

左其亭 张 云 © 著

人水和谐

量化研究方法及应用

RENSHUIHAXIE LIANGHUAYANJIUFANGFA JI YINGYONG



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

人水相違

现代研究方法是应用



1000

■ 国家自然科学基金(编号 50679075) 资助

人水和谐

量化研究方法及应用

左其亭 张 云 ◎ 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

人水关系是当今世界水问题研究的热点,人水和谐是人与自然和谐相处的关键问题,也是新时期治水思路的本质要求。人水和谐量化研究是水科学研究前沿科学问题。本书在研究人水系统的基础上探讨了人水和谐的概念及内涵,首次提出了一套系统的、科学的人水和谐量化研究方法体系,包括研究框架、量化准则、指标体系、量化方法、调控模型等内容,并将提出的量化研究方法开发成通用的计算机软件,并应用于选择的流域尺度代表研究区——新疆塔里木河流域和区域尺度代表研究区——郑州市,评价人水和谐程度,提出人水和谐调控对策。本项研究积极探索了人水和谐量化研究关键科学问题,为人类走好人水和谐之路奠定理论基础,并提供成功的应用范例,具有重要的理论意义和应用价值。

本书是一部系统介绍“人水和谐”思想及量化研究方法的学术专著,可供从事水科学、水管理相关的人员及管理者参考,也可供水利、环境、地质、生态、社会、经济、管理等相关专业的科技工作者和管理者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

人水和谐量化研究方法及应用/左其亭,张云著. —北京:
中国水利水电出版社, 2009
ISBN 978-7-5084-6244-8

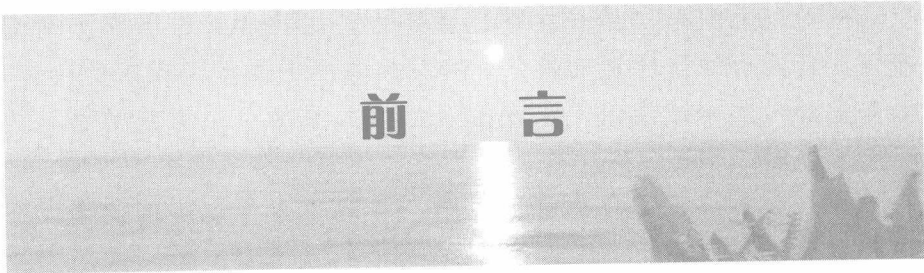
I. 人… II. ①左…②张… III. ①水环境-研究方法
②水资源-研究方法 IV. X143-3 TV211-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 009586 号

书 名	人水和谐量化研究方法及应用
作 者	左其亭 张云 著
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010)63202266(总机)、68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010)88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	168mm×237mm 16 开本 10 印张 174 千字
版 次	2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

水滋养了人类，但人类又面临水带来的生存安全危机。人和水的关系以及人和自然的关系影响并决定着人类社会的发展进程。随着人口的增加和经济社会的发展，由于一些人为原因，如污水排放、对水资源无序开发和低效利用、源流植被破坏等，出现了洪涝灾害、干旱缺水、水土流失和水环境污染等较为严重的水问题。水资源同粮食、石油一起成为国家的重要战略资源。人水矛盾越来越突出，人和水的关系越来越备受关注。因此，对人水关系的研究十分重要，逐渐成为目前研究的热点问题。坚持人水和谐发展的思想，加强对人水和谐理论及应用的研究，对于减轻自然灾害、维系良好生态环境、促进经济社会的可持续发展具有十分重要的意义。

人水和谐涉及水与社会、水与经济、水与生态等多方面，需要在包含与水相关的社会、经济、地理、生态、环境、资源等方面及其相互作用的人水复杂系统中进行研究。为此，国内外专家学者对人水关系问题进行了很多相关的研究，“人水和谐”思想逐渐被人们所接受，并不断运用于实际治水工作之中。但目前对人水和谐的概念还没有一个统一的认识，对人水和谐的研究多数是针对概念的讨论和定性的分析，至今还没有提出完整、系统的人水和谐量化研究方法。对人水和谐口号提得很多，但实际的应用至今没有成功的应用范例可以借鉴。

针对以上问题，作者在最近数年中，主持和参与了多个研究项目，对人水和谐的量化研究方法及应用进行了深入的研究。本书是对人水和谐量化研究方法及应用成果的一个系统总结，为现代水管理工作提供科学的研究思路和方法。全书共分为9章。

第1章介绍了国内外研究现状，阐明了亟待解决的问题，介绍本书主要内容和研究框架。

第2章在明确人水和谐研究对象的基础上，阐述了人水和谐的概念及内涵。

第3章介绍了人水系统的概念、嵌入式系统动力学模型及其在人水系统模拟中应用。

第4章在健康、发展、协调三大准则下提出一套系统的人水和谐量化研究方法体系，包括量化准则、指标体系、量化方法，以及基于人水和谐量化理论的水资源配置优化模型。

第5章介绍了人水和谐管理信息系统的建设目标、设计原则、基本构成及功能、实现的关键技术和部分核心模块。

第6章把人水和谐量化研究方法应用到选取的流域尺度实例——塔里木河流域，计算了塔里木河流域人水和谐度，介绍了改善人水和谐状态的调控对策。

第7章把人水和谐量化研究方法应用到选取的区域尺度实例——郑州市，计算了郑州市人水和谐度，建立了基于人水和谐理论的水资源配置优化模型，介绍了改善人水和谐状态的调控对策。

第8章从维护水系统健康、实现人文系统可持续发展、促进人文系统与水系统协调发展3个方面，介绍了提高人水和谐程度的主要措施。

第9章基于博弈论的观点，介绍了人水博弈的概念和人水和谐的博弈特点，提出了人水和谐博弈理论研究框架，并介绍了其关键问题。

第1章、第2章、第3章、第9章由左其亭撰写，第5章、第

6 章、第 8 章由张云撰写，第 4 章、第 7 章由左其亭、张云撰写，沈强、马军霞参与第 3 章的撰写，赵春霞参与第 9 章的撰写。全书由左其亭统稿。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金（编号 50679075）的资助以及其他横向研究课题的支撑。特此向支持和关心作者研究工作的所有单位和个人表示衷心的感谢。感谢课题组成员吴泽宁、窦明、周荣敏、马军霞等的支持和帮助。感谢出版社同仁为本书出版付出的辛勤劳动。书中有部分内容参考了有关单位或个人的研究成果，均已在参考文献中列出，在此一并致谢。

由于人水和谐量化研究仍处于探讨阶段，以及水系统与人文系统本身的复杂性，使得本书的研究内容、研究方法及研究成果可能还存在这样或那样的不足；再加上时间仓促，特别是作者水平所限，虽几经易稿，书中仍难免存在错误和缺点，欢迎广大读者不吝赐教。

作 者

2009 年 2 月 11 日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义 /1	
1.2 国内外研究现状及趋势 /3	
1.3 人水和谐量化研究主要内容及目标/6	
1.4 研究框架及本书主要内容 /8	
第 2 章 人水和谐的概念及内涵	10
2.1 人水和谐的研究对象 /10	
2.2 人水和谐的概念及内涵 /13	
第 3 章 人水系统演变模拟的嵌入式系统动力学模型	18
3.1 嵌入式系统动力学的提出 /18	
3.2 嵌入式系统动力学的原理及应用步骤 /20	
3.3 ESD 模型在人水系统模拟中的应用举例 /24	
3.4 ESD 应用软件开发 /29	
第 4 章 人水和谐量化研究理论	33
4.1 人水和谐量化研究框架 /33	
4.2 人水和谐量化准则 /34	
4.3 人水和谐量化指标体系 /35	
4.4 人水和谐量化方法 /43	
4.5 基于人水和谐量化理论的水资源配置优化模型 /52	

第5章 人水和谐管理信息系统软件开发	61
5.1 系统软件开发框架 /61	
5.2 系统软件开发实现 /63	
5.3 系统软件使用说明 /65	
第6章 流域尺度应用实例研究——以塔里木河流域为例	74
6.1 塔里木河流域概况 /74	
6.2 塔里木河人水和谐定性分析 /80	
6.3 塔里木河人水和谐度计算 /84	
6.4 模拟方案情景分析 /93	
6.5 调控对策 /97	
第7章 区域尺度应用实例研究——以郑州市为例	100
7.1 郑州市概况 /100	
7.2 郑州市人水和谐程度计算 /104	
7.3 基于人水和谐量化理论的水资源配置 /112	
7.4 调控对策 /124	
第8章 人水和谐调控对策	128
8.1 维护水系统健康 /128	
8.2 实现人文系统可持续发展 /132	
8.3 促进人文系统与水系统协调发展 /133	
第9章 研究展望——人水和谐博弈理论研究框架及关键问题讨论	137
9.1 人水和谐量化研究存在的问题 /137	
9.2 博弈论概念 /137	
9.3 人水博弈的概念及人水和谐博弈特点 /138	
9.4 博弈论应用于人水和谐研究中的必要性 /141	
9.5 人水和谐博弈理论研究框架 /142	
9.6 人水和谐博弈理论研究关键问题讨论 /143	
参考文献	145

第 1 章 绪 论

水滋养了人类，但人类又面临水带来的生存安全危机（包括缺水危机、洪涝灾害、水污染危害等）。随着人口的增加和经济社会的发展，人和水的矛盾越来越突出，人和水的关系越来越备受关注。因此，学术界十分重视对人水关系的研究，人水关系研究也成为当今世界水问题研究的热点。本章在对前人和本书作者研究成果总结的基础上，阐述了人水和谐理论及应用研究现状，提出了人水和谐量化研究方法及应用研究框架，并扼要介绍了本书的主要内容。

1.1 研究背景及意义

联合国教科文组织在 2003 年《世界水发展报告》中指出：“水已经成为制约可持续发展的关键因素，出现的水危机日益严重”^[1]。据统计，目前有 40 多个国家（包括中国）20 多亿人口受水危机的困扰，其中 11 亿人口没有充足的饮用水^[2]，发展中国家有 1/2 的人口遭受缺水之苦^[1]。日益严重的水危机威胁到人类生存和发展，影响到全球社会安全^[3,4]。

我国水资源总量丰富但人均占有量少，属于世界上的贫水国。据计算，我国多年平均水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ，目前人均水资源量约为 2200 m^3 （约为世界平均值的 1/4），预测到 2030 年我国人均水资源量将降至 1760 m^3 ^[5]。我国水灾频发，面临着三大水问题^[6,7]：

（1）干旱缺水日趋严重，已成为我国经济社会尤其是农业稳定发展的主要制约因素。20 世纪 70 年代全国农田年均受旱面积 1.7 亿亩，到 20 世纪 90 年代增加到 4 亿亩。农村有 3000 多万人口饮水困难，全国 600 多个城市中有 400 多个城市供水不足。

（2）洪涝灾害频繁，对经济发展和社会稳定威胁很大。20 世纪 90 年代以来，我国几大江河发生了多次比较大的洪水，特别是 1998 年发生的长江、嫩江和松花江特大洪水，损失巨大。



(3) 水环境恶化, 严重威胁人的生存环境。在全国水资源质量评价的约 10 万 km 河长中, 受污染的河长占 46.5%。全国 90% 以上的城市水域受到不同程度的污染。此外, 河流断流, 湖泊萎缩, 森林、草原退化, 土地沙化, 部分地区地下水超量开采等问题, 严重影响到水环境。

因此, 随着经济社会的发展, 人水关系面临着前所未有的挑战。由于自然界的水资源量是有限的, 水体的纳污能力也是有限的, 人类对水资源的需求却在不断增加, 对环境的改造甚至破坏在不断加深, 很可能引起水资源系统的破坏, 导致“不健康的水循环”和“恶化的生态系统”。为了保护人类赖以生存的生命支撑系统, 就需要协调人水关系, 走可持续发展道路^[8,9]。

水是一把双刃剑, 比金珍贵, 又凶猛于虎。人类到底应怎样与水相处? 在历经了无数次的进退和悲喜之后, 全世界不同肤色、不同语言、不同民族、不同信仰、不同意识形态的人们, 面对水的威胁, 暂且搁置一切政治成见而达成共识, 在 1993 年第 47 届联合国大会上, 将每年的 3 月 22 日定为“世界水日”。世界各国在同一天举行相关活动, 广泛宣传水的重要性, 呼唤公众关心水、爱惜水和保护水。我国将每年的 3 月 22~28 日定为“中国水周”。2004 年“中国水周”的主题为“人水和谐”, 构建人水和谐关系的呼声越来越大。共同维系人水和谐是支撑可持续发展、构建和谐社会的重要保障和具体体现。因此, 开展人水和谐理论与应用研究工作意义重大^[4]。

伴随着“人水和谐”理念的提出, 学术界也开始讨论这一论题。自 2004 年把“中国水周”主题定为“人水和谐”之后, 学术界在积极探讨, 仅从《中国学术期刊全文数据库》中搜索, 2004~2005 年, 就有 441 篇文章涉及“人水和谐”一词。2006 年 9 月, 在郑州以“人水和谐”为主题成功召开了全国水论坛第四届学术研讨会, 并出版了《人水和谐理论与实践》论文集。

在最近几年的探讨和实践中, 已经逐步形成了构建人水和谐关系的思想, 被大多数人所接受。但很多讨论和研究还停留在概念、经验、思想、意识方面, 缺乏对量化理论及方法的研究, 很难回答诸如“怎么样的关系才算人水和谐关系?”、“如何评估某一地区或流域的人水和谐程度, 以说明一个地区或流域比另一个地区或流域的协调程度高?”、“怎样做才能达到人水和谐?”等问题。因此, 急需要探索一套量化的研究方法。这是人水和谐理论研究与实践应用的当务之急。



人水相互作用与协调关系量化研究,是当今国际水文水资源学科、环境学科、人文学科交叉研究的学科前沿问题,也是全球及区域可持续发展重大理论实践面临的难题。从目前的研究情况来看,关于人水相互作用的量化关系还不清楚,人水和谐的量化研究方法还没有形成。本书作者在国家自然科学基金(编号50679075)的资助下,以塔里木河流域和郑州市为实例,通过模糊隶属度分析方法、多准则集成方法、系统理论方法、计算机模拟技术的交叉应用,研究人水和谐量化研究方法,首次提出一套关于人水和谐量化研究的方法体系,是一次有益的探索。

1.2 国内外研究现状及趋势

1.2.1 国外研究现状及趋势

水问题是人类共同面临的挑战,追求人水和谐是人类共同的目标。人水和谐涉及到“水与社会、水与经济、水与生态”等多方面,需要在包含与水相关的社会、经济、地理、生态、环境、资源等方面及其相互作用的人水复杂系统中进行研究。为此,自20世纪80年代以来,联合国教科文组织(UNESCO)、国际科学联盟理事会(ICSU)、国际水文科学协会(IAHS)、世界气象组织(WMO)等实施了一系列国际水科学研究计划,如国际水文计划(IHP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、世界水资源评价计划(WWAP)、国际人文因素计划(IHDP)、全球气候研究计划(WCRP)、国际生物多样性计划(DIVERSITAS)等,目的是从全球、区域和流域不同尺度和交叉学科途径,探讨人(或人类活动)与水(或自然)的相互作用机理及和谐发展途径。

国际上许多学者开展了全球、区域、流域不同尺度与人水相互作用、和谐发展有关的研究工作,比如:Nilsson^[10]研究了大坝对大型河流系统的影响,结果表明:超过一半的大型河流系统受到大坝的影响,与那些没有受到大坝影响的流域相比,受大坝影响的流域面临着更大的水问题,以说明人类活动对水系统的影响作用;Gordon^[11]通过对比潜在植被情景和实际植被情景下的水汽流变化,分析了由于森林砍伐和灌溉导致的区域水汽流变化规律,说明人类活动对水系统的影响作用;Syvitski^[12]比较了现在和人类出现以前两种情形下全球主要河流的泥沙通量变化,结果表明:通过土壤侵蚀,人类活动增加了全球河流中的泥沙输送量,但是减少了到达滨海的泥沙通



量, 这些泥沙主要被滞留在水库和河道之中; Lautze^[13]以翔实的数据分析了人口增加、人类活动以及气候变化对水系统的影响, 特别指出由于人口增加、人类活动加剧, 导致人水关系紧张, 需要通过宏观调控, 才能保持人与自然和谐相处。

目前, 相关研究的主要特点是:

(1) 主要探讨了人类活动与水、生态系统与水、气候与水等之间的单方面或某些方面的关系(比如, 文献[11~14])。但从人文系统与水系统综合系统角度来研究人水相互作用关系与和谐发展途径的还比较少。

(2) 多是采用定性或半定量分析, 来研究人类活动与水系统之间的关系。目前仍缺乏人水和谐量化研究的理论方法及应用研究成果。

目前, 热点问题主要有:

(1) 人水相互作用关系及协调程度量化研究。需要回答: 人类活动对水系统产生哪些主要影响? 如何量化人类活动对水系统变化的影响? 人水和谐程度如何定量表达?

(2) 人水和谐的调控机理与对策研究。需要回答: 如何建立人水和谐调控模型? 不同自然条件和不同经济社会发展水平下的调控对策如何制定?

当前, 国际水文水资源研究总的趋势是: 不能单纯就水论水, 而是把水资源变化及其引起的生态系统变化放在流域、区域乃至全球变化系统, 从自然、社会、经济多方面相互联系和系统综合的角度来开展研究。

1.2.2 国内研究现状及趋势

在我国, 提倡人与自然、人与水和谐相处的观点由来已久。我国古代就有“天人合一”的哲学思想。大禹治水、都江堰的建设, 都在使人对水能够趋利避害。西汉贾让提出著名的“治河三策”, 其上策便是人水和谐, 指出在抵御洪水的同时, 要给洪水以出路。民国时期李仪祉对我国北方地区洪水利用和洪水资源化也有精辟的论述。这些思想对当代的治水仍有很重要的借鉴意义。

1999年11月16日, 水利部汪恕诚部长在中国水利报社通讯报道工作会议上第一次提出“人与自然和谐共处”^[15]。从目前查阅到的文献来看, 使用“人水和谐”一词最早出现于1999年, 2001年将“人水和谐”纳入现代水利的内涵及体系之中。2004年, 我国将“中国水周”活动主题确定为“人水和谐”。人们对人水和谐的思想有了更深入的认识。2005年3月, 全



国人大十届三次会议提出“实践科学发展观，构建和谐社会”的重大战略思想后，“人水和谐”成了人与自然和谐相处的关键因素，也成为新时期治水思路的核心内容。

在《中国学术期刊全文数据库》中搜索“人水和谐”一词，1999~2005年共搜索到495篇文章，较早出现在李菲^[16]、李原园^[17]、翟浩辉^[18]等人的文章中。其实，在2002年以前提到这一词的只有17篇文章，也只是使用了这一词，并没有专门讨论和形成概念。到2003年，已有37篇文章提到“人水和谐”一词；到2004年就达到142篇；2005年，上升到299篇，开始讨论和建议以“人水和谐”为水利发展目标。水利部门官员和专家也在不同媒体上阐述这一观点。如，2003年，鄂竟平提出“善待洪水，实现人水和谐”^[19]；2004年，敬正书提出“坚持科学发展观，实现人水和谐”^[20]；2005年，钱正英院士针对河流开发与改造问题，提出“人与河流和谐发展”的理念^[21]。

从目前收集到的资料来看，国内研究多是只提到“人水和谐”概念，并没有对这一概念进行详细讨论，也没有形成比较统一的概念。由于所处背景、所学专业、观点不同，人们对这一概念有不同的认识和阐述。如，汪恕诚^[22]提出“建设节水型社会是水利部门坚持和认真落实科学发展观的一项重要任务，是贯彻节约保护资源基本国策的战略措施，是坚持人与自然和谐观念、实现可持续发展的必然要求”，强调了节水型社会是人水和谐的必然要求；吕振霖^[23]认为，人水和谐的核心是实现人类的治水要求与尊重水的自然规律的有机统一，比如治理洪水既要防止洪水对人类的伤害，也要防止人类对洪水的伤害；陈家琦^[24]指出，人是自然的重要组成要素，处理好人和水的关系也是处理好人和自然关系的重要内容，并列举了是否保证各类需水要求、是否维护好生态环境、是否保持地表地下水的平衡、水质是否保持良好、洪水出路是否被合理安排、治水工程是否规划设计失误导致人为扩大灾害、是否考虑未来变化中的不确定因素7条标准来检验人与水的关系是否和谐。

目前，国内对人水和谐理论及应用研究，多集中在定性讨论和对策分析上。比如，敬正书^[20]提出实现人水和谐的关键是进一步加强水利工程建设和水资源管理、全面推进节水型社会建设、切实做好防汛抗旱工作、创新和完善水利发展的体制和机制4个方面；蔡其华^[25]提出实现长江流域人水和谐的关键是，建设防洪安全、水资源综合利用、水生态环境保护和水资源管理四大体系；邓坚^[26]提出实现海河流域人水和谐



的关键是,强化水资源管理、抓好水生态环境保护与修复、做好洪水资源利用、加快流域信息化建设、做好水协作工作 5 个方面。也有一些学者对人水和谐相关理论进行初步研究,比如本书作者提出的水资源对经济社会承载程度计算和协调度计算方法^[27,28]以及人水和谐研究框架^[4]。

1.2.3 亟待解决的问题

从国内外研究现状来看,对人水和谐的认识已经越来越被人们所重视,但对人水和谐的研究仍存在许多亟待解决的问题,主要有^[4]:

(1) 人水和谐的概念及内涵。目前,人水和谐主要是一句治水口号,对其概念及内涵探讨较少,需要给人水和谐赋予更充实的内涵。

(2) 人水和谐量化理论方法。对人水和谐的研究至今还没有相对完整和系统的量化方法,主要表现在:如何定量表达人水和谐程度?如何评价人水和谐水平?如何制定人水和谐调控对策?

(3) 人水和谐应用范例研究。对“人水和谐”口号提的很多,但实际的应用至今还没有很成功的范例可以借鉴。

本书作者在国家自然科学基金的资助下,针对目前面临的问题,从 2006 年开始从事人水和谐量化方法的研究,为走人水和谐之路奠定理论基础。本书就是对这些内容的总结。

1.3 人水和谐量化研究主要内容及目标

从上文对人水和谐理论及应用研究现状的评述可以看出:①在对人水和谐定性分析的基础上,需要进一步探讨人水和谐的概念及内涵;②需要开展人水和谐量化基础理论研究和技術方法研究,为实现人水和谐提供重要支撑;③需要开展人水和谐量化理论研究,包括量化指标、量化标准、量化方法;④需要在理论研究的过程中,结合实际,开展应用研究。一方面,在实践中不断检验理论研究成果;另一方面,把理论成果应用并指导实践,推动人水和谐社会的建设。因此,针对这些问题的研究是以人水和谐量化方法研究为主线,采用理论研究与应用范例研究相结合的思路,主要研究内容包括以下几方面(见图 1.1)。

(1) 人水和谐的概念及内涵。在分析人与自然及人与水的关系及发展历程的基础上,提出人水和谐的概念,剖析人水和谐的内涵。

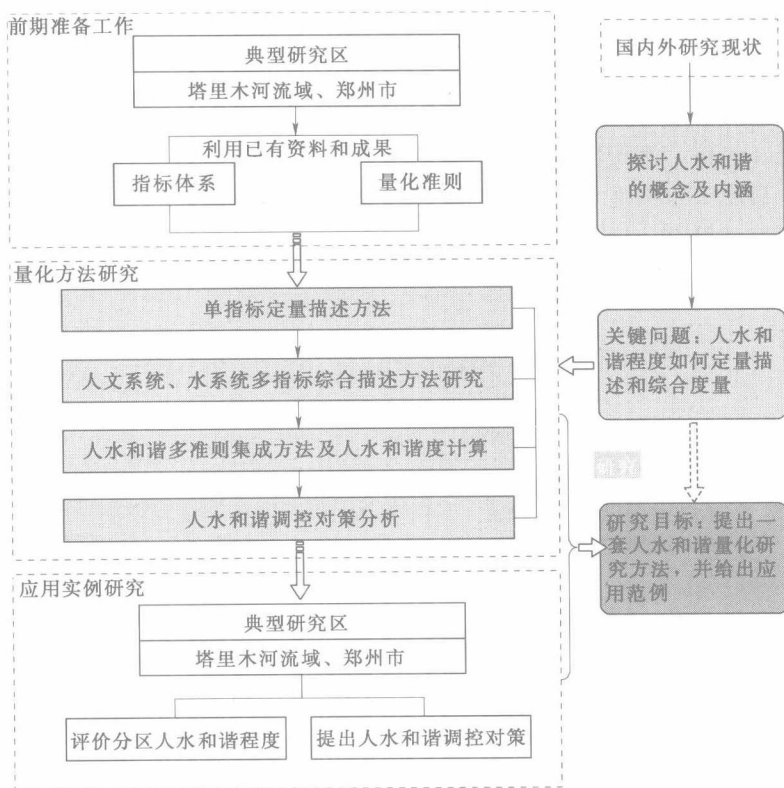


图 1.1 主要研究内容、关键问题及研究目标示意图

(2) 人水和谐量化理论方法。主要研究内容包括：①单指标定量描述方法；②人文系统、水系统多指标综合描述方法研究；③人水和谐多准则集成方法及人水和谐度计算；④人水和谐调控对策分析。

(3) 人水和谐应用范例研究。以塔里木河流域和郑州市为例，进行实例研究，评价各子区及整个区域的人水和谐程度，并对结果进行分析，提出相应调控对策。

研究目标：提出一套人水和谐量化研究方法，并在典型区得到成功应用，为人类走人水和谐之路奠定理论基础，提供成功应用范例。本研究以两个不同尺度代表性区域为实例，采用多学科交叉和多方法并用，研究人水和谐量化方法，提出一套关于人水和谐量化研究的方法体系，实现人水和谐调控对策选择的定量化。



1.4 研究框架及本书主要内容

本研究的总体思路是：以典型研究区为出发点，以前期研究成果及已有的社会、经济、水资源、生态环境等资料为基础，采用多学科交叉、多方法并用，研究人水和谐量化方法，在实例区进行应用和检验。理论与应用研究相结合，确保人水和谐量化方法科学、实用。总体研究框架和技术路线如图 1.2 所示。

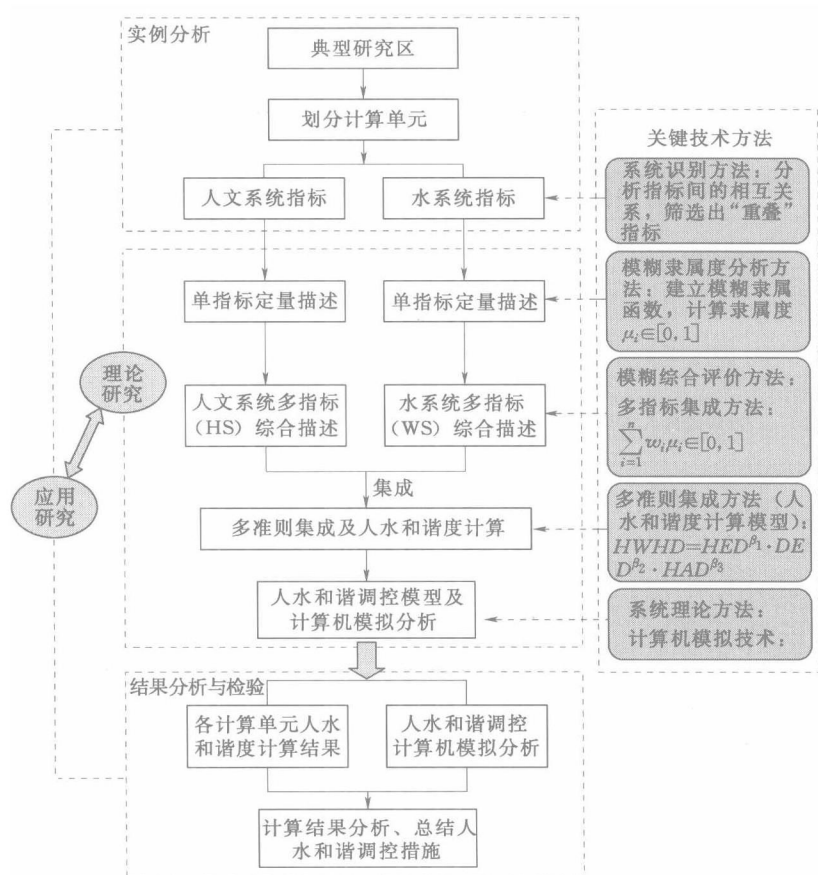


图 1.2 总体研究框架和技术路线图