

文章编号: 1000-0550(2013)02-0269-13

## 西藏申扎地区拉嘎组岩相/沉积相分析<sup>①</sup>

张予杰<sup>1</sup> 张以春<sup>2,3</sup> 庞维华<sup>1</sup> 朱同兴<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局成都地调中心 成都 610081; 2. 中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008;

3. School of Life and Environmental Sciences, Deakin University Melbourne Campus, 221 Burwood Highway, Burswood, Victoria 3125, Australia)

**摘要** 通过详细测制西藏申扎县扎扛一木纠错石炭二叠系剖面,查明了拉嘎组的岩石类型、组合及沉积环境。申扎地区的拉嘎组是以暗色粉砂岩、泥岩等细碎屑岩背景下,发育若干板状、长透镜状及透镜状粗碎屑岩为特征。大部分粗碎屑岩及部分细碎屑岩的分选及磨圆很差,成熟度极低,岩性显示为杂砾岩、杂砂岩,局部地区见有花岗岩漂砾。研究认为,拉嘎组形成于冰缘解冻并后退状态下的近岸冰海沉积环境,其沉积相类型可以分为分支水道与间湾、水下冰水扇、冰碛物与冰筏、滨岸与内陆棚。鉴于其时代可能为早二叠世 Sakmarian 期,因此,拉嘎组可能是晚古生代冰期消融的产物。拉嘎组沉积相的识别分析对拉萨地块晚古生代的古环境和古地理有重要意义。

**关键词** 岩石组合 沉积环境 拉嘎组 早二叠世 申扎 西藏

**第一作者简介** 张予杰 男 1978 年出生 助理研究员 沉积学 E-mail: zebiac@163.com

**中图分类号** P512.2 **文献标志码** A

西藏拉萨地块构造上位于羌塘地块与印度板块之间。其晚古生代的构造演化一直是学术界讨论的热点之一<sup>[1-3]</sup>。此外,晚石炭世至早二叠世冰期代表着晚古生代最大一次冰期<sup>[4,5]</sup>,这次冰期影响到了印度、澳大利亚以及西藏的拉萨地块、羌塘地块<sup>[6]</sup>。拉嘎组正是在这种复杂的构造和气候背景条件下沉积在拉萨地块中西部的一套序列。但至今为止,除了少数研究涉及其成因外<sup>[7,8]</sup>,其总体的沉积相分析并未深入研究。对拉嘎组的沉积相分析有利于判断拉嘎组的沉积环境,为区域大地构造以及气候变化提供重要参考。

基于此重要性,本文作者在 1:25 万申扎县幅区调成果<sup>②</sup>的基础上,选择申扎县扎扛一木纠错剖面(图 1)的石炭二叠系作为研究对象,于 2011 年详细测制了该剖面,着重研究拉嘎组的沉积相及环境。

### 1 地层及时代概况

西藏申扎地区以发育较完整的古生界而闻名,仅申扎县扎扛一木纠错剖面<sup>[9-11]</sup>上就发育寒武系(?)、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系及二叠系等较完整的古生代地层。

经本次实测,拉嘎组下伏的永珠组岩性可分为两段:下段以滨海环境的石英砂岩、细砂岩、粉砂质泥岩

为主夹少量的砂质砾岩、灰质角砾岩,砂岩中发育平行层理、小型交错层理,在众多层面上还可见波痕;上段实为 1:25 万申扎县幅区调报告<sup>②</sup>中提及的拉嘎组中下部层位,以石英砂岩、细砂岩、粉砂岩为主夹泥晶灰岩、生屑灰岩和少量的砾质砂岩,不含火山岩,夹层一般以透镜状产出,在砾质砂岩透镜体中还含有以腕足类、珊瑚类、苔藓虫类为主的生物化石。拉嘎组上覆的昂杰组其下部为亮晶灰岩与拉嘎组泥岩直接接触,含珊瑚、腕足、双壳等生物化石;上部为灰黑色粉、细砂岩夹含黄铁矿的钙质粉砂岩或泥灰岩透镜体。下拉组( $P_2x$ )整合覆于昂杰组之上,主要由碳酸盐岩组成,总体厚度略大于 750 m。需要指出是,1:25 万申扎县幅区调报告中该剖面上下拉组厚度近 1 600 m,经本次实测发现其中存在断层,原测剖面地层有重复。下拉组底部含 *Lytvolasma* 组合,中部为 *Chusenella*—*Nakinella* 及 *Hemigordius* 生物群;上部以发育长身贝类腕足和苔藓虫类为主要特点。据程立人等<sup>[10]</sup>在申扎地区下拉组之上还发育晚二叠世地层,称为木纠错组( $P_3m$ ),主要由一大套浅色的白云质灰岩、灰质白云岩组成,含 *Liangshanophyllum*—*Waagenophyllum* 组合。

拉嘎组在拉萨地块上——确切讲应为拉萨地块中部,显著的特征是在正常滨浅海的细碎屑岩基底

①中国地质调查项目(编号:1212011121257)资助

②吉林大学地质调查研究院.《西藏 1:25 万申扎县幅区域地质调查报告》(内部资料) 2002.

收稿日期:2012-03-14;收修稿日期:2012-06-10

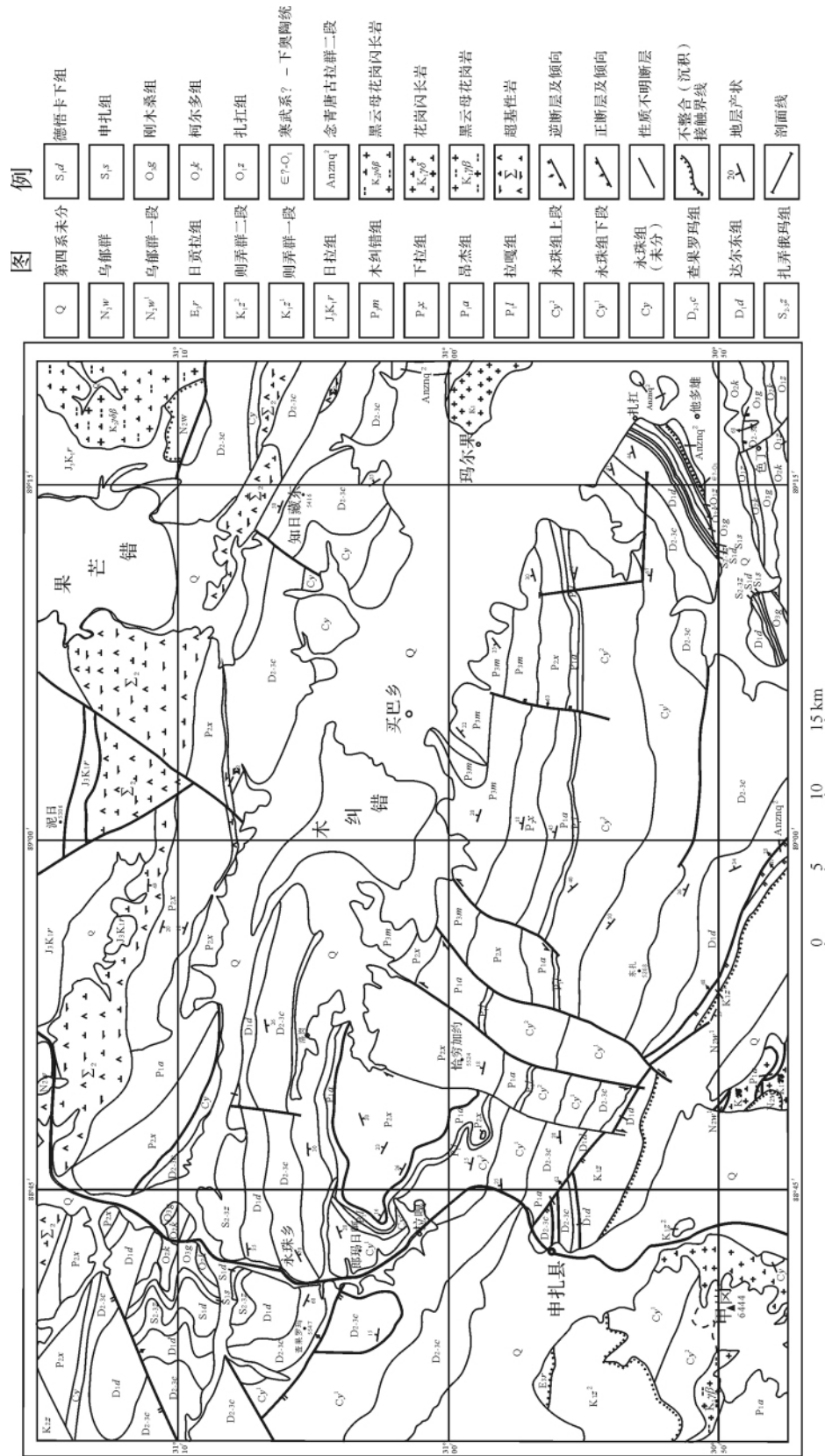


图1 西藏申扎县扎扛—木纠错地区地质图

Fig. 1 The geological map of Zakang-Mujiu Co area of Xainza area, Tibet

上发育杂砂岩和杂砾岩。在措勤地区,拉嘎组多因断层及掩盖而出露不全,其岩性为有透镜状褐黄色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、灰白色细粒石英砂岩、青灰色粉砂质泥岩等单一岩性和复合岩性,并散布花岗岩、砂岩、灰岩等漂砾,砂岩中发育平行层理、波状层理、粒序层理,泥岩中见水平层理、透镜状层理等沉积构造。在尼玛地区,拉嘎组以含砾碎屑岩夹砂岩沉积为主,岩石的成熟度极低,具以块状层为局部可见落石构造,主要岩性为含砾粉砂岩、含砾砂质泥岩、含砾杂砂岩、长石石英砂岩等,泥岩有向南减少的趋势。在申扎地区,拉嘎组厚度较小,主要为黑色或深灰绿色粉砂岩、泥岩,夹褐黄色、灰白色含砾粗砂岩、杂砾岩、杂砂岩、含砾中细砂岩及含砾粉砂岩等岩石类型。粗碎屑岩多呈透镜状或长板状,发育交错层理、粒序层理及软沉积变形,含砾粉砂岩多呈块状;细碎屑岩中发育水平层理。在狮泉河地区,无明显的杂砾岩发育。拉嘎组中的杂砂岩及杂砾岩中未见到生物化石,深色粉砂岩或泥岩中发育少量的腕足类及苔藓虫类等化石。

根据以往资料,拉嘎组的时代由晚石炭世<sup>[12]</sup>到晚石炭—早二叠世并没有卡定到具体的层位。本次研究在永珠组的上部的灰岩夹层中发现了早二叠世的 *Mesogondolella* 牙形石分子(沈树忠,个人通讯);而拉嘎组上部的昂杰组普遍以 *Neostreptognathodus* 和 *Vjalovognathus* 牙形类动物群为特征,时代为 Kungurian 期<sup>[13-15]</sup>,但昂杰组中的腕足类更接近 Artinskian<sup>[16]</sup>。因此,夹在永珠组与昂杰组之间的拉嘎组,其时间应为 Sakmarian 中晚期。

## 2 拉嘎组岩相及沉积相特征

### 2.1 拉嘎组岩石类型

申扎地区扎拉—木纠错剖面上拉嘎组的岩石类型多样,自下而上依次见有含砾粗砂岩、砾质砂岩、粗砂岩、细砂岩、页岩、中砂岩、含砾杂砂岩(含砾粉砂岩)、钙质粉砂岩、砂质砾岩、杂砾岩(含漂砾)、粉砂岩等岩石类型(图2),多属杂砂岩或杂砾岩类,砂岩或砾岩的磨圆一般,但分选极差,显示结构成熟度与成份成熟度均很低。岩石多以层状产出,在多数层位中砂岩或含砾砂岩(砂质砾岩)呈薄板状(图2G)或透镜状(图2H)产出。

### 2.2 拉嘎组岩石组合

申扎地区扎拉—木纠错剖面上拉嘎组的岩石类型形成五种组合。

组合 I(图3 组合 I) 见于拉嘎组剖面最底部及中下部,组合特征为总体偏灰白色、灰绿色的杂色层理不明的含砾粗砂岩—砂质砾岩(杂砂岩、杂砾岩)过渡到砾质(细砾)砂岩,上部为发育交错层理的含细砾粗砂岩。该组合砂质砾岩和砾质砂岩层理不发育,成熟度极低(见图2I、J),单层厚度 30~40 cm,砾石具有不同的轴向,砾石层总体向上变细,开始发育低角度的单向交错层理。粒度分析显示碎屑颗粒频率呈多众态,在细砾和中砂间有多个峰值,同时还含有一定量的细粉砂或泥,表明岩石分选差。正态概率积累的斜率较低,可能为扇体类的沉积物(图4a)。

组合 II(图3 组合 II) 见于拉嘎组剖面的底部及中下部,是由发育双向交错层理的细砂岩与泥岩组成,颜色多呈灰绿色或灰色,向上变细,单层厚度约 30 cm。细砂岩中颗粒磨圆较差,呈次棱角状,分选一般,结构成熟度低;颗粒以长石为主,石英次之。砂细岩中的双向交错层理(图2A)与潮汐水道中的“人字型”层理类似。细砂岩与泥岩构成韵律性沉积,显示出较典型的“二元”结构,该组合表明与分支水道的环境关系密切。其粒度分析如图4b,在砂级的区域内见一个细砂的主峰值,向中砂区有一个次级峰值,表明其分选较好,且正态概率积累的斜率较陡,与典型分支水道的曲线较为吻合。

组合 III(图3 组合 III) 以发育黑灰色含砾粉砂岩(图2B)为主要特征,主要发育在拉嘎组剖面的下部。该岩石中砾石有一定的磨圆,但分选极差,砾石含量亦少,约 5%~10%,砾石成分非常复杂,基质以粉砂岩或粉砂质泥岩(杂砂岩)为主(图2K),且层理极不发育,显示为重力拖动的特点,野外推测该套岩石组合为冰碛物。由于薄片法粒度分析不能分析超过 2 mm 的砾石,故仅分析了该组合中含砾粉砂岩的粉砂岩部分,但粒度分析表明(图4c),该岩石是以泥质基质支撑的,在中砂和细砂间具有一个宽缓的峰,泥质区域则有一个高耸的峰。

组合 IV(图3 组合 IV) 主要以黑色或灰绿色泥质粉砂岩或钙质粉砂岩为主(图2C),夹灰绿色厚层状砾质粗砂岩及细砂岩。该组合主要见于拉嘎组剖面的中部。砾质粗砂岩(图2D)中,砾石磨圆一般,分选差,砾石成分极为复杂,见有砂岩、石英、花岗岩、火山岩等类型,砾石的含量约 25%。向上还发育灰绿色细砂岩,其显著的特征是发育软沉积变形构造(图2F,在快速堆积的状态下,由于岩石孔隙中压力快速释放而形成。该组合的粗砂岩(杂砂岩)的粒度分析

与其他具有明显的不同(图4d),其在粗碎屑和泥质具有两个明显的峰值,呈多众态,亦具杂砂岩的特征,

其正态概率累积曲线的斜率极低,具有浊流或泥石流等重力流沉积的特点。



图2 拉嘎组的岩石类型

A. 细砂岩中的双向交错层理(64层,1m) B. 含砾粉砂岩(66层,1.5m) C. 页岩(67层,2m) D. 砾质砂岩(71层,0.5m) E. 坠石(花岗岩)(74层,18m) F. 细砂岩中的软沉积构造(71层,1.2m) G. 中砂岩夹层(67层,10m) H. 砂砾岩透镜体(74层,30m) I. 含砾杂砂岩显微相片(正交偏光)(SZ2011b063-1) J. 含砾粗砂岩显微相片(单偏光)(SZ2011b065-1) K. 基底支撑的杂砂岩(单偏光)(SZ2011b066-1) L. 钙质粉砂岩中的苔藓虫(单偏光)(SZ2011b072-1)

Fig. 2 The rock types of Lagar Formation

A. crossbedding of fine sandstone interbedded B. pebbly siltstone C. shale D. pebbly sandstone and fine sandstone E. dropstone( granite) F. discharge structure in fine sandstone G. laminated medium sandstone H. lentoid sandy conglomerate I. microphotograph of pebbly greywacke (CP) J. microphotograph of pebbly coarse sandstone(MP) K. greywacke matrix-supported (MP) L. bryozoon in cal-siltstone(MP)

注:图中硬币直径约2.5cm;铅笔长约15cm;地质锤长约35cm。



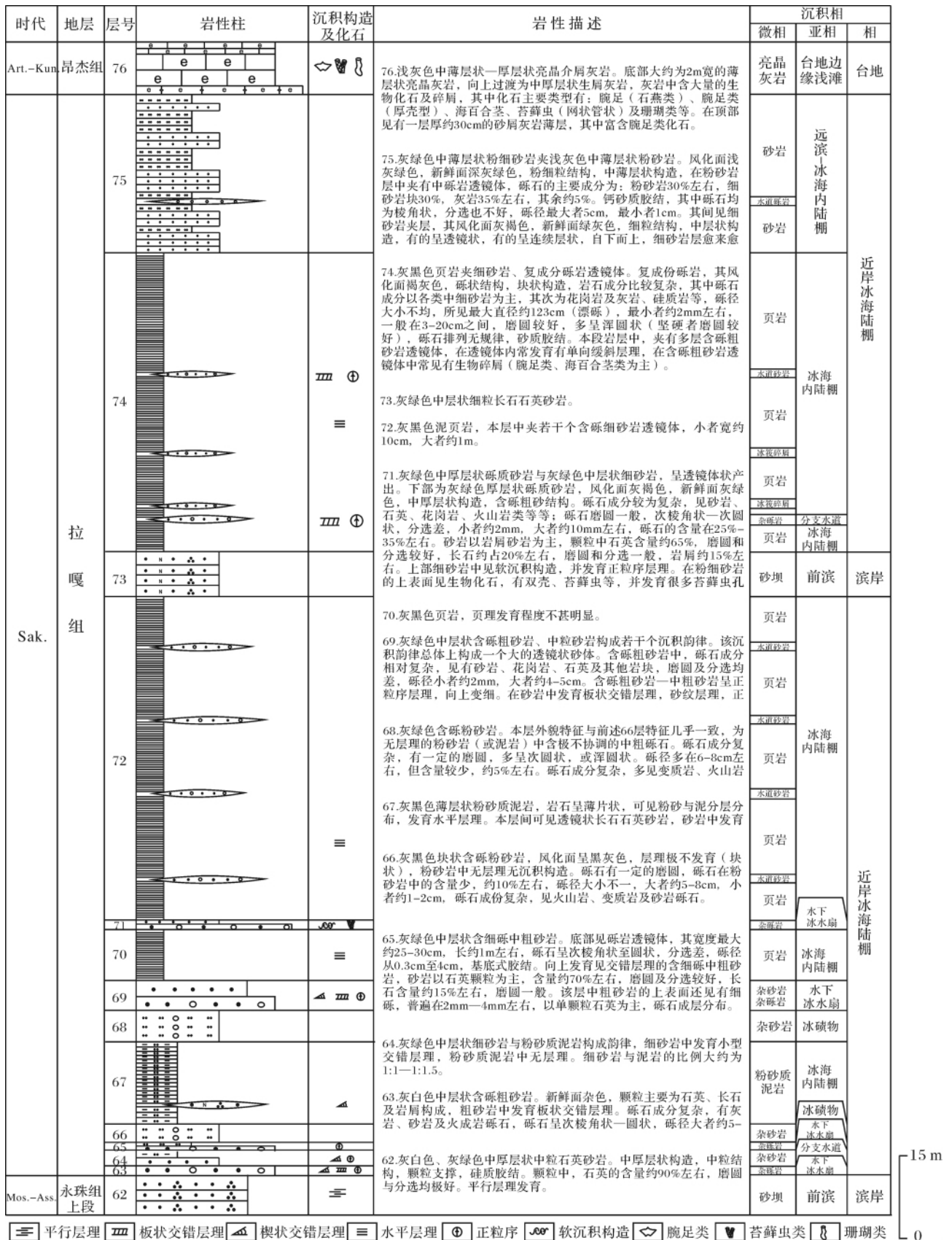


图5 申扎地区拉嘎组地层沉积柱状图

Fig. 5 The strata and sedimentological chart of Lagar Formation, Xainza area

组合V(图3 组合V)亦主要为黑色或灰绿色泥质粉砂岩或粉砂岩组成,主要见有剖面的上部。其区别于组合IV的显著特征是发育透镜状的粗砾岩或砂质砾岩(图2H),以及巨大的花岗岩“漂砾”(图2E)。粗砾岩或砂质砾岩厚度较大,基本无层理,砾石排列无规律,有一定磨圆,分选极差,砂泥质胶结,总体向上变细过渡为具单向缓斜交错层理的含砾粗砂岩和中细砂岩(透镜体)。该组合的中细砂岩粒度特征与组合II中的细砂岩粒度特征具有相似性(图4b),甚至的中砂的范围内具有单一正态分布的峰,其正态概率累积曲线的斜率也与组合II的细砂岩基本一致,表明该砂岩也具有分支水道的沉积特点。

组合VI(图3 组合VI)主体岩性为黑色或深灰绿色粉砂质页岩,其显著特征是夹有灰绿色或灰白色中层状(板状或长透镜状,图2G)中粒或细粒长石石英砂岩。砂岩的磨圆一般,分选较好,颗粒支撑,其间发育低角度的冲洗层理。

总体上,拉嘎组岩石类型组合表现为数个向上变细的沉积韵律的不同组合,并且粗碎屑岩(杂砾岩、杂砂岩)均呈透镜状或指状产出。与这些呈透镜状的粗碎屑岩相对,其“基质”是由正常滨海(长石石英砂岩)—浅海环境下的细碎屑岩(粉砂岩、钙质粉砂岩、泥质粉砂岩、页岩)等成份构成。较能说明拉嘎组沉积环境背景的是,在组合IV的钙质粉砂岩中发现了较为完整的苔藓虫类(图2L)及双壳类化石,同时在组合V的含砾粗砂岩的砂泥质胶结物中还见有腕足类及海百合茎类的碎片赋存。

### 2.3 拉嘎组沉积特征

拉嘎组的地层沉积柱状图如图5所示,实测拉嘎组的厚度为194.93 m。拉嘎组是由多种类型的岩石组合构成,图5中可见,占拉嘎组厚度最大的是页岩和粉砂岩,岩石呈黑色或灰绿色,并且在粉砂岩中含苔藓虫及双壳类化石,显示为正常浅海环境;在这些黑色的页岩或灰绿色粉砂岩中,见有透镜状或“指状”的粗碎屑岩,这些岩石的形态及组合各有不同,但总体特征显示出杂砾岩和杂砂岩的特点,即结构及成份成熟度极低,粒序层理、交错层理、软沉积变形等沉积构造常见。特殊的岩石组合是图5中的66层及68层,显示为灰色无层理的粉砂岩中含有成分复杂的砾石,这种组合常被认为是冰碛物的沉积特点;74层中还可见到直径约1 m花岗岩“漂砾”。在黑色页

岩或灰绿色粉砂岩中,还发育灰绿色或灰白色的中细粒长石石英砂岩,其成熟度高,发育低角度的冲洗层理,表明为正常滨海相的砂坝沉积。

因此,拉嘎组的沉积相为滨岸—近岸冰海陆棚沉积。正常的滨海及浅海沉积为前滨砂坝和内陆棚页岩。“非正常”的受近岸冰川影响的沉积物幕式地出现在正常滨浅海中,具体表现为水下冰水扇及发育在其上的分支水道、近岸冰川负载的冰碛物以及相对远岸的冰筏碎屑等沉积。

## 3 沉积环境成因分析

拉嘎组作为晚古生代冈瓦纳陆缘裂解背景下<sup>[2,17]</sup>的沉积产物,其沉积环境亦有较多学者开展了一些研究<sup>[8,18]</sup>,但并未深入研究其具体的相环境,仅是代以冰海相<sup>[12,19]</sup>或以冰川有关的沉积环境论之。根据Eyles等<sup>[20]</sup>的论述,“冰海环境是一种特殊的、受冰川(冰盖)活动影响的大陆边缘环境的类型(如陆棚、斜坡和深海平原)。那些不受冰川影响的典型大陆边缘沉积序列的知识已经广为人知,但是被冰川改造过的大陆边缘地层结构和沉积序列还知之甚少,冰海环境中对沉积作用的主要影响与冰川沉积供给(受控于盆地边缘的地形、冰川的热状态以及冰流动力)和沉积环境(受牵引流体、基底地形以及冰川边缘的接近性影响)有关”。其中,受冰川影响的最有意义的盆地类型是类似于大西洋型的离散型盆地,这样的盆地受控于沉降的构造背景并且具有更大的保存潜力<sup>[21]</sup>,发育拉嘎组的申扎地块晚古生代即具有类似的盆地性质。

受冰川影响的沉积物可能在某些结构和构造有相似之处,但区分冰海相环境和陆地冰川环境主要在于基岩类型和海底地形的不同<sup>[20]</sup>。在本次研究的剖面上,拉嘎组下伏地层是永珠组长石石英砂岩与泥岩、含生屑泥灰岩等,长石石英砂岩(图6a)的分选及磨圆均好,成熟度高,为较典型滨岸砂岩,粒度分析也表明如此(图6b)。拉嘎组上覆昂杰组底部岩性为亮晶生屑灰岩及钙质粉砂岩(图6c),为正常浅海的生屑滩及陆棚相沉积环境。拉嘎组与之整合的下伏、上覆地层均为海相环境,地层产状相对拉嘎组完全一致,该特征与陆相冰川的基岩完全不同,同时,在拉嘎组分选差的细碎屑岩中亦见有完整的苔藓虫化石(图3L),故拉嘎组的沉积环境应为冰海环境。

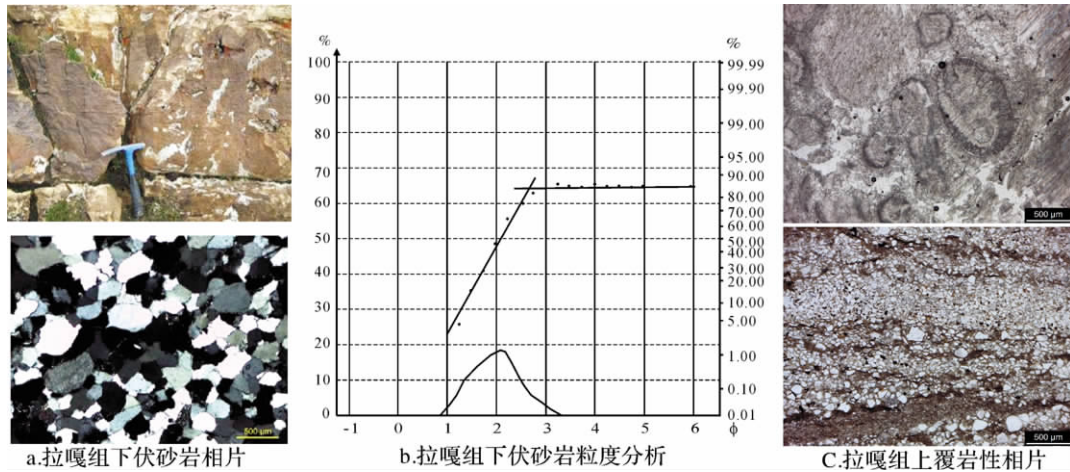


图 6 拉嘎组下伏永珠组顶部及上覆昂杰组岩性

注: 图中 a 样品号 SZ2011b062-1 , c(上) 样品号 SZ2011b076-1 , c(下) 样品号 SZ2011b077-1

Fig. 6 Rocks underlain and overlain by Lagar Formation

对拉嘎组进行详细的相分析后,认为拉嘎组的沉积环境为近岸冰海环境,如图 7 所示。

近岸冰海环境的重要识别因素在于沉积物堆积的地点距离冰盖(或冰舌)与地平面交线位置的远近<sup>[20]</sup>。而冰盖是否能在海岸低潮带处形成冰墙,一方面取决于热盖内的热状态,另一方面取决于冰盖自身内部的稳定性。很多现代冰川体的热状态并不为人熟知,但是通过冰川的基底人们知道了复杂的热嵌合体是存在的<sup>[22]</sup>。冰川基底的热条件可以分为解冻

(正在解冻)带和冷冻(正在冷冻)带,解冻带中底层冰面滑过基底而产生的底面融水形成相当发达的河网,冷冻带中则没有自由流动的融水,融水冲出了磨蚀物,并将大量的牵引或悬浮物质输送进入海相环境中。在冷冻带和正在冷冻带上这种沉积物的传送机制很大程度上是缺失的<sup>[23-24]</sup>。而拉嘎组中大量的冰海沉积物的发育和总体上为海平面抬升的现象也说明,其时冰盖的基底热状态处于解冻或正在解冻的状态下。冰棚或冰舌由于底层的融化失去了质量<sup>[25]</sup>,

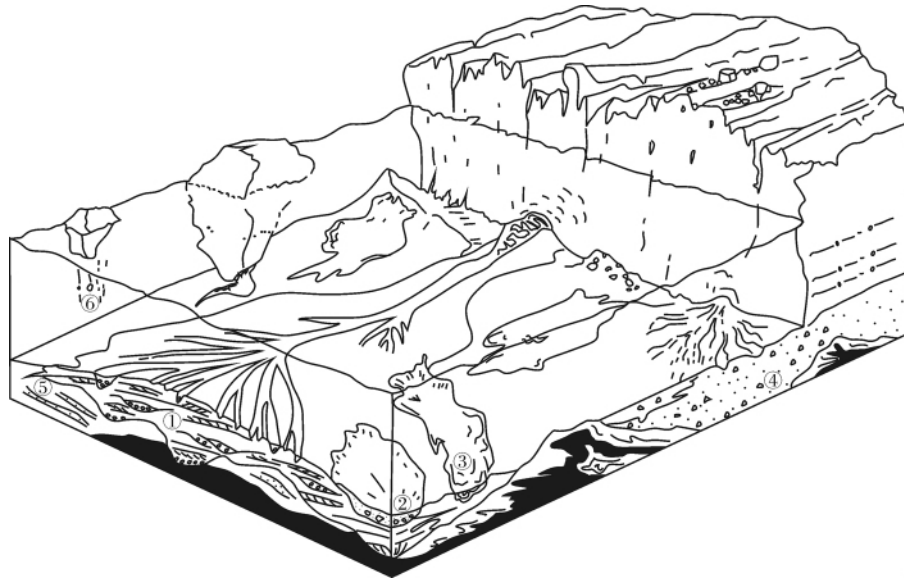


图 7 冰缘解冻并后退状态中的近岸冰海沉积模式

(根据 Nye, 1976; Powell, 1981; Cheel and Rust, 1982; Eyles, et al., 1985 修改) 分支水道和间湾; 冰碛杂砂岩; 具软沉积构造细碎屑岩; 水下冰水扇; 具良好分选和磨圆的滨岸砂岩; 含坠石的冰筏

Fig. 7 Proximal glaciomarine sedimentation model during thawing and retreat of grounded ice margin (After Nye, 1976; Powell, 1981; Cheel and Rust, 1982; Eyles, et al., 1985). channel and interchannel "tillites" by grounded ice melting; fine-grained with soft sediment deformation; subaqueous ice fan; sorted and graded sands on shore; ice-rafted debris with dropstone



而冰棚会在失去质量或海平面上升时变得不稳定而瓦解<sup>[26, 27]</sup>,进而转换成低潮冰体边缘,会在盆地边缘的浅水区形成陡峭的冰墙<sup>[28]</sup>。

### 3.1 分支水道和间湾

此处分支水道是指冰盖底部冰川融化形成的水道(图7①),在后退冰体边缘序列中,随着冰体容量的不断减少,冰体边缘终止在陆地上并远离海水,冰川产生的沉积物在正常情况下通过冰河传输过程到达海中,可以保存在大的、快速演化的辫状水道、三角洲或扇沉积体系中<sup>[29~32]</sup>,并且可以延伸很远,这样有时近岸冰海环境和远岸冰海环境的界线就不十分清楚<sup>[33]</sup>。分支水道的岩石组合代表类型是组合V,而组合II可代表水道间湾(前图4)。组合II出现在剖面底部和中下部,代表较为靠近冰体边缘的环境,与正常分支水道间湾类似,受到多组且横向迁移的水道切割,砂岩具双向交错层理特征,与泥岩构成沉积韵律。组合V中的粗碎屑岩位于剖面的上部,具有比较典型的分支水道的二元结构,即水道砾岩和水道间湾的砂岩构成,且中细砂岩的粒度分析也表明其具有分支水道的特点,由于此时的基岩均为正常的细碎屑岩,且上部出现了代表正常海水的碳酸盐岩,说明该水道距离冰体边缘较远,可能抵达了浅水陆棚区域。

### 3.2 水下冰水扇

由于那些冰川边缘携带沉积物载荷的融水流量巨大,与冰体接触的水下扇在冰川下和冰川内融水水道的开放处形成<sup>[20]</sup>。扇头中会堆积具有不同轴向的粗粒度砾石<sup>[34]</sup>(图7④),而距离分支水道较远的扇中的位置则堆积了具有交错层理的砂岩<sup>[28, 35, 36]</sup>。组合I的粗碎屑岩便是堆积在扇头或远离分支水道的扇中环境的沉积物,与其对应的是组合I底部杂乱无章的砾质砂岩或砂质砾岩以及发育交错层理的粗砂岩,粒度分析也同样表明该沉积不似分支水道,而应为冰内或冰下融水口快速堆积的产物。

在冰水扇内的侧壁陡峭的水道中还可以引发另一种沉积作用——沉积物重力流,这是因为高密度沉积物负载的融水以幕式脉冲的方式倾泻到扇里<sup>[37]</sup>。松散的堆积物在重力作用下再次沉积,不仅是在坡度很陡的情况下,甚至在一些坡度很低的情况下,如果沉积速率很高,细粒的水下沉积物也是不稳定的<sup>[38]</sup>。突然就位的底层沉积物会引起极高的地下水压力,这种压力又会形成各种各样的穿透构造<sup>[20]</sup>。所以组合IV中的砂砾岩(杂砂岩)透镜体是在一定陡度下,由于沉积速度高而在沉积物重力流的作用下二次沉积

的,软沉积变形是由较高的地下水压力引起气体运移而形成的沉积构造(图7③)。

### 3.3 “冰碛”杂砂岩和冰筏碎屑

在近岸冰海环境中,还有一种与冰川有关沉积物可能被保存下来,就是冰川上、下及内部碎屑物的集合体,即冰碛物(图2B;图3,组合III)。可能的情况是这类沉积原本保存在冰川体的内部(或底部)或是水下埋藏的冰体中,由于冰体融化而在原地堆积,并且没有受到后期流体的改造(图7②)。

由于冰山会从低潮面的冰体边缘解脱出来并携带较多的碎屑<sup>[39]</sup>,在距离近岸冰海环境稍远的陆棚中,冰山会释放底层的碎屑——冰筏碎屑到细碎屑岩中,这其中就包括一些巨大的坠石(或漂砾)(图2E;图3,组合V;图7⑥)。

### 3.4 滨岸砂岩

在拉嘎组剖面中还有发育一类与冰川作用似无很大联系的长石石英砂岩,呈板状或长透镜状(图2G),其具有良好的分选与磨圆,成熟度较高,与下覆永珠组的滨岸砂岩特征大体相同。这类砂岩是正常滨海相的砂岩,与基质的细碎屑岩呈韵律关系,其成因与波浪作用或海平面升降有关。

## 4 讨论

一般认为,晚古生代冰期(The Late Palaeozoic Ice Age—LPIA)的起止年代为早石炭世末期的 Serpukhovian 期(约320 Ma)至早二叠世的中 Sakmarian 期(约290 Ma)<sup>[40]</sup>,这是地球历史上影响范围最大、持续时间最长的多期次冰期。通常认为此次冰期在冈瓦纳或泛冈瓦纳地区产生了意义深远的影响,拉嘎组所代处的时代(Sakmarian 中晚期)正是晚古生代冰期由盛至衰的阶段,在区域上,它是对应于冈瓦纳大陆北缘于晚古生代裂解过程<sup>[3, 17, 41]</sup>的沉积响应,研究拉嘎组的岩相、沉积环境及古地理具有重要的意义。通过初步的分析研究,作者认为还应该以下几个问题尚需进一步讨论。

### 4.1 冰海环境的岩相识别

沉积环境是否受到冰川的影响,取决于对杂砾岩的判断,杂砾岩在陆地环境中通常为泥石流、滑坡及滑落等因素,此类杂砾岩距物源(造山带)较近,或被搬运的路程较短;在海洋环境中,杂砾岩主要形成在陆架坡折、陆坡或陆架中任意坡度陡变处<sup>[6]</sup>,根据拉嘎组及其上覆、下伏地层的沉积环境的基本判断(构造上,这一时代无造山带、距物源远;海洋环境中不处

于类似陆架坡折这样的急变带),尤其是拉嘎组中背景沉积物为发育指示浅海相的苔藓虫等化石,故应排除陆相及正常海洋环境。构成近岸冰海环境判断的基本要素是位于低潮带附近的冰墙及延伸至浅海的冰舌及断离的冰筏<sup>[20]</sup>,这些冰体是杂砾岩的主要物质来源。

判断冰海相沉积的主要识别因素有碎屑形状、地层和相的相互关系、层理、擦痕及碎屑组构等等。其中地层的相的相互关系极为重要,一般来说在冰海相沉积中,冰海相杂砾岩与正常滨浅海相沉积物呈舌状或指状接触,向海(远岸)的方向海相沉积增加、杂砾岩减少,并且出现海相化石。另外,碎屑组构——如切穿正常岩层层理的“落石”是冰筏沉积的良好证据。在拉嘎组的沉积物表面颗粒特征中,擦痕不常见,或是由于冰体所承载的碎屑颗粒并没有明显的相互运动或挤压。

#### 4.2 受冰川作用影响的区域环境对比

拉萨地块长期以来一直被认为是与羌塘、喜马拉雅连结在一起的古特提斯被动大陆边缘体系的一部分,在三叠纪时期从古特提斯南部被动大陆边缘裂离出来形成印度河—雅鲁藏布新特提斯洋,并在侏罗纪末期和白垩纪末期先后与羌塘、印度碰撞导致了班公—怒江古特提斯洋和印度河—雅鲁藏布新特提斯洋的关闭<sup>[42]</sup>。由于以下三个因素:①与特提斯喜马拉雅相似的泛非期结晶基底;②晚古生代冈瓦纳相动植物群;③石炭—二叠纪冰海相沉积,拉萨地块被认为起源于印度冈瓦纳<sup>[42,43]</sup>。近年来,有学者分别从岩浆岩<sup>[44]</sup>、沉积物源<sup>[17]</sup>和生物群<sup>[2]</sup>认为拉萨地块与羌塘、喜马拉雅等块体具有不同的构造及古地理演化历史,Zhu等<sup>[45]</sup>更是直接提出拉萨地块可能直接起源于澳大利亚冈瓦纳,而与印度冈瓦纳具有不同的演化史。

根据已有资料<sup>[6]</sup>及模式,早二叠世冈瓦纳印度至特提斯喜马拉雅带,与冰川作用有关的沉积环境依次为大陆冰碛—冰水沉积—近岸冰海相—远基浮冰带,由陆向海,由近基向远基连续过渡的沉积环境;而西(南)羌塘地体则被认为是远基或超远基冰海相伴随水下块体重力流的沉积环境,可见上述几个块体形成连续的沉积环境相带。但目前拉萨地块夹持与喜马拉雅与西(南)羌塘之间,且拉萨地块应属近岸冰海沉积,如与前述做为一个整体考虑,显然存在矛盾;反之,如赞同拉萨地块来自于澳大利亚冈瓦纳,形成一个相对独立的体系,似乎可化解该矛盾。

#### 4.3 古气候、古构造意义

冰海环境中与冰川有关的沉积物数量的多少不仅与盆地性质有关,而且与冰川的热状态有很大关联,正在解冻的冰川要比完全处于冷冻状态下的冰川所提供的沉积物要多的多。拉嘎组与冰川有关的沉积物类型十分丰富,沉积速率很高,从这个角度上可以说明影响拉嘎组沉积的冰川边缘处于解冻或正在解冻的状态中。影响冰川热状态的因素可能有以下几种:全球气候变暖、向低纬度迁移以及温暖洋流的影响。很明显,Sakmarian末冰期消融以后,全球的温度逐渐变暖<sup>[40]</sup>。因此,可以认为全球气候变暖驱动了拉嘎组中冰川的消融。但值得提出的是,拉嘎组同时也处于构造活动活跃的层位。在相邻的腾冲地块和Sibumasu地块上的同时代沉积都认为与其从澳大利亚北缘裂解有关<sup>[46]</sup>,因而不能完全排除拉萨地块向低纬度漂移造成其冰川加速融化的可能性。因此拉嘎组在区域上和其它地块冰海相层位的对比,以及它在区域上的构造意义,值得进一步研究。

致谢 本文的完成得益于参加野外工作的成都地质调查中心张磊及南京地质古生物研究所孙天任的帮助,成都地质调查中心尹福光研究员、王立全研究员与作者进行了深入的探讨,审稿人对本文提出了详尽而中肯的意见及建议,在此一并表示感谢!

#### 参考文献(References)

- 1 Yang J, Xu Z, Li Z, Z. Discovery of an eclogite belt in the Lhasa block, Tibet: A new border for Paleo-Tethys? [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34: 76-89
- 2 Zhang Y C, Cheng L R, Shen S Z. Late Guadalupian (Middle Permian) Fusuline Fauna from the Xiala Formation in Xainza County, Central Tibet: implication of the rifting time of the Lhasa Block [J]. *Journal of Paleontology*, 2010, 84: 955-973
- 3 Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, et al. Zircon U-Pb dating and in-situ Hf isotopic analysis of Permian peraluminous granite in the Lhasa terrane, southern Tibet: Implications for Permian collisional orogeny and paleogeography [J]. *Tectonophysics*, 2009, 469: 48-60
- 4 Fielding C R, Frank T D, Isbell J L. The late Paleozoic ice age: A review of current understanding and synthesis of global climate patterns [C]. *Geological Society of America Special Papers*, 2008: 343-354
- 5 Isbell J L, Miller M F, Wolfe K L, et al. Timing of late Paleozoic glaciation in Gondwana: Was glaciation responsible for the development of Northern Hemisphere cyclothem? [C]. *Geological Society of America Special Papers*, 2003: 5-24
- 6 尹集祥. 青藏高原及邻区冈瓦纳相地层地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1-200 [Yin Jixiang. Stratigraphy of Gondwana Facies of Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Area [M]. Beijing: Geological

- Publishing House, 1997: 1-200]
- 7 李晓勇, 谢国刚, 袁建芽, 等. 西藏文都—姆错丙尼地区早二叠世拉嘎组——兼述杂砾岩形成环境与成因[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 723-727 [Li Xiaoyong, Xie Guogang, Yuan Jianya, *et al.* Early Permian Raka Formation in the Ombu-Monco Bunnyi area, Tibet—with a discussion of the formation environment and origin of petromictic conglomerate [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(11): 723-727]
  - 8 赵兵, 刘登忠, 陶晓风, 等. 西藏仲巴县昂拉仁错—塔若错一带拉嘎组的地层特征及沉积环境[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 800-805 [Zhao Bing, Liu Dengzhong, Tao Xiaofeng, *et al.* Stratigraphy and sedimentary environment of Laka Formation in the Ngangla-Taro Co area, Zhongba County, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(7): 800-805]
  - 9 程立人, 王天武, 李才, 等. 藏北申扎地区上二叠统木纠错组的建立及皱纹珊瑚组合[J]. 地质通报, 2002, 21(3): 140-143 [Cheng Liren, Wang Tianwu, Li Cai, *et al.* Establishment of the Upper Permian Mujiu Co Formation and rugose coral assemblage in Xainza area, northern Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(3): 140-143]
  - 10 程立人, 张予杰, 张以春. 西藏申扎地区古生代地层研究新进展[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 1018-1022 [Cheng Liren, Zhang Yujie, Zhang Yichun. New progress in the study of Paleozoic strata in Xainza area, Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9): 1018-1022]
  - 11 计文化, 陈守建, 赵振明, 等. 西藏冈底斯构造带申扎一带寒武系火山岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1350-1354 [Ji Wenhua, Chen Shoujian, Zhao Zhenming, *et al.* Discovery of the Cambrian volcanic rocks in the Xainza area, Gangdese orogenic belt, Tibet, China and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9): 1350-1354]
  - 12 林宝玉. 西藏申扎地区古生代地层 [C] // 青藏高原地质文集 (8), 地质矿产部青藏高原地质文集编委会主编. 北京: 地质出版社, 1983: 1-28 [Lin Baoyu. Palaeozoic Stratigraphy in Xainza County, Xizang (Tibet) [C] // Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (8), CGQXP Editorial Committee Ministry of Geology and Mineral Resources PRC. Beijing: Geological Publishing House, 1983: 1-28]
  - 13 纪占胜, 姚建新, 武桂春. 西藏西部狮泉河地区二叠纪和三叠纪牙形石的发现及其意义[J]. 地质通报, 2007, 26: 383-397 [Ji Zhansheng, Yao Jianxin, Wu Guichun. Discovery of Permian and Triassic conodonts in the Shiquanhe area, Ngari, western Tibet, China and their significances [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(4): 383-397]
  - 14 郑春子, 王永胜, 张树岐. 西藏北部申扎地区德日昂玛一下拉山石炭二叠系生物地层划分[J]. 地层学杂志, 2005, 29(S1): 520-528 [Zheng Chunzi, Wang Yongsheng, Zhang Shuqi. The Carboniferous-Permian biostratigraphic division of Deriangmato-Xialashan of the Xainza area, northern Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 29(S1): 520-528]
  - 15 郑有业, 许荣科, 王成源, 等. 中国二叠纪冈瓦纳冷水相牙形刺动物群的发现[J]. 科学通报, 2007, 52(5): 578-583 [Zheng Youye, Xu Rongke, Wang Chengyuan, *et al.* Discovery of Permian cold-water Gondwanan conodont fauna from China [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(5): 578-583]
  - 16 詹立培, 姚建新, 纪占胜, 等. 西藏申扎地区晚石炭世—早二叠世冈瓦纳腕足类动物群再研究[J]. 地质通报, 2007, 26(1): 54-72 [Zhan Lipei, Yao Jianxin, Ji Zhansheng, *et al.* Late Carboniferous-Early Permian brachiopod fauna of Gondwanic affinity in Xainza County, northern Tibet, China: Revisited [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(1): 54-72]
  - 17 Zhu D C, Mo X X, Zhao Z D, *et al.* Presence of Permian extensional arc-type magmatism in southern Tibet: Paleogeographic implications [J]. Geological Society of America Bulletin, 2011, 122: 979-993
  - 18 朱利东, 刘登忠, 陶晓风, 等. 西藏措勤地区石炭纪—早二叠世古地理演化[J]. 地球科学进展, 2004, 19(增刊): 46-49 [Zhu Lidong, Liu Dengzhong, Tao Xiaofeng, *et al.* Evolution of the lithofacies and paleogeography in the Coqen area of Tibet during the Carboniferous to Earlier Permian [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(Suppl.): 46-49]
  - 19 李祥辉, 吴铭, 王成善, 等. 西藏措勤盆地古生界—中生界岩相古地理演化[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(4): 331-339 [Li Xianghui, Wu Ming, Wang Chengshan. Paleozoic to Mesozoic changes of lithofacies and paleogeography of the Coqen basin, central Tibet [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(4): 331-339]
  - 20 Eyles C H, Eyles N, Miall A D. Models of glaciomarine sedimentation and their application to the interpretation of ancient glacial sequences [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1985, 51: 15-84
  - 21 Kingston D R, Dishroon C P, Williams P A. Global basin classification system [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67: 2175-2193
  - 22 Paterson W R B. The Physics of Glaciers [M]. Oxford: Pergamon Press, 1981: 380
  - 23 Anderson J B, Brake C F, Domack E W, *et al.* Development of a polar glacial-marine sedimentation model from Antarctic Quaternary deposits and glaciological information [C] // Molnia B F ed. Glacial-Marine Sedimentation. New York: Plenum Press, 1983: 233-264
  - 24 Anderson J B, Brake C F, Myers N C. Sedimentation on the Ross Sea continental shelf Antarctica [J]. Marine Geology, 1984, 57: 295-334
  - 25 De Q, Robin G. Formation, flow and disintegration of ice-shelves [J]. Journal of Glaciology, 1979, 24: 259-271
  - 26 Hughes T J. The West Antarctic Ice Sheet: instability, disintegration and initiation of Ice Ages [J]. Review of Geophysics, Space Physics, 1975, 13: 502-526
  - 27 Hughes T J. On the disintegration of ice shelves: the role of thinning [J]. Annual of Glaciology, 1982, 3: 146-151
  - 28 Powell R D. A model for sedimentation by tidewater glaciers [J]. Annual of Glaciology, 1981, 2: 129-134
  - 29 Boothroyd J C. Sandur plains, northeast Gulf of Alaska: A model for alluvial fan-fan delta sedimentation in cold-temperature environments [C] // Miller T P ed. Recent and Ancient Sedimentary Environments

- in Alaska. Alaska Geological Society, Anchorage, 1976: 1-43
- 30 Galloway W E. Sediments and stratigraphic framework of the Copper River Fan-Delta, Alaska [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1977, 46: 726-737
- 31 Molnia B F. Twentieth-century history of the Gulf of Alaska coastline, Cape Suckling to Cape Spencer [C]//Field M E, *et al.* eds. Quaternary Depositional Environments of the Pacific Coast. Pac. Coast Palaeogeogr. Symp, 1980: 121-141
- 32 Miall A D. Glaciofluvial transport and deposition [C]//Eyles N ed. *Glacial Geology: An Introduction for Engineers and Earth Scientists*. Oxford: Pergamon Press, 1983: 168-183
- 33 Andrews J T, Matsch C L. Glacial Marine Sediments and Sedimentation: An Annotated Bibliography [M]. Norwich: Geo-Books, 1983: 227
- 34 Rust B R, Romanelli R. Late Quaternary subaquatic outwash deposits near Ottawa, Canada [C]//Jopling A V, McDonald B C, eds. *Glaciofluvial and Glaciolacustrine Sedimentation*. Society of Economy Paleontology Mineralogy, Special Publishing, 1975, 23: 177-192
- 35 Banerjee I, McDonald B C. Nature of esker sedimentation [C]//Jopling A V, McDonald B C, eds. *Glaciofluvial and Glaciolacustrine Sedimentation*. Society of Economy Paleontology Mineralogy, Special Publishing, 1975, 23: 132-154
- 36 Nystuen J P. Facies and sedimentation of the Late Precambrian Moelv Tillite in the eastern part of the Sparagmite Region, southern Norway [J]. *Norsk Geologisk Unders.*, 1976, 329: 1-70
- 37 Cheel R J, Rust B R. Coarse-grained facies of glaciomarine deposits near Ottawa, Canada [C]//Davidson-Arnott R, Nickling W, Fahey B D, eds. *Research in Glacial, Glacio-Fluvial and Glacio-Lacustrine Systems*. Geo-Books, Norwich, 1982: 279-295
- 37 梁定益, 张宜智, 聂泽同, 等. 阿里地区地层 [C]//郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 等. 阿里地质. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 27-48 [Liang Dingyi, Zhang Yizhi, Nie Zetong. Stratigraphy in Ngari district [C]//Guo Tiejing, Liang Dingyi, Zhang Yizhi, *et al.* *Geology of Ngari, Tibet (Xizang)*. Wuhan: The China University of Geosciences Press, 1991: 27-48]
- 38 Coleman J M, Prior D B, Lindsay J F. Deltaic influences on shelfedge instability processes [C]//Stanley D J and Moore B T, ed. *The Shelf-break: Critical Interface on Continental Margins*. Society of Economy Paleontology Mineralogy, Special Publishing, 1983, 33: 121-138
- 39 Domack E W, Anderson J B. Marine geology of the George V continental margin: Combined results of Deep Freeze 79 and the 1911-1914 Australasian Expedition [C]//Antarctic Geoscience, Proceeding 4th Int. Syrup., Adelaide, Australia Academy of Sciences, Canberra, 1983: 402-406
- 40 Shi G R, Waterhouse J B. Late Palaeozoic global changes affecting high-latitude environments and biotas: An introduction [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, 298: 1-6
- 41 耿全如, 王立全, 潘桂棠, 等. 西藏冈底斯带石炭纪陆缘裂陷作用: 火山岩和地层学证据 [J]. *地质学报*, 2007, 81(9): 1259-1276 [Geng Quanru, Wang Liquan, Pan Guitang, *et al.* Carboniferous marginal rifting in Gangdese: volcanic rocks and stratigraphic constraints, Xizang (Tibet), China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(9): 1259-1276]
- 42 Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28: 211-280
- 43 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考 [J]. *地质通报*, 2004, 23(1): 12-19 [Pan Guitang, Wang Liquan, Zhu Dicheng. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(1): 12-19]
- 44 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点 [J]. *地学前缘*, 2009, 16(2): 1-20 [Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, *et al.* Permian and Early Cretaceous tectonomagmatism in southern Tibet and Tethyan evolution: New perspective [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(2): 001-020]
- 45 Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, *et al.* Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia [J]. *Geology*, 2011, 39: 727-730
- 46 Wopfner H. Gondwana origin of the Baoshan and Tengchong terranes of west Yunnan [C]//Hall R, Blundell D eds. *Tectonic Evolution of Southeast Asia*. The Geological Society London, 1996: 539-547

## The Litho/Sedimentary Facies Analysis of Lagar Formation, Xainza Area, Tibet

ZHANG Yu-jie<sup>1</sup> ZHANG Yi-chun<sup>2,3</sup> PANG Wei-Hua<sup>1</sup> ZHU Tong-xing<sup>1</sup>

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081;

2. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, CAS, Nanjing 210008;

3. School of Life and Environmental Sciences, Deakin University, Melbourne Campus, 221 Burwood Highway, Burwood, Victoria 3125, Australia)

**Abstract:** Lagar Formation was developed in Lhasa Block which located between Himalaya belt south and Qiangtang Block north. It represents the glaciomarine deposits related to the Late Carboniferous-Early Permian Gondwana glaciation. However, its litho/sedimentary facies have never been clearly understood. In this paper, the litho/sedimentary facies of the Lagar Formation were analyzed based on the Zhakang-Mujiucuo section in Xainza County, central Tibet.

The lithology of Lagar can be distinguished into five types of rocks assemblage. Assemblage I could be supposed to subaqueous ice fan which compose of pebbly coarse grained sandstone-sandy shoulder (diamictite), and fine pebbly sandstone gradually. Assemblage II is composed of fine-grained sandstone developed bimodal cross-bedding and muds, and could be regarded as channel and interchannel. Having no bedding, extremely poor sorted, and developed complex components of grave, the rocks of Assemblage III was supposed by "tillites". The mainly lithology of Assemblage IV is dark or grey green silts or cal-siltstone, interbedded thick pebbly coarse-grained sandstone and fine-grained sandstone. The remarkable character of Assemblage IV is developed soft sediment deformation in grey green fine-grained sandstone, and this should to attribute to sediment gravity flows. Being developed coarse grave and pebbly sandstone in the dark siltstone, the Assemblage V also can be attributed to channel extending so far. Assemblage VI composed of shale laminated fine-grained quartz sandstone which is well roundness and sorted should be supposed by coast and shallow sea.

According to above, depositional environment of Lagar Formation is proximal glaciomarine environment which identification factor lies in whether the depositional site is proximal or distal to a grounded ice margin (or grounding line of an ice shelf or tongue). Whether ice sheet can be form ice wall near coast tide water depend on the thermal regime of ice sheet and stability of inner ice sheet. The thermal condition at an ice base can be divided into thawed (and thawing) zones where basal ice slides over the substrate producing basal meltwaters that are integrated into a well developed drainage network, and frozen and freezing zones where no free meltwaters available. Ice shelves are also inherently unstable and during times of decreasing mass balance or rising sea level may rapidly disintegrate and revert to a grounded tidewater ice margin that terminates as a steep ice wall in shallower water along the basin margin.

According to present literature and depositional models, Early Permian sedimentary facies belts of Indian Gondwana to Tethyan Himalaya show continental tillites-glaciofluvial-proximal glaciomarine-distal ice-rafted debris successively from south to north. And it is said that Lhasa and South Qiangtang block also has been considered distal or super-distal glaciomarine environment.

Sedimentation rates in marine environments around thawed/thawing ice margins are much higher than around cold zones. The factors influenced the glacier thermal regime relate to global warming, drift to low latitude and warm currents influence. Global climate became warm with Sakmarian deglaciation. But at the same time, Lhasa block has been in tectonic activities similar to adjacent Tengchong block and Sibumasu block where rifting from north margin of Austria.

**Key words:** rock assemblage; depositional environments; Lagar Formation; Early Permian; Xainza area; Tibet