

峡江水利枢纽同江河防护区 地下水中铁离子运移规律分析

王呈辉¹, 李春华²

(1.江西省潦河工程管理局,江西 奉新 330700; 2.江西省水利规划设计院,江西 南昌 330029)

摘要: 地下水铁离子浓度超标,将严重影响居民饮用水安全.认识地下水铁离子的运移规律,可为保护地下水饮用水源提供依据.本文基于溶质运移理论,建立同江河防护区内地下水铁离子运移概化模型,分析在同江河防护区与水库库区之间设置防护层与不设置防护层二种情况下铁离子的运移规律.分析表明,不设置防护层工况,铁离子浓度的变化呈现“钩状”形态发展,且运移速度快,扩散范围广;设置防护层工况,浓度的变化呈现“舌状”发展,运移速度、扩散范围远小于不设置防护层的情况;防护层会有效延缓铁的运移速度,限制运移范围,但不会从根本上解决铁的运移.

关键词: 同江河;地下水;铁离子;溶质运移

中图分类号: X523 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2015)02-0090-03

0 引言

同江河防护区是峡江水利枢纽最大的防护区,位于赣江中游左岸一级支流同江河下游的两岸。主要通过沿赣江左岸建同赣堤,在防护区南面丘地新开同南河,对同江河下游长约 16 km 河道进行改道等工程措施建成^[1]。

同江河防护区居住了众多居民,大部分居民的饮用水水源为井水,调查发现部分居民饮用的井水中铁离子浓度超出饮用水标准^[2-9]。峡江水利枢纽工程建成后,同江河防护区地下水铁离子运移规律如何?本文基于溶质运移理论,建立同江河地下水铁离子运移概化模型,分析在同江河防护区与水库库区之间设置防护层与不设置防护层情况下,水库蓄水与防护区地下水之间铁离子的运移规律,为同江河防护区农村饮水安全建设提供参考。

1 铁离子运移模型

1.1 概化模型及计算参数

根据同江防护区地层资料,把实际地层概化为:粘土层、砂壤土层及细砂层,厚度分别为 1m、1m、5m。土体参数如表 1 所示。设计两种工况:一是未设置防护层,

如图 1 所示;二是设置防护层情况,河岸防护层厚度 35 cm,底部防护层厚度为 50 cm,防护层结构采用现浇砼。初始条件设定污染源浓度为 0.0131 mol/m³。地质勘测资料表明,村庄地下水水位大致为 2.3~3.8 m,河流水位高程高出居住村地下水水位 2 m。

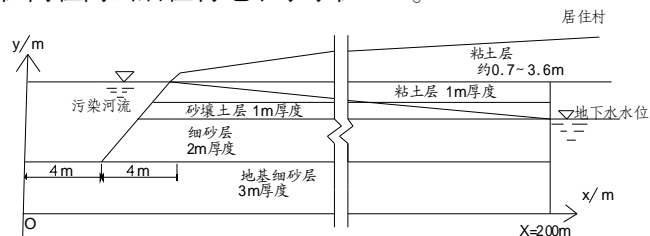


图 1 无防护层情况铁离子运移概化模型

表 1 土层计算参数

| 土样名称 | 渗透系数 k/(m/s) | 弥散系数 D/(m ² /s) | 铁的非线性吸附方程 |
|------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 细砂 | 3.0×10 ⁻⁵ | 3.6×10 ⁻⁷ | C/S = 0.002 75C + 0.096 08 |
| 砂壤土 | 3.2×10 ⁻⁶ | 9.0×10 ⁻⁷ | C/S = 0.000 839 8C + 0.024 75 |
| 粘土 | 3.5×10 ⁻⁸ | 3.0×10 ⁻⁶ | C/S = 0.000 495C + 0.005 55 |

注:C表示铁离子浓度,S表示固相吸附量。

1.2 溶质运移数学模型

假定土体为均质、各向同性的多孔介质,在不考虑吸附作用、化学反应、污染源衰减等引起源项发生变化的条件下,可用式(1)描述饱和土壤中的溶质运移。

$$\left[\frac{\partial(nc)}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x n \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_y n \frac{\partial C}{\partial y} \right] - \frac{\partial}{\partial x} [nC] - \frac{\partial}{\partial y} [vnC] \right] \quad (1)$$

式中: n 表示饱和体积含水率; C 表示污染物浓度; t 表示累计运移时间; u 、 v 表示运移速度在 x 和 y 轴上的分量; D_x 、 D_y 表示弥散系数在 x 、 y 轴上的分量。

考虑到本模型中铁的非线性吸附反应,对式(1)做修改后可得式(2):

$$n_i \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho_{si} \frac{\partial S_i}{\partial t} = n_i \left[D_{xi} \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + D_{yi} \frac{\partial C_i}{\partial y} - \mu_i \frac{\partial C_i}{\partial x} - \lambda C_i \right] \quad (2)$$

式中: S 表示土壤吸附量; ρ_s 表示土壤密度; λ 表示衰减系数。

2 未设置防护层情况铁离子运移规律

未设置防护层工况,不同运移时间铁离子浓度分布如图 2、图 3 所示^[10]。同一时刻铁离子浓度分布呈现“钩状”发展,粘土层内铁离子浓度等值线几乎平行且竖直,间距很小,砂层间距很大,即粘土中浓度沿程梯度很大,细砂沿程浓度梯度很小,表明铁离子在细砂层中运移速度最快,在粘土中运移最慢。按此速度估算,铁离子在粘土、砂壤土及细砂中运移 1m 需要的时间分别为 880 d、465 d、304 d。

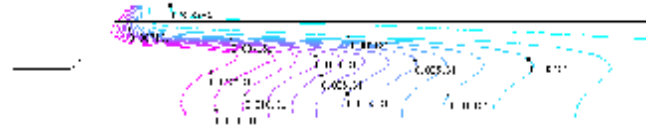


图 2 t=5 年铁离子浓度分布(单位: mol/m³)



图 3 t=10 年铁离子浓度分布(单位: mol/m³)

不同时刻铁离子浓度与埋深的关系如图 4 所示。相同时刻下剖面浓度随着埋深的增长慢慢变大,然后略微下降,但总体趋势上升,并到达一个峰值。随着运移时间的增加,曲线最高值越来越大。因此,未设置防护层情况,埋深越大浓度越大,累计运移时间越长,同一剖面上浓度越大。这是非常严重的问题,因为村民井中水主要来自细砂层,一旦细砂层被污染,则井水就不适宜饮用。

3 设置防护层情况铁离子运移规律

图 5、图 6 给出了设置防护层情况不同运移时间铁离子浓度的分布。不同时刻铁离子浓度均呈现“舌状”

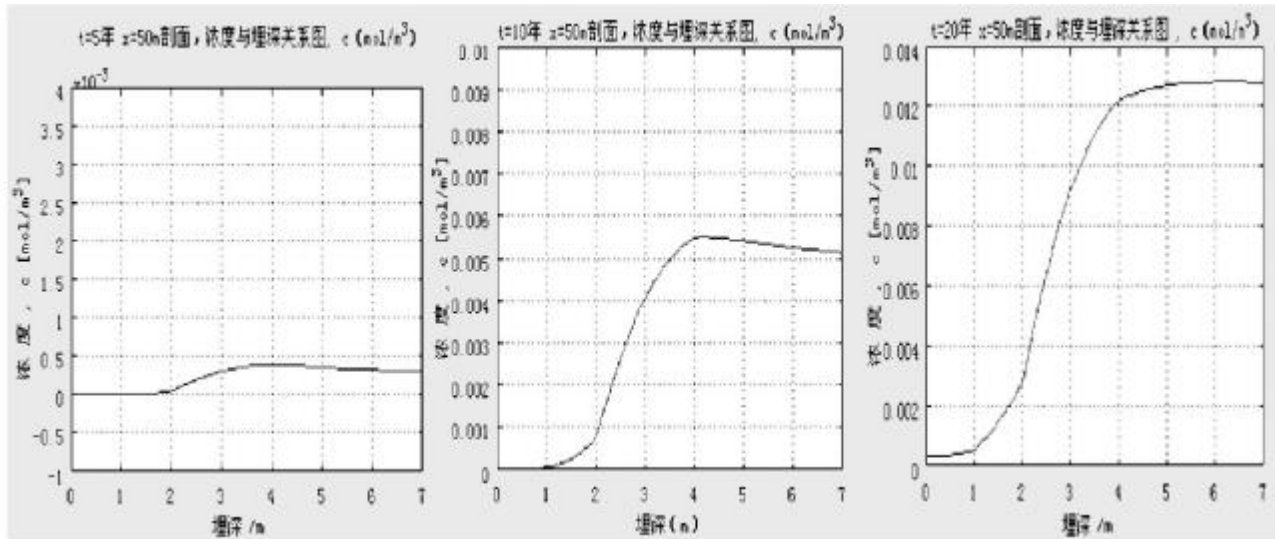


图 4 不同时刻铁离子浓度与埋深关系

发展趋势,浓度梯度越来越小,粘土的扩散范围很小,细砂的扩散范围很大。同一个剖面浓度在舌尖到达峰值。

不同时刻铁离子浓度与埋深的关系如图 7 所示。3 个时刻浓度均随着埋深的加大而升高,然后又缓慢变低,

呈“驼峰状”发展。由于粘土层和砂壤土层对铁吸附性强,在 $x=0\sim 2\text{m}$ 区域铁离子浓度均较低。而在 $x=2\sim 7\text{m}$ 细砂层,铁离子浓度均较大,这是因为细砂对铁离子吸附性较小导致的。

与未设置防护层的情况相比, $t=20$ 年未设置防护层

时浓度峰值 0.0128 mol/m^3 , 而设置防护层时浓度峰值仅为 0.0035 mol/m^3 , 降低了 72.6% , 这充分说明防护层的作用。此外, 浓度随埋深变化趋势不同。前者浓度随埋深增大而增大, 后者埋深增大, 浓度先增大后减小。其原因

因主要是未设置防护层时, 细砂层中成为了主要污染区域, 铁离子通过河岸和河床进入土壤中, 而设置防护层后, 铁离子不能自如的通过河床和河岸, 需先穿透防护层, 才能污染到分层土壤中, 同时铁离子在防护层中吸

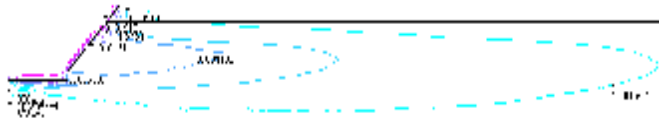


图5 t=5年铁离子浓度分布(单位: mol/m^3)

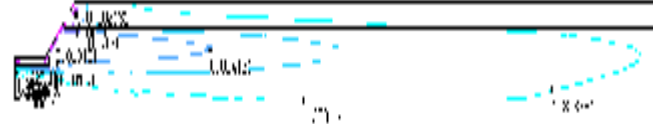


图6 t=10年铁离子浓度分布(单位: mol/m^3)

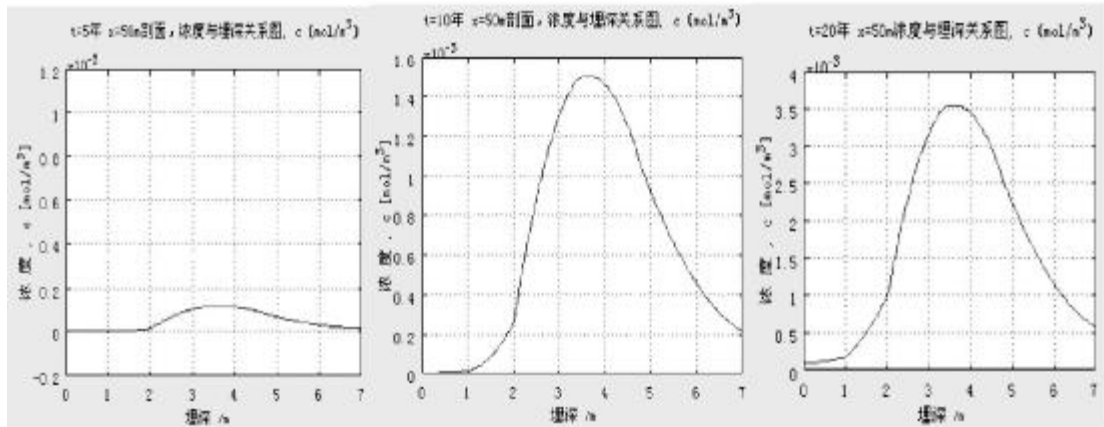


图7 不同时刻铁离子浓度与埋深关系

附性非常强, 大大降低其污染范围。

4 结论

(1) 同江河地下水中铁离子运移范围与是否设置防护层密切相关。未设置防护层时, 铁离子浓度向土壤中的运移变化呈现“钩状”形态发展, 且运移速度快, 扩散范围广。而设置粘土防护层时, 铁离子浓度的变化呈现“舌状”发展, 运移范围远小于未设置防护层的情况。

(2) 防护层可以延缓污染物运移的进程, 但无法阻止污染物的运移。设置防护层只是权宜之计, 要彻底保障同江河饮用水安全, 最根本的解决办法是治污。

(3) 文中采用的防护层结构为现浇砼, 不同防护层是否影响铁离子的运移, 有待进一步研究。

参考文献:

[1] 江西省峡江水利枢纽工程初步设计 [R]. 江西省水利规划设计院, 2010.

[2] 速宝玉, 孔俐俐, 等. 同江防护区渗流控制措施及地下水环境分析方法应用开发研究 [R]. 河海大学水利水电学院, 江西省水利规划设计院, 2010.

[3] 武强, 连会青, 李铎. 天津浅层孔隙含水介质中铁的吸附运移性能[J]. 北京科技大学学报. 2006, 28(4): 307-311.

[4] 朱锦旗, 王彩会, 陆徐荣, 等. 苏锡常地区浅层地下水铁锰离子分布规律及成因分析 [J]. 水文地质工程地质. 2006, (3): 30-33+37.

[5] 潘月鹏, 阎百兴, 路永正, 等. 三江平原水环境中可溶性铁的分布特征研究[J]. 地理科学. 2007, 27(6): 820-824.

[6] Rennert T, Mansfeldt T. Sorption and transport of iron-cyanide complexes in uncontaminated soil investigated in column experiments [J]. Soil Science. 2002, 167(8): 504-512.

[7] 李铎, 宋雪琳, 高志娟, 等. 多孔介质中铁的吸附分配和迁移特征[J]. 辽宁工程技术大学学报. 2007, 26(4): 532-534.

[8] 胡玉福, 邓良基, 张世熔, 等. 四川盆地西缘浅层地下水铁、锰含量的空间变异特征[J]. 生态学报. 2009, 29(2): 797-803.

[9] 詹青文, 张建华. 峡江防护区地下水中铁离子运移规律研究[J]. 水电能源科学. 2011, 29(6): 46-48.

[10] 杨璘. 成层地基中氨氮入渗运移机理实验及垃圾填埋场污染控制研究[D]. 河海大学硕士学位论文. 2009.