

目 录

第一章 引 论	(1)
1.1 任务的提出	(1)
1.1.1 测量技术的发展	(1)
1.1.2 控制技术的发展	(6)
1.2 控制过程的模型	(7)
1.2.1 确定性模型和随机性模型	(7)
1.2.2 在统计意义上的可确定模型和不可确定模型	(8)
1.2.3 建立控制过程模型的方法	(9)
1.3 控制系统的状态变量估计器	(9)
1.3.1 基本概念	(9)
1.3.2 基本假定	(10)
1.3.3 最优估计的准则	(12)
1.4 随机控制系统的最优综合方法	(13)
1.4.1 随机最优控制系统的类型	(13)
1.4.2 最优控制的准则	(14)
1.5 本门学科的发展简况	(17)
1.6 总结	(18)
第二章 概率论与静态估计	(20)
2.1 概率和随机变量	(20)
2.1.1 基本概念	(20)
2.1.2 事件的运算代数	(20)
2.1.3 事件的概率	(22)
2.1.4 事件域	(23)
2.1.5 概率空间	(25)
2.1.6 随机变量	(26)
2.2 概率分布函数与密度	(27)

2.2.1	概率分布函数的特性	(27)
2.2.2	概率分布密度的特性	(29)
2.2.3	常见的概率分布规律	(30)
2.2.4	随机变量的函数	(33)
2.3	随机变量的数学期望和方差	(34)
2.3.1	定义	(34)
2.3.2	数学期望和方差的特性	(36)
2.3.3	随机向量的数学期望和相关矩	(38)
2.3.4	复数的随机变量	(40)
2.4	特征函数	(41)
2.4.1	随机变量的特征函数	(41)
2.4.2	由特征函数计算随机变量的各次矩	(43)
2.4.3	随机向量的特征函数	(47)
2.5	二维随机变量	(49)
2.5.1	二维随机变量的联合概率	(49)
2.5.2	二维随机变量的条件概率	(50)
2.5.3	离散随机变量的条件概率	(51)
2.5.4	二维随机变量的相关系数	(53)
2.5.5	条件数学期望	(55)
2.6	静态估计	(58)
2.6.1	估计问题的提出	(58)
2.6.2	最优估计的准则	(59)
2.6.3	静态线性高斯系统的估计算法	(61)
2.6.4	递推估计和分批估计	(64)
2.6.5	加权的最小二乘估计	(66)
2.7	总结	(68)
	习题	(69)
第三章	随机过程	(72)
3.1	定义和基本特性	(72)
3.1.1	随机过程的概念	(72)
3.1.2	随机过程的基本特性	(73)
3.1.3	随机过程数学期望的特性	(77)

3.1.4	随机过程方差的特性	(77)
3.1.5	随机过程相关函数的特性	(78)
3.1.6	两个随机过程的互相关函数	(79)
3.2	复数的随机过程	(80)
3.2.1	复数随机过程的统计特性	(80)
3.2.2	复数随机过程相关函数的特性	(82)
3.2.3	复数随机过程的互相关函数	(83)
3.3	随机过程的线性运算	(84)
3.3.1	随机过程相加	(84)
3.3.2	在均方意义上随机过程的连续性	(84)
3.3.3	随机过程的微分	(85)
3.3.4	随机过程的积分	(88)
3.4	平稳随机过程	(92)
3.4.1	定义	(92)
3.4.2	平稳过程相关函数的特性	(93)
3.4.3	两个随机过程的平稳联系	(96)
3.4.4	平稳随机过程的频域表示方法	(97)
3.4.5	功率谱密度的特性	(99)
3.4.6	两个平稳联系随机过程的互谱密度	(101)
3.5	随机过程的历经性 (Ergodicity)	(103)
3.5.1	数学期望的估计	(103)
3.5.2	相关函数的估计	(107)
3.6	白噪声	(110)
3.6.1	理想的白噪声	(110)
3.6.2	有限带宽的白噪声	(111)
3.6.3	非平稳的白噪声	(112)
3.7	扩散过程	(113)
3.7.1	定义和特性	(113)
3.7.2	与白噪声的关系	(114)
3.7.3	扩散过程的普遍形式	(117)
3.8	测定随机过程统计特性的实验设计	(119)
3.8.1	问题的提出	(119)

3.8.2	根据多次实现测定随机过程的统计特性	(120)
3.8.3	根据一次实现测定随机过程的统计特性	(123)
3.8.4	实验数据的采集与处理	(124)
3.8.5	随机过程数学模型的辨识	(128)
3.9	总结	(129)
	习题	(131)
第四章	动态系统的模型	(139)
4.1	确定性动态系统的模型	(139)
4.1.1	连续系统的模型	(139)
4.1.2	标准可控状态的系统模型	(142)
4.1.3	标准可观状态的系统模型	(143)
4.1.4	规范型状态变量的系统模型	(145)
4.1.5	时变系统的模型	(148)
4.1.6	非线性系统的模型	(149)
4.1.7	离散系统的模型	(150)
4.2	状态变量的可控性和可观性	(151)
4.2.1	基本概念	(151)
4.2.2	规范型系统模型的可控性判断	(153)
4.2.3	状态变量的可控程度	(155)
4.2.4	状态变量的可观性和可观测程度	(157)
4.2.5	惯性系统误差的可观测性	(160)
4.3	随机动态系统的模型	(162)
4.3.1	建模的目的和方法	(162)
4.3.2	线性随机微分方程	(164)
4.3.3	线性随机差分方程	(171)
4.3.4	考虑测量方程时的系统模型	(173)
4.4	成形滤波器	(179)
4.4.1	增广系统的模型	(179)
4.4.2	随机常数	(182)
4.4.3	随机游动	(182)
4.4.4	一阶马尔可夫过程	(183)
4.4.5	二阶马尔可夫过程	(184)

4.4.6 成形滤波器的设计	(185)
4.5 总结	(188)
习题	(190)
第五章 随机系统的统计分析方法	(195)
5.1 引言	(195)
5.2 各种基本环节输出信号的统计特性	(196)
5.2.1 求和环节	(196)
5.2.2 微分环节	(197)
5.2.3 积分环节	(198)
5.2.4 放大环节	(199)
5.3 计算输出信号统计特性的时域方法	(199)
5.3.1 脉冲响应函数	(199)
5.3.2 时变的线性系统	(200)
5.3.3 定常的线性系统	(202)
5.3.4 多变量的线性控制系统	(203)
5.3.5 线性随机控制系统的误差分析	(205)
5.4 计算输出平稳随机信号统计特性的频域方法	(208)
5.4.1 单变量的控制系统	(208)
5.4.2 多变量的控制系统	(212)
5.4.3 线性定常系统的稳态误差	(215)
5.4.4 在输入信号统计特性不充分的情况下, 计算输出信号方差的方法	(220)
5.5 计算非线性随机系统误差的方法	(220)
5.5.1 概述	(220)
5.5.2 统计线性化方法	(222)
5.5.3 统计测试方法	(233)
5.5.4 等值扰动方法	(234)
5.5.5 马尔可夫过程理论在分析控制系统误差中的应用	(237)
5.5.6 具有随机参数控制系统的统计分析方法	(245)
5.6 总结	(247)
习题	(248)
第六章 线性最优滤波系统	(257)

6.1	维纳滤波理论和频域方法	(257)
6.1.1	滤波问题的提法	(257)
6.1.2	最优变换算子的性质	(259)
6.1.3	维纳积分方程	(261)
6.1.4	维纳积分方程的简化	(264)
6.1.5	维纳-霍普夫方程的解和频域方法	(265)
6.2	卡尔曼滤波方程	(269)
6.2.1	问题的提出	(269)
6.2.2	连续的卡尔曼滤波方程	(271)
6.2.3	离散的卡尔曼滤波方程	(282)
6.2.4	实际应用中需要解决的问题	(287)
6.3	稳定性问题	(288)
6.3.1	问题的提法	(288)
6.3.2	随机可控性和随机可观测性	(289)
6.3.3	滤波器的稳定条件	(290)
6.4	防止滤波器发散的方法	(291)
6.4.1	滤波器发散的机理	(291)
6.4.2	对协方差矩阵 $M(k)$ 加权的算法	(292)
6.4.3	冻结增益矩阵 $A(k)$ 的算法	(294)
6.5	平方根滤波器	(297)
6.5.1	原理	(297)
6.5.2	$Q \neq 0$ 时的平方根滤波器	(299)
6.5.3	$U-D$ 协方差因子分解滤波器	(302)
6.6	连续线性系统中的最优预测问题	(309)
6.7	总结	(311)
	习题	(312)
第七章	随机控制系统的统计最优综合方法	(317)
7.1	问题的提出	(317)
7.2	统计最优的准则	(318)
7.3	参数最优的控制系统	(321)
7.3.1	控制系统确定性参数的最优设计	(321)
7.3.2	控制系统随机性参数的最优设计	(324)

7.4	最优线性状态反馈控制系统	(326)
7.4.1	随机的状态反馈调节系统	(326)
7.4.2	随机的状态反馈跟踪系统	(331)
7.5	最优线性输出反馈控制系统	(333)
7.5.1	随机的输出反馈调节系统和分离原理	(333)
7.5.2	随机的输出反馈跟踪系统	(335)
7.5.3	非零给定点的调节和跟踪系统	(337)
7.6	离散的随机最优控制系统	(339)
7.6.1	调节系统	(339)
7.6.2	跟踪系统	(343)
7.7	马尔可夫过程理论在统计最优系统中的应用	(349)
7.7.1	引言	(349)
7.7.2	马尔可夫过程理论的要点	(350)
7.7.3	非线性系统的最优滤波问题	(353)
7.8	总结	(359)
第八章	系统的辨识	(362)
8.1	问题的提出	(362)
8.2	线性系统的辨识	(364)
8.2.1	权函数的辨识	(364)
8.2.2	实时参数辨识的卡尔曼滤波方法	(369)
8.3	非线性系统的辨识	(374)
8.4	总结	(377)
第九章	惯性导航系统	(380)
9.1	估计理论在惯性导航中的应用	(380)
9.2	惯性导航系统的工作原理	(380)
9.3	惯性导航系统的闭环控制性质	(386)
9.4	惯性导航系统的内部阻尼方法	(388)
9.4.1	阻尼的必要性	(388)
9.4.2	在第二积分器上增加负反馈实现阻尼	(389)
9.4.3	在第一积分器上增加顺馈实现阻尼	(391)
9.4.4	采用加速度计的输出信号实现阻尼	(392)
9.5	捷联式惯性导航系统	(393)

9.5.1	坐标系	(393)
9.5.2	载体的运动方程	(394)
9.5.3	捷联式系统的算法设计	(395)
9.6	惯性导航系统的误差方程	(398)
9.6.1	平台式惯性系统的误差方程	(398)
9.6.2	捷联式惯性系统的误差方程	(400)
9.7	总结	(403)
习题	(404)
第十章	自适应滤波在惯性导航系统中的应用	(406)
10.1	在惯性导航系统中建立滤波器的方案	(406)
10.2	自适应滤波的原理	(407)
10.3	以信息更新序列为反馈的自适应滤波器	(409)
10.3.1	传统卡尔曼滤波器的缺陷	(409)
10.3.2	自适应滤波的算法方程	(409)
10.3.3	不需要 Q 和 R 矩阵的自适应滤波器	(411)
10.4	降维的自适应滤波器	(413)
10.4.1	降维的卡尔曼滤波器	(413)
10.4.2	降维的自适应滤波器	(415)
10.4.3	特殊情况的降维自适应滤波器	(416)
10.5	采用卡尔曼滤波器提高惯性导航系统的精度	(419)
10.6	采用自适应滤波器提高惯性导航系统的精度	(422)
10.7	特殊情况降维滤波器在惯性导航系统中的应用	(424)
10.8	总结	(426)
第十一章	标量估计方法及其在惯性导航系统中的应用	(429)
11.1	采用标量估计方法的条件	(429)
11.2	标量的估计方程	(430)
11.3	自适应的标量估计方程	(440)
11.3.1	输入噪声的方差为未知数的情况	(440)
11.3.2	输入噪声和控制函数均为未知数的情况	(441)
11.3.3	量测噪声显著地大于被估计变量方差的情况	(443)
11.3.4	输入噪声, 控制函数和量测噪声均为未知数的情况	(445)
11.4	降维的标量滤波方程	(445)

11.5	惯性导航系统的新量测方程.....	(449)
11.6	采用外部参考速度信号估计惯性系统的误差.....	(453)
11.6.1	在已知总量测噪声方差的情况下, 估计陀螺仪的常值漂移	(453)
11.6.2	在总量测噪声方差为未知数的情况下, 估计陀螺仪的常值漂移	(455)
11.6.3	在总量测噪声方差和陀螺仪漂移方差均 为未知数的情况下,估计陀螺仪的随机漂移.....	(456)
11.7	采用外部参考位置信号估计惯性系统的误差.....	(459)
11.8	标量估计方法在惯性系统初始对准中的应用.....	(462)
11.8.1	惯性系统初始对准的原理.....	(462)
11.8.2	采用标量方法估计静止基础上惯性系统的对准误差...	(464)
11.8.3	在运动基础上估计惯性导航系统的对准误差.....	(467)
11.9	标量估计方法在组合导航系统中的应用.....	(471)
11.10	总结	(475)

参考文献

第一章 引 论

1.1 任务的提出

1.1.1 测量技术的发展

测量技术是信息科学的一个重要组成部分。精确的测量数据是对各种复杂过程中物理量的定量描述。它是各种信息变换和处理的基础，同时也是对复杂过程进行监测和控制的依据。

为了提高测量的精度，需要采取下列技术途径：

(1) 提高测量仪器（传感器）的精度。

(2) 对测量仪器的误差在测前进行校准，分离出主要的误差项，包括确定性和随机性误差，然后在测量中，对这些误差项加以补偿。

(3) 把测量仪器组成一个闭环系统，在测量过程中，引入外部参考信号（基准测量信号），对测量仪器的各项误差实时地进行估计，并加以补偿。

显然，为了提高测量的精度，孤立地提高传感器本身的精度是有限度的。为了发掘传感器在精度方面的潜力，把测量仪器组成闭环系统，并和其它测量仪器组合，利用计算机实现对仪器误差的实时估计和补偿。这是很有发展前途的技术途径。

工程实践表明，60年代以来，测量技术已经发展到了一个新的阶段，即闭环控制和计算机技术得到了广泛的应用。因此，在测量技术中，需要采用控制系统的设计理论，包括随机控制系统的理论，以便研究误差的估计和补偿问题。

下面以惯性测量技术为例具体地说明目前测量技术的发展水平。

惯性测量技术是一门新兴的技术科学，在大地测量和油田开发等领域中取得了巨大的经济效益，值得我国重视和发展这一技术。

惯性测量技术包括三个组成部分：(1) 惯性测量系统；(2) 惯性测量方法；(3) 测后数据处理方法。

惯性测量系统的原理是测量载体的加速度，并推算航迹，根据起始点已知的位置，推算出载体在大地参考椭球体表面上的三维坐标位置，即经度，纬度和高程。

惯性测量系统的核心仪器是陀螺仪和加速度计，目前采用陀螺仪稳定一个三自由度平台，在平台台体上安装三个互相正交的加速度计。如果采用地理坐标系作为加速度测量的坐标系，则平台应当稳定在当地的水平面中。这种惯性系统称为当地水平的惯性导航系统，通常三个加速度计的测量轴分别指向东方，北方和天顶方向。当载体运动时，加速度计将分别测出东，北，天三个方向的加速度，在导航系统的计算机内进行解算，得到载体的运动速度和瞬时位置。

为了测出载体到被测点之间的相对位置，需要采用红外或激光测距仪。这些测距的信号应当送入计算机，以便获得被测点的坐标位置。

由此可见，惯性测量技术是完全自动化的。它的测量效率很高，需人很少，通常在汽车上测量时，司机同时操作仪器，另一人操作测距仪器，约两小时可以测量约60公里长的测线。因此，这一技术具有很好的发展前景。

应当指出，大地测量要求的定位精度很高，以二等精度的测点为例，定位的相对误差应小于 1×10^{-5} ，即在100公里长的测线上，每个测量点的绝对定位误差应小于1米。

目前得到实际使用的惯性测量系统都是采用飞机惯性导航系统为基础的，这种系统的定位误差约为每小时1海里。如果测量100公里的测线需要的时间约为2小时，则定位误差约为4公里。大

地测量的二等精度标准仅为1米。二者相差3个数量级。由此可见，单纯地提高惯性系统硬件的精度，很难满足大地测量的精度要求。

为此，需要采用周期性停车的惯性测量方法，如果惯性测量系统安装在直升飞机上，则应悬停在测点上空。这时，载体相对地球处于静止状态。对惯性系统来说，停车表示获得了外部的参考速度信号，可以使用这种外部速度信号对惯性系统的误差进行修正。因此，这种惯性测量方法称为零速修正 (zero velocity update, 简称ZVPT)。

野外实际测量的结果表明，如果零速修正的时间间隔为3—5分，则惯性测量实时的定位误差可以达到3—5米。和飞机惯性导航系统相比较，定位精度提高了3个数量级，而且和测线长度无关。

在惯性测量方法中，还可采用卫星定位系统提供的测点位置信号作为外部参考信号，对惯性测量系统的误差加以估计和补偿。周期性地利用卫星定位系统的信号和惯性系统的信号互相组合，可以降低对惯性测量系统的精度要求，从而降低其成本。因此，惯性和卫星定位的组合系统很有发展前途。同时，卫星定位还可以提供二等精度的测量控制点，惯性测量只需要在这些控制点之间进行加密。这也有助于提高测量的精度。

在惯性测量方法中，还可采用往返两次测量来提高精度。在单向测量时，需要采用终点的准确位置信号对整个测线上各点的定位误差加以估计和补偿，方法是采用测后数据的平滑处理。这种测量方法称为测线的闭合。

为了提高测量的精度，在完成单向测量之后，需要作回程测量，回到测线的起始点，再把测线闭合，即对测量数据进行平滑处理。经过上述往返两次测量和平滑处理，以飞机惯性导航系统为基础的惯性测量系统可以保证定位误差小于1米。

在惯性测量方法中，还可采用区域性的误差调整方法来提高

精度。通常在一个测区中，很多条测线形成网格，例如，由东到西的测线和由南到北的测线形成许多交点。可以把这些交点多次测量的数据加以处理。这种方法称为区域性的误差调整。

地球上各个地区都存在着重力值异常和垂线偏离大地参考椭球体法线的情况，这是由于地球的表面起伏很大，而且各处的密度不匀。这种重力异常现象对惯性测量系统的精度有重大影响，而且是方法性的误差，不能通过改进惯性系统来消除。因此，精密的惯性测量应当同时进行重力测量。目前，只有静电陀螺惯性测量系统可以同时定位和重力异常参数的测量。

在惯性测量方法中，根据测区重力异常参数的实测数据，可以由定位信号中扣除其影响，这种技术也称为测量数据的区域性调整。采用这种测量方法，静电陀螺惯性测量系统可以保证厘米量级的定位精度。

由此可见，在工程实际中，不仅要重视惯性测量系统的硬件，同时也要重视惯性测量方法和数据处理的软件。后者和随机系统的误差估计及补偿理论具有密切的关系。

[例1.1] 1985年8月，应我国地质矿产部的邀请，美国利顿公司在北京表演了惯性测量。测线为京密公路，起始点在孙河镇，该点为一等测量控制点：纬度 $40^{\circ}02'24.3371''$ ；经度 $116^{\circ}31'29.918''$ ；高程33.697米。

测线的终点为密云水库工程所用的测量基准点：纬度 $40^{\circ}26'44.4458''$ ；经度 $116^{\circ}58'43.857''$ ；高程159.452米。

上述测线的长度约为82公里。为了这次表演，事先采用常规方法进行了测量，共测定了56个测量控制点。

利顿公司运来了LASS-2型惯性测量系统，安装在“陆地巡洋舰”型汽车上，共进行了4次单向测量，其中一次实际测量的典型情况如下：

- | | |
|-----------------|-------|
| (1) 系统从启动到停机的时间 | 9394秒 |
| (2) 单向测量过程的时间 | 7138秒 |

(3) 东向行程 (X) 38551.9米

(4) 北向行程 (Y) 45164.9米

在表演中，只采用了零速修正的方法，没有采用测线闭合和误差平滑处理。

为了评价LASS-2型惯性测量系统的精度，在下表中列出4次实际测量得到的终点位置数据的尾数和与密云水库工程基准点的差值。

利顿惯性测量系统 (LASS-2)
1985年在北京试验的结果

日期	纬度 (角秒)		经度 (角秒)		高程 (米)	
	测量值	差值	测量值	差值	测量值	差值
8月15日	44.491	0.0452	43.395	-0.462	164.44	4.988
8月20日	44.355	-0.0908	43.538	-0.319	164.18	5.028
8月21日	44.508	0.0622	43.419	-0.438	159.46	0.008
8月23日	44.713	0.2672	43.292	-0.565	158.00	-1.452

在定位误差的初步计算中，如果大致认为纬度和经度的1"约等于地球表面上两点水平距离30米，则上表中4次试验的平均定位误差分别为

(1) 纬度 2.12 米

(2) 经度 -13.38 米

(3) 高程 2.14 米

需要指出，在上表中，4次惯性测量的经度数据均小于密云水库工程基准点的经度值，而且数据变化较小。利顿公司的仪器操作人员提出怀疑，认为我方提供的密云水库工程基准点经度可能有误。他们表示，这种情况在其它国家表演时也曾发生，意思是说常规的测量方法可能有错，需要采用卫星定位系统或惯性测量系统来校正。

如果不以给定的密云水库工程基准点的经度值作为真实值，那么惯性测量系统的经度定位误差将与纬度定位误差相近，约为3米。

上述表演的结果表明，LASS-2型系统有可能满足二等精度大地测量的要求。

1.1.2 控制技术的发展

控制系统的工作将受到其传感器误差和工作环境干扰两个方面的影响，从而造成误差。应当指出，这里的传感器误差和环境干扰都带有随机的性质，因此，在综合控制系统的控制规律时，需要考虑上述随机的因素。图1.1为随机控制系统的方框图，其中的控制器由计算机来实现，输入信号和输出信号通过变换器与计算机相联。

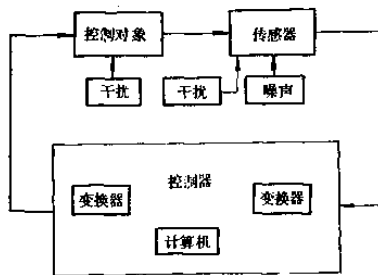


图1.1 随机控制系统的方框图

在有些控制系统中，传感器能够直接提供反馈控制所需要全部状态变量，而且精度比较高，可以不必考虑其测量误差的影响。这种情况称为具有状态变量完整信息的随机控制系统。

但是，在很多控制系统中，反馈控制所需要的许多状态变量无法直接加以测量，只能测量和它们有函数关系的一些状态变量，并且还混杂一些随机的测量噪声。这种情况称为间接测量，相应的控制系统称为状态变量信息不完整的随机控制系统。

为了获得间接测量的状态变量值，需要根据可直接测量状态变量的测量数据和相应的函数关系去推算。这种推算过程称为估计。为了实现实时的估计，控制系统中需要引入计算机。如图

1.1所示，传感器提供的测量数据在计算机中加以推算，从而获得需要的状态变量估计值，并形成对系统施加的控制信号。

为了说明控制系统的上述发展过程，下面介绍船舶的航向控制系统作为一个实例。它过去是简单的自动操舵仪，现在已发展成为具有计算机的自适应控制系统。

[例1.2] 在船舶的航向控制系统中，采用陀螺罗经作为提供航向基准的仪器。当船舶偏离给定的航向时，罗经测出偏航角信号，送入控制器，形成控制信号转动舵面，使船舶回到给定的航向上来。在这样的闭环控制系统中，陀螺罗经的误差和海浪环境的干扰是不可忽略的重要因素。

在古典的控制理论中，陀螺罗经被看作是一个没有误差的理想仪器，因而不参预闭环控制过程。海浪对船体的干扰被看作是阶跃时间函数。航向控制器采用“比例—积分—微分”(PID)的调节器。在这些假定下，船舶的航向角是这一闭环系统的输出信号，它将是一个确定性的时间函数。

实践表明，上述PID调节器不能满足船舶航向控制的要求。显然，陀螺罗经具有随机误差，海浪干扰也是一个随机过程。因此，船舶航向控制系统具有两个随机的输入信号。如果事先了解它们的统计特性，那么这是一个具有完整信息的随机控制系统。

但是，海浪的统计特性是变化的。因此，在70年代，出现了船舶航向控制的参考模型自适应控制器和自校正(self-tuning)调节器。这些随机控制技术在实践中获得了良好的效果。

1.2 控制过程的模型

1.2.1 确定性模型和随机性模型

实际的控制过程可以用两种模型来加以描述：确定性模型和随机性模型。

在确定性模型中，输入信号是一些确定性的时间函数，控制系统的结构和参数有时是固定不变的，有时是时变的，或是某些状态变量的确定性函数。在采用这种模型时，控制系统的输出信号也是一些确定性的时间函数，而且和输入信号一一对应。

在随机性模型中，输入信号通常是一些随机时间函数，即随机过程，同时控制系统的某些参数也是随机性的。它们的统计特性需要通过实际测量才能确定。在这种系统中，一次实验只能得到这些随机过程的一次实现。为了确定它们的统计特性，需要进行多次实验。在这种随机的系统中，输入信号和输出信号具有各自的统计特性。对某一次实现来说，它们之间不存在一一对应的函数关系。

在随机控制系统中，如果只有输入信号具有随机性，而控制系统本身的结构和参数都是确定性的，那么这种系统的设计可归结为随机输入信号通过确定性系统的传播。这是工程实际中大量遇到的情况。

1.2.2 在统计意义上的可确定模型和不可确定模型

在随机控制系统中，如果输入信号和控制系统的统计特性通过实验可以确定，那么在这种情况下，输出信号的统计特性也可以确定。这是在统计意义上可确定模型的情况。

但是，往往输入信号的统计特性有时不能确定，因而输出信号的统计特性也不能确定。这种情况称为在统计意义上不可确定的随机控制系统。例如，在空战中，作为追踪一方的我机，其输入信号是敌机的位置，它的统计特性事先无法测定。这种系统属于在统计意义上不可确定模型的情况。

在研究上述随机控制系统时，目前采用的方法如下：假定输入为最不利的信号，要求最优地综合控制规律，使得控制系统的输出信号能够满足要求。这里的输出信号称为最大可保证的控制效果。根据这种方法建立的控制过程模型称为博弈模型。这种随