

文章编号:1009-2722(2016)03-0033-08

灵山岛成因特征、类型及其地质构造意义

刘菲菲^{1,2}, 周瑶琪^{1,2}, 许红^{3,4,5*}, 张振凯^{1,2}

(1 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580;

2 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;

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

4 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;

5 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

摘要:通过野外地质考察,从沉积学和年代学入手,分析了灵山岛的沉积地层特征和锆石年龄。针对灵山岛所属关键地质构造位置,从地球动力学角度,探讨了早期华北板块和扬子板块的碰撞结合以及后期太平洋板块和菲律宾海板块对于欧亚板块相互作用影响的远程效应。指出灵山岛成因于构造作用和岩浆作用(岩浆喷出作用和岩浆侵入作用)的多重动力学过程及其作用,将其划归复合海岛成因的类型。研究灵山岛的成因特征与类型,对于分析周缘盆地的形成、沉积与油气成烃—成藏的作用具有重要意义。

关键词:灵山岛;动力学机制;成因特征;成因类型;地质构造意义

中图分类号:P736

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.03005

灵山岛坐落于黄海之中,岛形狭长,南北长约 5 km,东西长约 1.5 km,面积约 7.2 km²,海拔 513.6 m,是中国北方的第 1 高岛。其位于青岛市黄岛区东南部,距大陆约 10 km。过去由于交通不便,对灵山岛的调查相对较少。自 2010 年吕洪波等^[1,2]首次报道灵山岛晚中生代滑塌沉积层以后,学界相继对于灵山岛进行了多项地质调查和研究^[3-8],人们较多注意到了灵山岛软沉积变形

构造的特征、地层时代、沉积环境及其意义,但对灵山岛的成因类型研究和划分涉及较少,仅栾光忠等^[9]提出将灵山岛归划为构造成因岛屿。通过 2011 年以来的多次登岛地质考察,笔者等不仅发现了灵山岛的各种构造变形剖面,还进行了测试;同时观察到了岛上分布的火山岩和岩浆侵入的岩脉,采集到大量样品,这些研究和样品对本文分析灵山岛的地质成因和意义起到关键作用。笔者以动力学特征为切入点,利用了地层年代学的资料,重点讨论了灵山岛成因特征、类型及其大地构造的意义。

1 灵山岛地质背景

灵山岛位于胶南隆起与千里岩隆起中间(图 1),周边主要断层为西侧的郯庐断裂带和南北两侧的五莲烟台断裂与千里岩断裂。在大地构造划

收稿日期:2015-12-28

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(15CX06011A);海洋保障地质工程专项(GZH201200510);国家重点基础研究发展计(973 计划)(2012CB956004);国家自然科学基金(41106064)

作者简介:刘菲菲(1983—),女,在读博士,主要从事区域及大地构造学方面的研究工作。E-mail:172659967@qq.com

* 通讯作者:许红(1957—),男,博士,研究员,主要从事海域油气成藏与资源勘探评价方面的研究工作。E-mail:qdxhong@163.com

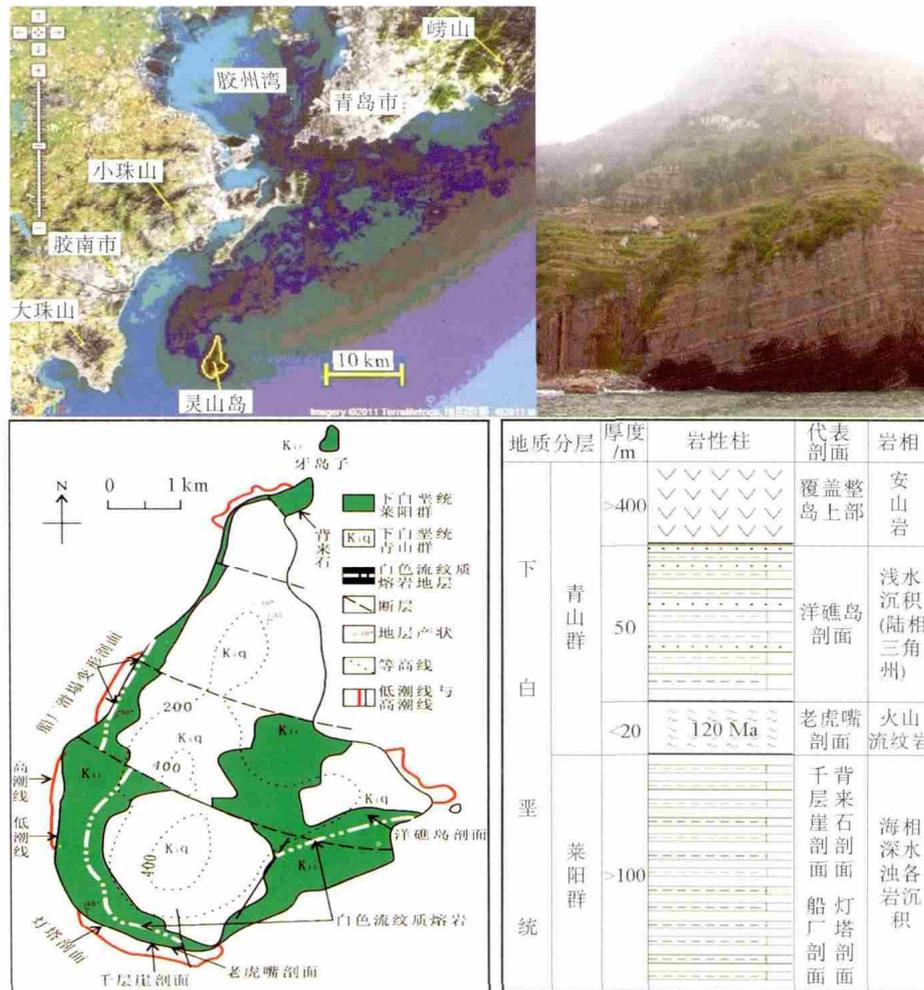


图1 灵山岛区域概况及地质简图(据文献[11])

Fig. 1 Geological sketch map of Lingshan Island (from reference [11])

分上,灵山岛恰处于苏鲁造山带这条重要的缝合线上,受华北板块和扬子板块碰撞控制。该区域多条断裂构造呈近 NE 向分布,也发育 NNE、NWW、NEE 和 NNW 向断裂^[9]。该区岩浆活动十分频繁,从太古代到新生代都有发现,尤以燕山期岩浆活动最为强烈,既有侵入岩,又有火山岩,且岩浆活动具有多旋回和多成因性^[10]。

2 岩石地层单元与时代

灵山岛沉积地层大致可分为 5 个单元,底部单元为中粗砂岩—页岩互层并发育有滑塌沉积,中下部单元为细砂岩—泥页岩,中部单元为稳定发育的凝灰岩层,中上部单元为砾岩—砂岩—泥岩旋回,顶部单元发育安山岩、火山角砾岩等。碎

屑岩的岩性自下而上变化为粗—细—粗。最新研究成果显示,灵山岛整体地层属于远源浊积岩,并沉积了数期火山碎屑岩^[1,2]。

野外考察发现,凝灰岩层实属下部地层单元,其上覆、下伏地层皆为下部砂泥岩系;该层凝灰岩在灵山岛分布范围较广,西起轮渡南沿海岸线展布(厚度较薄约为 3 m),后被断层切断至半山腰并向东南蜿蜒至老虎嘴(厚约 20 m),在岛南端被错段而后出露于东南部的羊礁洞处并延伸至海底(厚约 20 m);在羊礁洞处,凝灰岩地层之上出露一套厚约 25 m 的砂砾岩露头,其与下伏凝灰岩为平行不整合接触,而砂砾岩之上则为火山碎屑熔岩。从厚度、岩性及接触关系看,灵山岛地区发育的套凝灰岩走向为 NNW 向,展布较广,厚度较为稳定,在全区可作对比,西北处由于断层错开而

突然变薄。凝灰岩层不同区域的厚度差异,说明了凝灰岩沉积之后,该区曾有短暂的隆升或其他条件下的侵蚀作用,凝灰岩层遭受剥蚀,不同区域剥蚀程度的差异导致了现今凝灰岩层厚度上的差异,这也说明了凝灰岩沉积时期的古厚度可能远远大于现今的厚度。

对灵山岛老虎嘴流纹岩样品 LHZ25 粒锆石点进行了 LA-ICP-MS U-Pb 测年,分析数据和锆石 CL 图像来源于周瑶琪等^[4]的测试结果,锆石粒径多分布于 80~200 μm 之间,岩浆锆石共 15 粒,具较清晰的生长环带。这 15 粒岩浆锆石年龄集中于早白垩世 108~126 Ma,获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄 $(119.2 \pm 2.2)\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 2.9$ ($n=15, 2\sigma$),属于早白垩世。

3 动力学成因机制的特征

前人研究表明:三叠纪早期,华北地块与下扬子地块发生碰撞,形成横贯黄海中部的中朝造山带。中侏罗世以后,由于造山带的再度隆起导致两侧的北、南黄海产生裂隙,而开始沉积上侏罗统和白垩系^[12]。Vergely 等^[13]则认为华南陆块自中三叠世开始向华北陆块俯冲,而到侏罗纪才开始碰撞,同时郯庐断裂开始左行走滑;张岳桥等^[14]认为中晚侏罗世苏鲁造山带遭受了 NW—SE 向的挤压作用,而郯庐断裂则表现为左行走滑活动;吕洪波等^[1]根据灵山岛岩石样品进行孢粉分析,推测其时代可能属于中侏罗世到早白垩世之间,而该阶段灵山岛地区正处于扬子板块和华北板块之间。剖面上密集的滑塌沉积层展示了地震频发的构造特征,揭示了当时扬子板块向华北板块俯冲的背景。

从大地构造格局看,灵山岛位于扬子板块和华北板块之间的苏鲁造山带暨欧亚板块东缘。在漫长的历史演化中,太平洋板块和菲律宾海板块对于欧亚板块的相互作用显然因为远程效应而着力于该造山带,导致南黄海盆地南部拗陷和中部隆起白垩系沉积地层大面积剥蚀(图 2);其时,影响位于南黄海盆地东北部隆起区的灵山岛隆起。

时振梁等^[15]、邓起东等^[16]和 Shimazaki^[17]认为,印度板块、太平洋板块及菲律宾海板块对中国大陆形成挤压;王仁和梁海华^[18]、汪素云等^[19]主

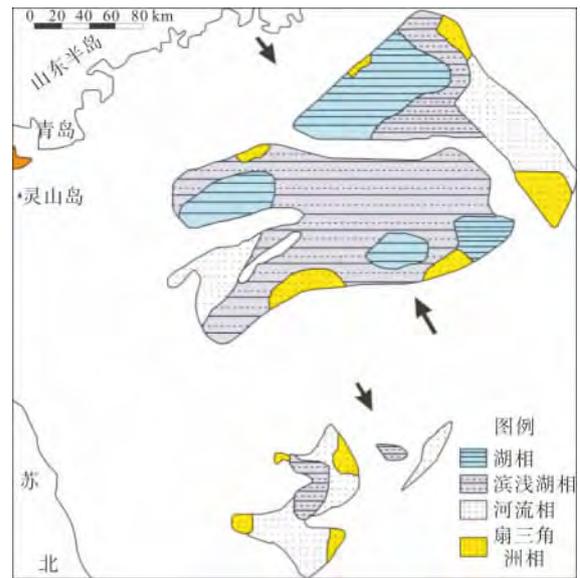


图 2 南黄海盆地白垩系沉积分布(据文献[11])

Fig. 2 Distribution of the Cretaceous in the South Yellow Sea Basin (from reference [11])

要依据地震机制解反演了周围板块对中国应力场的影响,发现不同部位菲律宾海板块对欧亚板块的作用虽然不同,但都是挤压作用;环文林等^[20]分析了我国东部构造变形和构造应力场认为,在中侏罗世晚期—早白垩世,中国东部出现了一系列规模巨大、与边缘岛弧大体平行的 NE—NNE 向相间分布的大型隆起带和沉降带,这些主要是由于侧向挤压而形成的大幅度拗褶;姜辉和高祥林^[21]认为,欧亚板块东缘是双方向的汇聚,即太平洋、菲律宾海板块以较大速度沿海沟—岛弧向西俯冲,以及欧亚板块沿边缘海东边界以较小速度向东移动,构成双方向对冲式的汇聚,欧亚板块东缘两边的板块运动都是主动的;张岳桥^[22]认为,在早白垩世时期,随着古太平洋板块向亚洲大陆俯冲作用的加强和海沟向大洋方向的后退,板块边界动力条件发生变化,东亚大陆岩石圈深部构造—热体制发生深刻的变化,引张构造应力体制占主导地位,岩石圈拆沉、地幔底辟等深部作用过程主导了地表伸展构造的发育和岩浆活动。

4 海岛的成因类型

栾光忠等^[9]根据不同的地质作用,将青岛主要海岛的成因划分为 3 种类型,见表 1。

表1 青岛海岛的成因类型及其主要特点(据文献[9]修改)

Table 1 The origin of islands in Qingdao region and their characteristics (modified from reference [9])

地质作用	成因类型	主要特点
构造作用 I	断裂作用 成岛型 I 1	①海岛边缘可见控岛断层,如水岛;②断裂走向与海岛长轴方向一致,断裂控制海岛的长轴方向;③海岛离陆地距离小,如大福岛、小青岛等,主要为沿岸岛;④海岛规模比较小,多为无永久性居民居住的海岛
	褶皱作用 成岛型 I 2	①褶皱轴向与海岛长轴、岩层走向一致;②在横剖面上可见褶皱转折端;③岩层倾角陡或近于直立,导致海岛周边形成陡峭的石质海岸
	挤压掀斜 成岛型 I 3	①由 NWW 向张性断裂及 NNW 与 NEE 向共扼断裂的构造特征显示出 NWW—SEE 向构造应力的构造作用;②海岛地层走向 NNE 方向;③海岛岛体呈 NNE 走向;岛体以单面山形式出现;④存在右旋位错的 NWW 向断层;⑤海岛地质体多为中生界
岩浆作用 II	岩浆焊接 断裂岩墙 成岛型 II 1	①海岛发育有宽度较宽高倾角的 NEE、NE、NNE 向花岗岩、闪长玢岩、正长斑岩等岩墙;②海岛的长轴方向大致与岩墙走向一致,多呈 NE、NEE、NE 向,如狮子岛、黄岛、小麦岛等海岛;③海岛地质体多为燕山期花岗岩或邻近燕山期花岗岩岩体。前者如黄岛,后者如狮子岛
	侵入岩体 成岛型 II 2	①在大地构造位置上,此类海岛主要位于隆起区,如胶南隆起和千里岩隆起;②此类海岛岩性单一,主要为晋宁期或震旦期古老花岗岩岩体;③由于区域变质作用,花岗岩变为花岗片麻岩,使海岛岩石强硬,抵御风化剥蚀能力强;④海岛距陆地距离较远,为非沿岸型海岛
变质作用 III	变质作用 成岛型 III	①邻近燕山期花岗岩岩体;②海岛地层一般是中生界莱阳组、青山组;③由于海岛的挺拔,海岛周边地形陡峭,挺拔,多形成陡峭的石质海岸

第 1 种类型是构造作用控制型海岛,在区域性构造应力作用下,通过褶皱作用隆起或翘起或通过断裂作用使海岛地质体与陆地分离形成海岛。其又分为 3 种:①断裂作用成岛型 I 1,由于断裂的切割,造成原为海岬或向海突出部分与陆地依水隔离形成海岛;②褶皱作用成岛型 I 2,主要由构造应力挤压作用,使海岛岩层发生褶皱,造成海岛高于海面;③构造掀斜成岛型 I 3,主要由 NWW—SEE 向构造应力的挤压作用,岩层倾斜,形成岩层倾斜的单面山型海岛。

第 2 种类型是岩浆作用控制型海岛成因类型,其又分为 2 种:①岩浆焊接断裂形成岩墙控岛型 II 1,由岩浆沿 NEE、NE、NNE 向高倾角断裂充填,形成岩墙;岩墙结晶程度低、颗粒细,犹如预制件中的钢筋,增强海岛抵御风化、剥蚀的能力,使海岛以残丘的形式得以保存;②侵入岩体控岛型 II 2,由于晋宁期或震旦期古老岩体由于岩性的强硬、或者没有大、中型断裂的切割,抵抗风化、剥蚀能力

强,突出于水面之上,形成海岛。

第 3 种类型是变质作用成因类型,受花岗岩、玢岩等侵入热变质影响,海岛地层发生热接触变质,页岩变成角岩,砂岩成变质砂岩,导致岩石抵御风化、剥蚀强度增加,使海岛以残丘形式得以保存。

5 灵山岛的成因特征

根据灵山岛形成的各种动力学特征,笔者认为灵山岛的成因特征包括 2 个方面:一是构造作用成因。主要是由板块之间的俯冲碰撞所造成的挤压、挤出、抬升作用成因;二是为岩浆作用成因,该阶段对应于中国东部岩石圈大规模的减薄时期,是大陆裂谷作用的高峰期,其又具体分为 2 类,分别是岩浆喷出作用成因,即火山作用成因,以及岩浆侵入作用成因。

首先是构造作用成因。野外考察发现,灵山

岛的岛体长轴呈 NNE 走向,北窄南宽,西缓东陡;地层走向也呈 NNE 向,且断裂构造特征十分明显,主要以 NE 向的断裂为主,如灵山岛南端的钓鱼台剖面断层倾向为 NW 向。同时灵山岛地区断层与褶皱相伴生,褶皱构造十分发育,如千层崖地区,地层剖面近 90° 直立(图 3),25 m 高,但北侧发育一大型的膝折构造(图 3a),枢纽走向近 NE—SW 向,斜向地层沿海岸展布,表明灵山岛

地区经历过强烈的 NW—SE 向挤压、抬升作用,巨大的作用力直接将水平的千层崖扭曲成 90° 直立(图 3b)。在灵山岛其他地区,如钓鱼台西部剖面、背来石剖面、羊礁洞等也都发现了受 NWW—SEE 方向的挤压作用而形成的褶皱,与栾光忠等^[9]灵山岛受 NWW—SEE 向构造挤压作用岩层倾斜,形成了地层整体 NEE 向倾斜的单面山型海岛,属于构造挤压成因机制的观点一致。



(a) 全图;(b) 位置见 a 图方框

图 3 千层崖大型褶皱

Fig. 3 The large-scale fold in the Qianceng Cliff

其次是岩浆成因的作用。与早白垩世中国东部大规模岩浆活动时期一致,与其时古太平洋板块的俯冲具有成因关系,也直接导致断离的俯冲板片与软流圈相互作用,软流圈热流上涌物质在俯冲板片对岩石圈地幔底部实现交代、侵蚀和熔融,形成上升岩浆流,穿透地壳底部实现底侵^[11]和喷出。根据野外露头呈现的特征,上述过程可划归岩浆喷出作用,即火山作用成因,其典型特征是火山喷出岩;以及岩浆侵入作用成因,其典型特征是岩墙。

岩浆喷出作用(火山作用)导致岩石圈减薄,地幔深处岩浆上拱喷出到地表,形成基性、中酸性火山岩。灵山岛是其中典型代表,部分形成火山岛,主要由火山角砾岩组成,经过长期的风化剥蚀,形成锯齿状山脊,其发育大小山头 56 座,其中高峰七八座,如灵山、歪头山等。结合灵山岛地层特征和测年数据,确认早白垩世时期灵山岛上部主要发育扇三角洲相前缘亚相的水下分流河道、分流河道间和碎屑流沉积微相沉积,这套扇三角洲沉积夹 3 层基性玄武岩和至少 8 层火山碎屑流沉积(图 4),表明沉积过程中伴随的频繁火山活动之强烈。周瑶琪等^[4]曾探讨山东东部地区晚中



图 4 灵山岛上部扇三角洲相夹火山岩

Fig. 4 The fan delta facies interbedded with volcanic rock in the upper part of Lingshan Island

生代强烈的火山活动特征,旋回性明显,火山岩体沿青岛—五莲断裂、牟平—即墨断裂带呈串珠状展布;并将本区火山活动划为 6 个旋回,即早白垩

世莱阳旋回、后乔旋回、八亩地旋回、石前庄旋回、方戈庄旋回及晚白垩世史家屯旋回。

笔者划归灵山岛属部分岩浆侵入作用成因,具有灵山岛火山脉岩在构造裂隙中充填,形成特殊空间配置的证据,也可反映当时的构造应力场实际。野外考察发现灵山岛地区多处发育有充填岩石裂隙中的岩脉(图 5a),千层崖下坡处辉绿岩岩脉切穿莱阳群地层(图 5b)。笔者所在的课题组近几年来走访了山东东部的多个地区(如日照、丁字湾、海洋采石场等),发现中生代脉岩特别发

育。周瑶琪等^[4]指出,该现象可能与莱阳期山东近海 NE 向断裂带发生左旋走滑作用,产生一系列 NW 向次级断裂,花岗质岩浆沿 NW—SE 向断裂上升侵位,造成山东近海早白垩世花岗岩整体沿青岛—五莲断裂和牟即断裂带呈 NE—SW 向串珠状展布,单个岩体展布方向呈 NW—SE 向,系列白垩纪岩脉则呈 NE—SW 向分布有关,直接导致青山期近 E—W 向引张,形成 NE—SW 向断裂带,中基性岩浆沿此断裂带侵位并形成 NE—SW 岩脉。

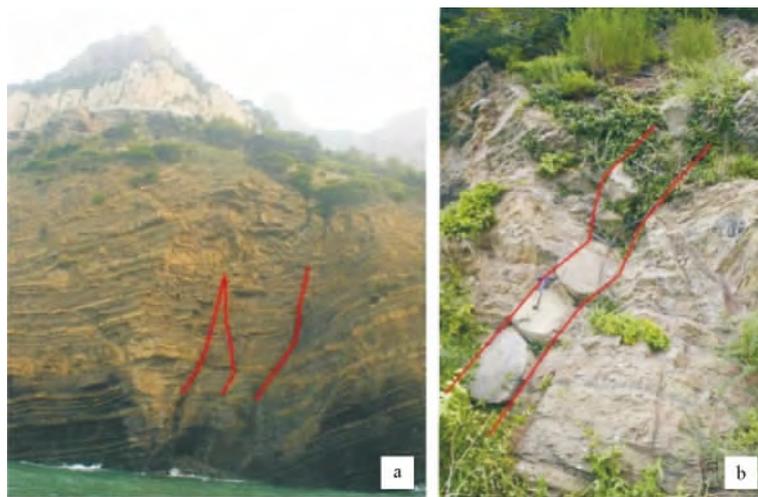


图 5 灵山岛岩脉

Fig. 5 Dike rock at Lingshan Island

6 灵山岛的成因类型

由前文,处于苏鲁造山带结合处的灵山岛的形成受多种动力学因素所制约,既有扬子板块和华北板块之间俯冲碰撞的影响,又有太平洋板块和菲律宾海板块对于欧亚板块的相互作用远程效应的着力,产生挤压抬升作用,进而岩浆喷出和侵入作用;这种多种复杂的动力学来源决定了灵山岛复杂的成因作用机制。在不同的历史演化时期区域的动力来源有所差别,晚侏罗世主要受 NW—SE 向的挤压作用;早白垩世构造活动以岩石圈引张作用为主,挤压作用相对较弱,同时伴随广泛的岩浆侵入和火山喷发活动;早白垩世末—晚白垩世初区域构造应力场性质发生转变^[4,22];其共同左右灵山岛的形成,由此可见,灵山岛属于

多种成因作用形成的复合成因类型。

7 地质—构造意义

灵山岛的成因特征与类型的研究对解释周缘盆地的沉积作用、构造作用和油气地质作用均具有重要的意义。

从沉积作用方面,灵山岛所出露的碎屑岩、火山岩和侵入岩,可与胶莱盆地和南黄海盆地相类比,对分析中国东部的沉积时期和沉积序列有其指示意义。

从构造作用方面,灵山岛之所以成为中国北方第 1 高岛,主要归因于强烈的构造作用和挤压抬升包括火山岩的喷发作用动力学特征和过程,不但造成了岩层的直立,而且 NW—SE 向伸展作用控制形成大量正断层和沉降沿深部拆离断层边

界发育;W—E 向断裂体系的存在,表明岩石圈减薄和地幔的隆升,火山作用广泛发生;后期 NW—SE 向的挤压作用的发现证实,强烈的挤压构造事件是灵山岛大量反转和变形、断块掀斜翘起构造形成的原因。

从油气地质方面,灵山岛大规模软变形白垩系深水沉积体系及其典型剖面的发现和观察以及有关灵山岛白垩纪强烈构造抬升作用与火山喷发作用,有利于对南黄海盆地中生代盆地形成演化的理解和油气勘探的实践,因而具有重要的意义。

8 结论

处于苏鲁造山带的灵山岛在动力学来源上不仅受到华北板块和扬子板块的碰撞拼合制约,也受到太平洋板块和菲律宾海板块对于欧亚板块的相互作用所造成远程效应的改造,表现为构造挤压抬升与火山喷发多重作用的结果,是多个复杂动力学来源与成因机制集合的产物。划分灵山岛为复合成因类型,集合了构造作用成因、岩浆喷出作用成因和岩浆侵入作用成因的特征。灵山岛成因特征与类型的研究有利于对于周缘盆地的沉积作用、构造作用和南黄海盆地中生代盆地形成的理解,具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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,2012,58(6):1180-1182.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.jseas. 2014. 09. 002
- [8] 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.jseas. 2015. 09. 009
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 许 红,卢树参,葛和平,等. 南黄海盆地白垩系油气赋存特征与 2 类烃源岩[J]. 海洋地质前沿,2015,31(4):13-20.
- [12] 蔡乾忠. 横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):185-192.
- [13] Vergely P, Hou M J, Wang Y M, et al. The kinematics of the Tan-Lu fault zone during the Mesozoic-Palaeocene and its relations with the North China-South China block collision (Anhui Province, China) [J]. Bulletin de la Societe Geologique de France, 2007,178(5): 353-365.
- [14] 张岳桥,董树文,赵 越,等. 华北侏罗纪大地构造:综评与新认识[J]. 地质学报,2007,81(11): 1462-1480.
- [15] Shi Z L, Huan W L, Wu H Y, et al. On the intensive seismic activity in China and its relation to plate tectonics [J]. American Journal of Science, 1975, 275(A): 239-259.
- [16] 邓起东,张裕民,许桂林,等. 中国构造应力场特征及其与板块运动的关系[J]. 地震地质,1979,1(1):11-23.
- [17] Shimazaki K. Mid-plate, plate-margin, and plateboundary earthquakes and stress transmission in far east[M] // A Collection of Papers of International Symposium on Continental Seismicity and Earthquake Prediction. Beijing: Seismological Press, 1984:132-147.
- [18] 王 仁,梁海华. 用叠加法反演东亚地区现代应力场[C]//国际交流地质学术论文集 2——二十七届国际地质大会. 北京:地质出版社,1985:29-36.
- [19] Wang S Y, Xu Z H, Yu Y X, et al. Inversion for the plate driving forces acting at the boundaries of China and its surroundings[J]. Journal of Chinese J Geophysics, 1997, 40(1): 17-25.
- [20] 环文林,时振梁,鄢家全. 中国东部及邻区中生代构造演化与太平洋板块运动[J]. 地质科学,1982,55(3):179-190.
- [21] 姜 辉,高祥林. 欧亚东边缘的双向板块汇聚及其对大陆的影响[J]. 地球物理学报,2012,55(3):897-905.
- [22] 张岳桥. 山东胶莱盆地沉积—岩浆—构造演化序列:对中

