



自主创新 方法先行

水文水资源集对分析

Set Pair Analysis for Hydrology and
Water Resources Systems

王文圣 李跃清 金菊良 丁 晶 © 著



科学出版社

www.sciencep.com



自主创新,方法先行

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

水文水资源集对分析

**Set Pair Analysis for Hydrology and Water
Resources Systems**

王文圣 李跃清 金菊良 丁 晶 著

科技基础性工作专项项目(编号:2007FY140900)资助
国家自然科学基金(50779042、50679047、70771035)资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书初步建立了水文水资源集对分析方法体系,并较系统地将其应用于水文水资源分析计算、预测、评价及决策中;论述了集对分析的基本概念和基本原理,重点介绍水文水资源集对分析计算、评价、预测和决策方法,以大量实例阐明其各种应用。本书具有系统性、新颖性和实践性特点。

本书可作为高校水文水资源及环境类专业的高年级本科生和研究生的教学和科研参考书,也可供理工科大专院校气象、地质等相关专业的高年级本科生、研究生和教师阅读,同时也适合于有关科技工作者和工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水资源集对分析=Set Pair Analysis for Hydrology and Water Resources Systems/王文圣等著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-027160-0

I. ①水… II. ①王… III. ①水文学-集论-高等学校-教材②水资源-集论-高等学校-教材 IV. ①P33②TV211.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 059027 号

责任编辑:沈 建 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年4月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年4月第一次印刷 印张:12 1/4

印数:1—2 000 字数:232 000

定价:50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

对立统一及其中介过渡是客观世界的一个基本规律,也是客观事物相互联系、相互依存和发展演化过程中的一种普遍现象,如何用科学的方法描述和分析这种现象,揭示客观事物相互联系、相互依存关系,是包括水文水资源工作者在内的广大科技人员长期探索的一个问题。

我于 1989 年提出的集对分析是从宏观和微观,从同、异、反角度研究不确定性系统中集对普遍联系的一种新途径。时至今日,在中国知网上可以检索到的有关研究和应用集对分析的文献已达 1000 多篇,涉及众多领域,可见这一途径是可行的,且有极大的适用性。由王文圣等学者撰写的《水文水资源集对分析》专著,构建了水文水资源集对分析原理和方法体系,并广泛用于水文水资源评价、分析、预测、决策中,丰富了集对分析的内容。

水文水资源是一个涉及多变量、非线性和多种不确定性的学科,书中作者既有资深专家,又有年轻的学者。作者凭借深厚的专业功底和勇于探索的科学精神,在科技部创新方法工作项目和国家自然科学基金等的资助下,深入地探讨了集对分析在水文水资源领域中的应用研究,初步形成有中国特色的水文水资源集对分析途径,有力地促进了集对分析在水文水资源研究中的应用。这也是中国学者对水科学研究所做的一项重要贡献,相信随着集对分析原理和方法体系的进一步发展和完善,还会涌现出更深入和更系统的丰硕成果。

本书思路清晰、资料翔实、内容丰富、联系实际、易读易懂,能帮助读者较好地掌握集对分析的一些基本思路并用于相关的科技工作,可供水文水资源、气象、环境、地质等专业的高校师生、科研工作者和工程技术人员参考。

期待集对分析的思想、理论和方法能随着该书的出版,进一步深入人心并在科技界开出更加绚丽的花朵。

中国人工智能学会集对分析联系数学专业委员会(筹备)主任

浙江省诸暨市联系数学研究所

赵克勤

2009 年 5 月 8 日

前 言

水文水资源的分析计算、预测、评价及决策历来是水文水资源工作者关心的重大课题。长期以来,水文水资源工作者依据大量的实测水文水资源资料,努力地尝试寻求水文水资源的各种关系。包括①在时间演变过程中前后的关系;②与主要影响因素的关系;③空间分布上的关系。通过这些关系以达到对水文水资源的分析计算、预测、评价及决策。水文水资源现象受众多因素的影响存在着错综复杂的不确定性关系。当前处理水文水资源领域不确定性关系的途径主要有随机分析途径、模糊分析途径和灰色分析途径。这三条途径都是用一个不同含义的定量指标从总体上表示关系及其程度。单个定量指标具有简单、直观的特点,但是重要的关系结构却不能表达。我国学者赵克勤提出的集对分析思路为水文水资源不确定性关系分析开创了一条新途径。

在科技基础性工作专项项目(编号:2007FY140900)和国家自然科学基金(编号:50779042、50679047、70771035)的资助下,本书作者经过多年研究、探索和实践获得了原创性成果,并在国内外的学术会议和杂志上发表了许多有价值的论文,在此基础上归纳、总结,初步建立了水文水资源集对分析体系,形成了本书。全书共6章:第1章引出集对分析并介绍了集对分析在水文水资源不确定性分析领域的研究现状,指出了本书的内容;第2章介绍了集合、集对的基本概念,给出了联系度与联系数的定义、含义及其集对分析的主要内容,讨论了联系度和联系数的确定方法;第3章将集对分析系统地应用于水文水资源分析计算,给出了主要原理和案例;第4章介绍了一般集对评价法、模糊集对评价法、模糊集对聚类评价法和可变模糊集-集对分析耦合评价法并应用于水文水资源系统评价中;第5章介绍了基于集对分析的相似预测模型、秩次预测模型、年径流状态预测模型、聚类预测方法和组合预测模型,系统地将这些模型或方法应用于水文水资源预测中;第6章将集对优选法、模糊集对分析法、模糊集对聚类分析法应用于水文水资源系统决策分析中。

本书内容丰富,具有新颖性,且理论联系实际。本书对高等院校有关专业的研究人员、学生和从事实际工作的工程师具有参考价值,也可作为高校水文水资源及环境类专业、气象专业、农业专业和地理专业等的高年级本科生和研究生的教材和教学参考书。

本书的结构和章节内容经多次争辩和讨论才最终确定,然后分工着手撰写。本书第1章、第2章由王文圣撰写;第3章由王文圣、李跃清共同撰写;第4章4.1

节、4.5节由金菊良撰写,4.2节~4.4节由王文圣撰写;第5章5.1节~5.3节、5.5节~5.6节由金菊良撰写,5.4节由李跃清撰写;第6章6.1节由金菊良、王文圣撰写,6.2节~6.4节由王文圣撰写;前言和结语由王文圣撰写。初稿形成后,丁晶系统阅读,从本书的目的和特点出发提出了修改意见并对某些部分直接做了充实、完善和修改。王文圣在初稿的基础上,根据修改意见认真做了修改并进行统稿。作者对统稿后的书稿进行了最后审阅才最终定稿。

本书是集对分析在水文水资源领域应用研究的第一本专著。书中紧密结合水文水资源的特点和实际,完善、丰富和发展集对分析内容,提出了有特色的水文水资源集对分析理念和方法。书中绝大部分成果与作者多年研究和教学紧密相关。七年前,作者从赵克勤先生所著的《集对分析及其初步应用》一书中首次接触到集对分析概念,经过不断思考,逐步认识到这是一种新颖的不确定性分析途径并全面引入到水文水资源学科,进行了初步探索,取得了阶段性成果。随后在国家自然科学基金和中国气象局成都高原气象研究所开放基金的大力支持下,开展了深入和系统的研究,取得了不少开拓性成果。在科技部创新方法工作项目的进一步支持后,研究从总体上取得了突破性进展,最终构建了水文水资源集对分析体系。博士生万星、邓红霞、朱兵、廖洁、汪嘉杨、周秀平、张薇薇、郭彦、吴成国和硕士生王红芳、欧源、陈媛、陈晶、景林艳、范秋映、蒋尚明、袁潇晨等必须提及,他们先后参加集对分析的研究,做出了重要贡献。没有他们的工作,本书的撰写是困难的。在本书出版之际,作者向他们表示最诚挚的谢意。

感谢提供资料、参考文献的学者。感谢四川大学水利水电学院各级领导和水文水资源工程系诸多同事的帮助和大力支持,感谢中国气象局成都高原气象研究所的支持。还要感谢中国水利水电科学研究院王浩院士、秦大庸研究员、严登华教授,四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室曹叔尤教授和成都信息工程学院李祚泳教授的关心和鼎力支持。感谢集对分析创始人赵克勤先生在百忙之中欣然为本书作序。

感谢国家科学技术学术著作出版基金支持。

作者还要特别感谢科学出版社的同志为本书出版所付出的心血。没有他们的辛勤工作,本书就难于面世。

由于时间和作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请各位专家和读者给予批评指正。

作 者

2009年8月10日

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水文水资源的复杂关系	1
1.2 水文水资源复杂关系的不确定性及其传统分析途径	1
1.2.1 水文水资源复杂关系的不确定性	1
1.2.2 不确定性关系分析的传统途径	2
1.3 水文水资源不确定性关系分析的新途径——集对分析	3
1.4 集对分析的研究进展	4
1.4.1 集对分析的研究现状	4
1.4.2 集对分析在水文水资源中的应用研究	4
1.5 本书的目的与内容	9
第 2 章 集对分析基本原理	11
2.1 引言	11
2.2 集对的基本概念	12
2.2.1 集合概念	12
2.2.2 集对概念	12
2.3 集对分析的基本原理	13
2.3.1 联系度与联系数	13
2.3.2 联系度的意义	15
2.3.3 联系数的意义	16
2.4 联系度的确定	17
2.4.1 直接途径	17
2.4.2 间接途径	20
2.5 联系数的确定	25
2.5.1 间接途径	26
2.5.2 直接途径	29
2.6 水文水资源集对分析的主要内容	32
第 3 章 基于集对分析的水文水资源分析计算	33
3.1 引言	33

3.2	集对分析在水文相关分析中的应用	33
3.2.1	分析数据	34
3.2.2	基于 SPA 原理的水文相关分析	34
3.2.3	基于集对原理的主要影响因子识别	36
3.2.4	小结	37
3.3	集对分析在水文分类中的应用	38
3.3.1	方法原理	38
3.3.2	在年径流丰枯分类中的应用	39
3.3.3	在洪水分类中的应用	43
3.3.4	在汛期分期中的应用	46
3.4	集对分析在水文相似性选择中的应用	49
3.4.1	方法原理	49
3.4.2	在参证流域选择中的应用	50
3.4.3	在水文地质单元相似性选择中的应用	56
3.5	集对分析在水文变化特性分析中的应用	58
3.5.1	方法原理	58
3.5.2	在洪峰和洪量关系分析中的应用	59
3.5.3	在年径流空间变化特性分析中的应用	61
3.5.4	在年径流状态时序变化特性分析中的应用	64
3.6	集对分析在水文频率曲线拟合评估中的应用	67
3.6.1	常用频率曲线拟合度的定量分析方法	67
3.6.2	基于 SPA 的水文频率曲线拟合度定量分析	68
3.6.3	实例分析	69
第 4 章	基于集对分析的水文水资源系统评价	72
4.1	引言	72
4.2	一般集对评价法及其在水文水资源系统评价中的应用	73
4.2.1	方法原理	73
4.2.2	在区域地下水资源承载力评价中的应用	74
4.2.3	在水资源可再生能力评价中的应用	77
4.2.4	在水文预测模型评价中的应用	80
4.2.5	在水资源可持续利用协调程度评价中的应用	83
4.3	模糊集对评价法及其在水文水资源系统评价中的应用	85
4.3.1	方法原理	85
4.3.2	在区域地下水资源承载力评价中的应用	87
4.3.3	在水环境承载力评价中的应用	88

4.3.4	在水安全综合评价中的应用	90
4.3.5	在城市洪涝易损性评价中的应用	95
4.4	模糊集对聚类评价法及其在水文水资源系统评价中的应用	99
4.4.1	方法原理	99
4.4.2	在水资源可持续利用协调程度评价中的应用	100
4.4.3	在水质评价中的应用	101
4.4.4	在生态承载力评价中的应用	104
4.5	集对分析-可变模糊集耦合评价法及其在水文水资源系统评价中的 应用	106
4.5.1	方法原理	106
4.5.2	在流域水资源安全评价中的应用	107
4.5.3	在区域水资源承载力评价中的应用	111
4.5.4	在全国生态环境质量评价中的应用	113
第5章	基于集对分析的水文水资源预测	117
5.1	引言	117
5.2	基于集对分析的相似预测模型	118
5.2.1	方法原理	118
5.2.2	在多因子回归预测中的应用	120
5.2.3	在时间序列预测中的应用	123
5.3	基于集对分析的秩次预测模型	126
5.3.1	方法原理	126
5.3.2	在年径流预测中的应用	127
5.4	基于集对分析的年径流状态预测模型	129
5.4.1	方法原理	129
5.4.2	在年径流状态预测中的应用	132
5.5	基于集对分析的聚类预测方法	135
5.5.1	方法原理	135
5.5.2	在区域生态足迹趋势预测中的应用	137
5.6	基于集对分析的组合预测模型	140
5.6.1	方法原理	140
5.6.2	在冰情预测中的应用	142
第6章	基于集对分析的水文水资源系统决策	145
6.1	引言	145
6.2	集对优选法及其在水文水资源系统决策中的应用	146
6.2.1	方法原理	146

6.2.2	在水电规划方案优选决策中的应用	147
6.2.3	在城市防洪标准方案决策中的应用	149
6.2.4	在供水方案决策中的应用	151
6.3	模糊集对分析法及其在水文水资源系统决策中的应用	154
6.3.1	方法原理	154
6.3.2	在水库补偿效益方案优选决策中的应用	156
6.3.3	在防洪工程体系防洪安全决策中的应用	160
6.3.4	在流域水文站点分类决策中的应用	161
6.3.5	在自然灾害风险决策分析中的应用	162
6.4	模糊集对聚类分析法及其在水文水资源系统决策中的应用	167
6.4.1	方法原理	167
6.4.2	在灌区改造方案优选决策中的应用	168
6.4.3	在水利工程开发方案优选中的应用	170
结语		174
参考文献		175

第 1 章 绪 论

1.1 水文水资源的复杂关系

水文水资源现象(对象)的分析计算、预测、评价及决策历来是水文水资源工作者关心的重大课题。长期以来,水文水资源工作者依据大量的实测水文水资源资料,努力地尝试着寻求水文水资源的各种关系:①在时间演变过程中前后的关系;②与主要影响因素的关系;③空间分布上的关系。通过这些关系以达到对水文水资源现象(对象)的计算、预测、评价及决策。例如,通过寻求降雨-径流关系做径流预测;利用河流上下游水文要素(水位、流量)的关系做下游洪水预报;根据水位流量关系做水文分析计算;利用参证流域的水文要素和设计流域的关系延展设计流域的水文要素序列,使其具有代表性;通过洪峰和洪量的关系分析洪水变化特性;根据设计规定的各种指标标准和相应指标样本值的关系对水质和水资源的特征和特性进行分类、评价、决策;等等。显然,为了利用水文水资源的各种“关系”,必须建立这些“关系”。

要科学地建立水文水资源现象的各种“关系”,首要的问题在于剖析和掌握“关系”的性质。在气候变化和人类活动的影响下,连接大气、海洋、湖泊、河流、地下水、冰雪、陆地、生物、人类等圈层的水文水资源现象存在着错综复杂的关系。这些关系可能是线性的,也可能是非线性的;可能是动态的,也可能是静态的;可能是随机性的,也可能是模糊性的、灰色性的;可能是单一特性的,也可能是综合的、多种特性的;可能是宏观层次的,也可能是微观层次的。识别、处理和应用水文水资源的各种关系一直是水文水资源领域的研究核心。

1.2 水文水资源复杂关系的不确定性及其传统分析途径

1.2.1 水文水资源复杂关系的不确定性

受到众多因素的影响,水文水资源现象(径流、洪水等)变化极其复杂,具有很大的不确定性,表现出随机性、模糊性、灰色性、未确知性、分形、混沌等特性^[1]。例如研究对象发生与否表现为随机性,研究对象概念、边界的不确定性表现为模糊性;研究对象信息量不充分表现为灰色性;研究对象形态和结构的自相似表现为分

形性;研究客观事物相互过渡的各离散状态的不确定性表现为未确知性;等等。因此表征水文水资源现象的“关系”必然打上不确定性的烙印,赋有不确定性特征的秉性。水文水资源中形形色色的各种“关系”都可以看作是一种不确定性关系。例如,降雨与径流间存在一种统计关系;水质指标值与水质标准间因边界不确定呈现一种模糊关系。当然,这里指的是广义的不确定性关系。在水文水资源系统中,即使在一定情况下存在理想的确定性关系,但由于初始条件的不确定性和观测误差,最终不会显示出单纯的确定性关系,而是表现出确定性特征大背景下的不确定性关系。例如,在某断面的水位流量关系,一般是确定性的,但是实测的水位流量关系却显示出不确定性特征。

水文水资源复杂关系的不确定性主要源于开放、不断演化的水文水资源系统的不确定性。

1.2.2 不确定性关系分析的传统途径

水文水资源工作者在长期观测、测量、理论、假定、模型、公式、参数、预测、估计和决策等方面的实践基础上,已经逐步认识到水文水资源领域众多“关系”的不确定性,并且寻求可行的途径来处理这种不确定性关系,以达到水文水资源的分析计算、预测、评价及决策之目的。当前水文水资源领域出现了处理不确定性关系的众多途径,如随机分析途径、模糊分析途径、灰色分析途径、分形与混沌分析途径、广义熵分析途径、未确知数学分析途径。就目前而言,比较成熟的、常用的有三大类:一是基于概率统计理论的随机分析途径^[2~5];二是基于模糊原理的模糊分析途径^[6~8];三是基于灰色原理的灰色分析途径^[9~11]。随机分析途径通常以相关系数来表示水文水资源现象间的关系;模糊分析途径原则上以隶属度来度量水文水资源现象间的关系;灰色分析途径以灰关联度来衡量水文水资源现象间的关系。概括说来,传统的上述三条途径在处理水文水资源现象间的关系时集中体现在一个定量的指标上。例如,探讨对象 A 、 B 和 C 间存在的不确定性关系。 A 、 B 和 C 各有 n 项元素表征其变化特性,即 $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$, $B=(b_1, b_2, \dots, b_n)$, $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)$ 。若要分析计算 B 与 A (表示为 $B \sim A$)和 C 与 A (表示为 $C \sim A$)的关系并判断其关系的优劣程度,随机分析途径通过计算相关系数 $r_{B \sim A}$ 和 $r_{C \sim A}$ 并就数量的大小做出关系优劣判断,模糊分析途径通过计算隶属度 $U_{B \sim A}$ 和 $U_{C \sim A}$ 并做出判断,灰色分析途径通过计算灰关联度 $\gamma_{B \sim A}$ 和 $\gamma_{C \sim A}$ 并做出判断。

传统的三条途径有各自的特点和优势,它们分别从随机性、模糊性和灰色性角度出发分析水文水资源现象间的关系,并用一个不同含义的定量指标表示关系及其程度。这个定量指标从总体上反映了研究对象间的关系,如相关系数总体上反映了对象间的统计关系,隶属度总体上反映了对象间的模糊关系,灰关联度总体上反映了对象间的灰色关系。可见,三条途径具有简单、直观的特点。但是这些常规

途径也存在着某些不足:

(1) 常规途径在表达对象间的关系时集中体现在一个定量指标上,该指标仅从总体上反映了二者的关系,而重要的关系结构^[12,13]却不能表达。在分析水文水资源不确定性关系时,关系结构在理论分析和实践中均十分重要。仅靠一个定量指标来判断,在某些情况下会得出不客观、不全面甚至错误的结论。

(2) 常规途径往往只适用于随机性、模糊性、灰色性等特定类型的不确定性关系的分析,尚不适用于多种类型及其耦合的不确定性关系的分析。

(3) 常规途径往往只分析不确定性关系的静态特征,而不关注不确定性关系的动态特征。

显然一种新的不确定性关系分析途径有待引入水文水资源领域。我国学者赵克勤提出的集对分析思路^[12]为开创水文水资源不确定性关系分析新途径提供了基础。

1.3 水文水资源不确定性关系分析的新途径——集对分析

1989年在内蒙古包头召开的全国系统理论与区域规划会议上,赵克勤先生基于哲学中的对立统一和普遍联系的观点,原创性地提出了一种新的不确定性关系分析途径——集对分析(set pair analysis, SPA)。集对分析丰富了当今不确定性分析理论,为处理和应用水文水资源各种不确定性关系提供了具有广泛启发意义的新思路,其突出的优势是从整体和局部上分析研究对象间内在的“关系”。目前,集对分析在数学、物理、系统科学、信息科学、管理科学、智能科学、经济学、灾害学、农业科学、水利科学、生态学、资源与环境科学、教育等众多领域得到了广泛应用,取得了不少研究成果^[12,13]。

集对分析的核心思想是对不确定性系统的两个有关联的集合构建集对,再对集对的特性做同一性、差异性、对立性分析,然后建立集对的同异反联系度。可见,集对分析的基础是集对的构建,关键是联系度的计算。

在水文循环过程的背景下,水文水资源系统中普遍存在着各种各样的集合,按照不同的研究目的可组成适当的集对,如降雨与径流、洪涝与干旱、汛期与非汛期、冲刷与沉积、蓄水与泄水、余水与亏水、降水和蒸发、相似与非相似、大尺度和小尺度、超过与不及、合格与不合格、安全与破坏、一般与特殊、输入与输出、稳定与非稳定、相关与非相关、丰和枯等。这就为集对分析在水文水资源中的合理应用创造了先决条件。探求这些集对之间的不确定性关系正是水文水资源系统分析计算、预测、评价、决策等的基本前提。

基于此,将集对分析全面而系统地引入水文水资源领域,创建水文水资源不确定性分析新途径,推动水文水资源不确定性分析理论探讨和应用研究的快速发展。

是十分必要的。经过近 10 年的工作,目前已取得了一些研究成果和进展,如:完善了集对分析原理,探讨了水文水资源集对分析的基本理念,建立了水文水资源集对分析机制,提出了计算策略,发展了既有科学性又具实践性的应用模式。集对分析大大丰富了水文水资源学的研究内容,补充、完善和改进了传统的分析计算、预测、评价及决策方法,具有相当的科学价值和实用意义。

1.4 集对分析的研究进展

1.4.1 集对分析的研究现状

集对分析从 1989 年提出以来,已在数学、物理、信息管理、经济、农业、林业、生物、资源与能源、交通、教育等众多领域得到了广泛的应用研究。相关文献较多,这里仅列出部分文献以飨读者。

文献[14]~[16]把集对分析法运用到数学中并有效地解决了某些不确定性问题。文献[17]在集对分析的同、异、反概念基础上,对一类常见的多层群决策问题给出了相应的处理方法,并进行了参数灵敏度分析,决策方法简单明了,操作方便。集对分析在人工智能(AI)中得到了大量的应用研究,取得了有意义的成果^[18~20]。例如,将集对分析用于危险品物流系统危险性评价^[21];将联系数在燃气输配系统风险分析中进行了应用^[22];将集对分析用于空袭作战方案的决策^[23];将可拓方法和集对方法结合,为经济策略的生成提供了简洁便利的工具^[24];利用集对分析的同异反统计方法研究平衡施肥问题,由此制订调节施肥方案^[25];将集对分析用于造林技术中伴生树种的选择^[26]。此外,文献[27]探讨了集对分析在企业能源管理中的应用;文献[28]把集对分析引入到物理教学实验中;文献[29]将集对分析系统地应用于体育管理中;文献[30]建立了高校引进师资队伍质量状况的集对分析评价模型;文献[31]基于集对分析提出了教学评价模型;文献[32]将集对分析应用于企业专业技术人员绩效考评中;文献[33]提出了基于联系数的图像检索方法;文献[34]建议了多元集对分析动态聚类统计方法并进行了应用研究;文献[35]讨论了基于集对分析的灰数决策法在交通规划中的应用,等等。

就目前集对分析的研究现状而言,表现为如下三个特点:①应用广泛,定性与定量相结合;②以集对分析为框架,多种多样的耦合方法日益增加;③集对分析原理及方法在不断完善和创新。

1.4.2 集对分析在水文水资源中的应用研究

1. 集对分析在水文水资源分析计算中的应用

集对分析应用于水文水资源分析计算中,取得了一定的研究成果。

针对传统水文相关分析只能描述水文变量之间宏观上的相关关系这一不足,文献[36]提出用集对分析的联系度刻画水文变量之间微观上的相关结构,分析了相关结构中各种关系所占的比例和性质。在此基础上,探讨了基于集对分析原理的因变量主要影响因子的识别方法,并用于径流回归分析中。实例分析表明,基于集对分析原理的水文相关分析比常规水文相关分析更为有效、客观和合理,在水文水资源学中具有重要的应用价值。

文献[37]将集对分析原理用于频率曲线拟合优劣评判中,用联系度指标作为频率曲线拟合度的准则,并与相关系数最大、相对误差和最小、误差平方和最小等准则进行了对比,表明联系度能提供频率曲线拟合优劣评判的更多信息。为克服年径流丰枯分类仅考虑年径流本身大小的缺陷,文献[38]提出了基于集对分析的径流丰枯分类新方法。该法不仅考虑了年径流的大小,而且兼顾了其年内时程分配,计算简单,分类结果可信。以金沙江干流某水文站月径流资料为例,将集对分析用于径流丰枯分类,研究结果表明该方法是可行的。

文献[39]提出了水文水资源系统相似性选择的新方法——集对分析法,给出了选择的原理和步骤。在此基础上,以流域水文地质单元相似性选择为例对建议方法进行了应用,并与模糊优选模型进行了对比。研究结果表明,集对分析法适合于水资源系统相似性选择和评价,方法概念明确,计算量小,评价结果可靠。文献[40]将集对分析应用于参证流域选择分析中,选择结果与模糊分析法、灰关联分析法和投影寻踪法一致。

文献[41]尝试将集对分析原理用于洪峰和洪量关系分析,以岷江上游紫坪铺站年最大洪峰流量和各时段洪量为例进行计算,并将联系度和相关系数、隶属度和灰关联度作了对比分析。结果表明,尽管集对分析法与传统分析法结果一致,但集对分析法计算简单,使用方便,特别是能清晰和形象地显示关系的结构。

流域汛期分期是一项相当复杂的工作,涉及气象、水文、下垫面条件等多个方面。文献[42]提出了基于集对分析的流域汛期分期方法,分期成果与动态模糊C-均值聚类法结果相同,但集对分析法原理简单,计算过程直观形象。

文献[43]运用集对分析研究了长江上游主要河流径流丰枯空间变化特性,表明长江上游水资源空间分布在总体上丰枯同步。文献[44]建议了年径流状态时序变化特性分析的集对分析法,以长江上游干、支流上的几个重要水文站的年径流资料为例进行验证,该文为年径流状态时序变化特性分析提供了一条新途径。

从单一风险转向综合风险是洪灾风险研究的必然趋势。文献[45]根据洪灾风险的特性,引入信息的整体性原理,并应用集对分析原理对洪灾系统风险进行分析,提出了洪灾系统风险识别的同异反分析方法。该方法将干旱、洪涝及其风险信息综合体现在洪水灾害系统的联系度中,从而为进一步开展详尽的综合风险分析奠定了理论基础。

2. 集对分析在水文水资源评价中的应用

水文水资源评价是水文水资源学中另一个重要研究内容。集对分析在水文水资源评价中获得了大量的应用研究,取得了较大的进展。

2000 年文献[46]基于集对分析原理提出了地下水水质评价方法,并探讨了联系度中 I 、 J 不同赋值的评价结果。同年,文献[47]建立了湖泊水质富营养化评价的集对分析法,将该法运用于青藏高原的青海湖、武汉东湖、杭州西湖、安徽巢湖和昆明滇池的富营养化状况评价,评价结果与模糊综合评判法、模糊灰色评定法、评分统计法、灰色聚类法的评价结果基本吻合。2003 年文献[48]应用集对分析法对汉江中下游河流的水环境质量进行了评价,表明集对分析法比模糊数学法更能准确地评价出水水质级别。2004 年王栋等^[49]将集对分析应用于水环境评价领域,建立了基于集对分析的水体营养化评价一级模型和基于集对分析-模糊集合论的水体营养化评价二级模型。2009 年文献[50]提出将集对分析与遗传算法相结合的方法对水质进行评价,采用遗传算法对差异不确定系数 I 值进行优化,从而使得评价结果更为直观、方便。2007 年文献[51]提出了广义水环境承载能力评价的集对分析模型,并对广东省水环境承载能力进行了评价。

2003 年文献[52]利用集对分析法建立了区域水资源开发利用程度评价新模型,并将其应用于西安市及其市区的水资源开发利用程度的评价中。2006 年文献[53]应用集对分析法对关中地区的地下水资源承载力进行综合评价,评价结果与模糊综合评价、投影寻踪法和物元分析法的结果基本相同。2008 年文献[54]将五元联系度用于区域水资源再生能力评价中,并建议了差异不确定分量系数的取值方法,结果表明,集对分析法用于区域水资源再生能力评价是可行而简便的。同年文献[55]在区域水资源承载能力评价指标体系及其评价标准建立的基础上,提出用基于集对分析的模糊综合评价模型评判安徽省淮北市现状水平年(2004 年)、规划水平年(2010 年和 2020 年)的水资源承载能力。同年文献[56]将集对分析法应用到区域地下水资源承载力综合评价中,所得结果与其他方法结果基本相同,文中还提出了模糊联系度的思想。2006 年文献[57]应用集对分析法对岷江上游生态环境脆弱性进行了评价,为区域生态环境的进一步研究及脆弱性生态环境的恢复重建提供了科学依据。同年文献[58]建立了区域生态承载能力评价的集对分析法,用联系度来描述评价对象与评价标准的同异反程度,评价结果清晰地显示了集合之间的关系结构,并动态地给出综合关系数。用该方法对盐城滨海湿地区域生态承载能力综合评价结果表明,集对分析法对信息的描述更全面、直观,评价结果较可靠。

2005 年文献[59]运用集对分析法对黄河干流梯级水库补偿效益进行评价,评价结果与层次分析法和突变评价法一致。流域水资源安全的定量评价对进一步提

高流域水资源可持续利用水平,优化产业结构,缓解水资源供需矛盾具有重要意义。2008年文献[60]提出了用集对分析法构造流域水资源安全评价的可变模糊集相对隶属度方法,该法综合利用了评价指标样本值与评价标准等级之间的各单指标联系度的评价信息,评价结果合理、精度高。

2006年文献[61]为了对水文预测模型的可靠性和有效程度进行评定和检验,引入集对分析方法,从同、异、反3个方面刻画预测模型的误差分布情况,利用联系度描述水文预测模型的预测精度,从而建立了基于集对分析的水文预测模型评估方法。与其他水文预测模型评估方法相比,集对评估方法具有计算简便和实用的特点。

2006年文献[62]利用集对分析原理描述水安全系统中存在的不确定性问题,提出了基于集对分析的水安全评价法。该方法用联系度描述有关不确定性问题,充分利用研究问题中所包含的信息,不仅能反映评价区域的水安全趋势,还避免了以往评价需要计算权重的问题。应用结果表明,该法简单实用,可用于区域水安全的分析评价。2008年文献[63]用集对分析方法建立了基于联系数的流域水安全评价模型。该模型既可测度流域水安全整体状态的高低程度,又可识别影响流域水安全状态的重要指标和重要子系统。模型在巢湖流域水安全评价中得到了成功的应用。

2009年文献[64]基于集对分析原理提出了一种新的水资源系统评价方法——集对评价法。建议方法考虑了标准分界的模糊性,避免了直接确定联系度中的差异不确定(分量)系数。以水资源可持续利用协调程度评价和区域地下水资源承载力评价为例,探讨了集对评价法在水资源评价中的应用。研究表明,建议方法结构简单,计算简洁,易操作,评价结果可靠。

3. 集对分析在水文水资源预测中的应用

2004年文献[65]将集对分析中的联系度概念用于云南省强降水过程预报集成,首先对强降水天气过程进行分析,确定MM5模式预报、省台客观指导预报、预报员经验预报与云南强降水过程的联系度,用权重法将强降水预报进行集成,从而给出集不同预报于一体的云南全省性强降水过程预报集成方法。

2004年文献[66]根据集对分析的原理和方法,对水资源变化趋势的预测进行了研究,利用前期的预测因子进行计算,可以使集对分析具有预测功能。通过反复调整预测因子各区段的分界值,可以使水资源要素计算等级和实际等级的历史拟合率达到最大,其结果是比较好的。这是对水资源变化趋势的预测研究的一种新尝试。

2006年文献[67]提出基于集对联系度的水文径流量状态预测方法,该法将径流量以及相应的气象资料(如平均气温、平均绝对温度、平均绝对气压等)环境因素