

# 高纬度山地的坡面过程

A. 拉普 (瑞典 隆德大学自然地理系)

本文主要对高纬地区, 如斯堪的纳维亚、斯匹次卑尔根、格陵兰和北极地区的北美部分的坡面过程及其所产生的地形, 进行了地貌形态的研究。在此, 我们主要强调对坡面过程及其所产生的地形的现代过程的观察和观测, 以及在漫长的历史时期, 如自更新世大冰盖退缩以来的整个全新世期间, 对地貌比较分析这两方面的研究。

近几十年里, 由于种种原因, 人们对高纬山地环境有着浓厚的且日益增长的兴趣。在第四纪大陆冰盖之外的广大地区, 冰缘过程已强烈塑造了地表形态。这种过程在今日的高纬、高山地区具有很深刻的影响, 因此, 在理论上和实践上都具有相当的重要性。对冰缘地形的性质、起源及环境意义较好的认识, 需要继续研究它们所产生的过程及过程与形态的联系。这就是本文所要评

---

今天约有70%的能源是当地的, 也促进了港口能源密集型工业(铝)的发展。西北大铁矿已引起矿石富集企业的发展。

新西兰的北岛已发展了依赖进口原料的工业: 以澳大利亚铝土矿为基础的铝工业、奥克兰的炼油和钢铁生产。新西兰的工业都面向国内需要, 出口决定于木材、肉类、黄油和乳酪等农产品的生产。

太平洋沿岸的拉丁美洲国家发展水平和对外联系都落后于巴西和阿根廷。它们的港口货物吞吐量只有大西洋沿岸拉丁美洲的1/10。工业集中在出口矿石和农产品的港口和首都城市附近地区。智利的瓦尔帕莱索—圣地亚哥地区加工工业占全国2/3; 利马—卡亚俄地区的工业占秘鲁全国工业产值的56%以上。

秘鲁的渔业生产起着重要作用, 生产渔罐头、渔油和渔粉。

(3) 印度洋 印度洋沿岸海港的货物吞吐量占的比重极有限。随着中东石油出口的增多, 运量有较大增加。印度洋沿岸仅南非是发达国家, 其矿石占非洲大陆的40%、发电量占50%、钢铁占90%。基础设施也很发达, 铁路把内地大矿区兰特与最大港口德班联了起来。印度洋沿岸发展中国家沿海工业也不典型。印度的港口工业综合体是殖民开发的供给中心, 加工工业的“飞地”。独立后成了其他地方开发的服务中心。加尔各答工业带有大型矿山工业(煤、铁和铝矿), 电力, 冶金, 铝, 各种工程产业和传统的黄麻加工工业。孟买是棉纺中心, 也是汽车、造船、煤油和铀加工的重要中心。

近来波斯湾国家的石油出口越来越多, 这大大加强了这些国家与海洋的联系。腊斯塔努腊港1976年货物吞吐量达3.9亿吨, 哈尔克岛的新伊朗港吞吐量达2.8亿吨。波斯湾西岸和北岸以及巴林群岛正在形成一个大工业区, 这种工业区是利用石油和“石油币”为基础建立起来的。在阿巴丹、科威特、腊斯塔努腊和巴林岛有炼油、金属生产、电力和天然气液化等工业, 还有核电力、铝、肥料、炼铁等耗能工业。沙特阿拉伯建成了世界最大的海水淡化工厂。

波斯湾国家计划发展大量基础设施有不少是为了显赫石油财富, 而不是真正为了发展工业, 所以还谈不上港口工业综合体。

周桂明摘译自《Economic Geography of The Ocean》, 1982

述的指导思想。国际地理联合会冰缘现象委员会也使用类似本文的研究方法。

**一、倒石堆坡和石海的岩石风化证据** 1.倒石堆坡 岩崩就是岩屑的块体运动，即岩石从陡崖或岩壁上自由下落，或呈块体运动、跳跃式地沿陡坡下落，例如沿陡崖或倒石堆坡下落。随着时间的推移，多次岩崩不断地积累形成岩崩碎屑堆或岩屑堆坡。这些沉积体的剖面顺直，坡度接近于物质的休止角，约为 $34^{\circ}$ — $39^{\circ}$ 。岩崩倒石堆中的岩石碎屑物具有重力分选特征，最大的石块停积在倒石堆基部，较小的石块覆盖在坡面中部和顶部。活动性倒石堆坡面，常常受到缓慢而连续的碎屑蠕动的的影响，这种蠕动速度似乎在沉积物的表面和其较高部位比较快。在高纬地区，倒石堆坡面在某些地段受雪崩的侵蚀或再作用，并被改造成“雪崩巨砾舌”形态。在另一些地段，流水作用可把倒石堆改造成“冲积碎屑物”。在高纬地区，影响碎屑坡的块状“岩屑流”是受到重现期较长的暴雨作用的诱发，而不是受到冰雪融水的影响。

如果碎屑沉积物的位置稳定，不受碎屑搬移过程的支配，那么碎屑沉积物就代表着整个冰后期天然作用过程和岩墙崩塌的结果。这种过程在斯堪的纳维亚北部大约持续了9000年的时间。岩崩是块体运动最有效的形式，它使悬崖不断后退，其速度可与风化作用的速度类比。风化作用并不受发生在缓坡上残积碎屑盖层的阻止。高纬度的山原，通常是由石海覆盖。这些石海可能显示出基岩崩解受阻，而且其崩解速度低于相应的倒石堆坡。在对比倒石堆坡和石海、估算基岩风化速度时，必须记住这一点。

表1中有些数据根据现代过程的观察和测量，也有一些数据是依据没有碎屑迁移的现代倒石堆的厚度估算的。霍勒曼（1983）给出的数据涉及冰川石流中岩石碎屑体积及相应岩墙源区后退物质体积的计算。在斯匹次卑尔根，弗伦奇率领的研究小组对基岩陡崖后退速度的研究（安顿，1984），完全有希望增加我们对有关过程和其后退速度的了解。

表1中给出了在挪威北部 Lapvitind 山地花岗岩陡崖的后退速度为 0—0.7 毫米/年。零意味着山地花岗岩陡崖在冰后期几乎没有风化作用。0.7 毫米/年的速度往往发生在具有巨大倒石堆的断裂地带内。在类似的花岗岩地区，R.达西（1967）对缓坡上不同海拔高度的冰后期微风化作用做了详细研究，其成果如图 1 所示。在海平面高度，风化作用速度接近零，在海拔为 90 米、120 米及 1300 米处，风化速度分别为 10.5 毫米、12.8 毫米和 8 毫米。在 1300 米处，石海带中的碎石在表面的风化大约为 4 毫米。所有这些数据指的是花岗岩山坡石英岩脉面上，大约在冰后期 10,000 年时间内的风化速度。

一般来说，拉伯格（1984）估算的斯堪的纳维亚岩石堆坡的后退速度比表 1 所给出的陡崖后

表1 在冰缘条件下某些陡崖后退的速度（引自弗伦奇，1976）

地 点	岩 性	后退速度 (毫米/年)
斯匹次卑尔根	石灰岩和红	0.34—0.50
Templet 山地	燧石	
斯匹次卑尔根	石灰岩和红	0.05—0.50
Langtunafjell 山地	燧石	
拉普岛北部	片岩	0.04—0.15
Karkevagge		
拉普岛北部	闪岩	0.2—0.6
Liddopakte etc.		
挪威北部	花岗岩	0—0.7
Lapviktind		
埃尔斯米尔岛	白云岩	0.3—0.8
NWT, 加拿大	石灰岩	0.5—1.3
Yukon, 加拿大	石英岩、白云岩、 页岩	0.02—0.17
Yukon, 加拿大	正长岩、辉绿岩	0.007—0.03
Rocky 山地, 美国	未详细说明	0.3—1.6

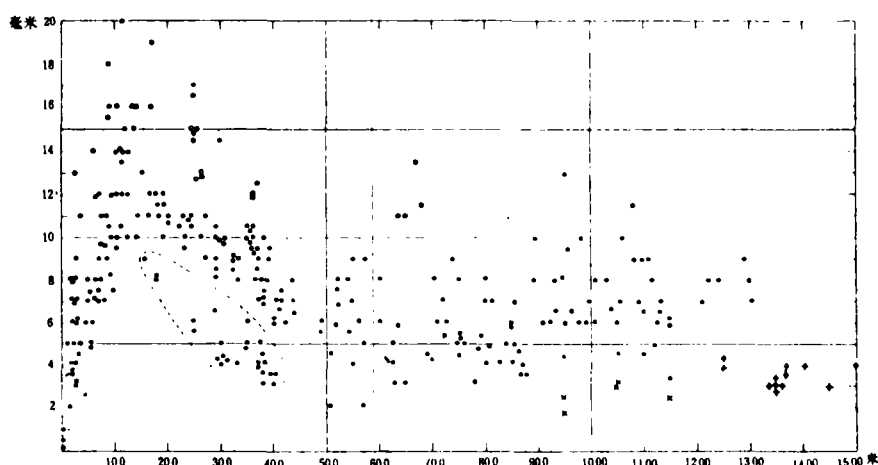


图1 位于挪威 Narvik 的 Skjomen fjord 海拔 0—1500 米处的花岗岩，在冰后期的风化情况（引自达西，1967）。

• 为在花岗岩表面上石英岩脉的 30—50 米微地形测量数据的平均值。 ○ 为苔藓覆盖下的地表面测值 ✕ 为冰水磨石区的样点测值

✕ 为高山石海中块石上的测值  
退速度要大得多。但对于检验这个观点来说，证据是不够的。在斯匹次卑尔根的某一矿区所测到的碎屑覆盖层的水平厚度是 24 米（拉普未出版的资料）。

在高纬地区岩崩形成的倒石堆坡，在 5—6 月解冻期间，岩崩频率最大。由几日或季节性的结冰循环造成的楔形霜冻是最重要的准备过程。在北部山区，晚春期间或夏季较温暖期间，解冻似乎是引起岩崩的最普遍过程。

在北部山地，与岩石坡面及岩屑堆有关的地形及其发育过程的研究，对更好地认识倒石堆、石海、雪蚀洼地、冰斗、石冰川及其类似的地形的起源和动力都具有普遍意义。有关此方面的内容将在本文后部讨论。

2. 石海 石海也称 felsenmeer，大多是由棱角状块石组成，部分覆盖有地衣、苔藓、稀疏丛生草及灌木等植物。北部山原通通石海占优势（图 2）。

在一般情况下，石海不象岩屑堆那样，整个沉积物都在其顶部缺少陡崖，这引起人们的注意，并促进人们就其起源和环境的指示意义……等问题进行争论。这些问题包括：沉积物在一定环境中的发展、明显地移动、或该沉积物由于微弱的淋溶而产生的变性以及它们的变形机制（如果这些物质已发生了变形）等。海拔较高的石海，在讨论第四纪冰川中可能存在冰原岛峰或无冰山峰具有一定意义。“冰原岛峰假说”的支持者认为：这些山区的一定高度（毁林线）以上，强烈风化而形成古老石海的存在支持了这一假说。它对于进一步认识高山地区第四纪山地植被的历史、冰川的范围和冰蚀作用具有重要意义。石海的风化速率是一个关键问题。

由 S. 拉波格（1970）领导的研究组，在斯堪的纳维亚中部和北部山区进行了系统研究，调查点的计算表明：90% 以上的石块是当地起源的，但在较高的山口石海中有例外，那是次生形成的搬运的物质要比石海中的碎屑物多 50%。从这些观察中得出的主要结论是：大量就地起源的棱角状物质支持了石海起源于当地楔形霜冻的解释。拉波格（1984）在最近的论文中认为：瑞典是高山上的石海起源于冰后期。R. 达西（1966）作出结论：在挪威北部高海拔区的石海形成于冰后期，是区域性楔形霜冻的产物，同时伴有 Weichselian 冰川留下的几块冰川漂砾。还有一种解

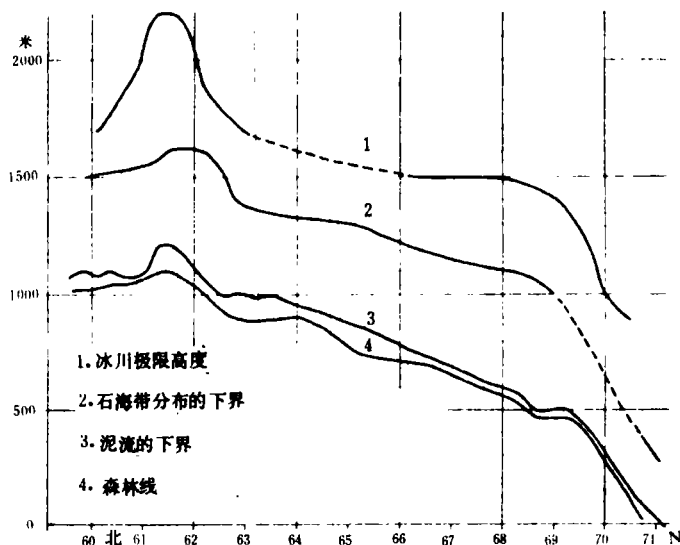


图2 斯堪的纳维亚山地北纬60°—70°，冰川、石海和泥流（冰冻流）的分布高度

释认为：Weichselian 冰川最盛时期，高海拔的冰动很慢，而且“底冻”冰原侵蚀也十分微弱，冰川作用不能搬运冰缘风化覆盖物（风化壳），构成了今日石海中的部分碎屑物。后者的解释类似于萨格登和沃茨（1977）对北极地区加拿大Baffin岛石海所提出的解释。经在该岛东部两个实地的研究，有人建议对劳伦冰盖下部的突岩和冰原岛峰进行测量，而不需要用无冰川的特点来解释。当然，突岩和冰原岛峰的存在可以反映上覆冰盖为“底冻”的位置。

二、泥石流 泥石流是一种由水和碎屑物构成的快速的块体运动。宽度达10—20米的大型泥石流发生于冰碛物或冰缘山地碎屑堆积物中，通常由夏季或秋季高强度的特大暴雨而引起。积雪迅速融化，使冰碛饱和，往往引起泥石流或泥流暴发，这类现象早已为人们所共知。除了从滑动到粘性泥浆的快速运动外，泥石流通常在25°—40°的斜坡上以碎屑滑动的方式开始运动（塞尔比，1982）。泥石流往往留下两边具有石质堤防的通道，泥石流活动停息后，仍显而易见。这些堤防向下游尖灭，转化为叠瓦状舌形堆积体，石块的长轴垂直于流向。这些曲流舌宽达几米到15—20米，在坡度仅为5°—10°的斜坡上就可向下移动。这样，易于流动的大型泥石流能够流动超出岩崩碎石坡的基部。

表2 岩屑流和泥石流的特征与剥蚀参数估算值

地 点	日 期	流域面积 (平方公里)	岩石类型	碎屑物 体积·米 <sup>3</sup>	剥 蚀	
					碎屑物 毫米	岩石 毫米
瑞典北部 Nissunvagge	23.6.79	5.5	闪岩	85000	15.5	10.8
瑞典北部 Tarfala	6.7.72	11	闪岩	55000	5	3.5
瑞典北部 Karkevagge	6.10.59	15	云母片岩	4600	0.3	0.2
斯匹次卑尔根 Longyearbyen	11.7.72	4.5	片岩、砂岩	5000	1	0.7
挪威北部 Uivadal	26.6.60	7	花岗岩	300000	43	30.1

在斯堪的纳维亚北部和斯匹次卑尔根山区大型泥石流发生的重现期很长。拉普和纽伯格(1981)以及拉普(1981)应用气象站的降水量数据并结合泥石流上的地衣(地衣尺寸断代)的研究,试图确定瑞典北部Nissunvagge的多数泥石流的重现期年代。研究结果:这一地区的水重现期为50—400年(表2)。

在斯匹次卑尔根Longyearbyen,于1972年7月11日,降雨量达31毫米的大雨之后,在具有永久冻土的倒石堆面上发生了大规模的泥石流。1981年再次发生。阿克曼(1984)通过对斯匹次卑尔根西部倒石堆斜坡的航空象片分析,发现在调查的山谷边坡570公里以外,在1公里范围内不少于37%的地段都有几处泥石流。泥石流大都分布在东坡或北坡。这种分布特征与当地永久冻土的浅的活动层有关。

对高纬度地区,对冰缘坡面上的融雪水的侵蚀作用仍有不同解释。A.贾厄(1985)提出在斯匹次卑尔根坡面上,融水径流试验区的测量结果得出如下结论:“与上述提到的作者相反,我认为,侵蚀的主要因素是春季的雪融水而不是夏季的暴雨,因为前者的频率较大”。这也许是由于该试验点上具有对“雪蚀坡冲刷”的有利条件或融水及其径流的强度很大的缘故。但是在陡峭的碎石覆盖的斜坡上,显见的石流堤坝和曲流舌的发生起因于夏季降水作用比起因于融水更合适。也有可能北部山地,裸露的细粒土壤坡面冲刷,在较高处降水冲刷比融水冲刷强度更大。这些建议能否被将来进一步冲刷过程和相关沉积物,特别是雪崩作用位置相关的研究所证实?

**三、侵蚀性雪崩** 在欧洲和美洲的许多高纬度山区,侵蚀性雪崩已经作为一种明显的坡面过程加以观察和描述。这种雪崩的发生以几年或几十年为周期,而且,多发生在源于洼地或凹槽的一级河流,这些洼地和凹槽,如冰斗,有利于积累和储藏雪。半融雪崩由大量湿物质、大雪、冰、岩石碎屑、土壤和植物残体组成。

半融雪崩具有特定的表面痕迹和沉积物特征,往往在被搬运和拖曳的岩石土壤和植被中具有条痕和沟纹。另一种典型的形式是雪崩碎屑的尾沙,往往是被固定的大漂砾的下坡上的刃脊状岩屑脊。这种半融雪崩的舌状漂砾堆积物通常比其它侵蚀性岩崩的沉积物更长更平。这些漂砾在坡度较小(甚至为 $0^\circ$ )的斜坡上都有分布,并往往穿过谷底溪流,到达对面的斜坡上,具有坡栖巨砾的锋形,马蹄形的边缘。

尼伯格(1985)在瑞典Abisko山地的一项研究表明:半融雪崩比我们迄今所想象的频率更高。自从1903年Kiruna—Narvik铁路通车以来,人们对Nuolja山地冬季的板状雪崩一直进行观测,板状雪崩的重现周期为30—40年,并且多发生在1月到4月。对比之下,这种半融雪崩发生得较晚,而且标志着雪水流动的春汛开始。1982年2月在Nuolja山地东坡的一次大型半融雪崩,形成一条宽100米的新路线,并破坏了已存在了80—100年的山地白桦群落,威胁游人,将几百吨泥土和石块冲到谷底,甚至部分进入到Abiskojočka河干流,造成所及地区毁灭性的破坏。

由于理论的和作为增加旅游业与山区建筑相联系的实践的保护计划的原因,这种半融雪崩将彻底地被人们研究,并为人所知。

**四、融冻泥流** 融冻泥流与冰缘搬运过程的坡面冲刷相互作用。融冻泥流或“寒冷土流”趋于充填由流水作用所形成的细沟和沟槽,因此促使地表径流分散。在融冻泥流坡的较低处,常有从泥流过程向流水搬运过程转化的过渡区。过渡区在地形上多为由流水切割的细沟和沟槽,而冲积扇的出现代替了融冻泥流的曲流舌,这种曲流舌多分布在融冻泥流坡的上部。Strömquist(1983)研究了瑞典北部的Kärkevagge的融冻泥流与水蚀之间的共同作用后,得出如下结论:沿整个坡地剖面上很少有沉积物输送,因为更多的物质似乎再次固定于融冻泥流系统内部,而不搬运走……由融冻泥流到河流搬运过程的真正转化,要么由崩坍的泥流舌上的细沟侵蚀而引起,要么由地下潜蚀而引起。

融冻泥石流对坡地演化的作用不仅仅限于泥流舌，还形成许多坡面特征。所谓“倾斜而无分选的阶梯”是一种十分有趣的融冻泥石流阶梯类型，这种类型表明有很强的风力作用，显示出伴随强烈的冰冻融化的苔原坡面上的主导风向。这些形态也可能是表征冰缘永久冻土区有用的指标。

**五、雪蚀和强霜冻侵蚀** 雪蚀一词意思是“雪区侵蚀”，它是一种综合性的侵蚀作用。这种作用经长期，甚至几万年，在基岩上形成雪蚀洼地，这种洼地在吹雪下部。这种吹雪每年作用于相同部位，而在夏季或早秋融化流出。雪蚀通常被认作是综合性的过程：沿坡向下，融水作用和化学风化作用增强，融水加强了坡面冲刷的块体运动，并可能使吹雪区的上部边缘基岩的楔形霜冻和化学风化作用强化。

在斯堪的纳维亚，有几个作者最近讨论了雪蚀洼地与冰川冰斗之间的关系、它们的形态及发育过程。他们提出：为什么在斯堪的纳维亚山地几乎没有雪蚀洼地或雪蚀冰斗的观察和描述？在Weichselian大冰期之后，全新世的9000多年期间，雪蚀过程如此缓慢，以致在坚硬基岩上几乎没有形成典型的雪蚀洼地吗？

更好地了解斯堪的纳维亚北部山地现代冰蚀过程和形态，对于重建瑞典南部古冻原环境是一种十分有用的途径。沃什伯恩（1985）在一篇题为“冰缘问题”的文章中，对冰缘地貌中的一些概念提出了批评性的意见。他认为：“雪蚀的概念……在山坡一定部分的吹雪边缘及下部的霜冻作用、物质坡移、融水片流和细沟侵蚀作用”这种认识几乎有一个世纪之久。然而定量研究显然很少。索恩（1974，1976）在科罗拉多的Front地区的研究表明：有些传统概念有必要验证。例如，在邻近雪堤边缘冻融循环频率比其它地方要高，雪蚀作用开始塑造洼地而不是改造洼地，并能在有利的位置上形成冰斗。

Thorn对霜冻侵蚀阶地的评论如下：据信雪融和融动泥石流对霜冻侵蚀阶地的形成有很大作用。大多数人的描述都是残余类型，并有人怀疑许多强霜冻阶地的特征，实际由岩石构造所造成……的确，雪蚀和融动泥石流可以解释它们的起源，而不受岩石构造的影响。

根据雷格等人（1976）的观点，强霜冻侵蚀阶地反映一种十分严酷的气候。雷格在阿拉斯加地区的研究发现，发生强霜冻侵蚀阶地的年平均气温约为 $-12^{\circ}\text{C}$ 。强霜冻侵蚀阶地的所有研究结论需要批判性地进行考察。

**六、结论** 高纬冰缘山地的研究内容十分广泛，这对地貌学的研究具有一定的促进作用。许多冰缘过程及其形成的地形的研究还不够深入，还不足以作为古气候标志。北部山地景观是由漫长的不同时期形成的多种景观组合的综合体：遗留的冰缘残积物、更新世冰川或冰水地形以及由现代侵蚀的和堆积过程共同造成的现代地形。这种观点业已着重对某些领域的问题加以探讨，例如：石海的起源地、在不同部位的冰川侵蚀效应、化学风化速率、融雪水和降水对坡面冲刷的地貌意义、雪蚀和强霜冻的机制及其气候的重要性。冰缘地区重要的风蚀作用，如由风力搬运的流沙和冰晶是磨石基岩的主要外动力，这些问题本文虽未涉及到，但都已开展了研究和争论，这都是需要加强研究的领域。

王静爱译自《Progress in physical geography》Vol. 10, NO. 1, 1986. 郝允充、史培军、曹银针校