

论坡地冰缘地貌的发育模式

On Development Model of Periglacial Land Form on Slope Land

朱 诚

(南京大学大地海洋科学系)

提 要 本文以天山与西南极和中安第斯山地冰缘地貌现象为例,总结出坡地冰缘地貌的发育模式。提出:1)坡地各种冰缘类型在发生学上具有彼此内在联系性,高处类型是低处类型组成物质的基础,低处类型是对与其相邻的高处类型的继承和发展。2)从坡顶→斜坡→坡脚的冰缘类型演替序列,体现了冰缘作用和过程从简单向多样化、复杂化发展,冰缘类型也随之由低级向高级发展。3)气候、坡形和坡向对坡地冰缘地貌发育有影响。一般来说,在干冷气候区,坡度适中情况下,冻土下界至雪线间的距离愈大,坡地冰缘地貌种类愈多而全,坡地演替序列也愈长而完整。反之则冰缘种类少、坡地演替序列短。在冷湿气候区,主要有利于冰川发育,冰缘类型则以冻融蠕流型为主,其它类型的发育受到影响。

关键词 冰缘地貌 模式 演替序列

近年来,笔者通过对中天山、乔治王岛和中安第斯山地冰缘地貌现象的分析,发现坡地冰缘地貌发育有其特定的规律。在此基础上,总结出坡地冰缘地貌发育的模式,现讨论如下。

1 中天山、乔治王岛和中安第斯山地冰缘地貌分布概述

1.1 中天山地区(朱诚, 1992a)

该地区的冰缘地貌分布以大西沟地区为例(图 1)。在坡度较陡而基岩裸露的北坡有:冰缘岩柱-石海-倒石堆(或岩屑锥)-石冰川;在坡度较缓而基岩裸露的南坡有:冰缘岩柱-石海-石流坡-分选阶地-分选条网-分选环-石河(或石条)-拔石(或季节性冻胀丘)-石铺;在坡积物成土化明显的坡地(如望峰)有:冰缘岩柱-石海-泥石流舌-泥流坡坎-分选条-非分选环(或条网);沿谷底发育有:石铺(沉积面坡度 $3-5^{\circ}$)-热融洼地。

1.2 西南极乔治王岛菲尔德斯半岛(朱诚等, 1991a)(图 2)

(1) 在冰缘地貌分布较集中的南方台地顶部-山海关峰(154.68 m)-半三角一线(图 2 剖面线 A),从高往低依次发育有冰缘岩柱和石海-倒石堆和石流坡-分选环、石花和分选条网-分选环、石流阶地和石冰川-海滩卵石分选环。

(2) 在细粒沉积物较多而厚的北方台地最高峰(156 m)-前苏联别林斯高晋站海滨一

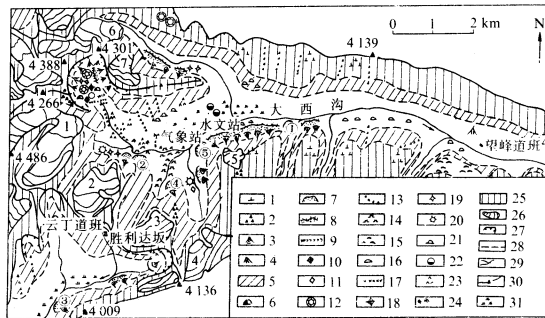


图1 中天山大西沟地区冰缘地貌分布图

1. 冰缘岩柱; 2. 石海; 3. 倒石堆; 4. 岩屑锥; 5. 石流坡; 6. 分选阶地; 7. 单个石冰川及其编号; 8. 石冰川群; 9. 分选条; 10. 分选网; 11. 分选多边形; 12. 分选环; 13. 石河; 14. 石铺; 15. 泥石流舌; 16. 泥石流阶地; 17. 非分选条; 18. 非分选网; 19. 非分选多边形; 20. 非分选环; 21. 季节性冻胀丘; 22. 热融洼地; 23. 拔石及冻举基岩; 24. 基岩风化剥落; 25. 基岩山坡; 26. 现代冰川及其编号; 27. 冰斗和雪蚀洼地; 28. 分界线; 29. 河流; 30. 山峰和山脊线; 31. 沼泽

线(图2剖面线B), 从高往低依次发育有冰缘岩柱和石海—倒石堆和石流坡—石环、石条和泥流坡坎—条纹土坡(Striated soil slope)—海滩卵石分选环。

(3) 在中段沉积物较细, 一级阶地相对高差较大的中央台地明月山(132.8 m)—西海岸生物湾海豹滩一线(图2剖面线C), 其剖面特征与前两者相比差异较大, 从高往低依次发育有冰缘岩柱和石海—石流坡—石铺和条纹土坡—多泥质分选环—小雪斑—沙滩。

1.3 中安第斯山地^①(图3)

(1) 较为湿润的中安第斯山西侧冰缘带范围狭小, 分布的冰缘类型较少。其北部仅有极少量分凝冰型冰丘, 南部仅有少数石冰川和泥石流舌发育, 而在较为干燥的中安第斯山东侧, 冰缘带范围则较宽, 分布的冰缘类型较为多样。

(2) 干旱的普纳高原地区(22—25° S)在海拔3 670 m以上发育有大型冰丘。冰川起因的石冰川和泥炭沼泽型冻丘分布在海拔4 500 m以上(Corte, 1988)。

(3) 在中安第斯山33—35° S地区, 从环境背景上可将冰缘地貌分为两个亚区: 1) 多年冻土区: 它的下界可由分布于海拔3 200 m处的石冰川末端来指示。其冰缘地貌类型有: 分布于海拔3 200—4 700 m的活动型石冰川、大型的融冻泥石流舌、泥流阶地、冰缘叶状倒石堆、直径1—4 m的大分选环、寒冻夷平面、不对称冰缘谷、石流坡和热喀斯特沉陷; 2) 季节冻土区: 其年平均气温大于0℃, 主要冰缘类型有: 冻融蠕流(Gelifluction)和土流(Solifluction), 近地表下的针冰, 因垂直分选和寒冻风化产生坑穴和空洞的石块、石流坡和直径10—20 cm的小型分选环网。

^①朱诚, 1992, 中安第斯山地冰缘地貌特征, 地理科学, 待刊。



图2 菲尔德斯半岛冰缘地貌分布图

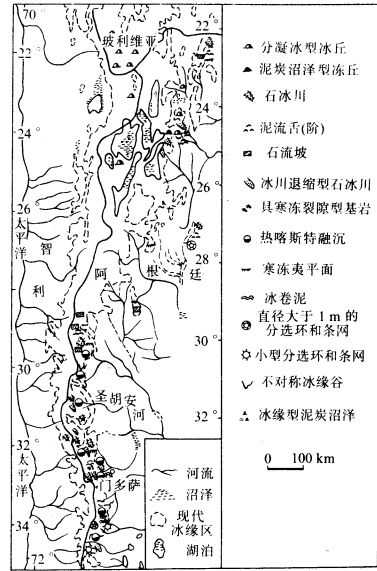


图3 中安第斯山冰缘地貌分布图

(据 Corte, 1988 修改)

2 坡地冰缘地貌发育模式的探讨

从上述三个地区冰缘地貌的分布, 可以看出它们都具有以下这些共同特点:

(1) 各种类型在发生学上具有彼此内在联系性。表现于, 主要类型都出现在冻土下界以上, 各类型的组成物质最初均来自基岩风化物, 高处类型的组成物质是低处类型组成物质的基础, 低处类型是对与其相邻的高处类型的继承和发展。如冰缘倒石堆和石流坡物质均由高处风化的冰缘岩柱和风化的基岩坡岩屑提供; 而倒石堆、石流坡在往下运动中经滚、砸、碰撞并进一步长期风化后岩屑砾径逐渐变小, 这些物质在较平缓地段长期堆积后又为随后发育的各类冻融分选和非分选形态, 如分选环、石花、岩屑岛、石铺和非分选条网提供了粗粒物质基础。

(2) 从坡顶→斜坡→坡脚的冰缘类型演替序列, 体现了冰缘作用和过程从简单向多样化、复杂化的发展, 冰缘类型也随之由低级向高级发展。例如, 坡顶的冰缘岩柱和石海形成主要受较单调的寒冻风化作用的影响。在石质斜坡上的石流坡、倒石堆除受寒冻风化影响外, 还受重力作用、融雪水和雨水对细粒物质的冲刷作用、下渗的融雪水和雨水冻结融化产生的冻融蠕流作用影响。在多泥质斜坡上, 当坡度较大、重力和冻融蠕流作用明显时, 则出现泥流舌、泥流坡坎和泥流阶地; 当坡度较小、重力影响较小, 冻融蠕流和冻胀分选作用明显时, 则出现流动性条纹土坡。到了坡脚, 冰缘作用的多样化更为明显, 出现了多在阴坡和半阴坡发育的以冻融蠕流作用为主, 伴以重力作用、冻胀挤压作用、冻胀分选作用等形成的石冰川和多在阳地发育, 以冻胀作用为主形成的冻胀丘, 或以冻胀分选作用为主形成的分选环、分选条网等。在坡脚坡度较缓部位, 则可出

现冰缘流水冲刷作用和冻胀作用为主形成的石铺。在泥质较多的谷地除具有冻胀分选作用而成的分选环和分选条网外，当其地下冰被人为开挖而出露时，易形成溯源发展的热喀斯特洼陷地形。

(3) 气候、坡形和坡向对坡地冰缘地貌发育有影响。一般来说，在干冷气候区，坡度适中情况下，冻土下界至雪线间的距离愈大，坡地冰缘地貌种类愈多而全，坡地演替序列也愈长而完整。其中，在阴坡或半阴坡多发育块体运动型的倒石堆、岩屑锥和冻融蠕流型的泥流舌、泥流坡坎以及具有多种冰缘过程的石冰川。在阳坡或半阳坡多发育冻胀作用而成的冻胀丘和冻胀分选作用而成的分选环、分选条网等。在坡度很陡的干冷气候区，重力作用为主的块体运动型冰缘地貌，如倒石堆、岩屑锥、石流坡较发育，而冻融蠕流和冻胀分选的类型不太发育。若冻土下界至雪线间的距离愈短，坡地冰缘地貌的种类也愈少，演替序列也愈短。在冷湿气候区，主要有利于冰川发育，冰缘类型则以冻融蠕流型为主，例如泥流舌、泥流坡坎和规模较大的因冰川退缩而成的舌状石冰川。

据上述发育特点，坡地冰缘地貌可以总结出如图 4 所示的发育模式。

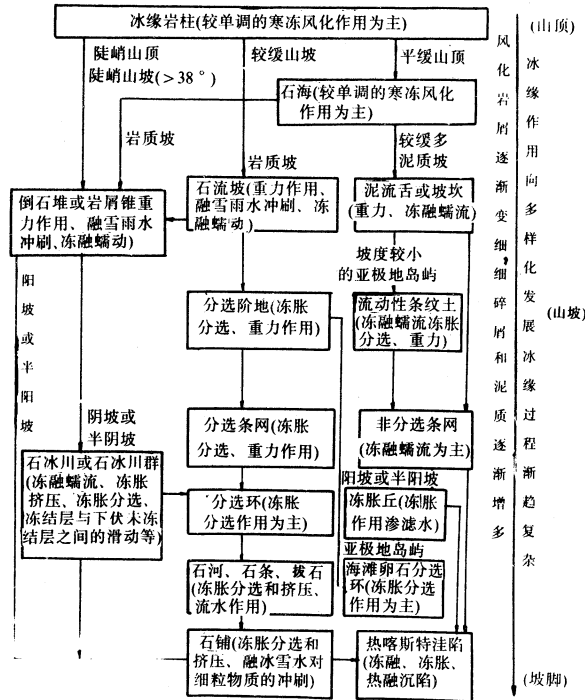


图 4 坡地冰缘地貌发育模式示意图

3 三个冰缘区坡地冰缘地貌发育模式的具体表现

在上述三个冰缘区，受不同气候、地形和坡向等因素影响，坡地冰缘地貌发育模式的具体表现是有所差异的。

3.1 中天山冰缘区

本文讨论的 $41^{\circ}30' - 44^{\circ}20' N$, $82^{\circ}10' - 88^{\circ}40' E$ 的中天山地区, 以 $86^{\circ} E$ 线为界, 东西两侧地形气候有所不同。从地形上看, 西部高于 4 000 m 以上的山体较之东部更为广博。西部地区虽然冻土下界至雪线之间的跨度相对较大, 按理说坡地冰缘地貌发育好、演替序列长, 但由于深切峡谷地形相对较多、地形坡度大, 所以除冰缘块体运动类型较发育外, 其它坡地类型发育则受到抑制。而东部虽然冰缘带的跨度不及西部大, 但因深切峡谷相对较少(如大西沟地区的峡谷主要分布在 1 700—3 300 m 之间的地带, 地形坡度较缓, 故坡地冰缘地貌发育齐全, 坡地演替序列较为完整(朱诚, 1992a)。再者, 从气候上看, 中天山降水量也以西部为多, 向东逐渐减少。其中, 哈尔克山、婆罗科努山和依连哈比尔尕山基本处于年降水量在 600 mm 以上的中心位置, 而东部喀拉乌成山一带降水量渐减, 如在海拔 3 588 m 的大西沟气象站测得 1961—1980 年 20 年间的年平均降水量仅为 430.2 mm(朱诚等, 1992b)。表明中天山西部较为冷湿, 而东部较为干冷。由于冷湿对冰川发育有利, 而干冷才对冰缘地貌发育有利, 所以造成本区西部有较多冰川和因冰川退缩而成的峡谷舌状石冰川(朱诚等, 1992b), 但其它冰缘地貌类型较为单调, 较常见的只有冰缘岩柱、倒石堆、泥石流、泥流舌和石河等。而东部现代冰川不如西部发育, 且较少有谷地舌状石冰川, 但其它冰缘类型丰富, 坡地演替序列较为完整, 如大西沟地区就有从冰缘岩柱→石海→倒石堆→泥石流→石冰川→泥流舌→分选条网→石铺→热喀斯特洼陷等 20 余种冰缘地貌类型(图 1)。

3.2 菲尔德斯半岛冰缘区

据我国 1985 年在此半岛建成的长城站气象站 1986—1989 年 3 a 的气象观测看, 此半岛年平均气温约 $-3.3^{\circ}C$, 年平均降水量约 605 mm(朱诚等, 1991b)。从上述资料看, 此种气温和降水条件是有利于冰缘地貌发育的。但由于半岛地形起伏小, 最高峰火山颈海拔只有 164.2 m, 这就使得坡地冰缘地貌的发育被限制在较低的高度带内, 其冰缘地貌演替序列也被压缩在较短的范围内。再加之半岛受历史上海侵、现代海水蒸发产生的盐离子沉降影响, 使得其活动层含盐量高, 其冻结强度和深度远不如大陆上的中天山和中安第斯山冰缘区。所以, 冻融蠕流作用为主而成的流动性条纹土就成了本区最普遍发育的坡地冰缘地貌类型, 而坡地块体运动型的倒石堆、石冰川和冻胀作用为主的冻胀丘等发育不够普遍。值得提出的是, 在更新世南极冰盖扩张时期, 此半岛西北一侧为迎冰面, 东南侧为背冰面。在背冰面的基岩体受复冰拔蚀作用强烈, 故十分破碎, 在冰期过后还易遭风化而剥落; 而迎冰面主要受压应力, 冰川期后基岩体主要表现为应力释放造成表层岩面剥落现象为多, 但整体破碎崩落的程度远不如背冰面。这是该区东南侧岩屑物来源多, 倒石堆和具粗粒岩屑的分选冰缘类型相对较多, 而西北侧岩屑来源少, 倒石堆不发育、细粒泥流分选类型多的根本原因所在(朱诚等, 1991b)。也就是说, 本区坡地冰缘地貌发育模式中还带有冰川侵蚀历史的深刻烙印。

3.3 中安第斯山冰缘区

笔者认为,中安第斯山(22—35° S)坡地冰缘地貌发育的最大特点实际上是坡向的差异性,即山之西侧冰缘带范围狭小、坡地演替系列短、冰缘类型较少、且冰缘带下界较高,而东侧正相反。例如就最能指示冻土下界位置的石冰川末端分布高度而言,同是33° S,但石冰川末端高度在阿根廷境内为海拔3 200 m,而在智利一侧则为3 500—3 700 m(Corte, 1988)。从分析看,这一差异性主要是由于气候上的原因引起的。

前已提及,冰缘地貌的发育若与冰川相比,冰川要求湿而冷,而冰缘则要求冷而干。具体说,海洋性气候区于冰川发育有利,于冰缘不利(海洋性冰川区,雪线上的年均温只有-2—-3℃,雪线以下基本无多年冻土和代表性的冰缘现象)(崔之久,1980)。大陆性气候区对冰川发育不利,但对冻土及冰缘地貌发育却有利(因为雪线上的年均温可达-10℃以下,冻土下界也仍在-3℃左右)。从空间看,由于干燥区冻融频率和幅度(如昼夜温差)均比湿润区大,所以冰缘带的宽度在气候干燥时和气候干燥区要比潮湿时和潮湿区大。

中安第斯山东西两侧冰缘地貌分布的差异正体现了上述坡地冰缘地貌发育模式的内在规律。因为安第斯山不仅是南半球延伸最长和最主要的山脉,它本身也是重要的气候分野界线。虽然山体3 000 m以上地区最冷月(1月或2月)平均气温均在0℃以下;最热月(7月或8月)均为0—8℃,但在山之东侧主要受东北和东南信风影响,而其西侧主要受西风带影响。由于东部距海相对较远,这就造成西侧向风坡降雨明显多于东侧。就中安第斯山主要冰缘区而言,其西侧山麓智利境内属亚热带地中海式气候,年平均降水量500—1 000 mm左右,而东侧山麓阿根廷境内则属亚热带干旱和半干旱气候,年降水量仅200—600 mm。这样,其东侧与西侧山地相比,前者显得干冷,后者显得湿热。

冬季对多年冻土和冰缘地貌发育来说,是一个重要的负温冷波双向传递(即从冻土上限和下限两个方向)积累阶段(崔托维奇,1985)。冻土厚度和冻胀丘等的隆起幅度往往在冬末春初达到最大值(朱诚等,1990)。而中安第斯山西侧处在地中海气候区,冬季温暖多雨的环境易使地表处于融化状态,不利于冻土和冰缘地貌的充分发育。年复一年,使得地温的正积温升高,多年冻土下界和石冰川末端海拔也就相应升高,冰缘种类和冰缘带也就相对少而窄。而山之东侧夏季虽受一定的焚风效应影响,但因气候干燥、云量少、逆温少、昼夜温差大、夜间气温降低幅度大,而且冬季寒冷干燥,冷波传递深,有利于冻土和冰缘地貌发育,所以,其冻土下界和石冰川末端分布高度相对要低,冰缘种类和冰缘带也就多而宽,坡地冰缘地貌演替序列也就相对较长。

应该指出,本文提出的坡地冰缘地貌发育模式,主要是笔者根据对上述三个地区的实地考察并参阅了前人有关青藏高原(崔之久,1981)、北美科罗拉多山地(White, 1981)、南美安第斯山地(Corte, 1988)的坡地冰缘地貌研究结果得出的。此模式是否与世界其它山地冰缘区的情况都吻合,还有待同行学者来进一步研究和讨论。

参 考 文 献

朱诚、宋长青、刘勇, 1990. 天山乌鲁木齐河源区季节冻胀丘的特征. 冰川冻土, 12(1): 55—62

- 朱诚、崔之久、熊黑钢, 1991a. 南极乔治王岛菲尔德斯半岛冰缘地貌过程分析. 南极研究, **3**(3): 25—38
- 朱诚、崔之久, 1991b. 菲尔德斯半岛冰缘地貌分布特征及其与冰川侵蚀历史的互相联系性. 地理科学, **11**(4): 336—342
- 朱诚, 1992a. 中天山坡地冰缘地貌的若干问题. 山地研究, **10**(2):
- 朱诚、崔之久、姚增, 1992b. 中天山石冰川特征研究. 地理学报, **47**(3): 233—241
- 崔之久, 1980. 论多年冻土的冰缘标志及冰川冰缘作用的关系问题. 冰川冻土, **2**(2): 1—8
- 崔之久, 1981. 青藏高原冰缘地貌的基本特征. 中国科学, (6): 724—733
- 崔托维奇 H A, 1985. 冻土力学. 北京: 科学出版社
- Corte A E, 1988. Geocryology of the central andes and rock glaciers, Fifth International Conference on Permafrost, Proceedings Vol. 1, Trondheim, Norway, 718—721
- White S E, 1981. Alpine mass movement forms, classification, description, and significance. Arctic and Alpine Research, **13**(2): 127—137