

21
世纪

高职高专新概念教材

王路群 主 编
邓沌华 曹 静 副主编

数据结构 (C语言描述)

21 Shi Ji Gao Zhi Gao Zhuan Xin Gai Nian Jiao Cai



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专新概念教材

数据结构（C 语言描述）

王路群 主编

邓沌华 曹 静 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书为 21 世纪高职高专新概念教材之一, 全书共 10 章, 主要内容包括: 绪论、线性表、栈和队列、串、多维数组和广义表、树、图、查找、排序、文件等。各章中所涉及的数据结构与算法均给予了 C 语言描述(所有程序都运行通过), 以便于读者巩固和提高运用 C 语言进行程序设计的能力与技巧。

本书在内容的选取、概念的引入、文字的叙述以及例题和习题的选择等方面, 都力求遵循面向应用、逻辑结构简明合理、由浅入深、深入浅出、循序渐进、便于自学的原则, 突出其实用性与应用性。

本书为高职高专计算机专业教材, 也适合作为各校非计算机专业辅修计算机专业课程的教材, 还可以供一切从事计算机软件开发的科技人员自学参考。

本书配有电子教案, 此教案用 PowerPoint 制作, 可以任意修改。选用本教材的老师可以与北京万水电子信息有限公司联系, 免费获取该电子教案。联系电话: 010-68359168-331。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构: C 语言描述/王路群主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2002
(21 世纪高职高专新概念教程)

ISBN 7-5084-0989-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005184 号

书 名	数据结构(C 语言描述)
主 编	王路群
副 主 编	邓沌华 曹 静
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@public3.bta.net.cn (万水) sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 68359286 (万水) 63202266 (总机) 68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京天竺颖华印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 14 印张 291 千字
版 次	2002 年 2 月第一版 2002 年 2 月北京第一次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	18.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

21 世纪高职高专新概念教材

编委会名单

主任委员 刘 晓 柳菊兴

副主任委员 胡国铭 张栢勤 王前新 黄元山 柴 野
张建钢 田 刚 宋 红 汤鑫华 王国仪

委 员 (按姓氏笔画排序)

马洪娟	马新荣	尹朝庆	方 宁	方 鹏
毛芳烈	王 祥	王乃钊	王希辰	王国思
王明晶	王泽生	王绍卜	王路群	东小峰
台 方	叶永华	宁书林	田 原	田绍槐
申 会	刘 猛	刘尔宁	刘慎熊	孙明魁
汤永茂	许学东	闫 菲	宋锦河	张 晞
张 慧	张弘强	张怀中	张晓辉	张海春
张曙光	李 琦	李存斌	李珍香	李家瑞
杨永生	杨庆德	杨均青	汪振国	肖晓丽
闵华清	陈 川	陈 炜	陈语林	陈道义
单永磊	周杨娣	周学毛	武铁敦	郑有想
侯怀昌	胡大鹏	胡国良	费名瑜	赵作斌
赵秀珍	赵海廷	唐伟奇	夏春华	徐凯声
殷均平	袁晓州	袁晓红	钱同惠	钱新恩
高寅生	曹季俊	梁建武	舒望皎	蒋厚亮
覃晓康	谢兆鸿	韩春光	雷运发	廖哲智
廖家平	管学理	蔡立军	黎能武	魏 雄

项目总策划 雨 轩

编委会办公室 主 任 周金辉

副主任 孙春亮 杨庆川

参 编 学 校 名 单

(按第一个字笔划排序)

三门峡职业技术学院	西安欧亚学院
山东大学	西安铁路运输职工大学
山东建工学院	西安联合大学
山东省电子工业学校	孝感职业技术学院
山东农业大学	杨陵职业技术学院
山东省农业管理干部学院	昆明冶金高等专科学校
山东省教育学院	武汉大学动力与机械学院
山西阳泉煤炭专科学校	武汉大学信息工程学院
山西经济管理干部学院	武汉工业学院
广州市职工大学	武汉工程职业技术学院
广州铁路职业技术学院	武汉广播电视大学
中国人民解放军第二炮兵学院	武汉化工学院
中国矿业大学	武汉电力学校
中南大学	武汉交通管理干部学院
天津市一轻局职工大学	武汉科技大学工贸学院
天津职业技术师范学院	武汉商业服务学院
长沙大学	武汉理工大学
长沙民政职业技术学院	河南济源职业技术学院
长沙交通学院	陕西师范大学
长沙航空职业技术学院	南昌水利水电高等专科学校
长春汽车工业高等专科学校	哈尔滨金融专科学校
北京对外经济贸易大学	济南大学
北京科技大学职业技术学院	济南交通高等专科学校
北京科技大学成人教育学院	荆门职业技术学院
石油化工管理干部学院	贵州无线电工业学校
石家庄师范专科学校	贵州电子信息职业技术学院
华中电业联合职工大学	恩施职业技术学院
华中科技大学	黄冈职业技术学院
华东交通大学	黄石计算机学院
华北电力大学工商管理学院	湖北工学院
江汉大学	湖北丹江口职工大学
西安外事学院	湖北交通职业技术学院

湖北汽车工业学院
湖北经济管理大学
湖北药检高等专科学校
湖北商业高等专科学校
湖北教育学院
湖北鄂州大学
湖南大学

湖南工业职业技术学院
湖南计算机高等专科学校
湖南省轻工业高等专科学校
湖南涉外经济学院
湖南郴州师范专科学校
湖南商学院
湖南税务高等专科学校

序

根据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》）的精神，由中国水利水电出版社北京万水电子信息有限公司精心策划，聘请我国长期从事高职高专教学、有丰富教学经验的教师执笔，在充分汲取了高职高专和成人高等学校在探索培养技术应用性人才方面取得的成功经验和教学成果的基础上，撰写了这套《21 世纪高职高专新概念教材》。

为了编写本套教材，出版社进行了广泛的调研，走访了全国百余所具有代表性的高等专科学校、高等职业技术学院、成人教育高等院校以及本科院校举办的二级职业技术学院在广泛了解情况、探讨课程设置、研究课程体系的基础上，经过学校申报、征求意见、专家评选等方式，确定了本套书的主编，并成立了编委会。每本书的编委会聘请了多所学校主要学术带头人或主要从事该课程教学的骨干，教学大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论。

本套《21 世纪高职高专新概念教材》有如下特点：

（1）面向 21 世纪人才培养的需求，结合高职高专学生的培养特点，具有鲜明的高职高专特色。本套教材的作者都是长期在第一线从事高职高专教育的骨干教师，对学生的基本情况、特点和认识规律等有深入的了解，在教学实践中积累了丰富的经验。因此可以说，每一本书都是教师们长期教学经验的总结。

（2）以《基本要求》和《培养规格》为编写依据，内容全面，结构合理，文字简练，实用性强。在编写过程中，作者严格依据教育部提出的高职高专教育“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，力求从实际应用的需要（实例）出发，尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念，加强了应用性和实际操作性强的内容。

（3）采用“问题（任务）驱动”的编写方式，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。本套书的编写思路与传统教材的编写思路不同：先提出问题，然后介绍解决问题的方法，最后归纳总结出一般规律或概念。我们把这个新的编写原则比喻成“一棵大树、问题驱动”的原则。即：一方面遵守先见（构建）“树”（每本书就是一棵大树），再见（构建）“枝”（书的每一章就是大树的一个分枝），最后见（构建）“叶”（每章中的若干小节及知识点）的编写原则；另一方面采用问题驱动方式，每一章都尽量用实际中的典型实例开头（提出问题、明确目标），然后逐渐展开（分析解决问题），在讲述实例的过程中将本章的知识点融入。这种精选实例，并将知识点融于实例中的编写方式，可读性、可操作性强，非常适合高职高专的学生阅读和使用。本书读者通过学习构建本书中的“树”，由“树”找“枝”，

顺“枝”摸“叶”，最后达到构建自己所需要的“树”的目的。

(4) 配有实验指导和实训教程，便于学生练习提高。

(5) 配有动感电子教案。为顺应教育部提出的教材多元化、多媒体化发展的要求，每本教材都配有电子教案，以满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。

(6) 提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套教材凝聚了数百名高职高专一线教师多年的教学经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。

本套教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校。

新的世纪吹响了我国高职高专教育蓬勃发展的号角，新世纪对高职教育提出了新的要求，高职教育占据了全面素质教育中所不可缺少的地位，在我国高等教育事业中占有极其重要的位置，在我国社会主义现代化建设事业中发挥着日趋显著的作用，是培养新世纪人才所不可缺少的力量。相信本套《21 世纪高职高专新概念教材》的出版能为高职高专的教材建设和教学改革略尽绵薄之力，因为我们提供的不仅是一套教材，更是自始至终的教育支持，无论是学校、机构培训还是个人自学，都会从中得到极大的收获。

当然，本套教材肯定会有不足之处，恳请专家和读者批评指正。

21 世纪高职高专新概念教材编委会

2001 年 3 月

前 言

21 世纪是科学技术高速发展的信息时代，而计算机是处理信息的主要工具，因此，人们已经认识到，计算机知识已成为人类当代文化的一个重要组成部分。

计算机科学技术以惊人的速度向前发展，它的广泛应用已从传统的数值计算领域发展到各种非数值计算领域。在非数值计算领域里，数据处理的对象已从简单的数值发展到一般的符号，进而发展到具有一定结构的数据。在这里，面临的主要问题是：针对每一种新的应用领域的处理对象，如何选择合适的表示（结构），如何有效地组织计算机存储，并在此基础上又如何有效地实现对象之间的“运算”关系。传统的解决数值计算的许多理论、方法和技术已不能满足解决非数值计算问题的需要，必须进行新的探索。数据结构就是研究和解决这些问题的重要基础理论。因此，“数据结构”课程已成为计算机类专业的一门重要专业基础课。

数据结构是程序设计的中级课程，主要培养学生分析数据、组织数据的能力，告诉学生如何编写效率高、结构好的程序。本书为 21 世纪高职高专新概念教材之一，在内容的选取、概念的引入、文字的叙述以及例题和习题的选择等方面，都力求遵循面向应用、逻辑结构简明合理、由浅入深、深入浅出、循序渐进、便于自学的原则，突出其实用性与应用性。全书共分十章。第一章主要讲述数据结构和算法的基本概念。第二～七章分别讲述线性表、栈和队列、串、多维数组和广义表、树和图这几种基本数据结构的特点、存储方法和基本运算，书中安排了相当的篇幅来介绍这些基本数据结构的实际应用。第八章和第九章讲述查找和排序的基本原理与方法。第十章围绕数据在外存上的组织方法介绍了文件的若干基本结构。各章中所涉及的数据结构与算法，均给予了 C 语言描述，以便于读者巩固和提高运用 C 语言进行程序设计的能力与技巧。书中所有程序都运行通过，并可从中国水利水电出版社的网站（www.waterpub.com.cn）免费下载。

本书配有电子教案，此教案用 PowerPoint 制作，可以任意修改，使用该教材的教师可以与北京万水电子信息有限公司联系，免费获取此电子教案。联系电话：010-68359168-331。

本书为高职高专计算机科学与技术专业教材，建议讲授课时为 60 学时，上机实践课时为 20 学时，各院校可根据自己的特点适当增删。本书也适合作为各校非计算机专业辅修计算机专业课程的教材，还可以供一切从事计算机软件开发的科技人员自学参考。

本书由王路群主编，邓沌华、曹静任副主编，其中第一、十章由王路群编写，第二、三、四章由侯叶舟、李梅编写，第五章由李根强编写，第六、八章由邓沌华编写，第七章由盛集明、曹静编写，第九章由官东编写，王路群、邓沌华统编全稿。参加本书编写大纲讨论的教师还有张胜利、胡长坤、赵海廷、贾文军、郑晓娟、韩秋岚、李红玲等。

由于编者水平有限，书中不妥或错误之处在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2001 年 12 月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
本章学习导读	1
1.1 引言	1
1.2 数据结构的发展简史及其在计算机科学中所处的地位	1
1.3 什么是数据结构	2
1.4 基本概念和术语	3
1.5 算法和算法的描述	6
1.5.1 算法	6
1.5.2 算法的描述	6
1.5.3 算法评价	9
本章小结	11
习 题 一	11
第二章 线性表	12
本章学习导读	12
2.1 线性表的逻辑结构	12
2.2 线性表的顺序存储结构	13
2.2.1 线性表的顺序存储结构	13
2.2.2 线性表在顺序存储结构下的运算	15
2.3 线性表的链式存储结构	20
2.3.1 线性链表	20
2.3.2 循环链表	26
2.3.3 双向链表	28
2.4 一元多项式的表示及相加	31
本章小结	33
习 题 二	34
第三章 栈和队列	35
本章学习导读	35
3.1 栈	35

3.1.1 栈的定义及其运算	37
3.1.2 栈的顺序存储结构	38
3.1.3 多栈共享邻接空间	40
3.1.4 栈的链式存储结构	42
3.2 算术表达式求值	44
3.3 队列	49
3.3.1 队列的定义及其运算	50
3.3.2 队列的顺序存储结构	51
3.3.3 队列的链式存储结构	55
3.3.4 其他队列	57
本章小结	58
习 题 三	59
第四章 串	60
本章学习导读	60
4.1 串的基本概念	60
4.1.1 串的定义	60
4.1.2 主串和子串	60
4.2 串的存储结构	61
4.2.1 串值的存储	61
4.2.2 串名的存储映像	63
4.3 串的基本运算及其实现	64
4.3.1 串的基本运算	64
4.3.2 串的基本运算及其实现	65
4.4 文本编辑	68
本章小结	69
习 题 四	70
第五章 多维数组和广义表	71
本章学习导读	71
5.1 多维数组	71
5.1.1 多维数组的概念	71
5.1.2 多维数组在计算机内的存放	72
5.2 多维数组的存储结构	72
5.2.1 行优先顺序	72
5.2.2 列优先顺序	73
5.3 特殊矩阵及其压缩存储	73

5.3.1 特殊矩阵	73
5.3.2 压缩存储	75
5.4 稀疏矩阵	77
5.4.1 稀疏矩阵的存储	77
5.4.2 稀疏矩阵的运算	80
5.5 广义表	93
5.5.1 基本概念	93
5.5.2 存储结构	94
5.5.3 基本运算	96
本章小结	100
习 题 五	101
第六章 树	103
本章学习导读	103
6.1 树的结构定义与基本操作	103
6.1.1 树的定义及相关术语	103
6.1.2 树的存储结构	104
6.1.3 树的基本操作	105
6.2 二叉树	106
6.2.1 二叉树的定义与基本操作	106
6.2.2 二叉树的性质	108
6.2.3 二叉树的存储结构	109
6.2.4 树与二叉树的相互转换	110
6.3 遍历二叉树	111
6.3.1 先序遍历	112
6.3.2 中序遍历	112
6.3.3 后序遍历	113
6.3.4 层次遍历	114
6.3.5 遍历算法的应用	114
6.4 线索二叉树	116
6.4.1 中序次序线索化算法	117
6.4.2 在中根线索树上检索某结点的前驱算法	118
6.4.3 在中根线索树上检索某结点的后继算法	118
6.5 二叉排序树	119
6.5.1 二叉排序树的定义	119
6.5.2 二叉排序树的生成	119

6.5.3 删除二叉排序树上的结点	121
6.6 哈夫曼树和哈夫曼算法	122
6.6.1 哈夫曼树的定义	122
6.6.2 构造哈夫曼树——哈夫曼算法	124
6.6.3 哈夫曼树的应用	125
本章小结	127
习 题 六	128
第七章 图	130
本章学习导读	130
7.1 基本定义和术语	130
7.2 图的存储结构	133
7.2.1 邻接矩阵	133
7.2.2 邻接表	135
7.3 图的遍历	138
7.3.1 深度优先搜索法	138
7.3.2 宽度优先搜索法	141
7.4 最小生成树	144
7.5 最短路径	151
7.5.1 单源点最短路径	152
7.5.2 所有顶点对之间的最短路径	155
7.6 拓扑排序	157
本章小结	159
习 题 七	161
第八章 查找	162
本章学习导读	162
8.1 顺序查找	162
8.2 折半查找	164
8.3 分块查找	166
8.4 哈希法	167
8.4.1 哈希表和哈希函数的概念	168
8.4.2 哈希函数的构造方法	168
8.4.3 冲突处理	170
本章小结	173
习 题 八	173
第九章 排序	174

本章学习导读	174
9.1 插入排序	174
9.1.1 线性插入排序	174
9.1.2 折半插入排序	176
9.2 希尔排序	177
9.3 选择排序	179
9.4 堆排序	181
9.5 快速排序	185
9.6 归并排序	188
9.7 基数排序	190
9.8 外部排序	192
9.9 各种排序方法的比较	193
本章小结	194
习 题 九	195
第十章 文件	196
本章学习导读	196
10.1 文件的基本概念	196
10.2 顺序文件	198
10.3 索引文件	199
10.4 索引顺序文件	200
10.5 直接存取文件	203
10.6 多关键字文件	204
10.6.1 多重表文件	204
10.6.2 倒排文件	205
本章小结	206
习 题 十	206
参考文献	208

第一章 绪论

本章学习导读

本章介绍了数据结构这门学科诞生的背景、发展历史以及在计算机科学中所处的地位，重点介绍了与数据结构有关的概念和术语，读者学习本章后应能掌握数据、数据元素、逻辑结构、存储结构、数据处理、数据结构、算法设计等基本概念，并了解如何评价一个算法的好坏。

1.1 引言

众所周知，20 世纪 40 年代，电子数字计算机问世的直接原因是解决弹道学的计算问题。早期，电子计算机的应用范围，几乎只局限于科学和工程的计算，其处理的对象是纯数值性的信息，通常，人们把这类问题称为数值计算。

近 30 年来，电子计算机的发展异常迅猛，这不仅表现在计算机本身运算速度不断提高、信息存储量日益扩大、价格逐步下降，更重要的是计算机广泛地应用于情报检索、企业管理、系统工程等方面，已远远超出了数值计算的范围，而渗透到人类社会活动的一切领域。与此相应，计算机的处理对象也从简单的纯数值性信息发展到非数值性的和具有一定结构的信息。

因此，再把电子数字计算机简单地看作是进行数值计算的工具，把数据仅理解为纯数值性的信息，就显得太狭隘了。现代计算机科学的观点，是把计算机程序处理的一切数值的、非数值的信息，乃至程序统称为数据（Data），而电子计算机则是加工处理数据（信息）的工具。

处理对象的转变导致系统程序和应用程序的规模越来越大，结构也相当复杂，单凭程序设计人员的经验和技巧已难以设计出效率高、可靠性强的程序，数据的表示方法和组织形式已成为影响数据处理效率的关键。因此，就要求人们对计算机程序所加工的对象进行系统的研究，即研究数据的特性以及数据之间存在的关系——数据结构（Data Structure）。

1.2 数据结构的发展简史及其在计算机科学中所处的地位

数据结构是随着电子计算机的产生和发展而发展起来的一门较新的计算机学科。数据结构所讨论的有关问题，早先是为了解决系统程序设计中的具体技术而出现在《编译程序》和《操作系统》之中。“数据结构”作为一门独立的课程在国外是从 1968 年才开始设立的。在这之

前, 它的某些内容曾在其他课程, 如表处理语言中有所阐述。1968 年在美国一些大学的计算机系的教学计划中, 虽然把“数据结构”规定为一门课程, 但对课程的范围仍没有作明确规定。当时, 数据结构几乎和图论, 特别是和表、树的理论为同义语。随后, 数据结构这个概念扩充到包括网络、集合代数论、格、关系等方面, 从而变成了现在称之为“离散结构”的内容。然而, 由于数据必须在计算机中进行处理, 因此, 不仅考虑数据本身的数学性质, 而且还必须考虑数据的存储结构, 这就进一步扩大了数据结构的内容。近年来, 随着数据库系统的不断发展, 在数据结构课程中又增加了文件管理 (特别是大型文件的组织等) 的内容。

1968 年美国唐·欧·克努特教授开创了数据结构的最初体系, 他所著的《计算机程序设计技巧》第一卷《基本算法》是第一本较系统地阐述数据的逻辑结构和存储结构及其操作的著作, 从 60 年代末到 70 年代初, 出现了大型程序, 软件也相对独立, 结构程序设计成为程序设计方法学的主要内容, 人们就越来越重视数据结构, 认为程序设计的实质是对确定的问题选择一种好的结构, 加上设计一种好的算法。从 70 年代中期到 80 年代初, 各种版本的数据结构著作就相继出现。

目前在我国, “数据结构”也已经不仅仅是计算机专业的教学计划中的核心课程之一, 而且是其他非计算机专业的主要选修课程之一。

“数据结构”在计算机科学中是一门综合性的专业基础课。数据结构的研究不仅涉及到计算机硬件 (特别是编码理论、存储装置和存取方法等) 的研究范围, 而且和计算机软件的研究有着更密切的关系, 无论是编译程序还是操作系统, 都涉及到数据元素在存储器中的分配问题。在研究信息检索时也必须考虑如何组织数据, 以便查找和存取数据元素更为方便。因此, 可以认为数据结构是介于数学、计算机硬件和计算机软件三者之间的一门核心课程。我国从 1978 年开始, 各院校先后开设了“数据结构”课。1982 年全国计算机教育学术讨论会和 1983 年全国大专类计算机专业教学工作讨论会都把“数据结构”确定为计算机类各专业的骨干课程之一。这是因为, 在计算机科学中, 数据结构这一门课的内容不仅是一般程序设计 (特别是非数值性程序设计) 的基础, 而且是设计和实现编译程序、操作系统、数据库系统及其他系统程序的重要基础。

值得注意的是, 数据结构的发展并未终结, 一方面, 面向各专门领域中特殊问题的数据结构得到研究和发展, 如多维图形数据结构等; 另一方面, 从抽象数据类型的观点来讨论数据结构, 已成为一种新的趋势, 越来越被人们所重视。由此可见, 数据结构技术的产生时间并不长, 它正处于迅速发展阶段。同时, 随着电子计算机的发展和更新, 新的数据结构将会不断出现。

1.3 什么是数据结构

什么是数据结构? 这是一个难于直接回答的问题。一般来说, 用计算机解决一个具体问题时, 大致需要经过下列几个步骤: 首先要从具体问题中抽象出一个适当的数学模型, 然后