

第二类越流补非稳定流水文地质参数简化求解

滕 凯

(黑龙江齐齐哈尔市 齐齐哈尔市水务局,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘 要: 第二类越流补给非稳定流条件下水文地质参数求解为涉及 3 个未知数的超越方程,常规的解析法无法直接获解。本文采用优化拟合方法,在工程适应参数范围内,用较为简单的函数实现了对由图表给出的第二类越流补给非稳定流井函数数值关系的替代,并利用水位降深比值关系经整理获得了仅含 1 个未知量的表达式,经简单试算即可完成参数求解,计算过程简捷,不依赖图表,便于实际工程应用。

关键词: 越流补给;水位降深比值;水文地质参数;优化拟合;简化计算

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2016)01-0075-05

1 问题的提出

水文地质参数是开展地下水资源评价、制定地下水开采方案、实施地下水防污染计划的主要依据,一直以来备受水文地质工作者的广泛关注。由于构造单一各向均质的含水层在实际工程中并不多见,而在多含水层地区集中开采其中某含水层的情况比较普遍,因弱透水层是由粒径比较细的粘土或粉砂组成,在某些情况下,从其储存量中释放出来的水量比承压含水层储存量中释放出来的水量还要多^[1],所以,研究具有越流补给条件下的水文地质参数的求解具有重要实际意义。截至目前,关于第一类越流补给条件下水文地质参数的求解方法已有较多研究成果^[2-7],而有关比较复杂的第二类越流补给条件下水文地质参数求解方法的研究成果则相对较少。Hantush^[8]于 1960 年给出了描述第二类越流补给条件下水文地质参数的解析式,目前,工程上利用该解析式进行参数求解的方法主要有标准曲线比对法^[9](或降深—时间量板法^[10])、解析法、数值法及最小二乘法^[11],由于标准曲线比对法靠人工手动拟合,实际工作不但受图表束缚,而且求解成果因受标准曲线的密度及比对过程人为因素的影响,求解成果的精度难免存在误差^[12];解析法及数值法由于计算边

界条件严格,输入的水文信息多、数据量大,运算时存在优化路径、避免局部最优、计算函数梯度、收敛速度等复杂计算环境^[13-14],对应用者的基本技能要求较高,基层工作应用尚存在问题;最小二乘法因涉及试验数据与经验公式的拟合,且受异常值的影响非常敏感,计算结果误差较大^[15]。因此,提出一种更加简单适用的求解第二类越流补给条件下水文地质参数的计算方法十分必要。本文采用优化拟合方法,通过对第二类越流补给条件下非稳定流井函数标准曲线的线型分析,借助现有表格给出的井函数数值对应关系,通过逐次逼近拟合计算,获得了井流函数的简化替代公式,并利用该公式依据抽水降深资料直接完成了相关水文地质参数的求解计算,计算方法简单直接,可在实际工程中推广应用。

2 简化求解公式的建立

2.1 基本计算公式

在抽水影响范围内,如含水层为多层、各层近似水平、均质等厚、各向同性并侧向无限延伸,且有上覆或下卧的弱透水层在越流含水层抽水时能产生储水量的瞬时释放,此时的地下水渗流运动即为第二类越流补给,见图 1 所示。其越流系统井流问题(短时间情

收稿日期:2015-01-03

作者简介:滕凯(1957-),男,黑龙江齐齐哈尔人,本科,高级工程师,主要从事水利防灾减灾及工程优化设计研究。

E-mail:tengkai007@163.com

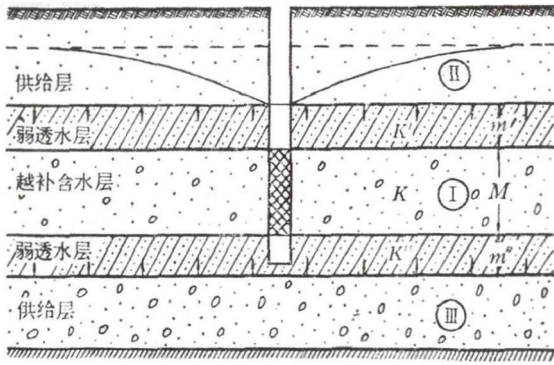


图1 越补含水层示意图

Fig.1 Schematic diagram of the supplement of aquifer

况,即 $t < \frac{m'S'}{10K'}$ 或 $t < \frac{m''S''}{10K''}$ 的基本求解方程为:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} F(u, B) \quad (1)$$

$$\text{其中: } F(u, B) = \int_u^\infty \frac{e^{-y}}{y} \operatorname{erfc}\left(\frac{B\sqrt{u}}{\sqrt{y(y-u)}}\right) dy \quad (2)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4tT} = \frac{r^2}{4t\alpha} \quad (3)$$

$$B = \frac{r}{4} \left(\sqrt{\frac{K'S'}{TSm'}} + \sqrt{\frac{K''S''}{TSm''}} \right) = \frac{r}{4} \left(\frac{1}{B_1} \sqrt{\frac{S'}{S}} + \frac{1}{B_2} \sqrt{\frac{S''}{S}} \right) \quad (4)$$

$$B_1 = \sqrt{\frac{m'T}{K'}}, B_2 = \sqrt{\frac{m''T}{K''}}, \alpha = \frac{T}{S} \quad (5)$$

式中: $F(u, B)$ 为第二类越流补给的井流函数, 可根据 u, B 由文献[10]附表 5 查得; s 为任意时间、某一距离的水位降深, m ; r 为观测孔到抽水孔中心的距离, m ; S 为越补层的弹性释水系数或储水系数; T 为越补层的导水系数, m^2/d ; Q 为单位时间的抽水流量, m^3/d ; t 为抽水延续时间, d ; B 为越流参数, m ; u 为井函数自变量; α 为越补层水的压力传导系数, m^2/d ; K 为越流含水层渗透系数, m/d ; m 为越补层厚度, m ; m', m'' 分别为越补层上覆及下覆弱透水层的厚度, m ; K', K'' 分别为越补层上覆及下卧弱透水层的渗透系数, m/d ; S', S'' 分别为越补层上覆及下卧弱透水层的弹性释水系数或储水系数; $\operatorname{erfc}(x)$ 为误差函数的补函数。

当抽水主孔或观测孔在 t_1, t_2 和 t_3 时刻的水位降深分别为 s_1, s_2 和 s_3 , 则由式(1)可得到以下方程组:

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} F(u_1, B) = \frac{Q}{4\pi T} F\left(\frac{r^2}{4t_1\alpha}, B\right) \quad (6)$$

$$s_2 = \frac{Q}{4\pi T} F(u_2, B) = \frac{Q}{4\pi T} F\left(\frac{r^2}{4t_2\alpha}, B\right) \quad (7)$$

$$s_3 = \frac{Q}{4\pi T} F(u_3, B) = \frac{Q}{4\pi T} F\left(\frac{r^2}{4t_3\alpha}, B\right) \quad (8)$$

设 $s_{12} = \frac{s_1}{s_2}, s_{23} = \frac{s_2}{s_3}$, 则由方程(6)~(8)可得:

$$s_{12} F\left(\frac{r^2}{4t_2\alpha}, B\right) = F\left(\frac{r^2}{4t_1\alpha}, B\right) \quad (9)$$

$$s_{23} F\left(\frac{r^2}{4t_3\alpha}, B\right) = F\left(\frac{r^2}{4t_2\alpha}, B\right) \quad (10)$$

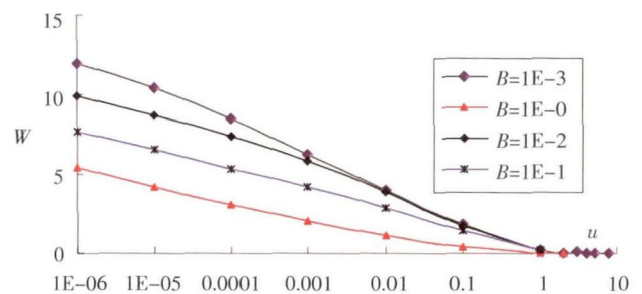
式中: s_{12}, s_{23} 分别为与抽水历时 t_1, t_2 和 t_2, t_3 相对应的降深比值。

式(9)、(10)即为利用降深比值法获得的第二类越流补给条件下水文地质参数 α 及 B 的求解方程。

2.2 简化公式的建立

由于利用式(9)、(10)完成参数求解涉及两个未知数的超越方程, 计算过程比较繁复, 且依赖相关图表, 不便实际工作。为简化求解过程, 考虑在实际工程中, $0.000005 < u < 5.5, 0.0008 < \frac{r}{B} < 10$, 设函数

$W' = F\left(\frac{r^2}{4t\alpha}, B\right)$ 可以替代 $W = F\left(\frac{r^2}{4t\alpha}, B\right)$, 并绘制 $W \sim B \sim u$ 关系曲线, 见图 2 所示。

图2 $W \sim B \sim u$ 关系曲线Fig.2 $W \sim B \sim u$ relation curve

由图 2 可见, $W \sim B \sim u$ 具有较好的指数函数关系, 依据函数曲线的这一特征, 经多组备选函数的拟合比选, 并以标准剩余差最小为目标函数^[16], 即:

$$P = \min \sqrt{\sum_{l=1}^N (W_l' - W_l)^2 / (N-1)}$$

式中: P 为最小标准剩余差; W_l' 为第 l ($l=1, 2, 3, \dots, N$)

个理论计算值 W_i 的拟合近似替代值; N 为拟合计算的数组数。

根据文献[10]附表 5 中 $W \sim B \sim u$ 的数值对应关系, 经逐次逼近拟合^[17]即可获得第二类越补井函数式(2)的最优替代函数为:

$$W_i' = \text{EXP}(A_i B^{0.6} + C_i B^{0.4} + D_i B^{0.2} + E_i) \quad (11)$$

$$\text{其中: } A_i = 59.62324u_i^{0.16} - 38.47001u_i^{0.24} - 29.37038u_i^{0.08} + 4.54607 \quad (12)$$

$$C_i = 108.95611u_i^{0.225} - 191.7244u_i^{0.15} + 101.10064u_i^{0.075} - 16.34257 \quad (13)$$

$$D_i = 0.03666u_i^{-0.282} - 26.04439u_i^{0.282} + 86.21971u_i^{0.1316} - 60.20467u_i^{0.094} \quad (14)$$

$$E_i = 6.69063u_i^{0.5} - 3.8662u_i^{0.75} - 7.55273u_i^{0.25} + 3.12425 \quad (15)$$

式中: A_i, C_i, D_i, E_i 分别为当井函数为 $u_i = \frac{r^2}{4t_i\alpha}$ ($i=1, 2, 3$)

时由式(12)~(15)求得的变量值。

将式(11)~(15)分别代入式(9)、(10)中, 经进一步整理即可获得以下求解方程:

$$B^{0.6}A_{12} + B^{0.4}C_{12} + B^{0.2}D_{12} + E_{12} = 0 \quad (16)$$

$$B^{0.6}A_{23} + B^{0.4}C_{23} + B^{0.2}D_{23} + E_{23} = 0 \quad (17)$$

$$\text{其中: } A_{12} = A_1 - A_2, A_{23} = A_2 - A_3 \quad (18)$$

$$C_{12} = C_1 - C_2, C_{23} = C_2 - C_3 \quad (19)$$

$$D_{12} = D_1 - D_2, D_{23} = D_2 - D_3 \quad (20)$$

$$E_{12} = E_1 - E_2 - \ln \frac{s_1}{s_2}, E_{23} = E_2 - E_3 - \ln \frac{s_2}{s_3} \quad (21)$$

式中: $A_{12}, A_{23}, C_{12}, C_{23}, D_{12}, D_{23}, E_{12}, E_{23}$ 均为中间变量。

式(16)、(17)为含 $B^{0.2}$ 的一元三次方程, 根据已知的 r 及 t_i 通过假设不同的 α 即可利用式(18)~(21)分别求得方程的系数项, 进而由盛金公式法分别求得式(16)及(17)中的参数 B , 当两个 B 值相等时, α 及 B 即为所求值。 α 及 B 求出后, 即可由式(11)求得与 t_i 相对应的井函数 $W_i' = (u_i, B)$ 值, 并由式(22)求得导水系数 T , 即为:

$$T = \frac{Q}{4s_i\pi} W'(u_i, B) \quad (22)$$

再由式(23)求得越流含水层的弹性释水系数 S 为:

$$S = \frac{T}{\alpha} \quad (23)$$

由式(24)求得越流层的渗透系数 K 为:

$$K = \frac{T}{m} \quad (24)$$

弱透水层的弹性释水系数 S' (或 S'') 为:

$$S' = \frac{16B^2TSm'}{K'r^2}$$

$$\text{或 } S'' = \frac{16B^2TSm''}{K''r^2} \quad (25)$$

3 精度分析及结果验证

3.1 精度分析

由式(1)可见, 观测孔的水位降深 s 与井函数 $W(u, B)$ 具有线性关系, 因此, 分析式(11)替代式(2)的拟合精度即为本文计算方法的求解精度。

在工程适应参数范围内 (即 $0.000005 < u < 5.5$, $0.0008 < B < 10.0$), 由文献[10]附表 5 中选取任意的 u_j, B_k 即可查得与之相对应的 $W_{jk}(u_j, B_k)$ 值, 再将 u_j, B_k 代入式(11)求出 $W'_{jk}(u_j, B_k)$, 进而由式(26)即可完成本文式(11)与式(2)的替代精度比较, 并完成拟合相对误差包络线的绘制, 见图 3 所示。

$$z_{jk} = \frac{W'_{jk}(u_j, B_k) - W_{jk}(u_j, B_k)}{W_{jk}(u_j, B_k)} \times 100\% \quad (26)$$

式中: z_{jk} 为井函数自变量为 u_j 、越流参数为 B_k 时用式(11)替代式(2)的拟合替代相对误差 (%) ($j=1, 2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, m$)。

由图 3 可见, 在工程适用参数范围内, 利用本文近似井函数式(11)替代式(2)的最大相对正、负误差分别为 4.81% 和 -4.87%, 完全可以满足实际工程的设计精度要求。

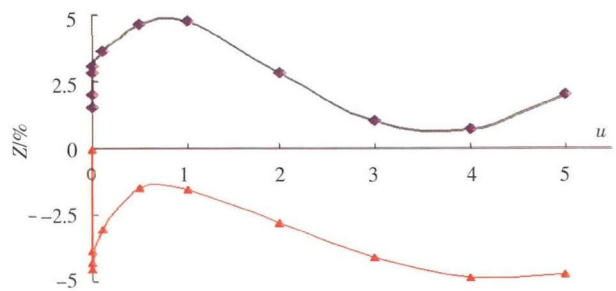


图 3 式(11)替代式(2)误差包络线

Fig.3 The type(11)alternative(2) envelope error

3.2 结果验证

3.2.1 算例结果对比

选文献[10]计算实例(三): 某工程勘探 1 号孔布于冲积平原上。越补层为承压水砂砾石含水层, 厚度 $m=10\text{m}$ 。该层上为亚砂土夹少量砾石之弱透水层, 厚度 $m'=22\text{m}$ 。在这两层上下部均为红粘土隔水层。抽水时, 承压含水层得到弱透水层中地下水的渗流补给。

有关资料如下:抽水流量为 $Q=3\ 200\text{ m}^3/\text{d}$, 钻孔直径为 $d=0.3\text{ m}$, 弱透水层渗透系数 $K'=7\text{ m/d}$ (根据对该层进行的抽水试验资料求得)。水位观测资料见表 1。

利用该实例资料采用本文方法完成相关水文参数计算, 并与现有计算方法所求得的结果进行比较, 以验证本文方法计算精度的可靠性。

根据表 1 绘制 $s\sim t$ 关系曲线 (见图 4), 在 $s\sim t$ 关系曲线上选取: $t_1=10\text{ min}$, $s_1=3.79\text{ m}$; $t_2=40\text{ min}$, $s_2=4.47\text{ m}$; $t_3=90\text{ min}$, $s_3=4.88\text{ m}$ 。

表1 观测孔水位降深资料

Table1 The groundwater level depth in the observation holes

累计时间 t /min	降深 s /m	累计时间 t /min	降深 s /m	累计时间 t /min	降深 s /m
1	2.65	10	3.79	80	4.80
2	2.98	15	3.99	90	4.88
3	3.18	20	4.12	100	4.92
4	3.31	25	4.22	150	5.07
5	3.40	30	4.35	200	5.19
6	3.50	40	4.47	250	5.21
7	3.58	50	4.60	300	5.32
8	3.62	60	4.65	400	5.42
9	3.71	70	4.73	500	5.60

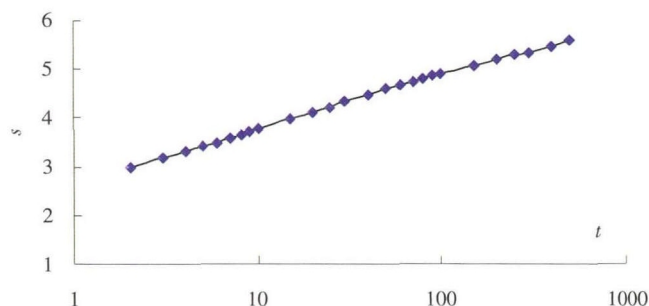


图4 $s\sim t$ 关系曲线

Fig.4 $s\sim t$ relation curve

依据上述已知参数, 设 $\alpha=2\ 155\text{ m}^2/\text{d}$, 由式 (12)~(15) 及式 (18)~(21) 即可分别求得:

$$A_{12}=0.07733, A_{23}=0.03202, C_{12}=-0.55111, C_{23}=-0.23264, \\ D_{12}=0.51435, D_{23}=0.20932, E_{12}=-0.08488, E_{23}=-0.02876$$

将上述参数分别代入式 (16)、(17), 并采用盛金公式法可求得式 (16)、(17) 中的 B 分别为 0.46050 和 0.46045, 两式求解成果的相对误差为 0.01%, 可以认为 $\alpha=2\ 155\text{ m}^2/\text{d}$ 、 $B=0.46048$ 为所求值。由式 (12)~(15) 可分别求得: $A_3=-0.10574$, $C_3=0.13897$, $D_3=-1.34840$, $E_3=2.55832$, 进而由式 (11) 可得 $W_3'=$

4.21711, 再由式 (22) 可求得 T 为:

$$T=\frac{Q}{4s_3\pi}W_3'(u_3, B)=\frac{0.08Q}{s_3}W_3'(u_3, B)=221\text{ m}^2/\text{d}$$

则越流层的渗透及储水系数 K 、 S 分别为:

$$K=\frac{T}{M}=22.1\text{ m/d}$$

$$S=\frac{T}{\alpha}=0.10255$$

当在 $s\sim t$ 关系曲线上取另一组数据时, 即: $t_1=6\text{ min}$, $s_1=3.50\text{ m}$; $t_2=25\text{ min}$, $s_2=4.22\text{ m}$; $t_3=70\text{ min}$, $s_3=4.73\text{ m}$ 。采用与上述相同的计算过程可求得: $\alpha=2\ 170\text{ m}^2/\text{d}$, $B=0.48451$, $T=220\text{ m}^2/\text{d}$, $K=22.0\text{ m/d}$, $S=0.10138$ 。

由上述计算成果可见, 虽然在 $s\sim t$ 关系曲线上所选取的两组观测数据不同, 但所求水文地质参数确极为接近, 说明本文方法具有较好的可靠性及实用性。

文献[10]利用双对数量板法 (标准曲线比对法) 求得的成果为: $B=0.50$, $T=255\text{ m}^2/\text{d}$, $K=25.50\text{ m/d}$ 。可见, 本文所求结果与文献[10]所得结果比较接近。而由于标准曲线比对法受曲线簇密度的影响, 通过比对确定的拟合曲线并非真正反映工程实际, 就本例而言, 标准曲线比对法所得 $B=0.5$, 而本文求得的 $B=0.4725$ (平均值), 两者相对误差达 5.8%, 因此造成两种计算方法所得参数出现误差。

3.2.2 曲线拟合验证

利用本文方法求得的水文参数及实例中的已知条件, 根据式 (11)~(15) 即可通过设定不同的 t_i 分别求出与之相对应的 W_i' , 再由式 (1) 即可分别求得与 t_i 相对应的水位降深 s_i , 进而可完成 $s_i\sim t_i$ 关系曲线, 见图 5 所示。

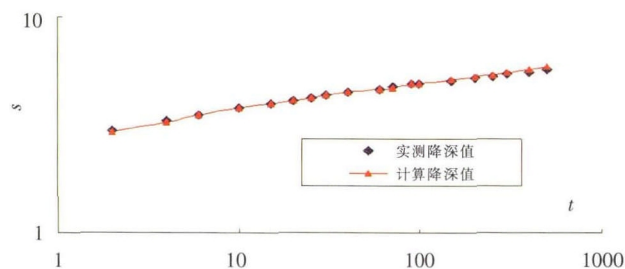


图5 $s\sim t$ 关系曲线

Fig.5 $s\sim t$ relation curve

由图 5 可见, 采用本文所求参数及井函数替代式获得的 $s_i\sim t_i$ 曲线与实测各点非常吻合, 证明本文的简化算法具有较好的精度及适用性。

4 结语

(1)在工程适用参数范围内,本文提出的计算公式形式简单、求解过程直观简捷,不受图表束缚,避免了图表取值的人为误差,便于实际推广应用。

(2)为有效提高计算成果的精度,考虑水位降深观测成果可能存在误差,在利用本文方法计算前,可根据 $s \sim t$ 的观测成果完成 $s \sim t$ 曲线绘制,并通过 $s \sim t$ 曲线修正相关水位降深值。

(3)利用 $s \sim t$ 曲线进行 (t_1, s_1) 、 (t_2, s_2) 及 (t_3, s_3) 3 个点选取时,为使各点具有更好的代表性,应尽量将 (t_1, s_1) 、 (t_2, s_2) 及 (t_3, s_3) 3 对坐标点选在抽水初期的 $s \sim t$ 曲线斜率变化较大区段(曲率半径较小区段),以满足 Hantush 公式的应用条件。

(4)采用与本文类似的方法也可完成类似水文地质参数的简化求解计算问题,本文不详述。

参考文献:

- [1] 陈崇希,林敏.地下水动力学[M].武汉:中国地质大学出版社,1999. (CHEN Chongxi, LIN Min. Groundwater Dynamics [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999. (in Chinese))
- [2] 苑莲菊,李振栓,杨展,等.工程渗流力学及应用[M].北京:中国建材工业出版社,2001. (YUAN Lianju, LI Zhenshuan, YANG Zhan, et al. The Seepage Mechanics and Engineering Application [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2001. (in Chinese))
- [3] 肖长来,梁秀娟,崔建铭,等.确定含水层参数的全程曲线拟合法[J].吉林大学学报(地球科学版),2005,35(6):751-755. (XIAO Changlai, LIANG Xiujuan, CUI Jianming, et al. Whole curve matching method for aquifer parameters determination [J]. Journal of Jilin University (earth science edition), 2005, 35(6): 751-755. (in Chinese))
- [4] 李培月.非稳定流抽水试验确定越流承压含水层水文地质参数方法对比研究[D].西安:长安大学,2011. (LI Peiyue. Comparative Study on the Methods for Determining Hydrogeological Parameters in Leaky Confined Aquifers by Transient Flow Pumping Test [J]. Xi'an: Changan University, 2011. (in Chinese))
- [5] 魏亚妮.第一类越流系统井流非理想条件的影响研究[D].西安:长安大学,2012. (WEI Yanni. Typical Leakage System Dissertation Submitted for the Degree of Master [D]. Xi'an: Changan University, 2012. (in Chinese))
- [6] 刘凯,文章,刘壮添.第一类越流含水层系统中非完整井附近非达西渗流近似解析解[J].水利学报,2013,44(8):966-972. (LIU Kai, WEN Zhang, LIU Zhuangtian. Approximate analytical solution for non-darcian flow to a partially penetrating well in the first kind of leaky apuifer [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(8): 966-972. (in Chinese))
- [7] 张韵志,郭建青.粒子群优化算法在确定越流含水层参数中的应用[J].水利水电科技进展,2011,31(3):13-16. (ZHANG Huzhi, GUO Jianqing. Application of particle swarm optimization algorithm to determination of leakage aquifer parameters [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(3): 13-16. (in Chinese))
- [8] Hantush, M.S. Modification of the theory of leaky apuifers [J]. Geophys Res., 1960, 65(11): 3713-3725.
- [9] 薛禹群,吴吉春.地下水动力学(第三版)[M].北京:地质出版社,2010. (XUE Yuqun, WU Jichun. The Groundwater Dynamics (Third Edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010. (in Chinese))
- [10] 供水水文地质手册编写组.供水水文地质手册[M].北京:地质出版社,1990. (The Writing Group of Water Supply Hydrogeological Manual. Water Supply Hydrogeological Manual [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. (in Chinese))
- [11] 吴建华.第二流越流系统完整井非稳定流解的分析及含水层水文地质参数计算[D].西安:长安大学,2012. (WU Jianhua. Analysis on the Solution to the Unsteady Flow to a Fully Penetrating Well in Leaky Confined Aquifers Assuming Aquitard Storage and Determination of Its Hydoyeological Parameters [D]. Xi'an: Changan University, 2012. (in Chinese))
- [12] 李伟,赵燕容,朱旭芬,等.自动配线法求水文地质参数的优化路径法研究[J].勘察科学技术,2013,(2):6-10. (LI Wei, ZHAO Yanrong, ZHU Xufen, et al. Study on optimization path method of solving hydrogeologic parameters by automatic curve-fitting method [J]. Site Investigation Science and Technology, 2013, (2): 6-10. (in Chinese))
- [13] 江思珉,朱国荣,施小清,等.水文地质参数反演的Hooke-Jeeves粒子群混合算法[J].水科学进展,2010,21(5):606-612. (JIANG Simin, ZHU Guorong, SHI Xiaoqing, et al. Inverse analysis of hydrogeological parameters using hybrid Hooke-Jeeves and particle swarm optimization method [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(5): 606-612. (in Chinese))
- [14] 郭建青,周宏飞,李彦,等.分析非稳定流抽水试验数据的改进直线折法[J].中国农村水利水电,2009,(4):18-21. (GUO Jianqing, ZHOU Hongfei, LI Yan, et al. The linear-analytical method of estimating aquifer parameters from unsteady pumping test data [J]. China Rural Water and Hydropwer, 2009, (4): 18-21. (in Chinese))
- [15] 刘天霸,石建省,张翼龙,等.基于最频值法直线图解水文地质参数[J].工程勘察,2010,(3):42-45. (LIU Tianba, SHI Jiansheng, ZHANG Yilong, et al. Solving hydrogeologic parameters by linear graphic approach based on the most frequent value method [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2010, (3): 42-45. (in Chinese))
- [16] 王慧文.偏最小二乘回归法及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999. (WANG Huiwen. Partial Least Squares Regression Method and Its Application [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999. (in Chinese))
- [17] 阎凤文.测量数据处理方法[M].北京:原子能出版社,1988. (YAN Fengwen. Measurement and Data Processing Method [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1988. (in Chinese))

(下转第50页)

有统计,如水土保持措施对径流的影响水量、水面面积扩大增加的耗水量、水库渗漏量等。

6.2 建议

(1)建立适应河流健康评估的资料收集模式。

(2)评估单元的划分应以水文控制断面为主,这样会给计算带来一定的合理性和便利性。

(3)整个河段流量变异程度指标(FD)的赋分,采用河段长度加权法赋分较为合理。

7 结语

汉江中下游河段,在评估基准年 2009 年(水文年)的流量变异程度指标赋分仅为 32.22,表明流量过程变异程度较大,即表明流量过程变异已对汉江中下游河流健康产生重要影响。影响汉江中下游流量过程变异主要因素是人类活动所致,其主要方面是水利工程的修建。但随着社会经济的发展,汉江流域水资源开发利用程度会逐步加大,尤其是南水北调中线工程和中

下游梯级电站修建运行,汉江中下游流量过程变异程度会进一步加剧,这一状况应引起有关部门重视。

在流量过程变异指标计算中,有些项目因子的计算比较困难,计算方法还需要做进一步的探索与完善,特别是在资料的收集方面,还需要做大量的工作。

参考文献:

- [1] 龙笛. 浅谈流域生态环境健康评价 [J] 北京水利, 2005,(5). (LONG Di. Introduction to river basin ecological environment health evaluation [J]. Beijing Water Conservancy, 2005,(5). (in Chinese))
- [2] 杜后奇. 采用流量变异程度评定人类活动的影响程度[J]. 城市建设理论研究, 2013,16. (DU Houqi. The flow variation degree to assess the influence degree of human activity [J]. Urban Construction Theory Research 2013,16. (in Chinese))
- [3] 长江水利委员会水文局. 长江流域重要河湖健康评估——水文水资源与物理结构指标评估技术细则 [R]. 2011. (Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission. Changjiang river health assessment: technical rules of hydrology and water resources and physical structure evaluation [R]. 2011. (in Chinese))

Influence of Flow Process Variation on River Health in Middle and Lower Reaches of Hanjiang River

FENG Guangyin¹, LI Wenjie², ZHOU Lihua¹, CHEN Dong¹

(1. Hanjiang Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang 441021, China; 2. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Upper Changjiang River, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Chongqing 400014, China)

Abstract: Flow process variation have an important impact on river health. This paper analyzed the flow process variation and its affecting factors in the middle and lower reaches of the Hanjiang River. By case calculation, this paper quantitatively analyzed the influence of the flow process variation river health in the middle and lower reaches of the Hanjiang River, and put forward the existing problems and improvement method for the index analysis and calculation.

Key words: degree of flow process variation; index of flow process variation; calculation method; river health; influence

(上接第 79 页)

Simplified Solution of Hydrogeological Parameters in Condition of Non-stationary Recharge Flow

TENG Kai

(Qiqihar Water Affairs Bureau, Qiqihar 161006, China)

Abstract: The solution of the hydrogeological parameters in the condition of the non-stationary recharge flow is concerned with 3 unknown transcendental equations, which can not be obtained by the normal analytic method. This paper used the optimal fitting method to realize alternative of the function relationship of the chart-given non-stationary recharge flow with the simpler functions in the range of the parameters suitable with the engineering, and used the groundwater level decrease ratio relationship to obtain the expressions with only 1 unknown quantity. After simple calculation, the parameters can be obtained.

Key words: recharge; groundwater level decrease ratio; hydrogeological parameter; optimization; simplified calculation