

# 平原河网地区城市中心区河流水系变化特征

杨明楠, 许有鹏, 邓晓军, 韩龙飞

(南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 利用 1960s, 1980s 和 2009 年水系数据, 从数量、结构和连通特征方面分别选取采用河网密度、水面率、河网发育系数、河网稳定度、河网连接率和实际结合度这 6 个指标, 对浙江省杭州市中心区近 50 a 水系变化特征进行了分析。结果表明: (1) 研究区除 II 级河道长度和面积在 1960s—1980s 有小幅度增加外, 河道总体长度和面积均呈减少趋势; 河网密度和水面率自 1960s 以来一直呈减小趋势。(2) 1980s 较 1960s II 级河道发育系数增大, III 级河道发育系数减小。2009 年河道发育系数均呈下降趋势, 河网稳定性也呈下降趋势。(3) 1960s—1980s 河网连接率与实际结合度呈小幅度减小趋势, 连通性略有下降; 而到 2009 年, 两个指标均有较大幅度下降, 河道连通性下降趋势明显。这种水系特征变化会使得流域洪涝风险也随之加大。

**关键词:** 平原河网; 城市中心区; 水系结构; 杭州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0263-04

中图分类号: F323.213

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.055

## River System Change Characteristics of Urban Central Area in Plain River Network Region

YANG Ming-nan, XU You-peng, DENG Xiao-jun, HAN Long-fei

(School of Geographic and Oceanic Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

**Abstract:** Based on river structure data in 1960s, 1980s and 2009, the change characteristics of river structure of urban central area in Hangzhou City of Zhejiang Province nearly 50 years were analyzed with river density, water surface ratio, development coefficient, river network stability, connection rate and practical combination degree from aspects of quantity, structure and connectivity features. Results showed that: (1) The length and area of the whole river network showed a decreasing trend except that in the secondary river in 1960s—1980s had a small increase. River density and water surface ratio showed decreasing trends since 1960s. (2) Compared with 1960s, development coefficient of river network increased in the secondary river and reduced in the tertiary river in 1980s, which decreased in 2009, the river stability also decreased. (3) River connection rate and practical combination degree decreased, which made the river connectivity decrease slightly in 1960s—1980s. While in 2009, the river connection rate and practical combination degree decrease dramatically, the river connectivity also decreased distinctly, which made the flood risk increased simultaneously.

**Keywords:** plain river network; urban central area; river structure; Hangzhou City

随着经济的发展, 城市化引起的河湖水系变化已受到越来越广泛的关注。城市化进程的加快使得城市下垫面产生深刻的变化, 城市河网受到破坏, 致使其减少甚至消失, 进而会引起一系列的生态环境问题。另一方面河道渠化以及城市给排水管网的建设也使得流域内原有水循环路线发生较大变化。为此国外研究主要集中在土地利用变化、河流泥沙以及河

道渠化等方面<sup>[1-2]</sup>。目前, 国内城市化对河流水系影响方面已开展了一些研究, 如杨凯等<sup>[3]</sup>从水环境角度对上海市河网水系变化开展了诸多研究; 陈德超等<sup>[4]</sup>对上海城市化进程中的河网水系演化进行了研讨, 除了揭示出上海河网水系因城市化而锐减, 还提出河流自然排水功能下降、径流系数增加不利于排水的结论; 陈云霞等<sup>[5]</sup>则从洪涝灾害角度对城市水系的变化

收稿日期: 2013-11-08

修回日期: 2014-01-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“水系结构与河湖连通变化对流域洪涝与水环境影响研究”(41371046); 水利部公益项目“改善长江三角洲地区水系结构与河湖连通研究”(201201072)

作者简介: 杨明楠(1985—), 女(满族), 河北省丰宁县人, 博士研究生, 主要从事水资源与水环境研究。E-mail: yangmingnan0101@163.com。

通信作者: 许有鹏(1956—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源与水环境研究。E-mail: xuyyp305@163.com。

开展研究;邵玉龙等<sup>[6]</sup>对苏州市水系结构及河湖连通变化做了分析研究,指出城市化是河网水系连通下降的重要原因。

杭州市位于水网稠密、高度城市化的长三角地区,近几十年来,由于经济高速发展,土地利用也发生了很大的变化,使得区域内河网大幅度衰减,水系结构受到严重破坏,对生态环境及洪涝灾害的增加产生了较大影响。因此,本文拟通过对近 50 a 来杭州市中心区河网水系变化的分析,以期为合理恢复与保护水系,改善生态环境,构建生态城市提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

杭州市位于长江三角洲地区南翼,浙江省北部,钱塘江下游北岸,京杭大运河南端。该市属亚热带季风性气候,雨量充沛,全年平均气温 17.5℃,年降水量 1 454 mm。本文选择的研究区域为杭州市中心区,其面积为 188.3 km<sup>2</sup>,地势低平,河网密布,属典型的平原河网城市区。近 50 a 来,杭州市作为全国

发展较迅速的城市,城市化水平迅速加快,其市区人口总数 1964 年仅为 243.65 万,到 1982 年已增长到 305.77 万,而 2010 年市区人口已增长到 624.2 万。与此同时,随着城市化进程的加快,杭州市的土地利用状况也发生了较大的变化,很多河流被填埋、堵塞,水系结构及其连通性受到影响,进而给城市防洪排涝带来了很大的压力。

### 1.2 数据来源

本文数据来源于杭州市 1960s 和 1980s 两期纸质地形图通过扫描、配准、数字化、拓扑检验、拼接和裁剪等处理得到的两期水系数据,以及由 2009 年 1:5 万数字线划地图(DLG)结合实地核实得到的一期水系数据由于受人类活动影响,研究区水系自相似性早已受到破坏,因此将水系按宽度分为 3 个等级:河流宽度大于 20 m 为 I 级河流,10~20 m 为 II 级河流,小于 10 m 为 III 级河流。本文在水面率计算时,根据地图制图标准和地形图图例,将 II 级河流(10~20 m)的平均宽度概化为 15 m,III 级河流(0~10 m)的平均宽度概化为 5 m(图 1)。

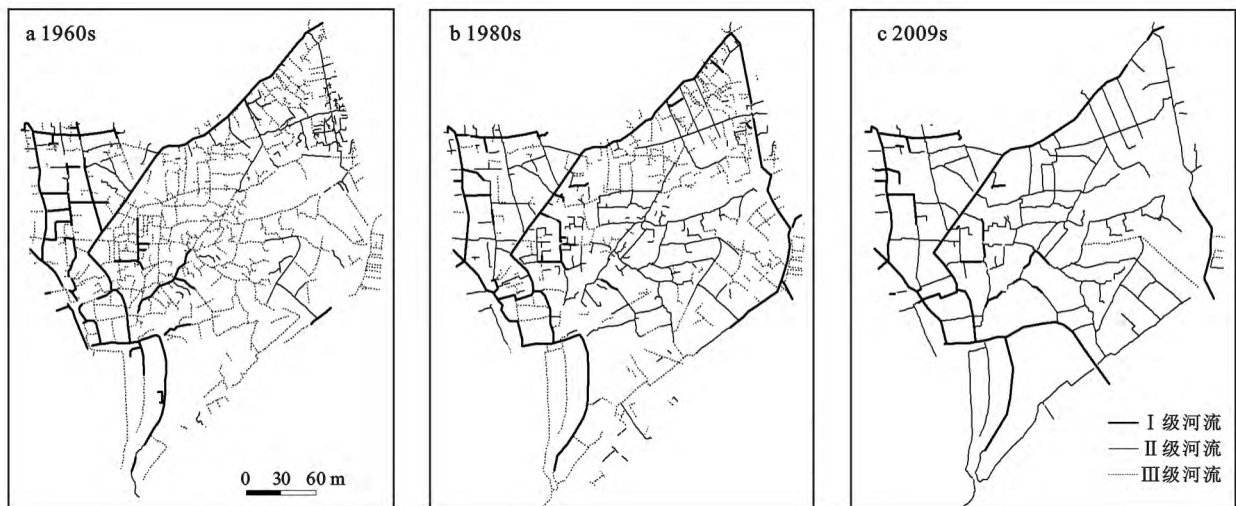


图 1 不同时期杭州市中心区水系分布

## 2 研究方法

本文基于水系特征指标并借助景观生态学等研究方法,从河流水系的数量、结构及连通三方面选取水面率、河网密度、河流发育系数、河网稳定性、连接率和实际成环数等指标来分析研究区水系变化的特征。

### 2.1 水系的数量特征

(1) 水面率( $W_R$ )。用来表征河湖面积发育,其公式为:

$$W_R = A_R / A \quad (1)$$

式中: $A_R$ ——河网总面积(km<sup>2</sup>); $A$ ——研究区总面

积(km<sup>2</sup>)。下同。

(2) 河网密度( $D_R$ )。用来表征河流长度发育,计算公式为:

$$D_R = L_R / A \quad (2)$$

式中: $L_R$ ——河网总长度(km)。

### 2.2 水系的结构特征

(1) 河流发育系数( $K_w$ )。可以反映河网各级河流的构成,河流的发育系数越大,表明支流长度超过干流长度越多,对径流的调节作用越有利。其公式为:

$$K_w = L_w / L_0 \quad (3)$$

式中: $L_w$ —— $w$ 级河流长度(km); $L_0$ ——主干河流

长度(km)。

(2) 河网稳定度( $S_w$ )。用来反映河道长度和面积的不同步演变,其公式为:

$$S_w = (L_{mR} / A_{mR}) / (L_{nR} / A_{nR}) \quad (4)$$

式中: $L_{mR}, L_{nR}$ ——第  $m$  和  $n$  阶段河网总长度(km);  
 $L_{mR}, A_{mR}$ ——第  $m$  和  $n$  阶段河网总面积( $\text{km}^2$ )。

### 2.3 水系的连通特征

(1) 连接率( $\beta$ )。反映每个节点平均连接的河链数,是度量一个节点与其他节点联系难易程度的指标。其公式为:

$$\beta = L/N \quad (0 < \beta < 3) \quad (5)$$

式中: $L$ ——代表河网中的河链数; $N$ ——河网节点数。

(2) 实际结合度( $\gamma$ )。环路指数与最大可能环路数的比值,反映河网水系实际成环水平,其公式为:

$$\gamma = L / [3 \times (N - 2)] \quad (0 \leq \gamma \leq 1) \quad (6)$$

式中:0——每段河流之间均不相连;1——各段河流之间均相互连通形成环路。

## 3 结果与分析

### 3.1 水系的数量特征变化

如表 1 所示,通过 3 期水系图的统计可以发现,杭州市中心区水系的长度和面积持续下降,减幅剧烈。水系总长度由 1960s 的 424.81 km 减小到 2009 年的 245.41 km,面积也由 9.69  $\text{km}^2$  减小到 6.6  $\text{km}^2$ 。其中 I 级河流长度和面积的变幅较小;II 级河道长度和面积从 1960s—1980s 有大幅度上升,长度由 59.47 km 上升到 173.7 km,面积也相应地由 0.89 增加到 2.49  $\text{km}^2$ ;而 III 级河流则剧烈减少,长度由 1960s 的 294.49 km 缩短到 1980s 的 172.77 km,面积则由 1.47  $\text{km}^2$  减少到 0.86  $\text{km}^2$ 。到 80 年代,城市化初步崛起,致使部分河道被掩埋以致消失,而同时人工渠道的建设又增加了一部分河流长度。从 1980s—2009 年,最明显的特征就是 III 级河道仍在大幅减少,到 2009 年其长度只有 9.2 km,面积也仅为 0.05  $\text{km}^2$ ,同时 I 级和 II 级河流的面积也处于减少的状态。这表明,随着城市化的加快发展,大量的低级河流也被迅速填埋而转为其他土地利用类型。

表 1 各级河流不同时期长度与面积

河流 分级	长度/km			面积/ $\text{km}^2$		
	1960s	1980s	2009	1960s	1980s	2009
I 级	70.85	84.68	62.51	7.33	5.24	3.94
II 级	59.47	165.72	173.70	0.89	2.49	2.61
III 级	294.49	172.77	9.20	1.47	0.86	0.05
总和	424.81	423.17	245.41	9.69	8.59	6.60

如表 2 所示,根据公式(1)与(2)对河网密度与水面率进行计算,结果表明,河网密度和水面率也都呈下降趋势,从 1960s—1980s,河网密度由 2.26 变为 2.25,变化较小,而到 2009 年则变为 1.30,减少幅度显著,河网水面率由 1960s 的 5.15% 变为 1980s 的 4.56%,而到 2009 年则变为 3.51。这表明城市化初期,虽然有河流长度和面积减小、部分低级河道消失,但由于大量工程项目的建设,III 级河流减少,II 级河流增多,使得整体河流水系有减少的趋势,但尚不明显。而到了 2009 年,随着城市化进程的加快,河流水系尤其是低等河流大范围消失,整体的河流水系和面积也大幅度减少。由此可以发现,水系的衰减随城市化过程逐渐加剧。

表 2 不同时期河网密度与河网水面率

指标	1960s	1980s	2009
河网密度/ $(\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	2.26	2.25	1.30
河网水面率/%	5.15	4.56	3.51

### 3.2 水系的结构特征变化

根据公式(3)与(4)对研究区河网的河流发育系数及河网稳定度进行计算。由表 3 可以发现,1960s II 级河流发育系数( $K_{2,1}$ )为 0.84,到 1980s 上升为 1.96,而到了 2009 年继续上升为 2.78。在 1960s—1980s 城市化初期,大量建设河道、沟渠,致使 II 级河流长度增加,而随着城市化的加快(1980s—2009) I 级河道与 II 级河道长度均呈减小趋势, I 级河道减少幅度大于 II 级河道,致使 2009 年  $K_{2,1}$  值较高。1960s III 级河流发育系数( $K_{3,1}$ )为 4.16,到 1980s 下降为 2.04,河流的调节作用越来越被削弱。这一阶段,随着城市化的崛起,大量低等河流减小甚至消失使得  $K_{3,1}$  值减小,到了 2009 年该值变为 0.05。这表明,随着城市化进程的加速,城市用地的扩张,河流的结构受到严重干扰,与自然河流状态相违背,支流衰减剧烈,河网主干化越来越明显。与此同时,河网稳定度也由 1980s 的 1.12 下降为 2009 年的 0.85,河网稳定性越来越小。

表 3 不同时期河网发育系数与河网稳定度

河流发育系数	1960s	1980s	2009 年
$K_{2,1}$	0.84	1.96	2.78
$K_{3,1}$	4.16	2.04	0.15
$K_{总}$	5.00	4.00	2.93
河网稳定度	—	1.12	0.85

### 3.3 水系的连通特征变化

水系连通性是指河道干支流、湖泊及其他湿地等

水系的连通情况,反映水流的连续性和水系的连通状况<sup>[7]</sup>。提高水系的连通性可以降低洪涝灾害的风险,对维护河流水环境健康也具有重要意义。本文借鉴景观生态学中河流廊道连通性的分析方法<sup>[8-9]</sup>,利用河网连接率和实际结合度两个指标来分析研究区河网水系连通性的变化。根据公式(5)与(6)计算研究区河网连接率和实际结合度,由表 4 可以发现, $\beta$  从 1960s—1980s 由 0.99 降低至 0.97,到 2009 年继续降低至 0.85; $\gamma$  变化趋势与  $\beta$  相似,1960s—1980s 由 0.33 降低至 0.32,到 2009 年继续降低至 0.28。这主要是由于在城市化初期建设用地的扩张,使得一些河道部分被被填埋,而与其它河道不再相连使得连通性下降,而随着城市化进程的加快,建设用地面积大量增加,河道面积大量减少,连通性便会继续降低,这也是伴随高度城市化而出现的必然结果。

表 4 不同时期河网连接率和实际结合度

指标	1960s	1980s	2009 年
连接率 $\beta$	0.99	0.97	0.85
实际结合度 $\gamma$	0.33	0.32	0.28

## 4 结论

(1) 研究区 1960s—1980s 阶段,河道总体长度和面积都呈减少趋势,其中 II 级河道长度和面积有小幅度增加,其他均减少,到 2009 年,所有指标均呈减少趋势;河道密度和水面率自 1960s 以来一直呈减小趋势,较 1960s—1980s,1980s—2009 年减少幅度较大。河道数量和面积随城市化的加快减少幅度越来越大。

(2) 由于人工河道的建设,1980s 较 1960s II 级河道发育系数增大,III 级河道发育系数减小,2009 年河道发育系数均呈下降趋势,河道稳定性也呈下降趋势。随着城市化进程的加快,河网主干化、单一化程度越来越高。

(3) 1960s—1980s 期间河网连接率与实际结合

度呈小幅度减小趋势,连通性略有下降。而到 2009 年,两个指标均有较大幅度下降,河道连通性下降趋势明显,流域防洪压力也随之增大。

近 50 a 来,随着城市化的发展,建设用地需求增加,杭州市中心区的大量低等河道被填埋、消失。另一方面,尽管随着防洪排涝的需求增加,对一些重要河流进行了疏浚拓宽,并开挖连通了一些区域输水河道,但是这些工程建设作为河流消失的补偿措施,使得河流的主干化和单一化仍表现得越来越明显,而且伴随着城市化的进一步发展,水文情势的改变和洪涝等极端事件的加剧,生态环境遭受破坏越来越严重。因此,保护并进行河网水系的恢复,是保证城市化可持续发展的的重要途径。

### [参 考 文 献]

- [1] Gregory K, Davis R, Downs P. Identification of river channel change to due to urbanization [J]. *Applied Geography*, 1992,12(4):299-318.
- [2] Vanacker V, Molina A, Govers G, et al. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems [J]. *Geomorphology*, 2005,72(1/4):340-353.
- [3] 杨凯,袁雯,赵军,等. 感潮河网地区水系结构特征及城市化响应[J]. *地理学报*,2004,59(4):557-564.
- [4] 陈德超,李香萍,杨吉山. 上海城市化进程中的河网水系演化[J]. *城市问题*,2002(5):31-35.
- [5] 陈云霞,许有鹏,付维军. 浙东沿海城镇化对河网水系的影响[J]. *水科学进展*,2007,18(1):69-73.
- [6] 邵玉龙,许有鹏,马爽爽. 太湖流域城市化发展下水系结构与河网连通变化分析:以苏州市中心区为例[J]. *长江流域资源与环境*,2012,21(10):1167-1172.
- [7] 张欧阳,熊文,丁洪亮. 长江流域水系连通特征及其影响因素分析[J]. *人民长江*,2010,41(1):1-5.
- [8] 何晓蓉,李辉霞,范建容,等. 青藏高原流域廊道体系对生态环境的影响[J]. *水土保持研究*,2004,11(2):97-99.
- [9] 罗坤,蔡永立,郭纪光,等. 崇明岛绿色河流廊道景观格局[J]. *长江流域资源与环境*,2009,18(10):908-913.