

## 一种新的风化壳类型

赵景波

(西安地质学院水工系)

**摘要** 本文根据化学分析、风化壳实际分布资料和风化理论,确定和提出了一种新的硅质风化壳类型,论证了其形成条件、发育阶段和分布地区,指出了其剖面构成及它与高岭土风化壳的区别。文章认为,以往由某些苏联学者所提出的有关高岭土风化壳分布于冷湿灰化带的说法,是值得进一步探讨的。

**关键词** 硅质风化壳;冷湿气候带;风化理论

硅质矿物是最常见的稳定矿物之一,在有利的条件下,由风化形成的硅质矿物必然能富集起来而形成风化壳。根据室内外资料,笔者确定了硅质风化壳的存在。这类风化壳主要形成于冷湿气候条件下,属于地带性风化壳,它与其它类型风化壳在性质上大不相同。硅质风化壳不仅在我国有所分布,而且在世界许多国家都有分布。硅质风化壳的确定不仅具有重要的理论意义,而且对寻找风化矿床也具有非常重要的实际意义。

### 硅质风化壳的含意

什么是硅质风化壳?这还得从风化壳的定义、现已确定的风化壳类型及其命名谈起。

关于风化壳的定义还存在意见分歧,但大多数人认为:风化壳是风化作用形成的且未经搬运的残积层组合。这是一个不尽完善的定义,因为它没有包括冻土带的、仅由单一风化碎屑层构成的碎屑风化壳。笔者认为,风化壳的定义应是:风化壳是残积层组合或者是风化产物在当地气候条件下处于稳定状态的单一残积层。这是一个完善的定义,它能包括各种类型的风化壳。

关于风化壳的类型,一般认为,自然界存在五种基本类型的风化壳,即铝土风化壳、高岭土风化壳、蒙脱石—水云母风化壳、卤化物—硫酸盐风化壳(含碳酸盐)和碎屑风化壳<sup>[1]</sup>。到目前为止,还从未有人提出硅质风化壳。

风化壳是怎样命名的?根据上述已确定的五种风化壳类型可知,风化壳的名称是根据风化壳上层富集的风化产物命名的,如高岭土风化壳上层富集的主要是粘土矿物高岭土,卤化物—硫酸盐风化壳上层富集的主要是卤化物和硫酸盐。因为风化壳上层受风化作用影响最强烈,矿物分解最明显,能够形成在当地气候条件下处于稳定状态的风化产物,所以根据风化壳上层富集的风化产物命名是很合理的。

硅质风化壳的名称也是按上述原则确定的,它的上层富集的是 $\text{SiO}_2$ 。如后述,它不仅符

合笔者提出的风化壳的完善定义，也符合过去大多数人提出的风化壳的定义。

## 硅质风化壳存在的可能性

要想从理论上确定某种成分的风化壳是否发育和存在，要从以下三个方面来考虑：一是这种成分在地壳中含量的高低；二是这种成分在地表风化作用下的稳定性；三是自然界是否具备这种成分富集的外部条件。

风化壳是一定的矿物成分或化学成分在风化过程中的富集，因此物质成分对风化壳的形成是很重要的。如自然界发育最厚的铝土风化壳就是占地壳总成分第二位的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ （表1）

表 1 大陆地壳平均化学成分（%）（据罗诺夫等，1969）

Table 1 Average chemical composition of continental earth crust（%）

岩石圈	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$
沉积岩	49.95	13.01	2.98	2.82	3.10	11.67	2.04	1.57	0.45	0.11
花岗岩	63.94	15.18	2.00	2.86	2.21	3.98	3.29	3.08	0.57	0.10
玄武岩	58.23	15.49	2.86	4.78	3.85	6.05	2.58	3.10	0.90	0.19
整个大陆	60.22	15.18	2.48	3.77	3.08	5.51	2.86	2.97	0.73	0.14

构成的。根据表1可知， $\text{SiO}_2$ 是地壳平均化学成分中含量最多的氧化物，占总成分的50%以上。当然地壳中的 $\text{SiO}_2$ 有相当一部分以硅酸络阴离子的形式存在于硅酸盐矿物中，但在矿物分解的中后期阶段， $\text{SiO}_2$ 便可分离出来。如在长石风化形成高岭土的阶段就有部分 $\text{SiO}_2$ 游离出来，在高岭土分解形成 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 阶段， $\text{SiO}_2$ 就全部游离出来。根据风化产物可知，在风化过程的最后阶段形成的主要是硅、铝和铁的氧化物。而铝土风化壳就是在风化产物中的 $\text{SiO}_2$ 迁移后， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 富集而成的。因为在矿物分解形成的产物中， $\text{SiO}_2$ 含量大大多于 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量，所以硅质风化壳形成的物质条件是完全具备的。

物质成分的稳定性对风化壳的形成也很重要。为什么自然界出现的风化壳主要是粘土矿物和氧化物构成的呢？原因是这些成分在风化作用盛行的地表较其它成分稳定，能在原地富集起来。众所周知， $\text{SiO}_2$ 是地表风化带最稳定的成分之一。因此，从矿物或化学成分的稳定性的考虑，硅质风化壳的形成是可能的。

每一种基本类型的风化壳形成在一定的外界条件下，这样的条件对风化壳的形成更是不可缺少的。根据 $\text{SiO}_2$ 的特性可知， $\text{SiO}_2$ 在中性条件下发生淋溶和迁移，在pH值小于5的较强酸性条件下和碱性条件下是稳定的。但在碱性环境中矿物分解仅达到水云母和蒙脱石类粘土矿物形成阶段， $\text{SiO}_2$ 还未从硅酸盐矿物中游离出来，因而在碱性环境中不含有 $\text{SiO}_2$ 的富集。在pH值小于5的较强酸性条件下， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 处于不稳定状态而发生迁移，这正利于 $\text{SiO}_2$ 的富集。因此，硅质风化壳的形成需要较强的酸性条件。资料表明，在寒冷湿润区，有机质分解缓慢，有机酸较丰富，介质酸性增强，出现pH值小于5的酸性环境<sup>[2]</sup>。因此，冷湿气候对 $\text{SiO}_2$ 聚集是不可缺少的。现代的一些高山区、较高纬度区具有典型的冷湿气候，如我国的青藏高原和东北的一些地区就具有这样的气候。根据古气候和古冰川的研究，我们知道地质历史时期至少存在三大冰期，其中第四纪大冰期遗留下来的冷湿气候证据

是相当多的<sup>[8] [4]</sup>。这表明冷湿气候至少在第四纪和现代是存在的。由此可见,硅质风化壳发育的各项条件都是具备的。

## 硅质风化壳的组成

根据化学成分和野外资料分析可知,硅质风化壳的共同特点是由明显的三个层次组成(图1)。最上层是硅质层,主要由 $\text{SiO}_2$ 组成。作者对秦岭和青海山区冷湿地带的风化剖面分别作了4张薄片的镜下观察,得知硅质层中的主要硅质矿物是石英,其次是玉髓和蛋白石。第二层为蒙脱石和水云母构成的土层,并含有为数不多的高岭石。第三层位于最下部,是处于风化初期的碎屑残积层。

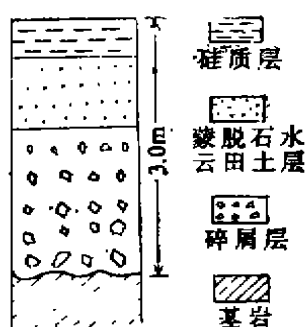


图1 西藏聂拉木县曲香德、樟木地区硅质风化壳剖面图(参考西藏土壤绘成)

Fig. 1 The profile of siliceous weathered mantle at Quxiangde and Zhangmu, Nyalam County of Xizang Autonomous Region

1—硅质层; 2—蒙脱石水云母土层;  
3—碎屑层; 4—基岩。

根据西藏土壤和中国东北土壤资料<sup>[2] [5]</sup>可知,硅质风化壳在青藏高原和东北地区是较常见的(表2, 3, 4)。如西藏聂拉木县曲香德附近发育的硅质风化壳剖面为:0~13cm为枯枝落叶层,13~20cm为灰白色中石质轻壤土,土块内部带浅棕色斑块,片状结构, $\text{SiO}_2$ 含量为79.08%(见表2),为风化壳的硅质层;20~85cm为重石质壤土,以蒙脱石和水云母为特征,相当于蒙脱石—水云母层;85cm以下为碎屑残积层和基岩。在西藏芒康县红拉山地区发育的硅质风化壳剖面为:0~10cm为枯枝落叶层、腐殖质层;10~25cm为灰白色中壤土,含石块,其中 $\text{SiO}_2$ 含量较其下土层明显增高,为硅质层;25~98cm为灰白色轻壤土,含大量石块,为蒙脱石—水云母层;98cm以下为碎屑残积层,碎屑层之下为未风化的基岩。在东北大兴安岭山区,亦见有硅质风化壳剖面存在(见表4)。

确定上述风化剖面为硅质风化壳的依据如下:第一,这些风化剖面的产状和形态表明它们是经风化作用形成的、未经搬运的风化产物;第

表2 西藏聂拉木县曲香德附近风化剖面中的化学成分(%)<sup>[5]</sup>

Table 2 The chemical composition in weathered profile at Quxiangde, Nyalam County of Xizang Autonomous Region

深度(cm)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	MnO	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
13~20	79.08	12.42	1.36	1.01	0.19	0.82	痕迹	3.90	1.20	0.10
20~28	55.72	19.09	17.97	0.94	0.33	1.18	0.11	2.90	0.93	0.27
28~48	57.75	22.46	10.16	0.75	0.67	痕迹	4.18	3.34	1.37	0.25
48~75	65.62	19.12	6.33	0.74	0.11	0.77	1.89	3.61	1.65	0.20
75~85	68.95	17.27	5.08	0.59	0.10	0.78	1.62	3.84	1.98	0.19

表 3 西藏聂拉木县樟木附近风化剖面中的化学成分(%)<sup>[5]</sup>Table 3 The chemical composition in weathered profile at Zhangmu, Nyalam  
County of Xizang Autonomous Region

深度(cm)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
18~24	74.75	15.72	2.74	0.91	0.82	0.80	0.24	2.72	1.32	0.15
24~34	64.45	16.33	11.98	1.11	0.07	0.95	0.22	2.74	1.32	0.16
34~38	64.76	18.95	8.23	0.87	0.071	1.06	0.85	3.31	1.55	0.08
48~62	64.27	19.88	7.19	0.83	0.045	0.07	1.04	3.88	1.31	0.09
62~90	64.27	19.67	6.78	0.83	0.052	0.82	1.20	4.07	1.46	0.07

表 4 东北大兴安岭北端风化剖面中的化学成分(%)<sup>[2]</sup>Table 4 The chemical composition in weathered profile at north  
DaHingganLing mountains

深度(cm)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO
18~22	62.89	16.02	4.84	0.96	0.05	2.44	1.18
22~27	61.50	14.70	7.10	1.02	0.07	1.51	2.04
35~45	53.30	20.58	11.19	0.68	0.08	2.24	2.40
75~85	55.78	20.93	8.88	0.88	0.10	3.08	2.24

二, 风化剖面的分层表明它们是三个成分和性质不同的残积层组合, 因此它们完全符合风化壳的定义; 第三, 这些风化剖面上部富集的是 SiO<sub>2</sub> 构成的石英、玉髓和蛋白石, 按照风化壳的命名原则, 可确定它们是硅质风化壳。

由于硅质风化壳上层富集的成分与过去分出的五种风化壳上层富集的成分根本不同, 这表明硅质风化壳不能划入其它类型的风化壳之中, 所以硅质风化壳应成为一个新的独立的风化壳类型。冷湿地区化学分解缓慢, 硅质风化壳厚度不大, 一般不超过 10 m。但在风化过程持续很长和降水丰富的寒冷条件下, 其厚度也可以大于 10m。

## 硅质风化壳的形成和分布

强酸性环境是硅质风化壳形成的重要条件, 它可以在灰化作用下形成, 也可以在较强的酸性淋溶过程中形成。发育区的地带性植被为云杉林、冷杉林或落叶松林, 有时为樟子松林和桦等构成的森林草原。这些森林的有机体含较多单宁和树脂。在真菌的作用下, 有机体分解, 产生富里酸, 造成酸性环境。富里酸比胡敏酸的酸性强, 所以富里酸多时更利于此类风化壳的形成。根据野外观察、土壤学资料和理论分析可知, 该类风化壳发育的第一阶段为基岩受风化, 形成碎屑层; 第二阶段是酸性溶液首先和碳酸盐发生作用, 引起钙、镁碳酸盐分解, 形成富里酸钙、富里酸镁, 并向下淋溶; 第三阶段是酸性溶液与交换性盐基作用, 并使这些盐基转入溶液, 向下淋溶; 第四阶段是在强酸性溶液作用下, 铁、铝和锰的化合物遭到破坏, 形成富里酸铁和富里酸铝, 并向下淋溶, 使土层颜色由深变浅; 第五阶段是强酸性溶液开始与硅酸盐和铁、铝硅酸盐作用, 并破坏高岭石, 形成可溶性铁、铝、硅氧化物和富里

酸盐,然后以胶体溶液或真溶液的形式向下淋滤,并析出非晶质粉末状  $\text{SiO}_2$ ,从而形成灰白色、片状结构或无结构的硅质层<sup>[2]</sup>。化学分析表明,硅质层中  $\text{SiO}_2$  含量可高达 80% (表 1, 2)。可以预料,随着风化过程的发展,  $\text{SiO}_2$  含量还会增加。硅质层中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  受到淋滤,前者含量可减少到 5% 或更低,后者少于 15% (表 2, 3)。由硅质层向下,碱性增强,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  就淀积在蒙脱石—水云母层中。

根据现有资料可知,硅质风化壳分布在冷湿的寒温带或寒带,冷干地区没有分布。但在苏联和我国,不少人认为冷湿地区分布的是高岭土风化壳<sup>[1] [6]</sup> (图 2)。假如是这样的话,硅质风化壳就成了高岭土风化壳。事实上,它们是存在本质差别的两个风化壳类型。

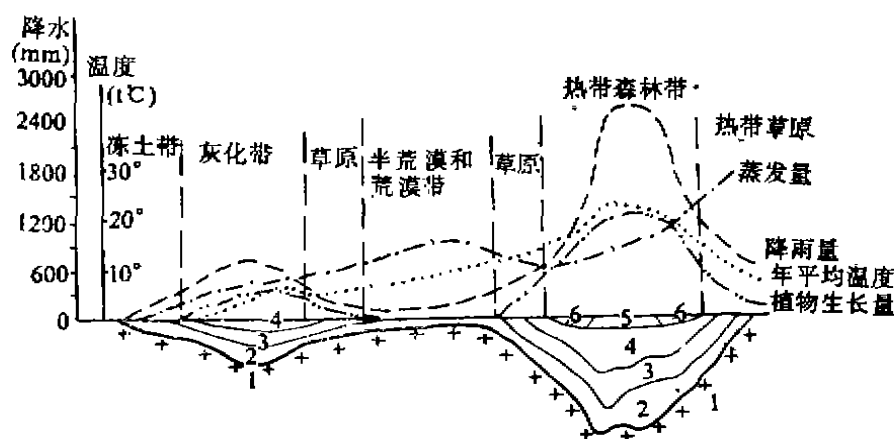


图 2 风化壳分布图 (据 H. 斯特拉霍夫, 黎彤等)

Fig. 2 The distributive map of weathered mantles

1—新鲜岩石; 2—角砾带; 3—水云母—蒙脱石带; 4—高岭石带; 5—铝土带; 6—三氧化二铝—三氧化二铁带

1 矿物成分上的差别 如上述,硅质风化壳上层富集的是石英、玉髓和蛋白石,高岭土风化壳上层富集的是高岭石,其中的  $\text{SiO}_2$  有相当数量的迁出。硅质风化壳中虽然也有高岭石出现,但发展的趋势是高岭石将受到破坏<sup>[2]</sup>。

2 厚度不同 冷湿地区化学作用缓慢,硅质风化壳厚度较小,一般为 3~5m。根据作者掌握的资料,高岭土风化壳发育在较湿热地区,该区化学风化强而快,风化壳厚度大,可达 100m 以上。

3 粘粒富集层位不同 硅质风化壳的硅质层中粘粒被分解,其物理性粘粒含量比在其下的蒙脱石—水云母层中的粘粒少,这与高岭土风化壳上层粘粒含量最多是不同的。

高岭土风化壳究竟分布在什么地区?我国的高岭土风化壳主要分布在南方各省,如著名的江西星子高岭土风化矿床分布在亚热带。我国北方以及美国、苏联温带地区虽然也有高岭土风化壳分布,但它们都发育在新第三纪或更早地质时期的亚热带条件下。到目前为止,还没有人证实在冷湿条件下发育的高岭土风化壳的存在。因为热带潮湿区和寒冷湿润区的高岭石将分解成为氧化物,而温暖湿润和半干旱地区的风化过程一般又达不到高岭石形成阶段,所以高岭土风化壳应发育在亚热带地区。这与该类风化壳的实际分布是一致的。

由苏联学者提出的风化壳分布图(图2)可知,亚热带也有高岭土风化壳分布,但它不应在灰化带中出现。西藏和东北地区灰化带内硅质风化壳的发育以及该带从未见高岭土风化壳存在的事实,有力地证明了灰化带分布的是硅质风化壳,而不是高岭土风化壳。

硅质风化壳的分布主要受冷湿气候控制,只有具备冷湿气候条件,就可能有其分布。根据《世界土壤地理》<sup>[7]</sup>资料可知,硅质风化壳不仅在我国有分布,而且在美国、苏联、英国、加拿大、挪威等国也有分布。

## 硅质风化壳与土壤的区别

为了证实硅质风化壳的存在,很有必要弄清该类风化壳与其发育区土壤的区别。为此,我们先对风化作用和成壤作用的差别作以简要讨论。影响风化作用的因素是气候、母质、生物、时间和地形,这也正是成壤作用的五大因素。但在风化作用中,可以有生物的参与,也可以没有生物的参与,而成壤作用则必须有生物的参与,这就是它们两者之间的区别。由此得知,成壤作用也是风化作用,是一种有生物参与的风化作用。那么在生物进入陆地以前而仅限于海洋中生存的地质时期,陆地上只有无生物参与的风化作用,无成壤作用。因为生物的作用主要限于地表两米深度范围内,所以绝大多数人认为,自从生物在陆地上繁盛以来,地表两米深度范围内的风化作用是成壤作用,两米以下深处的风化作用是单纯的风化作用。

风化作用和成壤作用的密切关系造成了土壤和硅质风化壳常常一同出现。在自然剖面上,土壤一般位于风化壳的上部,作为风化壳的组成部分之一。在每一种风化壳发育区,一般都有3~5种土壤存在。硅质风化壳发育区的主要土壤有灰化土、暗棕壤和灰色森林土三种,这三种土壤和硅质风化壳有以下区别:一是厚度不同,上述三种土壤占据硅质风化壳表层1~2m的厚度,而硅质风化壳充分发育时可达10m或更厚;二是组成不同,灰化土、暗棕壤和灰色森林土由图1中的硅质层和蒙脱石-水云母层的上部构成,而硅质风化壳除包括土壤的组成部分外,还包括蒙脱石-水云母层的下部和底部的碎屑残积层;三是成因不同,土壤是经成壤作用发育的,风化壳是经其上部的成壤作用和下部的单纯风化作用共同形成的。此外,在形成顺序上,土壤的发育先于风化壳。在成壤过程的早、中期,土壤厚度小,无 $\text{SiO}_2$ 富集,此时只有土壤发育,无风化壳出现。随着风化过程的延续,介质酸性更强, $\text{SiO}_2$ 开始富集,同时风化作用不断向下延伸,当影响深度大于两米时,硅质风化壳开始出现。

由上述可见,硅质风化壳并不是灰化土、暗棕壤和灰色森林土的代名词,它和这些土壤是两种不同的风化产物。但在这三种土壤充分发育时,它们上层富集的都是 $\text{SiO}_2$ ,构成相同的硅质风化壳,所以尽管同一气候区有多种土壤发育,而风化壳只有一种。

## 结束语

综上所述,不仅硅质风化壳发育的各项条件是完全具备的,而且它在自然界也的确是存在的。硅质风化壳是由三个残积层构成的残积层组合,具有典型的风化壳剖面特征。其上层富集的矿物成分或化学成分与以往确定的各种风化壳根本不同,它应成为一个新的独立的风化壳类型。

风化壳受气候的直接影响,其分布主要受气候控制,不同气候带的风化壳是不同的。但在过去的风化壳分布图(见图2)上,在寒冷湿润区和湿热的亚热带这两种截然不同而又相距很远的气候带却分布着相同的高岭土风化壳,这与风化理论有很大矛盾。而硅质风化壳的确定,进一步明确了风化壳和气候带的关系,证实了风化壳分布严格受气候带控制的规律。

硅质风化壳发育在冷湿的灰化带,高岭土风化壳发育在亚热带。因此,高岭土风化矿床应到亚热带地区或地质时期具亚热带气候的地区去寻找,而不应到冷湿气候下发育的地层中寻找。

### 参 考 文 献

- 1 杜恒俭等.地貌学及第四纪地质学.北京:地质出版社,1981,82
- 2 李天杰等.土壤地理学.北京:人民教育出版社,1979,118~127
- 3 赵景波.冰缘植被与第四纪冰川探讨.地质论评,1985,31(6)
- 4 赵景波.第四纪气候变化的旋回和周期.冰川冻土,1988,10(2)
- 5 中国科学院青藏高原综合考察队.西藏土壤.北京:科学出版社,1985,156~165
- 6 B.N.斯米尔诺夫.矿床地质学.北京:地质出版社,1981,292
- 7 朱鹤健.世界土壤地理.北京:高等教育出版社,1986,196

## A NEW KIND OF WEATHERED MANTLE

Zhao Jingbo

(Xi'an College of Geology)

**Abstract** On the basis of chemical analysis, the data about the practical distribution of the weathered mantles and the theory on weathering, the writer ascertains and puts forward a new kind of weathered siliceous mantle. In this paper, the developmental conditions and the stages of this weathered mantle are discussed. Its distributive areas, the division of layers and the difference between it and andudite weathered mantle are demonstrated. It is thought that the view that the andudite weathered mantle was distributed in the moist-frigid zones (This view was given by some Russian scholars in the past) is worth discussing further.

**Key Words** Siliceous weathered mantle, Moist frigid climatic zones, Theory on weathering