引文格式：库莉,孙续锦,陈旭,等. 基于测绘历史档案的汉口码头时空演变分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(7): 41-46. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.07.009

基于测绘历史档案的汉口码头时空演变分析

库　莉[1]，孙续锦[1]，陈　旭[1]，邵子龙[2*]，秦　昆[2]，汪　婧[1]
（1. 湖北省测绘成果档案馆，湖北 武汉 430074；2. 武汉大学 遥感信息工程学院，湖北 武汉 430079）

摘　要：汉口古镇坐落于长江与汉江的交汇处，其起源和发展与水上贸易密切相关。码头更是汉口古镇繁荣兴盛的根基所在。以湖北省测绘成果档案馆的馆藏历史地图和相关历史档案资料为基础，采用时序统计分析、相关性分析和重心迁移分析等时空分析方法研究了汉口码头在不同历史时期的基本特征及其数量与分布的发展演变情况，并分析了影响汉口码头演变的原因。挖掘和分析历史地图和档案中蕴含的时空信息，可充分发挥测绘历史档案的价值，为城市的未来发展提供参考。

关键词：汉口古镇；码头；时序统计分析；相关性分析；重心迁移分析；时空演变分析
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）07-0041-06

Spatio-temporal Evolution Analysis of Hankou Port Based on Surveying and Mapping Historical Archives

KU Li[1], SUN Xujin[1], CHEN Xu[1], SHAO Zilong[2], QIN Kun[2], WANG Jing[1]
(1. Hubei Archives of Surveying and Mapping Production, Wuhan 430074, China;
2. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Hankou Ancient Town is located at the intersection of the Yangtze River and the Han River. Its origin and development are closely related to water trade. Hankou Port is the foundation of Hankou Ancient Town's prosperity. Based on the historical maps and related historical archives of the Hubei Archives of Surveying and Mapping Production, we used the spatio-temporal analysis methods such as time series statistics analysis, correlation analysis and gravity center transfer analysis to study the basic characteristics and development of Hankou Port in different historical periods, and explored the reasons that affect the evolution of port. Exploring and analyzing the spatio-temporal information contained in historical maps and archives can give full leverage the value of surveying and mapping historical archives and provide reference for the future development of cities.

Key words: Hankou Ancient Town, port, time series statistics analysis, correlation analysis, gravity center transfer analysis, spatio-temporal evolution analysis

15 世纪中后期——明成化年间，汉江由从龟山南部注入长江改为由龟山北部注入长江。“汉水改道”这一标志性事件直接促使了汉口古镇的诞生[1]。汉口古镇在民国时期得到了充分的发展，因此本文结合民国时期的历史档案和地图以及其他历史时期的相关资料，利用时空演变分析方法对汉口古镇的码头发展与演变历史进行了研究。将时空演变分析方法应用于古镇研究已取得了较多成果[1-3]，多采用空间相关性分析、核密度统计分析等GIS空间分析方法研究某一具体地区古镇的时空演变过程。汉口古镇的发展具有独特性与复杂性，这些因素在其他地区的研究中往往难以被详尽探讨。社科领域的学者从汉口古镇地处两江交汇的独特地理位置切入，较深入地分析了其独特的码头文化的形成、演变与创新转化过程[4-9]；自然科学领域的学者则从地图学或城市规划、交通的角度对汉口古镇的演变进行了分析[10-15]。根据湖北省测绘成果档案馆馆藏民国地形图等测绘档案资料，本文采用时序分析、相关性分析等GIS方法分析了汉口码头的时空演变情况，并以民国时期为发展的中轴线将其划分为不同历史时期进行研究。如无特别说明，本文的时空演变分析均以汉口码头的数量和分布为研究对象，对其发展与衰退等的描述也以数量为主要评价指标。

项目来源：2024年度湖北省自然资源科技资助项目（ZRZY2024KJ09）。
第一作者简介：库莉（1979—），硕士，馆长，从事自然资源信息化、测绘地理信息管理、测绘档案管理工作，E-mail：1253075300@qq.com。
通信作者：邵子龙（2000—），硕士研究生，研究方向为遥感图像智能处理、时空数据分析，E-mail：467502050@qq.com。

1 时空演变分析方法

城市时空演变分析是一个综合性的研究领域，通过综合分析城市在时间和空间上的变化揭示城市发展规律，并分析发展趋势。基于遥感、GIS技术和其他相关数据，对城市边界、土地利用、各类城市要素（人口、经济）等的变化进行深入研究[16-18]，如城区边界、面积与扩展分析，城市土地利用分析，城市要素分析等。本文选取码头作为汉口古镇的特征要素开展研究，综合分析其数量、地理位置和分布的变化情况，并探究其中的影响因素。

1）时序统计分析，通过对一个区域进行一段时间的连续观测，提取图像或数据的相关特征，并分析其变化过程与发展规模。其主要目的是识别数据中的模式、趋势、季节性、周期性和随机波动，从而进行预测或解释数据的生成过程[19]。时序统计分析总体上可分为确定性变化分析和随机性变化分析两类。确定性变化分析主要包括：①趋势变化分析，识别数据中的长期趋势，如线性增长、二次方程增长或指数增长等；②周期变化分析，分析数据中的周期性出现模式，如季节性变动和商业循环。随机性变化分析则没有固定内容，主要通过自回归模型、移动平均模型等对时间序列数据进行模拟。湖北省测绘成果档案馆收集了民国时期不同年份的汉口古镇地图，本文将多个年份的码头数量作为时序CSV数据输入Python设计的时空分析算法中，建立码头数量时序变化图；并通过Python的数据拟合或其他数据分析方法分析这种数量变化趋势。

2）相关性分析通常包括线性与非线性两类，其中线性相关性分析通过相关系数（如Pearson相关系数）衡量两个变量之间的线性关系强度和方向；而非线性相关性分析则通过散点图、趋势线等方式分析变量之间的非线性关系。相关性分析常用于揭示城市化与经济发展的关系，分析城市化水平与经济发展指标（如GDP）之间的相关性、城市与自然生态环境的关系，评估城市扩展速度与生态环境指标（如绿地面积、空气质量）之间的相关性系数，进而分析城市扩张对生态环境的影响[20]。汉口码头在民国时期得到了长足发展，这必然与某种城市要素变化存在相关性，如可能是汉口对内对外贸易总量的增长导致其码头数量的增多，从而可通过建立二者的相关性分析来深入探究这种变化背后的原因。

3）聚类分析是一种无监督学习方法，将相似对象归为一类，使得同类对象尽可能相似，不同类对象尽可能不同[21-22]。聚类分析包括基于划分、基于层次和基于密度等多种方法，其中基于划分的聚类将数据点划分为 k 个预先给定的簇，使簇内数据点尽可能相似，而不同簇的数据点尽可能不同；基于层次的聚类将数据按照层次结构进行划分，从而得到不同层次和粒度的聚类结果；基于密度的聚类将密度高且连续的数据点划分为一个簇，而忽略密度低或孤立的数据点。由于汉口古镇的码头数量多、分布范围广，且各码头之间可能存在帮派联系、商会联系等内在关系，因此采用聚类分析方法有助于揭示码头之间的内在联系。从地理角度来看，汉口古镇的码头并不是均匀分布的，因此聚类分析有助于发现其分布特点，进而探究可能存在的热点与冷点。

4）重心迁移分析通过计算一个区域内某种属性的重心位置随时间的变化来揭示该属性在空间上的分布和变化趋势[23]。本文将码头的地理位置（具体的经纬度）作为其分布属性，将码头的重心转换为地理意义上的中心，进而通过计算其中心变化来探究汉口码头在发展过程中的重心迁移，并分析发生这种迁移的可能原因。

城市时空演变分析在城市规划与管理、生态环境保护、社会经济发展和决策支持等方面都具有重要意义。深入分析城市在时间和空间维度上的变化，可为城市的可持续发展提供科学的指导和支持。

2 汉口古镇码头的演变历程

时空演变分析是对码头数量、地理分布等在时间、空间维度上的变化进行研究，但缺少对码头时空演变历程的直接描述。因此，本文结合武汉市底图，对码头地理位置直接进行可视化，再现每个重要时间节点汉口码头的演变情况。由于缺少汉口码头的专题历史地图、历史地图坐标不够精确且保存不够完善等问题，本文仅选用汉口、汉阳和武昌3个行政区划以及长江、汉江两处水系的线状矢量数据作为底图；码头分布则根据历史档案或文献中文字记载的汉口码头信息（以江汉关博物馆历史档案记载为主，《硚口史话》等其他文献为辅）确定其大致的分布范围、疏密程度和数量，尽可能将其在底图上进行还原。本文的码头分布示意图限于历史地名与当前地名难以精准对应以及保密性需求等，仅表征码头的大概分布范围、疏密程度和数量等信息，并不能反映码头的真实地理位置。

2.1　民国以前时期

汉口码头虽然可追溯到约两千年前的东汉时期，但当时的码头发展并不系统化，各码头没有具体的名称指代，且年代太过久远，难以进行有价值的分析研究。1736年（清朝乾隆元年）汉口古镇诞生了第一个真正意义上的本土码头——天宝巷石级码头，坐落于汉江硚口区域，至此汉口古镇的码头先汉水、后长江，自上而下地发展起来。经过130余年的发展变迁，1868年汉江沿岸（硚口到龙王庙）的码头数量已达35个，长江沿岸（龙王庙到江汉关）的码头数量也达到16个（图1a）。

2.2　民国初期

清末民初汉口开埠后，西方列强抢占汉口沿长江一带深水港域的优越位置，建起码头、栈房、洋棚、趸船等，外国资本经营的码头——“洋码头”应时而生，对汉口古镇的本土码头产生了极大冲击。自此，汉口的码头经济由汉水内河码头向长江通商码头转变，汉口的繁荣也从硚口一带下移至江岸一带的租界区。“洋码头”的兴旺发达，使得汉口成为中国近代商埠中最重要的对外贸易口岸之一。从1863年英国宝顺洋行率先在汉口英租界宝顺街（今天津路）营建宝顺栈五码头起，到1911年码头数量发展为74个，范围也从江汉关一直延伸到丹水池、谌家矶一带，这些码头几乎都为英、法、日、德、美5国商行所有（图1b）。1926年“洋码头”发展达到最繁盛时期，数量达到87个。随着外国技术和资本的进入，本土码头在该时期也得到了一定发展，其中最为重要的是本土工业码头大规模涌现。辛亥革命后，随着民族资产阶级和民族工业的发展，汉口一些私营企业主在硚口以上的汉水北岸边修建工厂专用码头，如申新纱厂、福新面粉厂等都开设有专用码头，本土工业码头数量达到了25个，从硚口以上一直延伸到皇经堂、古茶庵一带。这些工业码头充分体现了本土码头的进步，但绝大多数本土码头仍限于科学技术水平、外国势力欺压和财政等问题，被收购或经营惨淡，难以得到发展（图1c）。

2.3　民国中晚期

由于北伐战争的影响，国民经济发展陷入了低谷期，汉口码头数量大幅减少。受1929年世界经济大萧条的余波、1931年后中日两国之间战乱频繁、多个租界（英、德、俄等）被中国政府相继收回以及诸多因素的综合影响，1937年抗日战争前夕，长江沿岸的“洋码头”大量关停或撤销，码头分布范围从谌家矶向南大量缩减，码头数量仅剩55个，其中本土码头19个，“洋码头”36个；汉江沿岸的码头数量更少（图1d）。在抗日战争时期，由于民国政府最终主动撤出武汉，并未依托城市进行困守，因此汉口的大部分码头得以保全；且日军占领汉口后也未对汉口码头进行大规模破坏，1945年抗日战争胜利时汉口码头数量约为80个，与开战之前相差不大，为战后汉口码头的迅速复兴奠定了基础。1949年新中国成立时，汉口码头数量已达到243个，是汉口码头发展最鼎盛的时期。

2.4　新中国成立后

新中国成立后对民国时期汉口码头粗放发展过程中形成的不良习气和风俗进行了整顿，因此汉口码头迎来了一系列的拆迁、合并等处理，但整顿并未大规模长时间地持续下去，因此汉口码头的数量在20世纪50年代到70年代始终维持了较高的水平。20世纪80年代以后，随着中国改革开放的深入推进和外国先进技术的引进，汉口码头开始了一轮大规模的由量向质的转变，这种转变一直持续到2020年，期间数百个码头被拆除、迁移或合并，最终仅剩下发展水平较高的40余个码头，形成了当前的码头分布格局（以硚口区、江汉区和江岸区的总合作为汉口的地理范围）。

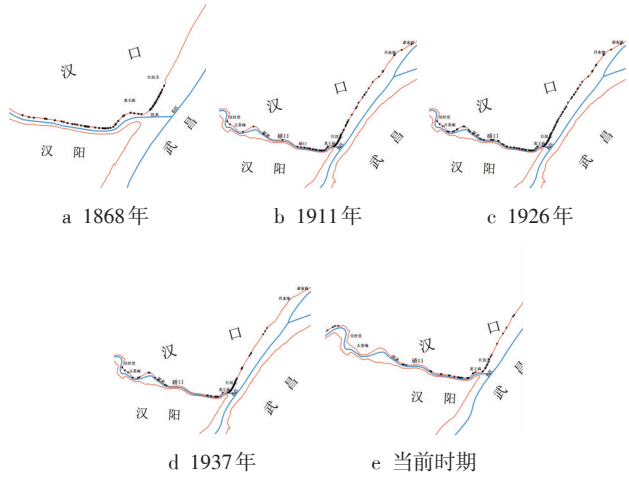


图1　不同时间节点的汉口码头分布示意图

3　汉口码头的时空演变分析

3.1　码头数量的时序变化分析

本文收集了1736—2024年13个时间节点的汉口码头数量，通过Python进行可视化，并将码头按照本土码头和“洋码头”进行了分类。首先对各原始数据节点进行柱状图变化展示，再通过三次样条曲线插值的方式将民国时期（约1911—1949年）汉口码头的数量变化拟合为曲线，从而更直观地展示具体变化和趋

势（图2）。三次样条曲线的插值结果较为平滑，适合一般情况下的数据拟合；但民国时期是一个国际国内都较为动荡的历史时期，因此汉口码头的数量变化不能完全以平滑的曲线来表示。采用分段直线和曲线拟合相结合的方式能更准确地反映这种变化情况（图3）。

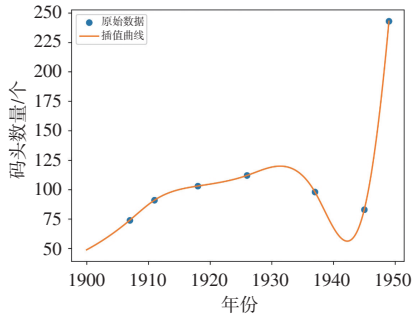


图2 汉口码头数量的时序变化统计图

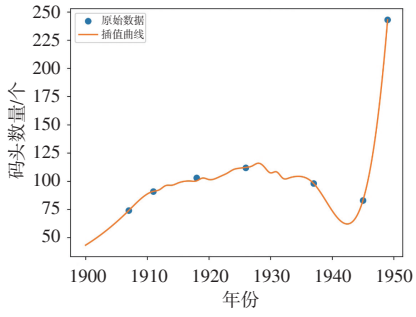


图3 分段、多次插值码头数量变化曲线

由图2、3可知：①汉口码头的发展经历了1736—1911年的初步缓慢发展时期、1911—1949年的高速发展与动荡变化时期、1949—1970年的相对稳定时期和1980年后由高数量向高质量转型发展时期4个阶段，每个阶段的转换均有重大历史事件作为标志，如1914年的第一次世界大战、1927年的北伐战争、1949年新中国成立、20世纪80年代改革开放等，总体来说，码头作为水上贸易的节点，其发展水平与国内外政治格局和经济形势具有较高的关联程度，易受战争或经济危机等历史事件的影响；②1868年后“洋码头”对本土码头形成了较大程度的冲击，直到20世纪30年代本土码头数量都没有增长，“洋码头”数量受国际局势的影响更大，当欧美国家陷于经济危机、自身的政治矛盾加剧时放弃了对大量“洋码头”的掌控，因此1937年后“洋码头”数量持续走低，且在新中国建立后的几十年内完全消失。

3.2 码头数量与贸易额的相关性分析

码头的产生与水上商业贸易活动密不可分，因此其数量变化与贸易额波动之间可能存在某种关联。汉口古镇是一个水上贸易占据主导地位的城镇，这使得二者之间的关联程度进一步增强。本文收集了1901—1934年汉口古镇的贸易额数据，选取处于民国时期的1911—1934年的部分数据，结合插值得到的对应时间段内的码头数量，采用Pearson系数和Spearman秩相关系数计算其相关程度。Pearson系数可反映两个变量之间的线性变化关系，Spearman秩相关系数则反映两个变量之间的单调性变化关系。由于贸易额数据的量级远大于码头数量，难以在直接绘制的曲线图中观察其相关程度，因此分别对两组数据进行了统一数量级和归一化处理（图4）。计算得到码头数量与贸易额的Pearson系数为0.78，而Spearman系数为0.85，表明两个变量之间存在较强的正相关关系。Pearson系数较低，说明二者的正相关关系并不一定是严格的线性关系。

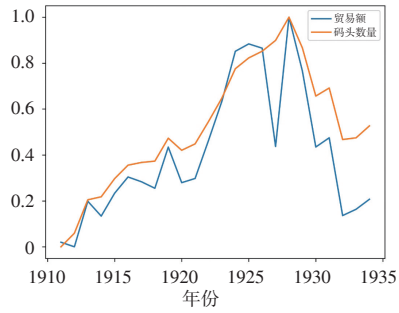
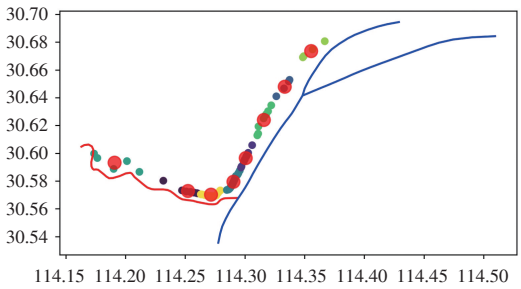


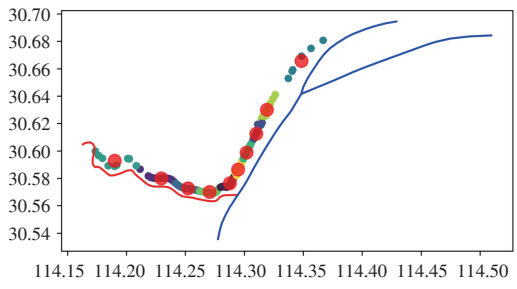
图4 码头数量–贸易额变化曲线

3.3 码头分布的聚类分析

利用K均值聚类方法对码头的地理分布进行分析，以1911年、1949年分别为民国初期、末期数据，对不同类别的码头使用不同颜色进行渲染（图5），其中红色河段为汉江，蓝色河段为长江，长江中段的分岔处为今天的江心洲区域。不同颜色的点表示归为不同聚类类别的码头，红色大圆表示聚类中心。汉口码头并不是均匀分布在汉江、长江沿岸上，如在长江与



a 1911年



b 1949年

图5 汉口码头聚类示意图

汉江的交界处（龙王庙附近）极为密集，而在硚口上游和江心洲等区域较为稀疏；且相较于1911年，1949年汉江附近的码头更密集，聚类划分的类别也更多，说明在民国末期汉口主要的码头增长体现在汉江河段。

3.4　码头分布的重心迁移分析

200多年来汉口码头的分布重心在汉江与长江之间不断迁移，早期大部分码头位于汉江沿岸，后来重心逐渐向长江沿岸转移。因此，本文计算了每个时间节点所有码头的经纬度几何中心，以该几何中心为分布重心，可视化展示该历史时期内分布重心的迁移过程（图6），红色河段为汉江，蓝色河段为长江，点代表对应的年份，可以看出，1736—1907年汉口码头的分布重心主要在汉江沿岸，可能有两个方面的原因：①汉江两岸的贸易活动比长江两岸更频繁；②由于技术的限制，在水面更宽、水流更急的长江两岸大规模建设码头较困难。1911年汉口码头的分布开始向长江沿岸转移，同样有两种可能的解释：①技术的进步使得在长江两岸通航变得更便利；②由于在华的西方列强更重视长江贸易路线，而汉口作为长江中段最大的码头城市，西方国家在长江沿岸布设大量“洋码头”。随着国际形势的变化，在接下来的数十年中西方国家逐渐撤销了大部分“洋码头”，使得码头的重心位置没有继续向北迁移。1945年和1949年时码头的分布重心重新回到了长江与汉江交界中心线附近，且直到2024年一直在向龙王庙（汉江汇入长江的交界点）附近移动，表明此时两岸码头数量大致是持平的。

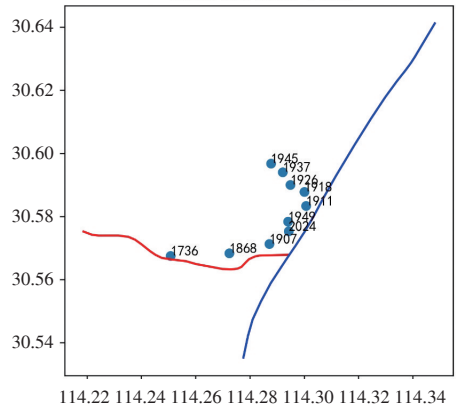


图6　汉口码头分布重心迁移示意图

4　结　语

本文从多学科交叉融合的角度出发，合理运用馆藏历史地图和其他相关历史档案等资料对汉口码头的时空演变历程进行了分析，主要结论包括：

1）回顾了自1736年以来汉口码头的演变历程，将其以民国时期为中间节点划分为多个发展时期，分析了不同时期码头的发展情况和基本地理分布特点，总结了影响码头发展水平的历史事件。

2）采用时序变化分析方法研究了在不同历史时期汉口码头的数量变化和变化趋势，并将其划分为本土码头和“洋码头”进一步探讨了外来势力对码头发展的影响；采用相关性分析方法研究了码头发展水平与汉口贸易总额的相关系数，得出具有较强相关性的结论；通过聚类分析和重心迁移分析探究了不同时期码头的发展重心，并分析了导致重心变化的原因。

本文还存在一些不足，未来可进一步细化码头数据的年份，从而减少使用插值和拟合方法，提高时空演变分析的准确性；收集更多的属性数据，如码头的名称、存在时间、码头之间的交互数量等，开展更细致的时序分析、关联性分析和社团结构分析等。

参考文献

[1] 何雨,王长松. 京杭运河历史城镇空间形态演变:以淮安河下古镇为例[J]. 城市发展研究,2023,30(2):25-30

[2] 赵亚琛,张兵华. 鲁运河沿线古镇空间发展演变特征及驱动因素[J]. 地理科学,2023,43(9):1 629-1 639

[3] 项振海,栗伟迪,班鹏飞,等. 基于多元数据的大理沙溪古镇空间演变研究[J]. 小城镇建设,2024,42(4):83-90

[4] 王玉德. 武汉码头文化的历史源流与发展演变[J]. 世纪行,2011(5):43-45

[5] 涂文学. 武汉码头的转型及其大码头文化[J]. 湖北社会科学,2009(3):186-188

[6] 周德钧. 近代汉口码头文化的社会学解读[J]. 湖北大学学报(哲学社会科学版),2009,36(4):36-41

[7] 王雄. 汉水古码头及其文化特质[J]. 苏州科技学院学报(社会科学版),2013,30(2):99-103

[8] 钟晟,王萌. 武汉码头文化的历史源流与创新转化[J]. 水文化,2023(12):24-27

[9] 梁云. 建国初期武汉码头改革研究(1949—1951)[D]. 武汉:华中师范大学,2015

[10] 于镕彬. 晚清以来武汉的轮渡事业与城市交通网络(1896—1987)[D]. 武汉:华中师范大学,2021

[11] 郑媛. 水对于汉口城市形态的影响及其作用机制研究[D]. 武汉:华中科技大学,2014

[12] 边疆,赵逵. 基于历史地图的汉口城市公园建设及变迁研究[C]//中国城市规划学会. 人民城市,规划赋能:2022中国城市规划年会论文集(04城市规划历史与理论),2023:13

[13] Xia Y,Li J,Li E,et al. Analysis of the Spatial and Temporal Evolution and Driving Factors of Landscape Ecological Risk in the Four Lakes Basin on the Jianghan Plain, China[J]. Sustainability,2023,15(18):13 806

[14] 周围. 历史地图和影像中的汉口华界城市空间要素演变研

究[D]. 武汉:华中科技大学,2019
[15] 王钢,王有珍,黄文俊. 汉口开埠设关对武汉城市近代化的意义[J]. 武汉学研究,2019(2):54-74
[16] 林玲,吴明东. 基于夜间灯光遥感的成都市建成区扩张时序演变分析[J]. 河南科技,2024,51(13):93-96
[17] Xiong S,Zhang X,Lei Y,et al. Time-series China Urban Land Use Mapping (2016-2022): An Approach for Achieving Spatial-consistency and Semantic-transition Rationality in Temporal Domain[J]. Remote Sensing of Environment,2024,312:114 344
[18] 张衔春,冯琰玮,徐元朔. 粤港澳大湾区区域合作与城市要素集聚演变及交互机制[J]. 中国人口·资源与环境,2023,33(6):138-150
[19] Vipin K O,Adam S,Nabeel A K,et al. Time Series Analysis and Impact Assessment of the Temperature Changes on the Vegetation and the Water Availability: A Case Study of Bakun-Murum Catchment Region in Malaysia[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment,2023,291:915
[20] Xiang Y, Tang Q W, Xu W T, et al. A Multi-factor Spatio-temporal Correlation Analysis Method for PV Development Potential Estimation[J],Renewable Energy,2024,223:119 962
[21] Andres R,Jesus G F,Michelle R. A Spatio-functional Logistics Profile Clustering Analysis Method for Metropolitan Areas[J]. Transportation Research Part E,2023,179:103 312
[22] Li Y,Zhao Y N,Xiang X Z,et al. Rural Integrated Sanitation Assessment at Community Level in Chongqing,China: A Cluster Analysis[J]. Ecological Indicators, 2024, 165:112 226
[23] Wang J B,You K R,Qi L L,et al. Gravity Center Change of Carbon Emissions in Chinese Residential Building Sector: Differences Between Urban and Rural Area[J]. Energy Reports,2022,8:10 644-10 656

(上接第20页)

Interferometry[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth,1989,94(B7):9 183-9 191
[4] Ferretti A , Prati C , Rocca F. Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2000,38(5):2 202-2 212
[5] Berardino P,Fornaro G,Lanari R,et al. A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2002,40(11):2 375-2 383
[6] 周小龙,石鹏卿,张娟,等. 基于SBAS-InSAR技术的平川矿区形变监测与分析[J]. 地理空间信息,2024,22(6):53-56
[7] 唐伟,闫壮壮,王一鸣,等. 基于InSAR评估地下水位回升对太原市地面沉降的影响[J/OL]. (2024-08-19)[2024-10-20]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/10. 1759. p. 20240819. 1054. 022. html
[8] 唐伟,赵祥君,康彩琴,等. 太原盆地地面沉降时序InSAR监测与季节性变形小波分析[J]. 地球物理学报,2023,66(6):2 352-2 369
[9] 王金日,于冰,桑明智,等. 星载时序InSAR辽河油田曙光采油厂形变监测[J]. 测绘,2023,46(3):108-113
[10] 唐伟,程清,崔健,等. 地面沉降对洪水淹没的影响:以辽宁绕阳河“2022. 8”溃堤洪水为例[J/OL]. (2024-10-15)[2024-10-20]. https://doi. org/10. 13203/j. whugis20240063
[11] 于冰,牛童,蔡锐,等. 基于时序InSAR的辽河油田地表形变监测及储层参数多模型反演[J]. 大地测量与地球动力学,2024,44(9):937-944
[12] 中国石油辽河油田公司锦州采油厂. 锦州采油厂志[M]. 北京:方志出版社,2011
[13] 贾春庭. 基于时序InSAR技术的湿陷性黄土地区地表形变监测研究[D]. 长春:吉林大学,2021
[14] 王桂杰,谢谟文,柴小庆,等. D-InSAR技术在库区滑坡监测上的实例分析[J]. 中国矿业,2011,20(3):94-101
[15] 张世昊,陶秋香,刘国林,等. 联合时序SBAS-InSAR与GACOS的青岛胶州湾大桥形变监测与分析[J]. 科学技术与工程,2024,24(5):2 074-2 082
[16] 况长虹. 基于SBAS-InSAR技术的矿区沉降监测研究[J]. 中国新通信,2022,24(17):60-63
[17] Tong X , Schmidt D. Active Movement of the Cascade Landslide Complex in Washington from a Coherence-based InSAR Time Series Method[J]. Remote Sensing of Environment,2016,186:405-415
[18] Fuhrmann T , Garthwaite M. Resolving Three-dimensional Surface Motion with InSAR: Constraints from Multi-geometry Data Fusion[J]. Remote Sensing,2019,11(3):241
[19] 王博. 基于升降轨InSAR数据的地表二维形变场获取方法研究[D]. 郑州:河南大学,2020
[20] Settari A , 陈万江 , 赵炜. 油藏的压实[J]. 国外油田工程,2003(3):11-16
[21] Geertsma J. Land Subsidence Above Compacting Oil and Gas Reservoirs[J]. Journal of Petroleum Technology,1973,25(6):734-744
[22] Fjar E , Holt R M , Raaen A M , et al. Petroleum Related Rock Mechanics[M]. Amsterdam: Elsevier,2008
[23] Domenico S N. Elastic Properties of Unconsolidated Porous Sand Reservoirs[J]. Geophysics , 1977 , 42(7):1 339-1 368