2	双基地雷达特点 .....	184
2.7.3	双基地雷达探测性能分析 .....	185
2.7.4	双基地雷达的观察面积 .....	186
2.7.5	双基地雷达的空间探测范围 .....	189
2.7.6	双基地雷达的目标特性 .....	192
2.8	雷达组网系统仿真数学模型 .....	194
2.8.1	雷达组网技术及布站方式 .....	194
2.8.2	雷达组网检测系统结构模型及性能分析 .....	196
2.8.3	雷达网分布式检测数学模型 .....	198
2.8.4	组网雷达检测融合性能仿真计算结果及结果简析 .....	205
2.9	雷达系统损耗因子 .....	207
2.9.1	收发损耗因子 .....	207
2.9.2	极化损耗因子 .....	212
<b>第3章</b>	<b>雷达侦察系统仿真数学模型</b> .....	<b>213</b>
3.1	概述 .....	213



3.1.1	雷达侦察系统的基本概念 .....	213
3.1.2	雷达侦察系统的功能 .....	213
3.1.3	雷达侦察接收机的分类 .....	214
3.1.4	雷达侦察系统主要技术战术参数 .....	215
3.1.5	仿真数学模型 .....	216
3.2	电磁环境仿真 .....	217
3.2.1	典型的电磁环境 .....	217
3.2.2	电磁环境仿真的通用方法 .....	219
3.2.3	电磁环境信号建模 .....	220
3.2.4	电磁环境仿真实现 .....	227
3.3	雷达侦察系统功能仿真数学模型 .....	238
3.3.1	仿真方法及建模 .....	238
3.3.2	雷达侦察系统功能仿真举例 .....	242
3.4	雷达侦察系统信号仿真数学模型 .....	245
3.4.1	信号分选 .....	245
3.4.2	信号识别 .....	255
3.5	雷达侦察系统天线仿真数学模型 .....	259
<b>第4章</b>	<b>雷达干扰系统仿真数学模型 .....</b>	<b>267</b>
4.1	概述 .....	267
4.1.1	雷达干扰的基本概念 .....	267
4.1.2	雷达干扰系统的功能 .....	267
4.1.3	雷达干扰系统的分类 .....	268
4.1.4	雷达干扰系统主要技术战术参数 .....	271
4.1.5	仿真数学模型 .....	272
4.2	遮盖性干扰功能仿真数学模型 .....	272
4.2.1	有源遮盖性干扰 .....	272
4.2.2	无源遮盖性干扰 .....	272
4.3	遮盖性干扰信号仿真数学模型 .....	278
4.3.1	射频噪声干扰 .....	280
4.3.2	噪声调幅干扰 .....	281
4.3.3	噪声调频干扰 .....	281
4.3.4	噪声调相干扰 .....	282
4.3.5	脉冲干扰 .....	282
4.3.6	无源重诱饵 .....	284
4.3.7	箔条云团干扰 .....	284

4.4	欺骗性干扰信号仿真数学模型 .....	285
4.4.1	距离欺骗干扰 .....	286
4.4.2	速度欺骗干扰 .....	288
4.4.3	角度欺骗干扰 .....	290
4.4.4	对跟踪雷达 AGC 电路的干扰 .....	298
<b>第 5 章</b>	<b>电磁波传输仿真数学模型 .....</b>	<b>300</b>
5.1	大气传输损耗数学模型 .....	300
5.1.1	对流层数学模型 .....	300
5.1.2	对流层折射数学模型 .....	301
5.1.3	对流层吸收数学模型 .....	303
5.1.4	累积损耗数学模型 .....	305
5.1.5	大气波导效应 .....	305
5.2	多路径传输效应数学模型 .....	306
5.2.1	多路径传输效应分析 .....	306
5.2.2	多路径传输效应数学模型 .....	308
5.2.3	各因子解算方法 .....	308
5.3	遮挡效应数学模型 .....	310
5.3.1	电磁波的多峰绕射 .....	311
5.3.2	电磁波的地表绕射 .....	318
5.3.3	电磁波的对流层散射 .....	319
5.4	传输损耗的算法模型 .....	323
<b>第 6 章</b>	<b>雷达电子战系统评估模型 .....</b>	<b>326</b>
6.1	概述 .....	326
6.2	统计数据处理的基本问题 .....	326
6.2.1	数据结果的点估计 .....	326
6.2.2	点估计量的评选标准 .....	330
6.2.3	数据结果的区间估计 .....	333
6.2.4	数据结果的假设检验 .....	337
6.2.5	贝叶斯估计和检验 .....	347
6.3	雷达侦察系统评估模型 .....	353
6.3.1	评估指标 .....	353
6.3.2	评估模型 .....	354
6.4	雷达干扰/抗干扰效果评估模型 .....	356
6.4.1	引言 .....	356
6.4.2	雷达干扰/抗干扰效果基本评估准则 .....	358

6.4.3	遮盖性干扰评估指标和方法 .....	361
6.4.4	欺骗性干扰评估指标和方法 .....	368
6.4.5	雷达干扰对武器系统的作战效能评估方法 .....	373
6.4.6	雷达干扰对雷达网的作战效能评估模型 .....	382
6.4.7	雷达干扰对双基地雷达的作战效能评估模型 .....	384
6.4.8	雷达干扰/抗干扰模糊综合评估方法 .....	387
<b>第7章</b>	<b>数学仿真试验、实装对抗试验与替代等效推算综合评估方法与模型</b> .....	<b>409</b>
7.1	概述 .....	409
7.1.1	替代等效推算评估方法 .....	409
7.1.2	三结合的综合试验评估方法 .....	410
7.2	基于典型实装对抗试验的替代等效推算评估方法与模型 .....	412
7.2.1	问题的提出 .....	412
7.2.2	雷达侦察试验替代等效推算模型 .....	414
7.2.3	雷达干扰试验替代等效推算模型 .....	417
7.3	应用三结合的试验方法进行复杂战情下综合评估 .....	428
7.3.1	问题的提出 .....	428
7.3.2	三结合综合评估方法 .....	429
7.4	雷达电子战系统三结合试验方法的有效性 .....	433
<b>第8章</b>	<b>雷达电子战系统数学仿真与评估有效性检验</b> .....	<b>436</b>
8.1	概述 .....	436
8.2	综合仿真评估检验方法 .....	439
8.3	数学模型验证方法 .....	446
8.3.1	概述 .....	446
8.3.2	仿真试验与飞行试验的比较方法 .....	447
8.3.3	试验场一体化研究方法 .....	447
8.4	典型外场试验与数学仿真一致性检验方法 .....	448
8.4.1	数学仿真试验与外场试验的模型验证 .....	448
8.4.2	试验数据和仿真结果的一致性 .....	448
8.5	替代等效推算模型验证方法 .....	449
8.5.1	雷达侦察系统侦察距离替代等效推算模型试验 验证方法 .....	449
8.5.2	雷达干扰系统压制距离替代等效推算模型试验 验证方法 .....	450
8.5.3	验证检查仿真模型 .....	451

8.5.4	模型验证异常现象分析和处理 .....	451
8.6	数学仿真试验结果分析 .....	451
8.6.1	数学仿真试验结果分析的目的和要求 .....	451
8.6.2	实例分析 .....	452
<b>第9章</b>	<b>雷达电子战系统数学仿真与评估软件、硬件系统 .....</b>	<b>459</b>
9.1	概述 .....	459
9.2	软件系统 .....	460
9.2.1	软件体系结构 .....	460
9.2.2	软件系统组成 .....	462
9.3	硬件系统 .....	463
9.3.1	硬件体系结构 .....	463
9.3.2	硬件系统组成 .....	464
9.4	数据库系统 .....	465
9.4.1	数据库体系结构 .....	465
9.4.2	数据库组成 .....	465
9.4.3	数据库功能 .....	466
9.4.4	数据库设计 .....	467
9.5	视景仿真系统 .....	476
9.5.1	二维态势表现系统 .....	478
9.5.2	三维视景仿真系统 .....	482
<b>附录 A</b>	<b>空间关系模型 .....</b>	<b>506</b>
A.1	坐标系 .....	506
A.2	坐标变换 .....	509
A.3	目标运动学模型 .....	513
A.4	空间几何关系 .....	514
<b>附录 B</b>	<b>数学仿真基础 .....</b>	<b>519</b>
B.1	仿真输入随机数产生 .....	519
B.2	仿真输出数据分析 .....	543
B.3	概率密度函数估计 .....	550
B.4	时间基准 .....	554
<b>图表索引</b>	<b>.....</b>	<b>558</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>568</b>

# 第 1 章 概 论

## 1.1 概 述

仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及应用领域的有关专业技术为基础,以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具,利用模型对系统(已有的或设想的)进行研究、分析、评估、决策或参与系统运行的一门多学科的综合性技术。通常,应用于军事领域的仿真技术称为军用仿真技术。

计算机仿真是指借助计算机(网),用系统的模型对已经存在的、或正在设计中的、或概念中的系统进行试验,以达到分析、研究、设计和评估该系统的目的。计算机仿真的特点是精度高、重复性好、通用性强、价格便宜。至今已发展了许多计算机仿真程序包和仿真语言,使用起来比较方便。计算机仿真技术在生产管理、工程技术、军事研究、科学试验、国民经济、重大决策等社会科学和自然科学各领域都得到了广泛的应用,其效果十分显著,特别是在重大国防武器系统研制或关键技术研究中,计算机仿真技术水平的高低直接关系到它们的先进性、经费开销、研制周期,甚至关系到所研究系统的成败。

要实现仿真,其核心是要寻找所研究系统的“替身”,这个“替身”称为模型。模型是对某个系统、实体、现象或过程的一种物理的、数学的或逻辑的表述,它不是原型的复现,而是按研究的侧重面或实际需要,对系统进行的简化提炼,以利于研究者抓住问题的本质或主要矛盾,仿真实质上是实现模型随时间推演的过程。

对一个系统进行数学仿真就是用数学模型来替代这个系统,并建立相应的仿真算法和仿真软件,在计算机上运行以获得各种试验数据,然后依此对系统进行深入全面的分析研究。

## 1.2 系 统

### 1.2.1 系统的概念

“系统”泛指自然界的一切现象和过程。一个系统是指按照某些规律结合起来、互相作用、互相依存的所有实体的集合或总和。

系统的范围很广,可谓包罗万象,大地、山川、河流、海洋、森林和生物组成了

一个相互依存、制约且不断运动又保持平衡状态的整体,这就是自然系统。又如图 1-1 所示简单 RLC 电路系统,它由电容器、电感器、电阻器和激励组成,是一个简单而又典型的电路系统。

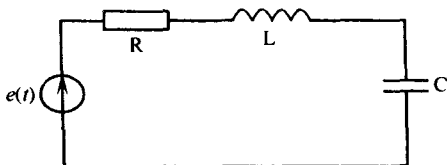


图 1-1 RLC 电路系统

自然系统是自然界按照自身的发展规律而形成的,又称为非工程系统;而图 1-1 所示的系统是人们根据某种需要,为实现预定功能而构成的系统,这类系统称为人造系统,又称之为工程系统。本书侧重于工程系统。

任何系统都存在三个方面需要研究的内容,即系统的三要素——实体、属性和活动。

实体——组成系统的具体对象;

属性——实体所具有的每一种有效特性(状态和参数);

活动——系统内对象随时间推移而发生的状态变化。

例如,图 1-1 中系统的实体是:电阻器 R,电感器 L,电容器 C 和激励  $e(t)$ ;系统属性是:电荷  $q$ ,电流  $dq/dt$ ,激励  $e(t)$ , L、R、C 的量;系统活动是:电振荡(随时间变化)。

这里再介绍几个有代表性的系统的定义。

(1) 美国韦氏大辞典中,系统一词被解释为:有组织的和被组织化了的整体;结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合;由有规则、相互作用、相互依赖的诸要素形成的集合等。

(2) 奥地利生物学家、一般系统论的创始人贝塔朗非把系统定义为:相互作用的诸要素的综合体。

(3) 日本工业标准《运筹学术语》中对系统的定义是:许多组成要素保持有机的秩序向同一目标行动的体系。

(4) 我国著名科学家、系统工程的奠基人钱学森认为:系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

## 1.2.2 系统的特性

### 1. 整体性

整体性表现在系统整体,并非是其组成要素的简单叠加。它表现在两个方

面:

- (1) 整体由各组成要素组合而成;
- (2) 整体大于各组成要素之和。

## 2. 集合性

系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素组成的。例如一个计算机系统一般是由处理器、存储器、输入/输出设备、控制器等硬件所组成,同时还包含操作系统、程序设计、数据库管理系统等软件,从而形成一个完整的系统。

## 3. 层次性

系统作为一个相互作用的诸要素的总体来看,它可以分解为一系列的子系统,并存在一定的层次结构。这是系统空间结构的特定形式。在系统层次结构中表述了在不同层次子系统之间的从属关系或相互作用关系。在不同的层次结构中存在着动态的信息流和物质流,构成了系统的特性,这为深入研究系统层次之间的控制与调节功能提供了条件。例如,在系统控制理论中就专门研究递阶控制系统的理论和方法。

## 4. 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互作用的。相关性说明这些联系之间的特定关系,以及这些关系之间的演变规律。例如,城市是一个大系统,它是由资源系统、市政系统、文化系统、教育系统、医疗卫生系统、商业系统、工业系统、交通运输系统、邮电通信系统等相互联系的部分组成。通过系统内各子系统相互协调的运转去完成城市生活和发展的特定目标。各子系统之间具有密切的关系,相互影响、相互制约、相互作用。

## 5. 目的性

通常系统都具有某种目的,要达到既定的目的,系统都具有一定的功能,而这正是区别这一系统和其他系统的标志。系统的目的一般用更具体的目标来体现,对于比较复杂的系统而言不止具有一个目标。因此,需要用一个指标体系来描述系统的目标。在指标体系中各个指标之间有时是相互矛盾的,有时是互为消长的。要从整体出发力求获得全局最优的效果,就要求在矛盾的目标之间做好协调工作,寻求平衡和折衷方案。

## 6. 环境适应性

任何一个系统都生存在一定的物质环境中。因此,它必然也要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换。外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化,不能适应环境变化的系统是没有持续生命力的。而只有能够经常与外界环境保持最优适应状态的系统,才是经常保持不断发展势头的理想系统。

### 1.2.3 系统的类型

系统的分类方法很多,分类的实质是从不同的角度判定系统所属类型。现将几种常用系统分类概述如下。

#### 1. 自然系统与人造系统

按照系统的起源,自然系统是由自然过程产生的系统。这类系统的组成部分是自然物(矿物、植物、动物等)所自然形成的系统,像海洋系统、矿藏系统、生态系统等。

人造系统则是人们将有关元素按其属性和相互关系组合而成的系统,如小浪底水利枢纽等。

许多系统是自然系统与人造系统的复合系统。

#### 2. 实体系统与概念系统

凡是以实体为要素所组成的系统称为实体系统;凡是由概念、原理、方法、制度、程序等概念性的非实体所构成的系统称为概念系统。

在实际生活中,实体系统与概念系统往往是结合起来的。实体系统是概念系统的物质基础,而概念系统为实体系统提供指导和服务。

#### 3. 动态系统与静态系统

动态系统就是系统的状态变量是随时间而变化的,即系统的状态变量是时间的函数。而静态系统则是指表征系统运行规律的数学模型中不含有时间因素,即模型中的变量不随时间而变化,它是动态系统的一种极限状态,即处于稳定的系统。

实际上多数系统都是动态系统。但是由于动态系统中各种参数之间的相互关系是非常复杂的,要找出其中的规律性非常困难。有时为了简化起见而假设系统是静态的,或使系统中的各种参数随时间变化的幅度很小,而视同稳定的系统。

#### 4. 控制系统与行为系统

控制就是为了达到某个目的而给对象系统所施加的必要动作。控制对象要由控制装置操纵,使其符合规定的目的。为了实行控制而构成的系统叫做控制系统。当控制系统由控制装置自动进行时称为自动控制系统,如计算机控制的机械加工生产过程自动控制系统等。

行为系统是以完成目的的行为作为构成要素而形成的系统。所谓行为就是为了达到一定目的而执行某种特定功能的一种作用,这种作用能对外部环境产生某些效用。这种系统一般是根据某种运行机制而实现某种特定行为的系统,而不是受某种控制作用而运行的系统。

#### 5. 开放系统与封闭系统

开放系统是指系统与环境之间具有物质、能量与信息的交换的系统,例



如,生态系统、商业系统、工厂生产系统。这类系统通过系统内部各子系统的不断调整来适应环境变化,从而保持相对稳定性。开放系统通常具有自适应和自调节的功能,是具有生命力的系统。一个国家、一个地区、一个企业都应该是一个开放系统,它通过和外界环境不断地交换物质、能量和信息发展壮大。

封闭系统是指系统与环境之间不存在物质、能量与信息的交换,由系统的边界将系统与环境隔离开。这种系统要保持活力就要求该系统内部的各个子系统及其相互关系之间存在着某种均衡关系,以保持系统的正常持续运行。

## 6. 确定系统与随机系统

对于动态系统可以进一步分为两类,一个系统的每个状态,若其连续的状态是惟一确定时,这个系统称为确定系统。即定的条件和活动下,系统从一个状态转换成另一个状态,这种转换不是确定性的,而是带着一定的随机性质,也即相同的输入经过系统的转换过程会有不同的输出结果,这个系统称为随机系统。例如,一个放射性的原子核就是一个随机系统,导致放射性裂变的状态是随机的,也就是粒子的放射是无规律的。

## 7. 连续系统与离散系统

随时间的改变,其状态的变化是连续的系统称为连续系统,如1架飞机在空中飞行,其位置和速度相对于时间是连续改变的。若系统状态随时间呈间断改变或突然变化,则称为离散的。例如,一个计算机系统作业完成计算离开处理机,转到外围设备排队等待输出结果,这个系统就属于离散型的。

在实际中,完全是连续或离散的系统很少见,大多数系统中既有连续成分,又有离散成分,在某种成分占优势时,就把它归入为这一类系统。

### 1.2.4 系统的研究方法

#### 1. 明确问题

由于系统研究的对象复杂,而且研究对象本身的问题有时尚不清楚,因此,系统研究的最初阶段首先要明确问题的性质,以便正确地设定问题,做到有的放矢。

#### 2. 建立价值体系或评价体系

价值体系或评价体系要回答以下一些问题:评价指标如何量化,评价中的主观成分和客观成分如何分离,如何进行综合评价,如何确定价值观问题等。可以采用以下这些较成熟的理论方法:效用理论、费用/效益法、风险估计、价值工程等。