



电力系统通信网信号系统和
接口技术

卢武彬 刘文叶 编著

中国电力出版社

PDG

前 言

通信网的接口和信号是既麻烦又让人头痛的技术问题，为什么会有这样的感叹，究其原因有以下几点：

(1) 随着科学技术及经济的发展，通信设备的种类越来越多，接口的种类也越来越多。这些设备有模拟的，也有数字的，有国产的，也有进口的，而且缺乏统一的接口标准，即使有标准也往往只有传输电平标准。例如，我国过去生产的电力线载波机一般没有 $4W+E/M$ 接口，也没有统一的接口标准。

(2) 各种专业技术的分工，对不同专业的设备不容易或不注意了解，给工作带来困难，甚至有时因选购设备不当，给国家造成巨大经济损失。

(3) 人们在学习通信理论的过程中，往往会忽视通信设备的接口、信号及它们之间的相互关系。

(4) 到目前为止，还没有一本系统介绍各种传输设备和程控交换机的接口及其工作原理的书籍。尽管有很多书籍对通信网的信号系统有比较系统的介绍，但是缺少研究信号和接口之间相互关系的理论。

作者在多年从事通信技术理论研究及工作的实践中，遇到并解决了许多有关接口和信号及其配合的难题，也积累了相当丰富的经验和教训，特别是在电力调度通信网的组网工程中，在有关人员的协助下，巧妙地对电力线载波机进行了改进，既保留了自动盘，又增加了 $4W+E/M$ 接口，成功地解决了电力线载波机和程控交换机的连接问题。还采用附加信号转换电路的方式，实现了不同种类交换机之间的自动呼叫。

许多从事通信工作的同行和在 1991 年的中国电机工程学会通信分专业委员会的学术会议上的与会成员，都迫切要求有一本既有理论，又有实践的接口和信号方面的参考书。在这种情况下，

促使作者编写本书。

大家都知道，在任何一种通信网中，为了正常传输和交换话音或数据信号，都存在着交换机和用户终端、交换机和交换机、交换机和传输设备、传输设备和传输设备、传输设备和用户终端之间的物理连接和控制信号的接续。信号系统和接口技术是研究这些设备之间如何正确接续的方法。作者从通信设备的研究、通信网的工程设计和实施出发，根据多年从事通信工作的实践经验编写出这本书。本书可供从事有关通信工作的管理、设计技术人员和有关大专院校师生参考。

本书共分八章，包括通信网的基本概念、模拟二线接口、 $4W+E/M$ 中继接口原理、 $4W+E/M$ 中继接口的应用、数字中继和数字终端接口原理及其应用、卫星地面站接口、移动通信系统接口、数据通信接口。在介绍各种接口的同时，还介绍了有关的信号系统，使读者对各种接口和信号及其关系有一个总体的概念和认识。

本书的第二、五、六、七、八章由卢武彬研究员高工编写；第一、三、四章由刘文叶高级工程师编写，最后由卢武彬研究员高工统稿。

本书由吕立春高级工程师审阅，并提出了很多宝贵意见，同时在编写过程中得到周月臣、程榜芳副教授的帮助，在此一并表示衷心感谢。由于作者水平有限，错误之处在所难免，请读者批评指正。

编 者

1996. 1. 8 于南京

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 通信网的基本概念.....	1
第二节 通信网的传输质量	11
第三节 交换系统	17
第四节 传输系统及其种类	27
第五节 接口的种类及其功能	33
第六节 信号系统的种类及功能	38
第二章 模拟二线接口	46
第一节 模拟二线接口的特性	46
第二节 交换机模拟用户接口	52
第三节 程控交换机模拟用户接口电路	65
第四节 音频终端用户接口	79
第五节 环路启动中继接口	82
第六节 地启动中继接口	88
第七节 延伸用户接口	92
第三章 4W+E/M 中继接口及其工作原理	97
第一节 概述	97
第二节 贝尔 4W+E/M 中继接口及其信号状态	100
第三节 E/M 线的控制方式	108
第四节 E/M 控制信号和音频线路信号的转换	118
第四章 4W+E/M 中继接口的应用	127
第一节 4W+E/M 中继接口之间的连接方式	127
第二节 PCM 音频终端的 4W+E/M 中继接口	133
第三节 FDM 频分多路音频终端的 4W+E/M 中继接口	135

第四节	电力线载波机的 4W+E/M 中继接口 (不带自动盘)	139
第五节	电力线载波机的 4W+E/M 中继接口 (带自动盘)	143
第六节	压缩扩张器自动控制接口	149
第七节	4W+E/M 中继接口状态信号的转换实例	153
第五章	数字接口	159
第一节	数字终端接口	159
第二节	数字中继接口	163
第三节	数字中继接口的性能	175
第四节	数字型线路信号	179
第五节	数字中继接口及其信号的应用	184
第六节	数字用户接口	192
第六章	卫星地面站接口	198
第一节	卫星通信系统的特点	198
第二节	卫星通信的多址连接方式	201
第三节	频分多址 (FDMA) 方式的地面站接口	205
第四节	时分多址 (TDMA) 方式的地面站接口	209
第五节	音频终端接口	214
第七章	移动通信系统及接口	221
第一节	移动通信系统的特点	221
第二节	移动通信系统的种类	222
第三节	中继方式	231
第四节	接口技术要求	235
第五节	蜂窝移动电话基地站的接口	237
第六节	无绳电话系统的接口	240
第八章	数据通信接口	253

第一章 概 述

第一节 通信网的基本概念

一、电力系统通信网特点及分类

电力系统通信在通信原理和交换功能方面与公用系统通信没有根本区别，都是为两点或多点提供电路，建立电信联络，差别是电力系统通信网的结构取决于电力网的结构、运行方式及管理层次；公用通信网的结构取决于国家行政管理区域。

在通信网的设计思想方面，电力系统通信网的经济性寓于电力系统的经济性之中，通信网本身把经济性放在第二位，把电网的管理需要放在第一位；而公用通信网在设计时以经济性为第一原则。其次，电力系统通信网干线及支线容量、信息交换容量和话务量都较公用通信网小，但中继局向多、功能强，可靠性要求高。由此可见，电力系统通信网是一种较为特殊的专用通信网。电力系统通信网可分为电力系统调度通信网、电力系统业务管理通信网（也称行政管理通信网）、数据通信网三类。

电力系统调度通信网的职责主要是传输和交换调度人员的操作命令、经济调度、处理事故等信息。电网调度和电网的经济安全稳定运行休戚相关，不可分割。正因为如此，对电力系统调度通信网的要求很高，主要要求通信电路有百分之百的可用性、高可靠性、接续速度快。为了满足这些要求，在设计通信电路时，重要厂站要有两条以上独立通信通道，以保证在任何情况下均有电路可用。邮电通信网一般难以满足这些要求。

电力系统业务管理通信网主要用于行政管理信息和交换，例如，物资管理、财务管理、用电管理、人事管理等电信联络。它可以也应该作为电力系统调度通信网的后备。

数据通信网则为系统计算机及其终端设备之间提供信息传输和交换。中央局、网局、省局和地区调度及大型厂站之间的计算机数据（如安全监控、自动发电控制 AGC 和经济运行 EDC 等信息），在现代化电力系统管理中都经过数据网传输和交换。一般说来，数据和电话是通过各自的信道进行传输。

二、国内外电力系统通信网的状况

国外许多国家的电力系统一般都有自己独立的通信网，即使在公用通信网很发达的美国也建有电力系统专用通信网，而以租用电路为辅。据 1986 年报道，地处美国中、西部的 AEP 电力联营公司供电范围为 7 个州，拥有专用微波电路 4800km，相当于 32 万话路公里，还有如光纤、电力线载波等传输系统。采用电话自动交换机建成一个多点的自动交换网。日本的电力系统通信网是目前世界上最发达的国家，拥有专用微波电路 5762km，各种载波电路约 13 万话路千米，光纤传输电路约 3000km，采用电话交换技术代替点对点的网络结构，其效果相当于减少长途电路 15%。德国、比利时、芬兰、沙特阿拉伯等国家也都有自己独立的通信网。英国和法国由于国土面积不大，公用通信网很发达，多年来以租用电路为主，但近几年也开始建设自己独立的通信网，以适应电力系统发展的需要。

国内外电力系统通信网的发展情况大致可归结为以下几点：

(1) 以模拟传输为主向以数字传输为主的方向发展，特别是英、法、美、日等国数字复合光缆 OPGW 发展很快。

(2) 多种传输系统的综合利用和发展。尽管目前新型的通信设备种类很多，但通过对 30 多个国家 1972、1976、1980 年三个年度的通信电路进行比较，发现电力线载波电路约占总通信电路的 12% 左右，可见其仍有其旺盛的生命力。其它传输系统，如微波、光纤、特高频及卫星等都有不同程度的发展，各种系统各有优缺点，在通信网中可以相辅相成。

(3) 由点对点的网络结构向自动交换方面发展。交换机本身具有疏通话务量、分配电路负荷的能力，特别是程控交换机问世

以来，为建立长途电话自动交换网提供了良好的条件。

我国是一个发展中的国家，公用事业网还不发达，加之电力系统很分散，对通信的要求又很高，因此不能依靠公用通信网。我国电力系统通信的发展已有 50 多年的历史，它随着电力工业的发展而发展，传输容量不断扩大；随着电力系统电网调度及管理自动化的发展，通信所要传输和交换的信息内容也在发展变化。

几十年来，电力系统通信网的发展，首先表现在传输系统发生了巨大的变化，通信网的传输系统有架空明线、音频电缆、频分多路载波、电力线载波、模拟微波、PCM 数字微波、光纤、特高频、卫星、散射等多种手段。目前，PCM 数字设备在传输系统中所占的比例越来越大。

通信网由点对点的断路结构向着一点对多点的自动交换结构发展。点对点的断路结构的电路利用率低、灵活性差、使用不方便，因此，迫切需要解决电话交换的问题。随着电子工业及计算机技术的发展，程控交换机也在不断发展完善，它为通信网的变革奠定了良好的基础。程控交换机的功能多、接续速度快、使用方便，有些程控交换机可以满足电力系统通信网的需要。因此，在电力系统通信网中使用的程控交换机逐渐增多。应用程控交换机已经建成相当规模的电力调度及生产管理长途电话自动交换网，实现了电力系统中央局、网局、省局、地区局之间的长途电话自动交换。

在现代化电力系统中，通信网由过去只为电力调度和行政管理提供电话通信，发展到提供非电话通信。目前电力系统通信网中非电话通信业务有：

- (1) 电网调度自动化中的监测监控数据通信业务；
- (2) 计算机数据通信业务；
- (3) 继电保护信号通信业务；
- (4) 水电厂水情测报数据通信业务；
- (5) 图文传真、用户电报通信业务。

由此可见，通信网不仅要完成电话通信业务，还需要完成数

据及传真等非电话通信业务。

三、电力通信网的组成

通信网由用户终端设备、交换系统和传输系统构成，实现电话或数据通信的网络的基本组成形式，如图 1-1-1 所示。

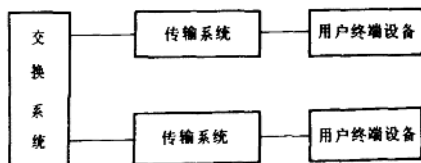


图 1-1-1 通信网的组成示意图

图 1-1-1 中的用户终端设备把符号、文字、图像或声音等信息变换成便于传输的电信号及把输入的电信号还原成符号、文字、图像或声音等信息。在通信网中，用户终端设备直接由用户操作和控制，并为用户服务。用户终端设备包括电话机、传真机、交换机、远端交换模块、用户集中器、复接器等。

其中电话机分双音多频电话机 DTMF、拨号脉冲电话机 DP、同线电话机、投币电话机、磁卡电话机等几种。

传输系统是把由用户终端提供的电信号从一点传送到另一点或多点的设备。传输设备包括 PCM 数字微波机、模拟微波机、模拟载波机、电力线载波机、光纤通信设备等。

交换系统指在电路之间交换话音、数据或数字信号的设备，其中包括步进制交换机、纵横制交换机、模拟空分程控交换机、数字时分程控交换机。

通信网按其交换方式分为人工交换网、自动交换网及半自动交换网。在人工交换网中，交换机为磁石式或共电式交换机，电话交换由话务员实现。在自动交换网中，交换机为自动交换机，如步进制、纵横制及程控交换机，电话交换方式为全自动的。半自动交换网则是人工交换和自动交换的结合。本书则主要介绍有关自动交换网中的接口技术。

电话交换网一般分为本地电话自动交换网和长途电话自动交

换网。本地电话自动交换网一般是指某一地区内部用户之间通过交换机进行电话自动交换的网络，其范围小至由一台交换机构成的最简单的交换网，如由一台交换机或一台市话交换机构成的企业内部或地区的交换网，大至由多台交换机组成的较复杂的交换网，如市话交换网。长途电话自动交换网是两个及其以上不同地区电话用户之间的电话自动交换的网络。在长途电话自动交换网中，一般由用户电话交换机、长途电话自动交换机和长途电话话路组成，如图 1-1-2 所示。用户经由各自所在地区的用户交换机和长途电话自动交换机可以和不同地区的用户进行自动呼叫，以实现长途电话的自动交换。

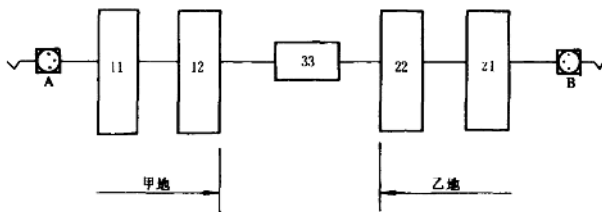


图 1-1-2 长途电话自动交换网示意图

由图可见，当甲地主叫用户 A 呼叫乙地的被叫用户 B 时，通过地区用户电话交换机 11、长途电话自动交换机 12、长途电话话路 33、乙地的长途电话自动交换机 22、地区用户电话交换机 21，直接拨被叫用户地区号和被叫用户 B 的号码，被叫用户 B 摘机应答后，甲地用户 A 和乙地用户 B 之间就可以互相通话。通话完毕双方挂机复原。主叫用户和被叫用户之间的呼叫接续过程需要依靠设备之间的监视信号及主叫用户发出的选择信号来完成，把这种接续过程称为长途电话自动交换。

四、通信网的结构

通信网的结构如图 1-1-3 所示，它有星形网、环形网、复合网及网形网四种，下面对其结构及其特点作简单介绍。

1. 星形网

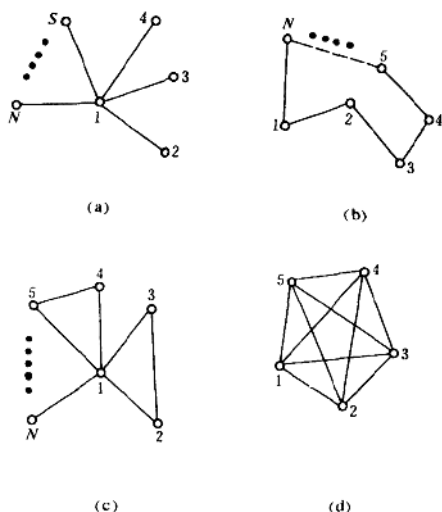


图 1-1-3 通信网的结构

(a) 星形网；(b) 环形网；(c) 复合网；(d) 网形网

如图 1-1-3 (a) 所示，星形网是以某长途电话自动交换局 1 为中心局，通过长途电话话路和多个长途电话自动交换局 2、3、…、 N 等连接起来构成的网络。由图可见，在具有 N 个长途电话自动交换局的星形网中，一个中心局和 $(N-1)$ 个交换局相接，因而中心局 1 就有 $(N-1)$ 个中继局向。每个中继局向根据需要可设置数条长途电话话路，在星形网中至少有 $(N-1)$ 条长途电话话路。每个中继局向内的所有长途电话话路一般又称为直达路由。

同局向的长途电话自动交换局之间进行呼叫接续时，必须经过中心局转接。例如在图 1-1-3 (a) 中，交换局 2 和 3 之间进行呼叫接续时，必须经过中心局 1 转接。因此又称中心局 1 为长途电话汇接局，把位于长途电话汇接局的交换机称为长途电话汇接交换机。

星形网的长途电话话路利用率比较高，较为经济，但中心局

以外的其它交换局之间不能直接接续，因此星形网适合于交换局分布较散的情况使用，以减少各组交换局之间的长途电话话路投资。

2. 环形网

如图 1-1-3 (b) 所示，环形网是用长途电话话路，把长途电话自动交换局 1 和 2、2 和 3、…、 N 和 1 连接起来构成的网络。具有 N 个长途电话自动交换局的环形网，至少有 N 条长途电话话路。每个长途电话自动交换局具有两个中继局向，每个中继局向根据话务量的大小或需要设置 1 条或多条长途电话话路。在环形网中，完成一次呼叫接续，有时要经过几次转接。图中交换局 1 和 4 进行呼叫接续时，至少要经过交换局 2 和 3 两次转接，当然也可以通过 $N \cdots 5$ 等交换局转接，这时的转接次数多达 $(N-4)$ 次。

3. 复合网

如图 1-1-3 (c) 所示，复合网是在星形网的基础上，在话务量较多的交换局间（如 2 和 3 之间），设置直达路由构成的网络。在没有设置直达路由的交换局间，仍采用与星形网相似的方式疏通话务量。例如，交换局 3 和 4 之间没有设置直达路由，它们之间进行呼叫接续时，必须通过中心局 1 进行接续。复合网综合了星形网和环形网的特点，比星形网和环形的灵活性要大。

4. 网形网

如图 1-1-3 (d) 所示，网形网是在各长途电话自动交换局之间都设置有长途电话话路所构成的网络。由图中可以看出，具有 N 个长途电话自动交换局的网形网中，至少有 $N(N-1)/2$ 条局间长途电话话路，共有 $N(N-1)/2$ 条直达路由，每个交换局具有 $(N-1)$ 个中继局向。网形网的长途电话路的利用率不高，是一种很不经济的通信网络。但是，这种网的直达路由数量多，便于进行迂回转接，因此，灵活性大，可靠性比较高。

根据上述各种通信网的结构及其特点，结合对电力系统长途电话通信网的要求，就可以组成具有电力系统特点的长途电话自动交换网。

五、编号方式

通信网不仅要有合理的网络结构，而且还要有合理的编号方式。为了建立呼叫接续，需要给每个局分配一个号码，这个号码称为交换局的局号。除此之外，还要给每个用户分配一个号码，这个号码称为用户号码。

为了提高通信网局间电话话路的利用率，增加话务负荷能力，减少拨号位数，在长途局内采用封闭编号方式，长途局之间采用开放编号方式。

在一个用户集中的交换局内，每个用户均有各自的专用号码，不同局的用户号码可以重复，这种编号方式叫做封闭编号方式，例如，北京有 5346 号，南京也有 5346 号。为了把不同的交换局内的用户号码区别开来，每个交换局都要有各自的长途局号。交换局之间进行呼叫时，首先应该拨被叫用户所在的长途局的长途局号，然后拨被叫用户号码。采用这种方法完成不同交换局用户之间呼叫接续的方式叫做开放式编号方式。就是说，封闭编号方式和开放编号方式不是彼此独立使用，而是相互配合使用。

六、综合业务数字网 (ISDN)

把电话和非电话业务结合起来，同时把传输和交换结合起来所构成的网络称为综合业务数字网 (ISDN)，这种网能够充分发挥 PCM 数字传输系统和交换机的优点，话音传输质量高、数据传输速度快、使用方便灵活、利于管理。因此，世界上许多国家都在研究应用，美国、英国、法国、德国、意大利、加拿大、日本等国都有自己的发展计划。

下面首先介绍两个基本概念：

(1) 综合数字网 IDN (Integrated Digital Network)：采用综合的数字传输和数字交换，在两点或多个规定点之间提供数字链路，实现它们之间通信的一组数字节点和数字链路的网络称为综合数字网 IDN。

(2) 综合业务数字网 ISDN (Integrated Services Digital Network)：在 IDN 的基础上，通过一组有限的多用途用户—网络接

口和用户连接，以提供端到端的数字连接，承担包括电话和非电话在内的多种业务，把这种网络称作综合业务数字网。

很显然，IDN 是把 PCM 数字传输系统和 PCM 数字交换机结合在一起的网路，如图 1-1-4 所示。

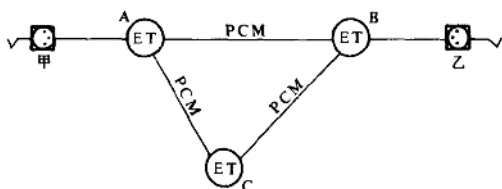


图 1-1-4 IDN 示意图

ET—交换机数字接口；PCM—脉冲编码调制

A、B、C 为三个数字节点，每个节点有一台 PCM 数字程控交换机。AB、BC、AC 之间采用 PCM 数字传输系统，当然传输系统可以是微波，也可以是光纤，但其传输的一定是 PCM 数字信号。IDN 和用户端之间，如 A 到用户甲及 B 到用户乙均为模拟信号连接。可见，在 IDN 网中，PCM 数字信号仅限于节点之间传输，并通过节点进行交换，形成一个数字封闭系统。

ISDN 在 IDN 的基础上，使得 IDN 和用户端之间建立 PCM 数字连接，用户端和用户端经由如图 1-1-5 (a) 所示的用户-网络接口，进入 IDN 内，形成一个包括用户端在内的“开放式”数字网，如图 1-1-5 (b) 所示。在这种通信网中，既可提供电话信息传输和交换，也可提供非电话信息的传送和交换。

图 1-1-5 中，交换机数字接口 ET、1 类用户终端设备 TE₁，如数字程控交换机、数字电话机等是符合 ISDN 的标准接口，可以直接进入 ISDN 网；2 类用户终端设备 TE₂，如计算机、打印机、显示器等，是 ISDN 非标准接口，不能直接进入 ISDN 网；终端适配器 TA，完成参考点 R 和 S 或 R 和 T 的接口转换；交换网和用户端之间的接口 NT，称为网络终端，它包括 NT₁ 和 NT₂，NT₁ 是 ISDN 网用户端的传输线终端设备。NT₁ 是一个智能设备，完成参

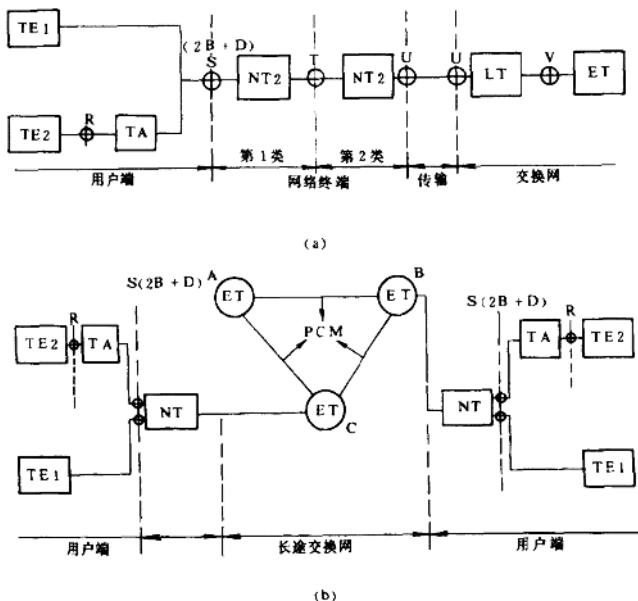


图 1-1-5 ISDN 示意图

(a) 用户-网络接口结构；(b) ISDN 开放式数字网
 ET—交换机数字接口；TE1—1类用户终端设备；
 TE2—2类用户终端设备；NT—交换网和用户端之
 间的接口（网络终端）；TA—终端适配器；LT—ISDN
 的线路终端接口；U—传输系统的数字终端接口；V—传
 输系统和交换机之间的数字中继接口

考点 T 接口和多路复用参考点 S 接口的转换和分配，也叫做 S/T 接口；ISDN 的线路终端接口 LT，连接用户线路。

从 ISDN 基本结构来看，为建立 ISDN，首先必须建立 IDN。在设计 IDN 的时候，采用的程控交换机必须具有发展 ISDN 的余地，也就是说程控交换机要具有 ISDN 数字接口及其软件。用户端的组织和开发可以和 ISDN 分开进行，但应遵守同一规约。

综合数字网 (IDN) 及综合业务数字网 (ISDN) 的优越性是极其突出的。但是, 在电力系统通信中, 模拟通信设备, 包括模拟微波、模拟交换机及其它模拟载波电路和卫星电路等, 还占一定的比重, 这些模拟通信设备不可能在短期内淘汰。另外, 电力线载波 PLC 电路的传输距离长、可靠性高、经济, 今后仍需要发展。因此, 电力系统通信全部实现数字化是不可能的, 也不经济。把数字网和模拟网结合起来, 建立数-模兼容的通信网比较合理。

第二节 通信网的传输质量

如前所述, 通信网主要包括传输系统和交换系统。交换机在通信网中是传输电路的汇接点, 它担负着电路交换和疏通话务量的任务。传输电路担负着传输交换机之间的长途电话和其它信息的任务。交换机和传输电路构成一个整体, 共同完成信息的传输和交换, 这是长途电话自动交换网的特点。通信网的性质一般是由交换机制式和传输电路的性质所决定, 如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 通信网的性质

通信网的性质	传输电路的性质	交换机的制式
模拟通信网	模 拟	模拟或数字
	数字或模拟	模 拟
IDN	数 字	数 字
ISDN	数 字	数 字

通信网的质量包括通信质量、传输质量和接续质量, 其中通信质量和传输质量是表示设备完好程度的质量指标, 接续质量则表示通信网中电话的好用程度。

不同的通信方式，如电话、数据、图像等都有不同的通信质量和传输质量的测度标准，目前所使用的测度如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 各种通信方式的质量测度

通信方式	通信质量测度	传输质量测度	影响传输质量的因素
电 话	可懂度	清晰度参考当量 通话参考当量	传 输 衰 减 电 音 波 带 噪 音 频 动 信 平 扰 白 声 渐 脉 号 瞬 感 号 噪 衰 冲 噪 群 应 声 受 减 失 时 延 回 话 者 声 发 话 者 频 率 误 传 播 时 单 播 于 串 播 于 非 线 性 相 位 失 位 位 跳
数 据	准确度	误码率（误比特、 误字率、误句率）	
图 像	电 视 保 真 度	对 比 度 影 像 重 余 失 真 失 黑 斑	
	传 真 保 真 度	对 比 度 影 像 重 余 失 真 失 黑 斑	

接续质量一般用呼叫损失和接续时延表示。通信网的设计及其设备配备、用户使用电话的习惯都是影响接续质量的因素。

当采用 PCM 数字方式时，传输和交换的全是“1”、“0”信号序列，因此其通信质量和传输质量最好，即具有下列特点：

(1) PCM 数字信号在传输和交换时，以再生方式进行，抗干扰能力强，噪声和衰减—频率特性畸形不相叠加。

(2) 影响传输质量的传输特性主要为误码率。噪声（包括量化噪声）在 PCM 数字传输及交换中出现时，会使接收器中的判决电路发生错误，如将“1”判为“0”，而“0”又可能被判为“1”，形成误码。结果在话音信号中出现噪声，如电话中出现的咯嘶声等。在某种意义上来看，这种噪声是累积的。误码率和信噪比(S/N)之间的关系如表 1-2-3 所示。