

电子系统的物理设计

第 四 卷

计 算 机 设 计 方 法

(二)

美国贝尔电话实验室

邮电部邮电工业标准化研究所

邮电部邮电工业产品结构设计情报网

一九八二年三月

目 录

第四卷 系统设计过程 第二篇 计算机设计方法

第五章 计算机的基本原理.....	1
§ 5-1 计算机在工程设计中的作用.....	2
§ 5-2 计算机组织及操作.....	5
§ 5-3 题目分析.....	1 5
§ 5-4 计算机程序的编制.....	3 0
§ 5-5 程序的发展.....	7 6
§ 5-6 编程序举例.....	8 3
§ 5-7 总结.....	1 0 2
第六章 计算机在设计过程中的应用.....	1 0 9
§ 6-1 计算机对于设计问题的应用...	1 9 9
§ 6-2 计算机辅助设计的各种因素...	1 1 9
§ 6-3 数据存储及检索.....	1 5 7
§ 6-4 机械辅助系统.....	1 6 9

第五章

数字计算机的基本原理

P. M. 雪尔曼 (Sherman)

正如我们在前面几章中所了解的那样，工程设计包括许多不同的活动。这些活动包括制订出设计规范，其中有要求和限制条件，决定有关系数的相对重要性，因为几乎可以肯定将会有些矛盾，选择解题的方法，其中包括有关任务的分析及其程序，完成这些任务，以及采用模拟、模型和分析等技术来考验设计。其它与设计活动有关的工作是拟订规范、图纸、另件目录、维修手续和生产所需的其它文件资料。

在这么多的工作中，有各种不同程度的创造性。例如，在确定一种设备的物理外观时，设计人员必须充分利用他的审美观点，他的关于机械上合理结构方面的知识以及其它具体事实，如关于元器件的位置、热扩散等等。另一方面，编制用线路表及其连接方法等则不必多费脑筋。这仅仅是检查设计中的电路连接并根据规定的规例进行布线。在这两个极端之间，也还有许多要求不同程度的创造力之处。在许多这样的设计场合中，计算机所起的辅助作用是不可估计的。在本章和下一章中，我们将了解到计算机在设计中起到哪些辅助作用并达到什么程度。

本章将介绍一下数字计算机，数字计算机是什么？它们的功能怎样？以及如何编排这类计算机的程序以及解答问题。还将研究某些编排程序语言的基本元素，并且将编制几个简单的程序。在下一章，我们将继本章的题目，接着谈谈使用哪些计算机去解决电子系统物理设计问题的方法。

在详细研究计算机之前，我们可能已观察到只要能描绘出一个明显的逐步渐进程序，计算机就能工作。在外观设计中就比较困难，或者不可能这样做，因而计算机对于这样的问题起不到一点有价值的作用。对于一些深奥难懂的设计，计算机在将来会起到辅助作用。但是在目前，仍然需要将这些深奥的设计搞清楚。总之如果给出一套完整的电路说明，我们可以容易地想象出，计算机就可将电路中所使用的所有线路按任何程序列成表格。另外，计算机还可以提供许多其它型式的电路数据表。

§ 5-1 计算机在工程设计中的作用

在好些领域内，计算机对工程设计是很有帮助的。计算机已经被用于设计变压器和继电器，编制线路表、零件和元器件的内部连接，安排布线路由，布置元器件在平面图上的位置等等。^{2, 3} 计算机还被用于大范围的数据存储和检索，^{4, 5} 设计无源网络和逻辑电路，并提供电气原理图。计算机在设计领域以外的用途是举不胜举的。

在上述的每个范围内，计算机都起到了减轻工程师进行相当大量的冗长而乏味的计算或数据组织工作的作用。计算机还可减轻工程师检查和复查大批数据的准确性的工作负担。计算机还可替工程师记录并按简单的指令，随时准确提供几乎是任何一种复杂而种类繁多的报告。也就是说，计算机能帮助工程师增加他的计算和组织能力，使他能够更快地、更准确地、并且在许多情况下更完善地完成他的工作。

关于需要更多创造性的设计领域，计算机就无能为力了。这在注释中已注出，有创造性的工作不易于安排程序。有创造性的工作在一个工作与另一工作之间有很大的变化。它们依靠足够的判断力和经验，而且要将各种因素编入计算机系统是很困难的。尽管如此，随着新技

术的发展, 计算机应用范围必将扩大到这一领域。

这一新技术至少包括两个因素。第一, 现在的设计程序已达到非常仔细的地步, 愈来愈便于工程师在设计程序中进行分析。第二, 目前, 已经研制出了使设计人员能够更准确地掌握计算机活动的新型计算机设备。^{7、6} 第一个因素给出了一个非常明白的方法。我们已知这是非常重要的。第二个因素使计算机技术得到发展, 这样, 能使人们在比较高难的领域内, 用计算机来配合工作。由于我们现在可以在设计的早期阶段就利用计算机, 甚至能够在不久的将来更多地利用计算机, 因此, 计算机作用要比一支快速和精确的计算尺要高明得多。在任何需要的时候和地方发挥其放大和计算的能力。这就是计算机在工程设计中的非常重要性。

计算机是什么?

一台计算机可以被认为是一部用符号进行一些数字基本运算的机器。如果可以明白地加以说明的任何一种类型的问题, 能使这个问题的解法编译成一连串这样的基本运算, 那个问题就可在计算机上得到解答。除此之外, 计算机的更准确的定义还须按它的结构、操作及使用情况而定。

计算机基本上可分为两种类型: “模拟的”和“数字的”。模拟计算机以模拟方式或其它型式代表的数据进行运算, 例如, 1伏特可以代表1毫米。在计算中, 随着数量的变化, 模拟值也随着比例而变化。被表示的数据的精确率取决于计算机零件的精密密度。很少会有超过0.001%的精确度。模拟计算机常被用于实时模拟问题¹⁰。

数字计算机直接处理代表所需的任何数量的符号。当这对符号代表数字时, 由于可以用任何数量的存储器来代表数字。因此, 可满足

各种要求的精确度。其精确度达到10~15位数的也容易做到。在许多情况下，其精确度不是一个争论点。这是由于运算是用一套具体的数字、字母符号或符号0和1等的原因。这是模拟方法所不能办到的。

数据计算机根据信息进行工作。这种计算机是通过执行一个所谓的“指令”而进行一系列工作，这一系列指令被叫做“程序”。对于一个须由计算机解答的题目，解答方法一定要分解成它的构成步骤，这些步骤必须变成适合于执行的形式，即成为一系列指令。

混合式计算机适用于要求模拟和数字两种能力都具备的计算机。这种计算机用两种机器进行计算。每一种机器都通过模拟—数字转换器将数据提供给另一个机器。一个系统模拟而又要求某些数量的准确计算和逻辑判断的问题可以利用这种系统。

由于计算机具有对解决问题非常有用的四种特征。所以，计算机的用途很大。计算机速度很快，计算准确。可存储大量而又易提取的信息，并具有自动执行复杂程序的能力。

编写程序

编写计算机程序分六个步骤。由于常常需要两个或更多的步骤交叉同时进行，因此有时要把各个步骤明确分开是困难的。通常用一个步骤解决一部分问题，而在其较早的一个步骤解决其另一部分问题是比较方便。或者说，更加需要的。在任何情况下，解决问题的各个部分都应按照下例各步骤进行：

- 1、明确问题
- 2、选择解决方法
- 3、列出操作规程

4、写入程序指令

5、试验和检查

6、(以文件)证明程序。

本章和下一章将探讨每一步骤的意义。

透彻地理解问题

理查德W. 哈姆明(Richard W. Hamming)曾经说过:“计算的目的是为了理解,而不是为了数字¹³。”正如用其它的方法解决计算问题一样,用计算机来解决计算问题的结果,将会增进工程师对问题的理解。哈姆明申明的意义在于说明这样一个事实:即,为了要用计算机解决任一问题,就必须全面地分析问题并对此问题进行编码。这样做就可以了解到问题的实质。当然工程师一定会得到一些数字作为问题的答案。但最重要的结果还在于他对问题的充分理解。

§ 5 - 2 计算机组织及操作

组织

将一台数字计算机组织为一个互连的操作单元¹⁴,图5-1,并在图5-2中用一个现代计算机系统的实例如以说明。演算单元进行数据的运算和其它工作。需要存储的数据、中间结果和最终结果存储在存储器中。操作程序(不是本机器中的物理单元)也存储在存储器中。输出输入设备是外界与计算机之间的传输信息的设备。这种设备中包括传输数据格式的转变。因为计算机使用一种形式的信息而程控器用另一种形式的数据操作。

在程序控制之下的控制单元的作用是操纵必要的电路,使每个单元完成它自己的功能。在图5-1中,实线代表信息的流向(各单

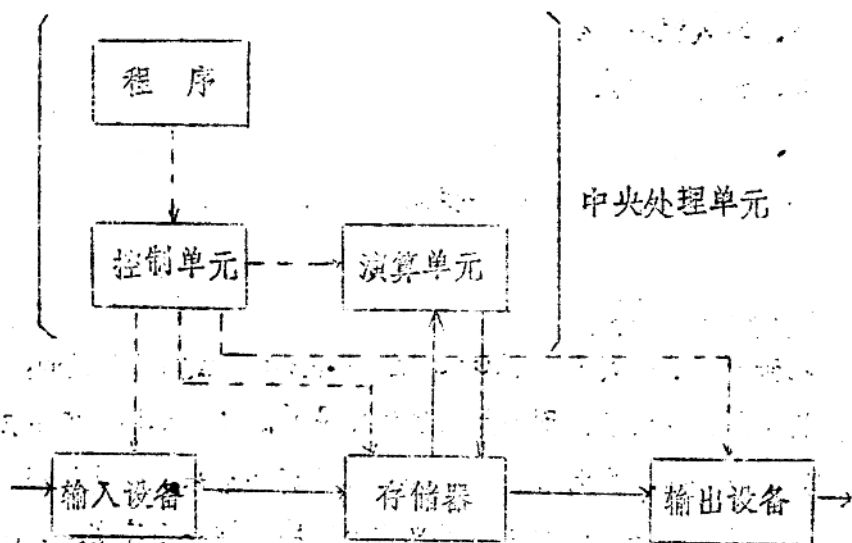


图5-1、计算机的基本组织

元之间的数据移动)，虚线表示各单元间的控制方式。有时，可将控制器、操作单元和控制单元作为一个统一体——“中央处理单元”是比较方便的。

(图5-2略)

中央处理机

在执行程序控制时，计算机必须从存储器中检索出数据，根据这些数据进行演算，然后将结果存储起来。最终，其中某些结果应被提供给程控机。这一系列行动是中央处理单元的任务。它启动演算单元，使它进行数学和逻辑的运算。受程序控制的控制单元从程控器那里接受命令，使每一计算机单元工作以执行命令。

这里，“控制”这个概念是很重要的。当一个程序在进行时，即这个程序的指令被接受时，每次只有一个指令在进行控制，即所谓受那个指令的控制。一个专用存储的记发器跟踪着受控的指令。在GE

645 计算机中(一种很大型的现代数据处理系统), 只需要1.0微秒就可将一个数字从存储器传输到中央处理机上¹⁵。(比较复杂的参考方法可将这一时间延长)。两个数的相乘约需要6微秒。有些运算所需时间在1.0毫秒到6微秒之间。

存储单元

记忆装置也被称为“存储单元。”包括执行中的编程序、它的数据和计算结果。大多数计算机的存储是由单独的单元, 或称“单字”, 每个有一个命名或参考数, 称为“地址”。如GE645 计算机, 就有2621000个单“字”。检索任何两个字的内容所需的时间相同。也许同其它的领域一样, 计算机领域里所用的术语还没有标准化。所使用的许多术语有两、三种意义, 这就要依上下文来决定其含义了。对于“字”这一术语也是如此。它可解释为存储单元, 也可以解释为这一单元的内容。

前面提到的计算机存储器实际上是计算机的内存储器。由于内存储器一般是用磁心做成, 因此常常被人们称作“磁心存储器”或“磁心”。计算机还配有(以磁带、磁盘或磁鼓等形式的)辅助存储器, 这将在后面进行讨论。

我们已经知道, 计算机是根据常常以整数的(方式)表示的符号进行工作的。一个存储单字可以包含着任何一种不同类型的信息。存储的符号可以代表一个数字、一个指令或一系列字母。单字也可以仅仅是一个存储一个未来结果的位置。在计算机根据一个单字操作使这个单字生效之前, 这个单字的内容是互不相干的。单字内容为稳态磁心般地存储着。共有两种这种状态, 通常用符号0和1来识别它们。在一连串的0和1以后就表示一个单字的内容。这一系列具有一个二进制数的形式, 并且经常是(二进制数的方式)这样认识的。一个二

进位数称为一毕特。计算机的字长一般是从12到40毕特，最常见的计算机字是32和36毕特。

由于二进制数书写不方便而且比较难译，因此，一般是由程序设计器计器处理成八进制或十六进制的方式。三个相连续的二进制数可以方便地重新写成一个八进制数，见图5-3。这一般是由程序设计器和打出计算机存储器内容的程序所做的。

在一个固定长度的字里能够存储的数字范围是有限的，在36毕特的字里，可以存储约10个十进制数字。这一精确度似乎是令人满意的。但一个包括0.0000345，67.8和67522数目的题目却还要求更大的范围。不考虑十进制的小数点（或二进制小数点）在一个字中的位置放在哪儿，则所有三个数字都不能够完全准确地被存储。大部分计算机可通过数字变位的方法克服这一难题。也就是说，使用变位系数。这一工作可按下列方法进行：

$$0.34500000 \times 10^{-4}$$

$$0.67800000 \times 10^2$$

$$0.67522200 \times 10^6$$

二 进 制	八 进 制
0 0 0	0
0 0 1	1
0 1 0	2
0 1 1	3
1 0 0	4
1 0 1	5
1 1 0	6
1 1 1	7

二进制表示法：110011100010111

表接下页

二进制分组:	110	011	100	010	111
八进制表示法:	6	3	4	2	7

图 5-3 二进制换算成八进制

这里, 可用八个有效数和一个指数将所有三个数目存储。在计算机的存储器中就是这样工作的, 除了在二进制机器中用的是二的幂数。在 GE 645 计算使用 36 位二进制中, 8 个用作指数, 27 个用做小数, 1 个用作符号。这样格式的数目就是浮点数目。用计算机指令可对它们进行运算, 得出同样格式的结果。

辅助存储器

辅助存储器可用几种工作方法。最普通的(使用)手段就是磁带。一个 12 英寸的磁带卷能够保存大约 640,000 个 36 位字, 超过 GE 645 存储器容量的两倍以上。磁带卷是安在磁带单元上。这个磁带单元类似于一个大型录音磁带, 见图 5-4¹⁷。磁带单元以每秒 25,000 个 36 位字的速率将信息记入磁心或将磁心上的信息写出来。但如需读出已记录好的信息, 就应将整个磁带回绕, 这需要 2 分多钟的时间。

在新系统中, 最经常使用的存储工具是磁盘和磁鼓。磁盘上涂有同磁带的材料相同的磁性材料¹⁸。磁盘像唱片那样重叠着, 数据就存储在它的螺纹中。每一面有一个读—写磁头。图 5-5 是一个磁盘

(图 5-4 略)

单元的唱机。每个这样的单元可保存六百万个字。磁盘单元每秒可读写 300,000 个字。而且, 用一个大型计算机可使几个单元同时读出。找出一个指令的字平均时间约为 15 毫秒。磁鼓是辅助存储手段中找

字最快的一种¹⁹。它每秒可读500,000个字。平均找字时间为8毫秒。一个磁鼓可保存1百万个字。磁鼓和磁盘都可通过计算机将信息的要求堆存起来。当需要的字正好转到读出头下面时,就能满足这些要求。这样在实际上,存取时间就可减少到不到1毫秒。

正如我们所知道的,有多种等级的存储器。如按可达性逐渐降低和容量逐渐提高的次顺排列的话,为磁心、磁鼓、磁盘和磁带(如果只考虑每种等级利用的总空间)。存储单元里的信息被放到资料库(档案)中。这是编有名称并按程序排列的资料。当一个资料档案或它的一部分开始形成时,这个档案便被放置到磁心上。很快,它就被放置到一个磁鼓上。然后,根据该资料的上一次使用时间,必要时可将它转移到较低等级的可达性。这样,最常用的资料就可被放置在能

(图5-5略)

最快速被检索的位置上。

输入—输出设备

将信息提供给计算机的通用工具是一叠穿孔卡片组。每个卡片有80列,每列有12个可穿长方孔位置。一张卡片上可穿80个字符(字母、数字、数学符号或标点符号)。卡片用读片机阅读。它们可将信息放入磁心存储器,也可将信息放到磁带上。其工作速度为每分钟1000个卡片。同样,也可将计算结果打在卡片上,或者,先写在磁带上以便以后再穿孔。卡片穿孔率约为每分钟300个。磁带除了可以提供辅助存储的空间外,还是重要的输入—输出手段。磁带几乎往往是直接将计算机和外界联在一起的枢纽。在磁带上写入信息或从磁带上读出信息的速率比卡片快。

存储计算结果常用的手段是印字纸页。用“整行打字机”将程序

结果打印出来。这种机器一次打一整行，每分钟可打印约 2000 行，每行约 130 个字符。在有些打印机上，将带有金属字母的打字连杆用力，使它与色带和纸张相接触。有些印字机不是机械操作，而是靠光电或化学设备打出字符，或将墨水喷到纸上。

对许多题目的解答最好是图解。一个例子是表示线路位置的程序。另一个例子是表示在 100 个点上的一个函数。虽然这两种例子用列表方式将结果表示出来是可行的，但并不像图象输出那样有用，因为图象输出更易于理解而且效果好。Stromberg-Carlson (SC) 4060 微型胶卷记录器常被用于在微型胶卷上录制图象输出 20。图 5-6 是一个 4020 型显微胶卷记录器——这是 4060 的前型。比较新型的产品 SC4060 具有 4096 个点乘 5072 个点的分辨力。输出可放

(图 5-6 略)

大到 23 平方厘米。当各点或字符在图区内任何一个方位是独立时，机器可以画出任何两个点之间的直线。

曾写出一些子程序提供给微型胶卷记录器以便于绘图。这可以辅助绘出图形和几乎所有各种的线条。微型胶卷的输出曾用于制图、原理图、方框图，甚至可以放电影。

遥控终端

一个大型的计算机系统可能配备有数个“遥控终端”(图 5-7) 21 这些设备离开计算机的距离可远达几百英里。这实际上是将机器扩展到遥远的办公室或试验室。一个简单类型的系统，它们接收用户信息并当计算机准备接收信息时，将这个信息从本地存储器传送给中央存储器，于是，计算机就可对这个信息进行工作。(执行程序操作)。

这一系统的最有效的价值就是一个用户在几秒钟或几分钟之内就得到计算机的答复。在正常情况下从信息输入到得到结果的时间（解题周期）一般期）一般为几个小时。

还有一些其它的终端设备。有些终端设备提供图象信息。如在一个大的阴极射线管上显示出的图象。图 5-8 就是这样一个终端设备。显示器可显示出存储在用户专用存储区内的信息。这一显示器特别适用于图象信息。显示器的目的是要在程序进行期间快速地显示出中间结果。显示器还可输出硬拷贝，用打字机提供输入数据。

（图 5-7 略）

带有阴极射线管打字机和光笔的控制台是一种更先进的图象显示

（图 5-8 略）

设备（见图 5-9）。输出和输入都可以图象方式进行。用户可以用象在黑板上画图的方式用光笔发送数据。（见图 5-10）。这一手段非常有效而且大众化。因为这样，一个人可以自然方式进行传输。可以用图象来表示许多问题，尤其是那些属于设计的问题。我们对于问题的许多设想是属于这一类型。这种终端设备附带一个小型计算机。许多制图过程中的简单计算就可在当地完成。当一个图象出现以后，这个图象的信息内容就被作为数据资料提供给大型中央计算机。然后将计算结果送回到示波器上。

（图 5-9 略）

（图 5-10 略）

操作

当在一台计算机上进行处理几种工作时，应考虑两种普通操作方法是成批处理操作和分时操作。“成批处理”可以认为是一批程序依序执行。这些程序一般是被记录在磁带上以备读入计算机中。所谓“监视器”或“演算系统”是计算机中的主要程序。它负责监视这一处理工作。当一个工作完成后，监视器便将成批磁带中的下一个工作读出，送到存储器中。这是从计算机开始到利用以来，大多数计算机中心的普通操作方式。

比较复杂的系统可以采用“时分”方式使用前面谈到过的每种遙控终端设备²²。在一个时分系统中，一个用户可以较快地接触到中央计算机，同时，使他能在其它用户的程序只完成一部分时就开始执行他的程序。计算机的响应时间是不同的，但只有几秒钟之差。在这类系统中，由于各用户的每次要求都得快速得到响应，因此，每个用户都有他自己独占该计算机的印象。中央计算机一次可有效地同200个用户进行接触。

使用这种操作方式，计算机响应得如此快速，使用户感觉他与计算机直接“对话”。这意味着用户能在控制台等待结果。对于这种“对话”式环境，近年来，人们做了大量工作，并在计算工作中增加新的方面。其结果，使程序工作的性质正在发生一个大的变化。

(操作时)使用时分计算机的中央处理机对每个程序用很短的时间执行，然后再转移到下一个(程序)。依次进行，过一会儿再回到第一个程序上。各程序的转换时间是固定的，而且是预先规定的。它是根据优先权、一天内的时间等因素，并在输入—输出操作进行时而定。在后面时间内，就必定要稍推迟计算，以便执行其它程序。虽然实际上一次只执行一个程序，但许多程序(由于使用时分方式)是在

同时进行处理。时分计算机一般都有两个以上的中央处理单元。每个中央处理单元都有它的编制用户。每台机器在任何（工作）时间都只执行一个用户的程序。

由于存储器一次必须存储许多程序才能满足时分操作的要求，因此，常常通过监督程序将各程序分成固定长度的“页数”。只将相当于需被执行的页数输入存储器就可进行时分操作。然后，根据一个程序所需的不同页数，这些纸页被输入到存储器中。如果不再需要页数，便被另一些有用页数所代替。在运行期间，页数被暂时存储在一个磁鼓上。

为了要对计算机一次运行提供大量的信息，可以有许多办法。例如，他可能要分析1000个穿孔卡片。他不可能在打字机上打出全部信息，而他只能要求将各卡片读入磁带，并象一个（工作）单元那样进行分析。同样，程序结果可能需要打出5000行输出，说实话，这样大的量也是打字机所不能办到的。在这两种情况下，用户的程序和数据被放入一个辅助磁带上，并用成批方式进行处理。

时分操作方式允许在计算机运行期间可由人们插入（程序），其所以能这样操作是为了这一目的而设计的。这是许多设计程序的情况。实际上，这类程序是分开设计的。例如，用户可以在一个程序运行期间提供新的或修改好的数据。按这种方法设计的程序具有很大的先进性，即许多最困难的或最缺少指令的任务可由人去完成。这些任务包括关键性决策、特殊情况的处理及类似情况。这样，解答一个题目的责任就分别由人和机器来负担。

这里，对前面已简单介绍过的监视程序还有几句话要说一下，这一程序的基本任务是将各程序读入存储器并监视这些程序的执行情况。用时分操作时，监视程序还有附带任务，将所有可利用的时间和空间

分配给所有用户。对其中一部分进行输入—输出工作。当其它用户正在对临时存储区将其它程序读入或读出，或正在执行其它程序。监视程序的另一个工作是操纵多级归档系统。监视程序还包括许多用途广泛的实用程序。这些（实用程序）包括完成普通的数学运算程序，提供分类性能的程序和执行各种数据形式和格式的输入—输出操作程序。

§ 5-5 题目分析

我们知道，发展一个计算机程序的第一步是要正确、全面地说明问题。这个任务一旦完成后，紧接着下一步任务就是选择解答方法。然后，分析问题的组合和解答技术。虽然这三个步骤的顺序分得明白，但对整个题目却很少能全按这一顺序进行处理。由于选择解答方法要取决于这个题目分部的方式，因此，第二步和第三步可能要互换。此外，在其它部分尚未开始之前，也许就必须先解决总题目的某一部分。由于难于确定或说明题目，这种情况在设计问题上尤其普遍。往往由于其中包括大量的创造性，因此，对设计每个阶段的算法尚一无所知。要充分发展设计的第一阶段，然后着手解决问题的以后设计阶段。

分析题目，就等于提出解答中各步骤的顺序。“算法”是指解答一个题目的明确方法。它能给出在实施中有限的、并适于各种不同用处的解答步骤程序。在准备需用计算机解答的题目时，必须十分明确，程序不能有错误。这是因为它完全按写出的东西执行程序；计算机的程序中不能出现那怕是“很小的错误”一类的事情，这几乎是理所当然的。在一个算法中，应考虑到各种意外情况。例如：如果有一个除法，其分母可以为0（或近似于0的数，这个数在计算机中是一个准数），程序必须允许有这种情况。必须提前明确地做出所有决定。因