

城市健康生命维护视野下的水工程系统功能再造研究

——以济南市为例

Study on Water Engineering System Function Reconstruction in the Vision of Urban Healthy Life Maintenance: Taking Ji'nan as An Example

刘芳¹/LIU Fang, 曲延春¹/QU Yanchun, 苗旺^{2*}/MIAO Wang

(1. 山东师范大学 公共管理学院, 山东济南 250014; 2. 齐鲁工业大学 工商管理学院, 山东济南 250353)

【摘要】伴随着经济社会的发展, 我国的城市规模呈现出超常规的扩张态势, 而作为城市生命保障关键的水工程建设相对滞后, 功能缺失严重。拟从维护城市健康生命, 延长城市生命周期的视角, 用社会调查、统计分析、城市规划、经济学分析等方法, 以济南市为例, 分析了当前城市水工程系统功能的现状, 建立了城市水工程系统功能再造的效益分析模型, 进而对城市水工程系统功能再造提出了对策建议, 促使经济社会的进步与水环境及水资源承载能力相适应。

【关键词】城市健康生命; 水工程; 系统功能; 实证研究; 生态城市

【中图分类号】TU984

【文献标识码】A

【Abstract】 With the development of economic society, urban size of our country is presenting an extra ordinary expansion trend, while as the security for urban life, construction of water engineering has been lagged behind, which seriously lacks of functions. By using the methods of social investigation, statistical analysis, urban planning and economic analysis, the paper intends to take Ji'nan as an example to analyze current status of urban water engineering system functions from the perspective of maintaining urban healthy life and extending urban life cycle, establish benefit analysis model of urban water engineering system function reconstruction and propose countermeasures and suggestions for urban water engineering system function reconstruction, so that to promote the socioeconomic progress to be suited to water environment and water resource carrying capacity.

【Keywords】 Urban Healthy Life; Water Engineering; System Function; Empirical Study, Ecological City

0. 引言

城市是一个社会文明的标志, 是区域经济文化的中心, 城市作为一个生命的主体, 水工程就是一个城市的血脉。近些年, 随着城市化进程的加快, 作为城市这个生命体重要支撑的水工程建设明显滞后, 功能难以正常发挥, 致使大多数城市水安全、水保障、水生态等问题凸显出来。城市水工程的建设, 系统功能的完善和再造, 已成为理论和实践工作者都普遍关注的一个重大课题。

现有的相关研究为城市水工程系统健康功能再造提供了重要的启示。当前城市建设处在高速发展时期, 不同国家和地区政府都从引导项目建设科学化、生态化的角度积极投入其中。相关研究将当前全球范围内的水系统健康城市建设项目进行了分类^[1]。关于城市水系统工程的理念, 有学者指出目前还没有一个广为接受的单独的可持续发展水系统的概念, 但一个典型的健康水系统工程应当包含四个基本的功能, 即与自然生态相融合、经济安全、生活品质高且当权者能够负责任^[2]。研究者对新生态城市主义(New Urbanism)、精明增长(Smart Growth)和生态城市观(Eco - City)三种不同的理念进

行了区别和概括, 帮助项目的利益相关方更好地了解生态城市对水系统工程项目要求的特别之处, 即更注重生态效益^[3]。我国在2014年2月中央总结的城市建设工作要点中提到: “注重水系统工程建设, 防患于未然, 并全面推广低影响开发建设政策, 力求更快更好的探索海绵型城市的建设。”^[4]根据我国城市的水资源匮乏问题, 有关学者提出生态城市建设中的水系统工程系统是集水库、水闸(坝)、堤防、引调水工程、泵站、塘坝、窑池、拦河闸等设施于一体的综合大系统, 给出了一些有效的城市水系统工程项目方案, 并在一些城市的生态系统建设中进行试点^[5]。有专家提出要通过水系统工程把全国建设成一个绿色生态系统, 让多余的雨水在当地储蓄起来, 并加以利用^[6]。此外, “生态工程”的理论和相关措施也在很多城市建设水利项目当中得到了运用^[7], 如有学者提出水系统工程项目网络结构特征决定城市海绵体的布局、建设方法和技术手段的选择^[8]。针对规划区的雨水利用问题, 提出“生态排水+管网排水”的“海绵生态城市”水利项目规划概念^[9]。这些研究表明, 城市水工程系统的功能再造健康可持续发展, 已成为维系城市健康生命的必要条件。

1. 城市水工程系统功能现状分析

2014年底至2016年初, 作者就该项目开展了广泛深入的数据收集工作, 先后赴多个水系统工程项目现场进行了实地调研, 参与了多个城市的水行政主管部门、水系统工程管理单位、

* 通讯作者

苗旺(1982-), 男, 山东诸城人, 博士, 讲师, 研究方向: 城市规划管理。

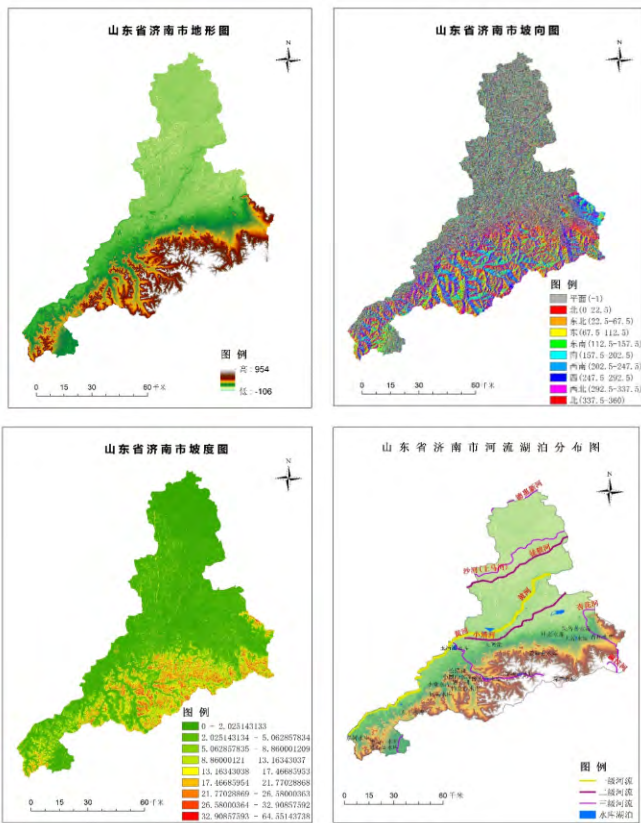


图1 山东省济南市地形与河流分布图

资料来源：笔者自绘

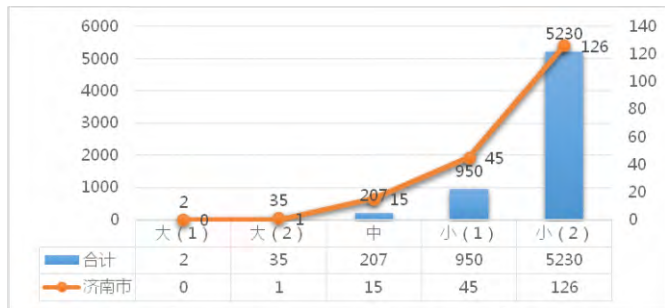


图2 水库工程的数量分布(单位:座)

资料来源：笔者自绘

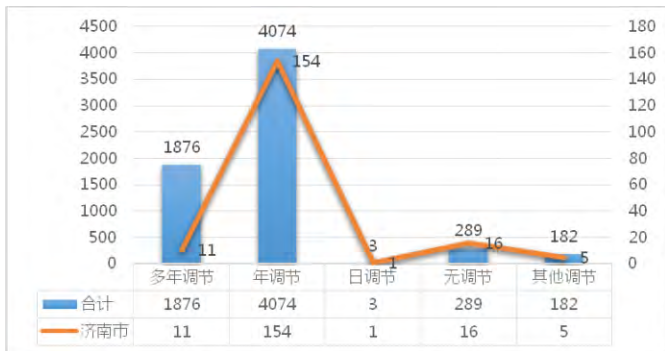


图3 水库工程的不同调节性能分布(单位:座)

资料来源：笔者自绘

涉水企业以及用水户代表参加的座谈会。在收集资料、调研访谈的基础上,以济南市作为典型城市,对水工程系统功能进行

实证分析。

1.1 济南市城市水工程的基本现状

济南城区由南向北坡度陡降,南北宽约12km,高差达130多m。济南主城区东西长约30km,呈带状分布,地势平缓(图1)。济南的地形可分为三带:北部临黄带,中部山前带,南部丘陵山区带,济南城区是典型的坡地与平原复合型城市。济南的地貌由北向南分为堆积平原区、剥蚀堆积区和构造剥蚀区。

济南市的河湖水系主要包括黄河、小清河以及各类湖泊。黄河是济南的饮用水源地。济南城区地势南高北低,平原向东北缓倾,黄河自西南向东北穿越济南市,河床高出地面,两岸形成带状洼地,黄河济南段长度172.9km。近年来,随着城市经济社会发展,黄河水已成为济南重要的饮用水水源,目前日均取水84万 m^3 。小清河是城区主泄洪河道。其发源于济南市睦里间,自西向东流,在寿光市流入渤海,全长237km,其中市区段河道长46km。小清河以南河道多为季节性山洪河道,以北河道受引黄灌溉和黄河侧渗影响,常年有水。各类湖泊具有蓄洪、蓄泉、供水、景观娱乐等多种功能。济南市湖泊主要有大明湖、芽庄湖、白云湖等,其中大明湖主要由泉水汇集而成,沿黄的山前一带,分布着众多历史上的湖沼遗迹;大型水库有卧龙山水库1座;中型水库有锦绣川水库、狼猫山水库、杜张水库、大站水库、石店水库、鬃头水库、鹊山水库、玉清湖水等。市区目前主要利用卧龙山、狼猫山、锦绣川向城区供水,设计供水规模12万 m^3/d ,另外还有长清湖、凤凰湖等部分零星分布的小湖泊等水体。

水库工程的数量分布方面,根据不同工程规模划分,济南市内,大2型水库工程1座,中型水库工程15座,小1型水库工程45座以及小2型水库工程126座(图2,其中合计指山东省合计值,下同)。不难看出,山东省与济南市内水库工程主要以小2型为主。根据水库工程的不同调节性能分类绘制图3,济南市内,多年调节的水库工程共11座,年调节的共154座,日调节的共1座,无调节的共16座,其他调节5座。可见济南市内的水库工程主要以年调节为主,这些工程以低坝型水库为主,基本都为防洪型水库,且中型水库库容较多。



图4 过闸流量 $5m^3/s$ 及以上的水闸及橡胶坝分布情况(单位:座)

资料来源：笔者自绘

济南市的水闸分布情况(图4),以过闸流量 $5m^3/s$ 及以上的水闸及橡胶坝为主,济南市水闸橡胶坝项目占山东省的5.7%,且以节制闸为主。从数量上分析,济南市堤防长度1109261m,其中包括水闸127座、管涵225座、泵站90座以及倒虹吸12座。济南设计年引水量占山东省设计年引水量总计的50%以上,说明山东省的引调水工程设计年引水量主

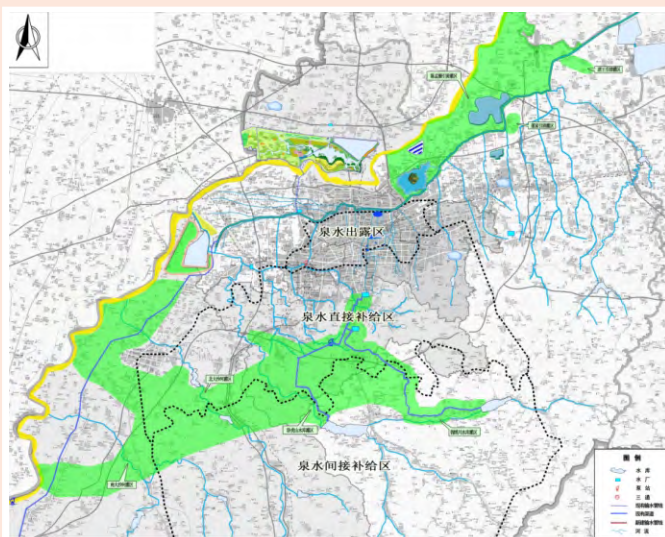


图5 济南市水生态文明城市创建规划平面布置图

资料来源：济南市水利建筑勘测设计研究院

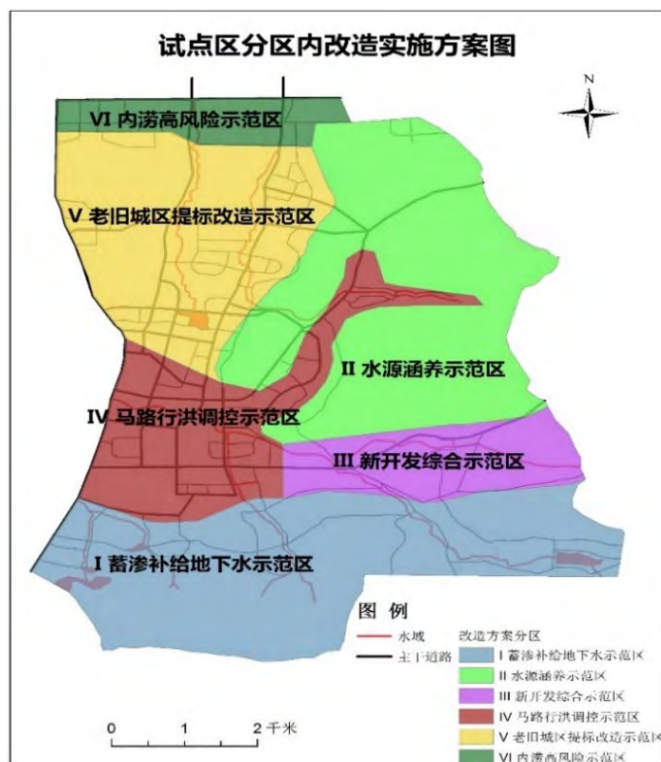


图6 济南市水系统工程健康功能再造6大示范区规划

资料来源：笔者自绘

要以济南市为主，输水干线总长度济南市也占全省的50%以上。全省85%的输水干线上建筑物都集中在济南区域。济南市泵站工程数量合计3080座，水泵数量共6952座，装机流量5995.0417m³/s，装机功率776416.91kW。济南市内泵站类型主要以供水型泵站为主。济南市500~1万m³以下规模的塘坝共733座，1万m³~5万m³规模的塘坝共461座，5万m³~10万m³规模的塘坝共174座，10万m³以上规模的塘坝共23座。能够看出，济南市内塘坝工程主要以1万m³以下规模为主。且市内塘坝工程容积主要集中于1~10万m³，塘坝工程灌溉面积较为均衡。窖池的数量分布方面，济南市总工程数量共7770座。拦河闸能力调查结果表明，济南市总设计蓄水量为5640.2万m³，其中节制闸5350.2万m³，橡胶坝290万m³。济南市工程周边水蚀面积1532.43km²，侵蚀强度以轻度和中度为主，强

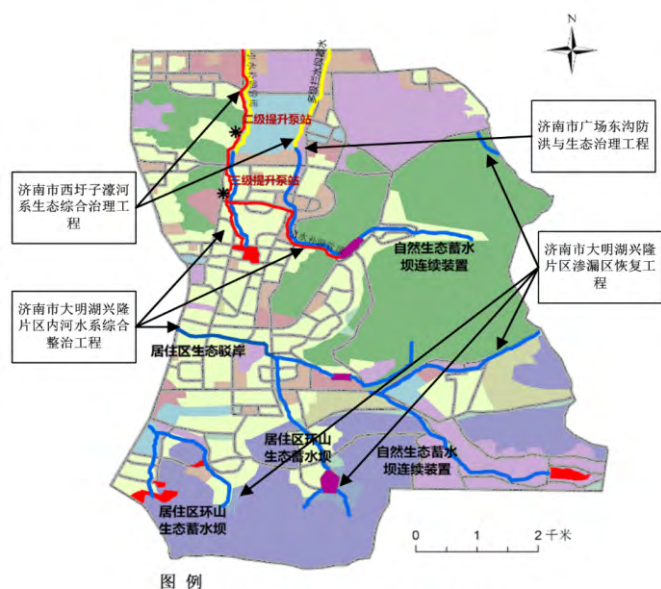


图7 济南市水系统工程健康功能再造项目规划分布图

资料来源：笔者自绘

烈及以上程度的侵蚀比例为26.7%。周边水土保持林如乔木林与灌木林等面积为82592.6hm²，小型蓄水保土工程13429个。

1.2 济南市水工程系统功能存在的隐患

济南市的地理环境和水工程的现状，存在水的系统功能严重缺失问题，突出表现在：一是南高北低的地势，加上前些年市区排洪功能的减退，地面硬化面积的增加，基本形成了小雨小灾，大雨大灾，甚至造成了2007年一次城市洪水就有近40人死亡的悲剧。二是作为著名的泉城，深受保泉所累，泉水是济南的一大特色，但由于超采地下水等原因，泉水一度停喷，保泉就成了济南市水系统工程完善的一项重中之重的使命。近十年来，为保泉建设了一系列工程，采取一系列强有力的措施，泉是在困难中保住了不停喷，但对城市的水功能发挥产生了重大的影响。如为了保泉，使泉城人只能喝黄河水，怎样处理水生态保护和供水保障的关系，始终处于两难的选择。

2. 城市水工程系统功能再造的实践探索

近年来，面对城市水问题的日益显现，各级政府都开始重视和加大了对城市水工程建设的力度，大力推进了城市供水的提升工程、水生态城市建设工程（图5）、海绵城市建设工程，等等，这方面济南市的实践也有一定的代表性。结合济南水系统工程的建设和利用情况，依托工程项目分布、控制目标、水系统工程健康可持续发展的实际需求，可把济南市水生态城市建设试点区域分为以下6个示范区（图6）。分别为蓄渗补给地下水示范区（I）、水源涵养示范区（II）、新开发综合示范区（III）、马路行洪调控示范区（IV）、老城区提标改造示范区（V）和内涝高风险控制示范区（VI），各个不同区域因地制宜的布局水系统工程健康功能再造项目（图7）。

蓄渗补给地下水示范区位于试点区域上游，绿化率较高，多为山体、新建小区和待开发区，分布多个渗漏带，山前区域具有拦蓄空间，地形地势条件优越，具备渗漏补给地下水的条件，可充分结合地形修建拦蓄坝对上游雨水径流进行蓄滞，并

可结合拦蓄水面建设调蓄公园,创建多功能景观水体,提高土地利用价值。水源涵养示范区大部分为山体,森林覆盖率高,植被覆盖较好,但坡度较大,城市化建设过程中下垫面破坏严重,雨水径流蓄渗和涵养能力较低。主要通过山体绿化、拦蓄、护坡等措施,增加水源涵养类设施的规模,同时因地制宜的修建卵石坝,降低雨水径流的速度,减少径流冲刷及水土流失,同时利用鱼鳞坑等措施调蓄雨水径流。新开发综合示范区为新建区,绿化率高,排水管网标准较高,空间条件较好,但河道挤占、填埋和淤塞严重,河道行洪能力不足,雨水收集利用率低,雨水径流污染严重。可通过地块内部低影响开发改造,结合园林绿化景观提升工程、道路改造和扩建工程、河道综合整治工程等,提高区域排水防涝能力、资源化利用水平,有效削减雨水径流的污染负荷。马路行洪调控示范区硬化面积大,南北向坡度较陡,达9%-23%。地处衔接上游区域与下游区域的关键位置,上游区域峰值流量流速大,再加上开发建设过程中对行洪河道的挤占、填埋等破坏,马路行洪问题突出。因此,该区域重点通过大排水通道的建设、区域管道及河道的整治、地面竖向的调整、泄洪通道的疏通结合各种分洪措施,从源头—中途—末端系统地解决区域的排水要求,实现区域安全的排水。老城区提标改造示范区绿地率低,建筑密度高,地势平坦,同时区域排水管网标准偏低,大多为0.5~1年一遇,积水内涝压力大。应通过源头低影响开发设施的建设提高区域排水标准,缓解面源污染,加强对源头雨水径流的回收利用,管网末端有条件的区域设置雨水塘、多功能调蓄等设施。内涝高风险控制示范区处于试点区下游,空间有限,地势平坦,低洼易涝点多,排水管线标准偏低,径流污染问题突出。适宜开展城市道路、建筑小区综合改造项目,进行低影响开发设施的建设,末端主要采用泵站、调蓄池等设施,蓄排结合,通过系统建设降低区域内涝风险。

济南市具有特殊的水文地质条件,通过透水铺装措施,可以形成:南部,通过渗、滞、蓄、净,将雨洪水存入“地下天然水库”;北部,通过涌泉释水或采水,实现“地下水银行”式的水资源“存、贷”循环;同时,过多的雨洪水通过河道汇集排入湖泊或水库,有计划调用。南部历阳河、兴济河部分河段是济南市强渗漏区,可利用雨水对岩溶地下水进行有效补给。各区的透水铺装率规划如图8所示。

通过上述工作,济南市的水工程系统功能明显提升,在2016年前期严重干旱的情况下,保证了泉水的持续喷涌,作为第一批海绵城市建设试点,已取得初步成效,作为全国第一批水生态文明城市已通过国家的初步验收。

3. 城市水工程系统功能再造的效益评估

城市水工程系统功能再造的效益分析包括城市水工程单位耗水直接附加健康功能指数、单位耗水完全附加健康功能指数和耗水收益乘数分析。

初始投入项扣除折旧部分即为当年新增附加健康功能,其中由劳动者收入、利润、税金及其他各项组成合计值为当年新创造的效益,用符号 AD_j ($j=1, \dots, n$)表示,则j工程水系统工程单位耗水直接附加健康功能指数可定义为:

$$Ad_j = \frac{AD_j}{Q_j}$$

式中: Q_j 为工程生产过程耗水, AD_j 为j工程创造出的附加健

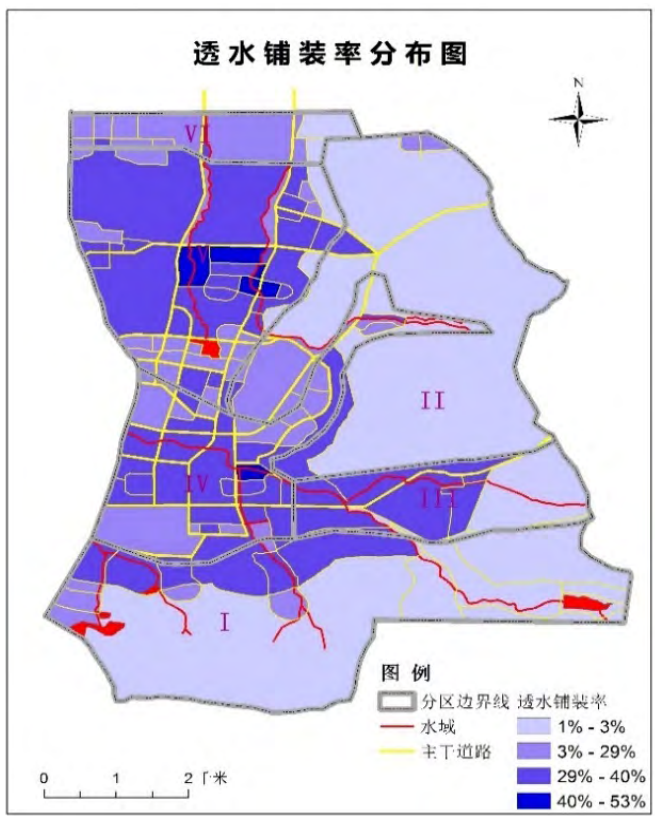


图8 济南市水系统工程健康功能再造示范区透水铺装率分布图

资料来源: 笔者自绘

康功能。

$$\text{设 } (I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

$$ad_j = \frac{AD_j}{X_j}$$

ad_j 表示从j工程单位产量所获得的收入。

$ad=(ad_1, \dots, ad_n)$

B_j 表示了j工程增加一个单位产出所引起的完全效益。因为j工程单位耗水增加产出为: X_j/Q_j , 则工程单位耗水完全附加健康功能指数为:

$$F_{qj} = \frac{X_j}{Q_j} B_j = \frac{X_j}{Q_j} \sum_{i=1}^n \left[\frac{AD_i}{X_i} b_{ij} \right]$$

其中, F_{qj} 表明单位用水用于j工程而引起整个城市水系统附加健康功能的总增加量。

耗水收益乘数可表示为:

$$F_{vj} = \frac{\text{单位耗水完全附加健康功能指数}}{\text{单位耗水直接附加健康功能指数}}$$

F_{vj} 表示第j工程增加用水而产生的单位附加健康功能所引起整个城市水系统附加健康功能的生长量, 表明第j个工程用水增加引起效益变化对整个城市水系统总效益的影响程度。

利用水工程系统功能再造投入产出模型, 输入该城市年国民经济各工程涉水数据, 可得到各行业的多项指标值, 各行业间的相关指数存在差异的情况, 意味着同样的水资源量可以产生不等的效益。这表明水具有自然资源与商品资源的双重属性, 可以进行行业间的再分配, 从而产生最大的综合效益。

4. 城市水工程系统功能再造的对策建议

通过对济南等城市水工程系统功能现状的分析,以及工作实践的调研,可以看到,城市水工程系统功能再造是一项涉及面广,投入大,提升周期长的战略性使命,需要做的工作很多。但关键的是要抓住影响城市健康生命的水安全、水保障和水生态三大功能要素。

4.1 水安全功能提升

人类自有史以来,就是依水而居,城市的设址也不例外。城市生活在有了水源便利的同时,往往也面临水安全的考量。特别是近十几年来,城市的快速发展,原有的水排泄环境被人为的改变,如河道被挤占,地面被大面积硬化,而新的防洪工程又没有及时跟进,使城市的防洪能力普遍降低,多数达不到20年一遇的标准,城市防洪成了防汛工作中的重点任务。要解决这种状况,工程措施的完善是前提。从济南等市的实践看,城市水安全工程应包括三个方面:一是城市上游的拦蓄调洪工程,通过上游水库和拦蓄工程的调节功能,在时间上调错峰;通过开挖人工河道,让洪水尽可能地避城而过,在空间上避开洪峰。二是在市区内完善各项排水工程设施,加大海绵城市建设的力度,多途径的吸纳和排泄洪水。三是城市下游加大泄洪河道的排洪能力,使城区的水泄得出、排得下。自底向上形成一个上、中、下的水安全系统,以保障城市水安全。

4.2 水供给功能提升

城市规模在急剧扩大,而原有的水源条件并无多大的改变,造成干旱和半干旱地区城市缺水是一个不争的事实。几乎每个城市都有水源供应不足的问题,不少城市是以牺牲生态和农业水源来维持城市供水的。从水源保障上看,50%以上的城市是单一水源,供水保障率低,抗风险能力差。再加上城市供水管网普遍老化陈旧,不少城市供水管网漏失率超过20%以上,造成严重的水浪费。水处理工程建设的层次也满足不了现实的需要,不少城市的饮用水达不到国家规定的标准。因此,从工程入手提升城市水保障功能更显得重要和迫切。一是要抓好水源工程的建设,积极完善区域水网,做到库河串连,水系联网,实现区域水资源的优化配置。同时,要建立城市供水的第二水源,以备应急之需。二是要完善供水管网工程,提高供水的效率和保证率。三是要提升城市供水的水处理工程,保证城市供水的质量。

4.3 水生态功能提升

城市水生态环境是一个城市的名片,是对人们生存环境评估的重要指标。近年来,不少城市开始重视了城区河道的治理,局部的水生态环境有所改善。但是与一些发达国家的城市相比,水生态环境差距还是很大的。迫切需要加大城市水环境和绿地建设的力度,提升城市健康功能,改善人们的生存和生活环境。

5. 研究结论

综上所述,水工程系统功能弱化,是影响城市健康生命的关键因素,直接影响着一个城市经济社会的发展、生态环境的改善和一个城市的社会声誉,甚至一个城市的生命周期。加快推进城市水工程系统功能的再造已是一项十分紧迫的基础性、

战略性工程,做好这项工作一定要考虑到其区域性、系统性、关联性特征,抓住水安全、水供给、水生态功能提升这三个关键要素,坚持规划先行,做到从头治理,坚持以水定城,合理确定城市规模。借助现代化理念和技术,来完善水工程系统功能的建设和管理,要广泛利用行政和经济等手段,加快推进城市水工程系统功能再造的进程,保障我国的城市快速、健康、可持续发展。

【基金项目】

国家自然科学基金项目(71572094);山东省省级水利科研项目(SDSLKY201604);山东省高校人文社科研究计划项目(J16YF13);山东省软科学研究计划重点项目(2016RZB01005)。

【参考文献】

- [1] Liu J, Zang C, Tian S, et al. Water conservancy projects in China: Achievements, challenges and way forward[J]. Global Environmental Change, 2013,23(3):633-643.
- [2] Zhu Q Y, Fang G H. Evaluation index system for positive operation of water conservancy projects[J]. Water Science and Engineering, 2009,2(4):110-117.
- [3] Palta M M, Ehrenfeld J G, Giménez D, et al. Soil texture and water retention as spatial predictors of denitrification in urban wetlands[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2016,101: 237-250.
- [4] 魏婷. 应对不同降雨的海绵城市规划方法探讨——以成都市双流县城市拓展区控制性详细规划为例[J]. 城市规划, 2016,(3):83-88,107.
- [5] Jiang S, Shen L, Zhou L. Empirical study on the contribution of infrastructure to the coordinated development between urban and rural areas: Case study on water supply projects[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011,11:1113-1118.
- [6] Pei Y, Zuo H, Luan Z, et al. Rehabilitation and improvement of Guilin urban water environment: Function-oriented management[J]. Journal of Environmental Sciences, 2013,25(7):1477-1482.
- [7] Wang T, Xu Z, Li Y, et al. Biofilm growth kinetics and nutrient (N/P) adsorption in an urban lake using reclaimed water: A quantitative baseline for ecological health assessment[J]. Ecological Indicators, 2016,71:598-607.
- [8] 陆明, 柳清. 基于 Archydro 水文分析模型的城市水生态网络识别研究——以“海绵城市”试点济南市为例[J]. 城市发展研究, 2016,23(8):26-32.
- [9] Wang Z, Deng X, Li X, et al. Impact analysis of government investment on water projects in the arid Gansu Province of China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2015,79-82:54-66.

【作者简介】

刘芳(1984-),女,山东威海人,博士,讲师,研究方向:水资源管理与城市规划。