

高 等 学 校 计 算 机 课 程 规 划 教 材

# 数据结构与算法(C++版) 实验和课程设计教程

唐宁九 游洪跃 朱宏 孙界平 主编



清华大学出版

高等学校计算机课程规划教材

# 数据结构与算法(C++版) 实验和课程设计教程

唐宁九 游洪跃 朱宏 孙界平 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是《数据结构与算法((C++)版)》(ISBN 978-7-302-17502-5)的配套教材。全书共分为两部分:第一部分介绍数据结构与算法基础知识和实验;第二部分讨论数据结构与算法课程设计。第1章~第11章为第一部分,包含了22个实验题目,每个实验都有目的与要求、工具/准备工作、实验分析、实验步骤、测试与结论,以及思考与感悟。实验给出具体操作步骤与指导,让初学者不会面对实验题目而束手无策。希望读者通过实验能够学有所思,有所启迪与感悟;第12章为第二部分,共有11个课程设计项目,每个项目都给出了分析与实现方法,还给出了一些改进建议,读者可以在完成基本任务的前提下,对程序加以改进和提高。

通过本书的学习,不但能迅速掌握数据结构与算法的知识,同时还能提高C++程序设计的能力,经过适当的选择,本书可作为高等院校计算机及相关专业“数据结构”、“数据结构与算法”、“数据结构与算法分析”和“数据结构与算法设计”等课程实验与课程设计的教材,也可供从事软件开发工作的读者学习参考。

本书结合C++面向对象程序设计的特点,讨论了数据结构与算法基础知识,构建了实验与课程设计,对所有算法都在Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005、Visual C++ 2005 Express、Dev-C++和MinGW Developer Studio开发环境中进行了严格的测试,作者教学网站(<http://www.cs.scu.edu.cn/~youhongyue>)提供了大量的教学支持内容。

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

数据结构与算法(C++版)实验和课程设计教程/唐宁九等主编. —北京:清华大学出版社, 2008. 11

(高等学校计算机课程规划教材)

ISBN 978-7-302-17503-2

I. 数… II. 唐… III. ①数据结构—高等学校—教材 ②算法分析—高等学校—教材  
③C语言—程序设计—高等学校—教材 IV. TP311.12 TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第154927号

责任编辑:汪汉友

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19

字 数:455千字

版 次:2008年11月第1版

印 次:2008年11月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。  
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:029997-01

## 编 委 会

名誉主任：彭智勇 李志蜀 周激流

主 任：唐宁九

执行主任：陈良银 游洪跃

副 主 任：傅 彦 张翠芳 廖 强 王 茜 张为群

资深委员：(以姓氏笔画排序)

王 玲	王明辉	王俊峰	王景熙	伍良富	刘东权	刘正熙
刘晓洁	吕光宏	庄成三	朱 敏	何明儒	吴 跃	张志敏
张建州	张洪伟	时宏伟	李 涛	李 超	李炳法	杨红雨
杨宪泽	杨清平	邰明松	陈兴蜀	罗万伯	苗 放	洪 玫
胡景德	贺德珏	凌 红	唐常杰	袁道华	郭 兵	陶德元
章 毅	彭 舰	游志胜	蒋玉明	谢 汶	韩永国	

委 员：(以姓氏笔画排序)

于中华	王 莉	卢 莉	刘 循	向孟光	孙亚飞	尼玛扎西
孙界平	朱 丽	朱 宏	邢建川	何 军	何先波	余 强
吴云波	吴仲光	张 磊	张靖宇	李旭伟	杨 频	杨秋辉
沈 琳	陈光柱	陈杰华	陈敬贵	卓碧华	金 虎	胡 旺
胡大裘	倪建成	栾新成	殷 锋	袁 平	喻德军	熊 伟

# 本书编委会

顾 问：(排名不分先后)

李志蜀 唐常杰 游志胜 邵明松 伍良富

谢 汶 洪 玫 朱 敏 彭 舰 卢 莉

李 涛 杨红雨 刘东权 吕光宏 罗万伯

蒋玉明 王景熙 林建辉 陈良银 于中华

向孟光 孙亚飞 陈兴蜀 张靖宇 李旭伟

冯伟森

主 编：唐宁九 游洪跃 朱 宏 孙界平

主 审：李炳法 何明儒

# 出版说明

信息时代早已显现其诱人魅力,当前几乎每个人随身都携有多个媒体、信息和通信设备,享受其带来的快乐和便宜。

我国高等教育早已进入大众化教育时代。而且计算机技术发展很快,知识更新速度也在快速增长,社会对计算机专业学生的专业能力要求也在不断翻新。这就使得我国目前的计算机教育面临严峻挑战。我们必须更新教育观念——弱化知识培养目的,强化对学生兴趣的培养,加强培养学生理论学习、快速学习的能力,强调培养学生的实践能力、动手能力、研究能力和创新能力。

教育观念的更新,必然伴随教材的更新。一流的计算机人才需要一流的名师指导,而一流的名师需要精品教材的辅助,而精品教材也将有助于催生更多一流名师。名师们在长期的一线教学改革实践中,总结出了一整套面向学生的独特的教法、经验、教学内容等。本套丛书的目的就是推广他们的经验,并促使广大教育工作者更新教育观念。

在教育部相关教学指导委员会专家的帮助和指导下,在各大学计算机院系领导的协助下,清华大学出版社规划并出版了本系列教材,以满足计算机课程群建设和课程教学的需要,并将各重点大学的优势专业学科的教育优势充分发挥出来。

本系列教材行文注重趣味性,立足课程改革和教材创新,广纳全国高校计算机优秀一线专业名师参与,从中精选出佳作予以出版。

本系列教材具有以下特点。

## 1. 有的放矢

针对计算机专业学生并站在计算机课程群建设、技术市场需求、创新人才培养的高度,规划相关课程群内各门课程的教学关系,以达到教学内容互相衔接、补充、相互贯穿和相互促进的目的。各门课程功能定位明确,并去掉课程中相互重复的部分,使学生既能够掌握这些课程的实质部分,又能节约一些课时,为开设社会需求的新技术课程准备条件。

## 2. 内容趣味性强

按照教学需求组织教学材料,注重教学内容的趣味性,在培养学习观念、学习兴趣的同时,注重创新教育,加强“创新思维”,“创新能力”的培养、训练;强调实践,案例选题注重实际和兴趣度,大部分课程各模块的内容分为基本、加深和拓宽内容3个层次。

## 3. 名师精品多

广罗名师参与,对于名师精品,予以重点扶持,教辅、教参、教案、PPT、实验大纲和实验指导等配套齐全,资源丰富。同一门课程,不同名师分出多个版本,方便选用。

## 4. 一线教师亲力

专家咨询指导,一线教师亲力;内容组织以教学需求为线索;注重理论知识学习,注重学习能力培养,强调案例分析,注重工程技术能力锻炼。

经济要发展,国力要增强,教育必须先行。教育要靠教师和教材,因此建立一支高水平的教材编写队伍是社会发展的关键,特希望有志于教材建设的教师能够加入到本团队。通过本系列教材的辐射,培养一批热心为读者奉献的编写教师团队。

清华大学出版社

# 前 言

数据结构与算法内容丰富,包含了计算机科学与技术的许多重要方面,分析问题和解决问题的思路的方法新颖,技巧性强,对学生的计算机软件素质的培养作用明显,为培养训练学生选用合适的数据结构与算法设计方法编写质量高、风格好的应用程序,学生需要不断地进行编程实践,将把实验与课程设计实践环节与理论教学相融合,通过实践教学促进数据结构与算法理论知识的学习,有效提高教学效果和教学水平。

全书共分为两部分,第一部分介绍数据结构与算法基础知识和实验,第二部分讨论数据结构与算法课程设计。

第1章~第11章为第一部分,包含了22个实验题目,这些实验题不但包括读者感兴趣的实验(例如纸牌游戏——“21点”),数据结构与算法的基本应用的实验(例如编写一个程序读入一个字符串,统计字符串中出现的字符及次数,然后输出结果,要求用一个二叉排序树来保存处理结果,结点的数据元素由字符与出现次数组成,关键字为字符),对课本数据结构与算法的改进的实验(例如改进本书实现的求最小生树的Kruskal算法,用最大优先堆队列来实现按照边的权值顺序处理,用等价关系判断两个结点是否属于同一棵自由树以及合并自由树),还包括了解决实际问题的实验(例如采用散列文件实现电话号码查找系统),通过实验将极大地提高数据结构与算法的应用能力。每个实验都有目的与要求、工具/准备工作、实验分析、实验步骤、测试与结论以及思考与感悟。实验给出具体操作步骤,给出具体与实用的指导,让初学者不会面对实验题目而束手无策。希望读者通过实验能够学有所思,有所启迪与感悟。

第12章为第二部分课程设计共有11个项目,难易程度不同,简单的项目可以一个人单独完成,复杂的项目可由几个人共同完成,这些项目包括了实际课题的项目(例如开发排课软件与公园导游系统)、容易引起读者兴趣的项目(例如理论计算机科学家族谱的文档/视图模式)、需要通过查找资料进一步提高的项目(例如采用自适应形式的哈夫曼编码方案开发压缩软件)与向学生介绍计算机学科各个领域的项目,例如介绍人工智能、专家系统、计算机模拟等“相关知识”,并尽可能在课程设计中应用“相关知识”,例如银行窗口排队模拟——离散事件模拟,用具有自学习功能的专家系统思想实现“动物游戏”等;课程设计项目一般都提供功能的扩展方法,基础较差的读者可只实现基础功能,对数据结构与算法有兴趣的读者可实现更强的功能,这样使不同层次的读者都会所有收获,通过做这些项目能快速提高读者解决实际问题的能力。每个项目都给出了分析与实现方法,还给出了一些改进建议,读者可以在完成基本任务的前提下对程序加以改进和提高。

本书讨论的数据结构与算法的实现都已在 Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005、Visual C++ 2005 Express、Dev-C++ 和 MinGW Developer Studio 开发环境中进行了严格测试,并向教师提供了完整的测试程序,读者可根据自己的理解,选择熟悉的开发环境,开发出功能更强的程序,逐步达到能独立应用所学数据结构与算法构造新结构与研究新算法。

对于 C++ 编译器的问题,在 C++ 之外的任何编程语言中,编译器都没有受到过如此重



视。这是因为 C++ 是一门非常复杂的语言,以至于编译器也难于构造,我们常用的编译器都不能完全符合 C++ 标准,以至于本书的部分测试不得不使用条件编译技术来适应不同 C++ 编译器,下面介绍一些常用优秀 C++ 编译器。

(1) Visual C++ 编译器:由微软开发,现在主要流行 Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005 以及 Visual C++ 2005 Express,特点是集成开发环境,用户界面友好,信息提示准确,调试方便,对模板支持最完善;Visual C++ 6.0 对硬件环境要求低,是现在安装在计算机中最多的编译器,但对标准 C++ 兼容只有 83.43%,Visual C++ 2005 与 Visual C++ 2005 Express 在软件提示信息上做了进一步的优化与改进,并且对标准 C++ 兼容达到了 98% 以上的程度,但对硬件的要求较高;还有 Visual C++ 2005 Express 是一种轻量级的 Visual C++ 软件,易于使用。对于编程爱好者、学生和初学者来说是很好的编程工具,微软在 2006 年 4 月 22 日正式宣布 Visual Studio 2005 Express 版永久免费。

(2) GCC 编译器:著名的开源 C++ 编译器,是类 UNIX 操作系统(例如 Linux)下编写 C++ 程序的首选,有非常好的可移植性,可以在非常广泛的平台上使用,也是编写跨平台、嵌入式程序很好的选择。GCC 3.3 与标准 C++ 兼容大概能够达到 96.15%。现有已有一些移植在 Windows 环境下使用 GCC 编译器的 IDE(集成开发环境),例如 Dev-C++ 与 MinGW Developer Studio,其中 Dev-C++ 是能够让 GCC 在 Windows 下运行的集成开发环境,提供了与专业 IDE 相媲美的语法高亮、代码提示、调试等功能;MinGW Developer Studio 是跨平台下的 GCC 集成开发环境。目前支持 Windows、Linux 和 FreeBSD;根据作者的实际使用,感觉使用 GCC 编译器的 IDE 错误信息提示的智能较低,有时一个简单的错误都会显示上百条错误信息,还有就是对模板支持较差,对语法检查较严格,在 Visual C++ 编译器中编译通过的程序可能在 GCC 编译器的 IDE 还会显示有错误信息。

本书所有算法都在 Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005、Visual C++ 2005 Express、Dev-C++ 和 MinGW Developer Studio 中通过测试。读者可根据实际情况选择适当的编译器,建议选择 Visual C++ 6.0。

为满足不同层次的教学需求,本教材使用了分层的思想,分层方法如下:没加有星号(\*)及双星号(\*\*)的部分是基本内容,适合所有读者学习;加有星号(\*)的部分适合计算机专业的读者深入学习的选学部分;加有双星号(\*\*)的部分适合于感兴趣的读者学习研究,尤其适合于那些有志于 ACM(美国计算机协会)竞赛的读者加以深入学习研究。作者为本书提供了全面的教学支持,如果在教学或学习过程中发现与本书有关的任何问题都可以与作者联系:youhongyue@cs.scu.edu.cn,作者将尽力满足各位的要求,并可能将解答公布在作者的教学网站(<http://www.cs.scu.edu.cn/~youhongyue>)上。在教学网站上还将提供如下内容。

① 向教师提供书中所有算法在 Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005、Visual C++ 2005 Express、Dev-C++ 和 MinGW Developer Studio 开发环境中的测试程序,今后还会提供当时流行的 C++ 开发环境的测试程序,对一般读者将在每学期的期末在主页网上公布解压口令。

② 提供本书作者开发的软件包(包含所有本书所讲的数据结构与算法的类模板与函数模板)。

③ 补充实验指导。

④ 数据结构与算法问答专栏。

⑤ 介绍 Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005、Visual C++ 2005 Express、Dev-C++ 和 MinGW Developer Studio 开发环境建立工程的步骤,在工程建立新文件与向工程添加已有文件的方法的文档。

⑥ 提供数据结构与算法相关的其他资料(例如作者收集的计算机任何位数  $\pi$  的资料, Dev-C++ 与 MinGW Developer Studio 软件, 流行免费 C++ 编译器的下载网址)。

希望各位读者能够抽出宝贵的时间将本教材的建议或意见,当然也可以发表对国内外的数据结构与算法课程教学的任何意见寄给作者,您的意见将是我们再版修订教材的重要参考,作者将衷心地感谢。

参加本书编写的有杨秋辉、张卫华、邹昌文、王文昌、周焯华、胡开文、沈洁、周德华、欧阳、文涛和文波等人,他们作了大量的工作,包括调试算法、提供参考资料。

本书的出版要感谢清华大学出版社各位编辑及评审专家,由于他们为本书的出版倾注了大量热情。也由于他们具有前瞻性的眼光才让读者有机会看到本书。

尽管作者有良好而负责任的严格态度,并作了最大努力,但由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,因此,敬请各位读者不吝赐教,以便作者有一个提高的机会,并尽力改正,以提高本书的水平。

作者

2008年10月

# 目 录

## 第一部分 数据结构与算法基础知识和实验

<b>第 1 章 绪论</b> .....	3
1.1 基础知识 .....	3
1.1.1 数据结构的基本概念.....	3
1.1.2 算法和算法分析.....	4
1.1.3 实用程序软件包.....	5
1.2 上机实验 .....	7
1.2.1 石头、剪刀、布游戏.....	7
1.2.2 纸牌游戏——“21 点” .....	7
<b>第 2 章 线性表</b> .....	17
2.1 基础知识.....	17
2.1.1 线性表的逻辑结构 .....	17
2.1.2 线性表的顺序存储结构 .....	18
2.1.3 线性表的链式存储结构 .....	19
2.2 上机实验.....	22
2.2.1 不带头结点形式的单链表 .....	22
* 2.2.2 任意大非负整数的任意大非负整数次方 .....	34
<b>第 3 章 栈和队列</b> .....	35
3.1 基础知识.....	35
3.1.1 栈 .....	35
3.1.2 队列 .....	37
* 3.1.3 优先队列 .....	39
3.2 上机实验.....	40
3.2.1 病人就医管理 .....	40
** 3.2.2 利用后缀表达式计算中缀表达式的值 .....	44
<b>第 4 章 串</b> .....	53
4.1 基础知识.....	53
4.1.1 串类型的定义 .....	53

4.1.2	字符串的实现 .....	53
4.1.3	字符串模式匹配算法 .....	54
4.2	上机实验 .....	55
4.2.1	文本串的加密 .....	55
4.2.2	改造串类 .....	60
<b>第 5 章</b>	<b>数组和广义表 .....</b>	<b>70</b>
5.1	基础知识 .....	70
5.1.1	数组 .....	70
5.1.2	矩阵 .....	72
5.1.3	广义表 .....	76
5.2	上机实验 .....	79
5.2.1	螺旋方阵 .....	79
** 5.2.2	引用数使用空间表法广义表存储结构 .....	82
<b>第 6 章</b>	<b>树和二叉树 .....</b>	<b>95</b>
6.1	基础知识 .....	95
6.1.1	树的基本概念 .....	95
6.1.2	二叉树 .....	95
6.1.3	二叉树遍历 .....	99
6.1.4	线索二叉树 .....	99
6.1.5	树和森林 .....	101
6.1.6	哈夫曼树与哈夫曼编码 .....	107
** 6.1.7	树的计数 .....	109
6.2	上机实验 .....	109
6.2.1	用二叉树表示表达式 .....	109
** 6.2.2	改进哈夫曼树类 .....	114
<b>第 7 章</b>	<b>图 .....</b>	<b>123</b>
7.1	基础知识 .....	123
7.1.1	图的定义和术语 .....	123
7.1.2	图的存储表示 .....	125
7.1.3	图的遍历 .....	129
7.1.4	图的最小代价生成树 .....	130
7.1.5	有向无环图及应用 .....	130
7.1.6	最短路径 .....	131
7.2	上机实验 .....	132
7.2.1	改进最小生成树的 Kruskal 算法的实现 .....	132
** 7.2.2	图的根顶点 .....	136

<b>第 8 章 查找</b> .....	141
8.1 基础知识 .....	141
8.1.1 查找的基本概念.....	141
8.1.2 静态表的查找.....	141
8.1.3 动态查找表.....	141
8.1.4 散列表.....	146
8.2 上机实验 .....	147
8.2.1 链地址法处理冲突的散列表.....	147
** 8.2.2 字符统计 .....	153
<b>第 9 章 排序</b> .....	157
9.1 基础知识 .....	157
9.1.1 概述.....	157
9.1.2 插入排序.....	157
9.1.3 交换排序.....	157
9.1.4 选择排序.....	158
9.1.5 归并排序.....	158
* 9.1.6 基数排序 .....	158
* 9.1.7 外部排序 .....	159
** 9.1.8 用堆实现优先队列 .....	159
9.2 上机实验 .....	160
* 9.2.1 改造快速排序算法的实现 .....	160
** 9.2.2 改造基数排序算法 .....	164
<b>第 10 章 文件</b> .....	170
10.1 基础知识.....	170
10.1.1 主存储器和辅助存储器.....	170
10.1.2 各种常用文件结构.....	170
10.2 上机实验.....	171
10.2.1 学生基本信息管理.....	171
10.2.2 电话号码查找系统.....	183
<b>第 11 章 算法设计与分析</b> .....	184
11.1 基础知识.....	184
11.1.1 算法设计.....	184
11.1.2 算法分析.....	186
** 11.1.3 可计算性问题.....	186
11.2 上机实验.....	187
11.2.1 农夫过河问题.....	187

11.2.2 $n$ 皇后问题 .....	194
-----------------------	-----

## 第二部分 数据结构与算法课程设计

<b>第 12 章 课程设计</b> .....	201
12.1 算术表达式求值 .....	201
12.2 停车场管理 .....	205
12.3 电话客户服务模拟 .....	210
12.4 简单本文编辑器 .....	216
12.5 压缩软件 .....	225
12.6 排课软件 .....	235
** 12.7 公园导游系统 .....	245
* 12.8 理论计算机科学家族谱的文档/视图模式 .....	250
* 12.9 专家系统应用——动物游戏 .....	257
12.10 简单个人图书管理系统 .....	262
12.11 词典变位词检索系统 .....	271
<b>附录 A 配套软件包</b> .....	276
<b>附录 B 实验报告格式</b> .....	282
<b>附录 C 课程设计报告格式</b> .....	283
<b>参考文献</b> .....	284

# 第一部分

## 数据结构与算法基础 知识和实验

数据结构与算法是一门实践性很强的理论课程，要学好这门课程，不能离开实验这一重要环节，学生不仅应具有扎实的理论知识，还应通过不断进行编程实践、程序调试和程序纠错等过程，才能真正融会贯通，提高软件水平。

为了配合读者实验，本书包含了 22 个实验题目，每个实验都有目的与要求、工具/准备工作、实验分析、实验步骤、测试与结论以及思考与感悟。每个实验都给出了具体操作步骤以及具体与实用的指导，让初学者不会面对实验题目而束手无策。希望读者通过实验能够学有所思，有所启迪与感悟（限于篇幅，有 3 个实验的实验指导请读者从作者的教学网站上下载）。





# 第 1 章 绪 论

## 1.1 基础知识

### 1.1.1 数据结构的基本概念

(1) **数据**：数据是客观事物的符号表示，是计算机中可以操作的对象，也就是一切能输入到计算机中并能被处理的符号的总称。

(2) **数据元素与数据项**：数据元素一般在计算机中能作为整体进行处理，是数据的基本单位，数据元素也称为记录，有的数据元素由若干数据项所组成，比如在员工基本信息表中，每个员工记录是一个数据元素，而员工的编号、姓名、性别、籍贯、家庭住址和生日等内容为数据项，数据项是不可分割的最小单位。

(3) **数据结构**：在现实世界中，不同数据元素之间不是独立的，而是存在着特定的关系，我们将这些关系称为结构，数据结构指相互之间存在着一定关系的数据元素的集合。

为了方便起见，用示意图表示数据结构，这种图称为**逻辑结构图**，具体表示方法为，用小圆圈表示数据元素，用小圆圈之间的带有箭头的线段表示数据元素的有序对，具体地讲对于有序对 $\langle u, v \rangle$ 可表示为图 1.1。

$u$  称为  $v$  的前驱， $v$  称为  $u$  的后继，数据元素之间的关系定义为有序对的集合。

根据数据元素之间关系的特性，有如下 4 类基本结构。

① **集合结构**：在数据结构中，如果不考虑数据元素之间的关系，这种结构称为集合结构。在集合结构中，各个数据元素是“平等”的，它们的共同属性是“同属于一个集合”，如图 1.2 所示。

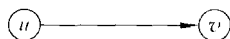


图 1.1 有序对 $\langle u, v \rangle$ 示意图

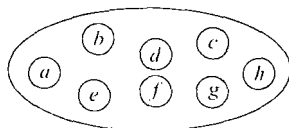


图 1.2 集合结构示意图

② **线性结构**：线性结构中的数据元素之间存在一个对应一个的关系，也就是除了第一个数据元素没有前驱，最后一个数据元素没有后继而外，其他数据元素都有唯一的前驱和后继，如图 1.3 所示。



图 1.3 线性结构示意图

③ **树状结构**：树状结构中的数据元素之间存在着一个对应多个的关系，数据元素之间存在着层次关系，也就是除了一个特殊的称为树根的数据元素无前驱外，其他数据元素都有