

文章编号: 1000-0550(2012)04-0619-10

# 藏南日喀则弧前盆地帕达那组沉积相分析<sup>①</sup>

安 慰<sup>1</sup> 胡修棉<sup>1</sup> 王建刚<sup>1,2</sup>

(1. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 南京大学地球科学与工程学院 南京 210093;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

**摘 要** 藏南桑桑地区帕达那组是上白垩统日喀则弧前盆地浅水沉积。基于野外实测剖面对帕达那组进行了详细的沉积相研究。帕达那组岩相类型主要有五类: 砾岩相、砂岩相、粉砂岩相、页岩相和灰岩相。砂岩中发育大量楔状和板状交错层理、平行层理、粒序层理及泥砾、潜穴、生物扰动等沉积构造, 页岩中发育潜穴及大量钙质结核。根据岩相和沉积构造特征识别出陆棚相和三角洲相。三角洲相包括前三角洲、三角洲前缘及三角洲平原三个亚相, 可进一步划分为水下分支河道、河口砂坝、支流间湾、分流河道、洪泛平原、沼泽等微相。帕达那组地层自下向上发育陆棚相和三角洲相(依次为前三角洲、三角洲前缘及三角洲平原亚相), 整体显示出古水深变浅的趋势。这一沉积环境的变化代表着日喀则弧前盆地由欠充填到过充填阶段的演化。

**关键词** 日喀则弧前盆地 帕达那组 上白垩统 沉积相

**第一作者简介** 安慰 女 1988年出生 硕士研究生 沉积地质学 E-mail: awarajm@163.com

**通讯作者** 胡修棉 E-mail: huxm@nju.edu.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 引言

日喀则弧前盆地是藏南一个重要的构造单元, 南邻雅鲁藏布江蛇绿岩带, 北侧为拉萨地体的冈底斯岩浆弧。特提斯洋向欧亚大陆俯冲过程中, 亚洲大陆南缘冈底斯岩浆弧和海沟之间的洋壳被捕获, 充填发育形成日喀则弧前盆地<sup>[1-4]</sup>。

日喀则弧前盆地主体为昂仁组斜坡相的浊流沉积, 前人对此已做了详细的岩石学、生物地层学及物源区的研究<sup>[2-6]</sup>。吴浩若等<sup>[7]</sup>在昂仁县桑桑附近昂仁组之上发现一套“非复理石型”沉积。刘成杰等<sup>[8]</sup>实测了桑桑帕达那沟剖面, 将此套地层命名为“帕达那组”, 并对该组进行了初步的岩石学和沉积相的研究, 认为其沉积环境大致为滨海—浅海环境。作为日喀则弧前盆地重要的充填阶段, 帕达那组记录了弧前盆地的演化信息, 具有重要的地质意义。然而, 迄今对帕达那组沉积环境的研究还比较笼统, 需要进一步的工作。

桑桑地区完整地出露了帕达那组, 且保存了该组与上下地层的接触关系。本次研究详细地实测了野外剖面, 并进行了系统的室内沉积岩石学工作。在此基础上对地层划分和沉积环境提出了新的认识。

## 1 地层与时代

本次研究实测了两条剖面, 桑桑帕达那沟 I 剖面(图 2)(起点 GPS: N29°21′29.5″, E86°44′14.4″, 4 738 m; 中上部 GPS: N29°21′01.7″, E86°44′27.1″, 4 866 m)及帕达那沟 II 剖面(图 3)(起点 GPS: N29°21′47.8″, E86°44′30.8″, 4 728 m; 终点 GPS: N29°21′33.5″, E86°44′30.5″, 4 774 m)。其中帕达那沟 I 剖面即前人<sup>[8]</sup>研究剖面。

### 1.1 地层特征

实测剖面时参考刘成杰等<sup>[8]</sup>的划分, 将帕达那组分为上中下三段。

下段: 厚约 370 m, 完整出露于帕达那沟 II 剖面, 部分出露于帕达那沟 I 剖面。灰黑色粉砂质、泥质页岩夹灰黑色至灰绿色薄层砂岩, 向上砂岩层增多, 变为细砂岩与页岩互层, 可见少量透镜状砂岩及灰岩岩块。该段沉积构造发育较少, 仅在部分砂岩层中见平行层理、板状交错层理、泥砾, 页岩中见潜穴。

中段: 厚约 260 m, 出露于帕达那沟 I 剖面。青灰色、灰绿色、紫红色粉砂岩、砂岩、砾岩夹灰绿色、紫红色粉砂质、泥质页岩, 部分砂岩层透镜状产出, 局部出现少量灰岩岩块或透镜状灰岩层。砂岩层中可观

<sup>①</sup>国家自然科学基金项目(批准号: 40772070, 41172092)和国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2006CB701402)资助。  
收稿日期: 2011-10-10; 收修改稿日期: 2011-11-22

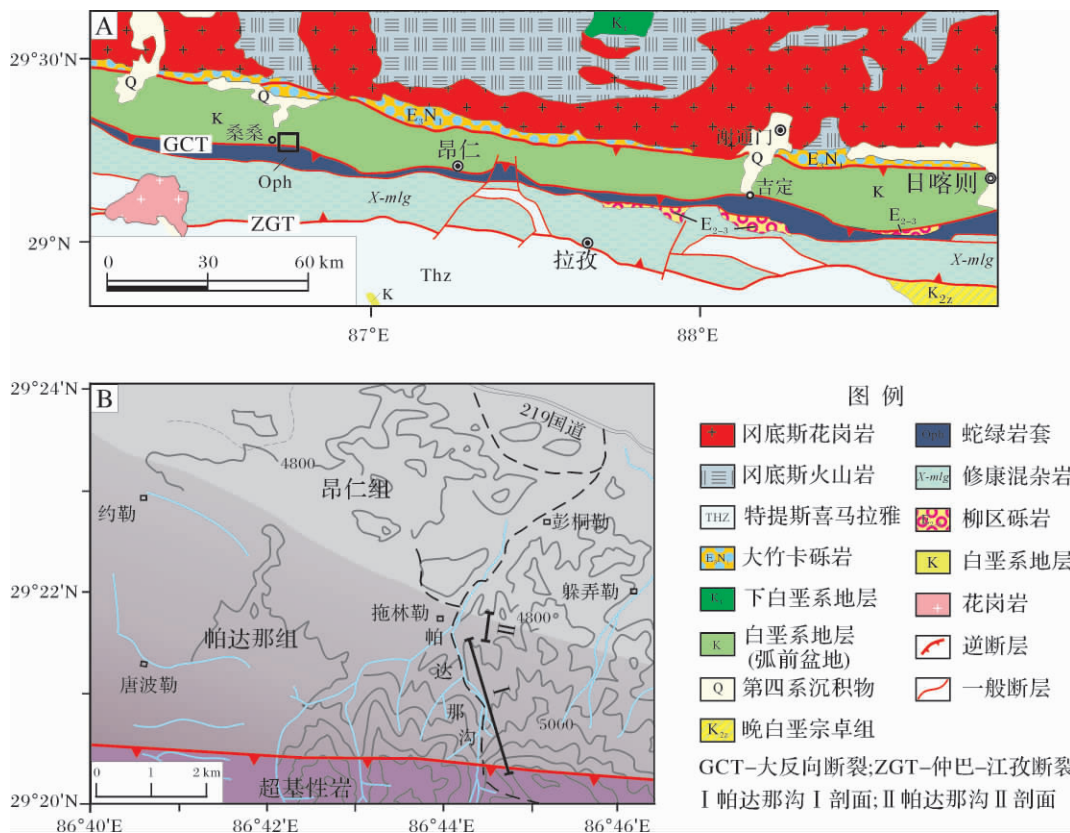


图1 桑桑地区地质图(图1A根据潘桂棠等(2004)<sup>[9]</sup>修改,方框所示为图1B的位置)与实测剖面位置

Fig. 1 Geologic sketch map near Sangsang (Fig. 1A, modified from Pan *et al.*, 2004<sup>[9]</sup>, the rectangle shows the areas of Fig. 1B) and the location of the studied sections

察到向上变厚、颗粒变粗的旋回。砾岩呈薄层状或透镜状产出,砾石以泥砾、灰岩砾石居多,泥砾岩性与下伏页岩成分接近,灰岩中多含双壳类、腹足类化石。该段沉积构造大量发育,砂岩中发育正粒序、逆粒序层理,见大量平行层理、板状交错层理及楔状交错层理,可见平行或垂直于层面分布的潜穴。页岩中见潜穴及大量钙质结核。

上段:厚约380 m,出露于帕达那沟I剖面,顶部与蛇绿岩套断层接触。紫红色、灰绿色粉砂质页岩夹紫红色、灰绿色中薄层砂岩,含少量透镜状灰岩。砂岩中发育平行层理、波痕,出现大量潜穴及泥砾。页岩中含大量钙质结核,可见植物碎片的化石。该段因受到蛇绿岩套的逆冲作用,顶部发育许多小断层,某些砂岩层产状错乱。

## 1.2 时代

帕达那组的时代可通过古生物化石、上下地层的时代和沉积物中最年轻的碎屑锆石的年龄来限制。刘成杰等<sup>[8]</sup>根据地层中双壳类和腹足类化石将该组时代大体定为晚白垩世。帕达那组下伏的昂仁组顶

部地层时代为 Coniacian 晚期<sup>[5]</sup>;上覆曲贝亚组中大量的底栖有孔虫<sup>[8]</sup>和菊石<sup>[10]</sup>指示的时代为 Campanian 晚期—Maastrichtian 期。因此,上下地层限定的帕达那组的时代很可能为 Santonian—Campanian 早中期。已有研究表明,碎屑岩中最年轻的碎屑锆石年龄可以为地层的沉积时间提供最大年龄约束,即地层时代小于锆石年龄。而当碎屑岩的物源区存在同沉积的火山事件时,最年轻的碎屑锆石年龄可大致代表地层的沉积年龄<sup>[6]</sup>。已发表的帕达那组中最年轻的碎屑锆石年龄为 $(80 \pm 2)$  Ma<sup>[6]</sup>,我们未发表的最年轻的碎屑锆石年龄为 $(75 \pm 1)$  Ma,这就意味着帕达那组的沉积时代应不早于最年轻的碎屑锆石的年龄,即 Campanian 早期。综上所述,帕达那组的时代很可能为 Campanian 早中期。

## 2 岩相特征

根据野外观察及室内薄片鉴定,可将帕达那组岩石类型分为砾岩相、砂岩相、粉砂岩相、页岩相、灰岩相(表1)。具体描述如下:

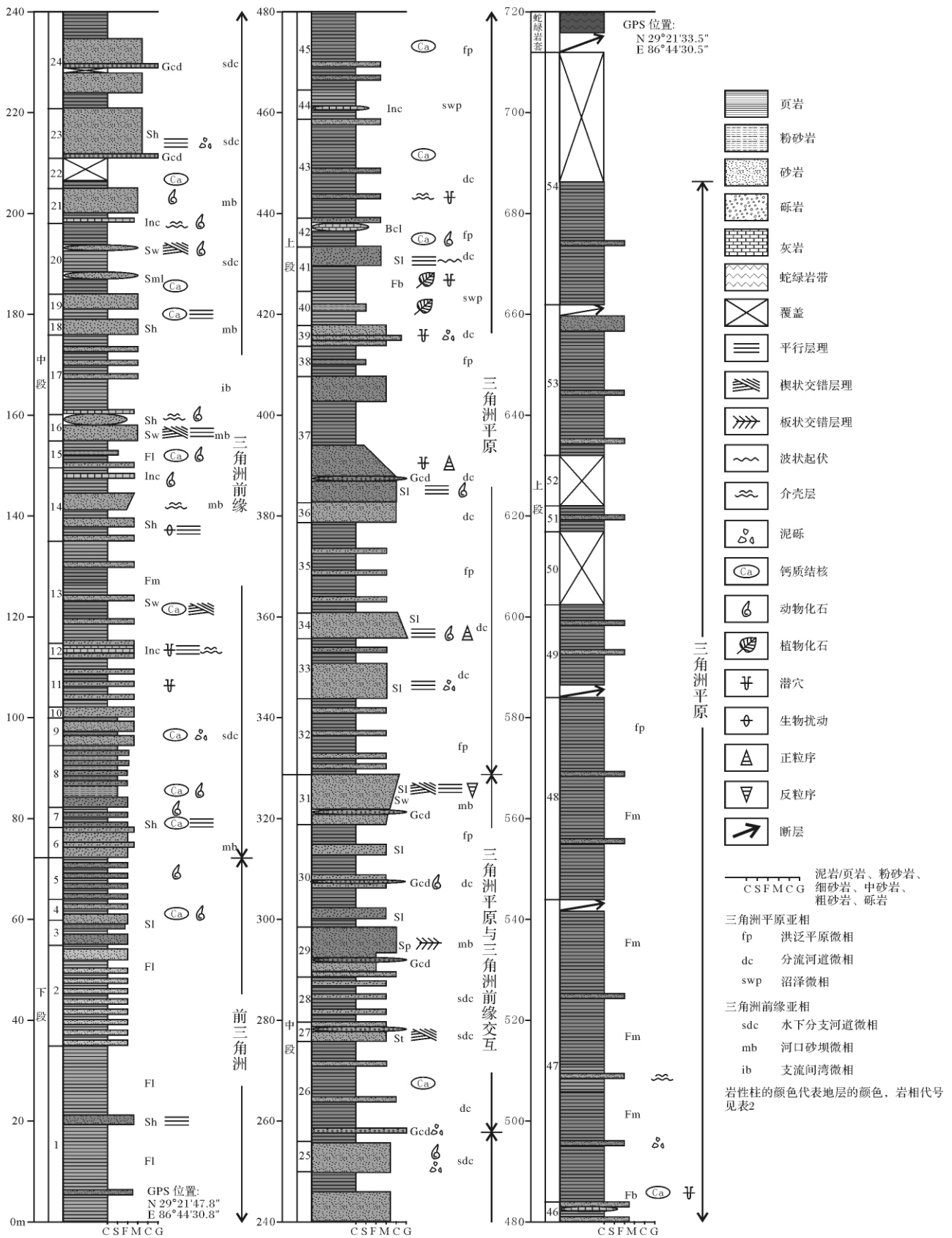


图 2 帕达那沟 I 剖面综合柱状图

Fig. 2 Lithological column of the Padana I section in Sangsang area

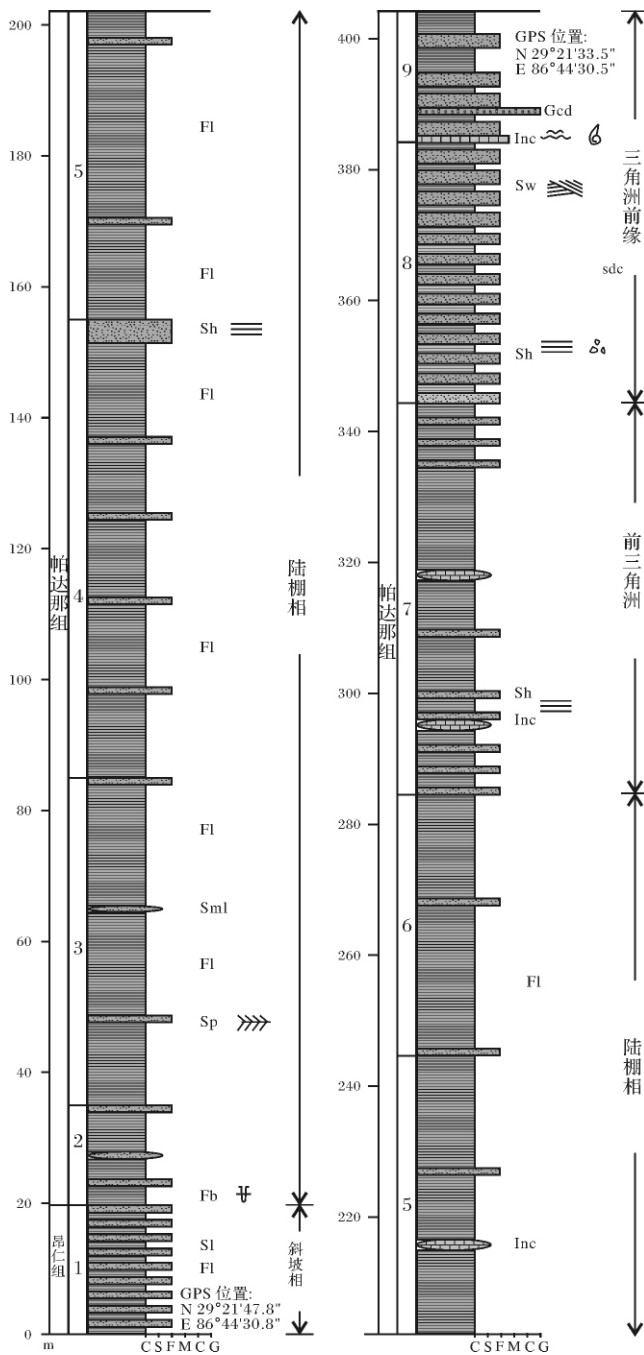


图3 帕达那沟II剖面综合柱状图(图例见图2)  
 Fig.3 Lithological column of the Padana II section in Sangsang area (see the legends in Fig. 2)

2.1 砾岩相

多为灰白色砾岩 砾石含量在 30% ~ 70% 之间, 最大粒径可达 12 mm 分选较好 磨圆中等一好 砾石岩性以灰岩为主, 微晶灰岩多于亮晶灰岩, 偶见粉砂岩砾石。有些灰岩砾石见铁质氧化边, 部分灰岩砾石中心发育石膏假晶, 说明灰岩砾石曾出露于地表。粉砂岩砾石同组内粉砂岩成分一致, 可能为盆内破碎的

产物。砾岩集中出现于帕达那沟 I 剖面中段第 12 层、24 层、26 层、27 层和 30 层, 多呈透镜状产出(见图 2)。

表1 帕达那组中主要岩相类型及特征(缩写改自 Miall, 1996<sup>[14]</sup>)  
 Table 1 Description of lithofacies of the Padana Formation (abbreviation after Miall, 1996<sup>[14]</sup>)

相缩写	沉积类型	沉积构造
Gcd	碎屑支撑砾岩	块状构造
Sw	极细粒—粗粒砂岩。	楔状交错层理
Sp	极细粒—粗粒砂岩, 分选中等—好	板状交错层理
Sh	极细粒—粗粒砂岩, 分选中等—好	水平层理
Sl	极细粒—粗粒砂岩, 分选好	纹层
Sm	透镜状砂岩层, 细粒—中粒, 分选中等	无
Sb	细粒—中粒砂岩	生物扰动, 潜穴, 化石
Fl	页岩到粉砂岩, 钙质	纹层
Fm	页岩到粉砂岩, 钙质	块状构造
Fb	页岩到粉砂岩	生物扰动、潜穴、破碎的生物组织
Inc	内碎屑灰岩	以内碎屑为主要组分, 可含生物
Bcl	生物碎屑灰岩	生物碎屑含量大于 40%

2.2 砂岩相

砂岩是帕达那组主要的岩石类型, 灰绿色、青灰色或紫红色, 细砂岩—粗砂岩, 有些砂岩中含有灰岩砾石或与下伏页岩成分相同的泥砾。

刘成杰等<sup>[8]</sup>鉴定帕达那组砂岩主要为岩屑长石砂岩, 含部分长石岩屑砂岩。本次研究采用 Gazzi-Dickinson 栅格结点计数的方法对 9 块薄片进行砂岩的碎屑颗粒统计<sup>[11,12]</sup>。根据砂质的粒径选择合适的栅格间距(一般栅格间距大于大部分砂粒直径, 以保证单个颗粒不被重复计数), 对每个结点进行识别和统计。统计时所有砂级(大于 62.5 μm)颗粒均单独计数, 以减小砂岩结构成熟度对统计结果的影响, 从而进行不同粒径的砂岩之间的成分对比。一般情况下统计数量需大于 300 颗。统计结果见图 4。

岩屑砂岩中碎屑成分主要为石英、岩屑及长石, 见锆石、绿帘石、金红石等重矿物, 有些样品中可见黑云母。石英含量的变化范围为 40% ~ 80%。长石含量的变化范围为 6% ~ 18%, 钾长石含量高于斜长石含量。岩屑含量的变化范围为 30% ~ 60%, 以火成岩岩屑为主, 含沉积岩岩屑和少量变质岩岩屑, 其中沉积岩岩屑包括粉砂岩岩屑、泥页岩岩屑、灰岩岩屑等。砂岩可观察到呈颗粒—基底接触, 钙质胶结为主, 常见蛇纹石化及绿泥石化。

2.3 粉砂岩相

灰绿色或紫红色粉砂岩是帕达那组常见的岩石

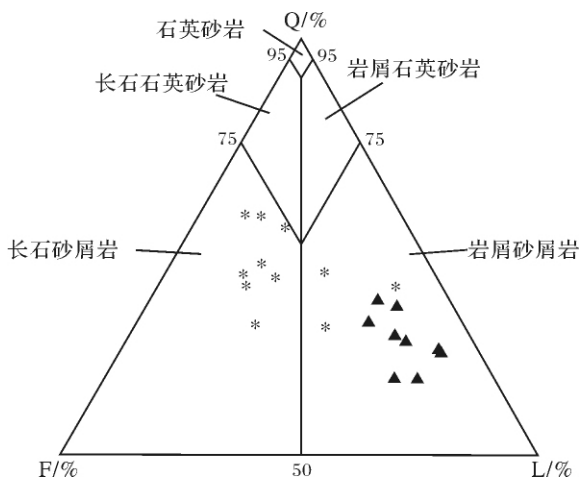


图4 砂岩成分 Q—F—R 图解

(▲表示本次研究的数据,\*表示刘成杰等(1988)的数据<sup>[8]</sup>;砂岩分类根据 Pettijohh 等,1987<sup>[13]</sup>, Q. 石英; F. 长石; L. 岩屑)

Fig. 4 Diagrams illustrating quantitative sandstone compositions of the Padana Formation

(▲ shows results in our study, while \* stands for the results of Liu *et al.*, 1988<sup>[8]</sup>; Classification of sandstones after Pettijohh *et al.*, 1987<sup>[13]</sup>, Q. quartzose grains; F. feldspar grains; L. rock fragments)

类型。成分与砂岩近似,多为钙质、泥质胶结,以薄层状产出。

#### 2.4 页岩相

页岩是帕达那组另外一种主要的岩石类型,灰黑色、灰绿色或紫红色。下段页岩以灰黑色为主,含量较多。中段页岩含量少于下段,多为灰绿色,可见灰绿色页岩与紫红色页岩交替出现,变化频繁。上段页岩含量较高,多为紫红色,可观察到灰绿色页岩小范围产出于紫红色页岩之中。

#### 2.5 灰岩相

灰岩可见内碎屑灰岩和生物碎屑灰岩两种。内碎屑灰岩多以层状产出,向上过渡为灰质砾岩。多为砾屑灰岩,灰岩含量 60%~80%,灰岩颗粒多为微晶灰岩,少量亮晶灰岩,0.4~20 mm。颗粒边缘常见暗红色氧化边,有些颗粒中含石膏假晶、砂质碎屑。生物碎屑灰岩多以透镜状或灰岩岩块产出,生物碎屑含量 50%~90%,生物多为保存完整或破碎的双壳类、腹足类及牡蛎等。灰岩含量较少,出现于帕达那沟 I 剖面第 14 层、21 层、42 层、44 层、46 层(见图 2)。

### 3 沉积构造

帕达那组中见大量沉积构造,大体包括以下几

类:

**层理构造** 砂岩中发育粒序层理、平行层理、板状交错层理、楔状交错层理。粒序层理中正粒序、逆粒序均有发育。正粒序多发育于分流河道砂岩中,显示由砾岩到细砂岩的变化;逆粒序发育于河口砂坝砂岩中,砂岩由细砂岩变至中粗粒砂岩。

**层面构造** 层面构造发育较少,仅在帕达那沟 I 剖面上段第 41 层顶面发现波痕。

**其他重要的沉积构造** 帕达那组中发育大量的结核、潜穴、生物扰动及介壳层等构造。结核主要为钙质,多出现在粉砂岩、页岩中,椭球状,长轴约数厘米,为成岩结核。潜穴在页岩、粉砂岩和砂岩层中均有发育,与层面平行、倾斜或垂直。根据遗迹化石的生态习性分类<sup>[14]</sup>,应属于居住迹的典型代表—石针迹(*Skolithos*)。这种遗迹化石的造迹生物多生存于潮汐或波浪作用影响、水动力较强、温度及盐分变化的环境,避居在海水以下的沉积物内部,营滤食生活,指示滨海环境。介壳层是帕达那组重要的沉积构造之一,造壳生物多为腹足类及双壳类,向上递变为砂岩。其中腹足类化石保存为完整的铸模,双壳类多以印模形式部分保存。介壳层上下地层中没有发现单独保存的腹足和双壳类化石。根据单一岩层中化石混合埋藏的特点,推测介壳层为风暴成因。风暴作用将浅海或陆棚环境中的生物带至三角洲环境中,之后被砂质粉砂质碎屑覆盖而得以保存。

### 4 沉积相

根据岩相和沉积构造特征,本文认为,帕达那组沉积环境由陆棚相过渡到三角洲相,前三角洲、三角洲前缘和三角洲平原三亚相均有发育(图 7 表 2)。

#### 4.1 陆棚相

见于帕达那组下段,以灰黑色页岩夹少量灰黑色细砂岩为特征,砂岩中发育少量的平行层理、板状交错层理,页岩中发育生物扰动构造(图 3 图 7)。

#### 4.2 三角洲相

##### 4.2.1 前三角洲亚相

出现于帕达那组下段。以灰黑色页岩夹细砂岩为特征,向上变为细砂岩与页岩互层,可见少量灰岩透镜体。砂岩中发育平行层理(图 2 图 3 图 7)。

##### 4.2.2 三角洲前缘亚相

出现于帕达那组中段到上段,发育有水下分支河道、河口砂坝和支流间湾三种微相,见图 2 图 7。水下分支河道为陆上分流河道的水下部分,以中厚层中





Li-灰岩砾石; Lv-火成岩岩屑; Ls-沉积岩岩屑; Qm-单晶石英; Qp-多晶石英; Kf-钾长石; Pl-斜长石

图5 帕达那 I 剖面帕达那组远观照片及主要岩相显微照片

Fig.5 Panoramic photo from the Padana I section in Sangsang area and the microphotos of main lithofacies of the Padana Formation

- 1. 帕达那沟 I 剖面远观图; 2. 砾岩相(野外照片 27 层); 3. 砾岩相(正交偏光 ρ9PDN37);
- 4. 砂岩(野外照片 26 层); 5. 砂岩(正交偏光 ρ9PDN39); 6. 灰岩(野外照片 14 层);
- 7. 灰岩(正交偏光 ρ9PDN20)



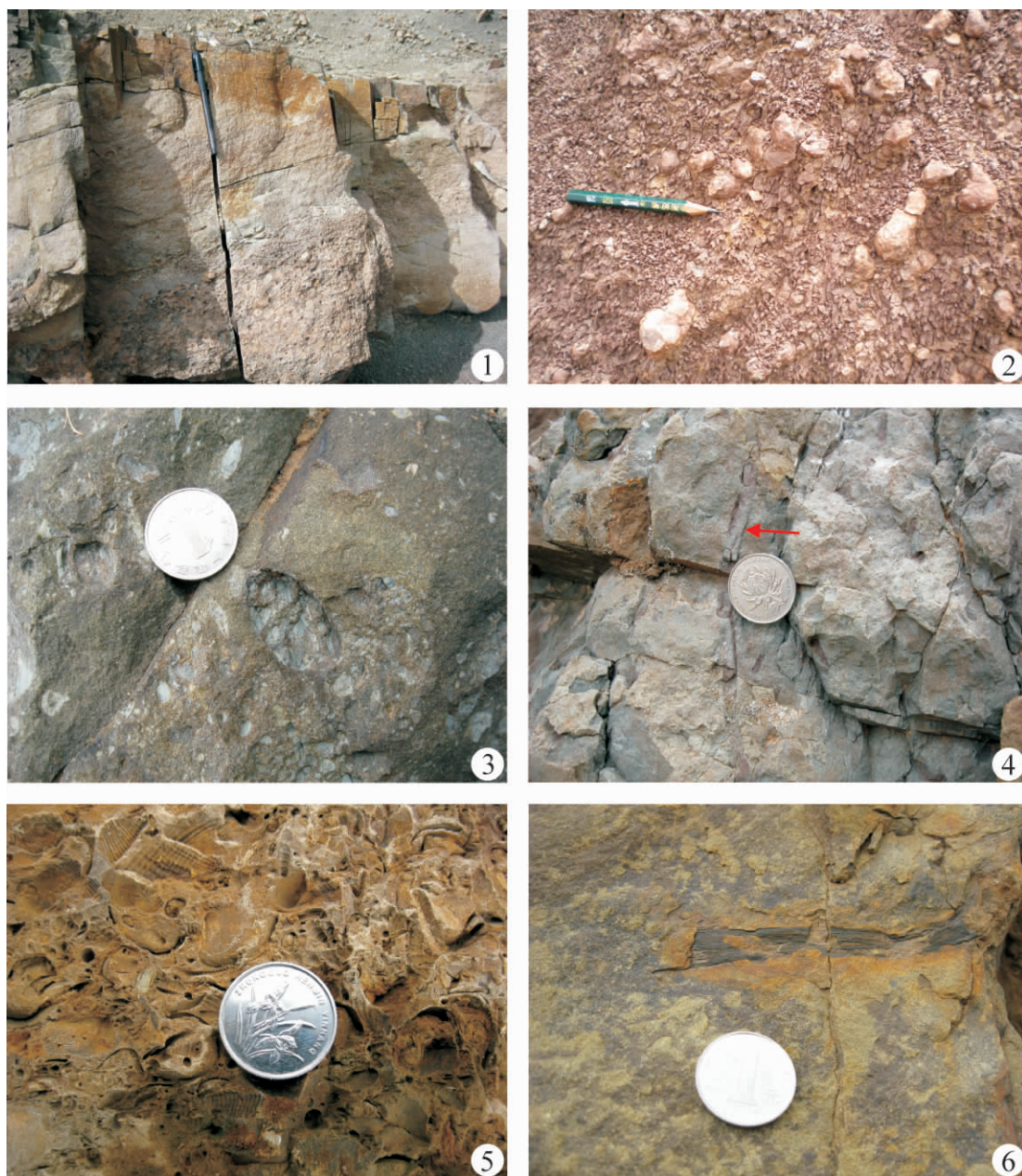


图6 研究剖面常见沉积构造及化石照片

1. 楔状交错层理(27层); 2. 钙质结核(43层); 3. 砂岩中的泥砾(25层); 4. 潜穴构造(11层);  
5. 介壳层中的腹足类、双壳类化石(16层); 6. 砂岩中的植物化石(40层)

Fig. 6 Photos showing main sedimentary structures and fossils from the studied sections

粗粒砂岩为主,局部含细砾岩,有些砂岩层呈透镜状产出。砂岩中广泛发育平行层理、板状交错层理、楔状交错层理,发育正粒序,见生物扰动和潜穴等构造。砂岩中常见冲刷成因的砾石,砾石成分与下伏页岩相同,推测为水下分支河道迁移时破坏的未成岩的水下堤沉积物。此外,可见介壳层,透镜状或向上过渡为砂岩,含大量双壳、腹足类化石。

河口砂坝以大套中厚层砂岩为特征,粒度细于水

下分支河道沉积。砂岩层呈向上变厚的旋回。砂岩中发育大量平行层理、楔状交错层理,见生物扰动构造,某些砂岩层中可观察到逆粒序。可见广泛发育的介壳层,含丰富的双壳、腹足类化石。

支流间湾以灰绿色、紫红色粉砂质泥页岩为特征,常与水下分支河道微相交替出现。泥页岩中含大量钙质结核,出现少量植物碎片。

4.2.3 三角洲平原亚相

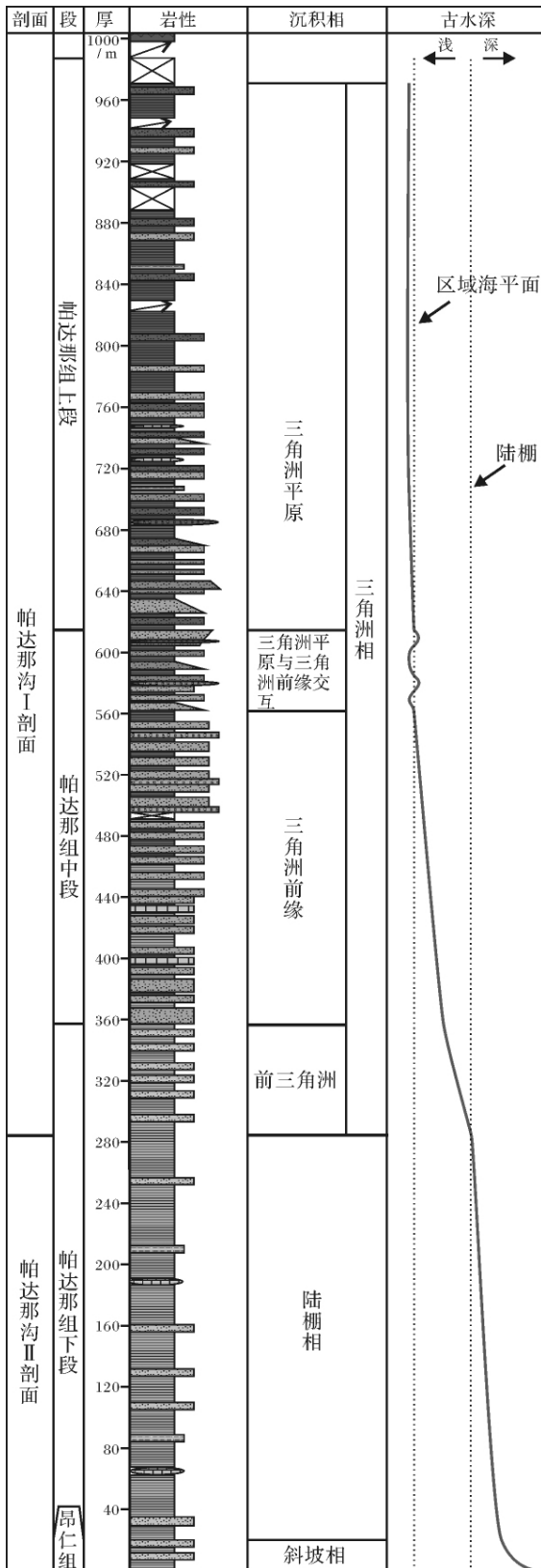


图7 帕达那组陆棚—三角洲沉积序列

Fig. 7 Detailed sedimentary column showing shelf and delta facies of the Padana Formation

出现于帕达那组中段到上段,发育有分流河道、洪泛平原和沼泽三种微相,见图2,图7。

分流河道微相以紫红色中粗粒砂岩为主,可见薄层细砾岩或砾岩透镜体。砾石成分为微晶灰岩或粉砂质页岩,其中粉砂质页岩为冲刷成因。砂岩中见粒序层理、水平层理、楔状交错层理、板状交错层理和潜穴构造;砾岩中见大量双壳、腹足类碎片。有些砂岩中出现介壳层,含大量双壳、腹足类化石。

沼泽微相为灰绿色页岩,多呈透镜状、斑点状出现于紫红色页岩中,含量较少。页岩中含大量钙质结核,可见植物化石碎片。

洪泛平原微相以紫红色页岩为主,与分流河道沉积交替出现,是上段中主要的沉积微相。含大量钙质结核,见植物碎片。

### 5 沉积环境演化

基于剖面沉积相的研究,桑桑地区帕达那组沉积环境及演化过程如下:

昂仁组以薄层砂岩与页岩互层的深水浊流沉积为主,为海底扇沉积<sup>[2-6]</sup>。帕达那组下段底部以灰黑色页岩夹灰黑色细砂岩为特征,沉积环境为陆棚;砂岩层逐渐增多,过渡至三角洲相,发育前三角洲亚相。中段主要为杂色粉砂岩、砂岩、砾岩夹灰绿色、紫红色页岩,主体为三角洲前缘亚相,发育水下分支河道、河口砂坝、支流间湾等微相;顶部出现两个河口砂坝微相与分流水道微相交替的旋回,代表着由三角洲前缘亚相向三角洲平原亚相的过渡。上段以紫红色、灰绿色页岩夹紫红色、灰绿色砂岩为主,沉积环境为三角洲平原亚相,发育有分流水道、洪泛平原、沼泽等微相。

帕达那组由下而上沉积环境由陆棚相过渡到前三角洲亚相、三角洲前缘亚相及三角洲平原亚相,水深整体呈变浅的趋势。三角洲前缘和三角洲平原两亚相在中段上部出现两个旋回的交替。表明随着沉积的进行,有时出现海平面波动。帕达那组沉积环境的变化显示了进积的特征,代表了日喀则弧前盆地不断充填的过程。至帕达那组顶部,弧前盆地的充填基本完成。由昂仁组到帕达那组沉积环境的变化,可能主要反映了沉积盆地不断被充填的过程,由昂仁组的欠充填阶段过渡到帕达那组过充填的状态。

实际上,弧前盆地的演化通常呈现为沉积物不断充填的过程。一般来说,盆地形成初期为深海环境,岩浆弧或其边缘的陆棚提供的碎屑物质通过斜坡到



表2 帕达那组相组合(岩相代号见表1)

Table 2 Facies associations in the Padana Formation (the abbreviation of lithofacies are listed in Table 1)

相组合	描述	岩相	相组合的关系		
三角洲相	三角洲平原	分流河道	中粗粒砂岩,可见薄层细砾岩或砾岩透镜体	Gcd Sw Sp Sml Sh Sl Sb Fm	与洪泛平原亚相交替出现
	沼泽		灰绿色页岩	Fm Fb	以透镜体状、斑点状出现
	洪泛平原		紫红色页岩	Sl Fm Fb	
三角洲前缘	水下分支河道		中厚层砂岩,局部含细砾岩	Sw Sp Sml Sh Sl Sb Fm Inc ,Bel	可与支流间湾交替出现
	河口砂坝		大套砂岩,砂岩层可呈向上变厚的旋回	Sw ,Sp ,Sh ,Sl	
	支流间湾		灰绿色粉砂质页岩	Fm ,Fb	可与水下分支河道交替出现
前三角洲			灰黑色页岩夹细砂岩或细砂岩与页岩互层	Fl ,Sl	位于三角洲前缘亚相之下
陆棚相			灰黑色页岩夹少量细砂岩	Fl ,Sl	位于三角洲相之下

达深海盆地,形成海底扇沉积。随着充填的进行,水深变浅,沉积环境逐渐变为浅海—滨海,最终可能至陆相,弧前盆地沉积结束<sup>[17]</sup>。

以加州大峡谷弧前盆地为例,晚白垩世弧前盆地为深海—半深海环境,由Sierran岩浆弧及其边缘的陆棚输入大量的粗粒沉积物,形成海底扇沉积<sup>[17-19]</sup>;随着沉积的进行,坎潘期至马斯特里赫特期,盆地水深变浅,深海环境消失;古近纪沉积环境则以陆棚为主,有些地区出现非海相环境<sup>[20]</sup>。

## 6 结论

在实测野外地质剖面的基础上,本次研究对藏南桑桑地区晚白垩世帕达那组进行了地层和沉积环境的研究。通过系统的野外和室内工作,发现了大量的沉积构造,进行了岩相和沉积相的研究,获得以下几点认识:

(1) 桑桑地区帕达那组为一套陆源碎屑岩沉积,主要岩相类型包括:砾岩相、砂岩相、粉砂岩相、页岩相、灰岩相等。

(2) 根据帕达那组岩相和沉积构造特征,识别出陆棚和三角洲两类沉积相。三角洲相包括前三角洲、三角洲前缘、三角洲平原三个亚相,三角洲前缘亚相可进一步划分为支流间湾、河口砂坝、水下分支河道三个微相,三角洲平原亚相可划分为洪泛平原、沼泽和分流河道三种微相。

(3) 帕达那组沉积环境整体上呈古水深变浅,由底部陆棚相逐渐过渡到前三角洲、三角洲前缘、三角洲平原亚相。这一趋势代表着日喀则弧前盆地由欠充填向过充填阶段的演化。

致谢 感谢黄志诚教授对岩石薄片的鉴定工作提供的帮助,感谢参加野外工作的孙高远、吴聪、姜禾禾、郭荣华等人。

## 参考文献 (References)

- 1 余光明,王成善. 西藏特提斯沉积地质[M]. 北京: 地质出版社, 1990 [Yu Guangming, Wang Chengshan. Sedimentary Geology of Tethys, Tibet[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990]
- 2 王成善,刘志飞,李祥辉,等. 西藏日喀则弧前盆地与雅鲁藏布江缝合带[M]. 北京: 地质出版社, 1999 [Wang Chengshan, Liu Zhifei, Li Xianghui, et al. Xigaze Forearc Basin and Yarlung Zangbo Suture Zone, Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999]
- 3 Einsele G., Liu B., Dürr S., et al. The Xigaze forearc basin: evolution and facies architecture (Cretaceous, Tibet) [J]. Sedimentary Geology, 1994, 90: 1-32
- 4 Dürr S. Provenance of Xigaze fore-arc basin clastic rocks (Cretaceous, south Tibet) [J]. Geological Society of America Bulletin, 1996, 108: 669-684
- 5 Wan X Q., Luo W., Wang C S., et al. Discovery and significance of Cretaceous fossils from the Xigaze forearc basin, Tibet [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1998, (16): 217-223
- 6 Wu F Y., Ji W Q., Liu C Z., et al. Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic data from the Xigaze fore-arc basin: Constraints on Transhimalayan magmatic evolution in southern Tibet [J]. Chemical Geology, 2010, 271: 13-25
- 7 吴浩若,王东安,王连城. 西藏南部拉孜—江孜一带的白垩系[J]. 地质科学, 1977, (3): 250-262 [Wu Haoruo, Wang Dong'an, Wang Liancheng. Cretaceous of Gyangze to Lhazi in South Tibet [J]. Chinese Journal of Geology, 1977, (3): 250-262]
- 8 刘成杰,尹集祥,孙晓兴,等. 西藏南部日喀则弧前盆地非复理石型海相上白垩统一下第三系[C] // 中国科学院地质研究所集刊, 1988, (3): 134-148 [Liu Chengjie, Yin Jixiang, Sun Xiaoxing, et al. The Non-flysch marine strata of the Upper Cretaceous to the Lower Tertiary of Xigaze forearc Basin, South Tibet [C] // Bulletin of Institute of Geology Chinese Academic Sciences, 1988, (3): 134-148]
- 9 潘桂棠,丁俊. 1:1500000 青藏高原及邻区地质图[M]. 成都: 成都地图出版社, 2004: 1-133 [Pan Guitang, Ding Jun. Geological map (1:1500000) of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and Adjacent Areas [M]. Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House, 2004: 1-133]
- 10 孙亦因,王义刚. 西藏晚白垩世晚 Campanian 期至早 Maastrichtian

- 期菊石群——中国最年轻的菊石群[J]. 古生物学报, 2001, 40(1): 20-30 [Sun Yiyin, Wang Yigang. Late Campanian to Early Maastrichtian Ammonoid Fauna of Late Cretaceous in Tibet—the Youngest Ammonoid Fauna in China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2001, 40(1): 20-30]
- 11 Gazzi P. Le Arenarie del Flysch Sopracretaceo dell'Appennino Modenese: Correlazioni con il Flysch di Monghidoro [J]. Mineralogica et Petrografica Acta, 1966, 12(69): 97
- 12 Dickinson W R. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1970, 40: 695-707
- 13 Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and Sandstone (second edition) [M]. New York: Springer, 1987: 553
- 14 Miall. The Geology of Fluvial Deposits [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1996: 588
- 15 杨式溥. 遗迹化石及其对古环境分析的意义[J]. 沉积学报, 1984, 2(4): 8-18 [Yang Shifu. Trace fossils and their significance for interpretation of the paleoenvironments [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1984, 2(4): 8-18]
- 16 Dickinson W R, Seely D R. Structure and stratigraphy of forearc regions [J]. American AAPG Bulletin, 1979, 63: 2-31
- 17 Ingersoll R. Evolution of the Late Cretaceous forearc basin, northern and central California [J]. Geological Society of America Bulletin, 1979, 90: 813-826
- 18 Dickinson W R. Forearc basins [C] // Busby C J, Ingersoll R V, eds. Tectonics of Sedimentary Basins. Cambridge: Blackwell, 1995: 221-261
- 19 De Graaff-Surpless K, Graham S A, Wooden J L, et al. Detrital zircon provenance analysis of the Great Valley Group, California: Evolution of an arc-forearc system [J]. Geological Society of America Bulletin, 2002, 114: 1564-1580
- 20 Mitchell C, Graham S, Suek D. Subduction complex uplift and exhumation and its influence on Maastrichtian forearc stratigraphy in the Great Valley Basin, northern San Joaquin Valley, California [J]. Geological Society of America Bulletin, 2010, 122: 2063-2078

## Sedimentary Facies of the Padana Formation in the Xigaze Forearc Basin, South Tibet

AN Wei<sup>1</sup> HU Xiu-mian<sup>1</sup> WANG Jian-gang<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Mineral Deposits Research, Department of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093;  
2. Department of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500)

**Abstract:** The Padana Formation represents the shallow marine stage of the Xigaze forearc basin in the south Tibet during the Late Cretaceous. This paper focused on the study of the sedimentary facies of the Padana Formation in the area of Sangsang in the southern Tibet. Five types of lithofacies were recognized in the Padana Formation, including conglomerates, sandstones, siltstones, shales and limestones. Abundant sedimentary structures were developed in sandstones and siltstones, including wedge cross bedding, planar cross bedding, grading beds, parallel lamination, mud interclasts, biotic burrows and bioturbations. Plenty of carbonate concretions and some biotic burrows occurred in shales. Based on the studies of lithofacies and sedimentary structures, we interpret that continental shelf and delta are the sedimentary facies of the Padana Formation. Furthermore, the delta facies include prodelta, delta front and delta plain subfacies. Delta front can be further divided into subaqueous distributary channel, mouth bar and interdistributary bay, while delta plain is composed of distributary channel and floodplain. The evolution of the sedimentary environments from continental shelf to delta upwards in the Padana Formation suggests shallowing of the Xigaze forearc basin which may reflect the filling history of the Xigaze forearc basin from underfilled to overfilled stages.

**Key words:** Xigaze Forearc Basin; Padana Formation; Upper Cretaceous; sedimentary facies