



中国计算机学会  
学术著作丛书

# 工程数据库系统

宛延闯 著

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

# 工程数据库系统

宛延阁 著



965742

清华大学出版社  
广西科学技术出版社

(京)新登字 158 号

(桂)新登字 06 号

## 内 容 简 介

本书全面系统地论述了工程数据库系统的理论和技术,其内容分为三大部分:第一部分介绍了与工程数据库有关的基础知识,包括工程数据库发展史、计算机辅助设计和计算机辅助制造基础,详尽论述了工程数据库与商用数据库的特点分析,充分展示了工程数据库的客观需求等等;第二部分为工程数据库概论,分别对几何元素在数据库中的模式表示、工程数据库的特性、工程数据库的各种数据模型、工程数据库语言、工程数据库管理系统、工程数据库的物理组织方法、工程数据库体系结构、长事务和版本管理、工程数据的完整性安全性检查等项具体实现技术都作了较详细的论述。与此同时,还对在集成工程系统中如何嵌入工程数据库的方法,以及复杂系统通用的设计分析方法(IDEF<sub>0</sub>和 IDEF<sub>1x</sub>)作了详细的介绍;最后一部分介绍了具有特色的一些工程数据库系统,如工程专家数据库系统、地理数据库以及 6 个典型的工程数据库管理系统。因为工程数据库涉及到多种学科,本书结合应用对关键技术给出了一些解决方法。

本书可作为数据库研究人员的研究参考书,也可作为研究生和本专业高年级大学生的教材。

**版权所有,翻印必究。**

**本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。**

### 图书在版编目(CIP)数据

工程数据库系统/宛延闾著. —北京:清华大学出版社,1999

(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 7-302-03587-3

I. 工... I. 宛... III. 工程数据库 IV. TP392

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 14932 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市丰台丰华印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:392 千字

版 次:1999 年 7 月第 1 版 1999 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-03587-3/TP·1976

印 数:0001~6000

定 价:21.00 元

# Engineering Database System

Wan Yankai

## Abstract

The theory and techniques related to engineering database systems are introduced in the book systematically and completely. The contents of the book can be divided into three parts. In the first part related to engineering database systems about fundamental knowledge, including history of engineering database, CAD/CAM (Computer Aided Design and Manufacturing), especially characteristics of engineering database and commercial database are analysed in detail. In the second part of the book presents the theory and techniques on engineering database, which include the geometric elements representation on database, the characteristics of engineering database, various engineering data models, engineering database language, engineering database management systems, organization and storage of engineering data in engineering database, engineering database architecture, long transaction and version management, consistence, integrity and security, as well as some other techniques related to concrete implementations, and how to nest the method of engineering database in integrated engineering system and general design analysis method in complex system (IDEF<sub>0</sub> & IDEF<sub>1x</sub>) are introduced in detail. In the last part, some engineering database systems with certain special characteristics are described, including engineering expert database system, geographical database, as well as six typical engineering database management systems. Because the theory and techniques of engineering database concern a lot of computer science, in the meantime some problems about how to combine application with key techniques are discussed.

The book can be used as a reference for theoretical researches and engineering in the database area, as well as a textbook for graduates in the computer science department.

# 前 言

随着 CAD/CAM 系统的迅猛发展和工程数据管理的迫切需求,导致了数据库技术应用工程数据管理领域的机遇,这是数据库技术发展一定阶段的必然结果。人们从实践中认识到一般商用数据库管理系统不适合工程数据的管理,必须开发工程数据库管理系统。计算机集成制造系统(CIMS)在工作实践中证明,在自动化领域中,工程数据库是大中型工厂企业技术改造的支撑软件,也是 CIMS 信息集成的核心。

工程数据库是用于存储工程数据的一个数据集合。利用工程数据库管理技术,工程设计人员能够方便地管理和存取有关工程设计的工程信息,并对它们进行有效的查询、插入、删除和更新。在 CAD/CAM 系统中使用数据库来管理工程数据时,就形成了以工程数据库为中心的系统体系结构。这种把 CAD/CAM 系统描绘成一个以工程数据库为中心的应用程序集合,其思想就是通过所有应用程序对一个共用的数据库存、取数据,得到一个集成的系统。在此集成系统中,工程数据库通常被设计为用来支持数据(包括图形数据)的全局视图;工程数据库以大量不同的记录型以及大量的实例为特征,支持记录型之间的复杂关系,支持变长数据实体的处理,支持动态模式的修改与扩展,支持长事务处理及并发控制等。本书重点是几何元素在数据库中的模式表示,工程数据库的可扩展数据模型,工程数据库体系结构以及工程数据库的版本管理技术等,这些方面都作了详细论述。

这本书是综合近 10 年来理论研究成果和实践工作的经验,加之我在中国科学院研究生院和中国科学技术大学研究生院开设的《工程数据库》硕士课程(目前已讲授了 10 个学期)的教学讲稿,以及曾在 1986 年主持编译的《工程数据库》专辑等素材基础上加以提炼而成。由于本书涉及多种学科,同时工程数据库技术正在工程领域中不断发展,已逐步向面向对象技术及更新的技术领域融合,特别是与人工智能相结合,使计算机辅助设计/计算机辅助制造的辅助能力逐步向自动化方向过渡,迈向 21 世纪自动化新时代。所以,书中如有些不妥之处,甚至错误在所难免,恳请同行和读者批评指正。

值得提出的是,在本书写作过程中得到复旦大学施伯乐教授和北京系统工程研究所何新贵研究员的热情指导和帮助,与此同时还要对清华大学出版社的大力支持在此一并表示衷心感谢!

作 者

1998 年 11 月于北京

清华大学出版社 广西科学技术出版社  
计算机学术著作出版基金

## 评审委员会

主任委员 张效祥

副主任委员 唐泽圣 汪成为

委 员 王鼎兴 杨芙清 李三立 施伯乐 徐家福  
夏培肃 董韫美 黄 健 焦金生



## 出版说明

近年来,随着微电子和计算机技术渗透到各个技术领域,人类正在步入一个技术迅猛发展的新时期。这个新时期的主要标志是计算机和信息处理的广泛应用。计算机在改造传统产业,实现管理自动化,促进新兴产业的发展等方面都起着重要作用,它在现代化建设中的战略地位愈来愈明显。计算机科学与其他学科的交叉又产生了许多新学科,推动着科学技术向更广阔的领域发展,正在对人类社会产生深远的影响。

科学技术是第一生产力。计算机科学技术是我国高科技领域的一个重要方面。为了推动我国计算机科学及产业的发展,促进学术交流,使科研成果尽快转化为生产力,清华大学出版社与广西科学技术出版社联合设立了“计算机学术著作基金”,旨在支持和鼓励科技人员,撰写高水平的学术著作,以反映和推广我国在这一领域的最新成果。

计算机学术著作出版基金资助出版的著作范围包括:有重要理论价值或重要应用价值的学术专著;计算机学科前沿探索的论著;推动计算机技术及产业发展的专著;与计算机有关的交叉学科的论著;有较大应用价值的工具书;世界名著的优秀翻译作品。凡经作者本人申请,计算机学术著作出版基金评审委员会评审通过的著作,将由该基金资助出版,出版社将努力做好出版工作。

基金还支持两社列选的国家高科技重点图书和国家教委重点图书规划中计算机学科领域的学术著作的出版。为了做好选题工作,出版社特邀请“中国计算机学会”、“中国中文信息学会”帮助做好组织有关学术著作丛书的列选工作。

热诚希望得到广大计算机界同仁的支持和帮助。

清华大学出版社  
广西科学技术出版社  
计算机学术著作出版基金办公室

1992年4月

## 序 言

计算机是当代发展最为迅猛的科学技术,其应用几乎已深入到人类社会活动和生活的一切领域,大大提高了社会生产力,引起了经济结构、社会结构和生活方式的深刻变化和变革,是最为活跃的生产力之一。计算机本身在国际范围内已成为年产值达 2500 亿美元的巨大产业,国际竞争异常剧烈,预计到本世纪末将发展为世界第一大产业。计算机科技具有极大的综合性质,与众多科学技术相交叉而反过来又渗入更多的科学技术,促进它们的发展。计算机科技内容十分丰富,学科分支生长尤为迅速,日新月异,层出不穷。因此在我国计算机科技尚比较落后的情况下,加强计算机科技的传播实为当务之急。

中国计算机学会一直把出版图书刊物作为学术活动的重要内容之一。我国计算机专家学者通过科学实践,做出了大量成果,积累了丰富的经验与学识。他们有撰写著作的很大积极性,但相当时期以来计算机学术著作由于印数不多,出版往往遇到不少困难,专业性越强越有深度的著作,出版难度越大。最近清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术及产业的发展,推动计算机科技著作的出版工作,特设立“计算机学术著作出版基金”,以支持我国计算机科技工作者撰写高水平的学术著作,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。我们十分重视这件事,并已把它列为学会本届理事会的工作要点之一。我们希望这一系列丛书能对传播学术成果、交流学术思想、促进科技转化为生产力起到良好作用,能对我国计算机科技发展具有有益的导向意义,也希望我国广大学会会员和计算机科技工作者,包括海外工作和学习的神州学人们能积极投稿,出好这一系列丛书。

中国计算机学会  
1992 年 4 月 20 日



# 目 录

## 第一部分 工程数据库管理的基础

<b>第一章 数据库技术的发展</b> .....	3
1.1 数据库管理发展历程 .....	3
1.2 数据库管理系统与文件管理系统的主要区别 .....	4
1.3 数据库技术的新进展 .....	5
1.3.1 数据库的争论——历史的回顾.....	5
1.3.2 数据库技术的新进展.....	7
1.4 为何要研究工程数据库 .....	8
<b>第二章 工程数据库的发展史及其定义</b> .....	10
2.1 工程数据库的发展史.....	10
2.2 工程数据库的定义.....	12
<b>第三章 工程数据库结构</b> .....	13
<b>第四章 计算机辅助设计和计算机辅助制造基础</b> .....	19
4.1 CAD/CAM 技术发展概况 .....	19
4.2 CAD/CAM 的定义范畴 .....	20
4.3 CAD 系统主要组成部分 .....	21
4.4 CAD/CAM 的作业方式及配置 .....	27
4.5 CAD/CAM 系统的定义 .....	28
4.6 CAD/CAM 系统的支撑软件 .....	29
<b>第五章 工程数据库与商用数据库的特点分析</b> .....	31

## 第二部分 工程数据库概论

<b>第六章 几何元素在数据库中的表示</b> .....	38
6.1 前言.....	38
6.2 坐标系.....	38
6.3 曲线.....	43
6.4 曲面.....	44

6.5	体素	46
6.6	立体造型的几何模型及模式描述	49
6.6.1	几何造型中的基本概念	50
6.6.2	线框(Wire-Frame)模型	53
6.6.3	边界表示(B-rep)模型	53
6.6.4	结构的立体几何表示(CSG 树)模型	55
6.6.5	CSG 树与 B-rep 边界表示	57
6.6.6	几何交线和网格组	58
6.6.7	立体造型系统的一种数据模式	59
6.7	结语	60
<b>第七章</b>	<b>工程数据库的特性</b>	<b>61</b>
7.1	数据的工程性	61
7.2	数据的形态	62
7.3	复杂实体的处理	62
7.4	变长数据实体的处理	63
7.5	动态模式修改和可扩展数据类型	63
7.6	图形数据和数据库版本管理	63
7.7	长事务及并发控制	64
<b>第八章</b>	<b>工程数据库的数据模型</b>	<b>65</b>
8.1	引言	65
8.2	一种 CAD 数据模型	65
8.2.1	CAD 数据模型的基本构造	66
8.2.2	CAD 数据模型的操纵和实现	71
8.2.3	实例	72
8.3	面向 CAD/CAPP/CAM 集成的数据模型	74
8.3.1	面向对象数据模型的方法	75
8.3.2	建立面向 CAD/CAPP/CAM 集成的数据模型	78
8.4	扩充的网状数据模型(面向工程的网状数据组织)	81
8.5	扩展的关系数据模型	82
8.5.1	背景	82
8.5.2	新型扩展的关系数据模型	83
8.6	语义网络数据模型	85
8.6.1	语义网络表达	85
8.6.2	语义约束	86
8.7	超图数据模型	87
8.7.1	超图数据结构	87

8.7.2	基于超图的数据模拟 .....	88
8.8	结语 .....	92
<b>第九章</b>	<b>工程数据库语言 .....</b>	<b>95</b>
9.1	扩充的 NF <sup>2</sup> 数据语言 .....	95
9.1.1	NF <sup>2</sup> 关系的形式定义 .....	95
9.1.2	具有属性的 NF <sup>2</sup> 关系表示 .....	97
9.1.3	扩充的 NF <sup>2</sup> 模型 .....	98
9.1.4	数据定义语言 .....	99
9.1.5	无冗余顶点的边界表示模式 .....	101
9.1.6	查询语言 .....	103
9.1.7	小结 .....	104
9.2	自描述数据模型语言 .....	104
9.3	基于网状结构的数据语言 .....	107
9.3.1	几何信息的描述 .....	107
9.3.2	数据定义和数据操纵语言 .....	108
9.4	面向对象数据语言 .....	110
9.5	结语 .....	113
<b>第十章</b>	<b>工程数据库管理系统 .....</b>	<b>114</b>
10.1	系统的功能 .....	114
10.1.1	工程数据的物理组织、存储和管理 .....	114
10.1.2	工程数据库语言的实现 .....	114
10.1.3	缓冲区的调度和管理 .....	115
10.1.4	工程数据的一致性控制(并发控制) .....	115
10.1.5	工程数据的整体化处理 .....	115
10.1.6	安全性控制 .....	115
10.1.7	工程数据字典的维护 .....	116
10.1.8	“垃圾”收集和数据库重组 .....	116
10.1.9	事务处理 .....	117
10.1.10	出错和例外处理 .....	117
10.1.11	与其他软件和运行环境间的接口 .....	117
10.1.12	应用支撑和服务功能 .....	117
10.2	工程数据库的体系结构 .....	117
10.2.1	多层数据库结构 .....	118
10.2.2	分布式工程数据库管理系统的组成和结构 .....	120
10.2.3	客户/服务器体系结构 .....	122
10.3	面向 CAD/CAM 的工程数据库管理系统 .....	124

10.3.1	交互式服务子系统	125
10.3.2	数据库管理子系统	125
10.3.3	基本结构文件管理系统	127
10.3.4	数据库接口子系统	128
10.3.5	HEDBMS 工程数据库管理系统特点	128
10.3.6	HEDBMS 的应用	131
10.4	工程数据库管理系统的特殊要求	131
10.4.1	EDBMS 的特殊要求	132
10.5	工程数据库管理系统的面向对象数据定义和操作	132
10.5.1	模式表示	133
10.5.2	模式定义框架	133
10.5.3	模式的信息隐藏	134
10.5.4	模式的名字空间	135
10.5.5	引入模式	136
10.5.6	模式演变操作分类	137
10.5.7	工程数据库的数据操作	138
10.6	系统接口	141
10.6.1	与操作系统的接口	141
10.6.2	与主语言的接口	141
10.6.3	与运行环境的接口	142
10.6.4	与应用程序和最终用户的接口	142
10.7	系统的实现问题	142
10.8	工程数据库应用系统开发环境	143
10.8.1	工程数据库设计工具	143
10.8.2	应用系统测试工具	144
10.8.3	工程数据转换工具	144
10.9	结语	144
<b>第十一章</b>	<b>工程数据库的物理组织</b>	<b>145</b>
11.1	记录的存储结构	145
11.1.1	记录的物理表示	145
11.1.2	记录在物理块上的分配	146
11.1.3	物理块在磁盘上的分配	147
11.1.4	数据压缩技术	147
11.2	顺序文件	148
11.2.1	文件的组织	148
11.2.2	记录的插入和检索	148
11.3	散列文件	150

11.3.1	线性散列文件	150
11.3.2	随机散列文件	151
11.3.3	溢出散列文件	153
11.3.4	拉链散列文件	154
11.3.5	指标散列文件	156
11.3.6	散列码的产生方法	159
11.4	索引文件	160
11.4.1	索引顺序文件	160
11.4.2	索引无序文件	161
11.4.3	索引的组织	162
11.5	树结构文件	162
11.5.1	一般树结构	162
11.5.2	二叉树结构	163
11.5.3	二叉平衡树结构	164
11.5.4	B 树	165
11.5.5	B <sup>+</sup> 树	165
11.5.6	B* 树	166
11.5.7	带稠密索引的 B <sup>+</sup> 树	166
11.6	簇集索引文件	167
<b>第十二章</b>	<b>其他实现技术</b>	<b>168</b>
12.1	版本管理	168
12.1.1	版本	169
12.1.2	版本管理模型	169
12.1.3	版本管理的常用方法	170
12.1.4	版本管理的新模型和新方法	171
12.2	安全性检查	185
12.3	一致性控制	187
12.3.1	锁的种类	187
12.3.2	“两阶段锁”协议	188
12.3.3	死锁问题	188
12.4	完整性检查	189
12.5	查询优化	190
12.6	恢复	191
12.7	数据库语言的翻译	191
12.7.1	数据库语言的解释执行方式	192
12.7.2	数据库语言的编译执行方式	192
12.7.3	编译程序的组成和结构	192

12.7.4	状态矩阵法	194
12.7.5	递归子程序法	201
<b>第十三章</b>	<b>在集成工程系统中嵌入工程数据库的方法</b>	<b>205</b>
13.1	工程数据库嵌入到集成工程系统的方法	205
13.1.1	设计活动的一个多维模型	206
13.1.2	技术实体的表示	210
13.1.3	工程设计系统的交互性	213
13.1.4	工程设计系统的软件构造	213
13.2	复杂系统通用的设计分析方法(IDEF <sub>0</sub> 及 IDEF <sub>1x</sub> )	214
13.2.1	IDEF <sub>0</sub> 方法	215
13.2.2	IDEF <sub>1x</sub> 方法	219
<b>第三部分 工程数据库系统</b>		
<b>第十四章</b>	<b>地理数据库</b>	<b>225</b>
14.1	系统概述	225
14.2	信息源	226
14.3	数据库结构	227
14.4	地理信息加工算法	228
14.5	查询语言	231
14.6	应用	231
14.7	结语	231
<b>第十五章</b>	<b>工程专家数据库系统</b>	<b>232</b>
15.1	系统的功能	232
15.2	系统的结构	232
15.3	知识库在 CAD 中的应用	234
<b>第十六章</b>	<b>几个典型的工程数据库管理系统</b>	<b>237</b>
16.1	面向 CAD/CAM 的多层数据库系统(MLDB)	237
16.2	满足 CIMS 工程要求的最新工程数据库管理系统(IPIP)	238
16.3	面向 CAD/CAM 系统用的工程数据库管理系统(TORNADO)	239
16.4	为 CAD/CAM 应用软件用的工程数据库管理系统(PHIDAS)	240
16.5	为 CAD/CAM 交互设计的工程数据库管理系统(ARDBID)	240
16.6	面向集成电路 CAD 的工程数据库管理系统(DAMOKLES)	241
<b>附录 1</b>	<b>关系型数据库 13 条规则</b>	<b>242</b>

附录 2 C <sup>4</sup> I 系统简介 .....	243
附录 3 几种典型坐标变换 .....	244
参考文献 .....	249



## 第一部分 工程数据库管理的基础

冯·诺依曼(Von Neuman)计算机的出现,为信息社会的到来提供了强有力的工具,促进了一次巨大技术变革的浪潮。从计算机的第一代电子管式开始,经历了晶体管、集成电路、大规模和特大规模集成电路的第二代、第三代和第四代机,进入到称之为智能化的第五代机,计算机应用和信息处理技术也随之获得了蓬勃的发展。

由于数据和信息在当今生产活动中越来越显示出它的重要性,迫切需把数据的分散管理、分散应用状况(诸如文件系统)提高一步,也就是说要把数据和数据的定义集中统一地管理起来,由各种用户按照自己的需要分别地加以应用,这就导致了数据库管理技术的产生和发展。反过来,数据库技术的发展,导致了各种计算机应用系统以及集成化的信息系统的建立。用计算机离不开数据,而用数据离不开数据库。数据库技术是当今计算机科学中发展最快,应用最广泛的技术之一,它已成为计算机信息系统和计算机应用系统的重要技术基础和支柱。

如果说 20 世纪 70 年代是计算机辅助设计 CAD(Computer Aided Design)年代的话,那么 80 年代就该是计算机辅助制造 CAM(Computer Aided Manufacturing)的年代,CAM 的进一步发展又将是计算机集成制造 CIM(Computer Integrated Manufacturing),90 年代后期将得到充分的发展。而 CIM 实际上是 Harrington 博士在 1973 年提出来的概念,他认为企业的各个生产环节需要不可分割的统一处理;整个制造生产过程实质上是对信息的采集、传递、加工处理的过程。其本质体现在以信息集成为特征的技术集成和人的集成两个方面,信息集成就是 CAD/CAPP/CAM 等方面的集成。但不管 CAD,CAM 还是 CIM 都需要把设计的数据和信息(特别是图形数据,结构化数据,非结构化非图形信息)集中管理起来,即它们都少不了数据库,都需要有一个强大的数据库作 CAD/CAPP/CAM 的基础——这就是工程数据库系统。不过,遗憾的是目前市面上所能见到的数据库,大都是一些商用的数据库(Business-Oriented Database)。这类数据库虽然在处理诸如企业的管理信息、银行财务、人事档案、学校管理等方面很有成效,但却不太适应于 CAD/CAPP/CAM 的应用环境,表示不了超越事务管理的复杂数据模型,更满足不

了CAD/CAPP/CAM 数据处理的特殊需要。我们要指出的是现实世界的工程与科学领域中的信息千变万化,不仅信息结构复杂而且处理的过程也很复杂。包含了从设计构思到产品的设计,从设计到制造出产品,然后传递到目的地并维护产品,以及用户的反馈信息等。信息的处理步骤也很复杂,它包含了设计与构造,加工与装配,质量控制、销售等。

工程数据库系统是存储、管理和使用面向工程设计所需要的工程数据和数据模型,它是将工程设计方法与数据库技术相结合,人工智能及专家系统与数据库技术相结合,达到智能化的CAD/CAM 集成系统。CIM 是经济、技术发展的必然趋势,也是信息技术对生产技术的挑战。在这挑战中,工程数据库系统扮演着重要的角色,它是集成化、智能化、标准化和网络化的基础。