

# 青藏高原唐古拉山口 第四纪冰碛层划分及其地质环境意义

段志明 李 勇 李亚林 张 毅 王 谋

(成都理工大学沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

**摘要:**在对唐古拉山口现代冰川和古冰川考察研究的基础上,结合定位观测资料和 TL、 $^{10}\text{B}-^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$  及  $^{14}\text{C}$  测年数据,对区内第四纪冰川遗迹进行了深入讨论,划分出二次冰期(即中更新世晚期的倒数第二次冰期、晚更新世中—晚期的末次冰期)和二次全新世冰进(即新冰期和小冰期)。提出在早更新世时,由于山体未达到当时冰川发育的雪线高度,所以未发育冰川。但在唐古拉山口地区,截止目前还未找到中更新世早期的倒数第三次冰期的冰川遗迹,由于高原隆升的滞后性和冰川发育的延滞效应及“亚洲干极”的耦合,推测仍只发育局部冰川作用。进一步研究表明,古今雪线由高原边缘向腹地升高,唐古拉山地区高出边缘 1 500 m 左右,生动表现了“亚洲干极”的作用;广泛分布的湖群说明羌塘地区是一个大江大河尚未伸入的内流地区,意味着青藏高原是个年青的高原。由于青藏高原的隆升,对高原腹地引起的干旱化过程和水分严重不足,使唐古拉山地区的冰川自倒数第二次冰期以来,冰川规模一次比一次明显地减小。

**关键词:**第四纪冰川;冰川遗迹;冰期划分;TL 测年;唐古拉山口

**中图分类号:**P534.63 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)01-0128-07

如果说人类诞生与冰期降临是第四纪生物进化和环境演变的重大事件,那么发生在古近纪初的印-亚陆-陆碰撞使青藏高原崛起,于中更新世进入冰冻圈便是晚新生代地质史上最重大的地质事件之一。高原的隆升所引起的自身和周围的自然地理环境和气候的变化等问题,长期以来一直是地球科学研究的重点和热点<sup>[1]</sup>。

唐古拉山脉是现代冰川最发育的地区之一,第四纪冰川遗迹在这里广泛分布。1975—1977 年,中国地质科学院地质力学研究所和青海省地矿局水文队对区内第四纪冰期进行了开拓性的工作,对测区的冰川、冰缘地貌和冰碛物进行了比较系统的研究,划分为拜多冰期、布曲冰期、扎加藏布冰期、巴斯错冰期和新冰期<sup>[2]</sup>;Zheng Benxing<sup>[3]</sup> 等对青藏高原唐古拉山第四纪冰碛采用  $^{14}\text{C}$  测年;邓晓峰等<sup>[4]</sup>对唐古拉山各拉丹东峰东坡新冰期冰碛采用  $^{14}\text{C}$  测年;李世杰等<sup>[5]</sup>对唐古拉山各拉丹东峰地区卧美通冬曲谷地冰碛采用  $^{14}\text{C}$  测年;苏珍等<sup>[6]</sup>对唐古拉现代冰川进行了研究,确定在小冰期这里的冰川有 3 次冰进;赵志忠等<sup>[7]</sup>对唐古拉山南坡第四纪冰碛采用  $^{10}\text{Be}-$

$^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$  宇宙核素进行暴露年龄测定;Jorg M et al<sup>[8]</sup>对唐古拉山南坡第四纪冰碛亦采用  $^{10}\text{Be}-^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$  宇宙核素进行暴露年龄测定;焦克勤等<sup>[9]</sup>对唐古拉山北坡龙匣宰陇巴及冬克玛底末次冰期进行了  $^{14}\text{C}$  定年。

前人建立的各次冰期,由于缺乏系统的年代学资料,致使可信度降低。笔者在综合前人研究成果的基础上,通过系统的 TL 测年,对唐古拉山口第四纪冰川遗迹和第四纪冰期序列作如下论述,进而探讨第四纪冰期与唐古拉山脉隆升及高原环境演变的关系。

## 1 地理概况

唐古拉山口地处青藏高原腹地的羌塘盆地中央隆起带,是太平洋与印度洋流域的重要分水岭,地理坐标介于 N 32°30′~33°30′, E 91°30′~92°15′,面积约 1 万 km<sup>2</sup>,长期以来一直被视为人类生存的禁区。唐古拉山口地区保存有较好山顶面、主夷平面和盆地地面,这些层状地貌面和座落在其上的古蚀余残山就成为现代冰川和第四纪冰川赖以发育的基础。

收稿日期:2004-02-09;改回日期:2004-10-18

基金项目:国家自然科学基金项目(40202022)和中国地质调查局地质大调查项目(146C003002)资助。

作者简介:段志明,男,1963 年生,博士生,高级工程师,从事第四纪地质研究;E-mail:duanzm2003@163.com。

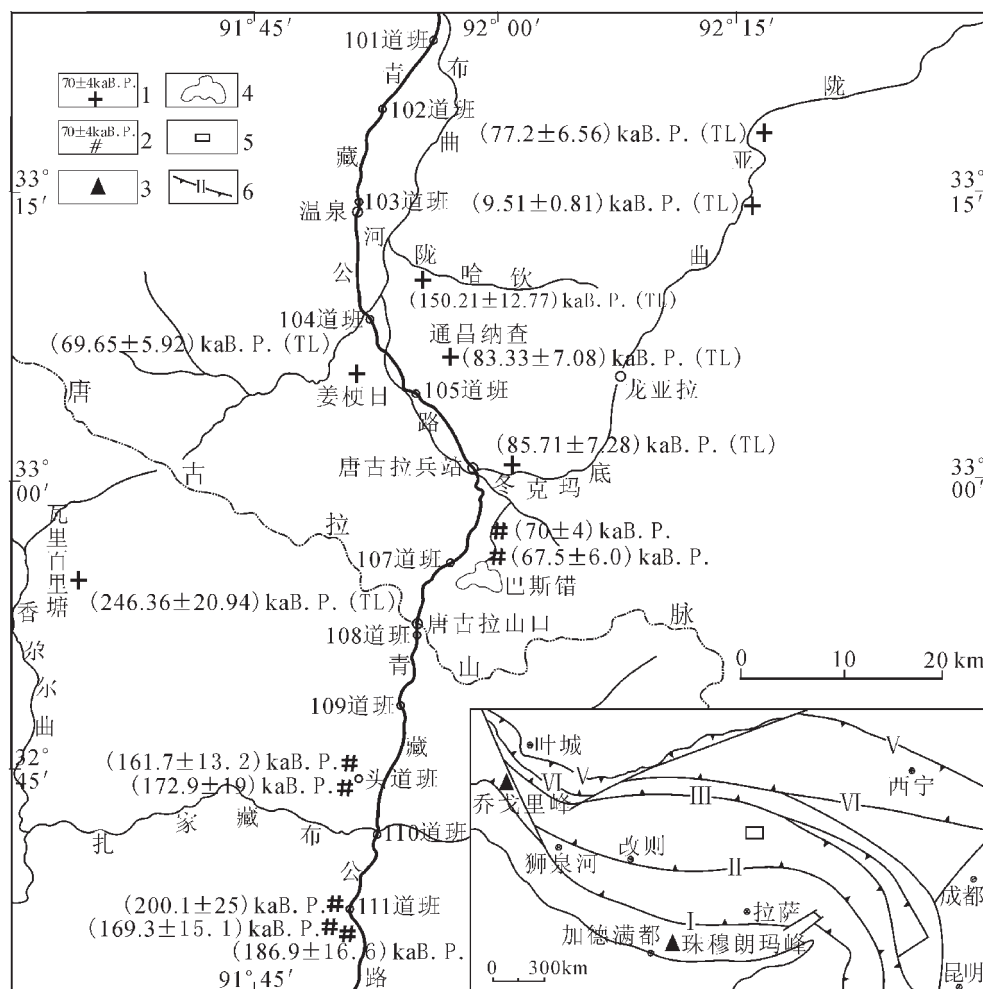


图 1 唐古拉山口第四纪冰碛层交通及采样位置

1—TL 采样位置及年龄;2—<sup>10</sup>B—<sup>26</sup>Al—<sup>21</sup>Ne 采样位置及年龄;3—山峰;4—湖泊;5—研究区位置;6—缝合带及编号(I—雅鲁藏布江缝合带; II—班公错—怒江缝合带; III—金沙江缝合带; IV—昆仑南缘缝合带; V—西昆仑—阿尔金—祁连缝合带)

Fig.1 Sampling position of Quaternary tills in the Tanggula Range Pass

1—TL sample position and age;2—<sup>10</sup>B—<sup>26</sup>Al—<sup>21</sup>Ne sampling position and age;3— Mountain peak;4— Lake;5—Location of the study area; 6—Sutures and their numbers(I—Yalung Zangbo suture; II—Bangong Co—Nujiang suture; III—Jinsha River suture; IV—South Kunlun marginal suture; V—West Kunlun—Altun—Qilian suture)

唐古拉山脉呈 NW—NWW 向展布,其主脊平均海拔 5 800 m 以上,发育典型的现代大陆型山麓冰川。该区气候属典型的大陆型气候,高寒、缺氧、干燥,植被稀少,昼夜温差大;年平均气温为-4.1℃~-10℃,年降水量 100~300 mm,其中 85%以上的降水集中在夏季。唐古拉山口南坡为扎加藏布和香尕尔曲内流水系,北坡为长江源布曲河流域及冬曲河之陇亚曲支流。在唐古拉山口保留有较好的第四纪冰川遗迹,发育多条冰川 U 型谷,其中瓦里百里塘冰川谷长 20~25 km,扎加藏布冰川谷长 30~35 km,冬克玛底冰川谷长 9~10 km,布曲冰川谷长 45~50 km,陇亚曲冰川谷长 25~30 km,均属大

型的山麓冰川(图 1)。第四纪期间,在盆地中堆积了多期冰碛层,形成典型的冰碛地貌,是研究青藏高原腹地冰期演化和气候变迁的理想场所。

## 2 第四纪冰碛层及其年代测定

通过对瓦里百里塘、姜梗日、冬克玛底、龙匣宰陇巴、通昌纳查、陇哈钦及陇亚曲第四纪冰碛层剖面的测制和系统的 TL 样品采集及扎加藏布冰川谷的踏勘,结合本次 TL 测年数据(表 1)和前人的 <sup>10</sup>B—<sup>26</sup>Al—<sup>21</sup>Ne<sup>[7,8]</sup>及 <sup>14</sup>C<sup>[3-5,9]</sup>测年资料,现将测区第四纪冰碛层从老到新分述如下:

表 1 唐古拉山口冰碛物 TL 测年数据  
Table 1 TL dating of tills of the Tanggula Range Pass

样品号	采样地点	放射性元素含量			年剂量率 Gy/a $\times 10^{-3}$	等效剂量 ED(Gy)	样品年龄 ka B.P.
		U( $\mu$ g/g)	Th( $\mu$ g/g)	K <sub>2</sub> O(%)			
P <sub>33</sub> -9TL <sub>1</sub>	陇亚曲	3.34	15.3	2.45	2.63	25.0	9.51 $\pm$ 0.81
P <sub>33</sub> -6TL <sub>1</sub>	陇亚曲	3.26	18.6	2.66	2.91	181.5	77.22 $\pm$ 6.56
P <sub>37</sub> -3TL <sub>1</sub>	姜梗日	2.41	12.9	1.56	2.01	140.0	69.65 $\pm$ 5.92
P <sub>57</sub> -2TL <sub>1</sub>	通昌纳查	2.11	13.0	2.70	2.16	180.0	83.33 $\pm$ 7.08
P <sub>35</sub> -5TL <sub>1</sub>	冬克玛底	1.81	9.13	1.92	1.61	138.0	85.71 $\pm$ 7.28
P <sub>38</sub> -5TL <sub>1</sub>	陇哈钦沟口	2.44	13.5	2.89	2.33	350.0	150.21 $\pm$ 12.77
P <sub>34</sub> -2TL <sub>1</sub>	瓦里百里塘	1.59	7.05	2.50	1.51	372.0	246.36 $\pm$ 20.94

注:放射性元素由核工业地质分析测试中心检测,其他数据由中国地震局地壳应力研究所热释光实验室测试。

## 2.1 倒数第二次冰期

唐古拉山口附近,冰川汇合并南北分流,北冰流入布曲河谷,南冰流入扎加藏布和香尕尔曲谷地并形成大面积冰碛丘陵,相对高度和海拔分别为400~1 000 m和4 800~5 800 m。当时冰川长度达30~45 km。根据冰碛的空间分布和相互叠置关系,可划分为5~8列冰碛台地:

在瓦里百里塘冰川谷中堆积的厚150~200 m的2列冰碛台地,冰碛泥砾具冰水沉积特点。冰碛泥砾中沙及亚沙土含量为60%~70%,砾石含量为30%~40%。冰碛砾石成分以灰岩及岩屑长石砂岩为主,砾径0.5~8 cm,大者达25~35 cm;灰岩砾石不仅已经磨圆,而且保存很好,这只有在以机械磨损为主,淋滤作用不强,堆积体又很快被封存的条件下才能形成。冰碛物孢粉组合以草本植物为主,并含有较多的圆柏花粉,是寒冷气候的又一佐证<sup>[4]</sup>。倒数第一道冰碛物 TL 测年为(246.36 $\pm$ 20.94)kaB.P.。

在扎加藏布冰川谷中堆积的厚100~250 m的2~4列冰碛丘陵,冰碛砾石成分以岩屑砂岩、灰岩、长英质角岩和花岗岩为主,砾径2~35 cm,大者达45~120 cm。在距现代冰川30 km处的111道班东侧冰碛台地<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne核素暴露年龄为(200.125)kaB.P.、离现代冰川25 km处的头道班冰碛漂砾<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne核素暴露年龄为(172.9 $\pm$ 19)kaB.P.<sup>[7]</sup>;在距现代冰川30 km处的111道班南侧冰碛台地<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne核素暴露年龄为(169.3 $\pm$ 15.1)kaB.P.、而侵蚀台地<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne核素暴露年龄为(186.9 $\pm$ 16.6)kaB.P.,在距现代冰川25 km处的头道班东侧冰碛台地<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne核素暴露年龄为(161.7 $\pm$ 13.2)kaB.P.<sup>[8]</sup>。

在布曲冰川谷之温泉断陷盆地中堆积的厚达410 m的冰碛-冰水泥砾,冰碛砾石成分以岩屑长石砂岩、灰岩及长英质角岩为主,呈次棱角状—棱角状,少数具磨圆现象,砾径0.2~10 cm,大者达30~80 cm。在陇哈钦沟南采样,经TL测年为(150.21 $\pm$ 12.77)kaB.P.。冰碛-冰水泥砾孢粉组合以草本植物占绝对优势,计有菊科、蒿粉属、藜粉属和拟白刺粉属等,

兼有木本植物柳粉属和藜粉属、蕨类植物中水藓孢属和水龙骨单缝孢属,反映了寒冷干燥的气候环境。

综上所述,倒数第二次冰期的TL和<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne年龄值为(246.36 $\pm$ 20.94~150.21 $\pm$ 12.77)kaB.P.,时代属中更新世晚期。上述同位素测年数据,不支持唐古拉山口地区在中更新世初就全面进入冰冻圈的假说;相反,冰碛物的TL和<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne同位素测年成果表明,唐古拉山口地区在25万年前才真正进入冰冻圈,进而发育大规模的冰川作用。

## 2.2 末次冰期

末次冰期冰碛在地貌形态上以受到相当破坏的高侧碛及残破终碛为标志,局限分布于通昌纳查、姜梗日等山前台地及冬克玛底、陇亚曲和龙匣宰陇巴等冰川谷中。末次冰期可进一步分为早冰阶(85.7~67.5 kaB.P.)、中冰阶(33.5 kaB.P.)、晚冰阶(25~15 kaB.P.)和末次冰消期(9.5 kaB.P.)等4个阶段。

### 2.2.1 末次冰期早冰阶(85.7~67.5kaB.P.)

分布于通昌纳查及姜梗日等山前台地的高台冰碛层已被切割破坏,台面残存不全,通昌纳查由2列冰碛垄组成,姜梗日由3列终碛垄组成;冬克玛底冰川谷由4列终碛垄组成,陇亚曲冰川谷由6列冰碛垄组成。冰碛砾石成分为长英质角岩、岩屑长石砂岩及少量的花岗岩,砾径2~10 cm,大者40~80 cm,个别漂砾达250~400 cm。

冬克玛底冰川谷底倒数第三道冰碛泥砾TL测年为(85.71 $\pm$ 7.28)kaB.P.;在通昌纳查残存的倒数第二道冰碛丘陵TL测年为(83.33 $\pm$ 7.08)kaB.P.;陇亚曲的冰川北延至卡日依,冰川长达30 km,形成6道冰碛垄(图2),砾石扁平面向南,以15°~17°倾角迎向冰川来向,倒数第五道冰碛丘陵的TL测年为(77.22 $\pm$ 6.56)kaB.P.;在姜梗日冰碛台地保留有残存的3列终碛垄,倒数第二列冰碛物的TL测年为(69.65 $\pm$ 5.92)kaB.P.;在巴斯错湖北岸的终碛垄上冰川漂砾的<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne暴露年龄为(70 $\pm$ 4)kaB.P.<sup>[7]</sup>及(67.5 $\pm$ 6.0)kaB.P.<sup>[8]</sup>。即(85.7~67.5)kaB.P.,代表青藏高原北部唐古拉山口地区末次冰

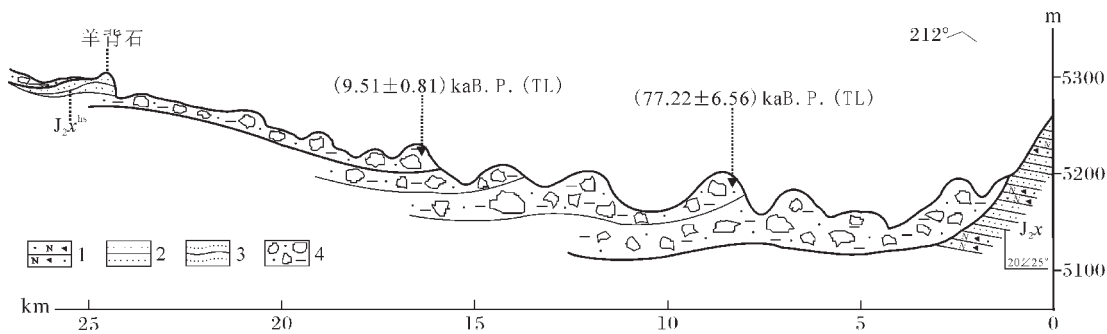


图 2 陇亚曲冰川谷冰碛物剖面图

J<sub>2x</sub>—夏里组; J<sub>2x</sub><sup>hs</sup>—夏里组变质的长英质角岩; 1—岩屑长石砂岩; 2—砂岩、粉砂岩; 3—长英质角岩; 4—冰碛泥砾

Fig.2 Cross section of tills of the Longyaqu glacier valley

J<sub>2x</sub>—Xiali Formation; J<sub>2x</sub><sup>hs</sup>—Metamorphosed felsic hornfels in Xiali Formation; 1—Lithic arkose; 2—Sandstone and siltstone; 3—Felsic hornfels; 4—Moraine muddy gravel

期早冰阶发育阶段。

2.2.2 末次冰期中冰阶 (33.5 kaB.P.)

青藏高原已有的证据表明,末次冰期中冰阶冰川作用是存在的<sup>[10][11]</sup>。分布于陇亚曲冰川谷倒数第七道冰碛垄(图 2),冰碛垄低矮,厚 5~10 m,推测为末次冰期中冰阶冰川堆积,但有待作进一步的测年验证。另外,据 1:25 万沱沱河幅、曲柔杂卡幅区地质调查,在年日曲冰碛—冰水沉积物中采样,经中国科学院环境地质开放实验室进行热释光测年,其 TL 年龄为 (33.45±1.11)kaB.P.<sup>①</sup>。

2.2.3 末次冰期晚冰阶 (25~15 kaB.P.)

末次冰期晚冰阶相当于 MIS2 阶段,在古里雅冰芯记录中相当于 (32~10)kaB.P.,包含 23 kaB.P.左右末次冰盛期(Last Glacial Maximum 简称 LGM)<sup>[11]</sup>,晚冰阶特别是 LGM 冰川遗迹,保存完好,形态清楚,易于识别。龙匣宰陇巴冰川下伸到海拔 5 060 m 处,保存的终碛垄的 <sup>14</sup>C 测年为 (16 100±305)aB.P.<sup>[9]</sup>。冬克玛底冰川外围保存有数道终碛垄,对最外一道终碛垄(海拔 5 200 m)的内、外侧采样,经 <sup>14</sup>C 测年分别为 (21 690±638)aB.P. 和 (22 653±850)aB.P.,而在最内一道终碛垄(海拔 5 220 m)的内、外侧采样,经 <sup>14</sup>C 测年分别为 (16 085±382)aB.P.和 (17 089±756)aB.P.<sup>[9]</sup>。邓晓峰等<sup>[4]</sup>在唐古拉山西段各拉丹东峰东坡巴勒曲沟口冰碛垄外缘 70 cm 深处的泥炭层采样,经 <sup>14</sup>C 测年为 (18 010±386)aB.P.。

上述 <sup>14</sup>C 测年数据表明:唐古拉山地区的末次冰期晚冰阶起止时代为 (25~15)kaB.P.,而在 (23~21)kaB.P. 达到极盛。

2.2.4 末次冰消期 (9.5 kaB.P.)

冰消期最大事件是新仙女木(Younger Dryas)降温事件,简称 YD。在 Allerod 升温之后,古里雅冰芯记录(12.2~10.5)kaB.P.

出现了气温急剧下降波周期,即新仙女木事件。

在陇亚曲冰川谷发育的倒数第八道冰碛垄保存较好,在卫星片上呈向北东伸出的弧形垄岗,冰碛砾石成分以长英质角岩、岩屑砂岩及花岗岩为主,砾径 2~80 cm,大者达 100~200 cm,冰碛物 TL 测年为 (9.51±0.81)kaB.P.,即相当于末次冰消期的堆积。与徐道明等<sup>[12]</sup>报道的唐古拉山各拉丹东地区冰川前进停留形成一道明显终碛垄 TL 年龄 (11.2~10.0)kaB.P. 大致相当,代表新仙女木降温事件的产物。

2.3 全新世冰期

全新世冰期又称冰后期,是最近 10 kaB.P.左右开始至今仍在继续的最新地质历史时期。作为气候变化产物的冰川,其存在与否无疑记录了气候环境变化的过程。

2.3.1 新冰期

全新世晚期(4~3 kaB.P.)以来开始的显著特征是气候变冷。青藏高原在 (3.5~2.5)kaB.P.出现大量冰川前进,称为新冰期。测区新冰期终碛垄距现代冰川末端很少超过 1.0 km,普遍发育 1~2 列,其相隔间距较小,冰碛表面被较稀疏的高山草甸覆盖。虽然无直接测年数据,但在龙匣宰陇巴冰川前端 1.0 km 处,找到一天然露头剖面,新冰期冰碛覆盖在末次冰期冰碛 (<sup>14</sup>C 测年 16 100±305 aB.P.)之上,二者之间夹有一沼泽泥炭层,此沼泽泥炭层在唐古拉山口地区发育很普遍,经 <sup>14</sup>C 测年为 (5 805±173)aB.P.<sup>[9]</sup>,这表明末次冰消期后,唐古拉山地区普遍经历过一个沼泽化过程,其时代对应于全新世高温期;因此,可以认为该区新冰期的时代应晚于 (5 805±173)aB.P.。邓晓峰等<sup>[4]</sup>在各拉丹冬岗加曲巴冰川右侧冰碛外 5 320m 高度,深 75 cm 处采样,经 <sup>14</sup>C 测定为 (3 540±160)aB.P.;李世杰等<sup>[9]</sup>在唐古拉山卧美通冬谷地于末次冰期冰碛垅以内,划分了 3

① 青海省地质调查院. 1: 25 万沱沱河幅、曲柔杂卡幅区域地质调查报告,2004.



列新冰期冰碛垅和3列小冰期冰碛垅,在最外侧一道终碛垄表层下60 cm深处采样,经 $^{14}\text{C}$ 测年为 $(5\,410\pm 225)\text{aB.P.}$ ;在最内侧一道冰碛垄外低洼地草甸下75 cm深处,所采泥炭样品的 $^{14}\text{C}$ 年代为 $(3\,540\pm 105)\text{aB.P.}$ ,最内侧一道冰碛垄表层土壤层底部的有机炭 $^{14}\text{C}$ 年代为 $(2\,690\pm 110)\text{aB.P.}$ 。

根据以上 $^{14}\text{C}$ 年龄数据,可以认为唐古拉山口地区新冰期的形成时代大致为 $(4.0\sim 2.5)\text{kaB.P.}$ 。

### 2.3.2 小冰期

小冰期是指15~19世纪的最近一次冰川频繁波动的时期。区内小冰期冰碛垄分布于现代冰川前缘,冰碛物裸露,小冰期最盛时的冰川比现代冰川长 $(0.5\sim 0.8\text{ km})$ 。苏珍等<sup>[9]</sup>对唐古拉山现代冰川进行了研究,确定在小冰期这里的冰川有3次冰进。

## 3 第四纪冰期划分

前人根据唐古拉山第四纪冰川遗迹、相互叠置关系、孢粉组合及古土壤发育特征,在缺乏系统测年资料的前提下,认定唐古拉山口地区最早冰期发生在中更新世初,而且冰川规模是历次冰期中最大的;在冰期次数划分上存在三分<sup>[4,5,11]</sup>(即唐古拉冰期、扎加藏布冰期和巴斯冰期)和四分<sup>[2]</sup>(即拜多冰期、布曲冰期、扎加藏布冰期和巴斯错冰期)之说。在借鉴前人研究成果的基础上,结合TL、 $^{10}\text{B}-^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$ 及 $^{14}\text{C}$ 测年数据和青藏高原地区最新的系统研究成果,将唐古拉山口地区第四纪冰川作用划分为2次更新世冰期,即中更新世晚期倒数第二次冰期和晚更新世中—晚期的末次冰期,以及全新世的新冰期和小冰期。

倒数第二次冰期,发生在中更新世晚期,TL和 $^{10}\text{B}-^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$ 年龄值介于 $(246.36\pm 20.94)\text{KaB.P.}$ 和 $(150.21\pm 12.77)\text{kaB.P.}$ ,不仅是本区目前发现的最早的一次冰期,而且也是本区冰川规模最大的一次冰期。依据冰碛分布范围,推测为一大—中型的山麓冰川。

末次冰期发生在晚更新世中期—晚期,并可进一步划分为早冰阶、中冰阶、晚冰阶和末次冰消期4个阶段。早冰阶的TL年龄值介于 $(85.71\pm 7.28)\text{kaB.P.}$ 和 $(67.5\pm 6.0)\text{kaB.P.}$ ;中冰阶的TL年龄值为 $(33.45\pm 1.11)\text{kaB.P.}$ ;晚冰阶的 $^{14}\text{C}$ 年龄值介于 $(22.653\pm 0.850)\text{kaB.P.}$ 和 $(16.085\pm 0.382)\text{kaB.P.}$ ;末次冰消期的TL年龄值为 $(9.51\pm 0.81)\text{kaB.P.}$ 。末次冰期冰碛局限分布于冬克玛底、通昌纳查、陇亚曲及姜梗日等地,推测为一大—中型的山麓冰川。

新冰期发生在中全新世高温期后, $^{14}\text{C}$ 年龄值介于 $(3.540\pm 160)\text{KaB.P.}$ 和 $(2.690\pm 0.110)\text{kaB.P.}$ 。当时的冰川规模略大于现代冰川,而冰川类型与现代冰川相似。

小冰期发生在15~19世纪降温期,唐古拉山地区有3次冰进,当时的冰川规模和类型与现代冰川类似。

## 4 第四纪冰川作用及其地质环境意义

唐古拉山口地区第四纪冰川的发生和发展与青藏高原

的隆升幅度、时间以及环境变迁息息相关。冰川演化过程不完全与高原其他地区相一致,冰期的次数也不尽相同。自中更新世晚期以来,唐古拉山口地区发生过2次更新世冰川作用和2次全新世晚期冰进。即倒数第二次冰期发生在中更新世晚期 $(250\sim 150\text{ kaB.P.})$ ,不仅是本区最早的一次冰期,而且也是冰川规模最大的一次冰期,当时山脉主脊上的冰川连为一体,形成大型的山麓冰川;末次冰期发生在晚更新世中—晚期,可进一步划分为早冰阶 $(85.7\sim 67.5\text{ kaB.P.})$ 、中冰阶 $(33.5\text{ kaB.P.})$ 、晚冰阶 $(25\sim 15\text{ kaB.P.})$ , $23\sim 21\text{ kaB.P.}$ 时达到极盛)和末次冰消期 $(9.5\text{ kaB.P.})$ ,冰川规模比倒数第二次冰期为小,推测为一大—中型的山麓冰川;新冰期发生在中全新世高温期 $(^{14}\text{C}$ 测年 $5\,805\pm 173\text{ aB.P.})$ 之后的晚全新世早期 $(3.96\sim 2.69\text{ kaB.P.})$ ,冰川规模略大于现代冰川;小冰期发生在15~19世纪,冰川规模已接近于现代冰川。

晚新生代唐古拉山伴随青藏高原一道呈波形隆升,而且从南到北应力释放而导致变形的时代愈来愈新。上新世早期,伴随高原强烈隆升而出现山顶裂谷,唐古拉山瓦里百里塘曲果组湖相沉积古地磁年龄为 $(4.32\sim 2.20)\text{Ma}$ <sup>[2]</sup>,跨越了人为的新近纪和第四纪界限,曲果组的孢粉组合均以草本植物为主,并含有相当数量的桦、栎及小灌木圆柏和白刺,揭示了温凉和偏干的气候环境,同时亦反映了高原呈波形隆升的滞后性。由于这一缘故,在切割上新世夷平面而形成的宽大的早更新世谷坡上,凡属于灰岩分布的地方,大多有低矮的峰林地形出现,而这种古岩溶的发育不仅说明气候曾经是温暖湿润的,其延续时间也是相当长的。尽管唐古拉山地处青藏高原腹地的羌塘盆地中央隆起带,但在早更新世时,由于山体未达到当时冰川发育的雪线高度,加之气候温凉、偏干,所以未发育冰川。

昆黄运动 $(1.1\sim 0.7\text{ Ma})$ 把青藏高原抬升到临界高度为3000 m以上的海拔高度,大面积进入冰冻圈。虽然唐古拉山在高原上属于构造隆起带,但迄今还未找到可靠的中更新世初冰川作用的遗迹,究其原因:一是当时的山地高度未能超过雪线高程;二是高原腹地表现为明显的“亚洲干极”作用的缘故<sup>[13]</sup>,特别是羌塘地区,尽管有多座6000~7000 m以上高山,而现代冰川与第四纪冰川都显得相当零散,最大冰期亦不例外,表现出这个地区的干旱由来已久,降水甚少,受季风影响很小,冰川平衡线抬升很高,以取得长年气温远低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的冷储,保持冰川的存在,而未发育大规模的冰川作用;三是由于高原波形隆升的滞后性和冰川发育的延滞效应耦合的结果,很可能中更新世初冰川作用小于中更新世晚期的,其冰川遗迹被后期覆盖,推测中更新世初仍只发育局部冰川作用。

从3.4 Ma开始,青藏高原开始整体强烈隆起,整个高原内部山地环境发生了巨大的改变,统一的高原主夷平面开始解体;4.32~2.20 Ma的瓦里百里塘古湖消失,是3.4 Ma的青藏运动A幕和B幕共同作用的结果;0.25 Ma以来的气候变化主要是由第四纪冰期和间冰期气候旋回所控制,冰期和间

冰期气候的频繁交替是中更新世晚期和晚更新世气候变化的总特点,间冰期时,可将大量的海洋水汽吸引到高原内部,产生中更新世末期的湿润气候和高湖面,冰期时则变为干冷气候。与此同时,高原的不断隆升促使气候向干冷方向发展的趋势更加明显,其结果是冰期气候的干冷程度一次比一次增强,间冰期气候的温暖程度一次比一次减弱。0.25 Ma 前后的环境变化是青藏高原隆升与大气环流改变的耦合效应。

青藏高原在晚新生代阶段性隆升与气候演化尤其是东亚季风演化的可能机制是:在青藏高原大规模隆升以前,高原较低的海拔高度不足以对底层大气环流产生强烈影响,北半球平均环流平直且弱,赤道—北极间径向能量交换较弱,各地区的气候变化多按区域内的气候变化规律进行,相互间的影响较弱。约 0.25 Ma 发生的高原大规模急剧隆升可能改变了大气环流的格局,高原的迅速隆起使西风通道受阻,西风开始绕行或爬越高原,使赤道—北极间径向能量交换加剧,西伯利亚高压加强,也就是说中、低纬度的季风系统与北半球高纬极地气候系统的联系得以建立和加强,最终促使与极地气候系统密切联系的冰量变化可以直接影响冬季风变化,最终导致现代形式的季风环流出现。以后,随着高原进一步隆升,上述过程进一步强化,形成稳定的正相关关系。

进一步研究表明,高原现代和冰期雪线高程表现出由东南向北西、由边缘向腹地升高的趋势,唐古拉山地区高出边缘 1 500 m 左右<sup>[14,15]</sup>;在冰期、间冰期交替变化中,边缘地区冰川范围变化幅度很大,而西北和腹地相对较小。这主要是由于降水量的大幅度递减和高原腹地有较强的干极效应所致。青藏高原古今冰川和雪线的分布及高原腹地周围的土壤植被大体作同心圆分布,生动地刻画了“亚洲干极”的存在及其作用。广泛分布的湖群说明羌塘地区是一个大江大河尚未伸入的内流地区,意味着青藏高原是个年青的高原。由于青藏高原的隆升,对高原腹部地区引起的干旱化过程和水分严重不足,使唐古拉山地区的冰川自倒数第二次冰期以来,冰川规模一次比一次明显的减小。

## 参考文献(References):

[1] Sun Honglie, Zheng Du. Studies on Qinghai-Xizang Plateau[A]. In: Qin Dahe, Chen Panqin, Ge Quansheng(ed.). Advances in Global Change Studies of China[C]. Beijing: China Ocean Press, 1998.

[2] 浦庆余, 吴锡浩, 钱方. 青藏公路沿线唐古拉山地区的第四纪地质问题[A]. 见: 青藏高原地质文集(4)[C]. 北京: 地质出版社, 1982. 19~33.

Pu Qingyu, Wu Xihao, Qian Fang. The Quaternary geology problem of the Tanggula Mountain region along the Qinghai-Xizang Highway [A]. In: Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang Plateau (4)[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1982. 19~33 (in Chinese with English abstract).

[3] Zheng Benxing, Jiao Keqin. Quaternary Glaciations and Periglacial conditions in the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau[M]. International U-

nion for Quaternary Research, 1991, 26~27.

[4] 邓晓峰, 张文敬. 唐古拉山各拉丹东峰东坡第四纪冰川与环境演变[J]. 冰川冻土, 1992, 14(2): 153~160.

Deng Xiaofeng, Zhang Wenjing. Evolution of Quaternary glaciers and environment on the eastern side of the Geladandong Peak [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1992, 14(2): 153~160 (in Chinese with English abstract).

[5] 李世杰, 李树德. 青海可可西里地区第四纪冰川与环境演化[J]. 冰川冻土, 1992, 14(4): 316~324.

Li Shijie, Li Shude. Quaternary glacial and environmental changes in the region of Hoh Xil, Qinghai Province [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1992, 14(4): 316~324 (in Chinese with English abstract).

[6] 苏珍, 施雅风. 小冰期以来中国季风温冰川对全球变暖的响应[J]. 冰川冻土, 2000, 22(3): 223~229.

Su Zhen, Shi Yafeng. Response of monsoonal temperate glaciers in China to global warming since the Little Ice Age [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(3): 223~229 (in Chinese with English abstract).

[7] 赵志忠, 吴锡浩, Schluchter C. 等. 青藏高原第四纪冰川的宇宙核素暴露年龄首次测定[J]. 地质力学学报, 2002, 8(4): 306.

Zhao Zhizhong, Wu Xihao, Schluchter C., et al. The first determination on nuclides exposure age of Quaternary glaciers in Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Geomechanics, 2002, 8(4): 306 (in Chinese with English abstract).

[8] Jorg M, Schafer S T, Zhao Zhizhong, et al. The limited influence of glaciations in Tibet on global climate over the past 170000 yr [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 194: 287~97.

[9] 焦克勤, 沈永平. 唐古拉山地区第四纪冰川作用于冰川特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(1): 34~42.

Jiao Keqin, Shen Yongping. The Quaternary glaciations and glacier properties in the Tanggula range [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(1): 34~42 (in Chinese with English abstract).

[10] 施雅风, 姚檀栋. 中低纬度 MIS3b(54~44 kaB.P.)冷期与冰川前进[J]. 冰川冻土, 2002, 24(1): 1~9.

Shi Yafeng, Yao Tandong. MIS 3b (54~44 kaB.P.) cold period and glacial advance in middle and low latitudes [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).

[11] 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 447~452.

Yao Tandong, Thompson L G, Shi Yafeng, et al. A study of climatic variations since Last Interglaciation in the Guliya Ice Core [J]. Science in China (Series D), 1997, 27(5): 447~452 (in Chinese).

[12] 徐道明, 沈永平. 青藏高原的泛冰盖遗迹与冰期[J]. 冰川冻土, 1995, 17(3): 213~229.

Xu Daoming, Shen Yongping. On ancient ice-sheet and ice age in the Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1995, 17(3): 213~229 (in Chinese with English abstract).

- [13] 李吉均, 赵志军. 德日进“亚洲干级”理论的现实意义[J]. 第四纪研究, 2003, 23(4): 366~372.  
Li Jijun, Zhao Zhijun. Modern theoretical significance of “the dry pole of Asia” by P. Teilhard de Chardin [J]. Quaternary Science, 2003, 23(4): 366~372 (in Chinese with English abstract).
- [14] Zhou Shangzhe, Li Jijun. The sequence of Quaternary glaciation in the Bayan Har Mountains [J]. Quaternary International, 1998, 45/46: 135~142.
- [15] Zheng Benxing, Rutter N. On the problem of Quaternary glaciations, and the extent and patterns of Pleistocene ice cover in the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [J]. Quaternary International, 1998, 45/45: 109~122.

## Quaternary tills at the pass of the Tanggula Mountains on the Qinghai-Tibet Plateau and their geological-environmental significance

DUAN Zhi-ming, LI Yong, LI Ya-lin, ZHANG Yi, WANG Mou

(*Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

**Abstract:** Based on investigations and studies of modern and ancient glaciers at the Tanggula Mountain pass, coupled with the GPS data and TL,  $^{10}\text{B}$ - $^{26}\text{Al}$ - $^{21}\text{Ne}$  and  $^{14}\text{C}$  dating data, Quaternary remnants of glaciation in the study area are discussed in detail. Two glacial epochs (i.e., the late Middle Pleistocene penultimate glacial epoch and the mid-late Late Pleistocene last glacial epoch) and two Holocene glacial advances (i. e. the Neoglaciation and the Little Ice Age) have been intensively studied. The mountains had not reached the height of the snowlines in the early Pleistocene; so glaciers did not develop then. However, in the area the Tanggula pass the remnants of the early Middle Pleistocene third glaciation from the last have not been found because of the lag effects of Tibetan Plateau uplift and development of glaciers and their coupling of the Dry Pole of Asia. The authors infer that only local glaciation has developed. Further study indicates that the ancient and present snowlines have risen from the margins of the Qinghai-Tibet Plateau to the interior and the Tanggula Mountains area is ~1500 m higher than the the margins, which vividly reflects the role of the Dry Pole of Asia, as suggested by some scientists earlier. The wide distribution of lake swarms shows that the Qiangtang area is an interior drainage area into which big rivers have not yet stretched, implying that the Qinghai-Tibetan Plateau is younger. The scale of glaciers in the Tanggula Range has become smaller and smaller since the penultimate glacial epoch because of the drying process and severe shortages of moisture in the interior of the plateau due to the uplift of the plateau.

**Key words:** Quaternary glacier; remnants of glaciation; glacial period; TL dating; Tanggula col

---

**About the first author:** Duan Zhi-ming, male, born in 1963, senior engineer, Ph.D candidate, majors in Quaternary geological research; E-mail: duanzm2003@163.com.