

降水入渗补给系数综合分析

李金柱

(山西省水文水资源勘测局太谷均衡实验站,太谷 030800)

摘要: 文章利用河北省冉庄水资源实验站、安徽省五道沟水文水资源实验站、山西省太谷均衡实验站地中渗透仪实测的降水入渗资料,对降水入渗补给系数的变化规律进行了综合分析。通过分析,得出不同岩性、不同年降水量在不同地下水埋深条件下的降水入渗补给系数,并对降水入渗补给的最佳地下水埋深和大埋深稳定点存在的机理进行了探讨。

关键词: 降水入渗补给系数;最佳地下水埋深;大埋深稳定点

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2009)02-0029-05

1 引言

降水入渗补给地下水的过程是大气水-土壤水-地下水“三水”相互转换关系中最重要和最基本的环节之一^[1~4]。降水入渗补给量是地下水(特别是平原区浅层地下水或潜水)的主要补给来源,也是区域水均衡计算中的一个重要均衡要素。降水入渗补给系数则是浅层地下水资源评价最基本的参数,对其的研究由来已久,意义深远。其计算方法有动态法、均衡法等。本文利用冉庄、五道沟、太谷三个试验站地中渗透仪实测的降水入渗资料,在单站降水入渗补给系数分析的基础上,对其变化规律进行了综合分析,得出了区域降水入渗补给系数的取值范围,供参考使用。

2 实验站概况

(1) 冉庄水资源实验站,位于华北地区太行山山前冲洪积平原的河北省清苑县冉庄镇。地理坐标为 115°42'E、38°41'N。第四系松散岩层较厚,包气带岩性以亚砂土为主,地面高程 23m 左右。多年平均气温 12.1℃,多年平均降水量 486.1mm,多年平均水面蒸发量 974.8mm。属于大陆性半湿润季风气候区。

(2) 五道沟水文水资源实验站,位于淮北冲积平原的安徽省固镇县新马桥镇。地理坐标为 117°20'E、33°

09'N。第四系松散岩层较厚,包气带岩性以亚砂土和亚粘土为主。地面高程 19.5m 左右。多年平均气温 14.6℃。多年平均降水量 860.3mm。多年平均水面蒸发量 1103.3mm。属于大陆性半湿润季风气候区。

(3) 太谷均衡实验站,位于太原盆地腹部的山西省太谷县县城附近。地理坐标为 112°30'E、37°26'N。包气带岩性以细砂、粉细砂、亚砂土和亚粘土为主。地面高程 783~773m。多年平均气温 9.9℃。多年平均降水量 412.6mm。多年平均水面蒸发量 1002.9mm。属于大陆性半湿润季风气候区。

冉庄、五道沟、太谷三个实验站均安装有配套齐全的用于监测潜水蒸发和降水入渗的地中渗透仪。地中渗透仪测筒器口面积最小的 0.3m²,最大的 10m²。监测潜水埋深最小 0m,最大 8m。填装土样有亚粘土、亚砂土、粉细砂、细砂四种。并配套安装有用于监测不同埋深土壤含水量的中子仪测管。建有用于水均衡实验的径流实验场。三个实验站均已运行多年,积累了大量的实验资料。

3 降水入渗补给系数综合分析

3.1 降水入渗补给系数的主要影响因素及变化规律

降水渗入包气带,在重力的作用下再补给地下水,这一过程称为降水入渗补给,降水补给地下水的这部分水量称为降水入渗补给量^[5]。降水入渗补给量除以相应时段的降水量称为该时段的降水入渗补给系数。

通过对冉庄、五道沟、太谷三站降水入渗资料分析,结果均表明:降水入渗补给系数(α 值)主要受包气带岩性特征、地下水埋深和年降水量三个因素的影响,其次受降水量年内分配和有效降水量占年降水量的比例以及灌溉等因素的影响。

收稿日期: 2008-01-14; 修订日期: 2008-02-27

基金项目: 2003 年水利部水利水电规划设计总院“全国水资源综合规划”项目资助

作者简介: 李金柱(1964-),男,高级工程师,主要从事水均衡实验研究。

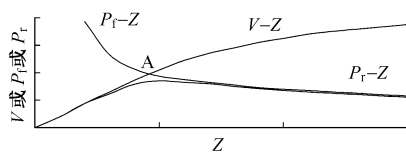
E-mail: ljzhj999@sohu.com

(1) 降水入渗补给系数随包气带岩性和地下水埋深的变化规律

降水入渗补给量的大小取决于包气带的重力水库容和降水透过地表面进入包气带的水量(又称可入渗水量)。包气带重力水库容,可以用包气带田间持水量与饱和含水量之间的差数表示;可入渗水量,可以用降水量减去雨期蒸发量和坡面流量的差数,再扣除包气带雨前含水量与田间持水量的差值表示^[6~7]。

由于决定重力水库容大小的田间持水量和饱和含水量与包气带岩性特征和包气带厚度密切相关,因此,降水入渗补给量以及降水入渗补给系数的大小受包气带岩性特征和包气带厚度(地下水埋深)的影响和控制。

图1是降水入渗补给量 P_r 、包气带重力水库容 V 、可入渗水量 P_i 随地下水埋深 Z 变化的理论分析图。从该图可以看出, V 随 Z 的加深而增大, P_i 随 Z 的加深而减小; $V-Z$ 与 P_i-Z 关系曲线在A点相交;在不同 Z 时, P_r 不大于相应 V 与 P_i 中的较小值;在A点至坐标原点, P_r 随 Z 加深而增大;在A点至大埋深, P_r 随 Z 加深而减小;在A点附近, P_r 最大,A点所对应的 Z 称为最佳埋深;随着 Z 的增加, P_r-Z 关系曲线的走向近似平行于横轴,对应于曲线近似稳定起始点的 Z 值,称为 P_r 随 Z 变化的稳定点。该图是根据同一降水量绘制的理论分析图,所以, P_r 与 Z 的关系即是 α 值与 Z 的关系。



P_i —可入渗量; V —包气带重力水库容;
 P_r —降水入渗补给量; Z —地下水埋深

图1 降水入渗补给量随埋深变化理论分析图

Fig. 1 Change in replenishment from infiltration of precipitation with depth

图2是根据冉庄、五道沟、太谷三站多年来利用地中渗透仪监测的降水入渗资料分析得出的包气带岩性为亚砂土条件下的降水入渗补给系数与地下水埋深关系图。从该图可以看出,尽管三站地理位置不同,年降水量也不同,但三站的 $\alpha-Z$ 关系曲线基本相似,降水入渗补给系数均有最大值,说明降水入渗补给确实存在最佳地下水埋深。不同的只是 α 、 Z 数值大小而已。降水入渗补给系数的最大值,冉庄站、五道沟站出现在

3m左右的地下水埋深处,太谷站出现地下水埋深2m左右处。该点前后,降水入渗补给系数的变化规律为:其前,随着地下水埋深的增大降水入渗补给系数逐渐增大,其后,随着地下水埋深的增大降水入渗补给系数逐渐减小,直至趋于稳定。

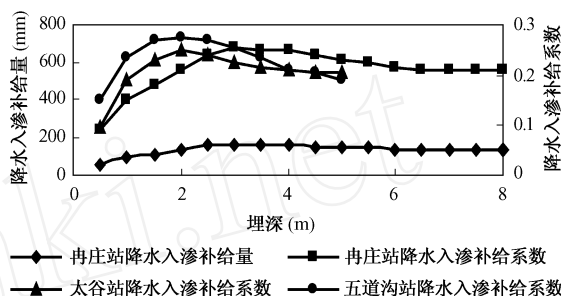


图2 降水入渗补给地下水埋深关系图

Fig. 2 Relation between replenishment from infiltration of precipitation and depth to groundwater levels

(2) 降水入渗补给系数随年降水量的变化规律

降水量是影响降水入渗补给系数的一个主要因素。通过对三站包气带岩性为亚砂土的监测资料分析,年降水量 P 与降水入渗补给系数 α 的关系曲线呈反“S”型,地下水大埋深条件下的 $P-\alpha$ 关系见图3。由该图可以看出:当年降水量在300~400mm时, α 值随年降水量的增加而缓慢增大, $P-\alpha$ 曲线呈上凸正曲型;当年降水量在400~500mm时, α 值随年降水量的增加而较迅速增大, $P-\alpha$ 曲线呈下凹反曲型;当年降水量在500~700mm时, α 值随年降水量的增加而增大, $P-\alpha$ 曲线上翘变陡;当年降水量在700~800mm时, α 值趋于稳定, $P-\alpha$ 曲线呈近似垂直的直线;当年降水量在800mm以上时, α 值随年降水量的增加有变小的趋势。

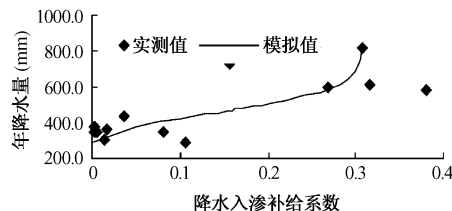


图3 降水入渗补给系数与年降水量关系图

Fig. 3 Relation between the coefficient of replenishment from infiltration of precipitation and the annual precipitation

从成因上分析,年降水量较小时,可入渗水量补充包气带的含水量,使其达到田间持水量所需的水量相对较大,形成重力水团进而入渗补给地下水的水量相对较小^[8],相应的 α 值就小。随着年降水量的增大,

可入渗水量中,形成重力水团进而入渗补给地下水的
水量的比例增大,相应的 α 值就增大较快。然而,受
包气带重力水库容的制约,当降水量增大到一定程度
时, α 值的增大速率将变小,甚至会由于地表径流的增
加,使 α 值随年降水量的增大而呈现变小的趋势。

3.2 降水入渗补给系数综合分析

3.2.1 α - P - Z 关系曲线及降水入渗补给系数分析

根据三站地中渗透仪系列监测资料,结合各站对

降水入渗补给系数与相关主要影响因素^[9]——包气带
岩性特征、地下水埋深和年降水量的分析成果,经三站
综合,建立了不同岩性、不同年降水量级的 α - Z 关系曲
线,其中岩性为亚砂土、年降水量 $P=300\sim 400\text{mm}$ 、 500
 $\sim 600\text{mm}$ 、 800mm 以上三条曲线见图 4。亚粘土、亚砂
土、粉细砂、细砂等不同包气带岩性特征和不同年降水
量在不同地下水埋深条件下的降水入渗补给系数见表

表 1 降水入渗补给系数表

Table 1 Results of the coefficient of replenishment from infiltration of precipitation

岩性	年降水量 (mm)	地下水埋深(m)					
		≤ 1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	≥ 6
亚粘土	200~300	≤ 0.12	0.09~0.13	0.04~0.10	0.03~0.06	0.02~0.05	0.02~0.04
	300~400	≤ 0.12	0.10~0.14	0.05~0.11	0.04~0.07	0.03~0.06	0.03~0.05
	400~500	≤ 0.13	0.12~0.16	0.10~0.17	0.07~0.14	0.06~0.12	0.05~0.10
	500~600	≤ 0.14	0.13~0.20	0.15~0.22	0.13~0.19	0.11~0.16	0.09~0.13
	600~700	≤ 0.14	0.15~0.21	0.19~0.24	0.18~0.21	0.15~0.18	0.12~0.15
	700~800	≤ 0.14	0.15~0.22	0.20~0.26	0.19~0.24	0.17~0.21	0.14~0.17
	>800	≤ 0.14	0.15~0.23	0.21~0.27	0.20~0.26	0.18~0.22	0.15~0.19
亚砂土	200~300	≤ 0.13	0.09~0.15	0.05~0.13	0.04~0.09	0.03~0.07	0.02~0.07
	300~400	≤ 0.15	0.13~0.18	0.09~0.17	0.08~0.15	0.07~0.14	0.07~0.13
	400~500	≤ 0.17	0.15~0.24	0.17~0.24	0.14~0.20	0.13~0.18	0.12~0.16
	500~600	≤ 0.18	0.17~0.27	0.19~0.28	0.17~0.27	0.17~0.22	0.15~0.19
	600~700	≤ 0.18	0.17~0.29	0.20~0.30	0.21~0.29	0.19~0.23	0.17~0.20
	700~800	≤ 0.18	0.18~0.30	0.22~0.32	0.22~0.31	0.20~0.25	0.19~0.22
	>800	≤ 0.18	0.18~0.31	0.24~0.33	0.23~0.32	0.20~0.26	0.20~0.23
粉细砂	200~300	≤ 0.16	0.13~0.18	0.10~0.17	0.09~0.14	0.08~0.13	0.07~0.13
	300~400	≤ 0.20	0.18~0.26	0.17~0.26	0.13~0.21	0.11~0.17	0.10~0.17
	400~500	≤ 0.21	0.19~0.34	0.26~0.34	0.20~0.30	0.17~0.24	0.16~0.24
	500~600	≤ 0.24	0.22~0.37	0.30~0.37	0.26~0.34	0.24~0.30	0.23~0.30
	200~300	≤ 0.18	0.15~0.20	0.12~0.19	0.10~0.16	0.09~0.16	0.09~0.16
细砂	300~400	≤ 0.22	0.20~0.28	0.19~0.27	0.16~0.24	0.15~0.24	0.15~0.24
	400~500	≤ 0.24	0.22~0.36	0.29~0.36	0.24~0.33	0.23~0.33	0.23~0.33
	500~600	≤ 0.27	0.25~0.40	0.33~0.40	0.28~0.37	0.27~0.37	0.27~0.37

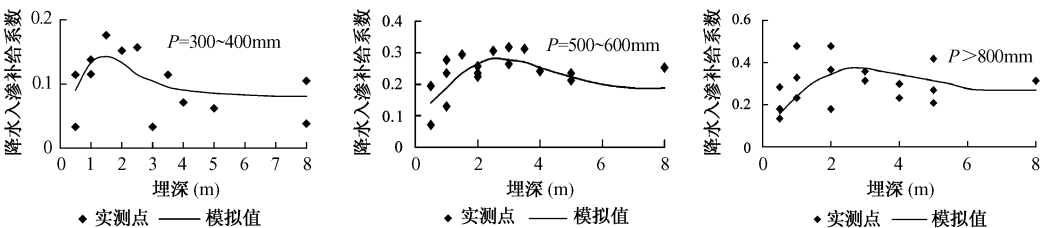


图 4 亚砂土降水入渗补给系数与埋深关系图

Fig. 4 Relation between the coefficient of replenishment from infiltration of precipitation and depth to groundwater levels

3.2.2 降水入渗补给最佳地下水埋深和大埋深稳定
点分析

(1) 最佳地下水埋深

所谓降水入渗补给最佳地下水埋深就是指某种包
气带岩性特征和某种年降水量条件下,在 α - Z 关系曲

线上 α 值最大时的地下水埋深。其表现特征为:当地
下水埋深小于该值时, α 值随着地下水埋深的增大而
增大,当地下水埋深大于该值时, α 值随着地下水埋深
的增大而减小。三站的资料分析结果均确认了降水入
渗补给最佳地下水埋深的存在,但是由于气候、地理位

置等影响因素不同,各地的最佳地下水埋深也有所差异。

影响最佳地下水埋深的因素有许多,包气带重力水库容 V 、可入渗水量 P_i 的大小以及它们与地下水埋深 Z 之间的定量关系,是确定最佳埋深的主要因素。从图 2~4 不难看出, $V-Z$ 、 P_i-Z 两条关系曲线的交点 A 的位置,在很大程度上决定了最佳埋深。影响 V 及 P_i 大小的因素十分复杂,其中最主要的是包气带岩性及其结构特征、年降水量及其时程分配特征。

首先,包气带重力水库容的大小与包气带岩性及其结构特征的关系是不可忽视的。一般情况下,岩性越粗,重力水库容越大,最佳地下水埋深就越小;岩性越细,重力水库容越小,最佳地下水埋深就越大。其次,年降水量及其时程分配直接影响可入渗量的大小。当年降水量较大且有效降水占年降水量的比例较大时,可入渗水量大,最佳地下水埋深就大;当年降水量较小且有效降水占年降水量的比例也较小时,可入渗水量小,最佳地下水埋深小。再者,雨前包气带土壤的干湿程度在某种程度上也影响最佳地下水埋深的大小,一般情况下,雨前包气带土壤较干燥时,最佳地下水埋深小;反之则大。

(2) 大埋深稳定点分析

所谓降水入渗补给大埋深稳定点就是指某种包气带岩性特征和某种年降水量条件下,在 $\alpha-Z$ 关系曲线上降水入渗补给系数不再随地下水埋深的继续增大而变化的地下水埋深。冉庄、太谷两站 20 余年监测资料均确认了在现有监测条件和监测范围内,降水入渗补给系数大埋深稳定点的客观存在。

冉庄站资料显示,当地下水埋深达到 6m 时,降水入渗补给系数基本趋于稳定,6~8m 降水入渗补给系数的变化量只有 0.007;而太谷站,当地下水埋深达到 5m 时,降水入渗补给系数基本趋于稳定。由此可得:华北平原的山前地带,地下水埋深大于 6m 以及北方山间平原,地下水埋深大于 5m 时,降水入渗补给系数基本不再随地下水埋深的增加而变化。

降水入渗补给大埋深稳定点客观存在的机理是:当地下水埋深达到 5m 或 6m 时,地下水在毛细管力作用下向上运移的高度难以到达植物的根系层,更不能直接到达地表。因此,地下水或重力水团向下移动到这个深度时,都不可能再通过毛细管向上运移,更不可能形成蒸散发。也就是说,重力水团在这个深度,只有继续向下运动直到地下水水面。

降水入渗补给大埋深稳定点的存在和确认具有重

大的实用意义。在地下水埋深不小于降水入渗补给大埋深稳定点时,率定那些原本与地下水埋深有关的水文地质参数^[10],如 α 、 β 值时,可以不考虑地下水埋深的影响,从而可大大简化这些水文地质参数率定的工作量,并能大幅度提高这些水文地质参数率定的精度^[11]。

4 结论

降水入渗补给系数是一个受诸多因素影响的水文地质参数。通过对河北省冉庄水资源实验站、安徽省五道沟水文水资源实验站、山西省太谷均衡实验站地中渗透仪实测的降水入渗资料分析,确定了其主要影响是包气带岩性特征、地下水埋深和年降水量。通过对三站资料的综合分析,提出了可供华北平原参考使用的降水入渗补给系数成果;降水入渗补给客观存在最佳地下水埋深和大埋深稳定点。当地下水埋深为最佳地下水埋深时,降水入渗补给系数最大;当地下水埋深大于大埋深稳定点后,降水入渗补给系数基本趋于稳定。

参考文献:

- [1] 雷志栋,胡和平,杨诗秀. 土壤水研究进展与评述[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 311 - 318.
- [2] 张展羽,赖明华,朱成立. 非充分灌溉农田土壤水分动态模拟模型[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(1): 22 - 25.
- [3] 于艳玲,熊耀湘. 降雨条件下旱地土壤水分运动的数值模拟[J]. 农村水利水电, 2003(11): 19 - 21.
- [4] 杨文智,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] 汪贻帆,李宪法. 北京城区雨水径流及控制[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(2): 16 - 18.
- [6] 李恩羊,袁新. 土壤入渗空间变异性研究[J]. 水利学报, 1990, 21(10): 35 - 42.
- [7] 徐英,陈亚新,魏占民,等. 土壤水空间变异尺度效应的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 1 - 5.
- [8] 薛禹群. 地下水动力学原理[M]. 北京:地质出版社, 1986: 262 - 274.
- [9] 黄振平. 水文统计原理[M]. 南京:河海大学出版社, 2002.
- [10] 王大纯,张人权. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社, 1995.
- [11] 徐恒力. 水资源开发与保护[M]. 北京:地质出版社, 2001.

An analysis of the coefficient of replenishment from infiltration of precipitation

LI Jin-zhu

(Taigu Experimental Center of Water Balancing, Shanxi Hydrological Observation Bureau, Taigu 030800, China)

Abstract: In this paper, data of infiltration of precipitation measured with the underground infiltration instrument are used to analyze the variation in the coefficient of replenishment from infiltration of precipitation. The data were collected from the Ranzhuang water resources experimental station in Hebei province, the Wudaogou water resources experimental station in Anhui province and the Taigu water resources experimental station in Shanxi province. The values of the coefficient of replenishment from infiltration of precipitation are obtained under the conditions of different lithologies, annual precipitations and depths to groundwater levels. The best depth to groundwater levels and the existence of the stable point of the greatest depth to groundwater levels are also discussed.

Key words: coefficient of replenishment from infiltration of precipitation; the best depth to groundwater levels; stable point of the greatest depth to groundwater levels

责任编辑:汪美华

(上接第 28 页)

A method for extraction of depression cone based on digital groundwater level models

JIANG Cong-gang¹, PAN Yun^{2,3}, DING Fei⁴, ZHU Lin^{2,3}, GONG Zhao-ning^{2,3}

(1. Superway Engineering Investigation Co., Ltd, Langfang 065000, China;

2. MOE Key Lab of 3D Information Acquisition and Application, Capital Normal University, Beijing 100037, China;

3. Beijing Key Lab of Resource Environment and GIS, Capital Normal University, Beijing 100037, China;

4. Department of Civil and Environment Engineering, Shenyang Jian Zhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: In this paper, a digital groundwater level model is constructed using the Kriging method. An algorithm is developed to automatically extract depression cones of groundwater levels from the model based on the definition of a depression cone. A case study demonstrates the application of the new algorithm. The results show that the depression cone extracted using the method is a better representation of the real world. It is believed that the new algorithm is able to depict more accurately and objectively the depression cones of regional groundwater levels. Application of the model will benefit the advance of groundwater modeling.

Key words: groundwater; depression cone; Kriging; seed-spread algorithm

责任编辑:汪美华