

晚始新世以来雅浦海沟-岛弧构造演化模式

瞿洪宝^{1,2,3,4}, 郑彦鹏^{1,2,3*}, 刘晨光^{1,2,3}, 裴彦良^{1,2,3}, 华清峰^{1,2,3},
李先锋^{1,2,3}, 马 龙^{1,2,3}, 李天光^{1,2,3}

(1. 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;
3. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 山东 青岛 266061;
4. 海南省海洋地质调查研究院, 海南 海口 570206)

摘 要: 雅浦海沟-岛弧构造体系是菲律宾海板块与太平洋板块、卡罗琳板块相互作用而形成的构造俯冲带, 其南北两段俯冲带在海底地形地貌、地球物理场、应力场特征等方面表现出显著的差异。北段俯冲方向为近东西向, 总体表现为俯冲角度较小、俯冲深度浅、俯冲速度较快、应力场呈俯冲拉张型等特征; 南段由东西方向的俯冲过渡至北北西向, 总体表现为俯冲角度大、俯冲深度较深、俯冲速度极慢、应力场呈俯冲挤压型等特征。这些差异的形成经历了 2 个主要的构造演化阶段: 菲律宾海板块与太平洋板块在晚始新世至晚渐新世期间相互作用并形成了古马里亚纳-雅浦海沟; 晚渐新世以来菲律宾海板块与卡罗琳板块的相互作用对古海沟构造改造, 进而造就了雅浦海沟-岛弧当今复杂的构造形态。

关键词: 雅浦海沟; 菲律宾海板块; 卡罗琳板块; 板块俯冲; 构造演化

中图分类号: P738

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2017)02-0249-09

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2017.02.009

在大地构造位置上, 雅浦海沟和雅浦岛弧位于菲律宾海板块与太平洋板块、卡罗琳板块交汇处。这些板块之间的相互作用形成了多个由岛弧、海沟、弧后盆地共同组成的沟-弧-盆构造体系; 在北部, 太平洋板块经马里亚纳海沟北西向俯冲于菲律宾海板块之下, 形成马里亚纳海沟-岛弧-弧后盆地体系; 在南部, 卡罗琳板块经雅浦海沟、帕劳海沟俯冲于菲律宾海板块之下, 分别形成雅浦海沟-岛弧体系和帕劳海沟-岛弧体系。该地区独特的板块位置和复杂的地质构造特征引起国内外学者的广泛关注, 成为验证和发展板块构造科学理论的关键地区。

20 世纪 80 年代以来, 随着海洋地球物理调查新技术的广泛应用, 美国、日本等国家^[1-7]在雅浦海沟海域开展了若干海底地形、地震、热流、岩石学及深潜等调查和研究工作, 对卡罗琳海脊与雅浦海沟的俯冲过程、岩浆活动及其构造影响从板块运动学、动力机制等方面加以论述和探究, 但对构造单元之间时空演化关系研究较少。本文基于我国近年来在雅浦海沟和雅浦岛弧调查获得的地质地球物理资料, 结合国外相关研究成果, 阐述了雅浦海沟-岛弧的地球物理场分布规律与构造特征, 并对其板块俯冲过程与演化进行了探讨。

1 区域地质构造特征

对雅浦海沟和雅浦岛弧的早期研究^[8-11]主要集中在雅浦岛出露的岩石类型和海底地形地貌方面。研究

收稿日期: 2016-02-04

资助项目: 国家自然科学基金项目——西菲律宾海盆扩张脊的构造特征及其地质意义(41176058); 南北极环境综合考察与评估专项——南极周边海域海洋地球物理考察(CHINARE2014-01-03)和南极周边海域与大陆资源潜力综合评估(CHINARE2015-04-02)

作者简介: 瞿洪宝(1988-), 男, 贵州铜仁人, 博士研究生, 主要从事海底构造方面研究. E-mail: qhb@fio.org.cn

* 通讯作者: 郑彦鹏(1972-), 男, 山东日照人, 研究员, 博士, 主要从事海洋地球物理探测技术与海底构造方面研究.

E-mail: zhengyp@fio.org.cn

(陈 靖 编辑)

结果表明雅浦岛基底岩石组成单元与活动岛弧迥异,在沟-弧形态上也表现出独特的特征^[8,10],并以此建立了“晚渐新世卡罗琳海脊与雅浦海沟碰撞而导致板块俯冲中止”的构造演化模式。最新研究成果表明,卡罗琳海脊在菲律宾海板块之下的俯冲过程一直持续进行,具有高热流值、地震频发的特点,发生在雅浦海沟的板块俯冲并未因卡罗琳海脊的碰撞而停止,只是俯冲速度变得极慢。雅浦海沟构造位置如图 1 所示。

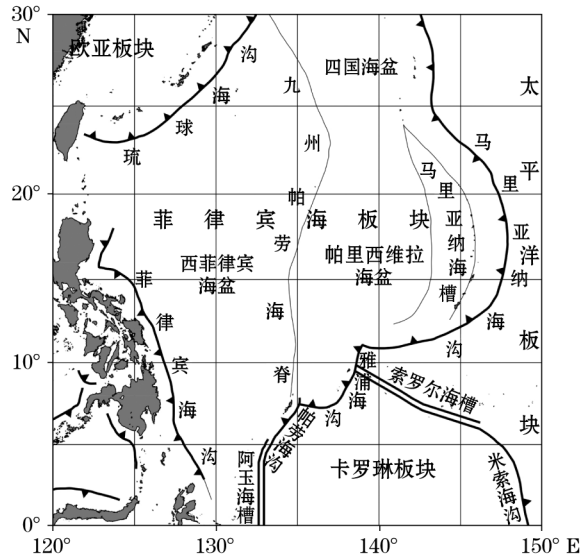


图 1 雅浦海沟构造位置

Fig.1 Tectonic location of the Yap Trench

1.1 地形地貌特征

雅浦海沟位于马里亚纳海沟和帕劳海沟之间的构造走向转换部位,轴部水深介于 6 000~9 000 m 范围。依据海沟走向将雅浦海沟分为南、北两段,北段大致呈北偏东 30°方向延伸,逐渐向南转为近 E—W 向的弧形。海沟外坡向大洋过渡带在北段表现为地势较低地形,在南段则表现为相对隆起的西卡罗琳海隆(图 2a)。

雅浦岛弧位于雅浦海沟西侧,表现为出露水面的雅浦岛及一系列环礁组成的群岛。雅浦岛弧向西水深迅速变深至帕里西维拉海盆,向东地形陡峭,直接变为深海沟,弧前盆地极其不发育。

1.2 重力异常特征

水深数据源自 GEBCO2014 网格数据网站 <http://www.gebco.net>;重力数据源自卫星重力网站 <http://topex.ucsd.edu>;磁力数据源自 NOAA 网站 <http://www.ngdc.noaa.gov>。

重力异常分布规律能够反映雅浦海沟-岛弧及其邻域构造的深部地壳结构特征:

1)空间重力异常,雅浦海沟-岛弧以东的卡罗琳板块表现为区域正异常(图 2b),向海沟方向异常明显降低形成梯度带,表现为典型的海沟外缘洋壳向上挠曲的特征。在雅浦海沟与卡罗琳海脊相交地带形成两个异常低值圈闭,推测与俯冲板块向下的拖曳作用有关。向西,帕里西维拉海盆空间重力异常变化平缓。空间重力异常基本上与海沟-海脊-海槽-深海盆地的地形变化相一致,呈正相关性。

2)布格重力异常,卡罗琳海脊表现为中部高、两侧低的异常特征(图 2c),中部的索罗尔海槽呈 NW 向延伸的高正异常,将卡罗琳板块分隔为南、北两个低正异常区,一直延伸至雅浦海沟外坡。在雅浦海沟底部和雅浦岛弧则呈现为 SW—NE 延伸的异常低值条带,表明板块俯冲导致的地壳加厚。向西,帕里西维拉海盆布格重力异常表现为一系列块状高正异常,且变化幅度不大。

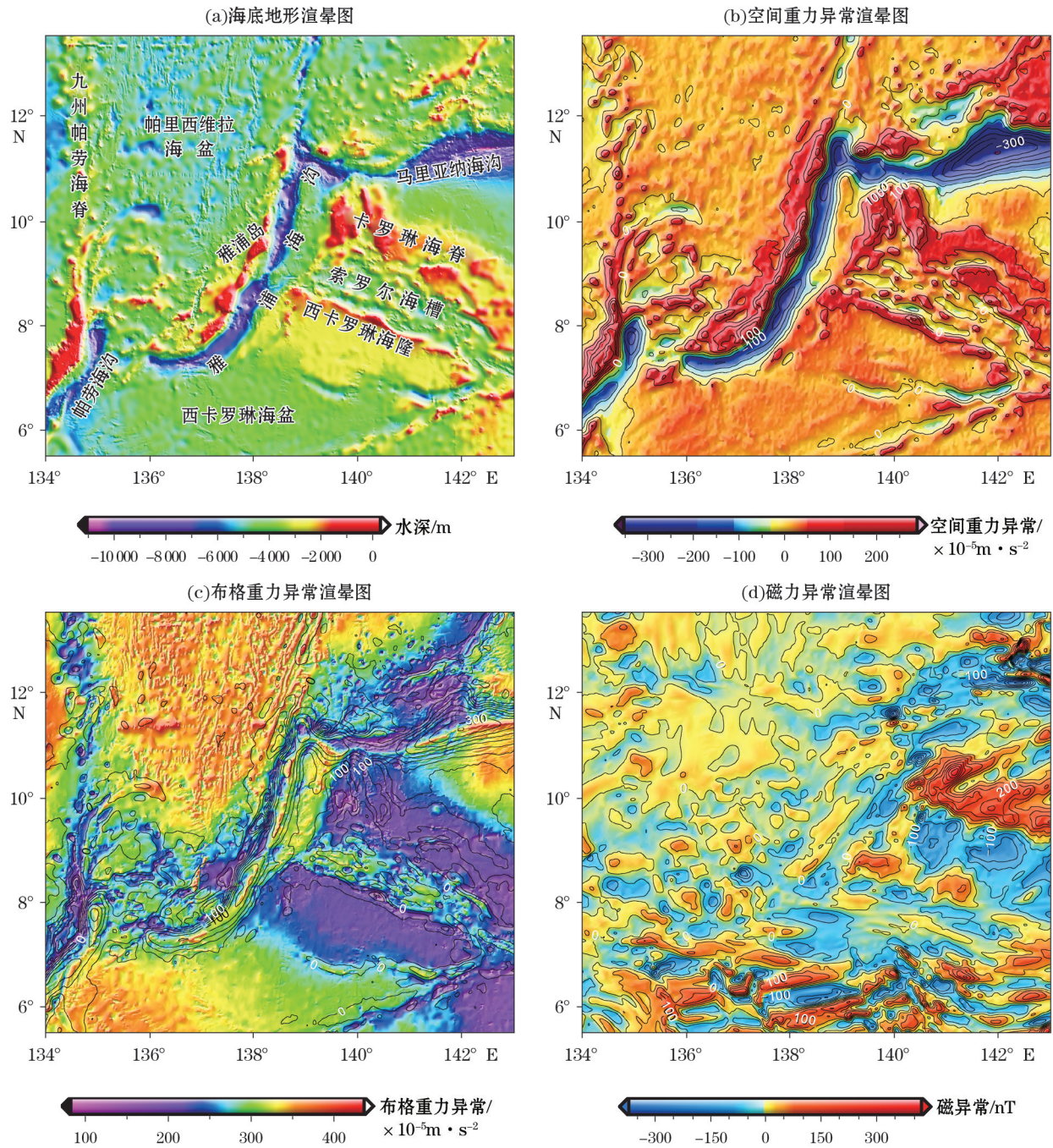


图 2 研究区海底地形与地球物理场特征

Fig.2 Characteristics of seafloor terrain and geophysical field of the study area

1.3 磁力异常特征

雅浦海沟-岛弧的东西两侧磁力异常特征具有明显差别,体现出两侧板块构造单元性质的不同。东侧的卡罗琳板块具有正负相间的条带状磁异常特征,被中部 NW 向延伸的索罗尔海槽分隔开来,索罗尔海槽的磁力异常值明显高于两侧,磁力异常差值甚至超过了 100 nT,推测索罗尔海槽为扩张裂谷成因,而卡罗琳板块主要与古板块扩张以及后期的热点活动有关,形成岩石的磁化率系数相差较大^[12-13]。西侧的帕里西维拉磁力异常形态宽缓,呈块状异常特征,表现为典型的断块活动控制的大洋盆地磁力异常特征。

2 板块俯冲作用与俯冲模式

2.1 应力场分布特征

板块俯冲作用是诱发地震现象的主要原因之一,因而地震事件主要集中在板块边缘的俯冲带附近,是反映板块相对运动的重要信息。图 3 为雅浦海沟-岛弧及邻域 1990 年以来发生的 M4.5 以上地震事件和震源机制解(centroid-moment-tensor,简称 CMT),表现出雅浦海沟-岛弧的地震震中位置、震源深度、分布模式等与马里亚纳海沟类似,但是地震数量要明显减少。震源数据来自美国地质勘探局(USGS)网站 <http://www.usgs.gov>, CMT 数据来自美国哈佛大学网站 <http://www.globalcmt.org>。大多数地震发生在岛弧一侧,大致与布格重力异常的低值相对应,这是由于菲律宾海板块前缘仰冲导致地壳加积增厚,产生应力集中。海沟轴部无地震活动,向大洋侧有零星地震分布,表明两个板块之间耦合较弱,俯冲板块受到拉伸弯曲较小。

图 3 显示雅浦海沟-岛弧自北向南震源深度逐渐增大,由北部的不足 50 km 逐渐变深为 100 km 以深,表明俯冲板片的俯冲角度和深度的不同。地震震中在空间上分布在一个狭窄的带内,推测卡罗琳板块的俯冲板片年龄年轻,或者俯冲板片的脆性-韧性转换发生在很浅的部位^[4,14]。CMT 也反映出区域应力场在北部为俯冲拉张型,南部为俯冲压缩型,南北段应力状态存在差异。

2.2 雅浦海沟的洋壳俯冲作用

Peacock 等^[15]和 Kirby^[16]将俯冲类型进一步分为冷俯冲型和热俯冲型。北部的太平洋板块是冷俯冲型的典型代表,表现为板块年龄、俯冲带厚度和俯冲深度都相当大的特征;与之不同的是,卡罗琳板块年龄较新、热而较薄,板块俯冲深度浅,俯冲速度极慢(0~6 mm/a)^[17],具有热俯冲型的特征。

地震资料揭示沿雅浦海沟板块俯冲深度及应力分布存在变化:北段俯冲角度较小且深度浅,应力场为拉张型;南段俯冲角度和深度均较大,应力场呈挤压型。在空间重力上,索罗尔海槽两侧的卡罗琳海脊与雅浦海沟交汇处均具有非常小的异常值,分别形成 2 个 $-200 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的低值圈闭,这可能是板块向下俯冲的拖曳作用导致的。此外,在海沟轴部少有或无沉积覆盖^[4]也表明卡罗琳海脊向海沟之下俯冲的持续性。地球物理建模分析^[13]揭示卡罗琳海脊及索罗尔海槽的有效弹性厚度大致为 5~7 km,而雅浦海沟外坡的高布格重力异常值也表明该区域之下缺少巨厚地壳,这可能是卡罗琳海脊能向海沟之下俯冲的原因。

卡罗琳海脊的俯冲作用使雅浦海沟-岛弧构造体系的地质过程和构造变形极其复杂,表现出明显的空间分段性。在北段,板块运动方向为近 E-W 向^[17-18],俯冲深度较小,并且受到太平洋板块的侧向牵引,俯冲速度约为 2 cm/a^[13,17]。卡罗琳海脊向岛弧之下俯冲,使岛弧地壳抬升,在海沟处产生巨大的负重力异常,而岛弧区重力异常则较高,同时在俯冲板块前缘产生一系列张性断裂。在南段,卡罗琳板块自 NNW 向俯冲于菲律宾海板块之下,但是俯冲速度极慢,约为 5 mm/a^[3,17]。雅浦海沟南北段由于受不同俯冲板块的影响,在俯冲方向、角度、速度、深度及应力分布等方面表现出差异性的构造运动特征(表 1)。

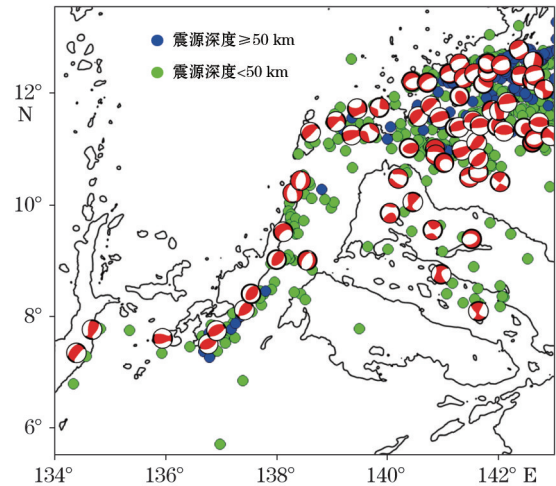


图 3 雅浦海沟海域震中分布和 CMT

Fig.3 Distribution of the earthquakes along the Yap Trench and the CMT solutions of earthquakes

表 1 雅浦海沟-岛弧南北段的运动特征^[6,13,17]Table 1 Motion features of the northern and southern sections of the Yap Trench-Arc system^[6,13,17]

运动特征	区 域	
	雅浦海沟-弧系北段	雅浦海沟-弧系南段
空间重力异常	岛弧、海沟分别为显著的正负异常	岛弧、海沟分别为显著的正负异常
布格重力异常	异常低值不明显	显著异常低值
地震活动性	正断层型地震,震源深度不超过 50 km	逆断层型地震,深度较大
俯冲方向	近 E—W 向	NNW—SSE
俯冲速度/cm·a ⁻¹	2	0.5
俯冲深度	浅部,未深入软流圈	较北侧深
俯冲角度	较小	较大
应力场	拉张型	挤压型
弧后扩张	无	无
综合特征	受卡罗琳海脊及北侧太平洋板块俯冲影响	海底高地与海沟挤压,俯冲速度极慢

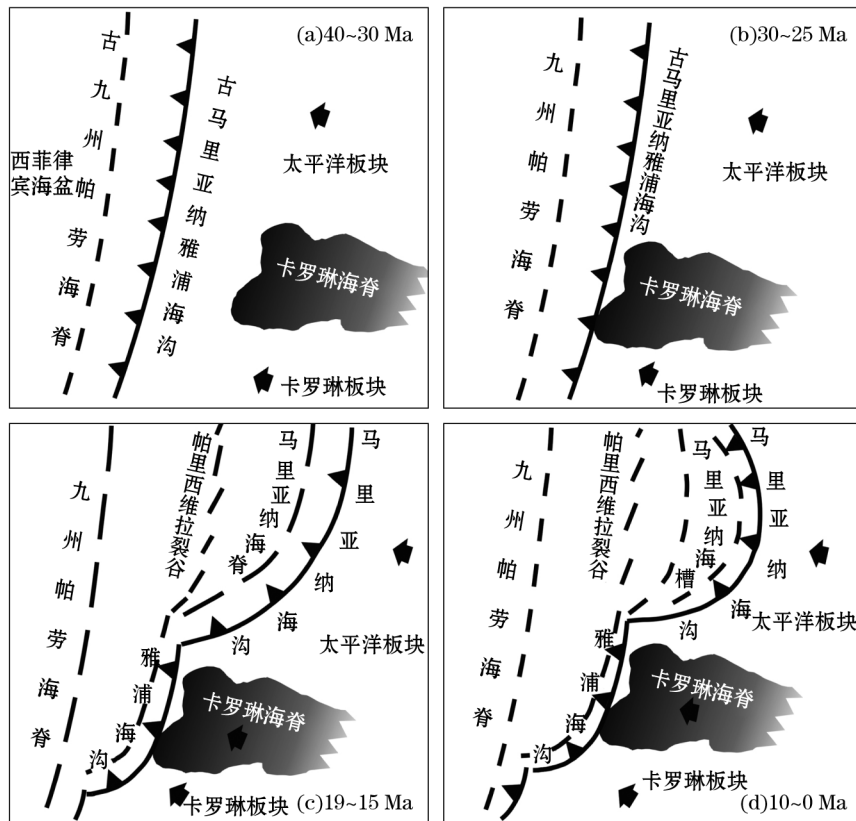
2.3 板块俯冲模式

前人对卡罗琳海脊与雅浦海沟的相互作用已做过多次研究。Hawkins 等^[8]、McCabe 等^[9]根据雅浦海沟-岛弧独特的构造特征,提出雅浦海沟的板块俯冲已因卡罗琳海脊的碰撞中止;而 Crawford 等^[1]、Fujiwara 等^[4]则依据岩石学、海底地形特征等的研究认为板块的俯冲作用可能并未停止,只是俯冲速率变得极慢。一般来说,“碰撞”是发生在板块边界的两个陆壳之间强烈的相互作用,如喜马拉雅造山带、台湾岛的碰撞造山作用等^[14,19-20]。具有浮力的海山或海底高原向海沟之下俯冲,仰冲板块前缘被抬升,可能的结果是减缓了俯冲速率和沟-弧系统的后撤,本文的卡罗琳海脊和马里亚纳北部的小笠原海台都有很好的体现。

雅浦海沟在南北段构造运动存在差异,表明其在俯冲模式上也有变化。雅浦海沟与马里亚纳海沟在渐新世之前曾是一条呈直线型的古俯冲带^[4,6-7,21]。卡罗琳海脊在晚渐新世时期形成,不久便被索罗尔海槽裂解成南北两部分,其北部随太平洋板块一起运动^[13]并堵塞了古海沟南段,阻止了该段海沟的东向后撤并延缓了板块聚敛速度。同时,以北的太平洋板块俯冲于古海沟之下的拖曳作用在该段产生侧向和横向的张性应力场,因此,索罗尔以北的卡罗琳岛脊俯冲比南侧更容易,俯冲角度较低。当海脊俯冲在岛弧地壳之下时,浮力较大的下行卡罗琳板块使雅浦岛弧地壳抬升并逆冲推覆,深部岩石沿着海沟内壁上的逆冲断层出露^[4],在雅浦岛形成变质蛇绿岩,板块的拉伸产生张性应力场;而在索罗尔海槽以南的西卡罗琳海隆同样堵塞了海沟,使俯冲速度变得极慢,板块在横向挤压作用下形成陡峭的俯冲带,应力场以压缩型为主。在海脊俯冲的初始阶段,雅浦海沟弧前表现出宽缓的特征,随着俯冲作用减弱,岛弧火山活动停止,岛弧弧前区逐渐被构造侵蚀,进而缩短了海沟-岛弧距离^[6]。

3 雅浦海沟-岛弧构造演化过程

雅浦海沟-岛弧的形成与演化经历了太平洋板块俯冲于菲律宾海板块之下形成古马里亚纳-雅浦海沟和卡罗琳板块与菲律宾海板块的相互作用对雅浦海沟-岛弧构造改造 2 个主要阶段(图 4)。

图4 雅浦海沟构造演化示意图^[4,6,13]Fig.4 Tectonic evolution of the Yap Trench since 40 Ma^[4,6,13]

3.1 晚始新世至渐新世期间 (40~25 Ma)

古地磁研究结果表明^[22],在42 Ma前太平洋板块的运动方向由NNW向变为近E-W向,开始沿着古伊豆-小笠原俯冲带俯冲于菲律宾海板块之下,形成了古伊豆-小笠原-马里亚纳-雅浦海沟和由伊豆-小笠原、关岛、帕劳岛等组成古九州-帕劳海脊。在40~30 Ma期间,太平洋板块持续向菲律宾海板块之下俯冲,并伴随着西菲律宾弧后海盆不断扩张,下插的岩石圈板片在高温下熔融上涌喷发,使古九州-帕劳海脊成为异常活跃的火山岛链^[23](图4a)。

渐新世时期,西菲律宾海盆已停止扩张,而太平洋板块相对菲律宾海板块的运动未有变化,在古九州-帕劳海脊以东开始形成西-帕劳-雅浦新的弧后扩张海盆^[18]。古九州-帕劳海脊随着弧后盆地打开而裂解,新的火山岛弧向东漂移,残留弧演变为现今的九州-帕劳海脊。随着卡罗琳板块NW向俯冲,其上驮的卡罗琳海脊在晚渐新世堵塞了古马里亚纳海沟南段的俯冲作用,岛弧火山活动中止(图4b)。

3.2 晚渐新世以来 (25~0 Ma)

帕劳-雅浦海盆在20 Ma左右扩张方向由E-W向变为NE-SW向,扩张中心逐渐东移,并于15 Ma左右停止扩张^[24]。弧后扩张伴随的是马里亚纳海沟一直向东后撤,而在南段由于卡罗琳海脊对海沟的堵塞削弱了板块的俯冲,这里既不发生弧后扩张也没有海沟后退现象,在卡罗琳海脊与海沟交汇处北侧附近形成一个海沟凹角(图4c)。

马里亚纳海槽大约在10 Ma形成,并于5 Ma左右开始扩张^[24-25],先期形成的马里亚纳岛弧分裂为西马里亚纳残留弧和马里亚纳海脊。菲律宾海板块在4~3 Ma时向西俯冲于菲律宾海沟之下的速度加快^[26],这

使得雅浦海沟处的板块聚敛速率大大减小。年轻而浮力较大的下行卡罗琳板块使雅浦岛弧地壳抬升并逆冲推覆,深部岩石沿着海沟内壁上的逆冲断层出露,在雅浦岛形成变质蛇绿岩。弧前区也被构造侵蚀而缩短了沟-弧距离。马里亚纳海槽的弧形扩张现今仍在活跃,马里亚纳海沟向东退去而显得更加向东弯曲(图 4d)。

4 结 论

本文通过对雅浦海沟-岛弧地球物理场特征、板块俯冲模式和构造演化开展研究,获得了如下认识:

1)海底地形、重力、磁力、地震机制解分布等特征呈现沿雅浦海沟-岛弧构造走向上的差异变化,北段俯冲方向为近 EW 向,俯冲速度较快,俯冲深度较浅,应力场表现为俯冲拉张型;南段俯冲方向过渡至 NNW 向,俯冲深度和角度稍大,俯冲速度极慢,应力场表现为俯冲压缩型。这些构造运动特征反映了雅浦海沟-岛弧南、北段板块俯冲模式的差异性。

2)雅浦海沟-岛弧的形成演化可分为 2 个主要阶段:晚始新世至渐新世的早期太平洋板块俯冲形成古马里亚纳-雅浦海沟;晚渐新世以来卡罗琳海脊的俯冲、碰撞作用造就了雅浦海沟的构造格局,以及复杂的地质现象和构造特征。

目前,对海沟处发生板块俯冲的驱动力与板块年龄、俯冲速度的关系等科学问题还不甚了解,雅浦海沟-岛弧则是开展俯冲带成因、构造演化过程等假说的最佳地域,随着该地区海洋地球物理、岩石学等资料的获取与解释,将有利于板块构造理论的不完善和发展。

参考文献(References):

- [1] CRAWFORD A J, BECCALUVA L, SERRI G, et al. Petrology, geochemistry and tectonic implications of volcanics dredged from the intersection of the Yap and Mariana trenches[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1986, 80(3-4): 265-280.
- [2] NAGIHARA S, KINOSHITA M, FUJIMOTO H, et al. Geophysical observations around the northern Yap Trench: seismicity, gravity and heat flow[J]. *Tectonophysics*, 1989, 163(1-2): 93-104.
- [3] SATO T, KASAHARA J, KATAO H, et al. Seismic observations at the Yap Islands and the northern Yap Trench[J]. *Tectonophysics*, 1997, 271(3-4): 285-294.
- [4] FUJIWARA T, TAMURA C, NISHIZAWA A, et al. Morphology and tectonics of the Yap Trench[J]. *Marine Geophysical Researches*, 2000, 21(1): 69-86.
- [5] OHARA Y, FUJIOKA K, ISHIZUKA O, et al. Peridotites and volcanics from the Yap arc system: implications for tectonics of the southern Philippine Sea Plate[J]. *Chemical Geology*, 2002, 189(1-2): 35-53.
- [6] LEE S M. Deformation from the convergence of oceanic lithosphere into Yap trench and its implications for early-stage subduction[J]. *Journal of Geodynamics*, 2004, 37(1): 83-102.
- [7] KOBAYASHI K. Origin of the Palau and Yap trench-arc systems[J]. *Geophysical Journal International*, 2004, 157(3): 1303-1315.
- [8] HAWKINS J, BATIZA R. Metamorphic rocks of the Yap arc-trench system[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1977, 37(2): 216-229.
- [9] MCCABE R, UYEDA S. Hypothetical Model for the Bending of the Mariana Arc[M]// *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2*. American Geophysical Union, 1983: 281-293.
- [10] WEISSEL J K, ANDERSON R N. Is there a Caroline plate?[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1978, 41(2): 143-158.
- [11] BECCALUVA L, MACCIOTTA G, SAVELLI C, et al. Geochemistry and K/Ar ages of volcanics dredged in the Philippine Sea (Mariana, Yap, and Palau trenches and Parece Vela basin)[J]. *Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series*, 1980, 23: 105-109.
- [12] KEATING B H, MATTEY D P, HELSLEY C E, et al. Evidence for a hot spot origin of the Caroline Islands[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1984, 89(B12): 9937-9948.
- [13] ALTIS S. Origin and tectonic evolution of the Caroline Ridge and the Sorol Trough, western tropical Pacific, from admittance and a tectonic modeling analysis[J]. *Tectonophysics*, 1999, 313(3): 271-292.
- [14] ZHENG Y P, LIU B H, WU J L, et al. Construction of southern Okinawa Trough by Gagua wedge belt of eastern waters off Taiwan Island[J]. *Science China*, 2005, 35(1): 88-95. 郑彦鹏, 刘保华, 吴金龙, 等. 台湾岛以东海域加瓜“楔形”带对冲绳海槽南段的构造控制[J]. *中国科学*, 2005, 35(1): 88-95.
- [15] PEACOCK S M, WANG K. Seismic consequences of warm versus cool subduction metamorphism: examples from southwest and north-east Japan[J]. *Science*, 1999, 286(5441): 937-939.

- [16] KIRBY S H. Taking the temperature of slabs[J]. *Nature*, 2000, 403(6765): 31, 33-34.
- [17] SENO T, STEIN S, GRIPP A E. A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and Geological Data[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1993, 98(B10): 17941-17948.
- [18] RANKEN B, CARDWELL R K, KARING D E. Kinematics of the Philippine Sea Plate[J]. *Tectonics*, 1984, 3(3): 555-575.
- [19] WEI W, XU J D, ZHAO D P, et al. East Asia mantle tomography: new insight into plate subduction and intraplate volcanism[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 60: 88-103.
- [20] WEI W, ZHAO D P, XU J D, et al. P and S wave tomography and anisotropy in Northwest Pacific and East Asia: Constraints on stagnant slab and intraplate volcanism[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2015, 120(3): 1642-1666.
- [21] HALL R, ALI J R, ANDERSON C D, et al. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251(1-4): 229-250.
- [22] JACKSON E D, SHAW H R, BARGAR K E. Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1975, 26(2): 145-155.
- [23] SETON M, MILLER R D, ZAHIROVIC S, et al. Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma[J]. *European Journal of Organic Chemistry*, 2012, 113(3-4): 212-270.
- [24] WU S G, FAN J K, DONG D D. Discussion on the tectonic division of the Philippine Sea Plate[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2013, 48(3): 677-692. 吴时国, 范建柯, 董冬冬. 论菲律宾海板块大地构造分区[J]. *地质科学*, 2013, 48(3): 677-692.
- [25] FANG Y X, LI J B, LI M B, et al. The formation and tectonic evolution of Philippine Sea Plate and KPR[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 30(4): 75-88.
- [26] MILLER R D, SDROLIAS M, GAINA C, et al. Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust[J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2008, 9(4): Q04006.

Model of Tectonic Evolution for Yap Trench-Arc Since Late Eocene

QU Hong-bao^{1,2,3,4}, ZHENG Yan-peng^{1,2,3}, LIU Chen-guang^{1,2,3}, PEI Yan-liang^{1,2,3}, HUA Qing-feng^{1,2,3},
LI Xian-feng^{1,2,3}, MA Long^{1,2,3}, LI Tian-guang^{1,2,3}

(1. *Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology*, Qingdao 266061, China;

2. *The First Institute of Oceanography, SOA*, Qingdao 266061, China; 3. *Laboratory for Marine Geology*,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China;

4. *Marine geological survey institute of Hainan Province*, Haikou 570206, China)

Abstract: The Yap Trench-arc tectonic system is a subduction zone where the Philippines Sea Plate (PSP) interacts with the Pacific Plate (PP) and the Caroline Plate (CP). Based on differences in the seafloor topography, geophysical field, stress field and other geological aspects, the system can be subdivided into the north and south parts. The seafloor lithosphere subducts along the Yap Trench nearly from east to west in the northern part, whereas the direction turns to NNW in the southern part. The subduction rate in the northern part is relatively fast, and the subduction process is characterized by a low angle and shallow depth with a tension state of stress. Compared to the northern part, the subduction angle is larger in the southern part, and the subduction depth is also deeper with a compression state of stress. These diverse characteristics are caused by the two tectonic evolution stages. During the late Eocene to late Oligocene, the interaction between the PSP and the PP resulted in the formation of the proto-Mariana-Yap Trench. Since the late Oligocene, the trench was subsequently reconstructed by the interaction between the PSP and CP. Thus, the complicated structural pattern of the Yap Trench-arc system is resulted from the complex interaction among these three tectonic plates (PSP, PP and CP).

Key words: Yap Trench; the Philippines Sea Plate; the Caroline Plate; plate subduction; tectonic evolution

Received: February 4, 2016