



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.2016.05.001

吕爱锋, 贾绍凤, 韩雁. 青海省水中长期供需平衡模型建立与应用[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(5): 01-06. LYU Aifeng, JIA Shaofeng, HAN Yan. Establishment and application of a water resources supply demand balance simulation model for long term supply demand planning of Qinghai province[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(5): 01-06. (in Chinese)

青海省水中长期供需平衡模型建立与应用

吕爱锋^{1,2}, 贾绍凤¹, 韩雁¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 依据水资源系统分析原理, 建立了一个多层次、多水源、多用户的水资源长系列供需平衡动态调算模型。模型主要由数据管理、供需平衡计算、规划调整、结果统计分析四部分组成。模型主要控制方程包括水量平衡方程、行业水供需平衡方程、边界条件类方程、初始条件以及特殊类方程。模型的调度规则包括了供水调度规则和用水调度规则。与传统供需分析模型相比, 该模型具有针对缺水区域进行新增工程能力布设的规划能力。该模型应用于青海省水中长期供求规划中。应用结果表明, 该模型实现了青海省水资源供需平衡分析中可供水量、供水保证率、水资源开发程度、供水能力、余缺水量以及新增工程能力规划等一系列指标的计算, 为水资源管理部门提供了一个科学的、有效的决策工具。

关键词: 水资源; 供需平衡; 调算模型; 规划

中图分类号: TV 211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)05-0001-06

Establishment and application of a water resources supply demand balance simulation model for long term supply demand planning of Qinghai province

LYU Aifeng^{1,2}, JIA Shaofeng¹, HAN Yan¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on systematical analysis of water resources, a long series dynamic simulation model of water resources supply demand balance was developed, which targets at multiple levels, multiple water resources, and multiple users. The model mainly consisted of four parts: data management, supply and demand balance calculation, planning adjustment and statistical analysis of the results. Its control equations included the water balance equation, the water supply and demand balance equation, the boundary condition equation, the initial condition and the special kind of equation. The scheduling rules of the model included the water supply dispatching rule and the water supply dispatching rule. Compared with the traditional supply and demand analysis model, the model had the ability to design new engineering capacity in the area of water shortage. The model was then applied to long term water supply demand planning of Qinghai province. The application results showed that the calculation of a series of indicators achieved by this model in water resource supply demand balance analysis including available water supply, water supply guarantee rate, development of water resources, water supply capacity, water surplus and deficiency, the automatic planning of newly added project capacity, could be used as a scientific and effective decision making tool of the water resources management department.

Key words: water resource; supply demand balance; simulation model; planning

收稿日期: 2015-12-19 修回日期: 2016-04-15 网络出版时间: 2016-08-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160818.1935.006.html>

基金项目: 青海省重大科技专项课题(2014-NK-A4-1); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301009)

Fund: Important Science & Technology Specific Projects of Qinghai Province (2014-NK-A4-1); Non-profit Industry Financial Program of MWR (201301009)

作者简介: 吕爱锋(1977-), 男, 山东莱芜人, 副研究员, 博士, 主要从事水资源系统模拟等方面的研究。E-mail: lvaf@igsnr.ac.cn

通讯作者: 贾绍凤(1964-), 男(土家族), 湖南龙山人, 研究员, 博士, 主要从事水文水资源和区域可持续发展等方面研究。E-mail: jiasf@igsnr.ac.cn

水资源供需平衡分析是指对一定区域的、特定时间段的水资源供给与需求以及它们之间的余缺关系进行计算与分析的过程^[1], 是水资源规划的核心部分^[2]。水资源供需平衡问题是区域水资源研究的核心问题之一, 也是区域经济规划、环境保护、水资源管理与调配的重要决策依据^[3-4]。随着经济社会的发展和水资源供求状况的变化, 水资源短缺、水质恶化以及生态环境问题已经成为制约经济社会发展中的重要因素^[1, 5-12]。因此, 对区域的水资源供需平衡进行系统分析, 合理配置有限的水资源, 对于促进区域经济、社会、环境的协调发展具有重要意义^[11, 13]。

当前水资源系统供需平衡分析的主要有如下方法: 一是采用水文长系列分析方法对水资源系统结构、供求关系进行描述; 二是从区域社会、经济、环境及生态可持续发展的角度, 通过构建数学模型来分析水资源供需平衡, 进而成为更高层次的水资源分析模型的一部分^[2, 14-15]。而对于中长期供求规划来讲, 供需平衡分析还有一个重要的作用是识别供需缺口^[16], 提出供水保障方案^[17]。而传统的供需平衡方法无法实现对新增工程进行模拟分析的。

根据水资源系统分析原理, 本文拟采用面向对象 Visual C++ 编程语言开发一个多水源、多用户、长系列动态模拟模型, 与传统供需分析模型相比, 该模型除了可用于不同频率下水资源供需平衡分析中可供水量、水资源开发程度、供水能力、余缺水量等指标的计算外, 还具有针对缺水区域进行新增工程能力布设的规划能力。该模型能够满足水中长期供求规划要求, 为水资源管理部门提供了一个科学的、有效的决策工具。

1 水资源系统概化及系统网络图

水资源系统是由众多要素和相关联系组成的复杂系统^[18]。数学建模必须对其中的主要过程与因子进行抽取, 建立从现实到数学描述的映射关系, 进而实现数学模拟。系统概化就是通过抽象和简化将复杂系统转化为满足数学描述的框架, 进而实现整个系统的模式化处理。水资源系统概化是水资源供需模型构建的基础和前提^[19]。水资源系统概化过程主要包括水资源系统实体识别、分类与实体间水力联系建立^[20]。水资源系统涉及各类实体主要包括点和线两种要素。点要素包括计算单元、水利工程、系统出口以及其他控制节点。计算单元是系统模拟中根据数据和模拟要求划定的最小计算单元, 是需水、水资源量以及水利工程参数等信息的载

体。工程节点主要是指大型水利工程、跨区域供水的水利工程等; 系统出口是水资源系统的最终流出处; 其他控制节点是指具有特殊要求的河道或者渠道控制断面。线要素主要是不同点要素之间水量传输的有向线体, 主要包括天然河道和人工渠道等。各个节点通过线段连接, 就形成了水资源系统概化网络图(见图 1)。不同水平年的水资源供求平衡分析都是以水资源系统网络图为基础。

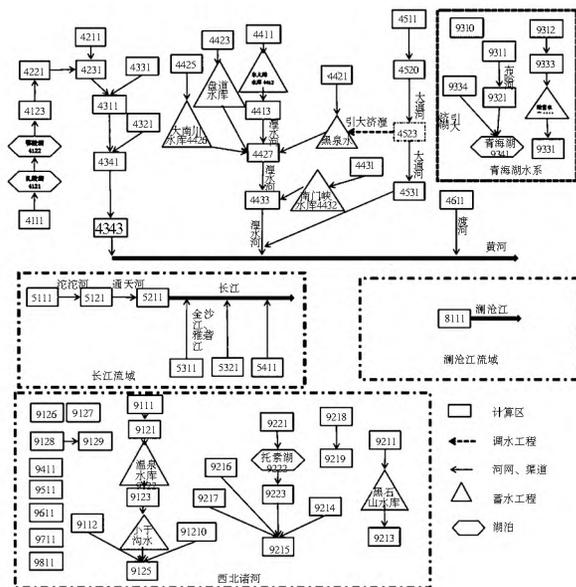


图 1 2010 年青海省水资源系统概化图
Fig. 1 Schematic of water resources system network in Qinghai province

2 青海省水资源供需平衡模型建立

2.1 建模思路

首先以水资源分区为基础单元, 明确单元之间的拓扑关系, 进而确定各单元计算顺序。然后将以行政区为单元统计人口、经济、需水、用水、耗水、水利工程等资料, 通过与水资源分区进行空间叠加形成模型的计算单元。利用 GIS 空间统计的方法, 来获取每个计算单元相应的参数以及不同单元之间的拓扑关系。

利用长时间序列的水资源数据、不同水平年的供水工程设计能力和需水量, 结合各计算单元的水资源调度规则, 计算每个单元的分工程供水、分行业用水、缺水、耗水等系列, 分析不同水平年各地区在不同频率下的水资源供需状况。然后, 根据调算的规划水平年水资源供需缺口, 调整各规划水平年的供水工程规划参数, 以满足规划水平年供需平衡的要求。

2.2 模型结构

本模型主要由数据管理、供需平衡计算、规划调整、结果统计分析四部分组成。数据管理是对基础数

据的录入和管理、模型参数的管理以及模型结果的管理与输出;供需平衡计算是对区域水资源的供给、需求、耗水以及缺水进行分析计算;规划调整是根据模型计算的缺水量,对区域工程能力进行规划调整;结果统计分析是将前面得到的各种长系列结果分别按计算单元、三级区、三级区套地、二级区、二级区套地、一级区、地级市、重点流域等进行统计分析,并制成数据表或直观图形,便于用户查阅和打印。

2.3 主要计算方程

(1)水量平衡方程。包括计算单元水量平衡、水库与湖泊水量平衡、地下水水量平衡、区域总水量平衡方程等。(2)行业水供需平衡方程。包括农业用水供需平衡、工业用水供需平衡、生活用水供需平衡、生态用水供需平衡。(3)边界条件类方程。包括水库或湖泊的各种特征参数的约束、地下水开采约束等。(4)初始条件。包括水库或湖泊的初始水位等。(5)特殊类方程。主要是反映特殊水利工程向某些单元或用水部门的分水比例及动态控制关系、供水优先级、某些水利工程的综合利用要求等。

2.4 水资源调度规则

2.4.1 供水调度规则

首先判断是否有需水只能由地下水供水?如果是,先用地下水满足该部分需水,然后按照各单元的供水优先顺序计算各类工程供水量。然后,将供水调度规则分为以下几类:(1)不存在计算单元外(单元外大中型工程、调水工程)供水,各类工程优先供水的顺序是:必须供的地下水、当地引水工程、当地提水工程、当地蓄水工程、非必须供的地下水;(2)除了本单元供水,还有外单元大中型工程包括调水工程供水,优先顺序是:当地供水工程优先供水,然后是单元外工程供水;(3)除了本单元供水,还有外单元大中型工程包括调水工程供水,外单元供水相对优先安排,本地供水工程作为补充。

2.4.2 用水调度规则

当供水工程的可供水量用完,还有缺水时,按各单元的不同用水优先顺序配置水资源:(1)先满足生活用水,然后是工业用水,最后是农业用水;(2)先满足生活用水,然后是农业用水,最后是工业用水。

2.5 规划工程布局与调整

调算模型所采用的工程参数,首先来自于工程现状和已规划的规划水平年工程情况统计。但因为规划水平年通常离现在还比较远,规划工作还不完善,尤其是小型工程考虑较少,因此模型输入的工程参数只是已规划工程的参数,有可能不能满足未来

的实际需要。如果模型的初次调算显示未来规划水平年存在缺水,需要适当调整未来的工程参数,实际上是增强已规划工程的供水能力或规划新的工程,来满足未来的合理需水。模型的规划调整功能是通过如下算法实现的。(1)对于农业灌溉缺水。增加小型蓄水工程和引水工程的能力,使75%保证率下的供水得到完全满足。(2)对于生活用水和工业用水缺水。增加小型蓄水工程和引水工程的能力,使95%保证率下的供水得到完全满足。

2.6 供需平衡计算流程

根据水资源网络图,确定各单元计算顺序,遵照自上而下,先支流后干流的原则,逐个单元进行供需分析计算。先根据时段初蓄水、本时段来水、工程本身的能力计算每个单元的工程可供水量;再根据工程可供水量、需水情况和调度原则,计算每类工程的供水量。供水能力主要是受来水、工程能力和需水水平影响,参数主要是水利工程参数和需水参数。需水不仅要考虑不同行业需水,而且需明确必须用地下水供给的需水和可能由本计算单元之外的工程(大中型工程、调水工程)满足的需水。各单元区灌溉、工业和生活用水都有一定的回归水量,回归量加入本区的水平衡分析。出境水作为下游单元区的入境水参与其供需分析。对于大中型工程和调水工程,需要具体察看大中型工程的供水范围,识别每个单元的“水源”、并明确单元外工程的供水约束,即明确工程对此单元的供水能力是多少以及此单元需要该工程供水的最大需水有多少。在调算出各个单元的却水量后,根据模型的规划调整规则,对供水工程能力进行调整,然后再重新运行调算模型,最终得出每个单元的供需数据。

3 青海省水资源供需平衡模型应用

3.1 青海省水资源概况

青海省位于我国的西北部、青藏高原的东北部,是黄河、长江和澜沧江的发源地,享有“江河源”的美称^[10]。青海省2010年总人口562.67万人,国内生产总值(GDP)1350.43亿元。根据1956年-2000年资料系列计算,青海省水资源总量为629.3亿 m^3 ,约占全国的2.2%。水资源量比较贫乏。同时,青海省水资源的时空分布极不均衡,与土地、自然资源、人口的分布以及社会经济发展格局不相适应。水资源在季节上分布不均,汛期连续四个月的来水量一般占全年径流量的50%以上,部分河流达到70%~85%,且多

为暴雨洪水,绝大部分水量难以利用;而 3 月-5 月为农业灌溉用水高峰期,灌溉用水量占全年灌溉用水量的 50% 以上,而天然来水量只有年径流量的 15% 左右,来用水之间很不协调;年际间丰枯变化比较剧烈,大多数河流的极值比在 1.7~9.5 之间,最大模比系数在 1.30~4.23 之间,最小模比系数在 0.1~0.81 之间,不利于水资源的开发利用。水资源在地域上的分布极不平衡,长江、澜沧江流域和黄河流域唐乃亥以上及其支流大通河人口少,而水资源量却丰富;黄河一级支流湟水(不含大通河),水资源总量只有全省的 3.5%,却集中了全省 52% 的人口、52.3% 的耕地和 67% 的 GDP,人均水资源量 806 m^3 ,为全国平均值的 36.8%;亩均水资源 483 m^3 ,为全国平均值的 33.6%,资源性缺水严重,需要从邻近河流调水,才能彻底改善水资源的供需矛盾。水资源时空分布极不均衡的特点,加之近年来青海省工农业的迅速发展,人口的急剧增长,使得青海省水资源供需矛盾突出^[21]。

3.2 水资源系统概化与数据准备

模型的计算单元以青海省水资源三级区套地级市为基础(柴达木盆地以三级区套县为基础)。对存在大中型水库的单元,水库本身作为一个计算单元,同时利用汇水范围剖分,将水库上下游各作为一个单元。2010 年划分为 76 个单元,2020 年划分为 112 个单元,2030 年划分为 116 个单元。对每个单元进行唯一性编码。2010 年青海省水资源系统概

化如图 1 所示。

将青海省已有和规划的水利工程的位置和基本属性录入到地理信息系统数据库中,构建青海省水利工程信息系统。该系统可进行水资源分区套县市的水利工程参数统计(兴利库容、防洪库容、引水能力、提水能力)。本研究构建了三级区套地水资源空间数据库。并以此为基础,分别构建了 2010 年、2020 年以及 2030 年三个水平年模型计算单元水资源数据库。以模型计算结果为基础,通过计算单元唯一性编码,将计算结果与计算单元空间数据相关联,构建了水资源供需空间数据库,用于数据分析、查询和制图。

3.3 模型模拟结果

3.3.1 供需平衡

以青海省水资源三级区套地级行政区为单元,根据分析的工程供水量和经过调控的需水量,采用水资源长系列调算方法,对规划水平年不同频率下各地区、各行业的水资源供需平衡进行分析。

2010 年现状年多年平均总需水量为 28.11 亿 m^3 ,多年平均总供水量为 27.49 亿 m^3 ,缺水率为 0.62 亿 m^3 ,全省缺水率为 2.22%。2020 年多年平均总需水量为 44.07 亿 m^3 ,多年平均总供水量为 44.06 亿 m^3 ,缺水率为 0.01 亿 m^3 ,全省缺水率达 0.02%。2030 年多年平均总需水量为 53.70 亿 m^3 ,多年平均总供水量为 53.69 亿 m^3 ,缺水率为 0.01 亿 m^3 ,全省缺水率为 0.01%(表 1)。

表 1 规划水平年青海省水资源供需平衡结果

Tab. 1 The balance between supply and demand of water resources in Qinghai province for different planning years

水平年	来水频率	需水量/亿 m^3	供水量/亿 m^3	耗水量/亿 m^3	耗水率(%)	缺水率(%)
2010	多年平均	281 136	274 907	172 906	62.90	2.22
	50%	268 487	262 333	164 353	62.65	2.29
	75%	268 487	262 896	164 736	62.66	2.08
	95%	268 487	262 896	164 736	62.66	2.08
2020	多年平均	440 749	440 645	261 173	59.64	0.02
	50%	436 046	435 935	257 644	59.53	0.03
	75%	463 888	463 770	287 174	62.10	0.03
	95%	512 260	445 984	277 759	62.96	12.94
2030	多年平均	537 004	536 972	280 717	52.28	0.01
	50%	532 261	532 228	275 998	51.86	0.01
	75%	559 688	559 650	308 296	55.09	0.01
	95%	607 845	542 675	306 964	56.57	10.72

3.3.2 不同供水工程供水量

模型计算结果表明:2020 年青海省供水工程

供水量为 44.06 亿 m^3 ,其中地表水源(包括引水、提水、蓄水、调水)供水 38.87 亿 m^3 ,占总供

水量的 88.2%; 地下水源为 4.97 亿 m^3 , 占总供水量的 11.3%; 其他水源为 0.22 亿 m^3 , 占总供水量的 0.5%。2030 年青海省供水工程供水量为 53.70 亿 m^3 , 其中地表水源(包括引水、提水、

蓄水、调水)供水 44.79 亿 m^3 , 占总供水量的 83.4%; 地下水源为 8.64 亿 m^3 , 占总供水量的 16.1%; 其他水源为 0.26 亿 m^3 , 占总供水量的 0.5% (表 2)。

表 2 青海省不同规划水平年不同供水工程供水量

Tab. 2 Water supply capacity of different water supply projects for different planning years

水平年	频率	引水供水	提水供水	蓄水工程供水	调水	地下水	其他	合计
2010	多年平均	201 487	2 665	35 738	0	3 3272	1 744	274 907
	50%	193 947	2 540	31 001	0	33 100	1 744	262 333
	75%	193 947	2 540	31 565	0	33 100	1 744	262 896
	95%	193 947	2 540	31 565	0	33 100	1 744	262 896
2020	多年平均	220 287	4 749	101 946	61 753	49 675	2 233	440 645
	50%	215 702	4 485	101 836	62 215	49 464	2 233	435 935
	75%	196 164	4 476	135 843	74 318	50 736	2 233	463 770
	95%	138 733	3 027	163 227	84 604	54 161	2 233	445 984
2030	多年平均	238 866	5 248	115 084	88 738	86 425	2 610	536 972
	50%	232 580	5 203	116 170	89 193	86 472	2 610	532 228
	75%	210 298	4 779	155 178	98 336	88 450	2 610	559 650
	95%	155 029	3 690	186 332	99 622	95 391	2 610	542 675

3.3.3 新增供水工程

2020 年青海省新增小型蓄水工程的兴利库容为 1.90 亿 m^3 , 新增机电井流量 2.94 万 m^3/h , 引水工程流量 151 m^3/s , 提水工程流量 17 m^3/s 。新增小型蓄水工程主要在黄河流域, 从行政分区看主要在西宁和海东地区。机电井工程主要增加在西北诸河, 引水工程和提水工程主要增加在黄河流域。2030 年全省新增小型蓄水工程的兴利库容为 0.96 亿 m^3 , 新增机电井流量 0.72 万 m^3/h , 引水工程流量 84 m^3/s 。新增小型蓄水工程主要在黄河流域, 从行政分区看主要在西宁、海南州和黄南州。机电井工程主要增加在西北诸河, 引水工程主要增加在黄河流域。

4 结论

水资源供需平衡模型是区域水资源规划、管理和决策的重要工具。本文建立了一个面向多层次、多水源、多用户的水资源长系列动态供需平衡调算模型。该模型能够满足水中长期规划过程中的水供求调算需求。通过以青海省水中长期供求规划应用为例, 表明该模型主要具备以下功能: (1) 可以客观地描述和模拟再现所研究的水资源系统; (2) 合理地进行长系列水资源供需平衡调度模拟操作; (3) 从不同的时间(不同水平年)和空间(行政区、水资源分区以及行政区套水资源分区)维度, 模拟和输出水资源

系统供需平衡结果; (4) 针对供水缺口, 进行科学的工程参数调整, 为工程规划提供支持。

参考文献(References):

- [1] 王伟荣, 张玲玲, 王宗志. 基于系统动力学的区域水资源二次供需平衡分析[J]. 南水北调与水利科技. 2014(1): 47-49. (WANG Wei rong, ZHANG Ling ling, WANG Zong zhi. Second time supply and demand balance analysis of regional water resources based on system dynamic[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014(1): 47-49. (in Chinese))
- [2] 尹明万, 谢新民, 王浩, 等. 基于生活、生产和生态环境用水的水资源配置模型[J]. 水利水电科技进展. 2004(2): 5-8. (YIN Ming wan, XIE Xin min, WANG Hao, et al. Water resources allocation model based on domestic, productive, and ecological environmental water consumption[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2004(2): 5-8. (in Chinese))
- [3] 周益, 李援农. 石羊河流域水资源供需平衡分析[J]. 水资源与水工程学报. 2008(6): 86-89. (ZHOU Yi, LI Yuan nong. Analysis of water balance in Shiyang River Basin[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008(6): 86-89. (in Chinese))
- [4] 徐小玲, 梁煦枫, 梁秀娟, 等. 白山市农村土地整治工程水资源供需平衡分析[J]. 水利水电技术. 2013(2): 24-27. (XU Xiao ling, LIANG Xu feng, LIANG Xu juan, et al. Analysis on balance of supply and demand of water resources for rural land consolidation project of Baishan[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013(2): 24-27. (in Chinese))
- [5] 张洪刚, 熊莹, 邴建平, 等. Nam 模型与水资源配置模型耦合研

- 究[J]. 人民长江. 2008(17): 15-17. (ZHANG Hong gang, XIONG Ying, BING Jiarping, et al. Research on the coupling of NAM model and water resource allocation model[J]. Yangtze River, 2008(17): 15-17. (in Chinese))
- [6] Mahan R C, Horbulyk T M, Rowse J G. Market mechanisms and the efficient allocation of surface water resources in Southern Alberta[J]. SocioEconomic Planning Sciences. 2002, 36(1): 25-49.
- [7] Dai Z Y, Li Y P. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land use planning under uncertainty[J]. Agricultural Water Management. 2013, 129(0): 69-79.
- [8] 刘昌明, 王红瑞. 浅析水资源与人口、经济和社会环境的关系[J]. 自然资源学报. 2003(5): 635-644. (LIU Chang ming, WANG Hong rui. An analysis of the relationship between water resources and population economy-society environment[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(5): 635-644 (in Chinese))
- [9] 杨志峰, 赵彦伟, 崔保山, 等. 面向生态城市的水资源供需平衡分析[J]. 中国环境科学. 2004(5): 125-129. (YANG Zhi feng, ZHAO Yan wei, CUI Bao shan, et al. Ecocity-oriented water resources supply-demand balance analysis[J]. China Environmental Science, 2004(5): 125-129. (in Chinese))
- [10] 娄帅, 王慧敏, 牛文娟, 等. 基于免疫遗传算法水资源配置多阶段群决策优化模型研究[J]. 资源科学. 2013(3): 569-577. (LOU Shuai, WANG Hui min, NIU Wen juan, et al. Optimization of multi-stage group decision making for water resource allocation[J]. Resources Science, 2013(3): 569-577. (in Chinese))
- [11] 郑超磊, 刘苏峡, 舒畅, 等. 基于生态需水的水资源供需平衡分析[J]. 人民黄河. 2010(1): 48-49. (ZHENG Chao lei, LIU Suxia, SHU Chang, et al. Analysis of water resources supply and demand balance based on ecological water demand[J]. Yellow River, 2010(1): 48-49. (in Chinese))
- [12] 张静, 余鹏翼, 刘娜. 基于广州市水资源供需平衡分析的实证研究[J]. 生态经济. 2010(1): 322-325. (ZHANG Jing, YU Peng yi, LIU Na. Analysis Balance of supply and demand on water resource of Guangzhou[J]. Ecological Environment, 2010(1): 322-325 (in Chinese))
- [13] 熊莹, 张洪刚, 徐长江, 等. 汉江流域水资源配置模型研究[J]. 人民长江. 2008(17): 99-102. (XIONG Ying, ZHANG Hong gang, XU Chang jian et al. Research on water resources allocation model in the Hanjiang River Basin[J]. Yangtze River, 2008(17): 99-102. (in Chinese))
- [14] 李耀初, 黄平, 周劲风. 广州市水资源供需平衡分析模型建立及应用[J]. 广东水利水电. 2006(2): 57-59. (LI Yao chu, HUANG Ping, ZHOU Jir feng. The establishment and application of water resources supply and demand model in Guangzhou City[J]. Guangdong Water Conservancy And Hydropower, 2006(2): 57-59. (in Chinese))
- [15] 刘苏忠, 方宝婷. 金华江流域水资源供需平衡分析与供水规划[J]. 浙江水利科技. 1999(2): 3-5. (LIU Suzhong, FANG Baoting. The supply & demand balance analysis and water supply planning in Jinhua River Basin[J]. Zhejiang Water Conservancy Science and Technology, 1999(2): 3-5. (in Chinese))
- [16] 张占庞, 周洪彦, 张楠. 基于三次平衡原理的水资源供需平衡分析[J]. 水利科技与经济. 2008(7): 555-556. (ZHOU Hong yan, ZHANG Zhan pang, ZHANG Nan. Analysis of water resources supply and demand balance based on the principle of three stage equilibrium[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2008(7): 555-556. (in Chinese))
- [17] 郑云, 陈君. 高质量完成全国水中长期供求规划编制工作[N]. 中国水利报, <http://www.chinawater.com.cn/>. (ZHENG Yun, CHEN Jun. To Complete the National Water Supply and Demand Planning Work With High Quality[N]. <http://www.chinawater.com.cn/> (in Chinese))
- [18] 朱启林, 甘泓, 游进军, 等. 基于规则的水资源配置模型应用研究[J]. 水利水电技术. 2009(3): 1-3. (ZHU Qi lin, GAN Hong, YOU Jir jun, GAN Zhi guo, et al. Research on application of rules based water resources allocation model[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009(3): 1-3. (in Chinese))
- [19] 张亭亭, 王树谦, 刘彬, 等. 基于规则的水资源配置模型在三亚市的应用[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版. 2014(3): 68-70. (ZHANG Ting ting, WANG Shu qian, LIU Bin, et al. Application of water resources allocation model based on regulating rules in Sanya City[J]. Journal of Hebei University of Engineering: Natural Science Edition, 2014(3): 68-70. (in Chinese))
- [20] 汪林, 游进军, 甘泓. 基于规则的水资源系统模拟[J]. 水利学报. 2005(9): 1043-1049. (WANG Lin, YOU Jir jun, GAN Hong. Optimal water resources deployment model based on maximal net benefit[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005(9): 1043-1049. (in Chinese))
- [21] 周陈超, 贾绍凤, 燕华云, 等. 近 50A 以来青海省水资源变化趋势分析[J]. 冰川冻土. 2005(3): 432-437. (ZHOU Chen chao, JIA Shao feng, YAN Hua yun, et al. Changing trend of water resources in Qinghai Province from 1956 to 2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005(3): 432-437. (in Chinese))