

高等学校教材

# 空间数据库原理及 实验教程

Principles and Experiments of  
Spatial Database

刘涛 张黎明 主编



测绘出版社

高等学校教材

# 空间数据库原理及实验教程

Principles and Experiments of Spatial Database

刘涛 张黎明 主编

测绘出版社

·北京·

©刘涛 张黎明 2018

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

### 内容提要

本书在介绍空间数据库基础理论的基础上,重点着眼于在实践中提高学生动手能力。通过理论知识和实践内容一体化编排,强化学生实际操作空间数据库的技能,培养学生利用空间数据库解决地理空间问题的能力。通过将空间数据库一般理论与空间数据库具体操作、应用技术和方法的有机结合,帮助学生提高对课程知识的掌握程度,提高实际应用的能力。

本书以先讲述基本理论,再辅以相应实践内容的结构进行编排,可作为高等院校地理信息类专业学生的教科书,同时也适于从事空间数据库技术、地理信息软件开发的人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

空间数据库原理及实验教程/刘涛,张黎明主编. —北京:测绘出版社,2018.6

高等学校教材

ISBN 978-7-5030-4125-9

I. ①空… II. ①刘… ②张… III. ①空间信息系统—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 056403 号

责任编辑	雷秀丽	封面设计	李伟	责任校对	孙立新	责任印制	陈超
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子邮箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	北京虎彩文化传播有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	11.5 彩插 2 面			字 数	283 千字		
版 次	2018 年 6 月第 1 版			印 次	2018 年 6 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1000			定 价	28.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-4125-9

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

# 前 言

作为存储、管理、查询地理空间信息数据的核心技术与平台,空间数据库是地理信息系统(geographic information system, GIS)的基础构成之一,也是地理信息科学专业的一门核心基础课程。

众所周知,地理信息科学是一门交叉学科,涉及地理学、测绘学、计算机科学等众多学科。而作为地理信息科学学科基础的空间数据库更是众多学科交汇之地。因此,许多空间数据库教材都力求涵盖空间数据库的众多知识点,往往造成教材内容驳杂,知识点众多,难以适应学时有限的课堂教学。有的教材只专注于技术应用,讲解颇深,又往往成为专业技术人员的参考手册,并不适合针对初涉空间数据库领域的本科学生的教学。

鉴于此,本书本着理论与实践并重、以培养学生实际动手能力为核心的理念,以讲授空间数据库基础理论知识为主,辅以相应实践内容以加深理解。实践部分则以商业数据库 Oracle Spatial、GIS 软件 ArcSDE 和开源软件 PostgreSQL/PostGIS 为代表进行编排。

本书共分为 7 章。第 1 章为绪论,介绍空间数据库的基本概念。第 2 章为数据库相关知识,对数据库基础知识进行简单回顾。第 3 章为空间数据库基础,对空间数据、空间模型、空间数据特征,以及空间数据库的发展做简单介绍。第 4 章为空间数据查询,对空间索引、空间查询处理步骤、空间查询语言等进行讲解,并对 Oracle Spatial 和 ArcSDE 的空间数据管理方案进行详细介绍。第 5 章为空间数据库设计,讲解如何从无到有设计出一个空间数据库。第 6 章为空间数据分析,介绍空间数据库中的空间分析功能。第 7 章为空间数据库信息技术,主要对 NoSQL 和 MongoDB 数据平台,以及如何在 ArcGIS 中结合 MongoDB 进行了介绍。每章都配以相应的实验,供学生参照练习。

本书内容是在作者近些年来教授相关课程的基础上整理而成的,书中部分实践内容由作者所带本科班级学生制作完成。同时本书也得到段晓旗、武丹、王文宁、邵达青、冯天文、吕思佳等研究生的帮助。在此一并致谢。

本书由刘涛、张黎明主编。张黎明负责第 1 章、第 7 章的编撰,刘涛负责其他章节的编撰。全书由刘涛负责统稿。

本书出版得到国家重点研发计划(2016YFC0803106)、国家自然科学基金(41761088, 41201476)的联合资助。

尽管作者编撰尽心尽力,但囿于学识所限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

# 目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 空间数据库与地理信息系统的关系	1
1.2 空间信息管理	2
1.3 空间数据库与其他课程的关系	2
1.4 空间数据库产品	3
1.5 实验:数据库系统的安装	6
第 2 章 数据库相关知识	20
2.1 数据库的产生和发展	20
2.2 数据库的数据模型	23
2.3 关系代数	29
2.4 结构化查询语言	32
2.5 实验:SQL 语言基础	34
第 3 章 空间数据库基础	39
3.1 地图空间数据的基本组成	39
3.2 空间数据及其模型	40
3.3 空间数据的特征	43
3.4 空间数据库的发展	45
3.5 实验:空间数据的导入及查看	50
第 4 章 空间数据库查询	67
4.1 空间索引	67
4.2 空间查询处理步骤	74
4.3 空间查询语言	75
4.4 Oracle Spatial 空间数据管理方案	79
4.5 ArcSDE 空间数据管理方案	89
4.6 实验:空间索引创建及数据查询	93
第 5 章 空间数据库设计	109
5.1 数据库设计	109
5.2 空间数据库设计	114
5.3 空间数据库设计示例	120
5.4 实验:数据库建库	132

---

<b>第 6 章 空间数据分析</b> .....	139
6.1 几何分析 .....	139
6.2 叠加分析 .....	142
6.3 缓冲区分析 .....	142
6.4 网络分析 .....	143
6.5 空间数据库版本控制 .....	146
6.6 实验:空间分析.....	148
<b>第 7 章 空间数据库新技术</b> .....	162
7.1 NoSQL 简介.....	162
7.2 MongoDB 介绍 .....	165
7.3 ArcGIS 与 MongoDB 结合 .....	177
<b>参考文献</b> .....	178

# 第1章 绪论

地理信息系统 (geographic information system, GIS) 从根本上来说是一个数据库问题 (Batty, 1992)。

数据是信息系统的血液(郭仁忠, 2015)。空间数据则是地理信息系统的血液(胡鹏等, 2003)。空间数据库是指在地球表面某一范围内与空间地理相关、反映某一主题信息的数据集合, 是一类以空间目标作为存储目标对象的专业数据库, 是地理信息系统的核心和基础(程昌秀, 2012)。

随着对地观测能力的不断提高, 以及地理信息技术应用的普及, 空间数据库作为地理信息系统的核心和支撑, 受到越来越多的重视。作为数据库在地理信息领域的延伸, 空间数据库已经成为地理信息科学专业的重要专业基础课程。

## 1.1 空间数据库与地理信息系统的关系

地理信息系统是用于存储、管理、分析和显示地理空间数据的计算机系统 (Chang, 2014), 它具有空间性和动态性, 以计算机技术为支撑进行空间数据管理, 并用计算机处理空间数据, 模拟地理分析方法, 能够快速、精确、综合地对复杂的地理信息进行空间定位和过程动态分析。自 20 世纪 70 年代以来, GIS 已经在自然资源管理、犯罪分析、地籍管理、市场分析、精准农业和交通规划等领域得到广泛应用, 日益发挥着重要作用。在一些部门, GIS 已经成为必不可少的工具。

GIS 的发展要求数据库系统不仅能够存储属性数据, 而且能够存储空间数据。存储和管理空间数据是 GIS 的核心任务之一。对于空间数据来说, 既要存储空间实体的地理位置, 还要存储空间实体间的拓扑关系, 这就需要用到空间数据库技术。对于现代 GIS 来说, 空间数据库起着重要的基础性作用 (图 1.1)。GIS 的各项功能都是围绕着空间数据库进行的。首先, 数据采集后要存储到空间数据库中, 由空间数据库进行管理; 之后, 从数据库中获取数据进行查询、分析和制图输出。因此空间数据库是 GIS 的核心、发展的技术支柱, 是该领域理论性和技术性都很强的学科分支。



图 1.1 空间数据库的基础性作用

## 1.2 空间信息管理

数据库是有组织的数据集合。空间数据库则是空间数据有组织的集合。空间数据库可以理解为在地球表面某一范围内与地理空间相关的、反映某一主题信息的数据集合。这些数据按一定的数据模型组织、描述和存储,具有较小的冗余度、较高的数据独立性和易扩展性,并可为各种用户共享。

空间信息管理的三种不同观点:

- (1) 地图观,侧重于空间信息的可视化,将空间信息系统视为一个地图分析与处理系统。
- (2) 数据库观,侧重于空间信息的管理,注重空间数据的数据库设计与实现。
- (3) 空间分析观,侧重于空间信息的分析和建模。

总的来说,在空间数据库的支持下,用户能够与空间数据库中的数据进行交互从而进行各种制图、可视化表达、提供空间信息接口,乃至更深层次的空间分析、空间数据挖掘,以提供空间决策支持(图 1.2)。

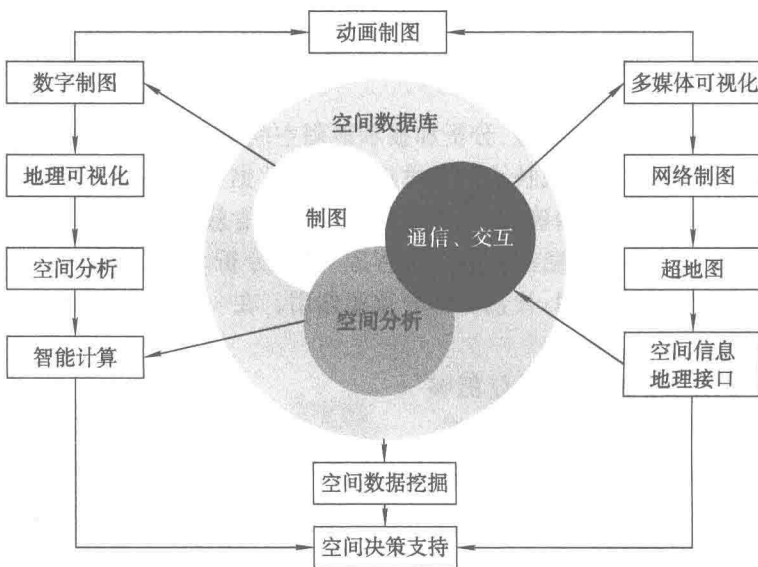


图 1.2 空间信息管理的功能

## 1.3 空间数据库与其他课程的关系

空间数据库系统是在计算机数据库技术上发展形成的。数据库系统作为软件的一个分支,与其他基础软件和系统软件有着密切的关系。空间数据库几乎涉及软件的所有知识,是很多重要软件技术的综合应用,如计算机科学与技术领域的数据结构、数据库技术,测绘科学与技术领域的获取和处理,地理学领域的空间数据分析等。空间数据库与其他课程间具体关系如图 1.3 所示。

空间数据库的管理对象是空间信息。从这个意义上讲,要了解空间实体的定位和数字表达的本质特征,必须依靠地理学和测绘科学与技术的支持。大地测量为空间数据库提供了

精确定位的控制信息,尤其是全球导航卫星系统(global navigation satellite system,GNSS)可快速、廉价地获取地表特征的数字位置信息。遥感与摄影测量作为空间数据采集手段,已成为空间数据库的主要信息源与数据更新途径。对于不同数据源的获取与处理方法、空间数据的更新与管理,以及为满足各种空间查询和分析需要建立各种空间索引机制,这些都是空间数据库与其他数据库系统的主要差别。

地理信息系统是以计算机技术为基础,对地球表面与空间和地理分布有关的数据进行采集、存储、管理、分析和描述的技术系统。地理信息系统的产生、发展与计算机地图制图系统存在着密切的联系,地理信息系统与计算机地图制图的主要区别在于注重空间数据的分析应用,提供空间决策支持信息。因此,地理信息系统更加强调分析工具和空间数据库的连接。一个通用的地理信息系统可以看成许多特殊的空间分析方法与空间数据库管理系统的结合。地理信息系统的各项功能都是围绕空间数据库进行的。首先数据采集后要存储到空间数据库中,由空间数据库进行管理;之后则可从空间数据库中获取数据进行查询、分析和制图输出。空间数据库是地理系统的核心和技术支柱。

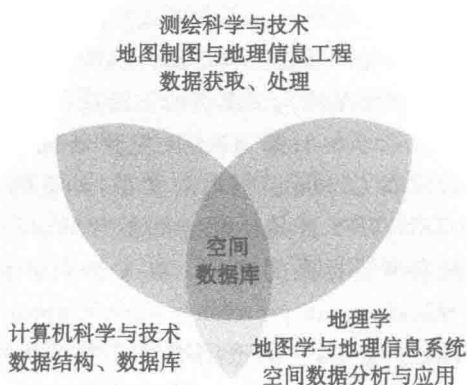


图 1.3 空间数据库与其他课程的关系

## 1.4 空间数据库产品

将常见的空间数据库产品分为两类,即商业数据库类和开源数据库类。

### 1.4.1 常见的商业空间数据库

#### 1. Oracle Spatial

Oracle Spatial 的主要发展历程如图 1.4 所示。

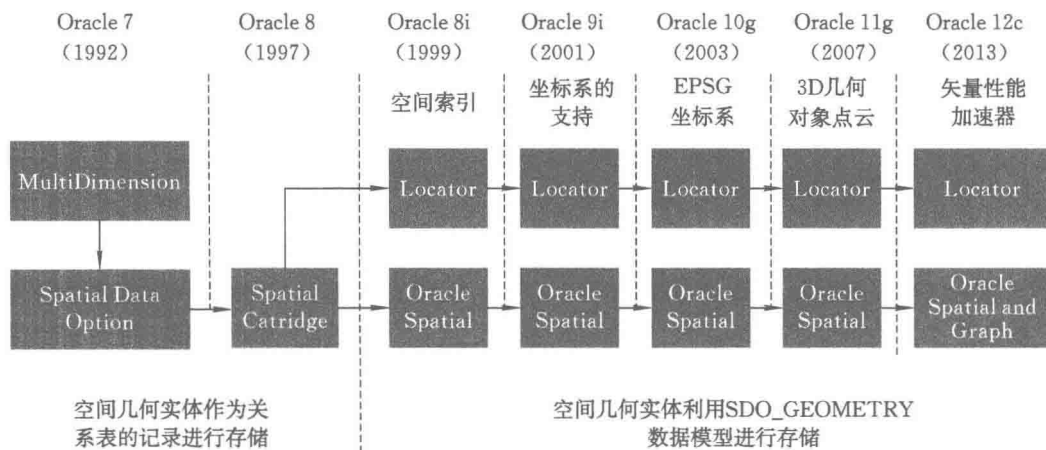


图 1.4 Oracle Spatial 的演进

作为关系型数据库的代表, Oracle 是较早实现空间数据管理的数据库管理系统。早在 Oracle 7.2 版就引入了内嵌式空间扩展技术——MultiDimension(MD);其后在 Oracle 8 中该产品名称先后被修改为 Spatial Data Catridge 和 Spatial Data Option,在这两种产品中,空间几何实体都是作为关系表的记录进行存储的。

从 Oracle 8i 起, Oracle 使用新的 SDO\_GEOOMETRY 数据模型存储空间几何数据。之后随着 Oracle 新版本的发布,其空间支持功能也不断得以增强。如 Oracle 9i 中, SDO\_GEOOMETRY 开始使用空间参考标识符 (spatial reference identification, SRID) 属性提供对空间参考坐标系的支持。在 Oracle 10g 中,空间选项引入了许多高级的模型与功能,如 EPSG(european petroleum survey group) 坐标系模型、网络数据模型 (NetWork) 等。在 Oracle 11g 中,空间选项增加了更多新特性,如 3D 数据模型、不规则三角网 (triangulated irregular network, TIN)、点云支持、地理空间 Web 服务标准支持等。

在 Oracle 12c 中,空间选项更名为 Oracle Spatial and Graph,突出已有的基于图形的功能,迎合市场对于图形数据库逐步增长的需求(如社交网络图谱数据库的流行,多模态整合的交通、市政和通信网络等)。Oracle Spatial and Graph 中,主要的新的空间功能包括矢量性能加速器、网络数据模型的多模分析、增强的 GeoRaster 处理功能和可扩展的 3D 及点云的数据类型功能等。

## 2. DB2 Spatial Extender

DB2 Spatial Extender 是 IBM 和美国环境系统研究所 (Environmental Systems Research Institute, Esri) 于 1998 年在 DataJoiner 基础上联合开发的。DB2 UDB 从 7.1 版提供 DB2 Spatial Extender,支持空间数据与传统数据在存储、管理和修改上的整合,并可以基于空间信息及其属性的结构来扩展已有的数据类型。DB2 Spatial Extender 直接在数据库中提供了图形信息系统能力,使用户能够发现和开发该数据的空间职能。与 DB2 其他的 Extender 类似,DB2 Spatial Extender 是 DB2 通用数据库的可选功能。通过与 DB2 的紧密集成,Extender 完全可以使用固有的 DB2 服务,同时它还能通过浏览以图像、声音、视频、文本、XML 和其他格式保存的数据来提高多媒体查询性能。

## 3. SQL Server Spatial 2008

Microsoft SQL Server 于 2008 年提供了对空间数据无缝的支持和整合,支持空间数据标准。其在数据库中整合了地理坐标系和平面坐标系数据类型,以及针对多级网格索引结构加速查询检索的性能。同时为了直观展示空间数据,可以将查询结果通过管理控制台和相关的前端工具直观地显示。

### 1.4.2 开源空间数据库

开源软件是一种源代码可以任意获取的计算机软件,这种软件的版权持有人在软件协议的规定之下保留一部分权利并允许用户学习、修改,以增进提高这款软件的质量和扩展其功能。信息技术发展引发了网络革命,网络革命带来了面向未来的以开放创新和共同创新为特点、以人为本的创新 2.0 模式。源代码开放正是这种创新模式在软件行业中的典型体现和生动诠释。

20 世纪 90 年代,开源思想渗透到 GIS 领域,国内外众多科研院所相继开发开源 GIS 软件。目前,开源 GIS 软件受到学术界和 GIS 平台厂商越来越多的重视,成为 GIS 研究和应用

创新的一个重要领域。

### 1. MySQL Spatial

MySQL 是开源数据库的大鳄,从 MySQL 4.0 开始加入了 Spatial 扩展功能,实现了 OpenGIS 规定的几何类型,在 SQL 中的简单空间运算。MySQL Spatial 遵从开放地理空间信息联盟(Open Geospatial Consortium,OGC)标准,实施了一系列的空间扩展。目前,MySQL Spatial 只支持 OpenGIS 的一个子集,包含有限的几种空间数据类型。目前已经定义的数据类型有:GEOMETRY(几何类型)、POINT(点类型)、LINESTRING(线)、POLYGON(面)。GEOMETRY 能够保存任何类型的几何值,而其他的单值类型,如 POINT、LINESTRING、POLYGON 则只能保存特定几何类型的值。

从 4.0 版之后到现在,MySQL 的 Spatial 部分一直没有继续更新和增强。加上早先 MySQL 在 SQL 上对空间运算支持的不完善,只支持基于最小边界矩形的关系判断,所以 MySQL 是开源数据库中一个不太让人满意的选择。不过由于 MySQL 在小型项目上的广泛应用,在对空间数据操作要求不高的情况下也是可以采用的。

### 2. SpatiaLite

SpatiaLite 空间数据库是一个简单、实用的轻量级数据库,只有几百 KB,是在 SQLite 空间数据库基础上的扩展。它遵循 OGC 标准,支持 SQL 语言对几何类型字段的操作,同时它也集成了其他开源类库:

- (1)GEOS 库,用于进行空间分析。
- (2)PROJ.4 库,用于实现不同坐标参考系统间坐标的转换。
- (3)LIBICONV 库,用于支持多种语言。
- (4)SQLite 库,用于实现 SQL 数据引擎。

SpatiaLite + SQLite 数据库操作简单,易于管理 GIS 环境下中小型的 GIS 数据,且数据库文件可移植性好,支持跨平台操作。此外,SpatiaLite 还支持 R 树的数据检索,以及存储器存储,极大地加快了用户访问数据的速度。

### 3. PostGIS

PostGIS 是对象关系型数据库系统 PostgreSQL 的一个空间扩展,功能类似于 OracleSpatial 和 IBM DB2 的 Spatial Extender。PostGIS 软件包由 Refrations Reseach 公司开发,基于 GNU GPL 开源。在 PostGIS 中,新的空间数据类型、函数及运算符使用 C 代码实现并使用 SQL 语句注册。PostgreSQL 服务器接着将 C 源码的动态库进行编译并动态加载。这样 PostgreSQL 就可以提供空间扩展的一系列数据类型、函数及运算符的支持。PostGIS 使用 R 树索引作为空间索引,其基于 PostgreSQL 中的通用搜索树(generalized search tree, GIST)索引模式加以实现。PostGIS 在实现上可以看成是 PostgreSQL 的松耦合模块,因为空间查询处理算法使用用户级的应用程序接口(application programming interface, API)实现,而在数据库内核与存储系统级别上支持 R 树索引。从空间执行算法来说,PostGIS 对于空间处理只支持元组级嵌套循环连接。

绝大多数开源 GIS 软件即使不是严格遵守 OGIS 标准,但也都支持 PostGIS 数据表的直接载入、读写等功能(表 1.1)。毋庸置疑,PostGIS 是 OGC 标准的最佳实践。

表 1.1 目前支持 PostGIS 的应用程序列举

	开源软件	商业软件
工具扩展	Shp2Pgsql Ogr2ogr Dxf2PostGIS	Safe FME Desktop Translator/Converter
网络服务	MapServer GeoServer SharpMap SDK MapGuide Open Source(FDO)	ERDAS Cadcorp GeognoSIS Iwan Mapserver MapDotNet Server MapGuide Enterprise(FDO) Esri ArcGIS Server 9.3+
桌面应用程序	Udig QGIS mezoGIS OpenJump OpenEV SharpMap ZigGIS for ArcGIS/ArcObjects, Net GvSIG GRASS	Cadcorp SIS Microimages TNTmips GIS Esri ArcGIS 9.3+ Manifold GeoConcept MapInfo(v10) AutoCAD Map 3D(FDO)

## 1.5 实验:数据库系统的安装

### 1.5.1 Oracle 的安装

#### 1. 服务器端的安装

(1)将 Oracle 11g R2 的镜像安装文件加载入虚拟机中,双击光盘根目录下的 SETUP. exe。启动安装程序,经过初始化后进入系统安装主界面。

(2)Oracle 11g R2 安装程序在初始化过程中自动完成驱动及相关软件加载,完成后进入正式安装界面(图 1.5)。首先需要确定是否提供电子邮件地址以提供 Oracle 进行相关问题答复及安全更新提示。此处可以根据个人情况决定是否选填。若不选填,取消“接收安全更新”的勾选,直接进入下一步。



图 1.5 Oracle 11g R2 安装界面

(3) 点击【下一步】，确认安装数据库选项。本实验中，选择默认安装为“创建和配置数据库”(图 1.6)。

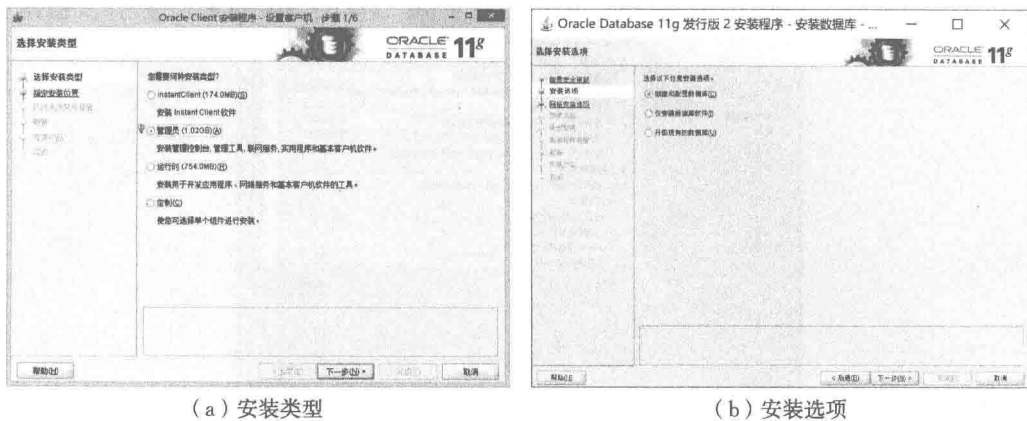


图 1.6 安装数据库选项

(4) 点击【下一步】，确定安装的系统类型。在实验中假设数据库安装在服务器中，因此选择安装“服务器类”(图 1.7)。



图 1.7 选择安装服务器类型

(5) 点击【下一步】，选择要安装的路径及设置管理密码(图 1.8)。



图 1.8 选择安装路径及设置管理密码

(6) 点击【下一步】，完成检查，进入数据库安装概要阶段(图 1.9)。



图 1.9 数据库安装概要阶段

(7) 点击【完成】，Oracle 进入安装状态(图 1.10)。

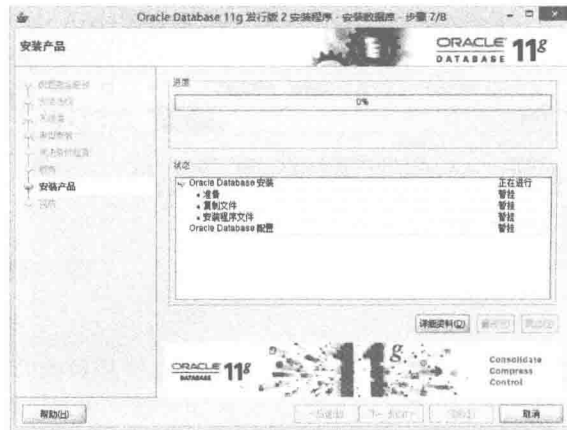


图 1.10 Oracle 进入安装状态

(8) Oracle 安装完成后，进入后续的配置过程(图 1.11)。



图 1.11 安装成功后续配置过程

## 2. OracleClient 的安装

(1)将 OracleClient 的安装盘放入光驱,双击光盘根目录下 SETUP.exe。启动安装程序,经过初始化后,进入系统安装主界面。选择安装类型,此处选择“管理员”安装类型(图 1.12)。



图 1.12 选择安装类型

(2)点击【下一步】,选择产品语言,一般默认为简体中文及英文,同时添加及删除相关语言选择;再点击【下一步】,在指定安装位置中客户端可以与数据库安装在同一目录中,也可以单独安装;再点击【下一步】,进入概要一览,可以核对曾做出的设置,然后点击【完成】(图 1.13)。

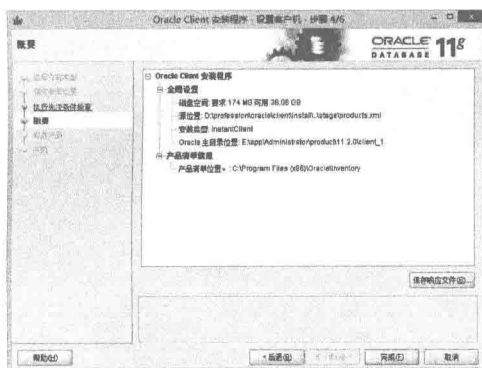


图 1.13 核对曾做出的设置

(3)开始安装 OracleClient(图 1.14)。

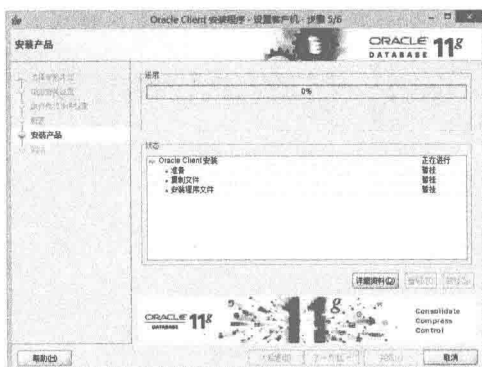


图 1.14 OracleClient 进入安装状态

(4)安装完成(图 1.15)。

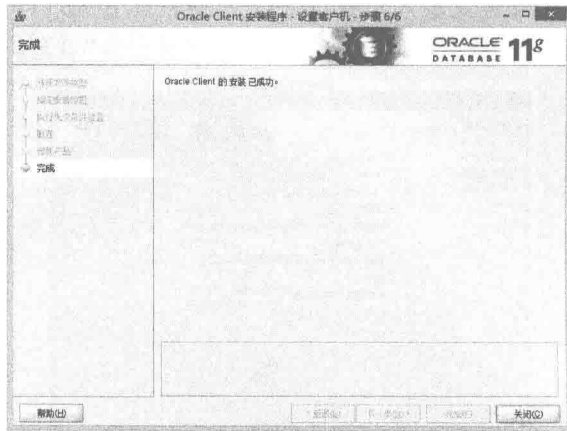


图 1.15 成功安装 OracleClient

(5)点击“开始”→“所有程序”→“Oracle-OraClient11g\_home1”→“配置和移植工具”→“Net Configuration Assistant”,打开 Net Configuration Assistant 界面,选择“本地网络服务名配置”,点击“下一步”(图 1.16)。



图 1.16 勾选本地网络服务名配置

(6)在网络服务名配置工作中,选择“添加”,添加新的网络服务名。

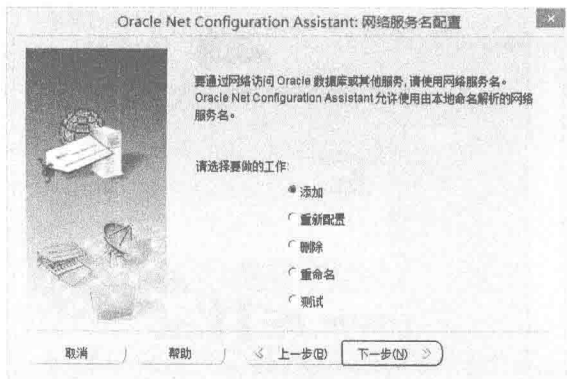


图 1.17 添加新的网络名

(7) 点击【下一步】，在服务名中填入“orcl”，即 OracleDatabase 安装过程中填写的网络标识符名称(图 1.18)。

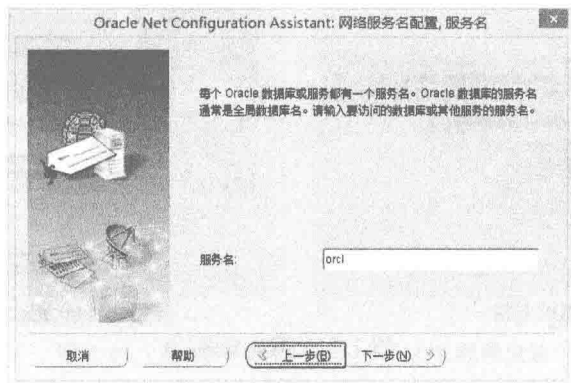


图 1.18 填写网络标识符名称

(8) 点击【下一步】，在网络协议配置中选择“TCP”(图 1.19)。

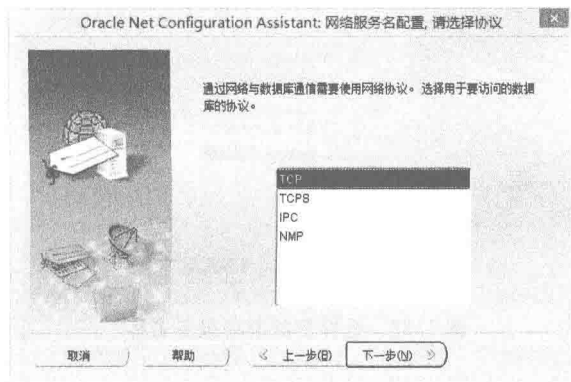


图 1.19 网络协议配置

(9) 点击【下一步】，进入 TCP/IP 协议设置，主机名中填写新服务名所针对的数据库对象的 IP 地址。若当前客户端的使用针对本地数据库，则主机名填入 127.0.0.1。点击【下一步】，进行连接测试(图 1.20)。

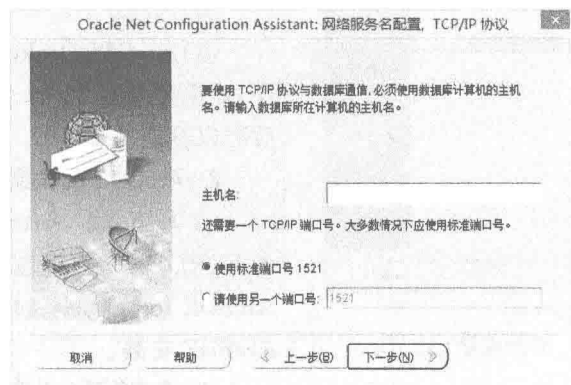


图 1.20 设置 TCP/IP 协议