

基于模型驱动架构的兰州市活断层 探测项目数据整合框架

葛伟鹏^{1,2}, 袁道阳^{1,2}, 何文贵^{1,2}, 刘兴旺^{1,2}, 郑文俊^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:通过对兰州市活断层探测项目所应用的多种探测方法和过程的研究,采用先进的计算机辅助软件工程学的理论和方法对该项目实施过程所得到的各种探测数据进行分析,引入了模型驱动架构(MDA)、统一建模语言(UML)和 Geodatabase(地理数据库)等技术方法,构建了兰州市活断层探测项目的数据整合框架。

关键词:模型驱动架构(MDA); 统一建模语言(UML); 地理数据库; 活断层探测; 数据整合框架; 计算机辅助软件工程

中图分类号: TP392; P315.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2010)02-0154-08

The Data Integration Framework for Lanzhou Active Fault Prospecting Project Based on MDA

GE Wei-peng^{1,2}, YUAN Dao-yang^{1,2}, HE Wen-gui^{1,2}, LIU Xing-wang^{1,2}, ZHENG Wen-jun^{1,2}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Through the studying on the many surveying methods and process for Lanzhou active fault prospecting project, using the advanced Computer-aided Software/System Engineering theory and Method, the data from the project are analyzed. Meanwhile, some computing database technologies such as MDA (Model Driven Architecture), UML (Unified Modeling Language) and Geodatabase, are introduced and relationship among them are emphasized also. Based on this work, the data integration framework for Lanzhou active fault prospecting project is resulted.

Key words: Model Driven Architecture (MDA); Unified Modeling Language (UML); Geodatabase; Active fault prospecting; Data integration framework; Computer-aided software/system engineering tool

0 引言

2004年兰州市被列为“中国地震活断层探测技术系统”的首批20个探测城市之一。其目的在于探测兰州市区内的隐伏活断层,评价其地震危险性和危害性,为城市规划和重大工程建设选址及抗震设防提供科学决策依据^[1]。

根据兰州市活断层探测项目开展过程所具有的特点,可以认为是应用多种探测手段进行综合探测研究的一个科学问题。因此本文首先在地震地质调查、地球物理和地球化学等综合探测研究的基础上,从地震危险性和危害性分析与评价任务入手,着重研究地震危险性分析方法等^[2],并实现空间与属性

收稿日期:2009-01-04

基金项目:中国地震局国家“十五”重大建设项目(1-4-28-1);中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(南北地震带北段活断层基础数据库建设和共享(2007692));中国地震局兰州地震研究所论文著号:LC2009007

作者简介:葛伟鹏(1981-),男(汉族),山西稷山人,助理研究员,硕士,研究方向为GIS在活动构造中的应用研究。

数据的查询、多媒体的演示和成果的管理;在确定评价任务后对探测项目的数据进行分类并进行数据选取和整合;之后选择满足系统设计要求的 GIS 平台、存储数据的商业数据库与特殊数据的处理软件等;同时根据项目所涉及的各种数据结合所采用的软件系统选用数据建模工具进行数据建模。

1 数据整合的关键技术

模型驱动架构(MDA)主要能够实现以模型为中心开发系统的过程;同时应用统一建模语言(UML)建立数据库并能够体现以数据为中心的过程,设计相关的标准化研究内容,从而分析得到完善的数据整合框架及各种探测手段的相关数据模型等。数据建模最终以 Geodatabase 空间数据库为基础来完成数据存储,并且其设计是基于以上技术并在适当的地理数据设计环境中实现的^[3]。

1.1 MDA(模型驱动架构)

对象管理组织(Object Management Group,简称OMG)是一个开放成员的非营利性联盟,其目的是产生和维护那些用于协同应用的计算机行业规范。OMG的标志性规范以及未来OMG规范的基础是多平台模型驱动架构(Model Driven Architecture,简称MDA)^[4]。由于统一了建模和中间件空间,MDA可以在应用程序的整个生命周期(从分析到设计,再到实现和部署,直到最后的维护和发展)中对其提供支持。OMG的建模规范形成了MDA的基础,这些规范包括了:UML^[6], Meta-object Facility(MOF)^[6], XML Metadata Interchange(XMI)^[7]和 Common Warehouse Metamodel(CWM)^[8]。作为行业中表示分析和设计标准,UML为需求分析与收集定义了用例和活动图,为设计定义了类和对象图,为部署定义了包和子系统图,另外还定义了其它6种类型的图;MOF为应用程序定义了一个标准元模型,允许UML模型在不同的工具和库之间进行交换;而XMI则对这些交换所用格式进行了标准化处理;最后CWM在数据库建模中建立元模型,从而在建模空间中完成了MDA的标准化^[9]。

MDA存在两种不同类型的模型:平台无关模型(Platform Independent Model,简称PIM)和特定平台模型(Platform Specific Model,简称PSM)^[10]。PIM主要是捕捉有关建模系统和业务过程,且与实现无关的信息;PSM的目标是提供实现细节以便能够适应一个特定的部署环境。OMG将UML封装在MDA中,MDA力求使UML模型变得更加可实行,

并且能与开发工具更好地集成,UML遵循管理多个模型这个总体目标。

MDA是模型如何在软件开发过程中使用的一种方法学。随着整个软件行业的开发人员开始应用和发展由OMG定义的MDA原则,他们逐渐开始接受这种方法学。MDA可指导架构师和开发人员如何更有效地以各种级别的抽象来定义模型,并在模型、代码和其他软件生命周期工件之间开发转换程序。通常MDA以一个与计算无关地模型(CIM)开始,这个模型定义了系统的业务域。这个CIM往往是特定于一个软件项目的。PIM显示了带有计算细节但无实现信息的主要业务处理。接下来,PSM给出适用于某个特定部署环境的实现细节。利用MDA建模时,可能会有多个PSM模型,通常是系统中的每一个平台分别绘制一个PSM模型,在平台层之下的层是实现语言层,即为实现相关模型(Implementation Specific Model,简称ISM)。图1说明了MDA基于MOF的四层元数据架构。

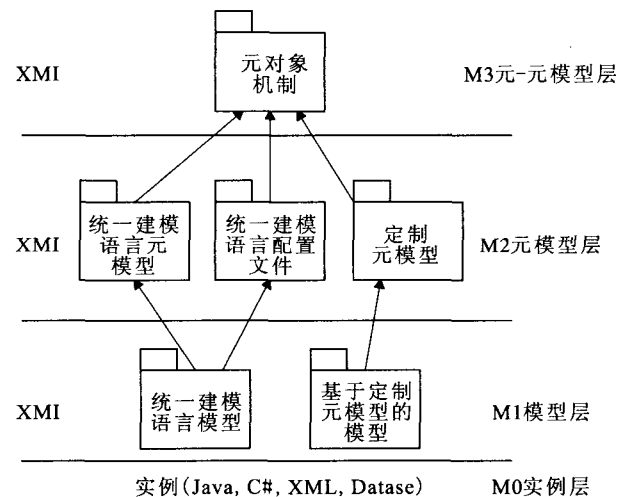


图1 MDA基于MOF的四层元数据架构^[11-12]

Fig. 1 Four layers meta-data framework of MDA based on MOF.

MDA通过这一元数据管理框架来达到元数据的定义、交换、存储和共享,从而在更高的抽象层次上实现了异构系统之间元数据的共享和交换,实现了异构系统之间的互操作。在M0层中,Instances的过程包含了Java、C#、XML、Database的实现过程。由此可以将实现过程分为软件系统和数据库两种过程,软件过程主要以Java、C#等开发语言实现,而数据库则以XML、Database等技术实现。对于兰州市城市活断层探测项目而言,应该主要体现数据库的

实现过程,即为应用 MDA 方法完成不同数据建模工作得以实现空间数据库和非空间数据库的过程。

1.2 UML(统一建模语言)

统一建模语言(Unified Modeling Language,简称 UML)是由 Rational 公司开发的第三代面向对象的建模语言,于 1995 年 10 月提出的“统一方法”,即为 UML 0.8 版。UML 于 1997 年 11 月被 OMG 采纳为计算机工程的标准之一。它博采各家之长,已被 OMG 采纳作为基于对象的建模语言的标准。而 1998 年 UML 1.2 版本发布以后,已成为国际信息建模的工业化标准。在随后的几年内,UML 先后发布了 1.3 版、1.4 版、1.5 版,在 2004 年又发布了代表模型驱动时代 UML 2.0 版^[13-14]。UML 作为一种宽谱语言,几乎适用于所有的应用领域。它为软件系统的设计与开发提供了丰富的、功能强大的模型,可以对整个系统做全面地描述。UML 是用于面向对象软件设计的概念层建模的新兴标准之一。它是一种可视化、文档化、基于面向对象方法的标准系统建模语言,用于概念层对结构化模式和动态行为进行建模。它给出了一套完整的符号体系和描述规则^[15]。

在 MDA 的 M1 层内有 UML Model、Models based on custom meta Model 两种模型,主要采用视图(View)在对系统的理解程度上从不同的角度对系统进行建模。视图是表达系统某一方面特征的 UML 建模元素的子集,在最上一层被划分为三个视图域:结构分类、动态行为和模型管理,对应元模型中的三个顶层包。视图中又包括图(Diagram),这将构成系统的 UML 整体模型。UML 模型的图包括:类图、内部结构图、协作图、组件图、用例图、状态机图、活动图、序列图、通信图、部署图和包图。

就兰州市活断层探测项目的地质数据模型、地球物理数据模型、地球化学数据模型设计而言,只需关注数据模型的静态结构,应用 UML 所设计的数据库概念模型并通过 MDA 转化为可扩展标记语言(eXtensible Markup Language,简称 XML)文档。

1.3 Geodatabase(地理数据库)

Geodatabase 数据模型是在汲取以往数据模型工作成果的基础上,采用面向对象的思想而提出的一种适用于关系型数据库管理的空间数据模型^[16]。在 ArcGIS 的 Geodatabase 模型下,每个不同的数据类型用一个数据集(dataset)来组织,每个数据集下含有若干要素类(Feature Classes)和对象类(Object Classes)。其中对象类是不含空间几何图形的实体

类,用一个数据库表(Table)存储;要素类是有空间几何形状的对象类,也以数据库存储,其中的几何图形(空间信息)存储为表中的一个 BLOB 字段,一个要素即为表中的一个行。

Geodatabase 是定义地理信息的一般模型^[17]。在 Geodatabase 中,支持面向对象的矢量数据模型,实体被表示为对象,具有属性、行为和关系,数据是按要素类、对象类和要素数据集进行组合的。Geodatabase 模型支持各种各样的地理对象类型,包括:简单对象、地理要素、网络要素、注释要素、特殊要素等。要素类是具有同样几何类型和属性的要素几何;对象类是 Geodatabase 中存储数据库表;要素数据集是有相同空间参考的要素类的集合。

Geodatabase 分为个人与多用户两种。个人 Geodatabase 支持内置于 ArcGIS 系统并提供对本地数据的访问,适用于面向项目的 GIS 在 Microsoft Access 数据库平台上实现,提供生成和更新 Access 数据库的服务;而多用户 Geodatabase 是通过 ArcSDE 实现的,ArcSDE 可以生成和访问从小型到大型的 Geodatabase 并提供关系型数据库的开发接口,从而使 ArcGIS 能够在不同的数据库(Oracle、SQL Server2000)平台上管理地学信息。

ArcSDE 是 ESRI 的空间数据引擎,一个高效的地理数据服务器,用于对海量空间数据及其属性数据的管理和驱动,并为访问的多客户端提供快速、安全的数据服务。它支持工业标准的 DBMS 平台,引入独有的异步缓冲机制和协同操作机制,使空间数据服务的响应效率空前提高^[18-19]。Geodatabase 数据模型的体系结构^[20]:

(1) 对象类(Object Class):在 Geodatabase 中对象类是一种特殊的类,它没有空间特性,其实例为可关联某种特定行为的表记录。

(2) 要素类(Feature Class):同类空间要素的集合即为要素类。要素类之间可以独立存在,也可以具有某种关系。当不同的要素类之间存在关系时,则可组织到一个要素数据集中。

(3) 要素数据集(Feature Dataset):要素数据集由一组具有相同空间参考系的要素集集合。一般而言有三种情况可将不同的要素类放到一个要素数据集下,即为不同要素属于统一范畴用专题类表示、在同一几何网络中充当连接点和边的各种要素类则组织到同一要素数据集中,共享公共几何特征的要素类考虑平面拓扑。

2 MDA、UML、Geodatabase 与兰州市活断层探测项目

迄今为止,对于模型驱动架构在地学软件开发中的研究如地理信息系统仍然处于探索研究中。随着计算机技术的迅猛发展,不同的 GIS 平台软件也相继使用了新的技术和空间数据的建模方法。对于一个研究地球科学的项目而言,选用所需要的平台应该注意到不同的平台所应用计算机技术的先进程度。GIS 是由数据、硬件、软件和用户构成的,而数据则处于核心地位,如果没有数据 GIS 则毫无使用价值^[21]。对于地学数据也就是 GIS 发展历史的研究,不能忽略计算机硬件的发展给 GIS 性能提高所做出的贡献。GIS 空间数据模型一般可分为三个发展过程:CAD 数据模型、拓扑关系数据模型和面向对象数据模型,体现了 GIS 的存储方式的演化。作为最新的 GIS 理论研究成果,空间数据模型是指对空间数据进行组织而存储、分析、显示的逻辑组织方式的抽象。

面向对象的数据模型代表了现今世界上最为流行的数据模型。在国内外的 GIS 厂商中,所能提供给我们使用面向对象的思想对空间数据进行建模而且提供了一套比较成熟方法的仅 ESRI 一家。ESRI 提出的 Geodatabase 空间数据模型,将空间数据库存到关系数据库中,这为我们搭建了从关系数据库到面向对象的空间数据建模技术的桥梁。在现阶段,随着新一代数据库技术如分布式数据库、面向对象数据库、主动数据库等的发展,一些与 GIS 有关的新的概念也相继提出,但远没有达到应用的程度。所以关系型数据库(SQL Server 2005 和 Oracle 10g)与 ESRI 的 Geodatabase 通过 ArcSDE 空间数据引擎结合对空间数据建模而建立起 GIS 应用系统不失为一种好方法。Geodatabase 的对象模型包括对象(Object)、特征(Feature)、关系(Relationship)三种类型的对象。

采用 MDA 的 UML 模型可对兰州市活断层探测项目的探测数据对象进行建模,MDA 的最终目标是空间模型的设计和空间数据库的实现。MDA 通过基于 MOF 的四层元模型架构对元数据进行统一管理,利用 M2 层提供的元模型如 UML,可对兰州市活断层探测项目的地学数据进行建模。其中地学数据分为属性数据和空间数据,为了两种数据直接存储在同一个数据库中,应用面向对象的 Geodatabase,这将提高地理数据的可共享性和地理信息的可交互

性。

3 兰州市活断层探测项目数据整合框架

兰州市活断层探测项目的数据主要由地理信息、地震地质、地球物理、地球化学等四大类的数据构成。基础地理信息主要由 1:1 万地形图、1:5 万地形图、数字高程模型、ETM 遥感数据、航空影像数据等构成,以提供活断层探测中必要的空间信息;地震地质则分为地形、地层、钻孔、断层、年代、历史地震等几部分;地球物理可分为浅层地震探测、深地震探测、宽角反射/折射探测、高分辨率地震探测、多道直流电法探测、和探地雷达探测等;地球化学可分为气汞探测、气氦探测等^[22];

结合兰州市活断层探测项目的项目设计、探测方法实施及数据库建设的要求,采用逆向思维的方法。即先从评价任务入手,分析地震危害性与地震危险性评价工作中所涉及到的探测领域和各探测手段所获取到的数据,并结合这些探测数据、GIS 平台和商业数据库设计项目中的相关信息系统软件的功能模块,如空间与属性关联查询模块、地震危险性分析和地震危害性分析模块和数据转入与转出功能模块等;然后对探测数据的组织和选取,如数据高程模型、不同比例尺的电子地形图、城市基础管线信息、ETM 遥感数据、航空影像数据、各种地球物理探测测线及不同探测方法获取的数据、野外地质调查信息和各个探测手段的设计书与变更书等等;最后根据所选用数据的特点和所选用的 CASE 建模工具对详细的数据进行建模,生成相应的空间数据和属性数据的 UML 模型结构图。

根据地震危险性分析和危害性分析的工作程序,整合不同的探测数据使之有条理并提炼出能满足数据组织的属性要求,应用 UML 模型结构图建立 Geodatabase 数据库,同时实现空间数据与属性数据的导入以完成 Geodatabase 数据库的建设工作;在商用数据库 Oracle10g 的基础上建立 ArcSDE 空间数据引擎的空间数据库系统^[23],同时建立基于 ArcGIS 的 ArcGIS Engine 二次开发平台的地震危险性和危害性专业分析客户端软件。

本框架是针对空间数据库系统的。顾名思义,空间数据库系统是围绕数据库展开的,对数据库的操作,即查询、增加、删除、修改、保存,分别对应 SQL 中的 Select、Insert、Delete、Update、Commit^[24]。空间数据库应用软件从本质上来说,就是用可视化的界

面让普通用户去执行这些 SQL,当然,这些 SQL 不是随便就可以执行的,要遵循一定的规则,这就是业务逻辑。所以软件界面、业务逻辑、空间数据引擎、数据库构成了空间数据库应用程序。

法的论述可以设计出兰州市活断层探测项目的数据整合框架图,包含了地震危险性分析与评价系统的任务、探测数据的选取和存储工具、空间数据建模工具(一维到三维的建模)。图2。

由以上关于兰州市活断层探测项目数据整合方

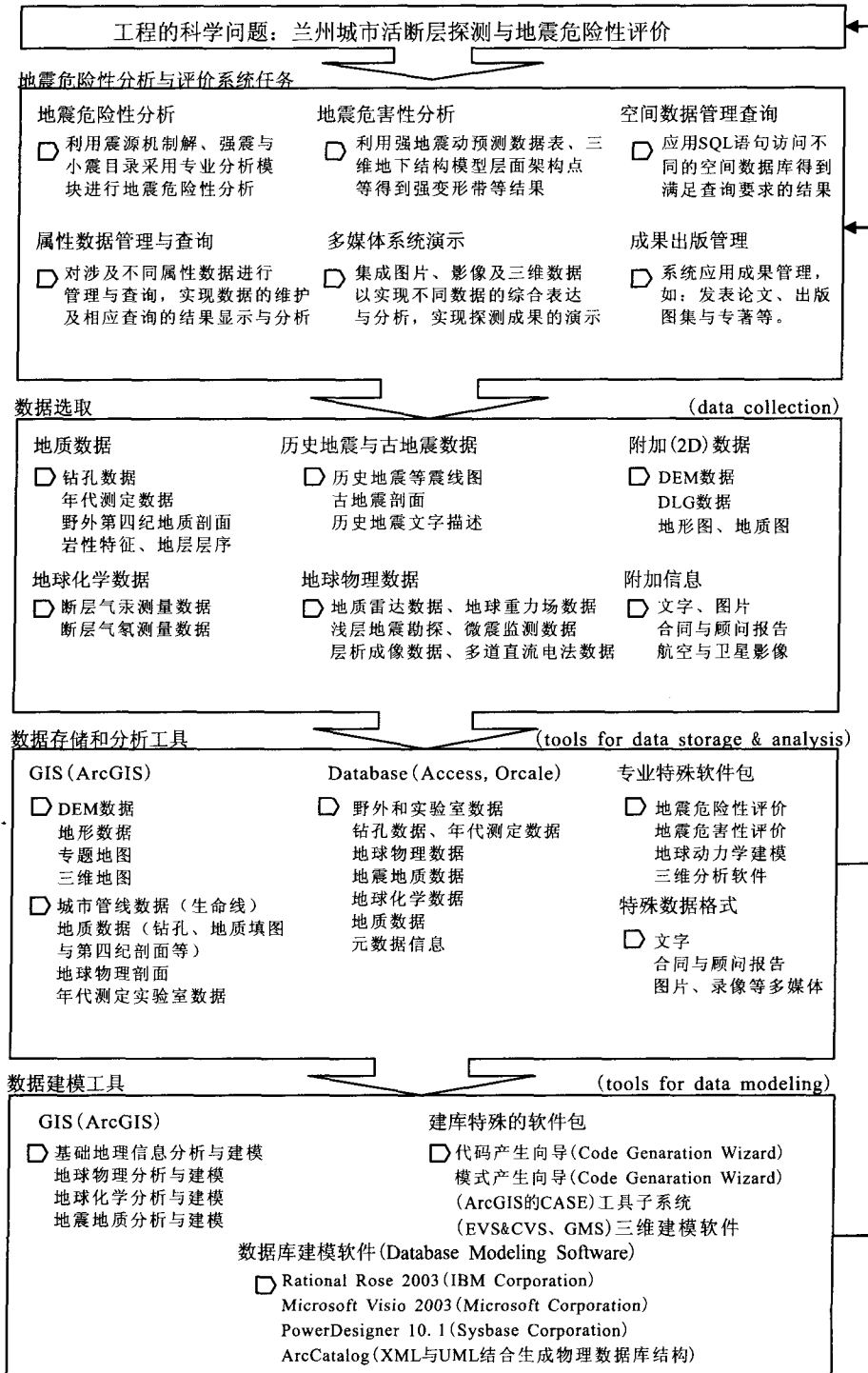


图2 主要数据存储的工具与方法流程图

Fig.2 Flow chart of main data storage tools and methods.

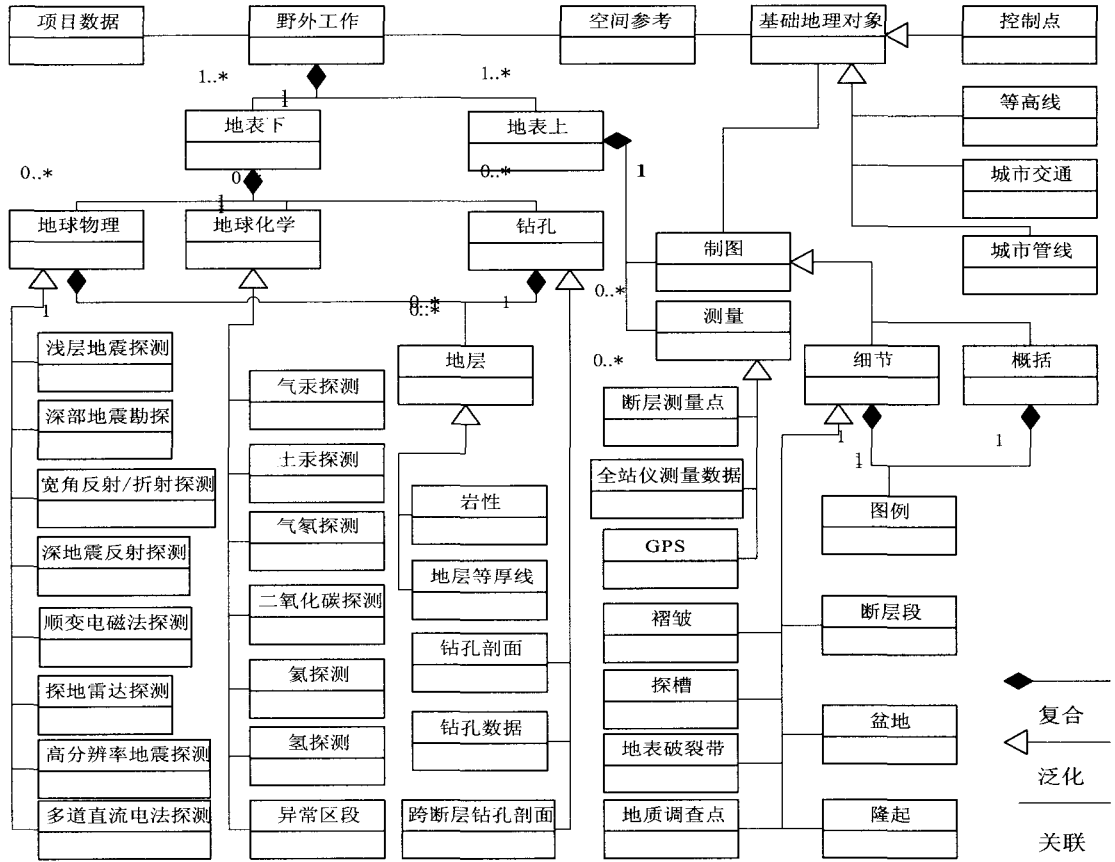


图 3 兰州市活断层探测项目简单面向对象数据模型

Fig. 3 Simple object oriented data model of Lanzhou active fault prospecting project.

图 3 是描述图 2 中关于项目数据整合架构的数据面向对象的数据组织结构图,是数据整合架构中的数据选取和数据存储两部分的定性描述,主要说明了兰州市活断层探测项目探测过程中将产生什么类型的数据,用怎样的手段组织数据存储结构。同时也体现了 MDA 中的 UML 方法的面向对象的思想。

因此,在兰州市活断层探测项目数据整合过程中,根据项目的要求和系统数据表达的要求可以建立以下几部分模块:

(1) 专业分析模块:综合各种探测数据实现地震危险性分析和地震危害性分析的模块。

(2) 钻孔数据组织模块:对钻孔的原始数据进行分析,建立地层层序;根据数据质量对钻孔数据进行取舍分析,并结合其它的探测手段建立研究地区地表的地质三维结构图,最终形成研究地区的地壳三维结构模型。

(3) 深地壳三维建模分析模块:使用层析成像的数据、深地震宽角反射/折射、高分辨折射探测等地球物理探测数据分析地壳深部结构并结合上地表

的地球化学、地震地质等约束信息建立符合区域特性的深部构造模型。应用国际上流行的三维建模软件制作出研究地区的深地壳结构的三维模型,如建立兰州盆地地质构造模型三维建模,其相应的软件有 Ctech evs&mvs^[26]、GMS^[27]、ArcHydro^[28-29]等。对于数据的获取可以认为是对深部地壳速度变化层在垂直方向上的波速连续变化的离散化研究,也可以认为是一种虚拟的钻孔数据以建立深部三维结构模型。

(4) 数据存储和查询模块:使用商业数据库 Oracle 10g 和 ArcSDE 建立起 Geodatabase 空间地学数据库,然后在此基础上实现探测数据存储和查询功能^[23]。而探测数据包括了空间数据和非空间数据。空间数据主要包含矢量数据和栅格数据;非空间数据则由大量的图片、文字包括非 GIS 平台下的设计图件等组成。图 4 显示了以钻孔数据查询为例的查询流程。

(5) 三维数据显示模块:主要在客户程序软件中开发出基于 ArcGIS Engine 控件库内的三维显示控件的三维数据浏览界面,而具体的数据可通过数

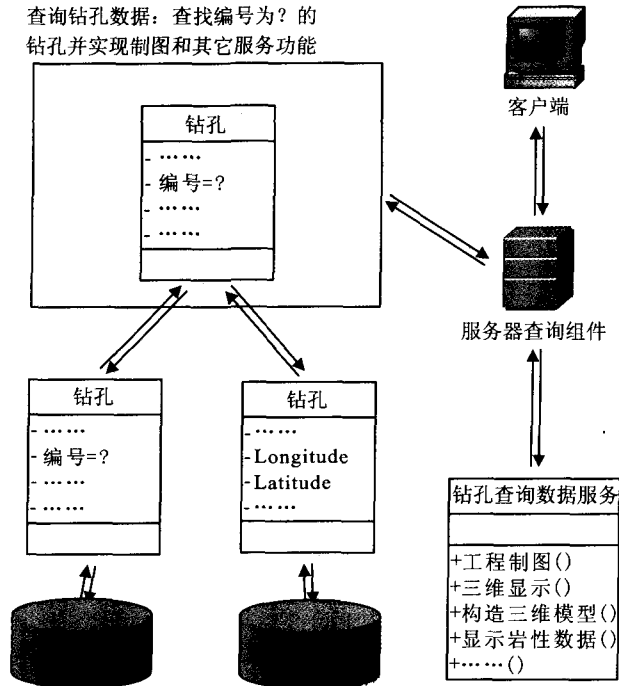


图4 数据整合查询

Fig. 4 Data integration query.

据加载接口连接 Geodatabase 数据库或者浏览 Shapefile、Coverage 的文件夹实现空间数据的三维浏览。

(6) 空间数据库模块:根据上面 Geodatabase 的描述,结合 Geodatabase 数据建模的方法实现兰州市活断层探测项目中数据库建库模块。

(7) 数据格式转换及加密模块:主要实现不同格式的数据转换以及数据加密功能。比如空间数据有 MapInfo 的 tab 格式转换为 ESRI 的 Shapefile 格式,属性数据如各个子项目的探测设计书由 Word 格式转换为 PDF 格式等。而数据加密主要是在数据库的数据录入过程中建立不同的文件浏览权限以实现数据加密功能。

(8) 数据库维护模块:主要实现数据库在日常运行中所产生的任何问题的处理和维维护功能,实现数据库系统的灾难性数据恢复功能;同时,在数据库更新方面实现不同探测项目的数据转入和转出

4 结论与讨论

本文以实现兰州市活断层探测项目信息管理系统各种主要功能任务为目的,通过对 MDA、UML、Geodatabase 的特性以及与兰州市活断层探测项目数据整合的关系进行研究和分析,并对项目所涉及的地震地质数据、地球物理数据、地球化学数据等进

行了数据选取、信息提取和数据模型的研究得到以下结论,并体现出《兰州市活断层探测与地震危险性评价》项目中数据整合方法、软件系统设计的先进性与结构的合理性:

(1) 实现基于 MDA、UML 和 Geodatabase 等几种计算机辅助软件技术的兰州市活断层探测项目数据整合框架。

(2) 详细描述兰州市活断层探测数据建模和数据库设计等计算机技术、软件工程方法和主要数据存储的工具与流程。

(3) 设计实现诸如专业分析模块、钻孔数据组织模块、深地壳三维建模分析模块、数据存储和查询模块、三维数据显示模块、数据库维护模块等专业数据管理和数据分析模块

【参考文献】

- [1] 袁道阳,王兰民,何文贵,等. 兰州市活断层探测新进展[J]. 地震地质,2008,(1):236-249.
- [2] 梁明剑,袁道阳,刘百篪,等. 兰州马街山北缘断裂地震潜势评估[J]. 西北地震学报,2008,(4):337-343.
- [3] 葛伟鹏,袁道阳,郭华. 对城市活断层探测项目中地震地质数据建模的探讨[J]. 西北地震学报,2006,(2):134-139.
- [4] Frankel D S. Model Driven Architecture: Applying MDA to Enterprise computing[M]. Canada: Wiley Publishing, Inc, 2003.
- [5] Unified Modeling Language? (UML®)[EB/OL]. 2006[3]. http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm#UML.
- [6] Meta - Object Facility (MOF®)[EB/OL]. 2006[3]. http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm#MOF.
- [7] XML Metadata Interchange (XMI®) 2.1[EB/OL]. 2006[4]. http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm#XMI.
- [8] Common Warehouse Metamodel (CWM®)[EB/OL]. 2006[3]. http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm#CWM.
- [9] Jishnu Mukerji, Joaquin Miller. omg/03-06-01 (MDA Guide V1.0.1)[EB/OL]. 2006[3]. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?omg/03-06-01>.
- [10] Hans - Erik Eriksson, Maguns Penker, Brian Lyons,等著,余安萍,等译. UML 2 Toolkit[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [11] MDA 入门必读——MDA 架构详细介绍[EB/OL], 2006[1]. <http://www.loveunix.net/viewarticle.php?id=23385>.
- [12] Jean B'ezivin, Olivier Gerb'e. New Trends In Applied Model Engineering[EB/OL], 2005[9]. http://www.sciences.univ-nantes.fr/info/lrsg/Recherche/mda/OFTA/new_trends.pdf.
- [13] Booth G, Rumbaugh J, Jacobson I. The unified modeling language user guide[M]. the United Kingdom: Addison Wesley Publisher,1999.

- [14] James Rumbaugh, Ivar Jacobson, Grady Booch. UML 参考手册 [M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [15] Shashi Shekhar, Sanjay Chawla 著. 谢昆青,等译. 空间数据库 [M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [16] ESRI 中国(北京)有限公司. 什么是 Geodatabase [EB/OL]. 2006 [4]. <http://www.esrichina-bj.cn/library/chinanews/new10/geodatabase.htm>.
- [17] 党安荣,贾海峰,易善楨,等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南 [M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [18] Robert West. Understanding ArcSDE [M]. The united states; ESRI Press,1999;13-55.
- [19] Mark Harris. Managing ArcSDE Services [M]. The united states; ESRI Press,1999;12-66.
- [20] 程昌秀,周成虎,陆锋. ArcInfo 8 中面向对象空间数据模型的应用 [J]. 地球信息科学,2002,(1):86-90.
- [21] 陈俊,宫鹏. 实用地理信息系统 - 成功地理信息系统的建设与管理 [M]. 北京:科学出版社,2001.
- [22] 中国地震局,中国地震活动断层探测技术系统技术规程 [S]. 北京:地震出版社,2005.
- [23] 赵村民,宋利好,赵晓民. 基于 Oracle 与 ArcSDE 的空间信息访问优化 [J]. 吉林大学学报(信息科学版),2004,22(5):283-288.
- [24] James R Groff, Paul N Weinberg. SQL 完全手册 [M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [25] Jochen Schmidta, Holger Ga rtnera, Andreas Bergmannb. Object-oriented modeling of data sources as a tool for the integration of heterogeneous geoscientific information [J]. Computers & Geosciences,2001,27:975-985.
- [26] EVS&MVS - 与 GIS 系统完美结合的地质三维可视化建模、分析系统 [EB/OL] 2005 [12]. <http://www.ncg.ac.cn/list.asp?unid=26>.
- [27] Ground Water Modeling System Detailed Description [EB/OL]. 2006 [3]. http://www.scisoftware.com/products/gms_details/gms_details.html.
- [28] Josh Metz Geography 176b January 28, 2003 ArcHydro: A geodatabase model for water resources [EB/OL]. 2006 [3] <http://www.crrw.utexas.edu/giswr/hydro/>.
- [29] Hydro Data Model Date [EB/OL]. 2005 [8]. <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&dmid=15>.