

# 南极半岛海洋气候区的土壤

## 1. 风化作用

陈杰<sup>1</sup> 龚子同<sup>1</sup> Blume H. P.<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008;

2 Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel, Kiel D-24098, Germany)

**摘要** 南极海洋性气候区是南极风化与成土作用相对较强的地区。本文在对本区气候特点进行分析的基础上,明确了冻胀风化是本区最主要的物理风化形式,强烈的现代地貌过程对本区风化与成土过程具有显著影响。阐述了本区内化学风化的主要过程、机制与产物,同时指出生物因素在本区的岩石风化与原始土壤形成过程具有重要意义。

**关键词** 南极海洋气候区; 土壤; 风化作用; 成土作用

**中图分类号** S151+.3

南极地区大约 2% 的陆地面积区常年或季节性无冰雪覆盖(ice-free), 主要分布在南极横贯山脉(Transantarctic mountains)、南极海岸以及南极半岛(Antarctic Peninsula)地区。只要在这些无冰区, 地表暴露在各种风化营力之下, 才可能有真正意义上的土壤发生、发育<sup>[1]</sup>。南极地区以冻-融交替(freeze-thaw cycles)为主要特征的物理风化作用强弱可视为

土壤发生、发育的决定性因素, 制约冻-融过程的温度状况与自由水含量, 因此南极地区具有非常重要的土壤发生学意义。根据年均气温与土壤水分条件的不同, 可以把南极地区主要土壤形成区划分为不同气候带(pedological climatic zonation)<sup>[2-5]</sup>(表 1)。

南极海洋性气候区主要范围包括南三明治群岛(South Sandwich Islands)、南设得兰群岛(South

表 1 南极土壤主要发生区气候带划分

Table 1 Climatic zonation of Antarctic regions where soils have been forming

气候带	南极大陆气候带	南极海岸气候带	南极海洋气候带
位置	内陆山地: 南极横贯山脉内缘部分 中心山地: 南极横贯山脉主体部分 滨海山地: 南极横贯山脉滨海部分	南极东、西海岸大部分以及南极半岛东海岸	南极半岛西海岸以及南极附近 55°S 以北岛屿
气温 (°C)	+5 ~ -30	+10 ~ -20	+12 ~ -12
降水量 (mm)	50 ~ 200	200 ~ 500	200 ~ 1000
土壤发生带	寒漠带	寒漠带, 极地寒漠带	极地寒漠带, 冰沼带
土壤水分状况	不同微地形部位土壤自由水含量差异很大。土壤水分状况从极干旱到亚干旱均可出现。液体水在内陆滨海山地的土壤发生、发育中发挥重要作用, 而在同一气候带的内陆山地, 土壤中终年难以出现液体水。	土壤属于海洋性亚干旱水分状况, 液体水在土壤中出现, 夏季绝大部分时间内土壤保持湿润。	湿润土壤水分状况。表层土壤可能在 1 年内的任何时期保持短时间的湿润与不冻结。
土壤温度状况	内陆山地的土壤温度极少出现超过冻结点以上的情况; 中心山地与滨海山地 1 年内可能出现冻结点以上的温度, 但时间很短。在滨海山地, 土壤 1 年内短时间有自由水出现。	夏季绝大部分时间土壤温度超过冻结点。	可能在 1 年内的任何时期土壤温度短时期保持在冻结点以上。

\* 根据: Tedrow, 1977; Campbell & Claridge, 1987 资料改编。

Shetland Islands) 以及南极半岛 70°S 以北西部海岸至 55°S 以南岛屿地区, 本区是南极土壤成土条件最好、作用最强、土壤类型最多的地区 (图 1)。本文

将从风化作用与成土过程、土壤性状与分布、土壤类型与分类等几个方面论述南极海洋性气候区的土壤。

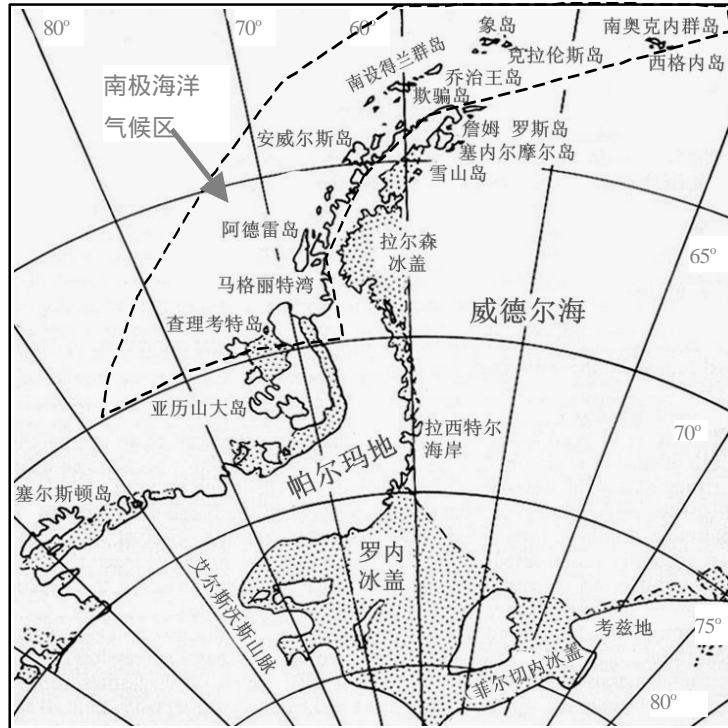


图 1 南极海洋性区气候区范围示意图 (西南极)

Fig. 1 Locality map of the maritime Antarctic (West Antarctica)

## 1 风化与成土条件

### 1.1 气温

由于南极海洋性气候区位于南极最北端, 主体部分南极半岛更是绝大部分位于南极圈以北 (Antarctic Circle), 气温明显高于南极其它地区。较北的纬度使本区几乎没有极夜现象出现, 接受太阳辐射的时间明显多于南极其它地区。另外, 本区较高的气温同时得益于周边海洋暖湿气团影响。南极海洋气候区内, 夏季平均气温在 0°C 以上的天数高于南极任何其它地区, 最高气温超过 10°C 的记录屡有出现。在南极半岛西海岸附近的欺骗岛 (Deception Island), 夏季平均气温超过 0°C 的时间几乎达到 4 个月。即使在南极海洋性气候区南部的乔治王岛 (King George Island, 中心地理位置 62°2' S, 58°58' W), 年均气温也在 -2°C 左右<sup>[6,7]</sup>。

### 1.2 降水

南极海洋性气候区主要区域南极半岛及其相临岛屿以大小不一的山脉为主要地貌形式, 主要来自

西北方向的海洋暖湿气团受山体阻拦, 在本区形成相对较为丰沛的降水。在南极半岛西海岸及相邻岛屿, 均降水高于 1000 mm 的年份时有发生。观测到最高年降水记录高达 2300 mm。在位于乔治王岛中国长城站地区, 1985~1990 年的年均降水为 635 mm。本区降水的主要形式为降雪, 主要集中在 5~10 月份<sup>[8]</sup>。但降雨和雨夹雪 (sleet) 也时有发生, 主要集中在夏季。南极海洋气候区的空气湿度在整个夏季一般 > 80%, 冬季在 60% 左右。

### 1.3 母岩与母质

南极海洋气候区的南极半岛及其附近岛屿位于以中生代 (Mesozoic) 新生代 (Cenozoic) 向斜沉积、造山以及熔岩活动为特征的南极-安第斯大活动带 (great Antarctic-Andean mobile belt), 在本区地层序列中, 主要以酸性-基性的绿岩、强烈褶皱的玄武岩、变质安山岩和性质相近的各个时期的火成岩为常见的构成形式。本区土壤形成发育的母质基础, 主要为各种火成岩如安山岩、拉斑玄武岩 (tholeiite) 的基岩风化产物、古冰川与新冰川

(neoglacial movement) 的冰碛物、现代冰缘地貌过程形成的各种形式的沉积物 (Moraines) 以及火山灰沉积<sup>[9]</sup>。

### 1.4 生物

相对温暖适宜的气候条件使南极海洋性气候区成为南极生物物种最为丰富、生物活动最为强烈的地区。在已经发现的南极地区 340~400 种地衣的绝大多数在本区内均有分布<sup>[7]</sup>。以苔藓、地衣为优势植物的绿洲随处可见于本区地表相对稳定的无冰带。在南极半岛，地衣为主要形式的低等植物生物量相当可观，*Usnea Himantormia* 的干生物量可达 2 kg/m<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。南极地区仅有的两种显花植物 (phanerogams) 也主要分布于本区。南极海洋性气候区是各种海鸟、海兽的天堂。大量海鸟特别是企鹅栖息地分布于本区的无雪带，对区域陆地生态系统和土壤发生演变产生深刻影响。此外，在南极海洋性气候区的原生动物类、线虫类、缓步类以及节肢类动物在土壤与松软风化物中的活动已被发现和报道<sup>[11]</sup>。

## 2 物理风化作用

物理风化作用过程是南极地区最为普遍、最为重要的风化形式，其强弱直接影响现代地貌的景观特征以及土壤的发生、发育。针对南极地区土壤形成与发育而言，物理风化过程不仅仅是岩石崩解 (rock disintegration)，土状风化壳形成 (regolith formation) 过程，还应该包括运移和重新堆积后风化物物质和风化壳内部的物理过程 (regolith processes) (图 2)。

### 2.1 岩石崩解过程

冻胀风化 (Frost weathering) 是高纬度、高海拔寒带地区普遍的一种风化作用，其实质是即所谓的冰楔作用 (ice-wedging action)，液态或气态水进入岩石裂隙后低温下冻结成冰，其体积增加而产生膨胀力，迫使岩石裂隙加大，最终使之裂开为块状、板状乃至碎屑状崩解物。冻胀风化赖以发生的两个基本条件一是较为充分的自由水存在，二是环境温度在 0°C 左右频繁波动<sup>[12]</sup>。南极大部分地区，常年温度基本持续于 0°C 以下，几乎没有自由水存在，从根本上限制了冻胀风化的程度与强度。而在气候较为温暖、湿润的南极海洋性气候区，冻胀风化作用极强，由此导致的岩石破碎现象极其普遍。中国南极长城站所在的乔治王岛菲尔德斯半岛 (Fields

Peninsula)，几乎所有裸露于地表的岩石，包括基岩露头与漂砾，均有遭受冻胀作用的明显痕迹。冻胀作用是南极海洋性气候区岩石物理风化作用的最主要形式 (图 3)。

作为世界上冰川活动最为强烈的地区，南极冰川在现代地貌形成演化过程中扮演着举足轻重的角色。但对于基岩破碎以及风化壳形成方面的作用并不如想象的巨大<sup>[13]</sup>。其主要原因在于南极绝大多数冰川往往与其底床牢牢冻结在一起，极大程度上制约了冰川对两侧谷壁与底床岩石的侵蚀作用。然而，在南极海洋性气候区内，一些湿底冰川 (wet-based glaciers) 则表现出较强的侵蚀能力，冰川磨蚀 (abrading erosion) 与拔蚀作用 (ice plucking action) 产生冰底碛 (subglacial till) 常见于南极海洋性气候区。南极被称为地球“风库”，风力作用在岩石物理风化中作用明显。强风以及挟带的雪粒、沙尘以及岩石碎屑对岩石露头和地表砾石反复吹打与撞击，可视为南极地区岩石物理风化过程的主要营力之一。此外，盐成风化 (salt weathering)、曝晒作用 (insolation action) 等物理风化作用也是在南极地区导致岩石崩解的常见形式，但具体到南极海洋性气候区，这些物理风化形

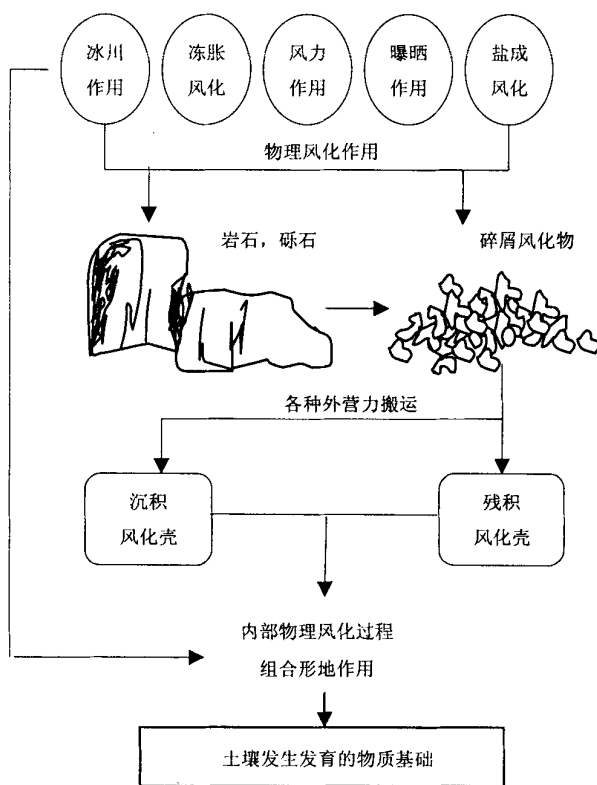


图 1 南极海洋性气候区物理风化过程

Fig. 1 Chart showing physical weathering mechanisms of rocks and regoliths in the maritime Antarctic



图 3 冻胀作用导致地表漂砾破碎

Fig. 3 Rock disintegration induced by frost weathering, King George Island, the maritime Antarctic.

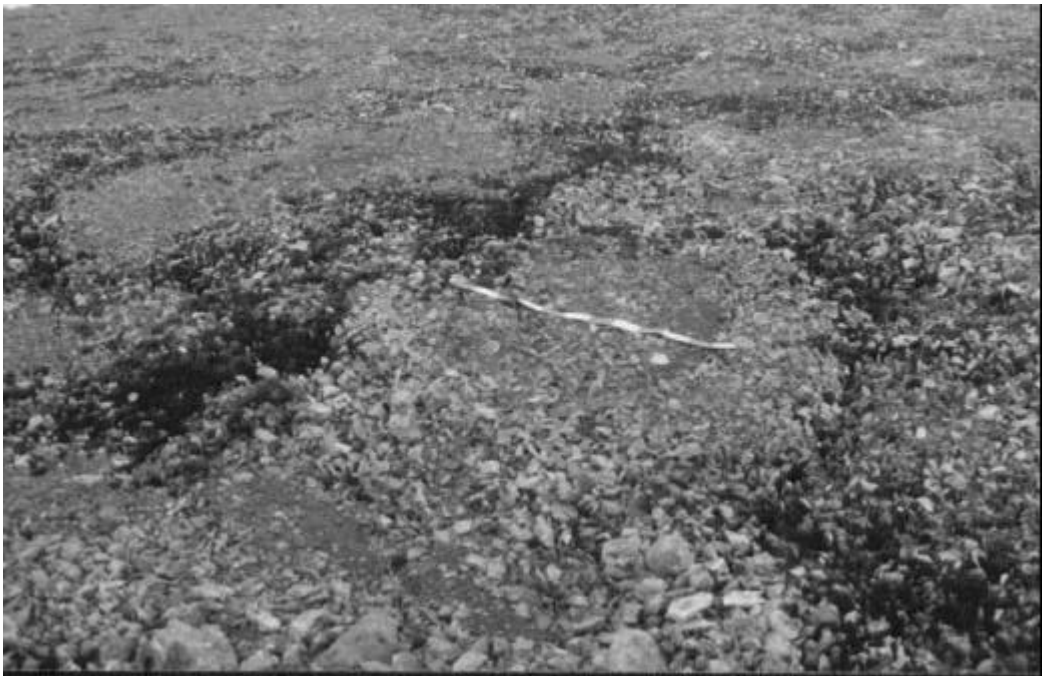


图 4 南极半岛地区强烈发育的组合形地

Fig. 4 Well-developed patterned ground, King George Island, the maritime Antarctic.

式在岩石崩解过程中的作用远小于冻胀风化。

需要指出的是，尽管冻胀风化在南极海洋性气候区岩石物理风化过程中占有支配地位，然而，任

何一种风化作用、风化模式对岩石破碎所施加的都不可能是单一或孤立的。基岩和砾石的崩解，往往是几种风化类型共同作用的结果。

## 2.2 风化壳内部的物理风化过程

岩石崩解后的风化产物，以及其它类型的碎屑与土状风化壳物质，经风力运移、冰川活动、块体运动（blocky movement）与倒石堆运动（talus movement）以及蠕移与泥石流（creep and solifluction）等各种外力的机械搬运和重新分配后，在某些地区或地形部位形成相对稳定的沉积。正是在这些稳定的风化物沉积上，土壤才能在真正意义上得以发生、发育与演变。

随着相对稳定地形部位上风化物质沉积年龄的增长，风化物质中细粒物质含量显著增加，这是风化壳内部进一步物理风化的直接结果。风化壳内部物理风化过程相当复杂，总的说来，包括岩石碎屑的进一步破碎产生各种粒径的颗粒物（granular disintegration）以及组合形地（patterned ground）形成与演化对沉积风化壳剖面发育的多方面影响。

碎屑风化壳内部的物理风化过程及机理与地表岩石的冻胀风化作用大体一致。具体风化模式包括冻结（freeze）、胀缩（contraction and expansion）、冰楔以及解冻与消融（thawing and ablation）等作用。以上各种物理风化过程均要求风化壳内部自由水的存在，因此，气温较高、降水较为丰沛的南极海洋性气候区风化壳中粉、粘粒的含量可达到相当高的水平<sup>[14]</sup>。

组合形地是南极海洋性气候区普遍分布的、由冻胀作用（expansion by freezing action）引起的一种冰缘地貌形态，对风化壳上土壤的发生、发育有着深刻影响。一方面，组合形地的形成与演化从始至终伴随着风化壳内部物质的进一步机械破碎作用，与附近其它地形部位相比，有组合形地发育的风化壳 < 2 mm 的颗粒含量显著增大。另一方面，由于组合形地发育与动态演变中强烈的循环扰动过程（stirring processes），风化壳层次发育与剖面形态表达（profile expression）受到严重影响，因此，只有在组合形地活动基本停止后，土壤发生、发育才能稳定、全面地展开。一般认为，组合形地年龄越大，其内部细粒物质含量越高，剖面形态越稳定。在海洋性气候区的南极半岛，许多组合形地已完成其最后的变形期，低等植被在其上稳定生长，其下发育的土壤土层深厚，剖面发育状况良好（图4）。

## 3 化学风化作用

### 3.1 岩石的化学风化作用

化学风化过程在南极地区岩石风化与土壤形成

中的重要程度一直存有争议。南极绝大多数地区裸露于地表的岩石，外观上看除最年轻的火山岩还保持鲜艳的暗色之外，其余表面均不同程度地覆有铁锈状膜（rust-color coating），这种称为沾色（staining）的化学风化现象在南极海洋性气候区也相当普遍。通过对玄武岩表面沾色膜的扫描电镜观察和电子探针分析，证实由铁锰矿物风化产物无定形的铁锰氧化物与二氧化硅构成<sup>[15]</sup>，尽管这很大程度上说明了岩石表层和近表层矿物发生了化学风化作用。但是另外的研究显示，尽管沾色岩石的外观颜色、硬度等方面与新鲜岩石存在明显不同，可构成岩石的大量元素成分（bulk chemical compositions）并未发生明显变化，也鲜有次生矿物以及粘土矿物产生。在较为温暖、湿润的南极海洋性气候区，岩石的化学风化相对强烈得多。对岩石表面结壳的分析表明，某些花岗岩风化碎屑中其化学成分已发生显著变化，易风化的绿泥石、角闪石等矿物已经完全分解消失，在不易风化的长石颗粒表面，可发现次生氧化铁和粘土矿物形成的薄膜。

生物活动参与的化学风化过程是南极相关研究的热点问题之一。在南极海洋性气候区，石面生地衣（epilithic lichens）是对岩石风化过程产生明显影响的最主要低等植物。在乔治王岛，Asocosco 等人利用透射电子显微镜、能谱仪、红外光谱仪等手段对生长不同种类地衣的玄武、安山岩类火山岩进行了分析测定，发现在地衣-岩石接触层（lichen-rock interface）内，岩石中的原生矿物均遭受不同程度的机械破坏和化学腐蚀作用，发现的新成矿物包括结晶草酸钙（weddelite）、次生方解石以及无定形氧化物与二氧化硅<sup>[16]</sup>。对菲尔德斯半岛地区安山岩和辉长岩的化学风化作用进行了研究，发现同类岩石表面地衣覆盖度与岩石表层（5 mm 以内）的风化势（weathering potential）之间具有明显的负相关关系，表面地衣覆盖度越大，表层岩石的风化势越小。这一结果更为直接表明，地衣生长对岩石化学风化作用具有明显的促进作用<sup>[7, 9]</sup>（图5）。

### 3.2 风化壳和土壤内部的化学风化作用

在南极海洋性气候区的菲尔德斯半岛，对不同类型的风化壳中造岩矿物、重矿物以及次生矿物的分析结果表明，主要造岩矿物如角闪石、辉石和长石都遭受不同程度的化学风化，尤其是前两种矿物，在某些样品中甚至完全分解消失。在重矿物方面对磁铁矿、钛铁矿以及黄铁矿的研究分析表明。三者 在风化过程中又有明显变化。在风化壳物质的风化

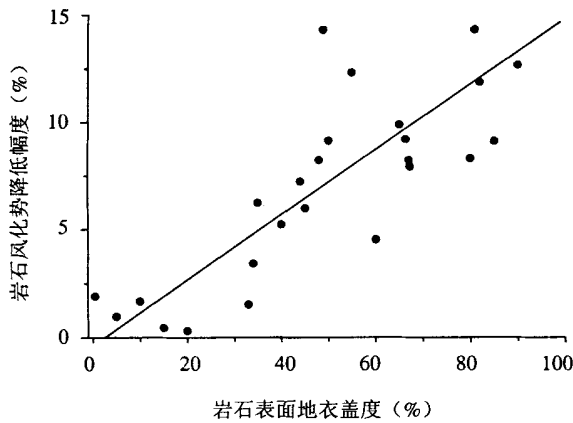


图 5 岩石表面地衣覆盖度与岩石风化势之间的关系  
 Fig. 5 Correlation between bio-weathering of rocks and lichen coverage on the rock surface

过程中,次生产物主要为赤铁矿、褐铁矿、绿泥石、碳酸钙以及滑石<sup>[17,18]</sup>。对乔治王岛形成的粗骨寒冻灰壤(联合国世界土壤图例分类体系)的矿物分析结果也显示,表土层中长石、辉石以及云母的化学风化程度相当强烈<sup>[9]</sup>(表 2)。

玷色现象不只存在于地表岩石表面,风化碎屑和细粒物质(finer-textured materials)表面玷色现象更为强烈。化学分析结果证实,矿物颗粒表面附着的是铁铝氧化物。这些氧化物的含量能在一定程度上反映化学风化程度和土壤颜色上的差异。在风化与成土过程中形成次生铁氧化物成为成土氧化铁(pedogenic iron),可在实验室利用还原性、酸性以及螯合溶剂如草酸、连二亚硫酸盐-柠檬酸等提

土壤与粘粒的矿物组成																
层次	深度 cm	火山灰	橄榄石	蛇纹石	绿泥石	云母	辉石	中长石	斜长石	碱长石	风化长石	沸石	其它	岩石碎屑	未能检测	
粒径 2 ~ 630 μm 部分 (g/kg)																
Ah	0~2	16	68	20	12	44	60	20	68	56	92	04	68	108	368	
Bhs	15~18	17	14	24	03	17	79	116	17	27	89	02	82	416	96	
CBw	25~34	0	0	23	0	0	76	197	10	17	53	37	23	502	57	

层次	深度 cm	石英	长石	绿泥石	伊利/云母	橄榄石	蒙脱石	辉石	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o-p</sub>	Fe <sub>d-o</sub>	Fe <sub>v-d</sub>	Fe <sub>v</sub> /Fe <sub>d</sub>	Si <sub>b</sub>	ODOE
粘粒 < 2 μm 部分 (g/kg)									土壤物质风化过程中形成的氧化铁 (mg /g)							
Ah	0~2	< 100	300	< 50	100	< 50	350	50	3.0	2.1	4.0	12.6	21.0	0.36	6.6	0.19
Bhs	15~18	< 50	300	250	<50	< 50	250	100	7.1	7.1	2.2	14.5	28.6	0.39	4.3	0.47
CBw	25~34	< 50	100	100	<50	< 50	400	< 50	2.1	6.1	4.6	6.7	35.5	0.50	—	0.08

注释: Fe<sub>p</sub>: 焦磷酸盐提取 Fe; Fe<sub>o</sub>: 草酸提取 Fe; ODOE: 草酸提取液光密度 Fe<sub>d</sub>: 连二亚硫酸盐-柠檬酸提取 Fe Fe<sub>v</sub>: 热盐酸提取 Fe

取。根据氧化铁提取量的大小,可大致判断风化壳和土壤的化学风化程度。一般而言,古老冰碛和风化壳上发育的土壤,氧化铁的含量明显高于相同母质岩性的年轻土壤。表 2 中的分析数据表明,粗骨寒冻灰壤在南极海洋性气候区属于一种风化相对强烈、成土作用相当明显、土壤发育程度较高的土壤类型。

自生粘土矿物(authigenic clay minerals)的形成是岩石和土壤化学风化过程最清晰的证据之一。南极海洋性气候区土壤中含有次生粘土矿物已为众多相关研究所证实,在某些土壤中甚至含有高岭石等表征强烈风化过程次生粘土矿物,但没有确凿的证据表明这些粘土矿物是现代成土过程的产物。事实上,大多数粘土矿物形成于沉积形成之前。然而,绿泥石、蒙脱石等矿物可以肯定与南极海洋性气候区的现代成土过程密切相关<sup>[7,9]</sup>。在菲尔德斯半岛,

绿泥-蒙脱混层矿物(I/S 混层矿物)在许多土壤类型与沉积物中极为常见。

#### 4 结 论

(1) 南极海洋性气候区的气候特点决定了本区物理风化,尤其是以自由水存在为基础的冻胀风化作用非常强烈,是本区物理风化作用的主要形式。

(2) 风化壳物质进一步的物理风化作用受现代冰缘地貌过程,特别是受组合形地发育与演变过程的强烈影响。

(3) 南极海洋性气候区内化学风化过程主要以岩石与风化物质表面产生铁铝氧化物薄膜从而出现玷色现象为特征,其它化学风化形式不明显。

(4) 生物因素参与岩石的化学风化过程,对岩石风化与原始土壤形成具有重要意义。

(5) 本区风化与成土作用中产生的主要次生为

各种形态的铁铝氧化物、绿泥石以及蒙脱石。

### 参考文献

- 1 Claridge GGC and Campbell IB. Some features of Antarctic soils and their relation to other desert soils. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.*, 1968, 4: 541~549
- 2 Holdgate MW. Vegetation. In: Holdgate MW. ed. *Antarctic Ecology*, Academy Press, London, 1970, 2: 729~732
- 3 Holdgate MW. Terrestrial ecosystems in the Antarctica. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 1977, 279: 5~25
- 4 Tedrow JCF. *Soils of the polar landscapes*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1977, 639
- 5 Campbell IB and Claridge GGC. Antarctic soils, weathering processes and environment. Amsterdam, Elsevier Science Publisher, 1987, 130~440
- 6 Chen J and Gong ZT. Physical weathering in South Pole and its influences on soil formation. *Prog. Soil Sci.*, 1995, 23: 13~21
- 7 Chen J and Gong ZT. Role of lichens in weathering and soil-forming processes in Fildes Peninsula, Antarctic. *Pedosphere*, 1995, 5: 305~314
- 8 Everet KR. A survey of soils in the region of the Southern Shetland Islands and adjacent parts of the Antarctic Peninsula. *Ohio State Univ. Inst. Pol. Stud. Rep.*, 1976, 58. 44
- 9 Blume HP, Beyer L, Kalk E and Kuhn D. Weathering and soil formation. In: Beyer L and Boelter M. eds. *Geocology of Antarctic Ice-free Coastal Landscapes*. Ecological Studies, Vol. 154. Berlin, Springer-Verlag, 2002, 115~138
- 10 Kappen L. Lichens in the Antarctic region. In: Friedmann EI. ed. *Antarctic Microbiology*. New York, Wiley-Liss Inc., 1993, 433~490
- 11 Tillbrook PJ. The terrestrial environment and invertebrate fauna of the maritime Antarctic. In: Holdgate MW. ed. *Antarctic Ecology*, London: Academy Press, 1970, 2: 886~896.
- 12 谢又予. 南极凯西站地区寒冻风化过程初步研究. *南极科学考察论文集(第5集)*. 冰川学研究. 北京: 科学出版社, 1988, 123~143
- 13 Denton GH, Armstrong RL and Stuvier M. Late Cenozoic glaciation in Antarctica: The record in the McMurdo Sound region. *Antarct. J. U. S.*, 1970, 5: 15~21
- 14 Campbell IB and Claridge GGC. Sites and soil differences in the Brown Hills region of the Darwin Glacier. *Antarctica. N. Z. J. Sci.* 1967,10: 563~577
- 15 Glasby GP and McPherson JG. Desert varnish in southern Victoria Land, Antarctica. *N. Z. J. geophys.*, 1981, 24: 389~397
- 16 Ascaso A, Sancho LG, Rodriguez-pascual C. The weathering action of saxicolous lichens in maritime Antarctica. *Polar Biol.*, 1990,11: 33~39
- 17 谢又予. 中国长城站地区(菲尔德斯半岛)地貌与沉积. 北京: 海洋出版社, 1993, 270
- 18 赵俊琳, 刘培桐, 李天杰. 乔治王岛地区原始土壤与母岩间化学组成的相关关系. *南极研究*, 1990, 2 (1): 24~28

## SOILS IN MARITIME ANTARCTIC I. WEATHERING PROCESSES

Chen Jie<sup>1</sup> Gong Zitong<sup>1</sup> Blume H. P.<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

<sup>2</sup> Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel, Kiel D-24098, Germany)

**Abstract** Compared with that in the rest of Antarctica, weathering and soil-forming processes in the maritime Antarctic are relatively strong. It is demonstrated that frost weathering is the dominant form of physical weathering processes and has significant effect on rock disintegration and regolith formation in the region. And, in the maritime Antarctica, various modern periglacial processes play an important role in weathering, material transportation and soil formation. Besides, chemical weathering processes, including modes, mechanisms and products, are outlined in this paper. Meanwhile, it is pointed out that biological factors are quite active and have significant influences on rock-weathering and soil-forming processes.

**Key word** Maritime Antarctica, Soil, Weathering, Soil-forming