

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

藏南珠穆朗玛峰地区三叠系层序地层及沉积演化

——从陆表海盆地到裂谷盆地

史晓颖

中国地质大学地球科学与资源学院,北京,100083

内容提要 珠峰地区的三叠系形成于大陆拉伸背景。自下而上可划分为12个三级沉积层序和5个层序组,分属于2个中层序。发生在 Induan 阶初期(约250 Ma), Anisian 阶早期(约239 Ma), Carnian 阶初期(约231 Ma)和 Norian 早期(约223 Ma)的4个海侵事件最为重要,可作为跨越板块的地层对比标志。藏南地区在三叠纪经历了从泛大陆到大陆裂谷的构造演化,早一中三叠世以陆表海盆地浅水环境为主,晚三叠世以深水断陷盆地为特征。晚三叠世晚期,与长期全球海平面下降相伴随,过量的陆源碎屑输入造成该地区由深水盆地转化为河流作用明显的三角洲平原环境。

关键词 三叠系 层序地层 海平面变化旋回 沉积演化 西藏南部

西藏南部珠穆朗玛峰(以下简称珠峰)地区在构造古地理上位于印度板块的北缘,曾是冈瓦纳大陆的一部分。晚古生代晚期,由于泛大陆的形成和基底抬升,引起冈瓦纳大陆北缘大规模海退。在珠峰地区,形成了中二叠世末期(茅口晚期)显著的地层不整合;晚二叠世(吴家坪—长兴期)期间,多数地区为遭受风化剥蚀的古陆环境,造成不同程度的地层缺失(Liu, 1992, 1998; 刘训等, 1992; Shi et al., 1996; 尹集祥, 1997; 金玉珩等, 2000)。晚二叠世长兴晚期,随着冈瓦纳大陆拉伸作用和地壳减薄,印度板块北缘出现稳定的构造沉降,开始接受沉积。与三叠纪初期全球海平面上升相伴生,藏南地区发生了中生代第一次大规模的海进,从而启动了海相沉积盆地的发展,拉开了中生代地质演化的序幕(Shi et al., 1996)。

1 珠峰地区三叠纪地层及沉积特征

珠峰地区的三叠系在聂拉木以北约35km的土隆村一带出露最好。地层序列完整、化石丰富,历来作为青藏高原南部三叠系地层划分和对比的标准剖面。在过去20余年中,在这个地区开展了多方面的地质研究,取得了重要进展(王成源等, 1976; 王义刚等, 1976; 中国科学院青藏高原综合科考队, 1984; 饶荣标等, 1987; 林宝玉等, 1989; 刘训等, 1990, 1992;

Liu, 1992; Shi et al., 1996)。前人对该地区三叠系岩石和生物地层的主要研究结果及本文提出的层序地层划分可总结于表1。对珠峰地区三叠系岩石地层划分和地层单位名称,本文采用饶荣标等(1987)的方案。

在土隆村一带,三叠系厚约1463m,顶底均以初始海泛面(FFS)为标志,可划分为7个岩石地层单位(饶荣标等, 1987),各组大多数具有良好的生物化石带控制(王成源等, 1976; 王义刚等, 1976; 饶荣标等, 1987; 林宝玉等, 1989)(表1, 图1)。

下三叠统土隆组以碳酸盐缓坡—潮坪沉积的生屑灰岩—泥晶灰岩为主,夹少量粉砂岩。底部有含白云质砾屑灰岩,上部夹紫红色钙质粉砂岩、泥质灰岩和白色石膏层,具良好的泥裂构造(图1a);中、上部产大量的菊石类和丰富的牙形石化石(王义刚等, 1976; 中国科学院综合科考队, 1984; 饶荣标等, 1987)。中三叠统曲登共巴组可划分为两段。下段以灰绿色页岩、粉砂岩、泥灰岩和细粒砂岩交互的韵律沉积为主要特征(图1a)。沉积颗粒较细,少见波浪作用的沉积构造。上段以砂屑—粉砂质灰岩居多,下部夹粉砂岩和钙屑砂岩,上部出现较多灰黄绿色页岩(图1a、b)。砂屑灰岩和钙屑砂岩中具良好的小型交错层理和波浪作用的多种沉积构造。该组富含各类生物化石,下段多菊石类,上段多双壳和腕足类

注:本文为国家自然科学基金项目(编号49825102)及国家攀登专项“SSER”项目的成果。

收稿日期:2000-04-18;改回日期:2001-06-08;责任编辑:章雨旭。

作者简介:史晓颖,男,1956年生。1986年获中国地质大学理学博士学位。现为地质大学(北京)教授。主要从事古生物学及地层学、沉积地质及大陆边缘地质方面的教学和研究工作。通讯地址:100083,北京学院路29号,中国地质大学地球科学与资源学院;电话:010-82322352;Email: shixy@cugb.edu.cn。

表 1 珠峰地区三叠系地层划分与层序地层序列对比(岩石地层划分采用饶荣标等(1987)年的方案)

Table 1 Stratigraphic subdivisions of the Triassic in the Qomolongma area
(Lithostratigraphic subdivisions follow those of Rao et al., 1987)

年代地层		层序地层		岩石地层		生物地层		
统	阶	层序组	层序	组		菊石带	牙形石带	腕足-双壳类组合
上三叠统	Rhaetian	Ss2	TSq12	扎木热组 (170m)		Pinacoceras metternichi Z. Cyrtopleurites socius Z. Indojuvavites angulatus Z. Griesbachites - Gonionotites Z. Nodotibetites nodosus Z. Parahauerites acutus Z. Hoplotropites Z. Indonesites dieneri Bed Protrachyceras - Joannites Bed Ptychites rugifer Z. Anacrochordiceras nodosus Z. Japonites magnus Z. Procarnites- Anasibirites Bed Owenites Z. Gyronites psilogyrus Z. Ophiceras (Lytophicerus) sakuntala Z. Otoceras latilobatum Z.	Epigondonella multidentata Z. E. abneptis Z. Neogondonella polygnathiformis Z. Epigon. diebli Z. Neogon. excelsa Z. Neogon. mombergensis Z. Neogon. constricta Z. Neogon. regale Z.	Tulongocardium-Paleocardita Ass. Indopecten-Bumesia-Pergamidia Ass. Himalairhynchia-Halobia Ass. Lilangina - Oxyxolpella-Kumatrigonia Ass. Daonella - Volirhynchia - Paramentzella Ass. Plagiolasma - Tulongospirifer - Posidonia Ass.
	215		Ss4	TSq11	德日荣组 (250m)			
	Norian	TSq10		曲龙共巴组 (575m)				
		223		亚智组 (70m)				
	Carnian	231	Ss3	TSq 9	康沙热组 (125m)			
TSq 8				下段				
TSq 7								
中三叠统	Ladinian	Ss2	TSq 6	曲登共巴组 (190m)	上段			
	236							
Anisian	240	Ss2	TSq 5		下段			
下三叠统	Olenikian	Ss1	TSq 4	土隆组 (51m)				
			TSq 3					
			TSq 2					
	Induan	Ss1	TSq 1					
FFS								
245								
上二叠统	Changhsingian			尼玛洛什杂组 (12m)				
			250					
253								

化石;砂岩中富含生物潜穴等浅水遗迹化石。

上三叠统厚约 1200m, 约占该区地层总厚度的 80%。康沙热组下段以砂屑灰岩、生屑灰岩及砾屑灰岩(豆状灰岩)居多, 夹粉砂岩、页岩和中粒石英砂岩。其中冲洗层理和生物潜穴极为发育, 波浪作用形成的再作用面、水下侵蚀构造以及小粒序层理相当普遍, 表明沉积环境以正常浪基面以上的中缓坡—混积海滩为主。上段以瘤状泥灰岩—粉砂质灰岩为主, 夹粉砂岩和页岩, 产丰富的菊石类化石。亚智组和曲龙共巴组均以暗色页岩、薄层粉砂岩、岩屑砂岩交互的韵律沉积为主要特征。但在亚智组中, 薄—中层状泥灰岩夹层较多(图 1d), 而曲龙共巴组少见泥灰岩夹层, 具多层重力流成因的细—中粒长石岩屑砂岩, 其中富含暗色矿物和火山碎屑, 具正粒序层理, 以较深水的盆地—前三角洲环境为主。亚智组和

曲龙共巴组下部构成明显向上变细、海水加深的退积序列, 含磷酸盐结核和大量的菊石、海扇类化石(王义刚等, 1976; 中国科学院综合科考队, 1984; 饶荣标等, 1987); 曲龙共巴组上部则表现为明显向上变粗的进积序列。

德日荣组和扎木热组主要由长石石英砂岩组成(图 1)。除少量双壳类外, 其他生物化石少见。德日荣组砂岩较纯且成熟度高, 石英含量大于 85%, 中粒居多, 分选、磨圆良好, 具清楚的槽状和低角度双向交错斜层理, 以临滨—后滨环境为主。而扎木热组砂岩不纯, 多粉砂和泥质, 长石和岩屑含量较高, 并夹有较多的粉砂岩和细砾岩层。砂岩中高角度板状斜层理系及生物潜穴、钻孔相当发育。在聂拉木土隆村一带扎木热组底部为显著的不整合面, 其上发育有厚约 25m 的砂砾岩层(饶荣标等, 1987)。而在定

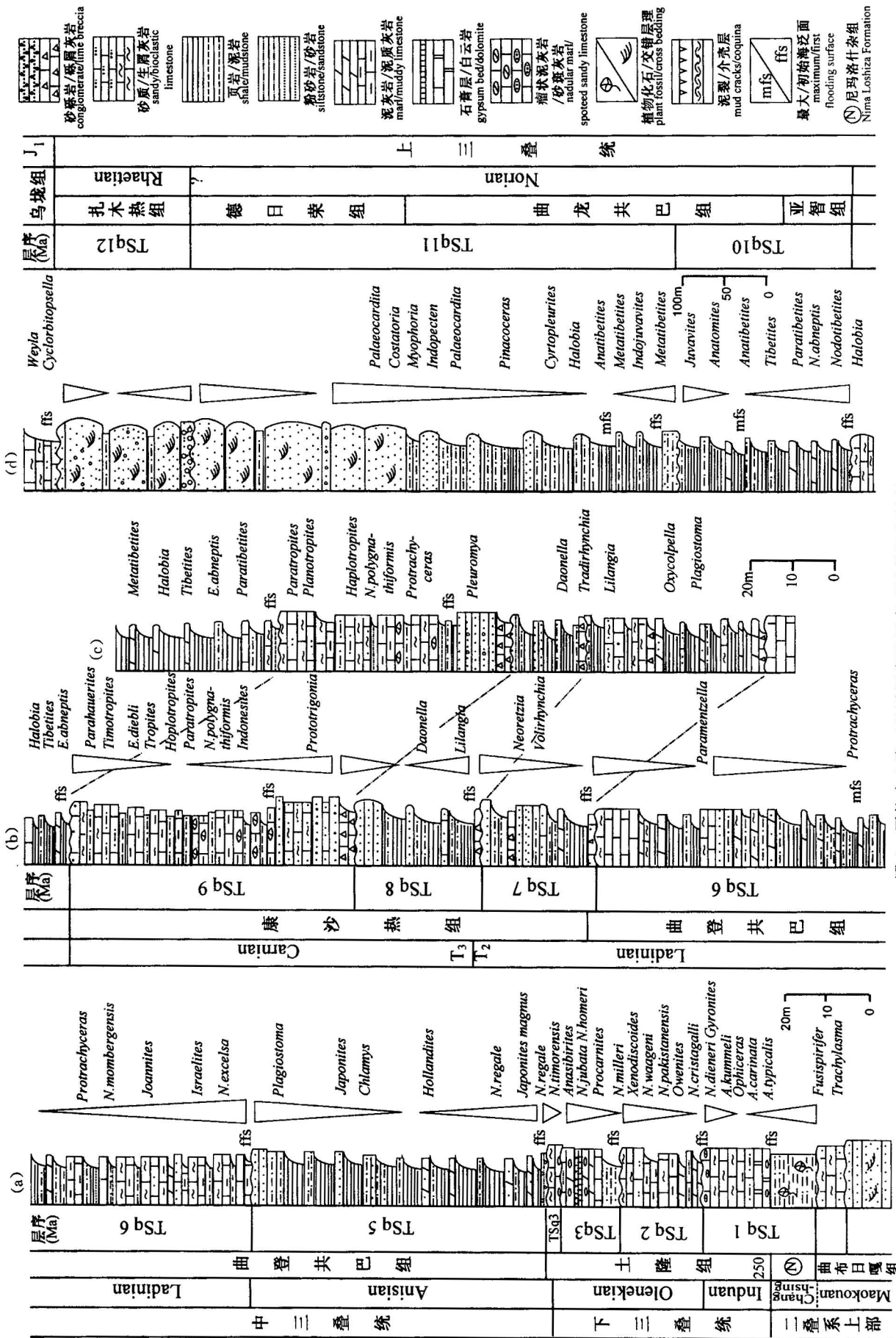


图1 聂拉木土隆三叠系层序地层序列及其沉积特征

Fig. 1 Triassic sequence succession at Tulong, Nyalam, southern Tibet
 (a) — (b) — 土隆剖面, 土隆村南西 1.5 km; (c) — 康沙热剖面, 土隆村南 200 m; (d) — 亚智剖面, 土隆村北东 400 m; TSq — 三叠层序; ffs — 初始海泛面; mfs — 最大海泛面
 (a) — (b) — Tulong section, 1.5 km southwest of Tulong village; (c) — Kangshare section, 200 m south of Tulong village; (d) — Yazhi section, 400 m northeast of Tulong village;
 TSq — 3rd order sequence; ffs — first flooding surface; mfs — maximum flooding surface;

日康堆乡一带,扎木热组底部不整合面之上存在有5~15cm不等的粘土层,其上发育有厚约9m、松散胶结的含细砾泥质粗砂岩,其中高角度板状斜层理系相当发育。在这个地区,扎木热组中、上部出现有较多的泥质粉砂岩和泥灰岩夹层,其中见有破碎的海相双壳类和牡蛎类化石。在喜马拉雅西段的札达地区,与扎木热组相当的地层中也包含有较多的灰岩夹层(毛力,1992;刘世坤等,1998)。显然,从德日荣组到扎木热组,沉积环境已由三角洲前缘滨岸带转化为河流作用明显的三角洲平原(Liu,1992; Shi et al., 1996),间或受到海泛的影响。从沉积特征和地层叠置关系来看,扎木热组总体上可能代表了晚三叠世大幅度海平面下降后形成的深切谷充填沉积(IVF),但其空间分布特征目前还缺乏详细研究。

2 层序地层年代格架及海平面变化旋回

以土隆一带露头层序地层和沉积相研究为主要基础,可将珠峰地区的三叠系划分为12个三级沉积层序(TSq1—TSq12)。顶部的TSq12层序在成因上与上覆地层关系密切,属下侏罗统中层序的低水位期沉积(史晓颖等,1996),并构成一个独立的层序组(Ss5),其余11个三级层序可归并为4个层序组(Ss1—Ss4),构成1个中层序。在珠峰地区,这个三叠系中层序厚1287m。以Haq等(1988)提出的地层时代表为准,其时限约为250.5 Ma—215 Ma(长兴末期至Norian期),大致相当于Haq等(1988)划分的Upper Absaroka A超旋回组。

2.1 沉积层序划分及其界面特征

珠峰地区的三叠系以陆表海浅水沉积为主。早一中三叠世基底沉降缓慢,可容纳空间较小,所识别的多数三级层序底界均以陆上暴露风化面为标志。除TSq1层序外,其他层序均缺失低位域(LST)沉积,造成海进域(TST)直接覆盖在下伏层序的高位域(HST)之上。晚三叠世由于强烈的构造沉降,可容纳空间增加迅速,TSq9, TSq11和TSq12三个层序均具有良好的LST。其中TSq11底界以重力流造成的水下截切侵蚀为特征。深切谷充填(IVF)仅见于TSq12底部,以河流成因的含砾砂岩—砂砾岩为特征(图1d)。

Ss1层序组由上二叠统尼玛洛什杂组和下三叠统土隆组构成,含4个层序(TSq1—TSq4,图1)。TSq1层序底界是本区最突出的不整合,表现为区域性地层间断,标志着早二叠世末重大的基底隆升

(Shi et al., 1996)。在起伏的风化面之下,残留有约6m含铁生屑砂质灰岩(曲布日嘎组),其中产茅口期海相生物化石(中国科学院青藏高原综合科考队, 1984;林宝玉等,1989;夏风生等,1992; Orchard et al., 1994; Jin et al., 1996;尹集祥,1997),代表一个残留的不完整层序。不整合面之上有厚6~12m不等的灰黑色含碳质粉砂岩—粉砂质泥岩(尼玛洛什杂组,饶荣标等,1987),构成TSq1层序的LST。其中产晚古生代孢粉和植物碎片化石(饶荣标等, 1987),属海岸沼泽—潟湖相沉积。土隆组以显著的初始海泛面(FFS)开始,底部具明显的冲刷构造和滞留砾,标志着中生代第一个重要的海侵事件。在土隆村西北约50 km的色龙西山,起伏不平的风化面上残留有厚4cm的黄色粘土层(夏风生等,1992; Orchard et al., 1994; Jin et al., 1996; Mei et al., 1996; Sheng et al., 1999)。LST完全缺失,土隆组超覆于曲布日嘎组灰岩(约厚30m)之上。沿FFS面也发育海进冲刷构造和滞留砾,其上15cm出现三叠纪最早期的牙形石 *Hindeodus parvus* 和菊石 *Otoceras latilobatum* 等化石(Orchard et al., 1994; Mei et al., 1996; Sheng et al., 1999)。TSq4层序底界为明显的陆上侵蚀面,可见断续分布的粘土层。该层序厚度较小,下部为灰褐—紫褐色生屑泥晶灰岩,产早三叠世晚期牙形石 *Neogondonella timorensis*;上部为生屑亮晶灰岩,产中三叠世早期 *Neogondonella regale* (饶荣标等,1987)。其他2个层序底界也为陆上暴露风化面,野外易于识别。Ss1层序组主体为碳酸盐岩,产丰富的菊石类。中、上部夹粉红—灰黄色页岩,顶部有蒸发坪成因的含石膏质紫红色粉砂质灰岩,夹白色石膏层,具有良好的泥裂构造。可能代表气候比较干热的碳酸盐缓坡—潮坪环境。

Ss2层序组含TSq5和TSq6两个层序。TSq5以迅速的海平面上升而开始,沿初始海泛面也见有厚5~10cm不规则分布的滞留砾。TST包括一系列由黄绿色页岩,泥灰岩,粉砂岩和细粒砂岩形成的副层序;构成向上变深的退积序列。HST下部以页岩、粉砂岩和细砂岩构成的副层序为主,上部以页岩和中粒长石石英砂岩构成的副层序占主导。TSq6层序的TST下部以生物碎屑灰岩,砂屑灰岩为主;上部以泥晶灰岩、泥灰岩和粉砂质页岩为主。HST由三个副层序构成进积序列。自下而上,副层序上单元的泥灰岩和泥晶灰岩逐步被生屑砂屑灰岩所替代,菊石类相应减少,以双壳和腕足类居多;HST上部以含砂质生屑灰岩为主。

Ss3 层序组含三个层序。TSq7 和 TSq8 属复合层序;厚度较小,具有相似的特征。TSq7 的两个副层序组底部分别以 0.6m 土黄色白云质含砾屑灰岩和 1.1m 黑灰色砾屑灰岩(豆状灰岩)为特征,下部以黄绿色页岩—粉砂岩为主,上部以中—粗粒钙质长石砂岩和生屑砂质灰岩为主。TSq8 的底部也有 1.8m 黑灰色豆状灰岩,向上可识别 3 个良好的副层序。副层序下单元为黄绿色页岩和粉砂岩,上单元以含钙屑石英砂岩为主,夹有砂质颗粒灰岩。其中见有良好的小交错层理和生物潜穴。TSq9 层序 LST 下部为砾屑灰岩;上部岩性复杂,有含砾钙屑砂岩、砂质颗粒灰岩、生屑钙质砂岩及中粒砂岩,夹有粉砂质页岩,横向可相变为含砾砂岩(图 1c)。其中交错层理,波浪作用造成的簸选构造以及生物潜穴发育,反映了波浪作用明显的混积海滩环境。TST 和 HST 均以粉砂质泥灰岩和生屑泥晶灰岩为主,夹黄绿色页岩和粉砂岩。但 TST 风化后多呈瘤状,而 HST 中粉砂岩和细砂岩夹层明显增多。该层序富产菊石及牙形石化石,是珠峰地区良好的对比标志层。

Ss4 层序组由 Norian 阶构成,含 2 个层序(图 1d)。TSq10 以快速的海进面为标志,沉积物以暗色页岩,薄层粉砂岩和泥灰岩韵律为特征;底界为明显的陆上暴露风化面,可见波状起伏和不规则分布的土黄色斑状粘土质。在 TST 中,泥灰岩常构成副层序的上单元,而在 HST 中则多为岩屑砂岩。TSq11 层序的 LST 厚约 30m,以重力流成因的中粒长石岩屑砂岩为特征,其中富含暗色矿物,并含球状砂质团块,明显截切下伏地层。TST 相对较薄,以暗色页岩、粉砂岩韵律沉积为主。HST 具典型的进积特征,下部粉砂岩和岩屑砂岩层显著增多;而上部则以厚层石英砂岩为主,向上显著变粗,并夹细砾岩层。其中双向板状和槽状交错层理发育,有大量的生物潜穴和钻孔。Ss4 层序组反映了由深水盆地→前三角洲→三角洲前缘→前滨→滨面的沉积环境变迁(Liu,1992;Shi et al.,1996)。其厚度占整个三叠系的 63%,岩屑砂岩中富含暗色矿物和火山碎屑,成熟度低,反映了物源补给充足、快速沉降的裂谷盆地背景。Ss5 层序组由上三叠统扎木热组和下侏罗统乌垅组构成。目前在扎木热组中仅识别了一个层序(TSq12)。其底界为河流向盆地地下移造成的下切面,其上有不稳定的残积粘土层和砂砾岩(饶荣标等,1987),代表 LST 深切谷充填。TST 与 HST 在土隆一带均以石英砂岩为主,但 TST 粉砂岩和粉砂质泥岩夹层较多,而 HST 有较多含砾砂岩夹层。在定

日康堆一带,LST 厚 27m,下部以泥质松散胶结的中—粗粒石英砂岩为特征,局部含砾,具良好的板状斜层理系;上部为较致密的厚层石英砂岩和粉砂岩。TST 下部见多层厚 5~25cm 不等的钙质细—中砾岩,砾石多为灰岩,具有滞留砾的性质;TST 上部和 HST 下部夹泥灰岩和生屑灰岩。在 TSq12 层序中,少见槽状交错层理和冲洗层理,而多板状斜层理,生物潜穴和钻孔长而粗大。表明其虽可过渡到前滨环境,但主体应为曲流河影响的三角洲平原环境(Liu,1992;刘训等,1992;Shi et al.,1996)。

2.2 层序地层年代格架及沉积层序对比

珠峰地区三叠系有较好的生物地层研究基础。据菊石和牙形石带控制(表 1、图 1),12 个层序大部分可与其他地区识别的层序进行对比(表 2)。但在 Haq et al. (1987)建立的旋回地层表中,没有与 TSq7 和 TSq10 相当的层序。在德国(Aigner et al.,1992),奥地利(Bechstdt et al.,1991),荷兰(Var der Zwan et al.,1992),西班牙东部(Lopez-Gomez et al.,1993),意大利北部(Goldhammer et al.,1990)等地,似乎与本区 TSq7 相当的层序是存在的(表 2)。在华南、欧州和北美多数地区上三叠统上部以陆相沉积为主,与 TSq10 相当的层序多数不发育。

华南扬子板块三叠系识别的沉积层序与藏南地区有良好的可比性。黔南—桂北地区海相三叠系发育良好,有菊石和牙形石控制,所识别的三级层序(Wei et al.,1996)几乎完全与本区一致(表 2)。在川西地区,多数层序也与本区一致(Xu et al.,1996;Zhao et al.,1996)。但川西下三叠统 Induan 阶含 2 个层序,而本区仅识别了一个。在南秦岭(杨逢清等,1997)和下扬子地区(Tong et al.,1998),三叠系识别的大部分层序也能够与珠峰地区进行良好的对比。但由于印支运动的影响,华南上三叠统大多数发育不全或以陆相为主,缺乏有效的生物地层控制,因此上三叠统层序与藏南的对比仅是概略的。

2.3 海平面变化旋回与沉积古地理变迁

珠峰地区的三叠系形成于一个全球性的二级海平面变化旋回过程中(Haq et al.,1988;Vail et al.,1991;Shi et al.,1996;并见图 2),并构成三叠纪—中侏罗世早期这个一级海平面旋回(Mg1 大层序)的早期沉积(Shi et al.,1996;Wang,2000)。据大区域地层资料分析,Mg1 大层序的底界可能位于中二叠统茅口阶顶部,与泛大陆拼合引起的全球性海平面下降相关;其顶界位于中侏罗统 Aalenian 下部(Shietal.,1996),可能与泛大陆的裂解以及中大

表 2 不同地区三叠系层序地层对比
Table 2 Correlation of the Triassic sequences among different continentals and plates

年代地层		中 国				巴基斯	德 国	意大利	加拿大	斯匹茨	美 国	落基山	
统	阶	珠峰地区	川西	黔南	南秦岭	坦盐岭	盆地	北部	北极	卑尔根	西部	地区	
上 三 叠 统	J1 Hettangian	JSq1						?					
	210 Rhaetian	TSq12											
	215 Norian	TSq11	?							无资料	?	无资料	
	223 Carnian	TSq10											
	231	TSq 9											
		TSq 8											
	中 三 叠 统	Ladinian	TSq 7				无资料	?					
		236 Anisian	TSq 6										
		240	TSq 5				?						
	下 三 叠 统	Olenikian	TSq 4										
245		TSq 3						无资料					
Induan		TSq 2											
P ₃	250 Changhsingian	TSq 1											
		FFS											

注:阶的界线年龄采用 Haq 等(1988)的方案; ? 表示推测的层序界线。四川西部据 Xu 等(1996)和 Zhao 等(1996)综合; 桂北—黔南据 Wei 等(1996)和夏文臣等(1994)综合; 南秦岭据杨逢清等(1997); 巴基斯坦和意大利据 Haq 等(1988)和 Goldhammer 等(1990)综合; 德国盆地据 Aigner 等(1992)和 Bechstadt 等(1991)综合; 其他地区据 Embry (1988)。

西洋和特提斯的张裂形成有关(Vail et al., 1991; Shi et al., 1996)。在华南扬子板块上,茅口阶与吴家坪阶之间的不整合面在大多数地区均可追索(史晓颖等,1999)。在冈瓦纳、欧亚以及北美大陆的相当层位也大多数存在不整合和不同程度的地层缺失(梅仕龙等,1999)。在珠峰地区,位于长兴阶尼玛洛什杂组和茅口阶曲布日嘎组之间的不整合可能造成了约 7 Ma 的沉积间断;而位于下侏罗统乌垅组和中侏罗统聂聂雄拉组之间的不整合及其上下地层之间沉积环境的巨大变化也是十分显著的(史晓颖等,1996)。珠峰地区三叠系中层序内部可识别出 4 个层序组,它们可能代表了一个二级海平面旋回过程中的 4 个超旋回(图 2)。

Ss1 超旋回大致从长兴晚期(约 250.5 Ma)至 Anisian 早期(约 239 Ma)。这个时期,冈瓦纳大陆北缘的构造运动相对平稳。由于晚二叠世的长期风化剥蚀和夷平作用,珠峰地区地势平坦;同时也由于泛大陆拉伸造成的基底沉降与全球海平面上升所产生的可容纳空间较小,气候干旱、缺乏陆源碎屑补给,沉积速率相当缓慢(图 3a)。珠峰地区以缓坡—潮坪环境为主,仅形成了厚度较小的碳酸盐岩沉积,

最大沉积水深不超过风暴浪基面,总体上代表三叠纪二级旋回早期的海平面缓慢上升阶段。

Ss2 超旋回从 Anisian 早期至 Ladinian 晚期,持续了约 7 Ma,代表本区二级旋回海平面相对快速上升的时期。沉积环境由潮坪向深缓坡转化。中三叠世初期的海平面迅速上升可能是区域构造沉降和全球海平面上升的共同结果(图 3b),由于两者的联合效应,可容纳空间增加较快,沉积速率明显加大。在旋回早期阶段,最大水深可能接近 60m,沉积基底位于风暴浪基面之下;后期位于正常浪基面之上,水深约为 25m。

Ss3 超旋回的时限从 Ladinian 晚期(约 232 Ma)至 Carnian 末期(约 224 Ma)。在旋回早期,可能由于东特提斯北侧羌塘—唐古拉、横断山以及印度支那等地块相继与塔里木、扬子板块拼合和南昆仑—金沙江一线古特提斯洋盆的关闭,全球海平面上升幅度在特提斯东段被大区性的基底相对抬升而减弱,致使本区相对海平面上升和可容纳空间增加不显著。在旋回后期,TSq9 层序发育有良好的 LST,可能表明此时珠峰地区出现了显著的基底沉降(图 3b),相对海平面上升较明显。总体来看,在这个超

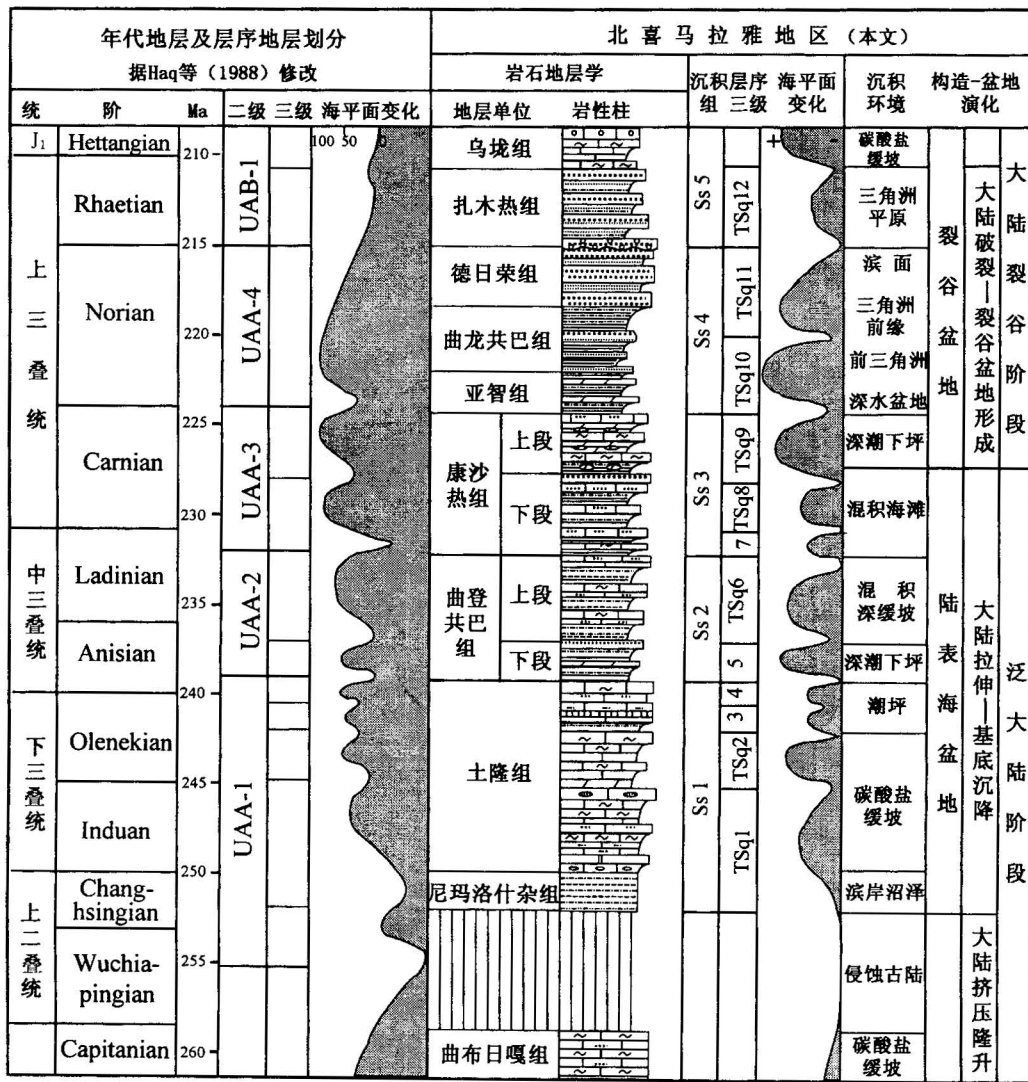


图2 珠峰地区三叠系层序地层年代格架及其沉积演化

Fig. 2 Triassic sea-level change cycles and sedimentary evolution in the Qomolongma Area

阶段的界线年龄采用 Haq 等(1988)的方案

Stage boundary ages follow those suggested by Haq et al. (1988)

旋回期间藏南地区的相对海平面变化幅度较小,最大沉积水深可能介于风暴浪基面和正常浪基面之间。

Ss4 超旋回构成本区三叠纪二级旋回的快速海进和高海平面时期,相对海平面变化幅度大于150m,沉积环境表现为由深水盆地—前三角洲—三角洲前缘—三角洲平原的变迁。由于强烈的构造沉降(图 3b)和 Norian 早期的快速海平面上升,致使容纳空间急剧增加。在超旋回早期阶段,物源补给不足,沉积滞后,形成以深水暗色页岩为特征、明显向上变细的退积序列。在 Norian 晚期(约 218 Ma),与长期全球海平面下降同步(Haq et al., 1988; Vail et al., 1991),随着构造沉降的减弱和过量陆源碎屑

的补给(图 3a),珠峰地区的沉积表现为迅速向上变粗、变浅的进积序列。

珠峰地区的三叠系反映了一个明显的二级海平面变化旋回,总体显示出慢速海进、快速海退的特点,相对海平面变化幅度可能大于 250m。从 Induan 阶早期至 Norian 中期,总体表现为持续的海进过程,沉积古地理由陆表海盆地浅水碳酸盐缓坡向裂谷盆地深水前三角洲环境的发展。从 Norian 晚期至 Rhaetian 期总体表现为裂谷盆地的快速充填和海退过程(Liu, 1992; Shi et al., 1996),沉积古地理由前三角洲、三角洲前缘逐步发展为河流作用明显的三角洲平原(图 2,图 4)。

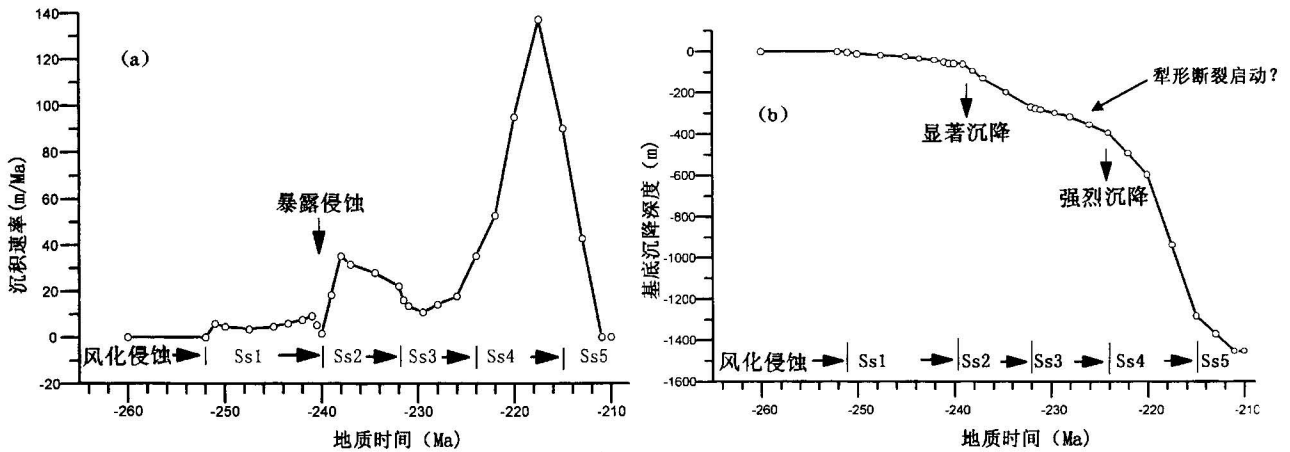


图 3 珠峰地区三叠纪沉积速率与基底沉降曲线

Fig. 3 Variation of depositional rate and basement subsidence through Triassic in the Qomolangma Area

(a)—沉积速率变化曲线; (b)—基底沉降曲线

(a)—Depositional rate curve; (b)—basement subsidence curve

3 古构造与沉积盆地演化

藏南珠峰地区三叠纪地层发育及其沉积特征表明藏南北喜马拉雅地区经历了由陆表海盆地向裂谷盆地的演化,反映了古构造由泛大陆阶段向大陆裂谷阶段的发展(图 2)。本文所说的泛大陆阶段是指泛大陆主体拼合至拉伸破裂形成裂谷盆地之前(图 2),大致从早二叠世中期到晚三叠世初期,持续了约 60 Ma。

在藏南地区,早—中三叠世代表泛大陆发展的后期阶段。古构造表现为由二叠纪晚期的板块挤压、陆壳增厚和基底隆升逐步转化为大陆拉伸、地壳减薄和基底沉降的构造背景,形成了陆表海盆地。从基底沉降、沉积速率以及沉积特征看(图 2、图 3),泛大陆后期阶段又可区分出两个构造发展时期。

晚二叠世末至早三叠世是大陆拉伸的早期阶段(对应于 Ss1 层序组)。这个时期藏南地区缓慢下沉,海水侵入,开始形成浅水的陆表海盆地。这个时期的区域性构造活动不显著,基底沉降缓慢(图 3b),地势较平坦(图 4a)。沉积古地理由近海沼泽逐步发展为潮坪和碳酸盐缓坡环境,主体以浅海碳酸盐岩沉积为主,平均沉积速率小于 10m/Ma(表 3;图 3a)。中三叠世至晚三叠世早期是泛大陆拉伸进一步发展的时期,珠峰地区基底沉降明显增强(图 3b;相当于 Ss2 和 Ss3 两个层组)。在 TSq6 和 TSq8 两层序中见有较多火山凝灰质和火山碎屑,表明出现了局部的断裂和火山活动。这个时期也构成明显的海侵过程,海平面上升较快,沉积古地理以潮下带较深水泥砂坪—深缓坡为主,可过渡到浅水海滩环境。随着基底

表 3 藏南珠峰地区三叠系沉积层序主要特征及沉积速率变化

Table 3 Main features of the Triassic depositional sequences and their depositional rate variation in the Qomolangma area, southern Tibet

层序	底界参考年龄 (Ma)	时限 (Ma)	厚度 (m)	沉积速率 (m/Ma)	累计厚度 (m)	岩石地层单位	阶
1	250.5	5.5	35	6.4	35	尼玛洛什杂组—土隆组	长兴阶—Induan
2	245	3	18	6	53	土隆组	Olenekian
3	242	1.5	13.5	9	66.5	土隆组	Olenekian
4	240.5	1.5	2.7	1.8	69.2	土隆组	Olenekian—Anisian
5	239	2	70	35	139.2	曲登共巴组	Anisian
6	237	5	138.5	27.7	277.7	曲登共巴组	Ladinian
7	232	1	21	21	298.7	康沙热组	Ladinian
8	231	3	36	12	334.7	康沙热组	Carnian
9	228	4	70	17.5	404.7	康沙热组	Carnian
10	224	4	210	52.5	614.7	亚智组—曲龙共巴组	Norian
11	220	5	685	137	1299.7	曲龙共巴组—德日荣组	Norian
12	215	4	170	42.5	1469.7	扎木热组	Rhaetian

注:由于测试的岩石孔隙度数据不全,沉积速率未扣除成岩压实作用的效应,为成岩沉积速率。

沉降的增强,地势变陡,陆源碎屑沉积比例显著增大,成岩沉积速率高达 38m/Ma(表 3、图 3a)。藏南珠峰地区中三叠世晚期—晚三叠世早期的明显海退可能与造成北侧雅鲁藏布江一线张裂的深部热上升事件有关。值得注意的是在特提斯周边地区,这个时期的海退也相当突出。由于印支运动的影响,在扬子地台贵州、广西、四川等地形成了大范围的沉积间断或

不整合;大部分地区此后不再出现海相沉积,或缺失上三叠统。在青藏高原北部、东部边缘及其邻区也大多数具有类似情况。藏南珠峰地区与上述这些地区的重大差别在于本区自 Carnian 晚期起出现了强烈的构造拉伸和基底沉降,并开始形成裂谷盆地。这可能表明这个时期沿雅鲁藏布江一线的拉伸和张裂已经有了进一步的发展。

晚三叠世到早侏罗世是大陆裂谷阶段。晚三叠世是冈瓦纳大陆北缘破裂、北喜马拉雅地区裂谷盆地形成期(图 4b);早侏罗世则代表大陆壳进一步断陷沉降和裂谷盆地的扩展期(图 4c)。

随着泛大陆北缘地壳拉伸的持续发展和深部热上升向热衰减转化,藏南地区从 228 Ma(晚三叠世早期卡尼阶)起出现了强烈的断陷、沉降,并伴有明显的火山活动,可能标志着泛大陆陆壳沿雅鲁藏布江一线的破裂及其两侧的裂谷盆地开始形成(图 2、图 3、图 4)。由于犁形断裂(listric faulting)活动(图 4b),藏南珠峰地区出现了大幅度的基底沉降和快速的海平面上升,形成了厚度较大、陆源碎屑岩为主的深水沉积。沉积古地理由基底平缓的陆表海盆地转化为深水断陷盆地,并进一步发展为前三角洲、三角洲前缘和三角洲平原(图 2)。由于快速的基底沉降(图 3b),可容纳空间迅速增加,早期出现非补偿饥饿沉积。中期出现重力流沉积,晚期由于过量的

陆源碎屑补给,形成向上显著变浅的进积序列。Ss4 层序组中重力流沉积发育,火山碎屑和暗色矿物含量较高,表明海底地形陡峻、构造活跃。这个时期形成的地层占整个三叠系的 65%,成岩沉积速率高达 137m/Ma(表 3)。扣除压实因素,其原始沉积速率应大于 200m/Ma。推算藏南地区这个时期产生的可容纳空间总量约 850m,大部分由构造沉降所产生,显示了强烈拉伸沉降的构造背景。但由于充足的陆源碎屑补给和高沉积速率,实际沉积水深可能不超过 250m。在喜马拉雅西段札达—阿里地区,中生代最早的深水和重力流沉积始见于晚三叠世,底模构造发育,含深水相遗迹化石(郭铁鹰等,1991;杨式溥等,1985)。在珠峰以北的康马地区,据作者的野外路线观察,上三叠统发育很厚的深水细碎屑岩沉积,其中滑塌岩块和重力流沉积相当明显。

从大区域地质发展看,阿尔卑斯强烈沉降的裂谷活动也始于晚三叠世。在南阿尔卑斯, Norian 期开始出现犁形断裂,以强烈的地壳拉伸和基底沉降为特征(Bertotti et al., 1993),形成了由四个犁形断层控制的断陷盆地和厚度很大的碎屑岩,重力流沉积相当发育。北非晚三叠世也出现了明显的裂谷作用(Benshili, 1989),但未形成大范围的深水沉积。在西北非摩洛哥,裂谷作用始于晚三叠世,以犁形断裂的启动为标志,形成了阿特拉斯海槽(艾文斯等,

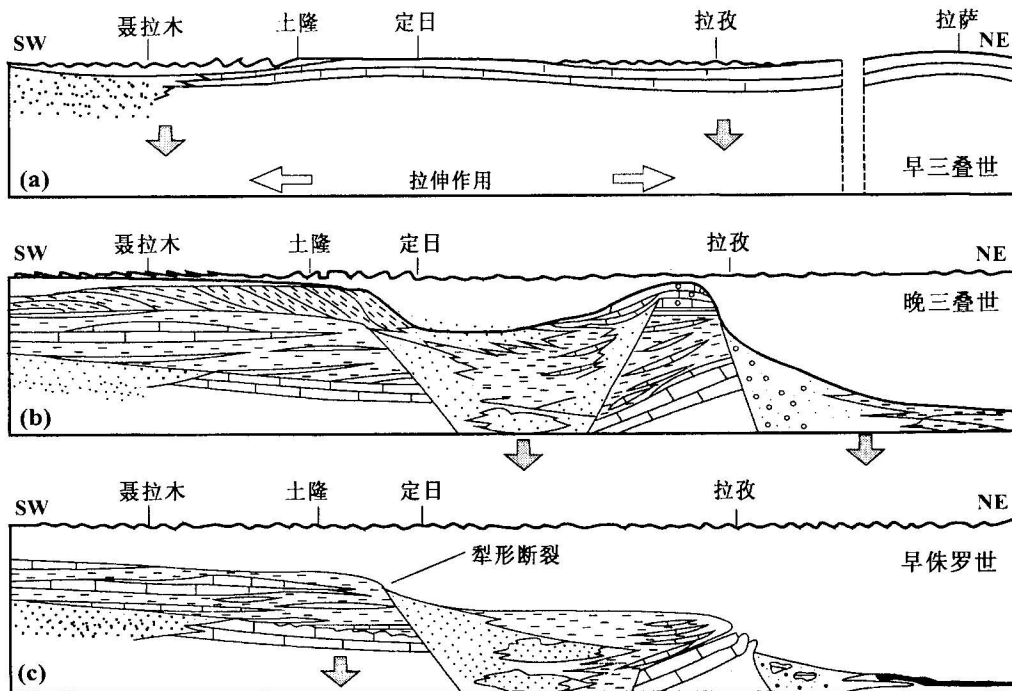


图 4 北喜马拉雅地区三叠纪古构造与沉积盆地演化

Fig. 4 Triassic tectonic and basin evolution in the northern Himalayas

据 Liu (1992)修改; Modified after Liu (1992)

1989)。这里的上三叠统以砂岩和陆相红层为主,夹有玄武岩;裂谷型深水沉积主要见于早侏罗世。在印度库奇地区,晚三叠世出现强烈的拉张沉降,开始形成裂谷盆地(Biswas,1987)。因此,藏南晚三叠世出现的强烈拉张断陷可能反映了冈瓦纳大陆北缘的总体构造背景,标志着大陆壳的破裂和裂谷盆地的形成。

雷振宇、孙克勤、岳来群和 Nicol Morton 参加了不同时期的部分野外工作,在此致以诚挚的谢意!

参 考 文 献

- 艾文斯 I, 肯代尔 C G. 1989. 摩洛哥高阿特拉斯中部深水碳酸盐沉积环境的解释. 见:冯增昭等(译), 深水碳酸盐环境. 北京:地质出版社, 203~213.
- 郭铁鹰, 梁定益, 张宜智等. 1991. 西藏阿里地质. 武汉:中国地质大学出版社, 1~424.
- 金玉玕, 尚庆华. 2000. 二叠系. 见:中国科学院南京地质古生物研究所编著, 中国地层研究二十年(1979~1999). 合肥:中国科技大学出版社, 189~212.
- 林宝玉, 王乃文, 王思恩. 1989. 西藏地层. 地质专报(二), 地层古生物, 11. 北京:地质出版社, 1~280.
- 刘世坤, 徐开峰. 1998. 北喜马拉雅地区三叠纪地层划分. 地层学杂志, 22(2): 122~126.
- 刘训, 傅德荣, 姚培毅. 1990. 西藏南部三叠纪构造—沉积演化. 中国地质科学院院报, 21: 9~20.
- 刘训, 傅德荣, 姚培毅等. 1992. 青藏高原不同地体的地层、生物区系及沉积构造演化史. 地质专报(二), 地层古生物, 15. 北京:地质出版社, 1~169.
- 毛力. 1992. 藏西南三叠系的划分与对比. 地层学杂志, 16(3): 200~205.
- 梅仕龙, 史晓颖, 陈学方等. 1999. 黔南桂中二叠系 Cisuralian 统和 Guadalupian 统层序地层及其与牙形石演化的关系. 地球科学—中国地质大学学报, 24(1): 21~32.
- 饶荣标, 徐继范, 陈永明等. 1987. 青藏高原的三叠系. 地质专报(二), 地层古生物, 8. 北京:地质出版社, 1~234.
- 史晓颖, 雷振宇, 阴家润. 1996. 珠穆朗玛峰北坡下侏罗统层序地层及沉积相研究. 地质学报, 70(1): 73~83.
- 史晓颖, 梅仕龙, 孙岩等. 1999. 黔南斜坡相区二叠系层序地层序列及年代地层对比. 现代地质, 13(1): 1~10.
- 王成源, 王志浩. 1976. 珠穆朗玛峰地区三叠系牙形石. 见:中国科学院主编, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968), 古生物部分, 第三分册. 北京:科学出版社, 207~222.
- 王义刚, 何国雄. 1976. 珠穆朗玛峰地区三叠系菊石类. 见:中国科学院主编, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968), 古生物部分, 第三分册. 北京:科学出版社, 223~502.
- 夏凤生, 章炳高. 1992. 西藏色龙西山色龙群的时代及二叠/三叠系界线. 地层学杂志, 16(4): 256~263.
- 夏文臣, 周杰, 葛立刚等. 1994. 华南二叠系—三叠系成因地层序列及古特提斯海重建. 地球科学—中国地质大学学报, 19(5): 663~675.
- 杨逢清, 杨恒书. 1997. 川北甘南地区三叠纪露头层序地层和找矿研究. 地球科学—中国地质大学学报, 22(1): 8~13.
- 杨式溥, 宋志敏. 1985. 西藏阿里地区扎达县中、上三叠统遗迹化石及其地质意义. 西藏地质, 1: 1~12.
- 尹集祥. 1997. 青藏高原及邻区冈瓦纳相地层地质学. 北京:地质出版社, 1~206.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1984. 西藏地层. 青藏高原科学考察丛书. 北京:科学出版社, 1~405.

References

- Aigner T, Bachmann G H. 1992. Sequence Stratigraphic Framework of the German Triassic. *Sediment. Geol.*, 80: 115~135.
- Bechstadt T, Schweiwer T. 1991. The Carbonate—Clastic Cycles of the East-Alpine Raibl group; Result of the Third-order Sea-level Fluctuations in the Carnian. *Sediment. Geol.*, 70: 241~270.
- Benshili K. 1989. Lias-Dogger du Moyen-Atlas plisse (Maroc). *Sedimentologie, biostratigraphie et evolution paleogeographique. Docum. Lab. Geol. Lyon*, 106: 1~285.
- Bertotti G, Picotti V, Bernoulli D, et al. 1993. From rifting to drifting: Tectonic evolution of the south-Alpine upper crust from the Triassic to the Early Cretaceous. *Sediment. Geol.*, 86(1): 53~76.
- Biswas S K. 1987. Regional tectonic framework, structure and evolution of the western marginal basin of India. *Tectonophysics*, 135: 307~327.
- Embry A F. 1988. Triassic Sea-level Changes; Evidence from the Canadian Arctic Archipelago. *SEPM Spec. Pub.*, 42: 249~259.
- Goldhammer R K, Dunn P A., Hardie L A. 1990. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking patterns of the hierarchy of stratigraphic forcing; examples from Alpine Triassic platform carbonates. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 102(5): 535~562.
- Haq B V, Hardenbol J, Vail P R. 1988. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Eustatic Cycles. *SEPM Spec. Pub.*, 42: 71~108.
- Jin Y G, Sheng S Z, Zhu Z L, et al. 1996. The Selong Xishan section, candidate of the GSSP of the Permian—Triassic boundary. In: Yin Hongfu, ed. *The Paleozoic—Mesozoic Boundary Candidates of the Global Stratotype Section and Point of the Permian Triassic Boundary*. Wuhan: China Univ. Geosci. Press, 127~137.
- Liu G H. 1992. Permian to Eocene Sediments and Indian Passive Margin Evolution in the Tibetan Himalayas. *Tubinger Geowissenschaftliche Abt. A*, 13: 1~268.
- Liu G H. 1998. Permian basin and its Gondwana sediments in central Xizang (Tibet) and Himalayas. *Palaeoworld*, 9: 123~146.
- Liu Shikun, Xu Kaifeng. 1998. Division of the Triassic strata in northern Himalaya area. *Journal of stratigraphy*, 22(2): 122~126 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xun, Fu Derong, Yao Peiyi. 1990. Tectono—sedimentary evolution of the southern Xizang (Tibet) area in Triassic. *Acta Geoscientia Sinica*, (1): 9~20 (in Chinese with English abstract).
- Lopez-Gomez J, Arche A. 1993. Sequence stratigraphic analysis and paleogeographic interpretation of the Buntsandstein and Muschelkalk facies (Permo—Triassic) in the SE Iberian Ranges, E Spain. *Palaeogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.*, 103: 179~201.
- Mao Li. 1992. Division and comparison of Triassic strata in southwestern Xizang (Tibet). *Journal of stratigraphy*, 16(3): 200~205 (in Chinese with English abstract).
- Mei Shilong, Shi Xiaoying, Chen Fangxue, et al. 1999. Sequence stratigraphy of the Cisuralian and Guadalupian series, Permian, in southern Guizhou and central Guangxi. *Earth Sciences—Journal of China University of Geosciences*, 24(1): 21~32 (in Chinese with English abstract).

- nese with English abstract).
- Mei S L. 1996. Restudy of conodonts from the Permian—Triassic boundary beds at Selong and Meishan and the natural Permian—Triassic boundary. In: Wang H Z, Wang X L, eds. *Paleontology and Stratigraphy—Centennial Memorial volume of Prof. Sun Yunzhu*. Wuhan: China Univ Geosci Press, 141~148.
- Orchard M J, Nassichuk W W, Rui L. 1994. Conodonts from the Lower Griesbachian *Otocera latilobatum* Bed of Selong, Tibet and the Position of the Permian—Triassic Boundary. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 17: 821~843.
- Shen S Z, Jin Y G. 1999. Brachiopods from the Permian—Triassic boundary beds at the Selong Xishan section, Xizang (Tibet), China. *Jour. Asian Earth Sci.*, 17: 547~559.
- Shi Xiaoying, Lei Zhenyu, Yin Jiarun. 1996. A study of sequence stratigraphy and sedimentary phases of Lower Jurassic in the north slope of Qomolangma. *Acta Geologica Sinica*, 70(1): 73~83 (in Chinese with English abstract). Shi Xiaoying, Mei Shilong, Sun Yan, et al. 1999. Permian sequence stratigraphic series and chronostratigraphic correlation in the ramp-phase area of southern Guizhou. *Modern Geology*, 13(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Shi X Y, Yin J R, Jia C P. 1996. Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in the Northern Himalayas, South Tibet, China. *Newsl. Stratigr.*, 33(1): 15~61.
- Tong J N, Yin H F. 1998. The marine Triassic sequence stratigraphy of Lower Yangtze. *Science in China*, 41(3): 255~261.
- Var der Zwan C J, Spaak P. 1992. Lower to Middle Triassic sequence stratigraphy and climatology of the Netherlands, a model. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 91: 277~290.
- Wang H Z. 2000. Problems of sequence stratigraphy in China. *Jour. China Univ. Geosci.*, 11(3): 204~214.
- Wei J Y, Liao N M, Yu Y Y. 1996. Triassic Transgressive—Regressive Sequences in Guizhou—Guangxi Region, South China. *Jour. China Univ. Geosci.*, 7(1): 112~121.
- Xia Fengsheng, Zhang Binggao. 1992. Time of the Selong Group in Xishan, Selong, Xizang (Tibet) and the boundary of Permian—Triassic. *Journal of Stratigraphy*, 16(4): 256~263 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fengqing, Yang Hengshu. 1997. Outcropped sequence stratigraphy of Triassic and prospecting in northern Sichuan and southern Gansu area. *Earth Sciences—Journal of China University of Geosciences*, 22(1): 8~13 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Liu B J, Zhao Y G. 1996. Sequence Boundary Analysis and Sea-level Changes in Western Margin of Upper Yangtze Platform during Permian and Triassic. *Jour. China Univ. Geosci.*, 7(1): 105~111.
- Zhao Y G, Xu X S, Liu B J. 1996. Stacking styles of high frequency sequences and sea-level oscillation of Triassic in the Western margin of Upper Yangtze Platform. In: Wang H Z, Wang X L, eds. *Paleontology and Stratigraphy—Centennial Memorial volume of Professor Sun Yunzhu*. Wuhan: China Univ. Geosci. Press, 170~180.

Triassic Sequence Stratigraphy and Sedimentary Evolution in the Qomolangma Area, Southern Xizang (Tibet) ——from Epicontinental Sea to Basin

SHI Xiaoying

China University of Geosciences, Beijing, 100083

Abstract

The Triassic in the Qomolangma area, southern Xizang (Tibet), was deposited under an extensional tectonic setting from the Pangea supercontinent to continental rift. From the Induan to Rhaetian, 12 depositional sequences (3rd-order) have been recognized, which can be grouped into 5 sequence sets and belong to 2 mesosequence (2nd-order). Four marine transgressions, respectively at the beginning of the Triassic (ca. 250 Ma), Early Anisian (ca. 239 Ma), Early Carnian (ca. 231 Ma) and Early Norian (ca. 223 Ma), are particularly of significance and can be used as markers for stratigraphic correlation widely across continents. The study shows that during the Triassic the Qomolangma area experienced a sedimentary evolution from epicontinental sea to rift basin with the turning point at the Late Carnian (ca. 228 Ma). During the Early and Middle Triassic, the area was under epeiric sea, with carbonate ramp to mixed shoal environments predominant. In the Late Carnian, strong extension initiated listric faulting and rapid basement subsidence, thus resulting in the onset of rift basin. From the late Norian to Rhaetian, it manifested as a rapid basin filling process in the area. Coupled with the long-term global sea-level fall in the latest Triassic, the excessive terrigenous influx led to the shifts of environment from deep-water prodelta to shore and finally to fluvial plain.

Key words: Triassic; sequence stratigraphy; sedimentary evolution; Qomolangma area; southern Tibet