



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高职高专新概念教材

数据结构(C语言描述)

马秋菊 主 编
王学军 刘延岭 副主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高职高专新概念教材

数据结构（C 语言描述）

马秋菊 主 编

王学军 刘延岭 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书所选内容都是高职高专计算机及相关专业必须掌握的知识点,全书共9章,主要内容包
括:线性表、栈和队列、数组、特殊矩阵和广义表、串、树、图、查找和排序等。各章中对所涉
及的数据结构与算法均给出了通俗的解释和类C语言描述,其中的重点内容是以C语言函数或
过程形式给出的,同时在每章后面的上机实习中给出了具体应用调用(已经运行通过),其目的
是使读者能够将学到的知识落实到应用中。

本书内容精炼、叙述通俗、示例说服力强、便于讲解和学习、突出实用性和应用性。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校及本科院校举办的二级职业技术学
院计算机及相关专业数据结构的教材,也适合计算机软件开发科技人员自学参考。

本书提供电子教案和源代码可以到中国水利水电出版社网站上下载,网址为
<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构(C语言描述)/马秋菊主编. —北京:中国水利水电出版社,2006
(21世纪高职高专新概念教材)

ISBN 7-5084-3839-6

I. 数… II. 马… 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. ①TP311.12②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第073606号

书 名	数据结构(C语言描述)
作 者	马秋菊 主 编 王学军 刘延岭 副主编
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@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 12.75印张 306千字
版 次	2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	20.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

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 张栾勤 王前新 黄元山 柴 野

张建钢 陈志强 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	王春红	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	安志远	许学东	闫 菲	何 超
宋锦河	张 晞	张 慧	张弘强	张怀中
张晓辉	张浩军	张海春	张曙光	李 琦
李存斌	李作纬	李珍香	李家瑞	李晓桓
杨永生	杨庆德	杨名权	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 敬	赵作斌	赵秀珍	赵海廷	唐伟奇
夏春华	徐 红	徐凯声	徐雅娜	殷均平
袁晓州	袁晓红	钱同惠	钱新恩	郭振民
曹季俊	梁建武	蒋金丹	蒋厚亮	覃晓康
谢兆鸿	韩春光	詹慧尊	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

三联职业技术学院

山东大学

山东交通学院

山东建工学院

山东省电子工业学校

山东农业大学

山东省农业管理干部学院

山东省教育学院

山东商业职业技术学院

山西运城学院

山西经济管理干部学院

万博科技职业学院

广东金融学院

广东科贸职业学院

广州市职工大学

广州城市职业技术学院

广州铁路职业技术学院

广州康大职业技术学院

中山火炬职业技术学院

中华女子学院山东分院

中国人民解放军第二炮兵学院

中国人民解放军军事经济学院

中国矿业大学

中南大学

天津职业技术师范学院

太原理工大学阳泉学院

太原城市职业技术学院

长沙大学

长沙民政职业技术学院

长沙交通学院

长沙航空职业技术学院

长春汽车工业高等专科学校

内蒙古工业大学职业技术学院

内蒙古民族高等专科学校

内蒙古警察职业学院

兰州资源环境职业技术学院

北京对外经济贸易大学

北京科技大学职业技术学院

北京科技大学成人教育学院

北华航天工业学院

四川托普职业技术学院

包头轻工职业技术学院

宁波城市职业技术学院

石家庄学院

辽宁交通高等专科学校

辽宁经济职业技术学院

安徽交通职业技术学院

安徽水利水电职业技术学院

华中科技大学

华东交通大学

华北电力大学

江汉大学

江西大宇职业技术学院

江西工业职业技术学院

江西城市职业技术学院

江西渝州电子工业学院

江西服装职业技术学院

江西赣西学院

西北大学软件职业技术学院

西安外事学院

西安欧亚学院

西安铁路职业技术学院

西安文理学院

扬州江海职业技术学院

杨陵职业技术学院

昆明冶金高等专科学校
武汉大学
武汉工业学院
武汉工程职业技术学院
武汉广播电视大学
武汉工程大学
武汉电力职业技术学院
武汉科技大学工贸学院
武汉科技大学外语外事职业学院
武汉软件职业学院
武汉商业服务学院
武汉铁路职业技术学院
河南济源职业技术学院
郑州工业高等专科学校
南昌工程学院
南昌大学共青学院
哈尔滨金融专科学校
重庆正大软件职业技术学院
重庆工业职业技术学院
济南大学
济南交通高等专科学校
济南铁道职业技术学院
荆门职业技术学院
贵州无线电工业学校
贵州电子信息职业技术学院
浙江水利水电高等专科学校
浙江工业职业技术学院
浙江国际海运职业技术学院

恩施职业技术学院
黄冈职业技术学院
黄石理工学院
湖北工业大学
湖北交通职业技术学院
湖北汽车工业学院
湖北长江职业学院
湖北药检高等专科学校
湖北经济学院
湖北教育学院
湖北职业技术学院
湖北鄂州大学
湖北水利水电职业技术学院
湖南大学
湖南工业职业技术学院
湖南大众传媒职业技术学院
湖南工学院
湖南涉外经济学院
湖南郴州职业技术学院
湖南商学院
湖南税务高等专科学校
湖南信息科学职业学院
蓝天职业技术学院
福建林业职业技术学院
福建水利电力职业技术学院
黑龙江农业工程职业学院
黑龙江司法警官职业学院

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) 部分教材配有实验指导和实训教程,便于学生练习提高。

(5) 部分教材配有动感电子教案。为顺应教育部提出的教材多元化、多媒体化发展的要求,大部分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。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站www.waterpub.com.cn下载。

(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

“数据结构”是计算机程序设计的重要理论技术基础，是计算机专业的核心课程。在目前大力发展职业技术应用教育的新形势下，急需概念通俗易懂，知识针对性强，实验、实习及工程训练等内容齐全的教科书，本书正是针对这种目的编写的。本书系统地介绍了各种数据结构的概念、存储结构和有关算法，并采用了当前通用的 C 语言描述算法。主要内容包括绪论、线性表、栈和队列、数组、串、树、图、查找和排序等。

参加本书编写的作者全部是有本课程教学实践和课程建设经验的教师，在多年的教学和课程建设的实践中，我们体会到，学生在学习中普遍存在的突出问题是：入门难、算法抽象难理解、算法与实现和应用存在一定距离、应用针对性差等，制约着学习效果。针对实际情况，我们进行了充分的讨论，在本课程建设的基础上，制定了本书的编写原则：重视基础，循序渐进，内容精炼，叙述通俗，重点突出，示例说服力强，便于讲解和学习，强调理论与实践相结合，突出实践和应用能力的培养。

本书的主要特点如下：

(1) 教学内容的深度与广度合适、定位准确，具有鲜明的高职高专特色。

所选择的教学内容既体现了应用型人才教育对基础理论知识较扎实的要求即够用，又兼顾了知识的系统性与完整性、应用性和工程实践性。

(2) 融入先进教学理念，概念通俗易懂、知识针对性强，符合应用型人才认知规律。

体现“以学生为主体”的现代教学理念，选择了具有启发性、思考性和鼓励自主学习的教学内容，设计了引发学生学习与探究兴趣的“驱动问题”，面向教学方法和过程，语言通俗，降低难度，针对性强，重点突出。

(3) 算法描述清晰，有利于教师讲解。

在算法思想和算法描述中，尽量避免教学过程中的混淆，如“关键字”使用 key 标识符，则在同一问题中就不再选择 key 作为其他变量，使教学、理解更简单。

(4) 强调理论与实践相结合，突出实践和应用能力的培养。

在重点知识突出的基础上，强调算法的具体实现：以 C 语言函数或过程形式给出内容，同时在每章后面的上机实习中给出了具体应用调用（已经运行通过），达到学以致用目的，培养学生具有完整应用程序的开发理念，对应用系统开发有一个明晰的概念。

(5) 本书配备了电子教案等相关教学资源。

电子教案中的实例是在 PowerPoint 环境下嵌入 VBA 技术来实现算法与数据处理的，使教学更形象、更容易理解，另外还可提供源代码、同步训练题等资料。

本书可作为职业技术应用型计算机专业教材，建议讲授学时为 60~70 学时。

本书由马秋菊主编，王学军、刘延岭任副主编。本书主要编写人员分工如下：第 1~5 章由马秋菊编写，第 6 章由殷华英编写，第 7~9 章由王学军编写；上机实习内容的第 2、4~7 章由刘延岭编写，第 8、9 章由张清涛编写，第 3 章由刘延岭与张清涛共同编写，全书由马秋菊和刘延岭统稿。另外参加大纲讨论、提供实用信息的人员还有：孔小利、宋汉珍、李海明、

郝春雷、董国增、谢懿、张占昭、李小芳、薛茹等老师。在编写过程中，得到了主审马晓晨副教授和相关专家的指导，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有一些不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 3 月

目 录

序

前言

第 1 章 数据结构概述	1
本章学习目标	1
1.1 为什么要学习数据结构	1
1.2 数据结构的有关概念和术语	3
1.2.1 基本概念和术语	3
1.2.2 数据结构定义	4
1.3 算法和算法描述	5
1.3.1 算法与算法特性	5
1.3.2 算法描述	6
1.4 算法时空效率分析方法	7
习题	9
第 2 章 线性表	12
本章学习目标	12
2.1 线性表的逻辑结构	12
2.1.1 线性表的定义	12
2.1.2 线性表的基本操作	13
2.2 线性表的顺序存储结构及运算实现	13
2.2.1 顺序表	13
2.2.2 顺序表上基本运算的实现	14
2.3 线性表的链式存储和运算实现	18
2.3.1 单链表	18
2.3.2 单链表基本运算的实现	20
2.3.3 循环链表	24
2.3.4 双向链表	25
2.3.5 静态链表	28
2.3.6 顺序表和链表的比较	29
2.4 线性表的典型应用	29
习题	32
上机实习	33
第 3 章 栈和队列	39
3.1 栈	39
3.1.1 栈的定义及基本运算	39

3.1.2 栈的顺序存储结构及运算实现.....	40
3.1.3 栈的链式存储结构及运算实现.....	42
3.2 队列	43
3.2.1 队列的定义及基本运算	43
3.2.2 队列的顺序存储结构及运算实现.....	44
3.2.3 队列的链式存储结构及运算实现.....	46
3.3 栈和队列的典型应用	48
习题	56
上机实习	57
第4章 数组、特殊矩阵和广义表	64
本章学习目标	64
4.1 数组	64
4.1.1 数组的基本概念	64
4.1.2 数组的存储结构	65
4.2 特殊矩阵的压缩存储	66
4.2.1 对称矩阵	66
4.2.2 三角矩阵	67
4.2.3 对角矩阵	68
4.2.4 稀疏矩阵	69
4.3 广义表	75
4.3.1 广义表的定义和性质	75
4.3.2 广义表的基本运算	76
习题	76
上机实习	77
第5章 串	80
本章学习目标	80
5.1 串的定义及其基本运算.....	80
5.1.1 串的基本概念	80
5.1.2 串的基本运算	80
5.2 串的存储结构	81
5.2.1 串的顺序存储	81
5.2.2 串的链式存储	82
5.3 串运算的应用	83
习题	85
上机实习	86
第6章 树	89
本章学习目标	89
6.1 树的概念与表示	89
6.1.1 树的定义	89

6.1.2	树的相关术语	90
6.1.3	树的表示	91
6.2	二叉树的概念与性质	91
6.2.1	二叉树的基本概念	91
6.2.2	二叉树的重要性质	92
6.3	二叉树的存储结构	93
6.3.1	顺序存储结构	93
6.3.2	链式存储结构	94
6.3.3	建立二叉树的二叉链表	95
6.4	二叉树的遍历	96
6.5	线索二叉树	100
6.5.1	线索二叉树的定义及结构	100
6.5.2	中序线索二叉树操作	102
6.6	树的存储结构	104
6.7	树、森林与二叉树的转换	105
6.7.1	树和森林转换为二叉树	105
6.7.2	二叉树还原为树和森林	107
6.8	哈夫曼树及其应用	107
习题		113
上机实习		114
第 7 章	图	118
本章学习目标		118
7.1	图的基本概念	118
7.2	图的存储表示	120
7.2.1	邻接矩阵	120
7.2.2	邻接表	121
7.3	图的遍历	123
7.3.1	深度优先遍历 (DFS)	123
7.3.2	广度优先遍历 (BFS)	124
7.4	图的生成树	125
7.4.1	生成树	125
7.4.2	最小生成树的基本概念	126
7.4.3	构造最小生成树的 Prim 算法	126
7.4.4	构造最小生成树的 Kruskal 算法	128
7.5	最短路径	128
7.6	拓扑排序	131
7.6.1	有向无环图的概念	131
7.6.2	AOV 网与拓扑排序	131
7.7	关键路径	134

7.7.1	AOE 网	134
7.7.2	关键路径	135
7.7.3	关键路径的确定	135
7.8	工程应用实例	136
	习题	138
	上机实习	140
第 8 章	查找	145
	本章学习目标	145
8.1	基本概念与术语	145
8.2	静态查找表	145
8.2.1	静态查找表结构	145
8.2.2	顺序查找	146
8.2.3	二分查找	147
8.2.4	分块查找	149
8.3	动态查找表	150
8.3.1	二叉排序树	150
8.3.2	二叉排序树的建立	150
8.3.3	平衡二叉树	154
8.3.4	B 树	156
8.4	哈希表查找	157
8.4.1	哈希表与哈希方法	157
8.4.2	常用的哈希函数	158
8.4.3	处理冲突的方法	160
8.4.4	哈希表的查找分析	161
	习题	161
	上机实习	162
第 9 章	排序	166
	本章学习目标	166
9.1	基本概念	166
9.2	插入排序	167
9.2.1	直接插入排序	167
9.2.2	希尔排序	168
9.3	交换排序	169
9.3.1	冒泡排序	169
9.3.2	快速排序	170
9.4	选择排序	172
9.4.1	直接选择排序	172
9.4.2	堆排序 (Heap Sort)	174
9.5	归并排序	176

9.6 基数排序	178
9.7 内部排序的比较	180
9.8 外部排序	180
9.8.1 外部排序	180
9.8.2 多路平衡归并的实现	182
习题	182
上机实习	183
参考文献	187

第 1 章 数据结构概述

本章学习目标

本章主要介绍《数据结构》课程中一些常用术语以及集合、线性结构、树型结构和图型结构等常用数据结构及其表示,用类 C 语言实现算法描述的一般规则,算法的时间复杂度和空间复杂度分析与评价。通过本章学习,应掌握如下内容:

- 数据结构中的基本概念及常用术语。
- 线性结构、树型结构和图型结构等的逻辑特点。
- 抽象数据类型的定义。
- 算法的定义、特性及用类 C 语言描述算法的规则。
- 评价算法优劣的标准:时间复杂度、空间复杂度的定义及表示。

1.1 为什么要学习数据结构

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。无论是进行科学计算、过程控制,还是对文件进行存储和检索以及应用数据库技术等,都是对数据进行加工处理。因此,要研究数据的特性、数据间的相互关系及其相应的存储表示,并利用这些特性、关系和存储表示设计出相应的算法和程序。

什么叫数据结构?简单而言数据结构是一门研究非数值计算程序设计问题中计算机的操作对象以及它们之间的关系和操作的学科。

之所以要学习数据结构的原因如下:

- (1) 计算机处理的数据量越来越大。
- (2) 数据的类型越来越多。
- (3) 数据的结构越来越复杂。

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。当我们使用计算机来解决一个具体问题时,一般需要经过下列几个步骤: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解决此类数学模型的算法,最后编写程序进行调试、测试,直至得到最终的解答。

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,并且这类问题涉及到的数据元素之间的相互关系更为复杂,解决这类问题的关键是要设计出合适的数据结构,这样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】学生信息检索问题。学生信息包括学号、姓名、性别和成绩等,如表 1-1 所示,

表中的一行为一个记录，表示一个学生的信息（也称为一个数据元素），一列为一个属性。数据排列的位置有先后次序，它们之间形成一种线性关系，我们称这种数据结构为线性表。当查找某个学生学号时，可以建立一张按学号顺序排列的学生信息表，这样就可以方便地进行查找等操作。

表 1-1 学生信息表

学号	姓名	性别	成绩
20050601	张 三	男	518
20050602	李一宁	女	496
20050603	吴 磊	女	581.5
.....			
20050636	梁 磊	男	529

基于线性表结构的还有电话自动查号系统、图书管理系统、仓库库存管理系统等。对线性表的主要操作有查找、修改、插入和删除等。例如在上述学生信息表中，可能要经常查看某一学生的成绩，当学生退学时要删除相应的记录，当有新学生时要增加相应的记录。

【例 1-2】某大学专业设置问题。如图 1-1 所示，一所大学可以下设多个学院，一个学院又办有多个专业，显然这种关系用“树”型结构来表示更形象。树型结构通常用来表示结点的分层组织，结点之间是一对多的关系。对树型结构的主要操作有查找、修改、插入和删除等。

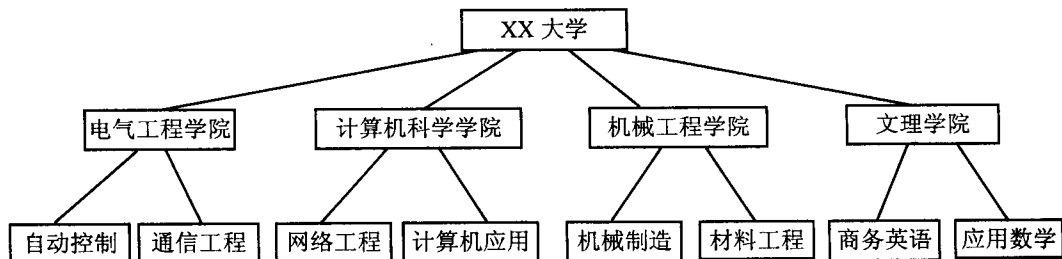


图 1-1 某大学专业设置情况示意图

【例 1-3】通信网络问题。如图 1-2 所示是某个通信网络，带圆圈的顶点表示城市，顶点和顶点之间的连线和数据表示城市之间的通信线路及其长度。可见，各顶点之间是多对多的关系，它是更为复杂的网状结构（也称为图型结构），在这种结构上的操作有：求从一个顶点到另一个顶点的最短路径等。

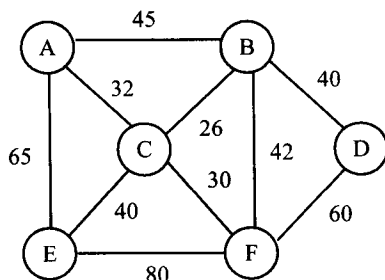


图 1-2 通信网络示意图