

中国水利现代化时空分异特征

吴丹¹,王亚华²,潘朱玲¹

(1. 北方工业大学经济管理学院,北京 100144; 2. 清华大学公共管理学院,北京 100084)

摘要:为明晰水利现代化时空分异特征,构建了包含资源、环境、生态和安全需求保障四大目标、14项准则的水利现代化评价指标体系,提出了结合目标一致性方法、变异系数法和层次加权法的水利现代化综合评价方法,对中国及各省(自治区、直辖市)水利现代化实现程度进行了评价,分析了中国及各省(自治区、直辖市)水利现代化时空分异特征。评价结果表明:中国水利现代化经历了发动期、加速期和提速期,总体实现程度较好,资源、安全需求保障的实现程度高,但环境、生态需求保障的实现程度较低;各省(自治区、直辖市)加快推进水利现代化,东部和中部地区明显快于西部和东北地区,资源、安全需求保障实现程度较好,环境需求保障实现程度相对滞后,生态需求保障实现程度较差;现阶段,各省(自治区、直辖市)亟需加快水生态环境建设,提高环境、生态需求保障,加速推动水利高质量发展,以推进中国水利现代化进程。

关键词:水利现代化;时空分异特征;需求保障;实现程度;中国

中图分类号:TV211

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2024)05-0023-09

Spatiotemporal differentiation characteristics of China's water conservancy modernization//WU Dan¹, WANG Yahua², PAN Zhuling¹ (1. School of Economics & Management, North China University of Technology, Beijing 100144, China; 2. School of Public Policy & Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to clarify the spatiotemporal differentiation characteristics of water conservancy modernization, an evaluation index system for water conservancy modernization was constructed, including four major goals of demand guarantee for resource, environment, ecology, and security, and 14 criteria. A comprehensive evaluation method for water conservancy modernization was proposed, integrating the goal consistency method, coefficient of variation method, and hierarchical weighting method. The level of water conservancy modernization in China and its provinces (autonomous regions and municipalities) was evaluated, and the spatiotemporal differentiation characteristics were analyzed. The evaluation results show that China's water conservancy modernization has gone through an initiation period, an acceleration period, and a speed-up period, with a generally high level of achievement. The levels of achievement in resource and security demand guarantees are high, but those for environmental and ecological demand guarantees are relatively low. Provinces (autonomous regions and municipalities) are accelerating the process of water conservancy modernization, with the eastern and central regions progressing significantly faster than the western and northeastern regions. Resource and security demand guarantees have been well achieved, while environmental demand guarantee lags behind, and ecological demand guarantee is poorly met. At present, provinces (autonomous regions and municipalities) in China urgently need to accelerate the construction of water ecological environment, improve the guarantee levels for environmental and ecological demands, and accelerate the promotion of high-quality development in water conservancy to advance the process of water conservancy modernization in China.

Key words: water conservancy modernization; spatiotemporal differentiation characteristics; demand guarantee; realization degree; China

水利现代化是国家生态现代化的重要组成部分,为国民经济发展和现代化产业体系的构建提供了有力支撑。世界各国从20世纪70年代开始水利

现代化实践探索,美国、荷兰、英国相继开展了水利史^[1-4]、水管理历史^[5]、当代水管理历史^[6]的研究,明确了实现水利现代化的关键路径,即以法治为原

基金项目:国家社会科学基金重点项目(22AZD050);国家社会科学基金后期资助项目(22FGLB016);教育部人文社会科学研究青年基金项目(21YJCZH176);清华大学文科建设“双高”计划专项(2021TSG08204);北京市自然科学基金项目(9244023,9232007)

作者简介:吴丹(1986—),男,副教授,博士,主要从事战略规划与资源管理研究。E-mail:wu_daniel@163.com

则,完善水利法规制度体系,以水资源环境目标为导向,探索涉水机构和利益相关者的多元共治模式和协调机制^[7-10]。联合国经合组织、亚洲开发银行等国际机构开展的水利现代化研究结果表明,水利现代化指标以水资源利用和水环境保护指标为主,如水资源分配和农业灌溉等指标^[11-12]、地下水水污染排放和水质等指标^[13-16];水利现代化评价以定量方法为主,如模糊综合评价法、数据包络分析法等^[17-18]。

我国学界和水利管理部门从 2000 年开始开展水利现代化研究,涉及其内涵、评价指标体系、评价方法、阶段演变和进展评价等方面。①从水利现代化的内涵变化来看,2000—2010 年聚焦观念、技术和管理现代化,从传统水利向现代水利转变,动态满足经济社会发展变化需求,实现水与经济社会协调发展^[19-20];2011—2017 年聚焦持续增强水利保障能力,从现代水利向资源水利转变,以水资源持续利用支撑经济社会动态发展^[21-22];2018—2024 年聚焦水资源环境承载能力与人口分布、经济产业结构布局相适应,从资源水利向生态水利转变,强化水资源刚性约束,发展水利新质生产力,推动水利高质量发展,为经济高质量发展提供优质水资源、健康水生态和宜居水环境^[23-29]。②从水利现代化的评价指标体系变化来看,2000—2010 年聚焦防洪抗旱减灾保障、供水普及与用水效率、水环境与生态安全保障等指标^[30-34];2011—2017 年聚焦水利安全保障、水利经济发展需求、水生态环境保护、水利管理水平等指标^[24-27,35];2018—2024 年从高质量发展^[36-37]、可持续发展目标^[38]、经济社会生态耦合协调^[39]不同视角,聚焦水治理、水保护和水管理等指标。③从水利现代化的评价方法应用来看,2000—2010 年聚焦综合加权指数法^[31]、经济计量方法^[32]、目标距离法^[33]、主成分分析法^[34];2011—2017 年聚焦静态评价法^[24]、目标一致性方法^[25-26,35,40]、云模型^[27-28];2018—2024 年聚焦层次分析法^[36]、耦合协调度法^[39]。④从水利现代化的阶段演变和进展评价来看,聚焦 1949—2050 年水利之路和水利发展阶段划分^[41-42],评价 2008 年^[21]、2010 年^[20]、2017 年^[23]、2018 年^[38]等特定年份不同地区水利现代化水平,或 2008—2017 年^[39]、2000—2050 年^[35]、1980—2050 年^[40,43]长时期水利现代化进程。

现有成果为中国水利现代化研究提供了多学科交叉基础,为推进中国水利现代化提供了重要的实践指导。但由于知识背景的差异,学者们提出的评价角度多元化、评价指标缺乏统一框架体系、评价方

法复杂化。同时,现有成果主要从时间维度开展中国水利现代化研究,鲜有从空间维度开展研究。为明晰水利现代化时空分异特征,确定中国及各省(自治区、直辖市)(不包括港澳台地区,以下简称“省区”)水利现代化的短板,因地制宜提出中国及各省区推动水利高质量发展的途径,本文在确定水利现代化的目标、准则和任务的基础上,构建水利现代化评价指标体系,并从时间维度和空间维度,建立水利现代化评价方法,分析水利现代化的阶段特征和省区特征差异,以期学界和水利管理部门深化水利现代化研究提供参考。

1 水利现代化评价指标体系与评价方法

中国水利现代化的关键是推动水利高质量发展,为国民经济高质量发展和现代化产业体系提供水利支撑保障,提高水资源、水环境、水生态和水安全需求保障能力,全面建成水资源节约型、水环境友好型、水生态保护型和水安全保障型社会。中国水利现代化可概括为四大目标,即水资源节约、水环境友好、水生态保护和 water 安全保障的资源、环境、生态和安全需求保障。为此,从水资源、水环境、水生态和水安全“四水共治”视角,构建水利现代化评价指标体系与评价方法,开展水利现代化研究。

1.1 水利现代化评价指标体系

结合水利现代化的资源、环境、生态和安全需求保障四大目标,遵循系统科学性、客观代表性、动态可比性、可操作获得性等指标选择原则^[36-37,43],构建一套科学合理的水利现代化评价指标体系,见表 1。

1.2 水利现代化评价方法

依据表 1,将目标一致性方法、变异系数法、均权法和综合加权法相结合,建立水利现代化综合评价方法,评价国家和地区层面的水利现代化实现程度。具体可表述为:①指标无量纲化处理。基于目标一致性方法,对表 1 中的正向指标、逆向指标,分别以现状值/目标参照值、目标参照值/现状值,进行无量纲化处理。将用水量弹性系数指标、COD 排放弹性系数指标作为刚性约束指标,若这两个指标未达到目标参照值,则指标值设定为 0。②指标权重确定。采用变异系数法和均权法,确定各准则对应的指标权重。其中,针对国家层面,可采用变异系数法确定权重;针对地区层面,考虑到地区之间部分指标值较为接近或相同,不宜采用变异系数法进行计算,为此采用均权法确定权重。③目标实现程度确定。基于综合加权法,确定表 1 中 4 个目标对应准则的实现程度,得到国家层面、地区层面 4 个目标的

表 1 水利现代化评价指标体系

目标	准则	指标	数据来源	目标参照值
资源需求保障	水量控制	用水量弹性系数	多种来源	≤0
		农业用水比重	水利部	50%以下
	高效利用	万元工业增加值用水量	水利部	50 m ³ /万元以下
		灌溉水有效利用系数	水利部	0.8 以上
	节水优先	工业用水重复利用率	水利部	100%
环境需求保障	排污控制	COD 排放弹性系数	多种来源	≤0
	排污绩效	万元 GDP 废水排放量	多种来源	4 t/万元以下
	污水处理	城镇污水处理率	住房和城乡建设部	100%
		工业废水排放达标率	国家统计局	100%
	污染防治	主要江河湖泊水功能区水质达标率	生态环境部	95%以上
		七大水系国控断面好于Ⅲ类比例	生态环境部	100%
生态需求保障	生态补水	生态用水占总用水量比重	水利部	10%
	开采控制	地下水占总供水量比重	水利部	15%以下
	生态保护	自然湿地保护率	多种来源	95%以上
	生态治理	水土流失面积占比	生态环境部	15%以下
		森林覆盖率	国家统计局	35%以上
安全需求保障	供水保障	城乡生活供水普及率	水利部	100%
		农村水贫困发生率	多种来源	0
	防洪安全	防洪能力指数	多种来源	80%以上
	灾害防御	水旱灾害直接经济损失占同期 GDP 比重	国家统计局	0.5%以下

注:依据《加快推进新时代水利现代化的指导意见》,并借鉴文献[23,35,43]研究成果,对目标、准则和任务进行设定。水利现代化指标的目标参照值可将发达国家指标实际值或国家发展规划值作为参考。指标数据主要来源于《中国水资源公报》《中国统计年鉴》《中国城乡建设统计年鉴》《中国水旱灾害公报》《中国生态环境状况公报》。

实现程度。④总体实现程度确定。采用变异系数法,确定4个目标的重要性,并基于综合加权法,确定国家层面、地区层面的水利现代化总体实现程度。参照文献[37],将水利现代化的实现程度划分为6个区间等级:(0%,40%)、[40%,60%)、[60%,70%)、[70%,80%)、[80%,90%)、[90%,100%],对应的实现程度分别为很低、低、合格、中等、较高、高。

2 水利现代化的阶段演变和特征分析

2.1 阶段演变

依据构建的水利现代化评价指标体系与评价方法,得到1980—2020年中国水利现代化的实现程度,如图1所示。

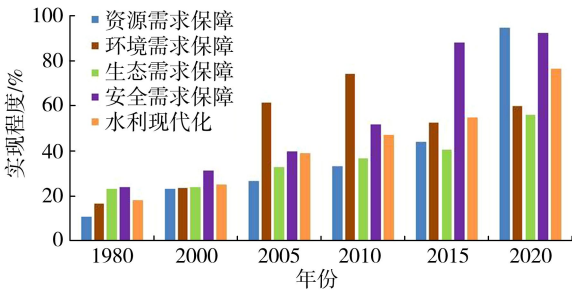


图 1 1980—2020 年中国水利现代化实现程度

由图1可知,1980—2020年中国水利现代化先后经历了发动期(1980—2000年)、加速期(2000—2010年)、提速期(2010—2020年)3个阶段。

a. 发动期。1980—2000年水利现代化总体实

现程度仅提高了7.1%,资源、环境、生态和安全需求保障实现程度分别提高了12.1%、7.1%、0.8%、7.4%。至2000年,水利现代化总体实现程度仅达到25.3%,资源、环境、生态和安全需求保障实现程度分别达到23.1%、23.7%、24.1%、31.4%。安全需求保障实现程度最高,资源需求保障实现程度提高最快,但相对最低,主要归因于用水总量增长和水资源利用效率低。

b. 加速期。2000—2010年水利现代化总体实现程度提高了22.0%,资源、环境、生态和安全需求保障实现程度分别提高了10.2%、50.4%、12.5%、20.3%。至2010年,水利现代化总体实现程度达到47.3%,资源、环境、生态和安全需求保障实现程度分别达到33.3%、74.1%、36.6%、51.7%。环境需求保障实现程度提高最快且最高,主要归因于排污控制取得显著成效,COD排放量得到严格控制。

c. 提速期。2010—2020年水利现代化总体实现程度提高了29.3%,资源、环境、生态和安全需求保障实现程度分别提高了61.6%、-14.0%、19.4%、40.6%。至2020年,水利现代化总体实现程度达到76.6%,资源、环境、生态和安全需求保障实现程度分别达到94.9%、60.1%、56.0%、92.3%。资源需求保障实现程度提高最快且最高,但环境、生态需求保障的实现程度仍较低,主要归因于COD排放量反弹增加、未得到严格控制,生态治理能力提升不显著。

2.2 分项特征差异分析

1980—2020 年,中国水利现代化四大目标及对应准则实现程度见图 2,通过与加权目标参照值对比,可得到四大目标的需求保障实现程度。

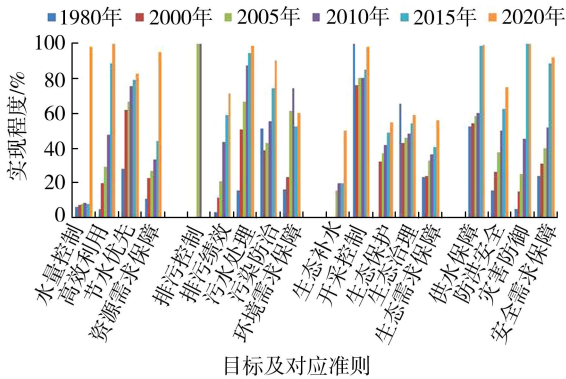


图 2 1980—2020 年中国水利现代化四大目标及对应准则实现程度

a. 资源需求保障实现程度。1980—2015 年,用水总量快速增加和农业用水比重高导致水量控制准则实现程度低。1980—2010 年,万元工业增加值用水量高导致高效利用准则实现程度低。至 2020 年,从指标值与表 1 中目标参照值的对标结果来看,用水量弹性系数、万元工业增加值用水量和工业用水重复利用率等指标实现较好。

b. 环境需求保障实现程度。1980—2000 年和 2015—2020 年,COD 排放量增加导致排污控制准则实现程度低;1980—2020 年,万元 GDP 废水排放量高导致排污绩效准则实现程度低;1980—2005 年,城镇污水处理率低导致污水处理准则实现程度低;1980—2010 年,主要江河湖泊水功能区水质达标率和七大水系国控断面好于Ⅲ类比例低导致污染防治准则实现程度低。至 2020 年,工业废水排放达标率、城镇污水处理率和主要江河湖泊水功能区水质达标率等指标实现较好,COD 排放弹性系数实现较差。

c. 生态需求保障实现程度。1980—2020 年,生

态用水占总用水量比重低、自然湿地保护率低、水土流失严重和森林覆盖率低分别导致生态补水、生态保护与生态治理准则的实现程度低。至 2020 年,地下水占总供水量比重实现较好,生态用水占总用水量比重、水土流失面积占比和自然湿地保护率等指标实现较差。

d. 安全需求保障实现程度。1980—2010 年,城乡生活供水普及率低、农村水贫困发生率高导致供水保障准则实现程度低。1980—2020 年,防洪能力指数低导致防洪安全准则实现程度低。1980—2010 年,水旱灾害直接经济损失占同期 GDP 比重高导致灾害防御准则实现程度低。至 2020 年,城乡生活供水普及率、农村水贫困发生率、水旱灾害直接经济损失占同期 GDP 比重等指标实现较好。

综上,从国家层面看,现阶段中国水利现代化的资源、安全需求保障的实现程度高,但环境、生态需求保障的实现程度仍较低。

3 水利现代化的省区特征差异

在明确中国水利现代化阶段特征演变的基础上,进一步分析中国水利现代化的省区特征差异。根据数据的获取性,将表 1 中七大水系国控断面好于Ⅲ类比例指标替换为地表水好于Ⅲ类水质断面比例指标,将防洪能力指数指标替换为江河堤防达标率指标。

3.1 综合特征差异分析

依据构建的水利现代化评价指标体系与评价方法,得到 2020 年各省区水利现代化实现程度,见图 3。

a. 总体实现程度。各省区加快推进水利现代化,至 2020 年,除河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、云南、西藏、甘肃、青海、宁夏和新疆 12 个省区外,其他 19 个省区的水利现代化总体实现程度均高于国家层面(76.6%),且东部和中部地区显著高于

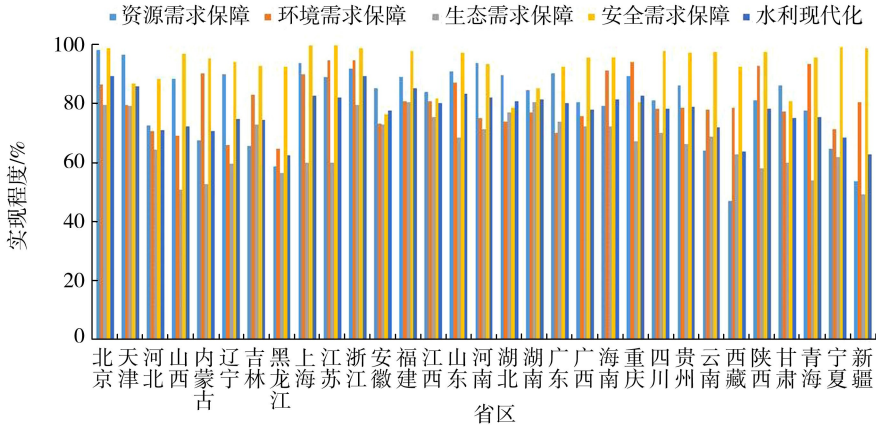


图 3 2020 年各省区水利现代化实现程度

西部和东北地区。其中,北京达到 89.5%,接近“高”等级。天津、上海、福建、浙江、江苏、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、海南、重庆 13 个省区均达到“较高”等级。

b. 四大目标实现程度。①从资源需求保障实现程度看,21个省区为“较高”等级以上,其中8个省区达到“高”等级。但内蒙古、吉林、黑龙江、云南、西藏、宁夏和新疆7个省区低于70%,制约资源需求保障目标的实现;②从环境需求保障实现程度看,仅14个省区为“较高”等级以上,其中8个省区达到“高”等级。但山西、辽宁和黑龙江3个省区均低于70%,制约环境需求保障目标的实现;③从生态需求保障实现程度看,仅2个省区为“较高”等级。河北、山西、内蒙古、辽宁、上海、江苏、山东、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆17个省区低于70%,制约生态需求保障目标的实现;④从安全需求保障实现程度看,29个省区为“较高”等级以上,其中23个省区达到“高”等级。但湖北和安徽为“中等”等级,制约安全需求保障目标的实现。

3.2 分项特征差异分析

在明确各省区综合特征差异基础上,分项评价

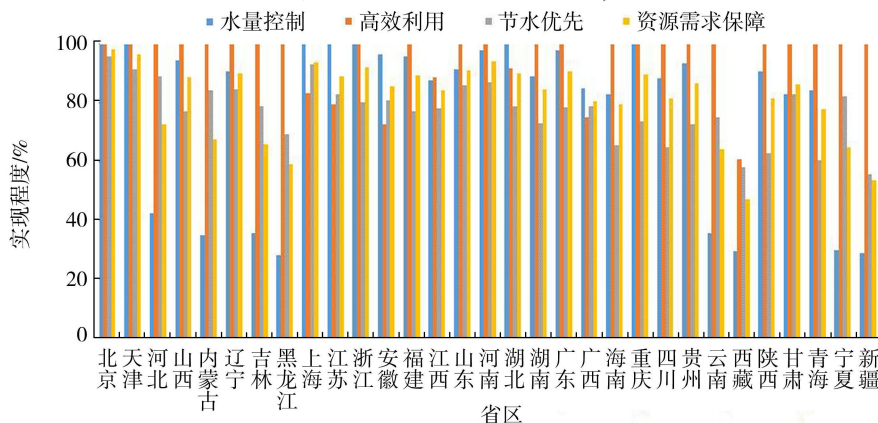


图 4 2020 年各省区资源需求保障实现程度

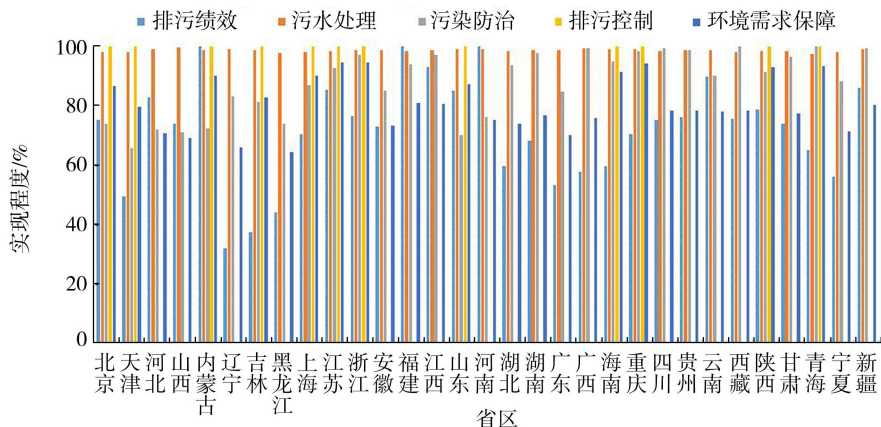


图 5 2020 年各省区环境需求保障实现程度

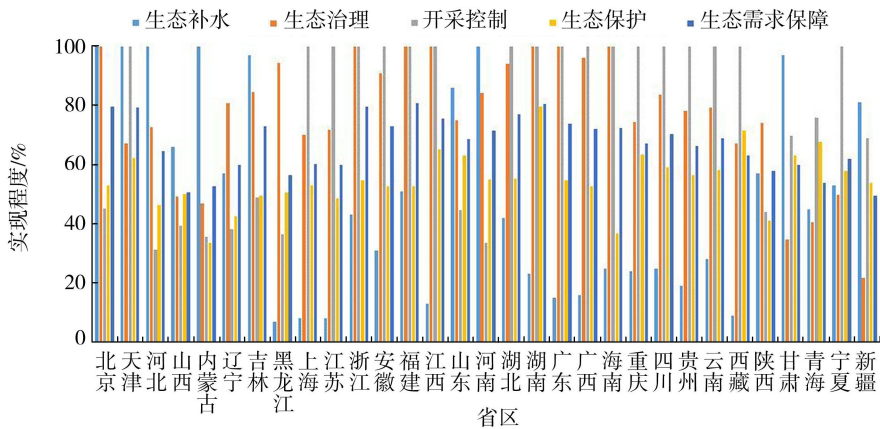


图6 2020年各省区生态需求保障实现程度

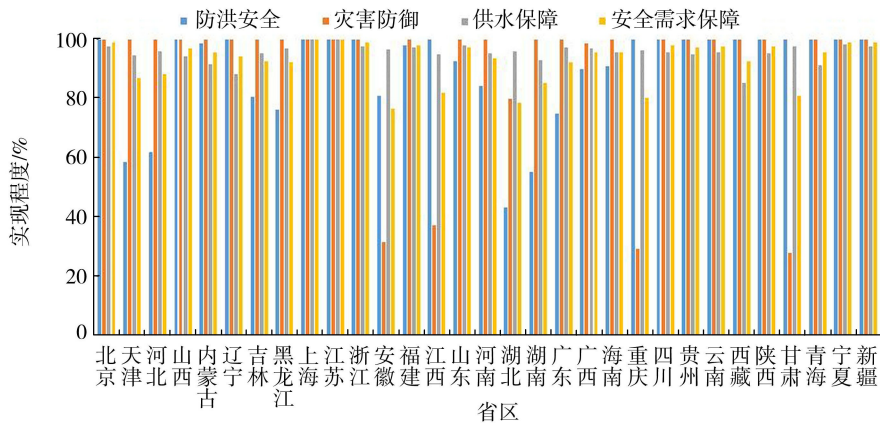


图7 2020年各省区安全需求保障实现程度

制准则的实现程度看,天津、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃和新疆 11 个省区低于 70%;③从生态保护准则的实现程度看,仅湖南和西藏 2 个省区超过 70%;④从生态治理准则的实现程度看,天津、山西、内蒙古、西藏、甘肃、青海、宁夏和新疆 8 个省区低于 70%。

d. 安全需求保障目标对应准则的实现程度。
①从供水保障准则的实现程度看,所有省区均高于 85%,供水保障能力较强;②从防洪安全准则的实现程度看,仅天津、河北、湖北和湖南 4 个省区低于 70%;③从灾害防御准则的实现程度看,仅安徽、江西、重庆和甘肃 4 个省区低于 70%。

总体来看,中国水利现代化的省区特征差异显著,东部和中部地区的水利现代化实现程度显著高于西部和东北地区。

4 结论和建议

4.1 结论

a. 1980—2020 年,中国水利现代化经历了发动期、加速期和提速期,总体实现程度从 18.2% 提高到 76.6%。水利现代化在时间维度上的变异特征主要表现为:总体来看,资源、安全需求保障实现程

度快速提高,但环境、生态需求保障仍相对滞后;分项来看,针对资源需求保障,节水优先相对滞后,灌溉水有效利用系数较低;针对环境需求保障,排污控制与排污绩效相对滞后,COD 排放反弹增加、万元 GDP 废水排放量较高;针对生态需求保障,生态补水、生态保护与生态治理相对滞后,生态用水比重和自然湿地保护率低、水土流失严重和森林覆盖率较低;针对安全需求保障,防洪安全相对滞后,防洪能力指数较低。

b. 至 2020 年,中国各省区的水利现代化实现程度形成了显著差异,按照水利现代化实现程度的等级来看,北京、天津、上海、江苏、浙江、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、海南和重庆 14 个省区为“较高”等级,主要特征表现为:安全、资源需求保障目标实现程度总体为“高”等级,环境需求保障目标实现程度总体为“较高”等级,生态需求保障目标实现程度相对较低,主要为“中等”等级;河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、安徽、广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃和青海 13 个省区为“中等”等级,主要特征表现为:安全需求保障目标实现程度总体为“高”等级,资源需求保障目标实现程度总体高于环境需求保障目标实现程度,生态需求保障目标实现

程度相对较低,主要为“合格”等级;黑龙江、西藏、宁夏和新疆 4 个省区为“合格”等级,主要特征表现为:安全需求保障目标实现程度为“高”等级,但资源、环境和生态需求保障目标实现程度均较低,其中,环境需求保障目标实现程度总体高于资源需求保障目标实现程度,生态需求保障目标实现程度相对较低。

4.2 建议

a. 现阶段,从国家层面看,亟需加快推动水生态环境建设。一方面,加强排污控制,严控水污染排放总量,提高排污绩效。另一方面,提高河湖生态补水,加强水土保持生态建设和水生态空间保护。从地区层面看,亟需加快推动中国各省区水利高质量发展,强化用水总量和强度双控行动方案实施,巩固和提高东部和中部地区水利现代化实现程度,加大西部和东北地区水生态环境建设力度,补齐水利现代化短板。

b. 资源需求保障目标:①从水量控制准则看,河北、内蒙古、吉林、黑龙江、云南、西藏、宁夏和新疆 8 个省区亟需加强用水总量控制,快速降低农业用水比重;②从高效利用准则看,在巩固和提高东部地区用水效率的同时,中西部和东北地区亟需进一步提高用水效率,西藏亟需加强用水强度控制,降低万元工业增加值用水量;③从节水优先准则看,黑龙江、海南、四川、西藏、陕西、青海和新疆 7 个省区亟需加大节水力度,提高灌溉水有效利用系数和工业用水重复利用率。

c. 环境需求保障目标:①从排污控制准则看,在北京、天津、内蒙古、吉林、上海、江苏、浙江、山东、海南、重庆、陕西和青海 12 个省区有效控制 COD 排放量的同时,其他 19 个省区亟需进一步加强 COD 排放量控制;②从排污绩效准则看,天津、辽宁、吉林、黑龙江、湖北、湖南、广东、广西、海南、青海和宁夏 11 个省区亟需加强废水排放控制,降低万元 GDP 废水排放量;③从污染防治准则看,天津亟需提高地表水好于Ⅲ类水质断面比例和主要江河湖泊水功能区水质达标率。

d. 生态需求保障目标:①从生态补水准则看,除北京、天津、河北、内蒙古、吉林、山东、河南、甘肃和新疆 9 个省区外,其他 22 个省区亟需提升河湖生态水量有效保障能力,提高生态用水占总用水量比重;②从开采控制准则看,天津、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃和新疆 11 个省区亟需加大地下水超采区治理力度,降低地下水占总供水量比重;③从生态保护准则看,31 个省区亟需加大水生态空间保护力度,提高自然湿地保护率;④从生态治理准则看,天津、山西、内蒙古、西藏、甘

肃、青海、宁夏和新疆 8 个省区亟需提升生态治理能力,降低水土流失面积占比,提高森林覆盖率。

e. 安全需求保障目标:①从供水保障准则看,所有省区在巩固现有供水保障的同时,内蒙古、辽宁和青海亟需进一步提高供水保障能力;②从防洪安全准则看,天津、河北、湖北和湖南 4 个省区亟需提高防洪安全保障能力,提高江河堤防达标率;③从灾害防御准则看,安徽、江西、重庆和甘肃 4 个省区亟需提高灾害防御能力,降低水旱灾害直接经济损失占同期 GDP 比重。

参考文献:

[1] HOLMES B H. A history of federal water resources programs,1800-1960 [M]. Washington:U. S. Department of Agriculture,1972.

[2] BLAKE N M. Land into water-water into land;a history of water management in Florida [M]. Tallahassee:University Presses of Florida,1980.

[3] MEYER M C. Water in the hispanic southwest;a social and legal history,1550-1850 [M]. Tucson:The University of Arizona Press,1984.

[4] CLARK I D. Water in New Mexico;a history of its management and use [M]. Albuquerque:University of New Mexico Press,1987.

[5] VEN G P,VAN H G. Man-made lowlands;history of water management and land reclamation in The Netherlands [J]. Annals of Science,1995,52(3):317-318.

[6] HASSAN J. A history of water in modern England and Wales [M]. Manchester:Manchester University Press,1998.

[7] SERAGELDIN I. Toward sustainable management of water resources [M]. Bethesda: Congressional Information Service,Inc. ,1996.

[8] GLEICK P H. A look at twenty-first century water resources development [J]. Water International,2000,25(1):127-138.

[9] CECH T V. Principles of water resources: history, development, management, and policy [M]. 2nd ed. Hoboken:John Wiley & Sons,2005.

[10] TIR J, STINNETT D. The institutionalization of river treaties [J]. International Negotiation,2009,14(2):229-251.

[11] GEORGE B, MALANO H, DAVIDSON B, et al. An integrated hydro-economic modelling framework to evaluate water allocation strategies I: model development [J]. Agricultural Water Management,2011,98(5):733-746.

[12] LECINA S, NEALE C M U, MERKLEY G P, et al. Irrigation evaluation based on performance analysis and water accounting at the Bear River Irrigation Project (U. S. A.) [J]. Agricultural Water Management,2011,98(9):1349-1363.

[13] RIMIDIS A, DIERICKX W. Evaluation of subsurface

- drainage performance in Lithuania[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 59(1): 15-31.
- [14] MUJUMDAR P P, SASIKUMAR K. A fuzzy risk approach for seasonal water quality management of a river system[J]. *Water Resources Research*, 2002, 38(1): 1004.
- [15] FRENI G, MANNINA G, VIVIANI G. Assessment of the integrated urban water quality model complexity through identifiability analysis[J]. *Water Research*, 2011, 45(1): 37-50.
- [16] JOHNS C. Water governance indicators in theory and practice: applying the OECD's water governance indicators in the North American Great Lakes region[J]. *Water International*, 2021, 46(7/8): 976-999.
- [17] URICCHIO V F, GIORDANO R, OPEZ N. A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, 73(3): 189-197.
- [18] RODRÍGUEZ-DÍAZ J A, CAMACHO-POYATO E, LÓPEZ-LUQUE R. Application of data envelopment analysis to studies of irrigation efficiency in Andalusia[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2004, 130(3): 175-183.
- [19] 刘树坤. 中国水利现代化初探[J]. *水利发展研究*, 2002, 2(12): 7-11. (LIU Shukun. On modernization of water industry in China[J]. *Water Resources Development Research*, 2002, 2(12): 7-11. (in Chinese))
- [20] 吴丹, 王士东, 马超. 我国水利发展历程演变及评价[J]. *水利水电科技进展*, 2015, 35(6): 7-12. (WU Dan, WANG Shidong, MA Chao. Evolution and evaluation for water conservancy development process in China[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2015, 35(6): 7-12. (in Chinese))
- [21] 杨丽英, 许新宜, 王红瑞, 等. 中国水利现代化发展水平综合评价分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(9): 1708-1713. (YANG Liying, XU Xinyi, WANG Hongrui, et al. A comprehensive evaluation of the development of water conservation modernization in China[J]. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1708-1713. (in Chinese))
- [22] 黄显峰, 刘展志, 方国华. 基于云模型的水利现代化评价方法与应用[J]. *水利水电科技进展*, 2017, 37(6): 54-61. (HUANG Xianfeng, LIU Zhanzhi, FANG Guohua. Evaluation and application of water conservancy modernization index system based on a cloud model[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2017, 37(6): 54-61. (in Chinese))
- [23] 樊霖, 庞靖鹏. 新时代我国水利现代化进程评估分析[J]. *水利经济*, 2020, 38(6): 7-11. (FAN Lin, PANG Jingpeng. Evaluation and analysis of process of water conservancy modernization in China in new era[J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2020, 38(6): 7-11. (in Chinese))
- [24] 李国英. 深入贯彻落实党的二十大精神 扎实推动新阶段水利高质量发展: 在 2023 年全国水利工作会议上的讲话[J]. *水利发展研究*, 2023, 23(1): 1-11. (LI Guoying. Thoroughly implement the spirit of the 20th National Congress of the Communist Party of China and solidly promote the high-quality development of water conservancy in the new stage: speech at the National Water Conservancy Work Conference in 2023 [J]. *Water Resources Development Research*, 2023, 23(1): 1-11. (in Chinese))
- [25] 左其亭, 王子尧, 马军霞. 我国现代治水研究热点与发展展望[J]. *水利发展研究*, 2024, 24(6): 13-19. (ZUO Qiting, WANG Ziyao, MA Junxia. Hot spots and development prospects of modern water governance research in China[J]. *Water Resources Development Research*, 2024, 24(6): 13-19. (in Chinese))
- [26] 李肇桀, 张旺, 刘璐. 大力发展新质生产力 助推水利高质量发展: 关于水利行业发展新质生产力的认识和思考[J]. *水利发展研究*, 2024, 24(6): 1-6. (LI Zhaojie, ZHANG Wang, LIU Lu. Boosting high-quality development of water conservancy by vigorously developing new quality productive forces: understanding and thoughts on developing new quality productive forces in the water sector[J]. *Water Resources Development Research*, 2024, 24(6): 1-6. (in Chinese))
- [27] 陈茂山, 庞靖鹏. 有效市场与有为政府有机结合 推动新时代水利高质量发展[J]. *水利发展研究*, 2024, 24(3): 4-8. (CHEN Maoshan, PANG Jingpeng. Promoting high-quality development of water conservancy in the new era with the organic combination of efficient market and effective government[J]. *Water Resources Development Research*, 2024, 24(3): 4-8. (in Chinese))
- [28] 韩宇平, 苏潇雅, 曹润祥, 等. 基于熵-云模型的我国水利高质量发展评价[J]. *水资源保护*, 2022, 38(1): 26-33. (HAN Yuping, SU Xiaoya, CAO Runxiang, et al. Evaluation of high-quality development of water conservancy in China based on entropy-cloud model[J]. *Water Resources Protection*, 2022, 38(1): 26-33. (in Chinese))
- [29] 陈茂山. 水利高质量发展政策供给体系回顾与展望[J]. *水利发展研究*, 2024, 24(1): 11-14. (CHEN Maoshan. Review and prospect of the policy system for high-quality development of water conservancy[J]. *Water Resources Development Research*, 2024, 24(1): 11-14. (in Chinese))
- [30] 顾浩. 中国水利现代化研究[J]. *水利水电技术*, 2004, 35(1): 26-29. (GU Hao. Study on modernization of water industry in China[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2004, 35(1): 26-29. (in Chinese))
- [31] 傅春, 杨志峰, 刘昌明. 水利现代化的内涵及评价指标体系的建立[J]. *水科学进展*, 2002, 13(4): 502-506.

(FU Chun, YANG Zhifeng, LIU Changming. Connotation and evaluation index system for water conservancy modernization[J]. Advances in Water Science, 2002, 13 (4):502-506. (in Chinese))

[32] 尹豪,章仁俊.水利现代化评价模型及其应用[J].农业现代化研究,2005,26(5):393-396. (YIN Hao,ZHANG Renjun. An evaluation model for modernization of water conservancy and the application [J]. Research of Agricultural Modernization, 2005, 26 (5): 393-396. (in Chinese))

[33] 孟祥礼,张玉福.水利现代化评价指标体系的赋权方法研究[J].沈阳农业大学学报,2009,40(2):248-250. (MENG Xiangli,ZHANG Yufu. Method of determining evaluation index system of water conservancy and index weight[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2009,40(2):248-250. (in Chinese))

[34] 欧建锋,叶健,程吉林.主成分分析法在江苏水利现代化评价中的应用[J].人民长江,2010,41(2):97-100. (OU Jianfeng, YE Jian, CHENG Jilin. Application of main component analysis method in comprehensive evaluation for water conservancy modernization in Jiangsu Province [J]. Yangtze River, 2010, 41(2): 97-100. (in Chinese))

[35] 王亚华,黄译萱.中国水利现代化进程的评价和展望[J].中国人口·资源与环境,2012,22(6):120-127. (WANG Yahua, HUANG Yixuan. Evaluation and prospect of China's water conservancy modernization process[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22 (6): 120-127. (in Chinese))

[36] 喻君杰.水利高质量发展评价因素初探[J].水利发展研究,2019,19(10):27-32. (YU Junjie. Preliminary study on evaluation factors of high-quality development of water conservancy [J]. Water Resources Development Research, 2019, 19(10): 27-32. (in Chinese))

[37] 左其亭,钟涛,张志卓,等.水利高质量发展的判别准则及评价体系[J].水资源与水工程学报,2022,33(5):109-117. (ZUO Qiting, ZHONG Tao, ZHANG Zhizhuo, et al. Discriminant criteria and evaluation system of high-quality development of water conservancy [J]. Journal of

Water Resources & Water Engineering, 2022, 33(5): 109-117. (in Chinese))

[38] LU Nan, ZHU Jiwei, CHI Hui, et al. Progress assessment and spatial heterogeneity analysis of water conservancy modernization construction in China [J]. Sustainability, 2021, 13(7): 3736.

[39] 栗欣如,姜文来,冯欣.我国水利绿色发展水平测算分析[J].中国农业资源与区划,2021,42(1):7-17. (LI Xinru, JIANG Wenlai, FENG Xin. Calculation and analysis of water conservancy green development in China [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(1): 7-17. (in Chinese))

[40] 吴丹.中国水利绿色现代化发展进程评价与战略构想[J].中国人口·资源与环境,2015,25(9):114-123. (WU Dan. Evaluation and strategic conception of China's water conservancy green modernization process [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25 (9): 114-123. (in Chinese))

[41] 王亚华,胡鞍钢.中国水利之路:回顾与展望(1949—2050)[J].清华大学学报(哲学社会科学版),2011,26(5):99-112. (WANG Yahua, HU Angang. The road of China water development; retrospect and prospect (1949-2050) [J]. Journal of Tsinghua University (Philosophy and Social Sciences), 2011, 26 (5): 99-112. (in Chinese))

[42] 王亚华,黄译萱,唐啸.中国水利发展阶段划分:理论框架与评判[J].自然资源学报,2013,28(6):922-930. (WANG Yahua, HUANG Yixuan, TANG Xiao. Division of China water conservancy development stages; theoretical framework and evaluation [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(6): 922-930. (in Chinese))

[43] 吴丹,王亚华.中国水利现代化进程的再评价及其含义[J].水利水电技术(中英文),2022,53(5):137-151. (WU Dan, WANG Yahua. Re-evaluation of the process of water conservancy modernization in China and its implications [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022, 53(5): 137-151. (in Chinese))

(收稿日期:2023-10-28 编辑:俞云利)

(上接第6页)

[43] 赵鹏,朱祖浩,江洪友,等.生态海堤的发展历程与展望[J].海洋通报,2019,38(5):481-490. (ZHAO Peng, ZHU Zuhao, JIANG Hongyou, et al. The development and outlooks of the ecological seawall [J]. Marine Science Bulletin, 2019, 38(5): 481-490. (in Chinese))

[44] NORMAN C, HUNTER R G, DAY J W, et al. A review of issues related to formation, deterioration and restoration of the Chenier Plain, Mississippi River Delta, LA: combining nature based and engineered approaches [J]. Nature-Based Solutions, 2022, 2: 100037.

[45] 戴龙洋,张阳.盐城市侵蚀性海岸防护设计[J].水利水电科技进展,2009,29(3):49-53. (DAI Longyang, ZHANG Yang. Protection design of erosive coast of Yancheng City [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(3): 49-53. (in Chinese))

[46] 陈一宁,陈鹭真,蔡廷禄,等.滨海湿地生物地貌学进展及在生态修复中的应用展望[J].海洋与湖沼,2020,51(5):1055-1065. (CHEN Yining, CHEN Luzhen, CAI Tinglu, et al. Advances in biogeomorphology in coastal wetlands and its application in ecological restoration [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51 (5): 1055-1065. (in Chinese))

(收稿日期:2023-12-12 编辑:俞云利)