



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等院校计算机专业规划教材



数据结构

(第三版)

刘振鹏 罗文劼 石 强 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高等院校计算机专业规划教材 “十一五” 普通高等教育“十一五” 国家级规划教材

数据结构

(第三版)

刘振鹏 罗文劼 石 强 编著

金作涛 胡子义 谷海红 参编

出版发行：中国铁道出版社（北京市宣武区左安门内大街 2 号） 邮编：100045

印 刷：河北省保定市印刷厂 印 次：2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 3 版 2010 年 6 月第 12 次印刷

开 本：787mm×1092mm 1/16 印 张：14 字 数：305 千

印 数：4 000 册 书 号：ISBN 978-7-113-11035-3

定 价：38.00 元

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书根据教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会关于“数据结构”课程的教学基本要求进行编写,介绍了各种最常用的数据结构,包括线性表、栈、队列、矩阵的压缩存储、树与二叉树、图、查找、排序等。本书阐明各种数据结构内在的逻辑关系,讨论它们在计算机中的存储表示,以及在这些数据结构下的运算和实现的算法,并对算法的效率进行了简要的分析。本书既注重原理又重视算法的实现,每个算法均给出 Visual C++ 语言的描述,并加以详细的注释,每章都附有大量的习题。

本书内容丰富、结构清晰、深入浅出、突出算法,注重实践和应用,强调理论与实践的结合,便于教学。本书适合作为高等院校计算机科学与应用、通信工程、电子工程等电子信息类专业的教材,也可供相关证书考试、考研或从事计算机应用与工程技术的工作者及计算机爱好者自学或参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构/刘振鹏,罗文劼,石强编著. —3版.
—北京:中国铁道出版社,2010.1
(21世纪高等院校计算机专业规划教材)
ISBN 978-7-113-11025-3

I. ①数… II. ①刘…②罗…③石… III. ①数据结构—高等学校—教材 IV. TP311.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第018362号

书 名: 数据结构(第三版)
作 者: 刘振鹏 罗文劼 石 强 编著

策划编辑: 秦绪好 孟 欣
责任编辑: 孟 欣
封面设计: 付 巍
编辑助理: 邱雪姣
责任校对: 苗 丹

编辑部电话: (010) 63560056
封面制作: 白 雪

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码: 100054)
印 刷: 河北省遵化市胶印厂
版 次: 2003年9月第1版 2007年5月第2版 2010年6月第3版 2010年6月第12次印刷
开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17 字数: 392千
印 数: 4 000册
书 号: ISBN 978-7-113-11025-3
定 价: 28.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

第三版前言

“数据结构”是计算机科学与技术等电气信息类相关专业的一门重要的基础课程，也是一门必修的核心课程。在计算机科学的各个领域都要用到不同的数据结构，例如在操作系统中要用到队列；编译系统中要用到栈、散列表、语法树；人工智能中要用到有向图。另外，面向对象程序设计、计算机图形学、软件工程、多媒体技术等领域，都会用到很多数据结构。

“数据结构”课程涉及各种离散结构在计算机上如何存储和处理，其内容丰富、涉及面广，而且还在随各种基于计算机的应用技术的发展而不断增加新的内容。通过学习，学生可以较全面理解算法和数据结构的概念，掌握各种数据结构和算法的实现方式，比较不同数据结构和算法的特点。“数据结构”是一门理论与实际紧密联系的课程，它旨在分析研究计算机加工的数据对象的特性，以便选择适当的数据结构和存储结构，从而使建立在其上的解决问题的算法达到最优，并在此基础上，编写出结构清晰、正确易读、符合软件工程规范的程序，从而为进一步学习后续专业课程和软件的开发打下坚实的基础。

本书层次分明、结构清晰、理论深度适当，侧重应用。在教材组织方式上，注重从问题求解的角度出发，讨论相关的基础理论、数据和算法抽象、数据结构与算法设计以及在 C++ 程序设计语言中的实现。作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《数据结构（第二版）》的再版，本书保持了前两版的基本框架，概念清晰、论述透彻、面向应用。进一步完善了算法与数据结构的内容体系，强调与考研大纲的一致性；对所有算法进行了详尽的注释，进一步细化了算法的描述，强调 C++ 中面向对象的思想；改写了第二版中不利于读者理解的描述，细化其中由读者自行补充的部分，以利于读者理解算法的基本思想。各章均安排有知识要点和习题。与本书配套的《数据结构习题解答与实验指导（第三版）》详细给出了书中习题的解答思路和参考答案，并且结合数据结构课堂和实践教学，设计了 7 项实验内容，与本书一起构成了一个完整的教学系列。

本书的第 1 章~第 3 章由石强编写修订，第 8 章~第 10 章由罗文劫编写修订，第 4 章由金作涛编写修订，第 5 章、第 7 章由谷海红编写修订，第 6 章由胡子义编写修订，最后由刘振鹏统一定稿。

本书在写作和修订过程中，得到了许多专家和众多院校“数据结构”任课教师的大力支持和帮助，提出了许多中肯的意见和很好的建议，对本书的编写修订起到了很大的指导作用。对此，作者表示衷心的感谢。

感谢作者的多位同事和学生，他们在本书的资料收集、书稿编写、算法验证和代码调试、插图绘制与内容审核等各个环节提出了很多宝贵的意见，做了很多实质性的工作。

感谢中国铁道出版社的各位编辑和图书推广人员，他们为本书能够以较高的质量完成和在更多院校使用做出了巨大贡献。

编 者

2010 年 3 月

第二版前言

数据结构是计算机科学与技术等电子信息类相关专业的一门重要的基础课程。许多高等院校将它作为理科各系主干基础课列入学校的教学计划之中。通过讲授本课,学生可以较全面地理解算法和数据结构的概念,掌握各种数据结构和算法的实现方式,比较不同的数据结构和算法的特点。这是一门理论与实际紧密结合的课程。通过本课程的学习,学生可以学会分析研究计算机中数据结构的特性,以便在以后的工作实践中,能够针对具体问题选择和设计出适当的逻辑结构、存储结构及相应的算法,并在此基础上,能编写出结构清晰、正确易读、符合软件工程规范的程序,从而为进一步学习后续专业课程和软件的开发打下坚实的基础。

本书在内容组织和编排上,力求理论与实际应用紧密结合,而且更加突出运用。本书的主要特点有以下3点。

(1) 内容组织上层次分明、结构清晰。在内容的选取上坚持学以致用、学用结合的原则,集先进性、科学性和实用性于一体,尽可能地将最基础、最适用的软件技术写入教材,省略一些纯理论的推导和烦琐的数学证明。

(2) 在内容的深浅程度上,把握理论深度、侧重实用、由浅入深的原则,通过大量翔实的例题、算法和每一章的最后给出的练习题,进一步提高学生对数据的抽象能力和程序设计的能力。

(3) 内容叙述深入浅出,文体规范,文字浅显易懂,相互衔接自然,表述严谨,逻辑性强,以利于学生自学和理解。

本书作为2003年版《数据结构》的第二版,保持了前一版的基本框架,概念清楚、论述充实、面向应用,进一步完善了算法与数据结构的体系内容,对所有算法进行了详尽的注释和完善,以利于读者理解算法的基本思想。各章均安排有章节提要 and 课后习题。

本书的第1章和第10章由刘振鹏编写修订,第2章~第5章由张小莉编写修订,第6章~第9章由郑艳娟编写修订,最后由刘振鹏、张小莉统一定稿。

本书在写作和修订过程中,得到了许多专家和众多院校数据结构任课教师的大力支持和帮助,他们提出了许多中肯的意见和很好的建议,对本书的编写修订起到了很大的指导作用。对此,作者表示衷心的感谢。也正是他们的认可和支持,使得本书入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

感谢作者的多位同事和学生,许百成、罗文劼参与了编写大纲的讨论并编写了初稿的部分内容,王苗编写书中习题部分并提供了全部答案,石强、史青宣制作了电子讲义,赵红、苗秀芬等在使用本书的过程中指出了书中的一些不足之处,使得本书更加完善。

尽管我们做了很大的努力,但由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者予以指正。

编 者

2007年2月

第一版前言

数据结构是计算机及相关专业的一门基础课,计算机科学各个领域及有关的应用软件都要用到各种数据结构。在我国计算机科学与技术专业的教学计划中,它是核心课程之一。因此,数据结构知识对所有使用计算机的人都是必需的,它也是学好计算机专业其他课程的基础和保证。作为计算机科学与技术专业的一门重点课程,数据结构的教學深度、广度和对实践性环节的要求正逐步增长,并且随着计算机应用领域的扩大,数据结构课程已逐步对电器信息类和信息管理类的大部分专业的学生开设。本书介绍各种最常用的数据结构,阐明各种数据结构内在的逻辑关系,讨论它们在计算机中的存储表示,以及在這些数据结构上的运算和实现的算法,并对算法的效率进行了简要的分析。

本书在介绍数据结构基本理论的基础上,尽可能多地把近年来数据结构范畴内的新成就奉献给读者。本书是笔者根据多年来教学上的实践和体会,并参考了国内外较新的有关文献编写而成。为使全书结构避免松散,本书既详尽地介绍了各种数据结构的理论,又提出了具体实现的方法。对有关算法的分析,没有繁复的数学推导和证明,而是依照由浅入深和循序渐进的原则编排各章节,力求使全书衔接自然、系统全面。本书共分为10章,第1章介绍了数据结构的主要内容和基本概念、算法评价标准和评价方法。第2章~第5章介绍了几种常用的线性结构,包括线性表、栈和队列、串以及数组和广义表。着重讨论这些结构的存储表示、运算算法,并以查找、插入、删除运算为核心,讨论在各种存储结构上进行相关运算的算法效率。第6章和第7章介绍了具有广泛应用价值的树形结构(二叉树和树)及其重要应用,包括二叉树与树的概念和存储结构、二叉树的性质、二叉树和树的遍历及线索二叉树、树与二叉树的转换、哈夫曼树等。第8章介绍了复杂的数据结构——图及其应用,从算法设计的角度(而不是从图论角度)介绍图的存储形式、基本运算算法和几个最优化问题。第9章和第10章介绍了查找及排序,较全面地介绍了查找和排序的各种常用方法并简单分析了各种算法的时间复杂度和空间复杂度。

本书既注重原理又重视算法的实现,分析了大量的实用算法,均给出用C++语言描述的算法,并加上较详细的注释,以利于读者理解算法的基本思想。每章之后附有习题,以便读者进一步练习并检验学习效果。

本书作者可以提供教材的电子讲义和书中习题的答案,有需要者可与中国铁道出版社计算机图书中心联系。

本书的第1章~第5章由张小莉编写,第6章~第8章由刘振鹏编写,第9、10章由郝杰编写,最后由刘振鹏、张小莉统一定稿。

本书在写作过程中,得到了许多专家的大力支持,参考了大量的文献资料和国内外优秀的教材,罗文劼、许百成、王苗、石强等老师在讲义的使用过程中提出了许多宝贵的意见,陈兰芳、程瑞芬、崔仙翠等同志参与了本书的编排工作,在此表示诚挚的谢意。

由于时间仓促及编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者予以指正。

编 者

2003年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数据结构的概念	1
1.1.1 为什么要学习数据结构	1
1.1.2 相关概念和术语	4
1.1.3 数据结构课程的内容	6
1.2 数据类型和抽象数据类型	7
1.2.1 数据类型	7
1.2.2 抽象数据类型	8
1.3 算法和算法分析	9
1.3.1 算法特性	9
1.3.2 算法描述	10
1.3.3 算法性能分析与度量	10
小结	12
习题	12
第 2 章 线性表	14
2.1 线性表的逻辑结构	14
2.1.1 线性表的定义	14
2.1.2 线性表的基本操作	14
2.2 线性表的顺序存储及运算实现	16
2.2.1 顺序表	16
2.2.2 顺序表上基本运算的实现	17
2.2.3 顺序表应用举例	21
2.3 线性表的链式存储和运算实现	23
2.3.1 单链表	24
2.3.2 单链表上基本运算的实现	25
2.3.3 循环链表	31
2.3.4 双向链表	32
2.3.5 静态链表	33
2.3.6 间接寻址	35
2.3.7 单链表应用举例	35
2.4 顺序表和链表的比较	37
小结	38
习题	38

第3章 栈和队列	40
3.1 栈	40
3.1.1 栈的定义及基本运算	40
3.1.2 栈的存储实现和运算实现	41
3.1.3 栈的应用举例	44
3.2 队列	54
3.2.1 队列的定义及基本运算	54
3.2.2 队列的存储实现及运算实现	54
3.2.3 队列应用举例	60
小结	62
习题	62
第4章 串	64
4.1 串及其基本运算	64
4.1.1 串的基本概念	64
4.1.2 串的基本运算	64
4.2 串的定长顺序存储及基本运算	65
4.2.1 串的定长顺序存储	65
4.2.2 定长顺序串的基本运算	66
4.2.3 模式匹配	67
4.3 串的堆存储结构	73
4.3.1 串名的存储映像	73
4.3.2 堆存储结构	74
4.3.3 基于堆结构的串的基本运算实现	74
小结	76
习题	76
第5章 数组和广义表	77
5.1 数组	77
5.1.1 一维数组	77
5.1.2 多维数组	77
5.1.3 数组的内存映像	78
5.2 特殊矩阵的压缩存储	81
5.2.1 对称矩阵	81
5.2.2 三角矩阵	82
5.2.3 带状矩阵	83
5.3 稀疏矩阵	84
5.3.1 稀疏矩阵的三元组表存储	84
5.3.2 稀疏矩阵的十字链表存储	90

5.4 广义表.....	94
5.4.1 广义表的定义和基本运算	94
5.4.2 广义表的存储	96
5.4.3 广义表基本操作的实现	98
小结	101
习题	102
第6章 二叉树.....	104
6.1 二叉树的定义与性质	104
6.1.1 二叉树的基本概念	104
6.1.2 二叉树的主要性质	106
6.2 二叉树的基本操作与存储实现	107
6.2.1 二叉树的存储	107
6.2.2 二叉树的基本操作及实现	110
6.3 二叉树的遍历	112
6.3.1 二叉树的遍历方法及递归实现	112
6.3.2 二叉树遍历的非递归实现	114
6.3.3 由遍历序列恢复二叉树	117
6.3.4 不用栈的二叉树遍历的非递归方法	119
6.4 线索二叉树	120
6.4.1 线索二叉树的定义及结构	120
6.4.2 线索二叉树的基本操作实现	122
6.5 二叉树的应用举例	127
6.5.1 查找数据元素	127
6.5.2 统计给定二叉树中叶结点的数目	128
6.5.3 创建二叉树的二叉链表存储	128
6.5.4 表达式运算	129
6.6 哈夫曼树	129
6.6.1 问题引入	130
6.6.2 哈夫曼树的基本概念及其构造方法	131
6.6.3 哈夫曼树的构造算法	132
6.6.4 哈夫曼编码	134
小结	137
习题	137
第7章 树与森林	140
7.1 树的概念与表示	140
7.1.1 树的定义及相关术语	140
7.1.2 树的表示	142

7.2	树的基本操作与存储	142
7.2.1	树的基本操作	143
7.2.2	树的存储结构	143
7.3	树、森林与二叉树的转换	146
7.3.1	树转换为二叉树	146
7.3.2	森林转换为二叉树	147
7.3.3	二叉树转换为树和森林	147
7.4	树和森林的遍历	148
7.4.1	树的遍历	148
7.4.2	森林的遍历	149
7.5	树的应用举例	149
7.5.1	判定树	149
7.5.2	集合的表示	151
7.5.3	等价问题	152
	小结	153
	习题	154
第8章	图	155
8.1	图的基本概念	155
8.1.1	图的定义和术语	155
8.1.2	图的基本操作	158
8.2	图的存储结构	158
8.2.1	邻接矩阵	158
8.2.2	邻接表	160
8.2.3	十字链表	162
8.2.4	邻接多重表	164
8.3	图的遍历	166
8.3.1	深度优先搜索	166
8.3.2	广度优先搜索	168
8.3.3	应用图的遍历判定图的连通性	169
8.3.4	生成树和生成森林	170
8.4	最小生成树	172
8.4.1	最小生成树的概念	172
8.4.2	普里姆（Prim）算法	173
8.4.3	克鲁斯卡尔（Kruskal）算法	176
8.5	最短路径	178
8.5.1	迪杰斯特拉（Dijkstra）算法	178
8.5.2	弗洛伊德（Floyd）算法	182

8.6 拓扑排序与关键路径	183
8.6.1 有向无环图的概念	184
8.6.2 拓扑排序	185
8.6.3 关键路径	189
小结	194
习题	195
第9章 查找	197
9.1 基本概念	197
9.1.1 相关术语	197
9.1.2 查找表结构	198
9.2 静态查找表	199
9.2.1 顺序查找	199
9.2.2 折半查找	200
9.2.3 插值查找和斐波那契查找	203
9.2.4 分块查找	204
9.3 二叉排序树	205
9.3.1 二叉排序树的定义	205
9.3.2 二叉排序树的查找过程	205
9.3.3 二叉排序树的插入操作	206
9.3.4 二叉排序树的删除操作	207
9.4 平衡二叉树	209
9.4.1 平衡二叉树的定义	209
9.4.2 平衡二叉树的平衡化旋转	210
9.4.3 平衡二叉树的插入	212
9.4.4 平衡二叉树的查找性能分析	215
9.5 B 树和 B ⁺ 树	216
9.5.1 B 树的定义	216
9.5.2 B 树的查找	216
9.5.3 B 树的插入	218
9.5.4 B 树的删除	221
9.5.5 B ⁺ 树	222
9.6 哈希表查找	223
9.6.1 哈希表与哈希方法	223
9.6.2 常用的哈希函数	224
9.6.3 处理冲突的方法	225
9.6.4 哈希表的查找性能分析	228
小结	229
习题	230

第 10 章 排序	232
10.1 排序的基本概念	232
10.1.1 相关术语	232
10.1.2 排序的时间开销	233
10.2 插入排序	233
10.2.1 直接插入排序	233
10.2.2 折半插入排序	234
10.2.3 表插入排序	235
10.2.4 希尔排序	237
10.3 交换排序	238
10.3.1 冒泡排序	238
10.3.2 快速排序	239
10.4 选择排序	241
10.4.1 简单选择排序	242
10.4.2 树形选择排序	242
10.4.3 堆排序	243
10.5 归并排序	245
10.6 基数排序	247
10.6.1 多关键码排序	247
10.6.2 链式基数排序	248
10.7 外排序	251
10.7.1 外部排序的方法	251
10.7.2 多路平衡归并的实现	252
小结	255
习题	255
参考文献	258

第 1 章 绪 论

知识要点

- 数据结构的概念
- 数据类型和抽象数据类型
- 算法和算法分析

计算机科学是一门研究数据表示和数据处理的科学。数据是计算机化的信息，它是计算机可以直接处理的最基本和最重要的对象。进行科学计算或数据处理、过程控制、对文件的存储和检索及数据库技术等计算机应用，都是对数据进行加工处理的过程。因此，要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、数据间的相互关系及其对应的存储表示方法，并利用这些特性和关系设计出相应的算法和程序。

1.1 数据结构的概念

计算机在发展的初期，其应用范围是数值计算，所处理的数据都是整型、实型、布尔型等简单数据，以此为加工、处理对象的程序设计称为数值型程序设计。随着计算技术的发展，计算机逐渐进入到商业、制造业等其他领域，广泛地应用于数据处理和过程控制中。与此相对应，计算机所处理的数据也不再是简单的数值，而是字符串、图形、图像、语音、视频等复杂的数据。这些复杂的数据不仅量大，而且具有一定的结构。例如，一幅图像是一个由简单数值组成的矩阵，一个图形中的几何坐标可以组成表。此外，语言编译过程中所使用的栈、符号表和语法树，操作系统中用到的队列、磁盘目录树等，都是有结构的数据。数据结构所研究的就是这些有结构的数据，因此，数据结构的知识不论对研制系统软件还是开发应用软件都非常重要，它是学习软件知识和提高软件设计水平的重要基础。

数据结构是计算机科学与技术专业的基础课，也是核心课程。所有的计算机系统软件和应用软件都要用到各种类型的数据结构。因此，要想更好地运用计算机来解决实际问题，仅掌握几种计算机程序设计语言是难以应付众多复杂课题的。要想有效地使用计算机并充分发挥计算机的性能，还必须学习和掌握好数据结构的有关知识。打好数据结构这门课程的扎实基础，对于学习计算机专业的其他课程，如操作系统、编译原理、数据库原理、软件工程、人工智能等都是十分有益的。

1.1.1 为什么要学习数据结构

在计算机发展的初期，人们使用计算机的目的主要是处理数值计算问题。当使用计算机来解决一个具体问题时，一般需要经过如下几个步骤：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求解此数学模型的算法，最后编写程序进行调试、测试，从而得到最终的解答。例如，求解梁架结构中应力的数学模型的线性方程组，该方程组可以使用迭代算法来求解。

由于当时所涉及的运算对象是简单的整型、实型或布尔型数据，所以程序设计者的主要精力集中于程序设计的技巧上，而无须重视数据结构。随着计算机应用领域的扩大和软、硬件的发展，非数值计算问题显得越来越重要。据统计，当今处理非数值计算问题占用了 90% 以上的机器时间。这类问题涉及的数据结构更为复杂，数据元素之间的相互关系一般无法用数学方程式来描述。因此，解决这类问题的关键不再是数学分析和计算方法，而是要设计出合适的数据结构才能有效地解决问题。下面所列举的就是属于这一类的具体问题。

【例 1-1】学生信息检索系统。当我们需要查找某个学生的有关情况时，或者想查询某个专业或年级的学生的有关情况时，只要建立了相关的数据结构，按照某种算法编写相关程序，就可以实现计算机自动检索。为此，可以在学生信息检索系统中建立一张按学号排列的学生信息表和若干张分别按姓名、专业、年级顺序排列的索引表，如表 1-1~表 1-4 所示。由这 4 张表构成的文件便是学生信息检索的数学模型，计算机的主要操作便是按照某个特定要求（如给定姓名）对学生信息文件进行查询。

表 1-1 学生信息表

学 号	姓 名	性 别	专 业	年 级
060101	崔永志	男	计算机科学与技术	2006 级
060205	刘淑芳	女	信息与计算科学	2006 级
070310	李 丽	女	数学与应用数学	2007 级
070212	张志会	男	信息与计算科学	2007 级
080123	贾宝国	男	计算机科学与技术	2008 级
080101	陆文颖	女	计算机科学与技术	2008 级
080332	石胜利	男	数学与应用数学	2008 级
080231	崔文靖	男	信息与计算科学	2008 级
090135	刘淑芳	女	计算机科学与技术	2009 级
090314	史文斌	男	数学与应用数学	2009 级

表 1-2 姓名索引表

姓 名	索 引 号	姓 名	索 引 号	姓 名	索 引 号
崔文靖	8	崔永志	1	李丽	3
刘淑芳	2, 9	陆文颖	6	贾宝国	5
石胜利	7	史文斌	10	张志会	4

表 1-3 专业索引表

专 业	索 引 号
计算机科学与技术	1, 5, 6, 9
信息与计算科学	2, 4, 8
数学与应用数学	3, 7, 10

表 1-4 年级索引表

年 级	索 引 号	年 级	索 引 号
2006 级	1, 2	2007 级	3, 4
2008 级	5, 6, 7, 8	2009 级	9, 10

诸如此类的还有电话自动查号系统、考试查分系统、仓库库存管理系统等。在这类文档管理的数学模型中，计算机处理的对象之间通常存在的是一种简单的线性关系，这类数学模型可称为线性的数据结构。

【例 1-2】八皇后问题。在八皇后问题中，处理过程不是根据某种确定的计算法则，而是利用试探和回溯的探索技术求解。为了求得合理布局，在计算机中要存储布局的当前状态。从最初的布局状态开始，一步步地进行试探，每试探一步形成一个新的状态，整个试探过程形成了一棵隐含的状态树，如图 1-1 所示(为了描述方便，将八皇后问题简化为四皇后问题)。回溯法求解过程实质上就是一个遍历状态树的过程。在这个问题中所出现的树也是一种数据结构，它可以应用在许多非数值计算问题中。

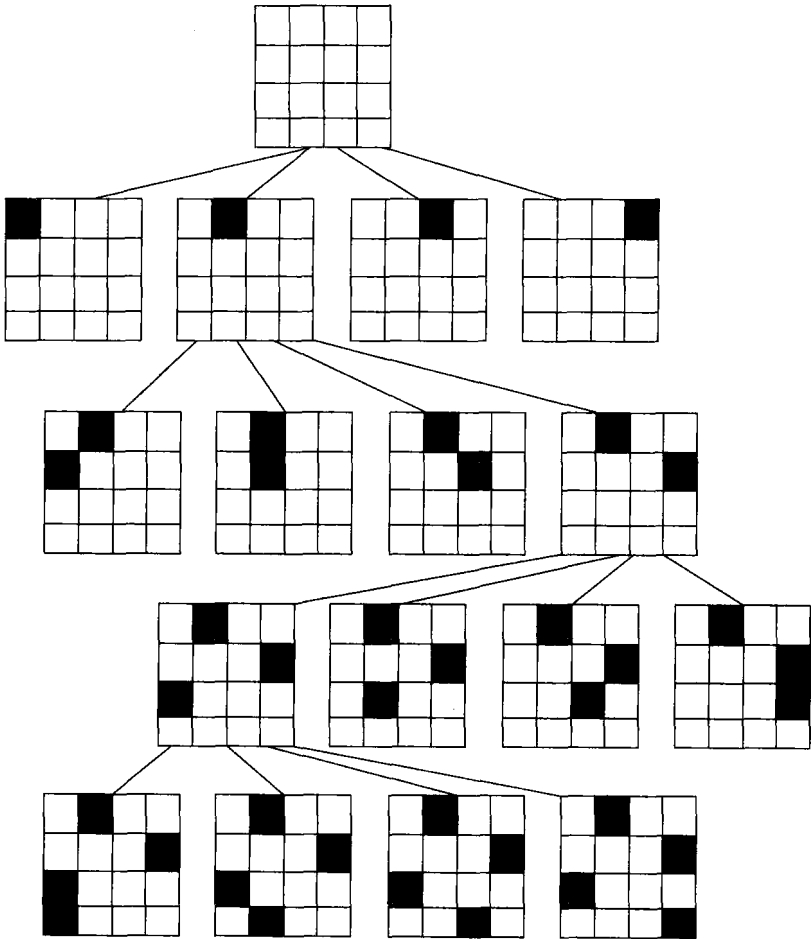


图 1-1 四皇后问题中隐含的状态树

【例 1-3】教学计划编排问题。一个教学计划包含许多课程，在这些课程之间，有些必须按规定的先后次序进行，有些则没有次序要求，即有些课程之间有先修和后续的关系，有些课程可以任意安排次序，如表 1-5 所示。这种各个课程之间的次序关系可用一个称为图的数据结构来表示，如图 1-2 所示。有向图中的每个顶点表示一门课程，如果从顶点 C_i 到 C_j 之间存在有向边 $\langle C_i, C_j \rangle$ ，则表示课程 i 必须先于课程 j 进行。

表 1-5 计算机专业的课程设置

课 程 编 号	课 程 名 称	先 修 课 程
C_1	计算机导论	无
C_2	数据结构	C_1, C_4
C_3	汇编语言	C_1
C_4	C 程序设计语言	C_1
C_5	计算机图形学	C_2, C_3, C_4
C_6	接口技术	C_3
C_7	数据库原理	C_2, C_9
C_8	编译原理	C_4
C_9	操作系统	C_2

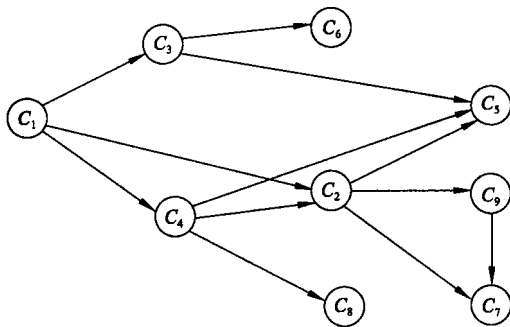


图 1-2 教学计划编排问题的数据结构

由以上 3 个例子可见，描述这类非数值计算问题的数学模型不再是数学方程，而是诸如表、树、图之类的数据结构。因此可以说，数据结构课程主要是研究非数值计算的程序设计问题中所出现的计算机操作对象以及它们之间的关系和操作的学科。

学习数据结构的目的是为了了解计算机处理对象的特性，将实际问题中所涉及的处理对象在计算机中表示出来并对它们进行处理。与此同时，通过算法训练来提高学生的思维能力，通过程序设计的技能训练来提高学生的综合应用能力和专业素质。

1.1.2 相关概念和术语

在系统地学习数据结构知识之前，先对一些基本概念和术语赋予确切的含义。

① 数据：是信息的载体，它能够被计算机识别、存储和加工处理。它是计算机程序加工的原料；应用程序处理各种各样的数据。计算机科学中，所谓数据就是计算机加工处理的对象，它可以是数值数据，也可以是非数值数据。数值数据是一些整数、实数或复数，主要

用于工程计算、科学计算和商务处理等；非数值数据包括字符、文字、图形、图像、语音等。

② 数据项（也称项或字段）：是具有独立含义的标识单位，是数据不可分割的最小单位，如表 1-1 中的“学号”、“姓名”、“年级”等。数据项有名和值之分，数据项名是一个数据项的标识，用变量定义，而数据项值是它的一个可能取值，如表 1-1 中的 080332 是数据项“学号”的一个取值。数据项具有一定的类型，依数据项的取值类型而定。

③ 数据元素：是数据的基本单位。在不同的条件下，数据元素又可称为元素、结点、顶点、记录等。例如，学生信息检索系统中学生信息表中的一个记录、八皇后问题中状态树的一个状态、教学计划编排问题中的一个顶点等，都被称为一个数据元素。

有时，一个数据元素可由若干个数据项组成。例如，学生信息检索系统中学生信息表的每一个数据元素就是一个学生记录，它包括学生的学号、姓名、性别、专业和年级数据项。这些数据项可以分为两种：一种叫做初等项，如学生的性别、年级等，这些数据项是在数据处理时不能再分割的最小单位；另一种叫做组合项，如学生的成绩，它可以再划分为数学成绩、物理成绩、化学成绩等更小的项。通常，在解决实际应用问题时是把每个学生记录当做一个基本单位进行访问和处理的。

④ 数据对象（或数据元素类）：具有相同性质的数据元素的集合。在某个具体问题中，数据元素都具有相同的性质（元素值不一定相等），属于同一数据对象（数据元素类），数据元素是数据元素类的一个实例。例如，在交通咨询系统的交通网中，所有的顶点是一个数据元素类，顶点 A 和顶点 B 各自代表一个城市，是该数据元素类中的两个实例，其数据元素的值分别为 A 和 B 。

⑤ 数据结构：是指互相之间存在着一种或多种特定关系的数据元素的集合。在任何问题中，数据元素都不会是孤立的，它们之间都存在着这样或那样的关系，这种数据元素之间的关系称为结构。根据数据元素间关系的不同特性，通常有下列 4 种基本的结构，如图 1-3 所示。

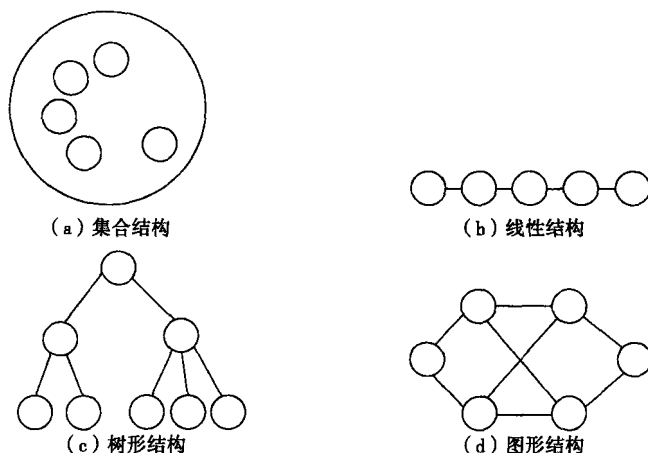


图 1-3 4 类基本结构的示意图

- 集合结构。在集合结构中，数据元素间的关系是“属于同一个集合”。集合是元素关系极为松散的一种结构。