

地下水允许开采量及其潜力评价研究

康凤新

(山东省地质矿产勘查开发局, 济南 250013)

摘要: 综合分析了国内外关于地下水允许开采量的概念, 提出了实用的地下水允许开采量的涵义。探讨了平衡或有潜力水源地地下水允许开采量的计算评价、增源增采条件下地下水最大允许开采量的计算评价、超采水源地地下水允许开采量的计算评价, 以及消耗型水源地地下水允许开采量的计算评价原则, 并分别列举了实例。

关键词: 允许开采量; 增源增采; 水源地评价

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

Abstract: Through the analysis on the various connotations of the allowable yield of groundwater at home and abroad, a more practical concept of the allowable yield is put forward. The calculation and evaluation principles for the evaluation of the allowable yield in the balanced or potential groundwater fields, the evaluation of the maximum allowable yield under the condition of recharge augmenting, the evaluation of the allowable yield in the over-mining groundwater fields or in the expended groundwater fields are discussed, and the practical examples for the different conditions said above are respectively given.

Key words: allowable yield; recharge augmenting; evaluation of groundwater field

近年来, 地下水水源地大都遭到了较强烈的开发。有的水源地因开采量过大或开采布局不合理, 诱发了诸如岩溶塌陷、海水入侵、地面沉降、名泉断流等环境地质问题及地质灾害; 有的水源地实际开采量虽然超过了当时计算评价的允许开采量, 但水源地地下水位仍处于动态平衡状态, 也未引发环境地质问题及地质灾害。因此, 对地下水水源地允许开采量及潜力计算评价原则有必要做进一步的探讨研究。

1 关于地下水允许开采量的概念

1.1 国内地下水允许开采量的概念

综合研究国内有关专著、教材、国标中关于地下水水源地允许开采量的概念, 笔者认为《供水水文地质勘察规范》(GB50027-2001) 中关于地下水允许开采量的概念最为科学, 即: 通过技术经济合理的取水方案, 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, 不影响已建水源地正常开采, 不发生危害性的环境地质现象的前提下, 单位时间内从水文地质单元或取水地段中能够取得的水量^[1]。

简言之, 地下水允许开采量可理解为地下水动水位埋深不超过最大允许埋深条件下的最大开采量, 即地下水动水位不低于警戒水位的最大开采

量, 此量应包括预计开采条件下增加的补给量、排泄减量和动用的储存量。对大多数地下水系统而言, 动用储存量只是刚开始抽水时一个短暂的现象, 用来重新调整地下水流场。因此, 当地下水系统达到抽水条件下新的平衡时, 允许开采量即为开采条件下增加的补给量和排泄减量。之所以突出强调最大允许埋深即警戒水位, 是因为所有地下水开采诱发的环境地质问题或地质灾害, 皆由地下水水位降深过大而导致。换言之, 地下水开采量可理解为地下水位这个变量的函数, 函数的最大值即为地下水允许开采量。因此, 地下水位是判别地下水开采程度及开采潜力最直接、最根本的标志。

因此, 计算评价地下水允许开采量的关键条件之一是确定合理的地下水位最大允许埋深(警戒水位)。

1.2 国外地下水允许开采量的概念

综合国外有关专著、教材, 笔者认为美国地质局(USGS) William M. Alley 等人关于地下水安全开采量(Safe yield^[2])的概念较科学: 安全开采量通常是指地下水的可持续开发的量值(“safe yield”

收稿日期: 2003-07-28; 修订日期: 2004-07-12

作者简介: 康凤新(1968-), 男(汉族), 山东招远人, 研究员。

commonly is used in efforts to quantify sustainable groundwater development), 即在可接受后果条件下的最大开采量 (maximum pumpage for which the consequences are considered acceptable)。地下水的可持续性 (groundwater sustainability^[2]) 是指在长期开发利用地下水的过程中, 没有诱发不可接受的环境、经济及社会后果 (development and use of groundwater in a manner that can be maintained for an indefinite time without causing unacceptable environmental, economic, or social consequences)。地下水的可持续性是个因子的函数, 包括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、地面沉降、海咸水入侵、地下水水质恶化等。

与安全开采量类似的还有美国加利福尼亚大学的 David Keith Todd 提出的地下水永久开采量 (Perennial Yield^[3]) 的概念。“永久”跟上述的“可持续”基本上是一个涵义。

同样, 国外也非常重视地下水位的动态监测。美国地调局的 Robert M. Hirsch 认为地下水位提供了地下水资源状态的最根本的指标 (fundamental indicator), 同时它也是地下水水量、水质评价, 以及地下水与地表水相互作用的一个临界值^[4]。

由以上关于地下水安全开采量或永久开采量的论述可以看出, 国外关于地下水安全开采量或永久开采量的概念跟我国地下水允许开采量的涵义基本上一致的, 可以统称为地下水的可持续开采量。但地下水安全开采量强调了“没有诱发不可接受的环境、经济及社会后果 (unacceptable environmental, economic, or social consequences)”这一前提。

也就是说, 开采地下水不可避免地要产生一定的负效应。评价一个水源地地下水开采量是否是可持续的, 关键要看其产生的负效应是否是可接受的。

实例: 由于大规模开采地下水, 上海市 1921 年~1965 年中心城区地面平均下沉 1.76m, 最大沉降量 2.63m, 地面标高已低于黄浦江高潮位 2m 左右, 已造成潮水上岸、马路积水、桥下净空减少、沿江仓库、码头破坏^[5]等危害城市可持续发展的环境地质问题, 这种负效应便是不可接受的。即地下水处于超采状态, 因此这种地下水开采量肯定是不可持续的, 也是不安全的。上海市于 1962 年采取了限制开采地下水的措施, 1965 年和 1968 年又分别实施了地下水人工回灌与调整开采层等措施, 从而使上海地面沉降基本得到控制。

相反, 如果地下水开采引发的负效应和地下水

开采产生的社会效益相比是微不足道的, 那么, 这种负效应就是可接受的, 地下水的开采量是可持续的、也是安全的。比如: 由于开采隐伏岩溶地下水而造成的浅层孔隙地下水水位的小幅下降、乃至水源地漏斗附近少量浅井的吊泵、地面的微量沉降等。

2 平衡或有潜力水源地地下水允许开采量的计算评价

水源地开采后, 如果地下水位呈现动态平衡状态, 且最大水位埋深未超过最大允许水位埋深 (警戒水位)、未诱发环境地质问题及地质灾害, 那么, 该水源地便处于有潜力状态。这源于 2 个原因: 一是当时计算评价地下水资源时偏于保守或实际开采量小于允许开采量; 二是由于水源地开采后地下水位下降, 诱发了补给增量。如果最大水位埋深接近或波动于最大允许埋深 (警戒水位), 那么, 该水源地便处于采补基本平衡状态。

实例: 山东省邹县电厂水源地在未大规模开发的 1990 年, 计算评价地下水允许开采量为 $15.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。通过水源地投产后的实际开采量及地下水位总的动态变化来看 (图 1), 地下水的实际开采量已达 $27 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 远大于 $15.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 但地下水位的最大水位埋深为 23.25m (水位标高 21.08m), 未超过 1990 年计算评价的最大允许水位埋深值 29.33m (水位标高 15m)。而且在开采量相对稳定 (1996 年~2002 年) 的情况下, 地下水位亦呈相对稳定 (1996 年~2002 年) 状态。这说明, 水源地开采后, 地下水的补排量发生了变化。河水、湖水及第四系水对岩溶地下水的渗漏补给量较天然状态下增加了。这种水源地便可称为有潜力的。

根据图 1 做进一步的分析: 邹县电厂水源地地下水位动态可分为 2 个时期: 一是 1980 年~1996 年, 这个时期降水量平均值为 634mm, 高于 1980 年~2002 年的平均值 622.7mm, 地下水开采量呈逐年增长趋势, 由不足 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 上升至 $23.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 相对应的是地下水位呈逐年下降趋势, 由 34.82m 下降至 21.72m。二是 1996 年~2002 年, 这个时期降水量平均值为 594.7mm, 低于 1980 年~2002 年的平均值 622.7mm, 地下水开采量呈相对稳定状态, 波动于 $25.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右, 相对应的是地下水位亦呈相对稳定状态, 波动于 23.45m 上下。换言之, 在地下水位保持在 23.45m 上下时, 地下水可开采量保持在 $25.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右。

如图 2 所示, 为概算邹县电厂水源地在年平均

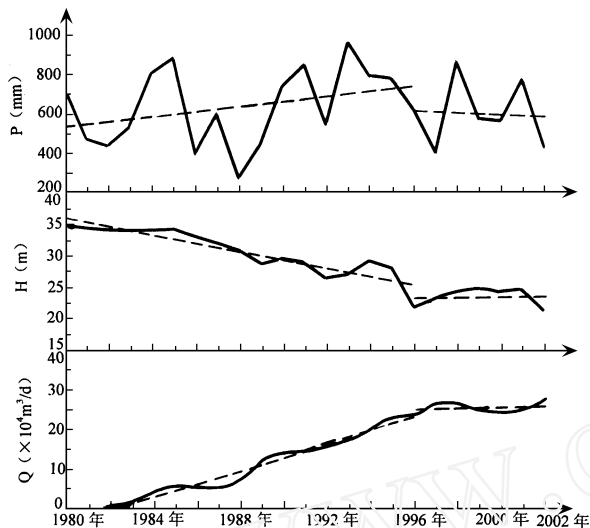


图1 山东省邹县电厂水源地开采动态变化
(地下水位为双村一带平均值; 实线为实测值, 虚线为变化趋势线)

地下水位不低于 15m 时的地下水允许开采量。根据近几年地下水位较低条件下抽水量与地下水位的相关关系, 概算在年平均地下水位不低于 15m (相应的开采井水位不低于 5m)、南四湖及白马河水位保持在 32.87m 以上时, 地下水允许开采量约为 $31.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

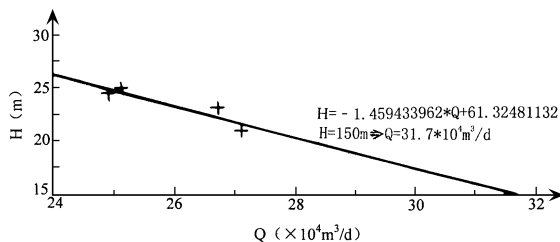


图2 山东省邹县电厂水源地年平均地下水位 15m 时允许开采量预测

3 增源增采条件下水源地地下水最大允许开采量的计算评价

所谓增源增采, 就是在增加地下水补给量的条件下、增加地下水的可开采量。在水源地大规模开采条件下, 因地下水位下降而产生了较大的地下含水层空间即地下水库 (当然地下水位降深不能太大), 此时, 自然条件下的含水层补排关系发生了变化, 如蒸发量、侧排量、溢出量等天然排泄量减少了, 而降水入渗补给量、地表水 (河水、湖水、水库水) 渗漏补给量、侧向径流补给量等补给量增加了; 同时, 还可采取人工补源措施, 如在河流沟谷中修建滞洪低坝或打渗井, 拦截地表河水洪峰径流, 抬高地表水水位, 增加地下水补给量; 在

地下水库的下游, 修建截渗坝, 减少地下水的外排量; 当然, 还有其它一些措施, 如植树造林、小流域治理、涵养水源等。在增源增采条件下, 地下水的允许开采量能够达到最大。国外也有类似的概念即最大永久开采量 (Maximum perennially yield^[3])。

实例 1: 笔者在山东省羊庄岩溶水系统经过 4a 的试验研究, 在汇集排泄区下游存在一天然岩溶型地下水库 (图 3^[6])。其特征为: 岩溶发育均匀, 地下水水力坡度小, 水面平缓, 含水层导水性、富水性强, 单井涌水量大, 水位变幅小, 动态稳定, 储存空间、调节功能巨大, 地下水库下游的侏罗系砂页岩形成天然的挡水坝。各集中供水水源地皆位于该地下水库内, 经数值模型及管理模型计算, 其天然条件及增源增采条件下的优化开采量如图 4 所示。

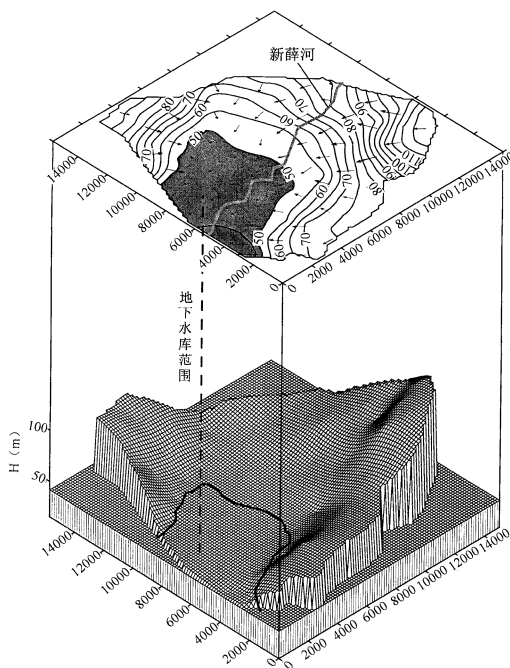


图3 山东省羊庄盆地岩溶水系统汇集排泄区地下水库三维立体图

(上图为地下水位等值线图, 下图为地下水三维视图)

在增源增采条件下, 羊庄盆地岩溶地下水最大允许开采量由 $24.02 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 增加到 $32.93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 较天然状态下增加了 37 %^[7]。

实例 2: 山东省龙口市利用黄水河河谷建成了地下水库, 改善和扩大了地下水资源, 开采地下水量 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 同时也防止了海水入侵, 并在防洪、抗旱中发挥了巨大调节作用^[8]。

4 超采水源地地下水允许开采量的计算评价

水源地开采后, 如果地下水位多年动态呈现逐工程勘察 Geotechnical Investigation & Surveying 31

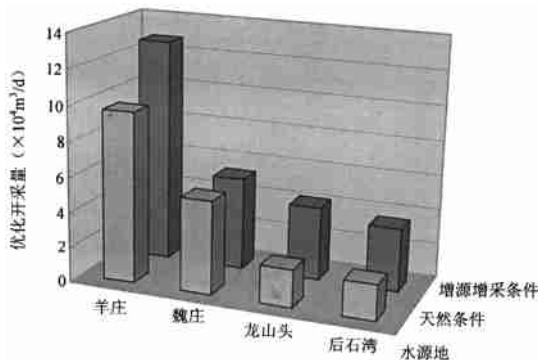


图4 各水源地天然条件及增源增采条件下的优化开采量

年下降趋势,或因最大水位埋深超过最大允许水位埋深(警戒水位)而诱发危害严重的环境地质问题及地质灾害,那么,该水源地便处于超采状态。

实例:山东省枣庄十里泉水源地地下水允许开采量为 $6.89 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在 1980 年以前,地下水开采量较小,小于 $6.89 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,地下水位高于临界值,没有岩溶塌陷的发生。自 1980 年地下水开采量超过允许开采量后,岩溶塌陷便不断发生(图 5),截至 2002 年底,塌陷个数已达 126 个。岩溶塌陷不仅损害良田、威胁居民房屋及生命安全,而且又引发了污水沿塌坑倒灌造成了地下水污染。自 2000 年开始,十里泉水源地被迫减少了开采量,地下水位也得到了大幅回升,虽然仍有少量塌陷出现,但这些塌陷一部分属于 2 次塌陷,即位于经回填的原塌陷坑附近;另一部分是在以前经过地下水潜蚀作用已经形成隐伏土洞的位置。这是因为,地下水位在急剧上升至第四系和灰岩的交界面时,对相对松软的回填土的潜蚀和掏空作用强烈,或是加剧了对已形成隐伏土洞的潜蚀。自 2001 年地下水位上升至第四系和灰岩交界面以上并保持动态稳定后,自 2002 年开始,便没有新的岩溶塌陷发生了。

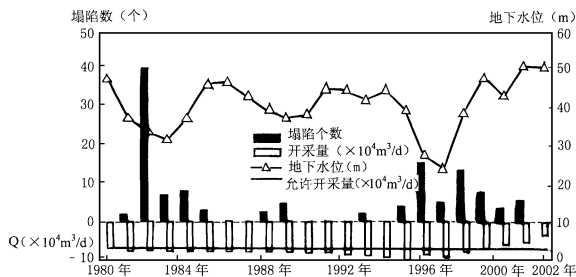


图5 山东省枣庄十里泉水源地开采动态变化及岩溶塌陷发育情况

根据图 5 做进一步的分析:1980 年以前,十里泉水源地开采量很小,1975 年的开采量仅为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,1976 年泉水出现断流,1979 年开采量增

为 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。20 世纪 80 年代以前,没有发生岩溶塌陷。1981 年地下水开采量猛增至 $7.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,超过允许开采量 $0.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,地下水位大幅度下降,开始发生岩溶塌陷,并在降幅最大的 1982 年和 1996 年形成 2 个塌陷高峰。根据长期监测资料,当地下水位埋深降至 17m(即地下水位标高 37.75m)时,便可诱发岩溶塌陷。水位埋深在 30~40m(即地下水位标高 24.75~14.75m)时,出现第 2 个塌陷高峰^[9]。

5 消耗型水源地地下水允许开采量的计算评价

广泛分布于大平原中的深层地下水,如我国的华北平原、美国中部的高平原(High Plains^[3,4])及澳大利亚的大自流盆地(The Great Artesian Basin)等,补给和迳流条件均较差,地下水的开采量远大于地下水的天然补给量,水井抽出的水主要来自于含水层的储存量。由于补给微弱,因此开采量主要来自含水介质的压缩和地下水的膨胀,此时地下水开采量可称为消耗型开采量或采掘量。美国也有类似的概念,即 Mining Yield^[2,3]。

开采这类深层地下水,不可避免地要产生地下水位持续下降、形成区域地下水降落漏斗、甚至诱发地面沉降。这样的含水层是否应该大规模开采,国际上也有争论。主流观点是:和产生巨大的社会效益相比,只要开采产生的负效应的危害性不是很大,那么,深层地下水还是应科学、合理、有规划地进行开采。但同时,需进行人工补给地下水。

此类地下水水源地允许开采量计算的关键是应首先确定 2 个约束条件:一是最大允许地下水位埋深值(警戒水位);二是开采年限,即地下水允许开采量的计算须基于地下水位在开采年限内不超过最大水位埋深值(警戒水位)这一前提。

实例:在山东省东营草桥水源地深层承压水允许开采量计算时,根据水泵扬程、对已有水源地的影响及地面沉降等约束条件,计算评价在最大允许水位埋深为 95m、开采年限为 20a 时的地下水允许开采量为 $3629 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

6 结语

地下水允许开采量可理解为地下水动水位埋深不超过最大允许埋深条件下的最大可采量,即地下水动水位不低于警戒水位的最大可采量。

地下水位是判别地下水开采程度及开采潜力最直接、最根本的标志。

水源地开采后, 如果地下水位呈现动态平衡状态, 且最大水位埋深未超过最大允许水位埋深 (警戒水位)、未诱发环境地质问题及地质灾害, 那么, 该水源地便处于有潜力状态。如果最大水位埋深接近或波动于最大允许埋深 (警戒水位), 那么, 该水源地便处于采补基本平衡状态。

相反, 水源地开采后, 如果地下水位多年动态呈现逐年下降趋势, 或因最大水位埋深超过最大允许水位埋深 (警戒水位), 而诱发危害严重的环境地质问题及地质灾害, 那么, 该水源地便处于超采状态。

在增源增采条件下, 地下水的允许开采量能够达到最大, 较天然条件下的地下水允许开采量能够增加 30 % 左右。

对于消耗型深层地下水水源地, 地下水允许开采量的计算须基于地下水位在开采年限内不超过最大水位埋深值 (警戒水位) 这一前提。

参 考 文 献

[1] 原国家冶金工业局主编. 供水水文地质勘察规范 (GB 50027-

2001) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.

- [2] William M. Alley, Thomas E. Reilly, and O. Lehn Franke. Sustainability of Ground-Water Resources, U. S. Geological Survey Circular 1186. Denver, Colorado: 1999, 2~4, 67.
- [3] David Keith Todd. Groundwater Hydrogeology, second edition. New York: 1980, 363.
- [4] Charles J. Taylor, William M. Alley. Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data, U. S. Geological Survey Circular 1217. Denver, Colorado: 2001, 18.
- [5] 刘毅, 张先林, 万贵富, 韩庆德. 上海市近期地面沉降形势与对策建议 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, (5): 13~14.
- [6] Kang Fengxin and Yuan Xilong. GIS Application for the Management of Groundwater Resources in Shandong Province, China. CCOP TECHNICAL BULLETIN VOL. 30—Geo-information and GIS Application for the Urban Areas of East and Southeast Asia, GSI/AIST, 2001, 39.
- [7] 李传谟, 康凤新主编. 岩溶水资源及增源增采模型 [M]. 济南: 山东科技出版社, 1999: 79~110.
- [8] 赵天石, 杨绍南. 建设地下水库是大连市开发水资源的重要途径 [J]. 水文地质工程地质, 2000, (4): 38.
- [9] 吴爱民, 万继涛, 李公岩. 枣庄市岩溶塌陷形成规律及防治 [J]. 山东地质, 1997, (2): 80~81.

《中国工程地质世纪成就》内容简介

《中国工程地质世纪成就》是由中国 120 余位著名工程地质专家、学者共同完成的一部工程地质学巨著, 是 2000 年科学出版社出版的《中国工程地质学》的姊妹篇。它是 20 世纪中国工程地质成就的全面总结。全书包括: 绪论、5 篇 41 章, 共 156 万字。

绪论对中国工程地质学世纪发展作了回顾, 面向 21 世纪作了展望;

第 1 篇论述了工程地质条件的成因演化论、区域地壳稳定性及分析原理、地壳浅表生作用与时效变形和岩体结构及其对岩石工程稳定性的控制作用;

第 2 篇阐述了中国特殊岩土体的工程地质特性、评价及其创新;

第 3 篇从 7 个代表性的地质灾害探讨了工程地质问题与工程地质作用;

第 4 篇介绍了具有我国特色的工程地质研究方法与技术;

第 5 篇筛选了 10 类工程的 47 个典型工程实例分别作了总结, 最后从地质工程新理论观点探讨了工程地质学新的发展方向。

本书比较全面地介绍了中国工程地质学科自创建以来的主要成就, 可供从事工程地质、岩石力学、岩土工程和工程建设的科技人员、高校师生参考。

《中国工程地质世纪成就》由王思敬、黄鼎成主编, 地质出版社 2004 年 10 月出版、发行, 定价 140 元。电话: 010 - 82324508, 传真: 010 - 82328538, 地址: 北京海淀区学院路 31 号地质出版社 (100083)。