

烏魯木齊河上游第四紀冰川与 冰后期气候波动*

楊怀仁 邱淑彰

(南京大学地理系)

近 20 年来,第四纪冰川地貌及古气候的研究,获得较大的进展。根据海洋第四纪的研究,如太平洋与大西洋海底钻孔的对比,所得出第四纪海水温度变化曲线,与大陆冰期研究相符合^[1,2]。说明第四纪显著的气候波动,影响比较普遍。至于冰后期以来冰川进退规程及其所反映气候变化的研究,在理论上和实践上都具有重要意义,如近 300 年间的新

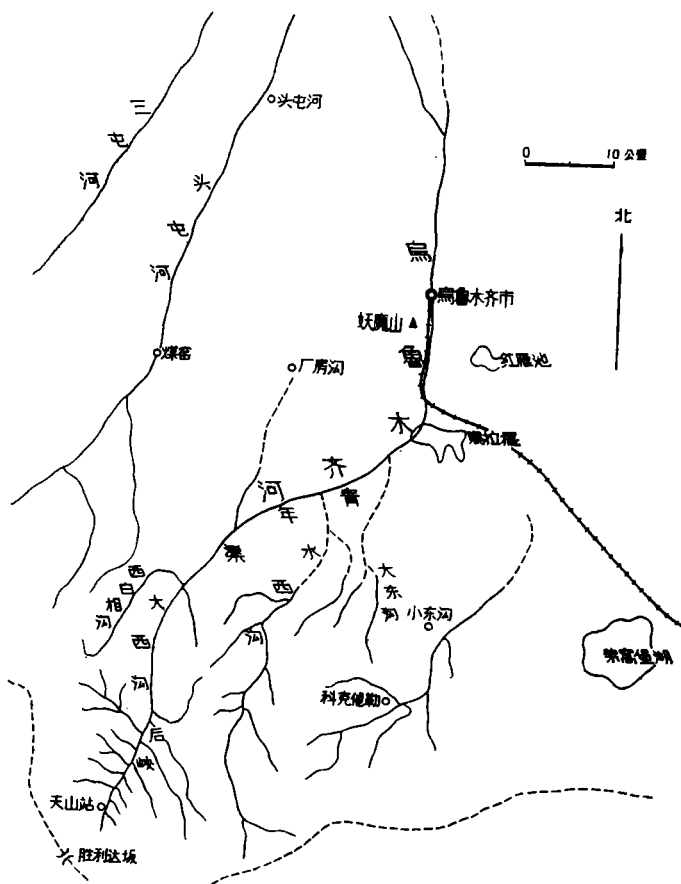


图 1 烏魯木齊河上游考察地区略图

* 本文为中国科学院高山冰雪利用研究队研究成果的一部分。

寒冷期(小冰期)的显著气候波动,影响比较普遍。近 50 余年来,小冰期冰川的迅速后退,已威胁到一些国家的水力发展事业^[3],也影响到一些地区的灌溉用水。气候波动过程中,以山地冰川反映较为灵敏。近 50 年来,不同纬度高山区雪线上升,冰川后退,湖泊面积缩小,地下水位降低,所产生的影响是复杂的。最近竺可桢同志指出:“古气候的研究……对于农林渔牧各项生产问题,也并不是漠不相关,而是值得我们注意的一门科学”^[4]。

1960 年,我们参加中国科学院高山冰雪利用研究队天山考察工作¹⁾,有机会在乌鲁木齐河上游,对现代冰川冰缘与第四纪冰川冰缘进行一些初步研究(图 1),根据我们观察到的一些事实,认为以下几个问题值得提出来讨论:(1)东天山²⁾最后一次冰期以来,主要是小冰期中气候波动问题,(2)构造运动与气候变迁同时活跃地区冰期的分划问题,(3)东天山北麓巨型冰水扇的发育与冰川进退和断裂构造的关系,(4)东天山山间盆地与山麓冰水阶地的形成及其在气候波动和构造运动方面的意义。本文对上述问题作些试探性的讨论,认为本区冰后期以来,气候变化总的轮廓上和重要的过程上,足以反映世界气候波动的普遍性,但又具有东天山地区发展的特点,可以提供中国第四纪气候变迁规律的一些线索。但由于缺乏历史上的比较资料,具体时代的确定还有一定困难,又由于作者水平的限制,遗误也在所难免,希读者指正。

现代冰川概况与小冰期问题

乌鲁木齐河上游 3,650—4,000 米左右的山地,为现代冰川活跃地区。据航空照片及实地观察,现代冰川总计约 55 条,冰川规模远较西天山为小,如乌鲁木齐河源 1 号冰川长度仅 2.4 公里^[5]。根据雪线上升,森林线上移及冰舌的萎缩³⁾,说明本区冰川近数十年来正在衰退中,阳坡冰川已大部分消融殆尽(照片 1),阴坡冰川、冰舌已退缩,一些山谷冰川已退缩为冰斗冰川。现代冰川已退缩,距小冰期(洋后)终碛数十米至数百米,冰面已低于小冰期侧碛 30—50 米,现代冰川外围,由于过去数十年的迅速退缩,留下大片融溶碛,冰碛中并埋藏厚数米至 10 余米的死冰(照片 2)。从地面上观察,冰舌以外,冰积沙砾如乱丘起伏,垒垒错列;在航空照片上,这些融溶碛呈现为羣列的弧形皱纹,有如泥流作用或沥青质物作可塑性节节移动的情况。由于近 50 余年来的萎缩,现代冰川与粒雪盆、冰斗及冰川槽谷的规模,远远不相适称。现存的天山雄伟瑰丽的冰蚀地形主要为第四纪冰期产物。小冰期冰川(洋后)不称地发展于第四纪最后一个大冰期的基础上,而现代冰川,仅系小冰期以来大量消融中的子遗而已!据施雅风等同志最近研究,冰川的衰退已趋缓和^[5]。

现代冰川活跃地区,冰舌以下,存列相对高度约 30—50 米的新鲜终碛数条(图 2, 3, 4),绝对高度约 3,600 米左右,距离现代冰舌的远近,以冰川大小、坡向和坡度而有不同,大致在 200—400 米左右。冰碛物完全新鲜未受风化。终碛以下,为保存完整的前一期冰川谷,其中布满侧碛及底碛,经强烈的融冻作用,发育各种类型的冰缘现象(照片 3, 4)。

1) 这次调查工作,还有袁方策、唐文萱两同志参加准备及部分野外工作,谨此志谢。

2) 我们为论述方便,指乌鲁木齐河上游,头屯河上游的胜利达坂一带的天山山地为东天山,并不是概括东天山所有地区。

3) 中国科学院高山冰雪利用研究队新疆队:天山冰雪水源利用意见书,1960。

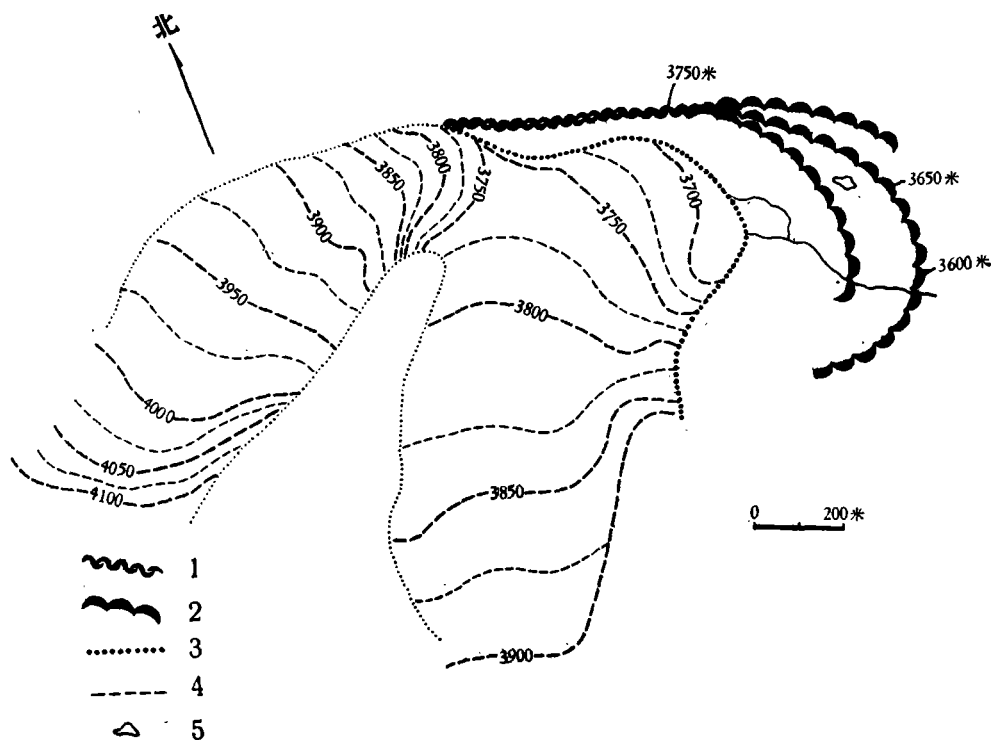


图2 天山胜利达坂一号冰川前端小冰期终碛(据冰雪队底图填制)

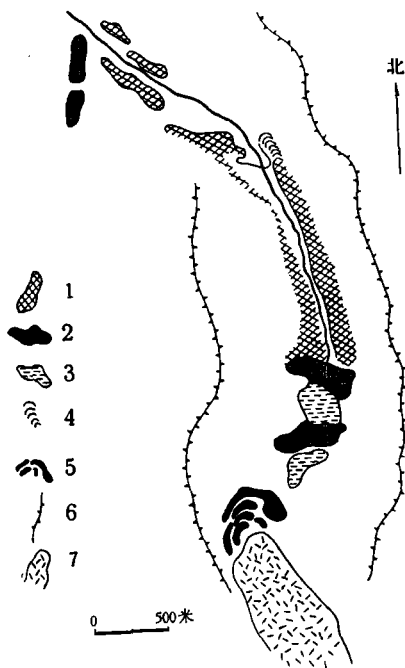


图3 头屯河上源小冰期及望峯期冰碛关系
(据冰雪队航空照片)

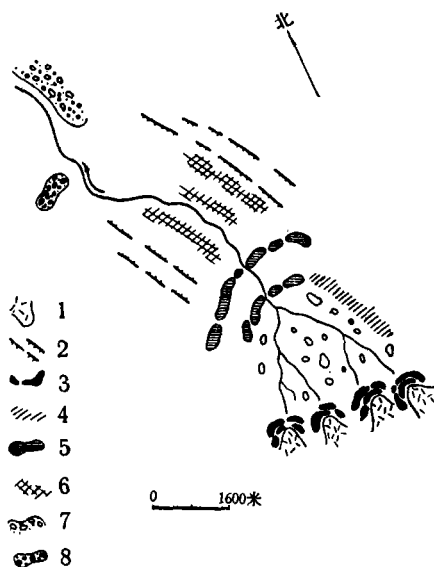


图4 虎尔脱沟上源近代与第四纪冰碛示意图

冰谷下延至海拔 3,000 米处左右, 存有终碛砾数条, 其中冰碛风化时间较长, 已发育明显的高山风化壳。3,000 米的终碛以下, 流水刻蚀成峡, 较老冰期的槽谷和堆积物, 只能在河谷两岸谷肩上发现。距现代冰川 200—400 米的终碛, 未受风化, 很少有高山风化壳发育, 可能代表冰后期高温时代 (hypsithermal)¹⁾ 以后, 天山气候一度转为严寒, 冰川重新发展的产物。这次冰后期显著的气候波动, 我们初步定为“天山小冰期”²⁾。而 3,000 米高度上的终碛, 代表最近一次古冰期, 即望峯冰期 (相当于玉木期) 在退缩过程中较大的一次停顿或推进。小冰期的冰川, 经过近 50 余年气温升高而强烈消融, 现代冰川为其残余。

现以乌鲁木齐河源的冰川外围有关现象, 说明“小冰期”的发展过程。1 号冰川粒雪线高度为 3,900—4,000 米, 冰川舌端高约 3,650 米, 冰舌由于近年的消融减薄, 与左右侧碛不相适称。冰舌外围, 保存二条新鲜终碛, 第一条距冰舌约 150 米, 第二条终碛的外缘已距现代冰舌约 400 米 (见图 2, 照片 5)。终碛高程约 3650 米, 相对高度约 50 米。此二条时代新近的终碛以下至 3,000 米终碛之间, 为保存完好的望峯期冰川 U 谷, 长约 8—9 公里, 其中冰碛物巨厚, 包括 3,000 米的终碛在内, 均发育显著的高山风化壳。冰碛物上普遍有高山暗黑斑以及暗褐色、暗绿色和暗红色的弹性薄膜。这种风化壳的形成, 除氧化作用外, 同时也有有机物参与风化作用。M. A. 格拉佐夫斯卡娅研究 4,200 米的天山中部, 已证明了绿藻和蓝绿藻等有机物的作用参与了高山风化壳的形成^[6]。但 3,650 米的几条新鲜终碛及其以上的冰碛物, 均不具有高山风化壳, 其保存形态亦完整如新, 缺少植物被覆, 此即时代十分新近的“天山小冰期”产物。

冰后期新高温时代以后, 世界冰川皆有重新发展的事实, 如阿尔卑斯、北欧、南美、北美等地均有报道, 颇具普遍性, 一致认为高温期后, 世界气候又转为一新的寒冷期。马特斯 (F. E. Matthes) 泛称过去 4,000 年为小冰期 (little ice age) 或新冰期 (neo-ice age)^[7]。他的小冰期一词原指新高温时代以后, 世界气候又转湿冷, 包括过去 4,000 年左右的时间, 时限并不明确。布鲁克斯 (C. E. P. Brooks) 总结欧洲自 16 世纪中叶以来的小冰期中冰川的进退, 共分六期, 包括 1550—1650 年的伸展, 1750—1760 年的伸展, 此次为冰后期以来最大一次前进, 以及 1850 年的伸展。欧洲一些现代冰川, 虽经近数十年的迅速退缩, 但仍大于 14 世纪时的规模^[8]。阿尔曼 (H. W. von Ahlmann) 研究世界冰川进退与气候波动, 确认世界冰川于公元前 500 年前恢复生命, 经过几世纪的前进, 速度减小, 至 13—14 世纪速度增加; 18 世纪前半期至 20 世纪之间达到进展的高峯^[3]。他比较世界各地冰川变化, 认为冰后期以来世界冰川最大前进期为: 17 世纪后半叶至 18 世纪前半叶; 其次为 19 世纪中叶及 1910 年前后的推进。他把 1650—1910 年 250 余年的新寒冷期称为“小冰期”。小冰期不仅在欧洲、美洲各地存在, 在亚洲亦有类似的研究, 如格朗特与马生 (I. H. Lyell Grant & K. Mason) 研究忠空姆冰川; 韦塞 (Ph. C. Visser) 研究喀喇昆仑冰川, 也得出 18 和 19 世纪有多次推进的结论³⁾, 而其中的几次进展期颇足与欧洲比较。近年埃伦 (Sirri Erinc) 研究土耳其的冰川, 也有 19 世纪发生推进的报导^[9]。根据冰碛物

1) 冰后期高温时代, 也称“气候最宜” (climatic optimum), 又称 altithermal 或 megathermal 时代。其时限根据弗林脱等近年修正数字为 7,500—4,000 B. P.。

2) 杨怀仁等: 东天山最近一次冰期以来, 冰川进退及其在气候波动上的意义, 中国地理学会 1961 年地貌学讨论会论文摘要, 1962, 128—129。

3) 徐近之: 青藏自然地理资料 (地文部分), 1960。

的风化程度的比较,各期冰碛物的接触关系,冰川外围冰碛物的形态以及近数十年冰川萎缩的速度,我们认为东天山“小冰期”是存在的,当时,冰川重新发展,明显地发生3次左右的推进。

1910年后,世界冰川几乎是突然地急速后退,近50余年来的萎缩消融,更是反映世界气候变迁的普遍现象。天山冰川的主要进退规程也可以与世界典型地区对比。冰岛著名的 Vatnajökull 冰川1950—1951年较1750年的最大推进,后退约170米,格陵兰东北部的 Fröya 冰川,1939—1952年间,平均每年后退9.6米以上,冰面平均降低约1.15米。以上为高纬度冰川。又如中纬度的阿尔卑斯 Savoie 冰川,1950年较17世纪高峯后退约1,500米^[3]。亚洲、美洲冰川亦有类似情况^[10]。天山汗腾格里峰地区的木札而特冰川,近50年内后退750米^[5];喜马拉雅地区的米拉姆冰川,1957年内后退了731.5米¹⁾。1号冰川冰舌高度大,虽经消融,其后退水平距离不大,但其进退变化所反映的气候波动则具有共同性。

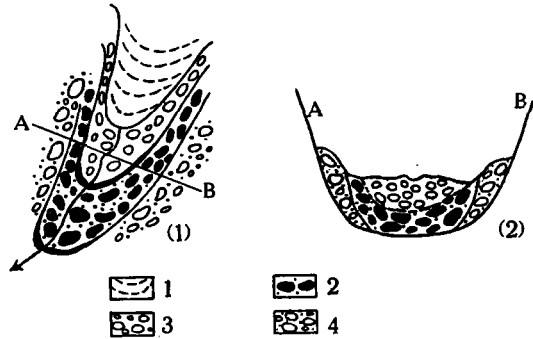
根据乌鲁木齐河源地区的冰川与世界其他地区冰川的进退规程,加以对比;并根据前述的冰碛地形、冰碛物风化程度、冰碛物的接触关系等,我们初步推断现代冰川前端3条新鲜终碛(见图2)可能系16—19世纪末叶“天山小冰期”的产物。由于缺乏历史记载和重复观测,以上结论还待今后进一步的修正和补充。近300余年来,东天山可能和世界其他地区一样,经历一段寒冷的小冰期,近50余年来冰川也在迅速消融,但是我们没有理由估计这些冰川在若干年后即将消融净尽,因为现代冰川在世界某些地区还大于中世纪的冰川^[10],不能说小冰期已经结束。现代冰川的进退不过反映气候波动的一个环节,今后的动向值得我们密切注意。

小冰期冰川与望峯期冰川的关系,可以从它们堆积物的接触关系上看出。四号冰川下,小冰期终碛与望峯期后退终碛,呈迭置和斜切的关系,吉斯里沟小冰期终碛掩覆在望峯期冰碛上(图5)。许多事实都说明小冰期冰川推动时,望峯期冰川已大量萎缩,残留不多。至于望峯期冰川在小冰期推动之前是否全部消融,以局部地形、气候条件的差异,各处不能尽同。冰后期高温时期,为冰后期以来气温最高而比较干燥的时期,当时世界雪线上升,如挪威雪线上升400—500米,世界一些地区冰川已全部融尽^[10]。世界现代冰川,基本上可分为二类:第一类当高温时期全部消融,小冰期中,又重新发展。其中有些冰川,近50年来又消融净尽,但有些冰川仍有残存。第二类为第四纪古冰川经受高温时期的消融而仍然保存的。第二类包括世界较大的冰川。乌鲁木齐河源的冰川可能有一部分属于第一类,因为高温时期一般较今日尤为温暖,如北欧高温时期7月份平均温度较1944年高2℃^[10]。以近年雪线上升幅度及消融萎缩量而论,当高温时期,一部分冰川很难存在。小冰期终碛与望峯期终碛接触关系上,也可看出这种趋向,已如前述。事实上,近数十年中,气温虽低于高温时代,但南北半球冰川均迅速后退,大的变小了,小的完全消失,或者变为死冰^[3]。在本区也可见到一些悬冰川和小冰斗冰川的干谷,似在最近年代中消融完尽的。但由于研究程度不够,我们还不能作在高温期中全部消融净尽的结论。

小冰期中,东天山冰川前进的次数问题,就一号冰川而论,显著有三次。最外围的一道

1) 徐近之: 青藏自然地理资料(地文部分), 1960。

终碛已被破坏；内部二道终碛完整如新（图 2）；风化程度上，三条终碛无甚差异，表示小冰期中第一次前进与第二、三次前进，其间虽相距有一段时间，但并无较大气候波动。另外一个事实，在吉斯里沟，小冰期的冰碛物又曾经被更近代的冰川的前进所推覆（图 5）。该处小冰期的冰碛，岩性多为变质岩，杂以砂砾粘土，偶有稀疏的植被。而更近代的前进期所留下来的冰碛，多为极新鲜的花岗岩块所组成，很少夹杂有粘土，绝不见植被。这种现象，由于我们调查的范围不广，可能为个别的现象。但也可能表示近年曾有一度前进的事实。



1. 现代冰川 2. 小冰期冰碛 3. 现代冰碛 4. 望峯期冰碛

图 5 小冰期冰碛与现代冰碛和望峯期冰碛接触关系示意图

小冰期为冰后期以来较明显的一次气候波动。这次波动，在北半球和中国气候变迁上具有一定的普遍性。最近竺可桢同志在他的论文中指出，17 世纪后半期，中国北方和长江流域也属于比较寒冷的时期^[4]。气候波动的影响比较复杂，值得我们不同角度深入研究。另外，这次气候波动与中国长江流域洪水的关系也值得注意，以长江、嘉陵江而论，在 17 世纪和 19 世纪中，均有特大的洪水，如明神宗三十年（公元 1602 年），南京、苏州、常州、镇江等地区，江湖泛涨，为 2,000 年来未有的大灾^[11]。清顺治十一年（公元 1654 年）长江洪水；1870 年重庆、宜昌间发生了几百年来一次最大洪水；1870 年的这次特大洪水，不论是四川、湖南、湖北、江西、安徽均有记载。根据洪水痕迹的调查，这一次水位也最高^[12,13]。长江松滋口即在这一年中冲开。足见小冰期中，山区冰川前进的时候，其他许多地区气候上也有较显著的相应的变化。

冰川是气候的产物，冰川的进展和后退反映了气候的波动。冰期与洪积期也有密切的联系。但是冰川进退对气候变化的反映，往往有一段时延。一般说来，高山冰川比大陆冰川对气候波动的反映更为灵敏。冰期与洪积期，发生时间也非完全一致，可能有些先后^[14]。我们应该从不同地区加以对比研究，以找出气候波动的规律。

第四纪冰期问题

天山最近一次古冰期——望峯冰期冰川的发展 天山北坡大西沟上游，3,000 米高程左右，有几条显著的终碛，横亘谷中（见照片 6）。它们具有显著的高山风化壳，代表小冰期以前天山最近一次古冰期的遗迹。根据冰碛物风化程度以及冰川侵蚀和堆积地形，天山冰川站以下的冰盆、侧碛等，都代表这一冰期的产物。这次冰期，以其主要终碛分布在望峯道班房附近，所以我们暂称为望峯冰期。3,000 米高程的终碛以上，如四号、七号、八号、九号等冰川，均遗留二条或二条以上的较不显著的终碛，其组成物质及风化程度，都与 3,000 米左右的终碛类似，代表望峯冰期退缩过程中冰川停顿而形成的终碛，不具有划分冰期的意义。望峯冰期，顺序上相当于玉木冰期的最近一次推进。在天山南坡，相当于望峯冰期的冰碛物，沉积十分巨厚。在 3,000 米左右地方，也同样的留下了一条终碛。因为南坡气候比较干燥，冰碛物的保存尤为完好。胜利达坂南北坡的气候，冰后期以

来差异似日趋显著,而冰期中南北坡的降水量,从冰川发育的规模而论,差异性并无今日之明显。这点推论还有待古植物等方面的研究加以证实。

根据大西沟各支沟终碛垅的发育,均说明望峯冰期后退过程中,有显著的几次停顿或再度前进的事实。如虎儿脱、波荷特、吉斯里等支沟(见图4)由于冰碛物与冰蚀地形破坏较少,望峯冰期的进退情况,保留较为明显。以下我们根据各支谷中的沉积和地貌现象,进一步讨论望峯冰期中几次停顿或副期问题。

大西沟支流波荷特沟的上游地带,目前残存着一些冰斗冰川。小冰期终碛垅的高度约3,650—3,700米。其下3,200米左右有保存比较完整的望峯冰期终碛垅,这条终碛垅与小冰期终碛垅之间,保存二条时代相同的终碛,终碛垅之间并有湖泊发育。除波荷特沟而外,如虎儿脱及大西沟上游的一些小支沟,均有类似的情况(图4)。根据航空照片,在头屯河上游,冰川的发育也具有类似的规律(图3)。因此我们认为大西沟3,000米高程上及其他支沟相当的终碛垅,足以代表第四纪最近一次冰川推进期,但不一定表示相当于玉木冰期的最大前进。因为望峯终碛以下类似冰碛物,沿大西沟两岸山坡或谷肩上有断续分布。据李吉均同志的观察,相当于第四纪玉木冰期的冰川堆积物和侵蚀形态,在望峯终碛以下也有发现¹⁾。又据郑本兴、任炳辉两同志在博格多山的观察,玉木冰期冰川的下限曾下达1,540米,退缩过程中并留下6—8条终碛²⁾。根据我们在乌鲁木齐河上游各支沟中和头屯河上游谷地中实地和航空照片研究,现代冰川外围至3,000米左右望峯终碛间,地貌的表现呈一致性。因而可以得到这样的初步结论,即望峯终碛表示第四纪冰期最近的一次显著前进。望峯终碛与小冰期间的几道终碛和湖泊也不是由于地形上或其他偶然的原因,而是表示第四纪晚期最近的几次气候波动。这几期如何与祁连山和天山其他地区相对比,是十分有意义和值得深入研究的问题。

望峯期以前的古冰期问题 大西沟谷地3,000米以下的古冰川遗迹多遭破坏,只在古代的槽谷肩上有局部的残留。但在后峡一带,大西沟两岸的支沟中,却保存有比较好的古冰川地貌,分布高度在2,300—2,700米左右。沿后峡一带各支沟上溯,近代流水深切的峡谷以上,穿过一片冰缘地带,至支沟源头,第四纪U谷及冰斗均完整保存。如虎儿脱、波荷特、哈尔迪沙沟等。有些支沟上源有小冰期冰川的发育,如波荷特、虎儿脱、吉斯里沟等。有些支沟,如哈尔迪沙沟、萨尔达沟等,因高度较低并未发育小冰期冰川。但是各个支沟中,都经过较老和较强的古冰川作用。古冰斗的高度,一般在2,800—2,900米左右。2,600米以下的古冰川槽谷,已被流水所深切。此次冰期的终碛垅残存在2,300—2,500米左右。2,500米以下有大量的冰水排泄物,已形成河谷的高级阶地。

此次冰期,冰斗与槽谷巨大,沉积物巨厚,与望峯期的接触关系比较明显。如虎儿脱沟,在3,000米以下为具有多级冰碛坡坎的宽大U谷(见图4)。以其在后峡地区的支沟中保存较为完整,我们暂称为后峡冰期,为天山倒第二次大冰期。

后峡冰期的古雪线,根据冰斗高度,较现代雪线低下约1,200米左右。后峡附近各支沟的下游和大西沟的二岸,地貌上属于堆积及基座阶地区(图6)。高级阶地堆积物,主要为冰水沉积。在相当于后峡期的冰水阶地之上,还保存有更老的冰水阶地存在(详后)。

1) 据李吉均同志函。

2) 郑本兴、任炳辉: 博格多山北坡古冰川作用特征和冰后期演变历史, 冰川冻土学术会议论文, 1963。

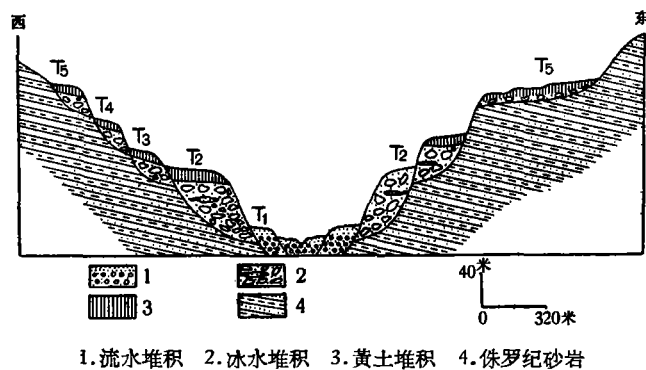


图 6 天山后峡附近第四纪与近代阶地堆积

关于天山古老的冰期问题。在天山北麓一些与大西沟平行的沟谷中(图 1)也看到一些线索。大东沟及其支沟,均发育于冰川 U 谷中。大东沟目前河道偏向于东侧,西侧留下了老 U 谷的冰蚀平台,其上还残留有一部分冰碛物,高出现今谷底约 100 米左右。沟的出口处,保留一条冰碛垅,横亘谷口,绝对高度仅 1,700 米左右,相对高度约 50—60 米。U 谷的东侧发育一系列的冰斗,底部高仅约 1,800 米。比较后峡一带老的冰斗底部,低下 1,000 米左右。冰斗后壁,仍保存完好,底部已经受切割,出口处被近代流水切穿,发育一系列的冲积扇。据大东沟清晰保存的古冰川现象,说明天山较老的冰期,沿山麓地带,十分发育。至于天山冰期次数问题,将在下节根据天山北麓大量冰碛扇的堆积和地貌关系,进一步加以讨论。

新构造运动与气候变迁同时活跃地区的地貌与第四纪问题

天山自新生代以来,以断块升降为主并伴随有褶皱运动¹⁾。在研究范围内,新生代的断裂活动十分明显而普遍,迄今仍继续未已!由于天山不断的差异上升,使同一冰期的冰川遗迹高度悬殊,如山麓地区大东沟所见的冰川遗迹与后峡区后峡期冰川遗迹,从冰碛物的性状、风化程度、侵蚀和堆积形态保存的程度,以及与终碛相联系的阶地对比上,可能属同一冰期。但目前两地区的冰斗, U 谷高差已达 1,000 米左右。这一事实,一方面说明根据冰蚀形态的升降,可以帮助我们估计第四纪的升降量。近年世界不少地区的研究成果,已证实第四纪断裂升降量大,并且时代新近,天山也是如此。另一方面根据高度来划分冰期,在新构造运动活跃地区,必须谨慎从事。天山地区由于构造运动强烈,古老冰期的遗迹在山区多遭受侵蚀破坏,而平原地区又被埋藏,所以冰期的考虑必须是多方面的。

天山山麓地区,冰水堆积扇十分发育,冰水堆积扇形成以后,本身又经构造运动和气候变化,扇上发育了多级完整壮丽的阶地。对冰水堆积扇的研究,可以帮助解决仅根据冰川现象而不能解决的冰期问题;另一方面,冰水堆积扇本身所反映的气候和构造影响,在地貌学上也具有独特的意义。非冰川直接影响地区,第四纪阶地的研究,在气候变迁史上与第四纪冰川阶地同样重要,这一问题也为有关学者所重视^[15]。

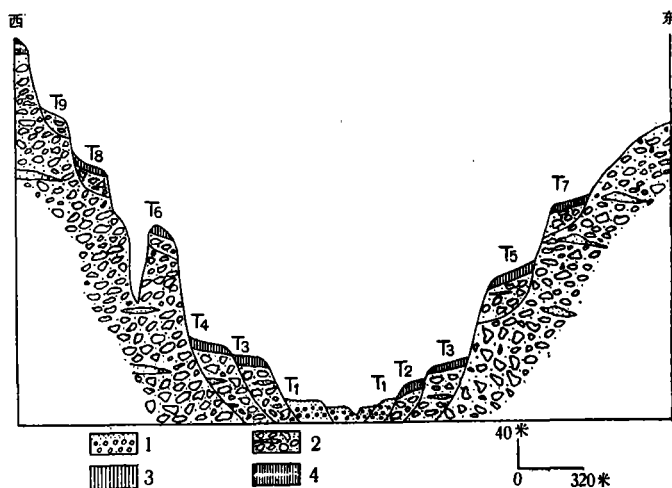
从胜利达坂北至天山山麓,发育一系列西西北至东东南走向的断层,断裂线大致与褶

1) 地质部地质科学研究院:中国大地构造基本特征, 1962。

褶皱一致¹⁾。自南而北,为乌铁肯以南的逆断层以及后峡逆掩断层。除这几个断层而外,作者在天山山口东西白杨沟附近、板房沟山口附近及大东沟山口附近,均见有沿天山北麓东西延长的大断裂。上述一系列断层,以后峡和天山北麓的断层,对近代地貌上及古冰川的分布上影响较大。后峡断层线以南为天山高山带,以北为后峡中山盆地区。地貌上清晰地表示断层线以南近代仍不断强烈上升。大西沟及头屯河上游,现代冰川多限于后峡断层线以南地区。断层线以北天山上上升量相对的微弱,因此后峡地区形成一地堑式的盆地,谷地两岸阶地层迭(见图6)。阶地堆积亦较巨厚。而其以南地区,断裂上升强烈,堆积阶地顿失,仅有槽谷肩及石质阶地存在,级数亦较少。后峡以北乌河流入古代地层中又复成峡,延至北麓附近,古生代地层与厚层第四纪初期冰水沉积接触。在地貌上此北麓断裂形成显著的东西延长的断崖,范围可能不限于大西沟、板房沟、大小东沟一带,向东西延长可能很远。

北天山褶皱带受东西向断裂运动的影响,使地貌分带性十分明显。天山是我国典型的华力西褶皱系,但从沉积建造来看,构造运动从燕山运动到喜马拉雅运动,有愈趋强烈的趋势²⁾。而从新构造运动看来,新第三纪至第四纪断裂运动更为活跃。华力西褶皱基底逆冲到中生代地层之上³⁾。天山北麓断裂,使古生代地层与第四纪厚层冰水沉积,作断层接触,无论天山褶皱带的断裂,及乌鲁木齐山前拗陷的断裂,直到近代仍在活跃。

由于强烈的差异升降运动,天山第四纪古冰川堆积在山口附近高约2,000米左右,降至山前平原则深埋在近代堆积物下部。天山北麓断裂以北,基岩陷落而代之以巨厚的黄土及砾石层,下降的范围广、幅度大,据吴子荣同志资料,天山北麓山前陷落平原钻孔,深至400米仍未见基岩⁴⁾。乌鲁木齐山前拗陷中,第四纪砾石堆积,厚达1,500—2,400米⁵⁾。



1. 流水堆积 2. 冰水堆积 3. 黄土堆积 4. 褐色粘土堆积
图7 天山北麓大西沟两岸第四纪堆积和阶地发育

1) 关于天山断裂承袭袁复礼同志来函赐教, 谨致谢意。

2) 地质部地质科学研究所, 中国大地构造基本特征, 1962。

3) 同2)。

4) 吴子荣: 天山北麓地貌及新构造运动的观察, 地质科学, 1959, 73—77。

5) 同2)。

足见南从天山褶皱北至乌鲁木齐山前拗陷第四纪升降幅度的巨大。山麓断裂线以北的活动性质,主要为大面积掀升和下沉,如山口附近,与古生代断裂接触的第四纪初期冰水沉积层,绝对高度约 2,000 米,相对高度约 450 米左右(图 7),即近代流水已深深切入冰水沉积物中达 450 米。说明第四纪初期,冰川外围发生的冰水沉积,系在山前陷落的构造基础上进行的,因此有如此巨大的厚度。其后再经受掀升,在掀升过程中,第四纪最新的堆积也受到断裂,如山口附近乌河两岸第四纪断层并不罕见,老第四纪每掩覆到新的第四纪堆积物之上。在低级阶地形成过程中,断裂仍在进行。

冰川是气候的产物,而天山强烈的断块升降尤其上新世与第四纪之间,天山及乌鲁木齐拗陷的褶皱上升¹⁾,是使天山具备寒冷气候,促进冰川大规模发展的重要原因。新构造运动虽然不是冰川发展的决定因素,如天山第四纪以来地壳不断上升,然而较新冰期的冰川规模却较小,但它足以加强或削弱冰川的发展。

天山近代地貌发展,既密切受构造运动影响,又表现出第四纪以来气候变化的特征。一般根据冰蚀地形的成层现象、终碛的分布或冰碛物的接触关系,来划分冰期,在此地区比较困难,原因已如上述。但在后峡地区,一系列层迭的冰碛和冰水沉积阶地,对冰期与间冰期的划分能提供些依据。此外,在天山山麓断裂线以北,有大规模及厚层的冰水排泄扇,我们仔细观察这些冰水排泄扇的地貌发育,发现它与冰期的发展密切联系。天山冰水排泄扇的特点表现为沉积巨厚,沉积以后又经受构造运动及气候变迁,同时冰水沉积物上往往覆盖有洪积物质。换言之,它是冰期与间冰期更替变化的产物,又密切反映当时及现代构造运动的影响,同时又受到干燥气候条件下地貌动力的作用。

后峡地区的冰水阶地与冰期 后峡为中生代盆地,其南北各与古生代地层断裂接触。天山式的线状运动,多沿老构造线,即近乎东西向的断裂线发展。断裂线以南第四纪以来为强烈上升区,抬升到 3,000 米左右的剥夷面已深受冰川和冰缘作用的破坏,近代的河谷正强烈深切。断裂线以北的后峡区,为第四纪以来上升较微弱的地区,谷地两岸堆积阶地与基座阶地层迭,相对高度分别为 15 米(T_1)、80 米(T_2)、105 米(T_3)、135 米(T_4)、150—200 米(T_5)(见图 6)。其组成物质, T_1 为典型的河床相堆积, T_2 以上均为冰水阶地,上部均有黄土覆盖。二级阶地上黄土厚约 8 米,色泽较淡,并已胶结。处在高山内部峡谷地区,各级阶地普遍有黄土分布,而黄土颗粒也比较均匀,有时与冰水沉积相间夹,说明这一地区黄土的形成与广泛分布的冰川、冰水和冰缘沉积有关。五级阶地范围最广,后缘以显著坡折与中生代地层组成的山岭接触。阶地面为宽平的草场,组成物质上部为数米厚的黄土,下部黄土与砾石相间;砾石层部分为冰水沉积,部分属冰缘堆积。根据阶地堆积,很清楚地说明,黄土堆积之初,冰水沉积与冰缘堆积尚较活跃,故黄土与冰水、冰缘堆积相间;以后气候似转干燥,堆积了淡色、均匀的黄土。黄土已经钙质胶结,但未见钙质结核。

从以上事实,天山后峡黄土可能为冰期之末的堆积。当时冰川逐渐退缩,冰水堆积大量分布,冰川与冰水沉积物,当冰川退缩中,继续经受冰缘动力的改造。这些大量的冰水和冰缘堆积,再经风力及流水的搬运,形成河谷阶地上的黄土堆积。

1) 地质部地质科学研究所:中国大地构造基本特征,1962。

追索终碛与黄土和冰水阶地的关系,观察到后峡冰期与中级冰水阶地相当。根据后峡冰水和黄土阶地以及冲积阶地的发育,大西沟可能经过 3—4 次冰期。后峡冰期之后为望峯冰期,而后峡期之前可能有二次冰期。

各级冰水阶地上覆之黄土以 80 米一级较厚,位置较高的阶地,上覆之黄土较薄,而冰水堆积物之堆积量,则相反。后峡地区和下游青年渠附近(详后节)都是如此,这也足以说明第四纪中期以后,气候似较前干燥。

周廷儒和严钦尚两同志也认为天山可能有四次冰期^[16,17]。将来天山的东西部的冰期问题还要进一步对比研究。

山口和青年渠附近的巨型冰水扇堆积 乌河穿过山麓断裂后,切入第四纪冰水堆积扇中,扇顶高约 2,050 米左右,青年渠附近谷底约 1,550 米(高度计测量),河床深切 400—500 米左右。谷地中发育多层阶地(见图 7)。它们为天山北麓构造运动与气候变化之综合产物,自断裂线以下向北绵延,其上之黄土盖覆,已沟壑纵横。这些层迭的、壮丽的阶地,为天山地貌学上提供了丰富的内容。

古冰水扇堆积,向北倾斜,逐渐过渡到冲积平原。山麓断裂线以北的一系列平行发展的冰水排泄扇,以大西沟冰水扇的规模较大,由巨厚的冰水砾石层组成。其左右平行的支沟,出山口以后也各有不同规模的冰水扇堆积。山口以下大西沟切入冰水沉积物中达 500 米左右,一方面说明其堆积之巨厚;另一方面也说明第四纪初期堆积以后,沿山麓一带曾有掀升,此 500 米之下切不能完全归诸气候变化。而扇状堆积以北,经冲积平原至准噶尔盆地南部边缘湖泊沼泽带,为近代下沉中心。第四纪初期以后天山北麓、乌鲁木齐凹陷的南缘,下沉中心有向西北移动之趋势,地壳运动性质上南部为掀升,北部为沉降。有利于冰水排泄扇的发展。

在上述构造的基础上,冰水扇形成以后,又经历多次气候变化,使老扇与新扇的接触交替关系十分复杂。冰水扇和冰水扇上发育的一系列黄土阶地,直接联系到冰期和洪积期(润湿期)问题,亦即气候波动过程中地貌动力的变化问题,值得我们密切注意。

第四纪冰水堆积阶地的发育和冰期等有关问题 大西沟穿过北天山断裂以后,开始于山口附近切入巨厚的冰水沉积物中达 350 米左右;阶地仅 3 级,砾石层中,个别砾石

砾径可达 1.7、1.5、1.2 米,巨细夹杂为天山山麓最广泛的冰水沉积物,山口附近其上无黄土覆盖(图 8)。

西白杨沟为沿东西构造线发育的支沟,切入冰水扇中约 320 余米(图 9),发育二级阶地,相对高度为 20 米,100 米。扇顶地形平坦,堆积着褐色粘土。

大西沟青年渠附近剖面比较复杂,阶地层迭(见图 7),按高度可达 9 级。由于掀升性质,西岸较为强烈, T_5 与 T_6 , T_7 与 T_8 在阶地组成物质上,以及发育顺序上东西岸可以对比,可能为同一级的不对称阶地。实际上沉积阶地共 7 级。最古老的冰水扇顶,高出附近河床约 500 米。最高一级的阶地,距现代河床达

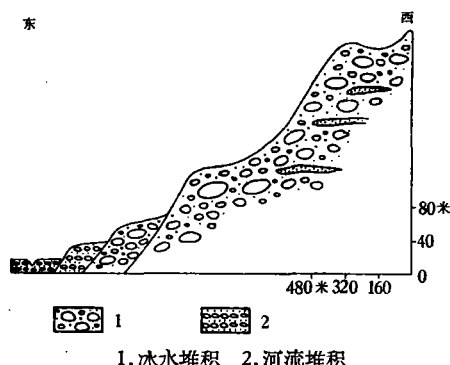


图 8 天山北麓山口附近第四纪与近代堆积

340 米。七级阶地中, T_1 (约 10 米) 为典型冲积阶地, 其他多为冰水阶地。其中 T_2 (30 米)、 T_3 (50 米)、 T_4 (80 米)、 T_5 与 T_6 (160—200 米)、 T_7 与 T_8 (240—290 米) 等五级, 均被覆有黄土。有些阶地上并覆有小型洪积或冲积扇。

大西沟冰水扇的顶部, 在山口附近高约 2,200 米; 白杨沟北岸高约 2,150 米; 至青年渠附近高约 2,050 米。这种广大巨厚的冰水扇的生成, 与北天山的构造运动性质以及第四纪初期天山冰川规模有关。从冰水沉积物的巨厚程度来看, 这一次天山古冰川为一次规模最大的冰期, 决非后期山谷冰川或山谷冰斗冰川所能比拟, 可能已发展为规模巨大的山足冰川。山上为一些星状的冰盖发育在抬升的天山剥夷面上。当北天山断裂上升之际, 山麓断裂线以北地壳相对地沉降, 因此接受巨量的冰水堆积。此次冰期以后, 下沉的中心似从北天山山麓向北移动, 而冰水扇顶部相对地升起, 独山子一带钻孔中第四纪铅灰色砾石层厚达 400 余米, 仍未见基岩。下降中心北移之后, 以后几个冰期的冰水沉积物, 在冰水扇中发育为冰水河谷平原, 因此于最老的冰期中形成巨大冰水扇, 而后期为几级冰水阶地。

冰水扇顶部, 在邻近沟谷地带已经切割, 形成低山丘陵, 但在沟谷之分水地带, 扇面仍很完整, 如西白杨沟的北侧, 扇面平缓, 上覆厚数米的褐色粘土。

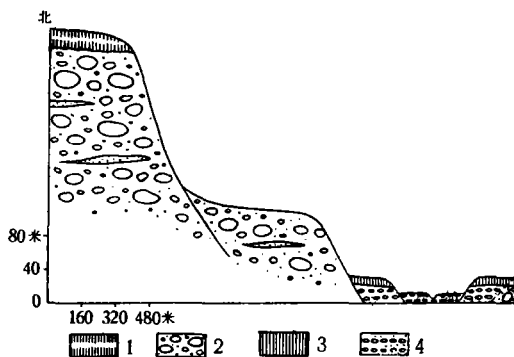
扇顶以下, 各级冰水阶地均覆有数米至 10 米左右之黄土, 而最老的冰水扇上及最高之阶地上, 并无黄土发育 (见图 7), 可能由于第四纪初期, 气候较为湿润; 第一次冰期以后, 气候逐渐干燥。各级黄土阶地之发育, 为天山山区及山麓地带的普遍现象, 它们在一些地区, 可以与终碛联系。所以在新地质构造运动强烈进行的天山山区, 黄土、冰水和冲积阶地, 在划分冰期上具有特殊意义。

青年渠附近的黄土阶地, T_2 、 T_3 在顺序方面和黄土的性状方面与后峡 T_2 阶地相当, 属于最近的一次冰期; T_{5-6} 与后峡冰期相当, 为倒数第二次冰期; T_{7-8} 代表的冰期与后峡 T_5 相当, 属倒数第三次冰期。因此根据冰水扇及冰水阶地的发育, 表示天山可能有四个冰期并且有副期的表现。

以上仅根据观察到的资料作出初步看法, 至于冰期的对比问题以及冰川的规模, 尚需进一步研究。

板房沟偏转的第四纪洪积扇冰水扇与有关的黄土阶地 从航空照片和实地观察, 板房沟附近, 有四套冰水和洪积扇, 它们二个是内迭的关系; 另外现代洪积冲积扇与下部冰水扇, 发生上迭的关系, 它们所反映的气候变化和新构造运动, 也比较复杂。

板房沟新老四个冰水扇和洪积扇, 最古老的冰水扇已抬高 2,000 米以上, 扇顶同样与北天山断裂作断层接触。顶面切割破碎, 时代与发育顺序相当于大西沟山口的老冰水扇, 不过规模较小而已! 老扇以下板房沟左岸发育四级阶地, 低下的三级有黄土覆盖。这四



1. 褐色粘土 2. 冰水堆积 3. 黄土 4. 河流堆积
图 9 天山北麓白杨沟第四纪堆积阶地

个扇,受新构造运动影响,一致向东偏转。

有关问题的分析和几点结论

据前节冰水扇、冰水阶地、黄土阶地以及冲积阶地的研究,天山第四纪中可能发生四次冰期。而在山区根据冰川侵蚀与堆积现象,只能恢复二期。较老的冰期,在强烈抬升过程中,被侵蚀破坏。在山区和山区外围,由于差异运动,同一古冰期的侵蚀与堆积现象,高差可达 800—1,000 米。

根据堆积量及堆积范围,东天山第一次冰期中,冰川范围较大。在第四纪气候变迁的基础上,新第三纪的上升运动,加强了气候变迁的强度。天山褶皱带以上新世为最大的上升时期,气候变迁与地壳运动两者相得益彰,使第一次冰期得到广泛的发展。根据山麓冰水扇的发育,可知当时山麓地区,冰川已联成广阔的山足冰川;而山上经上新世强烈抬升的准平原上,可能有大面积为冰雪覆盖。

第四纪冰川外围冰水阶地、黄土阶地、冲积阶地之成因问题,以及它们和冰水扇、洪积扇发育上的关系问题,很值得我们密切注意。长期研究阿尔卑斯山北麓冰水扇上喇叭谷发育的动力后,特罗耳(C. Troll)认为系当冰期之末,冰川后退开始之际,老冰水扇被切割成喇叭谷,谷口产生一新扇,每一次冰退,为老冰水扇受切割,河道发生曲流时期。而每一次冰退期,都有它自己的一套喇叭谷和冰水扇^[10]。

中国境内的天山的情况,与阿尔卑斯山又有所不同。第一,天山各次冰期的终碛垅多被破坏,天山冰水扇顶往往依附着天山北麓断裂线。而阿尔卑斯冰水扇的顶点,都从历次相当的终碛垅开始。第二,天山早期冰期,为冰水扇状堆积,后几次冰期多为冰水河谷堆积。第一次冰期以后地面抬升,抬升量向东部递减,因而大西沟的冰水阶地不对称,板房沟重迭洪积和冰水扇向东偏转,这说明天山山麓构造运动比较活跃。大西沟 T₁ 阶地已受断裂,足见运动仍进行未已。第三,大西沟阶地级数,自山口冰水扇上端的 3 级左右向扇之中部增加至 7 级左右,至扇之下部又逐渐消失,说明阶地显然受气候变迁和构造运动的双重影响。另外,大西沟的主要冰川和黄土阶地,在山内及山麓部分可以对比,说明它们基本上还是气候阶地,不过构造运动使它们受到影响,甚至变形。

从冰水扇与阶地的关系而论,当扇后山岭上升时,产生内迭的阶地。而冰川进退也可能发生类似结果,每次冰期留下一道终碛垅,并向前发展一个新扇。我们在天山北麓板房沟见到四个冰水和洪积扇,其中二个系上迭而非内迭。当第三个扇形成之际,地壳比较稳定,因此它的下部重迭在第二个扇上,前缘近于平行。近期的新扇又向前推展很远。所以冰水扇或洪积扇在它们形成过程中,气候变迁是主要的因素,而构造变化可加强或减弱它们的发展。如大西沟抬升较强,新扇伸展较远;板房沟各个扇向东偏转,而且第二、第三扇是上迭关系,说明二个地区运动性质不同。第三个冰期发生时,板房沟附近局部地壳比较稳定。

以上足见气候变化与构造运动两者交错的影响。

无论在山区或山前,冰水扇或冰水河谷平原上都发育着一系列的阶地。这些具有明显的一致性的堆积阶地的对比研究,足以帮助我们解决和冰期有关的问题。气候阶地本身既然系在气候变化过程中堆积与侵蚀动力变化的反映。因此除了帮助冰期问题的研究

而外,对气候变化所发生更深远的影响,也具有一定的意义。

本区的阶地除侵蚀阶地外,多数为黄土覆盖,黄土阶地延伸到山区内部。山区内的黄土与干燥盆地,间隔着森林带,它的形成与当时大量冰川冰水堆积物,寒冷干燥的气候和草原环境有关。东天山山内与山前黄土组成物质近似,比较均匀,与大量冰水物质关系可能更密切一些。

关于黄土生成的时间问题,也多争论。有的学者认为,黄土为冰期发生前的堆积,但多数学者认为是在冰期中生成的。弗林特(R. F. Flint)认为黄土为冰期最盛时生成^[18]。我们在后峡山区、大西沟的右岸观察,黄土与冰水沉积交互成层,接近阶地顶部逐渐过渡为纯粹黄土。因此我们认为东天山阶地上黄土之生成,应在冰期之末。在山区内冰水沉积与黄土有垂直过渡现象,在山前冰水沉积与黄土又有水平过渡现象,如在青年渠以北地区。Г. Ф. 隆格尔斯高晋也提出中亚一带黄土沉积与冰川沉积的同时性,并指出黄土与冰川冰水的密切联系^[19]。据我们在本区的观察认为:当冰期之末,冰川开始融化时,产生大量冰溶水堆积。冰碛物也脱离冰川覆盖,大片裸露地面。再加以冰缘作用的进行,这些大片的无被覆的冰川、冰水和冰缘堆积物,供给大量黄土堆积的物质来源。过去对洪积、淤积黄土注意较多。研究西北山地黄土、对黄土与冰川、冰水和冰缘堆积物的关系,应予以应有的重视。

关于冰川外围侵蚀和堆积作用,与冰川进退之关系,是第四纪地层学上,与阶地发育成因上的一个重大问题;也是冰川地质,冰川、冰缘地貌以及流水地貌等方面激烈争论的问题。关于干燥与湿润气候波动,与阶地之生成原因,争论尤多。由于不同学者在不同地区进行研究,干湿的变化与侵蚀堆积的关系,可能有不同的表现,并不一定存在孰是孰非之争。关于冰川外围阶地成因与冰期之间的关系,争论较少,一般多依据彭克(A. Penck)和索尔格尔(W. Soergel)的解释。近年由于进一步解决第四纪古地理和古人类发展的问题,以及第四纪地层的划分问题,冰川外围,冰水与冲积阶地的成因,又作进一步的研究。松纳尔等(F. Zeuner)^[20]认为,从间冰期最盛至冰期最盛时为堆积时间,而冰期最盛至间冰期最盛为侵蚀时期。费斯克(F. N. Fisk)^[21,22]及费雷(G. C. Frye)^[23,24]近年对冰期与间冰期和阶地成因的关系也都提出一些见解,目前这方面的科学假说已达5种以上。根据我们在西北地区所观察到的阶地发育,很显然,在冰川末期是一强盛堆积时期,与松纳尔等的论点不符。一般承认间冰期为主要下切时期,但是即使为一湿润的间冰期,当时森林繁殖,风化盛行,发育古土壤层,如欧洲一些地区,往往代表一地貌动力平衡时期。因此近年有关气候阶地成因的假说,不认为阶地之生成,完全在间冰期中进行。彭克、索尔格尔的假说,今天来看,并不足为各地的准绳。根据近年第四纪古地理的研究,冰期之初为湿冷期,对阶地的形成反而有利,费雷已注意到从这方面来考虑阶地的成因问题。另外研究冰川外围阶地成因,除气候变化因素外,必须考虑到地壳变化的性质和幅度。因为冰期的发生,往往与地壳运动有明显的关系,当气候向湿冷变化与地壳上升运动相符合的时候,必然产生强大的冰期。东天山外围冰水与冲积阶地之产生,气候变化的影响是存在的。在普遍堆积或侵蚀过程中,新构造运动也起重要的作用。上新世中天山大量上升,促使第四纪第一次冰期的冰川发展范围广大,堆积巨厚。第四纪构造运动性质,沿山前地区自西迤东,上升量渐减,因而大西沟流域冰水及冲积阶地级数众多,并发育不



照片 1 天山一号冰川的不适称现象,对面冰川因坡向关系已消融净尽



照片 2 天山波荷特沟现代冰川外围、冰蚀湖及埋藏死冰



照片 3 天山第四纪冰川谷中的冰缘现象——块砾海



照片 4 天山第四纪冰川谷中正在发育的冰缘现象——构造土



照片 5 乌鲁木齐河源一号冰川的冰舌及其外围的小冰期终碛



照片 6 天山波荷特沟望峯期终碛

对称的阶地，至大东沟沟口一带，第四纪中后期上升量较弱，洪积扇与冰水扇发生重迭。我们一般引用的彭克和布鲁克涅耳划分冰期的根据，他们认为里斯和民德冰期的间冰期中，下切量最大，因而间冰期最长，间冰期中流水已深深切入基岩。根据我们在西北或其他地区的观察，他们的论点也不一定适用。因为整个间冰期不一定全部是一个下切的时期。同时，构造运动的影响，也应该充分估计。

(收稿日期：1964年6月)

参 考 文 献

- [1] Emilliani, C., Pleistocene Temperatures, Jour. Geol. 63, 1955, 538—578.
- [2] Emilliani, C., Temperature and Age Analysis of Deep-Sea Cores, Science, 125, No. 3244, 1957, 383—387.
- [3] Ahlmann, H. W. son, Glacier Variation and Climatic Fluctuations, Bowman Memorial Lectures, Am. Geogr. Soc. 1953.
- [4] 竺可桢：历史时代世界气候的波动，光明日报，1961年4月27—28日。
- [5] 施雅风、谢自楚：中国现代冰川的基本特征，地理学报 第30卷第3期，1964，183—208。
- [6] A. И. 彼列尔曼：景观地球化学概论，1958，53—55。
- [7] Matthes, F. E., Glaciers, in Physics of the Earth, 1942, 9, 149—219.
- [8] Brooks, C. E. P., Geological and Historical Aspects of Climatic Change, Compendium of Meteorology, 1951, 1004—1019.
- [9] Erinc, Sirri, Glacial Evidences of the Climatic Variation in Turkey, Geogr. Annaler Arg XXXIV, 1—2, 1952, 89—99.
- [10] Charlesworth, G. K., The Quaternary Era, 1957.
- [11] 鍾 歆：扬子江水利考。
- [12] 沈清濂：明代嘉陵江“滔天”洪水的考证，人民长江，1957，7，316—319。
- [13] 长江流域规划办公室水文研究室：1788年长江洪水，人民长江，1958，3，103—111。
- [14] Butzer Karl, Mediterranean Pluvials and the General Circulation of the Pleistocene, Geogr. Annaler V. 39, 1957, 48—53.
- [15] Büdel Julius, Die morphologischen Wirkungen des Eisseitklimas im gletscherfreien Gebiet, Geol. Rund., Band 34, Heft 7/8, 1944, 482—519.
- [16] 周廷儒：新疆第四纪陆相沉积的主要类型及其和地貌气候发展的关系，地理学报，第29卷第2期，1963，109—129。
- [17] 费道罗维奇、严钦尚：中国西部天山冰期的次数和性质问题，中国第四纪研究，第3卷第1—2期，1960，19—33。
- [18] Flint, R. F., Glacial and Pleistocene Geology, 1957.
- [19] Г. Ф. 隆格尔斯高晋：黄土的研究，载 C. A. 雅科夫列夫等：第四纪沉积的研究与地质测量方法指南，中国工业出版社，1963年译本。
- [20] Zeuner, F., The Pleistocene Period, 1959.
- [21] Fisk, H. N., Depositional terrace slopes in Louisiana, Jour. Geomorph. Vol. 2, 1939, 181—200.
- [22] Fisk, H. N., Geological Investigation of the Alluvial Valley of the Lower Mississippi River, Mississippi River Comm., Vicksburg, Miss. 1944.
- [23] Frye, G. C., Swineford, A. and Leonard, A. B., Correlation of Pleistocene Deposits of the Central Great Plain with the Glacial Section, Jour. Geol., Vol. 56, 1948, 501—525.
- [24] Frye, G. C. and Leonard, A. B., 1953, Definition of Time Line Separating a Glacial and Interglacial Age in the Pleistocene, Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull. V. 37, 1953, 2581—2586.

QUARTERNARY GLACIATION AND THE POSTGLACIAL CLIMATIC FLUCTUATIONS IN THE REGION OF UPPER URUMCHI VALLEY, SINKIANG

YANG HUAI-JEN CHIU SHU-CHANG

(*Department of Geography, Nanking University*)

ABSTRACT

An attempt is made in the following pages to show the evidences of Pleistocene and recent climatic fluctuations in the region of upper Urumchi valley, Sinkiang, based on the field work carried out during the summer of 1960. Most of the 55 present glaciers owe their existence to an exceptionally favourable exposition (Plate 1). The present glaciers occupying their ancestors' cirques are heavily loaded with ablation moraines. We observed moraine-covered dead ice masses immediately downstream from the tongue of a present glacier (Plate 2). A few hundred meters from the tongue of the "No. 1 glacier" we observed successive crescent-like end moraines which lack plant cover and weathering rings (Plate 5). Above features prove that the glaciers are in a state of retreat and thinning. Between the 'fresh' moraines and the oxidized, plant covered and moderately dissected Pleistocene moraines, there is a marked difference. A detailed study into their weathering rings and depositional forms of these new and old moraine will throw much light on the understanding of the climatic variations in eastern Tien Shan: (1) Some of the present glaciers having shrunk to a considerable degree even under the present condition seem improbable to endure the warm period of the Climatic Optimum and consequently they cannot be considered as the direct survivor of the last glacial period. (2) The fresh moraines overlying unconformably and thrusting upon the older glacial deposits were the products of regeneration and expansion of glaciers during the Little Ice Age. The present glaciers, are the direct survivors of the Little Ice Age which was a dominant cold phase in eastern Tien Shan after the Climatic Optimum. (3) From comparative studies of the older glacial moraines in the mountainous region, three main phases of shadia or readvances during the general retreat of the last glacial period can be established.

The Pleistocene glaciations were characterised by their greatly developed outwashes. A series of cones were built up with their apices situated at the breaches of mountain gaps of northern Tien Shan, where large quantities of Pleistocene melting water were issuing from. The Tien Shan outwash plains with their loess covers provide the basis of Pleistocene chronology and the ground of geomorphological hypothesis concerning the mechanics of river deposition and erosion and the origin of the formation of depositional terraces beyond the glacial borders. Fluvial, fluvio-glacial and periglacial terraces have been beautifully developed in the intermountain basin of Ho-shia and the uplifted outwash plains in northern Tien-Shan (Fig. 6, 7). Due to tectonic movements as well as climatic conditions the outwashes are of very large scale and great thickness. The oldest outwash plain being more than 400 meters thick was uplifted to 2200 m above sea level

(Fig. 7). Even the lowest terrace deposits had been faulted. The Pleistocene tectonic movement being in active operation in recent time, has been playing an important role in the climatic and structural geomorphology of the Tien Shan. As a result of Pleistocene differential uplifting, floors of cirques and other features of the same glacial period have been placed at different elevations in different places.

Repeated glaciations of the mountainous regions result in the building of successive outwash fans and valley trains, separately identifiable in surface form and in exposed sections. The available evidences indicates that the oldest glaciation has built the largest outwash plain while the younger glaciations have built smaller ones. The outwash masses and fluvial deposits were beautifully terraced owing to the changes of the mechanics of fluvial erosion and deposition during the advance and retreat of mountain glaciers. The genetic relationship of Pleistocene depositional terraces to the advance and retreat of mountain glaciers has been critically examined by the authors.