

太湖流域平原城市洪涝防治思路

张耀华¹, 孙雯², 朱喜³, 王震¹

(1. 无锡市水资源管理处, 江苏 无锡 214031; 2. 无锡市驷山防洪工程管理处, 江苏 无锡 214071;
3. 无锡市水利局, 江苏 无锡 214031)

摘要: 通过调查分析太湖流域发达的社会经济和城市洪涝灾害的状况及无锡市建设全封闭控制圈消除城市洪涝的情况, 提出防治城市洪涝总体思路, 并介绍了无锡市控制圈城市洪涝的成功经验。

关键词: 太湖流域; 城市洪涝; 防治; 无锡市; 控制圈; 成功经验; 推广

中图分类号: TV882.9 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 01-0056-05

1 太湖流域概况

太湖流域位于长江三角洲, 地跨江苏、浙江、上海和安徽三省一市, 总面积 36895 km², 为全国国土面积 960 万 km² 的 0.38%。流域经济繁荣、生活富裕, 素有“鱼米之乡、丝绸之府”和“上有天堂、下有苏杭”的美誉, 是中国社会经济最发达区域之一。2013 年流域总人口 5980 万人, 占全国的 4.4%; GDP57957 亿元, 占全国的 10.2%; 人均 GDP9.7 万元, 是全国的 2.3 倍; 城市化率 74%。

太湖流域为典型的平原河网地区, 平原占 75%、丘陵山区为 25%。丘陵山区主要为流域西部、西南部的宜溧山区和南部的天目山区。平原区普遍地势低洼, 为典型的平原河网地区, 河道纵横、河湖相通, 河道总长 12 万 km, 密度 3.25 km/km², 其中贯穿全流域的京杭运河江南段全长 330 km; 多年平均 (1956-2000 年) 降水量 1177 mm, 年径流量 161.5 亿 m³[1]。

太湖流域平原分布有发达的城市群。主要有上海、江苏的苏州、无锡、常州、镇江、浙江的杭州、嘉兴、湖州等 8 个特大城市或大城市。城市因太湖而生, 因太湖而兴, 因太湖而美。但大部分城市地势低洼, 易受洪涝灾害威胁。

2 流域洪涝灾害情况

历史上流域洪涝灾害多发。20 世纪发生较大水灾 13 次。其中 1931 年、1954 年、1991 年及 1999 年 4 次受灾面积分别为 39.5 万 hm²、29.3 万 hm²、41.8 万 hm²、68.7 万 hm²[2]。大洪水过境或大暴雨经常导致城市相当多区域被淹。1983-2006 年的 24 年间无锡市共有 10 年曾发生洪涝灾害。其中 1991 年发大水时, 城乡受灾面积 7 万 hm²、受灾人口 98 万、工厂受淹 7197 家、倒塌房屋 2.13 万间、居民住宅进水 30.8 万户、死伤 126 人, 当时直接经济损失 34 亿元, 间接损失 70 亿元[3]。

3 流域洪涝灾害特点

3.1 流域洪涝灾害总体日趋减轻

1991 年太湖大水后, 流域持续投入大量资金兴修水利, 从三个方面入手增加了蓄水滞水能力、排泄洪水能力、抽水排涝能力建设:

(1) 逐渐恢复河湖蓄水面积。如东太湖退渔还湖恢复 37 km² 水面积、五里湖退渔还湖恢复 2.2 km² 水面积[4]。(2) 建设“防治洪涝体系”。长江“防洪体系”, 特别是长江三峡水库建成和长江大堤高标准加固, 基本消除了长江干流的洪灾[5], 减轻了太湖流域洪涝威胁; 建设的太湖防洪工程标准参照 1954 年型洪水, 最高防洪水位 4.65 m (吴淞高程、下同), 校核水位 5 m, 另有防风浪超高 1~2

收稿日期: 2015-11-28

作者简介: 张耀华 (1982-), 男, 工程师, 主要研究水资源、水环境、水生态等。

m. 流域防治洪涝工程包括配套的闸、坝、河道、泵站、圩区及城市防治洪涝控制圈。流域城市能抵御 100 ~ 200 年一遇、农村能抵御 20 ~ 50 年一遇的洪涝灾害。流域开通了望虞河、走马塘、瓜泾口等排水河道, 加快了洪水泄流速度。(3) 各城市均制定防止洪涝灾害的预案, 大幅度减轻可能发生的超标准洪涝灾害的损失。

流域洪涝灾害防治体系基本建成, 整体防御洪涝能力增强, 但流域每普降大暴雨, 城镇看海、马路行船、公交水中行等此类城市洪涝现象几乎年年发生。其总体原因是流域蓄滞雨水能力不足和总体排涝能力明显不足。

3.2 洪涝的重点从农村转为城市

20 世纪 70 ~ 80 年代及以前, 一般认为涝即是淹了庄稼。如新华汉语词典称“涝为雨水过多而淹了庄稼, 雨太大而积在田地里的雨水^[6]”。又如中华实用水利大词典称“涝即地面积水、作物受淹的现象”“涝灾是由于本地降水过多过大, 大量地面径流得不到及时渲泄, 致使农田被淹造成的灾害^[7]”。现代城市是社会经济发展的中心, 城市被淹将遭受重大损失。所以, 洪涝防治的重点从农村转为城镇, 但也不应放松农村洪涝防治。

3.3 防治洪涝的河道标准大幅度高于雨水管网标准

流域大部分城市和乡镇的河道均能满足 50 ~ 200 年一遇的标准, 但相当多城镇的雨水管网仅能满足 1 ~ 5 年一遇的降雨标准。两者之间差距较大, 极不匹配, 故难以消除城镇洪涝灾害。

3.4 圩区排涝能力增加导致骨干河道汛期水位大幅度抬高

农村社会经济日益发展, 为确保不被水淹, 使得农村防治洪涝标准不断提高、圩区排涝能力加大, 流域河道水位整体抬高。如 2015 年 6 月 15 ~ 17 日, 流域普降 250 ~ 300 mm 的大暴雨, 导致京杭运河江南段水位全线超出历史最高水位 30 ~ 40 cm 甚至更多, 运河水倒灌致两岸道路和居民区被淹。

4 城市洪涝灾害原因

洪水一般指上游大量来水, 涝水则为本区域降雨或上游来水积存于洼地, 洪涝严重并危害城市安全者即为城市洪涝灾害。洪涝两者有时可分, 有时难分, 有时互转换, 洪水入洼地即为涝, 涝水大量排出可为下游的洪水。

(1) 外来洪水包括暴雨、风暴潮、圩堤溃坝等洪水进入城市低洼区域形成城市洪涝。城市区域汛期的梅雨、台风暴雨、雷暴雨等大量降雨形成城市洪涝。外来洪水过境与城市大暴雨两者同时发生, 则加重城市洪涝。

(2) 流域及城市蓄水能力减小。围垦湖泊、填塞河道等造成蓄水面积减小, 如太湖历年围垦 200 km² 多, 增加城市洪涝威胁; 太湖周边城市相当多的河道被填塞, 如无锡市 4 km² 老城区的 10 多条河道在城市建设中全部填塞。

(3) 流域及城市径流系数增加和汇水速度加快。由于城市化率不断提高, 城市村镇规模扩大, 硬质地面增多、地面径流增加。

(4) 流域整体排涝能力不足。河道泄流截面积减少, 甚至出现河道填塞、河道中建违章建筑等现象。如太湖的出流河道在 20 世纪 70-80 年代大部分被堵塞, 太湖之水难以顺畅出流, 以致加重了 1991 年太湖大水对城乡的洪涝危害, 使相当多城市村镇和圩区被淹。

(5) 圩区排涝能力增加, 河道水位提高。流域的圩区面积有 1.2 万 km²^[2], 占流域面积 1/3, 若梅雨季节日降雨 200 mm, 则全部圩区估计最少要排出 13.2 亿 m³ 水量, 抬高城市河道和流域河网整体水位, 增加城市洪涝威胁。

(6) 城市雨水管网泄水不畅。城市雨水管网的窨井少及窨井盖透水率低, 加上雨水管及窨井盖透水孔堵塞等情况造成马路雨水来不及排水; 雨水管设计管径偏小、水力坡降小及河道水位抬高等因素造成管网泄水不畅或造成河水倒灌。这是造成相当多的城市区域在 1 小时降雨 30 ~ 40 mm/h 的情况下就会被淹受灾的主要原因。

(7) 城市地面地势低洼易受洪涝威胁。如位于京杭运河常州及以下的两岸城市的地面高程一般仅为 2 ~ 6 m (吴淞高程, 下同), 若上游来洪水或本地降大暴雨就大幅度抬高河道水位, 京杭运河高水位一般可达到 4.5 ~ 5.5 m, 所以若无高标准的洪涝防治工程, 则城市极易受淹成灾。

(8) 上海、杭州等城市、区域位于东海、黄浦江、钱塘江边, 易受台风、暴雨和潮水的组合影响而受淹成灾。

5 城市洪涝防治思路

进入 21 世纪城市洪涝灾害仍然频发甚至有

时相当严重,损失重大,主要是因为防治洪涝标准偏低、抵御能力不足,防治洪涝工程不配套或管理不善等。可通过工程技术手段和提高管理水平消除洪涝灾害。

5.1 提高防治洪涝标准

以往由于历史、资金和认识等方面的原因导致防治洪涝标准偏低,大城市仅50~100年一遇、中小城市20~50年一遇,城市雨水管网防涝标准则更低,以致造成流域城市和乡镇逢大雨必淹的现象,不能满足现代城市社会经济持续发展的需求。

(1) 建议防洪标准。特大城市和大城市:200~500年一遇;中小城市100~200年一遇;村镇50~100年一遇。流域大部分是经济发达地区,淹不得,淹1天就造成重大损失。

(2) 建议防涝标准。包括城市河道和雨水管网二部分标准。标准直接以降雨量计比较科学合理。特大城市和大城市抵御降雨200~300 mm/d;中小城市150~200 mm/d;村镇100~150 mm/d。或根据城市本地以往发生的最大降雨量或可能发生的最大降雨量为基准,再加10~20%的安全系数;另外可根据具体情况确定1 h、6 h降雨的防涝标准。

(3) 若城市同时发生洪涝灾害,应兼顾洪与涝的防治标准,两者取大值。

5.2 注重防治洪涝技术集成,蓄排并重和工程管理并重

我国防治洪涝的各类单项技术均有,应总结我国及太湖流域百年洪涝灾害防治的经验教训,并根据流域的具体情况对各类单项技术进行科学的综合集成,消除城市洪涝灾害。主要是:蓄排并重,蓄包括蓄滞、拦堵洪水、雨水及退耕还林、水土保持等,排包括排水、泄水、渗水;工程和管理并重,包括高质量建工程,加强管理,科学调度,各部门密切配合,做好大暴雨预警预案。

5.3 流域城市采用合适的防治洪涝形式

城市防治洪涝形式:平原低洼河网区域主要利用全封闭控制圈,洪涝兼防;易受暴雨高水位影响的京杭运河等骨干河道主要利用堤防防洪和相关设施防涝;易受台风、暴雨和潮水组合影响的河道主要建设高标准护堤、挡墙防洪相关设施防涝;易受大暴雨影响而受淹的城市街道主要增加地表蓄水能力和排涝能力防涝,其中特大城市或可建设深隧蓄水排水防涝。

太湖流域是国家社会经济最发达的区域之一,经济资源丰富,应该充分利用此优势,认真总结经验教训,增强决策、设计人员消除城市洪涝的信心,建设高标准、长治久安的洪涝防治工程,尽早消除城市洪涝灾害。

6 建设全封闭控制圈是流域平原河网城市防治洪涝的主要途径

全封闭控制圈即是在一片低洼河网区域的外围建设由堤坝、控制水闸、泵站和相应设施组成的系列工程,洪涝兼防,既可堵住外来洪水,也可及时排泄圈内涝水。下面以无锡市2008年建成城市防治洪涝控制圈(以下简称控制圈)为例进行分析:

无锡市位于长江以南、太湖以北,面积4788 km²,平原占84%,地势低洼,河网密布,有河道5980条,河湖联通。控制圈位于无锡城市中心区,控制面积136 km²,区域人口稠密、经济繁荣。该区域是典型的低洼平原河网地区,地面高程在2.5~5 m不等;圈内河道密度大,有河道400条,水面积6.8 km²,河道成网状分布,全部河道可联通,其中有较大的河道如古运河、环城河、北梁溪河、伯渎港、九里河、北兴塘、严埭港等7条;河道水深一般在1.8~2.5 m,河底平缓;河水流向顺逆不定,流速很小,自然排泄洪涝能力小,形成逢大雨必淹、逢洪水过境必大淹的现象,损失巨大。如1991年大水灾,无锡市水灾的全部损失104亿元中有1/3在控制圈范围。

无锡市为平原河网城市,其抵御城市洪涝灾害的方法主要有2类:第一类是在每条河道两岸建设高于最大洪涝水位的永久性堤岸或直立驳岸,分别抵御各河道洪涝;第二类是建设全封闭控制圈,统一抵御一片河网范围洪涝。

第一类,须在每条河道两岸建设高标准的堤坝、挡墙或需建泵站,且工程量很大、投资多,需要管理人员和管理费用多,而建设全封闭控制圈既可有效防治洪涝,又可大幅度减少建设资金及管理费用,利于城市景观展现和市民舒展心情。

事实上,控制圈是我国传统的堵与疏相结合的防治洪涝的水利措施在现代城市的科学应用和推广。控制圈外围的控制工程系统即是挡,挡住洪水;控制圈的泵站群即是疏,抽排控制圈中的涝水。达到消除洪涝灾害的目的。

控制圈面积即与河道最高洪水位相应的地面

等高线范围。无锡依据1991年控制圈内上下游河道最高洪水位5.05~5.31 m,及控制圈内外有能够基本满足排涝、行洪要求的河道,确定控制圈面积为136 km²。在此边界上建设系列相应的闸、坝和泵站和配套工程设施。

(1) 控制圈排涝能力和泵站

①排涝能力确定。无锡市区多次日降雨量达到100~200 mm或更多。如1964年9月5日至7日的46小时降雨295 mm,城区河道水位上涨1.44 m;1991年7月1日24小时降雨227 mm;1990年8月31日24小时降雨221 mm,其中12小时降雨163 mm;1992年9月7日1小时降雨83 mm。另外无锡市所属宜兴市的一区域在1990年8月31日的1日降雨达到421 mm^[8]。以此确定控制圈日常抵御降雨228 mm/d(其中单位小时雨量83 mm/h、145 mm/6h),以降雨350 mm/d校核,计算确定控制圈排涝能力为415 m³/s(不含控制圈周边圩区直接外排流量)^[9]。单位面积的排涝能力达到3 m³/s/km²。此标准大幅度高于当时的排涝设计标准及习惯标准1 m³/s/km²。

②泵站分布。泵站分别设置在控制圈内较大的古运河、环城河、北梁溪河、伯渎港、九里河、北兴塘、严埭港等7条河道口门上,这些河道就是引水河道,基本能满足泵站引水流量的要求;泵站出水分别排入东边走马塘、南边京杭运河、西边锡澄运河、北边锡北运河等外围河道,最终排向长江、钱塘江。

③水位控制。控制圈日常控制水位为3.4 m;警戒水位为3.6 m;遇特别紧急情况的可接受的最高控制水位为3.8 m,以增加蓄水量。其中地面低于3.6 m的地区建设二级圩区。

(2) 预降水位

大暴雨来临前,预降水位50 cm。控制圈内6.8 km²水面积的河道可腾出容积340万m³,即可增加抵御暴雨能力50 mm。预降水位同时可加快城市雨水管网的出流速度,有利于消除控制圈内地面、道路被淹的可能。

(3) 控制圈建设和管理

控制圈工程经5年建设,总投资20多亿元,2007年初步建成和试运行,2008年正式运行,并设置一个管理机构“无锡市城市防洪工程管理处”。

(4) 控制圈效益

①建成控制圈后彻底改变了城市低洼地区逢

大雨必淹的状况。控制圈阻挡了外来的洪水;抽排圈内涝水降低了水位;圈内雨水管道泄流速度较快,基本消除了圈内地面、街道被淹的现象(雨水管道堵塞造成泄流不畅的情况除外)。确保了人民生活正常、经济持续发展。2007年7月4日6小时降雨量119 mm,2012年24小时降雨量209 mm,控制圈内均未受淹,安全度汛。苏南地区2015年6月15~17日38小时内普降250~300 mm大暴雨,至苏锡常及上海相当多城市区域被淹,京杭运河无锡城区最高水位达到5.18 m,超过1991年4.88 m历史最高水位30 cm,京杭运河水倒灌进两岸道路和居民区致使大范围受淹,但控制圈有效阻挡了圈外超高洪水和迅速排除圈内涝水(控制圈内38小时雨量238 mm),圈内水位保持在3.80 m以下,安全度汛。

②大幅度减少损失。控制圈2014年,常住人口125万,占全市人口的19.2%;GDP1300亿元,已为1991年的6.5倍,若目前再发生类似1991年大洪大涝水灾,则估计控制圈内要损失数230亿元。所以建成控制圈对无锡城市中心区有很大的社会经济效益。

③控制圈建设时综合考虑区域内的防洪、排水、旅游、航运、景观和水环境等因素。控制圈许多区域成为市民休闲、旅游、运动的好地方。又如控制圈全面阻止圈外被污染的河水进入,且每年调引较好的水2亿多m³入圈,相当于非汛期置换原有水体12次以上,使严重污染的河水得到相当程度改善。无锡控制圈成为全国平原城市有效防控城市洪涝的典范。

(5) 流域相应配套措施

流域各城市将建设诸多洪涝防治控制圈,如上海、常州、苏州、江阴等城市均已建控制圈,虽控制圈的总体面积较农村圩区小许多,但农村圩区和控制圈两者排水量的叠加,必然提高控制圈周围河道水位和流域河网整体水位。所以流域今后建诸多城市控制圈及保证其正常运行的关键是:必须统一制定或修订流域及区域的洪涝防治规划,使流域有相应的整体配套措施,加快“海绵城市”建设,加大城市和流域整体蓄滞水和排水能力,把控制圈周围河道水位控制在一定范围内,确保控制圈防治洪涝作用的正常发挥。

7 其它洪涝防治形式

(1) 易受暴雨高水位影响而受淹成灾的京杭运河及其联通的大中型骨干河道两侧的城市区域。主要利用堤防、挡墙高标准防洪, 利用水闸阻挡其高水位倒灌进相关的中小河道或排水管道, 利用泵站排除中小河道或排水管道的涝水。

(2) 易受台风、暴雨和潮水组合影响而受淹成灾的黄浦江、钱塘江等两侧的城市区域。主要建设高标准护堤、挡墙防洪, 利用水闸阻挡其高水位倒灌进相关的中小河道或排水管道, 利用泵站排除中小河道或排水管道的涝水。上海、杭州已成功应用此形式。

(3) 易受大暴雨影响而受淹成灾的城市街道区域。主要增加地表蓄水能力和排涝能力防涝, 其中特大城市或可建设深隧蓄水排水防涝。

8 结论

平原河网城市建设全封闭控制圈是防治洪涝的主要途径, 可有效消除洪涝灾害, 大幅度降低防治洪涝工程的建设投资和运行管理费用, 并适应现代城市环境的要求。此外, 控制圈应有相应的配

~~~~~  
(上接第 55 页)

降雨最高水位出现在丁堰站, 水位为 3.34 m, 2001 年型降雨最高水位出现在青龙港站水位为 3.17 m, 2010 年型降雨最高水位出现在海安(通)站, 水位为 3.16 m。在表 2 中第六列(外包)为各雨量站在 4 种 20 年一遇降雨中出现的最高水位。最后一列为控制水位减去最高水位, 通过该值的正负, 可以判断某站附近是否满足排涝要求, 即正为最高水位小于控制水位, 满足排涝要求, 否则不满足。从表 2 中可以得知, 在现状工况下, 共有丁堰站、小洋口闸站、遥望港闸站、通启中片、希士站、周圩港以及三余低洼区共 7 处的最高水位超过控制水位, 现状情况下不满足排涝要求。

## 3 结语

南通地区河道密布, 河网纵横交错, 建立合理的数学模型预测河道流量, 水位等水文参数, 可以为南通地区的防汛排涝、灌溉引水等工作的开展提供可靠的指导和参考意见。本文利用 MIKE 11 通过建立南通地区河网模型, 利用 2013 年 5 月至 9 月的实测降雨和潮位和排水量数据对模型进行率定, 通过 2014 年的三场实测降雨过程进行验证,

套措施才能正常或更好发挥防治城市洪涝的作用。

## 参考文献:

- [1] 王鸿涌, 张海泉, 朱喜, 匡民. 太湖蓝藻治理创新与实践 [M]. 中国水利水电出版社. 北京. 2012.1:1.
- [2] 朱喜, 胡明明, 孙阳, 等. 中国淡水湖泊蓝藻暴发治理和预防 [M]. 北京. 中国水利水电出版社. 2014.3:210.
- [3] 朱喜. 平原河网城市洪涝防控思路. 水质监测水污染防治与河湖综合治理技术专刊 [C]. 扬州. 2014.9: 40.
- [4] 朱喜, 张扬文. 五里湖水污染治理现状及继续治理对策 [J]. 水资源保护. 2009 (01) .
- [5] 《中国河湖大典》编辑委员会. 中国河湖大典长江卷(上) [M]. 北京. 中国水利水电出版社. 2010.1: 4.
- [6] 朱祖先, 任超奇. 新华汉语词典 [M]. 武汉. 湖北长江出版集团. 2007.10: 521.
- [7] 张益善. 中华实用水利大词典 [M]. 南京. 南京大学出版社. 1991.5: 789.
- [8] 朱喜. 无锡市水资源综合规划报告 [R]. 2007.8: 41.
- [9] 无锡市水利勘测设计研究院. 无锡市城市防洪规划 [R]. 2002.10.

(责任编辑: 张亚男)

验证结果表明模型参数可靠。利用验证后的模型模拟了现状河网在不同暴雨中心的 4 种 20 年一遇 3 日最大暴雨的情况下的排涝情况。可以发现南通河网多数地区已经满足 20 年一遇降雨情况下的排涝要求, 但仍然有部分地区在 20 年一遇降雨中的主干河道水位高于控制水位情况。

通过对模型的调整, 可以继续为规划拓浚河道后的排涝进行计算, 并考察拓浚程度和排涝效果的对应关系。同时, 在调整排涝口门规模后也可以得出口门规模对排涝的影响。在引水工程中同样可以利用该河网模型进行模拟。

数学模型在水利规划上的作用从而可见一斑。

## 参考文献:

- [1] Danish Hydraulic Institute(DHI). MIKE 11: A Modeling System for Rivers and Channels Reference Manual[R]. DHI. 2014.
- [2] 陶晓东等. 基于河网概化的滨海平原地区骨干河道排涝复核计算 [J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(4):22-25.
- [3] 赵凤伟. MIKE 11 HD 模型在下料和平原河网模拟计算中的应用 [J]. 水利科技与经济, 2014, 20(8): 33-35.

(责任编辑: 张亚男)