

青藏高原第四纪冰川的早期记录 及其构造与气候含义

赵 越 钱 方 朱大岗 张永双 邵兆刚 何哲峰

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

提要:综合青藏高原第四纪冰川早期记录的研究进展和典型盆地地层、沉积、古生物、古环境研究的系统成果, 扎达盆地香孜组上部冻融层的出现代表了区域的古海拔达到了高原冰缘的高度, 即 3 500 m 以上。这一段地层的时代可能从 2.3 Ma 前后开始, 并与贡巴砾石层下部冰水沉积层的时代基本一致。卓奥友冰期和希夏邦马冰期的时代与扎达盆地沉积结束后, 直接覆盖其上的终碛垄和冰碛垄的时代大致相当, 展现了这一时期喜马拉雅山脉的山岳冰川进一步发育, 也说明喜马拉雅山脉作为青藏高原海拔最高的地区开始冰冻圈的环境很可能在早更新世早中期。川西地区的早更新世的冰川沉积说明东喜马拉雅构造结附近地区这一时期已经抬升至冰冻圈高度, 但是, 海拔高度与气候环境与喜马拉雅山脉应有不同。具体的时代仍需要深入工作。青藏高原普遍开始冰冻圈记录是在中更新世早期。伴随着全球冰期的到来, 这一时期的冰川作用在青藏高原最为发育和广泛。这些暗示着青藏高原在中更新世早期整体性地较快速抬升进入冰冻圈, 即海拔 3 500 m 以上。详细的过程仍有待深入研究。

关 键 词: 青藏高原; 第四纪冰川; 早更新世; 中更新世早期; 冰冻圈

中图分类号: P512.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)06-1195-13

青藏高原号称世界屋脊或地球第三极, 是除南极和北极外, 现代冰川最为发育的地区。其冰川总面积约 98 000 km^{2[1]}。该地区的冰川是典型的高海拔山地冰川。

青藏高原是巨大的构造地貌单元^[2]。这一独特的地貌是高原地壳和岩石圈强烈变形的结果。当高原地区变形抬升进入冰冻圈, 就自然形成冰川及其地貌和沉积物。青藏高原现代冰川发育的五大区域是帕米尔、喀喇昆仑、昆仑山、喜马拉雅山脉和念青唐古拉山脉^[1]。它们分别与青藏高原西构造结及其周缘断裂系、喜马拉雅主中央断裂带和青藏高原东构造结及其周缘强烈的变形区对应。最近, 国际上将第四纪的下限向下变动到 2.588 Ma。而这一重要变动的依据主要是参考了北半球冰川作用的大规模出现和古气候剧变的因素。当从这一视角审视青藏高原时, 面对的事实是: 迄今为止保存的有较为可靠年代

学依据的青藏高原冰川记录并不是始于第四纪初或更早^[3-4]。因此, 当青藏高原在第四纪时期抬升进入冰冻圈, 开始发育的山岳冰川, 便记录了这一过程。本文对青藏高原第四纪冰川早期记录的评述, 就是试图综合近年来的研究进展, 认识高原抬升进入冰冻圈的历史。这是青藏高原抬升进入冰冻圈最客观、最实在和最准确的记录, 是构造和气候共同作用的结果。

1 喜马拉雅山脉地区

喜马拉雅山脉地区是青藏高原海拔最高的地区, 也是最早识别出早更新世冰川记录的地区^[5-6]。这是否暗合现今青藏高原最高的山脉地区也是青藏高原冰川作用最早开始的地区? 阐明这一问题可以从贡巴砾石层开始。

1.1 贡巴砾石层

贡巴砾石层出露于青藏高原海拔最高的珠穆朗

收稿日期: 2009-10-30; 改回日期: 2009-11-10

基金项目: 中国地质调查局基础地质调查项目“青藏高原新构造及晚新生代古大湖研究”课题(1212010610108)资助。

作者简介: 赵越, 男, 1955 年生, 研究员, 从事区域构造、构造事件年代和构造地貌研究; E-mail: yue_zhao@cags.net.cn。

玛峰地区,是已知层位最低的与冰川作用有关的沉积记录^[5-6]。在喜马拉雅山脉中段珠穆朗玛峰西侧,耸立着海拔 8 153 m 的世界第七高峰——卓奥友峰。在卓奥友峰西北 35 km 处,为海拔 7 038 m 的通泽峰。两峰之间是延绵的雪山,其间发育了众多的现代冰川,著名的加不拉冰川就发育在这里。其源头为兰巴山口,海拔为 5 717 m,是喜马拉雅山南北的垭口。南侧就是流入尼泊尔境内的兰巴冰川,北侧为加不拉冰川,它构成了热久藏布河的源头。自第四纪以来,这里受多次冰期气候影响而发育了多期古冰川,当冰期最盛时,冰川可抵贡达甫村以北。在这些规模不同的冰川作用下,形成了开阔的古冰川谷。在谷地中留下了大量的古冰川、冰水及河流的堆积物。

贡巴砾石层——贡巴组命名剖面地点在定日盆地贡达甫村西侧的一个小丘。贡达甫村位于卓奥友峰北约 50 km 的热久藏布江西岸。贡巴砾石层是由一套半胶结的以砂砾层为主的砂、亚粘土的互层组成,厚度超过 200 m。对贡巴砾石层的研究始于 20 世纪 60 年代初期。1960 年,攀登珠穆朗玛峰的科学考察队称之为贡巴砾岩^[5-6]。后改称贡巴砾石层,时代定为早更新世。

为了确定贡巴砾石层的年代,在贡达甫村西侧

小丘的南端测制了贡巴砾石层剖面,并建议将其命名为贡巴组。同时还采集了古地磁标本和其他测试样品。贡巴组已遭受构造变动,地层倾向北西,倾角为 15°左右,小丘北端倾角可达 40°。在贡巴组中含有较多的孢子花粉,但其中 98%以上均为低等植物孢子,且见少数松、桦、蒿、藜等木本和草本植被,说明当时气候干冷。现将该剖面简述如下(图 1)。

- 12.棕黄色砾石层,砾石磨圆度好,局部钙质胶结。顶部向南厚度增大。

>28 m
- 11.钙质胶结、铁质胶结砂砾层,夹砂和粉砂亚粘土透镜体。

32 m
10. 上部粗砂夹砾石;中部为灰白色粘土夹黄色细粉砂层,有湖相对称波痕;下部为灰黄色细砂、粉砂层。含介形类化石:土星介(*Ilyocypris* sp.),白花介(*Leucocythere* sp.),棒花介(*Gomphocythere* sp.)等。

12 m
- 9.砾石层夹砂层、粉砂层和粉砂亚粘土透镜体。砂层中交错层发育,砾石层中偶见条痕石和砾石被扰动挠曲现象。

26.5 m
- 8.上部为灰白色亚粘土层;中部为灰白色细砂夹小砾石;下部为粗砂层。

1.5 m
- 7.砂砾层。

1.5 m
- 6.上部为棕黄色砂层,下部为灰白色亚粘土和砂互层。

4.5 m
- 5.粗砾夹砂和粉砂,交错层发育。

6.0 m

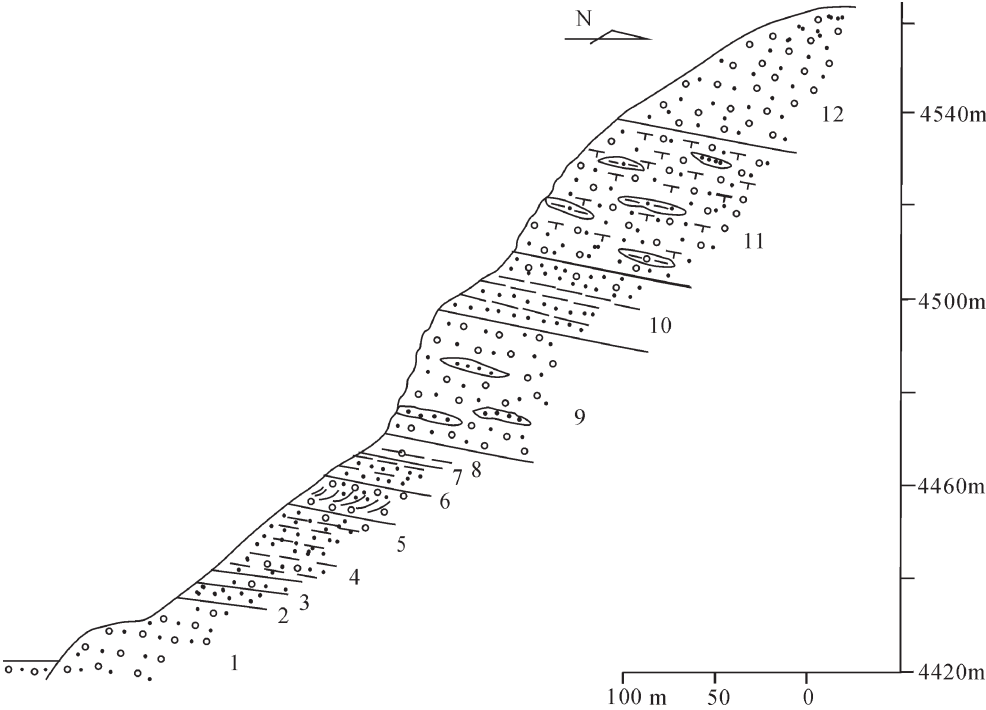


图 1 贡达甫村附近贡巴组剖面

Fig.1 Cross section of the Gongba Formation near Gongdapu Village, Tibet

- 4.钙质胶结灰白色砂层夹砾石层和粉砂亚粘土层。见条痕石。17.0 m
- 3.钙质胶结粗砾层。砾石磨圆好,粒径 10 cm 左右;砾石岩性以砂岩、砂板岩为主,还有石英岩、石英砂岩、灰岩、花岗岩等。2 m
- 2.棕黄色砂砾层,砾石粒径较小,一般为 2 cm 左右,砾石岩性同上,磨圆好。砂砾层间夹薄层细砂层4.0 m
- 1.钙质胶结砾石层夹砂层。砾石岩性为花岗岩、片岩、砂岩、石英岩、石英砂岩、灰岩、花岗片麻岩等,花岗岩砾石最大粒径为 22 cm×14 cm×8 cm,砾石风化程度深,偶见条痕石,未见底。>13 m

贡巴组主要由砂砾层组成。剖面上未见火山灰,也未见哺乳动物化石。因此,确定其年代非常困难。笔者用古地磁方法对贡巴组年代进行了研究。

将贡巴组极性柱和标准磁极性年表进行对比(图 2),应相当于松山负极性世,而其中两条正极性事件在剖面上所占的厚度均为 10 m 左右,其中的任何一条似乎都很难和松山世中的奥尔杜维事件对比,而很可能相当于松山世的留尼昂事件或哈拉米

洛事件。考虑到在贡布甫附近由贡巴组形成的小丘形成于断块隆升作用,其原始部位应该较低,时代也应该较早。此外,在加布拉附近,贡巴组与其下伏地层加不拉组为假整合接触。因此推测两者之间沉积间断期不会太长。而加不拉组可能相当于高斯期,贡巴组相当于松山世留尼旺事件附近的可能性最大。考虑到上述因素,并根据极性柱推断,贡达甫村出露贡巴组的时代为 2.30~1.90 Ma.B.P。在研究区的其他地点贡巴组的厚度均远远超过 200 m,所以贡巴组的底部时代要早于该剖面时代。

在贡巴甫贡巴组剖面中的第 1 和第 4 层中见有冰川条痕石,但这几层砾石粒径均较小,最大的不超过 30 cm,并且沉积层的层次清晰,层理明显,所以它们不可能是冰川成因,而是冰水沉积。在第 5 层中可见交错层,在第 6、8 层中夹亚粘土层,可能为河漫滩相沉积,说明当时气候转暖,冰川在退缩中。在第 10 层中发现薄层粘土层,其上见湖相对称波痕,同

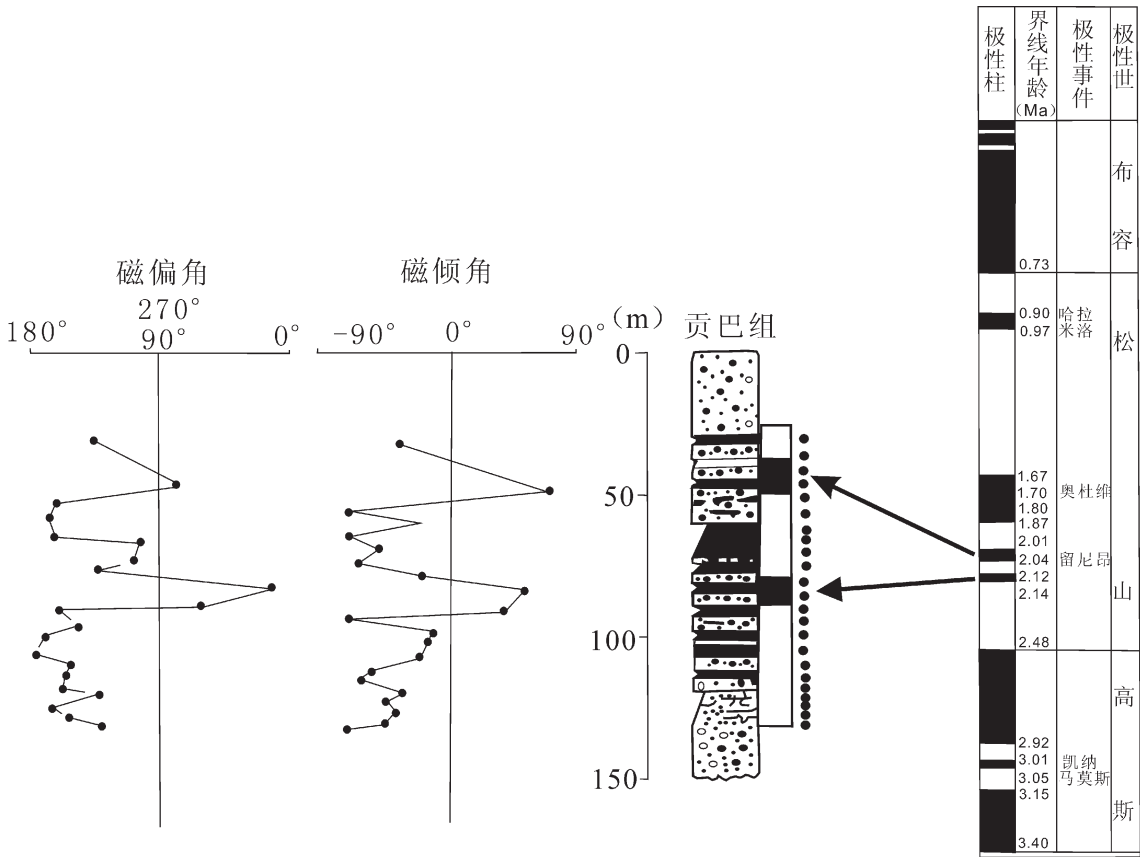


图 2 贡巴组地层剖面古地磁极性柱和极性年表对比图

Fig.2 Paleomagnetic polarity column of the Gongba Formation and correlation of the standard magnetic polarity chronological tables

时还可见介形类化石。而没有再发现冰川条痕石。说明在第 10 层沉积时,区域气候进一步变暖,但湖相层厚度小,当时形成的湖泊范围有限,持续时间也不长。第 10 层之上,又为巨厚的钙质胶结砂砾层,是以河流相为主的沉积环境。

综上所述可知:贡巴组是一套多成因堆积,其沉积反映出区域环境的巨大变化。早期主要为冰水环境,逐渐变为河流相,然后为短暂的湖相,最后为河流相。在气候上显示出从冷开始逐渐变暖的趋势。贡巴组沉积结束后,区域上又发生过一次构造变动,造成卓奥友冰碛层和贡巴组之间的不整合。

1.2 卓奥友冰期

在加布拉附近到普士拉山口一带,贡巴组从海拔 5 200 m 左右一直分布到海拔接近 5 800 m 处,在贡巴组之上堆积了一套很厚的冰碛砾岩,成为卓奥友峰北坡海拔高度达 5 800~6 000 m 的高冰碛平台(图 3)。

这套卓奥友冰碛层不整合覆盖在贡巴砾石层之上,后缘延伸到海拔 6 000 m 以上的山麓剥夷面部

分,已被永久性积雪掩盖。露头上,岩石呈棕黄色,砾石主要为深度风化的花岗岩及石英砂岩,其中尤以含有钙质胶结的贡巴砾岩碎块为特征。笔者将形成这套冰碛的时期命名为卓奥友冰期(M5)。该冰碛平台的高度可与海拔 6 200~5 700 m 希夏邦马冰期冰碛平台(希夏邦马峰高冰碛丘顶及其高平台^[5])对比。在卓奥友冰期的冰碛层中,冰碛砾石已经风化,同时还可见到来自贡巴组中钙质胶结砾岩的砾石。而在该冰碛平台到热久藏布河谷,尚可见到 4 期不同时代和高度的冰碛层,它们大致可和聂聂雄拉冰期(M4)、基隆寺冰期(M3)、绒布寺冰期(M2)及绒布得小冰期的冰碛(M1)对比。图 3 也说明了卓奥友冰期与希夏邦马冰期的可对比性。因此,推断贡巴组形成的时代早于希夏邦马冰期。希夏邦马冰期的时代为早更新世晚期。

需要特别指出的是,在希夏邦马冰期冰碛平台下伏的约 5 500 m 海拔高度的上新统砂砾岩层中,曾发现高山栎等化石;而在珠穆朗玛峰地区聂聂雄拉平台下约 4 950 m 海拔高度的上新统上部砂岩

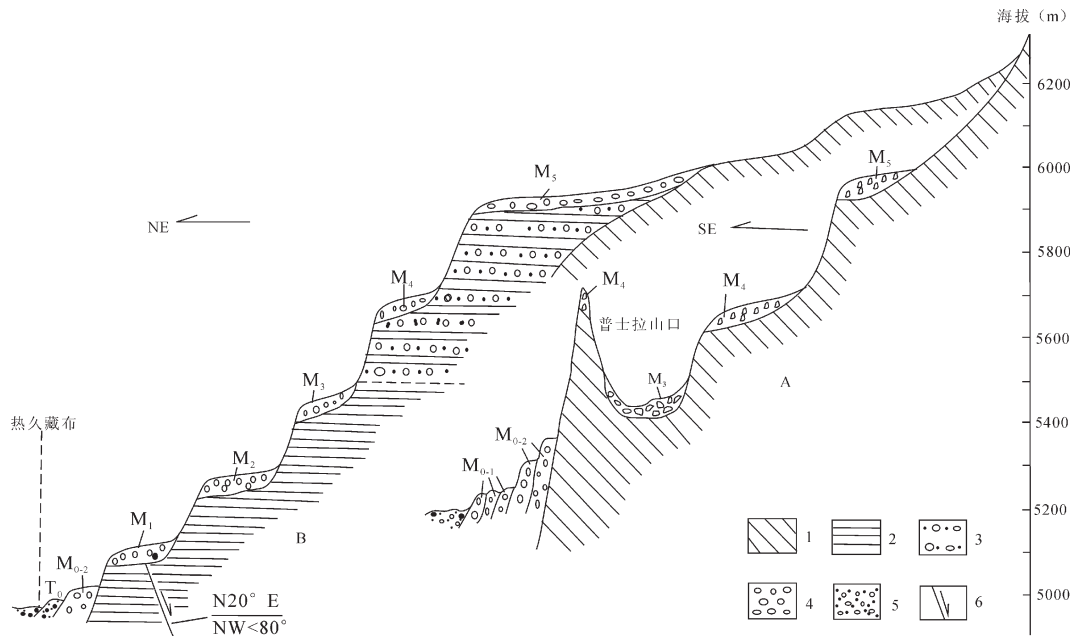


图 3 卓奥友峰北麓热久藏布谷地左侧综合地貌横剖面

A—通过普士拉山口的横剖面;B—通过加布拉的横剖面;1—基岩;2—加布拉组湖相层;
3—贡巴组钙质胶结砾石层;4—冰碛砾石层;5—冰水砂砾层;6—断层

Fig.3 Geomorphologic profile of the Rejiuzangbu valley, northern Cho Oyo, Himalayas
A—Cross section of the Pushilashan pass B—Cross section of Jiabula; 1—Bedrock 2—Lacustrine strata of
Jiabuer Formation; 3—Calcareous cemented gravel layer of Gongba Formation; 4— Moraine gravel layer;
5—Ice-contact sand-gravel layer; 6—Fault

中,发现过三趾马化石^[7]。

1.3 扎达盆地

为了了解喜马拉雅山脉地区抬升进入冰冻圈的时代,需要一个更连续的晚新生代盆地的记录中认识这一过程。这个盆地就是扎达盆地。

扎达盆地位于青藏高原西南角的西藏阿里地区,北纬34°40′、东经79°45′一带,介于喜马拉雅山北西支脉与阿伊拉日居山之间。为晚新生代断陷盆地。盆地NW-SE走向,长一百多千米,宽20~50 km,海拔为4 000~4 500 m。发源于冈底斯山的象泉河由东向西穿过盆地和喜马拉雅山脉流入印度,成为印度河上游的一支流。在象泉河西岸发育十级以上阶地,阶地基座为这套河湖相地层。盆地的基底为侏罗纪灰岩和砂岩,其上不整合堆积了厚度大于1 120 m的中新世晚期—上新世—早更新世河湖相地层^[8]。在河湖相地层上可见早更新世冲洪积相堆积转变为冰水、冰碛沉积。在早更新世地层上部冰水沉积中夹有冰碛层。

扎达盆地河湖相地层最重要的特征是含有较丰富的哺乳动物、软体、介形类和植物化石,以及孢子花粉。这些动植物化石和磁性地层的测定结果表明地层年代从中新世晚期至早更新世,距今5.41~1.60 Ma^[9](图4)。该套地层下部额鼻角犀蹄骨化石的发现说明:上新世早期,扎达盆地所在地区海拔高度不超过1 500 m。其后,动植物化石和沉积记录均指示气候和海拔高度的逐渐变化。在高斯期香孜组上部的河湖相地层中发育有约10层冻融褶皱层,厚度可超过2 m,为冰缘气候下的产物。该段中的孢粉组合以草本为主,主要为藜科、蒿、菊科,草本花粉含量达60%~70%。木本植物花粉约占30%,以松为主,还有桦等。该段冻融褶皱的出现和孢粉组合所代表的植被面貌反映:当时气候已显著变冷。一般认为冻融褶皱层的出现,代表冰缘气候,其年平均温度为-2℃。此时附近如有相对高出1 000 m的山体,其年平均温度可为-7℃以上,有条件发育山岳冰川。由此可以推知:扎达盆地所在地区在早更新世早中期抬升达到冰冻圈的高度,即大约3 500 m;时代约为2.3 Ma。

扎达盆地中早更新时冰碛层主要分布在盆地周边的香巴东侧的涝玛切沟附近(图5)^[10]。

朱大岗等^[10]对该处冰积的研究指出,冰川堆积均呈近水平层状或透镜状产出,并与冰水砂砾层呈互层,分布于盆地边缘。砾石成分复杂,且不同区域

有较明显差别。在涝玛切沟、偏误沟一带,砾石成分以花岗岩为主,其次是石英砂岩、板岩和少量变质岩。在巴拉沟一带,砾石成分以花岗岩、灰岩、大理岩、变质岩、火山岩等为主。砾石磨圆度较好,以圆状及次圆状为主,分选极差,大小混杂堆积。砾石大小悬殊,一般0.2~0.3 m居多,最大可达2 m以上,以泥砂质胶结为主,风化较强烈,许多花岗岩砾石呈松散状,板岩砾石有的呈粉末状。冰川堆积均具挤压状冰碛层特征。在冰水堆积层中常形成强烈褶皱和小断裂,显示出冰碛形成后的冻融作用。同时冰水砂砾层还常形成特有的“砾石林”地貌特征。

在涝玛切沟中可见3套层状或透镜状冰碛分布,直接覆于冰缘期香孜组河湖相沉积层之上(图5),并且呈明显的冰川堆积接触特征。即冰碛层中的一些巨大砾石“犁入”下伏河湖相地层之中,上新世河湖相地层因受第四纪冰川活动和构造运动的影响,而产生了强烈扰动、褶皱、断裂等表皮构造特征。3套层状冰碛的厚度、分布的海拔高度及ESR测年结果自下而上为:

第1套,冰碛层厚40 m,冰水堆积层厚50 m,海拔高度4 450~4 540 m。冰碛ESR年龄为 (2.33 ± 0.17) Ma;冰水堆积为 2.03 ± 0.02 Ma。

第2套,冰碛层厚20 m,冰水堆积层厚40 m,海拔高度4 560~4 600 m。冰碛ESR年龄为 (1.87 ± 0.19) Ma;冰水堆积为 (1.57 ± 0.12) Ma。

第3套,冰碛层厚80 m,冰水堆积层厚30 m,海拔高度4 600~4 710 m。未进行ESR年龄测定。而第1、2套冰碛层的ESR测年结果略老于香孜组的磁性地层年龄和ESR测年。

偏误沟的层状或透镜状冰碛分布的海拔高度约4 490 m,出露的厚度10余米,从岩性特征及分布的海拔高度看,相当于涝玛切沟的第一套层状冰碛。

巴拉沟的层状或透镜状冰碛,分布的海拔高度约为4 400 m,从岩性特征及分布的海拔高度看,也相当于涝玛切沟的第一套层状冰碛。

此外,在盆地中的榜郎子淌一带的冰水砂砾堆积丘陵,分布面积较大,大于数十平方千米,丘陵高数米至10余米。冰水堆积层厚约35 m。人工揭露的良好剖面显示,冰水堆积为砂砾与细砂粉砂沉积,水平层理发育。细砂、粉砂及含砾砂层中,常见斜层理发育。斜层理倾向南东,倾角多在20°~25°。砾石成分复杂,以砂岩、灰岩、大理岩、花岗岩、变质岩为主。磨圆

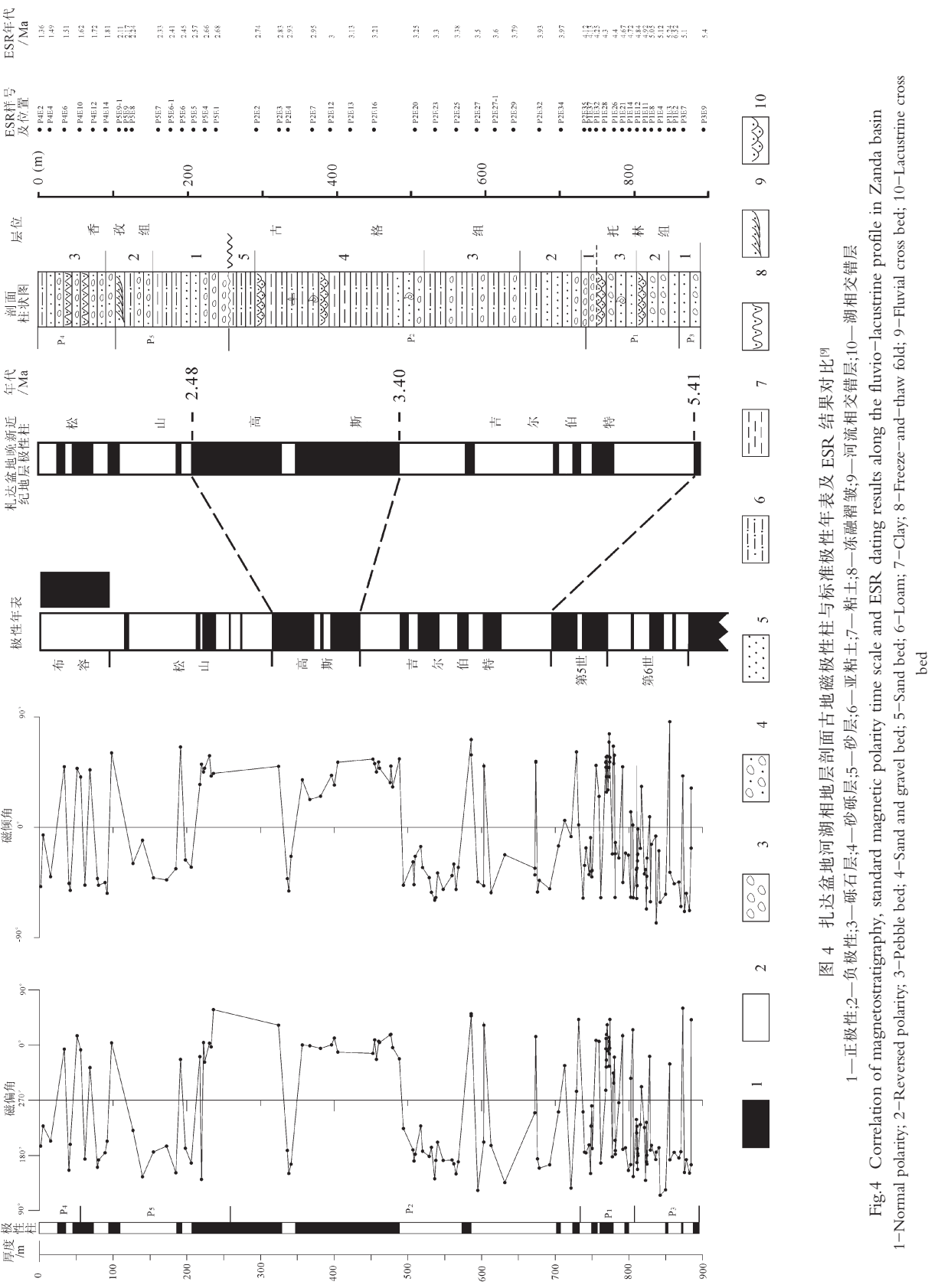


图 4 扎达盆地河湖相地层剖面古地磁极性柱与标准极性年表及 ESR 结果对比^[9]
1—正极性;2—负极性;3—砾石层;4—砂砾层;5—砂层;6—亚粘土;7—粘土;8—冻融褶皱;9—河流相交错层;10—湖相交错层
Fig.4 Correlation of magnetostratigraphy, standard magnetic polarity time scale and ESR dating results along the fluvio-lacustrine profile in Zanda basin
1—Normal polarity; 2—Reversed polarity; 3—Pebble bed; 4—Sand and gravel bed; 5—Sand bed; 6—Loam; 7—Clay; 8—Freeze-and-thaw fold; 9—Fluvial cross bed; 10—Lacustrine cross bed

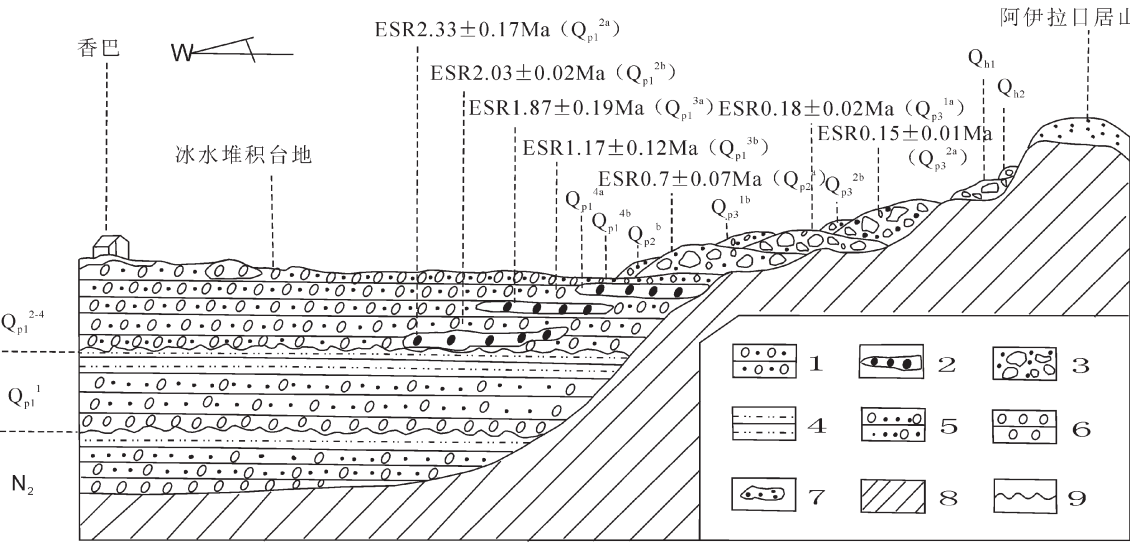


图 5 扎达盆地香巴—阿伊拉日居山第四纪冰川堆积示意剖面^[10]

1—冰水砂砾;2—透镜状冰碛;3—终碛垄,冰碛垄;4—粉砂质泥岩;5—含砾砂岩;6—砾岩;7—现代冰川;8—基岩;
9—角度不整合;Qh₂—全新世晚期;Qh₁—全新世早期;Qp₃^{1b}~Qp₃^{1a}—晚更新世晚期早间阶段;Qp₃^{1b}~Qp₃^{1a}—晚更新世早期早
间阶段;Qp₃²—中更新世晚期;Qp₃¹—中更新世早期;Qp₂^{1b}~Qp₂^{1a}—早更新世中晚期;Qp₂^{1b}~Qp₂^{1a}—早更新世晚期早间阶段;
Qp₁^{1b}~Qp₁^{1a}—早更新世中期早间阶段;Qp₁^{1b}~Qp₁^{1a}—早更新世早期;N₂—上新世晚期

Fig.5 Cross section of Quaternary glacial deposits in Xiangba-Ayilariju Mountain, Zanda basin of Tibet

1-Outwash sand and gravel; 2-Lenticular till; 3-End till kame and till dam; 4-Silty mudstone; 5-Pebbly sandstone;
6-Conglomerate; 7-Modern glacier; 8-Bedrock; 9-Unconformity; Qh₂-Late Holocene; Qh₁-Early Holocene;

Qp₃^{1b}~Qp₃^{1a}-Early and late stages of the late part of Late Pleistocene; Qp₃^{1b}~Qp₃^{1a}-Early and late stages of the early part of Late
Pleistocene; Qp₃²-Late part of Middle Pleistocene; Qp₃¹-Early part of Middle Pleistocene; Qp₂^{1b}~Qp₂^{1a}-Mid-late part of Early
Pleistocene; Qp₂^{1b}~Qp₂^{1a}-Early and late stages of the mid-late part of Early Pleistocene; Qp₁^{1b}~Qp₁^{1a}-Early and late stages of the
middle part of Early Pleistocene; Qp₁^{1b}~Qp₁^{1a}-Early part of Early Pleistocene; N₂-Late Pliocene

度均较好,以圆状、次圆状为主。砾石大小一般为数厘米至 10 cm,少量达 20 cm。在细砂、粉砂层中,可见少量冰筏沉积—坠石分布。坠石大小一般在 30~40 cm。有的冰水砂砾层直接下伏于由灰岩组成冰蚀丘陵的山顶面上。在剖面上所采 2 个样品获得 ESR 年龄分别为(1.30±0.13) Ma 和(1.31±0.16) Ma。

以上说明,扎达盆地地区是自中新世晚期大约 1 000 m 海拔高度的亚热带气候环境逐渐演变,于早更新世早中期抬升进入高原冰冻圈的环境。这对于认识青藏高原的演化是非常重要的。

2 东喜马拉雅构造结及周围地区

东喜马拉雅构造结地区主要是指本文念青唐古拉山脉东段。周围地区包括了滇西和川西地区,以及念青唐古拉山脉西段。东喜马拉雅构造结地区强烈的构造变形产生了高耸的雪山和著名的恰青冰川、夏曲冰川、那龙冰川和雅弄(来古)冰川。东构造结地区是

世界上剥蚀最强烈的地区,磷灰石的热年代数据显示了 3 Ma 以来的快速剥露^[11],也是滑坡、泥石流最为发育的地区。如易贡滑坡、102 道班滑坡、古乡泥石流等。因此,第四纪较早时期的冰川记录保存情况相对较差,但可确认末次冰期终碛内更早的终碛^[9]。

2.1 玉龙雪山地区

前人^[12-17]在玉龙雪山东西麓识别出 4 次更新世冰川作用的遗迹。分别为最老或倒数第四次的玉龙冰期;倒数第三次的干海子冰期;丽江冰期和大理冰期。丽江冰期和大理冰期的时代较晚,不在本文讨论范围。

玉龙冰期遗迹分布最为广泛,是本区所能辨认的最老的第四纪冰川记录。冰碛物主要保存于丽江盆地北缘的干河坝南侧与扫坝东侧,为两条高约百米的长梁,由称之为老冰碛岩的灰岩角砾岩所组成(图 6)。这两条长梁与其东侧高度相近,但南北向延伸的玄武岩长梁,分别位列在丽江通往云杉坪及大



图 6 玉龙冰期冰碛角砾岩

玉龙山林检站,前景二梁山由玉龙冰期冰碛角砾岩组成,其后有积雪的平台状长梁为干河坝,最外侧的丽江冰期的侧-终碛,雨雾缠绕者为玉龙雪山

Fig.6 Glacier remains of the Yulong ice age in eastern Yulong Mountain

Yulong Mountain Inspection Station. In the foreground there is the Erliang Mountain composed by Yulong glacial moraine and breccia, whereas in the background there is Ganheba, a snow-covered long platform; the outermost side is the side-end moraine of the Lijiang ice age; the area haunted by rain and fog-rain is the snow covered Yulong Mountain

具的公路两侧。根据沉积特征判断,它们可能是古冰碛物。在玉龙雪山东麓保存的另一片面积较大的老冰碛岩,位于白水谷地北侧和云杉坪台地南部,从玉龙雪山麓一直延伸到丽江至大具的公路边。它不整合于玄武岩之上,而在东段则与后期的丽江冰期的侧碛堤不整合接触。

干海子冰期冰碛物的分布范围远比前一冰期小。在玉龙雪山东麓,它在干海子盆地与白水谷地的分水岭处最为发育。从大索道下部站向东延伸到干海子北垭口公路拐弯处西侧,它与下伏老冰碛岩及间冰期的湖相沉积呈明显的不整合接触。这一冰期的冰碛物以局部胶结和具有许多巨型漂砾为特征,其顶部往往也发育了近 1 m 厚的红色古土壤。其相应的冰水与冰湖沉积分布于干海子盆地西北缘和盆地北部。该冰期的冰碛物还见于干河坝以北二小垄岗顶部和干河坝以南海拔 3 600 m 的基岩丘陵顶部,以及云杉坪台地北部。它们或不整合于多数为玄武岩的基岩之上,或与下伏的老冰碛岩以不整合相接触。

赵希涛等^[19]对于干海子北垭口公路拐弯处及其西侧湖相钙板下伏的老冰碛岩、玉龙雪山变电站东侧老冰碛岩和云杉坪以东小路南侧老冰碛岩的钙质胶结物进行 ESR 定年,获得的年龄结果分别为 (500.9 ± 100.0) ka B.P.、 (592.6 ± 118.5) ka B.P.、 (645.0 ± 129.0) ka B.P.和 (697.1 ± 39.2) ka B.P.。其中,前 3 个年龄结果在误差范围内一致,故该冰期定为 700~600 ka B.P.,属于中更新世早期,相当于全球最大冰期—明德冰

期。而干海子冰期的时代在 500~400 ka B.P.,属于中更新世中期。

需要指出的是,根据赵希涛等^[18]、吴中海等^[19-20]的研究,念青唐古拉山脉西段最早的第四纪冰期——宁中冰期的 ESR 年龄 0.7~0.6 MaB.P.,为中更新世早期。

2.2 川西地区

川西泸定海子坪冰碛层:在川西泸定海子坪,有一套 400 m 厚的昔格达组湖相地层。这套湖相地层的磁性地层研究结果,指示其主要形成于高斯世和吉尔伯特世晚期,距今为 4.2~2.6Ma. B.P.。在昔格达组下部沉积有一套 30~40 m 厚的砾石层或碎屑层。在木角沟左侧岩脊上的冰碛层中的,可见花岗岩漂砾风化很深,来自贡嘎山北段的白海子山。对其石英砂表面形态的电镜扫描图像展示其为冰川成因。该冰碛层和红军楼之上灯盏洼附近 40 m 厚的成层角砾堆积为相变关系。初步的意见是这套冰碛层形成于吉尔伯特极性世柯其提事件,距今约 4.3 Ma。这是迄今为止东亚大陆发现的新生代最老的冰期。但是,孔屏等^[21]最近报道了川西攀枝花的昔格达组湖相地层的时代为 1.58~1.34 Ma。昔格达组湖相地层的时代直接制约了该冰碛层年龄上限,因此,这一最老冰期的准确时代还需要进一步研究。

大箐梁子冰碛层:在西昌邛海南的则木河与鹅掌河,海拔 2550 m 左右的大箐果子一带,出露一套厚约 78 m 的已发生构造变形的河湖相地层^[22-23],名为“大箐梁子组”^[24]。傅建利等^[25]的工作确定大箐梁

子组形成于 1.256~0.195 Ma.B.P.。大箐梁子组之下为一套出露面积较广的紫灰色冰碛泥砾。砾石成分以震旦系紫灰色砂岩、砾岩为主,还有少量玄武岩及侏罗系红色砂岩、泥岩砾石。从砾石成分可推知其主要来自西面的海拔 4 350 m 的螺髻山。砾石大小混杂,分选差,无排列方向,其中最大漂砾粒径可达 4 m 以上,粒径在 1.5 m 以上者比比皆是,一般粒径为 10~30 cm,砾石风化深,胶结紧实,一般堆积厚度 30~80 m。东部厚度较大,而西部较薄。冰碛物向北延伸被一套厚 20~50 m 的冰川相沉积物覆盖或衔接。冰碛物南面则被一套厚 78 m 的河湖相砂岩砾石层覆盖,该套河湖相砂砾层被称为大箐梁子组。1987 年钱方曾对大箐梁子组进行调查,1988 年 10 月又与张宗祜教授等人先后两次到大箐梁子考察,在该套冰碛层中发现有冰川条痕石。张宗祜教授也确认这是一套冰碛层。最近,石英扫描电镜分析也确定为冰碛层。初步确定该冰碛层年代为 1.30~1.8 Ma.B.P.。

冕宁县柅槽村冰碛层:在冕宁县北约 7 km 处柅槽村后山,海拔 1972 m 处有 20 m 厚的砾石层。砾石和灰白色、灰黄色粘土、粉砂混杂堆积,分选差,砾石磨圆度差,成分复杂,可见远源的花岗岩漂砾。在砾石层中见有不同方向多组冰川条痕石和压裂石。对砾石层中的石英砂粒电镜扫描分析显示,具有贝壳状断口,平行解理、平行擦痕等特征。说明柅槽县砾石层为冰碛层。该冰碛层不整合在昔格达组之上。说明砾石层年代晚于昔格达组时代。对柅槽村冰碛层上、中、下部各采集电子自旋共振(ESR)测年样品,上、中、下 3 个样品年龄分别为 0.822 Ma,1.012 Ma,1.28 Ma,为早更新世晚期。这些测年结果晚于孔屏等^[24]新近获得的攀枝花地区昔格达组的宇宙核素埋藏年龄。

川西理县冰碛层:第四纪时本区形成 5 次冰期和 4 次间冰期,在理县杂谷脑河清晰可见。据李承三教授等^[26]研究,它们分别为早更新世一把伞冰期、山王庙冰期、中更新世互达山冰期,二道坪冰期,晚更新世为杂谷脑冰期。理县杂谷脑河北岸发育了三级冰碛台地,台地上覆盖有黄土层。该三级台地可和理县的中更新世和晚更新世三期冰期时代对应。在三级台地砾石层的底部附近用 ESR 方法测定了年代,高台地为 0.691 Ma,中台地为 0.613 Ma,低台地为 0.079 Ma,可能代表了该区 2 期冰期。早更新世的山

王庙冰期和一把伞冰期虽没有直接测年资料,但可以推断它们的时代属于早更新世。

东喜马拉雅构造结及周围地区确认的第四纪冰期是中更新世早期。早更新世的冰期需要进一步的工作确认其时代和沉积类型。当第四纪早期,喜马拉雅山脉平均海拔高度接近 6 000 m,大量的印度洋方向的暖湿气流便会通过此处北上。在冰期形成较低海拔高度的山岳冰川是可能的。

3 西喜马拉雅构造结及周围地区

西喜马拉雅构造结涉及喀喇昆仑山、帕米尔和西昆仑山脉的地区。

由于喀喇昆仑山脉和帕米尔地区的冰川有相当多的部分在中国境外,如喀喇昆仑山脉约 20 000 km² 的冰川中有略超过三分之二的分布在克什米尔印度河一带^[1],加之冰碛层确切的时代较喜马拉雅山脉和东喜马拉雅构造结地区晚,资料相对较少。

据郑本兴等^[27]的资料,在西昆仑山玉龙喀什河上游老冰碛平台冰碛砂的年龄为中更新世中期(TL(333±46)ka B.P.)。在西昆仑山南坡郭扎错北面的老冰碛平台海拔高 5 080~5 400 m,是区域最大冰期时的堆积。从冰碛物分布特征看,当时的冰川与崇测冰帽和古里雅冰帽连成一片。而根据古里雅冰帽冰芯的模式定年和 ³⁶Cl 测年^[4],冰芯底部的年龄超过 700 ka B.P.。以上说明西昆仑山的冰川记录的时代至少可以从中更新世初期开始,可称之为昆仑冰期。

在昆仑山垭口,低高原的羌塘古湖在 1.1 Ma 从深湖相转变为三角洲相,约 0.7 Ma,古湖消失,湖相地层变形,其上覆盖了山麓冰川沉积^[4]。崔之久等^[28]参考了钱方^[29]的羌塘组古地磁结果和吴锡浩等^[30]对望昆冰期的研究,结合热释光测年(TL)和电子自旋共振测年(ESR)数据,将其确认的 3 期冰期由老到新分别称为望昆冰期,垭口冰期和玉珠冰期。望昆冰期开始的时代晚于 781 ka B.P.,在布容期之内。崔之久等^[28]确定的望昆冰期的时代为 700~600 ka B.P.,但是否认吴锡浩等^[30]提出的惊仙冰期和纳赤台冰期。最近,崔之久等^[31]提出,青藏高原典型的山岳冰川的出现开始于 570~580 ka B.P.。

在巴颜喀拉山脉的黄河源头,早更新世早期为内陆湖相沉积环境,木本植物花粉占绝对优势,以针叶植物云杉属、松属,冷杉属、铁杉属为主,呈现亚热带山地针叶林植被景观^[32],多处发现木本植物茎干



图 7 黄河源区扎根加陇早更新世湖相地层中的植物化石
Fig.7 Plant remains in the Pleistocene lacustrine strata in Zhagenjialong, headwaters of the Yellow River

化石(图 7)。说明早更新世黄河源头的扎陵湖和鄂陵湖地区的环境和地貌与现今存在明显差异。笔者认为:黄河源头和长江源头分水岭的形成是在早更新世早期以后;而冰川沉积是从巴颜喀拉山脉形成并抬升进入冰冻圈开始,这一时期很可能发生在中更新世早期前后。

4 讨论和结语

山岳冰川塑造高原地貌^[33],并留下沉积记录。这是认识高原进入冰冻圈历史的可靠证据。扎达盆地香孜组上部冻融层的出现代表了区域的古海拔达到了高原冰缘的高度,即 3 500 m 以上。基于古生物、磁性地层和 ESR 测年数据^[8-9],这一段地层的时代可能从 2.3 Ma 前后开始。国际同行们对扎达盆地晚新生代地层时代的意见基本相同^[34]。香孜组上部冻融层与贡巴砾石层下部冰水沉积层的时代基本一致。卓奥友冰期和希夏邦马冰期的时代与扎达盆地沉积结束后,直接覆盖其上的终碛垄和冰碛垄的时代大致相当^[10],展现了这时期喜马拉雅山脉的山岳冰川进一步发育,也说明喜马拉雅山脉作为青藏高原海

拔最高的地区开始冰冻圈的环境很可能在早更新世早—中期。

川西地区的早更新世的冰川沉积说明东喜马拉雅构造结附近地区这一时期已经抬升至冰冻圈高度,但是,其海拔高度与气候环境与喜马拉雅山脉可能不同。具体的时代仍需要深入工作。

青藏高原地区普遍开始冰冻圈记录是在中更新世早期。伴随着中更新世早期全球冰期的到来,冰川沉积在青藏高原广泛分布、最为发育。昆仑山地区和唐古拉山地区^[35],以及巴颜喀拉山脉地区^[36]的羌塘古大湖等古湖在此时期消亡,山脉变形、抬升。广大的青藏高原中部和北部地区形成山岳冰川和高原冰帽。这些均意味青藏高原可能在中更新世早期较为一致地快速抬升进入冰冻圈,即海拔 3500 m 以上。详细的过程仍有待深入研究。

参考文献(Reference):

[1] 姚檀栋(主编). 青藏高原及毗邻地区冰川湖泊图说明书(1:2 000 000)[M]. 西安:西安地图出版社, 2009:1-3.
Yao Tandong ed. Map of Glaciers and Lakes on the Qinghai-

- Xizang(Tibet) Plateau and Adjoining Regions(1:2 000 000)[M]. Xi'an:Xi'an Cartographic Publishing House, 2009:1-3.
- [2] 赵越, 黎敦明, 刘健, 等. 构造地貌——认识高原历史的钥匙[J]. 地质通报, 2008, 27(2):1961-1967.
- Zhao Yue, Li Dunpeng, Liu Jian, et al. Tectonic geomorphology: A key to understanding of the history of the plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 28 (12):1961-1967 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李炳元, 李吉均(主编). 青藏高原第四纪冰川遗迹分布图(1:3 000 000)[M]. 北京:科学出版社, 1991:1-5.
- Li Bingyuan, Li Jijun (ed.). Quaternary Glacial Distribution Map of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (1:3 000 000) [M]. Beijing: Science Press, 1991:1-5.
- [4] 施雅风, 李吉均, 李炳元. 青藏高原晚新生代隆起与环境变化[M]. 广州:广东科技出版社, 1998.
- Shi Yafeng, Li Jijun, Li Bingyuan. Uplift and Environment Evolution of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998(in Chinese).
- [5] 郑本兴, 施雅风. 珠穆朗玛峰地区第四纪冰期探讨[C]//中国科学院西藏科学考察队. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966-1968)—第四纪地质. 北京:科学出版社, 1976:29-62.
- Zheng Benxing, Shi Yafeng. Discussion on the Quaternary glacial periods in Mt. Qomolangma area [C]//The Xizang Scientific Expedition of Chinese Academy of Sciences (ed.). Report on Scientific Expedition of Mt. Qomolangma Area 1966-1968, Quaternary Geology. Beijing: Science Press, 1976:29-62 (in Chinese).
- [6] 郑本兴. 喜马拉雅山的古冰川遗迹[C]//西藏冰川. 北京:科学出版社, 1986:195-202.
- Zheng Benxing. The relics of Quaternary glaciation in Xizang region[C]//Glaciers of Xizang(Tibet). Beijing: Science Press, 1986: 195-202.
- [7] Li T D. The process and mechanism of the rise of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Tectonophysics, 1996, 260:45-53.
- [8] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世的古植被、古环境与古气候演化 [J]. 地质学报, 2007, 81(3): 295-306.
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Evolution of the paleovegetation, paleoenvironment and paleoclimate during Pliocene-early Pleistocene in Zhada Basin, Ali, Tibet [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (3):295-306 (in Chinese with English abstract).
- [9] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世河湖相地层年代学研究[J]. 中国地质, 2007, 34(6):983-992.
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Chronology of Pliocene-early Pleistocene lacustrine strata in the Zanda basin, Ngari area, Tibet [J]. Geology in China, 2007, 34(6):983-992(in Chinese with English abstract).
- [10] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积及冰川进退程讨论[J]. 中国地质, 2006, 33(1):86-97.
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Quaternary glacial deposition and glacial advance and retreat in the Zanda basin and its surrounding mountains in Ngari, Tibet [J]. Geology in China, 2006, 33(1):86-97(in Chinese with English abstract).
- [11] 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(4):289-295.
- Zhong Dalai, Ding Lin. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its mechanism [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4):289-295(in Chinese).
- [12] 任美镠, 刘振中, 雍万里, 等. 丽江和玉龙山地貌的初步研究[J]. 云南大学学报, 1957, (4):9-18.
- Ren Mei'e, Liu Zhenzhong, Yong Wanli, et al. Geomorphology in Lijiang and Mt Yulong [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Yunnan, 1957, 4:9-18.
- [13] Ives, Jack D, Zhang Yongzu. Glaciation of the Yulongxue Shan, North-western Yunnan Province, People's Republic of China [J]. Erdkunde, 1993, 47(3):165-176.
- [14] 明庆忠. 滇西北玉龙山第四纪冰川作用的探讨[J]. 云南师范大学学报, 1996, 16(3):94-104.
- Ming Qingzhong. The Quaternary glaciations in Yulong Mountains [J]. Journal of Yunnan Normal University, 1996, 16(3): 94-104(in Chinese with English abstract).
- [15] 赵希涛, 曲永新, 李铁松. 玉龙山东麓更新世冰川作用 [J]. 冰川冻土, 1999, 21(3):242-248.
- Zhao Xitao, Qu Yongxin, Li Tiesong. Pleistocene glaciations along the eastern foot of the Yulong mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1999, 21(3):242-248 (in Chinese with English abstract).
- [16] 郑本兴. 云南玉龙雪山第四纪冰期与冰川演化模式 [J]. 冰川冻土, 2000, 22(1):53-61.
- Zheng Benxing. Quaternary glaciation and glacier evolution in the Yulong Mount, Yunnan[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(1):53-61(in Chinese with English abstract).
- [17] 张永双, 郭长宝, 石菊松, 等. 玉龙雪山西麓冰碛(水)砾岩的工程地质特性研究[J]. 现代地质, 2007, 21(1):150-156.
- Zhang Yongshuang, Guo Changbao, Shi Jusong, et al. Research on the engineering geological properties of moraine/outwash rocks on the west side of the Yulong mountains[J]. Geoscience, 2007, 21(1): 150-156.
- [18] 赵希涛, 吴中海, 朱大岗, 等. 念青唐古拉山脉西段第四纪冰川作用[J]. 第四纪研究, 2002, 22(4):424-433.
- Zhao Xitao, Wu Zhonghai, Zhu Dagang, et al. Quaternary glaciations in the west Nyaiqentanglha Mountains [J]. Quaternary Sciences, 2002, 22(4):424-433 (in Chinese with English abstract).
- [19] 吴中海, 赵希涛, 朱大岗, 等. 念青唐古拉山西布冰川区的冰碛层[J]. 地球学报, 2002, 23 (4):343-348.
- Wu Zhonghai, Zhao Xitao, Zhu Dagang, et al. The Moraines of Xibu glacier area in the Nyainqentanglha range[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(4):343-348(in Chinese with English abstract).
- [20] 吴中海, 赵希涛, 江万, 等. 念青唐古拉山东南麓更新世冰川沉

- 积物年龄测定[J]. 冰川冻土, 2003, 25 (3): 272–274.
- Wu Zhonghai, Zhao Xitao, Jiang Wan, et al. Dating result of the Pleistocene glacial deposits on the Southeast foot of Nyaigentangha Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25 (3): 272–274 (in Chinese with English abstract).
- [21] Kong P, Granger D E, Wu F Y. Cosmogenic nuclide burial ages and provenance of the Xigeda paleo-lake: Implications for evolution of the Middle Yangtze River [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 278: 131–141.
- [22] 第四纪冰川考察队. 四川西昌螺髻山地区第四纪冰川地质[C]//中国地质科学院地质力学研究所编. 中国第四纪冰川地质文集. 北京:地质出版社, 1977:144–154.
- Quaternary Glacier Survey Group. The Quaternary glacial geology in Luojishan area, Xichang, Sichuan [C]//Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences (ed.). Collection on Quaternary Glacial Geology of China. Beijing: Geological Publishing House, 1977:144–154.
- [23] 张宗祜主编. 川滇南北构造带中段晚新生代地质研究 [M]. 北京:石油工业出版社, 1994:1–11.
- Zhang Zonghu (ed.). Late Cenozoic Geology in Middle Segment of Sichuan–Yunnan South–North Tectonic Belt [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994:1–11.
- [24] 陈富斌, 赵永涛. 攀西地区新构造[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1989:17–20.
- Chen Fubin, ZhaoYongtao. The Neotectonics in Panzhihua – Xichang Region of China [M]. Chendu: Sichuan Science & Technology Press, 1989. 17–20(in Chinese).
- [25] 傅建利, 赵志中, 李朝柱. 西昌大箐梁子组形成时代及沉积环境 [J]. 第四纪研究, 2007, 27(4):620–631.
- Fu Jianli, Zhao Zhizhong, Li Chaozhu, et al. Age and sedimentary environment of the Daqingliangzi formation in Xichang [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(4):620–631.
- [26] 李承三, 等. 四川龙门山南段东坡及其前山带第四纪冰川遗迹 [C]//中国第四纪冰川遗迹研究文集. 北京: 科学出版社, 1964: 14–84.
- Li Chengsan, et al. Quaternary glacialvestige in eastern of South segment and mountainfront in Longmenshan, Sichuan [C]// Research Collection on Quaternary Glacial vestige of China, 1964, 14–84.(in Chinese)
- [27] 郑本兴, 焦克勤, 李世杰, 等. 西昆仑山第四纪冰川与环境变化 [C]//中国第四纪冰川与环境研究中心、中国西部第四纪研究委员会编.中国西部第四纪冰川与环境. 北京:科学出版社, 1991: 15–23.
- Zheng Benxing, Jiao Keqin, Li Shijie, et al. Quaternary glaciogeology of the west Kunlun Mountains and Environmental variation [C]//The Quaternary Glacier and Environment of Western China. Beijing: Science Press, 1991:15–23 (in Chinese).
- [28] 崔之久, 高全洲, 刘耕年, 等. 青藏高原夷平面与岩溶时代及其起始高度[J]. 科学通报, 1996, 41(15):1402–1406.
- Cui Zhijiu, Gao Quanzhou, Liu Gengnian, et al. The initial elevation of palaeokarst and planation surfaces on Tibet Plateau[J]. Chinese Science Bulliten, 1997, 42(11):934–939.
- [29] Qian Fang, Zhang Jingqi. Discovery of the Hipparion sp. at the Kunlun pass of Golmud and quantitative study on neotectonism[J]. Journal of Geomechanics, 2(English supplement), 1996:139–147.
- [30] 吴锡浩, 钱方, 浦庆余. 东昆仑第四纪冰川地质[C]//青藏高原地质文集(4)第四纪地质. 冰川. 北京:地质出版社, 1982:1–18.
- Wu Xihao, Qian Fang, Pu Oingyu. Quaternary glaciogeology at the eastern Kunlun range [C]//Contributions to the Geology of the Qinghai –Xizang (Tibet) Plateau, No.4. Beijing:Geological Publishing House, 1982:1–18(in Chinese).
- [31] Cui Zhijiu, Zhang Wei, Zhou Liping. Couple control of global climate change and regional tectonic uplift on the glaciations in the northern middle –lower latitudes. Abstract Volume of 5th International Symposium on the Tibetan Plateau & 24th Himalaya –Karakorum –Tibet Workshop. Beijing, China, 11–14. Aug, 2009:199.
- [32] 张森琦, 王永贵, 辛元红, 等. 黄河源区早更新世含植物化石地层的发现及意义[J]. 中国地质, 2006, 33(1):78–85.
- Zhang Senqi, Wang Yonggui, Xin Yuanhong, et al. Discovery of early Pleistocene strata containing plants fossils in the source area of the Yellow River and significance [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):78–85 (in Chinese with English abstract).
- [33] Lewis A. Owena, Glenn Thackrayb, Chaolu Yic, et al. Mountain glaciation and landscape evolution [J]. Geomorphology, 2009, 103: 155–157.
- [34] Kempf, O., Peter M. Blisniuk, Shifeng wang, et al. Sedimentology, sedimentary petrology, and paleoecology of the monsoon–driven, fluvio–lacustrine Zhanda Basin, SW–Tibet [J]. Sedimentary Geol., 2009(in Press).
- [35] Yin An, Dang Yuqi, Zhang Min, et al. Cenozoic tectonic evolution of the Qaidam basin and its surrounding regions(Part 3): Structural geology, sedimentation, and regional tectonic reconstruction [J]. Geological Society of America Bulletin, 2008, 120(7/8):847–876.
- [36] 张森琦, 李永国, 尚小刚, 等. 黄河源区新构造运动对生态环境恶化的影响[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2):214–220.
- Zhang Senqi, Li Yonggui, Shang Xiaogang, et al. Effects of neotectonic movement in source area of the Yellow River, China on eco–environment deterioration [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(1/2):214–220(in Chinese with English abstract).

Early records of Quaternary glaciation in Qinghai-Tibet plateau and their tectonic and climatic implications

ZHAO Yue, QIAN Fang, ZHU Da-gang,
ZHANGYong-shuang, SHAO Zhao-gang, HE Zhe-feng

(Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper gives a review of early records of Quaternary glaciation in Qinghai-Tibet plateau, based upon recent progress in the study of ages of Early Quaternary glaciation as well as the related stratigraphy, sedimentology, paleontology and paleo-environment in this plateau, especially in its typical basins. The existence of freeze-thaw layers in the upper part of the Xiangzi Formation of Zada basin within western Himalayas represents, regionally, an ice margin paleo-environment of the plateau around 3500m a.s.l. The freeze-thaw layers in the upper part of the Xiangzi Formation in Zada basin are Early Pleistocene in age, similar to the age of aqueoglacial deposits in the lower part of Gongba Conglomerate in Mount Qomolangma region, around ca. 2.3 Ma. The age of moraines at the top of the Xiangzi Formation can be correlated to the Cho Oyo ice age and the Shisha Pangma ice age of Mount Qomolangma region, showing the further development of mountain glaciers in the region. This suggests that the Himalayas, the highest region in Qinghai-Tibet plateau, began its cryosphere environment in sometime of early and middle Early Pleistocene. Early Pleistocene moraines in western Sichuan area adjacent to the eastern Himalayan tectonic syntaxis demonstrate that peaks of the region had reached to cryosphere during that time. However, their elevation and climate may be different from those of the Himalayas. Most of the surface of the plateau rose above the cryosphere in early Middle Pleistocene with intense deformation taking place in the plateau region during global ice ages. The glaciation in early Middle Pleistocene in Qinghai-Tibet plateau is the most developed and extensive glaciation, which suggests that the surface of Qinghai-Tibet plateau rose entirely and rapidly into cryosphere in early Middle Pleistocene, that is, above 3500m a.s.l. The detailed processes still need a deepgoing investigation in future.

Key words: Qinghai-Tibet plateau; Quaternary glaciation; Early Pleistocene; early Middle Pleistocene; cryosphere

About the first author: ZHAO Yue, male, born in 1955, senior researcher, engages in the study of regional tectonics and tectonic geomorphology; E-mail: yue_zhao@cags.net.cn.