

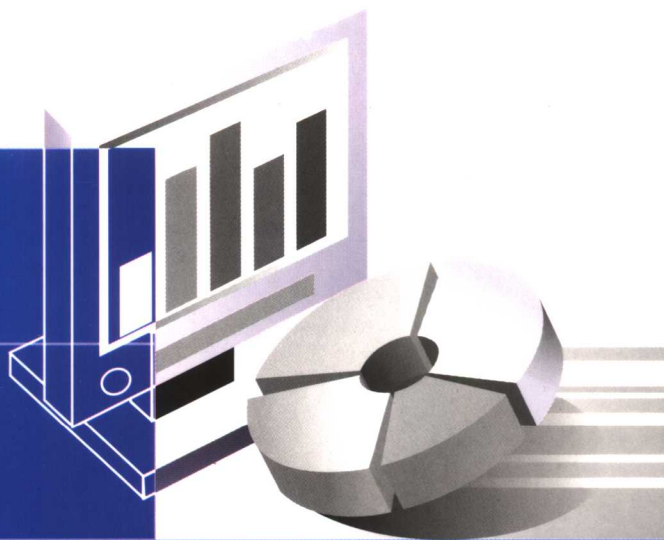


21st CENTURY

十一五规划教材

21世纪全国应用型本科

计算机系列 实用规划教材



数据结构(C++版)

主 编 秦 锋

副主编 陈桂芬 张 力

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材

数据结构(C++版)

主 编	秦 锋	
副主编	陈桂芬	张 力
参 编	杨学兵	章曙光
	汪 军	陈学进
	袁志祥	林 芳
	司秀丽	

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书在简要回顾基本的 C++ 程序设计概念的基础上, 全面系统地介绍了队列、堆栈、树、图等基本数据结构。数据结构历来都是计算机专业最为核心的一门课程, 随着面向对象技术的发展, 传统的数据结构课程面临着融入新内容, 提升到面向对象数据结构、算法及软件工程的高度的重大挑战。本书将 C++ 语言作为数据结构的算法描述性语言。一方面为传统的数据结构内容进行了 C++ 语言实现, 另一方面将数据结构与面向对象技术结合起来, 围绕抽象数据类型的概念来讨论每一种数据结构及算法。书中大量 C++ 语言的程序实例, 既是数据结构的具体实现, 又是面向对象技术的算法基础。本书理论与实践并重, 每章都有大量的习题, 强调数据结构的应用价值。

本书可作为计算机类及信息相关专业的核心教材, 也可供广大研究开发人员自学参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

数据结构(C++版)/秦锋主编. —北京: 中国林业出版社; 北京大学出版社, 2006.9

(21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4431-0

I. 数… II. 秦… III. ①数据结构—高等学校—教材 ②C 语言—程序设计—高等学校—教材
IV. ①TP311.12 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090039 号

书 名: 数据结构 (C++ 版)

著作责任者: 秦 锋 主编

策 划 编 辑: 周 欢

责 任 编 辑: 李彦红 曹 岚 张 敏 裴振华

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4431-0

出 版 者: 中国林业出版社(地址: 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 总编室 66180373 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址: 北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 418 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》

专家编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主 任 刘瑞挺

副主任 胡昌振 段禅伦

崔广才 谢红薇

委 员 叶俊民 杨 璐 陈天煌 陈仲民

范冰冰 胡 明 秦 锋 龚声蓉

《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》

分系列专家编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

计算机应用技术——

主 任	胡昌振				
副主任	杨 璐	龚声蓉			
委 员	马秀峰	云 敏	李 明	杨长生	肖淑芬
	周松林	赵忠孝	钟 声	高 巍	

软件开发与软件工程——

主 任	谢红薇				
副主任	叶俊民	陈天煌			
委 员	王建国	吕海莲	孙 辉	何朝阳	张世明
	李福亮	陈佛敏	贺 华	赵绪辉	徐 辉
	徐庆生				

硬件与网络技术——

主 任	崔广才				
副主任	范冰冰	胡 明			
委 员	冯嘉礼	龙冬云	曲朝阳	汤 惟	张有谊
	程小辉	董春游			

专业基础课——

主 任	段禅伦				
副主任	陈仲民	秦 锋			
委 员	仇 汶	王 虹	王昆仑	田敬军	刘克成
	朴春慧	吴晓光	苏守宝	陈付贵	咎风彪
	谭水木	魏仕民			

信息技术的应用化教育

(代序)

刘瑞挺*

北京大学出版社与中国林业出版社共同组织编辑出版的这套《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》，是一套既注重理论体系，更关注能力培养的，以“应用型、就业型”人才培养为目标的系列教材，教学内容安排合理，重视实例分析，针对性很强。

为了编辑出版好这套系列教材，2004 年 10 月，编辑们制订了详细的编写目的、系列教材的特色、内容要求和风格规范，分别深入各地高校，了解教学第一线的情况，物色合适的作者。2005 年 4 月 16 日，在北京大学召开了《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》研讨会。来自全国 73 所院校的 102 位教师汇聚一堂，共同商讨应用型本科计算机系列教材建设的思路，并对规划选题进行了分工。2005 年 7 月 21 日，在青岛又召开了《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》审纲会。编审委员会成员和 46 个选题的主编、参编，共 100 多位教师参加了会议。审纲会分专业基础课、软件开发与软件工程、硬件与网络技术、计算机应用技术 4 个小组对大纲及部分稿件进行了审定，力争使这套规划教材成为切合当前教学需要的高质量精品教材。

要编辑出版好这套教材，就要转变一些重要的观念：

首先，需要转变的观念就是大学及其培养人才的定位。大学并不都是“研究型”的，每个大学生不一定都当科学家。事实上，大多数学校应该是“应用型”的，大学生毕业后将直接进入社会基层、生产一线、服务前沿，成为各行各业的实践者和带头人。

其次，应该转变的观念就是教材建设的思路。许多人偏爱于“研究型”的教材，即使写“应用型”教材，也多半是对前者进行删繁就简、避虚就实，这样还不能产生真正“应用型”的教材。因此，以“学科”为中心、追求雄厚“理论基础”的传统应该被以“应用”为导向、追求熟练“实践技能”的思路所取代。

第三，必须转变对计算机技术的认识。20 年前，有人把计算机技术理解为 BASIC 编程；10 年前，有人把 Windows 95 和 Word 称为计算机文化；今天，中小学陆续开出《信息技术》课，有人对此怀疑观望，其实它意义深远。以计算机为核心的信息技术，今后 20 年的发展主题将是在各个领域的应用普及。大学计算机应用型本科的教材建设应该面向信息技术的深入应用，而不是相反，因为信息时代已经不是遥远的未来。

以计算机为核心的信息技术，从一开始就与应用紧密结合。例如，ENIAC 用于弹道计算，ARPANET 用于资源共享以及核战争时的可靠通信。即使是非常抽象的图灵机模型，也与第二次世界大战时图灵博士破译纳粹密码的工作相关。

今天的信息技术有三个重要的特点：

第一，信息技术是计算机与通信技术融合的辉煌成果。长期以来，计算机技术和通信

* 刘瑞挺教授 曾任中国计算机学会教育培训委员会副主任、教育部理科计算机教学指导委员会委员、全国计算机等级考试委员会委员。目前担任的社会职务有：全国高等院校计算机基础教育研究会副会长、全国计算机应用技术证书考试委员会副主任、北京市计算机教育培训中心副理事长。

技术并行不悖地独立发展。20 世纪后半叶,两者相互渗透,产生了程控电话、数据通信、网络技术、高清晰电视,世界各国构建了全球的、宽带的、网站密布的信息高速公路,出现了无处不在的手机通信和移动办公系统、随身听、数码摄录像机、家庭影院、智能控制系统,还有越来越多的嵌入式系统。人们的工作方式和生活方式都发生了质的飞跃。

第二,信息技术与各行各业紧密结合。我国的职业门类有:农林牧渔、交通运输、生化与制药、地矿与测绘、材料与能源、土建、水利、制造、电气信息、环保与安全、轻纺与食品、财经、医药卫生、旅游、公共事业、文化教育、艺术设计传媒、公安、法律,这些门类都需要信息技术。

第三,在发展初期,以计算机为核心的信息技术是一项专门技术,只有专家才需要它、才能掌握它,在专家与平民之间有很深的“信息鸿沟”。今天,信息技术已经不再是只有专家才需要、才能掌握的专门技能,而是普通人都需要、也都能掌握的基本信息技能。但是,“信息鸿沟”也迁移到普通人中间。具有信息优势的学生能良性循环,强者更强。

有了这样广阔的应用信息背景,再造计算机应用型本科的课程体系就有了基础。

关于应用型计算机人才的能力结构,我们不用“宫殿”模型,而用“雄鹰”模型。前者是建筑学模型,适合描述学科;后者是生物学模型,适合描述人才。“雄鹰”模型包括主体、两翼、头部、尾部等,它有可能成长性。

首先,数据是信息技术的主体,数据技术是基本功。通常,数据包括文字、公式、表格、图形、图像、动画、声音、视频等。因此,你不仅要会录入文章、绘制图表,还应该会采集音乐、编辑视频。大家面对的是多媒体数据,应该能收集它、整理它,数据经过整理就成为有用的信息。

其次,信息技术的两翼是数据库技术和网络技术。为了管理好、使用好数据,就必然用到数据库技术,数据库技术是一切信息管理的基石。为了分享数据和信息,就需要网络技术。有了上述数据主体技术和两个“翅膀”,你应该可以起飞了。

但是能飞多高,能飞多远,还应该编程技术、智能技术、安全技术的支持。这相当于头尾各部分的作用。编程将使大家的信息技能游刃有余,人工智能使你飞得更远,安全技术能使你飞得更稳。

有人可能会责难我们,难道大学本科生还需要学习办公软件的技能吗?他们认为这是让人“笑掉大牙”的事。其实,办公软件是最重要的提高生产效率的应用软件,很容易使用,但各人使用效率的高低则十分悬殊。我们设想,今后大学生在入学前先学会计算机的基本操作,我们再开一门高级办公技术的课,通过严格的行业及个人行为规范,对学生进行应用化训练,养成正确的职业习惯,将来工作时能提高效率、改善质量、降低成本。这绝不是贻笑大方的事。

应用型本科教材的规划是一个长期的战略任务,不是短期的战术行为。因此,目前的规划教材不可能一步到位,还会保留一些传统的基础课。例如,数字电路与逻辑设计、微机原理及接口技术、单片机原理及应用等。即使是纯硬件专业的学生,如何学这些传统硬件课都值得商榷,更何况公共基础课。

我们将分门别类逐步建设好应用型本科的重点课程和教材:

(1) 基础类教材:信息技术导论,计算机应用基础,高级办公技术,数据与操作,密码与安全,实用数据结构,实用离散数学,……

- (2) 数据库类教材：数据库原理与应用，信息系统集成，数据采掘与知识发现，……
- (3) 网络类教材：计算机网络，因特网技术，网络管理与安全，网站与网页设计，……
- (4) 编程类教材：面向对象程序设计，C++程序设计，Java 程序设计，……
- (5) 提高类教材：软件工程原理及应用，人工智能原理及应用，……

新教材要体现教育观念的转变，系统地研究普通高校教学改革的需求，优先开发其中教学急需、改革方案明确、适用范围较广的教材。注重规划教材的科学性、实用性、易学性，尽量满足同类专业院校的需求。教材内容应处理好传统与现代的关系，补充新知识、新技术、新工艺、新成果。

我相信北京大学出版社和中国林业出版社在全国各地高校教师的积极支持下，精心设计，严格把关，一定能够出版一批符合应用型人才培养目标的、适应计算机应用型人才培养模式的系列精品教材，而且能出版一体化设计、多种媒体有机结合的立体化教材，为各门课程配套电子教案、学习指导、习题解答、课程设计等辅导资料。让我们共同努力吧！

本系列教材出版说明

我国高等教育正迎来一个前所未有的发展机遇期。高等教育的发展已进入到一个新的阶段。高等本科院校也逐渐演变成“研究型、学术型”和“应用型、就业型”两类。

作为知识传承载体的教材，在高等院校的发展过程中起着至关重要的作用，但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐，许多院校一直沿用偏重于研究型的教材，应用型教材比较缺乏，这势必影响应用型人才的培养。

为顺应高等教育普及化迅速发展的趋势，配合高等院校的教学改革和教材建设，坚持“因材施教”的教学原则，注重理论联系实际，全面促进高等院校教材建设，进一步提高我国高校教材的质量，北京大学出版社和中国林业出版社大力推出高校“应用型本科”有关专业教材。本系列教材不仅讲解基础理论技术，更突出工程实际应用，注重技术与应用的结合。

本套计算机系列教材编写的主要指导思想：

(1) 要符合学校、学科的计算机课程设置要求。以高等教育的培养目标为依据，注重教材的科学性、实用性、通用性，尽量满足同类专业院校的需求。

(2) 要定位明确。准确定位教材在人才培养过程中的地位和作用，正确处理系列教材与系列课程、读者层次的关系，面向就业，突出应用。

(3) 合理选材和编排。教材内容应处理好传统内容与现代内容的关系，大力补充新知识、新技术、新工艺、新成果。根据教学内容、学时、教学大纲的要求，制定模块化编写体例，突出重点、难点。

(4) 体现建设“立体化”精品教材体系的宗旨。提倡为主干课程配套电子教案、学习指导、习题解答、课程设计、毕业设计等教学配套用书。

与此同时，我们为教学提供以下服务：

(1) **提供教学资源下载。**本系列大部分教材中涉及到的实例(习题)的原始图片和其他素材或者是源代码、原始数据等文件，都可以在相关网站上下载。每本教材都配有 PPT 电子教案，老师可随时在网络上下载并可修改为适合自己教学的 PPT(<http://www.pup6.com>)。

(2) **提供多媒体课件和教师培训。**针对某些重点课程，我们配套有相应的多媒体课件，对大批量使用本套教材的学校，我们会免费提供多媒体课件。另外，我们还将免费提供教师培训名额，不定期组织老师进行培训。

(3) **欢迎互动。**欢迎使用本系列教材的老师和同学提出意见和建议，有建设性的，我们将给予奖励；同时愿意为有意向出版教材或专著的老师提供服务。

北京大学出版社第六事业部

中国林业出版社教材建设与出版管理中心

前 言

写出高质量的程序是每个软件开发所追求的目标。要达到这个目标仅靠学习几门高级语言是远远不够的,正如一个人仅靠认识几个汉字是决不可以写出好文章一样。数据结构这门课程正是开启程序设计知识宝库的金钥匙,其主要目的是培养学生将现实世界抽象为数据和数据模型的能力以及利用计算机进行数据存储和数据加工的能力。瑞士计算机科学家沃斯(N.Wirth)教授曾以“算法+数据结构=程序”作为他的一本著作的名称,可见,程序设计的实质就是对实际问题选择一种好的数据结构,并设计一个好的算法。数据结构的研究不仅涉及计算机硬件(特别是编码理论、存储装置和存取方法等)的研究范围,而且与计算机软件的研究有着密切的关系,无论是编译程序还是操作系统,都涉及如何组织数据,使检索和存取数据更为方便。因此,可以认为,数据结构是介于数学、计算机硬件和软件三者之间的一门核心课程。目前,数据结构是我国高校计算机专业的核心课程之一,也是其他信息类专业如信息管理、通信工程、信息与计算科学等必修课程之一。正因为它在计算机培育计划中的重要地位,大多数高校计算机专业研究生入学考试都将数据结构作为必考课程之一。

数据结构在计算机科学的各领域中应用十分广泛,如编译系统中要使用栈、语法树等;操作系统中要使用队列、存储管理表、目录树等;数据库系统中要使用线性表、链表、索引树等;人工智能中要使用广义表、检索树、图等;同样在面向对象的程序设计、计算机图形学、多媒体技术、软件工程等领域,都会用到各种不同的数据结构。因此,学好数据结构,可以使你掌握更多的程序设计技巧,并能评价出算法的优劣,为以后学习计算机专业课程及走上工作岗位从事计算机大型软件开发打下良好的基础。

本书内容共 10 章,第 1 章介绍了数据结构与算法等一些基本概念,并对算法描述及算法分析作了简单说明,介绍了衡量算法优劣的主要因素:时间复杂度和空间复杂度的求法;第 2 章简单介绍了 C++ 基本知识,让熟悉 C 语言但对 C++ 比较陌生的读者能迅速掌握 C++ 的基本要点,为后续章节的学习打下基础。第 3 章到第 5 章,介绍了线性表、栈、队列、串等的线性结构的逻辑特性、存储结构,以及常用的操作算法的实现和基本应用;第 6 章到第 8 章,介绍了多维数据、广义表、树、二叉树、图等非线性结构的逻辑特征,在计算机中的存储表示及一些常用算法实现及基本应用;第 9 章到第 10 章,介绍了在计算机中使用非常广泛的两种运算:排序和查找,对一些常用的查找、排序算法进行了详细描述,并给出了实现的算法及效率分析。

本书的特点是采用面向对象程序设计语言即 C++ 语言作为算法的描述语言,所有算法都已经在 VC++6.0 环境下上机调试通过。但是,由于篇幅所限,大部分算法都是以单独的函数形式给出,若读者要运行这些算法,还必须给出一些变量的说明及主函数来调用所给的函数。为方便读者对算法的理解和验证,书中尽量避免采用复杂的 C++ 机制,如函数模板、类模板、虚基类、多重继承等,只采用易懂的类定义、数据封装和对象指针及简单的继承等基本机制,让读者更多地关注算法本身的设计思想。

数据结构是一门实践性很强的课程,读者在进行理论学习的同时,需要动手编写大量

的程序并上机调试,以加深对所学知识的理解,也只有这样才能提高自己的编程能力。书中配有丰富的各种类型的习题,对每章的算法设计题,希望读者思考并有选择地上机验证。

为方便教学,本书免费为授课教师提供电子教案和习题解答。

本书可作为高等院校计算机类或信息类相关专业数据结构课程教材,建议理论课时为 50 至 70 学时,上机及课程设计等实践课时为 20 至 30 学时。各院校可根据本校的专业特点和学生的实际情况,适当增删。

本书由秦锋任主编,负责全书的修改和整理,以确保各章节内容的完整和风格的统一。由陈桂芬、张力任副主编,杨学兵、章曙光、汪军、陈学进、袁志祥、林芳、司秀丽参编。

因编者水平有限,书中难免有不足甚至错误之处,敬请广大读者批评指正!

建议或者意见请来函到: fqin@ahut.edu.cn。

编 者

2006 年 6 月

《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》

联合编写学校名单 (按拼音顺序排名)

- | | |
|------------|--------------|
| 1 安徽财经大学 | 23 合肥学院 |
| 2 安徽工程科技学院 | 24 河南科技学院 |
| 3 安徽工业大学 | 25 黑龙江八一农垦大学 |
| 4 安徽建筑工程学院 | 26 黑龙江科技学院 |
| 5 安阳师范学院 | 27 湖北经济学院 |
| 6 北华大学 | 28 湖南大学 |
| 7 北京化工大学 | 29 湖州师范学院 |
| 8 北京建筑工程学院 | 30 华北科技学院 |
| 9 北京理工大学 | 31 华北水利水电学院 |
| 10 渤海大学 | 32 华南师范大学 |
| 11 长春大学 | 33 华中农业大学 |
| 12 长春工业大学 | 34 华中师范大学 |
| 13 长春理工大学 | 35 淮北煤炭师范学院 |
| 14 滁州学院 | 36 黄石理工学院 |
| 15 福建工程学院 | 37 吉林农业大学 |
| 16 福建师范大学 | 38 集美大学 |
| 17 广西财经学院 | 39 江汉大学 |
| 18 桂林工学院 | 40 江苏科技大学 |
| 19 哈尔滨理工大学 | 41 南昌工程学院 |
| 20 韩山师范学院 | 42 南京航空航天大学 |
| 21 河北经贸大学 | 43 南京师范大学 |
| 22 合肥工业大学 | 44 南京审计学院 |

- | | |
|-------------|---------------|
| 45 南阳理工学院 | 65 太原理工大学 |
| 46 内蒙古大学 | 66 太原师范学院 |
| 47 宁波工程学院 | 67 唐山师范学院 |
| 48 平顶山学院 | 68 同济大学 |
| 49 青岛理工大学 | 69 皖西学院 |
| 50 青岛科技大学 | 70 温州大学 |
| 51 青海民族学院 | 71 武汉大学 |
| 52 曲阜师范大学 | 72 武汉科技学院 |
| 53 山东理工大学 | 73 武汉理工大学 |
| 54 山西大学 | 74 武夷学院 |
| 55 山西运城学院 | 75 咸宁学院 |
| 56 山西医科大学 | 76 孝感学院 |
| 57 陕西理工学院 | 77 新疆石油学院 |
| 58 上海第二工业大学 | 78 忻州师范学院 |
| 59 上海海事大学 | 79 许昌学院 |
| 60 沈阳大学 | 80 玉溪师范学院 |
| 61 沈阳化工学院 | 81 浙江工业大学之江学院 |
| 62 石家庄铁道学院 | 82 中国农业大学 |
| 63 苏州大学 | 83 中国石油大学 |
| 64 台州学院 | |

目 录

第1章 绪论.....	1	第3章 线性表.....	42
1.1 数据结构的概念.....	1	3.1 线性表的定义及其运算.....	42
1.1.1 什么是数据结构.....	1	3.1.1 线性表的定义.....	42
1.1.2 学习数据结构的意义.....	3	3.1.2 线性表的运算.....	43
1.2 基本概念和术语.....	4	3.1.3 线性表的抽象数据类型 描述.....	44
1.2.1 数据与数据元素.....	4	3.2 线性表的顺序存储结构.....	44
1.2.2 数据的逻辑结构.....	4	3.2.1 顺序表结构.....	44
1.2.3 数据的存储结构.....	5	3.2.2 顺序表运算.....	45
1.2.4 数据运算.....	6	3.2.3 顺序表存储空间动态分配... ..	49
1.2.5 数据类型.....	6	3.3 线性表的链式存储结构.....	50
1.2.6 抽象数据类型.....	6	3.3.1 单链表结构.....	50
1.3 算法和算法分析.....	7	3.3.2 单链表运算.....	52
1.3.1 算法定义及描述.....	7	3.3.3 循环链表结构.....	59
1.3.2 算法评价.....	8	3.3.4 双向链表结构.....	60
1.3.3 算法性能分析与度量.....	10	3.4 顺序表与链式表的比较.....	62
本章小结.....	16	3.5 算法应用举例.....	62
习题.....	16	本章小结.....	66
第2章 C++程序设计基础知识.....	19	习题.....	67
2.1 C++的基本操作.....	19	第4章 栈和队列.....	70
2.1.1 C++的基本输入与输出.....	19	4.1 栈.....	70
2.1.2 函数及其参数传递.....	22	4.1.1 栈的抽象数据类型.....	70
2.2 类与对象.....	28	4.1.2 顺序栈.....	71
2.2.1 类定义.....	28	4.1.3 链栈.....	73
2.2.2 对象定义与声明.....	29	4.1.4 栈的应用.....	75
2.2.3 类与对象的使用.....	29	4.2 队列.....	83
2.2.4 对象数组.....	30	4.2.1 队列的抽象数据类型.....	83
2.2.5 动态存储分配.....	31	4.2.2 顺序队列.....	83
2.2.6 构造函数与析构函数.....	32	4.2.3 链队列.....	86
2.2.7 继承和派生.....	34	4.2.4 队列的应用.....	89
2.2.8 虚函数.....	37	4.3 递归.....	90
本章小结.....	39	4.3.1 递归算法书写要点及方法.....	91
习题.....	40		

4.3.2 递归过程的调用和返回.....	91	6.3.2 广义表的存储.....	128
4.3.3 递归的应用.....	92	6.3.3 广义表基本操作的实现.....	129
4.3.4 递归函数的非递归化.....	93	本章小结.....	130
本章小结.....	94	习题.....	130
习题.....	94	第7章 树和二叉树	134
第5章 串	97	7.1 树的基本概念.....	134
5.1 C++语言的字符和字符串.....	97	7.1.1 树的定义及其表示.....	134
5.1.1 C++语言的字符和字符串.....	97	7.1.2 基本术语.....	136
5.1.2 一个简单的C++函数.....	98	7.2 二叉树.....	137
5.2 串及其基本运算.....	98	7.2.1 二叉树的定义.....	137
5.2.1 串的基本概念.....	98	7.2.2 二叉树的性质.....	137
5.2.2 串的基本运算.....	99	7.2.3 二叉树的存储结构.....	139
5.3 串的顺序存储及基本运算.....	100	7.2.4 二叉树抽象数据类型.....	141
5.3.1 串的定长顺序存储.....	100	7.3 遍历二叉树.....	142
5.3.2 串的定义.....	101	7.3.1 先序遍历.....	143
5.3.3 定长顺序串的基本运算.....	104	7.3.2 中序遍历.....	144
5.3.4 模式匹配.....	105	7.3.3 后序遍历.....	145
5.4 串的堆存储结构.....	110	7.3.4 按层次遍历二叉树.....	146
5.4.1 串名的存储映像.....	110	7.3.5 遍历算法的应用举例.....	147
5.4.2 堆存储结构.....	111	7.4 线索二叉树.....	149
5.4.3 基于堆结构的基本运算.....	111	7.4.1 线索的概念.....	149
5.5 串的链式存储结构.....	113	7.4.2 线索的描述.....	151
5.6 串操作应用.....	114	7.4.3 线索的算法实现.....	151
5.6.1 文本编辑.....	114	7.4.4 线索二叉树上的运算.....	153
5.6.2 中心对称串问题.....	116	7.5 树与森林.....	155
本章小结.....	117	7.5.1 树的存储结构.....	155
习题.....	117	7.5.2 树、森林和二叉树的转换.....	157
第6章 数组和广义表	120	7.5.3 树和森林的遍历.....	160
6.1 数组.....	120	7.6 哈夫曼树.....	161
6.1.1 数组的定义.....	120	7.6.1 基本术语.....	162
6.1.2 数组的内存映像.....	121	7.6.2 哈夫曼树的建立.....	163
6.2 特殊矩阵的压缩存储.....	121	7.6.3 哈夫曼树的应用.....	168
6.2.1 对称矩阵.....	122	本章小结.....	169
6.2.2 三角矩阵.....	122	习题.....	169
6.2.3 稀疏矩阵.....	122	第8章 图	173
6.3 广义表.....	127	8.1 图的基本概念.....	173
6.3.1 广义表的定义.....	127	8.1.1 图的定义.....	173

8.1.2 图的基本术语.....	173	9.4.1 常用的哈希方法.....	244
8.2 图的存储结构.....	175	9.4.2 处理冲突的方法.....	245
8.2.1 邻接矩阵.....	175	9.4.3 哈希表的操作.....	248
8.2.2 邻接表.....	184	本章小结.....	249
8.2.3 邻接多重表.....	194	习题.....	249
8.3 图的遍历.....	195	第 10 章 排序	254
8.3.1 深度优先遍历.....	196	10.1 基本概念.....	254
8.3.2 广度优先遍历.....	198	10.2 插入排序.....	255
8.4 生成树和最小生成树.....	200	10.2.1 直接插入排序.....	255
8.4.1 连通图的生成树.....	200	10.2.2 二分插入排序.....	257
8.4.2 最小生成树.....	201	10.2.3 希尔排序.....	257
8.5 最短路径.....	205	10.3 交换排序.....	259
8.5.1 单源最短路径.....	205	10.3.1 冒泡排序.....	259
8.5.2 所有顶点对之间的 最短路径.....	208	10.3.2 快速排序.....	260
8.6 有向无环图及其应用.....	210	10.4 选择排序.....	262
8.6.1 拓扑排序.....	211	10.4.1 直接选择排序.....	262
8.6.2 关键路径.....	214	10.4.2 树形选择排序.....	263
本章小结.....	218	10.4.3 堆排序.....	264
习题.....	218	10.5 归并排序.....	267
第 9 章 查找	222	10.6 分配排序.....	269
9.1 基本概念.....	222	10.6.1 多关键码排序.....	269
9.2 静态查找表.....	222	10.6.2 链式基数排序.....	270
9.2.1 顺序查找.....	222	10.7 各种内排序方法的比较和选择.....	273
9.2.2 有序表的查找.....	224	10.7.1 各种内排序方法的比较.....	273
9.2.3 分块查找.....	225	10.7.2 各种内排序方法的选择.....	273
9.3 动态查找表 I——树表查找.....	227	本章小结.....	274
9.3.1 二叉排序树.....	227	习题.....	274
9.3.2 平衡二叉树(AVL 树).....	232	参考文献	278
9.3.3 B-树和 B+树.....	239		
9.4 动态查找表 II——哈希表查找 (杂凑法).....	243		

第1章 绪 论

教学提示：数据结构主要研究四个方面的问题：(1)数据的逻辑结构，即数据之间的逻辑关系；(2)数据的物理结构，即数据在计算机内的存储方式；(3)对数据的加工，即基于某种存储方式的运行算法；(4)算法的分析，即评价算法的优劣。本章重点介绍数据结构研究问题所涉及的基本知识和概念。

教学目标：了解研究数据结构的目的是以及相关基本概念和术语；掌握算法基本概念和算法评价依据：时间复杂度和空间复杂度。

1.1 数据结构的概念

软件设计是计算机学科各个领域的核心。在计算机发展的早期，软件设计所处理的数据都是整型、实型等简单数据，绝大多数的应用软件都是用于数值计算。随着信息技术的发展，计算机逐渐进入到金融、商业、管理、通信，以及制造业等各个行业，广泛地应用于数据处理和过程控制，计算机加工处理的对象也由纯粹的数值型数据发展到字符、表格和图像等各种具有一定结构的数据，这就给程序设计带来一些新的问题。为了设计出一个结构好而且效率高的程序，必须研究数据的特性、相互关系及对应的存储表示，并利用这些特性和关系设计出相应的算法和程序，这正是数据结构课程研究的内容。

1.1.1 什么是数据结构

用计算机来解决一个具体问题时，一般需要经过下列几个步骤：首先要从该具体问题抽象出一个适当的数学模型，然后设计或选择一个解此数学模型的算法，最后编出程序进行调试、测试，直至得到最终的解答。

由于早期计算机所涉及的运算对象是简单的整型、实型或布尔类型数据，程序设计者的主要精力主要集中于程序设计的技巧上，无需重视数据结构。随着计算机应用领域的扩大和软、硬件技术的发展，非数值计算问题显得越来越重要。据统计，当今用计算机处理的非数值计算性问题约占 90% 以上的机器时间。如图书资料的检索、职工档案管理、博弈游戏等，这类问题涉及的数据结构相当复杂，数据元素之间的相互关系无法用数学方程或数学公式来描述。这类问题的处理对象中的各分量不再是单纯的数值型数据，更多的是字符、字符串或其他编码表示的信息。因此，首要的问题是把处理对象中的各种信息按其逻辑特性组织起来，再研究如何把它们存储到计算机中。只有做完了这些工作，我们才能设计解决具体问题的算法，并编写出相应的程序。下面列举的具体问题就是属于这一类。

【例 1.1】 学生成绩查询。

假定要编写一个计算机程序以查询某大学或某地区学生英语四级考试成绩。解决此问题，首先要构造一张成绩登记表，表中每个登记项至少有三个信息：准考证号、姓名与考试成绩。要写出好的查找算法，取决于这个登记表的结构及存储方式。最简单的方式是把