

用水总量控制指标的确定方法研究

刘淋淋¹, 曹升乐¹, 于翠松¹, 王 俊¹, 郭晓娜¹, 宋少文², 庄会波², 查治荣³

(1. 山东大学 土建与水利学院, 济南 250061; 2. 山东省水文水资源勘测局, 济南 250002;
3. 胶南市水文局, 山东 胶南 266400)

摘要: 基于最严格水资源管理制度的要求, 用水总量控制“红线”就是要强化水资源管理的约束力, 促进水资源优化配置, 提高用水效率, 确保水资源可持续利用。基于“用水总量控制指标确定时应考虑当地水资源特性和当地社会经济及生态环境对水的需求两方面因素”的原则, 系统讨论了狭义、广义及严格意义地表(地下)水资源可利用量的概念, 提出了确定用水总量控制指标的方法体系。最后以胶南市及乳山市为例, 计算了两市各规划年的用水总量控制指标, 为两市用水总量控制制度建设和控制指标分配提供了依据。

关键词: 三条红线; 用水总量控制确定; 广义地表水可利用量; 广义地下水可开采量; 广义水资源可利用量; 胶南市; 乳山市
中图分类号: TV 213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 1683(2013) 05-0159-05

Research on Determination of the Control Index of Total Water Use

LIU Lin lin¹, CAO Sheng le¹, YU Cui song¹, WANG Jun¹, GUO Xiaona¹,
SONG Shaowen², ZHUANG Huibo², ZHA Zhirong³

(1. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;
2. Hydrology and Water Resources Bureau of Shandong Province, Jinan 250002, China;
3. Hydrology and Water Resources Bureau of Jiaonan City, Jiaonan 266400, China)

Abstract Based on the requirement of the most strict water resources management system, the total water control “The Red Line” binding force is to strengthen water resources management, to promote the optimized allocation of water resources and water use efficiency, and to ensure the sustainable utilization of water resources. When determining the total water control index, two factors should be considered including the features of local water resources and the water demand of local socio economic and ecological environment. In this paper, the concept of available surface (underground) water resources was discussed in three aspects of a narrow sense, generalized sense, and strict sense, and a method system to determine the total water use control was proposed. Finally, the total water control indexes in Jiaonan and Rushan during the planning year were calculated, which can provide a theoretical basis for the system construction of total water control and allocation of control indexes in the two cities.

Key words: Three Red lines; determination of total water use control; generalized surface water availability; generalized groundwater extraction; generalized water resources availability; Jiaonan City; Rushan City

实行最严格的水资源管理制度^[1]的核心就是围绕水资源的配置、节约和保护建立水资源管理的“三条红线”, 即用水总量红线、用水效率红线和排污总量红线。用水总量控制“红线”位于“三条红线”之首, 其目标是以流域生态保护为前提强化水资源管理的约束力, 促进水资源优化配置, 提高用水效率。因此, 用水总量控制指标的合理确定是水资源可持续利用^[2]、区域社会经济可持续发展的根本保障。本文拟对

确定用水总量控制“红线”的相关的理论和方法进行探讨, 并对山东省胶南市、乳山市进行了实例计算。

1 用水总量控制指标确定方法研究

1.1 用水总量控制指标确定技术路线

用水总量控制指标的确定应取决于两个方面: 一是当地水资源(包含可用的客水资源, 以下同)的特性, 反映当地自

收稿日期: 2013-04-15 修回日期: 2013-08-15 网络出版时间: 2013-08-23
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1609.030.html>
基金项目: 水利部公益性行业科研专项基金资助项目(2012011116)
作者简介: 刘淋淋(1988-), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: liulinalina@163.com
通讯作者: 曹升乐(1960-), 男, 陕西蒲城人, 教授, 博士生导师, 从事水文学及水资源研究。E-mail: cao_s@sdu.edu.cn

然因素,即客观条件;二是当地社会经济及生态环境对水的需求,反映当地人为因素,即主观条件。用水总量控制指标的确定应是主观与客观相协调的结果,其技术路线见图 1。

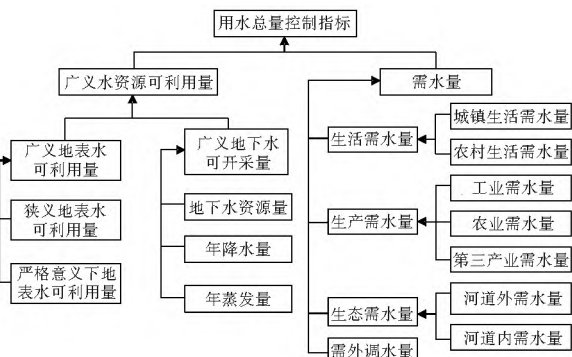


图 1 用水总量控制指标确定技术路线

Fig. 1 Technical roadmap for determining the total water use control indexes

图 1 的基本含义简要说明如下:

第一层:区域用水总量控制指标是由当地广义水资源可利用量和当地社会经济及生态环境需水量综合确定。

第二层:可利用量和需水量。可利用量包括广义地表水资源可利用量和广义地下水资源可利用量。需水量包括生活、生产、生态^[3]和外调水量 4 个方面。

第三层分为可利用量和需水量两大分支。以广义地表水资源可利用量为例,它由狭义地表水资源可利用量^[4](指通常意义下的地表水资源可利用量,是为了与本文中其他可利用量相区别)和严格意义的地表水资源可利用量综合确定。严格意义的地表水资源可利用量的影响因素包括河川年径流量^[5]、年降水量^[6]和年蒸发量^[7]。

1.2 广义地表水资源可利用量的确定

1.2.1 狭义地表水资源可利用量确定方法

狭义地表水资源可利用量是指通常意义下的地表水资源可利用量。多年平均地表水资源可利用量^[8]计算可采用倒算的方法或正算的方法。所谓倒算法是用多年平均地表水资源量减去不可以被利用水量和不可能被利用水量中的汛期下泄洪水量的多年平均值,得出多年平均地表水资源可利用量。可用(1)式表示:

$$W_{\text{狭义地表水可利用量}} = W_{\text{地表水资源量}} - W_{\text{河道内最小生态环境需水量}} - W_{\text{洪水弃水}} \quad (1)$$

所谓正算法是根据工程最大供水能力或最大用水需求的分析成果,以用水消耗系数(耗水率)折算出相应的可供河道外一次性利用的水量。可用(2)式或(3)式表示:

$$W_{\text{狭义地表水可利用量}} = k_{\text{用水消耗系数}} \times W_{\text{最大供水能力}} \quad (2)$$

$$\text{或: } W_{\text{狭义地表水可利用量}} = k_{\text{用水消耗系数}} \times W_{\text{最大用水需求}} \quad (3)$$

1.2.2 严格意义的地表水资源可利用量计算方法研究

国际上普遍认可的地表水资源可利用量是以河川径流量的 40% 为上限。本文认为,地表水资源可利用量除了考虑国际普遍认可的 40% 的标准外,还应考虑河流所处的自然地理条件,主要包括降水(反映系统输入,即来水量)和蒸发(反映系统输出,即去水量)两大因素。由此确定的地表水资源

可利用量即定义为严格意义的地表水资源可利用量。具体计算公式如下:

$$W_{\text{严格意义地表水可利用量}} = 40\% \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times W_{\text{河川径流量}} \quad (4)$$

式中: α_1 、 α_2 分别为年降水量 P 、年蒸散发能力 E 的修正系数,分别反映当地降水和蒸发对水资源可利用量影响。

对于多年平均降水量较多的地区,由于河流周边生态环境较好,河道外生态需水量较小,可适当提高河道内河川径流利用量,即地表水资源可利用量可以大于 40%;对于多年平均降水量较少的地区,由于河流周边生态环境较差,河道外生态需水量较大,可适当降低河道内河川径流利用量,即地表水资源可利用量应小于 40%。

对于多年平均蒸散发能力较大的地区,由于河流本身及周边生态环境较差,河道内、外生态需水量均较大,应适当减少河道内河川径流利用量,即地表水资源可利用量应小于 40%;对于多年平均蒸散发能力较小的地区,由于河流本身及周边生态环境较好,河道内、外生态需水量均较小,可适当提高河道内河川径流利用量,即地表水资源可利用量可大于 40%。

也就是说,在降水量较大和蒸散发量较小的地区(例如,我国南方大部分地区), α_1 和 α_2 可大于 1.0,在降水量较小和蒸散发量较大的地区(例如,我国北方大部分地区), α_1 和 α_2 应小于 1.0。

$\alpha_1 \sim P$ 与 $\alpha_2 \sim E$ 之间可采用直线变化规律,也可采用曲线变化规律,本次研究中 $\alpha_1 \sim P$ 与 $\alpha_2 \sim E$ 均选用了直线变化关系,见图 2 和图 3。多年平均降水量 $P = 648 \text{ mm}$ (全国平均值)和多年平蒸散发能力 $E = 1400 \text{ mm}$ (大约为全国蒸散发能力的平均值)的地区, α_1 和 α_2 均取值 1.0;多年平均降水量 $P = 1296 \text{ mm}$ (相当全国多年平均降水量的两倍)和多年平均蒸散发能力 $E = 2800 \text{ mm}$ (相当全国蒸散发能力均值的两倍)的地区, α_1 取值建议在 110% ~ 120% 范围内,即上调 10% ~ 20%; α_2 取值建议在 90% ~ 80% 范围内,即下调 10% ~ 20%。

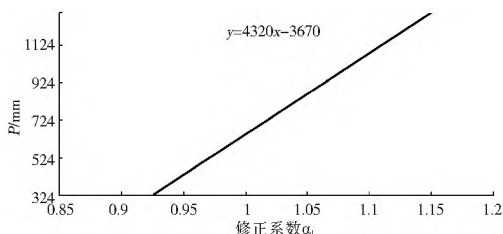


图 2 $\alpha_1 \sim P$ 关系

Fig. 2 Relationship between $\alpha_1 \sim P$

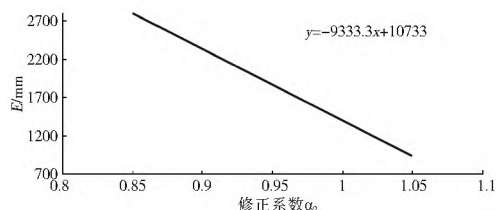


图 3 $\alpha_2 \sim E$ 关系

Fig. 3 Relationship between $\alpha_2 \sim E$

1.2.3 广义地表水资源可利用量的计算方法

广义地表水资源可利用量是在狭义地表水资源可利用量与严格意义下地表水资源可利用量的基础上提出的。前

面分别介绍了两种地表水资源可利用量的计算方法(狭义与严格意义)。前一种方法的计算结果受人为主因素影响较大,而后一种方法的计算结果主要受控于自然因素。本文认为,地表水资源可利用量应是一个客观存在的量,主要应由自然因素而决定。但是考虑到我国北方地区普遍缺水严重的实际,以及第一种方法的计算结果一般都明显偏大于第二种方法计算结果的情况,可将第二种方法计算结果作为远期的目标值,而近期采用两种结果的综合值。因此,广义地表水资源可利用量的计算公式如下:

$$W_{\text{广义地表水资源可利用量}} = \lambda_1 \times W_1 + \lambda_2 \times W_2 \quad (5)$$

式中: W_1 为狭义地表水资源可利用量计算方法的计算结果(万 m^3); W_2 为严格意义的地表水资源可利用量计算方法的计算结果(万 m^3); λ_1 、 λ_2 为 W_1 和 W_2 的权重系数。

目前国内在水资源综合规划中,规划的现状年一般选为2010年,2020年是规划的中期年,2030年是远期年。在本文中,以2010年作为起始年,该年 λ_1 和 λ_2 的权重均取0.5;2030年作为终止年,该年 λ_1 的权重取0, λ_2 的权重取值1.0;在2010年-2030年之间,两者的权重按直线变化,见图4。图4中,起始年(2010年)的广义地表水资源可利用量是由狭义地表水资源可利用量与严格意义的地表水资源可利用量等权重(各占50%)确定;到终止年(2030年),广义地表水资源可利用量完全由严格意义的地表水资源可利用量确定,即广义地表水资源可利用量就等于严格意义的地表水资源可利用量;在起始年(2010年)与终止年(2030年)之间,广义地表水资源可利用量是由狭义地表水资源可利用量与严格意义的地表水资源可利用量综合确定,狭义地表水资源可利用量的权重由大变(由0.5变为0),而严格意义的地表水资源可利用量的权重由小变大(由0.5变为1.0)。

应用公式(5)及图4可求得不同水平年的广义地表水资源可利用量。

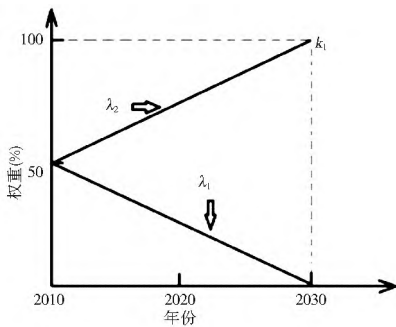


图4 权重 λ_1 、 λ_2 变化图

Fig. 4 Variations of weights λ_1 and λ_2

1.3 广义地下水可开采量研究

地下水可开采量^[9]指在可预见的时期内,通过经济合理、技术可行的措施,在不引起生态环境恶化的条件下,允许从含水层中获取的最大水量。为了与下述研究相区别,将地下水可开采量定义为狭义地下水可开采量,而广义地下水可开采量是指:在目前地下水可开采量^[10-11]计算方法(可开采系数)的基础上,综合考虑降水和蒸发两大因素后,确定的地下水可开采量。具体计算公式如下:

$$W_{\text{广义地下水可开采量}} = \rho \times \beta_1 \times \beta_2 \times W_{\text{地下水总量}} \quad (6)$$

式中: ρ 为地下水可开采系数; β_1 、 β_2 分别为年降水量、年蒸散发能力 E 的修正系数,分别反映当地降水和蒸发对地下水可开采量影响。

对于多年平均降水量较多的地区,由于水源地自身生态环境较好,可适当提高水源地的可开采量;对于多年平均降水量较少的地区,由于水源地自身生态环境较差,可适当减少水源地的可开采量。

对于多年平均蒸散发能力较大的地区,由于水源地自身及周边生态环境较差,生态需水量较大,且蒸发损失较大,应适当减少水源地的可开采量;对于多年平均蒸散发能力较少的地区,由于水源地自身及周边生态环境较好,生态需水量较小,且蒸发损失较小,应适当提高水源地的可开采量。也就是说,在降水量较大和蒸散发量较小的地区(例如,我国南方大部分地区), β_1 和 β_2 可大于1.0,在降水量较小和蒸散发量较大的地区(例如,我国北方大部分地区), β_1 和 β_2 应小于1.0。

$\beta_1 \sim P$ 与 $\beta_2 \sim E$ 之间可采用直线变化规律,也可采用曲线变化规律,本次研究中 $\beta_1 \sim P$ 与 $\beta_2 \sim E$ 均选用了直线变化关系,见图5和图6。在图5和图6中,对于多年平均降水量 $P=648\text{ mm}$ (全国平均值)和多年平均蒸散发能力 $E=1400\text{ mm}$ (大约为全国蒸散发能力的平均值)的地区, β_1 和 β_2 均取值1.0;对于多年平均降水量 $P=1296\text{ mm}$ (相当全国多年平均降水量的两倍)和多年平均蒸散发能力 $E=2800\text{ mm}$ (相当全国蒸散发能力均值的两倍)的地区,初步分析研究认为 β_1 取值建议在100%~110%范围内,即上调0%~10%; β_2 取值建议在90%~100%范围内,即下调0%~10%。

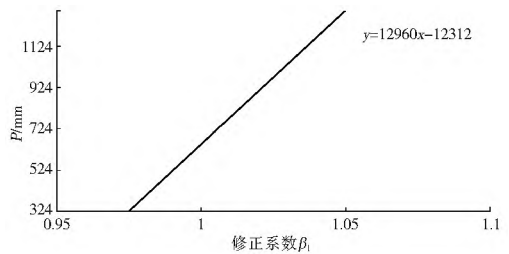


图5 $\beta_1 \sim P$ 关系

Fig. 5 Relationship between $\beta_1 \sim P$

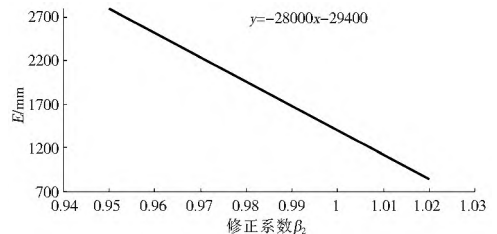


图6 $\beta_2 \sim E$ 关系

Fig. 6 Relationship between $\beta_2 \sim E$

1.4 用水总量控制指标的确定

由前述可求得多年平均条件下广义水资源可利用量,其计算公式为:

$$W_{\text{广义水资源可利用量}} = W_{\text{广义地表水可利用量}} + W_{\text{广义地下水可开采量}} \quad (7)$$

用水总量控制指标应由广义水资源可利用量和需水量综合确定,其计算公式为:

$$W_{\text{用水总量控制指标}} = k_1 \times W_{\text{需水量}} + k_2 \times W_{\text{广义水资源可利用量}} \quad (8)$$

下面根据不同情况分别讨论。

(1) 当广义水资源可利用量明显大于需水量^[12-15]时(指广义水资源可利用量是需水量的 1.2 倍及其以上), 则以需水量作为用水总量控制指标, 此时 k_1 取 1.0, k_2 取 0.0, 即可完全满足其需水量, 其表达式为:

$$W_{\text{用水总量控制指标}} = W_{\text{需水量}} \quad (9)$$

(2) 当广义水资源可利用量明显小于需水量时(指广义水资源可利用量是需水量的 0.8 倍及其以下), 则以广义水资源可利用量作为用水总量控制指标, 此时 k_1 取 0.0, k_2 可取为 1.0, 其表达式为:

$$W_{\text{用水总量控制指标}} = W_{\text{水资源可利用量}} \quad (10)$$

(3) 当广义水资源可利用量介于上述两种情况之间时, 则用水总量控制指标应同时考虑广义水资源可利用量和需水量, 此时 $0 < k_1 < 1, 0 < k_2 < 1$, 其表达式为:

$$W_{\text{用水总量控制指标}} = k_1 \times W_{\text{需水量}} + k_2 \times W_{\text{水资源可利用量}} \quad (11)$$

k_1, k_2 的变化如图 7 所示。

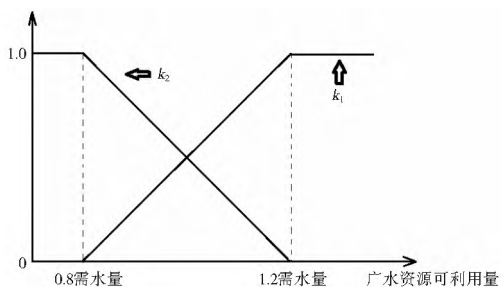


图 7 变化图

Fig. 7 Variations of and

根据广义水资源可利用量及需水量的计算结果, 可确定用水总量控制指标。

2 研究实例

本文选择了山东省胶南市和乳山市作为案例, 应用上述研究方法, 确定其用水总量控制指标。两市水资源基本情况如下。

根据胶南市水资源规划报告, 该市 2010 年、2020 年、2030 年地表水资源可利用量均为 2.704 0 亿 m^3 ; 地下水资源可利用量均为 0.95 亿 m^3 , 而该市 3 个规划年的需水量分别为 2.501 25 亿 m^3 、2.858 03 亿 m^3 、4.128 8 亿 m^3 。

根据乳山市水资源规划报告, 该市 2010 年、2015 年、2020 年地表水资源可利用量均为 1.0009 亿 m^3 , 地下水资源可开采量均为 0.87 亿 m^3 , 3 个规划年的需水量分别为 1.168 2 亿 m^3 、1.707 3 亿 m^3 、1.835 3 亿 m^3 。

本次研究中, $\alpha_1 \sim P, \alpha_2 \sim E$ 及 $\beta_1 \sim P, \beta_2 \sim E$ 采用直线变化规律, 根据胶南及乳山市多年平均降雨量 P 、多年平均蒸发量 E , 通过图 2、图 3 和图 5、图 6, 可查得 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$, 取胶南市 $\rho = 0.503$ (胶南市水资源规划报告中的选用值), 乳山市 $\rho = 0.592$ (乳山市水资源规划报告中的选用值), 代入有关公式即可分别得到胶南市和乳山市现状年 2010 年、中期规划年 2020 年、远期规划年 2030 年的用水总量控制指标, 结果见表 1、表 2。

表 1 胶南市用水总量控制指标

Table 1 the total water use control of Jiaonan

年份	用水总量控制指标/亿 m^3
201	2.501 25
2020	2.857 4
2030	2.617 7

表 2 乳山市用水总量控制指标

Table 2 the total water use control of Rushan

年份	用水总量控制指标/亿 m^3
2010	1.168 2
2015	1.707 3
2020	1.835 3

3 结语

本文提出的用水总量控制指标确定方法, 对实施最严格水资源管理制度、强化水资源管理的约束力、促进水资源优化配置、提高用水效率具有理论意义和实用价值。但由于只讨论了多年平均来水情况, 而对于不同频率年的用水总量控制指标需进一步研究确定。

参考文献(References):

- [1] 孙雪涛. 贯彻落实中央一号文件 实行最严格水资源管理制度[J]. 中国水利, 2011, (6): 33-34. (SUN Xue tao. The Implementation of the Central Document to Implement the most Strict Water Resources Management System[J]. China Water Resources, 2011, (6): 33-34. (in Chinese))
- [2] 冯耀龙, 练继建, 韩文秀, 等. 区域水资源系统可持续发展评价研究[J]. 水利水电技术, 2001, 32(12): 9-11. (FENG Yaolong, LIAN Jijian, HAN Wenxiu, et al. The Sustainable Development of Regional Water Resources System Assessment[J]. Journal of Water Resources and Hydropower Technology, 2001, 32(12): 9-11. (in Chinese))
- [3] 姜翠玲, 范晓秋. 城市生态环境需水量的计算方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 14-17. (JIANG Cuiling, FAN Xiaoli. Calculation Method for Urban Environment Water Demand[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2004, 32(1): 14-17. (in Chinese))
- [4] 张洪刚, 张翔, 吕孙云, 等. 国内外水资源可利用量计算方法概析[J]. 人民长江, 2008, 39(17): 18-20. (ZHANG Honggang, ZHANG Xiang, LYU Sunyun, et al. Domestic and Foreign Water Availability Calculation Method for the Analysis[J]. Yangtze River, 2008, 39(17): 18-20. (in Chinese))
- [5] 王艳君, 姜彤, 施雅风. 长江上游流域 1961-2000 年气候及径流变化趋势[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 709-714. (WANG Yanjun, JIANG Tong, SHI Yafeng. Climate and Runoff Trends of the Upper Reaches of the Yangtze River Basin from 1961 to 2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(5): 709-714. (in Chinese))
- [6] CHEN Huo Po, SUN Jiar Qi, CHEN Xiaoli. Future Changes of Drought and Flood Events in China under a Global Warming Scenario[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2013, 6(1): 8-13.

- [7] 罗健, 荣艳淑. 利用英国 CRU 资料重建华北地区百年蒸发量及变化分析[A]. 第三届全国水力学与水利信息学大会论文集[C]. 2007: 753-758. (LU O Jian, RONG Yar shu. Reconstruction; Analysis of Evaporation and Changes of Hundred Years in North China with the British CRU Data[A]. The Third National Hydraulics and Water Conservancy Information Science Conference[C]. 2007: 753-758. (in Chinese))
- [8] 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 Jian sheng, ZHONG Hua ping, GENG Lei hua, et al. Available Water Resources in China[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 549-553. (in Chinese))
- [9] 殷丹, 许春东, 束龙仓, 等. 淮北市岩溶地下水可持续开采量及临界水位的确定[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 25-28. (YIN Dan, XU Chun dong, SHU Long cang, et al. Research on Sustainable Exploitation Yield and Critical Water Level of Karst Groundwater in Huaibei City[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 25-28. (in Chinese))
- [10] 鲁荣安, 宁维亮. 山丘区区域地下水可开采量评价问题[J]. 地下水, 2002, 24(1): 1-5. (LU Rong an, NING Wei liang. Hills Area Groundwater Mining Problems in Evaluation of Groundwater[J]. Ground Water, 2002, 24(1): 1-5. (in Chinese))
- [11] 张人权. 地下水资源特性及其合理开发利用[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(6): 1-5. (ZHANG Ren quan. Characteristics of Groundwater Resources and Their Rational Development and Utilization[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003, 30(6): 1-5. (in Chinese))
- [12] 何萍, 束龙仓, 邓铭江, 等. 西北干旱区内陆河生态环境需水量研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(10): 23-25, 60. (HE Ping, SHU Long cang, DENG Ming jiang, et al. Research on Ecological and Environmental Water Requirement of Arid Inland River in Northwest China[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(10): 23-25, 60. (in Chinese))
- [13] 姜德娟, 王会肖, 李丽娟, 等. 生态环境需水量分类及计算方法综述[J]. 地理科学进展, 2003, 22(4): 369-378. (JIANG De juan, WANG Hui xiao, LI Li juan, et al. A Review on the Classification and Calculating Methods of Ecological and Environmental Water Requirements[J]. Progress in Geography, 2003, 22(4): 369-378. (in Chinese))
- [14] 王敏, 郑新奇. 济南市生态环境需水量的计算[J]. 水利科技与经济, 2006, 12(3): 140-142, 146. (WANG Min, ZHENG Xin qi. The Calculation of Ecological and Environmental Water Demand in Jinan[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2006, 12(3): 140-142, 146. (in Chinese))
- [15] 于志强, 王丹, 孙传会, 等. 城市工业用水预测实施方法[J]. 黑龙江水利科技, 2010, 38(5): 19-20. (YU Zhi qing, WANG Dan, SUN Chuan hui, et al. Urban Industrial Water Prediction Implementation Method[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2010, 38(5): 19-20. (in Chinese))

《南水北调与水利科技》优先数字出版声明

为即时确认作者科研成果、彰显论文传播利用价值,从2011年起,将《南水北调与水利科技》印刷版期刊出版的定稿论文在“中国知网”(http://www.cnki.net)以数字出版方式提前出版(优先数字出版)。欢迎读者在中国知网“中国学术期刊网络出版总库”检索、引用本刊作者最新研究成果。

《南水北调与水利科技》编辑部