

基于地下水均衡法的降水入渗补给系数推求

——以下博小流域为例

乔家乐

水利部海河水利委员会科技咨询中心

DOI:10.12238/hwr.v8i7.5597

[摘要] 降水入渗补给系数是计算降水入渗补给量的关键,准确计算这一系数对于地下水资源调查评价等具有重要意义。笔者选取河北省平原区下博小流域为研究对象,采用地下水均衡法计算小流域的降水入渗补给系数,并采用水位动态法进行验证,发现二者计算结果属同一量级,较为可靠。

[关键词] 下博小流域; 降水入渗补给系数; 地下水均衡

中图分类号: TU991.11+2 **文献标识码:** A

Calculation of precipitation infiltration recharge coefficient based on groundwater equilibrium method

—Taking the small watershed of Bo as an example

Jiale Qiao

Science and Technology Consultation Center, Haihe River Water Conservancy Commission, Ministry of Water Resources

[Abstract] The coefficient of precipitation infiltration recharge is the key to calculating the amount of precipitation infiltration recharge. Accurately calculating this coefficient is of great significance for the investigation and evaluation of groundwater resources. The author selected the Xiabo small watershed in the plain area of Hebei Province as the research object, calculated the precipitation infiltration recharge coefficient of the small watershed using the groundwater balance method, and verified it using the water level dynamic method. It was found that the two calculation results belong to the same level and are relatively reliable.

[Key words] Xiabo small watershed; Rainfall infiltration recharge coefficient; Groundwater balance

引言

降水入渗补给量不但是地下水资源评价的关键指标,也是区域水量均衡状况的重要影响因素,准确计算降水入渗补给量还利于提升浅层地下水动态预报精度,因而研究降水入渗对地下水的补给规律不但具有理论意义,还有实际意义。

作为地下水重要补给源,关于降水入渗补给量的研究也逐渐为众多学者所关注。例如,宋秋波等人^[1]提出了一种改进水位动态法,以测算河北典型地区降水入渗补给系数,通过这一系数可以较为准确计算降水入渗补给量;刘美英等人^[2]采用Hydrus-1D模型模拟日降水入渗补给过程,并利用实测的地下水补给量等长序列资料对模型校准,定量估算次降水入渗补给量,并建立了次降水入渗补给量和次降水量间的定量关系。孙青言等人^[3]选取淮河中游具有代表性的典型区域为研究区,利用耦合了地下水数值模型的流域分布式水文模型,在区域水循环整

体中研究地下水的补给规律。王仕琴等人^[4]基于D、180,研究了华北平原降水入渗规律,可以为大尺度区域降水入渗补给量研究提供参考;谭秀翠等人^[5]构建了区域水量平衡模型,在华北平原净入渗量和潜在补给系数的时空分布方面开展了相关研究,分析净入渗量主要影响因素,并计算出多年平均净入渗量。

本文在前人研究成果的基础上,分析降水入渗补给的影响因素,以河北省平原区下博小流域为例,试图从地下水的补、排、蓄等角度,分析其降水入渗补给规律,计算降水入渗补给系数。

1 降水入渗补给影响因素

降水入渗补给受多重因素影响,一方面受到降水量、降水强度、降水时间等降水特征的影响,另一方面还受到包气带岩性、厚度、含水量等包气带特征影响,同时区域的地下水位埋深、地形地貌、植被特征、土地利用类型等也会影响到降水入渗补给过程。包气带厚度与地下水位埋深具有相似性,是从不同角度对

同一空间的描述,地下水埋深越大意味着包气带厚度越大,那么降水入渗补给量也相应的增加,达到一定厚度时降水入渗补给系数最大,之后随着包气带厚度或者地下水位埋深的增加,降水入渗补给量逐渐减小。

这些影响因素中降水特征、包气带特征是主要影响因素。但多种因素往往叠加一起,如《华北地区及分区地下水补给量及时空变化规律研究》(地矿部“六五”科技攻关课题)研究表明,华北地区在地下水位埋深2~3m时,降水量560~630mm时降水入渗补给系数最大;在地下水位埋深3~5m时,降水量为650~740mm时降水入渗补给系数最大。可见,在不同地下水埋深范围内,降水入渗补给系数达到峰值的降水量是不同的。

土地利用类型、城市化建设、地表植被情况等对降水入渗补给过程也会产生影响,但其影响机理十分复杂。如地表植被,一方面由于林冠及枯枝落叶层截留作用减小了降水入渗;另一方面植被根系发达,使土壤透水性加强,增加了降水入渗补给量。土地利用类型和种植结构同样对降水入渗补给有影响,中国地质大学林丹^[6]基于Hydrus1D模型对石家庄市不同土地利用下的降水入渗补给变化情况进行研究,结果表明种植冬小麦较种植冬小麦-夏玉米轮作和天然杂草时降水入渗补给速率要大。

2 地下水均衡法计算方法

地下水均衡法是指在某一均衡区的某一时段内,地下水的总补给量与总排泄量之差等于地下水存储量的变化量,公式如下:

$$\pm \mu \Delta H = (\alpha P + Q_c + Q_{h(q)} + Q_g) - (Q_k + E + Q_y)$$

其中: μ 为潜水变幅带给水度; ΔH 为地下水位变幅; α 为降水入渗补给系数; P 为降水量; Q_c 为侧向径流补给量; $Q_{h(q)}$ 为河渠渗漏补给量; Q_g 为农田灌溉入渗补给量; Q_k 为地下水开采量; E 为潜水蒸发量; Q_y 为越流排泄量。

(1) 上式中降水量 P 、地下水位变幅 ΔH 采用研究区实测数据。潜水变幅带给水度 μ 依据研究区土壤岩性及地下水埋深情况查得。

(2) 侧向径流补给量 Q_c 根据达西定律进行估算。计算公式如下:

$$Q_c = K \cdot I \cdot B \cdot M \cdot \Delta T$$

式中: K 为断面附近的含水层渗透系数; I 为垂直于断面的水力坡度; B 为断面宽度; M 为含水层厚度; ΔT 为计算时段。

(3) 河渠渗漏补给量 $Q_{h(q)}$ 包括河道渗漏补给量 Q_h 和渠系渗漏补给量 Q_q 。计算公式如下:

$$Q_h = (Q_{上} - Q_{下}) \cdot \gamma \cdot L / L'$$

$$Q_q = m \cdot Q_{渠首引}$$

式中: Q_h 为河道渗漏补给量; $Q_{上}$ 、 $Q_{下}$ 为上、下游断面实测水量; L 为计算河道长度; L' 为两测站间河道长度; γ 为河道损失补给系数; Q_q 为渠系渗漏补给量; m 为渠系渗漏补给系数, $Q_{渠首引}$ 为渠首引水量。

(4) 农田灌溉入渗补给量 Q_g 可分为两种,即渠灌田间入渗补给量 $Q_{渠首}$ 及井灌回归补给量 $Q_{井灌}$, 计算公式如下:

$$Q_{渠灌} = \beta_{渠} \cdot Q_{渠}$$

$$Q_{井灌} = \beta_{井} \cdot Q_{井}$$

式中: $Q_{渠灌}$ 、 $Q_{井灌}$ 分别为渠灌、井灌田间入渗补给量; $\beta_{渠}$ 、 $\beta_{井}$ 分别为渠灌、井灌田间入渗补给系数; $Q_{渠}$ 为渠灌回归量; $Q_{井}$ 为井灌回归水量。

(5) 地下水开采量 Q_k 的确定。有计量监测的开采井,采用监测数据;缺少监测数据的开采井,采用水量电量换算关系法推算地下水开采量。

(6) 潜水蒸发量 E 的确定。当地下水埋深大于极限蒸发埋深时,认为区域内潜水蒸发量为0mm;当地下水埋深小于极限蒸发埋深时,根据收集到的实测水面蒸发数据,用潜水蒸发系数计算潜水蒸发量。公式如下:

$$E = \varepsilon_0 \cdot C \cdot F$$

式中: ε_0 为水面蒸发量; C 为潜水蒸发系数; F 为计算相应埋深区域面积。

(7) 越流排泄量 Q_y 的确定。利用浅层地下水水头与深层地下水水头的差值,考虑越流补给系数计算所得。计算公式:

$$Q_y = \Delta H \cdot T \cdot K_e \cdot F$$

式中: ΔH 为浅层水与深层水水头差; T 为计算时段; K_e 为越流补给系数; F 为研究区面积。

3 典型小流域下博计算成果

(1) 流域概况。下博小流域位于石津渠灌区,形状近似长方形,汇水面积150km²,流域相对封闭,地势西高东低,平均坡度0.45‰,以砂壤土为主。小流域的西部边界为四干渠,南部边界为四干一分干渠,流域东西方向分布有东安庄分干。下博小流域属暖温带半干旱区季风气候,大陆性气候特点显著,多年平均降雨量492mm,水面蒸发量1037mm。

(2) 地下水均衡计算。利用上述计算方法,分别计算2011~2014年下博小流域各补给项、排泄项、变化项情况。降雨量见表1,其中2011年与多年平均降水量相当,为平水年,2012年为丰水年,2014年为枯水年。2011~2014年地下水动态变化情况见图1,下博站浅层和深层地下水埋深均呈现增加趋势,深浅层地下水多年平均水头差约43m。

通过地下水均衡分析,见表2,计算出2011~2014年下博小流域降水入渗补给系数均值为0.05。

表1 下博小流域典型年气象数据

年份	降雨量 (mm)		蒸发量 (mm)	
	年	汛期	年	汛期
2011 (平)	491	372.9	867.8	428.2
2012 (丰)	582	438.1	823.3	402.4
2014 (枯)	237	142.6	783.0	365.4

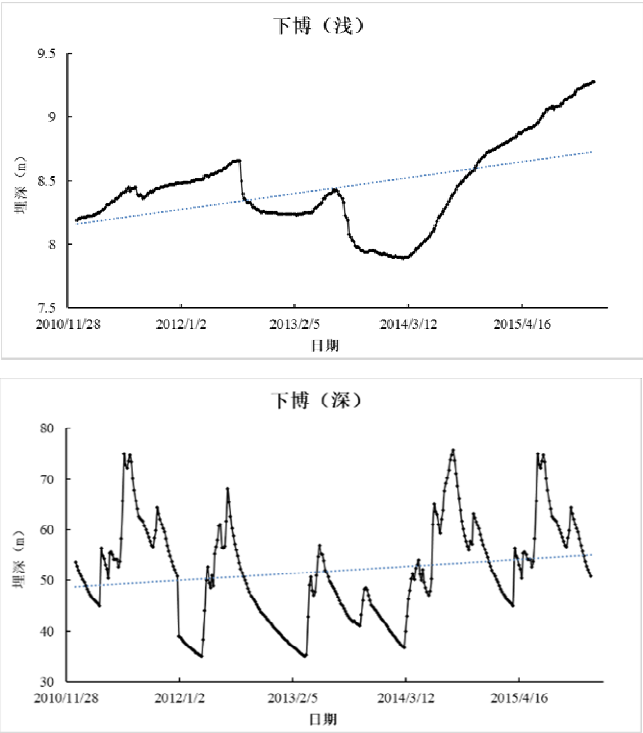


图1 下博站地下水动态变化情况

表2 地下水均衡计算结果

年份	降水量 (mm)	补给量 Q 补 (万 m³)		排泄量 Q 排 (万 m³)				变化量 W (万 m³)	降水入 渗补给 量 (万 m³)	降水入 渗补给 系数
		灌溉补 给量 Q ₁	侧向流 入量 Q ₂	侧向流 出量 Q ₃	越流 量 Q ₄	浅层地下水 开采量 Q ₅	地下水存 储量 W			
2011	491	平	258.6	99.0	108.7	169	542.6	-217.5	245.2	0.03
2012	582	丰	234.5	99.0	70.6	169	523.2	180	609.3	0.07
2013	534	平	197.0	99.1	83.5	169	447.6	240	644	0.08
2014	237	枯	193.3	88.3	90.6	169	533.7	-450	61.7	0.02

(3) 成果验证。为验证地下水均衡法计算结果的准确性,笔者又采用水位动态分析法^[1]计算下博小流域降水入渗补给系数。

由于下博小流域浅层地下水开采量较大,导致浅层地下水水位逐渐降低,至2009年,地下水水位埋深已超过8m,地下水位与降水量响应关系变得不显著。因此采用2002~2008年下博站地下水位数据计算降水入渗补给系数,结果见表3。

对比地下水均衡法与水位动态法计算结果,发现两种方法计算结果处于同一数量级,且相差不大,说明地下水均衡法计算结果较准确可靠。

表3 下博站动态法计算降水入渗补给系数结果

年份	年降水 (mm)	年水位 (m)	年降水入渗补给系数
2002	450	5.59	0.09
2003	712	6.08	0.15
2004	—	—	—
2005	489	6.53	0.05
2006	447	6.88	0.04
2007	—	—	—
2008	554	7.61	0.04

4 结论与建议

本文基于较丰富的数据资料,采用地下水均衡法对河北省平原区下博小流域的年降水入渗补给系数进行分析计算。分别选取丰(2012年)、平(2011年和2013年)、枯(2014年)典型年,分别计算了区域内侧向径流补给量、河渠渗漏补给量、农田灌溉入渗补给量、地下水开采量、潜水蒸发量以及浅层地下水向深层的越流量,进而采用地下水均衡公式计算出小流域内降水入渗补给量,求得降水入渗补给系数。为验证计算结果的可靠性,笔者又采用动态法对小流域降水入渗补给系数进行计算,二者计算结果属同一量级,较接近,说明本次分析的降水入渗补给系数较为合理。

[参考文献]

[1]宋秋波,黄凯,乔家乐.基于改进水位动态法的年降水入渗补给系数推求[J].水文,2018,38(03):43-48.

[2]刘美英,高雅.华北山前平原区厚包气带次降水入渗补给定量估算[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(03):446-455.

[3]孙青言,陆垂裕.基于分布式水文模型的淮河中游地下水补给规律研究[C]//河海大学,阿拉善右旗人民政府.2021中国水资源高效利用与节水技术论坛论文集.中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室,2021.

[4]王仕琴,宋献方,肖国强,等.基于氢氧同位素的华北平原降水入渗过程[J].水科学进展,2009,20(04):495-501.

[5]谭秀翠,杨金忠,宋雪航,等.华北平原地下水补给量计算分析[J].水科学进展,2013,24(01):73-81.

[6]林丹.包气带变化及其对地下水补给的影响[D].中国地质大学,2014.

作者简介:

乔家乐(1988--),女,汉族,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,中级工程师,研究方向:水文水资源。