

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



数据结构 (C语言版)

崔进平 郭小春 王霞 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



数据结构 (C语言版)

崔进平 郭小春 王霞 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是在多年讲授《数据结构》的讲义基础上整理而成的。内容包括线性表、栈与队列、二叉树、树与森林、图、查找、排序等共 10 章。各章都配有一定数量的习题。

本书的特点是：除了阐述《数据结构》学科的基本概念、基本理论和基本方法以外，特别强调数据建模和求解算法的思想方法，重点培养学生的抽象建模能力、算法设计能力、算法的语言描述能力和数据结构的应用创新能力。

本书的书写坚持语言流畅、通俗易懂的指导思想，力求概念表述严谨，算法分析深入浅出，既便于作为教材使用，又适合于作为自学参考书之用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数据结构(C语言版)/崔进平,郭小春,王霞编著. —北京:清华大学出版社,2011.9
(21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-24229-1

I. ①数… II. ①崔… ②郭… ③王… III. ①C语言—程序设计 IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 245868 号

责任编辑：魏江江 李玮琪

责任校对：时翠兰

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

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者：北京富博印刷有限公司

装 订 者：北京市密云县京文制本装订厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：21.75 字 数：528 千字

版 次：2011 年 9 月第 1 版 印 次：2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：33.00 元

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授

章 征 教授

王建民 教授

冯建华 教授

刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

赵 宏 副教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

浙江大学	吴朝晖	教授
扬州大学	李善平	教授
南京大学	李云	教授
	骆斌	教授
南京航空航天大学	黄强	副教授
	黄志球	教授
南京理工大学	秦小麟	教授
南京邮电学院	张功萱	教授
苏州大学	朱秀昌	教授
	王宜怀	教授
江苏大学	陈建明	副教授
中国矿业大学	鲍可进	教授
武汉大学	张艳	教授
华中科技大学	何炎祥	教授
中南财经政法大学	刘乐善	教授
华中师范大学	刘腾红	教授
	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
江汉大学	陈利	教授
国防科技大学	颜彬	教授
	赵克佳	教授
中南大学	邹北骥	教授
湖南大学	刘卫国	教授
西安交通大学	林亚平	教授
	沈钧毅	教授
长安大学	齐勇	教授
哈尔滨工业大学	巨永锋	教授
吉林大学	郭茂祖	教授
	徐一平	教授
山东大学	毕强	教授
	孟祥旭	教授
中山大学	郝兴伟	教授
厦门大学	潘小轰	教授
仰恩大学	冯少荣	教授
云南大学	张思民	教授
电子科技大学	刘惟一	教授
	刘乃琦	教授
成都理工大学	罗蕾	教授
	蔡淮	教授
西南交通大学	于春	副教授
	曾华荣	教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

用计算机解决实际问题一般要经过分析问题、建立模型、定义数据、寻找算法、编写程序、测试计算和分析结果 7 个步骤。分析问题的任务是：在弄清、理解问题的基础上，明确问题是什么、问题要求做什么，找出问题域和约束条件等；建立模型的任务是：站在计算机的角度上，将问题域中的对象、属性、关系以及操作抽象成适合于计算机处理的计算模型，即建立数据的逻辑结构；定义数据的任务是：将问题域中的对象、属性、关系等数据化，用计算机能够识别、接收、存储、计算的格式将数据确切地定义出来，即将数据的逻辑结构映射成存储结构；寻找算法的任务是：在已定义的数据存储结构基础上，对各种操作实现过程的具体步骤和顺序确切地表示出来，使每一步操作都能在计算机上实现；编写程序的任务是：选择合适的程序设计语言，将算法精确地表示成计算机可执行的代码；测试计算的任务是：将程序代码和数据输入计算机内，进行调试、纠错，直到没有错误为止，最后进行实际计算，并输出问题的求解结果；分析结果的任务是：验证计算机计算的结果与实际问题要求的结构是否相符，若满足要求则结束，若与实际问题要求有差距，那么必须从头开始逐步检查每一个步骤是否存在错误，若发现问题所在，需重新修改。以上 7 个步骤是一个不断重复的循环过程，其重复的次数取决于人们的智力、知识、经验、能力、技术、技巧等多方面的因素。由此不难体会到，用计算机解决实际问题的 7 个步骤中，其中六个半步骤都是由人工完成的，可见人的因素占主导地位。

计算机解决问题的各个步骤的难易程度是不同的。确定问题是基础，建立模型是关键，这两个步骤可能涉及许多专业领域知识，单纯由计算机专业人员是难以完成的，往往需要与专业领域的专家或客户参与合作才能完成任务。定义数据相对比较简单，而寻找算法是最为困难的一步。许多问题没有现成的模型和算法可以借鉴、参考，完全靠设计者探索寻找，这是一项具有创新性、挑战性的任务。编写程序可以说是难度最小的一个步骤，一般编程人员都可以胜任工作，有些甚至可以自动生成。测试计算看起来似乎简单，但实际做起来时却是一件非常烦琐和复杂的工作。调试程序实际上就是查错和纠错，需要测试人员有一定智慧和丰富的经验才能进行。分析结果也是不可缺少的一个步骤，因为只有当结果符合实际问题 and 客户要求时，才算圆满完成任务，否则，必须找出原因和对策。

从以上对利用计算机求解实际问题各个步骤的分析不难看出，“数据结构”这门课程对于用计算机解决实际问题具有非常重要的作用。

“数据结构”对于计算机科学与技术学科各专业的学生来说，既是一门理论性较强的基础课，又是一门实践性较强的专业技术课。它所研究的问题是：计算机程序设计中的数据元素、数据对象、数据元素之间的关系，以及非数值计算性的数据处理问题；所研究的主要内容包括：数据的逻辑组织（即逻辑结构）、存储表示（即存储结构）、算法实现，以及算法效

率问题等。其中数据的逻辑结构分为集合结构、线性结构、树结构和图结构四种类型,它们分别描述了数据元素之间的没有关系、一对一关系、一对多关系和多对多关系。数据的存储结构是逻辑结构在计算机内部的存储映像,其存储方式主要有顺序存储、链接存储、索引存储和散列存储四种,每种存储结构各有其优点、缺点和适用场合。数据的操作主要包括查找、插入、删除、排序和遍历等非数值性计算,如何在适当的存储结构下实现这些操作算法,是数据结构研究的核心问题。不同的数据结构所能施加的运算不同,不同的存储结构直接影响着运算算法的实现和效率。数据的运算定义取决于逻辑结构,数据的运算算法依赖于存储结构。这就是为什么要研究数据的各种逻辑结构和存储结构的根本原因。数值计算问题在“数值分析”(也称“计算数学”或“数值计算”)学科中专门研究。“数据结构”中研究的是非数值计算问题,如遍历、查找、排序、插入、删除、归并等。正因为这类操作不能用数学方法计算,所以成为“数据结构”讨论的主要问题。

“数据结构”的理论知识、思想方法和设计技术,不仅在应用计算机解决实际问题的整个过程中具有重要意义,而且它对培养人的分析问题和解决问题能力、抽象的数据建模能力、良好的算法设计和编程能力等方面也具有不可替代的作用。这也就是为什么要重视“数据结构”教学的根本原因所在。

一、“数据结构”的学习意义

为什么要学习“数据结构”这门课程?主要基于以下两方面的理由。

(1) “数据结构”的概念、理论、技术和方法在计算机应用中具有重要的指导意义和实用价值。众所周知,用计算机解决实际问题通常要经过分析定义问题、建立数据模型、寻找求解算法、编程上机实现和分析计算结果等多个步骤,其中数据建模、算法设计和编程实现几个步骤都需要数据结构的知识。所以,学好数据结构对于从事计算机软件设计开发是非常有用的。

(2) “数据结构”在计算机科学与技术学科中的地位。“数据结构”是计算机科学与技术各专业的核心课程,它既是理论性较强的基础课,又是实践性很强的专业技术课,在计算机学科领域的主干课程中具有承上启下的作用。它的先行课程有“离散数学”、“程序设计语言”、“计算机硬件基础”等,它的后继课程有“操作系统”、“数据库原理”、“编译原理”、“软件开发技术”等。有人提出:计算机科学技术专业有两门顶天立地的课程,其中顶天的课程是“离散数学”,立地的课程是“数据结构”。“离散数学”的知识贯穿计算机科学技术领域的各门学科之中,所以是顶天的;而“数据结构”是许多计算机理论课的基础,所以是立地的。

“数据结构”的作用:学习数据结构对于培养人的抽象思维能力、数据建模能力、算法创新能力、程序设计能力、语言描述能力、综合应用能力等方面具有特定的作用。在信息社会高速发展的时代,信息素质是一个人适应信息社会生存和发展的最基本、最重要的素质之一。而通过数据结构的学习,对于提高人们的信息素质和综合能力具有重要的、其他课程不可替代的作用。

二、“数据结构”的学习特点

“数据结构”的学习特点主要体现在以下3个方面。

(1) 内容多。“数据结构”研究的问题非常广泛,内容极为丰富。著名的美国算法大师、1974年图灵奖得主唐·克努特写了一套巨著“程序设计的艺术”,计划出版7卷,目前已发行4卷,每卷五六百页。后几卷还在编著过程中。该书是研究算法与数据结构的权威名著,

有人把它比喻为计算机科学技术领域的一本“圣经”。由此不难看出数据结构研究的内容之多,令人惊叹。

(2) 难度大。由于计算机只能进行数据处理,不能直接解决现实世界中的具体问题,必须由人将现实问题抽象成计算机能够接收并处理的数据模型才能实现,这个过程称为数据建模,其难度较大,不仅需要熟练掌握计算机科学技术的许多知识,还要具备不同领域和学科的专业知识,不仅需要深刻的洞察能力和高度的抽象思维能力,还要具有高超的算法创新能力及精湛的表达实现能力。对初学者来说,建立信息模型和探求问题算法是两大难关。

(3) 交叉性。“数据结构”是由数学、计算机软件 and 硬件知识交叉形成的一门学科,学习该课程需要具备的知识较多,因而,更增加了学习的难度。

尽管“数据结构”课程学习的难度较大,但只要认真地学习,总能克服。

三、“数据结构”的学习方法

“数据结构”的地位和作用十分重要,且学习的难度较大,如何学好“数据结构”这门课程呢?在此提出如下参考性建议。

(1) 深刻领会数据结构的基本概念。一门学科的知识实际上就是反映该学科领域的一组概念的逻辑体系。“数据结构”概念较多,理解起来有一定难度,每个概念包括内涵和外延两个方面,概念的内涵揭示对象的本质特征,是区分不同事物的根本标志,概念的外延反映了概念所包含对象的集合,是理解概念之间关系的依据。在学习过程中,应该深入体会每一个概念的实质,深刻理解概念的内涵和外延。

(2) 熟练掌握数据模型及建模方法。用计算机解决实际问题的一般步骤是:分析问题、建立数据模型、寻找操作算法、编写程序代码、进行测试调试,系统运行维护。此过程的核心是数据建模、算法描述、编程实现,这些都与数据结构知识有密切关系。“数据结构”按其数据元素之间的逻辑关系不同,将数据的逻辑结构划分为4种基本类型:集合结构、线性结构、树结构和图结构。4种逻辑结构的存储映像构成数据的存储结构,按映像的方式不同可分为顺序存储结构和链式存储结构两类。更详细的又可分为顺序存储结构、链式存储结构、索引存储结构和散列存储结构4种。对每种数据结构定义操作、存储映像、讨论算法、描述实现构成了数据结构研究的主要内容。因此,理解数据模型思想、掌握建模方法是学好数据结构的基础。

(3) 牢固树立算法思想和实现过程。算法就是对求解某个具体问题的过程和步骤的实现描述。算法设计既是解决问题的关键,又是求解过程的难点。究其原因,一是对同一个问题,解决的途径有多条,求解的方法可以有多种,正所谓“条条大路通罗马”,如何找到最优化、最经济的方法?二是在多数情况下,所求解的问题是全新的,既没有固定的方法,又没有现成的模式可以借鉴,需要独立地探索发现,这是一个完全创新的过程,需要人的创新思维。三是数据建模和算法设计必须站在计算机的角度考虑问题,因为数据结构和算法描述最终都必须在机器上实现,每一种数据模型都必须映射成存储模型,每一个算法都必须表示成计算机所能执行的指令,因而需要懂得计算机工作原理和实现机制。在数据结构中,将已经总结概括出的每一种逻辑数据结构,定义相应的一组操作,构成数据类型,对每种操作选择适当的存储结构,寻找某种操作的算法并将算法的步骤用某种语言确切地描述实现。通过学习,不仅要掌握这些已有知识,更重要的是学习数据建模和算法设计的思想方法,养成创新思维习惯,提高创新能力,这也是学习数据结构的最终落脚点。

(4) 高度重视上机实践和课程设计。“数据结构”不仅是一门理论性较强的专业课,同时还是一门具有较强实践性的技术课。上机实践是学习数据结构的重要环节。每学习一种数据类型,需要用编程语言定义数据的存储结构,编写高效的程序代码,并上机调试实现。通过上机实践,深刻体会实现过程,可以进一步理解、掌握、巩固所学知识。

(5) 善于总结归纳、比较和融会贯通。在学习数据结构课程时,要善于总结归纳,对每一节、每一章和整个课程进行不同阶段、不同层次的总结,理出一条知识要点线索,归纳出知识体系结构,用树结构将知识点与逻辑关系表示成知识体系树,这样既容易理解掌握,又便于记忆,因为人的大脑神经元结构就是树,树与树之间联结形成神经网络,将知识体系整理成知识树最适合大脑的记忆。学会比较也是学好数据结构的重要方法。通过对不同概念、不同性质、不同结构、不同算法的比较,发现它们的相同或相似之处,找出彼此之间的差别及内、外在联系,从而更加深刻地理解知识体系的结构特性与完整统一。当感觉书越读越薄,最后发现薄到几乎没有什么东西时,表明达到了完全理解掌握的程度。对知识理解的举一反三与知识应用的融会贯通是学习知识达到的最高境界。学习一种数据模型,应该会用该类型解决一类问题,学习一种算法,能用此算法思想解决类似的问题,能对算法适当修改、扩展以解决更广泛的问题。通过不断的比较总结、应用尝试和经验积累,最终提高综合能力。

(6) 注意多读多思多练和不耻下问。学习数据结构的另一种途径是:多读教材和有关参考资料中的算法,领会他人的思想和技巧,吸收应用到自己的工作中;对知识点、内容和常用算法多思考,深刻领会其实质,真正吃透消化,透彻理解,纳入到自己的知识系统中。

目 录

第 1 章 数据结构概述	1
1.1 数据结构研究的问题	1
1.2 数据结构的有关概念	5
1.3 算法与算法性能分析	9
1.3.1 算法的概念及特点	9
1.3.2 算法的设计要求	12
1.3.3 算法的性能分析	13
1.4 数据结构的算法描述工具简介	16
习题 1	19
第 2 章 线性表	22
2.1 线性表的类型定义	22
2.2 线性表的顺序存储结构及其算法实现	25
2.2.1 线性表的顺序存储结构	25
2.2.2 顺序表的基本算法实现	27
2.2.3 顺序表应用举例	30
2.3 线性表的链式存储结构与算法实现	33
2.3.1 单链表存储结构	33
2.3.2 单链表基本运算的实现	37
2.3.3 双向链表	44
2.3.4 循环链表	46
2.3.5 静态链表	47
2.3.6 单链表应用举例	48
习题 2	52
第 3 章 栈和队列	57
3.1 栈	57
3.1.1 栈的概念及 ADT 定义	57
3.1.2 栈的存储表示与算法实现	58

3.2 栈的应用举例.....	64
3.3 队列.....	79
3.3.1 队列的定义及 ADT 定义	79
3.3.2 队列的存储结构及算法实现	80
习题 3	87
第 4 章 串	91
4.1 串的概念及其 ADT 定义	91
4.2 串的定长顺序存储结构及算法实现.....	93
4.3 串的堆存储结构及算法实现.....	96
4.4 串的匹配算法.....	99
4.4.1 简单匹配算法.....	100
4.4.2 KMP 匹配算法	101
4.4.3 串的其他存储映像.....	105
习题 4	107
第 5 章 数组与广义表.....	109
5.1 数组	109
5.2 特殊矩阵的压缩存储	113
5.3 稀疏矩阵	116
5.3.1 稀疏矩阵的三元组存储结构与矩阵的转置和乘法.....	117
5.3.2 稀疏矩阵的十字链表存储结构与矩阵的加法和减法.....	123
5.4 广义表	127
5.4.1 广义表的概念与 ADT 定义	127
5.4.2 广义表的存储.....	129
5.4.3 广义表的基本操作算法.....	132
5.4.4 广义表的应用举例.....	134
习题 5	136
第 6 章 二叉树.....	140
6.1 二叉树的概念与性质	140
6.1.1 二叉树的定义及相关术语.....	140
6.1.2 二叉树的性质.....	145
6.2 二叉树的存储结构与创建算法	146
6.2.1 二叉树的存储结构.....	147
6.2.2 二叉树的创建算法.....	150
6.3 二叉树的遍历算法及其应用	151

6.3.1	二叉树的递归遍历算法	151
6.3.2	二叉树的非递归遍历算法	153
6.3.3	二叉树遍历算法的应用	156
6.3.4	由遍历序列恢复二叉树	159
6.4	线索二叉树	162
6.4.1	线索二叉树的定义及结构	162
6.4.2	线索二叉树的基本操作算法	164
6.5	哈夫曼树	169
6.5.1	哈夫曼树的概念与构造算法	169
6.5.2	哈夫曼树的应用	173
习题 6		178
第 7 章	树与森林	183
7.1	树的概念与 ADT 定义	183
7.2	树与森林的存储结构	188
7.3	树、森林与二叉树的转换	193
7.4	树和森林的遍历	196
7.5	树的应用	197
习题 7		200
第 8 章	图	203
8.1	图的基本概念与类型定义	203
8.1.1	图的概念与相关术语	203
8.1.2	图的 ADT 定义	207
8.2	图的存储表示与创建算法	208
8.2.1	邻接矩阵存储表示与创建算法	208
8.2.2	邻接表存储表示与创建算法	210
8.2.3	有向图的十字链表存储表示与创建算法	213
8.2.4	无向图的邻接多重表存储表示	215
8.3	图的遍历算法	216
8.4	图的连通性	219
8.5	最小生成树	224
8.5.1	最小生成树的基本概念	224
8.5.2	构造最小生成树的 Prim 算法	225
8.5.3	构造最小生成树的 Kruskal 算法	228
8.6	最短路径问题	230
8.6.1	从一个源点到其他各顶点的最短路径	231

8.6.2 每一对顶点之间的最短路径·····	233
8.7 有向无环图及其应用·····	235
8.7.1 有向无环图的概念·····	235
8.7.2 AOV 网与拓扑排序·····	236
8.7.3 AOE 网与关键路径·····	240
习题 8·····	244

第 9 章 查找····· 249

9.1 查找概述·····	249
9.2 静态查找表·····	251
9.2.1 静态查找表的结构·····	251
9.2.2 顺序表的查找·····	252
9.2.3 有序表的查找·····	253
9.2.4 有序表的其他查找方法·····	258
9.2.5 静态树表的查找·····	259
9.3 动态查找表·····	262
9.3.1 二叉排序树·····	263
9.3.2 平衡二叉树·····	268
9.3.3 B-树和 B+树·····	276
9.4 哈希表查找·····	286
9.4.1 哈希表与哈希方法·····	286
9.4.2 哈希函数的常用构造方法·····	287
9.4.3 处理冲突的方法·····	289
9.4.4 哈希表的查找算法性能分析·····	291
习题 9·····	293

第 10 章 排序····· 298

10.1 基本概念·····	298
10.2 插入排序·····	299
10.2.1 直接插入排序·····	299
10.2.2 折半插入排序·····	302
10.2.3 表插入排序·····	302
10.2.4 希尔排序·····	305
10.3 交换排序·····	306
10.3.1 冒泡排序·····	306
10.3.2 快速排序·····	308
10.4 选择排序·····	311

10.4.1	简单选择排序	311
10.4.2	树型选择排序	313
10.4.3	堆排序	314
10.5	二路归并排序	317
10.6	基数排序	319
10.6.1	多关键字排序	319
10.6.2	链式基数排序	319
10.6.3	计数排序	323
10.7	各种排序算法的比较	323
10.8	外排序	324
习题 10		328

什么是数据结构？数据结构研究的问题是什么？它包括哪些内容？使用什么表示工具？这是学习正式内容之前首先需要明确的几个问题。本章将对数据结构这门课程作概要陈述，主要介绍数据结构的有关概念以及它所研究的问题与内容，目的是让读者对数据结构课程先有个大致的了解，为后续内容的学习提供必要的基础知识。本章介绍的主要内容包
括：数据结构学科的概念及所研究的问题；数据结构中的基本概念和有关术语；数据结构所使用的描述工具；算法的概念、特点、设计要求及性能分析。

1.1 数据结构研究的问题

《数据结构》作为一门学科如何给出一种确切的描述，该学科所研究的是什么问题和内容，在实际应用中起什么作用，下面的介绍将给出回答。

1. 计算机解决实际问题的一般步骤

用计算机解决实际问题一般需要经过以下 7 个步骤。

(1) 问题定义。通过对问题的深入分析，理解问题是什么，明确问题做什么，用户要求是什么，已知数据是什么，最终结果是什么，对已知数据做何处理才能得到想要的结果。

(2) 建立模型。将实际问题经过多次抽象，建立计算机能存储、处理的数据模型。这是最关键、较困难的一步。涉及 4 个世界和 3 级抽象。4 个世界分别是：现实世界（客观世界）、信息世界（概念世界）、数据世界、机器世界。3 级抽象分别是：现实世界到信息世界的抽象，建立信息模型或概念模型；信息世界到数据世界的抽象，将信息数据化建立数据模型；数据世界到机器世界的抽象，建立存储模型在机器中实现。

(3) 定义数据。用适当的描述表达工具定义数据的逻辑模型和物理模型。逻辑模型定义是对信息模型数据化的抽象逻辑描述，不考虑机器实现，只考虑数据本身及其逻辑关系的表达，独立于计算机。物理模型定义是对数据模型的机器化，将数据及其关系映射到机器内，转化成计算机能存储表示和加工处理的形式。

(4) 寻找算法。寻找求解问题的策略和方法，并用适当的工具详细描述。这一步是最困难的。因为许多问题没有现成或可用的算法，需要探索、发现、创新。另外，一些问题有多种求解方法，需要找出最优算法，这也是一件并不容易的事情。

(5) 编写程序。将算法用适当的计算机程序设计语言描述出来就是程序。编写程序就是将算法翻译成计算机能执行的操作步骤。这一步相对而言是最容易的，只要掌握一门计算机语言就可以完成。

(6) 调试运行。将程序和数据输入到计算机，进行测试，查错修改，直到完全正确，正式