

地理信息系统：应用概述与发展趋势

张蓝兮

河北工程大学地球科学与工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2023年12月1日; 录用日期: 2024年1月9日; 发布日期: 2024年1月22日

摘要

地理信息系统(GIS)是一种集成了数据收集、存储、管理、分析和可视化的先进技术,广泛应用于地质矿产、农业、环境、林业、水文、城市建设和考古学等领域中。在地质方面,主要应用于矿产资源勘查和地质灾害易发性评价领域;在农业方面,主要应用于农业土壤评价(土壤肥力和重金属)和农业气象灾害(预警系统和灾害风险划分);在环境方面,主要应用于环境影响评价和环境监测方面;在林业方面,主要应用于林业资源管理和森林灾害方面;在水文方面,主要应用于水文情报预报和降水量计算两个方面;在城市建设方面,主要应用于交通运输和智慧城市;针对考古学方面,主要应用于人地关系研究方面。分析表明, GIS的应用前景广阔,正在从小众化走向大众化,从单一化走向多元化。

关键词

GIS, 应用, 空间分析, 评价, 数据

Geographic Information System: Application Overview and Development Trend

Lanxi Zhang

School of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: Dec. 1st, 2023; accepted: Jan. 9th, 2024; published: Jan. 22nd, 2024

Abstract

Geographic Information System (GIS) is an advanced technology that integrates data collection, storage, management, analysis, and visualization, and is widely used in geological mineral resources, agriculture, environment, forestry, hydrology, urban construction, and archaeology. In geology, it is mainly applied in the fields of mineral resources exploration and geological disaster susceptibility

evaluation; in agriculture, it is mainly applied in agricultural soil evaluation (soil fertility and heavy metals) and agricultural meteorological disasters (early warning system and disaster risk classification); in the environment, it is mainly applied in environmental impact assessment and environmental monitoring; in forestry, it is mainly applied in forestry resource management and forest disasters; in hydrology, it is mainly applied in hydrological information forecasting and precipitation calculation; in urban construction, it is mainly applied in transportation and smart cities; for archaeology, it is mainly applied in the study of human-land relationship. Analysis shows that the application of GIS has broad prospects, and is moving from niche to popular, from single to diversified.

Keywords

Geographic Information System (GIS), Application, Spatial Analysis, Evaluation, Data

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

地理信息系统(后文简称 GIS)是集采集、存储、分析、运算、可视化等为一体的计算机系统。然而,“GIS”中的“S”有三种称呼:一是系统(System),强调工程技术一面;二是科学(Science),强调科学一面;三是服务(Service),强调应用服务一面[1]。同时, GIS 更加专注空间数据、属性数据以及在此基础上得到的相关数据[2]。GIS 的发展主要有管理型、分析型、决策型三个阶段。GIS 的应用范围广泛,依靠自身的优势,已经成为国家宏观决策和区域多目标开发的重要技术工具[2]。现如今,我国 GIS 的发展规模庞大,发展速度迅猛,应用范围广、实用性强[3]。

2. 主要领域及应用

2.1. 在地质矿产方面的应用

2.1.1. 地质矿产勘查

常规的地质勘查多是简单的人工采集、数据整理等,效率相对较低。在地质矿产勘查方面随着信息化程度的 GIS 利用其叠加分析方法,能够利用三维立体化展示,与二维平面图相比更加直观,还能够对地质矿产数据进行准确的预测与判断,不受数量的限制,快速收集矿产信息[4] [5] [6] [7]。

GIS 建立的地质数据库,覆盖区域更加广泛,资料更加完整,能够分类、整理、存储、分析矿区的信息,数据能一直存储在数据库中。通过收集不同的资源数据,建立资源数据库,使勘查信息更加直观,同时节约人力成本[8]。GIS 通过对矿产勘查数据进行分类处理,构建地质矿产数据库,有效地实现了对属性的挂接应用、图层分类建设以及成矿规律信息的应用[9]。

王鹤[10]通过以黑龙江省逊克地区地质矿产为信息数据,利用 GIS 将信息数据转化为空间数据,利用 GIS 在操作、计算、成图等方面通过将均值标准差法、趋势面分析法和含量-面积分形法三种方法进行对比,得出在此次研究中均值标准差法更为合适的结论。通过采用 GIS 的空间分析方法能够实现对地质状态进行科学合理的量化分析[11]。通过数据检索、叠加分析和建立模型等方法,对数据信息进行处理,完成专题图的制作以及找矿模型的建立[12]。

2.1.2. 地质矿产资源评价

采用空间分析、缓冲区分析、叠置分析、统计分析的方法，对分析矿产资源分布以及成矿规律进行总结，依靠 GIS 技术建立评价预测模型，能够对其空间位置以及资源量进行评估。开展信息加权分析工作，更有效地确保措施的可行性[13] [14]。

2.1.3. 地质灾害易发性评价

GIS 通过利用叠加分析、栅格计算、重分类等方法，对高程、坡向、坡度等因子进行分级[15] [16] [17] [18]，对区域环境地质保护和灾害治理有指导意义[16]。李信等[15]以海南省昌江县为例，利用栅格计算得到地质灾害易发性分布图，证实分析结果与地质灾害发育特征基本一致。余杰等[18]以黄梅县为例，考虑六个因子，构建 GIS 信息量模型，利用栅格重分类工具进行分级。孙天天[17]将 GIS 与 RS 相结合，对新源县滑坡易发性进行研究。王磊等[19]以四川理县为研究区域，利用八个因子评价滑坡危险性，四个因子评价易损性，为有效防治滑坡地质灾害提供科学依据。Lee 和 Min [20]以韩国龙仁山为研究对象，利用 GIS 收集滑坡数据，建立空间数据库，结合逻辑回归方法分析滑坡敏感性。李孝攀[21]以甘孜 - 昌都区域为研究对象，构建环境空间数据库，绘制地质灾害综合易发性区域图。程皓阳[22]以四川省汉源县为研究对象，利用叠加分析计算危险性和易损性，绘制汉源县地质灾害风险性分区图。以上人员对地质灾害易发性评价研究对比表如表 1 所示。

Table 1. Study comparison table [15] [17]-[22]

表 1. 研究对比表[15] [17]-[22]

研究人员	研究地点	有关 GIS 的主要研究方法
李信等[15]	海南省昌江县	栅格算法、叠置分析法
余杰等[18]	湖北省黄梅县	构建 GIS 信息量模型法、重分类法、自然断点法
孙天天[17]	新疆维吾尔自治区新源县	叠置分析法、空间分析法、单因子评价分析法
王磊等[19]	四川省理县	数据处理、空间分析法、统计功能
Lee 和 Min [20]	韩国龙仁山	构建空间数据库
李孝攀[21]	甘孜 - 昌都区域	构建空间数据库、自然断点法
程皓阳[22]	四川省汉源县	空间分析法、叠置分析法

2.2. 在农业方面的应用

2.2.1. 土壤评价

1) 土壤肥力

通过利用 GIS 进行空间插值分析，研究人员清晰准确地了解了某地区土壤的全氮、养分等影响土壤肥力要素的分布规律及特点[23] [24]。曹虎生和罗敏[23]通过对四川盆地中部涪江中游地区的土壤全氮数据进行克里格插值分析，确定该地区土壤全氮具有一定的空间特征。田鸽[24]通过对秦岭火池塘地区的土壤养分进行空间插值分析，通过图 1 可知土壤养分要素有着明显的空间异质性，不同地区的土壤养分差异较大。

2) 土壤重金属污染

GIS 在评价土壤重金属空间分布及风险划分起到了重要作用，通过和半方差函数以及内梅罗指数等方法相结合，分析了 Ni、Pb 和 Hg 多个重金属的分布特点和生态风险评估[25] [26] [27]。张扣扣等[28]以宁夏省常乐镇为研究区域，对土壤重金属含量数据进行处理，利用反距离权重插值，绘制土壤各种重金属含量空间分布图并且分析了土壤重金属来源。张施阳[29]以上海市土壤中土壤样品中的重金属浓度为研究

对象,利用 ArcMap 软件制作出 As、Cd、Cr 等八种重金属浓度的空间分布图,并且进行了健康风险评估。

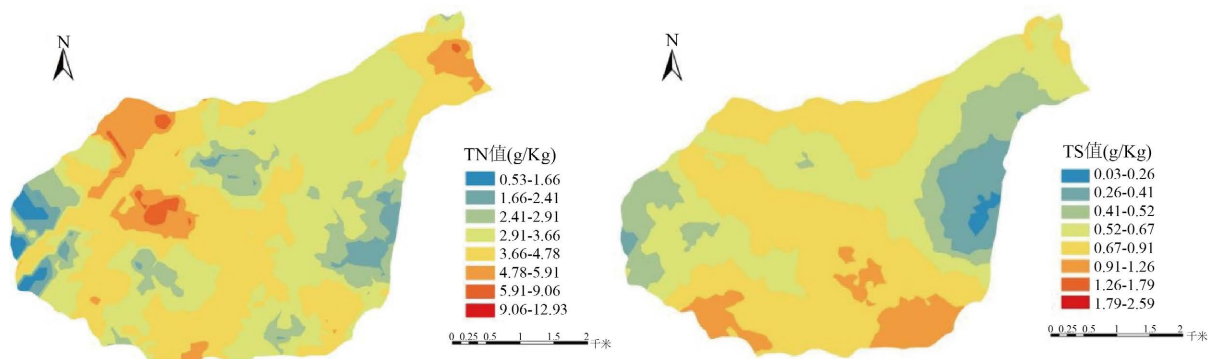


Figure 1. Spatial distribution of TN and TS in soil in study area [24]

图 1. 研究区土壤全氮和全硫养分含量空间分布[24]

2.2.2. 农业气象灾害监测

1) 气象灾害预警系统

GIS 利用对数据处理、模型构建、空间位置分析等功能,在预警系统的研究中发挥了重要作用,体现了其适用性、时效性、共享性等突出特点。高雪[30]在预警系统研究中得知 GIS 在空间分析能力、空间建模、数据资源共享方面有着杰出能力,在预警系统中利用 GIS 能够准确描述要素的空间位置,同时能够利用栅格数据分析、缓冲区分析构建灾害评估模型。

2) 灾害风险区划

GIS 主要依靠其数据分析、空间插值、数字高程模型、投影转换等在气象灾害风险区划中起着不可替代的作用[31] [32] [33]。刘琰琰等[33]利用地理投影变换将下载的地图进行处理,得到栅格数据,利用自然断点法将四川省旺苍县玉米风险区划分为五个等级,根据结果得知在该区域内西部边缘地带为低风险区,西南部为高风险区。鲜铁军[32]基于 GIS 对四川省南充市暴雨洪涝灾害进行风险区划,结合近年来实际数据证实了高风险地区发生暴雨洪涝灾害的风险大。贾桂兰等[31]基于 GIS 分析了巴中市春旱、夏旱、伏旱、秋旱、冬旱五个干旱时段的特征并且进行了灾害风险区划,结果表明:该地区北部为高风险地区,由北向南风险降低。

2.3. 在环境方面的应用

2.3.1. 环境影响评价

1) 项目环境影响评价

所谓项目环境影响评价就是指根据特定的项目,制定合理的建设方案,进行全方位的环境评估。GIS 在针对具体项目的环境评估,凭借自己强大的数据库在每个步骤中有着不可撼动的地位。

第一, GIS 根据环境标准以及相关的法律法规,建立标准法规数据库,为后续的一系列工作制定标准[34]。第二,针对具体项目, GIS 考虑项目规模、材料、施工等信息,构建项目数据库,并利用 GIS 构建数据模型进行实时分析,科学运用到项目中[35]。第三,根据自然环境和人文环境,构建包括地形、土壤、人口、GDP 等信息的数据库,预测项目成功率,为实际建设提供有力帮助[36]。第四, GIS 收集、处理环境污染数据,在根本上有效地解决污染问题[37]。第五,利用 GIS 的监测功能,及时应对泥石流等自然灾害[38],减少损失。

2) 累积环境影响评价

累积环境影响评价指将过去、现在以及未来累积在一起对环境的影响。运用 GIS 的数据分析、数据管理、叠加计算、构建数据库，在累积环境影响评价中发挥出了自己的特长。

利用 GIS 的数据分析能力，通过对不同地区、不同时间的环境数据进行分析处理，建立完备的环境综合信息库[34]。通过 GIS 技术利用叠加功能对数据进行分析，不仅能够得出现如今环境的变化情况、推断出人类活动带给自然环境和人文环境的影响，还能对未来环境情况进行预测[34] [35]。

3) 战略环境影响评价

战略环境影响评价是指根据政策、计划，对可能发生的环境问题进行评估，在实际评价的过程中起到缩小社会经济和自然环境两者间的差距的作用[36]。

GIS 的叠加计算、数据分析给战略环境影响评价提供了强有力的帮助[35] [39] [40]。对数据进行分析叠加不同的环境影响，最大程度地减少了因外界条件所带来的纰漏，有效地促进了环境影响工作的进行[35]。GIS 通过对区域数据进行处理、分析、加工，建立模型从而实现对环境的预测，经实践证明可操作性很强[40]。地理信息技术通过对大区域、长时间的数据进行获取、处理、分析，不仅为战略环境评价提供了方法，更加促进了经济建设与环境保护之间的均衡发展[39]。

2.3.2. 环境监测

通过对五华区进行声环境研究，基于 GIS 的数据矢量化、空间数据库、空间分析等方法，结合土地利用规划完成区域划分，改善声环境质量[41]。将 GIS 技术与遥感技术相结合，对银川市主要建成区及周边地区进行动态城市生态环境质量监测，了解坚持生态建设、发展生态农业对生态环境质量有着积极作用[42]。GIS 通过与 RS 相结合，对水体中掺杂物质的分布、淤泥情况、温度等进行分析，实时监测水体变化情况以及水污染情况[43]。

2.4. 在林业方面的应用

2.4.1. 林业资源管理

GIS 通过与 RS 相结合，实时观测森林的空间分布、生长发育、变化趋势等情况，为管理人员深入研究提供帮助[44]。GIS 通过与卫星遥感、视频监控、人工相结合，构建森林监测系统，可以更加有效地预防森林灾害，及时采取措施[44] [45]。利用 GIS 构建的烟雾传播模型，为消防人员及时做出森林救援提供对策[46]。利用 GIS 绘制林业资源分布图，并且 ArcGIS 软件根据不同地区、不同要素绘制不同颜色的专题地图，此方法管理人员不仅能进行更好地地区分，还能够根据数据对林业产生的问题进行治理工作，结合空间分析方法对森林资源进行详细分析，进而根据地域特征、物种优势、气候等条件确定采伐方案[44] [45] [47] [48]。

2.4.2. 森林灾害评价

通过对林州市采用反距离权重法对风险指标进行空间插值，从而得到栅格图层，利用自然断点法将九个风险指标划分为五个等级[49]。GIS 与 RS 相结合，通过对山东省森林火灾因子进行分析，采用概率等间距法将山东省划分为图 2 中显示的五类森林火险区，更好地预测了森林火灾，提前做好防火措施[50]。基于 ArcGIS 建立凉水自然保护区风倒灾害空间数据库对 GWR 模型进行可视化分析、绘制灾害等级分布图，进行凉水自然保护区风倒木灾害评价[51]。

2.5. 在水文方面的应用

2.5.1. 水文情报预报

水文情报预报工作可对不同天气的情况进行预测分析，对我国各大流域的水质、汛期、径流作出分析预测，根据各流域水文特征开展水质模型研究[52]。在水文情报预报方面的应用，GIS 也发挥着自己独

特的作用。

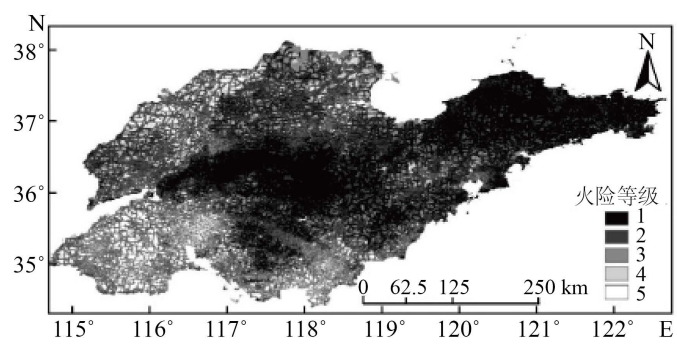


Figure 2. Fire risk zoning level diagram in Shandon [50]
图 2. 山东火险区划等级示意图[50]

收集水文数据，利用 GIS 建立完备的数据库，为后续水文预测建立基础，利用矢量地图与数据库相结合，可以对水文信息进行获取、查询、统计、显示、计算、分析，为水文预测提供帮助[53]。利用 ArcToolbox 工具栏下的工具，对 DEM 数据进行流向分析、流量分析、洼地分析等分析，同时与数字高程模型、高程数据、水力学模型结合，得到淹没区模拟、灾情评估，使水文监测信息更加科学、真实[53] [54] [55]。

2.5.2. 降水量计算

管云云等[56]采用 Kriging 插值法，对六安市降水量进行分析，得到空间分布图如图 3 所示，从而分析其空间分布特点以及产生差异性的原因。通过 GIS 的泰森多边形计算，既提高了区域平均降水量计算的精度效率，又实现了二次开发[57]。将地统计学与 ArcGIS 相结合对唐山市降水量进行空间估计，虽然分析结果与实际略有差异，但是整体趋势一致[58]。

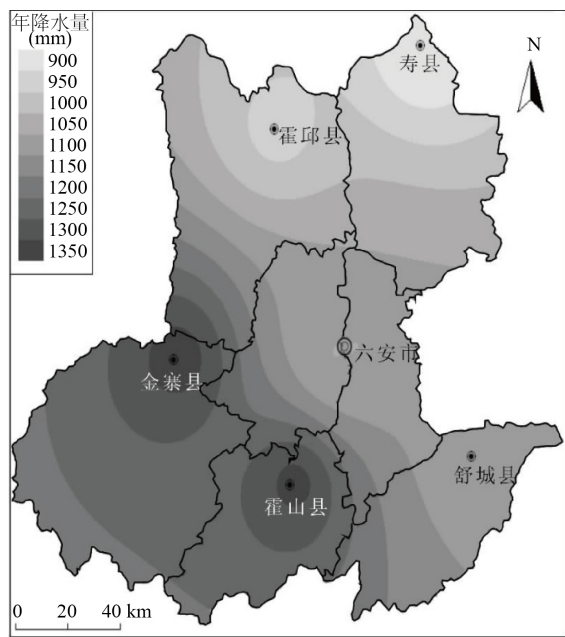


Figure 3. Spatial distribution diagram of annual precipitation [56]
图 3. 年降水量空间分布图[56]

2.6. 在城市建设方面的应用

2.6.1. 交通运输

张高玮和钱林波[59]采用拓扑联系的网络分析方法,对南京交通站点进行站域可达性分析,得到站域可达性主城区最高,整体呈星团状分散分布的特征。使用 Network Analyst 服务区分析工具、距离加权成本工具可以对站点进行时间、距离可达性分析[60]。通过将 Floyd-Warshall 算法引入到路径分析以及多目标规划模型中,对汉中市公交路网进行多重条件制约,实现了对公交路网的优化[61]。

2.6.2. 智慧城市

GIS 在智慧城市的应用中,在数据平台进行统一构建、数字孪生及可视化、双向同步的空间智能以及开放式平台服务等方面均有涉及,通过对以上四个方面的深入研究,使 GIS 在智慧城市方面发挥重要作用[62]。武汉市在 2011 年通过三维 GIS 技术,对数据进行动态的持续更新,实现了地上地下三维模型一体化管理,是我国第一个建成并投入使用的特大城市级真三维城市模型[63]。通过 GIS 软件为 GIS 和 BIM 集成平台进行二次开发,实现 GIS 室内三维导航,将 GIS 与 BIM 的优势相结合,GIS 与 BIM 区别如表 2 所示,有效地解决了智慧城市中城市轨道交通问题[64]。

Table 2. Comparison table between GIS and BIM [64]
表 2. GIS 与 BIM 对比表[64]

	GIS	BIM
本质区别	侧重环境的表达、信息管理及空间分析	侧重中模型及其属性的管理
规划功能	室外规划	室内规划
拓扑结构	拓扑功能较成熟	拓扑功能薄弱
坐标系	适用于任何坐标系或投影系统	直角坐标系
分析功能	基于矢量的空间分析(网络分析、属性分析、最短路径分析)	便捷分析功能(数量统计、交叉分析、长度测量)
三维模型	数据表面模型的建立及基于空间数据库的属性关联	模型具有精细的几何特征、丰富的属性信息、完善的空间结构
应用	宏观区域	微观单体建筑

2.7. 在考古学方面的应用

人地关系指的是一种人文系统和自然环境系统的动态关系。在人地关系研究时应用到了 GIS 的数字地形分析、叠置分析、缓冲区分析等方法。

刘岩[65]通过 GIS 空间分析方法对东北地区中国西部新石器时代每个阶段遗址分布进行了详细分析,结果表明,辽西地区新石器时代不同时期,各考古学文化的生计方式、遗址分布格局与全新世环境之间呈现了较为明显的协同性变化,东北地区中西部新石器时代遗址分布与生计方式之间的关系存在着空间上的差异。李静[66]通过对新石器时代至青铜时期小珠山遗址进行了系统分析,采用叠置分析、遗址空间形态分析等方法,了解到辽东半岛在新石器时代与周围交流较少,青铜时代交流明显增加。张鹏丽[67]通过兰州盆地进行数据采集,建立了兰州盆地数据库,并且采用空间分析、统计分析的方法对兰州盆地因地形而产生的影响和人类活动对地形的影响进行了系统的研究,为兰州的城市建设提供了科学的参考价值。金涛[68]通过建立数据库、数字地形分析方法、空间分析方法等对良渚遗址进行了人地关系研究,明确了在人们和环境的共同影响下才有良渚文化的不断发展。黄鑫[69]将唐山地区商代至战国时期的考古

数据、环境条件进行汇总、分析，研究了遗址点的分布特征，并且根据技术能力确定了暂时并不能构建遗址点规模预测模型。韩一夫[70]通过建立数据库、数字地形分析和空间聚类分析等，对泾河流域先秦时期的人文和环境进行了分析，也证实了最大熵模型在考古学研究中具有参考价值。以上人员对人地关系方面的研究对比表如表 3 所示。

Table 3. Study comparison table [65]-[70]
表 3. 研究对比表[65]-[70]

研究人员	研究对象	有关 GIS 的主要研究方法
刘岩[65]	东北地区中西部	空间叠置分析、缓冲区分析、数字地形分析、水文分析、可视域分析、泰森多边形分析、空间插值分析、空间统计分析
李静[66]	辽东半岛地区	水文分析、可视域分析、资源域建模、数字地形分析、土地利用分析、缓冲区分析、空间叠置分析、遗址空间形态分析
张鹏丽[67]	兰州盆地	最近邻分析方法、分布指向性分析、克里格插值方法、地形因子的提取、数字高程模型的使用
金涛[68]	良渚文化遗址	数字地形分析、遗址群空间分布特征、水文分析、密度分析、泰森多边形分析
黄鑫[69]	河北省唐山市	叠置分析、邻近分析、地理配准、坡度坡向分析、高程分析
韩一夫[70]	泾渭流域	数字地形分析、缓冲区分析、空间聚类分析、最大熵遗址预测模型、密度分析

3. 结论

GIS 作为解决空间问题的有力工具，在生产生活的各个领域中发挥着越来越重要的作用。本文通过系统的阐述，可以了解 GIS 的应用范围十分广泛，应用领域包括地质、农业、环境、水文、林业、考古等。在数据库应用方面，GIS 可以借助数据库管理空间数据，实现数据的存储、检索和分析等操作。在数据处理方面，GIS 可以采用多种方法对空间数据进行处理，如空间插值、空间统计分析等。构建模型是 GIS 的重要应用之一，可以通过模型来表达复杂的地理现象。专题图的制作也是 GIS 的重要应用之一，可以通过专题图来表达地理现象的空间分布和特征，提供可视化支持。在 GIS 的应用中，还可以和数学算法、化学分析、BIM 等方面结合，展开相对应的数理化分析。

4. 展望

随着技术的不断发展，GIS 的前景仍然非常广阔。通过与人工智能、大数据和物联网等技术的融合，以及数据获取技术的进步和易用性的提高，GIS 将实现更高级的分析和预测功能，拓展其应用领域和服务对象。未来 GIS 将在经济建设、社会发展、科学研究和应急救援等领域发挥更加重要的作用，为人类的生产生活提供更全面、更准确、更智能的空间服务。

参考文献

[1] 王家耀. 关于地理信息系统未来发展的思考[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(10): 1535-1545.
[2] 胡祎. 地理信息系统(GIS)发展史及前景展望[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
[3] 刘中秋. 中国地理信息系统的发展现状与建议[J]. 电子技术与软件工程, 2019(3): 243.
[4] 胡峰. 解析矿山地质勘查中 GIS 技术的应用[J]. 世界有色金属, 2022(6): 132-134.
[5] 缪建普, 邓佳. 探究 GIS 技术在地质矿产勘查中的应用[J]. 西部资源, 2021(1): 196-197+200.
[6] 苏永红. GIS 技术在地质矿产勘查中的应用[J]. 冶金管理, 2020(5): 112-113.

- [7] 赵岩. 地质矿产资源评价与 GIS 的运用分析[J]. 中国金属通报, 2020(7): 280-281.
- [8] 徐跃允. 地理信息系统在地质矿产勘查中的应用分析[J]. 世界有色金属, 2022(9): 124-126.
- [9] 赵迪. 地理信息系统在地质矿产勘查中的应用分析[J]. 冶金管理, 2021(13): 86-87.
- [10] 王鹤. 地球化学在黑龙江省逊克地区地质矿产勘查中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [11] 祝慕寰. 矿产资源勘查中地理信息系统的应用[J]. 砖瓦, 2021(9): 143-145.
- [12] 邱恺毅, 颜晓莉, 王鹏轶. 地理信息系统在地质矿产勘查中的应用探讨[J]. 世界有色金属, 2021(1): 116-117.
- [13] 左丹. GIS 在地质矿产资源评价中的应用[J]. 建材与装饰, 2018(45): 208-209.
- [14] 张浩梓, 李明霄, 朵德英. GIS 在地质矿产资源评价中的应用[J]. 世界有色金属, 2017(8): 57-59.
- [15] 李信, 阮明, 杨峰, 等. 基于 GIS 技术和信息量法的地质灾害易发性研究——以海南省昌江县为例[J]. 地质与资源, 2022, 31(1): 98-105.
- [16] 张琪, 侯晓亮, 马雷, 等. 基于 GIS 与 IIVM 的桐城市地质灾害易发性评价[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(7): 958-964.
- [17] 孙天天. 基于 RS 和 GIS 的新源县滑坡灾害易发性评价[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.
- [18] 余杰, 陈钰, 彭慧, 等. 基于 GIS 信息量模型的地质灾害易发性分区评价——以黄梅县为例[J]. 资源环境与工程, 2021, 35(5): 702-707.
- [19] 王磊, 常鸣, 邢月龙. 基于信息量法模型与 GIS 的滑坡地质灾害风险性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2021, 32(2): 14-20.
- [20] Lee, S. and Min, K. (2001) Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology (Berlin), 40, 1095-1113.
- [21] 李孝攀. 基于 GIS 的甘孜-昌都区域地质灾害易发性区划及其铁路线路规划设计应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [22] 程皓阳. 基于 GIS 的地质灾害风险评价[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2021.
- [23] 曹虎生, 罗敏. 地理信息系统(GIS)在农业产业化中的应用——以土壤全氮的空间分析为例[J]. 榆林学院学报, 2011, 21(4): 20-23.
- [24] 田鸽. 秦岭火地塘土壤养分空间分布特征及其影响因素[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2021.
- [25] 刘瑞雪, 乔冬云, 王萍, 等. 湘潭县农田土壤重金属污染及生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(7): 1523-1530.
- [26] 高琳, 林晓燕, 林昌华, 等. 基于 GIS 的农田土壤重金属空间分布及风险评价[J]. 南方农业, 2019, 13(29): 161-166.
- [27] 刘红斌, 苏尚军. 太原市土壤重金属分布特征及生态风险评价[J]. 山西农业科学, 2019, 47(8): 1411-1415.
- [28] 张扣扣, 贺婧, 钟艳霞, 等. 基于 GIS 对宁夏某铜银矿区周边土壤重金属来源解析[J]. 环境科学, 2022, 43(11): 5192-5204.
- [29] 张施阳. 基于 GIS 的上海市不同功能区土壤重金属污染评价及健康风险评估[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(4): 1226-1236.
- [30] 高雪. 基于 GIS 技术的农业气象灾害监测预警系统研究[J]. 农业技术与装备, 2021(11): 140-141.
- [31] 贾桂兰, 郭建茂, 雍燕燕. 基于 GIS 技术的巴中市农业气象干旱灾害风险区划[J]. 中国农学通报, 2018, 34(7): 124-133.
- [32] 鲜铁军. 基于 GIS 的南充市暴雨洪涝农业气象灾害风险区划与评估[J]. 现代农业科技, 2018(23): 199-202.
- [33] 刘琰琰, 李佳星, 代逸冰, 等. 基于 GIS 的四川盆周北部山区夏玉米农业气象灾害风险评估——以旺苍县为例[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2457-2465.
- [34] 郑炎城. 关于环境影响评价中 GIS 技术的应用分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2020, 1(5): 55-57.
- [35] 黄绮文. GIS 技术在环境影响评价中的应用[J]. 资源节约与环保, 2018(4): 34-35.
- [36] 苏占雄, 李静. GIS 技术在环境影响评价中的应用[J]. 科技资讯, 2017, 15(26): 21-23.
- [37] 张辉. GIS 技术在环境影响评价中的应用策略[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2021(2): 186-187.
- [38] 李建斌. 解析 GIS 技术在环境影响评价中应用[J]. 农村实用技术, 2021(7): 168-169.
- [39] 袁振. GIS 技术在环境影响评价中的实践探析[J]. 工程建设与设计, 2021(10): 92-93.

- [40] 王永平. 地理信息系统技术在环境影响评价中的应用[J]. 机械管理开发, 2016, 31(5): 94-96.
- [41] 许迪, 李丽珍, 毕晓伊, 等. 基于 GIS 技术的五华区声功能区划[C]//中国环境科学学会环境工程分会. 中国环境科学学会 2021 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(三). 北京: 工业建筑杂志社有限公司, 2021: 4.
- [42] 张仙, 陈理, 马燕妮, 等. 基于 GIS 和 RS 的银川市城市生态环境质量动态监测与评价[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(6): 2854-2864.
- [43] 潘辉. 3S 技术在生态环境监测中的应用[J]. 环境与发展, 2020, 32(10): 106-107.
- [44] 范健超. GIS 在林业资源管理中的应用分析[J]. 山西农经, 2020(22): 76-77.
- [45] 陈春丽. GIS 在林业资源管理中的应用探讨[J]. 农家参谋, 2020(19): 142.
- [46] 张旭. ArcGIS 在林业资源管理中的应用[J]. 林业科技情报, 2019, 51(2): 59-62.
- [47] 桑开军. GIS 技术林业应用实践研究[J]. 绿色科技, 2019(19): 121-122.
- [48] 赵成录. GIS 系统在林业资源管理中的应用与思考[J]. 绿色科技, 2019(11): 199-200.
- [49] 王倩丽, 马细霞, 刘欣欣, 等. 基于随机森林的山洪灾害风险评价方法及应用[J]. 人民黄河, 2022, 44(4): 63-66.
- [50] 黄宝华, 张华, 孙治军, 等. 基于 GIS 与 RS 的山东森林火险因子及火险区划[J]. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1464-1472.
- [51] 赵英蕾. 基于 GIS 凉水自然保护区风倒木灾害评价[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [52] 黄凌玥, 刘羽婷, 赵苗. 浅析水文情报预报工作的必要性[J]. 四川水利, 2017, 38(5): 127-128.
- [53] 王玉德. 基于 GIS 的水文情报预报系统开发与应用[C]//辽宁省水利学会. 水与水技术(第 5 辑). 朝阳: 辽宁省朝阳水文局, 2015: 5.
- [54] 李敏. 试析 GIS 技术在水文水资源中的应用[J]. 农业科技与信息, 2022(10): 116-119.
- [55] 刘丽英. GIS 技术在水文水资源领域中的应用分析[J]. 农业科技与信息, 2021(5): 77-78.
- [56] 管云云, 钟远标, 李远平, 等. 六安市近 45 年来降水量空间分布研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(3): 46-50.
- [57] 刘蓬勃. 基于 ArcGIS 的泰森多边形法区域降水量计算二次开发研究[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(4): 48-49.
- [58] 黄婷. 基于地统计学和 GIS 的唐山市降水量空间分布[J]. 水科学与工程学报, 2018(5): 20-23.
- [59] 张高玮, 钱林波. 基于 GIS 和网络地图服务的城市轨道交通站点可达性度量及评价——以南京市为例[J]. 物流科技, 2022, 45(11): 99-103.
- [60] 王亚妮. 基于 GIS 网络分析的西安市城区地铁站点可达性评价[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2022, 25(3): 106-111.
- [61] 吴红波, 郭敏, 杨肖肖. 基于地图 API 和 GIS 路径分析的城市公交车路网优化[J]. 北京交通大学学报, 2022, 46(1): 69-78.
- [62] 郭仁忠, 林浩嘉, 贺彪, 等. 面向智慧城市的 GIS 框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1829-1835.
- [63] 朱庆. 三维 GIS 及其在智慧城市中的应用[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2): 151-157.
- [64] 王孟钧, 廖娜, 秦岭. 城市轨道交通项目 BIM + GIS 技术集成探索与思考[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(24): 102-106.
- [65] 刘岩. GIS 支持下的中国东北地区中西部新石器时代人地关系初步研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [66] 李静. GIS 支持下的辽东半岛地区新石器时代至青铜时代人地关系浅析[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [67] 张鹏丽. 基于地形的兰州盆地人地关系研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [68] 金涛. 基于 GIS 的良渚时期人地关系研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [69] 黄鑫. GIS 支持下唐山商至战国遗址点人地关系研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 辽宁大学, 2019.
- [70] 韩一夫. GIS 技术支持下的泾河流域先秦时期人地关系研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2020.