引文格式：周珉羽,王宴会,赵永,等. 三维地表基质体元模型构建与生态修复应用研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(5): 5-11. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.05.002

三维地表基质体元模型构建与生态修复应用研究

周珉羽[1]，王宴会[2]，赵　永[3]，侯思远[2*]
（1. 自然资源部重庆典型矿区生态修复野外科学观测研究站（重庆地质矿产研究院），重庆 401120；
2. 重庆华地资环科技有限公司，重庆 401120；3. 重庆市两江新区规划和自然资源局，重庆 401147）

摘　要：开展地表基质研究对于推进山水林田湖草协同治理、维护生态系统稳定性极为重要。基于多源数据、TIN 构建理论和 TIN 转 CPG 算法，构建了地表基质矢量数据库，研究了地表基质精细化三维建模方法，建立了地表基质 3 级类实体模型，并以南岸区为例进行地表基质三维模型构建和生态修复应用的说明。结果表明，地表基质三维体元建模的空间结构给予区域直观、形象的整体观念，基于地表基质属性进行各种空间分析、过程模拟和评价决策，可为区域自然资源合理利用、生态修复与评价以及地表基质生态地质环境演化规律预测模拟等应用奠定数据基础。

关键词：地表基质；三维建模；CPG；生态修复
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）05-0005-07

Research on the Construction of 3D Ground Substrate Voxel Model and Application of Ecological Restoration

ZHOU Minyu[1], WANG Yanhui[2], ZHAO Yong[3], HOU Siyuan[2]
(1. Observation and Research Station of Ecological Restoration for Chongqing Typical Mining Areas, Ministry of Natural Resources (Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources), Chongqing 401120, China;
2. Chongqing Huadi Resources Environment Technology Co., Ltd., Chongqing 401120, China;
3. Chongqing Liangjiang New Area Planning and Natural Resources Bureau, Chongqing 401147, China)

Abstract: Ground substrate research is very important for promoting coordinated management of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grass, and maintaining the stability of ecosystem. Based on multi-source data, TIN construction theory, and TIN to CPG algorithm, we constructed a vector database of ground substrate, studied a refined 3D modeling method for ground substrate, and established the entity models of ground substrate. Then, taking Nan'an District as an example, we illustrated the construction and ecological restoration application of 3D model of ground substrate. The results show that the spatial structure of 3D ground substrate voxel modeling gives the region an intuitive and visual overall concept. Various spatial analysis, process simulation and evaluation decisions are carried out based on the attributes of ground substrate, which lays a data foundation for the practical applications of regional natural resources, ecological restoration and evaluation, and prediction and simulation of the evolution law of ground substrate eco-geological environment.

Key words: ground substrate, 3D modeling, CPG, ecological restoration

2020 年 1 月自然资源部在《自然资源调查监测体系构建总体方案》中首次提出地表基质的概念[1]。2020 年 12 月的《地表基质分类方案（试行）》中明确地表基质是指当前出露于地球陆域地表浅部或水域水体底部，主要由天然物质经自然作用形成，正在或可以孕育和支撑森林、草原、水等各类自然资源的基础物质[2]。上述定义表明了地表基质是微生物活动、土壤成分演化、生物固碳的关键地带，地形地貌、岩石岩性、风化程度、物化性质、成因类型、土壤结构等调查指标关系湿地、森林、农田、草地生态系统的发展，是资源变化的根本动因[3-4]。地表基质为垂向结构[3]，且层级较薄，通常将地表或水底向下 50 m 的空间作为地表基质层范围[5]，可视化具有一定难度。通常表达地表基质需要多幅图件或用有刻度的垂向结构图表示，该方法虽然清晰但繁琐、不直观。三维地质建模方法的引入给地表基质的表达提供了新思路，但

项目来源：重庆市自然科学基金资助项目（CSTB2022NSCQ-MSX0223）。
第一作者简介：周珉羽（1983—），本科，正高级工程师，主要从事土地整治、生态修复、测绘地理信息二三维产品生产等工作，E-mail：1554566@qq.com。
通信作者：侯思远（1996—），硕士，工程师，主要从事三维可视化、地图制图、生态修复等工作，E-mail：3276361657@qq.com。

传统方法的精度较低，且三维模型多为三角网络构成的框架模型，不能表达地层内部复杂、非均匀的介质以及进行专业的空间分析和属性分析，需进行改进。1989年Ponting[6]提出角点网络（CPG）的概念，本质是不规则体元单元，能很好地表达模型内部非均质的地质现象。将传统的三角网络构建方法与CPG相结合，可构建精细且能表达地表基质内部的三维模型，契合当前地表基质应用。本文以重庆市南岸区为例，以多源数据整合处理、地表基质三维建模、三维模型可视化，三角网络与CPG转换等技术为切入点，探索基于多源数据的地表基质精细化三维建模体系，实现了对不同类型地表基质空间分布状态的可视化表达和分析应用，服务于各种专项调查需求和典型地貌地区生态治理。

1 地表基质三维建模流程

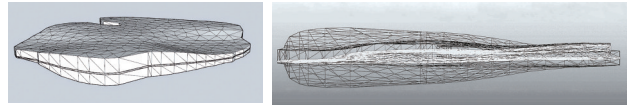
基于多源数据的地表基质精细化建模技术路线主要包括数据融合处理、三维面模型构建、三维体模型转换3个部分。其主要步骤包括：①对选定的待地表基质建模工作区进行地质数据、土壤数据、地表基质调查数据和矢量几何数据的融合；②收集第二次全国土壤普查（以下简称二普）数据和第三次全国国土调查（以下简称三调）地类图斑数据，根据地类和地表基质分类标准为融合后的数据建立映射关系，定义与补充地表基质分类属性，建立数据的标识码字段；③结合地表基质调查数据、土壤有效土层厚度和相关地质资料，对深度为0~100 m的钻孔数据进行钻孔数据选取、补充和合理虚拟，使得钻孔点分布均匀，在复杂区域可增加补充钻孔点；④基于钻孔数据，选择合适的插值方法构建TIN；⑤通过算法工具将TIN模型转换为CPG结构的精细地表基质体元模型；⑥根据设定的数据结构，对实体模型构建过程产生的各类数据进行存储，至少包括矢量数据、DEM数据、TIN模型数据、结构模型数据、体元数据；⑦根据地表基质3级类各类别颜色定义进行精细地表基质体元模型符号化，并进行属性补充、语义化定义，通过建立地表基质模型数据库实现模型可视化。

2 数据转换分析

2.1 TIN结构

TIN通过一系列折点（点）组成三角网，采样点的密度和位置由地形起伏的复杂性确定，可充分减少数据的冗余[7]。Delaunay三角网是形成三角网的一种表现形式，由Voronoi图演化生成，生成的三角测量满足Delaunay三角形准则，即对于任意给定的平面点集，只存在唯一的一种三角剖分方法，满足“最大—最小角”优化准则（所有最小内角之和最大），所有的点都是三角形外接圆上的点。其结构良好、数据结构简单、数据冗余度小、存储效率高，地表重构精度高、对不规则区域和数据点分布密度适应能力强[8-11]。

本文采用钻孔建模的方法构建TIN地表基质框架模型。该方法已非常成熟，主要步骤为整理处理钻孔资料、修改格式、钻孔编号，利用钻孔的顶底高程选择合适插值方法，生成地层的每一层曲面TIN并进行连接（图1a）。TIN模型能很好地描述地形和地层表面的几何形态，但其内部为空，只有周围包围的一圈面（图1b），不能完全表达地下自然资源层级，不能模拟其演化、预测其变化的规律，对于实际应用来说远远不够。

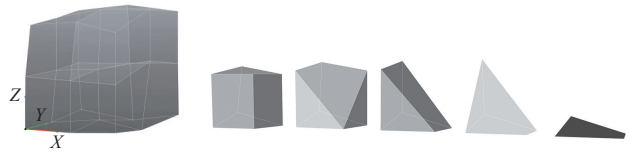


a TIN模型 b 内部结构

图1 建成TIN模型与内部结构示意图

2.2 CPG网络

CPG为不规则六面体网络，可通过改变单元网格角点位置和显示数量模拟不同地形地表基质表面及内部不规则的状态。CPG的网格位置由对应于X、Y、Z方向的行列层编号i、j、k来确定（图2a），分别表示在X、Y、Z方向有$i+1$、$j+1$、$k+1$条网格线，单元格总数为$i\times j\times k$个，每个单元网格属于一个CPG单元体。随着坐标的变化，CPG模型单元格网的边发生变化，与之相连的六面体也呈现不同姿态（图2b），因此可以很好地表达复杂地质构造形态[6,12-13]。



a CPG结构图 b 角点变化图

图2 CPG结构图与角点变化图

2.3 插值方法

在构建模型过程中插值方法必不可少，常用的插值方法包括线性插值法、双线性插值法、自然邻域法、反距离加权法、克里金插值法[14-17]。综合分析各方法优劣后，本文在采用Delaunay三角网构建TIN面模型时采用克里金插值法，能很好地模拟地形起伏；在TIN模型转CPG模型过程中采用线性插值法加密地

层格网内部，方法简单、计算速度快，优化建模过程；在地质统计学方法中采用克里金插值进行属性建模分析。

3　数据转换流程

TIN模型转CPG模型需要考虑两个问题：①如何确定CPG体元节点在TIN面元上的位置和数量；②如何确定TIN面元节点与CPG体元节点之间的连接方式和拓扑关系。本文采用插值方法，在TIN面元上分别沿水平方向和垂直方向插入若干个等间距或不等间距的节点，使这些节点与TIN面元节点构成一个规则或不规则的网格；再将这些节点作为CPG体元节点，与TIN面元节点进行连接。该方法简单易行，可适应任意形状的TIN面元，但可能会产生过密或过稀的CPG体元，导致模型冗余或缺失，因此前期采用设定的网格数量进行CPG转换，后期采用地层插入小层的方法对格网进行加密。TIN模型转CPG模型的具体步骤为：

1）对构建的TIN面模型的地层进行层序定义与划分。确定转换后每一层地层的CPG单元数量，为避免出现数据冗余，网格数量可适当减少；确定转换的顺序，对整体模型而言是从顶至底还是从底至顶；确定地层层数与编号等。

2）对模型每一层地层的顶底面进行CPG转换。首先按照从顶至底的顺序对TIN模型进行分层，设置每一层顶底面平面位置即 i、j 方向上的网格数量，定义网格的方向和密度；然后设置网格边界，CPG模型各层受顶底面的约束，提取TIN模型每层地层的顶底面边界数据进行裁剪；再确定 i、j 方向上的趋势线，对格网坐标进行调整，使网格走势依附于趋势线。为保证网络的正交，采用求解拉普拉斯（Laplace）方程组的数值解来生成二维格架网络[18]。由于Laplace方程组为物理平面，解析困难，需进行物理平面 (x,y) 的坐标反转换，使之转换为平面坐标 (ξ,η) 来简化求解，即

$$\begin{cases}\alpha x_{\xi\xi}-2\beta x_{\xi\eta}+\gamma x_{\eta\eta}=0\\ \alpha y_{\xi\xi}-2\beta y_{\xi\eta}+\gamma y_{\eta\eta}=0\end{cases}$$

式中，$\alpha=x_\eta^2+y_\eta^2$；$\beta=x_\xi x_\eta+y_\xi y_\eta$；$\gamma=x_\xi^2+y_\xi^2$。

内部采用具有二阶精度的中心差分形式，其离散形式为：

$$f_{\xi\xi}=\frac{f_{i+1,j}-2f_{i,j}+f_{i-1,j}}{\Delta\xi^2}$$

$$f_{\eta\eta}=\frac{f_{i+1,j}-2f_{i,j}+f_{i-1,j}}{\Delta\eta^2}$$

$$f_{\xi\eta}=\frac{f_{i+1,j+1}-f_{i+1,j-1}-f_{i-1,j+1}+f_{i-1,j-1}}{4\Delta\xi\Delta\eta}$$

采用线性方程组迭代法求解离散形式方程。

最后定义垂向网格的边界，进行地层中部垂向格网剖分，生成三维格架网络。定义垂向网格数量，确定地层中间内部格网分布和密度，通过插值获取中间网格节点高程值进行垂向剖分（图3）。

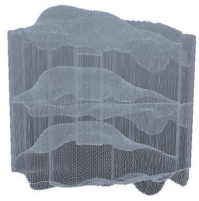


图3　垂直格网剖分

3）判断地层叠置关系，对地层内部进行加密。在进行垂向格网剖分时，需考虑地层叠置情况（图4[13,19]）：①比例型，地层内部层面与顶底部皆平行，该情况直接按照垂向单元格数量沿趋势线进行剖分；②退覆—剥蚀型，内部层面与底面平行，但与顶面相交为锐角，该情况以底面为基准面向上依次进行内插；③超覆型，内部层面与顶面平行，但与底面相交为锐角，该情况以顶面为基准面向下依次进行内插。

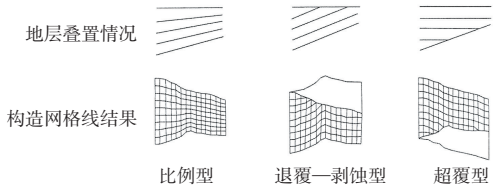


图4　地层叠置情况

通过将地层内部网络之间继续插入多个子层来加密地层内部，上下网络节点通过线性插值法计算[20]。通过对模型顶底部的转换和中层格网的剖分，逐渐加密模型内部，形成CPG结构的体模型。

4）在构造模型的基础上，利用克里金插值法进行属性建模。属性建模是对三维网络模型中每个单元格赋予属性值的过程。其原理是获取钻井、测井数据的属性值或曲线值，根据钻井、测井曲线值匹配得到井轨迹穿过的网络，插值形成三维属性网格，使得每个网络单元格对应于每一种属性仅拥有单一值。属性建模可用于分析地表基质内部的各种属性情况，如岩性分布、酸碱度分布、地下水分布、成土母质成分分布等，建立三维属性模型，表达更直观、分析更明确。

4　应用实例

4.1　研究区模型构建

本文选取南岸区作为研究区。南岸区位于上扬子

陆块之四川中生代前陆盆地华蓥山碳酸盐台地，属于基岩裸露型山地城市，出露地层包括三叠系、侏罗系和第四系，出露岩石均为沉积岩，其中三叠系中下统地层主要岩性为灰岩、白云岩，占比约为10%，分布在南山一带；三叠系上统和侏罗系地层主要岩性为砂—粉砂—泥岩，占比约为90%。

本文采用的数据包括耕地质量等别更新评价数据（耕评数据）、二普数据和1∶20地质调查图。由于数据获取来源、覆盖范围不同，首先需将其转换到统一的坐标系并裁剪至相同的研究范围；然后提取各类数据的关键属性，如耕评数据中的有效土层厚度、表层土壤质地、土壤酸碱度等土壤基本性质和理化性质；再将多种数据整合为一个有机体，并对错误图斑、细碎图标进行核查处理；最后细化分类地表基质调查数据，与其他属性数据进行整合处理。按照技术路线生成TIN模型，利用转换算法构建CPG模型，结果见图5，由于采用相同的接触面TIN，土壤层和地质层之间实现了无缝衔接，再将模型基于TIN-CPG算法进行CPG剖分。

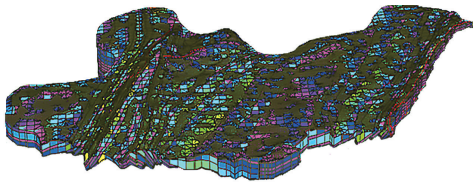


图5 南岸区南山地表基质三维构造模型展示

4.2 研究区地表基质模型应用

4.2.1 属性设计与挂接

地表基质内部的有机质含量、物化性质、生物多样性、微生物群系等属性与农田、林木等生长发育密切相关，是它们所依赖的气体、生物群系、立地条件、土壤性质等条件的总和[21]。基于TIN-CPG构建的南岸区地表基质模型进行属性挂接与数据叠加，用以展示、预测与模拟南岸区土地利用、生态地质环境的现状与演化，形成区域直观、形象的整体观念，开展各种空间分析、过程模拟和评价决策。

根据地表基质分类方案，将其细分到3级类，岩石按《岩石学分类和命名方案》进一步划分，砾质根据曹伯勋等第四纪地质地貌学等专划分，泥质根据张富元等深海沉积物分类与命名等划分，土质根据土壤质地划分[22]。地表基质调查以三调成果为底图，侧重调查地表覆盖层以下地带。地表基质属性数据的来源主要包括两种：①通过系统地表基质调查形成；②当地表基质调查区域无法到达或调查数据缺乏时从以往地质工作形成的资料（基础地质调查、水工环调查、矿产勘查、全国土地调查、全国土壤普查）中提取改化融合形成。具体的改化方式为：将三调中水域减去水深叠加第二次土壤调查类别与厚度改化为泥质；将三调中的土地利用类型改化为岩石、砾砂、土质，除去岩石部分，形成国土调查层面的砾砂土层；提取地质图中第四系地层，形成地质调查层面的砾砂土层；提取土壤普查数据中的土壤类型和成土母质类型，形成土壤普查层的砾砂土层；对国土、地质调查和土壤普查形成的砾砂土层进行融合；根据分类方案，对基岩地质图（不含第四系）进行分类，形成岩石层。通过对南岸区地表基质的调查与研究，南岸区所拥有的地表基质类别见表1。

表1 南岸区地表基质层分类统计情况表

地表基质层分类			面积/km²	占比/%	涉及地层
一级	二级	三级			
岩石	沉积岩（87%）	泥岩、页岩、砂岩组合	163	61	J_2s^1、J_2s^2、J_3s、J_3p
		泥岩、粉砂、介壳灰岩组合	39	14	J_2s^1、J_2s^2、J_1zl
		长石石英砂岩、长石砂岩组合	20	8	T_3xj^2、T_3xj^4、T_3xj^6
		灰岩	3	1	T_1j^1、T_1j^3
		泥岩、炭质页岩与煤线组合	3	1	T_3xj^1、T_3xj^3、T_3xj^5
		白云岩、盐溶角砾岩组合	2	1	T_1j^2、T_1j^4
		白云岩、灰岩、水云母粘土岩组合	1	1	T_2l
砂砾	含砂砾（4%）	砂卵砾石组合、块岩碎石砂土组合	10	4	Q^{al}、Q^{col+dl}
土质	壤土（3%）	粘性土夹砂砾石组合、砂土夹碎石组合、粘性土夹碎石组合、红粘土	7	3	Q^{al+pl}、Q^{dl}、Q^{el+dl}
泥质	淤泥（6%）	矿物质、有机质泥组合	15	6	长江及其支流、水库

对地表基质数据建立数据表关联关系，实现不同地类之间的逻辑关联，可支持快速搭建不同业务场景所需的数据集。通过几何空间位置关系，叠加关联地上下不同层级和类型的数据：以模型最上层三调图斑为切割单元，分割其他类型数据，通过生成数据的唯一关联码，统一关联其他属性数据。针对不同的应用目的，设计属性表（表2），内容包括地表基质3级类分类属性、物质构成、理化性质属性、生态水文属性、地质构造属性、地质灾害属性等。通过挂接属性，分析地表基质对土壤层、地表覆盖层的支撑、孕育、演化与影响[23]。

表2　地表基质重要属性的属性表设计

类别	内容	类别	内容
地表基质分类	一级分类	地质构造属性	地质年代与地层特征
	二级分类		岩性特征
	三级分类		第四纪沉积物特征
地表基质基本特征	基质成因与类型	土地质量综合评价	土地质量地球化学等级评价
	岩石产状		土地质量地球化学区划建议图
	成土母质类型	地质灾害风险评价与管控	滑坡
	土层厚度		崩塌（危岩）
地表基质理化性质	岩石物理力学性质综合成果		不稳定斜坡
	岩石化学成分综合成果		泥石流
	土壤有机质含量		地裂缝
	土壤元素全量数据		地面塌陷
	土壤有机污染物数据		岩溶塌陷
	土壤酸碱度分析数据		江河湖库塌岸
地表基质生态水文性质	气候气象数据		地质灾害点防治建议
	水文与水生态特征		地质灾害易发分区
	微生物含量		地质灾害风险分区
			地质灾害风险管控分区

4.2.2　生态应用

南岸区属亚热带季风气候，雨量充沛，年均气温为18.3℃，气候温和；土壤为常湿润土壤水分类型；地表基质层的分布和类型严格受地层和构造格架控制。因地表基质层较薄，需要融合地表地形、土地利用、土壤分类、地质构造等数据，结合三调地表覆盖层以及其他调查数据构建一体化模型进行整体分析和应用[24]。南岸区岩石广泛出露，岩石类型基本为沉积岩。区域地表基质岩石3级类以泥岩页岩砂岩组合为主，砂岩类的物理力学性能最高，泥质砂岩次之，泥页岩类最低。泥质砂岩和泥质灰岩类岩体质地较软，抗风化能力较差；泥质岩类质地软弱，抗风化能力低，风化速度快，受气候和地形影响，这两类岩石区岩石裂隙发育，有一定持水能力，多发育林草、灌木等植被；砂岩和粉砂岩风化壳区颗粒小且致密，岩质较坚硬，抗风化能力强，抗拉和抗剪性能高，是最好的持力层，也是优质的建筑石料。

在南岸区构造模型的基础上划分兴趣区（AOI）（图6），构建地表基质类别属性模型。由于岩石分布较广，与其他类别存在分布交叉，为使地表基质其他类型分布范围可视化更加清晰，本文选择土质、泥质、砂砾来构建地表基质类别属性模型。

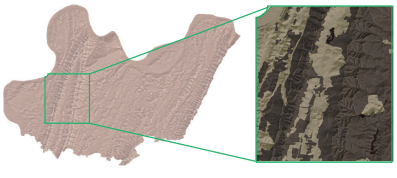


图6　AOI位置选择与地表基质类别属性建模

由图7可知，研究区地表基质泥土砂砾分布以砂砾（浅色）和土质（深色）为主，区内砂砾、土质具有多成因、多类型堆积的特点，因此土体多具备类均质、双层或多层结构，其不同介质的分界面为土体的结构面，土体的凝聚力与含水量关系密切，无论是哪种性质的土壤均有随含水量的增加而降低的趋势。

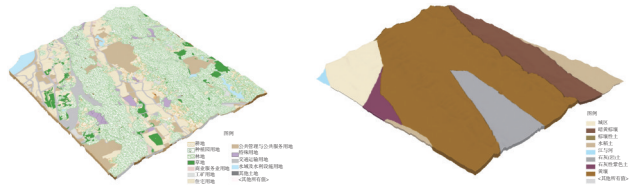


图7　地表基质类别属性模型展示

砂砾主要分布在山谷、河口一带，是第四纪沉积物，与岩石分布有大面积重叠。砾质因其特殊的结构构造、物质成分、较大的孔隙度等，土质易流失，持水性能差，难以支撑植物生长，通常没有植被覆盖。土质分布于南山的斜坡上，沿背斜两翼斜坡下部呈带状分布。残坡积、崩积和崩塌滑坡堆积物多处于斜坡部位，物质成分和密实程度不均匀，物理力学性质差异较大，其中残坡积土层主要受下伏基岩的制约，通常碎屑岩分布区以亚砂土和亚粘土为主，夹粉砂和泥岩等细碎块石，土层薄且松散，压缩性高、凝聚力差，加上人类工程活动，土体更松散，力学性能差。受地形影响，坡度变化大，土壤侵蚀较严重，且该区域雨量充足，易发生水土流失等地质灾害，需要进行预防。泥质在选区内面积较小，主要分布在沉积水库水面下，包括湖泥、河泥和沼泽泥，是天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于1.5的粘性土。

本文通过叠加地表覆盖数据（三调成果）进行生

态分区分析和脆弱性评价（图8a），并选择土壤类型、pH值、有机质含量、氮磷钾含量等构建属性模型，结果见图8b，可以看出，研究区中与生态系统相关性较大的是林地、草地、园地和耕地。耕地位于地势较平坦地区，林地多为乔木林地，面积占比最大。暖性针叶林（松树、柏树）、落叶阔叶林（榉树、枫香、苦楝、杨树等）、常绿阔叶林（樟树、榕树等）、灌木、竹林、草坡等构成了南山绿化植被的主体[25]。生态系统修复时，可选择与区域相匹配的林种进行人工种植和培育，以最大程度地实现自然修复。研究区黄壤的分布最广，且厚度最大，位于背斜山两侧。黄壤是重庆市境内重要的土壤资源，形成与亚热带湿润季风气候密切相关，具有幼年性、粗骨性和粘化、酸化、黄化等特点，是旱地、多种经济作物用地和林业基地重要用地的土壤类型[26]。黄壤上的主要地类为林地（多为乔木林地）、耕地（多为旱地），pH值为4.6，偏酸性；土壤成分中粗砂最多，粉砂、粘粒次之，全氮含量为0.36 g/kg，全磷全钾较少。肥力较低、质地较沙，需要通过提升黄壤的pH值来提高土壤有机质含量，改造土壤肥力和生产性能。水稻土是重庆市耕地的主要土壤类型，具有肥力较高、保水保肥能力强等特点。研究区内水稻土呈中性，厚度较薄，粉砂、粘粒、细沙较多，主要地类为草地、林地和耕地。水稻土是重要的农业土壤，可通过进一步改造水稻土，增加土壤肥力，还耕复耕，实施耕地保护工作。石灰性紫色土中含有较多的氧化铁，呈现紫色，pH值偏中性，具有透气补水的功能，肥力较高，适合多种粮食、经济作物的生长。石灰岩土主要位于背斜山谷地带，是石灰岩母质发育的土壤，pH值为中性，成分中粉砂最多、细沙次之，质地比较粘重。石灰岩土的微量元素含量较低，其中黄色石灰土最低，可用于种植甘薯。暗黄棕壤在重庆是一种具有特定分布和特性的土壤类型，主要分布在亚热带中山上部。暗黄棕壤是在黄壤上的中山部分发育形成的，粘粒、粉砂较多，有机质含量也较高，其林木和草地生长茂密[25-26]。



a 地表基质模型叠加三调数据　　b 选区土壤类型属性模型

图8 地表基质模型分析

通过对三维地表基质模型语义化，表现地表基质层的属性，从根本上解决了森林草地退化、耕地生产力下降、养分失衡、湿地萎缩、土壤板结、水土流失、沙漠化、盐碱化和非点源污染等问题。根据不同的地表基质条件，科学规划土地、发展农业和维护生态系统的稳定性。将南岸区叠加地质构造模型，通过对地表基质模型选择AOI进行模型挖掘（图9）分析其组成以及地下地质成分，研究地表基质的演化规律以及生态问题相关的地质要素分布。

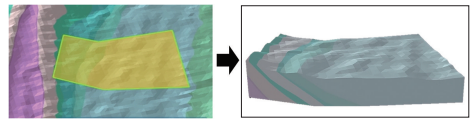


图9 AOI裁剪挖掘

AOI地表基质属性和叠加的地质属性见表3、4，可查询该区域的土壤和地质状况，为区域演化发展、开展工程应用改造和土地利用提供评价依据，奠定数据基础。

表3 AOI的地表基质属性

一级分类	二级分类	三级分类	有效土层厚度/cm	土壤酸碱度
土质	黏土	酸性黏土	63	5.30
土质	黏土	中性黏土	70	6.70
土质	黏土	弱碱性黏土	40	7.90
土质	壤土	弱碱性壤土	40	7.70
泥质	淤泥	有基质泥	0	0.00
土质	壤土	中性壤土	90	6.80
岩石	沉积岩	–	0	0.00
砾质	粗砾	冲洪积含砂砾	0	0.00

表4 AOI的地质属性

代号	名称	厚度/m	岩性	特征
J_3s^2	沙溪庙组二段	1 048~1 377	以泥岩、粉砂质泥岩为主，夹岩屑长石砂岩和长石石英砂岩	化石含量丰富，尤其恐龙化石十分引人注意
J_3s^1	沙溪庙组一段	313~256	紫红色泥岩、砂质泥岩、砂质钙质泥岩夹紫灰色长石砂岩和长石石英砂岩	–
J_2x	新田沟组	118~211	砂质泥岩、泥岩夹石英砂岩和粉砂岩	化石种类繁多，数量丰富
J_1z_1	自流井组	256~312	泥岩、钙质泥岩、砂质泥岩夹介壳砂岩和石英砂岩	–
J_1z	珍珠冲组	145~200	以紫红色泥岩、砂质泥岩为主，夹石英砂岩、灰色页岩	下部含铁矿
T_3xj	须家河组	298~327	以厚层状长石石英砂岩、岩屑石英砂岩为主，底部灰色页岩夹煤线	矿产以煤为主，石英砂岩为辅
T_2l	雷口坡组	0~18.1	灰白色厚层块状白云岩、泥质白云岩间夹砂屑灰岩、盐溶角砾岩	矿产主要为石膏、岩盐
T_1j	嘉陵江组	424~667	白云岩、白云质灰岩夹生物碎屑灰岩和盐溶角砾岩	多种矿产，以石膏为主

通过对地表基质模型进行范围划定、挖掘裁剪、剖面制作，定性和定量分析了不同地质、地形地貌、土壤、生态等生态地质相关信息，以及岩石类型、分层结构、风化壳、成土母质、土壤类型、土壤成分、植被根系深度与数量、地质结构、地下水等情况。通过对模型进行不同方向剖切动态移动，观察地质岩层产状情况；通过数据叠加分析，得出近年区域地表基质变化趋势，从生态修复角度，促进其自然恢复。聚焦环境演替、物质演化、趋势分析等问题，查明地表基质深层物质结构，分析地表基质演变规律，掌握影响生态系统变化的根本影响因子。

5 结　语

本文探索了基于多源数据的地表基质精细化三维建模方法，基于TIN和CPG构建了地表基质3级类的三维体模型，并进行了实践。实验成果验证了该方法的可行性，展现了地表基质三维模型对于农业、生态、地质等方面的重要意义。在未来的研究中将继续结合地表基质模型与其他新型数据，针对生态修复、农业污染、林地保护等问题进行积极探索和实践。

参考文献

[1] 自然资源部. 自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知(自然资发[2020]15号)[EB/OL]. (2020-01-21)[2023-08-13]. http://gi. mnr. gov. cn/202001/t20200121_2498506. html.

[2] 自然资源部. 自然资源部关于印发《地表基质分类方案(试行)》的通知(自然资发[2020]59号)[EB/OL]. (2020-12-22)[2023-08-13]. http://gi. mnr. gov. cn/202012/t20201222_2596025. html

[3] 侯红星,葛良胜,孙肖,等. 地表基质在中国黑土地资源调查评价中的应用探讨:基于黑龙江宝清地区地表基质调查[J]. 自然资源学报,2022,37(9):2 264-2 276

[4] 王天一,孟小亮,张华. 一种面向生态环境领域的知识图谱构建方法[J]. 地理空间信息,2023,21(1):14-19

[5] 葛良胜,杨贵才. 自然资源调查监测工作新领域: 地表基质调查[J]. 中国国土资源经济,2020,33(9):4-11

[6] Ponting D K. Corner Point Grid Geometry in Reservoir Simulation[C] // Proceedings of the 1st European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Cambridge,1989:1 305

[7] 张超,陈炳成,邬伦. 地理信息系统[M]. 北京:高等教育出版社,1995

[8] Voronoi G. Nouvelles Applications Des Paramètres Continus à la Théorie Des Formes Quadratiques[J]. Journal Für Die Reine Und Angewandte Mathematik (Crelles Journal), 1908(133): 97-102

[9] Delaunay B N. Sur La Sphère vide, Izvestia Akademii Nauk SSSR[J]. Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk,1934,7(8):793-800

[10] 汤国安,刘学军,闾国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2005

[11] 邵春丽,胡鹏,黄承义,等. DELAUNAY三角网的算法详述及其应用发展前景[J]. 测绘科学,2004,29(6):68-71

[12] 唐丙寅. 城市第四系沉积相三维可视化精细建模研究[D]. 武汉:中国地质大学,2015

[13] 韩峻,施法中,吴胜和,等. 基于格架模型的角点网格生成算法[J]. 计算机工程,2008,34(4):90-92

[14] Sibson R. A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation[J]. Interpolating Multivariate Data,1981,2:21-36

[15] Heine G W. A Controlled Study of Some Two-dimensional Interpolation Methods[J]. COGS Computer Contributions, 1986,3(2):60-72

[16] Jones N L, Davis R J, Sabbah W A. Comparison of Three-dimensional Interpolation Techniques for Plume Characterization[J]. Groundwater,2003,41:411-419

[17] Burrough P A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment[M]. New York: Oxford University Press,1986

[18] Thompson J F. Numerical Grid Generation: Foundations and Applications[M]. New York: Elsevier,1985

[19] 吴胜和,金振奎,黄沧钿. 储层建模[M]. 北京:石油工业出版社,1999

[20] 苏丹丹. 基于角点网格剖分的三维地质建模的研究与实现[D]. 西安:西安科技大学,2010

[21] 周军元,苏勤龙,刘威,等. 浅谈自然资源三维可视化研究与应用[J]. 地理空间信息,2022,20(9):133-135

[22] 贾磊,刘洪,欧阳渊,等. 基于地质建造的南方山地—丘陵区地表基质填图单元划分方案:以珠三角新会—台山地区为例[J]. 西北地质,2022,55(4):140-157

[23] 侯红星,葛良胜,孙肖,等. 地表基质调查内容及要素—属性指标体系探讨[J]. 自然科学,2021,9(4):433-442

[24] 殷志强,陈自然,李霞,等. 地表基质综合调查:内涵、分层、填图与支撑目标[J]. 水文地质工程地质,2023,50(1):144-151

[25] 邢秋菊. 基于GIS的重庆市南岸区土壤侵蚀危险性评价研究[D]. 重庆:重庆师范大学,2005

[26] 翁昊璐,慈恩,李松,等. 重庆市黄壤的成土特点与系统分类研究[J]. 土壤学报,2020,57(3):579-589