



中国地质调查成果
CGS 2017-025

南黄海千里岩岛-灵山岛 地质特征与油气

许 红 周瑶琪 韩宗珠 等 著



科学出版社



中国地质调查“GZH201200510”项目资助

南黄海千里岩岛 - 灵山岛 地质特征与油气

许 红 周瑶琪 韩宗珠 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

南黄海盆地是我国海域唯一一个尚未取得工业性油气发现突破的大型含油气盆地,但它与近年来发现大量中古生界大油气田的四川盆地同属扬子板块。随着国家海域油气勘探进程的加快,认识南黄海周缘海岛地质特征与海域盆地油气地质基础科学问题被提上议事日程。本书包括作者团队历时两个“五年计划”、对两个海岛的调查历程和最新研究的成果;同时记载了关于两个海岛成因的南黄海盆地油气地质特征的探索研究新认识。

本书可供海洋地质学、沉积地质学、岩浆变质岩尤其是榴辉岩岩石学、地球动力学和油气地质学专业,以及海岛地质学、旅游专业技术人员及相关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

南黄海千里岩岛-灵山岛地质特征与油气/许红等著. —北京:科学出版社, 2017.4

ISBN 978-7-03-050050-2

I. ①南… II. ①许… III. ①黄海-石油天然气地质 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第234106号

责任编辑:王 运 韩 鹏 陈姣姣/责任校对:高明虎

责任印制:肖 兴/封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年4月第一次印刷 印张:16 1/4

字数:380 000

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 一

本书为国家“十二五”海洋地质保障工程专项项目成果，隶属于南黄海盆地油气勘探、海洋地质学、区域地质学与地球动力学范畴，涉及青岛近岸白垩纪、三叠纪分别形成的两个海岛的地质特征调查测量与分析发现的新资料，以及对岩石学、矿物学的认识，集中介绍二者实地调查的发现与理论分析的认识。有关千里岩岛形成于扬子-华北板块陆陆碰撞、它的露头剖面及高压高温岩石矿物的特征、榴辉岩锆石探针年龄 241.5Ma 等珍贵的数据，可以给人许多深层次的思考。对人们认识青岛近海海域，尤其是南黄海盆地的多次构造运动与形成变化具有重要的参考价值。从久远地质年代开始并演化至今的结果，可以深入推动有关苏鲁造山带向南黄海海域延伸的科学认识，具有很高的学术价值，值得一读。

近几年青岛地方政府推进灵山岛建立省级地质公园以带动旅游，《青岛晚报》报道了本书作者的事迹，他们多年来研究千里岩岛和灵山岛，艰苦的探索工作体现了对南黄海的关注和重视。该书从专业角度研究介绍这两个曾经不为人知的海岛，对它们地质构造、沉积岩石学特征的深入探索，具有重要的科学价值。

许红教授执着于研究南黄海盆地油气地质中的基础科学和勘探问题，作者团队来自多所著名专业院所，包括中国石油大学（华东）、中国海洋大学、中国地质大学（武汉）、山东科技大学与中国海油总公司、中国石油、中国石化等单位的石油地质学、海洋地质学、沉积岩石学、矿物学、变质岩石学等领域的专家。他们通过多年工作，力争在南黄海盆地实现油气勘探的新发现，推进海洋地球科学未解难题的理论认识，该书成果来之不易，精神可嘉。

重视海岛地质调查的本身才可能突破前人获得新发现，才可以推动南黄海盆地的油气勘探开发，才可以更好地启发人们探索认识、开发青岛周边更多美丽的海岛，同时支持地方经济在更多领域获得可持续的建设发展。

秦德珊

2014 年 9 月 15 日

序 二

我去过灵山岛，观察过船厂等剖面，珍贵的深水沉积等地质露头给我留下了深刻的印象，在陆地其他地方一般难得一见。

作者通过国家海洋地质保障工程专项项目开展相关工作，将注意力集中在这两个海岛实地地质剖面调查、成因及与盆地油气地质特征和赋存关系的研究方面，力图从它们所保存的珍贵且古老地质记录中获得钥匙，打开南黄海盆地古生代以来盆地形成复杂演化、油气形成与保存之锁。

作者团队通过大量第一手实地调查与测试分析，获得了包括榴辉岩锆石离子探针年龄学等一批新的数据，据此刻画千里岩岛地质露头剖面，形成于扬子-华北板块陆陆碰撞的三叠纪，可对比于苏鲁及韩国。这个剖面保存至今，被发现是科学之幸，这个发现来之不易并且属于首次。这是重视野外第一手资料的结果，为南黄海前陆盆地形成演化提供多种证据，阐释了深层次中生代南黄海盆山耦合作用的关系，对于南黄海盆地油气勘探评价具有重要价值与理论意义。

我和龚再升同志参加了多次许红教授南黄海盆地油气地质调查成果的会议，通过《青岛晚报》了解到2014年他在千里岩岛遭遇10级台风和被台风追赶安全返回陆地的危险经历；2012年我们登灵山岛；2015年搭载中国海洋局北海分局1122号海警船登千里岩岛。回顾经历的这些过程，感悟作者的工作与学术观点，颇具同感，值得推荐。

作者探索了榴辉岩变质岩石学、板块运动与盆地动力学、前陆盆地成因机制与油气勘探等诸多领域热点和前沿，包括青岛外海两个近岸海岛地质特征的详实调查，获得大量基础理论研究新成果，可启示于南黄海盆地的油气勘探。

作者团队包括石油地质学、海洋地质学、沉积岩石学、矿物学、变质岩石学专业人员，是一批执着于我国海域油气勘探、海洋地球科学研究的难题，克服困难，坚持海岛调查的一线专家。大量新成果新认识既来自理论探索，又来自南黄海盆地油气勘探新的实践。

该书荟萃大量第一手资料，彩色照片图片，涉及青岛外海近岸典型海岛地质特征与成因变化，以及南黄海盆地油气地质特征与调查研究内容，值得一读。

李思田

2015年9月15日

前言

千里岩岛和灵山岛位于南黄海近岸，距离青岛分别约 50 n mile（海里）和 22 n mile；面积分别为 1.0405km^2 和 7.66km^2 ；海拔分别为 93.5m 和 513.6m。前者孤悬于外海，曾被誉为黄海前线第一哨，至今还是一个无常驻居民、无水、无电、无手机信号、无住处的海岛，它左接苏鲁 - 大别，右连朝鲜半岛，隶属于南黄海盆地北部的一个正向一级构造单元；后者被誉为中国北方第一高岛。本书介绍了二者实测岩石地层，千里岩岛三叠纪蚀变榴辉岩、金红石榴辉岩，灵山岛白垩纪火山凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄，海岛成因及特征的最新研究认识。

不言而喻，研究千里岩岛和灵山岛，揭示其地质特征之谜，起源于南黄海盆地油气发现的需要。南黄海盆地面积超过 $20 \times 10^4\text{km}^2$ ，是中国海域唯一一个下古生界、上古生界、中生界和新生界四世同堂的大型含油气盆地。油气勘探始于 1961 年，至今 56 年来仅仅获得三次油气发现：1984 年，在 CZ6-1-1 井新生代阜二段测试获少量（2.45t/d）原油，这是该盆地第一口也是唯一一口见油气流钻井。1986 年，英国克拉夫石油公司实施 ZC1-2-1 井，在井底 3420.46 ~ 3423m 白垩系泰州组第四取心回次也是最后一个取心回次，获得大量暗色泥岩岩心，编录后发现密度大、致密、性脆。在最后一块灰黑色岩心中见裂缝，油味浓，通过肉眼观察，发现裂缝渗漏出轻质原油，荧光显示强烈，该项发现属于典型“页岩油”。2015 年，在 DSDP-2 井三叠系灰岩中发现多层“油迹和油侵”。这与面积仅仅 $3 \times 10^4\text{km}^2$ 却年产 200 万 t 油气当量的苏北盆地相去甚远，也与近年来发现普光 - 元坝、磨溪 - 龙王庙等系列大气田的上扬子区四川盆地有天壤之别，导致南黄海盆地至今还是中国海域自渤海到南沙唯一一个尚未实现工业油气发现的大型含油气盆地，这与理论相悖。因此，获得突破是笔者团队竭尽所能要达到的目标，讨论涉及南黄海盆地 27 口钻井及得失，指出与南海一样，外国（韩国）也是南黄海盆地第一口油气井钻探者，至今仍然保持最深油气井的记录，而且有两口井越过东经 124° 中韩传统管辖线；相比之下，中方钻井 22 口，多以新生代为目标，最老仅钻遇石炭系。当然软硬件、技术与经费受限是当年的实情，但现在已大大改善，因此，南黄海盆地工业油气突破发现显然已经成为可能。

本书总结对比研究了上扬子四川盆地最新发现，迄今中国单体储量规模最大（探明

地质储量 $4403.83 \times 10^8 \text{m}^3$, 可采储量 $3082 \times 10^8 \text{m}^3$)、时代最老、整装高产的特大型磨溪 - 龙王庙巨型天然气田的地质特征及发现历程。该气田的发现彻底改变了四川盆地碳酸盐岩油气勘探发现史, 也彻底改写了中国碳酸盐岩油气勘探史, 其巨大的规模已排进世界特大气田前十。

基于此, 提出南黄海盆地下古生界震旦系 - 奥陶系碳酸盐岩储层体系为钻探目标, 重视中生代前陆盆地; 下扬子陆区生烃地质露头剖面、海区钻井得与失、白垩系和侏罗系盆地石油地质特征等新认识: ①四川盆地下古生界拉张槽、古隆起与盆山突变结构三者的叠合区域控制深层碳酸盐岩天然气藏的形成, 有效支撑起川中古隆起大气区勘探部署的有效目标。②榴辉岩是俯冲板片下插百余千米深入地球内部的高压高温形成物, 千里岩岛榴辉岩属于华北 - 扬子陆陆碰撞的证据, 亦为南黄海盆地北界; 多种类型榴辉岩西可与大别 - 苏鲁 - 胶东, 东可与韩国临津江榴辉岩对比。③前陆盆地是全球油气勘探优选盆地, 千里岩岛榴辉岩地球化学与锆石 SHRIMP 年龄首次提供了南黄海前陆盆地形成年代。④寒武系幕府山组与千米侏罗系深灰黑色泥岩生烃岩系可为形成磨溪 - 龙王庙型古老大气田提供气源。⑤来自钻井锆石磷灰石裂变径迹构造热年代学的研究证实, 太平洋构造系导致四川盆地与南黄海盆地的巨大区别, 后者中上三叠统一古近系地层数千米剥蚀殆尽。⑥回顾上扬子区四川盆地发现高石梯 1 井震旦系灯影组日产百万立方米高产气流历程, 指出其源于绵阳 - 长宁拉张槽的发现, 由此, 一举将东西向勘探部署改变为南北向部署, 也一举改变了中国古老碳酸盐岩油气发现史, 是下扬子南黄海盆地油气勘探的最好借鉴。

千里之行始于足下, 首先是登千里岩岛。笔者详实记录了 8 年前一叶扁舟顶大风大浪登岛的艰难, 可今天已能借力千吨海警舰船。发现千里岩岛“五有”: 黑压压的蚊子、两个码头、奇山怪石、盘山小路、部队营房。还有大自然造就的神奇地质露头大剖面及其榴辉岩出露点, 工作环境贴近大自然但包含危险, 发现与乐趣交织, 书中附有照片, 以感受千里岩岛自然科学之美, 体会灵山岛旅游与地质特征之绝。

全书共 3 篇, 上篇为灵山岛地质, 中篇为千里岩岛地质, 介绍了八条实测剖面, 沉积岩和高压高温变质岩岩相学、沉积岩石学、矿物学、动力学和成因机制, 盆山耦合的关系; 下篇为南黄海盆地油气地质。其中, 上篇共 3 章, 为灵山岛地质, 含环岛 GPS 坐标采集、海陆拍摄、地面地质露头剖面调查测量描述、室内样品测试分析、沉积岩火山岩矿物岩石学、构造成因和海岛类型等内容。作者周瑶琪、许红、蔡瑛、王安东、刘菲菲、高晓军、刘金庆、魏凯、赵新伟、朱玉瑞、张柏林、李建委、卢树参、张海洋、王修齐、张威威、马鹏飞、史同强等。中篇共 3 章, 为千里岩岛地质, 含环岛 GPS 坐标采集, 海陆拍摄, 地面剖面实测, 榴辉岩岩相学、高压高温矿物学, 火山岩地球化学、成因特征与盆山耦合机制, 盆山耦合关系等内容。作者韩宗珠、李旭平、许红、李安龙、孙和清、闫桂京、刘金庆、魏凯、赵新伟、朱玉瑞、张柏林、李建委、卢树参、张海洋、赵利、王修齐、马鹏飞、张昊、张威威、史同强等。下篇共 7 章, 为南黄海盆地油气地质, 讨论了南黄海盆地白垩系、侏罗系、苏皖中古生界露头剖面, 寒武系幕府山组、二叠系烃源岩, 前陆盆地分析, 前新生代盆地特征与构造演化, 上扬子四川盆地最新油气

勘探发现及其意义等内容。作者许红、张敏强、葛和平、张健、宋家荣、高顺莉、李祥权、陆永潮、孙和清、闫桂京、张成、董刚、魏凯、赵新伟、朱玉瑞、张柏林、李建委、卢树参、张海洋、张威威、王修齐、马鹏飞、马金全、史同强、罗勇、唐青松、王武俊等。

自 2009 年以来，参加千里岩岛和灵山岛实测调查的研究者超过 200 人，11 批次，其中包括油气地质学、沉积岩石学、变质岩石学和矿物学领域的研究专家。大量工作得到青岛海洋地质研究所彭轩明、吴能友所长，以及前副所长、资深石油地质专家蔡乾忠研究员和郝先锋、张波、柳洁、杨慧良包括司机班同志的大力支持和帮助。中国石油大学（华东）、中国地质大学（武汉）、中国海洋大学和山东科技大学的研究生也付出了辛勤劳动。秦蕴珊院士、李思田教授为本书作序，在此一并表示深切的感谢。

蔡瑛女士协助许红校统稿，在此表示感谢。

本书的出版得到国家海洋地质保障工程专项“南黄海盆地油气地质特征和赋存规律研究”资助。

在此特别感谢秦蕴珊院士。他是一位长者、大家，曾蒙他生前多次教诲，与他在一起是一种享受，他总是认真倾听，经常打断我，问一个又一个问题，然后我们开始话题内外多角度的讨论。当本书还只有 80% 书稿内容时，他建议我申请出版基金并作序。今天，我以全书告慰他，表达对他深深的怀念与敬意。

我感谢恩师李思田教授。他亲自参加了灵山岛、千里岩岛的科学考察。他们这一代老地质工作者身体力行，特别重视野外地质现象的观察，特别擅长调查与实测。耳濡目染的结果与教诲令我终生受益，也是笔者重视来自第一手野外地质露头剖面资料调查与分析及笔者团队能够坚持两个海岛调查、深层次研究的原因。

有所发现必源于一线的真实，永远是地质科学进步与油气勘探发现之母。

目 录

序一	
序二	
前言	

上篇 灵山岛地质

第 1 章	灵山岛地质概况	3
1.1	地层格架	4
1.2	地质时代厘定	8
1.2.1	样品描述	8
1.2.2	分析方法	8
1.2.3	锆石 U-Pb 年龄分析结果	9
1.2.4	锆石微区微量元素特征	15
第 2 章	野外露头剖面地质特征	21
2.1	钓鱼台剖面	21
2.2	灯塔剖面	24
2.3	千层崖剖面	27
2.4	船厂剖面	28
2.5	老虎嘴剖面	29
2.6	洋礁洞剖面	30
第 3 章	典型的软沉积物变形构造特征	36
3.1	液化角砾岩	36
3.2	液化底辟	38
3.3	液化砂岩脉	39

3.4	粒序断层	40
3.4.1	船厂剖面粒序断层	40
3.4.2	老虎嘴剖面粒序断层	42
3.5	软布丁构造	44
3.6	环形层	46
3.7	软双重构造	47
3.8	地裂缝	48
3.9	房顶砂	49
3.10	负载构造、球枕构造	50
3.10.1	负载构造	50
3.10.2	球枕构造	56
3.10.3	负载构造、球枕构造形成机制	61
3.10.4	负载构造、球枕构造触发机制探讨	62
3.11	水下非构造裂缝	63
3.11.1	水下非构造裂缝形态分类描述	64
3.11.2	水下非构造裂缝形成机制	69
3.12	滑塌褶皱	70
3.12.1	灯塔剖面滑塌褶皱	70
3.12.2	薄纹层滑塌褶皱	71
3.12.3	负载-滑塌褶皱	72
3.12.4	挤压褶皱	75
3.12.5	洋礁洞剖面滑积岩	76

中篇 千里岩岛地质

第4章	南黄海千里岩岛地质特征与露头剖面调查	81
4.1	千里岩岛地质概况及研究意义	81
4.1.1	千里岩岛概况	81
4.1.2	千里岩岛地质特征与榴辉岩	82
4.2	千里岩岛地质露头核心区剖面调查与榴辉岩发现	83
第5章	千里岩岛榴辉岩特征与成因机制	90
5.1	榴辉岩岩相学特征	90
5.1.1	金红石榴辉岩岩相学	90
5.1.2	蚀变榴辉岩岩相学	96
5.2	榴辉岩矿物地球化学特征	105
5.2.1	矿物化学特征	105

5.2.2	矿物红外光谱特征	113
5.3	榴辉岩元素地球化学特征	116
5.3.1	主量元素特征	116
5.3.2	微量元素特征	121
5.3.3	稀土元素特征	128
5.3.4	同位素特征	132
第 6 章	千里岩岛构造属性、榴辉岩特征与成因机制	135
6.1	千里岩岛构造属性	135
6.1.1	榴辉岩是否经历了退变质过程	135
6.1.2	榴辉岩的物质来源	136
6.1.3	榴辉岩围岩的地球化学特征	136
6.1.4	千里岩岛构造属性	136
6.1.5	千里岩岛榴辉岩形成机制	136
6.2	苏鲁地区榴辉岩系列锆石 SHRIMP U-Pb 定年与分布特征	137
6.3	千里岩岛榴辉岩系列锆石 SHRIMP U-Pb 定年与成因机制	142
6.4	陆陆碰撞动力学机制与盆山耦合关系	146
6.4.1	陆陆碰撞动力学模式	146
6.4.2	变质 PT 轨迹估算	148
6.4.3	俯冲折返模式的假设	149

下篇 南黄海盆地油气地质

第 7 章	下扬子两个地质剖面烃源岩特征及对于南黄海盆地的意义	153
7.1	下扬子陆区古生界露头地质剖面调查	153
7.2	地质调查剖面构造背景特征与意义	154
7.2.1	南京幕府山寒武系剖面的特征	155
7.2.2	巢湖平顶山南二叠系剖面的特征	155
7.3	样品系统油气地球化学特征测试及分析	157
7.3.1	有机质类型	157
7.3.2	有机质丰度	158
7.3.3	有机质成熟度	161
7.3.4	岩石物性	161
7.3.5	结论	161
第 8 章	南黄海盆地钻井地质特征	163
8.1	南黄海盆地分阶段油气探井的特征	164
8.1.1	自营普查勘探阶段 (1961 ~ 1979 年) 钻井 7 口	165

8.1.2	中外合作勘探阶段(1980~1998年)钻井9口	166
8.1.3	新一轮油气资源补充调查阶段(1999年至今)钻井5口	167
8.2	结论	168
第9章	南黄海盆地白垩系	172
9.1	南黄海白垩纪盆地研究意义	172
9.2	南黄海盆地钻井岩心白垩系的特征和油气显示	173
9.3	灵山岛白垩系地层岩石剖面特征和地质时代	173
9.3.1	灵山岛白垩系地层剖面的特征分析	173
9.3.2	南黄海盆地白垩系井—震资料分析和解释	176
9.3.3	灵山岛深灰黑色泥页岩油气地球化学特征	178
9.4	胶莱盆地早白垩世陆相地层及向南黄海海域延伸	179
第10章	南黄海盆地侏罗系的地质特征	180
10.1	区域地质概况	180
10.2	南黄海周边区域侏罗系分布及特征	181
10.3	南黄海钻井侏罗系地层特征	182
10.4	南黄海侏罗纪石油地质特征	182
10.4.1	中生界烃源岩特征	182
10.4.2	侏罗系生储盖组合特征	183
10.4.3	侏罗纪油气勘探前景	183
10.5	侏罗纪地层在南黄海盆地的分布与构造意义	183
10.5.1	侏罗纪地层分布	183
10.5.2	侏罗纪地层发现的构造意义	185
10.5.3	中生代陆相盆地演化探讨	185
10.6	结论	186
第11章	南黄海盆地前陆盆地分析	187
11.1	区域地质背景	187
11.2	前陆盆地系统及概念	189
11.3	南黄海前陆盆地系统及特征	189
11.3.1	楔顶沉积带	190
11.3.2	前渊沉积带	191
11.3.3	前隆沉积带	192
11.3.4	隆后沉积带	193
11.4	南黄海盆地前陆褶皱冲断带及其构造样式特征	193
11.4.1	大型逆冲断裂体系构造样式	194
11.4.2	不对称对冲构造样式	196
11.4.3	“凹中隆”构造样式	197
11.4.4	“上凸下凹”构造样式	197

11.5 结论	197
第 12 章 南黄海盆地中古生界油气地质特征分析及勘探	198
12.1 研究背景	198
12.2 新生界	198
12.3 陆相中生界	199
12.4 海相中古生界	199
12.5 海区的新生代盆地是陆上苏北盆地的延伸	201
12.6 海区的陆相中生界主要分布于北部	201
12.7 海相中古生界已有很确定的钻井地震发现	201
12.7.1 南黄海盆地上古生界	202
12.7.2 南黄海盆地下古生界	202
12.7.3 海相中古生界二次生烃与晚期成藏	204
12.7.4 南黄海盆地中生界前陆盆地体系沉积相和沉积体系	204
12.8 结论	206
12.8.1 钻探参数井	206
12.8.2 大力增加其他非地震勘探方法	207
12.8.3 加强综合研究	207
第 13 章 上扬子区震旦系大气田发现突破对于南黄海盆地的意义	208
13.1 磨溪—龙王庙大气田发现历程及特征	208
13.1.1 基本情况	208
13.1.2 绵阳—乐至—隆昌—长宁拉张槽的发现	209
13.1.3 绵阳—长宁拉张槽分布的位置特征	211
13.1.4 绵阳—长宁拉张槽的边界特征	211
13.1.5 绵阳—长宁拉张槽的生烃特征	212
13.1.6 绵阳—长宁拉张槽的储层体系特征	212
13.1.7 绵阳—长宁拉张槽的形成演化特征	212
13.2 四川盆地震旦系—寒武系构造背景特征	213
13.2.1 晚元古代震旦系发育期古隆起的构造特征	213
13.2.2 寒武系—志留系沉积期古隆起构造特征	214
13.3 储集层地质特征及分布	215
13.3.1 震旦系储层体系	215
13.3.2 寒武系储层体系	216
13.3.3 对比分析	216
13.4 震旦系—寒武系烃源岩及其演化	216
13.4.1 烃源岩分布	216
13.4.2 天然气的地球化学特征和气源对比	218
13.5 震旦系—寒武系油气成藏特征	218

13.5.1	生储广泛接触，多期不整合面和断裂系统为油气运移提供有效通道 …	219
13.5.2	多种类型圈闭为油气聚集提供了良好空间 ……………	219
13.5.3	多期构造调整与油气演化造就多类型气藏群大面积分布特大型气田 …	221
13.6	油气系统与富集规律 ……………	221
13.7	上扬子区古老碳酸盐岩大气田发现对于南黄海盆地的意义 ……………	222
主要参考文献……………		224

上 篇

灵山岛地质



第 1 章

灵山岛地质概况

灵山岛位于山东省胶南市黄海海域，总面积 7.66km²，海拔 513.6m，是我国北方第一高岛；作为青岛沿岸海岛，距灵山岛最近的陆地大珠山 5.3 n mile，距最近的积米涯码头 9 n mile（图 1-1）。作为海岛交通相对不便，所以灵山岛不被传统地质调查工作者重视，以往鲜见灵山岛地质调查研究的文献与专著。近年来，由于南黄海盆地油气勘探需要，灵山岛地质特征研究提上了议事日程。笔者团队十余次登上灵山岛，取得了大量研究成果，完成了规范地质考察，环绕该岛数圈照相及坐标采集（图 1-2），重点踏勘测量了千层崖剖面、老虎嘴剖面、灯塔剖面、船厂滑塌剖面及洋礁洞剖面等露头剖面，分析了野外沉积、构造现象等。

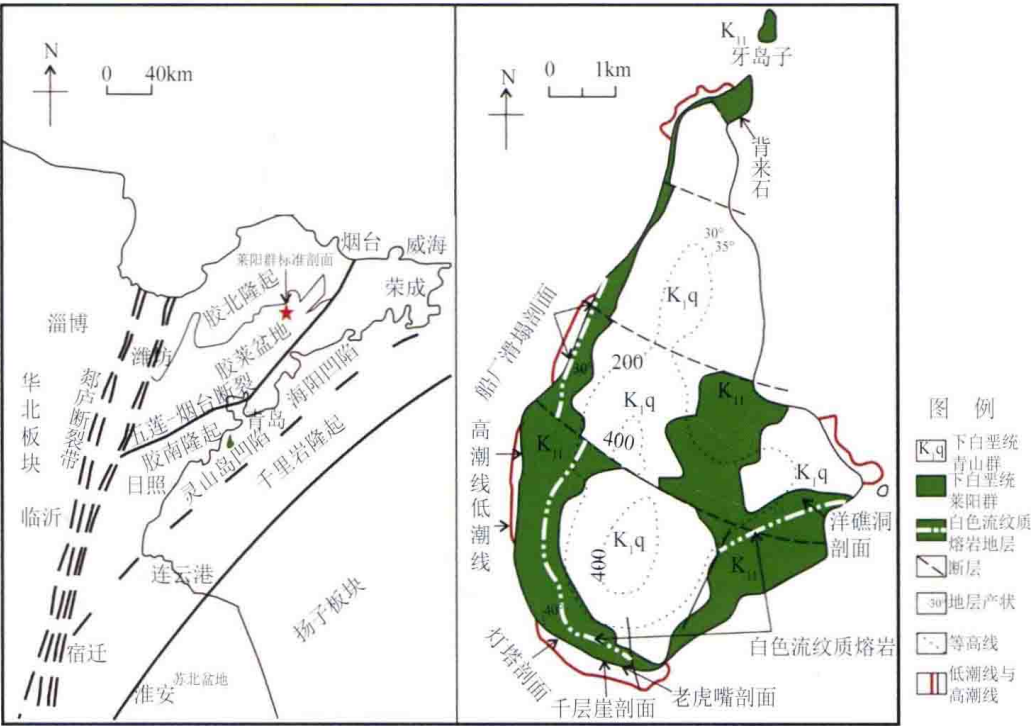


图 1-1 灵山岛区域构造背景与灵山岛地质简图