

# 西藏札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积及 冰川进退规程讨论

朱大岗<sup>1</sup> 孟宪刚<sup>1</sup> 邵兆刚<sup>1</sup> 杨朝斌<sup>2</sup> 韩建恩<sup>1</sup>  
余 佳<sup>1</sup> 杜建军<sup>1</sup> 孟庆伟<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 西藏自治区国土资源厅, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:** 札达盆地及周缘高山区的第四纪冰川堆积在空间分布上大致可分为: ①盆地周缘高山区 U 形谷中及山麓地带的冰川堆积; ②盆地周边深切峡谷区的冰川堆积; ③盆地面上的冰川堆积; ④盆地河谷高阶地与沟谷中的冰川堆积; ⑤盆地周缘高山区山前地带的冰川堆积等。不同区域分布的冰川堆积, 在砾石成分、磨圆度、结构构造、地貌特征等都有较明显区别。依据冰川堆积物的特征、分布等, 可将本区第四纪的冰川发展, 由老到新划分为: 冰缘阶段→冰进阶段→最大冰川阶段→冰退阶段。对应的冰川类型为: 山谷、山麓及冰帽冰川发育阶段→大规模冰帽冰川发育阶段→冰帽、山谷及山麓冰川发育阶段。现有资料研究表明, 札达盆地及周缘高山区, 是青藏高原第四纪冰川堆积发现最多、最全、分布最连续和保存最好的地区。为该区及青藏高原地区的第四纪冰川研究、冰期的划分和对比、气候地层的建立、古气候和古环境的研究等提供了珍贵的基础资料。

**关键词:** 西藏; 札达盆地; 第四纪; 冰川堆积; 冰川进退规程

**中图分类号:** P534.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0086-12

西藏阿里札达盆地为一晚新生代断陷盆地, 呈 NW—SE 走向, 长约 250 km, 宽 37~55 km, 最宽处 60~70 km, 盆地两侧以数条相向正断层为界。盆地北侧的阿伊拉日居基岩山地海拔在 5 500~6 000 m, 属于侵蚀剥蚀高山地貌, 在主脊线附近仍有少量现代冰川分布; 盆地南侧的喜马拉雅基岩山地, 海拔在 6 000 m 以上, 属于侵蚀剥蚀极高山地貌, 在主脊线附近现代冰川发育。前人对青藏高原的喜马拉雅山中段<sup>[1-3]</sup>、昆仑山<sup>[4-6]</sup>、念青唐古拉山<sup>[7-10]</sup>等地的古冰川堆积进行过多次调查研究, 并认为上述地区在第四纪可能发生过 3~5 次冰期的冰川堆积, 涉及札达盆地及周缘高山区冰川堆积仅有简要报道<sup>[11]</sup>。

笔者于 2003 年 7~9 月和 2004 年 7~9 月, 两次在札达盆地及周缘高山区开展了较广泛的野外地质调查, 不仅发现了第四纪冰期到来之初的早更新统香孜组冰缘区河湖相沉积地层, 还发现自早更新世到现代冰川分布区, 连续发育的 10 层冰川堆积(包括冰碛及冰水堆积, 下同)。并依据冰川堆积的特征、分布、发育的冰川类型等, 恢复该区第四纪古冰川作用的进退规程为: 冰缘阶段→冰进阶段→最大冰川阶段→冰退阶段。

## 1 第四纪冰川堆积的空间分布及其主要特征

### 1.1 第四纪冰川堆积的空间分布

西藏阿里札达盆地及周缘高山区的第四纪冰川堆积, 分布十分广泛, 类型多种多样。从目前野外调查的结果看(图 1), 在空间上, 大致分布于 5 种不同的区域, 即: 盆地周缘高山区 U 形谷中及山麓地带的冰川堆积; 盆地周边深切峡谷区的冰川堆积; 盆地面上的冰川堆积; 盆地河谷高阶地与沟谷中的冰川堆积; 盆地周缘高山区山前地带的冰川堆积。

初步调查结果表明, 札达盆地及周缘高山区不同区域分布的冰川堆积, 在砾石成分、结构构造、磨圆度、分选性及地貌特征、风化程度和分布的海拔高度等, 都有较明显差别。

### 1.2 第四纪冰川堆积的主要特征

#### 1.2.1 盆地周缘高山区 U 形谷中及山麓地带的冰川堆积

冰川堆积主要见于札达之北的穷弄沟(点号: 1~4)和札达之东北的加崢沟一带(点号: 19~21), 以穷弄沟研究最多。冰川堆积主要呈冰碛垄、终碛垄、中碛垄及侧碛等地貌产出, 分布连续、十分发育, 在空间分布上, 深入到高山区的 U 形谷

收稿日期: 2005-05-17; 改回日期: 2005-07-30

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010511902)资助。

作者简介: 朱大岗, 男, 1951 年生, 研究员, 从事区域地质、沉积相与古环境研究; E-mail: dagangzhu@sohu.com。

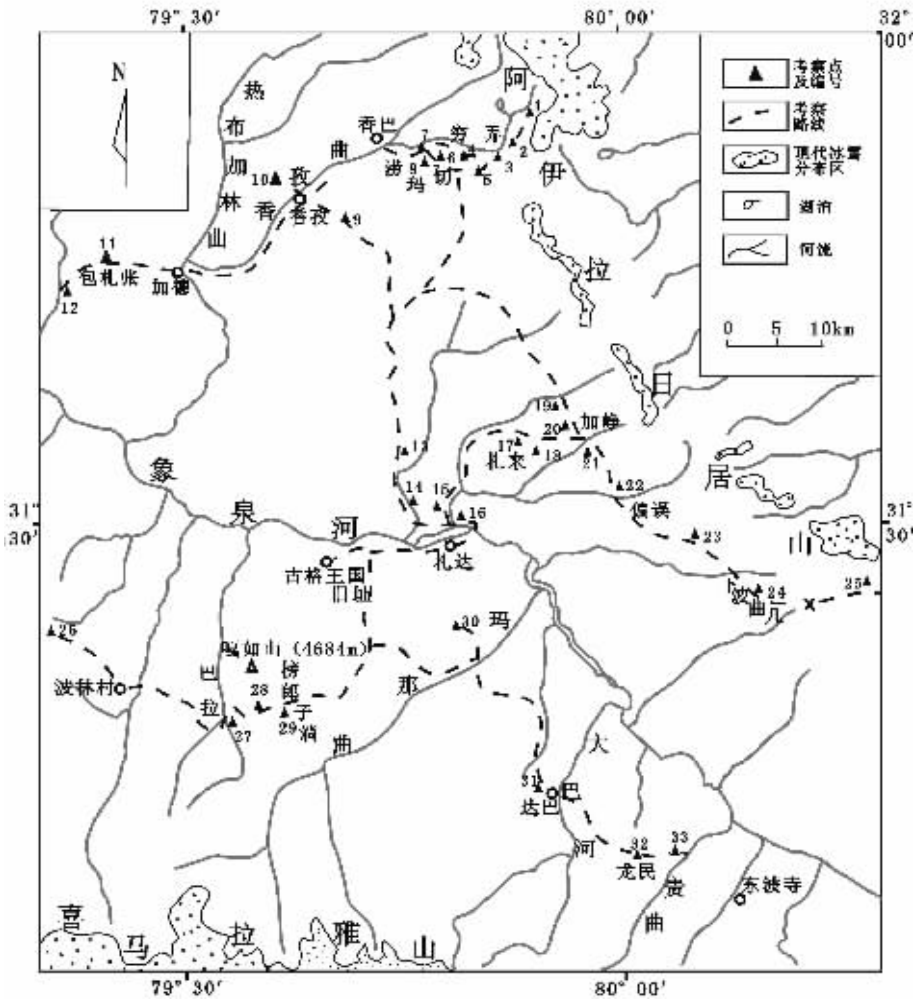


图 1 西藏札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积主要调查路线及调查点分布  
 Fig.1 Distribution of main traverses and points of investigations of Quaternary glacial deposits in the Zanda basin and its surrounding mountains

中、冰斗之中或山麓地带(图版 I—1、图版 I—2),规模大,U形谷源头冰窖地貌在主脊线附近,特征明显、保存完好。砾石成分以花岗岩为主,见少量砂岩、板岩砾石。砾石大小悬殊,由数十厘米至数米以上。最大漂砾可达 10 余米(图版 I—3)。磨圆度均较差,呈棱角状和次棱角状。砾石大小混杂堆积,无分选。结构松散,以砂质胶结为主。海拔高度为 4800~5800m。对其中采集样品的 ESR 测试结果<sup>①</sup>表明(下同),分布于山麓地带的终碛垄形成较早,ESR 年龄为  $(0.70 \pm 0.07) \text{Ma}(\text{Qp}_2)$ ,分布于 U 形谷中的冰碛垄形成较晚,ESR 年龄分别为  $(0.15 \pm 0.01) \text{Ma}(\text{Qp}_3^2)$  和  $(0.18 \pm 0.02) \text{Ma}(\text{Qp}_3^1)$ (图 2)。

1.2.2 盆地周边深切峡谷区的冰川堆积

冰川堆积主要分布于札达之北涝玛切沟(点号:5~8)、西南的巴拉沟(点号:27)和札达之东的偏误沟(点号:22)等地。其中,以涝玛切沟出露最多(图 2)。

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。砾石磨圆度均较好,以圆状及次圆状为主,分选极差,呈大小混杂

① ESR 年龄由成都理工大学梁兴中教授测定,2004。

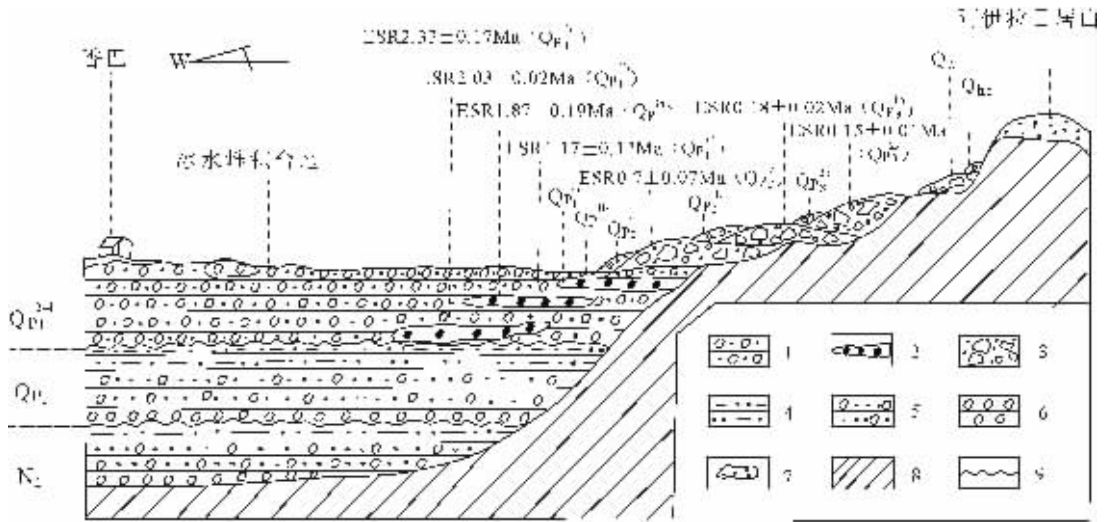


图2 札达盆地香巴—阿伊拉日居山第四纪冰川堆积示意剖面

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;  
 Qh<sub>2</sub>—全新世晚期;Qh<sub>1</sub>—全新世早期;Qp<sub>3</sub><sup>b</sup>—Qp<sub>3</sub><sup>a</sup>—晚更新世晚期早阶段;Qp<sub>3</sub><sup>b</sup>—Qp<sub>3</sub><sup>a</sup>—晚更新世早期早阶段;Qp<sub>2</sub><sup>b</sup>—中更新世晚期;  
 Qp<sub>2</sub><sup>a</sup>—中更新世早期;Qp<sub>1</sub><sup>2-4</sup>—早更新世中晚期;Qp<sub>1</sub><sup>3b</sup>—Qp<sub>1</sub><sup>3a</sup>—早更新世中晚期早阶段;Qp<sub>1</sub><sup>2b</sup>—Qp<sub>1</sub><sup>2a</sup>—早更新世中期早阶段;  
 Qp<sub>1</sub><sup>1</sup>—早更新世早期;N<sub>2</sub>—上新世晚期

Fig.2 Cross section of the Quaternary glacial deposits in the Xiangba-Ayilariju, 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;Qh<sub>2</sub>-Late Holocene;Qh<sub>1</sub>-Early Holocene;Qp<sub>3</sub><sup>b</sup>-Qp<sub>3</sub><sup>a</sup>-Early and late stages of the late part of the late Pleistocene;Qp<sub>3</sub><sup>b</sup>-Qp<sub>3</sub><sup>a</sup>-Early and late stages of the early part of the late Pleistocene;Qp<sub>2</sub><sup>b</sup>-Late part of the middle Pleistocene;Qp<sub>2</sub><sup>a</sup>-Early part of the middle Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>2-4</sup>-Mid-late part of the early Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>3b</sup>-Qp<sub>1</sub><sup>3a</sup>-Early and late stages of the mid-late part of the early Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>2b</sup>-Qp<sub>1</sub><sup>2a</sup>-Early and late stages of the middle part of the early Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>1</sup>-Early part of the early Pleistocene;N<sub>2</sub>-Late Pleistocene

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(图版 I—4、I—5),风化较强烈。许多粗粒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(图版 I—6)。同时,冰水砂砾层还常形成特有的“砾石林”地貌特征(图版 I—7)。

在涝玛切沟中可见 3 套层状或透镜状冰碛分布,直接下伏于冰缘期香孜组河湖相沉积层之上(图版 I—8),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<sup>[2]</sup>。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:

一套,冰碛层厚 40 m,冰水堆积层厚 50 m,海拔高度 4 450~4 540 m,ESR 年龄为 (2.33±0.17) Ma (冰碛, Qp<sub>1</sub><sup>2b</sup>); (2.03±0.02) Ma(冰水堆积, Qp<sub>1</sub><sup>2b</sup>)。

二套,冰碛层厚 20 m,冰水堆积层厚 40 m,海拔高度 4 560~4 600 m,ESR 年龄为 (1.87±0.19) Ma (冰碛, Qp<sub>1</sub><sup>3b</sup>);

(1.57±0.12) Ma(冰水堆积 Qp<sub>1</sub><sup>3b</sup>)。

三套,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。

偏误沟的层状或透镜状冰碛分布的海拔高度约为 4 490 m,出露的厚约 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。

1.2.3 盆地上的冰川堆积

冰川堆积主要分布于札达盆地南北两侧山前的盆地面上,分布的海拔高度约 4 500 m。如札达东北的札来附近(点号:17~18)、南西的榜郎子淌一带(点号:28~29)、东南的龙尼一带(点号:32~33)等,都有广泛的分布(图版 II—1)。冰川堆积呈丘状冰碛和冰水堆积丘陵出露,并与少量分布的基岩鼓丘、冰蚀丘陵组成广阔的冰碛、冰水堆积平原地貌(图版 I—8、图版 II—1)。

札来一带分布有呈丘状出露的冰碛,分布的海拔高度约

4 500 m,砾石成分较复杂,多为石英砂岩(图版 II—2)、泥灰岩、火山岩和少量超基性岩及花岗岩等。砾石大小一般 0.2~0.5 m,少量达 1 m 以上。砾石以次圆状和次棱角状为主,砂质胶结,出露面积至少在 1 km<sup>2</sup> 以上。厚约 40 m。

榜郎子淌一带分布的冰水砂砾堆积丘陵(图 3),分布面积较大,数十平方千米以上,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(图版 II—3)。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、变质岩等为主。磨圆度均较好,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(图版 II—4)。坠石大小一般在 30~40 cm。有的坠石表面具明显的压坑、压裂、冰川擦痕及“李四光环”构造发育。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(图版 II—5)。在剖面中所采 2 个样品获得 ESR 年龄分别为(1.30±0.13) Ma 和(1.31±0.16) Ma(Qp<sup>1b</sup>)。

#### 1.2.4 盆地河谷高阶地及沟谷中的冰川堆积

冰川堆积主要分布于象泉河谷两侧高阶地及支沟谷中,且多数呈散落的巨大冰川漂砾混杂于阶地堆积的砂砾层中(图版 II—6)。砾石成分复杂,以石英砂岩、石英岩、花岗岩为

主,少量为变质岩、白色石英岩等。砾石大小一般 0.3~0.5 m,少数达 1 m 以上,磨圆度较好,呈圆状和次圆状,也见少量呈次棱角状。有的漂砾表面见压坑、冰川擦痕分布(图版 II—7),一些石英岩漂砾表面,还见有“李四光环”构造发育。

#### 1.2.5 盆地周缘高山区山前地带的冰川堆积

冰川堆积分布于高山区周边一些小而短的 U 形谷(或冰筧)的山前地带,规模小,呈冰碛扇地貌特征,受后期破坏较强烈,保存较差,并常被高山区 U 形谷中及山麓地带的冰川堆积明显切割和覆盖。在札达之东偏误—下波曲几(点号:23),以及札达之北穷弄一带的山前地区较常见。冰川堆积呈冰碛扇或冰碛裙分布,主要由砂砾及一些巨大的冰川漂砾组成。并且较大砾石多集中分布于扇体的前端,向扇顶方向砾石多逐渐变小。扇体顶端常与宽而短的 U 形谷对应(图版 II—8)分布。

砾石成分较单一,岩性与组成 U 形谷的基岩相一致,砾石大小一般为 0.2~0.3 m,少量可达 1 m 以上。磨圆度中等,以次圆状、次棱角状为主。无层理、大小混杂堆积。砂质胶结为主,如偏误—下波曲几之间分布的冰碛扇的砾石成分多为基性超基性岩,少量为石英砂岩、板岩。穷弄一带分布的冰碛扇,其砾石成分多为板岩、石英砂岩,并见其为更晚期的冰川终碛垄、冰碛垄所覆盖。下波曲几一带分布的冰碛扇砾石成分多为石英砂岩、板岩及砾岩。

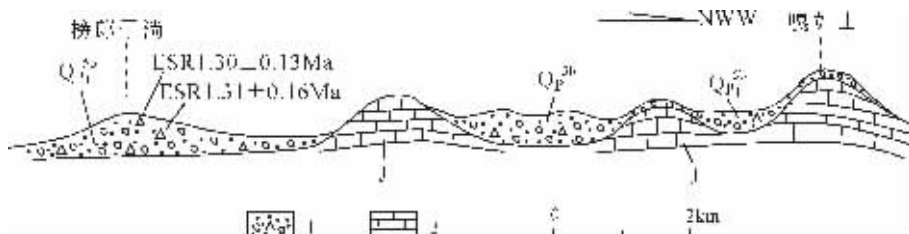


图 3 榜郎子淌—嘎如山一带冰水堆积丘陵、冰蚀丘陵示意剖面

1—冰水堆积;2—灰岩;Qp<sup>1b</sup>—早更新世晚期;J—侏罗纪

Fig.3 Cross section of outwash hills and glaciated hills in the Banglangzitang-Garushan area

1—Glaciofluvial deposits;2—Limestone;Qp<sup>1b</sup>—Late part of the early Pleistocene;J—Jurassic

## 2 第四纪冰川堆积确定的主要依据及形成的冰川类型

### 2.1 盆地周缘高山区 U 形谷中及山麓地带的冰川堆积(Qp<sup>2-3</sup>、Qh<sup>1-2</sup>)

这些堆积物多分布于 U 形谷中、冰斗之中,其岩石特征、组成及结构构造和形成特有的冰碛垄、终碛垄、中碛垄、侧碛等,完全可与青藏高原各大山脉 U 形谷中分布的山谷、山麓冰川及冰斗冰川形成的冰川堆积进行对比。因此,分布于札达盆地周缘高山区 U 形谷、冰斗及山麓地带的堆积物应为山谷冰川、冰斗冰川及山麓冰川作用下形成的冰川堆积。

### 2.2 盆地周边深切峡谷区的层状冰碛(Qp<sup>1-4</sup>)

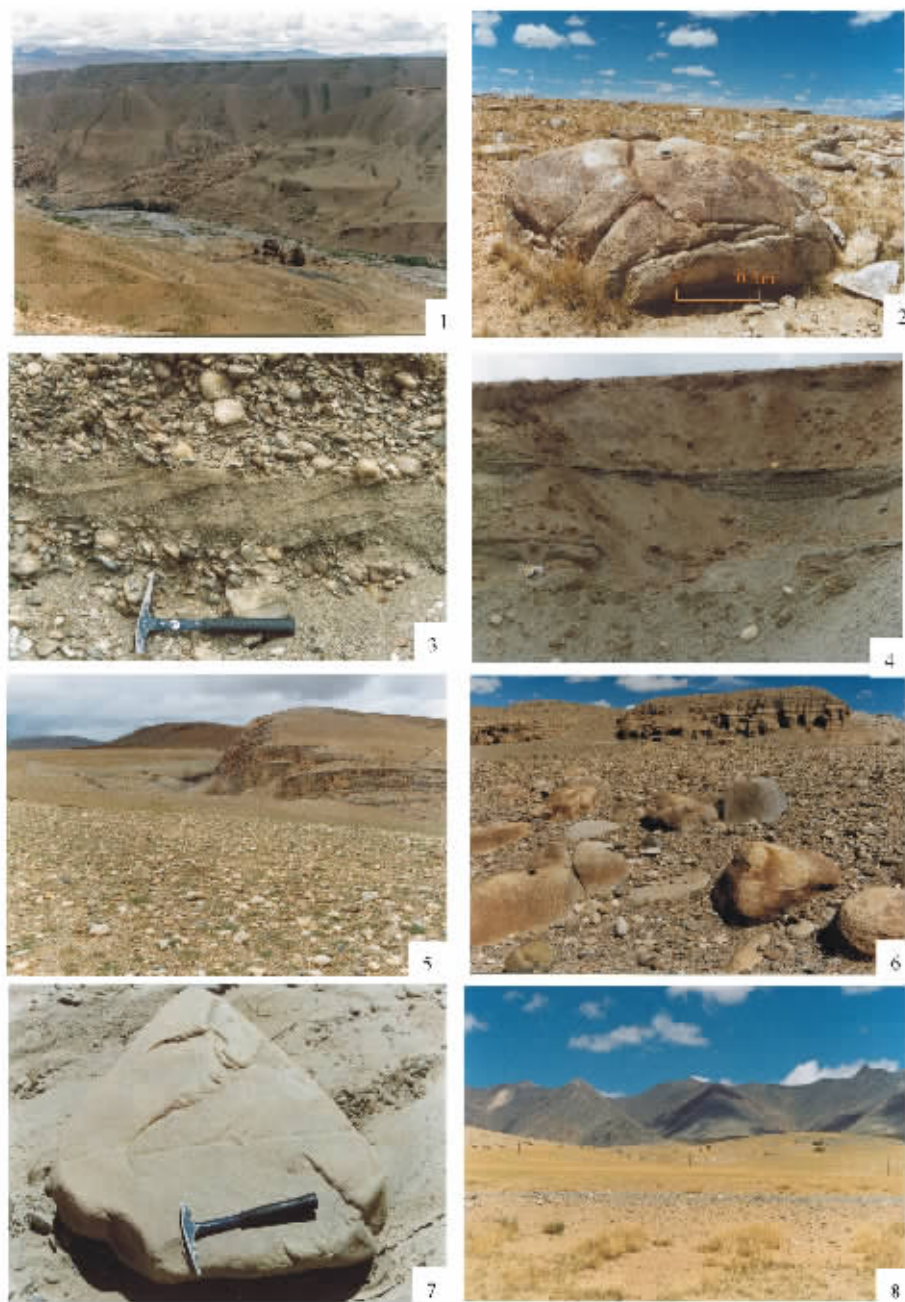
对它的成因可能会有不同认识,即被误认为是“泥石流”或“冲洪积”。无可讳言,层状冰碛与泥石流或冲洪积在分选性及结构构造上可能存在某些方面的相似性,但只要深入研究认真识别,就不难发现两者有很大不同(表 1)。尤其在结构构造、砾石特征方面,前者常具有冰川挤压作用形成的褶皱、断裂构造特征,这也可能与冰缘冻融作用、后期山地上升的构造运动密切相关;在砾石表面常有冰川擦痕、压裂和砾石变形特征等。而这些特征,后者是不可能形成的。而冰碛砾石的成分主要与周边山体沟谷有关,冰川堆积直接下伏于冰缘期



图版 I (Plate I)

1—香巴东北—阿伊拉日居山 U 形谷及山前地带,发育多条中晚更新世冰碛垄(中)和侧碛堤(右侧山坡);2—香巴东北阿伊拉日居山主脊线附近,发育的冰斗冰川堆积及后壁残余的现代冰川;3—札达盆地之东阿伊拉日居山麓加崢附近,中更新世巨大冰川漂砾;4—札达盆地北西香巴涝玛切沟,层状冰碛(第三层)产出特征,巨大漂砾可见少量冰川擦痕分布;5—札达盆地之东偏误沟中,分布的层状冰碛及分布的巨大冰川漂砾;6—札达盆地涝玛切沟,第二层冰水堆积层中褶皱和小断裂,显示后期的冻融作用;7—札达盆地北西香巴涝玛切沟,层状冰碛第一层及其上覆冰水砂砾堆积,形成独特的“砾石林”地貌特征(后);而冰碛层不形成“砾石林”地貌(前);8—香巴涝玛切沟,由大面积分布的层状冰碛、冰水堆积层(中、上部),下伏于香孜组冰缘河湖相沉积地层之上(下部沟谷底形成塔林地貌)

1—Several mid-late Pleistocene till mounds (middle) and lateral till levees (right hill slope) developed in the U-shape valley and foothills of Ayila Ri'gyü Mountain northeast of Xiangba;2—Glacial deposits and modern glacier developed in the cirque and its backwall remains near the main ridge of Ayila Ri'gyü Mountain northeast of Xiangba;3—A middle Pleistocene huge glacial erratic boulder near Jiaying in the foothills of Ayila Ri'gyü Mountain east of the Zanda basin;4—Mode of occurrence of bedded tills (third bed) with some glacial striations on the surface of a huge glacial erratic boulder in the Laomaqie gully, Xiangba, northwest of the Zanda basin;5—Bedded tills and huge glacial erratic boulders distributed in the Pianwu gully, Xiangba, east of the Zanda basin;6—Folds and small faults in the second bed of glaciofluvial deposits in the Laomaqie gully, Zanda basin, suggesting freeze-and-thaw action in the late stage;7—First bed of bedded tills and its overlying glaciofluvial deposits in the Laomaqie gully, Xiangba, northwest of the Zanda basin, forming the unique geomorphologic features of the "pebble forest" (at the back), but the bedded tills did not form the geomorphologic features of the "pebble forest" (in the front);8—Extensive bedded tills and glaciofluvial deposits (in the middle and upper parts), underlain by periglacial glaciofluvial deposits of the Qangzê Formation (tower forest landform formed at the bottom of the lower gully) in the Laomaqie gully, Xiangba, northwest of the Zanda basin



图版 II (Plate II)

1—札达盆地南东方向龙尼附近,东眺大量冰碛、冰水堆积,覆盖于香孜组(中部层状产出)之上,并形成平坦的冰碛、冰水堆积平原地貌特征;2—札达盆地北东札来附近,分布于冰碛冰水平原之上的丘状冰碛及砂岩冰川漂砾;3—札达盆地西南榜郎子淌,早更新世冰水堆积产出特征。斜层理倾向 SE,砾石叠瓦状排列倾向 NW,均说明冰川由 NW→SE 方向流动;4—札达盆地南西榜郎子淌,河湖相砂砾堆积中常见有冰筏沉积—坠石分布(白色);5—札达盆地南西榜郎子淌—嘎如山一带,冰蚀丘陵及其顶面分布的冰水砂砾堆积;6—札达水电站西南,高阶地堆积(海拔 3790m)分布的冰川漂砾,呈局部较集中产出;7—札达北西方向丁丁卡,沟中分布的巨大砂岩漂砾表面的冰川擦痕;

8—札达盆地之东阿伊拉日居山前,偏误—下波曲几之间分布的冰碛扇(前)及冰谷(后)

1—Large quantities of tills and glaciofluvial deposits cover the Qangzê Formation (bedded part in the middle),forming the geomorphologic features of a flat morainic and glaciofluvial plain at Dongtiao near Longni southeast of the Zanda basin;2—Glaciated drumlins and sandstone glacial erratic boulder distributed on a flat morainic and glaciofluvial plain near Zhalai northeast of the Zanda basin;3—Features of early Pleistocene glaciofluvial deposits at Banglangzitang southwest of the Zanda basin. Oblique bedding dips SE and imbricated pebbles dip NW, both indicating that the glacier flows from NW to SE;4—Ice rafting deposits and dropstones (white) in fluviolacustrine sands and gravels at Banglangzitang southwest of the Zanda basin;

5—Glaciofluvial deposits in glaciated knobs and on their top in the Banglangzitang—Garushan area southwest of the Zanda basin;6—Glacial erratic boulders distributed locally and concentrated on high terraces (3790 m above sea level) southwest of the Zanda Hydropower Station;7—Glacial striations on the surface of a huge sandstone glacial erratic boulder in the Dingdingka gully northwest Zanda;8—Moraine fan (front) and glacial valley (rear) between Pianwu and Xiaboqu in the front of Ayila Ri'gyü Mountain east of the Zanda basin

8—Moraine fan (front) and glacial valley (rear) between Pianwu and Xiaboqu in the front of Ayila Ri'gyü Mountain east of the Zanda basin

表1 层状冰碛与泥石流、冲洪积特征对比  
 Table 1 Correlation of the features of Quaternary layered moraines and the mud-debris flow and alluvial and proluvial deposits

特征	层状冰碛	泥石流、冲洪积
砾石成分	复杂	单一
磨圆度	次棱角状、次圆状	棱角状、次棱角状
砾石特征	常见砾石压裂压碎、变形及冰川擦痕、冰川磨蚀面分布、变形砾石	无
结构构造	具冰川挤压作用产生的褶皱断裂构造特征	无
分选性	无分选, 大小混杂	无分选或略具分选性
砾石来源	除与附近山区基岩岩石一致外, 还有不一致砾石分布	与附近山区基岩岩石相同
胶结物及与砾石含量比	泥砂质为主, 占60%以上; 砾石占40%左右	砂泥质为主, 占20%左右; 砾石占80%以上
分布位置	距山体较远	多分布于出山口的山麓地带
地貌特征	呈层状或透镜状	呈扇状

香孜组河湖相地层之上。因此,推断这些层状冰碛,为第四纪冰期早期冰进阶段中,山谷、山麓及冰帽冰川作用下形成的。

2.3 盆地上的冰川堆积(Qp<sup>5</sup>)

依据其形成特有的丘状冰碛(图版II—2),冰水堆积丘陵及冰水堆积物中常出现冰筏沉积—坠石(图版II—4)和冰

水砂砾常分布于冰蚀丘陵的山顶面上的现象,且分布面积也较大,说明它们的形成主要与山麓冰川作用有关,即形成盆地地面上冰川堆积的冰川类型,应属于山麓或冰帽冰川。

2.4 盆地河谷高阶地及沟谷中的冰川堆积(Qp<sup>5</sup>)

对其成因可能会有不同认识,有人认为纯属“冲洪积”成

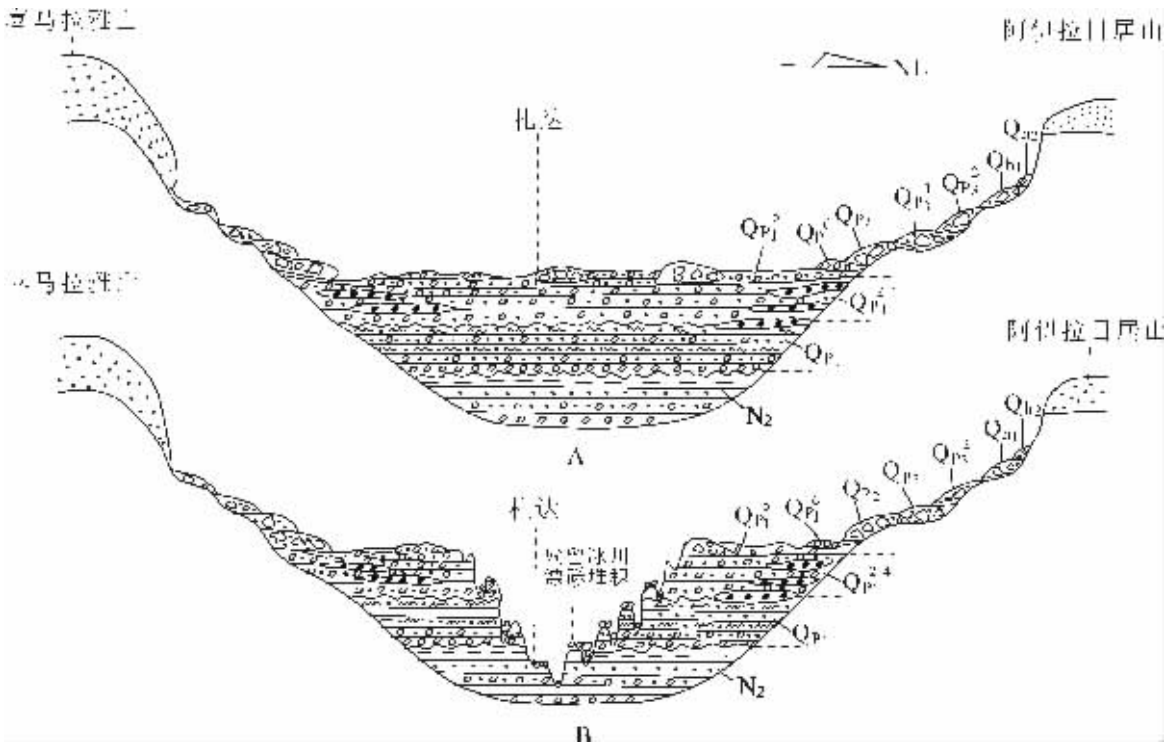


图4 札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积综合示意剖面

A—未受河流切割前第四纪冰川堆积分布示意剖面;B—受河流切割后第四纪冰川堆积分布示意剖面;Qh<sub>2</sub>—全新世晚期;Qh<sub>1</sub>—全新世早期;Qp<sub>3</sub><sup>2</sup>—晚更新世晚期;Qp<sub>3</sub><sup>1</sup>—晚更新世早期;Qp<sub>2</sub>—中更新世;Qp<sub>1</sub><sup>6</sup>—Qp<sub>1</sub><sup>5</sup>—早更新世晚期;Qp<sub>1</sub><sup>2-4</sup>—早更新世中晚期;Qp<sub>1</sub><sup>1</sup>—早更新世早期;N<sub>2</sub>—上新世晚期

Fig.4 Cross section of Quaternary glacial deposits in the Zanda basin and its surrounding mountains

A—Section of Quaternary glacial deposits before dissection by rivers;B—Section of Quaternary glacial deposits after river dissection;Qh<sub>2</sub>—Late Holocene;Qh<sub>1</sub>—Early Holocene;Qp<sub>3</sub><sup>2</sup>—Late part of the late Pleistocene;Qp<sub>3</sub><sup>1</sup>—Early part of the late Pleistocene;Qp<sub>2</sub>—Middle Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>6</sup>—Qp<sub>1</sub><sup>5</sup>—Late part of the early Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>2-4</sup>—Mid-late part of the early Pleistocene;Qp<sub>1</sub><sup>1</sup>—Early part of the early Pleistocene;N<sub>2</sub>—Late Pliocene

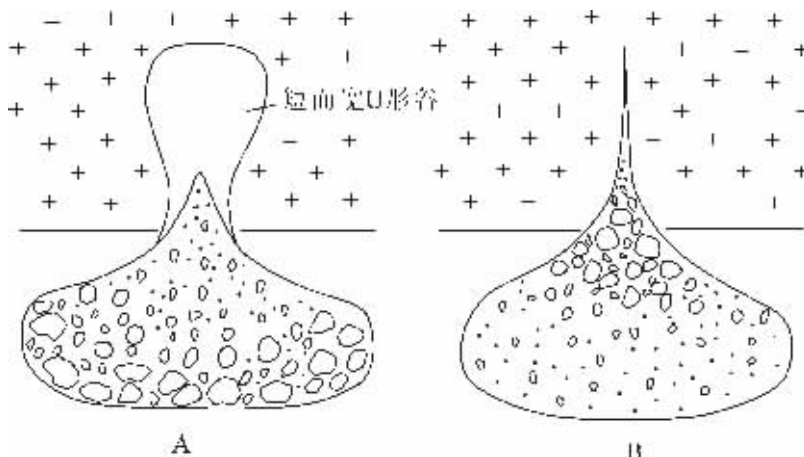


图 5 冰碛扇(A)与冲洪积扇(B)砾石分布特征示意平面图

Fig.5 Schematic plan of the distribution features of moraine fans (A) and alluvial and proluvial fans (B)

表 2 札达盆地及周缘高山区不同区域冰川堆积特征对比

Table 2 Correlation of the features of Quaternary glacial deposits in different areas of the Zanda basin and its surrounding mountains

特征	高山区 U 形谷及山麓地带	盆地周边深切峡谷区	盆地平原面上	盆地河谷及沟谷	高山区山前地带
海拔高度/m	4800 ~ 5800	4440 ~ 4700	4500 ~ 4800	3640 ~ 3800	4500 ~ 4530
地貌特征	终碛垄、冰碛垄、中碛垄、侧碛等	层状或透镜状,埋藏于平原面之下	冰碛鼓丘、冰水丘陵,形成广阔平原	阶地、河谷、沟谷中	冰碛扇、冰碛裙
砾石成分	花岗岩、石英砂、板岩	花岗岩、石英砂岩、板岩、变质岩、火山岩等	石英砂岩、灰岩、板岩、花岗岩、超基性岩等	石英砂岩、花岗岩、变质岩、石英等	板岩、石英砂岩、超基性岩等
砾石磨圆度	棱角状、次棱角状	圆状、次圆状	次圆状、圆状	次圆状、圆状	次圆状、次棱角状
分选性	差	差(冰碛)、较好(冰水)	差(冰碛)、好(冰水)	差	差
层理	不显	不显(冰碛)清晰(冰水)	不显(冰碛)清晰(冰水)	不显	不显
结构构造	松散状	冰川挤压褶皱、断裂构造发育	冰川挤压褶皱、断裂构造发育	无	未见
胶结程度	差	较好	较好	差	差
风化程度	差	强烈	较烈	差	差

因<sup>①</sup>。但是从河谷沟谷基岩(上新世河湖相层)地层中,无此类岩性分布,而且这些巨大的砾石,河流、沟谷的水动力是无法搬运的。这些巨大的砾石,更不可能由河流从两侧山体远距离搬运而来。因此,从这些砾石表面有冰川作用形成的冰川擦痕(图版 II—7)、压抗及“李四光环”构造发育,说明这些巨大的砾石,是原来分布于盆地面上的冰川堆积、冰川漂砾,经后期流水切割而残留在河谷高阶地上和沟谷之中(图 4),与盆地面上的冰川堆积一样同属于冰帽冰川作用的产物。

### 2.5 盆地周缘高山区山前地带的冰川堆积(Qp<sub>1</sub><sup>6</sup>)

对其成因争论较大,有人认为是冰川堆积<sup>⑬</sup>,有人认为是冲洪积<sup>⑭</sup>,但从笔者调查的结果看,这些呈扇状分布的堆积物,砾石大小分布与冲洪积完全不同。即前者巨大的砾石较集中地分布于扇体的前缘地带,向扇顶砾石逐渐变小。而后者则正好相反,巨大的砾石集中分布于扇顶附近,向扇的前缘方向逐渐变小(图 5)。形成这些砾石大小分布不同的原因,

显然与搬运介质不同有关,即前者为冰川搬运,巨大的漂砾形成终碛垄分布于扇体的前缘地带,而后者为洪水搬运,到达沟口因水动力突然减弱,而使巨大的砾石停积在扇顶附近。因此,分布于盆地周缘高山区山前呈扇状或带状分布的大小不同的堆积物,推断属于冰帽冰川作用形成的冰碛扇和冰碛裙,而不是冲洪积。札达盆地及周缘高山区不同区域分布的冰川堆积特征见表 2。

### 3 第四纪冰川堆积的时代及层序

札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积的时代确定,目前主要依据 ESR 测年及古地磁测年的结果,对未进行测年的冰川堆积的时代及层位,主要依据上、下接触关系和相互切割关系推定。如分布于盆地峡谷区的第三层层状冰碛的年代(Qp<sub>1</sub><sup>4</sup>)确定,主要依据其分布的海拔高度在第二层层状冰碛(ESR 年龄为 1.17±0.12 Ma)之上,又为终碛垄(ESR 年龄



为  $0.70 \pm 0.07$  Ma) 所覆盖, 因此其层位应在第二层状冰碛之上, 在终碛垄之下。其形成年代推测为 1.20~1.25 Ma。

分布于盆地表面上呈丘状出露冰碛的年代, 因其在构成盆地面上的主要堆积物之一, 而其上分布的冰水堆积物其 ESR 年龄为  $(1.31 \pm 0.16)$  Ma, 推测其形成年代介于 1.31~1.80 Ma 之间。

分布于高山区冰斗中的冰川堆积的年代, 因其上与现代冰川近距离分布, 层位上应在 U 形谷中分布的冰碛垄 (ESR 年龄为  $0.15 \pm 0.01$  Ma) 之上, 推测其可能为晚更新世晚期到全新世新冰期产物。

分布于盆地高山区山前地带的冰碛扇、冰碛裙形成的年

代, 由于其下伏于平原面之上, 又为 ESR 年龄 0.7 Ma 终碛垄所覆盖, 因此推测其形成年代在 0.7~1.00 Ma。

#### 4 第四纪冰川进退规程和气候演变及有关问题讨论

##### 4.1 第四纪冰川进退规程和气候演变讨论

依据冰川发育的一般规律, 冰川的发育总是由小→大→小直至消亡, 即由冰进阶段→最大冰川阶段→冰退阶段到冰川最终消失。

由于各地区所处纬度不同、自然地理条件的差异, 冰川发育所能达到的最大冰川规模, 各地区也有较大差别, 但它

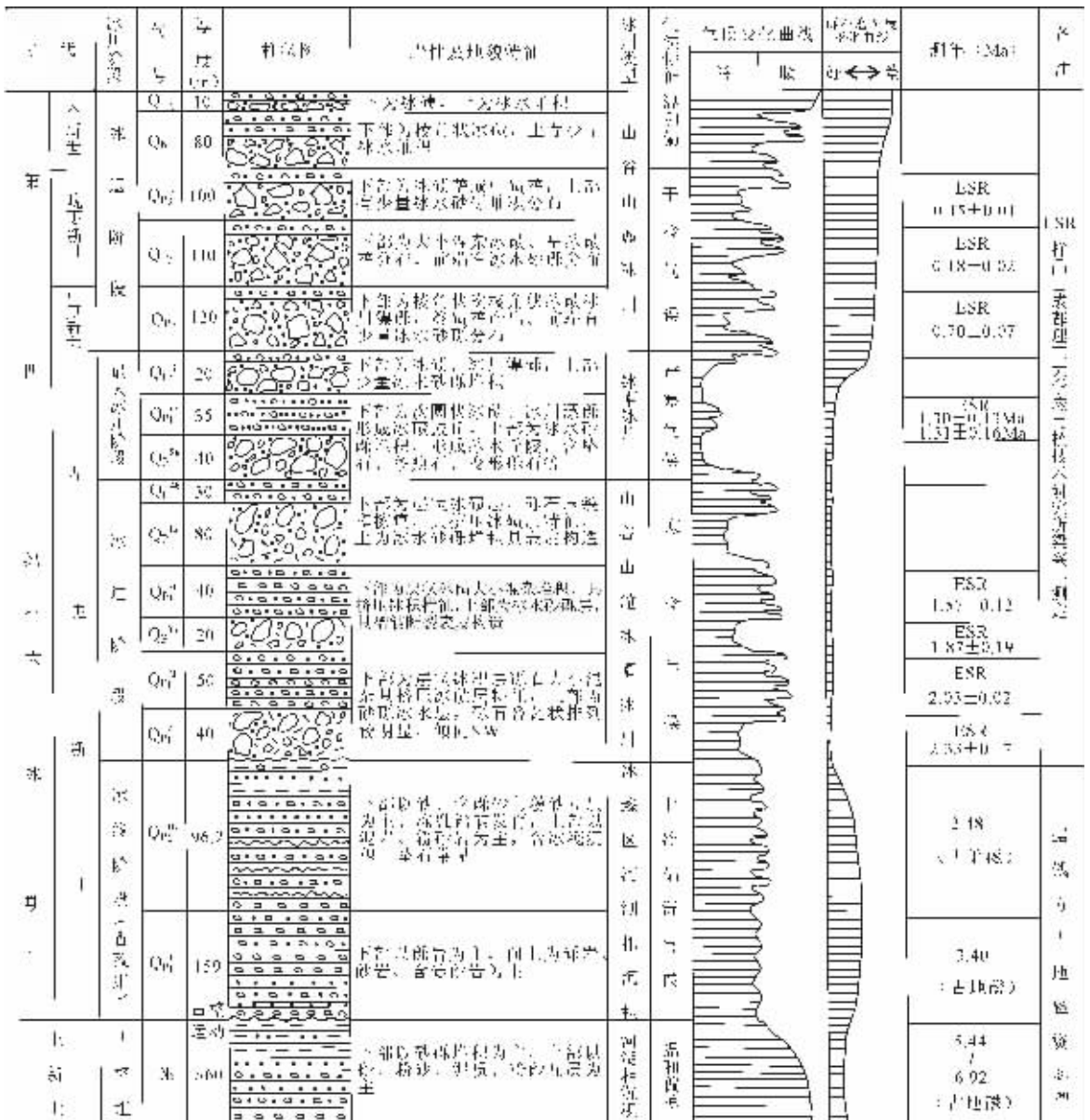


图 6 西藏札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积综合柱状图

Fig.6 Composite column of Quaternary glacial deposits in the Zanda basin and its surrounding mountains, Tibet

们所经历的冰川发育阶段则基本一致。依据札达盆地及周缘高山区目前发现的冰川堆积、古地磁<sup>[14]</sup>、ESR 测年资料和其他冰川遗迹,除划分出冰进阶段、最大冰川阶段和冰退阶段外,还可划分出冰川发育之前的冰缘阶段,或称冰前阶段。现按古地磁、ESR 测年数据的先后顺序<sup>[15]</sup>,将本区各第四纪冰期的发育阶段、冰川作用类型、冰碛和冰水堆积的主要特征,及其所显示的气候变化规律等(图 6)简述如下。

#### 4.1.1 冰缘阶段(或称冰前阶段,距今 3.40~2.33 Ma)

札达盆地及周缘高山区和整个青藏高原地区一样,随着全球性的第四纪冰期的来临,气候由温凉转为干冷偏湿,逐渐进入到冰缘期发育阶段,在早更新世香孜组河湖相沉积地层中,早期普遍发育有大量典型的冻融褶皱构造;晚期发育有冰湖相沉积,形成特有的冰筏沉积—坠石构造。冰缘现象中的冻融褶皱一般发育地区的年平均温度在-4℃以下,如发育厚 2 m 以上的冻融层,温度应在-6℃或更低的古气候环境。但当时沉积物上一定没有冰川发育,因为在冰川下是不可能发育有冻融褶皱现象的。这充分说明,此时的札达盆地为冰缘期发育时期,而周缘的高山区可能已有小规模冰川开始发育了。

#### 4.1.2 冰进阶段(或称冰进期山谷、山麓冰川阶段,距今 2.33~1.20 Ma)

随着第四纪冰川的进一步发展,气温逐渐下降,气候由干冷偏湿转为寒冷,札达盆地及周缘高山区的冰川规模不断扩大,冰川由山区范围伸向山麓、山前地带,形成山谷、山麓冰川,在重力作用下,冰帽冰川的前端冰舌由高海拔向低处山谷运移,经冰川长距离搬运的碎屑物质堆积于盆地周边的山前地带,即形成现今见到的盆地周边峡谷区分布的层状或透镜状冰川堆积物。

#### 4.1.3 最大冰川阶段(或称冰帽冰川阶段,距今 1.20~1.00 Ma)

区域层状或透镜状冰碛形成后,气候由寒冷转为严寒,气温达到最低点,第四纪冰川发展达到了最大规模,冰雪覆盖了整个札达盆地及周缘高山区,形成了大规模的冰帽冰川,冰帽冰川搬运堆积,形成了广阔的札达盆地冰碛、冰水堆积台地。

#### 4.1.4 冰退阶段(距今 1.00~0.1 Ma)

山麓冰川阶段(距今 1.00~0.7 Ma):区域山麓冰川发育后,随全球性气候转暖,气候由严寒转为干冷,气温逐渐升高,冰川日渐收缩,从山麓渐至高山区,形成众多的复式山谷冰川。并不断对山体周边进行面状和线状的剥蚀、侵蚀作用,并将碎屑物堆积于山前地带,形成现今所见到的大量冰碛扇和冰碛裙。

山谷冰川阶段(距今 0.7~0.1 Ma):区域山麓冰川的进一步退缩,很快转入山谷冰川发育阶段,形成现今分布于 U 形谷中及山前地带的终碛垄、冰碛垄冰川堆积。随后区域进入温暖的全新世冰后期。在全新世高温期过后,距今 3~5 Ka 新冰期形成规模小的冰斗冰川堆积(Qh<sub>1</sub>)。此后,随着全球性的

气候波动,在札达盆地周缘高山区现代冰川前缘区域,产生少量冰碛及冰水堆积(Qh<sub>2</sub>)

## 4.2 有关问题讨论

(1)关于冰进阶段中形成的堆积物能否保存问题。显然,对于山谷冰川而言是无法留下冰进时期的任何堆积物,但是,当冰川前进入盆地成为山麓冰川或冰帽阶段后,大量冰碛、冰水堆积进入盆地后,由于盆地负载或盆缘断裂作用,使盆地发生间歇性沉降作用,就有可能将分布于盆地中的前进阶段的堆积物保存下来。就像札达 N<sub>2</sub>-Qp<sub>1</sub><sup>1</sup> 巨厚河湖相地层沉积物的形成那样,一边沉积,一边沉降<sup>[12]</sup>。事实也确实如此,盆地中的冰碛和冰水堆积,不论是砾石成分、结构、层序及相互切割关系、风化程度等,都显示出它是在最大冰期之前形成的,即冰进时期的产物。

(2)关于古冰川运动方向的确定,是依据冰水砂砾堆积中砾石叠瓦状排列特征、斜层理产状(图版 II—1),来确定古冰川运动方向是自 NW→SE 方向运动的。至于喜马拉雅山比 NW 方向的山(阿伊拉日居山)高的问题,这是现在的情况,但在当时古冰川发育时则不见得是这样,已有研究资料表明<sup>[16]</sup>,喜马拉雅山强烈隆升是在这些冰碛和冰水堆积物形成之后。

## 5 几点初步认识

(1)西藏阿里札达盆地及周缘高山区的第四纪冰川堆积,在空间分布上可划分为 5 种不同的区域,自早更新世至现代暂可划分为 10 层不同的冰川堆积。不同冰碛的砾石成分、结构构造、胶结物及风化程度、地貌特征等,都有明显区别。

(2)依据冰川堆积特征、分布等,可将札达盆地及其周缘高山区的第四纪冰川发育由老→新,初步划分为:冰缘阶段→冰进阶段→最大冰川阶段→冰退阶段。半个多世纪以来对青藏高原第四纪冰川研究,仅仅局限于冰退阶段。对冰进阶段从未有人报道,对最大冰川阶段则刚刚涉及<sup>[13,17,18]</sup>。

(3)札达盆地及其周缘高山区的第四纪冰川堆积形成时的气候变化特征,从温和偏凉→干冷偏湿→寒冷→严寒→干冷→温和偏干,气候旋回的变化表明,在第四纪冰期发育过程中,气候的变化、幅度及频度,要比以往人们的认识大得多。

(4)本区第四纪冰期的冰进阶段及最大冰川阶段堆积物中,表皮构造中褶皱轴的倾向 NW,冰水堆积中的斜层理均倾向 SE,可能表明札达盆地及周缘高山区,在冰进阶段及最大冰川阶段的古冰川运动,均自 NW→SE 方向流动,与现代河流的流向正好相反。

(5)现有资料研究表明,札达盆地及其周缘高山区的第四纪冰川堆积,是青藏高原,也是中国目前发现的第四纪冰期发育最多、最好、最全、最连续的地区,为该区及青藏高原第四纪冰川研究、冰期的划分和对比,以及古气候、古环境演化的研究等,都提供了珍贵的资料。

但是,应当看到由于目前对古冰碛层的测年尚存不尽人

意之处,第四纪冰碛与冰期的研究尚欠深入,有待于今后进一步调查补充和修正,对冰川演化有待于进一步厘定。但是,在札达盆地及其周缘高山区的10层第四纪冰碛、冰水堆积及相对层序是确实存在的。

**致谢:**在野外工作期间得到了西藏自治区国土资源厅王保生厅长、河南地质勘查局区域地质调查院王建平院长、河南地质勘查局区域地质调查队刘彦明队长、白朝军高级工程师、王丰收工程师、贾共祥工程师等同志的热情帮助和全力支持,使该项研究得以顺利进行;室内工作中得到钱方研究员、韩同林研究员、孙立倩研究员、马天林研究员、王建平研究员的指导,在此一并表示衷心感谢。

### 参考文献 (References):

- [1] 郑本兴,施雅风.珠穆郎玛峰地区第四纪冰期探讨[A].见:中国科学院西藏科学考察队.珠穆郎玛峰地区科学考察报告1966—1968,第四纪地质[C].北京:科学出版社,1982.29~62.  
Zheng Benxing, Shi Yafeng. Discussion on the Quaternary glacial periods in Mt. Qomolangma area[A]. In: The Xizang Scientific Expedition of Chinese Academy of Sciences (ed.). Report on Scientific Expedition of Mt. Qomolangma Area 1966—1968, Quaternary Geology[C]. Beijing: Science Press, 1982.29~62 (in Chinese).
- [2] 赵希涛,郭旭东,高福清.珠穆郎玛峰地区第四纪地层[A].见:中国科学院西藏科学考察队.珠穆郎玛峰地区科学考察报告1966—1968,第四纪地质[C].北京:科学出版社,1982.1~28.  
Zhao Xitao, Guo Xudong, Gao Fuqing. Quaternary stratigraphy of Mt. Qomolangma area[A]. In: The Xizang Scientific Expedition of Chinese Academy of Sciences (ed.). Report on Scientific Expedition of Mt. Qomolangma Area 1966—1968, Quaternary Geology[C]. Beijing: Science Press, 1982.1~28 (in Chinese).
- [3] 李吉均,郑本兴,杨锡金,等.西藏冰川[M].北京:科学出版社,1986.217~231.  
Li Jijun, Zheng Benxing, Yang Xijin, et al. Glaciers of Xizang (Tibet)[M]. Beijing: Science Press, 1986.217~231 (in Chinese).
- [4] 吴锡浩,钱方,浦庆余.东昆仑山第四纪冰川地质[A].见:青藏高原地质文集(4)第四纪地质、冰川[C].北京:地质出版社,1982.1~18.  
Wu Xihao, Qian Fang, Pu Qingyu. Quaternary glaciology at the eastern Kunlun range [A]. In: Contributions to the Geology of the Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau, No. 4[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.1~18 (in Chinese).
- [5] 郑本兴,焦克勤,李世杰.西昆仑山第四纪冰川与环境变化[A].见: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[C].北京:科学出版社,1991.15~23.  
Zheng Benxing, Jiao Keqin, Li Shijie. Quaternary glacio geology of the west Kunlun Mountains and Environmental variation [A]. In: Quaternary Glaciology and Environment in the Western Part of China[C]. Beijing: Science Press, 1991.15~23 (in Chinese).
- [6] 伍永秋,崔之久,刘耕年,等.昆仑山垭口地区的冰期系列[J].冰川冻土,1999,21(1):71~76.  
Wu Yongqiu, Cui Zhijiu, Liu Gengnian, et al. Series of the glacial period along the col of the Kunlun Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1999, 21 (1):71~76 (in Chinese with English abstract).
- [7] 钱方,浦庆余,吴锡浩.念青唐古拉山东南麓第四纪冰川地质[A].见:青藏高原地质文集(4)第四纪地质、冰川[C].北京:地质出版社,1982.34~50.  
Qian Fang, Pu Qingyu, Wu Xihao. Quaternary glaciology at the southeastern foot of the Nyainqentanghla Range [A]. In: Contributions to the Geology of the Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau, (4)[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.34~50 (in Chinese).
- [8] 朱大岗,赵希涛,孟宪刚,等.念青唐古拉山中段第四纪冰期划分[J].地球学报,2002,23(4):335~342.  
Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang, et al. The division of Quaternary glacial epochs of Middle Nyainqentanghla Range[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (4):335~342 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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 Nyainqentanghla Range[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (4):343~348 (in Chinese with English abstract).
- [10] 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,2003,23(1):41~52.  
Zhao Xitao, Wu Zhonghai, Zhu Dagang, et al. Quaternary glaciations in the west Nyaiqentanghla Mountains[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23 (1):41~52 (in Chinese with English abstract).
- [11] 吴锡浩,李永昭.青藏高原的冰碛层与环境[J].第四纪研究,1990,(2):146~158.  
Wu Xihao, Li Yongzhao. Moraines and environments in Qinghai—Xizang Plateau [J]. Quaternary Sciences, 1990, (2):146~158 (in Chinese with English abstract).
- [12] 朱大岗,孟宪刚,邵兆刚,等.西藏阿里札达盆地上新世—早更新世沉积相及其构造演化特征 [J].地质力学学报,2004,10(3):245~252.  
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Features of Pliocene—early Pleistocene sedimentary facies and tectonic evolution in the Zanda basin, Ngari area, Tibet[J]. Journal of Geomechanics, 2004, 10 (3):245~252 (in Chinese with English abstract).
- [13] Kuhle M. Reconstruction of the 2.4 million km<sup>2</sup> Late Pleistocene ice Sheet on the Tibetan Plateau and its impact on the Global climate [J]. Quaternary International, 1998, 45/46:71~108.
- [14] 钱方.青藏高原晚新生代磁性地层研究[J].地质力学学报,1999,5(4):22~34.  
Qian Fang. Study on magnetostratigraphy in Qinghai—Tibetan Plateau in late Cenozoic [J]. Journal of Geomechanics, 1999, 5 (4):22~34 (in Chinese with English abstract).
- [15] 朱大岗,孟宪刚,邵兆刚,等.西藏阿伊拉日居山南麓第四纪冰川沉积物及其ESR年龄测定[J].冰川冻土,2005.27(2):194~198.  
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Quaternary

- glacial deposits and their ESR dating results on the south slopes of the Ayilariju Mountains, Tibet autonomous region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27 (2): 194~198 (in Chinese with English abstract).
- [16] 徐仁. 大陆漂移与喜马拉雅上升的古植物证据[A]. 见: 青藏高原隆起的时代、幅度与形式问题[C]. 北京: 科学出版社, 1981. 8~18.  
Xu Ren. On Palaeobotanical evidence for continental drift and the Hmalayan uplift[A]. 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[C]. Beijing: Science Press, 1981. 8~18 (in Chinese).
- [17] 韩同林. 青藏高原大冰盖[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 101~107.  
Han Tonglin. *The Great Qinghai-Xizang Ice Sheet* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. 101~107 (in Chinese).
- [18] 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).

## Quaternary glacial deposition and glacial advance and retreat in the Zanda basin and its surrounding mountains in Ngari, Tibet

ZHU Da-gang<sup>1</sup>, MENG Xian-gang<sup>1</sup>, SHAO Zhao-gang<sup>1</sup>, YANG Chao-bin<sup>2</sup>,  
HAN Jian-en<sup>1</sup>, YU Jia<sup>1</sup>, DU Jian-jun<sup>1</sup>, MENG Qing-wei<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Land and Resources Department of the Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, Tibet, China*)

**Abstract:** Quaternary glacial deposits of the Zanda basin and its surrounding mountains may be divided in space distribution into: ① glacial deposits in U-shape valleys and foothills in the basin and its surrounding mountains, ② glacial deposits in deep-incised valleys around the basin, ③ glacial deposits on the basin surface, ④ glacial deposits on high terraces of river valleys and in gullies of the basin, and ⑤ glacial deposits in piedmont zones of mountains around the basin. Glacial deposits in different areas differ markedly with respect to the gravel composition, roundness, textures and structures, geomorphologic features. The Quaternary glacial development in the region may be divided from early to late times into the periglacial stage, glacial advance stage, biggest glacial stage and glacial retreat stage according to the features and distribution of glacial deposits. The glacial types corresponding to these stages are the valley, piedmont and ice-cap glacier development stage, ice field glacier development stage and ice-cap, valley glacier and piedmont glacier development stage. The existing data indicate that the Zanda basin and its surrounding mountains are areas where the most abundant, complete and continuously occurring and best-preserved Quaternary glacial deposits are found on the Qinghai-Tibet Plateau. This research provides valuable basic data for the study of Quaternary glaciers in this region and the Qinghai-Tibet Plateau, division and correlation of glacial epochs, establishment of climatostratigraphy and climatic and paleoenvironmental studies.

**Key words:** Tibet; Zanda basin; Quaternary; glacial deposit; glacial advance and retreat

**About the first author:** ZHU Da-gang, male, born in 1951, senior researcher, engages in the study of regional geology, sedimentary facies and paleoenvironment; E-mail: dagangzhu@sohu.com.