

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.05.009

可利用水资源量正逆向联合计算方法

周琦^{1,2}, 池飞³, 逢勇^{1,4}, 周志勇⁵

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 铜陵学院建筑工程学院, 安徽 铜陵 244061;

3. 宁波市城区河管理处, 浙江 宁波 315041;

4. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 5. 铜陵市水务局, 安徽 铜陵 244000)

摘要:基于可持续利用考虑,提出以区域水环境容量可承受用水量作为可利用水资源量的逆向计算方法,并与传统的以区域水资源总量为基础的正向计算方法联合。对该计算方法的影响因素:洪水弃水量、河道需水量、水质达标率及水环境容量和单位耗水排污量分别进行了分析。应用该方法分别计算了闽江上游富屯溪流域、沙溪流域和闽江干流下游流域的可利用水资源量。结果表明,下游流域可利用水资源量宜取正向计算方法结果,上游流域2种计算方法结果相差不大,但会出现逆向计算方法结果小于正向计算方法结果的情况。相比于传统的正向计算方法,采用正逆向结合计算方法即考虑了工程调蓄、河道需水及水质状况等因素,也保证了流域水资源的可持续利用。

关键词:可利用水资源量;可持续利用;逆向计算;正逆向联合

中图分类号:TV213.9 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)05-0042-05

A combined forward and reverse method for available water resources calculation

ZHOU Qi^{1,2}, CHI Fei³, PANG Yong^{1,4}, ZHOU Zhiyong⁵

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Tongling University, Tongling 244061, China;

3. Ningbo City River Management Office, Ningbo 315041, China;

4. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development of Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

5. Water Conservancy Bureau of Tongling City, Tongling 244000, China)

Abstract: For sustainable utilization of water resources, a reverse calculation method has been put forward, which considers water consumption of the water environmental capacity as the available water resources (AWR). This method is combined with the traditional forward calculation method, which is based on the amount of regional water resources. The factors that affect the AWR calculation, including the abandoned flood quantity, water demand in rivers, water qualification rate, water environmental capacity, and unit water consumption of pollutant discharge, are analyzed. The method was used to calculate the AWR in the Futunxi and Shaxi basins in the upper reaches of the Minjiang River and in the basins of the lower reaches of the main stream of the Minjiang River. The results show that the forward calculation method of the AWR should be adopted in the lower reaches of the Minjiang River. Similar amounts of AWR can be calculated by the reverse and forward calculation methods in the upper reaches of the Minjiang River, but the result of the reverse calculation method is smaller than that of the forward calculation

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07405002);安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2016A868);安徽省高校优秀青年骨干人才国内外访学研修重点项目(gxfZD2016244)

作者简介:周琦(1981—),男,讲师,博士,主要从事水资源水环境保护研究。E-mail:zq316249@sina.com

通信作者:逢勇,教授。E-mail:pangyonghu@163.com

method. Compared with the traditional forward calculation method, the combined forward and reverse method can take into account factors such as water diversion and storage in projects, water demand in rivers, and water quality, and assure sustainable utilization of water resources.

Key words: available water resources; sustainable utilization; reverse calculation; combined forward and reverse method

水资源是基础资源与战略资源,是人类赖以生存和发展的基本条件^[1]。我国水资源总量为 2.81 万亿 m³,其中河川径流达 2.71 万亿 m³^[2],从绝对数量上看并不少,但由于水资源量时空分布不均匀,而部分地区水利工程建设不完善,导致真正能够使用的水量较少。同时,随着我国社会经济的高速发展,污染物大量排入水体,水体水质不断恶化,导致可利用的水资源量日趋减少。从上述分析看,虽然我国水资源总量并不少,但由于工程和水质等方面的原因,真正能够利用的水资源量并不多。因此,从人类对水资源的开发利用的角度来说,研究区域的可利用水资源量比水资源总量更有实际意义^[3]。

1 可利用水资源量概念

关于可利用水资源量的定义和计算方法的确定是一个逐步完善的过程。刘作荣等^[4-5]认为可利用水资源量是“在一定的经济技术条件下可以开发利用的水资源量”,概念并不具体,侧重强调经济技术条件,计算时也只考虑了工程方面的因素。王建生等^[6]将水资源可利用总量定义为:“在可预见的时期内,在统筹考虑生活、生产和生态环境用水的基础上,通过经济合理、技术可行的措施在当地水资源量中可资一次性利用的最大水量”,概念中同时考虑了技术经济条件和生态环境需水要求,根据上述定义,王建生等^[6]在计算地表水可利用量时扣除河道内生态环境需水量和汛期洪水弃水量,但并没有考虑到河道内水体的水质达标情况。实际中水体水质不一定完全达标,而水质不达标是不能够被利用的,因此,彭进平等^[7]在计算湛江市可利用水资源量时,在扣除河道内生态环境需水量和汛期洪水弃水量外,还扣除了因水质未达标而失去利用功能的水量。彭进平等^[7]在定义可利用水资源量概念时还考虑到了过境水体中可利用水资源量,具体为:在可预见的时期内,满足河道等水资源载体的水功能目标(水质达标),并统筹考虑载体内生态环境和其他用水的基础上,载体外生活、生产、生态用水的一次性最大用水量(不包括回归水的重复利用及汛期弃水);由于区域存在过境河流,因此区域可利用水资

源量必须再加上过境水资源中可利用部分^[7]。

2 可利用水资源量计算方法及影响因素分析

2.1 计算方法

相对于上述其他定义,彭进平等^[7]给出的定义提到了水资源的可持续利用性,但其给出的可利用水资源量计算方法只是基于水质达标情况的考虑,并没有体现水资源可持续利用性。而随着社会经济发展用水量的增加,向水体排放的污染物也随之增加,这就大大增加了水体自净的压力,一旦污染物排放量超过水体的纳污能力(即水环境容量),水体水质即不能满足水体水功能区划目标,水资源可持续利用性也随之破坏,因此,在计算可利用水资源量时,还需考虑水体纳污能力即水环境容量的影响。

基于上述分析,本文将可利用水资源量的计算分 2 种情况:①以区域水资源总量为基础的传统计算方法^[6-9],可称为正向计算方法;②考虑区域水资源的可持续利用,从区域水环境容量可承受的用水量出发倒算出可利用水资源量,可称为逆向计算方法。

2.1.1 正向计算

在区域水资源总量的基础上,考虑工程调蓄条件、水体生态生产需水情况和水体水质情况计算区域可利用水资源量,具体公式为

$$Q_{\text{可}1} = (Q_{\text{总}} - Q_{\text{河道}} - Q_{\text{弃}})\gamma \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{可}1}$ 、 $Q_{\text{总}}$ 、 $Q_{\text{河道}}$ 和 $Q_{\text{弃}}$ 分别为正向计算的可利用水资源量、水资源总量、河道内生态生产需水量和汛期弃水量; γ 为水体水质达标率。

2.1.2 逆向计算

由区域单位产业增加值和人均生活的净用水情况和排污情况,确定区域社会经济发展单位耗水的排污量,再结合区域水体水环境容量,倒算出区域可利用水资源量,具体计算公式为

$$Q_{\text{可}2}^i = \frac{W_i}{q_i} \quad (2)$$

$$Q_{\text{可}2} = \min(Q_{\text{可}2}^i) \quad (3)$$

式中, $Q_{\text{可}2}$ 、 $Q_{\text{可}2}^i$ 、 W_i 和 q_i 分别为逆向计算的可利用水资源量、通过污染物 i 逆向计算可利用水资源量、污染物 i 的水环境容量及区域社会经济发展单位耗水污染物 i 排放量。

2.1.3 正逆向联合计算

式(2)中,当单位耗水排污量很小、区域水环境

容量较大时,逆向计算的区域可利用水资源量可能会很大,此时,区域可利用水资源量需采正向计算进行结果控制,逆向计算结果超过正向计算的部分可作为区域外调用水量,以充分利用区域单位耗水排污量小的生产技术水平优势及区域水环境容量大的自然优势。

由上述分析可知,可利用水资源量最终取值要反映水资源可持续利用性及工程调蓄能力、水体生态生产需水、水质达标情况等因素的影响,需取2种计算结果中的较小值,即

$$Q_{\text{可}} = \min(Q_{\text{可}1}, Q_{\text{可}2}) \quad (4)$$

2.2 影响因素分析

从计算方法的阐述过程中可知,可利用水资源量的计算主要受以下因素影响:①汛期弃水量;②河道内需水量;③水体水质达标率;④区域水环境容量和区域单位耗水排污量。下面分别阐述各影响因素的确定方法。

2.2.1 汛期弃水量

汛期来水中难以被利用的洪水水量,通常被称为汛期弃水量。其大小可根据流域内蓄水工程的调蓄能力和汛期区域用水程度综合分析计算得出。

$$Q_{\text{弃}} = Q_{\text{汛}} - Q_{\text{蓄}} - Q_{\text{耗用}} \quad (5)$$

式中: $Q_{\text{弃}}$ 、 $Q_{\text{汛}}$ 分别为汛期弃水量和来水量; $Q_{\text{蓄}}$ 为区域蓄水工程汛期能够调蓄的水量; $Q_{\text{耗用}}$ 为汛期社会经济发展所能耗用的水量,与需水量 $Q_{\text{需}}$ 及引提水能力 $Q_{\text{引提}}$ 有关,按最大值考虑,即

$$Q_{\text{耗用}} = \max(Q_{\text{需}}, Q_{\text{引提}}) \quad (6)$$

2.2.2 河道内需水量

河道内需水量包括生态需水量和生产需水量。河道生态需水量主要包括^[6]:①维持河道基本功能的需水量(包括防止河道断流、保持水体合理的自净能力、河道冲沙输沙以及维持河湖水生生物生存的水量等);②通河湖泊湿地需水量(包括湖泊、沼泽地以及必要的地下水补给等需水);③河口生态环境需水量(包括冲淤保港、防潮压咸及河口生物保护需水等)。河道生产需水量主要为航运、水力发电、旅游、水产养殖等部门用水量。

考虑到河道内需水不消耗水量,并且满足上述多项功能、水量可重复利用的特性,河道内需水量可取上述需水量中最大值。

采用分割法^[10]对河道内需水量进行估算,具体计算公式为

$$Q_{\text{河道}} = Q_{\text{基流}}(1 - \beta) \quad (7)$$

式中: $Q_{\text{基流}}$ 为河道基流量,采用直线法将天然径流切割为地表径流量和河道基流量; β 为河道基流可利用率,据参考文献^[10]可取为0.4。

2.2.3 水体水质达标率

正向计算方法中,取水处水质达标情况是影响可利用水资源量计算结果的重要参数,但在实际计算中,部分取水处如农业用水取水点的水质达标情况难以获得,而对于范围较大区域的可利用水资源量计算,采用水功能区水质达标率进行可利用水资源量的计算,结果能够保证一定的准确性。水功能区达标率为水体各功能区水质达到目标水质的比率,其大小直接决定了区域可利用水量的大小。通常区域环境公报和环境监测资料给出的水质达标率是按照监测点达标率或河长达标率来计量。而水体水质不达标,其污染物主要来源于点源和面源,面源污染物主要来源于水体汇水面积内降雨对地面的冲刷,因此,若以监测点达标率或河长达标率作为水功能区达标率来进行可利用水资源量的计算,结果准确性较差。相对来说,以水质达标水体的汇水面积占总汇水面积的比率作为水功能区达标率进行可利用水资源量的计算,结果更为准确,因此,水功能区达标率可按下式进行计算:

$$\gamma = S_{\text{达}} / S_{\text{总}} \quad (8)$$

式中: $S_{\text{达}}$ 为水体水质达标的水功能区汇水面积; $S_{\text{总}}$ 为区域水体总汇水面积。

2.2.4 水环境容量和单位耗水排污量

水环境容量和单位耗水排污量是采用逆向计算可利用水资源量的影响因素,水环境容量越大,逆向计算得出的可利用水资源量越大。水环境容量的计算根据水体类型的不同,可分别采用完全混合模型、一维河道模型和二维河道模型计算,此处不再具体叙述,具体计算方法见文献^[11]。

单位耗水排污量与可利用水资源量成反比关系,具体计算公式为

$$q_i = e_{\text{排}}^i / Q_{\text{耗}} \quad (9)$$

式中: $Q_{\text{耗}}$ 为区域社会经济发展耗水总量; $e_{\text{排}}^i$ 为第*i*种污染物区域排放总量。

单位耗水排污量所涉及的区域耗水总量和排污总量主要受区域产业发展结构、生产力技术水平和区域人居生活习惯等影响。区域耗水总量是否包括区域外调水对区域产业生产水平和人居生活习惯并无直接影响,因此对单位耗水排污量和逆向计算区域可利用水资源量结果也无直接影响。上述区域耗水总量和排污总量可根据区域多年水资源公报和环境统计公报提供的区域多年耗水量和排污量分析确定。

3 流域可利用水资源量计算

闽江为福建省最大河流,全长577 km,流域面积约占全省面积的一半。发源于武夷山脉,流域面积

60992 km²,其中,属福建省面积 59922 km²,浙江省面积 1070 km²。南平以上有建溪、富屯溪、沙溪 3 大支流,南平以下纳尤溪、古田溪、大樟溪等支流,最后流经福州马尾入海。

分别选取闽江上游富屯溪流域、沙溪流域和闽江干流下游流域(水口大坝以下不包括大漳溪流域)进行可利用水资源量计算。

3.1 计算条件

3.1.1 流域径流条件

采用相关规划报告^[12-14]提供的各保证率下富屯溪、沙溪和闽江干流下游年径流量及保证率 $P=50\%$ 和 $P=90\%$ 的月分配径流量数据, $P=75\%$ 和 $P=95\%$ 保证率的月分配径流量可类比取得。

3.1.2 流域工程调蓄及供用水情况

以 2010 年各流域内蓄水工程最大调蓄能力、城镇乡村的最大供水规模及流域内农田灌溉最大需水量作为计算条件分别计算不同保证率来水的流域最小弃水量,根据相关规划报告^[11-13]提供数据可知具体条件如下:

a. 富屯溪流域蓄水工程调蓄库容为 8.32 亿 m³;城镇乡村供水规模为 51.60 万 m³/d;农田保灌面积约为 80793 hm²,根据流域内农田保灌面积与毛灌溉定额估算流域内农田灌溉用水,不同保证率下毛灌溉定额分别为:12300 m³/(hm²·a) ($P=95\%$);12000 m³/(hm²·a) ($P=90\%$);11250 m³/(hm²·a) ($P=75\%$);10500 m³/(hm²·a) ($P=50\%$)。平均分配月灌溉用水量。

b. 沙溪流域蓄水工程调蓄库容为 10.05 亿 m³;城镇乡村供水规模为 70.85 万 m³/d;农田保灌面积约为 74707 hm²,根据流域内农田保灌面积与毛灌溉定额估算流域内农田灌溉用水,灌溉定额同富屯溪流域,平均分配月灌溉用水量。

c. 闽江干流下游流域蓄水工程调蓄库容为 4.19 亿 m³;城镇乡村供水规模为 275.57 万 m³/d;农田保灌面积为 6667 hm²,根据流域内农田保灌面积与毛灌溉定额估算流域内农田灌溉用水,灌溉定额同富屯溪流域,平均分配月灌溉用水量。

3.1.3 流域水功能区划及达标情况

根据《福建省水(环境)功能区划表》(2004 年),

富屯溪流域共划分为 44 个水功能区,沙溪流域共划分为 64 个水功能区,闽江干流下游流域共划分为 22 个水功能区,根据对流域内河道、湖库汇水面积的统计,各类不同水质目标功能区汇水面积统计结果见表 1,同时根据 2010 年水质监测资料,各功能区水质达标情况及相应汇水面积见表 1。

表 1 区域水功能区水质达标情况及汇流面积统计

流域	功能区水质目标	功能区数量/个	功能区汇水面积/km ²		
			现状水质达标	现状水质超标	合计
富屯溪流域	I ~ II	9	295	0	295
	III	34	12069	0	12069
	IV	1	122	0	122
	合计	44	12486	0	12486
沙溪流域	I ~ II	10	972	0	972
	III	54	8980	1841	10821
	IV	0	0	0	0
	合计	64	9952	1841	11793
闽江干流下游流域	I ~ II	8	91	0	91
	III	13	4106	0	4106
	IV	0	0	0	0
	V	1	52	0	52
	合计	22	4249	0	4249

3.1.4 水环境容量及单位耗水排污量确定

参考《福建省地表水环境容量核定技术报告》(2004,福建省环保局)污染源、水源保护区位置情况,确定污染物降解系数分别为:COD 为 0.22 ~ 0.30;NH₄⁺-N 为 0.15 ~ 0.20,计算流域主要排放污染物 COD 和 NH₄⁺-N 各保证率下的水环境容量(表 2)。

富屯溪流域和沙溪流域位于福建省三明市境内,而闽江干流下游流域主要位于福州市境内,根据三明市和福州市多年水资源公报和环境公报统计数据确定流域内社会经济发展单位耗水污染物排放量分别为:富屯溪流域 COD 为 42.42 g/m³,NH₄⁺-N 为 3.63 g/m³;沙溪流域 COD 为 37.43 g/m³,NH₄⁺-N 为 4.68 g/m³;闽江干流下游流域 COD 为 24.87 g/m³,NH₄⁺-N 为 2.45 g/m³。

3.2 计算结果与讨论

根据式(1)~(9)分别计算沙溪流域和闽江干流下游流域在现状水质条件和水质完全达标情况下的各保证率可利用水资源量,计算结果见表 3。由表 3 可知;若仅采用传统的正向计算方法,可利用水资源量的计算结果不能满足流域水资源可持续利

表 2 污染物水环境容量计算结果

保证率/%	富屯溪流域环境容量/(t·a ⁻¹)		沙溪流域环境容量/(t·a ⁻¹)		闽江干流下游流域环境容量/(t·a ⁻¹)	
	COD	NH ₄ ⁺ -N	COD	NH ₄ ⁺ -N	COD	NH ₄ ⁺ -N
50	723447	14647	530044	21021	656093	36335
75	594823	12043	440182	17457	426860	23640
90	492178	9965	371473	14732	403918	22369
95	437068	8849	333928	13243	347414	19240

用,如富屯溪流域各保证率下可利用水资源量正向计算结果大于逆向计算结果,以及 95% 保证率下沙溪流域正逆向计算结果相比同样如此;而仅采用逆向计算方法,计算结果又不能反映流域内工程调蓄能力及河道需水、水质状况等因素,如闽江干流下游流域可利用水资源量正向计算结果要小于逆向计算结果,因此综合考虑工程调蓄能力、河道需水、水质状况以及可持续利用,可利用水资源量的计算需采用正逆向联合计算。

表 3 可利用水资源量计算结果

流域	保证率/%	$Q_{可1}/(\text{亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$		$Q_{可2}/(\text{亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	$Q_{可}/(\text{亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	
		现状水质	水质完全达标		现状水质	水质完全达标
富屯溪流域	50	60.234 1	60.234 1	49.113 9	49.113 9	49.113 9
	75	54.011 8	54.011 8	41.688 1	41.688 1	41.688 1
	90	43.500 0	43.500 0	35.795 1	35.795 1	35.795 1
	95	40.179 2	40.179 2	32.637 3	32.637 3	32.637 3
沙溪流域	50	35.460 9	42.020 7	53.004 6	35.460 9	42.020 7
	75	36.019 3	42.682 4	45.159 5	36.019 3	42.682 4
	90	32.825 1	38.897 3	39.183 7	32.825 1	38.897 3
	95	30.838 4	36.543 1	35.925 6	30.838 4	35.925 6
闽江干流下游流域	50	34.516 8	34.516 8	153.386 1	34.516 8	34.516 8
	75	31.598 5	31.598 5	101.403 2	31.598 5	31.598 5
	90	28.262 6	28.262 6	96.119 4	28.262 6	28.262 6
	95	26.451 8	26.451 8	83.293 6	26.451 8	26.451 8

比较各流域正逆向结果,发现上游富屯溪和沙溪流域正逆向计算结果相差不大,而闽江干流下游 2 种结果相差很大,造成这种情况的原因在于:闽江干流下游 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的环境容量大于沙溪流域和富屯溪流域,而其社会经济发展单位用水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 排放量比富屯溪流域和沙溪流域小得多,同时下游流域工程蓄水能力小造成弃流比例大,两方面因素使得按照逆向计算得出的可利用水资源量远大于正向计算结果;而上游富屯溪流域和沙溪流域则情况相反,因此,逆向计算结果和正向计算结果相差不大。

4 结 论

提出了可利用水资源量计算的正向计算方法和逆向计算方法,正向计算方法考虑了影响可利用水资源量的传统因素,如河道需水、汛期弃水及水质达标情况等,逆向计算方法从水资源可持续利用角度出发,考虑了水环境容量对可利用水资源量的影响。将 2 种计算方法联合分别计算了闽江上游沙溪流域、富屯溪流域和闽江干流下游流域在现状水质条件和水质完全达标条件下各水平年可利用水资源量,结果显示:由于闽江干流下游流域单位耗水排污量小、调蓄能力小,采用正向计算方法更加合适;而上游富屯溪流域和沙溪流域,由于其区域单位用水

排污量大、工程调蓄能力大,2 种计算方法计算结果相差不大,但沙溪流域处于 95% 保证率时,宜采用逆向计算方法,而富屯溪流域则需完全取逆向计算结果。为保证流域内水资源可持续利用,可利用水资源量的计算应采用正向逆向联合计算的方法。

参考文献:

[1] 刘昌明,陈志凯. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

[2] 冯尚友,傅春. 我国未来可利用水资源量的估测[J]. 武汉水利电力大学学报,1999,32(6):6-9. (FENG Shangyou,FU Chun. Estimation of available water amount for future in China[J]. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering,1999,32(6):6-9. (in Chinese))

[3] 贾绍凤,周长青,燕华云,等. 西北地区水资源可利用量与承载能力估算[J]. 水科学进展,2004,15(6):801-807. (JIA Shaofeng,ZHOU Changqing,YAN Huayun,et al. Estimation of usable water resources and carrying capacity in Northwest China[J]. Advances in Water Science,2004,15(6):801-807. (in Chinese))

[4] 刘作荣. 区域地表水资源可利用量计算方法的探讨[J]. 黑龙江水专学报,1995(1):47-49. (LIU Zuorong. On computational method of regional available surface water resources[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College,1995(1):47-49. (in Chinese))

[5] 刘花台,郭占荣,董华,等. 西北地区地下水可利用量及开采潜力分析[J]. 水文,2000,20(6):17-20. (LIU Huatai,GUO Zhanrong,DONG Hua,et al. Analysis of the permissible utilization volume of groundwater in northwestern area and exploitation potential[J]. Journal of China Hydrology,2000,20(6):17-20. (in Chinese))

[6] 王建生,钟华平,耿雷华,等. 水资源可利用量计算[J]. 水科学进展,2006,17(4):549-553. (WANG Jiansheng,ZHONG Huaping,GENG Leihua,et al. Available water resources in China[J]. Advances in Water Science,2006,17(4):549-553. (in Chinese))

[7] 彭进平,逢勇. 沿海缺水区域可利用水资源量计算研究:以湛江市为例[J]. 水文,2010,30(3):80-83. (PENG Jinping,PANG Yong. Study on available water resources of coastal water-lack areas[J]. Journal of China Hydrology,2010,30(3):80-83. (in Chinese))

[8] 方红远,王银堂,胡庆芳. 区域洪水资源可利用量评价分析[J]. 水利学报,2009,40(7):776-781. (FANG Hongyuan,WANG Yintang,HU Qingfang. Method for estimating utilizable quantity of regional floodwater[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2009,40(7):776-781. (in Chinese))

(下转第 52 页)

Environment,2008,43(6):999-1009.

[2] HATUSH Z, SKITMORE M. Evaluating contractor prequalification data: selection criteria and project success factors[J]. Construction Management and Economics, 1997;15(1):129-147.

[3] 宋波,徐飞. 基于多目标群决策迭代算法的 PPP 项目合作伙伴选择[J]. 系统管理学报,2011,20(6):690-695. (SONG Bo, XU Fei. Partner-selection in public-private partnership project based on an iterative algorithm for the multi-objective group decision problem[J]. Journal of Systems & Management, 2011, 20(6): 690-695. (in Chinese))

[4] 朱蓉,周晓光. 基于熵权的可拓综合评价及其在伙伴选择中的应用[J]. 人力资源管理,2011(11):194-196. (ZHU Rong, ZHOU Xiaoguang. Based on entropy weight is the extension of comprehensive evaluation and its application in the partner selection[J]. Human Recourses Management,2011(11):194-196. (in Chinese))

[5] 黄亚江,张水波. 基于 ANP 理论的 PPP 项目私营部门选

择研究[J]. 项目管理技术, 2012, 10(6): 46-51. (HUANG Yajiang, ZHANG Shuibao. Based on the theory of ANP, the PPP project private sector selection research[J]. Project Management Technology,2012,10(6):46-51. (in Chinese))

[6] 丁红伟. PPP 选择社会合作伙伴方式探讨[J]. 招标采购管理,2015(2):46-48. (DING Hongwei. The PPP choose social partners[J]. Invite Public Bidding Management, 2015(2):46-48. (in Chinese))

[7] 程言家. 基础设施 PPP 模式中特许权获得者的选择研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.

[8] 王先甲,张熠. 基于 AHP 和 DEA 的非均一化灰色关联方法[J]. 系统工程理论与实践,2011,31(7):1222-1229. (WANG Xianjia, ZHANG Yi. Based on AHP and DEA non-uniform grey correlation method[J]. System Engineering Theory and Practice,2011,31(7):1222-1229. (in Chinese))

(收稿日期:2015 - 12 - 22 编辑:徐 娟)

(上接第 33 页)

配置,提高资源的利用效率,也为水资源短缺地区缓解水资源矛盾提供了一条切实可行的方案。

为了确保水权交易的顺利进行,国家应给予必要的制度保障,制定公正合理的交易规则。对水权转让过程中所涉及的收益确认、第三方利益保护以及纠纷处理等问题要通过法律法规予以规范。

参考文献:

[1] 李炎霖. 我国水权转让法律制度研究[D]. 西安:西北农林科技大学,2012.

[2] 王立宏. 水资源使用权探析[D]. 北京:中国政法大学, 2006.

[3] ROSEGRANT M W, BINSWANGER H P. Markets in tradable water rights: potential for efficiency gains in developing country water resource allocation[J]. World Development,1994,22(11):1613-1625.

[4] PIGRAM J J, MUSGRAVE W F. Transferability of water entitlements in Australia[J]. Regulated Rivers: Research & Management, 1990, 5(5): 391-399.

[5] HOWE C W, GOEMANS C. Water transfers and their

impacts: lessons from three colorado water markets1[J]. American Water Resources Association, 2003, 39(5): 1055-1065.

[6] 姚树荣,张杰. 中国水权交易与水市场制度的经济学分析[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版),2007(4): 108-112. (YAO Shurong, ZHANG Jie. The economic analysis of Chinese water right transaction and water market institution[J]. Journal of Sichuan University (Social Science Edition), 2007(4):108-112. (in Chinese))

[7] 李胚,窦明,赵培培. 最严格水资源管理需求下的水权交易机制[J]. 人民黄河,2014,36(8):52-56. (LI Pei, DOU Ming, ZHAO Peipei. Water rights transactions mechanism adapting the demand of the strictest water resources management[J]. Yellow River, 2014,36(8):52-56. (in Chinese))

[8] 张瑞美,陈献,尤庆国,等. 健全水权转让制度的思考[J]. 水利经济,2014,32(2):37-40. (ZHANG Ruimei, CHEN Xian, YOU Qingguo, et al. Improvement of regulations for water right transfer[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2014,32(2):37-40. (in Chinese))

(收稿日期:2015 - 09 - 06 编辑:王 芳)

(上接第 46 页)

[9] 覃绍一,李学通. 四川省水资源可利用量与承载力初探[J]. 人民长江,2011,42(18):41-44,49. (QIN Shaoyi, LI Xuetong. Research on usable water resources amount and bearing capacity of Sichuan Province[J]. Yangtze River,2011,42(18):41-44,49. (in Chinese))

[10] 燕华云,贾绍凤. 湟水水资源可利用量研究[J]. 水资源研究,2005,26(1):10-12. (YAN Huayun, JIA Shaofeng. Study on the available water quantity of Huangshui[J]. Water Resources Research, 2005, 26(1): 10-12. (in Chinese))

[11] 范丽丽. 平原区域水环境容量计算体系研究[D]. 南京:河海大学,2008.

[12] 福建省水利厅,福建省发展与改革委员会. 福建省富屯溪流域综合规划修编报告[R]. 福州:福建省水利厅,福建省发展与改革委员会,2007.

[13] 福建省水利厅,福建省发展与改革委员会. 福建省闽江沙溪流域综合规划修编报告[R]. 福州:福建省水利厅,福建省发展与改革委员会,2007.

[14] 福建省水利厅,福建省发展与改革委员会. 福建省闽江干流下游流域综合规划报告[R]. 福州:福建省水利厅,福建省发展与改革委员会,2007.

(收稿日期:2015 - 10 - 30 编辑:王 芳)