Vol. 42 No. 4 July , 2006

维普资讯 http://www.cqvip.com

高寒湖沼区土壤中成矿元素迁移的分形伸展机制

孙忠军¹,陈冬梅²,秦爱华¹

(1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,廊坊 065000; 2. 承德市环境监测站,承德 067000)

[摘 要]土壤中元素迁移是一种开放体系、远离平衡、多种作用耦合的复杂过程,文章用分形方法研究了元素迁移的复杂性特征。选择高寒湖沼景观3个微景观作为试验区,分别是山间沼泽、山地沼泽、湖泊沼泽,系统采集了土壤剖面样品和土壤粒级大样,分析了元素全量和相态。研究了土壤中元素 全量和相态分布特征;用元素含量-频数分形方法计算了土壤层元素全量的分维,也计算了土壤粒级元素的相态分维;研究了元素迁移过程元素含量和分维的演化特征。研究表明,高寒湖沼景观土壤中元素地球化学迁移机理是机械分散和化学溶蚀作用,迁移机制具有分形伸展规律。

[关键词]高寒湖沼 元素迁移 元素分维 分形伸展机制

[中图分类号]P632 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2006)04-0067-04

探索元素迁移的复杂性特征,是当前地学研究 的前缘课题之一。元素表生迁移的地球化学规律是 金属矿地球化学勘查和环境地球化学评价的理论基 础,国内外研究主要集中在以下几个方面:①土壤、 水系沉积物中元素分散富集特征^[1-18];②风化过程 的驱动力和制约因素研究^[19-24];③矿物溶解、沉淀 的化学动力学^[25-29];④水系沉积物元素迁移的分形 特征^[30-31]。至于土壤中元素迁移的自相似性规律 未见报道,这是定量描述成矿元素次生晕复杂性特 征的理论基础。文章主要研究土壤中元素迁移过程 的分形伸展机制。

1 景观、地质概况及工作方法

青海省高寒湖沼区位于青海省中西部,年降水 量 400~100mm,年干燥度 1.0~4.0。该气候区海 拔较高,年太阳总辐射量较大,年平均气温较低 (0℃~4℃),属于全年皆冬的四季分配类型。该区 属于多年冻土区,一般冻土厚度为十几米至二十几 米。风力作用很强,八级以上大风日 38~125d。该 区主要土壤类型是莎嘎土,土壤剖面分层不明显,主 要由粗骨架物质组成;其次是沼泽土,主要分布在沼 泽湿地和山间沼泽、湖泊沼泽区;再次之是分布局限 的寒漠土,主要位于 5000m 以上的高山,属于风化 程度较差的碎石。

试验区包括山地沼泽、山间沼泽和湖泊沼泽3

种次级景观,分别选择藏麻西孔铅锌矿、二道沟铜矿 和扎西尕日铜银矿床进行试验。3个矿床都位于风 火山成矿带,矿带主要受到近东西向断裂构造的控 制。矿床主要产于风火山群中、下岩组长石石英砂 岩和岩屑石英砂岩中,二道沟铜矿具有层控特征,其 他两个矿床为中低温热液成因。

在3个矿区,系统采集了土壤垂直剖面样品,也 采集侵蚀区和坡集区土壤粒级大样,系统采集矿床 残积层样品。

2 土壤中元素迁移的地球化学机理

表1是矿区土壤中元素含量特征表,研究发现: ①从风化基岩到表层土,成矿元素 Cu、Ag、Pb、Zn 趋 于分散;②SiO₂的分布特征揭示出不同地区机械分 散作用的差异,随着风化作用的进行,土壤中 SiO₂ 不断受到降水的侵蚀,离开土壤体系进入水系沉积 物中,使得土壤中 SiO₂的含量不断降低;③CaO 的 分布特征说明表生碳酸盐化作用特征,藏麻西孔化 学风化程度较弱,CaO 含量变化较少,二道沟是 3 种 景观区化学风化程度最高的地区,CaO 含量随着风 化过程的进行趋于富集,扎西尕日虽然化学风化程 度也较高,但是由于地处干旱景观的过渡带,干燥系 数较大,CaO 的分布反映了残积层有钙结层的形成; ④土壤层中 Fe₂O₃ 的含量说明氧化作用特征,随着 基岩风化作用的进行,Fe₂O₃ 的含量逐渐富集;⑤高

[[]收稿日期]2005-12-23;[修订日期]2006-03-29;[责任编辑]韩进国。

[[]基金项目]中国地质调查局科研项目(编号:DK9902122)资助。

[[]第一作者简介]孙忠军(1961年一),男,1983年毕业于中国地质大学(武汉),获博士学位,教授级高工,现主要从事应用地球化学研究工作。

2006年

寒湖沼景观基岩风化过程是在碱性环境进行的。总 之,成矿元素含量随着机械分散和碳酸盐化作用的 进行而降低^[1]。

3个已知矿床是多金属硫化物矿,原生矿石以 硫化物为主,矿石矿物主要是黄铜矿、斑铜矿、方铅 矿、闪锌矿和辉银矿等。氧化矿石和矿体上方土壤 中的主要矿物是孔雀石、蓝铜矿、白铅矿和菱锌矿 等。表2是土壤中成矿元素相态分配特征表,研究 得出:①风化基岩中,Cu、Pb、Zn成矿元素主要以碳 酸盐相为主,其次是硫化物相,但 Ag 元素相态分配 特征不同,主要以非晶质铁相和硫化物相为主;②残 积层比较明显的特点是硫化物相减少,非晶质铁相 增加;③坡积层中碳酸盐相减少,硫化物相和铁氧化 物相均增加;④从风化基岩和残积层中成矿元素 4 种相态所占总量的比例可以看出,4 种相态是元素 在土壤中的主要存在形式^[6],研究它们的地球化学 分配基本上可以代表元素相态的地球化学迁移特 征。总之,成矿元素化学溶蚀过程是相态转化机理, 碳酸盐化和非晶质铁化是成矿元素化学迁移的主要 作用。

表1 矿区土壤中元素含量特征表

矿区	土壤类型	土壤层	样品数/个	Cu	Ag	Pb	Zn	SiO ₂	Ba	CaO	Fe_2O_3	pH 值
藏麻西孔	寒漠土	В	22	1260	38.2	1356	1247	60.8	498	5.87	4.06	8.6
		С	22	1840	47.2	3908	2002	62.3	2046	6.82	3.81	8.4
二道沟	莎嘎土	Α	15	268	0.09	21.5	60	55.6	2210	9.25	3.78	8.8
		В	15	322	0.13	22.7	202	61.9	1255	6.29	3.16	8.8
		С	15	1001	0. 33	29.8	221	73.4	185	3.18	2.69	8.7
扎西尕日	莎嘎土	A	12	164	2.97	67.5	90	61.8	432	5.97	3.69	8.2
		В	15	3031	8. 31	355	100	57.8	549	8.21	3.13	8, 7
		С	12	4386	20. 6	490	184	66 . 6	313	7.69	1.86	8.9

注:C一风化基岩,B一残积土,A一表层土;单位:氧化物为%,其他是 10⁻⁶;分析单位:中国地质科学院地球物理地球化学研究所,2000。

粒级层 样品数/个 碳酸盐相/% 元素 硫化物相/% 非晶质铁相/% 晶质铁相/% 4 种相态占总量比例/% 风化基岩 3 Cu 78.4 14.7 0.1 6.8 83.8 Pb 77.8 22.2 0.1 0.0 83.0 42.3 31.0 15.1 Zn 11.7 76.5 3.1 47.0 50.0 85.4 Ag 残积层 18 Cu 73.7 7.3 19.0 0.0 84 0 29.4 Pb 49.7 9.3 11.7 66.8 Zn 56.0 18.0 15.3 10.7 78.5 Ag 3.0 37.0 60.0 75.6 坡积层 18 Cu 28.7 30.2 31.7 9.3 55.1 Pb 41.8 18.5 24.1 15.6 52.6 Zn 22.7 32.5 17.7 27.0 87.6 43.8 6.2 49.8 Ag 72.2

表 2 土壤中成矿元素相态分配特征表

3 土壤中元素迁移的分形伸展机制

3.1 土壤中元素迁移的分形模型

上面研究了高寒湖沼景观元素迁移的地球化学 机理,下面揭示元素迁移过程的复杂性规律。

设土壤中元素分形统计模型^[30]为:

 $N(r) = Cr^{-D} \qquad r > 0$

其中:r表示元素含量,C>0称为比例常数,D >0称为分维(或分维数),N(r)表示元素含量大于 等于r的数目。公式说明元素空间分布具有标度不 变的特征。

图1是藏麻西孔风化基岩主要元素分维。从图 中看出,风化基岩中成矿元素服从分形分布。风化 68 基岩中成矿元素的分维值较小,元素分维值大小反 映风化基岩中次生晕元素空间结构自相似特征,因 为风化基岩风化程度较低,所以元素分维是岩石到 风化基岩风化阶段元素空间结构自相似特征的一种 量度。

3.2 土壤中元素迁移的分形伸展机制

从风化基岩到坡积层是土壤中元素迁移的主要 发生层,研究成矿元素分维的变化,可以揭示出土壤 中元素迁移的分形演化规律。表3列出了土壤层成 矿元素分维演化特征。土壤残积层中元素的分维是 土壤风化主体阶段元素空间结构的一种量度,数值 大小与风化程度有关,这在二道沟土壤残积层中表 现得非常明显。同一试验区残积层中元素分维数值

维普资讯 http://www.cqvip.com



大小反映了风化过程元素化学溶蚀和机械侵蚀作用 特征,所以,土壤残积层中元素分维值表示了残积层 形成过程元素次生晕空间结构特征。从表中可以看 出,3个试验区坡积层元素分维值明显区别于残积 层,同一试验区不同元素分维值大小与坡积过程元 素重新分配作用关系密切。实际上,坡积层中元素 分维反映了坡积过程元素形成的次生分散晕空间结 构特征。

从表3中可以看出,土壤中成矿元素的分维演 化特征非常明显,从风化基岩到坡积层,元素分维值 逐渐增大。这说明土壤中元素耗散过程是一种元素 空间结构复杂性增大的过程。进一步研究可以得 出,土壤中元素迁移的实际是开放体系不可逆的元 素分形伸展过程。

为了揭示土壤中元素迁移的分形伸展规律产生 的原因,研究了土壤中元素相态转化的分形特征。 根据土壤粒级相态数据,计算了成矿元素相态分维,

表3 土壤层成矿元素分维演化特征表

二 本		藏麻西孔		二道沟			扎西尕日		
71.糸	风化基岩	残积层(22)	坡积层(12)	风化基岩	残积层(15)	坡积层(12)	风化基岩	残积层(12)	坡积层(12)
Cu	0.48	0.49	1.50	0.31	0. 88	2.0	0.30	0. 43	
Ag	0.42	0. 52	1.04	0. 59	1.04	1.8	0.25	0.33	0. 45
Pb	0.40	0.47	1. 52				0.83	1.00	1.33
Zn	0.44	0.48	1. 53				0.77	1.40	2.68

注:括号中数字为样品数。

计算方法同元素分维的相同。表4说明藏麻西孔土 壤元素相态分维特征。研究发现:①藏麻西孔土壤 中元素主要相态服从分形分布;②元素相态不同,分 维数差异明显;③元素相态转化过程分维变化趋势 比较明显,硫化物相转化为碳酸盐相,Cu、Pb 元素相 态分维增大,Ag、Zn 分维值降低,硫化物相转化为非 晶质铁相,也是 Cu、Pb 分维值增大,Ag、Zn 分维值 降低,说明元素地球化学性质不同,相态转化的分形 伸展趋势也不同。总之,元素相态分维特征揭示地 球化学溶蚀过程的非线性机制是元素分形伸展机制 的内在原因。

表4 藏麻西孔土壤成矿元素相态分维特征表

	元素	样品数/个	碳酸盐相(D) 非晶质铁相(D)	硫化物相(D)
	Cu	12	0. 77	1. 58	0. 49
	Ag	12	1.12	1.11	1. 32
	Pb	12	0. 71	1.30	0. 69
_	Zn	12	0. 63	0. 68	0. 75

4 结 论

土壤中元素迁移的地球化学机理是机械分散和

化学溶蚀作用,复杂性规律是分形伸展机制。高寒 湖沼区土壤中成矿元素的迁移随着风化程度而发生 变化,风化初期以机械破碎作用和碳酸盐化作用为 主,在风化基岩中形成具有低维数的次生晕。随着 风化作用的进行,非晶质铁化和碳酸盐化占主导作 用,形成了中等维数的残积晕,由于水动力作用和溶 蚀作用的增大,形成成矿元素维数较大的坡积晕。 土壤中成矿元素迁移的分形伸展机制为定量描述次 生晕复杂性特征奠定了理论基础。

刘华忠、于兆云、李文春和梁金全参加了野外样 品采集,特此感谢。

[参考文献]

- [1] 喻劲松,孙忠军,张 华,等. 高寒湖沼丘陵景观土壤详查方法 技术研究[J]. 地质与勘探,2005,41(2):56-59.
- [2] 金 峻,丁汝福,陈伟民.森林沼泽景观元素存在形式及化探 方法技术研究[J].地质与勘探,2002,38(4):50-55.
- [3] 岑 况,叶 荣,沈镛立,等.北山戈壁荒漠地区1:5万植物地 球化学测量效果[J].地质与勘探,2003,39(6):86-89.
- [4] 杨少平,孔 牧,刘华忠,等. 我国东北森林沼泽景观区化探方 法技术研究[J]. 地质与勘探,2003,39(6):94-98.
- [5] 张 华,刘 拓,孔 牧,等.新疆东天山地区地球化学勘查方 法技术研究[J].地质与勘探,2003,39(6):99-102.
- [6] 孙忠军,刘华忠,于兆云,等.青海高寒湖沼景观区风成沙对成

矿元素迁移的扰动机制研究[J].物探与化探,2003,27(3): 167-170.

- [7] 孙忠军,张 华,刘华忠,等. 高寒湖沼景观水系沉积物元素迁 移机理研究[J]. 地质与勘探,2005,41(1):68-71.
- [8] Chesworth W, Dejou J, Larroque P. The weathering of basalt and relative mobilities of the major elements at Belbex, France [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1981,45(7): 1235-1243.
- [9] Ma Ying jun, Liu Cong qiang. Trace element geochemistry during chemical weathering ~ As exemplified by the weathered crust of granite, Longnan, Jiangxi[J]. Chinese Sci Bull, 1999, 44(24): 2260-2263.
- [10] Fritz S J, Mohr D W. Chemical alteration in the micro weathering environment within spheroidally - weathered anorthosite boulder
 [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1984, 48(12); 2527 - 2535.
- [11] Nesbitt H W, Yong G M. Formation and diagenesis of weathering profiles [J]. J Geol, 1989, 97: 129-147.
- [12] Nesbitt H W, Wilson R E. Recent chemical weathering of basalts
 [J]. Am J Sci, 1992, 292: 740 777.
- [13] Sharma A, Rajamani V. Weathering of gneissic rocks in the upper reaches of Cauvery river, south India: Implications to neotectonics of the region [J]. Chem Geol, 2000, 166 (3/4): 203 -223.
- [14] 包志伟. 华南花岗岩风化壳稀土元素地球化学研究[J]. 地 球化学,1992,21(2):166-174.
- [15] 池汝安,徐景明,何培炯,等. 华南花岗岩风化壳中稀土元素
 地球化学及矿石性质研究[J]. 地球化学,1995,24(3):261
 269.
- [16] 顾尚义,万国江,毛健全. 广西凭祥英安岩的化学风化作用研究[J]. 地球化学,2003,32(4): 328-334.
- [17] 柴社立,蔡 晶,赵孟军.吉林东部花岗岩风化的地球化学 [J].长春地质学院学报,1993,23(3):273-278.
- [18] 郝立波,马 力,赵海滨.岩石风化成土过程元素均一化作用 及机理:以大兴安岭北部火山岩区为例[J].地球化学, 2004,33(2):131-138.
- [19] Liuzao F J, Chauvel A, et al. The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils[J]. Sci-

ence, 1993,260: 521-523.

- [20] Oliva P, Viers J, Dupreé B, et al. The effect of organic matter on Chemical weathering: Study of a small tropical watershed: Nsimi - Zoetélé site, Cameron [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1999,63(23/24): 4013-4035.
- [21] Taylor G, Eggleton R A, Holzhauer C C, et al. Cool climate lateritic and Bauxitic weathering [J]. J Geol, 1992, 100: 669 – 677.
- [22] White A F, Blum A E. Effects of climate on chemical weathering in watersheds [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1995, 59 (9): 1729-1747.
- [23] Anderson S P, Driver J I, Humphrey N F. Chemical weathering in glacial environments [J]. Geology, 1997, 25(5): 399-402.
- [24] Teutsch N, Erel Y, Halicz L, et al. The influence of rainfall on metal concentration and behavior in the soil [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1999,63(21): 3499 - 3511.
- [25] Neshitt H W, Yong G M. Prodiction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and linetic considerations[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1984, 48 (7): 1523 - 1534.
- [26] Snäll S, Lifjefors T. Leachability of major elements from minerals in strong acids[J]. J Geochem Explor, 2000, 71(1): 1-12.
- [27] Holdren G R, Jr, Berner R A. Mechanism of feldspar weathering ,I. Experimental studies[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1979, 43: 1161 - 1171.
- [28] Lasaga A C. Chemical kinetics of water rock interactions[J]. J Geophys Res, 1984, 89(B6): 4009 - 4025.
- Berner R A, Sjoerg E L, Schott. Mechanism of pyroxene and amphibole weathering, I. Experimental studies [A]. Third international Symposium on Wster Rock Interaction: Proceedings [C]. Alberta Research Council, Edmonton, 1980:44-45.
- [30] 孙忠军. 矿产地球化学调查采样密度理论初步研究[J]. 物探 与化探, 2003,27(6): 449-451.
- [31] 孙忠军. 高寒湖沼区水系沉积物中元素迁移富集的分形伸展 机制[J]. 物探化探计算技术,2005,27(3); 246-249.

FRACTAL STRETCHING MECHANICS OF ELEMENTS IN SOILS IN THE HIGH – COLD LAKE MARSH AREA

SUN Zhong - jun¹, CHEN Dong - mei², QIN Ai - hua¹

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Science, Langfang 065000;
 2. Chengde Environmental Monitoring Station, Chengde 067000)

Abstract : Element migration in soils is a complicated system which is irreversible – process, open – system and geochemical – coupling. The purpose of research is to open out complexity of element migration in soils. The studied area is located in high – cold lake marsh region of Qinghai province, including intermountain, mountain and lacustrine marshes. Soil horizon samples and grain – size samples in the three studied area were collected. Element concentration and chemical facies concentration were analyzed in the laboratory. From rock to topsoil there is a clear lowered tendency of element showed a complicated structure character in soils. The mechanical dispersion and chemical facies transition of elements and mechanics of fractal stretching in weathering process in high – cold lake marsh area have been achieved.

Key words high - cold lake marsh, element migration, element fractals, fractal stretching mechanic