

УДК 556.34

С. В. САРКИСЯН, В. С. САРКИСЯН

ПРОГНОЗ РАСТВОРЕНИЯ И ВЫМЫВА СОЛЕЙ ПРИ
ФИЛЬТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ

Рассматриваются вопросы растворения и вымыва солей из грунтов, представляющие интерес при разработке вопроса выщелачивания металлов из горных пород и освоении засоленных земель. Приводятся основные дифференциальные уравнения и краевые условия, позволяющие прогнозировать изменение концентраций солей и произвести расчет во времени и в пространстве. Излагается полученное аналитическое решение задачи.

Библиогр.: 5 назв.

Գիտարկվում են բեռնոգրի աղերի (ուրան, պղինձ և այլն) լուծման և նեոստման հարցերը, երբ արդեն ուղեղացման նամար օգտագործվում են նախադասվներ: Բերվում է հիմնական դիֆերենցիալ նախասարտմները և սահմանային պայմանները, որոնց լուծումը նեոստման փորտվյուղն է ապրիս կանխագորչակելու աղերի և նախադասվի խտության փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում և տարածության մեջ: Բերվում են խնդրի վերլուծական լուծման արդյունքները:

Растворение и вымыв солей из грунтов, а также извлечение металлов из руд с помощью специальных химических реагентов в настоящее время в СССР и за рубежом уделяется большое внимание. Особенно этот способ применяется для добычи урана из обводненных осадочных пород и меди, золота и других металлов из убогих и забалансовых руд в районах действующих рудников. При растворении и вымыве солей металлов из грунтов и руды последние предварительно разрыхляются, а руда дробится камуфлетными взрывами. Экспериментальные исследования кислотного выщелачивания показывают, что для фиксированных времен по пространственной координате наблюдается переотложение урана на подвижном щелочном барьере. Вследствие этого концентрация на некотором расстоянии от начального сечения превышает его исходное содержание [1, 2].

Пусть раствор кислоты с концентрацией C_0 фильтруется по направлению оси z со скоростью v и, взаимодействуя с породой, выщелачивает из нее соли. Задача о прогнозе изменения концентрации металла в твердом и растворенном виде при кислотном выщелачивании в случае одномерной фильтрации сводится к интегрированию следующих дифференциальных уравнений:

$$D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} - v \frac{\partial C_i}{\partial z} - n_0 \frac{\partial C_i}{\partial t} = -q_i, \quad i = 1, 2. \quad (1)$$

Здесь $C_{1,2}$ — концентрации соли и кислоты (реагента) в жидкой фазе, $D_{1,2}$ — коэффициенты конвективной диффузии для растворенной соли и кислоты, n_0 — пористость пород, $q_{1,2}$ — мощность источника, опреде-

ляемая расходом поступления продукта в поток, движущийся по порам и трещинам (плюс) или расходом поглощения реагента породой (минус).

Так как коэффициент гидродинамической диффузии в основном зависит от физико-механических свойств рудного пласта и от скорости фильтрации, то можно считать, что $D_1 = D_2$, осреднить скорость фильтрации по координате, во времени и принимать $v = u = Q/\omega$ (Q — подаваемый на площадь ω расход). Тогда вместо (1) будем иметь

$$D \frac{d^2 c_i}{dz^2} - u \frac{dc_i}{dz} - \pi_0 \frac{dc_i}{dt} = \pm q_i, \quad i = 1, 2. \quad (2)$$

Для определения вида функции q_i Б. С. Шержуков проводил теоретическое исследование по диффузионному извлечению вещества при неподвижной границе реакции [2], а А. В. Шибанов — при подвижной границе [4]. Полученные ими кинетические уравнения могут быть использованы при решении задачи о диффузионном извлечении металлов в условиях фильтрации реагента через породу, содержащую извлекаемый компонент. Одна из таких задач рассмотрена в [4]. Однако для широкого применения в аналитических исследованиях эти зависимости достаточно сложны.

Как показано в [1, 2], в случае кислотного выщелачивания урана вид функций q_i следующий:

$$q_1 = \frac{db}{dt} = \beta [c_1 - c_s(c_2)]; \quad c_s = \gamma c_2^2, \quad i = 1, 2, 3; \quad (3)$$

$$q_2 = k(c_2 - c_r), \quad (4)$$

где β — константа скорости реакции выщелачивания (переотложения), b — содержание металла в твердой фазе, C_h — растворимость рудного минерала, k — константа скорости реакции, c_r — концентрация реагента в равновесии с породой (минералом).

В случае $D=0$ эта задача ранее рассматривалась в [1, 2]. Растворение и вымыв солей из горных пород при фильтрации воды рассмотрены в [5] и др. [3—8].

Для решения системы (2) при $q_{1,2}$ по (3) — (4) рассмотрим фильтрацию реагента в однородном изотропном полуограниченном пласте. В точке с координатой $z=0$ для времен $t > 0$ подается реагент (растворитель) с постоянным расходом ϵ и концентрацией $c_1(0, t) = c_0$. Принимая в зависимости $c_s = f(c_2)$ величину $n=1$, краевые условия будут:

$$c_1(z, 0) = c_1^0; \quad c_1(0, t) = c_0; \quad c_1(\infty, t) < \infty; \quad (5)$$

$$c_2(z, 0) = c_2^0; \quad c_2(0, t) = c_0; \quad c_2(\infty, t) < \infty. \quad (6)$$

Решение задачи (2), (4) имеет вид

$$c_2 = c_r + 0,5(c_0 - c_r) e^{-u(z-t)/D} [\Phi^*(t_1) + e^{2z^2/D} \Phi^*(t_2)],$$

$$\Phi^*(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-u^2} du, \quad \lambda_{1,2} = \frac{\bar{z}}{2\sqrt{F_0}} \pm \alpha \sqrt{F_0}, \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{uL}{2D}, \quad \alpha = L \sqrt{\frac{k}{D} + \frac{u^2}{4D^2}}, \quad \bar{z} = \frac{z}{L}, \quad F_0 = \frac{Dt}{a_0 L^2}, \quad (8)$$

Здесь L — некоторая характерная длина, в частности, через L можно обозначить мощность массива грунта, подвергающегося растворению.

Умножая уравнение (1) при $t = 1$ на величину $\left(\frac{k}{\beta} - 1\right) \gamma$ и сложив полученный результат с уравнением (1) при $t = 2$, найдем

$$D \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} - u \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial \theta}{\partial t} + \beta \theta - kc_r, \quad (9)$$

$$\theta = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{k}{\beta} - 1 \right) c_1 + c_2, \quad (10)$$

Краевые условия для (9) с учетом (5) — (6) будут

$$\theta(z, 0) = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{k}{\beta} - 1 \right) c_0' - c_2, \quad \theta(0, t) = c_0, \quad \theta(\infty, t) < \infty. \quad (11)$$

Решение системы (9) — (11) имеет вид

$$\begin{aligned} \theta = & \frac{kc_r}{\beta} + \frac{1}{2} \left(c_0' - \frac{kc_r}{\beta} \right) e^{-\lambda_1 z - \lambda_1^2 t} [\Phi^*(\lambda_1) + e^{2\lambda_1 z} \Phi^*(\lambda_1)] + \\ & + \frac{1}{2} \left(\frac{k}{\beta} - 1 \right) \left(\frac{c_0'}{\gamma} - c_2 \right) e^{-\lambda_2 z} [\Phi^*(\lambda_2) - e^{2\lambda_2 z} \Phi^*(\lambda_2)], \\ & \lambda = L \sqrt{\frac{\beta}{D} + \frac{u^2}{4D^2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Используя (7) и (12) из уравнения (10), находим

$$\begin{aligned} c_1 = & \gamma c_2 + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\frac{k}{\beta} - 1} \left(c_0' - \frac{kc_r}{\beta} \right) e^{-\lambda_1 z} [\Phi^*(\lambda_1) + \\ & + e^{2\lambda_1 z} \Phi^*(\lambda_1)] - \frac{1}{2} \gamma \frac{c_0' - c_2}{\frac{k}{\beta} - 1} e^{-\lambda_2 z} [\Phi^*(\lambda_2) + \\ & + e^{2\lambda_2 z} \Phi^*(\lambda_2)] - \frac{c_0' - \gamma c_2}{2} e^{-\lambda_2 z} [\Phi^*(\lambda_2) - e^{2\lambda_2 z} \Phi^*(\lambda_2)], \\ & \lambda_{1,2} = \frac{\bar{z}}{2\sqrt{F_0}} \mp \alpha \sqrt{F_0}, \quad c_{1,2} = \frac{\bar{z}}{2} \sqrt{\frac{\bar{z}}{F_0}}. \end{aligned} \quad (13)$$

В случае пласта ограниченной мощности L , вместо последних условий (5)–(6) на границе $z = L$ ставится граничное условие $\sigma_{12}, \sigma_z = 0$.
Для ограниченного пласта задача решается аналогично.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Голицын В. С. Динамика геохимических процессов.—М.: Недра, 1981.—208 с.
2. Шершукон Б. С. Кинетика процессов подвижного растворения металлов и солей в пористо-трещиноватых средах // Научные исследования в области инженерной гидрогеологии: Сборник трудов ВОДГЕО.—М., 1977.—Вып. 70.—С. 21—23.
3. Шибанов А. В. Кинетика растворения вещества в горных породах при подвижной поверхности реакции // Там же.—С. 24—27.
4. Шибанов А. В. О подвижном выщелачивании вещества из руд в условиях одномерного фильтрационного потока // Там же.—С. 27—30.
5. Веригин И. И., Шершукон Б. С. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах // Развитие исследований по теории фильтрации в СССР.—М.: Наука, 1969.—С. 237—313.

Институт им. К. Маркса

29 IX 1987

Изв. АН АрмССР (сер. Физ.-мат. науки), т. XLII, № 2, 1988, с. 87—92

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.386

С. А. АНЧАРАКЯН, Э. А. НАЗАРЯН, К. Т. АВЕТЯН, М. М. АРАКЕЛЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДВУХОСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Решена задача о распределении напряжений при изгибе шарнирно-опертой круглой тонкой пластины под действием вертикальной сосредоточенной силы, которая приложена в центре пластины. Осуществлено локальное тензометрирование для двухосного сжатия и растяжения. Установлены направления наибольших касательных напряжений, вдоль которых реализуется скольжение дислокаций. Найдены области на поверхности кристалла, соответствующие различным векторам Бюргерса дислокаций. Дано сравнение полученных результатов с экспериментом.

Ил. 4. Библиогр.: 7 назв.

Տեսակետերն և փորձնականերն լուծված է զվեց խորհրդներում շարունակի բաշխման խնդիրը, երբ նրանք զտնվում են կրկնաօսյա շարված վիճակում: Ծրկառանցք սեղմման և եզման համար իրականացված է տեղական տենզոմետրիա: Որոշված են առավելագույն շոշափող շարունակի ուղղությունները, որտեղով իրականանում է դիսլոկացիաների սահըր: Ոյտնվող մակերևույթի վրա որոշված են այն տիրույթները, որոնց համապատասխանում են դիսլոկացիաների տարրեր Ոյտնղիների վեկտորների ուղղություններ:

Задача о распределении напряжений в твердых телах при различных способах приложения внешней нагрузки представляет определенный интерес как с экспериментальной, так и с теоретической точек зрения.