

数据结构

| 第二版 |

● 张建林 刘玉铭 © 编著

SHUJU JIEGOU



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

数据结构

| 第二版 |

● 张建林 刘玉铭 © 编著

SHUJU JIEGOU



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数据结构/张建林,刘玉铭编著. —2版. —北京:北京师范大学出版社, 2016.9

ISBN 978-7-303-21262-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 207668 号

营 销 中 心 电 话 010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社网 www.jswsbook.com
电 子 信 箱 jswsbook@163.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnupg.com

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京京师印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张: 20

字 数: 467 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

策划编辑: 赵洛育

责任编辑: 赵洛育

美术编辑: 刘 超

装帧设计: 刘 超

责任校对: 赵非非

责任印制: 赵非非



版权所有 侵权必究

反盗版、反侵权举报电话: 010-62978190

北京读者服务部电话: 010-62979006-8021

外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-62979006-8006

内 容 简 介

本书介绍了线性结构、树形结构和图形结构的概念、存储结构和常用操作等传统数据结构内容，讨论了各种查找和排序实现方法及其性能分析，还介绍了常用的几种算法的分析和设计思路。本书的编写目的是在讲授好经典的数据结构内容的基础上，对算法分析技巧加以介绍，使读者对大型复杂程序设计有一定的认识。本书采用类 C 语言作为数据结构和算法的描述语言，大部分算法都已通过调试，稍作修改即可作为程序的一部分。全书分为 9 章，每章都配有多种题型的习题，便于读者巩固所学知识。

本书可作为计算机及其他信息类专业学习数据结构与算法的参考材料，也可供计算机工程与应用软件开发人员参考。使用本书需具有程序设计基础及离散数学的背景知识。

前言

“数据结构”作为一门计算机领域十分重要的基础课程，不仅是计算机学科，也是其他信息类或理工类专业的基础课，是进行程序设计的重要理论基础。随着计算机科学技术的飞速发展，其应用已不再局限于解决那些传统的数值计算，而是更多地应用在数据采集、信息检索、企业管理、工业过程控制、办公自动化、经济管理、社会服务等非数值计算领域。而应用到这些领域，计算机面对的数据具有结构复杂、数据量大，且种类繁多的特点，同时还面临大多数应用中大数据量存取和处理的能力问题。要设计出高效、准确、适应性和重用性强的程序，就必须对待处理的数据自身的特性及数据元素间的关系进行深入研究，研究内容主要包括数据的逻辑结构、存储结构以及对数据进行有关操作的算法。

研究和学习数据结构的目的是为了学会分析、研究计算机加工的数据的结构特征，并为数据选择合适的逻辑结构、存储结构和相应的处理算法，初步掌握算法的时间复杂度分析和空间复杂度分析，并对复杂程序设计进行一定的训练。

现在市面上有关数据结构的教材比较多，主要包括 3 类：第一类是以伪代码方式描述算法为主，强调对数据结构原理的阐述和理解；第二类是用结构化语言（C 或 PASCAL）描述的，强调对数据及数据元素的描述，侧重于算法的实现；第三类是用面向对象语言（C++ 或 Java）描述的，强调对数据和数据类型的抽象。根据作者大量的教学实践经验，这 3 类教材各有利弊。

当然除了这 3 类以外，还有很多介于这 3 类之间的教材。但面对日新月异的 IT 技术、计算机应用范围的不断扩大，学习和使用计算机的人群已不限于计算机专业了，大量非计算机信息类或理工类专业也把数据结构作为一门必修的基础课。正是基于这种理念，我们在传统的数据结构内容基础上，结合部分高校的教学实际及学生继续深造要求，重新编写了这本教材，适当增加了一些算法及算法分析方法等内容。本教材的作者均有十多年从事数据结构及相关课程的教学经验，而且具有其他学科背景。

根据数据结构特点及目前绝大多数专业人才培养需要，本书采用类 C 语言作为数据和算法的描述语言。对于每一种基本数据结构，给出相关定义后，用规范化的 ADT（抽象数据类型）进行描述，使读者能从面向对象的角度理解和把握概念的本质；在对数据的存储结构和算法进行描述时，尽量采用 C 语言。这样使得对各种数据结构的定义和实现简洁、清晰，既不拘泥于某种语言，又容易转换成能上机执行的 C 或 C++ 程序。

本书内容安排合理，详略得当，遵循易于理解的宗旨，讲解时由浅入深；文字表达上力求简练、通俗易懂；实现的具体算法，稍作修改即可上机调试。

全书分 9 章：第 1 章是绪论，引入数据结构的概念，并介绍了数据、结构、数据的逻辑结构、数据的存储结构、数据的操作、ADT、算法的概念及特点、算法的复杂度分析等；第 2 章是线性表，介绍了线性表的基本概念、两种存储结构及其相应存储结构下的操作实现及一些简单应用；第 3 章是栈与队列，介绍了栈与队列的基本概念、两种存储结构下的

操作实现,并列举了一些应用;第4章是数组、串和广义表,介绍了数组的概念、压缩存储的概念和实现、串的概念、串的存储及应用、广义表的基本概念等;第5章是树,介绍了树和二叉树的概念、各种存储结构,以及遍历、线索化二叉树、恢复二叉树、哈夫曼树的概念与实现;第6章是图,介绍了图的基本概念、图的存储方式,以及图的遍历、最小生成树、拓扑排序、关键路径和最短路径的概念与实现;第7章是查找,介绍了查找的概念与分类、各种查找方法的实现及复杂度分析;第8章是排序,介绍了排序的概念、排序的分类,重点介绍了各种内部排序方法的实现,对各种内部排序方法进行了分析和比较,最后简单介绍了外部排序的概念;第9章主要简要介绍了贪心算法、分治算法、动态规划、回溯算法、分支定界算法、随机化算法等几种常见算法设计方法、适用条件及算法的时间复杂性,为未来实际进行大型复杂问题的算法设计和分析工作提供了一种清晰的思路和方法。

本教材可作为高等院校计算机科学与技术、软件工程、信息工程、信息与计算科学、应用数学、信息管理与信息系统、电子商务、教育技术等专业的教材、参考书或考研辅导用书,也可供其他相关理工类专业或工程技术人员参考。对于信息类专业,可讲授64学时,对于非信息类专业,可作适当删减,讲授48学时。具体教学内容及教学要求等请参见目录前的“教学建议”

本书的第1、2、3、4、5、7章由张建林编写,第6、8、9章由刘玉铭编写,最后由张建林对全文进行通审和定稿。

本书第二版的修订得到了首都师范大学教材出版资助。在本书的修订、编写过程中,中国石油大学的陈明教授、首都师范大学的王锁柱教授对本书的编写提出了宝贵的意见;北京师范大学出版社的赵洛育女士对本书的出版提供了大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,恳请广大读者赐教。

编者

2016年4月于首都师范大学

教 学 建 议

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第1章 绪论	理解数据、数据元素和数据项、数据类型的概念及相互关系； 理解数据结构的概念； 理解数据的逻辑结构与数据的物理结构的关系； 理解抽象数据类型的概念； 了解4种基本的数据结构； 理解算法的概念；了解算法分析、时间复杂性、空间复杂性的概念。 本章重点：数据结构的概念和抽象数据类型的概念	4	3
第2章 线性表	理解线性结构的定义和特点； 理解线性表的概念； 熟练掌握顺序表和链表的组织方法及实现基本运算的算法； 掌握在顺序表和链表上进行算法设计的基本技能； 理解循环链表、双向链表的概念； 掌握在循环链表、双向链表上进行简单应用算法设计； 了解运用单链表完成多项式的加减运算。 本章重点：线性结构的定义和特点；线性表的运算；顺序表和链表的组织方法和算法设计	6	6
第3章 栈和队列	理解栈和队列的定义、特点及与线性表的异同； 熟练掌握顺序栈和链栈的组织方法，队满、队空的判断条件及其描述； 掌握在顺序栈上的简单应用； 熟练掌握循环队列和链队列的组织方法、算法； 掌握在队列上的简单应用。 本章重点：顺序栈和链栈上基本运算的实现和简单算法；链队上基本运算的实现和简单算法设计；循环队的组织，队满、队空的条件及算法设计	6	6
第4章 数组、串和广义表	理解数组的存储方法； 掌握数组在以行序为主序时的数组元素地址计算方法； 掌握特殊矩阵压缩存储的原理； 了解对稀疏矩阵的各种操作； 理解串的定义及相关操作的定义； 掌握串的定长顺序结构和堆存储结构上实现串的各种操作的方法； 理解串的模式匹配过程及算法； 了解广义表的结构特点和存储方法； 掌握广义表中取表头和取表尾操作的概念和使用。 本章重点：数组元素的地址计算，特殊矩阵、稀疏矩阵的各种压缩存储方法和适用范围	6	3

续表

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第5章 树	理解树形结构的基本概念和术语； 深刻领会并掌握二叉树的定义和存储结构； 掌握二叉树的性质及应用； 理解满二叉树和完全二叉树的概念； 熟练掌握二叉树的遍历概念、前序、中序、后序及层次遍历方法及算法实现； 掌握遍历算法的应用、线索二叉树的概念及应用； 掌握二叉树的构造及恢复方法； 了解树和森林的定义、树的存储结构； 掌握树、森林与二叉树之间的相互转换方法； 理解哈夫曼树的概念； 掌握构造哈夫曼树的方法； 了解哈夫曼树构造算法。 本章重点：树形结构的概念；二叉树的定义、性质、存储结构、遍历算法的应用及哈夫曼树的构造	10	6
第6章 图	理解图的概念并熟悉有关术语； 熟练掌握邻接矩阵表示法和邻接表表示法； 熟练掌握连通图遍历的基本思想和算法； 理解最小生成树的有关概念和算法； 掌握最小生成树的求解过程； 理解最短路径的概念及算法； 掌握最短路径的求解过程； 了解拓扑排序的概念、步骤和背景； 掌握关键路径的求解过程； 理解关键路径的概念及算法； 本章重点：图的遍历及最小生成树、最短路径、关键路径等典型问题的求解过程	8	6
第7章 查找	了解集合的基本概念； 理解查找表的定义、静态查找表和动态查找表的定义及特点； 熟练掌握顺序查找和折半查找的思想和算法； 掌握二叉排序树的概念、插入、删除及查找算法； 掌握平衡二叉树的概念及调整过程； 了解平衡二叉树的调整算法实现； 了解红黑树的概念、查找过程； 了解B-、B+树的概念、查找过程及插入、删除方法； 理解哈希函数、哈希表的概念； 掌握哈希表、哈希函数的构造方法，以及处理冲突的方法； 掌握哈希存储和哈希查找的基本思想及有关方法、算法分析。 本章重点：顺序查找、折半查找的方法；二叉排序树插入和删除、平衡二叉树的构造；哈希表的构造	9	6

续表

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第 8 章 排序	理解排序的概念、各类内部排序方法的指导思想和特点； 熟练掌握插入排序的基本思想及直接插入、折半插入、希尔排序的基本步骤及算法实现； 熟练掌握交换排序的基本思想及冒泡排序、快速排序的基本步骤及算法实现； 熟练掌握选择排序的基本思想及简单选择、树形选择、堆排序的基本步骤及算法实现； 理解并掌握归并排序的概念、基本步骤及算法实现； 理解并掌握基数排序的概念、基本步骤及算法实现； 了解外部排序的概念。 本章重点：希尔排序、快速排序、堆排序 3 种改进排序方法的思想及算法实现	9	6
第 9 章 算法设计方法	掌握贪心算法、分治算法、动态规划、回溯算法、分支定界算法、随机化算法等几种常见算法的基本思想和设计方法，并理解各算法的适用条件及时间复杂性	6	4
5	教学总学时建议	64	48

说明：

① 本教材主要是为计算机学科及其他信息类等理工专业的《数据结构》课程而编写的。建议课堂教学学时数为 48~64（包含习题课、课堂讨论等必要的课堂教学环节，但不包括实验教学，实验需另行安排学时），不同学校、不同类型的专业，可以根据各自的教学要求和计划学时数酌情对教材内容进行取舍。

② 对于非计算机类专业的师生，在使用本教材时可适当降低教学要求。若授课学时为 48 学时或更少时，可根据每一章的学习要点及教学要求，重点讲授要求掌握、熟练掌握的内容，对各种类型的操作算法可以适当降低要求。

课堂教学建议：

① 本书的重点是从抽象数据类型的角度讨论线性结构、树形结构和图形结构及其应用，所以第 2 章、第 3 章、第 5 章、第 6 章是教学的重点。

② 第 7 章、第 8 章是在掌握数据结构基本内容的基础上讨论查找和排序的各种实现方法及其综合分析、比较。教学中可以根据学时数情况，只讲 B-、B+ 的基本概念，而略去 B 树的插入、删除过程；简述归并排序和基数排序过程，不作算法要求；略去外部排序。

③ 第 9 章涉及的几种常见算法，主要是针对一些实际应用问题的解决。由于篇幅的问题，本书主要是围绕每一种算法的基本思想、设计方法和适用条件等进行了介绍。教学中对算法设计和分析有一定要求的学校或专业可以选讲，而其他专业仅作为参考。

④ 如果学时少于 48 学时，则对于第 4 章的内容，可以只作简单介绍，安排 2 学时或

直接跳过。

⑤ 在每一章结束,尤其是第3章、第5章、第6章、第8章学习结束后,应根据学生掌握情况,安排一些习题课。

实验教学建议:

① 原则上,每一章除书后习题外,还要安排不少于一道综合性上机实验题。

② 实验教学组织方式,可根据各自条件及学生情况而定。一般可以2~3人为一组或个人独立完成等多种形式进行。

③ 如果实验学时有限,实验题可集中在线性表、树、图、排序部分。

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 数据结构的由来与发展.....	1
1.1.1 什么是数据结构.....	1
1.1.2 数据结构的发展简史.....	5
1.2 数据结构的有关概念与术语.....	6
1.3 抽象数据类型.....	9
1.4 算法和算法分析.....	13
1.4.1 算法的概念与性质.....	13
1.4.2 算法设计的分类.....	14
1.4.3 算法的设计要求.....	14
1.4.4 算法分析.....	15
本章小结.....	19
习题.....	19
第 2 章 线性表.....	20
2.1 线性表的类型定义.....	20
2.1.1 线性表的概念.....	20
2.1.2 线性表的抽象数据类型.....	21
2.2 线性表的顺序表示和实现.....	24
2.2.1 顺序表.....	24
2.2.2 顺序表上基本操作的实现.....	25
2.2.3 顺序表应用举例.....	28
2.3 线性表的链式表示和实现.....	29
2.3.1 线性链表的概念.....	30
2.3.2 单链表上基本操作的实现.....	32
2.3.3 线性链表的应用举例.....	38
2.3.4 循环链表.....	40
2.3.5 双向链表.....	41
2.4 静态链表.....	43
2.5 一元多项式的表示和运算.....	46
本章小结.....	48
习题.....	48

第3章 栈和队列	51
3.1 栈的概念及操作	51
3.1.1 栈的定义	51
3.1.2 栈的抽象类型定义	52
3.2 栈的存储和操作实现	52
3.2.1 顺序栈	53
3.2.2 链式栈	56
3.3 栈的应用举例	57
3.3.1 数制转换问题	57
3.3.2 表达式中括号匹配的检验	58
3.3.3 表达式求值	59
3.3.4 栈与递归	62
3.3.5 迷宫问题	66
3.4 队列的概念及操作	68
3.4.1 队列的定义	68
3.4.2 队列的抽象类型定义	69
3.4.3 其他操作受限的线性表	70
3.5 队列的存储和操作实现	70
3.5.1 顺序队列	70
3.5.2 链队列	74
本章小结	76
习题	76
第4章 数组、串和广义表	79
4.1 数组的概念与实现	79
4.1.1 数组及其抽象数据类型定义	79
4.1.2 数组的顺序实现	80
4.2 矩阵的压缩存储	86
4.2.1 特殊矩阵	86
4.2.2 稀疏矩阵	88
4.3 串	101
4.3.1 串的概念及抽象数据类型定义	101
4.3.2 串的实现	104
4.3.3 串的模式匹配算法	108
4.4 广义表	111
4.4.1 广义表的基本概念	111
*4.4.2 广义表的实现	113
本章小结	118

习题.....	118
第5章 树	121
5.1 树的概念及有关术语.....	121
5.2 二叉树.....	125
5.2.1 二叉树的定义与性质.....	126
5.2.2 二叉树的存储与实现.....	129
5.2.3 二叉树的遍历.....	132
5.3 线索二叉树.....	138
5.4 树和森林.....	142
5.4.1 树的存储结构.....	142
5.4.2 树、森林与二叉树的转换.....	144
5.4.3 树和森林的遍历.....	145
5.5 Huffman 树和 Huffman 编码.....	146
5.5.1 Huffman 树.....	146
5.5.2 Huffman 编码.....	150
*5.6 等价类问题.....	152
本章小结.....	155
习题.....	155
第6章 图	159
6.1 图的概念及有关术语.....	159
6.2 图的表示和存储实现方法.....	162
6.2.1 邻接矩阵存储结构.....	162
6.2.2 邻接表存储结构.....	164
6.2.3 十字链表存储结构.....	168
6.2.4 邻接多重表存储结构.....	169
6.3 图的遍历.....	171
6.3.1 深度优先遍历.....	171
6.3.2 广度优先遍历.....	172
6.4 最小生成树.....	174
6.4.1 Prim 算法.....	175
6.4.2 Kruskal 算法.....	177
6.5 最短路径.....	179
6.5.1 无权图的最短路径.....	180
6.5.2 Dijkstra 算法.....	181
6.5.3 Floyd 算法.....	184
6.6 拓扑排序.....	186
6.7 关键路径.....	188

本章小结.....	190
习题.....	191
第7章 查找.....	195
7.1 查找的基本概念.....	195
7.2 静态查找表.....	197
7.2.1 顺序表的查找.....	197
7.2.2 有序表的查找.....	199
7.2.3 分块查找.....	203
7.3 动态查找表.....	205
7.3.1 二叉排序树.....	205
7.3.2 平衡二叉树.....	211
7.3.3 红黑树.....	218
7.3.4 B-树.....	221
*7.3.5 B+树.....	225
7.4 哈希表上的查找.....	226
7.4.1 哈希表的概念.....	226
7.4.2 哈希函数构造方法.....	228
7.4.3 处理冲突方法.....	230
7.4.4 哈希表的查找及其分析.....	232
*7.4.5 哈希表的有关算法.....	234
本章小结.....	236
习题.....	237
第8章 排序.....	240
8.1 概述.....	240
8.2 插入排序.....	242
8.2.1 直接插入排序.....	243
8.2.2 折半插入排序.....	244
*8.2.3 二路插入排序.....	245
*8.2.4 表插入排序.....	247
8.2.5 希尔排序.....	250
8.3 交换排序.....	252
8.3.1 冒泡排序.....	252
8.3.2 快速排序.....	253
8.4 选择排序.....	256
8.4.1 简单选择排序.....	256
8.4.2 树形选择排序.....	257
8.4.3 堆排序.....	258

8.5 归并排序	261
8.6 基数排序	262
8.7 内部排序方法比较	266
8.8 外部排序概述	267
本章小结	268
习题	268
第9章 算法设计方法	271
9.1 贪心算法	271
9.1.1 活动安排问题	272
9.1.2 多机调度问题	274
9.1.3 背包问题	274
9.2 分治算法	275
9.3 动态规划	278
9.4 回溯算法	282
9.4.1 0-1 背包问题 (回溯算法)	283
9.4.2 旅行商问题	285
9.5 分支定界算法	286
9.6 随机化算法	289
本章小结	290
习题	291
附录 A 部分习题参考答案或提示	293
主要参考文献	301

第1章 绪 论



本章要点

- ❖ 围绕数据结构的发展历程，引入数据结构的概念和基本应用；
- ❖ 数据结构的基本定义及有关术语；
- ❖ 抽象数据类型的概念；
- ❖ 算法的基本概念、特性及算法分类、设计要求；
- ❖ 算法的时间、空间分析方法。

1.1 数据结构的由来与发展

目前计算机已广泛而深入地应用到了人类社会的各个领域，计算机的应用已不再局限于解决传统的纯数值计算，而是更多地应用在企业管理、工业过程控制、办公自动化、经济管理、社会服务等非数值计算领域。与此相对应，计算机处理的对象也由纯粹的数值数据发展到字符、图像、声音、表格等各种各样具有一定结构的数据。这就给程序设计带来了新的问题。为了有效地组织和管理好这些各式各样的数据，设计出高质量的程序，必须深入分析和研究这些待处理的对象自身的特性，以及各处理对象之间的关系。其实这也正是数据结构这门课程形成与发展的背景。

1.1.1 什么是数据结构

计算机科学是一门研究用计算机进行信息表示和处理的科学。这里涉及两个方面的问题：信息的表示和信息的处理。在大多数情况下，这些信息并不是没有组织的，信息之间以及信息中的各个元素之间往往不是孤立存在的，它们之间有着一定的结构关系。同时，这些信息的表示方法又直接关系到处理信息程序的效率。而数据结构就是指相互之间存在一种或多种特定关系的数据元素的集合，并研究这些数据在计算机中的存储方式以及处理这些数据的方法。通常情况下，精心选择的数据结构可以带来更高的运行或者存储效率。

在学习程序设计时，用计算机解决一个实际问题，一般需要经过以下几个步骤：

- (1) 从实际问题中抽象出一个适当的数学模型。
- (2) 设计一个解决此数学模型的算法。
- (3) 使用某种程序设计语言编写出程序。
- (4) 上机进行测试、调整，直到得到最终解答或解决问题。

例如，用计算机求解数学方程的根。通过分析，首先确定可以有二分法和迭代法两种

不同的方法来求解方程的根，选择其中之一作为求解的方法，写出二分法的求解公式或迭代公式；选择其中之一，然后设计一个求解方程的步骤；最后用某种程序设计语言，如 C 语言编写出相应的程序，然后上机调试、调整，直到能正确求出方程的根。

在这类数值类问题中，分析得到的解决问题的数学方程就是一个数学模型。解决这类问题相对比较简单，但在实际的计算机应用中，绝大多数是非数值计算问题，无法直接用数学方程进行描述。请看如下 3 个例子。

例 1-1 学生选课系统。

现在几乎所有的高校在教务管理系统中都有选课系统。如果某一个学生要在系统中按所在专业培养方案选修下一学期的课，或教务处需要查询有多少同学选修了某一门课，或班主任想查询、统计一下全班同学下学期的选课情况等，则可以建立相关的数据结构，并且按照某种算法编写出相关的程序，这样就可以实现计算机的自动查询。为此，在选课系统中，需要建立一张按学生的学号顺序排列的学生信息表和分别按专业、课程号和班级代号顺序排列的索引表，如图 1-1 所示。由这 4 张表构成的文件就是学生选课系统的数学模型，计算机的主要操作就是按特定要求对学生信息文件进行查询。

学号	姓名	性别	专业	年级	...
1140600103	张瑞敏	男	应用数学	14	...
1141000031	李 志	男	计算机科学与技术	14	...
1141000037	何大为	男	计算机科学与技术	14	
1151800312	王 婧	女	电子信息工程	15	...
1152900022	赵 蕾	女	信息管理与信息系统	15	...
1152900065	崔海涛	男	信息管理与信息系统	15	
...	...	...	...	...	...

(a) 学生基本信息表

应用数学	1
计算机科学与技术	2, 3
电子信息工程	4
信息管理与信息系统	5, 6
...	...

(b) 专业索引表

大学语文	1, 2, 3, 4, 5, 6
数据结构	2, 3, 5, 6
管理信息系统	5, 6
高等数学	2, 3, 4, 5, 6
...	...

(c) 课程索引表

14 数学 3 班	1
14 计算机 1 班	2, 3
15 信息 8 班	4
15 信管 1 班	5
15 信管 2 班	6
...	...

(d) 班级索引表

图 1-1 选课系统中的数据结构