

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019052601

中国海区及邻域立体地貌图的设计与制作实践

刘锡清¹, 刘喆昊²

1. 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

2. 河海大学海洋学院, 南京 211100

摘要: 中国海区及邻域立体地貌图既是一幅现代地图, 又是一张绘画, 构成了一幅“现代地图-地景画”。采取“一图三制”绘制方法, 即陆地为地形晕渲法, 大陆架使用形象示意法, 深海区采用立体构图法。原图比例尺 1:200 万, 垂直比例尺放大 20 倍。该图制作分两步: 先绘制铅笔草图, 再进行彩绘, 完全手工绘制。该图展现了欧亚大陆板块东南部、大陆板块边缘及菲律宾海板块的地貌特征。区内地貌形成驱动力来自两条板块边界, 即喜马拉雅碰撞带与西太平洋俯冲带。中国东部在 E—W 向老的构造基础上, 叠加了新生代的 NNE 向构造, 呈现网格状构造地貌格局。太平洋对大陆俯冲, 拉开了日本海盆、冲绳海槽, 形成 2 套沟弧盆体系。南海海盆是在陆缘引张下形成的, 菲律宾弧北移并旋转, 把南海围成边缘海。菲律宾弧北段与台湾岛碰撞, 使中央山脉隆起, 洋壳逆冲上陆, 形成海岸山脉, 台湾纵谷即板块缝合线。菲律宾海板块是太平洋板块一部分, 在断裂基础上发生多次洋壳对洋壳俯冲, 形成了洋缘沟弧盆地貌。

关键词: 地图-地景画; 立体地貌图; 一图三制; 板块构造地貌

中图分类号: P737

文献标识码: A

The three-dimensional geomorphologic map of China Seas and adjacent regions: design and practice

LIU Xiqing¹, LIU Zhehao²

1. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

2. Institute of Oceanography, Hohai University, Nanjing 211100, China

Abstract: The 《Geomorphologic Map of China Seas and Adjacent Regions》 is a present topographic map expressed by painting skills. It was compiled following the principle of “one map of three expression options”. The shadow method is adopted for land area, and the pictographic method adopted for continental shelves, while the 3D compositional drawing method is used for the vast areas of deep sea. The original scale is 1:2 million, whereas the vertical scale is 20 times exaggerated. The map is made of in two steps: Drew pencil sketches first and then decorated with colors. All were drawn by hand. Shown on the map are the geomorphologic features of the southeastern Eurasian plate, the continental plate edge, and the Philippine Sea plate. The formation of the landscape of the area is driven by two plate boundaries, i.e. the Himalayan collision zone and West Pacific Subduction Zone. In the eastern part of China, it was dominated by the old E-W structure, superimposed by Cenozoic structures in NNE direction, and thus formed a grid-like tectonic landforms. Owing to the subduction of the Pacific Plate under the Eurasia, the Japanese basins and the Okinawa Trough were pulled apart and formed the 2 sets of trench-arc-basin systems. The South China Sea Basin was formed by the opening of the continent margin, when the Philippine arc moved north under rotation to make the South China Sea a marginal sea. The northern part of the Philippines arc collided with the island of Taiwan and resulted in the rise of the Central Mountain Range, The ocean crust thrust onto the land and formed the Coastal Mountains. The Longitudinal Valley of Taiwan is in fact a plate suture, and the Philippine Sea plate a part of the Pacific plate. Driven by repeated subduction of oceanic crusts following fractures, formed trench-arc-basin topography along the oceanic margin.

Key words: map and geomorphological painting; 3D geomorphological map of three expression options; plate tectonic landform

作者简介: 刘锡清(1942—), 男, 研究员, 主要从事海洋沉积与地貌研究, E-mail: liuxiqing1942@126.com

收稿日期: 2019-05-26; **改回日期:** 2019-06-18. 周立君编辑

《中国海区及邻域地貌图》(图1)是中国20世纪末出版的一幅彩色立体地貌图^[1,2],系刘光鼎主编的“中国海区及邻域地质地球物理系列图”的九幅图件之一。该图具有现代地图与绘画的双重特征。一方面,它遵循系列图的统一要求,以“板块构造理论”为指导思想,原稿底图比例尺1:200万,墨卡托投影(双中心纬线30°N与15°N,编图范围0°~42°N、102°~142°E,图面东西宽283.35cm,南北长354.80cm,分6个图版),表达内容是海陆地貌类型,可以说是一张专业地图;另一方面,它并没有使用专业图例符号,而是以绘画形式直观地展现出地貌形态。确切地说,这就是一幅“现代地图-地景画”。

立体地貌图的形式和制作方法很多,到目前为止,仅就平面纸质立体地貌图来说,常见的就有示意画法、地形晕渲法、立体造型法。示意画法是在现代地图底图上相应位置,示意性地画出相关的地貌形态。如南海立体地貌图^[3](图2a)。在前苏联出版

的印度洋图集中,对海底山脉也有类似画法。地形晕渲法是在地形图上把假设的地形背光面涂上阴影,以产生立体效果。这类例子很多,如“中国海底地势图”^[4](图2c)、南海三维地形图^[5]即属于此类画法。立体构图法是假设3D坐标,垂直比例尺适当放大,将地貌体的关键点投影在 x 、 y 、 z 三轴坐标控制的位置,再绘出地貌体立体形象。这类图如日本近海海底俯瞰图^[6](图2b)。20世纪60—70年代,随着大规模海洋调查的开展,美国海洋学家Bruce Heezen与画家Marie Tharp利用海底测深资料,联手绘制出世界大洋海底“立体地貌图”,把长期以来鲜为人知的海底世界展示出来,令人耳目一新。实际上,还不止以上三种画法,例如还有明暗等高线法、块状立体图法、统计立体图法等。

进入21世纪以来,随着科学技术迅猛发展,卫星测量、遥感、数据库、绘图软件的出现,很快就进入了计算机绘图的时代,使立体地貌图绘制变得十分便捷而精准。在网络上下下载有关数据和绘图软



图1 中国海区及邻域地貌图(刘锡清,1992)

Fig.1 Geomorphologic map of China Seas and adjacent regions (LIU Xiqing, 1992)

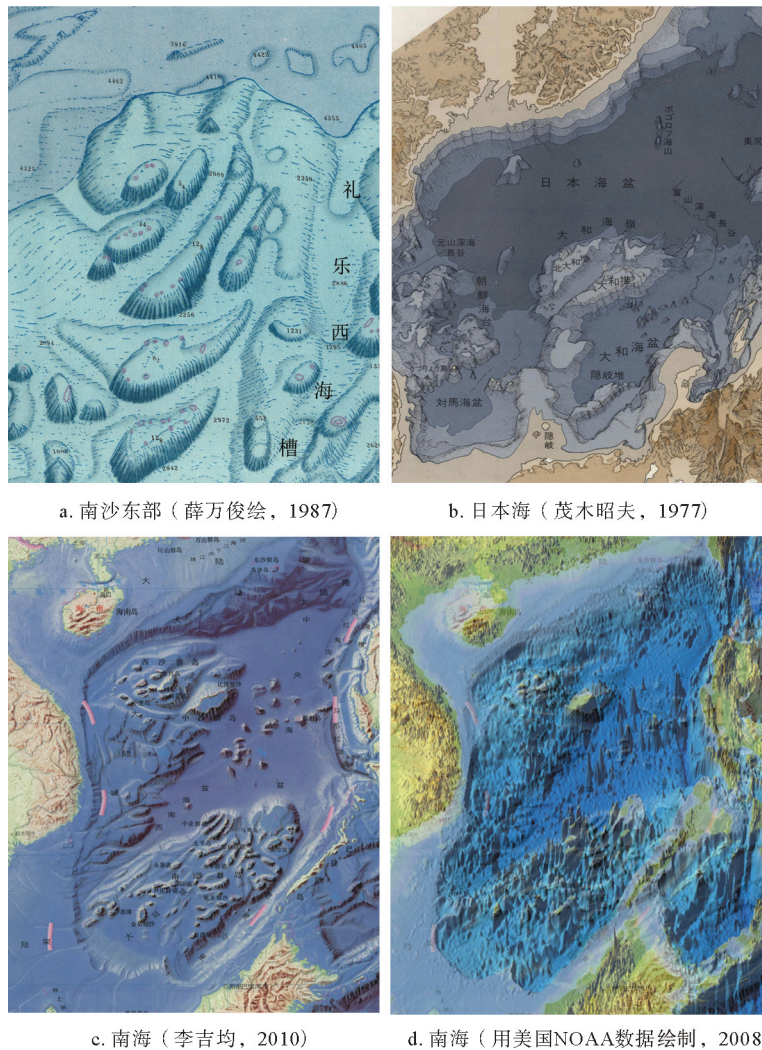


图 2 海底立体地貌图示例

Fig.2 Examples of stereoscopic landscape maps

a. Nansha East part(XUE Wanjun 1987), b. Japan Sea(Mogi Akio,1977), c. South China Sea (LI Jijun,2010), d. South China Sea(NOAA data printing, 2008)

件^①,就可以打印出立体地貌图(图 2d)。一般也需要设定垂直比例尺放大倍数,以突出其立体形态。

目前我国出版一些海区立体地貌图,常因陆架区水深太小,与陆地、深海区地形反差不属于同一个数量级,而将其留为空白,或者简化得几近空白。美国、日本的海底立体地貌图也是这样。显然,缺失这部分内容,不仅令人遗憾,而且有碍图件的美观。《中国海区及邻域地貌图》在设计上大胆地尝试“一图三制”方案,即把形象示意法、地形晕渲法、立体构图法三种方法,并用在同一张图上,调动绘画手段,充分表示不同区域的地貌状况,使其达到科学与艺术的统一,收到了比较满意的效果。

《中国海区及邻域立体地貌图》的编制,得益于综合编图工程的优越技术环境,作者深入学习板块构造学说,广泛吸收地质、地球物理资料,认识和理

解该区域地貌类型和成因,这是该立体地貌图得以成功的一个非常重要因素。在系列图编图工程中,作者主持了“地貌类型图”,也参与了“地形图”的工作。可以这样理解,这张立体图就是系列图中的“地形图”^[7]与“地貌类型图”^[8]两者绘画形式的融合表现。

立体地貌图有助于人们对地形地貌的感知,常常作为地形图与地貌类型图的配合图件,出现在专业图集、学术著作中,在科普著作中更会得到广泛的应用。目前,海底立体地貌图的研制工作在我国学

^① 可从 <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html> 网站,下载美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的地球物理数据中心(NGDC)发布的数字高程模型 ETOPO1 和数据(2008 年),采用 Sufer 软件绘图。

术界仍不断开展,不同画法,不同风格,竞相展现。可以说,每种画法都有自己的优势,同时也会存在某些局限。必须根据编图任务和编图区域的地貌特征,来选择具体制图方案。本文论述了该立体地貌图设计理念和制作实践,以及编图区地貌特征、形成与演化,希望能为广大读者解读该图提供一些参考。

1 “一图三制”的设计与制作

据粗略计算,系列图的编图区域中陆地(大陆及岛屿)、大陆架、深海(包括半深海)三种区域,面积分别约占整个图幅的35%、21%、44%。图内最高点与最低点分别是4101m(基纳巴卢山)及-10497m(菲律宾海沟中部),地形反差高达14598m。如果采用统一的3D构图方式,垂直方向将遇到难以展示的困难。所谓“一图三制”,即采用三种不同的绘制方法:陆地部分地形复杂,采用等高线加晕渲方式;大陆架几乎是缓倾斜的平原,高差很小,采用象形绘制法;为了充分体现西太平洋板块边缘宏伟的沟、弧、盆体系,把半深海及深海区作为该图的重点,采用3D立体坐标,垂直比例尺放大,绘出地貌造型。这样三种处理方式不仅给制图带来许多方便,而且也针对人们长期以来对陆地比较熟悉,对海底地貌了解甚少的知识不对称情况,采取了“详海略陆”的原则。三个区域的分界是海岸线与大陆架边缘线两条自然分界线,使三种区域不同画法的衔接变得比较容易实现,整个画面也给人以和谐自然的感觉。

1.1 陆地部分:地形晕渲法

图内陆地部分主要包括中国东南部沿海地区、朝鲜半岛、中南半岛,以及日本群岛、中国台湾岛、菲律宾群岛、巽他群岛等西太平洋岛弧部分。由于受东亚板块边缘构造控制,山脉、盆地、岛弧地貌大部分呈NE走向。

地形晕渲方法在陆地地形图上运用比较多,是出现很早的方法,已经被广大公众接受和熟悉。假设平行光线从西北(315°)方向入射,设倾角为45°,山地背光阴影面在东南方向。在背光面参入暗灰色调,这样有利于表现NE走向的山地立体感。山地以棕色为主,平原以绿色为主,色调自然。此外,本图在设计 and 制作时没有保留等高线,重点表现山地走向和主要构造线,地貌信息清晰。

绘制的颜色采用传统地形图用色,即山地用棕

色,平原用绿色。这不仅符合地形图编制规范,似乎也已成为约定俗成的做法。本图虽然缺乏高程数量概念,但立体感仍然比较强,富有表现力,通俗易懂。

1.2 大陆架部分:象形示意法

大陆架是陆地与深海之间的一片宽阔的缓倾斜平原,深度为0~-200m,地势起伏多在几十米之内,一般不超过百米。其中,大陆架最发育部分的中国东海陆架,宽度可达130~600km,边缘深度仅-160m左右,平均坡度仅有1'07"。它们与陆地和深海区地形反差相比,皆不在同等量级,如果和深海部分采用同样垂直比例尺进行立体构图是非常困难的。美国的海底立体地貌图就放弃陆架区,在此保留一片空白。这样处理可以避开技术难题,也不涉及敏感地形处理问题。如果说美国的整体大洋区编图,陆架面积所占比例比较小,留白还不影响整体的美观性,而我们这个编图区陆架所占比例较大,留空白不仅使图面失之美观,而且从科学信息角度考虑也是一项缺憾。

大陆架平原上的地貌类型同样丰富多彩,建国后我国陆架区海洋地质调查取得长足进展,积累了大量地貌成果资料,编制了许多地貌类型图,系列图编图工程也编制了全域地貌类型图。因此,把这些成果移植到立体地貌图上来,不但非常必要,而且是完全可行的。

要在立体图上把大陆架的地貌内容画出来,总体思路是:既让图面上要保持大陆架浅海平原的整体观感,又要展现丰富的起伏低浅的地貌。采用浅淡的蓝色加浅灰色勾勒,形象地绘出大陆架的主要地貌类型。它们像是图画,又像是地貌类型符号,其中包括黄河口、长江口、珠江口的大河口水下三角洲,辽东浅滩、苏北浅滩、台湾浅滩及东海外陆架的潮流沙脊群,“黄海槽”及巽他陆架上的陆架谷等。这种表示方法不具有垂直比例尺,但又利用色调的变化,使其具有微微起伏的立体感,实践表明这种方法具有很好的效果。对于地貌形态的绘制虽具有一定随意性,主要是高程没有严格控制,但其平面位置、尺度仍然是按地图要求进行控制,并非完全随意绘制。这部分的绘制要注意保持其大陆架的整体性和独立性,使其不要与陆地或者深海区混淆。实际画法的效果需要借鉴绘画艺术来把握,使人感到大陆架是一个独立的地貌面,其上又有丰富的微起伏的地貌分异。

1.3 深海部分:立体造型法

立体图中“深海部分”系指水深超过-200m 的区域。这里地貌风姿多彩,蔚为壮观,包括绵延漫长的大陆坡,日本海海盆、冲绳海槽、南海海盆等“陆缘海盆”,以及菲律宾海“洋缘海盆”,深邃的日本西南海沟、琉球海沟、菲律宾海沟、马尼拉海沟等板块俯冲带,这就是西太平洋板块边缘的沟、弧、盆构造地貌体系的重要部分,也是我这幅“图画”最精彩的风景所在。

一般图书上的立体块状图插图,立体坐标的 x, y, z 三轴分开画出。但该图是在规定的地理底图上制作,假设的立体坐标 x 轴与纬线平行, y 轴与经线平行,而 z 轴在实际空间上应该垂直于图面,但在平面图纸上,只能安排与经线平行。为了突显海底地势起伏,放大垂直比例尺是地质、地形剖面上最为常见的方法,这次制图也采取了同样的作法。立体图在 1:200 万的底图上绘制,在 x, y 轴方向,1cm 代表 20km,而在 z 轴方向 1cm 代表高度 1km。也就是垂直比例尺变为 1:1 万,较水平比例尺放大 20 倍。这样的倍数是许多海洋剖面图和立体图常用的,实践表明其凸显的立体效果比较适宜观察和使用。

立体图的具体制作过程包括以下步骤:①在透图台上,把两张同样的底图叠在一起,让经纬线和等深线完全重合。上面一张将作为立体地貌图“草稿图”,下面一张作为“工作图”。例如画一座海底火山锥,其在地形图上呈同心圆,如:分别是-1000、-2000、-3000、-4000m 等深线构成。②将“草图”上的等深线由浅到深,按垂直比例尺,分别向下平移 1、2、3、4cm。在制作过程中可将下面的“工具图”固定,把“草稿图”向上移动。③每条等深线移至确定位置后,即用铅笔描出来。④在各条等深线移好后,在等深线新的位置上,识别海底地貌特征,用铅笔勾画出地貌体的立体轮廓,包括斜坡、陡坎、海山、海台、海沟、海槽、海盆等及其复杂的形态组合,然后涂上阴影显示立体感。绘制工作需要较强的地貌学知识、识图素养和绘画水平,应该在第③步之后,头脑中可以呈现出立体形象。另外,这也是一项耐心细致的工作,必须稳而勿乱,对复杂的形态需要反复揣摩,不断修正(图 3)。⑤绘制彩图需要在黏贴铝板的图纸上进行,图纸与工作用的底图完全一致。要把草稿上的地物精确地转绘到新的图纸上,精心彩绘完成。⑥最后交出版社拼接、照相,制版印刷,才完成了整个图件的制作过程。

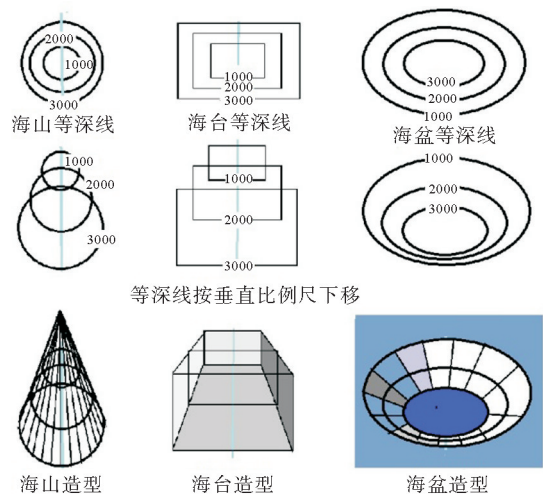


图 3 立体造型示意图

Fig.3 Three-dimensional modeling diagram

2 区域板块构造地貌概述——立体地貌图解读

根据板块构造地貌分类原则^[9-13],可以在图幅内划分 3 个一级地貌单元:板内大陆地貌单元、陆缘沟弧盆系地貌单元、洋缘沟弧盆系地貌单元。

2.1 板内大陆地貌单元

板内大陆地貌单元包括中国东部地区、朝鲜半岛与中南半岛,以及大陆在海底的自然延伸部分——大陆架^[14-16]。许多地质学家很早就指出中国东部大地构造特征。如李四光^[17]的东亚“新华夏构造系”(三个隆起带,三个沉降带);张伯声^[18]的“南北分块、东西分带”镶嵌图案;朱夏^[19-21]的 E—W 向老构造“四块、三条”(系指华北-狼林、扬子-京畿、华南-小白及印支 4 大块体及之间的 3 条结合带),新生代又叠加了 NNE 向构造,即所谓“变格”。这些论断揭示了中国东部乃至东亚地区的大地构造与地貌的关系。地貌学家王乃梁^[22]在“中国构造地貌”一文中,从槽台和板块两种学说论述了中国构造地貌的形成。

图幅之内的该单元高程为 2500~-200m,大部处于中国地形的第三阶梯,仅小的局部可见第二阶梯(云贵高原)。区内发育 NWW(或 E—W)向及 NNE(或 S—N)向的两组山地,前者如燕山、大别山、南岭,后者如千山、太行山、戴云山、武夷山、罗霄山、雪峰山等山脉。两组呈现网格状格局,平原镶嵌其中,如辽河平原、华北平原、长江中下游平原、江汉平原等。如果以大别山为界,之北多平原,兼有山

地;之南多山地,兼有小型平原。中国近海发育宽阔大陆架平原,其上发育晚更新世陆地残留地貌(如古三角洲、古河谷等),及全新世现代海洋地貌(水下三角洲、潮流沙脊等)。朝鲜半岛与中南半岛东部山脉近逼海岸,大体 N—S 走向,岸外陆架很窄。

编图区域大陆部分的大地构造“四块三条”,经历了不同的形成、演化历史,到中生代早期已经拼合为一个整体(李唐根等)^[23]。老的构造成为影响现代地貌的历史因素和物质基础,而形成现代地貌的真正动力,主要来自喜马拉雅缝合带和西太平洋俯冲带两条“锋线”。现代地貌的形成肇始于晚白垩世到中渐新世,由于印度洋板块向北靠近欧亚板块,导致特提斯洋闭合。中国西部受印度板块的挤压,促使中国东部大陆在东西向张力作用下,向太平洋方向蠕散。在这个过程中,逐渐完成了中国地势由“东高西低”,向“西高东低”的转变。晚渐新世晚期(40Ma),太平洋板块由向 N 转变为向 NWW 方向运动,使亚洲东部应力场由拉张变为挤压,蠕散活动终止。中国东部的断陷盆地,联合成更大的拗陷盆地,并被沉积物充填,形成现今广袤的平原及大陆架。早已被夷平的老的造山带,在这一时期重新崛起,成为新构造抬升山地。

2.2 陆缘沟弧盆系地貌单元

该单元呈带状分布于大陆与大洋之间,由北而南包括日本海、冲绳海槽、中国南海等三个边缘海盆,毗邻的岛弧、海沟系统及特殊的台湾岛。这里位于欧亚、太平洋两大板块俯冲边界带上,也是环太平洋火山地震带的一部分,深邃的海沟是大洋板块消减带,岛弧是新生代的年轻山脉。海盆各具特色,各自经历了不同的演化历史^[24,25]。

2.2.1 日本岛弧、日本海沟、西南海沟及日本海盆

日本岛弧在图内只有本州岛南部及四国岛、九州岛。日本岛弧多火山地震。南侧的岛坡上发育宽浅的海槽(舟状盆地),如日向海槽、熊野海槽等,水深-1000~-3000m,在构造上属于弧前脊和弧前盆地。

日本岛弧外侧有两条海沟,日本海沟位于本州岛东侧,已位于图幅之外。西南海沟位于本州、四国岛南侧的菲律宾海北部,由于被浊流沉积填满,深度不足-5000m,通常被称为“西南海槽”。

日本海海盆包括3个次海盆。北部的日本次海盆,深度大于-3000m,由于海洋沉积作用,深海平原十分平坦,底部出现了中新世的玄武岩洋壳。南部的大和次海盆与对马次海盆面积较小,深度

-2000m左右,深海平原上孤耸一些海山,底部是减薄的大陆壳。

通常认为日本岛弧原来是拼贴在欧亚大陆边缘的块体,三个海盆是裂隙基础上逐步扩张形成的,渐新世后期—中新世早期由于太平洋板块向大陆俯冲,岛弧与大陆分离^[26]。海盆周围的大陆坡比较发育,其中包括大和海台、隐岐海台、朝鲜海台顶面水深几百米到-1000多米。它们是海盆扩张时被拖入海中的大陆碎块,成因与大洋中的海台不同,被称之为“陆坡海台”。

2.2.2 琉球弧、琉球海沟及冲绳海槽

琉球弧位于我国东海东侧,出露海面的岛屿较小,宫古岛附近有岛架发育。岛弧洋侧发育深水阶地(-1000~-2000m),也是由弧前脊和弧前盆地构造被沉积物充填而成(图4)。



图4 《中国海区及邻域地貌图》之局部——东海
可看到大陆架、海盆、岛弧、岛弧外侧的深水阶地及海沟

Fig.4 East China Sea——part of the Geomorphologic Map of China Seas and Adjacent Regions

琉球海沟长约1250km,平均宽度60km,深度超过-6000m,最深点-7854m,横剖面呈V型。琉球海沟在菲律宾板块俯冲过程中不断朝向大洋方向后退,最近一次后退从上新世2Ma开始^[27]。

冲绳海槽是西北太平洋边缘最年轻的弧后盆地,规模很小,略呈弧形,长约1040km,宽120km,北浅南深,南部沿轴向发育一条堑槽,最深点超过-2300m。冲绳海槽开始出现于中—晚中新世^[28]。海槽地壳属减薄的陆壳,其厚度从北部九州附近的27~30km,往南至台湾附近较薄至15km以下,未发现真正的洋壳^[29],也有人认为冲绳海槽是大陆裂谷阶段,至今还没达到弧后盆地阶段。冲绳海槽第一次拉张在晚中新世—早更新世^[30]。琉球弧火山

地震活动频繁,弧后盆地扩张活动至今仍在进行。

2.2.3 台湾岛

台湾岛是一个特殊的岛弧,外侧无海沟,内侧无海盆。中央山脉纵贯南北,主峰玉山海拔 3997m,是我国东部最高峰,东侧还有海岸山脉。两条平行的山脉之间是一条谷地——台湾纵谷,是欧亚与太平洋两大板块的缝合线。早中新世末菲律宾吕宋岛弧向北移动,并反时针旋转 70°,最后北部与台湾岛发生碰撞,形成台湾中央山脉、海岸山脉和台湾纵谷^[31]。

2.2.4 吕宋弧、菲律宾海沟、吕宋海沟及南海海盆

菲律宾弧上岛屿众多,有火山 200 多座,其中活火山 21 座。在吕宋岛西侧岛坡上发育西吕宋海槽,是构造上的弧前盆地。在吕宋岛与台湾岛之间有两条平行的海脊,成为南海与太平洋之间的“海槛”。

菲律宾岛弧东西两侧出现双海沟对冲的局面。东面的菲律宾海沟呈 NNW 向伸延,平均宽度 60km,长 1400km,深度大于-8000m,最深点-10497m,是世界上最深的海沟之一。菲律宾弧北段吕宋岛西侧有马尼拉海沟,它位于南海边缘海之内,长约 350km,宽 40km,最深点仅-5245m。

南海海盆可分 2 个部分,西南次海盆朝 NE 向呈喇叭状,中间有一个断续的凹槽,两侧有海山丘分布,是海底扩张轴残留地貌。中央次海盆位于南海中部偏东,深海平原发育,在 15°~16°N 有个海山带,也是扩张轴残留地貌,其中黄岩岛海山露出海面。上述两条扩张轴两侧都发现了磁条带。海盆周围的大陆坡除简单斜坡外,还包括东沙、西沙、中沙、南沙 4 个海台,它们都由陆块组成。南沙海台最大,长约 500km,宽 400km,顶面水深-1400~-2000m,呈 NE 向展布。海盆扩张过程中,4 个块体逐渐分离,在中新世广泛海侵后逐渐沉入海底变成“陆坡海台”。随后海台逐渐沉降,其上珊瑚礁逐渐堆积,成为高出海面附近,发育现代环礁、堡礁 230 多座,其中岛屿 25 座,成为南海诸岛,它们属于外力生物地貌^[32]。

南海海盆并非弧后盆地。渐新世—中新世由于印度板块与欧亚大陆碰撞,华南大陆边缘在引张力作用下,使南海海盆拉开。晚白垩世到早古新世,南海开始陆缘第一次扩张,形成西南次海盆,出现了玄武岩洋壳。晚渐新世到早中新世,南海发生第二次扩张,形成中央次海盆^[33]。早中新世末菲律宾岛弧向北移动,并反时针旋转 70°,最后北部与台湾发生碰撞。吕宋弧北延的海脊把南海与大洋隔开,使之成为独立的边缘海盆。南海洋壳从中新世开始向吕

宋弧俯冲,开始走向关闭消亡的道路,形成了马尼拉海沟。在南海海盆构造演化中形成了 4 种构造边缘,即北部离散、南部聚敛、东部俯冲、西部走滑^[34]。它们在地貌上对应 3 种不同的海槽,即张裂型的西沙海槽、消亡型的南沙海槽及弧前盆地型西吕宋海槽。

2.3 洋缘沟弧盆系地貌单元

该单元包括整个菲律宾海,是全球最大的边缘海。有时被看成太平洋板块的一部分,有时也被当作独立的菲律宾海小板块。它大部分由洋壳构成,这里发育洋壳对洋壳俯冲的沟弧盆地地貌^[35]。为了与“陆缘沟弧盆地地貌”区别,这里称之为“洋缘沟弧盆地地貌”。本图内只包括西菲律宾海盆、九州-帕劳海岭,及四国-帕里西维拉海盆地的一部分。在图幅以外向东还有硫磺-小笠原岛弧、马里亚纳海槽、马里亚纳弧和马里亚纳海沟。

西菲律宾海盆,呈水深-5000~-6000m,北部有大东海岭、冲大东海岭,它们呈 NW—SE 走向,地壳性质尚不明确。在 15°~18°N 有一条 NW—SE 向狭窄的长条形沟槽,长 240km,宽约 20km,相对深度数百米,两侧耸立着海岭。根据海底磁条带资料,被认为是小型洋脊,扩张时间是 45~30Ma。在海盆西部还有 3 个海台,其中最大的是贝纳姆海台,台面水深-2000~-3000m,相对洋底高 2000~3000m,它们的地壳性质、成因亦不明确。九州-帕劳海岭大体 NS 走向,并呈弧形向东突出,海岭由许多海山组成。西菲律宾海在琉球海沟、菲律宾海沟向西对欧亚大陆俯冲。

原来的菲律宾海是太平洋的一部分,渐新世(45~35Ma)沿着南北向转换断层发生第一次俯冲,才出现西菲律宾海盆和九州-帕劳弧(海岭)。中新世(30~13Ma)太平洋板块第二次俯冲,将九州-帕劳弧从中拉开,即“岛弧分裂”,随着出现四国-帕里西维拉海盆和伊豆-小笠原海岭及马里亚纳海沟,九州-帕劳海岭则成为两个海盆之间的残留弧。

3 问题与讨论

3.1 图种名称问题

该图 1992 年由地质出版社出版时,缩为 1:500 万,图名用“地貌图”;1993,由科学出版社出版时,比例尺缩为 1:850 万,改称“地势图”。2006 年

海洋出版社作为一部专著的插图出版时,又易名“地貌景观图”。目前,这类图还被称为“3D地形图”、“立体地形图”等。可见,图种名称至今尚未统一。本文使用“立体地貌图”,似乎容易与“地貌类型图”混淆。“地貌类型图”也简称“地貌图”,是地貌学科的传统专业图种,主要表示地貌类型及分布规律,已经具有完整的制图理论、方法和规范。“地势图”是地形图的一种,主要是分层设色表示地势高低。显然,这里讨论的图件与传统的地势图、地貌图也都存在一定差异。可以设想,语言或者术语都是随事物发展而发生变化的,只要给予“立体地貌图”明确定义和规范,科学界也会逐步将图种和名称统一起来。

3.2 立体地貌图的定位

地形图、地貌类型图、立体地貌图都是表现地表形态的图件,三者形式不同、用途不同。地形图具有严格数学基础和技术方法,是工程勘察的重要依据,是工程建设、地质勘察等行业使用的基础性图件。地貌类型图,简称地貌图,是按地貌体级别,标明其成因类型及形态,是研究地貌形成规律的成果性图件。立体地貌图也是地景画,给人直观视觉效果,既可以作为两者的辅助图件,也可以做为一种科普性的工具,帮助人们理解一些宏大的(如全国的、大区域的)、复杂的(如喀斯特洞穴的)、难以观察的(如海底的)地貌特征。

3.3 立体造型的形变

深海部分的立体造型法,与普通绘画的“焦点透视”、“散点透视”的造型皆不相同,不存在“近大远小”及“平行线聚焦”现象。显然,该图受地图投影与3D构图两个坐标体系控制,其变形更为复杂,但却是几何学上正常而不可避免的现象。这里不作定量分析,仅仅作一些定性判断。该法产生的形变与垂直比例尺扩大倍数有关,与地貌体的延伸方向与y轴夹角有关。由于垂直比例尺放大,与实际相比海山变得更加高耸,大陆坡更加陡峭,海沟、海盆更加深邃。正向地貌体(如海山、海台)的北坡在图面上的宽度变窄,甚至被遮挡,南坡在图面上的宽度放大;负向地貌(如海盆、海沟)则北坡宽度放大,南坡缩短甚至被掩盖,这在中国南海的南、北两个大陆坡对比中看得非常明显(图5)。大陆坡在E—W走向时,在图面上的宽度变为最大,N—S走向宽度不变,NE—SW走向变化居中。

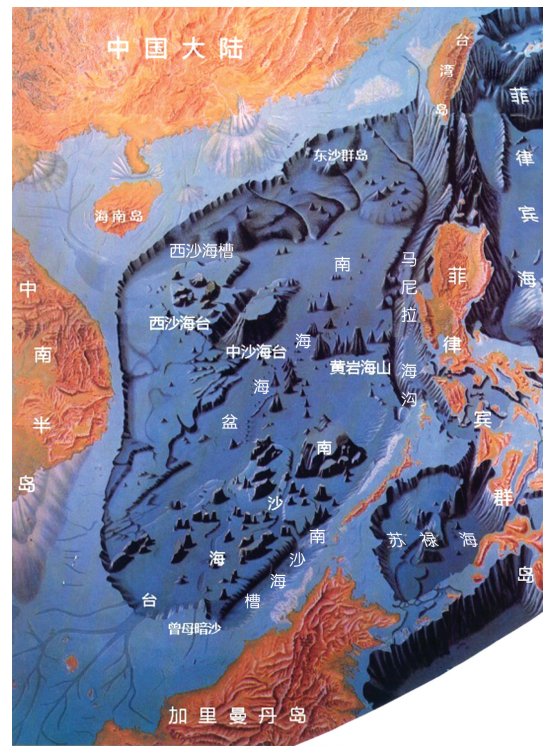


图5 《中国海区及邻域地貌图》之局部——南海

Fig.5 South China Sea——part of the Geomorphologic Map of China Seas and Adjacent Regions

3.4 图面用色问题

该图用色的原则也是地图学与绘画艺术两者兼顾。虽然该图是彩色地景画,但并非人们观察到的实景,其颜色仅是人们脑子里的“观念色”。本图用色采用了地图的海陆分明的传统画法。海底部分一律使用蓝色,掺和白色、灰色色调,以此表现海底地貌造型和体现立体感。陆地使用棕、黄、绿色,使海洋与陆地两大地貌单元的颜色构成截然对比,给人以壮观、震撼的美感。近年来,一些海底立体地貌图也开始使用和陆地一样的斑杂颜色,使人感到海陆混杂,光怪陆离,其效果是值得推敲的。遗憾的是,本次绘制的立体地貌图,由于时间久远,多次复制,一些颜色已经失真,如平原的绿色几乎消失,难以还原最初的面貌。

3.5 扩大信息量问题

该图既是一张地图-地景画,所负载的信息量必然受到一定程度的限制。如何扩大图面地貌科学信息,仍然具有可以发掘的空间。在原图制作上,突出了一些重要构造线,如郯庐断裂的地貌特征就比较清晰;为了表现某些重要岩性地貌,在华南喀斯特地貌区加蓝灰色调,在中生代红层盆地(现称丹霞地

貌)增加红色调,在珊瑚礁体上画出红色珊瑚符号,使其明显区别于老的基岩海台。这些做法都收到很好的效果,但因为正式出版时缩小太多,无法显现这些细节内容了。

4 结语

1986—1990年,原地矿部启动《中国海区及邻域地质地球物理系列图》工程,刘光鼎院士任主编,地貌图被列为9个图种之一。刘锡清、孙家淦任图集编委会委员、地貌组组长。编制地貌图的首要问题是地貌分类问题。当时,国内、外地貌分类方案多达几十种,大体归为以外力为主和以内力为主的两大类。我国地貌图传统上采用以外力为主的地貌分类^[36],国际上当时刚出版不久的欧洲国际地貌图,是以槽台说为依据的构造地貌分类^[37-39]。系列图确定了“以板块理论为指导思想”,恰好为编制“板块构造地貌分类方案”及“板块构造地貌图”提供了一个创新平台。经过几年多方努力顺利完成了这项任务,图件和文字成果都已出版发表,并在学术界产生了重要影响。

然而,“中国海区及邻域地貌图”(立体)的编制却发端偶然,历经更多困难。开始的总设计书并无此项任务,在工程进行过半时,系列图副主编何廉生先生以“立体图才是当今国际地貌图的主流”(假命题)为缘由,提出以“立体地貌图”取代“地貌类型图”的动议,并展示了一幅已经编好的中国海区的立体地貌图样稿。地貌组在这种情况下,为保证继续完成地貌类型图,同意增加立体地貌图。

此后,地貌组大部分同志以不擅绘画为由未参与这项工作。课题组尝试联系北京两家专业制图单位,但因制图方法和经费预算差距甚大而无果。最后,只有笔者自己承担了立体地貌图的设计和绘制任务。通过参考美国、日本和苏联的一些海底立体地貌图,大约用2年多时间手绘完成立体地貌图铅笔草稿。最后阶段的彩绘工作,承包给孔祥瑞先生,其精湛的彩绘技艺,为立体地貌图最后成功提供了保障。

“立体地貌图”出版后,被《中国国家地理》杂志^[40](1998)、国家海洋局《中国海洋政策图集》^[41](2001)以及其他许多专著、科普作品引用;央视关于国家海洋权益的节目也选用了该图;此图还经常出现在图书封面、会议资料袋及展览图板上,由此得到广泛传播。2009年,为庆祝中国地理学会建会百年,该会与《国家地理杂志》共同策划,“评选我国地

理科学百年重大事件”活动,该项地貌编图成果也出现在“入围榜单”之中^[42]。

立体地貌图问世后,作者觉得毕竟是仓促之作,不知学术界反映如何,没有及时撰写论文,后来也就时过境迁了。近几年戴勤奋研究员曾多次询问该图设计与制作过程,并建议撰写论文。之后她在微博上发表了“从《中国海区及邻域立体地貌图》说起”^[43]一文,介绍了该图与美国两代海底立体地貌图的一般情况。目前,我国海域立体地貌图编制项目仍然方兴未艾,通过梳理该立体地貌图的设计与编制实践,对于提供学术讨论,启迪立体地貌图的制作思路,仍然具有理论意义和应用价值。我们深信在计算机与大数据时代,在数据噪声处理、地貌成因显示、艺术加工等方面的进步,可能会绘出更加令人满意的海底立体地貌图。

致谢:在该图编制过程中,时任地矿部海洋地质研究所所长何起祥教授,给予了热情的关怀和指导。同事马道修、周青伟也多次到彩绘现场观摩指正。项目办公室主任王学言,为工作部署、协调彩绘业务给予很大帮助。这里谨对上述诸位同志表示衷心感谢。同时,对刘光鼎院士、孔祥瑞先生表示深切缅怀。

参考文献 (References)

- [1] 刘锡清.中国海区及邻域地貌图(1:500万)[C]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理系列图.北京:地质出版社,1992. [LIU Xiqing. Geomorphologic map of China Sea and adjacent regions(1:5 million)[C]//LIU Guangding. Geological and Geophysics Series Map of China Sea and Adjacent Regions. Geological Press, Beijing, 1992.]
- [2] 刘锡清.地势图(1:850万)[C]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理图集.北京:科学出版社,1993. [LIU Xiqing. Earth map of China Sea and adjacent regions(1:850 0000)[C]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Atlas of China Sea and Adjacent Regions. Science Press, Beijing, 1993.]
- [3] 薛万俊.南海地貌图及说明书[C]//何廉生、陈邦彦.南海地质地球物理图集.广州:广东省地图出版社,1987. [XUE Wanjuan. South China Sea landscape map and instruction[C]//Chief Editor HE Liansheng, CHEN Bangyan. Geoscience and Geophysical Atlas of South China Sea. Guangdong Map Publishing House, Guangzhou, 1987.]
- [4] 李吉君.中国海底地势图[C]//中华人民共和国地貌图集.北京:科学出版社,2009. [LI Jijun. Chinese submarine terrain map [C]// Landscape Atlas of People's Republic of China. Science Press, Beijing, 2009.]
- [5] 朱本铎,关永贤,等.南海三维地形图(1:200万)[C]//广州海

- 洋地质调查局.南海地质地球物理图系.天津:中国航海图书出版社,2015.[ZHU Benduo, GUAN Yongxian, et al.South China Sea Geological and Geophysical Atlas(1:2000000).China Maritime Book Publishing House, Tianjin,2015.]
- [6] 茂木昭夫.日本近海海底地形誌—海底俯瞰図集[C].东京大学出版会,1977.[Mogi Akio.Japan Offshore Submarine Terrain Journal—submarine Overlooking the Set[C].University of Tokyo Publishing House,1977.]
- [7] 丛鸿文,孙家淞,鲍才旺.中国海区及邻域地形图(1:500万)[C]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理系列图.北京:地质出版社,1992.[CONG Hongwen, SUN Jiasong, BAO Caiwang.Topographic maps(1:5000000)[C]//LIU Guangding.Geological and Geophysical Series Map of China Sea and Adjacent Regions.Geological Press,Beijing,1992.]
- [8] 刘锡清,孙家淞,鲍才旺,等.1:850万中国海区及邻域地貌类型图[C]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理图集.北京:科学出版社,1993.[LIU Xiqing, SUN Jiasong, BAO Caiwang, et al. Geomorphologic type map of China Sea and adjacent regions(1:8500000)[C]//LIU Guangding.Geological and Geophysical Atlas of China Sea and Adjacent Regions. Science Press,Beijing,1993.]
- [9] 刘锡清,板块构造地貌分类尝试——以中国海区及邻域为例[J].海洋地质动态,1989(7):4-6.[LIU Xiqing. An attempt to plate tectonic geomorphology classification,Take China Sea area and adjacent regions as an example[J].Marine Geological Newsletter, 1989(7):4-6.]
- [10] 刘锡清.中国海区及邻域地貌图概述[J].海洋地质动态,1990(3):4-6.[LIU Xiqing. Summary of geomorphologic type map of China sea and adjacent regions [J].Marine Geological Newsletter, 1990(3):4-6.]
- [11] 刘锡清,孙家淞.板块构造地貌分类[C]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1992:12-16.[LIU Xiqing, SUN Jiasong. Plate tectonic geomorphology classification[C]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Characteristics of China's Sea Area and Adjacent Regions. Science Press,Beijing,1992:12-16.]
- [12] 刘锡清,马道修.1:860万中国海区及邻域地貌图:板块构造地貌分类例析[J].地理学报,1996,51(3):240-250.[LIU Xiqing,MA Daoxiu.1:8600000 Geomorphologic map of China Sea and adjacent regions—Examples of plate tectonic geomorphology classification[J].Acta Geographica Sinica,1996,51(3):240-250.]
- [13] 刘锡清.海底地貌学[M]//杨子庚.海洋地质学.山东教育出版社,2002:65-92.[LIU Xiqing. Undersea geomorphology [M]//YANG Zigeng. Marine Geology. Shandong Education Publishing House,2002:65-92.]
- [14] 孙家淞,刘锡清,马道修,等.地貌特征和类型[M]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1992:17-24.[SUN Jiasong, LIU Xiqing, MA Daoxiu, et al. Geomorphological characteristics and types[M]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Characteristics of China's Sea Area and Adjacent Regions. Science Press,Beijing,1992:17-24.]
- [15] 马道修,刘锡清,陈俊仁.中国近海地貌发育及演化[M]//许东禹,刘锡清.中国近海地质.北京:地质出版社,1996:54-92.[MA Daoxiu, LIU Xiqing, CHEN Junren.Chinese offshore geomorphology development and evolution [M]//XU Dongyu, LIU Xiqing. China Offshore Geology. Geological Publishing House, Beijing,1996:54-92.]
- [16] 刘锡清,丛鸿文.地形特征[M]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1992:3-11.[LIU Xiqing, CHONG Hongwen.Topographic features[M]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Characteristics of China's Sea Area and Adjacent Regions. Science Press,Beijing,1992:3-11.]
- [17] 李四光.东亚构造格架[C]//第16届国际地质学会论.1933,2:561-574.[LI Siguang.East Asian tectonic framework[C]//Excerpts from the paper of the 16th International Geological Society.1933,2:847-857.]
- [18] 张伯声.镶嵌的地壳[J].地质学报,1962,42(3):275-288.[ZHANG Bosheng.Inlaid crust[J].Geological Journal,1962,42(3):275-288.]
- [19] Zhu Xia. On the evolution of continental margins of China-By way of introduction [C]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Characteristics of China Sea and Adjacent Regions.Science Press,Beijing,1992.]
- [20] 朱夏.中国东部板块内部盆地形成机制的初步探讨[J].石油实验地质,1979,00:1-9.[ZHU Xia. A preliminary discussion on the formation mechanism of inner plate basin in Eastern China [J].Petroleum Experimental Geology,1979,00:1-9.]
- [21] 朱夏,陈焕疆.中国大陆边缘构造和盆地演化[J].石油实验地质,1982,4(3):153-160,219.[ZHU Xia. CHEN Huanjiang.Chinese mainland marginal structure and basin evolution [J].Petroleum Experimental Geology,1982,4(3):153-160,219.]
- [22] 王乃梁.中国构造地貌[M]//中国科学院中国自然地理编委会.中国自然地理(地貌).北京:科学出版社,1980:11-61.[WANG Nailiang.Chinese tectonic landforms[M]//Editorial Board of China Natural Geography, Chinese Academy of Sciences.China Natural Geography (landform). Science Press, Beijing, 1980:11-61.]
- [23] 李唐根,丘燕,姚永坚.大地构造特征[M]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1992:248-271.[LI Tanggen, QIU Yan, YAO Yongjian. The tectonic features [M]//LIU Guangding, Geological and Geophysical Characteristics of China's Sea Area and Adjacent Regions. Science Press,Beijing,1992:248-271.]
- [24] 马道修.西北太平洋大陆坡、岛坡地貌[M]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1992:25-32.[MA Daoxiu.Northwest Pacific Continental Slope and Island Slope Landscape[M]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Characteristics of China's Sea Area and adjacent regions.Science Press,Beijing,1992:25-32.]
- [25] 鲍才旺,薛万俊.南海大陆坡和中央海盆的地貌类型及特征[M]//刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1992:33-39.[BAO Caiwang, XUE Wanjun. The

- geomorphological types and characteristics of continental slopes and central sea basins in the South China Sea[M]//LIU Guangding. Geological and Geophysical Characteristics of China's Sea Area and Adjacent Regions. Science Press, Beijing, 1992:33-39.]
- [26] 李学杰,王哲,姚永坚,等.西太平洋边缘构造特征及其演化[J].中国地质,2017,44(6):1102-1114. [LI Xuejie, WANG Zhe, YAO Yongjian, et al. The tectonic features and evolution of the west Pacific margin[J]. Geology in China, 2017, 44(6): 1102-1114.]
- [27] 高祥林.琉球海沟的构造和运动特征[J].地球物理学进展,2003,18(2):293-301. [GAO Xianglin. The structure and movement characteristics of the Ryukyu Trench[J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(2): 293-301.]
- [28] Letouzey J. Okinawa Trough genesis: Structure and evolution of back-arc basin development in a continent[J]. Marine and Petroleum Geology, 1985, 2(2): 111-130.
- [29] Iwasaki T, Hirata N, Kanazawa T, et al. Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu island arc deduced from deep seismic sounding [J]. Geophysical Journal International, 1990, 102(3): 631-651.
- [30] 赵金海,唐建,王禹杰.冲绳海槽新生代构造演化讨论[J].海洋石油,2003,23(3):1-9. [ZHAO Jinhai, Tang Jian, WANG Yujie. Discussion on Cenozoic tectonic evolution of Okinawan Trough[J]. Offshore Oil, 2003, 23(3): 1-9.]
- [31] 黄镇国,张伟强,钟新基.台湾板块构造与环境演变[M].北京:海洋出版社,1995:19-95. [HUANG Zhenguo, ZHANG Weiqiang, ZHONG Xinji. Taiwan Plate Tectonics and Environmental Evolution[M]. Ocean Press, Beijing, 1995: 19-95.]
- [32] 谢以宣.我国南海诸岛的地貌特征[J].南海海洋科学集刊,1984(6):7-15. [XIE Yixuan. The geomorphological features of the islands in the South China Sea[J]. Nanhai Studia Marina Sinica, 1984(6): 7-15.]
- [33] 黄镇国.中国热带第四纪板块构造的地貌效应[J].地理科学,2004,24(3):286-291. [HUANG Zhenguo. The geomorphological effects of Quaternary plate tectonics in tropical China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(3): 286-291.]
- [34] 尹延鸿,温珍河,孙桂华,等.中国南部海区及邻域构造图编图说明书[C].北京:海洋出版社,2010:21-25. [YIN Yanhong, WEN Zhenhe, SUN Guihua, et al. Instruction of Geotectonic map of the southern China Sea area and Neighbourhood[C]. Ocean Press, Beijing, 2010:21-25.]
- [35] 张斌,李广雪,黄继峰.菲律宾海构造地貌特征[J].海洋地质与第四纪地质,2014,34(2):79-88. [ZHANG Bin, LI Guangxue, HUANG Jifeng. The tectonic geomorphology of the Philippine Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2014, 34(2): 79-88.]
- [36] 中国科学院地理研究所.中国1:100万地貌制图规范(征求意见稿)[M].北京:科学出版社,1987. [Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences ed. 1: 1000000 Geomorphological Mapping Specification (trial) [M]. Beijing: Science Press, 1987.]
- [37] Demek J, Embleton C, et al. International geomorphological map of Europe (1:2500 000). Cartography. Lithography and printing: Geodetiky a kartograficky Podnik Praha. S. P. 1976, 1988, 1989.
- [38] 尹泽生.1:250万欧洲国际地貌图评价[J].地理译报,1982(3):28-35. [YIN Zesheng. 1:2500000 European International Landscape Map Evaluation[J]. Geographic Translation, 1982(3): 28-35.]
- [39] 巴舍尼纳 H B. 250万欧洲国际地貌图图例系统[J].地理制图研究,1979,1. [Bashenina H B. Legend system of European International Landscape Map (1:2500000) [J]. Study of Geographical Mapping, 1979, 1.]
- [40] 刘锡清.直观海底形态(文/图)[J].国家地理杂志,1998(7):52-53. [LIU Xiqing. Intuitive seabed morphology (Text / Chart)[J]. CNG, 1998(7): 52-53.]
- [41] 刘锡清.渤海、黄海、东海地势图,南海地势图[C]//国家海洋局.中国海洋政策图集.中国人民解放军海军出版社,2006. [LIU Xiqing. Earth map of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea, Earth map of South China Sea Map [C]// State Oceanic Administration ed. Atlas of China's Maritime Policy. People's Liberation Army Navy Press, 2006.]
- [42] 中国地理学会,中国国家地理杂志社.中国地理百年大发现入围名单[J].中国国家地理,2009(10):175,388. [China Geographical Society, China National Geographic Magazine. The Centenary Discovery of Chinese Geography Finalists[J]. China National Geographic, 2009(10): 175, 388.]
- [43] 戴勤奋.从《中国海区及邻域立体地貌图》说起[R].WWW.docin.com.2017-2-27. [DAI Qinfen. Starting with 《The three-dimensional landscape map of China's Sea areas and neighboring regions》 [R]. WWW.docin.com. 2017-2-27.]