

# 我国海岸带地质调查工作回顾与展望

肖国强<sup>1,2,3</sup>, 王 福<sup>1,2,3</sup>, 印 萍<sup>4</sup>, 胡云壮<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局海岸带地质环境重点实验室, 天津 300170;

3. 华北地质科技创新中心, 天津 300170; 4. 青岛海洋地质研究所, 青岛 266237)

**摘 要:**我国先后开展了多轮海岸带调查工作,基本查明了海岸带资源环境生态状况。自1999年以来,中国地质调查局组织实施了海岸带综合地质调查工作,以海岸带经济社会发展和生态文明建设重大需求为导向,以“陆海统筹”为指导,陆续开展了渤海湾、长三角、珠三角等重点地区海岸带陆海统筹综合地质调查,大幅提高了我国海岸带地质调查工作程度,系统查明了海岸带基础地质背景、自然资源状况、典型城市地质条件、重大工程地质安全、重要生态区生态地质环境等,有效支撑了京津冀协同发展、长江三角洲一体化发展、粤港澳大湾区等国家战略的实施。本文系统回顾了我国海岸带地质调查的过程和取得的主要成果,并提出了未来海岸带地质调查的主要工作方向。

**关键词:**海岸带;陆海统筹;地质调查;回顾与展望

**中图分类号:** X141

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-0188(2022)01-0092-09

海岸带(coastal zone)是海洋和陆地相互作用的带状区域,包括海岸线向陆拓展的陆地部分和向海域延伸的近岸海域。海岸带调查范围尚无统一的界定,1980—1985年开展的全国海岸带和海涂资源综合调查,确定的海岸带范围从海岸线向陆侧延伸10 km,向海延伸至10~5 m等深线。2005年实施的我国近海海洋综合调查与评价专项,确定的海岸带调查范围为以潮间带为主,陆域自海岸线向陆延伸1 km的范围、向海延伸至海图0 m等深线。

我国海岸带涉及沿海11个省(区、市)的54个地级以上城市以及港澳台地区,集中了全国30%的大中城市、近20%的人口和35%的GDP总量,是我国城镇化程度最高、人口密度最大、经济最发达、工程建设活动最强烈的地区<sup>[1]</sup>。海岸带同时也是生态环境脆弱带,滨海湿地退化、海岸侵蚀淤积、水土污染、海水入侵等环境问题突出,红树林、珊瑚礁、海草床、动植物等生物多样性下降,地震、海啸、风暴潮、地质灾害等自然灾害频发<sup>[2]</sup>。

国际上对海岸带调查工作都十分重视。近年来,为有效解决海岸带自然资源可持续利用和日益严重的海岸带生态环境问题,国际组织和各国政府发起实施了一系列涉及海岸带的全球变化研究计划和海

洋科学技术发展计划。如“国际地圈-生物圈计划实施的海岸带陆海相互作用研究计划和第二阶段计划”,“全球海洋观测系统中的海岸模块、全球海洋生态系统动力学研究计划”等<sup>[3]</sup>。美国地调局1994年实施了综合性国家海岸计划,1999年美国国家海洋服务中心创立美国国家海岸带海洋科学中心,2020年1月美国地质调查局发布“海岸/海洋灾害及资源计划之10年战略规划(2020—2030)”等<sup>[4]</sup>,都对海岸带调查给予充分关注。

## 1 我国海岸带地质调查回顾

### 1.1 海岸带调查工作历史

我国的海岸带调查起步较晚,调查内容由早期的以资源摸底、陆域调查和浅部调查为主,到现阶段的资源环境生态并重、陆海统筹、深浅结合,海岸带研究工作从基础研究转向基础与应用并重。

1950—1970年代起步阶段。1958年9月至1960年底,国家科委海洋组组织全国60多家单位,先后在渤海、黄海、东海和南海进行了全国海洋普查,调查范围包括了中国海的大部分区域。在北纬28°以北的渤海、黄海和东海海区,进行了8个月的探索性大面调查。通过这次调查,第一次取得了中国近海一

收稿日期:2022-03-02

资助项目:中国地质调查局项目“津冀沿海资源环境承载能力调查(DD20189506)”、“黄渤海海岸带重点生态保护修复区综合地质调查(DD20211301)”

作者简介:肖国强(1964-),男,正高级工程师,从事海岸带地质调查研究,E-mail:xguoqiang@mail.cgs.gov.cn.;\*通讯作者:胡云壮(1983-),男,高级工程师,海岸带水文地质与第四纪地质调查研究,E-mail:huyunzhuang@163.com。

年以上的系统海洋资料,初步了解了中国近海海洋水文、化学、生物、地质等要素的基本特征和变化规律,出版了全国海洋综合调查报告10册和图集14册,为进一步进行海洋科学研究和开发利用海洋打下了基础<sup>[5]</sup>。

1980—2000年代发展阶段。1980—1986年我国开展了“全国海岸带和滩涂资源综合调查”(简称“全国海岸带综合调查”),这是中国首次进行的大规模海岸带综合普查。调查内容涉及海岸带水文、气象、地质、地貌、海洋化学、生物、环境保护、土壤和土地利用、植被、林业以及社会经济等<sup>[6]</sup>。提交了全国海岸带与海涂资源综合调查报告和各专业报告,以及10个沿海省(区、市)海岸带与海涂资源综合调查报告共144册,编制出版了系列图集<sup>[7]</sup>。通过这次调查,初步摸清了我国近海海洋环境状况,以及海岸带和滩涂资源数量和质量等,为海岸带和近岸水域的开发利用提供了重要基础资料。

1975—1986年开展了第一次全国海洋污染基线调查,面积达52.85万km<sup>2</sup>;1996—2002年底,开展了第二次全国海洋污染基线调查,调查范围覆盖了我国管辖海域,其中近岸区(渤海5m水深以浅水域、其他海区距岸10~20km水域)为本次基线调查的重点海区。两次海洋污染基线调查全面掌握了我国主要海域海水、沉积物、生物体等海洋环境质量状况,并编绘了《中国海洋环境质量图集》<sup>[8]</sup>。

1988年实施了第一次全国海岛资源综合调查,完成了全国约7000个岛屿的综合调查。2012年开展了第二次全国海岛资源综合调查,调查内容涉及气候、水文、海水化学、地质、地貌、土壤、植被、林业、海洋生物、环境质量、土地资源、社会经济等<sup>[9]</sup>。两次海岛资源调查,摸清了我国主要海岛基础地理、资源与环境、社会经济与文化等基本情况,为国家规划制定和海洋强国战略实施提供更详实的数据保障<sup>[10]</sup>。

21世纪初成熟阶段。2004年3月,我国近海海洋综合调查与评价专项(简称908专项)启动,包括中国近海海洋综合调查、中国近海海洋综合评价和中国“数字海洋”信息基础框架构建三大任务<sup>[11]</sup>。其中,海岸带主要调查内容包括海岸线修测调查、海岸带地貌与第四纪地质调查、岸滩地貌与冲淤动态调查、潮间带底质调查、潮间带沉积物化学调查、潮间带底栖生物调查、滨海湿地调查、海岸带植被资源调查等。基本摸清了我国近海海洋环境资源家底,更

新了我国近海海洋基础数据和图件,对海洋环境、资源及开发利用与管理等进行了综合评价,构建了我国“数字海洋”信息基础框架。结合2002—2012年开展的全国省、县两级海域勘界中完成的我国首次海岸线专门调查,首次获取了我国大陆海岸线长度和海岛数量等高精度实测数据。系统地获得了中国近海物理海洋与海洋气象、水体光学与遥感、海洋化学、海洋生物与生态、海底地形地貌、底质与悬浮体、海洋地球物理的大量基础数据。提出了有关我国海洋开发、环境保护和管理政策的系列建议,为国家宏观决策、海洋经济建设、海洋管理和海洋安全保障提供了有效的支撑和服务<sup>[12]</sup>。

2000年以来,国家海洋局和环保部开展了年度的海洋环境监测,针对我国海域海洋环境质量、海洋生态状况、主要入海污染源状况、海洋倾倒区和油气区环境状况、海洋渔业区环境质量等进行了常态化监测,并每年发布《中国海洋环境质量公报》<sup>[13]</sup>;2014年以来,对风暴潮、海浪、海冰、赤潮、绿潮、海啸等海洋灾害开展了常态化监测,并定期发布《中国海洋灾害公报》<sup>[14]</sup>。

## 1.2 海岸带综合地质调查工作回顾

自1999年国土资源大调查实施以来,中国地质调查局部署开展了区域地质调查和环渤海、长三角、粤港澳大湾区、北部湾及福建、海南海岸带综合地质调查工作,其组织实施的海洋地质保障工程中部署了海岸带地质调查工作,并组织实施了两轮环渤海地区水工环地质调查评价”,在京津冀、长江经济带、泛珠三角等工程项目中亦设置了海岸带地质调查专题。2007—2010年首次编制并出版《中国海岸带环境地质图(1/400万)》及说明书<sup>[15]</sup>,大幅提高了我国海岸带地质调查程度。其中:

海岸带(陆域)区域地质调查工作基本形成沿海省(区、市)1/25万至1/20万全覆盖、基岩区1/5万全覆盖,平原区调查完成约36%;1/25万多目标地球化学调查完成近75%。水工环地质调查已形成全海岸带区1/50万环境地质调查和1/20万水文地质调查全覆盖;完成环渤海、东南沿海等地区1/25万环境地质调查;1/5万水文地质调查完成15%,1/5万工程地质调查完成18%,1/5万环境地质调查完成32%。

海岸带(海域)地质调查工作形成1/100万海洋地质调查的管辖海域全覆盖,完成了1/25万海洋地

质调查11幅、1/5万海洋地质调查13幅。在山东半岛东北部、珠江河口三角洲、北部湾等重点海岸带地区开展了1/10万工程地质与生态地质调查<sup>[16]</sup>。渤海湾、山东半岛、江苏、上海、浙江北部、福建中部、珠江口、广西和海南近岸海域基本完成1/10万至1/25万环境地质调查。

1.3 海岸带综合地质调查工程概况

2015年中国地质调查局部署实施的海岸带综合地质调查工程,是我国首次系统全面的开展海岸带综合地质调查工作。截至到2021年,先后部署二级项目18个(表1)。调查范围包括沿海11省(区、市)陆域面积42.7万km<sup>2</sup>,水深50 m以内的海域面积61.1万km<sup>2</sup>(其中,沿海219个县区陆域总面积25.56万km<sup>2</sup>,水深25 m以内海域面积30.57万km<sup>2</sup>为重点调查区)。2016—2021年海岸带地质调查工作完成1/50万至1/100万全国海岸带综合地质编图103.8万km<sup>2</sup>,1/50万航磁航重基岩地质解译89 791 km<sup>2</sup>,1/50万遥感解译809 300 km<sup>2</sup>,1/5万遥感解译109 720 km<sup>2</sup>,1/5万环境地质调查18 686 km<sup>2</sup>,海域单(多)道地震测量22 546 km、浅地层剖面测量23 840.16 km、侧扫声呐测量4 420.79 km、单波束测深和多波束测深23 499 km和39 133 km,各类地质钻探进尺53 094 m(其中海域钻探5 586 m)。

海岸带综合地质调查工程按照“陆海统筹、以陆促海”的指导方针,以服务国家海洋强国和海岸带重大战略为导向,针对海岸带重大资源环境生态问题,开展了全国海岸带资源环境编图(表2)、重要沿海经

表1 海岸带综合地质调查工程部署项目一览表  
Table 1 List of the projects of comprehensive coastal geological survey programs

| 序号 | 项目名称                    | 实施周期      |
|----|-------------------------|-----------|
| 1  | 渤海湾西部等重点海岸带综合地质调查       | 2016—2017 |
| 2  | 山东半岛海岸带矿产资源综合调查与潜力评价    | 2016—2017 |
| 3  | 长江口等重点海岸带综合地质调查         | 2016—2018 |
| 4  | 海岸带和大陆架地质演化调查与评价        | 2016—2018 |
| 5  | 北部湾等重点海岸带综合地质调查         | 2016—2018 |
| 6  | 渤海海岸带航空物探遥感调查及应用        | 2016—2018 |
| 7  | 三大海峡跨海通道海域地应力观测与地壳稳定性评价 | 2016—2018 |
| 8  | 江苏沿岸滩涂区综合地球物理调查(试点)     | 2016—2018 |
| 9  | 江苏滨海湿地多圈层交互带综合地质调查      | 2018—2020 |
| 10 | 津冀沿海资源环境承载力调查           | 2018—2020 |
| 11 | 北海海岸带陆海统筹综合地质调查         | 2018—2020 |
| 12 | 宁德海岸带陆海统筹综合地质调查         | 2018—2020 |
| 13 | 大连海岸带陆海统筹综合地质调查         | 2018—2020 |
| 14 | 浙江中部海岸带综合地质调查           | 2019—2021 |
| 15 | 广西钦州湾海岸带综合地质调查          | 2019—2021 |
| 16 | 潮汕海岸带综合地质调查             | 2020—2022 |
| 17 | 雷州半岛东部海岸带综合地质调查         | 2020—2022 |
| 18 | 琼海—万宁海岸带综合地质调查          | 2020—2022 |

表2 全国海岸带资源环境编图一览表  
Table 2 List of mapping resources and environments for the coastal zone of Chinese mainland

| 图件类别     | 图件名称(1/100万)            |
|----------|-------------------------|
| 土壤地球化学类  | 海岸带土地开发强度图              |
|          | 海岸带耕地资源分布图              |
|          | 海岸带土地环境质量综合分区图          |
|          | 海岸带绿色富硒土地分布图            |
| 海岸带自然资源类 | 海岸带绿色农(渔)产品产地环境适宜性分区图   |
|          | 海岸带林地资源分布图              |
|          | 海岸带草地资源分布图              |
|          | 海岸带湿地分布图                |
|          | 海岸带滩涂资源分布图              |
|          | 海岸带能源资源分布与潜力图           |
|          | 海岸带温泉、地热井分布图            |
|          | 海岸带重要矿产资源分布与潜力图         |
|          | 海岸带浅层地下水资源开采状况与供水潜力区分布图 |
| 近海海洋环境类  | 海岸带重要地质遗迹分布图            |
|          | 海岸线类型和水深地形图             |
|          | 海岸带最大可能潮差分布图            |
|          | 海岸带最大可能潮流分布图            |
|          | 海岸带历史台风登陆点与风暴潮灾害易发性分布图  |
| 海岸带地质环境类 | 海岸带海平面上升风险评估图           |
|          | 海岸带围填海形势图               |
|          | 海岸带活动断裂与地壳稳定性评价图        |
|          | 海岸带地质灾害分布与易发程度图         |
|          | 海岸带地面沉降现状图              |
| 地质环境评价类  | 海岸带侵蚀淤积分布图              |
|          | 海岸带重金属含量综合评价图           |
|          | 海岸带浅层地下水质量图             |
|          | 海岸带城镇与重要基础设施规划建设适宜性图    |
|          | 海岸带核电站规划建设条件安全评价图       |
|          | 海岸带港口规划建设适宜性图           |

济区海岸带资源环境调查和编图<sup>[17-21]</sup>、重点海岸带陆海统筹综合地质调查<sup>[22-24]</sup>三个层面的调查评价,编制了全国海岸带及沿海11个省(区、市)资源环境图集,提交了渤海湾、长三角、粤港澳大湾区地质调查报告及13个二级项目调查报告,10个专题研究报告。系统总结了海岸带资源环境条件和岸线变化、围填海工程、滨海湿地、海面变化等重大资源环境问题,提出了海岸带自然资源管理、国土空间规划、生态保护修复和渤海海峡跨海通道等重大工程规划建议,为我国海岸带规划和沿海经济发展提供了基础支撑。

2 海岸带综合地质调查工程主要成果与认识

2.1 海岸带基础地质调查

首次编制了陆海衔接的海岸带1/50万构造分布图、岩浆岩分布图和基岩岩相图、活动断裂和区域地壳稳定性评价图,系统查明了我国海岸带基础地质背景。

**基岩断裂调查:**我国海岸带地区分布基岩断裂348条,其中一级断裂23条,二级断裂41条,三级断裂284条,断裂的展布方向基本以北东、北北东向及北西向为主,间有南北向、东西向及弧形断裂存在。圈定各类侵入岩和火山岩数百处,岩浆活动主要集中于中生代,以燕山期为主,并受深大断裂控制,形成数个岩浆岩带。划分出古太古代界迁西群-元古宇基底、南黄海太古宇-古元古界强磁性基底、南黄海太古宇-古元古界弱磁性基底等17种基底。

**活动断裂调查:**第四纪以来活动断裂236条,以北东-北北东向断裂与北西向断裂交叉错列为特征。评价结果表明,海岸带地壳稳定区面积约18万 $\text{km}^2$ ,占比约17%;基本稳定区面积约66万 $\text{km}^2$ ,占比约64%;次不稳定区面积约18万 $\text{km}^2$ ,占17%;不稳定区面积约2万 $\text{km}^2$ ,占比约2%(图1)。陆域不稳定区

主要分布在营口东北部、唐山-秦皇岛、福建南澳-东山、海口东北部等。海域不稳定区主要分布在渤海中部、盐城外海、莆田-泉州外海等海域。渤海海峡跨海通道存在8条全新世活动断裂、7处侵蚀沟槽,琼州海峡跨海通道分布6条全新世活动断裂、4处侵蚀沟槽和7处海釜(圆形、椭圆形锅底状的海底小型凹地),台湾海峡跨海通道分布3条全新世活动断裂和3处侵蚀沟槽。

**地质环境演化调查:**第四纪以来,我国海岸带发生了6至7次海侵-海退旋回。其中,末次盛冰期(距今1.8万年)至距今6千年左右,由于海面由约-130 m快速上升到现代海平面高度附近,海岸带地区发生大规模海侵,海岸线由大陆架向陆地方向快速推进,最大海侵范围深入到内陆80 km,现代岸线和滨海湿地地区均为浅海环境。6千年前至1850年,随着海面上升速率减缓、河流作用加强,海岸带地区发生大规模海退,海岸线开始由陆向海推进至现代岸线附近<sup>[25,26]</sup>,辽东湾、渤海湾、黄河三角洲、苏北沿海、长江三角洲和珠江三角洲等滨海湿地逐渐形成。1850年以来,随着全球气候变暖、海面加速上升、入海水沙减少,海岸带由大规模海退转入新的海水进侵时期<sup>[27-29]</sup>,整体面临海岸线侵蚀、滨海湿地退化、红树林减少的自然趋势<sup>[30]</sup>。

## 2.2 海岸带岸线和滨海湿地等资源调查

编制了2017年海岸带岸线、林地、草地、湿地、牡蛎礁、贝壳堤等资源分布现状图<sup>[31-33]</sup>,查明1975年以来我国海岸线和滨海湿地类型、分布及其变化;编制陆海统筹土壤地球化学系列图件,圈定了海岸带优质耕地、富硒土地、优质渔场的分布。

**海岸线调查:**我国海岸线(大陆及海南岛)长度约18 800 km,其中基岩海岸约2 680 km、沙质海岸约2 670 km、淤泥质海岸约1 440 km、生物海岸约820 km、人工海岸约11 200 km(图2)。1975年以来,我国海岸带人工岸线长度大幅增加,自然岸线大幅减少,自然海岸线长度由1975年的约15 800 km减少到2017年的7 600 km。海岸线变化强烈地段主要分布在辽东湾、渤海湾、江苏沿海、长江口、

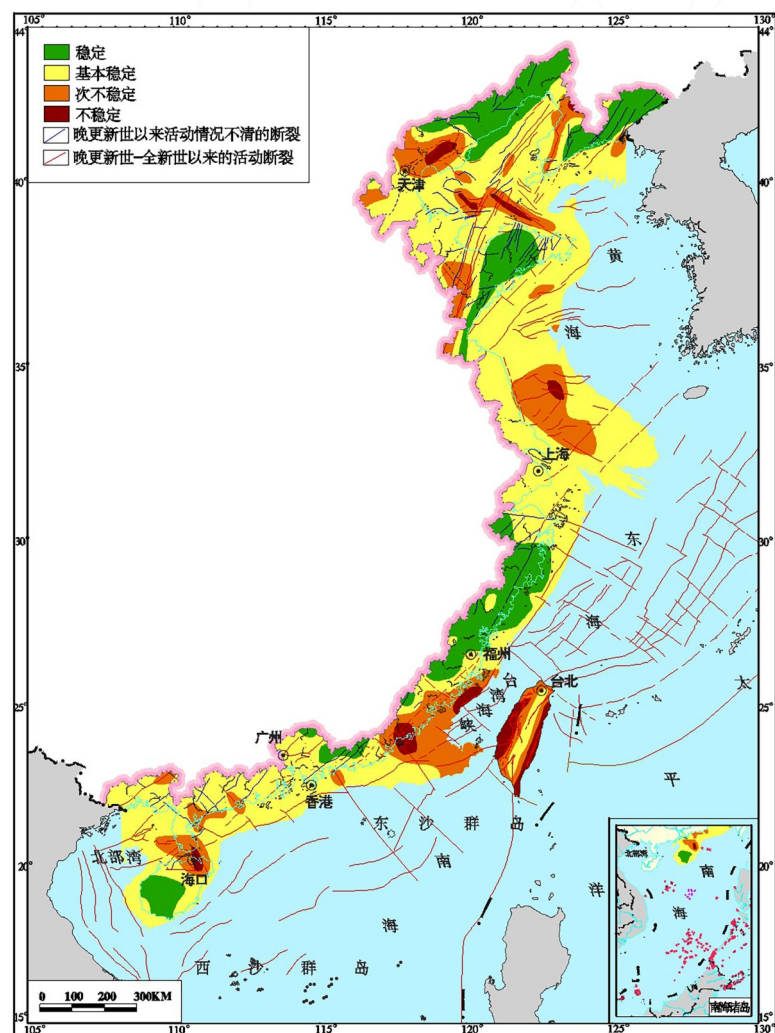


图1 海岸带主要活动断裂分布和地壳稳定性评价图

Fig.1 Distribution map of the main active faults and crustal stability assessment in the coastal zone of China

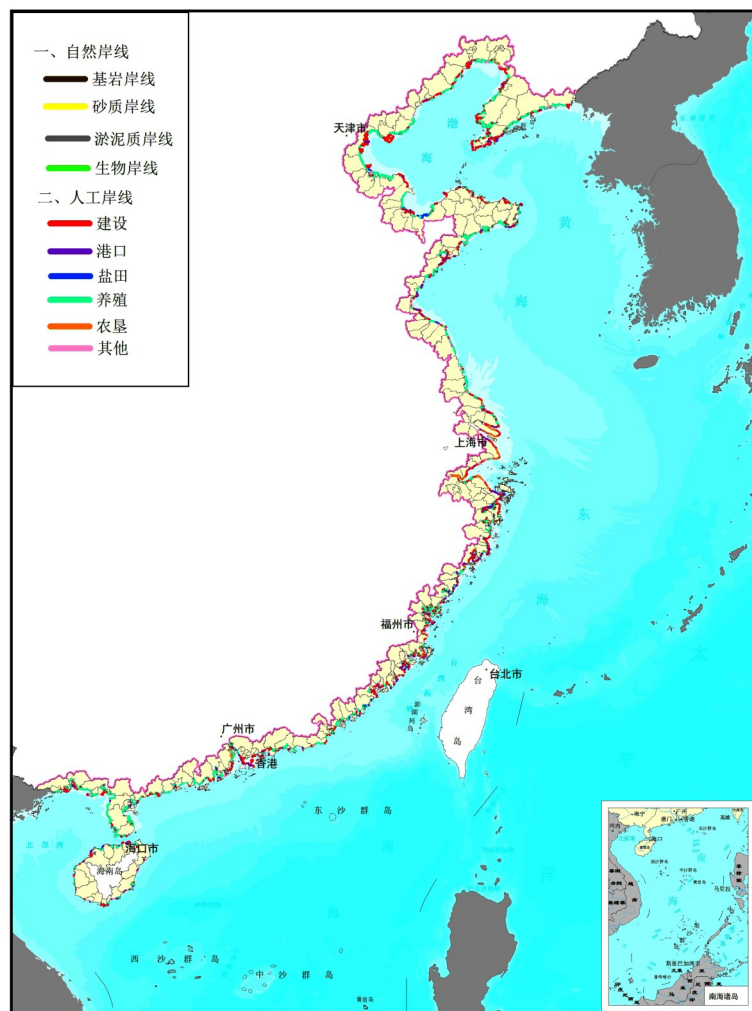


图2 海岸带岸线类型图

Fig.2 Shoreline type map of coastal zone

杭州湾、浙江中部和珠江口等区域。围填海工程是造成岸线变化强烈的主要原因,以渤海湾为例,曹妃甸、天津港、天津临港、南港、黄骅港围填海工程建成后,原有平直的自然岸线变为曲折的人工岸线,津、冀海岸线长度由约450 km增加到约890 km,自然岸线由230 km减少到90 km<sup>[34,35]</sup>。

滨海湿地调查:我国滨海湿地面积约83 600 km<sup>2</sup>,主要分布在辽宁、山东、江苏、天津、浙江、广西沿海。其中天然滨海湿地面积约9 860 km<sup>2</sup>,河湖湿地面积约6 480 km<sup>2</sup>,沙石海滩面积约1 320 km<sup>2</sup>,人工湿地面积约21 200 km<sup>2</sup>,浅海湿地面积约44 700 km<sup>2</sup>(图3)。1975年以来,滨海湿地面积整体变化不大,但是,天然滨海湿地1975—2017年从约21 400 km<sup>2</sup>减少到约9 860 km<sup>2</sup>,减少了54%,人工湿地由约12 500 km<sup>2</sup>增加到约21 200 km<sup>2</sup>,增加了69%,天然滨海湿地退化严重。围填海等人类活动是造成天然

滨海湿地生态严重退化的主要原因。以渤海湾为例,2000年以来,由于大规模围填海工程及城镇建设,天津滨海新区自然湿地面积由约1 500 km<sup>2</sup>减少到约1 100 km<sup>2</sup>,曹妃甸自然湿地面积由约850 km<sup>2</sup>减少到约600 km<sup>2</sup>。

### 2.3 海岸带地质灾害与海岸侵蚀调查

海岸带地质灾害调查:系统梳理了海岸带崩塌、滑坡、泥石流和地面沉降、地面塌陷等地质灾害分布和易发性,查明了重点地区浅层气、海底滑坡、海岸侵蚀淤积等环境地质问题。海岸带山区滑坡、崩塌、泥石流高易发区2.9万 km<sup>2</sup>,主要分布在辽东半岛、胶东半岛及东南沿海山区、海南岛中部山区。地面沉降严重区0.5万 km<sup>2</sup>,主要分布在华北平原、长三角沿海及东南沿海城市区。地面塌陷高易发区0.2万 km<sup>2</sup>,主要分布在唐山、广州等地。海区地质灾害易发区2.6万 km<sup>2</sup>,浅层气主要分布在渤海湾、长三角、东南沿海、北部湾等海域(图4)。其中,浙江舟山石化基地海底浅层气分布面积12.3 km<sup>2</sup>,二期和三期围填海区几乎都被浅层气屏蔽,埋藏深度约1~32 m,如经扰动溢出,对石化基地安全有严重威胁。海底滑坡主要分布在渤海海峡、台湾海峡、琼州海峡等海域及浙江中部海域;

其中,舟山深水通道朱家尖、六横岛及岱山重点区均发现海底滑坡的存在,中部最大的滑坡体体积达0.45万 km<sup>3</sup>,滑坡底部最大侵蚀深度达到1.2 m,增加了再次发生滑坡的风险。

海岸侵蚀调查:我国大部分砂质海岸和泥质潮滩受到侵蚀,海岸侵蚀具有普遍性、延续性且地域逐步扩大的趋势。侵蚀岸段主要分布在辽东半岛西海岸北段、辽西走廊、渤海湾西岸、山东半岛、江苏老黄河三角洲、杭州湾北岸、福建沿岸、雷州半岛东部、海南岛东部和南部等沿岸。侵蚀速率最大在苏北废黄河岸段,平均侵蚀速率18 m/年,其次发生在长江口崇明岛岸段,平均速率约13 m/年。杭州湾的宁波部分岸段平均侵蚀速率约8 m/年,其南部台州-温州部分岸段和广东阳江-茂名部分岸段平均侵蚀速率6 m/年,福建泉州部分岸段、广东汕头-潮州部分岸段平均侵蚀速率4~5 m/年,广东湛江东部海岸部分岸段平

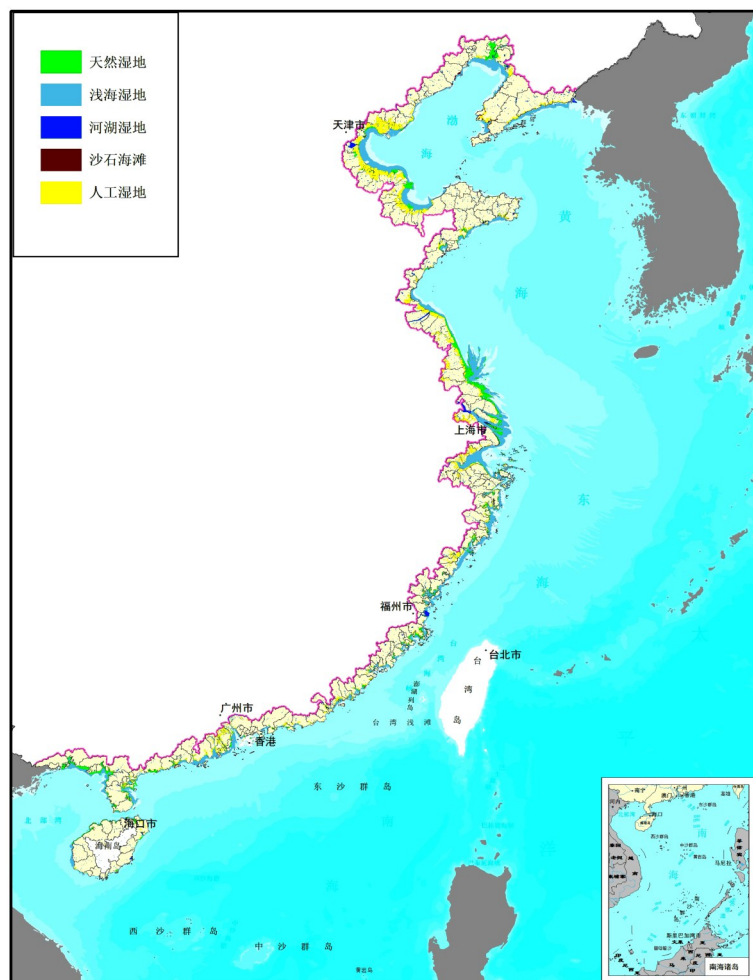


图3 2017年海岸带滨海湿地类型与分布图  
Fig.3 Types and distribution of the coastal wetlands of the Chinese mainland in 2017

均侵蚀速率约3.5 m/年。其余岸段,如辽东湾、辽宁绥中、河北秦皇岛、山东莱州湾、山东半岛上的砂质海岸、福建宁德北部岸段、福建福州部分岸段、海南三亚部分岸段等平均侵蚀速率均低于2 m/年。河流输砂减少、风暴潮和不合理海岸工程影响是造成局部海岸侵蚀的主要原因,海面上升加剧了海岸侵蚀。

#### 2.4 海岸带典型区生态地质调查

开展了辽河三角洲、黄河三角洲、盐城和崇明岛等盐沼湿地和漳江口、湛江、山口、东寨港等红树林生态地质调查<sup>[36-38]</sup>,编制了8个重要滨海湿地生态地质环境图集和《黄河三角洲滨海湿地生态地质调查报告》,查明了海岸带重要滨海湿地类型、分布现状、多年变化,查明了滨海湿地水土岩生态地质环境背景,分析了滨海湿地演化过程,提出了滨海湿地保护修复对策建议<sup>[40]</sup>。

黄河三角洲:黄河河道的摆动、三角洲叶瓣的废

弃、海岸侵蚀、极端气候条件、压实作用等自然过程对黄河三角洲滨海湿地有较明显的影响,成土过程也就是土壤脱盐和地面不断抬高的过程,生态系统逐渐稳定成熟,为正序演替特征;相反,废弃叶瓣的生态演替表现出明显的逆序演替特征。地下水位和盐度是影响湿地植被分布的关键指标,调查结果显示,适宜翅碱蓬生长的地下水位埋深小于1 m,盐度为10~35,适宜芦苇生长的地下水位埋深小于0.6 m,盐度介于0.1~15,地下水位埋深和盐度超过阈值,造成植被生长缓慢,湿地生物量减少,生态系统退化。综合植被生长适宜水位和盐度、蒸散作用、鸟类栖息环境等指标,按2020年芦苇湿地面积和翅碱蓬湿地面积计算,评估出黄河三角洲年生态需水量约6.7亿方;精确估算出黄河三角洲全新世以来的沉积固碳量,三角洲前缘湿地有机碳平均埋藏通量高达约1 020 g/m<sup>2</sup>/年,无机碳平均埋藏通量约5 200 g/m<sup>2</sup>/年<sup>[37]</sup>。

随着红树林保护修复力度加大,南方红树林面积近年来均有增加的趋势,生态环境持续好转。调查显示:在汕头的7个红树林生态系统中,红树林面积由2015年的192 hm<sup>2</sup>增加到2021年的306 hm<sup>2</sup>;防城港红树林面积由2008年的808.52 hm<sup>2</sup>增加到2018年的1 014.55 hm<sup>2</sup>;北仑河口国家级自然保护区红树林面积由1987年的435 hm<sup>2</sup>增加到2020年的1 114 hm<sup>2</sup>。但天然红树林退化问题依然严重,天然红树林优势树种以桐花树、秋茄、老鼠簕、木榄、红海榄为主,引种的无瓣海桑群落植被单一,特别是种植密度较大的地段,林下本土低矮红树植物生长不良或死亡。受围填海、围海养殖等人类活动影响,天然林大幅减少。水土污染造成底质氮污染、磷污染、石油类污染严重,底栖生物群落受损。雷州湾等地互花米草入侵从2016年的6.77 hm<sup>2</sup>增长到2018年的22.66 hm<sup>2</sup>,对秋茄、海榄等乡土树种的生长空间已产生明显影响。红树林湿地的修复应禁止围填海、围海养殖的进一步侵占,减少工农业三废的污染影响,选取适宜的植物群落组合,在适宜的水深、底质和海岸区域人工培植,并加大对互花米草等物种入侵的治理。

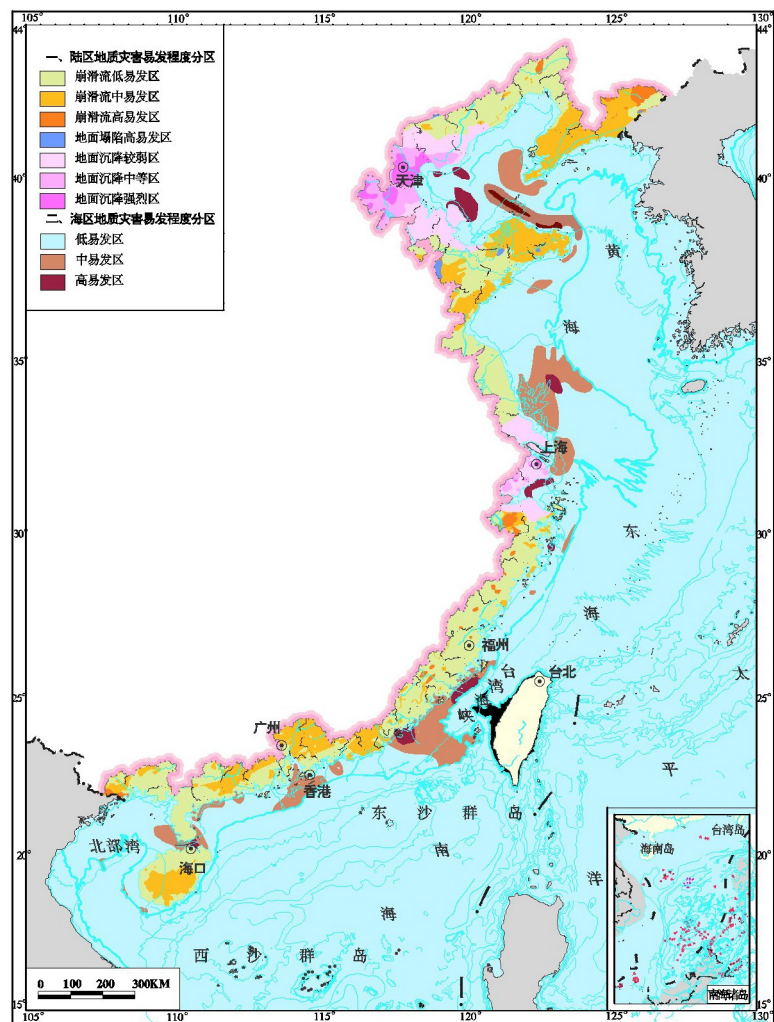


图4 海岸带地质灾害易发性分区图

Fig.4 Distribution map of susceptibility to coastal geological hazards

## 2.5 存在的问题

近年来海岸带综合地质调查工作取得了显著的成效,但仍然存在着诸多问题,一是陆海统筹综合地质调查工作目前仅在渤海湾、长三角、珠三角、北部湾等重点地区开展,尚未在整个海岸带全面铺开,已有的基础地质工作成果在精度和应用性方面仍难以满足海岸带国土空间规划、生态保护修复及灾害防治等需求。二是在津冀沿海、北方盐沼湿地、北部湾等地建立的监测站均是以地质环境生态监测为主,海岸带多圈层多要素调查监测体系仍不够完善。三是海岸带科技创新和信息化能力距离国际先进水平还有较大差距,海岸带资源环境生态系列问题研究的整体性、系统性不足。

## 3 海岸带地质调查工作展望

国家“十四五规划纲要”在沿海铁路和核电站等

重大工程建设、海岸带重要生态系统保护和修复重大工程、海岸带地区的高质量发展和应对气候变化等方面做出了明确规划,为海岸带地质调查工作指明了方向。结合海岸带地质调查工作实际,应加强重要河口海湾陆海统筹基础地质调查、重要生态区生态地质调查、沿海城市和重大工程区地质安全调查,完善地球系统科学观测体系,解决海面上升及其影响评估等重大地球系统科学问题,提升支撑服务海岸带自然资源管理、国土空间规划、生态保护修复和地质灾害防治的能力。

### 3.1 加强海岸带陆海统筹基础地质调查

进一步开展海岸带全域1/5万、重点区1/1万的陆海统筹区域地质、水文地质、工程地质、环境地质、生态地质调查,查明海岸带地区的基本地质情况,掌握该区的资源环境生态背景,特别摸清基底构造、活动断裂、第四系结构、沉积环境、海陆演化、工程地质条件、水文地质条件、生态地质背景等,力争5至10年更新一批基础地质数据。

### 3.2 加强重要生态区生态地质调查

海岸带生态屏障建设是实施重要生态系统保护和修复重大工程中划定的

“三区四带”生态修复工程任务之一,围绕海岸带“双重”规划落地实施,开展黄渤海、长三角、粤闽浙沿海、粤港澳大湾区、北部湾、海南岛等海岸带重点区以及盐沼湿地、海草床、红树林、牡蛎礁等典型生态系统生态地质调查,查明水土质量、生物多样性、生态系统结构、自然演替过程以及人类活动影响等,研发滨海湿地、河口海湾、砂质岸线等生态修复关键技术,构建地质调查支撑生态系统保护修复技术方法体系。

### 3.3 加强沿海城市和重大工程区地质安全调查

围绕沿海7大城市群、3大经济区,开展海岸带陆海统筹地质安全调查,查明规划区的地质结构、活动断裂、地面沉降、地形地貌、海底滑坡、浅层气等现状分布及变化规律,分析形成机理,评估海岸带重大工程规划建设区的地质安全,提出港口、核电、海上风电、沿海高铁、跨海桥隧、海洋牧场等重大工程规划

建设建议及地质灾害防治对策。查明海岸带资源环境禀赋,开展不同层级海岸带资源环境承载能力和国土空间规划适宜性评价,支撑经济区与城市群陆海统筹空间规划和三条红线划定,提出陆海统筹海岸带城镇港口建设布局、农渔业布局、地下空间开发、水资源优化配置和海洋功能区划规划建议。

### 3.4 完善海岸带野外科学观测体系与数字海岸带系统

以渤海湾、长三角、珠三角为重点区建设陆海统筹地质环境野外观测基地,以沿海重要城市和重大工程区为重点建设地质灾害和海洋灾害监测网络,以北方盐沼湿地、南方沿海红树林为典型区建设生态环境监测站网,形成集“监测网+综合基地”为一体的多要素、多圈层、多系统的野外科学观测体系。构建统一标准的全国海岸带资源、环境、生态、灾害调查研究数据库,实现海岸带观测数据实施传输和动态更新,建成数字海岸带信息中心,围绕支撑自然资源部“两统一”职责,提交海岸带基础和应用研究成果、智慧服务产品及战略建议报告。

### 3.5 深化海岸带地球系统科学研究

以地球系统科学理论为指导,基于海岸带综合地质调查数据,重点攻关海平面上升及其影响评估、现代河口海岸演化及动力机制、海岸带典型生态系统地质演化过程、海岸带碳储碳汇能力、海岸带生态保护修复关键技术研发、海岸带陆海统筹水循环与水平衡、陆海统筹综合地质调查技术方法等基础和应用方面的科学问题,提出海岸带地区应对和适应全球气候变化的对策建议。

## 4 结语

我国海岸带调查主要分为三个阶段,1950—1970年代的起步阶段、1980—2000年代的发展阶段,以及2000以来成熟阶段。第一阶段,初步了解了中国近海海洋水文、化学、生物、地质等要素的基本特征和变化规律,为进一步进行海洋科学研究和开发利用海洋打下了基础。第二阶段,初步摸清了我国近海海洋环境状况,以及海岸带和滩涂资源数量和质量等,为海岸带和近岸水域的开发利用提供了重要基础资料。进入2000年以来,随着调查监测技术的成熟,我国海岸带调查进入资源、环境、生态、灾害全部涵盖的数字化阶段。2010以来,中国地质调查局实施的海岸带工程,以支撑服务海岸带经济社会发展需求为导向,通过海岸带综合地质调查,取得了

一系列的支撑服务成果,成果涵盖基础地质、自然资源、地质灾害、城市综合地质调查、典型区生态地质调查及调查监测技术方法和信息化,有效支撑了海岸带自然资源管理、重大工程地质安全、地质灾害防治、国土空间规划和生态保护修复。落实国家“十四五”规划,海岸带地质调查还需加强陆海统筹基础地质调查、重要生态区生态地质调查、沿海城市和重大工程区地质安全调查,以构建海岸带野外科学观测体系与数字海岸带为抓手,完善服务海岸带高质量发展的地质调查业务体系。

### 参考文献:

- [1] 印萍,林良俊,陈斌,等.中国海岸带地质资源与环境评价研究[J].中国地质,2017,44(5):842-856.
- [2] 文冬光,吴登定,张二勇.中国海岸带主要环境地质问题.海岸带地质环境与城市发展论文集[M].中国大地出版社,2005.
- [3] 王焰新,甘义群,邓娅敏,等.海岸带海陆交互作用过程及其生态环境效应研究进展[J].地质科技通报,2020,39(01):1-10.
- [4] 杜晓敏,周平,常勇,等.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[J].地质通报,2020,39(2):414-423.
- [5] 徐渡.1958—1960年:全国海洋综合调查[J].海洋科学,2010,04(4):109-109.
- [6] 全国海岸带和海涂资源综合调查成果编委会.《中国海岸带和海涂资源综合调查报告》[M].海洋出版社,1991.
- [7] 苏胜金.七年全国海岸带和海涂资源综合调查综述[J].海洋与海岸带开发,1988,(2):30-32.
- [8] 李仲钦,谢健.南海区第二次全国海洋污染基线调查概述[J].南海研究与开发,2001,(2):35-42.
- [9] 我国近海海洋综合调查与评价(908专项)专题调查(海岛)[J].海洋测绘,2005,(5):6.
- [10] 马志华.全国海岛资源综合调查取得丰硕成果[J].海洋信息,1996,(6):26.
- [11] 国家海洋局.《我国近海海洋综合调查与评价专项综合报告》[R].海洋出版社,2012.
- [12] 综合调查海洋资源环境推动中国海洋事业发展——“我国近海海洋综合调查与评价”成果简介[J].科技成果管理与研究,2012,(2):83-88.
- [13] 国家海洋局.中国海洋生态环境状况公报(2007—2017年)[R].中国海洋信息网(<http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghpmgb/>).
- [14] 国家海洋局.中国海洋灾害公报(2000—2020年度)[R].2001—2021(<http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghpmgb/>).
- [15] 孙晓明,等.中国海岸带环境地质图(1/4000000)[M].地质出版社,2013.
- [16] 夏真.珠江三角洲1/10万海洋地质环境调查研究综述[J].海洋地质动态,2006,22(7):5-10.

- [17] 孙晓明,等.河北曹妃甸滨海地区海岸带环境地质调查评价报告[R].中国地质调查局天津地质调查中心,2016.
- [18] 肖国强,等.天津滨海新区围海造陆环境地质调查报告[R].中国地质调查局天津地质调查中心,2017.
- [19] 叶思源,肖国强,等.渤海湾西部等重点海岸带综合地质调查报告[R].青岛海洋地质研究所,2018.
- [20] 王福,等.津冀沿海资源环境承载能力调查报告[R].中国地质调查局天津地质调查中心,2021.
- [21] 孙晓明,等.《海岸带综合地质调查工程成果报告》[R].中国地质调查局天津地质调查中心,2020.
- [22] 印萍,等.长江口等重点海岸带综合地质调查报告[R].中国地质调查局青岛海洋地质研究所,2019.
- [23] 夏真,等.北部湾等重点海岸带综合地质调查报告[R].中国地质调查局广州海洋地质调查局,2019.
- [24] 彭华,等.三大海峡跨海通道海域地应力观测与地壳稳定性评价报告[R].中国地质调查局地质力学研究所,2019.
- [25] WANG FU, ZONG YONGQIANG, MAUZ BARBARA, et al. Holocene sea-level change on the central coast of Bohai Bay, China[J]. *Earth Surf. Dynam.*, 2020, (8):679–693.
- [26] 李建芬,王宏,商志文,等.科技部973计划和重大科学研究计划项目“扬子大三角洲演化与陆海交互作用过程及效应研究”第一课题“扬子大三角洲沉积体系结构与演化”之“晚更新世以来扬子大三角洲海平面变化”专题报告[R].中国地质调查局天津地质调查中心,2017,1–7.
- [27] WANG F, LI J F, SHI P X, et al. The impact of sea-level rise on the coast of Tianjin-Hebei, China [J]. *China Geology*, 2019,1: 26–39.
- [28] 张忍顺,陆丽云,王艳红.江苏海岸侵蚀过程及其趋势[J].*地理研究*,2002,21(4):469–478.
- [29] 张忍顺.苏北废黄河三角洲及滨海平原的成陆过程[J].*地理学报*,1984,39(2):173–184.
- [30] 王福,等.我国海岸2万年以来的演替过程及趋势分析:对现代海岸生态保护修复的启示[J].*中国地质*,2022,待刊.
- [31] 李建芬,商志文,陈永胜,等.渤海湾牡蛎礁的研究现状与保护建议[J].*地质调查与研究*,2020,43(4):317–333.
- [32] 王福,商志文,李建芬,等.渤海湾贝壳堤现状及保护建议[J].*地质调查与研究*,2020,43(4):293–316.
- [33] 张永军,等.渤海海岸带航空物探遥感调查及应用报告[R].中国地质调查局航空物探与遥感中心,2019.
- [34] 施佩歆,王福,商志文,等.津冀沿海岸线现状、变化特征及保护建议[J].*地质通报*,2016,35(10):1630–1637.
- [35] 汪翡翠,施佩歆,商志文,等.天津市海岸线现状[J].*地质调查与研究*,2019,42(4):278–281.
- [36] 叶思源,等.江苏滨海湿地多圈层交互带综合地质调查报告[R].中国地质调查局青岛海洋地质研究所,2021.
- [37] LIXIN PEI, SIYUAN YE, HONGMING YUAN, et al. Globalin-related soil protein distributions in the wetlands of the Liaohe Delta, Northeast China: Implications for carbon sequestration and mineral weathering of coastal wetlands[J]. *Limnology and Oceanography*, 2020, 65: 979–991.

## Review and prospect of the coastal geological survey of Chinese mainland:

XIAO Guo-qiang<sup>1,2,3</sup>, WANG Fu<sup>1,2,3</sup>, YIN Ping<sup>4</sup>, HU Yun-zhuang<sup>1,2,3\*</sup>

(1. *Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China*; 2. *Key Laboratory of Coast Geo-environment, China Geological Survey, Tianjin 300170, China*; 3. *North China Center of Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China*; 4. *Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China*)

**Abstract:** China has carried out several rounds of coastal surveys, and the status of coastal resources, environment and ecology have been identified basically. Since 1999, China Geological Survey organized and implemented a comprehensive coastal geological survey project follow the rules of “land-sea coordination”. The survey covered the whole mainland coast of China, including Bohai Bay, Yangtze River delta, Pearl River delta, North Gulf of Guangxin Province, and other key areas, which has greatly improved the level of geological surveys of this area. The geological background, nature resources, geological background of typical cities, geological safety of important huge projections, eco- geological of typical ecological zone etc. were systematically identified, and these results provided services for national strategies of Beijing, Tianjin and Hebei Coordinated Development, the Yangtze River Delta Region Integration, Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, etc. This paper systematically reviews the process and the main achievements of coastal geological survey, then suggests the work direction for future.

**Key words:** coastal zone; land-sea coordination; geological survey; review and prospect