

基于化学蚀变指数的湟水河流域化学风化分析

陈宗颜 (青海师范大学生命与地理科学学院, 青海西宁 810008)

摘要 以青海省湟水河表层沉积物为研究对象, 选取该河流沉积物常量元素含量、CIA 风化程度指数, 通过与大陆壳表层、黄土相关元素的对比, 分析了湟水河流域地表化学风化程度。结果表明, 湟水河沉积物富 Ca、Al, 而 K 在全流域含量变化小, 与大陆壳表层含量基本一致, 表明湟水河流域地表物质化学风化程度低, 处于饱和硅铝阶段早期 (即脱 Ca、Na 阶段), 地表的物理风化强于化学风化; CIA 值大致反映了化学风化的程度, 在中游段 CIA 低, 上游和下游段 CIA 较高, 具有相对稍强的化学风化过程。

关键词 湟水河流域; 化学蚀变指数; 化学风化过程; 常量元素含量; 风化阶段

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)12-03632-03

Analysis of Chemical Weathering Based on Chemical Alternation Index in Huangshui River Basin

CHEN Zong-yan (Biology & Geography College of Qinghai Normal University, Xining, Qinghai 810008)

Abstract Sediments weathering degree of Huangshui River in Qinghai Province was studied, based on constant element content and chemical alternation index, Huangshui River sediment as the research object. These sediments enriched in Ca and Al, while the content of K is consistent with continental crust surface and changes little in the whole basin. It indicates that the surface weathering degree of Huangshui River basin is still in the incipient weathering stage of depletion in Ca and Na. Physical weathering is clearly stronger than chemical weathering in the surface. CIA value reflects the degree of chemical weathering. CIA value is lower in the middle reaches than upper and lower reaches, it reflects that chemical weathering in the areas of upper and lower reaches is higher. And analysis to sediments chemical weathering could provide reference value for the quality and quantity of soil erosion, protection of ecological environment.

Key words Huangshui River basin; CIA; Chemical weathering process; Constant element content; Weathering stage

地表岩土体的风化是改变地表形态和特征最常见的地质营力之一, 它是多种因素综合作用的结果, 也是其理化特性的综合反映。通常可以从物理、化学、生物等方面的指标来研究其风化程度, 从母岩到地表岩土体的演化是一个多因素参与并制约的复杂过程。Nesbitt 等提出以化学蚀变指数 (Chemical Alternation Index, CIA) 判别源区化学风化的强度, CIA 值能很好地反映物源区化学风化的情况; CIA 值与长石风化成粘土矿物的程度成正比, 与风化强度成正比, CIA 值越大, 风化强度越大^[1]。原因在于化学风化时 Na、Ca 最易迁移、淋失, Mg 在强烈化学风化时也易活动, 而 K、Al 及 Fe 元素则多保存在风化形成的粘土中而产生聚集, 故该参数可很好地反映化学风化情况。笔者以青海省湟水河表层沉积物为研究对象, 选取该河流沉积物常量元素含量、CAI, 通过与大陆壳表层、黄土相关元素的对比, 分析了湟水河流域地表化学风化程度, 为今后流域生态环境治理、水土流失等研究提供可靠参数, 通过探讨化学风化指数与区域自然气候条件的对应关系, 为区域风化侵蚀程度研究提供参考依据^[2]。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于青海省东部湟水河流域, 大部分地区海拔在 2 000~4 000 m。气候具高原干旱、半干旱大陆性特征, 年均气温 2.8~7.9℃, 降水量 360~540 mm, 蒸发量 1 100~1 800 mm, 5~9 月降水量占年降水量的 81%~88%。流域内地层自老至新出露的有寒武系、奥陶系、志留系、二迭系、三迭系、侏罗系、白垩系、第三系及第四系, 受大地构造控制, 地层在空间分布上很不平衡, 老地层仅见于流域周边山地, 在褶皱轴部及断裂附近有侵入岩零散出露。区

内大部分地区被黄土覆盖, 自西向东黄土厚度增大。区内土壤类型主要为淡栗钙土, 成土母质以黄土和冲积次生黄土为主; 发育的植被主要是杨树、云杉、披碱草以及次生草甸; 地貌过渡性明显, 以黄土低山丘陵、沟壑为主。水系呈树枝状分布, 干流南北两岸支沟发育, 支沟之间多为黄土或石质山梁, 地表大部分为疏松的黄土覆盖于第三系红层之上, 多为现代侵蚀沟。湟水河西宁上游段水化学类型为 HCO₃-Ca 型, 西宁及下游段为 HCO₃·SO₄-Ca·K·Na 型, 且河水水化学类型在丰水期和枯水期略有不同^[3]。

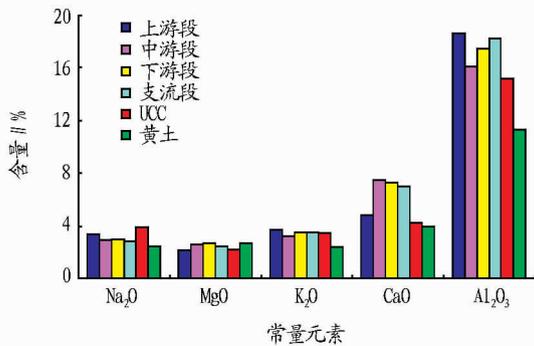
1.2 研究方法 为了详细了解研究区化学风化特征, 该研究选取湟水河河床沉积物作为研究对象, 沿河道自上而下以 5~7 km 的间隔共采集了 25 个河床沉积物样品 (包括湟水河的支流北川河和南川河沉积物样品)。样品在实验室自然风干后, 用 Axios X 射线荧光光谱仪 (PW4400) 测试了 25 个样品的常量元素的含量, 所有样品的相对误差 ≤10%。为了方便研究湟水河河床沉积物常量元素分布特征及 CIA 值变化情况, 在此按湟水河流域河流支流发育状况、地势等不同, 将研究区分为上游、中游、下游和支流段, 在每个流域段将采样点元素含量按算数平均法求该区段的含量, 并以此计算求得样品的化学蚀变指数 (CIA), $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + K_2O + Na_2O)] \times 100$ 。通过与大陆壳表层元素含量、黄土对比分析数值分布特征和规律, 最后就该流域常量元素含量、CIA 值与研究区化学风化的关系进行探讨。

2 结果与分析

2.1 常量元素分布特征 常量元素构成了岩石和沉积物的主要化学成分, 它表征沉积物的化学组成, 其含量变化主要受主矿物控制, 可以反映沉积物物质来源, 故常量元素的含量可以用来判定沉积物源、环境、气候等信息特征, 而气候影响风化作用, 因此常量元素也通常被用来指示风化作用的强

弱^[4]。从整个研究区来看, K、Na、Mg、Ca、Al、Si、Fe 等元素在不同的流域段其含量有明显的差异(图 1)。其中, K 的含量在湟水河不同河段的含量变幅较小, 与大陆壳表层的含量(UCC)相当(大陆壳表层中 K 的含量分别为 3.4%), Na 的含量低于 UCC(3.9%); Al、Ca 的含量在研究区变幅较明显, 表现为 Al 的含量自上游到下游先减少后增加, Ca 的含量先增加后减少, Ca、Al 的含量均高于 UCC 含量(Ca 为 4.2%, Al 为 15.2%); Mg 的含量变幅小且接近于 UCC 含量(2.2%); Si 的含量变幅在 47.3% ~ 50.3%, 低于 UCC 含量(66.0%)。湟水河河床沉积物中常量元素含量的变化与流域的风化程度、风化产物的离子迁移过程及离子本身的性质有关。

沉积物常量元素含量与黄土的对比(图 1)发现, K 的含量高于黄土中 K 含量, 但与 UCC 中含量相当, 且在上、中、下游段变幅不明显; Ca 的含量高于 UCC 和黄土中 Ca 的含量(黄土中 Ca 含量低于 UCC); Al 含量高于 UCC 和黄土, 从上游到下游变化明显。在湟水河沉积物中, Ca、Al 富集明显, 而 K、Mg 更趋于与大陆壳表层含量相一致, Na 表现为亏损。



注: 黄土、大陆壳表层含量 UCC 数据引自刘东升《黄土与环境》^[4]。

图 1 湟水河不同河段常量元素含量对比

2.2 化学蚀变指数的变化 通过对湟水河河床沉积物化学蚀变指数对比(图 2)发现, 湟水河上游段的化学风化指数 CIA 最高, 平均值为 61.0%; 中游段 CIA 介于 50% ~ 55%, 平均值为 54.2%, 其中, 多巴较上游稍有降低, 至西宁市段达到最小值; 下游段 CIA 值略高于中游水平, 平均值为 55.0%, 自平安到乐都略有上升的趋势; 支流段 CIA 值由于受采样点的限制, 仅对北川河和南川河进行采样, 结果显示北川河的 CIA 值高于南川河。

从区域来看, 湟水河流域地貌类型属于黄土山地丘陵, 且在流域范围内变化较小, 气候寒冷干旱, 植被少, 降水量少, 土壤疏松, 因此物理风化比化学风化强烈。高含沙量导致较高的沉积速率, 大多数元素在风化时变化较小, 基本上继承了黄土的物质组成。湟水河流域 CIA 值在西宁段达到最低, 且个别样品的 CIA 值低于 50%, 这与黄土区 CIA 值正常分布是不一致的, 由于湟水河西宁境内设置了几道景观坝, 坝体扰乱了正常的河流沉积, 加之市区人类活动影响显著, 故西宁段沉积物的 CIA 值并不是该区间化学风化极低的指示。

2.3 湟水河流域化学风化分析 地壳表层的岩石在温度变

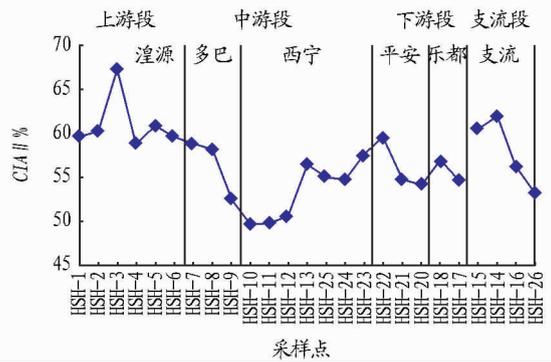


图 2 湟水河流域不同地点河床沉积物化学风化指数

化、大气、水、生物等因素作用下, 发生机械破坏(物理风化)和化学变化(化学风化或生物化学风化)的作用, 物理风化作用仅造成岩石的机械破碎, 没有成分上的变化, 化学风化则使矿物发生分解, 分解出来的元素有一部分被地表水和地下水带走, 其余部分则成为地表条件下稳定的新生矿物。化学风化主要是通过氧化作用、水化和水解作用、酸的作用、离子交换等方式进行的。母岩在化学风化过程中表现为某些元素的淋滤分散和另外一些元素的残积富集 2 个方面。各种元素按元素的风化分异规律从母岩中分离出来, 为了探明研究区化学风化程度, 在此将该区化学风化的指标与本区黄土相应指标进行了对比(表 1), 沉积物中 K/Na、K/Ca、Al/Na、Fe/Mg 等比值经常被用作化学风化强弱的指标, 化学风化强比值高, 化学风化弱比值低^[5], 原因在于化学风化时 Na、Ca 最易迁移、淋失, Mg 在强烈化学风化时也易活动, 而 K、Al 及 Fe 元素则多保存在风化形成的粘土中而产生聚集。这些参数的共同运用可很好地反映化学风化情况。

一般而言, 母岩风化具有明显的阶段性, 一种原生矿物随着风化程度的加深, 通过一系列中间阶段, 依次形成一些过渡性矿物, 最后转化为最终产物(与最终风化环境取得平衡的生成物)。波雷诺夫根据元素从风化带中析出的顺序^[6], 将风化过程分为碎屑阶段(物理风化为主)、饱和硅铝阶段(游离出 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺)、酸性硅铝阶段(形成高岭石、三水铝石等)、铝铁土阶段(形成红土或红粘土)4 个阶段。据杨守业等研究^[7-9], 西北黄土中长石类矿物的化学风化很弱, 仅斜长石经历了较弱的脱 Ca 和 Na 的风化过程, 而钾长石几乎没变化, 仍处于化学风化的早期阶段(饱和硅铝阶段早期)。从表 1 可以看出, 湟水河流域不同流域段沉积物的 K/Na、Al/Na、Fe/Mg 值均低于黄土的比值, K/Ca 值高于黄土的比值, 这种差异性反映出研究区化学风化极低, 处于饱和硅铝的初步时期, Ca、Na 从斜长石中风化出来, 大量的 K、Mg 只是随着物理搬运进入沉积物。风化产物的元素在淋滤分散和残积富集过程中, 元素的迁移能力与物理化学性质不完全一致, 尽管 K、Na 的简单岩类的溶解度大致相同, 但在风化带中 Na 的迁移能力比 K 大; 钙盐和镁盐比钠盐和钾盐难溶, 但 Ca、Mg 的迁移能力大于 Na、K, 而 Al、Fe 等迁移能力弱, 经常残留原地。

风化作用是搬运和沉积作用的前提条件, 风化产物及其

表1 湟水河沉积物及黄土元素含量比值计较

地段	K/Na	K/Ca	Al/Na	Fe/Mg
上游	1.09	0.84	5.51	1.67
中游	1.12	0.44	5.66	1.32
下游	1.16	0.48	5.83	1.25
支流	1.26	0.56	6.51	1.46
黄土	1.26	0.29	6.67	1.71

注:黄土数据引自刘东升《黄土与环境》^[4]。

他来源的沉积物,除少部分残留原地外,大部分被搬运到合适的地点沉积。不同的沉积物有不同的沉积作用特点,原始碎屑物质和粘土物质的搬运沉积服从力学定律,在水和风介质中均是通过物理沉积作用形成碎屑和粘土沉积物,而溶解物质则服从化学定律,以化学沉积作用方式形成沉积物。在干旱半干旱地区,河谷是最常见的沉积区域,河谷沉积物可反映流域风化程度和特征。溶解物质可以呈胶体溶液或真溶液被搬运,这与物质的溶解度有关,如Al、Fe、Si、Mn的氧化物难溶于水,常呈胶体溶液搬运,而Ca、Na、Mg的岩类则呈真溶液搬运。一般认为控制沉积物组成的因素主要包括源岩(流域岩石组成)、构造及气候影响的化学风化与物理风化、水动力作用、沉积盆地地形、沉积环境、沉积介质的物理化学性质、成岩及变质作用等。研究区尽管有较老的岩层出露,但大部分被黄土覆盖且黄土厚度大,可以推断沉积物更多地继承了黄土中多数元素的组成特征,与出露的基岩相关性不高。黄土的矿物成分以石英(约占黄土矿物总质量的50%)、长石(约占黄土矿物总质量的20%)、碳酸盐类矿物(约占黄土矿物总质量的10%)和粘土矿物(包括高岭石类、伊利石类和蒙脱石类,约占黄土矿物总质量的10%)为主^[4]。通过与黄土、大陆表层含量的对比(图1)发现,该区河流沉积物中Ca、Al相对富集,Na亏损,Mg、K含量与大陆壳表层含量基本保持一致。由于较弱的化学风化强度与处于化学风化的初级阶段(脱Ca、Na阶段),黄土中斜长石风化,而钾长石未开始风化或风化极少,这从K的含量与大陆壳表层含量基本一致可以得出结论。斜长石的风化产生Ca、Na元素,而Na易流失,故Ca富集于沉积物中,研究区中下游大量蒸发岩(石膏、芒硝等)分布较多,且经流失侵蚀后

大量出露,Ca的富集与此也有关系,Mg的迁移能力较强,Al和Fe等迁移能力弱,故残积源地或随着物理搬运进行再次沉积,造成Al的富集。这与表1和图1显示的结果相吻合。

3 结论与讨论

(1)通过对湟水河流域不同流域段河床沉积物常量元素分析和CIA研究发现,研究区内,黄土风化基本代表了流域表层物质的化学风化,化学风化处于初级阶段(即脱Ca、Na阶段),化学风化较弱,表层物质的物理风化明显强于化学风化;湟水流域CIA值大致反映了化学风化的程度,在中游段CIA低,上游和下游段CIA明显较高,具有更强的化学风化过程;流域不同地貌单元内元素的迁移、富集和流失,与化学风化有关,其对沉积物中元素贡献率的大小有待深入研究。

(2)水动力作用也会影响沉积物的元素含量,所以不能单纯地用元素含量比值进行化学风化作用强弱的判断,文中西宁段湟水河的水动力条件受人工建造物的影响就是一个典型例证。除此之外,沉积地形和环境、沉积介质的物理化学性质等其他条件、河流沉积区若有地下水出露,肯定会影响到沉积物的元素含量,这些因素在以后的研究中予以重视。干旱半干旱区,开展沉积物风化研究,可为研究生态环境治理的成效、流域水土流失的质和量提供参考依据。

参考文献

- [1] NESBITT H W, YOUNG G M. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. *Nature*, 1982, 299: 715 - 727.
- [2] 赵串串,董旭,辛文荣,等. 青海湟水河流域水土流失原因及防治措施分析[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 200 - 202.
- [3] 李长松. (西宁-乐都幅)1:20万区域水文地质普查报告[R]. 青海省第二水文地质队, 1984.
- [4] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [5] 冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 等. 化学蚀变指数(CIA)及其在新元古代碎屑岩中的应用[J]. *地学前缘*, 2003(4): 539 - 543.
- [6] 陈建强, 周洪瑞, 王训练. 沉积学及古地理学教程[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 14 - 17.
- [7] 杨守业, 李从先. 长江与黄河沉积物元素组成及地质背景[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1999, 19(2): 19 - 25.
- [8] 杨守业, 李从先, 李徐生, 等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究[J]. *地球化学*, 2001, 30(4): 402 - 406.
- [9] 杨守业, JUNG H S, 李从先, 等. 黄河、长江与韩国 keum、Yeongsan 江沉积物常量元素地球化学特征[J]. *地球化学*, 2004, 33(1): 99 - 106.
- [10] 杨守业, 李从先, 李徐生, 等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究[J]. *地球化学*, 2001, 30(4): 402 - 406.
- [11] 杨守业, JUNG H S, 李从先, 等. 黄河、长江与韩国 keum、Yeongsan 江沉积物常量元素地球化学特征[J]. *地球化学*, 2004, 33(1): 99 - 106.
- [12] 马文鹏, 任海伟. 芸豆蛋白的提取及其营养价值评价[J]. *食品科技*, 2013, 38(1): 75 - 79.
- [13] 王娅亚, 薛飞燕, 王有年, 等. 餐厨垃圾转化为生物肥料的探索研究[J]. *农学学报*, 2013, 3(1): 36 - 40.
- [14] 卫乐生, 张盼盼, 马小彪, 等. 响应面优化粘红酵母产油脂培养基的初步研究[J]. *宁德师范学院学报*, 2013, 25(4): 361 - 365.
- [15] 丰贵鹏, 杨丽云. 地衣芽孢杆菌发酵培养基的优化[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(15): 6862 - 6864.
- [16] 姜明. 圆褐固氮菌、巨大芽孢杆菌复合菌肥的制作及应用效果[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(28): 15075 - 15076.
- [17] YANG J T, LIU X Y, SHI Y. Effect of different mixed fertilizer on yield, quality and economic benefits in *Stevia rebaudiana* Bertoni [J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2013, 5(5): 588 - 591.
- [18] 荣良燕, 姚拓, 刘青海, 等. 复合菌肥代替部分化肥对玉米生长的影响[J]. *草原与草坪*, 2012, 32(3): 65 - 69.
- [19] 高俊扬. 生物有机肥料在菠菜上的应用效果研究[J]. *现代农业科技*, 2010(1): 112 - 114.
- [20] 颜景波, 于洪波. 大豆幼苗接触刺激对生育及产量的影响[J]. *大豆通报*, 1995(5): 9.
- [21] 张彬, 杜芳. 不同矮化剂对盆栽八宝景天矮化效应研究[J]. *山西农业大学学报*, 2013, 33(6): 488 - 492.

(上接第3543页)