

影像地质编录成果的三维可视化及查询分析方法

李 浩 张雅楠 杨 彪 杜丽丽 王正培

(河海大学土木工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :在研究及开发影像地质编录信息系统的基础上 ,基于数字地质编录成果 ,应用 VC++ 和 OpenGL 技术 ,探讨了数字地质编录成果的三维可视化和查询分析方法 ,并以水电工程地质编录信息需求为例 ,给出了实现方法 .结果表明 ,该方法对常见岩体工程建模及其地质编录成果三维可视化分析 ,不仅具有表面纹理映射灵活、场景渲染效果逼真的特点 ,而且具有同数据库连接方便、与模型对象交互功能强、支持三维空间分析等优点 ,并可实现岩体工程建模的自动化 .

关键词 :地质编录 ;影像地质编录信息系统 ;三维建模 ;查询分析 ;OpenGL

中图分类号 :P62 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2007)06-0668-05

工程地质编录是水电、交通、采矿等工程建设中极其重要的技术环节 ,其成果为工程设计、岩体稳定性分析、工程加固防护等多方面服务 .传统的“皮尺+素描”的作业模式受施工干扰大 ,安全性差 ,编录精度低 ,信息反馈慢 ,也不易于进行编录成果的查询和分析 .随着现代化施工和信息化管理技术的发展 ,工程要求专业技术人员对现场状况做出快速响应 ,协同设计和施工等 ,确保工程建设和运行的安全及效益 .因此 ,探讨快速、高效、准确且便于成果管理和分析应用的地质编录方法 ,成为该领域亟待研究解决的技术课题之一^[1-2] .

1 影像地质编录及其成果的二维查询

影像地质编录是近年来备受关注的新的地质编录技术 .影像地质编录信息系统以工程地质学和摄影测量学理论为基础 ,以数字近景摄影测量、数字图像处理和地理信息技术等为手段 ,以工程地质编录数据的采集、处理、管理、分析和输出为基本功能 .系统通过对现场拍摄的数字影像进行处理 ,能够快速、准确地提取工程地质编录信息 ,并实现对编录成果的有效管理与查询 .笔者前期研究开发的基于普通数码相机的影像地质编录信息系统 ,实现了信息获取、处理、管理、应用的一体化 ,提高了工程地质编录的自动化程度和信息化管理水平 ,降低了地质工作人员的劳动强度 ,保证了编录成果的完整性 ,并实现了对编录成果的几何精度控制^[2-4] .图 1 为影像数字地质编录的工作原理及流程^[5] .

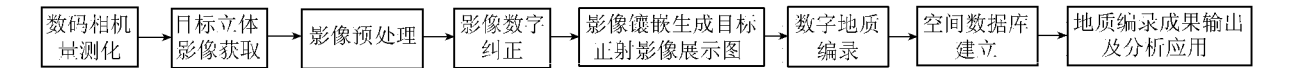


图 1 影像数字地质编录的原理及流程

Fig. 1 Principle and flow chart of image geological logging

工程地质编录对象有边坡、硐室和基坑等 .传统素描方法编录的成果通常只有编录图件 ,而基于影像的数字编录成果则丰富得多 ,包括目标的原始影像、正射影像、展示影像、各种编录图件、属性数据等 .然而迄今为止 ,即使是对数字编录成果的表达及查询 ,也仍局限于二维的方法 .即用户在二维表示的地质编录成果图中 ,通过选择某一矢量元素或制定查询条件的方法 ,对编录成果中结构特征的空间位置、属性信息和影像数据等进行查询 .

显然 ,仅利用二维矢量图和影像 ,仍不足以表达各类开挖体的三维形态和复杂的地层结构 .为了直观地表达边坡、硐室等的工程形态、地质构造特征以及构造要素的空间关系 ,重现工程开挖体诸要素的空间结构 ,实现对地质编录成果的三维查询及分析 ,本文使用 Windows 环境下的面向对象设计分析技术 ,结合数据库技

术和 OpenGL 图形开发环境,探讨对常见岩体工程的自动建模、数字地质编录成果的三维可视化查询分析的基本原理和实现方法。

2 边坡三维可视化及编录成果查询

影像地质编录中,边坡原始影像的外方位可以采用物方控制或像方控制。原始影像经过构像畸变差校正、影像投影纠正、影像镶嵌等处理,即可生成坡面展示影像图。然后,依据展示影像图完成数字地质编录。数字地质编录中设置工程坐标系为空间基准,每一条编录的结构特征都对应空间坐标数据。坡面展示影像则对应空间边界数据。结构线特征经过产状计算也都获得了所在结构面的方程,并保存在对应的属性数据表中。影像地质编录系统还可以自动完成工程坐标系到大地坐标系的坐标转换。因此,基于影像的数字地质编录为实现模型三维可视化提供了所需的方位数据和各类纹理素材。

2.1 边坡建模及纹理映射

工程中边坡开挖面大多设计为局部平面,也就是分桩段处理的坡面大多是一个或几个平面^[6]。当然,边坡也有少量是规则曲面甚至不规则形态。对不规则边坡,应采用数字高程模型技术建模。对规则曲面边坡,考虑到编录要求和现行方法,建模时宜将其视为可展曲面并在展开方法上作适当近似。这里只讨论最常用的平面坡处理方法,其他方法将另文阐述。

首先,在编录数据库中获取坡面的空间边界数据,确定坡面模型的空间方位。因为 OpenGL 有其独立的绘图坐标系,而编录数据都是相对工程坐标系或大地坐标系的,故需要经一定的数据转换才能满足使用要求^[7]。然后,利用 OpenGL 的绘图命令对边坡进行矩形格网或三角网建模。最后,进行坡面纹理映射。

纹理映射的过程即是纹理坐标和空间绘图坐标一一对应的过程。绘图坐标决定顶点在屏幕上的投影位置,而纹理坐标决定纹理图像中像元与该顶点的联系。真实纹理一般来源于位图形式的影像,在数字地质编录中,坡面纹理主要来源于坡面展示影像图。通过 OpenGL 指定纹理坐标函数,就可将展示影像纹理绑定到坡面上。

2.2 边坡编录信息映射

影像数字地质编录所得最主要的成果是结构特征的空间方位和属性信息,这些数据都保存在数据库中。若将编录信息显示在坡面模型上,首先可以在 VC++ 中利用 ADO 技术读取数据库中结构特征的空间坐标和属性信息,然后通过调用 OpenGL 绘图函数对地质编录成果中的点、线、面等图形进行绘制,最后在坡面上实现显示(可参见图 2)。

此处利用 ADO 作为数据存取接口,不仅使用方便,访问数据源快,而且占用内存少,能够提高地质编录的可视化效率。

2.3 边坡编录成果三维查询

当前 GIS 查询功能主要集中在二维。与二维查询不同的是,三维空间数据组织引入了实体模型概念,三维查询是对三维实体的拾取查询^[8]。

屏幕上绘制的物体经历了多次的投影变换,这使得在三维环境下选对象有一定难度。目前的三维空间对象查询技术,在实现方法、搜寻范围和捕捉精度等方面仍有较大差异。为了精确获取空间对象的信息,编录成果三维查询应该应用 OpenGL 提供的选择与反馈机制。具体方法是,当把编录信息绘制在坡面表面时,利用 OpenGL 的名字堆栈函数 `glLoadName()` 将每一条编录信息都赋予唯一的 ID,每一个 ID 都连接着数据库里对应的空间位置和属性信息。在选择模式下,通过鼠标在窗口的三维模型上点击结构特征上的任意一点,由拾取功能确定结构线特征的 ID,据此获得此实体所对应的属性数据库类型。然后,通过 ADO 连接数据源,构造并执行相应的 SQL 查询语句,从数据库中取得所选实体对象的属性记录,将对应的信息反馈给应用程序处理并显示。

因为需对地质编录的工程场景进行全方位的观察,故浏览时宜采取目标固定而视点运动的方式,实时更新视点位置、视线方向和透视变换矩阵,通过 OpenGL 的 `gluLookAt()` 函数达到全方位漫游,从而实现在边坡三维虚拟环境下对编录成果的浏览和查询。

查询的编录信息通常包括结构特征的图形线名、样式名、一级标识码等属性信息,也可包括结构线的空间位置和结构面的产状信息等。图 2 为选中一条结构线后的信息框示例。

3 硐室三维可视化及编录成果查询

影像数字地质编录中,硐室影像的外方位元素采用像方控制,即使用专门的摄影编录仪,使拍摄的数码

影像具有确切的空间方位,获取的硐室工程各个施工阶段的原始影像同样经过畸变差校正、影像纠正、影像镶嵌等处理,生成硐室正射展示影像图,并依据展示影像图进行数字地质编录,最后将各种编录成果保存入库。

3.1 硐室建模及纹理映射

硐室建模首先须考虑的是硐室形态,各类工程中硐室形态主要有圆形、矩形、城门形、马蹄形和不对称形等,其中,城门形又可分为单拱城门形、三拱城门形,马蹄形又可分为平底马蹄形和弧底马蹄形等。硐室按硐轴倾角还可区分为平硐、斜硐和竖井等。水电工程的地下厂房则是更复杂的一种硐室。

硐室建模时,首先根据各种硐形参数,以及硐轴方位角和桩段信息等,确定出硐顶、硐壁、硐底等开挖面的空间方位,然后利用空间格网逼近硐室各个表面,所需的每个网格节点的空间坐标可由硐形参数和硐室各部位的空间方位自动算得,最后,类似坡面的纹理映射,应用硐室展示影像图并按照一定的顺序,依次将纹理映射到硐室表面。图 3 为圆形硐室三维建模示例。

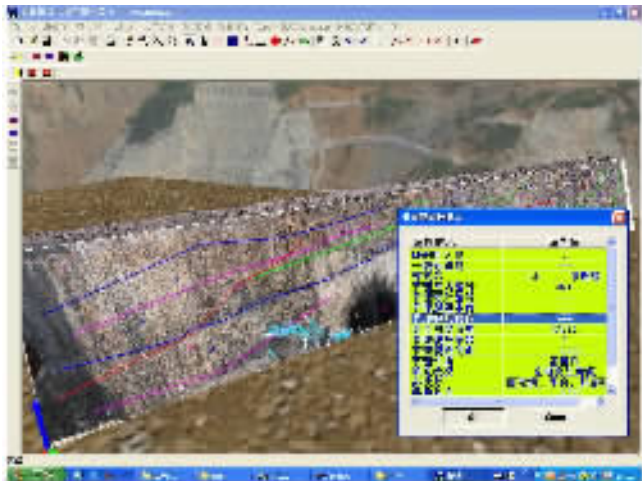


图 2 三维模型上结构特征的属性查询

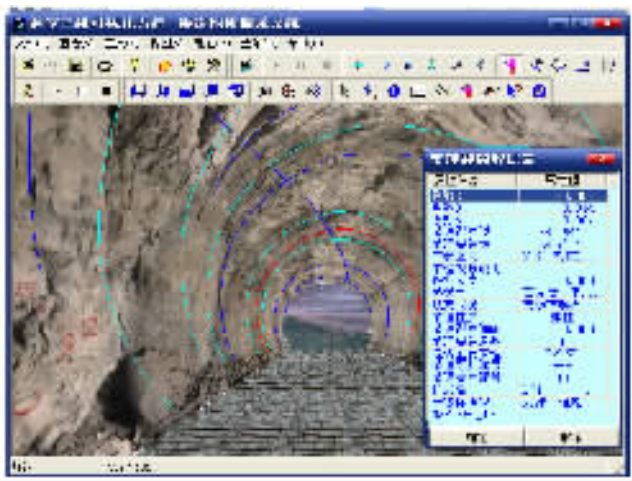


图 3 圆形硐室建模

Fig.2 Attribute query of structural feature based on 3D model

Fig.3 Modeling of round tunnel

需说明的是,工程地质编录中的各类展示图均是目标面沿某轴线的平面展开图,数字编录的影像几何纠正中,将消除构像畸变误差的原始影像投影至物方,形成物方影像,再将物方影像按要求展开成平面,即得到目标展示影像。硐室影像展示图形式上是平面图,实际上其像元与硐室三维表面存在着——对应的位置关系^[5],所以,解决展示平面坐标到硐室空间坐标的正反算问题后,即可在 OpenGL 的环境下实现硐室的展示影像图至三维模型表面的纹理映射。

3.2 硐室编录信息映射和三维查询

与边坡编录信息映射相似,硐室编录信息映射亦通过访问数据库来读取结构特征的空间方位和属性信息,再利用 OpenGL 绘图函数实现特征在硐室表面上的投影和绘制,如图 3 中的结构矢量特征所示。

实际上,编录数据库中保存的硐室结构特征的空间方位数据是其展示坐标,故须先通过展示坐标到硐室空间坐标的反算,方可得到结构特征的真实空间方位数据,据此进行硐室编录信息的映射。此外,在弧形表面上绘制非点特征时,需要依据弧形表面对结构线上的点进行加密处理,才能使结构线和硐室表面准确吻合。尤其在不同的空间交会之处,这种处理更为重要。可见,由于硐室模型的复杂性,硐室编录信息映射的算法较边坡更为复杂。

对硐室编录信息的三维查询,其方法和边坡三维查询类似,这里不再赘述。

4 三维虚拟环境下的地质空间分析

三维建模及分析技术已成为现代工程技术发展的重点之一^[9],影像地质编录信息系统的图形、图像、属性等成果数据均存储于数据库中,故在影像地质编录信息系统的基础上,应用 VC++ 和 OpenGL 技术进一步开发编录成果三维可视化功能模块,可以实现三维场景建模的完全自动化,并在三维虚拟环境下辅助工程地质空间分析。

4.1 模型三维空间量算

除了对编录成果的三维浏览和查询,事实上基于影像的数字地质编录,还可在三维虚拟环境下实现基本

的空间量算功能.地质编录空间量算的数据主要是关于模型的空间坐标、距离、开挖面坡度和坡向、开挖范围和各种面积等.

三维空间量算的基础是在模型上确定出任意点的空间坐标.根据格网模型空间索引原理,可将模型的量算区域划分成均匀的网格.网格按一定顺序排列,并由 OpenGL 的名字堆栈函数给每一个网格也赋一个 ID.用户用鼠标进行空间查询时,先利用 OpenGL 提供的拾取与反馈功能,计算出用户所查询网格的 ID.再根据 ID 得到展示坐标,进而反算出该网格的空间坐标.可见,实现三维空间量算的关键亦是边坡或硐室的展示坐标到空间坐标的反算(方法可参见文献[35]).有了任一点的空间坐标,即可进一步计算出指定特征线的空间位置、任意两点的距离和方向,以及开挖面的坡度、坡向、范围和面积等.

在实际的场景处理中,用于被选择的图元往往较用于场景绘制的图元少很多,因此将选择模式和渲染模式分开处理是十分必要的.在选择模式下只绘制被选择的图元,而在渲染模式下,绘制整个场景的图元.另外,在反馈模式中,可以采用网格循环加密,或要求反馈网格 4 个顶点的空间坐标,通过对量算点坐标的插值计算,来达到提高空间量算精度的目的.

4.2 开挖面形态监测分析

影像数字地质编录中,开挖面方程通常由开挖面控制点拟合得到,或直接来源于设计参数.实际应用表明,现有施工条件下的开挖面确定中误差小于 10 cm,这个精度使得据此建立的三维模型能够满足对地质编录成果空间量算的需求.但是,以几何面建立的三维模型显然无法精确表示开挖面实际形态^[10],况且 10 cm 的精度对工程形态监测而言仍是不够的.

为了在三维虚拟环境下监测开挖面实际形态,系统采取如下方法实现:首先在三维场景下,利用拾取与反馈功能计算出用户对开挖面查询点的空间位置,并确定查询范围,然后系统根据查询位置,在编录数据库中自动调出覆盖查询范围的原始立体像对,由摄影测量算法实现对开挖表面三维形态数据的高精度、全自动采集,建立起查询区域的高精度三维表面模型(DSM)^[11],最后依据 DSM 进行开挖面的工程形态、土石方量、超欠挖等的监测和分析.

4.3 岩层地质产状量测与辅助分析

在地质编录中,岩层结构面产状对工程的安全性评价有着重要作用.岩层地质产状数据的获取目前仍以传统方法为主,即人工现场量测.影像地质编录信息系统则提供了全新的间接式量测手段,即在计算机上执行基于立体像对的产状量测,或基于跨桩段水平影像的产状量测,或基于展示影像图的产状量测.后两种还可以转换成三维环境下的量测方式.以上方法可以满足边坡、基坑或硐室不同地质条件下的产状量测需求.但是,若结构面只在一个开挖面上出露,图像上只形成线性迹象,则无法通过影像量算来获得结构面产状.为了尽量减少现场工作量,通常也可由编录人员综合开挖面上的结构线分布和工程先验资料,来合理估计少数结构面的产状.这种情况下,如何提高结构面产状估计的准确度成为一个难题.

三维环境为信息缺失下的结构面产状估计创造了有利条件.本文尝试构造模拟结构面的方法,来辅助线性迹象结构面的产状量算.首先,利用开挖面地质编录数据库中的结构线位置信息,自动生成一个模拟结构面,然后,根据开挖面展示影像图上的同组结构面信息和其他相关信息,不断调整结构面同开挖面间的夹角;最终,由作业员综合多项信息来确定结构面的坡度、坡向等产状信息.图 4 是边坡上模拟结构面产状的示例.

显然,已编录的同组结构面在开挖面上的分布及其产状是辅助作业员判断的重要信息.为适应复杂的编录条件,笔者进一步设计了两种有效的辅助判断方法:一是应用摄影测量技术对带模拟结构面的场景生成虚拟立体像对,在真三维立体视觉下,作业员根据模拟结构面与露头面的空间关系,确定线性迹象结构线的产状,如图 5 所示;二是量测原始立体像对得到层面线性迹象的物方坐标,由线性迹象微小的空间起伏计算出所在结构面的产状,作业员据此进行线性迹象产状的合理估计.由于线性迹象较小的空间起伏会影响到层面产状计算精度,故可以量测同组结构面的多个

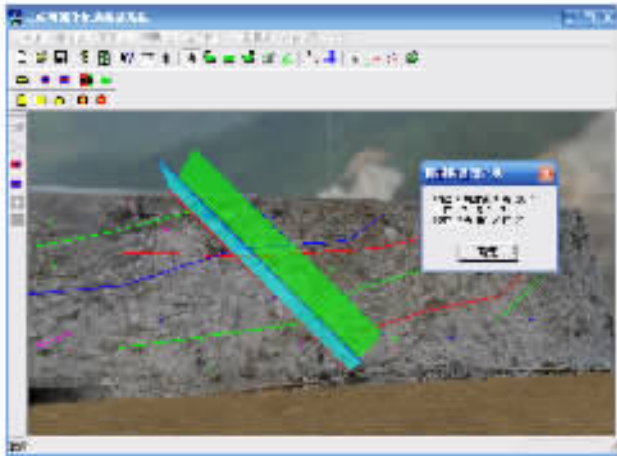


图 4 边坡上模拟结构面的产状示例

Fig.4 Analogue terrane plane on slope

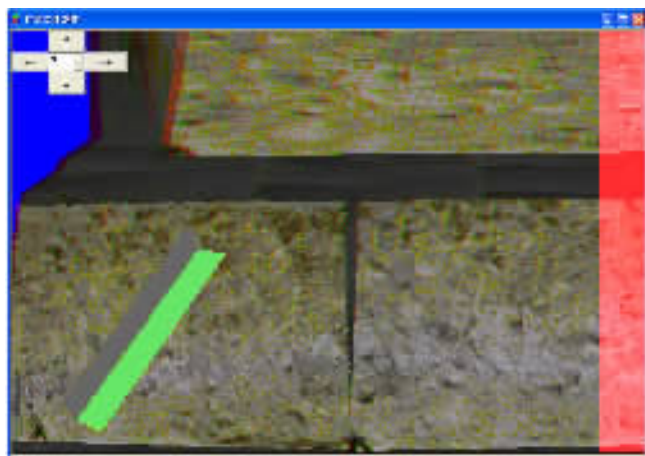


图5 对模拟结构面生成的虚拟立体影像

Fig.5 Virtual stereopair of analogue terrane plane

下优点:一是建模方便,在交互式三维图形的建模能力和编程方面具有显著的优越性;二是易实现场景的高度真实感;三是提供的选择机制和反馈机制满足对场景和编录成果的查询和量算功能的要求,同时为数字地质编录的空间分析提供支持;四是程序具有独立可移植性,OpenGL与硬件、窗口和操作系统完全独立,而且可集成到各种标准的视窗软件和操作系统中,而程序几乎无需修改。

参考文献:

- [1] 李冬田.岩坡摄影地质测量与岩坡空间信息系统[J].河海大学学报:自然科学版,1999,27(1):25-28.
- [2] 刘新中,李浩.施工地质数码影像编录系统开发与应用[J].水文地质工程地质,2005(4):93-96.
- [3] 杨立君,李浩.数字地质编录中坡面展示影像图的制作研究[J].中国水利水电市场,2004(11):14-17.
- [4] 李浩,刘新中,张友静,等.地质数码影像编录系统:中国,ZL200520052270.1[P].2006-11-08.
- [5] 李浩,张友静,华锡生.硐室数字摄影地质编录及其基本算法研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2004,29(9):805-808.
- [6] 张定国,范青松.三峡工程建基岩体彩色数字影像图的纠正技术[J].人民长江,1999,30(1):13-15.
- [7] SHREINER D, WOO M, NEIDER J, et al. OpenGL programming guide fourth edition[M]. Upper Saddle River, New Jersey:OpenGL ARB Addison-Wesley, 2004.
- [8] DOLLNER J, HINRICHS K. An object-oriented approach for integrating 3D visualization systems and GIS[J]. Computers & Geosciences, 2000, 26(1):67-76.
- [9] 郑贵洲,申永利.地质特征三维分析及三维地质模拟现状研究[J].地球科学进展,2004,19(2):218-223.
- [10] 李梅,董平,毛善君,等.地质矿山三维建模技术研究[J].煤炭科学技术,2005,33(4):46-49.
- [11] 杨彪,李浩.基于普通数码影像的DTM数据采集系统研究与开发[J].工程勘察,2003(6):50-53.

Three-dimensional visualization and spatial query and analysis of result of image geological logging

LI Hao, ZHANG Ya-nan, YANG Biao, DU Li-li, WANG Zheng-peí

(College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the exploitation and research of the image information system of geological logging, the ways to realize 3D visualization and spatial query and analysis of result of image geological logging were discussed by use of VC++ and OpenGL technologies. According to the requirement of information of geological logging in hydro projects, the corresponding method was given. The results show that the present method is not only characterized by agility in surface texture mapping and reality in scene effect, but also easy to be connected with database and of powerful mutual function with users and good effect to support 3D spatial analysis when it is used for modeling of rock engineering and 3D visualization of result of geological logging. Moreover, the method can realize the automatically modeling of rock engineering.

Key words: geological logging; image information system of geological logging; 3D modeling; spatial query and analysis; OpenGL

线性迹象进行产状计算。

5 结 语

本文以水电工程边坡和硐室为对象,在影像数字地质编录成果的基础上,探讨工程地质编录成果三维可视化及分析的基本原理和方法,并应用VC++和OpenGL技术,实现了工程地质编录三维虚拟场景的自动建立,以及对场景及编录成果的漫游观察、三维查询、监测分析等,使地质编录工作由现场环境发展至虚拟环境,编录成果的应用分析由二维拓展至三维。上述研究成果在龙滩、向家坝等大型水电工程中已得到成功应用。

就数字地质编录成果的三维建模、可视化及分析的实现而言,选择OpenGL技术进行底层开发有以下