

# 基于二元水循环理论的用水评价方法探析

周祖昊<sup>1</sup>, 王浩<sup>1</sup>, 贾仰文<sup>1</sup>, 张学成<sup>2</sup>, 庞金城<sup>3</sup>

(1.中国水利水电科学研究院,北京 100038;2.水利部黄河水利委员会水文局,河南 郑州 450004;  
3.陕西省渭河流域管理局,陕西 西安 710018)

**摘要:**用水评价是水资源评价的重要内容。现行的用水评价存在4个方面的不足,即:缺乏供用耗排统一评价,缺乏用水过程与自然水循环过程的统一评价,缺乏地表用水和地下用水的统一评价,缺乏用水量与用水效率和效益的统一评价。以上4个方面的不足,导致评价结果不准,评价内容不能满足水资源管理的需要。基于流域二元水循环理论,通过理论推导,本文提出了基于流域二元水循环全过程的用水评价方法,即体现4个统一评价的评价方法:供用耗排统一评价,用水过程与自然水循环过程统一评价,地表水和地下水用水统一评价,用水量与用水效率、效益统一评价。所提出的方法对用水评价实践具有指导意义。

**关键词:**用水评价;二元水循环;统一评价

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2011)01-0008-05

## 1 前言

用水评价是水资源评价的重要内容。受不断增强的人类活动影响,水资源利用程度越来越高,各控制水文站的实测径流已不能反映河川径流的实际情况。为了摸清水资源家底,为科学合理开发水资源提供支撑,需要对流域水资源量进行评价,其方法是在实测径流量的基础上把人类活动影响的水量进行还原。即

$$W_{\text{天然}} = W_{\text{实测}} + W_{\text{农灌}} + W_{\text{工业}} + W_{\text{生活}} + W_{\text{生态}} - W_{\text{引水}} - W_{\text{分洪}} - W_{\text{库蓄}} \quad (1)$$

式中: $W_{\text{天然}}$ 为还原后的天然径流量; $W_{\text{实测}}$ 为水文站实测径流量; $W_{\text{农灌}}$ 为农业灌溉耗损量; $W_{\text{工业}}$ 为工业用水耗损量; $W_{\text{生活}}$ 为生活用水耗损量; $W_{\text{生态}}$ 为生态耗损量; $W_{\text{引水}}$ 为跨流域(或跨区间)引水量,引出为正,引入为负; $W_{\text{分洪}}$ 为河道分洪决口水量,分出为正,分入为负; $W_{\text{库蓄}}$ 为大中型水库蓄水变量,增加为正,减少为负<sup>[1-2]</sup>。

在水资源评价工作中, $W_{\text{实测}}$ 、 $W_{\text{引水}}$ 、 $W_{\text{分洪}}$ 、 $W_{\text{库蓄}}$ 等水量比较容易通过水文测量的方式确定,而 $W_{\text{农灌}}$ 、 $W_{\text{工业}}$ 、 $W_{\text{生活}}$ 等耗水量没有直接观测的方法。正确评价

流域耗水情况,是科学评价流域水资源本底条件、指导流域水资源合理配置和用水管理实践的关键前提条件。

在各国开展的水资源评价方法<sup>[3-9]</sup>中,都系统提出了用水评价的内容和评价方法。在我国开展的两次全国性的水资源评价导则<sup>[9]</sup>中,对用水评价的对象、方法和步骤作出了全面的规定。在全国各地区每年编制的水资源公报中,用水评价成果都是其中重要的组成部分。

尽管目前的用水评价方法相对来说比较成熟,用水评价也已经成为水资源管理日常工作的重要组成部分,但由于用水评价方法本身存在深层次的问题,加上评价过程中存在大量不确定的因素,导致用水评价一直是水资源评价中的难点问题。主要表现为用水评价的精度不高,用水评价不准的问题普遍存在<sup>[10-12]</sup>。除此之外,目前的用水评价仅对用耗水量进行评价,缺乏对效率和效益进行评价,不能满足供需矛盾日益突出形势下水资源管理的需要。

本文将从现行用水评价的原理出发,深入探讨现行用水评价中存在的问题;在二元水循环理论指导下,提出基于二元水循环全过程的用水评价方法。

收稿日期:2010-03-17

基金项目:国家自然科学基金“黄土高原水沙过程尺度效应与模拟”(50709041);国家自然科学基金“黄土高原流域水文生态过程相互作用机制与耦合模拟”(50779074);国家自然科学基金创新研究群体基金项目“流域水循环模拟与调控”(51021006);“十一五”国家科技支撑计划课题“南水北调水资源综合配置技术研究”(2006BAB04A16);“十一五”国家科技支撑计划课题“黄河水资源管理关键技术研究”(2006BAB06B06)

作者简介:周祖昊(1975-),男,湖北武汉人,高工,博士,主要从事流域水循环模拟与调控方面的研究。E-mail:zhzh@iwhr.com

## 2 现行用水评价的原理、方法及存在问题

### 2.1 现行用水评价原理

现行的用水评价方法是基于“流域还原”的概念建立的。从流域还原的概念出发,农业灌溉耗损量是指农田、林果、草场引水灌溉过程中,因蒸发消耗和渗漏损失掉而不能回归到河流的水量,为灌溉引水量和排退水量之差。工业用水和生活用水的耗损量包括用户消耗水量和输排水损失量,为取水量与入河废污水量之差。河道外生态耗损量与农业灌溉耗损量类似,为河道外生态取水量和排退水量之差。从这里可以看出,现行用水评价方法是建立在“引排差原理”基础上的,耗损水量计算的核心是引排差<sup>[1-2]</sup>。

### 2.2 现行用水评价方法

在现行用水评价方法中,耗损水量相对于河道来说是净用水量。排退水不仅指明渠回归河道水,也包括引出的水量中通过地下潜流回归河道的水量,因量少加上缺乏观测资料,一般可以忽略。统计退水量时应以退入河道的实际水量计入,测验断面与河道间的损耗水量也应扣除。由于“流域耗水量”是建立在引排差原理上,计算方法关键在于退水量或退水系数的确定,因而在计算方法上亦可采用多种形式,如采用经验数值、面积定额、水量平衡法等。在2002年《全国水资源综合规划细则》中,对农业、工业、生活、生态各类用耗水计算方法都有详细的描述。

### 2.3 现行用水评价中存在的不足

现行的用水评价基于“引排差”原理,由于原理上固有的缺陷和实际应用中诸多条件的限制,存在一些不足,归纳起来有4条:

(1)缺乏供用耗排统一评价。现行用水评价是基于“引排差原理”的,主要考虑取水和排水之间的关系,对耗水的直接监测和评价程度不够。由于对排水的监测比较难,加之重视程度没有取水那么大,所以排水的监测精度较差。而且从水量平衡来说,渗漏量也是影响耗水计算的一个方面,目前对这方面的监测不够。这些因素导致耗水的评价精度难以保证。

(2)缺乏用水过程与自然水循环过程的统一评价。人工侧支水循环过程和自然水循环过程是相互联系,密不可分的整体,两大循环主体之间存在复杂的联系。比如农业用水系统从地表、地下取水分别与自然水循环的地表水、地下水之间发生联系,在输水、用水过程的蒸发、蒸腾和渗漏分别与自然水循环的大气过程、土

壤和地下过程发生联系,在排水过程中的蒸发、渗漏和水量排出分别与自然水循环的大气过程、土壤和地下过程及地表过程发生联系。如果割裂两大循环主体之间的关系,单纯评价用耗水过程,难免一叶障目。

(3)缺乏地表用水和地下用水的统一评价。按照“流域还原”的思想,不能回到河道的水,都属于耗水。河道控制断面水量的减少,既可以因为控制区内地表水量消耗引起,也可以因为地下用水消耗引起。如目前黄河干流按照国务院“87”分水方案实行了地表水量的分配,地表水的控制比较严格,但同时出现了部分区域在地表水未超标用水的情况下入黄水量大量减少的情况发生,主要因为地下水的用耗水情况不明,对地下水的控制相对较弱。如果要真正弄清入黄水量衰减的原因,控制入黄水量达到要求,需要对地表水和地下水进行统一评价和管理。

(4)缺乏用水量与用水效率和效益的统一评价。现行水资源管理主要对取水进行管理,控制取水总量,相应地现行用水评价主要针对取用水量进行,对耗水量的评价较弱。随着水资源供需矛盾日益突出,单纯对取水进行管理不足以改变流域水资源过度消耗的状况,必须从资源消耗的角度出发,控制流域总耗水量,才能真正实现流域水资源可持续利用。从资源消耗的角度对流域水资源进行管理,就是要实行以耗水管理为核心的水资源管理模式。这种管理模式的核心是控制流域总耗水量,提高水资源的利用效率和效益。相应地,用水评价的对象不仅仅包括用耗水的数量,还应该包括用耗水的效率和效益。只有充分掌握流域用耗水的效率和效益状况,才能在控制流域总耗水量的前提下,促进有限的水资源朝着减少低效率、低效益消耗,增加高效率、高效益消耗的方向配置,实现流域水资源可持续地支撑社会经济发展的目标。现行用水评价由于缺乏这方面的评价,所以无法达到这一目的。

综上所述,现行用水评价方法的不足,既影响到用水评价的精度,同时也影响到流域水资源的有效管理,不利于真正实现水资源的可持续利用。

## 3 基于二元水循环全过程的用水评价方法

### 3.1 流域水循环的转化关系

按照二元水循环理论,在大规模人类活动影响下,流域水循环具有明显的二元结构特点,即由单一的自然水循环结构演化成为“自然-人工”二元水循环结构(如图1所示)。二元水循环过程包括以“大气水-地表

水-土壤水-地下水”四水转化为特征的自然水循环过程和以“蓄水-取水-输水-用水-耗水-排水”六大子过程相互转化为特征的人工侧支水循环过程。本文所研究的用、耗水过程,即属于人工侧支水循环过程的子过程。从图 1 可以看出,不仅人工侧支水循环的六大子过程之间密不可分,而且它与自然水循环过程之间也具有紧密的联系。

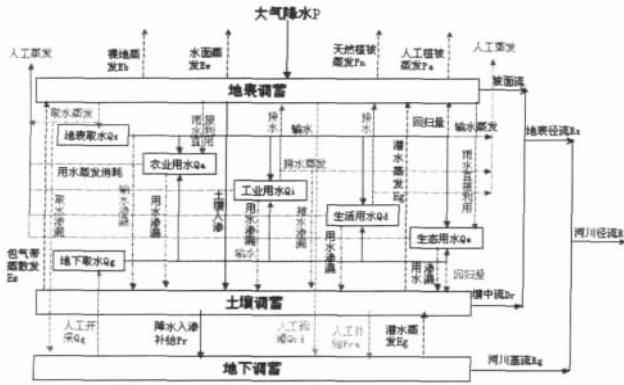


图 1 流域二元水循环过程示意图 \*  
Fig.1 Dualistic water cycle process

因此,正确评价流域的用、耗水量,不仅要“蓄水—取水—输水—用水—耗水—排水”六大子过程联系起来进行考虑,而且要将与用水过程与自然水循环过程联系起来考虑,从相互联系的角度开展研究。

3.2 基于流域水循环全过程的用水评价方法

针对现行用水评价中的不足,基于流域水循环全过程的用水评价方法体现以下四个方面的综合评价:

3.2.1 供用耗排统一评价

从水量平衡原理出发,人工侧支水循环过程的水平衡公式如下:

$$EA=Q-D-Inf-\Delta S \tag{2}$$

$$EA=EA_{输}+EA_{用}+EA_{排} \tag{3}$$

$$Inf=Inf_{输}+Inf_{用}+Inf_{排} \tag{4}$$

式中:EA 为蒸发蒸腾量,包括输水、用水、排水过程中的蒸腾和蒸发量,EA<sub>输</sub>、EA<sub>用</sub>、EA<sub>排</sub>如式(3)所示;Q 为供水量;D 为排水量;Inf 为渗漏量,包括输水、用水、排水过程中的渗漏量,如式(4)所示;ΔS 为用水系统中存储水量。

从式(2)~(4)可以看出,精确评价人工侧支水循环中的耗水量的前提条件是需要对供水量、排水量、渗漏量进行充分监测和精确评价,实际上要做到这一点难度很大。目前建议的做法是对蒸发过程进行直接监测和计算,然后与“引排差”计算结果进行相互校验。

目前对蒸发蒸腾监测的方式不少,点上监测方式有大型蒸渗仪监测和田间水平衡测试,局部区域上的监测方式有 Laser 仪监测和小区域水平衡测试,现代发展起来的遥感技术可以进行大范围的 ET 监测。对 ET 进行计算的方式也有不少计算公式,最著名的就是 Penman 公式、Penman-Mongteith 公式。

3.2.2 用水过程与自然水循环过程统一评价

从流域二元水循环的内在机理出发,用水过程与自然水循环过程存在密切的联系,因此进行用水评价,要与流域水循环过程紧密联系。下面分两种用水类型,基于水量平衡原理进行分析。

(1)只存在地表引水的封闭流域。从河段水平衡角度,存在如下关系:

$$O=L-Q+R+P_{水面}-E_{水面}-Inf_R-\Delta R \tag{5}$$

$$L=L_S+L_C \tag{6}$$

$$R=R_S+R_C \tag{7}$$

式中:O 为河段下游流出水量;P<sub>水面</sub>为河道水面直接降水量;L 为降水产流进入河道的水量,包括地表和地下侧向入流量,如式(6)所示;Q 为人工水循环系统从河道取水;R 为人工水循环系统回归水量 R<sub>S</sub> 和 R<sub>C</sub>,包括从地表和地下回归的水量,如式(7)所示;E<sub>水面</sub>为河道水面蒸发;Inf<sub>R</sub> 为河道渗漏量;ΔR 为河槽蓄变量。

由于人工用水消耗量

$$EA=Q-R \tag{8}$$

因此式(5)可以转化成

$$EA=L+P_{水面}-E_{水面}-Inf_R-O-\Delta R \tag{9}$$

所以通过对河道水平衡过程进行分析,可以核实取用地表水引水区域用水系统真正的用耗水量。

另一方面,从水资源评价的角度来看,P<sub>水面</sub>+L-E<sub>水面</sub>-Inf<sub>R</sub> 是地表水资源量 W<sub>S</sub>,即

$$W_S=P_{水面}+L-E_{水面}-Inf_R \tag{10}$$

O 代表控制断面实测径流量,从长期来看 ΔR 趋近于零,所以式(9)可以转化成

$$EA=W_{天然}-O \tag{11}$$

即流域水资源还原计算公式。

(2)存在地表和地下取用水的一般封闭区域。从流域水平衡角度,存在如下关系:

$$EA=P-O-\Delta-EN \tag{12}$$

$$EA=EA_S+EA_C \tag{13}$$

$$\Delta=\Delta_S+\Delta_C \tag{14}$$

\* 中国水利水电科学研究院,国家 973 项目课题“基于水循环的水资源利用效用评价基础理论与方法”[R],2009 年 9 月。

$$EN=EN_L+EN_W+EN_{Soil}+EN_C \quad (15)$$

式中:EA 为区域用水消耗量,包括地表水用水消耗  $EA_S$  和地下水用水消耗  $EA_C$ ,如式(13)所示;P 为区域降水量;O 为区域流出水量,包括地表和地下流出水量; $\Delta$  为区域地表水蓄变量  $\Delta_S$  与地下水蓄变量  $\Delta_C$  之和,如式(14)所示;EN 为区域自然蒸散发量,包括陆面蒸发  $EN_L$ 、水面蒸发  $EN_W$ 、土壤蒸发  $EN_{Soil}$  和潜水蒸发  $EN_C$ ,如式(15)所示。

从水资源评价的角度,地表水资源为  $W_S$  地表水消耗量  $EA_S$  和实测径流量  $O$  之和,即

$$W_S=EA_S+O \quad (16)$$

地下水资源  $W_C$  为地下水开采净消耗  $EA_C$  与潜水蒸发  $EN_C$  之和(排泄法),即

$$W_C=EA_C+EN_C \quad (17)$$

则式(12)可以转化成

$$P=W_S+W_C+EN_L+EN_W+EN_{Soil} \quad (18)$$

即降水等于地表水资源、地下水资源和直接为作物和生态系统利用的广义水资源之和,这是广义水资源评价的观点。

以上以封闭流域为研究对象,分析了用水评价中的水平衡和资源平衡关系,对于存在上游入流和外调水的非封闭流域,以此类推。

由以上分析可以看出,分析流域耗水过程,不仅要“补排差”原理出发研究人工侧支水循环的水量平衡,还要把用耗水放在流域二元水循环的大背景下分析水量平衡关系。从资源分析的角度来说,也就是需要把流域用水评价与流域水资源评价联系起来进行研究,这样才能得到真实的流域耗水量。

### 3.2.3 地表水和地下水用水统一评价

式(12)~(13)联合可以得到

$$EA_S+EA_C=P-O-\Delta-EN \quad (19)$$

由(19)可以看出,如果控制一个流域的耗水量 EA 在某一个水平之下,比如黄河分水方案,单纯控制地表用耗水量或者断面出口流量是不够的,还要同时控制地下水用耗水量和地下水超采量  $\Delta_C$ 。

因此,从流域水资源统一管理的角度来说,流域用水评价不仅要分别评价地表水耗水量  $EA_S$  和地下水耗水量  $EA_C$ ,还需要在流域水平衡原理基础之上,对流域用水总消耗量 EA 进行联合分析评价,分析用耗水中存在的问题,才能全面遏制流域水资源过度开发的态势。

### 3.2.4 用水量与用水效率、效益统一评价

针对水资源日益紧缺状况下水资源管理的需要,

基于流域水循环全过程的用水评价方法,不仅对用水数量进行评价,还要对用水效率、效益进行评价。

#### (1)用水效率界定与评价

对用水效率进行分析,首先需要从用水消耗的角度对高效和低效耗水进行区分。按照人工侧支水循环机制,在人类用水过程中的用水消耗量大体分为三类,即输水、用水和排水过程中产生的耗水量。按照 2002 年《全国水资源综合规划技术细则》<sup>[9]</sup>,进一步划分各个子过程耗水量如图 2 所示。

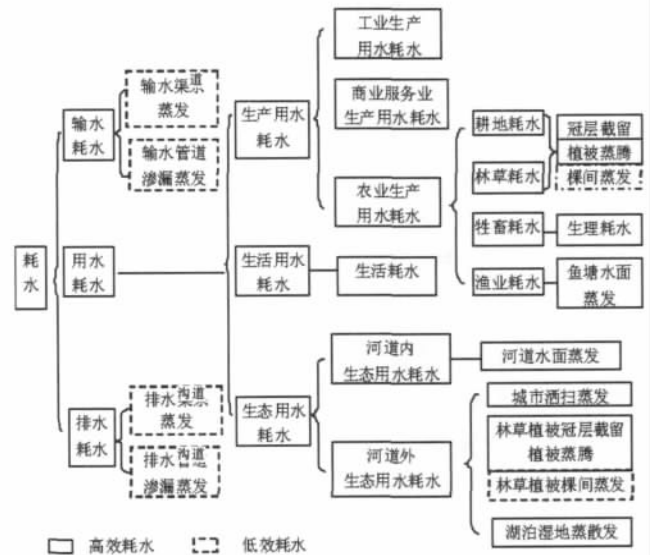


图 2 基于用水过程的耗水分项指标体系  
Fig.2 Water consumption subentry indices based on water utilization process

根据用水消耗量在被国民经济系统以及生态与环境建设利用中发挥的不同功效,将耗水区分为高效耗水和低效耗水。输水过程和排水过程中的耗水,对国民经济建设和生态环境建设没有意义,属于低效耗水。用水过程中的耗水,一部分属于高效耗水,一部分属于低效耗水。分述如下:

①生活用水中的耗水,对于保证正常生活质量是必须的,属于高效耗水。

②工业生产和商业服务业中的耗水,贡献了GDP中的主要部分,而且用水过程中的无效损失较少,属于高效耗水。

③耕地和林草的冠层蒸发可直接降低植物体温度,同时改善了局地生态小气候,植被蒸腾量直接参与了生物量的生成,是陆地生态系统营养链的最初缔造者,这两类耗水都是与植被生产密切联系的生理过程,因此农业生产中的耕地、林、草和生态建设中植被冠层截留和蒸腾都属于高效耗水;

④农业和林草植被裸间蒸发,包括裸间土壤蒸发和裸间地面截留蒸发,是植被非生产性的水分消耗,属于低效耗水。尤其对于农业,最大限度地抑止裸间蒸发,增加耕地蒸腾在总蒸发中的比例,对促进水分利用效率以及提高农业生产量,起着至关重要的作用。

⑤牲畜的耗水和鱼塘补水,对于牲畜和水生动物生命的维持具有重要作用,属于高效耗水。

⑥河道水面蒸发和湖泊、湿地蒸散发对于维持河道、湖泊、湿地正常的生态功能具有重要作用,属于高效耗水。

⑦城市洒扫产生的蒸发具有美化居住环境、调节城市温度和湿度等作用,对人类生存和生活具有重要意义,属于高效耗水。

综上所述,用水过程中的耗水,除了农田、林、草植被裸间蒸发属于低效耗水以外,其他都属于高效耗水。

评价用水效率,首先需要分别计算用水过程中各个分项耗水指标,然后根据高效和低效界定,分别评价高效和低效的量。

#### (2)用水效益界定与评价

水是人类社会最重要的不可替代的自然资源,同时又是生态系统须臾不可或缺的生态要素。水作为自然和人类系统的一个重要的主体,除了在水循环系统中物质和能量运移过程中发挥较大的作用外,同时也为维持社会经济系统和生态系统的正常良性发展创造了条件。根据水提供服务的消费与市场化特点,将水的服务功能分为水经济服务功能和生态服务功能。

按照这种服务功能界定,可以认为生产过程中的耗水具有经济效益,生态用水过程中的耗水具有生态效益。由于农业种植业生产过程中的耗水支撑了农业生态系统的生长,对于净化大气、调节气候、改善生活环境起到有益的影响和有利的效果,因此也具有一定的生态价值。生活用水是人类社会发展的基本需求,具有社会价值。因此,按照用水的服务功能,可以将高效用水中产生的效益划分为经济效益、生态效益和社会效益。具体评价方法见相关文献。

评价用水效益,需要在效率评价的基础上,根据用水效益的界定,分别评价各种类型耗水产生的经济效益、生态效益和社会效益。

## 4 结语

(1) 现行的用水评价方法存在四个方面的不

足,即:缺乏供用耗排统一评价,缺乏用水过程与自然水循环过程的统一评价,缺乏地表水和地下用水的统一评价,缺乏用水量与用水效率和效益的统一评价。现行用水评价方法的不足,既影响到用水评价的精度,同时也影响到流域水资源的有效管理,不利于真正实现水资源的可持续利用。

(2)基于流域二元水循环理论,本文通过理论推导,提出了基于流域二元水循环全过程的用水评价方法,即体现四个统一评价的评价方法:供用耗排统一评价,用水过程与自然水循环过程统一评价,地表水和地下水用水统一评价,用水量与用水效率、效益统一评价。

参考文献:

- [1] 张学成,刘昌明,李丹颖.黄河流域地表水耗损分析[J].地理学报,2005,60(1):79-86.(ZHANG Xuecheng, LIU Changming, LI Danying. Analysis of Yellow River surface runoff consumption [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 79-86. (in Chinese))
- [2] 李东,蒋秀华,王玉明,等.黄河流域天然径流量计算解析[J].人民黄河,2001(2):35-37.(LI Dong, JIANG Xiuhua, WANG Yuming, et al. Analysis of calculation of natural runoff in the Yellow river basin [J]. Yellow River, 2001(2): 35-37. (in Chinese))
- [3] Canter, Larry W. Water Resources Assessment: Methodology and Technology Source- book [M]. Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science Pub., 1979.
- [4] World Meteorological Organization of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Water resources assessment: handbook for review of national capabilities[R]. June, 1997.
- [5] Igor A. Shiklomanov. World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century [M]. Published in 1998 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- [6] Environment Agency (England). Resource assessment and management framework: report and user manual (Version 3) [R]. R&D Technical Manual W6-066M [R]. July, 2002.
- [7] Environment Agency (England). Resource assessment and management framework: summary document (Version 3) [R]. R&D Technical Report W6-066/TR, August, 2002.
- [8] 国土交通省水資源部水資源計画課水資源調査室. 日本の水資源(平成17年版)[R], 2006. (Group of Water Resources Investigation, Department of Water Resources Planning, Ministry of Country and Traffic of Japan. Japanese water resources (17th year of Pingcheng) [R], 2006. (in Japanese))
- [9] 水利部水利水电规划设计总院. 全国水资源综合规划: 技术细则 [R]. 2002.8. (General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources. China water resources comprehensive planning [R]. 2002.8. (in Chinese))

(下转第25页)

(2)变步长的四阶龙格—库塔法与逐段试算法相比,在计算较少断面的情况下,求出的水面线具有更高的精度。

(3)用基于龙格—库塔法的 Matlab 函数 ode45 计算水面线,简单易行,便于在工程中推广。

(4)四阶龙格—库塔法计算水面线的方法可在非棱柱渠道水面线计算中作进一步研究。

参考文献:

- [1] 吴持恭.水力学[M].北京:高等教育出版社,1995.(WU Chigong. Hydraulics[M]. Beijing:Higher Education Press,1995.(in Chinese))  
 [2] 张建民,王玉蓉.恒定渐变流水面线计算的一种迭代方法[J].水利学报,2005,36(4):1-5.(ZHANG Jianmin,WANG Yurong. New interaction

method for calculating water level of gradually varied steady flow[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2005,36(4):1-5.(in Chinese))

- [3] 吴建平,吴泽宁.明渠渐变缓流水面线计算的迭代法[J].河南科学,2003,21(2):187-189.(WU Jianping,WU Zening. The calculation of water-surface profile by means of alternate method [J]. Henan Science,2003,21(2):187-189.(in Chinese))  
 [4] 徐士良.计算机常用算法[M].北京:清华大学出版社,1995.(XU Shiliang. Computer Commonly Used Algorithm[M]. Beijing:Tsinghua University Press,1995.(in Chinese))  
 [5] Gerald Recktenwald.数值方法和 MATLAB 实现与应用[M].北京:机械工业出版社,2004.(Gerald Recktenwald. Numerical Methods and MATLAB Implementation and Application [M]. Beijing:China Machine Press,2004.(in Chinese))

### Calculation of Water Surface Profile of Gradually Varied Steady Flow in Open Channel with Runge-Kutta Method

HUO Qian<sup>1</sup>, LI Guangjing<sup>2</sup>

- (1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China;  
 2. Shijiazhuang Water Conservancy Bureau, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract:** In this paper, Runge-Kutta method was firstly used to calculate gradually varied steady flow in prismatic channel. It can calculate the depth of any section at a distance from the control section, avoiding a series of problems occurred in the piecewise trail-error method. Two models for calculating the water surface profile were deduced, from control section in upstream and in downstream. One of Matlab functions, ode45, based on Runge-Kutta method was directly used to calculate the water surface profile. Compared with the piecewise trail-error method, the results of shows that ode45 possesses higher accuracy, so that the way of calculating water surface profile is practical and easy to be popularized in engineering.

**Key words:** open channel; gradually varied steady flow; water surface profile; Runge-Kutta method

(上接第 12 页)

- [10] 张学成,刘栓明,王玲.黄河下游引水量误差分析[J].中国给水排水,2001,17(1):74-76.(ZHANG Xuecheng, LIU Shuanming, WANG Ling. Analyzing error of water diversion in lower reaches of Yellow river[J]. China Water and Wastewater,2001,17(1):74-76.(in Chinese))  
 [11] 井涌.水量平衡原理在分析计算流域耗水量中的应用[J].西北水资源与水工程,2003,14(2):30-32.(JING Yong. Application of wa-

ter-balance principle to analysis and calculation for water-consumption of river basin [J].Northwest Water Resources and Water Engineering,2003,14(2):30-32.(in Chinese))

- [12] 赵勇,裴源生,张金萍.宁夏平原区耗水量研究[J].资源科学,2006,28(4):177-183.(ZHAO Yong,PEI Yuansheng,ZHANG Jinping. Water resources consumption in plain area of Ningxia[J].Resources Research,2006,28(4):177-183.(in Chinese))

### Discussion on Water Use Assessment based on Dualistic Water Cycle

ZHOU Zuhao<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>, JIA Yangwen<sup>1</sup>, ZHANG Xuecheng<sup>2</sup>, PANG Jincheng<sup>3</sup>

- (1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;  
 2. Bureau of Hydrology, Yellow River Water Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China;  
 3. Weihe River Administration of Shaanxi Province, Xian 710018, China)

**Abstract:** Water use assessment is very important in water resources assessment. However, there are 4 shortages in the widely used methods of water use assessment at present, i.e. lack of unified assessment of water supply-use-consume-drainage, lack of unified assessment of water use and natural water cycle, lack of unified assessment of surface water use and groundwater use, and lack of unified assessment of water use volume, efficiency and benefit. As the result, the precision of water use assessment is not so satisfactory and the approach cannot supply enough information for water resources management. Based on dualistic water cycle theory and the concerned deduction, a new water use assessment method was brought forward, which can overcome the 4 shortages.

**Key words:** water use assessment; dualistic water cycle; unified assessment