

滑坡水土作用体系中 Ca^{2+} 的地球化学行为的反向模拟

刘媛¹, 梁和成¹, 唐朝晖², 蔡鹤生¹, 刘佳伟¹

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 武汉 430074)

摘要: 定量准确地描述滑坡水土作用体系中复杂的地球化学反应对于水化反应微观尺度的研究尤为重要。本文针对三峡库区石榴树包滑坡水土作用体系, 选取 Ca^{2+} 为特征作用离子, 设计去离子水及 $\text{pH}=4, 7, 10$ 的钙离子水溶液在土水质体比为 1:5, 水流速度 20 mL/min, 室内温度 $17 \pm 2^\circ\text{C}$ 的条件下对滑坡土体进行 30d 室内循环饱水土柱试验。通过对实验测试数据的分析, 利用 PHREEQCE 对试验中的水土化学作用进行反向地球化学模拟, 探讨在 Ca^{2+} 影响下发生的主要地球化学反应特征。结果表明溶液中 Ca^{2+} 的存在抑制了对水土作用体系反应进程起着控制性作用的钙质胶结物的溶解及粘土矿物的生成, 增强了土体表面的离子交换作用, 胶结物的生成和胶结作用及离子交换作用使得土体孔隙变小, 颗粒间变紧密, 使得滑坡体更加趋于稳定。研究成果对研究三峡库区滑坡这一典型而特殊的水土作用体系的水土化学作用机理及过程具有重要的理论意义和实际应用价值。

关键词: 石榴树包滑坡; 水土化学作用; Ca^{2+} ; PHREEQCE; 反向地球化学模拟

中图分类号: P642.22; P641.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2012)02-0106-05

三峡工程的建设使得地下水位的改变加大了对地下水环境的扰动, 库区水土作用体系中发生的一系列复杂的离子交换、溶解、沉淀等地球化学反应使得岩土体成分与结构均发生改变, 原来处于稳定状态的自然地质条件发生变化, 从而引发库区大量斜坡稳定性问题^[1~4]。

三峡库区石榴树包滑坡属于库区典型的古滑坡, 滑坡松散堆积土含有大量的钙质成分^[5]。已有研究表明, 在库区滑坡饱水过程中有大量 Ca^{2+} 的流失, 将造成土骨架疏松、连结程度减弱。而通过控制水土的化学作用(例如渗入含某种离子成分的水溶液、加强某类水土化学作用)是有可能改变土体的结构、胶结形态等, 进而改良土质、改变斜坡的稳定性^[6~7]。因此, 依据反向地球化学模拟的基本原理, 利用 PHREEQCE 针对在不同含钙溶液条件下将会发生的水土化学作用进行逆向模拟, 对水土作用体系中发生的各种地球化学反应进行定量描述, 有利于精确了解水土作用体系中地球化学反应的进程^[1], 对研究三峡库区滑坡这一典型而特殊的水土作用体系的水土化学

作用机理及过程具有重要意义。

1 动态模拟试验

1.1 试验材料

土样采集于石榴树包古滑坡前缘 168m 高程坡体表层以下 0.5m 处, 为三叠系巴东组的红色泥岩、粉砂岩和灰绿色泥灰岩、灰岩经滑动强烈破坏而成的散裂结构和碎裂结构土体。将采集回来的土样置于干燥箱中, 在 50°C 恒温条件下进行烘干至少 8 h, 以去除土体中水分^[8]。之后取出土样去除土样中的明显的粗粒石块($\geq 1.0\text{cm}$), 用于饱水试验。

1.2 溶液配制

用 CaCl_2 固体、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固体、 HCl 溶液与去离子水配制成 4 组水溶液。A: 去离子水; B: 酸性含钙水溶液; C: 中性含钙水溶液; D: 碱性含钙水溶液。具体参数见表 1 所示。其中溶液 pH 值由 pH 计 (Docu-pH Meter Sartorius) 测定, Ca^{2+} 浓度用紫外分光光度法测定验证。

表 1 四组饱水溶液初始状态参数

Table 1 Initial parameters of four solutions

溶液参数	A	B	C	D
pH	7.000	4.001	7.000	10.005
T($^\circ\text{C}$)	17.2	17.2	17.2	17.2
Ca^{2+} (mg/L)	0.000	40.005	40.002	39.997

收稿日期: 2011-05-18; 修订日期: 2011-09-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40702059)

作者简介: 刘媛(1988-), 女, 硕士研究生, 从事地下水科学与工程、水岩作用地质灾害、环境地质方向研究。

通讯作者: 梁和成, E-mail: hchliang@cug.edu.cn

1.3 试验方案

将处理好的土样分别与 4 组水溶液在相同的循环饱水装置(图 1)中进行 30d 的饱水试验。根据前期饱水参数对饱水试验中水土化学反应影响的试验研究,按照土样:水样=1500 g:7.5 L 质体比例^[9],在水流速度 20mL/min、室内温度 17±2℃ 的条件下进行。饱水结束后,分别将 4 组试验中的土样取出,并在 50℃ 恒温条件下烘干。

1.4 试验样品测试

利用荷兰 X’pert MPD ProX 射线衍射仪及粘土矿物全量分析法对试验前后土样矿物成分及化学成分进行测定;利用离子色谱(IC)及电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)对水溶液阴阳离子浓度进行测定。

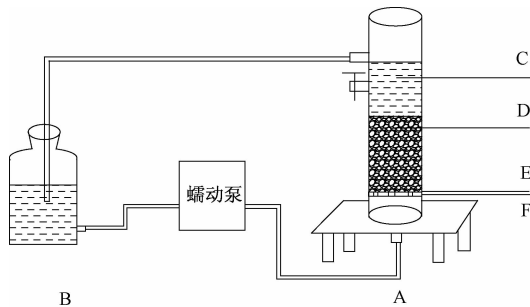


图 1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental device

┐—止水夹;→—水流方向;A—有机玻璃柱;B—盛水容器;
C—饱水溶液;D—土样;E—多孔板;F—过滤网

2 反向地球化学模拟

反向地球化学模拟是以初末两点水化学组分浓度以及研究系统中可能所发生的一系列地球化学反应的化学反应式作为模拟的输入,计算获得系统中水溶液与周围固体和气体相之间化学组分的转移量,从而达到定量描述地下水地球化学演化过程的目的。

PHREEQCE 的反向模拟功能主要是由 INVERSE-MODELING 数据块实现的,其充分考虑了实测化学资料的动态不确定性^[9]。

2.1 模型的建立

PHREEQCE 反向模块的建立包括平衡方程及不等条件约束的建立两部分^[10]。

(1)平衡方程包括:①元素及相的质量守恒方程,②碱度平衡方程,③每种水溶液的电荷平衡方程,④每种元素同位素平衡方程,⑤联系每种水溶液 pH 值、碱度和溶解无机碳总量不确定项的方程。

(2)不等条件约束包括: $\delta_{m,q}$ 表示在水溶液 q 中每

种元素浓度、元素化合价态或碱度 m ,由于分析误差和空间或时间上的变化的不确定性,即随机误差修正项。一般来说,只有经过修正的水溶液组分没有不合理地偏离初始数据时,该反向问题的阐述才有意义。因此,每个 $\delta_{m,q}$ 的绝对值应小于或等于指定的不确定范围 $\mu_{m,q}$:

$$|\delta_{m,q}| \leq \mu_{m,q}$$

如果固相与水溶液之间发生的反应预知为溶解或沉淀的话,其相应转移的量 X_p 也该约束为非负或非正:

$$X_p \geq 0(\text{溶解}); X_p \leq 0(\text{沉淀})$$

2.2 模型求解

软件模块将初始和反应末水溶液组分浓度的随机不确定性,利用随机误差修正项直接代入质量守恒方程和电中性等方程之中,以随机误差绝对值加权的最小化作为目标函数,将建立的平衡方程及不等条件约束作为约束条件,生成了一系列线性相等方程和不等方程,利用 Barrodale - Rboerts 算法对其进行优化求解^[9]。

3 石榴树包滑坡水土作用体系的反向模拟

3.1 动态模拟实验测试分析

(1)土样组分测试

实验土样组分测试结果见表 2~3。

表 2 试验土样主要矿物成分及质量百分含量

Table 2 Mineral of experimental soil samples and quality percentage content (%)

矿物成分	初始土样	土样经饱水后			
		A 组	B 组	C 组	D 组
绿泥石	35	30	30	30	30
伊利石	15	22	25	20	23
石英	17	21	21	20	20
长石	3	3	2	2	2
方解石	25	19	18	23	20
白云石	3	3	2	3	3
赤铁矿	2	2	2	2	2

表 3 试验土样化学成分及质量百分含量

Table 3 Chemical composition of experimental soil samples and quality percentage content (%)

化学成分	初始土样	饱水后土样			
		A 组	B 组	C 组	D 组
SiO ₂	46.29	46.81	46.74	45.72	46.37
Al ₂ O ₃	14.23	14.38	14.26	14.21	14.21
TFe ₂ O ₃	5.54	5.53	5.48	5.47	5.45
MgO	4.29	4.27	4.18	4.34	4.31
CaO	10.55	10.50	10.86	11.46	11.12
Na ₂ O	0.43	0.39	0.38	0.37	0.38
K ₂ O	3.35	3.42	3.41	3.34	3.39
H ₂ O	0.62	1.28	1.36	1.18	1.28

土体中主要矿物由原生矿物、粘土矿物、有机质三类组成。其中绿泥石、伊利石、高岭石等粘土矿物含量较多;原生矿物多种多样,包括石英、方解石、白云石、赤铁矿和长石。另外, SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 的百分含量也比较高,碱金属氧化物 K_2O 、 Na_2O 的百分含量较低。

(2)水化学组份测试

水样测试结果见表 4。溶液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 浓度明显增大, K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 浓度小幅增加,且在不同含钙溶液饱水过程中,增加的幅度不一,最后趋于稳定。

表 4 经饱水 30 天后四组溶液的参数状态

Table 4 Parameter state of four groups solution after 30 days soaking				
溶液参数	A	B	C	D
pH	7.710	7.610	7.600	7.660
T(℃)	17.4	17.2	17.2	17.1
K^+ (mg/L)	0.391	0.751	0.486	1.050
Na^+ (mg/L)	0.428	0.335	0.465	0.335
Ca^{2+} (mg/L)	26.720	53.660	54.640	52.680
Mg^{2+} (mg/L)	3.891	6.373	6.807	6.227
Al^{3+} (mg/L)	0.007	0.176	0.008	0.135
Fe^{3+} (mg/L)	0.015	0.008	0.013	0.015
Si^{6+} (mg/L)	0.491	0.885	1.966	2.162
F^- (mg/L)	0.332	0.236	0.310	0.228
Cl^- (mg/L)	2.986	76.168	74.035	66.962
SO_4^{2-} (mg/L)	3.039	3.582	3.430	3.501
HCO_3^- (mg/L)	97.632	67.122	73.224	67.122

3.2 水土作用体系地球化学行为分析

根据三峡库区石榴树包滑坡水土体系水文、地质条件分析以及室内动态模拟实验土体及水溶液的成分测试结果,总结该体系可能发生的潜在地球化学反应主要有:碳酸盐矿物的溶解与沉淀作用;粘土矿物间的水解作用及粘土矿物表面离子交换作用;原生矿物石英、长石、赤铁矿、石膏、萤石等的溶解、沉淀作用。具体地球化学反应式见表 5 所示。

3.3 反向模拟过程

(1)在 PHREEQCE 中将 4 种不同含钙饱水试验的初始、末尾溶液分别作为模拟的始末水溶液,用 SOLUTION 数据块进行输入;

(2)在 INVERSE-MODELING 数据块中选择模拟输入的参数,包括设置土体中可能会参加的反应相及发生的反应;水溶液各元素、pH、碱度的不确定范围(-uncertainties 和-balances);范围计算(-range)和最小模型(minimal);

表 5 水土作用体系中潜在地球化学反应列表

Table 5 Potential geochemical reactions in the water-soil system			
作用过程	序 号	反应物	地球化学反应式
溶解沉淀作用	1	石英	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4$
	2	白云石	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$
	3	方解石	$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$
	4	伊利石	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 2.5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1.5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + \text{K}^+$
	5	高岭石	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 6\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 2\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$
	6	钾长石	$2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})_4 + 2\text{K}^+ + 4\text{H}_4\text{SiO}_4$
	7	赤铁矿	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$
	8	有机质	$\text{CH}_2\text{O} + 0.5\text{SO}_4^{2-} = 0.5\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + 0.5\text{HS}^-$
	9	萤石	$\text{CaF} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^-$
	10	石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$
离子交换	11	游	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{KX}(\text{s}) \rightarrow \text{CaX}(\text{s}) + 2\text{K}^+$
	12	离	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{KX}(\text{s}) \rightarrow \text{MgX}(\text{s}) + 2\text{K}^+$
	13	离	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{NaX}(\text{s}) \rightarrow \text{CaX}(\text{s}) + 2\text{Na}^+$
	14	子	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{NaX}(\text{s}) \rightarrow \text{MgX}(\text{s}) + 2\text{Na}^+$

(3)保存设置,并选择运行、输出。

3.4 反向模拟结果及分析

在反向地球化学模拟过程中,测试得到高精度的水化学资料为模型建立提供可靠数据。另外,PHREEQC 软件在反向模拟中能够对不确定条件进行拟合,用假定不准确系数来衡量。文中取模型不确定系数为 0.05,以减小分析误差,保证模拟的精确度。

利用 PHREEQC 模拟得到土样在不同含钙溶液饱水过程中参加化学作用的反应相及各反应相参与化学作用的反应摩尔量,模拟结果见表 6。

表 6 参与化学作用各反应相的反应量模拟结果

Table 6 Results of the inverse modeling and the reacting dose (mol)				
反应相	A	B	C	D
$\text{CO}_2(\text{g})$	1.000E-03	7.873E-04	8.250E-04	6.207E-04
白云石	1.281E-04	2.702E-04	1.179E-04	2.437E-04
方解石	6.493E-04	3.425E-04	2.017E-04	1.799E-05
赤铁矿	1.370E-07	1.439E-07	1.128E-07	1.370E-07
绿泥石	3.657E-05	5.436E-05	3.244E-05	7.510E-07
伊利石	-9.106E-05	-4.987E-05	0.000E+00	-6.845E-06
高岭石	-1.817E-06	-6.886E-06	-3.229E-05	-3.158E-05
钾长石	2.381E-05	5.788E-05	2.479E-06	2.235E-06
石英	3.850E-06	8.550E-06	0.000E+00	3.302E-05
萤石	8.745E-06	6.202E-06	8.158E-06	6.008E-06
硬石膏	3.164E-05	3.730E-05	3.572E-05	3.645E-05
KX	-1.861E-05	9.210E-06	1.242E-05	1.173E-05
NaX	1.861E-05	1.458E-05	2.023E-05	1.457E-05

注:负值代表沉淀,正值代表溶解

模拟结果显示各反应相的反应量在 $10^{-7} \sim 10^{-3}$

的数量级之间,主导反应为 CO_2 气体的溶解,方解石、白云石的溶解($10^{-4} \sim 10^{-3}$);次级反应为土体中的离子交换作用(KX、NaX),长石、石膏、石英等的溶解作用,以及伊利石、绿泥石、高岭石等粘土矿物之间的反应,反应数量级为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$;微量反应为赤铁矿的溶解(10^{-7})。其中,碳酸盐的溶解、离子交换作用及粘土矿物之间的反应对整个水土作用体系反应进程起着主要影响作用。

(1) 碳酸岩盐的溶解

经过去离子水饱水后,方解石、白云石等碳酸岩盐大量溶解。在酸性含钙饱水试验中,酸性条件促进了碳酸岩盐类的溶解,土体颗粒被溶蚀,孔隙分布差异变大^[11]。而在经中、碱性含钙溶液饱水后,方解石、白云石这一碳酸岩盐类胶结物溶解量明显减小,甚至有沉淀的趋势。水溶液中高浓度的 Ca^{2+} 抑制了白云石、方解石等钙质胶结物的溶解,甚至促进了其逆反应的发生,钙质胶结物的生成和胶结作用加强了土粒接触点的结构强度,土体孔隙变小,由较疏松的结构转变为较致密的结构,土体结构变稳定。因此,钙质成分胶结物的流失,是导致土体稳定性发生改变的重要原因之一。

(2) 粘土矿物间的反应

在去离子水溶液中的饱水过程中粘土矿物的含量呈增加趋势。土体中绿泥石蒙脱化后形成亲水性与崩解性均较强的蒙脱石。原岩组分钾长石被逐步溶蚀,生成伊利石、蒙脱石和高岭石这些亲水性与崩解性较强的粘土矿物的生成,促进了离子交换作用和水化作用,加快了水土反应速度,使土体结构松散。在酸性条件下,钾长石、伊利石中的钾离子易被 H^+ 置换出,生成不稳定的蒙脱石等粘土矿物,使粘土矿物含量增加。而在经过加钙的中、碱性水溶液饱水后,钾长石的溶蚀作用明显减弱,生成的粘土矿物量也相对减少,且生成的粘土矿物中主要是以稳定性较强的高岭石存在,有利于土体稳定性。

(3) 离子交换作用

在饱水过程中土体矿物成分溶解,水中阳离子浓度增加,粘土表面负电荷对阳离子产生静电吸引,水中阳离子与土体表面不停地离子交换作用。在去离子水溶液的饱水过程中土中 NaX 的 Na^+ 被溶解在水中的 Ca^{2+} 等高价离子置换出来,由于钾长石的存在,土体表面特别容易吸附水中的 K^+ 。在含钙溶液的饱水过程中,水溶液中高浓度的 Ca^{2+} 使得土体胶体颗粒表面的大量 Na^+ 、 K^+ 被置换出来,土体胶体颗粒表面电荷增多,颗粒间的吸引力增大,土体体系能量降低,

土体稳定性增强。

4 结论与建议

结合试验水化学、土样组分资料及软件模拟结果分析得出以下结论:

(1)在饱水试验过程中,水土体系中发生的地球化学反应主要包括离子交换、溶解、沉淀作用,反应过程同时受 pH 值及 Ca^{2+} 的共同调控。

(2)在酸性条件下,pH 对水土作用体系的调控占据主导作用,酸性条件促进了土体中碳酸盐类的溶解,土体成分流失、颗粒被溶蚀,土体空隙变大,不利于土体的稳定性。

(3)在中、碱性条件下, Ca^{2+} 的化学行为对水土作用体系的影响起主导作用。水溶液中高浓度的 Ca^{2+} 抑制了白云石、方解石等钙质胶结物的溶解,钙质胶结物的生成和及其胶结作用加强了土粒接触点的结构强度,填充了土体中部分孔隙;另外,土体胶体颗粒表面 Na^+ 、 K^+ 与水溶液中 Ca^{2+} 发生离子交换作用,土体表面电荷增多,颗粒间吸引力增大,颗粒聚集体之间变紧密,土体体系能量降低,由较疏松的结构转变为较致密的结构,土体结构变稳定。

研究成果对研究三峡库区滑坡这一典型而特殊的水土作用体系的水土化学作用机理及过程具有重要理论意义。论文在利用 PHREEQCE 模块逆向模拟水土化学作用时,并没有考虑系统的热力学平衡,在后续的研究过程中有必要加入热力学平衡模型的建立以保证模拟结果更加精确。

参考文献:

- [1] 鲁嘉. 城市地下水环境场变异与土结构相互作用的理论分析[D]. 南宁:广西大学,2006. [LU J. The theoretical analysis on interaction between environmental fields of urban groundwater and soil structure [D]. Nanning: Guangxi University, 2006. (in Chinese)]
- [2] 董秋瑶,梁合诚. 松散岩土体在不同浸泡环境中阴离子浸出特征试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(3):116-121. [DONG Q Y, LIANG H C. Experiment studies of anion leaching characteristics of loose rocks in different immersion environments [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(3):116-121. (in Chinese)]
- [3] Shan H M, Liang H C, Peng S X. Effects of water-saturation and water-loss processes on composition and structure variations of landslide, Three Gorges

- reservoir, China [C]// Birkle and Torres-Alvarado. Water-Rock Interaction. London: Taylor & Francis Group, 2010: 921–924.
- [4] Liu Z, Liang H C, Jie Z. The SEM analysis of rock-soil mini-structure after saturation [C]// Roger Meier. Proceedings of sessions of Geo. Shanghai: ASCE Geotechnical Special Publication, 2010: 275–280.
- [5] 单慧媚, 梁合诚, 刘佳伟. 饱水过程中松散土体渗透性变化研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(5): 97–101. [SHAN H M, LIANG H C, LIU J W. A testing study of variation in permeability of unconsolidated soil under saturation [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(5): 97–101. (in Chinese)]
- [6] Liang H C, Shan H M, Wu X. Testing on characteristic of chemical reaction between purple unconsolidated soil and water in different saturated environment [C]// DU Zhi-min. Proceedings of 2010 International Symposium on Multi-field Coupling Theory of Rock and Soil Media and Its Applications. Chengdu: Orient Academic Forum, 2010: 682–687.
- [7] 汤连生. 水-岩土化学作用的环境效应[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(5): 103–107. [TANG L S. Environmental effects of water-rock and soil interaction [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2001, 40(5): 103–107. (in Chinese)]
- [8] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S]. [GB/T 50123—1999 Standard for soil test method[S]. (in Chinese)]
- [9] 潘忠华. 陈村太坝坝址区水-岩作用模拟[D]. 南京: 河海大学, 2007. [PAN Z H. Study of water-rock interaction in chencun dam-site [D]. Nanjing: HoHai University, 2007. (in Chinese)]
- [10] 陈振, 刘金辉. 水-岩相互作用的地球化学模拟研究[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(23): 144–146. [CHEN Z, LIU J H. Discussion on the geochemical modeling of water-rock interaction [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2008, 18(23): 144–146. (in Chinese)]
- [11] 吴恒, 代志宏, 张信贵, 等. 水土作用中铝对土体结构性的影响[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 474–477. [WU H, DAI Z H, ZHANG X G, et al. The influence of aluminium on the soil structural characteristics in the soil-water interaction [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(4): 474–477. (in Chinese)]

Inverse modeling of geochemical behavior of Ca^{2+} in landslide water-soil interaction system near the Three Gorges Reservoir

LIU Yuan¹, LIANG He-cheng¹, TANG Zhao-hui², CAI He-sheng¹, LIU Jia-wei¹

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Quantitative and accurate description of the complex geochemical interaction of landslide water-soil interaction system is particularly important for the research of geochemical interaction of micro scale. In this study, purple soil samples were collected from the Shiliushubao landslide near the Three Gorges. Ca^{2+} was selected as the characteristic ions in simulation solutions. Indoor circulatory soil column simulated experiments were conducted with deionized water and calcium solution with pH = 4, 7, and 10 under the conditions of the flow speed of 20 mL/min, indoor temperature of 17 ± 2 °C, the proportion of soil quality and solution volume of 1:5. PHREEQCE was used to study the water-soil interaction in the experiment and analyze the hydrogeochemical behavior of Ca^{2+} . The results show that the existence of Ca^{2+} in the solution restrained the solution of calcareous cement and the production of clay minerals, enhanced ion-exchange action. The production of clay minerals and ion-exchange action make soil porosity become small, particles become close and the landslide gets stable. It is of an important theoretical significance and applicable value for studying mechanism and process of water-soil geochemical interaction of Shiliushubao landslide.

Key words: Shiliushubao landslide; water-soil chemical interaction; Ca^{2+} ; PHREEQCE; inverse geochemical modeling

责任编辑: 汪美华