

文章编号:1009-2722(2016)04-0001-10

山东灵山岛早白垩世构造演化 及地质意义

张振凯,周瑶琪,梁文栋,岳会雯,周腾飞,彭甜明

(中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,青岛 266580;
中国石油大学地球化学与岩石圈动力学开放实验室,青岛 266580)

摘要:灵山岛发育一系列断层、褶皱、岩墙群、节理等应力感应构造。通过对不同剖面构造现象的分析发现,灵山岛地区由早白垩世末期至青山期末期(可能)至少经历了 3 次挤压和 2 次伸展事件。研究表明,灵山岛莱阳期末期受 NWW—SEE 向的挤压,莱阳期末期至青山期初期发生了 NW—SE 向伸展,青山期初期之后发生了近 EW 向到 NE—SW 向的挤压,再之后则经历了 NW—SE 向伸展和 NW—SE 向挤压。与胶莱盆地构造应力场特征的对比显示,本地区构造发育特征更为复杂,明确本地区构造应力机制及应力场方向的变化,对其原型盆地的恢复及深部动力学机制的探讨都具有重要意义。

关键词:灵山岛;早白垩世;构造期次;构造应力场

中图分类号:P54 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.04001

灵山岛位于山东省青岛市胶南区东南的黄海近岸海域中(图 1a),岛屿面积 7.66 km²,最高点海拔 513.6 m。栾光忠等^[1]将其划分为挤压掀斜型岛屿。自吕洪波等^[2]首次发现并报道早白垩世复理石沉积及滑塌褶皱层以来,灵山岛就逐渐引起地学界的注意,此后围绕灵山岛的软沉积物变形构造^[2-9]、水下非构造裂缝^[10]、地层时代^[11-14]、沉积环境及大地构造背景^[14-17]等进行了大量的研究及讨论。灵山岛处于扬子板块和华北板块之间,构造位置及出露地层都较为特殊,因此,研究灵山岛的构造特征及古构造应力场方向对原型盆地的恢复及深部动力学过程都具有重要意义。

刘忠敏^[18]等曾利用卫星图像对灵山岛的断裂发育进行了识别,然而并未区分讨论灵山岛在

不同地质时期所具的不同构造应力特征。再者,先前的研究多集中于船厂、千层崖、老虎嘴、背来石、羊礁洞等剖面,这些剖面展现的构造现象较少,因此,构造研究的进展不大。李杰等^[17]对灵山岛早白垩世构造应力场演化进行了讨论。本文在多次野外考察的过程中发掘了钓鱼台、沟南崖湾、哑脖子湾北等灵山岛研究的“非主流”剖面的价值,发现了节理、断层、褶皱、岩墙群等一系列反映灵山岛不同时期构造应力场信息的构造现象,同时结合前人研究成果,厘清了各期构造作用的先后次序,认为灵山岛现存构造现象揭示了灵山岛地区在白垩纪时期经历了多次挤压和伸展作用。

1 地质背景

灵山岛地层由下往上发育 4 套地层:未见底的浊积岩沉积;流纹质火山熔岩;陆相碎屑岩;安

收稿日期:2015-12-25

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(15CX06011A)

作者简介:张振凯(1988—),男,在读博士,主要从事地球化学及构造地质学方面的研究工作。E-mail:804459147@qq.com

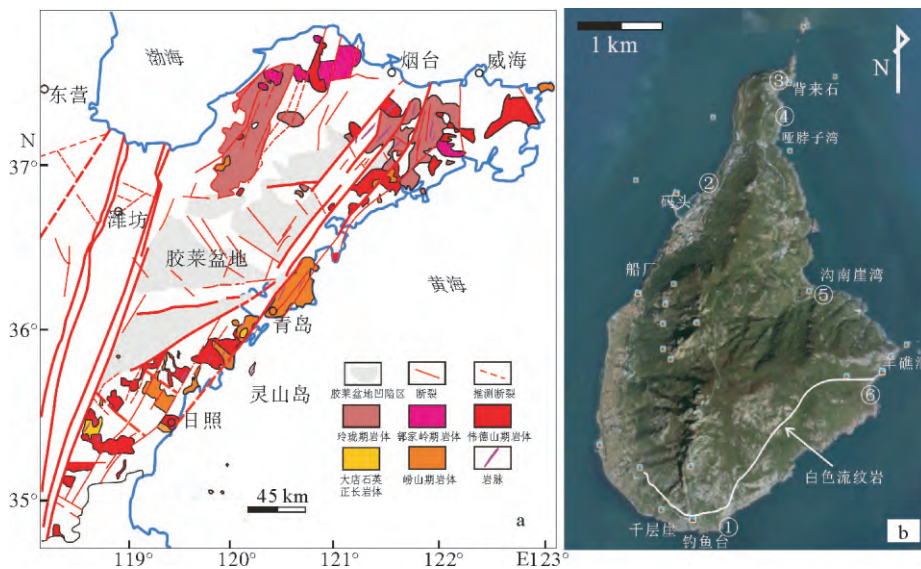


图1 灵山岛位置(据文献[14]修改)及卫星图(卫星图像来自 Google Earth)

Fig. 1 The location of Lingshan Island (modified from reference [14]) and satellite image (based on Google Earth)

山质火山碎屑岩^[3,6]。本研究发现浊积岩与流纹岩之间仍发育陆相碎屑岩沉积及大套火山碎屑岩,主要见于灵山岛东南部和背来石以北的地区。周瑶琪等^[14]认为本地区发育的地层特征与胶莱盆地不同,但构造特征可与胶莱盆地进行对比,因此,本文仍沿用适用于胶莱盆地描述的莱阳期、青山期等名称进行讨论。LA-ICP-MS 锆石 U—Pb 测年结果^[11,14]显示,灵山岛白色流纹岩(图 1b)的年龄在 120 Ma 左右,相当于青山期的开始。基于此认为灵山岛下部浊积岩地层的形成时间与莱阳期相当,而其上的陆源碎屑岩、火山碎屑岩发育于莱阳期末至青山期初期,再之上的流纹岩、陆相碎屑岩及火山岩相则归入青山群。灵山岛莱阳群地层主要出露于船厂、灯塔、千层崖、老虎嘴、背来石剖面及目前为止研究基本未涉及的钓鱼台剖面,而青山群地层在羊礁洞剖面及本次发现的沟南崖湾剖面处可观察。

2 灵山岛晚中生代构造特征

灵山岛发育白垩系^[19],露头中可见大量节理、断层、褶皱、岩墙群等一系列应力感应构造,通过对灵山岛不同期次构造应力场特征的分析可以反推岩石变形时的应力状态,恢复古构造应力场。

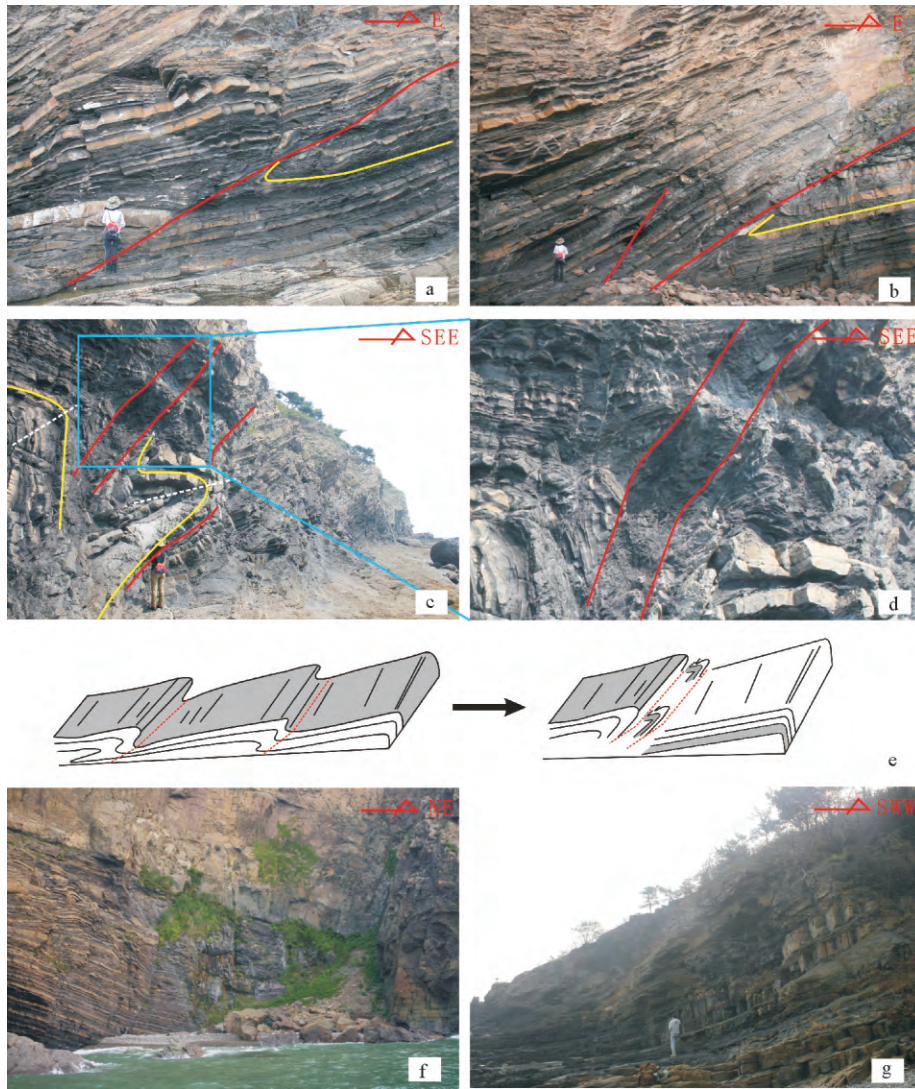
2.1 断层

钓鱼台剖面位于灵山岛南端(图 1b③),长约 300 m,构造现象便于观察,自东向西可识别出 3 个逆冲断层,分别称之为钓鱼台 1、2、3 号断层(图 2a、b、c)。

钓鱼台 1 号断层(图 2a)的断层面产状为 $292^{\circ}, \angle 20^{\circ}$ 。下盘发育牵引构造,牵引褶皱的枢纽平行于断层面,弯曲凸出的方向指示下盘的位移方向,故可判断该断层为逆断层。再者,根据地层剖面详测结果,剖面上的 2 层砾石层上下发育的地层厚度及特征都相同,可确定为同一套砾石层,则以此砾石层为标志层也可判断该处地层上下重复,断层上盘向 SE 方向逆推,地层断距仅 6 m 左右,规模较小。

钓鱼台 2 号断层(图 2b)的断层面与上盘岩层基本平行,产状均为 $280^{\circ}, \angle 31^{\circ}$ 。下盘见明显的牵引构造,弯曲凸出的方向指示下盘向下运动,而上盘地层向 SE 方向逆推。经详细地层对比,钓鱼台 2 号断层的地层断距在 18 m 左右,由于其倾角较小,与下盘地层产状接近,故可推测其滑动距离可能较大。该断层西侧相邻位置也发育一小型逆断层(图 2b),断距仅 1 m 左右。

钓鱼台 3 号断层(图 2c)与褶皱相伴生,方向仍为 NW 向 SE 逆冲。剖面详测结果表明:①此



a—c 分别为钓鱼台 1、2、3 号断层, 红线表示断层或断层破碎带, 黄色线示地层, 白色虚线示褶皱轴面; d 为 c 中蓝色方框区域的放大, 断层破碎带; e 钓鱼台 3 号断层的形成示意图, 红色虚线表示断层; f 钓鱼台东部正断层; g 沟南崖湾处的陆相碎屑岩剖面

图 2 灵山岛断层及相关剖面

Fig. 2 Flauts at Lingshan Island and related sections

处发育宽约半米的断层破碎带(图 2d); ②断层面两侧地层重复; ③褶皱变形层的同层在相邻的千层崖南部剖面中发育连续且未见变形。灵山岛浊积岩中广泛发育滑塌沉积, 但通常滑塌沉积影响范围很大, 滑塌层的厚度也较稳定^[2,20], 因此, 根据以上特征可排除滑塌的影响, 从而确定此处地层变形是构造作用的结果。地层变形的发育模式如图 2e, 在近 NW—SE 方向的挤压应力下, 地层先发生褶皱变形, 随着构造作用的增强, 地层沿褶皱转折端的薄弱处断裂, 在 NW 向的挤压作用

下, 上盘仍沿着断裂面运动并产生较大的位移, 最终形成了褶皱、断层破碎带及牵引构造共存的现象。该断层的产状为 $275^{\circ}, \angle 62^{\circ}$, 其地层断距约为 37 m, 滑动距离可能更大。

灵山岛南部出露的地层自下往上分别为浊积岩、火山碎屑岩、流纹岩及火山碎屑岩。钓鱼台剖面的最东端发育一条正断层(图 2f), 莱阳期的浊积岩地层被错断, 而上部流纹岩产状保持稳定且连续(图 1b), 表明该断裂的形成时间早于流纹岩的喷发(120 Ma), 而晚于浊积岩的沉积时间, 为

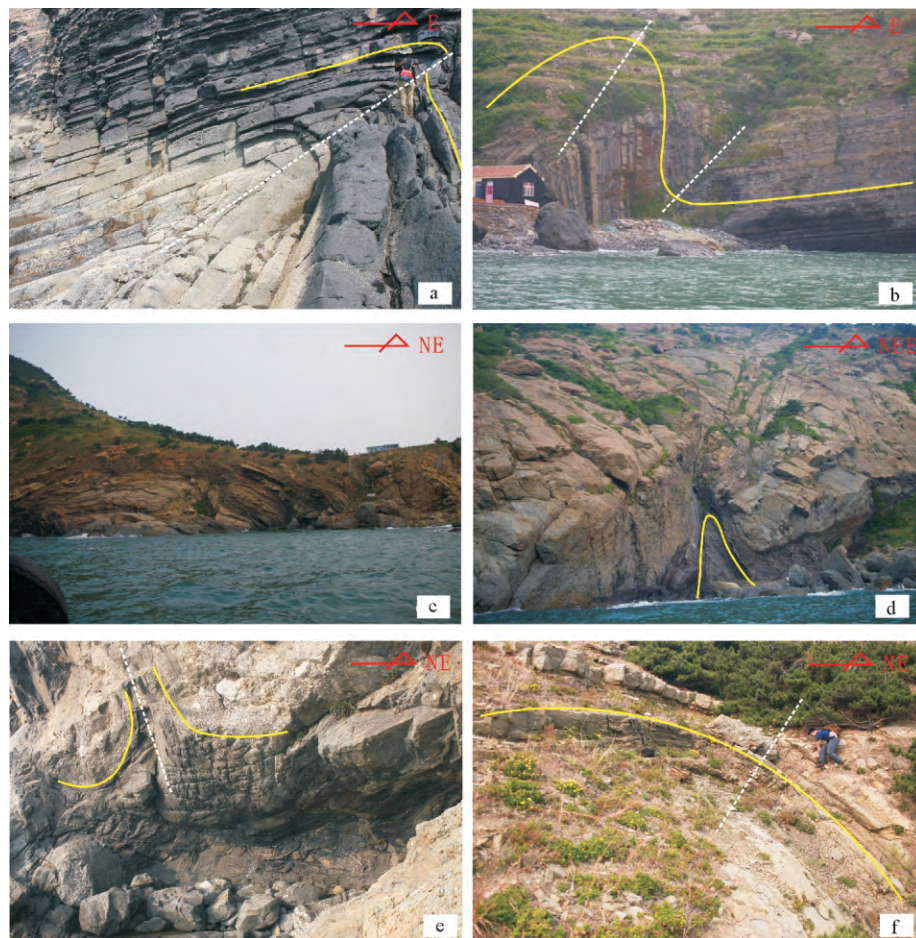
莱阳期末期至青山期初期形成;且浊积岩上覆及右侧地层均为火山碎屑岩,据其形态特征可将其视为同沉积断层。

灵山岛东面沟南崖湾(图 1b⑤处)南侧的剖面上可见砂泥岩互层,间夹火山碎屑流沉积(图 2g),可与羊礁洞剖面地层相对比。沟南崖湾以北则未见与之相对应的地层,而是发育一套火山碎屑岩。灵山岛流纹岩在老虎嘴处发育 20 m 左右,在灵山岛东南方向羊礁洞处向下隐没于海水中,而在岛的西侧船厂处减薄至 3~4 m;且在灵山岛北部未见可与羊礁洞剖面相对应的沉积,由此可认为,灵山岛北部的火山碎屑岩对应流纹岩之上的青山期火山碎屑岩。故可判断此处有断层发育,且南侧地层被抬升。

2.2 褶皱

灵山岛褶皱主要在流纹岩下部沉积地层中发育,而浊积岩中滑塌构造较发育,因此在野外工作中要注意褶皱与滑塌构造之间的区别。

钓鱼台西部剖面发育一处较大规模的褶皱(图 3a),呈背斜形态,如前所述与逆冲断层相伴生。图中左下方较大背斜的轴面产状为 305° , $\angle 36^{\circ}$,西北翼产状相对平缓,而东南翼近乎直立;右上方发育较小的斜歪褶皱(图 2c),其轴面产状为 275° , $\angle 40^{\circ}$,东南翼地层发生倒转,两翼地层向近 NWW 向倾斜。由上可知该褶皱为受 NWW—SEE 向的挤压所致。



a 钓鱼台褶皱,与断层相伴生;b 千层崖挠曲;c 背来石剖面;d 背来石南部底辟;e 哑脖子湾以北的砾石层褶皱;
f 羊礁洞流纹岩下部褶皱。图中黄色线示地层;白色虚线示褶皱轴面

图 3 灵山岛褶皱及相关剖面

Fig. 3 Folds at Lingshan Island and related sections

千层崖剖面北端发育一处大型的挠曲褶皱(图 3b),前人曾有过研究^[14],其枢纽走向为 NE30°,NE 向倾伏,说明该套地层受到了由 NWW 向 SEE 方向的挤压作用而发生褶皱。

在背来石剖面(图 1b③)出露的莱阳期地层中(图 3c),其西南方向直接接触火山碎屑岩,而东北方向地层上部先发育一套陆源碎屑岩,之上才为火山碎屑岩。据野外观察该处地层受 NE—SW 向挤压而发生弯曲变形,内部发育多个小断层,其两侧地层出露有差别则可能是下部浊积岩塑性大于其上覆陆相碎屑岩,在挤压过程中发生层间滑脱或断裂,使得相对靠下的浊积岩向上、向 SW 方向挤出。图 3d 展示的则是与图 3c 相邻的西南部剖面,下部莱阳期沉积挤入上部火山碎屑岩裂隙中,其上覆也未见陆源碎屑岩,表明正是下部浊积岩在向前挤压过程中部分浊积岩沿构造薄弱面上拱,形成底辟。此外,背来石剖面两侧都发育平行于枢纽方向的大的节理面,也可佐证上述挤压应力的存在。

哑脖子湾以北(图 1b④)可见莱阳期浊积岩地层,其左右两侧均为火山碎屑岩地层,故可判定此处下部地层受挤压而上拱,浊积岩上部砾岩层也发生弯曲变形,根据其变形特点判断挤压方向为 NE—SW 向。

羊礁洞流纹岩之下(图 1⑥处)发育一小型褶皱,西南翼和东北翼产状分别为(113°,∠12°)、(44°,∠64°),经赤平投影恢复其枢纽产状为 128°,∠12°,向 NW 倾伏。

2.3 岩墙

哑脖子湾以北的剖面中挤压上拱的莱阳期地层中可见多条岩墙,延伸方向为 NE—SW,颜色呈灰白色,宽度大多为 2~3 m 左右,切穿浊积岩地层的同时也发生变形弯曲(图 4a),有的甚至呈“S”状。少部分岩墙宽度较小,先侵入至浊积岩地层中,后随着地层的挤压而发生弯曲,甚至被拉断(图 4b)。据此可判断此岩墙形成于浊积岩沉积之后,且早于该处地层受挤压的时期。

灵山岛码头北部(图 1b②)可见多条 NE—SW 向的岩墙,岩性为煌斑岩^[11,12],表面呈土黄色。野外发现此处浊积岩地层多发生挤压变形,

岩层产状变化较大,岩墙与地层呈一定角度侵入,且宽度不等,最宽可达十余米。岩层沿早期发育的剪节理而形成锯齿状的追踪张节理,岩墙沿追踪张节理侵入(图 4c)。

哑脖子湾以北的剖面可见 2 条岩墙(图 4d),产状近直立,后期辉绿岩墙走向 50°,穿插侵入早期岩墙中,早期岩墙与图 4a 中岩墙特征相同,走向为 75°,两者略呈斜交关系。

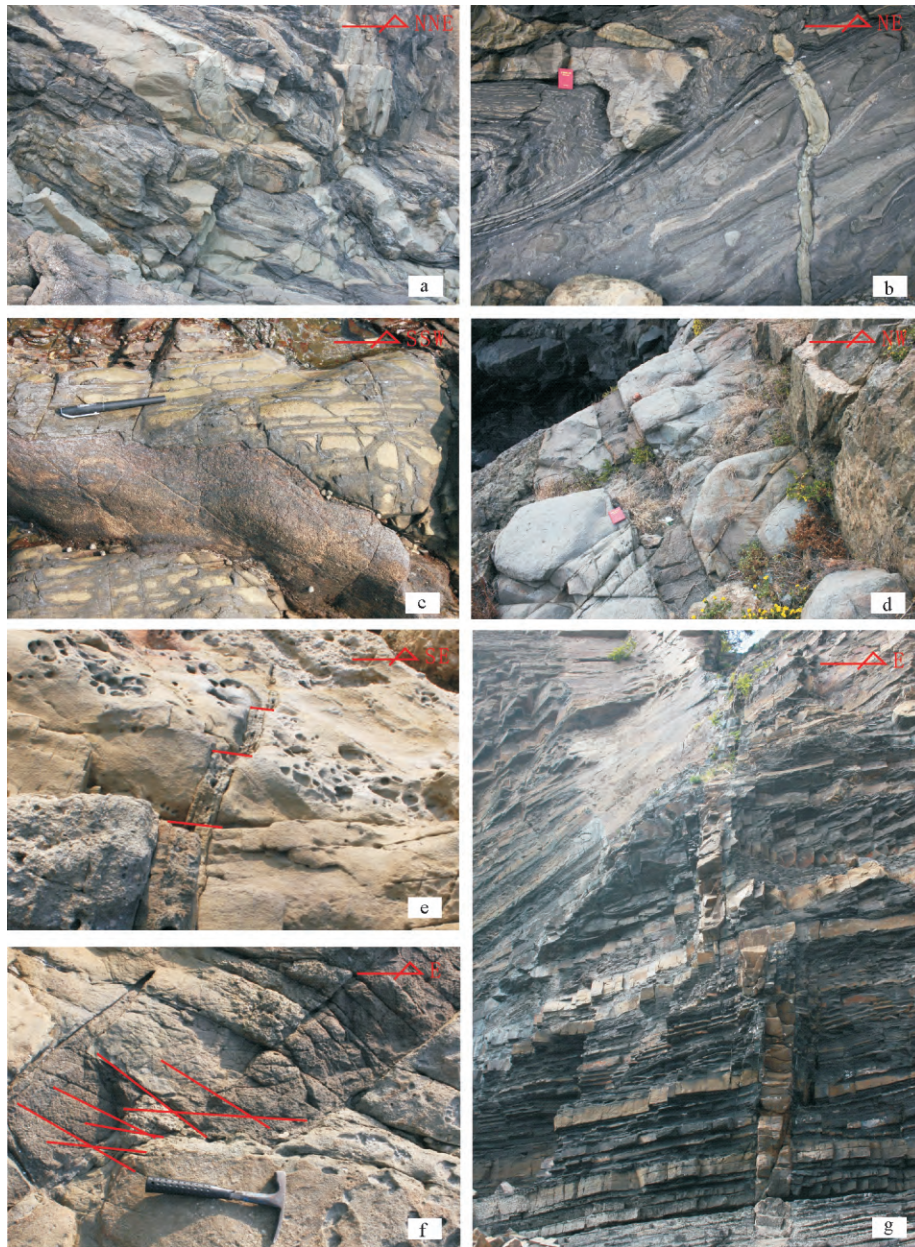
背来石剖面中可见走向 50°左右的辉绿岩岩墙沿先期羽状剪节理侵入(图 4e、f),产状近直立,边界可见冷凝边与烘烤边。从背来石南部高处观察,该岩墙延伸稳定,切穿背来石挤压变形的浊积岩地层及上部火山碎屑岩,故可以判断岩浆侵入的时间要晚于下部沉积地层受挤压及上部火山碎屑岩沉积的时间。岩浆沿早期存在的羽状剪节理侵入,后期发生右行剪切(图 4e),岩墙中存在的一组共轭剪节理也可指示后期具 NW—SE 向的挤压(图 4f)。

钓鱼台剖面中发育的辉绿岩岩墙(图 4g)穿过莱阳期浊积岩地层,其走向为 160°,产状近直立,后期发生左行脆性剪切。

3 灵山岛晚中生代构造应力场演化

基性岩墙群作为一种伸展构造的标志,是地壳伸展作用下深源基性岩浆快速侵位到先存破裂群形成的,其几何形态由岩墙侵位前的先存节理形态和侵位的围岩应力状态所决定,岩墙侵位必须具备:①首先要有先存节理这一空间条件;②岩浆侵入方向与围岩的张应力垂直,这样才能为岩浆顺利侵入提供力学条件^[21,22]。因此,研究基性岩墙产状、展布以及与周围地质体的穿插切割关系,对于研究该地区的应力状态及区域演化具有重要意义^[23]。鲁东地区(包括灵山岛地区)基性岩墙以 NE 向为主,时间以 90~140 Ma 为主^[14,24,25],青岛地区此时期广泛发育的煌斑岩脉表现为多期侵位,其地球化学特征表明其形成于拉张环境^[26]。

灵山岛地区从早白垩世莱阳期末期开始经历了多次挤压和伸展作用。其中挤压作用主要反映在逆冲断层、褶皱及节理等构造中,而伸展作用主要由同沉积正断层及 2 期岩墙侵入体现出来。



a 哑脖子湾以北剖面中的多条岩墙侵入,灰白色为岩墙,灰黑色为浊积岩地层;b 哑脖子湾以北剖面中的岩墙变形及错断;
c 码头北部岩墙,沿追踪张节理侵入;d 哑脖子湾以北的2期岩墙穿插;e 背来石剖面中的岩墙尖灭,后期发生右行脆性剪切;
f 背来石剖面的岩墙侵入,后期右行剪切,红线示一组共轭剪节理;g 钓鱼台剖面中的岩墙侵入,后期发生左行脆性剪切

图4 灵山岛岩墙及相关剖面

Fig. 4 Dykes at Lingshan Island and related sections

3.1 莱阳期末期挤压

莱阳期末期挤压主要体现钓鱼台剖面中的逆冲构造(图2a、b、c、d),其逆冲断层方向大体都沿NWW—SEE方向呈叠瓦状排列,该现象仅见于莱阳期浊积岩层,且均未切穿上覆白色流纹岩,故

可以判定此构造作用发生于莱阳期末期,反映了莱阳期末期灵山岛地区受NWW向SEE方向的挤压。而浊积岩地层中普遍发育的早期平面X剪节理指示的水平挤压方向为 $120^{\circ} \sim 300^{\circ}$ ^[2,17],也可以佐证上述挤压应力的存在。

3.2 莱阳期末期至青山期初期伸展

钓鱼台剖面东端的同沉积正断层(图 2f)指示了这一期的伸展作用,发生时期为浊积岩之上的火山碎屑岩形成时期。同时,哑脖子湾以北的剖面中的早期岩墙侵入发生于该地层被挤压上拱之前(图 4a、b),由岩墙群的延伸方向可判断岩浆侵入时的拉张方向为 NW—SE 向。据剖面方位和岩墙延伸方向判断,码头北部的煌斑岩岩墙群可能与哑脖子湾北的岩墙为同期,而追踪张节理(图 4c)为岩浆的侵位提供了通道。因此,可判断灵山岛地区莱阳期末期至青山期初期发生了 NW—SE 向伸展。

3.3 青山期第 1 次挤压

灵山岛地区北部剖面(图 3d、e)中可见多个浊积岩底辟上拱,形成时间在上部青山期火山碎屑岩沉积之后。由于没有测年数据,难以对该挤压发生的时间进行精确限定,但根据哑脖子湾北部剖面显示的早期煌斑岩岩墙随着地层的挤压而变形,可判断此次挤压发生于青山期初期岩浆侵入之后。此外,羊礁洞流纹岩层向下隐没于水中以及流纹岩下的挤压褶皱(图 3f)都是此 NE—SW 向挤压事件的产物。因此,此时期灵山岛地区经历了近 NE—SW 方向的挤压。

3.4 青山期第 2 次伸展

灵山岛岩墙形成可至少分为 2 期,哑脖子湾北部剖面中的岩墙穿插关系表明 NE50°方向的岩墙的侵位较晚(图 4d)。在相距不远的背来石剖面中发育的 NE50°方向的岩墙切穿变形的浊积岩和上部火山碎屑岩,其延伸较远,边界较平直,保留了先期剪节理特征,局部地区可见韧性剪切作用。分析认为是青山期第 1 次挤压(近 NE—SW 向)发生左行剪切,产生了羽状剪节理,在围岩处于拉张状态时被拉开,形成张剪性节理,为岩浆侵入提供了通道。上述特征表明此时期仍为 NW—SE 向伸展。

3.5 青山期第 2 次挤压

在钓鱼台剖面和背来石剖面发现的岩墙分别指示了左行和右行脆性剪切(图 4e、f、g,图 5),判

断其脆性剪切为同期配套产物。根据应力椭球体受力分析认为,NW 向的挤压提供了 NE 向的左旋剪切力和 NW 向的右旋剪切力,从而使背来石岩墙和钓鱼台岩墙发生了脆性剪切。同时,背来石剖面可见一组切穿岩墙及围岩的共轭剪节理,指示此岩墙错断是受 NW—SE 向挤压应力作用的结果。

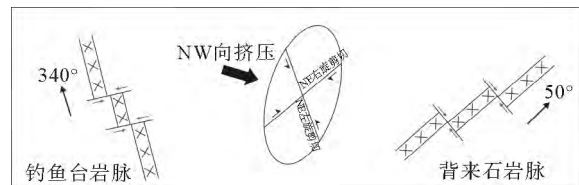


图 5 灵山岛岩脉形态示意图及应变椭球体受力分析

Fig. 5 Sketch diagram of Lingshan's dykes and strain ellipsoid analysis

背来石岩墙切穿关系表明,岩浆侵位时间晚于上述挤压时间和火山碎屑岩沉积时期,更是晚于第 2 次岩浆侵位时间。结合中国东部的大地构造背景,早白垩世晚期区域 NW—SE 向挤压应力导致所有早白垩世裂陷盆地发生不同程度的构造反转^[27],认为此时期与青山期末期的 NW—SE 向挤压及构造反转期最为契合,故判断此次挤压可能发生于青山期末期。

综上所述,灵山岛地区早白垩世末期至青山期末期可能经历了 3 次挤压和 2 次伸展事件,某些具体时间由于没有测年数据的支持,可能会有偏差,但各事件的先后顺序表明灵山岛形成过程中经历了多次挤压和伸展作用的影响。

4 灵山岛的区域构造意义

零星分布于山东东部沿海一带超高压—高压变质岩及燕山期花岗岩之中的一套陆源碎屑岩、火山碎屑岩及火山熔岩为主的沉积岩系,以五莲—青岛、牟平—即墨断裂带为界紧临胶莱盆地,故曾经被认为是胶莱盆地莱阳群和青山群地层在盆地边缘的露头^[19]。虽然测年数据(约 120 Ma)显示该套地层与胶莱盆地莱阳群在时代上吻合,但地层岩性及沉积特征差异显著。现有诸多资料表明胶莱盆地东南部存在一个同期的海相盆地。从张松梅等^[28]在胶南地区莱阳

群中发现海相化石,张海春等^[13]在灵山岛浊积岩中发现有零星的沟鞭藻碎片及与其共同保存的膜状藻类片段,到近2年对山东东部近海地区典型剖面的重新认识,不难发现以青岛—五莲、牟平—即墨断裂带为界,两侧莱阳期地层的沉积面貌完全不同。周瑶琪等^[14]提出本地区为一个新的盆地,并暂称之为“山东东部晚中生代近海裂陷盆地”,简称为“日青威盆地”。并推测日青威盆地受鲁东地区大地构造背景制约,在构造属性上可能与胶莱盆地相似,但以其强烈沉降、剧烈隆升的特征与胶莱盆地的动力学机制相区别,同时认为延伸出来的山东东部近海晚中生代裂陷盆地应该是一个独立的单元。

前人利用影响不同时代沉积地层的断层滑动矢量反演胶莱盆地白垩纪古构造应力方向^[29-31],结果显示,莱阳期(135~120 Ma)区域伸展应力方向主要为NW—SE向;青山期(120~107 Ma)区域伸展应力方向为NWW—SEE至W—E向;王氏群(90~58 Ma)的伸展应力方向近N—S向。3次构造反转时间的挤压应力方向为:莱阳群沉积末期近W—E向挤压(强度相对较弱);早白垩世末期挤压应力方向为NW—SE向;古新世末期挤压应力方向为NE—SW向。

灵山岛为山东东部近海裂陷盆地内的一个典型剖面,其构造特征可与胶莱盆地相对比(表1)。

本研究发现灵山岛地区莱阳期末期经历了NWW—SEE向挤压,可与胶莱盆地末期微弱的近W—E向挤压相对比,不过灵山岛地区反映出的挤压作用较胶莱盆地更为强烈。胶莱盆地在青山期经历了NWW—SEE至W—E向的区域伸展及NW—SE向的构造反转,而在灵山岛则表现为2次伸展和2次挤压,其2次伸展和末期挤压基本与胶莱盆地伸展、挤压方向一致。尤其要注意的是,灵山岛地区指示的青山期内部的NE—SW向的挤压可能对恢复盆地原型、研究盆地深部动力学背景有着重要作用。

此外,灵山岛未见相应的王氏群的沉积,表明其青山期末期抬升较高而未接受沉积,故可以推测早白垩世末期的隆升作用较为剧烈,使其在早白垩世之后仍保持古隆起的面貌。

晚中生代鲁东地区经历了多次伸展和构造反转,区域构造应力机制和应力场方向发生了多次转变,该过程的发生必然是受深部动力机制所控制,可能与岩石圈拆沉、减薄、太平洋大陆的俯冲及俯冲方向和速率的变化息息相关。然而前人的研究仍未就其深部动力学机制给出一个广为接受的结论,因此明确该裂陷盆地与胶莱盆地的关系,研究对比盆地内火山岩浆活动及所受构造应力的异同,可以为探究鲁东甚至华北地区的深部动力学机制提供约束。

表1 灵山岛早白垩世构造应力场特征及与胶莱盆地的对比

Table 1 The feature of early Cretaceous tectonic stress field correlation between Lingshan Island and Jiaolai Basin

地质时代	构造变形特征		构造应力方向	
	胶莱盆地	灵山岛	胶莱盆地	灵山岛
青山期 末期	下伏地层的褶皱及与上覆王氏群地层的明显角度不整合	背来石剖面中切穿岩墙及围岩的共轭剪节理; 岩墙发生脆性剪切		
青山期 初期	莱阳群地层中发育张性角砾岩; 沿主要断裂带莱阳群地层和青山组火山岩张性角砾岩发育; 莱阳群和青山群正断层滑动矢量指示; 沂沭裂谷带大盛群同沉积生长正断层发育	岩墙沿NE—SW向侵入,且切穿下部变形的浊积岩及其上覆火山碎屑岩		
		同沉积正断层; 沿NE—SW向追踪张节理侵入的岩墙		
莱阳期 末期	莱阳群中的平面共轭剪节理	莱阳期沉积中的早期平面X剪节理; 莱阳期末期的逆冲断层,造成下部地层与上覆地层呈不整合接触		

5 结论

通过对灵山岛传统研究剖面及新剖面的分析,发现灵山岛发育多种应力感应构造,其中逆冲断层、褶皱、早期平面 X 剪节理等反映了挤压作用,而伸展作用可以依据同沉积正断层及岩墙群等信息加以判断。

通过上述各现象的分析发现,灵山岛经历了多次挤压和伸展事件,时间可能由早白垩世末期至青山期末期(此时间是根据各构造事件的发生次序并结合整个大地构造背景推测的)。研究表明,灵山岛莱阳期末期受 NWW—SEE 方向的挤压,莱阳期末期至青山期初期发生了 NW—SE 向伸展,随后发生了近 EW 方向到 NE—SW 方向的挤压,再之后又经历了 NW—SE 向伸展,最后通过岩墙的脆性剪切判断可能于青山期末期发生了 NW—SE 向挤压。

青山期初期之后的挤压、伸展事件由于缺乏明确的年代学证据,未能对其进行严格限定;灵山岛地区毕竟面积比较局限,其反映的构造应力方向可能会有偏差。因此,结合周边地区的构造现象及反映的构造信息,加强岩浆岩地球化学测试及同位素测年分析,才能更好的探究山东东部近海裂陷盆地的深部动力学机制,这也是下一步工作的方向。

参考文献:

- [1] 栾光忠,李安龙,王 建,等. 青岛主要海岛成因分类及其地质环境分析[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2010,40(8):111-116.
- [2] 吕洪波,王 俊,张海春. 山东灵山岛晚中生代滑塌沉积层的发现及区域构造意义初探[J]. 地质学报, 2011,85(6):938-946.
- [3] 吕洪波,张海春,王 俊,等. 山东胶南灵山岛晚中生代浊积岩中发现巨大滑积岩块[J]. 地质论评, 2012,58(1): 80-81.
- [4] 董晓朋,吕洪波,张 星,等. 山东灵山岛早白垩世复理石软沉积物变形期次解析[J]. 地质论评, 2013,59(6): 1060-1067.
- [5] 董晓朋,吕洪波,张 星,等. 灵山岛北端早白垩世复理石中的滑塌断崖[J]. 地质论评, 2014,60(4):771-779.
- [6] 王安东,周瑶琪,闫 华,等. 山东省灵山岛早白垩世软沉积物变形构造特征[J]. 古地理学报, 2013,15(5):717-728.
- [7] 邵珠福,钟建华,李 勇,等. 青岛灵山岛晚中生代重力流沉积特征及环境分析[J]. 地质论评, 2014,60(3):555-566.
- [8] 葛毓柱,钟建华,樊晓芳,等. 山东灵山岛滑塌体内部沉积及构造特征研究[J]. 地质论评, 2015,61(3):634-644.
- [9] 周瑶琪,张振凯,许 红,等. 灵山岛沉积物软变形构造特征[J]. 海洋地质前沿, 2015,31(4):42-54.
- [10] 王安东,周瑶琪,张振凯,等. 山东灵山岛莱阳群水下非构造裂缝特征及意义[J]. 地球学报, 2014,35(3):321-328.
- [11] Wang J, Chang S C, Lu H B, et al. Detrital zircon U - Pb age constraints on Cretaceous sedimentary rocks of Lingshan Island and implications for tectonic evolution of Eastern Shandong, North China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014,96:27-45. doi:10.1016/j.jseaes.2014.09.002
- [12] Wang J, Chang S C, Wang K L, et al. Geochronology and geochemistry of Early Cretaceous igneous units from the central Sulu orogenic belt: Evidence for crustal delamination during a shift in the regional tectonic regime[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015,112:49-59. doi:10.1016/j.jseaes.2015.09.009.
- [13] 张海春,吕洪波,李建国,等. 山东青岛早白垩世新地层单位:灵山岛组[J]. 地层学杂志, 2013,37(2):216-222.
- [14] 周瑶琪,张振凯,梁文栋,等. 山东东部晚中生代构造—岩浆活动及原型盆地恢复[J]. 地学前缘, 2015,22(1): 137-156.
- [15] 吕洪波,张海春,王 俊,等. 灵山岛早白垩世复理石不是陆内三角洲沉积——答钟建华教授[J]. 地质论评, 2013,59(1):11-14.
- [16] 钟建华. 灵山岛中生代沉积岩是深水远源浊积岩、还是陆内三角洲沉积?——与吕洪波教授商榷[J]. 地质论评, 2013,58(6):1180-1182.
- [17] 李 杰,金爱文,侯贵廷,等. 灵山岛早白垩世构造应力解析及区域地质意义[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2015,51(6):1069-1077.
- [18] 刘忠敏,李成治,李本川,等. 应用 TM 卫星像片对灵山岛地质构造及边坡稳定性的调查[J]. 海洋科学,1990(6):35-38.
- [19] 山东省第四地质矿产勘查院. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社,2003.
- [20] Kangi A, Aryaei A A, Maasoomi A. Synsedimentary deformations in member 2 of the Mila Formation in the Central Alborz Mountains, Northern Iran[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2010,3(1):33-39.
- [21] 侯贵廷,张宝兴. 华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场[J]. 地质论评, 1998,44(3):309-314.
- [22] 侯贵廷,李江海,金爱文,等. 鲁西前寒武纪基性岩墙群[J]. 地质学报, 2005,79(2):190-199.

- [23] 张贵山, 温汉捷, 胡瑞忠, 等. 闽东南基性岩脉形成的构造应力场地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(2): 142-148.
- [24] Liu S, Hu R Z, Zhao J H, et al. K-Ar geochronology of mesozoic mafic dikes in Shandong Province, Eastern China; implications for crustal extension[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(6): 1207-1213.
- [25] Liu S, Hu R Z, Gao S, et al. Geochemical and isotopic constrains on the age and origin of mafic dikes from Shandong Province, Eastern North China Craton[J]. International Geology Review, 2012, 54(12): 1389-1400.
- [26] 韩宗珠, 丁蒙蒙, 陈 淳, 等. 青岛崂山湾海岛煌斑岩的岩石地球化学与成因研究[J]. 海洋湖沼通报, 2013(3): 131-139.
- [27] 张岳桥, 赵 越, 董树文, 等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 123-133.
- [28] 张松梅, 刘典涛. 胶南地区莱阳群绒枝藻化石的发现[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(3): 209-212.
- [29] 邱连贵, 任凤楼, 曹忠祥, 等. 胶东地区晚中生代岩浆活动及对大地构造的制约[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1): 117-123.
- [30] 任凤楼, 张岳桥, 邱连贵, 等. 胶莱盆地白垩纪构造应力场与转换机制[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(2): 157-167.
- [31] 张岳桥, 李金良, 张 田, 等. 胶莱盆地及其邻区白垩纪—古新世沉积构造演化历史及其区域动力学意义[J]. 地质学报, 2008, 82(9): 1229-1257.

EARLY CRETACEOUS TECTONIC EVOLUTION OF LINGSHAN ISLAND IN SHANDONG PROVINCE AND ITS GEOLOGIC SIGNIFICANCE

ZHANG Zhenkai, ZHOU Yaoqi, LIANG Wendong, YUE Huiwen,
ZHOU Tengfei, PENG Tianming

(School of Geosciences, China University of Petroleum(East China), Qingdao 266580, China;
Laboratory of Geochemistry and Lithosphere Dynamics, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: Many structures, such as faults, folds, dykes, joints, have been found at the Lingshan Island. According to these structures, there were at least three compressional periods and two extensional periods from the Late Laiyang to Late Qingshan stages. Tectonically the study area suffered a NWW-SEE compression in the Late Laiyang stage, a NW-SE extension from the Late Laiyang stage to Early Qingshan stage, a nearly E-W to NE-SW extrusion after the Early Qingshan stage, a later NW-SE extension and a NW-SE extrusion. It is obvious that the tectonic stress field of this area is more complicated than that in the Jiaolai Basin. The clarification of tectonic stress mechanism and the evolution of stress field orientation are significant to restore the pro-type basin and the continental dynamics.

Key words: Lingshan Island; Early Cretaceous; tectonic episodes; tectonic stress field