

高等学校教材

遥测遥控原理

欧阳长月 主编



电子工业出版社

遥测遥控原理

欧阳长月 主编



电子工业出版社

内 容 简 介

本书是高等学校无线电技术和电子工程类专业统编的专业教材之一，主要论述遥测遥控系统的基本工作原理，重点是其中的信息传输原理，全书分五篇十六章，内容包括遥测遥控的基本概念，遥测遥控中的基本调制原理，多路传输原理和数字信息传输原理，几个先进的典型的遥测遥控系统应用实例。本书符合工科电子类专业大纲的要求，取材合适，反映了该领域的主要内容和国内外先进水平，书稿的条理性和系统性较好，原理叙述清楚，理论联系实际，主要章节附有习题，便于学生使用和自学。

本书除了作为高等学校无线电技术和电子工程类专业的遥测遥控课程教材外，还可供从事有关专业的科学研究和工程技术人员参考。

392/61

遥测遥控原理

欧阳长月 主编

责任编辑：王昌喜

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

房山南召印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张28.375；插页；字数665千字

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数：4000册 定价：6.10元

统一书号：15290·173

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人材的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二至一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由《无线电技术与信息系统》教材编审委员会《雷达编审》小组评选审定，并推荐出版。

该教材由北京航空学院欧阳长月担任主编，西北工业大学竹志年和西北电讯工程学院于崇标担任主审。编审者均依据《雷达编审》小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为80至100学时，其主要内容是论述遥测遥控的基本原理，重点是其中的信息传输原理。全书共分五篇十八章。第一至三章为第一篇，论述遥测遥控的基本概念，内容有遥测遥控系统模型、传感器、信号和噪声及其通过系统的传输。第四至八章为第二篇，论述遥测遥控中采用的基本调制体制，内容有幅度调制、角度调制、脉冲调制和编码调制，以及这些调制体制的抗噪声性能。第九至十一章为第三篇，论述遥测遥控中的多路传输原理，内容有频分、时分和码分三种基本类型的多路传输。第十二至十五章为第四篇，论述遥测遥控中的数字信号传输原理，内容有数字基带信号传输、数字频带（载波调制）信号传输、同步和纠错编码。第十六至十八章为第五篇，通过三个较为先进的典型系统实例，说明遥测遥控原理的应用和发展概况。使用本教材时，最好配合一定数量的示教和实验；若学时数不够，第五篇可以有选择地进行讲授。

本教材由欧阳长月编写第一至八、十和十三章，由鞠枫编写第九、十一、十二、十四、十六章和全部习题，由张鸣瑞编写第十五章，由沈士团编写第十七章，由周富大编写第十八章，最后由欧阳长月统编全稿。

参加本教材审阅工作的先后还有潘维瀚、张欲敏、冯一云和冯子裘等同志，他们为本书提出了许多有益的建议和宝贵的意见。在本书的编写过程中，有关领导和教研室的同志给了很大的支持和关心。在此，谨向上述有关院校和同志表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

一九八四年十月

目 录

第一篇 遥测遥控的基本概念	1
第一章 遥测遥控系统模型	1
1.0 引言	1
1.1 遥测的概念与系统模型	1
1.2 遥控的概念与系统模型	2
1.3 遥测和遥控与信息传输	4
1.3.1 遥测与遥控的关系	4
1.3.2 遥测遥控中的信息传输与系统模型	5
1.3.3 信息传输中的几个概念	7
1.4 遥测遥控技术的发展与应用概况	9
1.5 本书的宗旨与内容简介	10
第二章 传感器	13
2.0 引言	13
2.1 传感器的定义与分类	13
2.2 传感器的基本特性	15
2.2.1 静态特性	15
2.2.2 动态特性	18
2.3 传感器的工作原理	18
2.3.1 电位器式传感器	19
2.3.2 电容式传感器	20
2.3.3 磁阻式传感器	23
2.3.4 固态传感器	24
2.4 传感器的发展动向	25
第三章 信号和噪声及其通过系统的传输	27
3.0 引言	27
3.1 确知信号表示法	27
3.1.1 周期信号和非周期信号	27
3.1.2 功率信号和能量信号	28
3.2 确知信号通过系统的传输	30
3.2.1 系统响应的分析方法	30
3.2.2 系统的带宽和上升时间	31
3.2.3 无失真系统和理想滤波器	33
3.2.4 系统响应的能量密度谱和功率密度谱	34
3.3 随机过程的某些特性	35
3.3.1 数字特征	35
3.3.2 功率密度谱和带宽	36

3.3.3 通过系统的传输特性	37
3.4 噪声	38
3.4.1 白噪声和有色噪声	38
3.4.2 乘法器对噪声的响应	39
3.4.3 带通(型)和窄带高斯噪声	40
3.4.4 噪声带宽	42
3.5 匹配滤波器	42
3.5.1 有色噪声匹配滤波器	43
3.5.2 白噪声匹配滤波器	44

第二篇 遥测遥控中的基本调制原理 46

第四章 幅度调制 46

4.0 引言	46
4.1 标准调幅(AM)	47
4.1.1 AM信号和频谱	47
4.1.2 AM信号的产生及其功率分配	48
4.2 双边带调幅(DSB)	50
4.2.1 DSB信号和频谱	50
4.2.2 DSB信号的产生	50
4.3 单边带调幅(SSB)与残留边带调幅(VSB)	52
4.3.1 单边带调幅	52
4.3.2 残留边带调幅	51
4.4 调幅信号的解调	54
4.4.1 相干解调	54
4.4.2 非相干解调	58
4.4.3 载波再插入解调	59
4.5 调幅系统的抗噪声性能	59
4.5.1 基带传输系统及其抗噪声性能	60
4.5.2 相干解调时的抗噪声性能	61
4.5.3 包络检波时的抗噪声性能	64
4.5.4 抗噪声性能比较	66

习题 67

第五章 角度调制 70

5.0 引言	70
5.1 角度调制的基本概念	70
5.1.1 相位调制(PM)与频率调制(FM)	70
5.1.2 窄带角度调制与宽带角度调制	72
5.2 宽带频率调制(WBFM或FM)	75
5.2.1 单频信号的调制	75
5.2.2 多频信号的调制	79
5.2.3 任意信号的调制	80
5.3 宽带调频信号的产生与解调	80

5.3.1	调频信号的产生	80
5.3.2	调频信号的解调	81
5.4	宽带调频系统的抗噪声性能	87
5.4.1	调频接收机的组成	87
5.4.2	信号和噪声平均功率的推算	88
5.4.3	抗噪声性能的分析	92
5.4.4	与调幅系统抗噪声性能的比较	94
5.4.5	加重技术的应用	95
5.5	宽带调频中的门限效应	96
5.5.1	门限效应产生的原因	96
5.5.2	尖峰噪声的平均数目与平均功率	99
5.5.3	靠近门限时输出信噪功率比	99
5.5.4	调频门限值的估算	101
习题		101
第六章	脉冲调制	103
6.0	引言	103
6.1	脉冲幅度调制 (PAM)	104
6.1.1	PAM 信号的产生与频谱分析	104
6.1.2	PAM 信号的解调	118
6.1.3	信道带宽	111
6.1.4	系统的抗噪声性能	111
6.2	脉冲持续时间调制 (PDM)	115
6.2.1	PDM 信号的产生与频谱分析	118
6.2.2	PDM 信号的解调	115
6.2.3	信道带宽	129
6.2.4	系统的抗噪声性能	120
6.3	脉冲位置调制 (PPM)	124
6.3.1	PPM 信号的产生与频谱分析	124
6.3.2	PPM 信号的解调	126
6.3.3	信道带宽	128
6.3.4	系统的抗噪声性能	128
习题		131
第七章	编码调制	133
7.0	引言	133
7.1	脉冲编码调制 (PCM) 的基本概念	133
7.1.1	量化与编码	133
7.1.2	量化误差与性能极限	135
7.1.3	压缩与扩张	136
7.2	PCM 系统的组成与工作原理	138
7.2.1	系统的组成及其各部分的功用	138
7.2.2	PCM 信号的重建与误码率	139
7.2.3	信道带宽	144
7.3	PCM 系统的抗噪声性能	145

7.3.1	超过门限时的抗噪声性能	145
7.3.2	接近门限时的抗噪声性能	145
7.3.3	各种系统抗噪声性能的比较	148
7.4	多进制脉冲编码调制 (μ -PCM)	149
7.4.1	μ -PCM信号的平均功率	150
7.4.2	信道带宽	150
7.4.3	超过门限时的抗噪声性能	151
7.5	增量调制 (DM, Δ M) 的基本概念	151
7.5.1	基本的DM系统的组成与工作原理	152
7.5.2	量化误差与斜率过载误差	153
7.5.3	信道带宽	155
7.6	量化脉冲位置调制 (QPPM)	155
7.6.1	系统的组成与工作原理	155
7.6.2	QPPM 信号的产生与重建	157
7.6.3	重建时的错误概率及系统的抗噪声性能	158
7.6.4	与 PCM 系统的比较	161
7.6.5	信道带宽	163
习题		164
第八章	信息速率与信道容量	165
8.0	引言	165
8.1	信息的量度	165
8.2	信息速率与信道容量	167
8.3	连续信号的传输问题	170
8.4	带宽与信噪比的互换	171
8.5	脉冲编码系统的信道容量	173
习题		176
第三篇	遥测遥控中的多路传输原理	178
第九章	频分多路传输	178
9.0	引言	178
9.1	频分多路传输系统的组成及其工作原理	178
9.2	多路信号的主要特性	180
9.2.1	多路信号的频谱及带宽	181
9.2.2	多路信号的幅值分布	181
9.3	多路信号对主载波的调制	183
9.3.1	调幅或调频	183
9.3.2	过调制	185
9.4	多路信号传输中的交叉干扰	187
9.5	频分多路传输系统的抗噪声性能	191
9.6	频分多路遥测FM 副载波通道标准	194
9.6.1	恒比 (比例) 带宽FM副载波通道标准	195
9.6.2	固定 (等) 带宽FM副载波通道标准	197
习题		198

第十章 时分多路传输	200
10.0 引言	200
10.1 时分多路传输系统的工作原理与信号格式	200
10.1.1 系统的组成及其工作原理	200
10.1.2 时分多路信号的帧格式	201
10.2 PAM时分多路传输	203
10.2.1 PAM多路传输标准	203
10.2.2 信道带宽与路际串扰	205
10.2.3 对主载波的调制与系统的抗噪声性能	209
10.3 PCM时分多路传输	212
10.3.1 固定帧格式的多路传输	212
10.3.2 可变帧格式(可编程)的多路传输	214
10.4 频分-时分混合多路传输	216
习题	217
第十一章 码分多路传输	219
11.0 引言	219
11.1 信号分割的一般原理	219
11.1.1 信号的线性分割	219
11.1.2 信号的正交分割	222
11.2 沃尔什(Walsh)函数	224
11.2.1 雷德麦彻(Rademacher)函数	224
11.2.2 沃尔什函数的几种定义	226
11.2.3 沃尔什函数的性质	228
11.3 模拟序分多路传输	229
11.3.1 系统的组成及工作原理	229
11.3.2 信道带宽	232
11.3.3 交叉干扰	233
11.3.4 系统的抗噪声性能	235
11.3.5 宽度调制问题	237
11.4 数字序分多路传输	239
习题	243
第四篇 遥测遥控中的数字信号传输原理	245
第十二章 数字基带信号传输	245
12.0 引言	245
12.1 数字基带信号的波形及其频谱特性	246
12.1.1 数字基带信号的波形(码型)	246
12.1.2 数字基带信号单个波形的频谱	248
12.1.3 数字基带信号序列的功率密度谱	249
12.2 基带信号的传输与码间串扰	251
12.2.1 基带传输中的码间串扰	251
12.2.2 理想传输特性与码间串扰的消除	252

12.2.3 非理想传输特性与码间串扰的消除	254
12.3 基带系统的性能及其最佳化	257
12.3.1 关于最佳化的概念	257
12.3.2 理想信道下的最佳化条件	258
12.3.3 理想信道下的误码率	259
12.3.4 非理想信道下的最佳化条件	262
12.4 均衡原理	264
12.4.1 均衡的概念和目的	264
12.4.2 时域均衡的原理	264
12.4.3 时域均衡实现的方法	267
12.5 部分响应原理	269
习题	272
第十三章 数字频带(载波调制)信号传输	275
13.0 引言	275
13.1 数字频带信号的最佳接收与匹配滤波器的应用	276
13.1.1 数字频带信号的匹配滤波器	276
13.1.2 与匹配滤波器等效的时间相关器	278
13.1.3 最佳门限电平	280
13.2 幅移键控(ASK)	280
13.2.1 系统的组成与工作原理	281
13.2.2 信号频谱与信道带宽	282
13.2.3 系统的抗噪声性能	284
13.3 频移键控(FSK)	290
13.3.1 系统的组成与工作原理	291
13.3.2 信号频谱与信道带宽	292
13.3.3 系统的抗噪声性能	294
13.4 相移键控(PSK)	297
13.4.1 系统的组成与工作原理	298
13.4.2 信号频谱与信道带宽	298
13.4.3 系统的抗噪声性能	299
13.5 差分相移键控(DPSK)	300
13.5.1 系统的组成与工作原理	301
13.5.2 信号频谱与信道带宽	304
13.5.3 系统的抗噪声性能	304
13.6 各种数字键控系统的抗噪声性能比较	307
习题	308
第十四章 同步原理	311
14.0 引言	311
14.1 载波同步	311
14.1.1 插入导频法	312
14.1.2 直接提取法	313
14.2 载波同步的性能及其对解调性能的影响	315
14.2.1 稳态相差	315

14.2.2	随机相差	316
14.2.3	相位误差对解调性能的影响	318
14.2.4	同步建立时间和保持时间	319
14.3	位同步(码元同步)	319
14.3.1	外同步法	320
14.3.2	自同步法	321
14.3.3	位同步系统的性能及其影响	324
14.4	帧同步(群同步)	326
14.4.1	巴克码作帧同步	327
14.4.2	伪随机序列(码)作帧同步	330
14.4.3	脉位码作帧同步	332
14.4.4	帧同步的保护	333
习题		335
第十五章 纠错编码		337
15.0	引言	337
15.1	纠错编码的基本概念	338
15.1.1	纠错编码的基本原理	338
15.1.2	纠错编码的分类	340
15.1.3	差错控制的方式	340
15.2	线性分组码	341
15.2.1	定义	341
15.2.2	几个概念	342
15.2.3	监督矩阵与生成矩阵	343
15.3	线性分组码的纠错原理	347
15.3.1	纠错原理	347
15.3.2	纠错应用举例	350
15.4	循环码基本原理	354
15.4.1	循环码的定义与特性	354
15.4.2	循环码的编码原理	359
15.4.3	循环码的生成矩阵和监督矩阵	360
15.4.4	循环码的译码原理	361
15.4.5	多项式除法电路	362
15.4.6	循环码的编码和译码电路	365
15.5	缩短循环码	371
15.5.1	缩短循环码的性质	371
15.5.2	缩短循环码的编码和译码电路	372
习题		374
第五篇 遥测遥控原理的应用		375
第十六章 飞行试验实时数据系统		375
16.0	引言	375
16.1	系统的组成与主要特点	375

16.1.1	系统的组成及其各部分的功能	375
16.1.2	系统的主要特点	377
16.2	机载数据采集系统	378
16.2.1	PCM数据采集系统	378
16.2.2	FM采集器(副载波通道组合)	380
16.3	遥测发射机和遥测接收站	381
16.3.1	遥测发射机	381
16.3.2	遥测接收站	382
16.4	地面站的测量调节系统	384
16.5	地面站的数据处理计算机和其它设备	385
第十七章	分布式遥测遥控系统	388
17.0	引言	388
17.1	分布式遥测遥控系统模型	388
17.2	分布式遥测遥控系统的操作系统	389
17.2.1	任务(TASK)的概念	389
17.2.2	操作系统	390
17.2.3	编程概念	390
17.2.4	实时多任务执行软件的基本组成	393
17.2.5	实时操作系统	397
17.3	远置单元(RTU)	397
17.3.1	RTU的输入和输出信号	397
17.3.2	巡检和查询	400
17.3.3	定时(TIMERS)	401
17.3.4	CPU和输入/输出总线	402
17.3.5	RTU的数据库(DATA BASE)	403
17.3.6	硬件中断(HW INTERRUPT)	403
17.3.7	初始化(INITIALIZATION)	404
17.3.8	看门狗(WATCH DOG)	405
17.3.9	队列(QUEUES)	405
17.3.10	异常报告(EXCEPTION REPORTING)	405
17.3.11	RTU的软件流程	406
17.4	主控单元(MTU)	406
17.4.1	MTU的部件和组成	407
17.4.2	MTU的内部地址和硬件地址	410
17.4.3	MTU的数据库和存贮器	411
17.4.4	屏幕显示(VDU)	412
17.4.5	报警和报警处理	412
17.4.6	物理参数处理	413
17.4.7	队列(QUEUES)	413
17.4.8	RTU/MTU的初始化	414
17.4.9	任务的优先权	414
17.5	RTU和MTU之间的通信	414
17.5.1	误差检测和纠错	415

17.5.2	模拟传输与数字传输	416
17.5.3	应答式交换 (HANDSHAKING)	417
17.5.4	音频调制	418
第十八章	小型近距遥测系统	420
18.0	引言	420
18.1	小型近距遥测系统的特点	420
18.2	多路巡检动应变遥测系统	422
18.2.1	系统主要技术指标与方案选择	422
18.2.2	系统的组成与工作原理	423
18.2.3	发射-接收系统	424
18.2.4	感应供电系统	427
18.2.5	遥控巡检系统	428
18.2.6	遥测数据的标定	432
18.2.7	小型化结构与工艺	433
18.3	静应变遥测问题	435
参考文献		437
附录	英文缩写名词中文对照表	439

第一篇 遥测遥控的基本概念

第一章 遥测遥控系统模型

1.0 引言

近几十年来，随着科学技术的发展，特别是空间技术、自动化技术和电子技术的发展，遥测遥控技术也得到了极其迅速的发展，而且其应用也愈来愈广泛和深入。例如，飞机的飞行试验；火箭和导弹的发射与控制；卫星和宇宙飞船的运行和操纵；工农业生产和交通运输调度的自动化；危及人身安全的工作场所的无人作业；以及医疗卫生和体育训练等方面的工作，都离不开遥测遥控技术的应用。可以肯定，随着国家四个现代化建设的向前推进，遥测遥控技术必将会得到进一步的发展和应用。因此，有必要对遥测遥控技术进行较为全面的研究。但考虑到本书是一本教材，我们只能就其中的一些基本原理加以讨论。

本篇先介绍一下有关遥测遥控的基本概念，即系统模型、传感器、信号和噪声及其通过系统的传输。这一章讨论系统模型，其它问题下两章讨论。

1.1 遥测的概念与系统模型

人们在实践活动中，常常需要对所研究和使用的对象进行各种物理量（或参数）的测量。有些测量任务可以在被测点附近直接使用仪表来完成，如使用万用表测量电压、电流和电阻；使用温度计和压力计测量温度和压力等。这时人们通过视觉直接读取这些参数，从而完成所需要的测量任务。这就是通常说的“测量”的概念。

有些被测对象，如运载火箭和具有放射性的物体等，人们不可能或不宜于在它们所处的位置附近直接进行有关参数的测量，只能在远离它们的地方进行间接测量。这种远离被测对象的间接测量，习惯上就称为遥测。因此，遥测乃是一般测量的延伸。这里所说的远距离是一个相对的概念，它可以近到几米，如对高速旋转体内静应变参数的遥测；也可以远到几十万公里，如卫星和深空探测中的遥测。

有时人们为了实际工作的需要，把只能确定某种工作状态是否发生的远距离测量叫做遥信，如机器的起动与停止、闸门的开启与关闭、工作电压的越限与正常等状态的测定。而把能够确定被测参数（如流量、温度、压力和转速等）大小的远距离测量，才叫遥测。从学科的观点来看，遥信也是遥测，而且是一种最简单的遥测。因此，本书不再使用遥信的术语。

完成遥测任务的所有设备的总合称为遥测系统。它一般包括三个组成部分，即输入设备、传输设备和终端设备，如图1.1-1所示。

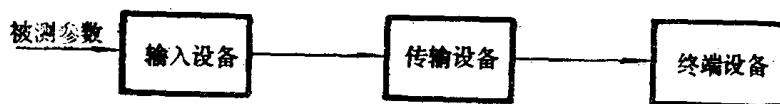


图1.1-1 遥测系统的基本模型

输入设备通常包括传感器和信号调节器。传感器的作用是感受被测的物理量（参数），并将它变换成便于传输、处理、显示和记录的信号（我们只讨论电信号）。此信号还要经过调节器加以放大和调整，以满足传输设备的要求；有时还要进行适当的匹配和补偿，以提高传感器的变换精度。在某些情况下，传感器和信号调节器统称为传感器。

传输设备的作用是把输入设备输出的信号传输到距离很远的终端设备。若是有线传输，传输设备就是一对导线、电缆或光缆；若是无线传输，传输设备应包括收发机、天线和传输媒介（即信道）。遥测不同于一般测量的主要特征，就是它拥有传输设备。

终端设备的作用是对传输设备输出的信号进行处理、显示和记录。终端设备可以十分简单，例如只是一个对被测参数进行指示或观察的表头或示波器，或者只是一台进行记录的紫外线记录仪或磁记录器等。终端设备也可能极为复杂，例如是一台对被测参数进行实时处理的计算机。

因此，遥测包括信息（被测量）的感受、变换、传输、处理、显示和记录等多种过程，需要多种功能不同的设备才能完成其任务。就是说，遥测是一门综合性的学科，涉及到多方面的理论和技术。

有些文献把图1.1-1所示的模型称为开环遥测，与它相对应的必然有闭环遥测。由于闭环遥测与闭环遥控是密切相关的，将在下节一起讨论。

1.2 遥控的概念与系统模型

像遥测一样，人们在实践活动中，常常要对所研究和使用的对象进行各种控制。有些控制任务可以在被控对象处直接完成，如工人操作机床，飞行员驾驶飞机等。这就是一般所说的“控制”的概念。但是，当控制人员远离被控对象（如火箭、导弹和卫星等）或不宜接触被控对象（如高压设备和放射性物体）时，就不能采用直接的控制方法，而只能采用间接的控制方法。这种远离被控对象的间接控制，习惯上就称为遥控。遥控也是一般控制或操作的延伸。这里说的远距离也是相对的，它可以是只有几米远的变电站的高压开关遥控；也可以是几十到几百公里远的导弹遥控；还可以是几十万公里外的深空探测器的遥控。

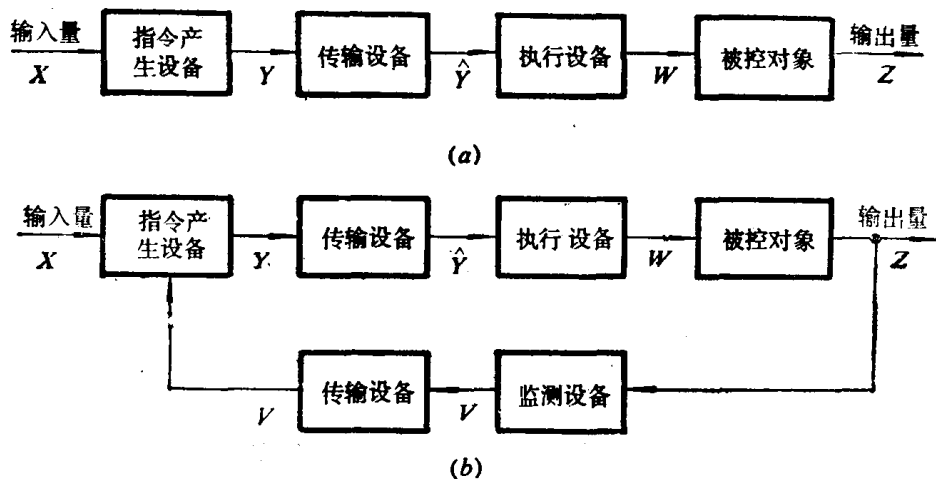
被控对象可以是固定不动的，也可以是活动的。固定不动的对象又分集中型的（如工厂和电站等）和分散型的（如输油管道、油田和铁道等）两类。活动对象有舰艇、飞机、导弹、卫星和宇宙飞船等。

根据被控状态的不同，有时把遥控分为二种：对被控对象的工作状态可以定量地改变

其大小的远距离控制称为遥调，如对输油管道中流量的控制，对电动机转速的调节，对导弹飞行轨迹的制导等；使被控对象只有单一的或几种有限动作的远距离控制，才叫遥控，如闸门的开启与闭合，电动机的启动与停止等。从学科的观点来看，它们是相同的，都是遥控。因此，本书不再使用遥调的术语。

完成遥控任务的所有设备的总合称为遥控系统。它也为开环式与闭环式两种，其基本模型如图1.2-1所示。

对于任何遥控系统，需要解决的问题是：给定系统的输入量 X ，应使其输出量 Z 满足一定的性能指标。为此，需要选择一个适当的被控对象输入量 W ，以便根据它来设计一个控制指令信号产生设备，使其在给定输入量 X 的作用下，产生所需要的控制指令信号 Y ，



1.2-1 遥控系统的基本模型
(a) 开环系统 (b) 闭环系统

然后通过传输设备送到执行设备，再加入到被控对象上。为了表示传输设备可能带来的失真，用 $\hat{Y}$ 表示其输出，以说明它与输入的信号 Y 不完全一样。如果传输设备是理想的且无干扰，应有 $\hat{Y} = Y$ 。

开环遥控系统与闭环遥控系统相比的主要优点是设备简单；主要问题是控制人员不了解被控制的结果是否满足要求。除了在一些极简单的和要求不高的场合下使用开环遥控系统，实际使用较多的是闭环遥控系统。闭环系统与开环系统不同的地方，在于增加了一套反馈系统——监测设备和传输设备。前者不断地监视与测量被控对象的输出量，并把此量通过后者反馈到控制指令信号产生设备中，与给定的外部输入量 X 进行比较，去修正控制信号，直到被控对象的输出量满足给定的性能指标为止。显然，闭环系统比开环系统优越得多。

对于一般的控制（包括开环和闭环）系统，传输设备是不需要的，这时，控制指令产生设备输出的控制信号直接加到执行设备上，监测设备的输出信号也是直接反馈到控制指令产生设备中去的。

遥控系统与一般控制系统的差别，就在于前者较后者增加了传输设备，以解决远距离控制（即遥控）的问题。或者说，正是其中的传输设备反映了遥控系统区别于一般控制系