

考古地层的三维建模方法在秦始皇帝陵考古勘探中应用尝试

张立莹

(秦始皇帝陵博物院,陕西西安 710600)

摘要: 为了更清楚地展示秦始皇帝陵地区考古地层的三维空间关系,并为后期考古工作中空间数据挖掘做准备,借鉴三维地质建模技术,提出了考古地层三维建模方法。基于探孔数据构建了考古地层三维模型。该模型清楚地展示了秦始皇帝陵地区考古地层的三维空间关系,为田野考古数字化工作提供一种新思路、新方法。

关键词: 地层;三维建模;空间数据;体模型

中图分类号: G315 **文献标识码:** A

0 引言

考古地层学和类型学是考古学中两种最基本的方法。考古地层学是考古学中用于分辨、划分遗址中各种堆积形成的层序关系及研究地层之间、地层内部各种遗物和遗迹之间相对早晚年代或存在的其他相互关系的实践方法和理论。张忠培先生曾说过:“如果把近代考古学比喻为一部车子的话,地层学和类型学则是这车子的两轮”^[1]。可见考古地层学在考古学中的重要性。

考古地层学最初来源于地质学的地层学,是地质学研究地球地壳表层成层岩石的科学,其研究目标主要是地层层序的建立及不同层序之间相互关系的确立,包括地层划分、地层对比等。考古学者们将地质科学中地层学的基本概念和关于地层的描述记录方法应用于考古研究中,以解决地层层序、不同地层间的“叠压”关系和相互之间的“打破”关系、不同地层的包含物及其意义等一系列问题,而且还要通过地层学达到恢复历史的目的^[2]。

长期以来,田野考古发掘工作中考古地层的记录方法都是采用手工绘制二维纸质平面图件和照相,对于文化层与其所包含物的空间关系很难直观地反映出来,也难以实现考古现场环境的模拟与再现。秦始皇帝陵博物院考古部近几年来开始对秦始皇帝陵区进行有计划、有目的的试掘工作。伴随着这项工作的开展,大量钻探数据的积累,为考古地层三维可视化打下坚实的基础。本研究试图利用三维

可视化技术重构考古地层以解决二维平面图所不能解决的问题。目前国内这方面的研究相对较少。比如朱利东等^[3]在成都金沙遗址,林冰仙等^[4]在湖南省澧县梦溪镇五福村八十垵遗址所做相关工作。所以将这项技术引入到秦陵的考古工作中来,对未来秦陵考古工作的开展有着重要的意义。

1 环境介绍

秦始皇帝陵坐落在骊山北麓的山前冲积扇上,地势自南向北倾斜,南倚骊山、北临渭水。地势南高北低,南北高差达85m。陵区范围以封土为中心,东至代王镇,西至临潼区东关,北至鱼池建筑遗址,南至骊山分水线,总占地面积约56.25km²。陵园占地面积212.95万平方米。秦始皇陵内城东北部原始地貌为一南高北低的缓坡,后来在土地平整运动后,形成了两个阶梯状、地表较为平整的区域。本次考古地层的三维可视化实验的地点选在秦始皇帝陵内城东北部。数据采集范围以50m×50m的探方为基本单位。数据通过洛阳铲钻探得到,探孔分布采用1m×2m的梅花式布孔。经钻探,该区域为陪葬墓区,整个区域的地层关系较简单,大致可以分为4层^[5]:第1层为耕土层;第2层为扰土层;第3层为圪土层;第4层是生土层。

2 秦始皇帝陵考古地层的三维建模

2.1 三维建模技术及原理

秦始皇帝陵考古地层的三维模型,其主要技术

还是借用地质学中的三维地质建模技术。该技术最早由加拿大 Simon W Houlding 于 1993 年提出,随后引入中国。三维地质建模,就是运用计算机技术,在三维环境下,将空间信息管理、地质解译、空间分析、实体内容分析以及图形可视化等工具结合起来,用于地质研究的一门新技术^[6]。

参考三维地质建模技术,可以利用计算机技术建立考古地层的三维模型。要使得考古地层的三维模型全面地表达考古地层的几何属性和空间特征,就必须要有相应的考古地层数据。秦始皇帝陵考古队从 2009 年开始,有计划、有目的地对秦陵地区展开考古钻探和发掘工作。经过这些年的工作,积累了大量的钻探数据,为考古地层三维模型的重建工作提供了坚实的基础。考古地层数据通过探孔的属性数据得到,空间数据可以利用 GPS、全站仪等设备来获取。

目前比较通用的说法认为考古地层的建模方法有面模型(Facial Model)、体模型(Volumetric Model)和混合模型(Mixed Model)三类^[7]。

面模型通过描述空间对象外表面的几何形态来建立实体的三维模型,构模方法侧重于 3D 空间实体的表面表示,如地形表面、地质层面、构筑物(建筑物)及地下工程的轮廓与空间框架。其中使用较多的 TIN 与 Grid 模型优点是数据存储量小、建模速度快、便于显示和数据更新;不足之处在于难获取空间实体的内部属性,不易进行空间分析。

体模型基于三维空间的体元分割和真三维实体表达,体元的属性可以独立描述和存储,因而可以进行三维空间操作和分析。但其数据结构复杂,占用存储空间大,建模速度较慢。体元模型根据体元的规整性分为规则体元和非规则体元两个大类。规则体元使用较多的 CSG 构模和 Octree 构模法,通常用于水体、污染和环境问题构模;非规则体元均是有采样约束的、基于地质地层界面和地质构造的面向实体的三维模型。

混合模型是指综合运用上述两种方法,并兼顾了面模型和体模型的优点,但由于相关理论尚未成熟,实际应用较少。

2.2 秦始皇帝陵考古地层三维建模方法

通过以上分析,在构建秦始皇帝陵三维地层模型时选用体模型建模法。插值方法选择 IDL 支持的反距离加权法和克里格插值法分别对面格网和体模型进行插值处理。

具体的方法为:

1) 选择探孔并提取探孔数据。探孔分布采用

1m×2m 的梅花式布孔。探孔所能够提供的信息有各个探孔的地理位置坐标信息、地层的分层信息,各个层之间的相互关系等。将这些信息收集并存储在数据库中,建立探孔信息数据库以备后期使用。当用户构建研究区域的三维地层模型时,可从探孔数据库中提取各个探孔的地层分层信息作为建模的原始数据。

2) 探方内的地层分层^[8]。地层的一个显著特征在于它的成“层”性,属于同一个“层”的地层具有大体一致的沉积时代,可以看作是同一类型的物质。探孔数据的分层信息是对上下相邻地层的接触面的描述,能够揭示地层的竖向分布状况。将试验区内探孔所钻探到的所有地层按照地层叠加的顺序编号,建立一个地层层序表(进行地层编号的规则是“从表层到底层,从近代到古代逐层递增”,耕土层为 1,扰土层为 2,以此类推),以备后续建模使用。

3) 建立考古地层的面模型:对探孔数据进行层序分层后,采用不规则三角网形成地层界面,因为选取的地区地形起伏不大,所以选用了 Grid 模型。再对每层地层的上下表面进行空间内插(将空间上离散点的测量数据通过某种方法转化为连续的曲面数据)生成格网曲面,并基于克里格插值算法对生成的地层曲面进行平滑处理,生成考古地层的面模型(图 1)。

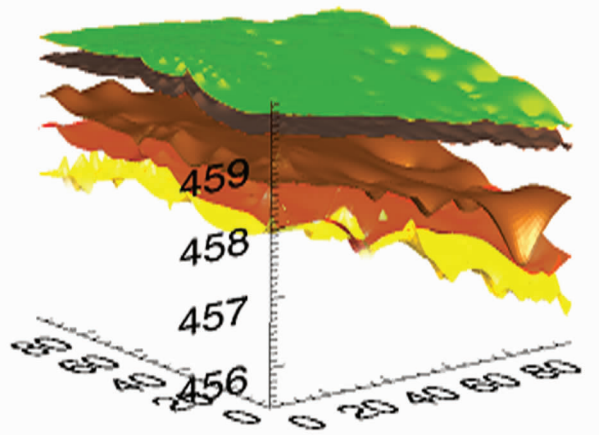


图 1 秦始皇帝陵内城东北部考古地层面模型
Fig.1 Archaeological stratigraphy model in northeast of inner city in Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum

这里需要说明的是生成的地层曲面经过平滑处理之后,部分地区可能仍然存在局部正向或负向峰值,造成这种结果的原因可能是因为钻探数据的误差,所以应当适当地修改钻探数据或进一步进行平滑处理。

4) 体模型的建立。利用插值过后的每一地

层的曲面格网将空间实体划分为有序层位;然后对整个地层实体进行体素划分,每一个体素为大小相同的正方体元素;最后对属于同一层位的所

有体素赋值,这样不同层位的体素以赋予的不同属性值来区分,最终完成了对整个地层体的三维构建(图2)。

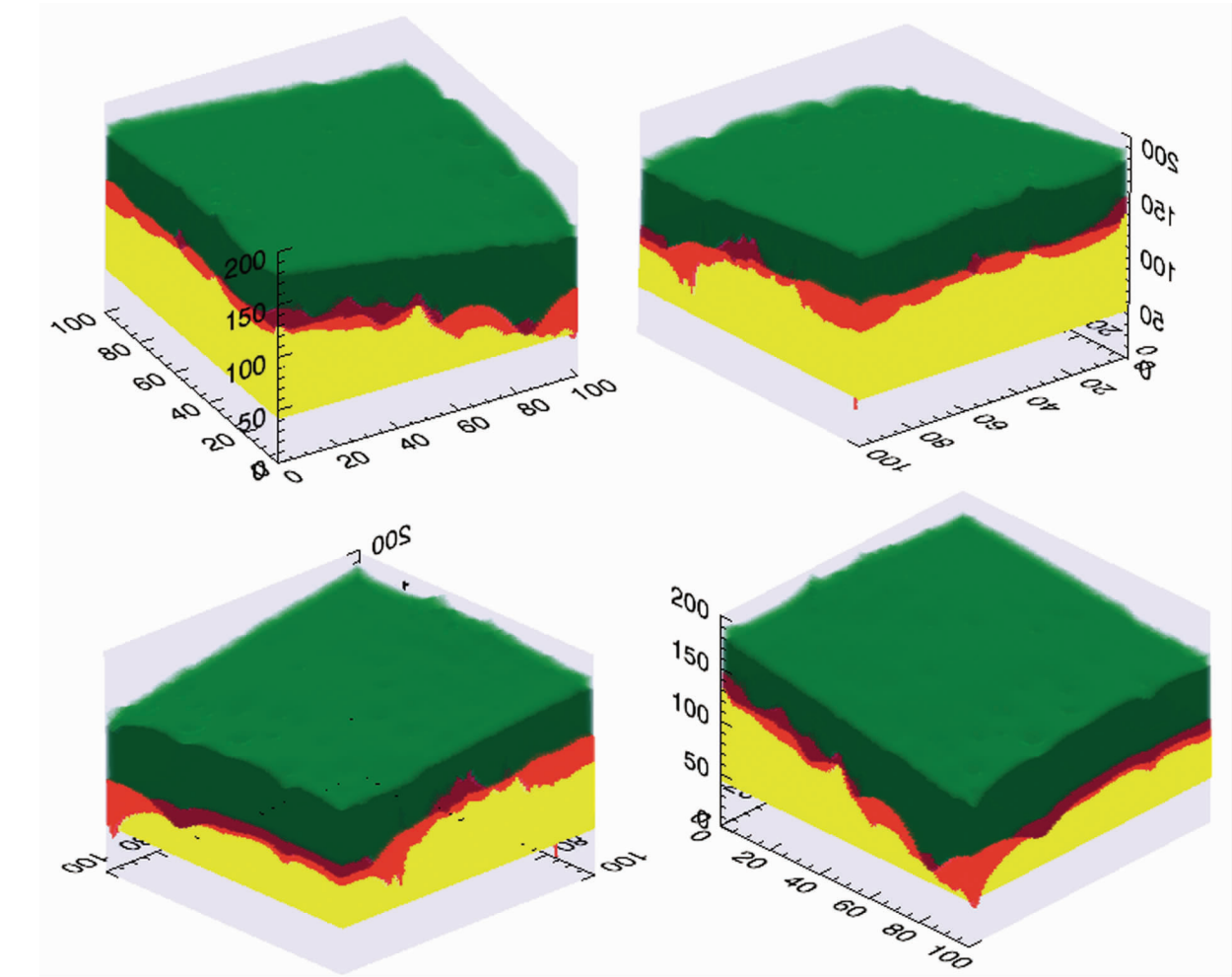


图2 不同方向观察到的考古地层三维体模型
Fig.2 Archaeological stratigraphy's 3D model from different directions

3 秦始皇帝陵地层三维建模成果分析

通过建立秦始皇帝陵考古地层三维模型初步实现了考古地层的三维展示和地层的断面剖切显示,如图3所示。该模型清楚的展示了秦陵地层内部的地质构造关系,展现了考古地层的相互“叠压”关系和个别地方由于地层扰动或自然环境变迁出现“打破”关系。另外,通过断面的剖切,可以直观地观察到地层厚度的变化。为研究秦始皇帝陵地区秦代考古地层的变化提供了依据,也为下一步的考古分析提供帮助。

4 结 语

目前秦始皇帝陵三维地层的建模工作尚处于探索阶段,所以在前期地层的选择上尽量选择地层关

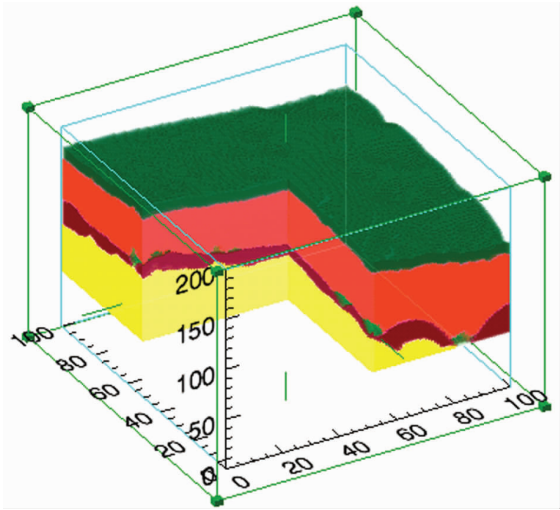


图3 三维地层的剖切
Fig.3 3D Strata's sectioning

系相对简单,各文化层之间的叠压和打破关系相对较少的理想状态。但即使是这样,该模型还是为考古地层学提供了一种更加直观的描述方法。首先,它在视觉上改变了传统二维剖面地层图所呈现的视觉效果,将考古成果以生动形象的手段展示出来。其次,秦始皇帝陵三维地层清楚地展示了各个文化层的地层关系,直观地表达了地层的内部构造。使得考古工作者有一个全局的视角来揭示考古地层的空间分布方式,避免了由于空间信息丢失而导致的推断结果不完整的缺点。最后,它为后期的考古地层数据分析、空间数据挖掘和空间特征分析提供基础,为定量分析田野考古地层相对早晚关系,建立整个遗址地层的数字高程模型,恢复远古生活场景奠定了很好的基础。

虽然该模型存在诸多优点,但因为采集的数据是探孔数据,而非精确的发掘数据,数据相对粗糙,所以整个模型的精度不可避免地受到影响。随着计算机技术的飞速发展,考古地层的三维建模技术将逐渐成熟,大面积和地层关系相对复杂的考古现场也必然会得到更好的处理。

参考文献:

- [1] 张忠培. 地层学与类型学的若干问题[J]. 文物, 1983(5): 60-69.
ZHANG Zhong - pei. Issues on stratigraphy and typology[J]. Cult Relics, 1983(5): 60-69.
- [2] 贺云翱. 考古地层学——考古学者的又一“利器”[J]. 大众考古, 2013(3): 22-24.
HE Yun - ao. Archaeological stratigraphy—another sword for archaeologists[J]. Pop Archaeol, 2013(3): 22-24.

- [3] 朱利东, 阚爱科, 王绪本, 等. 考古地层的三维可视化及应用研究——以成都金沙遗址为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(5): 564-568.
ZHU Li - dong, KAN Ai - ke, WANG XU - ben, *et al.* Visual method and research of 3d modeling in archaeological stratigraphy—an example of Jinsha Site in Chengdu[J]. J Chengdu Univ Technol (Nat Sci Ed), 2007, 34(5): 564-568.
- [4] 林冰仙, 周良辰, 盛业华, 等. 基于手绘图件的考古遗址三维建模方法[J]. 地球信息科学, 2014, 16(3): 349-357.
LIN Bing - xian, ZHOU Liang - chen, SHEN Ye - hua, *et al.* The method of 3D modeling in archaeological sites based on Freehand Drawings[J]. Geo - Inf Sci, 2014, 16(3): 349-357.
- [5] 秦始皇帝陵博物院. 秦始皇帝陵园从墓葬园考古勘探简报[J]. 秦始皇帝陵博物院院刊, 2013(3): 102.
Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum. The excavation of burial tombs in Emperor Qinshihuang's Mausoleum[J]. Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum, 2013(3): 102.
- [6] 张 翼. 基于 GIS 的秦陵考古信息系统实现研究[D]. 西安: 西安科技大学 2012.
ZHANG Yi. The realization and research on a archaeological information system of the Emperor Qinshihuang's Mausoleum Based on GIS[D]. Xi'an University of Science and Technology, 2012: 16.
- [7] 阚瑗珂, 朱利东, 罗丽萍, 等. 考古地层的三维重建方法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(3): 302-305.
KAN Ai - ke, ZHU Li - dong, LUO Li - ping, *et al.* The method of 3D remodeling in archaeological stratigraphy[J]. Appl Res Comput, 2007, 24(3): 302-305.
- [8] 朱良峰, 吴信才, 刘修国, 等. 基于钻孔数据的三维地层模型的构建[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(3): 26-30.
ZHU Liang - feng, WU Xin - cai, LIU Xiu - guo, *et al.* The construction of 3D strata modeling based on borehole data[J]. Geogr Geo - Inf Sci, 2004, 3: 27.

Using 3D strata modeling to explore Emperor Qinshihuang's Mausoleum

ZHANG Li - Ying

(Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum, Xi'an 610060, China)

Abstract: 3D strata modeling was used first by geologists and then by archeologists. The method is a way to get information that shows spatial relationships which could not be seen in 2D pictures and to support future archaeological research efforts. This technique was used to get a 3D strata model that meets the specific needs of the Emperor Qinshihuang's Mausoleum. This work provides new insights and methods for the archaeological work at the Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum.

Key words: Strata; 3D modeling; Spatial data; Volumetric model

(责任编辑 谢 燕)