

# 面向对象的地质灾害数据模型与时空过程表达

刘晓慧<sup>1</sup> 吴信才<sup>1</sup> 罗显刚<sup>1</sup>

(1 中国地质大学信息工程学院,武汉市鲁磨路 388 号,430074)

**摘要:**从地质灾害防治管理的角度出发,分析了地质灾害现象及其数据特征,提出了一种一体化的面向对象时空数据概念模型,由空间要素模型、空间实体模型及时空对象模型组成。以此数据模型为基础,通过分析地质灾害时空变化过程,设计了一种有效的对象状态存储和时空过程表达机制,对地质灾害时空对象生命周期中各阶段的状态进行统一的表达。

**关键词:**面向对象;地质灾害;时空数据模型;时空过程

**中图法分类号:**P208

崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害日益增加,有效的地质灾害防治管理能够减少其造成的损失。地质灾害数据是地质灾害防治管理的基础,高效合理的数据库设计是地质灾害预警预报系统建设的关键。地质灾害的发生受很多外部因素(降雨、地震活动、人类活动等)的影响,是一个动态变化的过程。然而,现有的地质灾害信息系统基本都是基于静态数据库建设的<sup>[1-6]</sup>,只存储地质灾害信息在某一个时间点的快照,当灾害信息发生变化时,用新的快照替换原有快照信息。这样建立的灾害信息数据库仅反映了灾害发展过程中某一阶段的情况,不仅无法管理地质灾害的防治过程,也无法对灾害数据的变化过程进行分析,更不能准确地预测灾害发展趋势。因此,建立一个动态、能反映地质灾害时空变化过程的灾害数据库,对于灾害防治过程管理、灾害发育规律研究及灾害趋势预测具有重要意义。

数据库建设的依据是数据模型设计。时空数据模型是一种有效组织和管理时态地理数据,属性、空间和时间语义更完整的地理数据模型<sup>[7]</sup>。概念模型是数据模型的基础,因为模型与人们的思维越贴近,越容易在应用系统中实现<sup>[8]</sup>。面向对象模型提供了泛化、特例化、聚合和关联等机制,易于支持时态 GIS 中各种形式的时空数据<sup>[9]</sup>。目前,时空数据模型的理论研究有很多,但是其应用研究大多集中在土地管理方面<sup>[10-13]</sup>,也

有一些海洋<sup>[14-15]</sup>、交通<sup>[16-18]</sup>等方面的应用。本文以地质灾害现象的时空表达为依据,设计了面向对象的地质灾害时空数据概念模型,并在此数据模型基础上,对地质灾害时空变化过程进行合理的存储和表达,以便对地质灾害的发育规律进行分析,进而可以预测灾害发展趋势。

## 1 地质灾害数据分析

地质灾害数据是对地质灾害的空间属性、地质属性以及灾害属性的描述。地质灾害数据的形成过程是以快照形式出现的,记录瞬时的灾害状态;而地质灾害的形成与区域的背景条件密不可分,反映灾害的空间分布情况。因此,地质灾害数据具有时间特征、空间特征和很多属性特征。除此之外,地质灾害数据还具有多尺度特征,包括空间多尺度、时间多尺度及工作多尺度。在空间上,可以从全国、省、地区、县、单个灾害体等尺度描述;在时间上,可以从灾害的孕育初期、孕育中期、临灾、灾害发生、灾后等尺度描述;在工作上,灾害防治工作分基础调查、应急调查、群测群防、专业监测预警、工程治理等阶段。

地质灾害特征信息作为描述各类地质灾害现象的专业信息,它是反映地质灾害最为原始的信息,同时也是对地质灾害进行管理、分析的基础数据。地质灾害特征信息主要是通过对地质灾害开

收稿日期:2013-05-21。

项目来源:国土资源部公益性行业科研专项资助项目(201211055-8);中央高校基本科研业务费专项资助项目(CUGL090235)。

展基础调查、应急调查以及群测获取的。

如图 1 所示,地质灾害特征信息包括反映地质灾害单体与区域分布特征的空间数据、属性数据及多媒体数据等,多媒体数据可以作为一类特殊结构的属性数据。属性数据包括灾害时空信

息、气象水文资料、地质地貌资料、灾情信息、灾害防治信息等。其中,灾害时空信息包含灾害统一编号、行政位置、经纬度坐标以及最近发生时间等一系列强时空信息,其他属性为一般属性特征。

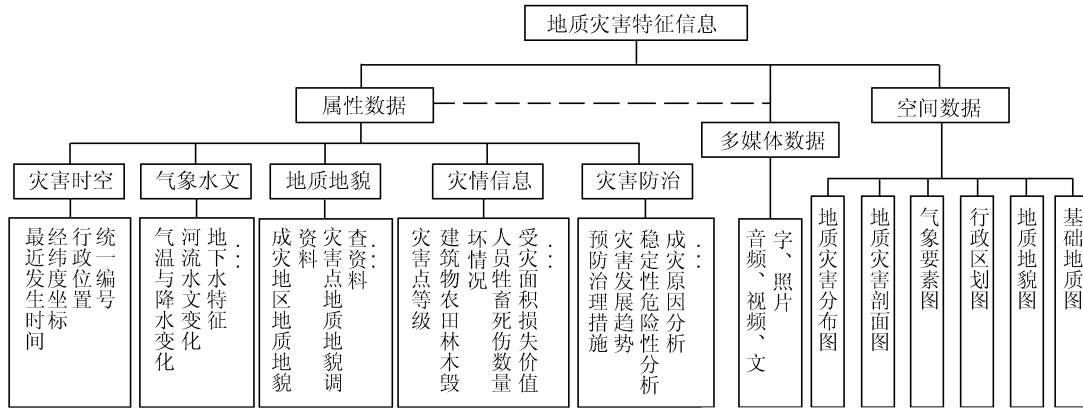


图 1 地质灾害特征信息组成

Fig. 1 Composition of Geological Disasters Characteristics

## 2 地质灾害时空数据概念模型

人类对现实世界的认识是由表及里的,因此,地质灾害时空数据模型要从对地质灾害现象的描述出发,结合地质灾害的不同工作阶段逐步建立。本文将采用面向对象的方法对地质灾害时空数据进行建模,表达地质灾害的发展变化过程及贯穿其中的防治管理工作过程。地质灾害时空数据概念模型由空间要素模型、地质灾害空间实体模型和地质灾害时空对象模型构成(见图 2)。

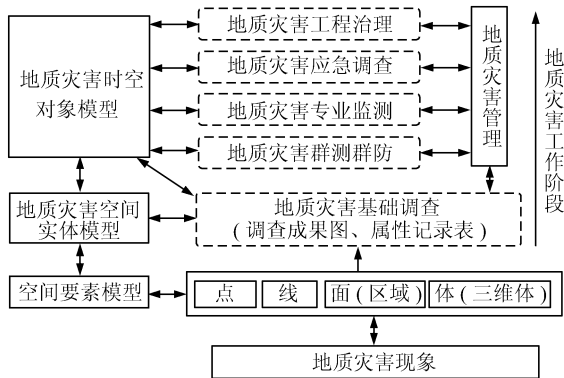


图 2 地质灾害不同工作阶段要建立的时空数据模型

Fig. 2 Spatio-temporal Data Model in Different Stages of Geological Disaster

### 2.1 空间要素模型

空间要素是一个抽象基类,对应于现实世界或抽象实体,用来表达关于现实世界(抽象)实体的可量算或可描述的现象。具有相同几何类型和

相同属性的要素的集合称为要素类,共享空间参考系统的要素类集合称为要素集。空间要素是现象和其表示的结合,要素实例构成空间要素模型。

### 2.2 地质灾害空间实体模型

所有的地质灾害实体都属于某一个实体类,该类所具有的特征称为属性。每一类都有自己的特定属性。一个给定的实体是否属于某一实体类,取决于地质灾害工作者对该类的定义。这个定义包括该类的所有成员共有的特征和该类区别于其他类的特征。

地质灾害空间实体定义于空间要素模型之上。地质灾害实体的属性、位置、形状等信息抽象为要素的特征。地质灾害空间实体模型是将地质灾害信息定义为一组具有关联关系的实体对象集,并通过一种通用语言和一个公共数据结构,为地质灾害数据理解和表达提供一个公共的基础,便于地质灾害信息系统的开发。面向 GIS 的地质灾害空间实体模型通常包含两部分数据:① 定位数据和拓扑数据,用于描述实体对象的空间位置及拓扑关系;② 属性数据或专题数据,用于描述实体对象的非空间属性。

### 2.3 地质灾害时空对象模型

地质灾害现象的时空表达可以概括为:地质灾害现象是几个实体的组合排列集,每个实体都具有位置、属性(包括时间信息),实体间存在着拓扑关系、语义关系、聚集关系、联合关系等。

作为时空数据模型的主体,时空对象是时间特征、空间特征、专题属性信息的综合表现。面向

对象时空数据模型的核心思想是以描述时空对象为主体,以描述时空关系为目的,用面向对象的基本思想来描述和组织地理时空现象,将时间、空间及属性在每个时空对象中置于同等重要的地位<sup>[19]</sup>。时态 GIS 中时空对象变化的时间是与引起该变化的事件密切相关的<sup>[20]</sup>。地质灾害时空对象的变化时间是与引发地质灾害变化的事件相关联的。本文以面向对象技术为基础,以时空对象的过程描述为主体,从地质灾害的变化过程出发,结合地质灾害的防治管理过程,设计了地质灾害时空对象:

$$\text{Object}(i) = f(\text{ObjID}, \text{ObjS}_i, \text{ObjA}_i, \text{ObjB}_i, \text{ObjR}_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

其中,ObjID 表示对象的唯一标识号,对应灾害体的统一编号;ObjS<sub>i</sub>表示对象的空间信息;ObjA<sub>i</sub>表示对象的属性信息,包括时间特征;ObjB<sub>i</sub>表示对象相关的行为操作特征,对应引发地质灾害变化的事件;ObjR<sub>i</sub>表示对象与其他对象之间的关系,对应地质灾害的防治管理工作。

在此基础上,地质灾害现象时空表达的一体化数据模型如图 3 所示。在该模型中,地质灾害现象被表达为一个具有相互关系的对象集。一个时空对象可以是许多其他时空对象的聚合。每个对象不仅具有空间信息、属性信息和时间信息,而且与其他对象之间存在拓扑关系和语义关系。

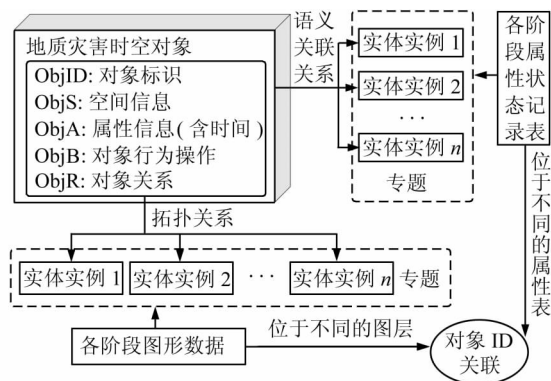


图 3 面向对象的地质灾害一体化时空数据模型  
Fig. 3 Integrated Object-oriented Spatio-Temporal Data Model of Geological Disaster

### 3 地质灾害时空过程表达

#### 3.1 时空变化过程模型

地质灾害的时空变化主要包括空间变化和属性变化。时空对象状态的变化包括 3 种类型:连续变化、离散变化和级进变化<sup>[16]</sup>。在灾害孕育初期、孕育中期、临灾、灾害发生及灾后整个发展变

化过程中,地质灾害时空对象的状态发生离散型变化,灾害对象的每一次状态变化是瞬间完成的,在时空域中离散分布。

文献<sup>[21]</sup>指出,空间对象可能有两种形式的变化:量的变化和质的变化。地质灾害对象的时空变化也包括量的变化和质的变化,量的变化是对象属性或空间位置的局部变化,质的变化结果是对象消亡(可能伴随新对象的产生)。本文通过地质灾害对象的产生、状态更新、消亡 3 种时空过程来表达地质灾害对象在其生命周期中的量变和质变。

本文以地质灾害现象的时空表达为依据,用时空对象的状态变化因果序列来表现地质灾害时空过程。伴随着地质灾害防治管理各阶段的工作,灾害对象存在如下变化过程:

- 1) 在基础调查阶段,对地质灾害对象的状态进行首次记录,即对象产生。
- 2) 在群测群防与专业监测过程中,对灾害对象的状态变化进行记录,对象状态更新。
- 3) 在临灾或灾害发生后,通过应急调查记录灾害的状态变化。如果灾害还可能再次发生,则对象状态更新;如果灾害不会再次发生,则对象消亡;如果原灾害体演变成新的灾害体,则该对象消亡,并有新对象产生。
- 4) 在工程治理阶段,对地质灾害的治理结果进行记录。通过工程治理或搬迁避让等措施,如果灾害体还存在危险性,则对象状态更新;如果灾害体不存在危险性,则对象消亡。

#### 3.2 对象状态存储机制

根据地质灾害的时空变化过程分析,设计了如下的灾害对象状态存储机制:

- 1) 每个灾害体的对象状态首次被记录时,赋予一个全局唯一标识(即统一编号),通过此标识对灾害对象在各阶段的状态进行关联。
- 2) 将灾害体的基本信息与对象状态变化过程分别记录。灾害体的基本信息用基本信息表存储,内容如表 1 所示。现有灾害对象状态记录与历史发生过的灾害状态记录分别用现势信息表和历史信息表存储,其内容都如表 2 所示。
- 3) 现势信息表和历史信息表具有“互斥性”,任何一个灾害对象都不能同时出现在现势信息表和历史信息表中。
- 4) 灾害对象的每一个状态首次被记录时,“发生时刻”与“变化时刻”为同一个值,对象状态发生变化时,将前一条状态记录中“变化时刻”的值修改为当前状态发生的时刻,同时新增一条对象状态记录。

5) 当一个灾害对象消亡时,将该对象在现势信息表中的所有状态记录移到历史信息表中,并在基本信息表中记录灾害对象的状态、消亡时刻及消亡原因。

上述存储机制有几个优点:① 数据冗余小。对灾害的基本信息和变化过程分别进行管理,使得相对固定的灾害基本信息只记录一次。② 数

据分析方便。对灾害变化过程的记录不仅包括灾害的状态信息,而且包括灾害的变化原因和所处工作阶段,便于信息管理和分析。③ 数据检索效率高。在灾害对象发展变化过程中,对灾害对象状态的查询与更新只需操作现势信息表;在灾害对象消亡后,则只需查询历史信息表就可获取历史灾害的发展变化过程。

表 1 基本信息表

Tab. 1 Basic Information

统一编号	...	出现时刻	发生原因	首次记录时间	消亡时刻	消亡原因	状态(是否消亡)
------	-----	------	------	--------	------	------	----------

表 2 对象状态表

Tab. 2 Objects Status

序号	统一编号	地理坐标	...	发生时刻	发生原因(事件)	信息来源(防治工作阶段)	变化时刻
----	------	------	-----	------	----------	--------------	------

### 3.3 状态查询与过程表达

1) 地区历史灾害分布情况再现。通过查询灾害基本信息表即可获得某个时刻存在的所有灾害的统一编号和状态(是否消亡)。首先根据消亡状态标识判断灾害体的状态变化过程记录存储在历史信息表中还是现势信息表中,再进一步查询灾害体的状态记录。如查询  $T_n$  时刻的灾害分布情况,可在灾害基本信息表中检索“出现时刻”在  $T_n$  之前并且“消亡时刻”在  $T_n$  之后的灾害体。还可根据每个灾害体的消亡状态,从历史信息表或现势信息表中获取  $T_n$  时刻该灾害体的状态,检索“发生时刻”在  $T_n$  之前并且“变化时刻”在  $T_n$  之后的状态记录即可。

2) 灾害体变化过程回溯。由于灾害基本信息表中记录了所有灾害的基本信息及消亡状态,因此,可以通过查询灾害基本信息表获取灾害体的消亡状态,根据消亡状态确定该灾害体的状态变化过程记录存储在现势信息表中还是历史信息表中,然后利用统一编号查询相应的表获得灾害体的历史状态序列。

## 4 结 语

本文从地质灾害防治管理的角度出发,分析了地质灾害的数据特征,并提出了面向对象的一体化时空数据概念模型。在此基础上,通过分析地质灾害时空变化过程,设计了一种有效的地质灾害时空对象存储方案和时空过程表达机制。

本文所提出的地质灾害数据模型能够将地质灾害的时间、空间、属性、行为操作及关联关系进行一体化表达,任何一个灾害体从产生到消亡的过程中,其所有的状态都可以通过对象的唯一标

识进行关联。根据本文设计的时空过程表达机制,可以快速获取地质灾害的时空变化序列特征,展现地质灾害的时空变化过程,有助于地质灾害发展规律的研究。该机制对于以空间变化和属性变化为主的离散型时空对象变化的过程表达具有一定的适用性。本文仅对地质灾害的时空变化序列进行展现,还需要进一步对地质灾害发展过程进行分析研究。

## 参 考 文 献

- [1] 李海峰. 基于 WebGIS 的地质灾害信息管理系统研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2009, 32(2): 172-175
- [2] 周平根, 毛继国, 侯圣山, 等. 基于 WebGIS 的地质灾害预警预报信息系统的设计与实现[J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 38-42
- [3] 董元, 张时忠. 三峡库区地质灾害监测预警信息管理系统的设计与实现[J]. 安全与环境工程, 2008, 15(3): 6-9
- [4] 岳建伟, 王斌, 刘国华, 等. 地质灾害预警预报及信息管理系统应用研究[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 60-63
- [5] 陈植华, 关学峰, 胡成. 基于 WebGIS 的环境地质灾害网络数据库系统[J]. 水文地质工程地质, 2003(2): 20-24
- [6] 朱良峰, 吴信才, 刘修国. 基于 GIS 的铁路地质灾害信息管理与预警预报系统[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 231-235
- [7] 舒红, 陈军, 杜道生, 等. 面向对象的时空数据模型[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(3): 229-233
- [8] van de Weghe N. Development of a Conceptual Data Model for Digital Spatio-Temporal Geographical Information, with Application to Several Themes and

- GIS[C]. The 21st International Conference on Conceptual Modeling, London, 2003
- [9] 吴信才, 曹志月. 时态 GIS 的基本概念、功能及实现方法[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2002, 27(3): 241-245
- [10] 谢炯, 刘仁义, 刘南, 等. 一种时空过程的梯形分级描述框架及其建模实例[J]. 测绘学报, 2007, 36(3): 321-328
- [11] 林广发, 冯学智, 王雷, 等. 以事件为核心的面向对象时空数据模型[J]. 测绘学报, 2002, 31(1): 71-76
- [12] 张丰, 刘南, 刘仁义, 等. 面向对象的地籍时空过程表达与数据更新模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(3): 303-309
- [13] 雷起宏, 刘耀林, 尹章才, 等. 基于加权图的地籍时空数据描述模型研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(7): 640-642
- [14] 苏奋振, 周成虎. 过程地理信息系统框架基础与原型构建[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 477-484
- [15] 薛存金, 周成虎, 苏奋振, 等. 面向过程的时空数据模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 95-101
- [16] Wang D, Cheng T. A Spatio-temporal Data Model for Activity-based Transport Demand Modeling[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2001, 15(6): 561-585
- [17] 李勇, 陈少沛, 谭建军, 等. 事件驱动的城市公共交通时空数据模型研究[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 203-209
- [18] 余志文. 城市交通网络面向对象的时空数据模型研究[J]. 测绘科学, 2002, 27(4): 31-34
- [19] 陈新保, Li Songnian, 朱建军, 等. 时空数据模型综述[J]. 地理科学进展, 2009, 28(1): 9-17
- [20] 孟令奎, 赵春宇, 林志勇, 等. 基于地理事件时变序列的时空数据模型研究与实现[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(2): 202-207
- [21] 龚健雅. GIS 中面向对象时空数据模型[J]. 测绘学报, 1997, 26(4): 289-298
- [22] Claramunt C, Parent C, Theriault T M. Design Patterns for Spatio-temporal Processes[M]//Ste-Ffano S, Fred M. Data Mining, Reverse Engineering: Searching for Semantics. New York: Chapman Hall, 1997
- [23] Taciana D, Gilberto C, Frederico F, et al. Bottom-up Development of Process-based Ontologies[C]. The Third International Conference on Geographic Information Science, California, 2004

第一作者简介: 刘晓慧, 博士生。研究方向为 GIS 在地质灾害、水利信息化方面的应用。

E-mail: xhliu0512@163.com

## Object-oriented Geological Disaster Data Model and Spatio-temporal Process Expression

LIU Xiaohui<sup>1</sup> WU Xincan<sup>1</sup> LUO Xiangang<sup>1</sup>

(1 Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** From the point of view of the geological disaster prevention and management, an integrated object-oriented conceptual model for spatial-temporal data was proposed consistent with phenomenon ological and data characteristics of geological disasters. This model is composed of three parts, including a spatial feature model, a spatial entity model and a spatial-temporal object model. Applying this model, a unified mechanism for object state storage and spatial-temporal process expression were designed to effectively describe the status of spatial-temporal objects in geological disasters at different stages of their life cycle.

**Key words:** object-oriented; geological disaster; spatio-temporal data model; spatio-temporal process

**About the first author:** LIU Xiaohui, Ph. D candidate, majors in applications of GIS to geological disaster and water resources informatization. E-mail: xhliu0512@163.com