天山高山冰缘环境中岩石漆的形貌、成分和成因分析

傅海荣， 刘耕年， 魏 遐， 张小咏
（北京大学环境学院，北京 100871）

摘 要：在乌鲁木齐河源海拔 3 800 m 以上的空冰斗内发育有黑色富 Mn 型岩石漆。运用特征元素浓度线扫描对岩石漆表面成分进行了分析，并探寻了岩石漆与下伏基岩在成因上的关系；电镜扫描实验发现典型的葡萄状－半葡萄状－片状的表面微形态序列。实验结果显示，岩石漆的物质成分不可能来源于下伏基岩，而是外部来源；粘土矿物在岩石漆形成过程中起到非常重要的作用；岩石漆表面出现蜂窝状的溶蚀孔洞，可能是近年来乌鲁木齐市及河谷后峡地区工业生产造成的酸性污染物传递到河源区对岩石漆化学腐蚀的结果。

关 键 词：冰缘环境 乌鲁木齐河源 空冰斗 岩石漆
中图分类号：P931.4 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6060（2005）04-0429-06

岩石漆（Rock Varnish）在沙漠环境中最为发育，人们惯称为沙漠漆（Desert Varnish ）。岩石漆呈黑色－褐色－橙色生长在干旱－半干旱环境中的岩石表面，主要由粘土矿物，Mn、Fe 的氧化物和氢氧化物组成，此外也含有 SiO_2 和 $CaCO_3$ 的矿物微粒，Mg、Ca、K、Na、Ti 和 Cu 等元素也有微小含量。岩石漆在内陆沙漠、海滨沙漠、南北极地、高山、洞穴、泉眼、岩石裂隙等等陆地风化环境中皆有分布[1~3]。

在我国，曾有少数学者对分布于新疆和甘肃部分地区的岩石漆做过初步的考察和研究[4, 5]。1996 年周本刚等[6, 7]考察了新疆北天山地区的呼图壁河、塔西河、雀尔沟河和金沟河等地区，发现了发育于河流阶地、冲洪积扇和断层陡坎等晚第四纪地貌面上的岩石漆。笔者 2003 年夏在天山乌鲁木齐河源地区考察时，发现在海拔 3 800 m 以上的空冰斗内，发育有岩石漆。本文试图对发育于冰缘环境中岩石漆的特征和成因做初步分析和探讨。

1 采样点地理概况

乌鲁木齐河源区位于天山中部喀拉乌成山北坡，西起天格尔峰，东到望峰道班附近，包括萝卜道沟、琼萨尔萨依沟等 4 条支谷在内，海拔均在 3 000 m 以上。本次考察的空冰斗位于天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的东北侧（43°04′N， 86°30′E），面积 1.68 km^2，地面主要由基岩、卵石、碎石、冻原植被和泥炭洼地组成。野外考察发现，黑色的岩石漆发育于空冰斗底部海拔约 3 860 m 风化破碎的岩石堆积斜坡上，规模不大，零星分布，未连接成片，采样点如图 1 所示。

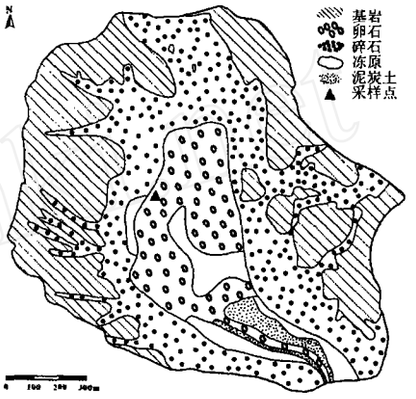

图 1 乌鲁木齐河源空冰斗流域下垫面类型及分布
（根据杨针娘 1996 修改）
Fig 1 Configuration of the Landform in the Free-cirque, Riverhead of the Urumqi River,Tianshan Mountain

2 岩石漆表面特征元素浓度的线扫描分析

运用电子探针仪（JXA－8100 ELECTRON PROBE MICROANALYZER，北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室）对所采集的样品进行了特征元素浓度的线扫描分析。三组样品编号分别为 VRU－1，VRU－2，VRU－3。每组样品分为岩石漆表面（如 VRU－1－1）和垂直于岩石漆表面的切面（如 VRU－1－2）两个样品进行分析。分析元素为 Mn、Fe、Mg、Si、Al、K、Na、Ca。所有样品扫描距离为 2 mm，线扫描点间距为 1 μm。

从线扫描给出的结果来看，岩石漆中 Mn/Fe 值

收稿日期：2005-02-29； 修改日期：2005-06-23
基金项目：国家自然科学基金项目（40271014，90102016）资助
作者简介：傅海荣(1979—)，男，硕士研究生，研究方向地貌过程与沉积．Email:georiental@163.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

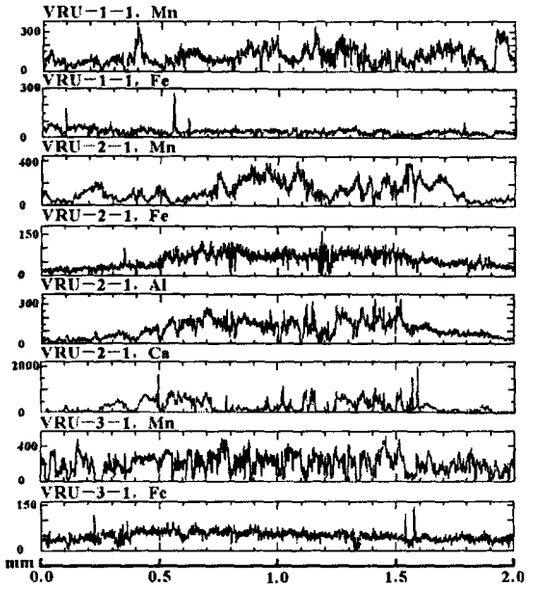

图2 天山乌鲁木齐河源空冰斗岩石漆表面特征元素线扫描曲线图

Fig.2 Electronic probe scanning curves running parallel to the surface of rock varnish in an ice-free cirque

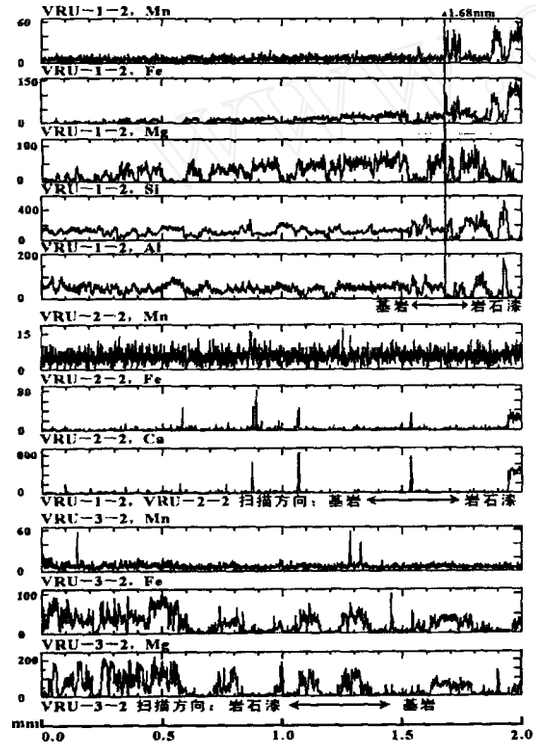

图3 天山乌鲁木齐河源空冰斗岩石漆切面特征元素线扫描曲线图

Fig.3 Electronic probe scanning curves running vertically to the surface of rock varnish in an ice-free cirque

为3：1～6：1，为富Mn型岩石漆。岩石漆中的Mn含量高出基岩20－30倍；在暗色矿物含量较低的花岗岩样品VRU－2中，岩石漆中的Fe的含量高出基岩40倍（图2）。

对VRU－1－2，VRU－2－2，VRU－3－2三个样品的扫描试图通过跨越基岩与岩石漆的分界的来探寻基岩与岩石漆之间在Fe，Mn元素含量上有无过渡关系（图3）。

VRU－1－2显示的结果较为理想。以1.68mm点为分界，左侧（Fe，Mg）与（Si，Al）呈现负相关，Mn保持很低的含量，这反映的是矿物的化学组成。而右侧Mn，Fe具有几次峰值，且（Mn，Fe）与（Mg，Si，Al）呈现负相关。此点即为岩石漆与基岩的分界。右侧Mn、Fe含量偏低的区段内，其浓度与基岩无异，Na、Mg、K、Si、Al、Ca元素则均呈现较高的浓度值，区段内应分布为粘土矿物。这反映了在岩石漆内纵向剖面上Mn、Fe氧化物被粘土矿物间隔包围的生长组合关系。在VRU－2－2中，扫描线右端也有一区段内，Fe、Ca的量值突兀升高的情形，而Mn则无变化。在VRU－3－2中Fe与Mg元素的正相关反映的是基性岩石样品内矿物元素组成。

岩石漆表面的线扫描曲线中，Mn元素量值呈现多峰值的不均匀分布，而相对而言，Fe元素的量值在三个样品中的分布都均匀得多（图2），说明Mn氧化物和Fe氧化物的的沉淀结晶的机理不同而且两种元素的矿物分布方式亦不相同。Mn的氧化物、氢氧化物更可能是以矿物微粒点状散布，且在局部生长速率不均匀。

3 岩石漆表面微形貌电镜扫描分析

共制得8个1 cm×1 cm×0.5 cm的样品，应用电子显微镜扫描技术（SEM）（北京大学物理学院电镜室）对岩石漆表面微形貌进行了观察。扫描结果如图4。

Ronald I.Dorn认为，控制着岩石漆表面微形貌有两个主要因素：粘土矿物堆积的速率和在成核点Mn、Fe氧化物堆积的速率。前者速率较快时，发育多为片状的岩石漆；后者较快时，则发育多为葡萄状的结晶体[2]。事实上，粘土矿物是岩石漆的形成过程之中非常积极的一个中介。

Mn、Fe的氧化物与粘土矿物固结在一起，互相依赖：一方面，粘土矿物需要依附氧化物的固着来抵御风化剥蚀（图4，b1、b2）；另一方面，Fe、Mn元素溶液需要依靠粘土矿物进行搬运和沉淀[8][9]。电镜扫描得到了葡萄状结晶体（图4，a11、a12、a13、a14）、半葡萄状结晶体（图4，a2）和片状（图4，a31、a32）的典型的岩石漆表面微形貌序列。葡萄状结晶体间隙中可见分布有粘土矿物片状碎屑（图4，a14，1）；也可见片状的粘土矿物碎屑嵌入岩石漆膜状表面（图4，a32）。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

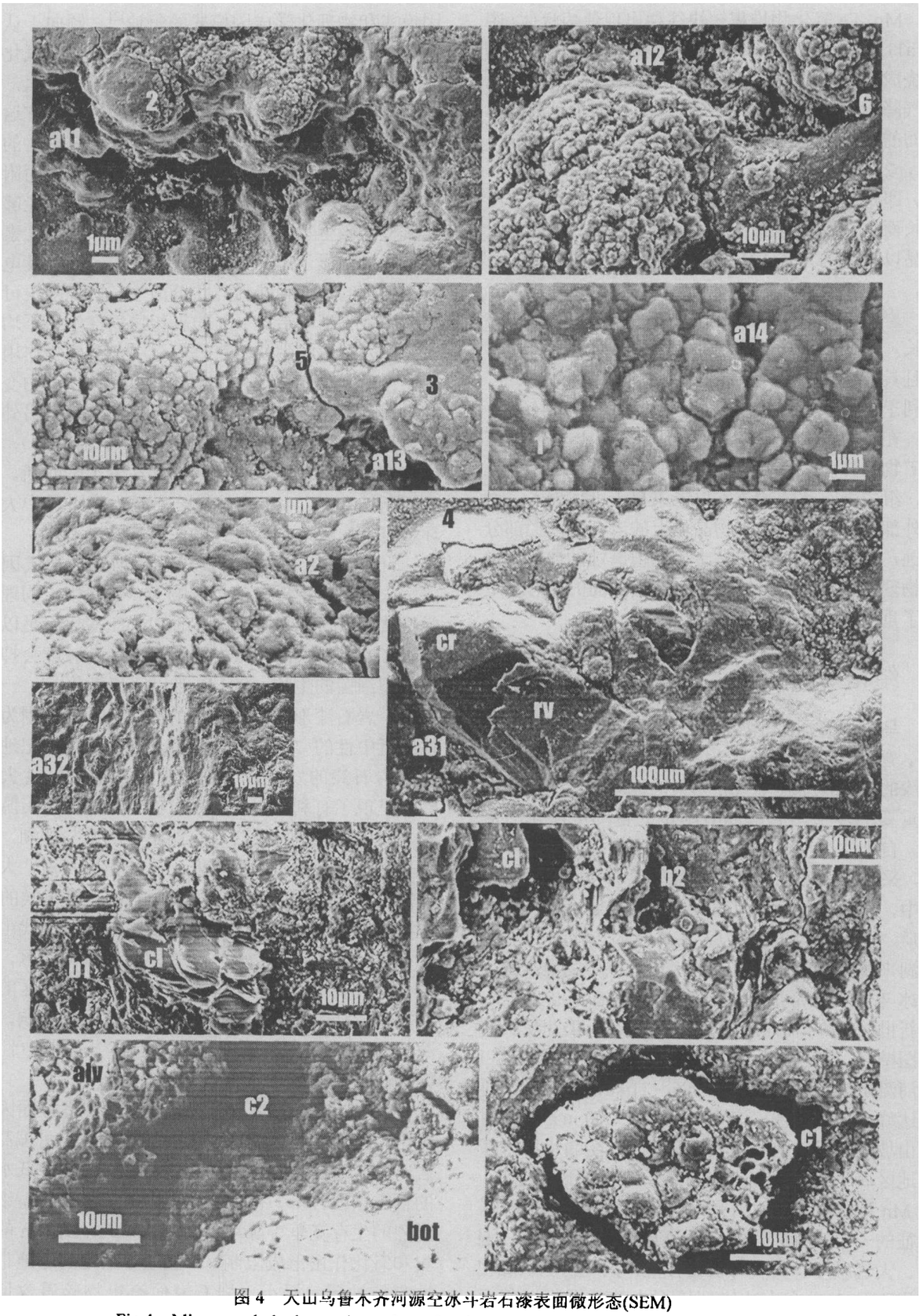

图 4　天山乌鲁木齐河源空冰斗岩石漆表面微形态(SEM)

Fig.4　Micromorphologies on the surface of rock varnish in an ice-free cirque (SEM images)

（注：cl，粘土矿物；cr，矿物晶体；rv，岩石漆；alv，蜂窝状孔洞；bot，葡萄状结晶体。1，粘土矿物碎屑嵌入葡萄状结晶体间隙；2，葡萄状结晶体表面成层生长现象；3，结晶体间隙弥合连接成片；4，低凹处往往岩石漆较厚；5，疑为菌丝的丝状物；6，菜花状结晶体；7，葡萄状结晶体被从中心镂空残留边部碎片）

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Mn、Fe氧化物堆积较快往往出现葡萄状体(图4，a11、a12、a13)，其表面微小分散的氧化物结晶围绕成核点持续生长。生长过程中粘土碎屑和其他空气降尘等不断被吸纳固结充填，使得小葡萄状体之间的空隙消弭之时，葡萄状体增大增厚（图4，a11，2、a12)，或生长微粒连接成片（图4，a13，3)。即是说，葡萄状体本身不是由单个结晶体持续生长而来，而可能是由其表面众多分散的小葡萄状结晶以上述的方式“成层”堆积起来（图4，a11，2)。

岩石漆下伏岩石的表面形态影响着岩石漆的生长。低凹转折处，往往能较多的接收空气降尘，而且具有较好的留存Mn、Fe元素离子溶液的条件，有利于岩石漆的生长，岩石漆一般较厚(图4，a31，4)。在图4，a31中，片状（膜状）的岩石漆附着在矿物晶体之上，截然的边界非常清晰，这充分说明，组成岩石漆的物质不可能来自于下伏岩石，而是外部来源。a31中矿物晶体上的岩石漆已经部分剥蚀，一如图4，b2中粘土矿物被磨蚀的情形，说明物理风化（风力磨蚀）对岩石漆表面的形态塑造起了重要作用。

4 结论与讨论

乌鲁木齐河源空冰斗岩石漆Mn/Fe值为3:1～6:1，颜色为黑色，为富Mn型岩石漆。富Mn型岩石漆的形成，是全球Mn元素的地球化学循环的一个重要的环节，它蕴涵着丰富的古环境演化的信息。自末次冰期结束以来，乌鲁木齐河源空冰斗形成，采样点所在的冰碛岩石堆积斜坡开始暴露于大气中，到达乌鲁木齐河源区上空的区域性亚洲粉尘物质、局地起因粉尘物以及海洋及周边沙漠、戈壁、盐湖来源物共同为岩石漆的形成提供了物质来源。空冰斗岩石漆形成的时代当在末次冰期结束进入全新世（距今10 ka）以后，大抵与天山北麓山前呼图壁河、塔西河、雀尔沟河和金沟河等地区的I级河流阶地堆积年龄（距今6～11 ka）[10]相当。博格达峰北坡天池坝（海拔1 900～2 000 m）及其附近山坡上也发育有很好的岩石漆[6]。全新世以来新疆地区属于受西风气流控制的干旱－半干旱区[11]，富Mn型岩石漆的发育是天山北麓全新世以来气候特征的一个很好的指征。天山北麓降水、日照、湿度、大气碱度、大气有机物含量、大气粉尘状况使得岩石漆在自高山冰缘环境至山前第四纪地貌面均有良好发育。而在天山南麓，由于气候极端干旱，岩石漆则极少见发育[6, 7]。

关于富Mn型岩石漆的成因，存在过微生物成因模式和物理化学成因模式的争论[2]。倾向于认为富Mn型岩石漆是微生物成因：锰的富集和氧化是兼养细菌活动的结果，他们首先将Mn^{2+}氧化，随之氧化物将粘土矿物固着于岩石表面。最适宜这种微生物生存的是干旱、半干旱的且缺乏有机物的环境[2][12]。在本文实验中，也发现在岩石漆表面附着有疑为菌丝的物质（图4，a13，5)，但是否能够找到典型的微生物，有待于进一步研究。特征元素浓度的线扫描显示出Mn元素分布不均匀，以及电镜下观察到的的葡萄状体点状分散生长，说明很可能是由微生物活动造成Mn的氧化物局部生长不均所致。在岩石漆的生长发育过程之中，微生物作用是起始性原因，而物理化学条件如Eh，pH等的变化对岩石漆的生长也起到重要作用。在电镜下另外也发现呈现“菜花状”的结晶体（图4，a12，6)，单就形态来看，氧化物结晶体也存在着生长间断。生长间断的存在，说明空冰斗岩石漆发育过程中大气环境可能出现过物理、化学条件的波动。

不论是微生物成因模式还是物理化学成因模式，大气环境中碱度都会影响Mn的富集。物理化学模式中，高碱度使得较小的Eh/pH变化不足以使得Mn游离出来；在微生物模式中，高碱度会抑制兼养型细菌的生长，使Mn难以富集氧化[13]。一般而言，岩石漆形成过程需要的环境pH值范围为中性或近中性的7.5～8[2]。天山北麓山前第四纪地貌面上岩石漆的发育说明在地质历史上区域性大气碱度呈现了有利于岩石漆发育的特征。天山山脉位处中亚大陆腹地，周边广布沙漠、戈壁与盐湖，气候干燥，地表植被覆盖率低，风蚀作用强烈，大气中碱性微粒含量高是该区干旱－半干旱气候的显著特征。综合水文化学资料表明，即使在现代由于受人类活动的影响会有污染物被传送到河源区，但由于大气中丰富的碱性微粒和NH_3^+使得该区的缓冲能力较强，加上存在的水岩交换作用的影响，河源区地表水体和大气中气溶胶总体上接近中性或偏碱性[14~17]。

富Mn型岩石漆的形成，是一个受多方面因素综合控制的过程。大气环境中中有机酸含量偏高、岩石表面存在有较丰富的有机物质，环境中低水平的粘土微粒含量、存在有营养型细菌与兼养型细菌激烈的生存竞争等等都会对兼养型细菌对Mn的富集和氧化作用形成限制[2]。空冰斗地处高寒地带，地表植被覆盖极少，岩石表面有机物碎屑含量很低。如前所述，河源区大气环境的粉尘状况、碱度、有机物含量均呈现有利于岩石漆发育的特征。在此前提下，适宜的日照、水分条件，促使了岩石漆的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形成。乌鲁木齐河源地区年平均温度为-6.7 ℃，年降水量 414.4 mm，主要集中在暖季（5～8 月），相对湿度 67%（表 1）。高山降水过程往往是短暂的降雨之后持续长时间的日照蒸发，使得岩石表面迅速干化。因此，空冰斗地区的降水、湿度条件有助于岩石表面 Fe、Mn 离子溶液的形成；而迅速的干化防止了过度水分滋生营养型细菌，同时使得 Fe、Mn 氧化物迅速固结粘土矿物及其他碎屑微粒。

表 1　乌鲁木齐河源空冰斗水文站 1986－1998 年实测气象资料

Tab.1　Meteorologic data observed by the hydrology station located in an ice-free cirque in the headwaters of the Urumqi River during the period of 1986－1998

年 份	年平均气温（℃）	年降水量（mm）	相对湿度（%）
1986	−7.0	381.6	64
1987	−7.2	381.6	66
1988	−7.4	448.0	66
1989	−7.6	448.8	69
1990	−6.1	353.9	69
1991	−6.8	471.7	66
1992	−6.7	409.3	63
1993	−6.3	443.7	70
1994	−6.5	459.8	65
1995	−7.1	367.6	66
1996	−7.2	484.5	69
1997	−5.9	316.0	67
1998	−5.2	420.1	76
平均	−6.7	414.4	67

（注：1，资料来源：《中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站年报》，5～15 卷；2，相对湿度为 5～8 月冰川消融期观测数据平均值）

富 Mn 型岩石漆的保存也需要近中性或偏碱性的大气条件。大气降水或大气气溶胶酸化或受到酸性污染会将结核中的 Mn 溶解出来，对岩石漆造成化学腐蚀[13]。本实验观察到岩石漆表面低凹处被溶蚀成蜂窝状的情形（图 4，c1、c2）。在低凹处，具有良好的储存水分的条件，有利于 Mn、Fe 以溶液保存并接受氧化；而同样，低凹处也更容易接受和保存受酸性物质污染的水溶液，造成 Mn、Fe 氧化物被溶蚀搬运。图 4，c1 中葡萄状体与蜂窝孔隙并存，而葡萄状体被从中心镂空残留边部碎片（图 4，c1，7），这说明化学溶蚀当是从葡萄状体的中心开始的。反过来说，这正说明了葡萄状体的内部结构，中心是最初生长的而且容易被酸性物质腐蚀的 Mn 结核。

天山深处欧亚大陆腹地，夏季盛行西风所携带的源于欧洲和中亚的有机酸由于在空气中极短的赋存周期不能到达该区[18]，周边沙漠和戈壁地面或近地面空气中可能的有机污染若能到达河源区也要经过攀升高山经受降水过程的淋滤。位于河源区东北向的乌鲁木齐市与之直线相距 105 km，距离乌鲁木齐河源区西南约 40 km 的后峡地区分布有钢铁厂、水泥厂和焦碳厂等。周边城市（100～200 km 范围[18]）工业生产排放的大气污染物必然伴随气象过程被传递至河源区上空；夏季大西沟白天东北向谷风盛行[19]，后峡地区工业生产所产生的酸性污染物也必然被带至河源区。可以推断，近现代以来河源区大气降水受到的酸性物质污染[14, 16, 18]，可能是造成岩石漆表面受到化学腐蚀的主要原因。

参考文献（References）

[1] Ronald I Dorn, David H Krinsley, Tanzhuo Liu, et al. Mangan-ese-richRock Varnish Does Occur in Antarctica [J]. Chemical Geology, 1992, **99**: 289-298.

[2] Dorn R I, Oberlander T M. Rock Varnish[J]. Progress in Physical Geography, 1982, **6**: 317-367.

[3] Tanzhuo Liu, Wallace S. Broecker. How Fast Does Rock Varnish Grow?[J]. Geology, 2000, **28** (2): 183-186.

[4] Zhu Xianmo. Discourse upon the Forming Processes of the Original Soil[J]. Chinese Science, B compilings, 1983, **3** (10): 920-925. [朱显谟. 论原始土壤的成土过程[J]. 中国科学，B 辑，1983, **3** (10): 920-925.]

[5] Zhang Yuming, Liu Tanzhuo, Li Shuwei. The Establishment and the Spplication of the Age-measuring Curves of the Cation Ratios in Rock Varnish Found in the Borderline Area of Gansu and Xinjiang, theWestern China[J]. Seismology and Geology, 1990, **12** (3): 251-261. [张裕明，柳覃卓，李树伟. 中国西部甘新边界地区岩石漆阳离子比率测年曲线的建立及其应用[J]. 地震地质，1990, **12** (3): 251-261.]

[6] Zhou Bengang, Liu Tanzhuo, Zhang Yuming. The Appearance and the Paleoclimate Bearings of the Microscopical Laminations in the Rock Varnish Found in the North Tianshan Area, Xinjiang. Chinese Science Bulletin, 1999, **44** (13): 1445-1448. [周本刚，柳覃卓，张裕明. 新疆北天山地区岩石漆显微层理及其古气候意义[J]. 科学通报，1999, **44** (13): 1445-1448.]

[7] Zhou Bengang, Liu Tanzhuo, Zhang Yuming. Rock Varnish Microlami-nations from the Northern Tianshan, Xinjiang and their Chronological Implications[J]. Seismology and Geology, 1999, **21** (4): 201-209. [周本刚，柳覃卓，张裕明. 天山北麓岩石漆显微层理层序的初步建立及其年代学意义[J]. 地震地质，1999, **21** (4): 201-209.]

[8] Russell M Potter, George R Rossman. Desert Varnish: The Impotance of Clay Minerals[J]. Science, 1977, **196**: 1446-1448.

[9] Russell M Potter, George R Rossman. The Manganese-and Iron-oxide Mineralogy of Desert Varnish[J]. Chemical Geology, 1979, **25**: 79-94.

[10] Deng Qidong, Feng Xianyue, Zhang Peizhen, et al. Active Tectonics of the Chinese Tianshan Mountains[M]. Seismological Press, Beijing, 2000. 273-279. [邓起东，冯先岳，张培震，等. 天山活动构造. 地震出版社，2000. 273-279.]

[11] Chen Yimeng, Chen Fahu, Chen Xingsheng, et al. Laws of Climate Change in Arid and Semiarid Zones of China since Last Glacial Periodh[J]. Arid Land Geography, 2004, **27** (2): 161-165. [陈一萌，陈发虎，陈兴盛. 中国干旱、半干旱地区末次冰期以来气候变化规律[J]. 干旱区地理，2004, **27** (2): 161-165.]

[12] Dorn R I, Oberlander T M. Microbial Origin of Desert Varnish[J]. Science, 1981, **213**: 1245-1247.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[13] Dorn R I. Quaternary alkalinity fluctuations recorded in rock varnish microlaminations on western USA volcanics[J]. Palaeogeogr -aphy, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1990, 76: 291-310.
[14] Hou Shugui. Chemical Characteristics of Precipitation at the Headwater of the Urümqi River in the Tianshan ountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(1): 80-84. [侯书贵. 乌鲁木齐河源区大气降水的化学特征[J]. 冰川冻土, 2001, 23 (1): 80-84.]
[15] Mark W, Williams, Daqing Yang, Fengjing Liu, et al. Controls on theMajor Ion Chemistry of the Urumqi River, Tianshan, People's Republic of China[J]. Journal of Hydrology, 1995, 172: 209-229.
[16] Sun Junying, Qin Dahe, Ren Jiawen, et al. A Study of Water Chemistry and Aerosol at the Head Waters of Urümqi River in the Tianshan mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24 (2): 186-191. [孙俊英, 秦大河, 任贾文, 等. 乌鲁木齐河源区水体和大气气溶胶化学成分研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24 (2): 186~191.]
[17] Li Cuiling, Hou Shugui, Qin Dahe. Spatial differences of hydro-chemical and its control factors of the headwater runoff in the Ur ümuqi River, Tianshan Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(1): 72-76. [李翠林, 侯书贵, 秦大河. 天山乌鲁木齐河源水文化学空间差异及其控制因素[J]. 冰川冻土, 2003, 25 (1): 72-76.]
[18] Li Xinqing, Qin Dahe, Zhou Hui. The Memory of Biologic Organic Acid Traces in the Ice Core from Galcier No. One in the Headwater of Tianshan Mountains and its Differences with that in Antarctic and Arctic Area[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (13): 1419-1423. [李心清, 秦大河, 周会. 天山乌鲁木齐河源一号冰川冰芯中生物有机酸记录及其与南北极地区的差异[J]. 科学通报, 2000, 45 (13): 1419-1423.]
[19] Zhou Xia. Vertical Climatic Difference in the Middle Part of Northern Slope of Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 1995, 18 (2): 52-60. [周霞. 天山北坡中段气候垂直分异研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18 (2): 52-60.]

Micromorphologies, Chemical Compositions and Genesis of the Rock Varnish under Alpine Periglacial Environment in the Tianshan Mountains

FU Hai-rong, LIU Geng-nian, WEI Xia, ZHANG Xiao-yong
(College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: At the headwaters of the Urumqi River in the Tianshan Mountain, Mn-rich black rock varnish outcrops are scattered in an ice-free cirque with an elevation above 3 800 m a.s.l. In this paper, a suite of rock varnish samples which were cut into slices in the two directions that respectively runs parallel and vertically to the varnish surface are collected in the field. Vertically to the surface, the electronic probe line scanning analysis is applied to detect the contents of the major elements including Mn, Fe, Al, Ca, Mg, Si, etc. in the rock varnish. The experiment reveals that the Mn/Fe ratio varies in a range of 3:1～6:1. The scanning lines are set running vertically to the varnish surface to determine whether there is genetic relation between the rock varnish and the underlying substrate, which reveals that the rock varnish is of external origin. It is found that on the varnish-rock interface, completely different contents of elements Mn, Fe, Al, Si, Mg are shown toward the orientation to the varnish and to the bedrock. The typical varnish micromorphological continuum from lamellate pattern to semi-botryoidal and botryoidal patterns was observed with scanning electronic microscopy (SEM). The outlines of the typical botryoidal bodies are observed and described detailedly in the article. Distinct interface between the varnish and the underlying crystal is present likewise. In addition, the clay minerals may play an important role in the formation of the rock varnish. In the ice-free cirque, the factors affecting locally the growth of rock varnish, such as the temperature, precipitation, sunshine, humidity, alkalinity, organic matter content, and level of ambient dusts, appear to favor the formation of the Mn-rich black varnish. Alveolate caves carved on the varnish nodules ascribe to presumedly the acidic erosion from the acidic contamination in the Houxia region where several industrial factories are located. In the riverhead area of Urumqi River, pH value of the surface water and aerosol is neutral to mildly alkaline, which could not offer the obligatory acidic environment to the chemic erosion on the varnish surface. It is supposed that the atmospheric pollutants are transported to the headwaters of the Urumqi River upstream along the valley and sunk onto the varnish surface with precipitation.

Key words: periglacial environment; headwaters of the Urumqi River; ice-free cirque; rock varnish

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net