

中国天山冰川资源及其分布特征

刘潮海 丁良福

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

内 容 提 要

据最新编目资料, 中国天山有冰川8900条, 面积 9192.43km^2 , 冰储量 1010.5km^3 , 主要分布在西部5000m以上的高大山, 由此向东数量减少, 规模变小。山谷冰川主要发育在高度巨大的山峰或山汇, 垂直高差一般在3600—4600m, 形成特有的复合冰川类型。大部河流的冰川作用等级在0.20以下, 其大小取决于山谷型冰川的数量和个体规模。

本文以1981—1984年新编天山冰川目录资料为依据, 介绍了天山冰川资源的数量, 并探讨了冰川分布的基本特征。

一、冰川发育的自然条件

中国天山是横贯新疆维吾尔自治区中部的巨大山系, 东起哈尔里克山, 西达中苏边界的阿拉套山(北天山)和天山南脉, 东西绵延1700km, 包括一系列北西-南东走向的平行山脉和谷地(图1)。天山西段由北、中、南三列山脉组成, 宽度达400km以上, 山体海拔高度一般在4000m左右。西南部的哈尔克他乌山平均海拔高度在5000m以上,

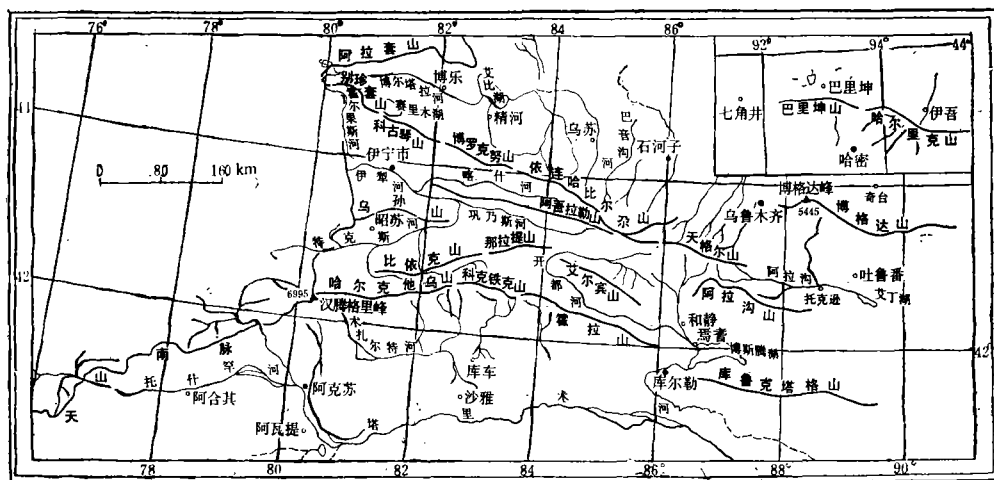


图1 天山山脉水系分布图

Fig.1 The distribute map of the ranges and rivers in Tianshan Mts

本文于1986年7月21日收到, 1986年10月31日改回。

托木尔峰7434m,是整个山系的最高峰。由西向东,山体逐渐收敛,到达东段的巴里坤山和哈尔里克山,山体变窄至30—70km,海拔也降至4000m左右。

新构造运动所形成的巨大海拔高度,使天山群峰耸峙,雄伟壮观。山脊高度与沉陷的准噶尔和塔里木盆地之高差可达3600—5000m,按其地貌垂直带,自上而下可分为永久积雪和冰川作用高山带、受古冰川作用的中山带和干燥剥蚀的低山及山前丘陵带。天山的现代面貌主要是在第四纪形成的,河流和冰川侵蚀作用在地形的形成过程中起着重要作用,角峰、陡峭的山脊、深切的槽谷和冰斗等是地貌景观的主要组成部分,而这些地形的形成都与古代和现代冰川作用有关。

天山南、北麓地区深受亚洲中部荒漠的影响,具有典型大陆性气候的特征。冬季,强大的西伯利亚反气旋带来的晴朗而严寒天气,使北天山山麓地区最冷月平均气温可低至 $-15\sim-18^{\circ}\text{C}$,年较差可达 40°C 左右,极端年较差可达 45°C 。由于天山山脉对冷空气的屏障作用,使伊犁河谷地和南天山南、北麓的冬季气温比北天山北麓同期气温高得多。例如,在同一纬度上的北天山南、北麓的伊犁和乌鲁木齐,前者最冷月的平均气温高出后者约 5°C 。随着山体海拔高度的升高,气候的大陆性程度减弱,表现在气温年较差变小,降水量增大。

降水来源不同和山体对水汽输送的屏障作用,使天山降水的时空分布具有明显的季节性特征。冬季,天山山区受干冷的西伯利亚气团的影响,降水量普遍较少,一般只占年降水量的10%左右。春季降水的主要来源是北冰洋气团。春初,西伯利亚反气旋的强度开始减弱,使北冰洋气团频繁入境,带来了低温和降雪天气。受其影响,北天山北麓和伊犁河谷地的降水量较大,3—5月份的降水量可占年降水量的30%以上,最大降水一般出现在5、6月份,但随海拔高度的增大,降水量反而减小,最大降水月份一般也推迟到7月。夏季降水的水汽主要来自大西洋,南天山北则和伊犁河谷地位于迎风面,降水量明显大于天山东段地区。高大山体对于水汽的拦截作用和“水库效应”,又使冰川区降水量普遍增大,一般可占年降水量的60—70%(图2)。水热条件及其时空分布

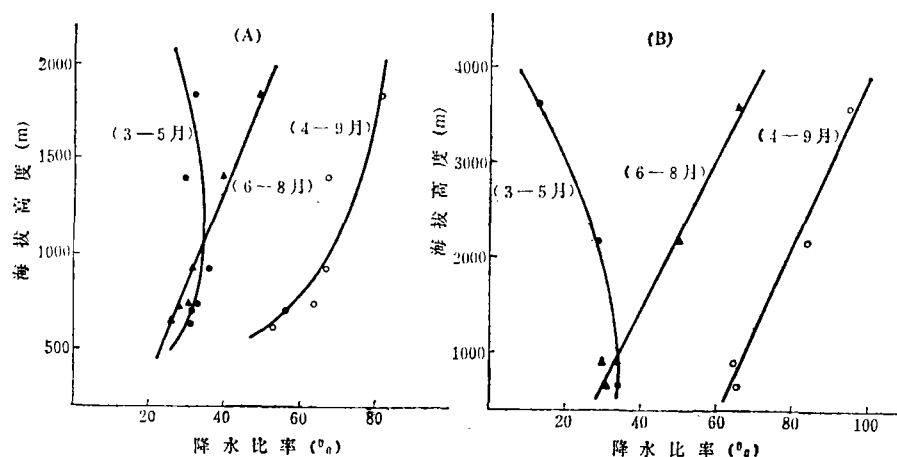


图2 伊犁河(A)和乌鲁木齐河(B)降水比率的时空分布

Fig. 2 The precipitation ratios of Ili river (A) and Urumqi (B) river in time and space

特点与一定地形条件相配合,影响着冰川的积累和消融状况,形成了各不相同的冰川区域特征。

二、冰川资源

天山南北绿洲的形成和发展,是千百年来劳动人民利用天山冰雪水源不断发展灌溉农业的结果。现有绿洲面积的大小、演化和未来的发展远景,和山区冰雪水资源的数量及将来的变化有着密切的联系。所以,摸清冰川资源数量,阐明冰川分布特征,具有重要的现实意义和科学价值。

1959年,中国科学院高山冰雪利用研究队对天山现代冰川进行了大规模的考察,与此同时,利用临时拍摄的航空像片和局部地区的地形图资料,首次对天山现代冰川进行编目登记。当时只统计到冰川483条,面积 1446km^2 ,估计储水量 $883 \times 10^8\text{m}^3$ ¹⁾。1960年又进行补充登记,冰川增加到676条,面积 4865km^2 ,总储水量约 $1806 \times 10^8\text{m}^3$ ²⁾。由于用于冰川编目的基本资料不全,上述统计数字远小于天山山区实有的冰川数量。在逐步具备航空像片和地形图资料的基础上,1973—1975年,中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所和新疆地震大队、新疆生物土壤沙漠研究所和兰州大学地质地理系等单位合作,对天山现代冰川进行了较全面的编目,统计到冰川6896条,面积 9548km^2 ,估计储水量 $3600 \times 10^8\text{m}^3$ ³⁾。1981—1984年,中国科学院兰州冰川冻土研究所和新疆地理所合作,按照国际冰川编目规范,再次对我国天山冰川进行详细编目。结果表明,天山山区(不包括穆斯塔格岭南坡的冰川)有冰川8900条,面积 9192.43km^2 ,冰储量 $10105 \times 10^8\text{m}^3$,约占我国冰川总面积的16%,是我国最大的冰川作用区之一。这次冰川编目,应用航空像片校对地形图上的冰川轮廓,34项登记内容均用数字表示,冰储量的估算又以雷达测量的冰川厚度资料为依据,因而是我国目前登记内容较多、精度较高的一次编目。

三、冰川分布的基本特征

天山西南部的哈尔克他乌山是天山最高大的山脉,冰川主要以6000m以上的高大山峰为中心,呈现出辐射状分布图式。该山脉共有冰川1952条,面积 4582.77km^2 ,冰储量 $7319 \times 10^8\text{m}^3$,分别占天山山区相应总量的21.9%、49.9%和72.4%。天山山区面积大于 100km^2 的6条冰川也全部发育在该山脉,从而成为天山山区最大的冰川作用中心。由此向东,冰川数量减少,冰川规模变小,与天山山区的山势高度由西向东逐渐降低和降水量相应减少的分布趋势相一致,即与影响冰川作用强度的山势和气候因素的变化相同。分析冰川平均雪线以上有效山地面积(F_1)和冰川发育规模(F_2 ,以冰川面积表示)之间的关系表明,随着雪线以上山地面积的增大,冰川发育规模变大,两者具有较好的线性关系:

1) 中国科学院高山冰雪利用研究队新疆队,天山冰雪实验考察报告,1959年。

2) 中国科学院高山冰雪利用研究队新疆队,天山冰雪资源利用意见书,1960年。

3) 中国天山现代冰川目录,1975年。

$$F_2 = -89.31 + 0.9294 F_1.$$

(1)

天山山区各山脉的南坡总计有冰川3306条, 占整个山区冰川总条数的37.2%, 而冰川面积4898.56km², 可占到整个山区冰川总面积的53.3%, 与此相适应, 南坡冰川平均面积约为其北坡的2倍。水热状况和地形条件的不同组合, 使天山各山脉冰川呈现出各种分布图式。南坡冰川条数和面积均大于北坡的不对称羽状分布的山脉有哈尔克他乌山、博格达山、哈尔里克山和艾尔宾山等。其中哈尔克他乌山南坡的冰川面积占山脉冰川总面积的73.9%, 是天山山区各山脉中南坡冰川面积占比例最大的山脉。上述山脉主山脊线一般靠近北侧, 因而朝南的山体宽度大于北坡, 山地平均高度增大, 为冰川发育提供了较大的积累空间, 并具备有利于冰川发育的温度条件。同时, 由于高大山体对水汽的拦截作用和“水库效应”, 使冰川区降水明显增大。博格达山则是由于西北和西向气流在其山地西侧的低缓地带入侵, 在该山脉南坡产生扰动, 易形成低压涡旋, 有利于降水的形成。受其影响, 使哈尔里克山南坡也有较多的降水。天山山区大部分山脉, 如依连哈比尔尕山、博罗克努山等山脉的北坡冰川数量和面积大于南坡, 形成了北多南少的不对称分布。科古琴山山体平均海拔高度在3400m左右, 最高山峰也只有3616m, 在其北坡较低注的山坡形成了少量的悬冰川, 平均冰川面积只有0.12km², 而南坡的雪线高度超过了山脉的最高高度, 完全没有冰川发育, 呈现出梳状分布图式。

天山山区冰川朝向的分布(图3)表明, 偏北向(北、北东和北西向)的冰川有5845条, 面积4431.16km², 而偏南向(南、南东和南西向)有冰川1555条, 面积2481.25

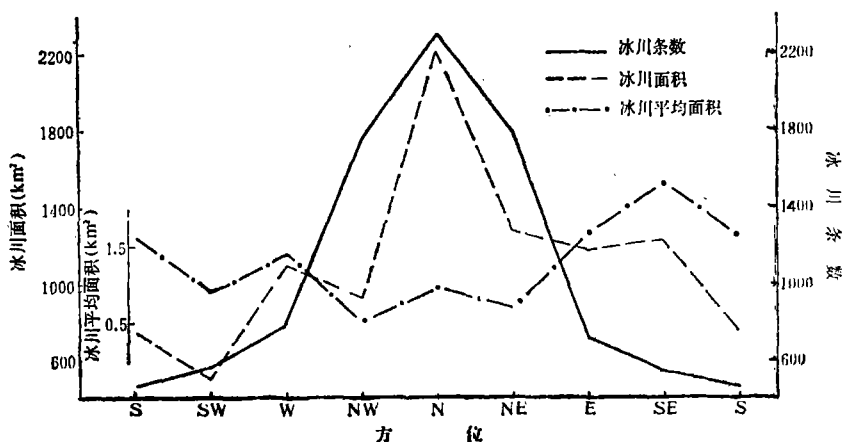


图3 天山山区各方位冰川数量分布

Fig. 3 The amount of the glaciers in various orientations in Tianshan Mts.

km²。两者的冰川条数和面积的比值分别是3.8:1.0和1.8:1.0, 具有明显的不对称性。两者冰川平均面积的比值却是1.0:2.1, 前者仅是后者的一半。这种分布趋势表明, 偏北向冰川的个体规模小, 悬冰川和冰斗冰川所占的比例较大, 而偏南向则是山谷型冰川占的比例较大。偏西向和偏东向的冰川数量大体相等, 分布较为对称。

通过对天山山区768条冰川的雪线分析表明, 雪线高度变化在3600—4500m之间, 最低出现在别珍套山和博罗克努山, 最高出现在天山南脉。天山南脉是天山山区唯一近乎

南北走向的高大山脉, 成为西风湿润气流通道上的巨大障碍, 在迎风坡有较多的降水形成, 雪线高度较低; 而在我国一侧形成雨影区, 雪线附近年平均降水量只有400mm左右, 从而使雪线高度强烈抬升。哈尔克他乌山南坡平均雪线高出其北坡约320m, 是天山山区南北坡雪线高差最悬殊的山脉。艾尔宾山、别珍套山、依连哈比尔尕山和阿吾拉勒山等南北坡雪线高差仅10—40m, 呈现出较对称性的分布。博罗克努山冰川平均雪线则出现倒转现象, 即南坡雪线低于北坡约30m。冰川雪线的南北差值大, 一般在650m左右, 这主要是纬度和坡向所造成的热量收入差异影响的结果。雪线的东西向变化则比较平缓。以北天山北坡和南天山南坡平均雪线高度的变化为例, 东西向雪线差值分别为320m和300m, 变化幅度大体相等, 但变化方向相反, 前者是从东向西递减, 而后者则是由东向西升高。天山山区大部分山脉为北西—南东走向, 西来湿润气流通过其间的宽谷或低缓的山口可以到达天山中、东段地区, 使东西向降水的差异变小, 因而雪线高度的东西向变化较为平缓。在雪线东西向分布总图式中发现, 由于高大山体的辐合作用, 使雪线一般在山结或山脉的轴部地带抬升。在北天山北坡, 形成了以依连哈比尔尕山为中心向其两侧山脉雪线降低的现象, 南天山的哈尔克他乌山汇地带也有类似的现象。

雪线是反映冰川发育水热条件的主要指标, 与气温和降水有密切的关系, 同时又受方位和冰川形态的影响。分析天山山区各个方位冰川的雪线分布趋势表明, 某些方位的雪线落在山区平均雪线(3940m)以上, 有些则落在其下, 前者用“+”号表示, 后者用“-”号表示, 其差值作为方位对雪线和冰川发育状况的影响指标, 偏南向的冰川平均雪线均在山区平均雪线以上, 其中又以南方位的差值最大, 为+160m。偏北向的冰川平均雪线均在山区平均雪线以下, 其中又以北向的差值最大, 为-110m。东、西向平均雪线和山区平均雪线大体相等, 近似地呈现出以南方位为轴心的正态分布(图4)。

天山山区冰川平均末端高度和雪线的分布趋势一样, 由北向南和由西向东升高, 可见, 影响冰川末端高度变化的因素和雪线大体一致。除此之外, 冰川末端高度还受冰川区固态降水和冰川规模等因素的影响, 即随冰川区固态降水的增多和冰川规模的增大而降低, 因此, 冰川末端的最低高度不是出现在平均雪线最低的别珍套山和博罗克努山, 而是出现在伊犁河流域和哈尔克他乌山。发育在哈尔克他乌山托木尔峰周围的巨大树枝状山谷冰川的冰舌区多为厚层表碛所覆盖, 由于有保护冰川消融的作用也使得冰舌下伸的高度较低, 极端最低值可下降到2680m。

中值是把冰川分为面积相等两部分的等高线高度, 其分布趋势和雪线大体一致。中值与雪线的高度差与冰川发育的水热条件有关, 而和方位无关。天山山区各山脉平均中值一般高出雪线50—100m, 而天山南脉和依连哈比尔尕山等山脉的差值大于100m, 阿吾拉勒山、比依克山和别珍套山南坡仅相差30—50m, 那拉提山北坡和博罗克努山南坡则出现反常现象, 即中值低于雪线30—50m。中值高出雪线的高度越大, 则冰川积累区面积就越大, 从而使冰川积累区比率增大。天山山区平均积累区比率为0.66, 小于祁连山的0.75。在天山山区范围内, 伊犁河流域冰川积累区比率平均为0.55, 小于天山山区平均值, 博格达山和哈尔里山南坡的冰川积累区比率接近山区平均值, 而天山南脉平均为0.72, 高出山区平均值。研究表明, 积累区比率和外推平衡线高度处的积累量有

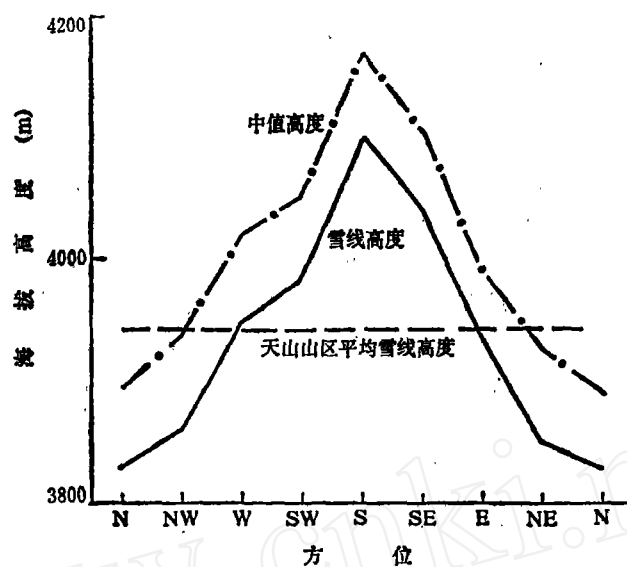


图 4 天山山区各方位冰川平均雪线和中值高度的分布

Fig. 4 The mean snow-line and the middle altitude of glaciers in various orientations in Tianshan Mountains

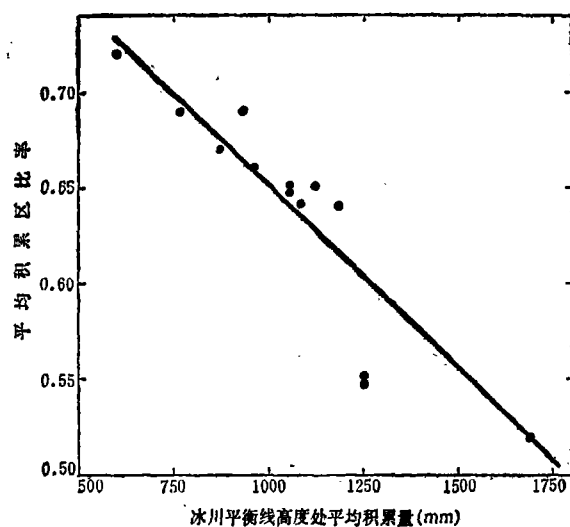


图 5 冰川平均积累区比率和平衡线高度处平衡积累量的关系

Fig. 5 The correlation between mean ratio of accumulation area and mean accumulation amount at equilibrium line

较好的线性关系 (图 5), 即有随冰川积累量的增大而减小的趋势:

$$AAR = 0.8486 - 0.0002 \bar{A}.$$

(2)

式中: AAR ——冰川平均积累区比率;

五——冰川平衡线高度处的年平均积累量 (mm)。

天山山区83.11%的冰川面积小于1 km²，而大于1 km²的冰川虽然只占冰川总条数的16.89%，但冰川面积和冰储量则分别占天山山区相应总量的77.07%和94.3%。冰川长度的分布趋势也是小于1 km的冰川数量多，而冰川面积则主要集中在大于1 km的冰川上。天山山区大于100km²的冰川共计6条，总面积为1532.41km²（表1），全部发育在哈尔克他乌山南坡库马里克河和木扎尔特河源头。这些冰川均为众多支流补给的

表1 天山山区面积大于100km²的冰川统计

Table 1 The glacial statistics of the areas above 100km² in Tianshan Mountains

冰川名称	冰川编号	冰川面积 (km ²)	表碛覆盖 面积 (km ²)	冰川长度 (km)	冰川朝向	冰川最高 高度 (m)	冰川最低 高度 (m)	冰川雪线 高度 (m)	冰川类型
南伊诺勒切克冰川	5Y673K1	392.84	—	63.5	W	7434	2900	4450	树枝状山谷冰川
托木尔冰川	5Y673P37	337.85	54.74	41.5	SE	7434	2780	4350	树枝状山谷冰川
努特连冰川	5Y674B28	165.38	21.27	23.8	SE	7434	3080	4300	树枝状山谷冰川
土格别里齐冰川	5Y681B16	313.69	40.48	36.1	E	6934	2680	4200	树枝状山谷冰川
乌库尔冰川	5Y681C10	184.95	31.71	32.4	E	6245	2790	4240	树枝状山谷冰川
木扎尔特冰川	5Y681D24	137.70	21.34	33.0	W	6627	2950	4220	树枝状山谷冰川
总计		1532.41	169.54						

1) 南伊诺勒切克冰川跨越中苏两国，冰川面积为我国占有的面积，其余各项参数指整个冰川而言。

树枝状山谷冰川，冰舌区为表碛覆盖，其面积可占冰川总面积的13—17%，冰舌末端最低高度低于裸露冰面最低高度，即表碛覆盖的垂直高差可达700—1100m。南伊诺勒切克冰川在我国境内的面积就有392.84km²，是世界上中、低纬度地区著名的大冰川之一。全部发育在我国境内的最大冰川是托木尔冰川，长度41.5km，面积337.85km²。

天山山区冰川类型有悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、峡谷冰川、坡面冰川和平顶冰川。其中悬冰川和冰斗-悬冰川等小型冰川在冰川总数中占71.0%，是天山山区冰川条数最多的类型，而冰斗-山谷冰川和山谷冰川虽占冰川总数的9.2%，但冰川面积却占山区冰川总面积的61.7%，是天山山区冰川面积最大的类型。分析不同形态类型的冰川分布表明，悬冰川一般发育在海拔高度较高的山坡上不完善的洼地中，冰川作用差小，易受气候波动而变化。由于山脉北坡接收太阳辐射热量较少而有利于悬冰川发育，因而北坡悬冰川数量多于南坡，冰川下界高度也较其南坡低得多。平顶冰川主要发育在保存较好的山地夷平面上，以哈尔里克山最多。冰斗冰川受风吹雪附加补给的影响，多数发育在背风坡较低的洼地中。山谷冰川很少受山脉坡向的影响，主要发育在高度巨大的山峰或山汇周围，呈现出辐射状分布图式。发育在天山最高峰——托木尔峰周围冰川多为树枝状山谷冰川，其垂直高差一般在3500—4600m，水、热条件上、下差别十分悬殊。峰顶的夏季平均气温可低至-21℃左右，海拔5900m以上，

冰川消融完全终止^[1],而冰川消融区夏季平均气温高,冰川消融非常强烈,又具有暖性冰川的某些特点,使之成为我国复合性冰川发育的主要地区。这类冰川以雪崩为主要补给来源,因而在冰舌区普遍发育有连续的厚层表碛,又是我国土耳其斯坦型冰川集中发育的地区。

河流流域内的冰川面积和该流域总面积之比,称作冰川作用等级,是反映冰川发育规模的重要指标。天山山区28条第二级河流的统计表明,大部分河流的冰川作用等级在0.20以下,属分散的山地冰川作用区,只有台兰河和木扎尔特河的冰川作用等级大于0.30,分别属于半分散的山地冰川作用区和半密集的山地冰川作用区^[2]。冰川作用等级的大小是一定的地形条件和气候因素综合影响的结果,同时又和冰川形态类型有关。把天山山区冰川形态类型分为两组,第一组是山谷型冰川(包括山谷冰川和冰斗-山谷冰川),第二组为其它类型的冰川(包括悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川和坡面冰川等)。随着冰川作用等级的增大,第一组冰川所占冰川总面积的比例增大,而第二组冰川则随冰川作用等级的增大而减小(图6)。可见,冰川作用等级的大小主要取决于山谷型冰川的数量和个体规模。木扎尔特河流域山谷型冰川数量多,且又以巨大的树枝状山谷冰川为主要类型,因而使山谷型冰川面积在该流域内冰川总面积中所占比例高达90%,是天山山区各河流中山谷型冰川面积比例最大的河流。

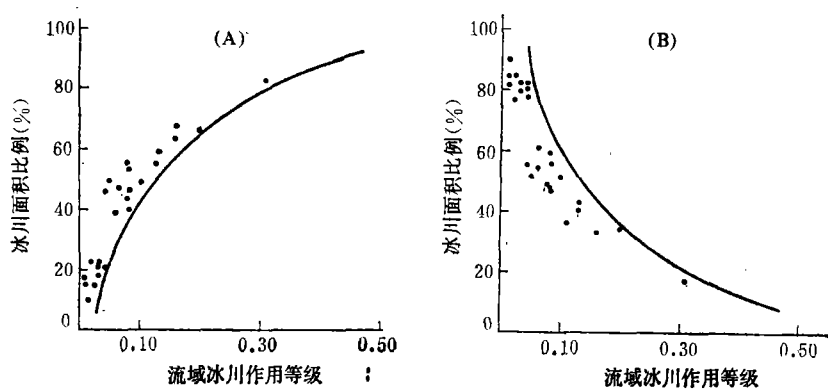


图6 第一组(A)和第二组(B)冰川所占面积的比例和冰川作用等级的关系

Fig.6 The correlation between the ratios of glacial areas and the glacial grades in first group(A) and second group(B)

参 考 文 献

- [1] 王立伦等, 1980, 托木尔峰地区的现代冰川, 冰川冻土, 第2卷第4期。
 [2] Тихановская, А.А., Волкова, М.В., Крейтер, А.А., Влияние орографических условий на степень оледенения гор Средней Азии, Труды САННИИ Госкомгидромета, 1983, вып.91 (172), с.96.

The Glacial Resources and Their Distributive Characteristics in the Tianshan Mountains of China

Liu Chaohai and Ding Liangfn

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

There are 8900 glaciers in the Tianshan Mts., with a total area of 9192.43 km² and a total ice volume of 1010.5 km³. These glaciers are mainly distributed in big and high mountains above 5000m a.s.l. in the western part of the mountains. Eastwards from here, the number of glaciers decrease, and the size of glaciers become smaller. Valley glaciers are mainly developed on very high peaks or the "mountain knot" of the Tianshan Mts, and their vertical elevation differences are commonly 3600—4600m, which has resulted in the special complex glacier type in China. The glaciation grades in most of the rivers in the Tianshan Mountains are smaller than 0.20 and depend on the number of the valley glaciers and their sizes.