

滇西保山地区二叠纪碳酸盐岩地层 古气候学研究*

颜佳新** 梁定益

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

伍 明

(中南民族大学化学与生命科学学院, 武汉 430074)

摘要 研究了滇西保山地区二叠纪丁家寨组上部、永德组上部和沙子坡组浅水碳酸盐岩的骨屑颗粒组合和非骨屑颗粒组合特征, 认为丁家寨组上部碳酸盐岩的骨屑颗粒组合属苔藓虫-棘皮组合, 缺乏非骨屑颗粒; 永德组和沙子坡组碳酸盐岩的骨屑颗粒组合为绿藻-有孔虫组合, 后者发育非骨屑颗粒. 通过与形成于不同纬度地区、大体同时的碳酸盐岩地层的骨屑颗粒组合的对比, 认为丁家寨组碳酸盐岩为温凉水沉积环境成因, 永德组和沙子坡组碳酸盐岩属暖水沉积环境成因.

关键词 早二叠世 碳酸盐岩 古气候 滇西

不同纬度地区浅海陆棚沉积环境均可发育碳酸盐岩沉积, 不同纬度(温度)条件下形成的碳酸盐岩具不同的沉积特征, 因而人们可以利用碳酸盐岩进行古气候分析^[1-3]. 目前, 浅海陆棚成因碳酸盐岩作为古气候学研究对象正受到人们重视.

早二叠世早期是全球石炭-二叠纪冰川发育时期, 在冈瓦纳大陆上广泛发育冰川沉积和冷水沉积; 非暖水沉积在亲冈瓦纳地块上也有较广泛分布. 前人通过对保山地区二叠纪早期地层丁家寨组下部“杂砾岩”的沉积学研究和该区二叠纪早期的生物古地理研究, 认为保山地块在二叠纪早期可能属亲冈瓦纳地块群, 之后迅速北移, 至晚二叠世进入赤道低纬度地区. 核心问题是丁家寨组形成的古气候背景, 也是目前分歧所在. 本文从碳酸盐岩角度研究该区早二叠世丁家寨组、中-晚二叠世永德组和沙子坡组的古气候特征. 对该套地层中碳酸盐岩的古气候学研究, 不仅有助于确定该区早、中二叠世古气候特征及其演化, 也有助于深化我们对古生代非暖水碳酸盐岩的认识.

1 区域地质背景

保山地块东以澜沧江断裂和柯街-南丁河断裂为界, 西以怒江-潞西断裂为界(图 1). 二叠纪地层在北部卧牛寺一带自下而上为丁家寨组、卧牛寺组、丙麻组和沙子坡组^[4]; 与丙麻组对应的地层在南部称为永德组, 包括下部的碎屑岩和上部的碳酸盐岩. 丁家寨组时代为 Asselian

2002-10-26 收稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 49972038)

** E-mail: jxyan@public.wh.hb.cn

晚期至 Artinskian 早期, 卧牛寺组为 Artinskian 晚期, 永德组或丙麻组为 Roadian 晚期至 Wordian 早期, 沙子坡组为 Wordian 晚期至 Wuchiapingian 早期(图 2)^[4].

丁家寨组下部主要为泥岩、粉砂岩和细砂岩, 中部以泥岩、粉砂岩为主, 含砾(“杂砾岩”段), 上部为泥岩和薄层生物碎屑灰岩. 其灰岩薄层至中厚层状, 总厚度可达数米. 较为常见的是海百合茎或苔藓虫生物碎屑泥岩或亮晶灰岩, 其次为含生物碎屑的泥质灰岩. 在泥质灰岩中还常常发育灰黑色泥晶灰岩薄层或灰岩透镜体. 卧牛寺组主要为玄武岩; 丙麻组下部为火山碎屑岩和凝灰质粉砂岩, 上部为紫红色泥岩和粉砂岩.

永德组碳酸盐岩地层, 在耿马小新寨主要由灰黑色中厚层~薄层灰岩、泥质灰岩组成, 富含苔藓虫和小腕足类化石; 在永德明朗剖面主要由灰色厚层生物碎屑灰岩组成. 北部沙子坡组, 下部主要为灰黑色生物碎屑灰岩, 上部为灰白色白云质灰岩、白云岩和鲕状灰岩. 南部主要为浅灰色厚层灰岩、白云质灰岩和鲕状灰岩. 本文研究的碳酸盐岩样品主要采自丁家寨组上部和永德组, 少量采自沙子坡组(图 2). 为便于对比研究, 本次研究还对普洱西门崖子剖面早二叠世碳酸盐地层进行了详细观察采样.

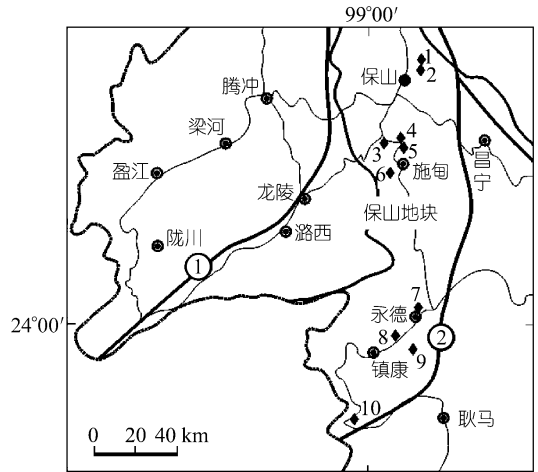


图 1 滇西区域构造简图及剖面位置图

1. 保山清水沟; 2. 保山金鸡卧牛寺; 3. 施甸鱼洞; 4. 施甸东坡; 5. 施甸丁家寨; 6. 施甸大寨门; 7. 永德安排田; 8. 永德空送寨; 9. 永德明朗; 10. 耿马小新寨. ①, 怒江-龙陵-路西断裂; ②, 澜沧江-柯街-南丁河断裂

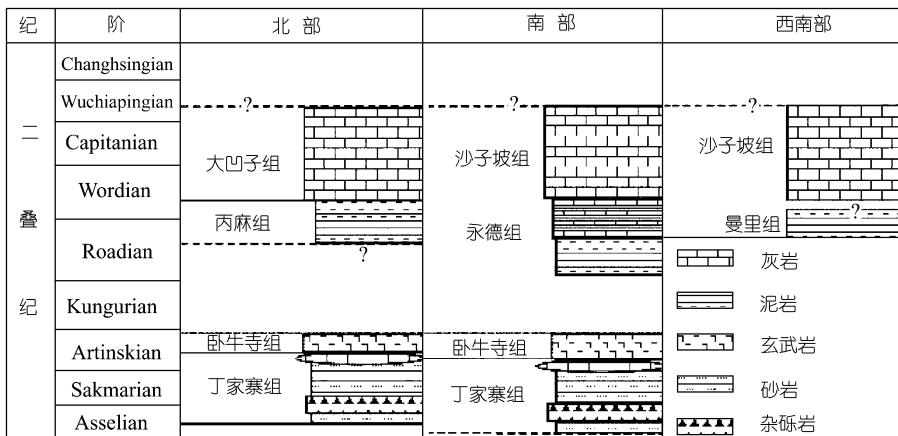


图 2 保山地块二叠纪地层分区及划分对比(据文献[4]修改)

自报道丁家寨组中发现冰川成因“杂砾岩”以来, 保山地块的构造古地理归属和该区二叠纪早期的古气候特征一直为人们所关注. 实际上, 它们是一个问题的两个方面. 如果认为该区二叠纪早期气候寒冷, 则意味着该区此时属亲冈瓦纳地块群, 而非亲华夏地块群; 反之则可能属亲华夏地块群. 支持本区在二叠纪早期具冈瓦纳大陆亲缘性的研究有: 1) 动植物群和生物

古地理研究^[4~8]; 2) 与印巴次大陆和藏南地区的地层对比研究^[9]; 3) 构造古地理研究^[10]和 4) 古地磁研究^[11]. 表明本区早二叠世早期发育非暖水沉积的证据包括: 1) 碳酸盐岩和化石介壳稳定氧、碳同位素分析^[12,13]; 2) 对丁家寨组下部“杂砾岩”的沉积学研究^[14~16].

但是显微结构观察表明, 本区丁家寨组“杂砾岩”中的石英颗粒表面, 基本缺乏与冰川作用有关的成因结构^[17]; 也有学者认为本区早二叠世早期的“杂砾岩”可能为岩屑流或正常滨海沉积^[18]; 此外本区亦有早二叠世中至低古地磁纬度值报道^[19]. 因此, 他们将本区解释为“中间过渡陆块区”^[5]. 总之, 保山地块在生物古地理和构造古地理方面明显不同于扬子地块.

2 碳酸盐岩沉积学特征

2.1 沉积环境特征

根据岩性特征、实体化石和遗迹化石特征, 周志澄等^[18]将施甸由旺东山坡剖面丁家寨组上部沉积环境确定为开阔浅海台地. 在该剖面碳酸盐岩地层之下的中-细粒中厚层石英砂岩的层面上, 常常发育对称浪成波痕, 内生生物潜穴也较为发育; 灰岩内海百合茎、苔藓虫和腕足类等均为正常浅海生物化石. 其中生物碎屑颗粒岩的形成明显与潮下高能沉积环境有关. 其他剖面丁家寨组碳酸盐岩沉积特征与之极为相似.

在小新寨剖面, 永德组碳酸盐岩主要为灰黑色中厚层状泥晶灰岩、泥灰岩和生物碎屑灰岩, 岩石层面上生物化石极为丰富, 包括小腕足类化石、海百合茎和苔藓虫, 显示了其浅海陆棚碳酸盐沉积环境的特点; 在永德明朗乡剖面, 永德组碳酸盐岩主要为浅灰色厚层生物碎屑亮晶灰岩, 海百合茎极为常见, 偶尔可以见到单体四射珊瑚, 因而其沉积环境水深可能更浅, 更接近潮下高能带. 因此从整体上看, 本区丁家寨组上部和永德组上部碳酸盐岩的形成环境均为开阔浅海台地相. 根据化石面貌和岩性特征, 沙子坡组下部可能仍然以开阔浅海碳酸盐台地为主, 上部则以局限碳酸盐台地为主.

2.2 颗粒组合特征

岩石薄片观察发现, 本区碳酸盐岩中的生物碎屑(简称骨屑, 下同)颗粒组合特征在各岩石类别(如颗粒岩、粒泥岩和泥粒岩)中差别不大, 但是在各岩组中存在明显差别(表 1).

表 1 研究区早二叠世早期碳酸盐岩地层中主要颗粒类型

		丁家寨组	永德组	沙子坡组
骨 屑 颗 粒	颗 粒 岩	主要组分	苔藓虫、海百合茎	棘皮、苔藓虫、藻屑
		次要组分	腕足	腕足、海百合茎
		特征组分	苔藓虫	藻屑
	粒 泥 岩 或 泥 粒 岩	主要组分	苔藓虫	苔藓虫或软体(主要为腹足和双壳)
		次要组分	腕足、棘皮、腹足	腕足、棘皮
		特征组分	苔藓虫	少量藻类、有孔虫和瓣化石
灰泥岩	苔藓虫、介形虫、腕足	苔藓虫、介形虫、腕足	丰富的瓣、有孔虫和藻类化石	
非骨屑颗粒	未见	偶见球粒	瓣粒、球粒	

丁家寨组颗粒岩中骨屑颗粒类型以苔藓虫为主; 大部分薄片中, 较大粒径者(>2 mm)以海百合茎为主(图 3(a), (c)), 中等粒径者(2 ~ 0.6 mm)以苔藓虫或者苔藓虫、棘皮类生物碎屑(主要

为海百合和海胆类)为主; 细者($< 0.6 \text{ mm}$)以苔藓虫为主(图 3(c)), 其次为腕足壳、腕足刺和棘皮类生物碎屑, 偶尔主要由海百合茎构成(图 3(c)). 在生物碎屑粒泥岩、生物碎屑泥粒岩中, 骨屑颗粒仍然以苔藓虫为主, 次要组分为棘皮类、腕足类和腹足类生物碎屑(图 3(b), (d)), 有时可见海绵骨针和介形虫.

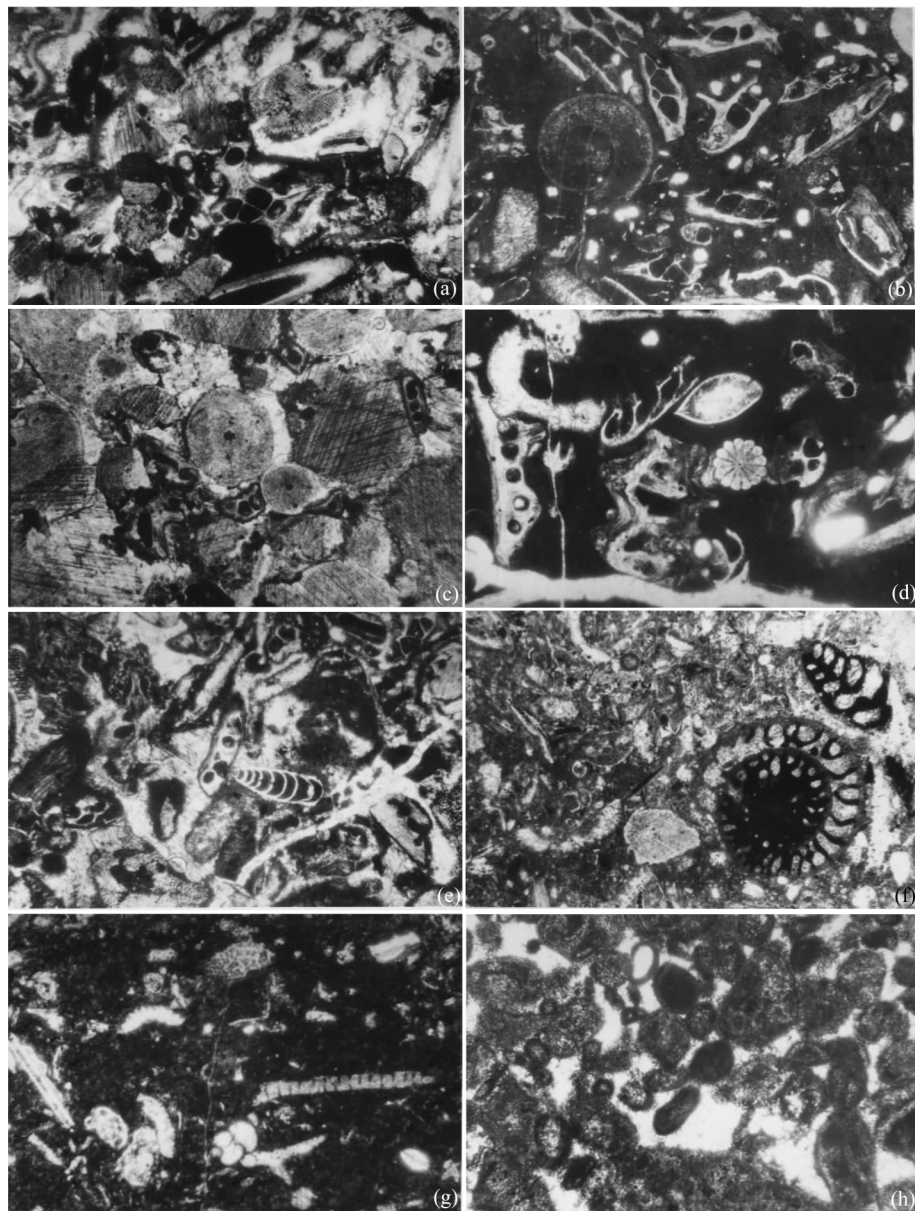


图 3 骨屑颗粒和非骨屑颗粒显微照片

(a) 腕足、苔藓虫、海百合茎生物碎屑颗粒岩, 卧牛寺剖面丁家寨组; (b) 腹足、苔藓虫生物碎屑泥粒岩, 大坡脚剖面丁家寨组; (c) 苔藓虫、海百合茎生物碎屑颗粒岩, 鱼洞剖面丁家寨组; (d) 苔藓虫生物碎屑泥粒岩, 含有海百合茎、介形虫和腕足, 鱼洞剖面丁家寨组; (e) 有孔虫、苔藓虫、藻生物碎屑颗粒岩, 明朗剖面永德组; (f) 筵藻等生物碎屑泥粒岩, 小新寨剖面永德组; (g) 腕足、有孔虫、藻生物碎屑颗粒岩, 小新寨剖面永德组; (h) 球粒、藻生物碎屑颗粒岩, 明朗剖面沙子坡组. 所有照片 $\times 40$

永德组颗粒岩中以藻类生物碎屑较为发育为特征,它们或者与苔藓虫或者与苔藓虫、棘皮类生物碎屑一起构成支架(图 3(e)).在生物碎屑粒泥岩、泥粒岩中,与丁家寨组相比,苔藓虫生物碎屑仍然较为发育,但是棘皮类和多晶粒壳(可能主要为腹足和双壳类)明显增多;有孔虫和藻类化石也较为常见,而且明显发育瓣化石(图 3(f), (g)).灰泥岩中生物碎屑极少,它们在两个组中的差别不明显.

与之相比,沙子坡组碳酸盐岩和普洱西门崖子剖面早二叠世早期碳酸盐岩地层内的生物碎屑类型丰富多样,瓣化石和有孔虫、藻类化石明显增多,其中藻类化石常常成为主要骨屑颗粒类型.在非骨屑颗粒组合方面,沙子坡组内常见球粒和鲕粒(图 3(h)),在永德组内偶尔可以见到球粒,在丁家寨组内未见任何非骨屑颗粒.

综上所述,在丁家寨组碳酸盐岩骨屑颗粒组合中,苔藓虫在丰度上占绝对优势,海百合茎和腕足类骨屑颗粒也较为发育.虽然在该组内有瓣化石报道,但此次研究未见(图 4).偶尔可见藻类(红藻门裸松藻类)和介形虫生物碎屑.永德组内骨屑颗粒组合中,苔藓虫、海百合茎和腕足类骨屑颗粒比例相对下降,但是明显含有藻类化石和有孔虫化石,在小新寨剖面永德组内还发现数处瓣化石.永德组内的藻化石以红藻门裸松藻科的 *Gymnocodium* 和 *Permocalculus* 以及红藻门管孔藻科的 *Ungdarella* 为主,同时含少量绿藻门粗枝藻科的藻类,如 *Vermiporella*.沙子坡组和普洱西门崖子下二叠统下部的碳酸盐岩内,骨屑颗粒组合的最大特征是生物碎屑颗粒类型多样,几乎包括所有该时期的海相无脊椎动物化石类型.与上述两个组相比,藻类化石、有孔虫和瓣化石几乎随处可见,绿藻极为发育(图 4).

	丁家寨组	永德组	沙子坡组
苔藓虫	██████████	██████████	██████████
海百合茎	██████████	██████████	██████████
腕足	██████████	██████████	██████████
有孔虫	██████████	██████████	██████████
瓣	-----	██████████	██████████
介形虫	██████████	██████████	██████████
软体 (腹足、双壳)	██████████	██████████	██████████
红藻	-----	██████████	██████████
绿藻	██████████	██████████	██████████
鲕粒	██████████	██████████	██████████
球粒	██████████	██████████	██████████

图 4 研究区碳酸盐岩地层中主要颗粒类型的丰度分布

3 讨论与结论

骨屑颗粒组合特征和非骨屑颗粒的发育与否是区分暖水和非暖水成因碳酸盐岩最直观、最重要的标志.现代和中-新生代暖水碳酸盐岩(物)以造礁珊瑚-绿藻组合(Chlorozoan)、绿藻组合(Chloralgal)和广义的珊瑚-绿藻组合(extended-Chlorozoan)为特征,且常常发育非骨屑颗粒(如葡萄石、鲕粒、球粒等);现代和中-新生代非暖水(浅水)成因碳酸盐岩(物)则以苔藓虫-软体组合(Bryomol)、有孔虫-软体组合(Foramol)、苔藓虫-红藻组合(Rhodalgol)和软体-底栖有孔虫-棘皮组合(Molechfor)为特征,往往缺乏非骨屑颗粒^[1,2,20,21].

古生代的海生生物与中-新生代生物存在极大差别,不仅表现在类别构成,而且很多门类生物的生境也发生了巨大变化,因而古生代暖水、非暖水碳酸盐岩骨屑颗粒组合特征明显不同于中生代.如瓣类生物碎屑仅仅发育于石炭-二叠纪浅水碳酸盐沉积环境.研究表明,晚古生代热带、亚热带浅海陆棚(暖水)碳酸盐岩骨屑颗粒组合以绿藻-有孔虫组合(Chlorofoam)、绿

藻-钙质海绵组合(或水螅)(Chlorosponge)为特征. 尤其是后者, 常出现于特提斯地区和西得克萨斯最温暖的沉积环境中; 温凉水 and 冷水成因碳酸盐岩中则以苔藓虫-棘皮组合(Bryonoderm)为特征; 有时其中可发育少量瓣化石和群体四射珊瑚, 被称为广义的苔藓虫-棘皮组合(Bryonoderm-extended), 代表温凉水沉积环境; 在极冷水沉积环境中形成的碳酸盐岩, 常常以丰富的硅质海绵骨针为特征, 偶尔伴生少量苔藓虫-棘皮组合分子, 如苔藓虫、棘皮和腕足, 称为硅质海绵骨针组合(Hyalosponge)^[22].

丁家寨组碳酸盐岩中, 苔藓虫生物碎屑极为发育, 并伴生有大量海百合茎和腕足类生物碎屑, 有孔虫、绿藻类化石和非骨屑颗粒不发育, 其骨屑颗粒组合与苔藓虫-棘皮组合极为相似. 考虑到前人在该组内曾多次发现瓣化石, 该组碳酸盐岩的骨屑颗粒组合应属广义的苔藓虫-棘皮组合. 永德组碳酸盐岩中, 苔藓虫、海百合茎和腕足类生物碎屑虽然较为发育, 但是其比例相对下降, 而且发育少量绿藻类化石、有孔虫化石、瓣化石和球粒, 因而应属绿藻-有孔虫组合. 毫无疑问, 本区沙子坡组和普洱西门崖子剖面下二叠统碳酸盐岩骨屑颗粒组合属于典型的绿藻-有孔虫组合, 同时发育钙质鲕粒和球粒.

值得指出的是, 随着沉积环境水深的增加, 亦可出现由暖水骨屑颗粒组合到非暖水骨屑颗粒组合的相变. 但是对本文所研究的碳酸盐岩地层, 完全可以排除这种深水成因的可能性. 另外, Taylor 等^[23]通过统计古生代富含苔藓虫化石的沉积物的古地理分布, 发现它们的古纬度分布跨度极大(80°S ~ 45°N), 而且被统计的古生代 81 例富含苔藓虫的沉积物中有 55 例(68%)分布在热带地区. 据此他们认为, 古生代沉积物中出现大量的苔藓虫并不一定就是非暖水沉积. 此结论是完全合理的. 类似情形见于广西来宾地区下二叠统栖霞组底部(层位大体相当于本区卧牛寺组)碳酸盐岩地层. 该地栖霞组底部发育一套黑色泥质灰岩、泥晶灰岩, 其中苔藓虫、海百合茎和腕足化石极为发育, 曾被命名为 BBC(苔藓虫-腕足-海百合茎)群落^[24,25]; 由于华南地区当时位于赤道地区, 它们无疑是暖水沉积. 有趣的是, 该生物组合看起来类似古生代非暖水碳酸盐岩中发育的苔藓虫-棘皮骨屑颗粒组合, 实际上不是; 在该段地层内还发育大量的钙质海绵化石、绿藻化石、有孔虫化石和瓣化石, 其古气候意义上的骨屑颗粒组合应属绿藻-钙质海绵组合, 反映了二叠纪最温暖的浅水沉积环境. 因此, 碳酸盐岩古气候学分析中的骨屑颗粒组合不同于传统意义上的生物化石组合, 它应该综合考虑碳酸盐岩中各种生物碎屑颗粒组分.

真正与本区丁家寨组上部碳酸盐岩中骨屑颗粒组合类似、而且层位大体相当的非暖水碳酸盐岩骨屑颗粒组合广泛分布于联合古大陆南、北两端. 北端如加拿大北极地区, 早二叠世早期(Asselian 和 Sakmarian 期), 该区仍然位于 30°古纬度地区, 发育暖水沉积; 之后由于联合古陆的整体北移, 该区逐渐由温凉水沉积环境演化为极冷水沉积环境. Artinskian-Kazanian 期发育以苔藓虫、棘皮和腕足类为主的骨屑颗粒组合(苔藓虫-棘皮骨屑颗粒组合); 其 Artinskian 期地层中, 局部发育瓣和群体四射珊瑚, 属广义的苔藓虫-棘皮骨屑颗粒组合, 为温凉水沉积环境成因^[22,26]. 南端如澳大利亚塔斯马尼亚, 早二叠世 Berriedale 灰岩夹于含冰川成因落石的泥岩中, 为典型的冷水成因碳酸盐岩. 该灰岩内生物碎屑以苔藓虫、腕足和双壳类为主, 含少量棘皮类、有孔虫、介形虫、海绵骨针和腹足类生物碎屑, 缺乏红藻、绿藻、瓣化石和非骨屑颗粒^[27]. 类似的非暖水成因浅水碳酸盐岩包括澳大利亚 Bowen 盆地早二叠世 Buffel 组^[28]、中缅甸地块早二叠世 Chuping 组^[29].

因此, 丁家寨组上部碳酸盐岩中广义的苔藓虫-棘皮骨屑颗粒组合应为温凉水沉积环境成因, 它是保山地块当时的构造古地理位置(冈瓦纳大陆北缘)以及冰川后期环境特征的反映. 永德组和沙子坡组中的绿藻-有孔虫骨屑颗粒组合为暖水成因, 这既是全球性冰期过后气候转暖的结果, 也是保山地块自卧牛寺组玄武岩喷发之后离开冈瓦纳向北漂移的结果.

致谢 野外工作得到云南省地质矿产研究所章正军博士、云南省地质矿产局保山第四地质队姚金昌高级工程师的帮助, 文献资料的收集得到加拿大地质调查所 B. Beauchamp 博士的帮助, 在此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 颜佳新. 非热带浅海碳酸盐岩研究新进展. 地质科技情报, 1991, 10(4): 15~18
- 2 颜佳新. 全球演化研究中新兴学科碳酸盐岩古气候学: 意义、现状与展望. 大自然探索, 1996, (4): 79~83
- 3 颜佳新, 刘本培, 张海清. 滇西南昌宁-孟连带内石炭-二叠纪鲕粒灰岩的古地理意义. 古地理学报, 1999, 1(3): 13~17
- 4 Wang X D, Ueno K, Mizuno Y, et al. Late Paleozoic faunal, climatic and geographic changes in the Baoshan block as a Gondwana-derived continental fragment in southwest China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, 170: 197~218
- 5 Fang Z J. Biogeographic constraints on the rift-drift-accretion history of the Sibumasu block. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 9(4): 375~385
- 6 方润森, 范健才. 云南西部中晚石炭世-早二叠世冈瓦纳相地层及古生物. 昆明: 云南科技出版社, 1994. 1~121
- 7 高联达. 滇西亲冈瓦纳微古植物的发现及其地质意义. 地球学报, 1998, 19(1): 105~112
- 8 Shi G R. Distribution and characteristics of mixed (transitional) mid-Permian (Late Artinskian-Ufimian) marine faunas in Asia and their palaeogeographical implications. *Palaeogeogr, Palaeoclimat, Palaeoecol*, 1995, 114: 241~271
- 9 王训练, 加藤城, 王鸿祯. 论保山地区晚古生代大地构造位置. 地球学报, 1994, 15(3-4): 130~144
- 10 钟大赉, 等. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社, 1998. 1~231
- 11 Huang K, Opdyke N D. Paleomagnetic results from the Upper Carboniferous of the Shan-Thai-Malay block of western Yunnan, China. *Tectonophysics*, 1991, 192: 333~344
- 12 方念乔. 保山丁家寨组碳酸盐岩的冷温水特征及构造古地理意义. 见: 亚洲的增生. 北京: 地震出版社, 1993. 53~55
- 13 方念乔, 杨伟平. 滇西石炭-二叠系氧碳同位素记录与扬子西缘及古特提斯域环境记录. 见: 王鸿祯, 等. 中国古大陆边缘及古生代构造演化. 北京: 地质出版社, 1994. 202~213
- 14 Wopfner H. Late Palaeozoic climates between Gondwana and Western Yunnan. In: *The 4th Intern Symp on Gondwana Dispersion and Asian Accretion*, Seoul, Korea, 1994. 127~131
- 15 Jin X C. Sedimentary and paleogeographic significance of Permo-Carboniferous sequences in western Yunnan, China. *Geologisches Institut der Universitaet zu Koeln Sonderveroeffentlichungen*, 1994, 99: 1~136
- 16 梁定益, 聂泽同, 宋志敏, 等. 早二叠世冈瓦纳北缘构造古地理环境与杂砾岩成因剖析. *特提斯地质*, 1994, 18: 61~73
- 17 尹集祥. 青藏高原及邻区冈瓦纳相地层地质学. 北京: 地质出版社, 1997. 1~206
- 18 周志澄, 方宗杰. 云南施甸丁家寨组沉积环境及下部含砾层的成因探讨. *地层学杂志*, 1990, 14(1): 36~43
- 19 叶祥华, 巩满福, 朱夔玉, 等. 保山地块晚石炭世玄武岩古地磁研究及构造归属的新认识. *成都地质学院学报*, 1993, 20(1): 87~92
- 20 Nelson C S. Non-tropical shelf carbonates——modern and ancient. *Sedimentary Geology*, 1988, 60(1-4): 1~367
- 21 James N P, Clarke J A D. Cool-water carbonates. *SEPM Special Publication* 56, Oklahoma, 1997. 1~440
- 22 Beauchamp B, Desrochers A. Permian warm- to very cold-water carbonates in Northwest Pangea. *SEPM Special Publication*,

1997. 56: 327~347

- 23 Taylor P D, Allison P A. Bryozoan carbonates through time and space. *Geology*, 1998, 26(5): 495~498
- 24 沙庆安, 吴望始, 傅家谟. 黔贵地区二叠系综合研究. 北京: 科学出版社, 1990. 1~215
- 25 颜佳新, 陈北岳, 李思田, 等. 鄂湘桂地区栖霞组古氧相分析与层序地层和海平面变化. *地质论评*, 1997, 43(2): 193~199
- 26 Stemmerik L. Permian (Artinskian-Kazanian) cool-water carbonates in North Greenland, Svalbard and the western Barents Sea. *SEPM Special Publication* 56, 1997. 349~364
- 27 Rao C P. Criteria for recognition of cold-water carbonate sedimentation, Berridale limestone (Lower Permian), Tasmania, Australia. *J Sedimentary Petrology*, 1981, 51(20): 491~506
- 28 Draper T T. Permian limestone in the southeastern Bowen Basin, Queensland: an example of temperate carbonate deposition. *Sedimentary Geology*, 1988, 60: 155~160
- 29 Rao C P. Paleoclimate of some Permo-Triassic carbonates of Malaysia. *Sedimentary Geology*, 1988, 60: 163~171