

西藏日喀则白垩纪弧前盆地： 沉积物和盆地演化

G. Einsele S. Dürr W. Frisch 刘光华 H. P. Luterbacher
L. Ratschbacher W. Ricken J. Wendt A. Wetzel

(德国蒂宾根大学地质研究所)

刘宝瑞 余光明 郑海翔

(成都地质矿产研究所)

【内容提要】 研究区位于拉萨地块及其深成岩类(冈底斯带)以南沿印度河-雅鲁藏布江缝合带的120km范围内。在圈捕洋壳或过渡地壳顶部的藏南日喀则弧前盆地的演化始于中白垩世。原先的被动陆缘沉积残余,特别是浅水碳酸盐,保存于强烈变形(缩短约65%)和部分侵蚀的盆地充填物的北缘。

保存的弧前复理石沉积厚达6—8km,主要由与俯冲有关的火山弧(冈底斯带)排出的火山碎屑(安山岩质和安粗岩质)物质组成。除诸如陆棚碳酸盐之类的再搬运的盆内组分之外,较深侵蚀面处或较远源的深成岩和沉积岩均提供盆地充填物。可划分出5个主要的深海水道体系作为位置大体固定的点源。水道中的水流方向总是指向南面的生长加积楔或俯冲带,因此指示该盆地永久性地充填到外脊并逐渐变浅。弧前复理石至少可细分为三个巨层序,从宽阔而切割较深的粗粒水道充填物开始,而以半远洋泥灰岩(沉积于碳酸盐补偿深度CCD之上)和黑色页岩告终。水道的侧向迁移、水道舌状体的转换以及火山脉动产生了主要为向上变细的高频率旋回。

弧前盆地内的海相沉积作用于马斯特里希特期(Maastrichtian)或古新世结束,代之以富含源自深侵蚀的岩浆弧的粗碎屑的始新统一渐新统秋乌组(与凯拉斯和更西的印度河磨拉石等时)河流沉积。因为弧前复理石和磨拉石型秋乌组均在中新世(?)同期变形,我们认为秋乌组代表海相弧前盆地充填作用在大陆的继续,如加利福尼亚大峡谷弧前盆地中观察到的一样。

1 序言

本文是中华人民共和国成都地质矿产研究所与德国蒂宾根大学地质研究所在西藏南部合作项目的成果。我们于1987年、1988年和1990年夏在西藏进行了野外工作。我们这一项目包括以下题目:

- (1) 印度板块和拉萨地块(亚洲板块)之间的西藏南部特提斯洋盆演化和沉积物。
- (2) 日喀则弧前盆地的演化、大地构造及其复理石沉积的来源。
- (3) 藏南印度河-雅鲁藏布江缝合带的构造演化。

①本文1992年11月收稿。

②本文为成都地质矿产研究所与德国蒂宾根大学地质研究所在西藏南部合作项目的成果。

本报告主要集中于第二个题目。其它题目的论文正在印刷(如 Ratschbacher 等,1992)或准备之中(Dürr,1993;Dürr 和 Ricken,1993;刘光华,1992)。

我们研究了日喀则以东和以西所保存的弧前沉积物的 120km 长地段内日喀则盆地的复理石,特别是通过填图和编制日喀则组和秋乌组的平衡和复原剖面,研究了该城市以西约 20km 的一条宽阔的横断面(参见图 3b)。卫星图象和航空照片也得到有关盆地构造、水道充填的位置和特殊标志层的长距离对比的资料。根据这些资料、地面验证和日喀则更东、更西的剖面的部分填图,我们恢复了这一出露良好的弧前盆地的沉积物的厚度、沉积作用、古地理和盆地演化。

2 弧前盆地的一般特征

2.1 弧前盆地的板块构造位置和类型

几位作者已概述了控制弧-沟体系的构造和演化的基本原理(如 Dickinson 和 Seely, 1979)。弧-沟体系或产生自原来完整的大洋板块的瓦解,或产生于被动大陆边缘的活化。我们认为,西藏日喀则弧前盆地属于第二种类型(图 1)。弧-沟体系通常呈平滑的弧形,弧与沟之间的最小距离在现代洋弧体系内通常约为 100km。

因为断裂大陆边缘的边缘常为锯齿状和呈现断错和凸起(图 1a),所以俯冲的洋块并不能追索所有这些不规则地形,但往往是陆壳上的地壳凸起。因此,大洋地壳和过渡地壳就能在这些凸起之间找到。这种薄的、圈捕的地壳裂片的存在可能是深水环境和/或多弧前地区大沉降和大沉积厚度的先决条件。除了沉积物负荷之外,挤压断层下落也可引起沉降。

由于弧-沟体系发育良好的纵向连续性,因此通过二维剖面(图 1a、b 和 2b)可充分弄清大多数这类构造的演化。按照 Dickinson 和 Seely(1979)的资料,可划分出 4 种弧前盆地:

· 地块内或弧内盆地。在这种盆地内,沉积物不整合于岛弧或陆缘弧岩石之上;

· 加积盆地,即俯冲带的加积楔内的盆地(多半为斜坡盆地);

· 残留盆地,沉积物堆积在圈捕于弧块和俯冲带之间的洋壳或过渡地壳之上(图 1b);

· 堆积盆地,沉积物不整合于弧块(盆地内侧)和俯冲复合体的变形地层(盆地外侧)之上。

后两种盆地类型一般均非常重要,因而选择来解释日喀则弧前盆地。残留盆地和堆积盆地类型统称为“复合盆地”(图 1c)。沿雅鲁藏布缝合带的弧前盆地早先可能为一残留盆地,后来演化为复合弧前盆地。

2.2 盆地演化和沉积物来源概述

从狭窄的残留盆地过渡为宽阔复合盆地的弧前盆地一侧超覆于弧块上,另一侧位于加积楔上。最初的深残留弧前盆地,在增加沉积物负荷的情况下具有发生大沉降的极大可能性,并能在较短的时期内堆积起厚厚的沉积层序。

邻近的火山弧是极有效的沉积物源,但很远的山区也可将沉积物输入到弧前地区。持续的快速俯冲使火山体系保持活动状态,因此造成了高起伏的地形和提供了大量易侵蚀的火山碎屑物质。这些物质又被搬运到弧前或弧后地区。加积楔常常是阻塞弧前盆地中沉积物的堤坝。此外,这一被淹没的海底高地(陆棚边缘、外脊)还可将来源于俯冲复合体的一些沉积物(可能包括蛇绿岩)倾泻到弧前盆地中。

弧前盆地的沉降史较之断裂大陆边缘沉降更为复杂,更难断定(Moxon 和 Graham, 1987; Angevine 等,1990),下列几种机理起着重要的作用:(1)火山弧的地形高地和加积楔之

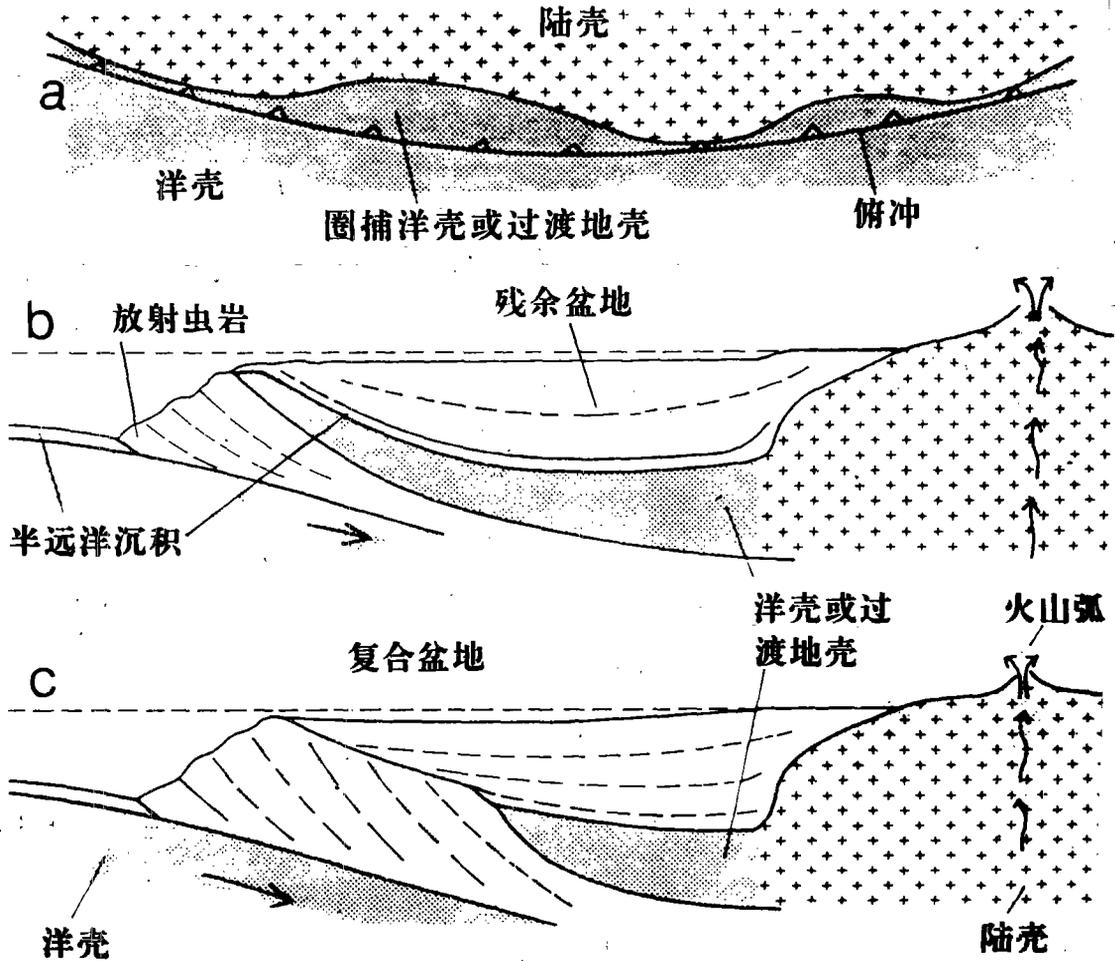


图1 a. 与印度河-雅鲁藏布江缝合带相似的一个沿俯冲带走向的圈捕洋壳或过渡地壳不同宽度的模式(平面图)。这可解释从拉达克到藏南的外喜马拉雅地区弧前盆地的不同宽度和演化;
b和c. 残留和复合弧前盆地模式(据 Dickinson 和 Seely 1979 修改)

Fig. 1 a, Model(plan view)showing varying widths of trapped oceanic or transitional crust along strike of a subduction zone similar to that of the Indus-Yarlung Zangbo suture. This may explain the differing widths and evolution of forearc basins in the Transhimalayas from Ladakh to southern Tibet. b and c, Models of residual and composite forearc basins (after Dickinson and Seely 1979, modified)

间坳陷内沉积物的负荷;(2)对弧前地区下面厚厚的重大洋地壳俯冲就位的均衡反应;(3)由较冷的俯冲板块形成的就暖的上部板块的快速冷却。这第3种机理可适用于热的、年青的洋壳作为上部板块并入弧前地区的情况,但这仅仅是较大的特提斯洋北缘的情况。此外,弧前盆地的沉降史可能因俯冲速率的变化,以及象在所有的盆地中一样,因沉积物负荷的历史而受到很大的影响。

根据沉积物的堆积作用,脊状弧前是产生堰塞盆地的最重要条件,其演化取决于由深海沟得到的、每单位时间加积在俯冲复合体上的沉积物的体积。沉积物补给充足的海沟体系使加积楔迅速进积和上建,因而使弧前盆地或外部山脊(构造高地)加宽,如现代阿留中海槽西

部、克马德克海槽、马尼拉海槽、苏门答腊—门塔瓦伊海槽和小安的列斯—巴巴多斯脊。

由于继续俯冲和加积的结果,这样的堰塞盆地往往从开放的、幽深狭窄的盆地演变为较宽阔的盆地,其环境越来越局限,并具向上变浅层序(图 2b)。这种类型的沉积物充填盆地称为陆棚弧前盆地。其盆地充填物可能以深海沉积物开始,最后以大陆沉积结束,特别是在弧块一侧。

弧块和外脊的隆起和盆地中心的沉降的趋势有时有利沉积作用的继续。另外,盆地充填物的拉伸、挤压和平搓断裂作用也能使地层变形。在这类变形的早期,在弧块一侧常见正断层和逆断层,而在盆地充填物的向海一侧则以褶皱和掩冲作用为主(图 2b)。如果弧前盆地

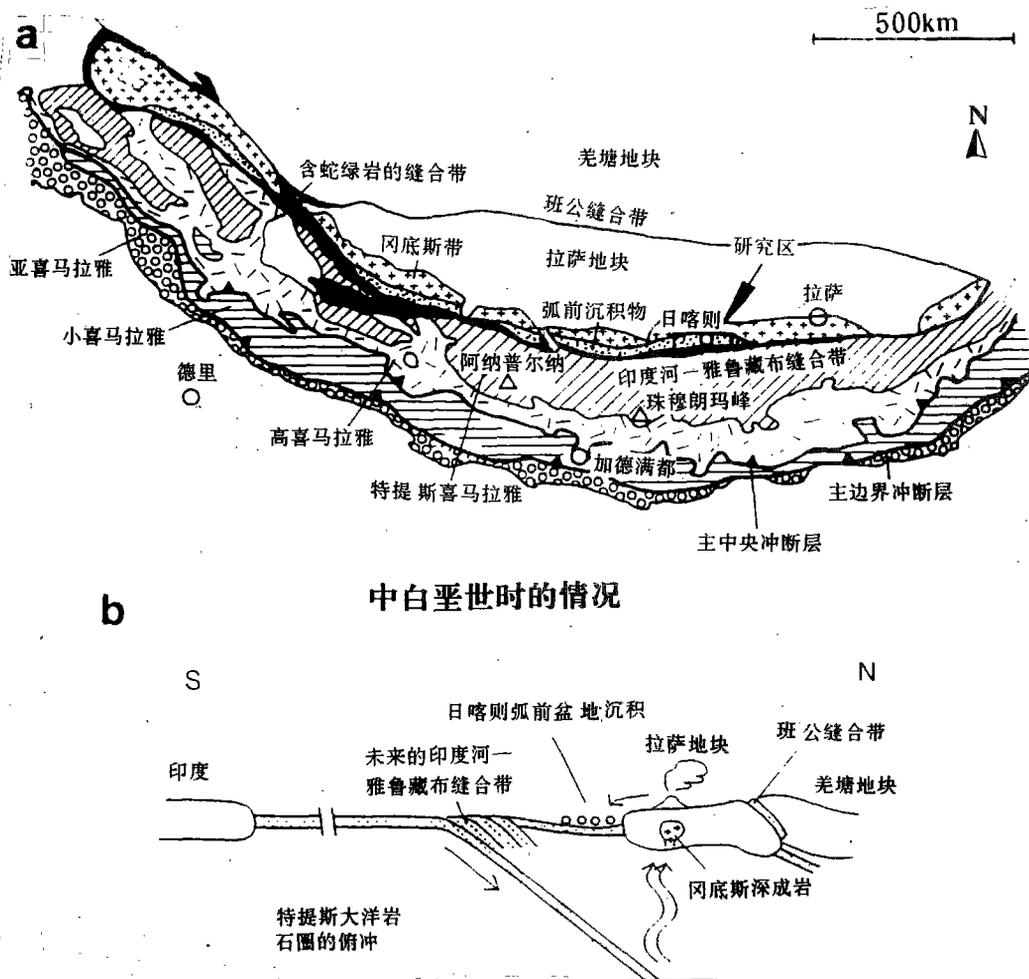


图 2 a. 从拉达克(La)到藏东喜马拉雅山主要构造单元和研究区的位置(S. A.)。注意弧前沉积沿印度河—雅鲁藏布缝合带(IYS)断续产出;b. 位于印度板块到羌塘地块(亚洲板块的一部分)之间一板块构造剖面内的日喀则弧前盆地在晚白垩世时的位置

Fig. 2 a, Main structural units of the Himalayas from Ladakh (La) to eastern Tibet and location of study area (S. A.). Note the discontinuous occurrence of forearc sediments along the Indus-Yarlung suture zone (IYS). b, Position of the Xigaze forearc basin in a plate-tectonic cross-section from the Indian plate to the Qiangtang block (part of the Asian plate) during the Late Cretaceous

充填物遭到碰撞,如在古代造山带中那样,则有进一步构造叠加。

2.3 弧前盆地的沉积序列

一个理想的残留盆地从上至下可呈现如下沉积序列(据 Dickinson 和 Seely, 1979 修改):
河流和三角洲砂岩,部分来源于隆起的弧基。在盆地内缘,这些沉积物可与来自火山碎屑流、较粗粒的火山灰降落物、熔岩流、以及由火山物质和非火山物质组成的冲积扇的沉积物相互穿插。

沉积于浅海环境(陆棚海)的砂岩和页岩。火山碎屑物的比例高,但生物组分的含量较低,这是由于陆源物质补给量大和沉积物迅速上隆之故。

含较粗粒浊积岩(比例向上增加)的类复理石页岩—砂岩层序,主要由火山碎屑物质组成。页岩可能含一些碳酸盐(当沉积于 CCD 之上时),以及部分有机碳含量较高。

含蒙脱石质页岩的深海平原沉积,无碳酸盐、细粒火山灰降落沉积和细粒浊积岩。

在 10—50Ma 的相对较短的时期内,弧前盆地堆积起数公里至十多公里厚的沉积序列。供给盆地充填物的火山物质的含量通常较高,但在源自大陆的大河进入盆地,或非火山高地就在附近(例如在秘鲁)的地方,火山物质的补给量也可能较低或微不足道。在沉积物饥饿的温暖赤道地区,礁和碳酸盐滩可能沿浅盆边缘生长,筑起厚厚的碳酸盐剖面(例如在门塔瓦伊海槽)。

弧前盆地层序中的深水、浅水和地表沉积的比例和时间当量取决于盆地充填的方式。假如一个盆地在其早期充填很快(如在大陆边缘环境中那样),那末,其沉积物的很大部分就是浅水沉积和非海相沉积,它们堆积于稍后的沉降阶段(沉积物负荷引起的)。相反,较缓慢充填的盆地和同期沉降,则在较长时间内维持深水条件,因而导致厚层深水层序的生长。

3 日喀则弧前盆地的大地构造演化和构造(综述)

3.1 印度河-雅鲁藏布缝合带的构造发展

西藏日喀则盆地为原特提斯洋 3000km 长的东西向俯冲带的一部分(图 2a)。根据在喜马拉雅的沉积岩和变质岩中得到证实的威尔逊旋回,对该盆地的历史有所了解。在三叠纪的裂谷阶段之后,于侏罗纪和早白垩世在迅速向北漂移的拉萨地块和稍缓向北移动的印度板块之间形成了特提斯洋。在侏罗纪(?),拉萨地块沿班公缝合带并入亚洲大板块(图 2b)。早白垩世晚期,特提斯洋开始沿拉萨地块以南的俯冲带封闭(图 2b),这一地带称之为印度河—雅鲁藏布缝合带(IYS)。日喀则弧前盆地遂在该俯冲带和拉萨地块(冈底斯带)之间演化发育,其构造演化简要总结如下:

拉萨地块之下的洋壳向北俯冲始于早白垩世晚期(110Ma),止于始新世(40Ma;如 Schärer 等,1984;Coulon 等,1986)。这一俯冲在拉萨地块南缘导致安第斯 I 型深成作用和火山作用(冈底斯带,图 2b)。

藏南的收缩构造始于古新世(60—50Ma, Burg 等,1985),这为印度陆棚沉积的向南等斜褶皱和逆冲所证明(参见图 4、图 12c 和 d;例如 Burg 和陈,1984)。早期缩短是由于与海山脉、深海地垒碰撞和靠近印度大陆边缘所致。向南推进的变形作用也影响大规模的重力块体运动(“野复理石”),其将混合物质(包括晚二叠世和早三叠世的灰岩块)从生长中的加积楔陡坡搬运到残留盆地内(参见图 12c)。野复理石杂基的时为古新世(Burg 等,1987, Willems, 1992),并含有经改造的、等斜褶皱的印度陆棚沉积物。

自始新世(约 50Ma)以来,由于大陆碰撞,印度板块向北运动的速度减慢(Dewey, 1989)。持续的板下作用造成印度河-雅鲁藏布缝合带(IYS)以南若干小穹窿内印度地壳、双层地壳、中压变质作用和 S 型深成作用(淡色花岗岩类)的叠瓦状叠置(Burg 等, 1987)。

碰撞后的前缘和侧向构造含印度河-雅鲁藏布缝合带以南的大规模斜向-正断层作用,例如,在沿北喜马拉雅断裂带,高喜马拉雅结晶基底实质上补偿了印度陆棚沉积物(Décher, 1991)。压扁式南北向缩短(褶皱和后冲断层作用)和东西向拉长是该缝合带中的主要作用,其可能发生于中新世(Ratschbacher 等, 1992、1993)。

新生代至现代的拉张沿 NNE 向的地堑影响到印度河-雅鲁藏布缝合带和小型走滑断裂作用(Armijo 等, 1986, 1989)。

3.2 日喀则弧前盆地和冈底斯带

因为日喀则盆地深而较宽,堆积了一套厚层沉积层序(见下),我们认为其底板为圈捕洋壳或过渡地壳(参见图 1b;也见 Bassoulet 等, 1984)。由蛇纹石化纯橄榄岩和方辉橄榄岩、辉长岩和枕状玄武岩组成的这种地壳的局部完整层序出露于弧前盆地充填物南端的蛇绿岩带内。直接伏于晚阿尔布期/早森诺曼期放射虫岩之下的出露地壳的铅同位素年龄为 $116 \pm 24\text{Ma}$ (Göpel 等, 1984; Marcoux 等, 1984)。这意味着我们正在研究的是一个可能已在某种程度上演化为复合盆地的残余弧前盆地。日喀则弧前盆地止于沿该缝合带中日喀则以东约 40km 处。这可能由于圈捕洋壳的原生尖灭(如图 1a 所示),或可能由于印度陆棚后来向东逐渐俯冲在冈底斯带之下。然而根据对拉萨 SSE 约 50km(雅鲁藏布江南岸公路桥以西若干公里)处复理石沉积内火山灰层的新的放射性年龄测定,(距今 $110 \pm \dots \text{Ma}$),可能白垩纪日喀则复理石也产出于比迄今假定的再往东处。日喀则复理石在凯拉斯地区和部分在拉达克的缺失可能是由于圈捕洋壳在这些地区缺失所致。

由于洋壳俯冲和其后印度陆棚变薄的陆壳的板下作用,冈底斯带的岩石自中白垩世以来持续隆升;该岩浆弧的沉积盖层和火山岩随着时代的变迁大都遭到侵蚀,该弧的深成根基和变质根基已被剥露(Copeland 等, 1987; Richter 等, 1991)。这已在日喀则弧前盆地的晚白垩世砾岩质水道充填物(例如 Shackleton, 1981;也见第 5 章)以及始新世-渐新世磨拉石型秋乌组的大量砾岩中得到证实(例如吴等, 1977;王等, 1983)。俯冲带的加积楔也同样露出海平面以上,并且部分被侵蚀。它的内侧,即向陆部分,由蛇绿岩(圈捕洋壳)和中白垩世放射虫岩组成,向沿原来的弧前盆地南缘演化而来的当地的长条形盆地注入粗粒物质。这些目前沿该蛇绿岩带出露的河流的柳曲砾岩的时代为渐新世-中新世(张等, 1980)。因此,目前的侵蚀面在中第三纪时就已达到(也见第 6 章)。

3.3 现代弧前盆地的构造

我们测制了日喀则以西约 20km 处穿过日喀则复理石最宽露头的剖面(江庆则剖面,图 3b),并研究了沿走向的几个点。该露头的北端为雅鲁藏布江,其河谷深切至磨拉石型秋乌组;在南面,复理石终止于蛇绿岩带。

日喀则复理石总的构造为一大型复向斜(图 4)。如万等(1982)、Burg 和陈(1984)已提出的。但在我们的横断面和肖序常等(1988)的吉定的一个横断面(见图 3b)中,变形强度自南向北增加。在南面,复理石向南逆冲到柳曲磨拉石之上(第 4 章 4.4),并以开放褶皱至紧闭褶皱为特征。在剖面的北部,复理石沉积紧密褶皱,并构成数个向北延伸的冲断叠瓦体。最后,复理石向北逆冲到磨拉石型秋乌组之上(第 4 章 4.4)。南部的缩短程度(约 10%)小于

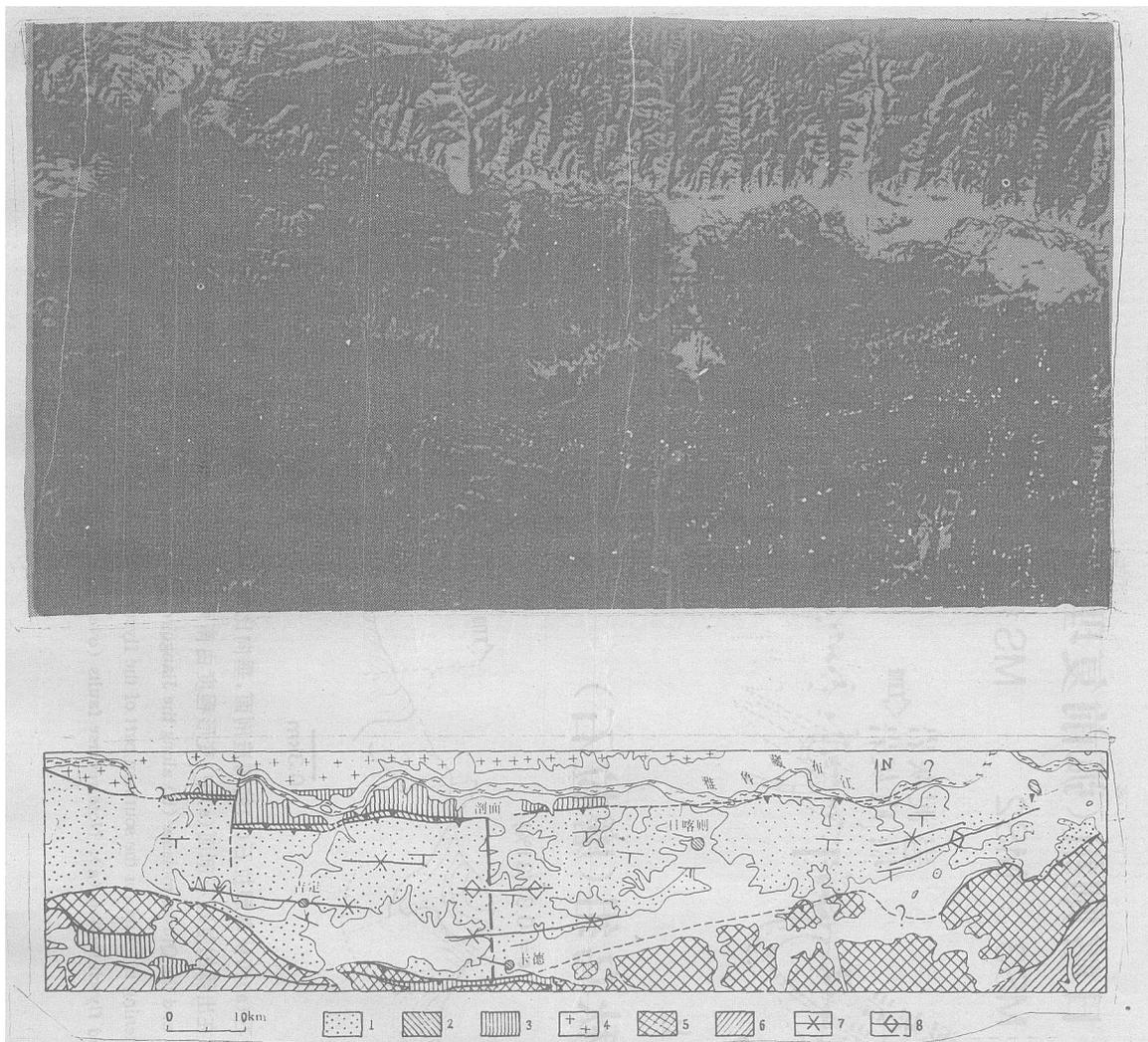


图3 a. 研究区卫星图象(+nähere techn. Angaben),注意弧前地区的特殊地形和沿走向的浅色钙质层。比较见地质图b;b. 研究区地质图,包含主要构造单元和详细研究的剖面的位置

1. 日喀则复理石(以火山碎屑为主的砂岩和泥灰岩);2. 前复理石陆棚碳酸盐;3. 磨拉石型大陆沉积;4. 冈底斯带深成岩;5. 雅鲁藏布蛇绿岩;6. 俯冲复合体的三叠纪—白垩纪沉积;7. 大向斜;8. 大背斜

Fig. 3 a, Satellite image of the study area(+nähere techn. Angaben). Note specific pattern of relief in forearc region and light-colored calcareous beds along strike. See geologic map (b) for comparison. b, Geological map of study area with principal tectonic elements and location of cross sections studied in detail 1=Xigaze flysch (mostly volcanoclastic sandstones and marls); 2=pre-flysch shelf carbonates; 3=molasse-type continental sediments; 4=Gangdise belt plutonic rocks; 5=Yarlung Zangbo ophiolites; 6=Triassic-Cretaceous sediments of the subduction complex; 7=major syncline; 8=major anticline

北部。我们使用了各种方法,认为该盆地约缩短到其原始宽度的35%(Ratschbacher等,1992)。假定现在沿露头的盆地充填物宽度为23km,那么,原始盆地就应为65km或更宽。这一宽度比大多数现代弧前盆地稍小(Karig等,1979)。

对江庆则河谷复理石剖面北端1.8km长的剖面和雅鲁藏布江以南沿走向的几个地点

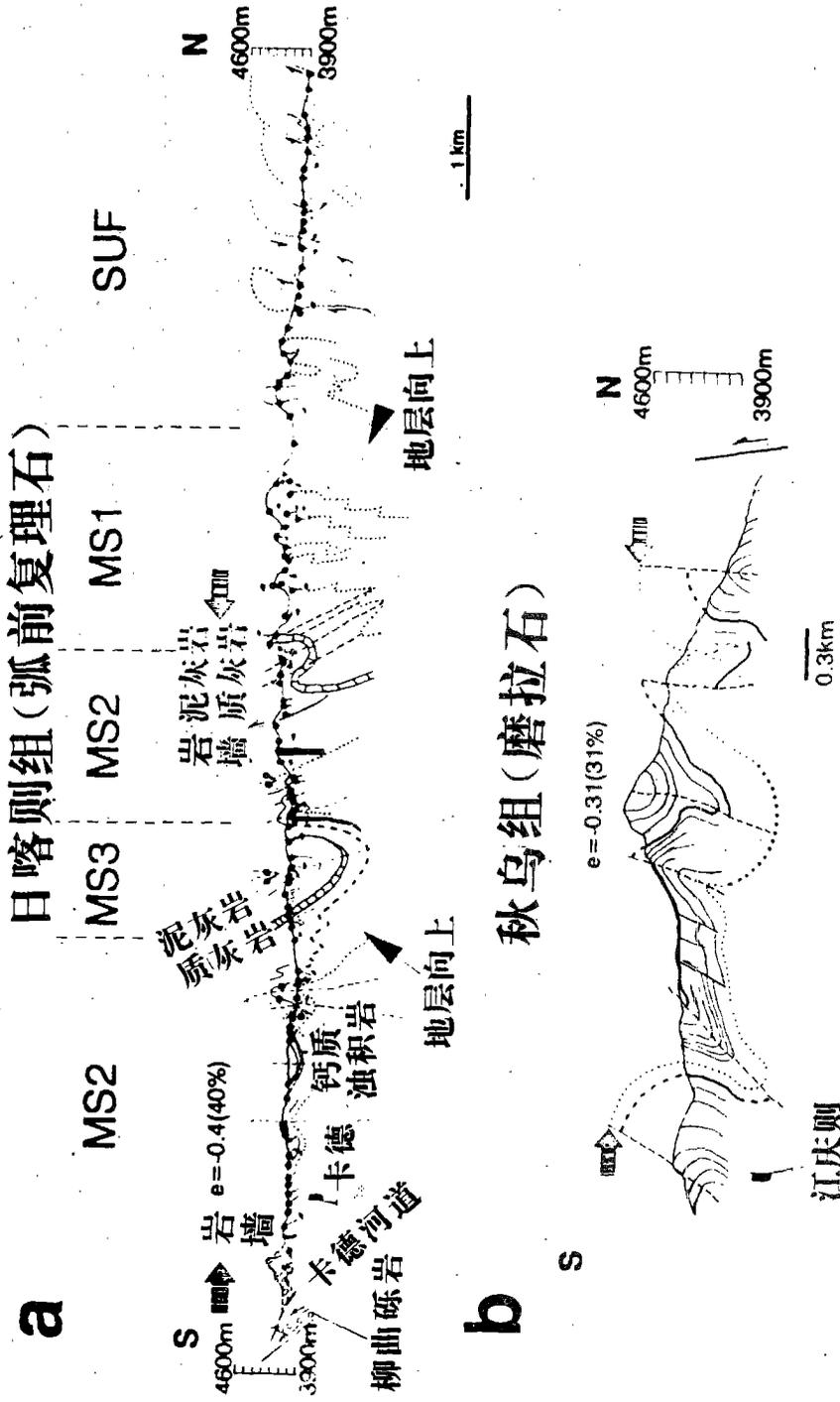


图 4 穿过日喀则以西沿江庆剖面 (a) 和秋乌磨拉石 (b) 的构造剖面, 垂向比例尺与水平的相等, 利用标志层 (粗线), 发现复理石剖面南部缩短 40%, 秋乌磨拉石缩短 31%。在出露的复理石剖面 (a) 中, 变形程度由南而北增加。注意剖面两端的逆断层 (逆掩断层)。

Fig. 4 Structural sections across the Xigaze flysch (a) and the Qiuwu molasse (b) along the Jiangqingze profile, 20km west of Xigaze. Vertical scale equals horizontal one. Using marker beds (bold lines). 40% shortening is found for the southern part of the flysch section and 31% for the Qiuwu molasse. Deformation increases from S to N in the exposed flysch section (a). Note reverse faults (overthrusting) at both ends of the section

的磨拉石型秋鸟组的构造进行了研究。变形作用造成开放至紧密褶皱,通常为直立曲滑褶皱,在泥质-砂屑层内伴随有轴面叶理(图4),构造型式沿走向明显一致。根据非褶皱作用测得的最小缩短程度约为30%,该处盆地的恢复宽度为2.6km(Ratschbacher等,1992)。再往西至萨迦附近,从一个南北长8.5km的磨拉石露头恢复原始盆地的宽度大于12km。但是,这些数值很可能只是延伸至更南面的一个大陆盆地的现代残留部分的宽度(第6章),这同样适用于秋鸟组磨拉石的沉积厚度。江庆则露头的最小厚度为500m。

我们将始新世—渐新世磨拉石型秋鸟组(王等,1983;张等,1984)与西藏西部凯拉斯磨拉石(Heim和Gansser,1939)和拉达克的印度河磨拉石(Searle等,1990)进行了对比,在这里保存的沉积物厚度和盆地宽度比我们研究区内的大得多。然而这些沉积物如同日喀则以西的秋鸟组一样,显示出相同的单个向北褶皱相和近于垂直的弱解理。

与冈底斯岩石的接触带一般为一条向北的大逆冲断层带。在该带内,冲断层向南陡倾斜,与Zaskar地区的印度河磨拉石盆地不同,在藏南未明显见到与盆地的迅速变深和充填有关的大规模的正断层。我们考虑到日喀则复理石和秋鸟组在区域构造和变形时期方面的相似性,试图将秋鸟组解释为先前海相弧前盆地沉积作用在大陆的继续,例如,没有迹象表明秋与盆地是在只影响日喀则复理石的主要构造事件之后形成的一个独特的弧内盆地,不知道日喀则复理石和秋鸟组之间是否存在大的地层间断和沉积间断。我们未能找到这两个层序之间的接触没有构造引起的干扰的地方。

4 日喀则复理石的沉积体系

4.1 地层和巨层序

日喀则复理石在一狭窄地带内出露良好,该带以北为冈底斯带的深成岩类,其南面为标志着印度河-雅鲁藏布江缝合带的蛇绿岩带(图3)。我们沿走向研究了日喀则以西和以东地区约120km长的复理石(参见第3章3.3)。在我们的江庆则河谷内的主要剖面(图3b和4)中,弧前复理石的总厚度至少为6km,但也可能达到8km。然而,这是随着时间推移自北向南迁移的沉积中心的附加厚度(见下)。一般说来,最老的复理石层产于北部靠近与秋鸟组的构造接触处。在这里,复理石层沉积于较老的陆棚沉积物之上。从这一线向南,直到复向斜的中心,岩层相继变得年青(图4a)。在最南部的地带,中白垩世放射虫岩沉积于洋壳枕状玄武岩之上,然后又被较年青的远源复理石沉积上覆。因此在一条南北向的横断面内,我们看到了从斜坡和上扇、到中扇,最后到外扇的沉积。按照这一总的趋势,保存在出露的主要剖面的弧前盆地充填物可细分为下列单元(图5和6):

前弧前被动边缘陆棚沉积(图5和6中的PM)。在俯冲和弧火山作用之前,沿拉萨地块的海岸周边为可能很狭窄的碳酸盐陆棚。这些浅水碳酸盐残余物出露于雅鲁藏布江以南的几个地方,特别是吉定村以北约12km处。台地碳酸盐由藻礁和chondrodonta礁及礁屑堆组成。块状礁侧向变为含斑点礁的层状泥灰质灰岩,这些岩层产出许多大化石(鸟蛤、turitella、单体珊瑚、龙介虫和一些菊石)。菊石和有孔虫表明为阿普第一阿尔布期(Bassoullet等,1984和自己的发现)。陆棚碳酸盐的最上部向盆地可过渡为代表复理石期最老斜坡相的再沉积物质和较多的硅质碎屑沉积。但是,向这一相过渡受到后冲断裂的构造干扰(第3章3.3)。我们仅见到夹于细粒斜坡沉积物中的粒序颗粒灰岩和富含化石的碳酸盐浊积岩的某些残余。在碳酸盐台地的向陆一侧,可能有一些泻湖。与下伏沉积物的接触也强烈地受宽阔剪切带

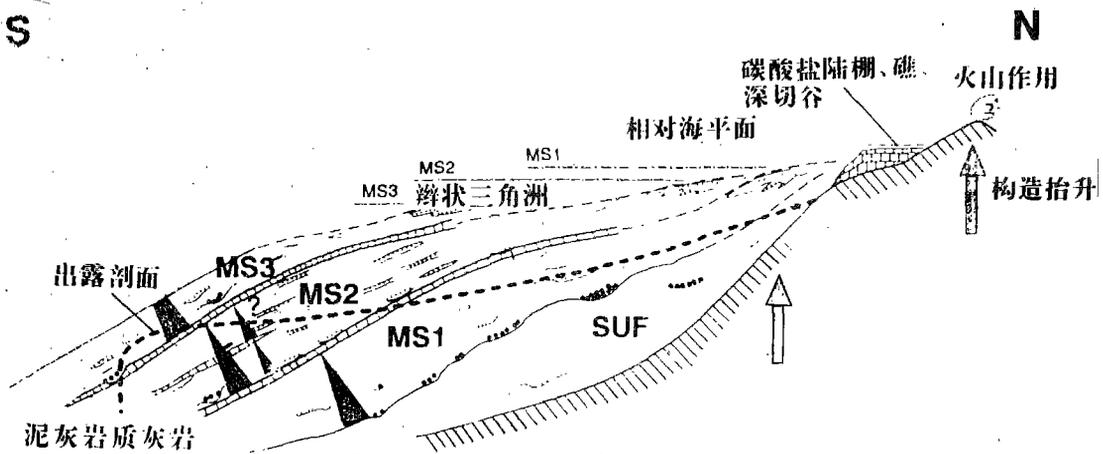


图5 穿过生长之中的弧前盆地充填物的(Ricken)理想横断面,在野外露头中细分为斜坡/上扇单元和三个巨层序,分别代表上扇(MS1)、中扇(MS2)和外扇(MS3)。注意现在出露的剖面的大概位置。进一步解释见正文

SUF—(斜坡、上扇)斜坡相:泥流砾岩和碳酸盐浊积岩;上扇:水道充填物、天然堤和漫滩沉积;MS1—水道充填物、天然堤和漫滩沉积;MS2—中扇席状砂岩、浅水砂质水道,也见黑色页岩和外扇泥质浊积岩;MS3—中至外扇:泥质浊积岩为主

Fig. 5 (Ricken) Idealized transect through growing forearc basin fill subdivided into a slope/upper fan unit and three mega-sequences MS1 to MS3 representing predominantly upper fan, middle fan, and outer fan facies in the field exposures. Note approximate position of presently exposed section. For further explanation see text

SUF=(slope, upper fan) slope facies; mudflow-conglomerates and carbonate turbidites; upper fan: channel fills, levee and overbank deposits; MS1=channel fills, levee and overbank deposits; MS2=middle fan sheet sands, shallow, sandy channels, also dark shales; also outer fan mud turbidites; MS3=middle to outer fan; mainly mud turbidites

的构造干扰。所保存的陆棚碳酸盐厚度不到 100m。由于深海水道充填物内有大量的浅水碳酸盐组成的砾石,因此证明这些碳酸盐的主体部分在其后的复理石期可能遭到侵蚀。我们推测,由于俯冲和弧岩浆作用的结果,至少碳酸盐台地的向陆部分已隆起并遭受地表侵蚀(也见第 6 章)。

早复理石期的斜坡和上扇沉积(图 5 和 6 中的 SUF)。这些沉积物出露于我们主复理石剖面的北部(图 4),覆盖着陆棚碳酸盐残余物和广泛的水道沉积之间的一条较宽地带(“日喀则事件”,见下)。这些沉积物主要由细粒硅质碎屑组成,代表斜坡沉积,小型水道的天然堤和漫滩沉积和斜坡水道充填物。后者含具火山碎屑和碳酸盐混合组分的砂质砾岩和砾石质泥岩(也见下)。此外,还存在泥流与碎屑流,其与海底水道并无任何关系,为向盆地推进的斜坡裙的特征。

巨层序 1 的上扇沉积(图 5 和 6 中的 MS1)。较年青的弧前盆地充填物至少可细分为三个巨层序,其底部以广泛的水道充填物为界,顶部以半远洋含碳酸盐沉积物为界。然而,其总的向上变细、变薄趋势被岩浆弧地区特定的火山事件造成的许多不规则地形所中断,并被第 4 章 4.3 中描述的小旋回性所叠加。沿着主要的补给水道(见下),宽阔而深切割的“基底水

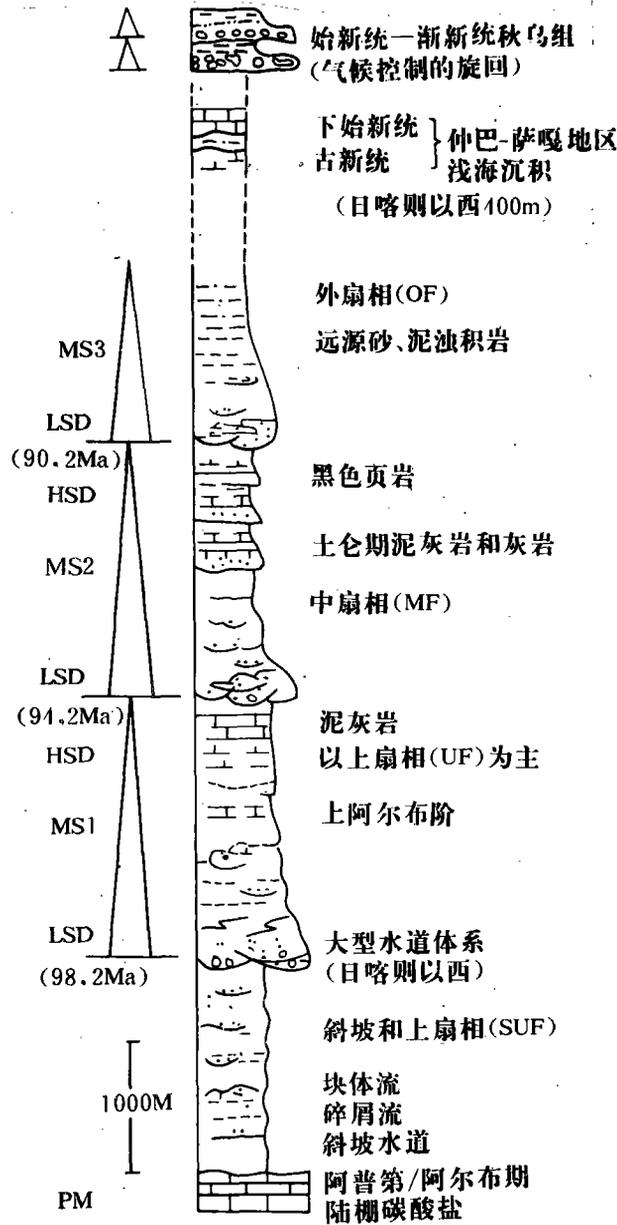


图 6 推测的高度简化的弧前盆地层序,包括日喀则以西的磨拉石型秋乌组。被保存的日喀则复理石进一步划分为可能与大的海平面变化有关的三个巨层序。这些单元多少反映了从斜坡到外扇沉积环境的变化。注意稀少的化石层位及其时代,LS和HS为海平面低水位期和,海平面高水位期;时代以Ma计(据Haq等,1987)

Fig.6 Tentative, strongly simplified forearc basin sequence, including the molasse-type Qiuwu Formation, west of Xigaze. The preserved Xigaze flysch is subdivided into three mega-sequences which are probably related to major sea level changes. These units more or less also reflect shifts in depositional environment from the slope to the outer fan. Note rare fossil horizons and their ages. LS, HS, sea level lowstand, highstand; ages in Ma after Haq et al., 1987

道”充填粗砾、砂和具包括深成岩和再沉积的沉积物在内的混合成分的重力块体流(第5章)。这一层位在所调查的整个盆地长度范围内均可追索到,称之为“日喀则事件”。因为这些水道充填物在日喀则市以西的小山上特别引人注目。由于沉积物进积和加积的结果,具细粒充填物的较年青的、多半较小的水道发育于基底水道的顶部。侧向上,这些水道主要与粘土质—粉砂质天然堤和漫滩沉积相伴生。其单层通常厚1至数厘米,巨层序顶部由50—200m的半远洋泥灰岩组成。这些泥灰岩与某些泥灰质灰岩和/或由火山灰或较粗粒的火山碎屑组成的碎屑流和浊积岩交互产出。

巨层序2的中扇沉积(图5和6中的MS2)。这一层序又从逐渐增加的水道活动性开始。但水道不如MS1的深,主要充填粗砂。位于生长层序内的后成水道通常较底部的更小,其与由通常是混合的块状浊积岩组成的20—80m厚的席状砂伴生(鲍马层序a—d,参见图9A)。这些特征被解释为上扇舌状体沉积,与薄层天然堤和漫滩沉积互层。这一巨层序内的几个层位,特点是其上部,以半远洋钙质泥灰岩、具生物扰动构造的结核状灰岩、间或以薄燧石层为特征。某些钙质层位与黑色页岩互层,因而指示变化的氧化还原条件。此外,重复产出的黑色页岩厚5—40m,常含均分潜迹式遗迹化石。这些与砂质浊积岩伴生的遗迹化石多半与典型的复理石组合相当(例如Ekdale等,1984)。

巨层序3的外扇沉积物(图5和图6中的MS3)。某些填砂、砾、泥和碎屑流的宽阔水道上覆有原地生物扰动砂质粘土岩、泥灰岩和某些结核状灰岩,与大量薄而细粒的砂、粉砂和指示外扇环境的泥浊积岩互层。某些已胶结的钙质泥浊积岩后来受到侵蚀,形成叠瓦状的、相当广布的灰岩砾岩。

这三个巨层序的区域展布和最重要的,经过填图的深水碳酸盐层位示于图7c。从该图可以推断,巨层序3在我们的主剖面以东和以西未见保存。这意味着在第3章第3.3节中讨论过的复理石复向斜的南翼或多或少被侵蚀(也见下),结果,外扇沉积,可能还有盆地平原沉积(假如那样的平原真的存在的话)在很大程度上已被搬运。同样地,原弧前盆地最年青的海相和非海相沉积多半被侵蚀,特别是在南部。然而有可能在复向斜中心的局部地区,或在特殊的向斜内,保存有某些最年青的弧前沉积(见下)。

遗憾的是,由于原生化石稀少、构造变形和有明显劈理例证的近地表变质作用,在所有的弧前盆地充填物中生物地层控制很差。我们为研究微体古生物而采集的大多数样品均不含化石。根据钙质沉积物中罕见的化石和层序地层研究,绘出示意地层剖面(图6),最老的复理石沉积于上述阿普第/阿尔布期陆棚碳酸盐之上,在盆地充填物的北界,或多或少是连续的沉积。在复理石层序内的灰质泥灰岩或碳酸盐结核内发现的两个化石较多的层位(含菊石)表明分别为上阿尔布阶和下土仑阶。Herm等(1983)报道,深水沉积作用至少继续到晚土仑期。海相复理石沉积作用的结束在我们的研究区内尚不清楚,因为盆地充填物的较年青的部分或多或少已被侵蚀。年青的海相弧前盆地沉积显然保于日喀则以西约400km的仲巴-萨嘎地区(万等,1982、1987)。这些沉积物主要由钙质泥岩、砂岩、砾岩和生物碎屑灰岩组成。有孔虫和双壳类表明其时代为古新世到早始新世。

由于生物地层分辨率很差,难于根据全球海平面变化来解释这三个巨层序。另一方面,含粗粒砾岩、砂岩、砾石质泥流和碎屑流的巨层序底部的活动水道相,通过明显的海平面下降可进行很好的解释(也见第4章4.2及Kolla和Macurta,1988)。同样地,半远洋钙质泥灰岩和黑色页岩的产状反映出水道较长期几乎不活动,陆源沉积物的补给有限,这可能与上升

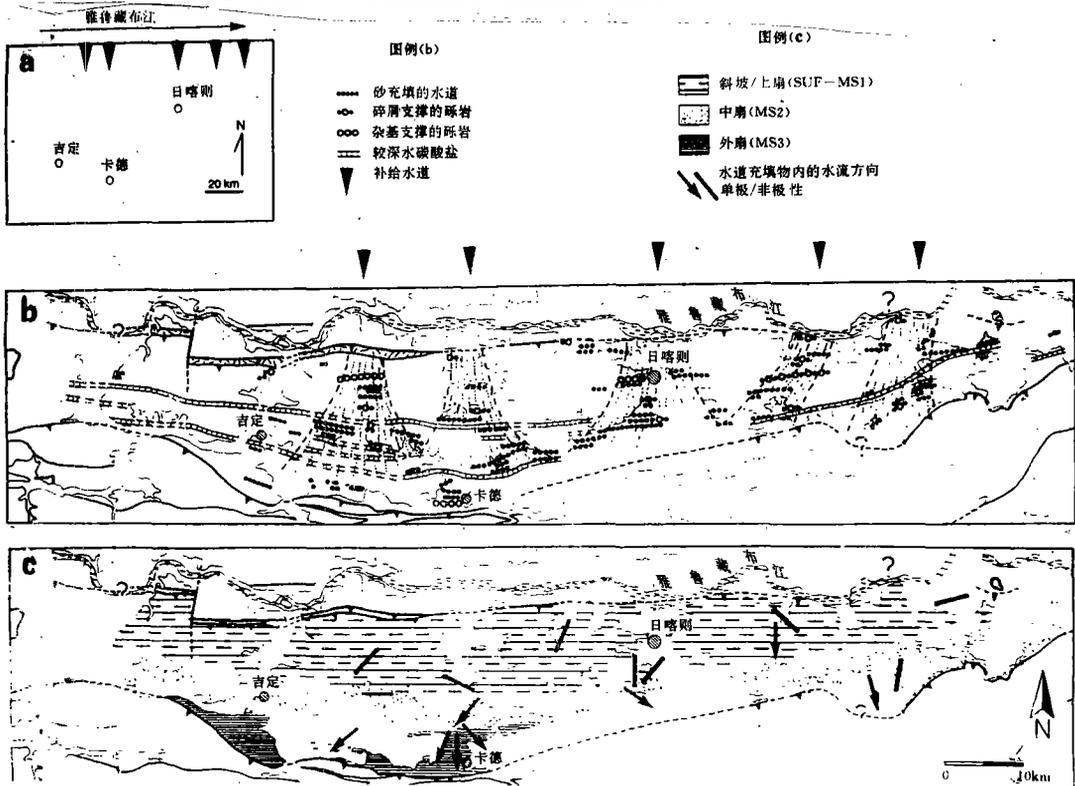


图7 a. 盆地宽度已恢复的研究区平面图; b. 含各种充填物(砂、碎屑支撑和杂基支撑的砾岩)以及浅水、深水碳酸盐的主要海底水道体系图; c. 日喀则复理石三个相类型图: MS1(SUF). 斜坡、天然堤和漫滩沉积及主要为上扇地区的水道充填物; MS2. 中扇地区的进积砂; MS3. 含一些外扇地区的水道充填物的远源砂和泥质浊积岩。箭头表示水道内主要搬运方向

Fig. 7 a, Plan view of study area with restored basin width. b, Map of main submarine channel systems with their various infillings (sands, clast- and matrix-supported conglomerates) as well as shallow- and deep-water carbonates. c, Map showing three facies types of the Xigaze flysch; MS1 (+SUF), Slope, levee and overbank deposits and channel fills mainly of the upper fan region; MS2, Prograding sands of the middle fan region; MS3, Distal sand and mud turbidites with some channel fills of the outer fan area.

Arrows indicate main transport directions in channels

的海平面和早期高水位条件有关(Loutit等, 1988)。这一解释见图6。此外, Haq等(1987)提出的全球海平面曲线的最低水位峰值也列于该图中。在这些时期, 海平面可能下降60m, 达到高水位面之下100m以上。

这类海平面变化的振幅与更新世的相似, 例如在密西西比扇形成的不同的层序(Feeley等, 1990; Weimer, 1990)。但日喀则复理石白垩纪巨层序的时间周期和厚度至少大一个数量级。尽管如此, 稀少的生物地层资料还是支持而不是排除活动水道期与三级低水位一致的可能性, 并且支持了钙质黑色页岩层是海平面上升和高位期形成的这一看法。

巨层序中半远洋层位的重复和向上变细趋势的其它一些不规则性, 如Haq曲线和其它报告中证明的上白垩统海平面变化那样, 可能部分地由三级变化内的较小海平面变化所造成(例如Robaszynski等, 1990)。然而, 根据向上变细或变薄, 产于巨层序内的许多水道和砂

席并不呈现特别长期的趋势。我们是根据诸如水道舌状体转换和火山脉动之类的局部现象来解释这些特征(见下)。

钙质半远洋沉积,包括原地泥灰岩质灰岩和稀少的燧石层的重复出现表明:(1)从拉萨地块及其岩浆输入的陆源在特定的时间间隔内是有限的(例如海平面高水位期或火山活动衰退期);(2)盆地正好位于碳酸盐补偿深度(CCD)之上。我们将后一种观察作为解释该弧前盆地水深为1000—3000m的证据。这一观点得到若干作者的以下假定的支持,即白垩纪的 CCD 在印度较高(例如 Arthur 等,1985;Hay,1987)。此外,我们还考虑到 CCD 一般向大陆上升。在盆地演化的初始阶段,沉积作用可能发生于 CCD 之下,但随着沉积物向盆地推进和加积,盆地逐渐变浅,但这一阶段在我们的研究区内未得到充分地证实。

黑色页岩和稀少燧石层的产出可能与特提斯北缘幕式的中等海岸上升有关。因为这些地层几乎不含砂,多半与钙质层有关。所以,我们认为它们也形成于海平面上升或高位期。

4.2 深海水道体系

航空照片和盆地充填物保存部分的良好、几乎完整的露头使我们能够较详细地研究该弧前盆地的复理石层序。首先,我们描述作为盆地内沉积物分布体系的深海水道,然后分析出现于该弧前复理石中的数百个向上变粗、变细旋回(第4章4.3)。

沿着所研究的120km的盆地长度,划分出5个主要水道体系,它们与呈指状交错的扇状舌状体伴生(图7)。这些水道体系发育于自北面流入盆地的河流的前方。河口相距约10—25km,因而可能为来自岩浆弧和范围有限腹地的小到中型河流。巨层序1(MS1,上扇,日喀则事件)底部的主要水道为2—5km宽,沿其边缘至少约20m深切入较老的地层,其充填物包括粗砾和局部直径达0.5m(?)的巨砾。小型水道和充填物也出现于卡德村附近MS3的底部(图3b和5),表明陆棚边缘已向盆地推进。

沿上扇和中扇地区发生的作用示于图8的理想化模式中。这些水道可能由瓣状河流体系补给,提供来自火山弧及其到海岸带和扇三角洲腹地的大量砾石和砂。在这里另外还有来自上升的前弧前期的被侵蚀的陆棚碳酸盐。洪泛以水流拖曳形式沿水道轴将砂和砾石搬运到较深的水体中,并在洪水高峰期和高密度浊流期间造成水道侵蚀。在低海平面期,扇三角洲向海推进到陆棚边缘,并将其粗粒床沙载荷沉积于细粒泥的顶部,这就导致斜坡的不稳定性和优先沉积于深切水道内的碎屑流和砾石质泥流。这一机制也能搬运漂浮在稠密杂基上的巨砾(例如 Moore 等,1982),其后可能已被水流作用所搬运。活跃的侵蚀和水道充填期反复交替,形成混合的、叠置的水道充填物。显然,颗粒支撑的盆地充填物常被杂基支撑的碎屑流和泥流沉积所覆盖。按照 Walker(1978)和 Pickering 等(1989)提出的术语,这些砾石层为“紊乱砾石”这一组,砾石质泥岩为“紊乱泥质砾石”或“砾石质泥”这一类。水道也偶尔全部地被火山碎屑沉积充填(图8d),表明为明显的火山活动期,许多水道充填物证明水道已侧向迁移(见下)。

上扇地区大型水道体系的位置在整个盆地历史中大体保持不变。随沉积物高度的增加,年青的水道发育在水道的顶部(图8)。水道之间的空间被细粒的斜坡、天然堤和漫滩沉积所充填。较小的斜坡水道和重力块体流在构筑斜坡裙的过程中也起着某些作用。在中扇和外扇地区,随着时间的推移,主要水道开始分叉并改变其位置。看来这些水道和重力流的向东迁移多于向西迁移(图8)。这可能主要由较高的盆地充填作用或弧前盆地西部较早开始隆起所造成(参见第5章5.3)。否则,由于科里奥利力(Coriolis forces),人们会看到南北向的

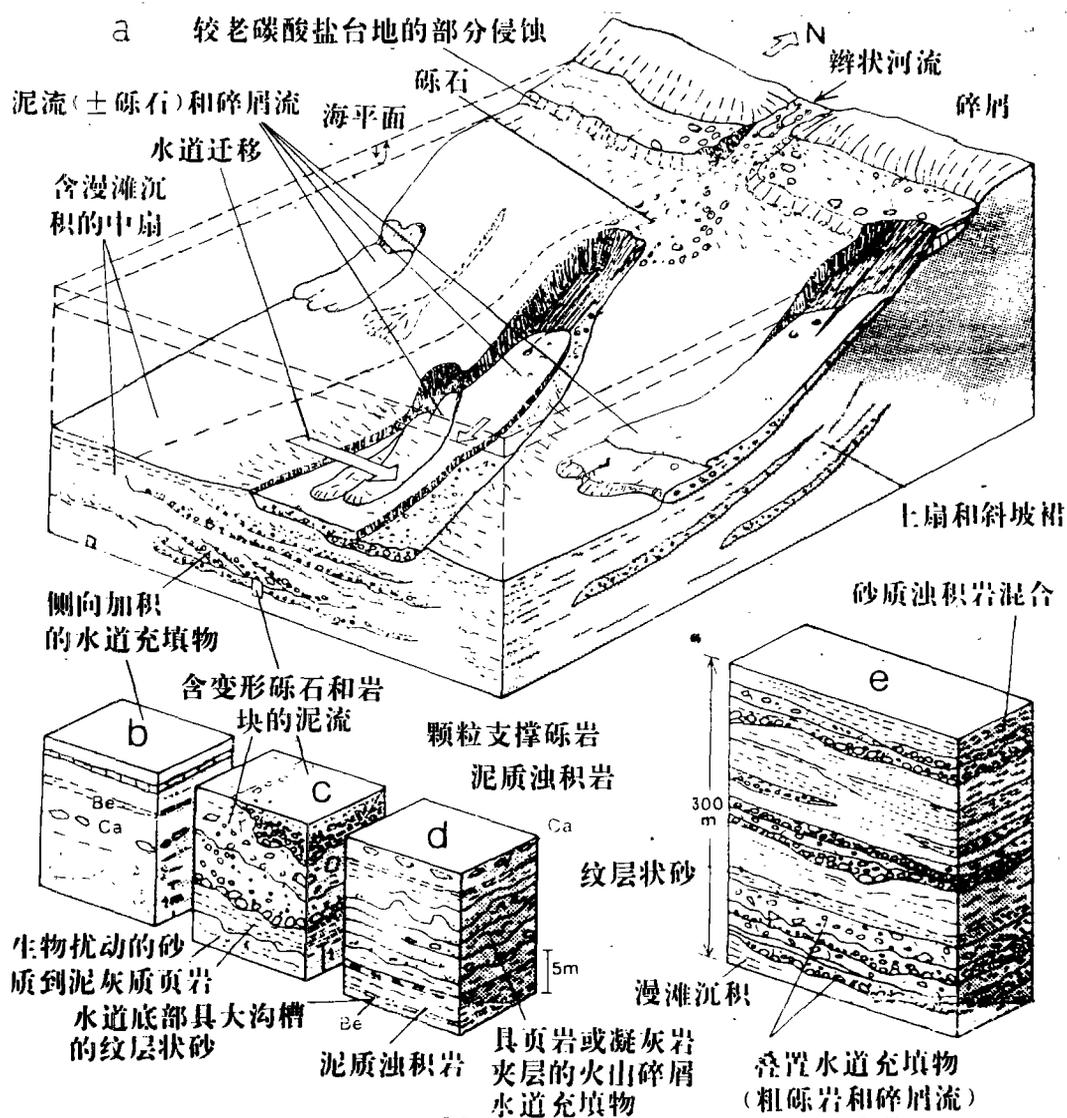


图8 上扇和中扇地区主要水道体系的各种特征,据在日喀则以西和卡德附近的野外观察结果素描。a. 经恢复的从海岸到中扇水道体系远眺。注意重复的水道切割带,假定河流砾石在海平面低水位期可进入陆棚,并进入碎屑流和泥流中;b和c. 示a中的中扇剖面详细情况;d. 被火山碎屑层和薄的页岩夹层迅速充填的水道;e. 由叠置的粗砾和碎屑流或含有一些砾石的砂质层组成的大型叠置水道充填物

Fig. 8 Various features of a main channel system in the upper and middle fan regions, drawn after field observations west of Xigaze and near Kade, simplified. a, Overview of reconstructed channel system from the coast to the middle fan. Note repeated episodes of channel cutting and the assumption that fluvial gravel can extend to the shelf during sea level lowstands and may be incorporated into debris flows and mud flows. b and c, Details of the midfan cross-section shown in a. d, Channel rapidly filled with tephra layers and thin shaly interbeds. e, Superimposed large channel fills consisting of stacked coarse gravel and debris flows or sandy beds with some gravel

水流向右,即向西偏转,因为拉萨地块已达到赤道以北的位置,在水道充填物的槽模和交错层理上测得的水流方向与主要向南的方向有较小的偏差(图 7b)。所测得的漫滩沉积和天然堤沉积的水流方向指向东或西,变化相当大。

4.3 向上变粗、变细层序

除了上述的巨层序和水道充填物以外,复理石沉积的一个显著特征是以不对称向上变、粗,变细层序为代表的旋回性。图 9A 到 C 表示这些小旋回的三个实例:一个来自上扇(MS1),其它两个分别来自中扇和外扇地区(MS2 和 MS3)。

除了许多水道充填物以外,上扇层序(图 9A)多半为 10—30m 厚的向上变细的旋回。这些旋回的大多数以一层或若干层较粗粒的火山灰浊积岩(通常为混合的,厚 1m 至若干 m)开始,继之以含大量火山碎屑物质的砂质浊积和砂质页岩的薄互层(见第 5 章)。这里的砂质浊积岩的最大厚度很少超过 10—20cm,在层序的这一部分,长期的向上变细或变粗趋势少见,而且不是很清晰。

中扇和外扇剖面(图 9B 和 C)也显示出向上变细旋回多于向上变粗旋回,但和上扇比较,该实例中的向上变细旋回则不太主要(在图 9 中未示出的其它剖面中明显占优势)。向上变粗旋回优先出现于该剖面的较细粒部分,或出现在与厚层粗粒火山碎屑沉积的过渡带。如前所述,它们又多半再向上递变为薄层细粒物质。单个旋回趋势是较薄,但总的趋势看来比在上扇中观察到的发育得更好。

这种旋回性可由几种机制造成,其中之一,如早先提及并在许多现代出版物中强调的那样,是短期海平面变化,考虑到沉积于 30Ma 内(200m/Ma)的一个旋回的厚度为 10m,复理石的总厚度为 6km,人们得到一个旋回的时间跨度为 50ka,即米兰科维奇频率条带的级别。不过我们宁可假定大多数的小规模现象均由盆地内的自生作用和火山弧活动中的幕式事件所形成。这里只讨论这种可能性。向上变粗趋势可形成于:

拉萨地块及其火山带(火山幕)大量补给沉积物时斜坡体系进积的阶段。

新的扇舌状体经水道冲刷以耗费已有的舌状体而上建的阶段(图 10b)。

在沉积物补给逐渐贫化或完全切断的分流体系的其它部分被耗费的情况下,深海扇体系的各个部分的水道活动性逐渐增加的阶段(图 10b 和 d)。

沉积物不断加积,某个方向上水道向一个方向侧向迁移(图 10c),向上变粗趋势则出现于水道迁移到的那一侧。同样的趋势也可望出现于从末端水道向盆地的远源扇舌状体上(图 10b)。

向上变细层序形成于同样的机制,但具有相反的趋势:

水道扇体系因腹地的沉积物补给减少而逐渐废弃。

单个水道舌状体体系因水道冲刷而废弃。

因为同一水道体系的其它支流变得更有效,而降低了水道的活动性(图 10d)。

水道向沉积地点之外迁移(图 10b 和 C)。

考虑到这些各种各样的作用(火山脉动除外),可以预料向上变粗、变细层序的数目会大致相等。但实际上向上变细旋回明显占优势,这可能有两个原因:(1)水道侧向迁移导致部分向上变粗旋回被侵蚀;(2)大大小小的火山事件均有利于沉积物的幕式输入和较粗粒的火山碎屑沉积的快速堆积。其后以逐渐变细的火山碎屑和其它可能来源的沉积物的补给衰减为特征。

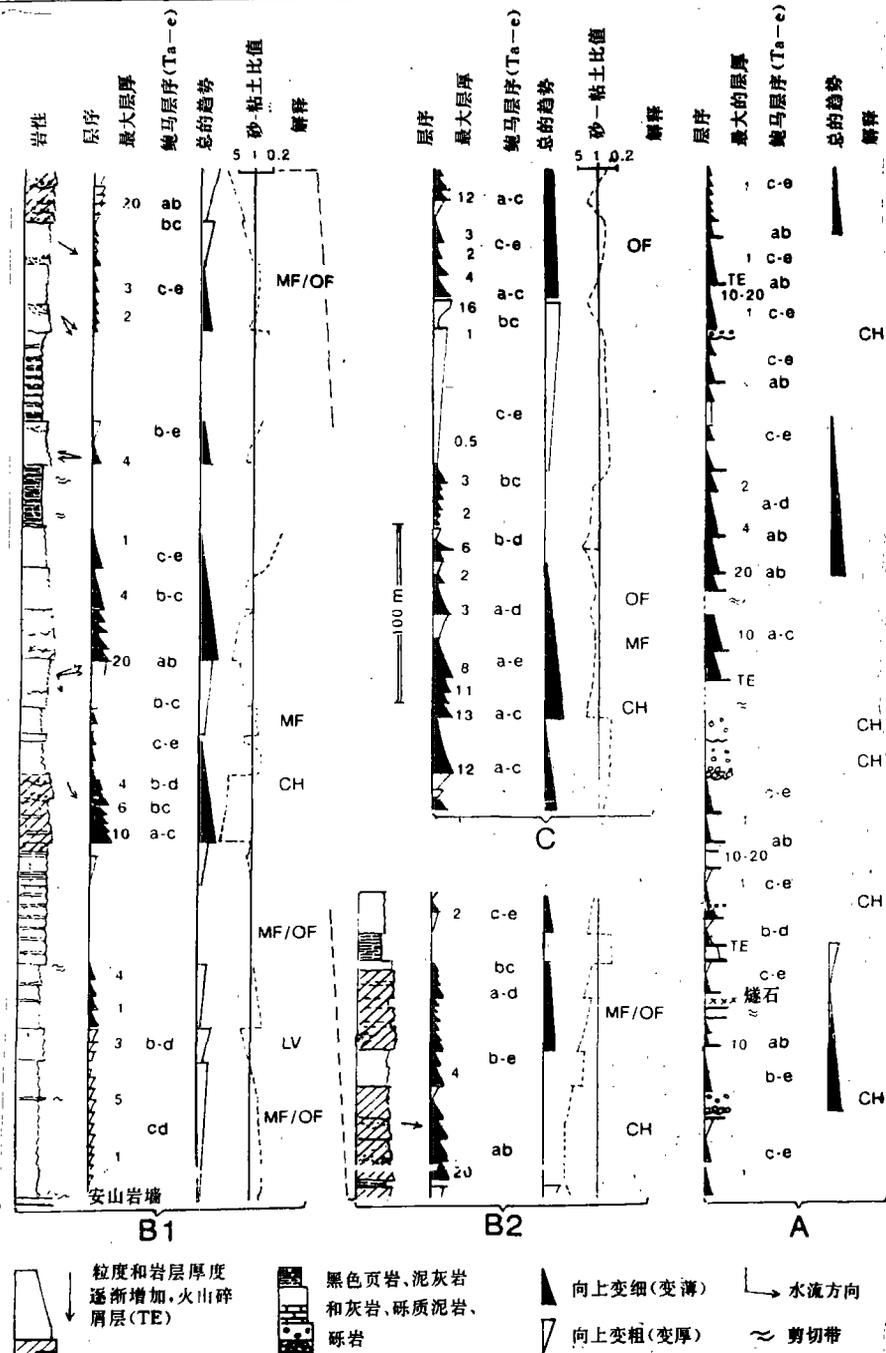


图9 日喀则以西江庆则复理石横断面选择部分的向上变粗、变细趋势、砂/粘土比值和其它特征(见图4和5)。A. 以上扇相为主;B1和B2. 中扇相(MF);C. 外扇相(OF);CH. 水道充填物;LV. 天然堤沉积;OV. 漫滩沉积;TE. 厚而较粗粒的火山灰层;am. 混合的

Fig. 9 Coarsening and fining-upward trend, sand/clay ratios, and other characteristics in selected parts of the flysch transect at Jian qingze, west of Xigaze (see Figs. 4 and 5). A. Predominantly upper fan facies; B1 and B2, middle fan facies (MF); C, outer fan facies (OF), CH, Channel fills; LV, levee deposits; OV, overbank deposits; TE, thick, relatively coarse-grained tephra beds; am, amalgamated

砂/粘土比值是根据野外的估算(列于图9),单层和小部分层序的比值从 >5 和 <0.2 不等,但大部分均与砂/粘土=1这一比值的偏差不是很大。厚层状火山灰浊积岩的砂/粘土比值在5左右或更高,而薄纹层状漫滩沉积则为0.5—0.2或更低。

4.4 磨拉石型秋鸟组和柳曲组

如已在3.2和3.3中所述,海相弧前盆地沉积可能不整合在磨拉石型秋鸟组和柳曲组沉积物之下,然而,弧前复理石和这两种类型的大陆沉积之间的接触受到构造的干扰。因为我们不能详细地研究这种河流沉积物,所以这里只对这些岩层进行简要的叙述。

始新统一渐新统秋鸟组保存于冈底斯带和日喀则复理石之间,沿雅鲁藏布江南岸上覆于岩浆带的深成岩之上(如仁布东北),在这里,一定有一条小河从北面流入该盆地,留下一个由中等圆度的粗砾和大量较大岩块组成而没有任何细粒夹层的冲积扇。这种范围有限的冲积扇沿走向上可见若干处。在这些地方,堆积着最粗的砾石,冲积扇的水流方向变化很大,但总体向南(从东南到西南)。离河源再远处,秋鸟组由粗至细粒砾岩、河流砂岩和红色粘土质粉砂岩组成,局部夹有植物碎屑、薄层黑色页岩和煤层。砾岩的粒度向南降低,某种程度上也从日喀则以西的主要横断面往西降低,利用砾石的叠瓦状组构和砂岩中的交错层理,水流方向有时含糊不清,但看来在我们的研究区内,物质主要是向南、向西搬运的。

这些岩层的沉积环境为河流体系,广泛堆积砾岩的瓣状河流和具广阔的泛滥平原的曲流河体系交替出现。从一个体系到另一个体系的重复变化,产生了在其它河流沉积物中很少如此清晰地见到的引人注目的旋回性。典型的旋回显示出下列层序(从顶部到底部):

具薄层粉砂岩和砂岩夹层的粉砂质页岩,多半为红色和绿色,厚20—40m。生根层、植物碎屑和局部出现的煤层指示环境为具季节性水塘的冲积平原。一些页岩层含有钙质结核(钙质壳),说明这些沉积物沉积于半干旱气候。

砂岩和粉砂岩,部分呈红色,构成下伏砾岩和泛滥平原沉积之间的过渡带。

厚层砾岩,多为10m至数十米厚,具碎屑支撑或砂支撑的砾石(副砾岩),底部为侵蚀不整合。

粗粒砾岩(颗粒直径达20cm)大都含有大量的来自冈底斯带的火山岩和深成岩,但也含变质岩和沉积岩,如石英岩、砂岩和放射虫岩。寒冷的或温暖的干旱的气候,以及集水区很少的植被有利于它们在瓣状河流体系内的沉积。具稀疏和较稠密植被的较潮湿(半干旱)气候可能防止高地的强烈侵蚀,阻滞径流,使干河形成曲流河。

从日喀则以西我们的主要横断面往西,河流旋回性仍然存在,但砾岩或副砾岩变得较薄、较细。我们认为秋鸟组岩层以前曾更往南延伸,位于日喀则弧前复理石的顶部(第6章)。

柳曲组保存于蛇绿岩带的北界,看来比秋鸟组的岩层更年青(渐新世—中新世)。这些以粗粒为主的河流沉积在很大程度上来源于出露的蛇绿岩及其伴生岩石(例如放射虫岩)。

5 弧前盆地沉积物的来源

5.1 水道充填砾岩

常见于复理石沉积中的砾岩(图11a),在主要水道充填物(例如在日喀则和卡德附近)中均含粗粒碎屑支撑砾石层和杂基支撑砾石质泥岩。碎屑的粒级从小的砾石到大的巨砾不等,但本文均用砾石这一术语。除燧石外,砾石通常为次圆状和浑圆状,证明它们在深海水

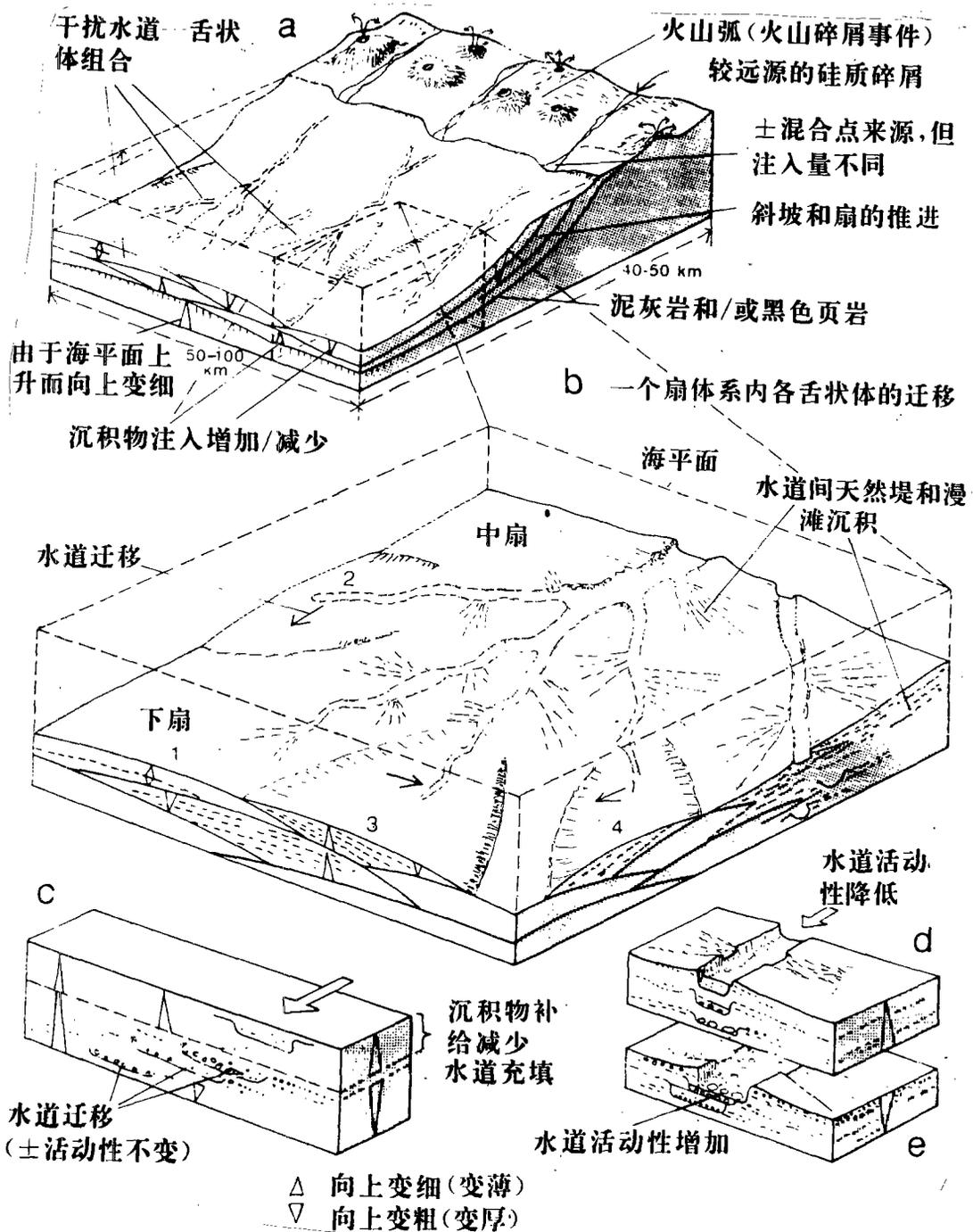


图 10 充填弧前盆地的深海扇体系模式。a. 概述;b. 具分叉水道、变化不定的扇舌状体和水道冲刷的上扇至中扇地区;c 和 d. 水道迁移和 水道不同活动性造成的向上变粗、变细层序

Fig. 10 Models of deep-sea fan systems filling the forearc basin. a, Overview; b, Upper to middle fan region with branching channels, shifting fan lobes, and channel avulsion; c and d, Coarsening- and fining-upward sequences caused by channel shifting and changing channel activity

道中最后沉积之前已经河流搬运。火山碎屑组分直径可达 1m。

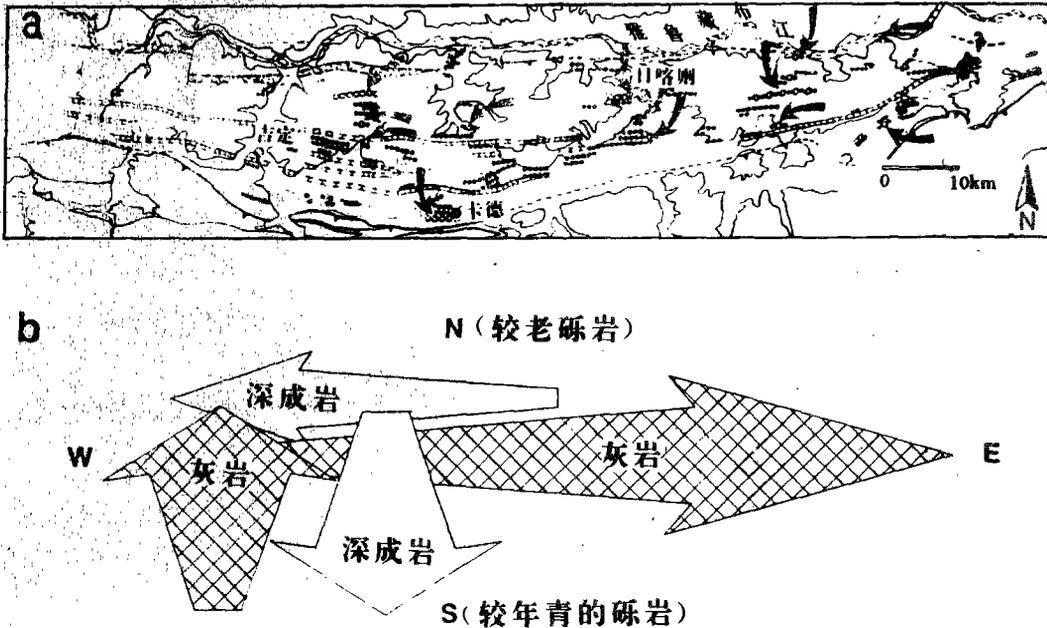


图 11 日喀则复理石粗粒水道沉积的成分。a. 被研究的砾岩的位置(箭头); b. 深成岩(英闪岩)和灰岩砾石的比例逐渐增加的趋势(宽箭头)表明研究区西部强烈抬升

Fig. 11 Composition of coarse channel sediments in the Xigaze flysch. a, Localities of studied conglomerates (arrows). b, Trends to increasing proportions of plutonic (tonalite) and limestone gravel (widening arrows) indicate stronger uplift in the western part of the study area

这些砾岩的岩石类型直接记述了盆地边缘或腹地不远处被侵蚀的岩石。否则,长距离的河流搬运很可能会降低河流床沙载荷中粗粒物质的粒度和比例。

大部分砾岩以火山成因碎屑为主,源岩主要为安山岩、安粗岩(硅饱和的火山岩,富含斜长石)和英安岩,从而构成一套典型的活动边缘火山岩套。英闪岩组分中的海成岩碎屑常比火山岩中的深成碎屑少,仅出现于部分砾岩中。沉积源岩中的砾石则出现于研究的所有砾岩中,其大多数由与出露于研究区北缘的碳酸盐岩酷似的浅灰色灰岩组成(参见图 4、5 和 7C)。其它沉积碎屑包括红色、绿色或灰色燧石和泥岩、砂岩内碎屑,偶尔见同沉积变形。

深成砾石组分局限于研究区西部,越年青的砾岩中含量越丰富(图 11b),同样地,与安山岩和粗安岩有关的酸性火山岩砾石在较年青的砾岩,即保存在弧前盆地沉积物南侧的露头的砾岩中稍有增加,碳酸盐砾石在研究区东部非常丰富。在出露于西部地区的较老的砾岩中也较为常见。

5.2 火山碎屑砂岩

大多数砂岩性质上以火山碎屑为主,含各种比例的原生、次生(蚀变)成因的细粒基质,因此几乎没有分选或分选很差。部分岩层可能是杂砂岩,颗粒为棱角状至次圆状。

从成分来看,砂岩以斜长石和火山岩屑(包括蚀变表生碎屑在内的岩屑)为主。由于成岩作用和沉积物的强烈变形,这些不稳定的组分通常蚀变,斜长石总是全部钠长石化和/或方解石化。岩屑常遭到机构破碎,形成假杂基。此外,化学蚀变也影响着岩屑的杂基,形成绿泥

石、黝帘石、绿帘石、方解石、石英和沸石。在保存有原生结构的地方,酸性岩屑呈半自形和他形微粒状和斑状,中性岩屑呈粗面状和交织状。在某些样品中,单晶石英约占50vol.-%,波状消光虽然普遍,但可能并不代表原生特征。石英的阴极发光颜色总是呈暗红褐色,因此并不是某一种源岩的特征。我们认为这一现象是成岩和浅变质叠加的结果。碎屑碳酸盐颗粒常出现于砂岩中,但在强烈蚀变的样品中,碎屑碳酸盐并不能总是与次生碳酸盐相区别,富含石英的样品偶尔含白色云母片(<1Vol.-%)。有时与定向白云母交生的小颗粒多晶石英为砂岩中的稀少组分,代表变质源岩。

砂岩成分的变化有两个总的趋势:石英的含量向剖面上部增加,而且研究区西部高于东部。

5.3 沉积物来源

碎屑沉积物的主要来源是沿拉萨地块南缘的岩浆弧。如弧前沉积物中火山灰层和层凝灰岩夹层所显示的那样,这里与俯冲有关的强烈的岩浆活动至少出现于中白垩世,某些水道充填物中粒度较大的火山岩屑也表明,源岩距最后沉积地点的距离有限。在这一时期,岩浆弧可能经历了洋壳的板下作用造成的快速隆升(Burg等,1987)。这一隆升促进了拉萨地块南缘火山岩和沉积物(例如构成以陆相为主的塔克那组底部的阿普第/阿尔布期灰岩)的侵蚀(Burg等,1983, Bassoulet等,1984)。这些沉积物可能与日喀则复理石同期沉积(Coulon等,1986)。

冈底斯带的隆升并不均一。在研究区西部,深成砾石的总量逐渐增多,反映了迅速下切的侵蚀面,而在阿普第/阿尔布期碳酸盐台地东部,此时则仍以侵蚀作用为主(图11b),因而这里的侵蚀面较高。研究区西部砂岩中较高的石英含量证实了这一见解。

但是,变质岩屑和白云母在某些砂岩中的存在表明还有另一个源区,其可能位于相当远处,即拉萨地块上的冈底斯带以北,这是根据砾岩水道充填物内缺乏同期变质砾石推断出来的。这一沉积物源也可能提供了大量的石英。这两个来源的砂质的混合形象化地示于QFL图上(图12)。而以岩浆成因的组分为主的砂岩则投入部分被切割的岩浆弧区,富石英砂的样品似乎主要来自其它源区,它们不含或几乎不含岩屑或长石,因此倾向该图的Q角。不稳定矿物比例的这种减少,表明源区风化作用强烈,和/或到沉积区的搬运距离较长,因此,我们提出富含石英的砂质的不同来源,其可能位于拉萨地块以北,这可能是羌塘地块,它在与拉萨地块碰撞和地壳变厚之后隆升,这发生于140Ma左右(例如Allègre等,1984)。

6 盆地演化:结论

日喀则弧前盆地在特提斯洋封闭情况下的演化初步恢复于图13中,我们将该盆地的历史分为5个阶段。

(1)俯冲开始之后的初始阶段(中白垩世,图13a)。拉萨地块边缘一定距离之外出现向北俯冲,和在洋底与大陆之间出现圈捕洋壳或过渡地壳。俯冲洋壳和圈捕洋壳的外缘被早白垩世以及可能晚侏罗世较薄的远洋沉积(放射虫岩)所覆盖。这一薄层沉积盖层阻碍了沿俯冲带的加积楔在这一阶段及其后的第二阶段的快速加积和退积。在向陆方向,圈捕洋壳含一套越来越厚的、于特提斯洋俯冲之前的被动边缘阶段的半远洋斜坡沉积和陆棚沉积。但这一时期仅被现在保存的弧前复理石北界阿普第/阿尔布期碳酸盐台地的残余所证实。如在第4章中较详细描述过的那样,以碎屑为主的复理石堆积于这些被动边缘沉积的顶部。这些第

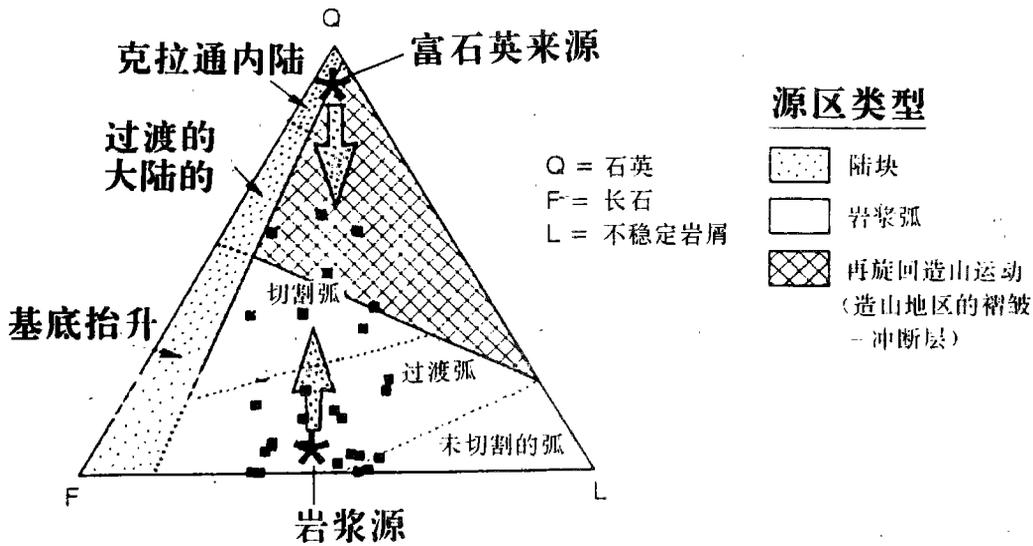


图 12 定量砂岩组分 QFL 图解(分辨区据 Dickinson 等, 1983)。资料来源于使用 Gazzi-Dickinson (Gazzi, 1966)法进行的点计数分析, 每个样品 400—700 个点, 大的成分变化系富石英源与典型的岩浆弧源的沉积物的混合所引起

Fig. 12 QFL-plot for quantitative sandstone compositions (discrimination fields after Dickinson et al., 1983). Data stem from point counting using the Gazzi-Dickinson method (Gazzi, 1966), 400-700 points per sample. The large compositional variation may result from sediment mixing from a typical magmatic arc source with a quartz-rich source

1 阶段的弧前盆地沉积区含较高比例的火山碎屑, 表明俯冲大洋板块已开始重要的弧火山作用。

(2) 弧前盆地充填的中、晚期(晚白垩世, 图 13b), 俯冲继续进行, 但由于来自俯冲大洋板块和大陆的沉积物补给有限, 加积楔仍向上向外较缓慢地生长(例如 Einsele, 1992)。如从水道充填物测得的搬运方向推断的那样(第 4 章 4.2), 弧前盆地仍大体上连续地被充填到外部山脊的脊部。复理石巨层序的沉积中心(图 13b 中 1—4)随着时间的变化而向盆地迁移, 因而也使越来越多的陆相沉积输进海沟。复理石沉积的成分来自火山弧的火山碎屑和来自腹地(特别是西部)的侵蚀的较老沉积物为主。盆地中心的高沉积物负荷导致进一步沉降, 而弧前盆地侧翼则趋于上升。

(3) 弧前盆地的“磨拉石”期—特提斯洋的残留盆地期(古新世—渐新世, 图 13c)。印度陆棚的外部(变薄的陆壳及其沉积盖层)已达到俯冲带。由于大量沉积物从两侧、俯冲板块和北面大陆输入海沟, 加积楔实际上已向外向上生长。同时, 俯冲复合体迅速上升出露, 遭受第一阶段的侵蚀。重力块体流沉积(“野复理石”)证明了这一事实, 即印度陆棚沉积已融合到俯冲复合体中(Burg 等, 1985)。

同样地, 北部岩浆弧(冈底斯带)继续隆升和侵蚀, 而弧前盆地中心则相对沉降。从整体来看, 盆地充填物转变为碟状构造。由于迅速生长的加积楔施加的侧向应力, 其侧翼受到断裂作用的影响。山脊一侧可能受到逆掩断层作用和初期褶皱作用的影响。由于所有这些机制的结果, 弧前盆地发育的海相阶段宣告结束, 复理石巨层序 4 的主要部分及较老的巨层序

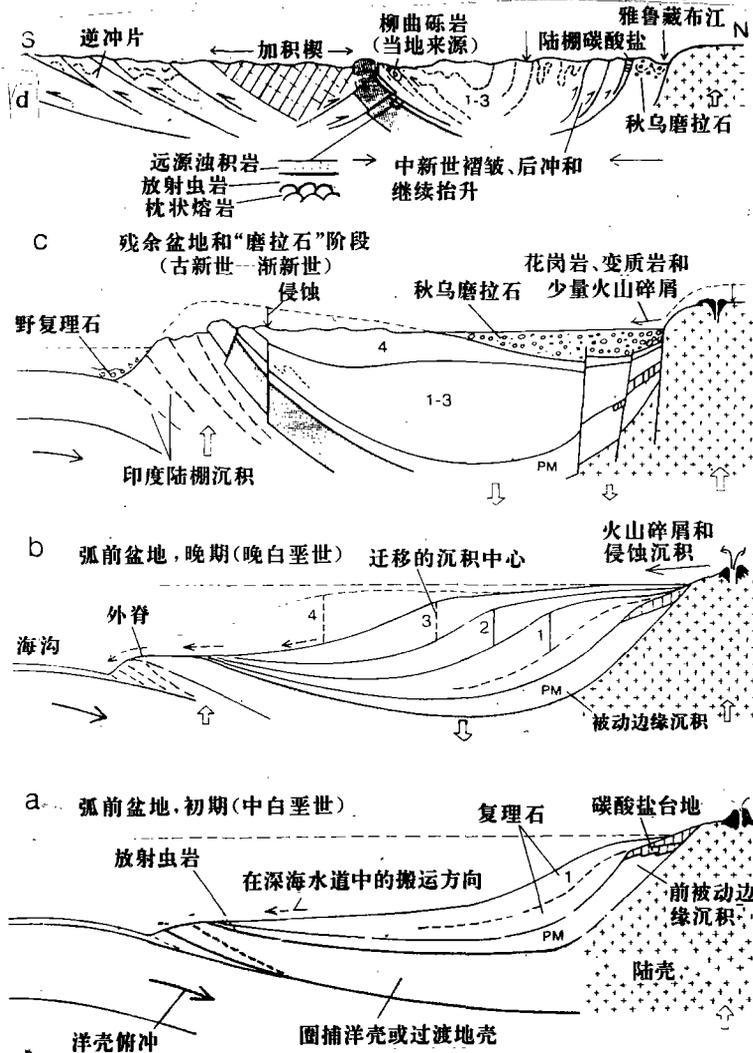


图 13 a 到 d. 日喀则弧前盆地在假设剖面中的演化: a. 俯冲开始和形成残留盆地的洋壳或过渡地壳圈捕之后的初始阶段; b. 部分被(三级?)海平面变化控制的复理石层序(1—3 和 4)的退积和加积(参见图 6)。注意该盆地继续充填到加积楔的脊部; c. 与盆地中心的相对沉降相反, 弧区和加积楔持续的强烈抬升, 使盆地侧翼露出海平面之上, 并导致引张断层和一些逆掩断层的形成。至少盆地的部分地区被来自附近源区的大陆沉积所充填; d. 中新世变形, 后冲断层作用, 进一步隆起和主要表现为侵蚀之后现在的情况

Fig. 13 a through d, Evolution of the Xigaze forearc basin in hypothetical cross-section. a, Initial stage after onset of subduction and trapping of oceanic or intermediate crust creating a residual basin. b, Out-and upbuilding of flysch sequences (1 to 3 and 4), partially controlled by (third order?) sea level changes (cf. Fig. 6). Note that the basin was continually filled up to the ridge crest of the accretionary wedge. c, Continued strong uplift of both the arc region and the accretionary wedge, in contrast to relative subsidence of the basin center, leads to emergence above sea level and extensional faults and some overthrusting at the basin flanks. At least parts of the basin are filled by continental deposits from nearby sources. d, Present situation after Miocene deformation, backthrusting, further uplift and substantial erosion

的远端部分遭到侵蚀,特别是在山脊一侧。

在盆地的向陆部分,有一些或完全没有间断,海相沉积作用被河流的、更局部地被称之为该区秋鸟组的湖沼沉积所取代,砾岩的成分反映了北面岩浆弧侵蚀过程。现在火山碎屑岩中以花岗岩和变质岩为主。但也有沉积物源的组分(第5章)。我们猜测,这些大陆沉积在盆地中的延伸,比根据岩浆弧(冈底斯带和复理石带)之间一小块地带内现在产出的位置推断的更向南(图13d)。稍后(渐新世?),沿出露的蛇绿岩和放射虫岩向陆一侧的狭窄凹陷被大量来自这些岩石和被侵蚀复理石的当地碎屑所充填。这种“柳曲磨拉石”部分被保存下来(图13d)。

(4)喜马拉雅造山运动(中第三纪及其后,未示于图13)期间的隆起和变形。叠置于拉萨地块及其冈底斯带之下的大陆壳的碰撞和持续不断的俯冲,导致研究区发生强烈的构造变形和进一步大幅度隆起,这已为构造分析、加积楔和弧前盆地内岩石的成岩作用或变质程度以及新形成的矿物放射性年龄测定所证明(Ratschbacher等,1992)。我们估计,在缝合带3km以上的岩石盖层已被侵蚀。向南的上冲是后来向北后冲的叠加,但东西向的张性和走滑运动也起着作用。已有几位作者对这些作用进行过描述(例如 Armijo 等,1986,1989),因此本文不作进一步讨论。

(5)较老的岩石变形和侵蚀剥露的现代阶段。图13d表示高度简化和概括的研究区出露的弧前盆地沉积现在的情况。盆地的宽度因褶皱和后冲作用缩到其原始大小的约35%。(第3章3.3)。被保存的复理石沉积形成一个很大的复向斜,特别是其南侧,在很大程度上因侵蚀而迁移,这一构造的详细情况已在第三章(3.3)中叙述过。磨拉石型秋鸟组与日喀则复理石同时并以同样的方式发生构造变形,现在受到雅鲁藏布江的侵蚀。部分稍年青的柳曲磨拉石保存于蛇绿岩带以北一个狭长的地槽内,其上直接覆盖下白垩统放射虫岩和远源浊积岩(盆地平原相)。

7 讨论和结论

7.1 盆地充填

尽管附近的冈底斯带的火山弧是有效的沉积物源,但日喀则弧前盆地仍较缓慢地被沉积物充填。结果,具海底扇体系的深海沉积环境长期持续达30Ma之久,除盆地南部有一些水下侵蚀特征外,盆地充填的浅海阶段在我们的研究区未见保存,然而往西约400km,在弧前盆地层序内发现的早第三纪到早始新世浅海沉积,证明海相阶段仅在盆地充填的磨拉石型河流阶段开始之前不久便结束了,大陆沉积作用可能局限于构成山间凹陷的弧前盆地的北面向陆部分。在古新世到早始新世大陆碰撞之后的第一阶段,这一凹陷经历了比南面的俯冲复合体更缓慢的隆升,后者已置于印度陆壳板块之下。

这一发展可与晚阿尔布到早始新世拉达克(印度、印度河盆地)的弧前盆地沉积作用很好的对比(Garzanti和van Haver,1988)。在该盆地南部,塔尔组的深海扇体系产生了两个巨层序和总的向上变浅趋势,而盆地北侧则被大陆碎屑沉积充填,陆源沉积的输入量在该区明显高于藏南。

7.2 与“正常”弧前盆地层序的差异

本文描述的整个层序都不能与第二章(2.3)中概述的弧前盆地的“正常”沉积层序完全对比。造成这一明显差异的主要原因是我们的巨层序反映的是盆地充填的向海进积生长,而

不是盆地内某一地点的垂向剖面,而且“正常层序”底部的深海沉积在我们的实例中仅出露于盆地远侧(放射虫岩)。弧前盆地演化后期的浅海期在研究区内缺失。在盆地充填物南部,仅为巨层序3的粗粒水道沉积,表明陆棚边缘已向盆地推进很远(参见图13b)。

7.3 火山碎屑事件和向上变细旋回

在日喀则盆地的深海扇沉积物中见到的小型向上变细旋回的优势与 Mutti (1985)、Mutti 和 Normark (1987) 和 Mutti 等 (1988) 提出的扇模式不同,这些作者将向上变粗的“补偿旋回”描述为扇舌状体特有的特征。但在某些现代深海扇中,向上变粗、变细类型的层序显然以大致相等的数目出现(例如 Stow 等, 1985)。

如在第四章(4.3)中所述,我们认为幕式火山活动系小型向上变细旋回占优势的主要原因之一。留下广布的火山灰层和其它火山碎屑沉积的“火山碎屑事件”的出现(Schmincke 和 Bagaard, 1991)贯穿许多地区的地质历史。而特定的火山碎屑事件仅持续数月或数年,这类事件的再现时间间隔为10—100ka,但是目前还不知它们(如米兰科维奇频率确定的)某些周期。

例如,日本 Boso 半岛中更新世弧前盆地充填物中,放射性测定的火山灰层产出的时间间隔为10—20ka (Ito, 1992),显然比解释我们在日喀则盆地的观察结果所需的稍高(约50ka, 第四章4.3);另一方面,所测定的 Boso 实例中斜坡进积位置平均沉积速率远远超过假定的日喀则复理石的沉积速率(2500m/Ma 左右与200m/Ma 左右)。

危地马拉晚更新世非海相火山碎屑弧前盆地沉积也呈现一定程度的旋回性(Vessell 和 Davies, 1981)。在这里,一个旋回呈现出下列特征:具曲流河深切和三角洲改造的漫长宁静期,接着为具尘雨火山灰和火山碎屑流的短暂喷发期。然后冲积扇形成和演变为将大量火山碎屑搬至沿岸进积三角洲的瓣状河流。

后一个实例证明最初沉积于陆地的火山碎屑迟迟才到达海洋,在沿海岸储积之后,其可能又因重力块体运动而幕式地带进深水。转变成浊流的第一次大规模块体运动之后,可能有一些小规模块体运动,于是导致形成向上变细层序,这类层序是否反映了如 Ito (1991) 描述的 Boso 半岛中更新世斜坡沉积那样的高频率海平面变化尚有争议。

尽管这些实例并不完全适合日喀则盆地的情况,但我们认为,除了如第四章(4.3)中描述的深海水道迁移和水道转换之外,不规则出现的火山碎屑事件可能是解释我们部分观察结果的机制。

7.4 与加利福尼亚州大峡谷弧前盆地的比较

在加利福尼亚州上侏多统一白垩纪一早第三纪大峡谷弧前盆地中,弧-沟体系的3个主要组分间即(弗朗西斯)俯冲复合体、(大峡谷)弧前盆地和(内华达山脉)岩浆弧之间的原始关系比大多数其它古代实例保存得更好(Ingersoll, 1982; Einsele 的简要总结, 1992)。这是由沿 San Andreas 断层发生的晚第三纪的走滑运动造成弧-沟体系的进一步挤压,并将会聚边缘变成转换边缘。

大峡谷盆地如同日喀则盆地一样是一个演化成复合盆地的残留弧前盆地,盆地西部向海部分首先剧烈下沉,然后由于生长俯冲复合体之故而隆升(Moxon 和 Graham, 1987)。相反,盆地东部向陆部分却显示出与热收缩和内华达山脉岩浆弧密切有关的沉降。

该弧前盆地的沉积作用在上侏罗统和下白垩统含泥质斜坡沉积和砾岩水道充填物中开始。与日喀则盆地相反,砂和较粗粒组分不但来源于岩浆弧及其直接腹地,而且也来源于原

来碰撞带(缝合带)的下伏蛇绿岩,变质岩和深成岩。

此外,很大一部分缝合带源物质都来自远处的北面来源(克拉马思山脉),而且砂岩的岩相仍特别反映出岩浆弧和缝合带的发育和侵蚀。火山碎屑的比例沿剖面往上逐渐减少,而石英的含量则逐渐增加。后来,长石砂和砂岩指出这一事实,即岩浆弧和岩基根遭受侵蚀,在代表最后的弧前盆地充填作用的藏南始新统一渐新世秋鸟组中也可推断出类似的情况。

在时间的长河中,大峡谷弧前地区从一个具深潜山脊的狭窄阶状或堰塞盆地发展为高大宽广的外部脊后的一个宽阔陆棚盆地。与弗朗西斯俯冲复合体向西生长和加积的同时,弧前盆地扩大和充填,砂被海底斜坡水道分散和沉积于大型扇体系内。可是内华达山脉岩浆弧却向东迁移,而失去其作为沉积物源的主要作用,这是我们在日喀则地区未见到的—种情况。

大峡谷盆地西部的沉积厚度总计约为 13km(在日喀则盆地,被保存的沉积物为 6—8km);在东部则少得多。晚白垩世时盆地中心的沉积速率约为 280m/Ma,如日喀则盆地中估计的一样,到白垩纪末,大峡谷盆地已达到宽陆棚的形态,使弧源碎屑物质向西迁移并沉积于海沟内。在同一时期,日喀则盆地的情况也相同。在这两个盆地内,早第三纪的沉积主要沉积于浅海和非海相条件,与 San Andreas 断层体系的发育有关的平搓构造造成了大峡谷地区小而深的新第三纪盆地。但弧前盆地的洋壳则几乎未受到这些运动的影响。

同样地,相对保存较好的日喀则弧前盆地形成于高强度的下伏洋壳或过渡地壳。大陆逸出(continental escape),即垂直于主要构造应力的地壳块体的侧向运动,显然并未明显使我们研究区内的弧前盆地变形,喜马拉雅地区中新世的走滑运动和平搓构造主要影响大陆壳地区,即缝合带以南的北喜马拉雅断裂带(例如 Pêcher 等,1991)。

参考文献

- Alliège, C. J., Courtillot, V. & 33 others, 1984. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt. *Nature* 307, 17—22.
- Angevine, C. L., Heller, P. L., Paola, C., 1990. Quantitative basin modeling. Continuing Education Course Note Series, 32, Am. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, 133p, 108 figs.
- Armijo, R., Tapponnier, P. & Han, T., 1989. Late Cenozoic right-lateral strike-slip faulting in southern Tibet. *J. Geophys. Res.* 94: 2787—2838.
- Armijo, R., Tapponnier, P., Mercier, J. L. & Han, T., 1986. Quaternary extension in southern Tibet; field observations and tectonic implications. *J. Geophys. Res.* 91, 803—813.
- Arthur, M. A., Dean, W. E., Schlanger, S. O., 1985. Variations in the global carbon cycle during the Cretaceous related to climate, volcanism, and changes of atmospheric CO₂. In: Sundquist, E. T., Broecker, W. S. (eds.) *The carbon cycle and atmospheric CO₂, natural variations Archean to Present*. Am. Geophys. Union. Geophys. Monogr. 32, pp. 504—530. Washington DC.
- Bassoulet, J. P., Colchen, M., Mascle, G. & Wang, N., 1984. Les ensembles sédimentaires de la zone du Tsangpo (Lhaze. Lhasa. Linzhu). In: *Mission Franco-Chinoise au Tibet, 1980* (edited by Mercier, J. L., Li Guancen). Centre Nat. Rech. Scientif., Paris. 133—153.
- Burg, J. P., 1983. *Carte géologique du Sud de Tibet*. (edited by CNRS. Paris).
- Burg, J. P. & Chen, G. M., 1984. Tectonics and structural zonation of southern Tibet, China. *Nature* 311, 219—223.
- Burg, J. P., Marcoux, J. & Guoming, C., 1985. Wildflysch and exotic blocks along the Yarlung Zangbo suture zone: age and geodynamic significance. *Terra cognita* 5. 125.

- Burg, J. P., Leyreloup, A., Girardeau, J. & Chen, G. M. 1987. Structure and metamorphism of a tectonically thickened continental crust; the Yalu Tsangpo suture zone (Tibet). *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 321: 67—86.
- Burg, J. P., Proust, F., Taponnier, P., Chen, G. M., 1983. Deformation phases and tectonic evolution of the Lhasa block. *Ecl. geol. Helv.* 76/3: 643—665.
- Chang, C. 1984. Les caractéristiques tectoniques et l'évolution de la zone dsuture du Yarlung-Zangpo. In: *Mission Franco-Chinoise au Tibet, 1980* (edited by Mercier, J. L., Li, G. C.). Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. 341—349.
- Copeland, P., Harrison, T. M., Kidd, W. S. F., Ronghua, X. & Yuquan, Z., 1987. Rapid early Miocene acceleration of uplift in the Gangdise Belt, Xizang (southern Tibet). and its bearing on accomodation mechanisms of the India-Asia collision. *Earth Planet. Sci. Lett.* 86: 240—252.
- Coulon, C., Maluski, H., Bollinger, C. & Wang, S., 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet, ^{39}Ar - ^{40}Ar dating, petrological characteristics and geodynamical significance. *Earth Planer. Sci. Lett.* 79: 281—302.
- Dewey, J. F., Cande, S. & Pitman, W. C., 1989. Tectonic evolution of the India/Eurasia collision zone. *Eclog. Geol. Helv.* 82: 717—734.
- Dickinson, W. R., 1970. Interpreting detrital modes of greywackes and arkose. *J. Sediment. Petrol.* 40: 695—707.
- Dickinson, W. R., Beard, I. S., Brakenridge, G. R., Erjavek, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindeberg, F. A., & Riberg, P. T., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to their tectonic setting. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 94, 222—235.
- Einsele, G., 1992. *Sedimentary basins; evolution, facies, and sediment budget.* Springer, Berlin Heidelberg New York, 628p.
- Feeley, M. H., Moore, T. C. Jr., Loutit, T. S., Bryant, W. R., 1990. Sequence stratigraphy of Mississippi fan related to oxygen isotope sea level index. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 74, 407—424.
- Garzanti, E. & Van Haver, T., 1988. The Indus clastics; forearc basin sedimentation in the Ladakh Himalaya (India). *Sedimentary Geology* 59: 237—249.
- Gazzi, P., 1966. Le arenarie del flysch sopracretaceo dell Apennino modenese-corretazoni con il flysch di Monghidoro. *Mineralog. et Petrogr. Acta*, 16, 69—97.
- Göpel, Ch., Allègre, C. J. & Rong, H. X., 1984. Lead isotopic study of the Xigaze ophiolite (Tibet); the problem of the relationship between magmatites (gabbros, dolerites lavas) and tectonites (harzburgites). *Earth Planet. Sci. Lett.* 69: 301—310.
- Hay, W. B., 1987. The past and future of scientific ocean drilling. In: Kozlowsky, E. A. (ed.) 27th Int. Geol. Congr., Moscow 1984, General Proc., pp. 227—40.
- Haq, B. U., Hardenbol, J., Vail, P. R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science* 235: 1156—1167.
- Heim, A. & Gansser, A., 1939. Central Himalaya, geological observations of the Swiss expeditions 1936. *Mém. Soc. helv. Sci. nat.* LXXII, 1—245.
- Herm, D., Schröder, R., & Binggao, Z., 1983. Stratigraphic events during Cretaceous time in southern Xizang (Tibet). *Terra cognita* 3, 267.
- Ingersoll, R. V., 1982. Initiation and evolution of the Great Valley forearc basin of northern and central California. U. S. A. In: Leggett, J. K. (ed.) *Trench-forearc geology; modern and ancient active plate margins.* *Geol. Soc. Spec. Publ.* 10: 458—467.
- Ito, M., 1992. High-frequency depositional sequences of the upper part of the Kazusa Group, a middle Pleistocene forearc basin fill in Boso peninsula, Japan. *Sediment. Geol.* 76: 155—175.
- Karig, D. E., Suparka, S., Moore, G. F. & Hehanussa, P. E., 1979. Structure and Cenozoic evolution of the Sunda arc in the central Sumatra region. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 19, 223—237.
- Kolla, V. & Macurda, D. B. Jr., 1988. Sea level changes and timing of turbidity current events in deep-sea fan systems. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Posamentier, H., Van Wagoner, J. Ross, C. A., Kendall, C. G. S. C. (eds.) *Sea-level changes; an integrated approach.* *Soc. Econ. Paleontol. Mineralog. Spec. Publ.* 42, 381—392.
- Loutit, T. S., Hardenbol, J., Vail, P. R., Baum, G. R., 1988. Condensed sections; the key to age determination and cor-

relation of continental margin sequences; In: Sea-level changes—an integrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 42. 183—213.

Marcoux, J. De Wever, A., Nicolas, A., Girardeau, J., Xiao, C., Chang, C., Wang, N., Zao, Y., Bassoulet, J. P. Colchen, M., Mascle, G., 1982. Preliminary report on depositional sediments on top of volcanic member; the Xigaze ophiolite (Yarlung Zangbo Suture Zone, Xizang, China). Suppl. Ofioliti 6. 82.

Moore, D. G., Currau, J. R., Einsele, G., 1982. Salado-Vinorama submarine slide and turbidity current off southeast tip of Baja California. In: Currau, J. R. Moore, D. G. et al., Initial Reports DSDP. Washington (US Govt. Printing Office), p. 1071—1082.

Mutti, E., 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. In: ZUFFA, G. G., (ed.) Provenance of arenites. Reidel, Dordrecht. pp. 65—93.

Mutti, E., Séguret, M., Sgavetti, M., 1988. Sedimentation and deformation in the Tertiary sequences of the Southern Pyrenees. Spec. Publ. Inst. Geology. Univ. Parma. Italy, Field Trip 7, 153pp.

Pecher, A., 1991. The contact between the higher Himalaya crystallines and the Tibetan sedimentary series. Miocene large-scale dextral shearing. Tectonics 10, 587—598.

Pickering, K. T., Hiscott, R. N., Hein, F. J., 1989. Deep marine environments; clastic sedimentation and tectonics. Unwin Hyman, London, 416p.

Ratschbacher, L., Frisch, W., Chen, C. & Pan, G., 1992. Deformation and motion along the southern margin of the Lhasa block (Tibet) prior to and during the India-Asia collision. J. Geodyn.

Ratschbacher, L., Frisch, W., Liu, G. & Chen, C. Kinematics of distributed deformation in S- and W- Tibet during and after the India-Asia collision. Tectonics,

Robaszynski, F., Caron, M., Dupuis, C., Amédéo, F., Gonzales Donoso, J. M., Linares, D., Hardenbol, J., Gartner, S., Calandra, F., Deloffre, R., 1990. A tentative integrated stratigraphy in the Turonian of central Tunisia; Formations, zones and sequential stratigraphy in the Kalaat Senan area. Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine. 14 : 213—384.

Scharer, U., Xu, R. H. & Allègre, C. J., 1984. U-Pb geochronology of Gangdise (Transhimalaya) plutonism in the Lhasa-Xigaze region, Tibet. Earth Planet. Sci. Lett. 69, 311—320.

Schmincke, H.-U., Bogaard, P. van den, 1991. Tephra layers and tephra events. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A. (eds.) Cycles and events in stratigraphy. Springer, Heidelberg New York, pp. 392—429.

Moxon, I. W., Graham, S. A., 1987. History and controls of subsidence in the late Cretaceous-Tertiary Great Valley forearc basin, California. Geology, 15 : 626—629.

Searle, M. P., Pickering, K. T. & Cooper, D. J. W., 1990. Restoration and evolution of the intermontane Indus molasse basin. Ladakh Himalaya, India. Tectonophysics 174. 301—314.

Shackleton, R. M., 1981. Structure of Southern Tibet, report on a traverse from Lhasa to Khatmandu organised by Academia Sinica. J. Struct. Geol. 3, 97—105.

Stow, D. A. V., Cremer, M., Droz, L., Normark, W. R., O'Connell, S., Pickering, K. T., Stelling, C. F., Meyer-Wright, A. A., and DSDP Leg 96 Shipboard Scientists 1985. Mississippi fan sedimentary facies, composition, and texture. In: Bouma, A. H., Normark, W. R., Barnes, N. E. (eds.) Submarine fans and related turbidite systems. Springer, New York Berlin Heidelberg, pp. 259—266.

Tapponnier, P., Mercier, J. I., Proust, F., and 27 others, 1981. The Tibetan side of the India-Eurasia collision. Nature 294 : 405—410.

Vessel, R. K., Davies, D. K., 1981. Nonmarine sedimentation in an active forearc basin Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 31 : 31—45.

Walker, R. G. (1978) Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans; models for exploration for stratigraphic gaps. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 62 : 932—966.

Wan, Z., Li, G., Cao, Y., Gu, Q., Zhou, X., Zhang, S., Wu, Q. & Yuan X., 1982. Tectonics of Yarlung Zangbo suture zone Xizang (Tibet)—Guide to geological excursion. Geol. Soc. Xizang, China 4 : 1—49.

THE XIGAZE FOREARC BASIN (CRETACEOUS, TIBET): SEDIMENTS AND BASIN EVOLUTION

G. Einsele S. Dürr W. Frisch Liu Guanghua H. P. Luterbacher
L. Ratschbacher W. Ricken J. Wendt A. Wetzel
(Geological Institute, University of Tübingen, Germany)

Liu Baojun Yu Guangming Zheng Haixiang
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

ABSTRACT

The evolution of the Xigaze forearc basin in southern Tibet, as investigated in a 120 km segment along the Indus—Yarlung suture zone, south of the Lhasa block and its plutonic rocks (Gangdise belt) commenced in the mid-Cretaceous on top of trapped oceanic or transitional crust. Relics of the former passive margin sediments, especially shallow-water carbonates, are preserved along the northern edge of the strongly deformed (approximately 65 shortening) and partially eroded basin fill.

The preserved forearc flysch sediments reach a thickness of 6 to 8 km and consist to a large degree of volcanoclastic (andesitic to latitic) material shed from the subduction-related volcanic arc (Gangdise belt). Particularly in the west, plutonic and sedimentary rocks from deeper erosion level or more distal sources contribute to the basin fill, apart from reworked intra-basinal components such as shelf carbonates. Five major deep-sea channel systems could be identified, which acted as point sources of more or less constant position. Currents in the channels were always directed southward to the growing accretionary wedge of the subduction zone, thus indicating that the basin was permanently filled up to outer ridge level and therefore gradually shallowing. The forearc flysch may be subdivided into at least three mega-sequences, which begin with wide and relatively deeply cut, coarse-grained channel fills and end with hemipelagic marls (deposited above the CCD) and dark shales. Lateral channel migration, channel lobe switching, but also volcanic pulses generated a predominantly fining-upward high-frequency cyclicity.

Marine sedimentation in the forearc basin terminated in the Maastrichtian or Paleocene. It was replaced by the fluvial deposits of the Eocene-Oligocene Qiuwu Formation (time-equivalent to the Kailas and Indus molasse farther west) rich in coarse gravel derived from the deeply eroded magmatic arc. Because both forearc flysch and molasse-type Qiuwu Formation were deformed simultaneously during the Miocene(?), we assume that the Qiuwu Formation represents the continental continuation of the marine forearc basin filling, such as also observed in the Great Valley forearc basin in California.

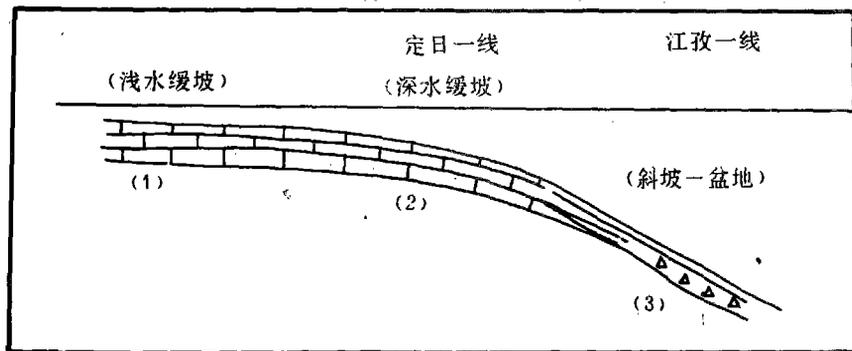


图 6 喜马拉雅被动大陆边缘成熟期早白垩世末端变陡缓坡沉积模式
Fig. 6 Sedimentary model of the Early Cretaceous distally steepened ramps during the maturation stage of the Himalayan passive continental margins

少。

(2)深水缓坡,以泥晶灰岩为主,有孔虫及浮游型化石占绝对优势。

(3)斜坡-盆地,由泥岩、凝灰岩、以及浊流沉积物组成,含浮游生物化石。

晚白垩世到第三系,在雅鲁藏布地区,印度板块北缘与冈底斯可能发生碰撞,印度板块向冈底斯俯冲,海平面相对总体下降。碳酸盐台地成为末端变陡缓坡,其前缘向前陆盆地延伸进入前渊。

由于强烈的后期构造破坏和侵蚀,延伸到前渊区的沉积为浊流和滑塌堆积,其中夹有深水沉积灰岩岩块。这个区域总体上碳酸盐台地沉积状态不明确。

在远离前陆盆地造山带另一侧,晚白垩世为潮坪和浅滩,并旋回性地向上变深。第三纪早期为浅水缓坡和牡蛎丘(余光明,1986,1986)组合。以后碳酸盐台地迅速抬升暴露而消亡。

(上接 30 页)

Wang, S. E. 1983. The age of the Qiuwu coal-bearing strata in Xizang (Tibet), China. In, Colloque Franco-Chinois sur la géologie de l'Himalaya (abstracts) Montpellier.

Weimer, P., 1990. Sequence stratigraphy, facies geometries, and depositional history of the Mississippi fan. Gulf of Mexico. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 74: 425-453.

Willems, H., 1992. The Maastrichtian and Paleocene sedimentary evolution in the Tethyan Himalaya Zone of South Tibet. In: 7th Himalaya-Karakoram-Tibet Workshop. Department of Earth Sciences, Oxford University, England, 6-8. 04. 1992, 98-99.

Wu, H. R., Wang, D. G., Wang, L. C., 1977. The Cretaceous of Lhazé. Jiangze district, southern Xizang. Scientia geol. Sinica 3: 250-262.

Xiao Xuchang, Li Tindong, Li Guangcen. Chang Chengfa, Yuan Xuecheng. 1988. Tectonic evolution of the Lithosphere of the Himalayas. general principle. Geol. Memoirs. Series 5. No. 7. Chin. Acad. Geol. Sci., Ministry of Geology and Mineral Resources. Geol. Publ. House, Beijing, 236pp.

Yu Guangming & Wang Chengshan, 1990. Sedimentary Geology of the Xizang (Tibet) Tethys.

Zhang, R. Z., and many others. 1980. A scientific guide book to South Xizang (Tibet). June 2-June 14. Academica Sinica. Beijing.