

# Research on high-precision spatial interpolation method and 3 D imaging technology based on multi-source heterogeneous big data of site pollution

Meiqin Sun Wei Wang Peng Hu Xinxin Wang Rui Wu

Wuhan Zhibo Chuangxiang Science and Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

## Abstract

This article focuses on the problem of small-site pollution. By studying different spatial interpolation algorithms and determining the high-precision spatial interpolation algorithm theory that can be used as the theoretical basis for constructing the three-dimensional attribute model of contaminated sites according to the types of pollutants. In view of the spatial data of the three-dimensional model, it comprehensively explores the ways of acquisition, storage, organization, management and the representation of data status, analyzes and summarizes the characteristics of spatial data from multiple aspects. Combined with the professional analysis requirements for three-dimensional modeling of site pollution, it puts forward a spatial three-dimensional data model that can support high-precision three-dimensional pollution models. Based on the spatial structure, pollution attributes and the time-series characteristics of the pollution status of the three-dimensional model of site pollution, the dimensionality reduction method is used to realize the spatial distribution characteristics and the changing trend of spatial characteristics of multi-dimensional spatial pollution, providing theoretical and technical support for the relevant analysis and treatment of small-site pollution.

## Keywords

Contaminated site, spatial interpolation, three-dimensional imaging, pollutant model

# 基于场地污染多源异构大数据高精度空间插值方法与三维成像技术研究

孙美琴 王卫 胡鹏 王鑫鑫 吴瑞

武汉智博创享科技股份有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

## 摘要

本文聚焦于小场地污染问题, 通过研究不同空间插值算法, 依据污染物类型确定可作为污染场地三维属性模型构建理论的高精度空间插值算法理论。针对三维模型空间数据, 全面探究其获取、存储、组织、管理以及数据状态的表示方式, 从多层面剖析并总结空间数据的特点, 结合场地污染三维建模的专业分析需求, 提出能够支持高精度污染三维模型的空间三维数据模型, 基于场地污染三维模型的空间结构、污染属性以及污染状态的时序特征, 运用降维方法实现多维度空间污染的空间分布特征及空间特征变化趋势, 为小场地污染相关分析及处理提供理论与技术支撑。

## 关键词

污染场地, 空间插值, 三维成像, 污染物模型

## 1 引言

当前环境问题中场地污染的形势严峻, 污染场地的广泛存在对生态系统、人类健康带来的威胁。随着监测技术的发展, 来自不同传感器(如土壤传感器、水质监测传感器)、不同监测平台(卫星遥感、地面监测站)以及不同数据格式(图像、数值数据等)的数据不断积累, 这些数据对于全面了解污染场地状况有着关键意义<sup>[1]</sup>。

如何基于点状污染物数据通过空间插值的方式反映面状污染物, 并通过三维的方式直观展示污染物在空间的分布, 需要合理处理这些多源异构大数据。传统的空间插值方法<sup>[2]</sup>在精度和适用性上存在不足, 难以准确描绘污染的空间分布<sup>[3-4]</sup>。

随着科学计算可视化与三维 GIS 的发展, 可视化的三维模型得到了广泛应用。三维地质模型可以解决二维平面不能直观展现地形高程变化等问题, 多方式多角度展示复杂地质信息, 反映场地地层结构形态。通过基于地学统计的空间插值手段<sup>[5]</sup>, 建立污染属性参数的三维空间模型<sup>[6-7]</sup>, 求解空间内部污染分布特征。场地地层普遍具有异质性, 场地污

【作者简介】孙美琴(1985-), 女, 中国山西沁源人, 硕士, 工程师, 从事地理信息系统研究。

染分布与地层结构密切相关<sup>[8]</sup>。

本文通过依据场地污染数据特征、基于高精度空间插值算法、构建三维污染属性模型,结合三维成像可视化技术及三维空间分析手段,辅助分析研究场地地层特征与场地不同深度土壤污染特征之间的相关性,减少场地污染范围及修复土方量的计算误差,更加准确分析场地污染分布状况,为土壤污染修复技术提供决策和依据,为污染场地修复、风险评估制定科学合理的污染治理方案,提高环境修复效率和质量,保护生态环境和人类健康提供重要的数据支撑。

## 2 总体框架

三维空间数据模型主要分为四类,矢量模型、表面模型、体元模型与混合模型。本文研究表面模型、体元模型与混合模型三种,通过对比分析试验,确定适用于污染场地的三维建模结构。通过研究不同空间插值算法对比分析,对各插值算法的结果和精度进行综合评估,最终确定适用于污染场地污染空间分布模型插值的算法及其参数设置。

同时基于污染场地三维模型数据可视化技术及多维数据的综合可视化显示技术。将污染浓度数据、时序变化数据、趋势数据等多维度信息与三维地层结构进行融合展示,支持高维度的三维模型快速渲染优化的综合信息展示与分析。

场地污染空间分析与空间统计的研究主要包括基于场地污染多维空间模型进行过滤分析、剖切分析、开挖分析、体积统计分析、变化趋势分析等多个方面的空间分析的实现方法。

## 3 关键技术

### 3.1 空间插值算法理论研究及其精度应用

三维空间属性参数的建模就是求解空间内部物理、化学属性参数的模型。而对三维空间中的属性进行插值则是用来求解属性值的一种很普遍的方法。由于在三维空间中不可能对每一个数据点进行测量,只能得到一定数量的数据,这些数据可以反映出部分或者全部的空间特征,利用这些已知数据进行插值,据此预测未知数据的属性特征。测量到的三维空间数据往往是分布不均匀的离散数据,为了方便进行插值与绘制,对数据进行网格化是有必要的。本课题将基于网格化对多种空间插值算法理论、精度及其对场地污染属性建模的适用性等多个方面进行深入研究,最终得到一种或多种针对场地污染数据的高精度插值方法,用于进行污染参数的空间建模。

### 3.2 复杂结构体三维空间数据模型与数据结构

三维模型空间模型与数据结构的研究主要包括三维数据的获取、存储、组织、管理、数据状态的表示,其中数据模型是研究重点。空间数据是关于现实世界空间实体及其相互关系的描述,它为描述空间数据的组织和空间数据库模式提供基本方法。从现实世界到计算机世界,空间数据模型可以被归纳为空间概念数据模型、空间逻辑数据模型和空间物

理数据模型三个层次。本课题将从三个层次研究和总结空间数据的特点,结合场地污染三维建模的专业分析需求,探索出一种可以支持高精度污染数据建模的空间三维数据模型。

### 3.3 场地污染数据三维建模不确定性分析及精度提升技术

场地污染物数据三维预测模型由场地地质模型及污染物预测模型两部分构成。模型误差是由地层的不确定性与污染物三维插值方法选择中参数的不确定性造成的。为降低模型误差,提升精度,课题将对对地层的构建与污染预测插值中的参数对模型精度的影响进行全面的分析与研究。

三维地质模型的三维网格由各地层表面叠加而成,地层表面网格的高程值是由钻孔点各层高程值插值计算得到。场区地层模型的建立为污染分布提供了预测点的位置(即每个网格的节点)及空间边界范围,对三维地质模型的不确定性分析研究重点在于研究不同空间网格划分与地学统计插值算法对地质建模精度的影响。

在三维地质模型建立的基础上,使用三维离散点对地层网格进行插值预测,进而对土壤污染物浓度的空间分布可视化表达。污染物插值精度主要受插值方法的参数影响,本课题将针对场地污染的特征对不同的参数条件进行精度分析、对比及评价,获取较为准确的三维预测模型,提升场地污染三维建模精度。

### 3.4 场地污染复杂三维模型快速三维成像技术

由于空间数据本身具有多维、动态和海量等特征,在可视化过程中,不仅要展现空间数据的外部形态,而且还要表达其内在关系特征。空间数据三维模型可视化是指运用地图学、计算机图形学和图形处理技术等,针对地学数据模型采用符号、图形、图像,结合图标、文字、表格、视频等可视化形式显示并进行交互处理的理论、方法和技术。三维成像技术着重表达场地三维空间中实体的形态结构和空间关系。本课题针对场地污染三维模型的多维特性(三维空间结构、污染属性、污染状态时序),采用降维方法实现多维度空间与属性模型的显示及交互处理。主要研究基于多变量的显示技术和动画技术,充分利用图形的形态、色彩、符号、叠置、高度、聚焦、次序、亮度、纯度等特殊表达模式,来展现场地污染的空间分布特征及空间特征变化趋势。

## 4 具体应用

### 4.1 不同插值方法模型对比分析

本文探讨了反距离加权插值算法、克里金插值法、自然邻近点插值法、泰森多边形插值法、样条函数插值法、径向基函数插值法等插值方法在针对污染物模型构建中的区别,系统内置了以上六种常用的插值算法,针对同一场地在建模效果上进行了对比分析,图1、图2是不同插值算法的建模效果图,从图中可以看出在建模数据一致的情况下,克里金插值法和径向基函数插值法对于该场地污染物在

空间中的分布体现的更直接,因此,在进行具体的污染物三维成像过程中需要尝试采用多种差值方法进行模型的多次验证,确定最终污染物模型构建采用的方法。

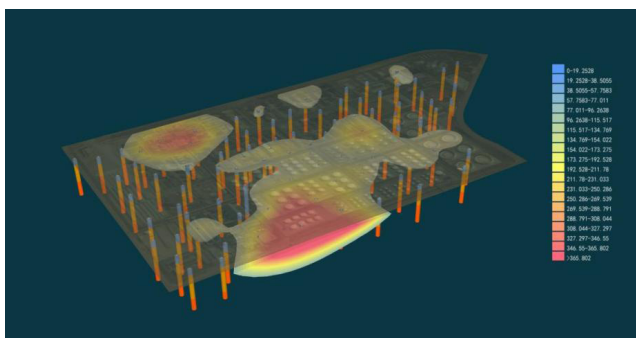


图1 径向基函数插值效果

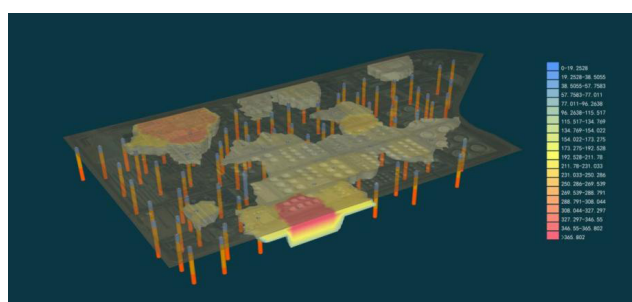


图2 自然临近插值法插值效果

#### 4.2 不同介质中污染物模型对比研究

地层结构对污染物的迁移、转化和分布具有重要影响。不同地层的岩性、渗透性、孔隙度等特性差异,会导致污染物在地下的运移速度、扩散范围和吸附解吸行为各不相同。通过建立基于地层约束的污染物模型,可以更准确地描述污染物在地下环境中的行为,为地下水污染防治、土壤修复和环境风险评估等提供科学依据,有助于制定更有效的污染控

制和修复策略。

实际地层结构往往非常复杂,存在着非均质性、各向异性、断层、裂隙等多种地质特征,本文考虑了地层参数和污染物特性等的不确定性和变异性,将污染物的迁移过程视为随机过程,通过概率分布来描述污染物浓度的时空变化。在基于地层约束的随机模型中,会根据地层的统计特征和空间变异规律,对模型参数进行随机赋值,以模拟不同地层条件下污染物迁移的不确定性。

## 5 结语

针对不同的建模方法、采用不同的属性插值算法、采用不同的数据约束建模的效果截然不同,因此在实际建模过程中要采用多源数据约束,采用合适的插值算法才能取得很好的三维建模成像效果。

## 参考文献

- [1] 马宏宏,余涛,杨忠芳,等.典型区土壤重金属空间插值方法与污染评价[J].环境科学,2018,39(10):4684-4693.
- [2] 林世惠,吴泳瑶.土壤污染物空间插值对比分析[J].资源导刊,2024(10):37-40.
- [3] 史广,荆耀栋,秦明星,刘庚.某石油泄漏场地土壤二甲苯空间分布的三维插值[J].生态学杂志,2016,35(10):2861-2866.
- [4] 史广,荆耀栋,秦明星等.某石油泄漏场地土壤二甲苯空间分布的三维插值[J].生态学杂志.2016,35(10):2861-2866.
- [5] 田美影.污染场地空间插值的精度评价方法及应用[D].首都师范大学,2013.
- [6] 彭兆璇.土壤污染评价三维可视化系统开发研究[D].合肥工业大学,2024.
- [7] 彭雨璇,谢恩泽,王美艳,张秀,赵永存.场地土壤污染信息三维空间插值研究进展及展望[J].土壤通报,2021,52(5):1244-1250
- [8] 左忠豪.湘江流域污染物动态运移三维可视化及空间分析[D].中南大学,2024.