



# 水利工程管理现代化 评价研究

高玉琴 方国华 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 水利工程管理现代化 评价研究

高玉琴 方国华 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了水利工程管理现代化评价理论与方法。主要内容包括：水利工程管理现代化的内涵、目标及内容，水利工程管理现代化评价指标体系构建，水利工程管理现代化改进 GA-BP 评价算法设计，不完备信息下的水利工程管理现代化评价方法研究及实例研究等。

本书可作为水利水电工程科研人员、技术人员、管理人员及广大水利工作者的参考书。

### 图书在版编目（C I P）数据

水利工程管理现代化评价研究 / 高玉琴, 方国华著

— 北京 : 中国水利水电出版社, 2020. 4

ISBN 978-7-5170-8495-2

I. ①水… II. ①高… ②方… III. ①水利工程管理  
IV. ①TV6

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第060193号

书 名	水利工程管理现代化评价研究 SHUILI GONGCHENG GUANLI XIANDAIHUA PINGJIA YANJIU
作 者	高玉琴 方国华 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 6.75印张 164千字
版 次	2020年4月第1版 2020年4月第1次印刷
定 价	<b>45.00</b> 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

1978年，我国提出实行改革开放政策，确立了实现社会主义现代化的“三步走”战略目标。水利作为国民经济和社会发展的重要基础设施，对经济社会的可持续发展具有重要的支撑和保障作用。近年来，水利由传统水利向现代水利、可持续发展水利不断地转变，水利现代化成为当今水利发展的目标和方向。国民经济的发展和综合国力的增强对水利提出了现代化要求，同时也为水利现代化建设提供了良好的基础，现代经济社会需要水利现代化已成为人们的普遍共识。

水利现代化不仅是物质基础的现代化，技术手段的现代化，更是思维方式、思想方法的现代化。水利现代化的实现在很大程度上依托于水利工程管理的现代化。水利工程管理现代化是水利现代化的重要组成部分，没有现代化的水利管理，要加速推进水利现代化的进程无疑是非常困难的，甚至是不可能的。因此，紧密结合各地水管体制改革和水利工程管理实践，围绕推进水利工程管理现代化开展研究，建立和逐步完善水利工程管理现代化评价指标体系，建立其评价模型并设计可靠的模型求解算法，明确工程管理现代化的目标和相应对策措施，具有十分重要的现实意义。

国外关于水利现代化的研究成果较少。总体上说，发达国家的水利现代化是伴随着国家现代化的进程而不断发展的过程。国内对水利现代化的研究，取得了一些有价值的研究成果，但关于水利工程管理现代化的研究还处于起步阶段，关于水利工程管理现代化评价方面的研究和应用还是空白。

基于此，本书在广泛调研和搜集相关资料及前人研究成果的基础上，结合中国的国情，以大中型水利工程管理现代化为研究对象，界定水利工程管理现代化的内涵，分析水利工程管理现代化的特征、建设目标以及建设内容，遵循先进性和系统性与可能性相协调、重点与一般相结合、定量和定性相结合、强制性与灵活性相结合、代表性和综合性相结合、层次性和可比性相结合，以及可操作性和导向性等原则，考虑水利工程管理水平和管理效果两个方面，从管理体制、管理制度、管理手段、管理人才、发挥水利工程社会经

济生态效益等方面构建水利工程管理现代化评价指标体系，建立水利工程管理现代化的评价模型，并设计了基于改进 GA-BP 人工神经网络的评价算法。由于水利工程管理现代化内涵很丰富，涉及面非常广，常存在评价信息不完备的情况，因此本书针对水利工程管理现代化信息不完备的情况设计了基于模糊粗糙集的评价算法，进而将两模型应用于江苏泰州引江河水利枢纽管理现代化的评价。

本书的创新之处是：①针对目前还没有明确的水利工程管理现代化定义的情况，对水利工程管理现代化内涵进行界定，分析水利工程管理现代化的特征、建设目标、建设内容；②针对水利工程管理这个涉及内容广泛且复杂的综合系统，考虑水利工程管理水平和效果，从管理体制、管理制度、管理手段、管理人才、发挥水利工程社会经济生态效益等方面构建了一套具有两级指标、定量与定性相结合的水利工程管理现代化评价指标体系；③针对水利工程管理现代化内涵、建设内容和评价指标体系，构建水利工程管理现代化评价模型。研究 GA 和 BP 理论，分析其耦合条件，建立附加动量因子和考虑自适应学习率的改进 GA-BP 人工神经网络的评价算法，实例证明该方法的可靠、科学和合理性；④结合水利工程管理涉及因素复杂和不完备信息各类处理技术的优缺点两个方面，提出基于  $\theta$  改进限制容差关系的粗糙集不完备信息处理模型，并根据水利工程管理现代化建设水平评价的特点，构建基于模糊粗糙集的水利工程管理现代化的评价算法，实例证明基于  $\theta$  改进限制容差关系的粗糙集不完备信息处理模型和基于模糊粗糙集的水利工程管理现代化的评价算法是可行有效的。

本书由河海大学高玉琴总体负责，第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章由高玉琴编写，第 2 章由高玉琴、方国华共同编写。最后由高玉琴审校定稿，同时赵欧、许宵等研究生也参加了本书的校稿工作。本书的研究工作得到了谈为雄教授的指导，本书的编写参考和引用了相关书籍，在此向有关人员致以衷心的感谢！

限于时间和编者水平，书中疏漏和不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

作者

2020 年 1 月

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 国内外相关研究动态.....	3
1.3 不同类型水利工程的工程特点、管理现代化和管理特点 .....	15
1.4 主要研究内容及方法 .....	19
<b>第 2 章 水利工程管理现代化的内涵、目标及内容</b> .....	21
2.1 水利工程管理现代化的内涵及基本特征 .....	21
2.2 水利工程管理现代化的目标 .....	26
2.3 水利工程管理现代化的内容 .....	26
2.4 本章小结 .....	33
<b>第 3 章 水利工程管理现代化评价指标体系构建</b> .....	34
3.1 评价指标体系含义及构建思想 .....	34
3.2 水利工程管理现代化评价指标体系的构建原则、方法和程序 .....	35
3.3 水利工程管理现代化评价指标体系的确定及指标内涵 .....	37
3.4 评价指标的无量纲化 .....	48
3.5 本章小结 .....	50
<b>第 4 章 水利工程管理现代化改进 GA - BP 评价算法设计</b> .....	51
4.1 水利工程管理现代化评价模型的构建 .....	51
4.2 水利工程管理现代化建设水平的划分标准 .....	51
4.3 GA 与 BP 算法结合的可行性研究 .....	52
4.4 水利工程管理现代化改进 GA - BP 评价算法的设计.....	59
4.5 本章小结 .....	64
<b>第 5 章 不完备信息下的水利工程管理现代化评价方法研究</b> .....	66
5.1 不完备信息下的数据处理方法比较 .....	66
5.2 粗糙集理论基础及其对不完备信息的分析方法.....	67
5.3 不完备信息下的水利工程管理现代化评价算法设计 .....	73
5.4 本章小结 .....	75

第 6 章 实例研究 .....	76
6.1 工程概况 .....	76
6.2 指标值确定及无量纲化 .....	79
6.3 基于改进 GA - BP 算法的泰州引江河水利工程管理现代化评价 .....	80
6.4 不完备信息下的泰州引江河管理现代化评价 .....	83
6.5 成果合理性分析 .....	89
6.6 实现泰州引江河水利枢纽管理现代化的对策建议 .....	89
6.7 本章小结 .....	91
参考文献 .....	92

# 第1章 绪 论

## 1.1 研究背景

现代化指工业革命以来人类社会所发生的深刻变化，这种变化包括从传统经济向现代经济、传统社会向现代社会、传统政治向现代政治、传统文明向现代文明等各个方面的转变，而国家现代化就体现在一个国家的经济、社会、政治等各个方面实现从农业文明向工业文明的转型。水利现代化是以可持续发展的思路、市场经济的规律和系统发展的理论为指导，用现代的理性思维和理念转变人类传统的治水思路，用先进的科学技术改造传统的水利科技，用先进的现代化装备武装水利设施，用现代水管理制度改革水管理的动态过程，更好地实现水资源的合理开发、综合治理、科学利用、优化配置、高效节约、积极保护和有效管理。

我国水利工程星罗棋布、种类繁多，通过兴建大量的水库大坝、河道堤防、泵站、水闸等工程，既充分利用了水资源和水能资源，也减少了诸如旱涝等威胁人民生命财产安全的自然灾害的发生，真正诠释了兴利除害的深刻内涵<sup>[1]</sup>。作为国民经济和社会发展的重大基础设施，水利工程是保障和服务民生的重要物质载体，对经济社会的可持续发展具有重要的支撑和保障作用。近年来，国民经济的发展和综合国力的增强对水利提出了现代化要求，同时也为水利现代化建设提供了良好的基础，随着水利由传统水利向现代水利、可持续发展水利的不断转变，水利现代化成为当今水利发展的目标和方向。

水利现代化的实现在很大程度上依托于水利工程管理的现代化，这样的现代化不仅是物质基础、技术手段的现代化，更是思维方式、思想方法的现代化。水利工程管理是运用、保护和经营已开发的水源、水域和水利工程设施的工作。毋庸置疑，水利工程管理现代化，是适应经济社会现代化和水利现代化的客观需要，是水利现代化的重要组成部分，没有现代化的水利管理，要加速推进水利现代化的进程无疑是举步维艰的，甚至是不可能的。因此，加快水利工程管理现代化建设，具有重要的现实意义。

加快推进水利工程管理现代化，就必须紧跟国家的最新动向和方针，深入理解并贯彻党和政府的相关政策，并在已有的水利工程管理体系上加以完善和有所创新。习近平总书记指出，要通盘考虑重大水利工程建设，论证重大工程要把握好大的原则：确有需要、生态安全、可以持续。这为水利工程运行管理现代化建设明确了方向，即水利工程运行管理应以新时代治水方针为指导，坚持协调发展、共享发展，坚持生态优先、人水和谐，理顺体制、激活机制，深化改革、不断创新，努力实现水利工程安全、高效运行和可以持续的发展目标。

水利现代化和水利工程管理现代化都是一个渐进的、动态的过程，充满着机遇与挑战。

中国水利现代化发展进程可划分为孕育期（1949—1998 年）、起步期（1999—2010 年）、发展期（2011—2020 年）和成熟期（2021 年以后）4 个阶段（图 1.1）。孕育期是以水利工程建设为主的工程水利、传统水利，起步期是以人水和谐、可持续发展为特征的资源水利、现代水利，发展期是以人为本的民生水利，成熟期是伴随着第一个一百年奋斗目标全面建成小康社会的实现而到来的真正的水利现代化<sup>[2]</sup>。中国水利现代化经历 60 多年艰苦卓绝的探索和实践，完成了从孕育期到起步期再到发展期的演变，走上了一条有中国特色的水利现代化道路。

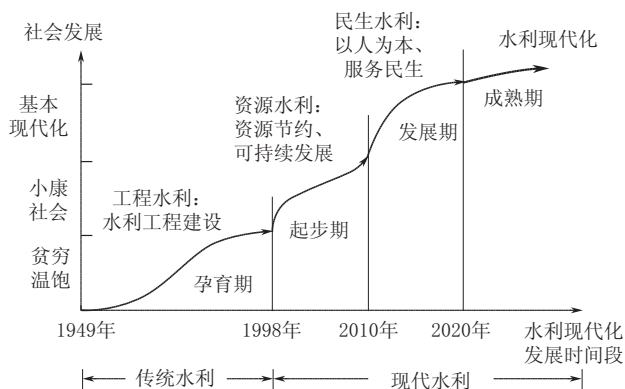


图 1.1 中国水利现代化发展进程

1978 年，我国提出实行改革开放政策，确立了实现社会主义现代化的“三步走”战略目标。面对国家的现代化建设对水利现代化提出的目标和任务，全国水利系统开展了对现代水利建设的探索，在治水思路和治水实践上取得了显著成果，迈出了可喜步伐。2011 年，党中央一号文件《关于加快水利改革发展的决定》指明了今后我国水利改革发展前进的方向<sup>[3]</sup>。2014 年 4 月，习近平总书记在关于水安全的讲话中提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水方略<sup>[4]</sup>。2011 年中央一号文件颁布 5 年后，2016 年底《水利改革发展“十三五”规划》再次为水利发展在新时期作出部署<sup>[5]</sup>。在水利现代化发展的征程中体现出国家重视水利改革发展，从实现人与自然和谐共处的角度出发，打破传统治水理念、加强水利基础设施建设、提高管理水平和科学技术的创新发展，让祖国大地重新遍布绿水青山，美好蓝图的描绘所形成的无限动力会推动我国水利现代化发展努力前行。

为加强水利工程管理，科学评价工程管理水平，保障工程安全，充分发挥工程效益，水利部于 2002 年颁发、2008 年修改印发了《水利工程管理考核办法》。该办法适用于大中型水库、水闸，七大江河干流、流域管理机构所属和省级管理的河道堤防、湖泊、海岸以及其他河道三级以上堤防等工程，其他水库、水闸、河道堤防等工程参照执行。各省依据水利部颁发的考核办法精神并结合实际，制定了水利工程管理考核办法或实施细则。2002 年 9 月国务院经济体制改革办公室会同水利部、财政部等 8 部委起草了《关于水利

工程管理体制改革实施意见》(以下简称《实施意见》)。《实施意见》明确提出,力争用3~5年时间,初步建立起符合我国国情,充满生机活力的水利管理体制和运行机制。随后全国各地陆续制定了相应的省(市)《水利管理体制改革的实施方案》,并有序推进了水利管理体制改革的,取得了良好成效。

为推进水利工程管理规范化、法制化、现代化建设,提高水利管理水平,确保水利工程运行安全和充分发挥效益,国家制定了一系列相关的法律法规和技术标准,包括《中华人民共和国河道管理条例》《长江河道采砂管理条例》《河道堤防工程管理通则》《水闸工程管理通则》《水库工程管理通则》《水利水电工程管理条例》《水库大坝安全管理条例》《水闸技术管理规程》《泵站技术管理规程》等,为依法行政、依法管理提供了强有力的法规支撑。《水利工程管理单位定岗标准(试点)》和《水利工程维修养护定额标准(试点)》的颁布实施,为水利工程管理单位科学定岗定员、合理核定公益性工程维修养护经费提供了标准和依据。

新中国成立70年以来,水利现代化研究如火如荼,但关于水利管理现代化研究还处于不温不火的阶段。因此,十分有必要结合我国目前的水利管理实际,系统开展水利管理现代化研究,以便推进水利工程有序管理,保证水利与国民经济的可持续发展。水利管理现代化评价指标体系是水利管理现代化研究的重要组成部分,且相对独立,因此很有必要进行专门的探索和研究。

随着科学技术的进步与国民经济的发展,“现代化”内涵、标准将不断地发生变化。因此,我们应该按照党的十九大报告所要求的,不断推进治理体系和治理能力现代化,坚决破除一切不合时宜的思想观念和体制机制弊端,突破利益固化的藩篱,吸收人类文明的有益成果,构建系统完备、科学规范、运行有效的制度体系,充分发挥我国社会主义制度优越性。

加快推进水利工程运行管理现代化,始终面临着良好的历史机遇和艰巨的历史挑战。我们要以“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时代治水方针为指导,按照“水利工程补短板、水利行业强监管”的要求,以问题为导向、从实际出发,切实提升水利工程运行管理现代化水平。

在治水矛盾发生深刻变化、治水思路需要相应调整转变的新形势下,我们也迫切需要进一步传承和弘扬“忠诚、干净、担当,科学、求实、创新”的新时代水利精神,不断把中国特色水利现代化事业推向新的高潮<sup>[6]</sup>。

## 1.2 国内外相关研究动态

### 1.2.1 水利管理现代化及其评价指标体系研究方面

#### 1.2.1.1 国外研究动态

国外文献中水利管理现代化方面的成果相对较少。总体上说,发达国家水利现代化是伴随国家现代化的进程而不断发展的过程。发达国家水利现代化的进程大致可划分为4个阶段:①在工业化之前漫长的农耕时期,水利以单目标开发建设为主;②20世纪初至第二次世界大战前,水利进入以多目标开发为主的大规模水利建设时期;③20世纪70年

代中期到 80 年代, 水利转向以水资源管理为主, 以水法制建设和现代水管理为中心的综合治理时期; ④20 世纪 90 年代以后, 发达国家进入以人水协调、追求社会可持续发展的时期<sup>[7,8]</sup>, 这一时期发达国家的水利现代化体现了 4 个方面的特点: 治水思想的现代化、工程设施与装备的现代化、科学技术的现代化、水管理的现代化与信息化。水管理现代化, 包括管理体制与机制的现代化、管理技术的现代化、管理人才的现代化<sup>[8-10]</sup>。水管理现代化与信息化是水利现代化的重要标志。发达国家在水管理现代化与信息化方面已具有很高的水平。

GuPta 等早在 1977 年就实现了将栅格型 GIS 数据管理工具用于流域规划, 随后形成了具有资源规划等功能的流域规划决策支持系统 WATERwARE0。Bhuyan (2002) 等综合运用 GIS 及美国农业部开发的农业非点源污染模型 AGNPS, 可很好地在小流域尺度上进行水资源和水环境评价。德国 Goamer 公司 (2004) 研制了基于 GIS 的水动力学模型 Floodarea, 用于界定洪水淹没范围, 能够预警可能的洪水风险。Overten (2005) 结合 GIS 与 RS 建立了泛洪区洪水淹没模型, 并在澳大利亚南部的 Murray 河进行了验证<sup>[11-15]</sup>。

发达国家的水管理体制与政治体制、流域及水资源特点等有关, 同时也是历史发展的结果, 因国情不同而具有不同的特点。荷兰建立了“一龙管水”的水管体制, 在中央政府、省政府和市政府中分别设置了与水有关的机构, 专门负责水资源的开发和管理。尤其是荷兰的水董事会, 作为一个独立于各级政府的专业性水管理机构, 不仅从事防洪, 还从事水量与水质 (包括污水处理) 的管理工作, 管理地位与市政府相当<sup>[16]</sup>。荷兰水管理体制主要为地方集权式管理, 这种权力来自上一级政府的授权。荷兰的水管理体制分为三级: 最高级为国家级即中央政府; 其次为区域一级, 包括省政府、水董事会、饮用水公司; 然后是地方一级, 主要是市政府和较低一级的水董事会。其中水董事会是一个具有特殊功能的、非政府的、公共的、经济独立的水管理机构<sup>[17]</sup>。日本采用集中协调与分部门行政的水资源管理体制和以流域水资源管理体制为主, 属于“多龙治水, 多龙管水”的模式。日本将水利作为国家重要的公益性事业, 实行以国家投资为主, 都道府县、市町村、事业公团及受益者多头分担的多元化投入体系, 水资源开发管理分别由国土厅、建设省、农林水产省、通商产业省、厚生省按政府赋予的职能进行管理。德国属发达国家, 其水利管理的重点已由工程建设转向工程管理, 其水利工程采取分级管理的体制, 依次为联邦环保部、州环保局和水利协会 (或委员会)<sup>[18]</sup>。各级管理部门职责明确, 政企分开, 突出了法制化、市场化运作的特点。美国对水利工程管理分联邦 (陆军工程师团、内务部垦务局、田纳西河流域管理局)、州、郡、市、个体五级管理。美国的工程管理技术和手段相当先进。水库防洪调度、大坝变形和应力观测、闸门控制、渠道水位量测等均采用遥控、遥感等自动化监测设备和手段。特别是水库防洪调度, 充分利用卫星定位系统、地理信息系统、遥感遥测系统、互联网等高新技术进行调度决策, 实行资源共享, 提高优化调度的准确性、及时性与可靠性<sup>[19-21]</sup>。英国水利工程特点是管理体制是以英格兰和威尔士两地区为代表的水管理体制, 分为国家级、区域级和地方级。英国没有专管水利的国家级行政部门, 水利由环境、运输与区域等有关部门分管。在英格兰和威尔士, 自 1970 年开始, 水利管理发生了两次较大的变革。第一次是根据 1973 年议会通过的水法, 实行按流域

(或联合附近几个小流域)分区域管理,合并、整顿,成立了10个水务局。水务局不是政府机构,而是由法律授权的具有很大自主权、自负盈亏的公用事业单位。第二次大的变革是80年代中期,英国政府大力推行私有化政策。顺应这一政策的要求,1989年英格兰和威尔士水务局实现私有化,而在苏格兰和北爱尔兰,至今供水管理部门还是国营公共事业机构<sup>[17]</sup>。

总体上说,发达国家在长期的水利管理实践中,基本上已形成适应本国国情的水利管理体制,但仍在不断实践和调整中。

### 1.2.1.2 国内研究现状

国内已有一些关于水利现代化及其评价方面的研究成果,但关于水利工程管理现代化尚没有专门的、系统的研究。潘田明(2000)认为水利现代化是水与人类的和谐相处,与经济、人口、环境的协调发展<sup>[22]</sup>。黄莉新(2001)提出管理体制和机制创新是全面推进水利现代化的关键<sup>[23]</sup>。傅春等(2002)设计出由31个指标构成的水利现代化指标体系,并采用层次分析法计算出水利现代化综合评价指数,用它来反映某一地区水利现代化的程度<sup>[24]</sup>。中国水利现代化研究课题组(2004)在《中国水利现代化的内涵及其评价指标体系》报告中指出了水利现代化的评价体系和方法并对其进行了测算,评价体系包括定性评价、定量评价和综合评价三部分<sup>[25]</sup>。张丽平等(2004)通过分析制约上海市郊区水利现代化建设进程的主要因素,采用主成分分析法提出上海市郊区水利现代化建设的指标体系,并借助SPSS软件对其进行分析<sup>[26]</sup>。尹豪等(2005)综合运用统计学和计量经济学方法设计了具有检验功能的水利现代化评价模型<sup>[27]</sup>。丁春梅等(2006)根据浙江省农村水利现代化现状调查,提出了农村水利现代化评价指标体系,并就相关技术指标体系进行了初步分析研究<sup>[28]</sup>。钱萍等(2004)选取管理体制达标、水利信息化建设和水利工程管理达标3个方面的指标反映水管理现代化水平,并指出统一高效的水管理体系必须紧紧围绕经济社会现代化对水资源的要求进行构建<sup>[29]</sup>。

新中国成立之后特别是改革开放以来,水利工程管理呈现出兴旺景象。1981年全国水利管理会议提出,把水利工作的重点转移到管理上来。此后,各地水利部门集中精力加强了对现有水利工程的管理,逐步建立起覆盖全国的多层次的水利工程管理组织系统。沈之毅(2000)认为水利工程管理现代化不仅是物质基础的现代化,技术手段的现代化,更是思想意识、思想方法的现代化<sup>[30]</sup>。黄莉新等(2000)在分析江苏省水利工程管理存在的问题基础上,提出在水利工程管理中要注重科技创新,在控制运用、维修养护、检查观测、除险加固中推广运用新技术<sup>[31]</sup>。胡永法等(2001)结合洪泽县水利管理单位改革情况,强调要建立公益性水利工程耗费补偿机制,多渠道增加水管单位经费投入,保证水管单位基本管理经费支出和管理人员基本的工资福利<sup>[32]</sup>。黄莉新(2002)强调水利工程管理现代化应具有高标准的水利工程设施,拥有先进的调度控制手段,建立适应市场经济的管理现代化管理模式,具备现代思想意识、现代技术水平的干部职工队伍<sup>[33]</sup>。陈阳葵等(2003)提出水利工程管理现代化设施可分为水情自动测报、安全检测、设备集中控制和信息管理4个子系统<sup>[34]</sup>。雷晶等(2007)从准公益性水利工程的特性出发,分析了准公益性水利工程在管理体制上存在的问题,并从政府过分干预、资产界定不清、管理经费不足、相关政策不完备这些根本原因入手,提出完善准公益性水利工程管理体制的建议<sup>[35]</sup>。

张智慧等（2009）提出水利工程管理现代化应通过规则的系统化和精细化，运用程序化、标准化和信息化的手段，以达到工程管理的协调可持续运行<sup>[36]</sup>。高玉琴等（2009）界定了分析水利工程管理现代化的内涵，分析了其目标，从水利工程管理理念的现代化、体制现代化、制度现代化和管理队伍现代化等5个方面分析了其建设内容，建立水利工程管理现代化指标体系，并采用粗糙集确定指标体系的权重<sup>[37]</sup>。方国华等（2013）依据先进性、系统性、可比性、代表性、可操作性和导向性等原则，从管理体制、管理规范、管理手段、管理人才等诸多方面，构建了由9个一级评价指标和32个二级评价指标组成的水利工程管理现代化评价指标体系<sup>[17]</sup>。对应大中型泵站管理现代化的基本特征，指标体系分为规范化管理、设施设备管理、信息化管理、调度运行及应急处理能力和水生态环境管理等5项一级指标，将确权划界、管养分离、水文化建设、水生态环境等热点问题纳入考察范围，丰富了评价内容。最后采用德尔菲法确定各项指标权重。如今，施工管理在水利工程建设中有着举足轻重的深刻地位，也与人们的生产、生活有着密切关系，为了确保水利工程的质量安全，就必须构建完善的施工质量管理体系。利用健全的法律制度规范，引进更多的专业化人才，并不断强化对人才的培养和提升，从而使其能够更加有效地完成管理水利工程的工作任务，推动水利工程在我国的发展建设。杨明君（2016）对水利工程管理现状及其发展方向进行了分析，指出我国水利管理存在着水利管理体制不顺，水利工程管理单位体制不活、单位机构臃肿，社会保障机制不全、水利工程运行管理和维修养护经费不足等问题，影响水利工程正常投入<sup>[39]</sup>，并指出了应对措施，提高管理人员对水利工程基础地位的了解，清晰地认识到水利工程建设、水利管理部门要建立完善健全的管理体系，明确岗位职责，实行岗位责任制，以免发生问题时出现互相推诿的现象，完善水利工程监管机制，为水利管理人员提供管理依据，加强水利投资成本的管理。水利工程投资是水利工程施工的前提，只有资金充足，才能建设出高质量的水利工程，为水利部门及相关机构创造出更大的经济利润，从而为开发更多的水利工程奠定基金条件。席建强（2017）指出水利工程管理工作中存在着一定的问题，主要集中在水利工程质量管理工作的目标不够明确、水利工程管理机制的建设不够完善以及水利工程管理过程中的资金和设施等方面投入不够充足方面，影响到了水利工程的实际运转效果<sup>[40]</sup>。针对这种情况，需要积极采用切实有效的方式和手段加以应对，积极健全和完善水利工程管理运行机制，积极采用市场化手段针对水利工程进行运作和管理，不断加大水利工程的资金和配套设施投资力度，以及全面开展水利工程的安全管理工作，都是全面提升水利工程管理工作的良好方式和措施。潘志明和郑博武（2019）针对我国水利工程管理现状和发展趋势分析了我国水利工程管理中的问题，并指出了水利工程管理的重要性，并对水利工程发展进行了分析<sup>[41]</sup>。需要单位改革机构、制定科学管理制度、引进专业人才、提升技术能力水平、建立全面健全的水利工程法律法规、发动群众、加强基层水利管理。

综上所述，目前对于水利工程管理现代化的研究仅仅停留在其必要性的阐述和其中某个具体问题的探讨上<sup>[42-48]</sup>，缺乏专门的、系统的研究，特别是水利工程管理现代化评价方面的研究还未涉及。

## 1.2.2 综合评价方法的研究现状及其在水利领域的应用

### 1.2.2.1 综合评价方法的研究现状

评价 (evaluation) 是指“根据确定的目的来确定对象系统的属性, 并将这种属性变为客观计量的计值或者主观效用的行为”<sup>[49-50]</sup>。评价也是从各种角度估量研究对象的相应价值, 即满足主体给定要求的程度, 并对这些价值以一个综合价值来描述的行为。

综合评价 (Comprehensive Evaluation, CE) 是指对以多属性体系结构描述的对象系统作出全局性、整体性的评价<sup>[50-51]</sup>, 即对评价对象的全体, 根据所给条件, 采用一定的方法给每个评价对象赋予一个评价价值, 再据此择优。实际上, 综合评价也就是按照给定目标, 对研究对象进行全面的分类和排序的过程。

多指标综合评价是指通过一定的数学函数 (或称综合评价函数) 将多个评价指标值“合成”为一个整体性的综合评价价值。由于多属性评价问题的复杂性, 促使人们进行了大量的理论研究和探索, 形成了多种评价方法<sup>[52-53]</sup>。

评价方法是实现评价目的的技术手段, 评价目的与方法匹配是体现评价科学性的重点。目前评价方法的分类很多, 按照评价与所使用信息特征的关系, 可分为基于数据的评价、基于模型的评价、基于专家知识的评价以及基于数据、模型、专家知识的评价。根据各评价方法所依据的理论基础, 把综合评价方法大体分为四大类: ①专家评价方法, 如专家打分综合法; ②运筹学与其他数学方法, 如层次分析法、数据包络分析法、模糊综合评判法、SAW (Simple Additive Weighting) 法、ELECTRE (Elimination at Choice Translating Reality) 法、TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 法; ③新型评价方法, 如人工神经网络评价法、灰色综合评价法; ④混合方法, 这是几种方法混合使用的情况, 如 AHP+模糊综合评判、模糊神经网络评价法等<sup>[54-61]</sup>。

专家评分法是出现最早且应用较广的一种评价方法。它在定量和定性分析的基础上, 以打分的方式作出定量评价, 其结果具有数理统计性。专家评分法还有多种变形形式, 轮廓模型法和检查表法是主要的两种<sup>[62]</sup>。其中, Delphi 法<sup>[63]</sup>是一种多专家多轮咨询法, 于 1964 年创立, 该法考虑了指标的重要度、专家的权威系数和积极性系数, 并计算专家意见的集中度、协调系数和变异系数, 进行显著性检验, 从而使之成为预测和决策的权威方法而风行全球。这种方法的主要缺点是所需要的时间较长、耗费的人力物力较多。

层次分析法 (The Analytic Hierarchy Process, AHP) 是由美国运筹学家 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代中期提出的、应用最广泛的方法<sup>[64-65]</sup>。这一方法的特点, 是在对复杂决策问题的本质、影响因素以及内在关系等进行深入分析之后, 构建一个层次结构模型, 然后利用较少的定量信息, 把决策的思维过程数学化, 从而为求解多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题, 提供一种简便的决策方法, 适用于人的定性判断起重要作用的, 以及对决策结果难于直接准确计量的问题评价<sup>[66-69]</sup>。

数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 方法是由 A. Charnes 和 W. W. Cooper 等学者以“相对效率”概念为基础, 根据多指标投入和多指标产出对相同类型的单位 (部门) 进行相对有效性和效益评价的一种新的系统分析方法, 是处理多目标决策问题的好方法<sup>[70-71]</sup>。1978 年第一个 DEA 模型 C2R 问世后, 又相继研究出了 C2GS2 模型、C2W 模型、C2WH 模型和 C2WY 模型。W. F. Bowlin 用 DEA 方法探讨了美国军用飞机

维护的有效性<sup>[72]</sup>。1986年,周泽昆、陈王廷介绍了DEA方法在管理上的应用<sup>[73]</sup>。1988年魏权龄出版了《评价相对有效性的DEA方法》一书,有力地推动了国内对DEA法的研究与应用工作的开展<sup>[74]</sup>。

模糊综合评判(Fuzzy Comprehensive Assessment)是将模糊数学应用于多目标综合评价中的一种重要的方法<sup>[75]</sup>。该方法用模糊数学来处理指标权重和定性信息问题,从而得到更符合实际的结果。F. Choobineh等人对此进行了相应的研究,提出了一些处理的方法<sup>[76]</sup>。邓聚龙在《第一本灰色系统理论专著》(1985年)及其随后出版的几本灰色系统书籍中,都对灰色多目标决策问题进行了探讨<sup>[77]</sup>。

SAW(Simple Additive Weighting)<sup>[78]</sup>方法是一种求解多属性评价问题最常用的方法,其求解过程是赋予或计算出每个目标的权重后,对每个方案求各属性值的线性加权和,值最大的方案即为最佳方案,H. J. Einhorn和W. McCoach对此给出了理论上的解释,他们论证了当属性集满足一定的独立性条件时,价值函数可以表示为加性形式。这种方法具有一定的限制条件,因此其应用范围很小<sup>[79]</sup>。

ELECTRE(Elimination at Choice Translating Reality)法发明于法国。最初的ELECTRE法是在1966年提出的,而后由B. Roy于1971年改进的<sup>[80]</sup>。它实质上是一种淘汰与选择转换的算法,即先设法淘汰部分较差的方案,然后再进行选择,但该法只能给出方案的部分排序。后来B. Roy从1968年开始与B. Bertier合作,直到1975年,改进提出了ELECTRE II法<sup>[81]</sup>。

TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)法为评价者提供了一种根据理想点原理寻求离理想点最近方案作为最佳方案的评价模式,从而减小因评价者的不同或其偏好的变化而引起的评价结果的差异<sup>[82]</sup>。我国学者在应用TOPSIS的同时还对其进行了一些改进,如郭耀煌等提出了新双基点法,刘树林、邱菀华提出了夹角度量法等<sup>[83-84]</sup>。

灰色综合评价法是我国著名学者邓聚龙教授于1982年提出的,方法的核心是利用已知信息来确定系统的未知信息,使系统由“灰”变“白”。其最大的特点是对样本量没有严格要求,不要求服从任何分布。根据灰色关联分析确定各评价对象之间的优选顺序,从而确定各评价指标的权重,进而进行综合评价<sup>[85]</sup>。

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN)是20世纪40年代提出并于80年代复兴的一门交叉学科。该项技术以生物大脑的结构和功能为基础、以网络结点模仿大脑的神经细胞、以网络连接权模仿大脑的激励电平、以简单的数学方法完成复杂的智能分析,能有效地处理问题的非线性、模糊性和不确定性关系<sup>[86]</sup>。

王思仁(1991)将灰色系统模型运用于水利规划的设计与评价<sup>[87]</sup>。粟晓玲等(1997)提出了水与社会经济、生态环境协调发展的关中地区水利工程可持续发展的评价指标体系<sup>[88]</sup>。张淑华、田圃德(1998)在分析水利建设项目社会评价的必要性的基础上,论述了水利项目社会评价的内容、一般步骤与方法<sup>[89]</sup>。张文国、王国利和李岩(1999)以陈守煜教授提出的多层次多目标模糊优选理论模型为基础,建立了定性和定量多目标多层次混合系统模糊优选理论模型,并进行了实际应用,得到了满意的结果<sup>[90]</sup>。贾宏俊和王明远采用模糊集理论综合评价,聚类评价以及灰色理论评价模型,从定性和定量分析相

结合的角度对水利工程老化构建科学的指标体系,运用系统分析、模糊数学等理论对老化评价指标中各因素的模糊性用定量分析的方法做出决定,并通过决策数量分析的方法解决问题<sup>[91]</sup>。周召梅(2002)在常用水利建设项目经济评价方法的基础上,运用多目标决策分析中逼近于理想解的排序方法(TOPSIS法),对水利建设项目进行综合经济评价<sup>[92]</sup>。曹华祥和李慎群(2003)在水利投资项目中运用几种综合权重确定方法并进行比较。李雪英和黄善和(2004)在《飞来峡水利枢纽运行管理评价》中,在广泛调研的基础上,从防洪、航运、发电、水工建筑物和观测等几个方面,对飞来峡水利枢纽进行了运行管理评价<sup>[93]</sup>。乔慧珊(2005)从水利水电工程发挥的社会效益、经济效益和生态效益等方面出发,引入水利水电工程服务水平的概念,从防洪、治涝和灌溉、供水、发电、生态等方面构建了水利水电工程服务水平评价指标体系,并建立了水利水电服务水平的综合评判模型,应用于确定综合利用水利水电工程的工程类别和为工程维修加固等后期运营管理提供决策依据<sup>[94]</sup>。黄曼丽和朱玲(2008)等在水利工程中运用了基于熵权的多目标评价方法。顾艳玲等(2008)在《大坝安全综合评价多指标权重确定方法研究》一文中,针对大坝安全综合评价中多指标权重的确定问题,将熵理论引入大坝安全综合评价中,应用广义最大熵原理,将不同赋权方法有机集成在一起,确定大坝安全评价中多指标权重<sup>[95]</sup>。水利水电工程质量评价是水利工程验收的重要环节,谢锐(2017)以模糊综合评价方法为评价方法,将其运用到水利水电工程质量的评价中,可定性、定量评价水利水电工程质量<sup>[96]</sup>。

由上述综合评价方法在水利工程领域的应用情况来看,目前还缺乏对水利工程管理现代化评价方面系统、全面的研究。

### 1.2.2.2 智能算法在水科学中的应用现状

常规的系统评价方法偏向于经典数学方法,处理实际复杂系统评价问题已日趋困难。单一的经济评价方法存在明显缺陷,过分地依赖于运筹学所建立起来的数学决策模型容易使问题失真。这些常规的系统评价方法的主要不足是他们很难结合或利用专家和决策者在系统评价时所做选择和判断过程中所蕴含的经验、知识和智慧,很难利用系统评价过程中的思维规律和人脑的智能特征,很难进行定性分析与定量计算的综合集成。而另一方面,人类利用其发达的大脑智能在各种系统综合评价的长期实践中积累了大量的理论认识、经验认识和介于理论认识与经验认识之间的各种半经验半理论认识。因此,近20年来国内外系统工程界已开始对擅长处理专家的经验知识和思维特征,擅长模拟智能的过程、结构和行为,以及擅长挖掘评价问题中客观信息和主观信息的遗传算法、人工神经网络、模糊集理论、蒙特卡罗方法等模拟智能方法及其在实际复杂系统评价中的应用进行了广泛而富有开拓性的理论与应用研究,这些研究成果已在很大程度上使得当代系统评价方法的面貌焕然一新,并日益凸显出这些模拟智能方法在复杂系统评价中的独特价值以及对这些模拟智能方法进行深入研究的必要性<sup>[97-102]</sup>。

#### 1. 人工神经网络研究进展及其在水科学中的应用

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN)是对人脑若干年基本特性通过数学方法进行抽象和模拟,是一种模仿人脑结构及其功能的非线性信息处理系统,具有对信息进行并行处理、分布式存储以及良好的自适应能力,表现出容错性、非线性、非局域性、非凸性等特点,适用对模糊信息或复杂的非线性关系进行识别与映射,其产生与发展

经历了一个曲折艰难的过程。早在 1943 年, 心理学家 W. McCulloch 和数理逻辑学家 W. Pitts 从信息处理的角度出发, 采用数理逻辑的方法, 对生物神经细胞的动作进行研究, 提出了形式神经元模型, 称为 MP 模型。通过 MP 模型提出了神经元的形式化数学描述和网络结构方法, 证明了单个神经元能够执行逻辑功能, 从而开创了人工神经网络研究的时代。1949 年, 心理学家 Donald Hebb 明确提出了突触联系强度可变假设, 认为突触联系强度是随前后神经元的活动而变化, 从而说明神经元连接强度是可修正的, 为神经网络的产生奠定了基础。随后, 感知器 (Perceptron) \ 自适应线性神经元 (Adaptive Linear Neuron, ADALINE) 等网络与运行规则被相继提出, 早期主要应用于模式识别、天气预报和自适应控制。然而, 简单的感知器只能局限于处理线性问题, 加之当时 Von Neumann 数字计算机和人工智能正处于发展的黄金时期, 暂时掩盖了发展新型计算机和人工智能新途径的必要性和迫切性, 使人工神经网络的研究一度处于低潮。直至 1982 年, 美国加州工学院物理学家 John Hopfield 提出了 Hopfield 神经网络模型, 引入了“能量函数”概念, 给出了网络稳定性的判据, 并成功地解决了著名的“旅行商问题”, 成为人工神经网络走向成熟的里程碑。1986 年, D. E. Rumelhart 和 J. L. McClelland 提出多层网络学习的误差反传播算法, 为多层感知机找到了一个有效的学习算法, 从而把人工神经网络的研究进一步推向深入。与此同时, 基于 Von Neumann 原理的数字计算机在处理形象思维、语音图像识别以及联想记忆等模糊信息时屡受挫折, 而神经网络能够处理模糊信息的特点使人们认识到人工神经网络的重要价值。随着人工神经网络理论研究的不断深入, 应用领域趋于广泛。进入 20 世纪 90 年代, 人工神经网络作为新学科、新方法和新技术, 在自然科学和社会科学各个领域得到了广泛的应用, 取得了丰硕的成果。

我国最早涉及人工神经网络的著作是涂序彦先生等于 1980 年出版的《生物控制论》一书, 书中将“神经系统控制论”单独设为一章, 系统地介绍了神经元和神经网络的结构、功能和模型。该书出版时人工神经网络的研究尚未进入复苏时期, 国内学术界对该领域的情况知之甚少, 研究热点主要集中在人工智能方面。随着人工神经网络 20 世纪 80 年代在世界范围的复苏, 国内学术界大约在 80 年代中期也逐步掀起了研究热潮。北京大学非线性研究中心在 1988 年 9 月发起举办了 Beijing International Workshop on Neural Networks: Learning and Recognition, a Modern Approach。1989 年召开了一个非正式的全国神经网络会议。之后国家“863”高技术研究计划和“攀登”计划于 1990 年批准人工神经网络的 3 项课题, 国家自然科学基金和国防科技预研基地也都把神经网络的研究列入选题指南。经过几十年的发展, 我国学术界和工程界在人工神经网络的理论研究与应用方面取得了丰硕的成果, 学术论文、营养成果和研究人员的数量逐年增长。目前, 人工神经网络已在我国科研、生产和生活中产生了普遍而巨大的影响。

人工神经网络在水科学领域中的应用主要包括水系洪水预报、多泥沙后供水预报、流激振动系统的识别与预报以及对水科学有些问题进行评价等。水科学是一项非常复杂的工程, 即使对于水利工程的某一方面进行评价也是一件不容易的事情。卢新卫 (1997) 建立三层 B-P 神经网络, 以 Sigmoid 函数作为神经元的转移函数, 对水质污染进行综合评价, 得出人工神经网络法预测精度高、运算速度快、实用性强等结论<sup>[103]</sup>。金菊良、魏一鸣、杨晓华 (1998) 运用遗传神经网络法建立洪水灾害承灾体模型, 并运用实例验证其有效