全国计算机等级考试指定教材配套辅导

NCRE Examination

新大纲

National Computer Rank Examination

C++语言程序设计应试辅导（二级）

黄志雄　等编著

- 全真等级考试**模拟环境**
- 历年真题和典型习题**题库**
- **评分系统**突出考试重点难点
- 答题解析总结**高分策略**

清华大学出版社

National Computer Rank Examination

C++语言程序设计应试辅导

（二级）

黄志雄　等编著

清华大学出版社
·北京·

内 容 提 要

本书根据教育部考试中心 2004 年最新发布的《全国计算机等级考试大纲》编写，针对计算机等级考试二级 C++程序设计各方面的考点进行讲解和训练。本书前 11 章概括了二级 C++程序设计笔试方面的知识，第 12 章是上机指导部分，各章的主要内容有：知识点、重点、难点（列出考试的核心知识点）；典型试题及解析（笔试题的各类题型的分析以及精要解答）；自我训练题和答案（大量的练习题以及答案）。最后提供了两套模拟试卷，作为考生考前练习和检验自己对知识的掌握程度。

本书配套光盘中，提供了上机考试的全真模拟环境，读者可以练习考试流程，检验自己的实际水平。

本书面向准备参加全国计算机等级考试二级 C++程序设计的考生，适用于普通高校、成人高等教育以及各类培训学校作为考前辅导的培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

C++语言程序设计应试辅导（二级）/黄志雄等编著. —北京：清华大学出版社，2007.3
（全国计算机等级考试名师名导）
ISBN 978-7-302-14410-6

I.C… II. 黄… III. C 语言—程序设计—水平考试—自学参考资料 IV. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 163166 号

责任编辑：冯志强　孙建春
责任校对：张　剑
责任印制：王秀菊
出版发行：清华大学出版社　　**地　　址**：北京清华大学学研大厦 A 座
http://www.tup.com.cn　**邮　　编**：100084
c-service@tup.tsinghua.edu.cn
社 总 机：010-62770175　**邮购热线**：010-62786544
投稿咨询：010-62772015　**客户服务**：010-62776969
印 刷 者：北京市世界知识印刷厂
装 订 者：三河市新茂装订有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：210×285　**印　张**：18.5　**字　数**：605 千字
附光盘 1 张
版　　次：2007 年 3 月第 1 版　　**印　　次**：2007 年 3 月第1 次印刷
印　　数：1～5000
定　　价：32.00 元

前言 Preface

目前，由国家教育部考试中心推出的全国计算机等级考试，是许多单位用以衡量员工计算机能力的一种方式，报考人数众多。本书根据教育部考试中心 2004 年最新发布的《全国计算机等级考试大纲》编写，针对计算机等级考试二级 C++程序设计各方面的考点进行讲解和训练，其目的是帮助考生进行考前的全面复习以及训练，找到自己知识结构的薄弱环节，在考场上能够轻松自如地取得成功。

全国计算机等级考试二级（C++语言程序设计）分为上机考试和笔试两部分，主要内容涉及公共基础知识和 C++语言程序设计。

公共基础知识部分对于考生的要求是：掌握算法的基本概念；掌握基本数据结构及其操作；掌握基本排序和查找算法；掌握逐步求精的结构化程序设计方法；掌握软件工程的基本方法，具有初步应用相关技术进行软件开发的能力；掌握数据库的基本知识，了解关系数据库的设计。

C++语言程序设计部分对于考生的基本要求是：掌握 C++语言的基本语法规则；熟练掌握有关类与对象的相关知识；能够阅读和分析 C++程序；能够采用面向对象的编程思路和方法编写应用程序；能熟练使用 Visual C++ 6.0 集成开发环境编写和调试程序。

笔试时间为 90 分钟，满分 100 分（公共基础知识的考试方式为笔试，与 C++语言程序设计的笔试部分合为一张试卷，占 30 分）；上机考试 90 分钟，满分 100 分。

本书前 11 章概括了二级 C++程序设计笔试方面的知识，第 12 章是上机指导部分，各章的主要内容有：

- 知识点、重点、难点：列出考试的核心知识点。
- 典型试题及解析：笔试题的各类题型的分析以及精要解答；
- 自我训练题和答案：大量的练习题以及答案。

最后提供了两套模拟试卷，作为考生考前练习和检验自己对知识的掌握程度。

本书配套光盘中，提供了上机考试的全真模拟环境，用于熟悉上机考试环境，以及进行考题练习，本系统对每道题都进行了详细的讲解并进行判分。

本书面向准备参加全国计算机等级考试二级 C++程序设计的考生，适用于普通高校、成人高等教育以及各类培训学校作为考前辅导的培训教材。

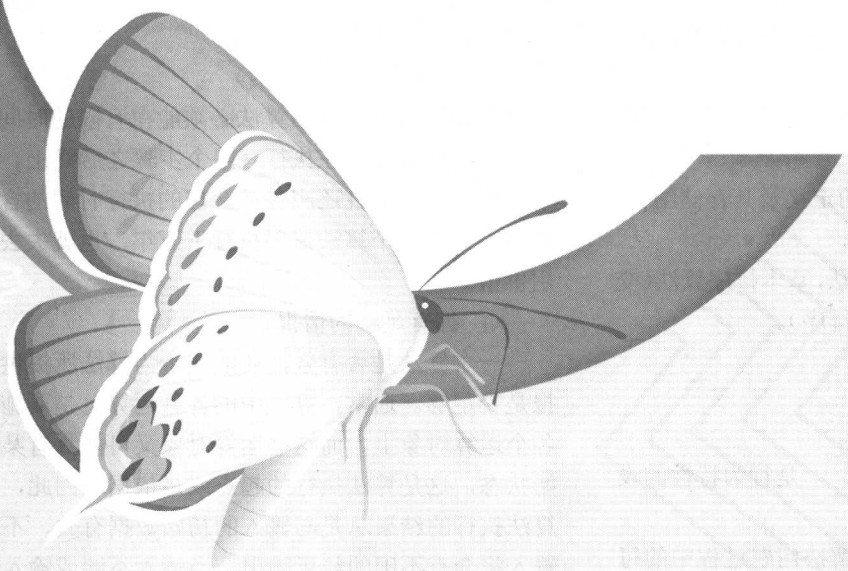
您在学习的过程中如有问题，或有意见和建议，请给我们发邮件：

book_service@126.com。

目录 Contents

第1章

二级公共基础



1.1 本章知识点

二级公共基础的内容主要包括数据结构与算法、程序设计基础、软件工程基础、数据库设计基础4个部分。

1.1.1 基本数据结构与算法

本部分的考试要点如下。

（1）算法的基本概念，算法复杂度的概念和意义（时间复杂度与空间复杂度）。

（2）数据结构的定义，数据的逻辑结构与存储结构，数据结构的图形表示，线性结构与非线性结构的概念。

（3）线性表的定义，线性表的顺序存储结构及其插入与删除运算。

（4）栈和队列的定义，栈和队列的顺序存储结构及其基本运算。

（5）线性单链表、双向链表与循环链表的结构及其基本运算。

（6）树的基本概念，二叉树的定义及其存储结构，二叉树的前序、中序和后序遍历。

（7）顺序查找与二分查找算法，基本排序算法（交换类排序、选择类排序、插入类排序）。

1．算法的基本概念

（1）算法与数据结构的关系

程序设计主要包括两个方面，一是行为特性的设计，二是结构特性的设计。

行为特性的设计一般是指将解决问题过程中的每一个细节准确地加以定义，并将全部的解题过程用某种工具完整地描述出来。这一过程也称为算法的设计。

结构特性的设计是指为问题的解决确定合适的数据结构。

数据结构与算法之间有着密切的关系。特别是对于数据处理问题，算法的效率通常与数据结构在计算机中的表示有着直接的关系。

（2）算法的基本特征

所谓算法是指对解题方案准确而完整的描述。

对于一个问题，如果可以通过一个计算机程序，在有限的存储空间内运行有限长的时间而得到正确的结果，则称这个问题是算法可解的。但算法不等于程序，也不等于计算方法。当然，程序也可以作为算法的一种描述，但程序通常还需考虑很多与方法和分析无关的细节问题，这是因为在编写程序时要受到计算机系统运行环境的限制。

算法实际上是一种抽象的解题方法，它具有动态性。作为一个算法，一般应具有以下几个基本特征。

① 能行性（Effectiveness）

算法的能行性主要包括两个方面。一是算法中的每一个步骤必须是能实现的，二是算法执行的结果要能达到预期的目的。

② 确定性（Definiteness）

算法的确定性，是指算法中的每一个步骤都必须是有明确定义的，不允许有模棱两可的解释，也不允许有多义性。这一性质也反映了算法与数学公式的明显差别。

③ 有穷性（Finiteness）

算法的有穷性是指算法必须能在有限的时间内做完，即算法必须能在执行有限个步骤之后终止。

算法的有穷性还应包括合理的执行时间的含义。因为，如果一个算法需要执行千万年，也就失去了实用价值。

④ 拥有足够的情报

一个算法是否有效，还取决于为算法所提供的情报是否足够。通常，算法中的各种运算总是要施加到各个运算对象上，而这些运算对象又可能具有某种初始状态，这是算法执行的起点或是依据。因此，一个算法执行的结果总是与输入的初始数据有关，不同的输入将会有不同的结果输出。当输入不够或输入错误时，算法本身也就无法执行或导致执行有错。一般来说，当算法拥有足够的情报时，此算法才是有效的，而当提供的情报不够时，算法并不有效。

综上所述，所谓算法，是一组严谨地定义运算顺序的规则，并且每一个规则都是有效的，且是明确的，此顺序将在有限的次数下终止。

（3）算法的基本要素

一个算法通常由两个基本要素组成：一是对数据对象的运算和操作，二是算法的控制结构。

① 算法中对数据的运算和操作

每个算法实际上是按解题要求从环境能进行的所有操作中选择合适的操作所组成的一组指令序列。因

此，计算机算法就是计算机能处理的操作所组成的指令序列。

通常计算机可以执行的基本操作是以指令的形式描述的。一个计算机系统能执行的所有指令的集合，称为该计算机系统的指令系统。计算机程序就是按解题要求从计算机指令系统中选择合适的指令所组成的指令序列。

② 算法的控制结构

一个算法的功能不仅取决于所选用的操作，而且还与各操作之间的执行顺序有关。算法中各操作之间的执行顺序称为算法的控制结构。

算法的控制结构给出了算法的基本框架，它不仅决定了算法中各操作的执行顺序，而且也直接反映了算法的设计是否符合结构化原则。描述算法的工具通常有传统流程图、N-S 结构化流程图、算法描述语言等。一个算法一般都可以用顺序、选择、循环 3 种基本控制结构组合而成。

（4）算法设计的基本方法

计算机解题的过程实际上是在实施某种算法，这种算法称为计算机算法。

常用的算法设计方法有如下几种。

① 列举法

列举法的基本思想是根据提出的问题，列举所有可能的情况，并用问题中给定的条件检验哪些是需要的，哪些是不需要的。因此，列举法常用于解决“是否存在”或“有多少种可能”等类型的问题，例如求解不定方程的问题。

列举法的特点是算法比较简单，但当列举的可能情况较多时，执行列举算法的工作量将会很大。通常，在设计列举算法时，要对实际问题进行详细的分析，将与问题有关的知识条理化、完备化、系统化，从中找出规律；或对所有可能的情况进行分类，引出一些有用的信息，就可以大大减少列举量。

列举算法是计算机算法中的一个基础算法。

② 归纳法

归纳法的基本思想是：通过列举少量的特殊情况，经过分析，最后找出一般的关系。显然，归纳法要比列举法更能反映问题的本质，并且可以解决列举量为无限的问题。但是，从一个实际问题中总结归纳出一般的关系，并不是一件容易的事情，尤其是要归纳出一个数学模型更为困难。从本质上讲，归纳就是通过观察一些简单而特殊的情况，最后总结出有用的结论或解决问题的有效途径。

③ 递推

所谓递推是指从已知的初始条件出发，逐次推出所要求的各中间结果和最后结果。其中初始条件或是问题本身已经给定，或是通过对问题的分析与化简而得到确定。递推本质上也属于归纳法，工程上许多递推关系式实际上是通过对实际问题的分析与归纳而得到的，因此，递推关系式往往是归纳的结果。

④ 递归

递归的基本思想是将一个复杂的问题归结为若干个较简单的问题，然后将这些较简单的每一个问题再归结为更简单的问题，这个过程可以一直做下去，直到最简单的问题为止。递归是一种很重要的算法设计方法。

递归分为直接递归与间接递归两种。

⑤ 减半递推技术

解决实际问题的复杂程度往往与问题的规模有着密切的关系。因此，利用分治法解决这类实际问题是有效的。所谓分治法就是对问题分而治之。工程上常用的分治法是减半递推技术。

所谓“减半”是指将问题的规模减半，而问题的性质不变。所谓“递推”是指重复“减半”的过程。

⑥ 回溯法

在工程上，有些实际问题却很难归纳出一组简单的递推公式或直观的求解步骤，并且也不能进行无限的列举。对于这类问题，一种有效的方法是“试”。通过对问题的分析，找出一个解决问题的线索，然后沿着这个线索逐步试探，对于每一步的试探，若试探成功，就得到问题的解，若试探失败，就逐步回退，换别的路线再进行试探。这种方法称为回溯法。回溯法在处理复杂数据结构方面有着广泛的应用。

（5）算法复杂度

算法的复杂度主要包括时间复杂度和空间复杂度。

① 算法的时间复杂度

所谓算法的时间复杂度，是指执行算法所需要的计算工作量。

算法的工作量用算法所执行的基本运算次数来度量，而算法所执行的基本运算次数是问题规模的函数，即

$$\text{算法的工作量}=f(n)$$

其中 n 是问题的规模。

在同一问题规模下，如果算法执行所需的基本运算次数取决于某一特定输入时，可以用以下两种方法

来分析算法的工作量。

平均性态（Average Behavior）

所谓平均性态分析是指用各种特定输入下的基本运算次数的带权平均值来度量算法的工作量。算法的平均性态定义为

$$A(n)=\sum_{x\in D_n}p(x)t(x)$$

其中，x 是所有可能输入中的某个特定输入，p(x)是 x 出现的概率（即输入为 x 的概率），t(x)是算法在输入为 x 时所执行的基本运算次数，D_n表示当规模为 n 时，算法执行时所有可能输入的集合。

最坏情况复杂性（Worst-Case Complexity）

所谓最坏情况复杂性，是指在规模为 n 时，算法所执行的基本运算的最大次数。它定义为

$$W(n)=\max_{x\in D_n}\{t(x)\}$$

显然，W(n)的计算要比 A(n)的计算方便得多。由于 W(n)实际上是给出了算法工作量的一个上界，因此，它比 A(n)更具有实用价值。

② 算法的空间复杂度

一个算法的空间复杂度，一般是指执行这个算法所需要的内存空间。

一个算法所占用的存储空间包括算法程序所占的空间、输入的初始数据所占的存储空间以及算法执行过程中所需要的额外空间。其中额外空间包括算法程序执行过程中的工作单元以及某种数据结构所需要的附加存储空间。如果额外空间量相对于问题规模来说是常数，则称该算法是原地（in place）工作的。在许多实际问题中，为了减少算法所占的存储空间，通常采用压缩存储技术，以便尽量减少不必要的额外空间。

2. 数据结构的基本概念

数据结构作为计算机的一门学科，主要研究和讨论以下 3 个方面的问题。

- 数据集合中各数据元素之间所固有的逻辑关系，即数据的逻辑结构；
- 在对数据进行处理时，各数据元素在计算机中的存储关系，即数据的存储结构；
- 对各种数据结构进行的运算。

（1）什么是数据结构

简单地说，数据结构是指相互有关联的数据元素的集合。

在数据处理领域中，每一个需要处理的对象都可以抽象成数据元素。数据元素一般简称为元素。

前后件关系是数据元素之间的一个基本关系，但前后件关系所表示的实际意义是随具体对象的不同而不同。一般来说，数据元素之间的任何关系都可以用前后件关系来描述。

① 数据的逻辑结构

通俗地说，数据结构是指带有结构的数据元素的集合。在此，所谓结构实际上就是指数据元素之间的前后件关系。

一个数据结构应包含以下两方面的信息。

- 表示数据元素的信息；
- 表示各数据元素之间的前后件关系。

所谓数据的逻辑结构，是指反映数据元素之间逻辑关系的数据结构。

由前面的叙述可以知道，数据的逻辑结构有两个要素：一是数据元素的集合，通常记为 D；二是 D 上的关系，它反映了 D 中各数据元素之间的前后件关系，通常记为 R。即一个数据结构可以表示成

$$B=(D,\ R)$$

其中 B 表示数据结构。为了反映 D 中各数据元素之间的前后件关系，一般用二元组来表示。例如，假设 a 与 b 是 D 中的两个数据，则二元组（a，b）表示 a 是 b 的前件，b 是 a 的后件。这样，在 D 中的每两个元素之间的关系都可以用这种二元组来表示。

② 数据的存储结构

数据的逻辑结构在计算机存储空间中的存放形式称为数据的存储结构（也称数据的物理结构）。

一个数据结构中的各数据元素在计算机存储空间中的位置关系与逻辑关系有可能是不同的。

由于数据元素在计算机存储空间中的位置关系可能与逻辑关系不同，因此，为了表示存放在计算机存储空间中的各数据元素之间的逻辑关系（即前后件关系），在数据的存储结构中，不仅要存放各数据元素的信息，还需要存放各数据元素之间的前后件关系的信息。

一般来说，一种数据的逻辑结构根据需要可以表示成多种存储结构，常用的存储结构有顺序、链接、索引等存储结构。而采用不同的存储结构，其数据处理的效率是不同的。因此，在进行数据处理时，选择合适的存储结构是很重要的。

（2）数据结构的图形表示

在数据结构的图形表示中，对于数据集合 D 中的每一个数据元素用中间标有元素值的方框表示，一般称之为数据结点，并简称为结点；为了进一步表示各

数据元素之间的前后件关系，对于关系R中的每一个二元组，用一条有向线段从前件结点指向后件结点。

有时在不会引起误会的情况下，在前件结点到后件结点连线上的箭头可以省去。

在数据结构中，没有前件的结点称为根结点，没有后件的结点称为终端结点（也称为叶子结点）。数据结构中除了根结点与终端结点外的其他结点一般称为内部结点。

（3）线性结构与非线性结构

根据数据结构中各数据元素之间前后件关系的复杂程度，一般将数据结构分为两大类型：线性结构与非线性结构。

如果一个非空的数据结构同时满足下列两个条件：

① 有且只有一个根结点；

② 每一个结点最多有一个前件，也最多有一个后件。

则称该数据结构为线性结构，线性结构又称线性表。

如果一个数据结构不是线性结构，则称之为非线性结构。

线性结构与非线性结构都可以是空的数据结构。一个空的数据结构究竟是属于线性结构还是属于非线性结构，这要根据具体情况来确定。如果对该数据结构的运算是按线性结构的规则来处理的，则属于线性结构；否则属于非线性结构。

3. 线性表及其顺序存储结构

（1）线性表的基本概念

线性表是由n($n\geqslant 0$)个数据元素 a_1，a_2，…，a_n 组成的一个有限序列，表中的每一个数据元素，除了第一个外，有且只有一个前件，除了最后一个外，有且只有一个后件。即线性表或是一个空表，或可以表示为

$$(a_1,\ a_2,\ \cdots,\ a_i,\ \cdots,\ a_n)$$

其中 a_i($i=1,\ 2,\ \cdots,\ n$)是属于数据对象的元素，通常也称其为线性表中的一个结点。

显然，线性表是一种线性结构。数据元素在线性表中的位置只取决于它们自己的序号，即数据元素之间的相对位置是线性的。

非空线性表有如下一些结构特征。

① 有且只有一个根结点 a_1，它无前件；

② 有且只有一个终端结点 a_n，它无后件；

③ 除根结点与终端结点外，其他所有结点有且只有一个前件，也有且只有一个后件。线性表中结点的个数n称为线性表的长度。当n=0时，称为空表。

（2）线性表的顺序存储结构

线性表的顺序存储结构具有以下两个基本特点。

① 线性表中所有元素所占的存储空间是连续的；

② 线性表中各数据元素在存储空间中是按逻辑顺序依次存放的。

由此可以看出，在线性表的顺序存储结构中，其前后件两个元素在存储空间中是紧邻的，且前件元素一定存储在后件元素的前面。

（3）顺序表的插入运算

设长度为n的线性表为

$$(a_1,a_2,\cdots,a_i,\cdots,a_n)$$

现要在线性表的第i个元素 a_i 之前插入一个新元素b，插入后得到长度为n+1的线性表为

$$(a'_1,a'_2,\cdots,a'_j,a'_{j+1},\cdots,a'_n,a'_{n+1})$$

则插入前后的两线性表中的元素满足如下关系：

$$a'_j=\begin{cases} a_j & 1\leqslant j\leqslant i-1 \\ b & j=i \\ a_{j-1} & i+1\leqslant j\leqslant n+1 \end{cases}$$

在一般情况下，要在第i($1\leqslant i\leqslant n$)个元素之前插入一个新元素时，首先要从最后一个（即第n个）元素开始，直到第i个元素之间共n–i+1个元素依次向后移动一个位置，移动结束后，第i个位置就被空出，然后将新元素插入到第i项。插入结束后，线性表的长度就增加了1。

显然，在线性表采用顺序存储结构时，如果插入运算在线性表的末尾进行，即在第n个元素之后（可以认为是在第n+1个元素之前）插入新元素，则只要在表的末尾增加一个元素即可，不需要移动表中的元素；但如果要在线性表的第1个元素之前插入一个新元素，则需要移动表中所有的元素。在一般情况下，如果插入运算在第i($1\leqslant i\leqslant n$)个元素之前进行，则原来第i个元素之后（包括第i个元素）的所有元素都必须移动。在平均情况下，要在线性表中插入一个新元素，需要移动表中一半的元素。因此，在线性表顺序存储的情况下，要插入一个新元素，其效率是很低的，特别是在线性表比较大的情况下更为突出，由于数据元素的移动而消耗较多的处理时间。

（4）顺序表的删除运算

设长度为n的线性表为

$$(a_1,a_2,\cdots,a_i,\cdots,a_n)$$

现要删除第 i 个元素，删除后得到长度为 n-1 的线性表为

$$(a'_1, a'_2, \cdots, a'_j, \cdots, a'_{n-1})$$

则删除前后的两线性表中的元素满足如下关系：

$$a'_j = \begin{cases} a_j & 1 \leqslant j \leqslant i-1 \\ a_{j+1} & i \leqslant j \leqslant n-1 \end{cases}$$

在一般情况下，要删除第 i(1≤i≤n)个元素时，则要从第 i+1 个元素开始，直到第 n 个元素之间共 n–i 个元素依次向前移动一个位置。删除结束后，线性表的长度就减小了 1。

显然，在线性表采用顺序存储结构时，如果删除运算在线性表的末尾进行，即删除第 n 个元素，则不需要移动表中的元素；但如果要删除线性表中的第 1 个元素，则需要移动表中所有的元素。在一般情况下，如果要删除第 i(1≤i≤n)个元素，则原来第 i 个元素之后的所有元素都必须依次往前移动一个位置。在平均情况下，要在线性表中删除一个元素，需要移动表中一半的元素。因此，在线性表顺序存储的情况下，要删除一个元素，其效率也是很低的，特别是在线性表比较大的情况下更为突出，由于数据元素的移动而消耗较多的处理时间。

4．栈和队列

（1）栈及其基本运算

① 栈的基本概念

栈实际上也是线性表，只不过是一种特殊的线性表。在这种特殊的线性表中，其插入与删除运算都只在线性表的一端进行。即在这种线性表的结构中，一端是封闭的，不允许进行插入与删除元素；另一端是开口的，允许插入与删除元素。即栈（stack）是限定在一端进行插入与删除的线性表。

在栈中，允许插入与删除的一端称为栈顶，而不允许插入与删除的另一端称为栈底。栈顶元素总是最后被插入的元素，从而也是最先能被删除的元素；栈底元素总是最先被插入的元素，从而也是最后才能被删除的元素。即栈是按照“先进后出”（First In Last Out，FILO）或“后进先出”（Last In First Out，LIFO）的原则组织数据的，因此，栈也被称为“先进后出”表或“后进先出”表。由此可以看出，栈具有记忆作用。

通常用指针 top 来指示栈顶的位置，用指针 bottom 指向栈底。

往栈中插入一个元素称为入栈运算，从栈中删除一个元素（即删除栈顶元素）称为退栈运算。栈顶指针 top 动态反映了栈中元素的变化情况。

② 栈的顺序存储及其运算

与一般的线性表一样，在程序设计语言中，用一维数组 S(1：m)作为栈的顺序存储空间，其中 m 为栈的最大容量。通常，栈底指针指向栈空间的低地址一端（即数组的起始地址这一端）。

在栈的顺序存储空间 S(1：m)中，S(bottom)通常为栈底元素（在栈非空的情况下），S(top)为栈顶元素。top=0 表示栈空；top=m 表示栈满。

栈的基本运算有 3 种：入栈、退栈与读栈顶元素。

- 入栈运算

入栈运算是指在栈顶位置插入一个新元素。这个运算有两个基本操作：首先将栈顶指针进一（即 top 加 1），然后将新元素插入到栈顶指针指向的位置。

当栈顶指针已经指向存储空间的最后一个位置时，说明栈空间已满，不可能再进行入栈操作。这种情况称为栈“上溢”错误。

- 退栈运算

退栈运算是指取出栈顶元素并赋给一个指定的变量。这个运算有两个基本操作：首先将栈顶元素（栈顶指针指向的元素）赋给一个指定的变量，然后将栈顶指针退一（即 top 减 1）。

当栈顶指针为 0 时，说明栈空，不可能进行退栈操作。这种情况称为栈“下溢”错误。

- 读栈顶元素

读栈顶元素是指将栈顶元素赋给一个指定的变量。必须注意，这个运算不删除栈顶元素，只是将它的值赋给一个变量，因此，在这个运算中，栈顶指针不会改变。

当栈顶指针为 0 时，说明栈空，读不到栈顶元素。

（2）队列及其基本运算

① 队列的基本概念

队列（Equeue）是指允许在一端进行插入而在另一端进行删除的线性表。允许插入的一端称为队尾，通常用一个称为尾指针（rear）的指针指向队尾元素，即尾指针总是指向最后被插入的元素；允许删除的一端称为排头（也称为队头），通常也用一个排头指针（front）指向排头元素的前一个位置。显然，在队列这种数据结构中，最先插入的元素将最先能够被删除，反之，最后插入的元素将最后才能被删除。因此，队

列又称为“先进先出”（First In First Out，FIFO）或“后进后出”（Last In Last Out，LILO）的线性表，它体现了“先来先服务”的原则。在队列中，队尾指针 rear 与排头指针 front 共同反映了队列中元素动态变化的情况。

往队列的队尾插入一个元素称为入队运算，从队列的排头删除一个元素称为退队运算。

② 循环队列及其运算

所谓循环队列，就是将队列存储空间的最后一个位置绕到第一个位置，形成逻辑上的环状空间，供队列循环使用。在循环队列结构中，当存储空间的最后一个位置已被使用而再要进行入队运算时，只要存储空间的第一个位置空闲，便可将元素加入到第一个位置，即将存储空间的第一个位置作为队尾。

在循环队列中，用队尾指针 rear 指向队列中的队尾元素，用排头指针 front 指向排头元素的前一个位置，因此，从排头指针 front 指向的后一个位置直到队尾指针 rear 指向的位置之间所有的元素均为队列中的元素。

循环队列的初始状态为空，即 rear=front=m。

循环队列主要有两种基本运算：入队运算与退队运算。

每进行一次入队运算，队尾指针就进一。当队尾指针 rear=m+1 时，则置 rear=1。

每进行一次退队运算，排头指针就进一。当排头指针 front=m+1 时，则置 front=1。

在实际使用循环队列时，为了能区分队列满还是队列空，通常还需增加一个标志 s，s 值的定义如下：

$$s=\begin{cases}0 & \text{表示队列空}\\ 1 & \text{表示队列非空}\end{cases}$$

由此可以得出队列空与队列满的条件如下。

队列空的条件为 s=0；

队列满的条件为 (s=1)且(front=rear)。

循环队列入队与退队的算法如下。

假设循环队列的初始状态为空，即 s=0，且 front=rear=m。

- 入队运算

入队运算是指在循环队列的队尾加入一个新元素。这个运算有两个基本操作：首先将队尾指针进一（即 rear=rear+1），并当 rear=m+1 时置 rear=1；然后将新元素插入到队尾指针指向的位置。

当循环队列非空（s=1）且队尾指针等于排头指针时，说明循环队列已满，不能进行入队运算。这种情况称为“上溢”。

- 退队运算

退队运算是指在循环队列的排头位置退出一个元素并赋给指定的变量。这个运算有两个基本操作：首先将排头指针进一（即 front=front+1），并当 front=m+1 时置 front=1；然后将排头指针指向的元素赋给指定的变量。

当循环队列为空（s=0）时，不能进行退队运算。这种情况称为“下溢”。

5. 线性链表

（1）线性链表的基本概念

线性表的链式存储结构称为线性链表。

为了适应线性表的链式存储结构，计算机存储空间被划分为一个一个小块，每一小块占若干字节，通常称这些小块为存储结点。

为了存储线性表中的每一个元素，一方面要存储数据元素的值，另一方面要存储各数据元素之间的前后件关系。为此目的，将存储空间中的每一个存储结点分为两部分：一部分用于存储数据元素的值，称为数据域；另一部分用于存放下一个数据元素的存储序号（即存储结点的地址），即指向后件结点，称为指针域。

一般来说，在线性表的链式存储结构中，各数据结点的存储序号是不连续的，并且各结点在存储空间中的位置关系与逻辑关系也不一致。在线性链表中，各数据元素之间的前后件关系是由各结点的指针域来指示的。指向线性表中第一个结点的指针 HEAD 称为头指针，当 HEAD=NULL（或 0）时称为空表。

- 带链的栈

栈也是线性表，也可以采用链式存储结构。

- 带链的队列

与栈类似，队列也是线性表，也可以采用链式存储结构。

（2）线性链表及其基本运算

① 在线性链表中查找指定元素

在非空线性链表中寻找包含指定元素值 x 的前一个结点 p 的基本方法如下。

从头指针指向的结点开始往后沿指针进行扫描，直到后面已没有结点或下一个结点的数据域为 x 为止。因此，由这种方法找到的结点 p 有两种可能：当线性链表中存在包含元素 x 的结点时，则找到的 p 为第一次遇到的包含元素 x 的前一个结点序号；当线性

链表中不存在包含元素 x 的结点时，则找到的 p 为线性链表中的最后一个结点号。

② 线性链表的插入

线性链表的插入是指在链式存储结构下的线性表中插入一个新元素。

为了要在线性链表中插入一个新元素，首先要给该元素分配一个新结点，以便用于存储该元素的值。新结点可以从可利用栈中取得。然后将存放新元素值的结点链接到线性链表中指定的位置。

③ 线性链表的删除

线性链表的删除是指在链式存储结构下的线性表中删除包含指定元素的结点。

为了在线性链表中删除包含指定元素的结点，首先要在线性链表中找到这个结点，然后将要删除的结点放回到可利用栈。

（3）循环链表及其基本运算

循环链表的结构与一般的单链表相比，具有以下两个特点。

① 在循环链表中增加了一个表头结点，其数据域为任意或者根据需要来设置，指针域指向线性表的第一个元素的结点。循环链表的头指针指向表头结点。

② 循环链表中最后一个结点的指针域不是空，而是指向表头结点。即在循环链表中，所有结点的指针构成了一个环状链。

在实际应用中，循环链表主要有以下两个方面的优点。

① 在循环链表中，只要指出表中任何一个结点的位置，就可以从它出发访问到表中其他所有的结点。而线性单链表做不到这一点。

② 由于在循环链表中设置了一个表头结点，因此，在任何情况下，循环链表中至少有一个结点存在，从而使空表与非空表的运算统一。

循环链表插入与删除的方法与线性单链表基本相同。但由循环链表的特点可以看出，在对循环链表进行插入与删除的过程中，实现了空表与非空表的运算统一。

6. 树与二叉树

（1）树的基本概念

树（Tree）是一种简单的非线性结构。在树这种数据结构中，所有数据元素之间的关系具有明显的层次特性。

在用图形表示树这种数据结构时，很像自然界中的树，只不过是一棵倒长的树，因此，这种数据结构就用“树”来命名。

在树结构中，每一个结点只有一个前件，称为父结点。在树中，没有前件的结点只有一个，称为树的根结点，简称为树的根。

在树结构中，每一个结点可以有多个后件，它们都称为该结点的子结点。没有后件的结点称为叶子结点。

在树结构中，一个结点所拥有的后件个数称为该结点的度。在树中，所有结点中的最大度称为树的度。

在树结构中，一般按如下原则分层。

① 根结点在第 1 层。

② 同一层上所有结点的所有子结点在下一层。

③ 树的最大层次称为树的深度。

④ 在树中，以某结点的一个子结点为根构成的树称为该结点的一棵子树。

⑤ 在树中，叶子结点没有子树。

（2）二叉树及其基本性质

① 二叉树的基本概念

二叉树具有以下两个特点。

- 非空二叉树只有一个根结点；
- 每一个结点最多有两棵子树，且分别称为该结点的左子树与右子树。

由以上特点可以看出，在二叉树中，每一个结点的度最大为 2，即所有子树（左子树或右子树）也均为二叉树。而树结构中的每一个结点的度可以是任意的。另外，二叉树中的每一个结点的子树被明显地分为左子树与右子树。在二叉树中，一个结点可以只有左子树而没有右子树，也可以只有右子树而没有左子树。当一个结点既没有左子树也没有右子树时，该结点即是叶子结点。

② 二叉树的基本性质

二叉树具有以下几个性质。

性质 1　在二叉树的第 k 层上，最多有 $2^{k-1}(k\geq 1)$ 个结点。

性质 2　深度为 m 的二叉树最多有 2^m-1 个结点。

性质 3　在任意一棵二叉树中，度为 0 的结点（即叶子结点）总是比度为 2 的结点多一个。

性质 4　具有 n 个结点的二叉树，其深度至少为 $[\log_2 n]+1$，其中 $[\log_2 n]$ 表示取 $\log_2 n$ 的整数部分。

③ 满二叉树与完全二叉树

满二叉树与完全二叉树是两种特殊形态的二叉树。

- 满二叉树

除最后一层外，每一层上的所有结点都有两个子结点。这就是说，在满二叉树中，每一层上的结点数都达到最大值，即在满二叉树的第 k 层上有 2^{k-1} 个结点，且深度为 m 的满二叉树有 2^m-1 个结点。

- 完全二叉树

除最后一层外，每一层上的结点数均达到最大值；在最后一层上只缺少右边的若干结点。

更确切地说，如果从根结点起，对二叉树的结点自上而下、自左至右用自然数进行连续编号，则深度为 m、且有 n 个结点的二叉树，当且仅当其每一个结点都与深度为 m 的满二叉树中编号从 1 到 n 的结点一一对应时，称之为完全二叉树。

对于完全二叉树来说，叶子结点只可能在层次最大的两层上出现；对于任何一个结点，若其右分支下的子孙结点的最大层次为 p，则其左分支下的子孙结点的最大层次或为 p，或为 p+1。

由满二叉树与完全二叉树的特点可以看出，满二叉树也是完全二叉树，而完全二叉树一般不是满二叉树。

完全二叉树还具有以下两个性质。

性质 5　具有 n 个结点的完全二叉树的深度为 $[\log_2 n]+1$。

性质 6　设完全二叉树共有 n 个结点，如果从根结点开始，按层序（每一层从左到右）用自然数 1，2，…，n 给结点进行编号，则对于编号为 k(k=1，2，…，n)的结点有以下结论。

若 k=1，则该结点为根结点，它没有父结点；若 k>1，则该结点的父结点编号为 INT(k/2)。

若 2k≤n，则编号为 k 的结点的左子结点编号为 2k；否则该结点无左子结点（显然也没有右子结点）。

若 2k+1≤n，则编号为 k 的结点的右子结点编号为 2k+1；否则该结点无右子结点。

根据完全二叉树的这个性质，如果按从上到下、从左到右的顺序存储完全二叉树的各结点，则很容易确定每一个结点的父结点、左子结点和右子结点的位置。

（3）二叉树的存储结构

在计算机中，二叉树通常采用链式存储结构。

与线性链表类似，用于存储二叉树中各元素的存储结点也由两部分组成：数据域与指针域。但在二叉树中，由于每一个元素可以有两个后件（即两个子结点），因此，用于存储二叉树的存储结点的指针域有两个：一个用于指向该结点的左子结点的存储地址，称为左指针域；另一个用于指向该结点的右子结点的存储地址，称为右指针域。

由于二叉树的存储结构中每一个存储结点有两个指针域，因此，二叉树的链式存储结构也称为二叉链表。

对于满二叉树与完全二叉树来说，根据完全二叉树的性质 6，可以按层序进行顺序存储，这样，不仅节省了存储空间，又能方便地确定每一个结点的父结点与左右子结点的位置。但顺序存储结构对于一般的二叉树不适用。

（4）二叉树的遍历

二叉树的遍历是指不重复地访问二叉树中的所有结点。

① 前序遍历（DLR）

前序遍历是指在访问根结点、遍历左子树与遍历右子树这三者中，首先访问根结点，然后遍历左子树，最后遍历右子树；并且，在遍历左、右子树时，仍然先访问根结点，然后遍历左子树，最后遍历右子树。因此，前序遍历二叉树的过程是一个递归的过程。

② 中序遍历（LDR）

中序遍历是指在访问根结点、遍历左子树与遍历右子树这三者中，首先遍历左子树，然后访问根结点，最后遍历右子树；并且，在遍历左、右子树时，仍然先遍历左子树，然后访问根结点，最后遍历右子树。因此，中序遍历二叉树的过程也是一个递归的过程。

③ 后序遍历（LRD）

后序遍历是指在访问根结点、遍历左子树与遍历右子树这三者中，首先遍历左子树，然后遍历右子树，最后访问根结点，并且，在遍历左、右子树时，仍然先遍历左子树，然后遍历右子树，最后访问根结点。因此，后序遍历二叉树的过程也是一个递归的过程。

7．查找技术

（1）顺序查找

顺序查找又称顺序搜索。顺序查找一般是指在线性表中查找指定的元素，其基本方法如下。

从线性表的第一个元素开始，依次将线性表中的元素与被查找元素进行比较，若相等则表示找到（即查找成功）；若线性表中所有的元素都与被查找元素进行了比较但都不相等，则表示线性表中没有要找的元素（即查找失败）。

在进行顺序查找过程中，如果线性表中的第一个