

文章编号: 1008—2786(2000)01—0063—06

# 三峡坝区边坡构造专题 GIS 的研制

袁艳斌, 姜龚晖

(中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

**提 要:** 三峡坝区边坡构造的研究是三峡坝区工程顺利施工的重要依据。通过对坝区边坡构造空间数据现状、结构和流向以及构造信息处理专题等系统目标的分析, 对处理专题中坐标变换、坐标投影、图形接边等主要功能的实现算法进行研究, 在工具型 ArcView GIS 基础软件平台上, 采用面向对象的编程技术, 实现了三峡坝区构造信息专题 GIS 的开发。系统已在坝区工程勘察现场广泛应用。

**关键词:** 三峡坝区; 边坡构造; GIS; 信息处理; 系统开发

**中图分类号:** P628.4

**文献标识码:** A

在三峡坝区工程地质的勘察与施工过程中, 边坡岩体自身和岩块的稳定状况直接关系到整个三峡工程建设的顺利进行。边坡岩体中断裂、裂隙等构造发育规律及岩脉发育特点、岩体特性等因素是影响边坡岩体稳定性的基础。研究中涉及大量的边坡、马道、平硐等构造编录图以及录象、照片等空间图形数据和海量属性数据。如何将边坡构造研究中这些多源、多量、多类、多维、多主题即“五多”特点<sup>[1]</sup>的数据管理起来, 并能快速对这些数据进行综合分析, 同时将勘察及分析成果以直观的图形来表达? 是进一步认识三峡坝区构造发育情况、断裂和节理密集、岩体塌陷区等对工程选址及施工有重大影响的地质现象的重要手段; 从而快速准确预测边坡构造实体的空间发展变化趋势, 预防边坡岩体滑坡、崩塌等工程地质灾害, 指导坝区施工设计及施工技术。

## 1 系统目标分析

### 1.1 数据现状、结构和流向分析

三峡坝区边坡构造数据不仅涉及到与空间位置有关的带有复杂拓扑关系和图形数据, 还包括那些与所研究对象有关的属性数据和图像资料。这些数据主要有平硐、边坡、马道编录图、录象(照片)目录等图片资料及其相关的属性数据<sup>[2]</sup>。其中, 边坡、马道、平硐编录图等都属于空间数据, 所占比例最大; 数值型数据是与空间图形数据相关的特征几何数据, 如裂隙的倾向、倾角、长度等, 是进行空间分析的基础; 字符型数据在地质构造实体的属性数据中所占比例较大, 主要是对地制裁构造实体某方面特征进行描述的数据, 如岩性、裂隙充填物等; 日期型数据所占比例较小, 主要用来记录地质构造实体记录编绘的时间, 如编录图编绘的日期等。

上述数据从系统管理和处理方式上分为两大类: 空间数据和属性数据。空间数据是按照空间实体以矢量数据结构和栅格数据结构进行存贮管理的<sup>[3]</sup>, 一个空间对象就是个实体其中, 边坡编录数据直接以矢量进行存放, 具有占用存贮空间小、易于空间管理查询等特点, 本系统研究的对主要是矢量结构的空数据, 按照空间的存储和处理器, 得出坝区边坡构造空实体的抽象模型<sup>[4]</sup>(如图 1 所示); 有关三峡坝区边坡构造的录象(照片)、素描等资料则多以栅格数据结构方式存贮管理, 利用扫描仪输入系

收稿日期: 1999—06—23; 改回日期: 1999—09—07

基金项目: 由吴冲龙教授主持的长江水利委员会项目“三峡坝区工程地质信息系统”和国土资源部矿产定量预测与勘查评价实验室基金课题“基于 GIS 的三峡库区地矿多维空间信息一体化管理技术”资助

作者简介: 袁艳斌(1970—), 男(土家族), 湖北恩施人, 讲师, 现攻读在职博士学位, 主要从事数学地质、地理信息系统和地矿信息计算机处理方面的研究

统。属性数据主要是字符型、数值型、日期型数据经过规范化和标准化处理,按二维关系表格的方式存贮在计算机中<sup>[2]</sup>,包括岩体结构、岩性、断裂宽度等存贮在相应的岩体结构库、岩性库、断裂库表格中。空间数据与其相关的属性数据之间通过系统内部标识码(建立机内码或给定 TAG 关键字)进行连接。

通过对三峡坝区边坡构造数据的流向、加工、文件、源点和终点的详细分析,<sup>[2]</sup>可以得出数据操作的逻辑模型及数据流向图(图 2)。

1.2 处理专题分析

三峡坝区边坡构造信息主要涉及的处理专题包括:数据采集、数据处理、分析计算以及与绘图、数据库软件的数据接口等<sup>[2]</sup>。数据采集是包括已有数据的入库和采集新数据。对于老数据(如编录图等)采用数字化和扫描录入方式,以满足不同质量成果图的数据转化要求,采集是按照点、线、面分层管理,建立拓扑关系,同时建立图形数据与属性数据的关系;而采集新数据,是利用系统的工程勘查作业现场实时进行空间和属性数据的一体化录入。

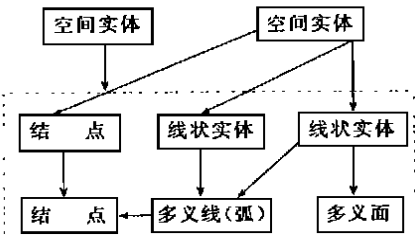


图 1 地质实体抽象数据模型

Fig. 1 Model of abstract data about geological entity

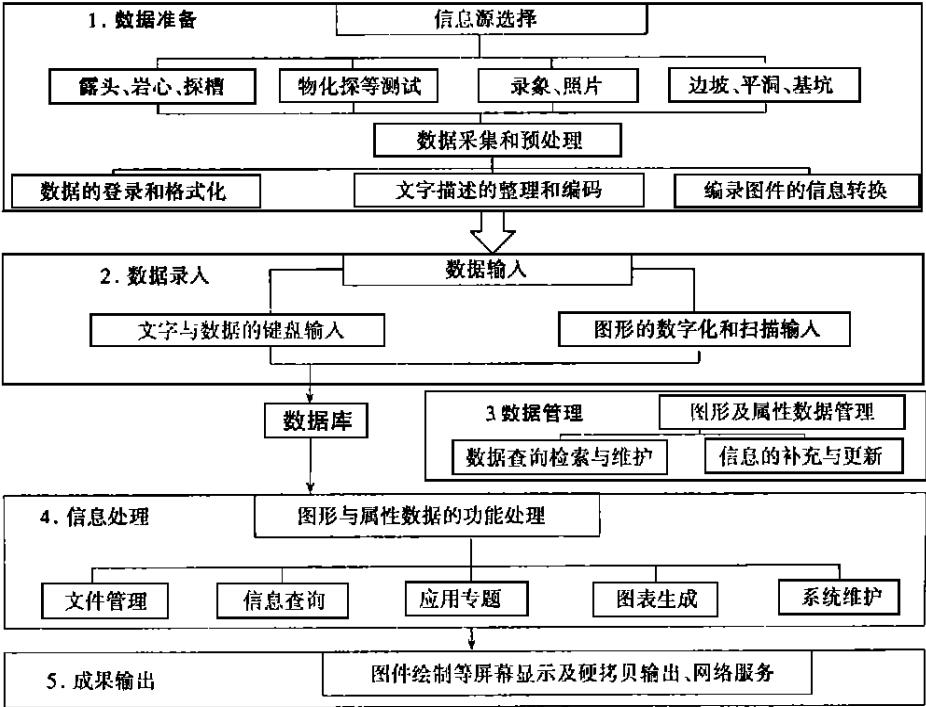


图 2 三峡坝区边坡构造信息流向图

Fig. 2 Flow diagram showing the activities of structure information in the Three-Gorges Dam slope

数据处理主要是对已经录入的各类边坡构造数据进行查询、分析,包括多种方式的统计查询、坐标转换、投影变换、裂隙连接等。由于三峡坝区工程地质工作先后使用了大坝、蛇山、北京、永久船闸、临时船闸五套坐标系,所以图件的拼接和利用十分困难,需要将其转换为统一的坐标系统才能进行工程地质分析处理。投影变换是将边坡或基坑的编录图向水平面或斜坡面(含直立立面)上投影,生成另一幅

图供工程地质分析使用。边坡构造的编录均是分幅进行的, 因此不可避免会产生图形拼接问题。

分析计算主要包括各种构造信息的统计分析, 如节理玫瑰花图等。与数据库、绘图软件数据接口则是指与 DBS、CAD 和不同 GIS 软件的数据接口, 以及系统与三维构造模拟软件、边坡块体分析预报软件的数据传输等。

2 系统实现

系统实现是在系统目标分析的基础上, 针对具体的软硬件平台完成系统计算机模型的建立、编程与调试、子系统组装等。软件编制是应用系统开发的主体。根据系统总目标及具体任务科学地分解归类, 进行面向对明编程<sup>[4]</sup>, 是系统软件开发的有效途径。下面是坝区边坡构造信息处理主要功能模块的实现(图 3)。

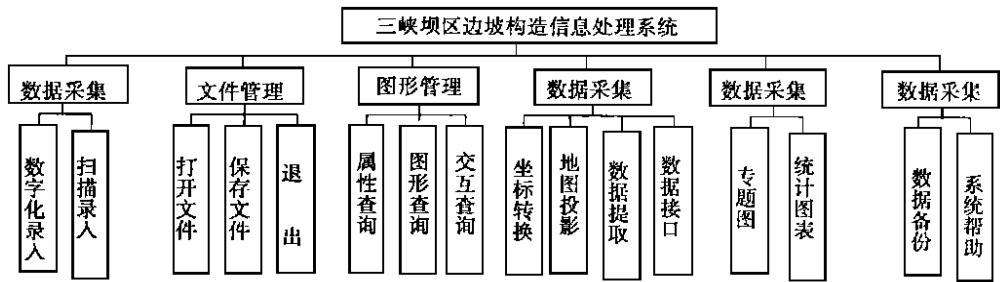


图 3 山峡坝区边坡构造信息处理系统功能结构图

Fig. 3 Structure of construction information processing system for the Three-Gorges Dam slop

2.1 坐标转换

坐标变换包括编录图平面坐标与空间坐标的相互转换、不同空间坐标系间的变换与统一等。主要涉及边坡、马道编录图坐标变换和洞室坐标变换。

1. 边坡、马道编录图坐标变换

三峡坝区边坡构造编录图是一个具有相对位置坐标的边坡面平面图, 控制每一幅平面图的控制点(控制边坡面的起伏变化)具有真实的三维空间坐标。根据空间三点可以确定一个空间平面的原理, 依据边坡控制点将边坡面划分为不等的三角形, 并根据制点坐标确定每个小的空间面。编录图平面坐标与空间坐标的相互转换则是根据控制点坐标恢复边坡编录图形的三维空间坐标(图 4)。转换公式为

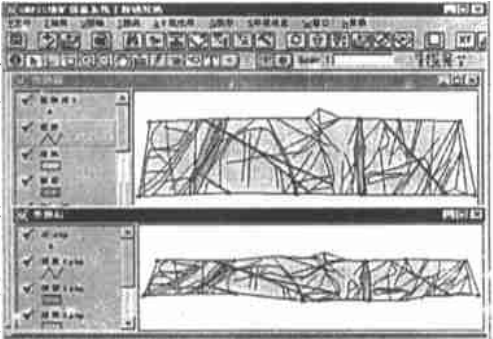


图 4 边坡构造编录图坐标变换

Fig. 4 An example of coordinate transformation

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_1 & \sin\theta_1 & 0 \\ 0 & -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中  $\theta_1$  为由控制点所计算出来的空间平面与水平面夹角(倾角);  $\theta_2$  为控制点计算出来的空间平面与正北方向的夹角(走向)。

2. 洞室坐标变换

洞室顶及左右墙的编录图数据则是用洞口坐标及洞室的参数(桩号、方向、底板、坡角、洞宽、洞高

等)确定空间位置。采用如下的转换公式

$$[x^* y^* z^* 1] = [x y z 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos d_3 & 0 & -\sin d_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin d_3 & 0 & \cos d_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos d_2 & 0 & \sin d_2 & 0 \\ -\sin d_2 & 0 & \cos d_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中  $\theta_1$ —硐室壁与水平面夹角( $90^\circ$ );  $d_2$ —硐室走向与所在坐标系  $X$  轴的夹角;  $d_3$ —硐室底板坡角。

硐室顶的坐标转换相对来说较变简单。其坐标变换公式如下:

$$[x^* y^* z^* 1] = [x y z 1] \begin{bmatrix} \cos d_2 & \sin d_2 & 0 & 0 \\ -\sin d_2 & \cos d_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中  $d_2$ —硐室走向与所在坐标系  $X$  轴的夹角。

图 4 是永久船闸边坡平面坐标转换为永久船闸坐标系统的图形坐标变换。

2.2 投影变换

三峡南区边坡构造的投影变换包括平行投影和透视投影两种,这里用到的投影主要是平行投影中的正平行投影。将边坡编录图向水平面投影时比较容易,即是把空间  $XY$  坐标系下的形体投影到平面,将三维的图形变成二维平面图形;如果投影平面并不平行于坐标平面,则可按两种方法投影:

1. 是将坐标平面旋转变换到投影平机平行的位置,那么斜面投影可以看成是向坐标平面的投影,得出投影公式如下

$$[x^* y^* z^* 1] = [x y z 1] \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 9 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中  $\theta_1$  为边坡走向与从标系  $X$  轴的夹角;  $\theta_1$  为边坡斜面与水平面间的夹角。

2. 是利用矩阵方程求解: 设  $(x, y, z)$  是空间中的一点,过该点作投影平面的法线,则可得到交点  $(x, y, z)$  公式

$$A \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

再将该投影平面旋转到水平面位置,即可得到投影后的图形。投影平面与  $z=0$  的  $XY$  坐标面的转换为:

$$B \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^* \\ y_1^* \\ z_1^* \end{bmatrix} \quad (6) \quad B^{-1} \begin{bmatrix} x_1^* \\ y_1^* \\ z_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

这一模块的开发,很好地解决了这一难题,不但能使用户迅速地获得各种投影数据,还可以可视化方式显示或绘制出投影图件,如图 5。

2.3 图形接边

图形接边处理流程<sup>[9]</sup>(见图 6)。

系统设计了自动化与人机交互式两种接边处理方式。人工交互式接边是由用户选定要连接的图

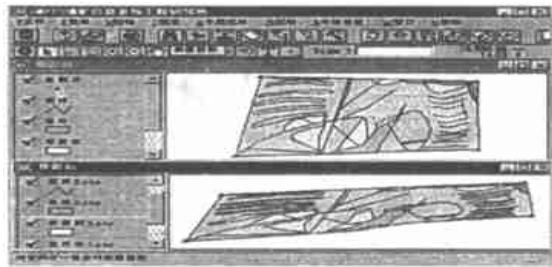


图 5 边坡编录图投影变换

Fig. 5 An example of projection transformation

形,再由计算机进行接边处理(图 7)。自动化接边则是由计算机对所需连接的所有图形的相对空间位置及所带属性进行加权计算,再选择权值最大的进行连接,如裂隙接边参数有位置、倾向、倾角等,可以由计算机自动计算机接边范围内图形与要连接的图形间的接边权值,从中选取最大的图形与之连接。权值计算公式如下

$$\rho = 1/d * t_1 + \theta_1 * t_2 + \theta_2 * t_3$$

式中  $\rho$  为连接的两个图形要素间的权值;  $d$  为两个图形要素间的距离;  $\theta_1$  为接边要素的走向间的夹角;  $\theta_2$  是接边要素倾向大小之差;  $t_1$  为距离参数的权;  $t_2$  为走向参数的权;  $t_3$  为倾角参数的权。

所有模块的开发均采用面向对象的软件编程技术,在工具型 GIS 软件 Arc View 的基础平台上进行二次开发实现<sup>[9]</sup>,数据与操作被隐含在“黑匣子”中,对象模型的定义与方法的接口与具体的实现细节相分离,因而对象中数据结构或算法(实现代码)的变化主要影响到对象内部,只通过有限的对外接口(消息连接和继承)对外部发生影响,有效地限制了一处修改处处牵连的“波动效应”<sup>[7]</sup>,这对后期系统的测试优化和维护提供了方便,提高了系统的开发效率。

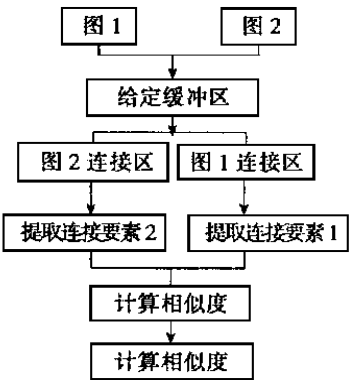


图 6 图幅自动接边处理流程

Fig. 6 Processing flow for automatic figure bordering



a. 接边前的图形(Figure before bordering)



b. 处理后的图形(Figure after processing)

图 7 图形接边处理

Fig. 7 An example of automatic figure bordering processing

### 3 结 论

按照系统工程和软件工程的思想,在对三峡坝区边坡工程进行充分的用户调查的前提下,从数据间的相关性和服务流向,得出基于边坡构造逻辑对象数据模型,明确了信息处理专题开发目标<sup>[8]</sup>。利用

GIS 综合管理多源地学信息的特点, 选用带有较强二次开发功能的 Arc View GIS 软件作为基础平台, 结合有关构造信息处理的算法研究, 最后我们开发出面向用户、开放式的三峡坝区构造信息处理系统<sup>[9]</sup>, 大大提高了各种边坡构造数据的一体化采集效率、统一编辑和信息提取及信息分析处理能力。系统已在三峡工程勘察施工现场得到广泛应用。

#### 参考文献:

- [1] 吴冲龙. 地质矿产点源信息系统的开发应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(2): 193~198
- [2] 吴冲龙, 汪新庆, 刘刚, 等. 地质矿产点源信息系统设计原理与应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 1~34
- [3] 李德仁, 龚健雅, 边馥蓉. GIS 的数据组织与处理方法[J]. 测绘通报, 1994(1): 28~37
- [4] 殷人昆, 田金兰, 马晓勤. 实用面向对象的软件工程学教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 6~52
- [5] 童小华, 华慧, 杨光等. 面向对象数字化和数据处理[J]. 测绘通报, 1998(5): 33~35
- [6] Environmental systems research institute, Incorporation. Avenue Customization and application development for ArcView[M]. Printed in New York the United States of America. 1996
- [7] 邵维忠, 杨芙清. 面向对象的系统分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 1~41
- [8] 马智民, 俞全宏, 姜作勤. 应用地理信息系统设计与实现[M]. 西安: 西安地图出版社, 1996. 49~50
- [9] 黄裕鑫, 陈常松, 何建邦. 开放式地理信息系统及其相关技术[J]. 计算机技术, 1997(1): 32~38

## STUDY OF CONSTRUCTION INFORMATION SPECIAL GIS OF THERE GORGES DAM SLOP

YUAN Yan-bin, JIANG Gong-hui

(College of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

**Abstract:** The study on slop construction is important to the Three Gorges Dam Project construction. The calculating methods to realize the function of coordinate transformation, projection alternation and figure bordering have been studied. The study is based on the analysis of the system objectives such as slop construction's data condition, structure, flowing and special application of construction information processing. With the adoption of object-oriented techniques, the construction information special GIS of the Three Gorges Dam has been developed based on the tool-type ArcView GIS software platform. This system has been widely used on the Three Gorges Dam engineering prospecting.

**Key Words:** The Three Gorges Dam, slop construction, information processing, system development, engineering geology