

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

李 森 , 陈家军 , 孟占利 , 宋 宇 , 智天翼

(北京师范大学环境学院 , 北京 100875)

摘要 对山西省汾河中上游地区平原区、山区地下水可采资源量进行了计算与分析。对平原区可采资源量采用保证率下的直接估算法、可采系数法、平均布井法、径流模数法、水量均衡法等多种方法进行计算 , 再以优化法进行组合 ; 对于山区 , 重点讨论了岩溶水可采资源量的计算方法 , 最后得到较合理的结果。在平原区、山区可采资源量计算中 , 对各种计算方法存在的问题及解决思路进行了详细的阐述。

关键词 地下水 ; 可采资源量 ; 计算方法 ; 山西省

中图分类号 : P641.2 P641.8

文献标识码 : A

文章编号 : 1004-693X(2004)04-0001-04

山西省是缺水大省 , 地下水是其主要供水水源。随着水资源开发程度的不断提高 , 地下水开采量与日俱增 , 致使山西省大部分地区地下水出现严重超采状态 , 随之引起一系列环境问题^[1] , 如 : 地下水水位下降 , 河道断流 , 泉水干枯 , 水质污染 , 等等。为控制环境的继续恶化 , 合理开采地下水 , 有必要对山西省地下水可采资源量进行系统的计算、分析。本文广泛收集了山西省汾河中上游地区的水文、地质、水文地质等方面的各种勘探、科研资料 , 对该地区的地下水资源量进行了计算与评价。评价中最困难、出现问题最多的部分就是可采资源量的计算 , 因为可开采资源量与诸多因素有关^[2] , 尤其是评价方法的不同会使结果出现很大的差异。本文对可采资源量采用不同的方法进行计算 , 详细分析了各种方法的优缺点、适应条件 , 并对计算中普遍出现的问题给予合理的解决 , 使计算结果比较接近实际情况 , 为今后该地区合理开采地下水提供了依据。

1 研究区水文地质条件概况

研究区包括太原、古交、清徐、阳曲、娄烦、榆次、太谷、祁县、平遥、介休、文水、汾阳、孝义、交城、岚县、静乐、宁武等市县 , 面积共 21 970 km²。研究区主要由山区和盆地组成 , 山区以碳酸盐、变质岩为主 , 平原区主要是太原盆地 , 以松散岩为主。研究区地下水的主要类型有 : 松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水和以碎屑岩类为主的裂隙水。孔隙水主要赋存于太原盆地及河谷地区 , 潜水含水层分布于太原盆

地的全区 , 位于系统的浅部 , 含水介质主要是冲洪积砂砾石和砂 , 其主要补给来源是降雨入渗补给、渠系、河流、灌溉渗漏补给 , 以及山区侧向径流补给。中深层承压水分布于冲积平原及洪积扇边缘地带 , 含水层介质为冲洪积砂、砂砾石及各类砂 , 埋深 50 ~ 200 m , 单层厚度 5 ~ 40 m。目前 , 太原盆地孔隙水是其主要供水水源之一。岩溶裂隙水主要赋存于山丘区 , 可接受降雨入渗补给以及孔隙水和裂隙水的越流补给 , 除侧向排泄到河谷外 , 还以泉的形式集中排泄。盆地区的岩溶大泉 , 绝大部分已成为本地区工农业生产的重要供水水源。研究区地下水水位埋深大小不一 , 阳曲盆地区水位埋深为 10 ~ 30 m ; 太原市西部吕梁地区的大部分水位埋深在 40 m 以上 ; 太原市东南、南部的榆次、清徐、文水一带水位较浅 , 埋深一般为 1 ~ 5 m , 局部在 5 m 以上 ; 晋中地区的太谷、祁县、平遥地区水位埋深为 12 ~ 15 m , 祁县水位埋深在 27 m 左右 ; 宁武、静乐、岚县、娄烦大部分地区以山区为主 , 水位埋深比较大 , 基本上大于 200 m。此次计算主要包括第四系的上、中及全更新统的含水岩组 , 厚 100 ~ 150 m , 这些含水岩组是太原盆地的主要含水岩组 , 储藏水量丰富 , 易于开采。下更新统和第三系含水岩组为弱含水岩组 , 水量不大 , 没有开采的意义。

2 计算中存在的问题及解决思路

可采资源量是指在不产生地下水水位持续大幅下降、含水层疏干、地面沉降等不良环境后果的前提下

下,允许从含水层中取出的最大水量^[3]。地下水资源评价的关键与目的就是给出合理的可采资源量值。其计算方法有很多种,如:水量均衡法、补偿疏干法、开采强度法、平均布井法、开采抽水法、径流模数法、水文地质比拟法、数学模型法等。由于可采资源量靠补给量来维持,因此,对于某具体区域来说,补给量和水文地质条件的不同,以及可采资源量计算方法、评价精度的不同,所得结果会与实际值偏差很大。怎样才能得到最符合当地实际情况的可采资源量是较难解决的问题。下面对汾河中上游地区平原区、山区的可采资源量进行了计算和分析。其中,对于平原区,采用不同方法进行了计算,对比了计算结果,并进行了优化组合;对于山区,重点分析了岩溶水可采资源量的计算,最后得到了研究区较合理的总可采资源量。

2.1 平原区地下水可开采资源量的计算与分析

2.1.1 保证率下的直接估算法

研究区的平原区以松散岩类孔隙水为主,地下水开发利用程度较高,开采历史悠久,有较长系列的地下水动态和开采量资料。因此,可以采用枯水年保证率75%下的平原区地下水补给量作为平原区的可采资源量。这里需要强调的是,地下水补给量与地下水天然资源量有实质的不同,前者是指在天然条件下,地下水在循环交替过程中可以得到恢复的那部分水量,即多年平均补给量;后者是指在天然条件下,单位时间内以各种方式进入含水层中的总水量(包括垂向补给量和侧向补给量)。

上述方法计算简单,直接由计算的枯水年地下水补给资源量转化得来,能够使水源地的取水得到保证,有一定的可靠性。但计算结果比较粗略,实际上,其计算时段涉及了“多年平均”的概念。由于地下水补给量具有年际和季节性变化的特点,且这种变化是随机的,因此,如果考虑地下水储存量的调节作用和多年变动作用,在均值量基础之上加上脉动变化量,这样计算就充分考虑了不同时期地下水补给量变动较大的特点,得到的可采资源量比较符合实际情况。特殊情况下,如采用水平集水管或辐射井等手段来取水的孔隙潜水水源地,当含水层厚度有限,地下水补给条件年内变化大,无法满足多年调节要求时,可采用丰、平、枯水年分别计算的方法^[4]。

2.1.2 可采系数法

此种方法的关键是可开采系数的确定。根据实际调查情况来确定可开采系数是最可靠的方法,本次计算采用的可采系数是参照山西省国土资源厅颁布的《山西省地下水资源评价》中计算的可采资源量占补给资源量的比例得来的。

计算中系数的选用将直接影响计算结果。如果按经验值来确定系数,误差较大。采用上述方法计算的可采系数也存在较大的累计误差,即使可采系数选用合适,它同样存在第一种方法的弊端,需要对可采量进行不确定性分析。束龙仓等^[5]在有关文献中也提到了此种观点,并采用蒙特卡罗方法(随机数的产生采用混合同余法)对可采资源量计算结果进行了风险分析,弥补了以往确定性模型的不足。

2.1.3 平均布井法

根据对多年研究资料与成果的分析可知,研究区内平原区面积较广,外围侧向补给量比重向补给量小得多,因此可采用平均布井法进行估算。根据实际开采情况,研究区开采的主要是潜水和部分承压水,因此可采资源量由两部分组成。布井之前需对水文地质条件进行分析,然后进行分区、分层,选择大于影响半径的布井间距,按等距离网格进行均匀布井,以稳定流为基础进行布井计算。最后,根据补给量大小论证保证程度。

此种方法适合于分布面积比较广的冲积洪积扇、冲积平原、山间盆地,且含水层厚度或水位埋深较大的地区。平均布井法能够从实际水文地质条件出发,采用已有的钻孔资料进行计算,克服了资料不足与均衡法计算中的缺陷,在取水经济合理的条件下,此法接近实际可采资源量;不足之处是为了计算简化,常常不考虑各井干扰下非稳定流运动产生的区域疏干层。另外,对于透水性强的含水层,其影响半径大,反之,则影响半径小。在透水性强的地区平均布井,布井密度小,而实际出水量大,与实际开采有差别。

2.1.4 径流模数法

$$\text{计算公式为 } Q_{\text{县(市)可开采量}} = \sum_{i=1}^n M_i A_i \quad (1)$$

$$M_i = Q_i / F_i \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{县(市)可开采量}}$ 为各县(市)地下水可开采资源量; n 为某具体县(市)包含的水文地质单元个数; M_i 为第*i*个水文地质单元地下水可开采资源模数; A_i 为某县(市)位于第*i*个水文地质单元内的面积; Q_i 、 F_i 分别为某典型计算区的可开采资源量及其面积。

典型计算区可开采资源模数按以往计算数据求得,继而算出可采资源量,此种求法累计误差较大,仅得到大致估计值。径流模数法对山区岩溶区可采资源量的计算意义比较明显。在最初的应用中, Q_i 指的是通过流域内岩溶区暗河排泄口的枯水期实测流量(非岩溶区则代表排泄地下水河流的平水期流量),因此地下水径流模数具有季节性的特点,枯、丰水期相差较大。将此方法用于平原区可采资源量的

计算 , Q_i 的意义有所改变 ,但最初的限制条件依然存在 ,在计算中径流模数会随着降水量(丰、平、枯水期)的变化而变化 ,降水的非平稳性使计算过程产生了很大的随机性。另外 ,计算时必须搞清不同计算时段、地段、分水岭及补给面积的变化 ,否则将导致重复计算或漏算 ,直接影响计算精度。

2.1.5 水量均衡法

研究区内平原区地下水开采历史悠久 ,开发利用程度较高 ,水文地质研究程度深 ,有较长系列的地下水动态和开采量资料 ,因此 ,可采用开采条件下的水量均衡方程计算。

计算公式为 $Q_{\text{可采}} = Q_{\text{补给}} - Q_{\text{侧排}} - Q_{\text{蒸发}}$ (3)

$Q_{\text{补给}} = Q_{\text{总补给}} f_i$ (4)

$Q_{\text{蒸发}} = F\varepsilon$ (5)

式中 : $Q_{\text{可采}}$ 为平原区可采资源量 ; $Q_{\text{补给}}$ 为开采条件下的地下水补给量 ; $Q_{\text{侧排}}$ 为开采条件下的地下水侧向排泄量 ; $Q_{\text{蒸发}}$ 为开采条件下的地下水蒸发量 ; $Q_{\text{总补给}}$ 为地下水总补给量 ; f_i 为开采程度 ; F 为计算区面积 ; ε 为蒸发强度。其中 :式(3)的水量均衡方程参照 1990 年《太原市地下水资源分析研究报告》得来 ,式(4)中开采程度(研究区各不同区域的实际开采条件)的取值是由国土资源部(2000 年)计算的该研究区的可采资源量及总补给量转化得来。多年观测资料证明 ,平原区浅层水极限蒸发深度为 5 m 左右 ,因而不考虑埋深大于 5 m 的地区。不同埋深情况下潜水蒸发强度见表 1。

表 1 不同埋深情况下潜水蒸发强度 ε m/a

包气带 岩 性	埋 深				
	<0.5 m	0.5~1.0 m	1.0~2.0 m	2.0~3.0 m	3.0~5.0 m
亚砂土	0.40	0.20	0.13	0.07	0.02
亚黏土	0.30	0.18	0.12	0.06	0.04

作为地下水资源评价的基础方法 ,水量均衡法是一种常用的方法 ,此法简单易行 ,但是对深层承压含水层或山区基岩裂隙含水层 ,其补给、径流、排泄条件复杂 ,不易查清 ,使用该法较困难。计算中要注意的是各部分量为开采条件下的量 ,所以开采程度的取值会受以往计算结果的影响。

表 2 不同方法下的权重及可采资源量

计算方法	太原市		晋中		吕梁		忻州	
	可采 资源量	权重	权重后可 采资源量	可采 资源量	权重	权重后可 采资源量	可采 资源量	权重
	($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)		($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)		($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)
直接估算法	23 229	0.30	6 969	19 896	0.24	4 775	25 046	0.15
可采系数法	21 986	0.15	3 298	18 706	0.16	2 993	21 504	0.19
平均布井法	22 739	0.25	5 685	19 929	0.40	7 972	23 220	0.11
径流模数法	23 319	0.16	3 731	20 290	0.15	3 044	25 477	0.25
水量均衡法	21 647	0.14	3 031	18 462	0.05	923	20 948	0.30

2.1.6 优化组合

保证率下的直接估算法计算可采资源量为 7.112 亿 m^3/a ;可采系数法计算结果为 6.429 亿 m^3/a ;平均布井法计算结果为 6.844 亿 m^3/a ;径流模数法计算结果为 7.221 亿 m^3/a ;水量均衡法计算结果为 6.347 亿 m^3/a ,最大量和最小量差了近 1 亿 m^3/a 。每种方法的适用条件存在差别 ,因此 ,对研究区采用统一的计算方法是不可取的。

本研究拟采用优化组合法对其进行计算。用列出的所有方法计算研究区的某具体区域的可采资源量 ,根据水文地质、气象资料分析各方法 ,采用简单的分布集成法可得到不同方法在该具体区域的权重。分布集成法可参见文献 [6] ,其基本思路是各计算方法的结果与一标准量(已公布的计算结果)相比较 ,结果接近的权重大 ,反之则权重小。某具体方法计算结果相对于标准值偏差的平方与所有方法下的平方和相比 ,得到权重分配值。然后采用式(6)进行最后的计算 ,所得可采资源量为 6.809 亿 m^3/a 。各种方法下可采资源量及权重见表 2。

计算公式为 $Q_j = \sum_{i=1}^n Q_{ij} W_{ij}$ (6)

($i = 1, 2, \dots, 5 ; j = 1, 2, 3, 4$)

式中 : Q_j 为第 j 个计算区域权重后的可开采资源量 ; Q_{ij} 为第 j 个区域第 i 种方法下的可开采资源量 ; W_{ij} 为第 j 个区域第 i 种方法的权重。

用优化组合法计算可采资源量 ,充分考虑了各地区的水文地质条件及各种计算方法的优势 ,符合实际情况 ,为可采资源量计算提供了一种新的思路。但是这种方法必须依靠丰富的资料和实地调查才能完成 ,工作量比较大。

2.2 山区地下水可采资源量的计算与分析

2.2.1 一般山丘区孔隙、裂隙水可采资源量

研究区内一般山丘区孔隙、裂隙潜水尽管分布较广 ,但因含水层储存空间小 ,富水性较差 ,故难以利用。近几年来 ,随着用水量的不断增大 ,裂隙水的开采量也不断增大 ,考虑到对裂隙水的开采情况 ,计算时考虑了这部分水量。对有供水意义的裂隙水地区 ,以裂隙水补给量的 20% 作为可采资源量 ;对供

水意义不大的变质岩、碎屑岩地区以实际开采量作为可采资源量。

以往的水资源评价中,有的没有考虑基岩裂隙水的可开采条件,采用枯季河川基流量进行评价,有的认为基岩裂隙水难以利用,干脆不算,这样做往往引起重复计算或漏算问题。采用上述方法计算,比较接近实际,结果合理、可靠。经计算这部分量为1.440 亿 m^3/a 。

2.2.2.2 岩溶山区岩溶水可采资源量

山区可采资源量主要由岩溶水可采资源量组成,岩溶山区地下水含水介质一般是由溶隙系和溶孔系组成,具有很强的储水和输水功能,所形成的泉域调节能力很强,尤其对水资源短缺地区,这种能力显得尤为重要,因此,这部分水量计算非常重要。计算方法包括保证率法、开采程度法、均衡法、数学模拟法等。本文重点讨论不同计算方法的适用条件和存在的问题。

2.2.2.2.1 保证率法

山丘区裂隙岩溶水在山西省比较多见,多以岩溶大泉的形式出露于盆地的边山地带,开发利用条件较高,有的已处于超采状态。在此条件下可采资源量的计算常采用保证率法来计算。该方法根据用途不同分两种情况:对于泉口直接引水供城市用水者,把保证率95%下的多年平均泉流量作为可采资源量;供农业灌溉用水者,则以50%或75%保证率下的泉流量作为可采资源量。但保证率法仅适用于全排泄型泉域,对部分排泄型泉域,如晋祠泉则不适用。另外,岩溶水的补给来源主要是降水入渗,泉流量和降水量呈滞后关系,滞后时间很长,因此,此方法需要长系列的流量观测资料。对于人工选择的水源地(如兰村)来说,其岩溶条件、构造条件不一定与泉口条件一致,泉域的可采资源量不能作为水源地的可采资源量^[7],应分开计算。

2.2.2.2.2 均衡法

汾河中上游地区各泉大部分呈采补平衡状态,根据各泉域的补、径、排条件和历年的水文、气象资料,可采用均衡法或开采动态法对可采资源量进行计算。但晋祠、兰村两泉已处于超采状况,须另外列出。均衡计算时,要对计算的水文地质单元调查清楚,若岩溶水以潜流形式侧向排泄到相邻含水系统,则应注意避免重复计算。对于同一泉域内存在多个水源地的情况,应考虑其相互间的干扰。均衡计算中的均衡参数一般取多年均值,计算值基本可靠,但由于影响因素很多,不可避免地会在一定范围内存在误差。

2.2.2.2.3 其他方法

因岩溶水运动的规律和途径比较复杂,目前对岩溶水进行评价比较困难,现在一般采用数值模拟

法、随机方法或系统分析方法来研究其运动规律^[8],由于这些方法还不完善,建立在其基础之上的岩溶水补给量和可采资源量计算还需探讨。

最后,根据地下水资源的多年调节性及水资源紧缺的特点,采用了60%的碳酸盐岩溶水多年平均补给量作为其可采资源量。此比例是根据以往计算总结出来的,用于该研究区,结果偏保守,计算值为2.660 亿 m^3/a 。由于不同地区岩溶水的泉水开采条件、开发利用程度存在差别,如果根据实际情况,得到各区域泉域的可采程度,计算结果将是精确的。

3 结 论

本文重点讨论了汾河中上游地区平原区和山区岩溶水可采资源量的计算方法和适用条件。对平原区的各具体区域采用几种方法来计算,根据分布集成法取得各计算方法的权重,然后对各方法下的计算结果进行优化组合。优化组合法中的权重是一种客观赋值,避免了人为因素的影响,比较可靠。此方法不仅充分考虑了具体地区各不相同的水文地质条件,还考虑了各种计算方法对该地区的适用程度,因此,可采资源量的计算结果比以往采用单一方法计算得出的结果更接近实际。山丘区岩溶水的计算采用了60%岩溶水补给量作为其可采资源量,方法较保守,但结果可靠。最后得出汾河中上游区总可采资源量为11.322 亿 m^3/a ,其中,平原区为6.809 亿 m^3/a ,山区为4.100 亿 m^3/a 。山区开发利用程度低,尤其在静乐、宁武一带,开采量很小,具有很大的开采潜力。尽管此地区蕴藏丰富的水资源,但从地理条件及当地的经济状况来看,对其开采可能要耗费大量的人力、物力。

参考文献:

- [1]高宗强.山西省水环境问题与对策[J].山西大学学报(自然科学版)2002,25(3):275~277.
- [2]张念龙,李世忠.几个水源地可采资源量计算方法的对比研究[J].地下水,1998,20(4):146~152.
- [3]郭周亭.水资源可利用量估算初步分析[J].水文,2001,21(5):23~26.
- [4]袁立江.地下水资源评价中地下水水量计算时段的选择[J].水文地质工程地质,2001(1):71~72.
- [5]束龙仓,朱元生,孙庆义.地下水允许开采量确定的风险分析[J].水利学报,2000(3):77~81.
- [6]陈桂英,艾琬秀.权重分布法集成预报试验[J].应用气象学报,2000,11(增刊):51~57.
- [7]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.
- [8]钱孝星.岩溶地下水运动与计算的若干问题讨论[J].水利水电科技进展,1998,18(4):18~22.

(收稿日期:2002-05-22 编辑:徐娟)