

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2022.03.004

引用格式:欧洋,张杰,冯杰,等.地质-地球物理三维可视化建模及其应用——以雄安新区为例[J].华东地质,2022,43(3):286-296.(OU Y, ZHANG J, FENG J, et al. 3D visualization modeling of geological and geophysical data and its application: A case study of Xiong'an New Area[J].East China Geology, 2022, 43(3):286-296.)

## 地质-地球物理三维可视化建模及其应用 ——以雄安新区为例

欧 洋<sup>1,2,3</sup>, 张 杰<sup>1,2</sup>, 冯 杰<sup>1</sup>, 刘东明<sup>1,2</sup>, 贾定宇<sup>1,2</sup>, 杨 峰<sup>4</sup>, 胡志鹏<sup>4</sup>, 林振洲<sup>1,2</sup>

- (1.中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北 廊坊 065000;
- 2.自然资源部城市地下空间探测评价工程技术创新中心,江苏 南京 210016;
- 3.中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院,北京 100083;
- 4.武汉盛华伟业科技股份有限公司,湖北 武汉 443000)

**摘要:** 地球物理方法作为探测地质结构的有效手段,可提供丰富的地质资料,利用地球物理数据开展三维可视化建模,能够将其转化为有用的地质信息,对形象、直观、准确地认识地下情况具有重要意义。针对雄安新区三维地质结构探测需求,基于钻孔、地质剖面、地震、测井等数据资料,采用三维构造建模、属性模拟、三维数据体网格分析等技术,建立了雄安新区三维地质结构模型和容东地区浅部三维物性模型,实现了三维模型的可视化显示与分析。地质-地球物理三维可视化建模为查明雄安新区地层结构和构造格架,评价水源地、深层地热资源和工程场地等提供了技术支持。

**关键词:** 地球物理数据;三维可视化;构造建模;属性模拟;雄安新区

**中图分类号:** P631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2022)03-286-11

地质体的三维可视化是在地质数据的基础上,利用数学手段建立地质体、地质构造或某种地质特征的描述,采用计算机三维可视化技术将数学描述以三维图形展现,为地质调查工作提供服务<sup>[1]</sup>。与传统的二维地质资料相比,三维地质模型能够形象、直观、动态地查看某一区域的地质结构特征,便于地质工作者更加准确地分析和解释地下的地质情况。由于三维地质模型展现形式的优势性,各国学者对地学信息可视化技术进行了深入研究与探讨,这项技术已成为地质成果表达及转化的热点,广泛应用于油气勘探、采矿设计、水文地质、工程地质、环境地质、城市地质勘探及城市地下空间管理等领域<sup>[2-8]</sup>。

地质模型三维可视化效果主要依赖于原始输入的数据,传统的建模主要依靠已有的地质平面图、剖面图和钻孔柱状图等地质资料。然而,勘探盲区和深部调查区的地质及钻探资料较少,这使三维复杂地质体的建模较困难,无法准确地描述地质体空间属性变化特征<sup>[9]</sup>。地球物理方法通过观测和研究地球物理场的变化来探测地质构造和地层岩性,可提供海量的地质体结构和物性信息。利用地球物理参数进行地质体模拟能弥补地质信息的不足,应用三维可视化建模技术能够充分结合地质、地球物理等资料,对于分析深部地质现象和构造情况具有重要意义。

随着计算机技术的飞速发展,三维可视化技术

\* 收稿日期:2021-05-25 修订日期:2021-10-18 责任编辑:谭桂丽

**基金项目:** 中国地质调查局“雄安新区深部三维地质结构探测(编号: DD20189133)”、“地质调查标准化与标准制修订(编号: DD20190471)”和中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中央财政科研项目结余资金(编号: JY202108)项目联合资助。

**第一作者简介:** 欧洋,1987年生,男,工程师,硕士,主要从事地球物理勘探研究工作。Email: oyang@mail.cgs.gov.cn。

**通信作者简介:** 张杰,1978年生,男,教授级高级工程师,硕士,主要从事地球物理勘探研究工作。Email: cgszjie@mail.cgs.gov.cn。

已广泛应用于地质学和地球物理学等领域。祁民等<sup>[10]</sup>在 WinDisp 软件平台下实现了高密度电法三维数据场可视化,构建了视电阻率参数三维地质体结构模型,为高分辨率预测复杂采空区的空间分布特征提供了直观、可靠的资料。李学森<sup>[11]</sup>采用规则矩形网格进行地震反射层位解释数据的网格化研究,运用普通克里金法进行数据场插值,建立反射层构造起伏的精细模型,实现了地震反射层位构造信息三维可视化。王显祥等<sup>[12]</sup>利用 CSAMT 勘探数据构建了地下三维电性结构,清晰、直观地了解 3D 地质体的空间范围与几何形态。花杰等<sup>[13]</sup>探索了一种高效的 CSAMT 数据快速局部插值算法,建立了数据场模型。李向宝等<sup>[14]</sup>以 Tecplot 软件为平台,实现了电磁法数据成果的三维展示。郑福龙等<sup>[15]</sup>利用高密度电阻率反演结果构建模拟三维空间成果,为垃圾填埋场的环境修复治理及土地恢复开发再利用提供了可靠的地球物理依据。

综上所述,地球物理三维可视化以多手段、多角度、多细节展示地下物性特征,有助于发现和提取有用异常,为地球物理数据的解释提供了有效工具。因此,本文通过总结雄安新区三维地质结构探测的相关经验,介绍了地球物理三维可视化建模平台及基本建模过程,建立了雄安新区三维地质模型和浅部三维物性模型,为雄安新区三维地质结构探测综合研究,评价该区水源地、深层地热资源和工程场地等提供参考。

## 1 三维可视化建模平台

三维可视化建模平台是由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所和武汉盛华伟业科技股份有限公司联合开发的三维建模软件——地球物理三维建模与可视化系统。该系统采用模块化开发,主要功能包含数据管理、钻孔成图、三维建模、网格分析等(图 1),能够实现地质数据与地球物理数据的统一存储和管理,综合测井数据处理、分析和成图,基于钻孔数据及层位数据的构造建模,基于测井数据和地球物理资料的属性模拟,地质对象的空间分析与可视化展示等功能。

(1)数据管理模块。提供有效的数据收集、存储、处理、应用等服务,数据主要包括重、磁、电磁、地震、综合测井、基础地质等。对结构化数据(如钻孔数据、测井数据等)采用数据库存储;对非结构化

数据(如大地电磁数据、瞬变电磁数据及三维断层数据文件等)采用独立的文件系统存储。同时,对数据以区块数据包的形式统一管理,为不同模块成图、计算、存取、数据编辑等提供统一接口,以适应多模块之间的数据协同处理及跨模块调用。

(2)钻孔成图模块。用于处理和分析地球物理勘查工作的大量钻孔数据,支持钻孔平面图、钻孔柱状图、钻孔轨迹及三维曲线的展示,并提供三维对象显示属性的设置功能,允许用户多角度、多维度、多方位地观察认识钻孔数据特征。

(3)三维建模模块。提供属性剖面及定位图片的断层解释功能,首先将剖面解释的断层回存至空间数据库,再通过断面重建构造三维断层模型,模拟三维空间的断层形态。根据钻孔层位数据或解释层位数据,生成地层界面,建立三维地质模型,并利用测井数据或三维空间散点物性,结合输入的三维构造网格骨架,建立三维地球物理属性模型,为后续解释工作提供数据分析和决策支持。

(4)网格分析模块。对已有网格数据进行阈值提取、等值面分析、切片分析、二维和三维数据展示等相关操作。

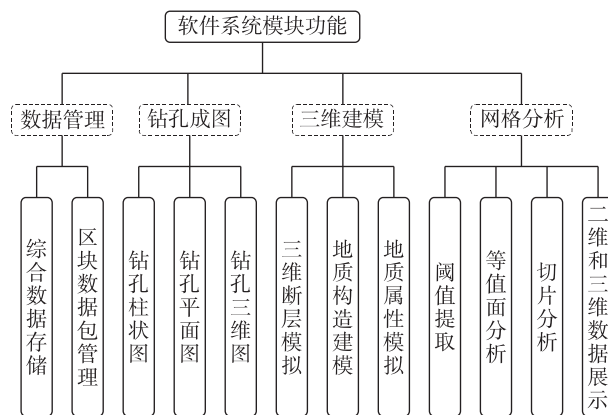


图 1 软件模块划分图

Fig. 1 Division of software modules

## 2 三维可视化建模过程

三维可视化建模将地质、地球物理和各种成果资料综合在一起,采用空间插值或随机模拟的方法建立实体模型。本文采用地质、地球物理并行的三维建模思路,一方面,利用收集的地质和钻孔资料,建立全区各地质界面模型,从建模角度对各界面进行初始化,建立模型环境,通过测区边界条件对模

型进行约束和扩边处理,最后构建测区构造模型。另一方面,从数据库导入钻孔空间位置和各种地球物理属性值,对属性值进行标准化,建立三维空间属性点,结合三维构造网格骨架,对三维空间属性点进行网格化插值,获得研究区三维地质-地球物理模型(图2)。三维地质-地球物理模型主要包括构造建模、属性模拟、网格分析三部分,前两部分主要是地质-地球物理模型的构建,后一部分主要是三维空间体的可视化展示。

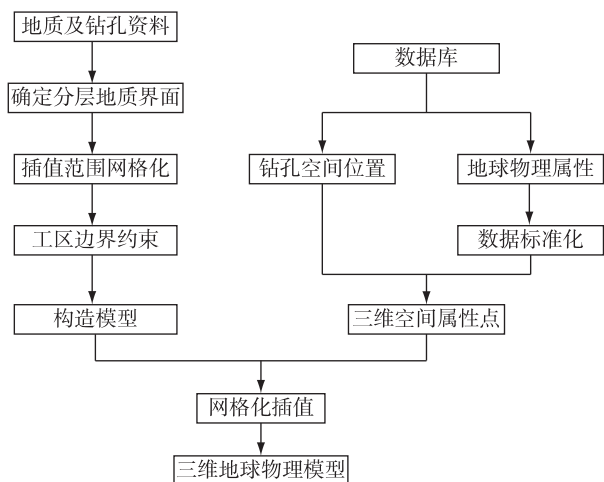


图2 三维可视化建模基本流程图

Fig. 2 Basic flow chart of 3D visualization modeling

## 2.1 构造建模

构造建模用于表达地层、断层等地下地质界面与地质体的三维空间形态和组合关系,其结果用矢量数据存储在数据库。构造建模主要利用钻孔数据及其他构造数据完成地质层位界面的生成和层内的细分。首先,提取区块各地层或小层顶底海拔数据,生成各地层或小层的顶底构造层面;然后,利用各层顶底的构造层面数据,结合模型网格插值算法在各层面中间进行计算,生成研究区块的构造模型;最后,对构造模型进行细分,将较厚的地层或小层细分模块化,方便后续进行属性模拟时,对属性参数提取及网格化插值精度的控制。

## 2.2 属性模拟

属性模拟侧重于地质体内部属性非均一性的表达,反映地质体内某一类物性属性特征值在三维空间的分布情况,刻画地质体内部的非均一性,其结果用栅格数据存储在数据库。在构造模型的基础上,首先提取测井曲线数据或地球物理反演数据,然后进行

曲线粗化,对曲线粗化结果采用网格插值算法对选择的层位进行属性模拟,得到三维属性模型,形成对地层属性特征的直观认识。

## 2.3 网格分析

网格分析利用基础网格分析和提取算法,实现已有三维网格阈值范围内网格子体提取及包络体生成、特征等值面分析、切片分析等三维网格分析功能,并以二维或三维的形式显示分析结果。

(1)阈值提取。通过设置1个或多个阈值,获取特征区域的响应结果,或提取阈值范围的子网格,提取方式包括子网格提取和包络体提取。

(2)等值面分析。是一种常用的可视化技术,可以仅提取感兴趣的1个或几个组织轮廓,生成网格模型以供后续处理和显示。

(3)切片分析。对于规则的三维体网格,通过指定1个方向建立切片,进行不同方向的数据展示及分析,观察物性特征值在不同方向上的空间分布和走势。可以建立 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 坐标轴方向和自定义连井剖面方向的分析面。

## 3 应用实例

### 3.1 研究区地质概况

雄安新区地处北京、天津、保定地区的腹地,包括容城、雄县、安新及任丘、高阳等部分乡镇,面积1 770 km<sup>2</sup>。该区处于渤海湾盆地冀中拗陷中部(图3),周围分别与保定、徐水、廊固、霸县、饶阳等凹陷相接,整体位于冀中拗陷北部与中部构造过渡与转换部位<sup>[16]</sup>。构造单元组成上包括容城凸起、牛驼镇凸起南部、牛北斜坡南部和白洋淀一大河洼槽,具有“两凸夹一洼”的特征,这种基底隆起与拗陷相间的构造格局,控制着新生界沉积物的分布与发育<sup>[17]</sup>。

雄安新区地层自下至上依次包括太古宇、古元古界、中元古界(长城系和蓟县系)、古近系(孔店组、沙河街组、东营组)、新近系(馆陶组和明化镇组)和第四系。古近系在保定凹陷、廊固凹陷、饶阳凹陷及高阳低凸起分布,且沉积厚度一般为4 000~5 000 m,岩性以砂岩、泥岩、泥质砂岩为主。新近系以河流相砂、泥岩沉积为主,馆陶组厚0~424.5 m,明化镇组厚686~947 m。第四系底部为粉砂、中砂,上部发育砂质黏土,厚348~437 m<sup>[16]</sup>。

区内中元古界构成了研究区褶皱变质基底,中

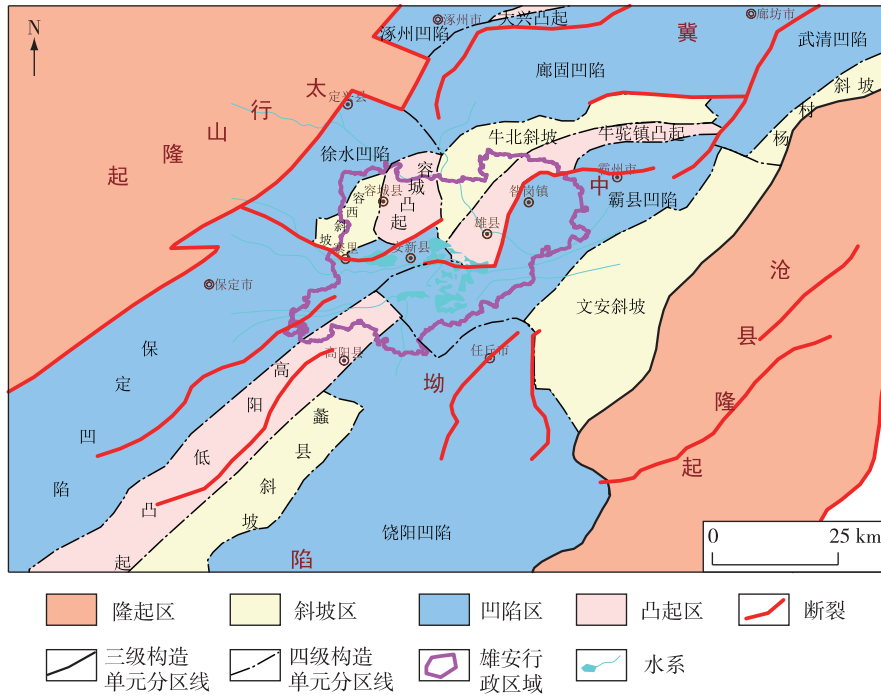


图 3 雄安新区大地构造位置图  
Fig. 3 Geotectonic location of the Xiong'an New Area

元古界—古生界构成了地台型基底,为一套以海相碳酸盐岩为主的地层。中生代,该区沉积较局限,始新世初期开始大规模断陷,接受了巨厚的古近系、新近系及第四系沉积<sup>[18]</sup>。雄安新区断裂较发育,主要为 NNE 向和 NE 向断裂,其中容城断裂、牛东断裂、高阳断裂分别为容城凸起、牛驼镇凸起、高阳低凸起等Ⅳ级构造单元的边界断裂。

### 3.2 研究区三维地质结构模型

结合地质资料,通过综合地球物理探测技术获得雄安新区基本构造单元、主要断裂展布及基岩界面的埋深情况,建立各构造单元及主控断裂的关系,展示基岩界面及各层位的三维起伏形态,了解全区基本地质构造情况。本次建模共利用地热深钻 13 孔,深地震反射剖面 3 条(图 4)。由 3 条地震剖面建立新区地质模型的整体框架结构,13 个深钻数据作为模型结构的离散控制点,对模型各地层的层位数据进行约束,并结合三维大地电磁反演结果,对层位模型做进一步约束和修正,最终得到各地质界面的空间形态(图 5)。在此基础上,构建了雄安新区三维地质结构模型(图 6),分别划分了第四系—新近系、新近系—古近系、古近系—前新生界等主要地质界面。从模型中可以看出,新区第四

系厚度较稳定,地层产状较平缓,整体略向东倾斜,由西向东逐渐加厚,沉积厚度 400~600 m。新近系近似水平分布,呈“北薄南厚”的特征,沉积厚度 700~1 400 m,浅部明华镇组孔隙型砂岩是区内地热储层之一<sup>[19]</sup>。古近系厚度变化较大,从几百米到几千米,在容城凸起、牛驼镇凸起已全部剥蚀,主要分布在徐水凹陷、霸县凹陷、饶阳凹陷及高阳低凸

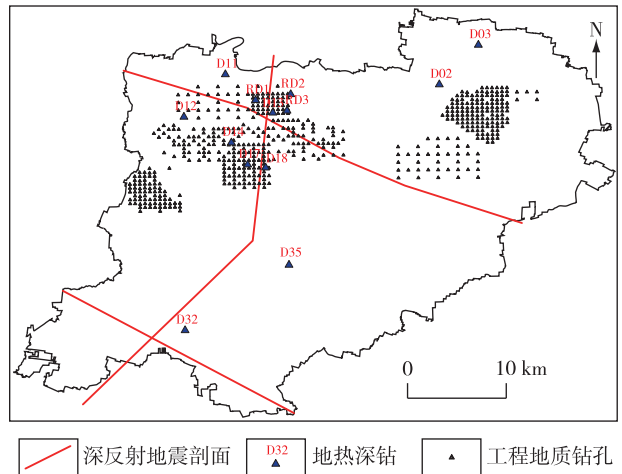


图 4 雄安新区三维建模钻孔及地震剖面分布图  
Fig. 4 Distribution of boreholes and seismic profiles for 3D modeling of the Xiong'an New Area



起内,且沉积厚度巨大,该层位是区内重要的石油资源储层<sup>[20]</sup>。蓟县系雾迷山组和高于庄组受断裂影响,埋深和厚度在全区变化较大,在容城凸起中心局部缺失,两翼厚度明显增大,厚度约 2 000 m。

高于庄组在全区均有分布,呈凸起中心厚度小、两翼厚度大的特征。蓟县系碳酸盐岩是区内重要的地热资源储层,是在热传导与热对流共同作用下形成的深循环构造裂隙型热储<sup>[19]</sup>。

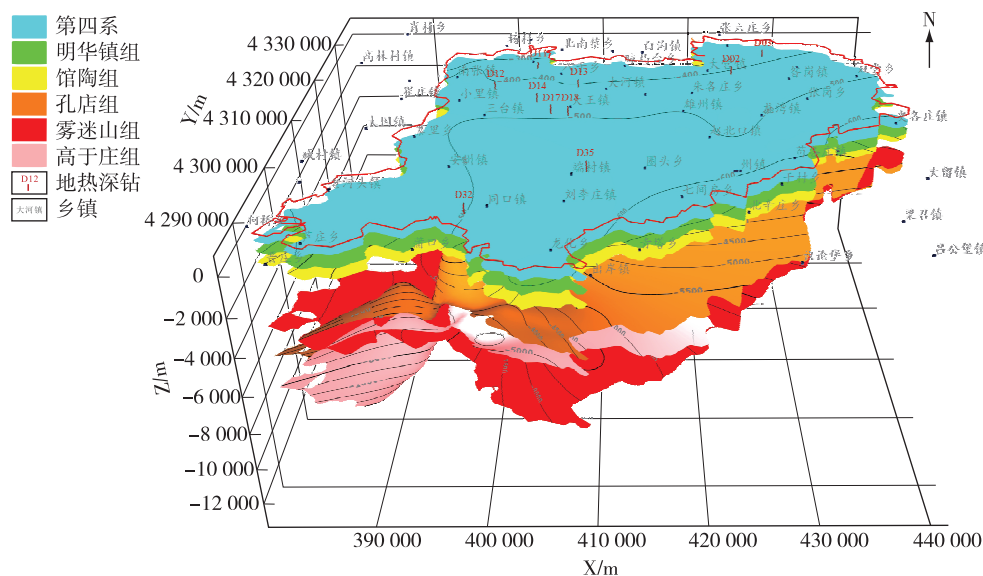


图 5 雄安新区地质界面空间展布形态

Fig. 5 Spatial distribution of geological interfaces of the Xiong'an New Area

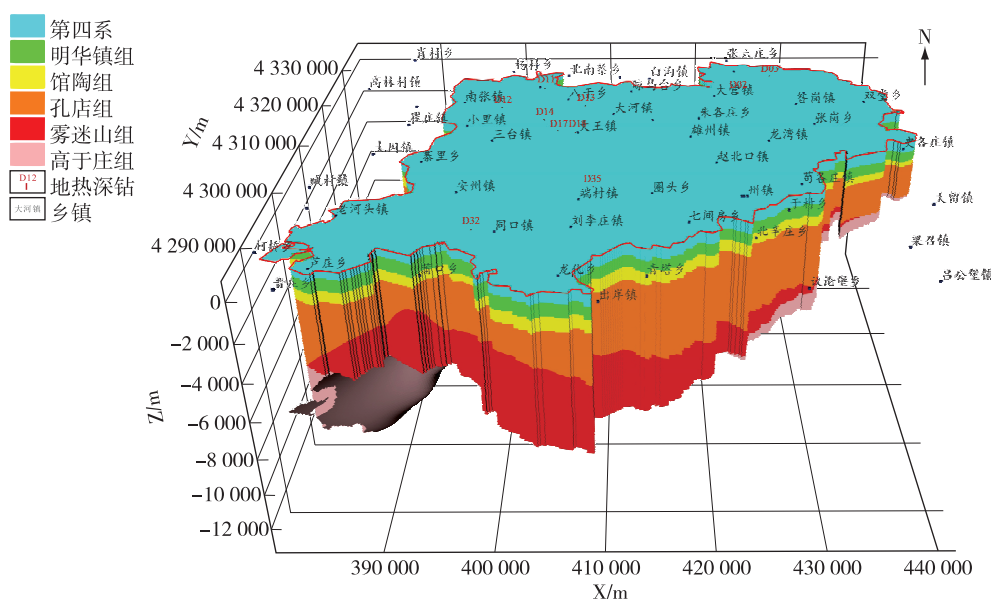


图 6 雄安新区三维地质结构模型

Fig. 6 3D geological model of the Xiong'an New Area

### 3.3 容东地区浅部三维物性模型

为了支撑服务雄安新区第四系地质调查、水工环地质调查及工程建设,在局部重点区域开展了工

程地质钻孔综合测井工作,共计完成 495 个工程地质钻孔的综合测井工作,获取了 36 900 m 测井和 31 780 m 剪切波速度资料以及大量 50~200 m 第

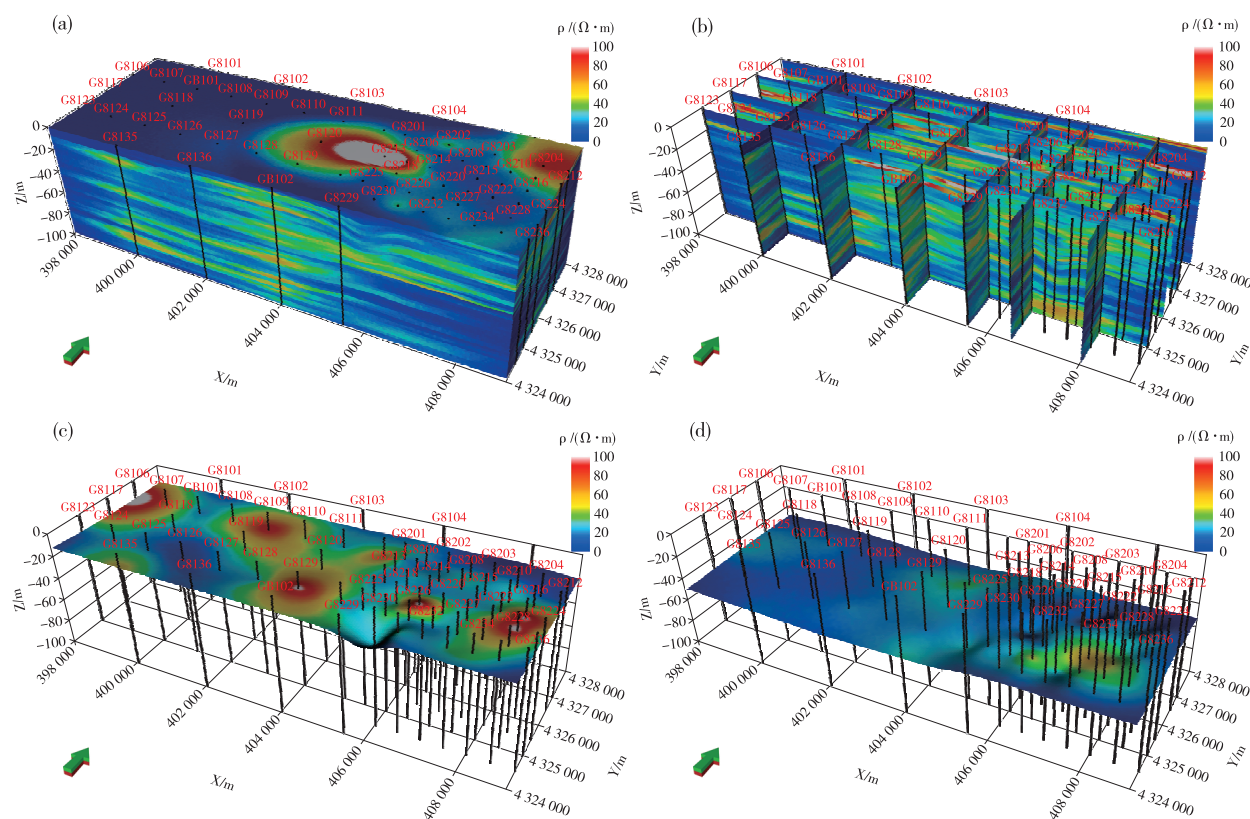
四系物性数据。钻孔主要分布于容城县、大王镇,黑龙江口乡、咎岗镇、雄州镇,分别以上述地区为单位开展了浅部三维物性建模工作,主要包括视电阻率、自然伽马、剪切波速度 3 种属性。

在容东地区开展了 74 个钻孔的综合测井工作,主要位于容城县城及容东地区,以 50 m、100 m 钻孔为主,也有少量 200 m 钻孔,以该区域为例建立了 100 m 以浅三维物性模型。

### 3.3.1 视电阻率模型

对各钻孔的视电阻率值进行归一化后,根据不同深度和网度开展网格化插值,建立三维视电阻率模型(图 7(a))。在三维模型的基础上,从不同方向、连井剖面上建立模型切片,进而直观地开展地质和地球物理解释工作。从不同方向切取剖面得到的栅状图如图 7(b)所示。从容城测区主体区域看,在研究区中部和东北角分别出现高电阻率异常区,其中中部异常区面积较大,约为 6 km<sup>2</sup>。研究区

10 m 深度视电阻率平面分布如图 7(c)所示,随着深度的增加,中部电阻率异常区向南和西北迁移,并分化成多个高值异常中心;东北区域的高异常区向南迁移,分离为 2 个异常中心,异常幅值减小,西部也出现了较大的异常区域。研究区 50 m 深度视电阻率平面分布如图 7(d)所示,电阻率异常区域偏移到东部偏南位置,但是异常相对较弱,表现为 1 个中心异常,研究区其他区域电阻率异常相对分散,且异常幅值明显变小。由于研究区属于平原厚覆盖区,地表绝大部分被第四系覆盖,主要岩性为砂和黏土。通常情况,黏土类地层表现为相对高自然伽马、低电阻率的特征,一般对应隔水层。砂类地层表现为相对低自然伽马、高电阻率特征,一般对应含水层。那么,相对高的电阻率异常可以反映砂层的分布范围和变化规律,研究区电阻率异常随深度出现位置和强弱变化的现象,说明不同地质时期的砂层随着曲流河河道的摆动而发生了迁移。



(a).三维视电阻率模型;(b).视电阻率模型栅状图;(c).10 m 深度视电阻率平面分布图;(d).50 m 深度视电阻率平面分布图

图 7 容东地区三维视电阻率模型图

Fig. 7 3D apparent resistivity model of the Rongdong area

对容东地区地下 100 m 以浅的三维视电阻率模型,采用阈值提取技术获得了视电阻率 $>40 \Omega \cdot \text{m}$ 的电性异常体(图 8),用其近似表示含水砂体的空间展布特征。由图 8 中可推断,该片区 0~100 m 主要发育 3 套含水砂体,分别对应第Ⅰ含水组、第Ⅱ含水组和第Ⅲ含水组。第一套含水砂体大体位于 5~20 m,由 1~2 层砂体组成,对应第Ⅰ含水组,东部砂体呈带状展

布,分布比较密集,西部砂体呈零星片状展布,横向连通性较差;第二套砂体大体位于 30~60 m,由 2~4 层砂体组成,对应第Ⅱ含水组,砂体呈零星片状展布,整体连通性较差;第三套砂体大体位于 80~100 m,由 1~2 层砂体组成,对应第Ⅲ含水组,测区东部和西部砂体呈零星片状展布,整体连通性较差。可见,区内含水储层总体条件较好。

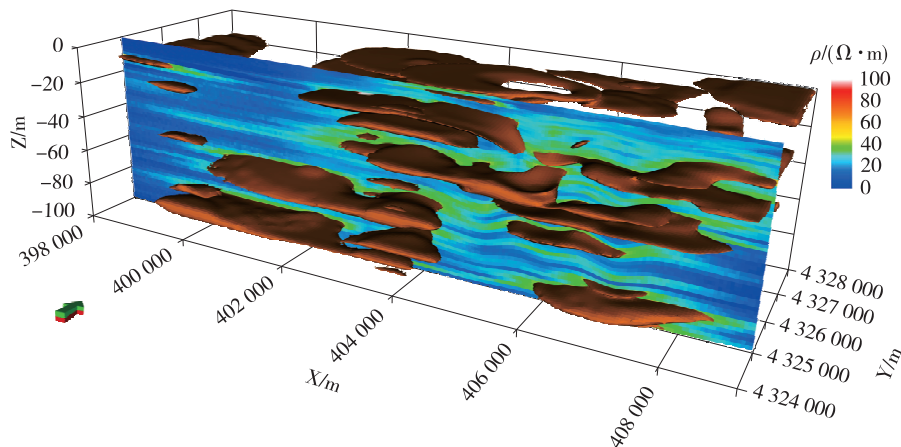


图 8 容东地区视电阻率阈值提取模型(视电阻率 $>40 \Omega \cdot \text{m}$ )

Fig. 8 Threshold extraction model of apparent resistivity in the Rongdong area (apparent resistivity $>40 \Omega \cdot \text{m}$ )

### 3.3.2 自然伽马模型

根据各钻孔自然伽马测井数据,建立了测区三维自然伽马模型(图 9(a)、图 9(b)),从容东测区主体区域来看,自然伽马高异常区主要位于研究区中西部、南东部和北东部,其中中西部异常区域面积最大,约为  $20 \text{ km}^2$ 。研究区 10 m 深自然伽马平面分布特征如图 9(c)所示,可以看出,随着深度的增加,西部大面积的高异常区快速减少,东部大面积的高异常区分解为多个独立的相对较小的高值异常区,异常幅值也有所减小。研究区 50 m 深自然伽马平面分布特征如图 9(d)所示,与 10 m 深自然伽马平面分布特征相比,50 m 深自然伽马高异常区域变大,分散的异常连在一起,异常变化不大。研究区浅部岩性主要为砂和黏土,自然伽马异常的大小和形态反映了黏土层的分布范围和变化特征,高自然伽马异常对应积水洼地形成的黏土层。自然伽马异常随深度出现位置变化的现象,说明在不同地质时期积水洼地的位置随着曲流河河道的摆动而发生变化,从而形成了不同的黏土层,对进一步分析浅部第四纪河道变化及环境演化趋势提供了

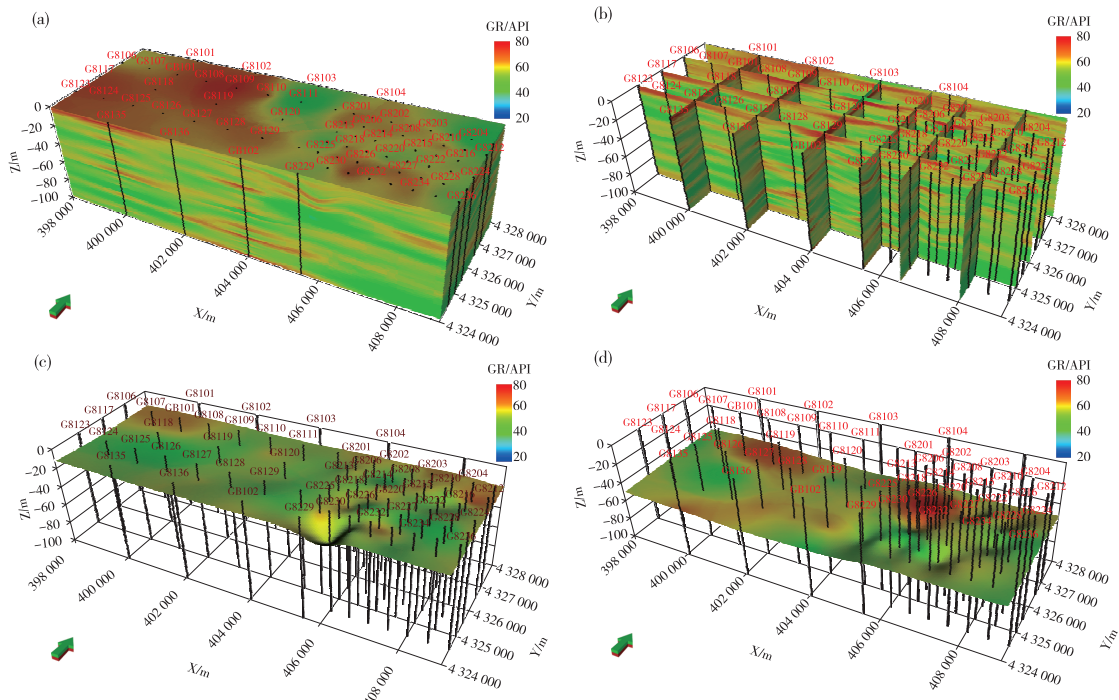
依据。

### 3.3.3 剪切波速度模型

根据各钻孔不同深度的剪切波速度值,建立了研究区三维剪切波速度模型(图 10)。由图 10(a)和图 10(b)可以直观看出全区域的剪切波速度的分布情况,随着深度的增加,剪切波速度逐渐增大。

图 10(c)和图 10(d)分别是研究区剪切波速为 150 m/s 和 250 m/s 的等深度图。可以看出,研究区大部分区域在 3 m 及以浅深度的剪切波速度可达到 150 m/s,个别零星区域深度达到 8~10 m。在研究区西部大范围及东部局部地区,250 m/s 剪切波等速层基本位于地表以下 8~12 m,个别零星区域深度达 20~25 m。依据《GB 50011—2010 建筑抗震设计规范》<sup>[21]</sup>,可将该区 5 m 以浅土层划分为软弱土,5~10 m 土层划分为中软土,10~20 m 土层划分为中硬土,建筑场地的覆盖层厚度 $>50 \text{ m}$ ,土层的等效剪切波速度 150~250 m/s,因此,可将该区划分为Ⅲ类场地类型。通过建立三维剪切波速度模型,为新区地基土和建筑工程场地类型划分和评价提供了依据。

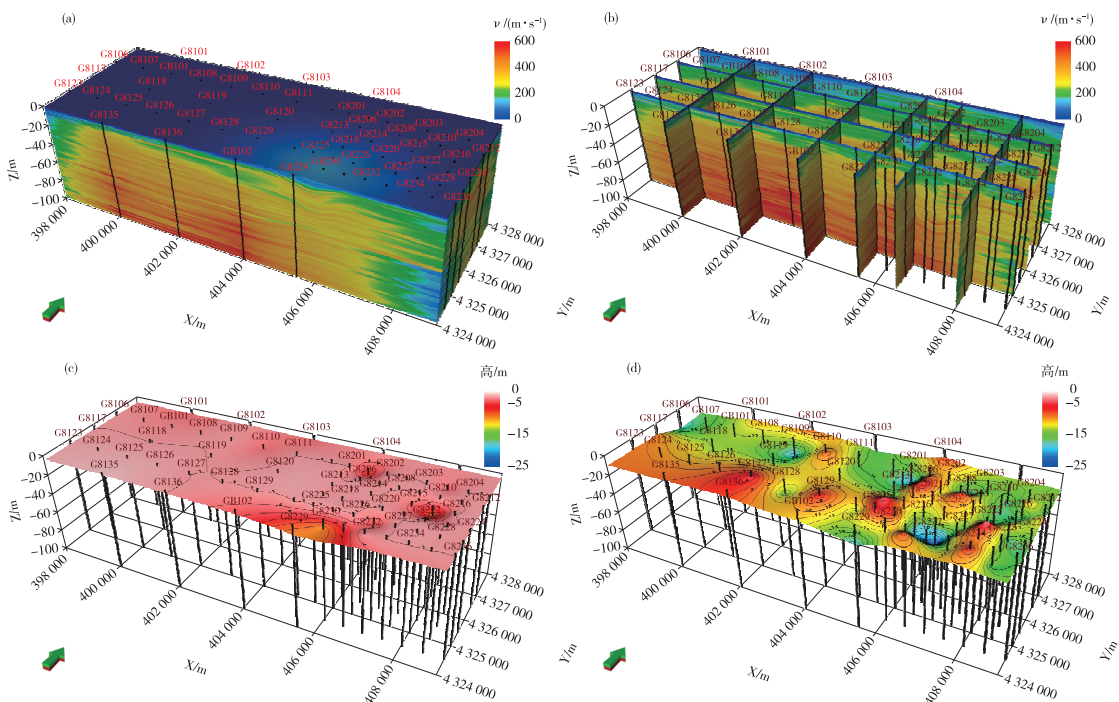




(a)三维自然伽马模型;(b)自然伽马模型栅状图;(c)10 m 深自然伽马平面分布图;(d)50 m 深自然伽马平面分布图

图 9 容东三维自然伽马模型

Fig. 9 3D natural gamma model of Rongdong area



(a)三维剪切波速度模型;(b)剪切波速度模型栅状图;(c)剪切波速为 150 m/s 等深度图;(d)剪切波速为 250 m/s 等深度图

图 10 容东地区三维剪切波速度模型

Fig. 10 3D shear wave velocity model of the Rongdong area



## 4 结论

(1)地球物理数据为探测地层岩性、地质构造等提供了丰富的资料,利用地球物理三维可视化建模,突破了地球物理数据场二维表达的限制,提供了更直观、更准确的三维地球物模型,有利于地质人员进一步分析和判断相关地质特征。

(2)三维可视化技术从多方位、多角度显示地下物性的分布情况,能够更好地显示异常体的位置,对三维地球物理模型采用网格分析技术,有助于发现和提取有用异常,提供一种有效的地球物理数据解释手段。

(3)通过建立雄安新区三维地质结构模型,进一步认识了地层结构特征,可为评价深层地热资源提供三维可视化资料。利用测井数据建立浅部三维物性模型,为评价含水储层和划分工程场地提供了有效的技术手段。

## 参考文献

- [1] 祁民. 基于地球物理场的地质体三维可视化[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2005.  
QI M. Three Dimensional visualization of geological structure based on Geophysical field data[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [2] 凌咏红, 黄小微. 油田三维地质建模技术及其软件实现[J]. 计算机工程, 2009, 35(1): 237-239.  
LING Y H, HUANG X W. 3D geologic modeling technology of oilfield and its software implementation [J]. Computer Engineering, 2009, 35(1): 237-239.
- [3] 李青元, 张丽云, 魏占营, 等. 三维地质建模软件发展现状及问题探讨[J]. 地质学刊, 2013, 37(4): 554-561.  
LI Q Y, ZHANG L Y, WEI Z Y, et al. On 3D geological modeling software development and discussions on several issues[J]. Journal of Geology, 2013, 37(4): 554-561.
- [4] 陈忠良, 童劲松, 吴雪峰, 等. 安徽运漕地区隐伏地质体三维模型构建及应用[J]. 资源调查与环境, 2015, 36(2): 123-129.  
CHEN Z L, TONG J S, WU X F, et al. Construction and application of 3D hidden geological model in Yuncao area, Anhui Province[J]. Resources Survey and Environment, 2015, 36(2): 123-129.
- [5] 朱威, 王大勇, 王书民, 等. 立体地质填图三维建模技术方法与应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(4): 571-578.  
ZHU W, WANG D Y, WANG S M, et al. Methods and application research of 3D modelling technology in spatial geological mapping[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 38(4): 571-578.
- [6] 杨波, 杜建国, 胡海风, 等. 深部矿产地质调查中多元数据三维地质建模技术研究——以铜陵矿集区为例[J]. 华东地质, 2017, 38(3): 218-227.  
YANG B, DU J G, HU H F, et al. Three dimensional geological modeling technology of multivariate data in deep mineral survey: An example from the Tongling ore cluster area[J]. East China Geology, 2017, 38(3): 218-227.
- [7] 张源. 城市三维地质建模方法研究[J]. 矿山测量, 2021, 49(1): 65-68.  
ZHANG Y. Research on urban 3D geological modeling method[J]. Mine Surveying, 2021, 49(1): 65-68.
- [8] 邢怀学, 葛伟亚, 华健, 等. 城市地上地下一体化大数据信息平台助力杭州智慧城市建设[J]. 华东地质, 2020, 41(2): 176.  
XING H X, GE W Y, HUA J, et al. Integrated urban ground-underground big data information platform helps Hangzhou build a smart city[J]. East China Geology, 2020, 41(2): 176.
- [9] 武强, 徐华. 三维地质建模与可视化方法研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2004, 34(1): 54-60.  
WU Q, XU H. Research on 3D geological modeling and visualization method[J]. Scientia Sinica Terrae, 2004, 34(1): 54-60.
- [10] 祁民, 张宝林, 梁光河. 高密度电法的三维数据场可视化[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 981-986.  
QI M, ZHANG B L, LIANG G H. The visualization of three dimension data field of high density electrical technique[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 981-986.
- [11] 李学森. 地震反射层位构造信息三维可视化显示技术研究[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 735-740.  
LI X S. A study on 3 D visualization display technique for tectonic Information from seismic horizon[J]. Pro-

- gress in Geophysics, 2005, 20(3): 735-740.
- [12] 王显祥,王光杰,闫永利,等. 三维可视化在CSAMT勘探中的应用[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(1): 296-303.
- WANG X X, WANG G J, YAN Y L, et al. The application of 3D visualization in CSAMT exploration[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(1): 296-303.
- [13] 花杰,邢廷炎,芮小平. CSAMT数据三维可视化的方法[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1743-1753.
- HUA J, XING T Y, RUI X P. The 3D-visualization methods for CSAMT data[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(4): 1743-1753.
- [14] 李向宝,朱怀亮,王申岫,等. 地球物理数据三维可视化实现方法[J]. 矿产与地质, 2020, 34(1): 115-119.
- LI X B, ZHU H L, WANG S S, et al. Realization method for 3D visualization of geophysical data [J]. Mineral Resources and Geology, 2020, 34(1): 115-119.
- [15] 郑福龙,韩磊,庞有炜,等. 高密度电阻率三维可视化成像技术在垃圾填埋场环境修复治理中的应用研究[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18(2): 222-228.
- ZHENG F L, HAN L, PANG Y W, et al. Research on the application of 3D visualization imaging technology of high density resistivity in environmental remediation of landfill[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2021, 18(2): 222-228.
- [16] 何登发,单帅强,张煜颖,等. 雄安新区的三维地质结构:来自反射地震资料的约束[J]. 中国科学:地球科学, 2018, 48(9): 1207-1222.
- HE D F, SHAN S Q, ZHANG Y Y, et al. 3-D geologic architecture of Xiong'an New Area: Constraints from seismic reflection data[J]. Scientia Sinica Terrae, 2018, 48(9): 1207-1222.
- [17] 任振纪,于开宁,闫贵凡. 河北省雄县牛驼镇地热田第四纪古土壤与古地理环境[J]. 地球学报, 1999, 20(2): 201-206.
- REN Z J, YU K N, YAN G F. The ancient soil and palaeogeographic environment of Niutuozen geothermal field, Hebei province in Quaternary period[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(2): 201-206.
- [18] 于长春,乔日新,张迪硕. 雄安新区航磁推断的三维基底构造特征[J]. 物探与化探, 2017, 41(3): 385-391.
- YU C C, QIAO R X, ZHANG D S. The basement tectonic characteristics from interpretation of aeromagnetic data in Xiong'an region[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3): 385-391.
- [19] 马峰,王贵玲,张薇,等. 雄安新区容城地热田热储空间结构及资源潜力[J]. 地质学报, 2020, 94(7): 1981-1990.
- MA F, WANG G L, ZHANG W, et al. Structure of geothermal reservoirs and resource potential in the Rongcheng geothermal field in Xiong'an New Area[J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(7): 1981-1990.
- [20] 张文朝,杨德相,陈彦均,等. 冀中坳陷古近系沉积构造特征与油气分布规律[J]. 地质学报, 2008, 82(8): 1103-1112.
- ZHANG W C, YANG D X, CHEN Y J, et al. Sedimentary structural characteristics and hydrocarbon distributed rules of Jizhong depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(8): 1103-1112.
- [21] 中国建筑科学研究院.GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010: 19-20.
- China Academy of Building Research. GB50011—2010 Code for seismic design of buildings[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010: 19-20.

### 3D visualization modeling of geological and geophysical data and its application: A case study of Xiong'an New Area

OU Yang<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Jie<sup>1,2</sup>, FENG Jie<sup>1</sup>, LIU Dongming<sup>1,2</sup>, JIA Dingyu<sup>1,2</sup>,  
YANG Feng<sup>4</sup>, HU Zhipeng<sup>4</sup>, LIN Zhenzhou<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China;*

2. *Engineering Technology Innovation Center for Urban Underground Space Exploration and Evaluation, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*

3. *School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;*

4. *Wuhan Shenghua Weiye Technology Co., Ltd, Wuhan 443000, Hubei, China)*

**Abstract:** As an effective means of detecting geological structure, geophysical techniques can provide abundant data. 3D visualization modeling can transform geophysical data into useful geological information, which is of great significance for the vivid, intuitive and accurate understanding of underground geological phenomena and structures. To meet the demand of deep 3D geological structure exploration in Xiong'an New Area, based on comprehensive geophysical data, such as borehole data, geological profiles, seismic data, logging data and so on, 3D geological structure models and shallow 3D physical models of Rongdong area are established by the technologies of 3D tectonic modeling, property simulation and mesh analysis of 3D data. The visualization and analysis of 3D models are ultimately realized, which can provide technical supports for the identification of the stratigraphic structure and tectonic framework, and the evaluation of the water sources, deep geothermal resources and construction sites in Xiong'an New Area.

**Key words:** geophysics data; 3D visualization; tectonic modeling; property simulation; Xiong'an New Area