

# Application Prospect of Harmony Degree Equation in the Field of Hydrology and Water Resources

Qiting Zuo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan

<sup>2</sup>Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan

Email: zuoqt@zzu.edu.cn

Received: Feb. 28<sup>th</sup>, 2016; accepted: Mar. 16<sup>th</sup>, 2016; published: Mar. 24<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

As a very complex and giant system, the hydrology and water resources system has a close relationship with the economic-social system and ecological environment system, and they jointly form a complex system. Therefore, the research of the hydrology and water resources system requires very extensive theories, technology and methods. Among them, the quantitative research method of harmony theory based on the harmony degree equation plays a very important role in solving the problem of hydrology and water resources. The proposed process of the quantitative research method of harmony theory was reviewed, and the research demands in the field of hydrology and water resources and the harmony theory application were analyzed in this paper. Based on the summary of the previous researches, the application prospects of harmony degree equation in the field of hydrology and water resources were detailed mainly from three aspects, *i.e.* the systemic analysis computation, the comprehensive evaluation and the systemic decision analysis. The harmony degree equation (HDE) evaluation method, the quantitative coordination degree method based on the unity degree ( $a$ ), the quantitative opposition situation method based on the difference degree ( $b$ ), and the harmony equilibrium model based on the HDE have been proposed.

## Keywords

Harmony Theory, Harmony Degree Equation, The Quantitative Research Method of Harmony Theory, Hydrology and Water Resources System

---

作者简介: 左其亭, (1967-), 男, 河南固始人, 博士, 教授, 博导, 水文学及水资源专业。

文章引用: 左其亭. 和谐度方程在水文水资源领域应用展望[J]. 水资源研究, 2016, 5(2): 101-107.  
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.52013>

# 和谐度方程在水文水资源领域应用展望

左其亭<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州

<sup>2</sup>郑州大学水科学研究中心, 河南 郑州

Email: zuoqt@zzu.edu.cn

收稿日期: 2016年2月28日; 录用日期: 2016年3月16日; 发布日期: 2016年3月24日

## 摘要

水文水资源系统是一个十分复杂的巨系统, 不仅仅涉及水文水资源系统本身, 还与其相关联的经济社会系统、生态环境系统关系十分密切, 不可分割, 组成一个复杂系统。因此, 研究水文水资源系统需要借助非常广泛的理论、技术和方法, 其中以和谐度方程为基石构建的和谐论量化研究方法在解决众多水文水资源问题中具有独特的优势。本文首先回顾了和谐论量化研究方法的提出过程, 进一步分析了水文水资源研究的需求及和谐论的应用成果; 基于大量的前期研究经验总结, 全面阐述了和谐度方程在水文水资源领域应用展望, 主要从系统分析计算、综合评价、系统决策分析三方面介绍了和谐度方程在水文水资源领域的可能应用; 提出了和谐度方程(HDE)评价方法、基于统一度( $a$ )的协调程度量化方法、基于分歧度( $b$ )的敌对状况量化方法、基于和谐度方程的和谐平衡模型等。

## 关键词

和谐论, 和谐度方程, 和谐论量化研究方法, 水文水资源系统

## 1. 引言

水文水资源系统是一个十分复杂的巨系统, 在该领域中研究引用了大量的科学技术和方法, 也是许多新技术方法非常难得的应用示范领域, 同时也在应用中对新技术方法进行校验和拓展, 也派生出多种多样的研究分支。其中就包括笔者自 2009 年开始在研究水文水资源过程中提出的以和谐论量化研究为主要特色的和谐论理论方法体系[1]-[3], 并成功应用于人水关系研究中[4]-[6]。

笔者在文献[3]中把和谐论理论方法体系概括为: 以辩证唯物主义“和谐”思想为基本指导思想, 倡导“以和为贵、理性看待差异”的和谐思想, 用和谐论五要素来定性描述和谐问题, 用和谐度方程来定量刻画和谐问题, 度量和谐程度, 用和谐分析数学方法来构筑和谐论量化研究的数学基础, 运用和谐平衡理论来寻找和谐问题的“平衡点”, 采用和谐辨识、和谐评估、和谐调控方法对和谐问题进行量化研究[3]。

和谐度方程是针对和谐问题, 定量计算和谐程度大小的计算方程式, 是和谐论量化研究的基石[1]。目前, 和谐度方程已经应用于人水关系和谐程度评价、人水关系和谐调控、水资源优化配置模型、水资源与经济社会发展和谐平衡策略制定等, 为定量研究人水关系的和谐问题奠定基础。然而, 和谐度方程的提出时间不长, 需要探讨的问题很多, 其应用方面还待深入。本文是在前期研究经验的基础上, 从多个方面深入思考其应用的可能性, 展望其未来研究方向。

## 2. 和谐论量化研究方法提出过程

笔者于 2009 年发表了第一篇有关和谐度方程的论文[1], 其目的是为了用和谐度方程来定量表达和谐程度。

和谐度方程(harmony degree equation)的表达式为  $HD = ai - bj$ , 其中, HD 为和谐度(harmony degree),  $a$ 、 $b$  分别为统一度(unity degree)、分歧度(difference degree),  $i$ 、 $j$  分别为和谐系数(harmony coefficient)、不和谐系数(disharmony coefficient)。

在最早的文献[1]中, 定义  $a, b, i, j \in [0, 1]$ , 且  $a + b = 1$ 。后来, 考虑到可能存在“既不统一也不分歧的情况”, 即存在“弃权”现象, 此时  $a + b < 1$ , 所以, 后来在文献[2]中改为  $a + b \leq 1$ 。当然, 如果没有弃权现象, 则有  $a + b = 1$ 。

在 2012 年文献[2]中系统介绍了和谐论五要素、和谐度方程, 构建了以和谐论量化研究为主要特色的和谐论理论方法体系。其中, 和谐度方程是和谐论量化研究的重要基础, 后于 2015 年在文献[5]中被英文期刊《The Scientific World Journal》编辑注释称为“Zuo-harmony degree equation”(左氏和谐度方程), 简称 Z-HD 方程(Z-HD equation)或 HD 方程。

在 2015 年 12 月之前发表的相关论文中, 均定义: 当计算的  $HD < 0$  时, 取  $HD = 0$ , 这样就保证  $HD \in [0, 1]$ 。也就是说, 把 HD 的取值范围界定为  $[0, 1]$ , 而实际计算中也会出现小于 0 的情况。按照数学上分析, 因为  $a, b, i, j \in [0, 1]$ , 所以  $HD = ai - bj \in [-1, 1]$ 。

2015 年 11 月 3 日, 笔者在四川大学作学术报告介绍这一内容后, 在讨论中王文圣教授和他的学生认为“人为界定 HD 范围, 说明该方程在数学上有瑕疵”。在这一观点的启发下, 经过本人的深入思考和对比分析, 认为出现小于 0 的情况是符合实际的, 没有必要硬性界定  $HD \in [0, 1]$ 。

按照常理的定性分析如下: 当  $HD = 1$  时, 可以认为是完全和谐; 当  $HD = 0$  时, 可以认为是完全不和谐。即使是完全不和谐, 也没有走向完全的敌对状态; 当  $HD < 0$  时, 不仅仅是不和谐, 实际上开始走向敌对(opposition)状态; 当  $HD = -1$  时, 可以认为是完全的敌对状态。因此, 把 HD 的取值范围从  $[0, 1]$  扩展到  $[-1, 1]$  也是必要的。

考虑到和谐度方程的数学分析结果和定性对比分析, 不再对 HD 的取值范围进行硬性界定, 而是按照实际取值范围, 即  $[-1, 1]$ 。

此外, 为了表述上的方便, 根据和谐度(HD)是否大于 0, 分为两个区域: 1)  $[-1, 0]$  表达 HD 的敌对状态(the state of opposition), 从“完全敌对”到“完全不敌对”; 2)  $[0, 1]$  表达 HD 的和谐状态(the state of harmony), 从“完全不和谐”到“完全和谐”。当  $HD = 0$  时, 处于“敌对状态”与“和谐状态”之间“过渡”的临界点。“不和谐”并不一定就是“敌对”, 有可能就是没有任何和谐关系。同样, “不敌对”也并不一定就是“和谐”, 也可能没有任何敌对关系。敌对状态下的 HD 计算, 可以应用于军事对抗等问题的研究。在实践中, 针对和谐问题的计算, 一般所得到的  $HD \geq 0$ , 这种情况只讨论和谐状态对应的问题。

以上论述已写进《和谐论: 理论·方法·应用》(第二版) [3]一书中, 从此对和谐度方程中 HD 的取值范围进行了改动, 把原来人为界定  $[0, 1]$  取值范围改为实际计算的取值范围  $[-1, 1]$ , 拓展了 HD 的内涵。这是对和谐论量化研究方法的重大改进。

### 3. 和谐度方程在水文水资源研究中的应用概述

随着人类活动增强, 经济社会发展, 人水关系日益复杂, 现实用水矛盾众多, 特别是人类面临前所未有的开发带来的环境灾难, 必须贯彻人水和谐思想。人水关系必须走“和谐”之路, 这是人类发展的必然选择。和谐论正好符合这一需求, 在水文水资源研究中有“用武之地”, 可以广泛用于解决众多人水矛盾问题。自 2009 年提出和谐论量化研究方法以来, 已经有了一些可喜的应用, 概括介绍如下:

1) 基于和谐度方程, 定性理解人水关系和谐途径, 分析水资源开发利用方略。水资源开发利用涉及多个区域(或流域)、多个行业、多个用水户, 容易引起为了争水而形成的矛盾。为了走和谐发展之路, 人们必须达到一定共识, 使统一度( $a$ )较大、分歧度( $b$ )较小。比如, 要充分认识到水资源量是有限的, 人类开发利用水资源必须控制在一定的限度内, 遵守水资源开发利用总量控制原则。同时, 要尽量减小不和谐因素, 增大和谐系数( $i$ ),

减小不和谐系数( $j$ )。比如,在水资源开发利用工程中,不仅要充分发挥水资源的最大经济效益,同时也要考虑水量的变化可能带来水质、水生态的影响,严格按照水资源开发“红线”进行约束,使水资源开发与保护协调发展。这有助于对水资源开发利用方略的理解和执行。例如,在文[6]中,针对塔里木河流域,开展了人水关系定量分析与和谐调控研究,基于和谐分析提出了水资源开发利用对策方案。

**2) 应用于流域或区域人水关系和谐程度评估。**在分析现状和未来人水关系时,首先需要定量评估人水关系的和谐程度。然而,定量评估人水关系和谐程度并非易事,可以采用和谐度方程计算方法。首先,确定和谐论五要素,即和谐参与者、和谐目标、和谐因素、和谐规则、和谐行为。然后,按照和谐度方程中4个主要参数的确定方法,定量确定这4个参数( $a, b, i, j$ )。据此就可以计算出和谐度大小。例如,在文[2]中,针对郑州市现状水平年、规划水平年所做的和谐程度评估,为该地区水资源规划工作奠定基础。

**3) 用于定量寻找水资源开发与保护“平衡点”。**在人类发展过程中,开发利用水资源是必然的,不开发水资源是不可能的。只要人类生存和发展,就必然需要利用水。为了实现人水和谐,必须要尽量寻找到水资源开发与保护的“平衡点”。为此,笔者曾提出和谐平衡理论及计算模型,并应用于水资源与经济社会发展和谐平衡研究中,为制定水管理策略提供依据。例如,在文[7]中,计算了河南省18个区的和谐平衡状态,并分析了通过调控后的和谐平衡状态,据此提出和谐调控方案,为河南省水资源合理配置和水资源管理提供参考依据。

**4) 构建基于和谐度方程的水资源优化配置模型,用于解决水资源分配和调度问题。**水资源优化配置是水资源规划与管理工作的主要技术方法,如何在水资源优化配置模型中体现出人水和谐的思想,这是贯彻人水和谐思想的直接方式。目前有两种方法:一是把和谐度方程计算的和谐度作为水资源优化配置模型的目标函数;一是把和谐度方程计算的和谐度大小不低于某一值作为水资源优化配置模型的约束条件。目前已在多个水资源规划项目中采用了这一模型方法。例如,在文[2]中,针对郑州市全区,在和谐评估的基础上,构建了基于和谐度方程的水资源优化配置模型,并对规划水平年进行了水资源配置。

**5) 构建基于和谐目标的水污染物排放量分配模型,用于制定入河污染物排放量分配方案。**一定区域的水体在满足一定目标的条件下总存在一定的纳污能力,不可能接受太多的污染物排放量,需要制定入河污染物排放量的控制方案。根据控制目标、和谐规则,可以建立基于和谐目标的水污染物排放量分配模型。根据该模型的求解或多方案对比分析,可以得到较优的入河污染物排放量分配方案。这为水污染总量控制提供依据。例如,在文[2]中,以某城市湖泊 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 水污染负荷分配为例,构建了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的水污染物排放量分配模型,并制定了入河污染物排放量分配方案。

**6) 应用于跨界河流分水。**一条河流可能会跨越不同地区、不同省份(如黄河、长江),甚至会跨越不同国家(如多瑙河)等,这就是跨界河流。不同地区或国家都希望占用或实际确实需要使用更多的水资源,但一条河流的水资源可利用量是有限的,这就出现用水与供水之间的矛盾。为了保障河流健康,必然要保证总用水量控制在某一限度内,更进一步说,就是要合理控制用水总量。为了达到这一目的,就要合理分配各地区或各个国家的用水量,这就是跨界河流分水问题。但如何分水,是一项很难的问题,因为都希望多用水。笔者提倡用和谐的思想来处理跨界河流分水问题,已构建了基于和谐论的跨界河流分水模型,并取得比较成功的应用。例如,在文[2]中,针对一个跨越两个地区的跨界河流,研究了和谐分水模型及不同分水方案下的可能结果。

**7) 应用于最严格水资源管理制度“三条红线”量化研究。**最严格水资源管理制度是新时期我国政府针对日益严峻的水问题所创新提出的一项水管理模式,其核心内容是“三条红线”、“四项制度”。人水和谐思想是其重要的指导思想,在“三条红线”定量计算中,需要贯彻和谐论思想,和谐度方程在“三条红线”量化的已有应用包括:用水总量分配模型构建、入河排污量分配模型构建、水资源优化配置、“三条红线”控制水平综合评价、绩效综合评价等。例如,在文[8]中,针对郑州市及其各行政分区,评估了“三条红线”完成情况等级,为正确认识该地区水资源管理状况提供依据。

## 4. 和谐度方程在水文水资源领域应用展望

上文已简要介绍了和谐度方程在水文水资源领域的一些初步应用，而实际上可以有更广泛的应用，这里根据笔者的一些理解，只对其可能的应用进行展望，甚至有些可能是设想，没有详细的论述或应用举证，欢迎读者在实践中检验或拓展其应用。

### 4.1. 在水文水资源系统分析计算方面的应用展望

#### 1) 基于和谐度方程的系统辨识，来进行主要影响因素识别

分析水文变量之间的关系远近、分析众多因素中哪些是主要因素，是水文水资源领域的重要研究工作之一。目前应用于这一方面的方法很多，比如，回归分析、关联分析、灰色关联分析、模糊聚类分析、集对分析等。基于和谐度方程(HD 方程)的系统辨识方法(简称和谐辨识方法)，针对辨识影响系统总体状态(特别是和谐状态)的主要因素问题，具有更加显著的优势。主要优势在于通过和谐度方程计算，得到系统的总体状态，再根据各个因素与总体状态的关联程度，来判断其主要因素。

#### 2) 基于统一度( $a$ )计算，分析事件(或数列)的关联性

统一度( $a$ )可以表达不同事件(或数列)具有相同目标的相似程度，可以用于表达水文水资源事件之间的关联程度。因此，可以通过计算统一度( $a$ )大小，来分析事件(或数列)的关联性，判断哪些是相似性或关联性大的因素或事件。比如，应用于判断不同水文站频率曲线之间的相似性，不同区域(或流域)之间水文相似性、关联性，一个水文站观测的径流系列不同时间段的相似性，洪峰流量与水文-气象因素关联性，用水总量与不同经济社会指标之间的关联性，污染负荷总量与不同污染源之间的关联性等。此外，还可以应用于径流丰枯时空分类特征分析、面源污染负荷时空分类变化分析等。

#### 3) 基于分歧度( $b$ )计算，分析事件(或数列)的敌对状况

分歧度( $b$ )可以表达不同事件(或数列)出现分歧的强烈程度，可以用于表达水文水资源事件之间出现矛盾或敌对的程度。因此，可以通过计算分歧度( $b$ )大小，来分析事件(或数列)的敌对状况，判断哪些是矛盾或更敌对的因素或事件。比如，应用于判断洪灾、旱灾的诱因，洪灾、旱灾系统风险识别，灾害风险预警与防控对策模拟(即不同的对策会有不同的分歧度或博弈状态)。

### 4.2. 在水文水资源系统评价方面的应用展望

#### 1) 和谐度方程应用于人水关系和谐程度评估

笔者最初提出和谐度方程是从人水关系和谐程度评估研究开始的，在该方面的应用研究已有比较成功的实例，但至目前多数是针对人水关系总体和谐程度的评估，下一步的研究可以扩展到以下几方面：① 用于分区、不同时段人水和谐程度计算，研究人水和谐程度空间、时间变化规律；② 用于更具体的各种人水关系的和谐程度评估，比如，供-需水和谐评估、供水-发电-生态保护和谐评估、河流开发-保护和谐评估、闸坝水量-水质-生态和谐调控评估等；③ 与风险分析结合，研究考虑各种风险因素、变化环境下的和谐评估；④ 把和谐评估拓展应用于其他研究中，比如，基于和谐度方程研究影响因素辨识、主要因素辨识、多因素调控等。

#### 2) 基于和谐度方程的综合评价方法及应用

综合评价在水文水资源领域具有非常多的应用，其采用的评价方法也非常多。无论什么方法大致的原理是通过构建指标体系，对照评价标准，综合多种指标数据，计算得到综合评价结果。基于和谐度方程的评价方法(HDE 方法)，也可以应用于综合评价。其大致思路是：构建评价指标体系、评价标准；根据指标确定每个指标对应的等级；确定各个指标的权重；按照权重加权计算得到和谐度；和谐度大小表达综合评价结果，或者根据和谐度大小判断其所属的类型。目前，关于该方法的综合评价应用还没有开展研究，但根据其原理推断，和谐度方程(HDE)评价方法可以应用于以下主要方面：水质综合评价、湖泊水体富营养化评价、水安全评价、水资

源承载力综合评价、水资源开发利用程度评价、水资源可再生能力评价、生态环境脆弱性评价等。

### 3) 基于统一度( $a$ )计算, 研究水资源与经济社会发展协调程度

统一度( $a$ )可以表达两者或更多参与者之间的协调程度大小, 可以用协调度方法计算。反过来, 协调度大小也可以表达其协调程度。因此, 统一度( $a$ )计算可以应用于水资源与经济社会发展协调程度评价, 可以应用于定量反映“空间均衡、两手发力”的治水新思路。

## 4.3. 在水文水资源系统决策分析方面的应用展望

### 1) 基于和谐度方程的优化模型及应用

和谐调控是和谐论定量计算的主要技术方法之一, 其中基于和谐度方程的优化模型是其主要计算手段之一, 目前已有一些初步应用, 但远不够深入, 可以进一步拓展应用到水资源优化配置模型、水环境优化调控模型、水资源管理方案优选等。

### 2) 基于和谐度方程的和谐平衡模型及方案优选应用

基于和谐度方程构建的和谐平衡模型, 可以应用于水资源与经济社会发展协调方案优选、水资源供需方案选择、水资源开发与保护方案选择、水电站运行管理方案选择等。这一方面的研究还不多, 预计研究前景广阔。

### 3) 基于和谐度方程的水资源调度及决策分析

水资源调度及决策分析工作, 是水文水资源领域一项重要的工作任务。基于和谐度方程的优化模型, 可以应用于水源分配、水资源调度、水资源安全系统决策分析、闸坝调度等水资源调度及决策分析中。

## 5. 结语

本文简要介绍了和谐论量化研究方法的提出过程, 系统总结了和谐度方程在水文水资源研究中的应用成果; 在此基础上, 从水文水资源系统分析计算、水文水资源系统评价、水文水资源系统决策分析三大方面, 展望了和谐度方程在水文水资源研究中的应用前景。如果能如笔者所愿, 将是对和谐论理论方法体系的重要补充, 也是对水文水资源研究的有益推动。

由于水文水资源系统本身的复杂性, 特别是关注的人员多, 目前的研究已经非常广阔, 本文仅仅谈到笔者对和谐度方程在水文水资源领域中应用前景的一些思考和总结, 特别是仅仅提出一个推断性思路, 有些内容还需要再斟酌和实践检验, 因此, 敬请广大学者提出宝贵意见, 并期待共同讨论。

## 基金项目

国家自然科学基金(51279183)、国家社科基金重大项目(12&ZD215)、河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN030)。

## 参考文献 (References)

- [1] 左其亭. 和谐论的数学描述方法及应用[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(4): 129-133.  
ZUO Qiting. Mathematical description method and its application of harmony theory. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(4): 129-133. (in Chinese)
- [2] 左其亭. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.  
ZUO Qiting. Harmony theory: Theory, method and application. Beijing: China Science Press, 2012. (in Chinese)
- [3] 左其亭. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2016.  
ZUO Qiting. Harmony theory: Theory, method and application. 2nd Edition. Beijing: China Science Press, 2016. (in Chinese)
- [4] ZUO, Q. T., MA, J.X. and TAO, J. Chinese water resource management and application of the harmony theory. Journal of Resources and Ecology, 2013, 4(2): 165-171. <http://dx.doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2013.02.009>
- [5] ZUO, Q. T., JIN, R. F., MA, J. X., et al. Description and application of a mathematical method for the analysis of harmony. The Scientific World Journal, 2015(6): 1-9. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/831396>

- [6] ZUO, Q. T., ZHAO, H., MAO, C. C. et al. Quantitative analysis of human-water relationships and harmony-based regulation in the Tarim river basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2015, 20(8): 1-11.  
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001118](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001118)
- [7] 左其亭, 赵衡, 马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡研究[J]. *水利学报*, 2014, 45(7): 785-792.  
ZUO Qiting, ZHAO Heng and MA Junxia. Study on harmony equilibrium between water resources and economic society development. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2014, 45(7): 785-792. (in Chinese)
- [8] 张志强, 左其亭, 马军霞. 基于人水和谐理念的“三条红线”评价及应用[J]. *水电能源科学*, 2015, 33(1): 136-140.  
ZHANG Zhiqiang, ZUO Qiting and MA Junxia. Assessment and application of three red lines based on human-water harmony idea. *Water Resources and Power*, 2015, 33(1): 136-140. (in Chinese)