



青年千人计划项目 (D1218006)
国家自然科学基金 (51608213)
中国城市建设技术文库

Safety Evaluation and Ecological Restoration of
Urban Water System

城市水系统 安全评价与生态修复

王宝强 陈 姚 刘合林 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

城市水系统安全评价与生态修复

王宝强 陈 姚 刘奇林 著

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

城市水系统安全评价与生态修复/王宝强,陈姚,刘合林著. —武汉:华中科技大学出版社, 2021.10

(中国城市建设技术文库)

ISBN 978-7-5680-7531-2

I. ①城… II. ①王… ②陈… ③刘… III. ①城市供水系统-安全评价 ②城市供水系统-水环境-生态恢复 IV. ①TU991 ②X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 182996 号

城市水系统安全评价与生态修复

王宝强 陈姚 刘合林 著

Chengshi Shuixitong Anquan Pingjia yu Shengtai Xiufu

策划编辑:金紫

责任编辑:陈忠

封面设计:王娜

责任校对:李弋

责任监印:朱玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:湖北新华印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:16.5

字数:249千字

版次:2021年10月第1版第1次印刷

定价:98.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

中国城市建设技术文库 丛书编委会

主 编 鲍家声
委 员 (以姓氏笔画为序)
万 敏 华中科技大学
王 林 江苏科技大学
朱育帆 清华大学
张孟喜 上海大学
胡 纹 重庆大学
顾保南 同济大学
顾馥保 郑州大学
戴文亭 吉林大学

本书得到以下基金项目资助：

青年千人计划基金项目(D1218006)、国家自然科学基金项目
(51608213,基于洪涝脆弱性评估的城市适灾弹性空间研究)。

华中科技大学出版社

作者简介 | About the Authors

王宝强

1985年生,陕西宝鸡人。获同济大学、佛罗里达大学联合培养城乡规划学博士学位。华中科技大学建筑与城市规划学院讲师、硕士生导师。主要研究方向为城乡生态环境规划、气候变化与韧性城市、城市与区域发展。近年来主持和参与研究的国家自然科学基金项目3项、省部级基金项目2项,发表中英文学术论文30余篇,参加撰写的专著与教材4本。

陈姚

1993年生,湖北松滋人。华中科技大学城市规划专业毕业,获硕士学位。主要研究方向为城乡生态环境规划、国土空间总体规划。

刘合林

1981年生,湖北咸宁人,英国剑桥大学博士,博士后。华中科技大学建筑与城市规划学院教授、博士生导师,兼任中国地理学会城市地理专业委员会委员、中国城市规划学会城市规划新技术应用学术委员会委员。主要研究方向:计算城市与区域经济、智能化规划决策支持、气候变化与低碳发展等。

前 言

城市作为人类的主要聚集地,是整个区域环境的重要组成部分,也是各种生产和生活活动频繁的地域。城市化进程的加快,导致大量人口与经济、社会活动聚集在范围相对狭小的城市区域内,对大气圈、岩石圈、水圈和生物圈整体的生态系统产生了重大的影响,环境问题随之产生,其中最为显著的就是城市水系统问题。我国城市化水平稳步提高,2019年城镇化率已突破60%。近40年城镇化快速推进的过程中,出现了许多水系统问题,集中体现在水资源过度开发,资源性缺水 and 水质性缺水严重;各类污染物大量入河,导致城市河流水体严重污染;城市洪涝灾害频发,使人们的生活、健康受到严重的威胁;水土流失、河岸植被破坏导致城市河流生态系统功能受损、服务功能退化等。

近年来我国各部委都在积极推动水系统的综合整治和保护工作。2013年起水利部大力推动水生态文明建设;2015年由财政部、住房和城乡建设部、水利部启动海绵城市试点;2015年财政部与住房和城乡建设部开展地下综合管廊试点等。在2015年的中央城市工作会议上,习近平总书记指出“要大力开展生态修复,让城市再现绿水青山”。其中城市水系统生态修复是城市生态修复的重要组成部分之一,并成为我国各个城市解决水问题的重要手段和方法。为了推动“美丽中国”建设,中共中央、国务院《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》提出,要制定并实施生态修复工作方案,有计划、有步骤地修复被破坏的山体、河流、湿地、植被。住房和城乡建设部将“城市双修”作为治理城市病、转变城市发展方式的重要抓手,推动供给侧结构性改革的重要任务,要求尊重自然生态环境规律,落实海绵城市建设理念,采取多种方式、适宜的技术,系统地修复山体、水体和废弃地,构建完整连贯的城乡绿地系统。

然而,当前城市生态修复推进的过程缺乏对城市水系统的全面认知和



系统分析,重实践而轻理论,基础理论研究相对较为薄弱;实践过程受限于部门事权,导致项目布局往往侧重于城市水系统的局部要素或者局部区域,城市水系统生态修复收效甚微。可见,准确把握城市水系统的构成及要素之间的相互关系,从城市水资源、城市水环境、城市水灾害和城市水生态四个方面探索城市水系统的构成与特征、问题与成因、安全评价与生态修复具有重要意义。基于此,本书从跨学科视角,遵循“基础解析—问题分析—模型构建—实证研究—策略提出—总结展望”的基本逻辑,采用定性与定量相结合的方法,以湖北省襄阳市为例,探讨了城市水安全评价模型理论构建、水安全问题识别实证分析、城市水系统生态修复策略等内容,旨在对我国城市水系统的安全评价模型提供创新思维,对我国城市水系统生态修复提供理论依据。

全书的主要内容包括如下各项。

①解析城市水系统的构成与特征。对城市水资源的概念及其特征进行解析,分析城市水循环与城市水文的特点,进而解析城市水系统的概念、构成、特征、要素及其关系。

②分析城市化过程中城市水系统问题。梳理我国城市化过程中出现的典型水问题,包括城市水资源匮乏、水环境污染、水灾害频发、水生态破坏、地下水危机等,以及它们的特征、成因和影响。

③构建城市水安全评价模型并进行实证分析。基于“压力-状态-响应”模型构建系统的、多目标的城市水安全评价综合模型,以此确定城市内各小流域单元的安全风险等级及关键区域,识别出影响城市“水量、水质、水患、水活力”的关键因素。以湖北省襄阳市为例,分别从区域、流域、城市中心区等空间尺度,探讨其城市水资源安全、水环境安全、水灾害安全和水生态安全问题。

④提出城市水安全导向的水系统生态修复规划策略。对城市水系统生态修复的政策背景、研究与实践、规划内容、修复技术方法进行解析,进而以襄阳市为例提出其城市水系统生态修复规划的主要对策,包括水资源保障、水环境改善、水灾害防治、水生态恢复规划等内容。

目前,我国正处于城市化和工业化的迅速发展阶段。社会经济发展对



水生态环境的影响仍将持续下去,水系统的安全也将面临各种挑战。水系统问题逐渐从区域性和局部性向整体性和全国性变化,社会经济对水系统压力负荷的空间发生转移,以至于水生态条件较好的区域出现严重恶化的危险趋势。城市水系统的生态修复是一项长期而艰巨的任务,会成为相当长一段时间内我国生态环境治理的重点领域。可以展望,未来城市水系统也将由局部生态修复走向水系统的全面综合治理,其中构建区域性的水生态文明体系、综合应用水系统修复的工程与非工程措施、开展跨学科的城市水系统安全保障研究将是新的发展领域。

本书的写作基于团队“襄阳市城市双修总体规划”项目的部分研究成果,得到了华中科技大学刘法堂老师及襄阳市城市规划设计研究院李鹏涛副院长的指导,也得到了硕士生陈娴、林彤、周昊阳、陈姿璇、李春晖、高俊阳、尹智文、刘思为、赵佩青、陈丹等同学的图表绘制帮助,在此一并表示感谢。由于笔者水平有限,加之时间限制,本书难免有诸多不妥之处,也必然存在许多可以改进的方面,敬请读者批评指正。

王宝强

2021年5月于华中科技大学

目 录

第 1 章 城市水系统的构成与特征	(1)
1.1 城市水资源及其特征	(1)
1.2 城市水循环	(4)
1.3 城市水文	(6)
1.4 城市水系统的构成与特征	(7)
1.5 城市水系统安全评价与生态修复研究结构	(14)
第 2 章 城市化过程中的城市水系统问题	(17)
2.1 城市水资源匮乏问题	(17)
2.2 城市水环境污染问题	(20)
2.3 城市水灾害频发问题	(23)
2.4 城市水生态破坏问题	(26)
2.5 城市地下水危机问题	(28)
2.6 城市水系统问题总结	(30)
第 3 章 城市水系统安全评价模型构建	(31)
3.1 城市水系统安全概念	(31)
3.2 城市水系统安全评价综合模型构建思路	(33)
3.3 城市水系统安全评价范围确定	(34)
3.4 城市水系统安全评价指标选取	(34)
3.5 城市水系统安全评价方法	(47)
3.6 城市水系统安全评价结果分析方法	(60)
3.7 城市水系统安全评价模型构建要点	(62)
第 4 章 城市水系统安全评价实证分析	(64)
4.1 襄阳城市发展概况	(64)
4.2 襄阳城市水安全评价范围及分析单元确定	(89)



4.3	襄阳城市水资源安全评价及问题识别	(95)
4.4	襄阳城市水环境安全评价及问题识别	(110)
4.5	襄阳城市水灾害安全评价及问题识别	(123)
4.6	襄阳城市水生态安全评价及问题识别	(137)
4.7	襄阳城市水系统安全评价综合结果	(153)
第5章	城市水系统生态修复规划	(155)
5.1	城市水系统生态修复的政策背景	(155)
5.2	水系统生态修复的研究与实践	(159)
5.3	城市水系统生态修复规划的内容	(161)
5.4	城市水系统生态修复技术	(163)
5.5	襄阳城市山水格局保护	(171)
5.6	襄阳城市水系统生态修复目标及空间布局	(176)
5.7	襄阳城市水系统资源保障规划	(181)
5.8	襄阳城市水系统环境改善规划	(185)
5.9	襄阳城市水系统灾害防治规划	(194)
5.10	襄阳城市水系统生态恢复规划	(200)
5.11	以绿地系统修复为核心的水源涵养规划	(206)
5.12	襄阳水系统生态修复规划要点总结	(212)
第6章	城市水系统综合防治展望	(214)
6.1	研究结论与局限	(214)
6.2	城市水系统综合防治展望	(216)
附录	评价计算数据	(220)
	参考文献	(234)

第 1 章 城市水系统的构成与特征

1.1 城市水资源及其特征

水是生命之源、生产之要、生态之基。水作为整个生物圈中最重要的物质和资源之一,维系着自然界所有动植物的生长和平衡,尤其是城市地区,其一切经济和社会活动都极大地依赖水资源。

1.1.1 城市水资源概念

各国从不同角度对水资源进行了阐述,不断加深了人类对水资源内涵的理解与认识。到目前为止,有关水资源的确切含义仍无公认的总体定义。水资源概念的发展过程及其内涵随着时代的进步具有动态性(任树海,2003)。

水资源这一名词最早(1894年)出现于美国地质调查局(USGS)设立的机构名称中,即水资源处(WRD),并延续至今,这里的水资源是指陆面地表水和地下水的总称。《大不列颠百科全书》将水资源解释为“全部自然界任何形态的水,包括气态水、液态水和固态水的总量”,含义十分广泛。1963年英国《水资源法》将水资源定义为(地球上)具有足够数量的可用水源。1988年联合国教科文组织及世界气象组织共同制定的《水资源评价活动——国家评价手册》将其定义为可供利用或可能被利用,具有足够数量和可用质量,适合当地需求、能长期供应的水源。

2002年的《中华人民共和国水法》中将水资源解释为地表水和地下水。《中国大百科全书》在不同的卷册对水资源进行了不同的解释:“大气科学·海洋科学·水文科学”卷中将水资源定义为“地球表层可供人类利用的水,包括水量(水质)、水域和水能资源”,在“水利”卷中将水资源定义为“自然界各种形态(气态、液态或固态)的天然水,并将可供人类利用的水资源作为供评价的水资源”。



综上所述,水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产活动中所需要的各种水,既包括数量和质量方面,又包括使用及经济价值方面的含义。一般认为,水资源概念有广义与狭义之分。狭义的水资源主要指目前能够被人类开发利用的淡水资源。广义是指能够直接或间接在一定经济技术条件下使用的各种水和水中物质,因此在生产生活中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源(何俊仕,2006)。

城市水资源是指一切可被城市利用的天然淡水资源和可再生利用水,它是城市形成与发展的基础,是城市供水的源泉。我国城市水资源的特点是人均占有水资源量小,水资源严重短缺,开发利用强度大,因不合理使用水资源而产生的环境问题突出。

1.1.2 城市水资源特征

水是自然界重要的组成物质,是环境中活跃的要素。水资源与自然界其他资源相比,具有以下特性:循环再生性和有限性、时空分布的不均匀性、利用的广泛性和不可替代性、利与害的两重性(林长春,2008)。

(1) 循环再生性和有限性

水资源与自然界其他资源的不同之处在于其在水文循环过程中不断地恢复和更新。因此水资源具有可恢复性,属于可再生资源,水循环过程具有无限性的特点。此外,水循环受太阳辐射、地表下垫面、人类活动等条件的制约,区域内更新的水量是有限的,且自然界中不同水体的循环周期不同,导致水资源恢复量的有限性。水资源是重要的生产、生活要素,在开发利用水资源的过程中应当注重对生态环境及水资源再生能力的保护。

(2) 时空分布的不均匀性

在自然界中水资源呈现气态、液态及固态分布在海洋、陆地的表面、地表以下的岩石和大气层内,由于其循环再生性和有限性等特性,水资源在时间及空间等方面呈现出均匀性。

在年际、年内水资源变化幅度较大,年际丰、枯水年及年内汛期、早期水资源变化差异较大,呈现出水资源时间变化的不均匀性。水资源空间变化的不均匀性表现为在地理分布上的不均匀性,全球降水及水循环能力呈现出明显的区域性差异。例如:降水量小、水循环不活跃的地区,水资源缺乏;



降水量大、水循环活跃的地区,水资源丰富。受降水等各种自然因素的影响,我国水资源的时空分布极不均匀,总体上呈现从东南向西北逐渐递减的趋势,南方水量丰沛,西北及华北干旱缺水;沿海多、内陆少;山区多、平原少。在时间分布上,我国夏季降水丰沛,冬季降水少。此外,径流量的年际变化程度与水资源量成反比,越是干旱的地区变化越大。

(3) 利用的广泛性和不可代替性

水资源作为生活、生产资料用途广泛,关系国计民生的各行各业都离不开它。根据水资源的利用方式,可将其分为消耗性用水和非消耗性用水两种类型。生活用水、农业饮水灌溉、工业生产用水及在液态产品中作为原料等都属于消耗性用水,其中可能有一部分回归到水体中,但水量已减少且水质也发生了变化;另一种水资源的使用形式为非消耗性,如养鱼、航运、水力发电等。水资源在不同用途中消耗性与非消耗性并存,且不同用水目的对水质的要求各不相同,可进行水资源一水多用,充分发挥其综合效益。因此水资源是其他任何自然资源无法替代的。

此外,水资源是自然界环境的重要组成部分,具有巨大的非经济效益,即生态环境效益。水是一切生物的命脉,具有利用的广泛性与不可替代性。随着城市化不断推进、工农业生产日益发展及人口不断增长、人民生活水平逐步提高,水资源需求量与消耗量将不断增加。水资源问题已成为当今世界普遍关注的重大问题。

(4) 利与害的两重性

由于时空分布的不均匀性,水资源具有既可造福于人类又能危害人类生存的两重性。降水及区域径流的时空差异,往往会导致洪涝、旱灾等自然灾害。水资源质、量适宜且时空分布均匀,将为区域经济发展、自然环境的良性循环和人类社会进步作出巨大贡献。水资源开发利用不当,会制约国民经济发展,破坏人类生存环境(李广贺,2002),例如垮坝事故、次生盐渍化、水质污染、地下水枯竭、地面沉降等。因此,开发利用水资源必须重视其两重性,在开发利用过程中强调合理利用、有序开发,严格遵守自然和社会经济规律,达到兴利除害的双重目的。

城市水资源由于独特的环境条件和使用功能,除具有上述水资源的基



本特征外,还具备以下特性。

①水量的有限性。随着城市人口规模的增加、经济和工业的发展、生态景观用水的需求急速增长,城市用水量节节攀升,而城市水资源可开发利用的总量是极为有限的。

②循环的系统性。城市水资源在地表、地下、大气降水的不断循环中形成了复杂的系统,不同类型的水在相互转化时,因人类活动的影响受到污染,会发生质和量的变化。城市水资源利用的各个环节相互关联,是一个不可分割的整体。

③水循环的脆弱性。在循环过程中城市水资源的水质容易受到污染物的影响,水量容易失去平衡,且地下水的平均循环时间很长,在深处蓄水层的循环时间甚至长达数千年,遭到破坏后很难恢复,常常需要付出巨大的代价。

④一定程度的可恢复性。通过人为干预、改变城市发展模式和用水机制,以及水体的自净功能,可以改善城市水资源的水质。不过这个过程需要一定的时间和代价。水量的补充依赖于自然环境中水的可循环性,应进行合理的控制,使城市水资源得到持续利用。

1.2 城市水循环

水循环是指大自然的水通过蒸发、植物蒸腾、水汽输送、降水、地表径流、下渗、地下径流等环节,在水圈、大气圈、岩石圈、生物圈中进行连续运动的过程。城市水循环是发生在城市区域内,自然水循环与社会水循环耦合构成的水循环系统,分为自然、人工、经济和社会水循环四类(徐瑾,2013)。

①自然水循环是指将大气和地下水与城市水通过水循环中的相关作用联系起来的过程,具体作用包括蒸腾、蒸发、降水、地面径流、土壤渗透等(朱坦,2003)。自然水循环主要考虑在水循环大系统中运用自然因素,包括重力、太阳辐射等。

②人工水循环由城市的给水、用水、排水和处理等部分组成,通过部分水量的消耗、污水的产生与处理等手段来实现水的循环利用。城市用水一



部分蒸发,一部分利用后变成污水,经过环境工程及生态工程处理成为回用水资源,其余部分渗滤成为地下水或者通过蒸发及降水成为城市水资源。人工水循环主要通过污水深度处理和回水循环利用对水资源、水环境作出贡献(陈康贵,2003)。

③社会水循环是人工及自然水循环建立的保障,指通过增强人的保护意识,促进水环境恢复与水循环系统完善。通过尊重水系统的自然规律,合理使用水资源,将废水净化后加以回用,促进已恶化或循环利用效率低下的城市水循环系统逐步良性运转,一定程度上增加城市水资源。在社会水循环过程中,污水处理厂起到净化城市污水、制造再生水的作用,是维持社会水循环健康发展的关键所在(张杰,2004;刘俊良,2008)。

④经济水循环是指通过产业结构调整及一系列经济杠杆,增强自然水循环,规范社会取水量、促进水污染控制技术的发展和进步,达到经济水循环的良性发展。

城市水循环系统总图见图 1-1。

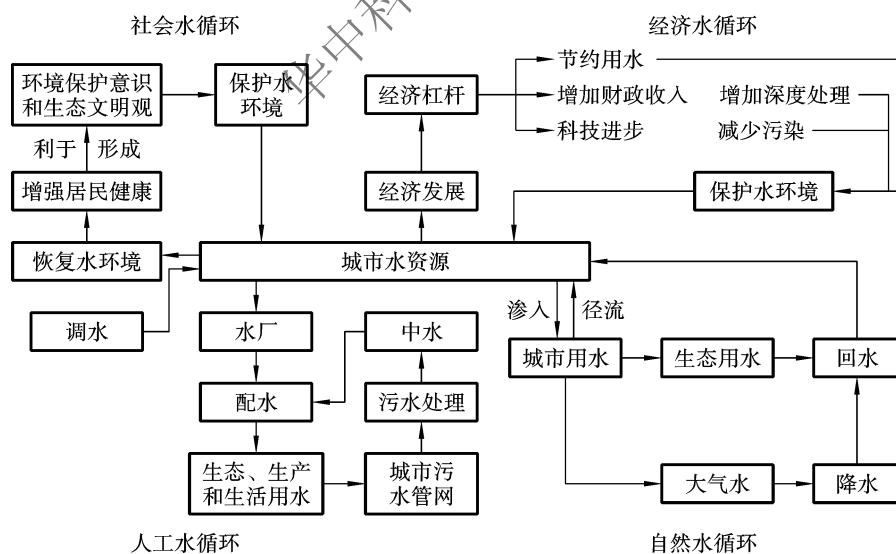


图 1-1 城市水循环系统总图

(资料来源:《基于可持续发展的城市水循环系统规划与评价研究》)



简单理解,自然水循环涉及蒸发、降水、径流、入渗四个主要环节,是发生在城市区域内的气象水文过程;社会水循环主要包括水源、供水、用水、排水四个主要环节,即城市水系或水体通过取水工程送至城市水厂,经过净化处理配送至各用水单元,使用后排放至污水处理厂,经处理达标后排入天然水体或处理成为再生水,在城市社会经济系统中完成连续循环过程(图1-2)。自然水循环及社会水循环很大程度上决定着城市区域水量平衡及水质情况。

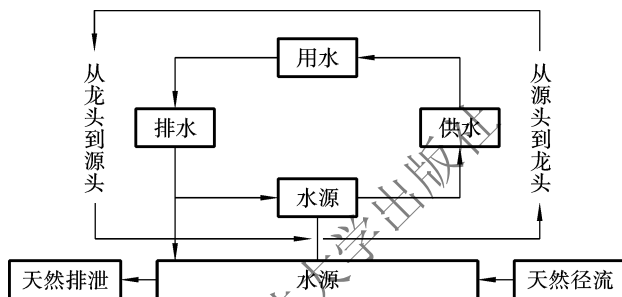


图 1-2 城市水循环概化图

1.3 城市水文

城市水文是发生在城市及其邻近地区包括水循环、水平衡、水资源、水污染在内的水的运动及其影响和作用的总状况。城市水文学主要研究发生在大中型城市环境内部和外部,受到城市化影响的水文过程,是为城市建设和改善城市居民生活环境质量提供水文依据的学科,又称都市水文学,是水文学的一个分支。城市水文学研究的基本问题是城市水文气象、城市暴雨径流和防洪、排水,城市水资源和供需平衡,以及城市水质评价和水污染控制。

城市水文与自然界的流域江河水文的主要区别如下。

①城市不透水面积比重大,径流系数明显偏高,大部分降雨直接进入排水管道或河道。地表径流又称地面径流,是指降雨中既没有被土壤吸收、也未在地表积存,向下坡流去、汇集于排水沟和小溪中的那部分水量。只有当降雨强度超过了入渗速率时,才会发生地表径流。城市不透水下垫面面积