

上海中心城区河流水系百年变化 及影响因素分析

程 江, 杨 凯, 赵 军, 袁 雯, 吴健平

(华东师范大学资源与环境科学学院 上海市城市化生态过程和生态恢复重点实验室, 上海 200062)

摘要: 分析上海中心城区河流水系 1860~2003 年变化情况, 研究表明: 140 余年来中心城区有历史记载河流消失至少 310 条段, 总长超 520 km, 水面积减少约 10.46 km², 水面率下降 3.6%。中心城区所在水利片河流水系结构破坏, 水系分枝比受河道消亡影响明显降低, 水系分维数异常; 中心城区河流水系阶段性集中消亡, 消亡驱动力因消亡时期而异; 初步估算, 140 余年来中心城区河道槽蓄容量减少超过 $2.029 \times 10^4 \text{ m}^3$, 单位面积可调蓄容量减少 $5.06 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。河道槽蓄容量较百年前减少超过 80%, 城市河网调蓄能力明显削弱, 且 1950~1990 年市政雨水泵站累积增加数目与同期区域内河道累积消失数量、长度和槽蓄容量间均呈显著正相关性。

关键词: 河流水系; 调蓄容量; 水系结构; 城市化; 上海

中图分类号: K928.4/F323.213 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2007)01-0085-07

上海为典型感潮平原河网地区, 河网水系是该区人地系统的一个关键性因子, 人类活动是诱发其结构破坏、功能失调的主要驱动力^[1,2], 受人类活动影响, 许多河湖逐渐萎缩, 甚至急剧减少, 如 20 世纪初 300 余条环太湖河道至 1993 年仅剩 125 条^[3]。上海自 1843 年开埠后, 受社会经济发展、城市化进程等多种因素影响, 中心城区河道大量消亡, 原有自然河网水系严重消退、结构破坏、功能减弱, 目前中心城区水面率仅为 4.40% (含黄浦江等外河)^[4]。河网水系结构及功能是河流生态系统健康评价的重要内容, 引起各国政府与学术界重视^[5]。目前国内外关于河流水系的研究主要集中在自然状态的流域^[6~15], 受河流历史记载资料限制, 对人为因素影响下水系结构变化研究有待加强^[16~18]。本文利用上海中心城区 1860~2003 年的河道变化数据, 分析长时间尺度、高度城市化区域河流水系百年来的变化及其影响因素, 以期为城市化进程中的河流水系保护和管理提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区域和数据来源

本文选择上海市中心城区为研究区域 (图 1)。

收稿日期: 2005-08-18 修订日期: 2005-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40673022)、2004 年度上海市科委重大科技攻关项目 (04DZ12024)、上海市生态学重点学科以及 211 学科建设项目资助。

作者简介: 程 江 (1977-), 男, 江苏溧阳人, 博士研究生, 主要从事城市水资源和水环境研究。E-mail: sklec777@hotmail.com

通讯作者: 杨 凯, 教授, E-mail: kyang@re.ecnu.edu.cn



图 1 上海中心城区历史记载消失河道示意图

Fig 1 Sketch of disappeared rivers in the center district of Shanghai in history

河道历史变化数据源于上海水利志、上海地名志、上海黄浦区等文献和历史河道分布史图^[19~31]。笔者将上述历史文献和史图中记载的有关中心城区从 1860 年以来湮没消失河流资料归类梳理, 所得数据资料作为河道历史变化数据。河道现状数据来源于 1999 年上海市水资源普查报告^[4]和 2000~2003 年上海市航空遥感图象解译资料。

1.2 主要参数计算方法

1) 水系分枝比、长度比。Horton认为同一流域内河流数目(N)、长度(L)随河道级别呈几何级数变化:

$$N_{\omega} = R_b^{\Omega - \omega} \quad (1)$$

$$L_{\omega} = L_1 R_l^{\omega - 1} \quad (2)$$

式中, R_b 、 R_l 分别为河道水系分枝比和长度比, ω 为河流级别序号, Ω 为河流最高级别; N_{ω} 为第 ω 级河道的数目; L_b 、 L_{ω} 分别为第 l 和 ω 级河流的平均长度(km)^[6, 20]。 R_b 和 R_l 的值可以根据 $\omega - \lg N_{\omega}$ 和 $\omega - \lg L_{\omega}$ (ω 为横坐标)图中直线斜率绝对值的反对数来求得^[7, 8, 14], 即:

$$R_x = 10^{k_x} \quad (3)$$

式中, R_x 为水系结构参数 ($x = b, l$), k_x 相应依次为 $\omega - \lg N_{\omega}$ 和 $\omega - \lg L_{\omega}$ 图中回归直线的斜率。

2) 水系分维。Horton认为流域内不同等级水系的发育具有自相似特征, La Barbera和 Rosso给出水系分维 D 的计算式^[9]:

$$D = \lg R_b / \lg R_l \quad (4)$$

3) 水面率、槽蓄容量和槽蓄容量。水面率为水面积与区域总面积的比值。槽蓄容量是指在一定水位条件下, 该河道所能容纳水体的体积总量, 本文所计算的槽蓄容量是指常水位情况下河道的蓄水总容积。河道可调蓄容量是指从最低水位上升到最高水位所增加的河道容积。

消失河道的长度源于根据文献记载、历史地图、1999年上海市水资源普查报告以及 2000、2003年上海市遥感图象解译资料, 没有长度数据的河道其长度取有长度数据河道的 3% 调整平均值。计算水面积和槽蓄容量时, 根据历史记载和上海地区现有河网水系同等级河道资料, 取消失历史河道的平均河面宽度为 20 m, 平均水深为 2.0 m。计算历史河道可调蓄容量时, 参考上海市现有河道状况, 可调蓄容量指水位在 2.2~3.6 m 之间的河道容积^[4]。

2 中心城区水系现状和消亡特征

2.1 中心城区河流水系现状

上海中心城区面积 289.44 km², 区域内村、镇、区和市级 4 级河道共 226 条, 总长度 258.17 km, 水面积 12.72 km², 水面率 4.40%, 河面率也只有 5.20%, 河面率较 1984 年的 11.3% 下降 54%^[4]。扣除黄浦江、苏州河等外河, 中心城区的

水面率只有 1.36%, 其中黄浦、卢湾、静安三区(总面积 28.08 km²)水面率基本为零, 徐汇、长宁、普陀、闸北、虹口和杨浦 6 区(总面积 261.36 km²)水面率仅 1.51%, 明显不能满足城上海市市区内水面率不得小于 3% 的上海城市防洪规划要求^[16]。

2.2 中心城区历史河道消亡总量

基于河道消亡原因和用途的差异, 上海中心城区河道消失历史可分两个时期: 1860年至建国前, 建国后至 2003 年。初步统计, 两个历史时期 140 余年时间内上海中心城区有历史记载的河道消失至少 310 条, 长度约 520 km, 其中据方志等史料记载, 1860~1980 年代消失河道 202 条, 长约 390 km; 据水资源普查和遥感解译资料, 1990~2003 年消失河道约 110 条, 长约 130 km。其中第一时期内河道消失约 88 条, 总长度超过 222 km; 第二时期内河道消失超 220 条, 总长度达 300 km (图 2, 3)。本文研究较陈德超等的研究结果^[16] 相比略有差异, 这主要是研究区域和研究时间跨度不同造成的差别(表 1)。陈德超等的研究显示, 1950~1999 年上海市内环线矩形区域(包括市区绝大部分和部分郊区)河流长度缩短了约 270 km, 本文研究显示同时期中心城区河道消亡为 180 条, 长约 273 km (图 2, 3)。前者研究区域为上海市内环线矩形区域, 包括中心城区和部分浦东地区; 本文 20 世纪 90 年代以前据地方志、地名志、水利志等史料记载的河道消亡区域主要集中在上海中心城区, 20 世纪 90 年代后由于河道消亡变化在地方志、地名志、水利志等史料记载中没有反映, 因此主要依据河道遥感解译资料分析。两者的研究结果总体比较接近。

2.3 中心城区历史河道消亡特征

2.3.1 河道消亡驱动力众多

人类活动是造成区域河湖萎缩、水面减少的主要驱动力。上海在工业发展、人口聚集、城市扩大的背景下, 修建道路、兴建居民区、市政工程和自然演变等是造成市区和城郊多河道被淹没的主要驱动力^[19~31]。不同历史时期, 河道消亡主导驱动力存在差异(表 2)。1860年至建国前造成河道消亡的主要驱动力有: 修建道路。上海是在河网区域之上兴建起来的城市, 河道阡陌纵横。上海 1843 年开埠后, 特别是在 20 世纪上半叶, 上海工业、商业文化、金融、港口贸易迅速发展, 至 1920 年上海成为全国最发达城市, 一些不便于陆路交通、城市建设和经济发展的河道在此期间被大量填埋,

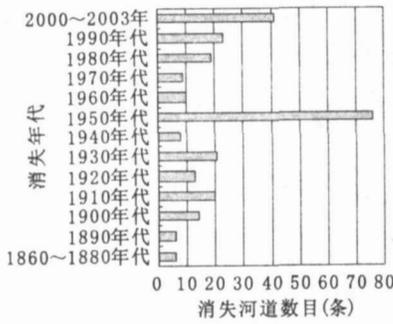


图 2 中心城区历史记载消失河道数目

Fig 2 The number of disappeared rivers in the center district of Shanghai in history

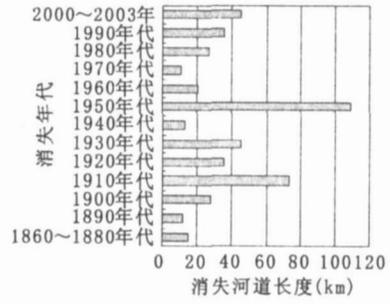


图 3 中心城区历史记载消失河道长度

Fig 3 The length of disappeared rivers in the center district of Shanghai in history

表 1 河道消亡数据与其它研究者数据对比

Table 1 Data of river disappearance in this research and the other

研究区域	河道消亡研究结果	数据来源
上海市内环线矩形区域, 包括市区绝大部分和部分浦东地区 (陈德超等, 2002)	1950~ 1999年长度缩短约 270 km	1950年代上海河流分布图, 1964~ 1999年航空相片解译, 区县地名志
上海市中心城区 (本文)	1860~ 2003年, 约 310条段, 约 520 km, 其中 1950 ~ 1999为 180条段, 约 273 km	上海市中心城区区志、地名志、历史河道分布图, 上海市水资源普查报告, 2000、2003年上海市航空遥感图象解译资料

约 70% 数量的河道是由于修建道路的原因而被填没, 这是建国前导致河道消失的最主要原因。自然湮没。上海地区属典型感潮河网区域, 长江河口大量泥沙在涨潮过程中进入河网水系, 逐渐淤积导致河道淤塞。同时生活垃圾等杂物的随意抛弃入河以及河道污染和断头浜的增加, 致使水体自然功能逐步丧失, 使人们采取填埋的方式来处理。这一原因使得近 10% 河道因此消失。租界扩张。晚清上海开埠后, 杨浦、虹口、黄浦、徐汇等区沦为租界, 这一时期上海地区的河网水系分布发生了显著变化。特别是在 1899年之后, 众多河流随之湮没消失。建造住宅, 这是造成这一时期河道消失的另一驱动力 (表 2)。

建国后至今的第二时期较前一时期河道消亡驱动力明显不同, 河道消亡主要驱动力是:

市政建设。建国前上海是以商业贸易为主的消费型城市, 建国后则转变为以工业生产为主体的生产型工业城市^[17], 在城市经济类型转变过程及城市化进程中, 上海中心城区从建国初期的 86 km² 增加到目前的 289.44 km²。从 1990年开始, 上海开始大规模市政工程建设。1990~ 2003年上海全市实有铺装道路长度、实有铺装道路面积和城市桥梁分别增长 5.38 2和 12.5 倍。大量河道尤其是中小河道被填没, 有超过 60% 的河道因此而消失。建造居民区。20世纪 50年代是上海人口发展最迅猛的 10年, 人口从 1949年的

表 2 上海市中心城区河道消失原因和用途

Table 2 The reasons and uses of disappeared river in the center district of Shanghai

消失主要原因与用途	1860年至建国前				消失主要原因与用途	建国后至 2003年			
	消失数目 (条)	比例 (%)	消失长度 (km)	比例 (%)		消失数目 (条)	比例 (%)	消失长度 (km)	比例 (%)
修建道路	62	70.4	171	77.0	市政建设	138	61.3	176	58.5
自然湮没	13	14.8	24	10.8	修建住宅	55	24.5	80	26.6
租界扩张	8	9.1	15	6.8	建校建厂	12	5.3	16	5.3
修建住宅	5	5.7	12	5.4	其它	20	8.9	29	9.6

502.9万人增长到1959年的1028.4万人,人口迅猛增加,兴建了大量居民住宅区。在土地平整中,大量河道被填没作为建房用地,期间有近25%河道因此原因而消失。工厂、学校建设以及诸如泥沙淤积、垃圾倾倒等其它原因导致其余近15%河道消失(表2)。

2.3.2 河道阶段性集中消亡

在两个历史时期中,河道消亡均具有显著的阶段性集中消失的变化特征。据统计在140余年的时间内,存在三个河道集中消亡的阶段性,历时近80年,这期间消亡的河道超过了276条,长度达465 km,分别占1860年至今消亡总数的89.9%和88.9%。

从1860年代到建国前将近一个世纪内,有记载的中心城区河道就消失了88条,总长度超过了222 km。这一历史时期内,消亡的河道主要集中于20世纪初到建国前不到50年的阶段内。从20世纪初到建国前不到50年的时间里,河道消失达到了76条,长度超过为196 km,分别占到第一阶段消失河道数目和长度的86.4%和88.3%(图2.3)。而从1860年至19世纪末40年内消失的河道只有12条,长度约26 km。这主要是由于上海开埠后,特别是在20世纪上半叶,上海工业、商业文化、金融、港口贸易迅速发展,从1920年代开始上海成为全国最发达城市,期间大量河道在城市扩张、工商业发展过程中被填没。

第二历史时期短短50余年间,有记载的中心城区河道消失超过220条,总长度超过300 km。第二个历史时期内,消失的河道主要集中在20世纪的50年代和80年代改革开放后至今的两个阶段,这两个阶段消失的河道数目分别达到76和124条,长度为109 km和108 km,消失河道数目和长度分别占第二历史时期消失总量的91.3%和89.4%(图2.3)。造成这一时期河道集中消亡的主要原因是20世纪50年代上海人口增长快速,建设了许多居民住宅区以及改革开放后大规模的城市化进程,导致了河道阶段性集中消亡。

近期河道消亡呈现加剧的趋势,尤其从2000年以来,随着上海区域开放力度加大、城市化进程加快和经济发展加速,河道消失出现上升趋势(图2.3)。出现这种新趋势的原因主要是上海在“一年一变样,三年大变样”的高速城市建设阶段,由于在各类新建工业区、农业土地平整以及住宅小区

开发过程中,中小河道填埋数量高于新开挖或补偿的水面积,导致河道数目、长度和水面积减少。

3 中心城区河道消亡对水系的影响

3.1 河道消亡对水系形态结构的影响

3.1.1 水系分枝比降低

自然界中有很多现象都是分枝网络结构,R·E·Horton(1945)和A·N·Strahler提出的水系结构组成定律,认为流域内不同等级水系的发育具自相似特征,一个在等级和空间秩序上和谐发展的水系,其结构特征和数量关系就可用Horton定律进行描述^[6]。在非高度城市化地区,河网水系总体上具有Horton表现^[16]。一般情况下,水系分枝比 R_b 在3~5之间,平均长度比 R_l 在1.5~3之间^[7,10],水系分枝比越大水系发育越成熟。1999年上海非高度城市化区域水利分片河网平均 R_b 和 R_l 分别为5.41和2.94^[16],分枝比偏大是上海处于水系高度发育的平原河网地区所致。按上海市水利片划分局,中心城区分别位于淀北水利分片和蕴南水利分片。由于近百年来中心城区大量河道陆续被填没水面率下降,导致中心城区所在水利分片水系分枝比锐减,1999年淀北和蕴南水利分片 R_b 只有2.51和1.05均小于一般情况值的3~5。中心城区所在水利片水系分枝比明显偏低,表明在高度城市化城区水利片,不同等级河网水系发育的自相似性特征受大量河道填没影响已被破坏,即高度城市化地区非主干中小河道减少,河网水系结构趋于简单。杨凯等对上海不同水利片河网水系形态结构与功能参数分析表明,河网地区水系结构与功能密切相关,水面率和分枝比等指标具有表征城市化对水系结构影响的意义^[16]。

3.1.2 水系分维数异常

水系分维 D 可评价水系复杂性, D 值越大说明水系越复杂,反之水系越简单^[8]。La Barbera和Rosso认为 D 值应在1~2之间,平均1.6~1.7^[9]。Claps和Oliveto认为 D 平均值在1.7左右^[11]。1999年上海非高度城市化区域5个水利分片河网水系 D 值平均1.59,河网水系总体有Horton表现^[16]。但高度城市化的中心城区所在淀北和蕴南水利分片由于大量中小河道消失,导致水系分枝比锐减,不同等级水系发育自相似性被破坏。河道消失对水系分枝能力的削弱使中心城区所在水利片河网水系分维异常,破坏了原有水系Horton表现。

3.1.3 水系连通受阻

河流之间连通性的降低也是水系结构破坏的一个直观表现。笔者对 2004~2005 年上海中心城区 151 条进行黑臭整治的中小河道进行了水系连通情况调查, 结果显示河道连通性受损严重, 有 57.5% 的河道存在不同程度的“断头浜”现象。中心城区水系连通性的破坏, 不仅阻碍了河道水体流动, 增加了城市雨洪在河道中的停留时间, 加剧了该区域防洪排涝的难度, 而且水系结构破坏还减慢了水体的自然循环, 降低了水体自净能力。

3.2 河道消亡对城市河网调蓄能力的影响

3.2.1 城市河网调蓄能力降低

河道槽蓄容量的大小直接反映出该地区容蓄水资源量、涝水及水资源调度的能力, 对于区域防洪排涝、水资源调度和水环境容量的确定等均有非常重要的意义。从洪涝水调蓄作用的角度考虑, 河道可调蓄容量具有更加重要的意义。城市小水系在蓄积雨洪、分流下渗、提供行洪空间、在削减洪峰、降低洪水危害中有着重要作用, 小水系更适宜保护而不能简单地填埋平整。对平原河网水系地区而言, 水系调蓄作用十分可观, 王腊春等的研究表明: 太湖地区河网水系对洪水的调蓄能力约为太湖的 50%, 在高水位时河网调蓄能力更加突出^[32]。杨凯等的研究表明: 从高等级河道到低等级河道可调蓄容量与槽蓄容量的比值呈现逐级递增的变化特征, 低等级河道具有更强的潜在调蓄能力; 且水面率与槽蓄容量、单位面积可调蓄容量有着良好的正相关性^[16]。

上海中心城区百年来河流水系受人类活动的影响不断消亡尤其是中小河道的消失(消失的历史河道平均长度不足 2 km), 导致水面率大大降低、不透水地表的面积扩大, 严重削弱了城市河流水系的调蓄能力。目前中心城区全部槽蓄容量为 $7\,278\,81 \times 10^4 \text{ m}^3$ (包括黄浦江和苏州河等外河), 不包括外河在内的槽蓄容量仅剩 $460\,98 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[4]。初步估算, 1860~2003 年, 上海中心城区水面减少约 $10\,46 \text{ km}^2$, 造成城市水面率下降近 3.61%; 槽蓄容量减少了近 $2\,092 \times 10^4 \text{ m}^3$, 不包括外河在内槽蓄容量较百年前减少 81.9%; 单位面积可调蓄容量减少近 $5\,06 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。致使防洪排涝能力本来就不高的中心城区常常受淹, 内

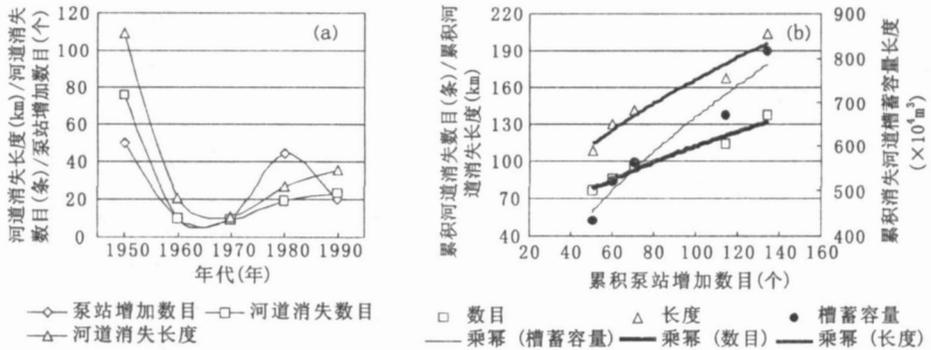
涝水位越来越高。出现小雨量、高水位现象, 内涝范围和损失越来越大, 防洪投入加大, 防洪风险增加。尤其是在台风季节, 经常因暴雨使防汛墙出现险情, 城区地面频频积水。2005 年台风“麦莎”期间, 中心城区普降大暴雨、特大暴雨, 各区累积降雨量在 214.0~315.0 mm 之间。由于天文大潮、风暴潮和暴雨三碰头, 致使黄浦江潮位超警戒线, 苏州河挡潮闸关闭, 市区河道河水无法下泻, 内河水位普遍猛涨, 市区内河道部分超警戒、超历史记录高潮位。由于内外河水位较高, 危及到内河防汛墙安全, 沿内河的排水泵站一度被迫停机, 雨水来不及排入河道, 造成市区 200 多条段道路出现积水现象。

3.2.2 城市雨水泵站建设加大

中心城区中小河流大量消亡, 破坏了水系之间的沟通, 加重了内涝发生的几率, 使得市区不断新建雨水泵站以应对日益增加的排水压力。上海开埠前, 城区雨水可就近排入河道。开埠后, 租界开始规划和建设雨水管道, 这些管道以黄浦江、苏州河等作为泄水河道, 这一状况一直持续到 20 世纪中叶。1949 年全市有雨水泵站 11 座, 排水能力仅为 $16 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由于排水不畅, 在暴雨期间很多地区积水严重。建国后, 市政排水泵站建设投入巨大: 1958~1962 年, 新建和改建排水泵站 61 座, 初步形成 50 多个排水系统; 1962~1978 年, 对市区积水严重和排水设施不健全地区进行系统改建, 先后建成 19 个系统和泵站; 1978~1995 年, 又新建 74 个系统和泵站; 至 2001 年底, 全市已建成雨水排水系统 177 个。市政雨水泵站累积增加数目和消失河道数目、长度之间有良好的响应关系(图 4a)。图 4b 显示, 1950~1990 年代, 累积泵站增加数目与同期区域内累积河道消失数目、长度和槽蓄容量之间呈显著乘幂关系, 相关系数分别达到了 0.876、0.863 和 0.863, 显著水平分别为 0.019、2.022、6 和 0.002、6 均在 0.05 水平上显著。虽然市区 2002 年雨水泵站汇水面积达到 369.53 km^2 , 排水能力增加到 $1\,856.54 \text{ m}^3/\text{s}$ 但由于以往历史欠账过多, 暴雨季节市区积水现象仍十分普遍。

4 初步结论

本文利用上海自 1860 年有历史记载以来的河



注: 图 b 中, $N_R = 4.193N_p^{0.735}$; $R^2 = 0.876$; $P = 0.0192$; $L = 5.339N_p^{0.771}$; $R^2 = 0.863$; $P = 0.022631$;

$S = 21.355N_p^{0.771}$; $R^2 = 0.036$; $P = 0.0026$ 其中, N_R , L , S , N_p , R 和 P 分别为累积消失河道数目、

累积消失河道长度、累积消失河道槽蓄容量、累积增加泵站数目、相关系数和显著性水平

图 4 1950~1990年代消失河道数目、长度和泵站增加数目关系

Fig 4 The relationships between disappeared rivers and built pumping stations

from 1950s to 1990s (Figure a denotes number figure b denotes relationships)

道变化资料、1999年上海市水资源普查资料及2000年和2003年上海市遥感图象解译资料,分析1860~2003年长达140余年间上海中心城区河流水系的历史变化过程及其影响因素,结论如下:

1) 140余年来,上海中心城区大量河道受人类活动影响阶段性集中被填没。修建道路、自然湮没、租界扩张和建造住宅是建国前河道消亡的主要驱动力,市政建设和建造居民区则是建国后河道消亡的主要驱动力。

2) 初步估算,1860~2003年,有历史记载的河道消失至少310条段,累计长度超过520 km。河道大量消亡导致中心城区河流水系分枝比锐减,水系结构破坏。河道消失对水系分枝能力的削弱使得中心城区所在水利片河网水系分维数异常。

3) 140余年来,中心城区水面积累积减少近10.46 km²,水面率下降3.61%,河道槽蓄容量减少2.092 × 10⁴ m³,单位面积可调蓄容量下降5.06 × 10⁴ m³/km²。中心城区河道槽蓄容量较140余年前减少超过80%,调蓄能力削弱,加大了区域防洪排涝压力。1950~1990年代,市政雨水泵站累积增加数目与同期区域内河道累积消失数量、长度和槽蓄容量之间均呈显著正相关性。

4) 适度的城市水面率和合理的水系结构不仅有利于城市排水排涝,更有着改善城市水环境、调节城市小气候、增加生物多样性等多种生态环境效应。从保持水系形态结构和水网调蓄功能的角度来考虑,应加强城市河道尤其是末端水系的保护,改善水系结构,重建水系自然格局,推进近自然生

态型河道修复,恢复河道原有健康结构和功能。

5) 本文利用历史记载资料结合水资源普查、遥感解译数据初步分析了近百年来上海中心城区河流水系的变化过程,在历史河道消失时段的划分、消失机理及其产生的累积生态环境影响方面的研究还有待进一步深入探讨。

致谢:感谢华东师范大学资源与环境学院吴建平教授在河道遥感图象解译资料方面提供的帮助。

参考文献:

[1] 高华中,姚亦锋.近50年来人类活动对博斯腾湖水位影响的量化研究[J].地理科学,2005,25(2):305-309

[2] 李昌峰,张鸿辉.建国以来人类活动对湖北省四湖地区水环境的影响研究[J].国土与自然资源研究,2003,4:68-70

[3] 韩昌来,毛锐.太湖水系结构特点及其功能的变化[J].湖泊科学,1997,9(4):300-306

[4] 汪松年,阮仁良.上海市水资源普查报告[M].上海:上海科学技术出版社,2001

[5] 赵彦伟,杨志峰.河流健康:概念、评价方法与方向[J].地理科学,2005,25(1):119-124

[6] 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

[7] Roth G, La Barbera P. On the description of the basin effective drainage structure [J]. Journal of Hydrology, 1996, 187: 119-135.

[8] Cheng Ji-cheng, Jiang Mei-qiu. Mathematical models for drainage geomorphology [M]. Beijing: Science Press, 1986.

[9] La Barbera P, Rosso R. Fractal geometry of river networks [J]. Ecos Trans AGU, 1987, 68(44): 1276.

[10] Veltri M, Veltri P. On the fractal description of natural channel networks [J]. Journal of Hydrology, 1996, 187: 137-144

- [11] Claps P, Oliveto G. Reexamining the determination of the fractal dimension of river networks [J]. *Water Resources Research*, 1996 **32**(10): 3123~ 3135.
- [12] 李茂田, 丁 霞, 陈中原. 40年来长江九江河段河道演变及其趋势预测 [J]. *地理科学*, 2004 **24**(1): 76~ 82
- [13] 张 芸, 朱 诚, 于世永. 长江三峡大宁河流域 3000年来的环境演变与人类活动 [J]. *地理科学*, 2001 **21**(3): 267~ 271.
- [14] 左其亭. 博斯腾湖向塔里木河生态输水效果及风险 [J]. *地理科学*, 2006 **26**(5): 564~ 568
- [15] 齐 文, 郑邦平. 西藏扎布耶盐湖水位波动规律初探 [J]. *地理科学*, 2006 **26**(6): 693~ 700
- [16] 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** 558~ 564
- [17] 徐启新, 杨 凯, 许世远. 上海高速城市化进程对水环境的影响及对策探讨 [J]. *世界地理研究*, 2003 **12**(1): 54~ 59.
- [18] 陈德超, 李香萍, 杨吉山, 等. 上海城市化进程中的河网水系演化 [J]. *城市问题*, 2002 **5** 31~ 36.
- [19] 上海水利志编纂委员会. 上海水利志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1997 89~ 112
- [20] 陈征琳, 邹逸麟, 刘君德. 上海地名志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1998 59~ 85
- [21] 段绍伯. 上海自然环境 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1988 56~ 59.
- [22] 上海市南市区志编纂委员会. 上海市南市区志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1997 56~ 57.
- [23] 上海市闸北区志编纂委员会. 上海市闸北区志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1998 69~ 72
- [24] 上海市虹口区志编纂委员会. 上海市虹口区志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1999 87~ 89.
- [25] 上海市长宁区人民政府. 上海市长宁区地名志 [M]. 上海: 学林出版社, 1988 186~ 189
- [26] 上海市普陀区人民政府. 普陀区地名志 [M]. 上海: 学林出版社, 1988 236~ 257.
- [27] 上海市杨浦区人民政府. 上海市杨浦区地名志 [M]. 上海: 学林出版社, 1989 247~ 263
- [28] 上海市卢湾区人民政府. 上海市卢湾区地名志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1990 204~ 210
- [29] 上海市静安区人民政府. 上海市静安区地名志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1988 265~ 280
- [30] 上海市徐汇区人民政府. 上海市徐汇区地名志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1989 329~ 337
- [31] 上海市黄浦区人民政府. 上海市黄浦区地名志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1989 477~ 491
- [32] 王腊春, 许有鹏, 周寅康, 等. 太湖水网地区河网调蓄能力分析 [J]. *南京大学学报(自然科学)*, 1999 **35**(6): 712~ 718

Variation of River System in Center District of Shanghai and Its Impact Factors During the Last One Hundred Years

CHENG Jiang YANG Kai ZHAO Jun YUAN Wen, WU Jian-Ping

(Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, School of Resources and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract Based on the data of disappeared rivers from 1860 to 2003 in center district of Shanghai, the variation of river system and its environmental impact were analyzed. The research results showed that: (1) Over 260 rivers with a length about 470 km disappeared in center district of Shanghai during the past 140 years. The water area and water surface ratio reduced 9.42 km² and 3.25%, respectively. The structure of river system was destroyed greatly. High-urbanization lessened the branching ratio, which led to an abnormal fractal dimension. (2) The rivers in the center district centralizedly disappeared during several phases. The reasons for river disappearing were altered in different times. From 1860 to 1949, the reasons included roads building, natural oblivion, concession expansion and residence zone building. From 1949 to 2003, those were city planning construction and residence zone building. (3) At a rough estimate, from 1860 to 2003, the substantive disappeared rivers caused the total river storage capacity and per area river storage capacity reduce about $20.92 \times 10^6 \text{ m}^3$ and $50.6 \times 10^3 \text{ m}^3 / \text{km}^2$, respectively. Now, the total river storage capacity reduced near 80% compare with that of 140 years ago, so the ability of storage capacity was greatly weakened in the center district of Shanghai. The number of cumulative built municipal pumping stations was significantly positively related with cumulative number, cumulative length and cumulative storage capacity of disappeared rivers from the 1950s to the 1990s.

Key words river system; storage capacity; stream structure; urbanization; Shanghai