

流域氯离子迁移规律初探

包为民 刘 凌 张丹蓉

(河海大学水文水资源系 南京 210098)

摘要 本文以流域系统离子平衡方程为基础,从物理成因角度出发,概化其机制,提出了流域氯离子迁移规律模拟概念模型,并采用实测资料作了检验,获得了较好的效果。

关键词 流域系统 氯离子 迁移规律 水污染 概念模型

流域面污染问题十分复杂,其有关的机理实验研究非常困难,规律描述的物理定律化几乎还是不可能的。本研究以天然流域氯离子迁移规律为例,从物理成因角度出发,概化其物理机制,提出概念性模拟模型,探索流域系统面污染规律的研究途径。

1 流域系统离子平衡方程

把流域看作一个集中的系统,考虑该系统的离子输入 I_m 、输出 Q_m 、系统的调节作用引起的离子变化率 S 和系统内离子的变化率,有如下平衡关系

$$\frac{dm}{dt} = I_m - Q_m + S \quad (1)$$

2 机制概化

天然流域河川径流中氯离子的含量主要来源于雨水挟带、含氯岩浆岩的风化物、沉积岩的氯化物等。水流挟带风化物中的氯离子并溶解沉积岩中的氯化物,形成水中的氯离子,一般不再与水中的其他成分产生生化反应或周围固体作离子交换,只随水流运动,到达流域出口断面。因此,描述氯离子的平衡方程式(1)中 S 项可概化为含氯离子挟带速

率和沉积岩中氯化物溶解速率之和

风化物氯离子挟带速率,与流域上堆积的风化物量有关,而这堆积量又受前期气候条件的影响。一般说来,对同一个流域而言,前期气候干燥,流域上堆积的风化物量就大,相同水流条件下,水流能挟带的离子含量就高,前期气候湿润,风化物堆积量就少,水流能挟带的离子含量就低些。据此,提出水流挟带风化物氯离子速率 S_w 关系为

$$S_w = \frac{dP_{\max}}{P_0 + dP_{\max}} C_w \cdot QS \quad (2)$$

式中 $P_{\max}$ 为时段最大可能降水量, P_0 为上一时段实际降水量, C_w 为水流挟带的氯离子最大含量, QS 为地面径流流量, d 为降水对风化物离子挟带含量减少影响的灵敏系数。

水流在土壤中缓慢运动,要溶解土体中所含的部分氯离子,其溶解速率主要取决于固相和液相离子含量、作用时间和作用时的水温。据此,提出水解速率 S_d 的表达式为

$$S_d = KS \cdot \frac{T}{T_{\max}} \cdot \frac{TT}{TG} \cdot \left(KP - \frac{C}{C} \right) \frac{\gamma}{\gamma_{\max}} C_d \cdot QG \quad (3)$$

式中 KS 为水解速率系数, T 和 $T_{\max}$ 分别为时段平均和最大可能水温, TT 和 TG 分

别为流域水流平均汇集时间和深层地下径流最大汇集时间, KP 为水解平衡系数, C 和 $\tilde{C}$ 分别为液相和固相氯离子含量, $\tilde{C}_{\max}$ 为固相最大氯离子含量, QG 为地下水流量, C_b 为最大可能水解氯离子含量。

3 动态模拟与检验

式 (1)中,流域氯离子储蓄量 m 由固相和液相两部分组成。可表示为

$$m = (\tilde{C}h + C\theta)hA \tag{4}$$

式中 h 为孔隙率, θ 为含水率, h 为河川径流作用土层平均深度, A 为流域面积。进入流域系统和氯离子速率 I_m , 对天然流域而言, 只有雨水带入, 表示为

$$I_m = CP \cdot QI \tag{5}$$

式中 CP 为雨水氯离子含量, QI 为以流量表示的时段降雨量。将式 (4)和式 (5)代入式 (1),并差分整理可得

$$\begin{aligned} &\tilde{C}_2 h_e + C_2 (W_2 + \frac{TR}{2} Q_2) \\ &= \tilde{C}_1 h_e + C_1 (W_1 - \frac{TR}{2} Q_1) \\ &+ \frac{TR}{2} (I_m + S_w + S_D) \end{aligned} \tag{6}$$

式中 $h_e = \theta h$ (7)

$$W_i = \theta_i h \quad i = 1, 2 \tag{8}$$

$$TR = \Delta t / (A^* 10^3) \tag{9}$$

下标 1表示 t 时刻,下标 2表示 $t + \Delta t$ 时刻。式 (6)表示了已知 I_m 和 S 条件下,由 t 时刻的状态迭推估计 $t + \Delta t$ 时刻状态的动态模拟。式左边有 4个未知量。其中 W_2, Q_2 可由水文学中的水流动态估计模型获得^[1],再结合 Freundlich 的稳态固相-液相含量试验关系^[2]

$$\tilde{C} = TC^U \tag{10}$$

则由式 (6) (2) (3) (5)和 (10),再加上水流动态模拟模型,就构成了完整的氯离子含量动态模型

由以上分析可知,动态模拟模型有许多概化,这些概化,是否符合流域实际情况,需作检验。这里用阜平流域的实测资料来作模拟检验。

阜平流域,是海河流域大清河水系沙河的源头流域,流域面积为 $2\,210\text{km}^2$,河川径流多年平均氯离子含量在洪水期为 5.5mg/L ,枯水期为 7.8mg/L ,基本属天然型的河流。流域设有阜平水文站,有 20年的降水、蒸发、流量、水温和离子含量等资料,模拟时段采用月间隔,水流模拟用变径流系数大尺度水文模型^[1],模拟结果见附表。表中 RC 和 R_0 分别为以径流深形式表示的计算和实测年径流深, CI 和 CI_0 分别为以模数形式表示的计算和实测年氯离子径流模数。

从附表结果看,各年的估计值相对于实测值的误差不大,平均为 47.6%,超过 100%的有 3年,但这些年份都是由于水流估计误差过大引起的。例如 1972年,估计相对误差为 -163%,而水流的估计误差有 -96.3%,扣除这水流估计误差传递影响,离子模数本身的估计误差约为 -21.9%。从这些情况看,模型概化是较符合流域实际情况的,模拟实测资料的效果也是较好的。

4 结 语

流域离子径流动态模拟模型,以流域系统平衡方程为基础提出,并经阜平流域的初步应用检验,表明了模型结构的合理性和有效性。但这只是初步的尝试,其推广应用,还需作大量的深入研究。

本研究提出以有限大小控制元平衡方程式 (1)为基础的动态模拟,可以根据实际能提供的资料信息和生产实际问题的需要,改变尺度大小。如流域尺度,可以是小到几十平方米的试验流域,也可以是大到几十、几百、甚至数万平方公里的实际流域,假如资料条件允许,还可把流域划分为若干单元,当这单元

尺度趋于无限小时 ,再加上扩散作用项 ,其平衡方程就变成了常说的扩散方程了。因此 ,以平衡方程为基础的方法 ,符合科学发展实际情况 ,既能解决生产实际问题 ,又能深入研究基本规律 ,是值得进一步研究的。

附表 阜平流域离子模数模拟结果

年份	R_0 (mm)	RC (mm)	相对误差 (%)	$C l_0$ (kg /km ²)	$C l$ (kg /km ²)	相对误差 (%)
1961	132. 2	130. 1	1. 6	2597	1925	25. 9
1662	111. 5	118. 9	- 6. 6	781	1227	- 57. 1
1963	302. 7	341. 7	- 12. 9	2448	2542	- 3. 8
1964	329. 7	278. 9	15. 4	1693	1339	20. 9
1965	41. 3	66. 1	- 35. 8	174	412	- 137. 0
1966	147. 6	162. 7	- 10. 2	552	945	- 71. 2
1967	224. 6	212. 1	5. 6	1294	1003	22. 5
1968	83. 3	95. 2	- 14. 3	535	561	- 4. 8
1969	126. 7	143. 6	- 13. 3	(793)	739	(6. 8)
1970	83. 5	104. 9	- 25. 6	470	589	- 25. 3
1971	87. 7	94. 1	- 7. 3	437	640	- 46. 4
1972	21. 8	42. 5	- 96. 3	146	384	- 163. 0
1973	288. 8	209. 3	27. 5	1999	1252	37. 4
1974	77. 5	85. 8	- 10. 7	645	536	16. 9
1975	74. 9	88. 5	- 18. 2	377	649	- 72. 1
1976	178. 6	149. 4	16. 3	834	900	- 7. 9
1977	293. 1	257. 0	12. 3	1019	1165	- 14. 3
1978	258. 2	198. 8	30. 3	846	835	1. 3
1979	190. 6	251. 7	- 32. 0	461	896	- 94. 4
1980	49. 3	120. 7	- 145	225	502	- 123
平均	156. 5	157. 6	23. 0	916	952	47. 6

致谢: 本文研究得到王瑚教授和徐向阳副教授的帮助 ,在此谨表谢意。

参考文献

1 包为民 .中大流域水沙耦合模拟物理概念模型. 水科学进展 ,1994,5(4): 287~ 292

2 Vladimir N P, et al. Handbook of nonpoint pollution. M C GRAW- HILL, 1981. 212~ 230

(收稿日期: 1995- 01- 10)

(上接第 31页)

9 Tchobanoglous T, et al. Integrated solid waste management , engineering principles and management issues. McGraw Hill, Inc, USA, 1993

10 Baron J L, et al. Landfill methane utilization technology workbook. Argonne National Laboratory, DOE, USA, February, 1981

11 Qian X D. Geotechnical aspects on landfill design. The University of Michigan, Department of Civil and Environmental Engineering, Ann Arbor, Michigan, USA, May, 1995

12 Qian X D. Estimation of maximum saturated depth on landfill liner. Michigan Department of Natural Resources, Waste Management Division, Lansing, Michigan, USA, September, 1994

(全文完;收稿日期: 1995- 09- 04)