

doi:10.3799/dqkx.2015.034

基于控制字典的对象式地质属性数据管理

花卫华, 刘纪东, 刘修国*

中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

摘要: 传统地质数据管理与应用是参照数据库的外模式来设计数据结构和数据访问接口, 在业务逻辑没有发生大的变动情况下, 外模式发生更改后, 需要修改应用程序才能适应新的数据库结构. 鉴于此弊, 在关系数据库视图机制的启发下, 通过分析不同地质专业地质属性数据的特征, 对地质数据库外模式的高度概括, 形成用于地质业务分析评价所需的关键属性组成的元组集——控制字典表, 基于控制字典抽象出面向地质行业的对象式数据模型、映射数据模型与地质数据的关系, 并参照控制字典表的“数据结构”来设计数据访问接口, 最终实现地质数据库的动态扩展, 无需再修改应用程序, 需要做的仅仅是修改控制字典与外模式之间的映射关系, 以不变应万变. 控制字典作为一个中间件, 将用户对地质数据的操作和计算机对地质数据的处理分离开来, 充分保证了程序和数据层的逻辑独立性.

关键词: 控制字典; 地质对象; 用户表; 数据表; 映射; 信息科学.

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2015)03-0425-06

收稿日期: 2014-09-30

Data Management of Object Type Geological Features on Control Dictionary

Hua Weihua, Liu Jidong, Liu Xiuguo*

Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The structure and access interfaces of data are designed by reference to external schema changes in traditional management and application of geological data, for which application programs have to be modified in case of any external schema changes, even if there are not much variations in business logic. To tackle the issue, control dictionary tables are proposed in this study by analyzing the characteristics of different geological attribute data and generalizing external schema of geological databases based on view mechanism of relation databases, which is used in character-set formed from determinant attributes needed for geological business analysis and evaluation. Meanwhile, data access interfaces are designed according to the data structures of the control dictionary tables which abstract the object-oriented data model of geological professions and map the relation between the data model and geological data. It is shown that it is only necessary to modify the mapping relations between control dictionary and external schema rather than applications to realize the expansion of geological databases dynamically, in which the control dictionary separates the operation of geological data by users and from the processing by computers as a middleware, thus ensuring the logic independence of program and data layers.

Key words: control dictionary; geological object; user table; data table; mapping; information science.

地质数据是地质信息的载体, 是地球信息科学的重要组成部分. 从 20 世纪 60 年代至今, 美国、英国等在地质数据管理方面做了大量的研究工作. 美

国地调局经过 30 多年的努力, 先后建立了全国煤炭数据库、美国资源库、全国海洋地质数据库、地球化学与岩石分析数据库等. 英国地调局先后建立了水

基金项目: 中国地质调查局项目“西准噶尔克拉玛依后山地区三维地质调查试点”(No. 1212011220245); 新疆 1:25 万铁厂沟镇幅(L45C002001)与克拉玛依市幅(L45C003001)区调修测项目(No. 1212011120502); 长江三角洲重点地区三维地质调查(No. 1212011220250); 国家自然科学基金青年基金项目(No. 41002115); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(No. CUGL120270).

作者简介: 花卫华(1977—), 男, 副教授, 主要从事三维地质建模与分析、地质数据模型、辅助地质成图等地质信息化方面的方法和应用研究工作. E-mail: 962969683@qq.com

* **通讯作者:** 刘修国, E-mail: liuxg318@163.com

引用格式: 花卫华, 刘纪东, 刘修国, 2015. 基于控制字典的对象式地质属性数据管理. 地球科学——中国地质大学学报, 40(3): 425-430.

文钻孔数据库、陆地钻孔数据库、全国重力数据库、全国地球化学库、世界矿山数据库等。目前,全球针对地质行业的各个领域已经建立了数千个综合地质数据库,这些综合地质数据库的建设利用了关系数据库、空间数据挖掘和网格计算等先进技术,并通过远程互操作技术实现了联机分析(吴自兴等,2008)。

随着我国数字城市建设步伐的加快,各城市开展了广泛的地质调查工作,积累了大量的地质数据,包括基础地质、水工环地质、矿产地质、物化探和地质遗迹等,为城市建设、地下空间开发利用、地质灾害的预测等提供了基础数据支持。自从 20 世纪 80 年代以来,我国先后建立了数千个各种类型的地质属性数据库,“数字国土工程”则已经建立了近万个地质空间数据库(王春宁等,2005;蒋卫萍,2008)。由于历史和技术的问题,我国大多数的地质数据存在管理分散、不规范等现象,现有的城市地质数据管理解决方案大都是单一的,即只针对某个特定的地质专题建立点源数据管理解决方案,远远不能满足向地质服务综合发展提供数据支持的需要(戴刚毅等,2000;任佳和毛先成,2007)。随着地质资料信息服务集群化与产业化的不断推进,需要在地质数据管理与共享服务方面探索研究出科学、高效、可扩展的地质数据管理平台。

1 基于控制字典抽象地质数据模型

地质数据按照内容属性来分,可分为基础地质、矿产地质、水工环地质等多种主题。在地质信息化的过程中,为了构建统一的数据库和信息系统平台,一般会为各个专题制定一套统一的地质数据库标准。不同的建库单位在实施地质数据建库的过程中,由于存在地区差异,为了反映各自独有的地质特色,需要对原有标准中的数据库结构进行修改和扩展。不同单位建立的数据库结构和数据库标准之间会存在一定的差异,这给专题数据库的地质信息平台建设带来了很大的麻烦(张靖和程希来,2009)。传统的地质数据管理模式(图 1)已经不能满足地质信息平台建设的要求。

为了统一管理和处理这些数据库结构基本相同而又各不相同的专题数据库,在地质专题数据库标准的基础上,通过提炼出其中关键的属性信息,抽象聚合出一套地质数据模型——一系列控制字典表的集合,通过建立控制字典表与用户数据表之间的映射。因此,系统数据管理平台的建设只需要建立在控

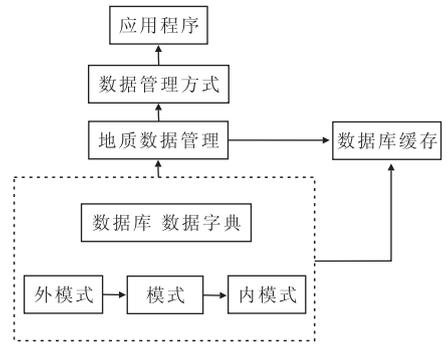


图 1 传统地质数据管理方式

Fig. 1 Traditional geological data managing style

制字典之上,针对控制表的接口设计统一的系统开发接口,彻底实现各地区较相似专题数据库的统一管理和分析。

1.1 地质数据模型

笔者以点状调查或勘探的地质数据为例进行分析,线状和面状的数据可以从点状数据聚合而来,就不详细介绍。

地质数据种类繁多、非常复杂,不从专业上去划分,而是从数据本质上去分析,点状地质数据包括地质点数据、地层分层数据、地质环境监测数据和采样点的样品数据(罗明亮,1991;何书锋和王圣洁,2003)。

(1)地质点:普通的地质调查点,主要的信息包括点名称、点编号、点类型、点坐标、高程、点属性描述。

(2)分层数据:分层数据是从地表某点向下,穿过一系列地层的数据集合,主要信息包括钻孔点编号、地层名称、地层代号、地层地板埋深、地层属性描述。

(3)变化监测数据:主要包括点的高程形变监测和地下水的水位变化监测。其特点就是监测数据随时间变换而变化。主要信息包括监测点编号、监测时间、高程(或水位)形变量。

(4)测试样品数据:描述某个点位置上的取样信息,主要信息包括样品点编号、样品测试指标系列的属性值。

根据这 4 类基本数据模型,可以通过组合,形成任意复杂的地质数据模型,从而实现不同专业的地质数据的表达,包括地质调查点数据、钻孔数据、地面沉降数据、地球物理数据、地球化学数据等。每一个基本数据模型中,只需要描述各自的属性信息(郑坤等,2006)。而组合后的各个专题的数据模型需要

表达各个基础数据模型之间的1对1、1对多、多对多的一种对应关系。

具体来说,这些地质专题数据模型的表达方法如下:(1)地面调查点数据:包括地质点、产状点等;这类数据主要是一个点位坐标附加一系列的属性数据,可表示为:地质点<坐标,属性组合>。(2)钻孔数据:从地表点向下,各个地层的形态、土工试验信息和水土取样信息都可以表达出来。根据勘探的用途可将钻孔数据划分为基岩地质钻孔、第四纪地质钻孔、工程地质钻孔、水文地质钻孔和矿山地质钻孔数据等(史秋晶等,2007;许哲平等,2008)。钻孔数据可描述为:钻孔点<地质点,分层,样品>。(3)地面沉降和地下水监测数据:包括水准点、GPS点、基岩标、分层表、重大工程监测、地下水水位监测等(刘润等,2002),可描述为:监测点<地质点,变化监测>。(4)地球物理数据:主要是面积性的点位测试数据,包括重力、航磁、电法、地震等。这类数据的特征是一个点位包含一系列的观测值,可描述为:地球物理点<点位,观测值>。(5)地球化学数据:包括表层土壤取样、深层土壤取样、连续土壤取样、浅层水取样、深层水取样数据等,可描述为:地球化学点<地质点,样品>。

整个地质信息平台软件在设计地质数据管理模块时,首先实现对基本数据模型的表达和管理,再通过一定的组合原则,实现基础地质、水工环地质、矿产地质等多专业地质数据的管理目标(杨旭等,2005;贺金鑫等,2008)。

1.2 控制字典

大部分地质数据还没有统一的标准格式。由于地质业务方面的应用程序大都是基于关系数据库的外模式研发的,一旦外模式发生更改,应用程序就要做相应的更改。如果应用程序的底层接口发生更改,那么就需要消耗大量的资源来修正应用程序。为了解决应用程序和用户数据的逻辑独立性问题,在关系数据库外模式和应用程序中间引入控制字典(马小刚等,2007)。

控制字典是用来抽象描述地质数据基本信息及组成关系的数据集合,它并不存储实实在在的地质数据。控制字典通过从地质专题数据库中抽象出一套数据模型,通过对数据模型的元数据表达和模型组合,提炼出专题数据库中的关键字典信息,并通过这些关键字典信息建立数据模型之间的映射关系。控制字典的主要内容如图2所示。

控制字典主要由3个部分构成:控制表、数据模型、映射关系。数据库外模式的字典信息一般有数据

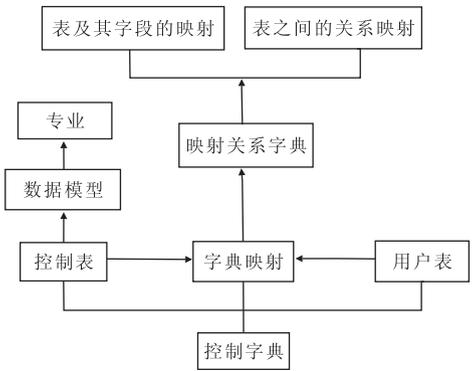


图2 控制字典结构

Fig. 2 The relationship among the parts of control dictionary

库本身记录,程序可以通过接口获取,不过控制字典中也可以进行记录,这里不对此进行详细描述。

(1)控制表(Control Table)。控制表是对关系数据库的外模式中的关键信息的高度抽象的一个元组集,该元组集在地质业务分析中是必不可少的,也是地质专家最关心的信息。控制表能够应用于相同的地质专业或者具有继承关系的地质专业的分析应用中,而不论具体的地质专业数据来自哪些部门。

控制表的功能类似于关系数据库中的视图机制,就像一个窗口,透过它可以看到数据库中自己感兴趣的数据及其变化。与数据库视图一样,控制表具有简单性、安全性和逻辑数据独立性的特点。但是视图的数据访问性能较差,而且数据库修改限制较为复杂。而控制表不仅没有这些问题,实现起来比较灵活,很容易实现数据库结构的扩展。

控制表的字典信息主要由若干个数据项构成。数据项是控制表不可再分的数据单元,是控制表的属性特征。数据项的描述信息包括名称、别名、数据类型、枚举值列表、长度和数据项的逻辑关系等。

(2)数据模型(Data Table)。数据库的外模式看起来是孤立的一个个的用户数据表(简称用户表)。实际上,这些用户表之间可能存在一定的主键或外键关系,即1对1、1对多和多对多的关系。将相关联的用户表集合起来,就形成了专题数据库。而专题数据库的抽象就是地质数据模型。

地质数据模型通过聚合一系列具有一定关系的控制表,来表达具有一定地质专业的数据特征。数据模型由若干个控制表组成,支持嵌套表达。为了表达地质专题数据的层次关系,允许数据模型具有继承性。一个子类的数据模型除了拥有自己的数据特征,还可以从其父类获得数据特征,即它的控制表集合。

(3)映射关系(Mapping Relation)。字典就是对

数据的一种详细描述. 控制字典信息主要有表名、字段中文名、字段英文名、字段的类型、宽度、精度、主键/外键、空否、取值约束(默认值、最大值、最小值)、索引否. 同时要指出该表的索引: 索引文件名、索引字段名、索引特性(主键索引、唯一索引、聚集索引).

控制字典的 3 部分(控制表、数据模型和映射关系)中, 控制表字典记录控制表信息的基本信息、控制表字段的详细描述以及控制表之间的关联信息. 数据模型是在控制字典的基础上, 将同种类型的控制表进行组合形成的一种对象, 它代表一种数据特征, 具有共同的数据操作. 映射关系记录用户表及其核心字段信息与控制表的字段之间的映射关系. 映射关系是建立数据模型中控制字典与用户数据表之间的对应关系的一种手段.

控制表扩展了数据库系统的三级模式结构, 增加了控制表和外模式的映射结构. 外模式是数据库用户(包括应用程序开发人员和最终用户)能够使用和看见的局部数据的特征和逻辑结构的描述. 控制表是数据库外模式的概括与抽象. 对于每一个外模式来讲, 数据字典中总有一个从控制表到外模式的映射(肖计划等, 2006), 这级映射结构的定义存储于控制字典的映射关系中, 而软件系统开发涉及到的所有数据接口正是通过这级映射结构来实现的(程雷, 2009; 卢晓琴等, 2009). 基于控制字典对象式地质数据管理的模式如图 3 所示.

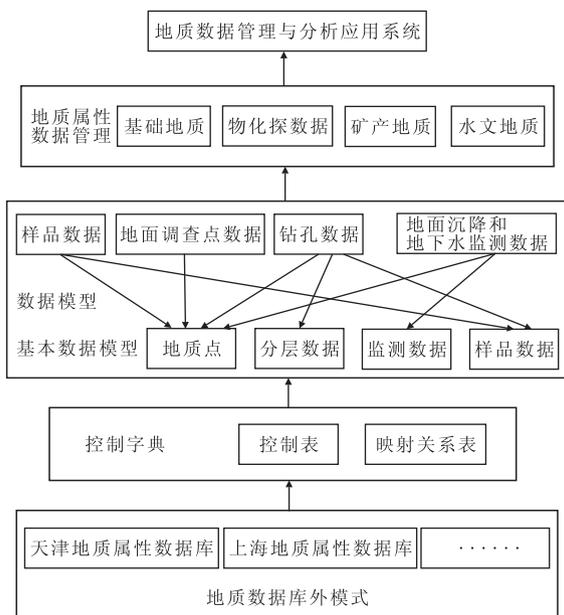


图 3 基于控制字典对象式地质数据管理模式

Fig. 3 Data management of object type geological features on control dictionary

当数据库外模式结构发生更改时, 例如增加新的属性、改变属性等, 数据库管理员或者具有操作权限的程序员相应地更改控制表和外模式的映象结构而不需要对现有的应用程序做任何更改, 因为控制表的结构是没有发生任何改变的, 而应用程序又是基于控制表的数据结构开发的. 通过控制表来设计应用程序的方式不仅确保数据和应用程序的逻辑独立性, 而且简化了应用程序的开发过程, 同时也极大地减少了应用程序的维护和修改(王月平和贾明涛, 2002).

2 地质属性数据的对象式管理

2.1 地质数据模型与数据库外模式的映射

控制字典中的字典信息记录数据库的外模式的用户表及其字段的元数据信息, 控制表中记录了数据模型的各个单元表格的元数据信息, 通过映射关系, 实现数据模型中的控制表到数据库用户表的唯一映射.

具体映射信息包括: (1) 表及其字段的映射. 如果在数据库中, 控制表中的字段与其对应的用户表的字段信息基本一致, 则直接在字典映射表中记录其映射关系. 字段信息主要包括字段的名称、字段长度、字段类型等; 在数据库存储中, 为了节约存储空间, 经常使用将几个字段信息压缩在一起形成一个二进制字段 blob 类型. 如果用户表的字段与控制表中对应的字典信息不一致, 比如用户表的字段是 blob 类型, 可在控制表中直接存储 blob 字段解压后的字段信息, 并建立起与用户表字段的映射关系. (2) 表之间的关系映射. 通过控制字典构建一些列的地质数据模型, 包括基础地质、水工环地质、地面沉降、地球物理、地球化学等专题的数据模型. 通过建立数据模型与控制表的包含关系, 加上控制表与用户表的映射关系, 即可实现地质数据模型与数据库外模式一一映射.

2.2 地质属性数据管理器的构建

建立了数据模型与数据库的用户表的映射关系之后, 可用一套 SQL 语句或存储过程来实现不同地区的相似地质属性数据库的数据管理. 数据库的数据管理主要包括对属性记录的增加、删除、查询和修改. 以查询 SQL 语句编写为例, 为了编写一套统一的地质属性数据管理器, 需要完成以下工作: (1) 编写一套简单的查询工具, 并给每一条语句唯一命名. 这些语句的主要功能是通过数据模型找到控制表、通过控制表找到用户表、通过控制表的字典找到用

户表的字段、查询用户表的枚举字段的枚举值信息等。(2)编写各个业务专题的查询工具:比如要根据钻孔编码查询钻孔分层信息,首先根据(1)中的简单查询工具,找出本查询中所有查询的用户表和用户表字段信息,然后将其嵌套在本业务查询之中。

这种方法有两大优点:(1)针对不同地质属性数据库,数据管理工具只需统一编写和维护;(2)数据查询的效率很高。通过 SQL 语句的嵌套,只需要一次数据库连接即可完成不同类型的复杂的数据库查询功能。

论文利用 C++ 语言和 XML 技术编码实现了一个通用的地质数据模型与数据库外模式的映射的整体流程和方案,该方案的主要流程如下:(1)创建地质专题的数据模型;(2)创建并配置各个控制表;(3)绑定地质数据模型与控制表;(4)建立控制表与地质数据库外模式的映射;(5)根据各个专题业务需求编写各自的数据管理器。在整个流程中,控制字典是一个主线,它将地质数据模型的管理、控制表的管理、数据模型与外模式的映射管理等有机的串起来,为各个专题功能模块提供了通用的地质数据访问接口。

3 应用与展望

采用对象—关系数据库技术,兼顾地矿行业的当前与未来需求,目前各地的地质行业已经建立与各种业务主题相关联的地质属性数据库。利用控制字典技术在数据库中建立能够与地质数据库进行一一映射的地质数据模型,即可实现地质属性数据库的统一和快速访问(毛晓燕和孔玲爽,2008;郭伟娜等,2009)。

在以上工作的基础上,结合上海、天津、哈尔滨、苏州等地的城市地质信息化建设的需求,基于控制字典设计,抽象出地质数据模型,实现了一套通用地质数据管理器,在地质数据录入、快速模糊查询、柱状图、剖面图、三维地质建模等业务流程中的地质数据存取发挥了核心作用,此关键技术作为一个核心模块已在上述项目中得到了很好的应用。

地质数据管理的发展趋势是采用主题数据库的设计思路与方法,把以功能处理为核心变成以数据管理为核心,统一概念模型和数据模型,实现术语和代码的标准化(朱良峰等,2004)。后期考虑在实现地质属性数据管理的基础上,结合 ORM、NoSQL 等关键技术,实现地质属性数据与空间数据、地质文档资料数据的统一高效管理。

References

- Cheng, L., 2009. Production Research of Data Dictionary on Geographic Information System. *Science & Technology Information*, (20): 1 (in Chinese with English abstract).
- Dai, G. Y., Bao, Z. Y., Zhang, J. Z., 2000. Development of Mining Spatial Database by GIS. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 22(1): 78—81 (in Chinese with English abstract).
- Guo, W. N., Mao, X. C., Chen, Z., 2009. Development of the Design and Management System of Generalized Geological Database Structure. *Metal Mine*, (6): 136—139 (in Chinese with English abstract).
- He, J. X., Lu, L. J., Liu, Y. Q., 2008. New Framework of 4D Geological Information System. *Science Technology and Engineering*, 8(2): 534—536 (in Chinese with English abstract).
- He, S. F., Wang, S. J., 2003. Building and Application of Geoscience Database of Canada. *Marine Geology Letters*, 19(1): 22—25 (in Chinese).
- Jiang, W. P., 2008. The Incipient Research of the Standardized Management of Geological Data. *Resources Environment & Engineering*, 22(1): 103—106 (in Chinese with English abstract).
- Liu, R., Yan, S. W., Zhang, M. Y., et al., 2002. Development of a Database for Soil Investigation of Tianjin Port. *China Harbour Engineering*, (5): 14—18 (in Chinese with English abstract).
- Lu, X. Q., Mao, X. C., Fan, J. C., 2009. Study of Comprehensive Geological Database System Structure on Technology of Intelligent Client (Dissertation). Central South University, Changsha, 16—19 (in Chinese with English abstract).
- Luo, M. L., 1991. Storage Structure and Management Requirement of Geological Data Classification and Kinds of Data. *Computer Application on Geology in International Discussion Paper Set*, 607—611 (in Chinese).
- Ma, X. G., Wang, X. Q., Wu, L. H., et al., 2007. Implement of Universal Information Models for Multi-Source Geology Spatial Database Management Based on Data Dictionary. *Mining Research & Development*, 27(1): 37—40 (in Chinese with English abstract).
- Mao, X. Y., Kong, L. S., 2008. Integrated Method and Application on Multi-Source Heterogeneous Database. *Database and Information Management*, 2(16): 1197—1199 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J., Mao, X. C., 2007. Study of Geological Mineral Basic Database and Spatial Database (Dissertation). Central South University, Changsha, 1—3, 12—17 (in Chinese

with English abstract).

Shi, Q. J., Hu, W. S., Liu, D. P., 2007. Study on Ground Data Model of Drill Hole Information and Database. *Rock and Soil Mechanics*, 28(4): 758—762 (in Chinese with English abstract).

Wang, C. N., Shang, W., Chen, P. Z., 2005. Construction of Geological Data Management System. *Land and Resources Informatization*, (1): 18—23 (in Chinese with English abstract).

Wang, Y. P., Jia, M. T., 2002. The Dynamic Creation and Numerous Data Perfusion of the Relational Geological Database. *Journal of Central South University of Technology (Natural Science)*, 33(1): 14—17 (in Chinese with English abstract).

Wu, Z. X., Pan, M., Qu, H. G., et al., 2008. Urban Geological Domain Information Management and Service System Architecture. *Computer Engineering*, 34 (22): 247—249 (in Chinese with English abstract).

Xiao, J. H., Liu, H. Y., Luan, X. Y., 2006. Data Dictionary Design in Geo-Database. *Engineering of Surveying and Mapping*, 15(2): 40—44 (in Chinese with English abstract).

Xu, Z. P., Chen, J. Q., Xiao, J. Y., et al., 2008. 3D Visual Borehole Management System—Taking Quaternary Boreholes in the Kunming Basin as an Example. *Geology and Prospecting*, 44(2): 101—104 (in Chinese with English abstract).

Yang, X., Huang, J. Z., Yuan, D., et al., 2005. Development of Basic Hydro-Geologic Data Management System Based on GIS. *Computer Applications and Software*, 22(3): 19—21, 36 (in Chinese with English abstract).

Zhang, J., Cheng, X. L., 2009. Application of Data Integration of Multi-Source Heterogeneous. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 24 (3): 254—258 (in Chinese with English abstract).

Zheng, K., Hou, W. S., Liu, X. G., 2006. Database Designed for Urban 3D Geological Investigations. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 678—682 (in Chinese with English abstract).

Zhu, L. F., Wu, X. C., Liu, X. G., 2004. Study on the Framework of Management and Service System for Urban 3D Geological Data. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 26(1): 69—75 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

程雷, 2009. 地理信息系统数据字典生产研究. 科技资讯, (20): 1.

戴刚毅, 鲍征宇, 张锦章, 2000. 基于 GIS 的矿山空间数据库

的建立. 物探化探计算技术, 22(1): 78—81.

郭伟娜, 毛先成, 陈振, 2009. 综合地质数据库结构设计与管理软件开发. 金属矿山, (6): 136—139.

贺金鑫, 路来君, 刘雅琴, 2008. 一种新的四维地质信息系统架构. 科学技术与工程, 8(2): 534—536.

何书锋, 王圣洁, 2003. 加拿大地学数据库建设和应用. 海洋地质动态, 19(1): 22—25.

蒋卫萍, 2008. 地质资料规范化管理初探. 资源环境与工程, 22(1): 103—106.

刘润, 闫蔚旺, 张美燕, 等, 2002. 天津港工程地质数据管理系统的开发与研制. 中国港湾建设, (5): 14—18.

卢晓琴, 毛先成, 樊俊昌, 2009. 基于智能客户端技术的综合地质数据库体系结构的研究与实现(硕士学位论文). 长沙: 中南大学, 16—19.

罗明亮, 1991. 地质数据分类和各类数据的存贮结构与管理要求. 计算机在地质中的应用国际讨论会论文摘要集, 607—611.

马小刚, 汪新庆, 毋丽红, 等, 2007. 应用数据字典实现多源地质空间数据的通用管理. 矿业研究与开发, 27(1): 37—40.

毛晓燕, 孔玲爽, 2008. 多源异构数据库的集成的研究. 数据库与信息, 2(16): 1197—1199.

任佳, 毛先成, 2007. 地质矿产基础数据库与空间数据库的研究与开发(硕士学位论文). 长沙: 中南大学, 1—3, 12—17.

史秋晶, 胡伍生, 刘丹萍, 2007. 工程地质钻孔信息模型及数据库研究. 岩土力学, 28(4): 758—762.

王春宁, 尚武, 陈培章, 2005. 地质资料管理系统建设研究. 国土资源信息化, (1): 18—23.

王月平, 贾明涛, 2002. 关系型地质数据库动态建立及批量数据灌制. 中南工业大学学报(自然科学版), 33(1): 14—17.

吴自兴, 潘懋, 屈红刚, 等, 2008. 城市地质领域信息管理与服务系统体系结构. 计算机工程, 34(22): 247—249.

肖计划, 刘海砚, 栾晓岩, 2006. 地理信息数据库中数据字典的设计. 测绘工程, 15(2): 40—44.

许哲平, 陈建强, 肖景义, 等, 2008. 三维可视化钻孔管理系统——以昆明盆地第四系钻孔为例. 地质与勘探, 44(2): 101—104.

杨旭, 黄家柱, 袁丁, 等, 2005. 基于 GIS 的水文地质基础数据管理系统的开发. 计算机应用与软件, 22(3): 19—21, 36.

张靖, 程希来, 2009. 多源异构数据整合应用研究. 成都信息工程学院学报, 24(3): 254—258.

郑坤, 侯卫生, 刘修国, 2006. 城市三维地质调查数据库. 地球科学——中国地质大学学报, 31(5): 678—682.

朱良峰, 吴信才, 刘修国, 2004. 城市三维地质数据管理与服务系统框架研究. 地球科学与环境学报, 26(1): 69—75.