

Harmony Theory: Theory, Method
and Application

和 谐 论

理论·方法·应用

左其亭 著



科学出版社

内 容 简 介

本书是作者近几年来对和谐问题的研究总结,从全新的视角第一次全面探讨了和谐论的理论及应用体系。全书包括三篇九章:第一篇为认识篇,是对和谐问题的认识的总结,阐述了和谐论的基本概念及相关基础知识;第二篇为理论篇,是对和谐论量化研究的理论总结,提出了和谐论五要素、和谐度方程,构建了和谐论学科体系,探讨了和谐评估、和谐调控两方面的核心问题;第三篇是应用篇,介绍了和谐论的几个应用领域,包括社会科学、人水和谐、跨界河流分水。本书构建的和谐论,是从定量分析的角度对自然界和人类社会中广泛存在的和谐思想进行了研究,为研究和諧途径、和谐策略提供了定量化方法,可以广泛应用于社会、经济、资源、环境等领域,具有重要的理论意义和应用价值。

本书可供社会、经济、资源、环境等专业的工作者、管理者、在校研究生以及企事业单位工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

和谐论:理论·方法·应用/左其亭著. —北京:科学出版社,2012.1
ISBN 978-7-03-032816-8

I. ①和… II. ①左… III. ①社会学-研究 IV. ①C91

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第237472号

责任编辑:张 凡 王景坤 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:赵德静 / 封面设计:无极书装

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2012年1月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:200 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

从人与人的关系来看，除了“善意的竞争”之外，应该和谐相处。比如，人们常说的“和谐社会”、“和谐城市”、“和谐社区”、“和谐家园”、“和谐团队”等。从人与自然的关系来看，人类主宰自然是不可能的，而被迫与自然和谐相处，则正是自然界伟大力量反扑作用的结果。正如恩格斯所说，“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行了报复”。“构建社会主义和谐社会”是我国政府提出的一项重大任务，体现了广大人民群众的根本利益和共同愿望。“人水和谐”是我国水利部门提出和贯彻的治水主导思想。从中都可看出，研究和谐理论具有重要的现实意义。

尽管“和谐”一词在很多地方被使用（如和谐社会、人水和谐），在一些研究中也提得很多，如人水和谐量化研究、和谐社会评价等，但是，多数是定性的分析，或从哲学、伦理学等角度分析研究，尚未形成完善的理论体系，尤其是缺乏涉及量化的描述和理论研究方法。针对这些问题，作者在前期研究工作的基础上，系统地提出了和谐论的理论及应用体系，并形成《和谐论——理论·方法·应用》一书，具体包含以下三篇九章内容。

第一篇为认识篇，包括第一、第二章，是对和谐论问题的认识和总结。第一章和谐论概述，介绍了提出和谐论的背景和意义，阐述了和谐及和谐论的基本概念，并列举了和谐论应用的几个典型例子，总结了和谐论的主要论点。第二章和谐问题分析，对和谐问题进行深入分析，分类举例分析了和谐问题的现实，阐述了和谐的内涵。



第二篇为理论篇，包括第三～六章，是对和谐论量化研究的理论总结。第三章和谐论五要素及和谐度方程，提出了和谐论五要素，是对和谐问题的重要解读；提出了和谐度方程，定量刻画了和谐思想，为构建和谐论量化研究理论体系奠定了基础。第四章和谐论学科体系及其关键问题，构建了和谐论学科体系，并对关键问题展开讨论。第五章和谐评估，是和谐论主要技术方法之一，提出了对和谐水平的两套评估方法，包括和谐度评价方法、多指标综合评价方法。第六章和谐调控，是和谐论的主要技术方法之一，提出了最优和谐行为选择的两种途径，包括和谐行为集优选方法、基于和谐度方程的优化模型方法。

第三篇是应用篇，包括第七～九章，介绍了和谐论的几个应用领域。第七章和谐论在社会科学中的应用。阐述了和谐论在社会科学中的应用前景，列举了几个定性应用实例和定量应用实例。第八章人水和谐应用研究，运用和谐论思想，以郑州市区域为例，介绍人水和谐评估、基于人水和谐量化的水资源优化配置模型及应用，并简要阐述了水资源管理方略。第九章跨界河流的和谐论解读和应用，采用和谐论理念，来解读跨界河流分水问题，建立跨界河流分水的和谐论模型，并介绍了应用实例。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金（项目编号：51079132，50679075）的资助，也得到多个应用研究课题的支持，是我所在研究团队的集体成果。特别要感谢近几年我指导的硕士和博士研究生，他们为本书的很多实例研究和相关研究做了富有成效的工作。他们分别是张云、丁相毅、贾洪涛、王丽、马兴华、沈强、林平、翟家齐、胡瑞、赵春霞、高洋洋、涂莹、庞莹莹、关锋、郭丽君、梁静静、陈耀斌、刘子辉、李冬锋、陶洁、李来山、张修宇、毛翠翠、崔国韬、许云锋。其中，第五章第三节的第四部分和第八章部分引用了硕士研究生张云的毕业论文内容，第六章第三节的第二部分部分引用了硕士研究生庞莹莹的毕业论文内容，第八章第三节部分引用了硕士研究生郭

丽君的毕业论文内容。硕士研究生郭丽君和毛翠翠还参与了本书的文字修改工作。

感谢科学出版社的工作人员为本书出版付出的辛勤劳动。感谢窦明博士、平建华博士对全书的审阅，并提出很好的修改建议。感谢平建华博士对本书中出现的英文翻译的修改。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。

此外，我要特别感谢我的爱人马军霞女士，她既是我生活的伴侣，也是我工作的合作伙伴，不仅对我的生活给予无微不至的关怀，也参与了与本书内容相关的多个课题的研究工作，特别是对本书做了大量的修改工作。我的女儿左伟灿刻苦努力，勤奋好学，以优异成绩考上重点大学，且表现优异，为我们这个和谐家庭带来喜悦。同时，她还从一个初学者的角度帮助修改了第一篇内容，提出了很好的修改建议，并帮助撰写第一章第四节的第五部分和谐建筑的理念小节，受本书的启发提出了新的和谐建筑理念（她学的是建筑学专业），从某种意义上来说，拓宽了和谐论的应用领域。所有这些都是我安心工作的重要基础，谨以此书献给我的爱人和女儿。

由于本书涉及的问题十分复杂，考虑因素和定性分析较多，理论性强，有些观点或说法还值得商榷，特别是本书第一次系统提出和谐论理论及应用体系，可能还存在很多问题，虽几经改稿，书中不足在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

左其亭

2011年7月1日

目 录

前言

第一篇 认识篇

第一章 和谐论概述	3
第一节 提出和谐论的背景及意义	3
第二节 和谐的概念与和谐观	6
第三节 和谐论的基本概念及蕴涵的辩证唯物主义 哲学思想	6
第四节 和谐论的几个典型例子	8
第五节 和谐论与博弈论	19
第二章 和谐问题分析	23
第一节 和谐分类	23
第二节 分类举例分析	25
第三节 和谐的内涵	32



第二篇 理论篇

第三章 和谐论五要素及和谐度方程	37
第一节 和谐论五要素	37
第二节 基于和谐论五要素的和谐问题分类	39
第三节 和谐度方程	40
第四节 和谐度方程为什么能表征和谐程度	43
第五节 和谐度方程中各参数确定方法	48
第六节 应用举例 1——争看电视节目问题	57
第七节 应用举例 2——公共地的悲剧问题	58
第八节 应用举例 3——跨界河流分水问题	61
第四章 和谐论学科体系及其关键问题	63
第一节 和谐论学科体系	63
第二节 关键问题及讨论	65
第五章 和谐评估	74
第一节 概述	74
第二节 和谐度评价方法	74
第三节 多指标综合评价方法	83
第六章 和谐调控	96
第一节 概述	96
第二节 和谐行为集优选方法	97
第三节 基于和谐度方程的优化模型方法	102

第三篇 应用篇

第七章 和谐论在社会科学中的应用	113
第一节 定性应用举例	113
第二节 定量应用举例	117
第八章 人水和谐应用研究	130
第一节 人水和谐评估	130
第二节 基于人水和谐度的水资源优化配置模型及 应用	139
第三节 从和谐论看水资源管理方略	151
第九章 跨界河流的和谐论解读和应用	158
第一节 跨界河流分水问题	158
第二节 跨界河流分水问题的和谐论解读	159
第三节 跨界河流分水的和谐论模型	161
第四节 应用举例	163
附录一 和谐论理论体系汇编	170
附录二 本书涉及的主要概念	173
参考文献	175

第一篇

认识篇

第一讲 提出和借论的意義及意义

第一章 和谐论概述

本章在分析总结大量文献资料的基础上，介绍了和谐论提出的背景及意义，阐述了和谐的概念及和谐观；分析和谐论的基本概念，阐述了和谐论蕴涵的辩证唯物主义哲学思想。分析认为，“和谐论”是辩证唯物主义哲学思想关于“人与自然协调发展”论断的具体体现，蕴涵重要的辩证唯物主义哲学思想。为了进一步说明和谐论的概念及思想，本章列举了几个简单的例子，最后介绍了和谐论的主要论点，并与博弈论进行简单对比。

第一节 提出和谐论的背景及意义

一、目前人们经常提到“和谐”，急需形成一套有指导意义的理论体系

“和谐”（harmony）一词出现频率很高，特别是现阶段常常谈论“构建和谐社会”、“人水和谐”等。2010年11月20日，在互联网上用Google进行搜索，以“和谐”为搜索词，共搜索到大约6690万条结果，涉及和谐社会、和谐校园、和谐城市、和谐家庭、和谐世界、和谐课堂、和谐企业、和谐管理、和谐法制、和谐文化、和谐权、和谐理念、生活和谐、家庭和谐等^[1,2]。可见，“和谐”是人类社会在处理人与人关系、集体与集体关系、个人与集体关系的过程中常常追求



的目标和频繁使用的一个词。

“和谐论”一词也有很多用法。2010年11月20日，在互联网上用Google进行搜索，以“和谐论”为搜索词，共搜索到大约205万条结果，部分是从哲学、政治学、社会学、经济学、美学、佛学等角度讨论“和谐”问题，部分是从应用的角度与“和谐”一词联系起来。然而，多数只是搬用“和谐论”一词，并没有什么真正的理论意义，也缺乏具体的概念、内涵和一套定量化的理论方法及应用体系。如何采用定量化的理论方法来研究和谐问题，应该是人们进一步探讨的核心。因此，研究和谐论的理论方法及应用就显得尤为重要。

二、从研究博弈论而想到“和谐论”

提及“和谐”，就会联想到“博弈”。博弈是指具有理性的个人或群体的行为发生直接相互斗争或竞争作用。博弈论又被称为对策论(games theory)，是研究具有斗争或竞争性质现象的理论和方法，已被广泛应用于经济学、军事、谈判、各种比赛等，在水资源研究中也已被广泛用于水资源优化配置、水权分配、水市场及水资源管理等方面^[3~5]。“博弈”主要针对“斗争或竞争”情形，在实践中经常碰到，如讨价还价、战役攻防、赛马比赛、拍卖等。仅考虑博弈是不够的，一方面，博弈仅仅针对具有斗争或竞争性质的现象，而自然界在很多情况下需要构建一个“和谐”的平衡，广泛存在的“和谐”问题不能应用博弈论来解决；另一方面，在博弈论中出现了一些很难解决的问题，如“公共地的悲剧”问题，就是只考虑博弈而没有考虑和谐的结果。

在博弈论中，很多文章提到“公共地的悲剧”的例子。尽管各自的表述不一样，但实质基本相同。大致意思是，假如有一片草地由两户人家共用，用于放羊。当然，这片草地可供放养的羊的总数是有上限的。如果从个人的利益角度来分析，每户养的羊数越多对自己越有利。因此，从博弈论的角度，个人为了追求利润最大化，

就会片面地发展羊的数量。这就导致羊数太多，草地过度使用，从而出现草地退化直至破坏，最终导致悲剧性结果。这就是“公共地的悲剧”。

再比如，多个地区共用一条河流的水（称为“跨界河流的分水问题”，本书将在第九章专门介绍），而河流的可利用水量是有限的，人类引用水量不能超过其合理的限度。因此，人们引用的水量不能无限制地增加，必须通过协商来合理分配水资源。

因此，在有些情况下只考虑博弈是不够的，还需要考虑和谐问题^[1,2]。也就是说，除博弈论外，还应对应建立“和谐论”。

三、“和谐”是普遍存在的现象，和谐思想早已有之

在我国，提倡人与人和谐、人与自然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。老子提出“万物负阴而抱阳，冲气以为和”。孔子倡导“礼之用，和为贵”。春秋战国时期诸子百家强调人与自然“天人调谐”，人与人“和睦相处”，人与社会“合群济众，善解能容”。大禹治水、都江堰的建设都崇尚“人与水和谐”，使人对水能够趋利避害。西汉贾让提出著名的“治河三策”，其上策便是人与水和谐，指出在抵御洪水的同时，要给洪水以出路^[6]。

在西方，和谐思想也普遍存在。毕达哥拉斯提出“整个天就是一个和谐”，赫拉克利特提出“和谐产生于对立的東西”。马克思主义唯物辩证法的根本思想倡导的“对立与统一的辩证关系”，实际上也属于和谐思想。从人与自然的关系来看，人类主宰自然是不可能的，而是被迫与自然和谐相处，这正是自然界伟大力量反扑的结果。正如恩格斯所说，“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利，对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行了报复”^[7]。因此，人与自然应和谐相处。



第二节 和谐的概念与和谐观

尽管“和谐”一词在很多地方被使用，但没有形成统一的概念。“百度百科”对和谐这样描述：“和谐是对立事物之间在一定的条件下，具体、动态、相对、辩证的统一，是不同事物之间相同相成、相辅相成、相反相成、互助合作、互利互惠、互促互补、共同发展的关系。这是辩证唯物主义和谐观的基本观点。”^[8]

本书作者曾在文献 [1] 中提出如下定义：“和谐” (harmony) 是为了达到“协调、一致、平衡、完整、适应”关系而采取的行动^[1]。特别需要说明的是，定义中所说的“一致”，并不是指思想观点、宗教信仰、专业发展、技术水平等具体行为必须一致，而是指和谐目标一致。比如，宗教信仰可以自由，只要是为了“促进社会和谐，人类健康发展”目标，都应该认为是“一致”的，被允许的。

自然界中“对立与统一的辩证关系”是普遍存在的。其中，“和谐”的观点是马克思主义重要哲学思想的具体体现。辩证唯物主义和谐观提倡人与自然和谐相处，倡导事物之间相互协调、相互适应、保持一致、平衡、完整的和谐关系。

第三节 和谐论的基本概念及蕴涵的辩证唯物主义哲学思想

本书作者把研究“和谐”行为的理论和方法体系称为和谐论 (harmony theory)，并进一步定义“和谐论是研究多方参与者共同实现和谐行为的理论和方法”^[1]。和谐论具有广泛的应用前景，是揭示自然界和谐关系的重要理论，蕴涵着辩证唯物主义哲学思想^[9]。

辩证唯物主义是马克思主义的一种哲学理论，是把唯物主义和辩证法有机地统一起来的科学世界观。以马克思主义哲学的观点，从人和自然界的关系出发，来考察作为这一关系的客体的自然界，作为这一关系中的主体的人的认识和实践活动，以及作为这一关系的中介的科学与技术，便构成了自然辩证法的三部分研究对象^[10]。辩证唯物主义自然观是马克思主义关于自然界的本质及其发展规律的根本观点，它旨在对自然界的存在方式、演化发展以及人和自然界的关系，做出唯物的、辩证的说明^[10]。辩证唯物主义科学技术方法论是人们对自己从事科学技术研究所运用的认识和实践方法的哲学概括，是马克思主义关于人类认识自然和改造自然的一般方法的理论，它旨在揭示科学技术研究是如何按照自然界和人类认识的客观规律辩证地进行的^[10]。辩证唯物主义的科学技术观是人们对科学技术的总体看法，是马克思主义关于科学技术的本质及其发展规律的根本观点，它旨在从人和自然界的关系角度来研究人的科学技术认识 and 实践活动。

(1) 辩证唯物主义哲学思想特别关注人和自然界的唯物辩证关系，认为人和自然协调发展是必要的、可能的。马克思早就指出：“人靠自然界生活。这就是说，自然界是人为了不致死亡而必须与之不断交往的、人的身体。所谓人的肉体生活和精神生活与自然界相联系，也就等于说自然界同自身相联系，因为人是自然界的一部分。”^[11]这段话非常明确地指出了人与自然的整体性乃是人类存在的基本因素^[12]。因此，我们对自然规律的任何蔑视或忽略，对人和自然的协调的任何一种破坏，其结果都不可避免地要祸及于自身^[10]。

(2) 要树立人与自然和谐相处的观念。人与自然之间的物质、能量和信息交换，应该由人来调节。因为，在人和自然的对象性关系中，人是主体；在人和自然构成的调控系统中，人是控制者^[10]。人和自然关系之间的一系列问题，常常就是由人这个调控者在观念上的错误导致的。比如，人类为了自身存在和发展的需要，盲目地、无节制地向自然界索取；片面地发展社会生产力而忽视自然生产力；单纯追



求短期行为的效果而不顾及可能造成的长远影响，等等^[10]。因此，必须要树立人与自然和谐相处的观念。如果没有这种观念上的进步，即使人类在实践上继续拥有先进的科学技术，也不会使其朝着协调人和自然的目标上去努力，相反地还会加剧环境恶化的趋势^[10]。

(3) 调整好社会关系，建立合理的社会制度，是人与自然和谐的基础。人的社会关系不协调，必然会阻碍人与自然的协调发展。虽然我们强调人和自然的矛盾是由作为主体的人的活动引起的，但是人并非单个的自然的人，而是结成一定社会关系的人，人的一切需求也都是社会的需求。只有在使社会不断进步的道路上前行，才能真正找到实际解决人和自然协调发展的钥匙^[10]。如何创造和谐自然？答案是：①人类应当正确看待人对自然的依存关系；②人类应科学地把握人对自然的改造能力；③人类应与自然和谐相处。

和谐论是辩证唯物主义哲学思想关于“人与自然协调发展”论断的具体体现，蕴涵着重要的辩证唯物主义哲学思想。首先，我们应该认识到“和谐是处理人与人关系、人与自然关系的重要思路，是构建和谐社会、和谐社区、和谐团队、和谐自然的重要保障和具体体现”；其次，要逐步树立和谐的观念，在思想意识形态上坚持和谐的理念；最后，人类应主动协调好人与人的关系，这是协调人与自然关系的基础。

第四节 和谐论的几个典型例子

为了进一步说明和谐论的概念及思想，下面列举几个简单的例子。

一、构建和谐社会问题

和谐论思想在构建和谐社会问题中有直接的表现。和谐论强调人与自然和谐、人与人和谐、人与社会和谐、地区与地区和谐、地区与

国家和谐，建立一个充满创造活力的社会，实现利益关系公平的社会，形成和谐相处的人际环境的社会，稳定有序和安定团结的社会。这也是和谐社会的大致雏形和基本特征。

中共中央和政府审时度势，在我国社会主义建设发展的合适时机提出了“构建社会主义和谐社会”的重大战略思想。在2004年9月中国共产党第十六届四中全会提出的《中共中央关于加强党的执政能力建设的决定》中，首次将“构建社会主义和谐社会”正式列为中国共产党全面提高执政能力的五大能力之一。2006年10月，中国共产党第十六届六中全会全面分析了形势和任务，研究了构建社会主义和谐社会的若干重大问题，通过了《中共中央关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》，指出：社会和谐是中国特色社会主义的本质属性，是国家富强、民族振兴、人民幸福的重要保证，社会和谐是中国共产党不懈奋斗的目标。

和谐社会的目标是什么？《中共中央关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》中指出：“社会主义民主法制更加完善，依法治国基本方略得到全面落实，人民的权益得到切实尊重和保障；城乡、区域发展差距扩大的趋势逐步扭转，合理有序的收入分配格局基本形成，家庭财产普遍增加，人民过上更加富足的生活；社会就业比较充分，覆盖城乡居民的社会保障体系基本建立；基本公共服务体系更加完备，政府管理和服务水平有较大提高；全民族的思想道德素质、科学文化素质和健康素质明显提高，良好道德风尚、和谐人际关系进一步形成；全社会创造活力显著增强，创新型国家基本建成；社会管理体系更加完善，社会秩序良好；资源利用效率显著提高，生态环境明显好转；实现全面建设惠及十几亿人口的更高水平的小康社会的目标，努力形成全体人民各尽其能、各得其所而又和谐相处的局面。”

如何构建一个和谐社会？《中共中央关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》中指出：



(1) 坚持协调发展，加强社会事业建设。扎实推进社会主义新农村建设，促进城乡协调发展；落实区域发展总体战略，促进区域协调发展；实施积极的就业政策，发展和谐劳动关系；坚持教育优先发展，促进教育公平；加强医疗卫生服务，提高人民健康水平；加快发展文化事业和文化产业，满足人民群众文化需求；加强环境治理保护，促进人与自然相和谐。

(2) 加强制度建设，保障社会公平正义。完善民主权利保障制度，巩固人民当家做主的政治地位；完善法律制度，夯实社会和谐的法治基础；完善司法体制机制，加强社会和谐的司法保障；完善公共财政制度，逐步实现基本公共服务均等化；完善收入分配制度，规范收入分配秩序；完善社会保障制度，保障群众基本生活。

(3) 建设和谐文化，巩固社会和谐的思想道德基础。建设社会主义核心价值体系，形成全民族奋发向上的精神力量和团结和睦的精神纽带；树立社会主义荣辱观，培育文明道德风尚；坚持正确导向，营造积极健康的思想舆论氛围；广泛开展和谐创建活动，形成人人促进和谐的局面。

(4) 完善社会管理，保持社会安定有序。建设服务型政府，强化社会管理和公共服务职能；推进社区建设，完善基层服务和管理网络；健全社会组织，增强服务社会功能；统筹协调各方面利益关系，妥善处理社会矛盾；完善应急管理体制机制，有效应对各种风险；加强社会治安综合治理，增强人民群众安全感；加强国家安全工作和国防建设，保障国家稳定安全。

(5) 激发社会活力，增进社会团结和睦。增强全社会创造活力，形成万众一心共创伟业的生动局面；巩固和壮大最广泛的爱国统一战线，充分调动各方面的积极性；加强海内外中华儿女的团结，为实现中华民族的伟大复兴而奋斗；坚持走和平发展道路，营造良好外部环境。

(6) 加强党对构建社会主义和谐社会的领导。提高各级领导班子

和领导干部领导社会主义和谐社会建设的本领；加强基层基础工作；建设宏大的社会工作人才队伍；深入开展党风廉政建设和反腐败斗争。

如何看待不和谐因素？《中共中央关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》中指出：“目前，我国社会总体上是和谐的。但是，也存在不少影响社会和谐的矛盾和问题，主要是：城乡、区域、经济社会发展很不平衡，人口资源环境压力加大；就业、社会保障、收入分配、教育、医疗、住房、安全生产、社会治安等方面关系群众切身利益的问题比较突出；体制机制尚不完善，民主法制还不健全；一些社会成员诚信缺失、道德失范，一些领导干部的素质、能力和作风与新形势新任务的要求还不适应；一些领域的腐败现象仍然比较严重；敌对势力的渗透破坏活动危及国家安全和社会稳定。”“任何社会都不可能没有矛盾，人类社会总是在矛盾运动中发展进步的。构建社会主义和谐社会是一个不断化解社会矛盾的持续过程。”

由以上介绍可以看出：

(1) 描述的和谐社会极其复杂，包括多种多样的和谐关系。例如，人与人、人与单位、人与社区、单位与单位、社区与社区、地区与地区等之间的和谐。如何界定和谐社会的参与者范围与和谐关系，也是一个十分复杂的问题。

(2) 构建和谐社会的过程极其复杂，包括多种因素。例如，协调发展、法制建设、文化教育、社会安全、团结和睦、队伍建设、社会风尚等。也就是说，和谐社会的影响因素很多，包含的和谐内容也很多，需要构建一个多因素影响的和谐社会。但是，如何建立一套和谐社会评估指标体系来定量描述和调控和谐社会，如何科学合理地评估和谐社会水平，查找和谐影响因素，都是需要解决的实际学术问题。

(3) 什么样的社会是和谐社会？建设和谐社会的目标是什么？如何通过采取必要的措施来构建和谐社会？目前还只能从多个方面定性描述，还缺乏定量化研究方法。



(4) 构建和谐社会是人类社会发展的主旋律，是我们人类长期奋斗的目标。当然，我们必须承认，任何社会发展不可能没有不和谐因素。针对这一问题，我们应该看到和谐社会的主流，当然也不要对不和谐因素视而不见。在实际量化研究时，应定量表达这种关系。

二、和谐家庭问题

家庭是由婚姻、血缘或收养关系所组成的社会组织的基本单位。家庭是组成社会的最基本单元，和谐家庭是构建和谐社会的重要基础。

一般来说，家庭具有以下功能：①情感和陪伴功能。在现代社会，夫妻之间在筑建的家庭中相互关爱，互为伴侣；对孩子成长来说，家庭是健康成长、情感陪伴的重要场所；对老人来说，家庭是传递温暖、获得情感和陪伴的重要依赖。因此，提供情感和陪伴已成为现代家庭的核心功能。②共同承担社会化任务的功能。从很多方面讲，家庭是一个亲密的小群体，易于沟通，易于团结，适合共同承担社会化任务。例如，对子女的教育和抚养，和谐的家庭关系会让子女有感情、有动力，父母双方的教育都起到非常重要的作用。③经济合作和共同承担风险的功能。在农村，家庭是一个最基本的生产单位，家庭成员一起劳动，共同完成生产任务。在城市，一家人经常在经济上相互支持甚至一起挣钱。此外，在消费方面，也存在经济合作，比如购买的汽车、房屋、电器等，是一个家庭的共同财产。家庭在一定程度上抵挡风险的能力大于一个人抵挡风险的能力。

因为家庭结构不同、组成家庭的人员各异，家庭情况千差万别，也很难用一个标准来衡量和谐家庭。一般来说，婚姻不稳定，家庭不稳定，子女教育不好，无力或不愿意赡养老人，家庭矛盾较多，这样的家庭就不能称为和谐家庭。

一般来说，一个和谐家庭应该具备以下特征：家庭成员之间、家庭与社会之间和谐共处，家庭成员全面发展，民主平等，积极上进，

老有所养，少有所学，崇尚健康，节能环保，家庭与自然和谐相处。

建设和谐家庭是一个社会学问题，除了家庭成员之间的和谐关系外，还包括家庭与社会之间、家庭与自然之间的和谐关系，和谐关系也比较复杂。此外，影响家庭和谐的因素也很多，包括发展状况、婚姻状况、家庭稳定、家庭教育、成员关系、道德风尚、男女平等、尊老爱幼、夫妻和睦、勤俭持家、邻里团结、节能环保等。

从学术角度来看，目前有待研究的问题是：什么样的家庭是和谐家庭？建设和谐家庭的目标是什么？如何通过采取必要的措施来实现家庭和谐？如何建立一套评估指标体系来定量描述和谐家庭？如何科学合理地评估家庭和谐水平，查找和谐影响因素？目前还只能从多方面作定性描述，尚缺乏定量化研究方法。

三、和谐校园建设问题

校园是学生学习知识、健康成长的重要场所。创建和谐的校园是发展教育事业、培养优秀人才、促进经济社会发展的重要基础。

校园范围有大有小，人数有多有少，有高等教育校园也有初等教育校园，因此，很难一一列出各种各样的校园情况。但创建和谐校园是所有校园的共同主题。和谐校园建设主要包括以下几方面。

（一）学生与学生的和谐关系——“和谐的同学关系”

校园的主体是学生，建立和谐的同学关系是构建和谐校园的重要方面。同学之间应互相帮助、互相关心、相互学习、相互促进。当同学遇到困难时，大家应关心帮助，献出仁爱之心，让他感受到校园的温馨。在对待同学关系上，要保持良好的心态，宽容待人，友好相处，打造和谐的同学关系。学生也在处理人际关系中不断得到必要的锻炼，为走向社会、成为对社会有用的人奠定基础。

（二）学生与教师的和谐关系——“和谐的师生关系”

校园的两个重要群体是学生和教师，建立和谐的师生关系是构建和谐校园的另外一个重要方面。教师是传道授业解惑的使者，是学生



获得知识、从无知到有知、从幼稚走向成熟的重要领路人。可见，教师在校园文化建设中占有重要地位。俗话说“德高为师，学高为范”，教师本身也要注意自身建设，具备良好的教师职业道德，做到为人师表，做好传授文化知识的使者。学生要尊重教师的劳动。师生互敬互爱，从而营造和谐的师生关系。

（三）教师与教师的和谐关系——“和谐的教师团队”

在校园，教师是主导教学工作的重要因素，是学生学习、成长的直接领路人。教师队伍建设是非常重要的一个方面。教师首先要有积极上进的敬业精神，蓬勃向上的团队作风，为打造和谐的教师团队打下基础。

（四）建立好的学风、校风、教风——“和谐的校园文化”

在校园，我们应倡导脚踏实地的学习精神，艰苦奋斗的工作作风，积极向上的校园风尚，求真务实的教育氛围，诚实守信、文明严谨、坦诚相待、互相帮助，从而打造和谐的校园文化。

（五）保障校园安全、稳定、祥和——“和谐的校园环境”

除了建立以上和谐关系外，还需要保障校园的安全、稳定、祥和。校园是学生学习、生活的主要场所，是教师教书育人的主要场所。校园安全稳定，才能让学生安心学习，教师安心工作。相反，如果校园中经常出现打架斗殴现象，校园周围治安混乱、人心惶惶，教师不能安心教学，学生不能安心学习，肯定会影响人才培养的效果。

因此，打造和谐的校园需要学生、教师、社会的共同努力，只有在和谐的校园中学生才能愉快地学习、健康地成长。

四、国际关系的和谐问题

国际关系是指人们超越国家界限建立起来的一种特殊社会关系，包括政治、经济、军事、社会等关系。从全球化到领土争端、核危机、种族主义、恐怖主义、人权、经济发展、消除贫困、疾病防治

等，都属国际关系范畴。

国际关系十分复杂，每个国家的国情不同，习惯和观念不同，对问题的理解和看法也各异。因此，需要理解各国的不同立场和观点，允许不同国家之间存在差异（即不和谐因素），通过对话处理各种矛盾和冲突，建立一个相互理解、相互信任的和谐国际关系。这是促进全球可持续发展、保障人类社会不断进步的重要国际氛围。

构建和谐国际关系是当今中国外交的重要战略目标，受到了国际社会的广泛关注。2005年9月15日，中国国家主席胡锦涛在联合国成立60周年首脑会议上发表了《努力建设持久和平、共同繁荣的和谐世界》的讲话，主张世界各国应“坚持多边主义，实现共同安全；坚持互利合作，实现共同繁荣；坚持包容精神，共建和谐世界”。中国在对外国际关系中，始终坚持“和平共处五项原则”，即“互相尊重主权和领土完整，互不侵犯，互不干涉内政，平等互利，和平共处”。中国奉行独立自主的和平外交政策，在和平共处五项原则的基础上同世界各国发展友好合作关系。“和平共处”思想就是“和谐国际关系”理念的重要体现。

建立和谐的国际关系，需要坚持：①允许各国存在差异，理解不同国家有不同的立场和观点，对国际上存在的矛盾和冲突不要“大惊小怪”；②对待国际矛盾和冲突要通过对话解决，坚持包容精神，求同存异，和平共处。

五、和谐建筑的理念^①

建筑是人们用土、石、砖、瓦、木、钢、玻璃、塑料、植物杆和叶等一切可以利用的材料，建造的构筑物，也就是利用各种材料构成的一种供人居住和使用的空间，如住宅、体育馆、车站、机场、桥梁、窑洞、水塔、寺庙等。建造构筑物，是一个从无到有的过程，只

^① 本部分由西安交通大学建筑学专业左伟灿撰写。



有形成了空间，才能供人们使用。在建造过程中，我们不仅要关注建筑物本身的造型、色彩，也要关注其创造出的空间。因此，人们构筑的建筑并不是一个孤零零的构筑物，而是需要与周边建筑、当地文化、人的心理感受、宗教信仰、经济和政治协调起来，才能建造出完美的建筑，这就是和谐建筑的理念。

首先，在外部造型满足视觉美观的要求和形成的空间功能要求之间，要进行协调。其次，为了形成这个空间，就要动用许多物质因素，如砖、瓦、钢筋、水泥等，需要各种建筑材料的相互配合。最后，建筑要充分考虑自然因素，以满足人的要求，如地理位置、光、声、温度、湿度等，要与自然和谐起来。此外，建筑还会体现各种人文因素，如宗教、价值观、风俗、学术思想、科学技术，甚至是阶级社会形态等。所以，和谐建筑不仅体现在物质、自然、人文等各方面之间的和谐，还体现在每个方面中各因素之间的和谐，更是艺术与功能之间的和谐。可见，和谐建筑将各种因素综合在建筑中，使建筑趋于完美。

（一）建筑与周边建筑

建筑与周边建筑的协调，往大处说，就是城市规划，按照整合原则、美学原则、经济原则协调各方面在发展中的关系，统筹安排各项建设，为人们的居住、劳动、学习、交通、休息以及各种社会活动创造良好条件。往小处说，就是楼与楼之间的关系，包括楼与楼之间的距离、不同类型的建筑相邻关系、美学一致协调关系等。

（二）建筑与文化

建筑形成一种文化，同时文化又催生各种建筑，所以建筑和文化是相辅相成的。建筑是凝固的音乐，而建筑的灵魂则在于文化。建造和谐建筑，前提就是建筑与自身灵魂的和谐，与当今先进文化发展的方向一致。

如果将古希腊的帕提农神庙建在现代社会，会有什么结果呢？当今的建筑讲求便捷、实用，如此笨重、耗用大量石材的神庙若建立在

马路旁，则没有一个人会欣赏它。但是，将帕提农神庙放在古希腊这个大的历史文化背景下，则堪称建筑史上不可逾越的高峰，精品中的精品，即使被毁坏，也仍然被后人所称道。这不仅是因为它是在科技不发达的情况下，完全依靠人力创造出的奇迹，更是因为建筑师伊克蒂诺将古希腊文明，融入神庙的每个细节中。

上海世博会的中国馆备受世人瞩目。其最重要的一点就是紧紧围绕中国文化，设计出了只可能属于中国的建筑。国家馆居中升起，采用极富中国建筑文化意韵的“斗冠”造型，外墙表面覆以“叠篆文字”，呈水平展开之势^[13]。另外，红色也是中华民族最为喜爱的颜色。

（三）建筑与心理感受

建筑学中，有一门相当重要的课程就是环境心理学。建筑创造不同的环境带给人们不同的心理感受。一个建筑设计是否成功，最重要的有两点：一是是否符合实际需要，二是是否符合人们的心理需要。所以和谐建筑就应在特定的环境中带给人们合适的心理感受。

北京的故宫，大尺度的房屋、广场、城墙，金碧辉煌，给人以威严、庄重、神圣不可冒犯的心理感受。而苏州园林中，在袖珍的山水环绕下，精巧的房屋、走廊、扇形门，满目的青翠，则给人以亲切宜人、放松舒畅的感觉。

（四）建筑与自然

建筑改变着自然，自然也影响着建筑。古人就地取材，建造遮风避雨的场所。直至今日仍有不少传统民居沿用传统方法建造房屋，如傣族的竹楼、藏族的碉楼等。虽然当今随着科技的进步，绝大多数建筑所用的建筑材料受自然的影响越来越小，但自然对建筑的影响还是不可忽视的。此外，建筑设计应与自然环境相协调，就像这座房屋本来就应合理地存在于这个自然环境中一样。同时，建筑应以不破坏自然环境为前提，科学掌握改造自然的程度。

我国自古就有“风水”之说，一部分确实是迷信，另一部分却极有道理，但当时古人没有做出科学的解释，只是将经验传给后人。例



如，坐北朝南原则，有利于建筑物的采光和避风；顺乘生气原则，有利于建筑物空气流通和人的身体健康。因此，“风水”中科学的那部分建筑原则符合和谐建筑中与自然和谐的观点。

（五）建筑与宗教信仰

在建筑历史中，神庙、教堂、寺庙都有举足轻重的地位，因为它们的建造大都得到统治者的支持，所以它们能够代表当时最高的建筑水平。世界上三大宗教：佛教、伊斯兰教、基督教，每个教派都有不同风格的建筑。在我国流传最久远的佛教，早期以塔为主，后来随着佛殿的兴建，逐渐以寺庙为主；伊斯兰教建筑则以清真寺为主；基督教则以教堂为主，教堂的建筑风格主要有哥特式、拜占庭式、罗马式，都是在不同的历史条件下，结合不同国度的文化形成的。此外，在建筑设计中要考虑当地或建筑物周边地区的宗教信仰，比如在佛教圣地，要充分考虑佛教的习惯。由此可见，在建筑设计中，要考虑人们的宗教信仰，将宗教文化融入建筑设计中，实现建筑与宗教信仰的和谐。

（六）建筑与经济

建筑的建造是建立在一定的经济基础之上的。建筑造价估算，是建筑建造过程中非常重要的一个步骤。只有做出正确的预算，并与实际经济承受能力相符合，才算是真正符合实际需要的建筑，而不是没有建完就资金不足的“乌托邦”。此外，建筑完工后，要充分实现其经济价值也是重点之一。所以，建筑与经济之间也有着非常紧密的联系。当建筑符合经济承受能力，而且建后又能实现其应有的经济价值，才能称之为和谐建筑。

（七）建筑与政治

人们在谈及建筑与政治的关系时，经常会说：“建筑是权利和财富的纪念碑，它要在水泥、钢铁和玻璃的组合中，炫示高贵的身份。”自古就有“以建筑之名，膜拜权利”这一说法。例如，希特勒主持设

计的新柏林宫，即希特勒的新总理府，给外国来访者较强的心理冲击，让人陷入对权力的敬畏之中。当然，这也与建筑的尺度对人们心理的影响有关。但建造新的总理府的目的不仅仅是用来威慑小国元首，它的大尺度和背后的故事也是使德国普通民众受到感染的重要因素^[14]。

第五节 和谐论与博弈论

一、和谐论主要论点

纵观以上和谐论的概念及分析举例，可以总结出以下主要论点：

(1) 和谐论提倡用“以和为贵”的理念，来处理各种关系。和谐的思想是和谐论的基石。比如，对待家庭关系，主张建立和谐家庭；对待国际关系，主张建立和谐世界；对待人与人之间的关系，主张和谐相处；对待人与自然关系，主张人与自然和谐。

(2) 和谐论提倡理性地认识各种关系中存在的矛盾和冲突，允许存在“差异”，提倡以和谐的态度来处理各种不和谐的因素和问题。当然也不要对不和谐因素视而不见。既要看到和谐的主流，又要看到不和谐的存在。例如，在处理国际关系中，允许各国存在不同立场和观点；在对待“香港问题”、“澳门问题”上，允许“一国两制”；在对待“台湾问题”上，赞同“求同存异”的思想。

(3) 和谐论坚持以人为本、全面、协调、可持续发展的科学发展观，解决自然界和人类社会面临的各种问题。比如，解决由于人口增加和经济社会高速发展出现的洪涝灾害、干旱缺水、水土流失和水污染等水问题，使人和水的关系达到一种协调的状态，使宝贵有限的水资源为经济社会可持续发展提供久远的支撑，从而实现人水和谐^[9]。

(4) 和谐论坚持辩证唯物主义哲学思想，关注人和自然界的辩证唯物关系，提倡人与自然和谐相处的观念，认为人和自然协调发展是



必要的、可能的；主张人类应主动协调好人与人的关系，这是协调人与自然关系的基础。例如，人水关系的调整特别是人水矛盾的解决主要是通过调整人类的行为来实现，需要调整好社会关系，合理分配不同地区、不同部门、不同用户的用水量和排污量，既共享水资源又共同承担保护水资源的责任^[9]。

(5) 和谐论坚持系统的观点，提倡采用系统论的理论方法来研究和谐关系问题。因为和谐关系一般比较复杂，至少涉及两个以上的参与者，达到和谐目标本身就是一个系统科学问题。例如，研究人水关系，必须将人和水纳入各自的系统（人文系统与水系统）或人水大系统中进行研究，对人与水关系的研究不能就水论水、就人论人，要系统研究^[9]。

(6) 和谐论是研究多种多样关系的重要理论方法。自然界和人类社会包括各种各样的关系，如人与人、人与单位、人与社区、单位与单位、社区与社区、地区与地区、人与自然、各种事物之间、生物与生物等。如何处理这些关系以达到“和谐共处”，具有重要的现实意义。和谐论为揭示自然界和人类社会的和谐关系奠定了理论基础，具有广阔的应用前景。

二、博弈论简介

博弈论又被称为对策论，是研究竞争环境下的多人决策理论，它既是现代数学的一个新分支，也是运筹学的一个重要分支。博弈论产生于20世纪初，是研究具有斗争或竞争性质现象的理论和方法。其产生之初主要用于经济学研究领域，之后又扩展到了政治、军事、文化、法律、自然科学等领域^[4]。

博弈论思想自古有之，如象棋、桥牌、赛马、赌博中的胜负等问题都用到博弈论思想。最初，人们对博弈的认识和结果把握只停留在经验上，没有向理论化发展，正式发展成一门学科则是在20世纪初。1944年，John Von Neumann 和 Oskar Morgenstern 合著出版《博弈

论与经济行为》(Game Theory and Economic Behaviors)一书,标志着博弈论的正式诞生。该书主要研究双人零和博弈。1950年,John Nash发表了《 n 人博弈中的均衡点》一文,在博弈论中具有奠基性意义,提出了博弈论中最重要的解的概念——Nash均衡。在博弈论中,均衡指的是所有参与者的最优战略的组合,是博弈论最重要、最基础的一个概念,对于不同类型、不同条件的博弈问题又形成各种各样特定的均衡概念,它们构成了博弈论五彩缤纷的预测结果^[15]。

在博弈论发展的过程中,根据实际研究的需要,出现了静态博弈和动态博弈、完全信息博弈和不完全信息博弈、合作博弈和非合作博弈等类型和理论。博弈论的应用也扩展到了经济、政治、文化、法律以及生物学、计算机、水资源等诸多自然科学的研究当中。

三、和谐论与博弈论对比

提及“和谐”,就会联想到“博弈”。和谐论和博弈论有什么样的关系呢?这里对比分析如下:

(1) 和谐论和博弈论都是处理各种关系的理论,但它们的研究对象有所不同。博弈论的研究对象是具有理性的个人或群体,即人类社会,不包括人类社会以外的对象;而和谐论的研究对象不仅针对具有理性的个人或群体,还包括个人或群体之外的其他各种关系,如人与自然的和谐关系、生物群落与生物群落的依存和谐关系。博弈论所考虑的博弈决策者为具有完全理性的个人或群体,这一前提要求就影响到了博弈论在自然科学领域中的某些应用。而和谐论的应用就更加广泛,适用于多个领域。

(2) 两者的出发点不同。博弈论的出发点是“博弈”,是针对“斗争或竞争”情形,通过“博弈”达到一个均衡结果。和谐论的出发点是“和谐”,是针对各种可能关系,通过“协调、一致、平衡、完整、适应”而达到的一种和谐状态。

(3) 两者的目标不同。博弈论的目标是达到对自己最有利的战略



(最优战略)，从而达到所有参与者的一种均衡（均衡是指所有参与者的最优战略的组合）。和谐论的目标是达到总体最有利的和谐状态，通过参与者的共同努力实现的是总体和谐的目标。博弈论的目标对单个参与者是最有利的，但对全体不一定是最有利的结果，所以导致像“公共地的悲剧”一样的结果。和谐论的目标是达到总体的和谐状态，可能会影响或限制某些参与者的利益。

(4) 两者的实现途径不同。博弈论是通过“博弈”，也就是“斗争或竞争”实现最后的结果。和谐论是通过“协调、协商”，限制或约束某些行为，来实现最后和谐状态的结果。所以，两者从“出发点”到“达到目标”的实现途径有所不同。

第二章 和谐问题分析

本章按照和谐参与对象的情况，对和谐进行分类，并对每类和谐问题举例分析，在分析的基础上，阐述和谐的内涵。

第一节 和谐分类

和谐参与对象可以分成两大类，即“人类”、“自然界”。两者的不同排列组合，构成了3类和谐问题，分别是人与人和谐、人与自然和谐、自然界和谐，如图2.1所示。和谐社会、和谐校园、和谐城市、和谐家庭、和谐课堂、和谐企业等，都是人与人和谐。人水和谐、资源开发利用和谐、人与生态环境和谐等，都是人与自然和谐。此外，自然界和谐也普遍存在，如生物群落间和谐，自然界生物链也是一个生物和谐共处的例子。

参与对象	人类	自然界
人类	人与人和谐	人与自然和谐
自然界		自然界和谐

图 2.1 和谐分类大类示意图

在各大类中可以进一步分类，如图2.2所示。“人类”进一步分为单个人、单位（或集体、企业）、地区（或城市）、民族、国家等。



“自然界”可以进一步细划，如水系统、生态环境、资源（土地资源、矿产资源等）。如图 2.2 所示，组成了各类和谐，包括：①人与人和谐，主要针对单个人之间的关系，是和谐关系中最广泛的一种，目前所探讨的很多和谐关系都涉及人与人的关系，如和谐家庭、和谐社区、和谐团队、和谐人际关系；②单位与单位和谐，主要针对单位（或集体、企业）之间的关系，如单位间和谐用水关系、单位间和谐相邻关系；③地区与地区和谐，主要针对地区（或城市）之间的关系，如地区间和谐、地区间和谐用水关系、和谐城市、和谐省；④民族间和谐，主要针对不同民族之间的关系，如和谐民族、和谐民族文化；⑤国家与国家和谐，主要针对国家之间的关系，如和谐世界、和谐国家关系；⑥人与自然和谐，主要指人类社会与自然界之间的和谐关系；⑦自然界和谐，主要指自然界本身内部的和谐，如生物群落间和谐、水量与水质和谐、山水植被和谐；⑧人水和谐，是指人文系统与水系统之间的和谐；⑨人与生态环境和谐，是指人类与生存环境之间的和谐关系；⑩人与资源和谐，主要指人类开发与保护自然界资源的关系，如资源开发与保护的和谐（包括土地资源、矿产资源等）。

参与对象	人	单位	地区	民族	国家	自然界	水系统	生态环境	资源
人	人与人和谐					人与自然和谐	人水和谐	人与生态环境和谐	人与资源和谐
单位		单位与单位和谐							
地区			地区与地区和谐						
民族				民族间和谐					
国家					国家与国家和谐				
自然界						自然界和谐			

图 2.2 和谐分类网格图

第二节 分类举例分析

下面进一步对上文提到的 10 类和谐逐一举例说明。

一、人与人和谐

人与人结成了一定的社会关系，就组成人类社会，人类社会的主要基础是人与人的关系。人的社会关系不协调，必然会阻碍人与自然和谐。处理好人与人和谐，是构建和谐社会、实现人与自然和谐的重要前提。

人与人和谐的例子非常多，小到两个人、几个人之间的和谐，如和谐夫妻、和谐家庭；再大一些人群的和谐，如和谐团队、和谐社区。此外，其他类型的和谐中有时也暗含着人与人和谐，如和谐社会，不仅包括人与人和谐，也包括人与自然和谐，如和谐世界，包括国家和谐、地区和谐等，其最根本的还是人与人和谐。

二、单位与单位和谐

机关、团体、法人、企业等非自然人的实体或其下属部门，可以称为一个单位，是工薪阶层上班的地方，是社会活动的重要单元。因此，保障单位与单位和谐，对构建和谐社会具有重要意义。

单位与单位和谐的例子非常多。例如，要处理好相邻单位间的睦邻友好关系（单位间和谐相邻关系）；为了合理利用水资源，通过协商，分配各单位的用水量，建立单位间和谐用水关系；单位之间的经济往来，要有诚信，互惠互利，这是建立和谐经济关系的基础。

三、地区与地区和谐

这里所指的地区有大有小。较小的区域，如某一城区、市区、乡



镇、县、省等，也可以表示为较大的区域，如我国的沿海地区、中部地区、西部地区、发达地区，以及中国内地等。地区与地区之间的往来非常频繁，如人员往来、经济往来、文化交流。此外，还可能存在其他因素的相互联系。例如，地区间因为河流的连接形成用水之间的联系，大气环流作用形成大气环境（如沙尘暴）之间的联系。这些因素都是地区与地区之间联系的纽带，导致地区间关系呈现复杂性。保持地区与地区和谐是实现地区稳定、保障地区可持续发展的重要基础。

地区与地区和谐的例子比较多，如地区间和谐用水关系、矿产资源利用关系，地区间和谐执法、和谐交通、和谐贸易、和谐人才交流、和谐劳务协作平台。当然，如果地区间不和谐，甚至出现地区间矛盾和冲突，对各地区发展和稳定都没有好处。例如，河流上游地区用水、排污不顾及下游，就会严重影响下游地区的用水和环境；而下游地区贫困，可能会导致部分居民移居上游，从而影响上游地区的社会稳定；下游地区环境恶化，也可能会殃及上游地区生存环境，如生物链破坏、大气环流影响等。

四、民族间和谐

民族是由于不同地域的各种族（或部落）在经济生活、语言文字、生活习惯和历史发展上的不同而形成的一个有共同语言、共同地域、共同经济生活以及表现于共同文化上的共同心理素质的稳定的共同体。中国是一个多民族国家，有 56 个民族。

民族关系是指民族之间政治、经济、文化等方面相互关系的总和。由于民族间政治、经济、文化、语言文字、风俗习惯、宗教信仰等存在差异，在民族活动、交往联系中必然会产生民族问题，这是经常遇到的社会问题。民族问题长期存在，但表现形态和内容不尽相同，甚至差异很大。在阶级社会，民族问题主要表现为民族歧视、民族压迫、民族剥削、民族奴役、民族纠纷和民族斗争；在和谐社会，

要实现民族平等、民族团结、民族间和谐，当然也存在很多不和谐因素，即民族问题。例如，经济发展不平衡问题、教育条件差异问题、就业机会不均衡问题等，这些是民族差异带来的现实问题，与阶级社会民族问题截然不同。

民族和谐是中华各民族自古以来共同创造的精神财富，也是多民族国家社会和谐的重要内容。只有消除贫困，缩小民族间经济发展水平的差距，平等、团结和互助，促进民族和谐，才能为构建和谐社会创造条件。

五、国家与国家和谐

国家是国际公认而又有相对明确政治边界的某一国土区域。从外在表现形式看，国家是一个具有明确边界的区域。从政治意义上看，国家是一种拥有治理一个社会的权力的机构，在一定的领土内拥有主权。从国际关系上看，一个国家具有自己的主权，就自然会为了自己国家的利益，与其他国家发生矛盾和冲突（当然有大有小，大到战争，小到经济摩擦）。因此，妥善处理好国家与国家之间的关系，是建立和谐国际关系，实现和谐世界的重要基础。

国家与国家和谐的例子也比较多，如和谐国际关系、和谐军事关系（战略同盟关系）、和谐外交关系、和谐政治氛围、和谐国际组织（政府国际组织、非政府国际组织）、和谐经济体（跨国公司）。

六、人与自然和谐

自然界是人类生存发展的摇篮，能提供人类生存的必需物质，如供人类呼吸的新鲜空气、饮用水、食物等，没有自然界就不可能有人类的存在，正如马克思所指出的“人靠自然界生活……人是自然界的一部分”^[1]。因此，保护好人类赖以生存的自然界，既是保护自然界也是保护人类自己。

人类的生存和发展，一刻也离不开自然界，必然要通过生产劳动



同自然界进行物质、能量交换，获得人类所需要的物质。可以说，人类通过劳动改造自然，自然界为人类发展做出不可或缺贡献。然而，如果人类不克制自己的行为，无节制地去开发自然，改造自然，以满足人类发展不断增加的欲望，这可能会在一定程度上达到发展的目标。但是，由于自然界的承受能力是有限的，可恢复能力也是有限的，当人的行为超过其可接受的限度时，必然会导致自然界内部平衡的破坏，以至于破坏自然界，也就是破坏了人类生存的环境，因而受自然界的报复也就在所难免。正如恩格斯所说，“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行了报复”^[7]。因此，人与自然必须和谐相处。人与自然和谐是处理人与自然关系的必由之路，共同维系人与自然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。

人与自然和谐直接表现很多，因素也非常复杂。例如，对自然界资源的消耗不能超过自然界的承载能力；对自然界的污染不能超过其环境容量；对自然界植被的砍伐不能超过可恢复能力；对自然界的开发和大型工程建设不能超过自然界生态环境可接受的极限。这就要求人类与自然界和谐共处，共生、共赢、共荣，而不是征服、改造、索取。人类必须要克制自己的行为，去爱护自然、保护自然，树立人与自然和谐的理念，利用自然界自身固有的规律，更好地创造人类文明，包括物质文明、精神文明和生态文明。

七、自然界和谐

自然界是地球生态系统（包括无机界和有机界）的总称，包括水、空气、山脉、河流、微生物、植物、动物等，是我们人类赖以生存的基础。可见，自然界的组成极其复杂，是一个生机勃勃、五彩缤纷的世界。要实现人与自然和谐，首先要使自然界一直处于自身和谐状态。

自然界和谐的例子也比较多。例如，自然界中生物链本身也是一

个和谐关系。自然界各种生物可以分为三大类：植物、动物、微生物。微生物（细菌和真菌）被低等植物或动物吸收，植物摄入某种物质后，制造出或本身就是另一种生物的营养食物而被其食人，再通过植物、动物、捕食与被捕食等的食物营养纽带依次连锁转移，最终被人食人，就形成一条完整的生物链。一个生态系统中常存在着许多条生物链，由这些生物链彼此相互交错联结成的复杂营养关系成为生物链网。一个复杂的生物链网是使生态系统保持稳定的重要条件。一般认为，生物链网越复杂，生态系统抵抗外力干扰的能力就越强，生物链网越简单，生态系统就越容易发生波动和毁灭。生物间这种依存关系实际上也是组成五彩缤纷世界的基础，也是一种和谐共存关系。如果某一个环节遭到破坏，可能会带来生态系统的破坏，造成自然界的和谐。这样的例子非常多，这里列举草原生态系统的例子。在草原上，狼吃田鼠、野兔和黄羊，田鼠、野兔和黄羊又吃草，草又是羊和马的主要饲料，羊和马又是人的主要食物来源。但是，狼吃羊和马，又是牲畜和人的大敌。如果狼少了，田鼠、野兔和黄羊就会大量繁衍，危害草的生长。就这样，组成了一个庞大的草原生物链，它们相互制约、相互依存，共同发展。假如人们看到狼吃羊和马，觉得狼是羊和马的大敌，就采用各种方法消灭狼，以期保护他们的羊和马。可是，由于狼少了，大量田鼠、野兔和黄羊繁殖生长，用草量大增，经常将草连根拔起，带来草原的破坏，不仅影响羊和马的生长质量，也危及人类的生存环境。从狼和田鼠、野兔、黄羊、草的关系来看，狼对于草原是有利的，因此保持一个和谐的草原生态系统是十分必要的，所要做的工作也是十分复杂的。

八、人水和谐

人水关系可以简单地理解为“人文系统”与“水系统”之间的关系。人水关系十分复杂，人类对人水关系的认识也在不断变化。在人类社会发展的不同阶段，人水关系亦不相同。在古代，由于人类生产



力水平较低，人类只能顺从自然，多数在河流取用水方便的地区生活，人水关系还算大体和谐，这是一种原始的和谐关系。这个时期人类对洪水的规律并无认识，洪水肆虐，人类束手无策，只好避之。到了工业革命以后，人类社会生产力水平迅速提高，人类改造自然的能力不断增强，受“人定胜天”思想观念的影响，人类开始征服自然，以自然的主人自居。为了满足对水的需要，人类加大了水资源开发利用的力度。结果虽然人类社会的物质文明达到了前所未有的高度，但由于人类对自然界的肆意污染和破坏，最终也遭到了来自自然的报复，引发各种水问题，人水冲突日益尖锐，影响到了人类的生存和发展。面对这些危机，现代人类社会开始反思自己的发展历程和行为，迫使人类重新看待水资源的价值和内容，重新认识人水关系，强调水资源的可持续利用，强调人水和谐相处^[16,17]。1999年11月16日，时任水利部部长的汪恕诚先生在中国水利报社通讯报道工作会议上，谈到人们对水的9个方面认识的转变时，第一次提出人与自然的和谐共处。2004年我国将“中国水周”活动的宣传主题确定为“人水和谐”。

尽管“人水和谐”概念一经提出就得到了大多数人的认可，但是人水和谐的概念尚未统一，主要思想和理念有待完善。本书作者曾给出“人水和谐”的定义：人水和谐是指“人文系统与水系统相互协调的良性循环状态，即在不断改善水系统自我维持和更新能力的前提下，使水资源能为人类生存和经济社会可持续发展提供久远的支撑和保障”^[16,17]。

“人”和“水”之间的关系不是主宰和被主宰的关系，应该是和谐共处。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。

九、人与生态环境和谐

生态环境是指影响人类生存与发展的一切外部条件的总称，包括

生物因子（如植物、动物等）和非生物因子（如光、水分、大气、土壤等）。它是人类生存和发展的基础，是自然界的重要组成部分。因此，人与生态环境的关系实际上是人与自然关系的一部分。这里只探讨人与生态环境的关系。

人类生存和发展离不开生态环境。生态环境中的水资源、土地资源、生物资源以及气候资源都是人类所必需的。人类需要从生态环境中摄取食物和各种需要的元素，同时，人类又希望生活在充满生机、环境美好的世界。

人类不合理开发利用资源，会危害生态环境。目前已经出现的生态环境问题有：森林破坏、水土流失与荒漠化、土地资源丧失、淡水资源紧缺、水污染、大量生物物种消失、大气质量恶化。

为了保护人类生存的环境，就必须采取积极的保护措施。例如，实施绿色工程，防止土地荒漠化；发展绿色经济，提倡绿色消费；节约物质资源，减少污染物排放和污染环境。这既是保护生态环境，也是保护人类自己。

十、人与资源和谐

自然界中资源是一个国家或地区内拥有的土地资源、矿产资源、水利资源、生物资源、气候资源等各种物质要素的总称。人类生存和发展必然需要从自然界开发利用资源，可见，自然资源是人类生存和发展的基础，是自然界的重要组成部分。因此，人与资源的关系实际上是人与自然关系的一部分。这里只探讨人与资源的关系。

自然界中的资源具有两重性，它既是人类生存和发展的基础，又是环境要素。人类生存和发展离不开资源。当然，人类不合理开发利用资源，也会破坏自然界资源。因此，要协调好资源开发与保护的关系。



第三节 和谐的内涵

上文对和谐的概念论述了很多，基本可以总结出和谐问题的大体轮廓。尽管和谐参与对象不同，具体的事例不一样，但都强调了“和谐”的思想。从和谐的思想来分析，至少具有以下内涵。

一、明确的参与对象

无论是人与人和谐，还是人与自然和谐，都有明确的和谐参与对象。也就是说，谁跟谁和谐都非常明确。例如，和谐家庭就是家庭成员间和谐，单位间和谐相邻关系就是单位与单位之间的和谐，民族和谐就是民族与民族之间的和谐，和谐国际关系就是国家与国家间关系的和谐，此外还有人与自然和谐、生物群落间和谐、人水和谐等，都有明确的和谐参与对象。

当然，不同和谐问题的和谐参与对象有多有少，有两个、三个参与对象的和谐，也有很多甚至无法用准确数据描述的参与对象的和谐。例如，夫妻和谐就是夫妻两人之间的和谐，参与对象是两个；相邻两个单位之间的和谐、两个国家之间的和谐，参与对象都是两个；如果一个家庭成员是三人，则家庭和谐问题的参与对象就是三个，如果家庭成员是四人，参与对象就是四个；和谐学校、和谐社区、和谐城市、和谐地区、和谐世界，参与对象就更多了。另外，还有对象比较明确但个数不易准确表达或不必要准确表达的和谐问题，例如，生物链的和谐，和谐参与对象就是相关的生物，非常明确，当然由于生物链本身的复杂性，有些生物链还不完全被人们所熟知，明确哪些生物参与其中还比较困难，这时的参与对象比较明确但具体参与个数不确切。再如，和谐城市，和谐参与对象是城市中所有的人，其个数是明确的，也能得到，但一般没必要准确表达，只需明确描述就可

以了。

另外，不同和谐问题的和谐参与对象有复杂有简单。有些和谐对象非常简单，一看就比较清楚，有些和谐对象比较复杂，很难有明确的界定范围，如上文提及的夫妻和谐、家庭和谐、地区间和谐、国家和谐、民族和谐等，这些和谐对象都比较清楚。而有些就不易界定，例如，在和谐社会，到底“社会”包括哪些范围，比较复杂；在人与自然和谐、人与生态环境和谐中，“自然”、“生态环境”难于准确界定，比较复杂。

二、明确的考虑因素

任意一个和谐问题，都会特指或考虑在哪些方面和谐。例如，和谐社区，考虑的因素包括睦邻友好、社会稳定、尊老爱幼、文明礼貌、生活愉快、环境优美等；和谐的国际关系，考虑的因素包括政治关系、军事关系、社会稳定、经济贸易、文化交流等；人水和谐，考虑的因素包括水资源可持续开发、用水安全、水环境、相关地区相关部门用水协调等。

当然，不同和谐问题的考虑因素有多有少，有单个因素，有多个因素，甚至有难以统计的很多因素。例如，相邻单位间和谐用水问题、草原上公共地羊马用草问题，这些都是单一的考虑因素。像和谐社区、和谐国际关系，这些都是多因素和谐问题。

另外，不同和谐问题的考虑因素有复杂有简单，如和谐社会、人与自然和谐、人水和谐等，这些问题的考虑因素多，且有些情况难以准确地列出全部因素。

三、层次性

和谐问题的层次性是指，较高层次或较综合和谐包括或暗含较低层次或较单一和谐，甚至有多个层次，如人与自然和谐，包括人水和谐、人与生态环境和谐、人与资源和谐以及人与人和谐等。可以把



“人与自然和谐”看成是第一层次，把人与水和谐、人与生态环境和谐、人与资源和谐以及人与人和谐看成是第二层次。在人与人和谐中，又包括家庭和谐、团队和谐、企业和谐等，这些更低一级的和谐可以看成是第三层次。

现实中很多较复杂的和谐问题都有层次性。例如，一个社区是由多栋楼组成，一栋楼又由多个家庭组成，那么，和谐社区可以看成是第一层次，多栋楼之间和谐可以看成是第二层次，每栋楼家庭之间和谐可以看成是第三层次，每个家庭和谐可以看成是第四层次。

另外，在考虑因素（或指标）上也具有层次性。例如，人与自然和谐，第一层次考虑指标是社会、经济、资源、环境，第二层次考虑指标更加具体，如人口、国民生产总值、工业用水、农业用水、水质指标等。

四、动态性

和谐状况不是一成不变的，具有动态性。也就是说，随着时间的变化，原来的和谐问题可能发生变化，和谐程度也可能提高或降低。例如，社区和谐问题，如果社区管理体制改善、社区业主都很重视，随着人民生活水平不断提高，社区和谐状况就会不断改善。相反，则有可能不断恶化。因此，在和谐程度计算时，要指明研究时段，并注意不同阶段和谐程度可能发生的变化。

五、空间性

和谐的空间性是针对区域变化而言的，因为不同区域的人口密度、宗教信仰、教育程度、生活习惯、劳动观念、资源条件、生态环境状况等可能不同，同样的和谐问题可能会有不同的结果。例如，同样类型的社区可能和谐程度不一样；同样的水资源条件可能出现人水和谐程度不一样。所以，在研究和谐问题时，要注意研究区域的特性，注意空间的变化。

第二篇



理 论 篇

第三章 和谐论五要素及和谐度方程

作者在文献 [1] 中首次提出和谐论五要素、和谐度方程。本章在此基础上, 阐述和谐论五要素, 介绍和谐度方程, 用以表征和谐程度。并在本章最后论述和谐度方程为什么能表征和谐程度, 以及和谐度方程中各参数的确定方法。

第一节 和谐论五要素

为了科学合理表达和谐问题, 定量描述和谐程度, 需要弄清楚以下五个要素, 简称和谐论五要素 (five essential factors of harmony theory)。

(1) 和谐参与者 (harmony participator): 就是参与和谐的各方, 一般为双方或多方, 称为“和谐方”, 其集合表示为 $H = \{H_1, H_2, \dots, H_n\}$ (n 为和谐方个数), 又称为 n 方和谐 (n -participator harmony)。某一和谐方表示为 H_k ($k=1, 2, \dots, n$)。例如, 夫妻和谐的参与者就是夫妻双方; 家庭和谐的参与者就是家庭的所有成员; 人水和谐的参与者就是人与水; 和谐社区的参与者可以是各栋楼, 也可以是社区里的所有人。因此, 可以根据不同的讨论对象来确定参与者。

(2) 和谐目标 (harmony objective): 是指和谐参与者为了达到和谐状态所必须满足的目标。如果不满足这一目标, 整个问题就不可能



达到和谐状态。当然，达到这一目标只能说明有可能达到和谐状态。这是从和谐问题的整体出发，要求需要达到的状态。例如，有 n 户人家共同拥有一片草地，主要用于放羊，为了避免这片草地被破坏，必须保证放养的羊数总量不超过一定数量（即载畜量），这就是这 n 户人家共用草地的和谐目标。又如，“跨界河流的分水问题”（第九章第一节将专门论述），要求总引用水量不得超过该河流的某个限值，这就是这几个地区共用一条河流的和谐目标。

(3) 和谐规则 (harmony regulation): 是指和谐参与者为了达到和谐目标所制定的一切规则或约束。为了实现和谐，必然要有一些规则或约束。例如，上文提到的 n 户人家共同拥有一片草地，为了保证公平合理，允许每户人家所养的羊数与其人口数成正比。又如，跨界河流的分水问题，国家可以制定一定的分水比例或分水量来约束用水量。这都是保障和谐的“规则”。也就是在这些和谐规则的条件下再探讨其和谐问题。

(4) 和谐因素 (harmony factor): 是指和谐参与者为了达到总体和谐所需要考虑的因素。其集合表示为 $F = \{F^1, F^2, \dots, F^m\}$ ，第 p 个和谐因素表示为 F^p ，共 m 个和谐因素。当 $m=1$ ，称为单因素和谐 (single-factor harmony)，直接表示为 F 。当 $m \geq 2$ ，称为多因素和谐 (multiple-factor harmony)。例如，上文提到的 n 户人家共同拥有一片草地的和谐问题，这是单因素和谐。实际上 n 户人家的和谐，不仅包括“共同拥有一片草地”这一因素，还有“用水问题”、“用电问题”等，因此是一个多因素和谐问题。如果仅仅考察某一因素的和谐问题，就转化为单因素和谐问题。

(5) 和谐行为 (harmony action): 是指和谐参与者针对和谐因素所采取的具体行为的总称。例如， n 户人家共同拥有一片草地问题，具体行为是养羊数量；跨界河流的分水问题，具体行为是各区引用水量。 n 方和谐 m 个和谐因素所采取的和谐行为集合可表示为一个矩阵，如下：

$$A = \begin{bmatrix} A_1^1 & A_2^1 & \cdots & A_n^1 \\ A_1^2 & A_2^2 & \cdots & A_n^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_1^m & A_2^m & \cdots & A_n^m \end{bmatrix}$$

单因素和谐行为, 表示为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。例如, 8 个分区的水资源管理问题, 考虑“用水量问题”、“排污量问题”两个和谐因素, 这里, $n=8$, $m=2$, 和谐行为就是 8 个分区的用水量 ($A_1^1, A_2^1, \dots, A_8^1$)、8 个分区的排污量 ($A_1^2, A_2^2, \dots, A_8^2$)。

最优和谐行为 (the optimal harmony actions) 是指和谐参与者在一定和谐规则下满足和谐目标时的最佳和谐行为。单因素最优和谐行为表示为 $A^* = \{A_1^*, A_2^*, \dots, A_n^*\}$ (针对 n 方和谐)。多因素最优和谐行为表示为

$$A^* = \begin{bmatrix} A_1^{1*} & A_2^{1*} & \cdots & A_n^{1*} \\ A_1^{2*} & A_2^{2*} & \cdots & A_n^{2*} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_1^{m*} & A_2^{m*} & \cdots & A_n^{m*} \end{bmatrix}$$

第二节 基于和谐论五要素的和谐问题分类

根据和谐论五要素, 可以对和谐问题进行分类。

(1) 根据和谐参与者的多少, 分为双方和谐, 三方和谐, \dots , n 方和谐。

(2) 根据和谐目标是否变化, 分为定目标和谐、变目标和谐。假如和谐目标随着时间或外部条件变化而变化时, 称为“变目标和谐”; 如果和谐目标始终不变时, 称为“定目标和谐”。

(3) 根据和谐规则是否变化, 分为定规则和谐、变规则和谐。假如和谐规则随着时间或外部条件变化而变化时, 称为“变规则和谐”;



如果和谐规则始终不变时，称为“定规则和谐”。

(4) 根据和谐规则复杂程度，分为简单规则和谐、复杂规则和谐。

(5) 根据和谐因素多少，分为单因素和谐、多因素和谐。

第三节 和谐度方程

为了定量表达和谐程度，作者提出了和谐度方程^[1] (function of harmony degree)。下面，先介绍某一单因素 F^p 和谐度方程，再介绍多因素综合和谐度计算方法。

一、单因素和谐度方程

某一单因素 (F^p) 和谐度方程定义为

$$HD_p = ai - bj \quad (3.1)$$

式中， HD_p 为某一因素 F^p 对应的和谐度 (harmony degree)，是表达和谐程度的指标， $HD_p \in [0, 1]$ ， HD_p 值越大 (或越接近于 1)，和谐程度越高； a 、 b 分别为统一度 (unity degree)、分歧度 (difference degree)，统一度 a 表示和谐参与者按照和谐规则具有“相同目标”所占的比重，分歧度 b 表示和谐参与者对照和谐规则和目标存在分歧情况所占的比重，并且 $a, b \in [0, 1]$ ， $a + b \leq 1$ (由于可能存在“既不统一也不分歧的情况”，即存在“弃权”现象，所以， $a + b < 1$ 。假如没有弃权现象，则 $a + b = 1$)。

假如 n 方和谐某因素和谐行为 A_1, A_2, \dots, A_n ，按照和谐规则，如果 n 方和谐具有“相同目标”、符合和谐规则的和谐行为分别为 G_1, G_2, \dots, G_n ，则

$$a = \frac{\sum_{k=1}^n G_k}{\sum_{k=1}^n A_k}$$

如果不存在弃权现象, 则

$$b=1-a$$

例如, A_1 与 A_2 的和谐规则是 $A_1:A_2=2:1$, 已知 A_1 与 A_2 分别为100、40, 则 G_1 与 G_2 分别是80、40, $a=(80+40)/(100+40)=0.8571$, $b=1-a=0.1429$; 已知 A_1 与 A_2 分别为100、80, 则 G_1 与 G_2 分别是100、50, $a=(100+50)/(100+80)=0.8333$, $b=1-a=0.1667$ 。

i 为和谐系数 (harmony coefficient), 反映和谐目标的满足程度, 可依据和谐目标计算确定, $i \in [0, 1]$ 。当完全满足和谐目标时, $i=1$; 当完全不满足时, $i=0$; 其他情况介于1和0之间。可以根据和谐目标满足程度确定和谐系数曲线或函数 (举例见本章第五节第二部分)。

j 为不和谐系数 (disharmony coefficient), 反映和谐参与者对存在分歧现象的重视程度, 可以根据分歧度计算确定, $j \in [0, 1]$ 。当完全反对时, $j=1$; 当完全不反对时, $j=0$; 其他情况介于1和0之间。可以根据分歧度确定不和谐系数曲线或函数, 或者根据和谐参与者对存在分歧现象的重视程度给出不和谐系数 (举例见本章第五节第三部分)。

当式(3.1)计算的 $HD_p < 0$ 时, 定义 $HD_p = 0$, 则 $HD_p \in [0, 1]$ 。

对于单因素和谐 ($m=1$), 和谐度方程为

$$HD=ai-bj \quad (3.2)$$

二、多因素和谐度方程

多因素综合和谐度 (comprehensive harmony degree): 如果和谐考虑多个因素, 需要在单因素和谐度的基础上计算综合和谐度, 计算方法有两种: 一种是加权平均计算, 另一种是指数权重加权计算。

(1) 加权平均计算

$$HD = \sum_{p=1}^m w_p HD_p \quad (3.3)$$

式中, HD 为综合和谐度, $HD \in [0, 1]$; w_p 为权重, $w_p \in [0, 1]$,

$\sum_{p=1}^m w_p = 1$ 。其他符号含义同前。

(2) 指数权重加权计算

$$HD = \prod_{p=1}^m (HD_p)^{\beta_p} \quad (3.4)$$

式中, β_p 为指数权重, $\beta_p \in [0, 1]$, $\sum_{p=1}^m \beta_p = 1$ 。其他符号含义同前。

三、多层次和谐度计算

在第二章第三节介绍了和谐的层次性, 有些情况下, 计算和谐度需要分层次计算。如图 3.1 所示, 是一个具有两个层次的和谐问题, 第一层次是最高层次, 其和谐度用 HD 表示。第二层次是次一级和谐问题, 表示为 $HD_{21}, HD_{22}, \dots, HD_{2P}$ (P 为第二层次和谐问题个数)。第二层次各和谐问题均有对应的指标, HD_{21} 对应的指标为 Z_{11}, Z_{12}, \dots ; HD_{22} 对应的指标为 Z_{21}, Z_{22}, \dots ; HD_{2P} 对应的指标为 Z_{P1}, Z_{P2}, \dots 。

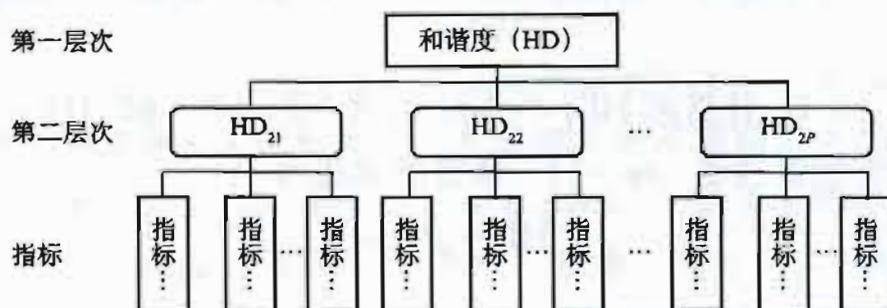


图 3.1 多层次和谐指标体系及和谐度计算框图

多层次和谐度计算过程: ①从最低层次和谐度计算开始, 计算方法与上文介绍的多因素和谐度计算方法相同; ②根据最低层次和谐度, 按照加权平均或指数权重加权的方法计算上一层次和谐度, 图

3.1 中, $HD = \sum_{k=1}^P w_k HD_{2k}$ 或 $HD = \prod_{k=1}^P (HD_{2k})^{\beta_k}$; ③依次重复第②步,

直至算到最高层次和谐度为止。

四、和谐程度等级划分

为了表述上的方便，根据和谐度（HD）大小，把和谐程度分成 7 个等级，如表 3.1 所示。当 $HD=1$ 时，处于完全和谐；当 $HD=0$ 时，处于完全不和谐；其他等级处于二者之间。需要说明的是，这种划分仅仅是为了定性描述上的需要，没有其他目的和意义。

表 3.1 和谐等级划分表

和谐等级	HD (或 HD_p) 的取值范围
完全和谐	1
基本和谐	[0.8, 1)
较和谐	[0.6, 0.8)
接近不和谐	[0.4, 0.6)
较不和谐	[0.2, 0.4)
基本不和谐	(0, 0.2)
完全不和谐	0

通过一定指标的计算，可以得到不同区域或不同时期的和谐度（HD）大小，据此可以进一步分析确定某一区域某一时期的和谐程度等级以及空间上、时间上的变化趋势。因为 HD 值都标定在 $[0, 1]$ 上，针对任何和谐问题所计算的 HD 值都有“可公度性”，有利于同一和谐问题不同区域、不同时期的对比，也有利于不同和谐问题的横向对比。

第四节 和谐度方程为什么能表征和谐程度

上文提出的和谐度方程，是否能够用来表达和谐程度？下面对此进行全面论述。

一、假如和谐度方程中 $b_j=0$ 且 $i=1$ 情况

这种情况的寓意是，不考虑（或不在乎）出现的分歧（ $b_j=0$ ），



并且完全满足和谐目标 ($i=1$)。在这种情况下, $HD=a$, 和谐度等于统一度。也就是说, 和谐参与者按照和谐规则具有“相同目标”所占的比重, 就表达了和谐程度大小, 这是符合实际的。

例如, 在夫妻和谐关系中, 假如总共有 10 件事, 夫妻具有共同目标的是 7 件事, 则统一度 $a=0.7$ 。如果夫妻对“存在分歧”没有任何意见, 则 $j=0$; 另外, 假如夫妻关系满足和谐目标, $i=1$ 。计算得 $HD=a=0.7$ 。如果 10 件事有 9 件具有共同目标, 则 $HD=a=0.9$ 。依此类推, 可见, 这种情况下和谐度计算结果是符合实际的。

再以“两户人家共同拥有一片草地放羊”为例。假如这片草地可以放养的羊总数(即载畜量)为 1000 头, 也就是说, 只要两户人家放的羊总数不超过 1000 头, 就不会带来草地破坏问题。再假定两户人家 (A_1, A_2) 的人口比例是 2:1, 按照人口分配羊数, 这时 A_1, A_2 的和谐规则是 $A_1:A_2=2:1$ 。假定几组 A_1, A_2 值, 按照和谐规则的要求确定 G_1, G_2 值, 据此计算得到统一度 a , 如表 3.2 所示。先假定 A_1 值为 500 不变, A_2 值从 400 递减到 100, 计算的统一度 a 值从 0.8333 增到 1 再降到 0.5, 只是在 A_2 等于 250, 正好 $A_1:A_2=2:1$ 满足和谐规则时, 统一度 a 值为 1。再假定 A_2 值为 300 不变, A_1 值从 700 递减到 200, 计算的统一度 a 值从 0.9 增到 1 再降到 0.6, 只是在 A_1 等于 600, 正好 $A_1:A_2=2:1$ 满足和谐规则时, 统一度 a 值为 1。通过各种情况分析来看, 应用和谐度方程能够比较客观地表征和谐程度。

表 3.2 “两户人家共同拥有一片草地放羊”和谐问题的统一度计算过程表

编号	A_1 值	A_2 值	$A_1:A_2$	G_1 值	G_2 值	统一度 a
1	500	400	1.25	500	250	0.8333
2	500	350	1.429	500	250	0.8824
3	500	300	1.667	500	250	0.9375
4	500	250	2	500	250	1.0000
5	500	200	2.5	400	200	0.8571
6	500	150	3.333	300	150	0.6923
7	500	100	5	200	100	0.5000
8	700	300	2.333	600	300	0.9000

续表

编号	A_1 值	A_2 值	$A_1 \cdot A_2$	G_1 值	G_2 值	统一度 a
9	600	300	2	600	300	1.0000
10	550	300	1.833	550	275	0.9706
11	450	300	1.5	450	225	0.9000
12	400	300	1.333	400	200	0.8571
13	350	300	1.167	350	175	0.8077
14	300	300	1	300	150	0.7500
15	250	300	0.833	250	125	0.6818
16	200	300	0.667	200	100	0.6000

二、假如和谐度方程中 $b_j=0$ 但 $i \neq 1$ 情况

这种情况的寓意是，不考虑（或不在乎）出现的分歧（ $b_j=0$ ），这时， $HD=ai$ 。如果完全满足和谐目标， $i=1$ ，则 $HD=a$ ，与第一种情况相同。如果 $i \neq 1$ ，这时的 HD 值相当于对“统一度 a ”“打个折”。具体“打多少折”，主要看和谐目标的满足程度（即和谐系数 i ）大小。如果 i 越接近于 1，打的折越少，相反越多。从思路分析，这种情况下 $HD=ai$ 就表达了和谐程度大小，这是符合实际的。

再以“两户人家共同拥有一片草地放羊”为例。假如这片草地可以放养的羊总数（即载畜量）为 1000 头，同样假定两户人家（ A_1 ， A_2 ）的人口比例是 2:1，按照人口分配羊数，这时 A_1 ， A_2 的和谐规则是 $A_1:A_2=2:1$ 。假如两户人家放的羊总数不超过 1000 头，就不会带来草地破坏问题，这时 $i=1$ 。假如羊总数超过 1000 头，就会带来草地破坏，超出的羊数越多，对和谐的影响越大。假定 i 值有以下关系（图 3.2）：

$$i = \begin{cases} 1, & 0 \leq A_1 + A_2 \leq 1000 \\ \frac{1200 - (A_1 + A_2)}{1200 - 1000}, & 1000 < A_1 + A_2 < 1200 \\ 0, & A_1 + A_2 \geq 1200 \end{cases}$$

假定几组 A_1 、 A_2 值，按照和谐规则的要求确定 G_1 、 G_2 值，据此

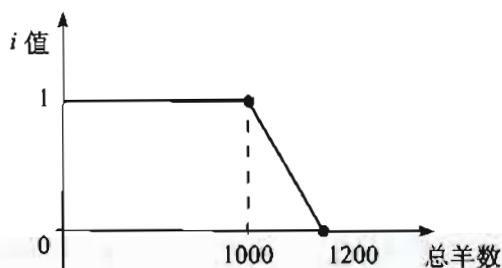


图 3.2 i 值线段图

计算得到统一度 a ，如表 3.3 所示。先假定 A_1 值为 700 不变， A_2 值从 500 递减到 150，计算的统一度 a 值从 0.8750 增到 1 再降到 0.5294，只是在 A_2 等于 350，正好 $A_1 : A_2 = 2 : 1$ 满足和谐规则时，统一度 a 值为 1。按照图 3.2 的直线方程，计算的和谐系数 i 从 0 增加到 1。进一步计算得到和谐度 $HD=ai$ ，可以看到，它从 0 增加到 0.9 再降到 0.5294。再假定 A_2 值为 400 不变， A_1 值从 800 递减到 450，计算的统一度 a 值从 1 降到 0.7941，和谐系数 i 从 0 增加到 1。进一步计算得到和谐度 $HD=ai$ ，从 0 增加到 0.9 再降到 0.7941。分析各种计算结果，基本可以看出和谐程度的变化规律。

表 3.3 “两户人家共同拥有一片草地放羊” 和谐问题的和谐度计算过程表

编号	A_1 值	A_2 值	$A_1 : A_2$	G_1 值	G_2 值	统一度 a	和谐系数 i	和谐度 $HD=ai$
1	700	500	1.4	700	350	0.8750	0	0.0000
2	700	450	1.556	700	350	0.9130	0.25	0.2283
3	700	400	1.750	700	350	0.9545	0.5	0.4773
4	700	350	2	700	350	1.0000	0.75	0.7500
5	700	300	2.333	600	300	0.9000	1	0.9000
6	700	250	2.800	500	250	0.7895	1	0.7895
7	700	200	3.5	400	200	0.6667	1	0.6667
8	700	150	4.667	300	150	0.5294	1	0.5294
9	800	400	2	800	400	1.0000	0	0.0000
10	750	400	1.875	750	375	0.9783	0.25	0.2446
11	700	400	1.75	700	350	0.9545	0.5	0.4773
12	650	400	1.625	650	325	0.9286	0.75	0.6964
13	600	400	1.500	600	300	0.9000	1	0.9000
14	550	400	1.375	550	275	0.8684	1	0.8684
15	500	400	1.250	500	250	0.8333	1	0.8333
16	450	400	1.125	450	225	0.7941	1	0.7941

三、假如和谐度方程中 $b_j \neq 0$ 且 $i \neq 1$ 情况

这种情况就是针对一般的和谐度方程, $HD=ai-bj$, 相当于上一种情况再减去一项 b_j 。 b 表达分歧程度, 如果 $b_j \neq 0$, 说明要考虑分歧的存在, 从和谐度中减去表达分歧程度的 b_j 是可以理解的。 j 是不和谐系数, 如果 $j \neq 1$, 相当于对“分歧度 b ”“打个折”。具体“打多少折”, 主要看和谐参与者对存在分歧现象的重视程度。如果 j 越接近于 1, 打的折越少, 就是越看重分歧现象; 相反则对分歧现象越不看重。从思路上分析, 这是符合实际的。

这里, 仅从表 3.3 中选择 8 组有代表性的例子来简单分析。假定 $b=1-a$, 不和谐系数 j 先假设为 1, 计算和谐度 HD。再假定不和谐系数 j 为 0.5, 再次计算 HD。结果如表 3.4 所示。在考虑分歧程度时计算的和谐度 HD 受分歧度与不和谐系数乘积的影响。

表 3.4 考虑分歧程度下的和谐度计算过程表

编号	A_1 值	A_2 值	$A_1 : A_2$	G_1 值	G_2 值	统一度 a	分歧度 b	和谐系数 i	不和谐系数 j	和谐度 HD
1	700	450	1.556	700	350	0.913	0.087	0.25	1	0.1413
2	700	350	2	700	350	1	0	0.75	1	0.75
3	700	300	2.333	600	300	0.9	0.1	1	1	0.8
4	700	200	3.5	400	200	0.6667	0.3333	1	1	0.3334
5	800	400	2	800	400	1	0	0	1	0
6	700	400	1.75	700	350	0.9545	0.0455	0.5	1	0.4318
7	600	400	1.5	600	300	0.9	0.1	1	1	0.8
8	500	400	1.25	500	250	0.8333	0.1667	1	1	0.6666
9	700	450	1.556	700	350	0.913	0.087	0.25	0.5	0.1848
10	700	350	2	700	350	1	0	0.75	0.5	0.75
11	700	300	2.333	600	300	0.9	0.1	1	0.5	0.85
12	700	200	3.5	400	200	0.6667	0.3333	1	0.5	0.5001
13	800	400	2	800	400	1	0	0	0.5	0
14	700	400	1.75	700	350	0.9545	0.0455	0.5	0.5	0.4545
15	600	400	1.5	600	300	0.9	0.1	1	0.5	0.85
16	500	400	1.25	500	250	0.8333	0.1667	1	0.5	0.7500



四、假如特别看重“分歧”，尽管统一度 a 较高，但认为并不和谐，怎么表达

这时除了有 b_j 表达分歧，从 HD 中减去 b_j 外，还可以根据 a 值高低，确定和谐系数 i 。也就是把“分歧程度的最低限度”看做和谐问题的一个目标，再根据和谐目标确定和谐系数 i 值。例如，假如 $0 \leq a < 0.8$ 时，就认为不和谐，这时可令 $i=0$ ；当 $0.8 \leq a \leq 1$ 时， $i=1$ 。假如 $a=0.9$ ，则 $b=0.1$ ， $i=1$ ， $j=1$ ，计算得 $HD=0.8$ ；假如 $a=0.8$ ，则 $b=0.2$ ， $i=1$ ， $j=1$ ，计算得 $HD=0.6$ ；假如 $a=0.78$ ，则 $b=0.22$ ， $i=0$ ， $j=1$ ，计算得 $HD=0$ 。

第五节 和谐度方程中各参数确定方法

一、统一度 a 、分歧度 b 确定方法

统一度 a 是和谐度方程中一个重要参数，需要针对不同具体问题，选择不同的计算方法。根据统一度 a 的计算式，假如 n 方和谐某因素和谐行为 A_1, A_2, \dots, A_n ，按照和谐规则，假定 n 方和谐具有“相同目标”的和谐行为分别为 G_1, G_2, \dots, G_n ，则可以按照下式计算统一度 a 。

$$a = \frac{\sum_{k=1}^n G_k}{\sum_{k=1}^n A_k} \quad (3.5)$$

到底如何确定 G_1, G_2, \dots, G_n ？这里列举几种方法可供借鉴。

(1) 如果和谐规则要求和谐行为之比是一个固定值，则完全按照和谐规则中的比例进行计算。例如，已知 A_1, A_2 的和谐规则是 $A_1 : A_2 = 2 : 1$ ，假如 A_1, A_2 分别为 100、40，因为按照比例， $A_2 = 40$ ， A_1 最多为 80，于是 G_1, G_2 分别是 80、40，这样 $a = (80 + 40) / (100 +$

40)=0.8571; 假如 A_1 、 A_2 分别为 100、80, 因为按照比例, $A_1=100$, A_2 最多为 50, 于是 G_1 、 G_2 分别是 100、50, $a=(100+50)/(100+80)=0.8333$ 。依次类推, 对于任意 A_1 和 A_2 值都可以确定符合这一和谐规则的和谐行为 G_1 和 G_2 。这里列举的是比较简单的双方和谐, 假如是三方或更多方和谐, 确定的思路一样。例如, 已知 A_1 、 A_2 、 A_3 的和谐规则是 $A_1:A_2:A_3=2:1:3$, 假如 A_1 、 A_2 、 A_3 分别为 100、40、140, 因为按照比例, $A_2=40$, A_1 最多为 80, A_3 最多为 120, 于是 G_1 、 G_2 、 G_3 分别是 80、40、120, 这样 $a=(80+40+120)/(100+40+130)=0.8889$ 。

(2) 如果和谐规则要求和谐行为之比是一个区间范围, 则按照最有利于和谐的比例取值计算。例如, 已知 A_1 、 A_2 的和谐规则是 $A_1:A_2=[1, 2]$, 假如 A_1 、 A_2 分别为 100、40, 因为按照比例, $A_2=40$, A_1 可取值为 $[40, 80]$, 最多为 80, 从有利于和谐的角度看, A_1 取 80 为宜, 于是 G_1 、 G_2 分别是 80、40, 这样 $a=(80+40)/(100+40)=0.8571$; 假如 A_1 、 A_2 分别为 100、80, 因为按照比例, $A_1=100$, A_2 可取值为 $[50, 100]$, 80 在 $[50, 100]$ 范围内, 于是 G_1 、 G_2 分别是 100、80, $a=(100+80)/(100+80)=1$ 。假如 A_1 、 A_2 分别为 100、120, 因为按照比例, $A_1=100$, A_2 可取值为 $[50, 100]$, 取最大值 100 有利, 于是 G_1 、 G_2 分别是 100、100, $a=(100+100)/(100+120)=0.9091$ 。

(3) 如果和谐规则是一个小于等于某个值的不等式, 则可以参照和谐规则中不等式约束计算。例如, 已知 A_1 、 A_2 的和谐规则分别是 $A_1 \leq 60$ 、 $A_2 \leq 90$, 假如 A_1 、 A_2 满足和谐规则的不等式条件, 和谐行为 G_1 、 G_2 就等于 A_1 、 A_2 ; 假如 A_1 和 (或) A_2 不满足和谐规则的不等式条件, 和谐行为 G_1 、 G_2 就等于和谐规则中的最大值。假如 A_1 、 A_2 分别为 50、85, 则 G_1 、 G_2 分别是 50、85; 假如 A_1 、 A_2 分别为 60、97, 则 G_1 、 G_2 分别是 60、90; 假如, A_1 、 A_2 分别为 80、112, 则 G_1 、 G_2 分别是 60、90。依次类推, 对于任意 A_1 和 A_2 值都可以确定符合这一和谐规则的和谐行为 G_1 和 G_2 。



(4) 如果和谐规则是一个大于等于某个值的不等式, 同样可以参照和谐规则中不等式约束计算, 但方法不同。例如, 已知 A_1 、 A_2 的和谐规则是 $A_1 \geq 60$ 、 $A_2 \geq 90$, 假如 A_1 、 A_2 分别为 50、100, 则 G_1 可取 $\frac{50}{60} \times 50$ 、 $G_2 = 100$ 。

(5) 按照调查和统计方法直接计算 a 值。例如, 已知 A_1 、 A_2 的和谐规则是 A_1 和 A_2 具有相同的选择, 假如考察 A_1 、 A_2 的 100 件事务中, 有 70 件具有相同的选择, 则 $a = 70/100 = 0.7$ 。这种计算方法可以通过问卷调查来实现, 在和谐家庭、和谐校园、和谐社会等问题中应用广泛。

分歧度 b 的计算与统一度 a 类似, 可以通过确定 n 方和谐具有“分歧现象”的和谐行为, 来统计计算。当然, 如果不存在“弃权”现象, 这时可以简便计算, $b = 1 - a$ 。

以上讨论的前提条件是, 都很容易得到和谐行为 A_1, A_2, \dots, A_n 和“符合和谐规则、具有相同目标”的和谐行为 G_1, G_2, \dots, G_n , 或者说, A_1, A_2, \dots, A_n 和 G_1, G_2, \dots, G_n 都有比较明确的数值, 这样就可以通过式 (3.5) 计算得到统一度 a 值。假如和谐行为 A_1, A_2, \dots, A_n 和“符合和谐规则、具有相同目标”的和谐行为 G_1, G_2, \dots, G_n 不是明确的数值或很难得到明确的数值 (或者是很复杂的情况, 很难明确给出和谐规则), 怎么办? 这里列举几种方法可供借鉴。

(1) 通过问卷调查, 统计得到“符合和谐规则、具有相同目标”选择所占的比例, 即为统一度 a 值; 具有“分歧现象”选择所占的比例, 即为分歧度 b 值。例如, 对和谐社区的计算, 假如通过大量调查求得平均“符合和谐规则、具有相同目标”选择所占的比例为 80%, 具有“分歧现象”选择所占的比例为 17%, 可以认为其统一度 a 、分歧度 b 分别为 0.80、0.17。这种方法的实质是, 针对某一和谐问题, 通过调查人们的看法, 得到统计结果, 并不是从和谐问题本身直接计算得到, 而是间接得到。

(2) 通过建立一套指标体系, 采用多指标评价, 计算得到。这里

以一个和谐社区为例来简单说明（只是为了说明问题，所列指标和数据均为简化和假定结果）。

首先，建立一套指标体系，如表 3.5 所示，总共列举 8 个指标，从不同方面反映和谐状况。

表 3.5 和谐度评价指标体系

指标 (代码)	含义及说明
人均收入 (Z_1) /元	等于年总收入除以人口，反映居民生活水平
违法违纪人口比例 (Z_2) /%	违法违纪人口占总人口比例，反映居民政治水平和遵纪守法状况
家庭矛盾出现比例 (Z_3) /%	出现家庭矛盾的家庭占总家庭数的比例，反映家庭和谐
文明户所占比例 (Z_4) /%	文明户占总户数的比例，反映居民精神文明水平
男女人口比例 (Z_5) /%	男女人口数比值，反映社会人口结构均衡水平
公民参与社区选举的投票比例 (Z_6) /%	参与社区选举投票人数占应投票人数的比例，反映居民对社区工作的支持水平
生活垃圾无害化处理率 (Z_7) /%	指生活垃圾无害化处理量与生活垃圾产生量比率，反映社区对环境保护的重视程度
社区绿化面积占小区面积比例 (Z_8) /%	社区绿化面积占小区总面积的比例，反映社区的环境状况

其次，确定各指标反映“符合和谐规则，具有相同目标”程度的计算方程或曲线，可以具体问题具体分析。这里列举本例 8 个指标的函数关系（仅作举例说明之用）。

$$a_1 = \begin{cases} 0, & Z_1 \leq 1000 \\ \frac{Z_1 - 1000}{19\,000}, & 1000 < Z_1 < 20\,000 \\ 1, & Z_1 \geq 20\,000 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$a_2 = \begin{cases} 1, & Z_2 \leq 0.001 \\ \frac{0.01 - Z_2}{0.009}, & 0.001 < Z_2 < 0.01 \\ 0, & Z_2 \geq 0.01 \end{cases} \quad (3.7)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & Z_3 \leq 1 \\ \frac{5 - Z_3}{4}, & 1 < Z_3 < 5 \\ 0, & Z_3 \geq 5 \end{cases} \quad (3.8)$$



$$a_4 = \begin{cases} 0, & Z_4 \leq 1 \\ \frac{Z_4 - 1}{4}, & 1 < Z_4 < 5 \\ 1, & Z_4 \geq 5 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$a_5 = \begin{cases} 0, & Z_5 \leq 0.8 \\ \frac{Z_5 - 0.8}{0.1}, & 0.8 < Z_5 < 0.9 \\ 1, & 0.9 \leq Z_5 \leq 1.1 \\ \frac{1.2 - Z_5}{0.1}, & 1.1 < Z_5 < 1.2 \\ 0, & Z_5 \geq 1.2 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$a_6 = \begin{cases} 0, & Z_6 \leq 50 \\ \frac{Z_6 - 50}{30}, & 50 < Z_6 < 80 \\ 1, & Z_6 \geq 80 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$a_7 = \begin{cases} 0, & Z_7 \leq 75 \\ \frac{Z_7 - 75}{20}, & 75 < Z_7 < 95 \\ 1, & Z_7 \geq 95 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$a_8 = \begin{cases} 0, & Z_8 \leq 30 \\ \frac{Z_8 - 30}{30}, & 30 < Z_8 < 60 \\ 1, & Z_8 \geq 60 \end{cases} \quad (3.13)$$

以上各式中, a 表示计算的该指标的**统一度值**, 下面的编号分别为 8 个指标的编号 (表 3.5), Z 表示各指标数值, 单位如表 3.5 所示。以上 8 个计算式实际上是**直线段隶属度计算表达式**, 这里有 3 种类型: 第一种是自变量 Z 越大, a 值越大 (不超过 1); 第二种是自变量 Z 越小, a 值越大 (不超过 1); 第三种是**开始**自变量 Z 越大, a 值越大 (不超过 1), 后来, 自变量 Z 越大, a 值越小 (不小于 0)。除了这三

种外, 还有其他形式的计算表达式, 这里就不再详述。关于指标的隶属度度量方法可参见第五章。

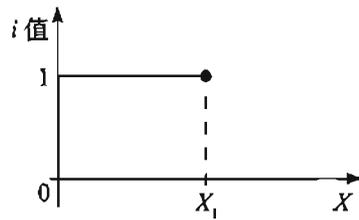
最后, 针对各个指标, 计算其函数值。本例有 8 个指标, 每一组计算都得到 8 个指标的计算结果。还需要给出 8 个指标的权重值, 再加权计算得到最终的综合值。关于权重的说明可参见第四章。本例采用等权重方法计算。这里列举 5 个社区 (或 1 个社区 5 年) 的指标进行计算, 计算结果如表 3.6 所示。

表 3.6 统一度 a 计算过程表

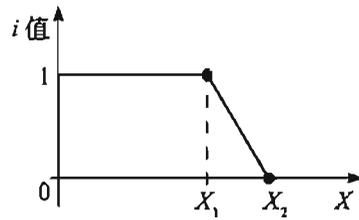
指标	案例 1	案例 2	案例 3	案例 4	案例 5	
Z_1	19 000	8 900	17 800	12 800	1 100	
Z_2	0.002	0.007	0.002	0.004	0.008	
Z_3	1.2	3.2	2	2.4	4	
Z_4	4.5	3.5	4	4	2.5	
Z_5	1.05	1.15	0.98	0.88	1.15	
Z_6	78	63	76	69	55	
Z_7	94	88	89	87	84	
Z_8	58	43	55	47	55	
a_1	0.947 4	0.415 8	0.884 2	0.621 1	0.005 3	
a_2	0.888 9	0.333 3	0.888 9	0.666 7	0.222 2	
a_3	0.950 0	0.450 0	0.750 0	0.650 0	0.250 0	
a_4	0.875 0	0.625 0	0.750 0	0.750 0	0.375 0	
a_5	1	0.500 0	1	0.800 0	0.500 0	
a_6	0.933 3	0.433 3	0.866 7	0.633 3	0.166 7	
a_7	0.950 0	0.650 0	0.700 0	0.600 0	0.450 0	
a_8	0.933 3	0.433 3	0.833 3	0.566 7	0.833 3	
综合值	a	0.934 7	0.480 1	0.834 1	0.661 0	0.350 3

二、和谐系数 i 的确定方法

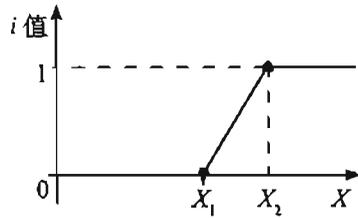
和谐系数 i 可依据和谐目标计算而来, $i \in [0, 1]$, 其反映和谐目标的满足程度。当完全满足和谐目标时, $i=1$; 当完全不满足时, $i=0$; 其他情况介于 1 和 0 之间。可以根据和谐目标满足程度确定和谐系数曲线或函数。针对不同具体问题, 选择不同的确定方法。这里列举几种曲线形式可供借鉴, 如图 3.3 所示 (X 表示和谐行为总值, a 表示统一度)。



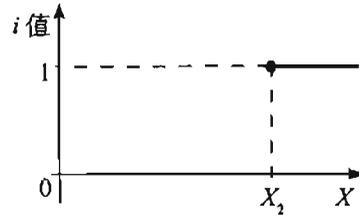
(a)



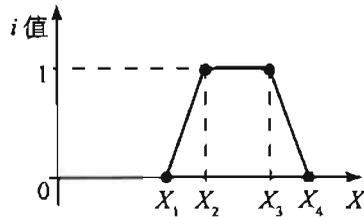
(b)



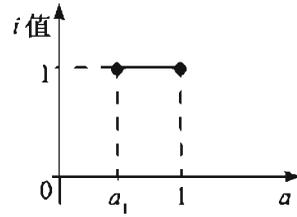
(c)



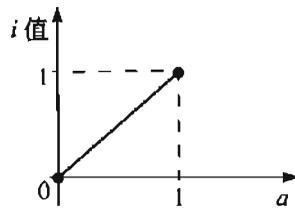
(d)



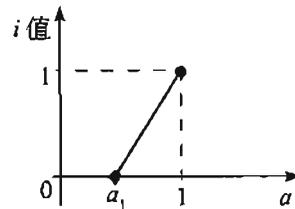
(e)



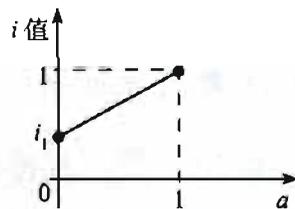
(f)



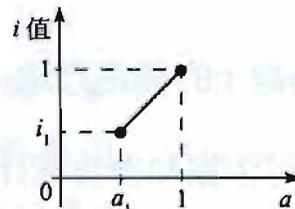
(g)



(h)



(i)



(j)

图 3.3 和谐系数 i 函数曲线示意图

这里补充说明几点：

(1) 以上仅列出比较简单的直线段函数曲线形式，实际上还可以画出很多种类似的曲线形式，在实际应用时，可以根据具体问题进行选择。

(2) 在图中有几个关键值 X_1, X_2, \dots ，这些值我们称之为“阈值”。其意就是控制和谐目标的关键值，例如，如果低于（或高于）某个值，就不能满足和谐目标，或者完全不能满足和谐目标；或者低于（或高于）某个值，就能满足和谐目标，或者完全能满足和谐目标。这些阈值是宏观判断系统和谐状况的重要节点值。

(3) 关于阈值的确定，可以借鉴相关研究特别是专业性研究成果和结论。一般相关专业研究中会对这些阈值感兴趣，有大量的研究成果和结论。我们对此进行收集和全面归纳，就比较容易得到这些值。例如，在“公共地的悲剧”的例子中，草原专业对草地的“载畜量”做过大量的研究，这个载畜量就是一片草地最多可以承载羊马的数量，就是图 3.3 (a) 或 (b) 中的 X_1 阈值。图 3.3 (b) 中的 X_2 阈值可以认为是草地的极限载畜量（也就是说，达到这个数，草地就完全破坏）。又如，在人水和谐问题中，水资源专业对区域或流域水资源可利用量阈值做过大量的研究，一般认为“水资源利用率合理阈值为 30%，极限阈值为 40%”^[18]。也就是图 3.3 (a) 或 (b) 中的 X_1 阈值为 30%， X_2 阈值为 40%。再如，通过对黄河下游健康河流研究，证实“平滩流量 4000~5000m³/s 应作为黄河下游健康主槽的标准”^[19]，且不宜大于 5500m³/s，不宜小于 3500，也就是图 3.3 (e) 中的 X_2 阈值为 4000， X_3 阈值为 5000， X_1 阈值为 3500， X_4 阈值为 5500。

(4) 图 3.3 中 (f) ~ (j) 表示 i 与统一度 a 之间的关系，也就是把“对 a 值大小限制在某一范围”作为和谐目标。例如，图中 (f) 表示 $a < a_1$ 就认为 $i = 0$ ，即无论 a 值多大，和谐度都为 0。关于这方面的说明可参见本章第四节的论述。

(5) 以上所显示的和谐系数 i 值都是针对某一因素的单个和谐目



标的函数(图 3.3), 如果针对某一因素有 2 个或多个和谐目标, 可能得到诸如图 3.3 所示的两个或两个以上的 i 值, 这时需要根据多个 i 值转换得到最终的 i 值。具体转换方法有多种, 例如: ①可以通过取最小值的方法来得到, 即 $i = \min \{i_k\}$ ($k=1, 2, \dots, K$), K 为某一因素下得到的和谐系数个数; ②也可以通过取平均值(或加权平均)得到, 即

$$i = \frac{\sum_{k=1}^K i_k}{K}$$

这种情况的实例比较多, 比如, 针对“水资源利用”因素的分析, 可以把和谐目标分解为“用水量小于或等于水资源可利用量”、“水质好于或等于水质目标值”两方面, 这样就需要根据这两方面来确定最终的 i 值。

三、不和谐系数 j 的确定方法

和谐参与者之间存在分歧是常见的现象, 也就是说分歧度 b 常常不为 0。为了表征和谐参与者对存在分歧现象的重视程度, 引入不和谐系数 j 。因此, 不和谐系数 j 是专门用于反映和谐参与者对存在分歧现象的重视程度。例如, 在家庭和谐关系中, 家庭成员之间存在分歧是非常正常的(如人生观、价值观、文艺爱好、体育爱好、生活习惯等的不同), 我们也应该允许存在分歧, 如果家庭成员对存在分歧现象的重视程度较小甚至为 0, 就表现出向支持和谐的方向发展; 但如果家庭成员之间互相不谦让、互相不理解, 总盯着别人与自己不一致的行为, 过于强调分歧现象的严重程度, 就表现出向不和谐方向发展。

不和谐系数 j 的确定有多种形式, 可以根据分歧度确定不和谐系数曲线或函数, 这里列举几种不和谐系数 j 与分歧度 b 之间的关系曲线, 可供借鉴, 如图 3.4 所示。

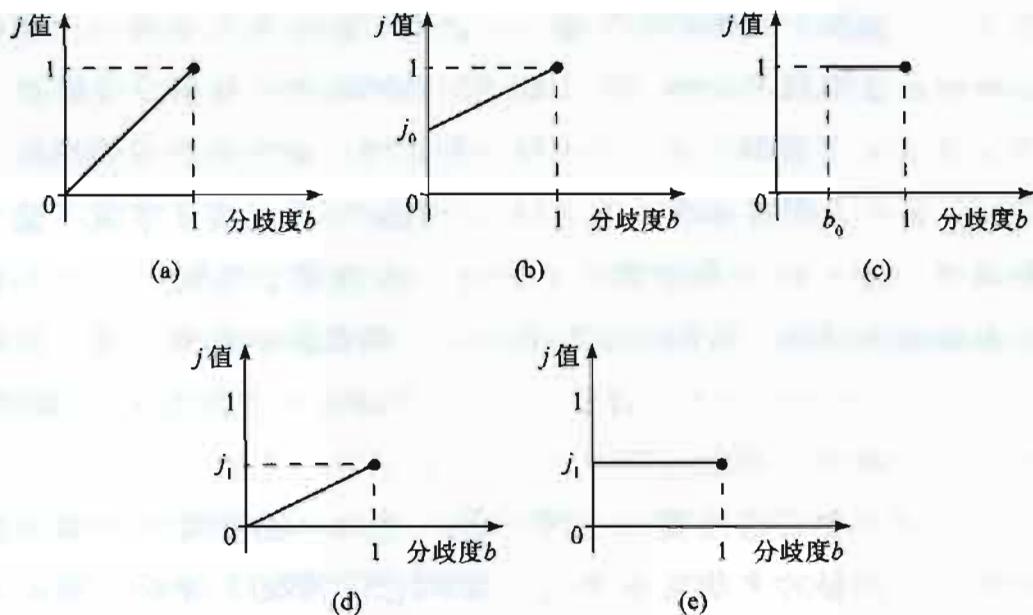


图 3.4 不和谐系数 j 函数曲线示意图

图 3.4 所给出的几种不和谐系数 j 与分歧度 b 之间的关系曲线，仅仅是一些代表形式，可以给出很多类似的曲线，这里就不再一一列举。只要确定了以上类似关系曲线，就可以直接根据分歧度 b 计算得到不和谐系数 j 。

当然，在一些情况下，如果不能建立不和谐系数 j 与分歧度 b 之间的关系曲线时，就可以根据和谐参与者对存在分歧现象的重视程度给出不和谐系数。如果和谐参与者不全是理性的人时，就不能通过和谐参与者的判断来确定。这时，可以通过问卷调查的方式来统计得到这一系数，类似本章第五节第一部分介绍的问卷调查方法。

第六节 应用举例 1——争看电视节目问题

下面，列举一个日常生活中可能碰到的例子。一家人坐在一起看电视，只有一台电视，且不能同时播放两个节目。而每个人的兴趣可能不一样：儿童喜欢看儿童节目，年轻人喜欢看足球或情感节目，老人喜欢



看戏曲节目。如果大家都不相互谦让，就有可能出现为选择自己喜欢的节目而争电视遥控器的问题。为了叙述问题的方便，这里简化描述。

假如家里有夫妻两个人，丈夫喜欢看足球，妻子喜欢看情感剧。在某一时刻，每个人都有喜欢看的节目，为选看节目出现了争执。假如两人都不谦让，就出现了难以解决的矛盾；假如女士优先，丈夫让着妻子，就选择看情感剧；假如妻子让着丈夫，就选择看足球。这个问题在博弈论或其他学科中很难表达清楚。那么，和谐论怎么表达这个问题呢？

下面，分两个方面来分析。

(1) 针对夫妻看电视爱好不同问题的表达。这种情况不是针对某一次看电视，而是放大到看电视这个事的总体情况分析。假如夫妻喜欢看的节目不只是足球和情感剧，可以对夫妻两人在电视节目选择上进行统计，总有共同感兴趣的节目，据此计算统一度 a 和分歧度 b ，进而可以建立和谐度方程。

(2) 针对某一时刻看电视这一单个事件。①假如夫妻针锋相对，互不相让，这时候，统一度 $a=0$ ，分歧度 $b=1$ ，因此和谐度方程就变为 $HD=-bj=-j=0$ （因为 $HD \leq 0$ ，则取 $HD=0$ ）。其结论肯定是不和谐；②假如夫妻相互谦让，这时候，可以用和谐度方程表示为 $HD=ai-bj$ ，假如相互谦让的程度占一半水平，可以认为统一度 $a=0.5$ ，分歧度 $b=0.5$ ，且假定 $i=1, j=0$ ，则 $HD=ai-bj=0.5$ ；假如相互谦让程度更高，如统一度 $a=0.8$ ，分歧度 $b=0.2$ ，且假定 $i=1, j=0$ ，则 $HD=ai-bj=0.8$ 。其结论是基本和谐。从以上分析可以看出，和谐度方程能够比较贴切地表示出“争看电视节目”这一问题。

第七节 应用举例 2——公共地的悲剧问题

本书第一章提到了博弈论中著名的“公共地的悲剧”例子。很多有关博弈论的书都会介绍这一简单而又很好理解的例子。但各自介绍

的情况不一样，为了叙述上的方便，这里作简化介绍^[1]。

假如有一片草地由两户人家共用，用于放羊。A 户有 6 口人，B 户有 3 口人；A 户有 n_A 只羊，B 户有 n_B 只羊。因为羊要生存，就需要有一定数量的草地，当然这片草地可以放养的羊的总数是有上限的。如果从个人的利益角度来分析，养的羊数越多对自己越有利。这就导致羊数太多，草地过度使用，出现草地退化甚至破坏。这就是公共地的悲剧。

从和谐论的角度，就能很好地解决这一问题。假设：这一问题的和谐目标是：不能破坏草地，按照草地的载畜量控制，假如一般要求 $n_A + n_B \leq 300$ 可以保障草地健康生长，当达到 400 时可以全部毁坏草地。和谐规则是：养羊的数量与人口成正比，即 $n_A : n_B = 2 : 1$ 。如果按照这些条件，当 A 户养 200 只羊，B 户养 100 只羊，是最优状态。即最优和谐行为是：A 户养 200 只羊，B 户养 100 只羊。但是，在其他情况下，和谐情况又是怎么样呢？我们作一些假设和分析。

首先，按照和谐目标，给出和谐系数 i 的函数，如图 3.5 所示。

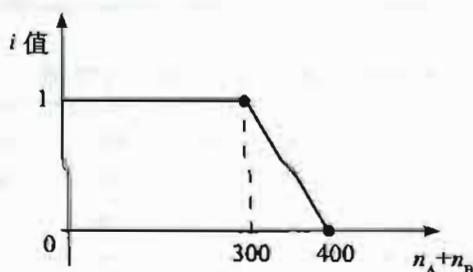


图 3.5 和谐系数 i 值函数曲线

其次，需要确定不和谐系数 j 的函数，如图 3.6 所示。

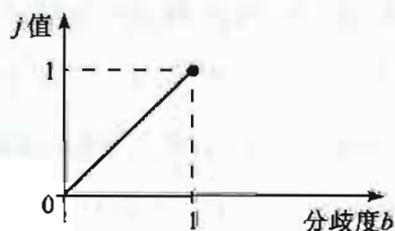


图 3.6 不和谐系数 j 值函数曲线



依据“养羊的数量与人口成正比”的和谐规则（即 $n_A : n_B = 2 : 1$ ），假如 A 户养 200 只羊，B 户养 100 只，则 A 户、B 户具有共同目标的和谐行为分别为 200、100，则 $a = (200 + 100) / (200 + 100) = 1$ ， $b = 0$ 。假如 A 户养 200 只羊，B 户养 160 只，则 A 户、B 户具有共同目标的和谐行为仍分别为 200、100，则 $a = (200 + 100) / (200 + 160) = 0.83$ ， $b = 1 - a = 0.17$ 。假如 A 户养 200 只羊，B 户养 60 只，则 A 户、B 户具有共同目标的和谐行为分别为 120、60，则 $a = (120 + 60) / (200 + 60) = 0.69$ ， $b = 1 - a = 0.31$ 。

再次，根据 $n_A + n_B$ 与和谐目标进行对比，按照和谐系数 i 函数曲线，计算和谐系数 i ；根据分歧度 b ，按照不和谐系数 j 函数曲线，计算不和谐系数 j 。

最后，再根据和谐度计算式，计算和谐度。表 3.7 是假设的几种情景。根据计算结果，最后的结论是 $n_A : n_B = 2 : 1$ 且 $n_A + n_B \leq 300$ 时，是最优和谐行为。

表 3.7 公共地的悲剧问题和和谐度计算一览表

情景	n_A	n_B	a	b	i 值	j 值	HD	说明
1	200	100	1	0	1	0	1	$n_A : n_B = 2 : 1$ 且 $n_A + n_B \leq 300$ 。最优行为
2	120	100	0.82	0.18	1	0.18	0.79	出现一定“分歧”
3	200	80	0.86	0.14	1	0.14	0.84	出现一定“分歧”
4	200	60	0.69	0.31	1	0.31	0.59	出现较大“分歧”
5	160	80	1	0	1	0	1	$n_A : n_B = 2 : 1$ 且 $n_A + n_B \leq 300$ 。最优行为
6	100	50	1	0	1	0	1	$n_A : n_B = 2 : 1$ 且 $n_A + n_B \leq 300$ 。最优行为
7	200	150	0.86	0.14	0.5	0.14	0.41	超出和谐目标，并出现一定“分歧”
8	250	100	0.86	0.14	0.5	0.14	0.41	超出和谐目标，并出现一定“分歧”
9	300	150	1	0	0	0	0	严重超出和谐目标
10	250	180	0.87	0.13	0	0.13	0	严重超出和谐目标，并出现一定“分歧”

现作一些假定。假如没有和谐规则的要求，只要 $n_A + n_B \leq 300$ ，和谐度都为 1，都是和谐的，说明只有“和谐目标”的要求，没有“和谐参与者之间”对“分歧”的要求。假如和谐规则为 $n_A : n_B = 1 : 1$ ，则只有 $n_A = n_B$ 且 $n_A + n_B \leq 300$ 时为最优和谐行为。如表 3.7 所示，表中情景 1、情景 5、情景 6 都是最优和谐行为，符合最优和谐行为定

义。需要说明的是, 最优和谐行为与运筹学中“优化”方法不一样, 一般满足“最优和谐行为”的可能是多个方案, 组成一个“行为轨迹”。

第八节 应用举例 3——跨界河流分水问题

一条河流可能会跨越不同省份(如黄河、长江), 甚至会跨越不同国家(如多瑙河), 把这类跨越不同区域的河流称为跨界河流。因为一条河流的可利用水资源量是有限的, 为了保护河流健康, 必须共同控制总引用水量。下面, 以黄河为例来说明^[1]。

黄河是中华民族的摇篮, 也是世界古代文化发祥地之一。自 20 世纪 60 年代以来, 随着经济社会发展, 引用黄河水量增加, 带来黄河水量减少甚至断流、水土流失严重等问题。为了协调各省区用水, 1987 年, 国家发展计划委员会与有关省区和部门协商, 制定了黄河可供水量分配方案, 见表 3.8。

表 3.8 黄河可供水量分配方案 (单位: 亿 m^3)

项目	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东	河北 天津	合计
年耗水量	14.1	0.4	30.4	40.0	58.6	38.0	43.1	55.4	70.0	20.0	370.0

表 3.8 是给出的一般年份情况, 也可以理解为多年平均情况, 因此, 可以允许在某些年份总耗水量超出 370 亿 m^3 。据此, 给出和谐系数 i 的函数曲线, 如图 3.7 所示。不和谐系数 j 的函数仍采用图 3.6 曲线。和谐规则定义为: 各省区实际耗水量不超出其分配的耗水量。

黄河 1998~2007 年各省区实际耗水量, 如表 3.9 所示。首先确定满足和谐规则和谐行为 G_1, G_2, \dots, G_n , 据此计算 a 和 b 。再根据 a 和 b 值计算 i 值和 j 值。最后计算和谐度 HD 值。计算结果, 如表

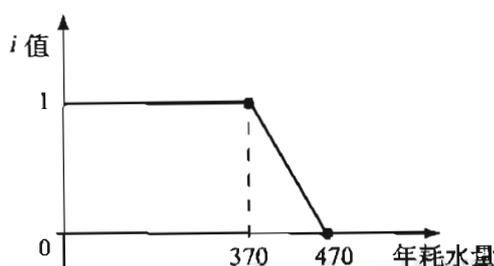


图 3.7 和谐系数 i 函数曲线

3.10 所示。从计算结果来看，2006 年属于“接近不和谐”，主要是因为该年份来水量偏枯，引水量过大。

表 3.9 黄河 1998~2007 年各省区实际耗水量 (单位: 亿 m^3)

省区	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	多年平均
青海	12.47	12.94	14.19	12.11	13.00	12.27	12.53	12.48	15.41	13.33	13.07
四川	0.16	0.25	0.24	0.25	0.26	0.25	0.27	0.27	0.22	0.19	0.24
甘肃	27.85	30.58	32.02	31.95	31.08	33.84	34.10	33.44	34.34	30.44	31.96
宁夏	39.23	43.91	40.32	40.31	38.77	39.06	40.46	44.64	41.39	39.44	40.75
内蒙古	77.45	84.14	77.59	79.85	78.34	69.48	75.91	82.58	80.60	59.70	76.56
陕西	41.98	43.32	44.05	42.69	41.93	37.46	40.44	43.43	47.83	24.97	40.81
山西	28.10	28.23	27.93	29.31	29.45	28.33	28.52	30.41	32.94	13.58	27.68
河南	45.16	52.74	48.49	48.04	54.38	47.68	45.28	48.76	57.78	33.64	48.20
山东	89.05	93.47	73.91	73.65	89.82	58.02	56.71	64.41	88.22	71.59	75.89
河北、天津	3.35	3.16	7.15	3.63	5.20	10.06	8.08	1.33	3.00	1.90	4.69
合计	364.80	392.74	365.89	361.79	382.23	336.45	342.30	361.75	401.73	288.78	359.85

资料来源: 耗水量数据来源于黄河水利委员会提供的《黄河水资源公报》(1998~2007 年)。

表 3.10 黄河 1998~2007 年和谐度计算结果表

计算值	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	多年平均
a 值	0.885	0.851	0.915	0.913	0.884	0.957	0.930	0.897	0.853	0.991	0.919
b 值	0.115	0.149	0.085	0.087	0.116	0.043	0.070	0.103	0.147	0.009	0.081
i 值	1	0.773	1	1	0.878	1	1	1	0.683	1	1
j 值	0.115	0.149	0.085	0.087	0.116	0.043	0.070	0.103	0.147	0.009	0.081
HD	0.872	0.636	0.908	0.906	0.763	0.956	0.925	0.887	0.561	0.990	0.913

第四章 和谐论学科体系及其关键问题

本章在上文对和谐论五要素、和谐度方程论述的基础上,提出和谐论理论及应用体系框架,并探讨和谐论的几个关键问题。

第一节 和谐论学科体系

基于和谐论概念、理论方法及应用主要内容,本章总结出和谐论理论及应用体系框架(图4.1)^[2],作为和谐论的学科体系。和谐论与一般的理论方法体系一样,包括理论方法部分和应用部分。组成和谐论理论方法的内容包括和谐论的思想、观念、和谐论五要素、和谐度方程以及和谐论的两个重要技术方法内容——和谐评估与和谐调控(将分别在第五、六章介绍);组成和谐论应用部分的内容包括相互联系、相互支持的两部分,即定性分析和定量分析。

本书作者提出的和谐论理论体系是,以辩证唯物主义“和谐”思想为基本指导思想,用和谐论五要素描述和谐问题,和谐度方程为定量刻画和谐问题的核心方法,和谐评估与和谐调控是和谐论的两个主要技术方法。

在理论方法研究中,和谐论的思想、观念是和谐论存在和发展的基础,也是和谐论的精髓,体现出和谐论处理问题的基本指导思想和重要观点。我们提倡的和谐论思想和观点,应是一种正确的、积极向上的、符合辩证唯物主义哲学思想的、能在处理社会、经济、政

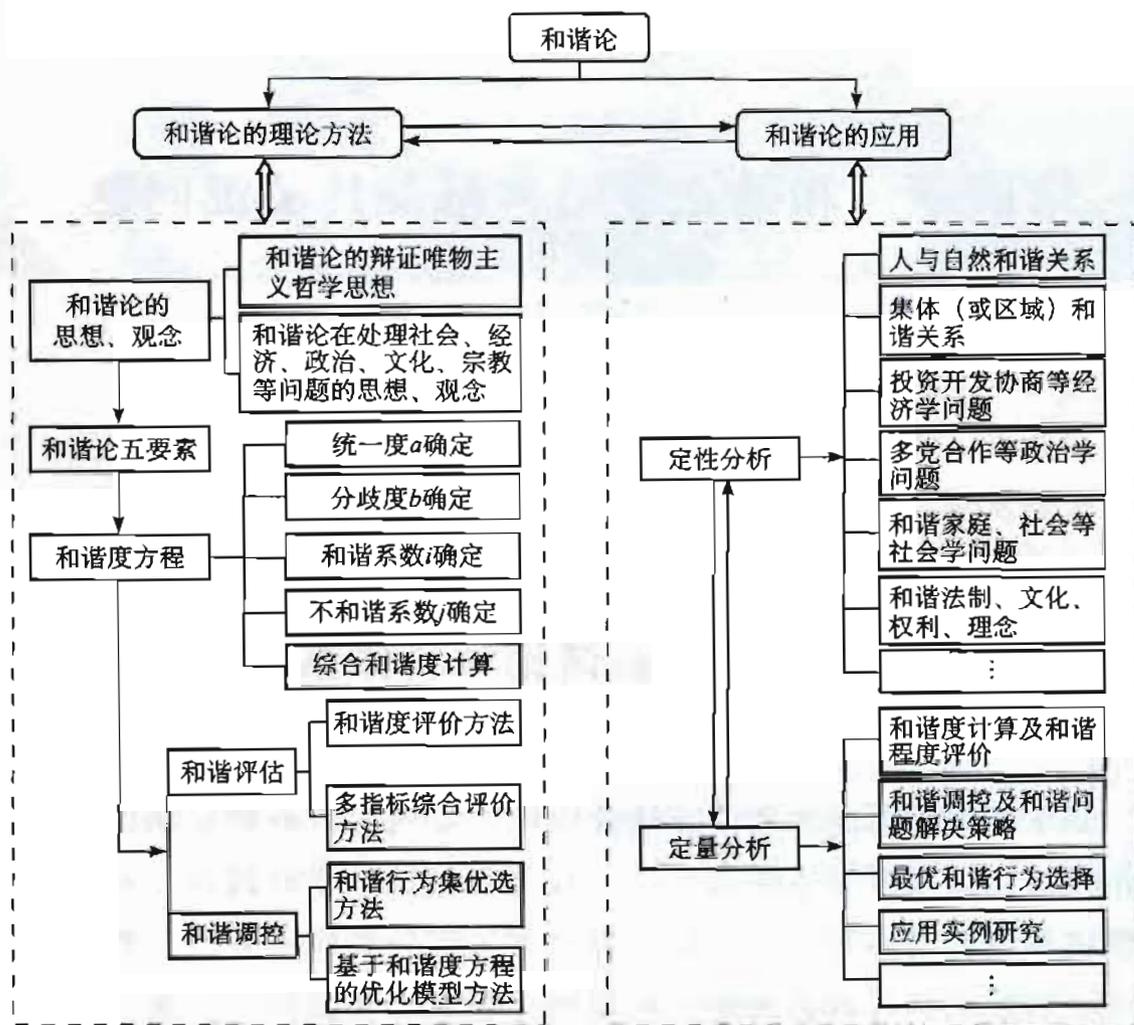


图 4.1 和谐论的理论及应用体系框架

治、文化、宗教等问题上发挥积极作用的思想 and 观点。例如，运用和谐论处理诸如经济学中的“投资开发协商问题”、政治学中的“多党合作问题”、社会学中的“和谐家庭问题”等。和谐论五要素是合理表达、定量描述和谐论的 5 个最基本要素。和谐度方程是定量评估和谐状态的基本方程，由统一度、分歧度、和谐系数和不和谐系数构建而成，能够非常客观、全面地表达和谐论的基本思想，是和谐论定量研究的基石。和谐评估与和谐调控是和谐论两个重要技术方法。和谐评估是用于评估一个和谐问题的状态或和谐程度大小，对认识和谐问题具有重要作用。和谐调控是针对具体问题为了达到和谐状态而采取

的具体调控措施。

在定性分析应用中，主要是基于和谐论的思想、观念，和谐论五要素，对和谐问题进行分析研究，包括人与自然的和谐关系，集体（或区域）和谐关系，投资开发协商等经济学问题，多党合作等政治学问题，和谐家庭、和谐社会等社会学问题，和谐法制、文化、权利、理念等内容。这些在生活实践、意识形态中经常遇到，具有广阔的应用前景。

在定量分析应用中，主要是基于和谐度方程、和谐评估、和谐调控以及与其他学科的交叉，研究和谐论及其相关的应用问题，如和谐度计算及和谐程度评价、和谐调控及和谐问题解决策略、最优和谐行为选择以及其应用实例等。例如，作者在文献 [20] 中介绍的和谐论在水资源学中的应用，包括：①分区分部门水资源合理分配的和谐论模型；②跨界河流分水问题的和谐论模型；③跨流域调水问题的和谐论模型；④水资源管理的和谐论策略；⑤构建人与自然和谐相处的和谐论途径；⑥水价制定中的和谐论策略。除此之外，这一理论在污水排放与处理问题、土地使用问题、矿山开发问题、贸易问题、工业布局与生产问题等其他领域都有很广泛的应用。

第二节 关键问题及讨论

一、和谐目标的确定

对于一个和谐问题来说，为了达到总体和谐状态，多个和谐参与者通过相互联系和制约，一般需要满足一定的目标要求，这就是和谐论提出的和谐目标，也是建立和谐度方程（主要是确定和谐系数 i ）的重要基础^[2]。因此，在研究和谐问题时，需要先确定和谐目标。

如前文所述，根据和谐目标是否变化，可以将其分为定目标和谐、变目标和谐。关于和谐目标的确定，需要针对具体问题作具体分



析。下面列举一些例子供参考。

(1) 如前文介绍的“公共地的悲剧”例子。一片草地供多家放羊，其目标要求是：不能破坏草地，按照草地的载畜量控制养羊数。也就是说，为了不破坏草地，这片草地上的放羊总数量不能超过某一限度值。这就是这一和谐问题的和谐目标。至于草地的载畜量计算方法是一个专业问题，可以由专业研究成果得到。在相对较稳定条件下和较短时期内，可以认为该问题是定目标和谐。但如果条件发生较大变化（如草地施肥、供水设施更加完善）时，草地载畜量有较大变化，就成为变目标和谐。

(2) 如“水资源合理分配问题”例子。一个流域或区域，其可利用水资源量是有限的，为了保护有限的水资源，必须共同控制总引用水量。按照可利用水资源量来严格控制水资源合理分配总用水量。这就是这一和谐问题的和谐目标。至于可利用水资源量计算是一个专业问题，可以由专业研究成果得到。一般情况下，对于一个范围比较大的流域或区域来说，可利用水资源量变化不大，可以认为该问题是定目标和谐。但如果水文条件、气象条件、覆被变化和人类活动发生较大变化（如气候变化、修建大型调水工程、大规模土地开发），可利用水资源量有较大变化，就成为变目标和谐。

(3) 以上两个例子都是单因素和谐，和谐因素单一，目标比较明确。实际上，还有很多和谐问题需考虑多种因素，和谐目标是一组目标值。例如，在“人水和谐”例子中，所考虑的因素比较多，包括水量约束、水质约束、生态约束、用水效益约束等，以保障水资源可持续利用和经济社会可持续发展。水利部提出的最严格水资源管理制度“三条红线”（水资源开发利用红线、用水效率红线、水功能区限制纳污红线），可以作为人水和谐的和谐目标：①水资源开发利用红线，严格实行用水总量控制，使用水量之和小于或等于可利用水资源量；②用水效率红线，坚决遏制用水浪费，使用水效率大于或等于制定的用水效率最低值；③水功能区限制纳污红线，严格控制入河排污总

量，使排放的污染物总量小于或等于水体纳污能力。

(4) 再如“人与自然和谐”例子。人与自然和谐考虑的因素非常复杂，目标要求也多种多样。例如，对自然界资源的消耗不能超过自然界的承载能力，对自然界的污染不能超过环境容量，对自然界植被的砍伐不能超过可恢复能力，对自然界的开发和大型工程建设不能超过自然界生态环境可接受的极限。因此，自然界的承载能力、环境容量、可恢复能力、可接受的极限都是和谐目标阈值。在处理人与自然和谐问题时，不能突破这些和谐目标阈值。至于这些目标阈值的确定，一般比较复杂，可以采用相应专业的研究成果。

(5) 以上问题的和谐目标基本上都有比较明确的数值（包括变目标情况），当然也有一些问题的和谐目标没有明确的限制。例如，和谐家庭、和谐社区、和谐团队等。在很多和谐因素上没有明确的和谐目标限制，这种情况可以认为和谐系数 i 等于 1，也可以考虑用“统一度 a ”的限度来确定和谐系数 i 。如图 4.2 所示，假如 $a \in [0.8, 1]$ ， $i=1$ ；假如 $a=0.6$ ， $i=0.5$ ；假如 $a=0$ ， $i=0$ ，按照直线段方程可以确定任意 a 值对应的 i 值。

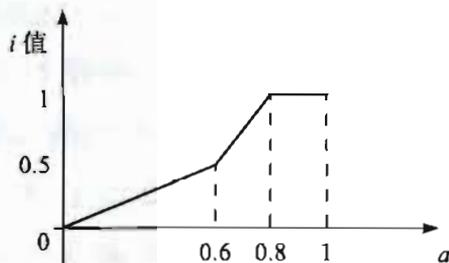


图 4.2 和谐系数 i 曲线

二、和谐规则的选择

为了定量描述和谐度方程，需要客观地描述和谐问题的一切规则或约束。这也是建立和谐度方程的重要基础^[2]。

如前文所述，根据和谐规则是否变化，可以将其分为：定规则和



谐、变规则和谐；根据和谐规则复杂程度，可分为：简单规则和谐、复杂规则和谐。针对具体问题，需要详细分析，尽可能全面准确地描述和谐规则。下面列举一些例子供参考。

(1) 如第三章介绍的“跨界河流分水问题”例子。因为一条河流的可利用水资源量是有限的，为了保护河流健康，必须共同控制总引用水量。针对跨界的国内河流，国家可以制定一定的分水比例或分水量来约束总用水量。例如，针对黄河，1987年，国家发展计划委员会与有关省区和部门协商，制定了黄河可供水量分配方案（表3.8）。这是建立和谐关系的依据，是此问题的和谐规则。

(2) 再如本书第三章介绍的“公共地的悲剧”例子。该例子中要求“养羊的数量与家庭人口成正比”，这就是此问题的和谐规则。

(3) 再如“开发商投资农业生产的用水问题”。需要开发商之间通过协商来解决其中存在的用水限制问题，通过协商制定用水规则，如用水权与农业开发面积成正比、用水权与投资额成正比、用水权等分或其他一定规则等。这就是此问题的“和谐规则”。

(4) 再如和谐家庭、和谐社区、和谐团队等例子。这些例子的参与者主要是人，一般要求人与人平等，这是和谐的基础。因此，在选择和谐规则时自觉不自觉地就选择和谐行为的比值为1。当然，如果要突出某些因素，也可能出现比例不是1的情况。例如，为了尊重妇女，可以在劳动力分配上谦让女士；为了照顾贫困人口，可以在社区公共设施费用分摊上，贫困家庭少分摊或不分摊；为了体现团队带头人和骨干的作用，在任务分配上可以给带头人和骨干多分配任务。

(5) 当然，也有一些问题的和谐规则比较复杂，不像上文4个例子中均用和谐行为比例的方式来表征，有些时候很难用一个简单的比例关系来表示和谐规则或某一因素的和谐规则。例如，对和谐世界的描述，非常复杂，其考虑因素多，每一个因素的和谐规则也不一定容易确定，又如，政治因素、经济因素、军事因素就比较难以量化。

针对这些问题，可以采用模糊数学中隶属函数的方法来定量描述或近似表示。

三、单因素和谐度方程计算

本书第三章详细介绍了和谐度方程及其计算方法，本节就不再赘述。和谐度方程是和谐论量化研究的基础。单因素和谐度方程计算的关键，主要包括统一度 a 、分歧度 b 的确定，和谐系数 i 的确定，不和谐系数 j 的确定，详见第三章。

四、多因素和谐度计算问题

如果和谐问题考虑的因素不止一个，就是多因素和谐问题。需要在单因素和谐度计算的基础上计算综合和谐度。本书第三章提出了两种计算方法，一种是加权平均计算，另一种是指数权重加权计算。此外，还有模糊综合评价、灰色系统评价等方法。

在加权平均计算、指数权重加权计算中，都存在权重确定问题，可以引用目前已有的多种计算方法。常用的有德尔菲法（专家调查法）、变权法、判断矩阵分析法等。但是无论采用哪一种确定方法，都存在一定的人为性和任意性，这是模糊数学计算的一个缺陷，也是实际应用中不可避免的问题之一。当然，这一缺陷又是模糊数学不同于经典数学的一个优点。原因是本来是模糊的事件，如果采用“确定性”经典数学去描述它反而更难准确。这也正是模糊数学产生的起因和被广泛应用的优势。为了减小权重确定带来的偏差，尽可能地反映客观实际，只有进行更仔细的调查和研究工作，反复论证，得到可信度较高的权重^[17]。为了便于后文应用，这里简单介绍几种方法^[17]。

（一）等权重取值方法

等权重取值方法也就是认为各个权重相等，等同看待一切因素。这是目前比较常用的一种取值方法。在后文的实例研究中，部分权重的确定就采用等权重取值方法。



(二) 专家调查法

把调查表发给精通专业的专家单独填写，收回后加以整理，形成正式意见。如果专家们的意见差距太大，可针对不同意见再向专家征询，采用第二轮征询甚至第三轮征询，最后统计得到各个权重。这种方法具有较多优点，可以依靠专家们的丰富知识和宝贵经验，能够比较客观地反映实际情况。

(三) 变权法

变权法是权重随评估向量大小而改变的方法。对总体而言，涉及元素 A_1, A_2, \dots, A_n ，评估指标为 u_1, u_2, \dots, u_n 。记 A_i 相对于总体而言的权重为

$$w_i = w_i(u_1, u_2, \dots, u_n)$$

$$w_i(u_1, u_2, \dots, u_n) = \frac{\lambda_i(u_i)}{\sum_{j=1}^n \lambda_j(u_j)}$$

式中， $\lambda_i(u_i)$ 为选定函数，可通过一定计算得到。在后文实例研究中，在基础权重确定的基础上，根据各因素和谐度的大小，采用该方法对权重进行再处理后得到最终权重。

(四) 层次分析法与变权法相结合的方法^[17]

本书采用层次分析法与变权法相结合的权重确定方法，先由层次分析法确定基础权重（又称初始权重），再利用变权法确定最终权重。

1. 采用层次分析法确定基础权重

层次分析法是一种定性和定量相结合的决策分析方法，通过两两比较及计算矩阵最大特征值及其相应的特征向量，来确定各指标的权重，具体的计算过程如下。

1) 构造判断矩阵

在所有因素中任取两个因素进行对比，根据因素的重要程度，构造判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ （表 4.1）。

表 4.1 构造比较判断矩阵

数值	两因子之间相比较的含义
1	两因子具有同样重要
3	一个因子比另外一个稍微重要
5	一个因子比另外一个明显重要
7	一个因子比另外一个重要得多
9	一个因子比另外一个极为重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中值
倒数	因子 i 与 j 比较判断为 a_{ij} , 则因子 j 与 i 比较为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

2) 计算权向量及特征值

对给定的判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, 确定权向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 及特征值 λ_1 。其中

$$w_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \quad (4.2)$$

3) 一致性检验

判断矩阵的一致性指标为 CI, 随机一致性指标为 RI, 一致性比率为 CR。

$$CI = \frac{\lambda_1 - n}{n - 1} \quad (n > 1), \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

RI 的取值见表 4.2。

表 4.2 平均随机一致性指标 RI 值

矩阵阶数	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...
RI	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	...

当 $CR < 0.1$ 时就认为满足一致性要求, 并以 λ_1 所对应的归一化后的特征向量作为归一化后的权向量, 即为所求的基础权重 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。



2. 采用变权法确定权重

常权法是在综合评判中把每个因素的权重视为定值, 不考虑权重随评估值变化的情况。变权法就是在综合评估中权重随评估向量改变的综合评判法, 是对常权法确定基础权重的修正, 具体的计算过程如下:

(1) 对总体而言, $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 分别为 n 个因素 A_1, A_2, \dots, A_n 的评估指标 (本书中指各因素的和谐度), μ_i 无量纲或量纲相同, 且 $\mu_i \in [0, \mu_m]$, 常取 $\mu_m = 1, 10, 100$ 等。当 $\mu_i = 0$ 时, 说明因素 A_i 已经完全失去了应有的作用; 当 $\mu_i = \mu_m$ 时表示因素 A_i 为理想值。

(2) 在总体十分完善理想的情况下, A_i 的权重 $w_{mi} = w_i(\mu_m, \mu_m, \dots, \mu_m)$, $w_{mi} \in (0, 1)$, $\sum_{i=1}^n w_{mi} = 1$, w_{mi} 称为基础权重, 可以用层次分析法得到。

(3) w_{0i} 为因素 A_i 功能完全消失时 A_i 的上确界权重, 充分体现了加大评估值过低的项目权重, 以引起决策者充分注意的思想。 $w_{0i} = w_i(\mu_m, \dots, \mu_m, 0, \mu_m, \dots, \mu_m)$, $w_{0i} \in (0, 1)$, 当 $n \geq 3$ 时, 建议用下式计算:

$$w_{0i} = \frac{w_{ni}}{\min_{1 \leq j \leq n} w_{mj} + \max_{1 \leq j \leq n} w_{mj}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

(4) 为了简便、直观地获得最终权重 $w_i(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, 引入函数 $\lambda_i(\mu_i)$, $\lambda_i(\mu_i) \in (0, \mu_m)$ 。 λ_{0i} 和 λ_{mi} 分别是 $\lambda_i(\mu_i)$ 在 $[0, \mu_m]$ 上的最大值和最小值。

$$\lambda_i(\mu_i) = \frac{\lambda_{mi} \lambda_{0i}}{\lambda_{mi} \exp\left[\frac{1}{1-k_i} \left(\frac{\mu_i}{\mu_m}\right)^{1-k_i}\right]} \quad (4.4)$$

其中

$$\lambda_{0i} = \frac{w_{0i} \sum_{j \neq i} w_{mj}}{1 - w_{0i}}$$

$$\lambda^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i}$$

$$\lambda_{\cdot i}^* = \sum_{j \neq i} \lambda_{0j}$$

$$k_i = 1 - \frac{1}{\ln \frac{\lambda_{0i}(\lambda_{\cdot i}^* + w_{mi})}{\lambda^* w_{mi}}}$$

(5) 在计算得到 $\lambda_i(\mu_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 之后, 最终的变权重 $w_i(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ 可利用下式求得

$$w_i(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) = \frac{\lambda_i(\mu_i)}{\sum_{j=1}^n \lambda_j(\mu_j)}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

求得的 $w_i(\mu_i)$ 即为利用模糊变权法确定的最终权重值。使用变权法得到的综合值总比以基础权重为权重计算出来的综合值小, 这与开始提出的用降低综合值的办法突出单因素评估时评估值低的结论相吻合。

五、最优和谐行为的确定

最优和谐行为是指和谐参与者在一定和谐规则下满足和谐目标时的最佳和谐行为, 也就是和谐行为的最优解。有些简单问题的最优解一下就可以看得出来。例如, 和谐规则为 $A_1 : A_2 = 2 : 1$, 目标要求 $A_1 + A_2 \leq 300$, 则只要 $A_1 = 2A_2$ 且 $A_1 + A_2 \leq 300$ 时都为最优和谐行为, 如 $A_1 = 100, A_2 = 50$; $A_1 = 150, A_2 = 75$; $A_1 = 200, A_2 = 100$ 等。

当然, 有些复杂问题的最优和谐行为求解还需要通过一定的计算, 甚至需要建立优化模型来求解。这些内容将在第六章介绍。



第五章 和谐评估

为了摸清和谐问题的水平或状态，需要对和谐问题进行评估，即和谐评估，这也是和谐论应用的重要技术方法之一。本章将介绍两种评估方法，一种是和谐度评价方法，另一种是多指标综合评价方法，并列举实例加以说明。

第一节 概 述

和谐评估 (harmony assessment) 是对和谐参与者所处的状态和和谐程度水平进行的评估。通过评估，可以反映出总体和谐程度、所处的状态和水平以及时空变化规律，为和谐问题评价、寻找和谐策略提供依据。这里介绍两种和谐评估方法，也是两种不同的评估思路：一是和谐度评价方法，主要是通过建立和谐度方程，计算得到不同和谐问题的和谐度，以此作为定量评估和谐程度的依据；二是多指标综合评价方法，通过建立一套指标体系，采用综合评价方法，来综合评估其和谐程度。

第二节 和谐度评价方法

一、和谐度评价方法主要步骤

和谐度评价方法 (the method of harmony degree evaluation)，就

是直接引用第三章介绍的和谐度方程，对和谐程度进行评价。针对和谐问题，首先确定和谐论五要素，然后建立和谐度方程，再根据具体问题计算和谐度大小，据此评价和谐程度。具体步骤如下。

（一）确定和谐论五要素

根据第三章叙述，为了科学合理地表达和谐问题，定量评估和谐程度，首先需要确定和谐论五要素，即和谐参与者、和谐目标、和谐规则、和谐因素、和谐行为。这是进一步建立和谐度方程的基础。

为了定量描述的方便，在确定和谐论五要素时，尽量采用可以定量描述的目标、规则、因素、行为。对于一些定性问题，可以采用分级定性描述，再按照模糊隶属度描述方法来定量表达。

以社区和谐评估问题为例，第一，要确定和谐参与者有哪些。如果是社区的各个住宅楼之间的和谐，则其和谐参与者是各个住宅楼；如果是社区的各家庭之间的和谐，则其和谐参与者就是社区的每个家庭。第二，要根据具体情况，确定和谐目标，也就是要制定达到社区和谐的主要控制标准，比如，人均收入不得低于某一标准，违法违纪人口比例不得高于某一标准，文明户所占比例不得低于某一标准等。这些和谐目标尽量可度量。第三，要确定和谐规则，尽量反映和谐问题实际需要。例如，要求各楼周边的绿化面积要与占地面积成正比（可以是一个区间）。第四，要选择和谐因素，反映所关注的主要因素，如经济状况因素、文明程度因素、社会结构因素、公众参与因素、公共问题因素等。第五，要确定和谐行为，实际上就是要选择表征和谐行为的具体指标，如人口数、总收入、违法违纪人口、文明户数、有家庭矛盾户数、积极参与社区服务的人口数、绿化面积等。这些指标一般都可以通过统计或简单计算得到。

（二）建立和谐度方程

根据第三章叙述，先确定统一度 a 、分歧度 b 、和谐系数 i 、不和谐系数 j ，再代入到和谐度方程，就得到该和谐问题的和谐度方程。关于各种参数确定及和谐度方程的建立方法均已在第三章详细论述



过。需要进一步指出的是，所建立的和谐度方程是一个动态的方程，可以根据参数、指标的变化而变化。

对于多因素、多层次和谐问题，可以采用第三章介绍的多因素和谐度方程和多层次和谐度计算方法进行计算。

（三）定量计算和谐度

根据不同情况，在给定各个参数和指标的情况下，依据和谐度方程就能计算得到和谐度大小，依据和谐度大小就能判断和谐程度等级（表 3.1），以此作为和谐评估的依据。例如，可以用不同社区的和谐度，作为横向评比多个社区和谐度大小的依据；也可以计算同一个社区不同年份和谐度的变化，来纵向评价和谐程度的变化趋势。

二、应用举例

这里以一个城市的和谐社区评估为例来说明。一般城市会有很多个社区，这里为使问题得到简化，只列举 5 个社区（编号分别为 S_1 , S_2 , ..., S_5 ），计算采用 1992~2010 年的数据。

（一）确定和谐论五要素

假定该和谐问题的参与者是社区中所有家庭。选择的和谐目标包括：①计划生育一票否决制（只要有超生现象， $i=0$ ；否则 $i=1$ ）；②人均收入要控制在某一水平上，具体是当人均收入大于等于 16 000 元时（小康社会标准）， $i=1$ ；低于 785 元时（贫困线标准）， $i=0$ ；人均收入在二者之间时采用线性关系；③违法违纪人口比例要控制在某一水平上，具体是当比例小于等于 0.0015（预计 2020 年全国平均水平）时， $i=1$ ；高于 0.01（2005 年社会治安较差水平）时， $i=0$ ；在二者之间时采用线性关系。

因为一个社区中的户数很多，也就是参与者数量较大，在计算统一度 a 时，可以采用第三章提到的多指标评价方法（表 3.5），不宜按照和谐准则一一计算统一度。因此，在这种情况下，不需要详细列出和谐规则（如第三章第五节第一部分的说明）。

根据上文分析,此问题选择的和谐因素主要有经济状况因素、文明程度因素、社会结构因素、公众参与因素、公共问题因素。对应的和谐行为指标为人口数、男性人口数、女性人口数、总户数、总收入、违法违纪人口、文明户数、有家庭矛盾户数、积极参与社区服务的人口数、生活垃圾产生量、生活垃圾无害化处理量、小区占地面积、小区绿化面积等。

(二) 建立和谐度方程

评价指标选择 8 个指标,即人均收入 (Z_1)、违法违纪人口比例 (Z_2)、家庭矛盾出现比例 (Z_3)、文明户所占比例 (Z_4)、男女人口比例 (Z_5)、公民参与社区选举的投票比例 (Z_6)、生活垃圾无害化处理率 (Z_7)、社区绿化面积占社区面积比例 (Z_8)。5 个社区 1992~2010 年各指标数据,如表 5.1 所示。

表 5.1 社区和谐评估指标基础数据一览表

社区编号	年份	Z_1 /元	Z_2 /%	Z_3 /%	Z_4 /%	Z_5 /%	Z_6 /%	Z_7 /%	Z_8 /%
S ₁	1992	8 900	0.007	3.2	3.5	1.15	63	88	43
	1994	10 280	0.002	2.8	3.5	1.10	65	83	45
	1996	12 800	0.004	2.4	4.0	0.88	69	87	47
	1998	15 600	0.003	2.1	4.0	0.94	73	89	50
	2000	17 800	0.002	2.0	4.0	0.98	76	89	55
	2002	19 000	0.002	1.2	4.5	1.05	78	94	58
	2004	19 500	0.001 7	1.2	4.5	1.05	80	95	58
	2006	20 200	0.001 8	1.2	4.8	1.05	80	96	58
	2008	20 020	0.001 8	1.1	5.2	1.06	81	97	58
	2010	20 120	0.001 8	1.1	5.2	1.06	81	97	58
S ₂	1992	1 100	0.008	4.0	2.5	1.15	55	84	40
	1994	1 530	0.007	3.5	3.0	1.15	58	84	42
	1996	4 500	0.007	3.5	3.2	1.13	57	86	42
	1998	7 820	0.005	3.8	3.2	1.10	62	85	45
	2000	9 800	0.005	3.2	3.5	1.08	63	85	45
	2002	12 670	0.004	2.9	3.5	1.08	66	86	47
	2004	12 800	0.005	2.9	3.7	1.03	67	88	47
	2006	13 600	0.004	2.5	3.7	1.03	69	87	49
	2008	13 980	0.003	2.4	3.8	1.02	75	88	53
	2010	14 100	0.003	2.4	4.0	1.01	78	89	53



续表

社区 编号	年份	Z ₁ /元	Z ₂ /%	Z ₃ /%	Z ₄ /%	Z ₅ /%	Z ₆ /%	Z ₇ /%	Z ₈ /%
S ₃	1992	17 890	0.004	2.2	3.6	1.00	69	90	51
	1994	18 900	0.004	2.4	3.6	0.90	73	90	52
	1996	19 780	0.003 5	2.1	4.3	0.98	73	93	52
	1998	19 880	0.003	2.2	4.3	0.89	77	93	52
	2000	18 900	0.003	1.8	4.7	0.95	75	94	55
	2002	19 700	0.002 5	1.6	4.7	0.95	73	93	55
	2004	20 450	0.002 5	1.7	5.3	0.94	79	93	58
	2006	21 670	0.002	1.4	5.3	0.97	82	95	58
	2008	22 890	0.001 5	1.2	5.7	0.97	83	95	64
	2010	23 340	0.001 5	1.0	5.7	0.98	85	97	64
S ₄	1992	15 620	0.003 8	1.8	3.2	1.22	73	90	55
	1994	15 170	0.003 2	1.9	3.8	1.18	79	95	52
	1996	16 890	0.003 7	2.0	4.3	1.17	70	85	47
	1998	19 750	0.003 2	1.7	3.6	1.10	68	84	52
	2000	19 240	0.002 9	1.6	3.4	1.05	57	88	57
	2002	19 670	0.002 5	2.0	3.9	1.01	68	93	54
	2004	18 690	0.003	2.2	4.3	1.22	69	93	55
	2006	15 680	0.002 5	2.5	3.6	1.01	73	88	51
	2008	17 800	0.002 5	2.1	4.4	0.95	79	83	58
	2010	17 600	0.002 5	1.8	4.1	1.02	71	87	52
S ₅	1992	19 010	0.002	1.8	4.4	1.01	75	89	55
	1994	19 300	0.002 1	1.9	4.5	1.04	76	90	55
	1996	19 670	0.002	1.7	4.6	1.01	78	91	55
	1998	19 880	0.002 3	1.8	4.4	1.09	74	89	55
	2000	20 100	0.002	1.7	4.5	1.02	74	93	55
	2002	19 980	0.002 3	1.6	4.5	1.07	76	92	58
	2004	19 980	0.002 1	1.7	4.6	1.01	77	91	58
	2006	19 750	0.002 1	1.6	4.6	1.06	76	92	58
	2008	19 700	0.002	1.8	4.4	1.05	75	91	58
	2010	20 540	0.002	1.6	4.3	1.06	76	90	58

首先, 根据表 5.1 中的数据, 按照式 (3.6)~式 (3.13) 计算各指标对应的统一度值 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 、 a_7 、 a_8 。再加权 (本例采用等权重方法) 计算得到最终的统一度综合值 a 。再采用公式 $b=1-a$ 计算得到分歧度 b 值。

其次, 根据上文介绍的和谐目标, 计算各种情况下对应的和谐系

数 i_k ，再通过取最小值的方法得到最终的和谐系数值 i （如第三章第五节第二部分的论述）。针对本例，上文提出了 3 个方面的和谐目标，其中假定第 1 个方面（计划生育一票否决制）都满足要求（只是简化分析），这样就剩下第 2 个方面（人均收入控制目标）、第 3 个方面（违法违纪人口比例控制目标）。根据上文的论述，可以把两者的和谐系数值 i 计算公式表达如下：

“人均收入控制目标”对应的和谐系数值 i 计算公式

$$i_2 = \begin{cases} 0, & Z_2 \leq 785 \\ \frac{Z_2 - 785}{16\,000 - 785}, & 785 < Z_2 < 16\,000 \\ 1, & Z_2 \geq 16\,000 \end{cases} \quad (5.1)$$

“违法违纪人口比例控制目标”对应的和谐系数值 i 计算公式

$$i_3 = \begin{cases} 1, & Z_3 \leq 0.0015 \\ 1 - \frac{Z_3 - 0.0015}{0.01 - 0.0015}, & 0.0015 < Z_3 < 0.01 \\ 0, & Z_3 \geq 0.01 \end{cases} \quad (5.2)$$

最后，确定不和谐系数 j 。关于不和谐系数 j 的确定也有很多种方法，如第三章第五节第三部分的论述。本例选择一种简单方法，如图 3.4 (a) 所示， j 的大小等于分歧度 b 的大小。

计算结果如表 5.2 所示，变化曲线如图 5.1 所示。

表 5.2 社区和谐评估计算结果一览表

社区编号	年份	a	b	i	j	HD
S ₁	1992	0.4801	0.5199	0.3529	0.5199	0.0000
	1994	0.6190	0.3810	0.6241	0.3810	0.2412
	1996	0.6610	0.3390	0.7059	0.3390	0.3516
	1998	0.7693	0.2307	0.8235	0.2307	0.5803
	2000	0.8341	0.1659	0.9412	0.1659	0.7576
	2002	0.9347	0.0653	0.9412	0.0653	0.8755
	2004	0.9568	0.0432	0.9765	0.0432	0.9324
	2006	0.9681	0.0319	0.9647	0.0319	0.9329
	2008	0.9774	0.0226	0.9647	0.0226	0.9424
	2010	0.9774	0.0226	0.9647	0.0226	0.9424



续表

社区编号	年份	a	b	i	j	HD
S_2	1992	0.2878	0.7122	0.0207	0.7122	0.0000
	1994	0.3566	0.6434	0.0490	0.6434	0.0000
	1996	0.4157	0.5843	0.2442	0.5843	0.0000
	1998	0.5206	0.4794	0.4624	0.4794	0.0108
	2000	0.5659	0.4341	0.5882	0.4341	0.1444
	2002	0.6351	0.3649	0.7059	0.3649	0.3152
	2004	0.6450	0.3550	0.5882	0.3550	0.2534
	2006	0.6871	0.3129	0.7059	0.3129	0.3871
	2008	0.7576	0.2424	0.8235	0.2424	0.5652
	2010	0.7834	0.2166	0.8235	0.2166	0.5982
S_3	1992	0.7486	0.2514	0.7059	0.2514	0.4652
	1994	0.7698	0.2302	0.7059	0.2302	0.4905
	1996	0.8326	0.1674	0.7647	0.1674	0.6086
	1998	0.8537	0.1463	0.8235	0.1463	0.6817
	2000	0.8827	0.1173	0.8235	0.1173	0.7132
	2002	0.8866	0.1134	0.8824	0.1134	0.7694
	2004	0.9323	0.0677	0.8824	0.0677	0.8180
	2006	0.9653	0.0347	0.9412	0.0347	0.9073
	2008	0.9868	0.0132	1.0000	0.0132	0.9866
	2010	0.9931	0.0069	1.0000	0.0069	0.9930
S_4	1992	0.6448	0.3552	0.7294	0.3552	0.3442
	1994	0.7345	0.2655	0.8000	0.2655	0.5172
	1996	0.6431	0.3569	0.7412	0.3569	0.3492
	1998	0.7501	0.2499	0.8000	0.2499	0.5376
	2000	0.7478	0.2522	0.8353	0.2522	0.5610
	2002	0.8239	0.1761	0.8824	0.1761	0.6959
	2004	0.7001	0.2999	0.8235	0.2999	0.4866
	2006	0.7497	0.2503	0.8824	0.2503	0.5989
	2008	0.8241	0.1759	0.8824	0.1759	0.6962
	2010	0.7894	0.2106	0.8824	0.2106	0.6522
S_5	1992	0.8567	0.1433	0.9412	0.1433	0.7857
	1994	0.8676	0.1324	0.9294	0.1324	0.7888
	1996	0.8954	0.1046	0.9412	0.1046	0.8318
	1998	0.8541	0.1459	0.9059	0.1459	0.7524
	2000	0.8903	0.1097	0.9412	0.1097	0.8259
	2002	0.9037	0.0963	0.9059	0.0963	0.8094
	2004	0.9044	0.0956	0.9294	0.0956	0.8314
	2006	0.9081	0.0919	0.9294	0.0919	0.8355
	2008	0.8862	0.1138	0.9412	0.1138	0.8211
	2010	0.8892	0.1108	0.9412	0.1108	0.8247

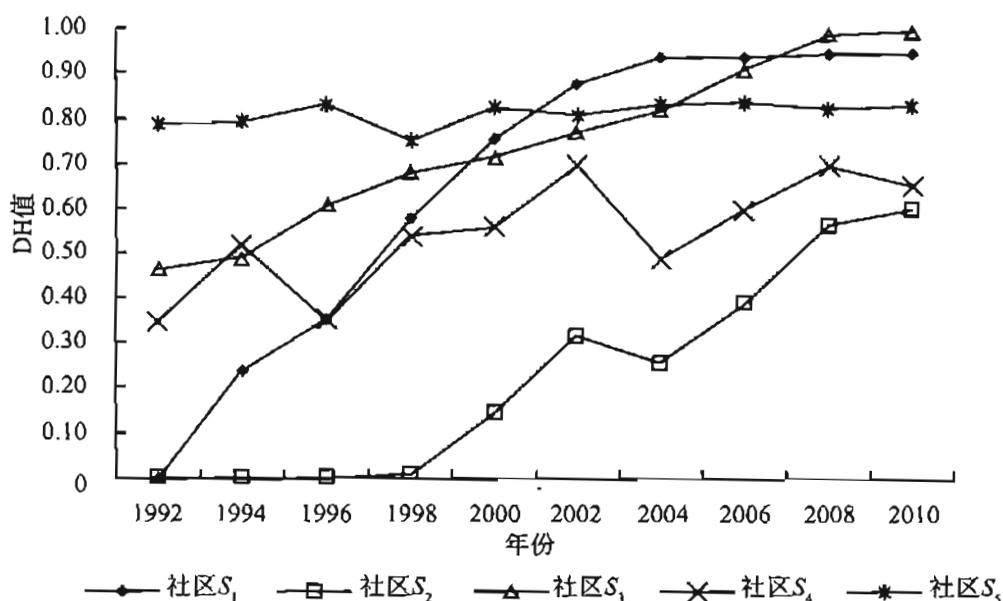


图 5.1 社区和谐评估计算结果变化曲线

(三) 和谐度计算结果及分析

1. 社区 S₁ 和谐度变化分析

从表 5.2 和图 5.1 可以看出, 社区 S₁ 在 20 世纪 90 年代初期 (1992 年) 时, 处于“完全不和谐”状态 (HD=0); 随着社区的发展和建设, 到 21 世纪初期 (2000 年) 达到“较和谐”状态 (HD=0.7576); 到 2002 年达到了“基本和谐”状态 (HD=0.8755), 至 2010 年接近完全和谐状态 (HD=0.9424)。可以看出, 该社区在近 20 年发展中, 和谐度变化很快, 从完全不和谐发展到基本和谐, 和谐度 HD 从 0 增加到 0.9424。在现实中, 原来该社区居民收入水平较低、社会治安不好、整体和谐水平极低, 后来经历了城中村改造, 伴随国家大规模的投入, 改造后的社区是一个充满活力的现代化小区, 和谐水平有了很大程度的提高。

2. 社区 S₂ 和谐度变化分析

从表 5.2 和图 5.1 可以看出, 社区 S₂ 在 20 世纪 90 年代中期 (1992~1996 年) 以前处于“完全不和谐”状态 (HD=0); 随后稍有变化, 但仍处于较低水平, 在 2006 年还处于“较不和谐”状态 (HD=



0.3871), 甚至到 2010 年才达到“接近不和谐”状态 ($HD = 0.5982$)。可以看出, 该社区总体处于较低水平, 起点低, 发展也缓慢, 直至目前也还处于“接近不和谐”状态。现实中, 该社区是城市郊区, 社区建设很不完善, 居民收入不高, 生活水平低, 文化素质不高, 治安管理也较松懈, 总体发展水平较低, 是该城市构建和谐社区、和谐城市的薄弱环节。

3. 社区 S_3 和谐度变化分析

从表 5.2 和图 5.1 可以看出, 社区 S_3 在 20 世纪 90 年代初期 (1992 年) 时, 处于“接近不和谐”状态 ($HD = 0.4652$), 起步比上面两个社区都要好。随着社区的发展和建设, 到 21 世纪初期 (2000 年) 达到“较和谐”状态 ($HD = 0.7132$), 到 2004 年达到了“基本和谐”状态 ($HD = 0.8180$), 至 2010 年接近“完全和谐”状态 ($HD = 0.9930$)。可以看出, 该社区在近 20 年的发展中, 变化较快, 从接近不和谐发展到基本和谐, 和谐度 HD 从 0.4652 增加到 0.9930, 这是一个总体发展水平较好的社区。在现实中, 该社区一直是一个各项评比较好的和谐社区, 到 2010 年接近“完全和谐”状态。

4. 社区 S_4 和谐度变化分析

从表 5.2 和图 5.1 可以看出, 社区 S_4 从 20 世纪 90 年代初期到 2010 年, 处于“较和谐”与“较不和谐”状态之间, 其最大的特点是波动性大, 反映出该社区发展变化不稳定、总体发展水平较低的特征。现实中, 该社区处在城市火车站、汽车站集中地区, 人口流动性大, 生活水平、文化素质、治安状况受外界因素影响较显著。

5. 社区 S_5 和谐度变化分析

从表 5.2 和图 5.1 可以看出, 社区 S_5 从 20 世纪 90 年代初期到 2010 年, 基本处于“较和谐”或“基本和谐”状态, 与社区 S_4 相反, 其最大的特点是和谐度变化不明显, 相对较稳定, 反映出该社区长期稳定、基础条件及总体发展水平较高的特征。现实中, 该社区是一个基础条件非常好、建设较早、主要以政府公务员和高校教师住宅为主

的社区，人均收入、生活水平、文化素质、治安状况一直都处于相对较好的稳定状态。

6. 5个社区和谐度变化对比分析

从以上分析可以看出：①按照时间变化，社区 S_1 变化幅度最大，且一直处于上升趋势；社区 S_3 变化幅度次之且一直处于上升趋势；社区 S_5 变化幅度最小，处于相对稳定状态；社区 S_2 也基本处于上升趋势但发展水平较低；跳动最剧烈的是社区 S_4 ；②按照 20 世纪 90 年代初期对比，只有社区 S_5 处于“基本和谐”状态，其他状况都较差，说明在 90 年代该城市的社区建设水平还较低；到了 2010 年，各个社区的状况都有了明显提高，基本都处于“基本和谐”或“较和谐”状态，特别是社区 S_1 和 S_3 接近于“完全和谐”；③根据 5 个社区的实际情况对比分析，可以看出本例的计算结果符合客观实际，能反映出社区的实际年度变化趋势、不同社区的对比情况以及各个阶段社区建设情况，对查找和谐社区建设存在的问题、指导社区建设具有重要意义。

第三节 多指标综合评价方法

多指标综合评价方法 (the method of multi-index comprehensive evaluation)，就是通过建立一套评价指标体系、评价标准，按照一定计算方法，得到能综合反映和谐程度的结果，以综合表征该和谐问题的和谐程度。其量化研究一般包括以下三个方面的内容：①建立指标体系，需要从众多的指标中选择一些关键指标，建立一套指标体系来表征和谐程度；②确定评价标准，为了对复杂的和谐问题进行综合的分析评价，需要根据该和谐问题的特点，针对建立的指标体系确定反映不同和谐程度的评价标准（或准则）；③选择量化计算方法，需要采取科学的量化计算方法，根据评价指标，对照评价标准，来综合计



算、评价和谐程度。

一、指标体系

(一) 建立指标体系的目标

通过指标体系能有效地反映出和谐参与者的相关关系，帮助人们评价和认识和谐程度，并帮助人们认识到改善哪些指标或者从哪些方面努力能够提高和谐程度。因此，建立指标体系有如下两个方面的功能：一是评价和谐程度，通过客观的指标体系及其实际数据，对和谐程度进行评价；二是有助于寻找和谐调控对策，通过分析各自对和谐程度的影响程度，从而找出影响和谐问题的关键因素，提出有针对性的调控对策。

(二) 建立指标体系的原则

由于和谐问题比较复杂，指标众多，在选择指标时要坚持以下原则^[17]。

1. 科学性和简明性原则

指标体系能够较为客观地反映和谐程度，并且指标含义简单、明了，易于理解并具有可比性。

2. 完备性和代表性相结合

要求指标体系覆盖面广，能综合反映和谐问题的各个方面。选择有代表性指标，同时也要考虑到“面”上指标的合理分布。

3. 定性分析和定量分析相结合，以定量为主

指标体系尽可能地选择定量指标，便于客观反映和谐程度，同时对一些难以量化的重要指标，制定等级，采用打分调查法，进行定量转化。

4. 可获取性和可操作性原则

所选取的指标必须能够通过可靠的统计方法或者较为客观的评判获取到可量化的原始数据。同时指标应紧密结合实际，且较易获得，实践中易于操作和应用。只有满足此要求，建立的指标体系才具有实

际应用价值。

（三）量化指标的筛选

量化指标的筛选应遵循以下两个原则。

1. 灵敏性

对初步提出的预选指标进行筛选，删除那些对评价指标序位不敏感或不产生影响的指标。从定性的角度分析，删除那些对被评对象的相对位序不产生影响的鉴别力低的或次要的指标。

2. 独立性

量化指标之间通常存在一定程度的相关关系，从而使指标数据所反映的信息有所重叠。若指标体系中存在着高度相关的指标，就会影响评价结果的客观性。为此，必须对指标进行相关分析，删除具有明显相关性的次要指标。其计算的基本方法是：首先计算指标间的相关系数，然后根据实际问题确定一个相关系数的临界值，则可删除相关系数大的指标；如果指标的相关系数小于临界值，则两个指标均保留。

二、评价标准

评价标准就是要确定每个指标达到多少时是和谐的、基本和谐的、不和谐的等，即和谐程度等级的评判标准。例如，本章第二节第二部分在评估和谐社区时，确定“违法违纪人口比例要控制在某一水平上，具体是当比例小于等于 0.0015（预计 2020 年全国平均水平）时， $i=1$ ；高于 0.01（2005 年社会治安较差水平）时， $i=0$ ；在二者之间采用线性关系”。该指标对应的评价标准是：违法违纪人口比例 $x=0.0015$ 时， $i=1$ ； x 等于 0.0032 时， $i=0.8$ ； x 等于 0.0049 时， $i=0.6$ ； x 等于 0.0066 时， $i=0.4$ ； x 等于 0.0083 时， $i=0.2$ ； x 等于 0.01 时， $i=0$ 。

对于定性指标，可以采用描述的办法，对各种可能的和谐等级进行定性描述，便于应用时相互参照。



三、评价方法

关于多指标综合评价的方法非常多,如,模糊综合评价方法、灰色综合评价方法、层次分析方法、集对分析方法、物元分析方法等。本节介绍作者曾在文献 [17] 中提出的多指标评价方法(略有改动)。针对和谐评估,该评价方法分为两个方面:单指标的量化方法、多指标的综合计算方法。

(一) 单指标的量化方法

1. 定量指标的量化方法

由于指标体系中包含有定量指标和定性指标,且定量指标的量纲不完全相同,为了便于计算和对比分析,单指标定量描述采用模糊隶属度分析方法。通过模糊隶属函数 $\mu_k(x) = f_k(x)$, 把各指标统一映射到 $[0, 1]$ 上,隶属度 $\mu_k \in [0, 1]$, 此方法具有较大的灵活性和可比性。

本书采用分段线性隶属函数量化方法。在指标体系中,各个指标均有一个和谐度(简称 SHD),取值范围为 $[0, 1]$ 。为了量化描述单指标和谐度,作以下假定:各指标均存在 5 个(双向指标为 10 个,见图 5.4)代表性数值,即最差值、较差值、及格值、较优值和最优值。取最差值或比最差值更差时该指标和谐度为 0,取较差值时该指标和谐度为 0.3,取及格值时该指标和谐度为 0.6,取较优值时该指标和谐度为 0.8,取最优值或比最优值更优时该指标和谐度为 1。

正向指标是指和谐度随着指标值的增加而增加的指标(比如人均水资源量),逆向指标是指和谐度随着指标值的增加而减小的指标(比如万元工业产值用水量)。设 a 、 b 、 c 、 d 、 e 分别为某指标的最差值、较差值、及格值、较优值和最优值(图 5.2、图 5.3),利用 5 个特征点 $(a, 0)$ 、 $(b, 0.3)$ 、 $(c, 0.6)$ 、 $(d, 0.8)$ 和 $(e, 1)$ 以及上面的假定,可以得到某指标和谐度的变化曲线以及表达式。

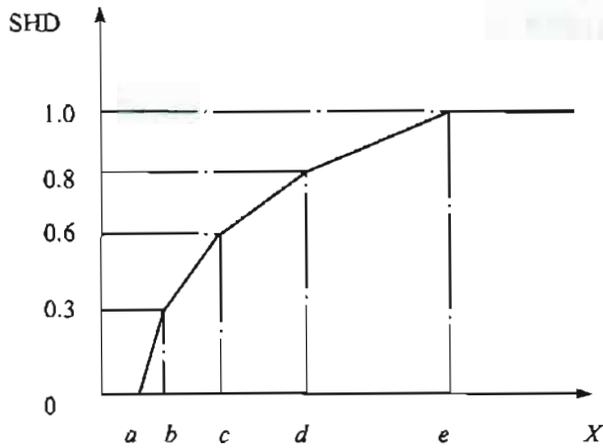


图 5.2 正向指标和谐度变化曲线

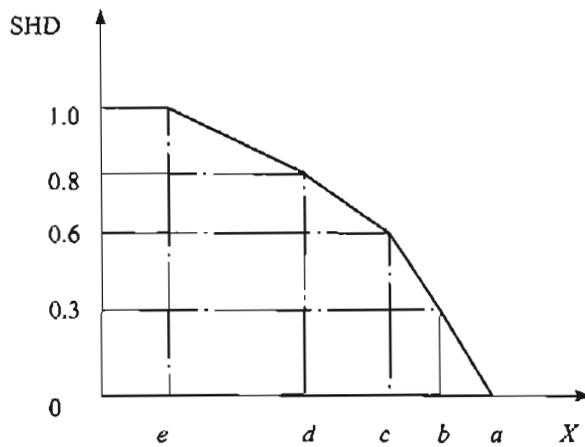


图 5.3 逆向指标和谐度变化曲线

正向指标和谐度计算公式如下：

$$\text{SHD}_k = \begin{cases} 0, & x_k \leq a_k \\ 0.3 \left(\frac{x_k - a_k}{b_k - a_k} \right), & a_k < x_k \leq b_k \\ 0.3 + 0.3 \left(\frac{x_k - b_k}{c_k - b_k} \right), & b_k < x_k \leq c_k \\ 0.6 + 0.2 \left(\frac{x_k - c_k}{d_k - c_k} \right), & c_k < x_k \leq d_k \\ 0.8 + 0.2 \left(\frac{x_k - d_k}{e_k - d_k} \right), & d_k < x_k \leq e_k \\ 1, & e_k < x_k \end{cases} \quad (5.3)$$

逆向指标的和谐度计算公式如下：

$$SHD_k = \begin{cases} 1, & x_k \leq e_k \\ 0.8 + 0.2 \left(\frac{d_k - x_k}{d_k - e_k} \right), & e_k < x_k \leq d_k \\ 0.6 + 0.2 \left(\frac{c_k - x_k}{c_k - d_k} \right), & d_k < x_k \leq c_k \\ 0.3 + 0.3 \left(\frac{b_k - x_k}{b_k - c_k} \right), & c_k < x_k \leq b_k \\ 0.3 \left(\frac{a_k - x_k}{a_k - b_k} \right), & b_k < x_k \leq a_k \\ 0, & a_k < x_k \end{cases} \quad (5.4)$$

双向指标是指和谐度随着指标值的增加而增加，当增加到某个值后和谐度又随着指标值增加而减小的指标（比如水资源开发利用率）。设 $a(j)$ 、 $b(i)$ 、 $c(h)$ 、 $d(g)$ 、 $e(f)$ 分别为某双向指标的最差值、较差值、及格值、较优值和最优值（图 5.4），利用特征点 $(a, 0)$ 、 $(b, 0.3)$ 、 $(c, 0.6)$ 、 $(d, 0.8)$ 、 $(e, 1)$ 、 $(f, 1)$ 、 $(g, 0.8)$ 、 $(h, 0.6)$ 、 $(i, 0.3)$ 、 $(j, 0)$ 以及上面的假定，可以得到双向指标和谐度的变化曲线以及表达式。

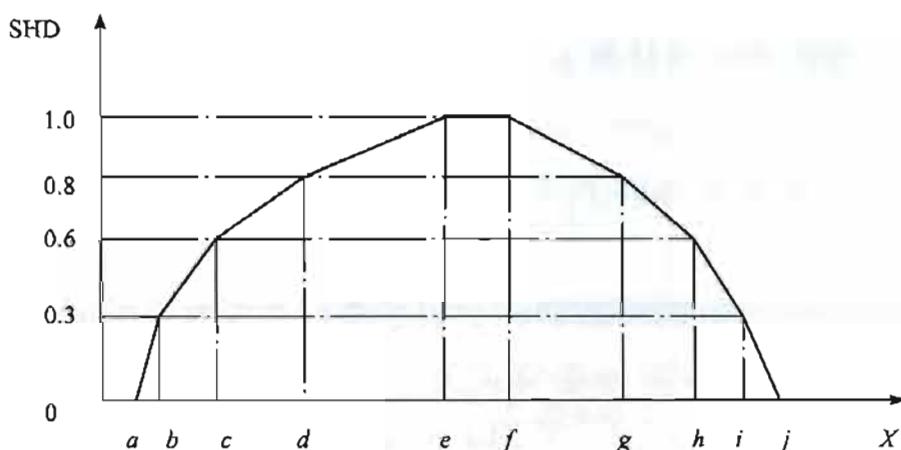


图 5.4 双向指标和谐度变化曲线

双向指标的和谐度计算公式如下：

$$\text{SHD}_k = \begin{cases} 0, & x_k \leq a_k \\ 0.3 \left(\frac{x_k - a_k}{b_k - a_k} \right), & a_k < x_k \leq b_k \\ 0.3 + 0.3 \left(\frac{x_k - b_k}{c_k - b_k} \right), & b_k < x_k \leq c_k \\ 0.6 + 0.2 \left(\frac{x_k - c_k}{d_k - c_k} \right), & c_k < x_k \leq d_k \\ 0.8 + 0.2 \left(\frac{x_k - d_k}{e_k - d_k} \right), & d_k < x_k \leq e_k \\ 1, & e_k < x_k \leq f_k \\ 0.8 + 0.2 \left(\frac{g_k - x_k}{g_k - f_k} \right), & f_k < x_k \leq g_k \\ 0.6 + 0.2 \left(\frac{h_k - x_k}{h_k - g_k} \right), & g_k < x_k \leq h_k \\ 0.3 + 0.3 \left(\frac{i_k - x_k}{i_k - h_k} \right), & h_k < x_k \leq i_k \\ 0.3 \left(\frac{j_k - x_k}{j_k - i_k} \right), & i_k < x_k \leq j_k \\ 0, & j_k < x_k \end{cases} \quad (5.5)$$

式 (5.3)~式 (5.5) 中: SHD_k 为第 k 个指标的和諧度, $k=1, 2, \dots, n$, n 为选用的指标个数; $a_k(j_k)$ 、 $b_k(i_k)$ 、 $c_k(h_k)$ 、 $d_k(g_k)$ 、 $e_k(f_k)$ 分别为第 k 个指标的最差值 (最差值 2)、较差值 (较差值 2)、及格值 (及格值 2)、较优值 (较优值 2) 和最优值 (最优值 2)。

2. 定性指标的量化方法

对一些定性指标的量化, 首先按百分制划分若干个等级, 并制定相应的等级划分细则, 制定问卷调查表, 采用打分调查法获取单指标的和諧度。

第一种办法: 邀请对研究问题比较熟悉的多个专家评判打分, 分析各专家所打分数, 得出其样本分布的合理性后, 求平均值再转换 (除以 100) 成该指标的和諧度 (取值范围 $[0, 1]$)。



第二种办法：如果条件允许，制定问卷后，将问卷发放给熟悉的专家、管理者或决策者、广大群众，进行广泛的调查。采取求平均数或加权平均、中位数法、众数法等方法，得到一个代表值，再转换成该指标的和谐度（取值范围 $[0, 1]$ ）。

（二）多指标的综合计算方法

反映和谐问题的指标一般有多个，可以采取多种方法综合考虑这些指标，以定量描述它们的状态。

1. 模糊综合评价方法

该方法是基于模糊数学思想，从众多单一评价中获得对某个或某类对象的整体评价。设评价因子集合为 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_k, \dots, u_n\}$ ，评价等级集合为 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_j, \dots, v_m\}$ 。计算各评价因子的隶属度，建立单因素评判矩阵 R ，确定各因素的权重（权重向量为 A ），计算评价结果为

$$Y = A \cdot R = [y_1, y_2, \dots, y_{m-1}, y_m] \quad (5.6)$$

式中，“ \cdot ”为模糊数学运算符； Y 为综合评判结果，它是评价等级集合 V 上的一个模糊子集。根据评判结果，取 $y = \max(y_k)$ ，其对应的综合评价等级为 v_k 。

2. 多指标集成方法

该方法根据单一指标隶属度按照权重加权计算，即

$$HD = \sum_{k=1}^n w_k \mu_k \in [0, 1] \quad (5.7)$$

式中， μ_k 为第 k 个指标的和谐度 SDH_k ； w_k 为权重， $\sum_{k=1}^n w_k = 1$ 。也可根据单一指标隶属度按照指数权重加权计算，即

$$HD = \prod_{k=1}^n \mu_k^{\beta_k} \in [0, 1] \quad (5.8)$$

式中， β_k 为权重， $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$ 。

通过以上计算，得到的综合各个指标的和谐度值 HD 仍然在区间

[0, 1] 中, 表达了该和谐问题的最终和谐状态, 可以根据表 3.1 确定该状态的和谐等级。

四、应用举例

这里以“塔里木河流域发展状况的和谐评估”为例来说明。以下内容节选自文献 [17], 并作了大量修改。

(一) 塔里木河流域概况

塔里木河是我国最长的内陆河流, 也是世界著名的内陆河之一, 流经我国最大的盆地——塔里木盆地的绝大部分, 是保障塔里木盆地绿洲经济、自然生态和各族人民生活的生命线, 被誉为“生命之河”、“母亲之河”。

塔里木河地处亚欧大陆腹地, 降雨稀少, 蒸发强烈, 水资源十分紧缺。由于缺水, 流域极端干旱, 风沙天气频繁, 生态环境脆弱。近几十年来, 由于自然及人为因素的共同作用, 水资源供需矛盾日渐突出, 中下游河道断流, 生态环境持续恶化, 对该区可持续发展构成了极大威胁。

塔里木河流域是指环塔里木盆地的阿克苏河、喀什噶尔河、叶尔羌河、和田河、开都河-孔雀河(简称开孔河)、迪那河、渭干河与库车河、克里雅河和车尔臣河等九大水系共 144 条河流的总称, 流域面积 102 万 km^2 (国内流域面积 99.6 万 km^2), 其中山地占 47%, 平原区占 20%, 沙漠占 33%。2005 年, 塔里木河流域内总人口数量为 998.2 万人, 耕地面积 2122.2 万亩, 国内生产总值 391.4 亿元, 流域多年平均天然径流量为 398.3 亿 m^3 (国外入境水量为 63 亿 m^3), 主要是以冰川融雪补给为主。

塔里木河从主要源流叶尔羌河源头算起, 河流全长 2421km, 干流全长 1321km, 自身不产流, 依靠各源流汇入补给, 历史上的九大水系均有水汇入塔里木河干流。由于人类活动与气候变化等影响, 20 世纪 40 年代以前, 车尔臣河、克里雅河、迪那河相继与干流失去地

表水联系，40年代以后，喀什噶尔河、渭干河也逐渐脱离干流。目前与塔里木河干流有地表水联系的只有和田河、阿克苏河、叶尔羌河三条源流，孔雀河通过扬水站从博斯腾湖抽水，经库塔干渠向塔里木河下游灌区输水，形成“四源一干”的格局，如图 5.5 所示。为便于对比，以英巴扎和恰拉两个水文站为界将塔里木河干流划分为上游、中游、下游 3 个分区进行研究，再加上 4 个源流分区，本次研究范围共为 7 个分区，即阿克苏河、叶尔羌河、和田河、开孔河，以及塔里木河的干流上游、干流中游、干流下游。



图 5.5 塔里木河流域示意图

(二) 塔里木河流域发展状况分析

“发展”反映了高效利用享有的资源、支撑社会发展的规模，以及经济发展的程度。“发展”也是建设节约型和谐社会的本质要求。通过对 2002 年塔里木河流域部分指标数据的分析，可以初步看出：①塔里木河“四源一干”区域作物灌溉定额都普遍偏高，远高于全国平均水平，说明农业生产水平较低；②“四源一干”区域渠系水利用

系数都比较低,说明该区域农业科技水平较低、农业投入也较一般;③四个源流区城镇用水定额比农村生活用水定额高出很多,干流区居民生活用水定额普遍较低,说明源流区用水浪费依然较严重;④万元工业产值用水普遍偏高,说明工业发展比较落后;⑤人均 GDP 地区差异较大,说明地区经济发展水平差异较大。因此,塔里木河流域的发展水平急待提高。

(三) 评估指标体系及标准

根据塔里木河流域的特点,选定 10 个发展指标,构建塔里木河流域发展状况和谐评估量化指标体系,以此来对塔里木河流域 7 个分区的和谐程度进行定量评价。各指标的特征节点值(即标准值)见表 5.3。塔里木河流域各分区的具体数据见表 5.4。

表 5.3 塔里木河人水和谐量化指标及特征节点值表

编号	指标层	最差值	较差值	及格值	较优值	最优值	指标方向
1	区域人口密度/(10^4 人/ km^2)	100	60	20	10	1	逆向
2	恩格尔系数/%	60	50	40	30	20	逆向
3	人均 GDP/元	100	1 000	3 000	10 000	20 000	正向
4	万元工业产值用水量/ m^3	400	250	100	40	10	逆向
5	灌溉用水定额/(m^3 /亩)	2 000	1 000	600	400	200	逆向
6	渠系利用系数	0	0.4	0.7	0.9	1	正向
7	节水灌溉面积比例/%	0	40	60	90	100	正向
8	人均粮食产量/(kg/人)	0	200	370	450	550	正向
9	人均耕地面积/(亩/人)	0.1	0.5	4	6	10	正向
10	人均生活用水量/[m^3 /(a·人)]	0	60	90	120	150	双向
		300	250	220	200	180	

表 5.4 塔里木河流域各指标数据表

编号	指标层	阿克	叶尔	和田河	开孔河	干流	干流	干流
		苏河	羌河			上游	中游	下游
1	区域人口密度/(10^4 人/ km^2)	26.17	23.26	20.47	15.53	5.11	5.11	5.11
2	恩格尔系数/%	36.4	36.4	36.4	36.4	41.8	41.8	41.8
3	人均 GDP/元	7128	3598	1943	5406	5851	5857	5140
4	万元工业产值用水量/ m^3	209	200	150	150	363	363	363
5	灌溉用水定额/(m^3 /亩)	902	887	1121	778	1513	1531	1531
6	渠系利用系数	0.442	0.426	0.403	0.455	0.313	0.313	0.313
7	节水灌溉面积比例/%	74.2	51.2	49.5	66.8	100	100	100
8	人均粮食产量/(kg/人)	859	512	467	482	298	298	1329
9	人均耕地面积/(亩/人)	6.2	1.4	2.7	3.0	8.1	8.1	8.1
10	人均生活用水量/[m^3 /(a·人)]	84	88	99	79	76	76	76



(四) 和谐评估计算及结果分析

根据上文介绍的单指标的量化方法（如式（5.3）~式（5.5）），计算出各指标的和谐度，见表 5.5。

表 5.5 各指标的和谐度计算结果表

编号	指标层	阿克 苏河	叶尔 羌河	和田河	开孔河	干流 上游	干流 中游	干流 下游
1	区域人口密度	0.5537	0.5756	0.5965	0.6894	0.9087	0.9087	0.9087
2	恩格尔系数	0.6720	0.6720	0.6720	0.6720	0.5460	0.5460	0.5460
3	人均 GDP	0.7179	0.6171	0.4414	0.6687	0.6815	0.6816	0.6611
4	万元工业产值用水量	0.3820	0.4000	0.5000	0.5000	0.0740	0.0740	0.0740
5	灌溉用水定额	0.3735	0.3848	0.2637	0.4665	0.1461	0.1407	0.1407
6	渠系利用系数	0.3420	0.3260	0.3030	0.3550	0.2348	0.2348	0.2348
7	节水灌溉面积比例	0.6947	0.4680	0.4425	0.6453	1.0000	1.0000	1.0000
8	人均粮食产量	1.0000	0.9240	0.8340	0.8640	0.4729	0.4729	1.0000
9	人均耕地面积	0.8075	0.3771	0.4886	0.5143	0.9050	0.9050	0.9050
10	人均生活用水量	0.5400	0.5800	0.6600	0.4900	0.4600	0.4600	0.4600

根据各指标的重要程度，采用层次分析法分别对 10 个指标构造判断矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

基础权重分别为： $W = (0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1)$

再根据基础权重和和谐度，利用变权法确定最终权重（如第四章第二节第四部分介绍），计算结果见表 5.6。

表 5.6 各指标的最终权重

编号	指标层	阿克苏河	叶尔羌河	和田河	开孔河	干流上游	干流中游	干流下游
1	区域人口密度	0.1016	0.0902	0.0859	0.0853	0.0525	0.0523	0.0545
2	恩格尔系数	0.0872	0.0797	0.0780	0.0871	0.0808	0.0806	0.0840
3	人均 GDP	0.0825	0.0855	0.1069	0.0875	0.0678	0.0676	0.0723
4	万元工业产值用水量	0.1314	0.1167	0.0980	0.1095	0.2127	0.2122	0.2210
5	灌溉用水定额	0.1333	0.1196	0.1458	0.1150	0.1685	0.1706	0.1777
6	渠系利用系数	0.1407	0.1324	0.1351	0.1374	0.1361	0.1358	0.1415
7	节水灌溉面积比例	0.0848	0.1050	0.1068	0.0901	0.0478	0.0476	0.0496
8	人均粮食产量	0.0607	0.0600	0.0646	0.0698	0.0897	0.0895	0.0496
9	人均耕地面积	0.0744	0.1212	0.0997	0.1073	0.0527	0.0525	0.0547
10	人均生活用水量	0.1035	0.0897	0.0792	0.1111	0.0914	0.0912	0.0950

按照指数权重加权计算公式 (5.8), 计算得到塔里木河流域各区发展状况的和谐度, 见表 5.7。

表 5.7 塔里木河流域和谐评估计算结果

项目	阿克苏河	叶尔羌河	和田河	开孔河	干流上游	干流中游	干流下游
和谐度	0.5577	0.4964	0.4814	0.5611	0.3902	0.3887	0.4102
和谐等级	接近不和谐	接近不和谐	接近不和谐	接近不和谐	较不和谐	较不和谐	接近不和谐

由表 5.7 可以看出, 开孔河、阿克苏河的和谐度相对较高, 其次是叶尔羌河、和田河, 干流区只有 0.4 左右, 普遍较差。从各指标来看: ①人口-土地-水资源不匹配, 源流区人口较多, 水资源相对丰富, 但土地资源相对匮乏; 中下游虽然人均耕地面积比较多, 但由于水资源匮乏, 造成水土资源不相匹配, 严重制约了塔里木河流域干流区域经济社会的发展; ②各区经济发展不平衡, 阿克苏河流域人均 GDP 为 7128 元, 明显高于其他地区, 和田地区经济发展比较落后, 人均 GDP 只有 1943 元, 恶劣的自然条件成为经济发展的制约因素; ③水资源利用效率比较低, 各区渠系利用系数最高的开孔河地区只有 0.455, 灌溉用水定额、万元工业产值用水量在干流区的和谐度非常低, 急待提高; ④塔里木河干流区受水资源短缺限制, 为缓解无水可用的局面, 采取了多种节水措施, 其节水灌溉面积比例明显好于源流区。



第六章 和谐调控

在实际情况下，由于各种因素的影响，经常会存在不和谐状况。通过上一章介绍的和谐评估方法，可以评估和谐问题的水平或状态。当发现和谐程度不满足要求时，可以根据和谐评估结果，采取一些必要措施，来改善和谐状况，这就是和谐调控，也是和谐论应用的重要技术方法之一。本章将介绍两种和谐调控方法，一种是和谐行为集优选方法，另一种是基于和谐度方程的优化模型方法，并列举实例加以说明。

第一节 概 述

和谐调控 (harmony regulation)，就是在和谐评估的基础上，针对存在的和谐问题采取一些调控措施以提高和谐程度，使得和谐问题能够朝着更加和谐的方向发展。和谐调控的主要内容，就是以和谐问题为研究对象，以提高和谐度为主要目标，通过和谐调控方法（如和谐调控模型），得到满足和谐目标的和谐行为。

通过和谐调控，可以在一定程度上提高研究问题的和谐度，使和谐问题达到最佳和谐状态。例如，人水和谐调控，能充分协调水资源开发利用过程中方方面面的关系，包括人文系统与水系统的关系、各用水部门间的关系等，提高水资源开发利用的效率，对防止水资源短缺、水环境污染等问题的出现有一定的指导作用，最终达到优化人水

关系、促进人水和谐目标的实现。

和谐调控有简单思路和复杂思路两种。简单思路就是按照和谐度大小进行直接选择，也就是根据和谐度大小先选择和谐行为集，再根据对和谐度的要求确定和谐行为集，据此确定满足要求的调控措施，即和谐行为集优选方法。复杂思路就是通过建立和谐调控模型，得到最优和谐方案，以此作为满足要求的调控措施，即基于和谐度方程的优化模型方法。本章将详细介绍这两种方法。

第二节 和谐行为集优选方法

一、方法介绍

和谐行为集优选方法 (the optimal selection method of harmony actions set)，就是按照某一目标，把满足这一目标的所有和谐行为放在一起，组成和谐行为集 (harmony actions set)，再从和谐行为集中优选需要的和谐行为 (或方案)。如图 6.1 所示，和谐行为集为

$$\{\text{方案 } k, \dots, \text{方案 } m, \dots, \text{方案 } p\}, (\text{且 } HD \geq u) \quad (6.1)$$

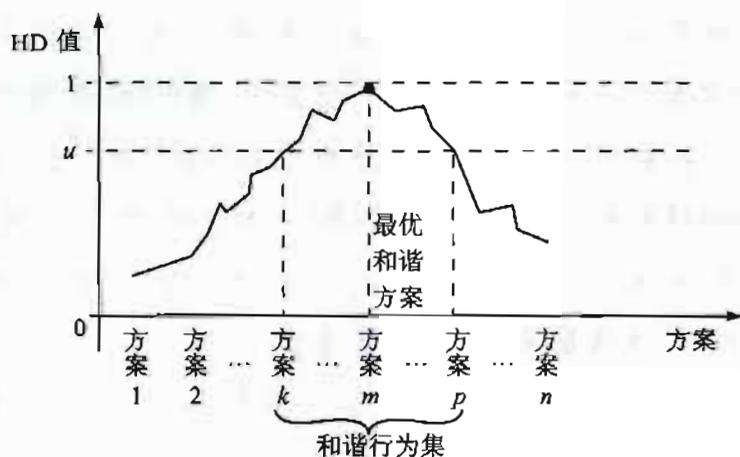


图 6.1 和谐行为集示意图



如果所选择的和谐行为,其和谐度是和谐行为集中和谐度的最大值,此和谐行为称为最优和谐行为(the optimal harmony actions)。假如方案 m 为最优和谐行为,则

$$HD_m = \max \{HD_k\}, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (6.2)$$

如果最大值难以寻找到,可以选定一个相对最优的方案,此和谐行为称为近似最优和谐行为(the quasi optimal harmony actions)。

因此,该方法的关键步骤是:要组合很多个方案(或和谐行为),再按照和谐度计算方法,计算各个方案对应的和谐度;按照和谐度目标值大小,来组合符合和谐度目标值的所有和谐行为集,在这些和谐行为集中选择最优和谐行为或近似最优和谐行为。

这种方法用于和谐调控有两个方面的作用:

一是确定和谐度最大或近似最大时的和谐行为,即和谐行为的优化(the optimization of harmony actions)。通过对多个方案和谐度 HD 进行计算,可以找到和谐度最大或近似最大时的各组方案,即最优或近似最优和谐行为,有助于方案的优化选择,为寻找最和谐方案提供方法论。例如,在人水关系研究中,通过各种分水方案的计算,得到一组和谐度最大的分水方案,作为水资源分配的依据。

二是通过变化各种可能方案,选择最有利情况下的和谐规则,即和谐规则的优化(the optimization of harmony regulation)。有时候和谐规则是一个重要的可变因素,对整个和谐问题的分析和处理有重要影响。在这种情况下,需要寻找一个比较合理的和谐规则。针对这一问题,可以变化各种和谐规则,计算相应的和谐度,然后对和谐度进行比较,选择最有利的和谐规则。例如,在跨界河流分水中,分水规则是一个十分敏感的指标,解决如何分水使总效益最大的问题,就可以采取这种方法,寻找最有利的分水规则。

二、应用举例

这里以“分区水资源分配问题”为例来说明。已知研究区共分 3 个

分区,分别编号为1分区、2分区、3分区;可利用水资源量为7.64亿 m^3 ,原达成的分水比例为4:4:2;目前总人口数量为358万人,其中三个分区分别为149万人、134万人、75万人;三个分区平均每立方米水带来的总产值分别为96元/ m^3 、112元/ m^3 、105元/ m^3 。

针对这个和谐问题,假定考虑两个和谐因素,一是分水和谐因素,就是考虑水资源分配的要求,其和谐规则是以分水比例为依据;二是效益和谐因素,就是考虑水资源带来的效益要求,其和谐规则是以人均产值相等为依据。关于第一个和谐因素(即分水问题)的统一度计算,已在本书第三章第八节介绍过。针对第二个和谐因素(即效益和谐因素)的统一度计算,假定三个分区的人均产值完全相等时,其统一度 $a=1$;假如不相等,分别为 x_1 、 x_2 、 x_3 ,可以用每个值与最大值的比值按等权指数权重加权计算得到,针对本例,其统一度 a 计算公式如下:

$$a = \sqrt[3]{\frac{x_1 \times x_2 \times x_3}{[\max(x_1, x_2, x_3)]^3}} \quad (6.3)$$

第一个和谐因素,要求“分水总量小于可利用水资源量”,也就是当满足这一目标要求时,和谐系数 $i=1$,当不满足要求时, $i=0$ 。并且,不考虑不和谐系数影响,即 $j=0$ 。

第二个和谐因素,没有具体的和谐目标要求,和谐系数 $i=1$,不和谐系数 $j=0$ 。

再采用等权指数权重加权计算方法,如式(3.4),计算考虑两个和谐因素的多因素和谐度。

(一) 和谐行为的优化。寻求最优和谐行为,即和谐度最大的水资源分配方案

如表6.1所示,列出了38个方案的计算结果,每个方案有3个分区的分水量数据(即该问题的和谐行为)。按照第一个和谐因素(分水和谐因素)、第二个和谐因素(效益和谐因素)的和谐度计算公式,得到每个方案的单因素和谐度,再根据等权指数权重加权计算得到最



终的多因素和谐度。

表 6.1 分方案计算的和谐度一览表

方案编号	1分区分水量/亿 m ³	2分区分水量/亿 m ³	3分区分水量/亿 m ³	第一个和谐因子的和谐度	第二个和谐因子的和谐度	多因素和谐度
1	3.06	3.06	1.52	0.9948	0.8624	0.9262
2	3.50	2.50	1.64	0.8181	0.9633	0.8877
3	3.40	2.50	1.74	0.8181	0.9171	0.8662
4	3.30	2.50	1.84	0.8181	0.8748	0.8460
5	3.20	2.50	1.94	0.8181	0.8359	0.8269
6	3.10	2.50	2.04	0.8181	0.7998	0.8089
7	3.00	2.50	2.14	0.8181	0.7663	0.7918
8	3.50	2.60	1.54	0.8508	0.9731	0.9099
9	3.40	2.60	1.64	0.8508	0.9666	0.9068
10	3.30	2.60	1.74	0.8508	0.9200	0.8847
11	3.20	2.60	1.84	0.8508	0.8773	0.8639
12	3.10	2.60	1.94	0.8508	0.8380	0.8443
13	3.00	2.60	2.04	0.8508	0.8015	0.8258
14	3.50	2.70	1.44	0.8835	0.9629	0.9223
15	3.40	2.70	1.54	0.8835	0.9752	0.9282
16	3.30	2.70	1.64	0.8835	0.9691	0.9253
17	3.20	2.70	1.74	0.8835	0.9221	0.9026
18	3.10	2.70	1.84	0.8835	0.8790	0.8813
19	3.00	2.70	1.94	0.8835	0.8393	0.8611
20	3.39	2.70	1.55	0.8835	0.9763	0.9288
21	3.38	2.70	1.56	0.8835	0.9775	0.9293
22	3.37	2.70	1.57	0.8835	0.9786	0.9298
23	3.36	2.70	1.58	0.8835	0.9797	0.9304
24	3.35	2.70	1.59	0.8835	0.9808	0.9309
25	3.34	2.70	1.60	0.8835	0.9818	0.9314
26	3.33	2.70	1.61	0.8835	0.9829	0.9319
27	3.32	2.70	1.62	0.8835	0.9790	0.9301
28	3.31	2.70	1.63	0.8835	0.9741	0.9277
29	3.35	2.69	1.60	0.8802	0.9853	0.9313
30	3.34	2.69	1.61	0.8802	0.9839	0.9306
31	3.33	2.69	1.62	0.8802	0.9788	0.9282
32	3.32	2.69	1.63	0.8802	0.9738	0.9259
33	3.31	2.69	1.64	0.8802	0.9689	0.9235
34	3.35	2.71	1.58	0.8868	0.9763	0.9305
35	3.34	2.71	1.59	0.8868	0.9774	0.9310
36	3.33	2.71	1.60	0.8868	0.9784	0.9315
37	3.32	2.71	1.61	0.8868	0.9795	0.9320
38	3.31	2.71	1.62	0.8868	0.9793	0.9319

表 6.1 所列的 38 个方案, 基本反映了寻找最优和谐行为的过程。首先, 按照约定的分水比例, 计算多因素和谐度 (如方案 1); 其次, 判断 3 个分区的水量变化的方向, 使多因素和谐度增大, 寻找最优方案的大致范围 (按照分水比例步长 0.1 计算), 如方案 2~19, 搜寻到方案 15 和谐度最大, 这时, 3 个分区的水量大致分别在 3.40 亿 m^3 、2.70 亿 m^3 、1.54 亿 m^3 左右; 最后, 分别在方案 15 的水量前后变化 (步长缩小到 0.01), 经计算对比, 得到最优和谐行为为方案 26, 即 3 个分区的水量分别为 3.33 亿 m^3 、2.70 亿 m^3 、1.61 亿 m^3 , 和谐度为 0.9319, 属于“基本和谐”, 接近完全和谐状态。

(二) 和谐规则的优化。变化分水比例, 寻求最合适的分水和谐规则

跨界河流分水或区域水量分配, 一直是水利工程实践中非常重要也非常棘手的问题, 因为水资源的有限性和稀缺性, 每个地区都希望获得更多的水量, 因此, 常常出现争水矛盾。如何合理分配水量, 也是学术界一直讨论的难点问题。

针对本例, 变化分水比例, 就是变化和和谐规则。计算和谐度的方法、过程与上相同, 但最根本的区别在于, 和谐规则的变化。上述 (表 6.1) 计算的和谐规则是原来达成的分水比例 4:4:2, 以下计算的和谐规则是变化后的分水比例。

如表 6.2 所示, 是变化和和谐规则 (分水比例) 情况下计算得到的最优和谐行为及和谐度。每变化一次和谐规则 (分水比例), 就采用类似上述 (表 6.1) 的方法步骤, 得到相应的最优和谐行为及和谐度。例如, 表 6.2 中编号 1 的情况, 和谐规则 (分水比例) 为 3.36:2.68:1.60, 计算得到的 3 个分区的水量分别为 3.35 亿 m^3 、2.69 亿 m^3 、1.60 亿 m^3 。分水比例按照 0.01 步长进行计算, 如表 6.2 所示, 只列举了部分计算结果。其中编号 4 是和谐度最大的一组结果, 即得到的最优和谐规则为 3.35:2.69:1.60, 最大和谐度为 0.9889, 比上述 (表 6.1) 计算的最大和谐度 (0.9279) 明显要大, 说明通过和

谐规则的优化，确实提高了总体水平。

表 6.2 和谐规则（分水比例）变化情况下最优和谐行为及和谐度一览表

编号	分水比例（和谐规则）			最优和谐行动（分水量/亿 m ³ ）			多因素和谐度
	1 分区	2 分区	3 分区	1 分区	2 分区	3 分区	
1	3.36	2.68	1.60	3.35	2.69	1.60	0.9874
2	3.36	2.69	1.60	3.35	2.69	1.60	0.9881
3	3.35	2.68	1.60	3.35	2.69	1.60	0.9883
4	3.35	2.69	1.60	3.35	2.69	1.60	0.9889
5	3.34	2.69	1.61	3.34	2.69	1.61	0.9879
6	3.33	2.69	1.62	3.34	2.69	1.61	0.9848
7	3.32	2.69	1.63	3.34	2.69	1.61	0.9818
8	3.31	2.69	1.64	3.34	2.69	1.61	0.9788
9	3.30	2.69	1.65	3.34	2.69	1.61	0.9758
10	3.36	2.70	1.58	3.36	2.69	1.59	0.9871
11	3.35	2.70	1.59	3.35	2.69	1.60	0.9871
12	3.34	2.70	1.60	3.35	2.69	1.60	0.9871
13	3.33	2.70	1.61	3.33	2.70	1.61	0.9871
14	3.34	2.71	1.59	3.33	2.70	1.61	0.9853
15	3.33	2.71	1.60	3.33	2.70	1.61	0.9853

第三节 基于和谐度方程的优化模型方法

一、方法介绍

优化模型是运筹学、系统科学中常见的一类计算方法，在国民经济实践中广泛应用。一般优化模型由目标函数和约束条件组成，一般形式如下：

$$\begin{cases} Z = \max[F(X)] \\ G(X) \leq 0 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (6.4)$$

式中， X 为决策向量， $F(X)$ 为目标函数，式 (6.4) 列出的目标函数值 Z 是对目标函数 $F(X)$ 求最大值，如果是求最小值，可以通过两边取负数转化为求最大值； $G(X)$ 为约束条件集，上式列出的是小于等

于0, 如果约束条件中有大于等于0的情况, 可以通过两边取负数转化为小于等于0的情况。

基于和谐度方程的优化模型 (the function of harmony degree based optimization model), 主要有以下三种情况。

(1) 和谐度方程作为目标函数建立的优化模型。这一模型主要用于寻找和谐度最大时的最优和谐行为 (优化方案)。把和谐度方程 HD (X) 作为目标函数, 一般形式如下:

$$\begin{cases} Z = \max[\text{HD}(X)] \\ G(X) \leq 0 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (6.5)$$

(2) 和谐度方程作为一个约束条件建立的优化模型。这一模型主要用于寻找和谐度不小于某一极限值的最优方案。一般要求和谐度大于等于某一个极限值 (设为 u_0), 作为优化模型的一个约束, 一般形式如下:

$$\begin{cases} Z = \max[F(X)] \\ G(X) \leq 0 \\ \text{HD}(X) \geq u_0 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (6.6)$$

(3) 和谐准则的优化。把和谐规则相关的参数作为变量来考虑建立的优化模型。设和谐规则变量为 Y, 一般形式如下:

$$\begin{cases} Z = \max[F(X, Y)] \\ G(X, Y) \leq 0 \\ X, Y \geq 0 \end{cases} \quad (6.7)$$

二、应用举例

这里以“水污染负荷分配问题”为例来说明。如果向水体中排放的污染物过多, 就会导致水体污染, 甚至丧失水体的功能。因此, 要维持水体的一定功能, 就必须限制向水体排放的污染物总量。也就是说, 一定范围内的水体可接纳的污染物是有限的, 必须控制向水体排

放的污染物总量。

如果向水体排放的污染物总量超过水体可接纳的污染物质时，就必须对排放的污染物质进行一定程度的削减，使其满足水体可接纳污染物质的要求。不同地区的污染物削减量等于实际排放污染物质减去水污染负荷（即该地区允许向水体排放的污染物总量）。因此，水污染负荷分配是控制污染物排放总量的核心内容。

针对不同地区，如果要求削减的污染物质越大，其投入会越大，就会损失越多的直接经济利益，所以，水污染负荷分配问题直接关系到各个地区的利益，一直是一个难点问题，很难协调每个地区的利益和要求。

针对不同地区，如何核定其水污染负荷？这就是水污染负荷分配问题。由于利益、技术条件等因素的影响，其中必然存在对立、分歧的现象，使方案的制订与实施存在一定的难度，无法满足每个相关参与者的要求。和谐论可以使具体的行为达到总体“和谐、一致、协调”的效果，较好地解决分歧问题，为水污染负荷分配提供新的解决方法^[21]。

（一）研究区概况

本节以某城市湖泊 COD_{Mn} 水污染负荷分配为例。由于经济利益的驱动，人类的生产活动不断侵占该湖泊流域，导致水面面积不断减少，水环境受到严重威胁，至 2007 年，水质呈现不断恶化的趋势。根据污染物的产生来源，可将该湖泊流域的污染来源分为点源、面源、内源和外源。其中点源包括生活污水和工业废水，面源包括农田径流、畜禽养殖及城镇径流产生的污染，内源包括渔业养殖及底泥释放产生的污染，外源为连接该湖泊流域的河流在汛期产生的污染。在该湖泊流域水环境管理中，仅通过控制点源污染已不能满足水功能目标的要求，必须对面源、内源和外源都进行控制。而面源、内源和外源控制措施的资金投入及治理效果影响着三者间的污染负荷量分配。如何使各污染源的负荷分配结果整体达到和谐状态是需要认真研究

的。此外，该湖泊流域的水环境管理还涉及 3 个行政区之间的整体协调，而每个行政区都希望获得更多的污染物允许入湖量，以保障区域的经济发展，因此，各行政区对水污染负荷分配的最终方案均有一定的争议，阻碍了湖泊流域的水环境治理。

（二）水污染负荷分配的和谐论解读

水污染负荷分配问题是一个和谐问题，可以用和谐论的五要素来描述。

（1）和谐参与者：可以是污染源、流域的行政控制单元、各排污企业，也可以是各污水排放口。比如，如果研究流域污染源的负荷削减问题，可以把点源污染、流域范围内的面源污染等作为和谐参与者；如果研究流域内各行政分区污染负荷削减问题，可以把不同行政分区作为和谐参与者。本节仅以污染源（点源、面源、内源和外源）作为和谐参与者，分析该湖泊流域 COD_{Mn} 污染物总量控制的和谐问题。

（2）和谐目标：为防止水体进一步恶化，严格控制进入水体的污染负荷。当进入水体的污染负荷总量大于水体可以承纳的最大污染物数量时，水质将恶化，而当进入水体的污染负荷总量小于水体可以承纳的最大污染物数量时，可以保持目前的水质状况，甚至可以改善水质。也就是说，可以采用“污染负荷总量小于水体可承纳的最大污染物数量”作为目标。当然，也可以以“水体水质达到水功能区目标要求”为（间接）目标。本例选择的和谐目标是：污染物入湖总量不超过纳污能力，水质可以满足水体功能目标（Ⅲ类水^①）；当污染物入湖总量大于 1.2 倍的纳污能力时，水体将无法承纳污染物的入湖总量，导致水质恶化。

（3）和谐规则：各参与者获得的污染物控制量之和必须小于或等于水体可承纳的最大污染物数量；各种污染物的削减目标必须小于对应污染物进入水体的污染负荷量，且应控制在污染物削减措施的技术

^① 即《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）规定的Ⅲ类水。



上限范围内；可以结合污染物总量分配中的公平、效益原则，或者以人口、工业增加值与污染物排放量之间的关系来分配污染负荷，确定不同和谐参与者的污染物削减量。本例确定的和谐规则是内源和外源按各自的贡献率控制污染负荷量，点源和面源根据最小边际成本投入控制污染负荷量。

(4) 和谐因素：不仅要使水质满足水功能目标，也要考虑污染物削减技术的可行性、经济的投入等因素。另外，从水污染指标来看，主要有化学需氧量（简称 COD）、氨氮（NH₃-N）、总氮（TN）等，如果考虑的因素不是单一的，该和谐问题则为多因素和谐问题。

(5) 和谐行为：参与者所获得的具体的水污染负荷分配量。

(三) 计算模型

经济投入和技术可行是水污染物总量控制方案可行性的重要影响因素，在制订方案过程中需考虑这两个因素的影响。该模型以和谐度最大作为目标函数，以水污染物总量控制总目标、治理措施的技术及经济投入等作为约束条件，建立单目标模型。

目标函数

$$\max(\text{HD}) = \max(ai - bj) = \max \left[\frac{\sum_{k=1}^n G_k}{\sum_{k=1}^n A_k} \times i - \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^n G_k}{\sum_{k=1}^n A_k} \right) \times j \right]$$

约束条件

$$\sum_{k=1}^n G_k \leq \text{TG}$$

$$G_k = f(A_k)$$

$$0 < A_k - G_k < \text{TL}, \quad A_k > G_k, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$0 < C_1(A_1 - G_1) + \dots + C_k(A_k - G_k) + \dots + C_n(A_n - G_n) < C$$

$$0 \leq i, \quad j \leq 1$$

式中， i 为和谐系数， j 为不和谐系数， A_k 为第 k 个和谐参与者排放

某污染物的数量, TG 为某污染物的总量控制目标, G_k 表示根据和谐规则确定的第 k 个和谐参与者允许排放的某污染物数量, 当 $A_k < G_k$ 时, 表明该和谐参与者排放的污染物数量不需要削减, 不需要考虑第三个约束条件, 只有当 $A_k > G_k$ 时, 第三个约束条件才成立; TL 表示某措施治理某污染物的技术上限, $C_1(A_1 - G_1), \dots, C_k(A_k - G_k), \dots, C_n(A_n - G_n)$ 分别表示和谐参与者治理某污染物的边际成本, C 表示政府对环境治理的经济投入。

在该模型中涉及几个重要参数, 其确定方法说明如下。

1. 污染物总量控制目标 TG

为保证水质达到水功能目标, 必须控制排放到水体中的污染物总量。它可以通过水体纳污能力计算得到, 与时间、水体特性、污染物特征等因素有关。

2. 治理措施的技术上限 TL

从水污染负荷分配方案的可行性角度出发, 需要考虑污染物治理措施的技术削减范围, 满足污染物削减的要求, 从而保障分配方案的可实施性。治理措施的技术上限与治理措施的选择有重要的关系, 不同治理措施的治理效果是不同的。技术上限的确定可以通过查阅相关文献, 考虑地区的差异性, 根据已有的研究成果来确定。

3. 治理污染物的边际成本 $C_k(A_k - G_k)$

边际成本主要与污染物的治理措施、治理效果、污染物特性等因素有关。边际成本函数的确定需要考虑污染物治理措施, 通过查阅研究区治理措施的基建成本和运行成本, 综合分析边际成本与削减量之间的关系。

4. 允许排放的污染物数量 G_k

该变量与和谐规则及和谐参与者排放污染物的数量 A_k 有密切的联系, 可通过和谐规则中的最低、最高约束或规则比例来确定。

5. 和谐系数 i

反映和谐目标的满足程度, 可以根据和谐目标来计算。本例采用



图 3.3 (b) 的曲线公式来计算和谐系数 i 。其中, 设图中曲线 X_1 为水体纳污能力, X_2 为 1.2 倍的水体纳污能力, 即当污染物入湖总量小于水体纳污能力时, $i=1$; 当污染物入湖总量大于水体纳污能力且小于 1.2 倍水体纳污能力时, i 随着污染物入湖总量的增加而减小, 通过线性插值获得相应值; 当污染物入湖总量大于等于 1.2 倍水体纳污能力时, $i=0$ 。

6. 不和谐系数 j

反映和谐参与者对存在分歧现象的重视程度, 可以根据分歧度来计算, 本例采用图 3.4 (d) 的曲线公式来计算。

(四) 计算结果分析

根据前文建立的计算模型以及各参数的确定方法, 分别计算按照现状发展趋势下 2015 年、2020 年在 75% 和 90% 来水频率条件下该湖泊流域 COD_{Mn} 的纳污能力、入湖量、允许入湖量以及和谐度, 计算结果见表 6.3。

表 6.3 按现状发展趋势计算得到的 COD_{Mn} 排放量及和谐度

来水频率	年份	计算的人湖量/ (t/a)	允许入湖量/ (t/a)	和谐度
75%	2015	1439.043	1144.814	0.589
	2020	1764.777	1237.313	0.000
90%	2015	1439.691	1059.955	0.263
	2020	1763.622	1134.226	0.000

2015 年在 75% 来水频率下和谐度为 0.589, 处于“接近不和谐”状态; 2015 年在 90% 来水频率下和谐度为 0.263, 处于“较不和谐”状态。而 2020 年在 75% 和 90% 来水频率下和谐度均为 0, 处于“完全不和谐”状态。通过分析和谐度的计算过程可知, 2015 年污染物的入湖量虽已超出水体纳污能力, 但小于 1.2 倍的水体纳污能力, 表明湖泊还可以承受污染物排放入湖, 但湖泊的水体纳污能力与污染物排放总量之间已经出现不和谐状态, 必须通过参与者的和谐行为来控制污染物的排放量, 使不和谐状态向和谐状态转变。

下面, 就根据制定的和谐规则, 即内源和外源按各自的贡献率控

制污染负荷量, 点源和面源根据最小边际成本投入控制污染负荷量, 调整 2015 年、2020 年在 75% 和 90% 来水频率条件下 COD_{Mn} 的污染源允许排放量, 并计算调整后的和谐度, 结果见表 6.4。从表中可以看出, 和谐度均为 1.0, 处于和谐状态, 表明表中各污染源的允许入湖量即为满足和谐目标所具有的最优和谐行为。

表 6.4 按照和谐模型计算的 COD_{Mn} 允许入湖量及和谐度

来水频率	年份	允许入湖量/(t/a)					和谐度
		点源	面源	内源	外源	合计	
75%	2015	802.413	96.114	153.969	92.317	1144.814	1.000
	2020	966.260	65.687	139.286	66.080	1237.313	1.000
90%	2015	773.111	77.333	132.250	77.261	1059.955	1.000
	2020	923.739	42.938	115.214	52.334	1134.226	1.000

根据表 6.4 的计算结果, 2015 年、2020 年在 75% 和 90% 来水频率下点源的允许入湖量占允许入湖总量的平均比例为 75.6%, 面源、内源和外源的平均比例分别为 6.2%、11.8% 和 6.3%, 这与该湖泊流域污染物来源对水体的贡献是类似的, 同时也表明该湖泊流域 COD_{Mn} 污染的主要来源是点源, 这与实际调研的结果是吻合的。

从和谐规则来看, 内源和外源采用贡献率法进行允许入湖量的分配, 充分体现了二者对水体的贡献。而采用最小边际成本法对点源和面源进行分配, 从优化的角度体现了治理点源和面源污染物的难易程度, 也充分体现了经济投入的最小化原则。该和谐规则不仅体现了公平性, 也考虑了优化的分配原则, 表明该和谐规则是合理的。另外, 从和谐度的评价结果也可以看出, 按照目前各污染源的允许入湖量, 可以使湖泊处于和谐状态, 这表明分配得到的各污染源的允许入湖量是合理的, 能够达到湖泊的和谐目标, 满足水功能目标的要求。

第三篇

.....
应 用 篇

第七章 和谐论在社会科学中的应用

社会科学中广泛存在着和谐问题，是和谐论的重要应用领域。本章将阐述和谐论在社会科学中的应用前景，列举几个定性应用实例，包括经济学中的“投资开发协商问题”、政治学中的“多党合作问题”、社会学中的“和谐家庭的关注问题”^[22]；并介绍两个定量应用实例，即大学校园和谐评估、经济开发区规划的和谐调控。通过这些例子，来说明和谐论在社会科学中的应用优势。

第一节 定性应用举例

一、经济学中的“投资开发协商问题”

一提到经济学，常常联想起“经济收益”，就是采用什么手段获得更大的收益，这也是博弈论的重要应用领域。一方面，博弈论在经济学的众多领域（如产业组织理论、宏观经济学、人力资源管理、金融理论和国际贸易等）得到了广泛的应用，改变了经济学思考和分析问题的方法，开创了许多新的经济学研究领域，引起了经济学的变革；另一方面，对经济学的深入研究，又形成了多姿多彩的博弈论模型，大大推动了博弈论的发展。在经济学中，有很多博弈论应用的经典例子，如房地产开发、商店占位、寡头垄断竞争、竞标要价、招标投标、税务监督、银行挤兑等。如果单纯从经济利益的角度来看，经济学中的很多问题采用博弈论比较合适。当然，也有一些例子仅考虑



“博弈”是不够的，需要“和谐”的参与。下面列举一个简单例子。

比如，两个开发商投资农业生产。如果仅从商业的角度，完全靠开发商之间的博弈来获取最大的利益，就符合博弈论的研究思路。可以得出的基本结论是，开发的面积越大，投入-产出的效益比越高，收益越大，因此两个开发商会根据自己的投资能力尽可能增加投资。而实际上，在很多情况下，外界因素会有一定限制。例如，开发这片土地所需要的用水量随着开发土地面积的增加而增加，但是水利部门可以供给的水量有最高限度。在这种情况下，如果仅为个人获得最大效益而扩大投资，是不全面的，需要两个开发商通过协商来解决其中存在的用水限制问题。可以采取以下措施。

(1) 通过协商制定用水规则。例如，用水权与农业开发面积成正比，用水权与投资额成正比，用水权各占 $1/2$ 或其他一定比例，等等。也就是把“和谐规则”确定下来，就可以引用和谐论，建立和谐度方程，得到最优和谐行为。

(2) 通过协商制定“水拍卖”规则。例如，可以在水行政主管部门的主导下，把水看成是一个“商品”，通过拍卖方式，进行交易，获得用水权。按照这样的和谐规则和和谐目标，也可以建立和谐度方程，得到最优和谐行为。

从以上分析可以看出，在投资的经济活动中，竞争“博弈”是经常存在的，但有时还要考虑和谐目标的要求，因此引用和谐论也是很重要的。

二、政治学中的“多党合作问题”

中国共产党领导的多党合作和政治协商制度，是我国的一项基本政治制度，也是具有中国特色的社会主义政党制度。该制度内含巨大的政治包容性和巨大的发展潜力，具有强大的生命力。如何通过不断完善和发展这一制度，不断开发其潜在优势，以适应我国民主政治发展趋势的要求，从而使我国的多党合作制度能够长期坚持并充满生机

活力？我们可以从和谐论中找到答案。

首先，“多党合作”不是“多党对立”，必须统一认识，减少分歧，提高“统一度”（ a ）。从世界政党政治来看，全世界 200 多个国家和地区实行政党政治，不同政党代表不同的阶级利益并具有不同意识形态。有些国家由于政党之间的纷争，导致剧烈的社会震荡和冲突，有的陷于分裂，有的走向瓦解，有的长期陷于战争。由此可见，党派之间需要合作，统一认识，减少分歧，共同构成国家发展的重要政治力量。中国共产党领导的多党合作和政治协商制度的基本特征是“共产党领导，多党派合作；共产党执政，多党派参政”。共产党是执政党，在多党合作中处于领导地位，但不是一党专政；各民主党派是参政党，不是在野党，更不是反对党，是接受中国共产党领导、同中国共产党通力合作的亲密友党，是致力于中国特色社会主义事业的参政党。在国家采取重大措施或决定国计民生的重大问题时，中国共产党都事先同各党派进行协商，取得统一认识，然后再形成决策。这一制度符合我国国情，具有巨大的优越性和强大的生命力。

其次，要坚持相同的和谐目标，提高“和谐系数”（ i ）。中国共产党领导的多党合作和政治协商制度是在我国长期革命和建设形成和发展起来的，也是中国共产党和各民主党派共同创造的。这一制度体现了我国社会主义民主政治的本质要求，突出了团结、民主、和谐的精神，具有合作、参与、协商的特点，符合全国各族人民的根本利益，符合建设中国特色社会主义事业的要求，具有为落实国家发展战略和发展目标而共同奋斗的信念。

最后，允许存在分歧，但通过协商，减少分歧，减小“分歧度”（ b ），同时，通过协商，尽量减小“不和谐系数”（ j ）。不同政党之间存在分歧是正常的，要允许不同政党出现不同的声音，这样更能反映社会不同阶层、不同意识形态的观点和思想。中国共产党领导的多党合作和政治协商制度，坚持广泛民主和集中领导的统一，畅通和拓宽不同观点的表达渠道。通过协商，减少分歧，求同存异，有利于保障



人民的知情权、参与权、表达权、监督权，维护和实现最广大人民的根本利益。这是维护社会稳定、实现经济社会可持续发展、构建和谐社会的重要基础。

三、社会学中的“和谐家庭的关注问题”

家庭是社会的细胞，家庭和睦是保证社会稳定和持续发展的基础。因此，在构建和谐社会中，首先需要营造和谐的家庭。和谐家庭内涵十分丰富，可以概括为：夫妻恩爱、团结友善、邻里和睦、民主平等、轻松愉快、身心健康。从和谐论的观点看，营造和谐家庭需要关注以下问题。

(1) 必须有较高的认同感，即“统一度”(a)较大，“分歧度”(b)较小。家庭是以情感和血缘为纽带的社会细胞，夫妻恩爱是一个家庭的核心。因此，在和谐家庭中，首先应维持和睦的夫妻关系，夫妻应有比较一致的价值取向、为人性格、处事哲理、兴趣爱好。家庭的每一个成员都要有“我爱我家”的共同目标，具有较高的认同感。不能因为买什么品牌的家电、吃米饭还是面食、谁来做家务、谁去干活、去跳舞还是去散步等一些琐事而闹出较大的矛盾，出现不和谐气氛。在一个家庭中，需要相互理解、相互支持、相互接纳、相互包容，平等协商，求同存异，诚信友爱，这是和谐的重要基础。

(2) 减少不和谐因素，提高“和谐系数”(i)，减小“不和谐系数”(j)。影响“和谐家庭”的因素很多，如婚姻关系，老少、兄弟、姐妹、婆媳、姑嫂关系，邻里关系，工作环境，生活方式，经济状况等。为了营造一个和谐的家庭，需要共同努力，消除在恋爱、婚姻、家庭、社会公德、思想意识形态等问题上的不道德现象，构建积极向上的家庭价值取向、平等和谐的家庭关系、民主协商的家庭氛围、和睦友好的邻里关系、健康向上的生活方式，这是提高和谐程度的重要途径。

第二节 定量应用举例

一、和谐评估的应用——大学校园和谐评估

第五章第二节的第二部分介绍了和谐社区评估的应用实例，也是和谐评估在社会科学中的一个应用实例。该实例评估计算采用的是多指标建立的单因素和谐度方程。下面，再介绍大学校园和谐评估实例，采用多层次和谐度方程进行计算。这里以一个城市中5个高校（编号分别为 X_1, X_2, \dots, X_5 ）为例，计算采用的是某年的统计数据。

（一）确定和谐论五要素

根据第一章第四节的第三部分介绍的和谐校园问题，可以把和谐校园分成两个层次，第一层次是“和谐校园”，第二层次包括和谐同学关系、和谐师生关系、和谐教师团队、和谐校园文化、和谐校园环境。在第二层次中，分别确定不同和谐问题的五要素，如表7.1所示。

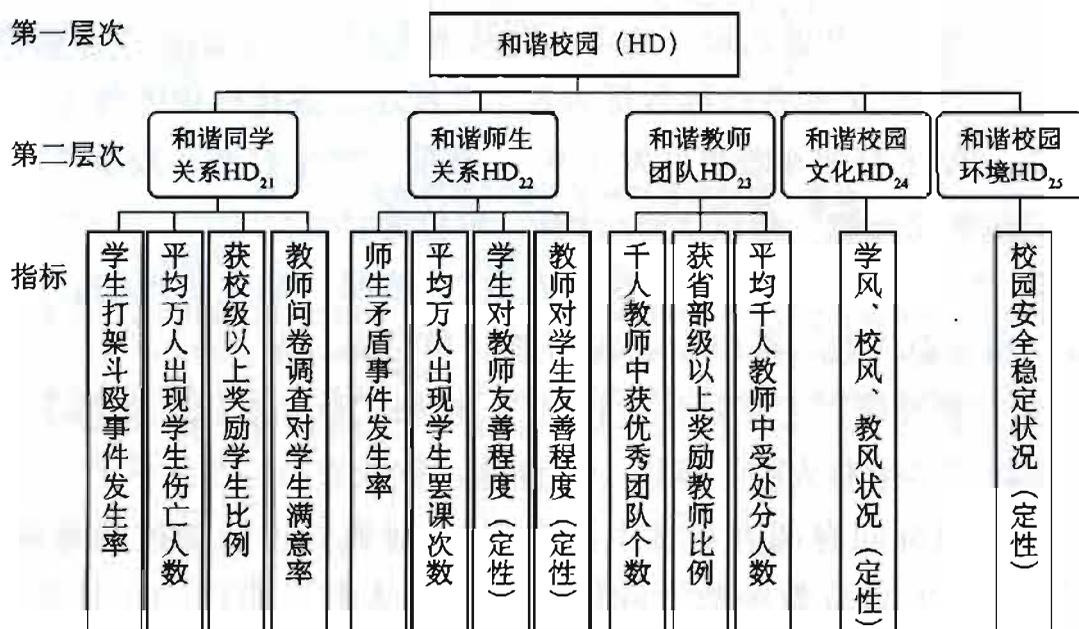


图 7.1 大学校园多层次和谐及指标体系



表 7.1 大学校园第二层次和谐五要素一览表

和谐五要素	和谐同学关系	和谐师生关系	和谐教师团队	和谐校园文化	和谐校园环境
和谐参与者	该学校中所有学生	该学校中所有学生、教师	该学校中所有教师	校园文化的所有元素	校园环境的所有元素
和谐目标	学生打架斗殴事件发生率不得高于某一限值；平均万人出现学生伤亡人数不得高于某一限值	师生矛盾事件发生率不得高于某一限值；平均万人出现学生罢课次数不得高于某一限值	平均千人教师中受处分人数不得高于某一限值	学风、校风、教风状况合格（按百分制，达到60分）	校园安全稳定状况合格（按百分制，达到60分）
和谐规则	同学之间友好相处	师生之间友好相处	教师团队积极向上、团结友爱	建立好的学风、校风、教风	保障校园安全、稳定、祥和
和谐因素	学生友好关系因素	师生友好关系因素	教师团队积极向上和团结友爱因素	优良的学风、校风、教风因素	良好的校园安全、稳定、祥和因素
和谐行为	和谐同学关系行为	和谐师生关系行为	和谐教师团队行为	学风、校风、教风行为	校园安全、稳定、祥和行为

（二）评估指标及说明

在图 7.1 中，第二层次包括 5 个和谐问题，其中，第 1 个和谐问题“和谐同学关系 HD₂₁”，有 4 个指标来表征；第 2 个和谐问题“和谐师生关系 HD₂₂”，有 4 个指标来表征；第 3 个和谐问题“和谐教师团队 HD₂₃”，有 3 个指标来表征；第 4 个和谐问题“和谐校园文化 HD₂₄”和第 5 个和谐问题“和谐校园环境 HD₂₅”，分别由 1 个指标来表征。5 个高校某年各指标数据如表 7.2 所示。各指标说明如下：

Z₁₁ “学生打架斗殴事件发生率”，按照“学生打架斗殴事件次数”除以“学生总人数”乘以 1000 计算，单位为：%。

Z₁₂ “平均万人出现学生伤亡人数”，按照“学生出现伤亡人数”除以“学生总人数”乘以 10 000 计算，单位为：人。

Z₁₃ “获校级以上奖励学生比例”，按照“获校级以上奖励学生人数”除以“学生总人数”乘以 100 计算，单位为：%。

Z₁₄ “教师问卷调查对学生满意率”，对教师进行随机问卷调查，按照“对学生满意教师数”除以“教师总人数”乘以 100 计算，单位为：%。

Z_{21} “师生矛盾事件发生率”，按照“师生矛盾事件次数”除以“师生总人数”乘以 1000 计算，单位为： $\%$ 。

Z_{22} “平均万人出现学生罢课次数”，按照“学生罢课次数”除以“学生总人数”乘以 10 000 计算，单位为：次。

Z_{23} “学生对教师友善程度（定性）”，对教师进行随机问卷调查，按照“认为学生对教师友善的人数”除以“教师总人数”。

Z_{24} “教师对学生友善程度（定性）”，对学生进行随机问卷调查，按照“认为教师对学生友善的人数”除以“学生总人数”。

Z_{31} “千人教师中获优秀团队个数”，按照“获校级以上优秀团队个数”除以“教师总人数”乘以 1000 计算，单位为：个。

Z_{32} “获省部级以上奖励教师比例”，按照“获省部级以上奖励教师人数”除以“教师总人数”乘以 100 计算，单位为： $\%$ 。

Z_{33} “平均千人教师中受处分人数”，按照“受处分教师人数”除以“教师总人数”乘以 1000 计算，单位为：人。

Z_{41} “学风校风教风状况（定性）”，根据问卷调查或专家打分等方法，采用隶属度表征“学风校风教风状况”程度（0 为最差，1 为最好，在 $[0, 1]$ 区间变化）。

Z_{51} “校园安全稳定状况（定性）”，根据问卷调查或专家打分等方法，采用隶属度表征“校园安全稳定状况”程度（0 为最差，1 为最好，在 $[0, 1]$ 区间变化）。

表 7.2 大学校园和谐评估指标基础数据一览表

指标	和谐同学关系				和谐师生关系				和谐教师团队	和谐校园文化	和谐校园环境		
	学生打架斗殴事件发生率	平均万人出现学生伤亡人数	获校级以上奖励学生比例	教师问卷调查对学生满意率	师生矛盾事件发生率	平均万人出现学生罢课次数	学生对教师友善程度（定性）	教师对学生友善程度（定性）	千人教师中获优秀团队个数	获省部级以上奖励教师比例	平均千人教师中受处分人数	学风校风教风状况（定性）	校园安全稳定状况（定性）
	$Z_{11}/\%$	$Z_{12}/人$	$Z_{13}/\%$	$Z_{14}/\%$	$Z_{21}/\%$	$Z_{22}/次$	Z_{23}	Z_{24}	$Z_{31}/个$	$Z_{32}/\%$	$Z_{33}/人$	Z_{41}	Z_{51}
X_1	0.61	3.01	4.65	79	0.09	1.12	0.65	0.68	0.79	7	0.05	0.6	0.6
X_2	0.58	2.62	6.85	85	0.09	0.92	0.82	0.84	1.33	9	0.06	0.75	0.7
X_3	0.21	1.21	8.42	88	0.03	0.25	0.89	0.91	1.68	13	0.03	0.85	0.9
X_4	0.51	2.42	7.89	83	0.05	0.34	0.77	0.78	1.55	10	0.04	0.65	0.7
X_5	0.06	0.32	10.22	95	0.02	0.15	0.95	0.95	1.81	15	0.02	0.95	0.9



(三) 和谐度方程

对第二层次的 5 个和谐问题分别建立和谐度方程。其中, 第 1~3 个和谐问题由多指标综合计算后, 再建立和谐度方程; 第 4、5 个和谐问题建立的是单指标和谐度方程。

对于多指标综合计算, 首先按照选定的公式计算各指标对应的统一度值, 再加权 (本例采用等权重方法) 计算得到最终的统一度综合值 a 。采用公式 $b=1-a$ 计算得到分歧度 b 值。其次, 根据和谐目标, 计算各种情况下对应的和谐系数 i_k , 再通过取最小值的方法得到最终的和谐系数值 i (如第三章第五节第二部分的论述)。最后, 确定不和谐系数 j 。关于不和谐系数 j 的确定也有很多形式 (如第三章第五节第三部分的论述)。本例选择一种简单形式, 如图 3.4 (a) 所示, 其大小等于分歧度 b 值。

1. 和谐同学关系 HD₂₁ 计算

Z_{11} “学生打架斗殴事件发生率” 指标的 “统一度 a ” 计算公式如下:

$$a_{11} = \begin{cases} 1, & Z_{11} \leq 0.1 \\ \frac{1-Z_{11}}{0.9}, & 0.1 < Z_{11} < 1 \\ 0, & Z_{11} \geq 1 \end{cases} \quad (7.1)$$

式中, Z_{11} 为 “学生打架斗殴事件发生率” 指标 (%)。

Z_{12} “平均万人出现学生伤亡人数” 指标的 “统一度 a ” 计算公式如下:

$$a_{12} = \begin{cases} 1, & Z_{12} \leq 1 \\ \frac{5-Z_{12}}{4}, & 1 < Z_{12} < 5 \\ 0, & Z_{12} \geq 5 \end{cases} \quad (7.2)$$

式中, Z_{12} 为 “平均万人出现学生伤亡人数” 指标 (人)。

Z_{13} “获校级以上奖励学生比例” 指标的 “统一度 a ” 计算公式

如下:

$$a_{13} = \begin{cases} 0, & Z_{13} \leq 1 \\ \frac{Z_{13} - 1}{9}, & 1 < Z_{13} < 10 \\ 1, & Z_{13} \geq 10 \end{cases} \quad (7.3)$$

式中, Z_{13} 为“获校级以上奖励学生比例”指标 (%)。

Z_{14} “教师问卷调查对学生满意率”指标的“统一度 a ”计算公式如下:

$$a_{14} = \begin{cases} 0, & Z_{14} \leq 50 \\ \frac{Z_{14} - 50}{40}, & 50 < Z_{14} < 90 \\ 1, & Z_{14} \geq 90 \end{cases} \quad (7.4)$$

式中, Z_{14} 为“教师问卷调查对学生满意率”指标 (%)。

在表 7.1 中, 列出本问题的和谐目标是, 学生打架斗殴事件发生率不得高于某一限值; 平均万人出现学生伤亡人数不得高于某一限值。其中, 假定“学生打架斗殴事件发生率”对应的和谐系数值 i 计算公式为

$$i_1 = \begin{cases} 1, & Z_{11} \leq 0.5 \\ \frac{1 - Z_{11}}{0.5}, & 0.5 < Z_{11} < 1 \\ 0, & Z_{11} \geq 1 \end{cases} \quad (7.5)$$

假定“平均万人出现学生伤亡人数”对应的和谐系数 i 计算公式为

$$i_2 = \begin{cases} 1, & Z_{12} \leq 2 \\ \frac{5 - Z_{12}}{3}, & 2 < Z_{12} < 5 \\ 0, & Z_{12} \geq 5 \end{cases} \quad (7.6)$$

HD₂₁ 计算结果如表 7.3 所示, 其中, 同学关系和谐度最大的是高校 X_5 , 最小的是高校 X_1 。

表 7.3 同学关系和谐度 HD_{21} 评估计算过程及结果一览表

高校编号	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a	b	i_1	i_2	i	j	HD_{21}
X_1	0.43	0.50	0.41	0.73	0.52	0.48	0.78	0.66	0.56	0.48	0.11
X_2	0.47	0.60	0.65	0.88	0.65	0.35	0.84	0.79	0.79	0.35	0.39
X_3	0.88	0.95	0.82	0.95	0.90	0.10	1.00	1.00	1.00	0.10	0.89
X_4	0.54	0.65	0.77	0.83	0.70	0.31	0.98	0.86	0.86	0.31	0.50
X_5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00

2. 和谐师生关系 HD_{22} 计算

Z_{21} “师生矛盾事件发生率”指标的“统一度 a ”计算公式如下：

$$a_{21} = \begin{cases} 1, & Z_{21} \leq 0.01 \\ \frac{0.2 - Z_{21}}{0.19}, & 0.01 < Z_{21} < 0.2 \\ 0, & Z_{21} \geq 0.2 \end{cases} \quad (7.7)$$

式中， Z_{21} 为“师生矛盾事件发生率”指标（‰）。

Z_{22} “平均万人出现学生罢课次数”指标的“统一度 a ”计算公式如下：

$$a_{22} = \begin{cases} 1, & Z_{22} \leq 0.1 \\ \frac{2 - Z_{22}}{1.9}, & 0.1 < Z_{22} < 2 \\ 0, & Z_{22} \geq 2 \end{cases} \quad (7.8)$$

式中， Z_{22} 为“平均万人出现学生罢课次数”指标（次）。

Z_{23} “学生对教师友善程度（定性）”指标的“统一度 a ”计算公式如下：

$$a_{23} = \begin{cases} 0, & Z_{23} \leq 0.4 \\ \frac{Z_{23} - 0.4}{0.55}, & 0.4 < Z_{23} < 0.95 \\ 1, & Z_{23} \geq 0.95 \end{cases} \quad (7.9)$$

式中， Z_{23} 为“学生对教师友善程度（定性）”指标。

Z_{24} “教师对学生友善程度（定性）”指标的“统一度 a ”计算公式如下：

$$a_{24} = \begin{cases} 0, & Z_{24} \leq 0.4 \\ \frac{Z_{24} - 0.4}{0.55}, & 0.4 < Z_{24} < 0.95 \\ 1, & Z_{24} \geq 0.95 \end{cases} \quad (7.10)$$

式中, Z_{24} 为“教师对学生友善程度 (定性)”指标。

在表 7.1 中, 列出本问题的和谐目标是, 师生矛盾事件发生率不得高于某一限值; 平均万人出现学生罢课次数不得高于某一限值。其中, 假定“师生矛盾事件发生率”对应的和谐系数 i_1 计算公式为

$$i_1 = \begin{cases} 1, & Z_{21} \leq 0.05 \\ \frac{0.3 - Z_{21}}{0.25}, & 0.05 < Z_{21} < 0.3 \\ 0, & Z_{21} \geq 0.3 \end{cases} \quad (7.11)$$

假定“平均万人出现学生罢课次数”对应的和谐系数 i_2 计算公式为

$$i_2 = \begin{cases} 1, & Z_{22} \leq 0.2 \\ \frac{2.5 - Z_{22}}{2.3}, & 0.2 < Z_{22} < 2.5 \\ 0, & Z_{22} \geq 2.5 \end{cases} \quad (7.12)$$

HD₂₂ 计算结果如表 7.4 所示, 其中, 师生关系和谐度最大的是高校 X₅, 最小是高校 X₁。

表 7.4 师生关系和谐度 HD₂₂ 评估计算过程及结果一览表

高校编号	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a	b	i_1	i_2	i	j	HD ₂₂
X ₁	0.58	0.46	0.45	0.51	0.50	0.50	0.84	0.60	0.60	0.50	0.05
X ₂	0.58	0.57	0.76	0.80	0.68	0.32	0.84	0.69	0.69	0.32	0.36
X ₃	0.89	0.92	0.89	0.93	0.91	0.09	1.00	0.98	0.98	0.09	0.88
X ₄	0.79	0.87	0.67	0.69	0.76	0.24	1.00	0.94	0.94	0.24	0.65
X ₅	0.95	0.97	1.00	1.00	0.98	0.02	1.00	1.00	1.00	0.02	0.98

3. 和谐教师团队 HD₂₃ 计算

Z_{31} “千人教师中获优秀团队个数”指标的“统一度 a ”计算公式



如下:

$$a_{31} = \begin{cases} 0, & Z_{31} \leq 0.2 \\ \frac{Z_{31} - 0.2}{1.8}, & 0.2 < Z_{31} < 2 \\ 1, & Z_{31} \geq 2 \end{cases} \quad (7.13)$$

式中, Z_{31} 为“千人教师中获优秀团队个数”指标(个)。

Z_{32} “获省部级以上奖励教师比例”指标的“统一度 a ”计算公式如下:

$$a_{32} = \begin{cases} 0, & Z_{32} \leq 1 \\ \frac{Z_{32} - 1}{14}, & 1 < Z_{32} < 15 \\ 1, & Z_{32} \geq 15 \end{cases} \quad (7.14)$$

式中, Z_{32} 为“获省部级以上奖励教师比例”指标(%)。

Z_{33} “平均千人教师中受处分人数”指标的“统一度 a ”计算公式如下:

$$a_{33} = \begin{cases} 1, & Z_{33} \leq 0.01 \\ \frac{0.1 - Z_{33}}{0.09}, & 0.01 < Z_{33} < 0.1 \\ 0, & Z_{33} \geq 0.1 \end{cases} \quad (7.15)$$

式中, Z_{33} 为“平均千人教师中受处分人数”指标(人)。

在表 7.1 中, 列出本问题的和谐目标是, 平均千人教师中受处分的人数不得高于某一限值。假定“平均千人教师中受处分人数”对应的和谐系数 i 计算公式为

$$i_1 = \begin{cases} 1, & Z_{33} \leq 0.05 \\ \frac{0.1 - Z_{33}}{0.05}, & 0.05 < Z_{33} < 0.1 \\ 0, & Z_{33} \geq 0.1 \end{cases} \quad (7.16)$$

HD₂₃ 计算结果如表 7.5 所示, 其中, 教师团队和谐度最大的是高校 X_5 , 最小的是高校 X_1 。

表 7.5 教师团队和谐度 HD₂₃ 评估计算过程及结果一览表

高校编号	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a	b	i	j	HD ₂₃
X ₁	0.33	0.43	0.56	0.44	0.56	1.00	0.56	0.12
X ₂	0.63	0.57	0.44	0.55	0.45	0.80	0.45	0.23
X ₃	0.82	0.86	0.78	0.82	0.18	1.00	0.18	0.79
X ₄	0.75	0.64	0.67	0.69	0.31	1.00	0.31	0.59
X ₅	0.89	1.00	0.89	0.93	0.07	1.00	0.07	0.92

4. 和谐校园文化 HD₂₄、和谐校园环境 HD₂₅ 计算

Z₄₁ “学风校风教风状况（定性）”和 Z₅₁ “校园安全稳定状况（定性）”指标的“统一度 a ”计算公式如下：

$$\begin{aligned} a_{41} &= Z_{41} \\ a_{51} &= Z_{51} \end{aligned} \quad (7.17)$$

式中，Z₄₁为“学风校风教风状况（定性）”指标，Z₅₁为“校园安全稳定状况（定性）”指标（0为最差，1为最好，在[0, 1]区间变化）。

在表 7.1 中，列出这两个问题的和谐目标是，学风校风教风状况合格，校园安全稳定状况合格（按百分制，达到 60 分）。其对应的和谐系数 i 计算公式为

$$i = \begin{cases} 0, & Z_{41}(\text{或 } Z_{51}) < 0.6 \\ 1, & Z_{41}(\text{或 } Z_{51}) \geq 0.6 \end{cases} \quad (7.18)$$

HD₂₄ 计算结果如表 7.6，HD₂₅ 计算结果如表 7.7 所示，其中，校园文化和校园环境和谐度最大的仍是高校 X₅，最小的是高校 X₁。

表 7.6 校园文化和谐度 HD₂₄ 评估计算过程及结果一览表

高校编号	a	b	i	j	HD ₂₄
X ₁	0.60	0.40	1	0.40	0.44
X ₂	0.75	0.25	1	0.25	0.69
X ₃	0.85	0.15	1	0.15	0.83
X ₄	0.65	0.35	1	0.35	0.53
X ₅	0.95	0.05	1	0.05	0.95

表 7.7 校园环境和諧度 HD_{25} 评估计算过程及结果一览表

高校编号	a	b	i	j	HD_{25}
X_1	0.60	0.40	1	0.40	0.44
X_2	0.70	0.30	1	0.30	0.61
X_3	0.90	0.10	1	0.10	0.89
X_4	0.70	0.30	1	0.30	0.61
X_5	0.90	0.10	1	0.10	0.89

(四) 和谐度计算结果及分析

根据上文计算的第二层次和谐度结果，按照加权平均方法，计算得到第一层次（最终）和谐度 HD，如表 7.8 所示。总体来看，高校 X_5 的和谐度最大，属于“基本和谐”，接近于完全和谐状态；次之，是高校 X_3 ，也属于“基本和谐”，但接近于较和谐状态；最差的是 X_1 ，和谐度 HD 只有 0.23，属于“较不和谐”； X_2 和 X_4 属于“接近不和谐”。由此可见，5 个高校的和谐程度差距比较大，基本能客观反映出高校之间的差距和好坏程度。

表 7.8 大学校园和谐度 HD 计算结果一览表

高校编号	HD_{21}	HD_{22}	HD_{23}	HD_{24}	HD_{25}	HD
X_1	0.11	0.05	0.12	0.44	0.44	0.23
X_2	0.39	0.37	0.23	0.69	0.61	0.46
X_3	0.89	0.88	0.79	0.83	0.89	0.85
X_4	0.50	0.65	0.59	0.53	0.61	0.58
X_5	1.00	0.98	0.92	0.95	0.89	0.95

二、和谐调控的应用——工业区规模优化选择

这里列举一个新工业区规模选择实例。为了叙述方便，简化了部分内容。一个新兴城市，拟规划开发一个大型工业经济区。该工业经济区包括东西两个工业区（即东工业区、西工业区），其所在位置目前是一个农业区，总面积 450km^2 ，人口 2.025 万，年产值 150 万元/ km^2 （总计 6.75 亿元），年耗用水量 $22.5\text{万 m}^3/\text{km}^2$ （总计 1.0125 亿 m^3 ）。现在规划在该农业区建设两个工业区，由一个开发商来投资开发，各种

投资权益基本接近。每个工业区包括若干个工业园区。根据当地资源和发展的需要,拟在东工业区规划以高新技术产业为主,在西工业区规划以食品加工产业为主。其中,在东工业区,规划每个工业园区占地 4km^2 ,年产值 6 亿元,年耗用水 300万 m^3 ,解决 200 人就业;在西工业区,规划每个工业园区占地 8km^2 ,年产值 4 亿元,年耗用水 480万 m^3 ,解决 1200 人就业。并且,该区域范围内可供工农业耗用水量为 1.2亿 m^3 ,也就是说,工农业耗用水量不得超过 1.2亿 m^3 。此外,为了保障农业土地资源利用,要求农业土地不能空余。

根据这些具体要求,可以列出该问题的和谐论五要素。

(1) 和谐参与者:该区域的农业,规划的东工业区、西工业区。

(2) 和谐目标:工农业耗用水量不得超过 1.2亿 m^3 ;农业土地不能空余。

(3) 和谐规则:东、西工业区的用水基本接近。

(4) 和谐因素:耗用水量、产值。

(5) 和谐行为:工业规模(工业园区个数,占地面积,耗用水量)、农业规模(占地面积,耗用水量)。

从经济社会的发展需求来说,希望年总产值最大,同时也要兼顾多方面的和谐发展。这是一个规划问题,可以通过建立优化模型来寻求最佳方案。

设:东工业区有 X_1 个工业园区,西工业区有 X_2 个工业园区,农业占地为 $X_3\text{km}^2$ 。该区域内的东工业区、西工业区、农业区的占地面积、年产值、年耗用水量计算如表 7.9 所示。

表 7.9 分区规模及耗用水量计算结果一览表

分区	占地面积/ km^2	年产值/亿元	年耗用水量/ 万 m^3
东工业区	$4X_1$	$6X_1$	$300X_1$
西工业区	$8X_2$	$4X_2$	$480X_2$
农业区	$X_3 = 450 - 4X_1 - 8X_2$	$0.015X_3$	$22.5X_3$
合计	450	$6X_1 + 4X_2 + 0.015X_3$	$300X_1 + 480X_2 + 22.5X_3$



(一) 和谐度方程计算

根据和谐规则“东、西工业区的用水基本接近”，计算统一度 a 的公式取为

$$a = \frac{2\min\{300X_1, 480X_2\}}{300X_1 + 480X_2} \quad (7.19)$$

根据“农业土地不能空余”的要求，计算工农业耗用水量，按照“工农业耗用水量不得超过 1.2 亿 m^3 ”的和谐目标，选择的和谐系数 i 计算公式为

$$i = \begin{cases} 1, & Q \leq 12\,000 \\ 0, & Q > 12\,000 \end{cases} \quad (7.20)$$

式中， Q 为工农业年耗用水总量， $Q = (300X_1 + 480X_2 + 22.5X_3)$ 万 m^3 。

另外，取 $b=1-a$ ， $j=1$ 。这样，可以建立和谐度方程 $HD=ai-bj$ ，计算不同情况下的和谐度。

(二) 年总产值及最优方案判断标准

根据表 7.9 的计算，该工业区年总产值 Y 等于 $(6X_1 + 4X_2 + 0.015X_3)$ 亿元。这一值只能表征该区域年总产值，不能说明这一产值是否符合各个方面的和谐要求，因此还应考虑和谐的因素。为此，对年总产值 Y 按照和谐度 HD 的大小 ($HD \leq 1$) 进行折合，也就是按照如下公式作为标准来寻求最优方案。

$$Z = \max[F(X)] = HD \times Y = (6X_1 + 4X_2 + 0.015X_3) \times HD \quad (7.21)$$

(三) 计算结果及最优方案选择

根据以上数据和分析方法，对于任意规划方案，均可以计算出东工业区、西工业区、农业区的占地面积、年产量、年耗用水量以及和谐度方程。这里，列举 8 个方案，如表 7.10 所示。通过多方案对比，考虑和谐度、年产值两个方面，选择方案 3 为最佳方案。该方案中，东工业区有 4 个工业园区，西工业区有 3 个工业园区。为了和最优方

案进行对比,表 7.10 分别采取增加、减少工业园区个数的方法,来选择对比方案。如表 7.10 所示,方案 3 的年产值为 42.15 亿元,并不是最大,比方案 4 和方案 7 小,但方案 3 和谐度明显较大(方案 4 和方案 7 为 0);方案 3 的和谐度 HD 为 0.82,也不是最大,比方案 8 要小,但方案 3 的年产值明显较方案 8 大。因此,综合两方面因素,可以看出,方案 3 是最优方案。方案 3 也是通过计算机多方案搜索出的全局最优方案。

表 7.10 工业区规模优选计算过程表

分项计算	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	方案 8	
东工业区	工业园区个数	4	4	4	4	2	3	5	3
	占地面积/km ²	16	16	16	16	8	12	20	12
	年产值/亿元	24	24	24	24	12	18	30	18
	年耗用水/万 m ³	1 200	1 200	1 200	1 200	600	900	1 500	900
西工业区	工业园区个数	1	2	3	4	3	3	3	2
	占地面积/km ²	8	16	24	32	24	24	24	16
	年产值/亿元	4	8	12	16	12	12	12	8
	年耗用水/万 m ³	480	960	1 440	1 920	1 440	1 440	1 440	960
农业区	占地面积/km ²	426	418	410	402	418	414	406	422
	年产值/亿元	6.39	6.27	6.15	6.03	6.27	6.21	6.09	6.33
	年耗用水/万 m ³	9 585	9 405	9 225	9 045	9 405	9 315	9 135	9 495
合计	占地面积/km ²	450	450	450	450	450	450	450	450
	年产值 Y/亿元	34.39	38.27	42.15	46.03	30.27	36.21	48.09	32.33
	年耗用水/万 m ³	11 265	11 565	11 865	12 165	11 445	11 655	12 075	11 355
和谐度 计算	统一度 a	0.57	0.89	0.91	0.77	0.59	0.77	0.98	0.97
	和谐系数 i	1	1	1	0	1	1	0	1
	分歧度 b	0.43	0.11	0.09	0.23	0.41	0.23	0.02	0.03
	不和谐系数 j	1	1	1	1	1	1	1	1
	和谐度 HD	0.14	0.78	0.82	0.00	0.18	0.54	0.00	0.94
目标值	HD×Y	4.91	29.77	34.49	0.00	5.34	19.50	0.00	30.24



第八章 人水和谐应用研究

本书曾在第二章介绍过人水和谐的概念：人水和谐是指“人文系统与水资源相互协调的良性循环状态，即在不断改善水系统自我维持和更新能力的前提下，使水资源能为人类生存和经济社会可持续发展提供久远的支撑和保障”^[16,17]。此外，作者在专著^[17]中提出了一套系统的、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，并应用于新疆塔里木河流域和郑州市区域人水和谐程度评价和调控对策研究中。本章将引用文献^[17]的内容，运用和谐论思想，以郑州市区域为例，介绍人水和谐评估、基于人水和谐量化的水资源优化配置模型及应用，并简要阐述“从和谐论看水资源管理方略”。

第一节 人水和谐评估

一、研究区概况

(一) 自然地理概况

郑州市地处中原，是我国人口最多的省份——河南省的省会，位于河南省中部偏北，地理位置为东经 $112^{\circ}42'$ ~ $114^{\circ}14'$ ，北纬 $34^{\circ}16'$ ~ $34^{\circ}58'$ 。北临黄河，西依嵩山，东南为广阔的黄淮平原。东连开封市，西接洛阳市，南邻许昌市，北隔黄河与新乡市相望。东西最大横距

166km, 南北最大纵距 75km。郑州市处于我国交通大十字架的中心位置, 陇海、京广铁路在此交会, 107 国道、310 国道, 京珠、连霍高速公路穿境而过, 新郑国际机场与国内外 30 多个城市通航, 拥有亚洲最大的列车编组站和全国最大的零担货物转运站。郑州市已经成为一个铁路、公路、航空、邮电通信兼具的综合性重要交通通信枢纽。辖 12 个县(市)、区, 包括 1 个县、5 个县级市、6 个区。

据 2009 年的统计资料, 郑州市总面积 7446.2km^2 , 其中市区面积为 1010.3km^2 , 建成区面积为 336.7km^2 。行政及水资源四级分区见图 8.1, 行政分区 7 个, 分别为郑州市区、巩义市、登封市、荥阳市、新密市、新郑市和中牟县; 流域水资源四级分区 6 个, 分别为沙颍河平原区、沙颍河山区、涡河区、伊洛河区、小浪底-花园口干流区和花园口以下干流区。



图 8.1 郑州市行政及水资源四级分区示意图

郑州市地跨黄河、淮河两大流域, 总面积为 7446.2km^2 。黄河流域包括巩义市、上街区全部, 荥阳市、惠济区一部分, 以及中牟县、新密市、登封市一少部分, 面积为 1830km^2 , 占全市总面积的 24.6%; 淮河流域包括新郑市、中原区、二七区、管城区、金水区全部、新密市、登封市、荥阳市、中牟县和惠济区的大部分, 面积



5616.2km²，占全市总面积的75.4%。全市有大小河流124条，流域面积较大的河流有29条，其中黄河流域6条，淮河流域23条。过境河道有黄河、伊洛河，多年平均过境水量444.1亿m³（黄河花园口站），其中伊洛河过境水量31.4亿m³（黑石关站）。

（二）经济社会概况

郑州市是河南省政治、经济、文化、科技、商贸中心。郑州历史悠久、文化古迹荟萃、人文景观丰富，是中原古文化旅游中心，是国家开放城市和历史文化名城，是中国八大古都之一。优越的地理位置，使郑州市工业、农业和商业的发展具有独特的优势，推动着城市经济社会的快速发展。

改革开放以来，郑州市社会经济获得前所未有的发展，1992年跻身全国综合实力50强、投资硬环境40优的城市行列。利用地处中原、交通便利、商贸发达的优势和特点，郑州市加快商贸城建设，实施全方位对外开放，使郑州成为外商在中西部地区投资的热点城市，是我国中西部地区投资环境较好的城市之一。

2009年年末，国内生产总值为3308.5亿元，工业总产值为5350.8亿元，农业总产值184.1亿元。总人口752.05万，其中城镇人口476.88万，非农业人口312.10万。城镇居民人均可支配收入达17117.00元，农村居民人均可支配收入达7802.01元。

（三）水资源概况

郑州市位于暖温带向亚热带过渡的地带，属大陆性季风气候。据1995~2003年《郑州市水资源公报》统计，郑州市多年平均降水量为614.5mm，降水总量为45.257亿m³。水资源总量为11.76亿m³，其中，地表水资源量为5.01亿m³，地下水资源量为9.254亿m³，重复量为2.504亿m³，产水模数为15.8万m³/km²，产水系数为0.26。按照2009年人口计，郑州市人均水资源占有量为156m³，是全省人均水资源占有量（401m³）的38.9%，仅为全国人均水资源占有量（2700m³）的5.78%，属于严重缺水地区。本地水资源拥有量与经济

社会发展规模十分不相称。

近年来,由于郑州市人口的增加、工业和商业的不断发展,需水量急剧增加,导致水资源在开发利用中出现了以下主要问题。

(1) 城市水资源短缺,供需矛盾日益突出。本地水资源严重不足,远远满足不了当地经济社会的发展需要,出现了十分突出的水资源供需矛盾。

(2) 水污染加剧,水环境日益恶化。目前,由于城市的污水处理率较低,城市废污水大部分未经处理就直接或间接地排放到了河道中。

(3) 地下水过量开采,漏斗面积不断扩大。由于当地水资源量和引黄河水量仍不能满足郑州市发展的需水要求,造成对地下水的大幅度超量开采。

(4) 用水效率不高,水资源浪费严重。由于农田基本建设水平低,渠系不配套,灌溉技术落后,造成水资源严重浪费。改革开放以来,郑州市工业有了很大发展,但节水工作抓得不够,重复利用率低。

二、评估指标体系及实例区数据

根据郑州市的特点,选定的和谐因素有健康因素、发展因素、协调因素。其中,健康因素的指标包括水质等级、地下水下降区比例、绿化覆盖率;发展因素的指标包括人均 GDP、恩格尔系数、城乡收入差距、万元工业产值用水量、工业用水重复利用率、综合灌溉用水定额、人均日生活用水量、人均用水量、人均耕地面积、人均粮食产量;协调因素的指标包括人均水资源量、人均水产品总产量、用水普及率、污水处理率、人均化学需氧量排放量、水利环境和公共设施管理业投资率、水资源管理水平及公众节水意识。三大因素共 20 个指标,构建郑州市人水和谐评估指标体系,以此来对郑州市 2000~2005 年的人水和谐程度进行评价。各指标的特征节点值见表 8.1,各指标



2000~2005年数据见表8.2。指标来源及说明可参见文献[17]。

表 8.1 郑州市人水和谐量化指标及特征节点值

编号	指标	最差值	较差值	及格值	较优值	最优值	指标方向
1001	水质等级/类	6	5	3	2	1	逆向
1002	地下水下降区比例/%	100	80	40	20	0	逆向
1003	绿化覆盖率/%	10	20	40	50	60	正向
2001	人均GDP/元	800	10 000	24 000	100 000	160 000	正向
2002	恩格尔系数/%	60	50	40	30	20	逆向
2003	城乡收入差距	5	4	1.5	1.2	1	逆向
2004	万元工业产值用水量/(m ³ /10 ⁴ 元)	400	250	100	40	10	逆向
2005	工业用水重复利用率/%	0	20	70	90	100	正向
2006	综合灌溉用水定额/(m ³ /亩)	2 000	1 000	200	160	100	逆向
2007	人均日生活用水量/[L/(人·d)]	5	60	120	400	450	双向
2008	人均用水量/(m ³ /人)	1 000	900	750	600	500	双向
		1	100	200	600	650	
2009	人均耕地面积/(亩/人)	1 200	1 000	900	850	800	双向
2010	人均粮食产量/(kg/人)	0	0.5	1	2	4	正向
3001	人均水资源量/(m ³ /人)	0	200	370	460	550	正向
3002	人均水产品总产量/(kg/人)	0	1 000	1 700	6 000	10 720	正向
3003	用水普及率/%	0	2	5	30	50	正向
3004	污水处理率/%	0	30	80	90	100	正向
3005	人均化学需氧量排放量/(t/人)	20	40	70	90	100	正向
3006	水利环境和公共设施管理业投资率/%	20	10	3	1.5	0	逆向
3007	水资源管理水平及公众节水意识	0	4	8	12	16	正向
		0	0.4	0.6	0.8	1	正向

表 8.2 郑州市各指标数据表

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
1001	水质等级/类	4	4	4	4	5	5
1002	地下水下降区比例/%	3.7	80.9	19.5	1.7	9.19	5.24
1003	绿化覆盖率/%	30.24	31.3	32.09	32.4	33.63	34.9
2001	人均GDP/元	11 481	12 335	13 604	15 913	19 602	23 320
2002	恩格尔系数/%	34.05	37.4	34.7	32.96	34.23	34.2
2003	城乡收入差距	2.22	2.30	2.30	2.38	2.31	2.30
2004	万元工业产值用水量/(m ³ /10 ⁴ 元)	37.56	35.50	31.96	25.07	20.47	19.93
2005	工业用水重复利用率/%	90.49	89.07	88.32	88.67	88.71	88.79
2006	综合灌溉用水定额/(m ³ /亩)	294.11	320.53	313.27	285.14	267.78	233.40
2007	人均日生活用水量/[L/(人·d)]	208.13	196.65	183.8	177.32	116.74	116.31
2008	人均用水量/(m ³ /人)	217.57	223.96	229.40	217.10	218.37	221.99
2009	人均耕地面积/(亩/人)	1.04	1.00	1.01	0.99	0.99	0.99
2010	人均粮食产量/(kg/人)	231.57	221.43	203.42	205.98	209.40	213.68
3001	人均水资源量/(m ³ /人)	190.09	133.87	143.33	301.89	235.34	187.77
3002	人均水产品总产量/(kg/人)	6.13	8.15	8.82	8.83	8.95	11.79

续表

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
3003	用水普及率/%	100	100	100	100	100	100
3004	污水处理率/%	1.73	37.98	47.53	54.26	55.1	56.27
3005	人均化学需氧量排放量/(t/人)	3.82	2.43	2.27	2.24	2.08	1.95
3006	水利环境和公共设施管理业投资率/%	1.40	1.92	1.63	10.04	8.95	6.30
3007	水资源管理水平及公众节水意识	0.5	0.5	0.6	0.6	0.65	0.7

三、人水和谐评估计算

应用第五章第三节介绍的多指标综合评价方法。首先,根据单指标量化方法,计算出各单个指标的和谐度;其次,根据多指标分别计算健康因素、发展因素、协调因素的和谐度;最后,根据多因素和谐度计算方法,计算出最终的和谐度。

(1) 单个指标的和谐度计算,结果如表 8.3 所示。

表 8.3 单指标和谐度计算结果表

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
1001	水质等级	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.3000	0.3000
1002	地下水下降区比例	0.9630	0.2865	0.8050	0.9830	0.9081	0.9476
1003	绿化覆盖率	0.4536	0.4695	0.4814	0.4860	0.5045	0.5235
2001	人均 GDP	0.3317	0.3500	0.3772	0.4267	0.5058	0.5854
2002	恩格尔系数	0.7190	0.6520	0.7060	0.7408	0.7154	0.7160
2003	城乡收入差距	0.5136	0.5040	0.5040	0.4944	0.5028	0.5040
2004	万元工业产值用水量	0.8163	0.8300	0.8536	0.8995	0.9302	0.9338
2005	工业用水重复利用率	0.8098	0.7907	0.7832	0.7867	0.7871	0.7879
2006	综合灌溉用水定额	0.5647	0.5548	0.5575	0.5681	0.5746	0.5875
2007	人均日生活用水量	0.6629	0.6547	0.6456	0.6409	0.5837	0.5816
2008	人均用水量	0.6088	0.6120	0.6147	0.6086	0.6092	0.6110
2009	人均耕地面积	0.6080	0.6000	0.6020	0.5940	0.5940	0.5940
2010	人均粮食产量	0.3557	0.3378	0.3061	0.3106	0.3166	0.3242
3001	人均水资源量	0.0570	0.0402	0.0430	0.0906	0.0706	0.0563
3002	人均水产品总产量	0.6090	0.6252	0.6306	0.6306	0.6316	0.6543
3003	用水普及率	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3004	污水处理率	0.0000	0.2697	0.3753	0.4426	0.4510	0.4627
3005	人均化学需氧量排放量	0.5649	0.6570	0.6730	0.6760	0.6920	0.7050
3006	水利环境和公共设施管理业投资率	0.1050	0.1440	0.1222	0.7020	0.6475	0.4725
3007	水资源管理水平及公众节水意识	0.4500	0.4500	0.6000	0.6000	0.6500	0.7000

(2) 多指标权重的确定。采用层次分析法分别对健康因素的 3 个指标、发展因素的 10 个指标、协调因素的 7 个指标构造判断矩阵 (本例采用等权重, 如图 8.2 所示)。

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

图 8.2 健康因素、发展因素、协调因素等权重判断矩阵

最后确定的基础权重分别为:

健康因素 3 个指标 (0.3333 0.3333 0.3333);

发展因素 10 个指标 (0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1);

协调因素 7 个指标 (0.1429 0.1429 0.1429 0.1429 0.1429 0.1429 0.1429)。

根据基础权重和各指标和谐度, 利用变权法确定最终的权重, 计算结果见表 8.4~表 8.6。

表 8.4 健康因素的指标最终权重

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
1001	水质等级	0.3716	0.3273	0.3595	0.3757	0.3838	0.3889
1002	地下水下降区比例	0.2574	0.3485	0.2864	0.2551	0.2639	0.2577
1003	绿化覆盖率	0.3710	0.3243	0.3541	0.3692	0.3524	0.3534

表 8.5 发展因素的指标最终权重

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
2001	人均 GDP	0.1439	0.1377	0.1321	0.1240	0.1113	0.1014
2002	恩格尔系数	0.0827	0.0887	0.0835	0.0814	0.0848	0.0861

续表

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
2003	城乡收入差距	0.1079	0.1082	0.1087	0.1120	0.1118	0.1134
2004	万元工业产值用水量	0.0740	0.0720	0.0705	0.0682	0.0668	0.0676
2005	工业用水重复利用率	0.0745	0.0753	0.0763	0.0772	0.0780	0.0792
2006	综合灌溉用水定额	0.1006	0.1007	0.1008	0.1010	0.1012	0.1011
2007	人均日生活用水量	0.0886	0.0884	0.0899	0.0919	0.1000	0.1019
2008	人均用水量	0.0949	0.0934	0.0935	0.0958	0.0967	0.0980
2009	人均耕地面积	0.0950	0.0948	0.0950	0.0976	0.0986	0.1002
2010	人均粮食产量	0.1380	0.1407	0.1497	0.1509	0.1508	0.1512

表 8.6 协调因素的指标最终权重

编号	指标	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
3001	人均水资源量	0.2099	0.2659	0.2744	0.2896	0.3022	0.3068
3002	人均水产品总产量	0.0822	0.0964	0.0999	0.1215	0.1199	0.1135
3003	用水普及率	0.0535	0.0641	0.0668	0.0812	0.0802	0.0780
3004	污水处理率	0.2828	0.1587	0.1400	0.1547	0.1511	0.1446
3005	人均化学需氧量排放量	0.0868	0.0928	0.0950	0.1151	0.1116	0.1069
3006	水利环境和公共设施管理业投资率	0.1840	0.2013	0.2203	0.1117	0.1176	0.1427
3007	水资源管理水平及公众节水意识	0.1009	0.1208	0.1037	0.1261	0.1173	0.1076

(3) 分别计算健康因素、发展因素、协调因素的和谐度, 结果如表 8.7 所示。

表 8.7 健康因素、发展因素、协调因素的和谐度计算结果

因素	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
健康因素	0.5834	0.3993	0.5628	0.5993	0.5325	0.5459
发展因素	0.5635	0.5552	0.5582	0.5701	0.5784	0.5907
协调因素	0.2292	0.3222	0.3471	0.4845	0.4751	0.4545

(4) 多因素和谐度计算, 先采用变权法计算健康因素、发展因素、协调因素的权重值, 结果如表 8.8 所示, 再按照指数加权计算得到最终的和谐度, 如表 8.9 所示。



表 8.8 计算的多因素最终权重

因素	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
健康因素	0.3199	0.3435	0.3255	0.3291	0.3393	0.3374
发展因素	0.3177	0.3114	0.3208	0.3284	0.3215	0.3194
协调因素	0.3625	0.3452	0.3536	0.3425	0.3392	0.3432

表 8.9 郑州市人水和谐度计算结果及和谐等级一览表

项目	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
和谐度	0.4099	0.4109	0.4726	0.5477	0.5260	0.5255
和谐等级	接近不和谐	接近不和谐	接近不和谐	接近不和谐	接近不和谐	接近不和谐

四、计算结果分析

(一) 健康因素分析

由表 8.7 可以看出, 2000~2005 年郑州市健康因素的和谐度在 0.5 左右波动, 总体有降低的趋势, 特别是 2001 年和谐度只有 0.393。经分析, 原因主要在于: ①地下水超采严重, 地下水是城市供水的重要来源, 但过度超采会导致地下水位持续下降。2000 年地下水下降区(下降幅度超过 0.5m) 的比例只有 3.7%, 到 2001 年则高达 80.9%; ②水质污染严重, 2005 年主要河流综合评价类别为 V 类或劣 V 类; ③绿化覆盖率状况略好, 且覆盖率逐年不断提高。

(二) 发展因素分析

由表 8.7 可以看出, 从 2000~2005 年, 发展因素的和谐度稳步提高。经分析, 主要原因是: ①人均 GDP 增长较快, 已达到 23 320 元, 和谐度由 2000 年的 0.3317 提高到 2005 年的 0.5854; ②万元工业产值用水量由 2000 年的 37.56m³降低到 19.93m³, 降低幅度比较大, 用水效率越来越高; ③工业用水重复利用率略有下降, 由 90.49%下降为 88.79%; ④人均粮食产量比较低, 和谐度在 0.35 左右, 随着城市人口的增加人均值有下降的趋势; ⑤人均日生活用水量和谐度不断下降, 和谐度由 2000 年的 0.6629 下降到 2005 年的 0.5816; ⑥人均用

水量和谐度变动幅度不大，一直在 0.61 左右波动；⑦恩格尔系数变动不大；⑧城乡收入差距 2000~2003 年有扩大趋势，2003 年后又有逐步减小趋势；⑨综合灌溉定额在 2001 年以后逐步降低。

（三）协调因素分析

从表 8.7 可以看出，2000~2005 年郑州市协调因素和谐度总体呈提高趋势，但仍较低。经分析，主要原因在于：①郑州市 2005 年人均水资源量只有 $187.77\text{m}^3/\text{人}$ ，属于严重缺水地区，和谐度只有 0.0563；②2001 年之前郑州市没有大的污水处理厂，城市污水直接排放。这些都严重影响人水和谐协调因素的和谐程度。

（四）人水和谐度

由表 8.9 可以看出，人水和谐度呈波动性上升趋势，由 0.4 逐渐上升到 0.5 左右。另外，部分变化比较大的指标在人水和谐度中有比较明显的体现，如 2001 年的大面积超采地下水造成健康因素的和谐度显著降低。

第二节 基于人水和谐度的水资源优化配置模型及应用

水资源优化配置泛指通过工程措施和非工程措施，改变水资源的天然时空分布；开源与节流并重，兼顾当前利益和长远利益；利用系统科学方法、决策理论和先进的计算机技术，统一调配水资源。也就是，运用系统工程理论方法，建立水资源优化配置模型，以此制订水资源配置方案。

通过研究水资源优化配置来制订水资源配置方案至少有两方面的作用：一方面，通过控制社会发展规模、调整经济结构以及节约用水等措施，使需水量在可供水量允许范围内，减小人类活动对水资源的压力；另一方面，通过工程措施和非工程措施，改变水资源系统的时空分布，最大可能地满足经济社会可持续发展的需要，创造最大的综



合效益。

基于人水和谐度的水资源优化配置,是以人水和谐理念为指导,以人水和谐评估为基础,利用系统科学方法、决策理论和先进的计算机技术,将流域或区域水资源进行最优化的分配,从而获得最大的社会、经济、环境综合效益。其意义除具有一般水资源优化配置的作用外,还表现在:①能有效促进水资源的合理有效利用;②能保证最大可能地满足人水和谐发展,社会、经济、资源、环境协调发展;③不仅考虑经济效益,还考虑社会效益和环境效益,使社会、经济、环境综合效益最大。

一、水资源优化配置模型

水资源优化配置模型就是运用系统工程理论,将区域或流域水资源在各子区、各用水部门间进行最优化分配,是一个有目标函数、有约束的优化模型。

首先,需要划分子区,确定水源途径、用水部门。设研究区划分 K 个子区, $k=1, 2, \dots, K$; k 子区有 $I(k)$ 个独立水源、 $J(k)$ 个用水部门。研究区内有 M 个公共水源, $c=1, 2, \dots, M$ 。公共水源 c 分配到 k 子区水量用 D_c^k 表示。其水量和其他独立水源一样,需要在各用水户之间进行分配。因此,对于 k 子区而言,是 $I(k) + M$ 个水源、 $J(k)$ 个用水户的水资源优化配置问题。

其次,需要确定模型目标。水资源配置优化模型追求社会、经济、环境综合效益最大。根据目标函数建立方法的不同,可以分为:多目标模型、单目标模型。

最后,列举出模型的所有约束条件。

(一) 目标函数

由于水资源优化配置至少要考虑社会效益、经济效益、环境效益,因此,可以建立一个多目标优化模型。由于社会效益、经济效益、环境效益难于量化,在多数文献中,只能采用某些指标来间接表征。本书作

者在郑州市水资源优化配置模型建立中,利用人水和谐度评估研究成果,建立反映多指标、多目标的“单目标形式”的目标函数。目标函数采用式(6.5)的目标函数形式,即有目标函数 $Z = \max[\text{HD}(X)]$ 。针对每一个计算子区,都可以计算人水和谐度,把某一子区 k 的人水和谐度表示为 $\text{HD}_k(T)$, $k=1, 2, \dots, K$, T 为时间段。

由于 K 个子区有 K 个人水和谐度值 $\text{HD}_k(T)$,需要转化为全部研究区总的人水和谐度。考虑到经济社会规模主要是通过人口数来表征,本例在计算全区人水和谐度时,按照人口数分配权重,再按权重累计 K 个子区计算总人水和谐度。计算式如下:

$$\text{HD}(T) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \text{HD}_k(T)$$

式中, α_k 为第 k 子区的权重, $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_k = 1$ 。其中, α_k 计算式为

$$\alpha_k = \frac{P_k}{\sum_{k=1}^K P_k}$$

式中, P_k 为第 k 子区的人口总数。

目标函数要求“人水和谐度”HD 值达最大。即在某一特定时段 T ,在满足一定条件的前提下,使其总人水和谐度达到最大。下式就是据此建立的目标函数:

$$\max(\text{HD}) = \max\left(\sum_{k=1}^K \alpha_k \text{HD}_k(T)\right) \quad (8.1)$$

(二) 约束条件

1. 健康因素的约束

要求水资源系统特别是河流系统,生态功能不能受到损坏,且具有较强的自我修复和更新能力,以及一定的抗干扰能力。在定量上,要求健康因素的和谐度达到某一最低水平(设为 HDE_0),即

$$\text{HDE}(T) \geq \text{HDE}_0 \quad (8.2)$$

式中, $\text{HDE}(T)$ 表示系统在 T 时段健康因素的和谐度。

2. 发展因素的约束

要求高效利用享有的资源，支撑社会发展的规模、经济发展的程度。在定量上，要求发展因素的和谐度达到某一最低水平（设为 HDD_0 ），即

$$HDD(T) \geq HDD_0 \quad (8.3)$$

式中， $HDD(T)$ 表示系统在 T 时段发展因素的和谐度。

3. 协调因素的约束

要求水系统必须为人类及经济社会的发展提供必要支撑和安全保障，同时，人类在发展中不断为河流的健康提供保障，并不断采取主动改善的措施。在定量上，要求协调因素的和谐度达到某一最低水平（设为 HDH_0 ），即

$$HDH(T) \geq HDH_0 \quad (8.4)$$

式中， $HDH(T)$ 表示系统在 T 时段协调因素的和谐度。

4. 供水系统的供水能力约束

公共水源

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{J(K)} x_{cj}^k \leq W(c,k) \\ \sum_{k=1}^K W(c,k) \leq W_c \end{cases} \quad (8.5)$$

独立水源

$$\sum_{j=1}^{J(K)} x_{ij}^k \leq W_i^k \quad (8.6)$$

式中， W_c 、 W_i^k 分别为公共水源 c 和 k 子区独立水源 i 的可供水量上限， $W(c,k)$ 为公共水源 c 分配给 k 子区的水量， x_{ij}^k 为独立水源 i 向 k 子区 j 用户的供水量 (10^4m^3)。其他符号含义同前。

5. 输水系统的输水能力约束

公共水源

$$x_{cj}^k \leq Q_c \quad (8.7)$$

独立水源

$$x_{ij}^k \leq Q_i^k \quad (8.8)$$

式中, Q_c 、 Q_i^k 分别为公共水源 c 、 k 子区 i 水源的最大输水能力。

6. 用水系统的供需变化 (缺水率) 约束

$$L(k, j) \leq \sum_{i=1}^{I(k)} x_{ij}^k + \sum_{c=1}^M x_{cj}^k \leq H(k, j) \quad (8.9)$$

式中, $L(k, j)$ 、 $H(k, j)$ 分别表示 k 子区 j 用户需水量变化的下限和上限。

或用缺水率来约束

$$\gamma = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} [D_j^k - (\sum_{i=1}^{I(k)} x_{ij}^k + \sum_{c=1}^M x_{cj}^k)]}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} D_j^k} \leq \gamma_0 \quad (8.10)$$

式中, D_j^k 为 k 子区 j 用户需水量 (10^4m^3), x_{cj}^k 为公共水源 c 向 k 子区 j 用户的供水量 (10^4m^3), γ_0 为控制的 最大缺水率 (本书采用 0.1)。

7. 排水系统的水质约束

达标排放

$$c_{kj}^r \leq c_0^r \quad (8.11)$$

总量控制

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} 0.01 d_j^k p_j^k (\sum_{i=1}^{I(k)} x_{ij}^k + \sum_{c=1}^M x_{cj}^k) \leq W_0 \quad (8.12)$$

式中, c_{kj}^r 为 k 子区 j 用户排放污染物 r 的浓度, c_0^r 为污染物 r 达标排放规定的浓度, W_0 为允许的污染物排放总量, d_j^k 为 k 子区 j 用户单位废污水排放量中重要污染物的含量 (mg/L), 一般可以用化学需氧量、生化需氧量等水质指标来表示, p_j^k 为 k 子区 j 用户污水排放系数。其他符号含义同前。

8. 经济效益约束

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} [\sum_{i=1}^{I(k)} (b_{ij}^k - c_{ij}^k) x_{ij}^k a_{ij}^k + \sum_{c=1}^M (b_{cj}^k - c_{cj}^k) x_{cj}^k a_{cj}^k] \geq 0 \quad (8.13)$$



式中, b_{ij}^i 、 b_{ij}^c 分别为独立水源 i 、公共水源 c 向 k 子区 j 用户的单位供水效益系数 (元/ m^3), c_{ij}^i 、 c_{ij}^c 分别为独立水源 i 、公共水源 c 向 k 子区 j 用户的单位供水量费用系数 (元/ m^3), a_{ij}^i 、 a_{ij}^c 分别为独立水源 i 、公共水源 c 向 k 子区 j 用户供水效益修正系数, 与供水次序、用户类型及子区影响程度有关。

9. 经济社会系统结构关系约束

如果要定量研究未来社会的变化, 就需要建立经济社会系统模型, 也需要把该模型作为一个约束条件, 嵌入到优化模型中。把经济社会系统模型统称为 SubMod (SESD) 模型, 即有约束条件

$$\text{SubMod (SESD)} \quad (8.14)$$

10. 水资源-生态系统结构关系约束

先建立水资源-生态系统耦合系统模型 (记作 SubMod (Q, C, E)), 再把该模型嵌入到优化模型中, 能有机地模拟水资源系统变化趋势。把 SubMod (Q, C, E) 模型作为一个约束条件放入优化模型中, 即有约束条件

$$\text{SubMod (Q, C, E)} \quad (8.15)$$

11. 非负约束

$$x_{ij}^k, x_{ij}^c \geq 0 \quad (8.16)$$

12. 其他约束条件

针对具体情况, 可能还需要增加一些其他约束条件。比如, 投资约束、风险约束、地下水位最低约束等。

由目标函数 (式 (8.1)) 和约束条件 (式 (8.2) ~ 式 (8.16)) 组合在一起就构成了水资源优化配置模型。该模型是一个十分复杂的非线性、多水源、多用户的优化模型。

二、郑州市水资源优化配置结果

以基于人水和谐度的水资源优化配置模型为基础, 采用编制的计算机模拟软件, 对各种可能方案进行多次模拟计算, 通过分析比较最

终得到较为合理的推荐方案。

(一) 2010年水资源配置方案

2010年,在实施南水北调、污水处理、强化节水等条件下,通过水资源合理配置,使人水和谐状态接近“和谐”层次,计算结果如表8.10所示。从总体来看:①在2010年,通过实施南水北调、污水处理、强化节水等措施,能够达到供需平衡;②50%频率条件下,需水量较75%频率、95%频率的要小,所以分配的水量最小。而95%频率受来水的影响,分配的水量比75%频率略小;③在确保南水北调供水、引黄河水、污水回用、强化节水和一定量的地表、地下供水条件下,郑州市区、新郑市、中牟县均有一定量余水,在75%频率条件下分别有余水 $7003.83 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $5354.32 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $5070.30 \times 10^4 \text{ m}^3$;即使在不进行强化节水条件下,郑州市区、新郑市仍有部分余水,分别为 $2310.83 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $4511.32 \times 10^4 \text{ m}^3$,可以用于新发展的工业园区;④通过水资源优化配置,人水和谐状态处于“基本和谐”或“较和谐”层次。

表 8.10 2010年不同频率计算结果

行政分区	50%频率		75%频率		95%频率	
	分配水量/万 m ³	和谐度	分配水量/万 m ³	和谐度	分配水量/万 m ³	和谐度
巩义市	16 911	0.76	17 185	0.76	17 305	0.76
登封市	9 290	0.81	9 386	0.75	9 483	0.75
荥阳市	19 352	0.75	20 126	0.75	20 466	0.75
新密市	12 008	0.75	12 202	0.75	12 311	0.75
郑州市区	81 198	0.84	82 370	0.84	83 526.33	0.84
新郑市	11 740	0.82	11 874	0.75	12 187	0.75
中牟县	38 462	0.73	40 922.3	0.74	40 919.95	0.73
全区	188 961	0.80	194 065.3	0.79	196 198.28	0.79

由此可见,在规划条件下,把全区水资源看成一个统一系统,通盘考虑,通过水资源合理调配,能够达到供需平衡和人水和谐目标。针对2010年的状况,合理分配好黄河水、污水回用水,是分区间合理调配的重点。



(二) 规划水平年 2020 年水资源配置方案

推荐的较优方案分配水量如表 8.11 所示。从总体来看：①在规划水平年 2020 年，通过实施南水北调、引陆浑水库水、污水处理、强化节水等措施，能够达到水量供需平衡；②在 2020 年，从陆浑水库引水的重要举措。根据论证，建议从陆浑水库向郑州市供水 $15\ 000 \times 10^4 \text{m}^3$ ；③在确保南水北调供水、引黄河干流水、强化节水、污水回用和一定量的地表、地下供水条件下，新郑市、中牟县均有一定量余水，在 75% 频率条件下分别有 $6295.26 \times 10^4 \text{m}^3$ 、 $16\ 233.17 \times 10^4 \text{m}^3$ 的余水；即使在不进行强化节水条件下，新郑市、中牟县仍有部分余水，分别为 $4867.26 \times 10^4 \text{m}^3$ 、 $8751.17 \times 10^4 \text{m}^3$ ，可以用于新发展的工业园区；④相对 2010 年来说，规划水平年 2020 年的可供水量相对比较富裕，分配总水量基本按 50% 频率、75% 频率、95% 频率依次略有增加（需水量也是按照该次序增加）；⑤通过水资源优化配置，人水和谐状态达到“基本和谐”层次，和谐度值基本接近。因为在 2020 年，实施了一系列措施，特别是实施从陆浑水库引水，使水资源得到合理分配和充分利用，使用效率很高，人水和谐状况得到极大改善，有利于水资源可持续利用。

表 8.11 规划水平年 2020 年不同频率计算结果

行政分区	50% 频率		75% 频率		95% 频率	
	分配水量/万 m^3	和谐度	分配水量/万 m^3	和谐度	分配水量/万 m^3	和谐度
巩义市	22 054.92	0.89	21 855.47	0.89	21 535.29	0.89
登封市	11 234.00	0.88	11 315.00	0.88	11 035.09	0.88
荥阳市	21 092.00	0.89	21 708.00	0.89	21 950	0.89
新密市	13 494.00	0.88	13 622.00	0.88	13 778	0.88
郑州市区	102 175.82	0.96	101 676.06	0.96	103 258	0.96
新郑市	14 488.00	0.89	14 712.00	0.89	14 955	0.89
中牟县	40 691.00	0.87	43 601.00	0.88	44 942	0.88
全区	225 229.74	0.92	228 489.53	0.92	231 453.38	0.92

(三) 规划水平年 2030 年水资源配置方案

通过计算和分析比较，推荐的较优方案分配水量如表 8.12 所示。

从总体来看：①在规划水平年 2030 年，通过实施南水北调、陆浑水库西水东进、污水处理、强化节水等措施，能够达到水量供需平衡；②在确保南水北调供水、引黄河水、强化节水、污水回用和一定量的地表、地下供水条件下，新郑市、中牟县在 75% 频率条件下分别有余水 $4\,582.56 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $20\,895.36 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，可以用于新发展的工业园区；在不进行强化节水条件下，新郑市、中牟县余水减少，分别为 $2\,470.56 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $11\,405.36 \times 10^4 \text{ m}^3$ ；③与 2020 年相比，2030 年的供需矛盾较为紧张，可调节的余地较小，实施陆浑水库西水东进工程并逐步增加引水量是有效缓解供需矛盾的方法；④通过水资源优化配置，人水和谐状态达到“基本和谐”层次，和谐度值基本接近。因为在 2030 年，实施了一系列措施，使水资源得到合理分配和充分利用，使用效率更高，人水和谐状况得到极大改善，有利于水资源可持续利用。

表 8.12 规划水平年 2030 年不同频率计算结果

行政分区	50%频率		75%频率		95%频率	
	分配水量/万 m^3	和谐度	分配水量/万 m^3	和谐度	分配水量/万 m^3	和谐度
巩义市	23 183.38	0.924	22 981	0.924	22 657.16	0.924
登封市	14 169	0.924	13 605.35	0.924	13 238	0.924
荥阳市	23 004	0.924	23 541	0.924	23 992	0.924
新密市	14 867	0.924	14 995	0.924	15 182	0.924
郑州市区	115 625	0.981	116 792	0.981	118 634	0.981
新郑市	18 160	0.924	18 475	0.924	18 681	0.924
中牟县	43 232	0.923	46 256	0.922	47 183	0.921
全区	252 240.38	0.954	256 645.35	0.954	259 567.16	0.954

(四) 各水平年变化趋势分析

这里以 75% 频率为例，分析 2005 年、2010 年、2020 年、2030 年几个主要指标的变化趋势，趋势图如图 8.3~图 8.6 所示。从图中可以看出：①通过本次规划方案的实施，和谐度值得到很大程度的提高，特别是现状年份和谐度值比较低，到 2010 年提升速度比较快，5 年时间从 0.5 提升到 0.79，接近“基本和谐”状态，说明水资源科



学配置获得的效果非常显著；②郑州市在实施“节流”的同时，有效实施了“开源”，主要包括南水北调工程向郑州市供水、陆浑水库西水东进工程、污水回用、引黄工程、雨水利用等，使郑州市分配的水量不断增加，从2005年的 $158\,941 \times 10^4 \text{m}^3$ （包括超过可利用水量 $52\,337.22 \times 10^4 \text{m}^3$ ），增加到2010年的 $194\,065.3 \times 10^4 \text{m}^3$ ，2020年分配水量 $228\,489.53 \times 10^4 \text{m}^3$ ，2030年分配水量 $256\,645.35 \times 10^4 \text{m}^3$ ；③在实施一系列措施后，郑州市经济社会规模得到一定程度的扩大，人口数量从现在的715.99万人，增加到2030年的1121.28万人，GDP从现在的1638.4亿元，增加到2030年的9955.1亿元。人口数量呈稳步增长，经济规模呈指数增加。

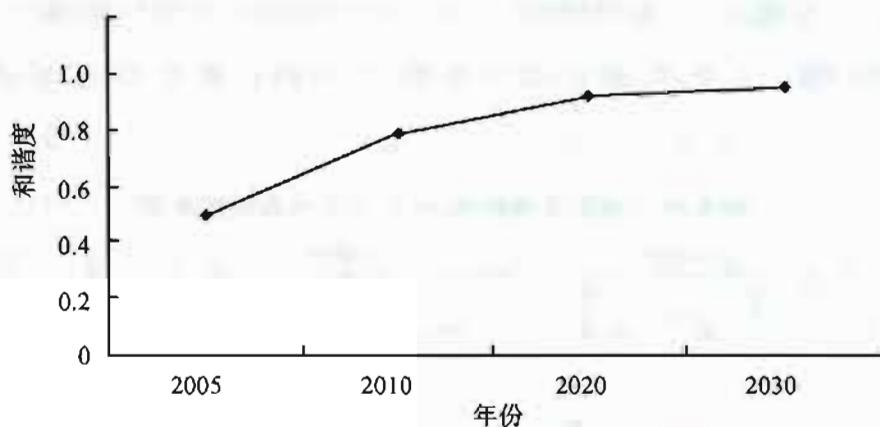


图 8.3 郑州市不同水平年和谐度值变化曲线图

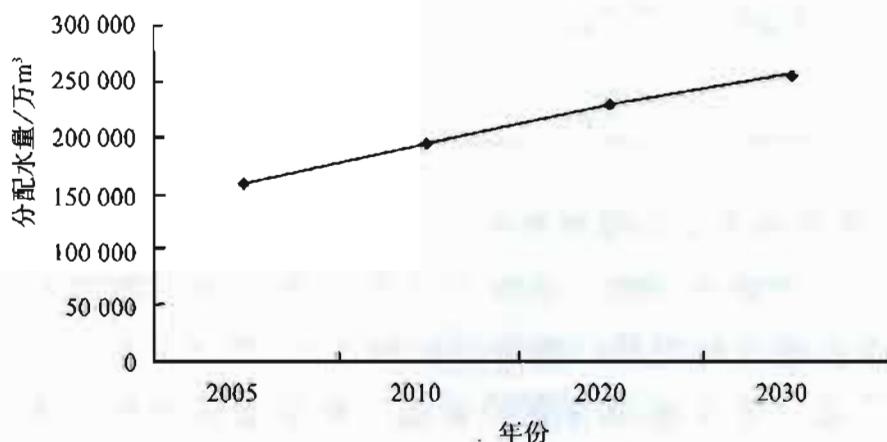


图 8.4 郑州市不同水平年分配水量值变化曲线图

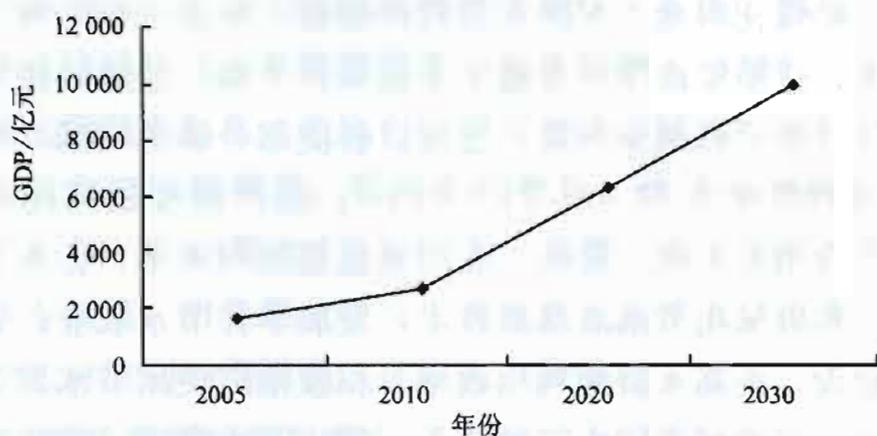


图 8.5 郑州市不同水平年 GDP 值变化曲线图

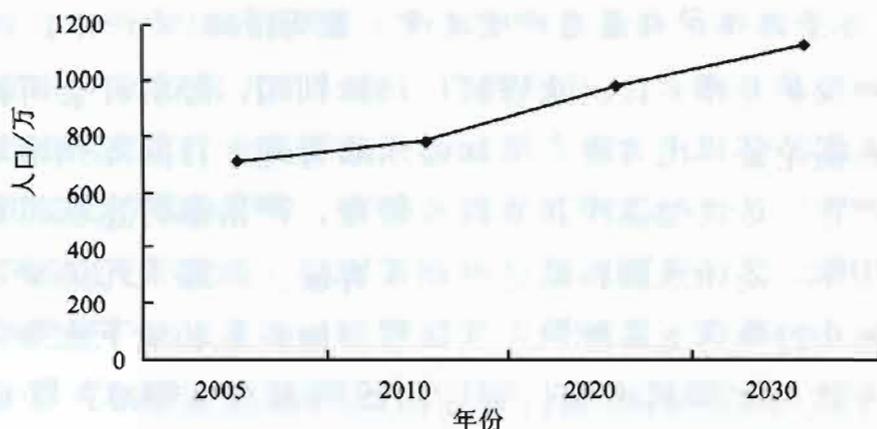


图 8.6 郑州市不同水平年人口数变化曲线图

三、郑州市水资源调控对策

通过以上计算分析,可以看到,为提高郑州市人水和谐程度,需从以下几个方面逐步解决郑州市人水矛盾突出的问题。

(一) 水资源配置方案及布局

在水资源利用方面,坚持“开源”、“节流”并重,合理开采地下水,充分利用过境水,积极拦蓄地表水,努力搞好节约用水。根据论证:①建议当地地表水、地下水按照可利用量进行开发利用,预计到 2020 年 75% 频率下分别为 $25\ 683.29 \times 10^4 \text{m}^3$ 、 $57\ 376.86 \times 10^4 \text{m}^3$;②严格控制地下水开采量,防止地下漏斗区扩大,特别是在地下水降



落漏斗区，要强化对地下水的人工回补措施，结合今后的南水北调中线工程供水，逐步实现郑州市地下水的采补平衡；③建议做好污水回用工作，这样既可以减少污染，也可以解决部分缺水问题，根据初步估算可以再利用中水 $31\,423.71 \times 10^4 \text{ m}^3$ ；④严格控制高耗水工业项目，降低工业用水单耗，提高工业用水重复利用水平；⑤大力发展节水型农业，积极采用节水灌溉新技术，发展旱作节水农业；⑥加快节水型社会建设，提高水资源利用效率，积极推广使用节水器具，减少水资源浪费，完善城市用水定额体系，强化节水意识，为建设小康社会提供水资源保障。

（二）水资源保护与生态环境建设方案及措施

水资源保护是维系该区水资源可持续利用、经济社会可持续发展的关键。根据论证得出方案：①加强水质管理，目前郑州市水质污染仍然比较严重，依法加强废污水排放管理，严格实行达标排放，提高废污水回用率，防治水源污染已经刻不容缓。治理水污染要从目前的末端治理逐步过渡到源头控制；②加强对地表水和地下水资源的有效保护，确保饮用水源的水质达到生活饮用水卫生标准；③加强对火电、电解铝、耐火材料、水泥、化工等重点行业的治理，加强废水、废气和固体污染物的控制和治理，减少污染物排放量，净化空气质量，改善水环境；④以基本农田建设、林草、治沟骨干工程和淤地坝、小型蓄水保土工程为重点，积极开展水土保持综合治理，有效控制人为的水土流失，确保生态环境实现良性循环；⑤实施生态建设工程，改善生态环境，加强自然保护区、风景名胜区、森林公园的保护和建设，合理确定重点开发区、限制开发区、禁止开发区三类主体功能区，积极推动郑州市生态水系规划建设。

（三）社会发展规模及方向

不同规划水平年的经济社会发展预测应在国家和地区国土规划、国民经济发展规划和有关行业中长期发展规划的基础上进行，要求符合地区实际情况，并与国家对规划地区的治理开发要求和政策相适

应。简单地讲，也就是在制定水资源规划时，考虑区域经济社会发展规划，以适应经济社会发展的需求。适度控制人口增长，不仅减小社会发展对水资源承载能力的压力，而且会促进区域经济社会的可持续发展 and 改善生态环境质量。按照本次规划，预计郑州市人口到 2020 年为 978.4 万，2030 年为 1121.28 万。因此，需要坚定不移地坚持计划生育基本国策，引导群众转变生育观念，加强人口出生性别综合治理，保持人口性别均衡增长，提高人口质量。

(四) 经济结构调整与布局

制定经济结构调整和布局方案的基础，应是在水资源规划总体框架下，通过水资源优化配置，在一定约束条件下，满足社会、经济、生态环境综合效益最大的目标。内容包括：①对三类产业的总体规划，主要确定三类产业在国民经济建设中的比重，指出重点发展哪些产业，重点扶持哪些产业，明确三类产业的总体布局 and 结构，构建合理的经济结构发展模式；②对各行业发展速度进行宏观调控，对部分行业或部门进行重点支持，合理提高发展速度，对部分行业或部门实行限制发展或取缔，以逐步适应发展需要，也就是说，坚持走新型工业化道路，大力发展服务业，积极推进现代农业的发展，大力发展循环经济。

第三节 从和谐论看水资源管理方略

本节引用文献[23]内容，以和谐论的视野，分析了我国水资源开发利用过程中存在的问题，并提出水资源开发利用方略。在水资源开发利用过程中，“和谐参与者”之间要加强合作，以“实施最严格的水资源管理制度，保障水资源可持续利用”为和谐目标，按照“建立水权制度和水市场，实现水资源优化配置”的和谐规则，考虑“节流优先、保护同步”等和谐因素，实施“供需管理并重，需水管理为



主”的和谐行为，实现人水和谐共处与协调发展。

一、我国水资源开发利用现状及问题

根据 21 世纪初全国水资源的评价结果，我国多年平均河川径流量为 2.74 万亿 m^3 ，多年平均地下水资源量为 0.82 万亿 m^3 ，地表水和地下水重复水量 0.72 万亿 m^3 ，多年平均水资源总量为 2.84 万亿 m^3 。

新中国成立后，随着经济建设的开展，我国开始大规模开发利用水资源，水利工程体系初步形成，水资源开发利用率大幅提高。全国已建成各类水库 8.6 万多座，水库总库容达 6924 亿 m^3 ；水利工程实际供水能力达 6591 亿 m^3 ，水资源开发利用率达 20% 左右，基本满足了城乡经济社会和生态环境的用水需求。

据《2008 年中国水资源公报》，2008 年全国总供水量 5910 亿 m^3 ，占当年水资源总量的 21.5%。其中，地表水源供水量占 81.2%，地下水水源供水量占 18.3%，其他水源供水量占 0.5%。用水方面，生活用水占 12.3%，工业用水占 23.7%，农业用水占 62.0%，生态与环境补水（仅包括人为措施供给的城镇环境用水和部分河湖、湿地补水）占 2.0%。

纵观我国水资源开发利用状况，可以看出我国水资源开发利用存在以下主要问题。

(1) 需水量不断增加，导致水资源过度开发。近年来，我国一些地区为满足不断增长的水资源需求，加大了水资源开发力度。我国北方江河普遍存在着开发过度的问题，黄河、辽河、淮河地表水利用率大大超过 40% 的河流开发利用率上限，海河水资源开发利用率接近 90%。此外，最近 20 年来，全国地下水超采严重，年均地下水超采量超过 100 亿 m^3 。

(2) 水污染治理力度远远不够，导致水体污染严重。改革开放以来，工业化和城市化的步伐不断加快，在用水量急剧增加的同时，污

水排放量也相应增加，主要污染物排放量大大超出水环境容量。由于多方面的原因，我国污水处理设施落后，污水处理率低，污水处理能力的增加幅度远低于污水排放量的增加幅度。2008年全国水资源公报数据显示，Ⅰ～Ⅲ类、Ⅳ～Ⅴ类和劣Ⅴ类地表水质的河流断面比例分别为55.0%、24.2%和20.8%；全国有25%的地下水体遭到污染，35%的地下水源用水水质不合格。

(3) 用水效率不高，造成水资源严重浪费。受传统观念和经济条件的限制，我国水资源利用方式粗放，水资源利用率偏低，水资源浪费严重。农业、工业和城市三大用水户都普遍存在用水浪费的现象。我国平均 1m^3 水实现的国内生产总值仅为世界平均水平的 $1/5$ ，工业用水重复利用率和农业节水灌溉率远远低于发达国家。在污水处理回用，海水、雨水利用方面也处于较低水平。城市的管网漏损高达15%~20%，再加上使用中的跑、冒、滴、漏，漏损率更高。

(4) 强调供水管理，忽略了需水管理，造成水资源供需失衡。目前，我国水资源配置工作多强调供水管理，通过工程措施改变水资源天然时空分布与生产力布局不相适应的被动局面，供应经济社会各方面对水的需求，而较少调整产业结构和生产力布局以适应较为不利的水资源条件。

(5) 水资源保护不力，严重破坏生态环境。由于对水资源无节制的索取、不合理的开发利用，破坏森林植被，造成水土流失、湖泊萎缩、江河断流，严重破坏了生态环境。

(6) 应对气候变化的水资源管理措施滞后，防洪抗旱任务艰巨。气候变化已经引起我国水资源分布的时空变化，北方干旱、南方洪涝等极端水文事件频繁发生。未来气候变化势必会对我国的降水、水资源和地区性的分配，以及可利用量带来更大影响。目前，我国的防洪抗旱工程体系还没有达到规划标准，未来我国水旱灾害防治任务更加繁重。在这种形势下，如何规划和实施应对气候变化的水资源管理措施，还需要进一步研究和论证。

二、从和谐论五要素，诠释我国水资源开发利用方略

水资源开发利用是通过人为方式对水资源进行干预和组织，无论从经济学观点、社会学观点还是从环境学观点看，其最终目的只有一个，那就是：在质量上，要满足人类生存、生活和健康方面的要求；在数量上，不但要与当代经济社会发展的节奏相一致，满足当代人的需求，而且要有供后代使用的水资源。从战略高度看，水资源可持续利用是可持续发展的主要内容，也是一个国家可持续发展的重要支撑和物质基础。

为实现经济社会和生态环境的可持续发展，首先必须实现水资源这一基础资源的可持续利用。根据和谐论五要素的定义，“和谐参与者”之间要加强合作，达到和谐。以实施最严格的水资源管理制度，保障水资源可持续利用为“和谐目标”；以建立水权制度和水市场，实现水资源优化配置为“和谐规则”；以供需管理并重，需水管理为主为“和谐行为”；以节流优先，保护同步为“和谐因素”。下面，根据水资源开发利用的“和谐论五要素”，分别阐述水资源开发利用方略。

（一）和谐参与者：区域、流域、国家

水资源开发利用活动，常涉及工农业等各部门对水的需求，以及区域、流域、国家间的水资源分配。区域层面上，应该加强地区间的合作，达到和谐；流域层面上，加强各子流域间的合作；国家层面上，实现国际合作。

（二）和谐目标：实施最严格的水资源管理制度，保障水资源可持续利用

缓解水资源危机的根本出路在于实现水资源的可持续利用。水资源的可持续利用，要求在水资源的开发利用过程中，不超过水资源生态系统的承受能力限度，保证水资源生态环境的稳定和改善以及水循

环可再生性的维持。我国要实现水资源可持续利用，必须实施最严格的水资源管理制度，不断完善并全面贯彻落实水资源管理的各项法律、法规和政策措施，划定水资源管理“红线”。围绕水资源的配置、节约和保护，全面推行取水总量控制。根据流域水量分配方案、区域用水协议，建立流域和区域总量控制指标，对用水全面实行总量控制；科学制定区域用水效率控制指标，建立健全用水效率监测、控制与考核机制，坚决遏制用水浪费；科学核定水域纳污能力，制定水功能区限制纳污控制指标，控制污染物入河量。

（三）和谐规则：建立水权制度和水市场，实现水资源优化配置

为使有限水资源满足不同用水户的需求，实现水资源优化配置，需建立水权制度，明晰水资源产权，利用市场手段和政府宏观调控建立水市场，实行水资源有偿使用制度。在摸清流域水资源、经济社会发展现状及未来发展状况的前提下，按照“优先原则”，进行水权分配，各用水户开发利用水资源时都在自己所拥有的水权范围内进行。根据水资源分布的区域差异性和不同用水户的需求差异性，建立水市场进行水权的交易和转让，提高水资源的利用效益和效率。水权和水市场的管理，应实行“流域管理和区域管理相结合，区域管理服从流域统一管理”的运行模式。

（四）和谐行为：供需管理并重，需水管理为主

供水管理重开源、轻节流，重投入、轻效益。需水管理着眼于资源稀缺性，高度重视运用市场机制和政府调控手段对短缺的水资源在竞争性的用户之间进行优化配置，以供定需，调节供给与需求之间的矛盾，在充分考虑了其他措施（如节水措施）的基础上，选择适当的工程措施，以克服水资源短缺时水资源开发利用中的盲目性和无序性，合理地满足社会各方面对水资源的长期需求。单纯的供水管理和需水管理实质上代表了水资源管理中或供应、或需求的两个极端。在管理实践中，必然强调两者的相互结合，规范人类在水资源开发利用中的行为，抑制水资源需求的过快增长，实现对有限水资源的优化配



置和可持续利用，保证水资源的供需平衡。

(五) 和谐因素：节流优先，保护同步

提倡“节流优先”，不仅是针对我国水资源短缺情况所应采取的基本国策，也是为了降低供水投资，减少污水排放，提高水资源利用率的最合理选择。制定用水定额标准，实行总量控制，定额管理。强化节水“三同时”管理，建立健全节水产品市场准入制度，加大节水技术研发推广力度。强调“保护同步”是保护水源水质和改善生态环境的必然要求，确立水资源开发利用要与水资源保护“同步规划、同步实施和同步发展”的整体观念和全局意识。以水功能区管理为载体，加强水资源保护和综合治理，强化入河排污总量控制。强化水生态系统保护与修复，维持合理流量，维持合理水位。合理安排生态环境用水，保障生态环境需水。

三、从和谐度方程，看我国水资源开发利用方略

水资源的适度开发利用，可以保证水资源在自然界的水文循环中得到再生和补充，而不致影响水资源的形成和蓄存条件，保持水资源的可持续开发利用。如何有效开发利用水资源，使其在发挥最大效益的同时能够保持可持续发展？从和谐度方程中的各要素剖析，实现水资源可持续利用需要关注以下问题。

(1) 水资源开发利用活动涉及多个用水户，各用水户之间必须达成一定共识，即“统一度”(a)较大，“分歧度”(b)较小。由于地球上存在着水循环作用，水资源成为一种可再生的资源，但是水资源的这种可再生性在一定时间、一定区域内却是有限的。从我国目前的水资源开发利用活动来看，某些地区为满足经济社会用水而过度开发利用水资源，造成河湖枯干、地面沉降、生境退化等环境地质问题，不仅制约了经济社会的可持续发展，而且严重干扰和破坏了自然水文循环，直接影响了水资源循环再生。因此，各用水户必须认识到“水资源是有限的”，任何水资源开发利用活动都必须在“水资源可开发

利用量”范围内进行，都不能超过其承载能力。由于不同地区的水资源条件存在很大差别，水资源在不同区域间流动，为获取最大经济效益，区域之间相互争夺水资源，造成区域间用水矛盾尖锐。因此，要求政府水行政主管部门采取强有力的调控手段进行宏观调控，促使水资源从富集区流向贫乏区域。同时，一定时期内水资源的供给是一定的，必须抑制过度膨胀的用水需求而造成的水资源过度开发。各地区、各部门必须制订年度用水计划和行业用水定额，增大用水效率，实现对有限水资源的优化配置。

(2) 影响水资源可持续利用的因素很多，要减少不和谐因素，增大“和谐系数”(i)，减小“不和谐系数”(j)。水资源可持续利用是涉及社会、经济、环境、生态和水资源在内的复杂大系统，在该系统内既有自然因素的影响，又有社会、经济、文化、传统等因素的影响，其中，经济和水资源的关系是影响水资源可持续利用的核心问题。例如，宏观经济的发展速度影响需水量的增长速度；产业结构的变化影响水资源在各部门间的配置；经济发展过程中排放的废污水，有可能污染水体并造成有效水资源量的减小；经济积累中对水资源投资的金额多少直接关系到水资源开发利用和保护管理格局。因此，水资源开发过程中，不仅要考虑水利工程的兴建带来的经济效益，还要考虑到水量的变化对水质、水环境的影响；不仅要加强供水管理，更要加强需水管理，要以水定产、以水定规模、以水定需，使产业布局适应水资源的现状；在水资源节约与保护方面，不仅要开源，更要注重节流，积极发展高效节水产业；不仅要考虑经济发展，更要注重水污染与水体的自净能力是否相适应。

第九章 跨界河流的和谐论解读和应用

第三章介绍过跨界河流的概念，把跨越不同区域的河流称为跨界河流。跨越两个或多个国家的河流称为跨国界河流（有人又称其为国际河流）。一条河流的可利用水资源量是有限的，可以纳污的能力是有限的，承载的经济社会规模是有限的，为了保护河流健康，必须共同采取措施控制总引用水量，共同控制排污量，共同保护河流环境和生态。然而，由于跨界河流特别是跨国界河流，处于不同位置，有不同外部条件、不同发展水平、不同观念的差异，在对待河流开发方面存在很大差异，往往会带来人与水的矛盾、河流上下游之间的矛盾、不同区域之间的矛盾，最终的结果可能会导致河流的灾难。因此，如何和谐共处，实现水资源可持续利用，就显得尤为重要。本章在文献[24]的基础上，针对跨界河流的特点，采用和谐论理念，来解读跨界河流分水问题，建立跨界河流分水的和谐论模型，并列举一个应用实例。

第一节 跨界河流分水问题

因为跨界河流至少跨越两个区域（或国家），不同区域特别是不同国家在思想观念、战略需求、地区（或国际）关系、政治因素等方面，可能会有很大的差异，这给分水方案的制订带来更加复杂的不确定因素，使分水问题更加复杂，主要表现在以下几个方面。

(1) 水资源有限,但各地区(或国家)都希望占有更多的水资源,这就为跨界河流争水带来内在的动力。从本质上讲,每个地区(或国家)都希望具有更多的水资源使用权。可是,可以利用的水资源量是一定的,怎么让有限的水资源与无限占有水资源的欲望协调起来?这需要多方的共同努力。

(2) 一般,跨界河流特别是跨国界河流涉及的地区或国家关系,不仅仅是水资源分配的关系,而且还可能包括其他安全问题,如粮食安全、军事安全、石油矿产安全、社会安全等。也就是说,跨界河流分水考虑的不仅仅是水资源分配本身,可能还夹杂着其他因素,使分水问题复杂化。

(3) 可能两地区(或两国)之间总体实力、社会福利、科技水平等有差异,对水资源的开发利用水平有较大差别,很难用一个标准和尺度来衡量和处理跨界河流开发问题,使分水技术问题复杂化。

(4) 水资源利用不仅考虑水量,还要考虑水质,甚至涉及与之相关的生态系统。一般,河流分水主要针对水量,但是随着用水的不断增加,水质问题越来越复杂,需要水量、水质统筹考虑。这仍是目前学术上的难点问题。

针对跨界河流分水的复杂问题,作者认为,首先要保持和谐的地区(或国际)关系,创造和谐的社会氛围,通过相关地区(或国家)的共同努力,以实现水资源可持续利用;其次,要实现和谐目标,不能破坏河流生态系统,维持良好的河流水循环再生能力;最后,从跨界河流分水谈判的角度考虑,要充分利用本地区或本国优势因素,合理争取水权。

第二节 跨界河流分水问题的和谐论解读

跨界河流分水问题,可以用和谐论的五要素来描述,说明如下。



(1) 和谐参与者：在跨界河流分水中，和谐参与者就是参与跨界河流分水的地区（或国家）。如果河流跨越两个地区（或国家），和谐参与者就是两个，跨界河流分水问题就转化为两个地区（或国家）间的水资源分配。这就需要加强地区（或国家）间的合作，从国家层面上实现地区或国际合作。针对一条跨国界河流，如果不加强国际合作，甚至采用强硬政治手段，肯定会严重影响河流的开发和保护，甚至会影响到国家安全。

(2) 和谐目标：从流域水资源统一管理角度来看，必须保证水资源利用量小于水资源可利用量，不超出水资源系统的承受能力限度；为了保持一定的河流水质，严格控制进入水体的污染负荷，确保进入水体的污染负荷总量小于水体可以承纳的最大污染物数量；为了保护和维护水生态系统良性循环发展，必须保障河流生态系统健康发展，如果不顾河流水资源的可持续利用和保护，肯定会带来水资源灾难，对哪一个地区（或国家）都是有害而无利。

(3) 和谐规则：也就是怎么去分水，在具体工作中遵循什么样的规则。一方面，可以参考和借鉴目前已有的跨界河流分水方法；另一方面，可以通过谈判制定具体的分水方法。比如，目前关于跨国界河流分水主要方法有：①按流域内的国家或地区数量平均分配水资源总量；②按流域面积分配；③按流域内人口比例分配；④按实际产水比例分水；⑤按实际用水量比例分水；⑥通过谈判确定分水量。跨界河流分水方法受多种因素的影响和制约，特别是受经济实力和政治因素的影响，有时是变化的，属于“变规则和谐”。例如，某跨国界河流的上游国比较强大，占流域面积较大，可以提出按照“按流域面积分配法”分水。但如果下游国有丰富的石油资源和潜在的恐怖分子威胁，这时上游国考虑到国家安全，可以做出一些妥协，来换取石油资源和国家安全。这样，分水的规则就随着外部条件的变化而发生变化。

(4) 和谐因素：如果单纯针对分水这一行为来说，和谐因素只是分水这一单因素。如果纳入到国家或地区和谐研究中，就不仅仅针对

分水这一个因素，还可能包括矿产资源因素、粮食安全因素、社会稳定和安全因素等。

(5) 和谐行为：就是参与者所采取的具体的分水措施（包括分水量、分水比例等），也就是得到的最终分水方案。

第三节 跨界河流分水的和谐论模型

为了叙述上的方便，本节通过一个简化的例子，介绍跨界河流分水的和谐论模型，其他复杂的跨界河流分水问题同样可以建立类似的模型。

如图 9.1 所示，某跨界河流，跨越两个地区。上游地区、下游地区都有一定量的产水，假设上下游地区的产水量分别为 Q_1 、 Q_2 ，则界线断面上的天然径流量就是 Q_1 。用水户需要保护河流本身的生态和三角洲、湖泊湿地生态。经论证，河流下泄到三角洲和湖泊湿地的最小径流量为 E_0 。也就是，要求由于人类活动增加的实际消耗水量 $Q_A \leq Q_1 + Q_2 - E_0$ ；或者是，河流下泄到三角洲和湖泊湿地的径流量 $Q_{out} \geq E_0$ 。

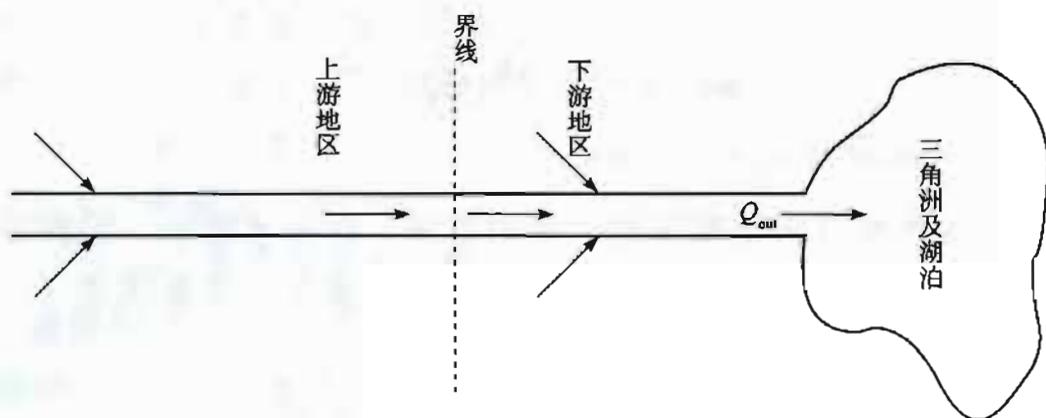


图 9.1 某跨界河流分水示意图

1) 和谐目标

要求由于人类活动增加的实际消耗水量 (Q_A) 小于等于流域总径流量 ($Q_1 + Q_2$) 减去河流下泄到三角洲和湖泊湿地的最小径流量



(E_0), 或者, 河流下泄到三角洲和湖泊湿地的径流量 Q_{out} 大于等于 E_0 , 则有方程式

$$Q_{out} \geq E_0 \quad (9.1)$$

2) 和谐规则

假定按照上游地区、下游地区产流量来进行分水。假定上游地区、下游地区增加的实际消耗水量分别为 Q_{A_1} , Q_{A_2} , 则

$$\frac{Q_{A_1}}{Q_{A_2}} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (9.2)$$

界线断面上的实际径流量 $Q = Q_1 - Q_{A_1}$; 下泄到三角洲和湖泊湿地的径流量 $Q_{out} = Q_1 + Q_2 - Q_{A_1} - Q_{A_2}$, 根据式 (9.1), 要求:

$$Q_{out} = Q_1 + Q_2 - Q_{A_1} - Q_{A_2} \geq E_0 \quad (9.3)$$

或

$$Q_{A_1} + Q_{A_2} \leq Q_1 + Q_2 - E_0 \quad (9.4)$$

3) 求定规则和谐下的解

根据式 (9.2) 和式 (9.4) 可以联合求解方程组, 得到

$$Q_{A_1} = \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0) Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (9.5)$$

$$Q_{A_2} = \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0) Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (9.6)$$

4) 考虑妥协下的变规则和谐

假如上游地区考虑到其他因素的影响, 对分水做出一定的妥协, 假设用妥协系数 μ (示意削减的百分数) 来表达, 可采用式 (9.7)、式 (9.8) 计算。

$$Q_{A_1} = (1 - \mu) \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0) Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (9.7)$$

$$Q_{A_2} = \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0) Q_2}{Q_1 + Q_2} + \mu \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0) Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (9.8)$$

如果下游地区妥协, 则可以类似推导计算式, 如式 (9.9)、式 (9.10) 所示。

$$Q_{A_1} = \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0)Q_1}{Q_1 + Q_2} + \mu \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0)Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (9.9)$$

$$Q_{A_2} = (1 - \mu) \frac{(Q_1 + Q_2 - E_0)Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (9.10)$$

5) 建立和谐度方程

以上计算的是完全满足和谐目标及和谐规则的情况。在现实中，由于外部环境的不确定性、实际问题的复杂性，可能不会严格按照这一结果，或许会有所变化。那么这种情况下，可接受的情况如何，可以用和谐度来衡量。

$$HD = ai - bj \quad (9.11)$$

针对跨界河流分水问题的具体实例，可以对式(9.11)中参数作如下计算。

(1) 统一度 a ，分歧度 b 。统一度 a 的计算，用“按照和谐规则计算的上游地区和下游地区总耗水量”除以“实际总耗水量”。分歧度采用如下简便算法： $b = 1 - a$ 。

(2) 和谐系数 i ，反映和谐目标的满足程度，由和谐目标计算确定。采用图 3.3 (b) 的曲线形式。 X 表示和谐行为总值，针对本问题就是分配的水资源量之和，即 $X = Q_{A_1} + Q_{A_2}$ 。 X_1 是允许人类活动消耗水量的最大值，超出 X_1 后就会给和谐目标带来影响。

(3) 不和谐系数 j ，反映和谐参与者对存在分歧现象的重视程度，由分歧度计算确定。采用图 3.4 (e) 的曲线形式，即 $j = 1$ 。

6) 不同方案下和谐度计算

根据和谐度计算方程，可以计算不同方案下、不同分水规则下的和谐度大小。这为跨界河流分水谈判提供了定量化依据。

第四节 应用举例

这里以一个跨越两个地区的跨界河流为例。所有的数据和结果都



进行了详细论证，为了突出和谐论的应用成果，对引用的数据和结果不再详细论述。

一、分水的和谐目标及和谐规则

该河流承担着河流下游及湖泊的生态环境保护任务，经论证，要求河流下游平均每年下泄水量为 17.44 亿 m^3 ，这是该河流开发应该达到的共同目标，也可以看做河流分水的和谐目标。

根据目前跨界河流可能的分水方法，阐述以下具体规则，作为分水的几种可选方案。

（一）平均分水规则

这一规则是按照流域内的地区数量平均分水。该规则要求上下游地区在保证河流生态环境保护目标的条件下，平均分配河流水量，保证各地区具有平等的用水权利。依据规则，上、下游地区分水比例为：50%、50%。

（二）按流域面积比例分水规则

该规则要求上下游地区在保证河流保护目标的条件下，按照上下游地区各自境内的流域面积比例分配水资源量。本例中，上游地区流域面积为 11 562.6 km^2 ，而下游地区流域面积为 18 685.2 km^2 ，依据上述和谐规则，上、下游地区分水比例为：38.23%、61.77%。

（三）按实际产水比例分水规则

该规则要求上下游地区在保证河流下游及湖泊生态环境保护目标的条件下，按照两地区各自境内的水资源量比例分水。本例中，上游地区境内水资源量为 33.16 亿 m^3 ，下游地区境内水资源量为 14.06 亿 m^3 。依据规则，上、下游地区分水比例为：70.22%、29.78%。

（四）按流域内人口分水规则

该规则要求上下游地区在保证河流下游及湖泊生态环境保护目标的条件下，按照两地区的人口数量分配水量。目前，上游地区人口数

量为 48.76 万，下游地区人口数量为 46.54 万。依据规则，上下游地区分水比例为：51.17%、48.83%。

(五) 按实际用水量比例分水规则

该规则要求上下游地区在保证河流下游及湖泊生态环境保护目标的条件下，按照两地区现状实际用水量分配水量。目前，上游地区农业用水为 11.01 亿 m^3 ，工业用水为 0.51 亿 m^3 ，生活用水为 0.18 亿 m^3 ，总计实际用水量为 11.70 亿 m^3 ；下游地区农业用水 4.71 亿 m^3 ，工业用水为 0.22 亿 m^3 ，生活用水为 0.45 亿 m^3 ，总计实际用水量为 5.38 亿 m^3 。依据规则，上下游地区分水比例为：68.48%、31.52%。

二、开发利用规模和方案

由于该河流到目前还没有就分水提出各方共识的分水方案，故本节依据前文所述的跨界河流分水和谐论思想及模型，按照和谐规则，提出几套分水方案，以供参考。

(一) 基于定和谐规则的简单方案计算

为了保证该河流健康发展，需要上下游地区公平合理地开发利用水资源。本节按照定规则简单水量核算方法，计算各种分水方案下的分配耗水量，如表 9.1 所示。这是假定上游地区境内水资源量为 33.16 亿 m^3 ，下游地区境内水资源量为 14.1 亿 m^3 ，保证向下游湖泊下泄水量 17.44 亿 m^3 的计算结果。这里的耗水量是人类活动增加的狭义水资源量。

表 9.1 基于定和谐规则的简单方案计算

方案	分水规则	上游地区耗水量/亿 m^3	下游地区耗水量/亿 m^3
方案 1	平均分水规则	14.91	14.91
方案 2	按流域面积比例分水规则	11.40	18.42
方案 3	按实际产水比例分水规则	20.94	8.88
方案 4	按流域内人口分水规则	15.26	14.56
方案 5	按实际用水量比例分水规则	20.42	9.40



(二) 妥协情况下的变和谐规则计算

由于上下游地区的社会、经济、文化等背景不同,考虑到上下游之间的协调关系,加之社会稳定与安全等因素,在制订分水方案时,需要灵活掌握,可以考虑一定程度的妥协。参照第九章第三节提到的妥协系数方法,可以分析不同条件下的规则变化后的分水方案。表 9.2 为上游地区妥协系数分别为 10%、20% 情况下所计算出的分水方案。

表 9.2 妥协情况的变和谐规则下的分水方案

妥协系数	方案	分水规则	上游地区耗水量/亿 m ³	下游地区耗水量/亿 m ³
10%	方案 1	平均分水规则	13.42	16.40
	方案 2	按流域面积比例分水规则	10.26	19.56
	方案 3	按实际产水比例分水规则	18.84	10.97
	方案 4	按流域内人口分水规则	13.73	16.09
	方案 5	按实际用水量比例分水规则	18.38	11.44
20%	方案 1	平均分水规则	10.73	19.08
	方案 2	按流域面积比例分水规则	8.21	21.61
	方案 3	按实际产水比例分水规则	15.08	14.74
	方案 4	按流域内人口分水规则	10.98	18.83
	方案 5	按实际用水量比例分水规则	14.70	15.12

(三) 不同分水方案对比分析

综合各方案,在没有妥协的情况下,上游地区耗水量的范围为 11.40 亿~20.94 亿 m³,其中方案 3 按实际产水比例分水时上游地区耗水量可达 20.94 亿 m³,方案 2 按流域面积比例分水时上游地区耗水量只有 11.40 亿 m³。此外,在上游地区向下游地区妥协 20% 的水量情况下,双方按方案 3 (按实际产水比例分水) 分水时,上游地区仍然能够得到 15.08 亿 m³ 的耗水上限。由此可见,上游地区就河流分水问题实行方案 3 最为有利,在下游地区难以接受此方案时,可以再提出向下游妥协 10%~20% 水量的妥协方案。

(四) 不同分水情景下和谐度计算及评价

为了对分水方案做出正确的评价,这里引用和谐度方程来进行计算。

1. 假定按人口比例分水规则

根据这种规则计算,上游地区耗水量为 15.26 亿 m^3 ,下游地区耗水量为 14.56 亿 m^3 。如果按照这一规则,在这种情况下和谐度为 1,是最和谐的。但也可能在实际分水时上下浮动,下面假定多种情景,分别对和谐状况进行评价。

首先,根据和谐目标,给出和谐系数 i 的函数。针对本问题,要求上下游消耗水量的最大值之和不得大于某一值。假定上游地区、下游地区增加的实际消耗水量分别为 Q_{A_1} , Q_{A_2} , 则 $X = Q_{A_1} + Q_{A_2}$ 。 X_1 是允许人类活动消耗水量的最大值 ($X_1 = 29.82$), 超出 X_1 后就会带来影响,假设影响范围为 20% (即 $X_2 = 35.78$)。和谐系数 i 采用图 3.3 (b) 曲线,其中 $X_1 = 29.82$, $X_2 = 35.78$ 。

其次,确定不和谐系数 j 的函数,采用图 3.4 (e) 的曲线形式,即 $j = 1$ 。

最后,计算统一度 a 和分歧度 b 。统一度 a 的计算,用“按照和谐规则计算的上游地区和下游地区总耗水量”除以“实际总耗水量”(详见第三章的论述)。分歧度采用简便算法: $b = 1 - a$ 。

拟定 5 种情景,分别计算其和谐度,如表 9.3 所示。按照人口比例分水规则,充分考虑可利用水量,计算的最优方案是上游地区耗水量为 15.26 亿 m^3 ,下游地区耗水量为 14.56 亿 m^3 。此外,情景 2 为基本和谐状态,对应的上游地区耗水量为 15.16 亿 m^3 ,下游地区耗水量为 14.66 亿 m^3 。

表 9.3 按人口比例分水规则,不同情景下的和谐评估

情景	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	最优方案
上游地区耗水量/亿 m^3	13.16	15.16	17.16	19.16	21.16	15.26
下游地区耗水量/亿 m^3	16.66	14.66	12.66	10.66	8.66	14.56
a	0.8623	0.9934	0.8695	0.7321	0.5948	1
b	0.1377	0.0066	0.1305	0.2679	0.4052	0
i	1	1	1	1	1	1
j	1	1	1	1	1	1
HD	0.72	0.99	0.74	0.46	0.19	1.00
和谐等级	较和谐	基本和谐	较和谐	接近不和谐	基本不和谐	完全和谐



2. 假定按平均分水规则

根据这种规则计算，上游地区耗水量为 14.91 亿 m^3 ，下游地区耗水量为 14.91 亿 m^3 。如果按照这一规则，在这种情况下和谐度为 1，是最和谐的。但也可能在实际分水时上下浮动，下面假定多种情景，分别对和谐状况进行评价。具体计算方法与前文相同，这里不再赘述。

拟定 5 种情景，分别计算其和谐度，如表 9.4 所示。按照平均分水规则，充分考虑可利用水量，计算的最优方案是上游地区耗水量为 14.91 亿 m^3 ，下游地区耗水量为 14.91 亿 m^3 。此外，情景 2 为基本和谐状态，对应的上游地区耗水量为 15.16 亿 m^3 ，下游地区耗水量为 14.66 亿 m^3 。

表 9.4 按平均分水规则，不同情景下的和谐评价

情景	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	最优方案
上游地区耗水量/亿 m^3	13.16	15.16	17.16	19.16	21.16	14.91
下游地区耗水量/亿 m^3	16.66	14.66	12.66	10.66	8.66	14.91
<i>a</i>	0.8825	0.9834	0.8492	0.7151	0.5809	1.0000
<i>b</i>	0.1175	0.0166	0.1508	0.2849	0.4191	0.0000
<i>i</i>	1	1	1	1	1	1
<i>j</i>	1	1	1	1	1	1
HD	0.76	0.97	0.70	0.43	0.16	1.00
和谐等级	较和谐	基本和谐	较和谐	接近不和谐	基本不和谐	完全和谐

(五) 对开发利用规模和方案的综合建议

通过上述方案的计算和分析，为了地区（或国家）间睦邻友好，为了保证河流健康和水资源的可持续利用，对开发利用规模和方案提出以下建议。

(1) 要适度控制开发规模，保证水资源利用量不得超过水资源可利用量，以保障河流和湖泊生态环境不受破坏。为了达到这一目标，需要上下游全社会共同努力。

(2) 综合以上分析，建议上游地区、下游地区开发所消耗的总耗水量规模分别为 15 亿~17 亿 m^3 和 13 亿~15 亿 m^3 。这种开发方案既

不会引起下游生态环境显著恶化，也照顾到上下游地区的用水，满足上下游地区之间的用水和谐。

(3) 紧跟世界潮流，倡导上下游和谐、人类用水与自然和谐的理念，制订和谐的分水方案，促进水资源可持续利用和经济社会可持续发展。



附录一 和谐论理论体系汇编

为了便于读者阅读和掌握和谐论理论体系的主要内容，现将本书正文中关于和谐论理论体系的主要内容进行汇编。

一、和谐论的主要理念

和谐论是研究多方参与者共同实现和谐行为的理论和方法，具有广泛的应用前景，是揭示自然界和谐关系的重要理论，蕴涵辩证唯物主义哲学思想，是辩证唯物主义哲学思想关于“人与自然协调发展”论断的具体体现。

和谐论的主要论点：

(1) 和谐论提倡以“以和为贵”的理念，来处理各种关系。和谐的思想是和谐论的基石。

(2) 和谐论提倡理性地认识各种关系中存在的矛盾和冲突，允许存在“差异”，提倡以和谐的态度来处理各种不和谐因素和问题。既要看到和谐的主流，又要看到不和谐的存在。

(3) 和谐论坚持以人为本、全面、协调、可持续发展的科学发展观，解决自然界和人类社会面临的各种问题。

(4) 和谐论坚持辩证唯物主义哲学思想，关注人和自然界的唯物辩证关系，提倡人与自然和谐相处的观念，认为人与自然协调发展是必要的、可能的；主张人类应主动协调好人与人的关系，这是协调人与自然关系的基础。

(5) 和谐论坚持系统的观点，提倡采用系统论的理论方法来研究

和谐关系问题。

(6) 和谐论是研究多种多样关系的重要理论方法。和谐论为揭示自然界和人类社会的和谐关系奠定理论基础，具有广阔的应用前景。

二、和谐论量化研究基础

(一) 和谐论五要素

(1) 和谐参与者：就是参与和谐的各方，一般为双方或多方，称为“和谐方”。

(2) 和谐目标：是指和谐参与者为了达到和谐状态所必须满足的目标。如果不满足这一目标，整个问题就不可能达到和谐状态。当然，达到这一目标只能说明有可能达到和谐状态。这是从和谐问题的整体出发，要求需要达到的状态。

(3) 和谐规则：是指和谐参与者为了达到和谐目标所制定的一切规则或约束。为了实现和谐，必然要有一些规则或约束。

(4) 和谐因素：是指和谐参与者为了达到总体和谐所需要考虑的因素。

(5) 和谐行为：是指和谐参与者针对和谐因素所采取的具体行为总称。

(二) 和谐度方程

某单因素 (F^p) 和谐度方程为

$$HD_p = ai - bj$$

对于单因素和谐 ($m=1$)，和谐度方程为

$$HD = ai - bj$$

多因素和谐度方程为

$$HD = \sum_{p=1}^m \omega_p HD_p$$

或



$$HD = \prod_{p=1}^m (HD_p)^{\beta_p}$$

以上各式中符号含义，参见本书正文内容。

三、和谐论主要研究方法

(一) 和谐评估

和谐评估是对和谐参与者所处的状态和和谐程度水平进行的评估。通过评估，可以反映出总体和谐程度、所处的状态和水平以及时空变化规律，为和谐问题评价、寻找和谐策略提供依据。

主要有两种方法。

(1) 和谐度评价方法：通过建立和谐度方程，计算得到不同和谐问题的和谐度，以作为定量评估和谐程度的依据。

(2) 多指标综合评价方法：通过建立一套指标体系，采用综合评价方法，来综合评估其和谐程度。

(二) 和谐调控

和谐调控主要是在和谐评估的基础上，针对和谐问题采取一些措施以提高和谐程度而进行的调控。通过和谐调控，可以在一定程度上提高研究问题的和谐度，使和谐问题达到最佳和谐状态。

主要有两种方法。

(1) 和谐行为集优选方法：根据和谐度大小先选择和谐行为集，据此确定满足要求的调控措施。

(2) 基于和谐度方程的优化模型方法：通过建立和谐调控模型，得到最优和谐方案，以此作为满足要求的调控措施。

附录二 本书涉及的主要概念

中文	英文	在本书中首次出现时的页码
和谐	harmony	6
和谐论	harmony theory	6
和谐论五要素	five essential factors of harmony theory	37
和谐参与者	harmony participator	37
和谐目标	harmony objective	37
和谐规则	harmony regulation	38
和谐因素	harmony factor	38
和谐行为	harmony action	38
最优和谐行为	the optimal harmony actions	39
n方和谐	n-participator harmony	37
单因素和谐	single-factor harmony	38
多因素和谐	multiple-factor harmony	38
和谐度方程	function of harmony degree	40
和谐度	harmony degree	40
统一度	unity degree	40
分歧度	difference degree	40
和谐系数	harmony coefficient	41
不和谐系数	disharmony coefficient	41
综合和谐度	comprehensive harmony degree	41
完全和谐	complete harmony	43
基本和谐	nearly complete harmony	43
较和谐	fair harmony	43
接近不和谐	approaching disharmony	43



续表

中文	英文	在本书中首次出现时的页码
较不和谐	fair disharmony	43
基本不和谐	nearly complete disharmony	43
完全不和谐	complete disharmony	43
权重	the weight	69
和谐评估	harmony assessment	74
和谐度评价方法	the method of harmony degree evaluation	74
多指标综合评价方法	the method of multi-index comprehensive evaluation	83
和谐调控	harmony regulation	96
和谐行为集优选方法	the optimal selection method of harmony actions set	97
和谐行为集	harmony actions set	97
近似最优和谐行为	the quasi optimal harmony actions	98
和谐行为的优化	the optimization of harmony actions	98
和谐规则的优化	the optimization of harmony regulation	98
基于和谐度方程的优化模型	the function of harmony degree based optimization model	103

参考文献

- [1] 左其亭. 和谐论的数学描述方法及应用. 南水北调与水利科技, 2009, 7 (4): 129-133.
- [2] 左其亭. 和谐论及其应用的关键问题讨论. 南水北调与水利科技, 2009, 7 (5): 101-104.
- [3] 左其亭. 人水和谐量化研究进展及博弈论研究新途径. 见: 刘国东、梁川、覃光华. 第六届中国水论坛论文集——河流开发、保护与水资源可持续利用. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 333-336.
- [4] 左其亭, 赵春霞. 人水和谐的博弈论研究框架及关键问题讨论. 自然资源学报, 2009, 24 (7): 1315-1324.
- [5] 赵春霞, 左其亭. 人水和谐的博弈辨识方法及博弈力计算. 水利水电技术, 2009, 40 (4): 1-4, 19.
- [6] 左其亭, 高丹盈. 人水和谐量化理论及应用研究框架. 见: 高丹盈, 左其亭. 人水和谐理论与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [7] 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯选集 (第4卷). 北京: 人民出版社, 1995.
- [8] 百度百科. 和谐. <http://baike.baidu.com/view/18900.htm>, 2010-11-20.
- [9] 左其亭. 人水和谐论——从理念到理论体系. 水利水电技术, 2009, 40 (8): 25-30.
- [10] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论 (修订版). 北京: 高等教育出版社, 1991.
- [11] 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯全集 (第42卷). 北京: 人民出版社, 1979.
- [12] 池田大作, 奥锐里欧·贝恰. 二十一世纪的警钟. 卞立强译. 北京: 中国国际广播出版社, 1988.
- [13] 华清建. 东方之冠, 世博会中国馆实施方案. 上海工艺美术, 2010, (1): 8-13.
- [14] 萨迪奇 D. 权力与建筑. 王晓刚, 张秀芳译. 重庆: 重庆出版社, 2007.
- [15] 李广久. 博弈论基础教程. 北京: 化学工业出版社, 2005.



- [16] 左其亭, 张云, 林平. 人水和谐评价指标及量化方法研究. 水利学报, 2008, 39 (4): 440-447.
- [17] 左其亭, 张云. 人水和谐量化研究方法及应用. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [18] 左其亭. 净水资源利用率计算及阈值的讨论. 水利学报, 2011, 42 (12): 1469-1475.
- [19] 刘晓燕, 李小平, 张原锋. 黄河下游主槽恢复目标研究. 泥沙, 2009, (2): 1-7.
- [20] 左其亭. 和谐论及其在水资源学中的应用展望. 见: 夏军, 贾绍凤, 刘苏峡. 第七届中国水论坛论文集——水系统与水资源可持续管理. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [21] 左其亭, 庞莹莹. 基于和谐论的水污染物总量控制问题研究. 水利水电科技进展, 2011, 31 (3): 1-5.
- [22] 左其亭, 马军霞. 和谐论——一种新的研究社会科学的理论方法. 社科纵横, 2010, 25 (3): 8-10.
- [23] 郭丽君, 左其亭. 从和谐论看水资源开发利用方略. 水资源与水工程学报, 2010, 21 (4): 81-85.
- [24] 左其亭. 国际河流分水的和谐论理念及计算模型. 见: 戴长雷, 吴敏, 李治军. 第八届中国水论坛论文集——农业、生态水安全及寒区水科学. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.



左其亭

河南固始人，1967年12月16日生。2000年6月毕业于武汉水利电力大学（现武汉大学），获水文学及水资源专业博士学位，2004年11月破格晋升为教授，2006年6月遴选为博士研究生导师；现为郑州大学水科学研究中心主任，水利与环境学院教授、博士研究生导师，兼任中国自然资源学会理事、中国水利学会水资源专业委员会委员、中国自然资源学会水资源专业委员会委员兼秘书长、中国可持续发展研究会水问题专业委员会委员、国际水文科学协会(IAHS)会员、国际水资源协会(IWRA)会员；荣获宝钢优秀教师奖、河南省优秀中青年骨干教师、河南省优秀青年科技专家等称号。

主要从事区域水环境与水资源综合管理的教学和研究工作。主持国家自然科学基金、国家社会科学基金、国家“973”项目专题、国家重大水专项专题、国家科技支撑计划专题、国家重大工程项目课题、高等学校博士学科点专项科研基金等各类研究项目共32项。获省部级科学技术进步奖一等奖1项、二等奖4项、三等奖1项。出版学术专著10部，发表学术论文191篇，被SCI、EI、ISTP收录21篇。代表论著有《人水和谐量化研究方法及应用》、《资源节约型社会评价——指标·方法·应用》、《面向可持续发展的水资源规划与管理》、《城市水资源承载能力》、《水资源规划与管理》、《现代水文学》等。

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-032816-8



9 787030 328168 >

销售分类建议：自然科学总论

定价：39.00元