DOI:10.3880/j.issn.1003-9511.2018.01.014

中国水资源使用效率影响因素分析

赵 悦[1],蒋金荷[2],李富强[2]

(1.东北财经大学公共管理学院,辽宁 大连 116025;
2.中国社会科学院数量经济与技术经济研究所,北京 100732)

摘要:利用指数分解模型对影响中国用水量变化和水资源使用效率的驱动因子进行定量研究。模型计算结果表明,在 2000—2015 年期间,经济发展和人口规模扩大是促进全国用水量增加的主要驱动因子,并且前者的贡献率远远高于后者;行业用水技术进步和工业结构的优化都有利于用水总量的降低和用水效率的提高,但行业用水效率提高具有较大的贡献率,贡献率分别为 76% 和 53%。最后提出研究期内水资源管理政策的评估和反思。

关键词:用水量;水资源使用效率;用水强度;Divisia 指数分解

中图分类号:TV213 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-9511(2018)01-0052-04

2012 年中国政府提出“五位一体”的总体战略布局,包括经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设,这就要求资源、环境、经济社会协调发展。水资源是不可替代的基础性自然资源和战略性经济资源,随着我国经济和社会的快速发展,水资源问题成为我国可持续发展的主要瓶颈。水资源的合理开发利用对于生态文明建设战略下经济社会的协调发展、居民生活的提升具有重大意义。

水资源短缺和水生态环境恶化是目前制约中国水资源利用的两大主要问题。在解决水资源短缺的众多途径中,提高水资源利用效率是解决中国水资源可持续利用问题的关键。水资源使用效率是指使用单位水资源所带来的经济、社会或者生态等的效益。本文的水资源使用效率主要是指所产生的经济效益,即作为国民经系统的投入要素,单位产出所依赖或消耗的水资源,简单定义为单位经济产出所需的用水量,一般用用水强度的倒数表示,即单位 GDP 的用水量。

随着水资源问题的加剧,国内外对水资源使用效率进行了大量的研究,从研究内容、研究方法上大致可分为 3 个方面:①基于生态系统观,对水资源承载能力、安全性等进行综合评价[1-6];②对中国区域水资源利用效率的差异性研究[7-14],大多采用数据包络分析(DEA);③对部门水资源利用效率的研究,主要是农业和工业[15-17],而对引起水资源使用效率产生变化的驱动因子研究不多。本文利用碳排放强度变化分解因子方法——指数分解模型[18],研究引起中国用水总量变化以及水资源使用效率变化的驱动因子及其贡献率,从而对 2000—2015 年以来中国水资源管理政策进行评估,并为未来水利发展及供给侧结构改革提出政策建议。

1 中国水资源使用现状分析

随着全球气候变化的影响,以及我国城镇化的加速推进和高耗水工业的发展,我国面临越加严峻的水资源问题的挑战,主要表现在以下几个方面。

a. 人均拥有水资源量少,时空分布不均衡,水资源配置难度大[19]。我国水资源总量约 2.8 万亿 m^3,按照 2015 年我国总人口核算,人均水资源量只有 2 034 m^3,仅为世界水资源量人均值的 1/4,是全球人均水资源最贫乏的国家之一。降水量年际变化大,且多集中在 6—9 月,期间降雨量占全年的 60% ~80%。

b. 水资源空间分布总体上呈“南多北少”的状

基金项目:中国社会科学院创新工程基础学者项目(2014—2018);中国社会科学院“登峰战略”资助计划

作者简介:赵悦(1989—),男,博士研究生,主要从事区域经济研究。E-mail:123596388@qq.com

通信作者:蒋金荷(1968—),女,研究员,博士,主要从事绿色低碳发展和气候变化政策评估研究。E-mail:jiangjh@cass.org.cn

况。根据2012年统计资料，北方6区（6个水资源一级区：松花江区、辽河区、海河区、黄河区、淮河区、西北诸河区）与南方4区（长江区（含太湖流域）、东南诸河区、珠江区、西南诸河区4个水资源一级区）人口、耕地、GDP、水资源量占全国的百分比见图1。北方6区人均水资源占有量约为994 m^3，仅为南方4区的1/3。水资源与土地等资源的分布不匹配，经济社会发展水平与水资源分布的不相适应，导致水资源供需矛盾突出，水资源配置难度大。

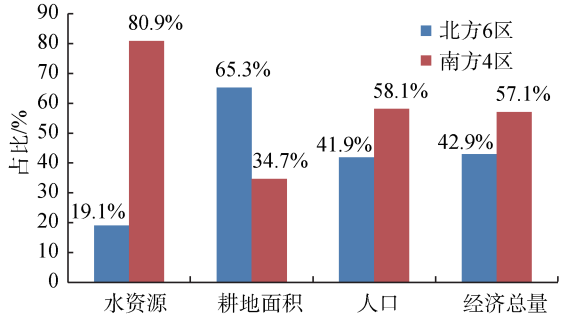

图1　2012年北方6区和南方4区水资源量、耕地面积、人口、GDP占有比例

b. 我国用水总量在2000—2016年总体呈缓慢增长，但最近几年用水量趋于平稳。其中农业用水占比约减少7%，生活生态用水占比约增加6%，工业用水占比基本稳定在22%左右（图2）。

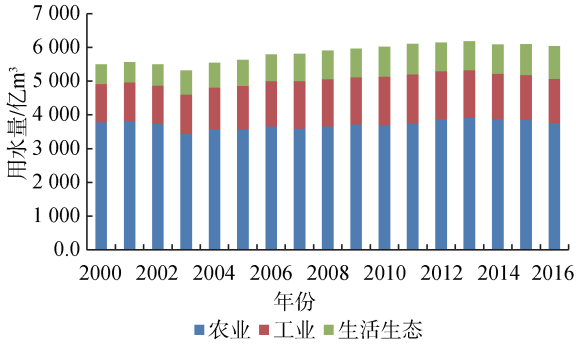

图2　2000—2015年我国行业用水量

2016年全国用水总量6040亿 m^3，比2015年下降63亿 m^3，其中工业用水占21.6%，农业用水占61.4%，用水结构进一步优化。但我国水资源短缺的状况仍然严重，每年缺水量近400亿 m^3，北方地区尤甚。从供水来源看，地下水约占18.5%，达到1100亿 m^3左右，而地下水的过度开采会引起一系列生态环境问题。

c. 我国水资源使用效率在2000—2016年间年均增长8.2%。2016年全国人均综合用水量437 m^3，按当年价，万元GDP用水量由2000年551 m^3降低到2016年81 m^3，按2000年不变价格计算，全社会用水效率提高8.2%；万元工业增加值用水量由2000年285 m^3降低到2016年的53 m^3，按2000年不变价格计算，工业用水效率年均提高8.5%（图3）。城镇人均生活用水量（含公共用水）217 L/d，农村居民人均生活用水量82 L/d。

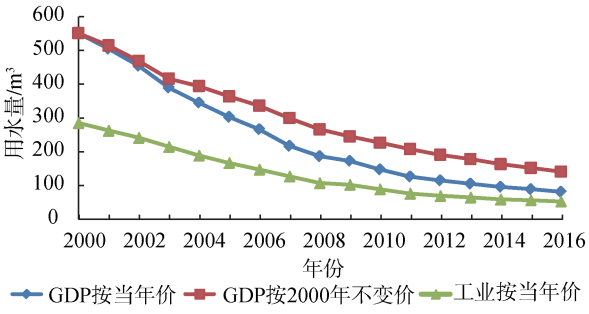

图3　2000—2016年万元GDP用水量和万元工业增加值用水量

生产和城乡居民生活排放废水总量由2000年的620亿t增加到2015年的770亿t。由于用水结构的不合理和浪费，水资源管理体制的不完善，以及地区部门之间的利益冲突，政策实施不到位等原因导致主要流域的水资源供需关系矛盾日益突出。

2　中国水资源使用效率变化关键因子指数分解和结果分析

首先根据著名的Kaya恒等式建立用水总量关系式，设 W 为全国用水总量，W_i（$i=1,2,3,$）分别表示农业、工业、生活生态用水量，则有

$$W=\sum_i W_i=\sum_i \frac{W_i}{V_i}\frac{V_i}{G}\frac{G}{P}P=\sum_i I_i S_i Y P \quad (1)$$

对式（1）做简单变换，得到

$$R=\frac{W}{G}=\sum_i W_i/G=\sum_i \frac{W_i}{V_i}\frac{V_i}{G}=\sum_i I_i S_i \quad (2)$$

式中：G 为经济产出，用国内生产总值（GDP）表示；S_i 为用水行业产出（V_i）占经济总产出的比例，即产业结构；R 表示用水强度（W/G），即单位产出GDP的用水量，可简单表示为用水效率的倒数；I_i（W_i/V_i）表示实现单位行业增加值的用水量，即可表示行业用水效率的倒数；P 为全国人口总量；Y 为人均GDP。可见全国用水总量与经济发展水平、产业结构、行业用水效率、人口总量等因素有关，总用水效率与产业结构、行业用水效率因素有关。

类似于能源效率，分析引起用水总量以及用水效率变化的驱动因素及其贡献率，目前解决这一问题的最普遍方法是指数分解法。根据Divisia指数分解法的原理，可以得到全国用水总量变化LMDI分解加法公式和用水效率变化的AMDI公式[20]。这两种指数分解方法都属于完全分解分析方法，即分解的残差项值为零。

$$\Delta W = W_T - W_0 = \Delta W_{out} + \Delta W_{str} + \Delta W_{int} + \Delta W_{pop} \quad (3)$$

$$\Delta W_{out} = \sum_i L(W_{iT}, W_{i0}) \ln\left(\frac{Y_T}{Y_0}\right)$$

$$\Delta W_{str} = \sum_i L(W_{iT}, W_{i0}) \ln\left(\frac{S_{iT}}{S_{i0}}\right)$$

$$\Delta W_{int} = \sum_i L(W_{iT}, W_{i0}) \ln\left(\frac{I_{iT}}{I_{i0}}\right)$$

$$\Delta W_{pop} = \sum_i L(W_{iT}, W_{i0}) \ln\left(\frac{P_T}{P_0}\right)$$

对于 $a>0, b>0$,对数平均数 $L(a,b)$ 定义为

$$L(a,b) = \begin{cases} \dfrac{a-b}{\ln a - \ln b} & a \neq b \\ a & a = b \end{cases}$$

式中:W_T、W_0 分别表示第 T 期和基期的水使用量;ΔW_{out}、ΔW_{str}、ΔW_{int}、ΔW_{pop} 分别表示经济发展水平效应、产业结构效应、行业用水效率效应、人口规模效应,即用水总量的变化是由这 4 种效应引起的。ΔW_{out} 反应因经济发展水平的提高对用水总量变化的影响;ΔW_{str} 反应产业结构的变化(本文主要考虑农业、工业和服务业)对用水总量的影响;ΔW_{int} 反应各行业用水效率的变化,即用水技术进步提高对用水总量变化的影响;ΔW_{pop} 反映人口总量增加对用水总量变化的贡献。可见,这 4 种效应包含了经济政策因素、技术进步因素和社会发展因素对用水总量变化的影响。

利用算术平均迪氏指数(AMDI, Arithmetic Mean Divisia Index)分解方法,第 t 年相对于第 $t-1$ 年用水强度比值(DR_t)的 AMDI 指数分解乘法公式如下:

$$DR_t = \frac{R_t}{R_{t-1}} = DW_{It} \times DW_{St} \quad (4)$$

其中

$$DW_{It} = \sum_i \frac{1}{2}\left(\frac{W_{i,t}}{W_t} + \frac{W_{i,t-1}}{W_{t-1}}\right) \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}}$$

$$DW_{St} = \sum_i \frac{1}{2}\left(\frac{W_{i,t}}{W_t} + \frac{W_{i,t-1}}{W_{t-1}}\right) \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}}$$

可见,总用水强度变化既与经济结构有关,也与产业用水效率有关,即与行业用水技术进步有关。其变化包含两种指数效应:行业用水强度效应(DW_{It})反映了各部门用水效率变化对总用水强度的影响,体现用水技术进步的作用;经济结构效应(DW_{St})反映了各产业增加值所占比例变化对用水强度的影响。

利用 2000—015 年全国分行业用水量和行业产出增加值统计数据,经过分解模型计算,得到计算结果见表 1、表 2,图 4、图 5。根据表 1、表 2,图 4、图 5 的分解结果,可以得出以下结论。

a. 总体上,从 2000—2015 年中国用水总量增加了 606 亿 m^3,其中促进用水量增加的因子有经济发展水平效应和人口规模效应,而产业结构效应和行业用水效率效应是导致用水量减少的主要因子。也就是说,从“十五”到“十二五”时期,产业结构的改变和行业用水技术进步都有利于用水量的减少。但经济发展水平效应的影响远远超过人口规模效应,行业用水效率效应的影响强于产业结构效应,且不同时期,这 4 个驱动因素对用水量变化的作用是不同的。如,从 2000—2015 年,因为经济发展和人口规模扩大导致用水总量分别增加了 7568 亿 m^3 和 470 亿 m^3,但行业用水技术进步和产业结构的改变导致用水量分别减少了 4614 亿 m^3 和 2818 亿 m^3,从而最终导致我国全社会用水总量在 15 年期间增加 606 亿 m^3。

b. 2015 年水资源使用效率比 2000 年提高了 72%,其中行业用水效率效应贡献 76%,产业结构效应贡献 53%。即行业用水技术进步对用水效率提高的作用大于产业结构效应。尤其“十二五”期间,行业技术进步对用水效率提高的贡献率是产业结构贡献率的 2 倍以上。

因此,可以初步推断,2000 来以来,中国的经济政策、产业政策、水资源管理政策都是影响用水量变化的主要驱动因子,用水量的增加主因在于经济发展,从水资源管理政策而言,总体起到了提高用水效率、降低用水量的作用,尤其是行业用水技术进步的作用是非常显著的。

3 结论和政策建议

对政策实施影响评价可以反映两个问题:政策的合理性以及政策的可执行性,本文从水资源管理政策和经济政策对用水量变化的影响效果来分析研究期内政策的合理性。为了定量估算不同驱动因子对用水量和用水效率变化的贡献率,采用 Divisia 指数分解模型。研究结果发现,在 2000—2015 年期间,经济发展和人口规模扩大是促进全国用水量增加的主要驱动因子,并且前者的贡献率远远高于后者;行业用水技术进步和工业结构的优化都有利于用水总量的降低和用水效率的提高,但行业用水效率提高具有较大的贡献率。基于本文的初步研究结论,对研究期内中国水资源管理政策提出以下几点评价和反思,同时也为未来水利发展及供给侧结构性改革提出政策建议。

a. 用水总量和工业用水结构比例基本趋于稳定,2000 年以来中国产业结构中“高耗水”行业比例

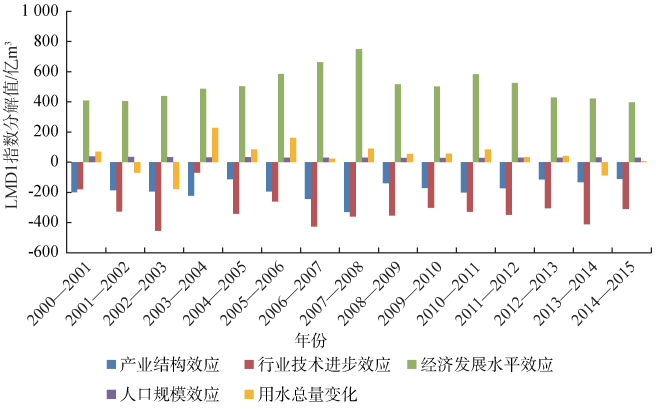

图 4　2000—2015 年全国用水量变化 LMDI 指数分解值

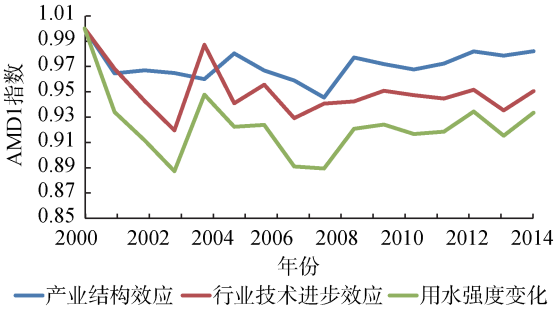

图 5　2000—2015 年用水效率指数分解(AMDI)的变化趋势(令指数 2000 年 = 1)

表 1　2000—2015 年全国用水量变化 LMDI 加法分解

时期	分解值/亿 m^3				贡献率/%				总变化/亿 m^3
	产业结构效应	行业用水效率效应	经济水平效应	人口规模效应	产业结构效应	行业技术进步效应	经济水平效应	人口规模效应	
2000—2005	-917	-1 389	2 268	173	-678	-1 026	1 675	128	135
2005—2010	-1 068	-1 687	2 998	147	-275	-434	771	38	389
2010—2015	-720	-1 687	2 338	150	-887	-2 079	2 880	185	81
2000—2015	-2 818	-4 614	7 568	470	-465	-762	1 250	78	606

表 2　2000—2015 年用水效率变化 AMDI 乘法分解

时期	分解值		贡献率/%		总变化量	变化百分率/%
	产业结构效应	行业技术进步效应	产业结构效应	行业技术进步效应		
2000—2005	0. 848	0. 779	44. 8	65. 1	0. 661	33. 9
2005—2010	0. 832	0. 749	44. 5	66. 7	0. 623	37. 7
2010—2015	0. 888	0. 757	34. 2	74. 1	0. 672	32. 8
2000—2015	0. 615	0. 451	53. 3	75. 9	0. 277	72. 3

历经先增大后减小的过程,相应的用水结构在“十二五”期间不断优化,但“高耗水”产业比例仍然是偏高的。未来产业结构的升级优化还要加强,需大力支持“低耗水”产业的发展。

b. 城乡居民的生活用水量差距较大,2016 年乡村居民用水量仅是城镇居民的 38%。随着新型城镇化的推进和建设全面小康社会政策的实施,居民生活用水不断提高,生活用水占用水总量的比例也会相应提高,既需要完善生活用水的各项管理政策,尤其是合理、灵活的生活用水价格机制对节水的影响,也要推广节水技术。

c. 用水效率在不同时期都有所提高,对全社会用水量降低起到了主要的促进作用。这就从侧面指出了“十五”以来我国水资源开发利用和“节水型”技术推广政策是有效果的。但与发达经济体比较,中国用水效率仍比较低,未来还需要加强,尤其在农业节水灌溉技术投入和推广等方面。可以预见,提高用水效率是中国未来节水的主要途径。

d. 从供给侧水利改革方面,水资源作为基础资源,是国民经济系统的投入要素,用水效率是反映水利供给侧结构改革的重要指标,基于模型分解结果,期待在完善水资源管理机制、加强水资源管理政策实施、加大水利技术开发的投资力度、推广各行业节水技术等方面更加得到重视。

参考文献:

[1] 李云玲,郭旭宁,郭东阳,等. 水资源承载能力评价方法研究及应用[J]. 地理科学进展,2017,36(3):342-349.

[2] 刘佳骏,董锁成,李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报,2011,26(2):258-269.

[3] 郦建强,王建生,颜勇. 我国水资源安全现状与主要存在问题分析[J]. 中国水利,2011(23):42-51.

[4] 张倩,邓祥征,周青. 城市生态管理概念、模式与资源利用效率[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(6):142-151.

[5] 夏军,刘春蓁,任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展,2011,26(2):1-12.

[6] 宋建军,张庆杰,刘颖秋. 2020 年我国水资源保障程度分析及对策建议[J]. 中国水利,2004(9):14-17.

(下转第 63 页)

作要点[J]. 水利经济,2016(6):5-8.
[5] 国务院. 农田水利条例[EB/OL]. (2016-06-02)[2017-07-12]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-06/02/content_5078987.htm.
[6] 吴德平. 引入社会资本解决农田水利"最后一公里"问题的恨虎坝探索[J]. 中国水利,2016(1):4-7.
[7] 李鹏,王龙浩. 山东齐河探索引入社会资本参与农田水利工程建设新课题[N]. 中国水利报,2016-03-08(7).
[8] 吴晓珺,范智. 大河有水小塘满:水系连通创丰年——安徽定远县打通农田水利"最后一公里"[N]. 中国水利报,2015-10-20(5).
[9] 张海川,李苏犁,马礼平. 鼓励社会资本建设和管理农田水利工程初探[J]. 水利发展研究,2016(8):13-15.
[10] 穆希. 云南:引民资"活水"入公共"大田"[J]. 创造,2015(10):30-33.
[11] 云南省人民政府办公厅. 关于鼓励引导社会资本参与农田水利设施建设运营管理的意见[EB/OL]. (2015-10-19)[2017-07-12]. http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp? NewsID=20472.
[12] 四川省水利厅,四川省财政厅. 关于鼓励引导社会资本参与农田水利设施建设运营的意见[EB/OL]. (2017-01-09)[2017-07-12]. http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp? NewsID=21583.
[13] 罗琳,李晓晓. 新型农业经营主体参与农田水利建设和管理存在的问题及对策[J]. 中国农村水利水电,2017(1):23-26.
[14] 范卓玮. "十三五"建立水利投入稳定增长机制的对策措施[J]. 水利发展研究,2016(6):10-12.
[15] 刘静,谢勇. 引导金融资源向水利倾斜[N]. 中国水利报,2012-08-28(3).
[16] 胡亚利. 云南省设立省级农田水利投资基金[EB/OL]. (2016-08-11)[2017-07-12]. http://www.mwr.gov.cn/xw/ggdt/201702/t20170213_854358.html.
[17] 庞靖鹏. 水利项目推广应用 PPP 模式相关建议[J]. 中国水利,2017(4):30-32.
[18] 魏天辉. 河南省社会资本投资农田水利建设的困境和保障机制[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版),2016(5):1-4.
[19] 王健宇,柳长顺,刘小勇,等. 小型农田水利工程产权制度改革研究:理论模式及实践形式[J]. 中国水利,2015(2):17-20.
[20] 刘小勇. 农业水价改革的理论分析与路径选择[J]. 水利经济,2016(4):31-34.

(收稿日期:2017-11-06 编辑:方宇彤)

(上接第 55 页)

[7] 陈素景,孙根年,韩亚芬,等. 中国省际经济发展与水资源利用效率分析[J]. 统计与决策,2007(22):65-67.
[8] 李世祥,成金华,吴巧生. 中国水资源利用效率区域差异分析[J]. 中国人口·资源与环境,2008,18(3):215-220.
[9] 廖虎昌,董毅明. 基于 DEA 和 Malmquist 指数的西部 12 省水资源利用效率研究[J]. 资源科学,2011,33(2):273-279.
[10] 钱堃,朱显成. 水资源效率模型及以辽宁省为例的实证研究[J]. 大连工业学报,2008,27(6):188-190.
[11] 钱文婧,贺灿飞,中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(2):54-60.
[12] 戚瑞,耿涌,朱庆华. 基于水足迹理论的区域水资源利用评价[J]. 自然资源学报,2011,26(3):486-495.
[13] ZHANG Xuteng, YU Jingjie. Water use efficiency assessment of Chinese provinces based on a data envelopment analysis model with undesirable output[J]. Journal of Water Resources Research, 2017,6(2):138-147.
[14] 赵良仕,孙才志,郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报,2014,69(1):121-133.
[15] 靳京,吴绍洪,戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J]. 资源科学,2005,27(1):146-152.
[16] 王学渊,赵连阁. 中国农业用水效率及影响因素[J]. 农业经济问题,2008(3):10-18.
[17] 岳立,赵海涛. 环境约束下的中国工业用水效率研究[J]. 资源科学,2011,33(11):2071-2079.
[18] 蒋金荷. 中国经济和能源政策对碳排放强度的影响[J]. 重庆理工大学学报(社会科学),2016(7):28-36.
[19] 夏军,翟金良,占车生. 我国水资源研究与发展的若干思考[J]. 地球科学进展,2011,26(9):65-75.
[20] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide[J]. Energy Policy, 2005,33:867-871.

(收稿日期:2017-12-24 编辑:胡新宇)

(上接第 59 页)

[4] 国家发展改革委,财政部,水利部. 关于鼓励和引导社会资本参与重大水利工程建设运营的实施意见[EB/OL]. (2015-03-19)[2017-06-05]. http://www.gov.cn/xinwen/2015-03/19/content_2836367.htm.
[5] 马超,乔根平,厉娜. 当前水利吸引社会资本应避免陷入的几个误区[J]. 中国水利,2017(3):44-47.
[6] 马超,袁晓奇. 社会资本参与水利建设的典型模式及操作要点[J]. 水利经济,2016,34(6):5-8.
[7] 马毅鹏. 地方政府融资平台转型路径:透视水利行业[J]. 改革,2015(3):82-88.
[8] 魏红亮,张旺. 加大水利投入稳定增长机制创新探索的思考[J]. 中国水利,2013(8):55-62.
[9] 李敏,水利 PPP 项目运营模式选择的适应性分析[J]. 人民珠江,2016(6):70-73.

(收稿日期:2017-11-02 编辑:陈玉国)