第49卷 第5期
2003年9月
地 质 论 评 GEOLOGICAL REVIEW
Vol. 49 No. 5
Sept. 2003
http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造

——一类新的沉积构造的归类、命名和构造意义探讨

吕洪波[1)] 章雨旭[2)] 夏邦栋[3)] 方 中[3)] 周伟明[3)] 彭 阳[2)] 吴智平[1)] 李 伟[1)]

1) 石油大学(华东)地球资源与信息学院，山东东营，257062

2) 中国地质科学院地质研究所，北京，100037

3) 南京大学地球科学系，210093

内容提要 南盘江盆地在中三叠世时接受了厚达5000 m的复理石沉积，而该复理石中保存有丰富的原生沉积构造。笔者等在这些沉积构造中识别并命名了一类新的构造——同沉积挤压构造，并用简单的实验定性地模拟了该类构造的形成机理。这些同沉积挤压构造包括：挤压皱纹、挤压岩枕、挤压裂隙和挤压皱脊，发育于复理石砂岩层的底面或泥岩层的顶面，是相关砂层或泥层沉积后到成岩前复理石盆地遭受挤压收缩的动态记录。根据这些同沉积挤压构造的方向初步判断，南盘江盆地在中三叠世接受复理石沉积的同时受到了SSW—NNE方向的挤压作用，盆地处于挤压收缩阶段。这些构造为复理石盆地的动态演化研究提供了新的证据。

关键词 南盘江盆地 中三叠统 复理石 同沉积挤压构造

南盘江晚古生代—三叠纪盆地位于滇、黔、桂交界地带，处于扬子板块西南缘、康滇古陆东部、南印支板块之北的结合部位，大地构造位置特殊，早已引起众多研究者的注意。该盆地在中三叠世充填了厚达5000 m的复理石沉积，记录了盆地演化和周围古板块相互作用的重要信息。从20世纪70年代起，国内有很多学者先后对该复理石进行了沉积学和大地构造学方面的研究，探讨了该复理石的成因，并从不同的角度讨论了盆地性质(洪庆玉等，1979；周经才等，1984；侯方浩等，1984；苟汉成，1985；贺自爱，1986；刘宝珺等，1987；吴应林等，1990；陈洪德等，1990；张帆等，1990；夏邦栋等，1992，1993；秦建华等，1989，1996；周伟明等，1996；梅冥相等，2002)。

笔者等曾于1991年对南盘江盆地的复理石进行了野外考察，发现很多特殊的沉积构造。这些构造至今没有得到充分的认识和研究，在国内外相关文献或专著中也没有见到类似的沉积构造报道和命名。从沉积物在沉积盆地中沉积到成岩这个特殊的阶段似乎被许多地质学家忽略了，人们关注成岩以后岩层的构造变形，好像这些“疲软”的沉积层对构造事件没有反应。事实上这些非常软弱的沉积层在应力场中更易遭受变形，关键是将这些构造从成岩后的变形构造中区分出来。随着研究的不断深入，笔者等认为有必要对该类构造进行详细的探讨，因为恰恰是这类构造记录了从沉积物沉积到成岩之间复理石盆地中频繁发生的构造挤压事件。笔者等在此对有关的构造进行初步的分类和命名，并根据简单的模拟实验，定性地分析这类挤压构造的形成机理，进而探讨其构造意义，以求与同行专家进一步讨论和交流。

1 沉积构造的归类和命名原则

广义上讲，碎屑岩中的沉积构造都是同沉积的(syn-sedimentary)，都发育于沉积作用开始到成岩作用之前这个时间段内(某些结核可能例外)，否则就不属于原生沉积构造了。根据国际上最新的沉积构造分类方案，碎屑岩中的沉积构造可以根据其形成的时间与相关沉积层堆积过程的先后次序分为沉积前、沉积中和沉积后三类不同阶段的构造(Selley，2000)：

沉积前构造(pre-depositional structures)：是指主要沉积事件(砂层)堆积之前水流(含浊流和滑塌

注：本文为石油大学人才引进基金项目(编号 Y020109)的成果。
收稿日期：2003-03-18；改回日期：2003-07-16；责任编辑：王思恩。

作者简介：吕洪波，男，1957年生。1982年和1985年于南京大学地质学系获学士和硕士学位。曾于南京大学地球科学系和苏丹喀土穆大学地质系任助教、副教授和教授，1998年博士毕业于南京大学地球科学系。现为石油大学(华东)地球资源与信息学院教授。长期从事沉积与大地构造学研究和普通地质学等基础地质教学工作。通讯地址：257062，山东东营北二路271号，石油大学地球资源与信息学院；Email：hongbolu@hdpu.edu.cn。

物等)对水底先存的沉积物进行冲刷而留下的痕迹,而这些痕迹在砂层堆积后铸模得以保存。所有冲刷构造(scouring structures)都属于此类构造,如:保存于泥岩顶面的冲槽(flute)、刻痕(groove),相应的构造保存于砂岩底面则叫槽模(flute casts)、沟模(groove casts)等。

沉积中构造(syn-depositional structures):是指形成于沉积层堆积过程之中的沉积构造。如:前积层(fore-set bedding)或前积纹(fore-set lamination)。笔者等在此处用"沉积中"一词,主要是与广义的"同沉积(syn-sedimentary)"区分开来。

沉积后构造(post-depositional structures):是指主要事件层堆积之后所形成的沉积构造。如砂脉(sand dykes)和荷重模(load casts)等。

当然,有些沉积构造按照时间划分还会有异议。如:泥裂,对于裂开的泥岩层来说,是沉积后构造,而对于其上覆砂岩层而言,又属于沉积前构造。笔者等在此只是借用比较流行的分类方案对南盘江盆地中三叠统复理石中的挤压构造进行归类。

本文所介绍的沉积构造是在下伏的泥质层和上覆的砂质层均沉积之后才形成的,而且发育于主要成岩阶段之前,按照上述原则毫无疑问应归类为沉积后构造。考虑到国内学者对沉积构造的命名原则有所不同,使用"沉积后"一词容易与"后沉积(post-sedimentary)"混淆,而"后沉积"有时往往又难与成岩阶段清楚地分开,因此笔者等暂时将这类构造归入广义的同沉积构造。由于这类沉积构造都是在盆地的挤压作用下形成的,因而依据成因分类归入挤压构造。为同时体现其形成时间和成因,笔者等将其称为"同沉积挤压构造(syn-sedimentary compression structures)"。

2 同沉积挤压构造描述和分析

依据上面所介绍的归类和命名原则,考虑到所发现的沉积构造之外观特征,笔者等将这些构造分别命名为挤压皱纹(compression wrinkle)、挤压岩枕(compression sand pillow)、挤压皱脊(compression ridge)和挤压裂隙(compression fractures)。下面具体介绍各种沉积构造:

2.1 挤压皱纹(Compression wrinkle)

是发育于砂岩底面和泥岩顶面的微细皱纹。由一系列并行分布的皱纹组成,每条皱纹宽大约 1～3 mm,起伏高度一般不超过 1 mm,在相对平坦的地方平行分布,在砂岩底面向下突出的地方稍微变宽,而在砂岩底面向上凹陷处则变窄并会合,看上去好像人眼角的鱼尾纹。这些特征在砂岩底面因保存完好而清楚地显现出来(图版 Ⅰ-1);而在泥质层顶面由于容易风化而难以保存,故很难见到清晰的挤压皱纹,然而仍然有泥质层顶面显示出皱纹的实例(图版 Ⅰ-3)。从泥岩顶面和砂岩底面可以看出皱纹起伏方向的一致性:泥岩顶面狭窄而尖锐的突脊被相对宽阔而平缓的凹槽所分开,而砂岩底面狭窄而尖锐的凹槽被相对宽缓的突起所隔开;砂岩底面的突起对应于泥岩顶面的凹槽,而砂岩底面的凹槽则对应于泥岩顶面的突起。换句话说:狭窄的尖锐部分是指向砂层内部的,而宽缓的突起部分是指向下伏的泥岩的。这说明挤压皱纹主要是由上覆砂层受力变形的结果,而下伏泥层则是相对被动地与砂层一起变形而已。

上述特点说明皱纹是在泥质层表面被砂质层覆盖之后形成的,而不是泥质水底受到浊流的改造所形成的冲槽或刻痕被砂体后来铸模的结果,因此很容易与泥岩顶面的各种冲刷构造区分开来。这些皱纹显然也不是成岩以后构造变形的结果,因为固结的砂岩层在受到外力的作用后不可能在表面发育如此密集的皱纹而内部却"安然无恙"地不保留任何变形痕迹,在泥岩层里也没有见到与其表面变形特征相配套的其他变形构造。显然,不论是砂层还是泥层,除了表面由于介质的不同而留下明显的变形构造(皱纹)外,沉积层内部通过质点的自由调整而变形,但却不留下任何变形的标志,这在成岩之后是不可能的。

为了检验上述分析并对挤压皱纹的形成机理进行进一步的探讨,笔者等用面团做了一个简单的定性实验,模拟砂层受到挤压作用发生的类似变形。发育同沉积挤压构造的岩层是南盘江复理石中的浊积主体,都不属于盆地最边缘的浅滩或潮汐沉积,因此必然发生在相对深的水底,而且在沉积物沉积"足够长"的时间后才受到挤压作用,而笔者等只能在地表环境下做模拟实验,准备和持续的时间也无法与实际的情况相比。考虑到在地表环境下没有盆地水底围压大,用泥巴做实验会因地表压力低而造成塑性不足,而选择面团可以增加材料的可塑性和可操作性,边界条件足以达到软沉积物受挤压变形的定性模拟要求,因此笔者等选择用面团做该实验,事实上获得较为满意的结果。具体方法是:将白面粉和成做馒头用的生面团(加水不能过多),不发酵,放置一个小时待内部均匀后开始试验。将面团揉成厚 3～5

cm 的板状块体,放于案板上,在面团的两侧用双手或两块木板同时用力沿水平方向挤压,出现下列情况:

(1) 缓慢挤压时,面团首先在两侧产生变形增厚但基本不形成皱纹,随着距受力边界距离的加大,变形急骤减弱,很难向面团中央传递。

(2) 改为快速挤压,作用力的传递产生"远距离"效应,受力边界和面团中央几乎同时产生变形(尽管靠近主动边界的地方变形强度相对大些)。首先形成与挤压方向垂直的细微的挤压皱纹,随着作用力的加强,继而形成大的枕状隆起(相当于复理石中的挤压岩枕)(图版 Ⅰ-2),其形态与复理石中的挤压皱纹和挤压岩枕(图版 Ⅰ-1)几乎完全一样。这种变形在面团的上、下表面具有相似的特征,而笔者等只拍摄了上表面的照片。

本实验给笔者等一个重要的启示:受力块体边缘的作用力若要传递到块体内部需要两个条件,要么块体的刚性足够大,要么作用力施加时足够快。

与面团实验有所不同的是,砂质层的上部通过粒序层理而逐渐过渡为粉砂质泥或泥质层,多数没有明显的上部界限,因此挤压皱纹只发现于砂岩层的底面。尽管发育挤压皱纹的砂层之底部边界是与泥质层顶面相接触的突变界面,但已经不是一个与空气接触的相对自由的空间界面,而是时刻受到砂层本身(乃至其上多层沉积物)和其上水体静压力作用的受限界面,因此在受到水平挤压作用的同时还受到较大的垂直向下的重力作用。砂层内部的颗粒之间因为没有固结而"自由"移动以调整所受到的外力挤压作用,只有底部介质边界因无法与处于半固结状态下泥质层的粘土质点自由调整位置而产生挤压皱纹。所以,在砂岩底面所见到的挤压皱纹总是一些向上的尖锐凹进和向下的相对和缓的突出;而泥岩顶面是受砂岩底面的变形影响所致,二者形成类似铸模的关系,为向上的尖锐突起和向下相对和缓的凹陷相间分布(图版 Ⅰ-3)。

需要指出的是,挤压皱纹的横剖面在砂岩底面表现为一个个细小的突起,好像微型的荷重模,而在泥岩的顶面则表现为一个个微型的泥火焰。当水平挤压进一步增强,细小的挤压皱纹难以调整这种新的压力变化,更大的"荷重模"和泥火焰就形成了,这就是本文后面要介绍的挤压岩枕。可以用简单的剖面图来演示其形成过程(图 1),而图版 Ⅰ-1 则展示了挤压皱纹与挤压岩枕同时发育的典型实例(图版 Ⅰ-1),根据面团实验的结果可以判定,挤压岩枕形成于挤压皱纹之后,砂岩底面两种构造同时发育则是挤压作用连续加强或后一次挤压在前一次挤压的基础上继续作用的记录。而且,这种水平挤压作用是瞬时而快速的,是幕式发生的强烈的构造挤压事件而不是缓慢调整的变形作用,否则挤压皱纹就不可能形成了。

2.2　挤压岩枕 (Compression sand pillow)

由砂岩底面一系列平行分布的枕状突起所组成,其形成机理与上面介绍的挤压皱纹的形成过程类似,只是规模更大而已,此处不再赘述。值得提及的是,有的挤压岩枕是在挤压皱纹形成后的基础上继续受到水平挤压而发育的(图版 Ⅰ-1),可以用复式褶皱来类比;有的却没有先存的挤压皱纹(图版 Ⅰ-5、Ⅱ-3、Ⅱ-4),可以用简单褶皱来类比。与挤压皱纹的形成条件比较而言,挤压岩枕形成时,水平挤压作用相对要强,而上覆层砂体的厚度相对要大,即:挤压力大而上覆砂体厚,挤压岩枕的规模就大。而挤压岩枕的长短可能反映了当时不同方向水平挤压力的相对强弱:长轴的挤压岩枕反映出单一方向的水平挤压力,而短轴挤压岩枕则是同时受到两个不同方向的水平挤压作用的结果,只是挤压力的大小有所差异而已。

笔者等用面团实验简单地模拟了挤压皱纹不发育的情况。将面团密封后放在冰箱中冷藏几个小时,取出后立即做挤压实验,由于面团相对变硬了,在挤压作用下就直接形成大的突起而不形成细小的挤压皱纹(图版 Ⅰ-6)。这说明单独发育挤压岩枕的砂层比发育挤压皱纹的砂层可塑性降低而刚性增强了。可以肯定的是,他们都是水平瞬时挤压事件的真实记录,延长方向与水平挤压力的方向相垂直。

需要指出的是,挤压岩枕在横剖面上看确实与荷重模相似。一方面可以用其明显的定向性与典型的荷重模区分开来,另一方面传统的荷重模的成因机理有可能值得重新探讨。

挤压岩枕从远处看容易与波痕混淆(如:图版 Ⅰ-5),只要进行仔细观察就能与波痕区别开来。① 挤压岩枕只发育于砂岩的底面,而波痕却发育于砂岩顶面。② 波痕的波脊可以是尖顶的或相对圆顶的,但波痕的波谷一定是圆而相对平缓的;而挤压岩枕恰恰是向外突出的圆枕被向层内陷进的尖"谷"隔开。如果野外看见砂岩层表面圆的"波脊"被狭窄而向层内深陷的"波谷"而隔开,就要怀疑是挤压岩枕而不是波痕,且其表面不是顶面而是砂岩底面了。

还要注意的是,将挤压岩枕与成岩以后岩层的

构造变形区分开来。挤压岩枕只发育于砂岩层的底面，砂岩层内和顶面没有相关的构造发育；而成岩后的构造变形往往涉及许多相邻岩层，如造山带内因强烈挤压而造成薄层砂岩上、下表面的“假波痕”现象，其内部往往有某些与之配套劈理发育而且具有等距性。

2.3 挤压皱脊(Compression ridge)

为泥岩顶面弯曲分布而向上隆起的泥脊，发育于薄泥质层的顶面，而泥质层下面是几十厘米厚的粒序砂岩。野外露头上泥质层被剥蚀掉后，可见其下面的砂质层顶面也有相似的构造，但内部或砂岩层的底面却不见类似的形态。该构造由于泥质层的上覆砂岩层被剥蚀掉而显露出来，成因上与上面所介绍的挤压岩枕的形成机理类似。所不同的是，其突起的“脊”虽然狭窄但却相对“圆滑”(图版Ⅱ-1)，可见该构造形成时，上覆砂层可能并未沉积，甚至在该构造形成之后很长一段时间都没有大规模的沉积，才使该构造不受破坏而得以保存。即：泥质层表面当时可能并没被砂层覆盖，而是处于“安静”的水底，否则其向上的突起会因为砂层的向下挤压而变得非常尖锐。还要注意与波痕的区别：挤压皱脊发育于泥质层表面，而波痕却只发育于砂质层或粉砂层的表面；挤压皱脊的脊弯曲而狭窄，而波痕的波脊由于受到水体中沉积物休止角的限制不可能太狭窄。挤压皱脊的大致延长方向与所受到的水平挤压方向垂直。

笔者等同样用面团实验简单地模拟了挤压皱脊的形成。用相对厚的面团无法做成类似的皱脊，只有将面团擀薄，而且下面撒上干面粉以减少案板的摩擦力，在快速挤压下，才可以形成类似的突脊(图版Ⅱ-2)。需要指出的是，笔者等施加的只是一个方向的挤压作用，因此形成明显平行的突脊(图版Ⅱ-2)，而野外实例的突脊却是弯曲的，可见泥质层同时受到两个方向的挤压收缩作用，只是以一个方向为主(照片中箭头方向)罢了(图版Ⅱ-1)。从面团实验中还得到启示，这层厚 5～10 cm 的薄泥质层下面必然有一层“活动”的相对自由的物质层来减缓摩擦力，才使得泥质层形成挤压皱脊。野外观测可见薄的泥质层正好盖在下伏的厚层粒序砂岩层的上面，而砂岩层内部没有见到变形留下的痕迹，看来砂层正是充当了“活动”的垫子。当时笔者等没有观察到砂层底面是否发育了某种变形构造，相信可能会存在某种变形构造。

2.4 挤压裂隙 (Compression fracture)

为发育于泥质层中的一系列相互平行而断断续续分布的垂直裂隙，具有等距性，其裂隙延伸方向与当时所受到的水平挤压方向平行。本文的实例发现于贵州罗甸中三叠统上段边阳组某一砂泥粒序层理之上部泥质段，随着向下部砂质段的过渡而裂隙逐渐消失。初看在泥质岩顶面好像波脊稍微弯曲的浪成小波痕，而实际上是裂隙中后期充填的铁质物比周围泥质抗风化能力强而形成了狭窄的突脊。它们仅仅发育于粒序层理上部的泥质段，这与后期的节理不同。更为有趣的是，该裂隙与挤压皱纹共存，而且延长方向相互垂直，这也揭示了二者之间的成因联系(图版Ⅰ-3)。该例中挤压皱纹没有发育为挤压岩枕(在泥质段表面应该表现为泥火焰)，而是发育了与挤压皱纹相互垂直的裂隙。隐约可见断断续续相间分布的裂隙将挤压皱纹断开，但又不彻底，由此可以判断，挤压裂隙是在挤压皱脊形成之后发育的。尽管裂隙发育时泥质层已经不完全是塑性状态，但裂隙没有延伸到砂质段则说明当时砂质段还没有成岩，依此可以与后来的构造变形区分开来。这种裂隙发育的规模再大些，下部砂质段的砂体就会贯穿泥质段中的裂隙而形成砂脉，而砂脉是震积岩的典型构造之一(乔秀夫等，1994；乔秀夫，1996)，笔者等在浙西上奥陶统复理石中就发现过砂脉贯穿泥质层的实例。可见这是一种短暂而迅速的挤压事件，其强度不足以使泥质层破裂出大的裂隙而让砂层中的砂贯穿出来，但其挤压的方向却和前面形成挤压皱纹的挤压作用方向一致，说明这种挤压事件是频繁发生的重复事件，而挤压方向却是相对稳定的。这恰恰反映了复理石盆地当时受到了来自盆地两侧的水平挤压收缩作用。

笔者等也试图用面团实验模拟该构造。先将面团暴露于空气中几个小时，待表面形成一层相对干燥的薄膜后施加快速的水平挤压，便形成宏观的隆起和与之相垂直的裂隙，但用力大一些就形成比较宽的裂隙了(图版Ⅰ-4)。由实验得到的启示是：挤压皱纹形成时泥质层虽然已经开始固结，但其塑性非常大，而挤压裂隙形成时泥质层已经比以前固结得多，因此其脆性增大了许多，所以先后两次挤压事件尽管方向一致，但时间间隔却足够大了(图版Ⅰ-3)。

挤压裂隙虽然也可看作同沉积拉张构造，但笔者等认为仍是挤压作用造成的，故归为挤压构造比较合理。

2.5 形成机制

在水平挤压力的作用下能否形成挤压皱纹或挤压岩枕，甚至挤压裂隙，取决于当时沉积层的厚度、

组成、受力大小、时间等多种因素的制约,甚至水体深浅所产生的静压力的大小都会有影响,条件变化则形成的变形构造也就不同了。可见,这些挤压构造的形成机理要比笔者等所介绍的模式复杂得多,这可能正是只有"极少数"层面发育这种构造的原因。尽管如此,我们仍然能从这些复杂的因素中提取到某些有用的信息,即:这些构造都是在固结成岩阶段之前沉积层受到水平挤压的条件下形成的,都属于同沉积挤压构造。这些构造不仅反映了盆地在接受大量沉积物的同时受到不同强度的水平挤压,而且还记录了这种挤压的方向。与挤压皱纹和挤压岩枕垂直的水平方向、与挤压皱脊延伸方向垂直的水平方向以及与挤压裂隙平行的水平方向均代表盆地当时的水平挤压方向。

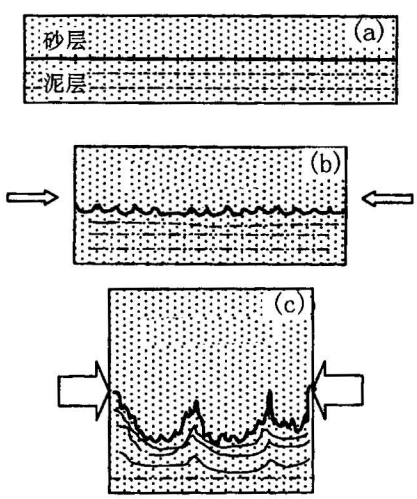


图 1　挤压皱纹与挤压岩枕形成过程剖面示意图

Fig. 1　A sketch diagram showing the formation of compression wrinkles and compression sand pillows

2.6　与滑塌变形及后沉积构造的区分

据笔者等观察,滑塌变形或浊流搬运过程中造成的变形虽然也有定向性,但这种定向是局部的和不稳定的,有时甚至是紊乱的,而同沉积挤压构造的定向性却相当稳定,且构造的顺层分布也相对稳定,依此可将二者区分开来。

同沉积挤压构造与成岩以后的构造变形的区别主要表现在:构造变形影响的是多层岩石,而同沉积挤压构造仅仅局限在某一层或二层;构造变形往往在层内保留某些相关的变形痕迹,而同沉积挤压构造则主要保留于层面,内部因当时尚未固结而不见变形的踪影,尽管层内的变形调整要比后期构造变形的层内变动要大。

此外,较流行的关于碎屑岩沉积构造的最新书籍在介绍流动变形构造时也未见与本文的同沉积挤压构造类似的构造报道(Selley, 2000),这也从侧面反映出笔者等所发现的同沉积挤压构造的特殊性。

3　构造意义探讨

上述对同沉积挤压构造的分析表明:挤压裂隙与挤压皱纹等是盆地当时所受到的动态水平挤压作用造成的,挤压的形式可能主要通过频繁发生的构造挤压事件表现出来。南盘江盆地中三叠统复理石中发育丰富的同沉积挤压构造说明该复理石是在挤压收缩的大地构造背景下形成的,而最典型的挤压收缩背景就是残余盆地。

到目前为止,越来越多的研究显示,复理石是残余盆地最重要的特征沉积体(Graham et al., 1975; Stockmal and Beaumount, 1987; Einsele, 1992, 2000; Einsele et al., 1996; Ingersoll et al., 1995),许多早期研究的例子先后被重新评价,如著名的瑞士阿尔卑斯复理石(Caron et al., 1989)。不少原来认为是弧沟体系的浊积岩也重新被归类为残余盆地背景(Moss, 1998),而碰撞造山带就是复理石沉积的最主要物源区(Ricci-Lucchi, 1975; Gandolfi et al., 1983)。由于后来的强烈碰撞造山导致沉积物的过量供应(Ricci-Lucchi and Valmori, 1980),盆地的沉陷难以抵消沉积物的充填,残余盆地复理石沉积最终毫无例外地转变成前陆盆地磨拉石沉积(Ricci-Lucchi, 1986, 1990; Sinclair, 1997a)。由于残余盆地和周缘前陆盆地是在挤压背景下相继出现的不可分割的两个阶段,有些复理石被认为形成于周缘前陆盆地之中也就不难理解了。但形成于前陆盆地中的复理石往往在后来的隆起作用下被剥蚀殆尽而难以保存,只有残余盆地背景下的复理石才得以良好的保存下来(Moss, 1998)。所以,今天仍然保存良好的巨厚复理石沉积往往都是残余盆地的特征产物。

中三叠世时的南盘江盆地曾经被看作是弧后盆地(苟汉成,1985;贺自爱,1986;夏邦栋,1992)或周缘前陆盆地(秦建华等,1996)。但秦建华等(1996)研究表明,二叠纪末和三叠纪初南盘江盆地曾存在大洋地壳;而许多研究者(贺自爱,1986;夏邦栋等,1992;秦建华等,1996)认为晚三叠世南盘江盆地已经转换为前陆盆地。所以,笔者等认为介于大洋向前陆盆地过渡的中三叠世复理石盆地更有可能是残余盆地。

毫无疑问,南盘江复理石盆地在中三叠世处于挤压而收缩过程之中,因此其沉积相带的迁移、水流

方向的改变和物源特征的演化都受到盆地构造变形的控制，这一点与国际上重要的复理石盆地(Homewood et al.，1983；Sinclair，1997a，1997b)有着许多共性。鉴于此，有必要研究那些同沉积构造事件，而复理石中丰富的沉积构造正好提供了良好的构造事件记录。

南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造不仅提供了盆地受挤压而同期收缩的证据，而且还指示了这种挤压作用的方向。野外不同地点所测量到的同沉积挤压构造的方向显示，尽管不同地点因盆地边界方向的不同而显示了挤压构造方向的不同，总体上讲，南盘江盆地在中三叠世大致处于SSW—NNE方向的水平挤压背景之下。根据野外所测量到的古流向可知，盆地的北侧水流指向SW，而南侧水流则以NWW为主(夏邦栋等，1993)，这反映了复理石的物源区位于盆地的SEE方向。根据复理石物质成分初步研究，物源区同时具有活动大陆边缘(大陆岛弧)和被动边缘的共同特征(夏邦栋等，1993)。根据该复理石碎屑成分研究，物源区构造背景都落入再旋回造山带之中(章正军等，1997)。这恰恰说明位于盆地SEE方向的物源区是个碰撞造山带。这个造山带一侧为具有大陆岛弧性质的大陆边缘，而另一侧则是被动的大陆边缘，所以才在成分上产生了诸多的不同，引起不同作者提出不同的构造背景的说法。可以想见，中三叠世时盆地受到频繁的水平挤压，其挤压方向主要是SSW—NNE(根据笔者等所测量的同沉积挤压构造方向判断)，而复理石的物源区又在盆地的SEE方向，这个物源区同样受到来自SWW—NEE的挤压作用。造山带北边的古陆为扬子板块，而南边的古陆有人认为是南印支板块(秦建华等，1996)，笔者等认为这是一种可能。

笔者等认为，南盘江复理石盆地的性质和大地构造背景是值得进一步讨论的，而复理石中同沉积挤压构造所揭示的南盘江盆地在中三叠世受到频繁的水平挤压作用是值得重视的事实。

4 结论

笔者等在南盘江盆地中三叠统复理石中识别出一类新的沉积构造——同沉积挤压构造。这类同沉积变形构造不仅提供了南盘江中三叠世复理石盆地同期挤压收缩的证据，而且还指示了挤压作用的方向主要为SSE—NNE方向。

通过同沉积挤压构造研究盆地当时受到的挤压作用的条件、强度、方向变化等，有利于分析盆地发育和演化过程中动态应力场的演化，配合后期构造变形研究，就可以恢复盆地周围古板块之间的相互作用历史。因此，同沉积挤压构造研究无疑为沉积盆地动态分析和大地构造研究提供了一种新的尝试或认识途径。本文的认识也为重新探讨中国不同地点和时代的其他复理石沉积提出了可以借鉴的新思路。

致谢：野外工作是南京大学地球科学系夏邦栋教授主持的《南盘江凹陷中晚三叠世浊积岩沉积研究》项目的一部分，研究经费由滇黔桂石油地质局资助。笔者等十分感谢滇黔桂石油地质局提供了如此珍贵的研究机会，并感谢该局吴正永、周士林、韦全业、周明辉等先生的野外陪同，更要感谢杨惠民、刘炳温、邓宗怀、乐斌等高工的指导与帮助。笔者等在此特别感谢杜远生教授和王宗起研究员对本文提出了非常宝贵的修改意见，这些意见对本文的充实和提高起到了相当重要的作用。

参 考 文 献

陈洪德. 曾允孚. 1990. 右江盆地的性质及演化讨论. 岩相古地理，10(1)：28～37.

苟汉成. 1985. 滇黔桂地区中三叠世浊积岩形成的构造背景及物源区的初步探讨. 沉积学报，3 (4)：95～107.

贺自爱. 1986. 滇黔桂中三叠世浊流沉积的形成环境. 石油与天然气地质，7 (3)：207～217.

洪庆玉. 侯方浩. 1979. 桂西中三叠统浊积岩的初步研究. 西南石油学院院报，(1)：16～30.

侯方浩，等. 1984. 南盘江断陷区二、三叠系的火山碎屑浊积岩——一种独特的无海底扇浊流沉积模式. 沉积学报，2(4)：19～32.

刘宝珺，张锦泉，叶红专. 1987. 黔西南中三叠世陆棚—斜坡沉积特征. 沉积学报，5(2)：1～16.

梅冥相，等. 2002. 黔桂地区二叠系层序地层格架及相对海平面变化研究. 高校地质学报，8(3)：318～333.

乔秀夫，宋天瑞，高林志，彭阳，李海兵，高励，宋彪，张巧大. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报，68(1)：16～34.

乔秀夫. 1996. 中国震积岩的研究与展望. 地质论评，42(4)：317～320.

秦建华，等. 1989. 黔南桂西中三叠统浊积扇、物源及板块构造. 岩相古地理，(3)：1～17.

秦建华，吴应林，颜仰基，朱忠发. 1996. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化. 地质学报，70(2)：99～107.

吴应林，等. 1990. 南盘江地区中三叠世浊流沉积模式初探. 石油与天然气地质，11(1)：96～101.

夏邦栋，刘洪磊，吴运高，杨惠民. 1992. 滇黔桂裂谷. 石油实验地质，14(1)：20～30.

夏邦栋，方中，吕洪波，朱斌，周伟明，杨惠民. 1993. 滇黔桂交界地带南盘江地区中三叠世弧后复理石盆地. 南京大学学报(地球科学)，5 (3)：320～329.

张帆，方少仙. 1990. 黔南桂北晚二叠世火山碎屑来源、沉积水深及大地构造环境. 沉积学报，8(4)：22～29.

章正军，丁俊，赵珉. 1997. 南盘江地区三叠纪板块构造背景探讨. 云南地质，16(3)：211～221.

周经才,等. 1984. 黔南中三叠统江洞沟组浊积岩特征. 石油与天然气地质,5(4):385～395.

周伟明,夏邦栋,吕洪波,方中,等. 1996. 贵州罗甸中三叠统复理石中风暴沉积的发现. 地质科学,31(2):193～195.

References

Busby-Spera C J, Ingersoll R V. 1995. Tectonics of sedimentary basins. Blackwell Science, Inc. 1～597.

Caron C, Homewood P, Wildi W. 1989. The original Swiss Flysch: a reappraisal of the type deposits in the Swiss Prealps. Earth-Science Review, 26: 1～45.

Chen Hongde, Zeng Yunfu. 1990. A discuss on property and evolution of Youjiang Basin. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 10 (1):28～37(in Chinese with English abstract).

Einsele G, Ratschbacher L, Wetzel A. 1996. The Himalaya—Bengal Fan denudation—accumulation system during the past 20 Ma. Journal of Geology, 104: 163～184.

Einsele G. 1992. Sedimentary basins: evolution, facies, and sedimentary budget. Berlin Heidelberg: Springer, 1～628.

Einsele G. 2000. Sedimentary basins: evolution, facies, and sedimentary budget (Second completely revised and enlarged edition). Berlin, Heidelberg: Springer, 1～792.

Gandolfi G, Paganelli L, Zuffa G G. 1983. Petrology and dispersal pattern in the Marnoso-arenacea Formation (Miocene, northern Apennines). Journal of Sedimentary Petrology, 53: 493～507.

Gou Hancheng. 1985. Preliminary research on tectonic background and material source area of turbidite deposit formation of Middle—Upper Triassic in Yunnan, Guizhou and Guangxi Provinces. Acta Sedimentologica Sinica, 3(4): 95～107(in Chinese with English abstract).

Graham S A, Dickinson W R, Ingersoll R V. 1975. Himalayan—Bengal model for flysch dispersal in Appalachian—Ouachita system. Geological Society of America Bulletin, 86: 273～286.

He Ziai. 1986. The environment of the Middle Triassic turbidites in Yunnan, Guangxi and Guizhou. Oil & Gas Geology, 7 (3): 207～217 (in Chinese with English abstract).

Homewood P, Caron C. 1983. Flysch of the western Alps. In: Hsu K J, ed. Mountain building processes. London: Academic Press, 155～186.

Hong Qingyu, Hou Fanghao. 1979. A study on the Middle Triassic turbidites in the west of Guangxi Province. Journal of the College of Southwestern Petroleum, (1): 16～30 (in Chinese with English abstract).

Hou Fanghao, et al. 1984. The Permian—Triassic volcani—clastic turbidites in Nanpanjiang block-depression area, a unique sedimentation model for the turbidites without a submarine fan. Acta Sedimentologic Sinica, 2(4): 19～32 (in Chinese with English abstract).

Ingersoll R V, Graham S A, Dickinson W R. 1995. Remnant ocean basins. In: Busby-Spera C J, Ingersoll R V, eds. Tectonics of sedimentary basins. Blackwell Science Inc., 363～391.

Liu Baojun, et al. 1987. Shelf-slope sedimentary environment of Middle Triassic in southwest Guizhou. Acta Sedimentologica Sinica, 5(2): 1～16(in Chinese with English abstract).

Mei Mingxiang, et al. 2002. A study on the framework of sequence stratigraphy and sea-level changes in Permian, Guizhou and Guangxi Provinces. The Geological Journal of China Universities, 8(3): 318～333(in Chinese with English abstract).

Moss S J. 1998. Embaluh Group turbidites in Kalimantan: evolution of a remnant oceanic basin in Borneo during the Late Cretaceous to Paleogene. Journal of Geological Society London, 155: 509～524.

Qiao Xiufu, et al. 1994. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction. Acta Geologica Sinica, 68(1): 16～34(in Chinese with English abstract).

Qiao Xiufu. 1996. Study of seismites of China and its prospects. Geological Review, 42(4): 317～320(in Chinese with English abstract).

Qin Jianhua, et al. 1989. The Middle Triassic turbidity fans, source area and plate tectonics in western Guangxi and southern Guizhou. Sedimentary Facies and Palaeogeography, (3): 1～17 (in Chinese with English abstract).

Qin Jianhua, et al. 1996. Hercynian—Indosinian sedimentary—tectonic evolution of the Nanpanjiang Basin. Acta Geologica Sinica, 70(2): 99～107(in Chinese with English abstract).

Ricci-Lucchi F. 1975. Depositional cycles in two turbidite formations of northern Apennines (Italy). Journal of Sedimentary Petrology, 45: 3～43.

Ricci-Lucchi F. 1986. The Oligocene to Recent foreland basins of the northern Apennines. In: Allen P A, Homewood P, eds. Foreland basins. International Association of Sedimentologists, Special Publication 8. Oxford: Blackwell,105～139.

Ricci-Lucchi F. 1990. Turbidites in foreland and on-thrust basins of the northern Apennines. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 77: 51～66.

Ricci-Luchhi F, Valmori E. 1980. Basin-wide turbidites in a Miocene "over-supplied" deep-sea plain: a geometrical analysis. Sedimentology, 27: 241～270.

Selley R C. 2000. Applied sedimentology. Academic Press, 1～523.

Sinclair H D. 1997a. Flysch to molasses transition in peripheral foreland basins: the role of the passive margin versus slab breakoff. Geology, 25: 1123～1126.

Sinclair H D. 1997b. Tectonostratigraphic model for underfilled peripheral foreland basins: an Alpine perspective. Geological Society American Bulletin, 109: 324～346.

Stockmal G S, Beaumont C. 1987. Geodynamic models of convergent margin tectonics: the southern Canadian Cordillera and the Swiss Alps. In: Beaumont C, Tankard A J, eds. Sedimentary basins and basin forming mechanisms. Canadian Society of Petroleum Geology Members, 12: 393～411.

Wu Yinglin, et al. 1990. A study on the sedimentary model of Middle Triassic turbidity deposits in Nanpanjiang area. Oil & Gas Geology, 11(1): 96～101(in Chinese with English abstract).

Xia Bangdong, et al. 1992. The rifts in Yunnan, Guizhou and Guangxi Provinces. Experimental Petroleum Geology, 14(1): 20～30.

Xia Bangdong, et al. 1993. The Middle Triassic back-arc flysch basin in Nanpanjiang area, southwest China. Journal of Nanjing University (Earth Sciences), 5(3): 320～329(in Chinese with English abstract).

Zhang Fan, Fang Shaoxian. 1990. The provenance and sedimentary water-depth of volcani—clastic rock of Upper Permian and tectonic environment, southern Guizhou and northern Guangxi. Acta Sedimentologica Sinica, 8(4): 22～29(in Chinese with English abstract).

Zhang Zhenjun Ding Jun, Zhao Min. 1997. A discussion on the Triassic plate-tectonic settings of Nanpanjiang area. Yunnan Geology, 16(3): 211～221(in Chinese with English abstract).

Zhou Jingcai, et al. 1984. The characteristics of the turbidites, Jiangdonggou Formation of Middle Triassic in the south of Guizhou Province. Oil & Gas Geology, 5(4): 285～395(in Chinese with English abstract).

Zhou Weiming, et al. 1996. Discovery of storm deposits in Luodian area, Guizhou Province, southwest China. Scientia Geologica Sinica, 31(2): 193～195(in Chinese with English abstract).

图 版 说 明

图 版 Ⅰ

1. 砂岩底面挤压皱纹和挤压岩枕(贵州罗甸,中三叠统边阳组,T_2b)。
2. 面团实验模拟挤压皱纹和挤压岩枕的形成,箭头代表挤压方向。
3. 泥岩顶面挤压皱纹和挤压裂隙(贵州罗甸,中三叠统边阳组,T_2b)。
4. 面团实验模拟挤压裂隙的形成,箭头代表挤压方向。
5. 砂岩底面长垄状挤压岩枕(贵州罗甸至册亨公路旁,中三叠统板纳组,T_2b)。
6. 面团实验模拟挤压岩枕的形成,箭头代表挤压方向。

图 版 Ⅱ

1. 泥岩表面挤压皱脊(贵州罗甸至册亨公路旁,中三叠统板纳组,T_2b)。
2. 面团实验模拟挤压皱脊的形成,箭头代表挤压方向。
3. 砂岩底面挤压岩枕,与圆脊延伸方向垂直的原始水平方向为 210°(贵州田林县潞城乡,中三叠统板纳组,T_2b)。
4. 砂岩底面微型挤压岩枕,铅笔指向与主挤压方向垂直(贵州田林县潞城乡,中三叠统板纳组,T_2b)。
5. 面团实验模拟边界条件与挤压岩枕发育方向的关系,箭头代表挤压方向。

Syn-sedimentary Compression Structures in the Middle Triassic Flysch of the Nanpanjiang Basin, SW China

LÜ Hongbo[1], ZHANG Yuxu[2], XIA Bangdong[3], FANG Zhong[3], ZHOU Weiming[3], PENG Yang[2], WU Zhiping[1], LI Wei[1]

1) *Institute of Earth Resources and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong*, 257061

2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

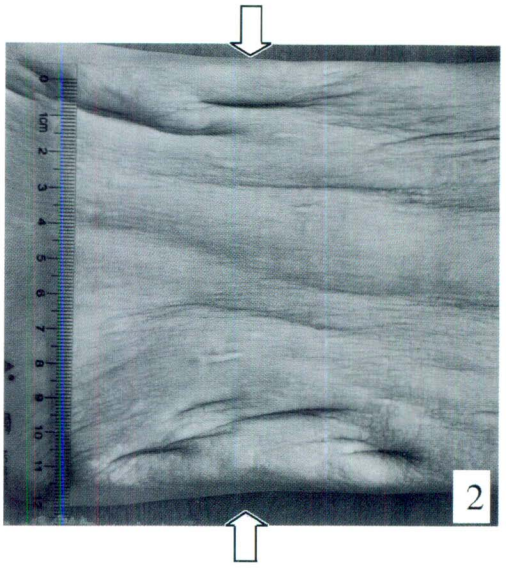
3) *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu*, 210093

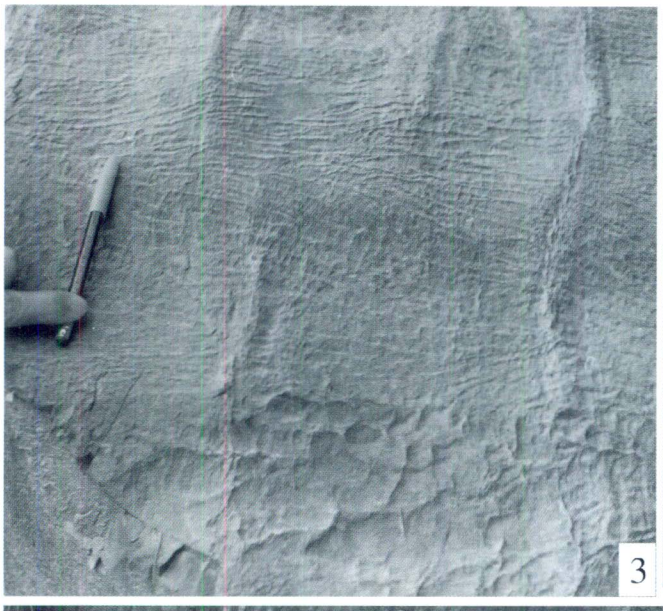
Abstract

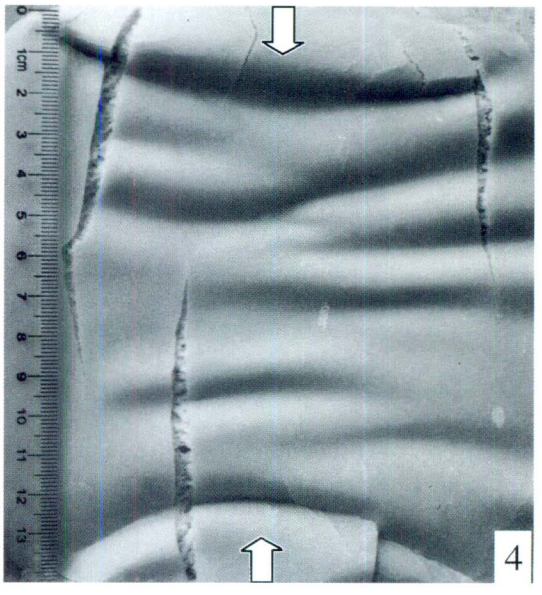
There are abundant primary sedimentary structures in the Middle Triassic Flysch , which is up to 5000 m in thickness, in the Nanpanjiang Basin in southwestern China. A new type of sedimentary structures, syn-sedimentary compression structures, is found and distinguished from these structures. The syn-sedimentary compression structures include compression wrinkles, compression sand pillows, compression fractures and compression ridges, which are found on the surfaces of mud units or the bottoms of sand units of the flysch deposits. The formation processes of all these compression structures are qualitatively simulated with dough, and their origin is discussed. All these structures were formed after the deposition and before the diagenesis, recording compression stresses in the sedimentary basin in the Middle Triassic. The orientations of the compression structures indicate that the flysch basin contracted in a SSW—NNE compression during the Middle Triassic. Thus, the syn-sedimentary compression structures can provide new evidences and constraints on the dynamic evolution of flysch basins.

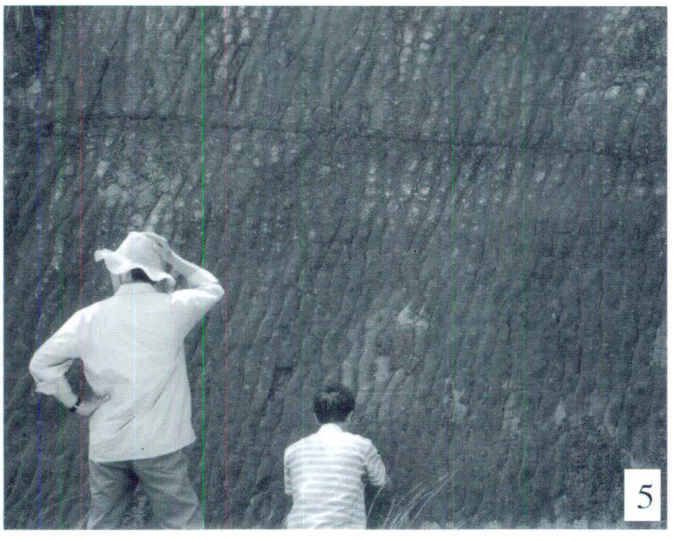
Key words: Nanpanjiang Basin; Middle Triassic; flysch; syn-sedimentary compression structures

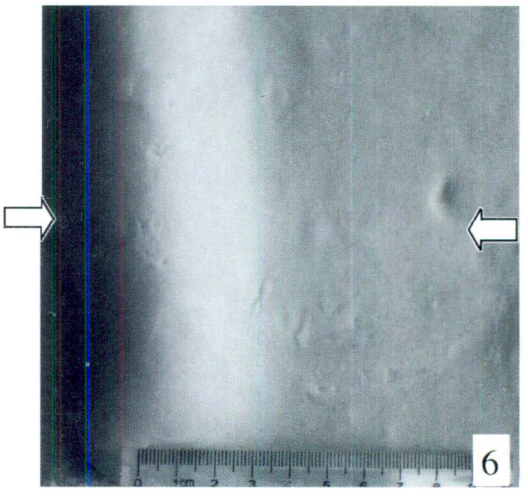

1


2

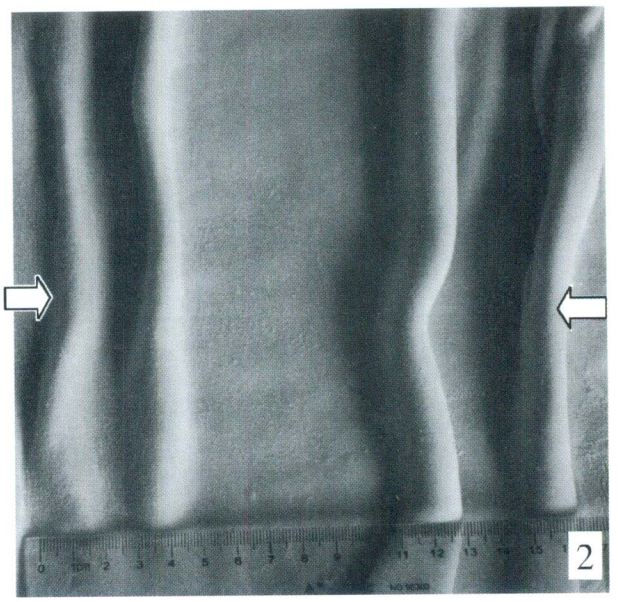

3


4

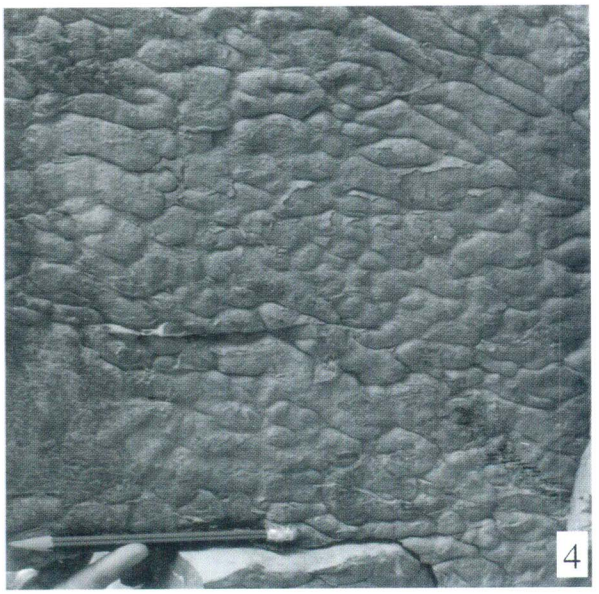

5

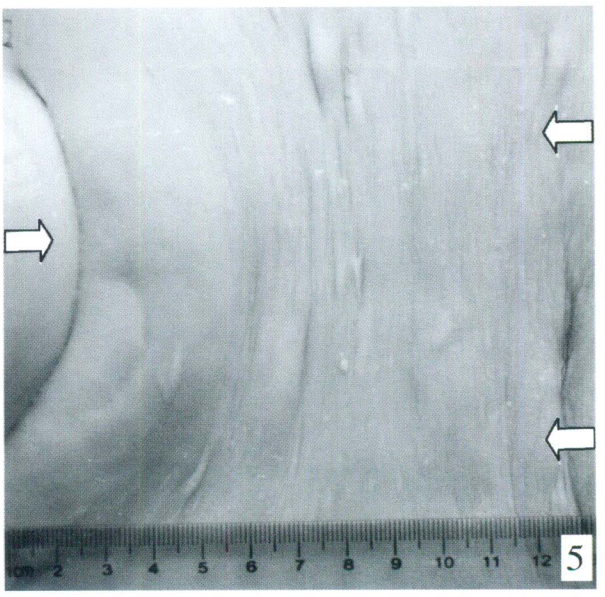

6


1


2


3


4


5