引文格式：刘超,吕三和,周圣川,等. 多源三维地质模型集成方法研究与应用[J]. 地理空间信息, 2025, 23(3): 77-80. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.03.018

多源三维地质模型集成方法研究与应用

刘　超[1,2]，吕三和[1,2]，周圣川[1,2]，刘鹏超[1,2]，李　杨[3]
（1. 青岛市勘察测绘研究院，山东 青岛 266000；2. 青岛市海陆地理信息集成与应用重点实验室，山东 青岛 266000；
3. 北京超图汇智技术有限公司济南分公司，山东 济南 250014）

摘　要：针对三维地质模型建模工具多样和集成难度大的问题，提出了一种基于SuperMap GIS二三维一体化平台的多源三维地质模型集成方法。首先利用OBJ文件和坐标点阵列文件分别设计了多源三维地质结构和属性模型的转换流程，再构建了多源三维地质模型轻量化处理、在线发布和在线分析的集成框架，并成功应用于“透视山东”平台建设中。结果表明，该方法可实现省级、市级和场地级等多源多尺度三维地质模型的集成、分析和应用，有效提升了平台的三维地质模型集成和开发能力，将为地质大数据的集成与应用提供示范作用。

关键词：三维地质模型；模型集成；地质结构模型；地质属性模型；“透视山东”
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）03-0077-04

Research and Application of Multi-source 3D Geological Model Integration Method

LIU Chao[1,2], LYU Sanhe[1,2], ZHOU Shengchuan[1,2], LIU Pengchao[1,2], LI Yang[3]
(1. Qingdao Surveying & Mapping Institute, Qingdao 266000, China;
2. Key Laboratory for Sea-Land Geographics Information Integration and Application of Qingdao, Qingdao 266000, China;
3. Beijing Chaotu Huizhi Technology Co., Ltd. Jinan Branch, Jinan 250014, China)

Abstract: Aiming at the problems of various 3D geological modeling tools and difficult integration, we proposed a multi-source 3D geological model integration method based on the 2/3D integration platform of SuperMap GIS. Firstly, we used OBJ file and coordinate point array file to design the transformation process of multi-source 3D geological structure and attribute model respectively. Then, we constructed the integration framework of lightweight processing, online publishing and online analysis of multi-source 3D geological model, and applied the method into the construction of “The Perspective of Shandong” platform. The results show that this method can realize the integration, analysis and application of multi-source and multi-scale 3D geological models at provincial, municipal and site levels, and improve the integration and development capability of platform’s 3D geological models, providing the demonstration for the integration and application of geological big data.

Key words: 3D geological model, model integration, geological structure model, geological attribute model, “The Perspective of Shandong”

三维地质模型是描述地质体几何形状及其内部各种物理化学参数分布情况的计算机模型，可直观描述复杂的地质结构、构造、类型、分布等特征，在地质找矿和资源评价等应用中具有重要作用[1]。自2019年启动“透视山东——地质信息集成与综合利用”项目建设工作以来，山东省对历年积累的地质资料进行标准化处理，建立基础地质、矿产勘查和资源分布等成果数据库，构建“透视山东”三维可视化模型和地质信息综合利用智能管理平台，全面提升山东省矿产资源和地质管理工作的智慧化、科学化水平[2]。“透视山东”项目部署了全省三维地质建模、水文数值建模、矿产地建模和成矿带三维地质精细化模型等多种地质建模任务，由不同建模单位采用不同建模软件（MapGIS[3]、GOCAD[4]和EVS[5]等）进行三维地质模型建设。因此，该平台必须要实现多源三维地质模型的接入、集成和应用。已有很多学者[6-9]对三维地质模型集成进行了研究，但缺乏对多源三维地质模型数据的集成研究。为实现多源三维地质模型集成和应用，本文对建模软件导出模型数据类型和内容进行了规范和约束，提出了详细的数据转换处理过程和集成方法。“透视山东”平台选取SuperMap GIS二三维一体化平台[10]作为三维地质模型、地质资料数据等数据存储和管理的基础平台架构。为将MapGIS、GOCAD和EVS等建模软件产生的多源地质模型集成到SuperMap软件中，本文分别针对结构模型和属性模型提出了具体的数据转换方法以及基于SuperMap软件的三维

项目来源：2022年度省级地质勘查资助项目（鲁勘字（2022）57号）。
第一作者简介：刘超（1995—），硕士，工程师，研究方向为三维地理信息系统开发与应用，E-mail：756137342@qq.com。

地质模型集成方法，实现了多源三维地质模型数据的接入、三维可视化和在线分析应用。

1 三维地质模型

按照建模类型三维地质模型可分为三维地质结构模型和三维地质属性模型[11]。三维地质结构模型是根据钻孔数据、地质图、野外观测等多源数据，通过建模技术建立的表达地表以下各种地质体多种地质特征的三维模型[12]。常见的建模方法包括钻孔类建模法、剖面类建模法和多源数据交互建模法等[13]。对地质结构模型进行三维空间分析是摸清地下空间地质结构、属性、空间分布等基底的有效手段，能为地下空间的规划、设计、审批、施工以及地下资源调查、监管等业务提供参考依据。三维地质属性模型是描述地质实体内部属性参数的模型，如地质内部物理、化学属性参数模型等。根据地质体属性特征，采用定量的地质属性数据进行空间插值构建三维网格属性模型，在快速构建属性模型的同时兼顾地质结构。常见的空间插值方法包括克里金插值、反距离加权等[14]。通过属性特征的三维空间表达，可反映矿体岩性、品位、矿物含量、蚀变强度、成矿地质条件、矿体特征、地球物理和地球化学等属性特征。

2 模型转换方法

为将MapGIS、GOCAD和EVS等建模软件的多源地质模型成果通过流程化的方式集成到SuperMap软件中，本文针对地质结构模型和属性模型，分别制定了数据转换方法。地质结构模型通过建模软件导出为Wavefront OBJ中间文件格式后再导入SuperMap软件中进行转换。OBJ文件是一种常用的三角形网格模型格式[15]，支持多个对象的组合以及纹理映射和法线贴图等特性。OBJ文件通过坐标、纹理和贴图可实现对三维地质结构模型的精准表达和还原。三维属性模型则通过对数据位置和属性的插值表达地质体内的属性变化情况（密度、孔隙度等），通过对点的插值构建网格化属性模型。若利用OBJ文件对建模后的三维属性模型进行转换，将导致数据节点增大且属性表处理困难，因此本文直接将三维属性模型的点数据以坐标点阵列文件的形式进行转换，使得转换过程中不增加数据量并附带属性值，可对点位置和属性重新插值生成三维地质属性模型。

1）三维地质结构模型转换方法。为实现多源三维地质结构模型的转换与集成，本文将OBJ格式导入SuperMap软件中，对模型进行合并、修改法线、中心点和模型打散等一系列操作，最终实现三维地质结构模型的转换。详细步骤包括：①将MapGIS、GOCAD和EVS等软件建模的结构模型数据导出为OBJ模型文件、模型材质库mtl文件和纹理图片文件，属性数据导出为属性表格文件；②将OBJ模型文件导入SuperMap软件中，形成多个地质体模型文件，每个地质体模型文件包含多个地质体块，导入过程中软件自动读取材质库mtl文件和纹理图片文件，保留了模型材质的完整性和准确性；③为保证模型中心点的一致性和法线方向的正确性，将导入的多个地质体模型文件合并为一个地质体模型；④重新计算合并的地质体模型的中心点和法线方向，为地质模型的拉伸和爆炸等操作提供统一的中心点和基准；⑤为挂接外部的属性表文件，将合并后的地质体模型完全打散为多个地质体块，并存储在数据集中；⑥结合外部的属性表文件，根据导出的编号实现地质体块与属性表记录的挂接；⑦将挂接属性的地质体模型坐标统一修改为2000国家大地坐标系，最终形成符合要求的地质体模型数据集。

2）三维地质属性模型转换方法。为实现多源三维地质属性模型的转换与集成，本文首先将坐标点阵列文件导入SuperMap软件，再根据数据类型和业务需求分别构建体素模型[16]和体元栅格模型，最终实现三维地质属性模型的转换。详细步骤包括：①将MapGIS、GOCAD和EVS等软件建模的属性模型数据导出为坐标点阵列文件，包含坐标点的经纬度、高度和属性信息；②将坐标点阵列文件导入SuperMap软件，并统一转换为2000国家大地经纬度格式，将坐标点的经纬度和高度形成三维点数据集；③根据不同的数据类型和业务需要，将属性模型的展示成果分为基于体对象的体素模型和基于场模型的体元栅格模型两类，前者适用于规则格网数据，通过外挂体对象的方式构建体素模型，后者适用于不规则格网，通过对数据进行插值来填充整个模型空间。体素模型的构建步骤为：首先依据三维点数据集的属性值进行分段设色，根据分段值构建不同颜色的体对象，通过三维点之间横向、纵向和高度的间隔，设置体对象的长、宽、高；然后通过三维点数据集外挂设置的体对象生成体素模型，以三维网格化的方式展示三维地质模型的不同属性信息。体元栅格模型的构建步骤为：首先对三维点数据进行处理，删除缺省值，并将字符型数据转为数值型数据；然后通过反距离权重、普通克里金和三维狄洛尼等三维空间插值方法对数据进行插值

计算，生成最终的体元栅格模型。

3　模型集成方法

利用本文提出的多源三维地质模型转换方法，可将多种建模软件产生的建模数据转换到SuperMap iDesktop桌面软件中。为实现三维地质模型的共享和应用，需要将模型数据集发布为模型数据服务来满足在线共享需要，首先对转换完成的地质模型数据集进行三维缓存切片；然后在SuperMap iServer服务平台中统一将缓存切片发布为结构模型、体素模型和体元栅格模型数据服务，为地质模型分析提供在线数据支撑服务；最后利用SuperMap iClient3D for WebGL前端架构实现三维地质模型的三维可视化展示，实现模型爆炸、模型拉伸、剖面分析和模型开挖等分析功能，支撑三维地质模型相关的业务需求与应用。

4　模型集成与应用

本文提出的多源三维地质模型集成方法已应用于“透视山东”平台建设中，基于SuperMap iClient3D for WebGL前端架构实现了多源三维地质模型的集成、共享与应用，现已集成MapGIS、GOCAD和EVS等多种建模软件建模的三维地质结构和属性模型。

4.1　三维地质结构模型的集成与应用

根据本文提出的多源三维地质结构模型转换集成方法，“透视山东”平台已集成山东省约15.8万km^2、−1 000 m以浅的三维地质结构模型，多个城市中心城区地质结构模型和数百个矿产地地质结构模型等。山东省三维地质结构模型集成的部分区域见图1。平台提供了针对三维地质结构模型的拉伸、爆炸、开挖和剖切等多种分析功能（图2~4），以满足地质工作者和用户的地质专业模型分析需求。在数据转换过程中，通过重新设置模型中心点和法线保证了地质结构模型拉伸和爆炸方向的一致性。

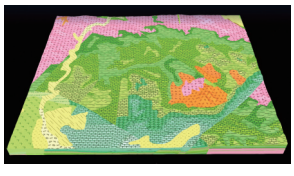


图1　地质结构模型集成

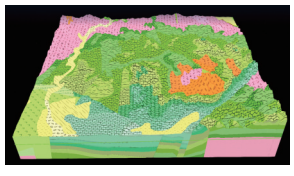


图2　地质结构模型拉伸

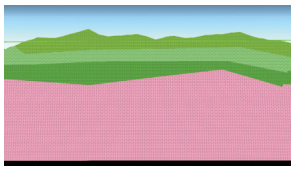


图3　地质结构模型爆炸

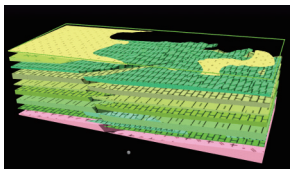


图4　地质结构模型剖面图

4.2　三维地质属性模型的集成与应用

根据本文提出的多源三维地质属性模型转换和集成方法，“透视山东”平台已集成黄河水文数值模拟模型和重要矿区找矿预测模型等三维地质属性模型，将为黄河流域高质量发展和新一轮找矿突破战略行动提供数据支撑。

1）体素模型数据通过三维点外挂自定义体对象的方式构建三维地质属性模型。属性模型数据以三维格网的形式表达数据的模拟结果。集成的物探磁化率数据的体素模型见图5。体素模型可通过设置透明度查看模型内部磁化率的整体分布情况（图6），同时为地质工作者提供模型的条件过滤（图7）和剖面分析（图8）功能。



图5　物探磁化率体素模型

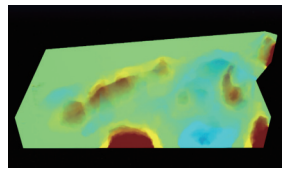


图6　体素模型半透明

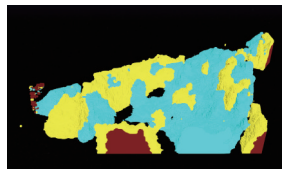


图7　体素模型属性过滤

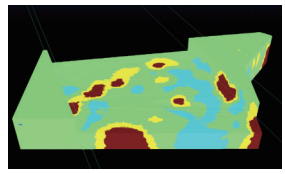


图8　体素模型剖切

2）体元栅格模型通过场模型的形式展示和分析三维地质属性数据，通过对三维点数据进行三维插值实现三维地质属性模型的三维可视化展示。某矿区的找矿预测概率体元栅格模型见图9。平台提供了剖面图、裁剪和开挖等（图10~12）体元栅格数据分析功能，以满足地质工作者对体元栅格模型的操作需求。

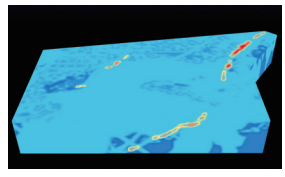


图9　矿区预测体元栅格模型

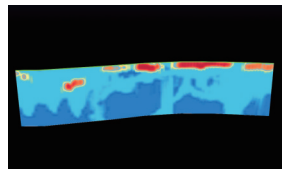


图10　体元栅格模型剖面图

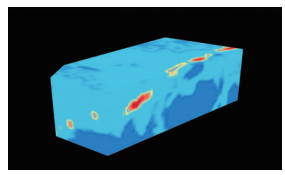


图11　体元栅格模型裁剪

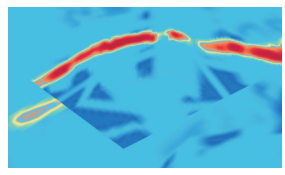


图12　体元栅格模型开挖

5　结　语

本文提出了一种多源三维地质模型集成方法，以解决三维地质模型建模工具多样和集成难度大的问

题。首先分别利用OBJ文件和坐标点阵列文件中间格式设计了三维地质结构和属性模型的转换流程；然后提出了基于SuperMap软件的MapGIS、GOCAD和EVS等多源三维地质模型集成方法。在“透视山东”平台建设中，利用本文方法实现了多源三维地质模型的集成、分析与应用，提升了平台的开发和拓展能力，为地质大数据的集成与应用提供了示范作用。

参考文献

[1] 肖兴平,蔡五田,阮俊. 三维地质模型的建立方法及应用[J]. 地理空间信息,2013,11(4):90-92

[2] 郭加朋,焦丽香,焦何亭,等. 山东省地质信息集成与综合利用探索:积极推进“透视山东”建设[J]. 山东国土资源,2022,38(8):45-50

[3] 邓超,何政伟,郝明,等. 基于MapGIS的成都市城市三维地质建模[J]. 地理空间信息,2020,18(7):51-54

[4] 盛世强,戴黎明,李法坤,等. 基于GOCAD软件的渤中凹陷428构造带三维地质建模[J]. 海洋地质前沿,2023,39(3):91-100

[5] 翟月,何松,钱玉智. 青岛精细化城市地质模型构建设计与应用[J]. 城市勘测,2021(6):181-185

[6] 徐德馨,彭汉发,肖杰,等. 城市全空间三维模型数据一体化集成管理关键技术及应用[J]. 地质科技通报,2023,42(1):388-397

[7] 刘同文. 基于地质大数据的地质综合成果信息平台研究与实现[J]. 北京测绘,2020,34(6):814-818

[8] 黄迪. 基于BIM的三维地质建模集成化研究[D]. 兰州:兰州大学,2019

[9] 李敏,刘钊,韩征,等. 城市区域三维地质结构模型建设与集成方法[J]. 城市地质,2018,13(2):93-97

[10] 王少华. 超图平台软件创新:SuperMap GIS二三维一体化GIS技术体系简介[J]. 地球信息科学学报,2016,18(3):433-434

[11] 陈麒玉,刘刚,何珍文,等. 面向地质大数据的结构—属性一体化三维地质建模技术现状与展望[J]. 地质科技通报,2020,39(4):51-58

[12] 王振娟,花卫华,刘修国,等. 一种消除三维地质模型边界裂缝的锁边LOD方法[J]. 地球信息科学学报,2023,25(5):967-981

[13] 韩征,王文文,李勇. 城市区域三维地质结构建模方法综述[J]. 城市地质,2022,17(2):175-183

[14] 刘少华,肖克炎,王新海. 地质三维属性建模及其可视化[J]. 地质通报,2010,29(10):1 554-1 557

[15] 黄鸿,赵志鹏,张磊. 一种面向规则建筑物的OBJ文件无损压缩方法[J]. 测绘通报,2018(10):156-158

[16] 蒋秉川,游雄,夏青,等. 基于体素模型的多分辨率地形表达分析[J]. 测绘科学,2013,38(5):22-24

（上接第57页）

参考文献

[1] 张艺帅,赵民,王启轩,等. “场所空间”与“流动空间”双重视角的“大湾区”发展研究:以粤港澳大湾区为例[J]. 城市规划学刊,2018(4):24-33

[2] Castells M. The Rise of the Network Society[M]. Cambridge, MA:Blackwell,1996

[3] 潘峰华,方成,李仙德. 中国城市网络研究评述与展望[J]. 地理科学,2019,39(7):1 093-1 101

[4] 郑伯红,朱顺娟. 现代世界城市网络形成于流动空间[J]. 中外建筑,2008(3):105-107

[5] 薛峰,李苗裔,党安荣. 中心性与对称性:多空间尺度下长三角城市群人口流动网络结构特征[J]. 经济地理,2020,40(8):49-58

[6] 张小东,韩昊英,唐拥军,等. 基于百度迁徙数据的中国城市网络结构特征研究[J]. 地球信息科学学报,2021,23(10):1 798-1 808

[7] 孙春晓,裴小忠,刘程军,等. 中国城市物流创新的空间网络特征及驱动机制[J]. 地理研究,2021,40(5):1 354-1 371

[8] 赵芮,丁志伟. 基于流空间视角的中原城市群物流网络结构及其影响因素分析[J]. 地域研究与开发,2022,41(4):71-77

[9] 刘望保,韩茂凡,谢智豪. 全球航线数据下世界城市网络的连接性特征与社团识别[J]. 经济地理,2020,40(1):34-40

[10] 马学广,鹿宇. 基于航空客运流的中国城市空间格局与空间联系[J]. 经济地理,2018,38(8):47-57

[11] 胡昊宇,黄苹绒,李沛霖,等. 流空间视角下中国城市群网络结构特征比较:基于铁路客运班次的分析[J]. 地球信息科学学报,2022,24(8):1 525-1 540

[12] 孙建平,胡文海,傅妍芳. 长江经济带城市网络结构与空间格局:基于高速铁路流数据的分析[J]. 地域研究与开发,2022,41(3):75-81

[13] 周慧玲,许春晓. 中国城市旅游信息流空间网络结构特征分析[J]. 统计与决策,2019,35(20):91-94

[14] 张宏乔. 基于信息流的中原城市群城市网络空间特征及演化分析[J]. 地域研究与开发,2019,38(1):60-64