

源发生变化的原因之一. 地下水的开采水平可用地下水埋深(Δ_0)来近似概化.

2 α_0 的分布特征

次降雨入渗补给系数(α_0)与地下水埋深(Δ_0)的曲线特征可通过地下水动态资料分析得到. 下文结合山西原平的实际观测资料讨论 α_0 的分布特征.

2.1 区域概况

研究区位于晋北滹沱河流域中部, 境内地层从太古界五台群到新生界第四系, 具有明显的规律性. 松散层孔隙水含水岩层为第三系、第四系砂卵石层, 与其间的粘土层共同组成近似水平的含水构造, 地下水动态的变化受气象因素、开采情况以及含水层性质的影响.

随着研究区工农业生产的不断发展, 水资源供需矛盾日趋明显, 加之地表水体污染和地下水水质恶化, 水资源已成为社会发展的制约因素, 因此对水资源进行正确的评价分析是十分必要的, 而要正确计算地下水资源, 各类计算参数的取值合理与否是至关重要的, 其中一个重要的参数就是次降雨入渗补给系数.

2.2 参数计算

长期以来, 在地下水资源评价方面, 次降雨入渗补给系数是人们注重的研究对象. 推求次降雨入渗补给系数采用的方法是地下水动态分析法^[2], 公式为:

$$\alpha_0 = [\mu(\Delta) \times \frac{\Delta H}{P_0}] \times 10^3 \tag{1}$$

式中: α_0 ——次降雨入渗补给系数; $\mu(\Delta)$ ——变值给水度; P_0 ——次降雨量; ΔH ——次降雨引起的地下水位上升幅度.

2.3 资料特征

据各雨量站逐日降雨量过程线和与之相应的长观孔地下水埋深过程线, 通过分析, 选取了较合理的次降雨入渗补给引起的地下水位升幅 ΔH 与对应的雨前地下水埋深 Δ_0 及次降雨量 P_0 , 利用公式(1)计算 α_0 , 并按次雨量大小分成三个雨量段, 即 $10\text{ mm} \leq P_0 < 30\text{ mm}$, $30\text{ mm} \leq P_0 < 60\text{ mm}$, $60\text{ mm} \leq P_0 \leq 90\text{ mm}$. 各雨量段 α_0 一般统计特征见表 1 (C_v 为变异系数). 作为一个例子, 图 1 给出 $10\text{ mm} \leq P_0 < 30\text{ mm}$ 雨量段的散点图, 共计样本 81 个.

表 1 α_0 一般统计特征

Table 1 Classical statistical characteristics of α_0

统计特征	次雨量分段/mm			
	$10 \leq P_0 \leq 90$	$10 \leq P_0 < 30$	$30 \leq P_0 < 60$	$60 \leq P_0 \leq 90$
均 值	0.16	0.14	0.14	0.16
方 差	0.01	0.01	0.01	0.01
最大值	0.35	0.33	0.32	0.35
最小值	0.01	0.02	0.01	0.01
标准差	0.09	0.09	0.09	0.10
中位数	0.14	0.12	0.12	0.14
众 数	0.13	0.13	0.10	0.09
C_v	0.56	0.62	0.64	0.65

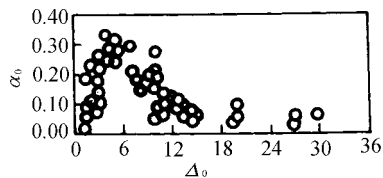


图 1 Δ_0 和 α_0 的散点分布

Fig.1 Point distribution characteristics of Δ_0 and α_0

3 α_0 的分布模型

α_0 分布模型分析过程, 仍以 $10\text{ mm} \leq P_0 < 30\text{ mm}$ 雨量段为例, 其它雨量段的计算步骤类似.

3.1 研究资料处理

利用频率分布可比较准确地反映一组数据的变化规律, 而且确定频率分布是建立模型的必要基础. 从图 1 可以看出, 对于一个确定的自变量 Δ_0 , 具有若干因变量 α_0 . 因此, 在建立 α_0 的分布模型时, 首先将埋深等间距分成若干组, 然后将每组埋深范围内的 α_0 取均值, 再以这一组数据为基础, 确定其频率分布(见表 2).

3.2 模型的建立

确定了一组相对频率和累计频率后,介绍伽马模型和威布尔模型的算法和步骤.

3.2.1 伽马模型

a. 根据相对频率,首先需要评价模型的参数,即数学期望值($\sum E\zeta$)和方差($\sum D\zeta$)^[3]:

b. 有了数学期望值($\sum E\zeta$)和方差($\sum D\zeta$),即可根据模型的特征计算其参数,伽马概率分布模型为^[4]:

$$\alpha_0 = a\Delta_0^b e^{(-c\Delta_0)} \tag{2}$$
$$a = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \quad b = \alpha - 1 \quad c = \beta$$

其中, α 和 β 可联立两个方程求得: $\sum E\zeta = a/\beta$,
 $\sum D\zeta = a/\beta^2$.

$\Gamma(\alpha)$ 是 α 的函数,可通过查表或用斯特林公式求得.对于表 2 资料, α 和 β 的计算结果分别为 2.099 1和0.202 6,所以有: $a = 0.033\ 5$, $b = 1.099\ 1$,
 $c = 0.202\ 6$.

c. 根据模型

$$\alpha_0 = 0.033\ 5\Delta_0^{1.099\ 1}e^{(-0.202\ 6\Delta_0)} \tag{3}$$

计算 α_0 的理论频率,再转化成 α_0 的模型值(表 3).

d. 比较实际值和模型值(见图 2),即检验模型的可信度 选用 k-s 检验^[5],k-s 检验的实际值 0.067 0,而理论值 k-s(自由度为 1 和 15,置信水平为 0.05)是 0.304,说明模型是可信的.所有计算步骤见表 3.

表 3 伽马模型的计算结果

Table 3 Calculating process and the results of the Gamma model

Δ_0 分级	α_0	α_0 频率	$E\zeta$	$D\zeta$	模型	频率 模型	α_0 模型	F_c 模型	k-s 检验
0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
2	0.078 6	0.059 5	0.118 9	4.157 5	0.047 8	0.098 2	0.129 9	0.098 2	0.038 7
4	0.159 9	0.120 9	0.483 6	4.894 0	0.068 3	0.140 3	0.185 5	0.238 5	0.058 1
6	0.289 4	0.218 8	1.313 1	4.164 3	0.071 2	0.146 1	0.193 2	0.384 6	0.014 6
8	0.211 5	0.160 0	1.279 8	0.892 6	0.065 1	0.133 7	0.176 7	0.518 3	0.040 9
10	0.185 0	0.139 9	1.399 4	0.018 3	0.055 5	0.113 9	0.150 6	0.632 2	0.067 0
12	0.103 3	0.078 1	0.937 3	0.209 5	0.045 2	0.092 8	0.122 7	0.725 0	0.052 3
14	0.085 8	0.064 9	0.909 0	0.859 3	0.035 7	0.073 3	0.097 0	0.798 3	0.043 9
16	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.027 6	0.056 6	0.074 9	0.854 9	0.012 8
18	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.020 9	0.043 0	0.056 8	0.897 9	0.055 7
20	0.060 9	0.046 1	0.921 7	4.281 0	0.015 7	0.032 2	0.042 6	0.930 1	0.041 8
22	0.048 1	0.036 4	0.799 9	4.924 7	0.011 6	0.023 8	0.031 5	0.953 9	0.029 3
24	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.008 5	0.017 5	0.023 1	0.971 4	0.046 8
26	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.006 2	0.012 7	0.016 8	0.984 2	0.059 5
28	0.041 2	0.031 1	0.871 8	9.685 7	0.004 5	0.009 2	0.012 2	0.993 4	0.037 6
30	0.058 5	0.044 3	1.327 5	17.065 5	0.003 2	0.006 6	0.008 8	1.000 0	0.000 0
共计	1.322 2	1.000 0	10.362 1	51.152 4	0.487 2	1.000 0	1.322 2		0.067 0

表 2 研究资料处理

Table 2 Technical data processing

Δ_0	α_0	分级	Fr	F_c
0.0~1	0.000 0	0	0.000 0	0.000 0
1.1~2	0.078 6	2	0.059 5	0.059 5
2.1~4	0.159 9	4	0.120 9	0.180 4
4.1~6	0.289 4	6	0.218 8	0.399 2
6.1~8	0.211 5	8	0.160 0	0.559 2
8.1~10	0.185 0	10	0.139 9	0.699 1
10.1~12	0.103 3	12	0.078 1	0.777 2
12.1~14	0.085 8	14	0.064 9	0.842 2
14.1~16	0.000 0	16	0.000 0	0.842 2
16.1~18	0.000 0	18	0.000 0	0.842 2
18.1~20	0.060 9	20	0.046 1	0.888 3
20.1~22	0.048 1	22	0.036 4	0.924 6
22.1~24	0.000 0	24	0.000 0	0.924 6
24.1~26	0.000 0	26	0.000 0	0.924 6
26.1~28	0.041 2	28	0.031 1	0.955 7
28.1~30	0.058 5	30	0.044 3	1.000 0
共 计	1.322 2		1.000 0	

注: Fr 表示 α_0 的相对频率, F_c 为 α_0 的累计频率.

3.2.2 威布尔模型

威布尔概率分布模型为^[6]:

$$F_c(\alpha_0) = 1 - e^{-b\Delta_0^a} \tag{4}$$

将式(4)化为直线型:

$$\ln[-\ln(1 - F_c(\alpha_0))] = \ln(b) + a\ln(\Delta_0) \tag{5}$$

通过线性回归分析求得 a 和 b .

威布尔模型建立的计算步骤如下：

a. 根据 Δ_0 和累积频率 $[F_c(\alpha_0)]$,按公式(5)分别计算 $\ln(\Delta_0)$ 和 $\ln[-\ln(1-F_c(\alpha_0))]$ 的值,计算后的散点见图 3 中的块点.

b. 因为威布尔累积分布模型可进行线性回归分析,据回归分析的基本原理,可以求得回归系数 a 和 $\ln(b)$,相关系数 r 以及 F 检验值 这些是在 Excel 程序里自动计算的,可以得到 $a=1.4543, b=0.0311, r=0.9795, F=260.04$.

可见相关系数相当大,并且 F 实际检验值远大于 F 理论值,理论值 $F(1,11)=19.69(\alpha=0.001, \text{自由度为 } 11)$ 图 3 中的直线为威布尔模型的线性形式.

c. 得到了模型的参数后,就可以根据模型计算对应于 Δ_0 的模型值(这里 Δ_0 不变,即为原数据 ;计算得到的模型值是以累积频率的形式)：

$$F_c(\alpha_0)=1-\exp(-0.0031\Delta_0^{1.4543})$$

(6)

d. 由 $F_c(\alpha_0)$ 模型值再转化成 α_0 的模型值.

e. 比较实际值和模型值,即检验模型的可信度 ;选用 k-s 检验,k-s 检验的实际值 0.1118,而理论值 k-s 是 0.304,说明模型是可信的.

计算结果表明,在 $10\text{ mm}\leq P_0<30\text{ mm}$ 雨量段, α_0 的分布模型均可以用伽马模型和威布尔模型来描述 ; k-s 检验也表明,在这一实例里,两个模型均是可以接受的 ;并且从 k-s 检验的值的大小可以得到 ;对于这一实例,伽马模型优于威布尔模型.

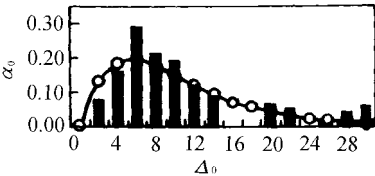


图 2 Δ_0 和 α_0 的实际分布和伽马模型

Fig.2 Experimental distribution and its Gamma model of Δ_0 and α_0

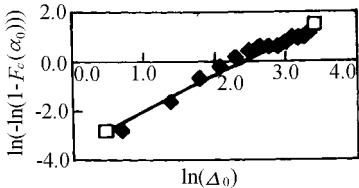


图 3 Δ_0 和 α_0 线性后的散点及其模型

Fig.3 Experimental distribution and its Weibull linear model of Δ_0 and α_0

3.3 计算结果

对于按次雨量大小分成的另两个雨量段 $30\leq P_0<60\text{ mm}, 60\text{ mm}\leq P_0\leq 90\text{ mm}$ 以及总雨量段 即 $10\text{ mm}\leq P_0<90\text{ mm}$,计算过程同 $10\text{ mm}\leq P_0<30\text{ mm}$ 雨量段的计算过程. 计算伽马模型和威布尔模型的所有参数见表 4 和表 5.

表 4 伽马模型的参数

Table 4 Parameters for the Gamma models

模型	雨量段	α	β	a	b	c	k-s 值	k-s _{理论}	样本数
伽马	10~30	2.0991	0.2658	0.0188	1.0997	0.2026	0.0670	0.338	81
	30~60	2.2944	0.2026	0.0335	1.2944	0.2269	0.0431	0.338	73
	60~90	2.3173	0.2269	0.0286	1.3173	0.2386	0.1017	0.338	58
	10~90	2.6822	0.2386	0.0307	1.6822	0.7658	0.0421	0.338	212

表 5 威布尔模型的参数

Table 5 Parameters for the Weibull models

模型	雨量段	a	b	r	F 值	$F_{\text{理论}}$	k-s 值	k-s _{理论}	样本数
威布尔	10~30	1.4543	0.0311	0.9795	260.04	242.9	0.1180	0.375	81
	30~60	1.5110	0.0255	0.9932	939.68	243.9	0.0933	0.391	73
	60~90	1.3987	0.0401	0.9840	366.91	243.9	0.1336	0.375	58
	10~90	1.6120	0.0227	0.9973	2201.20	243.9	0.0548	0.391	212

从表 4 和表 5 可以看出 对于按次雨量的总雨量段及其三个分雨量段,所有计算表明伽马模型和威布尔

模型是可以接受的,并且伽马模型优于威布尔模型(表中理论检验时 α 为 0.05)。

4 结 束 语

次降雨入渗补给系数(α_0),在地下水资源评价中是一个极其重要的计算参数,本文通过实际量测的原始资料,经过适当的数学技术处理,应用确定性统计模型,即应用伽马模型和威布尔模型对资料进行定量描述.理论模型的 k-s 检验表明,在给定总雨量段及其分雨量段中,伽马模型和威布尔模型均可以接受,并且,伽马模型和实际分布的拟合性好于威布尔模型.

参 考 文 献

1 殷昌平,孙庭芳. 地下水资源勘查与评价. 北京 地质出版社,1993. 10
2 曹万金. 水资源计算、评价、管理. 南京 河海大学出版社,1990. 35 ~ 59
3 《数学手册》编写组. 数学手册,北京 高等教育出版社,1997. 794 ~ 801
4 Norman L. Continuous univariate distribution. New York John & Sons,1994. 311 ~ 350
5 Morinean A. Aide mémoire statistique. Paris Cisia Ceresta,1995. 89 ~ 140
6 吴继敏. GUERET 花岗岩内黑云母粒径分析的图像开操作法. 岩石学报,1999(1) 124 ~ 128

Model Estimation of Sub-coefficient of Recharge by Rainfall Infiltration

Wu Jimin

(College of Civil Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Zhen Jianqing

(Zhejiang Wenzhou Water Resource and Water Power Survey and Design Research Institute ,Wenzhou 325000)

Gao Zhengxia Tang Ruiliang

(College of Civil Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Abstract This paper gives a new definition of the sub-coefficient of recharge by rainfall infiltration and shows its important role in the estimation of groundwater resources. Based on the theory of statistics classical statistical parameters of the observed data are estimated. The distribution characteristics of the coefficient of recharge by rainfall infiltration have been studied with theoretical models of the Gamma and the Weibull distribution. Standard statistical tests have also been used to judge the goodness-of-fit of the theoretical distributions to the observed data.

Key words sub-coefficient of recharge by reainfall infiltration buried depth of groundwater parameter simulation