

三维可视化集成技术在地下水研究中的应用^{*}

陈永康, 黄家柱, 闫国年

(南京师范大学地理科学学院, 南京, 210097)

[摘要] 阐述了可视化表达在地下水研究中的意义, 提出了通过集成方式在地下水研究中实现可视化功能的思路. 在分析了高级可视化系统 AVS 的可视化特点和数据结构后, 选取实例进行了应用实践, 实现了可视化功能与地下水模型的集成.

[关键词] 高级可视化系统(AVS); 集成; 地下水模型

[中图分类号] P641.72; TP311.52; [文献标识码] B; [文章编号] 1008-1925(2001)02-0030-06

1 水文地质研究中的可视化

可视化(Visualization)一方面可充分利用人脑对图像信息的记忆能力, 另一方面是充分利用人脑的形象思维能力. 按照冯·诺依曼用计算机解题必须满足的条件, 即: 把问题形式化, 不能形式化的问题原则上不能用冯·诺依曼计算机求解. 对于不能形式化的问题人们采用模拟方法(如人工智能, 神经网络)来求解. 用计算机将数据可视化, 是试图利用人脑解决非形式化问题的能力来达到解题目的. 人脑主要是采用形象思维方法来解题的, 电脑采用图像方法表示复杂数据, 有助于充分发挥人脑的作用. 由此可见, 可视化不仅能充分利用人脑的记忆能力, 而且能充分发挥人脑的思维能力, 这两点对于电脑恰恰又都是薄弱环节^[1].

可视化思想在科学研究、工程实践中具有极其重要的指导意义, 科学计算可视化既是这种思想的体现, 也是当前计算机科学研究的热点之一.

在地学领域中, 研究的对象多是具有空间特性的, 因此常常需要在三维环境中对某些地学特征进行定量和精确描述. 但建立一个三维或多维空间模型或数据集不同于建立一个医学图像或计算机辅助设计(CAD)模型. 在许多情况下, 地球科学家们很难获得完整的、连续的信息, 他们所获得的只能是一个点、一条线、一个剖面等离散信息, 他们必须运用各种方法和手段, 如进行外推和内插, 来建立一个完整的三维模型.

通常地学现象和规律都是隐藏在不完整的数据中, 地学家们必须借助于强大的模拟与可视化工具从中提取和挖掘有用的信息. 在地球科学中, 可视化不只是描述和表达已知现象和特征的工具, 更重要的是从数据中获取我们想获取的信息或特征, 从而增加对某种机理的认识和某一过程的理解, 以及运用可视化工具发现常规方法所不能发现的规律和特征.

同样的, 在地下水建模和模型计算过程中, 常常需要知道研究区范围内地理环境和地质体的空间分布和形态, 如河流的分布、地层形态、地下水形态等, 这些信息主要通过野外调查、地质钻探和地球物理勘探来了解, 研究人员用绘制地质图和画剖面图等方式来观察、测量、认知

* 收稿日期: 2000-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(49771061)和江苏省教委基金项目资助(JW970131)

作者简介: 陈永康, 1971-, 南京师范大学地理科学学院助教, 硕士, 主要从事地理信息系统研究.

研究对象.然而这种传统的二维图表数据表达方法由于实质上只能使二维的投影边界图形可视化或断面图形可视化,不能完整再现真实空间三维,这不利于研究地质体内部结构构造、空间特征及变化规律,揭示地质体不同角度、不同方向、不同深度的构造特征,故不利于从大量繁杂数据中提取反映地下水运动的各种有用信息,也不利于确定进一步分析模型计算过程数据的策略与方法,因此,在水文地质研究领域,真实三维地质空间的研究更为重要.

缘于实际研究工作的需要,许多地学研究者与计算机专家共同致力于地学领域内的可视化软件的开发.目前在国内外都出现了不少与地学相关的可视化系统,其中在地下水研究领域内较为广泛使用的是加拿大 Waterloo 水文地质公司研制的 Visual Modflow.它主要运用于地下水流程和溶质运移模拟评价.它的特点是在可视化的环境里将数值模拟评价过程中的各个步骤紧密连接起来,使整个过程从头至尾系统化、规范化、可视化.但这种过程的可视化缺乏对具体地质实体的表达,且它的可视化环境是二维的,不能表现真实三维空间.国内中地公司开发的 MapGIS 也具有三维绘制功能,但它主要是通过对 Grid 和 TIN 数据的处理来实现三维场景和地表模型的表现,从严格意义上来说,也不能称之为真三维.

2 高级可视化系统 AVS 的可视化功能及其集成

从目前来看,要实现三维可视化功能可以采取两种途径:一是调用现成的图形库函数,如 OpenGL,用某种高级语言从头至尾进行开发;二是借助已经比较成熟且能够进行二次开发或提供功能组装构件的三维可视化软件来进行集成开发.前一种方式需要开发人员熟悉计算机图形学,掌握 OpenGL 图形库,这相对于非计算机图形专业的水文地质研究者来说难度比较大,且很费时,开发效益低.比较容易实现的是后一种方式,只要开发人员熟悉任何一种可视化开发语言,如 VC++、VB、Delphi 等,即可借助三维可视化软件很快进行开发,实现三维可视化.从实现的难度和效率来说,这种方式显然优于前者.从当前软件开发技术来看,集成式开发本身也是一种主要潮流.

集成开发的关键是选择一种具有强大可视化功能,提供良好开发接口的软件.当前在可视化领域里出现了许多可视化软件.在众多的可视化软件中,由美国 Advanced Visual System(简称 AVS)开发的 AVS/Express 是一个十分优秀的面向对象的可视化系统,广泛应用于工程分析、航空航天、国防、油气油田、地理信息与遥感、环境、电信、有限元分析、流体力学计算、医学、金融等方面. AVS 是一个多平台的可视化应用开发环境,用它可以为需要进行交互式 and 图形功能的各种应用提供快速的模块化组件及装配,并在一个开放和可扩展的环境中处理大数据量的问题^[2].使用者可以把 AVS 提供的软件模块按各自的要求连接起来,迅速形成各种不同的可视化应用程序.其主要组成部分为:图形显示软件包、数据可视化软件包、图象处理软件包、数据库包、用户接口包. AVS 是一个开放的、扩展性很强的应用程序开发框架体系结构,除本身提供的组件外,还允许用户利用模块生成向导,方便地添加自己的专业算法,生成自己的组件,扩充功能,变成可重用模块.最重要的是 AVS 还提供了应用程序编程接口(API),同时还具有将模块封装为 C++ 类库和 ActiveX 控件的功能.这样用户可以在自己的 C++ 开发环境开发应用程序,有效地集成 AVS 的可视化功能.

AVS 利用已被精细构造和调整的数据模型,对图形敏感应用中经常出现的所有类型数据,如图象、体、有限元、散列点和几何数据等任何多变量数据,进行最有效和最优化的处理,从而快速、精确地实现数据可视化.

AVS 的数据模型是建立在一个功能强大的“数据——引用”结构基础上的. 其数据结构可以分层定义. 特定的数据结构的组件可被引用作为计算对象的输入. 如果一个应用程序需要非常特殊的数据类型, 它们可以非常方便地进行定义. 另外, 一个应用中的数据结构, 可以组合到数据模式的基本数据类型, 从而提供一个单一的数据结构, 其中除了可视化的实体数据外, 还包括实体的属性信息. 这种单一的数据结构在 AVS 中被称为“Field”, 其组成层次如图 1 所示.

Field 由网格(Mesh)和数据(Data)组成, Mesh 是数据域的几何描述, Data 则是特定数据域位置上的标量或矢量值. 进一步 Mesh 又分为 Grid 和 Cell Sets, Grid 定义了 Mesh 的结点(Nodes)的位置, Cell Sets 则说明了结点的连接关系和结点之间的插值类型. 其结构如图 2 所示^[3].

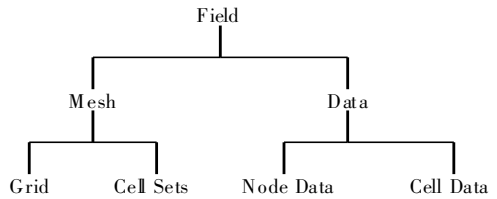


图 1 AVS 数据结构

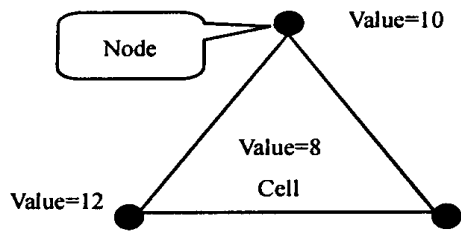


图 2 Field 的结构

单元(Cell)是一个几何实体, 例如一个点、一条线、一个多边形. 图 2 反映的就是一个三角形(triangle) Cell.

Data 则相应地包括 Node Data 和 Cell Data. Node Data 就是结点的值, 如图 2 中的 10, 12, 5; Cell Data 是单元的值. Data 可以表征结点或单元的属性值, 如温度、高度、速率等.

Mesh 常用两个特征量来描述: 物理维(nspace)和计算维(ndim). 物理维表明每个结点坐标的维数, 一般有 2(X, Y)或 3(X, Y, Z); 计算维说明 Mesh 存在空间的坐标维数. 常见的 Mesh 的物理维和计算维组合如图 3 所示^[3].

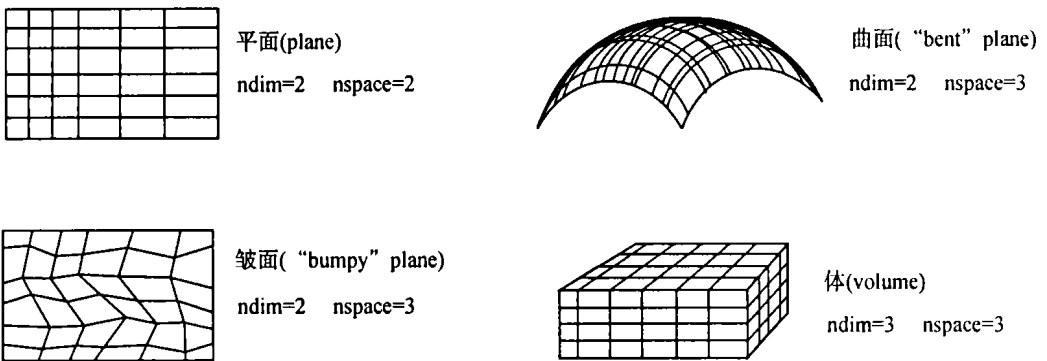


图 3 物理维(nspace)与计算维(ndim)的组合

在 AVS 中 Mesh 分为两大类型, 即规则和非规则. 规则类型又可进一步划分为三种类型: 均匀网格(Uniform Mesh)、正交网格(Rectilinear Mesh)和结构网格(Structured Mesh). 图 4 分别表示了这几种类型的网格^[5].

标准网格是最规范的规则网格, 它的结点之间的间隔是一致的, 这种网格只需说明它在每一维方向上的结点数及最大和最小结点的坐标, AVS 便能自动计算其它结点.

规范网格需要说明沿各维方向上的结点坐标, 根据隐含信息, AVS 能自动计算其它结点.

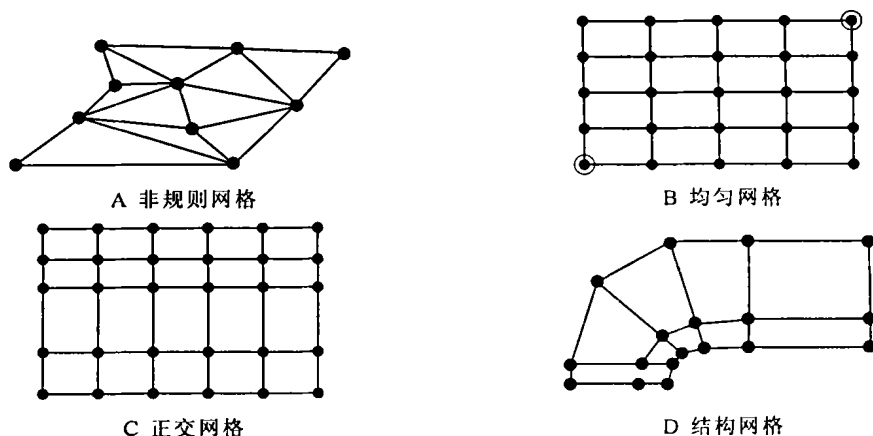


图4 Mesh 网格类型

结构网格的结点总是按某种有规律的方式排列的, 可以通过说明其 `dimensions` 数组来传递结构信息. 如图4中D, `dimensions = {3, 6}`.

对于非规则网格, 因为其结点排列没有规律可循, 所以需要对每一结点作出说明.

许多地学应用中所获得的数据常常是不均匀的, 往往是随机分布的, 如钻孔点的分布. 因此在构造三维体的网格结构问题上, 需要仔细分析数据结构, 选择合理的网格类型, 取得最佳可视化效果.

由于地下水研究者常常是在一个独立的环境下研究、开发自己的模型, 因此要把 AVS 的可视化功能引入则必须采取以下两种途径之一. 一是在 AVS 的环境下改写模型, 使之完全融入其中; 二是将 AVS 的可视化功能模块输出与模型直接集成. 第一种方式工作量大, 而且 AVS 提供的 GUI 生硬, 难以符合用户的某些需求和习惯. 而第二种方式则给用户提供了极大的灵活性, 且不需重复模型改写工作. 因此采用集成方式来实现地下水研究中的数据可视化是一种比较理想和现实的方法. 前已述及, AVS 能够以 C++ 类或 ActiveX 的方式提供可视化功能模块的输出, 利用它我们就可以在自选的集成环境中很容易将地下水模型与可视化功能进行集成, 从而达到以需量用地实现可视化表现的目的.

3 AVS 在水文地质学研究中应用实例

利用 AVS, 我们在苏锡常地区地下水开采与地面沉降研究中, 以地质勘探钻孔资料为数据源, 实现了对地层恢复和抽水漏斗的真实三维表现, 同时将 AVS 的可视化功能与其他系统进行了成功地集成. 地层和漏斗的真实三维体构造过程简介如下.

首先对原始数据进行预处理. 由于钻孔资料内容复杂, 概化标准不一, 难以直接利用. 所以需要对其进行过滤、补充、规范化等处理. 过滤主要针对研究区范围, 尽量选择那些在空间上分布比较均匀的钻孔. 对于过密的钻孔可以进行适当地取舍, 但对于处于边界上的钻孔应予保留, 同时对于那些不完整而又影响不大的钻孔也可舍去; 补充则是针对不完整、有缺失的钻孔进行的补充工作. 通过其它地质资料, 运用相关的地质学理论和实践经验, 推断其缺失部分, 尽量恢复其原貌; 规范化则是制定概化标准, 建立钻孔分层标准, 使研究区域内的钻孔分层统一起来.

其次, 重点对所需表现的对象进行分析. 由于地层是非规则体, 而且钻孔点的分布往往是

随机的,难以处理成规则的结构,只能当作离散点来处理,因此对于地层体来说就不能把它用一个整体的结构来构造,而要把它看作一些基本单元的组合体.由于钻孔剖面提供了每一个地层顶板和底板的高度,我们很容易想到用若干钻孔点对应层面来表现地层的上下面,但两个面如何构成一个体?在AVS中提供了基本单元构造的支持,比如三棱锥、三棱柱、四面体、六面体等.对于地层可以把三棱柱作为其基本单元.而对于三棱柱的结点连接关系(cell sets)则可以通过不规则三角网的构建来获得,AVS也提供了其算法模块.通过模块组合,可以快速实现地层体的三维可视化.漏斗的三维可视化则比较容易,它主要用一个空间曲面来表现地下水各含水层中在某一时刻的水头高度值的空间分布形态,因此它可以通过构造空间等值面来表现.只要把地下水模型计算出的数据按照一定格式进行处理,就可以直接利用AVS的等值面生成模块来得到结果.

同时,为了把可视化功能引入其他系统,增强系统的功能,还需将AVS的可视化功能与其他系统进行集成.在研究中,我们利用VC++ 6.0作为开发平台,将AVS与地下水模型进行集成,使系统对三维地质体的可视化表现取得良好的效果.具体实现过程如下:

(1) 启动AVS/Express,新建一个应用项目,进入可视化快速编程环境网络编程器(NE)中.根据上面的分析需要分别创建几个模块:数据读入模块、数据离散模块、三角网构造模块、表面模型模块、体模型模块、边界处理模块和3D显示模块.利用AVS本身所提供的预制组件,大多数模块可通过向其中添加组件的方式快速创建,但体模型则需要通过添加自己的算法来实现,借助AVS提供的模块生成向导,其实现也比较方便.另外一种方式是直接利用AVS提供的高级描述性语言V语言编写各模块,存为一个V文件,然后在NE中调入该V文件,具有同等结果.

(2) 在NE中将各模块按应用逻辑连接起来,形成可视化网络,并读入试验数据,观察结果,通过不断修改以达到满意的效果.然后利用AVS所提供的C++类输出向导,分别将各个模块生成一个C++类输出.

(3) 启动Visual C++ 6.0,新建一工程项目.将上述各个模块输出的C++类加入该工程,并在环境设置中加入必要的AVS所提供的库文件;根据系统功能需要添加相应的菜单.在本研究实验中,我们主要添加了模型、三维和对象三个方面的功能菜单.模型功能主要是对地下水的模型进行相应的管理,三维功能主要是根据需要构建所需三维体,而对对象菜单则主要是对所生成的三维对象进行管理,比如信息查询、对象显示/隐藏、对象删除等.同时也可根据需要在工具栏中添加一些视图管理的工具,如对象的放大、缩小、旋转和移动等.由于AVS主要以运行库方式作为后台支持系统,因此在应用程序开始时应初始化AVS的运行库,方法是在应用程序类的InitInstance()事件处理中加入这样一条语句:OMmain_init(m_hInstance, m_hPrevInstance, "Debug\\geoview novcp", SW_SHOWNORMAL);这样就可以根据系统的功能设计开始编写其他代码,以实现各部分功能.对于加入的C++类完全可以当作Visual C++自己的类来使用.完成编码后,进行调试运行,直到达到实验预期效果.这样一个基于VC的三维可视化与地下水模型的实验性集成系统就基本完成了.在该系统中可以运行模型,得到的相关数据可以用来直接创建三维体以表现有关的地质体和现象的特征和性质.

以下图5和图6分别表现了集成系统下的地层体和抽水漏斗.

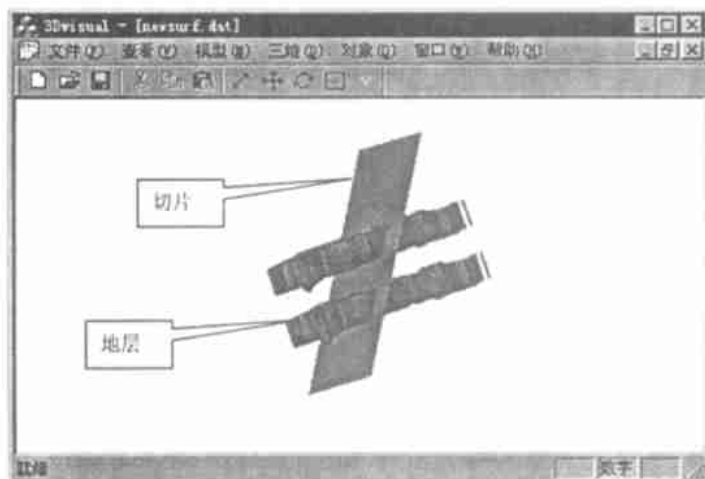


图 5 地层体及其切片

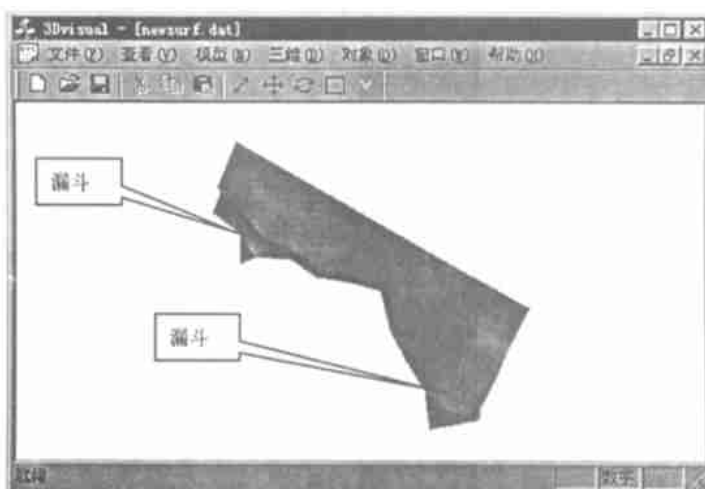


图 6 抽水漏斗

4 结语

在地下水研究领域, 三维地质体空间的可视化对于理解、认识地下水运动规律十分重要. 对于复杂地质体进行解释, 不仅仅只是研究它的剖面、平面特征, 更重要的是研究地质体内部结构构造、空间特征和变化规律, 揭示地质体不同角度、不同方向、不同深度的构造特征, 进行可视化模型的定量分析, 以不规则断面、平面去观察复杂地质体, 快速证实数据、解释结果. 因此借用其它软件系统的可视化功能来帮助实现数据的可视化表达, 不但可以取得事半功倍的效果, 而且能够有力地推动地下水模型研究与可视化软件系统的结合, 弥补传统研究方法的不足.

当然, 本文的研究只是一个初步的尝试, 许多方面仍需进一步改进、完善和发展. 比如如何对水文地质现象和过程的 4D 表达, 即在空间三维上再加上时间维的动态表现; 更进一步, 如何将其推进到虚拟现实的层次等等, 都是值得继续探讨的方面.

(下转第 53 页)

Decoupling Control System and Simulation Based on Dead-beat Control

Li Jun, Bo Cuimei, Zhang Shi, Lin Jinguo

(College of Information Science and Engineering, Nanjing University of Chemical Technology, Nanjing, 210009, PRC)

Abstract: It was introduced in this paper a multi-variable decoupling control system realized by input transfer and state feedback. The optimal time control system was achieved based on dead-beat control. Analysis and simulation were conducted for the designed system.

Key words: State feedback, decoupling control, dead-beat control

[责任编辑: 刘健]

(上接第 35 页)

[参考文献]

- [1] 吴培稚, 牟其铎, 朱文林, 等. 现代软件技术概述[M]. 北京: 测绘出版社, 1996
- [2] 美国 RGL 公司北京办事处. AVS/Express 高级可视化系统
- [3] Advanced Visual Systems Inc. Using AVS/Express

The Application of 3D Visualization Integration Technique in the Study of Groundwater

Chen Yongkang, Huang Jiazhu, Lu Guonian

(College of geographic science, Nanjing Normal University, Nanjing, 210097, PRC)

Abstract: This article presents the importance of the visual expression and brings forth an integrative way to get visualization in the study of groundwater. After analysing the visualization characters and data structures of the AVS the author put an example into practice and achieved the integration of visualization functions and groundwater model.

Key words: Advanced Visualization System, Integration, Groundwater Model

[责任编辑: 严海琳]