

基于CAS的水资源优化配置 理论与实践

张爱军 编著



中国矿业大学出版社

基于 CAS 的水资源优化 配置理论与实践

张爱军 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

水资源优化配置是实现水资源合理开发与利用的基础,是水资源可持续利用的根本保证。本书在阐述水资源优化配置的概念和国内外研究现状的基础上,提出了水资源优化配置模型建立和求解的新途径—复杂适应系统(CAS)。

本书的核心内容主要有: CAS 理论应用于流域水资源配置的可行性分析;基于 CAS 的水资源配置过程;水资源配置系统各主体的刺激—反应规则及其演化规则;水资源配置的复合模型体系;基于混合遗传算法的水资源配置程序;基于 CAS 的徐州市水资源配置模型的建立、求解及结果分析。

本书具有理论性和实践性强、系统全面的特点,可供水利、水资源、经济和自然资源管理等相关领域的科研、管理及决策者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

基于 CAS 的水资源优化配置理论与实践/张爱军编著.

徐州:中国矿业大学出版社,2014.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2420 - 0

I. ①基… II. ①张… III. ①水资源—资源配置—研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 158189 号

书 名 基于 CAS 的水资源优化配置理论与实践

编 著 张爱军

责任编辑 杨 廷 李 敬

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 850×1168 1/32 印张 5.75 字数 149 千字

版次/印次 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

水资源是一种十分重要而又特殊的自然资源,是人类和一切生物赖以生存的不可缺少的一种宝贵资源,是支撑生命系统、非生命环境系统正常运转的重要条件,同时也是一个国家或地区经济建设和社会发展的重要自然资源和物质基础。中国水资源在时间和空间上的分布很不均匀,水环境日益恶化,水的供需矛盾十分突出,解决水资源供需矛盾的基本途径之一是对水资源进行合理开发与利用,实行水资源的优化配置。故水资源优化配置的研究是当今的一个热点问题。

1994 年美国的霍兰教授提出的复杂适应系统(简称 CAS)理论,对于人们认识、理解、控制、管理复杂系统提供了新的思路。水资源系统作为一个复杂大系统,按照 CAS 理论,可以对水资源系统的若干个相对独立的自主实体(主体)构成的合作共生网络进行配置与调度。因此,将 CAS 理论引入水资源优化配置具有较先进的理论基础和较高的实用价值。

本书围绕此问题,展开论述如下内容:对 CAS 理论应用于流域水资源配置进行可行性分析;给出了基于 CAS 的水资源配置过程,共分三步:第一步确定执行系统,第二步进行信用分派,第三步应用遗传算法进行规则发现;构建了水资源配置系统各主体的刺激—反应规则,运用进化博弈的有关理论,分析了水资源配置系统主体的演化规则;在以上分析的基础上,构建了复合模型体系来进行水资源配置;编制了基于混合遗传算法的水资源配置程序;根据 CAS 的相关理论,按照水资源配置的计算模型,对徐州市的水资源进行配置,并进行了相应分析。

本书分 6 章。第 1 章水资源配置理论基础,包括水资源优化配置的概念、国内外研究进展和本书的主要内容;第 2 章基于 CAS 的水资源配置基本理论研究,包括 CAS 理论应用于水资源配置的理论和过程分析;第 3 章基于 CAS 的水资源配置系统解析,包括水资源配置系统主体的结构、刺激—反应规则和演化规则;第 4 章基于 CAS 的水资源配置模型研究,包括 CAS 水资源配置模型和计算方法;第 5 章基于 CAS 的水资源配置模型的应用——以徐州市为例,包括以徐州市为实例的 CAS 水资源配置模型的求解和结果分析;第 6 章结论与展望,包括本书的主要结论和应用 CAS 相关理论进行水资源配置研究的不足。

本书由作者的博士论文和学术论文构成,本书中的研究成果和数据收集的过程中得到河海大学商学院的王慧敏博导、胡震云老师等的指导和大力帮助,在此表示诚挚的谢意。

在编写中作者力求精益求精,但由于水平有限和认识不足,书中不当之处在所难免,恳请读者提出批评和意见,以便今后进一步完善。

作 者

2014 年 6 月

目 录

前言	1
1 水资源配置理论基础	1
1.1 水资源问题与挑战	1
1.1.1 水资源与可持续发展	1
1.1.2 水危机——中国水资源态势	2
1.2 水资源优化配置的概念	5
1.2.1 水资源优化配置的含义和内容	5
1.2.2 水资源优化配置的意义	10
1.2.3 水资源优化配置的目标	11
1.2.4 水资源优化配置的对象	13
1.2.5 水资源优化配置的原则	15
1.2.6 水资源优化配置的手段	18
1.2.7 水资源优化配置的机制	20
1.3 水资源优化配置研究进展	22
1.3.1 国外水资源优化配置研究进展	22
1.3.2 国内水资源优化配置研究进展	24
1.4 本书主要内容和方法	30
2 基于 CAS 的水资源配置基本理论研究	31
2.1 复杂性系统的国内外研究进展	32

2.1.1	复杂适应系统(CAS)理论	32
2.1.2	国外复杂性系统研究进展	37
2.1.3	国内复杂性系统研究进展	40
2.1.4	复杂性系统的应用	42
2.2	CAS 理论应用于水资源配置的理论分析	48
2.3	水资源配置的复杂适应性描述	51
2.4	基于 CAS 的水资源配置过程分析	55
2.4.1	执行系统	55
2.4.2	竞争机制与信用分派	56
2.4.3	基于遗传算法的规则发现	61
2.5	本章小结	67
3	基于 CAS 的水资源配置系统解析	69
3.1	水资源配置系统的主体结构	69
3.1.1	水资源配置系统子系统及相互关系	69
3.1.2	水资源配置系统的主体层次结构	72
3.2	水资源配置系统主体的刺激—反应规则	73
3.2.1	工业主体的刺激—反应规则	73
3.2.2	农业主体的刺激—反应规则	74
3.2.3	生活主体的刺激—反应规则	77
3.2.4	生态环境主体的刺激—反应规则	79
3.3	水资源配置系统主体的演化规则	80
3.3.1	基于进化博弈的水资源配置演化过程	80
3.3.2	节水策略下的水资源配置系统主体演化分析	93
3.3.3	产业结构调整策略下的水资源配置系统主体演化分析	94
3.4	本章小结	95

4 基于 CAS 的水资源配置模型研究	96
4.1 基于 CAS 的水资源配置计算逻辑框架	96
4.1.1 基于 CAS 水资源优化配置模型的整体框架	96
4.1.2 基于 CAS 水资源优化配置模型的计算模型 ——二层复合算法模型	97
4.2 基于 CAS 的水资源配置模型	97
4.2.1 整体层系统模型	97
4.2.2 个体层刺激—反应规则的数学模型	103
4.3 基于 CAS 的水资源配置计算方法——混合遗传算法	107
4.3.1 基本遗传算法	107
4.3.2 混合遗传算法	110
4.4 本章小结	113
5 基于 CAS 的水资源配置模型的应用——以徐州市为例	114
5.1 徐州市基本情况	114
5.1.1 自然概况	114
5.1.2 社会经济发展状况	117
5.1.3 水资源概况	120
5.1.4 水资源开发利用现状	129
5.1.5 徐州市水资源开发利用存在的问题	131
5.2 徐州市水资源配置系统主体分析	134
5.2.1 徐州市水资源配置的主体	134
5.2.2 徐州市水资源配置主体刺激—反应规则	135
5.3 节水策略下徐州市基于 CAS 的水资源配置结果 及分析	140

5.3.1	徐州市的节水策略	140
5.3.2	节水策略下的徐州市水资源配置结果及分析	146
5.4	产业结构调整策略下徐州市基于 CAS 的水资源 配置结果及分析	151
5.4.1	徐州市的产业结构调整策略	151
5.4.2	改变产业结构策略下的徐州市水资源配置 结果及分析	152
5.5	本章小结	156
6	结论与展望	158
6.1	主要结论	158
6.2	展望	160
	参考文献	162

1 水资源配置理论基础

1.1 水资源问题与挑战

1.1.1 水资源与可持续发展

自 1992 年世界环境与发展大会通过《21 世纪议程》以来,可持续发展思想已成为世界各国制定社会经济发展战略的主要依据,我国也在 1994 年发表了《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》,将可持续发展战略作为社会经济发展总体战略,纳入国家经济与社会发展规划。

按照联合国环境与发展委员会的解释,可持续发展的定义是:“既能满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展模式。”其强调三个主题:代际间发展的公平性、区域间发展的公平性和社会经济发展与人口、资源、环境间的协调性。

水资源是一种十分重要而又特殊的自然资源,是人类和一切生物赖以生存的不可缺少的一种宝贵资源,是支撑生命系统、非生命环境系统正常运转的重要条件,同时也是一个国家或地区经济建设和社会发展的主要自然资源 and 物质基础。如果缺水或无水,将无法维持地球的生命力和生态、生物的多样性,将无法开展各项社会经济活动,因此,水资源的丰枯以及开发利用情况在很大程度上影响着—个地区的经济发展与生态平衡,水资源的可持续发展是整个社会可持续发展的组成部分之一。

水资源的可持续发展,指水资源不仅要实现当今时代的共享,

还要与后代共享,不仅是人对水资源的共享,还有人与环境对水资源的共享,合理全面考虑水资源、社会经济和生态环境之间的关系,进行水资源的合理配置,是实现水资源可持续发展的重要保证。

1.1.2 水危机——中国水资源态势

地球上的水量极其丰富,但水圈中的水量的分布很不均匀,大部分水储存在低洼的海洋中,占 96.54%,而且其中 97.47% 为咸水,淡水仅占总水量的 2.53%,且主要分布在冰川与永久积雪(占 68.70%)和地下(30.36%)。如果考虑现有的经济、技术能力,扣除无法取用的冰川和高山顶上的冰雪储量,理论上可利用的淡水不足地球总贮水量的 1%。我国水资源总量约为 28 124 亿 m^3 ,人均占有量很低,是水资源十分紧缺的国家之一。我国水资源具有以下特点。

(1) 水资源总量较丰富,但人均水量较少

我国的国土面积约为 960 万 km^2 ,多年平均降水量为 648 mm,降水总量为 61 900 亿 m^3 ,降水量中约有 56% 消耗于陆面蒸发,44% 转化为地表和地下水资源。根据水利部 1986 年完成的全国水资源调查评价成果,我国平均年径流总量为 27 115 亿 m^3 ,年均地下水资源量为 8 288 亿 m^3 ,扣除重复计算量,我国多年平均水资源总量为 28 124 亿 m^3 ,居世界第 4 位,位于加拿大、巴西和俄罗斯之后,略多于美国和印尼,占世界水资源总量的 7%。但我国幅员辽阔、人口众多,我国人均占有水资源量约为 2 220 m^3 ,约为世界人均水资源量的 1/4,处于缺水上下限(3 000~1 000 $\text{m}^3/\text{人}$)的中值,按 UNDDSMS 分类,排位在世界 100~117 位之间,已经被联合国列为 13 个贫水国家之一。

(2) 水资源时空分布极不均匀

我国地域辽阔、地形复杂,跨越了从寒温带到热带等 9 个气候带,从东南到西北,呈现出由湿润、半湿润到半干旱、干旱乃至极端

干旱的变化趋势,各地水文循环情势有明显差异,表现出很强的地域性,因此我国的降水具有年内、年际变化大,区域分布不均匀的特点,北方水资源贫乏,南方水资源丰富,南北相差悬殊。长江及其以南诸河的流域面积占全国总面积的 36.5%,却拥有全国 80.9%的水资源,而长江以北的河流的流域面积占全国总面积的 63.5%,却只占有 19.1%的水资源量,远远低于全国平均水平。

河川径流在时间上的分布也很不均匀,大部分河川径流靠降水补给,其变化规律主要受气候特别是降水的影响,最大与最小年径流的比值,北方河流多在 10 以上。全年的降水量大部分集中在夏季湿润高温的时期,且以暴雨形式出现。我国降水量在各年之间的变化也很大,并有连续干旱年和多水年交替出现的情况,且这种变化以北方尤为突出。

(3) 水资源与人口、耕地分布不相匹配

我国水资源空间上分布的不均匀性与全国人口、耕地分布上的差异性,造成了我国水资源与人口、耕地不相匹配的特点,严重制约我国工农业生产的发展。以北京为例,北京市水资源总量高达 40.8 亿 m^3 ,按单位国土面积水资源占有量计算大约相当于河北省的两倍,但人均可利用水资源量仅为 370 m^3 左右,远远低于全国的人均水平。上海和天津则更少,人均拥有量仅分别为 200 m^3 左右和 160 m^3 左右(未含调入的水资源量)。

(4) 水环境日益恶化

随着社会经济的发展,城市规模的不断扩大,用水量持续增长,排入江河湖库的废污水也不断增加,20 世纪 70 年代,全国污水排放总量约为 120 亿 m^3 ,到 2005 年为 717 亿 m^3 ,其中工业污水占 2/3,第三产业和城镇居民生活污水占 1/3(2005 年中国水资源公报),我国水污染呈恶化的趋势。据 2005 年中国环境状况公报公布,2005 年国家环境监测网七大水系的 411 个地表水监测断面中,I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 41%、

32%和 27%。其中,珠江、长江水质较好,辽河、淮河、黄河、松花江水质较差,海河污染严重。水质降低加剧了水危机,全国由于水污染造成的直接经济损失每年高达 200 亿元。北京、天津、上海、广州、太原、西安等城市为解决饮用水问题,满足城市居民对饮用水水质和水量的要求,取水距离越来越远,蓄水引水工程越来越大。由于地表水不足,许多城市大量开采地下水,出现了超采地下水现象,而过量开采地下水,致使地下水位下降,水质恶化,区域沉降日益严重。根据对全国 27 座主要城市的统计,有一半城市以地下水为主要的供水水源,其中有 11 座为北方城市。部分城市地下水有不同程度的污染,出现了地下水总硬度、硝酸盐、氨氮、亚硝酸盐超标现象。在 27 座主要城市中有 24 座城市出现了地下水降落漏斗,且该地下水漏斗有继续扩大、水位加速下降的趋势。在 27 座主要城市中,有 6 座已发现地面沉降,7 座有岩溶塌陷问题。

(5) 水资源浪费巨大,加重了供水紧张

水资源短缺,除与水资源本身特性、水污染严重有关外,还与水资源浪费有关。农业是用水大户,用水浪费最为严重,主要表现为大水漫灌,实际灌溉用水量超过作物需水量,渠系水的利用系数不到 50%,灌溉水的利用率低;工程老化,不少灌区达不到设计灌溉面积。工业工艺水平低,水的重复利用率低,单位产品的耗水量高。例如,我国平均吨钢耗水量为 $70\sim 100\text{ m}^3$,而法、美、日吨钢的耗水量分别为 3.75 m^3 、 4.0 m^3 和 2.1 m^3 ,仅为我国的 $1/8\sim 1/50$ 。城市供水管道、排水管道的漏失也不可忽视,据有关资料分析,供水管道损失率一般为 $5\%\sim 10\%$,有的城市高达 15% 以上。

综上所述,中国水资源总量并不丰富,时空分布不均,水污染严重,北方部分地区水资源开发利用已经超过资源环境的承载能力,全国范围内水资源可持续利用问题已经成为国家可持续发展战略的主要制约因素。

针对我国目前水资源供需矛盾突出问题,解决的基本途径有

以下四条：

① 开源。对于水资源量丰富且水资源开发利用率低的地区，可以通过加大投资、兴修水利工程和设施、开发新的水源、提高水资源利用效率，增加该地区的水资源供应能力。

② 节流。在水资源相对贫乏、水资源利用率已很高的地区，增大水源供水能力的潜力较小，主要方法为节流，即建立节水型社会，依靠研究节水技术和方法，实施节水措施，提高人们的节水意识，从而减少水资源的需求量。节水是缓解供需水矛盾、实现水资源可持续利用的长久之策。

③ 治污。加大水污染治理力度，加强环保意识，兴建污水处理厂和中水利用系统，变废水、污水为再生之水、有用之水。

④ 水资源优化配置。前面三类方法有一定条件限制，需要大量资金投入，且效果的发挥还需一定时间。如果运用科学技术和方法，改变传统的管理模式和方法，对有限水资源进行优化配置，可使水资源得到充分高效利用，使社会经济协调发展。

1.2 水资源优化配置的概念

1.2.1 水资源优化配置的含义和内容

20 世纪 90 年代初，在我国水资源严重短缺和水污染不断加重的大背景下，水资源优化配置的概念应运而生，其最初是针对水资源短缺地区及用水的竞争性问题。随着可持续发展概念的深入，其含义不再仅仅针对水资源短缺地区。对于水资源丰富的地区，从可持续角度，也应该考虑水资源合理利用问题，只是目前在水资源短缺地区此问题更为迫切而已。

从广义概念上讲，水资源优化配置就是研究如何充分利用好和分配好水资源。对于水资源优化配置的确切含义，国内众多学者都提出了自己的解释。

李令跃、甘泓从可持续发展的角度对水资源合理配置进行了定义,即“在一个特定的流域或区域内,以可持续发展为总原则,对有限的、不同形式的水资源,通过与非工程措施在各用水户之间进行科学分配”。

王顺久、候玉、张欣毅等提出:水资源优化配置是指在一个特定流域或区域内,工程与非工程措施并举,对有限的不同形式的水资源进行科学合理的分配,其最终目的就是实现水资源的可持续利用,保证社会经济、资源、生态环境的协调发展。

王济干提出了基于和谐理念的水资源优化配置概念。水资源和谐性优化配置是指在一个特定的区域(流域)、时间内,以和谐发展总原则,将一定量和质的水资源,按不同的用途和需求,通过工程和管理措施在各用水户之间进行科学合理的分配。

赵斌等提出:水资源合理配置是指在一定时段内,对一特定流域或区域的有限的多水质水资源,通过工程和非工程措施,合理改变水资源的天然时空分布;通过跨流域调水及提高区域内水资源的利用效率,改变区域水源结构,兼顾当前利益和长远利益;在各用水部门之间进行科学分配,协调好各地区及各用水部门之间的利益矛盾,尽可能地提高区域整体的用水效率,实现流域或区域的社会、经济和生态环境的协调发展。

王浩、秦大庸、王建华等针对北方干旱地区提出了水资源合理配置的定义:“在水资源生态经济系统内,按照可持续性、有效性、公平性和系统性的原则,遵循自然规律和经济规律,对特定流域或区域范围内不同形式的水资源通过工程与非工程措施,对多种可利用水源在宏观调控下进行区域间和各用水部门间的科学调配”。

水资源合理配置比较权威的定义是我国颁布的《全国水资源综合规划大纲》中给出的:“在流域或特定的区域范围内,遵循有效性、公平性和可持续性的原则,利用各种工程与非工程措施,按照市场经济的规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、保障有效供

给、维护和改善生态环境质量等手段和措施,对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的配置”。

水资源优化配置是一个极其复杂的系统工程,随着人们认识水平的提高和科学技术的不断发展及水资源优化配置实践的不断深化,水资源优化配置的概念逐步明确,其内涵日益丰富。在探索如何合理配置水资源的过程中,人们逐步认识到,水资源配置的客观基础,是“社会经济—资源—生态—环境”复杂巨系统中宏观经济系统、水资源系统、生态系统及环境在其发展运动过程中的相互依存与相互制约的定量关系,这一关系集中体现在用水竞争性和投资竞争性上。

由以上定义可以看出,水资源优化配置的实质是要提高水资源的配置效率。一方面是提高水的分配效率,合理解决各部门和各行业(包括环境和生态用水)之间的竞争用水问题;另一方面则是提高水的利用效率,促使各部门或各行业内部高效用水。其主要解决的问题包括以下几个方面。

(1) 社会经济发展问题

探索适合流域或区域现实可行的社会经济发展模式和发展方向,推求合理的工农业生产布局。

(2) 水资源需求问题

分析现状条件下各分区各部门的用水结构、用水效率及提高用水效率的技术和措施,预测未来各种经济发展模式下的水资源需求。

(3) 水资源开发利用方式、水利工程布局等问题

进行现状水资源开发利用评价、供水结构分析、水资源可利用量分析,进行各种水源的联合调配,给出各类规划水利工程的配置规模及建设次序。

(4) 水环境污染问题

评价现状水环境质量,分析各部门在生产过程中各类污染物

的排放情况,预测河流水体中各主要污染物的浓度,合理的水环境保护目标和保护策略。

(5) 生态问题

评价现状生态系统状况,分析生态系统保护与水资源开发利用的关系,合理的水生态保护目标和保护策略。

(6) 供水效益问题

分析各种水源开发利用所需的投资及运行费用,分析各种水源的供水效益。

(7) 水价问题

研究水资源短缺地区由于缺水造成的国民经济损失,分析水价对社会经济发展的影响和水价对水需求的抑制作用,明晰水价的制定依据。

(8) 水资源管理问题

研究与水资源优化配置相适应的水资源管理体系,制定有效的政策法规,确定可行的实施办法等。

(9) 技术方法研究问题

研究水资源优化配置模型,如评价模型、模拟模型、优化模型的建模机理及建模方法;研发水资源管理决策支持系统等。

水资源优化配置还有广义和狭义之分。从广义上讲,水资源优化配置是在水资源开发利用过程中,对洪涝灾害、干旱缺水、水生态环境恶化等问题解决的统筹安排,实现除害兴利结合、防洪抗旱并举、开源节流并重,协调上下游、左右岸、干支流、城市与乡村、流域与区域、开发与保护、建设与管理、近期与远期等各方面的关系。从狭义上讲,水资源优化配置主要是指水资源供给与需求之间关系的处理。

对于水资源优化配置的内容,主要包含以下几个方面。

(1) 流域配置

流域配置包括流域间配置和流域内配置。流域间配置是在流