

中国第四纪冰期气候与环境探讨

郭 旭 东

(中国科学院地质研究所, 北京)

关键词 第四纪 冰期 雪线

我国位于亚洲大陆东部中低纬区。地形上自西向东一般高差约4500m,最大8000m以上。年均温差10—20℃,最大达40℃。降水量相差500—1000mm。这与北半球自赤道至极地温差48℃相近。处在这样两个无论地形和气候都相差极为悬殊的极境下,东部(105°E以东)地区更新世时期是否存在冰川作用,作者^[1]曾以西部高原为背景,以若干明显的冰期气候标志进行冰期气候分析,认为东部地区是非冰川的冰缘环境,提出用冰缘期和间水缘期系统划分更新世气候地层。后来又以庐山为对象,运用气候雪线、森林线和多年冻土界线等的变化,论证了冰期时庐山没有发生冰川的地形条件;当时山体高程并未超过森林线上限^[2]。同时也对北京西山有关冰川的报导提出质疑^[3]。本文将在原有基础上,针对近年来学术界在东部冰川争论中还存在未解决所谓冰川变形石,庐山和长江中下游地区的“雪线”、“冷槽”和“冰期”等理论问题^[4,5,6]作进一步探讨。

一、冰期气候雪线的重建及其变化规律

有关更新世冰期雪线,那是彭克和布鲁克纳早已提出的问题,但至今还没有人给雪线下一个明确和清楚的定义,以至近年来在论证和应用古雪线推论庐山冰川发生的可能性时出现了概念性的混乱^[6,7,8]。有关自川西高原至长江中下游中低山的冰期雪线剖面,给出了庐山鄱阳冰期雪线高程为200m,大姑冰期为800m,庐山冰期为1100m,最后冰期为2600m,现代为3600m等的数值。认为冰期时代越老雪线越低,冰川的规模越大。由此推论东部地区冰期雪线降低是北半球最突出的。并引用上海和宜昌等地一月份零度月温层平均高度低;历史时期冬季寒潮、冰冻;西伯利亚极端寒潮南侵及巴伦支寒流的影响,使东部降温等许多极端低温证据,以论证冰期雪线那么低的原因,进而推论冰期时长江中下游地区的上空存在一个独特的“冷槽”,以此来解释庐山以至东部地区存在冰川的理论。应当指出:1)雪线,无论现代和冰期,它都是夏天极端高温气候的产物,除了热带高山外,决非冬天极端低温气候的产物;2)长江中下游区的大别山、庐山、黄山和天目山都没有确切的古冰斗证据;3)庐山没有冰期严寒气候的地质证据。如高程200m以下的红土;800m左右浅棕红色土及1100m以上黄或浅棕黄色风化壳残积土,未见寒冷还原气候下的黑色一灰黑色冰碛或风化壳。4)冰期和现代山体高程都在森林线以下一森林茂密,杂草丛生。这证明庐山和长江中下游区不存在冰期雪线和冷槽。

1. 冰期气候雪线的重建

雪线分气候雪线和地形雪线。只有气候雪线才是重建冰期气候的依据。关于西部高原气候雪线变化的时空规律，作者^[2,9]曾作过论述，证明它具有明显的西高东稍低及南高北低的经向和纬向变化规律。

至于东部地区，气候雪线能否重建？作者认为，用气候因素恢复古气候雪线高程，推算发育冰川的山体模拟高度是完全合理和可行的。本文重建冰期气候雪线时采用了下列方法：1）由西部高原观测的气候雪线剖面向东部山地作自然延伸；2）据山地垂向降温梯度推算形成冰斗雪线恒定低温¹⁾的高程；3）从国土总体上考虑最热月（8月）相当于西部高原已知气候雪线位置的东部山地高空850mb等压面位势米高度和温场的分布规律；4）西部高原及西北部极高山气候雪线高程均取实际观测或推算的最高值；5）西部高原东部及东南部雪线高程均作了去伪存真的筛选。据此得到的气候雪线值列于图1—4和表1（见后）。

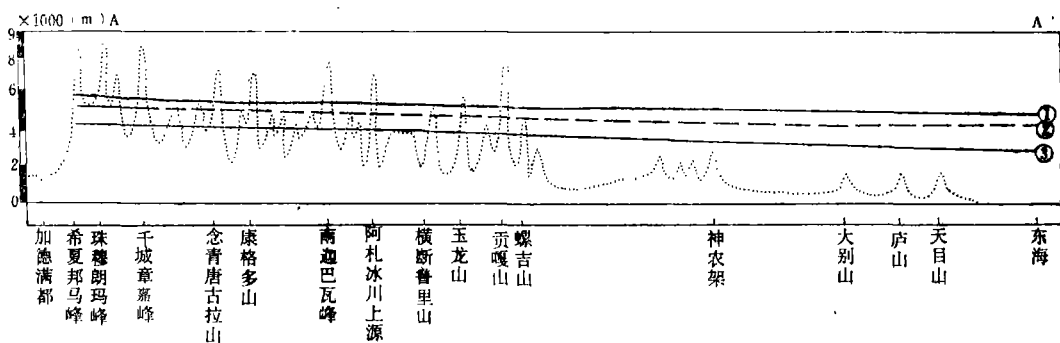


图1 南部经向气候雪线综合剖面图 (AA')

Fig. 1 Comprehensive profile of longitudinal climatic snow line in southern part (AA')

①现代气候雪线；②珠穆朗玛冰期气候雪线；③现代森林线

表1和图1表明，我国南方自西向东，现代气候雪线由于受西部高原上升垂向降温及辐射加强增温的复合影响，而有西高东稍低的趋势：西喜马拉雅山是目前已知的全球最高的雪线高程，一般为6200m；东喜马拉雅山和南迦巴瓦峰地区，由于受来自印度洋最湿润的西南季风的影响，现代气候雪线高程都偏低，一般仅为4500—4800m；四川盆地和大巴山一带，由于夏天最热月强盛的西太平洋湿热季风受高原边缘巨大高程的屏障作用，而产生上升气流，在雪线附近的高空形成高差约500m²⁾的热高压带，因此估算这些地区局地雪线将达到5500m，然后在大别山、庐山、黄山和天目山又稍有下降，大致稳定在5000m左右。

晚更新世珠穆朗玛冰期气候雪线在喜马拉雅山北坡为5200m；念青唐古拉山为5000m；横断山东部为4000—4500m；贡嘎山为4000m；玉龙山为4500m；川西高原西部为

1) 据我国气候长短周期变化规律，作者提出形成冰斗气候雪线的低温可分为临界低温、可变低温和恒定低温，恒定低温是重建气候雪线的标准温度。详见另文介绍。

2) 据北半球高空气候图集，1972，中央气象研究所。

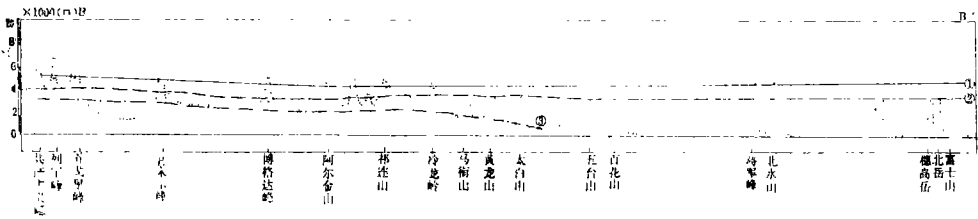


图2 北部经向气候雪线综合剖面图 (BB')

Fig. 2 Comprehensive profile of longitudinal climatic snow line in northern part (BB')

①现代气候雪线; ②珠穆朗玛冰期气候雪线; ③珠穆朗玛冰期多年冻土下界

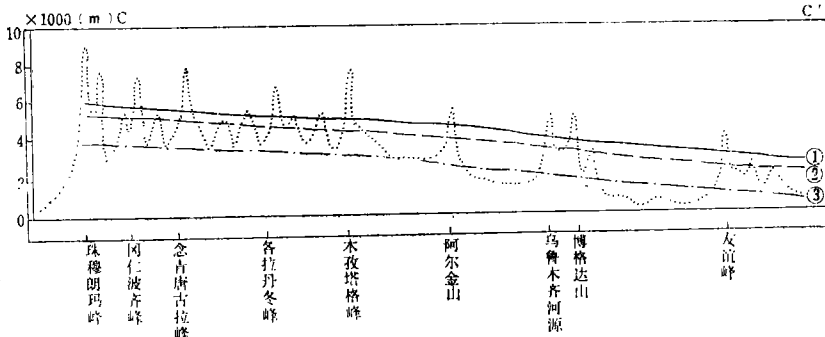


图3 西部纬向气候雪线综合剖面图 (CC')

Fig. 3 Comprehensive profile of latitudinal climatic snow line in western part (CC')

①现代气候雪线; ②珠穆朗玛冰期气候雪线; ③珠穆朗玛冰期多年冻土下界

4600m; 螺吉山约4500m; 整个川西高原高山大约都在4600m; 在神农架的华中顶、庐山、黄山和天目山, 推算冰期气候雪线高程为4300m。中更新世聂聂雄拉冰期古雪线高程在喜马拉雅山中段曾推算为4700m; 由于长江中下游地区山地上升量远不及喜马拉雅山和西部高原, 因此, 冰期雪线位置主要受全球性气候降低的影响, 则其高程约为4000m。至于早更新世希夏邦马冰期时, 因当时庐山山地的高程比中更新世更低, 因此古雪线高程亦不可能低于4000m。

图2表明, 我国北方, 自西向东, 从帕米尔高原、喀喇昆仑山的世界第二峰—乔戈里峰, 直至日本中部山脉的北岳、穗高岳及富士山, 现代气候雪线位置的经向变化亦存在西高东稍低的规律。

晚更新世珠穆朗玛冰期时, 相应的气候雪线高程, 在巴托拉冰区为4300m; 托木尔峰—汗腾格里峰地区的破城子冰期为3100m和台兰冰期为3500m; 祁连山托赖山三岔口冰期为4200—4300m, 大雪山和冷龙岭为4100m; 马喇山和马街山为4000m; 太白山为4100m; 五台山和百花山为3600m; 富士山、北岳和穗高岳约3900m。可见珠穆朗玛冰期, 整个东部和日本中部山地均不存在气候雪线, 甚至地形雪线。

图3表明, 我国西部从冈底斯山的冈仁波齐峰至阿尔泰山友谊峰, 现代气候雪线自南向北随着纬度的增加而近似斜线形降低。

晚更新世珠穆朗玛冰期时, 念青唐古拉山西段气候雪线为5000m; 唐古拉—中昆仑山

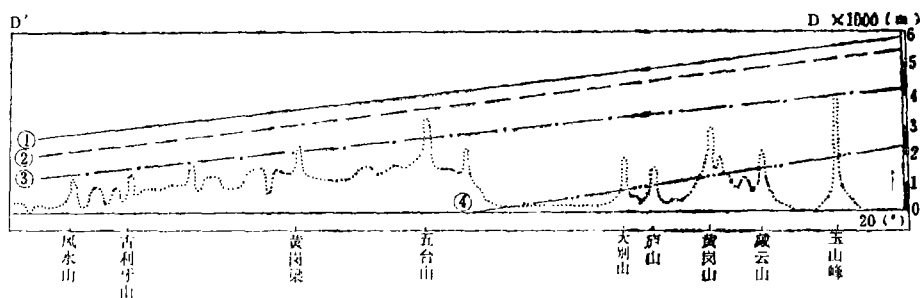


图4 东部纬向气候雪线(推算)综合剖面图(DD')

Fig. 4 Comprehensive profile of latitudinal climatic snow line (calculated) in eastern part (DD')

①现代气候雪线, ②珠穆朗玛冰期气候雪线, ③珠穆朗玛冰期多年冻土下界, ④现代森林线(上限)。

为4500m; 慕士塔格峰为4000m; 乌鲁木齐河源1号冰川的下一上望峰冰期为3700m; 阿尔泰山友谊峰哈拉斯冰期为2600m。古雪线与现代雪线类似呈南北向倾斜变化。

图4表明, 我国东部, 自台湾中央山脉主峰—玉山峰, 至大兴安岭主峰黄岗梁, 自南向北亦呈斜线状下降, 显示与西部地区相似的变化规律。

按珠穆朗玛冰期降温6℃推算, 当时台湾玉山和中央山脉古气候雪线高程应为4800m, 此高程已大大超过该峰顶面的高度。因此是不可能出现冰川的。

2. 冰期气候雪线和温度的降低值

根据冰期气候雪线降低值推算冰期温度降低值的方法, 在国内外早已运用^[9]。本文运用同样方法推算的结果(表1)表明, 珠穆朗玛冰期时, 冰期气候雪线和温度的降低, 在西部高原及西北极高山地区也有自南向北降低幅度增大的趋势。

中国东部地区初步估算表明, 珠穆朗玛冰期时, 与西部高原和西北极高山地区相比, 东部地区冰期气候雪线和温度降低值有偏低的现象。

二、冰期冰川与假冰川辨析

1. 西部高原和西北部极高山区的冰川

近40年来, 尤其建国以来, 多次大规模的综合考察, 已基本弄清该区第四纪冰川类型、性质、规模及分布范围^[10, 11, 12]。第四纪冰川主要分布在喜马拉雅山、冈底斯山、念青唐古拉山、唐古拉山、昆仑山、喀喇昆仑山、祁连山、阿尔金山、天山、阿尔泰山及西部高原东部地区的横断山、雀儿山、巴颜喀拉山、玉龙山及大雪山等。冰川主要类型是冰斗冰川、山谷冰川、复式山谷冰川、山麓冰川、山谷宽尾冰川、平顶冰川及冰帽冰川。在早一中更新世时, 由于山脉和高原海拔较低, 在高原南部曾为海洋性冰川, 晚更新世以来变为大陆性冰川和极大陆性冰川, 海洋性冰川仅出现在东喜马拉雅及横断山南部的少数地区。冰川分布和规模以喜马拉雅山为最大和最广, 但也只限于山脉主体和山麓地带。其他比喜马拉雅山高程为低的各大山系, 现代冰川的主要分布在诸山脉的主峰和一些海拔6000m以上的高峰周围, 第四纪冰川也大多分布在山脊线附近和少数山麓及河源盆地, 冰川类型主要为冰斗冰川、小型山谷冰川, 其次有些小型山麓冰

表1 中国更新世冰期气候雪线和温度降低值

Table 1 The climatic snow line and the temperature drop value in the glacial period of the Pleistocene in China

时代	地点	冰期或冰缘期	雪线高程 (m)			古雪线 降低值 (m)	古温度 降低值 (℃)	垂直温度 梯 度 (℃/100m)	资料来源, 据:
			现代	遗迹	实际				
喜 中 马 段 拉 雅 山	北坡	珠穆朗玛冰期	6000	5200	5200	800	5	0.65	郭旭东 ^[9] 修正
	南坡 (扎西岗)	珠穆朗玛冰期	5500	5000	5000	500	3	0.65	郭旭东 ^[9] 修正
	南坡 (绒布谷地)	珠穆朗玛冰期	5000	4500	4500	500	3	0.65	郭旭东 ^[2] 修正
晚 更 新 世	喀喇昆仑山 (巴托拉冰川)	珠穆朗玛冰期	5500	4300	4300	1200	7	0.60	施雅风等 ^[15] 推算
	天山腾格里峰(南坡)	台兰冰期	4500	3500	3500	1000	5	0.60	郭旭东 ^[2] 修正
	阿尔泰山	珠穆朗玛冰期	4000	3000	3000	1000	6	0.60	郭旭东 ^[2]
	阿尔泰山(哈拉斯冰川)	哈拉斯冰期	3100	2600	2600	500	3	0.60	刘潮海等 ^[16] 推算
	天山乌鲁木齐河源	上上望峰冰期	4050	3700	3700	350	2	0.60	崔之久等 ^[17] 推算
	天山托木尔峰	破城子冰期	4500	3100	3100	1400	8	0.60	苏珍等 ^[18] 推算
	念青唐古拉山	珠穆朗玛冰期	5700	5000	5000	700	5	0.65	郭旭东 ^[2] 修正、推算
	西昆仑山	珠穆朗玛冰期	5900	5000	5000	900	6	0.65	郑本兴(提供)推算
	中昆仑山	珠穆朗玛冰期	5700	4500	4500	1200	8	0.65	郭旭东 ^[2] 补充、推算
	横断山东部	珠穆朗玛冰期	5000	4000	4000	1000	6	0.60	郭旭东 ^[2] 修正
	贡嘎山东坡	海螺沟冰期	5200	4000	4000	1200	7	0.60	李吉均等 ^[19] 推算
	贡嘎山	珠穆朗玛冰期	5200	4000	4000	1200	7	0.60	郭旭东 ^[2] 推算
	玉龙山	大理冰期	5200	4500	4500	700	5	0.60	任美镔 ^[20] 修正、推算
	川西高原(西)	大理冰期	5400	4600	4600	800	5	0.60	罗来兴等 ^[21] 推算
	川西高原(东)	大理冰期	4700	4100	4100	600	4	0.60	罗来兴等 ^[21] 推算
	川西高原高山	甲板扎热水期	5300	4600	4600	700	4	0.60	南京大学地理系 ^[11] 推算
世	川西高原高山	新店子冰期	5300	4300	4300	1000	6	0.60	南京大学地理系 ^[11] 推算
	玉龙山	丽江冰期	5200	4000	4000	1200	6	0.55	任美镔 ^[20] 补充、推算
	玉山峰(台湾)	珠穆朗玛冰期	6000	4800	4800	1200	6	0.50	郭旭东(本文)推算
	庐山	珠穆朗玛冰期	5000	4300	4300	700	4	0.50	郭旭东(本文)推算
	神农架(华中顶)	珠穆朗玛冰期	5000	4300	4300	700	4	0.50	郭旭东(本文)推算
	太白山(拔仙台)	珠穆朗玛冰期	4700	4100	4100	600	3	0.55	郭旭东(本文)推算
	五台山	珠穆朗玛冰期	4200	3600	3600	600	3	0.50	郭旭东(本文)推算
	白云峰(长白山)	珠穆朗玛冰期	3500	3000	3000	500	3	0.50	郭旭东(本文)推算
	黄岗梁(大兴安岭南 部)	珠穆朗玛冰期	3600	3200	3200	400	2	0.50	郭旭东(本文)推算
	日本富士山、北岳、 穗高岳	珠穆朗玛冰期	4500	3900	3900	600	3	0.50	郭旭东(本文)推算

川、悬冰川、冰帽冰川或小冰盖。西北地区的喇喇昆仑山、天山、阿尔金山、祁连山和阿尔泰山等,也主要是各种不同规模的山谷冰川、冰斗冰川、宽尾山谷冰川。横断山各支脉及川西高山,第四纪冰川主要分布在一些海拔 5000—6000m 以上的高山和高峰地区,除贡嘎山外,一般均为小型山谷冰川和冰斗冰川,规模都较小。第四纪冰川除了藏

东南的恰青冰川和阿扎冰川末端高程达2400—3000m外，一般都在4000—5000m以上。就冰期次数而言，除了喜马拉雅山中段和天山托木尔峰地区有4次冰期外，其他如藏南、藏北、藏东和阿里地区只有3次；藏北高原内部一些高山仅有1—2次；横断山、川西高山和滇北玉龙山有2次；祁连山2—3次；阿尔泰山3次。总的看来，西部高原第四纪冰川发育的特点，因受山体高度和气候条件的影响而有明显的区域性差异；即便同一冰期内各地冰川的类型、性质、规模和分布也有明显的区域性差异。

2. 东部地区假冰川

如前所述，东部地区无论高山、中低山和丘陵平原，更新世冰期都不存在发育冰川的气候雪线和地形雪线。现就所谓冰川证据的各类冰川变形石辨析如下：

冰川论者从东部各地不同地貌部位和成因类型沉积物中收集到的奇形砾石分别命名为灯盏石、马鞍石、躺椅石、熨斗石、猴子脰、压坑石^[4,5]和拖鞋石¹⁾。认为这些砾石或漂砾的形态是由于受过冰川强大压力的挤压作用而产生的，并用平板（纸板）弹性弯曲时呈现的马鞍曲面，即所谓破碎曲面和反破碎曲面给予冰川成因以地质力学理论上的论证。众所周知，平板（纸板）和各种坚硬砾石或漂砾系属于两种性质完全不同的物体，前者为弹塑性体，后者属刚脆性体，两者的物理力学性能和受压变形机制是完全不同的。把弹塑性的土体和刚脆性的岩石混为一谈，把具有高强度的燧石和石英砂岩当作高度塑性和弹塑性变形体，不能不说是严重的概念性混乱。在材料力学、岩石力学和岩体工程地质力学中，早已把燧石、砂岩、花岗岩、片麻岩、玄武岩和辉绿岩、石灰岩等列为刚脆性岩石，这些岩石在高压下其压缩变形、弹性变形和塑性变形的变形量是很微小或不明显的，可以略而不计。当加压到极限抗压强度值后，它们都呈整体性破裂和破碎。根本不可能产生所谓高塑性或弹塑性变形。

据初步了解，新鲜花岗岩极限抗压强度为2401—1580(kg/cm²，下同)、片麻岩2700—1200，玄武岩及辉绿岩4570—2600、结晶灰岩1161—949，石英砂岩和燧石岩5736—2915^[13]。冰川的压力究竟有多大呢！以珠穆朗玛峰北坡的绒布冰川为例推算如下：在绒布冰川下游5350m和中绒布冰川5500m处，冰层厚度最大为146和148m，平均92—110m；冰川平均密度为0.9g/cm³（谢自楚，1975）。推算两处冰层底部砾石或基岩面所受冰川自重压力为13.2kg/cm²，平均8.3kg/cm²。至于其他厚度为20、30和50m的中小型山谷或山麓冰川，其谷底或底部所受的冰川自重压力仅1.8，2.7，和4.5kg/cm²。即便以庐山王家坡“U”谷深度以200m计，冰层自重压力也仅18kg/cm²。甚至厚3000m和一般厚1000—1500m的格陵兰大冰盖，其底部基岩面或砾石面所受的冰川自重压力也只有270kg/cm²和90—135kg/cm²。这说明一般山谷和山麓冰川的压力是很小的，大陆冰盖的压力也不算大。凭这么小的压力要想把冰川底部的砾石压碎或通过砾石表面的压力把砾石压入谷底基岩中，都是不可能的。岩石的弹塑性变形必须具备常压高温或高温高压。如把玄武岩或辉绿岩加热到600—1500℃时变为高度塑性体¹⁾冰川是在绝对负温条件下形成和保存，因此不可能在这种低温低压下使岩石发生变形。

1) 光明日报，贺兰山西麓发现第四纪冰川遗迹。1986.8.28。

2) 据郑学正提供。

有人认为,在冰川砾石中往往出现由小石子在冰流强大压力下顶进另一个砾石而产生槽、坑和窟窿,由此产生压坑石、凸面石、压裂石、冰臼、药臼、舟井、拖鞋石、猴子脍等奇形砾石。这里先剖析一下冰川砾石互相碰撞、顶进和插入的可能性。砾石或漂砾是冰碛的主要组成,一般山谷冰川冰碛可分为侧碛、中碛、表碛、底碛、内碛和终碛。其中表碛、内碛和底碛中的砾石,系停积在冰川的表面和被冻结在冰层内部作为冰体组织结构的一部分,在冰川流动过程中各个砾石均作彼此互不相干的线性平行移动,没有互相碰撞、顶进和插入的机会。侧碛和中碛砾石有些虽有互相撞击的机会,但由于冰川运动极为缓慢,所产生的动压力很微小,如据推算,绒布冰川流速仅 3.15mm/h ,比蜗牛爬树还慢。因此对碛石的推挤作用是不明显的,这不仅表现在侧向压应力上,而且在水平剪切力上也都是一样的。至于大陆冰盖其移动速度则更慢。这说明所谓强大冰流对砾石产生巨大压力推挤作用,使砾石互相撞击、顶进和插入的说法是缺乏根据的。然而各种奇形砾石在自然界中是普遍存在的,它们的真正成因是多种多样的,如大兴安岭北部的寒冻风化、庐山和两广的化学风化和生物风化、北京西山和太行山的物理化学风化,同时也与各种砾石的矿物成分、结构构造等有关。因此,必须在野外根据不同环境及不同成因类型进行综合分析和判断,才能真正确定奇形砾石的成因。

三、冰缘作用与冰缘气候

1. 化石冰缘现象

全国各地已发现了不少化石冰缘现象。西部地区如处在喜马拉雅山分水岭地带的达赖盆地,海拔4800—4900m,目前年均温 -3°C ,珠穆朗玛冰期温度将达 -8°C — -10°C ,属冰缘环境,多年冻土发育,冻融作用使土层产生强烈塑性弯曲变形,出现冻融褶曲、土脉和冰(土)楔。希夏邦马北坡海拔4600m的佩枯错阶地Ⅲ上,目前年均温 -2°C ,珠穆朗玛冰期时为 -7°C ,土层反复冻融作用明显弯曲变形,产生冰缘卷曲或冰卷泥。昆仑山区纳赤台附近昆仑河阶地Ⅱ上,砂砾层和黄褐色黄土状堆积物中,也有冻融褶曲。目前纳赤台年均温为 -1°C 左右,冰期低温约 -5°C ,属冰缘环境。可见上述各种化石冰缘现象作为冰缘气候标志是毫无疑问的。

东部地区如阳原县桑干河支流壶流河南岸东窑子头,于泥河湾组河湖相地层中部也有冰卷泥。目前东窑子头年均温 8°C ,推测冰卷泥形成时地表温度为 -2°C — -8°C ,分别较今降低10— 16°C 。桑干河北岸虎头梁泥河湾组地层上部,冻融褶曲与邻近的冻融卷曲和砂(土)楔共生。许家窑菜盖沟泥河湾层中部火山凝灰岩,受冻融作用后亦明显弯曲变形。北京官厅镇和鹿叶坡村之间沟谷北岸离石黄土底部,从已出露部分的弯曲形态看也属冰卷泥。推测冰卷泥形成时温度为 -6°C — -8°C ,比今低16— 18°C 。甘肃石洞寺包兰铁路边坡上,蠕皱状斜层理保存在马兰黄土中,推测为古冻融泥流构造土或缓慢的融雪泥流堆积。因此可作为晚更新世的一种化石冰缘证据。

此外,孙建中^[25]、董光荣^[26]、黎兴国^[27]、黄兴根^[28]、阎永定^[29]和韩淑媿^[31]等分别报导东北、华北及西北地区的类似化石冰缘现象,证明冰缘环境普遍存在。

2. 山地冰缘带和冰缘类型

近几年,相继发表了我国东部地区若干高山一各大区或各大山脉主峰有关冰缘调查的专门报导,对解决东部冰川问题具有重要意义。其中主要包括马街山^[32]、太白山^[33]、五台山^[34]、神农架^[35]、黄岗梁^[36]及白云峰^[24]。这些报告说明,兰州马啣山和马街山山顶不曾有过冰川活动,只发育了现代多年冻土和古冰缘类型,如雪蚀凹地、石海和冻胀石林等,划分了马街山冰缘期和新冰缘期。太白山主峰拔仙台仅比马街山高 142m,山顶有现代多年冻土发育现象。冰期冰缘类型主要为雪蚀凹地、石海、石河及太白期夷平面上残留的先成河河谷。贺兰山及其主峰黄龙山顶也主要是古冰缘现象,不曾有古冰川活动^[37]。五台山是东部诸高山冰缘发育最好的地点。自主峰—叶斗峰以下已划分出五个冰缘带,主要冰缘类型有石流坡、分选环、石海、冻融剥蚀面、石玫瑰、冰缘岩柱和冰缘黄土等。神农架华中顶现生巴山冷杉、杜鹃和野枯草,未达到高山林线上限。冰期时古冰缘主要是石海、石流坡、倒石堆和山麓冰缘黄土。大兴安岭主峰—黄岗梁现有多年冻土,晚更新世以来冰缘堆积物厚达百米。长白山主峰(境内)—白云峰至天池地区亦为冰缘环境,主要冰缘类型有雪蚀凹地、岩屑裙、滑雪槽、石环、石条、冻融泥流和冰缘黄土等。足见东部高山上主要是冰缘作用,而无冰川作用。至于庐山,仅有牯岭(1165m)以上才有冰缘环境,如芦林小盆地的冻融褶曲、电视台周围的寒冻风化碎片和局部坡地块体滑动等,更无任何冰川可能。

3. 冰缘气候的变化和特点

有关关西部山地冰缘气候特征推算结果见表 2。表中说明,西部地区冰缘带范围自南向北有增大之势,温度变化幅度亦有所增加,整个冰缘范围介于 6000—2200m 之间,高差达 3800m,温度达 -5°C 。据前述各种化石冰缘现象分布的位置判断,珠穆朗玛冰期时多年冻土下界可达到 3900m 高度上,西部高原大部分地区都被多年冻土所覆盖。

东部地区据化石冰缘和猛犸象化石分布的南界推论,冰期时纬向多年冻土将达到 38°N — 32°N ,比目前多年冻土南界 48°N 南移了 10° — 16° ,温度降低 12°C 左右,那时,纬度冰缘与山地冰缘将统为一体。再向南逐渐过渡到非冰缘区内的山地冰缘带上,随着纬度的降低,山地冰缘范围不断升高(图 4)。季节性冻土南界达 27°N 以南。冬季寒潮降雪达南海北岸和台湾等地,冰期气候与今不同。

4. 冰缘期与间冰缘期

由于北方广大地区不同时代地层中化石冰缘现象的发现,说明东部和北部北缘气候的存在。据化石冰缘出现的生物地层时代和地质年龄,初步划分东部地区的冰缘期为:早更新世东窑子头冰缘期和藁盖沟冰缘期;中更新世鹿叶坡冰缘期;晚更新世前桑峪冰缘期和虎头梁冰缘期。并分别和喜马拉雅山中段的希夏邦马冰期、聂聂雄拉冰期及珠穆朗玛冰期的基隆寺阶段和绒布寺阶段进行气候期的对比。

四、冰期气候与环境的基本格局

通过前述各部分有关气候雪线、冰川与假冰川、冰缘作用与气候等的论述,使得有可能较合理地编制我国第四纪冰期气候图(图 5)。图中表明,第四纪冰期我国大致以 105°E 为界分为:Ⅰ. 冰川区—西部高原及西北部天山和阿尔泰山;Ⅱ. 非冰川区—东部和北部,Ⅱ₁、冰缘区— 38°N — 32°N 以北地区,Ⅱ₂、非冰缘地区— 38°N 以南地区。

表2 东西部山地现代冰缘带及其气候指标

Table 2 The modern periglacial zones and the climatic index on mountains in eastern and western parts of China

地区	地 点	现代气候雪线		多年冻土 (包括岛状多年冻土) 下界			冰缘带范围		垂直 温度 梯度 (℃/ 100 m)	资料来源据:
		高程 (m)	年均 温 (℃)	高程 (m)	年均 温 (℃)	降水量 (mm)	高差 (m)	温差 (℃)		
西 部 山 地	喜马拉雅中段北坡	6000	-10	>4500	<-2	300	1500	-8	0.65	郭旭东 ^[2]
	念青唐古拉山东南坡	5700	-10	4800	-3	500	900	-7	0.65	郭旭东 ^[2] 补充、推算
	唐古拉山垭口	5500	-10	4300	-5	400	1200	-5	0.65	郭旭东 ^[2] 补充、推算
	昆仑山东段	5500	-10	4400	-5	300	1100	-5	0.65	郭旭东 ^[2] 推算
	祁连山柴达木北山	5500	-13	3300	-3	500	2200	-10	0.60	郭旭东 ^[2] 修正、推算
	天山	4000	-7	2700	-2	400	1300	-5	0.60	郭旭东 ^[2] 修正、推算
	阿尔泰山	3900	-8	2200	-3	400	1100	-5	0.60	张廷军 ^[22] 推算
	马衔山 (兰州)	4500	-6	3600	-3	500	900	-3	0.55	郭旭东(本文) 推算
	太白山	4700	-6	3500	-2	600	1100	-4	0.55	郭旭东(本文) 推算
	五台山	4200	-14	3000	-5	600	1200	-9	0.55	郭旭东(本文) 推算
东 部 山 地	神农架 (华中顶)	5000	-10	3700	-3		1300	-7	0.50	郭旭东(本文) 推算
	大兴安岭 (黄岗梁)	3600	-11	1500	-2		2100	-9	0.60	周幼吾等 ^[13] 推算
	长白山 (白云峰)	3500	-15	1800	-2	1300	1700	-13	0.60	周幼吾 ^[13] 姜善文 ^[24] 推算

在冰川区，第四纪冰川作用主要发生在一些极高山区。在冰川外围为冰缘环境。在非冰川区的冰缘区内，无论山地和平原都是冰缘作用区；在非冰缘区内，平原无冰缘作用，山地有少量存在。冰期极盛阶段，大陆架由于海平面平均下降约200m而变成陆地，海岸外伸最大达 560km，使东部地区大陆度大为增加，黄土线南移达非冰缘区，气候变干燥，多年冻土南界由目前的 50°N 南移12—18°，达到燕山—太行山—秦岭的南麓和北麓；季节性冻土南移5—10°，达到现今的20°N附近；冬季最大的降雪南界将达到南海北岸的广州和台湾省的南部；最大温度下降值：华北北部将达到10—12℃，长江中下游为6—8℃，华南为4—5℃。自然环境北部变化较大，南部较小；高山变化较大，平地变化较小。

五、结 语

通过我国冰期气候和环境的综合定量分析，可得出如下结论：

- 1. 冰期雪线，无论是地形雪线或气候雪线，都是夏天极端高温时积雪的最大高程

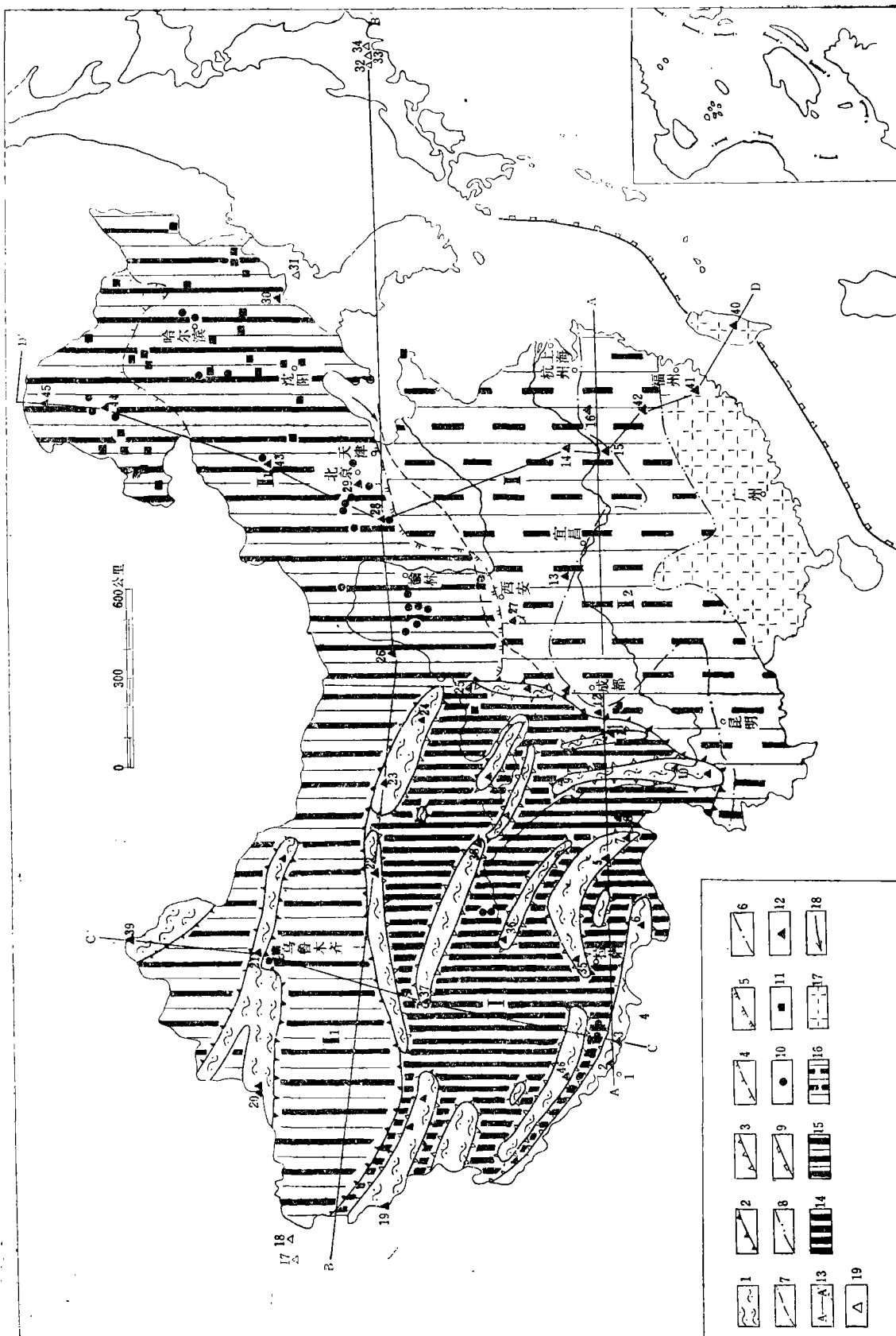


图5 中国第四纪冰期气候基本轮廓图

Fig. 5 The basic outline drawing for climate in the glacial period of the Quaternary in China

说明: 1. 第四纪积雪和冰川区; 2. 第四纪冰川和非冰川区界线; 3. 第四纪冰川活动范围; 4. 现代纬度多年冻土南界; 5. 更新世纬度多年冻土南界; 6. 现代季节性冻土南界; 7. 现代冻结深度为 0.5m 纬度季节冻土南界; 8. 更新世纬度季节冻土南界; 9. 末次冰期最盛阶段海岸位置; 10. 更新世化石冰缘现象地点; 11. 晚更新世猛犸象化石地点; 12. 山峰位置; 13. 综合地形中心剖面线; 14. 更新世高原多年冻土区; 15. 更新世纬度多年冻土区; 16. 更新世纬度季节冻土区; 17. 更新世纬度季节降雪区和南界; 18. 现代海水南界; 19. 国外有关山峰位置。

地名索引: 1. 加德满都 (1335m, 下同); 2. 希夏邦马峰 (8012); 3. 珠穆朗玛峰 (8848); 4. 干城章嘉峰 (8585); 5. 念青唐古拉峰 (7711); 6. 康格多山 (7080); 7. 南迦巴瓦峰 (7756); 8. 阿扎冰川源头 (7000); 9. 鲁里山; 10. 玉龙山 (5596); 11. 贡嘎山 (7556); 12. 螺吉山 (4300); 13. 神农架华中顶 (3105); 14. 大别山 (17774); 15. 庐山 (1474); 16. 天目山 (1841); 17. 共产峰 (7495); 18. 列宁峰 (7134); 19. 乔戈里峰 (8611); 20. 托木尔峰 (74); 21. 博格达峰 (5445); 22. 阿尔金山; 23. 祁连山 (5847); 24. 冷龙岭 (4843); 25. 马街山 (3670); 26. 黄龙山 (3556); 27. 太白山 (3767); 28. 五台山 (3058); 29. 百花山 (1991); 30. 白云峰 (2691); 31. 北水山 (2522); 32. 祁高岳 (3190); 33. 北岳 (3192); 34. 富士山 (3776); 35. 念青唐古拉山; 36. 各拉丹冬峰 (6621); 37. 昆仑山; 38. 木孜塔格峰 (7723); 39. 友谊峰 (4374); 40. 玉山峰 (3950); 41. 戴云山 (1856); 42. 黄冈山 (2158); 43. 营岗梁 (2029); 46. 冷布岗日峰 (7095)。

线; 决不是冬天极端低温气候的产物。由于概念上的误解而作出的长江中下游山地的雪线剖面 and 推论的气候冷槽实际上是不存在的。

2. 现代和冰期气候雪线具明显的经向西高东稍低和纬向南高北低的变化规律: 经向上, 自中喜马拉雅山至庐山, 现代和珠穆朗玛冰期(下称冰期)为 6000—5000m 及 5200—43000m, 两者大致呈自西向东微作倾斜的线性平行关系。即使聂聂雄拉和希夏邦马冰期, 长江中下游山地, 龙其庐山和黄山山体高度, 不但未达到气候雪线高度, 而且亦从未越过森林线上限。自乔戈里峰至富士山, 现代与冰期为 5000—4500m 和 4300—3900m。纬向上, 自中喜马拉雅至阿尔泰山, 现代与冰期为 6000—3100m 及 5200—2600m, 两者呈同倾平行线性关系; 自台湾玉山至大兴安岭黄冈梁分别为 6000—3600m 及 5000(偏大)—3200m, 亦呈同倾平行线性关系。东部其他山地, 现代与冰期气候雪线分别为: 神农架 5000 和 4300m、太白山为 4700 和 4100m、黄龙山 4500 和 3900m、五台山和北京西山为 4200 和 3600m、白云峰 3500 和 3000m, 整个东部山地古今雪线都不存在。

3. 西部高原第四纪冰川主要为山谷冰川、复式山谷冰川、山麓冰川和半覆盖型山麓冰川; 其次为冰斗冰川、悬冰川、平顶冰川、少数冰帽冰川。冰川性质以大陆气候型的大陆性冰川为主; 但中更新世以前西部高原南部发育有较多属海洋气候型的海洋性冰川; 晚更新世以来, 大陆冰川又进一步分化为亚大陆、大陆和极大陆性的三种类型。现代海洋性冰川只限于西藏高原东南部及横断山南部少数地区。第四纪冰川主要分布在一系列高程 4500—5000m 以上的极高山区。冰期次数一般 1—2 次, 少数 3—4 次, 具明显区域性差异。

4. 所谓的冰川奇形石或冰川变形石, 并非冰川作用的静压力和动压力所形成, 其成因是多种多样的, 须具体分析。冰期时中国东部地区不可能出现冰川。

5. 冰期时中国北部和东部地区是属于非冰川区的冰缘环境, 各种冰缘现象普遍发育。可以划分出多次冰缘期和间冰缘期的气候交替变化。

6. 冰期气候下气候雪线、多年冻土界限、森林线、冰缘带等普遍下降或南移。西部高原南部气候雪线下降 500—700m, 温度下降 5—6℃; 北部下降 400—500m 和 4—5℃。东部地区的北部, 雪线可能下降 1800m 和 9℃, 地面降温 10—12℃; 长江中下游区降温 6—8℃, 热带地区降温约 4—5℃, 海面下降, 海水退出, 岸线外延, 大陆度

升高，东部大陆气候变干。在干冷气候下冬季降雪线南界达台湾和两广海岸带。

参 考 文 献

- [1] 郭旭东：论中国第四纪气候的基本格局，《第四纪地质问题》，科学出版社，1976。
- [2] 郭旭东：中国第四纪气候的初步研究，《冰川冻土》，第6卷，第1期，1984。
- [3] 郭旭东、严富华等：从模式口“冰川遗迹”看北京西山第四纪冰川作用发生的可能性，《冰川冻土》，第2卷，第2期，1980。
- [4] 李四光：《地质力学概论》，地质出版社，1962。
- [5] 白明辉：《第四纪冰川地质调查方法》，地质出版社，1982。
- [6] 杨怀仁：中国东部第四纪环境的变化，《南京大学学报》，第1期，1980。
- [7] 杨怀仁：雪线变化与中国第四纪冰期，《第四纪冰川与第四纪地质论文集》，科学出版社，1984。
- [8] 杨怀仁：《中国自然地理》，地貌分册，第四纪冰川部分，科学出版社，1981。
- [9] 郭旭东：中国西藏南部珠穆朗玛峰地区第四纪气候的变迁，《地质科学》，第1期，1974。
- [10] 中国科学院西藏综合科学考察队：《西藏地貌》，科学出版社，1983。
- [11] 南京大学地理系地貌教研室：《中国第四纪冰川与冰期问题》，科学出版社，1974。
- [12] 中国科学院登山科学考察队：《天山托木尔峰地区的冰川与气象》，新疆人民出版社，1985。
- [13] 萨瓦连斯基等：《工程地质手册》，144页，地质出版社，1959。
- [14] 李四光：《中国第四纪冰川》，地质出版社，1971。
- [15] 施雅风、张祥松：喀拉昆仑山巴托拉冰川的近代进退历史变化，《地理学报》，Vol.33, No.1, 1978。
- [16] 刘潮海、王立伦：阿尔泰山哈拉斯河流域冰川遗迹与冰期的初步探讨，《冰川冻土》，Vol.5, No.4, 1983。
- [17] 崔之久：论天山乌鲁木齐河源的冰川和冰斗，《冰川冻土》，Vol.3, 特刊，1981。
- [18] 苏珍、郑本兴、施雅风：托木尔峰地区第四纪冰川遗迹及冰期的划分，《托木尔峰地区的冰川与气象》，新疆人民出版社，1985。
- [19] 李吉均等：贡嘎山冰川观察，《横断山考察专集》，云南人民出版社，1983。
- [20] 任美镔：丽江玉龙山地貌的初步研究，《云南大学学报》，1957。
- [21] 罗来兴等：川西滇北地貌形成探讨，《地理集刊》，第5号，1983。
- [22] 张廷军等：我国阿尔泰山雪盖对多年冻土下界的影响，《冰川冻土》，Vol.7, No.1, 1985。
- [23] 周幼吾：我国多年冻土的主要特征，《冰川冻土》，Vol.4, No.1, 1982。
- [24] 裘善文：长白山的冰缘地貌，《冰川冻土》，Vol.3, No.1, 1981。
- [25] 孙建中：松辽平原的冰缘期，《地理科学》，Vol.1, No.2, 1981。
- [26] 董光荣：鄂尔多斯高原晚更新世以来的古冰缘现象及其气候地层意义，《地理研究》，Vol.4, No.1, 1985。
- [27] 黎兴国：内蒙扎赉诺尔露天矿冰缘现象及其地质时代的初步探讨，《冰川冻土》，Vol.4, No.3, 1982。
- [28] 黄兴根、焦振兴等：河北涿鹿第四纪冰缘现象及其意义，《中国东部地区第四纪冰川冰缘学术会议论文集》，1985。
- [29] 阎永定：陕西渭南北庄村冰碛层的质疑——对北庄村冰期的修订，《冰川冻土》，Vol.4, No.3, 1982。
- [30] 韩淑妮、叶玮：乌鲁木齐仓房沟地区晚更新世冰缘与冰期对比，《中国东部地区第四纪冰川冰缘学术会议论文集》，1985。
- [31] 任炳辉：兰州地区附近山地第四纪冰川和冰缘问题，《冰川冻土》，Vol.4, No.4, 1981。
- [32] 田泽生：太白山第四纪冰川遗迹的探讨，《西北大学学报》，No.3, 1981。
- [33] 朱景湖、崔之久：五台山冰缘地貌的基本特征，《冰川冻土》，Vol.6, No.1, 1984。
- [34] 高凤岐：神农架的古石海，《冰川冻土》，Vol.5, No.4, 1983。
- [35] 谢又予：大兴安岭主峰黄岗梁地区晚更新世以来的冰缘沉积环境，《冰川冻土》，Vol.6, No.4, 1984。
- [36] 崔之久：《中国自然地理》，地貌分册，第四纪冰缘部分，科学出版社，1981。
- [37] 周本雄：披毛犀和猛犸象的地理分布、古生态与有关的古气候问题，《古脊椎动物与古人类》，Vol.16, No.1, 1978。
- [38] 扎比洛夫：《帕米尔高原的冰川》，顾嗣尧译，1959。
- [39] Kaisser K.: The Climate of Europe during the Quaternary Ice Age, Quaternary Geology and Climate, NAS, 1969。
- [40] Washburn A.L.: Geocryology—A survey of periglacial processes and environments, 1979。
- [41] Додонов, Антропоген южноло Таджикистана, Наук, Труды вып.409, 1986。
- [42] 桥本诚二：日本的山岳，日本的自然，p.88—94, 1983。

AN APPROACH TO THE CLIMATE AND ENVIRONMENT IN THE GLACIAL PERIOD OF THE QUATERNARY IN CHINA

Guo Xudong

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

Key words: Quaternary; Climate in glacial period; Snow line

ABSTRACT

Both topographic snow line and climatic snow line are the highest line of snow cover in extremely high temperature in summer, not the product of extremely low temperature climate in winter. Through the comprehensive and quantitative analysis of the climate and environment in the glacial period in China, it is considered that the eastern and northern parts of China in the Quaternary belonged to the periglacial environment in non-glacial zones. There was no cold trough in the middle and lower reaches of the Changjiang River. And the mountain height never went beyond the upper limit of forest line.

环境科学研究的实践

黄锡畴 王稔华 张学林

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 8(2), P101, 参120, 1988

本文从 1.环境背景值; 2. 环境中化学元素迁移转化规律; 3.环境中污染物的迁移转化规律; 4.地方病环境病因; 5.环境分析方法; 6.环境制图; 7.环境经济等7个部分总结回顾了长春地理研究所近20年从事环境科学研究的实践及取得的进展和成就。

.....

中国第四纪冰期气候与环境探讨

郭旭东

(中国科学院地质研究所, 北京)

地理科学 8(2), P114, 图6, 表2, 参43, 1988

本文对我国第四纪冰期气候和环境进行了综合定量分析, 澄清了冰期雪线的概念, 研究了现代和冰期气候雪线的变化规律, 认为冰期对中国北部和东部均属非冰川区的冰缘环境。

.....

三江平原沼泽辐射平衡与小气候基本特征

刘兴士

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 8(2), P127, 图7, 表5, 参8, 1988

本文利用在三江平原沼泽地和开垦后裸地有关辐射平衡与小气候的大量实测数据, 探讨沼泽表面辐射平衡的变化规律, 并且用热平衡台站规范方法和土柱热含量方法计算土壤热通量, 进而分析沼泽土壤温度和贴地气层温湿度的基本特征及开垦后小气候环境的演变, 为合理开发利用和保护沼泽提供重要的科学依据。

近三十年黄淮海降水演变特征

许孟英

(中国科学院地理研究所, 北京)

地理科学 8(2), P136, 图4, 表3, 参1, 1988

本文根据1951—1980年黄淮海地区50个气象站逐月降水资料, 采用等级划分方法, 分为五个等级, 即多、偏多、正常、偏少、少。分析五种降水月出现频数, 不同季节多雨月和少雨月次的年际变化, 以及降水的周期变化。

.....

农业地域类型划分的聚类分析

姚建衡

(中国科学院地理研究所, 北京)

地理科学 8(2), P146, 图4, 表4, 参9, 1988

本文应用R型主因子法作农业地域类型形成的自然地理要素分析和综合指数构造, 在聚类分析基础上划分综合农业地域类型。

.....

城市总体规划中的风象原则

周一星

(北京大学地理系)

地理科学 8(2), P156, 图3, 表1, 参19, 1988

本文按四个阶段综述了城市总体规划中的风象原则的发展过程。作者主张先考察一个城市的静风频率, 然后分析风的指数和污染机率, 最后在城市功能分区中应用图1的城市布局典型图式。