

ICS 91.120.25

P 15

团体标准

T/SSC XXX-2025

海域活动断层探测 (征求意见稿)

Marine Active Fault Survey

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国地震学会发布

目次

前 言 3

引 言 4

1 范围 5

2 规范性引用文件 6

3 术语和定义..... 8

4 基本规定 11

5 工作流程、工作内容与技术要求 13

6 钻探探测及地震层序分析 20

7 海底地形地貌及新构造探测 22

8 海底沉积地层及隐伏构造调查 31

9 海洋深部地壳结构调查..... 36

10 典型示范区实际工程应用实例..... 40

前 言

本规程按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和编写起草规则》给出的规则起草。

本规程由中国地震局地质研究所提出

本规程由中国地震学会归口。

本规程起草单位：中国地震局地质研究所、中国地震局厦门海洋地震研究所、中国科学院南海海洋研究所、中国地震灾害防御中心。

本规程主要起草人：任治坤、刘金瑞、张艺峰、詹文欢、孙杰、张志亮、哈广浩、闵伟、高战武、周本刚、周红伟、刘善虎、徐立、张国平、郭晓然、刘超、温泽鑫。

引 言

国内外大量震例表明，活动断层是地震的根源，也是地震灾害的元凶。活动断层可以对陆地上的建筑物造成严重的直接破坏，同时，活动断层对海域严重地震灾害带分布具有明显的控制作用。我国处在多板块相互作用的构造部位，地质构造复杂，活动断层广泛分布，尤其对于我国东南沿海经济发达区，海域活动断层不仅引起地震振动的破坏，还可以引发海啸等灾害，因此海域活动断层的探测至关重要。国内外震灾预防的实践经验表明，运用当今海域探测高新技术手段，系统采集海洋地质、地球物理基础数据，探明海域活动断层的空间位置和构造属性，科学评价其地震危险性，在此基础上合理避让或者采取有效的抗震措施，是减轻地震灾害风险和减少灾害损失的有效途径。

对于我国大陆地区活动断层探测，前人已经做了大量工作，并形成了较为成熟的规范。由于海域活动断层的工作难度大，对其危害性缺乏足够的认识，并受各种条件限制，迄今为止对海域活动断层的展布及其地震危害性的调查研究程度还很低。

本规范是在总结我国近年来大比例尺海洋区域地质调查和陆地活动断层探测工作的基础之上，参考现行的有关海洋地质、地球物理调查规范，结合海域活断层探测实际特点而编制。本规范首次对海域活动断层探测技术进行系统总结、梳理，规范海域活动断层探测的方法技术体系、工作流程、主要内容、数据管理和产出成果等环节，是开展中国海域活动断层探测的基本遵循。

本规范可以为今后海域断裂活动性探测、减少近海海域地震认识的“盲区”提供技术支撑，为重大工程建设与设防、以及滨海区域发展规划等提供基础资料和决策依据，具有现实和长远的经济和社会效益。

海域活动断层探测

1 范围

本规范规定了海域活动断层探测技术的基本规定、工作流程与内容、探测方法、数据处理及成果编制等。

本规范适用于地震灾害致灾因子调查，海域活动断层调查，鉴定与探测，地震安全性评价，海域活动构造框架与地震构造、海域地震带划分以及海洋开发与利用等相关应用领域。

海域断裂活动性调查方法主要包括**直接的潜水探查船海底考查与地质取样方法**、以及**海洋综合地球物理探测技术**：利用潜水探查船可以对不同深度海域包括深海沟进行海底考查，在活动构造方面的考查内容包括活动断裂及其最新活动、深海沉积、玄武岩流、地震破裂等各个方面，如日本海洋科学技术中心(Japan Marine Science and Technology Center)建造和使用 Shinkai 2000 和 Shinkai 6500 深海潜水探查船在北海道南西冲地震区和日本海中部地震区发现多处地震破裂、地震断层和喷砂孔等。该方法可以到达海底直接观察沿断层的海底断错地貌及地震形成的最新构造，但是获得的常常只是最近一次地震的海底断错地貌信息（邓起东，2002 及其引文）；另一种直接调查研究方法是地质取样法，在获得了海底断裂分布特征的前提下，可以利用海底重力取样或者海洋钻探等方式采集断层两侧一定深度内未经搅乱的地质样品，用以测定其年龄，从而可以由断层错动历史和年龄来分析地质历史时期的古地震事件，进行地震危险性评价，然而该方法应用的前提是已经基本明确断层位置、埋深和走向等特征。

近年来，随着电子、材料和计算机科学的发展，海洋地球物理探测技术取得了长足的进步，仪器灵敏度和探测精度不断提高，海洋地球物理探测技术逐渐得到广泛应用，成为推动海洋科学研究的重要原动力。以高分辨率地震为主的综合物探技术在海洋地质灾害调查中得到了广泛的应用，主要涉及单波束测深系统、多波束测深系统、侧扫声纳系统、浅地层剖面系统、单道和多道高分辨率地震探测以及重磁测量等，在海域浅层活动断层探测和古地震研究中取得了较好地应用（金翔龙，2007）。另一种是利用海底地震仪(OBS-Ocean Bottom Seismometers)直接置放在海底，结合人工地震和天然地震数据可获得地壳与上地幔结构特征，开展深部构造活动研究。土耳其 Kussu 等(2000)于 1999 年伊兹米特(Izmit)7.4 级地震前、后在北安那托利亚(North Anatolia)断裂带西段马尔马拉(Marmara)海域分别开展了多道地震探测，清晰地揭示出断裂带内部分次级断层在第四

纪虽然活动过，但后来被晚第四纪地层覆盖，没有发生最新错动；而主走滑断层则具有最新活动，不仅切割晚第四纪地层，且由于 1999 年的错动，断层直接切割海底最新沉积，形成新的海底断层崖。中田高、岛崎邦彦和岗村真等利用声波反射技术探测海底以下最上部沉积层变位所反映的活动断层及断层最新错动历史，在海底以下 50m 左右范围内，对海底最新沉积物分层和断层均具有很高的分辨率，对断层位错历史获得了清楚的探测结果（邓起东，2002 及其引文）。李楠等（2019）利用渤海渤中凹陷南部的高质量地震资料结合蚂蚁追踪法，快速识别出浅层 470 条断层组合，对复杂断裂带作出了精细解释。虽然不同地球物理勘探手段有各自解决某一方面地质问题的能力，各有优势和局限性，但根据调查目的与要求，采用多种方法进行综合调查，使各种方法优势互补，便能够以高精度和高效率较好地解决海底以下一定深度内的地质问题，准确可靠地确定海域基岩埋深、起伏、断裂位置及其展布等(朱再宁，晏琮良，2015；朱嘉等，2008)。因此，海洋地球物理探测技术是海域活动构造和地震构造探测和研究最行之有效的调查方法。

规程起草人员主要为国家重点研发计划项目“海域地震区划关键技术研究”所属课题“海域活动构造框架和地震构造模型研究”成员，项目通过对台湾海峡综合地球物理调查数据开展精细的处理与分析工作，对比分析不同调查手段对同一断裂构造发育特征的识别程度，探讨了各种地球物理调查方法在海域断裂探测方面的适用性，具有海域活动断层探测的研究基础。

适用于海岸带和近海海域范围活动断层探测。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1.1—2009 标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写

GB/T 36072—2018 活动断层探测

GB/T 958—2015 区域地质图图例

GB/T 18207.1—2008 防震减灾术语 第一部分：基本术语

GB/T 18207.2—2005 防震减灾术语 第二部分：专业术语

GB/T 18208.3—2011 防震减灾术语 第三部分：调查规范

GB/T 13989—2012 国家基本比例尺地形图分幅和编号

GB/T 12763.1—2007 海洋调查规范 第 1 部分：总则

GB/T 12763.2—2007 海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测

GB/T 12763.3—2007 海洋调查规范 第 3 部分：海洋气象观测

GB/T 12763.4—2007 海洋调查规范 第 4 部分：海水化学要素调查

GB/T 12763.5—2007 海洋调查规范 第 5 部分：海洋声、光要素调查

GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查

GB/T 12763.7—2007 海洋调查规范 第 7 部分：海洋调查资料交换

GB/T 12763.8—2007 海洋调查规范 第 8 部分：海洋地质地球物理调查

GB/T 12763.9—2007 海洋调查规范 第 9 部分：海洋生态调查指南

GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查

GB/T 12763.11—2007 海洋调查规范 第 11 部分：海洋工程地质调查

GB 17378.1—2007 海洋监测规范 第 1 部分：总则

GB 17378.2—2007 海洋监测规范 第 2 部分：数据处理与分析质量控制

GB 17378.3—2007 海洋监测规范 第 3 部分：样品采集、贮存与运输

GB 17378.4—2007 海洋监测规范 第 4 部分：海水分析

GB 17378.5—2007 海洋监测规范 第 5 部分：沉积物分析

GB 17378.6—2007 海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析

GB 17378.7—2007 海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测

GB/T 14914.2—2019 海洋观测规范 第 2 部分：海滨观测

GB/T 24261.2—2010 石油海上数字地震采集拖缆系统 第 2 部分：水听器拖缆技术条件

GB/T 24261.3—2010 石油海上数字地震采集拖缆系统 第 3 部分：中央记录系统

GB/T 32067-2015 海洋要素图式图例及符号

GB/T 13923—2006 基础地理信息要素分类与代码

GB/T 20257.2—2006 国家基本比例尺地图图式 第 2 部分：1:5 000 1:10 000 地形图图式

GB/T 20257.4—2007 国家基本比例尺地图图式 第 4 部分：1:250 000 1:500 000 1:1 000 000 地形图图式

GB/T 20258.2—2006 基础地理信息要素数据字典 第 2 部分：1:5 000 1:10 000

基础地理信息要素数据字典

GB/T 20258.4—2007 基础地理信息要素数据字典 第 2 部分：1 : 250 000 1 : 500 000 1 : 1 000 000 基础地理信息要素数据字典

DB/T 53—2013 1 : 50 000 活动断层填图

DB/T 65—2016 1 : 50 000 活动断层填图数据库规范

CH/T 1007—2001 基础地理信息数字产品元数据

CH/T 1015.4—2007 基础地理信息数字产品 1 : 5 000 1 : 10 000 生产技术规程 第4 部分：数字栅格地图 (DRG)

SY/T 6707—2008 海洋井场调查规范

SY/T 5314—2011 陆上石油地震勘探资料采集技术规范

SY/T 10017—2005 海底电缆地震资料采集技术规程

SY/T 10019—2010 海洋卫星差分定位测量技术规程

SY/T 6839—2013 海上拖缆式地震勘探定位导航技术规程

SY/T 6156—2010 气枪震源使用技术规范

SY/T 10020—1998 海上二维地震资料处理技术指南

SY/T 10020—2013 海上地震勘探数据处理技术规程

SY/T 10026—2001 海上地震采集定位辅助设备校准指南

SY/T 10026—2012 海上地震采集定位辅助设备校准指南

SY/T 10027—2001 海上高分辨率低地震资料采集技术规格

DD2012—01 海洋多波束测量规程

DD2012—03 海洋区域地质调查规范 (1:250000)

DD2012—07 海洋区域地质调查规范 (1:50000)

Q/12GKY 1001—2018 中国石油集团海洋工程勘察作业规范

Q/SH 0186.1—2008 地震勘探资料质量控制规范 第1部分：采集施工

Q/SH 0186.2—2008 地震勘探资料质量控制规范 第2部分：数据处理

Q/SH 0186.3—2008 地震勘探资料质量控制规范 第3部分：数据解释

3 术语和定义

GB/T 18207.1—2008、GB/T 18207.2—2005、GB/T 18208.3—2011、GB/T 36072-2018、

GB/T 12763.10-2007 界定的以下术语和定义适用于本文件。

3.1

活动断层 active fault

距今 12 万年以来有过活动的断层，包括晚更新世断层和全新世断层

3.2

隐伏活动断层 buried active fault

被第四纪覆盖的，地表没有迹线的活动断层

3.3

推测活动断层 inferred active fault

距今 12 万年以来活动证据不确切，但根据构造类比、地震活动性或构造应力场推测可能活动的断层

3.4

全新世断层 Holocene fault

全新世期间或距今 12000 年以来发生过位移的断层

3.5

晚更新世断层 late Pleistocene fault

晚更新世期间发生过位移，但无全新世活动证据的断层

3.6

早中更新世断层 early and middle Pleistocene fault

早中更新世期间发生过位移，但无晚更新世以来活动证据的断层

3.7

前第四纪断层 pre-Quaternary fault

第四纪以来不活动的断层

3.8

断层上断点 uppermost point of a fault

断错最新地层的断层顶点位置

3.9

海岸带 coastal zone

海陆之间相互作用的地带。广义海岸带包括沿岸陆地部分及水下岸坡，范围自滨海平原至外陆架坡折带。

3.10

近海海域 offshore sea area

离陆地较近的海域，中国近海由渤海、黄海、东海、南海以及台湾东侧太平洋海区 5 个部分组成。

3.11

单波束测深 single beam echo sounding

通过换能器垂直向下发射短脉冲声波，这个脉冲声波遇到海底发生反射，反射声波返回被换能器接收，通过声波在换能器与海底之间双程旅行时间和海水介质的平均声波速度来测量水深的方法。

3.12

多波束探测 multibeam echo sounder

采用发射、接收指向正交的两组声学换能器阵，获得垂向航向、由大量波束测深点组成的测深剖面，并在航行方向上形成由一系列测深剖面构成的测深条带，从而实现高分辨率地形测量的一种方法。

3.13

侧扫声纳测量 旁扫声纳测量 side scan sonar survey

采用声学转换器对海底进行扫描，获得海底回波信号，实现海底地貌成像的一种物探调查方法。

3.14

浅地层剖面测量 subbottom profile survey

利用声波在海底以下介质中的透射和反射，利用声学回波原理，获得海底浅地层结构声学剖面的一种物探调查方法。

3.15

反射地震勘探 reflection seismic prospecting

利用地下介质弹性和密度的差异，通过观测和分析大地对人工激发地震波的响应，推断地下岩层的性质和形态的地球物理勘探方法。

3.16

海底地震仪 ocean bottom seismograph

为在海底观测地震及其他地壳构造事件引起的微振动而设计的地震仪。

4 基本规定

4.1 探测对象与分类

探测对象包括海底地形地貌出露的迹线或海底剖面揭露的活动断层，可分为单条活动断层探测和目标区活动断层探测两类。

4.2 采用基准

4.2.1 坐标系统

采用“2000 中国大地坐标系 (CGCS2000)”。

4.2.2 高程基准

采用“1985 国家高程基准”。

远离大陆的岛礁，高程基准采用当地平均海面。

4.2.3 深度基准

采用理论最低潮面。

4.2.4 时间系统

采用 UTC (Coordinated Universal Time) 时间。

4.2.5 投影

一般采用墨卡托投影。

4.2.6 分幅

采用自由分幅。

4.2.7 基准纬度

根据调查与成图区域确定，以尽量减少图幅变形为原则。

4.3 探测范围

4.3.1 探测区指用于评价所在区域地震活动水平和地震构造环境的工作范围，应以目标区为中心，边长应不小于 300 km。

4.3.2 海域活动断层探测目标区指开展海域活动断层调查与勘探的地域。

4.3.3 单条海域活动断层的探测范围应为目标断层两侧各 5~10 km。

4.4 资料收集与整理

4.4.1 应收集探测区符合 GB/T 13989—2012 和 DB/T 65—2016 规定的海图、海底地形地貌图、地质、地球物理、地震等方面的资料和成果。

4.4.2 所收集资料应包括：

基础资料

- a) 潮位资料和其他测量有关的资料;
- b) 助航标志及航行障碍物的情况;

地质资料

- c) 最新海底地质数据、地形数据和最新出版的海底地形图、海图;
- d) 最新侧扫声纳、浅地层剖面数据和最新出版的海底地貌图;
- e) 探测区的工程地质勘察、科学钻探、测井、垂直地震剖面 (vertical seismic profile)

资料;

- f) 探测区的地球物理探测 (重力, 磁力、电磁、地震等方法) 等方面的资料;

地震资料

- g) 探测区的历史记载地震目录、现代仪器记载地震目录。

对收集的资料, 应对其可靠性及准确度情况进行全面分析, 并作出对资料利用与否的结论。

4.5 海域活动断层数据库

4.5.1 海域活动断层数据库的建设应贯穿海域活动断层探测工作的全过程: 在编制海域活动断层探测技术方案的同时, 完成基础地质数据入库; 在海域活动断层探测不同阶段工作的同时, 开展相应专业数据入库、元数据库建设和海域活动断层探测数据库集成并对数据进行质量检测。

4.5.2 入库数据应包括海域活动断层探测各阶段的原始数据、重要的阶段性成果、专业成果图及其说明文档和最终成果。

4.5.3 应建立基于统一地理信息系统 (GIS) 数据模型结构基础上的海域活动断层探测成果数据管理系统, 将空间数据分层存储, 同时兼顾数据可视化效果。

4.6 主要成果产出

4.6.1 产出成果应包括成果图件、技术报告和数据库。其中, 成果图件的数据应从符合 5.7 要求的数据库中提取和组织, 图件图例应符合 GB/T 36072—2018 附录 A 的规定。

4.6.2 海域活动断层成果图件宜包括下列 5 种:

- a) 探测区地震构造图, 按实际探测精度比例尺为 1:1 000 000、1:500 000、1:250 000;
- b) 目标区海域活动断层分布图或探测范围海域活动断层地质—地貌图, 按实际探测精度, 比例尺为 1:1 000 000、1:500 000、1:250 000;

c) 目标区标绘在按实际探测精度 1:1 000 000、1:500 000、1:250 000 地形图上的单条海域活动断层分布图;

d) 垂直海域活动断层走向的地质剖面图, 比例尺 1:250 000~500 000;

e) 相应比例尺的实际材料图。

4.6.3 海域活动断层探测技术报告应包括下列内容:

a) 前言;

b) 区域地震构造环境分析;

c) 主要探测方法;

d) 海底地形地貌分析;

c) 海域活动断层鉴定与定位;

f) 海域活动断层地震危险性评价;

g) 海域活动断层数据库与管理系统说明;

h) 主要结论;

i) 参考文献。

4.6.4 海域活动断层数据库应包括下列内容:

a) 基础地理数据;

b) 调查、探测和鉴定等专业数据;

c) 非空间数据属性表;

d) 专业成果图及其说明文档。

5 工作流程、工作内容与技术要求

5.1 工作流程

5.1.1 海域活动断层探测工作应分为 7 个阶段:

a) 资料收集与整理;

b) 探测技术方案编制与修正;

c) 海上勘察与数据采集;

d) 资料处理与测试分析;

e) 数据解释与海域活动断层活动性鉴定和定位;

f) 海域活动断层地震危险性评价;

g) 调查成果编制。

5.1.2 工作流程示意图见图 1, 在工作的每个阶段按 5.7 和 GB/T 36072—2018 附录 B 的要求进行相关数据入库。

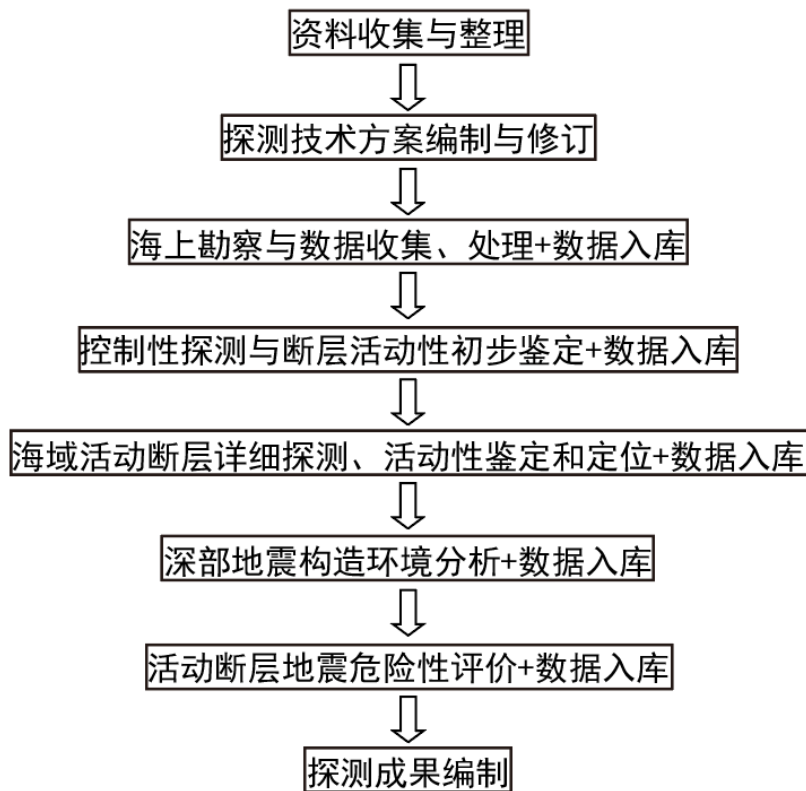


图 1 海域活动断层探测工作流程示意图

5.2 海域活动断层探测技术方案编制

5.2.1 应在广泛收集、整理和分析地震、海洋、地质、测绘、石油天然气等部门或单位研究成果基础上, 确定探测区和目标区范围; 基于探测区和目标区活动断层高分辨率基础资料, 编制单条活动断层或目标区活动断层探测技术方案。

5.2.2 探测技术方案应包括探测区和目标区范围、探测区区域地震地质环境、探测方案编制依据、工作目标、工作内容与工作量、探测方法与技术途径、数据库建设、技术指标、预期成果、进度安排和经费预算等内容。

5.2.3 在控制性探测与断层活动性初步鉴定后, 应对探测技术方案作必要的修正: 鉴定为早中更新世断层或前第四纪断层, 可终止详细探测与定位工作; 对新发现的海域活动断层, 应视数量、规模、位置、重要性、勘探难易程度和经费情况等, 合理选择需详细探测的海域活动断层, 明确开展地震危险性评价的海域活动断层。

5.2.4 探测技术方案经专家论证后方可施工, 并作为验收的依据。

5.3 控制性探测与断层活动性初步鉴定

5.3.1 采用单波束探测、多波束探测、侧扫声纳测量、浅地层剖面测量、单道地震、多道地震、地质钻探等方法,开展控制性探测确定断层的位置,对断层活动性进行初步鉴定,编制探测区地震构造图,确定需要进一步探测的断层。

5.3.2 应选择高分辨率地球物理探测方法、地质钻探、年代样品采集与测试等技术方法进行探测,确定断层的空间展布、几何结构和上断点埋深,结合第四纪地层划分方案和样品测试数据初步判定断层的活动性。

5.3.3 跨断层控制性探测剖面或钻孔联合地质剖面间距不宜大于 20 km。

5.4 海域活动断层详细探测、活动性鉴定和定位

5.4.1 详细探测

采用单波束探测、多波束探测、侧扫声纳测量、浅地层剖面测量、单道地震、多道地震、地质钻探等方法,对海域活动断层的最新活动时代进行鉴定,确定断层的活动性参数和平面展布,编制目标区海域活动断层分布图和单条海域活动断层展布图,确定需要进行地震危险性评价的海域活动断层。

5.4.2 活动性鉴定

5.4.2.1 根据断错地层剖面中揭露的断层与第四纪地层的切错、覆盖关系,判定断层的活动时代,将断层分为前第四纪断层、早中更新世断层、晚更新世和全新世断层四类。

5.4.2.2 海域活动断层的判定应有两个或以上可靠的观测点或钻孔联合地质剖面资料的依据,每个观测点或地质剖面的有效年龄数据应不少于两个。

5.4.2.3 应根据断层两盘块体的运动特征,将断层分为走滑断层、正断层和逆断层等类型;宜给出海域活动断层的几何结构、不同时期位移量、同震位移量、滑动速率等参数。

5.4.2.4 满足下列条件之一的海域活动断层应鉴定为地震活动断层:

- a) 历史及近代发生过震级等于 6.5 级或以上破坏性地震的活动断层;
- b) 有古地震地质证据的活动断层;
- c) 与已知地震活动断层有类似构造变形与地貌特征的活动断层。

5.4.3 海域活动断层定位

5.4.3.1 海域活动断层定位满足下列要求:

- a) 海域近地表断层定位与隐伏断层的探测测线间距宜按成果比例尺要求设置;
- b) 浅地层探测揭露的海域近地表断层定位误差应小于或等于 500 m;在有地球物理深部勘探剖面或深部钻孔联合地质剖面控制地段,隐伏断层的水平定位误差应小于或等于 1500m;

c) 探测出的单条海域活动断层分布图应按实际探测精度标绘在比例尺为 1 : 1 000 000、1 : 500 000、1 : 250 000 的数字海底地形图上;

d) 海域活动断层地质—地貌探测和目标区活动断层分布图应按实际探测精度标绘在比例尺为 1 : 1 000 000、1 : 500 000、1 : 250 000 的数字海底地形图上;

e) 探测区地震构造图应标绘在比例尺为 1 : 1 000 000、1 : 500 000、1 : 250 000 的数字海底地形图上;

f) 各种图件的制图应采用 GB/T 958—2015、DB/T 53—2013 和 GB/T 36072—2018 附录 A 规定的图例。

5.4.3.2 海域活动断层定位有下列两种技术途径可选择:

a) 对浅地层探测获取的近海底断层应选择条带状地质—地貌探测方法, 配合观测点仪器定位和 1 : 1 000 000、1 : 500 000、1 : 250 000 地形底图, 标绘海域活动断层迹线;

b) 对隐伏活动断层应选择高分辨地震勘探方法, 以及必要的跨断层多钻孔联合勘探分析, 配合观测点仪器定位和 1 : 1 000 000、1 : 500 000、1 : 250 000 地形底图, 用断层上断点在海底的垂直投影标绘隐伏活动断层展布。

5.4.4 成果

5.4.4.1 海域活动断层鉴定与定位的成果应包括下列内容:

- a) 探测区地震构造图;
- b) 海域活动断层地质—地貌图;
- c) 目标区活动断层分布图;
- d) 单条活动断层分布图。

5.4.4.2 探测区地震构造图编制满足下列要求:

- a) 编图范围应为探测区。
- b) 标注内容应包括:
 - 1) 断层类型与产状;
 - 2) 全新世断层、晚更新世断层、早中更新世断层、前第四纪断层;
 - 3) 海域活动断层在海底的迹线或上断点在海底的垂直投影;
 - 4) 新生代或第四纪沉积盆地边界;
 - 5) 第四系分布范围和第四系等厚线, 单位为米 (m);
 - 6) 破坏性地震震级和震中位置;

c) 比例尺宜为 1 : 1 000 000。

d) 附图和附件应包括下列内容：

- 1) 实际材料图；
- 2) 探测区新构造分区图，比例尺宜为 1 : 1 000 000~1 : 500 000；
- 3) 探测区地质剖面图，比例尺宜为 1 : 1 000 000；
- 4) 探测区重磁异常图，比例尺宜为 1 : 1 000 000~1 : 500 000；
- 5) 探测区地壳等厚线图，比例尺宜为 1 : 1 000 000~1 : 500 000；
- 6) 探测区地震构造图说明书。

5.4.4.3 海域活动断层地质—地貌探测与目标区活动断层分布图综合制图应满足下列要求：

a) 探测和编图范围包含目标区范围。

b) 标注内容包括：

- 1) 断层类型与产状；
- 2) 全新世断层、晚更新世断层、早中更新世断层和前第四纪断层；
- 3) 海域活动断层在海底的迹线或上断点在海底的垂直投影及其埋深，单位为米

(m) ；

- 4) 实测位移值，单位为米 (m) ；
- 5) 第四纪盆地边界、第四系等厚线，单位为米 (m) ；
- 6) 不同类型断错地貌或地质体；
- 7) 地震震中、震级和发震时间。

c) 图件比例尺为 1 : 500 000。

d) 附图和附件包括下列内容：

- 1) 实际材料图；
- 2) 目标区地震构造图说明书
- 3) 海域目标区活动断层说明书。

5.4.4.4 单条海域活动断层分布图制图满足下列要求：

a) 应综合各种探测结果绘制单条海域活动断层分布图，条带宽度 10 km ~20 km。

b) 标注内容应包括：

- 1) 断层类型与产状；
- 2) 全新世断层、晚更新世断层、早中更新世断层和前第四纪断层；

3) 海域活动断层在海底的迹线或上断点在海底的垂直投影及其埋深，单位为米(m)；

4) 规模较大的阶区、弯曲及其他几何结构；

c) 图件比例尺宜为 1 : 250 000~1 : 500 000。

d) 附图和附件应包括下列内容：

1) 实际材料图；

2) 不少于两个典型海域活动断层探测解释剖面图；

3) 单条海域活动断层说明书。

5.5 深部地震构造环境分析

5.5.1 应收集、整理探测区历史地震目录、重新定位的中小地震目录和地震震源机制解、应力测量数据、水平和垂直形变等资料，分析探测区现今构造应力—应变环境和不同走向海域活动断层的力学稳定性，评价探测区整体的地震活动水平。

5.5.2 应收集、整理探测区已有地震层析成像、深部地球物理探测、重磁电等研究成果，必要时可采用地震深反射探测、大地电磁测深、地震台阵观测、主动源探测等技术方法开展二维或三维深部结构探测研究，分析地壳上地幔结构和构造、介质特性、海域活动断层的深浅构造关系，判定探测区或目标区是否存在发生 6.5 级以上地震的深部构造条件。

5.6 地震危险性评价

5.6.1 浅层近地表活动断层

5.6.1.1 应综合断层的几何结构、活动时代等因素对海域活动断层进行地震破裂分段，判定地震复发符合特征地震模型、随机复发模型或其他复发模型。

5.6.1.2 应根据海域活动断层的长度与震级的经验统计关系，给出各地震破裂段潜在最大可能地震或特征地震的震级。

5.6.1.3 宜由重复间隔 T_{ave} 、离逝时间 T_c 等参数给出离逝率 V 或未来时间区间 T_c 至 $T_c + \Delta T$ 的发震条件概率 P_c 。

5.6.2 隐伏海域活动断层

5.6.2.1 根据地球物理场、深浅构造关系等，划分出有发生中等以上地震危险的断层破裂段，综合评估最大可能地震的震级。

5.6.2.2 应根据区域地震时空迁移、震级—时间图像、活跃与平静阶段等资料，评估各断层活动段发震危险程度。

5.7 海域活动断层数据库建设

5.7.1 数据分类

5.7.1.1 应将数据按数据特征分为空间数据、属性数据、文档数据。

5.7.1.2 应将数据按数据内容分为基础地理数据、专业数据、元数据。

5.7.2 数据内容

5.7.2.1 基础地理数据应包括 1:1 000 000、1:500 000 和 1:250 000 三种比例尺的数据。

5.7.2.2 专业数据宜包括区域构造与地球物理场数据、工作范围数据、地球物理探测数据、地质调查数据、样品测年数据、地震危险性评价数据、文献资料等。

5.7.2.3 基础地理数据的元数据应包括信息资源的格式、质量、处理方法和获取方法，技术要求应符合 CH/T 1007—2001 中第 4 章的规定；专业数据的元数据应包括探测数据类型、数据特征、数据总貌介绍和数据提供单位等信息。

5.7.3 数据组织

5.7.3.1 基础地理数据分层和编码应符合 GB/T 13923—2006 中第 5 章的规定。

5.7.3.2 1:250 000 及 1:500 000 的基础地理信息应采用国家基础地理信息数据库数据。

5.7.3.3 1:1 000 000 基础地理信息应按照 GB/T 13923—2006、GB/T 20257.2—2006、GB/T 20257.4—2007、GB/T 20258.2—2006、GB/T 20258.4—2007、CH/T 1015.4—2007 的要求整理，按附录B的规定进行数据的分层。

5.7.3.4 专业数据按数据应用需求分层组织，其要求见 GB/T 36072—2018 附录B。

5.7.4 数据库集成

5.7.4.1 基础地理数据、专业数据、元数据应按 5.7 和 GB/T 36072—2018 附录B要求入库和进行数据质量检查。

5.7.4.2 应完成基于数据库的成果图件组织。

5.7.4.3 应完成海域活动断层探测成果数据管理系统。

海岸带，海陆之间相互作用的地带。广义海岸带包括沿岸陆地部分及水下岸坡，范围自滨海平原至外陆架坡折带。

6 钻探探测及地震层序分析

6.1 调查目标及内容

对第四纪沉积物覆盖区隐伏海域活动断层位置、上断点埋深进行探测，对其地震活动性开展鉴定。

钻探探测及地震层序分析作业内容包括钻孔布设、岩芯编录、样品采集、综合分析、海域活动断层识别。

6.2 钻孔布设

6.2.1 钻孔位置应满足如下要求：

- a) 钻孔应布设在地球物理勘探显示清楚、有明显垂直位移的海域活动断层两侧；
- b) 钻孔连线宜与断层走向垂直。

6.2.2 钻孔数量与间距应满足如下要求：

- a) 断层两盘应至少各有 3 个钻孔，间距宜为 5 m~45 m；
- b) 断层上断点两侧的两个相邻钻孔间距应不大于 8 m。

6.2.3 断层两侧应至少各有一个钻孔穿透上更新统底界，其余钻孔的终孔深度应在地球物理勘探给出的上断点埋深之下 10 m。

6.2.4 岩芯采集应满足如下要求：

- a) 粘土及粉砂芯采取率应不小于 90%，中-细砂应达到 80%，松散粗砂应不小于 40%，钻进回次应不大于 2 m；
- b) 厚层砾石可采取定深取芯，取芯间隔宜为 1 m~2 m。

6.3 岩芯编录

6.3.1 编录应遵循以下原则：

- a) 岩芯编录应不遗漏厚度大于或等于 0.2 m 的地层单元；
- b) 典型的标志地层，如古土壤层、钙板层或细颗粒层序中夹的粗颗粒薄层等，应不受层厚约束，作重点编录。

6.3.2 应对岩芯柱完整拍照，并根据钻孔岩芯反映的岩性、颜色、物质组成、沉积结构和接触界面形态等确定基本编录单元，进行要素图文描述，编录内容应包括：

- a) 分层层序、厚度、深度；
- b) 地层颜色；
- c) 粒度及不同粒度成分含量的百分比；

- d) 碎屑成分、形态与磨圆度；
- e) 地层胶结程度；
- f) 层理结构特征；
- g) 矿物结核和动植物化石；
- h) 分层接触关系；
- i) 构造变形现象；
- j) 快速异常堆积层；
- k) 年龄样品采集的位置、类型及编号。

6.4 样品采集

6.4.1 测年样品应按地层单元系统采集，每层至少应有一个样品，标志地层的顶部和底部应分别取样，满足地层划分、对比和断代的需要。

6.4.2 用于跨断层联合地质剖面的钻孔应采集碳十四 (^{14}C)、热释光 (TL)、光释光 (OSL)、电子自旋共振 (ESR) 等测试用的样品；用于第四纪地层划分的钻孔还应系统采集古地磁、微体古生物和孢粉等测试和鉴定用的样品。

6.5 综合分析

6.5.1 钻孔柱状图编制应满足以下要求：

a) 应在厘定地层层序基础上编制钻孔柱状图，标出具有标志意义的化石位置、孢粉图谱、古地磁磁性曲线、年龄数据和各种测井曲线；

b) 钻孔柱状图应标明孔口坐标、高程和终孔深度、采芯率，以及施工单位、人员和钻探日期。

6.5.2 应结合具有标志意义的化石、孢粉和古地磁曲线、地层测年数据、特殊的岩性和岩相以及颜色等，确定相邻钻孔间地层的对比标志。

6.5.3 应按照以下要求进行联合地质剖面图编制：

a) 应在钻探过程中，每一回次取芯后同步编制联合地质剖面草图，跟踪钻探作业逐次修正；

b) 联合地质剖面应包括标志地层以及断层位置、视倾向、上断点埋深等要素；

c) 绘图比例尺宜为 1 : 200 ~ 1 : 100；

d) 联合地质剖面图应采用矢量格式文件存储，在数据入库时注明软件名称及版本，并满足5.7数据管理要求。

6.5.4 应按照以下原则和方法进行活动性鉴定：

a) 根据被断层断错的地层顶部和上覆且未发生构造变形的地层底部样品的测年结果，确定断层的最新活动时代；

b) 当上断点上覆地层存在构造变形时，断层的最新活动时代应为出现构造变形的地层沉积之后至上部未变形地层沉积之前。

6.6 海域活动断层识别

6.6.1 海域活动断层识别的直接标志有以下两种：

a) 同层位地层或等时面在两个以上钻孔间的落差，相邻两个钻孔之间地层层序、分层厚度、埋藏深度、沉积结构、岩性特征与颜色等差异；

b) 钻遇断层面或断层破碎带。

6.6.2 海域活动断层识别的间接标志包括：

a) 下降盘细粒沉积层增厚、增多与上升盘同层位地层减薄或缺失；

b) 相邻两个钻孔间古土壤层不等同发育。

近海海域，离陆地较近的海域，中国近海由渤海、黄海、东海、南海以及台湾东侧太平洋海区 5 个部分组成。

7 海底地形地貌及新构造探测

7.1 调查目标及内容

开展高分辨声学探测，获得断裂及周边精确的地形数据和地貌特征，获得精细的海底表层沉积结构特征。了解断裂构造的走向和性质，估计其活动强度，提高对于海域活动断层探测及深部结构成像的可靠性及分辨率。

海底地形地貌调查作业手段包括：单波束测量，多波束测量，浅地层剖测量等。作业内容包括：技术设计、仪器检验、测前准备、海上测量、数据处理与成图、资料检查验收与归档。

7.2 技术要求

7.2.1 调查方式

a) 调查方式为船载走航连续测量；

b) 使用 GNSS 进行导航定位，数据更新率应不低于 1 Hz；

c) 根据调查比例尺、目的及任务具体要求结合调查区域特点，采用测线网方式或全覆盖方式调查；

d) 海底水深测量可结合海洋地球物理调查、物理海洋调查等同步进行。

7.2.2 调查基本内容

调查基本内容包括导航定位、系统参数测定、深度测量、数据处理与成图。其中各项辅助参数包括船舶吃水、船舶姿态 (升沉) 、声速剖面、水位等。

海底地形调查的基本内容包括：导航定位，水深测量、水位测量及数据处理和成图。水深测量包括深度和一些必要性改正 (吃水改正、声速改正、船姿改正和水位改正等) 。

海底地貌调查的基本内容包括，在海底地形调查基础上，进行海底侧扫声呐测量或 (和) 浅地层剖面测量，结合其他地质地球物理资料进行数据处理、分析与成图。

7.2.3 测线一般要求

a) 在采用测线网方式进行海底地形地貌调查时，主测线采用垂直地形或构造总体走向布设，联络测线应尽量与主测线垂直，不同调查比例尺的主测线和联络测线对应不同的测线间距。多波束测深系统以全覆盖或测线网方式开展调查。全覆盖测量时主测线应平行于测区等深线方向布设，相邻条幅重叠率应不少于测线间距的 10%，检查线方向应尽量与主测线垂直；

b) 检查线应分布均匀，与主测线相互交叉验证，检查线长度不少于主测线总长的 5%，且至少布设一条跨越整个测区的检查线；测线网测量时，主测线应垂直于测区等深线方向布设；

c) 不同类型仪器、不同作业时期、不同作业单位之间的相邻调查区块结合部分，应进行测量成果重复性检验，应至少有一条重复检查测线。

d) 在海底构造复杂或地形起伏较大的测区，应缩小测线间距以加密探测，测线密度应达到完善反映海底地形变化为原则。

7.2.4 调查精度要求

a) 导航定位准确度应优于 5 m；

b) 海底地形测量准确度要求如下：

1) 水深小于 30 m 时，水深测量准确度应优于 0.3 m；

2) 水深大于 30 m 时，水深测量准确度应优于水深的 1%。

c) 海底浅地层测量精度要求如下：

1) 探测深度：一般在海底面以下（垂直）30 m~200 m，可根据具体情况作调整；

2) 探测分辨率: 30 cm~50 cm;

3) 剖面记录的地层反射信号和时标信号连贯清晰, 浅部声学反射层界面和反射体形态清晰。

7.2.5 数据成图要求

a) 一般规定

对于剖面图, 要求标出剖面方向、纵横比例尺; 平面大地坐标采用 CGCS2000 坐标系; 投影采用墨卡托投影; 图幅采用自由分幅。

b) 图式符号

图式符号执行 GB/T 32067-2015 《海洋要素图式图例及符号》。

c) 等深线绘制

等深线可分为计曲线、基本等深线 (首曲线)、辅助等深线 (间曲线)。

等深距划分以清晰、美观、科学和客观反映海底地形地貌变化为原则, 可根据调查比例尺、调查海域、地形地貌变化和任务书要求适当调整等深线间距。

d) 水深成果图

图幅标题为“海底地形地貌调查”, 图名命名为测区名, 图幅编号为 XX-YYYY-ZZ, XX 表示测图比例尺, YYYY 表示测量年份, ZZ 表示测图序号 (阿拉伯数字)。

e) 海底三维地形图

对于多波束水深测量, 应制作海底三维地形图, 海底地形模型 (DTM) 网格间距应不大于图上 0.2 mm。

f) 浅地层剖面图

深度剖面图用实线和虚线分别表示反射界面的可靠性, 标注底质采样站号及性质。

g) 浅地层平面图

- 1) 反映沉积体形态的层面和基岩面作平面图;
- 2) 通过时深转换绘制深度构造图或等厚度图;
- 3) 结合地形和地质取样分析资料, 编制调查区地貌图或表层沉积物类型分布图。

7.2.6 准确度评估

调查成果提交前, 需对数据准确度进行评估, 并给出是否符合要求的结论。

7.3 单波束测深

7.3.1 设备及安装要求

7.3.1.1 设备要求

a) 应根据深度测量准确度要求选择测深仪，水深大于 1000 m 时选择高精度数字式测深仪；

b) 测深仪在工作开始前应进行稳定性试验，每台测深仪连续开机时间不得少于 12 h；

c) 运动传感器等无法进行检定/校准的仪器设备应进行自校或比对（比测）。

7.3.1.2 水位控制与改正

可采用实测水位观测资料、GNSS 大地高推算潮位以及潮汐数值预报方法进行水位控制。采用航前、航后测量船舶吃水的方法进行测深仪系统吃水改正，小船或无人船测量建议采用动态吃水改正。

7.3.2 数据采集

7.3.2.1 航行要求

海上测量时，对船舶的航行要求如下：

a) 测量船应保持匀速、直线航行；

b) 航向变化应不大于 $5^\circ/\text{min}$ ，遇到特殊情况必须停船、转向或变速时，应及时定位；

c) 更换测线时，应缓慢转弯；

d) 实际测线与计划测线偏离不大于测线间距的 15%，测线偏离数应不大于测线总数的 20%。

7.3.2.2 测量时间同步要求

多种测量设备同步作业时，应不大于 48 小时进行一次时间同步。

7.3.2.3 深度测量要求

a) 每个航次开始前和结束后应采用内符合或外符合方式对深度测量准确性进行检查；

b) 深度测量时，应进行定位和水深数据实时同步采集与记录，定位数据采样频率不低于 1 Hz；

c) 对于海底地形地貌变化剧烈地区，应根据实际需要作加密测量，加密程度以完整反映海底地形地貌特征为原则。

7.3.2.4 声速测量与改正

- a) 应使用声速测量设备 (含定点投放式或抛弃式仪器) 测定声速剖面并进行声速改正;
- b) 至少每 7 天测定 1 次声速剖面, 在浅海和河口区测量时, 应增加声速剖面测量次数;
- c) 科学布设声速剖面测量站位, 并准确记录施测时间和位置;
- d) 特殊情况下可采用水文资料法进行声速改正。

7.3.2.5 补测或重测

在下列情况下应进行补测或重测:

- a) 漏测测线长度超过图上 3 mm 时;
- b) 实际测线间距超过规定间距 1.15 倍时;
- d) 测线布设或测量结果不符合导航精度或水深测量精度要求, 无法完整反映海底地形地貌时。

7.3.2.6 障碍物探测

对于水下障碍物, 应按照 GB 12327-1998《海道测量规范》要求进行加密探测。

7.3.3 数据处理

7.3.3.1 定位数据处理

定位数据处理要求如下:

- a) 当定位中心与测深中心二者水平位置不重合时, 应进行测点位置归算;
- b) 剔除定位粗差点。

7.3.3.2 水深数据处理

水深处理包括声速改正和水位改正, 水位改正包括吃水改正和潮位改正。

7.4 多波束测深

7.4.1 设备及安装要求

多波束测深系统选择应综合考虑测深范围、测深准确度、覆盖宽度和更新率等因素。根据调查海域水深分布范围, 确定适合任务需要的多波束系统。主要技术指标应达到如下要求:

- a) 中浅水多波束换能器波束角应不大于 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$, 深水多波束换能器波束角应不大于 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$;
- b) 在扇区开角不大于 150° 时, 有效波束数应不少于总波束数的 80%;

c) 运动传感器横摇、纵摇测量准确度应优于 0.05° ，升沉测量准确度应优于 0.05 m 或实际升沉量的 5% 取大者；艏向测量准确度应优于 0.1° ；

d) 需装备表层声速仪，且可正常使用。

e) 船上安装后，多波束测深系统各组成部分（导航定位设备、运动传感器和多波束换能器）的空间相对关系测量精度应优于 0.05 m 。

7.4.2 系统参数校准要求

参数校准包括横摇偏差、艏向偏差、纵倾偏差、导航延迟，导航定位系统具备 1 PPS 功能，可不做导航延迟校准。

各参数测定的要求如下：

a) 横摇偏差测定的准确度应优于 $\pm 0.05^\circ$ ；可在平坦海区布设 1~3 条计划测线，低速、匀速往返测量；

b) 艏向偏差测定的准确度应优于 $\pm 0.1^\circ$ ；可跨越一线性目标物布设一条计划测线，匀速往返测量；或者绕海底孤立目标物布设 2 条往返测线，用边缘波束扫测目标物；

c) 纵倾偏差测定的准确度应优于 $\pm 0.05^\circ$ ；可在一陡坡或特征物上布一计划测线，匀速度往返测量；

d) 测深与定位的时间延迟测定的准确度应优于 $\pm 0.1\text{ s}$ ；可在一特征物上布一计划测线，同速度往返通过目标测量两次，此法称为同一目标探测法；或同向不同速度通过目标，速度差别尽可能大，同时要保持均匀并严格在计划航线上行驶，此法称为剖面重叠法，测量中应尽量采用此法。

7.4.3 数据采集

7.4.3.1 数据采集

多波束全覆盖测量时，应满足：

a) 测量船速应不大于 12 kn ；

b) 测量时船只应提前 500 m 上线，保持匀速直线航行，航向修正速率不得超过 $5^\circ/\text{min}$ ；

c) 船只偏离航线不能超过条幅宽度的 10% ；

d) 测量时应确保有效波束数不小于总波束数的 80% 。

7.4.3.2 补测和重测

遇有下列情况之一，则应进行补测和重测：

- a) 漏测测线长度超过成果图上距离 3 mm 时;
- b) 检查线长度不符合要求时, 应补测检查线;
- c) 全覆盖测量时, 遇到下列情况应进行补测:

条幅重叠率 < 10% 的区块以及出现异常波束的区块面积累计超过测区总面积的 1% 时; 单个空白区块的宽度大于水深的 20% 时。

7.4.3 数据处理

7.4.3.1 数据编辑要求

- a) 对于定位数据中的跳变点、罗经数据中的航向异常变化和运动传感器数据中的船姿跃变等应进行编辑改正处理;
- b) 可利用坡度、深度、信噪比等参数对深度数据进行自动滤波处理, 剔除不合格数据, 但需检查正常地形是否被误删除; 也可利用人机交互式方法剔除不符数据;
- c) 深度数据编辑应遵循水深变化区间原则、地形变化连续原则、相邻条幅对比原则和中央波束基准原则。

7.4.3.2 深度改正项目及要求

- a) 换能器吃水改正: 根据实测的换能器吃水, 按照时间线性内插法求得其改正数;
- b) 换能器安装偏差改正: 根据计算得到的校准参数改正;
- c) 姿态改正: 将调查作业时实时采集的姿态 (横摇、纵倾、升沉等) 信息与测深点融合处理;
- d) 声速剖面改正: 声速剖面采样节点应满足软件对声速剖面数据要求, 必须保留声速剖面曲线的拐点和表征声速跃层变化点, 采样点甄选要遵循“浅层密、深层疏, 拐点密、直线疏”的原则;
- e) 潮位改正: 水深大于 200 m 海区不作潮位改正, 对于水深不大于 200 m 海区应作潮位改正。

7.4.3.3 数据输出要求

- a) 根据成图比例尺要求, 对处理后的测量条带数据进行抽稀, 并输出;
- b) 根据成图比例尺, 输出格网数据。

7.5 侧扫声呐

7.5.1 设备及安装要求

- a) 仪器安装

记录仪安装在船只摆动较小的实验室；仪器系统的安装应有良好的接地条件，避免电信号干扰；浅海调查时，应根据调查区水深确定拖曳方式，声纳操作室应有较好的通视条件。

b) 测前调试

作业前，应在测区或附近选择有代表性的海域进行调机，确保声纳信号质量，图谱记录清晰，调完后，采集和记录参数在测量时一般不再改动，遇特殊情况改动时，应及时在班报和打印记录上进行记录。

7.5.2 数据采集

a) 测量船应尽可能保持匀速、直线航行，船速不得超过 6 kn，拖鱼入水后，不得停船或倒车，避免急转弯；

b) 拖鱼离海底高度应控制在最大扫幅宽度的 10%，海底起伏较大的水域，可适当调整高度；

c) 更换测线时，船只应大弧度转弯，保证船只和船尾水下拖曳设备在进测线前对准测线；

d) 作业时偏航距应不大于测线间距的 25% (测线网调查方式) 或条幅宽度的10% (全覆盖调查方式)；

e) 测量定位点的间距应不大于成果图上 1 mm；

f) 每条测线的漏测率应不超过测线长度的 5%，连续漏测应不超过图上 2.5 mm；在地貌复杂海区，不得发生漏测现象。

7.6 浅地层剖面

7.6.1 设备及安装要求

7.6.1.1 设备要求

a) 声源

浅地层剖面仪的声源主要利用电磁脉冲或电声换能器产生，其发射脉冲主要为简单脉冲、Chirp 和窄波束等。

b) 接收换能器

接收换能器多为压电换能器型，可与发射换能器合用或分开，船载固定安装设备以分开为主。

c) 记录设备

1) 具有发射功率、采样率、接收增益、TVG、对比度和门限等调节功能；

2) 具有在接收频段内可任意选择中心频率和带宽的滤波器;

3) 具有图谱打印数据记录功能, 工作前记录器可由信号发生器进行调试, 使记录纸上的线条画面深浅均匀, 至少有 10 个以上灰阶。

7.6.1.2 仪器安装要求

a) 船底固定式安装应在船底气泡效应较小的地方;

b) 拖曳式换能器应布置在船舶尾部气泡效应较小的地方。

7.6.1.3 精度评估

主测线与联络测线剖面上相同层组的反射界面应能闭合。

7.6.2 数据采集

7.6.2.1 一般要求:

a) 进入测线前 100 m, 调整好航向, 并开始记录;

b) 调查船保持匀速、直线航行, 不得随意停船;

c) 航线偏离不大于相邻测线间距的 20%;

d) 拖曳式接收换能器, 应尽量减小入水角, 使拖曳阵保持平稳姿态;

e) 保持海底界面连续跟踪;

f) 对于有声速校正功能的浅地层剖面系统要进行声速校正;

7.6.2.2 补测与重测

在下列情况下应进行补测或重测:

a) 漏测测线长度超过成果图上 3 mm 时;

b) 实际测线间距超过规定间距 1.25 倍时;

c) 主测线和联络测线地层完全不能闭合时;

d) 测线方向布设不合理, 无法完整反映海底地貌与地层特征时。

7.6.3 数据处理

a) 资料处理

在资料处理过程中应制定相应的质控程序, 按SEG-Y标准格式存储浅地层剖面数据。

b) 定位改正

对于定位数据中的跳变点、航向异常变化等进行改正处理。对于定位天线与系统换能阵的距离也需要进行改正。

c) 滤波处理

进行针对性的滤波处理，包括涌浪滤波、带通滤波、匹配滤波、时变滤波以及去除多次波等。

7.6.4 剖面解释

a) 解释内容

地层剖面解释内容包括追踪反射界面、划分反射地层、分析反射波组的特征，进行地质解释。

b) 反射界面划分的原则

- 1) 同一层组的反射界面连续、清晰、可区域性追踪；
- 2) 层组内反射结构、形态、能量、频率等基本形似、与相邻层组有明显差异；
- 3) 主测线与联络测线剖面相同层组的反射界面可闭合。

c) 解释方法

- 1) 区域性强反射界面，且与邻层对比差异明显，通常是不同沉积类型的界面或沉积间断面；
- 2) 层内及层间界面的反射波位移 (错位) 或扭曲变形，一般是断裂或构造运动引起的地层牵引；
- 3) 层组呈现出声屏蔽现象，在杂乱反射情况下，出现透明亮点，通常反映沉积物中存在含气层；
- 4) 层界面起伏较大，其下反射模糊，一般定为声波基底；
- 5) 不同系统的解释应相对比、衔接；
- 7) 地层剖面的准确解释应与钻探资料相结合。

8 海底沉积地层及隐伏构造调查

8.1 调查目标及内容

开展反射地震探测成像，获得沉积层尺度的隐伏断裂结构，位置及其产状，断裂带的构造变形；通过钻孔探测及取样分析，划分第四纪地震地层，揭示断裂的几何特征和运动学特征，获得断层的活动性及活动周期。

8.2 仪器设备选用

8.2.1 仪器设备分类选择

多道数字地震调查应采用水平迭加 (共深度点) 方法，其覆盖迭加次数与排列长度

据实际需要而定；调查开始前，根据调查比例尺和拟探测目标层位埋深选择合适的仪器设备，并在作业海区附近调试设备，确定最佳工作参数；

a) 当探测埋深数米至数百米的隐伏断层时，可选择采用电火花震源或高频空气枪震源结合单道或小多道地震电缆开展反射勘探。

b) 当探测埋深数十米至数千米的隐伏断层时，宜采用大容量空气枪组合震源结合长多道地震电缆开展反射勘探。

8.2.2 仪器设备技术性能

a) 采集主机

- 1) 前放一致性：幅度差 $\pm 2\%$ ；相位差 $\pm 1\text{ ms}$ ；
- 2) 噪音：前放增益为 28 时，噪音不大于 0.13 pV ；前放增益为 26 时，噪音不大于 0.19 pV ；前放增益为 24 时，噪音不大于 0.66 pV ；
- 3) 漂移：任何道的漂移 $0\pm 1\text{ pV}$ ；
- 4) 串音：主放增益为 1 FP 时，串音不大于 -78 dB ；主放增益为 2 FP 时，串音不大于 -78 dB ；
- 5) 畸变：畸变不大于 0.06% ；
- 6) 陷波：任何道的衰减大于 40 dB ；
- 7) A/D转换器纯正性：线性误差不大于 0.02% ；
- 8) 动态范围：动态范围大于 78 dB ；
- 9) 脉冲响应：振幅差 $-2\%\sim 2\%$ ；相位差在 2 ms 以内；

b) 气枪震源

- 1) 气枪同步控制系统记录并行每一炮中各枪激发时间；
- 2) 枪阵中各枪同步误差不超过 $\pm 1\text{ ms}$ ，高分辨率采集震源气枪的同步误差 $\leq \pm 0.5\text{ ms}$ ；
- 3) 气枪容量不小于设计额定值的 80% ，工作压力不小于设计额定值的 90% ；
- 4) 峰峰比不小于 6；

c) 数字地震采集拖缆

- 1) 全缆绝缘电阻（下水前）应大于 $10\text{ M}\Omega$ ；
- 2) 电缆拖曳噪声小于 0.1 Pa ；
- 3) 各道之间相位差小于 1 ms ；
- 4) 各道之间振幅变化在 15% 以内；

5)其他技术指标应符合GB/T24261.1、GB/T24261.2、GB/T24261.3和SY/T5391的规定。

长多道电缆根据需要配置RGPS尾标及水鸟系统，相关技术指标应符合GB/T24261.1、GB/T24261.2、GB/T24261.3和SY/T5391的规定。

8.3 调查质量及精度要求

a)组合气枪总容量不低于规定值的80%，工作压力不小于90%，测线空废炮率小于6%；不正常工作道不超过总道数的1/12；

b)监视记录的技术线清晰，气枪同步信号和激发信号（TB）的断点清楚。

c)断层水平定位误差应小于或等于15m，探测深度误差应小于目标层埋深的8%。

8.4 测线布设要求

a)应根据地质任务，选择合适的比例尺和测线密度，在兼顾历史资料的基础上尽可能垂直目标断层走向。

b)对于前期有可参考资料可参照的海域，可按实际需要或沿经纬度走向进行测线布设。

c)当野外工作量大或已经具备历史资料时，出现分阶段实施作业，此时测网、测线应统一布设，包括主测线和联络测线编号。测线编号和桩号宜按照由西向东、由南向北增大的原则顺序编排；

d)分阶段实施地球物理调查的工区，后续阶段调查测线与前阶段应有一定重复，应保障能够对比、拼接，满足满覆盖半个排列加半个偏移距要求。

e)可视具体情况不等距布设测线；测线应尽量与其他地球物理测线一致，尤其应通过已有或拟开展钻探井位。

8.5 数据采集

7.5.1 施工参数确定

施工前应开展现场试验和采集参数论证，确定激发参数、接收参数、最佳作业采集参数；

a)激发参数应根据施工设计要求选择激发条件，确定震源组合及震源容量、震源沉放深度等参数。

b)接收参数应根据施工设计要求通过试验选择接收条件，确定排列长度、电缆沉放深度、记录长度等参数。通过加重平衡块、水鸟和罗盘位置调节等调节电缆平衡。

c) 地震作业采集参数应根据项目设计书要求进行地震作业采集参数试验，设计采集参数并实施试验资料采集，分析、确定资料采集过程中的各种关键参数。

7.5.2 航行要求

a) 船速和航向保持稳定，航速要求不超过5.5kn（对水速度），船只偏离测线超出规定范围时，应及时缓慢修整，修正率不得大于2°/km；

b) 到达测线起点前1km处电缆应拉直；

c) 到达测线终点后，应继续沿作业航向航行，航行的距离应超过半个排列长度加上1/2近道偏移距处的距离；

d) 炮点偏移设计测线的横向距离 $\leq 25\text{m}$ ，特殊情况，如避让岛礁、船只等障碍时除外。

7.5.3 野外工作资料

a) 地震作业班报；

b) 地震仪器日检、月检资料；

c) 地震质量监控记录剖面；

d) 炮点导航记录；

e) 地震数据磁带；

f) 气枪监控单炮记录文件；

g) 地震资料现场处（QC）报告。

8.6 数据处理

a) 检查仪器调试资料和原始记录班报资料等是否齐全，标示是否清晰，翔实。

b) 根据测区地质构造特点、探测任务要求和原始数据特征，通过试验确定处理参数和处理流程。

c) 常规地震资料处理包括：野外带解编、单炮与单道显示、坏炮与坏道编辑、叠前去噪、观测系统定义、滤波与振幅补偿、震源子波反褶积、静校正、多次波衰减和速度分析、动校正和叠加、叠后时间偏移、时变滤波、动平衡、成果剖面和成果记录带等；

d) 资料处理过程中应进行质量控制，并重点按下列要求做好处理：

1) 做好地震记录弱反射信号提取、干扰波特别是多次波压制等处理，确保处理剖面有较高的信噪比，且无影响构造识别的干扰波；

2) 速度求取应有足够的动校正速度分析段，提高反射波的叠加效果和时深转换精

度；

3) 地层倾角较大或绕射波发育时，应进行反射波的偏移归位处理，必要时可进行叠前深度或时间偏移处理，提高叠加剖面的成像效果。

e) 提交资料处理说明、主要处理模块的效果对比图件、处理参数和处理的时间剖面、偏移剖面、深度剖面等成果。

8.7 数据解释

7.7.1 宜采用叠加剖面 and 偏移剖面相结合的方式进行；依据地震剖面上的反射波组特征，结合地质和钻孔资料通过合成地震记录，进行反射波对比分析，确定反射波组和地质层位的对应关系，分析目标层反射波组变化情况。

7.7.2 反射剖面解释内容

- a) 在反射剖面上确定标志反射层；
- b) 根据钻井资料建立标志反射层与地质层位关系；
- c) 确定地层起伏、厚度变化及其接触关系；
- d) 编制地震测线与断层平面展布图。

7.7.3 识别隐伏断层及位置特征

- a) 反射波组或同相轴的明显错断；
- b) 反射波同相轴数目的明显增加或减少；
- c) 反射波同相轴产状突变，反射凌乱或出现空白区域；
- d) 反射波同相轴的强相位反转、地震相突变；
- e) 剖面上出现异常波，如断面波、绕射波等。

7.7.4 解释剖面图要求

- a) 标明测线桩号、测线方向、地震标志反射层符号、地质层位符号和断层或构造（线）；
- b) 当测线上有钻孔时，应标注界面的地质属性，给出相应的钻孔柱状图、钻孔位置及编号；当测线附近存在钻孔时，将钻孔位置垂直投影在解释剖面上，标注投影位置；
- c) 成图横向比例尺宜为 1:10000~1:500，纵向比例尺宜为 1:25000~1:1000；
- d) 地质解释剖面图宜为满足数据管理要求的矢量格式文件，并标明软件名称和版本。

9 海洋深部地壳结构调查

9.1 调查目标及内容

开展海洋深部地壳结构调查，摸清结晶基底面、莫霍面的形态，调查深大断裂构造的展布情况和深部构造环境，研究区内断裂带深部构造成因、孕震背景和地震危险性，理解海域活动地块和活动构造的演化历史及成因。

海洋深部地壳结构调查作业内容包括：技术设计、设备准备、数据采集、数据处理与解释、调查成果提交。

9.2 技术设计

9.2.1 调查的技术要求

人工地震调查的主要技术指标 (使用 OBS 进行海上调查时应符合如下要求)：

a) 使用气枪震源时：组合气枪总容量不低于规定值的 80%，震源工作压力不低于额定压力的90%，整条测线的空废炮率小于 6%，气枪容量与压力的设置以观测到既定调查目标为原则；对于非气枪震源，可以在广泛应用后完善；

b) 调查作业期间 GNSS 接收机同时接收的卫星颗数应等于或大于 4 颗，用于定位的卫星仰角应大于 5 度；

c) OBS回收率 85%以上；

d) OBS数据的有效率应不低于 90%；

e) 测线两端应各延伸出一定距离，确保两端点的 OBS 可以记录到有效的双侧数据。例如以探测地壳厚度为目的的 OBS 主动源探测试验中，台站间距为 20 km，测线两端应至少延伸出 20 km。

天然地震调查的主要技术指标(使用OBS进行海上调查时应符合如下要求)：

a) 连续观测时间通常应不少于 1 个月；

b) 使用长周期宽频 OBS；

c) OBS 回收率 50% 以上；

d) OBS 数据的有效率应不低于 90%。

6.2.3 调查站位和测线的布设

站位和测线布设应符合以下要求：

a) 根据调查目标和工作条件，制定 OBS 的作业方案，包括使用的 OBS 数量、布设位置 (经纬度)，放炮线路 (长度，单位 km)，确保探测对象的射线覆盖次数不

小于 10 次；

b) 主测线垂直于构造走向，联络线平行于主测线，也可视具体情况布设测线；

c) OBS 台站间距由测线长度和设备数量确定，一般不超过 30 km，根据具体情况可不等间距分布；

d) 炮间距根据探测目标的尺度来确定：以地壳厚度为目标的探测试验，炮间距通常为100 m~300 m。

9.3 调查设备要求

9.3.1 通用技术指标

OBS 通用技术指标应包括以下内容：

a) OBS 地震传感器至少为 4 分量，一个垂直分量，两个互相正交的水平分量，一个水听器，配有相应的方位记录器；

b) 对于速度型地震计，短周期高频 OBS 频率范围包括且不止于：2 Hz~100 Hz；长周期宽频 OBS 频率范围不小于：0.033 Hz (30 s) ~50 Hz；

c) OBS 内置两套释放启动方法，一是现场声波回收；二是自动定时上浮；

d) 整个 OBS 配重应保证上浮速度在0.5 m/s~1.5 m/s；

e) 沉耦架与 OBS 重量应匹配，下沉速度0.5 m/s~1.5 m/s；

f) OBS 应能在有一定坡度 (不小于 30°) 的斜坡上正常工作；

g) 针对不同观测实验，OBS 内置电池工作时间应能满足实验所需时间的2倍以上。

9.3.2 记录器技术指标

记录器技术指标应包括以下内容：

a) OBS 记录器的数据最高采样频率应不低于 125 Hz；

b) 数据存储容量应不小于 32 GB；

c) 内部时钟设有绝对时间服务，时间准确度优于 100 ms/yr；

d) 动态范围 ≥ 120 dB。

9.3.3 震源技术指标

针对空气枪震源，技术指标应包括以下内容：

a) 单枪启动稳定性要求在 ± 1 ms 以内；

b) 组合阵内各气枪应同步工作，启动误差在 ± 2 ms 以内；

c) 组合气枪沉放深度与设计沉放深度差值应小于 1.0 m；

d) 以地壳厚度为探测目标的试验中，气枪容量应不小于 0.074 m^3 。

9.4 数据采集

9.4.1 OBS 的投放和回收

OBS 的投放和回收过程应严格遵循以下原则：

a) 记录实际投放点的坐标和水深；

b) 投放时，在 OBS 入水时才可脱钩释放；

c) 回收时，记录打捞点的坐标；

d) 投放和回收 OBS 时，对现场作业应进行拍照和录像记录，以备后期需要；

e) 对打捞上来的 OBS 应立即用淡水进行清洗，并确认已完成对钟，然后进行数据拷贝，包括记录器的时钟漂移文件和水平分量方位记录；

f) 回收时，若出现 OBS 释放命令没有应答的情况，应将船移至以投放点为中心的多个方位、不同距离处进行多次尝试。

9.4.2 航行要求

海上航行作业时，应遵循以下原则：

a) 震源船放炮作业时，船速和航向应保持稳定，偏离测线距离 $<20 \text{ m}$ ；

b) OBS 投放时，驾驶人员应在到达站位 1 km 之前通知投放人员准备，并及时减速，按一定距离间隔通报离投放点的距离。到达投放点时，船速应降低至满足安全投放和操控的要求。投放人员根据通报距离，在离投放点 50 m 内投放 OBS，并记录坐标；

c) 震源激发作业应不早于 OBS 投放完成后 4 小时 ；

d) OBS 回收时，可在原投放点或一定距离内（由甲板单元探测能力确定）停船，待船速小于 1 kn ，或根据需要当条件允许时停止主机，将甲板单元的声学探头放入水中，发出释放命令，同时记录坐标。

9.4.3 定时定位技术

定时定位技术的主要内容如下：

a) 放炮点坐标、OBS 投放和回收坐标，均由船载 GNSS 定位系统确定；

b) 根据探测作业对 OBS 站位精度的要求，进行二次定位，确定 OBS 的精确位置；

c) 精确测量气枪放炮点与船载 GNSS 天线的距离，精确到米，用于数据处理时校正炮点坐标；

d) 采用专业导航系统和自带 GNSS 的精密时间记录仪，精确记录枪控激发信号的GNSS 时间，精度 1 ms，用于校正枪阵系统炮时 (精度为整秒级)；另外在船上放置自带 GNSS 的短周期地震仪记录放炮时的甲板脉冲信号，用于炮时校正。

9.4.5 野外工作资料

9.4.5.1 原始数据验收

验收内容如下：

a) 震源资料：地震磁带资料 (或单道资料，如有的话)、气枪记录，计时器时间记录、导航定位资料和航行日志或手簿等；

b) OBS 资料：OBS 原始记录和转换为通用地震格式 (如 SEG-Y、SAC) 的每个台站的数据及班报；

c) 上船前 OBS 的检测与维护记录报告。

9.4.5.2 图件汇交

验收时应提供以下图件：

a) 工区位置示意图；

b) 航行轨迹 (导航) 图；

c) 地震记录剖面图，通常为折合时间剖面；

d) 验收标准

参照上述质量控制、设备要求和作业技术指标，全部达到上述要求即为合格。

9.5 资料处理与解释

9.5.1 基础资料搜集与整理

a) 水深数据和地形图；

b) 地层速度资料；

c) 反射地震资料；

d) 相关的地质、钻探和重磁等资料。

9.5.2 资料处理

资料处理应执行以下要求：

a) 根据船载 GNSS 设备和放炮点的距离与方位校正炮点坐标，形成炮点坐标文件；

b) 根据上述精确时间记录校正放炮时间，形成放炮时间文件；根据班报资料和实测波形 (如室内地震仪波形)，整理炮点相关文件，确保各炮时间和位置一一对应；

- c) 位置校正前将投放坐标和水深作为 OBS 的位置信息，形成 OBS 坐标文件；
- d) 使用时钟漂移文件，对 OBS 记录的时间进行校正；
- e) 对于二维广角深部探测，可通过理论直达水波模拟，对 OBS 坐标进行校正。

对于三维OBS探测实验，可使用交叉测线的直达水波信息和水深信息反演处 OBS 坐标信息；

f) 对二维剖面进行解释，可用最小二乘法等方法将炸测点坐标和 OBS 坐标投影到剖面上。

9.5.3 反演解释

反演解释应考虑 OBS 主动源调查和被动源调查的区别，包括以下内容：

a) OBS 人工地震记录主要是记录广角地震的反射/折射，借助折合时间剖面来识别和拾取震相，采用射线追踪正反演技术来构建速度结构。以水听计分量或垂直分量来反演纵波速度结构，在此基础上用两个水平分量来构建剪切波速度结构；

b) OBS 天然地震记录可以采用和陆地相同的各种方法进行研究。

9.6 调查成果

- a) 航次报告：设计书、人员、船舶、执行过程、质量控制、完成任务情况等；
- b) 班报；
- c) OBS 坐标设计和实际投放表；
- d) 原始记录资料 (以移动存储设备存储) ；
- e) OBS 折合时间剖面图；
- f) 后期反演剖面或层析成像成果；
- g) 影像资料。

10 典型示范区实际工程应用实例

工作组基于国家重点研发计划项目“海域地震区划关键技术研究”所属课题“海域活动构造框架和地震构造模型研究”，对台湾海峡进行了综合地球物理调查，开展精细的数据处理与分析工作，对比分析不同调查手段对同一断裂构造发育特征的识别程度，探讨了各种地球物理调查方法在海域断裂探测方面的适用性。

10.1 外业调查方法及工作量

10.1.1 工作量

在台湾海峡区域完成了 2 条测线 TW01 和 TW02（位置如图 2 所示）的综合地球物理调查：利用电火花震源 800J、1400J 和 2000J 能量完成 TW01 测线单道地震探测、利用电火花震源 800J、1200J 和 2000J 能量完成 TW02 测线单道地震探测，共计 270km；利用电火花震源 800J、1400J 和 2000J 能量完成 TW01 测线 48 道小多道地震探测、利用电火花震源 800J、1200J 和 2000J 能量完成 TW02 测线 48 道小多道地震探测，共计 270km；利用气枪震源完成了 90km 的 48 道小多道地震勘探；利用气枪震源完成了 90km 的 72 道大多道地震探测；同时还完成了 90km 的浅水多波束海底地形勘探、90km 的侧扫声呐探测、90km 的声波浅层剖面探测、90km 的磁力测量，具体工作量如表 1 所示。

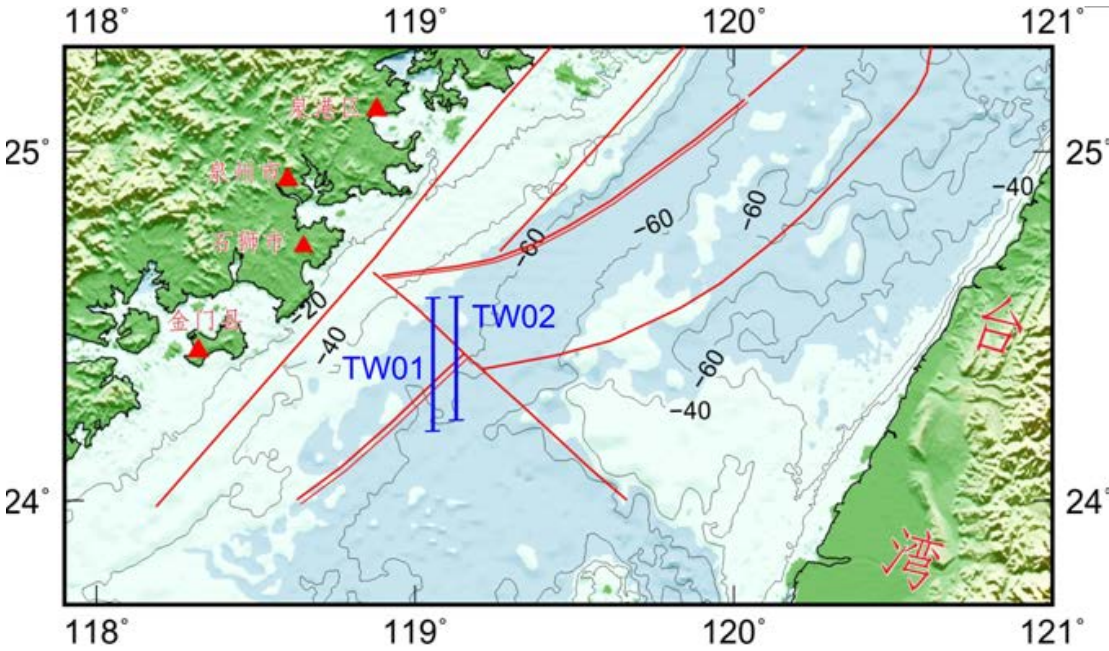


图 2 海上地球物理测线布设示意图

表 1 完成工作量

技术手段	测线长度 (km)	备注
单道地震	270	电火花震源：TW01 测线 800J、1400J、2000J；TW02 测线 800J、1200J、2000J
多道地震（48 道）	270	电火花震源：TW01 测线 800J、1400J、2000J，TW02 测线 800J、1200J、2000J
	90	GI 枪震源
多道地震（72 道）	90	GI 枪震源
侧扫声呐	90	
浅地层剖面	90	
多波束测量	90	
磁力测量	90	

10.1.2 工作方法

根据承担本项目的调查船以及配置的各调查设备的情况，结合调查区水文、地质、地球物理特征，正确、合理应用海上调查技术和方法，为项目室内研究、分析及最终成果提供优质、有价值的基础资料。海上工作中，各调查项目的工作方法如下：

导航定位

综合导航定位系统由Trimble SPS 351 差分 GPS 接收机与 HYPACK 综合导航软件系统的组合。在本项目中用于浅地层剖面仪、单道地震系统、侧扫声呐、磁力仪、48 道小多道、72 道大多道调查项目的导航定位，各调查设备的定位数据由 Trimble SPS 351 差分 GPS 信标机或 HYPACK 综合导航软件系统提供；另外，多波束测深定位使用 POS-MV 三维姿态仪提供。

导航系统使用的参数为：WGS-84 坐标系、GMT 时间、UTM 50N 投影、中央经线 117°。

DGPS 接收机在出航前进行了 24 小时稳定性试验，试验结果内符合误差小于 1m。

综合物探调查定位点为 GPS 天线位置。

多波束测深定位使用 POS-MV 三维姿态仪提供，除了提供定位坐标，该系统还提供横摇、纵摇、航向等详细的调查船姿态信息。

按设计测线导航定位作业，实际测线偏距要控制在 100m 以内，偏距超过 100m 的测线超过该测线长度的 5%时，要进行补测。在避让船只或岛礁等特殊情况下，以航行安全为原则实时处理。

单道地震测量

单道地震测量使用 Geo Mini-Trace II 和 Mini-streamer 24 单元接收缆组成的单道数据采集系统和 Geo-Sparker 2000X 电火花震源系统。

出航后在工区内选择一条测线再次进行联机试验确定整个采集系统工作正常，并在试验过程中选定最佳的作业参数，如震源激发间隔、电火花震源和电缆沉放深度以及震源和电缆放出长度等。

本航次信号接收电缆沉放深度为 0.5~1m，震源沉放深度为 0.4m，震源与接收电缆的偏移距为 4m，

本航次采用等距离触发模式，触发间隔 6.25m，记录长度采用 500ms。

根据海况和资料质量确定船速，由于本航次单道地震作业采用等距离激发模式，

船速的变化不会影响单道资料的水平分辨率，船速一般控制在 5 节左右，并尽量保持恒速。

单道地震原始数据（包含导航定位数据）以 SEG-Y 格式记录。每日定时对原始数据文件进行备份，确保原始数据安全。

多波束测深

根据本项目作业目标，多波束测量主要测量测线两侧的海底地形数据，该系统主要分为测量准备、设备安装、校正、测量等几个部分。

测量前首先将仪器设备安装并调试好，然后放仪器入水并测量设备的吃水深度、发射功率等有关技术参数后进行水深测量。

外业测量时，测船上的工程师及技术人员密切注意测船航迹、测深记录及接收机接收卫星质量等情况，采用计算机自动测深系统实时同步采集来自 GPS 接收机、多波束测深仪的测点坐标、水深值、时间等原始数据，并自动以 PDS2000 系统特有的格式保存到 PC 机中；测量完毕将上述原始数据备份存盘以供内业处理。

磁力测量

由于采用大型调查船作业，按照大于三倍船长要求磁力电缆施放长度 200m。磁力仪采样率设置为 1Hz。

船速一般控制在 5 节左右（尽量保持恒速）。每日备份原始记录数据，确保原始数据安全。

浅地层剖面测量

出航前，对系统进行联动试验，确保系统各部分工作正常；正式工作前在测区内选择一条测线进行参数试验，配置最佳的采集参数，如发射频率、量程范围、脉冲数量、工作模式、增益以及船速等（表 2-4）。

根据海况和资料质量确定船速，一般控制在 5 节左右（尽量保持恒速）。

原始数据（包含导航定位数据）以 odc 和 segy 格式记录，每日定时对记录系统的原始数据文件进行备份，确保原始数据安全。

侧扫声呐测量

根据本项目设计要求，侧扫声呐系统主要用于探明测线两侧的地貌特征，满足下列要求：

a) 具有航速校正和斜距校正等功能； b) 实时记录地貌数据与定位数据。 c) 侧扫声呐图像清晰。

多道地震测量（48 道、72 道）

根据作业参数海上对比试验和项目设计探测目标，本次多道地震数据采集系统采用道间距 3.125m 的 48 道小多道地震采集系统和道间距 12.5m 的大多道地震采集系统（表 2.5-2.7）。震源分别采用电火花（能量：800J-2000J，每条测线选择 3 个能量）和 GI 枪。作业时，48 道小多道分别配合电火花和 GI 枪进行作业，72 道大多道只和 GI 枪配合作业。为了尽量保留高频信号，电火花震源和 48 道小多道水听器电缆沉放深度约 0.4m。另一方面，为了提高探测深度，气枪震源和大多道水听器电缆沉放深度约 7m。

10.2 方法对比

海域活动断裂构造勘察的本质就是对活动构造产生的地形地貌形态以及海底地层错动的探测，通过对台湾海峡滨海断裂带相关地球物理数据的采集和处理，综合运用多种地球物理勘察技术方法，系统地开展不同探测手段对海底活动断裂构造识别能力对比分析，得出以下结论：

1、构造地貌分析是研究海底构造演化的重要手段之一，但是一般调查成本较高，周期长，一般只在地形变化较大的重点区域开展探测工作。多波束和侧扫声呐探测技术为海底声波探测，由于探测目标不同，使用的声波频率和强度也有差异，低频的探测深度较深，高频的分辨率较高，一般低频用于探测深海水深，高频用于浅海水深（? m）。相关数据可以获得地壳活动引起的海底表面变形活动发育程度和空间分布特征，进行活动构造的地形地貌分析。

2、海洋磁力探测是通过分析海底岩石和矿石磁性差异所产生的磁异常场，探索区域地质特征，获得基底的起伏、沉积的厚度、大断裂的展布和火山岩体的范围等，适用于沉积层下的基底大断裂构造，在海域活动断裂构造探测中，一般采用宽间距的路线测量和小范围面积测量，以查明条带状磁异常的展布方向和磁场特征，判断断裂构造分布，但对断裂活动性判断比较困难。

3、海洋浅地层剖面仪主频较高（几 kHz~十几 kHz），地层分辨率较高（一般为数十厘米），探测深度较小，一般仅能穿透软土层（不含砂夹层），可以揭示海底面以下 100m（泥质区）范围内的沉积地层，用来划分地层层序，研究沉积结构及古环境变化。主要用于对浅部覆盖层进行精细划分和对水底地形进行测量，且对薄层的分辨力较强。一般用于浅部地层结构、古河道等海底不良地质结构的探测，对海底断裂构造探测及识别比较困难。

4、单道地震探测主频一般在 500~1500Hz 之间，能更好地保留高频信号，提高地

震记录分辨率，最高分辨率可达 30cm，穿透能力比浅地层剖面强，可达海底以下 200m（2000J），采集效果受环境噪声干扰大，无法获得有效的地层速度信息，并且资料的后处理手段相对较少，无法做到精细处理和目标处理，但具有高分辨率、高效率、低成本的优点，可以识别海底沉积、基底起伏、浅部断裂构造等信息。

5、使用宽高频大能量电火花震源和小道距高分辨率数字地震拖缆具有探测精度高、分辨能力强、作业方式灵活、机动能力强等突出优点，分辨率达到 1~3m，可以提供更高信噪比和深部反射信号，成像剖面上活动断裂特征突出，断裂位置和断点准确、清晰，波组的接触关系明了，适合海底以下 100m~500m（震源能量 2000J）深度范围内高精度活动断裂构造探测，可探测到强风化岩顶界面乃至中风化顶面，对薄层的分辨能力较高，可判断活动性断裂是否错断软塑、可塑粉质粘土以下到强风化岩顶之间的界面和确定断裂活动年代；可以全面了解海底活动构造的浅、中层的构造情况，能够为浅部活动断裂构造的识别和划分提供详细支持。当使用 GI 枪震源时，小多道地震地层穿透较深，地层剖面连续性较好，但是叠加次数少，信噪比较低，对于活动构造地层错动的判断信息较差。

6、GI 枪大多道地震勘测相对于浅地层剖面 and 单道地震探测而言，其频带范围在 10~200Hz 之间，属于低频地震探测的范畴，多道拖缆道间距大、排列长，中大偏移距水听器更有利于深部反射信号的接收，且叠加次数高，能够获得强能量、高信噪比的海底中、深部地层的地震反射资料，穿透深度大，探测深度可达数千米，但浅部分辨率较低，分辨率在 10m 左右，适合开展基底断裂构造探测。

通过对不同勘测方法的对比分析，针对海域活动断裂构造探测给出几点建议：首先，海洋地球物理探测的深度范围同观测仪器的分辨率成反比，即所研究对象的深度愈大，获得数据的分辨能力就愈低。例如，在反射法地震勘探中，使用的频率范围高，将获得良好的分辨率，而勘探深度却很浅；为了获得深部的资料，只有使用低频范围，获得较大的勘测深度，然而势必丧失分辨能力。因此，需要根据实际需求的具体情况，选择最佳的探测手段。

10.3 海域活动断层探测建议

通过对不同勘测方法的对比分析，针对海域活动断裂构造探测给出几点建议：

首先，海洋地球物理探测的深度范围同观测仪器的分辨率成反比。例如，在反射法地震勘探中，使用的频率范围高，将获得良好的分辨率，而勘探深度却很浅；为了获得深部的资料，只有使用低频范围，获得较大的勘测深度，然而势必丧失分辨能力。因此，

需要根据实际需求的具体情况，选择最佳的探测手段。

根据本次课题研究结果，我们建议：

a. 对于水深小于100m，海底第四系厚度小于100m，建议活动断裂探测采用小能量电火花和浅地层剖面方法；

b. 水深小于100m，海底第四系厚度大于100m，建议活动断裂探测采用大能量电火花震源小多道或单道地震方法；

c. 水深大于100m，海底第四系厚度小于200m，建议活动断裂探测采用大能量电火花震源小多道调查方法；

d. 水深大于100m，海底第四系厚度大200m，建议活动断裂探测采用CI枪小多道地震方法；

海底地形地貌基本上都是采用多波束调查，根据水深情况采用浅水多波束和深水多波束，地貌采用侧扫声呐，水深100米以上就需要搭载到深拖上面，潜到海底调查。

其次，海洋综合性测量越来越受到重视，单一测量项目的测量已不能满足要求；同时，能够减少不同地球物理勘探方法的多解性。

最后，建议应尽可能利用测区内的钻孔资料和各种地球物理测井资料，加强对各种资料的综合研究，才能不断提高海域活动断裂构造探测能力。

表 2 探测方法对比建议

物探手段	工作环境	优点	缺点
地貌调查	适合大部分海域，工作条件要求较低。	直接反应活动构造引起的海底变形，进行地貌分析	调查成本较高，周期长，单纯依靠地貌变化比较难判断活动断裂。
磁力探测	宽阔海域，远离大型船只航线。	采集及数据处理简单，不受沉积物底质类型限制	磁场受外界干扰较大，不能反映断裂构造活动性
浅地层剖面仪	适合大部分海域，工作条件要求较低。	主频高，分辨率高，施工简单，作业效率高	穿透深度低，受影响因素较多
电火花单道地震	电火花震源基本没有工作条件限制；	高主频，分辨率高，施工简单，作业效率高	外界干扰较多，不容易压制多次波，穿透深度有限，并受到海底沉积物类型限制
电火花小多道	5米以上水深	高主频，分辨率高，信噪比高，深部信息信号清晰	穿透深度有限，并受到海底沉积物类型限制，深水信号叠加次数少，效果等同于单道。

GI 枪小多道	水深大于 10 米	主频低，信噪比低，分辨率低，高底质干扰小，穿透深度较高	道间距小，最大偏移距小，信号叠加次数少
GI 枪大多道	水深大于 50 米	主频低，信噪比低，分辨率低，高底质干扰小，穿透深度较高，信号叠加次数	偏移距大，信号叠加次数多，深部信号清晰