

· 信息技术 ·



## 港口工程勘察设计一体化智能化系统

赵宏坚, 陈振民, 何文钦

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

**摘要:** 当前港口工程勘察设计仍然以分散作业、单机操作, 各专业独立完成, 以图纸、表格、文字互提资料的二维的、离散的作业模式为主, 该作业模式不但效率低, 资料共享性差, 而且错漏现象时有发生。因此, 提出全新的港口工程勘察设计一体化智能化作业模式。该作业模式以三维模型设计为基础, 整合各专业生产流程, 实现港口工程勘察设计行业全专业的三维设计, 全生产流程的无缝数据连接, 可定制的自动化分析, 可定制的自动化成果输出和多专业协同设计。此外, 给出实现该作业模式的系统设计, 该设计把系统分成基础层, 应用层, 业务层3个层次, 兼顾了三维工程设计的通用性和专用性, 不但根据系统层次实现了良好的架构分离, 而且为系统不同层次的扩展提供了基础。

**关键词:** 港口工程; 勘察设计; 三维设计; 可视化设计

中图分类号: TV 222.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0155-07

### Intellectualized and integrated system of harbor engineering investigation and design industries

ZHAO Hong-jian, CHEN Zhen-min, HE Wen-qin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** The main work pattern of harbor engineering investigation and design industries is two dimensional separated working. Its features are designed separately. The data store in different documents and tables, and information exchange by lettering. This pattern is not only ineffective and difficult to share data, but also makes mistakes and omissions easily. This article proposes a new work pattern of harbor engineering investigation and design industries, which is three dimensional designing based and with whole production process integrated, realizes full profession three dimensional design, seamless data link, customizable auto analysis, customizable result data output and product lifecycle management. This article proposes the system design of the new pattern. The design divides the system into three levels, taking account of generality and specificity of engineering design and realizing good system architecture separation and well system expandability.

**Key words:** harbor engineering; investigation and design; three-dimensional design; visual design

20世纪90年代以来, 港口工程设计甩掉了图板, 全面实现了计算机辅助绘图, 大大提高了生产效率。同时, 在交通运输部有关部门的大力支持下, 港口工程计算机软件有了很大发展, 在水工结构设计、港口总平面设计、装卸工艺、波浪水文分析、经济效益评价、地基处理、工程概预算等方面都开发了相应的软件。这些软件的广泛

应用, 使业内的设计质量、设计效率和整体技术水平都有了很大的改善和提高。

但即使如此, 随着港口工程的复杂程度越来越高, 大型工程的数量日益增多, 仅提高个体的效率和质量还远远不够, 现有作业模式的生产能力仍不能满足日益增长的市场需求。目前, 港口工程勘察设计仍然以分散作业、单机操作为主,

收稿日期: 2013-03-08

作者简介: 赵宏坚(1979—), 男, 博士, 工程师, 主要从事港口工程设计软件系统研发。

各专业彼此独立，以图纸、表格、文字互提资料，不但效率低，资料共享性差，而且错漏碰现象时有发生。因此，寻找一种以信息技术改造传统的勘察设计作业模式，实现港口工程勘察设计的一体化和智能化，是港口工程勘察设计行业进一步提高生产能力的迫切需求。

## 1 港口工程勘察设计现状及存在问题

### 1.1 传统平面作业模式

平面设计模式存在如下问题：

1) 通过若干个二维图来描述一个三维设计是很不直观的。在设计阶段，设计人员必须具有较强的三维空间想象能力和二维表达能力，首先在脑海中构造出设计对象的三维空间形状，然后再按照三视图的投影规律绘制二维工程图。在工程实践阶段，生产人员和施工人员又需要根据这些二维工程图在脑海中重构出三维的工程对象。这种方式不仅增加了大量的中间工作量，阻碍了设计人员与生产人员之间的沟通，也容易产生人为错误。

2) 二维工程图不能完全表述设计对象所有的设计信息，如体积、材料、质量、重心、惯性矩等，须另行计算、标注或附表说明，增加设计人员的工作量。同一个工程对象的设计数据只能以离散的方式存在于不同的二维图和数据表格中，而且各个二维图缺乏内在的对应的关系，对其中一个地方进行修改，需要设计人员根据投影法则逐个修改相关的每个二维图，工作量大且容易发生错漏。

3) 传统的平面设计模式很大程度上使CAD软件的主要作用只是代替手工绘图，无非是电脑显示屏代替了图板，鼠标键盘代替了尺和笔，确切地说，只不过是一个高效的绘图工具而已。它在优化设计方案，提高设计质量、进行技术创新方面并没有多大的帮助。

### 1.2 勘察成果整理过程

目前，港口工程地质勘察中勘探点平面图、柱状图、剖面图等出图工作只能部分借助现有勘察软件，同时结合通用CAD进行修改。其间图例、坐标网格、剖面线、层号的手工输入、校对、反复修改等工作量巨大，过程繁琐且容易出

错。另外，由于划分岩土体单元时要结合地形地貌，紧扣实际情况，大量参考相邻勘探点的空间数据，这客观要求分层时同时具备勘探点平面位置图、各勘探点柱状图和剖面图草图以及标准土层表等。该过程手工操作比例大，抽象推测难度高，分层结果常不尽合理，返工也往往较多，重复校审自然在所难免。尤其是对于地基复杂程度较高的场地，划分工程地质剖面图往往要耗费大量的人力、物力和时间成本。

### 1.3 设计与分析数据连接

计算分析是港口工程勘察设计过程必不可少的一环，设计方案是否合理可行都需要通过计算分析来验证。目前的作业模式中一般是先做完设计，再做分析，如果发现问题，则修改设计，再分析，两个过程是完全独立的，使用的软件也不一样。虽然许多CAE软件支持常用的CAD数据接口，但仍存在数据传递不稳定和传递范围有限的现象，并且不能提供CAD模型和分析模型之间的双向相关性。

因此，由于设计模型与分析模型之间缺乏有效的数据连接，使得大多数设计人员仍需要根据多张二维CAD图纸，通过CAE软件本身的建模功能建立所需的分析模型，每一次的设计变更，分析模型都需要进行相应的修改，如此往复要耗费设计人员大量的时间和精力，降低工作效率。

### 1.4 各专业协同工作

港口工程勘察设计项目具有规模大、涉及专业众多、技术复杂等特点，一个完整的工程设计需要各个专业的密切配合才能完成。由于各专业系统之间缺乏统一的数据接口，不能同步共享，因此往往需要重复输入大量的数据，而且很难保证数据的一致性，从而导致设计过程存在大量的重复和内耗。这不但造成了软件资源和人力资源的极大浪费，更极大地阻碍了设计质量、设计效率和管理水平的进一步提高。

## 2 工程勘察设计系统的发展现状

### 2.1 三维地理信息系统

三维地理信息系统是指把地表空间信息在强

大数据库技术的支持下,以三维计算机图形绘制技术呈现在显示设备上的信息管理系统,它区别于以往以数据显示为主的管理方式,取而代之以三维真实图形为主要显示手段的管理方式。给人以真实,直观的使用体验。

在工程设计领域,三维地理信息系统主要用以建立工程建设点及其周边区域的三维地表模型,模型建立后工程设计人员能直观的对工程建设区域进行有效的管理,在设计和建设过程中,对建设点的选择,结构物的布置,以及整个建设过程的模拟等方面都有着无可替代的地位。

三维地理信息系统是从矿产资源评估和开采行业开始发展起来的<sup>[1-2]</sup>,之后随着数据库技术和图形显示技术的不断发展,三维地理信息系统存储的信息更全面,分析的手段更强大<sup>[3-4]</sup>。技术的成熟也促使了许多商业GIS系统的出现,如ESRI公司的ArcGIS, Intergraph公司的GeoMedia, MapInfo公司的MapInfo,中国地质大学的MapGIS等,在国内外,工程建设和GIS结合方面也有许多应用案例<sup>[5-6]</sup>。

## 2.2 三维地层建模技术

三维地理信息系统研究的是地表信息,而三维地层建模技术研究的是地下信息,通过各种勘察手段获取了地层信息后,可以把三维地层模型模拟出来。建立了三维地层模型后,人们能够对某一区域的地下结构有更精确地掌握,能清楚地知道地层的分布状况,特别是对地层的缺失、倒转、尖灭等特殊地质现象有很好的了解。

三维地层建模的理论和方法比较多,如基于面模型的多层DEM模型<sup>[7-9]</sup>、多层TIN模型等<sup>[10-12]</sup>,基于体元的三棱柱模型<sup>[13-15]</sup>,基于实体理论的地层实体模型等<sup>[16]</sup>。商业上比较成熟的三维地层建模系统是法国Nancy大学开发的GOCAD,它是以DSI离散光滑插值算法为基础的,面模型和体模型并存的三维地层建模系统。

## 2.3 三维CAD技术

三维CAD技术是整个工程可视化设计系统的核心之一,它是通过三维实体建模技术模拟工程设计中的各种结构构件,并对这些构件进行装配以表达工程结构物,从而实现设计的可视化。三

维实体建模技术最先是在机械行业发展起来的,现在该项技术已经在机械行业得到广泛成熟的应用。而在工程勘察设计方面的三维实体建模技术是直接来自机械行业移植过来的。

主流的三维实体建模技术是以边界表达法来表达实体的<sup>[17]</sup>,配以拉伸、旋转、倒角等的特征建模方式<sup>[18]</sup>,可以快速完成三维结构构件的设计。比较成熟的商业化实体建模内核有Spatial公司的ACIS,西门子公司公司的PARASOLID和EURIWARE公司的OPEN CASCADE,这些内核都提供了功能强大的二、三维建模功能。然而直接使用建模内核进行工程设计系统的开发,在国内还是比较少见,国内工程设计行业使用得较多的是通用的商业化三维CAD设计系统,如AutoDesk公司的Revit Architecture, Bentley公司的Bentley Architecture等。

## 2.4 协同设计技术

工程设计系统上的协同设计指的是在网络环境下,应用分布式系统,各个设计主体在各种协调机制下,共同完成一个设计任务。统一的数据模型体系是协同设计的基础,它需要整合设计流程中各个部门、专业的数据表达,尽量减少部门和专业间数据流转时需要的数据转换。在统一数据模型的基础上通过工作流程管理体系的建立,定义各个部门间的数据流转路线图,协调各个部门在数据流转时产生的权限问题和冲突问题,从而使各个部门间的设计工作能流畅的运转起来,达到协同设计的效果。

在现有成熟的商业化的工程设计解决方案中,AutoDesk公司的BIM<sup>[19]</sup>,无疑是建筑行业最出名的解决方案之一,它是一种创建并利用数字模型对项目进行设计、建造及运营管理的过程,在BIM的概念里完整的包含了协同设计里的所有内容。BIM包含了描述建筑结构化的统一数据集,创建建筑信息模型的过程行为,实现高质量和高效生产沟通管理机制等内容。更为通用和强大的是法国Dassault公司的PLM解决方案ENOVIA,它拥有大部分制造行业产品的设计能力,能设计非常复杂的模型,Dassault公司现在也逐渐向土木工程方向发展,相信未来会有更适合

土木工程设计的产物出现。

### 3 港口工程勘察设计一体化智能化作业模式

#### 1) 全专业三维设计。

实现港口工程绝大部分专业的三维设计,设计成果以三维数据模型的形式进行表达。设计过程也从以前绘制点、线、面的过程转换成真实的三维对象设计过程。新设计模式与传统二维设计模式的本质区别在于设计对象通过直接建立三维模型来表达,并在原来纯二维的设计环境基础上,增加了更直观灵活的三维设计环境,让设计变得更直观、更轻松。

采用三维设计模式进行港口工程勘察设计不但可以很好地解决传统二维设计模式工作量大且容易发生错漏的问题,大大提高设计效率和设计质量,还可以向其他专业传递更多的设计信息,拓展CAD系统对工程人员的辅助功能。

#### 2) 全流程无缝数据连接。

实现港口工程设计全过程无缝的数据连接。由于传统的设计对象是以平面表达方式为主,导致了数据只能以离散的方式存在于不同的图纸和数据表格中,每进行一步工作,都需要从这些图纸和表格中提取数据,这些工作重复而繁重。当设计过程中的主要表达对象全面转成三维时,就可以把这些离散数据全部整合在一起,从而形成统一的工作数据流,使设计过程中离散数据处理方式转变成无缝的数据处理方式,那些繁重、单调的数据提取工作将不复存在。

建立了统一的三维数据模型后,各专业或各设计过程的相关信息和参数都可以以属性的方式保存在三维模型上,各专业或过程对数据的保存和提取都可以通过统一的方式进行,因此数据的利用将不再需要进行格式的转换。

#### 3) 可定制的自动化分析。

实现港口工程设计过程可定制的自动化分析。在旧设计模式的设计分析过程中,一些重要的分析软件比较难于使用和推广,另一方面一些好的分析模式和模型又常常只存在于小部分人手中,不利于知识和经验的共享。新设计模式在三

维数据模型的基础上,把各种复杂的分析软件整合起来,提供较为标准和统一的分析过程,并把常用的业已证明正确有效的分析模型整合到系统中,使用户既能按既定的模式进行自动化分析,又能交互式的实现自定义的分析过程。

#### 4) 可定制的自动化成果输出。

实现港口工程设计过程可定制的自动化成果输出。以前,当设计出现变更时,各种成果图纸都需要分别进行修改,不但工作量大,而且容易出错。新模式把三维结构对象到二维成果图纸的转化,制作成可干预的自动化输出,当设计出现变更,只需对三维结构对象进行修改,然后重新输出就可以方便的完成成果的变更,既大大提高了修改效率,又减少了修改过程中可能出现的错误。

有了设计对象的三维模型,常规的二维工程图设计可以直接由三维模型投影各种视图而形成,设计人员只需对视图中个别线条进行调整,并标注工程符号,即可满足工程图纸的要求。由于三维模型包含了设计对象完整的几何结构信息,因此除基本的三视图外,还可以生成轴测图、各种剖视图和局部视图等。各种视图之间通过三维模型建立起内在的对应关系,不但保证了视图的正确性,而且对模型的修改能自动反映在各种视图上,保证了设计修改在三维模型和二维工程图中的一致性。

#### 5) 多专业协同设计。

新模式下的协同设计是指多个专业的设计人员在统一的系统平台上,通过数据共享协同,快速高效地共同完成一个设计项目。通过建立支持各专业的通用三维CAD基础平台,使地质、总图、水工、工艺等各个专业采用统一的三维数据模型设计平台进行设计,专业之间借助平台提供的数据接口进行数据模型共享,使同一构件元素,只需输入一次,各个专业即可共享元素数据并于不同的专业角度操作该构件元素,从而实现数据的一致性和专业间碰撞检查的可视性,可以高效整合上下游各专业间的数据。多专业协同设计的实现将比传统设计更方便、省时、准确和节省资源,将大大提高工程的设计质量、设计效率

和整体技术水平, 是适应CAD领域最新技术趋势和勘察设计单位自身战略发展的必然需求。

#### 4 港口工程勘察设计一体化智能化系统设计

根据以上对港口工程勘察设计一体化智能化作业模式的描述, 具体提出实现该系统的整体设计思路, 总体系统架构如图1所示。系统总体分成3个层次, 分别是基础层: 三维应用开发框架; 应用层: 工程设计基础平台; 业务层: 港口工程勘察设计应用系统。

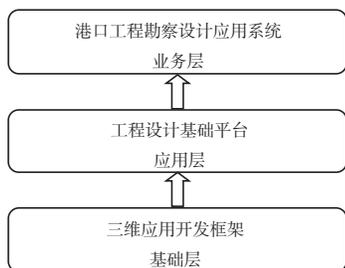


图1 系统总体架构

#### 4.1 三维应用开发框架

作为整个系统的基础层, 三维应用开发框架应具备三维CAD设计系统底层框架的所有功能(图2)。

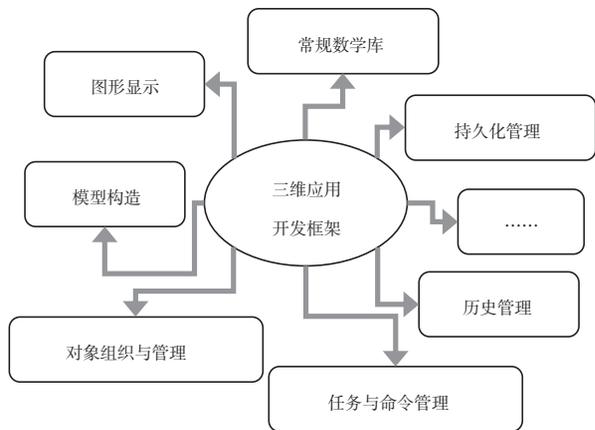


图2 三维应用开发框架功能

该框架应当具备二、三维显示功能, 作为三维可视化设计系统, 不仅应该提供二维图形的显示功能, 还应当具备强大的三维图形显示功能, 由于三维模型显示数据的处理量大, 交互操作复杂, 因此三维显示的性能要求尤为突出。

该框架应该具备二、三维模型的构造能力,

特别是三维模型的构造能力, 如三维实体建模功能、三维地质建模功能都是必须具备的建模功能, 这些建模功能是在应用层面进行构件设计, 地质建模所必需的基本功能。

对象组织与管理功能提供对系统内三维绘制对象的添加、删除、编辑、组织等功能。任务与命令管理功能提供三维设计系统内部工作流程的划分、执行和更迭等的管理功能。历史管理功能提供设计系统每个操作步骤的回退和前进操作。持久化管理功能提供设计系统运行时数据保存到其它可持久化介质间的转换功能。

该框架除了上述功能外, 还应具备常规几何数学库支持, 几何约束求解, 计算几何支持, 数值计算支持等功能。

#### 4.2 工程设计基础平台

建立在三维应用开发框架上的是应用层: 工程设计基础平台, 该平台具备进行可视化三维工程设计的各种通用功能, 如图3。这些功能包括构件设计, 构件装配, 结构分析, 结构配筋, 地质建模, 工程出图, 产品生命周期管理7个模块。

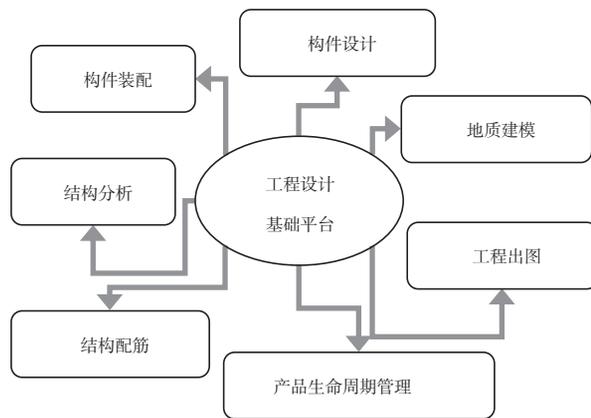


图3 工程设计基础平台功能

构件设计是指通过草图设计、特征建模、线框建模、直接建模等手段进行工程结构的三维构件设计。构件装配是把各种已经设计好的构件模型装配成一个工程结构模型, 通过对构件进行各种空间定位操作, 加上各种约束手段, 完成装配工作。结构分析是对设计好的三维结构模型进行受力分析。结构配筋是指在设计好的构件上进行配筋工作, 区别于以前的配筋图纸, 该模块使

用的是全三维的钢筋配置，这些三维钢筋模型无论是大小，还是位置都与真实的钢筋无二，设计人员能够在施工前就直观的看到施工时的真实效果，地质建模是对取得的勘察资料，如钻探、物探等手段取得的资料，通过三维建模技术把三维地质模型最大限度接近真实地构造出来。

### 4.3 港口工程勘察设计应用系统

系统设计的第三层为应用层，该层建立在工程设计基础平台的基础上，针对不同的水工结构类型的设计进行功能上的定制，实现各种具体业务应用的快速设计要求。

以高桩码头为例，在工程设计基础平台上进行设计时，需要根据设计要求，具体进行梁、板、桩等构件的设计，并把这些构件进行相互定位，装配成高桩码头的结构形式。但如果在业务层的应用系统上进行设计，就简单得多了，只需要设置各种构件的设计参数，以及高桩码头的布置参数，系统会自动产生所需构件，并按照设计和布置参数生成所需的高桩码头。

应用系统和基础平台的最大区别是在应用系统进行设计时，设计人员只需要关心结构设计的构件类型而不需要具体进行构件设计，只需要关心结构设计的结构布置情况而不需要具体进行构件的装配。通过构件库的支持，应用系统可以自动从构件库中选取所需的构件，然后在几何约束的支持下按照用户设置的各种参数对构件进行尺寸修改，最后根据设定的结构布置参数自动形成所需的最终结构。

### 5 初步研发成果 HIDAS简介

HIDAS (Harbor Investigation and Design Application System) 是改变现有港口工程勘察设计作业模式的新一代系统。该系统的实现是基于港口工程勘察设计一体化智能化作业模式的原则和精粹，以三维设计为基础，整合各数据流程，实现设计、计算和成果输出的智能化作业。

该系统已经实现了工程通用设计平台里的部分功能，如构件设计、构件装配、构件配筋、结构出图等。部分成果已经在生产中应用(图6~8)。

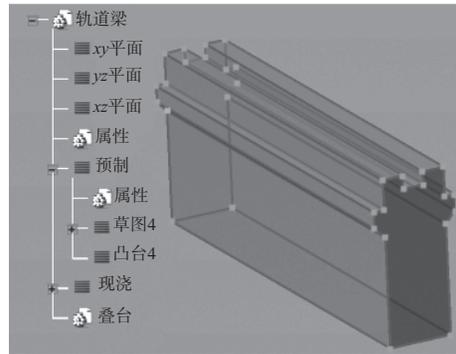


图6 构件设计-轨道梁

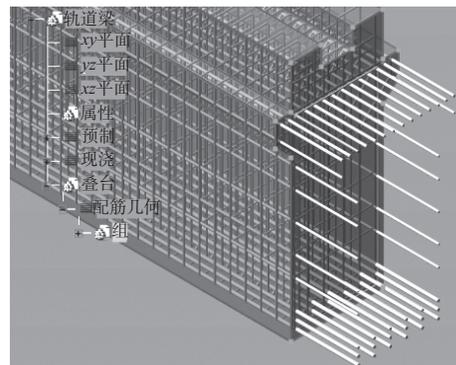


图7 构件配筋-轨道梁

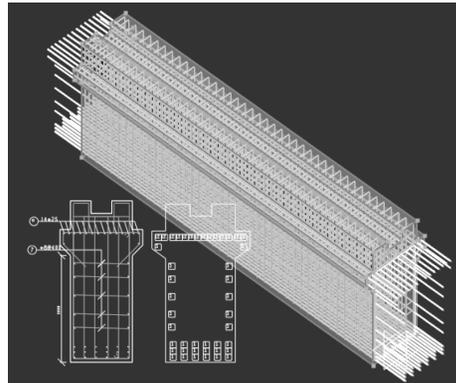


图8 构件出图-轨道梁(二维三维并存图纸)

### 6 结语

1) 港口工程勘察设计一体化智能化作业模式突破了传统的二维设计方式，以更为直观的三维设计为基础，并统一设计和分析过程、设计和出图过程，实现全流程无缝的数据连接和可定制自动成果输出。

2) 给出了实现该作业模式的系统设计思路，该思路把系统分为三维应用开发框架、工程设计基础平台和港口工程勘察设计应用系统3个层次。这种设计思路兼顾了三维工程设计的通用性和专

用性,不但根据系统层次实现了良好的架构分离,而且为系统不同层次的扩展提供了基础。

3) 该系统研发不仅适用于港口工程,也可以推广应用到土木类其他行业的工程勘察设计系统的研发。该系统的研发不是从现有的成熟平台出发,而是应用现有的系统内核,在其基础上搭建自己的三维应用开发框架。这样的系统,不仅拥有自己的知识产权,而且拥有自己的核心建模模块。

4) 港口工程勘察设计一体化智能化系统一旦研发成功,将使港口工程勘察设计进入一种新的生产作业模式。实现勘察设计数字化、一体化和智能化,必将产生巨大的经济效益和社会效益。系统极大地减少勘察设计中的重复工作、低等劳动和低级错误,极大提高工作效率和勘察设计质量,极大提高全行业的劳动生产率,使其从传统的生产模式中解放出来,使他们获得更多时间从事更高级的创造性工作。具有技术创新的重要价值和设计变革的重大意义。

5) HIDAS研发的初步成果表明本系统的设计和技术方案是完全可行的。当然,要完成这个系统的研发,工作量很大,技术困难还很多。但只要方向正确,在现有的开发框架上不断扩大研发成果,并边研发边推广应用,是一定能全面完成这个系统的研发的。

#### 参考文献:

- [1] Kavouras M, Masry S. An information system for geosciences[C]//Proceedings of 8th International Symposium on Computer Assisted Cartography, Baltimore, 1987: 336-345.
- [2] Raper J. Three Dimensional Applications in GIS[M]. NY: Taylor and Francis, 1989: 155-182.
- [3] Breunig M, Bode T, Cremers A B. Implementation of elementary geometric database operations of A 3D-GIS[C]//Advances in GIS Research: Proceeding of the 6th International Symposium on Spatial Data Handling, 1994: 604-617.
- [4] Tomlin C D. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling[M]. NJ: Prentice-Hall, 1990.
- [5] Miles S B, Ho CH. Applications and issues of GIS as tool for civil engineering modeling[J]. Journal of Computing in Civil Engineering: ASCE, 1999, 13(3): 144-152.
- [6] 闻平,王冲,杨林波,等.水电工程三维GIS的设计与初步试验[G]//中国水力发电工程学会第四届地质及勘探专业委员会第二次学术交流会论文集.北京:中国水力发电工程学会,2010.
- [7] 贺怀建,白世伟,赵新华,等.三维地层模型中地层划分的探讨[J].岩土力学,2002,23(5): 637-639.
- [8] 王纯祥,白世伟,贺怀建.三维地层可视化中地质建模研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(10): 1722-1726.
- [9] 朱良峰,潘信.河流侵蚀作用下三维地层模型的构建[J].岩土力学,2005,26(S1): 65-68.
- [10] 熊祖强,贺怀建,夏艳华.基于TIN的三维地层建模及可视化技术研究[J].岩土力学,2007,28(9): 1954-1958.
- [11] 张芳,朱合华,宁民霞.适于海量数据的三维地层建模方法[J].岩石力学与工程学报,2006,25(S1): 3305-3310.
- [12] 朱合华,吴江斌.基于Delaunay构网的地层2D,2.5D建模[J].岩石力学与工程学报,2005,24(22): 4073-4079.
- [13] 张煜,白世伟.一种基于三棱柱体体元的三维地层建模方法及应用[J].中国图象图形学报,2001(3): 285-290.
- [14] 齐安文,吴立新,李冰,等.一种新的三维地学空间构模方法——类三棱柱法[J].煤炭学报,2002,27(2): 158-163.
- [15] 周翠英,董立国.三维地层构造的块体理论方法[J].岩土工程学报,2006,28(9): 1081-1084.
- [16] 赵宏坚,周翠英.于实体建模的三维地层构造[J].岩土力学,2010,31(4): 1257-1263.
- [17] Requicha A A G. Representation for rigid solids: Theory, method and systems[J]. Association for Computing Machinery Computing Surveys, 1980, 12(4): 437-464.
- [18] Asikainen T, Mannisto T, Soininen T. A unified conceptual foundation for feature modelling[C]//Software Product Line Conference, 2006 10th International: 31-40.
- [19] 祝元志.数字技术再掀建筑产业革命-BIM在建筑行业的应用前景与挑战[J].建筑,2010(3): 12-26.

( 本文编辑 郭雪珍 )