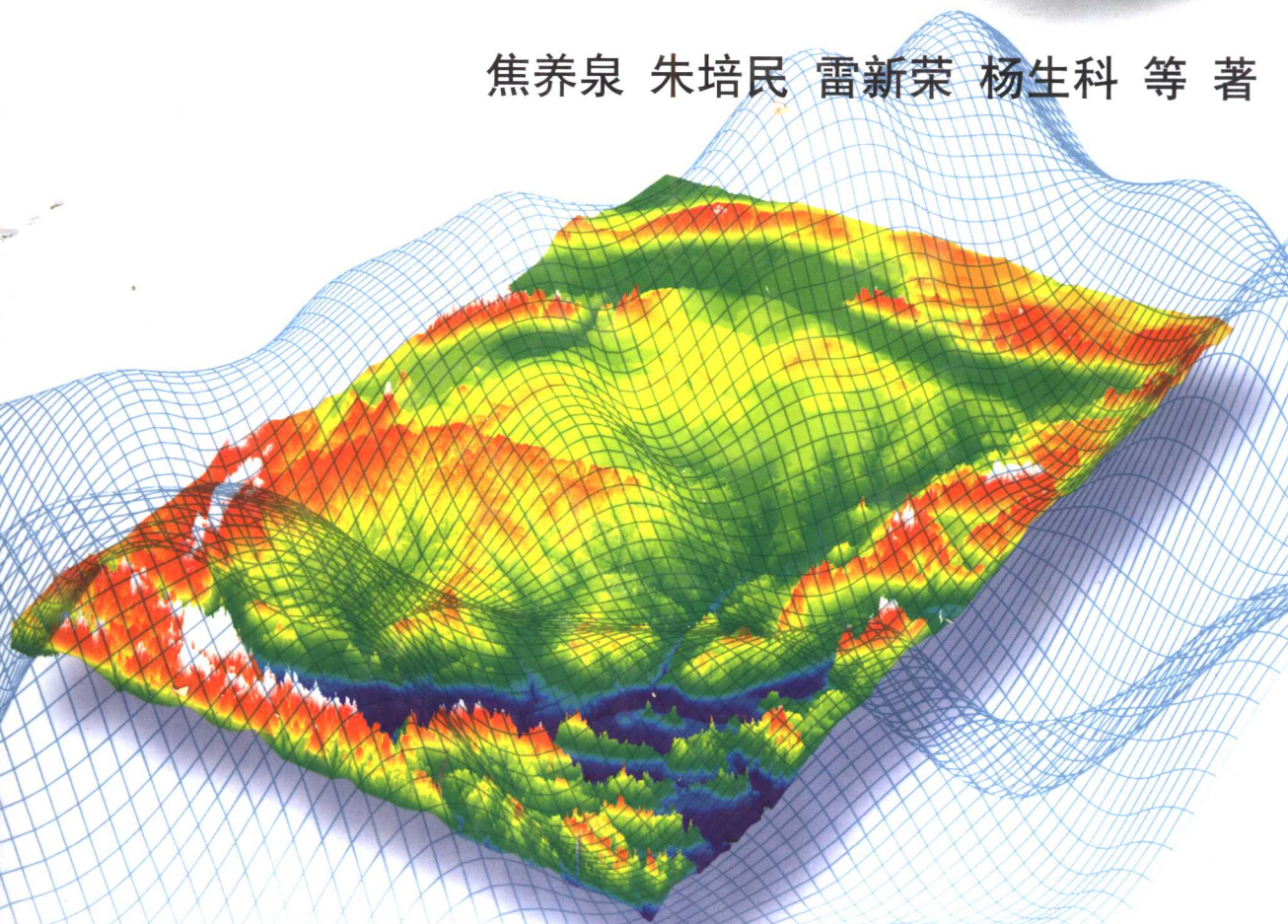


地学空间信息

三维建模与可视化

—— 鄂尔多斯盆地及相关领域的实践

焦养泉 朱培民 雷新荣 杨生科 等 著



 科学出版社
www.sciencep.com

地学空间信息 三维建模与可视化

——鄂尔多斯盆地及相关领域的实践

焦养泉 朱培民 雷新荣 杨生科 等 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书用最新的空间信息可视化技术,首次定量地表征了一个具有 40 万 km² 的大型整装盆地——鄂尔多斯盆地的三维地质结构,并将该方法成功地运用于地下水系统研究和资源量预测,这为地学三维可视化建模提供了一个范例。与此同时,作者还在原型盆地与古地貌恢复、区域地质调查和地质灾害评价、能源矿产勘探与开发(油气、铀)、海洋地质与地形地貌研究、水库面积与库容预测,以及城市规划(数字校园)等方面进行了初步实践,证实了空间信息可视化技术的应用研究具有广泛的适用性和强大的生命力。通过上述实践,作者系统地总结了从信息采集、信息处理、信息管理,到三维模型构建、模型集成、模型校验,再到模型功能的深层次开发和应用等一整套研究思路与工作流程。

本书的特点在于强调了模型结构的科学性、模型结构与属性的可视性,以及模型功能的实用性。书中提供的典型实例不仅是对地质学研究目标的表征,更重要的是通过三维可视化模型的构建总结地质规律,同时通过三维空间查询功能获取进一步深化地质目标研究的定量参数。所以,该成果将在促进地学信息可视化应用、提升地学研究成果的展示度等方面产生积极影响。

本书可供从事地球科学、信息科学及相关学科研究与教学的学者、大专院校师生和生产技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地学空间信息三维建模与可视化:鄂尔多斯盆地及相关领域的实践/焦养泉,朱培民,雷新荣,杨生科等著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016269-2

I. 地… II. ①焦…②朱…③雷…④杨… III. 鄂尔多斯盆地-地球空间信息学 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107677 号

责任编辑:谢洪源 刘 华/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 1 月第一次印刷 印张: 15 1/2

印数: 1—1 000 字数: 325 000

定价: 240.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

地学空间信息三维建模与可视化

——鄂尔多斯盆地及相关领域的实践

作者名单

焦养泉 朱培民 雷新荣 杨生科 万军伟 吴立群

[中国地质大学(武汉)]

王永和 侯光才 张茂省 刘 方

(西安地质矿产研究所)

本书获:

“鄂尔多斯盆地地下水勘查”项目

中国地质大学(武汉)“211 工程”国土资源勘查评价学科群

中国地质大学(武汉)含油气盆地动力学创新团队 联合资助

中国地质大学(武汉)纳米矿物材料创新团队

中国地质大学(武汉)学术著作出版基金

**3D Modeling and Visualization of
Geosciences Spatial Information:
Application to the Ordos Basin and other fields**

By

Jiao Yangquan Zhu Peimin Lei Xinrong

Yang Shengke Wan Junwei Wu Liquan

(China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Wang Yonghe Hou Guangcai Zhang Maosheng Liu Fang

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources)

序

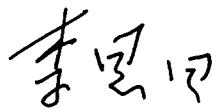
空间信息可视化技术的发展,为地学各个领域的研究提供了一个新的方法和研究平台,为解决各种地质问题开辟了一个新的研究方向。过去在传统地质的研究当中,地质模型的建立主要是概念的、定性的,不能全面展示时空特征。因此人们所研究总结得到的地质特征和规律不能上升到定量的和形象的分析阶段。可视化技术的出现,为地学,特别是宏观地质学研究的各个领域提供了解决上述问题的一种重要方法。

目前在盆地与能源研究中,空间信息可视化技术主要应用于地球物理数据的三维可视化、油藏描述等方面,在地质学各领域的应用还较少。本书的作者们率先将三维可视化技术应用到大型盆地的地质结构和地下水系统建模中,是一个重要的尝试。鄂尔多斯盆地是一个面积达 40 万 km^2 的大型叠合盆地,有相当复杂的地质结构,是一个富含煤、油气、砂岩型铀矿等能源资源和水资源的宝库,因此对鄂尔多斯这样典型的盆地进行地质建模及其三维可视化有非常的意义。地质建模的过程就是对盆地地质的解剖过程,它可为地质构造格架、地层格架的形成和盆地的演化过程提供重要的地质依据。

空间信息可视化的核心是地质建模。本书的年轻作者们,结合“鄂尔多斯盆地三维可视化地质建模研究”项目和其他相关研究项目的实践,总结出了一整套从地学信息采集、处理、建模方法、空间信息管理、模型构置,到三维可视化的工作方法和流程,并就模型功能的开发和应用等方面进行了有益的探索,得到了许多令人鼓舞的结果,并得到产业部门的重视。这本书就是他们几年来辛勤工作的结晶。

本书分为四篇,第一篇为建模思路与方法,第二篇为空间信息管理,第三篇为鄂尔多斯盆地应用与实践,第四篇为相关领域的深化研究与拓展应用。全书内容丰富,图件精美,较全面系统地展示了地质建模和三维可视化的研究过程和方法,以及在各领域中的应用。

目前地质建模和空间信息可视化在地学领域的应用,特别是大型地质对象的研究方面还是初步的,但本书的出版将为地质建模理论和三维可视化及其应用起到一定的推动作用。我们期待着并相信作者们在地球科学更多的领域取得新的成果。



2005 年 3 月 7 日

Foreword

Spatial information visualization technology (SIVT) provides a new method for geoscience research and opens up a new research field for solving various geological problems. Previously, the space-time characteristics of geological objects and laws of geological movement obtained through inductive reasoning could neither be integrated into a complete whole, nor could analyses of geological research be quantified and visualized, because previous geological models were conceptional and qualitative. SIVT offers an important method of solving geological problems, especially in the field of micro-geology.

At present, SIVT is mainly applied in the study of basin and energy resources for 3D visualization of geophysical data and reservoir description. The authors of this book have applied this technology to modeling the geological structure and groundwater system of the Ordos Basin for the first time, covering a 400, 000 km² area of complex geological structure containing various resources, such as coal, oil, natural gas, groundwater and sandstone-type uranium deposits. The geological modeling process is actually similar to a basin geology dissection. The resultant model of the Ordos Basin provides a very useful basis for understanding its structural framework, stratigraphic framework and evolutionary process.

The core of SIVT is geological modeling, and the authors present here the outcome of a successful project in 3D visualization modeling of the Ordos Basin. The preparation of our model has given us a great deal of valuable experience in the stages of 3D visualization, from data acquisition through data processing and spatial information management to model construction. We have been particularly successful in applying geological modeling to groundwater surveying of groundwater. This book is an outcome of several years' recent detailed research.

While the application of geological modeling and SIVT in China is still in its preliminary stage, especially as applied to large geological objects, such as the Ordos Basin, we firmly believe that the publication of this book will promote the development and application of geological modeling and 3D visualization technology. We also expect to make more progress in applying it to other fields of geoscience in the near future.

Li Sitian
March 7, 2005

前 言

空间信息可视化技术就是给数据以形象，给数据以智能（黄志澄，1999；孙敏，2003）。它以传统的空间信息和 3S（RS，GIS，GPS）信息为依托，透过视觉效果，探讨空间信息所反映的规律和知识。如今，在地学领域 3S 技术得到了广泛的应用，作者正是在这一雄厚基础的铺垫之上，应用空间信息可视化技术，成功地对鄂尔多斯盆地进行了三维建模与可视化表征。

鄂尔多斯盆地是我国西部一个重要的多能源和沉积矿产基地。为配合大中城市发展、能源基地建设和农田灌溉等需求，自上世纪 50 年代以来，国内许多部门在该区开展了多项地质研究工作，取得了一系列的研究成果。作者也长期在此从事理论和应用研究，并在实践中形成了很好的概念模型。但是，常规的二维制图以及语言描述难以准确、清晰、直观地表达地下覆盖区的盆地地质结构和有用矿产的分布规律。所以，在地学领域，应用 3S 技术和空间信息可视化技术对目标地质体进行三维可视化建模和表征已经成为地学发展的趋势和必然，这也是作者由来已久渴望从事三维可视化建模的初衷。

2003 年，适逢中国地质调查局下达的“鄂尔多斯盆地地下水勘查”项目在全国范围内进行三维可视化建模招标活动，闻讯伊始，作者迅速组织了一个集沉积盆地分析、地球物理勘探、计算机信息处理和水文地质学研究于一体的多学科联合攻关小组，开始了详细的调研、论证和研究工作，最终以优良的设计中标并承担了“鄂尔多斯盆地三维可视化地质模型研究（1212010331302ZT6）”专题，从而开始了艰辛的探索。

三维可视化技术在国外已经趋于成熟，但在国内起步较晚，尤其是缺少针对大型整装盆地的精细解剖和可供借鉴的经典模式和成熟经验。所以针对鄂尔多斯盆地，从信息采集、信息处理、信息管理，到三维模型构建、模型集成、模型校验，再到模型功能的深层次开发和应用，研究集体付出了艰辛的努力。一分耕耘，一分收获。通过在鄂尔多斯盆地的实践，如今已经建立了可供三维查询的、并能服务于地下水资源评价的可视化平台，这为三维可视化建模提供了一个典型范例。它对于进一步深入开展地下水勘查，以及政府宏观决策大型能源化工基地建设具有深远影响。迄今为止，针对具有 40 万 km^2 的大型整装盆地从事三维可视化地质结构建模，并将地表模型与地下模型有机融合，这在国内尚属首次。为了及时总结建模工作经验，作者紧密围绕模型结构的科学性、模型结构与属性的可视性、以及模型功能的实用性，并结合在相关学科领域的应用实践，将所有的研究成果编写整理成书奉献给读者，以期通过交流推动三维可视化技术在国内的广泛应用。

由于空间信息的普遍性，因此可以预见随着可视化建模技术的日臻完善，它将以迅猛之势拓展到国民经济建设的各个行业。这也是作者集体共同奋斗的目标——将空间信息可视化技术坚定不移地应用到国民经济建设的其他领域。

本书共分四篇十二章，第一篇主要阐述了三维可视化建模的基本思路与建模方法；第二篇讨论了服务于三维可视化建模的空间信息管理方法，其中包括空间信息的拾取与处理，以及三维可视化建模的信息管理平台构建；第三篇从不同类型和不同尺度重点展示了鄂尔多斯盆地三维地质结构模型及其在地下水资源勘查中的具体应用；第四篇阐述了空间信息可视化技术在原型盆地与古地貌恢复、区域地质调查和地质灾害评价、能源矿产勘探与开发（油气、铀）、海洋地质与地形地貌研究、水库水域面积与库容量预测，以及城市规划（数字校园）等相关领域的深化研究和拓展应用。

课题负责人是本书编写的主要执笔人。其中，第一章、第五章、第六章、第八章、第九章、第十章第三节和第四节、第十一章和第十二章主要由焦养泉、杨生科和吴立群执笔编写，第二章、第三章、第四章、第十章第二节主要由朱培民、朱焱辉和金丹执笔编写，第七章和第十章第一节主要由雷新荣和杨生科执笔编写。全书由焦养泉主持汇总，由焦养泉、朱培民和雷新荣讨论定稿。在研究过程中，杨生科从事了大量的信息处理和建模工作，万军伟、王永和、侯光才、张茂省和刘方参与了早期的论证设计和部分章节的审订工作，王敏芳、魏超、方波和徐志诚等参与了辅助性研究工作。此外，李思田教授为本书写了序，Roger Mason 教授为本书英文部分的编写做了大量的指导工作。

本书的研究虽然取得了一些进展，但对于空间信息可视化技术这一发展较为迅速的领域，无疑需要更进一步的深入。由于是作者的初次尝试，本书的错误之处在所难免，恳望读者批评与指正。如果您有好的意见和建议，请与我联系，E-mail: yqjiao@cug.edu.cn。

焦养泉

2005 年 1 月

Preface

Spatial Information Visualization Technology (SIVT) is designed to create intelligent images of spatial data (Huang, 1999; Sunmin, 2003) by integrating traditional spatial information with 3S information (RS, GIS, GPS). The main purpose of SIVT is to explore our information and understanding of spatial data. We have successfully completed an extensive program of 3D visualization modeling of the Ordos Basin.

The Ordos Basin is an important source of fossil fuels, minerals and groundwater resources in western China. Many researchers have successfully conducted a lot of scientific studies since the 1950s in order to promote economic growth and social development. We have accumulated many years of research experience of the Ordos Basin and have proposed many conceptual models and found that it is very inconvenient to describe the geological structure and distributional regularity of mineral resources and energy resources using 2D graphics and written reports. We were therefore delighted to apply SIVT to improve our own understanding of the Ordos Basin, and communicate our research results to others.

The China Geological Survey invited bids for a groundwater exploration project in the Ordos Basin in early 2003. We put together a multidisciplinary research group to prepare a bid and were successful in winning with a project entitled: *3D Visualization Geological Modeling of the Ordos Basin*.

3D visualization technology is still relatively undeveloped in China, and there were no previous practical models for 3D visualization modeling of typical sedimentary basins. So we concentrated on information acquisition and processing, 3D modeling, models integration, and application of 3D models, *etc* in the Ordos Basin, and have now established a visualization system that can be used for 3D information investigation and groundwater resources evaluation. It is a typical example of 3D visualization modeling and has already yielded huge benefits in groundwater resources exploration and energy source base construction. This is the first time that researchers in China have conducted 3D visualization modeling research on a 400, 000km² basin, integrating surface and underground models. We have written this book to summarize our experience and introduce many discoveries we have made. We hope it will be helpful to the development and application of 3D visualization modeling technology in geosciences.

SIVT will soon extend to other fields of national economy because of the widespread collection and use of spatial information and the development of 3D visualization modeling technology. We hope that we can encourage this extension.

This book contains 12 chapters in four parts. Part I, Chapters 1-2, introduces the theory and ideas of 3D visualization modeling technology. Part II, Chapters 3-4, explains the application of 3D visualization modeling to spatial information management. Part III, Chapters 5-10, describes typical applications of 3D visualization geological modeling technology to groundwater resources exploration of Ordos basin. Part IV, Chapters 11-12, describes further research and extended application of 3D visualization geological modeling technology to other fields, such as prototype basin and paleo-topographic feature recovery, regional geological surveys, geological disaster evaluation, mineral resources and energy resources exploration and exploitation (oil, gas and uranium), marine geology and geomorphology, forecast of water area and volume of reservoir and the city planning (digital campus), *etc.*

The principal members of our research group, Jiao Yangquan, Zhu Peimin and Lei Xinrong, edited this book and wrote much of it. Jiao Yangquan, Yang Shengke and Wu Liqun collaborated in writing Chapters 1, 5, 6, 8, 9, 11, 12 and the third and fourth sections of Chapter 10; Zhu Peimin, Zhu Yanhui and Jin Dan in writing Chapters 2, 3, 4 and the second section of Chapter 10; Lei Xinrong and Yang Shengke in writing Chapter 7 and the first section of Chapter 10. Yang Shengke did much of the information processing and modeling. Wan Junwei, Wang Yonghe, Hou Guangcai, Zhang Maosheng and Liu Fang participated in early discussions and revised some chapters. Wang Minfang, Wei Chao, Fang Bo and Xu Zhicheng assisted in research work. In addition, Li Sitian wrote preface, Roger Mason gave a lot of advice to the parts of English translation.

Although this book celebrates considerable progress in 3D visualization modeling research, it leads us on to further studies. As it is our first attempt at SIVT research mistakes may have crept in, and we would appreciate it if readers could give us their advice and suggestions. If you have some good idea and advice, please contact with me, E-mail is yqjiao@cug.edu.cn.

Jiao Yangquan

Jan. 2005

致 谢

空间信息可视化应用技术研究得到了中国地质调查局水文地质环境地质部、西安地质矿产研究所和中国地质大学（武汉）的大力支持。

作者特别感谢以邱心飞教授级高工、武选民研究员、文冬光研究员、李文渊研究员、陆琦教授、孙永明教授级高工、王德潜教授级高工、万力教授、王文科教授、杨友运教授等为代表的专家在研究过程中给予的中肯建议与指导。

感谢“鄂尔多斯盆地地下水勘查”总项目综合组及其相关专题在基础资料准备过程中所付出的努力。

感谢中国石油化工股份有限公司西部新区勘探指挥部、中国核工业地质局、核工业地质研究院、核工业 208 大队、中国地质大学（武汉）等单位为空间信息可视化技术在相关领域的深化研究和拓展应用提供了良好的实例和实践基地。

目 录

序
前言
致谢

第一篇 建模思路与方法

第一章 三维可视化地质建模与应用的指导思想	3
第一节 三维可视化研究现状	3
第二节 三维可视化建模的研究内容与关键技术	4
第三节 三维地质建模与可视化工作步骤	6
第四节 三维可视化地质建模的资料基础	8
第二章 三维可视化地质建模方法	10
第一节 地质及地下水系统的信息分类	11
第二节 地质建模的准备和数据一致性	12
一、数据来源	12
二、坐标系、比例尺、精度	12
三、空间数据的一致性检查和处理	13
第三节 模型单元划分和模型单元构建	14
一、模型单元划分	15
二、模型单元构建	19
三、模型单元的建模流程	25
第四节 模型集成	26
第五节 三维空间信息查询和分析	26
一、空间信息的查询方法	27
二、三维空间信息的非可视化查询示例	27
三、三维空间信息的可视化查询示例	28

第二篇 空间信息管理

第三章 地学空间信息数字化与处理	33
第一节 数据的存在形式	33
第二节 地学信息数字化	34
一、图形图像的数字化	34
二、文字报告的数字化	35
三、数字化后的数据检查	36
第三节 数据质量评判与甄别	36

一、空间数据的误差来源	37
二、数据质量的评估	37
三、空间数据的检查和甄别	39
第四节 数据转换	39
一、MapGIS 数据到空间数据库标准格式数据的转换	39
二、井数据到砂体数据的转换	41
第五节 数据处理	42
一、空间插值	42
二、数据光滑	44
第四章 建模的空间信息管理平台——空间数据库结构与功能	45
第一节 空间数据库管理平台的需求和设计原则	45
一、空间数据库管理平台的基本需求	45
二、空间数据库平台的选择	46
三、空间数据库的设计原则	46
第二节 鄂尔多斯盆地空间数据库结构	47
一、原始数据库基本概况	47
二、空间数据库结构	49
第三节 空间数据库管理程序的功能与接口	57
一、程序结构和主界面	57
二、地层数据管理模块	59
三、断层数据管理模块	62
四、井数据管理模块	65
五、普通属性数据管理模块	66
六、图形数据管理模块	68
 第三篇 鄂尔多斯盆地应用与实践	
第五章 鄂尔多斯盆地模型系统结构与作用	73
第一节 三维可视化模型概念级别	73
一、模型单元	73
二、模型单元集	73
三、模型系统	73
第二节 三维盆地结构模型单元集划分	75
一、模型单元集划分原则	75
二、模型单元集类型	76
三、地表模型单元集特色	76
四、地下模型单元集特色	76
第三节 不同尺度、不同类型模型系统的功能	76
一、不同尺度模型系统的功能	76
二、不同类型模型系统的功能	78

第六章 鄂尔多斯盆地地质结构建模	79
第一节 地表模型单元集	79
一、空间位置模型单元	79
二、地形地貌模型单元	79
三、地表地质模型单元	81
四、地表水系和水体模型单元	84
五、遥感图像模型单元	85
第二节 地下模型单元集 1——盆地主体结构	87
一、钻孔模型单元	87
二、关键界面模型单元	89
第三节 地下模型单元集 2——盆地周边结构	90
一、盆地周边断裂模型单元	90
二、盆地周边断陷盆地模型单元	92
第四节 鄂尔多斯盆地空间结构模型系统	93
一、由界面表征的盆地三维空间结构	93
二、由体表征的盆地三维空间结构	96
三、由剖面表征的盆地三维空间结构	98
第七章 盆地局部解剖区地质结构建模	100
第一节 东胜梁解剖区地质结构建模	101
一、地表模型单元集	101
二、地下模型单元集	102
第二节 白于山解剖区地质结构建模	106
一、地表模型单元集	106
二、地下模型单元集	109
第八章 天桥岩溶区地质结构建模	113
第一节 建模信息评价与准备	114
一、钻孔信息评价	114
二、地层趋势内插法原理	116
三、钻孔地层界面插值	116
四、建模数据融合处理	118
第二节 地表结构模型单元集	118
一、地形地貌模型单元	119
二、地表水系模型单元	119
三、遥感图像模型单元	119
四、地表地质模型单元	119
第三节 地下地质结构模型单元集	123
一、钻孔模型单元	123
二、地下地层界面模型单元	124
三、地下地层地质体模型单元	127

四、地下剖面模型单元	127
第九章 白垩系骨架砂体结构建模	129
第一节 白垩系骨架砂体对比与命名	129
一、重要界面和标志层识别	129
二、骨架砂体及其内部结构对比方法	137
第二节 洛河组砂体空间结构分析	138
一、洛河组骨架砂体剥蚀与沉积边界	139
二、洛河组骨架砂体厚度分布特征	140
三、骨架砂体内部隔挡层分布特征	140
第三节 洛河组砂体结构三维空间信息描述	141
一、砂体外部结构三维空间信息	141
二、砂体内部结构(隔挡层)三维空间信息	142
第四节 洛河组砂体结构空间信息处理与三维可视化建模	142
一、砂体或隔挡层尖灭处的 1/2 外推法处理	142
二、砂体或隔挡层顶、底界面数值内插处理	143
三、骨架砂体及其内部隔挡层三维可视化建模	144
第五节 罗汉洞组砂体结构的三维可视化建模	148
第十章 三维可视化建模在地下水资源评价中的应用	149
第一节 地下水系统空间地质结构特征的展示	150
一、盆地地质结构特征	150
二、各地质单元的残留沉积厚度分布	152
第二节 地下水系统信息直观表征	153
一、环河组地下水等水位面模型单元	154
二、地下水系统结构模型单元	154
三、地下水系统边界模型单元	156
四、地下水流场信息模型单元	159
五、地下水 TDS 模型单元	159
六、盆地降水量和蒸发量模型单元	160
第三节 通过三维查询获取地下水系统研究的必要参数	161
第四节 地下水储存资源量评价——三维砂体模型功能及其应用	164
一、洛河组砂体地下水储存资源量计算	164
二、罗汉洞组砂体地下水储存资源量计算	166
三、白垩系地下水储存资源量评价	166

第四篇 相关领域的深化研究与拓展应用

第十一章 盆地分析深化研究——原型盆地与古地貌恢复	171
第一节 盆地原型与古地貌恢复技术	171
第二节 准噶尔盆地古地貌特征与三维可视化	173
一、同沉积盆地古构造格架	173

二、同沉积盆地古地貌格局	175
第三节 古地貌地质属性与物源分析	176
一、沉积体系域重建	176
二、物源分析	178
三、古地貌-物源-沉积体系空间配置规律	179
第四节 沉积物运移和堆积准则	182
一、区域构造对物源区的控制	182
二、古地貌形态对砂分散体系的控制	183
三、古地貌形态对烃源岩的控制	183
第五节 原型盆地模型集成与表征	183
第十二章 相关领域的拓展应用	188
第一节 区域地质调查和地质灾害评价	188
一、区域地质调查信息三维建模与可视化表征	188
二、地质灾害——滑坡建模与表征	190
第二节 能源矿产勘探与开发（油气、铀）	193
一、油藏建模与表征	193
二、砂岩型铀矿及成矿条件建模与表征	195
第三节 海洋地质与地形地貌	199
一、南海地质结构建模与表征	199
二、美国长岛南部大陆架和海底峡谷建模与表征	199
三、澳大利亚布拉肯海滩建模与表征	206
第四节 万家寨水库的三维立体展示	206
一、蓄水水位与水域面积的关系	208
二、蓄水水位与库容体积的关系	209
三、水利工程建模的主要作用	210
第五节 城市规划——数字校园	210
一、建筑物整体布局表征	210
二、标志建筑物精细刻画	210
三、地下管线建模与表征	210
主要结论与认识	214
主要参考文献	217