

青藏高原多年冻土形成时代的探讨

张 勇 蔡石泉

(青海省地质局第一水文地质工程地质队)

青藏高原以其极大的海拔高度和特殊的自然景观而称著于世,多年冻土的广泛分布亦为其自然特色之一。对青藏高原多年冻土的分布面积,我们曾依据有关地形高程、地势变化、气温对比以及多年冻土实测资料的综合分析,在地形图上圈划所得的统计数为147万平方公里,占整个青藏高原面积的一半以上。虽然,多年冻土在地球上分布甚广,约占陆地面积的四分之一,但这些多年冻土的绝大部分均集中分布在高纬度地区。可见,在地处中、低纬度的青藏高原,多年冻土有如此大面积的展布,不能不说是一个特殊现象。因而高原冻土也会具有它自己的一系列特点。这就为我们提供了许多极待解决的实际和理论课题,高原多年冻土的形成时代,即是一个值得研究且颇有趣味的问题。尽管趋于一致的看法认为,现今地球上的多年冻土是早第四纪冰期以来的历史产物,现正处于向南。北两极退缩的消融阶段;然而青藏高原多年冻土的发生与发展是否也如上述?目前,大致有以下三种意见:一种意见认为青藏高原多年冻土的形成时代应与极地和高纬度地区趋于一致;另一种意见认为高原多年冻土是晚更新世冰期(珠穆朗玛冰期)以来的继续;第三种意见则认为高原多年冻土是全新世小冰期以来的产物。以上意见孰是孰非,尚无定论。本文试就现

有资料对其作一探讨,同时也涉及高原多年冻土的成因与发展趋势等有关问题。

一、揭示高原多年冻土形成时代的主要途径

鉴于多年冻土和冰川同为冰缘气候条件下的产物,因此研究高原多年冻土的形成时代,看来主要应采用冰期划分和对比的方法。同时,还应结合高原自然景观的历史演变,特别是对晚近构造活动和地壳隆升量作具体的分析。显然,寒冷才能使土层冻结,当地壳表层多年处于负温状况,其热均衡过程的热量支出大于收入时,才会有多年冻土的出现。既然形成多年冻土的先决条件是负温气候——第四纪以来的冰缘气候环境,因而研究多年冻土的成因和历史主要应从晚近时期的古气候变迁着手。但第四纪冰期与间冰期代表着全球性气候变化,具有可以全球对比的特点,故第四纪冰期划分的研究就成了揭示高原多年冻土历史的一把钥匙,亦即研究高原多年冻土形成时代的主要途径之一。

珠穆朗玛峰地区上新世野博康加勒层中高山栎(*Quercus semicarpifolia* Smith)植物化石的发现,证明上新世时,珠峰地区气候湿热,气温较现今高20℃以上[3]。可见当时青藏高原应属亚热带-温带气候环境,而与全球性的气候变化趋于一致。近

冰川冻土

年来有关部门的研究表明, 青藏地区自第四纪以来, 随着全球性气候的多次冷暖交替, 冰川活动频繁, 先后大致经历了 4~5 次冰

期和 3~4 次间冰期, 且可与世界各地冰期对比(表 1)。这就为高原多年冻土的研究提供了方便。

青藏高原与中国东部山区、欧洲阿尔卑斯第四纪冰期对比表 表 1

地区 时代	阿尔卑斯 (据 Sergio Venzo 等)		中国东部山区 (据李四光、竺可桢等)		青 藏 高 原*			
	冰 期	现 代	冰 期	现 代	喜马拉雅山区	唐古拉山区	昆仑山区	祁连山区
第 四 纪	全新世	现代	冰后期 气候最宜期	现代冰川	现代冰川	现代冰川	现代冰川	现代冰川
		后小冰期		绒布德小冰期	小冰期	小冰期	小冰期	
		亚里期		温暖期	温暖期	温暖期		
	晚更新世	玉木冰期	大理冰期	珠穆朗玛冰期	绒布寺阶段	巴斯错冰期	本头山冰期	
		里斯/玉木间冰期	庐山/大理间冰期		间阶段	扎加藏布/巴斯错间冰期	西大滩/本头山间冰期	
		里斯冰期	庐山冰期		基龙寺阶段	扎加藏布冰期	西大滩冰期	岔口冰期
	中更新世	民德/里斯间冰期	大姑/庐山间冰期	加布拉间冰期	布曲/扎加藏布冰期	纳赤台/西大滩间冰期	东沟/岑口冰期	
		民德冰期	大姑冰期	聂聂雄拉冰期	拜多/布曲间冰期	望昆/纳赤台间冰期	东沟冰期	
	早更新世	群智/民德间冰期	鄱阳/大姑间冰期	帕里间冰期	克玛曲/拜多间冰期	狮子山/望昆间冰期	斜河/东沟间冰期	
		群智冰期	鄱阳冰期	希夏邦马冰期	那曲寒冷期	狮子山寒冷期		
		多脑/群智冰期	龙川/鄱阳间冰期		克玛曲/那曲间冰期	惊仙/狮子山间冰期	斜河冰期	
		多脑冰期	龙川冰期		克玛曲冰期	惊仙冰期		
上新世	冰前期: 中低纬度地区无冰川, 气候湿热。							

*青藏高原冰期划分: 喜马拉雅山区据中国科学院西藏科考队; 唐古拉山区和昆仑山区据地质科学院地质力学研究所、水文地质研究所及青海地质局第一水文队青藏线调查。

近年来的研究还表明, 新生代以来, 特别是第四纪以来, 青藏地区发生过大幅度的强烈隆起[5.6.11], 这一特殊的地质事件, 不仅直接影响古气候的变化和冰期的划分, 而且对高原多年冻土的形成与发展也具有决定性的作用。因此, 对本区挽近地壳运动和隆升量的研究应是揭示高原多年冻土奥秘的另一主要途径。

二、高原古多年冻土的形成与演变

冰川和多年冻土, 无疑均为冰缘气候条件下的产物。那末, 青藏高原在第四纪各次冰期时, 也应当有古多年冻土的发。且其

分布规模也应象古冰川那样——可能还比较广泛, 有时甚至遍及全区。即使第四纪以来青藏地区冰川的发育从未遍布全区——即未形成过所谓统一的“冰盖”[2], 也不能排除古多年冻土曾有大面积展布的可能。因为, 冰川的发育除受气温影响外, 还取决于组成冰川的物质来源——降水量的大小; 而多年冻土的发则主要是由年平均气温变化来决定的。显然, 二者的影响因素及其作用并不一致, 因而其分布规模也就往往是不一致的。

但是, 青藏地区在各次间冰期——第四

纪温暖时期的气候具有温暖和湿润的特点。据珠峰科考资料：更新世冰期时的年平均气温较今高约 $8\sim 12^{\circ}\text{C}$ 之多；即使全新世冰后期的亚里期，年平均气温亦较今高约 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 〔3,10〕。以此推论，则青藏地区在第四纪各次冰期时所形成的古多年冻土，在各次间冰期时应趋于大量退缩，甚或消融殆尽。另据西藏科考资料，喜马拉雅山在中更新世以前对南北向大气环流的影响甚微，只是到晚更新世山平均海拔达到4500米以上的高度以后，才开始显示其所谓“屏障作用”〔10〕。说明在早、中更新世时，本区尚处在海洋性气候影响之下，冰川与冻土的发育主要受全球性气候变化和纬度分带的控制。若如上述，则地处中、低纬度的青藏地区，在早更新世希夏邦玛冰期和中更新世聂聂雄拉冰期时所分布的古多年冻土，因其分别经历了帕里间冰期和加布拉间冰期持续时间较长的温暖气候而应消融殆尽，看来当无异议。

至于本区晚更新世珠穆朗玛冰期时的古多年冻土能否保持并发展至今？是一个值得重视的问题——因其直接关系到高原现代多年冻土的成因、时代和发展趋势的确定。就本区晚更新世冰川发育规模较大、冰期气候严寒、喜马拉雅山的屏障作用显著、时间距今较近等因素来看，珠穆朗玛冰期时的古多年冻土发展保持至今的理由，似较充分。但若仔细推敲，则此种看法应予否定，论据主要有二：其一，前已述及，本区在全新世早期——亚里期，经历过年平均气温较今高约 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 的“气候最宜时期”。根据我国气象学家竺可桢的研究：“我国气候在历史时代的波动与世界其它区域比较，可以明显的看出，气候的波动是全世界性的，虽然最冷年和最暖年可以在不同的年代，但彼此是先后呼应的”〔8〕。虽然，本区自上更新世以来，喜马拉雅山屏障作用已很显著，但仍未能摆脱受太阳辐射所控制的全球性大气

候波动的影响。可以认为，藏南地区亚里期的温暖气候，在整个青藏高原是带有普遍性的，且与欧洲的大西洋期和我国的半坡温暖期大致相当。由此可见，珠穆朗玛冰期时的古多年冻土，经亚里期必将大量消融而难以保存；其二，近年来大量科考资料表明，青藏高原自全新世以来仍在大幅度上升，且上升速度有加快趋势。徐仁等应用古植物分析方法得出：“从上新世晚期至今，大约二百多万年，希夏邦玛峰约自海拔2500~3100米上升到5900米；而珠穆朗玛峰地区从中更新世冰期到现在，大约二、三十万年，加布拉约自海拔3100~3500米上升到5000~5200米；聂聂雄拉约自海拔2850~3500米上升到4900米，而从全新世亚里时期至今约一万多年的光景，化石植物群所代表的植物分布高度（3400~3800米），与亚里现在海拔（4300米）高的差距有近500米”〔8〕。说明亚里时期以来，青藏高原的上升速度很快。考虑到古植物学推算的上升幅度可能偏高而折半计之，则亚里期以来高原隆升量至少也有250米。既然亚里时期高原面海拔较今至少低约250米，那末按气候垂直分带推算气温递增值约合 1.5°C 左右，显然不利于多年冻土的保存。以今喻古，我们可以设想：倘若现今的高原面的海拔高度平均降低250米，那末现今的高原多年冻土分布面积无疑将大为减缩。何况，亚里时期的气温还较现今高出 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之多，显然不具备多年冻土发育和保存的自然条件。据此推测，其时古多年冻土显然应已消退殆尽，仅在部分高山峰顶有少量的岛状残留，其余则大部消融而不复存在。

三、高原现代多年冻土的发生与发展

若如上述，那末，按时代顺序来推，则现今青藏高原的多年冻土就应是绒布德小冰期时形成和发展起来的。但这一推测能否确立，尚需有充分的，特别是直接的论据。为

冰川冻土

此笔者罗列了一些材料，试就现今高原多年冻土的发生和发展作如下探讨：

其一，绒布德小冰期时，青藏地区的自然环境应与现今大体趋于一致，那末，在当时的冰缘气候条件下，理应有冰川和多年冻土的发育。而且当时年平均气温较今低3—5℃，显然更有利于多年冻土的发育和广泛分布；

其二，绒布德小冰期以后，全球气候虽一度曾有转暖趋势，但并无显著突变，仅有幅度不大的寒暖波动，因而有利于多年冻土的继续保存和发展；

其三，前已述及，本区全新世以来地壳上升速度很快，绒布德小冰期至今高原面抬升量达200~300米是完全有可能的。那末，这个抬升量所导致的气温降低值，对于全球性气温回升的影响，显然起着抵消的作用；

其四，地壳抬升，特别是上更新世以后喜马拉雅山对印度洋季风的屏障作用，不仅改变了高原大气环流和水热均衡条件，成为影响本区气候的决定性因素。而且，极大的海拔高度所导致的垂直地带性气候的影响，使绒布德小冰期以来的冰缘气候一直持续至今，为多年冻土的保持和继续发展创造了有利的自然环境。虽然，近期本区气候有向干冷方向发展的趋势而不利于冰川发育，但不足以影响多年冻土的发展；

其五，就高原第四纪冰缘现象来看，据近年来调查资料，融冻柔皱现象均发现在距地表很近的松散堆积层内，而且是在粗细粒交替层的细粒土层中。不难看出：这种冰缘地貌，仅仅是现代冰缘气候条件下的产物，由各种局部因素（如地层结构和含水性、地表水和地下水的作用、地质构造、地形变化以及季节融冻等）作用的结果。因而，把高原现代多年冻土的形成历史局限在绒布德小冰期以后的短暂地质历史时期，看来比较合

适；

其六，从高原现代多年冻土的展布来看，多年冻土与非多年冻土分布区之间的岛状多年冻土分布区面积十分有限，呈狭窄的条带状，而与高纬度地区宽阔的岛状多年冻土带显然不同。这一现象，可以说明高原多年冻土现正处于发展阶段，也就为其形成时代较新提供了一个很好的佐证。

通过以上讨论我们认为，把青藏高原现代多年冻土的形成时代视作绒布德小冰期以来的全新世时期，依据似较充分。就是说，现今高原多年冻土的形成历史很新，始于全新世“气候最宜期”以后的现代小冰期，仅仅是近五千年以来的事情。

总之，青藏高原现代多年冻土是在特殊的自然条件下所形成的。在现今全球性气候转暖的总趋势下，极地和高纬度地区的冰川和冻土均处于退化状态，唯独地处中、低纬度的青藏高原的多年冻土却正处在新的形成与发展阶段，其原因，不能不归于本区挽近地壳的大幅度强烈隆升而造就的极高的地势所导致的地区性寒冷气候的影响。由此可见，高原多年冻土的形成与分布主要是受非地带性的垂直带性规律控制，而地带性的气候水平带性影响则退居于次要位置。挽近地质时期青藏地区的大规模强烈隆起，不仅使本区成为现今地球上最宏伟、最年青的大高原，也是造就本区独特自然景观——包括多年冻土在内的具有决定意义的内在原因。

基于上述，我们试将高原第四纪地壳上升幅度、冰期对比、古气候变化以及多年冻土等方面的关系，列出一张对比表（表2），暂作对青藏高原多年冻土形成历史的概括，并作为本文的小结。

主要参考文献

- [1]中国科学院地理研究所，1959，中国综合自然区划，科学出版社。

青藏高原第四纪地壳上升幅度和多年冻土分布*

表 2

地质时代	冰期与间冰期		古气候		构造运动特征	推测高原上升幅度(米)	推测高原面海拔高度(米)		多年冻土分布
	珠峰地区	唐古拉山地区	气候带	年平均气温			喜山地区	藏北、青南地区	
全新世	现代冰川	现代冰川	高寒半干带	- 3℃	加速差异性整体隆升	约500	6100~6200	4500~4700	自绒布德小冰期开始, 形成现代多年冻土。
	绒布德小冰期	小冰期	高寒冰带	- 3~- 5℃					
	亚里期	温暖期	高原温带	- 3~- 5℃					
晚更新世	珠穆朗玛冰期	巴斯错冰期	高寒冰带	- 5~- 7℃	强烈的差异性整体隆升, 河谷深切, 奠定现今地貌景观	1000—1500	5500—6000	4000	古多年冻土曾有较广泛的分布, 其后大部消融
	绒布寺阶段	扎加藏布/巴斯错间冰期	高寒半干带	- 1~- 3℃					
	基龙寺阶段	扎加藏布冰期	高寒冰带	约- 5℃					
中更新世	加布拉间冰期	布曲/扎加藏布间冰期	山地暖带	8-12℃	以断裂运动为主的差异性整体隆升	>1000	4500	3000	曾有山岳岛状古多年冻土分布, 经间冰期消融殆尽
		布曲冰期	高寒冰带	负温					
	聂聂雄拉冰期	拜多/布曲间冰期	山地寒带	正温					
早更新世	帕里间冰期	克玛曲/拜多间冰期	山地暖带	6-10℃	强烈的差异性构造隆升, 形成山地与各地交错的地貌	约1000	3000~3500	<2000	曾有山岳岛状古多年冻土分布
		那曲寒冷期	山地寒带	负温					
	希夏邦马冰期	克玛曲/那曲间冰期	山地寒带	正温					
上新世		克玛曲冰期	高寒冰带	负温					
	冰前期		山地亚热带	>10℃	以整体隆升为主, 夷平面发育		2000-2500	<1000	没有多年冻土

* 冰期划分据见表 1。古气候、构造运动和地壳上升幅度等主要参照珠峰科考资料〔2、3、10、11〕。

- 〔2〕中国科学院西藏科学考察队, 1976, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(现代冰川与地貌), 科学出版社。
- 〔3〕中国科学院西藏科学考察队, 1976, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(第四纪地质), 科学出版社。
- 〔4〕李四光, 1947, 冰期之庐山, 前中央研究院地质研究所专刊, 乙种 2 号。
- 〔5〕李四光, 1973, 地壳构造与地壳运动, 中国科学, 第 4 期。
- 〔6〕李四光, 1973, 地质力学概论, 科学出版社。
- 〔7〕竺可桢, 1962, 历史时代世界气候的波动, 气象学报, 31 卷 4 期。
- 〔8〕竺可桢, 1972, 中国近五千年来气候变迁的初步研究, 考古学报, 1 期。
- 〔9〕徐近之, 1960, 青藏自然地理资料(地文部分), 科学出版社。
- 〔10〕郭旭东, 1974, 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, 1 期。
- 〔11〕杨理华、刘东生, 1974, 珠穆朗玛峰地区新构造运动, 地质科学, 3 期。
(1980年5月28日由《地理学报》转来)

DISCUSSION ON THE TIME OF FORMATION OF PERMAFROST ON QINGZANG PLATEAU

Zhang Yong, Cai shi quan

(*First Hydro-geological and Engineer-geological Team of Geological Bureau, Qinghai Province*)

ABSTRACT

Since the distribution of permafrost on Qingzang Plateau is far from the fundamental Polar tundra zone, the permafrost on the Plateau has its own series of characteristics. This article deals mainly with the time of its formation, and at the same time its genesis and development tendency. Through the discussion of above mentioned questions, the formation of permafrost on the Plateau is principally due to the influence of intense cold climate in this very high local relief following the large scale intensive uplift of the earth crust in recent geological period. It is quite possible that the period of its formation might be very new, beginning from the modern Little Ice Age, only an event of late 5000 years. At present, it might be a special exception in the history of genesis and development of permafrost at large area on the earth

· 国际学术会议预告 ·

第三次国际南极冰川学讨论会

由国际雪、冰委员会和国际冰川学会共同发起，将于1981年9月14—19日在美国哥仑布城的俄亥俄州立大学召开。领导委员会的组成人员为：C. B. B. 布尔（主席，美国南极研究科学委员会冰川学工作组成员）、D. H. 埃利澳特（俄亥俄州立大学极地研究所所长）、L. W. 戈尔德（国际冰川学会主席）、F. 鲁特斯（国际雪、冰委员会主

席）、A. L. 沃什伯恩（国家研究委员会极地研究局主席）、J. H. 朱姆伯格（国家研究委员会国际极地关系委员会主席）和T. F. 乌龙（国家研究委员会外务秘书）。讨论的题目是：（1）10—1千万年时间尺度内南极的气候和冰川变化；（2）冰盖和海水的物质与能量平衡；（3）南极雪和冰的物理与化学性质。（张祥松）