

Groundwater Recharge Estimation Method—Groundwater Level Fluctuation Method

Xiaoyu Jin

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100043, China

Abstract

At present, water quality management has become one of the urgent problems to be solved in the current global scope. However, with the increasing number of population and environmental pollution, the limited use of surface water resources has become more and more obvious. Therefore, for some areas where groundwater is used as drinking water, groundwater resource management is particularly important. Groundwater resources will become more and more important in the future due to water pressures caused by population growth and climate stress. In the groundwater assessment, groundwater recharge is one of the very important factors.

Keywords

groundwater recharge; groundwater level fluctuation method; WTF

地下水补给估算方法——地下水位波动法

靳晓雨

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100043

摘要

目前, 水质管理已成为当前全球范围内亟待解决的问题之一。然而随着日益增长的人口数量及环境污染, 地表水资源使用受限已经愈发明显。因此, 对于一些将地下水作为饮用水的地区, 地下水资源管理尤为重要。由于人口增长及气候应激引发的水资源压力, 未来地下水资源将变得越来越重要。而在地下水评估中, 地下水补给是非常重要的因素之一。

关键词

地下水补给; 地下水位波动法; WTF

1 引言

对于地球上所有的生物来说, 水是一个基础元素, 然而, 只有很少的一部分水可以被称作淡水。随着经济飞速发展、人口数量增长及气候变化, 可用的地表淡水资源越来越少。例如, 在 2013 年, 加拿大阿尔伯塔人口数量约为 4 百万。为了满足当地用水需求, 当地政府将萨斯喀彻温省南部流域作为阿尔伯塔南部的地表水资源。然而由于萨斯喀彻温省南部流域在一段时间内出现超量供给, 处于流域保护的原因, 当地政府随后关停了大部分地表水资源供给^[1]。

地下水位于地表下方, 存在于土壤孔隙及岩石裂隙中。降雨过后, 雨水落在地面上, 作为补给渗透到地下水层。地下水通过雨水及融化的雪水被重新填满。图 1 展示了地下水补给的概念模型。随着人口增长及经济发展, 淡水需求越来越高, 主要包括饮用水、公共卫生、制造业及农业。

这也导致地下水资源需求急速上涨。在许多地区, 地下水可以作为低成本且易实现的缓解全球用水紧张的最重要的资源^[2]。

为了在有效利用地下水的同时, 又可以保护地下水资源以保证其可持续性, 普及地下水资源知识、合理开发及管理地下水资源变得尤为重要。有许多因素影响地下水的评估, 其中, 头等重要的一个因素就是地下水的补给^[3]。

2 地下水补给估算的重要性

目前全球范围内, 许多地区的民众生活都依赖于地下水资源。以北美地区为例, 约有四分之一的加拿大人将地下水资源作为其淡水资源, 满足每日生活所需。随着人口增长及社会发展, 如果没有有效的地下水资源保护及管理措施, 地下水资源将会被消耗殆尽。除此以外, 一些人为因素同样影响地下水质量。例如, 在 1990 年, 安大略省黑哥斯维尔的火灾引发了化学品泄露, 导致了严重的地下水污染, 进而影响了当地居民的水资源供给。因此, 当前地下水资源开发与保护是非常重要的议题^[4]。

【作者简介】靳晓雨(1991-), 女, 中国吉林榆树人, 硕士, 工程师, 从事水资源工程研究。

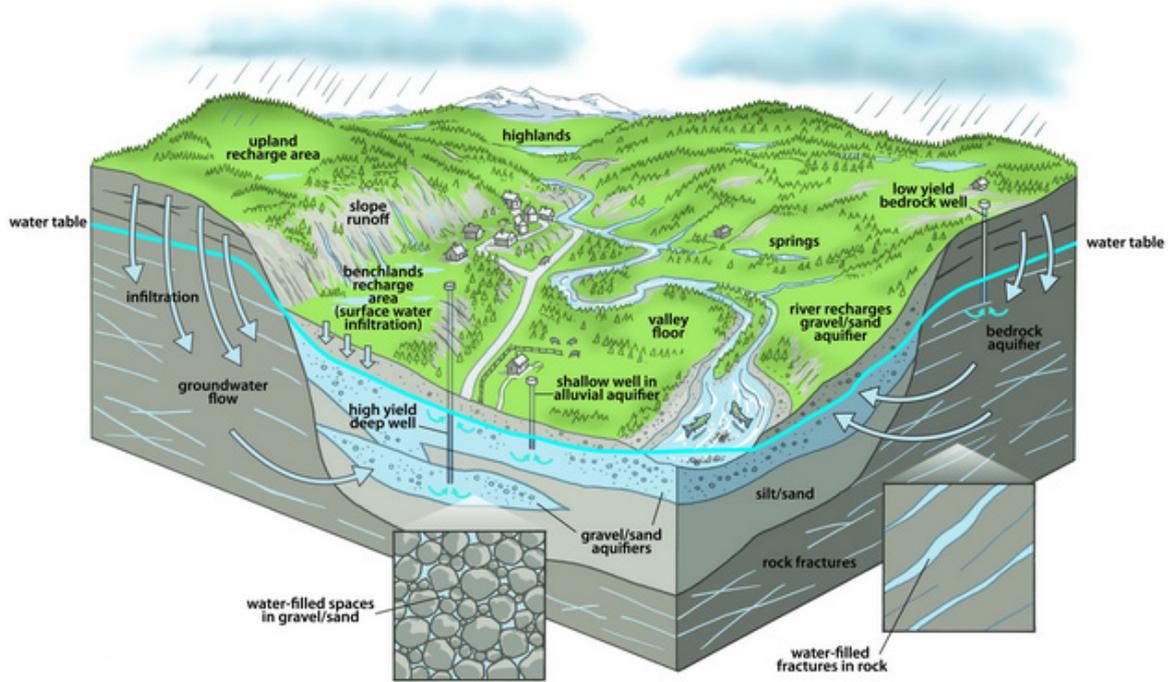


图1 地下水流径 (WWSC, 2015)

在水文循环中，地下水补给是非常重要的自然过程，并且很容易被气候及地区地质等因素影响。因此，量化地下水补给的目的不仅仅在于满足人类需求，对于维持溪流及湿地环境同样至关重要，以此来保证植物及野生动物的需求。此外，地下水管理计划同样依赖于地下水补给估算。过量的地下水补给估算会导致资源过量消耗进而破坏含水层，而不足的地下水补给估算会使得水资源管理计划产生额外的社会及经济成本^[5]。

3 地下水补给估算方法

随着越来越多的目光投向地下水资源研究，越来越多的研究方法被开发出来，如地下水位波动法、年水量平衡分析、示踪实验法及数学模型法等。就地下水补给估算本身而言，大量的观测数据是估算的基础。因此，根据数据类型及研究需要选择正确且合适的估算方法是极其重要的。论文将重点讨论地下水位波动法 (WTF Method)。

由于降雨、蓄水、地下水对流域的补给都会引发非承压含水层的水位波动，地下水位波动法可以有效且快速地反映地下水位变化，从而估算地下水补给量。地下水位波动法的定义为：地下水补给量即为水位变化与地下多孔介质单位产水量的乘积，其公式如下：

$$R_{(t)} = S_y \times \Delta H_{(t)}$$

式中： $R_{(t)}$ ——时间 t_0 至 t_1 间的补给量 (cm)；

S_y ——单位时间产水量；

$\Delta H_{(t)}$ ——补给期间发生的水位变化量 (cm)。

尽管地下水位波动法的理论简单，但使用该方法的前提是满足三个内在假设，具体如下：

①观测井水位图仅对由地下水补给及流失产生的水位变化进行记录；

②在水位波动期间， S_y 是已知的不变量；

③补给前的水位是可被推测并可用于计算 $\Delta H_{(t)}$ 的。

4 水位变化量估算 $\Delta H_{(t)}$

运用地下水位波动法前需要完成两个准备步骤。第一步即是估算水位变化量， $\Delta H_{(t)}$ 。根据 USGS 发布的说明，共有三种方法可以估算水位变化，包括：图解法、Delin MRC (主要退水曲线) 法及 Heppner&Nimmo MRC 法^[6]。

4.1 图解法

图解法是基于全部的数据集来完成的，其前期的退水曲线是倒推并且手绘的。有的时候水位变化并不一定是由于降水引起的，还有许多其他的因素，包括：电涌、气压变化、取水泵停泵、固体潮效应、裹入气体、温度变化及测量时的人为因素等。因此在采用图解法处理基础数据集时，需对比同期降水数据后再判断该组数据是否可用。当数据表明有水位上升而此时并不存在降水时，需将该时段数据排除。

图解法的缺点是当水位快速变化或水位变化发生的间隔很短时，其准确度并不高，尤其是在裂隙岩体含水层。此外，当观测井管过深时，由于存在渗透时间差，造成使用图解法得到的结果并不准确。由于图解法是手绘前期退水曲

线,其人为因素占有较大比例,不同的研究者的前期退水曲线存在人为差别。

4.2 Delin MRC 法

Delin MRC 法是基于每日水位数据完成的。根据每天的水位数据,运用水位及“零点”(没有补给发生)的数据差可以得到一个非线性的回归方程。当每一次补给发生时,通过该回归方程都可以计算得到一个前期的退水曲线。 $\Delta H_{(t)}$ 即为每日水位及主要退水曲线之间的差值,USGS 公布的非线性回归方程具体计算方法如下:

$$\ln(H_t - d) = \ln(H_0 - d) + RR \times t$$

式中: H_t ——衰退结束时的水位 (cm);
 d ——没有补给发生时的水位或倾点 (cm);
 H_0 ——衰退开始时的水位 (cm);
 RR ——衰退速率 (每天);
 T ——衰退时间 (天)^[6]。

当采用 MRC 法时,主观性会被减少甚至消除。然而,同样存在一些水位升高并非由补给引起的情况。

4.3 Heppner&Nimmo MRC 法

Heppner&Nimmo MRC 法在 2005 年第一次被用于研究宾夕法尼亚州的裂隙岩石地区水位变化。首先需要完成地下水位高度及相对递减率曲线图,该图包括了所有水位下降的时间点。在此之后,MRC 结果可以被用于任何一个时间点的地下水位数据集。当没有补给时,地下水位将变成可被预测的。最后,将预测的地下水水位与观测数据相对比,其差值即为 $\Delta H(t_j)$ 。

5 单位产水量估算 S_y

地下水位波动法的第二步就是计算单位产水量 (S_y),其定义为:岩石或土壤相对于水的产水量即为当岩石或土壤饱和后,受重力影响产生的水量与其自身饱和水量的比率。单位产水量的一般式如下:

$$S_y = \phi - S_r$$

式中: ϕ ——孔隙度;
 S_r ——持水率。

共计 4 种现场调查方法可用于估算单位产水量,包括含水层测试法、体积平衡法、水量收支平衡法及地球物理法。

5.1 含水层测试法

对于非承压含水层来说,抽水井可以观测到整个饱和带厚度。通常情况下,大部分观测井距离抽水井的位置是不同的。当水泵开始抽水时,所有的观测井开始记录水位数据,这些数据也将被记录在同一个曲线上。每一次的水位降低及时间间隔都会被用来计算单位产水量。

5.2 体积平衡法

当采用体积平衡法计算单位产水量时,其实也是基于含水层测试数据来进行计算。曾有研究人员对浅层砂含水层的单位产水量进行计算,当采集时间间隔为 18 分钟、90 分钟和 180 分钟时,求得的数值范围为 0.02~0.30。与此同时,研究人员同样采集了时间间隔为 3870 分钟的数据,其单位产水量计算值为 0.25。不难看出,单位时间产水量的数值会随着时间间隔的增长而变大。这是由于地面渗水量的延迟造成的^[7,8]。

5.3 水量收支平衡法

在水量收支平衡法计算中,对于水量的输入项和输出项均有明确的定义。主要输入项包括:降雨补给、灌溉渗流、运河、河流及水塘等的渗流、盆地径流流入等。主要输出项包括:地下水抽取、蒸发、河流渗出及盆地径流流出等。

研究人员运用旱季水量收支平衡法对印度中部恰蒂斯加尔的两个水域分别进行单位产水量计算。由于是旱季,研究人员并未将降雨量囊括到计算中。最终,两个水域的单位产水量计算值分别为 0.0176 及 0.0112^[9]。

5.4 地球物理法

单位产水量可采用重力测量的方式估算,其中,微重力测量可用于距离较长的横断面单位产水量估算。长时间的地表水蓄水量(包括饱和带及不饱和带)变化会导致重力变化。研究人员在对比了地下水储量变化及观测井中的水位变化后,采用微重力测量估算美国皮纳尔盆地的冲击含水层单位产水量,得到范围为 0.16~0.21 的计算结果。他们发现该数值与含水层测试法得到的数值非常接近。然而,在测试期间,当研究人员在同一天内对同一个位置进行重复的重力测试时,标准水位偏差范围为 0.40~0.14。因此,在采用重力测试法时,对于地区选择有一定的限制,那就是该地区每年水位波动必须大于 0.14m。

6 结语

地下水位波动法(WTF Method)由于其便捷且易操作的特性,被广泛应用于地下水补给量估算。

印度孟加拉邦的 Maheshwaram 试点流域地下水补给量就曾采用地下水位波动法估算。该流域的含水层主要由断裂的基岩及含沙黏土组成。研究人员对人造卫星图片采用立体处理方法,得到了观测水位及地下水水位的水位图,并将二者之间的差值定义为地下水位波动。最终得出地下水位波动值范围在 0~9m。该地区的单位产水量估算采用的是水量收支平衡法。基于 Maheshwaram 的地域特性,忽略其地表径流及蒸散量,得到旱季单位产水量估算值为 0.014 ± 0.003 。最终得到该地区 2002 年及 2003 年的总补给水量分别为 $70.5 \pm 15.8\text{mm}$ 及 $156.5 \pm 37.5\text{mm}$ 。在这之后研究人员对比

了印度地区相同岩层干旱地区分别采用地下水位波动法及氡注入测试法的结果是相似的。这也同样说明了地下水位波动法是可操作性强且数据可靠的^[10]。

尽管地下水位波动法被广泛应用,但仍有一些不足之处。最为明显的便是该方法不能对一些非主流的影响水位波动的因素进行统计,这就造成了通过地下水位波动法测算的数值比实际发生的地下水补给量小,特别是对高渗透率的含水层。

参考文献

- [1] Sauchyn D, Vanstone J, Jacques J S, et al. Dendrohydrology in Canada's western interior and applications to water resource management[J]. Journal of Hydrology, article in press,2014(2):3.
- [2] Bridge J S. Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record [M]. Bingbamton, USA: Blackwell,2009.
- [3] Obuobie E, Diekkruieger B, Agyekum W, et al. Groundwater level monitoring and recharge estimation in the White Volta River basin of Ghana[J]. Journal of African Earth Sciences,2012(3):71-72+80-86.
- [4] Environment Canada. Climate[EB/OL]. http://climate.weather.gc.ca/index_e.html,2015.
- [5] Somaratne N, Smettem K, Frizenschaf J. Three criteria reliability analyses for groundwater recharge estimations[J]. Environ Earth Sci,2014(72):2141-2151.
- [6] USGS. Water-table fluctuation (WTF) method[EB/OL]. Groundwater Resource Program. <http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/wtf/>,2015.
- [7] Healy R W, Cook P G. Using groundwater levels to estimate recharge[J]. Hydrogeology Journal,2002(10):91-109.
- [8] Nwankwor G I, Cherry J A, Gillham R W. A comparative study of specific yield determinations for a shallow sand aquifer[J]. Ground Water,1984(22):764-772.
- [9] Ray R K, Mukherjee A, Mukherjee R. Estimation of specific yields of individual litho-units in a terrain with multiple litho-units: a water balance approach[J]. Journal Geological Society of India,2014(84):221-226.
- [10] Marechal J C, Dewandel B, Ahmed S, et al. Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-arid groundwater basin with irrigated agriculture[J]. Journal of Hydrology,2006(329):281-293.