

第一章 绪论

数字地质图 (Digital Geological Map, 简称 DGM) 是以计算机可读的数字格式记录地质解译数据和地理基础数据的任何地质图形式 (Bruce R. Johnson, Boyan Brodaric, and Gary L. Raines, 1998)。它是在计算机软硬件环境支持下, 根据地质实体要素的空间特性和用户的需求, 在一定的空间坐标参考系中, 以计算机可读的数字形式表示特定时间段或点上的现实地质世界中地质现象或地质事件的状况, 以及地质现象和地质事件与地质环境或地质背景之间的联系。数字地质图概念的提出, 起源于计算机地质制图, 是在计算机技术, 特别是信息技术与地质科学结合或融合的情况下提出的。

从计算机地质制图技术的角度来看, 数字地质图仅仅是计算机技术与地质制图技术的产物, 其目的是以计算机手段实现模拟地质图的自动化或半自动化制作。最初人们对于数字地质图的研究只注重计算机实现的技术层面, 随着计算机科学与技术的发展, 特别是信息技术与传统地学的不断融合, 数字地质图的应用也日益广泛和深入, 从地图制图的目的逐渐向地学分析的目的发展, 特别是地学信息科学学科的形成, 人们对数字地质图的概念、内涵及功能也在不断地深入和发掘, 数字地质图已经成为以地学分析为主要应用目的的现代地学基础数据的主要形式, 广泛地应用于国民经济建设、公共利益、国家资源分配与布局、资源评价、环境评价与监测等多个领域。随着国家空间信息基础设施 (National Spatial Information Infrastructures, 简称 NSII) 的建设和发展, 数字地质图作为地学空间信息基础设施的主要构成部分之一必将得到快速的发展和深入的应用。

数字地质图数据是地学空间信息基础设施的主要构成元素, 为了实现地学数据的分布式异构数据库之间的数据共享和交互操作, 要求对地学空间数据必须进行有效的组织和管理, 特别是当地质学家或地学研究人员对所感兴趣的一定空间区域进行地学分析时, 其资料主要来自于存放在不同地点、以不同的数据格式存储的不同空间尺度的地学数据库之中, 这些数据可能是地球物理、地球化学、遥感地质、基础地理、基础地质、钻孔数据等不同类型的数据库, 也可能是文字、数字、图形、图像等数据, 但数字地质图作为应用的基础数据则被广泛地运用。因此, 如何建立一个有效的数字地质图数据的组织和管理机制, 适合于异地应用和提取, 适合于不同类型、不同空间尺度、不同来源的数字地质数据提取、挖掘和集成是当今地学信息科学领域所要解决的最基本问题之一, 也是各国地学信息科学家致力于研究的热点问题。

1.1 问题的提出

随着计算机技术的发展, 特别是地理信息系统和网络技术在地学领域应用的深入, 地质图作为地学研究的基础图件, 正在告别纸质时代, 进入数字化时代。中国地质调查局自上世纪 90 年代末期, 开始实施数字国土项目, 全国到 2002 年底已经完成了 227 个标准图幅的建库工作, 全库数据量达到 16GB。其中, 原图扫描的栅格数据 117 幅、MAPGIS 和 ARCINFO 格式数据 227 幅、ArcSDE 数据库图元总数 788190 个。数据库建设以空间数据为核心, 采用了国内、国际先进、通用的技术平台, 研究并建立了面向对象的地质图空间数据库数据模型, 并首次将此模型应用到 1 : 5 万数字地质图空

间数据库建设中(罗晓玲, 2004)。1:25万数字地质图数据库也在建设之中,1:50万数字地质图数据库建设已经完成。然而,关于数字地质图理论方面的研究明显滞后于实践工作,对建立统一、标准的地质数据集的质量有着严重的影响,特别是长期以来,数字地质图数据库的建设,按照传统的地理信息系统二元模型建立地质空间数据库,人为地将地质数据分为图形(空间)数据和属性数据两部分,分别以不同的方式存储在空间数据库和关系数据库之中,不仅对应用分析、地质制图带来不便,而且也和数据更新和维护带来不便。另外,对于同一个地质对象,由于数据采集的方法的差异和不同专业地质学家的认识上的不同,导致了在数据库中的歧义表示,影响了地质数据库的质量,也为这些数据的进一步应用带来了麻烦。因此,对数字地质图进行严格的数学定义,和由此而产生的推理准则,以及建立不依赖于计算机软硬件平台的统一的数字地质图数据模型,就成为当前地学信息化建设亟待解决的理论和 technical 问题。

1.2 本研究的目的是和意义

近年来,以GIS技术为主导的地学信息技术发展迅猛,数字地球、数字城市、数字区域等概念的提出,使得人们对于地学空间基础设施建设的步伐加快,世界各国都在努力建设各自的地学空间数据库。现代的空间数据库已经发展到广泛运用数据库技术、网络技术、数据仓库技术,建设分布式空间数据,而且要求地学空间数据的表示、存储、管理、操作和分析基于DBMS或面向对象数据库实现统一管理和处理,而且地学空间数据的共享、交互操作也成为当前地学空间信息基础设施建设和研究的主要热点问题。

在地质领域,运用最为广泛的是数字地质图数据,它不仅是描述现实地质世界的主要空间数据,也是一切与地球,特别是与地球发展、演化有关研究的主要信息源。无论是进行城市建设、农业土地质量评价、环境监测、资源评价,或是矿产资源开发与勘探、油气藏开发与评价、自然灾害防治等都将数字地质图作为基础资料进行应用。随着信息化时代的到来,建立大型、交互使用的分布式地学空间数据库已成为历史发展的必然趋势。数据模型是数据库设计的基础,是对数据库用户工作环境的空间抽象,是应用问题向计算机应用系统转换的桥梁和纽带。数据模型作为数据库设计的核心,一直是数据库建设所关注的问题。地学空间数据模型研究是地学空间数据库的基础,地学空间模型是地学专家对地球表层系统观察认识的建模,它反映了地学专家看待和调查地球表层系统的方式。

1.2.1 研究目的

本论文研究的目的旨在为数字地质图数据库建设提供一个不依赖于计算机软件和硬件环境的、可操作性强、支持地学数据共享、用户可以根据自己的应用特点进行扩充的数字地质图数据模型。

数字地质图数据模型的目的是为了在计算机中对地质图数据的组织、存储和应用提供一种结构,该结构应当独立于任何计算机应用软件,可以在任何GIS系统中实现。数字地质图数据模型正式地定义了一套语法,该语法独立于任何地质图词汇。为了使数字地质图数据模型更为有效,语法和词汇都是重要的。当前努力的首要目标是为数字地质图信息开发一个数据模型(即完整的语法),其次,

开发可能用到的尽可能多的词汇，词汇可以帮助人们对于模型的深入理解。

数字地质图关系数据模型是为关系数据库组织和存储地质图数据而建立的“实体—关系”数据模型。面向对象的数字地质图数据模型在本质上更加概念化，而且更注重未来的发展。这两种方法的努力都试图使得数字地质图独立于任何给定的软件和硬件结构。该关系数据模型在 ArcGIS 或 ArcView GIS 软件中予以实现。

1.2.2 研究意义

数字地质图数据模型的研究意义表现在以下几个方面：

(1)地学数据是描述地球表面或近地表地球演化历史及变化趋势的多学科数据，涉及地层、岩石、构造、古生物、矿产、地球物理、地球化学、地质遥感、野外测量、土地等领域的的数据。它们从不同的角度或侧面反映了地球发展和演化的信息，无论从空间上还是属性上它们都是相互联系的，而且具有多学科交叉和相互渗透的特点，因此必须考虑各学科数据之间的关系。

(2)地球演化经历了约 45 亿年，一个地区的地质对象，如地层、岩石在形成时间上存在着先后次序。从空间上看，各种地质对象也是相互联系的。地质图是地球表面及浅地表三维地质现象的综合表达，它运用地质概念模型，通过二维图形表达近三维地质状况，而这种三维地质状况是通过地质对象在空间上和时间上的依赖关系反映的。所以一些地质专家认为数字地质图不仅仅是以点、线、面表达的图形，而反映了地质对象内在的本质的联系。

(3)地质数据的类型复杂多样。从表现形式上看，既有野外地质调查记录、科研报告及综合解释性成果，又有大量的测试分析数据、航空遥感影像数据。从数据获取来源上，有航天、航空对地观测数据，地面地质调查数据，也有通过地质钻孔及深部地质多学科测量数据。从数据加工分类来看，既有原始的地质测量数据，又有分析解释成果数据，还有各种产品数据。研究这些数据合理高效计算机管理模型是一项十分重要的任务。

(4)由于研究的目的和用途的差异，对地球观测的空间尺度可以有所不同，既可以从全球、地区、省域的空间视野进行观察，也可以是标本、显微尺度的观察。不同空间尺度下观察结果的精度、内容、方式都是不一样的。数字地质空间数据库的应用需要对不同空间尺度的数据进行集成。而且随着对地观测技术的发展和水平的提高，地球观测数据的种类也会不同增加，这就要求地学空间数据库能够反映多尺度水平的地学数据。

(5)大多数地学数据是关于地球发展、演变的历史数据，与人类社会经济数据相比，其时效性较差，一旦地学数据被建成地学数据库以后，便可以长期为社会所使用。因此，必须研究合理、正确的地学数据模型，以保证建成的地学数据库数据的长期有效性。同时，也要建立完善良好的可扩充机制，充分满足地学数据更新和新类型地学数据的增加。

(6)地学数据由于其较强的专业性，使其不像商业和日常生活数据那样，容易被公众理解和使用，社会上大多数对地学数据感兴趣的人员，由于缺乏足够的地学背景知识难以正确理解和使用地学数据。因此，通过一定的概念模型以及元数据模型有助于公众理解地学数据。

(7)地学空间数据库本身的跨学科特性，决定了其设计、建库、维护、更新需要多学科专业技术人员的共同协作，要求 GIS 数据库专家必须对地学环境有足够的认识，详细正确地了解地学对象实体及其相互关系，才能将地学数据准确地用 GIS 数据库语言表达出来。反过来，地学专家又必须将地学数据模式化，向 GIS 数据库专家解释地学工作领域涉及的数据类型、地质实体、实体描述、专题要素、可能的表格形式以及它们之间可能的相关关系等。地学空间数据模型是一种概念化的语义模型（逻辑模型），并不涉及具体的数据库系统内部结构，是用接近于应用领域的术语来表达数据及其之间的关系，因此，它是 GIS 数据库专家、地学专家及用户之间沟通的桥梁。

(8)地学数据共享与交流随着网络技术的发展越来越重要，而数据的共享与交互操作，是空间数据定义和组织的关键，特别是数字地球、数字区域、数字国土、数字城市等概念和技术发展，对地学数据共享和互操作提出了更高、更迫切的需求。长期以来，由于缺乏统一、标准的地学数据模型，地学空间数据库工作者在掌握 GIS 的基础理论方法的前提下，往往根据自己的理解和经验创造性地开发地学空间数据模型。不同人员使用的 GIS 软件不同，所开发的数据模型也不同，导致了同一地质实体的数字化表示的区别和差异，而且，对于地学空间数据的编码、空间数据分层的不一致，很难实现数据的共享与有效的管理，进而限制了数据的使用价值。统一的地学空间数据模型的建立和标准的制定将规范和解决上述问题，最大程度地实现数据共享。

(9)地学空间数据模型也是建立基于 Internet 数字地学图书馆的基础。它为数字地学图书馆的空间数据存储和管理提供理论基础和数据结构支持以及数据访问、查询操作。

1.3 国内外研究现状

数字地质图是重要的空间数据，其发展是随着 GIS 技术的发展而演进的，许多技术问题与计算机技术、信息技术和地学信息技术的发展有关。因此，有必要探讨一下空间数据库数据模型的研究现状和发展历程。

1.3.1 空间数据模型研究现状与发展

空间数据库作为复杂的空间信息系统的重要的核心组成部分，不仅能够存储、处理和表达现实世界中各种现象和事件的属性信息，而且涉及大量复杂的空间定位特征及其相互关系的拓扑学联系的组织和管理。作为空间数据库的理论基础，空间数据库模型是对客观事物和现象抽象概括的结果，是关于数据及其逻辑联系的组织形式的表示。空间数据模型在空间语义和属性语义方面更加完整地模拟和抽象客观地学世界，它不仅是空间数据库的核心，也是所有地理信息系统赖以成功的基石。

1.3.1.1 空间数据模型的发展历程

不同的空间数据模型用不同的数据抽象与逻辑描述来反映客观事物。近年来，虽然人们对地理信息系统的空间数据模型和数据结构进行了大量的研究，开发了许多商用 GIS 软件，如 ArcGIS、MapInfo、Geomedia、MapGIS、GeoStar 等，但截止目前 GIS 软件仍然没有统一完备的数据模型，即使 GIS 数据模型的概念也没有统一的认识（张巍、龚健雅，1995）。在 GIS 企业界将空间数据存储

结构的发展归纳为以下三个阶段（陈静、张树文，2003）：

（1 第一代地学数据模型——CAD

第一代地学数据模型源自于 20 世纪 60-70 年代通用的 CAD 软件，就其本质而言，计算机辅助设计模型是地学数据计算机化的图形表示。CAD 数据模型用二进制文件存储地学数据，用点、线、面基本素元描述空间实体，几何要素与其相关的颜色、形状、线型等属性存放在一起，而图层和注记号则是它对属性的主要表达方式。CAD 模型的最大缺陷在于：表达空间要素的属性信息不完备；不能表示空间数据之间的拓扑关系，从而不能进行空间分析。此类模型随着 GIS 的发展而逐渐被地学信息界所淘汰。

（2 第二代地学数据模型——Coverage

随着地理信息系统（GIS）技术的发展，尤其是美国 ESRI 公司于 1981 年首先推出的 ArcInfo 商用地理信息系统软件，提出了空间数据库混合数据模型，在数据的组织上，将地学实体的数据人为地分为几何数据（Geometric Data）和属性数据（Attribute Data），对于几何数据采用树结构的文件层次目录数据组织方式，对于属性数据采用关系数据库模式进行组织，两者通过索引指针进行关联。这种空间数据库的组织方式称为松散式数据组织（Philippe Rigaux, Michel Scholl, Agnes Voisard, 2002），其缺点在于将描述地质实体的数据分成两大相互割裂的部分，它们之间的联系缺乏严格、标准的数据库管理系统的机制，容易产生数据更新和维护上的错误，而且管理、处理和分析往往不能够同步进行，特别是数据库的一些操作很难同步实现。例如，当研究区的数据来源于不同空间尺度时，需要进行地图合并处理，在表示图形的几何数据文件中，对两条线状要素进行了合并，而关系数据库中的属性数据的合并则需要人工进行干预，当要素名称或标识码由于疏忽而未完全归并时，就会出现同一实体的不同表示，从而产生多义性，对地学分析带来不便。美国 ESRI 公司 ArcInfo GIS 软件的 Coverage 数据模型就是典型的双元模型结构。它的实质是地学关系数据模型（Geo-relational Data Model），其概念模型基于空间实体的及其关系的表示，常用 E-R 模型进行概念设计，其物理实现是通过将几何图形数据以具有空间索引表的二进制文件形式存储，属性数据以商用关系数据库的表格集合存储。在 Coverage 数据模型中，几何数据是作为一个整体单独存放在二进制文件之中，这种存储模式使得在对地学空间数据进行操作时，不得不直接与一个个独立的二进制文件进行对话，它不仅增加了数据转换的成本，而且也限制了海量数据的存储与管理，对日益趋向企业级甚至社会级的地学数据库应用而言，这种存储方式已很难适应。随着数据库性能和功能的不断提高，将地学实体的所有数据，无论是几何数据或是属性数据直接存放于同一个数据库之中已经成为可能。1996 年，ESRI 公司提出了一种基于多用户的、以数据库中的二维表格为基础的关系数据库管理系统——空间数据引擎（ArcSDE）。从空间数据管理角度来看，ArcSDE 是一个连续的空间数据模型，它依托关系数据库环境，扩展了几种符合工业标准的 RDBMS 的功能，并采用高效目标模型对空间实体进行完整化组织，实现了属性数据与几何图形数据的一体化存储和管理，提高了地学空间数据的共享性和可交换性。随着空间数据库技术的发展和人们对地学空间数据应用的要求的提高，Coverage 数据模型的另一个缺陷日益突出：特征聚集在类似的空间要素集合中不具有特殊的特征行为，因此，

该模型在描述内容丰富、复杂的地质对象时具有很大的局限性。虽然通过 ArcAML 宏语言或 VBA 宏可以有限地设计某些要素模型及其相关行为，但外部代码对要素及其特征之间连接较为松散，而且编写复杂，容易出错。

(3)第三代地学数据模型——Geodatabase

针对以往空间数据模型存在的问题，1999 年 ESRI 在 ArcGIS 8 中将混合数据模型扩展到允许用户为其数据添加行为、属性和关系的面向对象的空间数据模型——Geodatabase。这是在世纪之交，面向对象技术发展成功运用于地学信息领域的一个范例。GIS 应用成功的关键取决于人们对现实世界认识和模拟的正确程度。面向对象的方法能够模拟和操纵复杂对象，能够将人们对于地学空间的正确认识映射到计算机内，面向对象的开发思想正在逐步成为 GIS 开发的基本方式（李国标，庄雅平，王钰华，2001）。面向对象数据模型是指人们可以按照对现实空间世界的认识来对地学空间进行任意层次的分解，可以根据所描述的不同空间实体选择最基本的操作单元，从而最大限度接近人们的思维习惯地对现实世界进行结构和行为的模拟。

Geodatabase 正是利用面向对象技术将现实世界抽象为若干对象类（ObjectClass）对象类本身没有空间特征，但每个对象类都有其属性、行为和规则；相同属性集、行为和规则的空间对象集合体现为要素类（FeatureClass），要素数据集（FeatureClassSets）反映了具有相同空间参考特征的要素类集合。Geodatabase 数据模型通过定义关系类（RelationshipClass）来描述要素类或对象类之间的关联关系，同时考虑了要素类平面拓扑的一致性、属性有效域（Domains）的定义及要素类行为取值的约束规则（Rules）等。该数据模型可以将所有空间实体以对象的形式封装起来，并将对象的外部行为语义和内部执行操作之间显著分离，根据操作行为来定义封装，而且它的数据格式类型的体系结构具有很强的继承性和多态特征，子类可以继承父类的大部分特性，而修改自己的专有特性，通过它们很易得到空间目标间的关系。面向对象的可扩充性，使 Geodatabase 数据模型的预定义类型无需明显改变即可成为用户类型。这就使得该数据模型在最底层便实现了特征与行为的紧密联系，空间数据不再是无意义的点、线、面，而是面向实际应用领域的复杂的客观实体，空间要素之间的相互关系可以符合人们的思维习惯得以清楚地表达。

Geodatabase 在实现上使用了标准的关系—对象数据库技术，它支持一套完整的拓扑特征集，提供了大型数据库系统在数据管理方面的优势，此种基于格网级 RDBMS 的数据模型不仅支持以往的数据格式，同时也拓展了 CAD 和 Coverage 数据模型所不能支持的特殊行为。与以往的空间数据模型相比，Geodatabase 具有一下的特点：

实现了数据源系统内的无缝集成。Geodatabase 在逻辑上统一了 ArcInfo 以往的空间数据模型，为应用层提供了统一的数据接口。所有地学数据，包括 CAD、影像、矢量数据、栅格数据、TIN、地址数据等都可存放在 Geodatabase 中统一管理，实现了在同一数据库中无须数据转换而统一管理储存和处理各种模型的空间数据。

实现了严格意义上的地学空间数据库。Geodatabase 是关系型数据库管理系统的空间数据模型，可将空间数据和属性数据集成在同一关系数据库中，改变了传统空间数据模型中二者仅通过 ID

指针联系的模式，可以实现空间数据和属性数据的统一管理、操作、处理，充分利用了关系数据库高效的管理能力，并可以管理一个支持 workflow 及并发编辑的多版本数据库。

实现了连续空间要素的无缝存储。Geodatabase 存储结构可以容纳非常巨大而连续的要素集和特征组，无须分幅、分块存储和空间分离，进而连续地学要素的延伸得以支持，对于海量地学数据的管理非常有效。

支持包括离散要素的复杂网络要素的数据建模。Geodatabase 模型的几何网络中引入了复杂交点、复杂型边线等概念，一般复杂型交点或边线在几何网络中是由许多复杂的图素或图元组成，但 Geodatabase 在创建几何拓扑时，其逻辑网络不会关心其复杂的组织结构，而是将其整体作为简单的节点或边线看待（刘纪平，1998）。

高效维护网络拓扑关系和网络连通性。Geodatabase 中拓扑是基于重合而非几何共享，其逻辑网络可以有效保持现行拓扑关系和几何网络的连通性，从而避免了拓扑重建等操作。

⑥对象的属性和行为的智能化结合。GIS 数据集中的属性可以赋予自然行为，属性间的任何类型的关系都可以在 Geodatabase 中进行定义。由于对象可继承性和可扩充性，用户完全可以构建或拓展更符合需要的对象。

⑦要素相邻关系内容更为丰富。用户不仅可以定义特征要素的性质，而且可以描述它与其他特征要素的相邻关系或上下文关系（Context），这种相邻关系能够让用户详细地说明一个要素在相关要素被移动、改变或删除时所发生的行为，而且能让用户借助行为和关联关系回访到与之相关的特征要素。

⑧空间要素的几何特征得以精确描述。Geodatabase 数据模型定义了复杂特征外形，如折线、三维坐标及圆弧、椭圆弧和贝塞尔（Bezier）曲线等参数型曲线来描述空间要素。

⑨对象属性的整体约束。通过智能化域定义及空间要素的合法性规则检验，强制实现了对象属性的整体约束性，使空间数据录入、采集和编辑更加准确。

1.3.1.2 空间数据模型的研究现状

空间数据模型的研究始于上世纪 60 年代末和 70 年代初，经历了 40 余年的发展，正在向面向对象的空间数据模型方向迈进。王青山、王家耀（1998）等人认为空间数据模型的发展没有明显的阶段划分，而陈静、张树文（2003）等人认为可以将空间数据模型的发展分为三个阶段。为了方便论述起见，笔者倾向于后一种观点，因为它的划分基本上反映了 GIS 软件的发展阶段。但是无论如何划分空间数据模型的发展阶段，我们必须正视这样的事实，即大多数空间数据模型的研究都离不开空间数据的概念模型研究、逻辑模型研究和物理模型的研究。对于前两类问题的研究涉及的是对现实世界认识和感知的概念语义以及构成现实世界对象实体或事件的逻辑关系，并不顾及具体的空间信息系统的软件和硬件环境，而物理模型的实现则与软硬件环境密切相关。也就是说，同一种概念模型和逻辑模型在不同的软硬件环境下，具有多种实现的方法和手段。从本文研究目的来看，强调的是地学认识方面的统一，更倾向于地学空间数据模型的概念和逻辑构成关系。因此我们只讨论地学空间数据模型的概念模型和逻辑模型。实际上，由于地学空间和地学问题的复杂性，空间数据模型的

研究处于多种模型交替发展和并存的状态。

(1)空间数据概念模型的研究现状与发展分析

综观空间数据概念模型的研究,不难看出人们在建立空间数据概念模型时,无非采用了两种途径:一是根据对地学空间某些侧面的认识,一是根据地学信息的离散化方法。例如,基于域的图斑模型、等值线模型、选样模型(TIN模型、DEM模型);基于对象的区域模型、网络模型;基于几何表示的矢量模型、栅格模型;三维空间模型以及时空模型等。由于地学问题的复杂性以及人们对其认识的差异,地学空间概念模型目前尚无统一的认识和理解。对于同一个地学问题,不同的人对其有不同的理解和认识,因此,所设计的概念模型也会有所差异。当前,许多学者试图建立统一、标准的空间数据模型,并提出了一些解决方案。

地理现实概念模型(Geographical Reality) 该模型是基于域和基于对象模型的融合,是在欧几里得几何学的基础上,将二维地理空间认为是无穷个元组值 $T = (X, Y, Z^1, Z^2, \dots, Z^n)$ 构成,从而对地理空间进行描述和表示的。

②E-R 模型:它是把现实世界中具有相似性质的实体组成实体类,单个实体或实体类之间存在多种关系(如1对1、1对多、多对多等),各种关系通常用图表来表示。它引入了丰富的语义抽象和关联,通过建造结构构造器向逻辑数据模型转换。但是,在程序设计语言方面没有相应的支持,不能进行形式化描述,当前仅作为概念建模的一种工具。

面向对象概念模型:它是在E-R等语义数据模型和面向对象程序设计方法学核心概念和思想的基础上提出的。用面向对象的观点来描述现实世界空间实体或现象的概念抽象和逻辑组织,符合人们对现实世界的认知模式,而且提供了有效的实现机制。它既可以用来构建空间数据的概念模型,又可以作为逻辑模型,将人们对地学空间的认知模式与计算机内部的地学数据表示自然地统一起来。目前它是一种普遍使用的建模方法和工具。

(2)空间数据逻辑模型的研究现状与发展分析

根据对目前流行的GIS软件体系结构的分析和研究,空间数据逻辑模型大体上分为如下三种形式:

混合数据模型(Hybrid Data Model,也称为二元模型)。它利用一组文件形式来存储空间数据及其拓扑关系数据,利用通用关系数据库RDBM的表格形式来存储属性数据,通过一个唯一的标识符建立两者之间的关联。以混合数据模型建立的GIS软件在商业上获得了巨大的成功,它们提供了强大的空间分析能力、高效的显示性能和合理的属性访问机制。基于该模型开发研制的商业GIS软件有:ESRI公司的ArcInfo、MapInfo公司的MapInfo、Intergraph公司的IGDS以及Bentley公司的MicroStation等,它们基本上都支持符合工业标准的关系数据库(如,Oracle、Ingres、Informix、Sybase和SQL Server等)。由于空间数据和属性数据分开存储,导致了空间数据与属性数据统一管理方面的问题,缺乏一种完整的存储机制来实现空间数据和属性数据的一体化管理。

集成数据模型(Integrated Data Model)。它是一种纯关系型数据模型,空间数据和属性数据都用关系数据库的表格来存储,使用标准关系连接机制建立空间数据和属性数据的关联。集成数据模

型具有关系数据库查询、检索和数据完整性机制等优点，利用大二进制数据字段（BLOBs）来存储可变长的空间数据，但在数据类型方面存在一定的局限性，用户不能自定义数据字段，致命的缺陷在于没有支持空间查询的 SQL 语言。基于集成数据模型开发的 GIS 软件有：IBM 公司的 GIFS、System House 公司的 VISION、Unisys 公司的 System/9 和 ESRI 公司的 Spatial Database Engine (SDE) 等。

③面向对象数据模型（Object-Oriented Data Model）。它是对地学对象的属性数据（状态）和对这些属性数据进行操作的方法（行为）进行统一的建模，并永久存储。它以类的形式建立子对象的层次结构，符合地学要素层次分类，具有便于应用开发和数据建模等优点。当前，在面向对象数据模型研究方面有两种趋势：一是建造纯面向对象数据存储模式，一是在关系数据库上建立存储对象的机制。这方面的软件有 GDS、LaserScan 和 Small World 等。

1.3.2 数字地质图空间数据模型研究的现状分析

1.3.2.1 国际数字地质图数据模型研究现状

与空间数据模型研究的历史相比，数字地质图空间数据模型的研究起步较晚，国际上对数字地质图数据模型的研究至今也不过只有十几年的历史，它是伴随着地质空间数据库的建设而发展的。最初的研究大约起源于 20 世纪 90 年代初期，1989 年英国地质调查局（British Geological Survey，缩写为 BGS）开始利用 GIS 生产 Wrexham 地区的专题地图（Loudon 等，1991），其结果非常令人鼓舞，于是产生了生产具有一定属性的数字地质图的需求。与此同时，英国地质调查局也产生了开发一个系统用于 1:10000 比例尺的数字地质图生产的想法，于是数字地图生产实现项目（Digital Map Production Implementation Project，简称 DMPI 计划）得以执行。DMPI 计划设定了六个主要目标（J. L. Laxton and K. Becken, 1996）：

建立一个包括以地图形式显示的空间数据以及描述这些空间数据的非空间地质属性的数字地质图数据库；

能够连续的或周期性地对地图进行更新和维护；

能够使地图数据以允许与其他数据集合链接的形式提供使用；

能够生产与传统地图生产方式相比更高质量的地图；

可以方便地生产非标准地图和专题地图；

⑥能够将一致的质量控制标准应用于这些地图。

该计划实施的第一步是要为数据库创建描述数据所表示的实体之间关系的逻辑模型（Bain and Giles, 1993），于是便开始了数字地质图空间数据模型的研究。

英国地调局提出的数字地质图数据模型是一个基于实体一关系的 E-R 图的逻辑数据模型（Bain and Giles, 1997），它描述了地质图空间数据实体构成之间的逻辑关系。

英国地调局的数字地质图数据模型用来构成生产岩石地层地质图的数字系统的基础（Nickless and Jackson, 1994）。它将地质图上的要素抽象为点（位置数据）、线（线状数据）、面（地质面）和

多边形（制图单元）四种基本要素。点的类型有拍照点、无确定路线点、地形点观测位置、岩石采样点、普通点要素采样点、钻孔点、沟渠宽度位置点、地质剖面观测点、脉岩成分采样点、脉岩矿物样点和地质构造观测点等。线类型有制图单元边界线、线状地形线段、断层线、褶皱轴线、纹理线、构造控制线、地质剖面线、普通线状要素线段、地球物理基线、含有化石岩层界线等。面类型有地球物理面制图单元、变化带制图单元、地貌制图单元、mass movement deposit 制图单元、人造区域制图单元、岩石制图单元、seam washout 制图单元、岩层制图单元等。

美国地质调查局（USGS）和加拿大地质调查局（GSC）对数字地质图数据模型的研究起始于20世纪90年代初期。1988年全美国国家地质学家联合会（AASG）和美国地质调查局开始起草一个设立由美国地质调查局管理的全国范围的地质制图项目的立法建议。1992年“国家协作地质制图行动计划”被立法通过，由联邦基金资助，该行动计划由四个子项目组成，即联邦地图（FEDMAP）、基础研究（SUPPORTMAP）、州地图（STATEMAP）和教育地图（EDMAP）。FEDMAP包括由美国地质调查局管理的地质制图计划，SUPPORTMAP主要包括实现FEDMAP计划所需要的基础地质研究，STATEMAP是由各州地质调查局负责进行州地质制图，EDMAP则是由学术界负责为实施以上地质制图计划所必须的技术支持和教育培训项目。美国国家地质制图行动计划需要建立一个数字格式的全国地质图数据库以使地质图信息为公众所使用。

美国国家协作地质制图行动计划要求建立一个国家地质图数据库，该数据库是为地质图建立一个数字形式的国家档案，它要求所建立的国家地质图数据库中的数字地质图在格式、符号和技术属性上都必须是标准化的，以便于这类国家档案可以被访问、交换，而且具有相对较高的有效性和精确性（第12906号行政命令，1994）。美国参议院S317议案对行动计划进一步作了说明，“应当与联邦地理数据委员会（FGDC）合作将国家档案中的地质图的实体开发成一定的标准”。于是1996年在全美国国家地质学家联合会（AASG）第88届年会上，专门成立了一个数字地质制图专业委员会，其具体职责为：“数字地质制图专业委员会将代表美国各州地质调查局帮助建立和构建1992年国家地质制图行动计划中要求的国家地质图数据库。该委员会将直接与美国地质调查局合作建立和制定与FGDC一致的数字标准。数字地质制图委员会应当成立分委会就诸如元数据、属性、费用、地形制图等数字制图问题进行专门研究。该委员会也必须报道联邦地理数据委员会、NAS/NRC制图科学委员会以及其他与数字制图标准有关的政府、私人企业和学术团体的活动。”数字地质制图委员会与1996年8月在美国密苏里州圣·路易斯召开了首届会议，成立了六个数字地质图标准工作组，开始了美国国家数字地质图数据标准的研究和制定工作。这六个工作组为：

地图标准工作组（Cartographic Standards），其工作职责是评论和修订美国地质调查局制定的地质图制图标准草案，起草一个制图要素标准的数字版本，提交给联邦地理数据委员会作为联邦标准的草案（负责人：Dave Soller, USGS）。

数据获取工作组（Data Capture），以实际的工作与技术评价为基础，通过州地质调查局、USGS以及其他组织之间专门技术和信息的协调与共享，协助促进地质制图更有效和更实用的方法在地质制图中的应用（负责人：Dave Soller, USGS）。

元数据工作组 (Metadata), 评价联邦地理数据委员会的元数据内容标准对地质图信息的适用性, 开发一些工具和指南, 引导在编写元数据方面更多更好的技术的应用 (负责人: Peter Schweitzer, USGS)。

数据信息交换工作组 (Data Information Exchange), 为数字地质图出版物所必须包含的文件类型 (如 Readme file、FGDC-compliant metadata 、图形文件等) 制定指导性规定, 以增强其实用性 (负责人: Todd Fitzgibbon, USGS)。

空间精度工作组 (Spatial Accuracy), 编辑出版一个普通意义的出版物, 用以解释和说明地质图的精度, 以及评价地图空间精度的研究方法 (负责人: Richard Berg, Illinois State Geological Survey)。

⑥地质数据模型工作组 (Geologic Data Model), 开发研制一个能够以计算机文件表示地质图要素之间空间关系以及能够对地图图例中所包含的复杂的信息完全获取的标准的数据模型, 它允许对不同机构所生产的数字地图的数据源进行标准的查询和派生地图的生成 (负责人: Gary Raines, USGS)。

1997 年 10 月地质数据模型工作组提出了一个标准的数字地质图草案 “数字地质图关系数据模型 4.2 版” 在网络会议上进行讨论, 对该数据模型从地质图数据信息的组织和管理以及提供一个界面友好的数据输入与分析工具等问题进行了深入地研讨。1998 年 6 月在工作组的 3 天例会上, 来自于美国国家、州地质调查局和加拿大国家、省地质调查局的 28 位专家就数据模型的研发、工具软件研制、数据模型 4.2 版作为国家标准以及网络上对该模型的评价的时间和参与评价的人员范围的放宽等问题进行了讨论。会议之后, 举行了一个网络会议, 主要讨论了与数据模型和地质制图有关的概念问题、数据模型中的细节问题、标准地质术语的开发以及工具软件等方面的问题。根据这次会议的结果以及对数据模型意见的汇总, 工作组又对 4.2 版的数据模型进行了修改, 于 1999 年 10 月 20 日提出了 “数字地质图关系数据模型 4.3 版”, 在 USGS 网站上发布, 公开进行讨论, 征求意见。之后, “数字地质图关系数据模型 4.3 版” 就被美加两国地质调查局作为建立数字地质图数据库的一个实际标准进行使用。

美加两国所研制的 “数字地质图关系数据模型 4.3 版” 将数字地质图从结构上分为三大部分, 即空间对象、图例和属性数据。空间对象分为简单空间对象和复杂空间对象, 简单空间对象是描述以点、线、面和体等基本空间对象的空间实体, 复杂空间对象则是若干简单空间对象按照一定的形式组合而成, 描述复杂的地质空间实体。属性数据是描述地质实体的非空间特征, 如性质、岩性、组分、倾向、走向、岩相、长度、地质年代等。图例则是对地质图所包括的地质对象的类型描述, 它是地质数据库的一个子集, 也可以看作是一个选择器, 地质图内容的差异可以从图例上予以区别, 有时将其称之为过滤器。通过该过滤器可以将地质图数据库中的数据根据用户的意图进行选择表示, 而形成用户定义的地质图 (Bruce R. Johnson, Boyan Brodaric 等, 1999)。

2000 年中期, 美国肯塔基州地质调查局实施了 “国家协作地质制图行动计划” 的一个子项目, 即 “Kentucky Prototype” 研制项目。该项目的目的是以大黄石公园地区地质制图为例来测试在州层次上地质制图生产环境的适用性, 并且打算研制未来开发的原型为坚实的基础的一个网络地质制图

环境，以使美国国家地质图数据库能够在网络环境下为广大用户所使用，成为一个“活”的在线数据库。该项目包括四个基本任务：在面向对象的软件结构中实现北美标准概念地质图数据模型（即“数字地质图关系数据模型 4.3 版”）。其目的在于通过面向对象的环境来探求表示和管理复杂的空间信息的潜在工具。管理多源地图所派生的信息。研发和示范美国国家地质图数据库在数据管理和用户访问方面的某些核心的功能。评价在网络环境下各机构之间协作的特征，特别是那些机构在使用联合建立的数据库时，如何保留自己数据所有权的机制。

自 2001 年以后，由于网络环境下的数字地质图数据库对于数字地质图应用的广度和深度的影响以及面向对象技术对于空间数据存储、管理、分析的优势，美国地质调查局开始了面向对象的数字地质图数据模型的研究工作 (David R. Soller, 2001)。面向对象的数字地质图模型研究之目的，主要是为在网络环境下，为分布式地质图数据的使用和分析提供一种软件支撑技术和一整套的科学基础，包括地质图数据网络发布系统、概念数据模型、XML 语言、标准的地质术语、地名词典（地名数据库）、元数据、地质数据分类、属性数据描述规则等。2003 年 11 月“美国国家地质图数据库概念模型——NADM Conceptual Model 1.0”在美国地质调查局官方网站上正式发布（北美数据模型指导委员会数据模型设计工作组，2003）。该数据模型作为在网络环境下对于州、省和联邦层次的数字地质图数据库进行交互操作的标准，它是一个技术中性的概念模型，可以通过不断发展的信息技术（如，XML、RDF、OWL 等）形成基于网络的交换格式的基础，来指导在一个共同的概念框架下地学数据库的实现。该模型强调了与地质图上所表示的信息有关的地学概念和关系。该数据模型的一个核心概念是构成地质图数据概念框架的表示，该概念框架可能随着时间的推移、对地质信息理解的不同以及信息提供者的变化等因素而变化，因此，在该模型的顶层定义和区分了地质概念、地质表示概念和元数据等术语，在模型的地质表示部分通过一组约束性词汇、这些词汇之间所建立的关系以及地质图可视化或地质图原型等为地质图数据中的客观存在提供了一个概念框架。模型中的顶层地质类是地球物质（Earth material）、地质单元（Geologic unit）、地质时代（Geologic age）、地质构造（Geologic structure）、化石（fossil）、地质过程（geologic process）、地质关系（Geologic relation）和地质事件（Geologic event），它是实际的地质客观存在的表示。

而在地质表示概念中，主要定义了 GIS 中地质信息的图示化表示的概念。主要的概念有地质类、地质描绘、地质描绘组成、地质词汇、图例、图例信息、地图描述属性、地图版面设计、地质事件和空间对象等。地质类是地质图或地质断面上表示单一地质概念的事件集合，用同一种符号表示，如地质构造中的断层。地质描绘是地质信息的可视化表示，包括地质图、地质断面和空间对象等。地质描绘组成是地质描绘所描述的概念的一个抽象的超类，包括地图版面设计、地图说明、图例空间对象等。地质词汇是一个通常用来将地质数据组织成逻辑层次关系的概念定义的集合。在地质词汇中与一个概念有关的首选的名称实际上是该定义中特定的特征值及其关系的代名词。地质词汇使这些约束性概念可以用于那些对在该概念定义中没有被标注的描述的其他说明性属性。如，地质词汇可以是标准的岩石类型集合、地层词典或地质时间尺度。图例是图例项的集合，一幅地图的图例定义了一幅地质图或地质断面上所要显示的分类符号的集合以及对于符号的意义或地质说明的

描述。图例项是具有符号的地质类或空间对象图形表示说明，每一个图例项的实例既表示了地图图例中单一实体的单独的输入，也表示出现在地质图或地质断面上的实体的惟一分类。地图描述属性是与地质图或地质断面的图形部分伴生的所有描述性信息，包括说明性文本、符号及其解释、关联图形等。地图版面设计是那些一起构成一幅完整地图的地质图、地质断面、图形要素等的集合。它类似于 ESRI ArcView 3.2 中的“Layout”或 ArcMap 中的 Document 等概念。地质事件是个体数据项，每一个事件不仅在其定义部分区别于其他事件，而且在其几何特征（大小、形状、位置）上也不同于其他事件，例如，两个处于同一地质单元的不同地质露头就是不同的两个事件，因为它们的空间位置是不同的。类似地，处于同一个断层上的露头迹线在不同尺度上的表示也是两个不同的事件，因为它们的几何表示是不同的。对于具有同一几何特征的要素，如果定义不同，也是不同的事件。例如，断层及其借助关系，在地图上都是用同一条线表示的，但其定义是不同的，所以它们都是惟一的事件。空间对象是描述事件的几何特征的对象，如大小、形状、位置等。

国际上的数字地质图数据模型的研究从 20 世纪 90 年代开始到 20 世纪结束的十年间，主要发展了数字地质图的关系数据模型，其原因是建模方法的制约。21 世纪以来，各国将数字地质图数据模型的重点放在了面向对象的数字地质图数据模型的研究和开发上，随着数据库技术，特别是空间数据库技术的日趋成熟，因特网的普及，地球科学数据库与基于互联网的数据发布系统的快速发展使得人们正在致力于研究超越行业、能够共享远距离存放的异构地学数据的数据模型标准。目前主要研究方向表现为：

- 面向对象的数字地质图数据模型；
- 基于模型的基础设施；
- 模型建立的哲学理念；
- 数据模型的语义学概念；
- 内容因果关系的有效表示等。

1.3.2.2 国内数字地质图数据模型研究现状

我国地学数据库的建设起始于 20 世纪中后期，国家在“八五”期间，开始研究数字地质制图软件，当时，原地矿部科技司在地质信息技术科技项目方面列项资助中国地质大学（武汉）吴信才教授主持地质图印前制图软件——MapCAD 研究，该软件于 1996 年 10 月通过地矿部专家组验收和鉴定。当时的计算机地质制图水平处于国际先进行列。1997 年在 MapCAD 基础上，参考 ArcInfo GIS 软件的特点，研制出了具有我国版权的实用型 GIS 软件——MapGIS。该软件迅速在全国地质矿产行业推广使用，成为我国地质制图和地学数据库建设的主要基础平台之一，使我国地质制图和地学分析研究迅速步入信息时代。

但是，我国从事地学数据模型，特别是地质数据模型研究的文献比较少见，仅对地学数据模型的概念、意义、作用等进行了初步的讨论（李裕伟，1998；马智民，1999；肖克炎等，2000；黄文斌等，2001；戴塔根等，2001；姜作勤等，2003）。在数字地质图关系数据模型研究方面，主要提出了逻辑模型的设计思路（马智民，1999；黄文斌等，2001）。

在国土资源信息标准研究方面，姜作勤（2003）等提出了国土资源信息的标准体系和参考模型，并以地质领域应用为例，说明了地学模型是基础地理、地质、地球物理、地球化学、地质遥感、矿产等地质要素或各分支学科的一个综合模型，应当建立一个统一的空间框架，按照统一的数据标准进行建立，并以国土资源信息元数据模型为例，对国土资源信息核心元数据标准进行了比较深入地讨论（姚艳敏、姜作勤等，2001）。对数字地质图核心元数据的研究的文章较少，仅发现4篇。黄崇轲等对1:50万地质图空间元数据的内容、要求以及空间元数据库的组织和实现进行了讨论（黄崇轲等，2001）。陈克强等结合1:50万数字地质图元数据实例，对数字地质图数据库元数据建立的原则、内容、编制格式等进行了探讨（陈克强等，2001）。马智民等人对数字地质图核心元数据标准的内容、元数据的定义、用途和作用等进行了研究，并对基于B/S模式的网络环境下的数字地质图核心元数据库管理系统的实现技术进行了探讨（马智民等，2001，2002）。

国内在数字地质图数据库建立的技术方面，讨论得较多，例如，对于基于传统GIS二元结构的地学空间数据库的图层划分、属性编码规则、拓扑关系建立的方法、地质图用色标准、图式规范、工作流程等进行了专门研究（冯峰，1998；姜义等，1998，1999，2001；陈为公，2000；赵军等，2000；殷如新等，2002；张顺金等，2002；吴景勤，2003）。

国家在数字地质图标准研究方面，主要制定了《数字化地质图图层及属性文件格式》（DZ/T 0197-1997）、《区域地质图图例（1:50000）》（GB958-99）、《地质图用色标准及用色原则》（DZ/T 0179-1997）和《地质图空间数据库建设工作指南（2.0版）》等。在数字地质图数据模型方面的标准尚未见出版。

总之，我国数字地质图数据模型的研究，仍然处于起步阶段，仅在理论和方法上进行了研究和初步讨论，概括起来主要存在的问题有：

- 国家对数字地质图数据模型的标准的研制，没有专门立项，对国家地学基础空间设施建设中的国家地学数据库进行了立项，而对基础地质数据库的数据模型的研究没有专门机构或组织进行研究，很难建立运行良好的基础地质图数据库。

- 数字地质图数据模型的研究都是国内感兴趣的业内人士在自己承担的其他地学信息项目中的附带性研究，因此，所涉及的内容无论从深度或是广度上都有待于进一步深入和拓展。

- 在数字地质图数据库建立的机制和数字地质建模的认识论、方法论和语义学方面目前尚属空白，如何建立有效的机制来提高数字地质图数据的应用和普及是需要解决的问题。

- 国外数字地质图发展的一个明显趋势是建立在WebGIS环境下的异地异构地学数据的存储、管理、分析、显示、表述、发布等技术的研究，它们的基础就是统一分类体系、统一空间框架、统一编码标准的地学数据模型。

- 从中国地质调查局出版的《数字化地质图图层及属性文件格式》（DZ/T 0197-1997）标准来看，沿用了传统GIS的图层概念，在现代空间数据库概念中，图层只是存放在空间数据库中的同类数据的数据集合，至于一个数据库中应当有多少数据集合，是依据具体地区研究的深度和广度而定的，显然这种固定模式否定了地质学基本的证据论研究方法和创新性研究思维的发展。而解决的惟

一途径是研究数字地质图的数据模型，即地质对象的特征、属性及其关系的表示概念、逻辑机理和存储机制。这也是本文所要解决的主要问题。

1.4 本文研究的目标、思路与技术方法

本文研究的主要目标是为数字地质图在不依赖计算机软硬件环境的条件下，提供在地学空间数据库中组织数字地质图数据的逻辑结构和模型，定义构成数字地质图各要素及其逻辑关系，为数字地质图的高效存储、管理、分析、应用、可视化及表示提供一种科学、合理、可靠、可操作性强的机制和模式，为我国地学数据模型的研究奠定理论基础和提供技术依据。

研究思路：收集国内外数字地质图研究文献和已经制定的数据模型标准，运用实证分析和对比分析方法，对数字地质图国内外研究现状、趋势、存在问题进行研讨，找出我国数字地质图数据模型研究的特点和存在问题，把握数字地质图研究中的最新理论、方法和技术，结合我国地质工作和地质研究的特点，提出我国数字地质图数据模型研究的思路，重点设计和研制适合于传统地质建模思路的数字地质图关系数据模型和反映现代地球信息科学和技术发展，适合人们地质思维的数字地质图面向对象的数据模型，并分别以 1:50000 和 1:250000 数字地质图的数据组织和地质建模，基于 WebGIS 网络环境下数字地质图数据的存储、管理、分析、可视化等进行物理实现和试验测试分析，最终得到满足研究目标的数字地质图数据模型。

技术方法：运用的技术：UML、GML、微软 Visio 等建模工具；空间数据库技术、WebGIS 技术、ComGIS 技术等。研究方法：类比、归纳、演绎、推理、实证、试验等方法综合运用。

1.5 本书内容的组织

本书的内容组织安排如下：

第一章导论：主要说明本文研究的目的与意义；数字地质图数据模型国内外研究现状分析以及存在的主要问题；简要介绍本文研究的主要内容。

第二章数字地质图数据模型的理论基础：主要讨论数字地质图数据模型的概念、功能和作用以及数字地质图数据模型设计的原则和衡量标准。同时对数字地质图数据模型的基础理论进行了讨论和阐述，主要论述了地质数据建模理论、地球信息科学理论、空间基础设施理论、地学空间认知理论、地学信息可视化理论、地学信息传输理论、地学空间数据挖掘与知识发现理论和模糊集合理论等，以揭示地学数据建模的规律和本质。

第三章数字地质图数据模型支撑技术：讨论面向对象概念、面向对象建模技术、统一建模语言 UML、地理标记语言 GML、可扩展语言 XML、地理信息系统技术、空间数据库技术、网络地理信息系统与地质信息分布与服务技术等。UML、XML 和 GML 语言不仅是数字地质图数据模型实现的语言描述，也是当代地学数据互操作和数据共享以及地学空间数据库实现的软件描述语言，它们是数字地质图数据模型描述和概念设计、逻辑设计的描述工具，也是后几章数字地质图数据模型建立的基础。

第四章地质空间认知与认知模型：主要讨论地理信息系统认知与抽象、地理空间与地理空间实

体的概念、拓扑空间关系概念和模型、地质空间认知模型、地质空间认知过程模型，重点对地质空间认知模型的基于对象的模型、基于域的模型和基于网络的模型。地学空间认知模型是人类对现实世界地学空间实体、地学现象及其之间相互作用、相互影响和相互关系的理解和认识，并用抽象的机制和地图符号的方式表达的地学空间概念的集合，它是建立地学信息系统和地学数据库所必须遵循的原则、基础和框架结构，为地学信息系统的逻辑数据模型和物理数据模型奠定了基础。其设计的好坏，直接影响到地学信息系统和地学数据库的实用性、可操作性和生命力。

第五章数字地质图关系数据模型研究：主要讨论数字地质图关系数据模型的设计与建模思路，将数字地质图按照其构成要素分为五大部分，即空间对象文件、单一地质对象文件、组合地质对象文件、元数据、图例等，空间对象是地质对象与空间位置、形状和大小有关的属性和特征，它是构成数字地质图的基本对象，空间对象根据其构成的复杂程度或表示的难易程度，还可以进一步分为单一空间对象和组合空间对象，单一空间对象是地质现实世界中由单个观察点所观察或测量的描述地质现象或地质事件，其构成比较简单、操作和表示相对容易；而组合地质对象是现实地质世界中多个观察点或一个观察点上的多组数据表示的地质现象或地质事件，其构成和表示比较复杂，对应的操作实现的难度也较高。为了对空间对象详细表示和描述，空间对象从几何形态上还可以分为点、线、多边形、表面、体等五大基本构成要素，地理信息系统的空间认知模型正是将空间对象按照几何形态进行要素分类的，对于地质领域而言，在运用 GIS 技术建立地质空间数据库时，这种方法依然有效。只不过对于地质现象和地质事件的认识上，它们比地理空间更为复杂，不确定因素也更多。因此，地质空间数据模型的建模更倾向于认识论、实体论和方法论的讨论和研究。

第六章数字地质图核心元数据库设计及其实现：简要介绍元数据的定义、概念、作用，重点讨论数字地质图核心元数据内容和要求以及数字地质图核心元数据管理系统的设计思想与实现技术，它是实现基于网络的数字地质数据的组织、管理、发现、挖掘、发布服务以及进一步应用的工具。

第七章面向对象数字地质图数据模型 OODGMDM：在对数字地质图的概念、地质图所包含内容、数字地质图数据模型的建模目的、设计目标的深入认知上，以及对现有 GIS 空间数据模型和数字地质图数据模型的分析基础上，结合国内外对数字地质模型的研究，利用面向对象的方法建立了一个面向对象数字地质图数据模型（Object-oriented Digital Geologic Map Data Model，简称 OODGMDM）。从概念设计到逻辑设计，从整体出发，然后逐步分解细化，来构造数字地质图数据模型 OODGMDM 最后通过对 1:50000 中华人民共和国地质图，I48E0109011(文县幅)典型地质数据组织的示例进一步展示了此面向对象数字地质图数据的组织方式。

第八章 OODGMDM 的物理实现——以 Geodatabase 为例 在 ArcGIS 环境下利用 Microsoft Visio CASE 工具对 OODGMDM 模型在 Geodatabase 中予以实现 讨论 ArcGIS 的 Geodatabase 的数据模型和对空间数据的组织原理和方法，介绍了使用 Visio CASE 工具建立地质空间数据库的工作流程和步骤，并以 1:5 万数字地质图为例对其数据库的实现进行了 OODGMDM 扩展和实现，探讨了有关的实现技术，并对地质数据分类问题、数据模型实现问题、地图制图模型和模板问题等进行了讨论，提出了完全区别于传统地质数据库建库的思路和方法，这种方法也是未来 GIS 技术应用的发展趋势。

第九章结论与展望：对全文进行总结，阐述本论文研究工作的成果与结论，并对进一步的工作进行展望。

1.6 本章小结

本章从数字地质图数据模型研究的意义和目标出发，重点分析了国内外空间数据模型和数字地质数据模型的研究现状和存在问题，特别针对我国数字地质图数据模型研究进行了比较深入的分析，指出了我国当前对数字地质图数据模型，甚至地学数据模型方面的研究处于一种“散兵作战”阶段，国家有组织的进行研究甚少，特别是在数字地质图数据库建立的机制和数字地质建模的认识论、方法论和语义学方面目前尚属空白，在 WebGIS 环境下的异地异构地学数据的存储、管理、分析、显示、表述、发布等技术的研究也较少，而它们的基础就是统一分类体系、统一空间框架、统一编码标准的地学数据模型。我国沿用传统的 GIS 图层概念建立地学数据库，并运用“数字化地质图图层及属性文件格式”将数字地质图的数据集合人为地固定下来，有悖现代空间数据库理论。一个地区、一个数据库中应当有多少数据集合，是依据具体地区研究的深度和广度而定的，显然这种固定模式否定了地质学基本的证据论研究方法和创新性研究思维的发展。而解决的惟一途径是研究数字地质图的数据模型，即地质对象的特征、属性及其关系的表示概念、逻辑机理和存储机制。

最后针对数字地质图数据模型的研究提出了研究思路、技术方法和实现途径。对本书的组织结构进行了设计。