

万智巍,贾玉连,洪祎君,等.基于历史地图与遥感影像的近百年来长江荆江段河道演变[J].地理科学,2019,39(4):696-704.[Wan Zhiwei, Jia Yulian, Hong Yijun et al. Evolution of Jingjiang Section of the Yangtze River Based on Historical Maps and Remote Sensing over the Past 100 Years. Scientia Geographica Sinica,2019,39(4):696-704.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2019.04.020

# 基于历史地图与遥感影像的近百年来 长江荆江段河道演变

万智巍<sup>1</sup>,贾玉连<sup>1</sup>,洪祎君<sup>2</sup>,刘光旭<sup>3</sup>,蒋梅鑫<sup>1</sup>

(1.江西师范大学地理与环境学院鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室,江西 南昌 330022;2.中国科学院地理科学与资源研究所地表格局与模拟院重点实验室,北京 100101;3.赣南师范大学地理与规划学院,江西 赣州 341000)

**摘要:**基于实测的军事地形图和Landsat遥感影像,重建了20世纪30年代至2015年的近百年长江荆江段河道演变空间数据集,并以此为基础使用计盒维数法在ArcGIS 10.2平台上测算得出河道分形维数近百年来变化过程。研究表明:荆江河道具有明显的分形特征,河道分维数值在1.074 7~1.049 1之间变动,平均值为1.061 3。近百年来荆江河道演变可以划分为2个阶段:20世纪30~50年代和1976~2015年,其分维均值分别为1.074 3和1.052 6。近百年来荆江河道处于逐渐趋于稳定的过程中。各时间断面下荆江的分维值都高于上荆江,下荆江的河流复杂程度大于上荆江,且荆江河道分维的变化主要取决于下荆江。近百年来荆江河道分维下降的原因主要是1949年后荆江河道大规模治理和人工截弯取直。

**关键词:**长江中游;荆江段;分形结构;河道演变

**中图分类号:**P343.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0690(2019)04-0696-09

河流形态是河道特征的重要体现,其结构演变与环境变化以及洪涝灾害有着直接的关联<sup>[1]</sup>。随着全球变化研究的深入,大河流域系统中的长时间尺度下高时空分辨率的河流形态分析逐渐成为研究热点<sup>[2,3]</sup>。已有的研究充分表明<sup>[4]</sup>,河流系统属于一种复杂巨系统,具有典型的自组织结构<sup>[5]</sup>,传统方法难以揭示河流的长度特征和演变趋势<sup>[6]</sup>。自20世纪60年代Benoit Mandelbrot<sup>[7]</sup>提出分形几何学以来,“分维(Fractal Dimension, FD)”这一指标成为描述河流系统结构演变的重要工具。河道水系分形结构<sup>[8,9]</sup>的发现也为河流结构等方面的定量研究提供了理论基础<sup>[10]</sup>。近年来,分形方法在河流结构特征<sup>[11,12]</sup>、自组织形式<sup>[13~15]</sup>、洪涝灾害演变规律等

领域发挥了十分重要的作用<sup>[16]</sup>。河道分维值的变化可以指示水系演化的阶段特征<sup>[17,18]</sup>,分维值与流域洪涝风险具有显著相关性<sup>[19]</sup>。以往的研究较少涉及河流分形特征的动态演进过程<sup>[20]</sup>,因此如何利用长时间序列的河流分维变化表征河流演化趋势成为全球变化研究的热点之一<sup>[21,22]</sup>。另一方面,由于大部分地区的遥感影像数据最长只有40 a左右,如何获取历史时期较为精确的河道信息,探讨百年尺度上的河流形态演变特征成为学术界亟待解决的难题。

长江中游地区处在中国地形的第二阶梯向第三阶梯的过渡地带,具有独特的地理位置和敏感的地球动力系统背景<sup>[23]</sup>,并形成了复杂的弯曲河道

**收稿日期:**2018-01-15;**修订日期:**2018-04-14

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41761045, 41561020)、江西省自然科学基金项目(20161BAB213075)、鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室(江西师范大学)开放基金(PK2015003)、江西省重大生态安全问题监控协同创新中心项目(JXS-EW-00)、江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ150305)、江西师范大学博士启动基金(6902)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41761045, 41561020), Natural Science Foundation of Jiangxi Province (20161BAB213075), Opening Fund of Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research (Jiangxi Normal University), Ministry of Education (PK2015003), Collaborative Innovation Center for Major Ecological Security Issue of Jiangxi Province (JXS-EW-00), Research Project of the Jiangxi Provincial Department of Education (GJJ150305), Doctoral Research Foundation of Jiangxi Normal University (6902).]

**作者简介:**万智巍(1984-),男,江西南昌人,博士,讲师,主要从事全球变化与水资源研究。E-mail:wzw3392008@sina.com

**通讯作者:**贾玉连,副教授。E-mail:northforest@sohu.com

(图1)。因此,长江荆江段成为了长江中游受洪水灾害威胁最为显著的区域,自古以来就有“万里长江、险在荆江”的说法<sup>[24]</sup>。长江荆江段河道自湖北枝城至湖南城陵矶,全长约360 km,以中段的藕池口为分界点分为上荆江和下荆江两部分。其中,上荆江为微弯分汉型河道,下荆江则属于典型的蜿蜒曲折型河道<sup>[25]</sup>。整个荆江段河道属于长江中游河流形态变化最为剧烈的区域,河道的摆动较为频繁,在亚热带季风区平原河流演化中具有典型的指示意义。近年来荆江河道中心线存在显著变化,并且下荆江段的变化程度更大;河道中心线长度减小、河道受冲刷展宽、弯曲减缓<sup>[26]</sup>。近50 a河道演变的研究表明,荆江河道受到自然和人为因素的双重影响局部河势变化较大,总体冲淤相对平衡但局部河段受人工治理工程影响较大<sup>[27]</sup>。由此可见,探究这一地区河流形态的动态演变过程、了解其演化规律对于河流地貌研究以及防范水灾有着重要的意义。

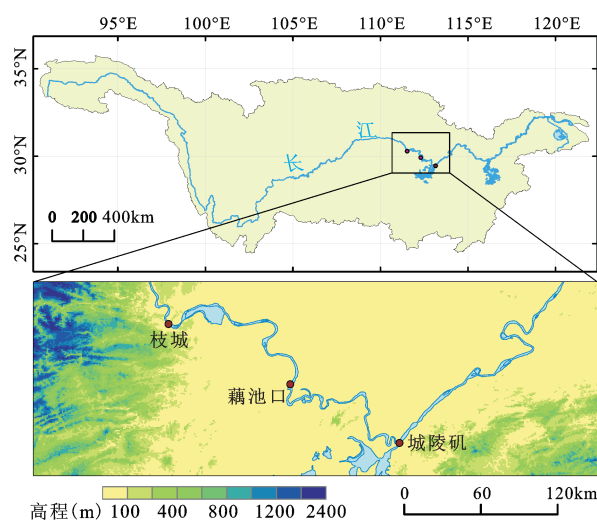


图1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

基于以上分析,本研究系统整理该地区完备的遥感影像资料(1976~2015年),并利用民国时期高精度的测绘地形图和美军航测地形图获得20世纪30年代和50年代的荆江河道,将长江荆江段的资料拓展至近百年左右,系统性的研究和重建近百年来荆江河道的分形结构特征和演变过程。

## 1 资料与研究方法

本研究按照时间分为20世纪30年代、20世纪

50年代、1976年、1995年和2015年5个断面,其中20世纪30年代和20世纪50年代的荆江河道资料来自历史军事地形图,1976年、1995年和2015年这3个断面则来自美国Landsat TM/ETM+遥感影像。相关地图和遥感影像均在ArcGIS 10.2平台下进行配准,同时利用ESRI自带的遥感底图依据明显的山峰等标识点进行反复微调校正。然后基于Arc Hydro水文分析模块和Cartography Tools制图工具模块提取河道中心线。再通过Spatial Analysis Tools功能模块进行空间分析,经反复计算获得各个空间尺度( $r$ )下河道所经过的格网数目 $[N(r)]$ 。最后利用MATLAB 2009a软件基于最小二乘法求出分维( $FD$ )值。

### 1.1 军事地形图资料

20世纪30年代,国民政府参谋部陆地测量局在湖北地区进行了详细的地形图测绘工作,形成了该地区完整的1:5万、1:10万、1:30万和1:100万等一整套军事地形图<sup>[28]</sup>。之后,这些军事地形图经由国民政府内政部方域司收藏和整理,并通过中国台湾“中央研究院”近代史研究所进行了数字化制档<sup>[29]</sup>。因此本研究基于该套地形图(<http://map.rchss.sinica.edu.tw/>),将长江荆江段在ArcGIS软件中进行数字化,得到这一时期的河道数据。

从抗战后期开始“中美合作航测队”对中国大部分地区进行了航空摄影测量<sup>[30]</sup>。随后美国陆军工程署制图局(Army Map Service, US Corps of Engineers)于1953年基于此次航测数据,同时参考这一时期相关地形图进行了荆江地区地形图的绘制,比例尺为1:25万。这套军事地形图解密之后由美国德克萨斯大学图书馆保存(<https://legacy.lib.utexas.edu/maps/ams/China/>),因此可以将本套图所反映的荆江河道形态作为20世纪50年代的基础数据。

有关历史时期军事地形图的精度,潘威等学者的系统性研究表明<sup>[21,31]</sup>,这批地图的精度较高,在一定范围内误差较小,基于现代遥感和实测数据的微调可以用来进行历史地理和土地利用重建等工作。与此同时,根据我们近期完成的相关工作表明<sup>[32]</sup>,民国时期军事地形图的精度较高,利用这批地图资料复原的民国时期南昌市城周长度和面积的误差仅为-3.13%和0;地级市和县城的面积重建误差分别为-1.96%和8.69%。为进一步了解这批军事地形图在荆江地区的测量精度,并合理

控制地形图配准的误差范围,按照“点对点”匹配的原则<sup>[31]</sup>选取历史地形图中的标志点并与TM/ETM+遥感影像中相应位置坐标进行比较,确定其误差范围。

## 1.2 遥感影像数据

1976年、1995年和2015年这3个时间断面荆江河道数据来源于相应时间的美国Landsat卫星TM/ETM+遥感影像(<http://www.landcover.org/data/landsat/>),该系列卫星自1972年7月23日Landsat1发射升空,至2013年2月11日最新的Landsat8卫星开始工作,已经积累了全球大部分区域的连续高分辨率遥感影像数据,可用来进行各类地球环境变化研究<sup>[33]</sup>。因此本研究根据荆江地区遥感影像数据情况,选取1976年、1995年和2015年3幅TM/ETM+遥感影像作为相应年代断面的基础数据。具体的选取标准为:影像分辨率高于60 m;河道及附近地区图像清晰、河道显示明显;云量小于5%;月份在10月份左右,此时汛期已结束,便于识别主航道。

## 1.3 分形理论

河道的分形结构可以通过分维(FD)数值的大小来体现<sup>[4,22]</sup>,本研究采用河流分形研究中常用的计盒维数法(Box-counting Dimension Method),其基本原理为用长度为 $r$ 的测量方格覆盖在河流上,然后统计出河流所通过的方格数目 $N(r)$ ,依据分形理论可得出:

$$N(r) \propto r^{-FD} \quad (1)$$

$$FD = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\lg N(r)}{\lg(1/r)} \quad (2)$$

## 1.4 分维计算过程

在ArcGIS 10.2平台下经过反复调试,确定 $r$ 值为40 km、20 km、10 km、4 km、2 km、1 km、400 m、200 m、100 m共9个,再利用ArcGIS中的Fishnet工具构建格网,统计出河流所通过的方格数目 $N(r)$ ,在MATLAB平台中根据公式(2)求出各个不同时间断面下的河流分维值。

# 2 结果与分析

## 2.1 河道特征

利用ArcGIS将5个时间断面下的荆江河道中线提取出来(图2),由图中可以看出近百年来长江荆江段河道变化较为明显,特别是下荆江的河流变化更为显著,这也符合该段河流属于平原地区自由河曲的特征。各时间断面下河流分维值的计

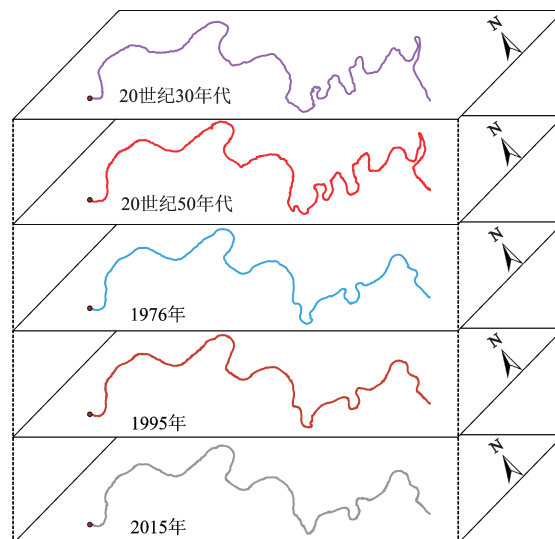


图2 20世纪30年代至2015年长江荆江段河道演变  
Fig.2 Evolution of river course in the Jingjiang River section of the Yangtze River from 1930s to 2015

算结果显示(图3),近百年来分维值在1.074 7~1.049 1之间变动,平均值为1.061 3。各方程的拟合优度非常高, $R^2$ 均在0.99以上,这也说明长江荆江段河道的分形特征显著。

沈晓华等<sup>[34]</sup>对长江河道的分形研究表明,分维数值的大小取决于河流水动力的变化,并受到地形要素的控制。分维数值越高则表明河道趋于摆动、越低则河道趋于稳定。通过5个时间断面荆江河道分维数值分析,可以得出从20世纪30年代至2015年这近百年的时间段内河流处于逐渐稳定的趋势。

## 2.2 演变过程

将5个时间断面下的荆江河道分维数值绘在图4中,可以发现近百年来荆江河道演变可以划分为2个阶段:第Ⅰ阶段是20世纪30年代至50年代,该时期分维均值为1.074 3;第Ⅱ阶段是1976~2015年,该时期分维均值为1.052 6。由此可见第Ⅰ阶段河流的不稳定性大于第Ⅱ阶段。出现这一现象的原因可以通过图2观察得出,第Ⅱ阶段的荆江河道相较于第Ⅰ阶段消失了大部分的蜿蜒河曲。由图2亦可看出,在第Ⅰ阶段荆江河道较为曲折,尤其是在藕池口以下的下荆江河段,依次分布有碾子湾、沙滩子、中洲子、监利湾、上车湾等河湾。但是到第Ⅱ阶段,除监利湾河道仍然存在外,其余河湾大多发生人工或自然的裁弯取直。正是由于河道出现了顺直化的趋势,降低了

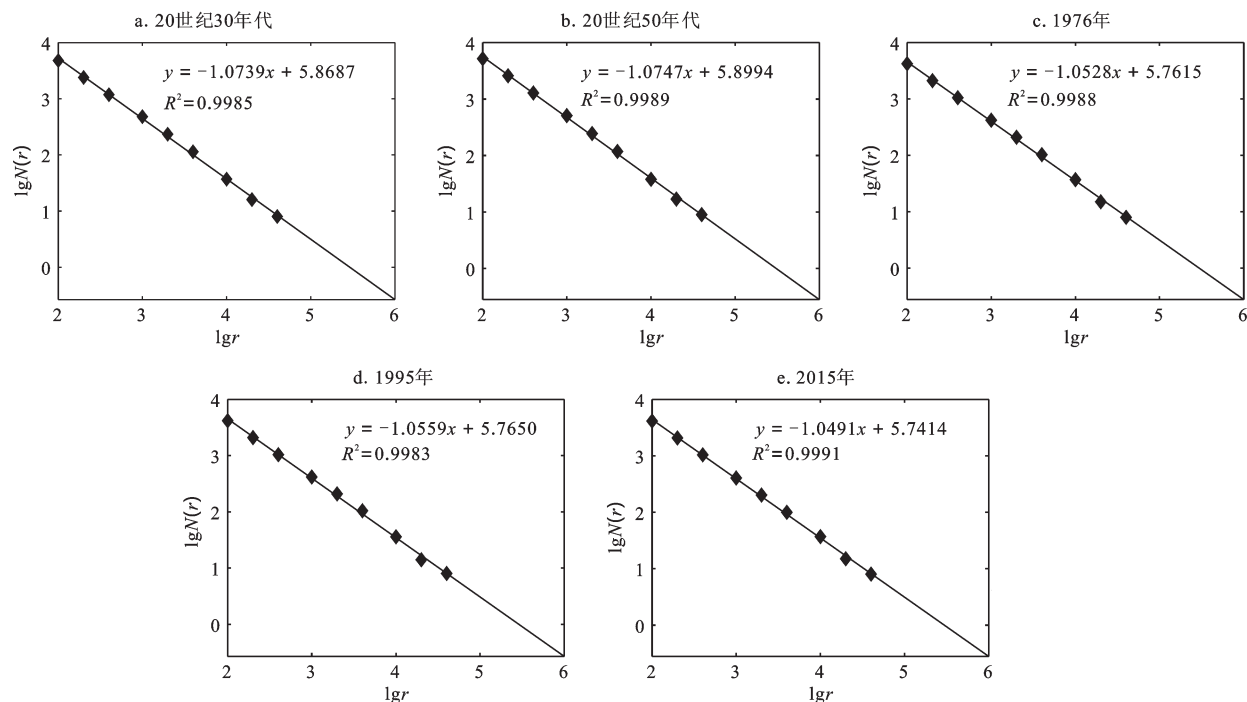
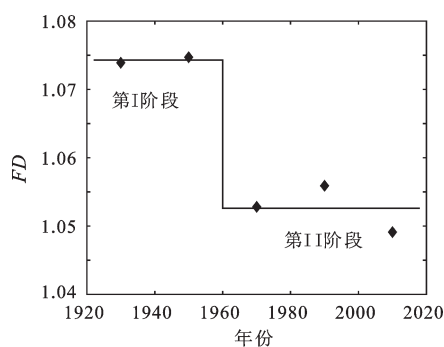
图3 20世纪30年代至2015年长江荆江段河道  $\lg N(r)$  与  $\lg r$  散点图Fig.3 The  $\lg N(r)$  and  $\lg r$  scatter plot of the Jingjiang section of the Yangtze River from 1930s to 2015

图4 20世纪30年代至2015年长江荆江段河道分维变化过程

Fig.4 Fractal evolution of Jingjiang River section of the Yangtze River from 1930s to 2015

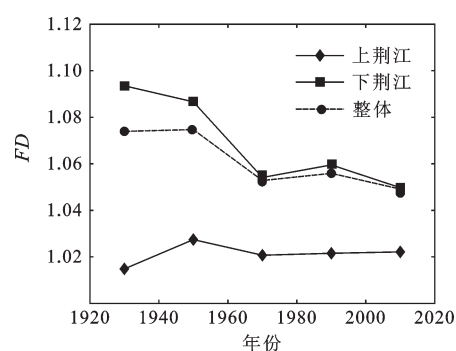


图5 20世纪30年代至2015年上荆江和下荆江河道分维变化过程

Fig.5 Fractal changes of up and down Jingjiang River of the Yangtze River from 1930s to 2015

河流的复杂程度,从而使得河流的分维数出现了明显的下降。

### 2.3 区域差异

整个荆江由中段的藕池口分为上下两部分,由图2可知上、下荆江在河流形态上具有一定的差异,因此将上、下荆江分开计算各个时间断面下的分维数值(图5)。近百年来的各时间断面下荆江的分维都高于上荆江,下荆江分维均值为1.068 7,而上荆江分维均值为1.021 3,这也说明

下荆江的河流复杂程度大于上荆江。从近百年来的演变趋势来看,上荆江分维变化并不显著,基本稳定在均值附近。下荆江分维的变化则与整个荆江变化趋势一致,总体呈下降趋势,但是均值大于整个荆江的分维值。与此同时,下荆江近百年的分维变化同样可以划分为20世纪30年代至50年代和1976~2015年两个阶段。从整体来看,荆江河道分维的变化主要取决于下荆江的河道变化过程。



3 结论与讨论

3.1 讨论

利用具有现代测绘基础的历史军事地形图进行地理要素重建可以延长其变化序列<sup>[35]</sup>,但是需要对地形图的误差和重建精度进行控制。本次研究按照“点对点”匹配的原则<sup>[31]</sup>在配准后的20世纪30年代和50年代军事地形图中选取标志点26个,并与TM/ETM+遥感影像中相应位置进行比较,得到其具体的误差范围(表1)。26个标志点的误差范围在0.277~2.313 km之间,其平均误差为1.083 km。潘威等<sup>[31]</sup>对上海青浦地区民国军事地形图的验证结果显示标志点的最大误差为3.84 km,最小误差为0.67 km。本文结果与其基本一致,因此可以认为这批军事地形图的精度较好,可以用于本

地区相关地理要素的重建工作。

近百年来荆江河道分维下降的趋势是由多方面的原因造成的,有研究表明河流本身的自我调节能力是其下降的原因之一<sup>[36]</sup>,而且荆江段的自由河曲发育,不同方向上的摆幅在10~40 km左右<sup>[24]</sup>。因此,河流自身随着凹岸剥蚀、凸岸淤积而出现的河道截弯取直的自然调节过程也会出现分维数的自我调整。根据2.2节的阶段划分结果可知,近百年来荆江河道分维数值的下降主要出现在20世纪50年代以后。这一现象的出现与解放后荆江河道大规模的治理和人工截弯取直有关<sup>[27]</sup>。

以湖北监利与湖南华容交界地区的上车湾为例(图6),这个河曲在近百年的时间内的变化可以说明河道分维变化的人类活动原因。在20世纪30年代和50年代的地形图上可以清楚的看到长江在

表1 军事地形图误差范围

Table 1 Error range of military topographic maps

序号	参考点	位置		TM/ETM+遥感影像位置		误差范围(km)
		经度(°E)	纬度(°N)	经度(°E)	纬度(°N)	
1	宜昌	111.282	30.697	111.287	30.704	0.960
2	长阳	111.198	30.467	111.191	30.474	1.015
3	枝城	111.460	30.386	111.458	30.392	0.677
4	枝江	111.762	30.421	111.758	30.430	1.014
5	松滋	111.766	30.187	111.773	30.179	1.126
6	当阳	111.787	30.821	111.787	30.832	1.171
7	江陵	112.179	30.359	112.191	30.350	1.505
8	沙市	112.232	30.309	112.249	30.316	1.763
9	津市	111.876	29.626	111.876	29.636	1.085
10	澧县	111.751	29.636	111.757	29.640	0.722
11	安乡	112.156	29.408	112.167	29.409	1.144
12	临澧	111.645	29.443	111.652	29.449	0.951
13	南县	112.407	29.375	112.408	29.366	0.956
14	石首	112.387	29.714	112.406	29.724	2.243
15	潜江	112.889	30.421	112.893	30.421	0.412
16	沙洋	112.587	30.707	112.590	30.710	0.486
17	天门	113.157	30.652	113.164	30.656	0.827
18	仙桃	113.441	30.374	113.453	30.372	1.157
19	汉川	113.819	30.637	113.829	30.649	1.595
20	华容	112.561	29.526	112.559	29.519	0.807
21	监利	112.891	29.817	112.900	29.816	0.909
22	岳阳	113.091	29.378	113.098	29.371	1.007
23	洪湖	113.462	29.807	113.463	29.814	0.720
24	临湘	113.473	29.476	113.449	29.473	2.313
25	蒲圻	113.873	29.720	113.875	29.708	1.310
26	嘉鱼	113.894	29.978	113.896	29.976	0.277

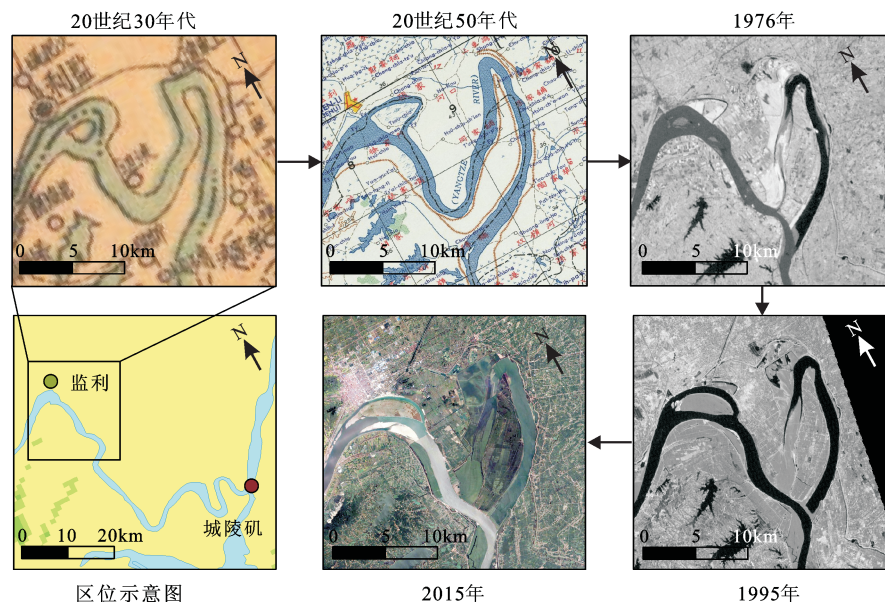


图6 近百年来下荆江上车湾附近河道演化过程

Fig.6 The evolution process of Shangchewan Bay of down Jingjiang in the past 100 years

这一区域形成了一个极度弯曲的河道,总长度约31 km,但是河曲的狭颈两边最短距离仅3 km左右。而在20世纪70年代之后的各期遥感影像上可以清楚看到该段已经被截弯取直,原有长江河道则成为牛軋湖。根据相关记载<sup>[37]</sup>,1968年当地开始实施了“上车湾裁弯工程”,并于1969年竣工。与此同时,解放后的下荆江裁弯工程在多处河道弯曲处实施了人工干预,共缩短78 km,占到下荆江总长的1/3左右<sup>[38]</sup>。正是由于弯道的大量消失,使得整个荆江的河道更为顺直化,其分维数值也就在20世纪50年代之后出现明显下降。也正是在裁弯取直工程的作用下,荆江河道水流更为顺畅,部分缓解泥沙淤积和排水不畅所致的水灾。

总体而言,河道的复杂情况与分维值呈现正相关。近年来长江荆江段的人工治理工作主要以裁弯取直为主,但是在裁弯取直的过程中应该注意符合蜿蜒性河流的演变特征。由图5的结果可以看出,尽管荆江段整体的分维值在20世纪30年代至50年代期间由1.073 9增加为1.074 7,但是下荆江段的分维值则是由20世纪30年代的1.093 5下降为20世纪50年代的1.086 6。荆江河道的大规模人工干预主要是20世纪60年代之后发生的,因此可以认为20世纪30年代至50年代期间下荆江河段演变的自然趋势应该是分维值下降、河道的复杂情况降低。本次研究的结果同样表明,

1976~2015年期间上荆江的分维值变化趋于稳定、下荆江则属于下降趋势。由此可见,近百年来上荆江段河道基本稳定,下荆江河道在自然与人为干预的共同作用下基本趋于顺直化。吴文胜等<sup>[39]</sup>的研究也表明,人工的护岸工程使得下荆江段河道变化得到控制,下荆江河道基本按照人工控制的方向变化。根据近百年来荆江河道分维值的演变趋势,可进一步采取人工措施对下荆江河道进行顺直化治理。

### 3.2 主要结论

基于近百年来荆江地区的军事地形图和遥感影像资料,通过ArcGIS和MATLAB等平台计算得出20世纪30年代至2015年5个时间断面下的荆江河道整体,以及上、下荆江的分维数值,并探讨了荆江分维近百年来变化的主要原因,得到以下结论:

1) 长江荆江段河道具有明显的分形特征,5个时间断面的方程拟合优度 $R^2 > 0.99$ ,河道分维数值在1.074 7~1.049 1之间变动,平均值为1.061 3。

2) 近百年来荆江河道演变可以划分为2个阶段:第Ⅰ阶段是20世纪30年代至50年代,分维均值为1.074 3;第Ⅱ阶段是1976~2015年,分维均值为1.052 6。近百年来荆江河道处于逐渐趋于稳定的过程中,分维数值在1976~2015年时间范围内处于稳定状态。

3) 近百年来的各时间断面下荆江的分维(均值为1.068 7)都高于上荆江(均值为1.021 3),说明下荆江的河流复杂程度大于上荆江,且荆江河道分维的变化主要取决于下荆江的河道变化过程。

4) 近百年来荆江河道分维下降的原因除的河流本身的自我调节之外,主要是解放后荆江河道大规模治理和人工截弯取直。在裁弯取直工程的作用下,荆江河道水流更为顺畅,其分维数值显著下降。

## 参考文献(References):

- [1] Gregory K J. Fluvial geomorphology of Great Britain[M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997.
- [2] Goudie A S. Global warming and fluvial geomorphology[J]. Geomorphology, 2006, 79(3): 384-394.
- [3] PAGES. Science plan and implementation strategy (IGBP Report No.57) [Z]. Stockholm: PAGES, 2009.
- [4] 张济忠. 分形[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. [Zhang Jizhong. Fractal. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.]
- [5] 董宇, 路秀琴. 分流水道类型特征及意义[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 162-168. [Dong Yu, Lu Xiuqin. Types, characteristics and significance of distributary channel systems. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 162-168.]
- [6] 张矿. 长江河道形态的分形计算[J]. 人民长江, 1993, 24(7): 49-51. [Zhang Kuang. Fractal calculation of the shape of the Yangtze River. Yangtze River, 1993, 24(7): 49-51.]
- [7] Mandelbrot B. How long is the coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension[J]. Science, 1967, 156(3775): 636-638.
- [8] Labarbera P, Rosso R. On the fractal dimension of stream networks[J]. Water Resources Research, 1989, 25(4): 735-741.
- [9] Kirchner J W. Statistical inevitability of Horton's laws and the apparent randomness of stream channel networks[J]. Geology, 1993, 21(7): 591-594.
- [10] 屈忠义, 杨晓, 黄永江, 等. 基于Horton分形的河套灌区渠系水利用效率分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 120-127. [Qu Zhongyi, Yang Xiao, Huang Yongjiang et al. Analysis of efficiency of water utilization in canal-system in Hetao irrigation district based on Horton fractal. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(13): 120-127.]
- [11] 孙祝友, 杜国云, 朱大奎, 等. 莱州湾东岸河流的分形特征与流域地貌发育研究[J]. 地理科学, 2010, 16(5): 755-759. [Sun Zhuyou, Du Guoyun, Zhu Dakui et al. Fractal features of rivers in eastern coast of laizhou bay and evolution of regional fluvial landform. Scientia Geographica Sinica, 2010, 16(5): 755-759.]
- [12] 马宗伟, 许有鹏, 钟善锦. 水系分形特征对流域径流特性的影响——以赣江中上游流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 163-169. [Ma Zongwei, Xu Youpeng, Zhong Shanjin. Influence of river network fractal characteristic on runoff: Case study in the basin of upper and middle courses of Gan River. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(2): 163-169.]
- [13] 汪富泉, 曹叔尤, 丁晶. 河流网络的分形与自组织及其物理机制[J]. 水科学进展, 2002, 13(3): 368-376. [Wang Fuquan, Cao Shuyou, Ding Jing. Fractal, self-organization and its physical mechanism of river networks. Advances in Water Science, 2002, 13(3): 368-376.]
- [14] 苟娇娇, 王飞, 罗明良, 等. 基于DEM的黄土高原沟谷节点分形特征研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 109-114. [Gou Jiaojiao, Wang Fei, Luo Mingliang et al. Fractal characteristics of channel junctions based on DEM. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(3): 109-114.]
- [15] 谢贤健, 韦方强. 泥石流频发区不同盖度草地土壤颗粒的分形特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 202-206. [Xie Xianjian, Wei Fangqiang. Characteristics of soil particle fractal dimension under different coverage grassland of the area with high-frequency debris flow. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(4): 202-206.]
- [16] Bates P D, Horritt M, Hervouet J M. Investigating two dimensional finite element predictions of floodplain inundation using fractal generated topography[J]. Hydrological Processes, 2015, 12(8): 1257-1277.
- [17] 冯平, 冯焱. 河流形态特征的分维计算方法[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 324-330. [Feng Ping, Feng Yan. Calculation on fractal dimension of river morphology. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(4): 324-330.]
- [18] 杨秀春, 朱晓华. 中国七大流域水系与洪涝的分维及其关系研究[J]. 灾害学, 2002, 17(3): 9-13. [Yang Xiuchun, Zhu Xiaohua. Fractal analysis applied to the 7 drainage basins and the flood in China. Journal of Catastrophology, 2002, 17(3): 9-13.]
- [19] 马宗伟, 许有鹏, 李嘉峻. 河流形态的分维及与洪水关系的探讨——以长江中下游为例[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 530-534. [Ma Zongwei, Xu Youpeng, Li Jiajun. River fractal dimension and the relationship between river fractal dimension and river flood: Case study in the middle and lower course of the Yangtze River. Advances in Water Science, 2005, 16(4): 530-534.]
- [20] 王世俊, 黄胜伟, 王华, 等. 珠江河网分形机理研究[J]. 热带地理, 2007, 27(2): 111-114. [Wang Shijun, Huang Shengwei, Wang Hua et al. Fractal mechanism of the Pearl River network. Tropical Geography, 2007, 27(2): 111-114.]
- [21] 潘威. 基于分形理论的1915~2000年渭河泾河口—潼关段河道演变研究[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 946-952. [Pan Wei. Study on the morphology of Wei River Jing River Estuary-Tongguan based on the fractal geometry, 1915-2000 A.D. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 946-952.]
- [22] 王卫红, 徐鹏, 田世民. 分形理论在河型研究中的应用探讨[J]. 泥沙研究, 2010, 35(2): 35-42. [Wang Weihong, Xu Peng, Tian Shimin. Application of the fractal theory in the river pattern study. Journal of Sediment Research, 2010, 35(2): 35-42.]



- [23] 任美镔. 中国自然地理纲要[M]. 北京: 商务印书馆, 1999. [Ren Meie. Outline of China physical geography. Beijing: Commercial Press, 1999.]
- [24] 荆州市长江河道管理局. 荆江堤防志[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012. [Yangtze River Administration of Jingzhou City. Chronicles of Jingjiang dike. Beijing: China Water and Power Press, 2012.]
- [25] 段光磊, 彭严波, 肖虎程, 等. 长江荆江河段典型洲滩演变机理初探[J]. 水利水运工程学报, 2008, 30(2): 10-15. [Duan Guanglei, Peng Yanbo, Xiao Hucheng et al. Preliminary probe into evolvement mechanism of typical shoals at Jingjiang reach of Yangtze River. Hydro-Science and Engineering, 2008, 30(2): 10-15.]
- [26] 薛兴华, 常胜. 三峡水库运行后荆江段河湾平面形态演变特征[J]. 水力发电学报, 2017, 36(6): 12-22. [Xue Xinghua, Chang Sheng. River bend planform evolution in Jingjiang reach of the Yangtze since Three Gorges Reservoir operation. Journal of Hydroelectric Engineering, 2017, 36(6): 12-22.]
- [27] 潘庆燊, 卢金友. 长江中游近期河道演变分析[J]. 人民长江, 1999, 30(2): 32-33. [Pan Qingshen, Lu Jinyou. Analysis of recent evolution of middle Yangtze River channel. Yangtze River, 1999, 30(2): 32-33.]
- [28] 陈黎, 王远珩. 建国前军用地形图整理概况[J]. 湖北档案, 1999(4): 31-32. [Chen Li, Wang Yuanheng. The profile of some military topographic map before 1949. Hubei Archives, 1999(4): 31-32.]
- [29] 江伟涛. 基于地形图资料与GIS的民国江南城市人口估算[J]. 中国经济史研究, 2015(4): 39-56. [Jiang Weitao. Research on urban population of Jiangnan in the Republic of China based on GIS and the data of topographic maps. Researches in Chinese Economic History, 2015(4): 39-56.]
- [30] 胡明城. “驼峰航线”测图风云[J]. 中国测绘, 2007(1): 52-65. [Hu Mingcheng. Hump route mapping. China Surveying and Mapping, 2007(1): 52-65.]
- [31] 潘威, 满志敏. 大河三角洲历史河网密度格网化重建方法——以上海市青浦区1918~1978年为研究范围[J]. 中国历史地理论丛, 2010, 25(2): 5-14. [Pan Wei, Man Zhimin. The grid methods of drainage density data reconstruction in big river delta: Based on the case of Qingpu, Shanghai, 1918-1978. Journal of Chinese Historical Geography, 2010, 25(2): 5-14.]
- [32] 万智巍, 贾玉连, 蒋梅鑫, 等. 民国时期江西省城市用地与城市化水平[J]. 地理学报, 2018, 73(3): 550-561. [Wan Zhiwei, Jia Yulian, Jiang Meixin et al. Reconstruction of urban land use and urbanization level in Jiangxi Province during the Republic of China period. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 550-561.]
- [33] Cohen W B, Goward S N. Landsat's role in ecological applications of remote sensing[J]. Bioscience, 2004, 54(6): 535-545.
- [34] 沈晓华, 邹乐君, 阳峰, 等. 长江河道分形与流域构造特征的关系[J]. 浙江大学学报(理学版), 2001, 28(1): 107-111. [Shen Xiaohua, Zou Lejun, Yang Feng et al. Relationship between Yangtze riverway fractal and geological structure of the catchment. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2001, 28(1): 107-111.]
- [35] 万智巍, 连丽聪, 贾玉连, 等. 近百年来鄱阳湖南部湿地景观生态格局演变[J]. 生态环境学报, 2018, 27(9): 1682-1687. [Wan Zhiwei, Lian Licong, Jia Yulian et al. Landscape ecological pattern changes of wetland in south Poyang Lake in the past 100 years. Ecology and Environment Sciences, 2018, 27(9): 1682-1687.]
- [36] 罗郢, 黄长生. 长江下荆江段分形学特征与河道演化[J]. 现代地质, 2011, 25(4): 808-812. [Luo Yun, Huang Changsheng. Fractal characteristics and watercourse evolution of the lower Jingjiang segment in middle Yangtze River. Geoscience, 2011, 25(4): 808-812.]
- [37] 胡向阳. 长江中游裁弯工程的效果[J]. 长江科学院院报, 2004, 21(6): 14-18. [Hu Xiangyang. Effect of cut-off engineerings at middle reach of Yangtze River. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004, 21(6): 14-18.]
- [38] 潘庆燊. 下荆江人工裁弯30年[J]. 人民长江, 2002, 32(5): 27-29. [Pan Qingshen. River cut-off practices on lower Jingjiang section of Yangtze River in the last 30 Years. Yangtze River, 2002, 32(5): 27-29.]
- [39] 吴文胜, 何广水. 下荆江河道演变特性研究[J]. 湖南水利水电, 2005(6): 33-36. [Wu Wensheng, He Guangshui. Research on evolution characteristics of lower Jingjiang riverway. Hunan Hydro and Power, 2005(6): 33-36.]



## Evolution of Jingjiang Section of the Yangtze River Based on Historical Maps and Remote Sensing over the Past 100 Years

Wan Zhiwei<sup>1</sup>, Jia Yulian<sup>1</sup>, Hong Yijun<sup>2</sup>, Liu Guangxu<sup>3</sup>, Jiang Meixin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research Ministry of Education, School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, Jiangxi, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. School of Geography and Planning, Gannan Normal University, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

**Abstract:** Based on the historical military topographic maps and Landsat TM/ETM+ remote sensing images, the spatial data set of river course evolution in Jingjiang River section of the Yangtze River from 1930s to 2015 reconstructed in this study. On this basis, the evolutionary process of river fractal dimension over the last 100 years calculated on ArcGIS 10.2 platform by using box counting dimension method. The results show that the Jingjiang River section of the Yangtze River has obvious fractal characteristics, and the river fractal dimension varies from 1.074 7 to 1.049 1 with an average of 1.061 3. The evolution of Jingjiang River section of the Yangtze River in the past 100 years can be divided into two stages: 1930s-1950s and 1976-2015, with the average fractal dimension of 1.074 3 and 1.052 6 respectively. In the past 100 years, Jingjiang River section of the Yangtze River has been in the process of gradually stabilizing. The fractal dimension and complexity of down Jingjiang River section over the past 100 years is higher than that of up Jingjiang River section in each time, and the change of fractal dimension of whole Jingjiang River section mainly depends on that of down Jingjiang River section. The main reasons for the decline of river fractal dimension in the past 100 years are the large-scale governance of Jingjiang River section and river cut off projects after 1949.

**Key words:** the middle of the Yangtze River; Jingjiang River section; fractal structure; evolution of river course