

沉积构造的研究现状及发展趋势

钟建华^{1,2)}, 梁刚¹⁾

1) 中国石油大学(华东)资信学院油藏地质研究所, 山东东营, 257061;

2) 中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640

内容提要: 本文简要的总结了近20年来沉积构造研究方面的成果, 从五个方面阐述了沉积构造的研究现状及发展趋势: ① 继续探寻新的沉积构造; ② 通过各种方法, 包括野外观察、物理模拟和数值模拟来探讨某些已有(老)沉积构造的成因。③ 纠正人们对某些沉积构造的成因及环境意义的过时或错误认识; ④ 重视软沉积物变形构造(soft-sediment deformation structures)及流水逃逸构造(flow escape structures)和液化构造的研究; ⑤ 继续发掘和拓展沉积构造在沉积学研究(环境分析、层序地层学等)中的应用功能及范围。我国在沉积构造研究方面近年来成果不多, 需要迎头赶上。

关键词: 沉积构造; 软沉积物变形

沉积构造是沉积学的重要基础和主要研究内容之一, 历来受到重视, 即使是沉积学发展到了比较成熟的今天, 人们对其的热情也丝毫未减, 以国际著名沉积学期刊“Sedimentology”为例, 几乎每期都有1~2篇论文是专门或半专门讨论沉积构造的。如1996年第3期发表的14篇论文中, 有三篇专门讨论沉积构造(Ramsay et al., 1996; Hesp et al., 1996; Piers et al., 1996); 又如1997年第6期发表的12篇论文中也有3篇是专门讨论沉积构造的(Bhattacharya, 1997; Gonzalez, Newman et al., 1997); 又再如1998年第1期发表的11篇论文中还有3篇是专门讨论沉积构造的(Perry, 1998; Tanner, 1998; Van De Berg et al., 1998); 又如2005年第52卷又有两篇论文专门讨论沉积构造的(Knaust, 2005; Pochat et al., 2005)。即便是非专门讨论沉积构造的论文, 有些也是花了很大篇幅讨论沉积构造(对沉积构造的观察描述一般非常细致), 如Yang等2005年在“Sedimentology”发表了一篇有关潮汐研究的论文, 全文共15页, 仅波痕的图版就有4页半(Yang et al., 2005)。著名的综合科学期刊《Nature》也偶然有涉及沉积构造的论文(Kilb, Gomberg et al., 2005)。总之, 沉积构造确实还是沉积学家研究的热门内容之一。考虑到国内

研究成果大家更为熟悉, 所以本文主要从国外近25年来的研究成果来总结沉积构造研究方面的现状和发展趋势(之间穿插少量我国的有关成果), 主要集中在以下五个方面。

1 继续探寻新的沉积构造

沉积构造虽然是沉积学领域最为古老而且比较成熟的研究领域, 但人们一直还在不断发现新的沉积构造。丘状交错层理(HCS)的发现便是一个很好的例子。1986年Petrovich在加拿大Ottawa峡谷奥陶世灰岩中发现了一种直径约1m左右的椭圆形隆丘和凹穴构造(elliptical mounds and depressions structures)。这些构造的排列具有一定的方向性, 其成因被认为与生物和流水侵蚀联合作用有关; 1987年Nelson等利用专用的声纳技术在白令海峡22000km²的海域探寻到了一种鲸鱼的海底觅食构造(benthic feeding structures)。这种线性觅食构造长47m, 宽0.4m, 深0.1m。Nelson将其称为“whale pit”或“whale feeding pit”; Shanmugam等(1988)发现了一种由软沉积物滑动形成的类双重构造(Duplex-like structure), 这种构造与纯构造成因的双重构造非常相似, 但属于沉积成因。1990年De Poll等在研究Canada New

注: 本文为教育部高校博士点基金资助项目(编号20030425008; 20060425509)、国家自然科学基金资助项目(编号40503003) 国家国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(编号2006CB202401)的成果。

收稿日期: 2009-05-02; 改回日期: 2009-09-29; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 钟建华, 男, 1957年生。现为石油大学(华东)地球资源与信息学院教授。主要从事构造与沉积学的教学和研究。Email: zhongjh@hdpu.edu.cn。

Brunswick 等地的 Boss Point 组泥岩的壶穴构造时发现了一种脊突构造,开始将其作为槽模看待;1994年 Keighley 等对其进入深入研究后,认为它们不能算作槽模,而是一种由多种成因形成的构造,并将其称为‘类槽痕’(flute-like marks),是一种新的(沉积)构造,并指出其不能用来批示古水流方向;1994年 Bass 利用水槽实验发现了一种平衡波痕(equilibrium ripple)和侵蚀波痕(erosion ripple);1995年 Aalto 在 Franciscan 杂岩中发现在槽模之上有一种类羽斑构造(feather-like marking structure);De Wet 等(1999)新发现了一种米级的大空腔构造(Giant cavity structure);Elliott.(1999)和 Thron(2003)等在爱尔兰西部的 Ross 建造中的浊积岩底面发现了巨型槽模,长宽均超过1m,最大深度超过0.2m。Kahle(2002)发现微生物席和泥岩中有几种碎屑岩中没有见过的新的地震作用形成的变形构造。Bowman. 等(2004)发现了有地震作用形成的巨型砂球和柱状构造,非以往文献报道过;James 等 2004 年发现了一种由生物形成的小钙管。

Luis. 等(2005)对 Canary 岛近 10 万年的地震作用形成的软变形构造进行了研究,发现了一种新的软沉积变形构造——Tubular vent;Fernandes 等(2007)在巴西发现了一种由地震作用形成的环状变形层理(loop deformation bedding);其实在此之前,我国学者早已多次报道了这种很特殊的层理(袁静等,2006)。再如,Ernabeu 等(2007)报道了在西班牙南部的 Sorbas 盆地由于风暴作用形成了比一般风暴形成的丘状层理要大的多的丘状层理,其高度可达40~200cm,宽度可达15~30m;而一般风暴形成的丘状层理要大的多的丘状层理,其高度只有10~50cm,高度只有1~5m。又再如,Fernandes 等(2007)在巴西发现了巨型的包卷层理,其规模可达米级,远远大于前人所发现的同类构造。这些发现虽不能属于新的沉积构造,但也大大的开阔了人们对这种老的沉积构造的规模上的认识!

总之,国外学者还在不断探索新的沉积构造,表现在方法上也越来越先进(如利用声纳技术、计算机技术),探索领域也越来越宽(既有古代沉积构造,又有现代沉积构造,甚至走向深海)。我国学者在这方面的研究也有一定进展,如钟建华等近十年对黄河三角洲的潜心研究,发现了多种新的沉积构造,如与黄河断流有关的气涨及泄气坑,冰及冰水形成的冰积隆丘、冰融水滴蚀坑穴等(钟建华等,2001,2002,

2003,2004,2005);钟建华近期又在柴达木盆地发现了两种新的沉积构造——冰川刨耕变形层理和冰凌铸模(钟建华等,2008a,2008b)。但这些现代沉积物中的沉积构造能否保存下来,经成岩作用转化成岩石中的沉积构造还很值得研究。

2 通过各种方法,包括野外观察、物理模拟和数值模拟来探讨某些已有(老)沉积构造的成因。

Young 等(1990)通过水槽实验研究了变方向水流在稳定和波动条件下波痕的形成过程;David 等(1990)做了(大)水槽实验,深入地研究了在水流方向变化条件下横向、平行和斜交波痕的成因及组合问题,澄清了人们一百多年来对“为什么有的波痕与流水近于垂直,而有的波痕与流水方向斜交或平行”问题的疑惑;Fryberger 等(1992)通过风槽(wind tunnel)实验深入地研究了纳米比亚风成颗粒波痕的成因;Osborne 等(1993)通过大量精细复杂的数学计算,研究了在波浪和流水中沉积物的悬浮与时间及垂向结构及其与由其形成的各种底形(波痕)的关系(论文长达26页)。Nichols 等(1994)通过实验研究了流体渗透形成的一些沉积构造(砂火山、枕状构造及碟状构造)的成因;Best 等(1994)利用高分辨超声波监测水槽中床砂底形与层理的形成过程及变化;Baas 等(1995)通过水槽实验研究了极细砂($D_{50}=0.108\text{mm}$)中发育的冲洗波痕(wash-out ripples)的平衡度、迁移速率及其与悬浮物浓度之间的关系。Bridge(1997)利用超声波研究了低隆河床条件下砂波向上游迁移形成板状交错层理的过程,并与理论计算进行对比。Moretti. 等(1999)通过数字模拟来探讨震积岩及其由地震形成的软沉积变形构造的形成过程。Rodriguez-Pascua 等(2000)非常详细地阐述了一些变形构造的成因;Wiltshko. (2001)通过深入研究发现一些条带状脉构造的成因与重结晶的压力有关;Moretti. 等(2001)发现由浊流引起的快速沉积也可以形成一些不对称的软沉积变形,不是所有的不对称的软沉积变形都要由地震作用形成。Alexander 等(2001)用水槽模拟了超临界条件下沉积物底形及内部层理的发育演化。Bowman 等(2001)用碳同位素测年方法确定了由地震引起的软沉积物变形构造的形成时间,进而为研究其成因创造了条件,发现其成因与地震作用密切相关;Kullberg 等(2001)展示了(孤立)滴石(构造)的形成可以通过滑动来形成,而并非需

要冰川、浊流等其它原因;Pratt (2002)通过对加拿大西部的中寒武统中的地震作用形成的 Tepee structure(穹形构造)机制,发现这种“老”构造的形成与地震作用形成的来回震荡有关,并认为它是地震作用形成的一种典型构造,而过去一贯认为其成因与重力塌陷(gravitational collapse)有关。Pratt (2002)通过对加拿大西部的中寒武统中的地震作用形成的 Tepee structure(穹形构造或帐篷构造)机制,发现这种“老”构造的形成与地震作用形成的来回震荡有关,并认为它是地震作用形成的一种典型构造,而过去一贯认为其成因与重力塌陷(gravitational collapse)有关,甚至认为它是热带潮坪和热带海岸的指纹构造(Inden and Moore, 1983; Pratt 等, 1992)。Edward 等(2003)用声纳探测仪研究了大西洋北东 Cadiz 湾深水中的现代沉积物的底形,在沉积物中发现了大量小型波痕。Mark 等(2003)在沉积物的搬运上做了非常深入的数值模拟研究;Steven(2003)和 Namikas(2003)对风的搬运和沉积过程作了很好的数值模拟(该文涉及了一些有关构造的问题)。Rodriguez 等(2003)详细的对比了现代和近代地震作用形成的变形构造与古代的地震作用形成的变形构造,发现两者非常相似,并得出了震级与距震中的不同距离的地震扰动层的厚度具有很好的线形相关性(即 $M-T$ 图),并提出了一个震级与地震扰动层的厚度的经验公式;Stuat and Goldring(2003)做了一个非常好的的模拟实验来研究圆锥状构造(conical sedimentary structures)的成因,重现了塌陷引起的圆锥状构造的形成过程,并指出了有 7 种机制形成圆锥状构造;Weidlich 等(2004)利用数码图像分析和自动图像分析(digital image analysis and automated image analysis techniques)技术对沉积纹层和古地震作用形成的相应纹层进行了研究,发现这是一种省时省力的高效定量分析技术。Moretti 等(2007)深入地研究了软沉积物变形的机制,发现超重荷、不均匀负荷、波浪作用、脉动应力、水面变化及地震等均可以导致软沉积物变形。

3 纠正人们对某些沉积构造的成因及环境意义的过时或错误认识

David(1990)对美国蒙大拿州中元古代泥岩中的泥裂进行了深入研究,发现短纺锤形泥裂(构造)不是干裂形成的,而是在上覆沉积物快速堆积下使泥中的孔隙快速排水收缩形成的,由于过去对其的

成因一直认为与干裂有关而严重地曲解了它的成因及沉积环境意义;Cowan 等(1992)对加拿大纽芬兰寒武纪浅水鲕粒灰岩和丝带状灰岩中的所谓干裂进行了深入研究,指出它们并非是干燥收缩裂缝,而是一种类凝缩形成的分离裂缝,并对上述灰岩的沉积环境重新作了解释。1998 年 Tanner 也认为有些泥裂可以通过泥层在埋藏后的压实所形成,并指出地震促进了网状裂缝的发育;Brian(2001)深入地研究了泥岩结核中的网状裂缝,发现其成因可能确与地震有关,而不是暴露形成的干裂;1990 年 Prave 通过深入研究纠正了人们对逆行砂波几何形态和流水特征的两个错误概念(L/D 值及 $\Delta\rho$ 值);David 等(1992)对美国犹他 Canyonlands 国家公园的二叠系与三叠系之间不整合面上的大砂波进行了深入研究,发现了过去一直认为是海相成因的大波痕实际上是由风侵蚀形成的,并对沉积环境作出了新的解释。Holzer 等(1993)研究了密西西比河流域的砂涌(砂沸或砂疔, sand blows or sand boils),认为它们的成因与大降雨沿斜坡地裂缝活动有关,而与地震毫无关系;Li 等(1995)也对密西西比河流域的另一些砂涌进行了深入研究,发现其成因与人工堤坝导致河床与岸后低地在洪水期产生的水压形成的管涌有关(类似于我国 1998 年长江抗洪抢险中的管涌喷沙),同样与地震也毫无关系,从而从多方面否定了某些砂涌的地震唯一成因之说,纠正了人们将砂涌作为地震唯一可靠成因和指示的错误观念。Schnellmann 等(2005)深入的研究了软沉积物在遭到块体移动而形成的褶皱和断裂,发现它们与由构造运动形成的同类构造有明显区别!过去一直认为这些褶皱和断层是由构造运动形成的。这一点也告诉我们,一些被公认的所谓的经典也会遇到挑战。如:臼齿状构造是一种 100 余年前发现的沉积构造(Bauerman H, 1882),但其成因一直争论不休,最近梅冥相(2007)认为天津蓟县前寒武纪高于庄组中的臼齿状构造系生物脱气成因,而非水下收缩或脱水,也非蒸发交代、地震脱水;梅冥相(2009)还指出天津蓟县古元古界串岭沟组中的粉砂岩岩墙的形成也与生物有关,而以前把粉砂岩岩墙视为生物遗迹和震积构造。

又再如,日本学者 Ohsumi 等通过深入研究,发现脉构造(vein structures)(一种软沉积物中的裂缝被其它物质充填形成的软沉积物变形构造)的成因并非一定与地震有关,因为地震波的波长远远大于形成脉构造所匹配的动力,所以他们认为脉构造是由

其它的地质过程形成的,并认为剪切造成的位移也能形成脉构造(Ohsumi et al., 2006; Tsuneto et al., 2008)。

4 重视软沉积物变形构造(soft-sediment deformation structures)及流水逃逸构造(flow escape structures)和液化构造的研究

这一方面的研究是近来沉积构造研究的最为活跃和最热门的内容! 这些研究主要集中在三个方面:一是作为地震产物之一或地震示踪构造的研究。地震产生的剪切波等,使软沉积物发生液化,形成各种变形构造(如某些砂涌、砂疗或砂沸(Saucier, 1993; Obermeier et al., 1991; Lin, 1997); 漂砾、火焰构造、大型枕状和波状构造(Bridge et al., 1997; Moretti, et al., 1999; Rodriguez et al., 2000)、针芒构造(cusps)、滴砂、假结核和包卷层理(Sims, 1990; Owen, 1995; Williams, 1996; Mohindra et al., 1996; Blanc et al., 1998)。这方面的成果近年来除经常刊登在 *Sedimentology*、*Sedimentary Geology* 及 *Jour. Sedim. Res.* 等沉积学期刊上外(Williams, 1996; Mohindra et al., 1996; Blanc et al., 1998),还经常出现在 *Geology* 等地质学综合性期刊上(Obermeier et al., 1991; Saucier, 1993; Li et al., 1995; Lin, 1997),甚至在科学综合期刊 *Science* 上也有所见(Sims, 1990; Obermeier et al., 2007); 1988年, Scott, 等研究了地震震级对软沉积物变形影响的距离。近期, Alison 等(2000)日本东北部 Onikobe and Nakayamadaira 盆地群中的晚更新世砂泥岩中的软沉积物变形构造的变形机制与除地震以外的其他多种因素有关。Steward (2002)对奥陶纪灰岩中的软沉积变形构造进行了深入研究,工作非常详细; Federico 等(2003)又研究了薄层状石膏浊积岩中的软沉积变形构造,但他发现这些软沉积物变形构造与化学过程有关;可见沉积学家及其他领域对其的重视程度非同一般(有关问题后文还将详述);二是作为非地震成因构造或成因不明的一般变形构造的研究。如有关某些非地震成因砂涌、砂疗和砂沸或沸砂泉方面的研究工作可以以 Guhman 等(1992)、Mount, 等(1993)和 Li 等(1996)为代表(后二位的工作前已叙及)。古代岩层中的一种液化管构造(fluidization pipes)也引起了人们的注意(Brian, 2001),虽然对其成因机制还未最终解决;三是从模拟实验角度来研究软沉积物变形或液化构造,以

Nichols 等(1994)做的工作最具代表性。

近十年来,在地震作用形成的软沉积构造方面主要有如下成果:Moretti (2000)通过研究发现虽然某些软沉积物的变形与地震作用有关,但原始沉积物的性质也非常重要,它们会影响、甚至决定地震作用形成软沉积变形构造的最终的结果。Juyal 等(2004)对印度 Garbayang 盆地一个晚更新世—全新世剖面进行了深入研究,发现地震作用可以形成四个带,其中有三个带是软沉积物变形带,并发育了相应的软沉积变形构造。Helen 等(2004)对地震的远程效应进行了深入研究,发现地震作用引起的软沉积变形仍以包卷层理为主。David 等(2005)又研究了火山有关沉积中硫化物的形成引起的软沉积变形构造。Gibert 等(2005)研究发现地震诱发可以使坡度小于 1° 的三角洲前缘发生滑动,形成相应的软沉积变形构造,如包卷层理等。Luis 等(2005)虽然对 Canary 岛近 100 ka 的地震作用形成的软变形构造进行了非常详细的研究,对大多数软沉积变形构造的成因进行了深入研究,但对 Tubular vent 的形成机制还是没有搞清。Rajat 等(2006)在 2100~1600 百万年前的绿片岩中识别出了目前最古老的地震作用形成的软沉积物变形。Ralph(2006)等更详细地研究了各类软沉积物变形构造及其形成的机制,地震作用仅仅只是某些软沉积变形构造的一种成因动力。

Femandes 等(2007)在巴西发现了由地震作用形成的巨型变形沉积构造,如巨型的包卷层理,其规模可达米级,远远大于前人所发现的同类构造。Puga 等(2007)发现地震引起海啸可以使碳酸盐台地发生侵蚀,把未固结的碳酸盐软泥冲入沟槽中形成大型的软沉积物变形构造和震积岩。Rodriguez 等(2007)发现了地震可以使沉积物发生软变形,形成大量成因具有联系的软沉积变形构造组合,如砂球、砂枕、假结核、泄水构造、反向倾斜轴面的包卷层理及多阶段变形;Montenat 等(2007)全面地总结了地震作用形成的软沉积变形构造。Nicolas 等(2008)研究了阿根廷 San Jorge 盆地古近纪的岩脉,发现它们的成因与地震液化充注有关,是在一种未固结的软条件下形成的。

值得一提的是,近年来我国学者在地震作用形成的软沉积物变形构造(乔秀夫等, 1994, 1999, 2006; 乔秀夫, 1996; 田洪水等, 2003; 张琴等, 2003; 严兆彬等, 2005; 殷秀兰等, 2005; 周志广等, 2006; 杜远生等, 2007; 杨剑萍等, 2008; 王化爱等, 2008)、桂

西北沉积灰岩墙(彭阳等,2004,2007,2009;黄宏伟等,2007)、同沉积挤压构造和地震滑塌构造(吕洪波等,2003,2006)的研究上取得了若干成果,在此就不一一叙述了!

5 继续发掘和拓展沉积构造在沉积学研究(环境分析、层序地层学等)中的应用功能及范围

近年来,国外学者一方面重视沉积构造的基础研究,另一方面也非常重视发掘和拓展沉积构造在沉积学研究中的应用功能及范围。Oost等(1994)深入地研究了爬升波痕,认为一个完整的爬升波痕系列代表了一个完整的静水小潮旋回;Ford等(1997)全面地总结和评述了泉华(论文长达58页),认为它们不仅仅形成于热水沉积和洞穴中,淡水碳酸盐的参与也可以形成泉华,无论是物理-化学过程,还是生物过程均可以形成泉华,但受控于气候条件;Arenas等(2000)对西班牙东北部的Ebro拗陷中的河湖相的泉华进行了深入的研究,发现其成因与蒸发溶解有关。不同条件下成因不同的泉华具有不同的特点,它们在再造古环境中具有价值,尤其是泉华中含有泥炭物质时效果更好,很显然,拓展了泉华在沉积环境研究中的功能和作用。1998年Knaust对碳酸盐斜坡上的痕迹化石进行了深入研究,认为痕迹化石是建立高分辨层序地层学的非常有用方法。非常值得一提的是,Obermeier等(2001;2005)把古地震作用形成的软沉积变形构造对岩土性质的影响和破坏应用到地质工程的研究上。近期,Stephane(2005)又通过研究湖泊中的浪成波痕来研究大气循环,通过研究二叠纪湖泊沉积物中的浪成波痕来探讨大气循环及波痕被水动力、水深控制及盛行的风向控制,把沉积构造研究应用到了气象研究中。Rodriguez等(2007)发现了反向倾斜轴面的包卷层理是地震反向来回震动的结果。此类例子很多,在此就不一一例举。

6 结语

以上从5个方面简要地总结了国际上近20年来在沉积构造研究方面做的工作,很可能有些重要成果未归入进来,但仅此就能看出沉积构造的研究在国外仍然受到重视,达到了一个很高的水平。可以预计,在今后的若干年里,国际上对沉积构造的研究热情定无衰减,很有可能沿着上述五个方面继续发展,但最有成长性的研究热点将是软沉积物变形

构造。相比之下,我国在沉积构造的专门研究方面近十几年成果则很少,水平也相对较低。除了有些痕迹化石的研究论文外,其它有关专门论文也不多(关尹文等,1990;李鸿业等,1990;傅启龙等,1994;张晓宝等,1994;钟建华等,1996,1997a,1997b;1998;Zhong et al.,2000),且深度和系统性不够,因而影响也不太大。但值得再次一提的是,近年来我国学者在地震成因构造的研究上非常活跃,取得的成果也不少,但笔者认为,有的地震成因的构造还值得探讨,它们有可能是一些多成因的构造的误定,所以本文没有专门介绍这些成果。总的来说,我国在沉积学的研究方面多以应用为主(偏重于层序地层学研究),而在理论探索和创新上建树不多,尤其是对沉积构造这种基础的研究热情不高。从国外有关论文的引用文献来看,我国学者有关沉积构造研究的论文被引用非常罕见,笔者认为,除了语言因素外,可能是我国学者把重点放在了应用沉积学上了,而对基础沉积学的研究重视不够!这种偏颇给我国沉积学的发展造成了很多不利,应当引起足够的重视!

最后需要着重说明的是:本文中的观点只是本人的粗浅之见,肯定有失偏颇,故请各位专家不吝赐教。

感谢国家科委、国家基金委及教育部提供的资助。

参 考 文 献 / References

- 杜远生, Shi G, 龚一鸣, 徐亚军. 2007. 东澳大利亚悉尼盆地二叠系与地震沉积有关的软沉积变形构造. 地质学报, 81(4): 511~518.
- 傅启龙, 沙庆安. 1994. 昌黎海岸风成沙丘的形态与沉积物构造特征及其成因初探. 沉积学报, 12(1): 98~103.
- 关尹文, 范法明. 1990. 湖南桃江半边山选寒武纪马底驿组陆屑风暴岩. 沉积学报, 9(1): 115~121.
- 黄宏伟, 杜远生, 黄志强, 陈海. 2007. 广西丹池盆地晚古生代震积岩及其构造意义. 地质论评, 53(5): 577~584.
- 李鸿业, 王振鹏. 1990. 化石波痕和现代波痕的对比研究. 沉积学报, 8(1): 129~132.
- 吕洪波, 章雨旭, 夏邦栋, 方中, 周伟明, 彭阳, 吴智平, 李伟. 2003. 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. 地质论评, 49(5): 449~456.
- 吕洪波, 章雨旭, 肖国望, 张绮玲. 2006. 内蒙古白云鄂博南东黑脑包腮林忽洞群下部发现地震滑塌岩块. 地质论评, 52(2): 163~169.
- 梅冥相, 高金汉, 孟庆芬, 刘智荣. 2009. 前寒武纪与微生物席相关的粉砂岩岩墙——以天津蓟县古元古界串岭沟组为例. 古地理学报, 11(1): 37~50.
- 梅冥相. 2007. 前寒武纪“白齿状构造迷”的一些认识: 来自天津蓟县蓟县高于庄组的信息. 古地理学报, 9(6): 597~610.

- 梅冥相. 2005. 天津蓟县蓟县中元古界高于组白齿状构造的层序地层位置及其成因的初步研究. 古地理学报, 7(4): 437~447.
- 彭阳, 胡贵昂, 陆刚, 章雨旭, 乔秀夫. 2004. 桂西北晚古生代地层中的沉积灰岩墙研究进展. 地质论评, 50(6): 613~619.
- 彭阳, 李岩, 胡贵昂, 陆刚, 乔秀夫. 2007. 广西桂林庙头上泥盆统融县组中的灰岩脉和角砾灰岩体及其成因. 地质论评, 53(6): 736~742.
- 彭阳, 陆刚, 胡贵昂, 周敏, 乔秀夫, 章雨旭. 2009. 广西凌云下甲二叠纪沉积灰岩墙和角砾灰岩体的成因及地质意义. 地质论评, 55(1): 43~48.
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 彭阳, 李海兵, 高勋, 宋彪, 张巧大. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报, 68(1): 16~32.
- 乔秀夫. 1996. 中国震积岩的研究与展望. 地质论评, 42(4): 316~320.
- 乔秀夫, 高林志. 1999. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系. 科学通报, 44(16): 1753~1758.
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 李海兵, 彭阳, 张传恒, 章雨旭. 2006. 地层中地震记录(古地震). 北京: 地质出版社, 1~263.
- 田洪水, 万中杰, 王华林. 2003. 鲁中寒武系馒头组震积岩的发现及初步研究. 地质论评, 49(2): 121~131.
- 王化爱, 钟建华, 陈鑫, 高玉飞. 2008. 蒙古塔木察格拗陷白垩系震积岩特征及其地质意义. 地质学报, 82(6): 1088~1094.
- 严兆彬, 郭福生, 彭花明, 杨志, 郭国林. 2005. 浙西寒武系大陈岭组地震事件沉积的初步研究. 地质学报, 79(6): 731~736.
- 杨剑萍, 聂玲玲, 张琳璞, 杨君, 张跃. 2008. 柴达木盆地西南缘乌南油田新近系古地震记录及储积性能研究. 地质学报, 82(6): 805~812.
- 殷秀兰, 杨天南. 2005. 胶州—莱阳盆地白垩纪莱阳群中的震积岩及其大地构造意义讨论. 地质论评, 51(5): 503~506.
- 袁静, 陈鑫, 田洪水. 2006. 济阳拗陷古近纪软沉积变形层中的环状层理及成因. 沉积学报, 24(5): 666~671.
- 张琴, 朱筱敏, 张建军, 宋刚, 阎伟鹏, 张群伟. 2003. 酒西盆地青南凹陷柳沟庄—窟窿山地区下白垩统震积岩的发现及意义. 地质学报, 77(2): 158~162.
- 张晓宝, 方国庆, 何海清. 1994. 西秦岭上二叠统浊积岩系中波痕的主要特征及其成因探讨. 沉积学报, 12(4): 124~131.
- 钟建华, 倪晋仁, 宋维奇, 王冠民, 马在平, 李勇, 刘华. 2001. 黄河三角洲上的冰成隆丘的研究. 沉积学报, 19(3): 357~362.
- 钟建华, 王冠民, 王夕宾, 吴孔友, 洪梅, 李勇, 倪晋仁. 2002. 黄河下游冰成滑塌与塌陷构造的研究. 沉积学报, 20(2): 261~266.
- 钟建华, 许世红, 王志坤, 王海侨, 马锋, 段宏亮, 阿不都热和曼·艾合买提江, 周娟, 刘云田, 李勇. 2008. 柴西七个泉(第四纪)冰川刨耕变形层理的研究. 地质论评, 54(2): 207~215.
- 钟建华, 张云秋, 段宏亮, 马锋, 王冠民, 任拥军. 2008. 柴西七个泉第四纪冰凌铸模[圆柱(管)状]沉积构造的特征及意义. 古地理学报, 10(4): 419~424.
- 周志广, 梁定益, 刘文灿, 万晓樵, 赵兴国, 王克友. 2006. 藏南晚白垩世宗卓组巨型混杂堆积的特征及其地裂—地震成因特征. 地质论评, 52(3): 314~320.
- Aalto K R. 1995. Skin-friction lines preserved on flute casts, Franciscan complex, Point ST. George, northern California. *Journal of Sedimentary Research*, 65a: 127~128.
- Aalto K R. 1996. Flute-like marks and associated structures from the carboniferous Port Hood formation of eastern Canada: evidence of secondary origin in association with sediment intrusion. *Journal of Sedimentary Research*, 66: 253~263.
- Alexander J, Bridge J S, Cheel R J, Leclair S F. 2001. Bedforms and associated sedimentary structures formed under supercritical water flows over aggrading sand beds. *Sedimentology*, 48: 133~152.
- Bass J H. 1994. A flume study on the development and equilibrium morphology of current ripples in very fine sand. *Sedimentology*, 41: 185~209.
- Bass J H, De Koning H. 1996. Wash-out ripples: their equilibrium dimensions, migration rate, and relation to suspended sediment concentration in very fine sand. *Journal of Sedimentary Research*, 66: 431~425.
- Bauerman H. 1882~1884, 1885. Report on the geology of the country near the forth—ninth parallel of North latitude West of the Rocky Mountains. Canada Geol. Survey Repot. Prog., B: 1~42.
- Best J and Ashworth P. 1994. A high-resolution ultrasonic bed profile for use in laboratory flumes. *Journal of Sedimentary Research*, 64a: 674~675.
- Bhattacharya A. 1997. On the origin of non-tidal flaser bedding in point bar deposits of the river Ajay, Binhar and West Bengal, NE India. *Sedimentology*, 44(6): 973~976.
- Blanc E J P, Blanc-Alétru M C, Mojion P O. 1998. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in the uppermost Aptian to lowermost Albian transgressive deposits of the Chihuahua basin (Mexico). *Geologische Rundschau*, 86(4): 875~883.
- Bowman D, Bruins H J, Van der Plicht J. 2001. Load structure seismites in the Dead Sea area, Israel: chronological benchmarking with ¹⁴C dating. *Radiocarbon*, 43: 1383~1390.
- Bowman D, Korjenkov A, Porat N. 2004. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk—kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan. *Sedimentary Geology*, 163: 211~228.
- Bridge J, Best J. 1997. Preservation of Planar laminae due to migration of low relief bed waves over aggrading upper-stage plane beds: comparison of experimental data with theory. *Sedimentology*, 44: 253~262.
- Buck S G and Goldring R. 2003. Conical sedimentary structures, trace fossils or not? Observations, Experiments and Review. *Journal of Sedimentary Research*, 73(3): 338~353.
- Cowan C A, James N P. 1992. Diastasis cracks: mechanically generated synaeresis-like cracks in Upper Cambrian shallow water oolite and ribbon carbonates. *Sedimentology*, 39: 1101~1118.
- David W T, David B L. 1992. Paleoyardunges; wind-scoured desert landforms at the Permo—Triassic unconformity. *Sedimentology*, 39: 251~262.
- De Poll H W V, Patel I M. 1990. An ornamented mudstone cavity, Boss Point Formation, Sackville, New Brunswick, Canada: evidence for mud intrusion and rheoplasia. *Sedimentology*, 37: 931~942.
- De Wet C B, Dickson J A D, Wood R A, Gaswirth S B and Frey H M. 1999. A new type of shelf margin deposits: rigid microbial sheets and unconsolidated grainstones riddled with meter-scale cavities. *Sedimentary Geology*, 128: 13~21.
- Elliott T. 2000. Depositional architecture of a sand-rich, channelized turbidite system; the Upper carboniferous Ross Sandstone Formation, Western Ireland. In: Weimer P, Slatt R M, Bouma A H, and Lawrence D T. eds. Deep water reservoirs of the world; Gulf Coast Section SEPM Foundation, Twentieth Annual Research Conference, 342~373.

- Fernandes L A, De Castro a b and Basilici G. 2007. Seismite in continental sand sea deposits of the Late Cretaceous Caiua Desert, Bauru Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 199: 51~64.
- Foix N, Parades J M, Giacosa R E. 2008. Giacosa Paleoe-earthquakes in passive-margin setting, an example from the Paleocene of the Golfo San Jorge Basin, Argentina. *Sedimentary Geology*, 205: 67~78.
- Ford T D, Pedley H M. 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Review*, 41: 117~175.
- Fryberger S G, Schenk C J and Krystinik L F. 1988. Stokes surfaces and the effects of near-surface groundwater-table on Aeolian deposition. *Sedimentology*, 35: 21~41.
- Gilbert L, De Galdeano S, Alfaro P, Scott G, López Garrido, A. C. 2005. Lopez Garrido, Seismic-induced slump in Early Pleistocene deltaic deposits of the Baza Basin (SE Spain). *Sedimentary Geology*, 179: 279~294.
- Gonzalez R and Eberli G P. 1997. Sediment transport and bedforms in a carbonate tidal in lee of Stocking Island, Exumas, Bahamas. *Sedimentology*, 49(6): 1015~1030.
- Guhman A I, Pederson D T. 1992. Boiling sand springs, Dismal River, Nebraska; Agents for formation of vertical cylindrical structures and geomorphic change. *Geology*, 20: 8~10.
- Gutierrez A F, Osacar C, Sancho C. 2000. Sedimentology and geochemistry of fluvio-lacustrine tufa deposits controlled by evaporate solution subsidence in the central Ebro Depression, NE Spain. *Sedimentology*, 47: 883~910.
- Habgood E L, Kenyon N H, Masson D G, Akhmetzhanov A, Weaver P P E, Gardner J, Mulder T. 2003. Deep-water sediment wave fields, bottom current sand channels and gravity flow channel-lobe systems; Gulf of Cadiz, NE Atlantic. *Sedimentology*, 50: 483~510.
- Hesp P A, Hyde R. 1996. Flow dynamics and geomorphology of a trough blowout. *Sedimentology*, 43(3): 505~525.
- Holzer T L, Clark M M. 1993. Sand boils without earthquakes. *Geology*, 21: 873~876.
- Inden, R F and Moore C H. 1983. Beach environment. In: Scholle P A, Bebout D G, Moore C H. eds. *Carbonate Depositional Environments*. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem., 33: 209~265.
- James N P, Bone Y, Kyser T K, Dix G R, Collins L B. 2004. The importance of changing oceanography in controlling late Quaternary carbonate sedimentation on a high-energy, tropical, oceanic ramp, north-western Australia. *Sedimentology*, 51: 1179~1205.
- Jewell H E, Etensohn F R. 2004. An ancient seismite response to Taconian far-field forces: The cane Run Bed, Upper Ordovician (Trenton) Lexington Limestone, central Kentucky (USA). *Journal of Geodynamics*, 27: 487~511.
- Jones A P and Omoto K. 2000. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan. *Sedimentology*, 47: 1211~1226.
- Juan Pedro Rodriguez-lopez, Nieves Melendez, Ana Rosa Soria, et al. 2007. Lateral variability of ancient seismites related to differences in sedimentary facies (the synrift Escucha Formation, mid-Cretaceous, eastern Spain). *Sedimentary Geology*, 201: 461~468.
- Juyal N, Pant R K, Basavaiah N, Yadava M G. 2004. Singhvi. Climate and seismicity in the higher Central Himalaya during 20~10 ka?: evidence from the Garbayang basin, Uttarakhand, India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 213: 315~330.
- Kahle C F. 2002. Seismogenic deformation structures in the micro-bialities and mudstones, Silurian Lockport Dolomite, northwestern Ohio, U. S. A. *Journal of Sedimentary Research*, 72: 201~216.
- Kidder D L. 1990. Facies-controlled shrinkage-crack assemblages in middle Proterozoic mudstones from Montana, USA. *Sedimentology*, 37: 943~951.
- Kilb D, Gombert J, Bodin P. 2000. Triggering of earthquake aftershocks by dynamic stresses. *Nature*, 408: 570~574.
- Knaust D. 1998. Trace fossils and ichnofabrics on the Lower Muschelkalk carbonat ramp (Triassic) of Germany: tool for high-resolution sequence stratigraphy. *Geol. Rundsch*, 87: 21~31.
- Kostaschuk R, Villard P. 1996. Flow and sediment transport over large subaqueous dunes, Fraser River, Canada. *Sedimentology*, 45(1): 217~221.
- Kullberg J C, Oloriz F, Marques B, Caetano P S, Rocha R B. 2001. Flat-pebble conglomerates; a local marker for Early Jurassic seismicity related to syn-rift tectonics in the Sesimbra area (Lusitanian Basin, Portugal). *Sedimentary Geology*, 139: 49~70.
- Li Y, Schweig E S, Obermeier S F, Craven J. 1996. Sand boils induced by the 1993 Mississippi River Flood; could they one day be misinterpreted as earthquake-induced liquefaction. *Geology*, 24(2): 171~174.
- Lin A. 1997. Instantaneous-shaking liquefaction induced by the M7.2 1995 Southern Hyogo prefecture earthquakes, Japan. *Geology*, 25(5): 435~438.
- Lien T, Walker R G, Martinsen O J. 2003. Turbidites in the Upper Carboniferous Ross Formation, western Ireland; reconstruction of a channel and spillover system. *Sedimentology*, 50: 113~148.
- Loope D B, Mason J A, Bao H, Kettler R M and Zanner W. 2005. Deformation structures and an alteration zone linked to deposition of volcanogenic sulphate in an ancient playa (Oligocene of Nebraska, USA). *Sedimentology*, 52: 123~139.
- Luis I, De Vallejo G, Tsige M, Cabrera L. 2005. Paleoliquefaction features on Tenerife (Canary Islands) in the Holocene sand deposits. *Sedimentary Geology*, 76: 179~190.
- Mazumder R, van Loon A J and Arima Makoto. 2006. Soft-sediment deformation structures in the Earth's oldest seismites. *Sedimentary Geology*, 186: 19~26.
- Mohindra R, Bagat T N. 1996. Seismically induced soft-sediment deformation structure (seismites) around Sumdo in the lower Spiti valley Tethys Himalaya). *Sedimentary Geology*, 101: 69~83.
- Montenat C, Barrier P, Ott d' Esteveu P, Hilsch C. 2007. Seismites: An attempt at critical analysis and classification. *Sedimentary Geology*, 196: 5~30.
- Mount J F. 1993. Formation of fluidization pipes during liquefaction: examples from the Uratanna Formation (Lower Cambrian), South Australia. *Sedimentology*, 40: 1027~1037.
- Moretti M, Alfaro P, Caselles O, Canas J A. 1999. Modelling seismites with a digital shaking table. *Tectonophysics*, 304: 369

- ~383.
- Moretti M. 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in Middle—late Pleistocene arenaceous deposits (Apulian fore-land, southern Italy). *Sedimentary Geology*, 135: 167~179.
- Moretti M, Soria J M, Alfaro P, Walsh N. 2001. Asymmetrical soft-sediment deformation structures triggered by rapid sedimentation in turbiditic deposits. *Facies*, 44: 283~294.
- Moretti M, Sabato L. 2007. Recognition of triggering mechanisms for soft-sediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant Arcangelo Basin (Southern Italy); Seismic shock vs. overloading. *Sedimentary Geology*, 196: 31~45.
- Namikas S L. 2003. Aeolian saltation: field measurements and numerical simulations. PhD Thesis, University of Southern California, Los Angeles.
- Namikas S L. 2003. Field measurement and numerical modeling of Aeolian mass flux distributions on a sandy beach. *Sedimentology*, 50: 303~326.
- Nelson C H, Johnson K R and Barber J H. 1987. Gray whale and walrus feeding excavation on the Bering shelf, Alaska. *Journal of Sedimentary Research*, 57(3): 419~430.
- Neuman C M, Lancaster N, Nickling W G. 1997. Relations between dune morphology, air flow, and sediment flux on reversing dunes, Silver Peak, Nevada. *Sedimentology*, 44(6): 1103~1113.
- Neuwerth R, Suter F, Guzman C A, Gorin E G. 2006. Soft-sediment deformation in a tectonically active area: The Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia). *Sedimentary Geology*, 186: 67~88.
- Nichols R J, Sparks R S J, Wilson C J N. 1994. Experimental studies of the fluidization of layered sediments and the formation of fluid escape structures. *Sedimentology*, 41: 233~253.
- Obermeier S F, et al. 1991. Evidence of strong earthquake shaking in the Lower Wabash Valley from prehistoric liquefaction features. *Science*, 251: 1061~1063.
- Obermeier S F, Pond E C and Olson S C. 2001. Paleoseismic studies in continental settings: geological and geotechnical features in interpretations and back-analysis. U. S. Geological Survey Open-File Report, 21: 30~253.
- Obermeier S F, Olson S M, Green R A. 2005. Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking. *Engineering Geology*, 76: 209~234.
- Ohsumi T, Nagayama T, Makinou T. 2006. Study of detection system for debris flows, earthquakes and noise by vibration sensor. *Journal of Sabo Society*, 59: 38~43.
- Oost A P, Baas J H. 1994. The development of small scale bedforms in tidal environments: an empirical model for unsteady flow and its applications. *Sedimentology*, 41: 883~903.
- Orti F, Rosell L, Anadon P. 2003. Deep to shallow lacustrine evaporates in the Libros Gypsum (southern Teruel Basin, Miocene, NE Spain): an occurrence of pelletal gypsum rhythmites. *Sedimentology*, 50: 361~386.
- Osborne P D, Greenwood B. 1993. Sediment suspension under waves and currents: time scales and vertical structure. *Sedimentology*, 40: 599~622.
- Owen G. 1995. Soft-sediment deformation in upper proterozoic Torridonian sandstones (Applecross Formation) at Torridon, northwest Scotland. *Jour. Sedim. Res.*, 65(3): 495~504.
- Partt B R. 2001. Septarian concretions: internal cracking caused by synsedimentary earthquakes. *Sedimentology*, 48: 189~213.
- Perry C T. 1998. Grain susceptibility to the effects of microboring: implications for the preservation of skeletal carbonates. *Sedimentology*, 45(1): 39~52.
- Petrovich H M S. 1986. Sedimentary mounds and washout depressions from the middle Ordovician limestone, Ottawa valley, Canada. *Journal of Sedimentary Research*, 58(2): 304~331.
- Piers L, Colin J. 1996. The morphological dynamics of intertidal megaripples in the Mawddach Estuary, North Wales, and the implications for paleaoflow reconstructions. *Sedimentology*, 43(3): 541~559.
- Pochat S, Van Den Driessche J, Mouton V, Guillocheau F. 2005. Identification of Permian palaeowind direction from wave-dominated lacustrine sediments (Lodeve Basin, France). *Sedimentology*, 52: 809~825.
- Pratt B R. 2002. Tepees in peritidal carbonates: origin via earthquake-induced deformation, with example from the Middle Cambrian of western Canada. *Sedimentary Geology*, 153: 57~64.
- Prave A R. 1990. Clarification of some misconceptions about antidune geometry and flow character. *Sedimentology*, 27: 1049~1052.
- Puga-Bernabéu A, Martín J, Mand Braga J C. 2007. Tsunami-related deposits in temperate carbonate ramp, Sorbas Basin, southern Spain. *Sedimentary Geology*, 199: 107~127.
- Ramsay P J, Smith A M, Mason T R. 1996. Geostrophic sand ridge, dune fields and associated bedforms from the Northern KwaZulu-Natal shelf, South-east Africa. *Sedimentology*, 43(3): 407~420.
- Rodriguez-Pisua M A, Calvo J P, De Vicente G and Gómez-Gras D. 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology*, 135: 117~135.
- Rodriguez-Pascua M A, De Vicente G., Calvo J P, Perez-Lopez R. 2003. Similarities between recent seismic activity and paleoseismites during the late miocene in the external Betic Chain (Spain): relationship by "b" value and the fractal dimension. *Sedimentary Geology*, 25: 749~763.
- Rodriguez-Pascua M A, Calvo J P, De Vicente G, Gómez-Gras D. 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology*, 135: 117~135.
- Rubin D R and Ikeda H. 1990. Flume experiments on the alignment of transverse, oblique, and longitudinal dunes in directionally varying flows. *Sedimentology*, 37: 673~684.
- Saucier R T. 1991. Geoarchaeological evidence of strong prehistoric earthquakes in the New Madrid (Missouri) seismic zone. *Geology*, 19: 296~298.
- Schmeeckle M W, Nelson J M. 2003. Direct numerical simulation of bedload transport using a local, dynamic boundary condition. *Sedimentology*, 50: 279~301.
- Schnellmann M, Anselmetti F S, Giardini D, McKenzie J A. 2005. Mass movement-induced fold-and-thrust belt structures in

- unconsolidated sediments in Lake Lucerne (Switzerland). *Sedimentology*, 52(2): 271~289.
- Scott B. 1988. Earthquake-induced structures in young sediments. *Tectonophysics*, 147: 165~170.
- Shanmugam G., Moiola R J and Sales J K. 1988. Duplex-like structures in submarine fan channels, Ouachit Mountains, Arkansas. *Geology*, 16: 229~232.
- Sims J D. 1990. Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fennando, California. *Science*, 182: 161~163.
- Stewart A K. 2002. Origin of the Middle Tongue of the TAnglewood Member, Lexington Limestone, and its soft-sediment deformation, Middle Ordovician, Central Kentucky[M. S. thesis]. University of Kentucky, Lexington.
- Tanner P W G. 1998. Interstratal dewatering origin for polygonal patterns of sand-filled cracks; a case study from late Proterozoic metasediments of Islay, Scotland. *Edimentology*, 45(1): 71~89.
- Tsunoo O, Yujiro O. 2008. Vein structures, like ripple marks, are formed by short-wavelength shear waves. *Journal of Structural Geology*, 39: 719~724.
- Walker R G., James N P. 1992. Facies Models, Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada (St John's), 303~322.
- Weidlich O, Bernecker M. 2004. Quantification of depositional changes and paleo-seismic activities from laminated sediments using outcrop data. *Sedimentary Geology*, 166: 11~20.
- Wiltschko D V, Morse J W. 2001. Crystallization pressure versus "crack seal" as the mechanism for banded veins. *Geology*, 29: 79~82.
- Williams, G E. 1996. Soft-sediment deformation structures from the Marinoan glacial Succession, Adelaide foldbelt; implications for the palaeolatitude of late Neoproterozoic glaciation. *Sedimentary Geology*, 106: 165~175.
- Yang B C, Dalrymple R W, Chun S S. 2005. Sedimentation on a wave-dominated, pen-coast tide flat, south-western Korea: summer tidal flat-winter shoreface. *Sedimentology*, 52: 235~252.
- Young J S L, Sleath J F A. 1990. Ripple formation in combined transdirectional steady and oscillatory flow. *Sedimentology*, 37: 509~516.
- Zhong Jianhua, Ni Jinren. 2000. A Preliminary study of Rill marks in the Yellow River Delta. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(4): 527~533.
- Zhong Jianhua, Shen Xiaohua, Ni Jinren, Wang Guanmin, Wen Zhifeng, Wang Xibin, Wang haiqiao, Li Li, Wu Kongyou, Li Yong, Hong Mei. 2002. The Shengli I Point Bar on the Yellow River Delta: Three-Dimensional Structures and Their Evolution. *Acta Geologica Sinica*. 76(4): 463~477.
- Zhong Jianhua, Wen Zhifeng, Wang Guanmin, Wang Xibin, Lu Hongbo and Shen Xiaohua. 2004. Air-discharge pits on the Yellow River delta plain. *Sedimentary Geology*, 170(1~2): 1~20.
- Zhong Jianhua Wang Haiqiao, Li Yong, Wang Yong and Wen Zhifeng. 2005. Ice-water pits upon the Yellow River delta plain. *Sedimentary Geology*, 187(1~2): 1~10.

Situation of Study and Development Tendency of Sedimentary Structure

ZHONG Jianhua^{1,2)}, LIANG Gang¹⁾

1) *Research Institute of Reservoir, Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061;*

2) *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640*

Abstract: This paper summarizes the achievements in the study of sedimentary structure in the last couple of decades. And the paper illustrates the situation of study and development tendency of sedimentary structure from five aspects: the first is to go on exploring new sedimentary structure; the second is to research the genesis of some existing sedimentary structure by a variety of methods, including field observation, physical modeling and numerical modeling; the third is to correct people's obsolete or wrong understandings on genesis and environmental implication of some sedimentary structure; the fourth is to put emphasis on the study of soft-sediment deformation structures, flow escape structures and liquid structures; the twentieth is to go on discovering and expanding the application function and range of sedimentary structure in the study of sedimentology (environment analysis, sequence stratigraphy and so on).

In China, achievements in the study of sedimentary structure are some poor in recent years, so it is worthwhile for us to forge ahead.

Key words: sedimentary structure; soft-sediment deformation structures