doi:10.3799/dqkx.2011.103

南黄海千里岩附近海域第四纪构造活动特征

李官保^{1,2},刘保华^{1,2},赵月霞^{1,2},李 炜³,姜丽丽³

1. 国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛 266061

2. 国家海洋局海洋沉积与环境地质重点试验室,山东青岛 266061

3. 青岛市地震局,山东青岛 266071

摘要:南黄海千里岩附近海域是千里岩隆起区地震活动较强烈的区域,对该区域新近获得的单道地震剖面的分析表明,海底 第四纪沉积层中发育较多的褶皱和断层构造,断层以逆断层为主,褶皱则主要为平缓斜歪褶皱,为断层活动引起.褶皱和断层 构造多形成于中更新世以前,千里岩断裂等部分断层最新活动至晚更新世,且具有生长断层的特征,反映了区域较强的活动 性.研究区新近纪一中更新世的构造变形可能与南黄海最新一期构造运动有关,是区域构造应力场变化的产物. 关键词:南黄海;千里岩;第四纪;构造活动;构造运动;地震剖面.

中图分类号: P714 文章编号: 1000-2383(2011)06-0977-08 收稿日期: 2011-05-16

Quaternary Tectonic Activity near the Qianliyan Island of Southern Yellow Sea

LI Guan-bao^{1,2}, LIU Bao-hua^{1,2}, ZHAO Yue-xia^{1,2}, LI Wei³, JIANG Li-li³

1. First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China

2. Key Laboratory of Marine Sedimentary and Environmental Geology, SOA, Qingdao 266061, China

3. Seismology Bureau of Qingdao, Qingdao 266071, China

Abstract: Many Quaternary folds and faults are identified on the seismic reflection profiles acquired in the adjacent areas of Qianliyan Island of southern Yellow Sea. The faults are mainly of reverse fault. The folds are mainly gentle and tilted, caused by fault activities. Most folds and faults occurred below a plane of unconformity between middle Pleistocene and its overlying upper Pleistocene. Some faults, such as Qianliyan fault, are late Pleistocene active fault. Many faults and folds were synsedimentarily developed in the lower Pleistocene and underlying strata, revealling rather strong tectonic activity, especially at the basin boundary where the faults even cut into the late Pleistocene, which maybe correspond to the Kunlun-Huanghe movement of Qinghai-Tibet plateau. At that time, the N-S striking horizontal stress drove the early-developed basin boundary faults reactive and further induced the NEE or E-W striking tectonic deformation in the overlying sedimentary layer.

Key words: southern Yellow Sea; Qianliyan Island; Quaternary; tectonic activity; tectogenesis; seismic profile.

南黄海千里岩附近处于长期隆升区域,最近的 研究表明该区域具有较强的构造活动性(王志才等, 2008).由于该区域紧靠山东半岛城市群,其构造活 动性对周边地震安全的潜在影响不容忽视.本文基 于近年来在千里岩附近海域获得的多条单道地震剖 面资料,研究了新近纪以来的地层发育和构造活动 特征,并对区域的构造活动性、构造变形的时代演化 和动力学成因机制进行了探讨.

1 区域地质概况

研究区在大地构造上属于千里岩隆起区 (图1).千里岩隆起区南邻南黄海北部盆地,对于该 隆起区的归属存在较大争议,过去曾认为属于中朝 准地台,由古老的前寒武纪变质岩系组成(秦蕴珊 等,1989),现在较多的学者认为其属于在华北板块 和扬子板块之间相对独立的大别一苏鲁造山带的次

基金项目:国家自然科学基金项目(No.41102142);近海海洋调查与综合评价专项课题(No.908-01-DW04). 作者简介:李官保(1976一),男,博士,副研究员,主要从事海洋地球物理与海底构造研究.E-mail: leeguanbao@yahoo.com.cn





Fig. 1 Location map showing seismic profiles 图中实线为地震测线位置,测线加粗部分为文中引用剖面的位置; 虚线为等深线,间隔5m;b图为研究区所处大地构造位置,其中自 钻孔QC2至研究区的一系列相交直线为地震剖面追踪测线,①代表 千里岩断裂,②代表嘉山一响水断裂带;单位:m

级构造单元—苏鲁造山带,造山带内部则以千里岩 断裂(或称海州一泗阳断裂)为界,划分为北部的超 高压变质带和高压变质带(杨文采等,2005;许志琴 等,2006).最新的研究结果表明千里岩隆起区的变 质岩系上有古生代地层发育(付永涛和虞子冶, 2010).

千里岩隆起区和相邻的南黄海北部盆地之间通 过嘉山一响水深断裂带作为分界,隆起区内部发育 千里岩断裂带(图1).在海域,对这两条断裂的认识 主要来自于对重磁资料的解译,因而造成了断裂带 位置认定的差异.如刘光鼎(1992)认为嘉山一响水 断裂带穿过南黄海北部盆地中北部,而秦蕴珊等 (1989)、郭玉贵(1997)则认为嘉山一响水断裂带位 于南黄海北部盆地的北边缘.

历史地震研究与现代地震监测结果表明,南黄海北部有较强的地震活动,南黄海千里岩附近海域 是南黄海北部地震活动较为活跃的地区,至今有多 次4级以上地震发生(吴戈,2004).王志才等(2008) 利用浅剖资料在千里岩附近发现了晚更新世活动断 裂的证据,也证明了该区域较强的构造活动性.

2 资料来源与研究方法

文中依据的反射地震剖面分别来自两个航次的 探测结果,测线位置见图 1. 其中测线 I~VI 所用震 源系统为 S15 水枪震源,容量为 245 cm³;地震采集 系统为 DELPH PLUS 单道地震仪,剖面记录长度 为 800 ms,纵向分辨率约 1 m. 测线 VII 所用震源系 统为 SIG5580J 电火花震源,发射能量为 5 000 J;地 震采集系统为 DELPHWIN 单道地震仪,剖面记录 长度 2 000 ms,纵向分辨率约 3 m. 作业过程中均使 用差分 DGPS 定位,精度达米级. 对剖面记录进行 了涌浪滤波、带通滤波、时变滤波、自动增益、预测反 褶积和水平叠加等后处理. 由于缺少必要的地层速 度资料,文中剖面均未进行时深转换.

利用地震剖面识别隐伏断层的基本方法是:首 先依据地震剖面上的反射波组特征,结合地质和钻 孔资料进行对比分析,确定地震波组与地质层位的 对应关系和目标层的变化情况,并根据测线上的钻 探资料推断地层的形成时代;然后依据浅层反射地 震资料中的断层识别标志来判别断层,并根据上断 点的地层层位判定断层的最新活动时代(何正勤等, 2007). 由于研究区内缺少钻探资料,因此本文从南 黄海中部的 QC2 钻孔出发,对钻孔与研究区之间海 域的一系列相交地震剖面进行对比和追踪(追踪测 线见图 1),从而大致确定了研究区各条地震剖面上 不同地震波组对应的地层层位和时代. 识别断层则 主要依据以下4个标志:(1)反射波同相轴或波组的 错断:(2)反射波同相轴数目突然增加或减少:(3)反 射波同相轴形态和特征发生突变,反射波零乱或出 现空白异常带;(4)反射波同相轴的强相位反转(何 正勤等,2007).

3 地层发育特征

3.1 地震地层划分与对比

根据地震剖面上反射边界面特征(表现为整合、 顶超、削蚀、上超、下超等反射终止模式)以及地震相 的内部结构特征(连续性、频率的高低和振幅的强弱 等),通过对比和追踪,在剖面 I~VI 上识别出了 6 个主要地震反射界面: T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 和 T_g (图 2),此外在穿透深度较大的剖面 VII 上还识别出界 面 T_5 (图 3),根据这些反射界面相应地划分出 7 个 地震层序. 根据南黄海中部的 QC2 孔的地层划分结 果(郑光膺,1991;杨子庚,1993),自穿过 QC2 孔的 地震剖面起,通过对一系列相交剖面的对比和追踪 (过孔测线和各相交测线位置见图 1b),推测了各个 地震层序的时代,地震反射界面 T₀~T₅ 大致依次 对应了海底面和全新统(Q₄)、上更新统(Q₃)、中更 新统(Q_2)、下更新统(Q_1)、新近系(N_2)的底界面, T。为基岩的顶界面,根据相关研究结果(秦蕴珊等, 1989;付永涛和虞子冶,2010),推测为前寒武纪变质



图 2 地震地层划分与时代(测线 IV)

Fig. 2 Seismic stratigraphic units and their period along line IV



图 3 测线 VII 上发育的断裂与褶皱(剖面 A-A',图 b 为解释剖 面)

Fig. 3 Seismic profile (a) A-A' with interpretation (b) showing faults and folds in line VII

岩系(Pre-€)或者古生界(Pz)(图 2 和图 3).

3.2 地层厚度与接触关系

第四系在研究区普遍发育,自近岸向外厚度总体逐渐增加,近岸地区受基岩面起伏的影响,厚度变化较大.新近系主要分布在研究区中部和南部,向岸逐渐尖灭,导致第四系直接覆盖在前寒武纪基岩上(图 2).研究区东南部新近系厚度急剧增加,并且有古近系发育,地震剖面未揭示基岩(图 3),表明已经过渡到南黄海北部盆地区.

剖面显示,多数区域的基岩以上各个时代的沉积地层上下近平行,呈整合或假整合接触关系.在测线 III 和 VII 上可见局部角度不整合接触,不整合面





位于中、上更新统之间,下伏中、下更新统因褶皱变 形发生倾斜,褶皱形成的背斜顶部被削蚀,中更新统 变薄(图 3 和图 4).

4 褶皱与断裂构造特征

4.1 褶皱构造

褶皱构造主要见于地震测线 III 和 VII.由于测 线以不同的方向穿过褶皱构造,造成地震剖面上揭 示的褶皱构造形态在测线之间存在差别.研究区的 褶皱构造上以背斜为主,各个褶皱的发育程度和规 模各不相同,最大宽度超过 10 km,最大波幅超过 100 ms.多数褶皱两翼不对称,多为西(北)翼陡,倾 角最大约 10°,东(南)翼缓,倾角一般不超过 1°.轴 面多向偏东或偏南方向倾伏,翼间角宽大,呈平缓斜 歪褶皱的形态.在剖面下部褶皱视波幅较大,向上则 逐渐变平缓,表现出同沉积褶皱的特征(图 3 和图 4).发生褶皱变形的地层多位于中更新统以下,局部 区域的上更新统底部也发生轻微褶皱,形态上与下 伏地层形变呈渐变关系.

4.2 断层构造

在各条地震剖面上均识别出了断层构造,主要 分布于研究区的中部和南部,由于测线间距较大,断



图 5 剖面 *C*-*C*' 上揭示的千里岩断裂及其解释(测线 II) Fig. 5 Seismic profile (a) *C*-*C*' with interpretation (b) showing Qianliyan Fault in line II

点产状差别大,因此对识别出的大部分断点未在测 线间进行追踪. 剖面上,断层切割了沉积层,部分可 能切割了下伏基岩(图 2,3,5,6). 断层面多数近直 立,很多断层邻近断面的地层发生褶皱或挠曲变形. 就断层的切割深度而言,在可识别的范围内,多数沉 积层内断层上断点主要发育在中更新统及其以下地 层中,部分向上切割了上更新统底界面(图 4~6). 断层的断距多数自剖面下部向上逐渐减小,表现出 生长断层的特征.

5 讨论

5.1 嘉山一响水断裂带与千里岩断裂的识别

嘉山一响水断裂带与千里岩断裂是南黄海北部 最重要的两条大断裂(带),在地球物理场上均有明 显显示(张训华,2008),前者是南黄海北部盆地与千 里岩隆起的边界断裂,后者则切割了千里岩隆起内 部,可能与苏北分割苏鲁造山带高压和超高压变质 带的邵店一桑墟断裂相对应.在研究区的地震剖面 上也识别出了这两条断裂,断裂显示在第四纪以来 具有较强的活动性.

5.1.1 嘉山一响水断裂带 嘉山一响水断裂带中



图 6 剖面 D-D'上揭示的千里岩断裂及其解释(测线 I) Fig. 6 Seismic profile (a) D-D' with interpretation (b) showing Qianliyan Fault in line I

新生代以来作为南黄海盆地的西北边界发育,根据 重、磁分析和深地震探测结果,可能是一条壳内大断 裂带(Xu et al., 2002;张训华,2008).在研究区,断 裂带位于东南角,由多条断层面组成(图 3),其主断 层面可能切割了基岩,剧烈的垂直位移导致两侧地 层差异明显,地层自 NW 盘向 SE 盘急剧增厚,NW 盘仍可大致识别出基岩顶面,SE 盘则全部为沉积 层,并可见古近系上界面.断层面切割的地层发生褶 皱变形,导致中更新统以下地层界面明显上拱,总体 呈背斜形态.

5.1.2 千里岩断裂 千里岩断裂大致切割了千里 岩隆起的中部.王志才等(2008)曾根据浅剖资料对 断裂的位置和第四纪活动性进行了分析.本文的地 震测线 I、II 和 V 与其文中测线 I 和 II(在图 7 中表 示为 AI 和 AII)相距很近,特别是测线 I 基本位于 AI 和 AII之间,这为两种资料间的对比验证提供了 条件.

在测线 I、II 和 V 上发现了剖面形态相似的 3 个断点(测线 I 和 II 上的断点见图 5 和图 6),断点



图 7 研究区及周边地质构造与地震震中分布

Fig. 7 Sketch tectonic map of the study area and its vicinity 研究区内粗实线 AI、AII 和"十"分别指示王志才等(2008)中千里岩附近浅剖测线 I、II 和所识别的千里岩断裂断点的位置。"☆"则指示本文 识别的千里岩断裂断点的位置. 地震资料来自顾功叙(1983)和国家地震科学数据共享中心,包括现代地震和历史地震记录. ①代表嘉山一响 水断裂带;②代表千里岩断裂;③代表蓬莱一威海断裂带;④代表牟平一即墨断裂带;⑤代表蓬莱一栖霞断裂带

位于千里岩岛以北,断层面均近直立切割了沉积层 直至基岩顶面,均为北(西)盘下降南(东)盘上升,且 断距自下而上逐渐减小,无论从切割深度还是横向 延伸长度上看均是一条规模较大的断裂,推测即为 千里岩断裂的位置.值得提出的是,该位置与王志才 等(2008)认定的千里岩断裂主断层的位置不符,而 与其所述的主断裂以北 5.5 km 处的分支断裂位置 大致吻合,且剖面上断点产状相似.而对于其所述主 断裂,本文中对应位置的剖面上均未发现断层切割 第四系下部地层的迹象.就图 5 和图 6 而言,其地震 相上部平行或亚平行,下部凹陷,底部反射层序与下 伏层序不连续,具强振幅、向边缘上超等河道充填相 特征,可能为河道沉积区.这也显示了浅剖资料受穿 透深度所限在断层的识别上的局限性.

5.2 断层运动性质及其与褶皱的关系

在剖面识别出的断层多数近直立,不排除断层 具有一定的走滑性质,而且对相邻陆地上几条重要 的 NE 向断裂,如即墨一牟平断裂等,均为中更新世 前后活动期具有左旋张扭性断层(栾光忠等,1999). 但由于在剖面上未发现"花状构造"等直接证据,因 此这里对断层可能的走滑性质不做过多讨论.而侧 重于结合两盘地层的上下位置关系、断面两侧地层 的变形特征和区域地质背景来综合分析剖面上两盘 的运动关系.

一般地,正断层以上盘的下降运动为主,因此下降盘(即上盘)在断层面附近的地层变形较为强烈, 易发生牵引褶皱或逆牵引褶皱等构造变形;而逆断 层以上盘的上升运动为主,因此上升盘(即上盘)的 地层变形也较下降盘剧烈.这种两盘变形的强弱差 异可以帮助判定断层的运动性质.研究区大部分断 层的上升盘发生较强变形,表明以逆断层为主,对剖 面局部放大也显示断层面略有向上升盘倾伏的趋 势,即上盘上升.比较特殊的是千里岩断裂,其下降 盘的下部发生牵引褶皱变形,因此判断该断层为正 断层,这与王志才等(2008)的结论一致.

中生代早期至古近纪以张裂为主的构造作用导 致了南黄海北部盆地的形成(姚永坚等,2008),盆地 边界断裂主要为正断层性质,而在研究区发现的断 裂在新近纪以来以逆断层为主,这可能反映了以先 拉张后挤压为特征的两期不连续形变过程的存在, 即新近纪一第四纪早期的构造反转.应力场的分析 结果也表明南黄海始新世一渐新世与新近纪一早第 四纪的主应力方向截然不同(万天丰和郝天珧, 2009).研究区褶皱构造的形成也与这次构造反转密 切相关.早期的正断层发生逆向运动,运动量传播至 上覆沉积层,导致断层传播褶皱的形成,在剖面上具 有形态不对称、前翼陡窄、后翼宽缓、发生褶皱的地 层下部被断层切割而上部则仍然连续等断层传播褶 皱的一系列典型特征.

5.3 研究区构造活动性分析

研究区所处的千里岩隆起区是一般认为的构造 稳定地区,但就研究区而言,则属于千里岩隆起区的 相对构造活跃地区,在山东半岛东部沿海也是除了 蓬莱一威海断裂活动带之外另一个较强的地震活动 带.区内微震活动明显比隆起区其他部分密集,发生 过多次4级以上地震,并曾发生了1932年的6<u>4</u>级 地震(吴戈,2004).

地震剖面资料为研究区的构造活动提供了进一步的证据,表现在3个方面:(1)褶皱和断层构造数 量多而且分布密集;(2)断层构造活动时代新,最新 的断层切割了上更新统底部,属于晚更新世活动断 层;(3)褶皱和断层构造发育具有时代连续性,很多 褶皱和断层构造表现出同沉积特征,表明是在沉积 物堆积过程中逐渐发育,变形随时间逐渐积累.考虑 到资料的分辨率最小为3m,不排除部分构造变形 已经影响到全新统的可能性.

识别出的褶皱和断层构造主要位于千里岩断裂 以南、基岩深度增加剧烈、沉积厚度大的区域,与沉 积盆地距离较近,表明隆起区的构造变形可能与盆 地边界的剧烈构造活动有关.

5.4 构造变形的时代演化和动力学成因机制

研究区的构造形迹以中更新统与上更新统之间 的不整合面为界,上下存在明显差异.不整合面以上 地层近水平,变形很小,仅局部被断层切割,褶皱构 造不发育;不整合面以下地层倾斜,受断层切割较剧 烈,有断层传播褶皱和牵引褶皱发育.这表明在中更 新统以前发生了一次较强的构造活动.

前人的研究认为,黄海地区最近一次较强的构造运动是黄海运动,发生于上新世末期,并使得南黄海北部盆地的第四系和上新统之间形成角度不整合接触(郑光膺,1991;张训华,2008).但在研究区,第四系和上新统之间的变形形态基本一致,地层界面也近乎平行,黄海运动的不整合面并不存在.而中更新统与上更新统之间的不整合面在研究区更具有普遍意义,因此认为中更新世可能存在最新一期构造

运动.

中国大陆、特别是中国西部早、中更新统之间的 角度不整合日益受到学者们的重视,并已经与构造 应力场的变化和重大气候变化时间联系在一起(万 天丰和曹瑞萍,1992;万天丰,1994,2004;万天丰和 曹秀华,1997;许忠淮和吴少武,1997;贾承造等, 2004; 葛肖虹等, 2006), 这次构造事件以青藏高原的 最后一次剧烈隆升为主要特征,在昆仑山垭口地区 被称作"昆仑一黄河运动"(崔之久等,1997),发生在 早更新世末期至中更新世,具体时间则在不同学者 之间有差异(周厚云,2000;万天丰,2004;宋春晖等, 2005; 葛肖虹等, 2006). 这次事件对中国东部海域的 影响也已被部分学者注意到(蔡东升等,2001;郑彦 鹏等,2001;龚再升,2004;朱照宇等,2006;詹文欢 等,2006).具体到研究区,中更新统与上更新统之间 的不整合面可能与这次构造事件相对应,至于时间 的滞后,则可能与构造应力的长距离传递有关.

研究区内发育的褶皱和断层构造可能是这次构 造运动的产物,其构造作用以近南北向的挤压和缩短 为特征(万天丰和郝天珧,2009).在新近纪一早更新 世(23.5~0.78 Ma),由于印澳板块向北运动,最大主 压应力方向由始新世一渐新世的近东西向转变为近 南北向.这期构造作用的强度并不大,因此褶皱发育 的区域并不十分普遍,也较微弱,比较明显的表现是 影响到先存断裂的重新活动(万天丰,2004;万天丰和 郝天珧,2009).新近纪以前裂陷阶段形成的 NEE 向 边界断层在新的近南北向构造应力场下发生活动,始 新世以来呈张性的断层被压紧、闭合,并沿断层面发 生一定程度逆冲,甚至还可能出现部分断块上升.断 层上覆沉积物受断层垂向运动和断块的上冲作用控 制而发生变形,形成断层传播褶皱等构造.

6 结论

南黄海北部千里岩附近海域是千里岩隆起区构 造较活跃地区,第四纪构造变形较显著,形成较多的 褶皱和断层构造.区内的两条主要断裂千里岩断裂 和嘉山一响水断裂带在第四纪以来均有活动,其中 千里岩断裂活动时代较新,属于晚更新世活动断层. 褶皱和断层构造具有数量多、发育层位新、同沉积发 育等特征,反映了研究区中更新世以前较强的构造 活动性.褶皱和断层构造多发育在中更新统以前,可 能是最新一期构造运动的产物.

致谢:中国地质大学(北京)万天丰教授对本文

提出了宝贵的修改意见和最新的资料信息,特此 致谢.

References

- Cai, D. S., Luo, Y. H., Wu, W. L., et al., 2001. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong depression and adjacent areas, Bohai bay basin. *China Of fshore Oil and Gas (Geology)*, 15(1):35-43 (in Chinese with English abstract).
- Cui, Z. J., Wu, Y. Q., Liu, G. N., 1997. Discovery and character of Kunlun-Huanghe movement. *Chinese Science Bulletin*, 42(18):1986–1989 (in Chinese).
- Fu, Y. T., Yu, Z. Y., 2010. Metamorphosed marine clastic rocks in Qingdao: tectonic attribute and implication. *Chinese Journal of Geology*, 45(1):207-227 (in Chinese with English abstract).
- Ge, X. H., Ren, S. M., Ma, L. X., et al., 2006. Multi-stage uplifts of the Qinghai-Tibet plateau and their environmental effects. *Earth Science Frontiers*, 13(6):118-130 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z. S., 2004. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese basins. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 29(5):513-517 (in Chinese with English abstract).
- Gu, G. X., 1983. Earthquake catalogue of China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Guo, Y. G., 1997. Geological structure features of Yellow Sea, East China Sea and adjacent areas. In: Xu, D. T., Liu, X. Q., Zhang, X. H., et al., eds., China offshore geology. Geological Publishing House, Beijing, 223 – 229 (in Chinese).
- He,Z. Q., Chen, Y. K., Ye, T. L., et al., 2007. Application of shallow seismic exploration in detection of buried fault in coastal areas. *Seismology and Geology*, 29(2): 363-372 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., He, D. F., Lu, J. M., 2004. Episodes and geodynamic setting of Himalayan movement in China. Oil & Gas Geology, 25(2): 121-125 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. D., 1992. The geological and geophysical map of the China's seas and adjacent areas (1:5000000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Luan, G. Z., Ren, L. C., Duan, B. C., 1999. Activity of NE and NW faults in Qingdao area and its neighbourhood. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 29(4):727-732 (in Chinese with English abstract).
- Qin, Y. S., Zhao, Y. Y., Zhao, L. R., et al., 1989. Geology of the Huanghai Sea. Ocean Press, Beijing (in Chinese).

- Song, C. H., Gao, D. L., Fang, X. M., et al., 2005. Late Cenozoic high-resolution magnetostratigraphy in the Kunlun Pass basin and its implications for the uplift of the northern Tibetan plateau. *Chinese Science Bulletin*, 50 (17):1912-1922.
- Wan, T. F. ,1994. Tectonic event and stress field of Quaternary in China. *Quaternary Sciences*, (1): 48-55 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F. ,2004. Summary of China geotectonics. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wan, T. F., Cao, R. P., 1992. Tectonic events and stress fields of middle Eocene-Early Pleistocene in China. *Geoscience*, 6 (3):275-285 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F., Cao, X. H., 1997. Estimation of differential stress magnitude in middle-late Triassic to Early Pleistocene for China. *Earth Science—Journal of China* University of Geosciences, 22(2):145-152 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F., Hao, T. Y., 2009. Cenozoic tectonics of the Yellow Sea and its oil-gas exploration. *Geoscience*, 23 (3):385-393 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. C., Chao, H. T., Du, X. S., et al., 2008. Preliminary survey on the Quaternary activities of the Qianliyan fault in the northern part of the South Yellow Sea. Seismology and Geology, 30(1):176-186 (in Chinese with English abstract).
- Wu,G., 2004. Historical earthquakes occurred in the Yellow Sea and its adjacent area. *Earthquake Research in China*, 20 (3):299-305 (in Chinese with English abstract).
- Xu, P. F., Liu, F. T., Ye, K., et al., 2002. Flake tectonics in the Sulu orogen in eastern China as revealed by seismic tomography. *Geophysical Research Letters*, 29 (10): 1385. doi:10.1029/2001GL014185
- Xu,Z. H., Wu,S. W., 1997. A study on present-day tectonic stress in the southern Yellow Sea and East China Sea region. Acta Geophysica Sinica, 40(6): 773-781 (in Chinese with English abstract).
- Xu,Z. Q.,Qi,X. X., Yang, J. S., et al., 2006. Deep subduction erosion model for continent-continent collision of the Sulu HP-UHP metamorphic terrain. *Earth Science*—*Journal of China University of Geosciences*, 31 (4):427–436 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. C., Xu, J. R., Cheng, Z. Y., et al., 2005. Regional geophysics and crust-mantle interaction in Sulu-Dabie orogenic belt, Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yang, Z. G., 1993. The sedimentary sequence and palaeogeographic changes of the South Yellow Sea since the Olduvai subchron. *Acta Geologica Sinica*, 67(4): 357-366

(in Chinese with English abstract).

- Yao, Y. J., Feng, Z. Q., Hao, T. Y., et al., 2008. A new understanding of the structural layers in the South Yellow Sea basin and their hydrocarbon-bearing characteristics. *Earth Science Frontiers*, 15(6): 232-240 (in Chinese with English abstract).
- Zhan, W. H., Zhu, Z. Y., Sun, L. T., et al., 2006. The Epoch and diversities of neotectonic movement in the South China Sea. *Acta Geologica Sinica*, 80(4):491-496 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. H., 2008. Tectonic geology in China seas. Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Zheng, G. Y., 1991. Quaternary geology in the Yellow Sea. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zheng, Y. P., Liu, B. H., Wu, J. L., et al., 2003. Characteristics of seismostratigraphy and analysis of structurallithofacies in the southern Yellow Sea Cenozoic basin. *Chinese Science Bulletin*, 48(Supp.):56-63.
- Zhou, H. Y., 2000. Environmental events and catastrophes from the end of Early Pleistocene to the early stage of Middle Pleistocene. *Journal of Natural Disasters*, 9 (2):123-129 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. Y., Xie, J. B., Zheng, W. Q., et al., 2006. Neotectonics along the north coast of South China Sea and its regional correlation around the boundary of the Early and Middle Pleistocen. *Quaternary Sciences*, 26(1):70-76 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡东升,罗毓辉,武文来,等,2001. 渤海浅层构造变形特征、 成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系.中国 海上油气(地质),15(1):35-43.
- 崔之久,吴永秋,刘耕年,1997.昆仑一黄河运动的发现及其 性质.科学通报,42(18):1986-1989.
- 付永涛,虞子冶,2010.青岛垭口一八仙墩变质海相碎屑岩的 属性和构造意义.地质科学,45(1):207-227.
- 葛肖虹,任收麦,马立祥,等,2006.青藏高原多期次隆升的环 境效应.地学前缘,13(6):118-130.
- 龚再升,2004.中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏. 地球科学──中国地质大学学报,29(5):513-517.
- 顾功叙,1983.中国地震目录.北京:科学出版社.
- 郭玉贵,1997.黄海、东海及邻域地质构造特征.见:许东禹, 刘锡清,张训华,等编,中国近海地质.北京:地质出版 社,223-229.
- 何正勤,陈宇坤,叶太兰,等,2007.浅层地震勘探在沿海地区 隐伏断层探测中的应用.地震地质,29(2):363-372.
- 贾承造,何登发,陆洁民,2004.中国喜马拉雅运动的期次及 其动力学背景.石油与天然气地质,25(2):121-125.

- 刘光鼎,1992.中国海区及邻域地质地球物理系列图(1:500万).北京:地质出版社.
- 栾光忠,任鲁川,段本春,1999. 青岛及其邻区 NE、NW 向断裂的活动性研究. 青岛海洋大学学报,29(4): 727-732.
- 秦蕴珊,赵一阳,赵丽蓉,等,1989.黄海地质.北京:海洋出版社.
- 宋春晖,高东林,方小敏,等,2005. 青藏高原昆仑山垭口盆地 晚新生代高精度磁性地层及其意义. 科学通报,50 (19):2145-2154.
- 万天丰,1994.中国第四纪的构造事件与应力场.第四纪研 究,(1):48-55.
- 万天丰著,2004.中国大地构造学纲要.北京:地质出版社.
- 万天丰,曹瑞萍,1992.中国中始新世一早更新世构造事件与 应力场.现代地质,6(3):275-285.
- 万天丰,曹秀华,1997.中国三叠纪中晚期一早更新世构造应 力值的估算.地球科学——中国地质大学学报,22(2): 145-152.
- 万天丰,郝天珧,2009.黄海新生代构造及油气勘探前景.现 代地质,23(3):385-393.
- 王志才,晁洪太,杜宪宋,等,2008. 南黄海北部千里岩断裂活 动性初探. 地震地质,30(1):176-186.
- 吴戈,2004. 黄海及其邻区的历史地震. 中国地震,20(3): 299-305.
- 许志琴,戚学祥,杨经绥,等,2006.苏鲁高压一超高压变质地 体的陆一陆碰撞深俯冲剥蚀模式.地球科学——中国 地质大学学报,31(4):427-436.
- 许忠淮,吴少武,1997.南黄海和东海地区现代构造应力场特征的研究.地球物理学报,40(6):773-781.
- 杨文采,徐纪人,程振炎,等,2005.苏鲁大别造山带地球物理 与壳幔作用.北京:地质出版社.
- 杨子赓,1993. Olduvai 亚时以来南黄海沉积层序及古地理变 迁. 地质学报,67(4):357-366.
- 姚永坚,冯志强,郝天珧,等,2008.对南黄海盆地构造层特征 及含油气性的新认识.地学前缘,15(6):232-240.
- 詹文欢,朱照宇,孙龙涛,等,2006. 试论南海新构造运动的时 限及其差异性. 地质学报,80(4):491-496.
- 张训华,2008.中国海域构造地质学.北京:海洋出版社.
- 郑光膺,1991.黄海第四纪地质.北京:科学出版社.
- 郑彦鹏,刘保华,吴金龙,等,2001. 南黄海新生代盆地地震地 层特征及其构造岩相分析. 科学通报,46(增刊): 52-58.
- 周厚云,2000.早更新世末中更新世早期的环境事件与灾变. 自然灾害学报,9(2):123-129.
- 朱照宇,谢久兵,郑王琼,等,2006. 南海北缘早一中更新世之 交新构造活动及其区域对比. 第四纪研究,26(1): 70-76.