

# 流域地下水可持续开采量的定义及评价体系

迟宝明<sup>1,2</sup>, 施枫芝<sup>1</sup>, 王福刚<sup>1</sup>, 宋 洋<sup>2</sup>

(1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026; 2. 防灾科技学院, 北京 101601)

**摘要** 阐明流域地下水可持续开采量概念提出的必要性, 并分析传统可开采量概念在解决现有问题时的局限性。从提高流域内整体水资源的利用率出发, 以实现综合效益最佳, 环境负效应最小为原则, 以流域内整体水资源的人工调控技术为手段, 提出了流域地下水可持续开采量的概念并论述其概念的内涵与组成。通过与传统可开采量概念的比较和分析进一步阐述新概念所具有的进步性, 最后建立了流域地下水可持续开采量的评价体系。

**关键词** 流域地下水; 可持续开采量; 可开采量; 评价体系

中图分类号: P641.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2009)05-0005-05

## Definition and evaluation system of groundwater sustainable yield in watershed

CHI Bao-ming<sup>1,2</sup>, SHI Feng-zhi<sup>1</sup>, WANG Fu-gang<sup>1</sup>, SONG Yang<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Jilin University, Beijing 101601, China)

**Abstract** Through analysis of the limitations of the traditional concept of sustainable yield in solving existing problems, the necessity of a new definition of groundwater sustainable yield is demonstrated. With the backdrop of increasing utilization of water resources, the groundwater sustainable yield concept is introduced. It seeks to achieve maximum overall efficiency and minimum negative environmental effects by means of artificial regulation of the water resources in a watershed. The connotation and constituents of the concept are explained in this paper. Through comparison of the traditional and the new concepts, the advantages of the new concept are further demonstrated. This study has established an evaluation system for the groundwater sustainable yield of a watershed.

**Key words** watershed groundwater; sustainable yield; exploitable yield; evaluation system

地下水作为一种人类需要开发利用的资源, 如何确定地下水可开采量是地下水可持续利用的根本问题。从人类大规模开发地下水时期起, 随着人类对流域水文、水资源的认识, 以及对社会经济、生态环境与水资源特别是地下水资源开发利用关系的认识不断深化, 有关地下水可开采量的理论与方法一直处于不断调整、充实与完善之中。

本文通过分析流域水资源开发利用中对地下水认识的片面性, 结合地下水资源自身的特点, 在以往允许开采量概念的基础之上, 考虑流域生态环境因素, 基于流域整体性, 人工调控作用, 提出确保流域

水资源利用综合效益最优的流域地下水可开采量的新概念——流域地下水可持续开采量。笔者阐明新概念的内涵, 剖析新概念与传统概念的不同之处, 最后建立新概念的评价体系, 为科学地确定流域地下水开发利用量, 确保流域地下水资源可持续开发利用, 降低水资源开发利用对生态与水环境所产生的副作用提供了一个新途径。

### 1 概念提出的必要性

#### 1.1 地下水作用认识的片面性及问题的提出

地下水资源的开发利用会对自然界的水循环以

及环境、生态等产生一定的影响。由于流域水循环条件的相对独立性,一般将地表水资源与地下水资源统筹考虑进行开发是普遍遵循的原则,但受现行水资源管理体制的制约、部门利益的驱动、传统观念的影响以及对水资源自身规律认识的局限,往往在流域水资源开发当中只要具备兴建地表水利工程条件则会优先考虑地表水资源;而一旦流域水资源以及水环境出现问题,多数情况下则习惯性地把产生问题的原因归结为地下水资源的不合理开发利用,进而限制地下水资源的开发利用,而这一观点或政策也习惯性地被认可和接受。例如,我国北方地区往往真正能够形成产流的是每年极少数的暴雨,当真正暴雨来临时考虑到防洪又不敢进行水库蓄水,实际上每年的水库蓄水基本上就是截留清水流量(基流)。这些宝贵的水资源由于蒸发强度较大造成了大量的水面蒸发,不仅使水资源损失巨大而且减少了地下水的补给,常常导致地下水开采维持不了水资源评价时所计算的水量,进而产生了水环境问题。

流域水资源开发利用分析提出了这样一个有关地下水资源开发利用的常识性而又基础性的问题,即在流域内开采多少地下水资源是合理的?也就是说流域内地下水可开采资源(地下水可开采资源量)是多少?依据什么原则、考虑什么因素、采取什么方法评价或计算地下水可开采资源量?要想回答这些问题,就有必要对有关地下水可开采量的概念、定义与内涵进行深入分析。

## 1.2 研究的意义

近年来,人类的干预作用,改变了地下水系统的客观运动规律,随着人们对水文系统认识的深入,可开采资源量的概念已不能完全反映地下水资源的特征,也不再能满足人类合理利用和管理地下水的需要。存在的主要问题有:①可开采资源量的研究是以地下水本身作为研究对象,只考虑了局部水动力波动范围内岩体稳定等问题,而忽视了流域水资源整体特征;②没有从人工调控作用的角度考虑地下水的储调功能对开采量的影响;③没有从流域水资源整体开发利用效益和生态环境需水量考虑。基于以上问题,为了能够更准确、更科学地反映地下水资源的客观实际,笔者提出一个新概念——流域地下水可持续开采量,以期解决长期以来由于不合理的地下水开采量导致的流域水资源开发利用不合理以及所产生的水环境问题。

地下水可开采量的概念其科学合理的界定是评价地下水资源量的基础,而流域地下水资源量评价的合理与否直接关系到一个流域水资源开发利用的

合理性与可持续性。长期以来,“地下水可开采量”的定义一直是地下水资源开发利用中备受关注的问題。而每一次新概念的提出既是对该阶段水文地质研究成果的集中反映,同时它又成为指导一个阶段地下水资源开发利用的基本思想<sup>[1]</sup>。

## 2 有关可持续开采量概念的演变

### 2.1 国外研究进展

近些年国外水文地质学者对地下水可持续开采问题的关注程度越来越高。早在1915年安全开采量(safe yield)这个术语就被提出<sup>[2]</sup>。在那一时期,安全开采量被认为是可以进行有规律且持久的开采而不引起疏干危险的极限水资源量。此后,许多学者从不同的角度对“安全开采量”进行了补充和修正,增加了更多影响地下水可开采量的必要因素,如地下水开采的经济可行性,地下水储量的水质保护,以及需要满足现有的水法水权和考虑对潜在的环境问题的保护。1951年,Thomas认为“安全开采量”具有不确定性,建议放弃使用该术语,提出持续开采量的概念,即指能从含水层中连续地抽水、不至于引起不良结果的地下水量。文献中有关持续开采量的同义词还包括“潜在持续开采量(potential sustained yield)”,“允许持续开采量(permissive sustained yield)”,以及“最大流域开采量(maximum basin yield)”。基于各学者的观点,一个综合的地下水可开采量可定义表述如下:在经济、合法,不破坏原来水质或不产生环境恶化等不良后果的前提下,能从含水层中持续开采出来的天然地下水资源量。

国外学者对安全开采量研究的重点主要在于地下水系统循环与转化的研究。Sophocleous<sup>[3-4]</sup>认为可持续开采量主要源自地下水储存量,但是最终源于地下水的激发补给(如地表水损耗);考虑到需要足够数量的水用来维持河流、泉、湿地的水质与水量,以及维持依赖地下水的生态环境,含水层的可持续开采量一定大大小于它的补给量。Frans<sup>[5]</sup>指出可持续的地下水开采是由天然排泄决定的,他认为确定地下水系统安全开采量的一个重要部分就是确定有多少天然排泄可以被截取。

目前对安全开采量和可持续开采量都没有明确的定义和确定方法。虽然很多水文地质学者对这一概念和内涵持保留意见,但这个概念仍被应用在含水层的规划和管理中。

### 2.2 国内研究进展

在我国,长期以来通过计算允许开采量来评价区域地下水可开采量。这一概念中也含有可持续发展的指导思想。后来,在此基础上,引进了涉及人类作

用、流域水循环以及环境生态等因素的可持续发展思想,考虑与评价流域地下水可开采量。刘俊民等<sup>[6]</sup>指出地下水持续开采量是开发利用地下水资源必须具有安全性,作为供水水源必须具有持续性(不但具有“允许”和“安全”开采量的含义,而且还包含了在时间上永续利用的思想)。故可将其定义为:与一定经济技术条件相适应,开发利用的地下水资源量不应引起明显环境问题,并能达到其采补平衡的,从地下水含水层中可能获得的最大开采量。张人权<sup>[7]</sup>定义地下水可持续开采资源为一个含水系统的环境承载能力允许的条件下可以永续开采的水量。同年,张蔚榛<sup>[8]</sup>认为,由于地下水补给的一部分将消耗于不可避免的潜水蒸发、天然生态耗水、地下水的排泄,而不能全部被开发利用,地下水的可开采利用量仅是补给量的一部分。这部分可以开采利用又不致引起难以承受的环境损害的水量称为可持续开采量。王长申等<sup>[9]</sup>将地下水可持续开采量的概念归纳为:在优先满足环境需水及经济、合法、不破坏原来水质、不产生不良环境后果的条件前提下,以地下水及其环境系统达新的平衡为标志,可以从地下水系统中开采的可更新水量;它具有动态性、不确定性和系统性的特点。

综上所述,地下水可持续开采量的概念仍没有一个明确的定义,其中心思想均为采用一种合理的地下水资源开发利用方式,使其可维持长时间正常开采而不会产生不良的环境、经济及社会后果,从而取得水资源利用的经济、社会和环境三者的综合效益最大。但在评价方法方面,仍不能定量地实现地下水开采与社会经济、生态环境变化的互馈关系,缺少统一的评价准则和标准。

### 3 地下水可持续开采量的概念与内涵

在可持续发展的理念下,地下水资源的开发必须以建立和保持良性生态环境系统为宗旨,做到地表水、地下水资源的联合调度运用;“四水”资源(大气水、地表水、土壤水和地下水)相互调节和补充,从而取得水资源利用的经济、社会 and 环境的综合效益<sup>[10-13]</sup>。基于以上目标,本文将流域地下水可持续开采量的概念界定为:在流域内能够开采出来的,能得到有效补给,并通过流域水资源人工调蓄作用和各种水资源开发工程效益比较下的构成流域水资源利用效率最佳,环境副作用影响最小的地下水可开采量。

根据上述定义,通过进一步剖析与细化,地下水可持续开采量的内涵包括以下几个内容。

a. 地下水可持续开采量应首先确定地下水系

统本身是持续、稳定、安全的,即能长期维持采补平衡的地下水可采资源量。可持续开采量的定义首先应该满足水文学和地下水流原理(质量守恒原理),为了保证地下水的不断开采,必须有充分的补给保证,开采后能使地下水系统及时达到新的平衡状态。其次,地下水可持续开采量还应满足维持生态环境系统的稳定和可持续,即生态环境的变化不出现持续负向变化。在满足前两者的要求下,还要满足社会经济的持续发展的要求,做到水资源利用率最高,负面影响最小。

b. 地下水可持续开采量既有自然属性又有社会属性。从考虑流域水资源整体开发利用效益出发,以追求流域社会效益、经济效益和环境效益同时最佳为目标,通过合理开发、优化调度流域水资源,充分发挥地表水与地下水联合调控作用,最大程度地提高水资源开发利用率的地下水优化开采量。

c. 地下水可持续开采量的概念强调了地下水开采的社会经济约束、生态环境约束、水资源的承载能力约束和可持续利用的约束<sup>[14]</sup>。其约束条件根据流域自身特点的不同而不同。地下水资源可持续开采基于生态环境可持续的基础之上,其环境负效应包括地下水可持续开采量的所有约束条件,即:不引起水源枯竭、水质恶化、海水入侵、地面沉降、地下水储存量的减少、地表水流量的减少、湿地及泉水的消失等不良后果。

d. 地下水可持续开采量的确定,必须考虑地表水与地下水的联合调蓄,即人工调蓄作用。地下水的开采导致水动力条件改变,袭夺地表水是最重要的诱发补给。因此,成功的水资源管理就在于地表水与地下水资源的联合调蓄<sup>[15]</sup>。地下水可持续开采量的研究重点是人类活动干扰下流域水循环模式。即人类活动干预下,不破坏地下水系统更新、恢复、维护的可采资源量。

e. 可持续发展理念的目标是既要设法满足当代的发展需求,又不危及后代的发展需要,是一个具有时间段的概念。本文提出的地下水可持续开采量的概念,强调了研究时段的长时序性,但没有设置固定的时间限制,时间段的选择依赖于流域水资源规划的时间。

### 4 与传统可开采资源量的比较与分析

我国可开采资源量概念的发展与应用主要经过形成、发展和完善3个阶段,代表性评价的指标有开采储量、开采资源、允许开采量(可开采资源量)。自1979年文献[16]中提出“允许开采量”(指通过技术经济合理的取水构筑物,在整个开采期内出水量不

会减少、动水位不超过设计要求、水质和水温变化在允许范围内、不影响已建水源地的正常开采、不发生危害性的工程地质现象的前提下,单位时间内从水文地质单元或取水地段中能够取得的出水量)的概念之后,多数地下水资源评价中一直沿用这个概念。因此,本文选择“允许开采量”的概念为代表,讨论了新概念与传统概念之间的本质区别。

#### 4.1 研究目标与角度不同

“允许开采量”追求的目标是可资利用的地下水资源量最大,而“可持续开采量”追求的目标是在合理的水资源开发模式下,水文系统乃至人地系统整体效益最大。

#### 4.2 界定依据的比较

“允许开采量”更强调可资利用的地下水量,重视开采前后补给、储存和排泄之间的数量变化<sup>[17]</sup>。它考虑了技术经济的可能性以及开采时地下水的动态变化,限定了开采的范围、水位和水温的要求、环境要求,以及对水源地的影响。而“可持续开采量”是从研究流域水资源开发利用存在的问题出发,充分考虑了传统概念存在的不足,在其基础上提出了考虑地下水人工调蓄作用对地下水开采量的影响,以及使流域水资源整体开发利用效益最佳、满足环境需水量要求的地下水可开采资源量。新概念更突出了生态环境与可持续利用的约束。

#### 4.3 概念内涵的对比

##### 4.3.1 研究对象的不同

“允许开采量”定义为“从水文地质单元或取水地段中(单元含水层;独立的蓄水构造(或补给流域))能够取得的水量,以地下水系统本身,以天然补给资源作为研究对象,而“可持续开采量”的研究对象为流域内的整体水资源,其研究范围从一个完整的地下水系统扩展到一个完整的水文系统和人地系统。

##### 4.3.2 约束条件的不同

“允许开采量”对开采的约束条件设定为:“出水量不会减少”、“动水位不超过设计要求”、“水质和水温变化在允许范围内”、“不影响已建水源地的正常开采”、“不发生危害性的工程地质现象”。而“可持续开采量”的约束条件包括社会经济约束、生态环境约束、水资源的承载能力约束和可持续利用的约束等<sup>[14,18-19]</sup>。它考虑了水文系统、人文系统、地下水动态平衡等各方面的因素,比“允许开采量”的约束条件更为完善。

##### 4.3.3 时间范围的不同

“可持续开采量”与“允许开采量”这二者的概念对定义的时间限制也有所不同。后者将约束条件的

时间限制为“整个开采期内”,而前者强调地下水系统、生态环境、社会经济的稳定、安全、可持续性,研究时段具有长时序性的特点。

#### 4.4 组成关系对比

“允许开采量”的组成包括3个部分:补给增量、排泄减量以及可动用的储存量。与“允许开采量”不同,“可持续开采量”考虑了人工调蓄作用对地下水的补给量,以及调整水资源开发模式,减少了的水资源损失量。因此“可持续开采量”的组成,除补给增量、排泄减量和可动用的储存量之外,将人工调蓄补给量,减少的水资源损失量也作为一个重要的组成部分。

综上所述,“可持续开采量”在“允许开采量”概念的基础上,在界定依据、研究对象、约束条件,以及组成关系等方面进行了改进和拓展,如图1所示。

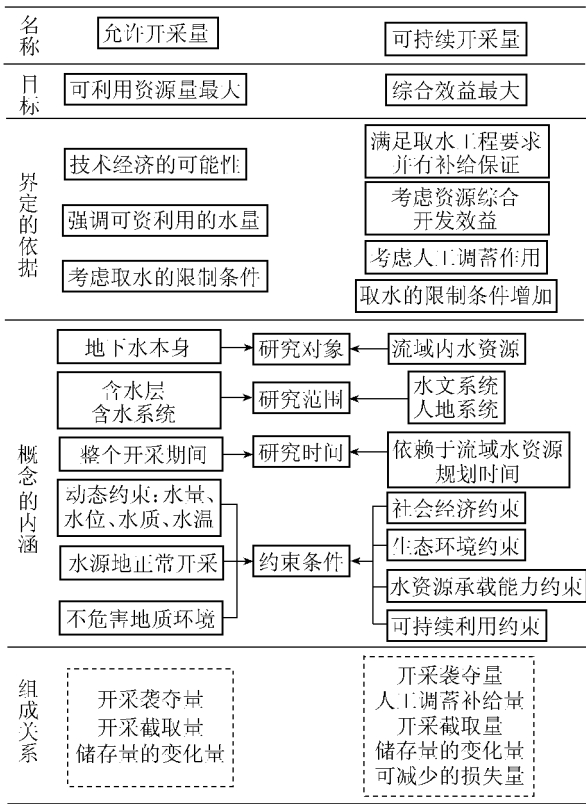


图1 允许开采量与可持续开采量概念对比

## 5 评价体系的建立

流域地下水可持续开采量是一个为指导流域水资源,特别是流域地下水合理利用而制定的人为指标。为避免在实际水资源评价过程中,流域可持续开采量定义存在概念化和模糊性的缺点,本文建立的流域地下水可持续开采量的评价方法主要包括以下3个步骤。

a. 研究流域水资源形成的环境条件,阐明决定构成流域水资源开发利用效益的各种因素特征及其

相互关系,建立流域水资源开发的综合效益模型,探索在该模型中地下水可持续开采量的作用机制。

b. 建立流域水循环模拟模型,再现天然状态和人为作用下,地表水与地下水的补、径、蓄、排特征,以及相互的影响和作用,计算地下水的可调蓄空间和潜力。以流域水循环模拟模型作为研究平台,制定合理的开发策略,对各种不同调控措施下模型的运行效应进行计算。

c. 建立地下水可持续开采量的优化模型,以资源正效益(即经济效益、社会效益、生态环境效益三者的综合效益)最大,生态环境损耗最小为目标,以有效益、可承载、可持续为原则,制定权衡水资源开发利用中各种利弊关系的约束集,建立流域地下水可持续开采量的优化模型。用模拟手段来评价各种方案系统的状态演变,用优化方法对决策变量的操纵来控制系统的行为和发展方向,实现模拟和优化的耦合。最终得到一个考虑流域整体性、效益性,以及人工调蓄作用与生态环境需水的优化量——流域地下水可持续开采量。

模型之间的相互作用如图2所示。

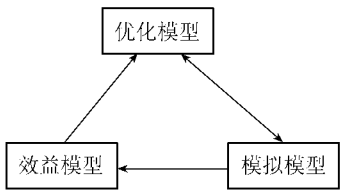


图2 评价模型耦合关系

## 6 结 语

a. 流域地下水可持续开采量概念是评价地下水资源量的基础,直接关系到一个流域水资源开发利用的合理性与可持续性。

b. 将流域地下水可持续开采量定义为:在流域内能够开采出来的,能得到有效补给,并通过流域水资源人工调蓄作用和各种水资源开发工程效益比较下的构成流域水资源利用效率最佳,环境副作用影响最小的地下水可开采量。

c. 与传统可开采资源量相比,流域可持续开采量的概念,更突出考虑了流域水资源整体开发利用效益和环境需水量,以及人工调蓄作用对地下水系统的影响作用,并具有长时序性的特点。

d. 建立了由效益模型、模拟模型、优化模型组成的流域地下水可持续开采量的评价体系。

### 参考文献:

[1]曹剑锋,迟宝明. 专门水文地质学[M]. 北京:科学出版社,2006:9-14.

[2] FETTER C W. Apply hydrogeology[M]. 4ed. America: Prentice-Hall, 2001: 447-449.

[3] SOPHOCLEOUS M. From safe yield to sustainable development of water resources: the Kansas experience[J]. Journal of Hydrology, 2000, 235: 27-43.

[4] HUGO A L, LEIPNIK R B. Theory of sustainable groundwater management: an urban case study[J]. Urban Water, 2001, 3: 217-228.

[5] FRANS R P K, DONALD R W. Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems[J]. Hydrogeol J, 2005(13): 295-312.

[6] 刘俊民,李佩成. 论渭北黄土台原灌区地下水可持续利用[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(1): 106-111.

[7] 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.

[8] 张蔚榛. 地下水的合理开发利用在南水北调中的作用[J]. 南水北调与水利科技, 2003, 1(4): 1-7.

[9] 王长申,王金生,滕彦国. 地下水可持续开采量评价的前沿问题[J]. 水文地质工程地质, 2007(4): 44-48.

[10] 冯尚友,刘国全. 水资源持续利用的框架[J]. 水科学进展, 1997, 8(4): 301-306.

[11] 陈丰凯. 中国水资源的可持续利用[J]. 中国水利, 2000(8): 38-40.

[12] 李森,陈家军,孟占利,等. 地下水可采资源量计算及若干问题探讨:以山西省汾河中上游地区为例[J]. 水资源保护, 2004(4): 1-4.

[13] 穆仲义,郝银来. 地下水资源持续利用的途径:论“强采”与“强补”[J]. 水资源保护, 1997(1): 47-50.

[14] 王金生,王长申,滕彦国. 地下水可持续开采量评价方法综述[J]. 水利学报, 2006, 37(5): 525-533.

[15] 杜文堂. 对地下水与地表水联合调度若干问题的探讨[J]. 工程勘察, 2000(2): 8-11.

[16] GB 20027—2001, 供水水文地质勘察规范[S].

[17] 李伯权. 地下水资源评价中有关概念的讨论[J]. 工程勘察, 2001(3): 20-24.

[18] 左其亭,谈戈. 可持续发展与地下水资源管理研究[J]. 工程勘察, 1999(6): 24-28.

[19] 张人权,梁杏,靳孟贵. 可持续发展理念下的水文地质与环境地质工作[J]. 水文地质工程地质, 2004(1): 82-86.

(收稿日期:2008-07-21 编辑:高渭文)

