

电 信 交 换 原 理

【美】 M·T·希尔斯 著

葛彦 徐元勋 罗宗贻译

徐元勋 校

人 民 邮 电 出 版 社

Telecommunications Switching Principles

M·T· HILLS

The MIT Press, 1979

内 容 提 要

本书主要论述交换系统设计的目标和方法。书中除了论述交换局的设计原理，还广泛讨论了交换网的组成和局间传送控制信号的实际方法。并在理论上对交换网络设计的协调一致的方法进行了分析。本书也涉及各种机电和电子交换系统的广泛的实用技术。

本书是有关电信交换理论的专著，论述的设计原理是在现有电话网发展的基础上形成的，并在理论上加以总结提高，因此具有广泛的实用价值和理论指导意义，可供从事电话交换、数据交换、电报交换以及实时计算机系统的设计人员阅读。

电信交换原理

〔美〕 M·T· 希尔斯著

葛彦 徐元勋 罗宗熙 译

徐元勋

责任编辑 罗宗熙

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1986年1月第一版
印张：11.625 页数：186 1986年1月河北第一次印刷
字数：286千字 印数：1-2,300册

统一书号：15045·总3145—有5447

定价：3.00 元

译 序

这是一本论述交换局设计方面的理论著作。本书的目的主要是研究交换局的设计原理，把表面上形形色色的各种不同的交换局加以归纳整理，总结出一套统一的设计原理。本书以当前各国已有的几种交换系统为例来说明设计原理的应用。这些设计原理是从电话网的发展中形成的，同样也可以应用于其它交换系统，例如数据网和各种专用电话系统。

作者在编写本书的过程中曾数易其稿并对其中主要论点进行了验证，前后花费了五年时间才完成了全部编写工作。本书对于从事电话或其它交换网的使用、设计和研究的工程师和研究人员是一本难得的理论读物。

本书第一至五章和附录部分由葛彦翻译，第六至九章由徐元勋翻译，第十至十三章由罗宗贻翻译，全书由徐元勋负责校阅。在翻译过程中，对原书中的一些错误已作了改正，但由于水平所限，译文中的错误和缺点在所难免，希望读者批评指正。

1984.12

原 序

公营和私营的电信网可能是世界上最大的相互连接的网路系统。世界范围的公众电话业务是由一个把三亿五千万部以上的电话机互相连接起来的网路所提供的。电信网由终端、传输链路及交换局组成。传输和终端部分的设计原理已经妥善地确立并且是相互协调的。与此相反，交换局部分的设计却是很不协调的。本书的目的之一就是要研究设计交换局的协调一致的原理。

本书以世界上已有的几种实用系统为例，来说明设计原理的应用，以便给读者一些关于技术现状的背景知识。这些例子中的大多数是从公众电话网中取来的，因为设计原理是从电话网发展中形成的。然而，这些原理已经证明同样可以应用于其他交换系统，例如数据网或专用电话系统。最初还想撰写一个广泛的系统说明，但由于考虑篇幅关系而取消了。本书对系统的选择实际上是任意的，而且有许多常用的主要系统没有包括在内。

目前公众通信使用的大多数交换设备仍然是由例如继电器等的机电元件所构成。刚取得工程师资格的人可能还不熟悉这种技术，所以本书有部分内容是用来叙述其应用的。

计算机及近来的微处理机的应用导致了交换系统设计的革命，本书的很大部分用于叙述这种系统。然而，也提出了（在第十三章中）如果能全面采用机电系统中使用的设计原理的话，某些早期设计的计算机控制的交换局会设计得更好。

本书对于具有电子工程学、计算机系统知识或具有一般交换基础知识而又必须设计、运用或使用一个交换系统的工程师是有益的。它也可以作为电信工程、遥控处理或实时计算机系统的最后一年课程的基础。除了话务量及排队论章节中的某些数学理论之外，

所需的预备知识仅仅是基础电子学及某些章节中的计算机及程序编制的基础知识。

本书是以Essex大学讲授的电信系统硕士学位研究生水平的课程，以及在英国邮政总局新招收人员的各种学习班所讲授的课程和给世界各地许多听众所讲授的课程为基础的。

本书所以能以目前形式出现是与许多位同事协作的成果，这些同事是在Essex大学的电气工程系、英国邮电部、GEC、Plessey、STC、Pye-TMC及英国的Thorn-Ericsson等处工作。在国外，NTT给了我非常大的支持，我曾在该公社东京附近的通研所度过一个休假年。我要特别感谢M. Hamer，他曾不辞辛苦地审阅了本书的一些草稿并在多次详细讨论中帮我消除了早期草稿中的许多难解之处。

我要感谢英国邮政总局，对电气工程科学系中的电信组的财政支持，使我能够有条件来发展及验证本书中所论述的概念。我希望本书讨论过的一些思路将能用以改进电话交换系统的设计。

最后，我必须感谢本书出版者R. Jones的谅解，允许我比原计划推迟五年才完成本书。如果没有他不断的鼓励，甚至这一版本也不能出版。

目 录

第一章 交换系统导论	(1)
1.1 本书的目的	(1)
1.2 交换系统的类别	(3)
1.3 集中交换系统	(4)
1.4 基本交换局的模型	(13)
1.5 设备共享	(18)
1.6 话务理论及排队理论简介	(23)
第二章 信号方式和交换技术	(29)
2.1 电话系统	(29)
2.2 数据及电文交换系统	(34)
2.3 交换元件	(38)
第三章 经济的交换局的设计	(57)
3.1 引言	(57)
3.2 功能划分	(58)
3.3 公共接线网络及其控制	(66)
3.4 交换系统的控制	(68)
3.5 交换网络的各种组成	(76)
3.6 时分判定	(82)
3.7 存储程序控制	(87)
第四章 话务理论	(91)
4.1 基本公式	(91)
4.2 排队系统	(98)
4.3 各种分布的比较	(99)
4.4 话务理论的应用	(103)

4.5	多级接线器网——条件选择	(112)
4.6	模拟技术	(115)
4.7	话务测量及话务预测	(118)
第五章	电话网的组织	(120)
5.1	网路规划	(120)
5.2	路由计划	(121)
5.3	编号计划	(137)
5.4	网路的记发器控制	(141)
5.5	步进设备的使用	(143)
5.6	计费	(145)
5.7	网路管理	(146)
第六章	实用信号系统	(152)
6.1	电话系统用的各种信号种类	(152)
6.2	各种信号技术	(157)
第七章	交换网络的设计	(171)
7.1	基本多级网络	(171)
7.2	混合级的使用	(179)
7.3	网络和通路分析图	(182)
7.4	集中型网络	(189)
7.5	求闭塞概率的李氏模拟技术	(193)
第八章	控制单元设计	(195)
8.1	控制单元的作用	(195)
8.2	判定器	(196)
8.3	被叫控制单元的状态转移图	(199)
8.4	两个控制单元间的信号方式	(209)
8.5	信号技术	(211)
8.6	双向业务控制单元的设计	(215)
第九章	若干电路技术	(223)
9.1	基本元件	(223)

9.2	电子组件	(232)
9.3	判定器的结构	(234)
9.4	第三线控制	(236)
9.5	绳路中继器	(242)
9.6	接线器矩阵控制器	(247)
第十章	实用交换系统举例	(253)
10.1	绪言	(253)
10.2	步进制	(253)
10.3	纵横制系统	(261)
10.4	笛簧继电器系统	(273)
第十一章	计算机控制的交换系统	(282)
11.1	计算机控制的话局的软件组成	(282)
11.2	No. 1 ESS	(292)
11.3	日本的D-10	(301)
11.4	梅达康塔(Metaconta)系统	(310)
第十二章	数字交换系统	(313)
12.1	时分接线器	(313)
12.2	数字和模拟交换的优缺点比较	(319)
12.3	实际使用的数字电话系统—— 贝尔No. 4 ESS	(320)
第十三章	对未来的展望——个人的一些意见	(323)
13.1	交换系统设计的评价	(323)
13.2	交换中心设计的原则	(326)
13.3	摘要	(329)
附录A、	交换机的最佳容量	(330)
附录B、	一些基本话务理论结果的推导	(333)
附录C、	多级网络中所需交叉点数的下限	(340)
附录D、	高木最佳通路图定理的简单证明	(342)
附录E、	两级选组器话务容量的估算	(350)

附表

表1.1 在电话网路中不同级别的交换局的名称	(11)
表1.2 公众电话系统的一些典型的可用度指标	(13)
表2.1 用户电报信号方式举例	(36)
表2.2 F31电报电文格式举例	(37)
表4.1 两个服务者 (server) 系统的一些计算结果	(100)
表4.2 两个服务者系统无限排队的计算结果	(100)
表4.3 流入话务等级及服务者效率间的关系	(105)
表4.4 图4.12所示网络的闭塞概率	(115)
表5.1 网形及星形连接的比较	(122)
表5.2 迂回选路方案的计算	(128)
表6.1 R1 信号系统 (北美系统)	(163)
表6.2 R2 信号系统	(164)
表7.1 简单多级网络的闭塞概率	(179)
表7.2 图7.12中所示各种网络的比较	(193)
表11.1 NO. 1 ESS中发生中断的时间	(301)
表D.1 对应于两条E链路的各种状态 $F(i, j)$ 的值	(346)
表D.2 $a = \frac{1}{2}$ 时 Ba 及 B_b 的值	(348)

英汉名词对照表

第一章 交换系统导论

1.1 本书的目的

世界范围的公众电话系统有着卓越的成就，它使用了多种不同的设备，从二十年代末期安装的机械装置到最新式的小型化的数字电路，所有这些设备都必须配合工作以提供经济、可靠的服务。

虽然电话系统是最常见的交换系统，但它并不是唯一的。交换系统的其他例子还有公众用户电报网，它可以在电传打字机之间靠拨号进行联系，并且已有一些国内网和国际网用于公司、银行和军事用户。八十年代数据交换的增长日趋重要，许多人预测在本世纪末，它将超过话音通信（在容量上）。还有一些系统初看起来不象是交换系统，但它的设计，如本书所述，是基于相同的原理。这包括遥测系统，从很分散的装置例如可视显示终端、卡片阅读机等到中央计算机的在线存取装置等。

电信交换系统的目的是提供一种手段把信息从任一终端装置传送到发送者选定的任何其他终端装置中去。这种系统需由三个部分组成：

终端 它是输入或输出的传感器。它在发端将信息转换成电信号，并在收端把电信号转回到可用的形式。终端的其他功能是产生和传送标志信息目的地的控制信号。

传输链路 在终端及交换局之间传送信息及控制信号。

交换局 接收控制信号并传递或连接信息信号。

传输链路已在我写的另一本书[1]中详述，本书中仅简略提及。对于终端仅从产生和接收控制信号的能力的角度上加以简述。本书主要讨论交换局本身的设计及它们在交换网中的互相关系。

编写本书有两个目的:

(1)说明表面上形形色色的各种不同的交换局的设计都是有一套统一的原理的,并表明如何把这些原理通过现代技术应用于交换局的设计。

(2)论述这些设计原理在今天还在使用的几种类型的交换局中是如何实现的。

本章介绍基本的系统概念及系统设计的目标。第二章将论述用于话音及数据交换局的基本信号方式及交换技术。经济的交换局的设计在第三章讲述。经济的设计包括设备共享,设备共享意味着有些设备(例如一台接线器或一条传输链路)在需要的时刻却有可能不能提供使用。因此,交换局的设计必须包括在达到没有设备可用的特定概率(也可能是等待设备可供使用的特定等待时间)的前提下,确定所需设备的数量。这是第四章讲述的话务理论的内容。

第五章将论述交换局是如何组织成网的。局到局间传送控制信号的实际方法将在第六章中讲述。

以下两章的理论性更强。第七章讲述交换网设计的一种协调一致的方法。在该章中特别重要的是讨论了日本人高木(Takagi)关于最佳通路图的论述。这种方法似乎是第一次被写进教科书。

第八章是控制系统设计的理论方法,并试图表明设计电子的及计算机控制的系统以及信号系统的关系的统一方法。

在理论章节之后,本书其余各章论述了电话交换系统的实际方面。第九章论述用于机电及电子系统的广泛的实用技术。第十章选择了几种机电和电子系统加以说明,这些例子是经过仔细选择以说明某些原理的应用。第十一章专门论述了计算机控制的系统,这一章的某些部分需要计算机的基础知识。

在今后一个很长时期内,交换系统的技术几乎可以肯定将是数字化的,它与其他系统的基本区别及其实例将在第十二章中讨论。

最后,作者冒昧采用编辑评论的形式来写最后一章,试图预示交换系统结构的将来的方向。这一章想要说明集中控制系统起源于

六十年代，并不是现代交换系统应当采用的设计方法。集中系统的出现是作为程序控制的一种练习，而不是使用本书所述的原理设计出的可靠的电话系统。时间将会证明谁是正确的。

1.2 交换系统的类别

一种类似于（但小于）电话网的系统是公众用户电报网（电报交换局），用户电报网能使电传打字机在世界范围内进行直接通信。电话及用户电报网是所谓“电路交换”（*circuit switching*）的例子，因为它在两个终端之间建立起一条电路，然后直接互换信息。

另一类为商业或军事用户更为熟悉的系统称为“信息交换”（*message switching*）。信息交换系统的终端一般是电传打字机，但与用户电报网不同的是它们不是直接相连的，而是当终端使用者打出一份到其他终端的电文时，系统就把电文存储下来，并在以后的某一时间再发送给所需的终端。所以要延迟的原因，是因为这一系统的设计方法是通过把等待使用链路的电文进行排队以便最大限度地利用传输链路。为了要在端到端连接的多段链路之间建立起直接连接，需要每一段链路都同时是空闲的。下面就会知道，这意味着：如果直接通路可用的概率高到可以满足绝大多数用户要求的话，链路的平均利用率必然是很低的。然而，在对于每段链路信息都可以排队等待的信息交换系统中，却可以获得高得多的链路利用率。这种系统还有一个名称叫“存储转发交换”（*store and forward switching*）。

飞机票预定系统、银行系统及通用的遥控数据处理的实时计算机系统的出现是以计算机类型的终端装置和大型实时计算机之间使用电信网传送数据为基础的。这种应用可以使用按目的地建立的电路交换网或其它的系统，例如附有特殊的信息处理能力的公众电话网。

最近，通用的“分组交换系统”（*packet switching system*）已经研制成功，它从终端或计算机取得数据并按信息包方式把它们传送到目的地。这是介于电路交换及存储转发交换两种极端方式之间的一种系统。信息包的互换可以是很快的，以致使终端好象出现了一个“对话式”的连接，同时通过排队又可使传输链路获得高利用率。

1.3 集中交换系统

建立交换网的简单方法是使每一个终端都直接有传输链路接到每个其他终端，如图1.1(a)所示。每一终端都需要一只接线器以便把它连接到所需链路，并且还需要一只接线器连接到一条链路，以便接受来话呼叫。对于 N 个终端，这种方式共需 $\frac{1}{2}N(N-1)$ 条链路。

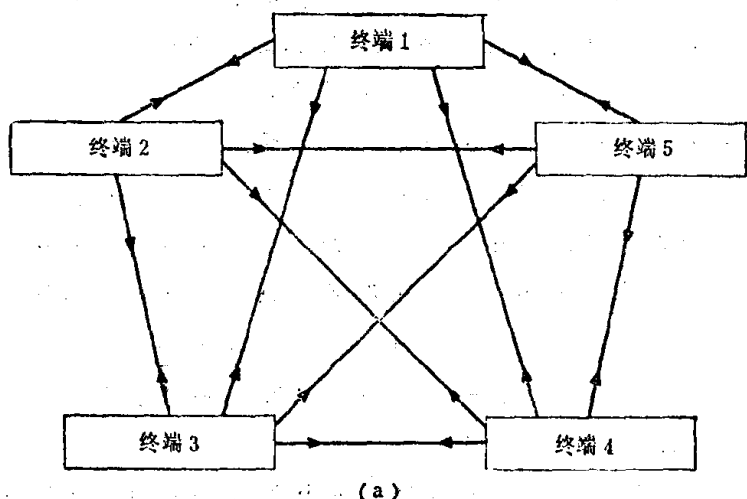


图 1.1(a) 五个终端全部互连。每一终端需要某种形式的交换，以便把它接到相应的链路。

仅需 N 条链路的一种方法是每一终端只提供一条链路，并且配置成使其他终端按图1.1(b)所示的方式与它相连。这就简化了终

端设备，因为对于来话呼叫并不需要把终端与一条链路相接。这就像家用电话（house telephone）或互通机（inter coms）这类系统的实际布置，这些系统中只有靠得很近的相对来说数目很少的终端。例如，可以提供一种十一个终端的系统，每一终端有十个按键，有十一对线跨接在每一部话机上。然而当终端数目加多，或在地理上的距离增加，电缆的费用就会使这种布置不再经济。另外一种如图1.1(b)示出的技术实例，是一个无线电话网，其中每一终端分给一个专用频率。发话者可以把他的发射机调到被叫终端的频率上以建立一次呼叫。

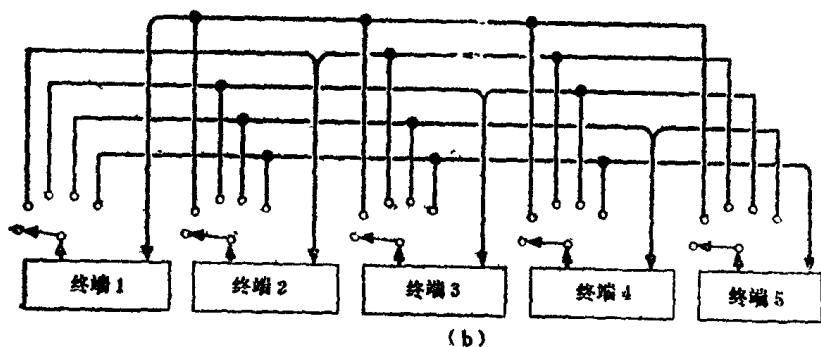


图 1.1(b) 每一终端使用一条通路。每一终端固定连接到一条通路，而其他所有终端可以通过启动连接到相应的通路的一只接线器以接通某一终端。

也可以用与上述类似的布置，但少于 N 条链路的方式，如图1.1(c)所示。这种布置需要发话端选择一条空闲链路，被叫终端也连接到同一条链路上。在无线电话中广泛使用的一种技术是利用一条公共信号信道，把所有空闲终端都接到上面[2]。呼叫信号（可以是编码，也可以是声音）可沿该信道传送并由终端接收。利用呼叫信号通知被叫终端（或它的使用者）有来话呼叫，并通知终端应该接通，以便接收来话呼叫的链路号码。呼叫信号的识别及交换操作在使用编码信号的系统中可以自动执行。在较简单的系统中，使用者要聆听声音的呼叫信号并加以执行。

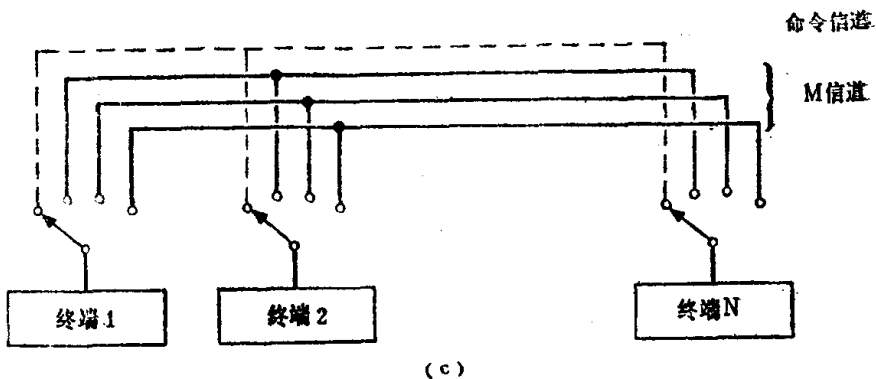


图 1.1(c) 与(b)一样,但通路数小于 N 。

目前这种“分配”(*distributed*)交换技术仅在小型电话系统以及某些无线电话网中应用。将来有一种可能性,就是采用所谓“数字环状总线”(*digital ring main*),在总线上有一条高速二进制数字链路连接到许多终端上。因而就可以使用与上述类似的技术。例如,一个终端可以接到数字码流中的一个空闲时隙上,以便建立到被叫终端去的通话电路。

集中交换局 在最实用的交换网中,通常更经济的是从每个终端到一个中心点之间提供一条链路,并在该中心点进行全部交换操作,如图1.2(a)所示。这种方式显著地降低了网中的总传输费用。然而,交换局必须能由终端遥控操作,这就趋向于增加总的交换费用。

如果建立许多本地交换局来代替一个全国的交换局,这样就减小了用户到离它最近的交换局的线路的平均长度(图1.2(b)),总的传输费用还可以进一步降低。各本地局必须由通常称为中继线(*trunks*)的传输链路互相连通,这些中继线是所有连到每个交换局的终端所共享的,如本书后面所述,接到本地交换局的中继线数量要比终端数量少得多。

长途传输复用技术的采用能使中继线单位长度的价格小于终端到本地交换局的链路的单位长度的价格。因此增加交换局的数目就

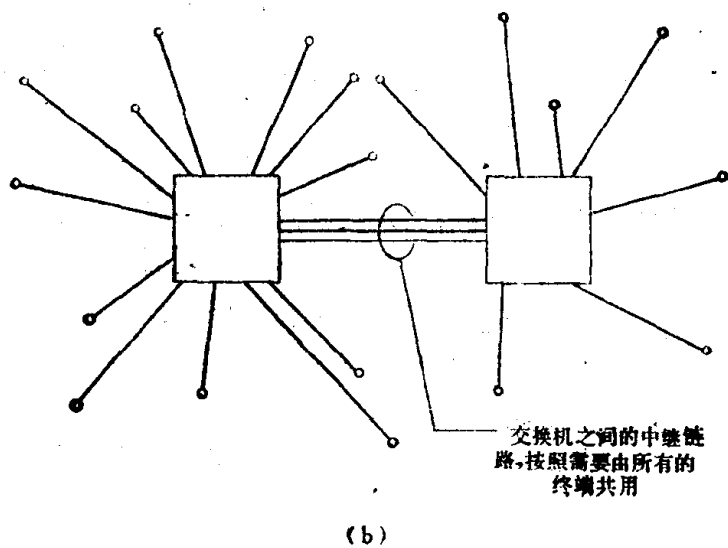
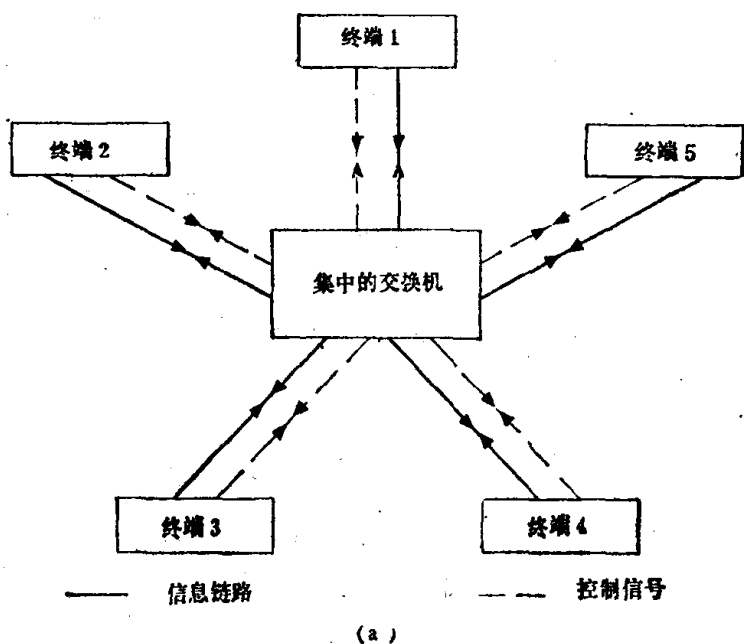


图 1.2 集中交换机的使用。(a)单个交换机,与图1.1相比减小了传输链路的平均长度,(b)使用附加的交换机以进一步减少传输费用(如果终端的利用率不高)。

降低了总的传输费用。然而，交换局数目的增加，由于下列两个理由也会使总的交换费用趋向增加。首先，本地局变得更复杂，因为它需要有选定到其他局去的适合的通路并且与呼叫相关的所有交换局都必须能够交换信息。第二，本地局数目增加后，就失掉了容量的经济性，因为两个容量各为一半的交换局加上它们的建筑物及电源比一个整个容量的交换局的价格要贵。一般来说，本地局的数目有一个最佳值，以便使传输及交换的总投资为最小。这个本地局数目的最佳值决定于交换设备及传输设备的相对价格及终端的地理分布。

如果对于终端的地理分布、话务特性及交换和传输的价格作出某些假设，就能够进行整个系统最小费用的数学分析[3]（见附录A）。然而，这种分析的价值是有限的，因为特定情况的实际细节往往会使一般的假设无效。例如，在电话领域，为了决定某一特定地区需要建设多少个电话局，或更常见的是，在一个发展中的城市的郊区决定设置一个新的电话局好，还是把原来电话局的交换区予以延伸更好，这些都需要各种网路规划方案的详细预算[4]。利用对所规划地区的详尽的计算机模型来简化这些预算，将有助于加快估算各种不同方案的费用。

分级系统 (Hierarchical system) 交换局数目增加时，它们之间的各种中继路由数也将增加。大于约十个局时，中继路由数目就会很大，并且每一路由仅包含很少的电路，因而使得网路很不经济。集中市话交换的论点也同样适用于长途路由，因而设置了长途交换局，使长途电路间可以进行交换。图1-3示出长途交换局的设置如何降低长途电路的总长度。然而，这种配置方式增加了长途交换局的费用，并且在某些接续中需要三个交换点（而不是一个或两个）。

集中设置交换局的过程可以在几个级别上进行，这就形成了所谓“分级网路”（*hierarchical network*）。这可以参照公众电话网来很好地加以说明。在一个国家内，通常有许多市话交换局，每一