

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.020

水量平衡分析方法及应用

李文运^{1,2}, 张 伟³, 戈建民³, 彭 慧³

(1. 天津大学建筑工程学院 , 天津 300073 ; 2. 天津市水务局 , 天津 300074 ; 3. 天津市水文水资源勘测管理中心 , 天津 300061)

摘要 :为了合理认识和评价区域水资源 , 针对水循环过程中的特定环节 , 用系统论方法分析其结构和水量组成要素 , 分别建立了天然水系统和社会水系统的水量平衡方程。将一定区域内各种水量要素计算结果代入相应的水量平衡方程 , 检验等式是否平衡 , 当出现不平衡时 , 揭示以下问题 :①水量平衡分析过程中水量要素不够全面 , 缺某项水量要素的测验或统计数据 ; ②部分水量要素的测验结果或统计结果不符合实际情况 , 水量要素的测验或统计不准确。运用该方法进行天津市水量平衡分析 , 并取得较好效果。

关键词 水循环 ; 水系统 ; 水量平衡 ; 系统论

中图分类号 :P641 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2011)06-0083-05

Water balance analysis method and its application

LI Wen-yun^{1, 2} , ZHANG Wei³ , GE Jian-min³ , PENG Hui³

(1. Tianjin University , Tianjin 300073 , China ; 2. Tianjin Water Authority , Tianjin 300074 , China ; 3. Tianjin Reconnaissance and Administrative Center of Hydrology and Water Resources , Tianjin 300061 , China)

Abstract : For reasonable realization and evaluation of regional water resources , the systematic theory method was used to analyze the structure and components of the water system in terms of some specific progresses during water circulation , and the water balance equations of a natural water system and social water system were established , respectively . The calculation results of the components of the water system in the study region were substituted into corresponding water balance equations to check the balance of the equations . If the equations were found to be unbalanced , it indicated the following : (1) The components of the water system are insufficient during water balance analysis , and the tests or statistics for a certain component are lacking . (2) The test or statistical results for some components are not consistent with reality and are not accurate . The proposed method was applied to the water balance analysis for Tianjin City .

Key words : water circulation ; water system ; water balance ; systematic theory

在一定的时空范畴内水资源量是总水量的一部分 , 受经济、技术等条件的约束水资源量评价结果具有明显的时效性^[1]。在实际的水资源开发利用过程中 , 往往由于水资源的短缺而被迫使用大量废污水、海水、中水等非常规水 , 使得区域水循环过程及开发利用水资源构成要素变得更加复杂 , 实践证明 , 一些地区的水资源评价成果与当地实际的水资源开发利

用数量相差较大 , 因此有必要在开展水资源评价之前首先进行区域总水量的平衡分析和研究^[2-3] , 通过水量平衡研究揭示区域水资源开发利用中存在的问题 , 为科学评价当地水资源提供依据。

1 水量平衡分析方法概述

水均衡法也称水量平衡法或水量均衡法 , 是全

基金项目 天津市水利科技基金(KY2007-09)
作者简介 李文运(1971—) 男 , 山东鱼台人 , 工程师 , 从事水资源科学研究和水资源开发利用管理。E-mail :Lwy421@163.com
通讯作者 张伟 , 教授级高级工程师。E-mail :zhangwei1523@sina.com

面研究某一地区(或均衡区)在一定时间段内(均衡期一般为1年)地下水的补给量、储存量和消耗量之间的数量转化关系的平衡计算,水均衡法的理论基础是质量守恒原理^[4]。水均衡法在水文学上的应用表现为水量平衡研究,在水文基本术语和符号标准中,水量平衡的定义为地球上任一区域或水体,在一定时段内,输入与输出的水量之差等于该区域或水体内的蓄水变量^[5]。显然水量平衡是针对水循环过程中的某一个环节而言,将这个环节视为相对独立的水系统,在一定时段内和一定区域内可以给出水系统的水量平衡方程:

$$I - O = \Delta S \tag{1}$$

式中: I 、 O 分别为水系统的输入、输出总水量; ΔS 为水系统内部蓄水量的变化量。

式(1)为水系统水量平衡方程的通用式,对不同的水系统需具体分析其输入、输出水量的构成,写出相应的水量平衡方程式。

2 水系统

2.1 水系统划分

水系统是水循环过程中的一个环节,指由水(包括河流水、湖泊水及浅层地下水等)水的载体(如河流、湖泊、土壤、岩石、植被等)水工程(如地面水库、水电站、堤坝、运河、渠道等)水管理机构(如流域水利委员会等)水资源开发利用理论与方法(如传统方法、系统分析方法等)所组成的系统^[6-7]。

采用系统的观点分析研究天然水系统和社会水系统,既利于明确组成水系统的各个要素之间相互作用和相互依赖的关系,又便于通过分析计算发现系统内部存在不平衡问题的原因。从降水总量和蒸发总量的角度进行天然水系统的水量平衡分析研究,避免了在水系统研究过程中因考虑水质因素而忽略非常规水源造成的人为水量不平衡现象。综合分析社会水系统的供水、用水、排放、回用各个环节,有利于查明区域实际用水情况。以平衡为手段,准确发现区域水资源利用面临的实际问题,为科学评价和合理配置区域水资源奠定基础。

为清晰描述研究对象,依据驱动力将水系统划分为天然水系统和社会水系统,前者驱动力以自然界天然能量为主,后者驱动力以人工能量为主。水系统是天然水系统、社会水系统相结合的复合系统,表现在 ①社会水系统的取水与排水环节与天然水系统有联系 ②社会水系统的各个环节也存在蒸发与渗漏 ③由于人类活动使得天然水系统的特性发生了全面的改变。

当研究区域相同时,社会水系统可以看做是天

然水系统的内部结构。

2.2 天然水系统结构和特征

天然水系统描述的是水圈中各种水体通过蒸发、水汽输送、降水、下渗和地表与地下径流等水文过程,紧密联系,相互转换,处于永无停息的运动状态,形成一个巨大的动态系统,称为水文循环系统^[8]。自然界水循环的存在,不仅是水资源和水能资源可再生的根本原因,而且也使得地球上生命得以生生不息地延续下去。水循环的存在形成了湿润地区和干旱地区,多水季节和少水季节,多水年和少水年,甚至成为地球上发生洪、涝、旱灾害的根本原因,成为造就地球上千姿百态的自然景观的重要条件之一。水循环包含蒸发、水汽输送、凝结、降落、下渗、地表径流、地下径流各个过程不断循环往复的过程,其中所涉及的多种水文要素,如蒸发、降水、地表径流、地下径流、下渗率、水汽输送量等被称为水循环要素。由于水循环的连续性,某个环节的变化必然引起整个系统的相应变化。天然水循环特征必然因人类活动而改变,并反过来影响水资源的开发利用。

在一定区域范围内,如果以地表为载体,综合考虑地表水、地下水的情况下,总来水量包括降水总量、入境水量、外调水量、地下水开采量、河川基流等;总消耗量就包括降水入渗、蒸发总量(包括人工用水过程中的蒸发)、稳定水体入渗、人工用水渗漏、出境入海水量;河、湖、库蓄变量为剩余量(图1)。

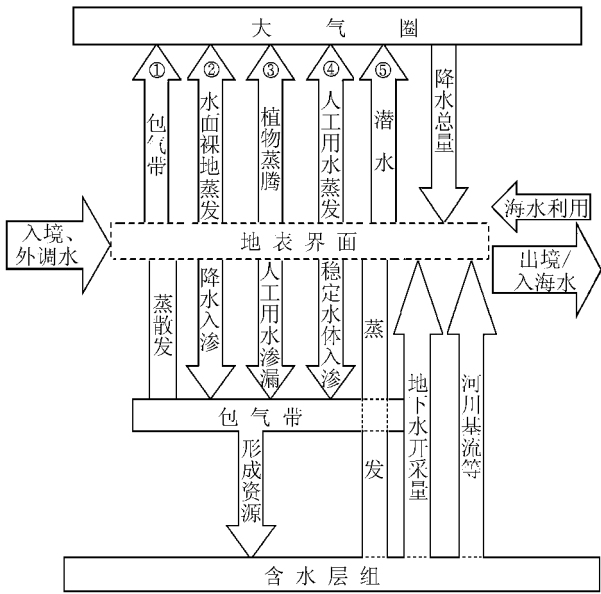


图1 天然水系统结构示意图

2.3 社会水系统结构和特征

社会水系统描述的是为水资源开发、利用、治理、配置、节约和保护而进行的防洪、水源开发、供水、输水、用水、排水、污水处理与回用等事务的总称。社会水系统是由水源、供水、用水、排水和回用

等几大要素组成。这几大要素的相互联合构成了社会水资源开发利用和保护的一个循环系统,每个要素都对这个循环系统起着一定的促进或制约作用。

水源是社会水系统的基础要素,在图2中,水源为降雨、地表水、地下水、和循环水。供水是社会水系统的开发或生产要素,它是在水源和用水要素之间架起的一座“桥梁”。用水是社会水系统的需求或消费要素,供给与需求是一对矛盾,既对立又统一,没有需求,就不必供给。排水是社会水系统中最敏感的元素,具有良性和不良性两方面。其中良性排水指经净化处理后排放,该过程可增加水源的补给量,同时构成了回用要素;不良排水指未经净化处理直接排放,该过程将污染水源水质,进而减少水源的可用水量。

“取水-输水-供水-用水-排水-回用”等环节构成的社会水系统,用水量的一部分蒸发进入大气,一部分成为污水,污水经过环境工程和生态工程的处理,其中一部分作为回用水资源,一部分渗透进入地下成为地下水资源、或通过蒸发降水过程又成为水资源,剩余部分排入水体中(图2)。

3 水系统水量平衡分析

3.1 水量平衡关系

3.1.1 天然水系统水量平衡关系

以地表为界面,以周边为边界,凡流入该区域地表的水量称为来水量,凡流出该区域地表的水量称为消耗水量。在给定均衡期内,该区域天然水系统的水量平衡方程如下:

$$W_{来水} - W_{消耗} = \pm \Delta W \tag{2}$$

式中: $W_{来水}$ 为来水量,包括当地降水总量、天然入境水、外调入境水(包括引滦、引黄)、海水利用量(包括海水淡化、海水直接利用、海水养殖)、地下水开采量、地下水溢出量(包括河川基流、可见泉眼、水库泉群); $W_{消耗}$ 为消耗水量,包括蒸发总量(需扣除地下水蒸发量)、降水入渗、稳定水体入渗(河流入渗、库塘入渗)、人工用水渗漏(包括井灌入渗、灌溉渠系及田间入渗、其他人工用水渗漏)、出境、入海水量; W 为蓄变量,包括境内水库、河道等蓄水变量。

需要指出的是,不同区域内水系统结构不同,水量平衡要素也不相同。

3.1.2 社会水系统水量平衡关系

主要研究划定区域内水资源的供、用、耗、排、回用的平衡关系。在给定均衡期内,该区域社会水系统水量平衡方程如下:

$$W_A - W_B + W_C = W_D \tag{3}$$

式中: W_A 为水源供水量,包括地表水源、地下水源等; W_B 为各行业取用水量,包括工业、农业、生活、服务业和生态等; W_C 为行业间重复用水量,主要指用于生态及农业的雨污排放水,城市工业及生活用水的回用体现在行业间重复用水要素中; W_D 为输水损耗量,包括输水蒸发与渗漏、用水渗漏与蒸发、排污与排污渗漏等。

3.2 水量平衡要素计算方法

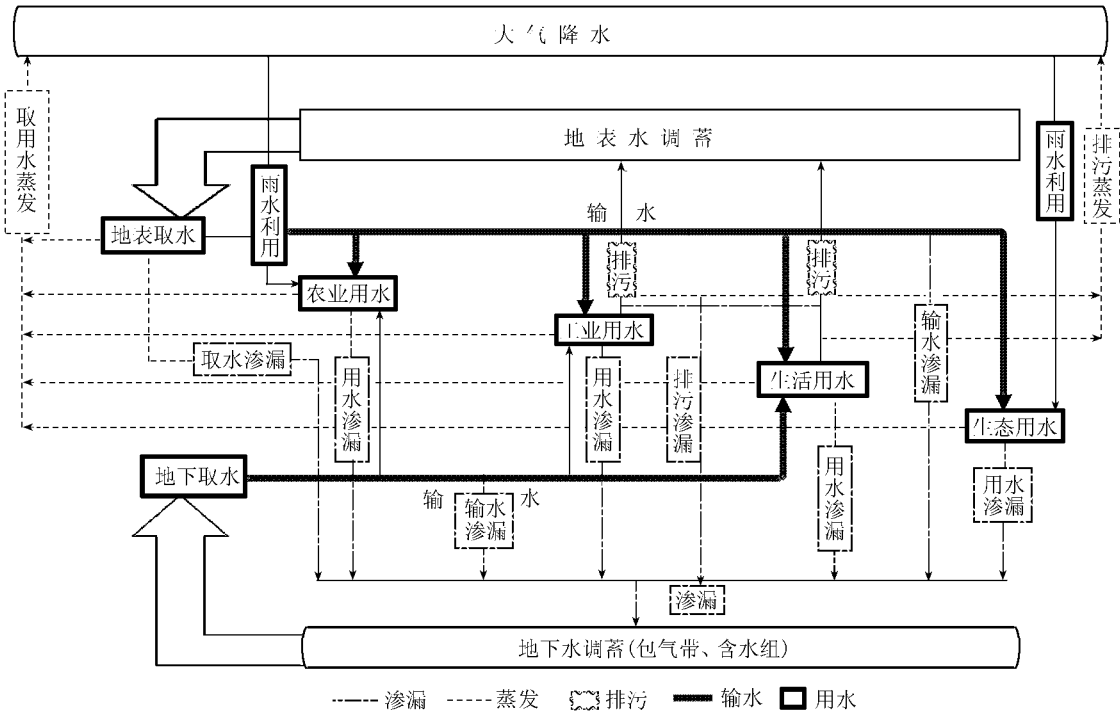


图2 社会水系统结构示意图

3.2.1 天然水系统

来水量构成要素计算方法主要有水文测验法、定额估算法、调查统计法、水文地质分析法等。

消耗水量构成要素计算方法主要有水文测验法、水量容积法、调查统计法等。

蓄变量计算方法主要有水量容积法。

实践证明 除人工用水渗漏水量要素中的工业、城市生活用水渗漏要素的定量确定有困难外 其他水量要素均可通过比较成熟的方式和方法获取。显然 , 天然水系统受人类活动干扰已经发生了较大的改变。

3.2.2 社会水系统

多种水源供水水量计算主要有水文测验法、调查统计法等 包括地表水源、地下水源、再生水源等。

各行业取用水量计算方法主要有定额估算法、调查统计法等 包括工业、农业、生活、服务业和生态用水 5 个子系统。

行业间重复用水量估算方法主要有调查统计法 由于行业间重复用水基本上可以认为是生活、生产排放的污水 因此调查重点是天然河道及排污河污水用于农业灌溉、污水处理后形成中水用于冲刷、生态及农业等用水形式。

输水损耗估算方法主要有水文测验法、调查统计法等 输水损耗是指从供水水源至用户输水过程中的损失 通常工业及生活用水输水管网渗漏较小 可以忽略 因此输水损耗实际上可以认为是用于城市工业及生活的河库蓄水的蒸发与渗漏损失、用于农村工业、农业灌溉的河库蓄水的蒸发与渗漏损失。

实践证明 行业间重复用水量调查统计难度较大 而其他水量要素均可通过比较成熟的方式和方法获取。

3.3 水量平衡分析及其所揭示的有关问题

将各种水量要素计算结果代入相应的水量平衡方程 检验等式两边是否平衡 当出现不平衡时 揭示以下问题 ①水量平衡分析过程中水量要素不够全面 缺某项水量要素的测验或统计数据 ②部分水量要素的测验结果或统计结果不符合实际情况 水量要素的测验或统计不准确。上述问题在缺水地区或多水源供水地区尤为突出。

4 应用实例 天津市水量平衡分析

4.1 平衡时段选择

选择 2001—2005 年期间以年为平衡时段 计算各项水量要素值 求出 5 年均值作为水量平衡分析对象。主要原因有 ①2001—2005 年的历年降雨量涵盖了枯、平、丰水特征 ②数据资料的统计口径较

一致 便于使用 ③该时间段距今较近 借鉴意义更大。

4.2 天然水系统水量平衡结果分析

4.2.1 来水量

考虑 6 项来水要素 平均年来水总量 81.55 亿 m^3 , 其中年降水量 60.34 亿 m^3 , 年天然入境水量 8.22 亿 m^3 , 年外调水量 4.38 亿 m^3 , 年地下水开采量 7.48 亿 m^3 , 年地下水溢出量 0.05 亿 m^3 , 年海水利用量 1.08 亿 m^3 。

4.2.2 消耗水量

考虑 5 项水量消耗要素 平均年消耗水总量 87.07 亿 m^3 , 其中年蒸发量 62.71 亿 m^3 , 年降水入渗量 12.11 亿 m^3 , 年水体入渗量 2.45 亿 m^3 , 年人工用水渗漏量 2.72 亿 m^3 , 年出境和入海量 7.08 亿 m^3 。

4.2.3 平衡分析

在消耗量与蓄变量各要素值相对准确的情况下 天然水系统没能实现平衡。根据平衡计算结果 天津市多年平均年来水量小于消耗量与蓄变量 差值达 5.52 亿 m^3 , 也就是说 人们为了促生产更多地去寻找、依赖某种目前没能掌握的未知水源。通过调查、走访 天然水系统未能实现平衡的主要原因在两个方面 一是存在尚未统计计算的未知水源要素 如宁河、静海等地用于养殖的地下微咸水开采量数据难以计量 二是已经统计计算的水源要素中的地下水开采部分存在统计结果不准确的可能。

4.3 社会水系统水量平衡结果分析

4.3.1 多水源供水量

天津市供水水源有地表水、地下水和非常规水 , 其中地表水包括蓄水、引水和提水 平均年供水总量 20.96 亿 m^3 , 其中地表水 13.44 亿 m^3 , 地下水 7.48 亿 m^3 , 非常规水 0.07 亿 m^3 。

4.3.2 各行业用水量

天津市用水行业分为人口生活、工业生产、农业生产、服务业、生态环境 平均年用水总量 29.23 亿 m^3 , 其中人口生活用水量 4.11 亿 m^3 , 工业生产用水量 4.15 亿 m^3 , 农业生产用水量 18.23 亿 m^3 , 服务业用水量 1.46 亿 m^3 , 生态环境用水量 1.28 亿 m^3 。

4.3.3 行业间重复使用水量

鉴于该问题较复杂 也缺乏相应调查资料 本次工作未能给出结果 仅当做平衡分析时需要考虑的一个要素。

4.3.4 输水损耗水量

天津市输水损耗平均年损耗水量 5.64 亿 m^3 , 其中于桥水库渗漏和蒸发损失平均年损耗水量 0.61 亿 m^3 , 其他河道渗漏和蒸发损失平均年损耗水量 5.03 亿 m^3 。

4.3.5 平衡分析

由于多水源供水量小于实际各行业用水量,社会水系统也不能实现平衡。根据平衡计算结果,天津市未统计到的用水量与行业间重复利用水量相加,达到年平均 13.91 亿 m³。分析原因有:①供水水源统计可能存在缺项,特别是非常规水源,如区外引污水灌溉的利用量及本地污水的回用量的统计数据有一定误差,池塘、洼淀、沟渠等小水系取水量统计数据误差较大,海水、地下咸水的利用量统计数据误差较大。②地下水供水量测验或统计数据可能偏小。

5 结 语

- a. 针对水循环过程中的某一个环节并将该环节视为相对独立的水系统,水系统是天然水系统、社会水系统相结合的复合系统,在一定时段内和一定区域内可以给出水系统的水量平衡方程。
 - b. 天然水系统和社会水系统的水量平衡要素有较大不同,多数要素可通过比较成熟的方式和方法获取,个别要素获取难度较大。
 - c. 依据现有水文测验资料和统计资料计算结果表明,天津市天然水系统和社会水系统水量不能平衡,水资源基础工作有待加强。
- 从水系统水量平衡分析结果看出,天津市水资源开发利用方面有许多工作亟待开展或加强,如提高非

常规水水源供水量测验或调查统计数据的精度、提高地下水开采量测验或调查统计数据的精度等。

参考文献:

[1] 江燕,王修贵,刘昌明,等.引水减少对河套永联试验区田间水均衡影响分析[J].水科学进展,2009,20(3):356-360.

[2] 谢国辉,孙小丹,雷志栋,等.哈尔滨市城区地下水资源量的计算与评价[J].水利科技与经济,2007,13(4):258-259.

[3] 丛振涛,倪广恒,雷志栋,等.塔里木河干流河道水均衡模型研究[J].冰川冻土,2006,28(4):543-548.

[4] 金晓媚,万力,梁继运.水均衡法验证蒸散量计算的可靠性:以张掖盆地为例[J].现代地质,2008,22(2):299-303.

[5] 詹道江,叶守泽.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[6] ANDERSON P. Demands and resources for public water supplies in Scotland from 1991 to 2016[J]. Water and Environmental Management,1997,11(3):164-169.

[7] STRASSER U,MAUSER W. Modelling the spatial and temporal variations of the water balance for the Weser catchment 1965—1994[J]. Journal of Hydrology,2001,254(1-4):199-214.

[8] 秦大庸,于福亮,裴源生.宁夏引黄灌区耗水量及水均衡模拟[J].资源科学,2003,25(6):19-24.

(收稿日期 2010-07-10 编辑 高渭文)

《水资源保护》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊

《水资源保护》是河海大学和中国水利学会环境水利研究会共同主办的科学技术期刊,创刊于 1985 年,双月刊,国内外公开发行,国内统一连续出版物号:CN32-1356/TV。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究,应用技术,工程措施,综合述评,专题讲座,国外动态,书刊评介,科技简讯,水资源管理、评价、监测、优化配置,节水技术,水环境污染控制等方面的文章。近年来,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象:与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号 28-298,双月刊,每期定价 12 元,全年共 72 元,每逢单月 30 日出版。可在全国各地邮局订阅,也可直接与编辑部联系订阅。

地 址 210098 南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部

电话/传真 (025)83786642 E-mail bh@hhu.edu.cn

网 址 kkb.hhu.edu.cn/web/indexbh.asp?l_id=34