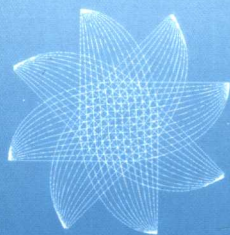


21世纪高等院校核心课程导学

现代通信原理

题解 指南

沈保锁 侯春萍 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21世纪高等院校核心课程导学

现代通信原理题解指南

沈保锁 侯春萍 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理题解指南 / 沈保锁, 侯春萍编著. —北京: 国防工业出版社, 2005.7

21 世纪高等院校核心课程导学

ISBN 7-118-03938-1

I. 现... II. ①沈...②侯... III. 通信理论-高等学校-解题 IV. TN911-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 057904 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)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 273 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 20.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书为沈保锁、侯春萍编著,国防工业出版社出版的《现代通信原理》一书的配套学习参考书。

“通信原理”课程是通信与信息系统类专业的一门重要的理论课,它主要讲授信息传输的基本原理,采用数学分析的方法,对各系统的传输过程及性能进行理论分析,因涉及到较深的数学理论基础,使广大学生学习“通信原理”有一定难度。作者根据多年讲授“通信原理”课程的体会,面对同学在答疑、作业、考试、考研中经常提出的问题和遇到的困难,进行归纳和总结。按各章的重点和难点,根据各类考试的题型,精选了部分例题进行题意分析和解题思路的讲解,列出了填空、计算填空题型,并增补部分新的习题,供学习时参考。本书旨在指导学生在较短的时间掌握“通信原理”的基本原理,熟悉其分析问题、解决问题的方法,运用所学知识,面对各种题型,掌握其解题技巧和规律。

本书共 10 章,前 9 章内容与《现代通信原理》一书相对应,第 10 章为天津大学通信与信息系统专业硕士研究生入学考试的部分试题与答案。每章又分别按 4 部分进行阐述。第 1 部分为基本概念,主要是将各章的重点知识进行精辟的归纳总结,使学生便于理解、记忆和掌握。第 2 部分为例题精选,根据各章的不同要求,精选了各章具有典型性、代表性的例题,进行了详细的题意分析和具体的习题解答,便于学生掌握各种习题的解题思路和解题技巧。第 3 部分为基本训练,根据考试通用的题型又分为 3 类,即填空题、计算填空题、简答题,其中填空题和简答题主要考查学生对基本概念、基本定理及定义的掌握情况;计算填空题主要考查学生对基本公式的运用,快速反映的能力。每章都列出大量习题,供学生进行基本训练,以扩大知识面,适应多变的题型。第 4 部分为补充习题,在《现代通信原理》各章习题的基础上根据内容的需要,为扩大知识面,又增补了部分习题,供学生作题时参考,以拓宽学生解题思路,增强应变能力。第 10 章为配合学生应试和考研的需求,将天津大学电子信息工程学院近期“通信原理”硕士研究生入学试题另辟一章,附有全部答案,仅供参考。最后设有附录,将各章基本训练部分的填空题、计算题和补充习题的答案附后,供读者参考。而简答题多为教材中的基本概念,一般在教材中都能够找到答案,限于篇幅,未录入。

本书由沈保锁担任主编,并编写了第 1、2、3、5、6、8、10 章,侯春萍编写了第 4、7、9 章,付晓梅参与各章部分精选例题及补充习题的解答和校对工作。

本书是根据作者多年从事“通信原理”一线教学经验所编写的,力求文字通俗易懂、概念清楚、重点突出、思路明确。但作为习题解答,可能有多种思路,多种解法,书中的解题思路可能有不妥之处,甚至错误,但作者的目的是为读者提供一种解题的指导方法,使其难于下手的解题之苦,有所解决。本书可作为读者学习通信原理的指导书,考研学生的辅

IV

导书,也可作为教师讲授通信原理的参考书。

在本书的编写过程中得到天津工业大学的苗长云教授、天津理工大学窦晋江副教授的支持和帮助并提出许多宝贵意见,对此表示诚挚的谢意,同时对本书中所选用的参考文献的编著者,表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评、指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 通信的基本概念	1
1.1.2 信息及其度量	2
1.1.3 衡量通信系统的性能指标	2
1.2 精选例题解析	3
1.3 基本训练	4
1.3.1 填空题	4
1.3.2 计算填空题	5
1.3.3 简答题	5
1.4 补充习题	5
第2章 信道	7
2.1 基本概念	7
2.1.1 信道	7
2.1.2 随机过程	8
2.1.3 噪声	9
2.1.4 信道容量	10
2.2 精选例题解析	10
2.3 基本训练	14
2.3.1 填空题	14
2.3.2 计算填空题	15
2.3.3 简答题	15
2.4 补充习题	16
第3章 模拟调制系统	18
3.1 基本概念	18
3.1.1 调制的概念	18
3.1.2 幅度调制	18
3.1.3 角度调制	21
3.1.4 模拟调制各系统的抗噪声性能	22
3.1.5 频分复用(FDM)	23
3.2 精选例题解析	23
3.3 基本训练	34

3.3.1 填空题	34
3.3.2 计算填空题	35
3.3.3 简答题	36
3.4 补充习题	36
第4章 信源编码	39
4.1 基本概念	39
4.1.1 信源编码	39
4.1.2 抽样定理	39
4.1.3 脉冲编码调制(PCM)	40
4.1.4 增量调制(ΔM)	43
4.1.5 其他脉冲数字调制	44
4.1.6 时分复用(TDM)	44
4.2 精选例题解析	45
4.3 基本训练	51
4.3.1 填空题	51
4.3.2 计算填空题	52
4.3.3 简答题	53
4.4 补充习题	53
第5章 数字信号的基带传输	55
5.1 基本概念	55
5.1.1 基带传输系统的常用码型	55
5.1.2 数字基带信号的频谱特性	55
5.1.3 数字基带传输与码间串扰	56
5.1.4 部分响应系统	58
5.1.5 无码间串扰基带系统的抗噪声性能	58
5.1.6 眼图	58
5.1.7 均衡	58
5.2 精选例题解析	59
5.3 基本训练	66
5.3.1 填空题	66
5.3.2 计算填空题	66
5.3.3 简答题	67
5.4 补充习题	68
第6章 数字信号的载波传输	71
6.1 基本概念	71
6.1.1 二进制数字调制	71
6.1.2 最佳接收	76
6.1.3 二进制数字调制信号的抗噪声性能	77
6.1.4 多进制数字调制	78

6.1.5 数字信号传输系统带宽计算的讨论	81
6.2 精选例题解析	82
6.3 基本训练	92
6.3.1 填空题	92
6.3.2 计算填空题	93
6.3.3 简答题	93
6.4 补充习题	94
第7章 现代数字调制技术	96
7.1 基本概念	96
7.1.1 最小频移键控(MSK)	96
7.1.2 交错正交相移键控(OQPSK)	97
7.1.3 $\pi/4$ -QPSK 调制方式	98
7.1.4 正交调幅(QAM)	98
7.1.5 扩频通信	98
7.2 精选例题解析	99
7.3 基本训练	103
7.3.1 填空题	103
7.3.2 计算填空题	104
7.3.3 简答题	104
7.4 补充习题	104
第8章 同步原理	106
8.1 基本概念	106
8.1.1 载波同步	106
8.1.2 位同步(码元同步)	106
8.1.3 帧同步	107
8.2 精选例题解析	109
8.3 基本训练	114
8.3.1 填空题	114
8.3.2 计算填空题	115
8.3.3 简答题	115
8.4 补充习题	116
第9章 信道编码	117
9.1 基本概念	117
9.1.1 信道编码的基本概念	117
9.1.2 几种常用的检错码	118
9.1.3 线性分组码	118
9.1.4 循环码	120
9.1.5 卷积码	122
9.2 精选例题解析	122

9.3 基本训练	130
9.3.1 填空题	130
9.3.2 计算填空题	130
9.3.3 简答题	131
9.4 补充习题	131
第 10 章 硕士研究生入学试题及答案	134
10.1 硕士研究生入学试题	134
10.1.1 天津大学研究生院 1999 年招收硕士生入学试题	134
10.1.2 天津大学研究生院 2000 年招收硕士生入学试题	135
10.1.3 天津大学研究生院 2001 年招收硕士生入学试题	137
10.1.4 天津大学研究生院 2002 年招收硕士生入学试题	138
10.1.5 天津大学研究生院 2003 年招收硕士生入学试题	140
10.1.6 天津大学研究生院 2004 年招收硕士生入学试题	142
10.2 硕士研究生入学试题答案	144
10.2.1 天津大学研究生院 1999 年招收硕士生试题答案	144
10.2.2 天津大学研究生院 2000 年招收硕士生试题答案	148
10.2.3 天津大学研究生院 2001 年招收硕士生试题答案	151
10.2.4 天津大学研究生院 2002 年招收硕士生试题答案	154
10.2.5 天津大学研究生院 2003 年招收硕士生试题答案	158
10.2.6 天津大学研究生院 2004 年招收硕士生试题答案	162
附录 各章习题答案	168
参考文献	183

第 1 章 绪 论

1.1 基本概念

1.1.1 通信的基本概念

1. 通信的定义

通信就是由一地向另一地传递信息,利用“电”来传递信息的方式称为“电通信”,所谓的通信一般指“电通信”。

2. 通信系统

1) 定义

通信系统是指完成信息传输过程的全部设备和传输媒介。

2) 通信系统模型

(1) 一般模型。通信系统的一般模型如图 1.1 所示。

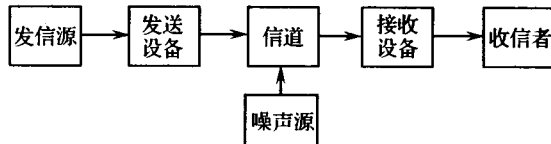


图 1.1 通信系统的一般模型

发信源:产生信息,并将消息变换成电信号。

发送设备:将信源产生的消息转换成适合在信道中传输的形式。

信道:传输的媒介。

噪声源:通信系统中各种噪声干扰的集中表示。

接收设备:完成发送设备的反变换。

受信者:将电信号还原为消息。

(2) 模拟通信系统模型。根据所研究的对象或关心的问题,不同的通信系统可采用不同形式的系统模型,如图 1.2 所示为模拟通信系统模型。

模拟通信系统主要研究调制的重要作用,因此将发送设备简化为调制器,接收设备简化为解调器。

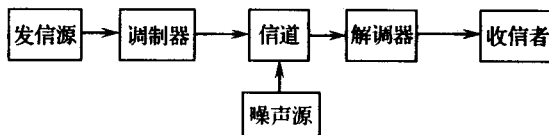


图 1.2 模拟通信系统模型

(3) 数字通信系统模型。数字通信系统模型如图 1.3 所示。

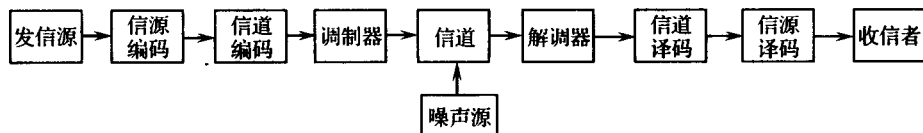


图 1.3 数字通信系统模型

在数字通信中除调制外,主要讨论编码和译码的问题。信源编码是为了提高数字信号传输的有效性;信道编码是为了提高数字信号传输的可靠性。

1.1.2 信息及其度量

消息:通信系统所传输的对象,例如符号、语音、数据、图像等,它是信息的载体。

信号:是消息的载荷者,是与消息一一对应的电荷。

信息:消息中有意义的内容。

1. 信息的度量

1) 离散消息的信息量

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-1)$$

式中: $P(x)$ 为消息发生的概率,通常取 $a=2$,信息量的单位是比特(bit,简称为 b)。

2) 平均信息量(熵) H

平均信息量是指信源的多个符号中每个符号所含的平均信息量

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (\text{b/符号}) \quad (1-2)$$

1.1.3 衡量通信系统的性能指标

1. 一般通信系统的两个主要性能指标

有效性:要求系统高效率地传输消息,指通信“速度”。

可靠性:要求系统可靠地传输消息,指通信“质量”。

2. 模拟通信的主要性能指标

有效性:有效传输带宽。

可靠性:输出信噪比。

3. 数字通信的主要性能指标

1) 有效性

传输速率,可分为传信率和传码率。

(1) 传信率:是指每秒传递二进制码元的数目,单位是比特/秒(b/s),用 R_b 表示。

(2) 传码率:是指每秒传送码元的数目,单位是波特(B),用 R_B 表示。

传信率与传码率可互换,即

$$R_b = R_B \log_2 N \quad (\text{b/s}) \quad N \text{ 为进制数} \quad (1-3)$$

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} \quad (B) \quad (1-4)$$

2) 可靠性

差错率可分为误码率和误信率。

$$\text{误码率} = \frac{\text{错误的码元数}}{\text{传输的总码元数}}$$

$$\text{误信率} = \frac{\text{错误的比特数}}{\text{传输的总比特数}}$$

1.2 精选例题解析

例 1.2.1 设英文字母 C 出现的概率为 0.023, E 出现的概率为 0.105, 试求 C 与 E 的信息量。

题意分析: 考核信息量的基本概念, 采用已知公式 $I = -\log_a P(x)$, 一般 $a = 2$, 单位为 b。

$$\text{解:} \quad I_C = \log_2 \frac{1}{P(x)} = \log_2 \frac{1}{0.023} = 5.44(b)$$

$$I_E = \log_2 \frac{1}{0.105} = 3.32(b)$$

例 1.2.2 一个离散信号源每毫秒发出 4 种符号中的一个, 各相应独立符号出现的概率为 0.4、0.3、0.2、0.1, 求该信号源的平均信息量与信息传输速率。

题意分析: 本题求平均信息量, 采用公式 $H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$, 而信息速率是指每秒传递的信息量, 将毫秒换算为秒。

$$\begin{aligned} \text{解:} \quad H(x) &= -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) = \\ &= -(0.4 \log_2 0.4 + 0.3 \log_2 0.3 + 0.2 \log_2 0.2 + 0.1 \log_2 0.1) = \\ &= 1.85(b/s) \end{aligned}$$

$$R_b = \frac{H(x)}{10^{-3}} = 1.85 \times 10^3(b/s)$$

例 1.2.3 设一数字传输系统传送二进制码元的速率为 1200B, 试求该系统的信息传输速率。若该系统改成传送十六进制, 码元速率为 2400B, 此时该系统的信息速率又是多少?

题意分析: 本题为传码率与传信率的互换, 应知二进制的码元速率等于其信息速率, 多进制时 $R_b = R_B \log_2 N$ 。

解: 二进制时:

$$R_b = (R_B) = 1200(b/s)$$

十六进制时:

$$R_b = R_B \log_2 N = 2400 \times \log_2 16 = 9600 (\text{b/s})$$

例 1.2.4 已知某四进制数字信号传输系统的信息速率为 2400b/s , 接收端在半小时内共接收到 216 个错误码元, 求该系统的误码率 P_e 。

题意分析: 先将传信率换成传码率, 再求半小时内共传码元数。误码率为错误码元与总传码元数之比。

$$\text{解: } R_b = 2400 (\text{b/s}) \quad R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} = \frac{2400}{2} = 1200 (\text{B})$$

半小时总传码个数为

$$B = 1200 \times 30 \times 60 = 216 \times 10^4 (\text{个})$$

$$P_e = \frac{216}{216 \times 10^4} = 10^{-4}$$

例 1.2.5 设某数字传输系统的码元宽度为 $T_b = 2.5 \mu\text{s}$, 试求:

(1) 数字信号为二进制时, 码元速率和信息速率。

(2) 数字信号为八进制时, 码元速率和信息速率。

题意分析: 熟知码元宽度的倒数为传码率, 再将传码率换成传信率。

$$\text{解: } R_B = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{2.5 \times 10^{-6}} = 400 \times 10^3 (\text{B})$$

二进制时:

$$R_b = R_B = 400 \times 10^3 (\text{b/s})$$

八进制时:

$$R_b = R_B \log_2 8 = 1200 \times 10^3 (\text{b/s})$$

1.3 基本训练

1.3.1 填空题

1. 在数字通信系统中, 信源编码是为了(), 信道编码是为了()。
2. 所谓的“三网融合”是指()、()和()3个网络的融合。
3. 模拟调制系统的抗噪声性能主要用()来衡量, 数字调制系统的抗噪声性能主要用()来衡量。
4. 在通信理论中, 信息是对()的()特性的一种定理描述; 信息采用的最广泛的单位是()。
5. 发信机的作用是将()转换为适于在信道中传输的(), 它们的转换一般要经过的三个步骤是(), (), ()。
6. 通信系统的主要性能指标通常用()和()来衡量, FSK 系统指标具体用()和()来衡量, 而 FM 系统指标具体用()和()来衡量。

7. 在数字通信中传码率是()。
8. 在数字通信系统中,误码率是指()概率。

1.3.2 计算填空题

1. 若传输四进制数字序列,每传输一个码元需时间 $T_i = 250 \times 10^{-6} \text{s}$,其传信率为(),码元速率为()。
2. 某通信系统采用八进制数字序列传输方式,其码元速率为 9600B,其传信率为(),若传输 5s,检测到 48 个码元误码,其误码率为()。
3. 若传输一个二进制不归零码序列,每传一个码元,需要时间为 $T = 417 \times 10^{-6} \text{s}$,其传输速率为();若变为八电平传输时,其传输码元速率为()。
4. 八进制数字通信系统的误码率为 10^{-5} ,系统的传输速率为 600b/s,接收端在()h 内能接收到 144 个错误码元。

1.3.3 简答题

1. 模拟信号与数字信号之间的区别是什么?
2. 简述数字通信的优点。
3. 画出数字通信系统的模型。
4. 在模拟通信系统中,有效性与已调信号带宽是什么关系? 可靠性与解调器的输出信噪比是什么关系?

1.4 补充习题

1.4.1 设英文字母 E 出现的概率为 0.105, X 出现的概率为 0.002, 试求 E 及 X 的信息量。

1.4.2 设某地方的天气预报晴占 4/8, 阴占 2/8, 小雨占 1/8, 大雨占 1/8, 试求每个消息的信息量。

1.4.3 某信息源的符号集由 A、B、C、D 和 E 组成, 设每一符号独立出现, 其出现概率分别为 1/4、1/8、1/8、3/16 和 5/16, 试求该信息源符号的平均信息量。

1.4.4 一个由字母 A、B、C、D 组成的字, 对于传输的每一个字母用二进制脉冲编码, 00 代表 A, 01 代表 B, 10 代表 C, 11 代表 D, 每个脉冲的宽度为 5ms。

- (1) 不同的字母是等概的, 试计算传输的平均信息速率。
- (2) 若每个字母出现的可能性分别为

$$P_A = \frac{1}{5}, P_B = \frac{1}{4}, P_C = \frac{1}{4}, P_D = \frac{3}{10}$$

试计算传输的平均信息速率。

1.4.5 已知二进制信号在 3min 内共传送了 72000 码元。试求:

- (1) 其码元速率和信息速率各为多少?
- (2) 如果码元宽度不变, 但改为八进制数字信号, 则其码元速率和信息速率又为多

少?

1.4.6 已知某八进制数字传输系统的信息速率为 3600b/s , 接收端在 1h 内共收到 216 个错误码元, 求该系统的误码率。

1.4.7 八进制数字传输系统的码元速率为 3600B , 试问要保证信息速率不变时, 系统改为二进制和十六进制时, 码元速率各为多少?

1.4.8 在强干扰环境下, 某电台在 5min 内共接收到正确信息量为 355Mb 。

(1) 假定系统的信息速率为 1200Kb/s , 求该系统的误信率。

(2) 若采用四进制传输系统, 码元速率为 1200KB , 其误信率又为多少?

1.4.9 已知四进制数字传输系统的误码率为 5×10^{-6} , 该系统的传输速率为 4800b/s , 问在多长时间, 该收端可以收到 300 个错误码元?

第2章 信道

2.1 基本概念

2.1.1 信道

1. 信道的分类(如图 2.1 所示)

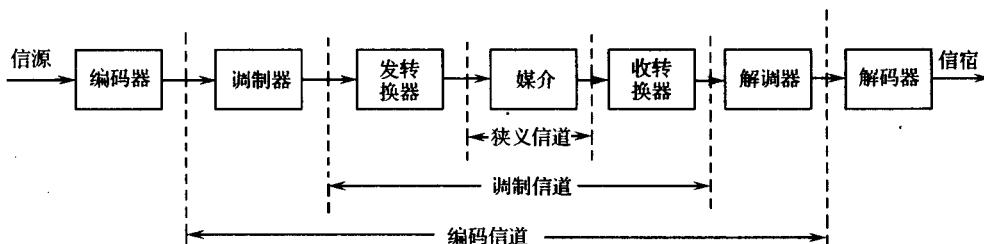


图 2.1 信道的分类

2. 二对端信道中,输入信号 $e_i(t)$ 与输出信号 $e_o(t)$ 的关系

$$e_o(t) = K(t)e_i(t) + n(t)$$

式中: $K(t)$ 为乘性干扰, $n(t)$ 为加性干扰。

恒参信道:信道的参数不随时间变化,如双绞线、同轴电缆等。

变参信道:信道的参数随时间变化,如短波电离层传播、超短波流星余迹散射等。

3. 信道模型

调制信道模型如图 2.2 所示,编码信道模型如图 2.3 所示。

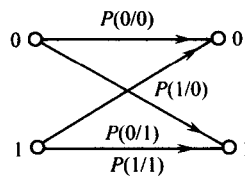
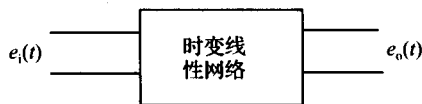


图 2.3 二进制编码信道模型

4. 恒参信道特性

理想无失真传输信道特性为

$$H(\omega) = Ke^{-j\omega t_d}$$

(1) 幅频特性: $|H(\omega)| = K$, 否则引起幅频失真。

(2) 相频特性: $\varphi(\omega) = -\omega t_d = K\omega$, 否则引起相频失真。

(3) 群延迟频率特性: $\tau(\omega) = \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = K$, 否则引起群延迟失真。

5. 变参信道特性

变参信道传输媒介的特点:

- (1) 使信号的衰耗随时间而变。
- (2) 传输时延随时间而变。
- (3) 多径传播。

由于气象条件和时间的变化将引起慢衰落。

多径传播对信号传输的影响最大,将产生瑞利型衰落,称为快衰落,将引起频率弥散和时间弥散,发生频率选择性衰落。通常采用分集接收技术、扩频技术等来改善变参信道的特性。

2.1.2 随机过程

1. 定义

随机过程是一个取值随机变化的时间函数。

2. 随机过程的数字特征

(1) 数学期望(均值):

$$m_X = E[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx$$

(2) 方差:

$$\sigma_X^2 = E\{[X(t) - m_X]^2\} = E\{X^2(t)\} - m_X^2$$

(3) 协方差函数:

$$C(t, t + \tau) = E\{[X(t) - m_{X_1}][X(t + \tau) - m_{X_2}]\}$$

(4) 自相关函数:

$$R(t, t + \tau) = E[X(t)X(t + \tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 p_2(x_1, x_2; t, t + \tau) dx_1 dx_2$$

3. 平稳随机过程

(1) 狭义平稳:随机过程 $X(t)$ 的 n 维概率密度函数与起点无关,即

$$P_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) =$$

$$P_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1 + \tau, t_2 + \tau, \dots, t_n + \tau)$$

(2) 广义平稳:随机过程 $X(t)$ 的均值及方差与时间 t 无关,而自相关函数仅与时间间隔 τ 有关。

4. 平稳随机过程的遍历性(各态历经性)

平稳随机过程的数字特征(统计平均),可由其任一实现的时间均值来代替。即

$$m_X = \overline{X(t)}$$

$$\sigma_X^2 = \overline{[X(t) - \overline{X(t)}]^2}$$

$$R(\tau) = \overline{[X(t)X(t + \tau)]}$$