

东营市地面沉降模型的构建与应用

孙斌¹, 武显仓¹, 林广奇¹, 张乐²

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 东营市国土资源局, 山东 东营 257000)

摘要:东营市是山东省内重要的沿海经济开发区, 近年来地面沉降灾害制约了东营市的经济社会发展。构建三维地面沉降模型可以实现东营市地面沉降监测资料的信息化、可视化。根据东营市地质条件及矿产资源赋存层位, 将三维地质结构模型的标准分层分为13层; 而后收集了东营地区深钻540个, 深度均在2000 m及以上, 其中有82个能够达到4000~5000 m甚至更大深度, 按照标准分层, 对所有钻孔进行标准化处理, 并进一步利用Mapgis K9软件建立了三维地质结构模型, 首次实现了以矿产资源层位划分为依据的大深度的东营市三维可视化地质结构模型模拟分析。同时, 结合东营市19座地面沉降监测站数据, 构建了地面沉降模型, 首次实现了地面沉降的动态预测及监测, 为东营市地面沉降评估与防治提供了科学依据。

关键词: 三维地质结构模型; 地面沉降; 东营市

中图分类号: P642.26

文献标识码: B

引文格式: 孙斌, 武显仓, 林广奇, 等. 东营市地面沉降模型的构建与应用[J]. 山东国土资源, 2017, 33(4): 63-66.

SUN Bin, WU Xianchang, LIN Guangqi etc. Construction and Application of Land Subsidence Model in Dongying City[J].

Shandong Land and Resources, 2017, 33(4): 63-66.

0 引言

东营市先后于2009年、2011年被纳入《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》及《山东半岛蓝色经济区发展规划》, 是山东省内重要的沿海经济开发区。2012年5月, 国家科技部正式批复东营市高效生态农业示范区为国家农业科技园区。“黄”、“蓝”两大国家战略在东营融合交会、叠加聚焦, 东营成为全省唯一全部纳入两大国家战略的城市。然而, 由于长期以来的油气资源开采、地下水资源开采、自然沉降、地面载荷、新构造运动及海平面上升等综合因素^[1-4]影响, 东营地面沉降灾害已经普遍存在^[5-6], 制约了东营市经济社会发展。

随着地质信息化及三维可视化技术的发展, 其应用领域越来越广。地质信息系统是指对城市地质数据进行加工、处理, 并配以一定可视化表现手段的地质信息分析、共享系统^[7-8]。

而三维地质信息的表达称为三维地学模拟, 它

是由地质勘探学、数学地质、地球物理、矿山测量、矿井地质、GIS、图形图象学、科学可视化等学科交叉而形成的一门新兴学科, 它由加拿大 Simon W Houlding 于1994年首先提出^[9-10]。经过十多年的研究, 研究者提出20多种应用于三维地质体建模三维空间数据, 李清泉等把它们归纳为基于栅格的数据模型、基于矢量的三维空间模型和混合结构的三维模型^[11]。多年来地质学家一直在关注地质体三维建模技术的探讨, 并将构模方法总的归纳为基于面模型、基于体模型和基于混合模型的构模法三大类^[12]。高赞东等^[13]于2012年建立了济南市水文地质信息系统, 推动了济南市城市地质的发展。类似的研究也在滨州市沿海地区、泰安市等地展开, 而东营市目前尚欠缺此类研究。

该文基于东营市地质条件及矿产资源赋存层位, 并进一步收集深钻540个, 采用三维可视化技术, 建立了东营市三维立体化地质结构模型, 而后耦合地面沉降模型, 对东营市地面沉降现状进行评估, 为东营市地面沉降防控提供决策支持。

收稿日期: 2016-11-03; 修订日期: 2016-12-23; 编辑: 陶卫卫

基金项目: 山东省国土资源厅, 山东省东营市资源环境综合地质信息系统建设, 编号: 鲁勘字(2013)9号

作者简介: 孙斌(1982—), 男, 山东荣成人, 高级工程师, 从事水文地质与环境地质研究; E-mail: spinhrlr@163.com

1 研究区概况

东营市位于山东省东北部,鲁北黄河三角洲平原上^[14],东、北两面濒临渤海,西与滨州市毗邻,南与淄博、潍坊市接壤。大地构造区位于鲁西南拗陷的西南部^[15]。东营市市域范围内被厚达 168~420 m 的第四系覆盖,岩性以粉土、粉质粘土和砂层互层为主^[16]。其下为盆地型沉积,拗陷基底由太古界变质岩系构成,基底之上沉积盖层厚逾万米。早古生代广泛发育碳酸盐岩,晚古生代演变为海陆交互相含煤沉积,至中、新生代转为陆相河湖碎屑岩沉积,这一包括巨厚的暗色泥岩、碳酸盐岩和砂岩在内的地层,为复式油气藏的形成提供了富含有机质的生油层。新生界发育齐全,包括古近系、新近系和第四系,其中古近系厚度超过 7 000 m,新近系厚度 1 000~2 000 m。第四纪沉积物以黄河冲洪积、湖沼相堆积物为主^[17],沉积厚度 370~450 m。该区属鲁西北平原松散岩类水文地质区,北部海积冲积平原地下水以咸水为主,在南部冲积洪积平原淡水水文区地下水超采严重,存在降落漏斗,除降落漏斗外水位埋深普遍小于 4 m。

东营市地面沉降发现于 1985 年,2002—2008 年共进行了 6 次地面沉降水准测量。通过对区内地面沉降观测点的监测结果分析,监测区普遍存在地面沉降,且广饶县沉降量大于东营区,东营区西部沉降量大于东部。东营市存在东营区和广饶县 2 个较为明显的沉降“洼地”;东营地面沉降区是以东营市东营区胜利油田基地(该点位于西四路与黄河路交叉口)为中心的沉降区,-150 mm 等降深线面积为 15 km²,中心点累计沉降量为 155.1 mm,年均沉降速率 28.2 mm;广饶沉降区以广饶县城北开发区为中心,-150 mm 等沉降线面积为 523 km²,中心点沉降量 356.0 mm,年均沉降速率 64.7 mm^[18-19]。

2 三维地质结构模型的建立

三维地质建模功能主要是基于地质多专业数据,实现三维地质模型的构建。鉴于东营市资源环境的现状,为地质矿产资源管理及地质找矿提供三维可视化平台,同时为决策者及时掌握地质环境的动态变化,制定决策提供科学依据。根据收集资料的翔实程度及精度大小,综合分析可以覆盖整个东

营市范围的基本要求,能够满足建模标准要求的数据为地热钻孔数据、地面沉降数据。

东营市地面沉降形成及影响因素复杂,这与其区域地质背景条件和人为因素密不可分,为了深入了解其地下资源空间分布及人类开发利用基础,该文利用 MapGIS K9 软件,首先建立了整个东营市的三维地质结构模型。

2.1 建立标准地层

东营市具有特殊的地形地貌、地理地质条件,其矿产资源种类繁多,有地下淡水、卤水、贝壳、地热、石油、天然气、油页岩、煤等,各类矿产资源的赋存与储藏与区域地层岩性、构造及古沉积环境有着密切关系。为了比较清晰地认识和了解地下地质矿产资源、地质储层的空间结构分布特征,根据东营市地质条件及矿产资源赋存层位,将三维地质结构模型的标准分层分为 13 层(表 1),以不同颜色填充区分。

表 1 三维地质结构模型标准分层

序号	地层名称	主要矿产资源
1	第四系	淡水、贝壳、卤水
2	新近纪明化镇组	淡水、天然气
3	新近纪馆陶组	地热、石油、天然气
4	古近纪东营组	地热、石油
5	古近纪沙河街组一段	石油
6	古近纪沙河街组二段	石油
7	古近纪沙河街组三段	卤水、油页岩、石油
8	古近纪沙河街组四段	卤水、油页岩、盐岩、石油
9	古近纪孔店组	油页岩、盐岩、石油、天然气、煤
10	侏罗-白垩系	石油、煤
11	石炭-二叠系	石油、煤
12	寒武-奥陶系	地热、石油
13	新太古代泰山岩群	石油

2.2 钻孔资料整编

该次研究共收集到的可利用的深钻孔共计 540 个,主要集中于东城城区附近及北部河口区一带,其余钻孔分布相对较为均匀。根据钻孔统计资料,钻孔类型主要以地热钻孔为主,埋藏深度一般为 2 000 m 左右;收集到的石油钻孔中有 82 个能够达到 4 000~5 000 m 甚至更大深度,虽然都集中分布于东营市胜利油田的几大采油区附近,但也对该地区深层地质情况提供了参考。按照上述分层标准,对所有钻孔进行标准化处理。

2.3 地质剖面搭建

首先,编辑剖面轨迹线。用 txt 文档顺序记录每一条剖面所经过的钻孔编码,生成每一条轨迹线 txt

数据;其次,编辑剖面图。在成果编辑视图中,对自动生成的剖面,根据专业地质条件进行编辑修改,以符合地质现状;最后,剖面图保存。把生成和编辑完成的剖面图存储到 HDF 数据库中。

2.4 地质子面构建

将二维地质剖面转化为三维剖面,并构建单元格。对属性相同的弧段进行弧段封闭构网,形成地层面,然后对已有的地质面进行合并、颜色修改、追面边界线,完成地层剖面约束下的地质子面构建。

2.5 地质块体封闭

将所需的地质面添加到该图层中,全选地质面进行块体封闭,最终将属性相同的块体进行合并。然后,通过标准地层层序,依次构建出所有地质体的地质子面模型,最后,通过拓扑处理,构建出整个东营市的三维立体结构模型(图 1)。

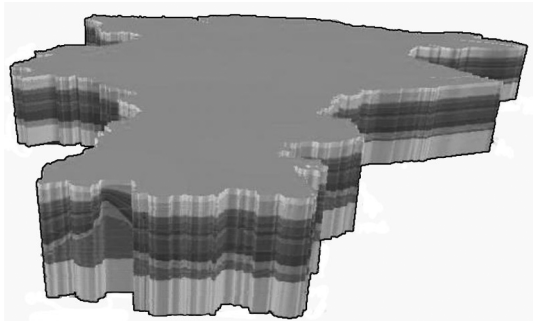


图 1 东营市三维地质结构模型示意图

3 地质结构模型应用

3.1 空间定位虚拟钻孔查询

根据地质找矿的需要,点选空间任意位置坐标后,可以查询该点的地层结构信息,生成剖面信息,揭露该点垂向上的地质结构特征,为地质勘察钻探目的层位深度的确定提供较为可靠的地质依据。

3.2 三维模型信息查询

三维模型信息查询只需用同一个操作功能菜单,即可完成对地层模型、钻孔模型、属性模型、剖面模型等的拾取查询,对于切割后的模型,正在演示的隧道模型等都能进行拾取,并用列表的方式罗列出模型所带的属性,可以进行多属性联动信息的检索查询,从而得到图形和文字多重信息。

3.3 三维模型爆炸显示

三维模型爆炸显示功能实现将整个模型进行一

次爆炸显示的过程,使得模型能够被充分的打散开来,便于用户了解地质结构内部的细节问题。揭露每一层地质层在空间的厚度、分布及位置。

3.4 三维模型剖切分析

基于网格剖分技术的三维实体模型,能够实现实体剖切分析功能,如平面切割、组合切割、折线切割、任意平面切割、隧道模拟、创建虚拟钻孔等等,通过剖切,可以更真实地获取模型内部的组织情况,了解任意位置需要揭露的地质信息,为地质勘察、工程建设提供综合全面的地质基础数据信息。

4 地面沉降模型的建立及应用

4.1 地面沉降数据收集

根据东营市地面沉降监测总结报告(2008—2012),监测点是在东营市 B 级 GPS 控制点、CORS 站的分布情况,加密布设 GPS 沉降监测网点 11 座,标准参照 B 级 GPS 观测点施建方案。共同组建成该区的沉降监测网,点位共计 19 座。监测网每年观测 2 个周期,时间窗口定为 4—5 月和 9—10 月。每个点位一次观测时间长为 72 h。对观测数据进行精密处理,基准参考国际地球参考框架(ITRF),并最终获取毫米级点位大地高程。该次收集了新建沉降监测网布设之后的 9 期监测数据,监测周期自 2008 年 9 月至 2012 年 4 月。从监测点分布情况分析,监测点均匀分布于东营市辖区各县市内,基本可以满足地面沉降模型建设标准要求。

4.2 地面沉降模型建立

通用曲面建模和多曲面建模功能模块,将东营市所有监测点的离散点数据直接自动生成不同监测时期的地面沉降三维曲面,然后通过克里格插值形成 2008 年 9 月至 2012 年 4 月连续变化的动态曲面,再将模型加上遥感影像或者标注,进行地理位置参照,或者进行地质、地理贴图,建立一个多时态连续变化的动态地面沉降模型(图 2)。

4.3 地面沉降模型的应用

(1)地面沉降动态预演。利用丰富的四维时序功能,在原有静态模型显示的基础上,充分挖掘模型在时间维上的表达手段,通过时态演变动态对模型进行分析,如曲面动态预演功能可以用来进行历年的地面沉降分析等。

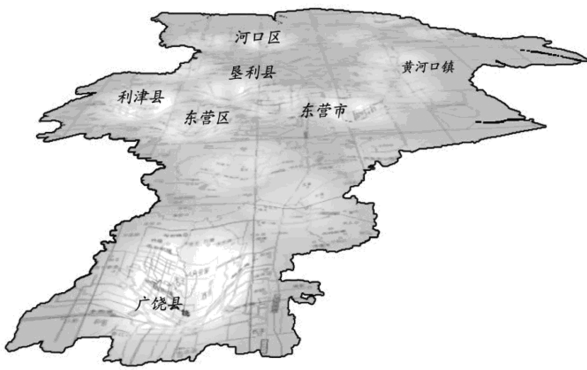


图 2 东营市某一时刻地面沉降模型

(2) 沉降特征分析。利用地面沉降模型,实时动态可视化地观看沉降变化,同时可以查询任意点位地面沉降信息,进行多年地面沉降特征综合分析及沉降量大小统计计算,了解沉降曲线变化规律(图 3)。

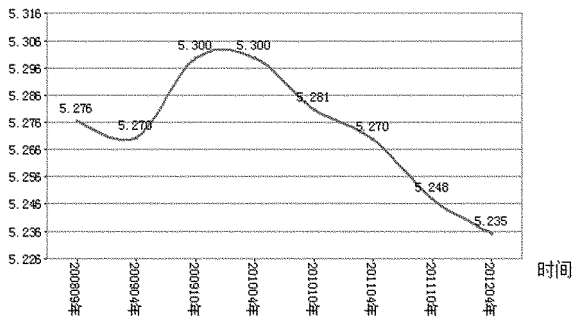


图 3 东营市某一点地面沉降特征图

(3) 地面沉降监测与防治。利用建好的模型,可以通过地表贴图直观地看到沉降中心所处的地理位置,提醒相关部门对控制地面沉降的重点地区加以调整和扩大,以适应新的经济发展趋势。通过可视化的演示,控沉部门可以根据沉降的范围和严重程度,采取相应的调控措施,减缓地面沉降速率。

地面沉降由中心城区扩展到全市范围,影响因素主要是地下水开采、地热水开采、石油开采等;中心城区由于地下空间开发、城市建筑荷载等使地面沉降规律更加复杂。结合水文地质结构模型、地下水采灌及地下水位动态,进一步研究地面沉降规律和机理,有针对性地制定控制措施^[20-22]。

5 结论

(1) 根据所收集到的 540 个深钻,对揭露深度达 5 000 m 范围内的地层进行标化,首次建立了适合东营市矿产资源存储管理的标准化地层,共划分

为 13 层。基于此,成功建立了三维立体化地质结构模型,首次实现了东营市区域大范围、大纵深地质结构的三维可视化。

(2) 结合东营市 19 座地面沉降监测点数据,首次建立了东营市地面沉降三维可视化模型,实现了地面沉降的监测、动态模拟与预演,为掌握东营市地面沉降发生、发展趋势及预测评估与防治提供了三维可视化依据。

(3) 东营市地层三维立体化模型和地面沉降模型,改变了传统的矿产资源管理方式,提供了一个多角度、全方位了解地下资源及防控地面沉降灾害的窗口,为东营市资源开发利用保护及可持续发展提供了重要的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王小刚,邹祖光,王秀芹,等.东营市城区地面沉降影响因素[J].山东国土资源,2006,22(5):50-53.
- [2] 宋波.黄河三角洲(东营)油气资源开发区地面沉降监测成果分析[J].分析评价,2013,8(4):40-43.
- [3] 刘勇,李培英,丰爱平,等.黄河三角洲地下水动态变化及其与地面沉降的关系[J].地球科学-中国地质大学学报,2014,39(11):1655-1665.
- [4] 徐丽雯,黄海军,刘艳霞,等.黄河三角洲地区人工建筑对地面沉降的影响研究[J].海岸工程,2015,34(3):30-43.
- [5] 毛继军,孟黎,苏艳红,等.基于 GPS 的东营市地面沉降监测研究[J].工程勘察,2014,(10):56-59.
- [6] 宋波,王德生,王锦丽.东营地面沉降监测[J].地矿测绘,2004,20(1):34-36.
- [7] 尚建嘎,刘修国.城市地质领域三维空间信息系统的开发研究[J].华中科技大学学报(城市科学版),2006,23(S1):172-175.
- [8] 刘映,尚建嘎,杨丽君,等.上海城市地质信息化工作新模式初探[J].上海地质,2009,30(1):54-58.
- [9] 吴观茂,黄明,李刚,等.三维地质模型与可视化研究的现状分析[J].测绘工程,2008,17(2):1-5.
- [10] Houlding S. 3D geoscience modeling: computer techniques for geological characterization [M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- [11] 李清泉,杨必胜,史文中,等.三维空间数据的实时获取,建模与可视化[J].武汉大学学报:信息科学版,2003(12):98-102.
- [12] 吴立新,史文中.地理信息系统原理与算法[M].北京:科学出版社,2003.
- [13] 高赞东,刘术明,邢立亭.济南岩溶泉域区域水文地质信息系统构建[J].山东国土资源,2012,28(3):24-26.
- [14] 姚英强,杨全城,李宁.东营市湿地资源分布及地质环境脆弱性评价[J].山东国土资源,2013,29(6):37-41.
- [15] 张增奇,张成基,王世进,等.山东省地层侵入岩构造单元划分

- 对比意见[J].山东国土资源,2014,30(3):1-23.
- [16] 胡松涛,孙云川,胡思敬.利用层次分析法评价东营市浅层地热能适宜性[J].山东国土资源,2014,30(7):42-45.
- [17] 庞绪贵,姜相洪,季顺乐,等.鲁西北覆盖区生态地球化学调查方法与技术探讨[J].山东地质,2003,19(2):21-25.
- [18] 徐军祥.山东省重大水文地质问题[M].济南:山东科学技术出版社,2014:169-170.
- [19] 刘勇,李培英,丰爱平,等.黄河三角洲地下水动态变化及其与地面沉降的关系[J].地球科学—中国地质大学学报,2014,39(11):1555-1556.
- [20] 陶福平,陶虹,李辉.西安市地面沉降数值模拟研究[J].地质学刊,2015,39(4):686-690.
- [21] 胡彩萍,张景燕,郝梦圆,胡艳珍.黄河三角洲生态区孔隙热储地热开发对地面沉降的影响分析[J].山东国土资源,2017,33(2):39-42.
- [22] 王小刚.东营市城区地面沉降影响因素[J].山东国土资源,2006,22,(5):50-53.

Construction and Application of Land Subsidence Model in Dongying City

SUN Bin¹, WU Xianchang¹, LIN Guangqi¹, ZHANG Le²

(1. Shandong Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Dongying Bureau of Land and Resources, Shandong Dongying 257000, China)

Abstract: Dongying city is an important coastal economic opening area in Shandong province. In recent years, land subsidence has seriously restricted the economic and social development of the city. Three dimensional land subsidence model can realize the information and visualization of land subsidence monitoring data. According to geological conditions and the occurrence of mineral resources, 3D geological structure model is divided into 13 standard layers. 540 deep drillings have been collected in Dongying city, and the depth is more than 2000m. Among them, the depth of 82 holes can 4000~5000m. In accordance with the standard layers, all drill holes were standardized, and three - dimensional geological structure model has been established by using MapGIS K9. It is the first time to realize the simulation and analysis of geological structure model in Dongying city at a great depth, which is based on the division of mineral resources. Then, land subsidence model has been established based on date of 19 ground subsidence monitoring stations, which makes the dynamic preview and monitoring on the ground subsidence possibly. This study has provided a scientific basis for the evaluation and control of land subsidence in Dongying city.

Key words: Three - dimensional geological structure model; land subsidence; Dongying city