

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2019.0103

商放泽,韩京成,黄跃飞,等. 基于流域的县级单元河流水权确权分配[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(5): 01-10, 43.
SHANG F Z, HAN J C, HUANG Y F, et al. Study on the river water rights confirmation and allocation based on watershed in county-level units[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(5): 1-10, 43. (in Chinese)

基于流域的县级单元河流水权确权分配

商放泽^{1,2}, 韩京成³, 黄跃飞¹, 魏加华¹, 辜晓原²

(1. 清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084;

2. 中电建生态环境集团有限公司, 广东 深圳 518102;

3. 清华大学 深圳研究生院水科学与工程研究中心, 广东 深圳 518055)

摘要:河流水权确权是水资源高效利用的重要措施。基于 Hydro30 全球高精度河网,以青海省县级行政单元为基本确权单元,提出了确权单元多年平均径流量、多年平均生态环境需水量、未来需水量预测、用水总量控制红线划定等计算和分配方法。首次将河流生态环境需水量分为河流最小生态环境需水量和河流适宜生态环境需水量;利用分解比例法和需水量调节法划定了确权单元用水总量控制红线;基于用水总量控制红线、未来需水量、河流水资源可利用量和地下水取水量确定了确权单元的取水权;确权单元内各条河流的取水权根据尊重历史用水与现状用水原则、生态公平原则、公平与效率原则、可持续利用原则、优化配置原则等综合确定。对于河流自产水量不能满足用水需求的确权单元,在取水量上限为用水总量控制红线的前提下,确权单元可以利用流域内上游过境水。获得了青海省 46 个确权单元 2020 年和 2030 年河流最大取水权和适宜取水权(以西宁市河流水权确权为例)。首次在县级单元对河流取水权进行了确权,可为其他地区河流水权确权提供借鉴。

关键词:水权确权;分配;河流;水资源;生态环境需水量;流域

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the river water rights confirmation and allocation based on watershed in county-level units

SHANG Fangze^{1,2}, HAN Jingcheng³, HUANG Yuefei¹, WEI Jiahua¹, GU Xiaoyuan²

(1. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. PowerChina Eco-environmental Group Co., Ltd., Shenzhen 518102, China;

3. Water Research Center, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: River water rights determination is an important measure for efficient use of water resources. Based on the Hydro30 high-precision global river network, and the county-level administrative unit of Qinghai Province as the basic confirmation unit for water rights. The calculation and allocation method of the annual average runoff, the annual average ecological and environmental water requirement, the water requirement forecast, and the control red line of the total water consumption were proposed. For the first time, the river ecological and environmental water requirement were divided into the minimum river ecological water demand and the river's suitable ecological environment water demand. The control red line of the total water consumption at the county-level was determined using decomposition ratio method and water requirement adjustment method. Based on the control red line of the total water consumption, future water requirement, the available river water resources and

收稿日期:2019-03-02 修回日期:2019-05-15 网络出版时间:2019-05-27

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.tv.20190523.1605.008.html>

基金项目: 中国博士后科学基金(2017M610906); 国家重点研发计划(2017YFC0403600)

作者简介: 商放泽(1988—), 男, 云南大理人, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源与水环境方面研究。E-mail: shangfangze@126.com

通信作者: 黄跃飞(1973—), 男, 江苏南通人, 教授, 博士, 主要从事水文水资源与水环境方面研究。E-mail: yuefeihuang@tsinghua.edu.cn

groundwater, the county-level water-taking rights were determined. The county-level river water-taking rights were determined by respecting historical water use and current water use principles, ecological equity principles, fairness and efficiency principles, sustainable use principles, and optimal allocation principles. For the confirmation unit that the river's self-produced water quantity cannot meet the water demand, the confirmation unit could use the upstream transit water in the basin, but the upper limit of water withdrawal was still the control red line of the total water consumption. The maximum and suitable river water-taking rights of 46 allocation unit in Qinghai Province in 2020 and 2030 were obtained (for example, the river water rights in Xining City). For the first time, river water-taking right was confirmed and allocated in county-level units, which can provide reference for the determination of river water rights in other regions.

Key words: water rights confirmation; allocation; river; water resources; ecological and environmental water requirement; watershed

水权与水市场对遏制水资源超载、提高水资源利用效益具有显著作用,已成为全球水管理领域新的发展趋势之一^[1]。20 世纪 80 年代以来,澳大利亚、美国、智利、秘鲁、墨西哥、西班牙等国家相继引入水权进行水资源分配,我国从 2000 年开始水权与水市场的探索。

水权的界定、管理与交易是水权制度的核心,而初始水量确权是水权建设的基础问题^[2]。各个国家的水资源状况、管理体制和法规等不同,所实行的水权管理体系也不尽相同,而水权类型主要有河岸权、占用权和许可水权三种^[3]。其中,河岸权源于 18 世纪的英国,规定临近河岸的用水户优先拥有水权,一般适用于水资源较丰富的地区;占用权在 20 世纪美国西部开始使用,规定“先占用水体并将其投入有益使用者优先享有水权”,这类水权一定程度上解决了干旱地区水资源配置问题,但对于经济迅速发展、新兴用水户剧增的地区不适用;许可水权通过行政许可规定每个用户的用水上限,作为其水权的许可使用量,其以政府行政分配为主,可充分发挥政府的监管作用,能更好地保障水权分配的公平性。

近年来我国相继开展了以许可水权为核心的流域初始水权分配试点,如东北的大凌河、西北的黑河、塔里木河、广东东江、石羊河流域等^[4-5]。这些试点以流域多年平均水资源量为分配基数,将其分配给流域内各行政区,以此作为该区域的用水总量指标。为保障区域间分水的公平和促进水资源的高效利用,国内外学者提出了公平优先、兼顾效率、保障可持续等水权分配原则^[6],采用区域面积、人口、用水量及用水效益等作为水量分配的依据指标^[7-8],并研究了变化水文条件下的水量分配问题^[9],探讨了区域最优水权管理措施^[10],建立了诸多初始水权分配的模型、方法以及管理措施等^[11-13],为流域初始水权分配的协商和决策提供了有效的支撑。

以水权制度为基础衍生出水权转让和水市场。

美国、澳大利亚、智利及墨西哥等许多国家已经开展了水权交易实践,其中澳大利亚的水权交易较为成功,例如 2009 年墨累-达令河流域年水权交易量达 20 亿 m³,占当年用水总量的 48%。我国水权交易在 2000 年后逐渐兴起,包括浙江省东阳-义乌水权交易^[14],内蒙古、宁夏工业-农业行业水权转换^[15],以及甘肃黑河流域农民水票交易等^[16]。目前我国水权建设方兴未艾,初始水权分配的框架初步形成。

《关于实行最严格水资源管理制度的意见》要求制定主要江河流域水量分配方案,建立覆盖流域和省市县三级行政区域的取用水量总量控制指标体系。十八届五中全会要求实施水资源消耗总量和强度双控行动,建立健全初始水权分配制度^[17]。十九大报告提出,设立国有自然资源资产管理和自然生态监管机构。河流是重要的自然资源资产,建立河流水权是重要的战略课题,但目前尚没有明确的确权方法,特别是对县级行政单元内河流水权的确权。

为此,本研究以青海省为研究区域,首次探讨县级行政单元上的河流水权确权的方法和确权原则,为其他地区县级单元河流水权确权提供参考。

1 研究区概况

1.1 地理位置和行政区划

青海省位于青藏高原东北部,是长江、黄河、澜沧江的发源地,素有“中华水塔”之美誉。地理位置东经 89°35′~103°04′,北纬 31°9′~39°19′。全省东西长约 1 200 km,南北宽约 800 km,总面积约 72.23 万 km²,占全国总面积的 1/13。全省平均海拔 3 000 m 以上,其中海拔 3 000~5 000 m 区域占总面积的 76.3%。

青海省有 2 个地级市和 6 个自治州,包括西宁市、海东市、海北藏族自治州(简称海北州)、海南藏族自治州(简称海南州)、黄南藏族自治州(简称黄南

州)、果洛藏族自治州(简称果洛州)、玉树藏族自治州(简称玉树州)、海西蒙古族藏族自治州(简称海西州),共计46个县级行政单位。

1.2 气象条件

青海省属于高原大陆性气候,境内各地区年平均气温 $-5.1\sim 9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,1月平均气温 $-17.4\sim -4.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,7月平均气温在 $5.8\sim 20.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年降水量总体分布趋势由东南向西北逐渐减少,境内绝大部分地区年降水量在400 mm以下,祁连山区在410~520 mm,东南部的久治、班玛一带超过600 mm。平均年太阳辐射总量可达 $5\ 860\sim 7\ 400\text{ MJ}/\text{m}^2$,日照时数 $2\ 336\sim 3\ 341\text{ h}$,太阳能资源丰富。

1.3 河流水系

青海省境内河流众多,河道长度大于100 km

的有65条,干支流总长度约为28万km。南部和东部为外流水系,是长江、黄河、澜沧江三大江河的源头和上游段,降水较多,水系发育,河网密集。西北部为内陆河水系,气候干旱少雨,河流小而分散,流程相对较短。

青海省境内有长江流域、黄河流域、湟水流域、西南诸河-澜沧江流域、西北诸河-内陆河流域五大流域(图1)。其中长江流域面积15.34万 km^2 ,黄河流域面积12.01万 km^2 ,湟水流域面积3.12万 km^2 ,西南诸河-澜沧江流域面积3.52万 km^2 ,西北诸河-内陆河流域面积35.68万 km^2 。青海省流域面积在500 km^2 以上的河流共有278条,其中长江流域、黄河流域、湟水流域、西南诸河-澜沧江流域、西北诸河-内陆河流域分别有85、71、11、20、91条。



图1 青海省流域分区

Fig. 1 Watershed division map of Qinghai Province

1.4 水资源现状

青海省年径流总量为611.23亿 m^3 ,人均水资源量10 215 m^3 。黄河流域和湟水流域总径流量的49%,长江流域总径流量的1.8%,西南诸河-澜沧江流域总径流量的17%,西北诸河-内陆河流域总径流量的45.1%都从青海省流出,共计596亿 m^3 。青海省地下水资源量为281.6亿 m^3 。

青海省由于受气候和地形等条件限制,发展基础好且人口集中的湟水流域、西北诸河-内陆河流域的柴达木盆地水资源供需矛盾最为突出,其中湟水流域水资源量仅占全省的3.5%,但流域内人口、耕地面积、地区生产总值分别占全省的56%、52%、

56%。湟水流域和西北诸河-内陆河流域的柴达木盆地,水资源与生产力布局不匹配,资源性缺水与工程性缺水并存,水资源调控能力不足和供需矛盾突出成为青海省经济社会可持续发展最主要的制约因素。

2 数据来源与工具

本研究采用的1956—2015年的径流数据来源于青海省水文水资源勘测局,1956—2015年的降雨数据来源于青海省水文水资源勘测局和中国气象数据网。青海省短系列数据水文站点($5\leq n<30$)有35个,长系列数据水文站点($n\geq 30$)有52个,水文站点分布见图2。



图 2 青海省水文站点分布

Fig. 2 The distribution map of hydrological stations in Qinghai Province

利用清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开发的 Hydro30 全球河网提取高精度河网, 并进行结构化编码和存储, 以建立流域的河网数据集, 包括矢量河网、水文参数属性数据等。其中, Hydro30 河网提取基于 ASTER GDEM V2 数字高程数据, 其空间分辨率为 1 rad/s, 地表约 30 m。

3 基于自产水量的河流水权确权

3.1 确权单元的划分

以青海省县级行政区为确权基本单元。水权基本单元由干流河段和对应的流域面组成。干流河段直接与行政边界进行相交得到, 而流域面需要考虑流域面积和年径流量, 最后将符合要

求的流域面和行政边界做交集, 得到水权基本单元所辖河流。例如, 图 3(a) 为西宁市大通县水权分割单元的示意图, 确权设计范围为行政区域内湟水流域; 图 3(b) 为黄南州泽库县水权分割单元的示意图, 确权设计范围包含了子流域 1、2、3、4 的部分区域。

3.2 高精度河网的提取

利用 Hydro30 高精度的河网提取软件, 结合 ArcGIS 数据的储存和管理功能, 提取青海省高精度河网。但考虑到算法和 DEM 的精度, 以及青海省境内地形多变和内流区分布广泛的情况, 对 Hydro30 提取的青海省数字河网进行修正, 以满足水权分配的需求, 青海省高精度数字河网提取概况见图 4。

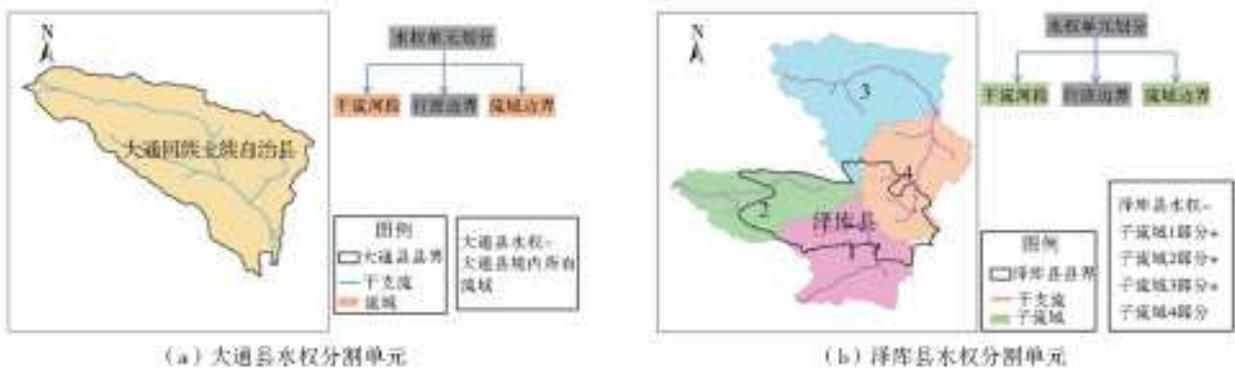


图 3 水权确权单元行政区域与流域单元的关系

Fig. 3 Relationship between administrative area and watershed unit of water rights confirmation unit

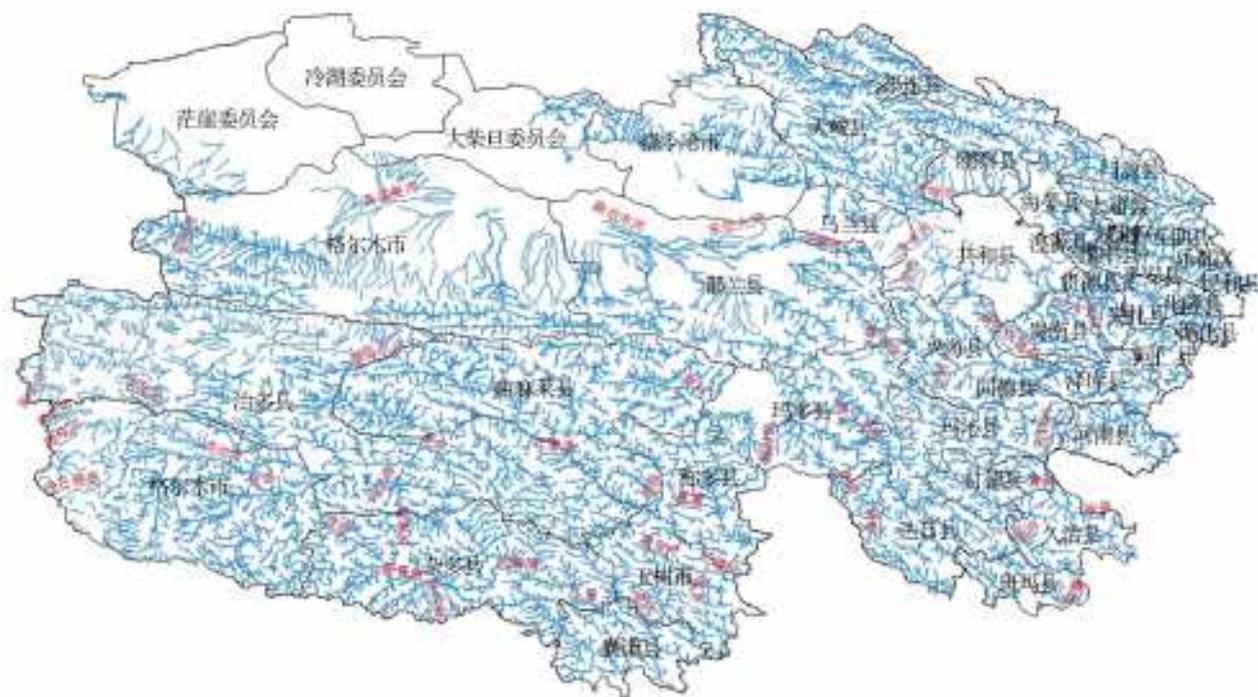


图4 青海省高精度河网概况

Fig. 4 Overview of the high-precision river network in Qinghai Province

3.3 确权单元河流径流量计算

根据青海省各类气象水文数据资料,以及水资源评价及优化配置报告、水资源公报等资料,通过径流数据或降雨数据计算 1956—2015 年的地表水资源量及区域径流量。

3.3.1 利用径流数据计算区域径流量

主要依据 SLT 238—1999《水资源评价导则》,采用插值绘制径流深等值线图并分区计算。首先基于全球河网数据库进行边界划定,得到不同流域的河流及边界,对实测径流资料进行代表性分析、插补延长及天然径流量还原计算,得到多年平均天然径流量和多年平均天然径流深;其次确定各水文站控制的流域范围,对控制面重叠的站点扣除重叠部分(流量也相应扣除),则水文站所代表的径流深是该形心处径流深;最后分流域绘制径流深等值线图,计算得到各市(州)地表水资源量及区域径流量;同理,得到各县(市)地表水资源量及区域径流量。

3.3.2 利用降雨数据计算区域径流量

对于水文站点分布稀疏的区域,采用降雨数据进行插值得到降水等值线图;对于水文数据和降雨数据都较为匮乏的区域,利用降雨开源数据结合地面观测站的数据对降雨进行空间插补和融合,再通过插值得到降水等值线图。其次根据降水等值线图计算区域降水量,最后通过文献和历史资料推算径流系数,计算得到地表水资源量及区域径流量。

根据以上 2 种方法获得多年平均水资源量后,计算对应的丰水年、平水年、偏枯水年、特枯水年的地表水资源量及区域径流量。

3.4 确权单元河流生态环境需水量

河流生态环境需水量的计算方法较多,不同方法对资料的要求不同,适用范围不同,计算结果差异大。因此,河流生态环境需水量应在一个合理的范围内,而不是一个唯一的结果。

本研究将河流生态环境需水量分为河流最小生态环境需水量(Q_{\min})和河流适宜生态环境需水量($Q_{\text{适}}$)。河流最小生态环境需水量指满足河道内最低生态环境需求的水量,河流适宜生态环境需水量指不仅满足河道内最低生态环境需求,而且能保证河道生态环境良好的水量。选用 Q_p 法、Tennant 法、频率曲线法、近 10 年最枯月平均流量法 4 种方法综合计算河流生态环境需水量。根据青海省特点,将河流生态环境需水量分为 4 类计算。

第 I 类,对于具有长系列($n \geq 30$ a)水文资料、水资源短缺及用水紧张的西宁市、海东市、海西州: Q_{\min} 值采用 Q_p 法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“中”得到的生态环境需水量二者的平均值; $Q_{\text{适}}$ 值采用频率曲线法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“好”得到的生态环境

需水量二者的平均值。

第 II 类,对于具有长系列($n \geq 30$ a)水文资料、水资源相对丰沛的海北州、海南州、黄南州、果洛州和玉树州; Q_{\min} 值采用 Q_p 法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“中”得到的生态环境需水量二者的平均值; Q_{sur} 值采用频率曲线法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“非常好”得到的生态环境需水量二者的平均值。

第 III 类,对于只有短系列($5 \leq n < 30$)水文资料、水资源短缺及用水紧张的西宁市、海东市、海西州; Q_{\min} 值采用近 10 年最枯月平均流量法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“中”得到的生态环境需水量二者的平均值; Q_{sur} 值采用近 10 年最枯月平均流量法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“好”得到的生态环境需水量二者的平均值。

第 IV 类,对于只有短系列($5 \leq n < 30$)水文资料、水资源相对丰沛的海北州、海南州、黄南州、果洛州和玉树州; Q_{\min} 值采用近 10 年最枯月平均流量法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“中”得到的生态环境需水量二者的平均值; Q_{sur} 值采用近 10 年最枯月平均流量法计算得到的生态环境需水量与用 Tennant 法计算并取河流流量推荐值为“非常好”得到的生态环境需水量二者的平均值。

3.5 确权单元未来需水量预测

在预测 2020 年和 2030 年青海省需水量时,将青海省各县(市)需水量分为居民生活需水量、农业需水量、工业需水量、建筑业需水量、第三产业需水量和河道外生态环境需水量 6 类。其中,居民生活需水量包括城镇和农村居民生活需水量;农业需水量包括耕地需水量、非耕地需水量和牲畜需水量;河道外生态环境需水量主要指城镇绿地需水量、环境卫生需水量,以及生态林草需水量和河湖沼泽补水量。以青海省 2015 年的数据为基准,每一类需水量的用水单元现状数量乘以用水单元的增长率,得到未来用水单元的数量,未来用水单元的数量乘以对应的需水定额得到未来的需水量,未来 6 类需水量之和为总需水量。

3.6 确权单元用水总量控制红线的划定

2020 年青海省各市(州)的用水总量控制红线已经确定,各县(市)2020 年用水总量控制红线的划

定以尊重历史用水和合理利用水资源为原则,根据 2015 年实际用水量与当年控制红线的比例进行适当调整和分配。对于 2015 年实际用水量与用水总量控制红线比值较高的县(市),2020 年适当提高用水总量;对于 2015 年实际用水量与用水总量控制红线比值较低的县(市),2020 年适当降低用水总量。

2030 年青海省用水总量控制红线已经确定,各市(州)、县(市)的用水总量控制红线的划定和分配为需水量调节法。

西宁市、海东市、海北州、海西州水资源相对短缺而需水量较大,需水量调节的基本原则为供需平衡和不浪费水量指标,即当预测需水量小于分配指标时,就减少分配指标等于需水量,多余的指标可以分给缺水地区;而当预测需水量大于分配指标时,就只能部分缺水或者利用不缺水地区剩余的指标。因此“根据 2030 年需水量调节”的 2030 年各县用水总量控制红线取“2030 年预测需水量”与“按 2020 年分解比例分解”二者数值中的最小值,其中“按 2020 年分解比例分解”的 2030 年各县用水总量控制红线为“各县 2020 年用水总量控制红线”与“2020 年青海省用水总量控制红线”的比值再乘以“2030 年青海省用水总量控制红线”。

黄南州、海南州、果洛州和玉树州水资源较为丰沛而需水量较少,因此“根据 2030 年需水量调节”的 2030 年各县用水总量控制红线为 2030 年各县的预测需水量。

西宁市的西宁市区、海东市的互助县、海北州的刚察县、海西州的格尔木市和茫崖行政委员会缺水严重,为了减少这些地区的缺水量,适当提高红线分配指标,利用需水量和分解量之间的差值,以及预留水量等进行需水平衡分配和调节。

3.7 确权单元自产水量取水权确权

地表水资源可利用量为河流多年平均径流量扣除河流生态环境需水量。根据河流生态环境需水量情况,地表水资源可利用量分为:地表水资源最大可利用量(河流多年平均径流量与河流最小生态环境需水量之差)和地表水资源适宜可利用量(河流多年平均径流量与河流适宜生态环境需水量之差)。

以各水权确权单元的地表水资源可利用量、未来需水量、用水总量控制红线为前提约束,依据 2020 年和 2030 年地下水取水量与现状年地下水取水量相同的原则,扣除地下水取水量后,用水总量控制红线、未来需水量和地表水资源可利用量三者的

最小值作为水权确权单元内河流的允许取水量,分为4类情况。河流取水量的计算如下。

第Ⅰ类

$$Q_{\text{red-line}} < Q_{\text{future}} < Q_{\text{available}} \text{ 并且 } Q_{\text{red-line}} < Q_{\text{available}} <$$

$$Q_{\text{future}} \text{ 时, } Q_{\text{water-take}} = Q_{\text{red-line}} - Q_{\text{groundwater}}$$

第Ⅱ类

$$Q_{\text{future}} < Q_{\text{available}} < Q_{\text{red-line}} \text{ 并且 } Q_{\text{future}} < Q_{\text{red-line}} <$$

$$Q_{\text{available}} \text{ 时, } Q_{\text{water-take}} = Q_{\text{future}} - Q_{\text{groundwater}}$$

第Ⅲ类

$$Q_{\text{available}} < Q_{\text{future}} < Q_{\text{red-line}} \text{ 并且 } Q_{\text{available}} + Q_{\text{groundwater}} >$$

$$Q_{\text{future}} \text{ 时, } Q_{\text{water-take}} = Q_{\text{future}} - Q_{\text{groundwater}}$$

$$Q_{\text{available}} < Q_{\text{future}} < Q_{\text{red-line}} \text{ 并且 } Q_{\text{available}} + Q_{\text{groundwater}} <$$

$$Q_{\text{future}} \text{ 时, } Q_{\text{water-take}} = Q_{\text{available}}$$

第Ⅳ类

$$Q_{\text{available}} < Q_{\text{red-line}} < Q_{\text{future}} \text{ 并且 } Q_{\text{available}} + Q_{\text{groundwater}} >$$

$$Q_{\text{red-line}} \text{ 时, } Q_{\text{water-take}} = Q_{\text{red-line}} - Q_{\text{groundwater}}$$

$$Q_{\text{available}} < Q_{\text{red-line}} < Q_{\text{future}} \text{ 并且 } Q_{\text{available}} + Q_{\text{groundwater}} <$$

$$Q_{\text{red-line}} \text{ 时, } Q_{\text{water-take}} = Q_{\text{available}}$$

其中: $Q_{\text{available}}$ 代表地表水资源可利用量(分为地表水资源最大可利用量和地表水资源适宜可利用量); $Q_{\text{water-take}}$ 代表河流取水量,分为河流最大取水量(当地表水资源可利用量为最大可利用量时)和河流适宜取水量(当地表水资源可利用量为适宜可利用量时); Q_{future} 代表未来需水量; $Q_{\text{red-line}}$ 代表用水总量控制红线; $Q_{\text{groundwater}}$ 代表地下水取水量。

3.8 确权单元自产水量河流取水权确权

确权单元取水权确定之后,进一步确定确权单元内各条河流的取水权。确权和分配遵循以下原则:尊重历史用水与现状用水原则(各县河流取水权参考历史取水量)、生态公平原则(在满足河流生态需水量的前提下取水)、公平与效率原则、可持续利用原则、优化配置原则等。

4 利用过境水的河流水权确权

4.1 利用过境水后流域可用水资源剩余量平衡分配

湟水流域:发源于海晏县的湟水干流流经西宁市的湟源县、湟中县、西宁市区,以及海东市的互助县、平安区、乐都区、民和县。发源于西宁市大通县的湟水支流从西宁市区汇入干流,流经西宁市的西宁市区,以及海东市的互助县、平安区、乐都区、民和县。因此,海晏县湟水干流剩余水资源量及大通县湟水支流剩余水资源量可以分配给下游县(市)。利用流域过境水后,2020年和2030年湟水流域仍然有多个确权单元缺水。

黄河流域:黄河流经玉树州的曲麻莱县、称多县,果洛州的玛多县、玛沁县、达日县、甘德县、久治县,然后流出青海省,再流入黄南州的河南县,再次流经果洛州的玛沁县,流经海南州的同德县、兴海县、贵南县、共和县、贵德县,黄南州的尖扎县,海东市的化隆县,最后从海东市循化县第二次流出青海省。黄河流域自产水量不能满足用水需求的同德县、共和县、贵德县、尖扎县、化隆县和循化县,都能从黄河干流取水满足需求;黄河干流没有流经同仁县,但是泽库县境内的曲库河和隆务河流入同仁县,能满足同仁县的取水需求。

长江流域:长江流域内玉树州的治多县、杂多县、曲麻莱县、称多县和玉树市,以及果洛州的达日县、久治县和班玛县自产水量能满足确权单元用水需求,不需要利用过境水。

西南诸河-澜沧江流域:澜沧江流域内玉树州的杂多县、囊谦县和玉树市自产水量能满足确权单元用水需求,不需要利用过境水。

西北诸河-内陆河流域:内陆河流域包括玉树州的治多县、曲麻莱县,果洛州的玛多县,海南州的共和县、兴海县,海北州的刚察县、祁连县,以及海西州。治多县内陆河流域剩余水量可供格尔木市(柴达木盆地)使用;曲麻莱县内陆河流域剩余水量可供都兰县和格尔木市(柴达木盆地)使用;玛多县内陆河流域剩余的水量可供都兰县使用;天峻县内陆河流域剩余水量可供乌兰县使用;冷湖和茫崖行政委员会不足的水量无法由内陆河提供。利用流域过境水后,2020年和2030年海西州仍然有多个确权单元缺水。

4.2 利用过境水的确权单元及河流取水权再确权

根据五大流域可用水资源剩余量平衡分配情况,对于河流自产水量不能满足用水需求的确权单元,可以利用流域上游过境水来满足用水需求,但取水量的上限仍然是用水总量控制红线。

对利用过境水的14个确权单元及河流的取水权进行了再次确权。其中,湟水流域再次确权的有西宁市的湟中县、西宁市,海东市的平安区、民和县4个确权单元;黄河流域再次确权的有海南州的同德县、共和县、贵德县,黄南州的同仁县、尖扎县,海东市的化隆县、循化县7个确权单元;西北诸河-内陆河流域再次确权的有海西州的格尔木市、都兰县、乌兰县3个确权单元。

5 流域水权确权实例

根据本研究提出的原则和方法,对青海全省河

流水权进行了确权,得到了青海省各确权单元的多年平均径流量、多年平均生态需水量、需水量预测结果、用水总量控制红线、流域水资源平衡分配、确权单元取水权和河流取水权等结果。由于篇幅所限,仅以西宁市河流水权确权为例,其他市(州)同此方法,不再赘述。

青海省西宁市的计算和确权结果见表 1 至表 9。

青海省幅员辽阔,存在水资源时空分布不均,水

资源和人口、经济不匹配等情况。西宁市、海东市、海西州人口较多、经济发达,但水资源短缺、用水紧张,建议河流生态环境需水量按照河流最小生态环境需水量计算,确权单元和河流采用最大取水权。海北州、海南州、黄南州、果洛州和玉树州人口密度较小,但水资源较为丰沛,建议河流生态环境需水量按照河流适宜生态环境需水量计算,确权单元和河流采用适宜取水权。

表 1 西宁市 1956—2015 年多年平均径流量

Tab. 1 The annual average runoff from 1956 to 2015 in Xining

确权单元	计算面积/ km ²	统计参数			不同频率下的多年平均径流量/亿 m ³			
		多年平均径流量/亿 m ³	C _v	C _s /C _v	20%	50%	75%	95%
大通县	3 055	6.40	0.26	3.00	7.65	6.20	5.24	4.20
湟中县	2 440	3.31	0.33	3.00	4.18	3.13	2.45	1.79
湟源县	1 492	2.02	0.32	3.00	2.52	1.92	1.56	1.18
西宁市区	344	0.35	0.26	3.00	0.43	0.34	0.29	0.23
小计	7 331	12.08	0.29	3.00	14.78	11.59	9.54	7.40

表 2 西宁市 1956—2015 年多年平均生态环境需水量

Tab. 2 The annual average ecological and environmental water requirement from 1956 to 2015 in Xining 单位:亿 m³

确权单元	河流最小生态环境需水量	河流适宜生态环境需水量
大通县	1.46	2.82
湟中县	0.82	1.37
湟源县	0.49	0.83
西宁市区	0.09	0.15
小计	2.86	5.17

表 3 西宁市 2030 年需水量预测结果

Tab. 3 Water demand forecast results of 2030 in Xining City

单位:万 m³

确权单元	居民生活	农业	工业	建筑业	第三产业	生态	合计
西宁市区	7 242	4 010	22 113	861	8 684	4 571	47 481
大通县	1 930	17 347	7 724	273	642	516	28 432
湟中县	1 990	16 911	8 543	431	526	514	28 915
湟源县	596	7 163	720	58	238	356	9 131
小计	11 758	45 431	39 100	1 623	10 090	5 957	113 959

表 4 西宁市 2030 年用水总量控制红线划定结果

Tab. 4 The control red line of the total water consumption in 2030 of Xining

单位:亿 m³

确权单元	2020 年用水 总量控制	2020 年预测 需水量	2030 年预测 需水量	2030 年用水总量控制		2030 年预测需水量与 按 2020 年分解比例 分解之差
				按 2020 年分解 比例分解	根据 2030 年 需水量调节	
大通县	1.87	1.71	2.84	2.34	2.34	0.50
湟中县	1.95	2.23	2.89	2.44	2.44	0.45
湟源县	0.93	0.83	0.91	1.17	0.91	-0.25
西宁市区	2.53	3.72	4.75	3.17	4.42	1.58
预留水量	0.80	0	0	1.00	0.33	-1.00
小计	8.08	8.49	11.39	10.12	10.44	1.28

表 5 湟水流域 2030 年可用水资源剩余量

Tab. 5 The Remaining amount of the water available resources in 2030 in the Huangshui watershed

市(州)	县(市)	2030 年最大取水量剩余量/亿 m ³					2030 年适宜取水量剩余量/亿 m ³				
		多年平均	20%	50%	75%	95%	多年平均	20%	50%	75%	95%
海北州	海晏县	1.258 8	1.692 0	1.193 6	0.868 6	0.500 3	0.944 6	1.378 1	0.879 6	0.554 6	0.186 3
西宁市	大通县	2.965 4	4.222 5	2.767 8	1.801 8	0.771 7	1.606 9	2.864 1	1.409 4	0.443 4	-0.586 7
	湟源县	0.667 6	1.155 5	0.566 1	0.199 9	-0.185 5	0.325 7	0.813 6	0.224 3	-0.142 0	-0.527 4
西宁市	湟中县	0.521 0	1.370 5	0.348 7	-0.314 5	-0.984 4	-0.022 5	0.852 7	-0.202 8	-0.866 0	-1.535 9
	西宁市区	-3.328 9	-3.255 0	-3.339 5	-3.395 7	-3.455 5	-3.388 8	-3.314 9	-3.399 3	-3.455 6	-3.515 4
海东市	互助县	1.089 8	1.705 5	0.981 7	0.512 4	0	0.577 0	1.192 9	0.469 1	0	-0.826 2
	平安区	-0.072 0	0.153 5	-0.116 7	-0.289 5	-0.470 3	-0.231 0	-0.005 5	-0.275 7	-0.448 5	-0.629 3
	乐都区	1.184 9	1.820 7	1.106 3	0.623 7	0.038 4	0.481 0	1.116 8	0.402 5	-0.109 2	-0.728 9
	民和县	0.133 7	0.685 0	0.058 9	-0.569 5	-1.178 5	-0.231 9	0.325 2	-0.434 6	-1.063 1	-1.639 8

注:加黑数字代表缺水。

表 6 湟水流域 2030 年可用水资源剩余量平衡分配

Tab. 6 Balanced distribution of the remaining amount of the water available resources in 2030 in the Huangshui watershed

市(州)	县(市)	2030 年最大取水量剩余量/亿 m ³					2030 年适宜取水量剩余量/亿 m ³				
		多年平均	20%	50%	75%	95%	多年平均	20%	50%	75%	95%
海北州	海晏县	0.429 9*	1.69 2	0.354 1*	分配完*	分配完*	分配完*	0.563 2*	分配完*	分配完*	分配完
西宁市	大通县	0.465 4*	0.967 5*	0.267 8*	分配完*	分配完*	分配完*	0.364 1*	分配完*	分配完*	-0.586 7
	湟源县	0.667 6	1.155 5	0.566 1	分配完*	-0.185 5	分配完*	0.813 6	分配完*	-0.1420	-0.527 4
西宁市	湟中县	0.521 0	1.370 5	0.348 7	0**	-0.984 4	0**	0.852 7	0**	-0.8660	-1.535 9
	西宁市区	0**	0**	0**	-0.839 9**	-2.183 5**	-0.534 1**	0**	-1.088 8**	-2.457 6**	-3.329 1**
海东市	互助县	1.017 8*	1.705 5	0.865*	0.222 9*	0	0.346*	1.187 4*	0.161 3*	0	-0.826 2
	平安区	0**	0.153 5	0**	0**	-0.470 3	0**	0**	0**	-0.448 5	-0.629 3
	乐都区	1.184 9	1.820 7	1.106 3	0.054 2*	分配完*	0.249 1*	1.116 8	分配完*	-0.109 2	-0.728 9
	民和县	0.133 7	0.685 0	0.058 9	0**	-1.140 1**	0**	0.325 2	0**	-1.063 1	-1.639 8

注:加黑数字代表缺水; * 代表参与分配后剩余的水量; ** 代表利用湟水干流后的水量。

表 7 西宁市确权单元 2030 年取水权

Tab. 7 The water-taking rights in 2030 of Xining confirmation unit

确权单元	河流最大取水权/亿 m ³					河流适宜取水权/亿 m ³				
	多年平均	20%	50%	75%	95%	多年平均	20%	50%	75%	95%
大通县	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.646 7	1.385 0
湟中县	1.966 1	1.966 1	1.966 1	1.966 1	0.981 7	1.966 1	1.966 1	1.966 1	1.100 1	0.430 2
湟源县	0.869 8	0.869 8	0.869 8	0.869 8	0.684 3	0.869 8	0.869 8	0.869 8	0.727 8	0.342 4
西宁市区	3.588 6	3.588 6	3.588 6	2.748 7	1.405 1	3.054 5	3.588 6	2.499 8	1.131 0	0.259 5
预留水量	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0	0.325 0
小计	8.396 2	8.396 2	8.396 2	7.556 3	5.042 8	7.862 1	8.396 2	7.307 4	4.930 6	2.742 1

注:加黑数字代表利用了过境水后再次确权的数据。

表 8 西宁市区 2030 年最大河流取水权

Tab. 8 The maximum river water-taking rights in 2030 of Xining City

流域	河流名称	流域面积/ km ²	2030 年最大取水权/亿 m ³				
			多年平均	20%	50%	75%	95%
湟水流域	云谷川	37	0.007 5	0.009 6	0.007 2	0.005 6	0.003 8
	北川河	34	0.027 6	0.035 5	0.026 5	0.020 5	0.014 1
	石灰沟	24	0	0	0	0	0
	南川河	37	0.031 2	0.040 0	0.029 9	0.023 2	0.01 6
其他(含湟水干流)		212	3.522 3	3.503 5	3.525	2.699 4	1.371 2
西宁市区合计		344	3.588 6	3.588 6	3.588 6	2.748 7	1.405 1

表 9 西宁市区 2030 年适宜河流取水权

Tab. 9 The suitable river water-taking rights in 2030 of Xining City

流域	河流名称	流域面积/ km ²	2030 年适宜取水权/亿 m ³				
			多年平均	20%	50%	75%	95%
湟水流域	云谷川	37	0.005 8	0.007 9	0.005 5	0.003 8	0.002 1
	北川河	34	0.021 2	0.029 1	0.020 1	0.014 1	0.007 8
	石灰沟	24	0	0	0	0	0
	南川河	37	0.024 0	0.032 9	0.022 7	0.016 0	0.008 8
其他(含湟水干流)		212	3.003 5	3.518 7	2.451 5	1.097 1	0.240 8
西宁市区合计		344	3.054 5	3.588 6	2.499 8	1.131 0	0.259 5

6 结 论

(1)以县级行政单元为水权确权单元,根据 Hydro30 全球河网提取方法得到高精度含层次化结构的青海省河网。将河流生态环境需水量分为河流最小生态环境需水量和河流适宜生态环境需水量进行计算。

(2)基于地表水资源可利用量、未来需水量和用水总量控制红线三者的最小值,结合地下水取水量确定确权单元自产水量取水权。根据尊重历史用水与现状用水原则、生态公平原则、公平与效率原则、可持续利用原则、优化配置原则等确定确权单元内河流的取水权。

(3)青海省湟水流域、黄河流域、长江流域、西南诸河-澜沧江流域、西北诸河-内陆河流域河流自产水量不能满足用水需求的确权单元,在取水量上限为用水总量控制红线的前提下,可利用流域上游过境水,对利用了流域过境水的确权单元和河流的取水权再次进行确权。自产水和流域过境水利用相结合,获得了确权单元和河流 2020、2030 年的取水权(以西宁市为例)。

(4)对于水资源短缺及用水紧张的西宁市、海东市、海西州,根据河流最小生态环境需水量,确权单元和河流采用最大取水权。对于水资源相对较丰沛的海北州、海南州、黄南州、果洛州和玉树州,根据河流适宜生态环境需水量,确权单元和河流采用适宜取水权。

致谢:感谢清华大学水利水电工程系的李家叶、穆盈霖和陈世鏊在河网提取和制图过程中给予的技术支持,感谢青海省水文水资源勘测局提供水文径流站点数据。

参考文献(References):

[1] 王亚华. 水权和水市场:水管理发展新趋势——水管理研究综述[J]. 经济研究参考, 2002(20): 2-8. (WANG Y H. Water rights and water market: A new trend in water management development—a review of water management research[J]. Economic Research Reference, 2002

(20): 2-8. (in Chinese)) DOI: 10. 16110/j. cnki. issn2095-3151. 2002. 20. 001.

- [2] QURESHI M E, TIAN S, QURESHI S E, et al. Removing barriers to facilitate efficient water markets in the Murray-Darling basin of Australia [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96 (11): 1641-1651. DOI: 10. 1016/j. agwat. 2009. 06. 019.
- [3] 俞昊良, 陈金木, 李政. 国外水权水市场建设的经验借鉴[J]. 中国水利, 2018 (19): 24-26. (YU H L, CHEN J M, LI Z. Lessons learned from international experiences for water right trading and water market establishment[J]. China Water Resources, 2018 (19): 24-26. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2018. 19. 009.
- [4] SHEN D, SPEED R. Water resources allocation in the People's Republic of China[J]. International Journal of Water Resources Development, 2009, 25 (2): 209-225. DOI: 10. 1080/07900620902868612.
- [5] 王忠静. 水权分配——开启石羊河重点治理的第一把钥匙[J]. 中国水利, 2013(5): 26-28. (WANG Z J. Water right allocation—the first key to open the key management of the Shiyang River[J]. China Water Resources, 2013(5): 26-28. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2013. 05. 011.
- [6] ZHENG H, WANG Z J, HU S Y, et al. A comparative study of the performance of public water rights allocation in China[J]. Water Resources Management, 2012, 26(5): 1107-1123. DOI: 10. 1007/s11269-011-9949-0.
- [7] ZAAG P V D, SEYAM I M, SAVENIJE H H G. Towards measurable criteria for the equitable sharing of international water resources[J]. Water Policy, 2002, 4 (1): 19-32. DOI: 10. 1016/S1366-7017(02)00003-X.
- [8] WANG Z, ZHENG H, WANG X. A harmonious water rights allocation model for Shiyang River Basin, Gansu Province, China [J]. International Journal of Water Resources Development, 2009, 25 (2): 355-371. DOI: 10. 1080/07900620902868836.
- [9] ZHENG H, LYLE C, WANG Z J. A comparative study of flexibility in water allocation in the context of hydrologic variability[J]. Water Resources Management, 2014, 28 (3): 785-800. DOI: 10. 1007/s11269-014-0515-4.

(下转第 43 页)

- 耦合模型研究[J]. 水利水电技术, 2014, 45(8): 27. (ZHU M Z, WANG C H, LIU S G. Study on distributed and coupled hydrological and hydrodynamic numerical model for main stream of Huaihe River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2014, 45(8): 27. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0860. 2014. 08. 007.
- [12] 孙文超, 庞博, 鱼京善, 等. 基于分布式水文模型 BTOPMC 的晋江流域水文循环模拟[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(z1): 145-151. (SUN W C, PANG B, YU J S, et al. Simulating hydrological cycle in Jinjiang River basin with BTOPMC [J]. Journal of Beijing Normal University, 2013, 49(z1): 145-151. (in Chinese))
- [13] HUANG C, WANG G, ZHENG X, et al. Simple linear modeling approach for linking hydrological model parameters to the physical features of a river basin [J]. Water Resources Management, 2015, 29(9): 1-25. DOI: 10. 1007/s11269-015-0996-9.
- [14] 张学圣. 台南市土地使用计划之水灾风险分析[J]. 都市与计算, 2013, 40(1): 59-79. (in Chinese)) (ZHANG X S. Flood risk analysis of land use plan in Tainan [J]. Urban Planning, 2013, 40(1): 59-79. DOI: 10. 6128/CP. 40. 1. 59.
- [15] 林奕舟. 以数值模式模拟知本溪及利嘉溪之淹水情形[D]. 新北: 淡江大学, 2010. (LIN Y Z. Numerical simulation of flooding in Benxi and Lijia River[D]. Xinbei: University of light River, 2010. (in Chinese))
- [16] 张乔正. 整合 HEC-RAS 与 FLO-2D 应用于典宝流域之淹水模拟[D]. 台南: 成功大学, 2013. (ZHANG Q Y. Integration of HEC-RAS and FLO-2D for flooding simulation in the Dian Bao River Basin[D]. Tainan: National Cheng Kung University, 2013. (in Chinese))
- [17] ZHANG P, JIN-ZHU M A, SHU H P, et al. Numerical simulation of erosion and deposition debris flow based on FLO-2D Model[J]. Journal of Lanzhou University, 2014(74): 211-219.
- [18] CHEN J C, CHUANG M R, JENG C J, et al. An application of the FLO-2D Model to debris-flow simulation—a case study of Shinfa village in southern Taiwan[J]. Egu General Assembly, 2012(14) 6691. DOI: 10. 4408/IJEGE. 2011-03. B-103.
- [19] O' BRIEN J S, JULIEN P Y, FULLERTON W T. Two-dimensional water flood and mudflow simulation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1993, 119(2): 244-261. DOI: 10. 1061/(ASCE)0733-9429(1993)119: 2(244).
- [20] 曾志强, 杨明祥, 雷晓辉, 等. 流域河流系统水文-水动力耦合模型研究综述[J]. 中国农村水利水电, 2017(9): 72-76. (ZENG Z Q, YANG M X, LEI X H, et al. A review of hydrological-hydrodynamic coupling models for river-basin systems[J]. China Rural Water and Hydropower, 2017(9): 72-6. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-2284. 2017. 09. 016.

(上接第 10 页)

- [10] WANG Z J, ZHU J F, ZHENG H. Improvement of duration-based water rights management with optimal water intake on/off events [J]. Water Resources Management, 2015, 29(8): 2927-2945. DOI: 10. 1007/s11269-015-0979-x.
- [11] 裴源生, 李云玲, 于福亮. 黄水置换水量的水权分配方法探讨[J]. 资源科学, 2003, 25(2): 32-37. (PEI Y S, LI Y L, YU F L. Discussion on water right allocation of replaced water from Yellow River[J]. Resources Science, 2003, 25(2): 32-37. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1007-7588. 2003. 02. 006.
- [12] 王学风, 赵建世, 王忠静, 等. 水资源使用权分配模型研究[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 241-245. (WANG X F, ZHAO J S, WANG Z J, et al. Allocation model for water right[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 241-245. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1001-6791. 2007. 02. 015.
- [13] MAHJOURI N, ARDESTANI M. A game theoretic approach for interbasin water resources allocation considering the water quality issues[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2010, 167(1-4): 527-544. DOI: 10. 1007/s10661-009-1070-y.
- [14] 王亚华, 胡鞍钢. 水权制度的重大创新—利用制度变迁理论对东阳-义乌水权交易的考察[J]. 水利发展研究, 2001(1): 5-8. (WANG Y H, HU A G. A major innovation in the system of water rights—An investigation of Dongyang-Yiwu water rights trading by using the theory of institutional change[J]. Water Development Research, 2001(1): 5-8. (in Chinese)) DOI: 10. 13928/j. cnki. wrdr. 2001. 01. 004.
- [15] 李国英. 黄河水权转换的探索与实践[J]. 中国水利, 2007(19): 30-31, 40. (LI G Y. Exploration and practice of water right trading in Yellow River basin[J]. China Water Resources, 2007(19): 30-31, 40. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2007. 19. 016.
- [16] 刘韶斌, 王忠静, 刘斌, 等. 黑河流域水权制度建设与思考[J]. 中国水利, 2006(21): 21-23. (LIU S B, WANG Z J, LIU B, et al. Development of and thoughts on water rights system in Heihe River basin[J]. China Water Resources, 2006(21): 21-23. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2006. 21. 009.
- [17] 张丽娜, 吴凤平, 张陈俊. 适应性管理下流域初始水权配置方法研究进展[J]. 人民长江, 2018, 49(19): 16-20. (ZHANG L N, WU F P, ZHANG C J. Review on basin initial water right allocation under the perspective of adaptive management[J]. Yangtze River, 2018, 49(19): 16-20. (in Chinese)) DOI: 10. 16232/j. cnki. 1001-4179. 2018. 19. 004.