

我国水利发展历程演变及评价

吴 丹¹,王士东²,马 超³

(1. 北方工业大学经济管理学院,北京 100144; 2. 牛津大学统计系,牛津 OX1 3TG;
3. 水利部发展研究中心,北京 100038)

摘要:在系统分析社会经济发展与水利发展之间的互动机理、探讨水利发展的历程演变及其特征表现的基础上,从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治 4 个维度,系统设计了水利发展进程评价指标体系,评估了我国水利发展目标综合实现程度,全面剖析了我国水利发展进程中存在的主要问题。结果表明,2010 年水利发展目标综合实现程度为 45%,处于自然水生态赤字开始缩小期;预计水利发展目标综合实现程度在 2015 年末提高到 63%,2030 年提高到 92%,实现局部自然水生态盈余;2050 年我国将进入全面自然水生态盈余期,实现人水和谐,全面建成水利现代化。

关键词:水利发展历程;水资源;水环境;水生态;水灾害;评价指标;评价体系

中图分类号:TV213.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2015)06-0007-06

Evolution and evaluation for water conservancy development process in China//WU Dan¹, WANG Shidong², MA Chao³ (1. School of Economics and Management, North China University of Technology, Beijing 100144, China; 2. Department of Statistics, University of Oxford, Oxford OX1 3TG, United Kingdom; 3. Development Research Centre of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

Abstract: Based on systematic analysis of the mechanisms of interaction between socioeconomic development and water conservancy development, as well as on the evolution and characteristics of water conservancy development, an evaluation index system for water conservancy development was designed systematically from four perspectives, including water resources utilization, water environment protection, water ecological restoration, and water disaster prevention. The integrated implementation degree of water conservancy development's objectives in China is evaluated, and the main existing problems during the water conservancy development process are investigated comprehensively. The results show that the comprehensive implementation degree of water conservancy development's objectives was 45% in 2010, indicating that the natural water ecological deficit has begun shrink; that the forecasted comprehensive implementation degrees are 63% for 2015 and 92% for 2030, indicating that the local natural water ecological remainder will have begun to appear; and that the overall natural water ecological remainder will be realized in 2050, a human-water balance will be achieved, and water conservancy modernization will be realized.

Key words: water conservancy development process; water resources; water environment; water ecology; water disaster; evaluation index; evaluation system

2011 年中央 1 号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》的出台,标志着水利发展提升到了新的战略高度,水利发展理念已从工程水利、资源水利拓展并延伸为民生水利、生态水利与绿色水利。继 2012 年水利部等十部门联合印发了《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》,2013 年水利部印发了《关于加快推进水生态文明建设的意见》、2014 年水利部等十部门联合印发了《实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案》,这些政策文件的出台,进一步凸显了新时期党

中央贯彻落实民生水利、生态水利、绿色水利与水生态文明等水利发展新理念。水利发展与社会经济发展密切相关,为保障社会经济可持续发展,水利发展必须坚持水资源节约优先、水环境保护优先、水生态自然恢复为主的方针,遵循人水和谐这一客观规律。学者们对水利发展历史已有较多探讨,其中美国水利史的研究较多^[1-4];此外,Ven^[5]研究了荷兰水管理和土地垦殖的历史;Hassan^[6]分 3 个时期研究了英国当代的水管理历史;Perret^[7]总结了南非的水政策和灌溉管理制度的演变。还有一些文献从全球视角

总结了水利发展的历程或经验。Serageldin^[8]总结了世界范围内特别是发展中国家水资源可持续管理的经验和教训;Gleick^[9]展望了世界范围内面向 21 世纪的水利发展趋势;Cech^[10]综述了世界范围内水资源利用和分配的历史经验。

我国学者和历代水利领导人对水利发展阶段的划分与评判做了深入探讨,分别提出了水利发展三阶段^[11-12]、四阶段^[13-14]和五阶段^[15]的论述观点,从历史的高度把握水利发展规律,认识水利发展阶段和趋势,为指导治水实践提供思路和依据^[16-20]。其中,王浩等^[16]研究了水利与国民经济的动态关系及其协调准则,评判不同阶段水利与国民经济发展适应程度。王亚华等^[17-18]分析了中国水利发展需求层次,划分了水利发展需求变迁的主要阶段,并选取了相应的评价指标,评价水利现代化发展进程;马婷等^[19]测算了中国水利支撑经济社会发展能力分值;方国华等^[20]结合定性定量评价、分层逐级综合评价的方法和步骤,探讨了水利工程管理现代化建设工程中不同阶段的评判标准。

综合学者们的学术观点和水利管理者的实践经验,为了测算我国水利发展目标综合实现程度,首先对社会经济发展与水利发展之间的互动机理进行剖析,指出水利发展进程中存在的主要问题,探讨水利发展的历程演变及其特征表现;其次从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治 4 个维度提

出水利发展的四大目标,系统设计水利发展进程评价指标体系;最后,对我国水利发展进程进行综合评价。

1 水利发展历程演变

1.1 社会经济发展与水利发展之间的互动机理

社会经济发展与水利发展之间表现为相互作用、相互激励、相互制约的关系。一方面,随着社会经济的快速发展,水管理政策制度的逐步完善,水利投资额的快速增长,会使水资源供给能力增强,水资源利用效率提高,农业用水比例下降,生态用水比例上升,水污染治理能力提升,水污染排放量减少,防洪能力增强,有效缓解水利发展的滞后性,促进社会经济可持续发展和生态环境健康发展,最终保障社会公众的生存安全、生态安全与国家安全;另一方面,中国人口众多,人均水资源占有量少,且水资源时空分布不均,水旱灾害频发。社会经济快速发展过程中,由于水利发展相对于社会经济发展的滞后性,会导致用水总量、地下水开采量和水污染排放量增加,进而形成水资源短缺、水环境污染、水生态退化、水灾害加剧等相互影响的现代综合型水问题和多重水危机,制约社会经济的可持续发展,影响生态环境的健康。社会经济发展与水利发展之间的互动机理如图 1 所示。

由图 1 可见,相互影响的现代综合型水问题和多重水危机有:①水资源短缺,主要表现为从资源性

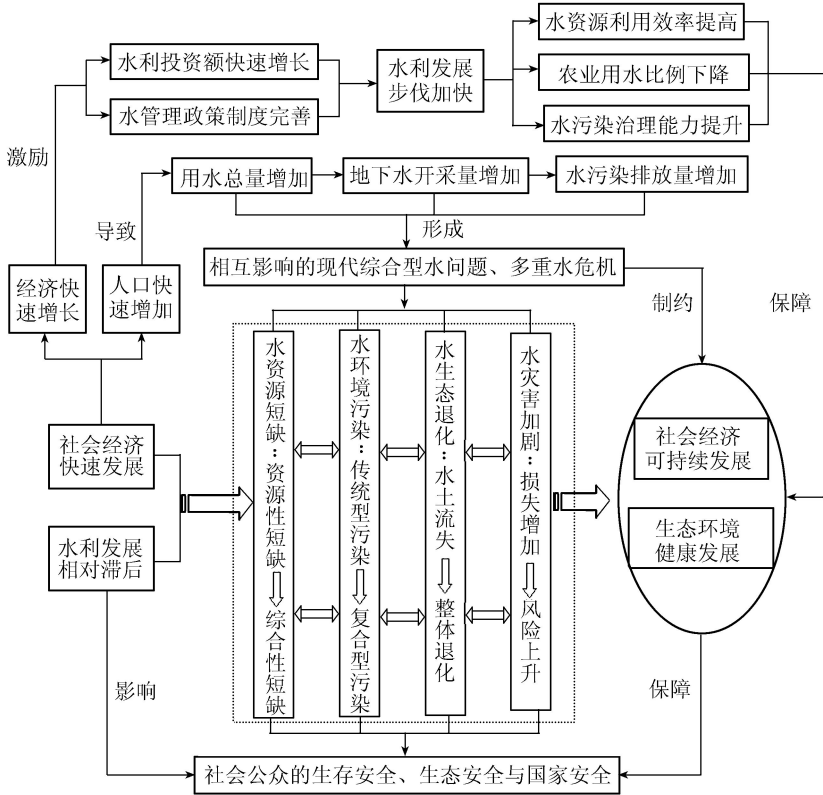


图 1 社会经济发展与水利发展之间的互动机理

短缺转向供水不足、水浪费和水污染相互作用形成的综合性短缺,水资源供需矛盾突出,水资源相对不足;②水环境污染,主要表现为从常规污染物的传统型污染转向新旧多种污染物相互影响的复合型污染;③水生态退化,主要表现为从最初忽视水生态保护、水资源过度开发导致的水土流失严重转向水污染加剧和水利设施管理不善导致的水生态恶化,虽局部水生态得到改善但整体退化;④水灾害加剧,主要表现为从水生态退化、江河防洪标准低导致的灾害损失增加转向极端气候事件导致的灾害风险上升。水资源短缺、水环境污染、水生态退化和水灾害加剧等4大水问题相互作用、彼此叠加,构成了相互反馈作用的复杂关系,对社会经济可持续发展造成了巨大挑战和严重威胁,对水生态环境健康发展的不利影响也将愈来愈强烈,最终影响社会公众的生存安全、生态安全与国家安全。

1.2 水利发展的历程演变及其特征表现

按照上述社会经济发展与水利发展之间的互动机理,随着不同时期经济发展阶段的演变,结合水资源、水环境、水生态、水灾害等4个维度的变化态势,水利发展必然经历3个过渡期。首先,实现从自然水生态赤字扩大向自然水生态赤字缩小转变;其次,实现从自然水生态赤字缩小向局部的自然水生态盈余转变;其三,从局部的自然水生态盈余向全面的自然水生态盈余转变,最终根本扭转自然水生态环境恶化的趋势。因此,水利发展历程的演变可分为以下4个阶段(所有数据来源于中国水利统计年鉴、中国环境统计年鉴、中国水资源公报、中国环境统计公报)。

a. 第一阶段(1949—1980年),自然水生态赤字缓慢扩大期。从农业主导过渡为工业主导的社会经济发展过程中,主要以粗放型水资源利用方式为主,水资源过度消耗利用、水环境污染与水灾害危机渐趋严重,水生态退化态势凸显。此阶段的水利发展特征体现为:水利投资额占GDP比重的波动性较大,由1958年的1.63%提高至1960年的2.29%,随后逐步下降至1980年的0.6%;总用水量从1949年的1031亿 m^3 增长至1980年的4408亿 m^3 ,总用水量增加超过3倍,年均增长率达到4.8%;人均用水量为446.6 m^3 ,万元GDP用水量高达9700 m^3 ,水资源利用效率低下;1980年废水排放量增加至239亿t,水环境缓慢恶化。与此同时,水旱灾害成灾率达到30%~40%,形成了对自然水生态环境的巨大冲击。由于水资源供给不足,地下水开采量逐渐扩大,导致水土流失面积缓慢增加,自然水生态系统逐渐退化,自然水生态赤字缓慢扩大。

b. 第二阶段(1981—2010年),自然水生态赤字急剧扩大至开始缩小期。在工业主导的社会经济快速发展过程中,水资源从粗放型利用向集约型利用方式转变,水环境从污染日益严重向逐渐好转转变,但水生态退化渐趋严重,水灾害风险较高。此阶段的水利发展特征体现为:水利投资额由1980年的27.07亿元增长至2010年的2319.93亿元,年均增长率高达16%。其中:①1981—1997年,自然水生态赤字急剧扩大,至1997年,总用水量持续增加至5566亿 m^3 ,用水量年均增长率为1.4%,水资源供给严重不足。水资源利用效率虽有提高,但仍与发达国家存在较大差距,万元GDP用水量为705 m^3 。废水排放量由1980年的239亿t增加至1997年的415.8亿t,年均增长率达到3.3%。地下水资源的过度开采,环境污染的加剧,开发建设活动的全面推进,导致水土流失面积快速增加,自然水生态系统快速退化。2000年,水土流失面积占比38%,防洪能力指数(高标准防洪保护区面积占防洪保护区总面积的百分比)仅21%^[17],使20世纪90年代水旱灾害明显增加,1990—2000年水旱灾直接经济损失占同期GDP的比重平均为3.3%。②自90年代中期以后,通过实施可持续发展战略,贯彻落实科学发展观,提出生态水利建设思想,促使自然水生态赤字由急剧扩大转为开始缩小,1997—2010年,用水量年均增长率降为0.6%。水资源利用效率提高,至2010年,万元GDP用水量为151 m^3 ,水土流失面积占比37%,下降了1个百分点。同时,工业COD排放量由1997年的1073万t下降至2010年的434.8万t,实现经济发展与工业COD排放量的脱钩。生态用水比例增加到2%,主要江河湖泊水功能区水质达标率为46%。防洪能力指数提高至40%。

c. 第三阶段(2011—2030年),自然水生态赤字缩小、局部自然水生态盈余期。从工业主导过渡为服务业主导的社会经济发展过程中,水资源将得到合理配置与高效利用,水环境得到有效保护并日益好转,水生态退化态势被遏制并逐渐修复,水灾害风险降低并逐渐消除危机。此阶段的水利发展特征预计将体现为:通过实行最严格的水资源管理制度,水资源利用效率与效益进一步提高,2030年万元工业增加值用水量(以2000年不变价计)将降低至40 m^3 以下,灌溉用水量和用水总量得到严格控制,灌溉用水量先达到顶峰,实现农业发展与灌溉用水量的脱钩。随后用水总量逐步到达顶峰,2030年用水总量控制在7000亿 m^3 以内,实现经济发展与水资源消耗利用脱钩;通过建立健全水环境管理体制机制,加强水环境保护,2030年主要污染物入河湖

总量控制在水功能区纳污能力范围之内,水功能区水质达标率提高到 95% 以上,水污染排放总量得到严格控制,水环境质量全面改善,实现经济发展与水环境压力脱钩。同时,通过加强水土流失治理与地下水管理,严格控制地下水开采,自然水生态系统长期退化态势被遏制,且自然水生态系统逐渐修复,自然水生态赤字达到高峰并逐渐缩小,出现局部的自然水生态盈余。

d. 第四阶段(2031—2050 年),全面的自然水生态盈余期。在服务业主导的社会经济发展过程中,预计水资源高效利用、水环境有效保护、水生态全面修复、水灾害危机消除。此阶段的水利发展特征预计将体现为:2030 年以后,用水总量与水污染物排放总量实现零增长,自然湿地保护率提高,地下水资源采补平衡,水灾害危机消除,实现经济发展与水资源消耗利用、水环境压力、水生态退化以及水灾害危机的全面脱钩。最终,自然水生态系统全面修复,实现全面的自然水生态盈余。水利发展更加注重自然水生态资产的增值,通过不断增加自然水生态资本的投入,包括水利工程建设的投入,水污染治理和水环境保护的投入,水土流失治理和林业建设的投入,以及防灾减灾体系建设的投入,为人类生存的生态环境带来巨大的自然水生态效益。

结合水利发展历程演变的 4 个阶段,水利发展历程演变的概念模型如图 2 所示。图中横坐标表示不同经济发展阶段人均产值的变化,其中农业主导、工业主导、服务业主导的经济发展阶段分别表示农业 GDP、工业 GDP 和服务业 GDP 占比最大的时期。纵坐标表示随着经济发展阶段的演变,自然水生态系统处于自然水生态赤字或者自然水生态盈余的变化状态。在人均产值变化的同时,自然水生态系统所处的状态将由自然水生态赤字逐步转向自然水生态盈余。安全阈值表示自然水生态系统的承载能力,当自然水生态赤字达到最大,超过自然水生态系统的承载能力时,自然水生态系统将遭到严重破坏。

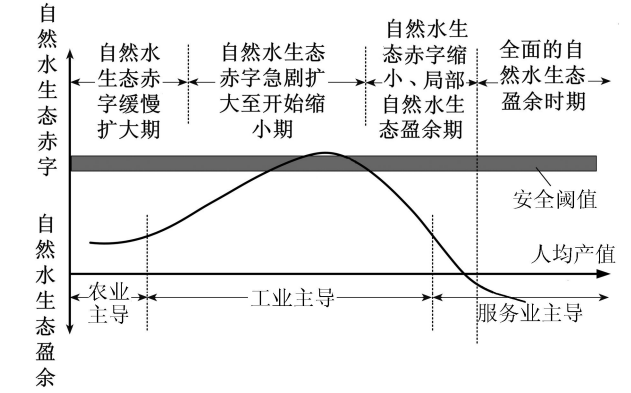


图 2 水利发展历程演变的概念模型

2 水利发展进程评价指标体系设计

2.1 水利发展的四大目标体系

根据图 1,鉴于社会经济发展与水利发展之间的互动机理,为了保障社会经济的可持续发展与水资源的可持续利用,水利发展必须尽快形成完善的目标体系,主要包括四大目标体系:

a. 社会经济发展与水资源利用的目标,即构建绿色生产体系和覆盖全社会的水资源循环利用体系,按照减量化、再利用、资源化原则,完善水资源循环利用回收体系,持续提高水资源利用效率和产出效益,降低万元工业增加值水资源消耗,提高农田灌溉水有效利用系数,控制农业灌溉用水量和取水资源总量,减少水资源消耗利用,促使用水总量尽快达到零增长,加快实现社会经济发展与水资源消耗利用的脱钩。

b. 社会经济发展与水环境保护的目标,即减少废污水排放,控制水污染物排放总量,降低万元 GDP 水污染物排放量,提高城镇污水处理率和七大水系国控断面水质好于 III 类的比例;促使生活和生产的水污染物排放总量逐渐减至水环境容纳能力内,尽快达到水污染物排放总量零增长,水环境质量全面好转,实现社会经济发展与水环境压力的脱钩。

c. 社会经济发展与水生态修复的目标,即增加水生态资本,减少水土流失面积与荒漠化面积,提高生态用水比例和自然湿地保护率,严格控制地下水开采量,保障地下水资源的采补平衡,促使水生态系统尽快达到全面修复,加快实现社会经济发展与水生态退化的脱钩。

d. 社会经济发展与水灾害防治的目标,即增强抵抗水灾害的能力,降低水灾害发生的概率,降低水旱灾害直接经济损失占同期 GDP 比重,提高防洪能力指数,促使建立健全水灾害防治体系,加快实现社会经济发展与水灾害危机的脱钩。

2.2 评价指标体系设计

结合水利发展的四大目标体系,从社会经济发展与水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防治 4 个维度对水利发展进程评价指标体系进行系统设计,见图 3。

根据图 3,为了更加合理有效地评价水利发展进程的阶段、度量水利发展目标的综合实现程度,必须明确制定水利发展进程的阶段划分标准。鉴于此,结合水利发展进程评价指标体系,可将国家关于指标的发展规划值或发达国家的指标实际值作为阶段划分标准值或目标参考值,基于“目标一致性”方法,即将水利发展进程评价指标的实际值与目标参

考值进行对比分析,确定两者之间的目标一致程度,采用等权法计算水利发展目标的综合实现程度,综合评价中国水利发展进程。

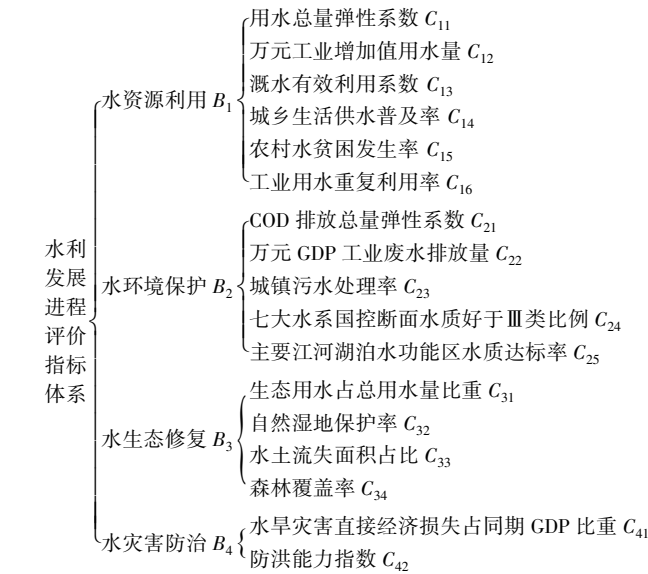


图 3 水利发展进程评价指标体系

3 我国水利发展进程评价与展望

3.1 水利发展进程评价(2000—2010 年)

结合图 3 中的水利发展进程评价指标体系,可测算出我国社会经济发展过程中的水利发展目标综合实现程度(计算方法:对于正向指标,以“现状值/目标参照值”作为该指标的实现程度;对于逆向指标,以“目标参照值/现状值”作为该指标的实现程度;综合实现程度为各单项评价指标实现程度加权之和除以指标总个数),见表 1~4。

表 1 我国水利发展进程的水资源利用评价(2000—2010 年)

年份	C_{11}	C_{12}/m^3	C_{13}	$C_{14}/\%$	$C_{15}/\%$	$C_{16}/\%$	实现程度/ $\%$
2000	0.33	251	0.43	56	47.0	69.0	33
2005	0.14	169	0.45	60	43.3	75.0	37
2010	0.04	105	0.50	65	44.0	85.7	43
目标参考值	0	<50	0.80	100	0	100	

表 2 我国水利发展进程的水环境保护评价(2000—2010 年)

年份	C_{21}	C_{22}/t	$C_{23}/\%$	$C_{24}/\%$	$C_{25}/\%$	实现程度/ $\%$
2000	0.38	19.6	32.5	35	40.8	26
2005	0	6.1	52.0	41	43.0	41
2010	0	7.7	82.5	55	46.0	48
目标参考值	0	4	100	100	>95	

表 3 我国水利发展进程的水生态修复评价(2000—2010 年)

年份	$C_{31}/\%$	$C_{32}/\%$	$C_{33}/\%$	$C_{34}/\%$	实现程度/ $\%$
2000	0.0	42	38	16.55	33
2005	1.6	45	37	18.21	39
2010	2.0	50	37	20.36	43
目标参考值	10	>95	<15	35	

表 4 我国水利发展进程的水灾害防治评价(2000—2010 年)

年份	$C_{41}/\%$	C_{42}	实现程度/ $\%$
2000	3.30	21	21
2005	1.97	30	31
2010	1.10	40	48
目标参考值	0.50	>80	

由表 1~4 可知,2000 年水利发展目标综合实现程度仅为 28%,其中水灾害防治的实现程度最低,仅为 21%,说明 2000 年我国水灾害风险较高,水灾害危机严重;环境保护的实现程度为 26%,说明 2000 年我国水环境污染严重。总体来说,2000 年我国处于自然水生态赤字急剧扩大期。

到 2010 年,水利发展目标综合实现程度已大幅度提高至 45%,其中水环境保护、水灾害防治的实现程度均达到 48%,提升幅度较大;水资源利用、水生态修复的实现程度均为 43%,农业灌溉用水量渐趋稳定,基本保持在 3 700 亿 m^3 左右,水资源利用效率虽有提高,但仍未实现用水总量的零增长。工业 COD 排放量已实现与经济发展的脱钩,但水土流失面积占比仍高达 37%。总体来说,2010 年我国进入自然水生态赤字开始缩小期。这是中国水利发展的历史新起点,促使我国水利发展加快进入自然水生态赤字缩小、局部的自然水生态盈余期。

3.2 水利发展进程展望(2015—2050)

通过对国家中长期经济发展预测和水利发展预测,估算 2015—2050 年水利发展进程评价指标如表 5~8。

表 5 我国水利发展进程的水资源利用测算(2015—2050 年)

年份	C_{11}	C_{12}/m^3	C_{13}	$C_{14}/\%$	$C_{15}/\%$	$C_{16}/\%$	实现程度/ $\%$
2015	0.03	80	0.53	80	0	95	67
2020	0.01	60	0.55	95	0	100	75
2030	0	50	0.60	100	0	100	96
2050	0	<50	0.80	100	0	100	100
目标参考值	0	<50	0.80	100	0	100	

表 6 我国水利发展进程的水环境保护测算(2015—2050 年)

年份	C_{21}	C_{22}/t	$C_{23}/\%$	$C_{24}/\%$	$C_{25}/\%$	实现程度/ $\%$
2015	0	7.5	98.9	>60 ^a	60	75
2020	0	7.0	100	80	80	84
2030	0	6.0	100	95	95	92
2050	0	4.0	100	100	100	100
目标参考值	0	4.0	100	100	>95	

表 7 我国水利发展进程的水生态修复测算(2015—2050 年)

年份	$C_{31}/\%$	$C_{32}/\%$	$C_{33}/\%$	$C_{34}/\%$	实现程度/ $\%$
2015	3	60	34	21.66	50
2020	5	70	31	25	61
2030	8	90	25	30	80
2050	10	100	15	35	100
目标参考值	10	>95	<15	35	

表 8 我国水利发展进程的水灾害防治测算
(2015—2050 年)

年份	$C_{41}/\%$	C_{42}	实现程度/ $\%$
2015	0.9	50	59
2020	0.7	60	73
2030	0.5	80	100
2050	0.5	>80	
目标参考值	0.5	>80	

据表 5~8 可知,预计至 2015 年末,国家“十二五”规划完成之际,我国水利发展目标综合实现程度将提高到 63%,其中水环境保护的实现程度高达 75%,提升幅度最大,COD 排放量将实现与经济发展的脱钩;水资源利用的实现程度达到 67%,基本解决农村水贫困发生率,但万元工业增加值用水量仍较高,灌溉水有效利用系数较低,仍未实现用水总量的零增长;水生态修复的实现程度最低(50%),水土流失面积占比略为下降至 34%,自然湿地保护率提高至 60%;水生态修复的实现程度为 59%,水灾害风险不断降低。总体来说,2015—2020 年,我国将处于自然水生态赤字缩小期。

预计到 2030 年,我国水利发展目标综合实现程度将提高到 92%,其中水灾害防治的实现程度达到 100%,提升幅度最大,水灾害危机消除;水资源利用的实现程度高达 96%,实现用水总量的零增长,但灌溉水有效利用系数为 0.6,仍有待提高;水环境保护的实现程度达到 92%,但万元 GDP 工业废水排放量仍有待提高;水生态修复的实现程度达到 80%,水土流失面积占比仍较高(25%)。总体来说,2030 年我国将实现局部的自然水生态盈余。至 2050 年,我国将进入全面的自然水生态盈余期,实现人水和谐、山川秀美,全面建成水利现代化。

4 结 语

从水资源、水环境、水生态以及水灾害 4 个维度,剖析了水利发展对社会经济发展的激励机制、社会经济发展对水利发展的制约机制,探讨了水利发展的历程演变,即自然水生态赤字缓慢扩大期,自然水生态赤字急剧扩大至开始缩小期,自然水生态赤字缩小、局部的自然水生态盈余期,以及全面的自然水生态盈余期。在此基础上,提出了水利发展四大目标,即社会经济发展与水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治。系统设计了水利发展进程评价指标体系,综合评价我国水利发展目标实现程度。结果表明,2010 年,水利发展目标综合实现程度为 45%,现阶段我国水利发展处于自然水生态赤字开始缩小期,但水资源利用效率仍有待提高,

水环境保护力度不足,水生态修复步伐有待进一步加快,水灾害防治体系有待建立健全;至 2015 年末,我国水利发展目标综合实现程度将提高到 63%,进入自然水生态赤字缩小期;至 2030 年,我国水利发展目标综合实现程度将提高到 92%,实现局部的自然水生态盈余;至 2050 年,我国将进入全面的自然水生态盈余期,全面建成水利现代化。

参考文献:

[1] HOLMES B H. A history of federal water resources programs, 1800—1960 [R]. Washington D. C. : USDA, 1972.

[2] BLAKE N M. Land into water-water into land;a history of water management in Florida [M]. Florida: 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 G. Water in New Mexico: a history of its management and use[M]. Albuquerque:University of New Mexico Press,1987.

[5] van de VEN G P. Man-made lowlands; history of water management and land reclamation in the Netherlands [M]. Utrecht;Matrjjs,1993.

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

[7] PERRET S R. Water policies and small holding irrigation schemes in South Africa; a history and new institutional challenges[J]. Water Policy,2002,4(3) :283-300.

[8] SERAGELDIN I. Toward sustainable management of water resources [M]. Washington D. C. : The World Bank, 1995.

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

[10] CECH T V. Principles of water resources: history, development, management, and policy [M]. New York: Wiley,2005.

[11] 张岳. 改革开放 30 年水利改革与发展的历史进程 [EB/OL]. [2008-12-29]. http://www.chinawater.com.cn/ztgz/xwzt/2008ggkf30/5/200812/t20081229_125803.htm.

[12] 陈雷. 在全国水土保持工作会议上的讲话[EB/OL]. [2009-04-12]. <http://www.mwr.Gov.cn/zwzc/idxx/lzyjh/200904/t20090412-123120.html>.

[13] 顾浩. 中国水利现代化研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.

[14] 汪恕诚. 水利发展与历史观[J]. 中国水利,2006 (23) : 1-2. (WANG Shucheng. Water conservancy development and historical view [J]. China Water Resources, 2006 (23) :1-2. (in Chinese)) (下转第 19 页)

- 主要水环境的影响分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):152-156. (YOU Aiju, HAN Zengcui, SHI Yingbiao, et al. Impact of water diversion from Xinanjiang Reservoir to north Zhejiang Province on water environment at Qiantang Estuary [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(2): 152-156. (in Chinese))
- [11] 韩曾萃,程杭平. 钱塘江江水含盐度计算的研究[J]. 水利学报, 1981(6): 46-50. (HAN Zengcui, CHENG Hangping. Study on the salinity calculation of the Qiantang Estuary [J]. Journal of Hydraulics Engineering, 1981(6): 46-50. (in Chinese))
- [12] 韩曾萃,程杭平,史英标,等. 钱塘江河口咸水入侵长历时预测和对策[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 232-240. (HAN Zengcui, CHENG Hangping, SHI Yingbiao, et al. Long-term predictions and countermeasures of saltwater intrusion in the Qiantang Estuary [J]. Journal of Hydraulics Engineering, 2012, 43(2): 232-240. (in Chinese))
- [13] 曾剑,孙志林,潘存鸿,等. 钱塘江河口径流长周期特性及其对河床变形的影响[J]. 浙江大学学报:工学版, 2010, 44(8): 1584-1588. (ZENG Jian, SUN Zhilin, PAN Cunhong, et al. Long-periodic feature of runoff and its effect on riverbed in Qiantang Estuary [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(8): 1584-1588. (in Chinese))
- [14] 潘存鸿,曾剑,唐子文,等. 钱塘江河口泥沙特性及河床冲淤研究[J]. 水利水运工程学报, 2013(1): 1-7. (PAN Cunhong, ZENG Jian, TANG Ziwen, et al. Sediment characteristics and study of riverbed erosion/deposition in Qiantang Estuary [J]. Hydro-Science and Engineering, 2013(1): 1-7. (in Chinese))
- [15] 潘存鸿,张舒羽,史英标,等. 涌潮对钱塘江河口盐水入侵影响研究[J]. 水利学报, 2014, 45(11): 1301-1309. (PAN Cunhong, ZHANG Shuyu, SHI Yinbiao, et al. Study on saltwater intrusion in Qiantang Estuary affected by tidal bore [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(11): 1301-1309. (in Chinese))
- [16] 潘存鸿,鲁海燕,曾剑. 钱塘江涌潮特性及其数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2008(2): 1-9. (PAN Cunhong, LU Haiyan, ZENG Jian. Characteristic and numerical simulation of tidal bore in Qiantang River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(2): 1-9. (in Chinese))
- [17] TORO E F. Shock capturing methods for free surface shallow flows[M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.
- [18] ANASTASIOU K, CHAN CT. Solution of the 2D shallow water equations using the finite volume method on unstructured triangular meshes [J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1997, 24: 1225-1245.
- [19] 于普兵,潘存鸿,谢亚力. 二维风暴潮实时预报模型及其在杭州湾的应用[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2011, 26(6): 747-756. (YU Pubing, PAN Cunhong, XIE Yali. 2-dimensional real time forecasting model for storm tides and its application in Hangzhou Bay [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2011, 26(6): 747-756. (in Chinese))
- [20] 张泽锋,宋立松,汪荣胜,等. 钱塘江河口盐度预报预警系统研制及应用[J]. 浙江水利科技, 2013(5): 54-56. (ZHANG Zefeng, SONG Lisong, WANG Rongsheng, et al. Salinity forecast warning system in Qiantang River estuary [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2013(5): 54-56. (in Chinese))

(收稿日期:2014-08-21 编辑:熊水斌)

(上接第12页)

- [15] 刘树坤. 中国水利现代化和新水利理论的形成[J]. 水资源保护, 2003, 19(2): 1-5. (LIU Shukun. Modernization of water conservancy in China and formation of new theories of water conservancy [J]. Water Resources Protection, 2003, 19(2): 1-5. (in Chinese))
- [16] 王浩,马静. 水利与国民经济协调发展研究[J]. 中国水利, 2006(8): 73-75. (WANG Hao, MA Jing. Research on the coordinated development of Water conservancy and national economy [J]. China Water Resources, 2006(8): 73-75. (in Chinese))
- [17] 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 Proces [J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(6): 120-127. (in Chinese))
- [18] 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))
- [19] 马婷,王乃岳. 水利支撑经济社会发展能力评价指标体系构建及实证研究[J]. 水利经济, 2013, 31(6): 8-12. (MA Ting, WANG Naiyue. The evaluation index system construction and empirical study on Hydraulic supporting social-economy ability development [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2013, 31(6): 8-12. (in Chinese))
- [20] 方国华,高玉琴,谈为雄,等. 水利工程管理现代化评价指标体系的构建[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(3): 39-44. (FANG Guohua, GAO Yuqin, TAN Weixiong, et al. Establishment of evaluation index system for modernization of water conservancy project management [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(3): 39-44. (in Chinese))

(收稿日期:2014-06-18 编辑:郑孝宇)