

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

0.7 Ma 以来的念青唐古拉山脉隆升过程 ——来自冰川剥蚀作用的证据

朱大岗¹⁾ 赵希涛²⁾ 孟宪刚¹⁾ 吴中海¹⁾ 邵兆刚¹⁾ 冯向阳³⁾ 杨朝斌⁴⁾ 王建平¹⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081; 2) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

3) 中国地质博物馆, 北京, 100034; 4) 西藏自治区国土资源厅, 拉萨, 850000

内容提要 通过对念青唐古拉山冰碛地层划分及冰碛物同位素测年, 发现最早一期冰碛物形成于0.7~0.6 Ma BP, 指示自中更新世以来念青唐古拉山脉开始隆升, 主峰地区发生了大规模的冰川剥蚀作用, 形成了大面积分布的冰碛高平台; 0.2~0.14 Ma BP 念青唐古拉山又快速隆升, 并堆积了刚刚伸出各大沟谷口的高侧碛; 0.07~0.03 Ma BP 念青唐古拉山再次小规模隆起, 形成各大沟谷内的侧碛和终碛垄; 0.01 Ma BP 还有小规模冰川活动。念青唐古拉山主峰地区的冰川剥蚀作用反映出的山脉隆升过程, 可较好地与青藏高原的隆起过程相对比, 它应是青藏高原隆升的响应。

关键词 第四纪冰川 同位素年龄 剥蚀作用 山脉隆升 念青唐古拉山

青藏高原的隆升过程及其时空序列是高原研究的热点之一, 而高原内部晚新生代以来的冰川沉积是高原隆升的良好记录。念青唐古拉山在构造成因上与藏北高原构造活动密切相关, 青藏高原的构造运动在这里应有明显的反映和记录。同时, 念青唐古拉山构造活动历史的研究对晚新生代以来青藏高原环境变化和全球响应具有重要意义。因此, 晚新生代以来冰川活动的规模、强度和时限, 可确切地反映几百万乃至几十万年来青藏高原快速隆升的过程。国内外学者对青藏高原的隆升幅度、时代和机制进行了多方面的研究(徐仁, 1981; 崔之久, 1981; Harrison et al., 1992; Molnar et al., 1995; Coleman et al., 1995; Searle, 1995; 李廷栋, 1995; 丁林等, 1998; 许志琴等, 2001; 吴珍汉等, 2001; 赵文津等, 2002), 取得了许多重要进展, 但从第四纪冰川剥蚀作用探讨山脉隆升的研究罕见报道。本文主要从第四纪冰川活动与冰期划分、冰碛物同位素测年资料及冰川剥蚀作用的证据, 对念青唐古拉山0.7 Ma 以来的隆升过程作初步的探讨。

1 地貌与地质背景

念青唐古拉山脉横跨在青藏高原的腹地, 呈近东西向展布, 延长>1000 km, 中段(E90°~E91.5°)

的平均海拔高度>5000 m, 雪线海拔在5800 m 左右, 是一个走向 N60°E 的上升断块, 这里集中了整个念青唐古拉山脉5座7000 m 以上的主峰中的4座, 主峰念青唐古拉峰海拔为7162 m, 其东南侧以断裂与羊八井地堑为邻, 西北侧与纳木错湖盆低地为邻。山脉宽度在东北部约10 km, 到西南部约35 km。念青唐古拉山展现出一有规则的山顶纵向剖面, 主峰一带呈现圆锥形包络线突然地耸立, 峰高出一般峰顶面约700 m 或800 m, 这个孤峰具有一种岛山面貌。由于这个高度, 念青唐古拉山在更新世时期曾广泛地受到冰川作用和侵蚀, 至今仍有雪原和冰川残存。

念青唐古拉山主峰地区的中心部分出露的岩石, 由渐新统黑云母钾长花岗岩、黑云母二长花岗岩、黑云母花岗闪长岩等组成, 受韧性剪切作用局部出现花岗质糜棱岩带。山脉两侧分布有白垩系砂岩、凝灰岩和石炭系泥质板岩、泥灰岩、石英砂岩等, 总体呈 EW 走向; 山脉东部有变粒岩、片麻岩、片岩等分布, 片麻岩、片岩中的叶理平缓倾斜, 近 NE 走向与山脉的方向平行(图1)。念青唐古拉山主峰两侧出露的第四纪地层, 在岩性上有冰碛、湖积、冲积和冲洪积等, 以冰碛、湖积为主, 表明它们自晚更新世以来一直处于沉降状态。

注: 本文为国土资源大调查项目“西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究”(编号 DKD 2001006)和“西藏当雄幅1:25万区域地质调查”(编号 DKD9901001)的成果。

收稿日期: 2003-05-06; 改回日期: 2003-07-07; 责任编辑: 王思恩。

作者简介: 朱大岗, 男, 1951年生。研究员, 主要从事区域地质、沉积相与古环境研究。

2 念青唐古拉山冰川活动及其产物

念青唐古拉山的冰川是青藏高原第四纪冰川的重要组成部分,也是全球现代冰川的分布区之一。对念青唐古拉山的第四纪冰川发育和期次划分,前人作了大量的工作(钱方等,1982;浦庆余等,1982),但

很少涉及对念青唐古拉山的隆升过程和冰碛物成分的研究。2000~2002年夏,我们在念青唐古拉山主峰地区的山脉两侧进行地质调查与地质填图工作中,不仅发现了中更新世以来的4次冰期,而且对冰川作用与山脉的隆升关系也进行了初步探讨。该区出现的冰碛砾石除再搬运者外,均产自基岩地层。冰碛砾

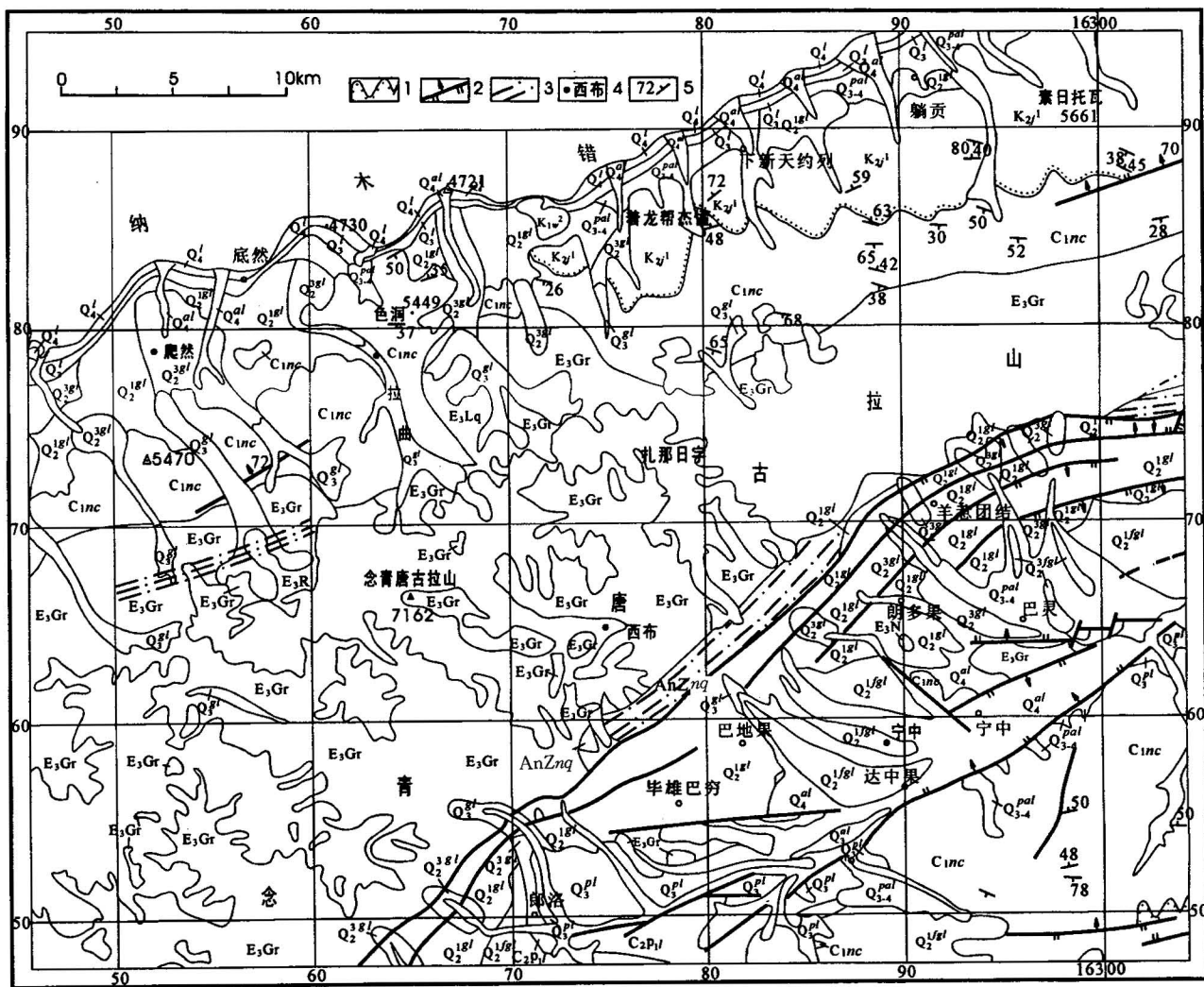


图1 念青唐古拉山脉主峰地区第四纪地质图

Fig. 1 The Quaternary geologic map of the major peak area in the Nyainqentanglha Mountains

1—不整合;2—断层;3—韧性剪切带;4—冰期命名地;5—产状; Q_4^l —全新统湖积; Q_4^{al} —全新统冲积; Q_3^{pal} —上更新—全新统洪冲积; Q_3^{gl} —上更新统冰碛; Q_3^{glf} —上更新统冰水沉积; Q_3^l —上更新统湖积; Q_3^{pl} —上更新统冲积; Q_2^{3gl} —中更新统晚期冰碛; Q_2^{3glf} —中更新统晚期冰水沉积; Q_2^{gl} —中更新统早期冰碛; Q_2^{glf} —中更新统早期冰水沉积; E_3Lq —渐新统鲁巴杠单元黑云母花岗岩闪长岩; E_3Gr —渐新统结里单元黑云母钾长花岗岩; E_3R —渐新统古仁曲单元黑云母二长花岗岩; K_2j^1 —白垩系砂岩、凝灰岩; C_1nc —石炭系泥质板岩; $AnZnq$ —前震旦系念青唐古拉群

1—Unconformity; 2—fault; 3—ductile shear zone; 4—named location of glacial epoch; 5—occurrence; Q_4^l —Holocene lacustrine deposits; Q_4^{al} —Holocene alluvium; Q_3^{pal} —Upper Pleistocene—Holocene alluvium and proluvium; Q_3^{gl} —Upper Pleistocene moraine; Q_3^{glf} —Upper Pleistocene glaciofluvial deposit; Q_3^l —Upper Pleistocene lacustrine; Q_3^{pl} —Upper Pleistocene alluvium; Q_2^{3gl} —late Middle Pleistocene moraine; Q_2^{3glf} —late Middle Pleistocene glaciofluvial deposits; Q_2^{gl} —early Middle Pleistocene moraine; Q_2^{glf} —early Middle Pleistocene glaciofluvial deposit; E_3Lq —Oligocene biotite granodiorite of Lubagang unit; E_3Gr —Oligocene biotite moyite of Jieli unit; E_3R —Oligocene biotite adamellite of Gurenqu unit; K_2j^1 —Cretaceous sandstone and tuff; C_1nc —Carboniferous argillite; $AnZnq$ —pre-Sinian Nyainqentanglha Group

石层中的砾石成分与种类,都很好的反映了其源地和沿程各个时代、各种地层岩性的特征。

根据冰碛地层的地层层序、地质地貌特征及其相互接触关系,同时还考虑有关地层的古风化壳的位置、地貌部位、地层不整合、冰蚀地形、间比冰期和气候变化等因素,结合同位素测年结果,我们将念青唐古拉山主峰地区的第四纪冰川作用划分为4次冰期,从新到老依次划分为:西布冰期(Q_4)与现代冰川、拉曲冰期(Q_3)、爬然冰期(Q_2^3)、宁中冰期(Q_2^1) (表1) (朱大岗等,2002;赵希涛等,2002)。

3 冰碛物同位素测年与冰期划分

3.1 本区冰川与其他相关沉积物同位素年代测定

前人结合青藏铁路和当雄大地震调查,用 ^{14}C 法测定过发源于念唐古拉山南麓的一些沟谷的第一级阶地、河漫滩、洪积扇及其边缘洼地的沼泽沉积物的年代(李炳元等,1983;李吉均等,1986),其数据几乎全集中于冰后期。侯增谦等(2001)用电子自旋共振法(ESR)测定了当雄县羊八井、拉多岗和那曲县谷露,出露于各冰期沉积物之上或夹于其中温泉华的年龄,为大间冰期以来的不同时期。我们也用 ESR 法测定了最早一期和第二期两次冰期的冰水沉积

物,用铀系等时线法测定了末次冰期的冰水沉积物,用光释光(OSL)法测定了末次冰期的冰水沉积物的年龄。还用铀系等时线法测定了念青唐古拉山脉以北、与冰川消长密切相关的纳木错沿岸富含碳酸盐的湖相细粒沉积与湖滨相砂砾岩的胶结物的年龄(表2)。

3.2 本区冰期划分命名及其对比

从前述地质观察和测年数据可以看出,最早一期冰期在念青唐古拉山南北两麓形成了巨大的山麓冰川,而以宁中盆地的冰碛高平台最为发育,故名为宁中冰期,其 ESR 年龄约为0.7~0.6 Ma BP。第二期冰期在念青唐古拉山南北两麓均为刚伸出沟谷出山口的中小型山谷冰川,而以北麓小河爬然主山口处的冰碛高平台内的宽尾山谷冰川为最典型,故命名为爬然冰期,其 U 系与 ESR 年龄约为0.2~0.14 Ma BP。末次冰期在念青唐古拉山南北两麓大都为退缩于沟谷之内的小型山谷冰川,但在北麓小河拉曲,其侧碛和终碛却能达山口,故将该期冰期命名为拉曲冰期,其 U 系与 OSL 年龄约为0.07~0.03 Ma BP(图2)。最新一期冰期为全新世以来,以念青唐古拉山东麓的西部西布冰川最为发育,故命名为西布冰期。

表1 念青唐古拉山第四纪冰期划分与邻区对比

Table 1 The division and correlation of Quaternary glacial epoch of the Nyainqêntanglha Mountains

纪	世	喜马拉雅山 (李炳元等,1983)	念青唐古拉山 (钱方等,1982)	唐古拉山 (李吉均等,1986)	玉龙山 (赵希涛等,1999)	念青唐古拉山 (本文)
第四纪	全新世			新冰期		西布冰期与 现代冰川(Q_4)
	晚更新世	绒布寺冰期	躺冰错冰期	巴斯错冰期	大理冰期	拉曲冰期(Q_3)
		末次间冰期				干马弄组下部
	中更新世	基龙寺冰期	海龙冰期	扎加藏布冰期	古乡/丽江冰期	爬然冰期(Q_2^3)
		大间冰期				红色古土壤
		聂聂雄拉冰期	羊八井冰期 当雄冰期	布曲冰期	玉龙冰期 干海子冰期	宁中冰期(Q_2^1)
	早更新世	希夏邦马冰期	欠布冰期	唐古拉冰期		古砾石层

表2 念青唐古拉山冰川沉积物的年龄测定结果

Table 2 Dating results of glacial deposits from the Nyainqêntanglha Mountain

样品编号	剖面地点与采样位置	冰期	岩性	测年方法	年龄(ka BP)
0722-1	当雄江多冰水台地顶部	拉曲冰期晚期	冰水相砂	OSL	24.4±8.7
6-1-1	当雄多穷岛西南岸湖蚀台地	拉曲冰期晚期	湖滨相砂岩	U系等值线	26.7±2.8
03-3	羊八井扎日阿白果拔河25~35 m 冰水台地	拉曲冰期早期	钙质胶结物	OSL	72.1±6.1
6-27-2-7	班戈塔吉古日纳木错拔湖47.5 m 处	拉曲冰期早期	湖相粘土质细砂	U系等值线	71.8±8.5
03-5	宁中西布曲拔河40~80 m 高侧碛上部	爬然冰期	钙质胶结物	ESR	143.4±16.3
0722-4	当雄拉尔根沟东北冰水台地中部	爬然冰期	钙质胶结物	ESR	205±54
0723-4	当雄你阿沟冰水台地断层崖中部	宁中冰期	钙质胶结物	ESR	593±260
0723-5	当雄你阿沟北冰水台地顶部	宁中冰期	钙质胶结物	ESR	678±307

从 ESR、OSL、U 系等测年结果来看,宁中冰期(Q_2^1)大致相当于明德(Mindel)冰期(500~700 ka),故其时代为深海氧同位素第16阶段(MIS 16);爬然冰期(Q_2^3)大致相当于里斯(Riss)冰期(130~300 ka),属深海氧同位素第6阶段(MIS 6);拉曲冰期(Q_3)大致相当于玉木(Würm)冰期(10~70 ka),其时代跨深海氧同位素第四阶段(MIS 4)、第3阶段(MIS 3)和第2阶段(MIS 2)。因此,念青唐古拉山主峰地区的冰期划分可与国际上的第四纪冰期和深海氧同位素相对比。

4 冰碛物砾石成分变化显示的冰川剥蚀作用

在念青唐古拉山主峰地区砾石统计表明,中更新世以来的冰碛物中的砾石成分呈有规律性的变化。从老到新,随着冰碛地层时代变新砾石成分中花岗质岩石含量逐渐增加,变质岩类的含量逐渐减少,而浅变质沉积岩仅在中更新世早期冰碛物中出现(图3)。

4.1 念青唐古拉山南坡的冰川剥蚀作用

宁中冰期冰碛(Q_2^{1gl})砾石层分布广泛,测点位于当雄县西布曲(7-7-4)、宁中区(7-8-1)、甲果果(7-9-1),其岩性以沉积岩、(浅)变质岩为主,其中石英岩、石英砂岩、凝灰岩、片岩、片麻岩、变粒岩等的总

含量变化在93%~100%,同时混有较多的凝灰岩(10%~40%)。表明这些物质主要来源于念青唐古拉山的中上部构造层(图4a)。宁中冰期冰水(Q_2^{1fgl})砾石层,测点位于当雄县宁中区宁中小学西山坡(7-8-2),其岩性以片(麻)岩、凝灰岩、板岩为主,其中沉积岩、凝灰岩、浅变质岩、变质岩含量可达90%,花岗岩类的砾石极少,表明这期砾石层与本期冰碛物质来源相同,同时混有较多的凝灰岩(24%)。

爬然冰期冰碛(Q_2^{3gl})侧碛砾石层(7-7-3),测点位于拉曲沟口东侧,其砾石主要为变质岩类(64%)、花岗岩类和沉积岩类,花岗岩类的砾石逐渐增加,其含量达到23%,说明念青唐古拉山脉的剥蚀程度有加深的趋势(图4b)。部分砾石应来自念青唐古拉山中下部构造层;另一部分可能系宁中冰期的冰碛和冰水沉积改造的结果。这说明伴随着山脉的不断隆升,念青唐古拉山的基岩地层不断被剥蚀,而产生第四纪砾石层岩屑的主要营力,则是寒冻风化和融冻风化。

拉曲冰期冰碛(Q_3^{gl})侧碛—终碛砾石层(7-7-2),测点位于西布曲沟口东侧,其砾石中属于变质岩的片岩、片麻岩、变粒岩等含量减少(42%),而花岗岩类的砾石逐渐增加,其含量达到55%,说明念青唐古拉山脉冰川对表层变质岩的剥蚀作用更深(图

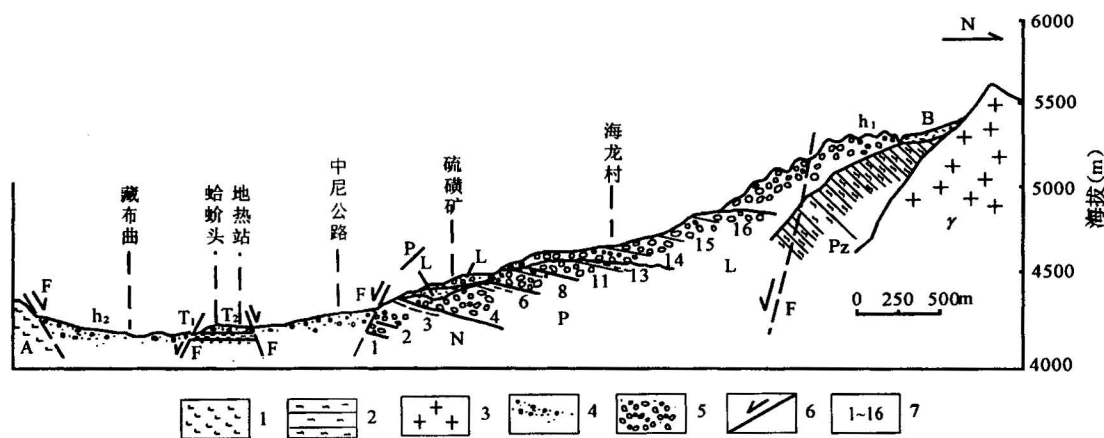


图2 当雄县羊八井第四纪冰碛地层剖面(据钱方等1982年资料修改)

Fig. 2 The Quaternary section of the glaciofluvial deposits near Yangbajing, Dangxiong County (modified after Qian Fang et al., 1982)

1—火山岩;2—变质岩;3—侵入岩;4—砂砾层;5—冰碛层;6—断层;7—分层号;B—现代冰川;h₁—现代冰川终碛;h₂—冰后期冲—洪积;T₁—一级阶地堆积;T₂—二级阶地堆积;L—拉曲冰期冰碛;P/L—拉曲冰期—爬然冰期堆积;P—爬然冰期冰碛;N—宁中冰期冰碛;A—安山岩;Pz—念青唐古拉群;γ—花岗岩;F—断层

1—Volcano rock; 2—metamorphic rock; 3—intrusive rock; 4—gravel beds; 5—moraine beds; 6—faults; 7—beds number; B—existing glacier; h₁—existing glacier terminal moraine; h₂—post-glacial period alluvium and proluvium; T₁—first-order terrace accumulation; T₂—second-order terrace accumulation; L—Laqu glacial moraine; P/L—Laqu and Paran glacial moraine; P—Paran glacial moraine; N—Ningzhong glacial moraine; A—andesite; Pz—Nyainqentanglha group; γ—granite; F—faults

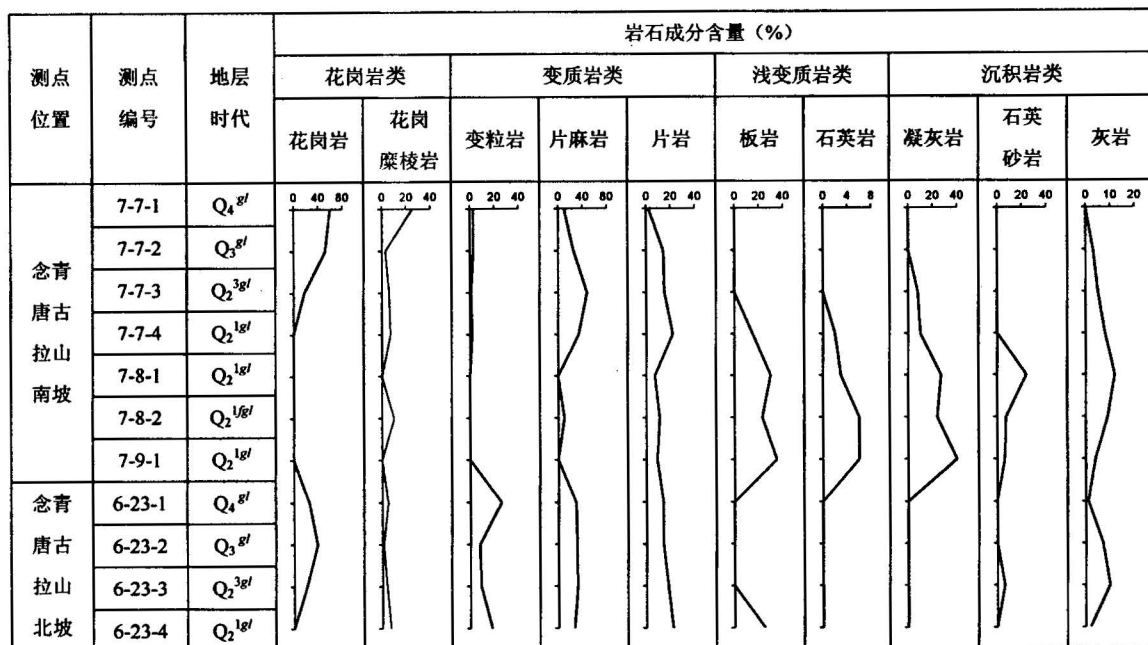


图3 念青唐古拉山脉主峰地区第四纪冰碛砾石层的砾性特征

Fig. 3 The compositional features of Quaternary gravels in the Nyainqêntanglha Mountain

4c)。砾石主要来自念青唐古拉山的下部构造层,少部分为宁中、爬然冰期的冰碛和冰水沉积改造而来。

西布冰期冰碛(Q₄^{gl})侧—终碛砾石层(7-7-1),测点位于西布曲沟口内,其砾石成分中的片岩、片麻岩、变粒岩等含量更少(15%),而花岗岩类的砾石的含量则高达85%,沉积岩砾石未见,表明冰川的剥蚀作用更深,砾石以来自念青唐古拉山的下部构造层为主。

4.2 念青唐古拉山北坡的冰川剥蚀作用

念青唐古拉山北坡的冰川剥蚀作用与南坡的情况大体相同,宁中冰期冰碛(Q₂^{1gl})砾石层(6-23-4),测点位于纳木错南岸底然沟口,其砾石岩性以片麻岩、片岩、变粒岩、花岗岩、花岗糜棱岩为主,其中变质岩含量高达91%,以中部构造层的岩石为主(图4a),而红层的岩石较少。

爬然冰期冰碛(Q₂^{3gl})砾石层(6-23-3),测点位于纳木错南岸底然沟口,其砾石的岩性中属于变质岩的岩石趋于减少(59%),而花岗岩类等的砾石逐渐增加(25%),说明念青唐古拉山的冰川对表层变质岩的剥蚀加深(图4b)。砾石主要应来自于念青唐古拉山表层深部的变质岩和岩浆岩,少部分可能由第一冰期的冰碛和冰水沉积的砾石改造而来。

拉曲冰期冰碛(Q₃^{gl})砾石层(6-23-2),测点位于

纳木错南岸拉曲沟口,花岗岩、片麻岩约占70%,其风化很弱,由于它与前几期冰碛物相关,故其成分主要来源于此,属冰川砾石层经改造、搬运而再堆积的,但附近山坡红层的砾石也有一定数量(7%)加入。

西布冰期(Q₄^{gl})砾石层(6-23-1),测点位于纳木错南岸拉曲沟口,主要来源于宁中、爬然、拉曲冰期的堆积物,但风化程度很弱,砾石成分中片麻岩和花岗岩的岩性接近50%,而且拉曲冰期的冰碛达到海拔5000 m以上的高度,所以这层砾石的成因不能排除为拉曲冰期冰川的冰前沉积,至少有一部分是拉曲冰期时的冰水砾石层改造而再沉积的(图4c)。

5 念青唐古拉山脉的隆升过程

在冰碛物开始堆积之前,念青唐古拉山主峰地区的山麓和青藏高原山顶面,可能基本上处于同一高度。随着念青唐古拉山的隆升,基岩的剥蚀主要是冰川作用的结果,与剥蚀相拌还有切割作用,宁中冰期(Q₂¹)、爬然冰期(Q₂³)、拉曲冰期(Q₃)、西布冰期(Q₄)与现代冰川的多期作用,形成切割深达千米的沟谷,既反映出随着印度—欧亚陆—陆碰撞,地壳缩短,青藏高原快速隆升,带动念青唐古拉山的隆起与不断剥蚀、割深与堆积的过程。同时,又反映出本区

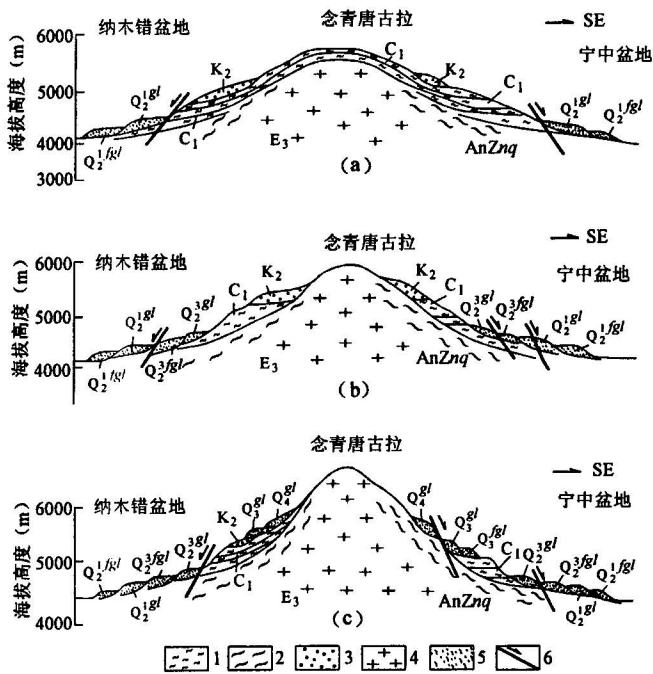


图4 念青唐古拉山主峰地区各冰期剥蚀与山体原岩关系示意图

Fig. 4 The sketch map showing relation between the moraines of glacial epochs and original rocks in the peak of the Nyainqentanglha Mountain

(a)—宁中冰期;(b)—爬然冰期;(c)—拉曲和西布冰期;1—板岩、片岩;2—糜棱岩;3—砂岩、凝灰岩;4—花岗岩类;5—冰碛物;6—正断层
(a)—Ningzhong glacial epoch;(b)—Parang glacial epoch;(c)—Laqu and Xibu glacial epoch;1—slate and schist;2—mylonite;3—sandstone and tuff;4—granitoid;5—glacial till;6—normal fault

冰期一间冰期时段,在总体变暖的趋势上出现了冷暖交替变化的气候环境。

约在0.7~0.6 Ma BP 时期,念青唐古拉山脉受到挤压而快速隆起,同时最大一期冰川开始大规模活动,在念青唐古拉山脉主峰地区南北两麓宁中冰期的冰碛物,构成了山麓与山前的高平台,高出附近出山沟谷、河床数10 m 至300 m,表明山脉隆升的幅度>300 m、隆升持续的时段较长。在砾石的成分中以变质岩类为主,占40%~91%,次为沉积岩类,占2%~63%(表3)。这期冰川作用具有山麓冰川的性质,是现知本区较老一次冰期,相当于珠穆朗玛峰地区中更新世早中期的聂聂雄拉冰期(李吉均等,1986;施雅风等,1996)。

约在0.2~0.14 Ma BP 时期,念青唐古拉山又有一次显著的抬升,在念青唐古拉山脉中段南北两侧爬然冰期的冰碛物,构成了刚刚伸出各沟谷出山

口不远的高侧碛,高出各沟谷50~100 m。反映山脉此时抬升的规模和幅度较前一期为小,约为100~150 m。其砾石的成分以变质岩类为主,占59%~63%,次为花岗质岩石,占23%~25%,沉积岩类最少,占13%~16%(表3)。根据地质特征判断,该冰期相当于前人所划分的海龙冰期(钱方等,1982)或叶巴果冰期(李吉均等,1986),也相当于藏东南的古乡冰期和玉龙山的丽江冰期(赵希涛等,1999)。

0.07~0.03 Ma BP 时期,念青唐古拉山脉中段南北两侧拉曲冰期的侧碛与终碛垄,仅发现于各大山谷之内,除主要大沟外,一般不能伸出山口。山脉隆升持续的时段较短,隆升的幅度<100 m。在砾石的成分中以花岗质岩石为主,占55%,次为变质岩类,占42%,沉积岩类最少,占3%左右。从该冰期冰碛与冰水沉积的分布部位与沉积特征看,它们可与前人所划分的躺兵错冰期(钱方等,1982)或海龙村冰期相对比(李吉均等,1986)。

表3 念青唐古拉山冰碛物不同成分砾石含量统计表

Table 3 The gravel component of moraines in the Nyainqentanglha Mountains

冰碛物时代	砾石成分		
	花岗质岩石	变质岩类	沉积岩类
Q_2^1	0~10%	40%~91%	2%~63%
Q_2^2	23%~25%	59%~63%	13%~16%
Q_3	55%	42%	3%
Q_4	85%	15%	—

0.01 Ma BP 的冰碛物,在念青唐古拉山主峰地区主要分布于现代冰川的末端及其附近,冰碛物构成典型的终碛、侧碛和底碛丘陵等冰碛地貌。其砾石的成分以花岗质岩石为主,占85%,次为变质岩类,占15%左右。表明山脉已隆升至现代高度,冰川剥蚀作用减弱。

6 结论和讨论

念青唐古拉山主峰地区的4期冰期,即宁中冰期(Q_2^1)、爬然冰期(Q_2^2)、拉曲冰期(Q_3)、西布冰期(Q_4),所出露的冰碛物与冰水沉积物及其地质地貌特征,表明随着念青唐古拉山的隆升,不同期次冰川对基岩不同构造层岩石的递进剥蚀作用。从早到晚冰川剥蚀基岩地层的顺序为:沉积岩类→变质岩类→花岗岩类。在念青唐古拉山中段地区中更新世以来冰碛物中的砾石成分,从老到新,随着地层时代变新砾石成分中花岗质岩石含量逐渐增加,变质岩类的

含量逐渐减少,而沉积岩仅在中更新世早期冰碛物(即宁中冰期的冰碛物)中出现。冰碛物砾石成分的变化恰好反映了源区的沉积盖层首先被剥蚀,随着念青唐古拉山脉的隆升,基底的岩石(深变质岩和侵入岩)也被逐渐暴露和剥蚀。

从念青唐古拉山主峰地区4期冰期的发育来看,念青唐古拉山脉相对于两侧断陷盆地的隆升开始于0.7 Ma BP 即中更新世早期,而且一直持续到现在,但冰川活动的强度逐渐减小。念青唐古拉山脉隆升的过程,可明显地分为与冰川发育相对应的4个大的阶段,应是青藏高原隆升过程的响应,其每期冰碛物的地表分布与地貌特征,显示了山脉不同隆升阶段的隆升幅度和不同期次冰川的剥蚀程度及其差异。同时,也表明本区冰期的产生受到了晚新生代以来全球环境变化的影响,冰期的气候变化与全球气候变暖的总趋势是一致的。

基于以上认识,我们可以粗略估算念青唐古拉山主峰地区隆升速率的变化,约0.7 Ma BP 以来,随着印度板块向欧亚板块的俯冲,念青唐古拉山主峰地区的山峰相对于藏北高原山顶面至少隆升了500 m 以上,其平均隆升的速率 >0.71 m/ka,说明隆升的速率还是相当快的。但在不同冰期时段隆升的速率不同:宁中冰期为 >0.4 m/ka,爬然冰期为 >1.0 m/ka,拉曲冰期为 >0.7 m/ka,表明高原隆升的过程具有阶段性和不均一性。

念青唐古拉山主峰地区现今岩石地层的分布特征和几期冰碛物砾石成分的变化规律表明,它们之间呈反对应关系,即冰碛物越新,其冰碛物砾石中含表壳上部和中部构造层的岩石就越多;冰碛物越老,其冰碛物砾石中含表壳上部和中部构造层的岩石越少,而含下部构造层的岩石却越多。这种通过用冰川剥蚀作用的时序和冰碛物砾石的成分差异,来反推山脉隆升的历史与过程,对于大多数冰碛物发育地区的地质调查研究,是具有启迪和指导意义的。

参 考 文 献

- 崔之久. 1981. 古岩溶与青藏高原抬升. 见:青藏高原隆起的时代、幅度和形成问题. 北京:科学出版社,45~51.
- 丁林,钟大赉. 1998. 青藏高原隆升的阶段. 见:潘裕生,孔祥儒,主编. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学. 广州:广东科技出版社,379~400.
- 侯增谦,李振清,曲晓明,等. 2001. 0.5 Ma 以来的青藏高原隆升过程——来自冈底斯热水活动的证据. 中国科学(D 辑),31(增刊):27~33.
- 李廷栋. 1995. 青藏高原隆升的过程和机制. 地球学报,16(1):1~9.
- 李炳元,王富葆,张青松,等. 1983. 西藏第四纪地质. 北京:科学出版社,78~88.
- 李吉均,郑本兴,杨锡金,等. 1986. 西藏冰川. 北京:科学出版社,217~257.
- 浦庆余,吴锡浩,钱方. 1982. 青藏公路沿线第四纪冰缘现象及其在古地理上的意义. 见:青藏高原地质文集(4)第四纪地质、冰川. 北京:地质出版社,51~70.
- 钱方,浦庆余,吴锡浩. 1982. 念青唐古拉山东南麓第四纪冰川地质. 见:青藏高原地质文集(4)第四纪地质、冰川. 北京:地质出版社,34~50.
- 施雅风,郑本兴. 1996. 青藏高原进入冰冻圈的时代、高度及其对周围地区的影响. 见:青藏高原形成演化、环境变化与生态系统研究学术论文年刊. 北京:科学出版社,136~146.
- 吴珍汉,吴中海,江万,等. 2001. 中国大陆及邻区新生代构造—地貌演化过程与机理. 北京:地质出版社,37~99.
- 徐仁. 1981. 大陆漂移与喜马拉雅山上升的古植物证据. 见:青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题. 北京:科学出版社,167~175.
- 许志琴,杨经绥,姜枚. 2001. 青藏高原北部的碰撞造山及深部动力学——中法地学合作研究新进展. 地球学报,22(1):5~10.
- 赵文津,赵逊,史大年,等. 2002. 喜马拉雅和青藏高原深剖面(INDEPTH)研究进展. 地质通报,21(11):691~700.
- 赵希涛,曲永新,李铁松. 1999. 玉龙雪山东麓更新世冰川作用. 冰川冻土,21(3):242~248.
- 赵希涛,吴中海,朱大岗,等. 2002. 念青唐古拉山脉西段第四纪冰川作用. 第四纪研究,22(5):424~433.
- 朱大岗,赵希涛,孟宪刚,等. 2002. 念青唐古拉山中段第四纪冰期划分. 地球学报,23(4):335~342.

References

- Coleman M, Hodges K. 1995. Evidence for Tibetan Plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension. *Nature*, 346: 29~34.
- Cui Zhijiu. 1981. Ancient Karst and the Uplift of the Qinghai-Xizang Plateau. In: *The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau*, Academia Sinica. Studies on the Period, Amplitude and Type of the Uplift of the Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 40~51 (in Chinese).
- Ding Lin, Zhong Dalai. 1998. Uplift stage of the Qinghai-Xizang Plateau. In: Pan Yusheng and Kong Xiangru, eds. *Lithosphere Texture Evolution and Dynamics of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau*. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 379~400.
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, An Yin. 1992. Raising Tibet. *Science*, 225: 1663~1670.
- Hou Zhengqian, Li Zhenqing, Qu Xiaoming, et al. 2001. Uplift process of the Qinghai-Xizang Plateau since 0.5 Ma, from the hot-water active evidence of the Gangdise Mountain. *Science in China, (Series D)*, 31(Supp.): 27~33 (in Chinese).
- Li Tingdong. 1995. Uplift process and mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Geoscientia Sinica*, 16(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Li Bingyuan, Wang Fubao, Zhang Qingsong, et al. 1983. Quaternary Geology in Xizang. In: *The Series of the Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau*. Beijing: Science Press, 78~88 (in Chinese).
- Li Jijun, Zheng Benxing, Yang Xijin et al. 1986. Glaciers of Xizang (Tibet), in the Series of the Scientific Expedition to the

- Qinghai—Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 217~257 (in Chinese).
- Molnar P, England P. 1995. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: Chicken or egg? *Nature*, 374: 49~52.
- Pu Qingyu, Wu Xihao, Qian Fang. 1982. Quaternary ice margin along the Qinghai—Xizang highway and its paleogeographic significance. In: *Contribution to the Geology of the Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau* (4). Beijing: Geological Publishing House, 51~70 (in Chinese).
- Qian Fang, Pu Qingyu and Wu Xihao. 1982. Quaternary glaciology at the southeastern foot of the Nyainqêntanglha Range. In: *Contribution to the Geology of the Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau* (4). Beijing: Geological Publishing House, 34~50 (in Chinese).
- Searle M. 1995. The rise and fall of Tibet. *Nature*, 374(2): 17~18.
- Shi Yafeng and Zheng Benxing. 1996. Time and height of the Qinghai—Xizang Plateau uplifting into the cryosphere and its impact on the surrounding areas. In: *Study of the Formation and Evolution, the Environmental Variation and the Ecological System on the Qinghai—Xizang Plateau*. Beijing: Science Press, 136~146 (in Chinese).
- Wu Zhenhan, Wu Zhonghai Jiang Wan, et al. 2001. The Cenozoic Evolution and Mechanism of Tectonic—landforms of China Continent and Its Adjacent Areas. Beijing: Geological Publishing House, 37~99 (in Chinese).
- Xu Ren. 1981. On palaeobotanical evidence for continental drift and the Himalayan uplift. In: *The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai—Xizang Plateau*, Academia Sinica. Studies on the Period, Amplitude and Type of the Uplift of the Qinghai—Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 8~18 (in Chinese).
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Jiang Mei. 2001. Collision-orogeny of the northern Qinghai—Tibet Plateau and its deep dynamics. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(1): 5~10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenjin, Zhao Xun, Shi Dalian, et al. 2002. Progress in the study of deep (INDEPTH) profiles in the Himalayas and Qinghai—Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 691~700 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao, Qu Yongxin, Li Tiesong. 1999. Pleistocene glaciations along the eastern foot of the Yulong Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 21(3): 242~248 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao, Zhu Dagang and Wu Zhonghai, et al. 2002. Quaternary Glaciations in the west Nyaiqêntanglha Mountains. *Quaternary Sciences*, 22(5): 424~433 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Dagang, Zhao Xitao and Meng Xiangang, et al. 2002. The division of Quaternary glacial epochs of Middle Nyaiqêntanglha Range. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(4): 335~342 (in Chinese with English abstract).

Doming of the Nyainqêntanglha Mountains since 0.7 Ma from the Glacial Denudation Evidence

ZHU Dagang¹⁾, Zhao Xitao²⁾, Meng Xiangang¹⁾, Wu Zhonghai¹⁾, Shao Zhaogang¹⁾,
Feng Xiangyang³⁾, Yang Chaobin⁴⁾, Wang Jianping¹⁾

1) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*

2) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

3) *National Geological Museum of China, Beijing, 100034*

4) *The Land and Resources Department of the Xizang (Tibet) Autonomous Region, Lhasa, 850000*

Abstract

Based on the delimitation of the moraine in the Nyainqêntanglha Mountains and the isotopic dating of moraine deposits, the writers have found that the oldest moraine deposit was formed during 0.7~0.6 Ma BP. This result indicates that the Nyainqêntanglha Mountains began doming since the Middle Pleistocene, that glacier denudation occurred cosmically in the highest region, and that high moraine platforms were formed in large areas. The Nyainqêntanglha Mountains domed rapidly again during 0.2~0.14 Ma BP; the high flanking moraines just protruding great ravines were accumulated. The Nyainqêntanglha Mountains domed in miniature again during 0.07~0.03 Ma BP; the flanking moraines and terminal moraine knaps were formed in great ravines. There are still miniature glacial movements during 0.01 Ma BP. The glacier denudation in the highest region of the Nyainqêntanglha Mountains reflects the doming process of the mountains, which can be well compared with the doming of the Qinghai—Tibet Plateau. The doming of the mountains should also be seen as the response of the doming of the Qinghai—Tibet Plateau.

Key words: Quaternary glacier; isotopic age; denudation; range doming; the Nyainqêntanglha Mountains