

区域再生水资源 循环利用

主 编 黄理辉
副主编 周建仁 曹先玉
主 审 王安德

Quyu Zaishengshuiziyuan
Xunhuan Liyong

山东大学出版社

区域再生水资源循环利用

主 编 黄理辉
副主编 周建仁 曹先玉
主 审 王安德

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

区域再生水资源循环利用/黄理辉主编.

—济南:山东大学出版社,2014.12

ISBN 978-7-5607-5196-2

I. ①区… II. ①黄… III. ①再生水—循环使用
IV. ①P641.139

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 302314 号

责任策划:陈 珊

责任编辑:李 港

封面设计:张 荔

出版发行:山东大学出版社

社 址 山东省济南市山大南路 20 号

邮 编 250100

电 话 市场部(0531)88364466

经 销:山东省新华书店

印 刷:日照日报印务中心

规 格:880 毫米×1230 毫米 1/32

5 印张 133 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版

印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

定 价:12.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

序

南水北调东线工程充分利用了现有河道和湖泊输水,但现有河道和湖泊的水质都不能满足调水要求。为解决这个现实问题,山东省制定了“治、用、保”流域水污染控制技术策略,并以壮士断腕的魄力加以实施,最终取得了空前的成功,确保了南水北调东线工程提前通水。

为总结、提炼、研究和推广这个行之有效的流域治污实践,使之“由不得已而为之”的具有个性特点的现实创新工作,上升为具有普遍指导意义的共性的流域治污技术集成规范,国家“十一五”重大水专项将其列入了“南水北调东线南四湖课题研究”。区域再生水资源循环利用关键技术创新及应用,就是这个课题的重要组成部分,属于“治、用、保”流域水污染控制技术策略中“用”的环节。“用”,即在各种水污染源达到最严格的排放标准条件下,以循环经济理念为指导,因地制宜,最大限度地发挥区域再生水循环利用技术体系的指导作用,最大限度地发挥区域再生水循环利用工程截、蓄、导、用功能,最大限度地发挥综合效益,最大限度地减少区域内污染物量的排放,以实现区域或流域水环境质量目标。这个研究已经完成,并得到了广泛好评,山东省有关部门因此还联合出台了技术标准规范。



在上述工作实践和技术研究的基础上,黄理辉副教授、周建仁博士、曹先玉研究员联合编写了本书,将工作实践、技术研究上升为更加具有普遍指导意义的理论教材,以指导有关专业的学习、研讨,意义更加深远。我作为本工作、研究的组织者、参与者,因此有感而发,聊作书序。不当之处,敬请批评指正。

王波

2014年12月1日

前 言

“区域再生水资源循环利用”是与环境工程、水利工程、环境规划等相关专业有关的一门应用专业课。本书是在国家重大科技水专项“南水北调东线南四湖课题研究”(2009ZX07210-008)的基础上,结合我国特别是北方地区小流域的特点,以区域再生水资源的充分循环利用为着眼点,阐述了区域再生水循环利用边界条件统筹理论以及工程方案优化模型,并对涉及的工程设施进行了概述。本书还针对现阶段涉水工程的管理体制进行了分析,提出了相关工程联合调度的管理技术规程。

本书涉及的研究成果来自山东大学、山东省南水北调工程建设管理局、山东省水利勘测设计院、南京水科院等单位组成的科研团队。本书由山东大学黄理辉担任主编,山东省南水北调工程建设管理局周建仁、山东省水利勘测设计院曹先玉担任副主编,山东省南水北调工程建设管理局王安德担任主审。南京水科院吴时强、吴修峰以及山东大学史淑艳、金凤、薛静、刘高风、杨涛、王冰、石翠霞、周实际等参与了本书的研究或编写。

本项目在研究过程中,得到了滕州市环保局、滕州市水务局的大力支持,对此表示衷心的感谢!



本书在编写过程中,参考了历年来有关水资源计算与管理的书籍、论文以及网络材料,在此,谨向本书引用文献的各位作者表示衷心的感谢!

为尽快将科研成果应用到环境保护工作中去,所以本书编写时间仓促,加之编者水平有限,尽管付出全力,仍存不当之处,敬请各位读者批评指正,以便于我们再版时更正与完善。

编 者

2014 年 9 月

目 录

第一章 绪 论.....	(1)
第一节 区域再生水资源循环利用的意义.....	(2)
第二节 水资源的含义与特征.....	(5)
第三节 再生水资源概况	(11)
第二章 再生水资源形成及其转化关系	(21)
第一节 水资源形成及循环转化	(21)
第二节 再生水资源的循环与转化	(30)
第三章 区域水资源总量计算	(38)
第一节 降水量及径流量计算	(38)
第二节 区域再生水量计算	(40)
第三节 区域水资源总量分析与计算	(45)
第四节 水文统计方法	(50)
第四章 区域再生水水质评价与规划	(66)
第一节 区域再生水水质评价	(66)
第二节 区域再生水区划	(73)



第五章 区域再生水资源循环利用平衡分析计算与工程方案优化

..... (80)

第一节 区域再生水资源循环利用平衡分析 (81)

第二节 区域再生水资源循环利用平衡计算 (84)

第三节 区域再生水循环利用工程方案优化 (96)

第六章 区域再生水循环利用常用工程设施..... (106)

第一节 闸 坝..... (106)

第二节 提水工程..... (112)

第七章 区域再生水循环利用实例..... (116)

第一节 案例概况..... (116)

第二节 案例实施..... (118)

参考文献..... (149)

第一章 绪 论

水资源利用是当今全世界最受关注的焦点之一。水资源既是人类赖以生存的基础性资源,又是社会发展的经济性资源,同时还是支撑生态环境系统循环运转必不可少的资源。我国幅员辽阔,水资源十分丰富,水资源总量居世界第六位,但人均占有量仅约为世界人均的 $1/4$,并且地区分布不均,年内、年际变化大。大部分地区年内降水主要集中在夏秋季节,连续丰水或连续枯水较为常见。因此,如何挖掘水资源潜力、优化水资源配置,对我国的可持续发展具有十分重大的意义。

近年来,我国水污染治理取得了显著成效。城镇污水处理厂的建设 and 运行产生了大量的再生水,这些再生水虽然水质达不到饮用水的标准,但已经能满足一些行业的水质要求,所以,这部分水就变成了潜在的水资源。另外,多年的实践也证明,以流域为单元是治理水污染的有效途径。在区域内将污水处理与再生水循环利用相结合,不仅极大地降低了污水处理的难度与费用,也极大地促进了水资源的循环使用。当前,我国正在经历城镇快速化发展、工业化迅速扩增的历史阶段,水污染治理的形势依然很严峻,而且对于处于发展阶段的中国而言,水污染治理的投资和运行费用仍然是制约环境保护工作的瓶颈问题。



本书在国家重大科技水专项“南水北调东线南四湖课题研究”的基础上,结合我国特别是北方地区小流域的特点,以区域再生水资源的充分循环利用为着眼点,对区域再生水循环利用技术体系进行研究。该技术体系是指将再生水资源循环利用纳入到区域水资源的优化配置系统中,进行全局分配。其内涵是在污染治理基础上,着眼于再生水的充分利用,因地制宜,充分利用流域内季节性河流和闲置洼地;科学建设截蓄导用设施,合理规划回用工程,减少达标废水排放量;通过截蓄导用工程与人工湿地、再生水用户以及其他水利工程等的联合调度,最大限度地解决再生水产生与利用之间的时空差异,从而实现区域内水资源的优化配置。区域再生水资源的充分循环利用,不但有利于水资源的优化配置,而且通过再生水的使用,可以进一步削减污染物排放总量。另外,通过相关工程建设,充分利用低洼地,增加河道基流,为环境水生态建设提供了基础。总之,实现再生水的循环利用对缺水的北方地区具有重大的意义。

第一节 区域再生水资源循环利用的意义

一、南水北调东线山东段的应用

(一)南四湖

南四湖流域是淮河流域的重要组成部分。南四湖地处山东省西南部,由南阳、独山、昭阳、微山四个湖泊连接而成,统称“南四湖”。湖泊南北长 126km,东西宽 6~25km,面积约为 1200km^2 ,年平均储水量为 $1.606 \times 10^9 \text{m}^3$ 。南四湖承接山东、江苏、安徽、河南 4 省 32 个县市区 的来水,流域总面积为 31700km^2 。南四湖流域共有大小河流 53 条,具有防洪排涝、蓄水兴利、水产养殖、通航旅游等多种功能。南四

湖作为南水北调东线工程的重要输水通道和调蓄湖泊,其水质保障工作是确保南水北调东线输水干线水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中地表水Ⅲ类标准要求的關鍵。

(二)瓶颈问题

南四湖是南水北调东线工程调水干线重要的调蓄湖泊,因具有独特的地形特征,是调水沿线水质保障的重中之重。因为其 31700km²流域面积内的所有水污染源全部通过 53 条河流排入南四湖,即使该流域内的城市污水处理能稳定达到最为严格的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的Ⅰ级 A 标准的要求(排出水中的 COD 和氨氮浓度分别高达 50mg/L 和 5mg/L),流域内的工业点源即便能稳定达到最为严格的《山东省南水北调沿线水污染物综合排放标准》(DB 37/ 599—2006)的要求(排出水中的 COD 和氨氮浓度分别高达 60mg/L 和 10mg/L),距离南水北调东线工程要求的地表水Ⅲ类水质标准(COD 20mg/L、氨氮 1.0mg/L)仍然还有很大距离。严格达标的这部分废水仍无法直接汇入调水干线,自然条件下又没有其他任何去向,而仅依靠水污染防治又很难直接将污水治理到地表水Ⅲ类水体标准再排放。因此,必须要在治理达标的基础上再采取其他综合治理措施来满足调水水质的要求。

(三)应对措施

在国家重大科技水专项南水北调东线南四湖课题支持下,与山东省多年的社会实践相结合,针对这一客观实际和难题,从区域水资源充分循环利用角度出发,构建区域再生水资源调配与循环利用技术体系,并通过相关工程的建设与管理,最大限度地削减区域外排污染物总量,从而有力地保障调水干线水质。

(四)取得的成果

区域再生水资源调配与循环利用技术体系在山东省进行了工程



示范,实践证明该体系有如下作用:延长中水停留时间,增加净化效果,错开中水入湖时间;增加当地水资源利用量,扩大农田灌溉面积,直接减少中水排入干线的污染量(有机物含量、水温优于地下水);通过和湿地联合调度,减少拦蓄规模,控制投资,发挥人工湿地降解水中污染物、改善南水北调沿线生态环境的作用;应急调蓄,为沿线或区域事故排放的处理争取时间,将不达标废水拦蓄在支流,减少对干线的威胁。

相关工程的建设和运行还产生了如下效益:削减污染物含量,保障调水水质的环保效益;通过中水截蓄导用工程项目建设,提高河道防洪能力;配套改造和新建一批涵洞和渡槽,提高工程沿线的除涝能力;新建管道、闸坝等项目建设,增加灌溉效益;工程范围内的原有河道、洼地等建成水域景观和湿地系统,增加生态效益;结合中水截蓄导用工程,新建、改建交通桥,改善交通条件;中水截蓄导用工程将达标中水截蓄在城市河道中,提升城市景观;增加污水处理自我约束、达标排放的效益。

目前,该技术体系在南水北调东线山东段进行了推广,为调水期间调水干线的水质保障奠定了基础。

二、区域再生水资源循环利用内容

区域再生水资源循环利用主要包括绪论、再生水资源形成及其转化关系、区域水资源总量计算、区域再生水水质评价与规划、区域再生水资源循环利用平衡计算、区域再生水循环利用常用工程设施概述、区域再生水循环利用实例等内容。

第二节 水资源的含义与特征

一、水资源的含义

水资源是自然资源的一种。以不同的研究领域或不同的思考角度出发,人们对于“水资源”的定义也不尽相同。其中,《大不列颠大百科全书》、联合国教科文组织(UNESCO)、世界气象组织(WMO)、《中华人民共和国水法》《中国大百科全书》等都曾对水资源做出过各自的定义,且随着水资源研究范围的不断拓展,其概念和内涵也在不断地丰富和发展。

一般认为,水资源概念具有广义和狭义之分。广义上的水资源是指地球上的所有水体,包括海洋、湖泊、沼泽、冰川、土壤水、地下水、大气中的水分等一切水体,是地球水圈内水量的总体。狭义上的水资源是指在一定条件下、能被人类直接或间接开发利用的那一部分水体。这个定义强调其“可利用性”,这种可利用性必须符合技术上可行,经济上合理,且对生态环境可能造成的影响也是可以接受的。限于人类当前的经济技术条件,含盐量较高的海水和分布在南北两极的冰川虽然储量丰富,但目前开发利用有很大难度,而可供人类直接利用的淡水资源所占比例却很小。

二、水资源的特征

水是人类的重要资源,又是自然环境的基本要素。水作为一种资源,既具备一般资源共同的属性,又具有许多独特的属性。只有充分了解它的特性,才能合理、有效地对其进行利用。



(一)循环性和有限性

地表水和地下水不断得到大气降水的补给,开发利用后可以恢复和更新,但各种水体的补给量是不同和有限的。为了可持续供水,水的利用量不应超过补给量。水循环过程的无限性和补给量的有限性,决定了水资源在一定数量限度内才是取之不尽、用之不竭的。

(二)时空分布不均匀性

水资源在地区分布上很不均匀,年际、年内变化大。为满足各地区和各部门的用水要求,必须修建蓄水、引水、提水、水井和跨流域调水工程,对天然水资源进行时空再分配。

(三)流动性

水资源与其他固体资源的本质区别在于其所具有的流动性,它是在循环中形成的一种动态资源,具有循环流动性。水循环系统是一个庞大的天然水资源系统,处在不断开采、补给、消耗和恢复的循环之中,可以不断地供给人们利用和满足生态平衡的需要。

(四)用途广泛性

水资源既是生产资料又是生活资料,在国计民生中用途极其广泛,不仅用于农业灌溉、工业生产和城乡生活,而且还用于水力发电、航运、水产养殖、旅游娱乐等。根据水资源开发利用上的多样性和广泛性,在开发利用时,我们应该尽量一水多用,发挥水的综合效益。

(五)经济上的两重性

水的可供利用及可能引起的灾害(如由于水资源开发利用不当,造成水体污染、地面沉降等灾害),决定了水资源在经济上的两重性,既有正效益也有负效益。因此,水资源的综合开发和合理利用,应达到兴利、除害的双重目的。

(六)开发利用的整体性

地球上的所有水体是一个统一的整体,循环不已。作为一个整

体,一方面,水从上游流到下游,水资源的水量、水质或防洪、兴利等都涉及上下游、左右岸及各地区、各部门间相互影响的极为复杂的关系;另一方面,水资源又是自然环境的一部分,在长期发展过程中,与其他自然资源以及整个生态系统之间,已经形成了一个相互联系、相互影响的统一整体。因此,水资源的开发利用必须从系统论的观点,整体考虑,整体规划,合理利用。

三、全球水资源概况

地球上丰富的水,这是地球区别于其他行星的主要特征之一。地球表面约有 $3/4$ 的表面为水所覆盖,地球总水量为 $1.386 \times 10^9 \text{ km}^3$,其中淡水储量为 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$,占总储量的 2.53% 。由于开发困难或技术经济的限制,到目前为止,海水、深层地下水、冰雪固态淡水等还很少被直接利用。比较容易开发利用的、与人类生活生产关系最为密切的湖泊、河流和浅层地下淡水资源,只占淡水总储量的 0.34% ,为 $1.046 \times 10^5 \text{ km}^3$,还不到全球水总储量的万分之一。可见地球上的淡水资源并不丰富。全球各种水体储量如表 1-1 所示。

表 1-1 地球水圈的组成

水体种类	水储量		咸 水		淡 水	
	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	%	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	%	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	%
海洋水	1338000	96.538	1338000	99.041	—	—
冰川与永久积雪	24064.1	1.7362	—	—	24064.1	68.6973
地下水	23400	1.6883	12870	0.9527	10530	30.0606
永冻层中冰	300	0.0216	—	—	300	0.8564
湖泊水	176.4	0.0127	85.4	0.0063	91	0.2598



续表

水体种类	水储量		咸 水		淡 水	
	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	%	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	%	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	%
土壤水	16.5	0.0012	—	—	16.5	0.0471
大气水	12.9	0.0009	—	—	12.9	0.0368
沼泽水	11.47	0.0008	—	—	11.47	0.0327
河流水	2.12	0.0002	—	—	2.12	0.0032
生物水	1.12	0.0001	—	—	1.12	0.0032
总计	1385984.61	100	1350955.4	100	35029.21	100

由于太阳辐射、大气环流、海陆分布、地形条件和人类活动等的影响,地球上的降水、地表和地下径流都很不均匀。世界各大洲陆地年径流总量为 46850 km^3 (包括南极洲),折合径流深 314 mm 。按大洲而论,亚洲最多(14410 km^3),南美洲其次(11760 km^3),接下来分别为北美洲(8200 km^3)、非洲(4570 km^3)、欧洲(3210 km^3)、大洋洲(2090 km^3)。主要原因是各大洲承受降水的面积相差很大。

从世界各国拥有的水资源量来看,居第一位的是巴西,其次按顺序是俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚和中国,这六个国家的年径流量总共占世界年径流总量的 46% (见表 1-2)。

表 1-2 世界各主要国家径流量分布

国 家	平均年径流量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	人均淡水 ($\text{m}^3/\text{人}$)	人均径流量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	耕 地 ($\times 10^8 \text{ hm}^2$)	单位耕地面积径流量 (m^3/hm^2)
美国	29702	9270	11294	1.89	1.56990
加拿大	31220	—	105118	—	—
印度尼西亚	28113	—	14491	—	—