



绿洲城市发展与水资源 利用模式选择

■ 唐 宏 杨德刚 乔旭宁 冉瑞平 夏富强 黄 凤 著



科学出版社

绿洲城市发展与水资源利用模式选择

唐 宏 杨德刚 乔旭宁 著
冉瑞平 夏富强 黄 凤

中国科学院知识创新工程重要方向项目 (Y00Q0600SB)

教育部人文社会科学研究青年基金项目 (13YJCZH140)

四川省农村发展研究中心

四川省社会科学高水平研究团队“四川农村资源市场化”

河南省高校科技创新人才支持计划 (教社科〔2015〕70号)

四川省哲学社会科学研究规划项目 (SC13E097、SC14C027)

共同资助

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书基于全球城市发展加快诱发的水危机、中国快速城市化面临的水问题、干旱区城市发展面临严峻的缺水挑战等大背景,运用遥感与GIS、社会调查、数理统计等多种方法,提出了城市发展与水资源利用相互关系的研究框架,分析了绿洲城市发展与水资源利用的动态演变过程,通过构建综合测度体系与评价模型,探讨了城市发展与水资源开发利用的交互耦合关系与相互影响机理。在Vensim软件支持下,构建系统仿真模型,设置不同城市发展方案和供用水方案,对城市发展的水资源需求进行多情景模拟,并探讨水资源总量控制下的城市发展,对城市发展模式与水资源开发利用模式进行优化选择。

本书可供地理学、生态学、生态经济、水资源管理等相关专业的科研人员、高校教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

绿洲城市发展与水资源利用模式选择 / 唐宏等著. —北京: 科学出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-03-047425-4

I. ①绿… II. ①唐… III. ①绿洲-城市-发展-研究报告-中国
②城市用水-水资源利用-模式选择-研究-中国 IV. ①F299.21 ②TU991.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第040255号

责任编辑: 周 炜 张晓娟 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016年3月第一次印刷 印张: 12 1/4

字数: 247 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

城市作为区域系统的核心，是实现可持续发展的关键所在。随着经济全球化和城市发展进程的加快，城市经济与资源、生态、环境的关系越来越受到社会的广泛关注。我国的城市发展呈现快速扩张的趋势，在社会经济发展的同时，人口、工业、建筑的高度集中也带来一系列生态环境问题，城市化所引发的问题已逐步显现。水资源作为人类生存和社会经济发展的物质基础，是不可替代的重要自然资源，随着人口增长与社会经济的发展，可供人类利用的水资源日益短缺。水资源短缺已成为世界广大地区面临的重大问题，也成为社会经济可持续发展的重要制约因素。

本书将研究焦点集中在干旱区绿洲城市发展与水资源开发利用的关系上，选择干旱区典型绿洲城市——乌鲁木齐市作为研究区，构建了研究理论框架、综合测度指标体系、协调发展模型和可持续发展模型，系统分析了干旱区绿洲城市发展与水资源利用的动态演变过程，综合利用层次分析、灰色关联等方法，从单指标、综合指标多角度、全面分析了城市发展与水资源开发利用的相互耦合关系，总结了城市发展与水资源开发利用的相互影响。构建了多情景、多目标系统仿真模型，综合考虑不同的城市发展方案、供水方案和用水方案，并加入供水系统中的调水量指标和用水系统中的工业、农业用水定额的变化，探讨了不同情景下乌鲁木齐市的水资源理论需求量与理论供需差额，为乌鲁木齐市实施节水措施、调整用水结构、优化产业结构提供了科学依据。对于干旱区绿洲城市发展与水资源利用的双向调控与优化进行研究，探讨了可供应水资源条件下社会经济发展的支撑能力，提出了城市发展的适宜速度和适宜结构，并对未来乌鲁木齐市发展提出了具有操作性的建议。研究成果将为绿洲城市可持续发展研究提供重要的参考，也为社会经济发展决策和城市水资源供给提供支撑依据，同时，促进了城市社会经济的持续发展和水资源的优化配置与合理利用，对于维护干旱区绿洲经济、社会和生态环境的可持续发展具有重要的理论和现实意义。

本书是以中国科学院知识创新工程重要方向项目“新疆典型绿洲可持续人地系统演变模拟与决策支持系统研究”（Y00Q0600SB）为基础，在项目成果“乌鲁木齐市城市发展与水资源利用多情景分析与模式选择”的基础上修改而成的。本

书的研究计划、写作大纲制定、研究方案实施及统稿由唐宏（四川农业大学）完成，杨德刚（中国科学院新疆生态与地理研究所）在选题、构思、写作、修改和定稿过程中付出了大量心血，乔旭宁（河南理工大学）、冉瑞平（四川农业大学）、夏富强（中国科学院新疆生态与地理研究所）、黄凤（四川农业大学）参与撰写了部分章节内容，并对本书进行了多次修改。

本书的调研与数据搜集得到了新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市水利局的大力支持，研究过程中得到了中国科学院新疆生态与地理研究所张新焕副研究员和张豫芳博士、国家开发银行新疆分行刘佳博士、山西师范大学张仲伍副教授等的大力帮助。中国科学院新疆生态与地理研究所人文地理学专业研究生汪菲、张文彪、夏文进、陈大波、尹晶晶等，在实地调研与数据分析中付出了艰辛的劳动，四川农业大学管理学院土地资源管理专业硕士研究生马历、农林经济管理专业本科生汤小波、吴越、魏春花等在后期的文字校对及排版等方面做了大量工作。中国科学院新疆生态与地理研究所张小雷研究员、陈曦研究员、李兰海研究员，中国科学院新疆分院董云社研究员，新疆师范大学焦黎教授、楚新正教授，新疆财经大学高志刚教授等对本书的设计与书稿的完成提出了宝贵的意见和建议。在此，对关心、帮助和支持本书出版的所有人员表示衷心感谢！

同时，感谢中国科学院知识创新工程重要方向项目（Y00Q0600SB）、教育部人文社会科学研究青年基金项目（13YJCZH140）、四川省农村发展研究中心、四川省社会科学高水平研究团队“四川农村资源市场化”、河南省高校科技创新人才支持计划（教社科〔2015〕70号）、四川省哲学社会科学研究规划项目（SC13E097、SC14C027）对本书完成和出版的资助！

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

唐 宏

2015年11月于四川成都

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状述评	3
1.2.1 城市发展相关研究	3
1.2.2 水资源开发利用相关研究	5
1.2.3 城市发展与水资源利用的关系研究	8
1.2.4 研究评述	11
1.3 研究目标与内容	11
1.3.1 研究思路	11
1.3.2 研究目标	12
1.3.3 主要研究内容	12
1.4 研究方法与技术路线	13
1.4.1 主要研究方法	13
1.4.2 技术路线	13
第 2 章 绿洲城市发展与水资源利用的相互作用机理	15
2.1 水资源是绿洲发展演变的关键因素	15
2.1.1 绿洲的概念与地位	15
2.1.2 绿洲的形成与分布	16
2.1.3 绿洲的演变模式	18
2.1.4 绿洲发展演变的关键因素	20
2.2 水资源利用对绿洲城市发展的支撑与约束机理	20
2.2.1 水资源支撑绿洲城市发展	20
2.2.2 水资源开发约束绿洲城市发展	21
2.3 绿洲城市发展对水资源系统的胁迫与优化机理	23
2.3.1 绿洲城市发展对水资源系统的胁迫	23

2.3.2 绿洲城市发展对水资源系统的优化	24
第3章 乌鲁木齐城市发展与水资源利用动态演变	26
3.1 地理位置与自然资源	26
3.1.1 地理位置	26
3.1.2 自然条件	26
3.1.3 社会经济	31
3.2 城市发展进程	32
3.2.1 人口增长	32
3.2.2 经济发展	35
3.2.3 用地扩张	36
3.2.4 城市发展阶段划分	39
3.2.5 城市发展的主要问题	40
3.3 水资源开发利用现状	41
3.3.1 水资源总量与质量	41
3.3.2 水资源开发利用现状	47
3.3.3 水资源开发利用的主要问题	56
第4章 乌鲁木齐城市发展与水资源利用综合测度分析	58
4.1 城市发展与水资源开发利用潜力综合评价指标体系构建	58
4.1.1 指标体系构建原则	58
4.1.2 表征因子选择	59
4.1.3 评价指标体系构建	61
4.2 乌鲁木齐城市发展与水资源开发利用综合评价	65
4.2.1 数据获取与权重计算	65
4.2.2 评价模型构建	71
4.2.3 结果分析	74
第5章 乌鲁木齐城市发展与水资源利用交互影响的耦合关系	91
5.1 城市发展对水资源开发利用的影响分析	91
5.1.1 城市发展与水资源利用的相互关系	91
5.1.2 城市发展对水资源利用影响的综合测度	100
5.2 水资源利用对城市发展的约束分析	105
5.2.1 水资源对城市发展的影响	105
5.2.2 水资源对城市发展约束强度的综合测度	115

第 6 章 乌鲁木齐城市发展与水资源利用的多目标情景分析	118
6.1 城市发展与水资源利用相互影响的系统仿真模型构建	118
6.1.1 系统动力学原理与方法	118
6.1.2 模型构建的基本思路	122
6.1.3 模型构建与变量描述	125
6.2 城市发展与水资源利用的多目标情景仿真分析	136
6.2.1 城市发展与水资源利用的不同情景设置	136
6.2.2 城市发展水平与水资源利用潜力的情景仿真	138
6.2.3 水资源对城市发展约束强度的情景仿真	152
第 7 章 乌鲁木齐城市发展与水资源利用优化调控与对策	155
7.1 乌鲁木齐市水资源供给模式与用水结构优化	156
7.1.1 水资源供给模式与供需平衡分析	156
7.1.2 用水结构总体调控与优化	156
7.1.3 生产用水的优化调控	159
7.2 水资源总量控制下的乌鲁木齐城市发展模式	161
7.2.1 产业结构调整	162
7.2.2 农业内部产业结构调整	163
7.2.3 工业内部产业结构调整	165
7.3 乌鲁木齐市城市发展与水资源利用优化调整的对策	170
7.3.1 控制人口增长, 提高城市发展水平	170
7.3.2 加强水利工程建设, 确保区域供水	170
7.3.3 优先保证生活、生态用水, 控制生产用水	171
7.3.4 改变用水方式, 提高节水水平	171
7.3.5 调整产业结构, 优化产业布局	172
第 8 章 结论与展望	173
8.1 主要研究结论	173
8.2 讨论与展望	176
参考文献	178

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

水资源是人类生存和社会经济发展的物质基础,但随着社会经济的快速发展,水资源短缺严重影响了社会经济的可持续发展。水资源问题制约着城市的可持续发展,城市发展也对水资源造成了较大影响,城市发展与水资源开发利用的协调关系到城市的经济发展与社会稳定。我国是一个缺水的国家,水资源分布的时空不均衡更加剧了缺水程度,西北干旱地区水资源尤为紧缺,生态环境脆弱,城市发展过程中受到了水资源短缺和生态环境恶化的多重胁迫,水资源成为绿洲城市发展的重要约束条件,二者的协调关系到城市的健康持续发展。

新疆地处我国西部,是典型的内陆干旱区,水资源总量有限且分配严重不均,干旱区中水系发达、水资源较为集中的区域形成绿洲,成为干旱区社会经济发展的核心区域,形成了特色鲜明的绿洲经济区。而由于人口快速增长、经济活动频繁、社会发展的需要导致农牧生产规模不断扩大,工业化步伐加快,绿洲水土资源利用强度较大,出现了水土资源分配不均、利用不合理的现象,土地沙化、草场退化等问题凸显,资源与生态环境矛盾加剧。全球气候变化下,干旱区人地关系也面临着重大变化,尤其是绿洲赖以生存的水资源变化尤为明显,区域可持续发展面临严峻挑战。随着城市化进程加快,城市可持续发展中的消极面也不断出现,城乡二元结构更加显现,区域发展中的各方面协调问题亟待解决。

乌鲁木齐市是经济高速发展、人口密集的特大城市,也是典型的干旱缺水城市。国家西部大开发战略的实施,以及天山北坡经济区被纳入到国家重点发展战略,决定着乌鲁木齐市将进入大规模开发和建设的新时期,人口与环境、经济与发展都对乌鲁木齐市的水资源开发利用提出了更高要求。近年来,乌鲁木齐市水资源严重衰竭,水污染加剧,使水资源环境容量和承载能力大大降低,严重制约了社会经济的可持续发展。

本书将乌鲁木齐市作为绿洲城市的典型区域,评价乌鲁木齐市水资源开发利用现状和面临的问题,分析城市发展与水资源开发利用的关系、相互影响因素与机

理,构建以水资源为主线的绿洲城市可持续发展的系统模型,分析评价新疆典型绿洲可持续发展状态,并对未来城市发展与水资源利用进行多目标情景分析,以此为基础对乌鲁木齐市城市发展模式与水资源开发利用模式进行优化选择。这有助于促进区域水资源的优化配置与合理利用,实现绿洲城市的健康持续发展。

1. 理论意义

城市化和水资源是一个涉及人口、社会、经济 and 资源、生态、环境的复杂系统,由于城市化和水资源变化本身都各自遵循不同的发展规律,二者交互耦合在一起,相互作用规律更加复杂。在城市快速发展的阶段,这一复杂系统将发生剧烈变化。因快速城市化而导致城市规模接近或超过水资源承载力,使水资源系统不堪重压,从而导致水资源系统产生的延缓或阻碍城市发展进程的约束力不断增大。探讨这种约束力的形成机理、作用机制及影响因素等,是继水资源承载力 and 水资源压力研究以后,水资源科学的又一重大理论研究领域,也是缺水地区城市化动力机制研究中的重要领域之一,对实现缺水地区水资源可持续利用与城市化正常推进具有重要的理论意义。它不仅是对水资源承载力 and 水资源压力研究不足以涵盖水资源系统与社会经济系统之间相互作用的进一步深化和有益补充,而且有助于拓展宏观增长经济学研究,将水资源作为经济发展的内生变量,同时考虑到水资源约束已成为社会经济发展的重要外营力,从而修正传统的宏观经济增长模型,为实现干旱区可持续发展提供理论与决策依据。

2. 实践价值

城市化是全面建设小康社会、构建社会主义和谐社会和实现现代化的必由之路。在西部大开发战略实施过程当中,必须坚持城镇化战略——以线串点、以点带面(刘卫东等,2003),统筹城乡和区域协调发展。而在干旱区快速城市化进程中,水资源是联系社会经济和生态环境的纽带。由于人口城市化、经济城市化、空间城市化和社会城市化对有限水资源带来巨大压力,必然造成水资源对城市化的强力约束。如何在顺应城市化发展和水资源利用自身规律的基础上,使水资源对社会经济发展和城市化进程的强力约束逐渐得到缓解,是干旱区当前及今后相当长时期内面临的重大课题和艰巨任务。选择乌鲁木齐市为典型区,探讨干旱区绿洲水资源对城市化的约束机制、约束强度及其变化过程和变化趋势,旨在寻求合理的水资源开发利用模式与城市发展模式,进而为干旱区可持续发展提供决策依据。

1.2 国内外研究现状述评

水资源与城市发展相关的问题得到了国内外学者的广泛关注,水资源可持续利用、社会经济可持续发展、水土资源优化配置等成为研究的重点。水资源利用与城市发展的研究涉及多方面的内容,本书主要从城市发展、水资源开发利用、城市发展与水资源开发利用的关系三方面入手,通过查阅国内外相关文献,全面了解干旱区水资源开发利用与城市发展相互关系的基本理论与最新研究进展,并在此基础上,就国内外城市化与水资源利用关系进行研究综述。

1.2.1 城市发展相关研究

城市是人类社会发展的必然产物,也是最为复杂的生态系统类型,具有开放性、依赖性、脆弱性、复合性等特点,极易受到人为因素和自然条件的干扰(董林,2006)。随着城市发展和社会进步,城市化成为当今世界最重要的社会经济现象之一,是国家走上现代化道路的必然过程,也是衡量其现代化水平的重要标志(仇保兴,2004)。国内外学者从社会学、人口学、经济学、地理学和生态学等多个领域对城市发展进程进行了广泛而深入的研究。

1. 城市发展的内涵与理论

学者们从不同角度对城市发展的内涵提出了不同见解。我国学者对城市发展的理解与研究受人口学的影响较大,早期一般都把城市化界定为农村人口向非农产业的转移(赵元笃,2003)。随着近年来对城市发展研究的深入,学者们对城市发展的理解更为全面,认为是“伴随工业化和现代化而产生的一种现象,是指在工业化和现代化过程中,农业人口逐步转变为非农人口、农村居民逐渐转变为城镇居民、农村地域逐渐转变为城镇地域、农业社会转变为城市社会的经济社会发展过程”。

不同学者对城市发展研究的角度不同,其中,城市化、工业化等成为相关研究的主流。对工业化和城市化(Lewis,1989)、城市化与产业结构、人均GDP、工业化阶段(Chenery,1988)等的研究,是城市发展研究的重要里程碑。周一星(1995)关于城市化指数与经济发展指数的相关性研究,成为我国城市发展研究的代表。蒙荫莉(2004)采用产业结构和社会结构测度了中国综合城市化水平,王慧(1997)和李爱军等(2004)采用人口、经济、社会、空间和居住环境等因子所构成的综合指数,分别以江苏省和陕西省为例,测度了城市发展水平。从现有测度方法看,人口比例

指标主要用于反映城市化量,而综合指标主要用于反映城市化质(张同升等,2002),但由于城市和城市人口的定义没有统一标准,人口城市化也仅是城市发展的一个方面,综合测度指标的研究则不够成熟,在指标选择和计算方法上没有统一标准,二者在度量城市化水平时都存在较大的局限性。

城市发展是动态演化的过程,城市发展理论也在不断更新完善,学者们对城市发展规律的认识不断深化,表现出从区位论、结构论、人口迁移论、非均衡增长论到生态学派理论的演进(王新文,2002)。区位论主要包括农业区位论、工业区位论、中心地理论等;结构论包括 Lewis 二元经济结构理论、Lewis-Ranis-Fei 模型、Jogenson 二元经济模型、Todaro 劳动力迁移和产生发展模型、Schultz 农民学习模型、Chenery 就业结构转换理论;人口迁移论包括推-拉理论、人口迁移转变假说、Petty-Clark 定理;非均衡增长论包括 Perroux 增长极理论、Friedman 中心-边缘理论、Myrdal 循环累积论、Hirschman 非均衡增长理论;生态学派理论包括田园城市论、古典人类生态学论、有机疏散论、城市复合生态系统论、山水城市论等。

2. 城市发展阶段与动力机制

城市发展阶段性的研究有助于认识城市发展规律、预测城市发展水平,许多学者对此都进行了广泛而深入的研究。美国地理学家 Northam(1975)对世界各国城市化发展轨迹进行了研究,将城市化进程概括为一条稍被拉平的 S 形曲线,将其分为初期($<30\%$)、中期($30\% \sim 70\%$)和后期($>70\%$)三个阶段,并总结了各阶段人口流动、职业构成、产业结构、城市化水平等特点和判定标准,成为城市发展阶段划分的经典。王小鲁(2000)、郑宇和冯德显(2002)从城市空间本身扩张的角度,将城市化分为早期城市化(城市人口集聚和增加)、郊区城市化(郊区人口增长)、逆城市化(城市圈人口减少)和大都市带(相邻若干个城市融合)四个阶段。国内多数学者将上述理论应用于我国城市化进程的研究,认为自新中国成立以来,我国城市发展大致经历了恢复和快速发展阶段(1949~1957 年)、不稳定阶段(1958~1965 年)、停滞阶段(1966~1977 年)和正常发展阶段(1978 年至今)四个阶段(梁勇,2005),并在 1996 年开始进入城市化中期阶段(陈波翀等,2004),这些研究深化了城市发展阶段性的规律。

国外学者对城市规模的重要性及不同城市规模的利弊做了大量研究(Capello and Faggian,2002),综合分析不同城市发展道路的利弊,并提出城市发展多元论及走大、中、小城市相结合的道路。周一星(1995)则提出不存在某种最佳城市规模的观点。特定区域的具体城市发展模式和不同阶段的城市发展路径选择,也成为城市发展研究的焦点(McGee,1991;Martin et al.,2003;Cheng and Masser,2003;方

创琳和李铭,2004)。

城市发展的动力机制也一直是各国学者的研究重点。城市(工业)的拉力和乡村(农业)的推力是城市发展的基本驱动因素,城市发展受到区域资源条件、地理环境、政策、对外开放、外资的利用、大中城市的扩散和农民主体的行为等内力和外力的共同作用(许学强等,2001)。

金东海等(2004)比较系统地分析了城市发展的内外营力系统,认为城市发展的外营力包括驱动力(城市化需求拉力和外界对城市化要素供给推力)、支撑力(资源与环境基础力)和阻滞力(城市化系统与资源环境基础之间的摩擦力),内营力系统包括城市化压力(城市化过程中系统运行速度和规模对资源环境基础所产生的需求)、拉力(系统内各城市化要素变化的协调促进能力)和阻力(各要素变化的矛盾与制约能力),并建立“爬坡”模型对内外营力之间的相互关系进行分析,为研究城市发展动力机制提供了很好的思路。

3. 干旱区城市发展研究

西北干旱区城市化进程受到水资源短缺及用水结构不合理的双重约束。对水资源约束下的西北干旱区城市化进程,方创琳等(2004,2005)、鲍超和方创琳(2007)做了较多研究,针对总需水量阈值、经济总量阈值、总人口阈值和城市化水平阈值分析了城市化水平与水资源利用关系,探讨了与水资源约束相适应的多种城市化发展模式。

新疆城市规模和结构受到多位学者关注,新疆生态与地理研究所多位学者对新疆城市发展、空间分布、城市体系等进行了全面的研究,董雯等(2006)采用灰色系统模型等对新疆小城镇2010年、2015年和2020年的总人口进行了预测。杜宏茹和张小雷(2005)研究表明绿洲城镇的集聚能力显著增强,呈现进一步极化的趋势,刘海隆等(2008)研究了新疆交通可达性对区域经济的影响,李春华等(2003)对新疆城市化的特点进行了分析,其他学者也从不同角度对新疆城市发展进行了研究(阚耀平,2001;杨德刚等,2001;吕宾和张小雷,2002;雷军等,2004)。

1.2.2 水资源开发利用相关研究

水资源是一种独特的自然资源,具有自然、环境、经济和社会属性,还具有时间维上的可再生性(刘昌明和王红瑞,2003;成立和刘昌明,2000)。国内外关于水资源的研究,内容极其丰富,涉及生态、环境、经济、社会、政治等各个领域,以全球变化下水循环的自然过程对水资源系统的影响和人类活动及社会经济系统水循环对

水资源系统的影响为研究重点。这里主要从水资源承载力与压力、水资源管理与优化配置、水资源可持续利用等方面对水资源开发利用相关研究进行综述。

1. 水资源承载力与压力

水资源承载能力是决定社会经济发展速度和规模的条件之一,其对社会经济发展的重要影响引起国内外众多学者关注。国外对水资源承载力的研究相对较少,国内相关研究始于20世纪80年代中后期,有学者提出了水资源承载力的概念,其本质是有限水资源条件下人类社会经济增长的阈值界限(Xia and Chen, 2001),研究区域主要是西北干旱区和华北等缺水地区。很多学者对我国西北干旱区及典型城市的水资源承载力进行了测算与趋势分析(许有鹏,1993;王建华和江东,1999;徐中民,1999;施雅风和曲耀光,2000;薛小杰等,2000;王煜等,2001;朱一中等,2002,2003;贾绍凤等,2004b;王浩等,2004a;朱一中,2004),将常规趋势法、模糊综合评判法等运用其中,并建立了水资源承载力的评价模型。水资源承载力的评价指标体系、理论与模型方法在干旱地区得到了较为广泛的应用,为认识干旱区水资源及其开发利用对城市社会经济发展的支撑作用及支撑机理奠定了良好的研究基础,已成为城市发展和水资源关系的重要研究内容之一。但由于水资源承载力的概念和内涵界定较为模糊,没有形成完整的理论体系,其评价指标体系和量化方法等还不够完善(龙腾锐和姜文超,2003),在研究中存在着一些问题。

在对水资源承载力进行研究的同时,城市社会经济系统对水资源系统的压力也得到学者的关注,水资源压力的内涵和机制、水资源压力的评价指标体系和评价模型成为当前水资源研究领域的热点。人均水资源量和水资源开发利用程度是表征水资源压力的重要指标,可以衡量和反映区域的水资源短缺程度和安全程度。水质、供水能力等也成为反映区域水资源压力的重要指标(贾绍凤等,2002)。水资源压力的评价指标体系和相应的评价方法在干旱地区得到广泛应用(郎一环和王礼茂,2002; Savenije, 2000)。Caroline(2002)提出了水贫困指数的计算方法,Eran和Jonathan(2002)提出结构性缺水指数。我国学者对水资源问题进行宏观分析,采用综合评价方法对我国各省市进行了缺水程度及缺水类型的划分(王晓青,2002),提出了立足于现状供水能力、区域水资源承载能力和外流域调水为基础的三次平衡度量(王浩等,2003),从水资源需求角度将水资源压力分为水资源数量压力、经济水资源压力和水环境压力(韩宇平和阮本清,2002),认为水资源压力产生的主要原因有资源型缺水、工程性缺水、结构性缺水、水质性缺水和行政性缺水五类(朱照宇等,2003),并提出了相应的解决对策(张光辉等,2003)。水资源人口压力、生态压力、经济发展压力指数

的计算也被用于探讨我国水资源压力的区域差异(吴佩林,2005)。徐中民和龙爱华(2004)则引入社会适应性能力概念,将水资源压力及稀缺评价问题拓展到社会经济领域,强调社会资源在水资源稀缺评价中的作用。许多学者还对水资源短缺和水环境恶化的损失评价进行了尝试(Dandy,1992;方国华等,2004;李永根,2004),但主要集中在直接损失上,间接损失难以进行有效衡量。

2. 水资源优化配置与管理

长期以来,水资源优化配置就是水资源研究领域的热点和难点,是实现水资源可持续利用的必要手段。目前,国内外关于水资源优化配置的研究逐渐趋于成熟(鲍超,2004),研究对象、研究方法和研究手段都更为丰富,相关理论也逐渐成熟。水资源优化管理是实现社会经济、生态环境协调发展的核心,是保障水资源优化配置方案得以顺利实施的重要举措(Shangguan et al.,2002),得到了较高重视(Bernardo et al.,1993a,1993b;Bertrand et al.,2000;李晶和宋守度,2003)。水资源管理主要涉及水价、产权制度、法律法规等方面的内容(梁勇,2005),水资源管理模式逐渐由传统的以“供给管理”为核心向以“需求管理”为核心转变(Matondo,2002;Mwendera et al.,2003)。从现有的研究成果看,水资源优化配置与管理的主要手段有:强调流域水资源综合管理及其制度的建设(Adil,1999;Matondo,2002)、强调社会经济增长方式转变与节水型社会的建设(汪恕诚,2003a,2003b;鲍超和方创琳,2006)、实施虚拟水战略(程国栋,2003;徐中民等,2003;刘宝勤等,2006)和实施流域水资源开发、社会经济发展与生态环境保护合作(方创琳,2002;张宁,2005)。

水资源优化配置与管理在干旱地区尤为重要,其评价方法和研究手段得到了广泛运用。学者们对于干旱区水资源分布和利用状况进行了空间分析与评价(王永兴和陈曦,2003),并针对干旱区流域和水资源分布的特点及存在的主要问题,提出了水资源管理的量化研究框架和基于模拟与发展综合指标测度的可持续水资源管理量化研究方法(左其亭和陈曦,2003;左其亭等,2006),并基于水资源可持续利用的要求,提出了水利发展的方向、水资源合理配置的主要任务和在宏观、中观、微观等不同层次实现水资源合理配置的框架结构(王世江,2006)。

3. 干旱区水资源可持续利用

基于干旱区水资源开发利用对城市发展和生态环境的约束与驱动作用,水资源开发利用的合理阈值、生态环境需水和可持续利用的相关研究成为领域的热点问题。

国际上一般以40%作为流域水资源开发利用的警戒线,而西北内陆干旱区生

态环境和社会经济耗水以各占 50% 为宜(钱正英等, 2004), 以避免流域的生态系统退化。国内部分学者也提出了河流生态系统合理生态用水比例的概念、湖泊和地下水合理生态水位的概念以及合理生态用水的阈值区间, 并提出了不同的计算方法(占车生等, 2005; 陈永金等, 2006; 汪秀丽, 2007; 李新虎等, 2007)。其中, 生态环境需水是研究水资源与生态环境之间相互作用与关系的核心, 国内外学者已从理论、方法与实践等多个层面对生态环境需水进行了大量研究(王芳等, 2002; 杨志峰等, 2003; 陈敏建等, 2004; 程国栋和赵传燕, 2006)。

水资源可持续利用是一个反映区域水资源状况(包括水质、水量、时空变化等)、开发利用程度、水资源工程状况、区域社会-经济-环境与水资源协调发展、近期与远期不同年份对水资源分配竞争、地区之间水资源的受益差异等多目标的决策问题(宋松柏等, 2003), 大量学者进行了广泛的研究探讨。陈家琦和刘昌明(1997)对水资源持续利用的原理、定义与内涵进行探讨, 冯尚友和刘国全(1997)提出了水资源可持续利用的框架, 夏军(2002)对可持续水资源系统管理进行了研究与展望。水资源可持续利用评价是其中的核心问题之一, 主要是对水资源可持续利用的能力和协调状况进行评判(刘恒等, 2003), 其关键在于建立合理的评价指标体系、选择有效的评价方法。不同学者分别探讨了模糊识别方法(王本德等, 2004)、模糊物元模型(潘峰等, 2003)、层次分析法(金菊良等, 2004)、属性识别方法(门宝辉和梁川, 2002)等在水资源可持续利用综合评价中的应用, 对区域水资源可持续利用评价指标体系进行了探讨(陈守煜, 2001; 贾绍凤等, 2003), 评价了我国不同区域的水资源利用可持续性并进行类型划分(包存宽等, 2001; 刘毅等, 2005), 并提出了针对西北生态脆弱地区的水资源合理配置方案和水资源可持续利用的整体战略建议(李世明和程国栋, 2002)。

1.2.3 城市发展与水资源利用的关系研究

水资源是制约城市发展的因素之一, 而城市发展又必然带来水系统的演变(高云福, 1998)。随着城市化进程的推进, 水资源短缺问题在全球日益凸现, 快速城市化及其引起的水资源问题逐渐引起人们的高度关注(陆大道等, 2007), 学术界对城市发展进程中的水资源问题做了较多研究。国外学者对这方面的研究起步较早, 且研究的领域较为广泛, 就水资源对城市化进程、城市布局、社会经济发展的影响机制(仇保兴, 2004; 刘耀彬等, 2005), 城市化对水资源环境质量的影响(Chenery, 1988), 城市化中的水资源管理问题(周一星, 1995; 陆大道等, 2007), 城市节水发展策略(Fitzhugh and Richter, 2004)等做了深入的研究和探讨。由于我国近一半的

城市属于水资源短缺城市,国内学者非常关注水资源对城市发展的影响,其中以我国西北干旱区水资源与城市发展问题的研究居多,在水资源与城市空间扩张、人口集聚、经济增长相互作用研究(Merrett, 1997; 高云福, 1998; Jenerette and Larsen, 2006),城市化进程中的水资源承载力研究(贾绍凤等, 2004b),水资源与城镇空间组织的关系研究(Bernardo et al., 1993a, 1993b),水资源约束下城市发展策略研究(Atef and Rakad, 2003; 方创琳和李铭, 2004)等方面取得了较为显著的成就,为今后研究的继续深入奠定了坚实的理论和实证基础。

1. 城市发展与水资源利用的相互影响机理

城市发展与水资源相互作用及其机理研究主要揭示了城市化与水资源之间相互影响及其成因。随着城市化与水资源之间矛盾的日益突出,二者之间的相互作用及其机理研究逐渐成为热点。国外多从水环境污染和管理的角度论述城市化和水资源的相互作用(Salman, 2002; Atef and Rakad, 2003),不少学者也研究了城市用地扩张对区域水文和水环境的影响(Beate and Uwe, 2002; Nicole et al., 2005)。国内关于城市发展与水资源相互作用及其机理的研究,早期大多从定性、宏观和历史发展过程来说明,随后城市化与水资源相互作用的内涵逐渐丰富。白永平(2004)揭示了工业用水结构变化及城市用水空间变化的一般规律和内在机理;梁勇(2005)分析了城市化进程与水资源利用的互动作用,并对二者相互作用的机理机制进行了研究;方创琳等(2004)认为西北干旱区城市化与水资源及生态环境保护之间存在着各种矛盾与胁迫;鲍超(2009)则较为系统地研究了新疆与中亚邻国水资源开发对城市化和生态环境的影响机理。还有学者用柯比-道格拉斯生产函数(刘卫东和陆大道, 1993)、协调度模型(雷社平和解建仓, 2004)、区域分系统特征评价体系(崔振才和田文苓, 2002)等方法对城市化与水资源利用关系进行了定量研究,分析了城市规模、城市产业结构、城市化发展水平等与城市水资源利用的相关性,并探讨了城市发展过程中水资源利用的变化规律。

2. 城市发展对水资源开发利用的影响

有关城市发展对水资源开发利用影响的专门研究较少,国外学者多从城市发展历程与水资源利用量的关系入手,在分析发达国家城市发展历程后,认为城市化进程中水资源利用量的变化大致划分为快速增长、缓慢增长和零增长或负增长三个阶段(Merrett, 1997),有学者将需水零增长总结为自由零增长、约束零增长和胁迫零增长三种类型(Emrich, 1994)。国内的研究重点则集中在城市和工业用水量