

苏州古城区水系演变规律及水动力改善研究

石 莎^{1,2} 范子武³ 乌景秀³

(1. 江西省水工程安全与水资源高效利用中心, 江西 南昌 330099; 2. 南昌工程学院 水利与生态工程学院, 江西 南昌 330099; 3. 南京水利科学研究院 水工水力学研究所, 江苏 南京 210019)

摘要: 苏州古城区水系是历代人工开凿, 并且保存较为完整的历史文化遗产。以苏州古城区水系的产生、发展、破坏和恢复为主线, 探讨了其水系演变规律及结构特征。结果表明: ① 苏州古城区水系有别于天然河道, 具有一定规整性; ② 其水系消亡破坏过程与天然河道相同; ③ 具备平原城市河网特点, 存在一定水环境问题。进一步通过采用时空对比的研究方式, 分析了苏州古城区水源的演变和特点, 得出以下结果: ① 苏州古城区水系通江达湖, 连通性好; ② 水系水流路径由 20 世纪 80 年代的西进东出转变为北进南出; ③ 长江大通站的水位、水质和水量特征显示, 长江能为苏州古城区水系提供具有优质水势、水质和水量的高保障率水源。以上论证显示, 苏州古城区水系具备潜在的水质提升基础。

关键词: 水系演变; 水系特征; 水源特性; 苏州古城区水系

中图分类号: TV212

文献标志码: A

DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2017.09.005

1 研究背景

高速城镇化对城市水系的结构和功能产生了深远影响, 主要表现为城市水系衰减, 城市水系连通受阻等, 并且由此引发城市洪涝和水环境等问题^[1]。针对城市水系所面临的各种问题, 大部分学者研究了城镇化对城市水系结构的影响和城市水系演变特征, 主要通过时间序列水系中河流的长度、宽度、分布密度、水面率、分枝比、分维数、连通性、水系复杂度和水系结构稳定性等特征进行量化处理, 寻求演变规律, 从而研究城镇化对城市水系结构及连通性的影响^[1-5]、城市水系结构分级方法^[6]、城市水系的时空变化规律^[7-8]以及不同功能区河网变化分异特征及驱动因子^[8]等。此外, 倪九派等采用基于水系改进的高分辨率 DEM 和 arcGIS 中水文分析模块分析了水系结构特征^[9]; 姚仕明等通过分流分沙规律研究了荆南水系衰退机理^[10]; 张健枫等采用地理信息系统研究了地貌特征和水系结构对生态系统的影响^[11]; 严春军等以城市化对上海浦东新区水系的影响为研究契机, 探讨了水系演变规律及其对城市化响应的规律^[12]; 云焯等采用 GIS 和空间

分析技术研究了上海中心城区水系的演变过程及环境效应^[13]。

然而, 以上研究对象主要为自然形成并随环境变化而演变的城市水系, 有别于苏州古城区的人造水系。部分学者针对苏州古城区特有的人造水系特点, 探讨了调引太湖水改善苏州市水动力条件的可行性方案^[14-15]。但是随着苏州古城区水位与太湖相对水位的变化, 太湖水作为改善苏州古城区水动力条件的水源的保证率越来越低。因此, 本文拟参考各种应用于城市水系结构特征及演变规律的研究方法, 对独具特色的苏州古城区水系进行深入研究, 探讨改善苏州古城区水系水动力条件的潜在基础, 为苏州古城区水系的水质提升提供科学参考依据。

2 苏州古城区水系演变规律探讨

2.1 苏州古城区水系的形成

公元前 514 年, 苏州古城区水系雏形初现(见图 1) 苏州城共设有 4 个水门: 平门、娄门、蛇门、阊门。初期所开辟的古城区主要水道纵向连通了平门和蛇门, 横向连通了阊门和娄门, 为便于引水入城和排水,

收稿日期: 2016 - 09 - 25

作者简介: 石 莎, 女, 讲师, 博士, 主要从事水资源方面的研究工作。E-mail: shisha2005@qq.com

出城城门根据城外河流水势而设,位置并不完全对称。楚时,春申君对苏州古城区进行了稍许改造,封闭了胥门,在城东南增设葑门,同时在城内增辟许多纵横小河以蓄存暴雨积水。唐朝,随着江南运河的修建,水网更加通畅。至宋朝,以河道为骨干,水系为脉络,街巷相依的水陆双棋盘格局更加完善;此时,古城区内河道密布,交织成网,且以聚居区最为密集。元初,意大利人马可波罗称苏州古城为“东方威尼斯”。明代,苏州古城成为全国工商业重地,随之而来的人口集聚和空间需求,使古城区内的河道也进入了新的建设时期,至明末,苏州古城水系发展达到鼎盛时期。

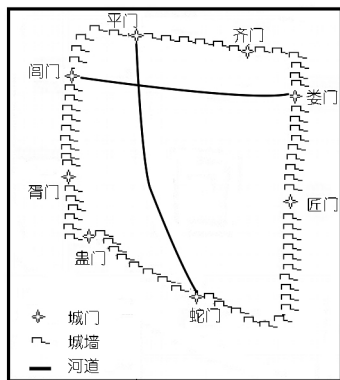


图1 苏州古城区锥形平面示意

历史上许多城镇都是结合天然河湖水系形成的,苏州古城区水系有别于其他城市水系,因为古城区水系建设与城市建设是同时进行的,城内河流基本由人工开凿而来,因此陆路与水路均具有一定的规整性。其次,古城区水系基本根据生产生活需要而开辟,通过与古城区内居民生产生活的长期磨合,越来越完善并且稳定,具有较强的生命力。更重要的是,古城区内人工开凿的水道与城外的天然江湖水系自然相连通,通过闸门控制,起到“阻洪引活”的效果。

宋以后至解放前,苏州古城水系的主要吞吐口各为两个:①两进。西北引枫江运河水入阊门进入第一横河,西南经胥江引太湖水入盘门进入第一直河。②两出。东北第一横河出娄门入娄江,东南第三横河出葑门分流娄江和吴淞江。齐门的水门起沟通内外的调节作用,不作为主要吞吐口。

2.2 苏州古城区水系的破坏

清代以来,苏州古城区水系进入衰落阶段。清代河道消失长度达23.83 km,数量达47条(段)之多;民国时期,河道消失长度达6.67 km;解放后,河道填埋消失多达23条(段),共16.32 km^[15]。通过分析发现,人口剧增,人居占用河道作为生存空间成为河道填埋消失的一个重要原因。此外,明中期以后,苏州成为全国重要工商业重地,公共空间开始被侵占用于个人

谋利,如侵占街道、填埋河道用以建设商铺等;而缺乏科学管理的河道遭受自然淤塞和人为填塞也是河道遭受破坏的一个重要原因。由于第2直河被逐步填埋,古城区河道由原来的三横四直主干河道发展为今天的三横三直主干河道体系。

2.3 苏州古城区水系的现状

2.3.1 苏州古城区水系结构

苏州古城区现有河道总长34.72 km,其中包括“三直三横”骨干河道和阊门支流、平江水系、南园水系、其他内部河道等支河道。古城区河道的现状如图2所示。“三直”是指南北向的骨干河道,包括:学士河、临顿河-齐门河、平江河,总长约18.00 km。“三横”是指苏州古城区内东西方向的骨干河道,分别为桃花坞河-东西北街河、干将河、府前河。古城区内支河道包括:①阊门支流,包括阊门内城河、仓桥浜、平门小河、中市河,共计长2.92 km;②平江水系,包括北园河、麒麟河、胡相思河、柳枝河、新桥河、悬桥河、娄门内城河,计长4.08 km;③南园水系,包括盘门内城河、竹辉河、薛家河、苗家河、羊王庙河、南园河、葑门内城河、沧浪亭河;④其他内部河道,如东园内城河、传芳河、盘门放生池、苏大内城河。

2.3.2 苏州古城区水系特点

苏州位于太湖出水口要冲的湖东洼地,是典型的平原水网地区,一般高程仅3.5~5.0 m左右(吴淞高程,下同),低洼处低于3.5 m。苏州古城区位于这一地区的中心,一般地面高程多在3.5 m左右,河流坡降平缓,仅为万分之一,河网流向不定。苏州古城区内平均每年有2~3场暴雨,而且多集中于6~9月。汛期,雨量充沛,多年平均年降雨在1100 mm左右,易涝易渍,因此,苏州古城区通过修建闸泵形成了防洪圈以确保防汛排涝安全。非汛期,苏州古城区内水源量不足时,河道水流十分缓慢,一般在0.01 m/s以下,有时甚至滞流,因此,确保苏州古城区河网水源量充足是改善其水动力条件的基础。

3 苏州古城区水源探讨

3.1 苏州古城区水源演变特点

苏州市区位于太湖流域阳澄淀泖区西部,是太湖的下游区之一,京杭运河横跨苏州,周边有常浒河、白茆塘、七浦塘、杨林塘、浏河、西塘河、望虞河、元和塘等流域性和区域性骨干河道及阳澄湖等湖泊。这些河道和湖泊是苏州古城区河道水循环系统的外围重要组成部分。大运河城区段改道后,进入环城河的水量减少,

月平均入环城河流量约 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[16] ,造成古城区水源严重不足和河道流速缓慢、滞流等问题,导致水环境急剧恶化。20世纪80年代初实测资料显示的苏州古城区河网出入流情况见图3。由图3可以看出,20世纪80年代初水流主要路径为西进东出,而苏州古城区位于太湖东部,这说明当时古城区河网主要水源为太湖水。而图4显示的水流路径变成了北与东为主要入流通道,而南与西成了主要出流通道,由此可以说明2012年古城区河网的主要水源为长江水。2013年实施苏州古城区水质提升措施之前,古城区河网主要经西塘河从望虞河引水进入环城河。西塘河引水工程始建于2002年9月,启用于2003年底,目的为改善古城区河网水环境。西塘河引水工程受太湖流域管理局统筹管理,不仅要满足太湖引水需求,还要向沿程其它地区供水,不能有效保障古城区河网水量需求。因此,单纯的西塘河引水工程无法确保改善古城区河网水环境的目的得以实现。

长江水入太湖的清水通道——望虞河东岸西塘河,引水入古城区河网。据“引江济太”水情年报及相关文献统计,2001~2011年常熟水利枢纽引长江水量及通过望亭水利枢纽入湖水量见表1。

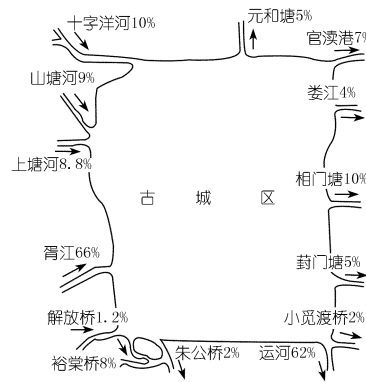


图3 20世纪80年代初古城河道进出水量分布^[16]



图2 苏州古城区水系示意

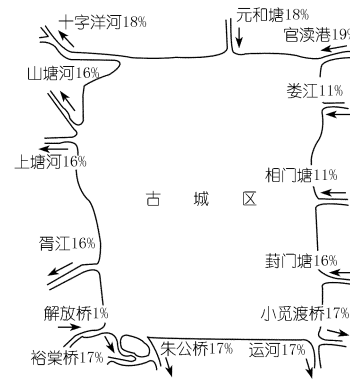


图4 2012年古城河道进出水量分布

表1 2001~2011年“引江济太”工程引排水量

年份	亿 m^3		
	常熟水利枢纽 引长江水量	望亭水利枢纽 入湖水量	望虞河沿岸 配水量
2001	14.39	-	-
2002	18.00	7.90	10.10
2003	23.38	12.10	11.28
2004	22.50	-	-
2005	9.60	1.98	7.62
2006	14.66	6.17	8.49
2007	23.30	13.10	10.20
2008	22.00	8.92	13.08
2009	12.40	4.90	7.50
2010	22.29	10.04	12.25
2011	31.80	16.10	15.70

3.2 苏州古城区水源特征分析

通过确定苏州古城区北进南出的路径,确定长江水作为苏州古城区的主要水源,那么长江水相对于苏州古城区来说是否具备其确切优势?为此,从水量和水势上进行了分析,而水质分析可参见文献[17]。

3.2.1 苏州古城区水源水量分析

长江水量丰沛,大通站实测资料分析显示,多年平均流量达 $2.87 \text{ 万 m}^3/\text{s}$,径流量达到 $9.051.60 \text{ 亿 m}^3$ ^[18]。长江水源进入苏州古城区通道之一为利用引

苏州每年4~9月,受暖湿的夏季风影响,降水多而集中,各月平均降水量为 $100 \sim 160 \text{ mm}$,6个月的降水量占全年的70%以上,这期间的降水包括初夏的梅雨和夏秋的风台风。西塘河引水工程现状引调水量约为 $28 \text{ m}^3/\text{s}$,根据苏州气候特点,6月份不需要调水,其余11个月引水量约合 8.0 亿 m^3 ,根据历年望虞河沿

程剩余分配水量,西塘河引水量占望虞河分配水量50%以上。

3.2.2 苏州古城区水源水势分析

通过对枫桥、琳桥、湘城、苏州(觅渡桥)4个代表水位站(见图5)的年内水位变化进行分析,探讨苏州古城区河网合适的水源。其中,湘城站表征长江水经七浦塘和杨林塘入阳澄湖,最后进入苏州古城区河网的水源水位。琳桥站表征长江水经“引江济太”水道,于琳桥处由西塘河引水入苏州古城区河网的水源水位。枫桥站表征太湖水入古城区的水源水位。苏州(觅渡桥)站表征苏州古城区水系的水位。



图5 水位站点示意

对4个水位站2009~2011年共计1 095 d的日均水位过程进行统计分析。水位概率累积曲线结果显示苏州古城区河网河道水位在2.80~3.20 m之间。当以水位3.00 m为标准,4个水位站中水位高于3.00 m保证率分别为:枫桥站82%、琳桥站100%、湘城站92%、苏州(觅渡桥)站70%。以各站点水位相对古城区水位状况可见,琳桥站、湘城站和枫桥站对苏州(觅渡桥)站具有一定水势优势。由此可见,苏州古城区周边河网水位基本上呈现北高南低的趋势,表明河网水流向主要为北向南流动,因此合理的入城水源路径应为北进南出,而这一结论刚好与水源演变分析结果吻合。

为了分析从长江引水至古城区的可行性,进一步对浒浦闸和望虞闸的高低潮位及湘城站和琳桥站对苏州(觅渡桥)站的相对水位特征进行统计分析。苏州(觅渡桥)水位站水位平均值3.13 m,望虞闸平均高潮位相对苏州(觅渡桥)水位站高出0.69 m,琳桥站水位平均值相对苏州(觅渡桥)站高出0.49 m,说明通过长江高潮位引长江水经“引江济太”工程进入苏州古城区有较高的保障。此外,沿江浒浦闸平均高潮位相对

苏州(觅渡桥)站高出0.65 m,湘城站水位平均值相对苏州(觅渡桥)站高出0.11 m,说明通过长江高潮位自流引丰沛水源进入阳澄湖具有一定的水势,通过阳澄湖引水入古城区能有效缓解“引江济太”工程对苏州古城区分水不足的矛盾。

4 结论

通过对苏州古城区水系演变规律、结构特点和水流特点分析,得出苏州古城区水系这一人造水系在城市化进程中的特点:①水系根据城市规划而人工开凿,具有一定的规整性;②在历史发展过程中,苏州古城区水系,存在同天然水系相同的消亡规律;③位居平原河网中心区的苏州古城区水系,具备平原河网一切特点,水动力条件差;加之其与城市发展息息相关,存在一定的水环境问题。

为了论证苏州古城区水系水质提升的水动力基础,采用时空对比研究方式对古城区水源演变及特性进行了深入探讨,获得苏州古城区水系水质提升的潜在基础:①古城区地理位置特殊,通江临湖,水系连通性好;②其水源入城路径由西进东出转变为北进南出,主要水源由太湖水转变为长江水;③长江高潮位高出苏州古城区水系达0.65 m,具备一定的自流保障率;且长江水量充沛,除经由“引江济太”工程引调水入苏州古城区河网,还可开辟沿阳澄湖水道为苏州古城区水系水源提供保障。

分析可知,苏州古城区水源的水量、水势和水质都具备一定的保障,笔者仍将进一步研究苏州古城区水系水质提升前提下水量分配的最优方案。

参考文献:

- [1] 韩龙飞,许有鹏,邵玉龙,等.城市化对水系结构及其连通性的影响——以秦淮河中、下游为例[J].湖泊科学,2013,25(3):335-341.
- [2] 茹彪,陈星,张其成,等.平原河网区水系结构连通性评价[J].水电能源科学,2013,31(5):9-12.
- [3] 孟祥永,陈星,陈栋一,等.城市水系连通性评价体系研究[J].河海大学学报:自然科学版,2014,42(1):24-28.
- [4] 孟慧芳,许有鹏,徐光来,等.平原河网区河流连通性评价研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(5):626-631.
- [5] 黄奕龙,王仰麟,刘珍环,等.快速城市化地区水系结构变化特征——以深圳市为例[J].地理研究,2008,27(5):1212-1220.
- [6] 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.
- [7] 徐慧,杨妹君.太湖平原圩区河网演变模式探析[J].水科学进展,2013,24(3):366-371.
- [8] 徐佳莹,袁铭皎,寿凯莉,等.上海宝山快速城市化进程对河网演变影响分析[J].环境科学与技术,2013,36(4):79-83.
- [9] 倪九派,高明,魏朝富,等.基于水系改进高分辨率DEM的流域水系结构特征分析[J].西南大学学报:自然科学版,2010,32(7):

- 71 - 77.
- [10] 姚仕明, 张玉琴, 王兴奎. 荆南河网衰退机理研究[J]. 水力发电学报, 2008, 27(4): 54 - 59.
- [11] 张健枫, 伍永秋, 潘美慧, 等. 东江上游地貌特征与水系结构关系分析[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 496 - 504.
- [12] 严春军, 杨大庆. 上海市河网水系演变特征及对城市化过程的响应[J]. 人民长江, 2014, 45(11): 40 - 43.
- [13] 云焯, 程薇, 吴健平. 上海市中心城区近百年来水系演变研究[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2009(6): 119 - 127.
- [14] 周小东, 孙福林. 苏州古城引水研究[J]. 苏州城建环保学院院报, 1998, 11(1): 13 - 19.
- [15] 梅新敏, 阮晓红, 张兰芳, 等. 调引太湖水改善苏州市水动力条件研究[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(1): 60 - 62.
- [16] 陈泳. 苏州古城水系的更新与发扬[D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [17] 石莎, 范子武, 王莹莹. 基于无量纲法的苏州古城河网水质分析[J]. 人民长江, 2014, 45(17): 10 - 13.
- [18] 刘振胜, 李英, 黄薇, 等. 长江下游干流枯季水量分配方案研究[J]. 人民长江, 2005, 36(10): 15 - 17.

(编辑: 常汉生)

Study on structure and evolution of river network in Suzhou Ancient City

SHI Sha^{1,2}, FAN Ziwu³, WU Jingxiu³

(1. Jiangxi Engineering Research Center of Water Engineering Safety and Resources Efficient Utilization, Nanchang 330099, China; 2. School of Water Conservancy and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China; 3. Hydraulic Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210019, China)

Abstract: The river network of Suzhou Ancient City, which was excavated, planned and developed by manual labor in past dynasties, is a well protected historical and cultural heritage. In this paper, the evolution law and structure feature of the river network are discussed in terms of generation, development, damage and recovery. The research concludes that the channel structure is different from natural rivers for its regularity but the damage features are the same; the river network of Suzhou Ancient City has the same characteristics with the river network in plain city. Further the water source characteristics of Suzhou Ancient City is analyzed by comparing its temporal and spatial changes. The geographic position of Suzhou Ancient City has advantageous connectivity to the Taihu Lake and the Yangtze River. The flow paths of the river system have changed from western flow - in and eastward flow - out to northern flow - in and southward flow - out. The water level, quality and quantity at Datong hydrological station on the Yangtze River shows that the Yangtze River can provide excellent water source for Suzhou Ancient City. The river network of Suzhou Ancient City possesses the potential capacity of water environment improvement.

Key words: evolution of river network; features of river network; characteristics of water source; river network of Suzhou Ancient City

· 简 讯 ·

国家防总进一步安排部署水库安全度汛工作

4月26日,国家防总召开2017年全国水库安全度汛视频会议,深入贯彻落实国家防总第一次全体会和汪洋副总理讲话精神,总结去年水库安全度汛工作,分析研判今年水库安全度汛形势,进一步安排部署水库安全度汛工作。国家防总副总指挥、水利部部长陈雷出席会议并讲话。会议充分肯定了2016年全国水库安全度汛工作成绩。

陈雷指出,受全球气候变化影响,近年来我国极端天气事件多发重发,多地雨量雨强突破历史极值。据气象水文部门预测,今年汛期我国气候状况总体偏差,长江、珠江、淮河等流域可能发生较重汛情,登陆台风强度偏强。我国水库众多,工况复杂,不少水库除险加固后未经过洪水考验,大量小型水库自动监测和预警发布设施不健全,应急处置水平偏低,水库安全度汛形势十分严峻。

陈雷强调,2017年是党的十九大召开之年,是实施“十三五”规划的重要一年,是供给侧结构性改革的深化之年,做好水库安全度汛工作具有特殊重要意义。必须牢固树立“两个坚

持、三个转变”的防灾减灾新理念,立足于防大汛、抗大洪、防强台、抢大险,从最不利情况出发,提早安排、超前准备、强化责任、落实措施,确保大型和重点中型水库不垮坝,一般中型和小型水库遇设计标准内洪水不垮坝,确保水库上下游地区人民生命安全,努力实现防洪、供水、发电、生态等多目标共赢。

一要加强组织领导和汛前培训,层层压实防汛责任。二要加快隐患排查和水毁修复,全面做好度汛准备。三要强化应急值守和监测预警,牢牢把握防汛主动权。四要突出统筹兼顾和联合调度,充分发挥减灾效益。五要抓实巡坝查险和应急抢险,有效应对突发险情。六要做好人员转移和避险管理,全力保障生命安全。七要狠抓除险加固和运行管护,切实提高防洪能力。八要重视信息报送和宣传引导,积极营造良好氛围。一旦发生险情,要及时准确报送、发布相关信息。要强化舆情监测和引导,积极回应社会关切,主动引导舆论,努力营造良好社会氛围。

(长江)