

## 基于 ArcGlobe 的水土流失三维查询分析系统

谈晓军, 兰建萍

(华中科技大学 水电与数字化工程学院, 武汉 430074)

**摘要:**在以往水土流失应用系统中,查询分析主要建立在二维地理信息系统的基础上。主要研究在三维数据模型基础上实现查询,利用层次细节水平(LOD)方法以及海量数据动态调度方法解决海量数据的提取、调度,以 ArcSDE 作为空间数据引擎来管理和高效访问空间数据,通过 GIS 组件实现三维数据的可视化。以此应用到湖北省水土保持综合查询系统中,结果表明系统能在三维模型基础上有效地对全省水土流失相关信息的查询统计。

**关键词:**水土流失;地理信息系统;层次细节;海量数据;三维查询

**中图分类号:**S157;P208

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)05-0131-04

## Three Dimensional Query and Analysis System of Soil Erosion Based on ArcGIS

TAN Xiao-jun, LAN Jian-ping

(College of Hydropower & Information Engineer, Huazhong University  
of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In traditional soil erosion system, query and analysis were based on two dimensional(2D) Geographic Information System (GIS). Query and analysis based on three dimensional(3D) data mode and data visualization were introduced. The key issues, levels of detail (LOD) method, huge data scheduling, ArcGis spatial database engine (ArcSDE) for data approaching, accessing and management were described and applied to the soil and water conservation query system of Hubei Province. The result showed that the system could meet the need of query and analysis of soil erosion information about the whole province.

**Key words:** soil erosion; GIS; levels of detail (LOD); huge data; three dimensional query

### 1 引言

地理信息系统(GIS)经过几十年的发展已深入到水土保持、水利建设、测绘、规划、土地管理、电力、通讯、公安、交通等诸多领域,并在其中发挥着越来越重大的作用。

目前, GIS 在国内水土流失监测方面有着广泛的应用,如黄河水土保持本底数据库系统,黄河流域淤地坝管理系统的投入使用,已经取得了巨大的效果和社会经济效益。在这些系统中都实现了数据信息的查询统计功能,查询统计在整个系统中起着窗口的作用,是用户了解整个数据库信息的一个通道。这种查询主要在二维 GIS 的基础上实现,数据量相对较少,在查询以及整个系统运行速度方面相对快些。不过这种基于抽象符号的二维 GIS 系统,不能给人以自然界的本原感受,仅局限于地球表面二维平面数据的表达及处理,即通过平面上的 X, Y 轴对研究对象进行定义,描述的是二维对象,通常没有考虑第三维信息,使得许多实际的问题不能很好的解决,更谈不上进行有效的三维空间查询和分析。

目前三维 GIS 还不是十分成熟,系统设计要解决以下问题:三维空间数据模型、数据结构与数据库设计;海量数据的存储与快速处理,组织调度<sup>[1]</sup>。本文从以上问题出发,采用了现有的 ArcGIS 系列软件、数据库等技术,研究与设计湖北省水土保持监测网络综合查询分析系统,实现了在三维数据可视化平台上,直观显示全省地形地貌,实现对全省水土

流失相关的各种空间专题数据,属性数据的查询统计分析,为宏观了解整体情况,进行科学规划提供一定依据。

### 2 数据模型与数据库的设计

#### 2.1 数据模型与组织

三维空间的可视化表达是三维场景中查询功能实现的前提,而三维空间数据的可视化以三维空间数据的表示方法为前提。湖北省水土保持监测系统面向全省整个区域范围,应用模型主要基于全省整体地形地貌,根据这种实际应用情况、不同的数据获取方式以及地学对象本身的形态出发,利用 1:25 万比例的数字高程模型(DEM)、数字正摄影像图(DOM)通过 ESRI 公司系列软件和相关技术来构建湖北省地形地貌,来控制全省对象空间的宏观分布,同时叠加包含 1:1 万, 1:5 万, 1:10 万的水土流失、土壤侵蚀等专题数据构建水土流失三维虚拟场景。

#### 2.2 数据库设计

湖北水土保持监测数据库由空间数据库和属性数据库 2 类数据库组成<sup>[2]</sup>。空间数据库的数据主要来源于不同时段,不同谱段的遥感图像,各种基础底图,环境专题图, GPS 的定位信息和地面高程模型,用于环境评价的地形图、专题图(土壤类型图、土地利用图)等。属性数据库的数据主要来

收稿日期:2006-08-31

基金项目:国家自然科学基金项目(50309013)

作者简介:谈晓军(1972-),男,博士,主要从事地理信息系统、空间数据库、三维仿真及虚拟现实研究。

源于社会经济、环境质量、土地类型、土地利用状况、相关的历史资料与土壤野外调查和室内分析数据及报表,要求数据尽可能地全面客观。本文在数据库设计上着重介绍水土保持数据库中水土流失数据库的组成情况。

### 2.2.1 水土流失空间数据库的构成

水土流失空间数据库包括:DEM 数据库,遥感影像数据库,土地利用数据库,基础地理数据库,水土流失专题数据库。其中基础地理数据库包括等高线图、水系图、行政区划图、地质图、坡度图、坡向图;水土流失专题数据库包括水土流失现状图、水土流失预报图、土壤侵蚀年限图。

### 2.2.2 水土流失属性性数据库的构成

水土流失属性数据库含:社会经济属性数据库,自然属性数据库,监测数据库,水土流失基础数据库。其中监测数据库包括水文站基本情况、监测点基本情况、径流小区基本情况、农地径流场基本信息、林地径流场信息、径流小区径流和泥沙监测结果、径流小区土壤含水率实测结果、雨量站逐日降水量、月降水量、年降水量、径流站逐日、月均、年均流量特征、水文泥沙情况、水土泥沙淤积情况、土壤侵蚀强度分级面积、山洪野外调查信息、河段洪峰流量、山洪泥石流灾害情况等数据;水土流失基础数据库包括侵蚀环境背景数据、区域水土流失调查数据(本底数据)、评价参数库、土壤侵蚀与水土保持知识库。

### 2.2.3 数据标准

为了保证系统的顺利运行,对于不同格式的数字化地图必须通过数据格式的转换,将其转换为 GeoDatabase 的数据格式。一般来说,其它非 Shape 格式的矢量数据都统一转换成 Shape 文件的格式,然后通过 ArcGIS 系列软件转化为 Geodatabase 数据存入关系型数据库中。对于栅格数据可直接通过 Arcsde 存入 Geodatabase 中。

统一的坐标系,由于各种地图需要进行空间叠加分析,因此,在校正研究区域各种地图时,必须采用统一的坐标系,本系统统一使用 GCS\_Beijing\_1954 坐标系。

统一投影变换,遥感处理软件有多种投影类型提供选择,具体选择何种投影,根据研究区地理位置、形状、面积等特征而定,本系统采用 Gauss-Kruger(高斯-克吕格)投影。

### 2.2.4 质量控制

数据质量是建立空间数据库成败之关键,数据质量控制是一项集管理和技术于一体的综合性工作。质量是产品属性,但质量是形成于产品生产过程中的,为生产高质量的数据产品,就必须使影响产品质量的全部因素,在生产全过程中始终处于受控状态。同时,质量的检查和评价是质量控制的重要依据。

湖北省水土流失空间数据库主要采用人工实物核对检查、人机交互检查作为质量控制的主要方法,在标准和规范的制定、原始资料的选取、数字化、图幅编辑和拼接、数据入库等阶段确定质量控制标准和评价方式。在数据库建立过程中,主要把位置精度、逻辑一致性、语义表示质量和完备性<sup>[3]</sup>等几方面作为检查目标,从而保证数据库的整体质量。

## 3 海量数据的快速处理与组织调度

水土保持监测数据库,具有数据量大,数据类型多样,多尺度,多分辨率的特点。要实现水土流失三维查询分析系统海量数据高效访问和无缝漫游,必须考虑到海量数据的提取以及动态调度策略等关键技术。

### 3.1 细节层次(LOD)方法

根据人眼在观察事物时的规律,视景体的范围有限,且对较远处的场景人眼能够获得的信息相对较少,而随着距离的拉近,对细节的观察越来越详细,因此对远近不同的场景可以采用不同的“粒度”进行描述<sup>[1]</sup>。采用不同的 LOD 来构造或近似地表示三维视景、对于局部分辨率依赖视点变化的地景模型,距视点不同距离的区域,细节层次水平可以不同,并随视点的移动作相应的变化;对于依据地表特征变化的模型,在突变与平缓处采用不同细节层次,这样就可以在没有视觉损失的前提下,加快大面积三维地形的显示速度。根据上述思想,场景的不同部分必须从多个 LOD 模型中获取,即近景或突变区域从高细节模型中获取,远景或平坦区取于低细节模型。这就要求算法必须将不同的模型块缝合到一起、使其连续且接合处没有接缝。

### 3.2 海量数据的动态调度策略

海量数据不可能一次性重外存读入进行处理,需要对海量数据进行分割,实行分块调度。建立基于地形数据自动分页和存储机制。每一帧场景的渲染数据对应计算机内存中的一个数据页。在动态渲染的过程中,随着视点移动,不断更新数据页中的数据块,达到浏览海量三维数据的目的。

同时考虑到从硬盘中读入的新数据会耗用一定时间,带来视觉上的“延迟”现象。为此建立前后台两个数据页缓冲区,并通过多线程技术实现两个缓冲区之间数据内容的交换<sup>[1]</sup>。假设地形数据块大小为  $5 \times 5$ ,视点始终位于数据页中点附近。如图 1 所示建立动态数据页的过程:视点向正北方向移动,视点距离超过某一阈值,开启线程更新后台数据缓冲区中的数据,将其最南边一行数据块删除,同时新加入最北边的一行数据。其它方向变化与此处理方式类似。在上述同一层数据,不同层数据之间切换漫游的两个过程中,每次仅仅显示数据页范围内的数据,而与原始数据的范围、大小无关,实现任意范围的地形景观模型的实时动态渲染。

## 4 设计与实现

### 4.1 开发工具及技术路线

系统在面向对象技术基础上,采用 ESRI 提供的基于 COM 技术的具有地理信息功能地图组件 ArcGis Engine(AE)和 ArcSDE 空间数据引擎<sup>[5]</sup>来完成本三维可视化平台的二次开发。采用此设计方式主要基于以下几方面考虑:利用 ESRI 公司产品成熟的技术,使系统具有更好的稳定性;采用二次开发可以脱离 GIS 平台,进行软件的独立安装发布,更具灵活实用性;应用 ESRI 提供的 ArcSDE 作为中间层的三层 C/S 结构设计,采用 Oracle 9i 作为 DBMS,解决空间数据与属性数据的统一管理,以 ArcSDE 作为空间数据引擎来管理和访问空间数据,实现数据高效存取和无缝访问<sup>[4]</sup>。系统平台应用 ArcSDE 和 Oracle 来集成管理空间数

据和属性数据, 前台 GIS 应用界面采用 ArcGis Engine 和 C# 编程实现, 利用 AE 提供的相关接口实现水土流失相关的土壤侵蚀强度, 植被覆盖, 面积量算, 坡度坡向等信息的查询分析<sup>[5]</sup>。

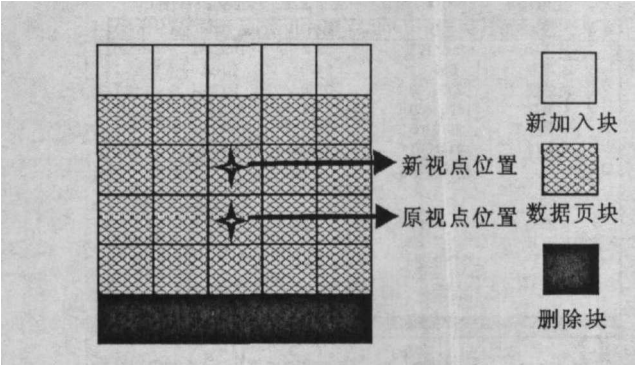


图 1 数据块动态调度示意图

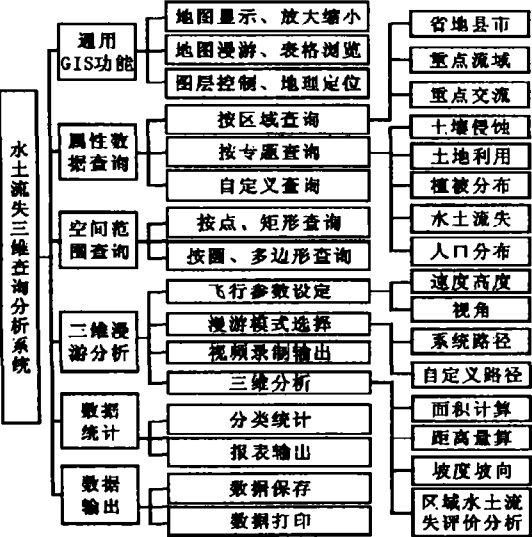


图 3 系统功能模块

4.3 系统实现及功能

基于以上结构设计开发湖北省水土流失三维查询分析系统, 其功能模块, 主要包括:

- (1)通用 GIS 功能。实现了丰富的视图操作功能, 如显示, 放大, 缩小, 全图, 刷新, 漫游, 数据浏览, 图层控制, 地理位置定位等功能。
- (2)属性查询功能。包括按行政区、重点流域的区域查询; 按水土保持专题数据专题查询; 根据要素属性进行选择、支持以数据库逻辑表达式为条件的逻辑查询、模糊查询、自定义方式查询。查询结果在图上高亮显示, 实现由属性到图形的查询。
- (3)空间范围查询, 包括按点、矩形、圆形、自定义多边形区域查询, 结果显示点选或框定范围内的属性信息, 实现由图到属性的查询。同时支持以几何对象的空间位置关系查询, 以及根据几何对象空间关系与指定的属性条件查询。
- (4)三维漫游分析功能。该功能模块包括三维漫游以及三维分析两大模块。三维漫游可以按系统路径漫游也可以

4.2 系统结构

根据以上技术路线, 系统采用 Client/Server 三层结构设计, 结构如图 2 所示。

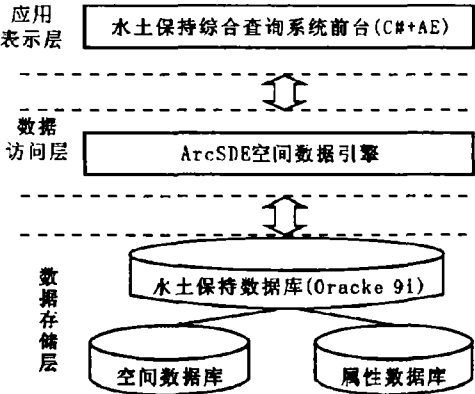


图 2 系统结构图

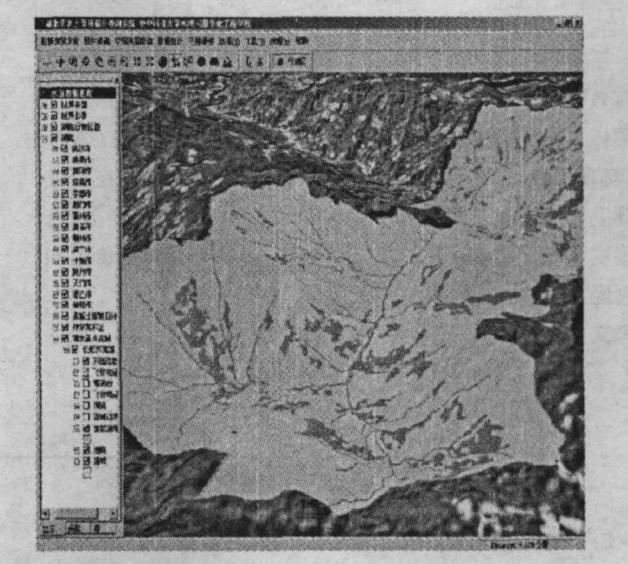


图 4 系统运行界面(湖北长阳水土流失)

自定义漫游路径, 同时可以设定飞行漫游速度、高度、视角, 并可以进行视频录制输出; 三维分析提供面积, 空间距离计算, 坡度坡向分析, 区域水土流失评价分析功能。

(5)数据统计功能。实现按专题要素属性分类统计, 结果以表格, 饼状柱状统计图显示。

(6)数据输出功能。对以上查询、统计、视频录制结果进行保存输出, 并提供文档、视图打印输出功能。系统功能模块如图 3 所示。

4.4 系统运行情况

系统实现了显示多分辨率影像和地表数据, 通过缓存机制(Caching Mechanism)支持海量地理数据的交互式 3D 显示, 支持连续的无缝层次细节水平(LOD)。用户通过其可以实现大三维数据进行可视化和分析, 并且速度非常快, 能非常快地从整个地球的视图“钻”到一个高分辨率的近距离的视图, 查询分析相关区域的水土流失相关的属性信息, 所开发的系统运行界面如图 4 所示, 查询结果为湖北省长阳东流河流域水土流失状况。图中流域水土流失现状按灰度由浅

到深 6 种,分别表示土壤的微度、轻度、中度、强度、极强度、剧烈 6 种土壤侵蚀等级。图 5、图 6 分别以区域检索查询以

及按点击位置所在区域信息查询,实现了所在区域总面积、各不同侵蚀强度的面积,所占百分比等信息的统计计算。

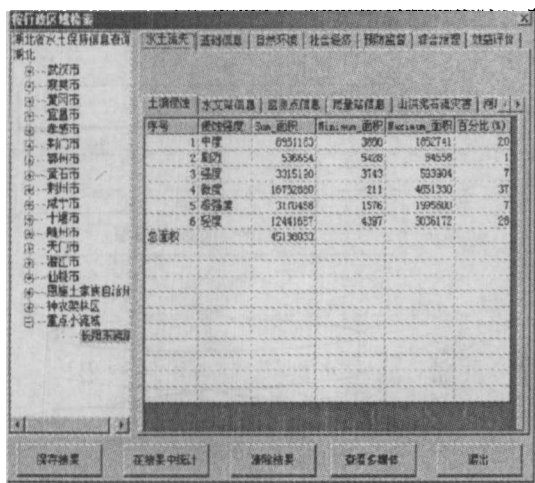


图 5 按区域检索查询



图 6 点击查询所在行政区信息

## 5 结 语

系统运行测试表明,采用 ArcSDE 作为空间数据引擎可以有效管理空间数据,在用户平台与数据库之间构成 C/S 三层体系结构,以及选用 ESRI 公司合适的组件进行二次开发,实现了高效访问海量数据和三维场景的可视化,在三维基础上实现了水土保持相关信息的高效查询、统计与分析,准确度和精度都满足用户需求,具有重要的工程实用价值和社会经济意义。

### 参考文献:

[1] 李清泉,基于混合数据结构的三维 GIS 数据模型与空

间分析研究[D]. 武汉:武汉测绘科技大学,1998.

- [2] West R. Building a Geodatabase[M]. California, Redlands; Esri Press, 2001.
- [3] 周江红. 小流域水土流失综合治理现代化管理模式的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2004.
- [4] West R. Under standing ArcSDE[M]. California, Redlands; Esri Press, 2001.
- [5] 汪西林. 可视化技术在城市水土流失调查中的应用[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 182--185.

(上接第 88 页)

不同造林方式下幼苗无补充灌水条件苗木蒸腾量和生长量变化情况分析计算见图 3。出现正值说明其重量变化主要是来自花盆内土壤水分蒸发所带来的差值,出现负值说明其水分能够供给为苗木生长蒸腾所需水分。

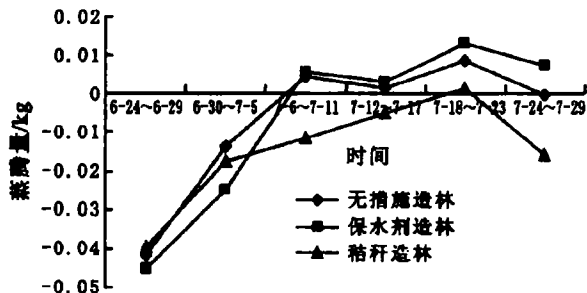


图 3 模拟苗木栽植生长蒸腾所需水分变化规律

由图 3 幼苗盆栽模拟试验分析更说明了,秸秆造林的保水和供水效果均较好,而且在持续 36 d 干旱情况下仍能保持苗木生长供水(据本次试验观察,最后秸秆造林出现萎蔫时间为 8 月 5 日左右),说明秸秆造林较无措施造林萎蔫期滞后 10 d 左右,保水剂造林萎蔫较无措施造林滞后 5 d 左右。

## 4 结 论

从以上分析可以看出,秸秆造林和保水剂造林措施是无措施造林条件下促进苗木生长和水分持续供给能力的 7.31 倍和 3.66 倍,且萎蔫期分别较无措施造林推迟 5~10 d,建议在干旱半干旱区土石山区造林采取秸秆和保水剂造林,同时,秸秆造林在增加土壤有机质和改善土壤理化性质,具有更好的促进苗木生长的作用。