

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2017.0327

LI Jijun, ZHOU Shangzhe. What glacier is the “ultra-maritime glacier”? A discussion with Professor Jing Cairui[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(1): 1-6. [李吉均, 周尚哲. 极海洋型冰川是什么冰川——与景才瑞先生商榷[J]. 冰川冻土, 2018, 40(1): 1-6.]

极海洋型冰川是什么冰川 ——与景才瑞先生商榷

李吉均^{1,2}, 周尚哲³

(1. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210023;
3. 华南师范大学 地理科学学院, 广东 广州 510631)

摘 要: 施雅风和谢自楚曾将中国现代冰川分为极大陆型冰川、亚大陆型冰川和海洋型冰川。这个分类方案因符合中国现代冰川的基本特征而得到广泛承认与应用。近年, 景才瑞提出“极海洋型冰川”的概念, 示意第四纪冰期时中国东部中低山地既然不存在基本的冰川类型, 则可能存在一种比海洋型冰川更加高温湿润的特殊冰川。本文认为, 这样类型的冰川是不存在的。海洋型冰川已经涵盖了处于融点冰温的临界冰川, 即使再多的降水, 也不能在正温条件下演变成冰川。故“极海洋型冰川”的概念是不能成立的。第四纪环境研究表明, 冰期时大陆架广泛出露, 西伯利亚-蒙古高压强迫下的冬季风加强, 中国东部气候是朝着更加干旱的方向变化的, 其海洋型特征也要大大降低。

关键词: “极海洋型冰川”; 冰川分类问题; 干旱的冰期气候

中图分类号: P343.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2018)01-0001-06

0 引言

中国东部中低山地第四纪冰川问题争论再掀波澜。伴随“冰白-冰川论”, 又兴起山东中低山地冰川说, 以局部来支持泛冰川乃至泛冰盖观点。与此同时, 有学者也试图“构建”新的冰川学理论来为中国东部中低山地古冰川开拓存在空间。近年, 景才瑞等^[1]提出一个“极海洋型冰川”的概念, 示意在海洋型冰川之外, 可能存在一种更加温暖湿润的极海洋型冰川。他在文章的摘要里说: “最近一些新的研究成果迭出, 很有再一次论述其分布与冰川类型的必要, 如极大陆型冰川、亚大陆型冰川、极海洋型冰川、亚海洋型冰川等等”。他又说: “刘东生院士所提出‘低海拔型古冰川’, 就应该是属于极海洋型古冰川”。“极海洋型冰川”的概念涉及到冰川分类的一些基本理论问题。对此, 我们不能不对冰川分类研究进行一番回顾和分析, 看看到底是否有理由存在这样一种冰川类型。

1 关于冰川分类

文献中较早提出冰川分类方案的学者是 Lagally^[2], 1932年, 他根据冰川的温度及其季节变化将冰川分为暖型、过渡型和冷型三类。随后, Ahlmann^[3]在1935年提出一个地带性分类方案, 即温带(temperate)冰川、亚极地(sub polar)冰川和高极地(high polar)冰川三类。这两种分类在冰川物理性质上基本是相互对应的。温带冰川即相当于暖冰川, 都是指整体处于融点温度(0℃)、融水渗浸再结晶作用旺盛、仅在冬季表层处于负温的冰川; 高极地冰川即对应于冷型冰川, 是指整体处于负温、积累区由很厚很低负温的粒雪组成的压力成冰作用形成的冰川。亚极地和过渡型都是介于二者之间的类型。

但是, 中亚一带, 发现不少冰川既不能归入温带冰川范畴, 亦与极地冰川不同。就冰温来说是冷冰川, 但却无极地冰川那样厚的粒雪, 而且冰融水

收稿日期: 2017-12-05; 修订日期: 2018-01-11

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41330745; 41171014)资助

作者简介: 李吉均(1933-), 男, 四川彭县人, 教授, 中国科学院院士, 地理与地貌学家, 冰川学家, 主要从事冰川学、地貌学、第四纪以及干旱区人地关系等方面的研究工作. E-mail: Lijj@lzb.ac.cn

通信作者: 周尚哲, E-mail: szzhou@sncu.edu.cn.

特别活跃。前苏联学者 П. А. 舒姆斯基在 1947 年就论述过在海洋性及大陆性气候条件下冰川所具有的不同特点。另一位前苏联学者 Г. А. 阿夫修克在 1955 年的分类方案中,除了将极地冰川分为干极地型、湿极地型、冷湿型之外,针对中、高纬度,还提出了大陆型冰川和海洋型冰川的概念。大陆型冰川指降水稀少而主要靠低温生存的内陆冰川,海洋型冰川指较高负温条件下受惠于海洋气流而补给丰沛的冰川。

于是我们可以看出,冰川分类研究有一个从冰川的温度和成冰作用向地带性,再向气候类型联系的发展过程。这表明了研究者试图在冰川和地理环境之间建立紧密关系的意图。但是,纬度和气候因素最终表现为冰川的物理参数,即热力学参数和成冰作用特征。所有分类方案中所要把握的即是这些物理参数。上述几种分类方案从物理性质上讲,包括了所有冰川,其一端是极端寒冷干燥条件下的低温冰川,另一端是温暖湿润条件下接近融点温度的冰川。譬如气温达到零下 55 °C 的南极腹部,降水只有 20 ~ 30 mm,那里的成冰过程没有融水参与,全靠粒雪化、烧结、压力成冰等作用^[4]。南极大冰盖积累区 Vostok 冰层温度也由表层 -55 °C 向下大体呈线性升高,至 3 500 m 深处接近融点,格陵兰冰盖积累区 GISP 的冰温从表面直至 2 000 m 深处都是 -30 °C,以下至 3 000 m,上升到接近融点^[5]。而所谓整体处于融点(0 °C)温度的温冰川已经到了固态水的上限。

中国开始西部现代冰川研究就很重视冰川的物理性质,自然将前苏联学者提出的大陆型冰川和海洋型冰川概念引入。施雅风和谢自楚在《中国现代冰川的基本特征》^[6]一文中写道:“中国内部山地冰川与苏联中亚山地冰川相比,具有更加突出的大陆型特征,而边缘山脉冰川特征则与后者近似,因此,有必要将它们加以区别……李吉均将中国西部(主要是内陆)冰川称为大陆性冷型冰川,崔之久称其为大陆型干燥气候下的高位山地冰川,也有一些

同志(郑本兴、许世远)曾将祁连山及中国天山东西两段冰川分别分为干燥的大陆型及湿润的大陆型两种。我们认为将中国内部冰川称为极大大陆型冰川更为恰当。而苏联中亚及中国西部边缘山脉冰川称为亚大陆型,前者才是真正典型的大陆型冰川,而后者为海洋型与典型的大陆型冰川之间的过渡类型。”这就是景才瑞所说的极大大陆型、亚大陆型、海洋型三类冰川划分的由来^[1]。施雅风和谢自楚的文章说得很清楚,他们所提出的极大大陆型冰川才是真正典型的大陆型冰川,而亚大陆型冰川只是过渡类型。这表明著者并未提出超然于大陆型冰川之上的另一种冰川,只是将中国西部大陆型冰川细化并赋予一个新名称而已。施雅风和谢自楚的文章在指出中国西部大部分冰川属于大陆型冰川的同时,也指出“唯有西藏东南部山区的某些冰川可能属于海洋型”,表明了中国西部虽然只涉及中低纬度的青藏高原及其周边山脉,但已包括了比较齐全的冰川类型。

为了便于比较归类,我们将这些分类方案归纳于表 1,可以明了,研究者着眼于其不同的物理特征、纬度地带和气候条件而赋予不同的名称,但相互间却有紧密的联系。特别是海洋型冰川,就其整体温度来说更趋向于温带冰川或暖冰川,被定义为处于融点冰温的冰川。而较低冰温的冰川,又可依据其温度和干湿条件进一步细分。H. W. Almann 的分类虽然冠以纬度地带的概念,实则冰川的性质并不完全为纬度地带所限定,即使北极圈附近也发育温带(即海洋型)冰川,如冰岛一些冰川。而低纬度地区也发育亚极地型(大陆型)冰川,如北纬 28° 的喜马拉雅绒布冰川^[7]。由于冰川的性质直接地取决于气温的高低和固态降水的多寡,故而并不单独决定于纬度,而是受海陆条件、环流形式和海拔高度的深刻影响。现在,我们干脆称 temperate glacier 为“温冰川”^[8-9],与“暖冰川(warm glacier)”的含义完全一致。抑或在地带或区域名称之后加个“型”字,表示其代表一种类型而不至于区域。

表 1 冰川物理-气候分类

Table 1 Glacial physical-climate classification

类型方案			作者	年份
冷型	过渡型	暖型	M. Lagally	1932 年
高极地	亚极地	温带	H. W. Almann	1935 年
	大陆型	海洋型	П. А. 舒姆斯基	1947 年
干极地型	湿极地型	冷湿型	Г. А. 阿夫修克	1955 年
	大陆型	海洋型	施雅风、谢自楚	1964 年
极大大陆型	亚大陆型	海洋型		

经过 20 世纪 70 年代综合科学考察, 李吉均划定了青藏高原现代大陆型冰川和海洋型冰川的界限^[10]。指出此线“北起丁青与索县之间唐古拉山东段的主峰布加冈日(6 328 m), 详细经嘉黎、工布江达、直抵错美。此线以东为西藏海洋型冰川分布地区, 东延可至川西、颠北, 包括贡嘎山、雀儿山以及梅里雪山、玉龙雪山等均属我国海洋型冰川分布的主要地区。此线以西为大陆型冰川分布地区。但在喜马拉雅山南坡的许多冰川, 由于受印度洋季风的强大影响, 仍属于海洋型冰川。”鉴于西喜马拉雅山南坡的降水主要在冬半年, 属于地中海型降水, 李吉均又提出把藏东南以东的冰川称作季风海洋型冰川, 而把西喜马拉雅南坡、喀喇昆仑山等地的冰川称作西风海洋型冰川。而依据环流影响范围, 将大陆型冰川分为季风大陆型冰川和内陆大陆型冰川, 界限大体从高原北部酒泉附近向西南延伸至高原南侧的加德满都。在该书中, 作者将青藏高原大陆型冰川和海洋型冰川的区分标志列了 18 条, 最显著而又便于识别的标志, 是雪线附近的年均气温和年固态降水量。例如, 藏东南季风海洋型冰川(如察隅阿扎冰川、波密则普冰川)平衡线附近的年均气温可达 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 降水量达 $3\ 000\ \text{mm}$ ^[7]。而内

陆大陆型冰川(如祁连山西段大雪山、帕米尔慕士塔格-公格尔山)平衡线附近的年均气温却下降至 $-13\sim-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 降水量只有 $300\ \text{mm}$ 上下^[6]。

实际上, 就冰川的地球物理性质而言, 单一性质非此即彼的冰川分类方式过于简单。2010 年出版的《The physics of glaciers》第 4 版写道: “一条冰川从上到下物理参数是变化的, 很少有冰川能归于单一的类型。这样, 与其试图将整个冰川归类, 莫如在一条冰川上划分不同的带”^[11]。20 世纪中叶, 1961 年 Benson^[12] 和 1962 年 Müller^[13] 根据成冰作用进行了冰川分带的研究。他们提供了一个标准的冰川带谱模式, 冰川平衡线以上的积累区从上到下划分出所谓干雪带、渗浸带、湿雪带、附加冰带, 平衡线以下为消融区。自上而下各带之间的界限分别为干雪线、湿雪线、雪线和平衡线。前苏联冰川学家 П. А. 舒姆斯基 1964 年基于不同成冰作用过程又提出, 一条完整的冰川自顶部到末端可划分为重结晶带或雪带、再冻结-重结晶带、冷渗浸-重结晶带、暖渗浸-重结晶带、渗浸带、渗浸-冻结带和消融带。这两种分带也有一个基本的对应关系(表 2)。

当然, 一般山地冰川并不一定具备这样齐全的

表 2 冰川带谱
Table 2 Zones of a glacier

干雪带		渗浸带		湿雪带	附加冰带	消融带	Benson & Müller
重结晶带或雪带	再冻结-重结晶带	冷渗浸-重结晶带	暖渗浸-重结晶带	渗浸带	渗浸-冻结带	消融带	П. А. 舒姆斯基

带谱, 中国的大陆型冰川很少存在干雪带^[14]。亚洲冰川干雪带似乎只在西帕米尔的共产主义峰(7 495 m)6 000 m 以上观察到, 中国境内的喀喇昆仑山和昆仑山地区的大冰川最高处的成冰作用多为冷渗浸-重结晶^[15]。而平衡线达 6 200 m 的珠峰绒布冰川积累区直到冰川顶部都不像 П. А. 舒姆斯基所预言的那样有干雪带^[10], 这是因为低纬度辐射强的缘故。而被公认为温冰川(即海洋型)的阿尔卑斯冰川, 高海拔积累区并非温冰川性质, 如勃朗峰(4 807 m), 顶部有干雪带存在^[16]。另外, 在喀喇昆仑山冰川研究中, 施雅风等发现, 长达 59.2 km, 面积 258 km² 的巴托拉冰川, 源头 7 795 m 下降到冰舌末端 2 500 m, 跨越几个气候带, 平衡线附近年降水高于 1 000 ~ 1 300 mm, 冰舌上段 4 500 m 左右 4.7 m 深处冰温为 $-1.5\sim-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而至末端 8 m 深度内均为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冰流速度最大处达 $517.5\ \text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。这样的冰川既不适宜于归入大陆型冰川,

也不适于归入海洋型冰川, 另定为复合型(complex type)冰川^[17]。复合型即现在所称多温型冰川(poly-thermal glacier)。阿尔卑斯山勃朗峰海拔 4 785 m 处 15 m 深冰温为 $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, 海拔 3 960 m 处 15 m 深冰温为 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而在下部消融区, 冰川主体仍然是处于融点的^[11]。这和中喜马拉雅山北坡属于大陆型的达索普冰川($28^{\circ}23'\ \text{N}$, $85^{\circ}43'\ \text{E}$)雷同, 后者粒雪线高度为 6 200 m 左右, 积累区海拔 7 000 m 处年净积累量超过 700 mm, 10 m 深处冰温接近 $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冰川底部的冰温为 $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[18]。

以上可知, 就世界范围来说, 两种冰川都不排除齐全的带谱, 积累区冰温也都可以很低。而事实上, 中国大陆型冰川积累区上部多由冷渗浸-重结晶开始, 而海洋型冰川多由暖渗浸-重结晶带开始。

冰川越小, 带谱越简单。正在诞生的冰川, 必然最先形成最低的带谱——渗浸-冻结带, 随着气温降低和冰川扩大, 依次增加以上其他带谱; 处于

退缩过程的冰川,其带谱必然由上到下地消亡,如天山乌鲁木齐河源1号冰川,最高处20世纪60年代的冷渗浸-重结晶带于80年代末消失而代之以渗浸带^[19]。濒临消亡的冰川,其积累区最后的阶段势必也只剩渗浸-冻结带。即使是大陆型冰川,此时也会成为暖冰川。如今包括青藏高原及周边山地在内的全球范围内,积累区单一带谱型的山地小冰川数不胜数。

因此,现代冰川无疑包括了所有类型的冰川,既包括了带谱齐全的大冰川,也包括了带谱单一的临界冰川,想象冰期中存在超越于现代冰川的特殊冰川类型,是没有道理的。

2 “极海洋型冰川”概念不能成立

对冰川带谱的认识并不否定大陆型冰川和海洋型冰川的分类,而使我们这两类冰川的了解更加全面深刻。无论哪种冰川,其发育的初级阶段是多年积雪,故必须在雪线(snow line)以上。这是一个硬前提。通过成冰作用演变成冰川后,产生冰川物质平衡线(equilibrium line),其平衡线大致位于雪线附近(略低)。故而,人们常将平衡线与雪线混用。

简而言之,无论大陆型冰川还是海洋型冰川,都是负温环境下足够固态降水的产物。二者的区别就在于降水量的多寡。负温地区,只要多年固态降水达到足以维持物质平衡的必要水平,就能产生和发育冰川;在此前提下,降水量少则发育为规模较小的大陆型冰川,降水量多则发育为规模较大的海洋型冰川。换句话说,如果祁连山有3 000 mm以上的降水,那里的大陆型冰川就会扩展为海洋型冰川;如果藏东南降水减少到500 mm,那里的海洋型冰川也会缩小为大陆型冰川。

现在世界上海洋型冰川的分布主要由大气环流所输送的降水量决定而与纬度无关,譬如冰岛、斯堪的纳维亚半岛、阿尔卑斯山、阿拉斯加和太平洋沿岸高山、南安第斯山、新西兰等地大量分布海洋型冰川。然而,和喜马拉雅山的情形一样,往往在暖湿的迎风坡发育海洋型冰川,而在干燥的背风坡发育大陆型冰川。如地处60° N的阿拉斯加沿海岸山脉,南坡降水可达4 000 mm,平衡线300~800 m,冰川末端伸入海洋,而背风坡平衡线1 800~1 900 m,冰川末端1 000 m上下。地处45° S附近的新西兰南阿尔卑斯山(主峰库克峰3 764 m),西北侧的降水达2 500 mm,冰川平衡线

1 850~2 100 m上下,冰川末端215 m。而东南侧的降水750 mm,平衡线2 300~2 400 m,冰川末端720 m。

海洋型冰川由于供养充足,必然意味着下伸海拔低、运动速度快、新陈代谢迅速,侵蚀搬运和堆积的能力相对要强。两条同样大小和形状的冰川,如果区域降雪量相差5倍,则意味着海洋型冰川比大陆型冰川的运动速度即新陈代谢速度快5倍,或者不计蒸发等其他损失的情况下,前者的融水径流量要大于后者5倍。如果这个海洋型冰川变为大陆型冰川,即它的面积会缩小成原来的1/5。即使这样,仍然必须具备负温条件下的积累区。冰川学中有一个“冰川作用正差”的概念,是指平衡线以上到山顶的垂直距离,是决定冰川发育和大小的基本因素。如果东部中低山地曾存在山地海洋型冰川,其临界条件也是必须具备平衡线以上一定高度的“冰川作用正差”以形成积累区。舍此,任何在平衡线之下寻求冰川的企图都是缘木求鱼。这是我们理解古冰川、之所以要遵循将今论古原则的基本根据。但是,以前就有人以横断山和藏东南的冰川下伸到森林为由,诘问:庐山黄山都是森林,怎能说无古冰川存在?这就是执其一端不及其余的盲问。古人说得对“不齐其本而齐其末,方寸之木可使高于岑楼”!

还有一个不能忽略的因素,亚洲是世界上最强大的季风控制区,造就雨热同季型气候。降水集中于夏半年,这和降水集中于冬半年的地中海型气候相反。冰川的形成是一个下半年不能够完全消化冬半年的积雪,而使之不断累加、变质成冰的过程。同样夏半年消融,在地中海气候区却要面对更多的冬半年积雪,而亚洲季风区冬季薄层积雪很快能消融殆尽。故而,在东亚季风区形成低海拔冰川的或然性很小。

中国东部中低山地长期以来发现的形形色色的所谓第四纪冰川证据如“U形谷”、“冰斗”、“泥砾”、“漂砾”、“冰臼”之类,完全可以用构造、流水侵蚀、风化、重力作用、泥石流等山地地貌过程解释清楚,无须舍近求远诉诸于古冰川作用。泛冰川说与迄今得到的包括风化特征、沉积记录、动植物演变等诸多方面的环境证据也不相协调,也与根据太白山、台湾高山、长白山、日本高山等有真实冰川遗迹的高山恢复的古雪线高度互相矛盾。

研究表明,冰期时气候干旱。以末次冰期为例,海平面较今低130 m以上,大陆架广泛出露,

中国东南大陆范围较现在延伸 500 km 左右, 大陆度增加。加强的西伯利亚-蒙古高压导致冬季风强盛而夏季风萎缩, 沙漠黄土肆虐扩张。中国东部冰期环境与今日比较, 海洋型气候特征是大为削弱的。这很不利于“极海洋型冰川”的构想。

景才瑞先生所谓“新的研究成果迭出”, 是什么研究成果呢? 实则是指山东一带发现的很难站得住脚的所谓“第四纪冰川遗迹”。是根据这些“成果”要求将冰川重新分类。其实, 提出所谓“极海洋型冰川”这一概念, 是中国东部泛冰川论者心仪已久的宿愿。早在 20 世纪 80 年代, 就有学者宣称: “庐山的古冰川是一种很薄、运动速度很快、作用能很大的冰川”。也有人说: “不能根据西部冰川研究来否定东部第四纪冰川”, “不能用西部典型冰川的标准来否定东部非典型古冰川的存在”, 等等。他们潜意识中一直存在着一种异乎寻常的冰川类型。这实际上说明, 泛冰川论者自己也承认, 他们的观点与正常的冰川学理论是不相容的。

最后, 景才瑞先生文中对肯定或否定中国东部庐山等中低山地古冰川作用似乎都不赞成, 认为谁要做出结论, 就违反了“学无止境”的原则。他批评施雅风“得出了否定的定论, 有点关门之意了。岂不知学无止境, 百家争鸣永远不会结束的”。我们认为, 学无止境不错, 但东部古冰川遗迹的是非问题解决不可能没有止境, 就像一桩官司, 不能以学无止境为由而主张让当事人永远诉讼下去。

参考文献 (References):

- [1] Jing Cairui, Jie Yi, Jing Gaoliao. On the history of China Quaternary glaciation research[J]. *Journal of Huazhong Normal University: Natural Sciences*, 2010, 44(2): 330-336. [景才瑞, 揭毅, 景高了. 论中国第四纪冰川研究的历史[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 44(2): 330-336.]
- [2] Lagally M. Zur thermodynamik der gletscher[J]. *Zeit. fur Gletscherkunde*, 1932, 20(4/5): 199-214.
- [3] Ahlmann H W. Contribution to the physics of glaciers[J]. *Geographical Journal*, 1935, 86(2): 97-107.
- [4] Qin Dahe, Ren Jiawen. Antarctic glaciology[M]. Beijing: Science Press, 2001. [秦大河, 任贾文. 南极冰川学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 29-33, 65-69.]
- [5] Cuffey K M, Paterson W S B. The physics of glaciers[M]. 4th ed. Elsevier, 2010: 13, 409, 415.
- [6] Shi Yafeng, Xie Zichu. The basic characteristics of modern glaciers in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1964, 30(3): 183-208. [施雅风, 谢自楚. 中国现代冰川的基本特征[J]. *地理学报*, 1964, 30(3): 183-208.]
- [7] Li Jijun, Zheng Benxing, Yang Xijin, et al. Glaciers of Xizang (Tibet)[M]. Beijing: Science Press, 1986: 37-40. [李吉均, 郑本兴, 杨锡金, 等. 西藏冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 37-40.]
- [8] Qin Dahe, Yao Tandong, Ding Yongjian, et al. English-Chinese dictionary of cryospheric science[M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2016. [秦大河, 姚檀栋, 丁永建, 等. 英汉冰冻圈科学词汇[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2016.]
- [9] Qin Dahe, Yao Tandong, Ding Yongjian, et al. Glossary of cryospheric science[M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2016. [秦大河, 姚檀栋, 丁永建, 等. 冰冻圈科学辞典[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2016.]
- [10] The Glacier Research Department of Lanzhou Institute of Glaciology, Geocryology and Desert, Chinese Academy of Sciences. The basic features of glacier in Mt. Everest region southern Tibet China[J]. *Science in China*, 1974, 17(4): 383-400. [中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所冰川研究室. 我国西藏南部珠穆朗玛峰地区冰川的基本特征[J]. *中国科学*, 1974, 17(4): 383-400.]
- [11] Cuffey K M, Paterson W S B. The physics of glaciers[M]. 4th ed. Elsevier, 2010: 13, 409, 415.
- [12] Benson C. S. Stratigraphic studies in the snow and firn of the Greenland Ice Sheet[J]. *Folia Geographica Danica*, 1961, 9: 13-37.
- [13] Müller F. Zonation in the accumulation area of the glaciers of Axel Heiberg Island, NWT, Canada[J]. *Journal of Glaciology*, 1962, 4(33): 302-311.
- [14] Huang Maohuan. The physics of Glaciers[M]//Shi Yafeng, Huang Maohuan, Yao Tandong et al. Glaciers and their environments in China: the present, past and future. Beijing: Science Press, 2000: 54-78. [黄茂桓. 冰川物理[M]//施雅风, 黄茂桓, 姚檀栋, 等. 中国冰川与环境: 现在、过去和未来. 北京: 科学出版社, 2000: 54-78.]
- [15] Xie Zichu, Liu Shiyin, Su Zhen, et al. Thermal-water regime and ice formation in Karakorum-Kunlun Mountains[M]//Su Zhen, Xie Zichu, Wang Zhichao. Glaciers and Environment of the Karakorum-Kunlun Mountains. Beijing: Science Press, 1998: 38-57. [谢自楚, 刘时银, 苏珍, 等. 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川的水热状况及成冰作用[M]//苏珍, 谢自楚, 王志超. 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川与环境. 北京: 科学出版社, 1998: 38-57.]
- [16] Liboutry L, Briat M, Creveur M, et al. 15m deep temperatures in the glaciers of Mont Blanc (French Alps)[J]. *Journal of Glaciology*, 1976, 16(74): 197-203.
- [17] Shi Yafeng, Huang Maohuan, Ren Binghui. The overview of glaciers in China[M]. Beijing: Science Press, 1988. [施雅风, 黄茂桓, 任炳辉. 中国冰川概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988.]
- [18] Yao Tandong, Wang Ninglian, Tian Lide, et al. The climatic and environmental records on cryosphere[M]//Qin Dahe, Yao Tandong, Ding Yongjian, et al. Introduction to cryospheric science. Beijing: Science Press, 2017. [姚檀栋, 王宁练, 田立德, 等. 冰冻圈内的气候环境记录[M]//秦大河, 姚檀栋, 丁永建, 等. 冰冻圈科学概论. 北京: 科学出版社, 2017.]
- [19] Xie Zichu, Liu Chaohai. Introduction to glaciology[M]. Shanghai: Shanghai Science Popular Press, 2010. [谢自楚, 刘潮海. 冰川学导论[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010.]

What glacier is the “ultra-maritime glacier”? A discussion with Professor Jing Cairui

LI Jijun^{1,2}, ZHOU Shangzhe³

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. School of Geographic Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Shi Yafeng and Xie Zichu have classified the contemporary glaciers of China into ultra-continental glacier, sub-continental glacier and maritime glacier. This classification has been widely accepted and applied because it accords with the essential characteristics of Chinese glaciers. Recently, Professor Jing Cairui proposes a new term, “ultra-maritime glacier”, to support the hypothesis of glaciations of the East China, meaning that even if the regular glaciers were not present on the middle-lower mountains in East China during Quaternary, there would exist a special kind of glaciers that were more warm and more humid than maritime glaciers. It is difficult to think such glacier is present in the world, because the term “maritime glaciers” contains all the glaciers with 0 °C temperate ice and it is impossible for water to crystallize into glacial ice under the temperature higher than 0 °C even more precipitation. So the concept “ultra-maritime glacier” is invalid. In addition, a lot of studies on Quaternary environment have indicated that in ice ages, continental shelf exposed extensively, the winter monsoon was dominant forced by the intensified Siberia-Mongolia high pressure. So the climate shifted to drier and the maritime climate was weakened during ice ages in the East China.

Key words: “ultra-maritime glacier”; glacial classification; dried climate in ice ages

(本文编辑: 周成林)