

# Study on the Water Supply and Water Use Processes in the Benefited Areas in Water Diversion from Han River to Wei River Project\*

Weiwei Shao<sup>1</sup>, Jiahong Liu<sup>1</sup>, He Xu<sup>2</sup>, Cunwen Niu<sup>1</sup>, Zuhao Zhou<sup>1</sup>, Hao Huang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing

<sup>2</sup>Water Resource Protection Research Institute of Haihe River Water Conservancy Commission MWR, Tianjin

Email: shaoww@iwhr.com

Received: Aug. 20<sup>th</sup>, 2013; revised: Oct. 22<sup>nd</sup>, 2013; accepted: Oct. 28<sup>th</sup>, 2013

**Abstract:** Water Diversion from Han River to Wei River Project is an important water diversion project constructed to solve the shortage of water resources in the Guanzhong Area of Shannxi Province. This study analyzes the water resources demand structure of the benefited areas based on the analysis of social and economic development. Taking a period of ten days as the time scale, this study analyzes the water use process including the domestic water use and production water use. Based on the time series from 1955 to 2007, this study analyzes the water supply process, the water diversion quantity and regional water supply. It is known from this study that a regulation project as a supplement of the water diversion project is necessary to coordinate the processes of water supply and water use in the benefited areas in water diversion from Han River to Wei River Project.

**Keywords:** Water Diversion from Han River to Wei River Project; Benefited Areas; Water Supply; Water Use; Regulation

## 引汉济渭工程受水区供水过程分析\*

邵薇薇<sup>1</sup>, 刘家宏<sup>1</sup>, 徐鹤<sup>2</sup>, 牛存稳<sup>1</sup>, 周祖昊<sup>1</sup>, 黄昊<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国水利水电科学研究院, 北京

<sup>2</sup>水利部海河水利委员会水资源保护科学研究所, 天津

Email: shaoww@iwhr.com

收稿日期: 2013年8月20日; 修回日期: 2013年10月22日; 录用日期: 2013年10月28日

**摘要:** 引汉济渭工程是陕西省为了解决关中地区缺水问题而规划建设的跨流域调水骨干工程。本文在社会经济发展分析基础上, 对受水区水量需求结构进行了分析; 并以旬为时间单位, 对受水区生活、生产等用水过程进行了分析。在1955年至2007年系列年供水区可调水量及其它当地水源供水量基础上, 对受水区供水过程进行了分析。由分析可知, 为协调供水与用水过程不匹配问题, 建设引汉济渭配套的调蓄工程成为必然选择。

**关键词:** 引汉济渭; 受水区; 供水; 用水; 调蓄

\*基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(51109222); “陕西省引汉济渭配水工程调蓄基础研究项目; 中国水利水电科学研究院科研专项(ZJ1224)”; 国家自然科学基金重点项目 50939006。

作者简介: 邵薇薇(1981)女, 江苏南通, 高级工程师, 博士, 水文水资源。

## 1. 引言

陕西省水资源区域分布极不均衡, 关中地区集中了全省 64% 的人口、56% 的耕地、72% 的灌溉面积和 82% 的国内生产总值, 但区内自产水资源总量仅 63.69 亿 m<sup>3</sup>, 人均和耕地亩均水资源量分别相当于全国平均水平的 15% 和 17%, 属严重缺水地区<sup>[1,2]</sup>。缺水不仅严重制约了陕西经济与社会的发展, 而且大面积超采地下水造成西安、咸阳等地区地下水位大幅度下降、地面裂缝不断增加扩展, 生态环境问题日趋严重。据《渭河流域重点治理规划》预测渭河流域今后 20~30 年后, 区内经济社会对水资源需求的增长和天然水资源量衰减的趋势依旧严峻, 而现在区内水资源开发利用潜力已十分有限, 近期的一些中小型工程基本只能弥补工程供水能力衰减的缺口, 仅靠节水和治污已不能满足近期经济社会发展的需求, 必须靠区外调水解决<sup>[1,2]</sup>。

陕西省 2003 年底编制了《陕西省南水北调工程的总体规划》, 该总体规划选定了东、中、西三条调水线路, 即东线引乾入石, 西线引红济石, 中线引汉济渭; 中线是三条调水线路中调水量最大的一条。2011 年 3 月, 引汉济渭工程被正式列入《全国“十二五”规划纲要》。2011 年 7 月, 国家发展和改革委员会批复《关于陕西省引汉济渭工程项目建议书》, 引汉济渭工程正式启动。引汉济渭工程是把在汉江干流修建黄金峡电站枢纽和黄金峡抽水站, 把陕西省汉江水系的富余水量通过提水和引水、明渠和隧洞相结合的多种输水方式, 经过子午河上规划的三河口水库调蓄后穿越秦岭送入已建成的黑河金盆水库以上, 向渭河流域关中地区补水, 从而解决其缺水问题。引汉济渭工程是以城市工业及生活供水为主, 兼顾生态环境及农业用水<sup>[3]</sup>。实施引汉济渭工程不仅可以解决关中地区的缺水问题和改善渭河下游的水环境状况, 而且可以成为国家南水北调的重要组成部分, 十分有利于长江和黄河、上游和下游的水资源的统一调度和优化配置。

引汉济渭工程受水区主要包括西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、杨凌区 5 个重点城市和兴平市、武功县等 13 个县级小城市, 以及沿途城镇的 8 个工业园区。受水区 2010 年城镇人口、GDP 和工业增加值分别占关中地区的 57.4%、63.6%、73.8%, 在整个关

中地区占据着极其重要的位置, 是陕西省政治、经济、文化、商贸中心和自然资源、经济发展重点区域, 在西部大开发战略和陕西经济社会发展中具有重要战略地位<sup>[2]</sup>。

## 2. 受水区水量需求结构分析

基于《引汉济渭工程可行性研究报告》不同水平年的需水量预测, 2010 年、2020 年、2030 年三个水平年的引汉济渭受水区城镇生活、第二和第三产业生产、河道外生态环境等总需水量分别为 13.62 亿 m<sup>3</sup>、25.37 亿 m<sup>3</sup>、29.44 亿 m<sup>3</sup>, 其中生活需水量分别为 2.84 亿 m<sup>3</sup>、5.39 亿 m<sup>3</sup>、7.28 亿 m<sup>3</sup>, 分别占各水平年总需水量的 20.8%、21.2%、24.7%; 生产需水量分别为 9.77 亿 m<sup>3</sup>、18.44 亿 m<sup>3</sup>、20.36 亿 m<sup>3</sup>, 其中第二产业需水分别占各水平年总需水量的 66.0%、61.4%、56.3%, 第三产业需水分别占各水平年需水量的 5.8%、11.2%、12.9%; 生态需水 1.01 亿 m<sup>3</sup>、1.58 亿 m<sup>3</sup>、1.80 亿 m<sup>3</sup>, 分别占各水平年总需水量的 7.4%、6.2%、6.1%。五大城市需水占总需水量的约 70%, 其次是 13 个县级城市需水占总需水量的约 20%, 工业园区需水占总量的约 10%。不同水平年城市及工业园区需水成果汇总见表 1。在五大城市中, 西安市需水量最高, 其次是宝鸡市、咸阳市、渭南市和杨凌区; 其中西安市 2010 年、2020 年、2030 年的总需水量分别占五大城市总需水量的 71%、67%、65%。

## 3. 受水区用水过程分析

引汉济渭工程的配水以渭河为界又可以分为南干线和北干线, 其中北干线主要向宝鸡市、杨凌区、咸阳市等地区供水, 南干线主要向西安市和渭南市等地区供水。配水对象为沿线十六个水厂, 满足水厂覆盖范围内的城镇生活用水与第二、三产业的生产用水。因此, 分析受水区年内用水过程非常重要, 可以了解受水区的水资源需求。一般而言, 受水区年内用水过程主要受居民的生活习惯、节假日、气候条件、生产制度、突发事件等因素影响<sup>[4,5]</sup>。根据受水区几个重要自来水公司和水厂的数据资料, 对受水区用水过程进行分析<sup>[6,7]</sup>。

### 3.1. 生产用水

生产用水主要包括第二产业(工业和建筑业)和第

**Table 1. Water demands of benefited areas in different years**  
**表1. 受水区不同水平年需水量预测成果汇总表<sup>\*</sup>**

城市名称	水平年	城镇生活	生产需水		河道外生态环境	总需水
			第二产业	第三产业		
五大城市小计	2010	23,843	65,027	5862	8395	103,128
	2020	39,541	98,783	22,925	11,741	172,989
	2030	50,116	98,333	30,104	12,764	191,316
十三小城小计	2010	3704	18,901	1705	1394	25,704
	2020	11,511	35,521	4365	3220	54,616
	2030	17,252	51,158	6422	4140	78,972
工业园区小计	2010	809	5953	282	350	7394
	2020	2866	21,489	981	804	26,140
	2030	5440	16,115	1445	1119	24,119
合计	2010	28,356	89,881	7850	10,140	136,226
	2020	53,917	155,792	28,271	15,765	253,745
	2030	72,808	165,606	37,970	18023	294,406

(\*注: 数据参考陕西省引汉济渭工程协调领导小组办公室《引汉济渭工程可行性研究报告》和陕西省水利电力勘测设计研究院《陕西省引汉济渭工程项目建议书受水区配置规划》)。

三产业的产品生产和服务过程中的用水。受水区的生产用水总的来说,各月用水量相差不大,一年四季变化较小,但是由于各月天数的不同,其供水量也有较小差异。根据渭南中心城市供水配置,渭南市主要有W水厂、H自来水公司、W自来水公司(东水厂、南水厂)、G自来水厂等水厂供给生产生活用水(注:因可能涉及保密问题,将水厂和自来水公司的名称隐去,下同)。以W水厂为例,该水厂是渭南市临渭区重点水利项目,2012年总供水量合计为133.6万m<sup>3</sup>,其中企业用水量为26.46万m<sup>3</sup>,农村供水量为107.14万m<sup>3</sup>,企业用水量约占总供水量的20%。分析W水厂供应的企业用水量,可知8月最高为2.59万m<sup>3</sup>,日均用水量835 m<sup>3</sup>/d;2月最低为1.74万m<sup>3</sup>,日均用水量621 m<sup>3</sup>/d;而2012年平均企业日用水量为724 m<sup>3</sup>/d。

根据渭南市H自来水公司提供的资料,H自来水公司一、二水厂水源均采用地下水,其供应的生产用水主要包括商业用水和企事业用水。2012年H自来水共计供水217.5万m<sup>3</sup>,其中企事业用水28.22万m<sup>3</sup>,商业用水41.5万m<sup>3</sup>,生活用水11.874万m<sup>3</sup>,漏失率为13.5%,工业和第三产业的生产用水分别占总用水的13%和19%。由图1可知,用水区域2月的生产

用水略低,商业用水和企事业用水分别为2.97万m<sup>3</sup>和2.02万m<sup>3</sup>,6~9月的生产用水略高,商业用水和企事业用水分别为每月平均3.78万m<sup>3</sup>和每月平均2.57万m<sup>3</sup>。

由W水厂和H自来水公司的供水数据分析可见,扣除每月天数不同和节假日等影响,受水地区的生产用水年内过程变化差异不太显著。

### 3.2. 生活用水

受水区的引汉济渭来水还将供给城镇生活用水,包括居民用水和公共设施用水组成。生活用水一般会随季节变化。根据2012年渭南市自来水公司的供水量数据,W自来水公司主要有东厂、西厂和南厂三座水厂,其中东厂和南厂供水量较大,西厂供水量相对较少且部分时期不参与供水。W自来水公司主要供给生产生活用水,其中生活用水占较大部分,其供水量逐日和逐旬变化情况如图2所示,2012年全年供水0.17亿m<sup>3</sup>,月平均供水141.1万m<sup>3</sup>。由供水量逐旬变化图可见6~8月的用水量较大,约50~55万m<sup>3</sup>;1~2月的用水量较小,约40~45万m<sup>3</sup>;根据逐日过程可知用水量各日波动还较大,总的来说,夏季生活用水量相对较高。以H自来水公司为例,根据H自来

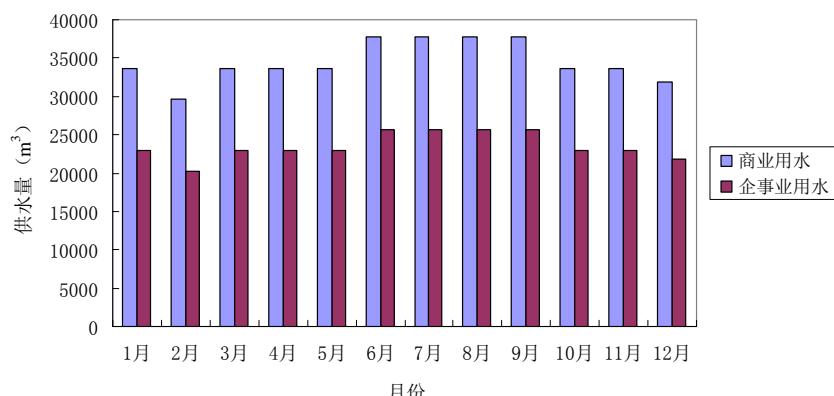


Figure 1. Water consumption process of commercial, establishing enterprise of H Water Supply Company  
图 1. H 自来水公司商业和企事业用水年内过程

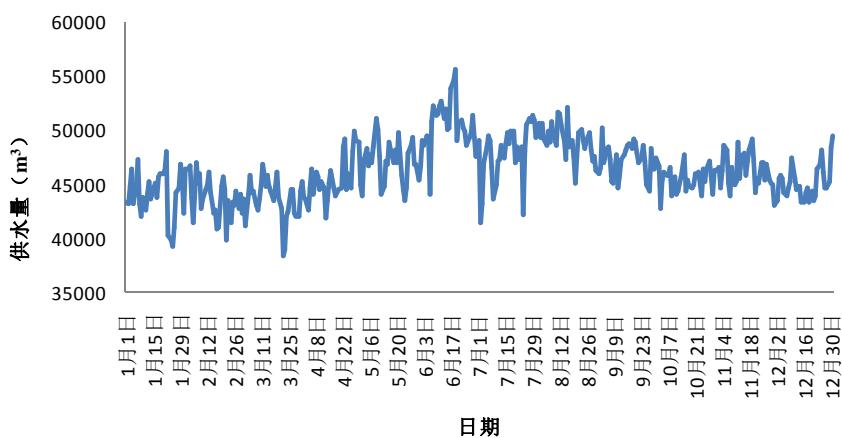


Figure 2. Daily process of water supply of W Water Supply Company  
图 2. W 自来水公司逐日供水过程

水公司 2012 年供应的生活用水年内变化过程, H 自来水公司供应的生活用水总量为 118.74 万 m<sup>3</sup>, 占其总供水量的 55%; 用水量最低的为 2 月和 12 月, 分别为 8.51 万 m<sup>3</sup> 和 9.15 万 m<sup>3</sup>, 6 月至 9 月用水量比较大, 均为 10.81 万 m<sup>3</sup>。另一个例子 Q 水厂是西安市黑河引水工程的重要组成部分, 通过分析 Q 水厂 2010 年供水数据, 1~2 月份春节期间出现小高峰, 日供水 80~90 万 m<sup>3</sup>, 3~5 月较为平稳, 6 月份起呈现增长, 8 月份气温高, 供水出现最高峰, 日供水 90~120 万 m<sup>3</sup>, 9 月起供水量开始下降, 10~12 月份供水再次平稳。

由此可见, 生活用水的年内变化与居民季节用水特征相关, 由于生活习惯等原因, 一般而言夏季因为洗浴、洗衣、防暑降温, 用水需求会相对略大, 而冬季的用水需求相对略小。

由受水区用水过程的分析可知, 生产用水和生活用水均需要很高的保证率, 且总用水过程年内过程相

对稳定, 夏季略大, 用水最多月份与用水最小月份相差约 20%。

#### 4. 受水区供水过程分析

根据引汉济渭工程设计, 在汛期引黄金峡水库部分多余水量, 通过设置在三河口水库坝址的地下泵站抽送到三河口水库调蓄, 在枯水期经秦岭隧洞(越岭段)自流到黄池沟, 接通关中供水网。可供水量和用水量在年内过程的分配、空间上的分配, 都具有很大的不确定性, 受到水文条件、下垫面条件、社会经济发展规模等的影响<sup>[8,9]</sup>。

##### 4.1. 引汉济渭工程供水规模

根据引汉济渭工程受水区水资源配置规划, 2020 年引汉济渭工程将实现对西安市的配水, 其他城市还没有实现配水, 秦岭隧道出口的毛配水量为 45,625 万

$\text{m}^3$ , 城市水厂的净配水量为 44,285 万  $\text{m}^3$ , 其中西安市的配水量占总配水量的 91.2%; 长安区的配水量占总配水量的 8.8%。2030 年引汉济渭工程将实现对西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市和杨凌区的配水, 秦岭隧洞出口的毛配水总量为 139,549 万  $\text{m}^3$ , 城市水厂的净配水总量为 135,018 万  $\text{m}^3$ , 其中西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市和杨凌区分别占总配水量的 57.1%、8.6%、22.8%、10.0% 和 1.5%(表 2)。

#### 4.2. 引汉济渭工程供水过程分析

依据优化的引汉济渭来水过程, 在 2020 年和 2030 年引汉济渭工程调蓄来水过程中, 对 1954 年 7 月至 2008 年 6 月秦岭隧洞供水过程的逐旬流量进行分析, 对各旬的流量进行分别排频, 得到各旬不同频率的典型来水过程, 如图 3 和图 4 所示。分析 2020

和 2030 两个水平年引汉济渭来水年内过程, 可知在 2 月底(第 6 旬)时, 来水量达到最低, 随后来水量逐渐

Table 2. Total water supply in different years of the water diversion from Han River to Wei River Project ( $10^4 \text{ m}^3$ )  
表 2. 引汉济渭工程不同水平年总供水量(万  $\text{m}^3$ )

配水对象	2020 年配水量		2030 年配水量	
	毛配水	净配水	毛配水	净配水
	秦岭隧洞出口	城市水厂	秦岭隧洞出口	城市水厂
西安市	45,625	44,285	79,747	77,459
宝鸡市			12,002	11,411
咸阳市			31,801	30,790
渭南市			13,862	13,285
杨凌区			2137	2073
总计	45,625	44,285	139,549	135,018

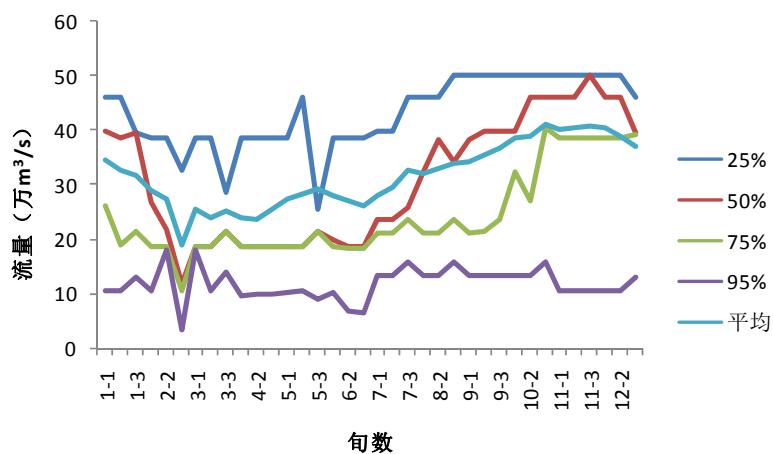


Figure 3. The ten-day processes of different levels of the long serial in 2020  
图 3. 2020 水平年长序列逐旬来水过程分析

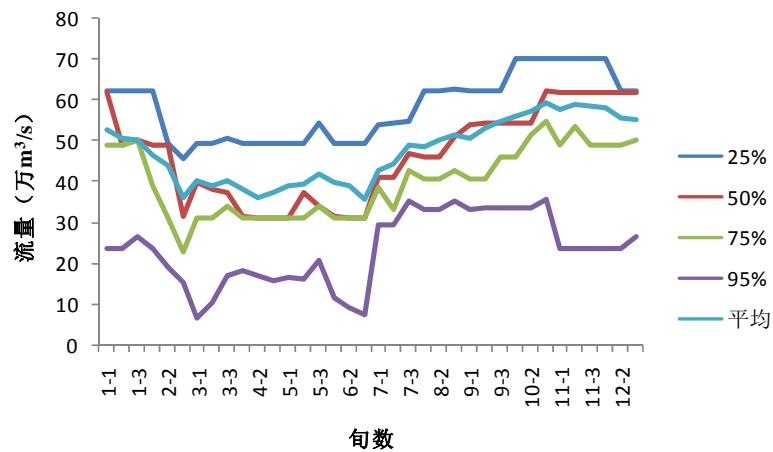


Figure 4. The ten-day processes of different levels of the long serial in 2030  
图 4. 2030 水平年长序列逐旬来水过程分析

增加, 至 10~12 月(第 30~36 旬)趋于平稳达到高峰。同时可见, 来水量和来水过程受丰枯频率的影响较大, 同一旬的来水过程在各频率变幅很大, 有的月份丰水年和枯水年来水量相差甚至达 10 倍, 难以提供高保证率的用水过程, 尤其是在枯水和特枯年份; 因此, 受水区需要对引汉济渭来水进行调蓄。

### 4.3. 其他水源供水分析

受水区的水源供给, 除引汉济渭工程外, 还有当地的地表水、地下水和再生水的供水。通过分析主要城市引汉济渭供水(毛配水量)和当地水资源供水的比例, 可知 2020 年西安市引汉济渭供水(毛配水量)和当地水资源供水量的比例为 40.5% 和 59.5%。2030 年西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、杨凌区引汉济渭供水(毛配水量)和当地水资源供水量的比例分别为 41.5% 和 58.5%, 28.6% 和 71.4%, 71.2% 和 28.8%, 72.1% 和 27.9%, 62.2% 和 37.8%。由此可见, 西安市、咸阳市、渭南市和杨凌区等受水区在未来引汉济渭配水占供水量的比重均较大, 实现了对本地地下水的压采和再生水的大规模和高效利用, 而在这些地区对引汉济渭来水的调蓄的任务也相对更重。并且由预测可知, 引汉济渭北干线(宝鸡、咸阳和杨凌)城市 2020 年和 2030 年当地水资源供水分别为 33,532 万  $m^3$  和 44,069 万  $m^3$ , 南干线(西安和渭南)城市 2020 和 2030 年当地水资源供水分别为 72,573 万  $m^3$  和 61,922 万  $m^3$ ; 北干线当地地表水、地下水供给量较少, 自我调蓄能力非常有限, 因此若建立联合调蓄工程, 调蓄任务应该向南干线转移。

## 5. 总结

通过对引汉济渭受水区供水过程的分析, 可知受水区来水过程和用水过程不相吻合, 用水过程需要高保证率的稳定的水资源, 来水量和来水过程受来水丰枯频率的影响较大, 同一旬的来水过程在各水平年变幅大并且忽高忽低, 尤其在枯水年份时受水区的用水过程难以得到较高的保证, 必须通过建设调蓄工程

进行调蓄, 并且建议调蓄任务向引汉济渭工程配水南干线转移。

## 参考文献 (References)

- [1] 苏丹, 费良军, 杨晓茹. 陕西省引汉济渭工程受水区水资源优化配置研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(4): 46-49.  
SU Dan, FEI Liangjun and YANG Xiaoru. Optimal allocation of water resources in Hanjiang-to-Weihe River Project. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(4): 46-49. (in Chinese)
- [2] 张永永, 黄强, 姜瑾, 等. 陕西省引汉济渭工程受水区水资源优化配置研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(2): 165-170.  
ZHANG Yongyong, HUANG Qiang, JIANG Jin, et al. Research on the optimal allocation of water resources in benefited areas in water diversion from Han river to Wei river project. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(2): 165-170. (in Chinese)
- [3] 王伟, 钟永华, 雷晓辉, 等. 引汉济渭工程水源区与受水区丰枯遭遇分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 23-27.  
WANG Wei, ZHONG Yonghua, LEI Xiaohui, et al. Synchronous-asynchronous encounter probability of rich-poor precipitation between water source area and water receiving area of the HanjiangtoWeihe River water transfer project. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(5): 23-26. (in Chinese)
- [4] 周祖昊, 王浩, 贾仰文, 等. 基于二元水循环理论的用水评价方法探析[J]. 水文, 2011, 31(1): 8-12.  
ZHOU Zuhao, WANG Hao, JIA Yangwen, et al. Discussion on water use assessment based on dualistic water cycle. Journal of China Hydrology, 2011, 31(1): 8-12. (in Chinese)
- [5] 何力, 黄薇, 刘丹. 天津市供用水情势及对策研究[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(11): 956-966.  
HE Li, HUANG Wei and LIU Dan. Situation and countermeasures study of Tianjin water supplies and water use. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2009, 15(11): 956-966. (in Chinese)
- [6] 胡彩虹, 高建菊, 吴泽宁, 等. 黑河中游取水总量控制风险管理研究[J]. 水资源研究, 2012, 1: 407-412.  
HU Caihong, GAO Jianju, Wu Zening, et al. Risk management of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach. Journal of Water Resources Research, 2012, 1: 407-412. (in Chinese)
- [7] 苏龙强, 陈兴伟, 徐宗学, 等. 福建省用水结构与产业结构回归分析[J]. 水资源研究, 2012, 1: 153-159.  
SU Longqiang, CHEN Xingwei, XU Zongxue, et al. Regression analysis on the relationship between water consumption structure and industrial structure in Fujian Province. Journal of Water Resources Research, 2012, 1: 153-159. (in Chinese)
- [8] DINAR, A. Water allocation mechanisms-principles and examples. Policy Research Working Paper, 1997.
- [9] CANTER, L. W. Water resources assessment: Methodology and technology source. Ann Arbor: Ann Arbor Science Pub., 1979.