

# 美国海岸带综合地质调查进展及其对中国海岸带研究的启示

杜晓敏<sup>1</sup>, 周平<sup>2</sup>, 常勇<sup>3</sup>, 郑人瑞<sup>1</sup>, 夏焯<sup>1</sup>

DU Xiaomin<sup>1</sup>, ZHOU Ping<sup>2</sup>, CHANG Yong<sup>3</sup>, ZHENG Renrui<sup>1</sup>, XIA Ye<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

2. 中国地质调查局, 北京 100037;

3. 中国石油国际勘探开发有限公司, 北京 100034

1. *Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

2. *China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

3. *China National Oil and Gas Exploration and Development Co., Ltd., Beijing 100034, China*

**摘要:**美国地质调查局立足于地球系统科学专长,于1994年起领导并实施了国家海岸带和海洋地质计划(CMGP),旨在为海岸带繁荣提供地球科学信息和解决方案。CMGP统筹海陆,在实践中形成了“整合科学”的研究模式,以及“全国统筹规划,聚焦区域需求,湾区河口先导”的空间发展格局。CMGP结合问题导向和兴趣导向调整工作重点,聚焦五项科学需求:整合科学、全国统筹、地质过程、变化及灾害、生态服务,形成了相对稳定的四大研究方向。CMGP认为,海岸带问题的解决,需要向内陆扩展,向流域、山脉探寻地质作用根源,为此建立了“海岸省”的概念。借鉴美国地质调查局的经验,对中国海岸带地质研究提出四点建议:一是科学分区,二是湾区先导,三是技术创新,四是支撑修复。

**关键词:**海陆统筹;海岸省;海岸带灾害;整合科学;地球系统科学

**中图分类号:**P748 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)02/03-0414-10

**Du X M, Zhou P, Chang Y, Zheng R R, Xia Y. A review on Coastal and Marine Geology Program of U.S. Geological Survey and some suggestions on coastal studies in China. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(2/3): 414-423**

**Abstract:** U.S. Geological Survey (USGS) occupies a unique niche by providing earth sciences expertise in coastal and marine researches. Since 1994, USGS has organized and implemented the National Coastal and Marine Geology Program (CMGP) by delivering geo-sciences information and solutions. For addressing the challenges, CMGP has coordinated the marine and the land, practiced integrated sciences, and forged a research pattern that aims at establishing the national framework, focusing on regional requirements, and initiating with pilot projects in bay areas and estuaries. Facing five major scientific problems, i.e., integrated sciences, national framework, geological processes, changes and hazards, and ecosystem services, in the coastal and marine research, CMGP has formed four research themes, which combine issues-driven and curiosity-driven researches. CMGP's philosophy for addressing the challenges on the air-sea-land interface is to build a concept of coastal and marine provinces by which researchers could expand the research area landward and could trace the geological processes forming drainage basin and mountains. Learned from successful operations of CMGP, the authors put forward some suggestions for coastal studies in China: considering the geological structure to divide the coastal zone, setting up pilot projects in bay and estuary areas, promoting investigation by using advanced technologies and supporting protection and restoration.

**Key words:** coordinating the marine and the land; coastal and marine provinces; coastal hazards; integrated sciences; earth system sciences

收稿日期:2019-06-25;修订日期:2019-11-10

资助项目:中国地质调查局项目《地质调查中长期发展动力与方向研究》(编号:DD20190462)和《重点区国土空间用途管制变化监测与核查》(编号:DD20190704)

作者简介:杜晓敏(1982-),男,博士,高级工程师,从事遥感地质研究。E-mail: dxiaomin@mail.cgs.gov.cn

海岸带作为地球多圈层交互带内地质作用过程最活跃、与人类生产生活最密切相关的地带,是开展综合地质调查研究,服务经济社会可持续发展的关键区域。美国地质调查局(USGS)立足于其卓越的地球系统科学专长,自 1994 年起领导并实施了国家海岸带和海洋地质计划(National Coastal and Marine Geology Plan,以下简称 CMGP)。该计划统筹海陆,聚焦于陆海交接带的重大资源环境挑战,又将研究范围向内陆、向海洋大大延伸。在实践中形成了“整合科学”的研究模式,以及“全国统筹规划,聚焦区域需求,湾区河口先导”的空间发展格局。CMGP 的发展几经波折,于 2002 年基本定型,至 2017 年已为美国应对资源环境重大挑战提供了重要的基础数据支撑和地球科学解决方案。中国海岸带也是推进生态文明建设、实施国家重大战略、开展自然资源综合管理的主战场,是探索地质工作转型升级的综合试验场。近年来,中国对海岸带地质调查的投入不断提高,在陆海相互作用、海平面变化与预测、海岸带地质灾害防治等领域取得了重要进展,编制完成了系列报告和图集,形成很多新的认识,有效服务了沿海经济区和新城新区规划建设,有力支撑了沿海地区重大工程建设、海岸带生态保护修复。但当前中国海岸带综合调查尚存在一些问题,主要有系统性不足,对地质作用过程与致灾机理研究较弱;工作分区不够科学,多以传统图幅方式实施,对河口、湾区等重点地区调查不足;对于新兴技术的应用不足,忽视长期观测和系统评估,没有构建面向决策的地质数据系统或框架。此外,聚焦区域资源环境问题不够,没有形成支撑生态修复支撑自然资源管理的科学体系。本文剖析了美国地质调查局海岸带综合调查的发展历程、科学需求、研究方向、项目格局、研究实体、分区实施框架及技术方法体系,为中国海岸带地质调查研究工作提供参考建议。

## 1 美国地质调查局海岸带研究的演变

美国是一个海洋国家,其东、西边界分别与大西洋、太平洋相接,南部濒临墨西哥湾,东北部坐落着五大湖,西北的阿拉斯加由北冰洋和太平洋环绕,在两大洋上还散布多处岛屿领土。海(湖)岸带是美国最繁荣、最具活力的地带,有超过一半的人生活在距岸线一小时车程之内(约 50 英里)<sup>[1]</sup>。此

外,近岸海域对经济亦至关重要,是重要的运输、商业和游憩资源,同时也为国家提供食物、能源和矿产,庇护着重要的动植物栖息地<sup>[2]</sup>。

然而,在这样一个关键地带,自然和人为引起的环境变化,正威胁着人们的生活质量和财产安全,给脆弱的环境带来了风险,并影响生计。在海岸带生活的人们在享受经济繁荣的同时也面临着自然灾害、水质污染、海岸侵蚀、生态退化的威胁。同时自然资源管理部门也面临着棘手的管理挑战,即如何平衡公民、政府、行业和环境间的竞争性需求。

作为美国自然资源管理部门——内政部下的科学研究机构,USGS 设立并实施了“国家海岸带和海洋地质计划”(CMGP),以期为海岸带的经济繁荣、人民福祉、生态服务、科学管理提供地球科学信息和解决方案。CMGP 在二十多年的发展历程中,从最初的信息获取和地质认识起步,逐渐向解决国家重大需求的方向迈进,涉及的学科不断整合,研究的范围不断扩展。

### 1.1 设立(1993—1997):形成地质认识支撑管理决策的模式

1993—1997 年,为保障海岸带繁荣而设立 CMGP,并对接机构重组思路,确立了从认识到决策的四大研究方向。1993 年,USGS 展开了充分的内外部论证,并于 1994 年 6 月开始实施 CMGP,将其使命设定为“通过研究、监测和评估,为国家提供客观、可信的海洋地质信息”。其研究内容包括描述海岸带和海洋地质系统,理解创造、改变和维持该系统的基础地质作用过程,开发预测性的模型以认识自然系统和人类活动的影响,提供对未来预测的能力。总体看,1994 的方案基本上以信息获取为主。

1995—1996 年,USGS 经历了生存危机和机构重组,但由于海岸带调查工作具有重要的社会意义,CMGP 得以整体保留,并聚焦于陆海交接带的问题。1996 年机构调整并入原国家生物调查局和矿业局,为 USGS 带来了实施综合调查的机遇<sup>[3-4]</sup>。CMGP 计划与 USGS 全局的战略同步进行了内部修订,以反映“实施综合调查、满足社会需求”的意图,并于 1997 年发布了 5 个新目标,即基础研究、区域研究、灾难性事件研究、长期观测、系统评估<sup>[2]</sup>。此次修订确立了 CMGP 四大研究方向,即环境质量

与保护、自然灾害和公共安全、自然资源、信息与技术<sup>[2]</sup>。这四大研究方向与社会密切相关,成为CMGP的基本研究框架,影响至今。

### 1.2 发展(1998—2006):形成综合研究和国家地方统筹模式

1998—2006年,以国家需求为导向,CMGP积极开展内外部审查,形成综合研究模式和地方统筹的空间发展格局。为进一步落实问题导向的研究模式,1998年USGS请求国家研究理事会(NRC)对CMGP进行审查,以广泛吸取科学界的新思想,力图对接机构重组后的国家需求和科学目标。

1999年NRC对CMGP提出了四方面修正建议。一是要开展广泛的跨学科综合研究,以整合各学科的专长和各部门的力量;二是要始终致力于解决三大全局性重大挑战,即建立海岸带和海洋地带的地质格架,开发国家级海岸带和海洋地质格架的知识库,以及开发基于地质格架认识基础上的预测能力;三是要精准对接区域需求,并按照美国陆海交接带多样的地质特征和生态环境,划分八大海岸省(后将东海岸三分,扩展为十大海岸省),针对差异化的资源环境需求,进行更区域化、本地化的研究;四是形成全国地质格架,要持续汇聚各区域的评估成果,构建国家级的陆海交接带地质框架<sup>[5]</sup>。

2001年,国会众议院拨款委员会审议了CMGP未来的研究方向和科学优先事项,指示USGS“要启动程序,在局内开展综合性、多学科的海岸带计划”<sup>[6]</sup>,并进一步指示“要在东南部地区开展海岸带试点项目,制定研究议程,解决该地区面临的最关键问题”<sup>[7]</sup>。为此USGS在佛罗里达州的坦帕湾设立了先导项目,并提出了多学科综合研究的模式。

从2002年起,CMGP根据NRC的建议和国会的指示进行适度调整,形成了“问题导向、综合调查、面向决策”的综合研究模式;在坚持原有任务方向的基础上,陆续构建了“全国统筹规划、聚焦区域需求、湾区河口先导”的空间格局,该研究模式和空间格局一直延续至今,成为CMGP项目设置的指导思想<sup>[8]</sup>。

此后CMGP在1997年四大研究方向的基础上进行了相应调整。其中1997年的“环境质量和保护”改为了“认识海岸带变化”,更加突出对地球系统本身的认识;将“信息与技术”升级为“海岸带与

海洋生态系统科学”,突出以科学问题引领信息化建设,通过为地球系统科学研究提供可信数据基础,更好地服务于决策支撑型科研。

### 1.3 优化(2007至今):形成服务“缓建自然灾害”的研究模式

2007年至今,以服务“自然灾害”使命为己任,顺应业务整合和预算改革的需求,CMGP进行适度优化和调整。2007年,USGS发布新的十年科学战略——《直面明日挑战》,列出了国家面临的六大主要科学问题。CMGP主要服务于“自然灾害”相关科学问题的解决<sup>[9]</sup>。

2011年,USGS为落实问题导向的理念,进行了项目预算和业务结构的改革,设立了七大科学使命。CMGP被列为“自然灾害”科学使命的重要研究内容,同时也服务于其他科学使命,其四大研究方向和项目格局被保留,并得到了进一步加强<sup>[10]</sup>。

截至2017年,CMGP形成了相对稳定的四大研究方向:一是认识海岸变化,二是地质灾害与灾难事件,三是美国所需的海洋资源,四是海岸与海洋生态系统科学。该计划以填图、数据、分析、模拟技术为支撑,在三大海岸与海洋科学中心展开了多达47项综合研究项目<sup>[11]</sup>。

2018财年,在“自然灾害”科学使命内,USGS建议将CMGP的名称改为“海岸带/海洋灾害和资源计划”(CMHRP),不涉及项目结构和资金的更改,但建议加强地质灾害、大陆架确认和天然气水合物研究<sup>[12]</sup>,其工作呈现出向海域、能源领域倾斜,反映出与“美国优先”国策的对接。

## 2 CMGP的项目和机构格局

USGS全面征求利益相关者的意见,制定了四大研究方向,并依靠三大海岸与海洋科学中心合力推进。

### 2.1 四大研究方向

CMGP依据以上科学需求,统筹长期挑战和近期迫切需求,逐步确立了四大研究方向,且根据需求变化、技术进步进行了适当调整。总体上以问题为导向,但为了避免过分强调问题驱动,过度关注近期问题,也精心挑选了基础科学问题,开展兴趣驱动研究,以使CMGP保持灵活性,适应国家和地区对科学信息需求的意外变化<sup>[5]</sup>。

因此其科学研究方向和项目设置并非机械化



地分解重大挑战,而是结合重大需求和研究机构的科学专长而设,既保证重大成果的形成,又给予机构和个人近期回报。经过二十多年演化,CMGP 形成了相对稳定的四大科学研究方向。

#### (1) 海岸带变化的系统性认识

致力于研究、记录、评估和模拟海岸带的变化、风险及脆弱性。内容包括海岸线变化历史、沿海区域的地质结构与历史、泥沙供应和运输、海平面上升,以及极端风暴事件对海岸带变化的影响程度及速率。

#### (2) 地质灾害与灾难事件

研究海岸带和海底灾害事件的分布和潜在威胁,包括地震、海底滑坡及可能诱发的海啸;研究与飓风、极端风暴和海平面上升有关的沿海洪灾;研究石油和天然气泄漏;结合模型开发,评估并预测海岸带灾害发生的概率和情况。

#### (3) 美国所需的各类海洋资源

通过地质填图、采样等多种手段,开展近海能源资源的地质背景和形成过程的研究,为开发和利用自然资源(天然气水合物、海上风能、潮汐和洋流、稀土元素沉积物,以及建筑用和支持海滩营养的砂石沉积物)提供信息。

#### (4) 海岸带与海洋生态系统科学

应用 USGS 汇集的多学科专业知识,着力开发各种工具和模型,以增进对健康生态系统功能的了解,并探究它们如何对环境变化和人类影响作出响应,以及区域生态系统的修复。其研究报告涉及珊瑚礁、沿海湿地、底栖生境和地下水资源。

当前 CMGP 的 47 项研究项目依据以上四大研究方向而设,大部分为综合类项目。这些项目并不拘泥于某个研究方向,多数项目跨越了学科和研究方向的边界,国家级的研究也包含区域级的研究,在科学探索的同时也与应用科学研究相结合<sup>[11]</sup>。

### 2.2 三大科学中心

为围绕以上研究方向实施项目,CMGP 主要依靠分布于美国西、南、东海岸的三大海岸与海洋科学中心,进行跨学科综合研究予以推进;以区域级研究推进国家级研究,以应用型研究促进科学问题解决。三大中心分别是太平洋海岸与海洋科学中心、圣彼得斯堡海岸与海洋科学中心和伍兹霍尔海岸与海洋科学中心。

#### (1) 太平洋海岸与海洋科学中心

位于加利福尼亚州的圣克鲁兹和门洛帕克两

地,目前有 127 名工作人员,包括 1 位主任、2 位副主任。主要负责美国的华盛顿州、俄勒冈州、加利福尼亚州、阿拉斯加州、夏威夷州和其他美国太平洋岛屿及水道的跨学科海岸带和海洋科学研究。研究领域主要有海岸带地质过程、含水层、风暴、气候变化、生物栖息地、珊瑚礁生态、全球海洋资源及海洋法、海底地形、地震、海啸等<sup>[13]</sup>。

#### (2) 圣彼得斯堡海岸与海洋科学中心

位于佛罗里达州的圣彼得斯堡(St. Petersburg),目前有 114 名工作人员,包括 1 位主任、3 位副主任。主要在墨西哥湾沿岸的德克萨斯州、路易斯安那州、密西西比州、阿拉巴马州、佛罗里达州、维京群岛等地开展研究。该中心曾被 USGS 指定为整合科学的中心,以探索跨学科整合研究模式,也是多家联邦、州、大学海洋研究的联合办公中心。研究领域主要有飓风影响、海岸线变化、障壁岛演化、海岸带遥感、气候变化和海平面上升、珊瑚礁生态、海水酸化、能源资源、渔业资源等<sup>[14]</sup>。

#### (3) 伍兹霍尔海岸与海洋科学中心

位于马萨诸塞州的伍兹霍尔,约 115 名工作人员,包括 1 位主任和 1 位行政主管。主要在美国东海岸各州海岸及毗邻海域开展研究工作,并兼顾墨西哥湾海岸及部分加勒比海和五大湖区的研究工作。其研究领域主要有飓风影响、东海岸系列河口的地质过程、海平面上升、海底制图、砂石资源、天然气水合物资源、岸线侵蚀、国家公园及港口调查、冰川研究,甚至中东死海的研究<sup>[15]</sup>。

### 3 USGS 海岸带地质调查的经验及特点

USGS 抓住了自身长期积淀的地球科学核心优势,组织海岸带和海洋地质研究。坚持需求和问题导向调整工作重点,通过科学决策解决管理和科研制度障碍,建立“海岸省”,扩展了海岸带研究的空间范围,并面向差异化的区域需求,在湾区和河口设立先导项目推进,通过先进的技术体系促进创新。

#### 3.1 坚持需求和问题导向调整工作重点

CMGP 的一大特点,就是坚持需求和问题导向不变,进行工作重点调整。CMGP 通过广泛征集各方意见,总结出美国海岸带地质调查的五方面科学需求。一是建立综合研究体系,即迫切需要构建一套综合、系统的、能够覆盖全域、可进行长期监测并

支持预测的科学研究框架。二是构建全国性认识,最终形成全国性的海岸带和海洋地质格架认识。三是理解地质作用过程,理解以水和沉积物为主导因素的陆海交接带主要地质作用过程,服务于岸线变化和富营养化管理。四是认识变化与灾害,即系统研究自然灾害、环境变化及导致的生态问题,以适应变化、缓解影响。五是评价生态服务,实现对自然资源价值和生态服务的综合评价,使其价值最大化<sup>[5]</sup>。

#### (1) 建立综合的科学研究框架

作为一个国家级科学研究机构,USGS 保持生存并发挥效用的最大挑战,就是将孤立的学科整合起来,解决综合性的科学问题;利用地球系统的方法,理解陆海交接带的地质作用过程;形成全球、国家、区域尺度上对海岸带和海洋领土的全面认识;进行长期的调查、监测、分析以形成环境变化的时间序列;通过全局性的数据和认识,形成对科学和管理问题的预测能力。

#### (2) 形成全国层面的重大知识库

USGS 是联邦机构,不受地方财政拨款的约束,具有解决全国性问题的优势。因此需要其发挥领导角色,统领全国,协调联邦与地方关系,整合利益相关者关切,并对优先调查监测项目进行筛选、优化和排序。通过全国性的统筹,建立海岸带和海洋环境研究的大格局,持续收集区域层面形成的地质学、海洋学、地球物理学、化学等多学科数据,以期形成全国陆海交接带调查成果的总体覆盖和国家级知识库。

#### (3) 理解陆海交接带的主要地质过程

研究陆海交接带的地质作用过程,最重要的是要抓住水和沉积物这两大主动要素。

对于水,主要解决两大问题:地下咸水入侵和沿海生态系统富营养化。一方面需要加强从大陆架到海洋的水文学研究,认识海岸带淡水含水层的排放、改变、污染、缩减等问题,以及对生态系统的影响。另一方面要总结不同地貌类型和地质作用过程的富营养化模式,评估悬浮泥沙的作用,加强监测减少氮和磷负荷,针对各沿海生态系统的易感性差异,开发出有效的富营养化控制策略。

对于沉积物,主要解决海岸线变化和泥沙动力学两方面的问题。一方面要更新陆军工程兵完成的海岸线评估,通过对近海岸底部构造和近海特征的高分辨率制图,以彻底将海上过程与岸线变化联系起

来,并进一步研究区域沉积物收支平衡。另一方面要了解河口、湾区、沿海海洋中沉积物和污染物运输的规律及动态,并对其运移、发展、归宿进行预测。

#### (4) 提高应对环境变化及生态灾害的能力

海岸带和海洋对全球气候、环境变化极为敏感,且常遭受各类自然灾害的威胁,因此要在这一地带积极开展应对变化和灾害的科学研究,为主动适应、减轻威胁或积极干预提供支持。需要重点关注的研究方向:一是对污染(或毒化)环境的研究,包括废物处置和整治,以及对其分布、运输、毁灭和污染影响的评估;二是对生物多样性的研究及保护,包括生产力下降、生境扰动、栖息地保护等;三是提高应对全球气候、环境变化的认识和响应能力,主要针对海水入侵、海平面上升(或海岸地面下沉)导致的湿地丧失和对沿海社区的影响;四是对缓解海岸带地质灾害的研究,主要问题有火山喷发、地震及诱发的海啸、飓风和冬季风暴、大陆架和海底滑坡、岸线侵蚀、沿海地区建筑稳定性等。

#### (5) 开展资源价值和生态服务能力的评价

海岸带和近岸海域为美国经济繁荣提供了物质和空间保障,USGS 要对该地带的各类自然资源、环境和生态服务能力进行综合评估;需着重开展的研究:一是确定美国专属经济区的矿产资源潜力;二是识别和评估基本鱼类栖息地,将海底环境与栖息地联系起来,确定潜在的渔业影响,并制定节约和增产方案;三是形成海岸带及海洋生态服务评价,如自然环境状况基底、生物资源分布、丰度和健康状况、人类活动影响等。

### 3.2 科学决策解决管理和科研制度障碍

CMGP 的执行过程中着力解决管理和科研机制上的障碍,以调动各方积极性。通过广泛收集管理障碍和科研制度障碍,对症下药进行机构改进和项目调整。CMGP 总结的管理障碍主要有:地方保护主义、官僚主义、程序主义、联邦机构间部门分割和职能重叠、缺乏信任等;科研制度障碍主要是缺乏激励机制,尤其是对问题导向型工作的激励。相应的改进措施有:确立自身的科学和技术优势,加强领导地位,与各州、联邦机构设立合作项目,协调机构间的力量;改变论文导向的绩效评价和激励机制,确立由联邦政府机构主抓问题导向研究,而由大学开展兴趣驱动研究,并弥补联邦机构的不足。

CMGP 计划的健康运行还得益于专门成立的“项



目学术审查委员会”,提供科学的审查、意见和建议,以确定有限资源的最佳投入方向和新的业务增长点<sup>[5]</sup>。

### 3.3 立足于地质框架提出解决方案

USGS 依托卓越的地球科学能力,领导全国海岸带和海洋地质研究。以自身的地球系统科学优势、数据优势、技术实力和合作氛围,组织美国的海岸带和海洋地质研究,设立了 CMGP 计划,在数据资产、组织架构、学科专长、整合能力、项目实施和技术手段六方面体现了机构的实力。一是 CMGP 拥有独一无二的海岸带和海底数据,并具有向多个联邦用户提供定制科学数据产品的能力。二是 USGS 作为联邦政府唯一的地球科学研究机构,具有政治优势和国家承诺,负责向政府提供工作所需要的地球科学认识。三是具备宽广的科学专业基础,可创建多样化的团队,并与多种传统科学和应用科学保持良好的接口。四是具有综合研究的氛围和能力,习惯于跨学科工作,可将海岸带环境作为整体进行调查,模拟其地质作用过程,探究多要素间的相互作用。五是具有丰富的项目实施经验和制度保障,可进行跨区域、长周期的监测研究,也可甄别具短期价值的项目,同时可提供公正、无偏、高质量的地质数据产品和监测成果。六是先进技

术装备、建模能力、合作伙伴及良好科学声誉也为该领域的科学研究提供了保障<sup>[5]</sup>。

### 3.4 设立多个海岸省精准应对各省挑战

USGS 结合地质构造和行政区划设立多个“海岸省”,精准应对各省资源环境挑战。美国海岸带占据了世界上地质复杂程度最高的地区,包括各种各样的地质构造,几乎涵盖板块构造框架内的全部边界类型,如从俄勒冈州和华盛顿州海岸中部的洋中脊一直到波多黎各海岸的俯冲带。

CMGP 认为,要解决海岸带的问题,不能孤立地依靠狭窄的海岸带本身的研究,需要向影响海岸带的内陆区域扩展,向流域、山脉探寻影响海岸带的地质作用根源。为此 USGS 结合地质构造和行政区划,建立了“海岸省”(coastal and marine provinces)的概念,将研究空间向内陆大幅扩展。CMGP 按地质结构的差异,结合行政区划,将美国全部岸线划分为十大海岸省,使各省内的地质作用和地表过程可控制其所属的海岸带结构。

10 个海岸省沿太平洋、墨西哥湾、大西洋、大湖区、北冰洋岸线分布,各海岸省面对的资源环境问题各异,解决这些问题的优先事项也不同(图 1)。西部太平洋沿岸设两个省,地质构造活跃,主要面



图 1 综合地质结构和行政区划的美国十大海岸省

Fig. 1 Ten coastal and marine provinces of the U.S.A. by considering geological structures and administrative areas

对地震、海啸、地质灾害、侵蚀、地下水资源及流域改变问题(图1-a,b);墨西哥湾北岸设一个半省,由大河沉积主导,主要面对侵蚀和泥沙源、栖息地丧失和修复、风暴和飓风影响等问题(图1-c,d);而东部大西洋沿岸是一个被动大陆边缘,设三个半省,主要面对海岸障壁岛和河口综合体的环境问题、冬季风暴和飓风影响、侵蚀和泥沙源问题,以及生物栖息地问题(图1-d、f、g);大湖区地质结构稳定设一个省,地貌由冰川活动主导,区内工业发达,主要面对工业污染、水平面变化、侵蚀和泥沙源、入侵和滋扰物种等威胁(图1-h);阿拉斯加州设一个省,地质构造复杂、沉积环境呈强烈季节性变化,主要面对各类地质灾害和气候变化引起的生态环境问题(图1-i);夏威夷和太平洋岛屿设一个省,构造多样、火山活跃,波浪能量较高,风暴频发,主要面对各类地质灾害,尤其以火山活动为甚(图1-j)<sup>[5,8]</sup>。

### 3.5 湾区河口先导开展生态保护修复

USGS以湾区和河口综合调查为先导,应对区域资源环境问题及生态保护修复。在海岸带,河口和湾区资源环境条件优越,享有充沛的水资源和航运便利,是历史上殖民和发展的优选地区,往往形成大城市,经济发达。如切萨皮克湾、旧金山湾区(全球知名的四大湾区之一)、普吉特海湾汇聚了美国众多政治和经济中心。这些河口和湾区,人类活动频繁且持续时间较长,人与自然环境的矛盾较突出。CMGP优先在这些地区开展综合地质调查研究,以保障区域的经济繁荣和环境健康。

坦帕湾修复保护计划是USGS开展整合科学的试点项目,有效支撑了湾区的经济发展和自然资源管理<sup>[16]</sup>。美国最大河口的切萨皮克湾修复保护计划,由总统签署行政命令成为国家战略,USGS被委以重任,并主动对接国家战略,发挥了重要支撑作用<sup>[17]</sup>。旧金山湾区项目,面向经济发达地区的生态环境问题,由USGS与其他联邦、州和地方机构建立合作机制,有力支撑了保护修复<sup>[18]</sup>。此外USGS还在其他湾区和河口展开了综合调查,如普吉特湾<sup>[19]</sup>北卡罗来纳州的系列河口、哥伦比亚河流域、密西西比河三角洲、缅因湾、大湖区等。

### 3.6 依靠科技创新解决问题和促进自身发展

CMGP依托先进的技术方法体系,依靠科技创新,开展了海岸带与海洋环境综合制图工作,研究近海灾害和沉积过程,支撑生物栖息地与资源管理

和动态监测。其技术方法体系可概括为制图技术与服务、实验室分析测试手段、现场调查仪器设备、数据模拟及可视化4类(表1),共同构建了“拓宽数据获取渠道、提升分析测试质量、增强观察监测手段、面向数据综合共享”的技术促进创新体系<sup>[20]</sup>。

## 4 结论与建议

当前中国海岸带综合地质调查工作在“陆海统筹、以陆促海、以北带南”的工作方针指引下,逐步形成了“陆海并重,南北并进”的新格局,在实践中探索出了坚持需求导向、坚持陆海统筹、坚持科技引领、坚持机制创新、坚持开放协作、坚持精准服务等模式。

借鉴USGS的经验,中国海岸带地质研究工作要进一步聚焦国家和海岸带经济发展需求,兼顾基础科学问题,向影响海岸带的流域、山脉等内陆区域扩展,向海洋方向拓展。通过实施全国及区域层面的海岸带综合调查研究,使技术和数据更好地服务于自然资源管理,保障海岸带经济繁荣。建议如下。

一是科学分区,按照中国的地质格架、近岸地形、资源环境挑战,打破图幅、行政区划的限制,科学划分中国的海岸带分区,建立从全国到区域统筹调查的格局,形成“底层为空间格架数据、中间为地质与地理要素、上层为环境及人类影响状况”的多层次的数据体系,汇聚形成全国陆海交接带的地质和自然资源格架的认识。

二是湾区先导,分析中国海岸线上的湾区、河/港口的需求,选择若干试点开展综合调查和决策支撑型研究。开展流域基底研究,对生态系统进行评估,对变化及响应进行分析,解决沿海社区面对的威胁。通过湾区综合地质调查深化城市群地质调查,通过河口综合地质调查促进流域综合地质调查,支撑沿海、沿江经济带国土空间规划和自然资源管理。

三是技术助力,掌握面向海岸带和海洋的数据获取技术和实验分析技术,如激光探测和测距(Lidar)、遥感实时监测和变化检测,为海岸带合理规划、减少自然灾害服务。加强先进分析探测技术研发,提升对水和沉积物的检测能力、对城市建成区地质结构的探测能力、天然气水合物钻探分析能力、声学及地震勘探技术应用,从而增进对海岸带和海底地质状况的认识。

表 1 CMGP 技术方法体系  
Table 1 Key technologies adopted by CMGP

类别	填图技术及服务
机载激光雷达协作测量	利用机载激光雷达协同开展工作,以实现 USGS 海岸带和海洋地质的目标,即通过技术、工具、数据和制图产品及合作机会来认识海岸带和海洋环境。已成功在佛罗里达、路易斯安那、北卡罗莱纳、德克萨斯、纽约等州和维京群岛实施海岸带地形测量,并在桑迪飓风、卡特里娜飓风过后对受灾地区进行了海岸带测量
用于沿海科学的先进遥感技术	使用机载和 underwater 仪器收集的数据来表征和分类海底地物的特征,成功的应用包括利用影像量化底栖生境的复杂性,模拟海底结构的复杂性,使用荧光签名对珊瑚礁栖息地进行分类
海底及岸线测图系统	使用测深和声学后向散射技术(多波束和干涉),描绘海底地形,增进地质框架研究,并有助于绘制海底沉积相。使用侧扫声纳影像,以获得表层沉积物分布。通过地震反射系统,获得海底及海岸带地质结构,以满足广泛的科学目标;通过各种测量、影像平台进行海岸线制图,理解海岸线动态变化过程。这些技术已在加州海底测绘计划、西海岸和阿拉斯加海洋地质灾害项目、海洋地貌学项目、旧金山湾海底项目中成功应用
路易斯安那州沉积和环境数据库	该数据库作为美国地调局、州政府和其他科研机构合作的成果,整合了路易斯安那州的海量数据。内容如沉积物样品记录和分析数据、地球物理测井、光栅化成果图件、原始记录等,具备在线浏览和基于地理信息系统的空间数据处理和可视化功能
网络图件服务器	通过门户网站发布基于地理信息系统的海洋和陆域环境数据和图件。已形成三大海岸的多个基础数据集和各类专题数据集
类别	实验室分析测试手段
水中碳参数定量测定	利用先进的设备和方法测量液相样品中的碳系统参数,主要是总碱度和总碳分析。使用 Ocean Optics USB 2000 光谱仪测定总碱度,使用 UIC Model CM5014 二氧化碳库仑流量计测定淡水和海水中的总含碳量
岩心分析和描述	装备有针对沉积物岩心和其他海洋样品的分裂、描述、拍摄和分样的多种设备。可测定多项简单物理特性,如颜色、沉积物类型、视觉颗粒尺寸、含水量和强度;可利用岩心劈开机分切岩心;通过 X 射线扫描确定精细尺度的生物和物理结构;可以通过制作涂片进行显微镜分析以确定沉积物成分;利用转动轻敲振动筛进行干燥粒度分析
天然气水合物钻探分析	利用乔迪斯·决心号大洋钻探船和陆上冻土钻探平台对天然气水合物进行采样,并直接调查其形成的环境。在钻井现场,可在压力环境下进行测试,以减少回收导致的样品改变;可通过保压或液氮运输,在专门实验室测量无法在井下获得的属性;也可通过实验室制造天然气水合物样品进行模拟研究。重要的实验分析技术有保压保温技术、声波速度测定、热性能测定、溶解度测定、沉积物测量、低温扫描电子显微镜、X-射线计算机断层扫描(CT)等
岩土力学分析	专门开展海洋、河口、湖泊和陆地沉积物的力学性质研究,包括对固结性、渗透率和剪切强度特性的全自动化计算机控制测试,以及利用全岩心测试采集系统对沉积层段进行非破坏性分析,特别是在海洋沉积物和地震断层的研究中更为有效
沉积物实验室分析	装备有测试海洋沉积物基本属性的多种设备。可通过库伦计和 CHN 分析仪进行有机碳、无机碳和总碳分析。可通过地球化学分析,开展毒性测试、汞浓度测定、有孔虫鉴定、花粉计数、氮同位素分析,以及有机和无机污染物浓度测定。可测量干燥沉积物样品的伽玛辐射衰减,确定样品年龄和沉积速率,也可通过放射性同位素测量(如 Pb-210 和 Cs-137)估算沉积速率或对重金属污染的时间变化进行建模。通过生物硅分析,可研究生物硅通量,推演生态系统生产力
X 射线衍射分析	研究晶体结构的特征及确定细粒沉积物的矿物组成
类别	现场调查仪器设备
地质雷达(GPR)	利用电磁波探测地下内部结构特征,通过多层土壤波阻抗差异得到反射剖面,可用于海岸带滑坡体结构探测、大峡谷沙坝的内部结构检测等应用
多传感器整合岩心测试采集系统(MSCL)	提供全套海洋沉积物岩心或样本不同阶段的管理,以及物理化学指标的分析。包括冷冻、D 形切割、存储,自动纵波速度测量、磁化率测量、电阻率和伽马密度测量、标准颜色分配、有机物分析等



续表 1

沉积物运输 观测设施	CMGP 拥有多种仪器,用于长期测量海洋学参数(几天到一年),包括与沉积物运输和沿海环流研究有关的各种参数,如流速、方向、温度、盐度、波浪、叶绿素、浊度、压力、沉积物浓度等几十项指标,以支持海洋、沿海和河口的研究
地面三维激 光扫描	三维激光扫描可对研究现场进行高精度三维建模,提供大量点云数据以支持研究、建模、操作等,以及观察研究区域细微变化。可用于海岸线变化监测、地震引起的位移、形变等
面波谱分析 (SASW)	测量地震时地面的震动程度,并确定地面是否可能发生液化。已开发出探测土壤沉积物刚度特征的地震勘查设备 Velociraptor
类别	数据模拟和可视化
海岸变化灾 害门户网	以在线、可视化的形式展示全美国关于亚热带风暴、极端风暴、海岸变迁和海平面上升的数据和知识
视频和照片 门户网	门户网站整合并公开了数千部(幅)加利福尼亚州和马萨诸塞州沿海的海底视频和照片,以及沿墨西哥湾和大西洋中部海岸线的航拍影像
海岸和海洋 模拟	由伍兹霍尔科学中心提供基于 NetCDF 数据和 MATLAB 建模工具的波浪、海流、沉积物、赤潮等的模拟、可视化和时间序列分析
海岸风暴模 拟系统 (COSMOS)	可提前 3 天对风暴产生的水位、浪高、海岸侵蚀和洪泛灾害做出实时预测,并模拟一些历史风暴和假设场景
海—气—浪— 沉积物输送 耦合模拟系统 (COAWST)	该系统提供了一个多模型耦合的工具包,在模型间交换数据,研究海岸带变化。集成的模型有:海洋模型 ROMS、大气模型 WRF、波浪模型 SWAN,以及开发的“社区泥沙输送模型”。系统已用于北卡罗莱纳海岸变化过程项目
我们的海岸 我们的未来 项目(OCOF)	一个用户导向的合作项目,为加利福尼亚州的管理、规划人员提供在线地图和工具,以帮助理解、可视化和预测海平面上升的影响和在风暴中的脆弱性。数据产品包括:2m 分辨率的 DEM、海岸风暴模拟系统、40 种不同的海平面上升和风暴情景、旧金山湾的潮汐情景、交互式洪水制图等
海岸与海洋 地球科学数 据系统 (GMGDS)	以网页的形式提供公开数据服务,在 OGC 标准体系框架下提供数据共享。通过数据整合、可视化和分析及元数据目录数据挖掘,以 Geomapapp、Virtual Ocean 等 2D 或 3D 地图浏览工具提供相关数据的服务,包含地震、侧扫声纳、水深、重力、磁力、激光雷达等数据

四是支撑修复,采取生态服务驱动的适应性管理。即以调查和监测等方式,量化生态系统所提供的对人有价值的属性和产出,以生态服务能力为驱动机制,不断调整相关管理措施,满足利益相关者的管理需求,并支撑海岸带生态服务修复。以小区域的修复,带动区域和流域的修复。还需加强遥感和监测系统的作用,使修复得到有效评估和监督。

## 参考文献

- [1] U.S. Geological Survey. About the USGS Coastal and Marine Geology Program [EB/OL] [2018-02-20] <https://marine.usgs.gov/about.html>.
- [2] Williams, S. Jeffress. The Coastal and Marine Geology Program of the US Geological Survey [R]. U.S. Geological Survey Publication No. 108-97, 1997.
- [3] U.S. Geological Survey. Strategic plan for the U.S. Geological Survey 1996 to 2005 [R]. USGS Unnumbered Series, 1996: 1.
- [4] National Research Council. Future roles and opportunities for the US Geological Survey [M]. National Academies Press, 2001: 1.
- [5] Board, Ocean Studies, and National Research Council. Science for Decisionmaking: Coastal and Marine Geology at the US Geological Survey [M]. National Academies Press, 1999.
- [6] 106th Congress 2nd Session. Department of the Interior and Related agencies Appropriation Bill [R]. House of Representatives, Report 106-646, 2001: 47.
- [7] 107th Congress 1st Session. Department of the Interior and Related agencies Appropriation Bill [R]. House of Representatives, Report 107-103, 2002: 63-64.
- [8] U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. A Plan for a Comprehensive National Coastal Program [R]. 2002.
- [9] U.S. Geological Survey. Facing tomorrow's challenges—U. S.

Geological Survey science in the decade 2007 – 2017 [ M ]. U. S. Geological Survey Circular 1309,2007: 1–70.

[10] Holmes R R, Jr Jones L M, Eidenshink J C, et al. U. S. Geological Survey natural hazards science strategy – Promoting the safety, security, and economic well-being of the Nation[ M ]. U.S.Geological Survey Circular 1383–F,2013: 1–79 .

[11] U.S.Geological Survey. Research[ EB/OL ] [ 2018–03–14] <https://marine.usgs.gov/research/>.

[12] U. S. Geological Survey. Budget justifications and performance information, fiscal year 2018[ R ].2018.

[13] U.S.Geological Survey. Pacific Coastal and Marine Science Center [ EB/OL ] [ 2018–03–14] <https://walrus.wr.usgs.gov>.

[14] U. S. Geological Survey. St. Petersburg Coastal and Marine Science Center[ EB/OL ] [ 2018–03–14] <https://coastal.er.usgs.gov>.

[15] U. S. Geological Survey. Woods Hole Coastal and Marine Science Center[ EB/OL ] [ 2018–03–14] <https://woodshole.er.usgs.gov>.

[16] Yates K K,Greening H,Morrison G.Integrating Science and Resource Management in Tampa Bay, Florida [ M ]. U. S. Geological Survey Circular 1348,2011: 1– 280.

[17] Phillips S, Blomquist J. U. S. Geological Survey Chesapeake science strategy, 2015–2025, Informing ecosystem management of America’s largest estuary[ M ]. U.S.Geological Survey Open–File Report 2015–1162,2015: 1–43.

[18] Shouse M K,Dale A C.USGS science at work in the San Francisco Bay and Sacramento–San Joaquin Delta estuary[ M ]. US Geological Survey Publication No.2013–3037,2013.

[19] Gelfenbaum G, Fuentes T L, Duda J J, et al.Extended abstracts from the Coastal Habitats in Puget Sound(CHIPS) 2006 Workshop[ C ]// Port Townsend, Washington, November 14 – 16, 2006. U. S. Geological Survey Open–File Report 2009–1218,20101–36 .

[20] U.S.Geological Survey. Technology and Tools[ EB/OL ] [ 2018–03–14] . <https://marine.usgs.gov/technology-tools/>.

《地质通报》第 39 卷第 4 期(总第 299 期)

陕西靖边龙洲丹霞白垩纪恐龙足迹沉积环境 ..... 唐永忠等

甘肃酒泉市天仓乡早白垩世赤金堡组介形类的发现及其地质意义 ..... 杨兵等

云南盐津地区自流井组、沙溪庙组孢粉化石组合特征及意义 ..... 何平等

大兴安岭北段新巴尔虎右旗韧性剪切带的发现及其地质意义 ..... 赵胜金等

西藏雅鲁藏布江结合带东段色吾村地区白垩纪变基性岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义 ..... 王燧等

卡贡地区晚寒武世错多勤石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 ..... 樊炳良等

大兴安岭嘎仙蛇绿混杂岩中超镁铁质岩地球化学、年代学特征及其地质意义 ..... 郑吉林等

内蒙古达茂旗黄花滩铜镍矿辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学及 Hf 同位素特征 ..... 李志丹等

鄂尔多斯盆地镇泾地区延长组异常压力演化及其成藏意义 ..... 马立元等

广西大厂笼箱盖岩体黑云母花岗岩锆石裂变径迹年龄及其地质意义 ..... 吴建标等

喀斯特地区土壤微生物功能多样性对生态演替的响应——以茂兰国家自然保护区为例 ..... 喻文强等

鄂西宜昌地区寒武系常规、非常规天然气显示及勘探意义 ..... 罗胜元等

滇西保山地块金厂河铁铜铅锌多金属矿床硫铅同位素特征与成矿物质来源示踪 ..... 李振焕等

粤西连阳岩体南段 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、岩石成因及构造环境 ..... 袁永盛等

中美地球深部探测工作进展与对比 ..... 贾凌霄等