

# 通信系统工程手册

TN91-62

# 通信系统工程手册

(上册)

〔美〕D. H. 哈姆谢尔 主编

《通信系统工程手册》翻译组 译

OB16/27

国防工业出版社

1975

A436656



## 内 容 简 介

本书由美国陆军电子司令部组织美国有关公司、大学等专门人员共三十余人执笔写成。主要是从总体设计的角度上来讨论各种通信系统及其有关问题。本书是手册性的，其内容广泛，包括有线、无线各种通信系统。书中使用数学公式较少，附有图表曲线较多，易于阅读查找。本书讲述通信系统的设计方法与原则，通信网的模型研究方法，数据在电话通信网中的传输，应用电子计算机作自动转报中心的总体考虑等许多问题，有一定的参考价值。

原书共二十五章，现译出二十四章，分上下两册出版。上册主要包括通信系统设计要求、用户设备、语言特性、概率论及信息论概要、通信系统模型、电报电话交换的方法与设备、多路复用（载波电话）等。下册主要包括电缆特性及敷设、数据传输设备、电力载波通信、闭路电视、雷德通信、高频通信、接力通信、移动通信、无线电频谱及分配、通信系统电源、中心局及通信中心配置、通信系统的维护管理等。

本书可供从事通信工作的工人、干部、工程技术人员及大专学校通信专业的教学员阅读和参考。

Communication System Engineering Handbook

Donald H. Hamsher

McGraw-Hill Book Company, 1967

\*

通信系统工程手册

(上 册)

[美] D. H. 哈姆谢尔 主编

《通信系统工程手册》翻译组 译

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 26<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 622 千字

1975年11月第一版 1975年11月第一次印刷 印数：0,001—6,000册

统一书号：15034·1428 定价：2.15元

(只限国内发行)

## 译 序

本书是由美国陆军电子司令部主编的，它主要从总体工程的角度上较全面地阐述通信系统的总体和各个分系统。原书主要供从事通信系统总体设计和规划的人员参考，也供使用各种通信系统的人员参考。考虑到当前这类书籍极少，遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，从了解国外情况，批判地吸收一切有用的材料，为我国社会主义建设和国防建设服务出发，此书尚有一定参考价值，故译出供各有关方面参考。

本书共分廿五章，中译本分上下两册出版。上册包括第一到第十章，主要是总体研究和设计的有关知识、用户设备和交换工程(包括电报、电话、数据等)。下册包括第十一到第廿五章，主要是通信的各个分系统(包括有线电缆载波、高频、微波接力、电视、雷德通信……等)及通信中心的安装与经济核算等。本书的特点是内容比较全面，几乎涉及到通信系统的各个方面，特别是在总体研究和设计规划方面有所论述，这在其它书中是较少见到的。同时它又是手册性的，所以叙述简要，便于查阅。但是由于本书是美国陆军电子司令部主编的，各章的撰稿人又多是美国各公司的有关人员，因此在书中有不少地方反映出美帝侵略扩张的本性和资本主义的经营管理制度，也有一些为其公司产品吹嘘的地方。根据有关单位的意见，考虑到系供了解国外情况及参考用的，故在翻译时，除第廿四章进行摘译，第廿五章因无参考价值，已经删去外(第廿四章为通信系统的管理，第廿五章为成本核算方法)，其余部分基本上未作删改，请使用本书的同志注意批判地阅读。

原书是1967年版，所以书中引用材料均是1967年前的，特别是分系统中缺少卫星通信分系统，需了解这方面材料的读者可查阅专书。

在翻译中，对书中个别地方需要解释的，我们加了注，并在其后注明译注，以和原注相区别。对原书的错误，我们也尽力作了改正，就不另注明了。

由于译者水平较低，此书范围又极为广泛，错误一定不少，请使用本书的同志们批评指正。本书在翻译和出版过程中还得到有关部门的领导和同志的关心和帮助，特此表示感谢。

“通信系统工程手册”翻译组

1973年12月



# 目 录

译序 .....	3	19. 电话术语 .....	79
第一章 系统设计的要求 .....	9	20. 专用线路业务 .....	79
系统设计的原则 .....	9	21. 电话站设备 .....	80
1. 系统设计的问题 .....	9	22. 电源 .....	84
2. 通信系统的特性 .....	10	23. 布线考虑 .....	84
3. 合格信息的标准 .....	11	24. 传信 .....	85
4. 失真和噪声 .....	13	25. 拨号 .....	85
通信要求的确定 .....	14	26. 传输方面的考虑 .....	87
5. 通信系统设计的程序流程图 .....	14	传真 .....	89
6. 系统设计的参数 .....	6	27. 概述 .....	89
7. 传输的信息、通信目的 .....	17	28. 部件 .....	90
8. 业务量分析 .....	18	29. 传真发送机 .....	91
9. 合格标准——业务的质量和等级 .....	19	30. 传真记录法 .....	94
10. 运行要求——业务顺序等级表 .....	22	31. 现有的传真设备及其应用 .....	95
11. 初始考查——系统的地理分布图 .....	22	32. 有关传真的术语定义和公式 .....	100
12. 设备考查——可用的业务、设备和传输媒质 .....	24	33. 传真设备联用的要求 .....	105
13. 通信技术和装备的考查 .....	26	线路调制器和解调器 .....	106
噪声与失真的类型 .....	27	34. 业务 .....	106
14. 噪声 .....	27	35. 数据传输设备和接口 .....	107
15. 失真 .....	27	36. 用户电传报 .....	111
参考文献 .....	28	参考文献 .....	111
第二章 用户设备及其使用 .....	30	第三章 语言特性和声学效应 .....	113
电报和数据用户设备 .....	31	语言的一般特性 .....	113
1. 信息的概念和电码 .....	31	1. 语言的性质 .....	113
2. 电报和数据的电码 .....	31	2. 频率范围和频谱 .....	113
3. 信号型式 .....	39	3. 动态范围 .....	115
4. 键盘 .....	42	语言可懂度和音质 .....	116
5. 纸带读出器和分配器 .....	47	4. 可懂度测量 .....	116
6. 复凿孔机和纸带穿孔机 .....	49	5. 清晰度试验 .....	120
7. 页式打印机 .....	56	6. 试验材料 .....	121
8. 电传机的操作程序 .....	65	7. 试验人员 .....	121
9. 同步操作与异步操作 .....	66	8. 发话人的识别 .....	121
10. 电传机和数据设备 .....	67	9. 语音的质量 .....	122
11. 干扰噪声的影响 .....	71	输入考虑 .....	122
12. 卡片读出器、分类器和比较器 .....	72	10. 发话人频谱 .....	122
13. 字符识别 .....	75	11. 发话人的语音声级 .....	123
14. 可闻噪声 .....	75	12. 侧音 .....	124
15. 显示 .....	76	13. 背景噪声 .....	124
16. 若干术语的定义 .....	77	14. 抗噪声送话器和噪声屏蔽 .....	124
电话设备 .....	78	15. 混响 .....	125
17. 中心局系统 .....	78	系统的特性和失真 .....	125
18. 拨号电话系统 .....	78	16. 频率响应特性 .....	125
		17. 削峰和过荷失真 .....	125

18. 中心削波 .....	126	1. 什么是模型? .....	182
19. 频移 .....	127	2. 为何要模型化? .....	182
20. 话音控制继电器动作的延迟 .....	127	<b>费用网络模型</b> .....	182
21. 相移和传输延迟 .....	127	3. 最小费用途径 .....	183
22. 回声 .....	127	4. 最小费用途径模型的基本特性 .....	183
23. 反馈 .....	128	5. 确定最短途径的一般方法 .....	183
<b>输出考虑</b> .....	128	6. 网络的简化 .....	185
24. 输出电平 .....	128	7. 最小费用网络的吸收规则 .....	185
25. 噪声排除 .....	128	8. 物理模型 .....	186
<b>参考文献</b> .....	128	9. 第 $k$ 个最短途径 .....	186
<b>第四章 线性规划、概率论和信息论</b> .....	130	10. 应用 .....	186
<b>引言</b> .....	130	11. 最小费用网络 .....	188
<b>线性规划</b> .....	130	12. 构成最短连接网络的方法 .....	188
1. 线性规划的图解 .....	131	13. 单向链路网络 .....	190
2. 单纯形方法 .....	132	14. 应用 .....	190
3. 运输问题 .....	135	<b>流量网络模型</b> .....	191
<b>概率论与统计学的基本概念</b> .....	145	15. 流量网络的基本性质 .....	192
4. 随机试验——事件的概率 .....	145	16. 最大流量定理 .....	192
5. 样本空间和事件 .....	145	17. 网络的对偶性 .....	193
6. 概率运算规则 .....	146	18. 多端网络 .....	193
7. 贝斯 (Bayes) 定理 .....	147	19. 多源点多终点问题 .....	194
8. 概率分布 .....	147	20. 多商品问题 .....	194
9. 矩、期望值、矩母函数 .....	149	21. 流量网络模型的应用 .....	195
10. 变差的界——车比雪夫 (Tschebyscheff) 不等式 .....	150	22. 流量网络的物理模型 .....	195
11. 误差传播 .....	151	<b>网络模型的普遍理论</b> .....	195
12. 某些离散的概率分布 .....	152	23. 各种网络的一般特性 .....	195
13. 若干连续的概率分布 .....	155	24. 单参数网络 .....	196
14. 中心极限定理 .....	157	25. 串联及并联规则 .....	197
15. 最小二乘方原理 .....	158	26. $Y \rightarrow \Delta$ 和 $\Delta \rightarrow Y$ 变换 .....	197
<b>等候排队与模拟</b> .....	159	27. 星 $\rightarrow$ 网变换 .....	197
16. 概述 .....	159	28. 准线性 .....	197
17. 等候排队的基本方程——单个服务站 .....	161	29. 弱互易性 .....	198
18. 多个服务站。普阿松到达和普阿松服务 .....	162	30. 结论 .....	198
19. 具有普阿松到达和恒定服务的等候排队 .....	164	<b>多参数网络模型</b> .....	199
20. 总数是有限的等候排队 .....	164	31. 容量费用网络 .....	199
21. 随机过程的模拟——蒙特·卡罗 (Monte Carlo) 模拟 .....	165	<b>通信系统的其它模型</b> .....	200
<b>通信与信息论</b> .....	168	32. 其它模型的典型例子 .....	200
22. 信息的测度 .....	168	33. 模拟 .....	201
23. 信源的熵 .....	170	<b>参考文献</b> .....	201
24. 通信信道——编码和解码 .....	172	<b>第六章 交换系统的传输工程</b> .....	203
25. 有噪声的离散信道 .....	173	<b>引言</b> .....	203
26. 连续信息的测度 .....	174	1. 概述 .....	203
27. 取样定理, 函数的集合 .....	177	2. 传输研究的准备工作 .....	203
28. 连续信道的容量 .....	178	3. 其它方面的考虑 .....	204
29. 具有连续信源的连续噪声信道容量 .....	180	4. 术语 .....	204
<b>参考文献</b> .....	181	<b>交换工程方案对传输工程设计的影响</b> .....	205
<b>第五章 通信系统模型</b> .....	182	5. 概述 .....	205
<b>引言</b> .....	182	6. 交换连接的方法 .....	205
		7. 分级方案 .....	206

8. 轴式方案 .....	207	43. 二线制交换中心的平衡要求 .....	233
9. 交换对设备型式的影响 .....	207	44. 专用分交换机的平衡要求 .....	234
10. 传输设备的型式 .....	208	传输测试 .....	236
基准系统 .....	209	45. 测试目的 .....	236
11. 电平测试点的用途 .....	209	46. 测试类型 .....	236
12. 直通线路的基准系统 .....	209	47. 初步测试 .....	236
13. 交换系统的电平测试点 .....	210	48. 总体传输测试 .....	236
1000赫损耗的要求 .....	212	49. 例行测试 .....	237
14. 1000赫损耗的控制 .....	212	50. 故障定位测试 .....	237
15. 二线制语音通信损耗的控制 .....	212	测试设备 .....	237
16. 四线制语音通信损耗的控制 .....	213	51. 交换中心的测试设备 .....	237
17. 数据传输损耗的控制 .....	213	52. 专用分交换机的测试设备 .....	238
传输电平 .....	213	53. 台站测试设备 .....	238
18. 电话的传输电平 .....	213	测试方法 .....	238
19. 数据系统的传输电平 .....	214	54. 测试程序的管理 .....	238
损耗变化 .....	214	55. 测试衰耗器的应用 .....	238
20. 概述 .....	214	56. 测试分析 .....	239
21. 调节时的损耗变化 .....	214	参考文献 .....	239
22. 维护时的损耗变化 .....	215	第七章 交换系统的交换工程 .....	240
衰减频率特性 .....	216	基本原则 .....	240
23. 一般处理原则 .....	216	1. 总体系统 .....	240
24. 数据线路的衰减-均衡处理 .....	217	2. 中心局工程 .....	241
包线延迟畸变 .....	218	交换矩阵的设计 .....	244
25. 一般处理原则 .....	218	3. 概述 .....	244
26. 数据业务的包线延迟的处理 .....	220	4. 无阻塞交换网络的类型 .....	245
线路噪声 .....	221	5. 三级网络 .....	246
27. 定义 .....	221	6. 矩阵的控制 .....	251
28. 交换系统的线路噪声 .....	222	传信和监控 .....	254
脉冲噪声 .....	223	7. 定义 .....	254
29. 脉冲噪声的影响 .....	223	8. 传信和监控的方式 .....	254
30. 对脉冲噪声的要求 .....	223	通信业务方面的考虑 .....	260
回声 .....	224	9. 掷下研究法 .....	260
31. 回声的定义 .....	224	10. 影响业务数据的用户特性 .....	260
32. 回声的影响 .....	225	11. 掷下研究法的程序 .....	261
33. 语音通信的回声要求 .....	225	12. 按延迟理论对待的呼叫 .....	262
34. 回声抑制器的应用 .....	227	13. 未接通的呼叫 .....	264
阻抗 .....	228	14. 交换中心处理呼叫的能力 .....	266
35. 交换中心的阻抗 .....	228	编号方案 .....	266
36. 其它地点的阻抗 .....	228	15. 概述 .....	266
交换中心设备 .....	228	16. “开”式编号方案 .....	267
37. 传输设计对设备的影响 .....	228	17. “闭”式编号方案 .....	267
38. 终端设备的配置 .....	230	18. 入口码 .....	268
设施的选择 .....	230	19. 将来的要求 .....	268
39. 中继线设施 .....	230	信息交换(转接)工程 .....	269
40. 通路线路设施 .....	231	20. 引言 .....	269
41. 台站线路设施 .....	231	21. 计算机交换中心设备的一般特性 .....	272
二线制交换中心的平衡 .....	231	22. 中间存储器 .....	277
42. 平衡原理 .....	231	23. 记录和恢复存贮 .....	285
		24. 中央计算机 .....	287



25. 通信接口 .....	290	7. 电感、电容和电阻 .....	328
26. 可靠性 .....	291	电子元件 .....	328
参考文献 .....	291	8. 冷阴极充气管 .....	328
<b>第八章 电报交换方式和设备</b> .....	<b>293</b>	9. 半导体器件 .....	329
电报交换的基本原理 .....	293	10. 磁性存储系统 .....	331
1. 概述 .....	293	11. 延迟线和其它存贮系统 .....	334
2. 历史 .....	293	交换系统的图示法 .....	335
3. 系统的分类 .....	293	12. 制图符号 .....	335
4. 电报交换的历史年表 .....	294	13. 分类术语 .....	337
方式 .....	294	交换系统的设计 .....	343
5. 人工交换 .....	294	14. 交换网络的组成 .....	343
6. 印字电报的使用 .....	295	15. 交换网络的控制 .....	357
7. 电传打字机的发展 .....	296	16. 呼叫处理功能 .....	367
电传机交换 .....	297	17. 电话交换系统的传输特性 .....	384
8. 电传机交换业务 (TWX) .....	297	参考文献 .....	389
附加设备的发展 .....	298	<b>第十章 多路复用</b> .....	<b>394</b>
9. 收报穿孔设备 (复凿孔设备) .....	298	原理 .....	394
10. 自动发-收设备 .....	298	1. 频分多路复用 (FDM) .....	394
11. 再生帮电机 (再生中继器) .....	299	2. 时分多路复用 (TDM) .....	400
12. 载波电报的发展 .....	299	3. 电报的多路复用 .....	404
电报交换系统 .....	299	多路复用系统 .....	405
13. 多站和多点线路 .....	299	4. 明线系统 .....	405
14. 人工的复凿机信息交换 .....	299	5. 电缆系统 .....	406
15. 局内传输的复凿机信息交换 .....	300	6. 无线及同轴电缆系统 .....	408
16. 撕断纸带式复凿机信息交换 .....	301	7. 多路复用系统间的协调 .....	411
17. 全自动交换系统 .....	301	8. 多路复用系统的传信 .....	414
18. 军用电报交换系统 .....	303	9. 辅助设备 .....	417
19. AN/FGC-30 型电传机中心局 .....	303	系统工作特性 .....	420
20. 第55-A号计划, 自动电报交换系统 .....	307	10. 话路带宽 .....	420
21. 82-B-1型电传机交换系统 .....	311	11. 频率配置及调制方案 .....	420
22. 用户电传报 (Telex) .....	311	12. 音频传输电平 .....	422
23. 特殊的专用信息交换系统 .....	313	13. 载频传输电平 .....	423
24. 电子式电报交换系统 .....	314	14. 信道容量 .....	424
25. 指挥和控制通信的电子交换 .....	314	15. 输入阻抗、输出阻抗及回波损耗 .....	424
参考文献 .....	315	16. 载频泄漏 .....	424
<b>第九章 电话交换方法与设备</b> .....	<b>317</b>	17. 分路电平稳定度 .....	424
1. 电话交换系统的功能 .....	317	18. 频率稳定度 .....	424
机械与机电设备 .....	319	19. 导频 .....	424
2. 人工交换的设备 .....	319	20. 加载效应 .....	425
3. 步进机键 .....	320	21. 电压要求 .....	427
4. 电动机驱动选择器 .....	321	工作标准 .....	427
5. 大动作选择器的组合 .....	322	参考文献 .....	428
6. 小动作接线器 .....	324		

# 第一章 系统设计的要求

安德烈斯 (Roy K. Andres)

从历史来看,通信领域在人们的印象中是丰富多彩的。由1684年英国物理学家罗伯特·胡克 (Robert Hooke) 向伦敦皇家协会提出第一个光学电报系统开始,过了一百多年,一个法国工程师克劳德·查普 (Claude Chappe) 在法国又设计了具有五百多个信号机站的通信系统,这就是最早的通信网。

其后的六十年中,许多学者进行电报的实验,最终于1845年塞缪尔·莫尔斯 (Samuel F. B. Morse) 在华盛顿和巴尔的摩之间开通了第一条电报线路。而下一世纪则给通信技术带来许多深刻的变化。首先是横越大西洋的电报电缆,随着出现了电话、无线电报、无线电广播、雷达、电视和1963年第一次通过同步人造卫星传输电话。1965年,第一个商用卫星“晨鸟”号被发射到同步轨道上,它位于欧洲和北美洲的中间,为话音、视频和所有记录通信方式提供了一个4兆赫带宽的信道。

关于整个通信的历史,请参阅“从信号机到人造卫星”一书<sup>(1)</sup>。

## 系统设计的原则

### 1. 系统设计的问题

当我们考虑设计一个非常有效能的通信系统的全部理论原则时,通信系统的设计可能要比所有其它工程领域的技术性都更强一些。

假设在设计通信系统时,可以用一个数学方程式作为设计的起点,若把所有因素都考虑进去,那么这个方程就将包含无限多的项,并且其中许多项还不具有精确的单一数值,而只是具有一个数值范围。当然,我们在设计时可以尽量简化这个方程,使它只包含问题的最主要成分。然后,应用计算机程序流图的方法,把每个因子简化到只有有限个可能的解,以便由此而得到一个合乎逻辑的结论。这是我们计算任何问题的一般直观程序。现代通信系统由于它的复杂性和某些不确定性大大地增加了,因此,在问题的初始阶段,要求有一个有次序的程序和步骤。

在确定了通信要求和指出了可能解决的办法之后,系统设计人员面临的任务就是为系统的每一部分选择一个合适的方案。为此,他必须对通信线路的各个部分的性能,以及由于噪声、失真、信噪比的下降和在复杂网路中采用迂回路由(由于设备或线路故障等原因)所带来的不利影响,做出正确的估算和评价。这是一个把技术上的优缺点和成本加以比较和权衡的步骤,其结果往往要改变部分甚至全部原来的要求,而这可能为用户所接受,也可能不为用户所接受。

例如,一个由几段线路串接构成的远程通信系统,其业务要求是高可靠性。由于每段线路的设备和传输媒质都会引入一些减损因素,为了能正确地得到终端至终端总失真的最大值,应假设这些减损因素能在某些时候同时发生并代数相加。这样做之后,所设计出的

通信系统就能在各段线路均同时遭遇到最不利的情况时仍然可以达到要求。当考虑影响通信系统的各种可能性时，比较、折衷和权衡这一因素与那一因素，的确是一种不简单的“艺术”。

## 2. 通信系统的特性

通信系统最一般的定义是：一个信息源、一个信息接收者（也称用户）和供信息在源和接收者之间传输的通信线路，就组成一个通信系统。

信息通常来源于下述两种基本的源和一种准信息源：

(1) 人的头脑中随机的或系统的思维（例如，自发的语言）。

(2) 自然界中随机的或可预测的变化（例如，温度、压强、速度、流量、容量等）。

(3) 由于人对某一物理系统的激发而产生的信息（例如，由计算机或信息处理设备产生的独特信息，它通常是由人给定的数据和程序与由自然界来的随机数据合并产生的结果）。

香农（Claude Shannon）在他的两篇经典论文“通信的数学理论”和“有噪声时的通信”<sup>[2,3]</sup>中已用数学模型表述了传输的信息如何从干扰噪声中成功地恢复的问题。近代通信理论就是以这些数学模型为主要基础的，特别是根据信息可在一个被噪声恶化了的信道传输之前和传输之后进行处理以达到最有利条件这一理论而发展的。这种信息处理的基本方法（它用能有效地恢复信息的概率来表示）乃是现代“信息论”的基础。

图 1 所示为一基本的通信系统方框图。这些方框图的具体名称可根据其应完成的功能或完成该功能的器件（设备）来定。

“信息源”表示产生原始信息的人或设备，这些信息是要由通信系统传输给用户的。它可以是人的话音、电视播送室的场景、来自电传打字机键盘的报文、提琴的乐音、计算机高速存贮器所存贮的信息或从 TIROS<sup>●</sup> 卫星上送来的显示地面云层覆盖情况的气象照片。“信源换能器”是由波或由能对输入提供波动能量的能源所激励的任何器件。波或能量进入换能器就可以产生相同型式或不同型式的输出（例如，电的、声学的或机械的输出等）。诸如，电话机的送话器、电视摄像机、磁带读出头和扫描光电管，都是信源换能器的一些例子。

“信道编码器”可定义为一种能接受信源换能器的电信号的装置，它将电信号变换或调整使之成为适合于所用通信信道传输的形式。信道编码器可以是一个简单的中继转发器、一个振幅或频移调制器、一个音频多路微波调制器或一个具有译码器及差错控制逻辑的时分多路同步电报。

必须分清在图 1 的换能器与编码器-解码器方框之间的一些重要区别。首先，换能器要承受并依赖于加在系统的输入或输出的“信息”的特性，而编码器-解码器则必须适合“通信信道”的需要和特性。第二个不同点（图 1 中未表明），通信信道常需同时传输几个信号，这时每个信号都要由各别的信息源产生并通向各别的“用户”。在这种情况下，信道编

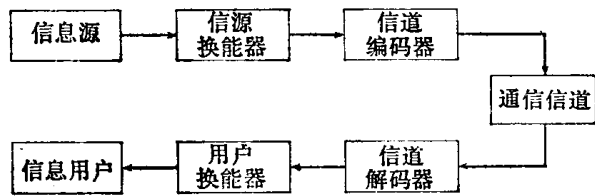


图 1 基本的通信系统

● TIROS——系红外观测电视卫星的英文缩写，它是一种气象卫星，用红外线观测和拍摄云层的照片。——译注

码器必须包括一些设备，以接受从许多信源换能器来的相同或不相同信号，而信道解码器则恢复这些信号并将它们传输到各个适当的“用户换能器”。信道编码器必须调制来自各个信息源的信号，以便在通信信道接收端的各个信号之间能有明显的和可检测的差别。这一编码过程还起着区分总信道中的各个分信道的作用，但是无论如何它都不可以改变或破坏从每个信源来的信息的含义。同样，信道解码器也必须设计得能为各个信息用户有选择地滤出每个信号，又把每个信号转换成适合于该具体的“用户换能器”的要求。这个“调制”和“解调”的过程，将在以后各章中讨论。

如果发送和接受的点（信息源和用户）是相当靠近的话（具体距离取决于信息率），则在信息源及信道之间和信道及用户之间的换能器-编码器以及换能器-解码器的作用，可以分别仅由一个器件来完成。

例如，电话或电报电路在金属导线上传输时，如果导线电阻和信源的电压能产生一个在用户换能器最低的灵敏度范围内的信号，则可以不用信道编码器-解码器。在这种情况下，只要通信信道的衰耗不致给出不能用的信号，就可以不必改善信号的情况，也能满足信源和用户的要求。

“信道解码器”必须能够接受由通信信道送来的信号并将它变换或处理成为适合用户换能器的形式。信道解码器可以是一个简单的转发设备，例如偏置的极化继电器，音频话路分离网络，振幅、相位或频率检波器，或者是具有译码和差错纠检逻辑以及同步再生的多路接收终端。“用户换能器”必须能把信道解码器送来的信号加以变换并能传送电、光、声、机械或任何其他形式的能量给用户，以适合信息用户的要求。用户换能器可以是扬声器、电传打字机、电视接收机、磁带机、输入计算机的模拟信号或是在输送管道中控制阀门工作的螺线圈。

虽然用户换能器通常是提供一个与原始信息相同的复制品，但它最后传送到用户的信息也可以有意地由用户换能器变换成另一种不同的形式。例如，在信道解码器中，只要用一个不同的用户换能器和（或）一个不同的编码转换器，就可以把信源端由穿孔卡上读出的编码信息变换成磁带、或穿孔纸带、或成为电信号直接进到计算机的存贮器中。更复杂的例子是一种能把人的语言翻译成另一种语言的通信系统，这种系统综合应用了信息论的原理以及通信系统和存贮程序计算机的技术。它把人的语言作为信息源，用声码器使语言数字化，这样，计算机就能认出所说的话并把它翻译成另一种语言。译过了的语言再进行一次数字化以便在通信信道中传输，最后，在接收端由类似的语言识别设备来接收和处理。在最后解码过程中，也可以再一次将语言转换为数码，以便使一个自动排字机工作，印刷成为另一种文字的印刷品。而它在最初进入通信系统时还是口述的另一种语言。

### 3. 合格信息的标准

上面已经定义并讨论了基本通信系统，现在就考虑一下可能干扰、畸变或恶化一个通信系统的一些主要因素。图 2 表

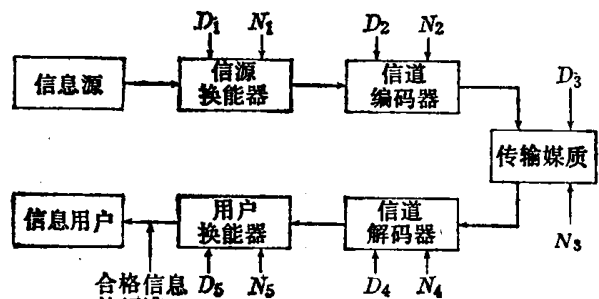


图 2 被噪声和失真干扰的通信系统

示一个通信系统被从各种可能的干扰源来的噪声和失真所干扰的情况。在研究各种形式的噪声及失真源之前，我们应先考虑一个通信系统应具有的性能标准。“合格信息的标准”是指还能满足用户要求时的最小信息量，或者反过来说，是指还能满足用户要求时的容许原始信息受到损失降低的最大值。这个标准的建立主要取决于所设置的通信业务目的和方式。各种不同通信要求的合格标准的绝对值有很大的不同，因此，对终端设备和通信信道性能的要求影响也很大。在话音通信的情况下，可以按照用户的不同目的来判断系统的合格程度，如表1所示。表1表明，对于各种不同的话音业务，能满足合格标准的传输特性在很大范围内变化，它们在振幅及频率失真、音量的稳定性、背景和脉冲噪声、需否回声抑制和鉴频等方面的要求都是不同的。如果我们把人所能达到的听觉范围和鉴别能力作为合格话音的传输标准，那么要想完成这样的保真度，在现代技术条件下，即使花上比现在加倍的代价也是不易办到的。表2给出人的一些听觉的特性，要在世界范围的电话网实现这些要求，在技术上是困难的，在经济上也是不现实的。但对通信工程人员来说，幸而当话路的带宽降低到3000赫时，失真必须增加到百分之二十才能使收听的人感觉讨厌。在听觉上，这是一个特殊的情况，它和其它许多问题至今在心理声学研究上还未弄清楚。但是可以得出这样结论，即：“我们已能听到我们所要听的”。有关人类听觉的一篇完整的论文见文献〔4〕。有关音频传输系统及其标准，可参考下几章以及文献〔5〕。但有关话音传输的主要声学效应则在第3章中讨论。

表1 话音通信中合格的范围

话 音 要 求	合 格 的 标 准
公用和专用电话	要求有“不连续字和句子的可懂度”，包括能保持足够的音质，以便识别具体人的音调和他的瞬时情感语调的变化
公用事业和工业语音控制的调度用、警察用、火警用、汽车用、船队控制用及通信维护用的话路	要求有“不连续字的可懂度”，但是达到“不连续句子的可懂度”也算合格。不需要识别具体人的声音和音调
无线电广播（节目传送）	音频信道必须能通过全部的人声清晰度的范围及产生乐音所需要的频率。这个要求是保证具有“不连续字可懂度所需要的带宽”的两到三倍的宽度

表2 人的听觉的一些特性

特 性	范 围 或 可 鉴 别 的 功 率		
音量	0~120分贝，即声音功率在 $10^{12}$ 倍的范围内 0分贝 = 6呎远处的蚊子叫声 90分贝 = 在尼加拉瀑布的最响声音 115分贝 = 在2呎远处槌打钢板的声音 120分贝 = 痛阈（痛的门限）		
能感受到的音量变化	在频率为1000赫和超过听阈5分贝时，最小能感受的变化是3分贝。在1000赫和超过听阈100分贝时，最小能感受的变化是0.25分贝		
频率识别（纯音）	在超过听阈20到30分贝和频率低于1000赫时，能感受每秒3赫的变化		
能感受的不连续频率的数目	可鉴别1400个不同的音调		
失真感觉	正 弦 波 失 真 百 分 数		
	传 输 带 宽	可 感 觉 到 使 人 讨 厌	
	15000	0.7	2.6
	10000	1.0	4.0
	5000	1.2	8.0
	3000	1.4	18~20

对于每种基本通信方式都可以确定类似的合格信息的标准。用电报传输记录信息时，容许的差错率的标准取决于报务的种类、电报的最终用途和报文的冗余程度。用口语写的社交性的节日贺电，它的字句有足够充分的冗余度，因此可允许6个字符中错1个的误差，而不会弄错电文的意义。相反，关系到经济秘密或者是金额汇兑的商业电报，则要求在100000个字符中只能错3个的差错率，并对关键性的数字和字母要重复一次，以保证最后结果的正确。一个传输半色调照片的通信系统的合格与否在于主观判断，而这主观判断又是因人而异的。而传输黑白气象图的合格与否则根据线的清晰度和字母数字及特殊气象符号是否能读出就可以精确地确定。

#### 4. 失真和噪声

再参照图2，我们可较详细地研究各种失真与噪声源的形式和特性以及他们对通信系统总性能的可能影响。

在通信领域中，“噪声”这个词有着广泛的意义和多样的表示方法，所以给出一个普遍的定义是困难的。在许多标准定义中，有一个是这样叙述的<sup>[6]</sup>：“噪声是在一个有用的频带内的任何不需要的干扰，例如在任何传输信道或设备中所不希望的电波”。失真可以广泛地定义为“在波形中所不需要的任何变化”。图2表明进到系统的各部分的噪声因素，其符号分别为 $N_1$ 到 $N_6$ ，相应的失真因素则标以符号 $D_1$ 到 $D_6$ 。如果考虑了系统的每个部分中的全部噪声和失真因素，我们就可以在整个系统中逐个方框地来确定能满足用户的合格信息标准的概率有多大。

如果在系统中没有任何形式的选择性放大、再生或信号恢复设备，那么失真因素就可以代数相加，噪声因素可以按照他们偶然地或周期地出现而组合。这个累加值将确定系统接收端在鉴别信号与噪声功率时合格信息能恢复的概率。因为除了最原始的系统外均已普遍使用选择性放大和再生技术，所以我们将考虑一个包括多级放大、波形变换和再生技术的系统。

虽然，在某些情况下，信息源设备也会通过一个有噪声的输入电路传输有失真的信息，但是我们假定图2的信息源将向信源换能器输出无失真和无噪声的信息。由于信息源通常是处于系统设计者控制之下的，所以应尽量做到把一个完善信号传输到输入换能器中去，因为如果以后再加补偿和校正，那将既困难又使成本增加。

通常评价传输媒质的质量首先是确定噪声和失真，并且这也是对所选的传输方式可能遭致的失真和噪声的一种估计。传输信道所产生的失真和噪声与信道解码器输入端所容许的最大噪声和失真之差，就等于从信道编码器输出而进入传输媒质的所容许失真和噪声的最大值。由于信源换能器中的 $D_1$ 和 $N_1$ 因素完全由对信息源的要求和输入端的具体器件特性所决定，因此，进入信道编码器的信号质量实际上是已知的。如果信道编码设备不能接受信源换能器的输出信号，则在信道编码器的输入端必须采用放大、波形变换或再生等技术。如果信道编码器不能输出所需要的进入传输媒质的信号保真度，则必须考虑另一种传输途径或增设一个中继点。同样，如果信道解码器能成功地复原信号，但是不能传输一个合格的信号给用户换能器，则在信道解码器的输出端必须增加放大、波形变换或再生。

当考虑任何信号恢复设备如放大、波形变换或再生等装置的插入位置时，最主要的原则就是这类设备应在尽可能接近失真或噪声源的地方插入。举例来说，如果进入传输媒质

的信号质量减损很大，则最好把信号恢复设备就放在传输信道的进口处，而不要把这类校正累积失真和噪声的设备放在传输信道的输出端。

在许多情况中，正确选择放大器和信号恢复设备的插入位置，能够弥合通信系统的边界值与得到高可靠性系统应具的数值之间的差别。在二进制传输系统中应用脉冲取样技术特别是如此，因为它要判定信号在两种可能情况中究竟属于何者。如果由于难控制的因素，例如多径传输，使得在取样点的边界值已经很窄了，再由于不合理的安排信号恢复设备而附加百分之二或三的失真，就能使误码率增加几个数量级，从而使系统变成不能使用。

在话音传输中，由于回路两端室内背景噪声电平的增加，所以消除噪声变得更困难了，只有增加新设备到网路中去，才能稳定地提高传输质量和降低回路的总损耗。

到达收听者耳朵的总“信息电路噪声”（不论是作为一个麻烦因素或是作为影响可懂度来对待的）均可以用中继或放大设备来控制。如果这些设备是加到系统中正确的地方，则信号就具有足够强的

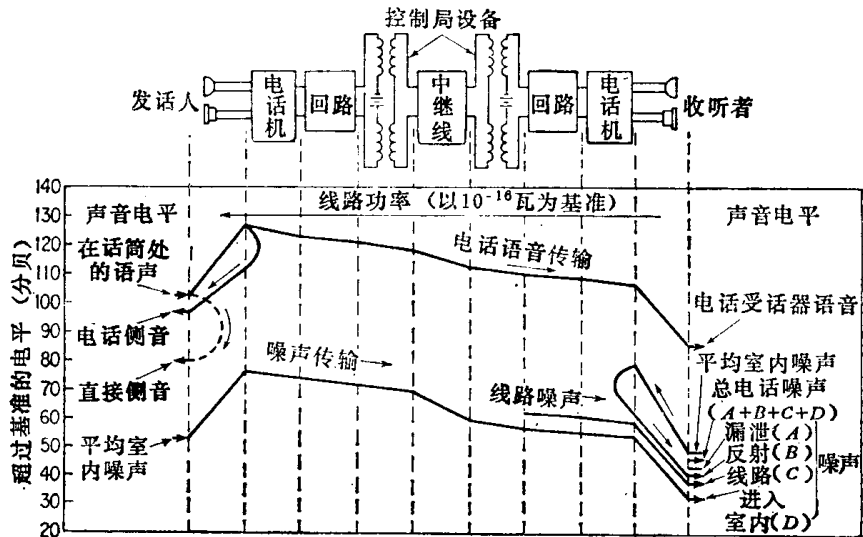


图3 典型电话接续的电平图 (302型电话机)

振幅以超过在噪声引入处的噪声。同样，供电电源噪声和电池噪声最好是在电源处就滤去，这样较为有效，而不要当这些噪声已进入音频信道并与信息混合以后再消除它们。在任何系统中，都可以找到噪声进入的地方，因此，消除这些噪声比较经济和简单的方法，是在噪声源或噪声进入的地方就消除它们，而不是让这些噪声在系统内放大并可能通过多种途径传输之后再消除。

图3是典型的电话电路中话音和噪声的电平图。从电平图上可以明显的看出，由于增音机能区分噪声而使噪声降低，以及由于系统有频率截止的特性而使高频噪声自然滤掉。绘出一个包括交换网路中最坏的途径的电平图，能够有助于评定在收听处最后所能达到的总信噪比。关于噪声和失真的型式以及它们的定义与校正方法，将在“噪声与失真的类型”一节中详细讨论。

## 通信要求的确定

### 5. 通信系统设计的程序流程图

在系统设计中“通信要求的确定”是首要的一步，在许多情况下，这也是最困难的任任务。由于大部分通信系统设计要包括很多因素，包括技术方面的估算、时间与所耗成本的比较等，因此也不能过分强调在一开始就对用户要求和通信目的要精确决定的重要性。

在本章的开始，我们就说过，如果写一个通用方程式来作为通信系统设计的开始，那

是不实际的。但是，我们可以制定一个包括主要步骤的、有条不紊的程序。图 4 a 和 b 就是“通信系统设计的程序流图”，它能为大多数的问题提供一个有用的程序。

从图 4 a 的顶部开始：提出的基本问题是“要干什么”？这是问题的确定阶段，要求对“被传送的消息”的形式（即：话音，电报，传真，电视等等）和以信息源特性表示的总“通信目的”以及信息接收者（即末端用户）如何使用等方面有一清楚的了解。如果通信要求是某些团体或政府计划的一部分，则这一组织的方针和为未来通信所拟定的短期、长期规划都将成为确定问题阶段的重要构成部分。因为它们将影响最后的系统在灵活性、发展和新业务等方面的要求。当要求和目的未明确地确定时，程序流图表明必须反回到管理机构或反回到用户以求澄清，直到系统的设计者觉得设计标准已很清楚了和要求已尽可能地明确了时为止。如果某个因素不能够很好地确定，则可假设此未知因素的数值在某一范围内，以使用这些数值来进行整个估算。当然这将使估算复杂化，在一些情况中也可能无结果；然而，由于能得到一组解答或有限制的解答，这将有助于用户来明确他们的最后的通信要求。

须提出的下一问题是通信量有“多少”？这一步骤需要了解累积的业务量的统计数据，在使用周期上的负荷分布以及根据过去的增长速率或其它因素而计算出来的未来发展要求。在一个包含大量的用户、线路、交换和互连中继线的复杂通信网路中，业务量分析常要花费很多时间，以至于它在系统设计完后还得继续很长时间。因此，只好假设这些参量以便下一阶段或总网路的下一步扩展。在这种情况下，当前的系统设计或对现有系统的扩展必须从已知的现有的业务量和在规定期间内所期望业务量的增长方面开始。

当已明确了通信的“目的”和决定了通信“量”之后，我们就可以进一步定性地研究业务应达到的质量程度，即质量达到“多么好？”的问题，这步程序是根据已知的业务量，从预期的技术性能方面把原来的目标确定下来。在这个步骤中，也可制定系统的运行要求和制定所需的业务顺序表以及系统的地理分布图。在考虑这些参数时，均应首先用其理想的数值或最希望的数值作为要求，以考查现有的设备、业务和传输媒质。在图 4 a 中表明，如果这第一次考查表明现有的设备不合适或不能利用，则系统设计者必须考虑搞出新设备的时间和所费代价。如果这样不合理或不可行，则设计者必须降低原来的理想参数，做到既不牺牲原来通信目的又能与可得到的设备相配时为止。这步程序也可以对原来目的有一些折衷或偏离，但是它是否合理要看它是否避免了用于建立新设备的时间和经费。

当设备的问题已经确定，根据情况，或者是原始参数或者是折衷过（修改过）的参数须引入到下一步程序即技术水平考查阶段。它从发送、接收和信号处理等方面来看现有技术是否合适。如果技术水平不行或设备不能用，那么必须考虑给出时间及经费以研究新技术和新设备。如果这还不行，那么基本参数仍可以进一步折衷，以便在规定的的时间和计划的预算内提供设计。最后，当技术已确定，且设备已选定时，则在最后的“通信系统评价”这一步中，应对全部的因素进行估算评价。在这最后的评价中，要把各个因素从要求的初始的投资费用和维护费用方面在数量和质量方面进行比较和估算。还要研究设备陈旧须更新的因素，以确定在最后分析中，还需多少附加的资金、时间和人力，以便在今后业务的增长和新业务的发展中能有一定程度的灵活性和适应性。当这些因素都估算评价得认为很好，则“通信系统设计指标”就完成了，“通信目的”也就可以达到了。



### 6. 系统设计的参数

图 4 a 和 b 的程序流图中要求确定某些基本参数，以评定和确定设施及设备。如果想要程序给出一个确定的结果，那么这些参数就像方程式中的每一项一样，必须进行估算。

通常在系统设计中考虑的基本参数如下：

- (1) 传输的信息，通信目的。
- (2) 业务量分析——数量和负荷的要求。

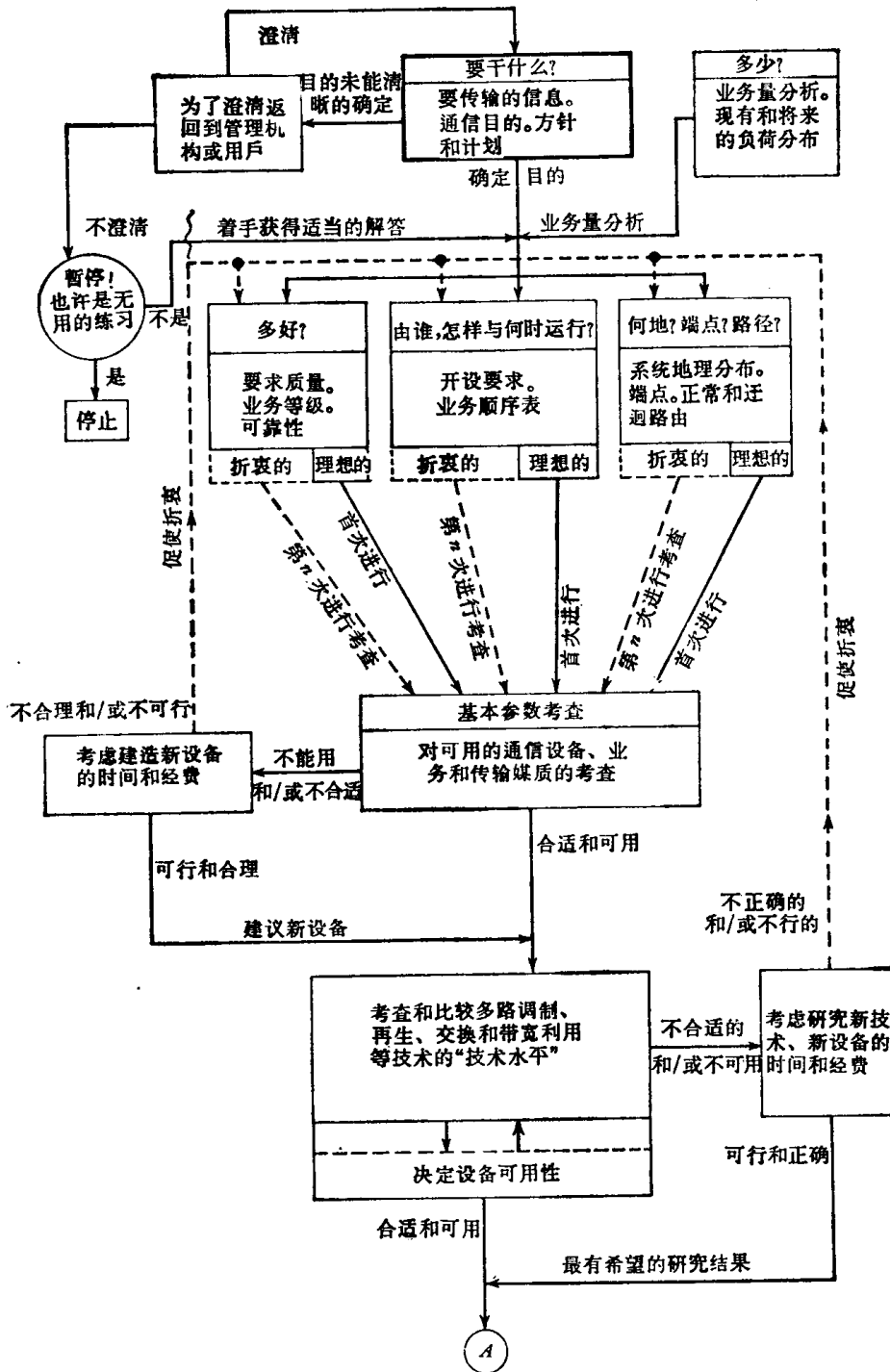


图 4 通信系统设计的程序流图 (a)