

文章编号: 1000-0550(2002)01-0080-05

西秦岭古代地层记录中内波、内潮汐 沉积及其成因解释^①

晋慧娟 李育慈 方国庆

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

摘要 内波、内潮汐沉积是近十年来在古代深海环境中新发现的一种具牵引流性质的沉积相类型。西秦岭海西—印支造山带深海沉积中发现了多种样式的内波、内潮汐沉积,据沉积构造特征归纳为7种微相类型:1)具双向交错层细一中砂岩;2)羽状交错纹理粉砂岩;3)束状透镜体叠加的交错纹理粉砂岩;4)复杂交织的双向交错纹理粉砂岩;5)双向交错纹理粉砂岩;6)波状、脉状和透镜状复合层理砂泥岩互层;7)波浪波痕细砂岩。研究表明,它们分别形成于3种不同环境的深海浊流沉积体系内。内波、内潮汐沉积在深海环境中的分布特点:一是具有普遍性;二是数量不够丰富;三是在层位上具有明显的选择性。通过研究说明,这些分布特点是与其形成和保存条件密切相关。

关键词 内波、内潮汐沉积 古代深海地层 西秦岭造山带

第一作者简介 晋慧娟 女 1933年出生 研究员 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

近年来,在研究西秦岭海西—印支造山带的深海浊积岩系过程中,发现一些具有双向水流作用形成的沉积记录(本文将海水深度 $\geq 200\text{m}$ 的地区统称为深海区)根据其沉积构造剖析,显示出波浪和潮汐作用的层理特征。深海环境中类似这样的沉积记录已有报道,并将其确定为内波、内潮汐沉积。二十世纪九十年代我国学者高振中对美国阿巴拉契亚山奥陶纪深海沉积的研究中,将具有双向交错纹理和单向交错层砂岩进行系统研究时,首次提出了内波、内潮汐沉积这一专业性术语^[1]。此后,他们相继在我国浙江和塔里木盆地奥陶系也发现了同类沉积^[2,3]。本文是继早古生代地层发现该类沉积之后,又在晚古生代和中生代地层中的又一发现。文中不但以更为翔实的实际资料展示出它的层理特征,进而讨论其形成环境,并在此基础上对其形成和保存条件也予以探讨。

1 微相类型划分

1.1 具双向交错层细一中砂岩微相类型 I(图版 I-1)

该微相以发育双向交错层理为特征,但是这两组交错层理发育的程度极不相同。由强水流能量形成的流向为北西方向的一组交错层理为其主流向,它与南东方向的浊流流向恰恰相反,这不但说明交错层理非浊流成因,还说明主流向是指向水道的上方,并且其底部还具明显的侵蚀面;与其反向的另一组交错层,无论从前积纹层的发育程度还是从其底部的侵蚀幅度都弱于前者,表明海洋环境中双向流动的不均一性。该微相的层理最

束状排列,说明它是内波作用的产物。

1.2 羽状交错纹理粉砂岩微相类型 II(图版 I-2)

岩性为含泥砾的极细砂岩—粉砂岩。该图下段本应是较为标准的羽状交错纹理,但因成岩过程中的差异压实作用,导致泥砾周围的纹理发生弯曲变形,从而影响了羽状交错纹理的清晰度。羽状交错纹理是在具有周期性双向水流环境中形成的,在潮汐环境极为常见,因而它属内潮汐沉积。

1.3 束状透镜体叠加的交错纹理粉砂岩微相类型 III(图版 I-3)

图 I-3 中清楚地显示出该交错纹理是由上攀纹理组成,从其基本组成单元呈束状的特征,说明它们是由内波产生的波痕迁移,并同时具有向上生长叠加而形成的内部构造。从该图中还可看出,上、中、下3层纹理段的规模自下而上有变小的趋势,说明内波的水流强度有周期性的变化。此外,图中段和上段上叠的交错纹理之间见有泥盖薄层,它们可能是在内潮汐周期憩流期间由泥质细粒悬浮物沉淀而成^[4]。

1.4 复杂交织的交错纹理粉砂岩微相类型 IV(图版 I-4)

该微相的内部层理特征是:1)前积纹层堆积成束状,并可分叉;2)前积纹层具不规则的下界面;3)见膨胀的透镜状层理;4)层理内部的总体形态极不协调。不难看出,上述特点都反映出它们是波浪作用所形成层理的最基本的特征。

1.5 双向交错纹理粉砂岩微相类型 V(图版 I-5)

层理内

^① 国家自然科学基金项目(批准号:49672127)资助

部在垂向上略有变化,下部由双向交错纹理组成,层系间相互切割,上部见微波状和透镜状层理互层,它们都是内潮汐流作用产物。但下部是由内潮汐流沿水道、下往返流动所形成,而其上由于内潮汐能量降低,反映出内潮汐周期性变化的特点。

1.6 波状、脉状和透镜状层理砂泥岩互层微相类型 VI (图版 I-6)

该微相是潮坪环境中最常见的层理之一。它通常是在潮汐流活动期间沉积的砂质层和憩流期间沉积的泥质层交替出现形成的。该类型常与薄层浊积层共生,并产于深海泥岩段之中,表明是在深海沉积区由内潮汐流形成的。

1.7 波浪波痕细砂岩微相类型 VII (图版 I-7)

波浪波痕形成于细砂岩层面。它与水流波痕在层面上的区别在于前者通常有直的脊,且常常分叉。在西秦岭造山带的泥盆纪、二叠纪和三叠纪的深海浊积岩系中发现了大量波脊形态多样的水流波痕^[5],而浪成波痕却是首次发现,它是由内波流所形成。

应当指出的是,根据与国内外已报导的内波、内潮汐沉积类型进行比较,文中的微相类型 II、III、IV 和 VII 都属首次发现。

2 沉积背景分析

以上 7 种类型的内波、内潮汐沉积虽都赋存于浊积岩系内,但其沉积环境并非完全一致。经研究,它们分别形成于不同的深海浊流沉积环境之中,现逐一论述于后。

2.1 海底扇环境

甘肃卓尼县以南出露的中三叠世地层形成于海底扇环境,并属富泥的砂质扇,其内极少砾岩^[6]。该环境中共发现 4 种内波、内潮汐沉积,它们分别赋存于三种亚环境中。

微相 I 发现于海底扇的内扇主水道区。其内充填着块状—厚层粗—细粒近源浊积岩。于细砂级的近源浊积岩层段内,发现了该微相。主水道区由于内波流的流动范围受到限制,使其流动能量增强,因而它们可以搬运或改造床沙底部的中粒砂质物,并沿着水道向上方和下方进行交替流动,最终以内波的沉积作用方式沉积下来。

微相 II 发现于中扇的辫状水道区向上变薄变细水道充填层序的上部。图版 I-2 下段明显看出交错纹理具羽状双向倾斜的特征,它是内潮流双向流动的可靠证据,而上段却呈现内波作用形成束状交错纹理的特征,说明在同一种沉积环境中的不同沉积阶段,长周期的内波可叠加于内潮汐之上。

类型 III 形成于外扇地形较平坦的开阔海域。这里内波、内潮汐流不再受到限制,但水流的流动能量普遍较低,因而形成的层系厚度均 $<3\text{ cm}$,属小型层理。它与深海泥岩呈互层状产出,表明该类型形成于水体安静的深海环境。

类型 V 虽然也发现于外扇区,与类型 III 所不同的是它产于外扇没有天然堤的浅水道区内。外扇有浅水道存在的证据是,它具有极不协调的块状—厚层近源浊流沉积,并在垂向上构成向上变薄变细的水道充填层序。而类型 V 即存在于该层序的上部。这里的水道深度虽相对较浅,但仍能形成上、下往返流动的双向交错纹理。

基于上述不难看出,中三叠统是海底扇向海缓慢推进过程中形成的一个向上变粗变厚的总层序。4 种微相在垂向上自下而上出现的先后顺序是类型 III、V、II、I,该顺序反映组成这 4 种微相的粒度自下而上逐渐变粗,层厚逐渐增加,层理规模逐渐增大。这一特点揭示出开阔的外扇区较之受限制水道区的内波、内潮流的能量普遍较弱。

2.2 深海盆地平原环境

西秦岭泥盆系舒家坝组形成于该环境,它是由一套缺少砾岩和中—粗砂岩,主要由细—粉砂级碎屑物组成的巨厚细粒浊积岩系^[7]。微相 IV 发现于该环境,并以夹层出现于薄层浊积岩层段内。从层理特征可以看出,它是由双向水流并具波浪作用痕迹的内波流形成的。据现代海洋调查,在缺少水道的深海底,同样存在着大量往复流动的底流活动,因此,该微相已在现代海洋环境中找到了证据。

2.3 陆坡—浊积扇裙环境

甘肃夏河以东分布的上二叠统,记录了该时期因拉张裂陷活动形成的滑塌堆积—重力流沉积—深海泥岩的退积型沉积序列。其中、下部由于大规模的块体重力搬运作用,致使流动能量相对较弱的内波、内潮流此时难以形成沉积记录。随着裂陷海盆的不断扩大和加深,在沉积序列的中上部细砂岩层面才发现有微相 VII 浪成波痕的出现。它说明此时由于逐渐远离物源区,当内波流的能量足以改造细粒浊积物时,波浪波痕才得以形成。

微相 VI 则发现于上述沉积序列上部的深海泥岩段内,它表明裂陷海盆已进入深海盆地沉积阶段,由于远离物源区,即便有浊流的干扰,其影响也较微弱,因而是内波、内潮汐流的有利活动场所。该微相的连续沉积总厚度竟可达 3 m,说明它确实是内波、内潮汐沉积最有利的形成和保存地区。

3 形成和保存条件

通过本文并综合国内外^[1,2,3]有关内波、内潮汐沉积的研究成果看出,古代内波、内潮汐沉积虽广泛存在于不同时代的地层记录中,但其数量并不丰富,尤其是产出的层位具有鲜明的选择性。内波、内潮汐沉积之所以广泛分布于深海沉积中,是由于海洋特别是深海普遍存在内波、内潮汐流的缘故,而其数量的多寡以及出现于特定层位的现象,还说明它们的形成和保存需要有特定的条件。对此问题,拟提出以下初步认识:

(1) 超过细粒特别是中粒级以上的浊积岩段中,很难发现内波、内潮汐沉积。这是由于在海底峡谷(沟谷)或广阔的深海海域,内波、内潮汐的流速通常介于20~50 cm/s,这种流速虽可搬运和改造细砂级乃至中砂级的碎屑物,但在上述正常的流速下,却对2 mm以上的砾级碎屑物难以进行搬运和改造。

(2) 深海海域、浊流间歇期以及水道充填层序上部形成的粉砂岩—泥岩段是内波、内潮汐沉积形成和保存的最有利层段。因为,此时的水体是相对平静的时期,内波、内潮汐流可携带或改造床沙底部的较细碎屑物得以沉积并保存下来。

(3) 海平面上升时期固然是内波、内潮汐沉积形成的有利时期^[8],但当海平面下降时,也并不完全排除有内波、内潮汐沉积的存在,这是因为:1)海平面下降通常与有效的海退作用相联系,这恰是浊流形成的有利时期。内波、内潮汐沉积多与浊积岩相伴生,说明它是在海平面下降这一大的背景下形成的;2)浊流虽对下伏的深海泥岩是一种巨大的破坏和冲蚀力量,但通常认为,它仅仅是在至少数百米的范围内冲蚀的都是同一层,而不会将深海泥岩冲蚀殆尽。进积型浊流沉积序列内仍存在不少深海泥岩就是这种推断的佐证。当然,内波、内潮汐沉积也会因浊流的来临被部分冲蚀,因此保留于地质记录中的则仅是残存的那部分,这或许是古代沉积记录中内波、内潮汐沉积数量不够丰富的原因之一。西秦岭中三叠统是一海平面下降过程形成的浊积岩进积型沉积序列,于其中发育4种类型的内波、内潮汐沉积就是海平面下降时期仍有它们被保存下来的一个很好的实例。

4 识别方法

当今对古代内波、内潮汐沉积的报道还为数不多,这不但是由于对该类型沉积的发现及其研究历史较短,也还由于尚缺乏具体的识别方法,因而把内波、内潮汐沉积准确无误地识别出来,是该项研究首先需要解决的问题。从目前已确定的内波、内潮汐沉积微相

类型来看,其沉积构造特征十分复杂。众所周知,沉积构造的形成是流体对沉积物的搬运及其沉积作用方式的具体表现。由此看出内波、内潮汐沉积形成过程中,其水动力状况是一个十分复杂的沉积作用过程,加之,由于其沉积背景、海盆的古地貌、水深以及流体动力状况等因素都因地而异,因此它们形成的沉积记录不可能有一个固定不变的样式。然而通过已发现的内波、内潮汐沉积的特征研究,笔者认为有两条最基本的原则应予以遵循。

其一“将今论古”的现实主义原则:大量深海探测、深海钻探以及深海底摄像的成果,揭示出深海水体中内波、内潮汐流的流动特点、沉积作用方式及其沉积产物特征,它为古代内波、内潮汐沉积的研究奠定了理论基础,而且我国学者已初步总结出内波、内潮汐沉积的特征^[8]。所有这些,都是研究古代内波、内潮汐沉积所不可缺少的重要参考依据。

其二“将浅论深”的类比原则:当人们对已有内波、内潮汐沉积剖析之后,必然会发现这样一个基本事实,即它们的层理内部都分别或共有波浪作用和潮汐作用的痕迹。这一发现的重要之处在于,这两种作用都是浅海环境中最主要的、研究程度很高的地质作用。因此,当对波浪波痕和潮汐层理内部构造的典型特征掌握之后,必将有助于识别深海环境背景下的内波、内潮汐沉积。因为,两者沉积构造的内部特征有极为相似之处。

5 结束语

内波、内潮汐沉积仅有十来年的研究历史,但仅从目前所发现的内波、内潮汐沉积的特征已经清楚地看出,其层理内部都分别或共有波浪作用和潮汐作用留下的痕迹。这一发现的重要之处在于,传统的沉积学认为,这两种作用仅仅是浅海(包括部分陆相)环境中重要的地质营力。然而,当今古代深海环境中也同样发现波浪和潮汐作用及其沉积记录的事实,再次告诫地质学者不应再把它们作为区别深、浅海环境的依据之一,必须重视各种环境标志的综合解释。

参 考 文 献

- 1 Gao Zhenzhong, Eriksson K A. Internal-tide deposits in an Ordovician submarine channel: Previously unrecognized facies? [J]. *Geology*, 1991, 19(7): 734~737
- 2 高振中,何幼斌,李建明等. 我国发现内潮汐沉积[J]. *科学通报*, 1997, 42(3): 1418~1421
- 3 高振中,何幼斌,张兴阳等. 塔中地区晚奥陶世内波、内潮汐沉积[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 400~407
- 4 Narayan J. Sedimentary structures in the Lower Greensand of the

- Weald, England, and Ras-Boulonnais, France[J]. *Sedim. Geol.*, 1971, 6: 73~109
- 5 晋慧娟, 李育慈. 深海沉积中的几种“特殊”原生沉积构造[J]. *中国科学(B 辑)*, 1995, 25(8): 890~896
- 6 晋慧娟, 李育慈. 西秦岭造山带中三叠统复理石相研究[J]. *沉积学报*. 2001, 19(3): 321~326
- 7 晋慧娟, 李育慈. 西秦岭北带泥盆系含金层段沉积环境的新认识[J]. *科学通报*, 1997, 42(2): 183~186
- 8 高振中等. 深水牵引流沉积——内潮汐、内波和等深流沉积研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996

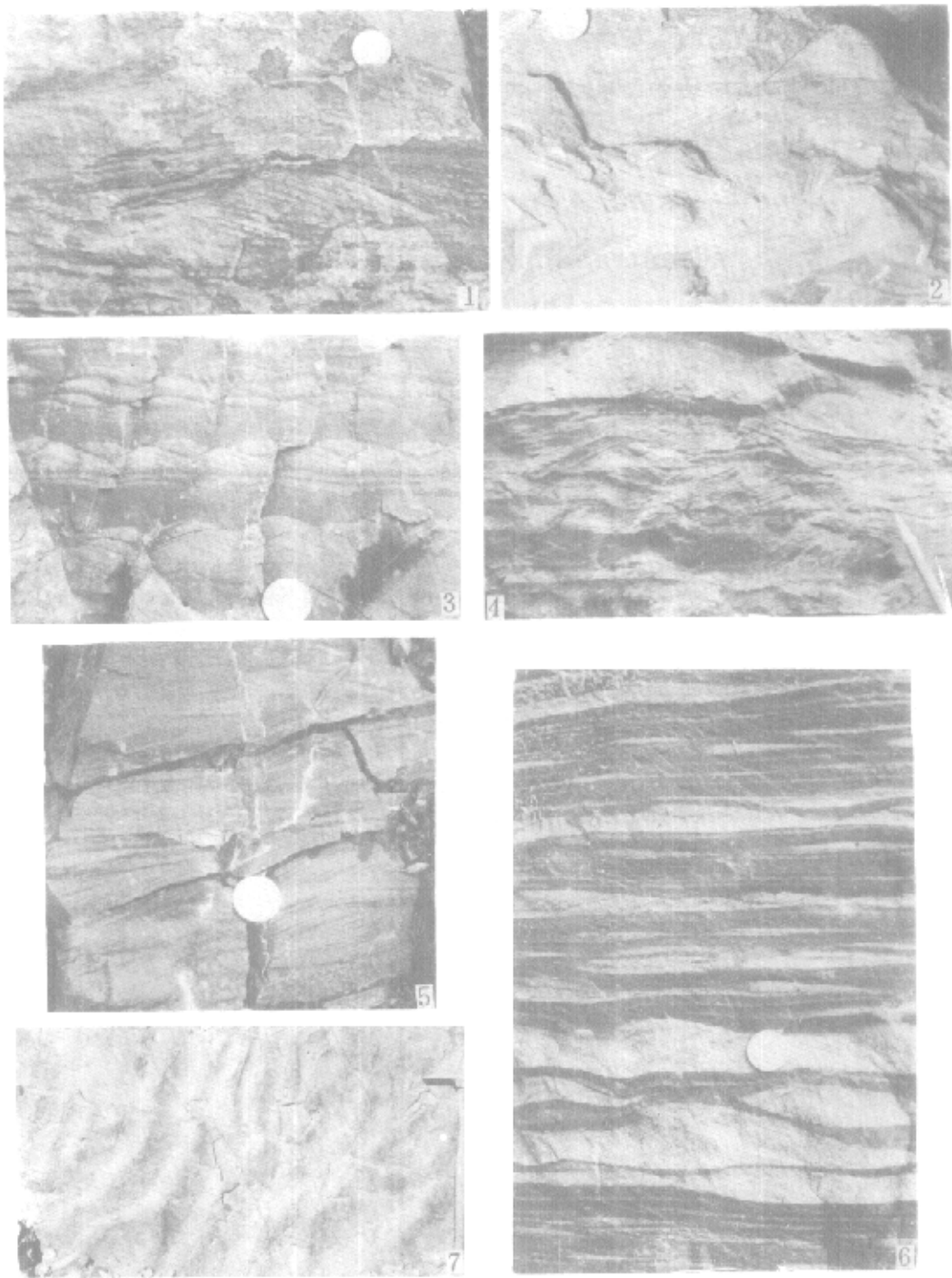
Internal-wave and Internal-tide Deposits in the Paleostratigraphic Record of the Western Qinling Mountains and Their Origin

JIN Hui-juan LI Yu-ci FANG Guo-qing

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract Internal-wave and internal-tide deposits are a kind of dragging-flow deposits recently found in ancient deep-sea environments. A variety of internal-wave and internal-tide deposits has been identified in the deep-sea deposit along the Hercynian-Indosinian orogeny of the western Qinling Mountains. According to their depositional structures they can be divided into 7 microfacies, 1. Fine- and medium-grained sandstone with bi-directional cross-bedding structure, 2. Siltstone with pinnate cross-lamination structure, 3. Siltstone with fascicular lens superposed cross-lamination structure, 4. Siltstone with complicatedly interweaving bi-directional cross-lamination structure, 5. Siltstone with bi-directional cross-lamination structure, 6. Sand and mud interbed with wave-, vein- and lens-like composite stratification, and 7. Fine sandstone with wave and ripple structure. The present study shows that they are formed in deep-sea turbidite systems of 3 different environments. The distribution of internal-wave and internal-tide deposits in deep sea is characterized by generality, non-abundance and evident selection for layers. All of these characteristics are closely related with their formation and preservation conditions.

Key words internal-wave and internal-tide deposits, ancient deep-stratum, West Qinling Orogenic Belt



图版 I 说明 :1. 双向交错层细—中砂岩, 甘肃卓尼中三叠统 2. 羽状交错纹理粉砂岩, 甘肃卓尼中三叠统 3. 束状透镜体叠加的交错纹理粉砂岩, 甘肃卓尼中三叠统 4. 复杂交织的双向交错纹理粉砂岩, 甘肃礼县中泥盆统 5. 双向交错纹理粉砂岩, 甘肃卓尼中三叠统 6. 波状、脉状和透镜状复合层理砂泥岩互层, 甘肃夏河上二叠统 7. 波浪波纹细砂岩, 甘肃夏河上二叠统。