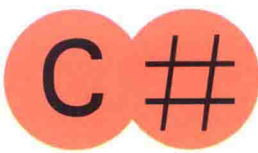
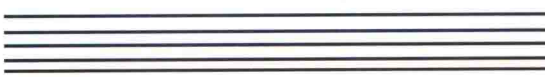


教育部高等学校高职高专计算机类专业教学指导委员会“十二五”规划教材

—— 软件技术系列



数据结构

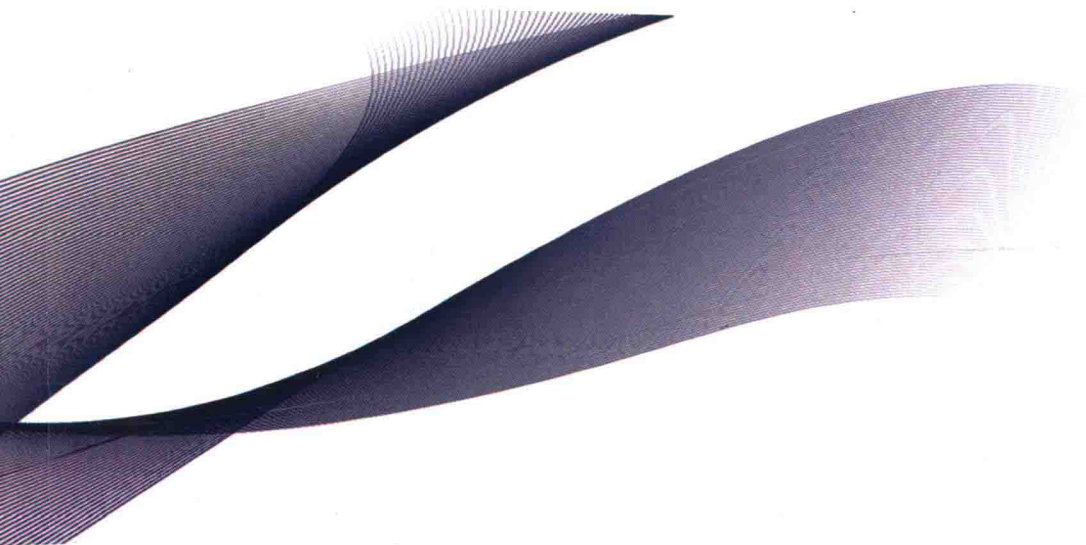


C#

丛书主编 王路群

主 编 库 波

副主编 秦培煜 余恒芳 陈文兰



Neusoft[®]
Beyond Technology™

东软电子出版社

数 据 结 构(C#)

丛书主编 王路群

主 编 库 波

副 主 编 秦培煜 余恒芳 陈文兰

参 编 王 铮 张 咪

东 软 电 子 出 版 社

• 大 连 •

内容简介

“数据结构”是计算机系统专业的一门必修课,是计算机科学的算法理论基础和软件设计的技术基础。本教材以 C# 语言为例,讲授线性表、栈、队列、树、图等各种数据结构及其应用,以及查找和排序的各种实现方法及其综合比较。通过本教材的学习,可以使学生掌握各种数据结构的特性、逻辑结构、存储结构和相应算法,同时训练学生设计复杂程序的能力。本教材具有很强的实践性,通过大量上机训练来加深学生对各种数据结构的理解和应用能力。

数据结构(C#)/库波主编。—大连:东软电子出版社,2013.7
ISBN 978-7-89436-157-8

策划编辑:杨焕玲
光盘开发:齐跃

责任编辑:朱娜
装帧设计:隋树峰

出版/发行:东软电子出版社
地 址:大连市软件园路8号
邮 编:116023
电话/传真:0411-84835089
网 址:<http://press.neusoft.edu.cn>
电子邮箱:nep@neusoft.edu.cn

出版时间:2013年7月
印制时间:2013年7月第1次印制
字 数:380千字

印 制 者:吉林庆达光盘科技有限责任公司
沈阳航空发动机研究所印刷厂

高等职业教育在专业教育上担负着帮助学生构建专业理论知识体系、专业技术框架体系和职业活动逻辑体系的任务，而这三个体系的构建需要通过专业教材体系和专业教材内部结构得以实现，即学生的心理结构来自于教材的体系和结构。

为探讨软件技术专业的建设思路和课程体系，形成体系化、实用性的专业教材，在教育部高等学校高职高专计算机类专业教学指导委员会（以下简称“计算机教指委”）的指导下，国内软件技术专业的高职院校及行业领军企业多次开会探索、研讨，做了大量富有成效的工作。软件技术系列教材正是集合众多高职院校教师和企业工程师智慧的体现。

系列教材特色

软件技术系列教材依据不同教材在其构建知识、技术、活动三个体系中的作用，采用了不同的教材结构设计和相似的编写体例。

1. 承担专业理论知识体系的构建任务

强调专业理论知识体系的完整性与系统性，不强调专业理论知识的深度和难度；追求学生对专业理论知识整体框架的把握，不追求学生只掌握某些局部内容的深度和难度。

2. 承担专业技术框架体系的构建任务

注重让学生了解这种技术的产生与演变过程，培养学生的技术创新意识；注重让学生把握这种技术的整体框架，培养学生对新技术的学习能力；注重让学生在技术应用过程中掌握这种技术的操作，培养学生的技术应用能力；注重让学生区别同种用途的其他技术的特点，培养学生职业活动过程中的技术比较与选择能力。

3. 承担职业活动体系的构建任务

依据不同职业活动对所从事者特质的要求，分别采用了项目驱动、情景驱动、效果驱动的方式，形成了“做中学”一体的系列教材结构与体例，诸如项目导引、项目分析、项目实施等。项目驱动培养所从事者的程序逻辑思维；情景驱动培养所从事者的情景敏感特质；效果驱动培养所从事者的发散思维。

本系列教材无论从课程标准的开发、教材体系的建立、教材内容的筛选、教材结构的设计还是教材素材的选择，都得到了国内知名职业教育专家和一百多所高职高专院校及相关企业专家的大力支持，并给予了十分有益的建议，从而对高职高专计算机类专业教学提供了丰富的素材和鲜活的教学经验。

本系列教材是我国高职高专教育近年来只注重学生单一职业活动逻辑体系构建,向专业理论知识体系、技术框架体系和执业活动逻辑体系三个体系构建转变的有益尝试,也是计算机教指委专家委员研究讨论成果的具体应用之一,是近百所高职院校一线教师和企业工程师智慧的体现。

王路群

2012年12月

随着信息技术的发展和普及,作为高等教育的一种类型教育,高职高专教育更强调工程化和职业化——学生不仅应具备基本的专业理论知识,更重要的是应具备过硬的专业技能和工程能力。目前学生对数据结构知识的掌握和应用能力与企业对人才的需求还存在很大差异,传统的教学模式和教学内容无法满足学生职业发展的需要。因此,有必要加强对在校大学生计算机编程能力的训练,最终达到提高学生职业素质的目的。

因此,教育部高等学校高职高专计算机类专业教学指导委员会组织十余所院校的多位计算机教育一线专家,共同策划了这本《数据结构(C#)》。

《数据结构(C#)》主要培养学生分析数据和组织数据的能力。本教材在内容的选取、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。

一、教材特色

- 由浅入深,深入浅出

本教材在基本概念、基本理论阐述方面科学严谨。同时从应用出发,对新概念的引入均以应用实例开始,对各种基本的算法描述详细,叙述清晰。

- 循序渐进,通俗易懂

内容简明,图文并茂;案例讲解通俗易懂;步骤详尽,方便操作;知识点明确,方便查阅。

- 资源开放,网站支撑

门户网站提供教学内容、教学设计、教学资源、实践教学、案例库、在线考试等功能,方便师生利用网络环境进行学习与交流。

二、内容介绍与教学建议

全教材共分10章。第1章绪论主要讲述数据结构和算法的基本概念。第2章~第7章分别讲述线性表、栈和队列、串、数组与广义表、树和图这几种基本数据结构的特点、存储方法和基本运算,教材中安排了适当的篇幅来介绍这些基本数据结构的实际应用。第8章和第9章讲述查找和排序的基本原理与方法,第10章讲解了文件概念。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。教材中所有程序都运行通过,并可从附带光盘中下载。

本教材的内容结构具体如下:

- 第1章：主要介绍数据结构基础知识；
- 第2章：主要介绍线性表；
- 第3章：主要介绍栈和队列；
- 第4章：主要介绍串及其基本操作；
- 第5章：主要介绍数组和广义表；
- 第6章：主要介绍树及二叉树基本操作；
- 第7章：主要介绍图基本操作；
- 第8章：主要通过案例的实现介绍查找方法及基本操作；
- 第9章：主要通过案例的实现介绍排序方法及基本操作；
- 第10章：主要讲解文件相关概念。

本教材建议以理论课与实践课相结合的方式进行讲授，强调学生的实际动手能力。各院校可以根据自己的实际情况适当调整教学内容。

三、案例说明

- 单一案例

包括九九乘法表、顺序表与链表的应用、栈与队列的应用、矩阵乘法、二叉树的应用、图的遍历、哈夫曼编码应用、折半查找算法的应用等。

- 综合案例

包括学生成绩管理系统、排序系统、图书馆借书系统等。

四、读者对象

- 高职高专计算机相关专业的学生；
- 应用型本科院校计算机相关专业的学生；
- 计算机相关专业培训机构的学生；
- 广大计算机爱好者。

本教材编写团队集中了武汉软件工程职业学院计算机与软件学院的优势力量，编者都是具有多年一线教学实践经验的资深专家。教材由教育部高等学校高职高专计算机类专业教学指导委员会委员王路群教授主审。库波对本教材的编写思路与项目设计进行了总体策划，参与编写的有秦培煜、余恒芳、张克斌、袁晓曦、郭俐和邯郸职业技术学院的陈文兰以及河南建筑职业学院的王铮、张咪。

本教材在编写的过程中得到了武汉软件工程职业学院计算机与软件学院信息管理教研室的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促，水平有限，教材中难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝指正。

第一部分 课程介绍及学习方法

“数据结构”课程是计算机科学与技术专业的一门专业基础课。它涉及在计算机中如何有效地表示数据，如何合理地组织数据和处理数据。还涉及初步的算法设计和算法性能分析知识。“数据结构”课程是一门理论性和实践性很强、比较难学习的一门课程，而且“C# 语言程序设计”和“离散数学”的基础都将影响到本课程的学习效果，所以学生在以自学为主的学习过程中，应当加强网络教学资源、多媒体课件的利用和上机操作。

学习方法建议如下：

(1) 除了主教材以外，学习前还应当掌握如下教学资源：教学大纲、平时作业要求、课程实施细则、考核说明等。

(2) 由于本课程使用多媒体课件讲授，它作为文字教材的强化媒体，配合文字教材讲授课程的重点、难点以及问题的分析方法与思路。学生学习时两者互相补充，彼此配合。

(3) 按照教学大纲和考核说明进行学习，布置的作业一定做且弄清楚，本课程的成绩好坏与作业完成的情况有密切的联系，习题做的多的学生，特别是程序设计题做的多的学生考试过关率肯定高，不做作业者很难通过。学习中注意做笔记，将遇到的问题和难点记下来，然后与老师联系答疑。良好的记笔记的习惯，可方便期末复习。

(4) 按该门课程布置的平时作业要求完成相应的作业，最后复习时把五套模拟试卷都做一遍，弄懂每一题，并能举一反三。

(5) 本课程按教学大纲要求需要做实验并指定有配套的实验指导书，需要在安装有 C# 编译器的计算机上做实验。

(6) 对考核说明中指定的重点内容和知识点一定要认真消化并弄清楚。

第二部分 课程教学总体安排

“数据结构”是计算机科学与技术专业统设的一门重要的必修专业基础课，它主要研究数据的各种逻辑结构和在计算机中的存储结构，还研究对数据进行的插入、查找、删除、排序、遍历等基本运算和操作以及这些运算在各种存储结构上具体实现的算法。本课程的主教材采用 C# 语言描述算法。

本课程开设一个学期，总学时为 72 学时，其中理论教学 42 学时，课内实践 30 学时。具体分配见表 1：

表 1

学时分配建议表

课程内容	总学时	理论教学	课内实践
绪论	4	2	2
线性表	4	2	2
栈和队列	4	2	2
串	4	2	2
数组与广义表	4	2	2
树	12	6	6
图	10	6	4
查找	12	6	6
排序	12	8	4
文件	6	6	0
合计	72	42	30

教育部高等学校高职高专计算机类专业教学指导委员会“十二五”规划教材

软件技术系列编审委员会

主任委员 温 涛

副主任委员 王路群 李万龙

委 员 (按姓氏笔画排序)

石冬凌 库 波 宋 涛

吴 鹏 周春容 洪 州

倪 鹏 黄雄波 黄 伟

董英茹 雷军环

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 数据结构的发展简史	2
1.3 什么是数据结构	3
1.4 基本概念和术语	4
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	11
1.6 实训项目一——九九乘法表	13
本章小结	14
习题一	14
第 2 章 线性表	15
2.1 线性表的逻辑结构	15
2.2 线性表的顺序存储结构	17
2.2.1 线性表的顺序存储结构	17
2.2.2 线性表在顺序存储结构下的运算	17
2.2.3 线性表的顺序存储结构的特点	23
2.3 线性表的链式存储结构	24
2.3.1 线性链表	24
2.3.2 循环链表	32
2.3.3 双向链表	34
2.4 一元多项式的表示及相加	39
2.5 实训项目二——顺序表与链表的应用	44
本章小结	46
习题二	47
第 3 章 栈和队列	48
3.1 栈	48
3.1.1 栈的定义及运算	48
3.1.2 栈的存储和运算实现	50

3.2 队列	57
3.2.1 队列的定义及其运算	57
3.2.2 队列的存储和运算实现	58
3.3 实训项目三——栈与队列的应用	69
本章小结	71
习题三	71
第4章 串	72
4.1 串的基本概念	72
4.1.1 串的定义	72
4.1.2 主串和子串	72
4.2 串的存储结构	73
4.2.1 串值的存储	73
4.2.2 串名的存储映像	75
4.3 串的基本运算及其实现	75
4.3.1 串的基本运算	75
4.3.2 串的基本运算实现	76
4.4 实训项目四——学生成绩管理系统	81
本章小结	86
习题四	87
第5章 数组和广义表	88
5.1 数组	88
5.1.1 数组的概念	88
5.1.2 数组在计算机内的存放	89
5.1.3 数组元素的访问	89
5.2 多维数组及其存储结构	90
5.2.1 行优先顺序	91
5.2.2 列优先顺序	91
5.3 特殊矩阵及其压缩存储	92
5.3.1 特殊矩阵	92
5.3.2 压缩存储	93
5.4 稀疏矩阵	95
5.4.1 稀疏矩阵的存储	96
5.4.2 稀疏矩阵的运算	98
5.5 广义表	100
5.5.1 基本概念	100
5.5.2 基本运算	102
5.6 实训项目五——矩阵乘法	105
本章小结	108
习题五	108

第 6 章 树	110
6.1 树的结构定义与基本操作	110
6.1.1 树的定义及相关术语	110
6.1.2 树的表示	111
6.1.3 树的基本操作	112
6.2 二叉树	113
6.2.1 二叉树的定义	113
6.2.2 二叉树的性质	113
6.2.3 二叉树的存储结构	114
6.3 遍历二叉树	120
6.3.1 先序遍历	121
6.3.2 中序遍历	121
6.3.3 后序遍历	122
6.3.4 层次遍历	122
6.4 哈夫曼树	123
6.4.1 哈夫曼树的定义	123
6.4.2 构造哈夫曼树——哈夫曼算法	125
6.4.3 哈夫曼树的应用	129
6.5 实训项目六——二叉树的应用	130
本章小结	131
习题六	131
第 7 章 图	133
7.1 基本定义和术语	133
7.2 图的存储结构	137
7.2.1 邻接矩阵	138
7.2.2 邻接表	142
7.3 图的遍历	149
7.3.1 深度优先搜索法	149
7.3.2 广度优先搜索法	152
7.4 最小生成树	153
7.5 最短路径	160
7.5.1 单源点最短路径	160
7.5.2 所有顶点对之间的最短路径	166
7.6 拓扑排序	168
7.7 实训项目七——图的遍历	171
本章小结	176
习题七	177
第 8 章 查找	178
8.1 顺序查找	178
8.2 折半查找	180

8.3 分块查找	182
8.4 哈希法	183
8.4.1 哈希表和哈希函数的概念	183
8.4.2 哈希函数的构造方法	184
8.4.3 冲突处理	186
8.5 实训项目八——折半查找算法的应用	187
本章小结	189
习题八	189
第9章 排序	190
9.1 插入排序	191
9.1.1 线性插入排序	192
9.1.2 折半插入排序	193
9.2 希尔排序	195
9.3 选择排序	197
9.4 堆排序	199
9.5 快速排序	204
9.6 归并排序	206
9.7 基数排序	209
9.8 外部排序	212
9.9 各种排序方法的比较	213
9.10 实训项目九——排序系统	214
本章小结	223
习题九	223
第10章 文件	224
10.1 文件的基本概念	224
10.2 顺序文件	226
10.3 索引文件	227
10.4 索引顺序文件	228
10.5 直接存取文件	231
10.6 多关键字文件	232
10.6.1 多重表文件	232
10.6.2 倒排文件	233
10.7 实训项目十——图书馆借书系统	234
本章小结	235
习题十	235
参考文献	236

第 1 章

绪 论

本章学习导读

本章介绍了数据结构诞生的背景、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具有一定结构的信息。

因此,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

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年开始在各院校先后开设了“数据结构”课程。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，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，然后设计一个解此数学模型的算法(Algorithm)，最后编写程序、进行测试、调整直至得到最终解答。寻求数学模型的实质是分析问题，从中提取操作的对象，并找出这些操作对象之间含有的关系，然后用数学的语言加以描述。为了说明这个问题，首先举一个例，然后再给出明确的含义。

假定有一个学生通讯录，记录了某校全体学生的姓名和相应的住址，现在要写一个算法，要求是，当给定任何一个学生的姓名时，该算法能够查出该学生的住址。这样一个算法的设计，将完全依赖于通讯录中的学生姓名及相应的住址是如何组织的，以及计算机是怎样存储通讯录中的信息。

如果，通讯录中的学生姓名是随意排列的，其次序没有任何规律。那么，当给定一个姓名时，则只能对通讯录从头开始逐个与给定的姓名比较，顺序查找，直至找到所给定的姓名为止。这种方法浪费时间，效率很低。

然而，若对学生通讯录进行适当的组织，按学生所在班级来排列，并且再构造一个索引表，这个表用来登记每个班级学生姓名在通讯录中的起始处的位置。这样一来，情况将大为改善。这时，当要查找某学生的住址时，则首先从索引表中查到该学生所在班级的学生姓名是从何处起始，然后，就从此起始处开始查找，而不必去查看其他部分的姓名。由于采用了新的结构，于是，就可写出一个完全不同的算法。

上述的学生通讯录就是一个数据结构问题。从中看到，计算机算法与数据的结构密切相关，算法无不依附于具体的数据结构，而数据结构直接关系到算法的选择和效率。

下面，再对学生通讯录作进一步讨论。我们知道，当有新学生进校时，通讯录需要添加新学生的姓名和相应的住址；在学生毕业离校时，应从通讯录中删除毕业学生的姓名和住址。这就要求在已安排好的结构上进行插入(Insert)和删除>Delete)。对于一种具体的结构，如何实现插入和删除？是把要添加的学生姓名和住址插入到前头，还是末尾，或是中间某个合适的位置上，插入后，对原有的数据是否有影响？有什么样的影响？删除某学生的姓名和住址后，其他的数据(学生的姓名和住址)是否要移动？若需要移动，则应如何移动？这一系列的问题说明，为适应数据的增加和减少的需要，还必须对数据结构定义一些运算。上面只涉及到两种运算，即插入和删除运算。当然，还会提出一些其他可能的运算，如学生搬家后，住址变了，为适应这种需要，就应该定义修改(Modify)运算，等等。

对于这些运算，显然是由计算机来完成，这就要设计相应的插入、删除和修改的算法。也就是说，数据结构还需要给出每种结构类型所定义的各种运算的算法。

通过以上讨论可以直观地认为：数据结构是研究程序设计中计算机操作的对象以及它们之间的关系和运算的一门学科。