

温珍河, 张训华, 郝天珧等. 2014. 我国海洋地质编图现状、计划与主要进展. 地球物理学报, 57(12):3907-3919, doi:10.6038/cjg20141205.

Wen Z H, Zhang X H, Hao T Y, et al. 2014. Progress in compilation of geoscience map series for China seas and adjacent regions. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 57(12):3907-3919, doi:10.6038/cjg20141205.

## 我国海洋地质编图现状、计划与主要进展

温珍河<sup>1,2</sup>, 张训华<sup>1,2</sup>, 郝天珧<sup>3</sup>, 邱燕<sup>4</sup>, 杨金玉<sup>1,2</sup>,

郭兴伟<sup>1,2</sup>, 侯方辉<sup>1,2</sup>, 王忠蕾<sup>1,2</sup>

1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071

2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

3 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

4 广州海洋地质调查局, 广州 510075

**摘要** 我国海洋地质地球物理工作起步晚, 整体调查程度较低, 进一步加强我国海洋地质编图显得十分必要. 我国实施的“海洋地质保障工程”, 将分“中国海陆”、“中国海及邻域”和“中国各海区”三个层次来进行地质编图. 第一层次编制了空间重力异常图、布格重力异常图、磁力异常图、地震层析成像图、莫霍面深度图、地质图、大地构造格架图和大地构造格架演化图等 8 种图件. 编图反映出中国海陆重力异常是“线性异常带纵横交错, 块状异常区坐落其间”、重力梯级带主要为块体结合带; 陆地磁力异常大致正负磁异常相间分布, 海域北部为沟-弧-盆相关异常、南部磁条带异常; 莫霍面总体特征为“东西分带, 南北分块”; 地震层析成像反映出中国东部和西部岩石层厚度的差异以及上地幔软流层的分布特点; 大地构造格架和演化图再现了块体体制向板块体制的转换过程. 本次编图强调地球深部结构的变化对表层构造的关联, 重视地球物理资料与地质构造的结合, 以深-浅层结合来划分中国大地构造格架. 已有成果表明, 中国海陆大地构造格局可以用“块体构造学说”来描述.

**关键词** 海洋基础地质; 地质学编图; 编图计划; 主要进展

doi:10.6038/cjg20141205

中图分类号 P631

收稿日期 2013-10-15, 2014-11-05 收修定稿

## Progress in compilation of geoscience map series for China seas and adjacent regions

WEN Zhen-He<sup>1,2</sup>, ZHANG Xun-Hua<sup>1,2</sup>, HAO Tian-Yao<sup>3</sup>, QIU Yan<sup>4</sup>, YANG Jin-Yu<sup>1,2</sup>,

GUO Xing-Wei<sup>1,2</sup>, HOU Fang-Hui<sup>1,2</sup>, WANG Zhong-Lei<sup>1,2</sup>

1 The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Qingdao 266071, China

2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

3 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

4 Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

**Abstract** China's marine geological and geophysical research started late with a lower degree of integral research. Therefore it is necessary to strengthen the China's marine geological map compilation. According to 'Marine Geology Projects', the geological mapping program is divided into three stages viz. 'China sea and land', 'China seas and adjacent regions' and 'China Seas'. In the first stage, eight types of maps have been prepared, which are the maps of free-air gravity anomalies, Bouguer gravity anomalies, magnetic anomalies, seismic tomography, Moho depth,

**基金项目** 中国海及邻域地质地球物理及地球化学系列图工作项目(GZH200900504)资助.

**作者简介** 温珍河,男,1963年生,研究员,主要从事海洋区域地质编图、石油地质资源评价、海洋地理信息系统等研究工作.

E-mail:wenzhh@sina.com

geology, tectonic framework and tectonic framework evolution. This paper presents the research results of this stage; the characteristics of gravity anomalies in China seas and land as below. Linear anomaly belts crisscross, and block anomaly areas are surrounded by linear anomaly belts, and the gravity anomaly gradient belts mainly are block junction zones; the magnetic anomalies change with alternating positive and negative values in China land. The trench-arc-basin hosts anomalies in northern of the China sea, while it shows striped magnetic anomalies in the southern portion. The general features of the Moho are east-west zoning and south-north blocking. The seismic tomography reflects the differences of lithosphere thickness between east and west in China and the distribution of the upper mantle asthenosphere. The tectonic frame map and evolution map reconstruct the transformation process of a block system to a plate regime. This research emphasizes the connection between deep structure and surface structure, and divides China tectonic framework in terms of deep-surface combination based on geophysical data and tectonics. The existing research achievements suggest that the tectonic framework of China seas and land can be reasonably described by block tectonics.

**Keywords** Marine geology; Geological mapping; Mapping program; Major progress

## 1 引言

长期以来,我国的地质工作主要集中在陆地区域.1949 年之前主要开展了小比例尺或者路线上的陆地地质填图和地质找矿工作,海洋地质地球物理调查和研究工作基本没有开展.1949 年之后,我国有计划有步骤系统开展了陆地地质地球物理填图和研究工作,先后完成了陆地 1:100 万和 1:20 万国际分幅与各省填图工作,并在此基础上完成了 1:50 万比例尺的跨省区域地质和重力、磁力填图工作.目前,1:5 万的地质和地球物理陆地填图工作已基本完成,个别区域甚至完成了 1:1 万大比例尺的地质填图工作.相对于陆地地质工作,海洋地质地球物理工作开展的要晚得多.我国海洋地质地球物理工作起步比国外晚约 50 年,而相对于我国陆地地质地球物理工作大概落后 20 年.1949 年后先期的海洋地质地球物理工作主要是为了寻找油气等矿产资源,以及开展近岸滩涂与岛屿环境地质调查,而系统的海洋区域地质地球物理填图工作则是在 20 世纪末开始的.到目前为止,我国海洋区调还没有全覆盖,已经完成的有 1:100 万南通幅、永暑礁幅、上海幅、海南岛幅和中沙幅等少数几个图幅的区域地质地球物理填图工作,即将完成 1:100 万大连幅和汕头幅的海洋区域地质地球物理填图工作;1:25 万的海洋地质地球物理填图工作在 2009 年才开始试点,2014 年完成青岛幅试点图幅;而海洋地球化学填图除个别局部区域为寻找油气资源开展了部分工作外,系

统的基础海洋地球化学填图工作尚未开始.海洋地质工作已经远远落后于国家需要和形势发展.

## 2 海洋地学编图的现状

尽管我国管辖海域内的区域性地质工作落后,但自 20 世纪 80 年代末开始,随着我国综合国力的提升,对海洋地质调查工作的投入不断增加,先后实施了一系列国家专项,开展了我国海域的地质地球物理综合调查.这些工作的开展奠定了我国海洋基础地质调查工作的基础,取得了一批基础性地质资料,以此资料为基础已编制了局部海域 1:50 万,1:100 万和 1:200 万等不同比例尺的海洋地学图件,主要包括:

(1) 1987 年,广州海洋地质调查局编绘出版了《南海地质地球物理图》(1:200 万).

(2) 1990 年,国家海洋局第二海洋研究所出版了《渤海、黄海、东海海洋图集——地质地球物理》,包括 1:500 万的地形图、地貌图、底质类型图、重力磁力异常图和构造分区图等.

(3) 1992 年,由地质出版社出版了刘光鼎院士主编的《中国海区及邻域地质地球物理系列图》(1:500 万)(刘光鼎,1992a,1992b).

(4) “八·五”期间,青岛海洋地质研究所与广州海洋地质调查局合作编制完成的《南海大陆架及邻近海域基础环境图集》(1:200 万).

(5) “九·五”期间,多部门共同完成了国家专项有关专属经济区的成果图件(1:200 万).

(6) 2002 年,青岛海洋地质研究所等单位组织完成了国家有关专项编绘的黄东海幅系列图件(1:50 万)。

(7) 2005 年,中国海洋大学李广雪等出版了 1:200 万比例尺的《中国东部海域海底沉积成因环境图》和《中国东部海域海底沉积类型图》(李广雪等,2005)。

(8) 2007 年,国家海洋局第二海洋研究所基于海洋专项最新调查资料,编绘出版了《南海海洋图集——地质地球物理分册》,共编制 1:850 万和 1:450 万的南海海洋地质系列图 104 幅,包括海底地形图、海底地貌图、底质类型图、重力图、磁力图和地质矿产图等。

(9) 2010 年,青岛海洋地质研究所编制《中国东部海区及邻域地质地球物理系列图》(1:100 万)(张洪涛等,2010;温珍河等,2011)。

(10) 2012 年,青岛海洋地质研究所、广州海洋地质调查局、中国国土资源航空物探遥感中心等编制完成《中国南部海区及邻域地质地球物理系列图》(1:100 万),正在出版中。

以上图件有些已经公开出版,有些出于种种原因未公开出版。公开出版的系列图中,以刘光鼎院士主编的《中国海区及邻域地质地球物理系列图》在海洋地质界的影响最大,而正在进行出版工作的由青岛海洋地质研究所编制“我国海域 1:100 万地质地球物理系列图”代表了我国海域地质编图的最新研究进展。

在国外,至目前为止,美国完成了 3 个轮次的大规模海洋调查与编图工作。完成东、西沿岸和大陆架中、大比例尺地质图的测绘工作;已开始在东、西沿岸近海区测绘大比例尺的三维图。俄罗斯大陆架海洋地质测量采用 1:100 万和 1:20 万两种比例尺,前者主要用于大陆架,调查海底构造、矿产资源,后者主要用于有矿产资源远景区,已编制了一系列地质图件。日本先后完成了 4 个轮次大规模海洋调查与编图,编制了海底地质图、构造图、沉积图、地磁强度图、布格重力异常图等多种地质图件(李廷栋,2007)。

### 3 我国海洋地质编图的计划

2008 年开始,我国开始实施“海洋地质保障工程”,作为“海洋基础地质调查”计划的工作项目之一,“中国海及邻域地质地球物理及地球化学系列

图”项目正式实施。系列图项目包括“中国海陆及邻区地质地球物理系列图”、“中国海及邻域地质地球物理系列图”和“中国各海区地质地球物理系列图”三个层次的编图项目。

#### 3.1 海陆联编地质系列图编图概况

第一层次“中国海陆及邻区地质地球物理系列图”试图通过系列图的编制,既可以对 50 年来各种数据和各项成果有一个全面系统地汇集,又可以充分反映当前我国海洋与陆地基础地质调查现状,为海陆地质地球物理和大地构造研究,为决策机构对今后海洋地质工作进行更合理地规划、部署和指导,为海洋资源的开发利用、环境保护及国民经济发展、维护海洋主权与权益提供更为直观、详细的基础资料。第一层次的编图基础非常好,已有资料与成果完全可以满足编图需要。我国管辖海域基础地质调查是今后一项长期和重要的工作,编制提供我国海域基础地质调查与评价的地质系列图件,将有助于全面了解我国海洋基础地质调查的进展、成果,从而可以更有目的地规划和部署海洋基础地质调查和研究工作,更好地服务于我国经济可持续发展的需要和需求。目前第一层次的编图工作基本结束,取得了很多阶段性成果,第一层次编图已产生一定的社会影响,成果图件即将正式出版。

#### 3.2 第二层次编图计划

现已经开展第二层次的编图任务。根据形势发展的需要及科学意义,应充分考虑突破第一岛链至第二岛链作为编图范围。考虑到第二岛链的范围较大,调查程度较低,资料较少,因此,在第二层次编图中,拟分两种比例尺开展编图,即我国东部海域—西太平洋第二岛链范围内,采用 1:300 万比例尺;我国管辖海域范围,仍采用原总体设计的 1:100 万比例尺。考虑到国家地质大调查专项中已实施“我国海域 1:100 万地质地球物理系列图”工作项目(2003—2010 年),编制了空间重力图、布格重力异常图、磁力( $\Delta T$ )异常图、沉积物分布图和区域构造图,因此,在第二层次编图的 1:100 万图种中,不安排已有的图件种类,与已有成果相衔接。

拟采取的编图思想:一是以全球构造活动论为内涵,以板块构造理论为基础,以块体构造理论为指导,采用统一的地理底图和编图思路,利用当代最先进的编图方法和成图技术,充分收集当今所掌握的地质、地球物理资料与成果,广泛征求和吸纳当今科学家的意见与建议,科学、系统、完整、准确地反映我国基础地质调查程度和研究成果。中国东部海域—

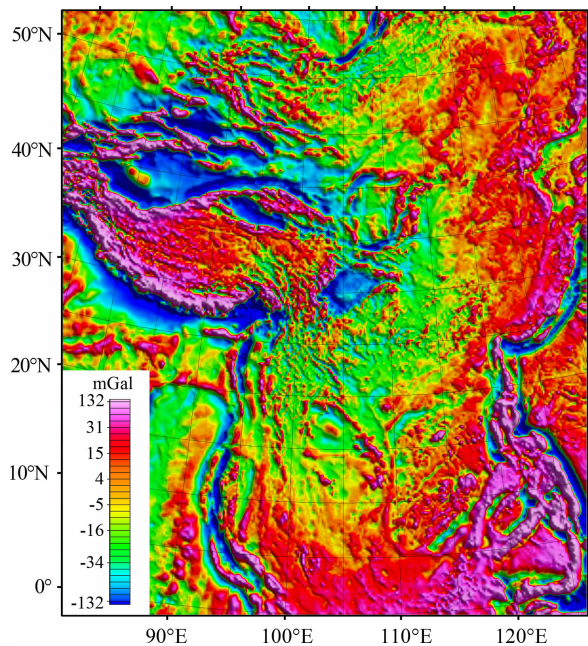


图 1 空间重力异常图(杨金玉等,2012)  
Fig. 1 Map of free-air gravity anomalies  
(Yang J Y, et al., 2012)

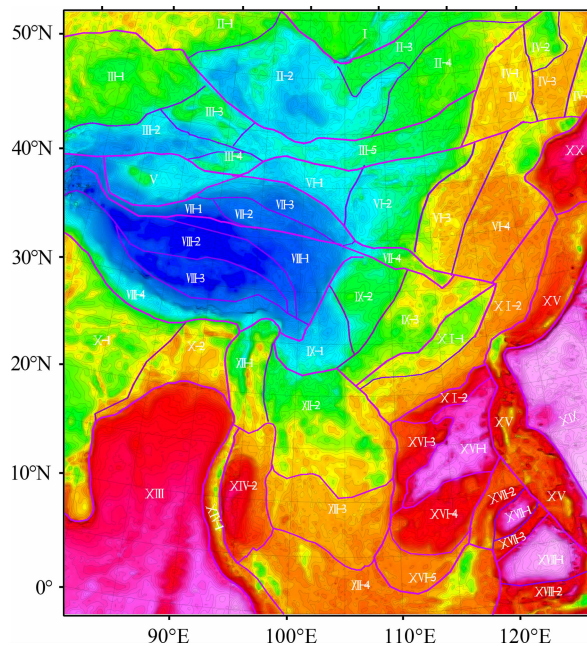


图 2 布格重力异常图(张明华等,2012)  
Fig. 2 Map of Bouguer gravity anomalies  
(Zhang M H, et al., 2012)

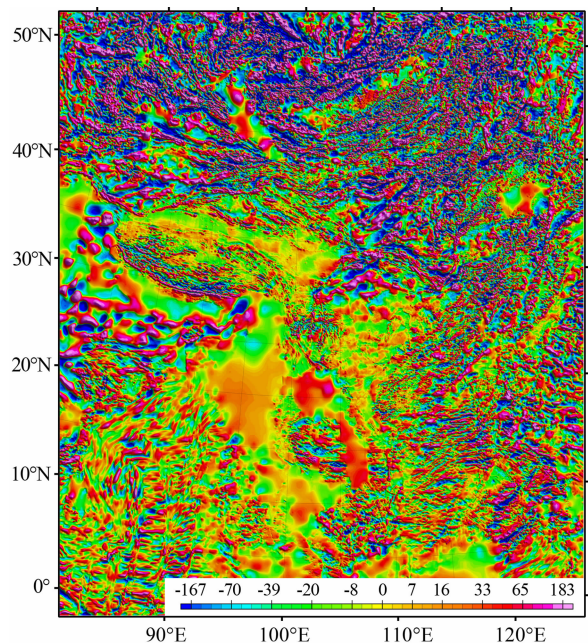


图 3 磁力异常图(周鑫鑫等,2012)  
Fig. 3 Map of magnetic anomalies (Zhou J X, et al., 2012)

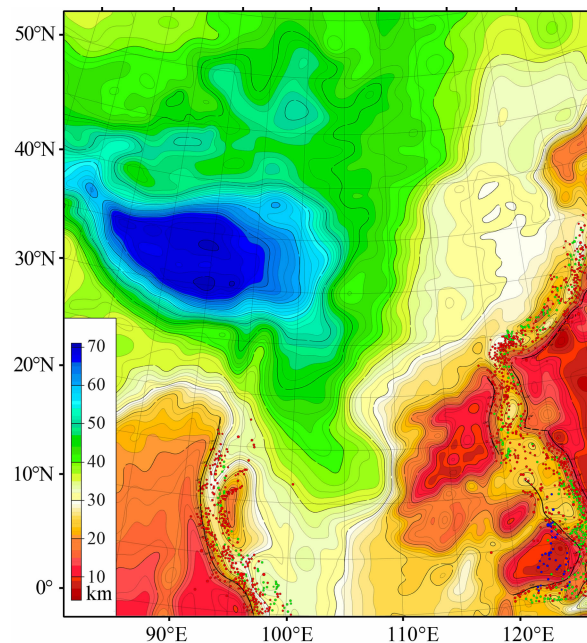


图 4 莫霍面深度图(郝天珧等,2012)  
Fig. 4 Map of Moho depth (Hao T Y, et al., 2012)

西太平洋 1:300 万地质地球物理系列图采用 WGS-84 坐标系,麦卡托投影,标准纬线:32°N 和 14°N. 中国管辖海洋域 1:100 万地质地球物理系列图采用 WGS-84 坐标系,等角正圆锥(即兰伯特)投影,北半幅基准纬度选择 25°N 和 38°N,南半幅基准纬度选择 6°N 和 22°N. 采用统一的地理底图、统一的指导思想、统一的技术标准、统一的编制方法、统一出版印刷. 图件采用自由分幅编制,图幅间实现无缝拼

接. 二是强调地质与地球物理项结合,注重地壳深部信息的提取,通过地球物理方法揭示地球深部结构. 三是采用研究性编图,不是简单的资料罗列与堆积,而是对编图中存在的问题,采用研究专题集中攻关方式,给出科学的认识,并表现在图上,各图幅的编制依据专家审核通过的专题图编制细则进行. 第二层次编图主要图种:(1)中国海区至第二岛链,比例尺 1:300 万. 包括:布格重力异常图、空间

重力异常图、磁力异常图、构造纲要图、地球动力学图、中-新生代盆地分布图、典型地学剖面 2 条、水深-地形图、地势图。(2)中国管辖海域,比例尺 1:100 万。包括:水深-地形图、地势图、地震层析成像图、中-新生代盆地构造图、新构造地质图。(3)配套研究专题:中国海-西太平洋关键地学问题研究。

### 3.3 第三层次编图计划

编制“中国各海区地质地球物理系列图”,计划于 2016 年启动,至 2025 年结束。以中国海区为主要目标,系统、详细收集资料,充分利用专项调查、前期编图所获得的成果与基础数据,编制我国各海区 1:50 万地质、地球物理、地球化学系列图。主要图种大致包括水深图、海底地形图、布格重力异常、空间重力异常图、磁力异常图、地壳厚度图、构造纲要图、地球动力学图、新生代盆地图、前新生代盆地图、典型剖面、断裂体系图、残留盆地与残余厚度分布图、地形地震剖面、钻井对比图、沉积分布图、火成岩与断裂分布、第四纪地质图、主要元素地球化学异常图等,届时将根据实际情况确定具体专题图种。

## 4 第一层次编图成果

### 4.1 海陆联编系列地学图件

目前已完成第一层次 1:500 万 8 种图件编稿原图的编制,包括:空间重力异常图、布格重力异常图、磁力异常图、地震层析成像图、莫霍面深度图、地质图、大地构造格架图和大地构造格架演化图,缩小后的成果图件见图 1~8。

### 4.2 图件成果之地球物理特征

(1)空间重力异常图(图 1):空间重力异常与地形、地貌密切相关,同时也蕴含现代地壳结构、构造及其组成等有关的信息,是地球物质横向分布不均性的综合效应。主要影响因素有地形、地势的变化,地壳内各密度界面的起伏,地壳结构的差异,地壳和岩石层厚度变化,以及上地幔密度横向变化等(Ellmann, 2010; Pereira and Pacino, 2010)。中国海陆空间重力异常特征基本面貌为线性异常带纵横交错,块状异常区坐落其间。宏观特征是以鄂尔多斯和四川盆地为轴,以北异常呈弧状分布,以西异常多为 NW 向,以东则 NE 向为异常优势走向,以南异常多为近 SN 向,反映出不同地区大地构造环境造成构造面貌的差别。图幅最东部醒目的正负异常条带伴生的异常面貌是自印支运动以来西太平洋向欧亚大陆俯冲形成的活动大陆边缘沟-弧-盆等构造单元在

重力场中的反映;青藏高原异常区的异常特征反应出印度洋板块向欧亚板块下俯冲,物质向东蠕散,被刚硬的古老块体阻挡后向南挤出的特点。图幅北部西伯利亚,哈萨克斯坦等地区弧形异常区、新疆—青海盆山相间异常区等由于距离现代板块运动力场比较远,所受影响较中国东、西部小,更多地反映一种体制下构造运动产生的构造遗迹(郝天珧等, 1996, 1998; 张训华, 1998; 高德章等, 2004, 2006)。

块体构造学说中的两个基本构造单元:块体和结合带,在空间重力异常图上对应为异常平缓区和异常梯级带。不同的重力异常特征隐喻着它们经历了不同的构造演化史,有着截然不同的构造性质。块状异常区往往对应稳定的块体,块体空间重力异常特征的不同反映了块体的性质稳定程度的差异。

(2)布格重力异常图(图 2):是当前地壳、上地幔物质密度分布不均匀所产生,它综合了地史上构造运动的结果,但主要是现代大地构造和岩石圈构造的反映。中国海陆布格重力异常可划分出 20 个一级异常区和 47 个二级异常区。布格重力异常变化的总趋势是由东至西逐渐减小。在南海及琉球群岛海域布格重力异常值最高,为  $400 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。由东向西迅速减小,至海岸线布格重力异常值几乎为 0。由海岸线向西,布格重力异常值缓慢递减,进入负值区,沿大兴安岭—太行山—武陵山一带布格重力异常值为  $-55 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  左右。再往西至青藏高原周边地区(西昆仑山—阿尔金山—祁连山—龙门山—大雪山)布格重力异常值迅速减小为  $-300 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  至  $-390 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。青藏高原大部分地区重力值小于  $-400 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,重力值最低为  $-580 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (东经  $89^{\circ}30'$ ,北纬  $33^{\circ}30'$ )。区内布格重力异常场的变化趋势、重力梯级带的分布情况、重力异常场分区等,为块体构造单元划分提供了依据,为开展大地构造、隐伏断裂构造、深部基底、资源勘查区划、境内外地质矿产与油气资源对比研究提供了佐证资料(王家林等, 1997; 张明华和张家强, 2005; 尹延鸿等, 2008; Zhang et al., 2011)。

(3)磁力异常图(图 3):地磁异常场是构造运动、岩浆活动、磁性异常体等的综合反映。本次编图针对不同测量年代、测量比例尺、测量方向、测量高度、测量仪器和测量精度的航磁资料,制定了高精度测量数据覆盖低精度测量数据、新测量数据覆盖旧测量数据、大比例尺测量数据覆盖小比例尺测量数据、数字收录数据覆盖模拟记录数据和低高度测量数据覆盖高高度测量数据的数据覆盖原则。对于不

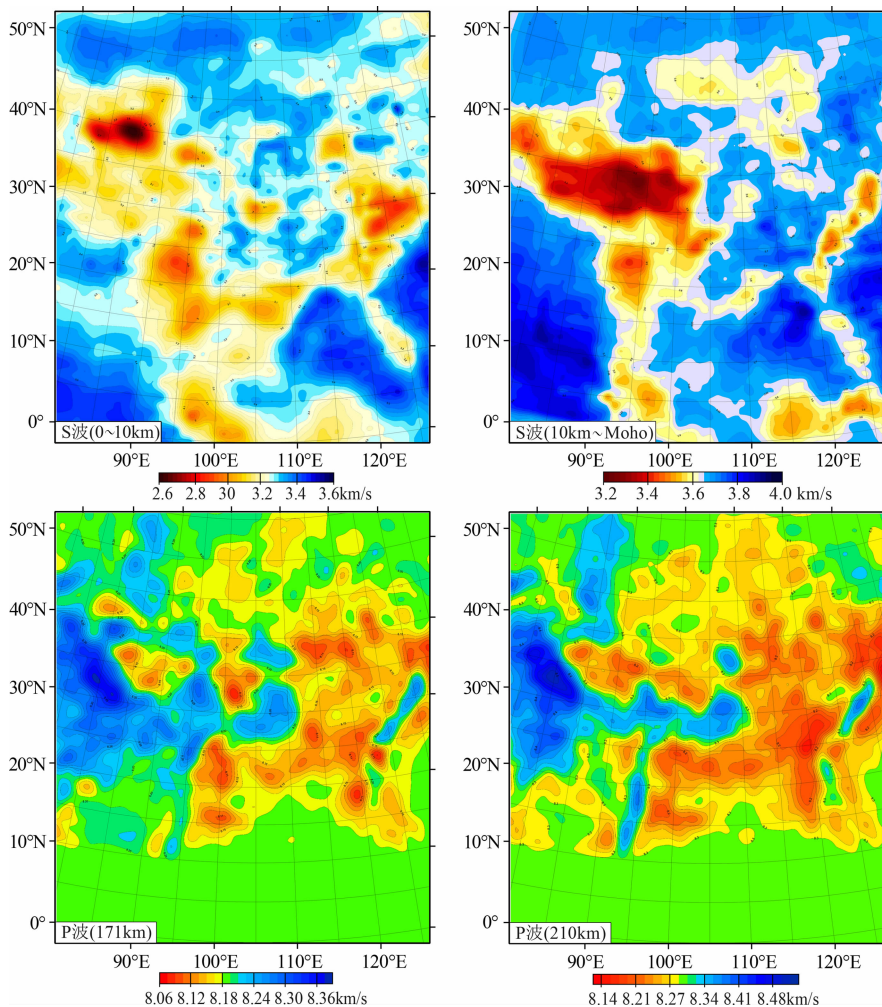


图 5 层析成像图(胥颐等,2012)

Fig. 5 Map of seismic tomography (Xu Y, et al., 2012)

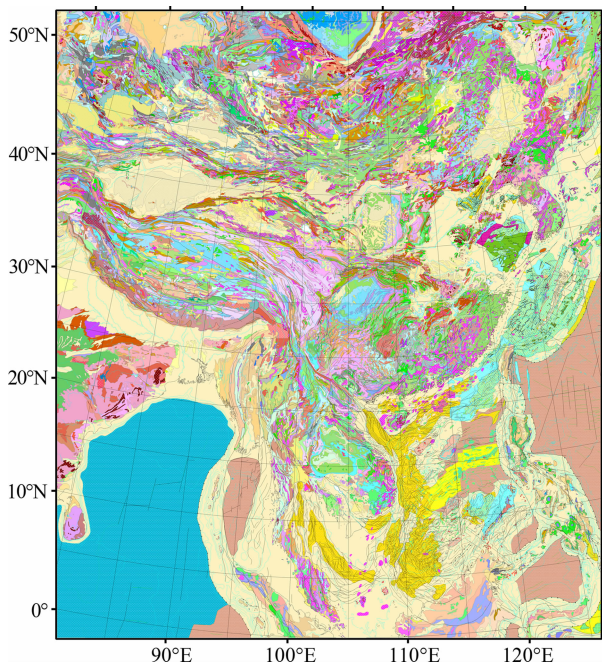


图 6 地质图(邱燕等,2012)

Fig. 6 Map of geology (Qiu Y, et al., 2012)

同来源的航磁数据,存在不同飞行高度带来的磁场水平差异的调整和处理的问题,尤其是在海陆交互地带,本次编图首先选择编图区内部分测线和切割线,组成若干磁场调平框架,再以此框架为依据,调整各测区磁场水平,尤其是海域内磁场水平,达到编图区内磁场水平的统一.由于各测区磁场水平差异较大,直接进行拼接,势必造成较大的误差,且各测区的拼图边界也可能会出现磁场畸变,在数据拼接时针对磁场不同情况分别采用不同方法进行网格拼接,在磁场相对平静,过渡趋势比较明显的情况下使用混合法拼接数据,在拼接异常困难,磁场边界不整齐的情况下,使用缝合法拼接数据.在大范围小比例尺情况下编制图件,为避免磁异常出现南高北低的情况,本次编图使用了长波长滤波技术,即在航空网格数据上匹配 400 km 的高通滤波,有效改善磁场面貌,将磁异常调整在比较正的位置(王乃东等, 2004;杨华和梁月明等,2011;任纪舜等,1999;PGW et al., 1999;Johnson et al., 2000).

磁力异常特征:北部地区呈现高值的负磁异常区,中间夹少量的北东向正异常圈闭;图幅的中部西藏地区,呈现低值异常区,正负磁异常相间分布,变化幅值小;图幅的中西部地区,分布有大量的近东西走向的正值磁异常;图幅的西南部地区,在低值负磁异常的背景下分布有大量的正磁异常;图幅的中东部,东海地区可以看到沟-弧-盆体系呈现低值的负磁异常,南海地区可见明显的磁异常条带,图幅的东南部地区,分布有大量团块状的正磁异常。

(4) 莫霍面深度图(图 4):总体特征为“东西分带,南北分块”。在中国东部莫霍面深度从西向东的变化幅度远大于从北向南的变化幅度,刘光鼎(2007)提出的“三横两竖”中的“两竖”在图上有清晰的表现(刘光鼎,1992a,1992b,2007)。第一岛链梯级带是明显的地壳厚度变化带,揭示了两侧地壳性质的改变。大兴安岭—太行山—武陵山莫霍面深度梯级带向北经呼伦贝尔进入蒙古国和俄罗斯,梯级带越向北越平缓,向南进入中南块体后,被后期印度板块向欧亚板块俯冲所引发的地壳结构变形踪迹所阻断扭曲,梯度带的方向发生了明显的变化,是多次构造运动的叠加效应。贺兰山—龙门山莫霍面深度梯级带向北进入蒙古国后方向发生了改变,推断是受兴蒙块体的影响;向南基本未延伸出中国大陆境内,这与印度板块向北俯冲碰撞有密切的关系。以上表明,莫霍图反映出的信息,是三大板块相互作用下深部构造的反映,有些是三大板块作用与块体间相互作用的综合表现(江为为等,2000,2002;郝天珧等,2002,2004,2010;Abdelrahman et al.,2005;安美建和石耀霖,2006)。

研究区内海底地形与莫霍面基本呈镜像关系,在洋陆过渡带或地壳性质明显发生改变的地区,单纯依赖地形或完全依赖重力反演的莫霍面深度来推论带有不确定性,有高精度地震测深或多种地球物理资料的综合研究结果可以提高地质认识的可靠性。编图涉及到西太平洋俯冲带和印度洋俯冲带,存在着不同板块不同方向的俯冲、对冲等复杂的地质现象,莫霍面起伏剧烈。图幅内西太平洋俯冲带东侧俯冲方向由最北端(日本南部)的 NW 向南逐渐变为菲律宾岛的 SWW 向,至马来西亚北部沙巴地区转变为 NWW 向,俯冲带宽度和深度都急剧增加,俯冲深度可达 700 km;西侧俯冲带俯冲方向由台湾岛北部的 E 向转为吕宋南部的 NEE 向,至巴拉望地区转为 E 向,从马来西亚北部沙巴地区表现为 SEE 向。研究区剖面可观察到俯冲带对冲现象。西

太平洋俯冲带反映了菲律宾海板块沿琉球海沟对欧亚板块的俯冲,同时伴随着 15Ma 以来南海洋壳向东的俯冲消亡。印度洋俯冲带大致沿爪哇海沟一线向北延伸,俯冲方向大体为 E,在  $11^{\circ}\text{N}$ — $13^{\circ}\text{N}$  附近出现东侧俯冲带,俯冲方向为 W,反映了印度—澳大利亚板块沿印度洋东北缘的爪哇海沟向苏门答腊、爪哇等岛屿之下的俯冲。

(5) 地震层析成像图(图 5):包括 P 波速度分布图和 S 波速度分布图,二者互为补充,可以全面了解大陆和海域主要地质构造单元的基本特征和深部动力性质。体波地震层析成像可以清晰地揭示出中国海陆岩石层地幔和上地幔软流层的速度分布特征。S 波速度分布图像可以反映 0~160 km 深度之间地壳和上地幔的速度结构,弥补了体波层析成像对地壳内部速度结构的分辨不足的缺陷。P 波和 S 波地震层析成像反映出以南北构造带为界的中国东部和西部岩石层厚度的差异以及上地幔软流层的分布特点(胥颐等,2000,2006,2008;王椿镛等,2007)。

中国海陆及邻区地壳厚度的变化总体上由东向西逐渐增加。海盆地壳厚度在十几公里左右,向大陆边缘逐渐增厚为 20~30 多公里。东部海域、华北和华南的地壳厚度在 30~40 km 之间缓慢变化,青藏高原的地壳厚度达到 60~65 km,达到最大。中国大陆和邻近海域的岩石层和软流层厚度变化显著,从沿海地区向内陆地区岩石层厚度逐渐增加,软流层厚度逐渐减薄。在中国东部地区,华北盆地和东海海域的岩石层厚度相当,约为 70~80 km,进入燕山后增加到 130 km,在太行山以西的鄂尔多斯则达到 150 km 左右,表明华北盆地的岩石层厚度强烈减薄。台西南的岩石层厚度为 60~70 km,至扬子克拉通西缘的四川盆地已经接近 170 km。东部海域软流层厚度为 140~150 km,而南海海域则达到 200 km。在大陆地区,软流层的厚度在 80~100 km,往往与岩石层的厚度呈镜像关系。地幔活动一般分布在构造不稳定区,如中国东部的华北盆地、中国西部的滇西、松潘—甘孜、羌塘地区以及境外的吉尔吉斯天山、俄罗斯贝加尔湖附近;海域则主要分布在西太平洋菲律宾海板块的琉球—台湾—吕宋俯冲带以及印度洋板块的安达曼—苏门答腊俯冲带附近。地幔活动与板块或块体之间相对运动密切相关。

#### 4.3 图件成果之地质认识

(1) 地质图(图 6):重点研究并确定了海区编图方法——用叠置法和透视法编制海域地质图。用此方法可以在一张地质图上较充分地表现海区新近纪

以下的盆地沉积的地质内容. 而且图面表达的内容丰富, 同时也可以做到浅显易懂, 因此有诸多新做法. 用本项目的编图方法来编制海域地质图将是今后一种最为可行的方法之一. 同时, 应用这种方法编制的海域地质图将有利于指导油气勘探和其他矿产资源调查(刘海龄等, 2001; 彭大均等, 2005; 王海荣等, 2008; 吴时国和秦蕴珊, 2009).

海陆地质图较好地反映了海域为重点的地质基本状况. 在盆地区, 表现了盆地沉积地层的主要格架组成及分布特征; 在隆起区, 较确切地表现了前新近纪的基岩岩性、分布. 叠置法和透视法相结合的方法, 表示海域不同年代的地层、新生界侵入岩和前寒武纪古老地壳等地质要素, 该方法的应用可以较好地反映海域的地质内容, 本次编图做了一次有益的探索.

(2) 大地构造格架图(图 7): 将图幅范围内的一级大地构造单元划分出来, 一级单元为板块和板块边界, 图幅范围内共 3 个板块, 欧亚板块、印度—澳大利亚板块和菲律宾海板块. 板块内划分出稳定的大地构造单元——块体, 和活动的的大地构造单元——结合带. 块体按照陆核形成时间的早晚, 分为 5 种类型: 华北型、扬子型、华南型、萨拉伊尔型和泛非型. 结合带也按照结合带碰撞或拼贴缝合的时间, 分为 5 种类型: 加里东型、海西型、印支型、燕山性和喜山型. 块体构造单元的构造演化分为 4 个阶段: 陆核形成阶段、古全球构造阶段、过渡阶段和新全球构造阶段(任纪舜, 1984; 朱夏, 1987; 刘光鼎, 1992a, 1992b; 万天丰, 1993, 2004; 潘桂棠, 1994; 任纪舜等, 1999; 刘光鼎, 2007; 李家彪, 2008, 2011; 张训华等, 2008; 潘桂棠等, 2009; 郝天珧等, 2011; 黄奇瑜等, 2012).

中国海陆大地构造格架的特征: 按照结合带和缝合带形成时间, 总体上由北向南逐渐变新. 尤其强调了二叠纪末形成的潘基亚大陆, 由劳亚大陆、冈瓦纳大陆和古华夏陆块群组成; 冈瓦纳的解体, 特提斯的闭合, 裂离的块体向欧亚大陆的拼合, 最终形成了欧亚板块的主体, 同时完成了块体体制向板块体制的转换.

(3) 大地构造格架演化图(图 8): 体现了印支运动是中国大陆构造格局发生根本性变化的一个重要时间点, 印支运动之前中国大陆各块体基本经历了逐渐拼合的过程. 直到印支运动后, 和中国相关的块体除了西藏地区外已经全部拼合到一起, 进入统一发展的新时期. 中国大陆主要块体之间的碰撞和拼

合大多具有局部首先碰撞、相互旋转、完全拼合(运动学上成为整体)、陆内挤压造山、伸展反弹的特点. 大陆碰撞造山带的形成与演化、残留洋盆或海盆的演化和消亡等均受控于这一运动模式.

中国大陆主要块体在地质历史中经历了从小到大, 从分散到聚合的演化过程. 早古生代早期, 中朝、扬子及塔里木等中国大陆主要块体与冈瓦纳大陆关系密切, 亲缘性较强; 早古生代晚期, 中朝、扬子、塔里木、羌塘几个块体脱离冈瓦纳大陆, 成为古特提斯洋中的离散块体, 位于赤道附近的低纬度地区, 而冈底斯和喜马拉雅块体仍为冈瓦纳大陆的一部分, 位于南半球中纬度地区(万天丰, 1993, 2004; 潘桂棠, 1994; 潘桂棠等, 2009). 晚古生代是中朝、塔里木、扬子、羌塘等块体快速向北移动, 逐渐汇聚拼合的主要时期. 中朝块体在二叠纪同蒙古块体群碰撞拼合; 塔里木块体同哈萨克斯坦块体在晚石炭—早二叠世期间碰撞拼合; 塔里木块体、中朝块体、扬子块体、羌塘块体, 到晚二叠世已经非常接近, 部分地区已经发生了初始碰撞. 中生代早期是中国大陆各块体发生根本变革的主要时期, 除喜马拉雅块体尚在南半球之外, 其余块体均在中生代的不同时期碰撞拼合在一起. 中朝和塔里木块体在中、晚三叠世发生了初始碰撞; 扬子块体和中朝块体在晚二叠世—早三叠世发生了初始碰撞; 羌塘块体在晚二叠世—早三叠世增生到古亚洲大陆. 中生代晚期是块体间通过旋转调整块体相对位置的时期. 中朝、扬子、塔里木、羌塘等块体三叠纪以向北运动为主, 侏罗纪以小幅度整体向南运动为主. 中—晚侏罗世之后几个块体运动特征逐渐一致, 进入陆内发展阶段. 晚侏罗世开始, 已经完成拼合的各块体整体向北移动, 到晚白垩世各块体已和现今位置相差不大. 古近纪以来, 印度和欧亚大陆的碰撞和持续挤压是中国大陆发生的一次比较明显的碰撞和拼合事件. 由于从初始碰撞到完全拼合所经历的时间相对较短, 这次碰撞和拼合事件对中国大陆的改造远强于以往各次(冯岩等, 2011, 2012).

#### 4.4 “块体构造学说”之主要依据

在编图和配套研究基础上, 项目组在朱夏、刘光鼎院士学术思想基础上, 提出了“块体构造学说”, 认为地壳是由“板块”组成的, 板块的次级构造单元为“块体”. 在地质历史时期, 印支前大体上是“块体”体制, 块体在陆核基础上增生、漂移、拼合, 形成陆地地板. 印支后, 块体拼合完成, 进入“板块”体制, 形成全球性几大板块及其相互作用的机制(朱夏, 1987;



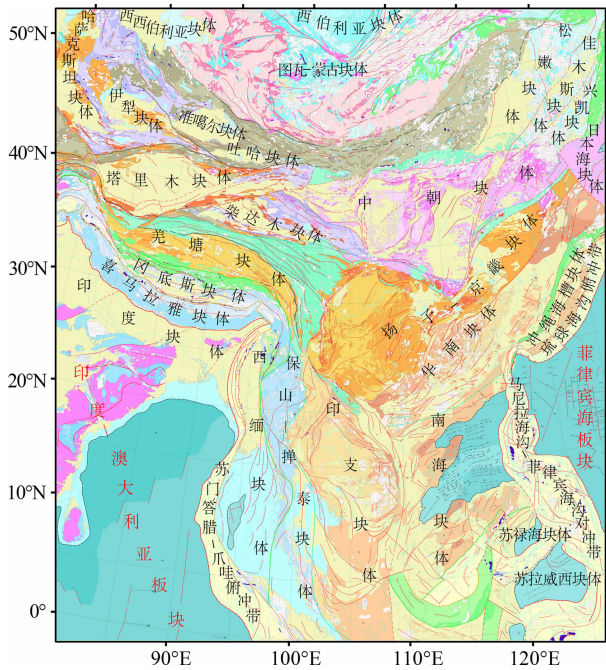


图 7 大地构造格架图(郭兴伟等,2012)

Fig. 7 Map of tectonic framework (Guo X W, et al., 2012)

刘光鼎,1992a, 1992b,2007).

(1) 地质依据:中国海陆是由相对稳定区(块体)与活动区(结合带)组成,是由多个块体于不同时期拼合而成的.对中国大陆多块体、多梯级带的现象可以用“东西成带,南北分块”来描述其特征,也可以用“三横、两竖、两个三角”来形容中国大陆宏观的构造格架.以印支期为界,2 亿年以来为板块体制,主要表现现代的板块活动,重点表现为不同的板块边界类型;2.8 亿年以前为块体制,主要表现块体形成演化的过程,以及结合带的碰撞缝合过程;2~2.8 亿年的过渡阶段,在古特提斯洋闭合过程中,已经在一些洋陆碰撞处出现板块体制的先声,大部分还保持块体制(朱夏,1987;Гатинский and Рундквист, 2004;Гатинский et al., 2005;刘光鼎,2007;张训华等,2009,2010).

(2) 地球物理依据:应该说,地球物理特征只是反映地球现今为主的静态特征,尽管是地质演化过程至现今的综合结果,但很难用来恢复地质演化的

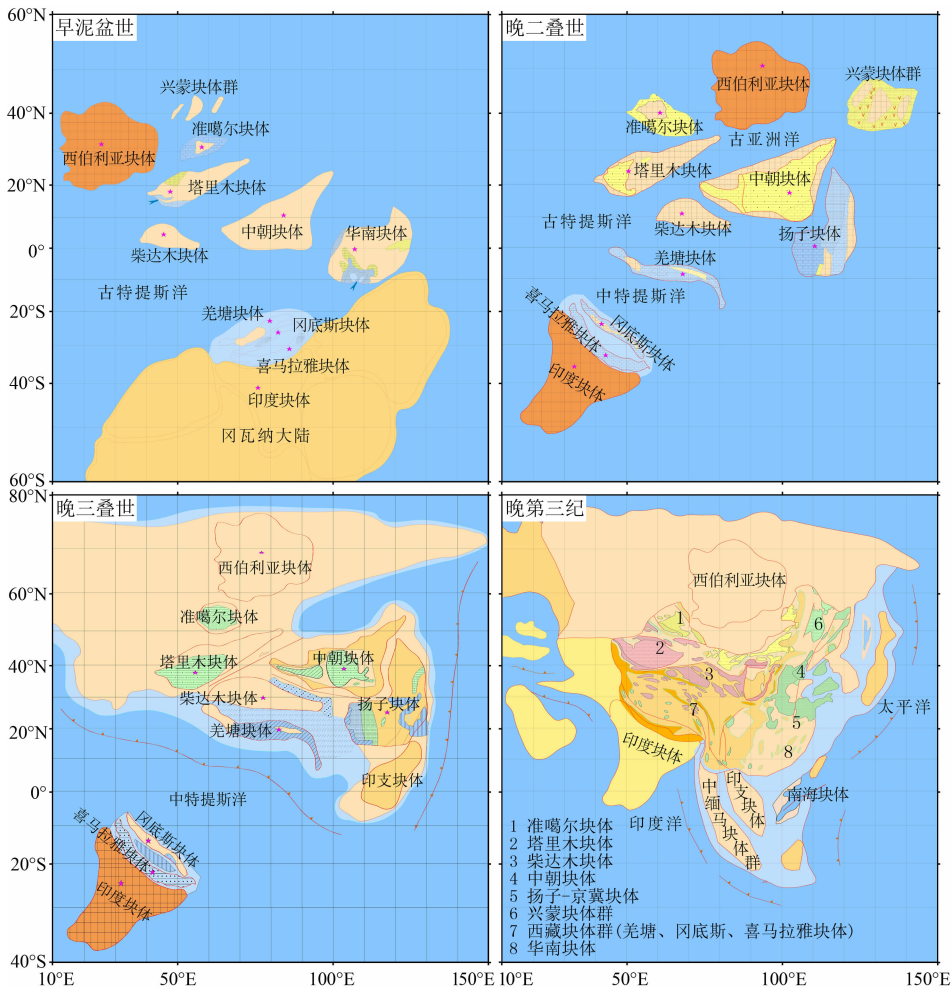


图 8 大地构造格架演化图(侯方辉等,2012)

Fig. 8 Map of tectonic framework evolution (Hou F H, et al., 2012)

动态过程. 地球物理依据主要包括: 重力梯度带、磁力异常带、莫霍面剧变带、层析成像速度突变带等. 重力异常的总体面貌表现为“线性异常带纵横交错, 块状异常区坐落其间”, 大体格架上对应为结合带和块体; 莫霍面深度梯级带对应为块体构造的结合带; 块体深部往往为重磁异常平静区或层析成像速度变化平稳区(张训华等, 2009, 2010).

## 4 结语

(1) 我国海洋基础地质工作约 300 万 km<sup>2</sup> 管辖海域的区域地质工作还没有全覆盖, 海域地质编图还有很多工作要做, 为服务于海洋开发、服务于蓝色经济, 维护我国海洋权益, 进一步加强我国海洋地质编图十分必要.

(2) 本次对编图技术方法、表现形式进行了有益探索, 使用 3D 编图技术、数据库技术, 对我国的编图技术水平起到促进作用. 地质图编图方法清新, 部分地解决了海区地质地质内容单调, 图面上主要表示的是现代沉积, 颜色单一等海域地质图的编图难点.

(3) 本次编图开发了布格重力异常合成平均空间重力异常的方法, 填补了青藏高原及国外陆地岛屿等测量空白区的资料; 创建了磁场数据调平框架, 采用了长波长滤波技术; 在莫霍面深度反演上发展了带控制点的三维界面反演方法和变密度自适应模拟退火界面反演方法; 层析成像图在“统一构造格架、统一观测数据、统一反演模型、统一反演方法”的编图思想下, 将中国大陆及海域主要地质构造单元纳入同一个构造框架等. 这些技术的应用, 确保了图件的科学性和美观性.

(4) 本次的地质构造编图考虑了深部结构的变化对表层构造的关联, 重视了地球物理资料与地质构造的结合, 开始了深部与浅部的互相印证研究. 编图思想表现在深—浅层结合来划分大地构造格架.

(5) 中国海陆大地构造格局基本上是一种“块体构造”体制. 在朱夏、刘光鼎学术思想的基础上, 归纳、概括、发展、探索性地提出了“块体构造学说”. 指出“块体构造学说”是在以活动论为内涵的全球构造思想指导下对“板块构造学说”的发展和在中国的实际应用. 是中国地质特征与地球物理特征相结合的一种尝试. 印支前, 我国大陆演化经历了“陆核形成—块体生长, 块体漂移—碰撞拼接”的过程. 印支后, 以欧亚板块—太平洋板块—印度板块相互作用

为特征. 编制的大地构造格架图和大地构造格架演化图充分反映了上述学术思想.

## References

- Abdelrahman E M, Ried S, Refal E, et al. 2005. On the least-squares residual anomaly determination. *Geophysics*, 50(3): 473-480.
- An M J, Shi Y L. 2006. Review on lithospheric thickness research of the Chinese continent. *Earth Science Frontiers (in Chinese)*, 13(3): 23-30.
- Ellmann A. 2010. Validation of the New Earth Gravitational Model EGM08 over the Baltic countries. // Mertikas S P. Gravity, Geoid and Earth Observation. International Association of Geodesy Symposia 135. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 488-496.
- Feng Y, Wen Z H, Zheng Q G, et al. 2011. A review of progress in paleocontinent reconstruction research in China. *Marine Geology Frontiers (in Chinese)*, 27(7): 41-49.
- Feng Y, Wen Z H, Gao Z Q, et al. 2012. Application of paleomagnetism to paleocontinental reconstruction. *Marine Geology Frontiers (in Chinese)*, 28(1): 62-68.
- Gao D Z, Zhao J H, Bo Y L, et al. 2004. A profile study of gravitative magnetic and seismic comprehensive survey in the East China Sea. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 47(5): 853-861.
- Gao D Z, Zhao J H, Bo Y L, et al. 2006. A study on lithosphere 3D structures in the East China Sea and adjacent regions. *Chinese Journal of Geology (in Chinese)*, 41(1): 10-26.
- Hao T Y, Liu Y K, Duan C. 1996. Approaching fault system of the east China and adjacent area from gravity and magnetic data. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 39(S1): 141-149.
- Hao T Y, Liu Y K, Xu W Z. 1998. Features of gravity and magnetic field and regional tectonics of Yellow sea and its adjacent area. *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 13(1): 27-39.
- Hao T Y, Liu J H, Song H B, et al. 2002. Geophysical evidences of some important faults in South China and adjacent marginal seas region. *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 17(1): 13-23, doi: 10.3969/j.issn.1004-2903.2002.01.002.
- Hao T Y, Liu J H, Guo F, et al. 2004. Research on crustal structure and lithosphere property in the Okinawa Trough area. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 47(3): 462-468.
- Hao T Y, Huang S, Xu Y, et al. 2010. Geophysical understandings on deep structure in Yellow Sea. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 53(6): 1315-1326.
- Hao T Y, Xu Y, Sun F L, et al. 2011. Integrated geophysical research on the tectonic attribute of conjugate continental margin of South China Sea. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 54(12): 3098-3116, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.12.011.

- Huang C Y, Yen Y, Zhao Q H, et al. 2012. Cenozoic stratigraphy of Taiwan: Window into rifting, stratigraphy and paleoceanography of South China Sea. *China Sci. Bull.* (in Chinese), 57(24): 3130-3149.
- Jiang W W, Hao T Y, Song H B. 2000. Crustal structure and geological features of Ordos basin. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 15(3): 45-53, doi: 10.3969/j.issn.1004-2903.2000.03.005.
- Jiang W W, Liu S H, Hao T Y, et al. 2002. Using gravity data to compute crustal thickness of East China Sea and Okinawa Trough. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 17(1): 35-41, doi: 10.3969/j.issn.1004-2903.2002.01.004.
- Johnson A, Cheeseman S, Ferris J. 2000. Improved compilation of Antarctic Peninsula magnetic data by new interactive grid suturing and blending methods. *Annals of Geophysics*, 42(2): 249-259.
- Li G X, Yang Z K, Liu Y. 2005. Research on the Genesis of Seafloor Sedimentary Environment of Eastern China Seas—Instructions to Diagrams of Genesis of Seafloor Sedimentary Environment of Eastern China Seas (in Chinese). Beijing: Science Press.
- Li J B. 2008. Regional Geology of the East China Sea (in Chinese). Beijing: China Ocean Press.
- Li J B. 2011. Dynamics of the continental margins of South China Sea; scientific experiments and research progress. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 54(12): 2993-3003, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.12.002.
- Li T D. 2007. Status and development trend of geological map compilation in the world. *Geology in China* (in Chinese), 34(2): 206-211.
- Liu G D. 1992a. Geology-Geophysics Mapping Project Series of China Seas and Adjacent Regions (1/5000000) (in Chinese). Beijing: Science Press.
- Liu G D. 1992b. Geology-Geophysics Properties of China Seas and Adjacent Regions (1/5000000) (in Chinese). Beijing: Science Press.
- Liu G D. 2007. Geodynamical evolution and tectonic framework of China. *Earth Science Frontiers* (in Chinese), 14(3): 39-46.
- Liu H L, Guo L Z, et al. 2001. Study of Fracture Systems and Lithosphere Dynamics in the Nansha (in Chinese). Beijing: Science Press.
- P G W. GETECH, AGRS, CAG. China Aeromagnetic Mapping Project (CHAMP). 1996—1999 Technical Report, 1999, 1: 8-11.
- Pan G T. 1994. An evolution of Tethys in global ocean-continent transformation. *Tethyan Geology* (in Chinese), 18: 23-40.
- Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, et al. 2009. Subdivision of tectonic units in China. *Geology in China* (in Chinese), 36(1): 1-28.
- Peng D J, Pang X, Chen C M, et al. 2005. From Shallow-water Shelf to Deep-water Slope—the study on deep-water fan systems in South China Sea. *Acta Sedimentologica Sinica* (in Chinese), 23(1): 1-11.
- Pereira A, Pacino M C. 2010. Evaluation of recent global geopotential models in Argentina in Algeria using gravity and GPS/Levelling data // Mertikas S P. Gravity, Geoid and Earth Observation. International Association of Geodesy Symposia 135. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 383-388.
- Ren J S. 1984. The Indosinian orogeny and its significance in the tectonic evolution of China. *Acta Geoscientia Sinica* (in Chinese), 9(2): 31-42.
- Ren J S, Wang Z X, Chen B W, et al. 1999. Tectonic Map of China and Adjacent Regions (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House.
- Wan T F. 1993. Themesozoic and Cenozoic Intraplate Deformation and Tectonic Stress Field and Its Application in Eastern China (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House.
- Wan T F. 2004. Tectonics of China (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House Press.
- Wang C Y, Chang L J, Lü Z Y, et al. 2007. Seismic anisotropy of upper mantle in eastern Tibetan Plateau and related crust-mantle coupling pattern. *Science in China (Ser. D: Earth Sciences)* (in Chinese), 50(8): 1150-1160.
- Wang H R, Wang Y M, Qiu Y. 2008. Geomorphology and its control of deep-water slope of the margin of the South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 30(2): 70-80.
- Wang J L, Wu J S, Chen B, et al. 1997. Integrated Geophysical Researches on Base Texture of Zhujiang River Mouth Basin and East China Sea Shelf Basin (in Chinese). Shanghai: Tongji University Press.
- Wang N D, Yang L Y, Zhang E J. 2004. 1:5000000 Aeromagnetic  $\Delta T$  Anomaly Map Preparation Description of China and the Adjacent Seas (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House.
- Wen Z H, Zhang X H, Yin Y H, et al. 2011. Maps sets and geological features of eastern China seas and adjacent regions. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 54(8): 2093-2101, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.08.016.
- Wu S G, Qin Y S. 2009. The research of deepwater depositional system in the Northern South China Sea. *Acta Sedimentologica Sinica* (in Chinese), 27(5): 922-930.
- Xu Y, Li Z W, Liu J S, et al. 2008. Pn wave velocity and anisotropy in the Yellow Sea and adjacent region. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 51(5): 1444-1450, doi: 10.3321/j.issn:0001-5733.2008.05.017.
- Xu Y, Liu F T, Liu J H, et al. 2000. Seismic tomography beneath the orogenic belts and adjacent basins of northwestern China. *Science in China (Ser. D: Earth Sciences)* (in Chinese), 44(5): 468-480.
- Xu Y, Liu J H, Hao T Y, et al. 2006. P wave velocity structure and tectonics analysis of lithospheric mantle in eastern China seas and adjacent regions. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 49(4): 1053-1061, doi: 10.3321/j.issn:0001-5733.2006.04.017.
- Yang H, Liang Y M. 2011. China Fault Block Geological Tectonic

- Characteristics—1:5000000 Aeromagnetic  $\Delta T$  Anomaly Map Technical Description of China and the Adjacent Seas (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House.
- Yin Y H, Zhang X H, Wen Z H, et al. 2008. The mapping methods and division of tectonic units of the regional tectonic map in the Huanghai Sea and the East China Sea and adjacent regions. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 30(6): 99-105.
- Zhang H T, Zhang X H, Wen Z H, et al. 2010. Geology-Geophysical Map Series of Eastern China Seas (1:1000000) (in Chinese). Beijing: China Ocean Press.
- Zhang M H, Zhang J Q. 2005. Resolution of modern satellite altimetric gravity anomaly and its application to marine geological survey. *Geophysical & Geochemical Exploration* (in Chinese), 29(4): 1-5.
- Zhang M H, He H, Wang C X. 2011. The launch of a large regional gravity information system in China. *Applied Geophysics*, 8(2): 170-175.
- Zhang X H. 1998. Gravity characteristics and crustal structure division of the South China Sea and adjacent regions. *Marine Geology & Quaternary Geology* (in Chinese), 18(3): 55-60.
- Zhang X H, et al. 2008. Tectonic Geology in China Seas (in Chinese). Beijing: China Ocean Press.
- Zhang X H, Meng X J, Han B. 2009. The block and the block tectonics. *Marine Geology & Quaternary Geology* (in Chinese), 7(3): 115-120.
- Zhang X H, Guo X W, Yang J Y, et al. 2010. Gravity characteristics and preliminary division of tectonic units in China and adjacent areas. *Geology in China* (in Chinese), 37(4): 881-888.
- Zhu X. 1987. On the evolution of continental margins of China. *Marine Geology & Quaternary Geology* (in Chinese), 7(3): 115-120.
- Гатинский Ю Г, Рундквист Д В. 2004. Eurasia Geodynamics-plate tectonics and block construction. *Tectonics*, 1: 3-20.
- Гатинский Ю Г, Рундквист Д В, Тюпки Ю С. 2005. The east and central Asia block structure and kinematics on the basis of GPS data. *Tectonics*, (5): 3-18.
- 域断裂体系. 地球物理学报, 39(S1): 141-149.
- 郝天珧, 刘伊克, 徐万哲. 1998. 黄海和邻区重磁场及区域构造特征. 地球物理学进展, 13(1): 27-39.
- 郝天珧, 刘建华, 宋海斌等. 2002. 华南及其相邻边缘海域一些重要断裂的地球物理证据. 地球物理学进展, 17(1): 13-23, doi: 10.3969/j.issn.1004-2903.2002.01.002.
- 郝天珧, 刘建华, 郭锋等. 2004. 冲绳海槽地区地壳结构与岩石层性质研究. 地球物理学报, 47(3): 462-468.
- 郝天珧, 黄松, 徐亚等. 2010. 关于黄海深部构造的地球物理认识. 地球物理学报, 53(6): 1315-1326.
- 郝天珧, 徐亚, 孙福利等. 2011. 南海共轭大陆边缘构造属性的综合地球物理研究. 地球物理学报, 54(12): 3098-3116, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.12.011.
- 黄奇瑜, 闫义, 赵泉鸿等. 2012. 台湾新生代层序: 反映南海张裂, 层序和古海洋变化机制. 科学通报, 57(20): 1842-1862.
- 江为为, 郝天珧, 宋海斌. 2000. 鄂尔多斯盆地地质地球物理特征与地壳结构. 地球物理学进展, 15(3): 45-53, doi: 10.3969/j.issn.1004-2903.2000.03.005.
- 江为为, 刘少华, 郝天珧等. 2002. 应用重力资料估算东海冲绳海槽地壳厚度. 地球物理学进展, 17(1): 35-41, doi: 10.3969/j.issn.1004-2903.2002.01.004.
- 李广雪, 杨子庚, 刘勇. 2005. 中国东部海域海底沉积环境成因研究—《中国东部海域海底沉积物成因环境图》说明. 北京: 科学出版社.
- 李家彪. 2008. 东海区域地质. 北京: 海洋出版社.
- 李家彪. 2011. 南海大陆边缘动力学: 科学实验与研究进展. 地球物理学报, 54(12): 2993-3003, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.12.002.
- 李廷栋. 2007. 国际地质编图现状及发展趋势. 中国地质, 34(2): 206-211.
- 刘光鼎. 1992a. 中国海区及邻域地质地球物理系列图. 北京: 科学出版社.
- 刘光鼎. 1992b. 中国海区及邻域地质地球物理特征. 北京: 科学出版社.
- 刘光鼎. 2007. 中国大陆构造格架的动力学演化. 地学前缘, 14(3): 39-46.
- 刘海龄, 郭令智, 孙岩等. 2002. 南沙地块断裂构造系统与岩石圈动力学研究. 北京: 科学出版社.
- 潘桂棠. 1994. 全球洋-陆转换中的特提斯演化. 特提斯地质, 18: 23-40.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年等. 2009. 中国大地构造单元划分. 中国地质, 36(1): 1-28.
- 彭大均, 庞雄, 陈长民等. 2005. 从浅水陆架走向深水陆坡-南海深水扇系统的研究. 沉积学报, 23(1): 1-11.
- 任纪舜. 1984. 印支运动及其在中国大地构造演化中的意义. 中国地质科学院院报, 9(2): 31-42.
- 任纪舜, 王作勋, 陈丙蔚等. 1999. 中国及邻区大地构造图. 北京: 地质出版社.
- 万天丰. 1993. 中国东部中·新生代板内变形构造应力场及其应用. 北京: 地质出版社.
- 万天丰. 2004. 中国大地构造学纲要. 北京: 地质出版社.
- 王椿镛, 常利军, 吕智勇等. 2007. 青藏高原东部上地幔各向异性

## 附中文参考文献

- 安美建, 石耀霖. 2006. 中国大陆岩石圈厚度分布研究. 地学前缘, 13(3): 23-30.
- 冯岩, 温珍河, 郑求根等. 2011. 古大陆再造与中国主要块体运动特征. 海洋地质前沿, 27(7): 41-49.
- 冯岩, 温珍河, 高志清等. 2012. 古地磁方法在古大陆再造中的应用. 海洋地质前沿, 28(1): 62-68.
- 高德章, 赵金海, 薄玉玲等. 2004. 东海重磁地震综合探测剖面研究. 地球物理学报, 47(5): 853-861.
- 高德章, 赵金海, 薄玉玲等. 2006. 东海及邻近地区岩石圈三维结构研究. 地质科学, 41(1): 10-26.
- 郝天珧, 刘伊克, 段昶. 1996. 根据重磁资料探讨中国东部及其邻

- 及相关的壳幔耦合型式. 中国科学(D辑:地球科学), 37(4): 495-503.
- 王海荣, 王英民, 邱燕等. 2008. 南海北部陆坡的地貌形态及其控制因素. 海洋学报, 30(2): 70-80.
- 王家林, 吴健生, 陈冰等. 1997. 珠江口盆地和东海陆架盆地基底结构的综合地球物理研究. 上海: 同济大学出版社.
- 王乃东, 杨玲羽, 章尔静. 2004. 中国及其毗邻海域航空磁力  $\Delta T$  异常图(1:500万)编制说明. 北京: 地质出版社.
- 温珍河, 张训华, 尹延鸿等. 2011. 中国东部海区编图及基本地学特征. 地球物理学报, 54(8): 2093-2101, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.08.016.
- 吴时国, 秦蕴珊. 2009. 南海北部陆坡深水沉积体系研究. 沉积学报, 27(5): 922-930.
- 胥颐, 李志伟, 刘劲松等. 2008. 黄海及其邻近地区的 Pn 波速度与各向异性. 地球物理学报, 51(5): 1444-1450, doi: 10.3321/j.issn:0001-5733.2008.05.017.
- 胥颐, 刘福田, 刘建华等. 2000. 中国大陆西北造山带及其毗邻盆地的地震层析成像. 中国科学(D辑:地球科学), 30(2): 113-122.
- 胥颐, 刘建华, 郝天珧等. 2006. 中国东部海域及邻区岩石层幔的 P 波速度结构与构造分析. 地球物理学报, 49(4): 1053-1061, doi: 10.3321/j.issn:0001-5733.2006.04.017.
- 杨华, 梁月明. 2011. 中国断块镶嵌地质构造特征-中国及其毗邻海域 1:500 万航空磁力  $\Delta T$  异常图技术说明. 北京: 地质出版社.
- 尹延鸿, 张训华, 温珍河等. 2008. 中国东部海区及邻域区域构造图的编制方法及地质构造单元划分. 海洋学报, 30(6): 99-105.
- 张洪涛, 张训华, 温珍河等. 2010. 中国东部海区及邻域地质地球物理系列图(1:100万). 北京: 海洋出版社.
- 张明华, 张家强. 2005. 现代卫星测高重力异常分辨能力分析及在海洋资源调查中应用. 物探与化探, 29(4): 1-5.
- 张训华. 1998. 南海及邻区重力场特征与地壳构造区划. 海洋地质与第四纪地质, 18(3): 55-60.
- 张训华等编著. 2008. 中国海域构造地质学. 北京: 海洋出版社.
- 张训华, 孟祥君, 韩波. 2009. 块体与块体构造学说. 海洋地质与第四纪地质, 19(5): 59-64.
- 张训华, 郭兴伟, 杨金玉等. 2010. 中国及邻区重力特征与块体构造单元初划. 中国地质, 37(4): 881-888.
- 朱夏. 1987. 关于中国大陆边缘构造演化. 海洋地质与第四纪地质, 7(3): 115-120.

(本文编辑 汪海英)