

# 珠江三角洲网河区顶点河道断面侵蚀形态的演变

汪丽娜<sup>1</sup>, 陈晓宏<sup>2,3</sup>, 邝远华<sup>4</sup>

(1. 华南师范大学 地理科学学院, 广东 广州 510631; 2. 中山大学 水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;  
3. 中山大学 华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510275; 4. 佛山市水务局, 广东 佛山 528000)

**摘要:** [目的] 研究断面形态的演变特征, 给上游来水来沙、人类活动影响的分析提供检验, 也为下游水文地貌的演变提供科学依据。[方法] 利用珠江三角洲网河区三水站和马口站资料, 通过提取反映河道断面侵蚀形态的指标, 采用模拟退火算法优化的投影寻踪模型, 综合解析河道断面侵蚀形态的演变特征。[结果] 由于三水站 2009 年的虚实比远大于其他年份的虚实比, 2009 年三水站断面侵蚀形态异于其他年份外, 其他年份侵蚀形态的变化较为缓和; 对于马口站而言, 尽管该断面的侵蚀形态变化较多, 但综合 5 项反映河道断面侵蚀形态指标来看, 该断面形态的变化类型总体上可以划分成 2 种侵蚀类别。[结论] 总体上, 21 世纪初马口和三水站断面比 20 世纪 90 年代过水断面增大, 断面的过水能力有加大的趋势。

**关键词:** 珠江三角洲; 河道断面; 侵蚀形态

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0120-05

中图分类号: TV147

**文献参数:** 汪丽娜, 陈晓宏, 邝远华. 珠江三角洲网河区顶点河道断面侵蚀形态的演变[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 120-124. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.022

## Variation of River Section Erosion Morphology in Pearl River Delta

WANG Lina<sup>1</sup>, CHEN Xiaohong<sup>2,3</sup>, KUANG Yuanhua<sup>4</sup>

(1. School of Geography Science, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China;

2. Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China;

3. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China; 4. Foshan Water Authorities, Foshan, Guangzhou 528000, China)

**Abstract:** [Objective] To research the erosion morphology characteristics of river section in order to provide a scientific basis for the evolution of landform hydrological of downstream, the analysis of the impact of human activities and the rationality of the runoff(sediment) of upstream. [Methods] Based on the data of Shanshui and Makou stations in Pearl River delta, Indices of the river section erosion morphology were derived. By using simulated annealing algorithm to optimize the projection pursuit model, we analyzed the evolution characteristics of river erosion morphology. [Results] As the actual ratio in 2009 of the Sanshui station was much higher than that in other years, the river section erosion in 2009 was completely different from other years. Changes in erosion patterns of other years were stable in Sanshui station. For Makou station, in spite of more erosion morphology changes, according to 5 indicators which reflect the erosion morphology of river section, the variation types of the section shape can be divided into 2 types of erosion morphology. [Conclusion] In summary, the sectional area in Makou and Sanshui station increased since 1990s, and the water capacity showed an increasing trend.

**Keywords:** Pearl River delta; river section; erosion morphology

珠江三角洲网河区由西江、北江与东江共同冲积 面积约  $1.10 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 该区域经济发达, 网河区入口  
成, 是放射形汉道的三角洲复合体, 呈倒置三角形, 面 的三水站和马口站作为三角洲入口的控制站, 具有较

收稿日期: 2015-08-01

修回日期: 2015-09-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“洪水过程参数功能识别和洪水过程整体异变性解析”(41501021), “变化环境下基于水联网和用水总量控制的水资源配置报童模式和方法”(51210013), “珠江三角洲河口区海平面上升咸潮上溯的水资源响应与调控”(51479216); 国家科技支撑计划(2012BAC21B0103); 水利部公益项目(201201094, 201301002-02, 201301071); 广东省水利科技创新项目(2011-11)

第一作者: 汪丽娜(1981—), 女(汉族), 江西省景德镇人, 博士, 副教授, 研究方向为水文水资源与水环境。E-mail: linawang2004@163.com。

通讯作者: 陈晓宏(1963—), 男(汉族), 湖北省公安县人, 博士, 教授, 主要从事水文、水资源与环境研究。E-mail: eesxh@mail.sysu.edu.cn。

高的重要度,河床横断面的形态作为影响河流输沙、流速的主要影响因素,马口和三水断面形态的变化与上游来水来沙、人类活动等息息相关,其变化结果直接影响其下游洪涝灾害、航道变迁、三角洲腹地防洪等一系列问题<sup>[1]</sup>。不少学者从马口站和三水站的分水分沙、河相关系、水位变化等角度解析马口站和三水站的河道形态演变特征<sup>[2-5]</sup>。21世纪初,李天坚<sup>[6]</sup>分析三角洲控制断面的河道特征,得出三水、马口站直至1990年仍基本维持冲淤平衡的结论。

本文通过提取反映河道断面侵蚀形态的指标,分析各项反映河道断面形态指标的变化特征。由于河道断面侵蚀形态综合了多项指标,而各指标的变化规律仅反映河道断面形态某方面的变化特征,难以综合反映河道断面侵蚀形态的演变特点,本文采用模拟退火算法优化的投影寻踪模型,结合多项反映河道断面侵蚀形态的指标值,综合解析河道断面侵蚀形态的演变特征。本文通过研究断面形态的演变特征,以期给上游来水来沙、人类活动影响的分析提供检验,也为下游水文地貌的演变提供科学依据。

## 1 模式识别的聚类模型

### 1.1 投影寻踪模型

投影寻踪方法是把高维数据通过某种组合投影到低维子空间上,即可作探索性分析,又可作确定性分析的方法。该技术由20世纪60年代末提出,1974年Friedman和Tukey<sup>[7]</sup>进行了深入的研究,随后在众多领域得到成功应用。对于投影得到的构型,采用投影指标函数(即目标函数)来衡量投影暴露某种结构的可能性大小,寻找出使投影指标函数达到最优(即能反映高维数据结构或特征)的投影值,之后根据该投影值来分析高维数据的结构特征<sup>[8]</sup>。其具体步骤参考文献<sup>[9]</sup>。

### 1.2 模拟退火算法

模拟退火算法(simulated annealing)是模拟加热熔化金属的退火过程,来寻找全局最优解的有效方法之一<sup>[10]</sup>。它是借鉴统计物理中物质退火方法而提出的一种启发式随机搜索算法,该算法最早是由N. Metropolis等<sup>[11]</sup>在1953年借鉴统计力学中物质退火方法而提出的。1983年,S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt和M. P. Vecchi<sup>[12]</sup>成功地将模拟退火算法应用在组合优化的问题中。模拟退火算法已在理论上被证明是一种以概率1收敛于全局最优解的全局优化算法,并且它与初始值无关,算法求得的解与初始解状态,即算法迭代的起点无关<sup>[13]</sup>。模拟退火算法的基本过程步骤参考文献<sup>[14]</sup>,在本研究中,迭代次

数 $D=50$ ,初始温度 $T_0=0$ ,降温系数 $\text{deta}=0.95$ ,初始解 $\omega=[0.45,0.920,0.456,0.08,0.012]$ 。

## 2 河道断面侵蚀形态指标的提取

本文通过提取多项反映河道断面形态的指标,来辨析河道断面侵蚀形态的演变特征。总体上,河道断面侵蚀形态的异同基本以河道的宽浅、窄深来反映,因此提取的指标中应有反映河道宽浅、窄深的指标值。由于河道断面的侵蚀形态还表现出左岸侵蚀或右岸侵蚀,因此本文提取的指标中亦有反映左岸与右岸侵蚀程度的比较值。具体的指标如图1所示。

如图1中,从河道ACODB中选取最低点O,最低点O左侧的最高点A,最低点O右侧的最高点B,若 $\angle AOL$ 和 $\angle BOR$ 的倾斜度越大,即 $\tan\alpha$ 和 $\tan\beta$ 越大,说明河道陡峻;且 $\tan\alpha$ 和 $\tan\beta$ 的比值还包含了信息:若 $\angle AOL$ 与 $\angle BOR$ 的倾斜度之比大于1,说明河道向右岸侵蚀,反之亦然。

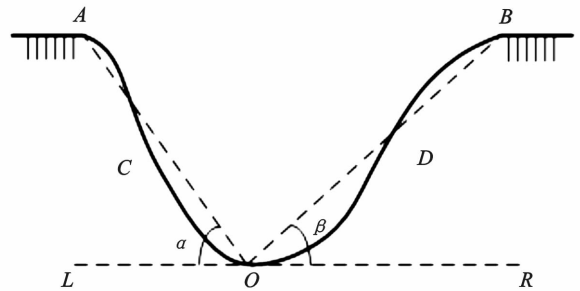


图1 反映河道断面侵蚀形态的指标

河道最低点O的高程与河面宽AB的比值(高宽比)反映出河道的深窄和宽浅形态,若高宽比越大说明河道越深窄,若高宽比越小说明河道越浅宽。

河道的虚拟深度与实际深度的比值(虚实比)能反映出河道整体的形态为V型还是U型。其中,河道的虚拟深是指 $\triangle AOB$ 的面积与河宽AB的比值。因此,虚拟深度与实际深度(最低点O的高程)的比,即虚实比越接近0.5说明河道呈现深V型,越接近1说明河道越接近U型。

结合反映河道断面侵蚀形态的另一个要素——水力半径,因此本文以 $\tan\alpha$ , $\tan\beta$ 高宽比、虚实比和水力半径5项指标作为反映河道断面侵蚀形态的指标值。

## 3 结果与分析

### 3.1 河道断面变化的初步分析

由于数据资料限制的原因,本文依据马口站

1994 年 4 月,1995 年 6 月,1998 年 3 月,2005 年 10 月,2008 年 10 月,2009 年 11 月和 2010 年 12 月的断面资料,三水站 1994 年 4 月,1998 年 3 月,2001 年 2 月,2005 年 7 月,2008 年 3 月,2009 年 11 月和 2010 年 11 月的断面资料,分析马口站、三水站断面的演变特征。马口站和三水站断面整体变化特点如图 2 所示。

图 2 说明,总体上随着年份的延伸,马口站和三水站河道下切加重,受到的侵蚀也越加严重。对于马口站而言,河道断面的左侧变化较多,右侧进入 21 世纪后变化较少。

进一步分析反映河道断面侵蚀形态特征的指标值的变化特点如图 3 所示。年份代表数具体见表 1。

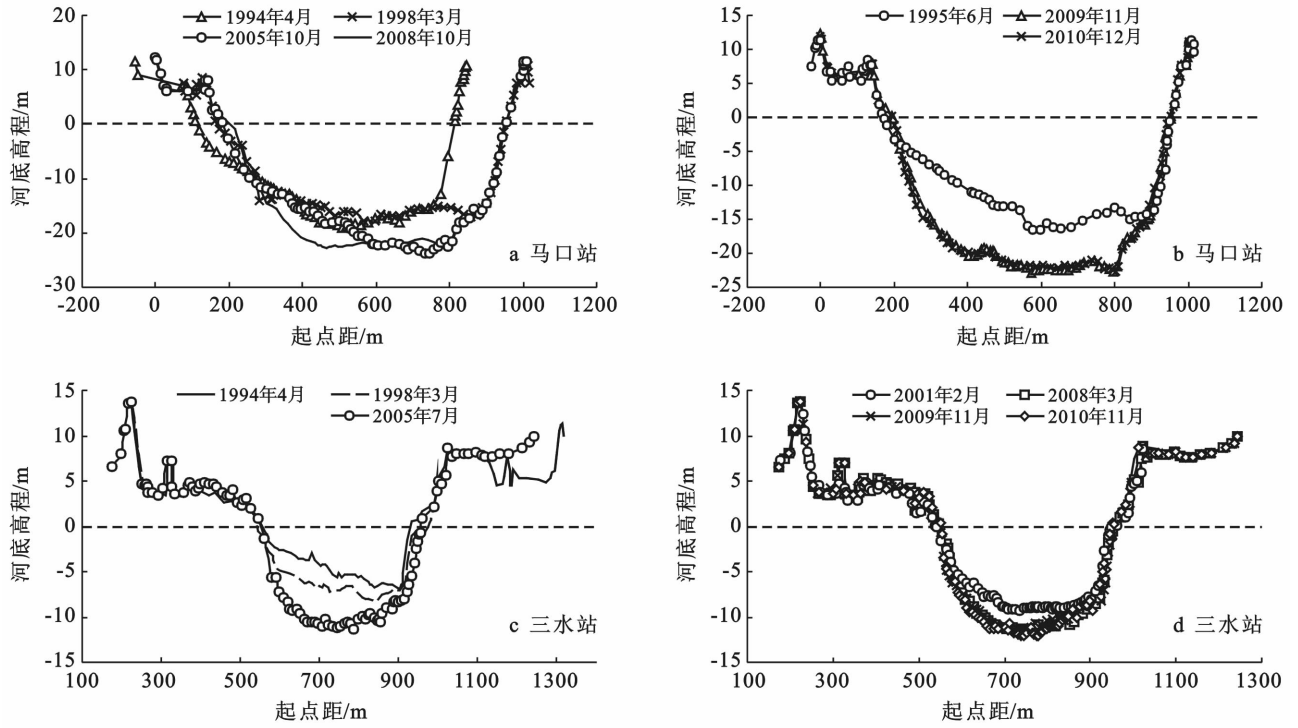


图 2 马口站和三水站断面演变

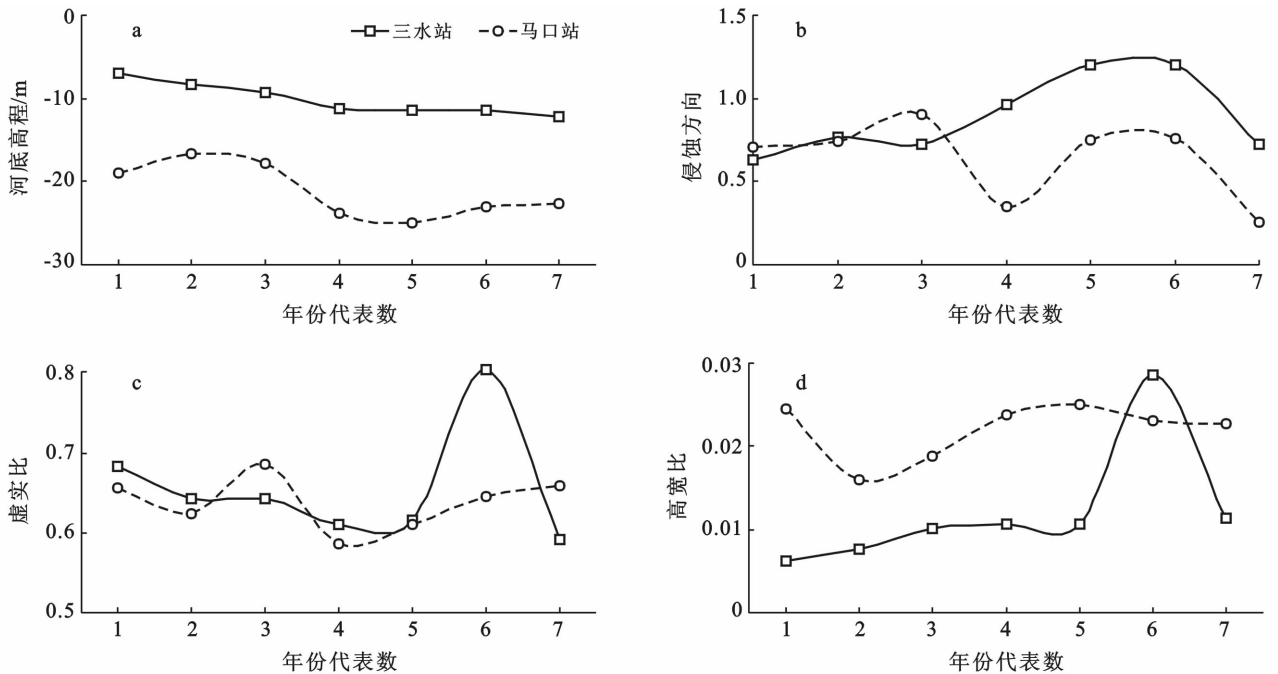


图 3 河道侵蚀形态特征值的变化

表 1 马口站和三水站的数字对应年份

站口名	年份代表数						
	1	2	3	4	5	6	7
马口站	1994	1995	1998	2005	2008	2009	2010
三水站	1994	1998	2001	2005	2008	2009	2010

结合表 1 和图 3 可知,整体上,马口站和三水站最低点的高程,随着年份的延伸不断增大,因此河道有下切的趋势;由于侵蚀方向与河道断面指标中  $\tan\alpha$  和  $\tan\beta$  的比值相关,因此当比值大于 1 时为右岸侵蚀,小于 1 时则为左岸侵蚀,图 3b 说明除三水站 2008 年和 2009 年的比值大于 1,为右岸侵蚀外,三水站和马口站其余年份均表现出左岸侵蚀的特征;图 3c 说明,除三水站 2009 年的虚实比为 0.803 9 外,马口站和三水站其余各年的虚实比介于 0.58~0.6 之间,说明三水站 2009 年的河道断面呈现 U 型,三水站和马口站其余年份河道断面侵蚀形态整体上呈现 V 型;从高宽比(图 3d)看出,三水和马口站,随着年份的延伸高宽比逐渐增大,且三水站在 2009 年高宽比最大,说明三水和马口站断面随着年份的延伸,断面表现为深窄型。

可见,各项单一的指标反映出断面某项特征的变

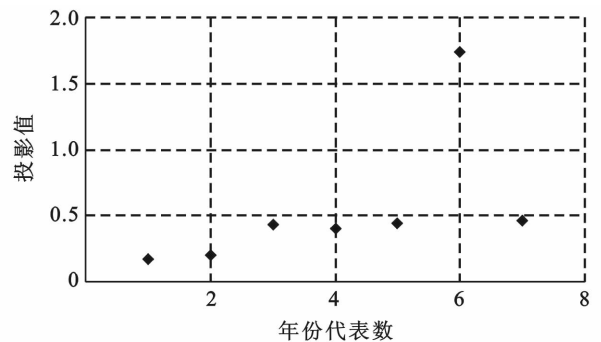
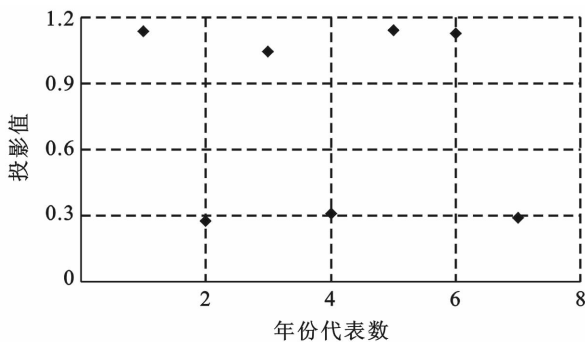


图 4 马口站和三水站断面侵蚀形态的演变

根据图 4 和表 1 得,若将投影值分成区间: $[0, 0.5)$ ,  $[0.5, 1)$ ,  $[1, 1.5)$ ,  $[1.5, 2)$ ,  $[2, 2.5)$ , 则相应的河道断面侵蚀形态分类结果为:对于马口站而言,断面侵蚀形态可以分为 2 类:其中 1994, 1998, 2008 和 2009 年的断面侵蚀形态相同;1995, 2005 和 2010 年的断面侵蚀形态相同;从投影值的大小来看,两种类型的断面侵蚀形态差异较大。对于三水站而言,断面侵蚀形态亦可以分为两类:其中 1994, 1998, 2001, 2005, 2008 和 2010 年的断面侵蚀形态相同;2009 年的断面侵蚀形态不同于其他年份的断面形态,相类似地,从投影值的大小来看,三水站 2 种类型的断面侵蚀形态差异也较大。

结合图 1 得,尽管马口站和三水站断面侵蚀形态

化情况。例如,三水站 2009 年的虚实比和高宽比表现出与其他年份的不同,其中虚实比较为接近 1,说明河道断面呈现 U 型,而高宽比是 7 个年份中最大的,表现为断面形态是深窄型,深窄与传统意义的深 V 较为接近,这与虚实比表现出来的 U 型断面存在较大的差距,然而结合河底高程变化曲线可知 2009 年三水站河底下切较为严重,整体上三水站 2009 年较其他年份为深 U 型。因此,单个河道断面侵蚀形态特征值的变化,仅反映出河道断面形态的某方面的特征演变过程,难以综合反映河道断面侵蚀形态的整体演变规律。

### 3.2 河道断面侵蚀形态演变的综合解读

本文利用提取的 5 项反映河道断面侵蚀形态的指标,结合模拟退火算法优化的投影寻踪模型,辨识马口站和三水站河道断面侵蚀形态的演变特征。其结果如图 4 所示。

反映出被侵蚀的程度不断加剧,河道下切越加严重,5 项指标均为反映河道断面形态指标,各自呈现出河道断面侵蚀形态某方面的变化特征,综合各项指标才能反映河道断面侵蚀形态的整体变化状况,表现为:三水站断面侵蚀形态较为稳定,而马口站断面侵蚀形态较三水站断面而言变化较为频繁。由于三水站 2009 年的虚实比远大于其他年份的虚实比,因此投影结果中三水站 2009 年的投影值异于三水站其他年份的投影值,该年份河道断面呈现深 U 型。但是,整体上三水站断面侵蚀形态变化较为稳定。对于马口站和三水站断面侵蚀形态演变特征的内在动力的分析,需要日后对西江、北江的马口站和三水站上游水量和泥沙的冲淤进行深入的研究。

可见,不同于各项单一指标呈现出的各自变化特征,模拟退火算法优化的投影寻踪模型综合了各项指标变化特点,计算出的结果综合反映出的河道断面形态的整体变化规律。事实上,文中所展示的整体变化规律,涵盖了本文所提取的 5 项指标,若提取断面特征指标发生变化,得到的整体变化规律亦会有相应的改变。例如,加入河道平均深、复式断面的阶梯数等指标。本文由于实际数据的限制,依据研究对象的实际情况,选定  $\tan\alpha$ ,  $\tan\beta$  高宽比、虚实比和水力半径 5 项指标反映河道断面侵蚀形态。河床横断面的形态作为影响河流输沙、流速的主要影响因素,断面形态变化与上游的来水来沙、人类活动等息息相关,其变化结果直接影响其下游洪涝灾害、航道变迁以及三角洲腹地的防洪问题。因此研究断面形态的演变特征,不仅给上游来水来沙、人类活动影响的分析提供检验,也为下游水文地貌的演变提供依据。总体上,21 世纪初马口和三水站断面比 20 世纪 90 代过水断面增大,断面的过水能力有加大的趋势。

## 4 结论

马口站和三水站河道下切加重,受到的侵蚀也越加严重;总体上马口站和三水站呈现左岸侵蚀,尤其是马口站河道断面的左侧较为平缓,右侧较为陡峻,除三水站 2008 和 2009 年为右岸侵蚀外,三水站和马口站其余年份均表现出左岸侵蚀的特征;虚实比表明三水站 2009 年的河道断面呈现 U 型,三水站和马口站其余年份河道断面侵蚀形态整体上呈现 V 型。综合反映断面侵蚀形态的 5 项指标,利用模拟退火算法优化的投影寻踪模型,投影结果表明:三水站除 2009 年断面侵蚀形态完全异于其他年份外,其断面侵蚀形态的变化较为缓和;而马口站断面侵蚀形态表现为变化较多。各指标的变化与上游的来水来沙、人类活动等息息相关,其变化结果直接影响其下游洪涝灾害、航道变迁以及三角洲腹地的防洪问题。因此,断面形态演变的研究,不仅有助于认识河床演变特征,给上游来水来沙、人类活动影响的分析提供检验,也为下游水文地貌的演变提供依据。总体上,21 世纪初马

口和三水站断面比 20 世纪 90 年代过水断面增大,断面的过水能力有加大的趋势。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 谢平,唐亚松,陈广才,等. 西北江三角洲水文泥沙序列变异分析:以马口站和三水站为例[J]. 泥沙研究,2010(5):26-31.
- [2] 贾良文,杨清书,钱海强,等. 近几十年来西北江三角洲网河区顶点的河相关系[J]. 地理科学,2002,22(1):57-62.
- [3] 周作付,罗宪林,罗章仁,等. 近年珠江三角洲网河区局部河段洪水水位异常壅高主因分析[J]. 热带地理,2001,21(4):319-322.
- [4] 刘佑华,陈晓宏,陈永勤,等. 珠江三角洲腹地洪水特征变异因素的关联分析[J]. 热带地理,2003,23(3):204-208.
- [5] 陈晓宏,陈永勤. 珠江三角洲网河区水文与地貌特征变异及其成因[J]. 地理学报,2002,57(4):429-436.
- [6] 李天坚. 水文要素与河道变化的分析[J]. 广东水利水电,2001(S1):32-33.
- [7] Friedman J H, Tukey J W. A Projection Pursuit Algorithm for Exploratory Data Analysis [J]. Computers IEEE Transactions on, 1974,23(9):881-890.
- [8] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论 [M]. 北京:科学出版社,2002.
- [9] 周惠成,董四辉. 基于投影寻踪的水质评价模型[J]. 水文,2005,25(4):14-17.
- [10] 刘伟民,郑爱云,李苏剑,等. 模拟退火 K 均值聚类算法及其应用研究[J]. 微计算机信息,2008,24(21):182-184.
- [11] Kirkpatrick S, Jr G C, Vecchi M P. Optimization by Simulated Annealing [J]. Science, 1983,220(4598):671-680.
- [12] Goffe W L, Ferrier G D, Rogers J. Global optimization of statistical functions with simulated annealing [J]. Journal of Econometrics, 1994, 60(1/2):65-99.
- [13] Suppaitnarm A, Seffen K A, Parks G T. A simulated annealing algorithm for multi-objective optimization [J]. Engineering Optimization, 2000,33(1):59-85.
- [14] 汪丽娜,陈晓宏,李粤安,等. 从干支流洪水能级的跃迁透视人类活动影响的利弊[J]. 中山大学学报:自然科学版,2010,49(2):119-124.