

◆城市水资源与水环境国家重点实验室资助

寒冷地区城市水资源承载力模型

HANLENGDIQUCHENGSHISHUI ZIYUANCHENGZAILIMOXING

“十二五”国家重点图书 市政与环境工程系列丛书

邱 微 樊庆铎 编著
袁一星 主审

哈尔滨工业大学出版社

城市水资源与水环境国家重点实验室资助

“十二五”国家重点图书·市政与环境工程系列丛书

寒冷地区城市水资源承载力模型

邱 微 樊庆铎 编著

袁一星 主审

哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书内容主要包括:第1章以可持续发展理论、水—生态环境—社会经济复合系统理论以及水资源循环机制为理论基础,分析探讨水资源承载力概念、内涵及特征;第2章结合“寒区”的地理特征,分析寒区城市水资源及水循环特点,进一步阐述寒区城市地表水及地下水资源分布状况及规律;第3章对比评价指标体系构建的常用方法,建立寒冷地区水资源承载力的评价体系;第4章阐述寒区城市水资源承载力建模的方法,包括系统动力学模型、多目标规划模型、水资源生态承载力计算模型;第5、6章及第7章分别为应用模型计算开展研究的具体案例;第8章提出寒区城市水资源可持续发展战略。

本书可供高等学校市政工程、城市水资源、环境科学与工程等专业的师生及相关科研工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

寒冷地区城市水资源承载力模型/邱微,樊庆铎编著.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013.12

ISBN 978-7-5603-4269-6

I. ①寒… II. ①邱… ②樊… III. ①城市用水—水资源—承载力—研究—黑龙江省 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 252645 号

策划编辑 贾学斌

责任编辑 李广鑫

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16 印张 16 字数 265 千字

版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4269-6

定 价 48.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

水资源是重要的基础性自然资源和战略性经济资源,也是生态环境发展的支撑性要素,具有不可替代性。水资源承载力是一个国家或地区持续发展过程中各种自然资源承载力的重要组成部分,既是水资源合理配置的基本度量,也是城市水环境对社会经济发展的支撑能力。控制水资源的开发利用不超过其承载能力和环境容量,才能实现水资源的可持续利用。研究水资源承载力是解决度量水资源可持续利用等诸多水问题的根本,对于促进有限水资源的科学管理和有效利用具有现实指导意义,为保障水资源的生态安全提供新思路。

目前针对寒冷地区水资源的特点,开展水资源承载力模型的研究比较有限,本书的出版有利于水资源承载力的模型、研究方法和案例分析等研究成果的推广,有利于定量核算水资源承载力,保护水资源的开发利用不超过其承载能力和环境容量,使经济建设与水资源保护同步进行,实现水资源与经济社会和生态环境的良性、协调发展。

本书共8章,主要包括:以可持续发展理论、水—生态环境—社会经济复合系统理论以及水资源循环机制为理论基础,分析水资源可持续利用的理论及水资源健康循环理论,构建寒冷地区城市水资源承载力的评价体系及核算模型,结合实际城市作为典型案例,定量评价寒冷地区水资源可持续利用现状,提出寒区水资源可持续发展战略。本书内容丰富、条理清晰,结合实际案例,深入浅出地讲解相关理论。书中融入了作者多年构建寒冷地区城市水资源承载力模型过程中的科研成果、实践经验与心得体会,对该

领域的研究具有一定的借鉴意义。

本书第1章由邱微撰写,第2章由王立友和邱微撰写,第3章由邱微撰写,第4章由樊庆铎和邱微撰写,第5、6章由樊庆铎撰写,第7、8章由邱微撰写。本书编写过程中还得到了马放教授的支持,以及李颖、孟繁宇、徐东川、韩文滔、赵丽智、林梅媛、李美馨等同学的帮助。在这里,向为此书付出艰辛劳动的上述人员表示衷心感谢。同时感谢城市水资源与水环境国家重点实验室的资助。

本书是集体智慧的结晶,但是由于作者水平有限,书中疏漏及不妥之处在所难免,真诚希望读者批评指正。

作者

2013年10月

目 录

第1章 概 论

1.1 水资源承载力概念、内涵及特征	1
1.1.1 水资源承载力的概念	2
1.1.2 水资源承载力的内涵	3
1.1.3 水资源承载力的特征	5
1.2 可持续发展理论	8
1.2.1 可持续发展理论的提出	8
1.2.2 可持续发展的原则及内涵	10
1.2.3 可持续发展理论的主要内容	12
1.2.4 水资源可持续利用的理论基础	15
1.3 水资源—经济—社会—环境复合系统理论	18
1.3.1 一般系统的概念	18
1.3.2 复合系统理论	20
1.4 水循环	23
1.4.1 水的自然循环、社会循环	23
1.4.2 水的健康循环	25

第2章 寒区城市水资源分布状况及规律

29

2.1 寒区的地理特征	29
2.2 寒区城市水资源及水循环特点	30
2.3 寒区城市水资源分布状况及规律	32

2.3.1 寒区城市地下水资源分布状况及规律	33
2.3.2 寒区城市地表水资源分布状况及规律	39
第3章 寒区城市水资源承载力评价体系的构建	49
3.1 水资源承载力评价指标体系的构建原则	50
3.1.1 水资源承载力评价指标体系设计的指导思想	50
3.1.2 水资源承载力评价指标体系的构建原则	52
3.2 水资源承载力评价指标体系的常用方法	56
3.2.1 层次分析法	57
3.2.2 主成分分析法	60
3.2.3 投影寻踪法	62
3.2.4 模糊综合评判法	62
3.2.5 密切值法	63
3.2.6 灰色关联理论	67
3.3 水资源承载力评价指标体系的构建	68
3.4 水环境承载力定量计算	70
第4章 寒区城市水资源承载力模型	73
4.1 系统动力学模型	73
4.1.1 系统动力学原理	75
4.1.2 系统动力学特点	78
4.1.3 系统动力学应用于水资源承载力研究的优势	79
4.1.4 系统动力学应用软件	81
4.2 多目标规划模型	82
4.2.1 多目标规划的特点	82

目 录

4.2.2 多目标规划的计算方法	83
4.3 生态承载力模型	85
4.3.1 生态足迹理论与内涵	86
4.3.2 水资源生态承载力计算模型	88
第5章 哈尔滨市水资源承载力模型案例	93
5.1 哈尔滨市水资源及水环境现状	93
5.1.1 哈尔滨市地理位置	93
5.1.2 地形地貌特征	93
5.1.3 自然资源	94
5.1.4 社会环境	95
5.2 哈尔滨市水资源概述	96
5.2.1 哈尔滨市水资源开发利用现状	98
5.2.2 哈尔滨市水环境概述	100
5.2.3 哈尔滨市污水治理现状	101
5.2.4 哈尔滨市水环境系统存在的主要问题	103
5.3 哈尔滨市水资源承载力评价指标体系的构建与定量计算	105
5.3.1 评价指标体系的构建	105
5.3.2 评价指标权重的确定	109
5.3.3 水环境承载力定量计算	110
5.4 哈尔滨市水环境承载力系统动力学模型构建与仿真	112
5.4.1 系统分析与划分	112
5.4.2 系统边界的确定	113
5.4.3 系统结构分析	114

5.4.4 模型的建立	118
5.4.5 模型参数确定	123
5.5 模型的检验	130
5.6 方案设计与模拟	132
5.7 方案模拟结果与分析	135
5.7.1 工、农业及生活用水供需差额分析	135
5.7.2 水环境承载力指数分析	137
第 6 章 大庆市水资源承载力核算案例	142
6.1 大庆市水资源特点	142
6.1.1 自然状况	143
6.1.2 地形地貌	144
6.1.3 气候气象	144
6.1.4 水文地质	144
6.1.5 水资源概况	146
6.1.6 生态环境基本特征	146
6.1.7 社会经济状况	147
6.2 大庆市水资源承载力评价指标体系	147
6.3 大庆市水资源承载力计算分析	151
6.3.1 权重的确定	152
6.3.2 指标承载度计算模型确定	157
6.3.3 大庆地区水资源承载力综合评价计算	161
6.3.4 大庆地区水资源承载力各评价指标承载度 变化趋势分析	163
6.3.5 大庆地区水资源承载力变化趋势分析	174

目 录

第 7 章 黑龙江省水资源承载力分析评价	177
7.1 研究区域概况	177
7.1.1 自然地理概况	178
7.1.2 社会经济概况	182
7.1.3 水资源特点	185
7.2 水资源承载力评价	188
7.2.1 指标赋权的定量方法	188
7.2.2 层次分析法应用于黑龙江省水资源承载力评价	189
7.3 水资源承载力综合评价指数模型	192
7.3.1 评价指标的无量纲化	192
7.3.2 黑龙江省水资源承载力综合评价指数模型 ...	195
7.4 生态足迹理论与内涵	197
7.5 水资源生态承载力计算模型	200
7.6 模型计算数据	204
7.7 计算结果与分析	206
第 8 章 寒区城市水资源可持续发展战略	211
8.1 资源性提高水资源承载力	212
8.1.1 水利工程措施	212
8.1.2 虚拟水资源	213
8.1.3 污水资源化	215
8.1.4 跨流域调水工程	219
8.2 结构性提高水资源承载力	221
8.2.1 控制人口增长	221
8.2.2 调整产业结构	222

8.2.3 重视生态环境保护	223
8.3 经济和技术性提高水资源承载力	226
8.3.1 节水	226
8.3.2 水资源统一管理	230
8.3.3 加强水资源开发利用管理的法规和宣传工作	231
参考文献	234

第 1 章 概 论

水资源是不可替代的基础性自然资源,人类的生存与发展以及生态系统的良性循环都离不开水。水资源是生态环境的控制性要素,又是战略性经济资源,是综合国力的重要组成部分之一。水资源可持续发展的战略问题是一个关系人类前途和命运的重大问题。水资源短缺已经成为制约许多国家和地区社会经济可持续发展的瓶颈问题。近年来,由于世界性用水矛盾的日益尖锐,人类对水资源的巨大需求,导致水资源危机日益突出,水资源的合理开发和科学利用表现得越来越重要。社会经济的可持续发展在很大程度上取决于水资源的可持续开发利用,如何保证水环境能够支撑生态系统的良性循环,保护水资源的可持续利用,是学术界和管理者面临的严峻挑战。

1.1 水资源承载力的概念、内涵及特征

关于水资源承载力的定义,许多学者都提出了自己的观点,但迄今仍是一个外延模糊、内涵混沌的概念,其内涵的界定尚存在一

定的分歧和不足。

1.1.1 水资源承载力的概念

水资源承载力体现了水资源不同于其他资源的特性,水资源承载力是基于可持续发展原则之下,水资源、社会、经济与生态环境应该协调发展。目前关于水资源承载力的定义多种多样,并无明确统一的定义,但其本质上基本一致。水资源承载力的定义应反映以下几方面的内容:

(1)水资源承载力的研究是在可持续发展的框架下进行的,要保证社会经济的可持续发展,从水资源的角度,就是首先保证生态环境的良性循环,实现水资源的可持续开发利用;从水资源社会经济系统各子系统关系的角度,就是水资源、社会、经济、生态环境各子系统之间应协调发展。

(2)水资源可持续开发利用模式和途径与传统的水资源开发利用方式有着本质的区别。传统的水资源开发利用方式是经济增长模式下的产物,而可持续的开发利用目标是要满足人类世代用水需要,是在保护生态环境的同时,促进经济增长和社会繁荣,而不是单纯追求经济效益。

(3)水资源承载力的研究是针对具体的区域或流域进行的,因此区域水资源系统的组成、结构及特点对承载力有很大的影响;区域水资源承载力的大小不仅与区域水资源有关,而且与所承载的社会经济系统的组成、结构、规模有关。

(4)水资源的开发利用及社会经济发展水平受历史条件的限制,对水资源承载力的研究都是在一定的发展阶段进行的。也就是说,在“不同的时间尺度”上,水资源和所承载的系统的外延和内

涵都会有不同的发展。

(5)水资源在社会经济及生态环境各部门进行合理配置和有效利用的前提下,承载的社会经济规模。

综上,水资源承载力概念可定义为:在一定的技术经济水平和社会生产条件下,遵循可持续发展的原则,维护生态环境良性循环,在水资源合理开发、优化配置的前提下,水资源系统支撑人口和社会经济发展规模的最大容量。

1.1.2 水资源承载力的内涵

1. 时空内涵

水资源承载力具有明显的时序性和空间性。从时间角度讲,不同的时期,不同的时间尺度,社会经济发展水平不同,开发利用水资源的能力不同,水资源的外延和内涵都会有不同的发展,从而相同水资源量的利用效率不同,单位水资源量的承载力亦不同;从空间角度讲,即使在同一时期,在不同的研究区域,由于其资源禀赋、经济基础、技术水平等方面的不同,相同的资源量所能承载的人口、社会经济发展规模也必定不同。

2. 社会经济内涵

水资源承载力的社会经济内涵主要体现在人类开发水资源的经济技术能力、社会各行业的用水水平、社会对水资源优化配置以及社会用水结构等方面,水资源的优化配置本身就是一种典型的社会经济活动行为。水资源承载力的最终表现为“社会与经济规模”。人类是社会的主体,人及其所处的社会体系是水资源承载的

对象,因此水资源承载力的大小是通过人口以及所对应的社会经济水平和生活水平共同体现出来的。因此,可以借助调整产业结构和提高经济技术水平等经济社会手段来进一步提高水资源承载力。

3. 持续内涵

可持续发展是水资源承载力研究的指导思想。水资源承载力表示水资源持续供给社会经济体系的能力,它要求对水资源的开发利用是可持续的,社会经济发展与水资源承载力的关系应是“以供定需”的可持续开发利用理念;其次,持续的内涵还隐含着水资源承载力是随着经济技术的发展而不断增强的,并且这种增强不以追求量的增长为目的,相反,应提倡水资源需求量零增长,甚至负增长趋势下的社会经济可持续发展,提高水资源利用的效率和效益,即内涵式增长,从而达到在保护生态环境的同时,促进经济增长和社会繁荣,保证人口、资源、环境与经济的协调发展。水资源的可持续性利用是在保护后代人具有同等发展权利的条件下,合理地开发、利用水资源。

总之,水资源承载力将定性和定量地反映一个地区水的数量、质量、不同时段、不同空间地点的供需协调的综合能力,同时反映社会可持续发展在水利行业的具体表现,即水资源可持续利用的代内和代际公平的基本思想,反映人口、资源、社会经济和生态环境的复合系统特点,水资源是对流域人口、资源、社会经济和生态环境总体上协调发展的支撑能力。

1.1.3 水资源承载力的特征

水资源社会经济系统是一个开放的系统,它与外界不断进行着物质、能量、信息的交换。同时,在其内部也始终存在着物质、能量的流动。随着人类科学技术的发展,人类社会经济活动的规模与强度明显加大,水资源系统与外界及水资源系统内部的物质、能量、信息的流动会更加强烈。因此,水资源承载力具有以下几方面的特性:

1. 客观性

水资源系统是一个开放系统,它通过与外界交换物质、能量、信息,保持着其结构和功能的相对稳定性,即在一定时期内,水资源系统在结构、功能方面不会发生质的变化。水资源承载力是水资源系统结构特征的反映,在水资源系统不发生本质变化的前提下,其在质和量这两种规定性方面是可以把握的。

2. 动态性

水资源承载力的动态性主要是由于系统结构发生变化而引起的。水资源系统结构变化,一方面与系统自身的运动有关;另一方面,更主要的是与人类所施加的作用有关。水资源系统在结构上的变化,反映到承载力上,就是水资源承载力在质和量这两种规定上的变动。水资源承载力在质的规定性上的变动表现为承载力指标体系的改变,在量的规定性上的变动表现为水资源承载力指标值大小上的改变,如水资源承载能力与具体的历史发展阶段有直接的关系,不同的发展阶段有不同的承载能力。这体现在两个方

面:一是不同的发展阶段人类开发水资源的技术手段不同,20 世纪五六十年代人们只能开采几十米深的浅层地下水,而 90 年代技术条件允许开采几千米甚至上万米深的地下水,现在认为海水淡化费用太高,但随着技术的进步,海水淡化的成本也会随之降低;二是不同的发展阶段,人类利用水资源的技术手段不同,随着节水技术的不断进步,水的重复利用率不断提高,人们利用单位水量所生产的产品也逐渐增加。

3. 有限可控性

水资源承载力具有变动性,这种变动性在一定程度上是可以由人类活动加以控制的。人类在掌握水资源系统运动变化规律和系统社会经济发展与可持续发展的辩证关系的基础上,根据生产和生活的实际需要,对水资源系统进行有目的的改造,从而使水资源承载力在质和量两方面朝着人类预定的目标变化。但是,人类对水资源系统所施加的作用必须有一定的限度,而不能无限制地奢求。因此,水资源系统的可控性是有限度的。

水资源承载力是可以增强的,其直接驱动力是人类社会对水资源需求的增加,在这种驱动力的驱使下,人们一方面拓宽水资源利用量的外延,如地下水的开采、雨水集流、海水淡化、污水处理回用等;另一方面利用水资源使用内涵的不断添加和丰富,增强了水资源承载力,如用水结构的调整和水资源的重复利用等。需水量零增长就是在水资源量不增加的情况下,水资源承载力增强的体现。

4. 模糊性和相对极限性

模糊性是指由于系统的复杂性和不确定因素的客观存在,以