

天山乌鲁木齐河源全新世冰川变化的地衣年代学等若干问题之初步研究

陈 吉 阳

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

摘 要

本文简要介绍了天山中部乌鲁木齐河源全新世冰川变化的地衣年代学研究成果,并兼论了冰川及气候在全新世中的变化历史。认为:地衣测量是一种适用于高山及寒冷地区全新世中后期沉积物测年的方法。地图衣及红石黄衣可分别用于距今约 4500a 及距今约 500a 以来的沉积物测年。全新世中有过四次冰进,在四次冷期中平均气温分别低于现今气温 1.5°C , 1.25°C , 0.9°C 及 0.65°C 。冷期之间是温暖气候,全新世中气温变幅约 2.5°C 。

年代学问题是冰川变化及环境变化历史研究中首先遇到的基本问题之一。1983 年夏起,作者等在中国科学院兰州冰川冻土所天山冰川站对全新世冰川变化的年代学等问题进行了较系统的研究,获得了一些新的认识。

一、研究区概况与冰碛地层

研究区位于我国天山中部的天格尔山第二峰(海拔 4486m)地区(图 1)。这里山势高峻,山脊高度一般为 4100—4300m。天山中部在第四纪中经历了多次冰川作用,但以晚更新世以来的冰川侵蚀与堆积地形保存最为清楚。现代冰川出现于 3600m 以上区域,且南北两侧冰川分布不对称,北坡冰川多而且规模比较大,北坡最大的乌鲁木齐河源一号冰川长约 2.41km,面积 1.95km^2 ,冰舌下伸到 3736m。

这里具有大陆性山地气候。北坡大西沟气象站(3588m)1959—1981 年资料表明:年平均气温 -5.4°C ,负温期 7—8 个月,1 月份平均气温 -16°C ,7 月份约 4.7°C 。年降水量 430.2mm,而降水主要集中在夏季,6—8 月份降水占年降水量的 67%。

六十年代初施雅风和杨怀仁等对乌鲁木齐河源的小冰期冰碛作过研究^[4,5],并与世界性研究对比,从理论上推断其形成于公元 16—19 世纪。此后不少学者对这里的冰川历史做过调查^[3-6],积累了冰碛地层及其年代的大量资料,然而全新世冰碛年代的研究由于测年手段的限制进展较慢。

在天格尔山北坡的乌鲁木齐河源、布特拉沟及南坡等区的调查、对比和统计发现,至少有

本文 1986 年 1 月 29 日收到,1986 年 9 月 15 日收到修改稿。

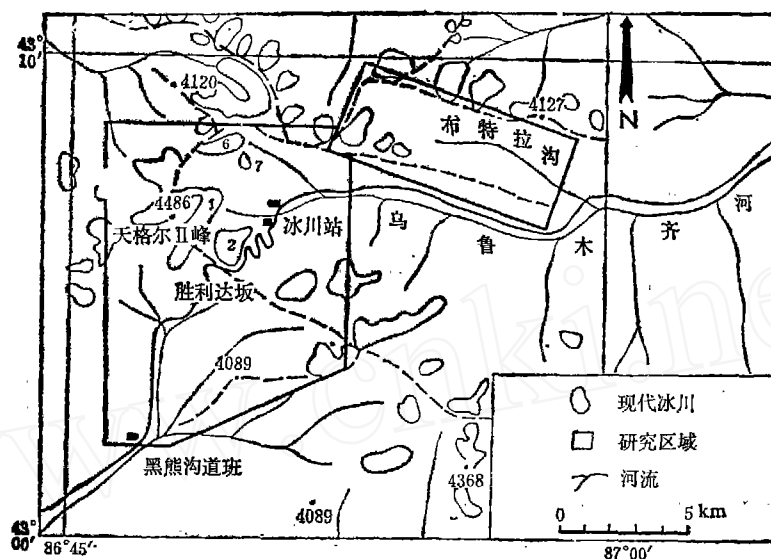


图 1 研究区域的位置

表 1 乌鲁木齐河源的全新世冰碛系列

冰 碛	位 置 及 组 成 物
气象站冰碛 (H_1)	侧碛位于大西沟气象站, 宽 300—400m, 高出谷底 40—50m, 由片岩、眼球状片麻岩、花岗岩长岩为主组成, 冰碛表面有钙华沉淀
山北组 II 冰碛 (H_2)	在 H_1 内侧, 低缓, 顶宽约 80m, 高出谷底 10—15m, 表面钙华沉淀较小, 组成物类似 H_1
山北道班岩坎冰碛 (H_3)	在 2 号冰川 H_4 冰碛前方 250—300 m 处, 宽 100—150m, 高出谷底 10—15m, 呈“S”状伸展, 由眼球状片麻岩、片岩、花岗岩长岩及辉岩为主组成
小冰期冰碛 (H_4)	呈弧形包围现代冰川, 多含死冰, 1 号冰川的小冰期三列终碛(由外向内依次为 H_3 , H_4 及 H_5)的垄脊分别距现代冰川约 530m, 460m, 250m, 由眼球状片麻岩、石英片岩、硅质岩、花岗岩长岩等组成

四组全新世冰碛, 以乌鲁木齐河源的冰碛地层较有代表性(表 1), 它们是这次测年工作等的主要对象和依据。

二、地衣测量与冰碛地层的形成年代

地层的年代包含相对及绝对两方面的含义。相对年代指地层的新老关系, 绝对年代则给出更清晰的地层形成时代概念。晚更新世晚期及其以后的冰碛地层一般采用 C^{14} 及地衣测年等方法测定绝对年龄。早、中更新世或更古老的冰碛地层多用相对年代指标表示其形成时代, 并随新的测年方法的出现而更多地利用其绝对年龄表示它们的形成时代。

1. 地衣测量与冰碛地层的相对年龄

地衣测量是按照一定的原则和程序, 在沉积物区选设若干样方, 测定每个样方中最大地衣体的最大内切圆直径, 并求所有样方之平均值, 此值称为“D 值”。D 值大小代表了沉积物的最小年龄。除 D 值外, 地衣测年的指标还有最大地衣体面积、地衣覆盖区占基物表面积的百分数

即覆盖率、地衣物质重量及枝状地衣高度等。野外直接测取的各种地衣测年指标都具有相对年龄意义。另外,常用于确定冰碛相对年龄的其他参数还有:极端岩块大小、风化程度、组成物岩性构成、冰碛上的土壤及树木年轮等。它们的形式差别较大,然而实质上都与消逝时间的长短之间有某种函数关系。作者认为,野外工作中,相对年代指标以冰碛表面的地衣和土壤资料易于取得。

表2是天格尔第二峰地区全新世冰碛地层上的地衣及土壤资料。据之,我们确定了全新世冰碛地层的相对年龄。

表2 全新世冰碛表面的地衣及土壤资料

乌鲁木齐河源				拉 特 布 沟				南 坡 地 区			
冰 碛	地衣值 D (mm)		土壤厚度 (cm)	冰 碛	地衣值 D (mm)		土壤厚度 (cm)	冰 碛	地衣值 D (mm)		土壤厚度 (cm)
	Rg.	Xe.			Rg.	Xe.			Rg.	Xe.	
H ₁	—	—	36—38	H ₁	—	—	30—34	H ₁	—	—	40
H ₂	138	—	25—30	H ₂	139	—	20—25	H ₂	—	—	21—27
H ₃	95	—	15—17	H ₃	96	—	13—15	H ₃	94	—	13—14
H ₄ ¹	25	115	—	H ₄ ¹	24	118	—	H ₄ ¹	22	113	—
H ₄ ²	8	72	—	H ₄ ²	—	74	—	H ₄ ²	—	76	—
H ₄ ³	—	45	—	H ₄ ³	—	44	—	H ₄ ³	—	47	—

Rg 为地图衣, Xe 为红石黄衣。

2. 地衣测年与冰碛地层绝对年龄的确定

绝对年代资料是建立地层年表和确切阐明冰川变化和环境变化历史的主要依据之一。全新世冰碛绝对年龄的主要测定方法有 C¹⁴ 法、地衣测年、树轮测年和文献记载等。我国大陆性冰川多位于树线以上的高寒山区,由于测年样品采集困难及测年精度等的限制,高山及寒冷地区全新世中、晚期的沉积物绝对年龄的测定以地衣测年法较为实用。

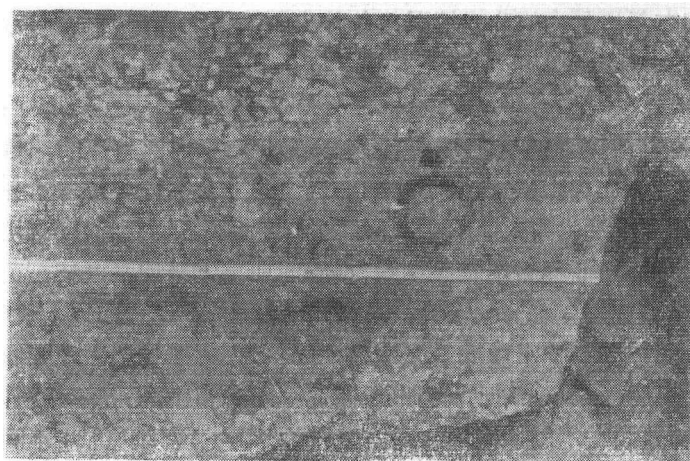


图2 岩坡砾石上生长的地图衣 (*Rhizocarpon geographicum*(L.) DC)
(还可看到地衣相互间的镶嵌生长情况,这些地衣不宜用于测年工作)

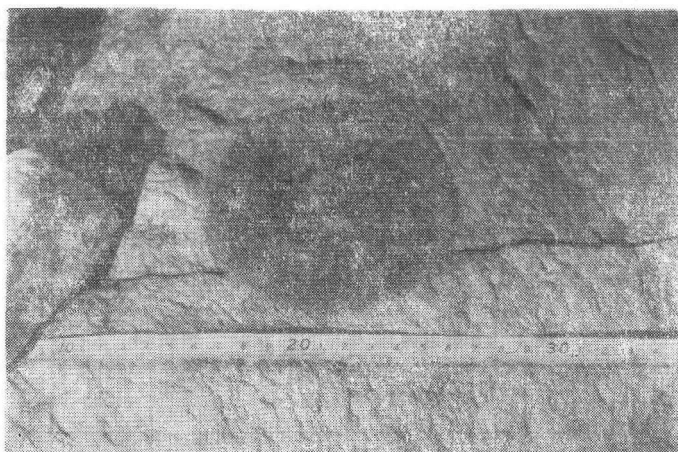


图3 乌鲁木齐河源一号冰川小冰期第一列冰碛上的红石黄衣
(*Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.)
(其基物是花岗岩麻岩砾岩)

地衣测年自本世纪五十年代提出以来^[7], 得到了广泛的应用。目前用于测年的地衣有 35 种之多, 其中用得最频繁的是地图衣属的地图衣 (*Rhizocarpon geographicum* (L.) DC.) (图 2)、鳞壳状的红石黄衣 (*Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.) (图 3) 等^[8]。壳状地衣生长型低级、新陈代谢缓慢, 因而生存期长, 其测年范围也较大如地图衣测年范围约为距今 5000a 至现今。生长型较高级的叶、枝状地衣生长得较快, 测年范围也就较小, 如树发属的 *A. minuscule* 测年范围在距今 0—500a 之间^[9]。

地图衣为壳状地衣, 广布于高山及寒冷地区, 多以岩石为基物附生其上。地衣体柠檬黄色, 有黑色下地衣体围绕在地衣体边缘, 地衣体分裂成大小不同的小区划(直网状)。子囊盘上部遇 KOH 呈红紫色^[10]。红石黄衣地衣体多为正圆形, 红色或桔黄色, 在隐蔽或潮湿地方带有绿色, 遇 KOH 变紫色。

地衣在各地的分布高度不同。地图衣出现在海拔 2500m 以上, 红石黄衣在各种高度上都随处可见, 这是它们在天格尔山的分布情况。各种成因的稳定沉积物, 表面岩块上一般都生长地衣, 而不稳定基物上地衣则很少。

地衣测量的测年参数以 D 值易于准确量得。 D 值随时间的增加反映地衣体的生长速率, D 值与时间的关系曲线称为地衣生长曲线。冰舌前部开始有地衣出现的区域邻冰舌一侧的界线叫地衣始现线。天格尔山第二峰地区小冰期地层上地图衣不多。乌鲁木齐河源一号冰川小冰期第一道终碛上地图衣 D 值约为 24—25mm, 第二、三道终碛上则很少有地图衣, 仅在第二道侧碛上可见 D 值约为 8mm 的地图衣。然而, 小冰期地层上普遍发育红石黄衣, 前述一号冰川 3 道终碛上红石黄衣 D 值分别为约 115mm, 72mm 及 45mm。与 1962 年地形图对比, 发现红石黄衣始现线平均距 1962 年东支冰舌末端约 33m。小冰期地层上地图衣较少, 可能是因为基物稳定后其上从无地衣到有地衣的出现需要一段时间(称为地衣的植入前期)。它的长短对不同地衣或同种地衣在不同地区而言是有差别的。按 1962—1984 年间冰川平均后退速率(约 3.8m/a) 计算, 红石黄衣在这里现代冰川作用区的植入前期约 30 a, 而在海拔 2000m 地区其仅为约 9a。

地衣测量的主要方法之一是依据地衣生长曲线测量沉积物的形成年代。天山高海拔地区年龄已知的基物稀少, 直接建立地衣生长曲线比较困难。我们根据后峡墓地(海拔 2000m 左右)的地衣测量资料及冰川作用区的地衣资料获得了冰川作用区的红石黄衣生长曲线, 再根据 C^{14} 测年及地图衣测量资料建立了地图衣的生长曲线, 所得结果比较合理。

地衣生命史可粗略地分为两阶段: 生长较快、生长速率呈指数形式增加的高速生长期和生长较慢、生长速率近于稳定不变的线性生长期。研究^[11]表明, 高速生长期长短(如地图衣的高速生长期为 100—500 a) 仅为线性生长期时间的约 1/10, 而线性生长期的地衣生长速率是高速生长期生长速率的约 1/5。红石黄衣的高速生长期约几十年^[12]。根据地衣始现线位置、冰川多年平均后退速率及冰碛上的地衣资料, 作者推测乌鲁木齐河源红石黄衣的高速生长期约持续 30 a。北美科罗拉多圣胡安山地的研究^[13]表明红石黄衣的生长速率随高度增加而减慢的速率约为 $2\text{mm}/100\text{m} \cdot 100\text{a}$ 。图 4 给出了后峡墓地红石黄衣在高速生长期的生长曲线, 表明后峡

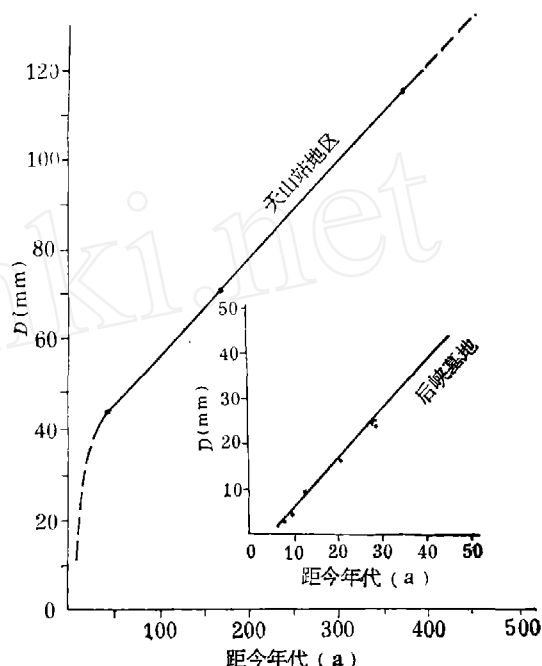


图 4 红石黄衣的生长曲线

墓地红石黄衣(图 5)在高速生长期的生长速率约为 $144\text{mm}/100\text{a}$ 。综合上述资料可知, 天格尔峰地区 3700m 左右地带红石黄衣在高速生长期的生长速率约为 $110\text{mm}/100\text{a}$, 它在线性生长期的生长速率约为 $22\text{mm}/100\text{a}$ 。据此及地衣测量资料, 得到冰川地区的红石黄衣生长曲线

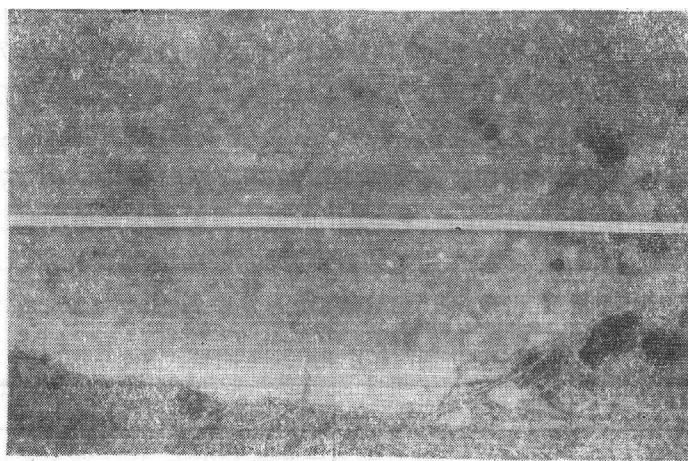


图 5 乌鲁木齐河后峡盆地的红石黄衣

(它们的基物是 1957 年的水泥基体。这些红石黄衣稍带黄绿色, 是因为这里处在水分条件较好的阴坡)

表 3 乌鲁木齐河源一号冰川小冰期冰碛的年龄(距今年数)

冰 碛	红石黄衣的 $D(\text{mm})$	地衣生长时间	冰碛年龄	寒冷期结束年代
H_1^1	115	373	403	420
H_1^2	72	178	208	225
H_1^3	45	44	74	91

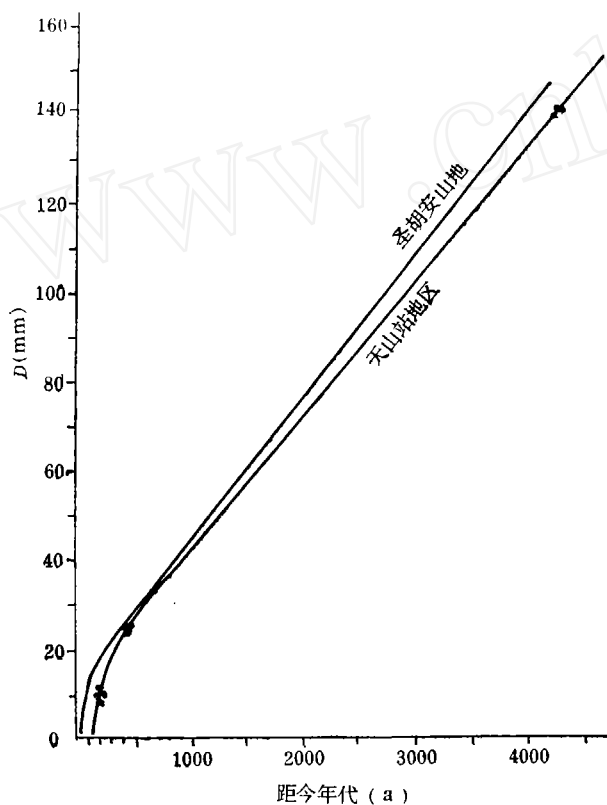


图 3 地图衣的生长曲线

图 6 地图衣的生长曲线

某种程度上比较精确地记录了冰川的变化历史,图 7 反映了一号冰川小冰期以来的阶段性逐步后退过程,是研究小冰期以来冰川及气候变化历史的重要参考资料。

为了确定早全新世冰碛年龄并作为对地衣测年的补充,这里罗列冰碛等的一些 C^{14} 年代。冰碛垄表面以下约 2m 处采集的 C^{14} 样(细粒物质)的分析表明: 气象站冰碛及山北组 II 冰碛

表 4 乌鲁木齐河源部分地图衣测年资料(距今年数)

冰 碛	地图衣的 $D(\text{mm})$	地图衣生长时间	冰碛年龄
1 号冰川 H_1^1	8	58	208(1776 A. D.)
1 号冰川 H_1^2	25	253	403(1581 A. D.)
H_2	138	4100	4080 $\pm$ 150(C^{14})

(见图 4)。注意到红石黄衣的植入前期约为 30 年,由图 4 及冰碛上的地衣资料得到冰碛的近似年龄(表 3),表 3 中与 3 道冰碛垄形成期相应的气候寒冷期结束的年代资料中,计入了冰川变化滞后于气候变化的大约年数。

地衣测年得到的小冰期三次冷期时代与文献[14]的时代基本一致,说明地衣测年的推断是正确的。另外,地衣测年结果也证实了文献[1,2]中“小冰期发生于 16—19 世纪”的论断。

参考冰川作用区的地图衣及其基物的年代(表 4)得到地图衣的生长曲线(图 6),用它可以测定全新世中晚期冰碛或其他沉积物的年龄。山北道班岩坎冰碛垄上的地图衣 D 值约为 95mm,从地图衣生长曲线知其形成于距今约 2800a 前。本区大量石冰川堆积上的地图衣 D 值为 90—95mm,说明它们形成或者稳定于距今约 2700—2800a 前。

地衣测量得到的等 D 值线由于其本身就是等年代线而具有特殊的意义。它

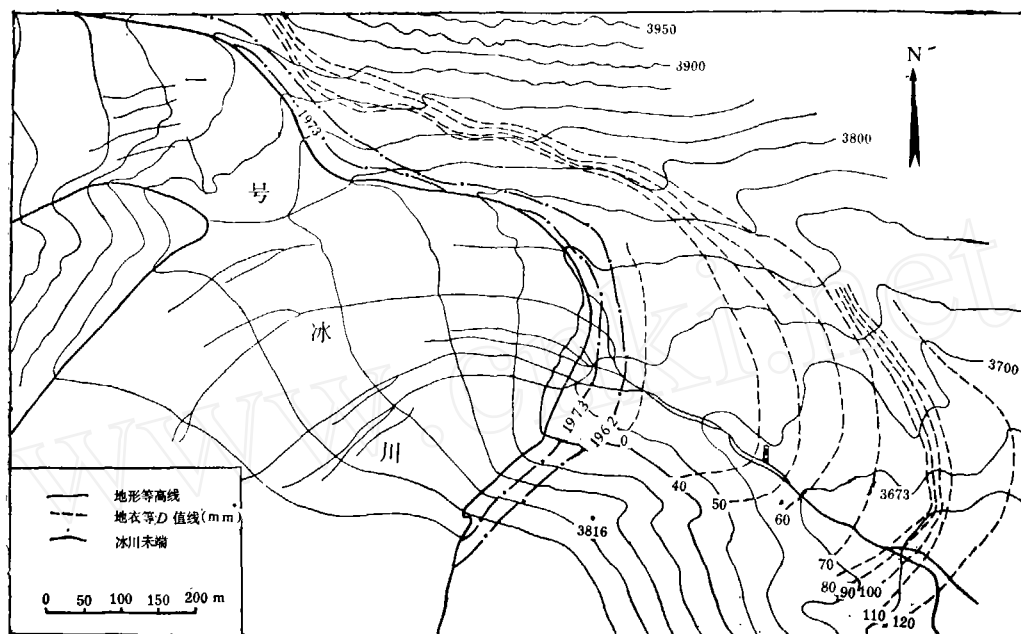


图7 乌鲁木齐河源一号冰川冰前区的红石黄衣等D值线

分别形成于距今 $5680 \pm 150\text{a}$ 前及距今 $4080 \pm 150\text{a}$ 前。山北组 II 冰碛表面的钙膜的 C^{14} 年代在距今 $3949 \pm 141\text{a}$ ^[3]。这些年代是冰碛的最小年龄。另外,北坡望峰道班附近的末次冰期冰碛的年代在距今 $14920 \pm 400\text{a}$,其上覆盖的黄土的年代为距今 $9170 \pm 400\text{a}$ ^[4]。

三、推论及讨论

确定冰碛年代的主要目的之一是探究冰川及气候的变化历史。六十年代发展起来的冰岩芯、深海岩芯、湖盆沉积物岩芯和在我国黄土研究,揭示了大量的古气候资料。与这些方法相比,冰碛地层在冰川及气候变化研究中有其独特之处。迄今的资料表明:(1)冰碛地层对末次冰期以来的冰川及气候变化有清楚而完整的记载;(2)冰碛地层记录了不同时间尺度的环境变化的强度(振幅)及周期;(3)冰碛地层对重大的古气候事件有最为清晰的记录,杨怀仁曾对此作过论述^[26]。作者以为,在应用冰碛地层研究冰川及古气候历史时,在下述几方面要比较慎重:(1)正确地鉴别冰碛,如与石冰川及其他混杂堆积的区别;(2)要通过广大区域冰碛地层的调查和统计取得较完整的地层系列,这是因为:不同冰川反应特性有别,后期的变化可能掩盖或完全改变甚至破坏前期变化形成的冰碛地层和其他营力的改造等都会使冰碛地层的分布变化较大;(3)多种方法准确地测定冰碛年龄。作为与冰碛地层及其年代紧密相关的两个自然推论,这里讨论天格尔山第二峰地区全新世冰川及气候的变化历史。

冰川变化历史 资料表明:全新世中本区冰川至少有过四次重要的前进,图8简要表示了相应冰进的冰舌末端位置、冰川长度及平均雪线的变化,说明冰川经历了一个不断变薄后退的演化过程。

距今 $10000-9500\text{a}$,末次冰期结束,冰川发生大规模后退。直到距今约 5700a 前有一次

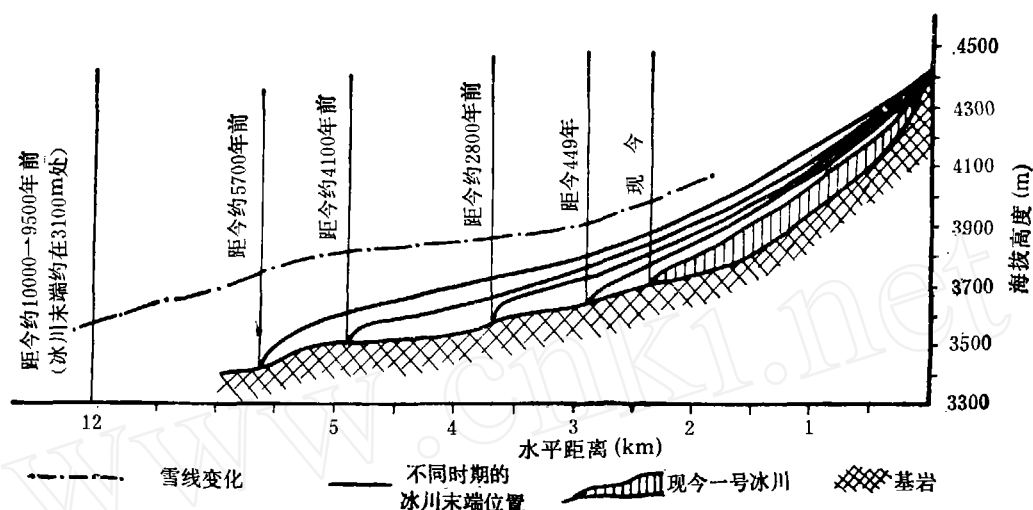


图 8 乌鲁木齐河源冰川及其雪线在全新世的变化

冰进,而且持续了较长时间,当时北坡雪线约 3760m,南坡的雪线约 3900m。比末次冰期雪线升高约 350m。

距今约 4100a 前,本区冰川有一次短暂的前进,当时的雪线在北坡为 3800m,在南坡约 3970 m。此后到距今 2800a 前,又有一次普遍的冰进,南北坡大部分冰川前都有这次冰进的记录,我国历史上的周秦寒冷期^[14]和这次冰进的时代相同。

此后冰川可能还有过小的波动,但最强烈的一次冰进发生在 16—19 世纪末的小冰期中。期间包括了为退缩阶段分开的距今约 403 a 前、距今约 208 a 前及距今约 74 a 前的三次冰进阶段,并以第二次冰进持续的时间较长。

与其他研究^[14,17-21]对此发现,本区全新世中后期的冰川变化记录比较完整。Denton 等指出的全新世世界性的四次冰进^[18]的后三次与本区的相一致,但还未看到距今 7000—8200a 间的冰进。小冰期冰进有详细记录的欧洲三次冰进阶段分别距今 444—304a、距今 244—214a 及距今 184—134a,以第三次最盛,在阿尔卑斯山形成了著名的 1850 终碛^[21],而本区的小冰期则以第二次冰进最强烈。另外,我国西部广泛发现的新冰期与小冰期冰进也多与本区的距今约 2800 a 前及距今约 403—74a 间的冰进相当。

气候变化历史 冰川变化说明全新世中气候有过重要的变动。距今约 10000—9500a 间,天格尔第二峰地区由末次冰期寒冷气候进入全新世温暖气候。全新世中,气候总的趋势是变暖,变暖过程中至少有过四次冷的波动,分别出现在距今 5700a 前、距今 4100a 前、距今 2800a 前及距今约 420—91a 间。以第一次寒冷时间最长和变冷最甚,第四次即小冰期包含了距今约 420 a 和距今约 225a 前及距今约 91a 前三个寒冷气候阶段。全新世四次寒冷期之间是所谓温暖时期,北坡红五月桥的孢粉和树线变化资料表明,全新世温暖期的平均气温比现今高出约 1℃^[22]。

由平均古雪线高度可以估算全新世寒冷期的平均气温。假定数百米变幅内,降水对雪线高度变化的影响不大,只考虑气温的影响,则雪线平均每升高(或降低)100m 反映气温平均升高(或降低)约 0.6℃。据此估算,全新世四次寒冷期中,平均气温比现今平均气温分别低约

1.5℃, 1.25℃, 0.9℃ 及 0.65℃. 若前述温暖时期气温高出现今 1℃ 正确, 则全新世中天格尔峰地区的气温变动幅度约 2.5℃. Tinkler 根据冰盖变动引起的环境变化, 估算了北美大陆在冰后期至今的气温变幅约为 2.32℃^[23], 与上面 2.5℃ 相差不大.

表 5 汇总了天格尔山第二峰地区全新世冰碛、黄土、古土壤和它们的年代以及据之推测的全新世气候变化.

表 5 天格尔峰地区全新世的地层、年代与气候简表

地 层	时 代 (a. B. P.)	气 候	寒冷期结束年代 (a. B. P.)
上望峰冰碛	14920±750	寒冷气候	10000—9500
上望峰冰碛上的黄土坡 积物上的古土壤层 1	9170±400	温暖气候	
气象站冰碛	5680±150	寒冷气候	5700
坡积上的古土壤层 2 山北组 II 冰碛		温暖气候	
坡积上的古土壤层 3 山北道班岩坎冰碛		4080±150 3949±144	寒冷气候
		温暖气候	
	2800	寒冷气候	2800
?		温暖气候	
小冰期冰碛 1	403	小冰期三次寒冷阶段及期间 的温暖时段	420
小冰期冰碛 2			
小冰期冰碛 3			
	208		225
	74		91
		现今气候	

四、结 论

1. 确定全新世中、晚期冰碛相对年代的方法很多, 但以冰碛上的地衣及土壤资料较易取得, 它们可作为确定冰碛地层相对年龄和进行大区域地层调查和对比的重要参考之一.

2. 全新世冰碛绝对年龄测定方法中, C¹⁴ 测年的意义虽较大, 然而由于采集样品的困难及测年精度等的影响, 高山及寒冷地区全新世中、晚期的冰碛等沉积物的测年方法中以地衣测年法较为适用. 地图衣在天山广布于海拔约 2500m 以上地区, 适用于距今约 4500a 以来的沉积物的测年. 红石黄衣的分布似乎不受海拔的影响, 它可用于距今约 500a 以来的沉积物的年龄测定. 而且沉积物的形成时代越晚近, 地衣测年的精度越高. 地衣等直径线(等 D 值线)本身又是等年代线, 对冰川变化等的研究具有特殊的意义. 另外应当说明, 地衣测年方法尽管应用广泛, 但在理论依据等方面还有待进一步研究.

3. 冰碛地层是研究冰川及气候变化历史的重要依据之一. 天格尔第二峰地区的冰川在全新世总的后退过程中, 至少有过四次重要的前进, 分别发生在距今约 5700a 前、4100a 前、2800a 前及距今 403—74a 间. 第一次冰进持续时间较长, 而第二次冰进比较短暂, 第三次冰

进十分广泛,第四次冰进包括了为退缩期分开的三个冰进阶段: 分别在距今约 403a 前、208a 前及距今约 74a 前,其中以第二阶段冰进较强烈,第三阶段可能是缓慢的冰进或者相对稳定。本世纪 50 年代至今冰川一直在退缩。

4. 与冰川的变化历史相关联,可以认为: 末次冰期寒冷气候结束(约距今 10000—9500a)后,气候在总的变暖过程中至少有过四次寒冷期,它们分别结束于距今约 5700a 前、4100a 前、2800a 前及距今约 91a 前。四次寒冷期中平均气温分别比现今低约 1.5℃, 1.25℃, 0.9℃ 及 0.65℃, 小冰期以距今约 225a 前的冷期最长和降温最低。本区全新世中温度的变化幅度约为 2.5℃。

本文是在施雅风教授和张祥松副教授指导下完成的。谢自楚、王靖泰、苏珍、牟昀智和徐叔鹰等先生惠阅本文并提出修改意见,工作中得到天山冰川站、Iwata 博士、吴金陵、汤怀安、顾功树、刘景璜、炳宏涛、李世杰和沈永平等单位和同志的大力协助,兰州大学徐齐治先生等分析 C¹⁴ 样品,张惠兴同志帮助绘图,刘树德同志代为图件植字,作者在此向他们一并致以诚挚的感谢!

参 考 文 献

- [1] 施雅风、苏珍, 天山乌鲁木齐河源冰川与水文研究, 科学出版社, 1964.
- [2] 杨怀仁等, 地理学报, **31**(1965), 3: 194—211.
- [3] 郑本兴、张振栓, 冰川冻土, **5**(1983), 3: 133—142.
- [4] 王靖泰, 冰川冻土, **3**(1981), 增刊: 55—63.
- [5] 秦大河等, 冰川冻土, **6**(1984), 3: 51—62.
- [6] 张祥松等, 冰川冻土, **6**(1984), 4: 1—12.
- [7] Beschel, R. E., *Arctic and Alpine Research*, **5**(1973), 4: 303—309.
- [8] Lock, W. W. et al., British Geomorphological Research Group, *Technical Bulletin*, **1979**, **26**: 47.
- [9] Calkin, P. E. et al., *Arctic and Alpine Research*, **12**(1980), 13: 254—264.
- [10] 吉村庸, 原生日本地衣植物图鉴, 保育出版社, 1977, 394.
- [11] Weber, P. J. et al., *Arctic and Alpine Research*, **5**(1973), 295—302.
- [12] Beschel, R. E., *Preliminary Report 1959—1960*, McGill University, Montreal, 1961, 179—199.
- [13] Carrara, P. A. et al., *Arctic and Alpine Research*, **5**(1973), 373—384.
- [14] 竺可桢, 中国科学, 1973, 2: 168—189.
- [15] 陈吉阳, 冰川冻土, **6**(1984), 4: 85—93.
- [16] 杨怀仁, 冰川冻土, **1**(1979): 25—34.
- [17] 李吉均等, 中国第四纪环境变迁会议论文, 1983.
- [18] Denton, G. H. et al., *Quaternary Research*, **3**(1973): 115—225.
- [19] Gribbin, J. et al., *Climatic Changes*, Cambridge University, Press, 1978, 68—82.
- [20] Röthlisberger, F. et al., in *Geography in Switzerland*, A collection of papers offered to the 24th International Geographical Congress, Tokyo, Japan, August 1980, publ. by The Commission on Geography of the Swiss Academy of Sciences and the Geographical-Ethnographical Society of Zurich. 1980: 21—25.
- [21] Sugdaen, D. E. et al., *Glaciers and Landscape*, Edward Ltd., London, 1976.
- [22] 周昆叔等, 冰川冻土, **3**(1981) 增刊, 97—105.
- [23] Tinkler, K. J., *Quaternary Research*, **19**(1983): 293—301.