



团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

海上风电场地球物理勘探技术规程

Technical code of practice for geophysical exploration of
offshore wind farms

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
4.1 物探任务	2
4.2 工作流程	3
4.3 仪器设备管理	4
5 方法技术	4
5.1 一般规定	4
5.2 多波束测深法	5
5.3 侧扫声呐法	8
5.4 水域地层剖面法	8
5.5 水域多道地震勘探法	10
5.6 海洋磁法	12
5.7 海洋电磁法	13
5.8 电磁感应法	16
5.9 地球物理测井	16
6 导航定位	18
6.1 一般规定	18
6.2 水面定位	19
7 综合应用	19
7.1 一般规定	19
7.2 海底地层探测	20
7.3 海底地质构造探测	20
7.4 海底浅层气探测	21
7.5 海底管线探测	22
7.6 海底障碍物探测	22
8 成果报告	22
附录 A (资料性) 探测项目及方法	24
附录 B (资料性) 物性参数表	25
附录 C (规范性) 常用计算公式	27
参考文献	28

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由长江地球物理探测（武汉）有限公司、上海勘测设计研究院有限公司共同提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：长江地球物理探测（武汉）有限公司、上海勘测设计研究院有限公司、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

为完善风电行业标准认证体系，积极参与国际标准体系打下基础，规范和指导我国海上风电场工程地球物理勘探工作，以满足风电工程开发建设的需求。针对海上风电场工程勘察任务特点，统一海上风电场地球物理勘探的工作流程、方法技术、仪器设备、成果报告编制，长江地球物理探测（武汉）有限公司、上海勘测设计研究院有限公司等单位共同编制完成本文件。

本文件规定了在海上风电场工程勘察工作中的地球物理勘探工作方法技术要求，保证物探成果质量，充分发挥地球物理勘探技术在海上风电场勘察中的作用，制定本标准。

海上风电场地球物理勘探技术规程

1 范围

本文件规定了海上风电场地球物理勘探作业中的工作流程、方法技术、仪器设备、数据采集、测量定位、资料处理、成果报告编制等方面的要求。

本文件适用于海上风电工程，其他同类水上工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 51395 海上风力发电场勘测标准
- NB/T 10106 海上风电场工程钻探规程
- NB/T 10225 水电工程地球物理测井技术规程
- NB/T 35101 水电工程弹性波测试技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海上风电场 offshore wind farm

在沿海多年平均大潮高潮线以下海域建设的，利用海上风力资源发电的发电场。

3.2

多波束测深法 multi-beam sounding method

利用声波反射原理，采用声学换能器阵列获得由大量波束测深点组成的垂直航向的测深剖面，实现高分辨率水下地形测量的一种物探方法。

3.3

侧扫声呐法 side scan sonar survey

利用声波反射原理，采用声学换能器向海底发射声波，获得海底回波信号，实现海底地貌成像的一种物探方法。

3.4

水域地层剖面法 waters stratum profiling detection

利用弹性波反射原理，采用地层剖面仪进行水底地层结构和构造探测的一种物探方法，分为浅地层剖面探测和中地层剖面探测。

3.5

水域多道地震勘探法 waters multiple-channel seismic exploration

对具有波阻抗差异的水底地层或构造，采用人工激发宽频带地震波技术并进行多次覆盖探测的一种反射波地震勘探方法。

3.6

海洋磁法 marine magnetic prospecting

通过测量海域地磁场变化，探测海面以下金属或具有磁性物体的空间位置和几何形状的一种物探方法。

3.7

海洋电磁法 marine controlled-source electromagnetic method

通过在海底采用可控制的人工场源发射电磁信号,并在远离场源位置观测相互正交的电场和磁场,探测海底以下介质电性分布的一类电磁勘探方法。

3.8

电磁感应法 electromagnetic induction method

通过观测和研究人工或天然源形成的电磁场的空间分布和时间(或频率)的变化规律,解决有关的各类地质问题的一类电磁勘探方法。

3.9

地球物理测井 geophysical well logging

利用电、声、热、放射性等物理性质的仪器测量孔周岩层或井液物理参数和特性的一类地球物理测试方法。

3.10

电测井 electrical logging

利用人工电场和自然电场的传导原理,采用不同电极系测量钻孔内地层和井液电阻率或电位的测试方法,包括电阻率测井和自然电位测井。

3.11

电位电极系 normal sonde

不成对电极至成对电极的间距小于成对电极间距的电极系。

3.12

梯度电极系 lateral sonde

不成对电极至成对电极的间距大于成对电极间距的电极系。

4 基本规定

4.1 物探任务

4.1.1 海上风电场地球物理勘探应根据任务书要求、工程地质条件、地球物理条件等,合理选用物探方法;选用的物探方法及采用的仪器设备应满足任务书要求;方法应用范围宜符合附录 A 的规定。

4.1.2 当现场条件复杂、单一物探方法难以达到任务书要求时,海上风电场地球物理勘探应选择多种方法进行综合探测,且选用的物探方法应遵循优势互补、互相佐证的原则。

4.1.3 海上风电场地球物理勘探工作应遵循外业和内业同步进行、内业指导外业的原则,现场及时对原始资料进行初步整理和解译。

4.1.4 海上风电场地球物理勘探资料收集与现场调查应符合下列要求:

a) 应收集和分析与探测对象有关的物性参数以及水文、地质、钻探、物探、测绘等相关技术资料;

b) 现场调查应主要包括实地调查气象、潮位、海底地形地貌、助航标志、管线、航行障碍物线、现场工作条件等,并核对已收集的相关资料。

4.1.5 海上风电场地球物理勘探现场工作前,应进行方法和技术参数试验,试验工作应符合下列要求:

a) 应根据海底地形、地质与地球物理条件、物探任务制定试验方案;

b) 试验工作应遵循由已知到未知、简单到复杂的原则,试验地段应选在具有代表性的航段或有勘探钻孔的部位;

c) 试验内容宜包括物探方法选择、仪器工作参数、现场工作参数、测网布置及点距等;

d) 试验结束后应及时对资料进行处理和分析,并做出明确结论;

e) 在探测中遇到局部航段记录质量明显下降时,应做补充试验,找出原因,调整适合的工作方法和现场工作参数,使记录质量得到改善。

4.1.6 海上风电场地球物理勘探测网布置应符合下列要求:

a) 测线长度和测网密度应根据勘察目的,结合探测目标体的规模和埋深确定;

b) 物探异常区域应加密测线和测点;

c) 测点间距应根据物探方法和工作任务合理选择,且满足探测精度要求。

4.1.7 海上风电场地球物理勘探仪器检查记录、原始记录、资料检查与评价记录、校审记录等物探记录应符合下列要求：

- a) 原始记录应包括班报记录、测量记录、观测数据或记录；
- b) 班报记录宜包括工程名称，测区、测线、测点和孔号、记录文件号、工作日期、工作单位、操作人员、仪器名称及型号、主要工作技术参数、观测过程中的异常情况和观测系统主要参数等；
- c) 仪器电子记录的数据文件号应与纸质记录一致，文件内容应齐全完整，电子记录应备份；
- d) 记录不应涂改、擦去或撕页。

4.1.8 海上风电场地球物理勘探资料检查应符合下列要求：

- a) 现场测试人员应对全部原始记录进行自检；
- b) 专业技术负责人应组织人员对物探记录进行检查及验收，抽查率不应小于 30%。

4.1.9 海上风电场地球物理勘探重复观测应符合下列要求：

- a) 仪器参数或观测条件改变的情况下，应进行重复观测；
- b) 观测数据质量下降或不合格时，应分析原因，并调整方案进行重复观测。

4.1.10 海上风电场地球物理勘探数据处理和解释应符合下列要求。

- a) 应对现场记录和采集的原始数据进行检查和评价，异常数据应分析原因；对于“飞点”或不合格数据，应剔除。
- b) 资料解释推断应结合钻孔资料等，分析和研究各种异常现象和特征，遵循由已知到未知、先易后难、由点到面、点面结合的原则，得出客观准确的结果。
- c) 数据处理软件应为有效软件或有软件著作权的软件。

4.2 工作流程

4.2.1 海上风电场地球物理勘探工作宜采用下列工作流程：

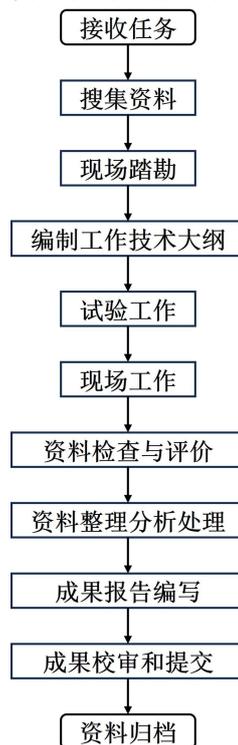


图 4.2-1 海上风电场地球物理勘探工作流程图

4.2.2 海上风电场地球物理勘探工作实施前应编制工作技术大纲或方案，内容宜包括：

- a) 项目概况，包括工程简介、物探任务来源等；
- b) 测区气象、地形、海底地貌图、地质、潮位等资料、地球物理条件、以往的物探工作成果；
- c) 探测目的和任务及工作量，探测依据及技术要求；
- d) 测量定位和物探方法与技术，包括技术难点、关键问题及对策、试验工作、观测系统布置、测线布置等；
- e) 项目组织机构和仪器设备；

- f) 工作进度与工期安排；
- g) 预期提交的成果；
- h) 质量、职业健康、安全和环境保护措施；
- i) 现场配合和协调工作。

4.3 仪器设备管理

- 4.3.1 仪器设备应由专人负责管理，每台仪器应单独建立档案，详细记录其使用及交接情况、校验情况、故障和维修处理情况等，仪器上应有明显的状态标识。
- 4.3.2 仪器不使用时，主机和主要配件应存放在清洁、干燥、防尘、通风、无腐蚀性气体的仪器专用库房内。对于采用内置电池供电的仪器，长期不使用时应定期对仪器进行充电维护。
- 4.3.3 仪器出入库应进行完好性检查并记录状态。仪器运输前应进行妥善包装，包装箱内应有防振设施，箱外应注明“防潮、防震、勿倒置”等字样或警示符号，仪器到达现场后应进行检查并记录仪器状态。
- 4.3.4 仪器使用说明书、操作手册、软件及使用和维护的有关技术资料应有专人保管，借出应办理相关手续。
- 4.3.5 用于物探工作的仪器设备均应经校验合格，仪器校验周期不宜超过一年，仪器主机的主要部件维修后应记录处理情况，并重新进行校验；
- 4.3.6 仪器运输过程中应做好防震措施，到达工地后应检查仪器，每个工区工作前和工作后应对仪器设备进行检查。

5 方法技术

5.1 一般规定

- 5.1.1 海上风电场地球物理勘探应根据探测目的、任务要求、海况、地质与地球物理条件选用多波束测深法、侧扫声呐法、水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、海洋磁法、电磁感应法、地球物理测井等物探方法。
- 5.1.2 多波束测深法、侧扫声呐法、水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、海洋磁法应采用走航式连续探测方式，并应符合下列规定。
 - a) 当水下拖曳探头距勘探船较远时，宜采用超短基线水下声学定位系统，现场开始工作前应对定位系统进行安装姿态校正。
 - b) 勘探船应沿测线延伸线提前上线、推迟下线。在有拖缆的情况下，延伸线长度不应少于拖缆长度的2倍，磁法探测时，拖曳电缆长度不应小于勘探船长度的3倍。
 - c) 工作航速不宜大于5kn，施测过程中不应随意停船或倒车。
 - d) 勘探船航向应保持稳定，航迹与设计测线偏离距不应大于10m。
 - e) 采用多种方法综合探测时，同一测线应采用统一的起始桩号。
- 5.1.3 海上地球物理勘探船应符合适航标准且能适应工区海况与风力条件下作业，可保持5kn以下航速工作，满足水上探测对导航定位、安全、消防与救生、通信、供电、设备安装与收放等方面的要求。
- 5.1.4 成果图件应包括海上物探测线和测点位置平面图、物探成果图、物探成果地质解释图等。
- 5.1.5 海上现场作业安全应符合下列规定：
 - a) 吊放设备的钢缆额定拉力应大于受拉力；
 - b) 作业前，应对设备、电缆、钢缆、保险绳、绞车、吊机等进行检查，并应确认安装牢固且符合作业要求后方可开始作业；
 - c) 遇危及作业安全的障碍物时，应立即停船作业并收回水下拖曳设备；
 - d) 收、放电缆尾标时，应将船速控制在3kn以下；
 - e) 作业过程中，应及时了解掌握作业海区气象和海况，6级以上大风或浪高3m以上的恶劣天气时，不应进行海上地球物理勘探作业；
 - f) 应进行工作海域危险源辨识和安全风险评价，制定安全风险控制措施和应急预案；
 - g) 应健全海上安全生产管理机构，制定安全工作制度；
 - h) 现场安全设施和设备应完备并装备到位；
 - i) 工作前应对作业人员进行海上安全教育培训，考核合格后方可从事海上作业；

j) 勘探船作业人员应持证上岗。

5.2 多波束测深法

5.2.1 多波束测深法应用条件应符合下列规定：

- a) 系统工作环境应符合系统中所有设备的技术要求；
- b) 测量环境要求应保证测量人员及设备的安全，应保证在仪器规定的测量范围内，确保回波信号质量和测量精度。

5.2.2 多波束测深法仪器设备性能和指标应符合下列规定。

- a) 系统硬件主要由输入设备、数据采集和处理设备、输出设备组成。
- b) 输入设备应包括多波束测深仪、声速剖面仪、姿态传感器、罗经、定位仪、潮位仪等；输入设备的种类和型号应根据系统的技术要求确定。
- c) 数据采集和数据处理单元应根据系统的技术要求配置。
- d) 输出设备应包括打印机、绘图机、移动存储器等。
- e) 所有与测量精度有关的设备应按相关规定进行检验,符合要求后方可使用。
- f) 测深仪应配有相应通信接口，可与 GNSS 接收机对接提供定位信息，且吃水深度范围可调，发射功率应可动态调节。
- g) 水深小于（含）30m 的水域，系统精度应满足表 5.2-1 中特等测量的要求；水深大于 30m 的水域，系统精度应满足表 5.2-1 中关于一等测量至三等测量的要求。

表 5.2-1 精度要求

测量等级	特等	一等	二等	三等
典型水域 范例	港池、泊船水域、 与最小富余水深相 关的重要航道	港口、通向港口的航道、 推荐航线及水深小于 100m 的沿岸水域	在特等和一等中没 有提到的水深小于 200m 的水域	在特等、一等及二 等中均未提到的 近海水域
平面精度 (95%置 信度)	2m	5m+5%水深	20m+5%水深	150m+5%水深
测深精度 (95%置 信度)	a=0.25m b=0.0075	a=0.5m b=0.013	a=1.0m b=0.023	同二等
100%海 底扫测	必须进行	特定水域要求	特定水域可以要求	不作要求
系统探测 能力	空间特征物 > 1m ³	水深 < 40m 时,空间特征 物 > 2m ³ ; 水深 > 40m 时,空 间特征物为水深值 10%	同一等	不作要求

计算测深极限误差 Δ , 可将表中所列的 a、b 代入式(1):

$$\Delta = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (1)$$

式中： Δ -测深极限误差，单位为米(m)；a-系统误差，单位为米(m)；b-测深比例误差参数；d-水深，单位为米(m)； $b \times d$ -测深比例误差。

出于航海安全的考虑，可考虑使用精确的特定器械来扫海，以确保经特等和一等测量的水域具有最小安全富余水深。

此处选定的 40m 水深值已考虑船舶最大的可能吃水。

h) 没有平面位移或平面位移可忽略的情况下，多波束测深法的深度误差应符合表 5.2-2 的规定。

表 5.2-2 深度误差限制

水深 H (m)	深度误差限制 (m)
≤ 20	0.2
> 20	$0.01H$

5.2.3 现场测线与检查线布设应符合下述规定。

a) 主测线应垂直于水下地形等深线总方向或岸线布设，可布设成平行线或 45°斜线；当水下地形较平坦时，测线可顺水流方向布置；测线间距应根据要求的比例尺决定，一般在浅海区域，图上测线间距宜小于 30mm。

b) 确定测深线长度时，应综合考虑水位改正，声速变化、数据安全维护等因素。

c) 主测深线的间距应不大于有效测深宽度的 80%。在重要航行水域，测深线的间距应不大于有效测深宽度的 50%。有效测深宽度根据仪器性能、回波信号质量，潮汐、测区水深、测量性质、定位精度、水深测量精度以及水深点的密度而定。

d) 检查测深线应垂直于主测深线均匀布设，并至少通过每一条主测深线一次，总长应不少于主测深线总长的 5%；检查测深线应采用单波束或其他多波束测深系统进行测量，当使用多波束测深系统做检查测深线测量时，应使用其中心区域的波束。

e) 检查线与主测线相交处，在图上 1mm 范围内水深点的深度比对互差应符合表 5.2-3 的规定。

表 5.2-3 深度比对互差

水深 H (m)	深度比对互差 (m)
≤ 20	0.4
> 20	$0.02H$

5.2.4 数据采集应符合下述规定。

a) 作业前应对系统设置的投影参数、椭球体参数、坐标转换参数以及校准参数等数据进行检查；测量前应将测量范围，水下障碍物、助航标志、特殊水深等信息数据输入到系统中。

b) 探测前测量船宜与水位站、验潮站及定位观测站校对时间，水位观测应在测前 10min 开始，测后 10min 结束。

c) 每天作业前，应检查测量船的水舱和油舱的平衡情况，要保持船舶的前后及左右舷的吃水一致；每天作业前和作业后，应分别量取系统多波束换能器的静态吃水值，如发生变化应在系统参数中及时调整，每天作业前和作业后，应对系统的中心波束进行测深比对，比对限差应小于表 5.2-1 中测深极限误差的 50%。

d) 每天应在测区内有代表性的水域采用声速仪测定水下声速，声速测定后应将多波束换能器吃水深度处声速值输入处理器中。声速剖面测量时间间隔应不超过 6h，如测区跨度大，应先调查测区的声速变化情况，如声速变化小于 2m/s，可以不分区测量，否则应分区测量。

e) 当使用机动船测深时，应根据需要测定测深仪换能器的吃水改正数，当改正数小于 0.05m 时，可不改正。

f) 当对既有模拟记录又兼有数字记录的测深仪检验时，应同时校对比较模拟信号及数字信号，检验结果应以模拟信号为准。

g) 每次测深前后应在测区对测深仪进行现场比对，当水深小于或等于 20m 时，可用声速仪、水听器或者检查板对测深仪进行校正，直接求得测深仪的总改正数，当水深大于 20m 时，可采用水文资料计算深度改正数，并应测定因换档引起的误差。

h) 系统的所有设备稳定工作后，方可进行测深作业。在正式采集数据之前，应按预定的航速和航向稳定航行不少于 1min；在数据采集过程中测量船应保持均匀的航速和稳定的航向；多波束测深应保证测量时换能器的姿态与校准时的姿态相同；测深仪记录速度应与测量船只的航速相匹配，记录的回波信号应能清晰反映水底地貌。

i) 在测量过程中，应实时监控测深数据的覆盖情况和测深信号的质量，当信号质量不稳定时，应及时调整多波束发射与接收单元的参数，使波束的信号质量处于稳定状态；如发现覆盖不足或水深漏空、测深信号质量不满足精度要求等情况，应及时进行补测或重测；如发现障碍物，应当场从不同方向利用多波束中间区域的波束加密测量。

j) 在测量过程中，对测量船的航行速度应进行实时监控，测量时的最大船速按式 (2) 计算：

$$v = 2 \times \tan(\alpha/2) \times (H - D) \times N \quad (2)$$

式中： v —最大船速，单位为米每秒 (m/s)； α —纵向波束角，单位为度 (°)； H —测区内最浅水深，单位为米 (m)； D —换能器吃水，单位为米 (m)； N —多波束的实际数据更新率，单位为赫兹 (Hz)。

k) 在测量过程中，应实时监控系统各配套设备的传感器运转、数据记录等情况，应现场填写多

波束测深系统外业测量记录，真实记录外业测量中检查、比对、发生的各种事件及系统的关键参数设置；当现场质量监测不符合要求时，应停止作业；如果系统发生故障应立即停止作业，待查明原因并对相关设备进行检测和校准后方可继续作业。

1) 每天测量结束后应备份测量数据，核对系统的参数并检查数据质量。发现水深漏空、水深异常、测深信号的质量差等不符合测量精度要求的情况，应进行补测。

5.2.5 资料整理与解释应符合下列规定。

a) 应通过内业工作进行资料的整理，内业工作内容应包括各项外业手簿的整理和校验、水位基准面的测量与确定以及测深手簿、测深记录的检查与校核。

b) 多波束测深法采集的资料应对定位数据中的突变点、罗经数据中的航向异常变化和姿态传感器数据中的船姿跃变等进行编辑、改正处理；根据坡度、深度、信噪比等对深度数据进行滤波处理；绘制微地貌图，结合其他资料对微地貌特征进行解释。

c) 数据处理之前，应先检查数据处理软件中设置的投影参数、椭球体参数、坐标转换参数、各传感器的位置偏移量、系统校准参数等相关数据的准确性。

d) 数据处理时，应结合多波束测深系统外业测量记录，根据需要对水深数据进行声速改正、水位改正；应对每条测深线的定位数据、罗经数据、姿态数据和水深数据分别进行编辑。

e) 水深数据编辑时，应根据海底地形、各波束测得的水深数据的质量选择合理的参数滤波，然后进行人机交互处理；对于无法判断的点，应从作业水域、回波个数、信号质量等方面进行分析。

f) 在数据经过编辑及各项改正后，应再次对所有的水深数据进行综合检查，根据各水深的传播误差及附近的水深利用表面模型进行评估，剔除不合理水深数据。

g) 符合质量要求的水深，应根据制图比例尺和数据用途对符合要求的水深数据进行抽稀，水深点图上间距一般不应大于 5mm。

h) 主、检比对重合点的水深，不符值限差按式 (3) 计算或查阅多波束水深测量主、检比对极限误差图，当水深比对不符点超过参加比对总点数的 15% 时，应综合分析超限原因，合理处置，必要时应重测验证。

$$\varepsilon = \pm\sqrt{2} \times \Delta \quad (3)$$

式中， ε —多波束水深测量主、检比对极限误差，单位为米 (m)； Δ —测深极限误差，单位为米 (m)。

i) 每条测深线的编辑情况，数据处理的参数及异常点的检查、处理应在多波束测深系统数据处理记录中做好记录，并作为质检人员对数据处理质量进行检查的依据。

j) 资料检查中发现下列问题时应进行补测或重测：

- 1) 测量区域内水深漏空或相邻测深线的重叠带宽度不符合规定；
- 2) 水深异常、信号质量不满足测深精度要求等情况；
- 3) 使用的系统未按规定校准或比对精度超限；
- 4) 测量船速超过最大限速；
- 5) 水位控制、观测资料不符合有关测量标准的要求；
- 6) 主、检比对超限的点数超过参加比对总点数的 15%；
- 7) 相邻测深线或不同测量日期所测水深拼接误差超限；
- 8) 存在疑问的特殊浅点未进行加密测量或虽经加密测量但仍不能确定；
- 9) 其他需要补测或重测的问题。

5.2.6 成果图件应符合下述规定。

a) 按测线序号并结合定位坐标编制探测成果报表，成果报表应包括探测工区、测量日期、测量船、测线号、点位序号、坐标及水深值以及水声时间剖面图、水下地形图或等高线图。

b) 经确定的水深特殊浅点应以该点为中心按要求绘制水深图和数字地形模型图。

c) 最终应提交以下测量资料。

- 1) 潮位控制、观测和改正资料；
- 2) 主、检比对资料；
- 3) 定位比对资料；
- 4) 水深特殊浅点的水深图和数字地形模型图；
- 5) 水深测量外业报告图；
- 6) 测量航迹图；
- 7) 多波束测深系统校准报告、多波束测深系统外业测量记录、多波束测深系统数据处理记

录；

- 8) 原始数据、项目中所用到的过程数据、水深成果数据；
- 9) 声速测定数据文件；
- 10) 测量技术总结；
- 11) 其他资料。

5.3 侧扫声呐法

5.3.1 侧扫声呐法应用条件应符合下列规定：

- a) 海底障碍物和海底管线应裸露于海底泥面以上；
- b) 水深不宜小于 5m。

5.3.2 侧扫声呐法仪器设备应符合下列规定。

- a) 声呐频率不应小于 100kHz，水平波束宽度应小于 0.3° 。
- b) 声呐频率小于 400kHz 时，单侧最大扫宽不应小于 200m；频率大于 400kHz 时，单侧最大扫宽不应小于 50m。
- c) 垂直航迹方向分辨率应小于 10cm。
- d) 水下拖鱼应集成纵摇、横摇、艏向、压力等传感器。
- e) 具有航速校正和倾斜距校正等功能。

5.3.3 侧扫声呐法测网布设应符合下列要求：

- a) 测线间隔宜根据侧扫量程结合重叠带宽度选择；
- b) 侧扫量程应根据任务要求、测量比例尺、水深及仪器指标确定；
- c) 相邻测线扫描重叠率应不少于 50%，在海缆路由勘察走廊带内应保证 100%的重复覆盖率，当水深小于 10m 时可适当降低重复覆盖率；
- d) 当发现可疑的海底目标（障碍物）或特殊地貌形态时，应根据需要在其周围布设不同方向的补充测线作进一步探测，必要时应采用更小的量程对其进行重复测量，以识别出目标体的大小和形态；
- e) 海底管线探测时，侧扫声呐法测线宜平行管线走向。

5.3.4 侧扫声呐法现场工作应符合下列规定。

- a) 探测实施前，应在调查区内进行仪器调试，确定最佳工作参数，确保探测过程能够得到清晰的声呐图像。
- b) 拖鱼安装可采用拖曳方式或舷挂方式。采用拖曳方式时可拖曳于船艉、船侧或船艏；采用舷挂方式时宜安装于船侧或者船艏，并应远离发动机或船艉位置，避免尾流影响。
- c) 地球物理勘探船应沿测线延伸线提前上线、延下线。延伸线长度应不少于 2 倍拖缆长度，航迹与设计测线偏离距应不大于测线间距的 20%。
- d) 声呐拖鱼入水后，调查船舶应保持稳定的航速（不大于 5kn）和航向，不应随意停船或倒退。
- e) 拖鱼离海底面高度应为设备扫测量程的 10%~20%；当测区海底地形起伏较大时，可适当增加拖鱼距海底的高度。

5.3.5 侧扫声呐法资料处理和解释应符合下列要求：

- a) 应进行图像增益补偿、斜距改正、水深和图像比例失调校正、噪声的识别和滤除、图像镶嵌拼接，绘制镶嵌图；
- b) 海底管线探测时，应结合水下地形地貌和其他资料，对声呐图像进行综合分析和解释，确定管线的位置、走向；
- c) 水下障碍物或海底底质分类探测时，应结合水下地形地貌和其他资料，对声呐图像进行综合分析和解释，确定海底障碍物位置、形状、大小、分布范围及底质类型。

5.3.6 侧扫声呐法成果图件应主要包括：

- a) 航迹图；
- b) 局部或全区的声呐图像镶嵌图；
- c) 海底面状况图；
- d) 障碍物平面分布图；
- e) 水下管线平面位置图或者底质类型分布图。

5.4 水域地层剖面法

5.4.1 水域地层剖面法可选用浅地层剖面法、中地层剖面法等。

5.4.2 水域地层剖面法的应用条件应符合下列规定：

- a) 水深不宜小于 3m；
- b) 被追踪地层与其相邻地层之间存在明显的波阻抗差异；
- c) 被追踪地层应具有一定的厚度，宜大于有效波长的 1/4；
- d) 被探测水底障碍物尺寸应大于有效波长的 1/4；
- e) 探测深度 30m 范围内的地层分布特征和不良地质体宜采用浅地层剖面探测法，探测深度 150m 范围内的地层分布特征和不良地质体宜采用中地层剖面探测法；
- f) 必要时可选择同步进行浅地层剖面和中地层剖面探测。

5.4.3 水域地层剖面仪应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 发射机应具有足够的发射功率，接收机具有 TVG 增益调节功能；
- c) 应具有总增益、对比度和门限调节功能；
- d) 拖拽式震源及水听器应有足够长度的电缆，当震源和水听器分置时，水域地层剖面探测系统应拖曳在船尾涡流区外至少 20m 的距离。

5.4.4 水域地层剖面仪震源和工作频率应符合下列规定：

- a) 浅地层剖面仪宜采用电声或电磁脉冲震源，工作频带宜为 500Hz~40kHz；
- b) 中地层剖面仪宜采用电磁脉冲、小型电火花或气枪震源，工作频带宜为 100Hz~10kHz。

5.4.5 水域地层剖面法探测技术要求应符合下列规定。

- a) 浅地层剖面探测地层分辨率不宜大于 0.2m，中地层剖面探测地层分辨率不宜大于 1m。
- b) 目标层反射波宜位于观测时窗中部；对现场记录剖面图像初步分析发现可疑目标时，宜布设补充测线进一步探测。
- c) 记录剖面图像应清晰，无强噪声干扰和图像模糊、间断等现象。

5.4.6 测线和测网布置应符合下列要求：

- a) 应考虑风向、洋流、海底地形、海域障碍物等条件；
- b) 主测线宜垂直于区域地质构造走向，联络测线宜垂直于主测线；
- c) 探测水下覆盖层厚度、基岩形态时，宜与地质勘探线或其他物探方法的测线重合。

5.4.7 水域地层剖面法仪器安装应符合下列规定：

- a) 根据需要可采取船尾拖曳方式或舷挂式，舷挂式宜在船的中后部一侧固定安装；
- b) 拖拽式工作时，震源和水听器阵应布置于船尾涡流区外且平行列置，水听器阵应稳定拖浮在水面以下 0.1m~0.5m；
- c) 发射机和接收机应接地良好，且应间隔一定安全距离。

5.4.8 水域地层剖面法试验工作应符合下列要求：

- a) 试验地点应在作业区附近的海域；
- b) 试验工作应包括仪器工作参数和观测系统选择，确定最佳偏移距、激发点距或激发时间间隔、激发能量、发射频率、采样频率、记录时间长度等工作参数。

5.4.9 水域地层剖面法现场探测应符合下列要求：

- a) 拖鱼采用拖曳方式工作时，测线延伸长度不应少于 2 倍拖缆长度；
- b) 物探船定位仪器的天线与水下拖曳探头水平位置宜重合，当二者水平距离超过图上 1mm 时，应进行点位偏心改正；
- c) 当水下拖曳探头距探测船较远时，应采用超短基线水下声学定位系统，开始工作前应对定位系统进行安装姿态校正；
- d) 水深变化较大时，应及时调整记录仪的量程或延时；
- e) 在风浪较大情况下，应使用涌浪补偿器或数字涌浪滤波方法进行滤波处理；
- f) 对现场记录剖面图像初步分析发现可疑目标时，应布设补充测线以确定其性质；
- g) 信噪比较差时，应降低船速或调节仪器工作参数，以保证勘测数据质量；
- h) 班报记录内容包括项目名称、工作海区、测量人、仪器名称与型号、工作日期时间、测线号、点号、航行参数速、仪器作业参数等；
- i) 对现场记录剖面图像初步分析发现可疑目标时，应布设补充测线以确定其性质。

5.4.10 数据处理与剖面解释应符合下列规定。

- a) 应进行坏道编辑、涌浪滤波、频率滤波、多次波压制、增益控制、时深转换等处理，形成可供资

料解释的成果剖面数据。

- b) 识别地层剖面图像记录上的干扰信号。
 - c) 根据剖面图像的反射结构、振幅、频率、同相轴连续性和反射波接触关系等特征，结合地质钻孔资料，确定标准层。
 - d) 地层剖面反射界面划分应符合下列要求：
 - 1) 同一层波组反射连续、清晰、可区域性追踪；
 - 2) 层组内反射结构、形态、能量、频率等基本相似，与相邻层组有显著差异；
 - 3) 主测线与联络线剖面相同层组的反射界面应能闭合。
 - e) 应依据钻孔层位对比、声速测井或其他方法取得的层组波速进行时深转换。
 - f) 地层剖面的地质解释应符合下列规定：
 - 1) 不同系统的解释应相对比、衔接；
 - 2) 地层剖面的准确解释应与钻探资料相结合。
 - g) 进行海底管道探测时，应分析描述其位置、状态（裸露、掩埋或悬空等）、走向等。
- 5.4.11 成果图应符合下列要求：
- a) 宜包括测线平面布置图、航迹图、剖面解译图、主要层位的地层等厚度图、地层顶界面埋深图等；
 - b) 图件水平与垂直比例应合理，且纵横比例不应小于 1:25；
 - c) 成果图中应包括海底地形线、地层界面、岩性、构造、灾害地质要素、主要地物标志，宜包括取样站位、钻孔位置及其柱状图等。

5.5 水域多道地震勘探法

5.5.1 水域多道地震勘探法应用条件应符合下列要求：

- a) 被追踪地层与其相邻层之间存在明显的波阻抗差异；
- b) 被追踪地层应具有一定的厚度，宜大于所激发地震波有效波长的 1/4；
- c) 被探测水底障碍物尺寸应大于所激发地震波有效波长的 1/4。

5.5.2 水域多道地震仪器应符合下列规定：

- a) 仪器通道数不应少于 24 道；
- b) 采样间隔可选，最小采样间隔不大于 0.05ms；
- c) 记录长度可选，每道样点数不少于 2048 个；
- d) A/D 转换精度不低于 24bit；
- e) 动态范围不低于 120dB；
- f) 通频带不窄于 0.5Hz~5kHz；
- g) 放大器内部噪音小于 1 μ V；
- h) 串音不大于 78dB；
- i) 畸变不大于 0.06%。

5.5.3 水域多道地震接收电缆应符合下列规定：

- a) 接收换能器不少于 24 道；
- b) 绝缘电阻（下水前）应大于 10M Ω ；
- c) 电缆串音大于 60dB；
- d) 电缆拖曳噪音小于 0.1mPa；
- e) 各道间的相位允许偏差为 \pm 1ms；
- f) 各道间的振幅允许偏差为 \pm 10%；
- g) 电缆定深器可控范围 3m~30m；
- h) 配置带 DGNSS 的尾标。

5.5.4 水域多道地震震源应符合下列规定：

- a) 震源可采用气枪、水枪、电火花等；
- b) 气枪控制器的准确度允许偏差为 \pm 0.1ms；
- c) 组合气枪点火同步时间允许偏差为 \pm 0.5ms。

5.5.5 水域多道地震勘探法技术资料要求应符合下列规定：

- a) 不正常工作道数应少于 3 道，测线空废炮率应低于 5%，连续空废炮不应超过 4 炮；
- b) 地震记录的计时线应清晰，道迹均匀，同步信号和激发信号的断点清楚。

5.5.6 测线和测网布置应符合下列规定：

a) 应考虑风向、洋流、海底地形、海域障碍物等条件，主测线宜垂直于区域地质构造走向，联络测线宜垂直于主测线；

b) 探测水下覆盖层厚度、基岩形态时，宜与地质勘探线或其他物探方法的测线重合。

5.5.7 试验工作应符合下列要求：

a) 试验地点应在作业海域或附近海域；

b) 进行激发接收试验，确定最佳道间距、偏移距、炮点距或激发时间间隔、激发能量、震源沉放深度、采样频率、记录时间长度等工作参数；

c) 试验覆盖叠加次数与排列长度应根据任务要求和地质条件确定。

5.5.8 现场探测应符合下列要求：

a) 在每日或每条测线工作前，应记录正常工作条件下的电缆噪音；

b) 在勘探作业开始前，应由导航定位人员将设计测线和测点标注在导航定位图上或输入导航定位计算机内；

c) 震源和电缆入水后，勘探船保持稳定航速和航向，勘探船应沿测线延伸线提前上线、延时下线，延伸线长度应不少于2倍拖缆长度；

d) 船速和航向应保持稳定，航速不大于5kn，航迹与设计测线偏离距不大于10m，偏离测线超出规定范围时，及时缓慢修正；

e) 勘探船定位仪器的天线与漂浮电缆水平位置应重合，当二者水平距离在图上超过1mm时，应进行点位偏心改正；

f) 每条测线的首炮、尾炮及每40炮均在作业班报上记录水深数值、电缆羽角、气枪记录；

g) 每条测线应记录电缆羽角，羽角不大于15°；

h) 采取等距离或等时间激发，定位炮号应与地震文件号相对应；

i) 测线探测中断，应在该航次补作，测线正向连接时，炮点应连续，反向连接时应重复观测一个排列的长度；

j) 探测过程中海况突然变化或船加速时，应及时观察电缆噪音，若噪音电平超过标准，应停止作业。

5.5.9 存在下列情况之一者应评定为不合格记录：

a) 死道、乱道、反道、灵敏度低于邻道6dB等不正常工作道超过总道数的1/12；

b) 电缆拖曳噪声大于3mPa，沉放深度误差大于2.5m，尾标偏离大于15°；

c) 激发点距累计误差在500m范围内大于50m；

d) 单条测线中12个连续炮点中空炮、废炮超过6个；

e) 整条测线空废炮率大于5%。

5.5.10 探测资料应符合下列要求。

a) 导航定位资料整理应符合下列规定。

1) 导航定位班报记录应与地震勘探班报记录所记的测线号、点号、日期、时间一致；

2) 电子数据文件应包括线号、点号、日期、时间、经纬度、直角坐标及备注等；

3) 应绘制探测船航迹图和探测线平面图。

b) 地震资料处理宜包括解码和格式转换、单炮与单道显示、坏炮与坏道编辑、叠前去噪、滤波与振幅补偿、震源子波反褶积、静校正、多次波滤波、速度分析、动校正和叠加、叠后偏移归位、时变滤波、动平衡、时深转换等处理，形成可供地震资料解释的成果剖面数据。

c) 应利用仪器记录的水位信息或其他方法进行水位校正，消除由于不同航线及炮点间由于水位差引起的时移差。

d) 反射波振幅补偿包括扩散、吸收补偿和激发、接收差异补偿，补偿后的浅、中、深层反射波能量宜基本均衡，炮集之间、共接收点道集之间应无明显的能量差异。

e) 速度分析应取得均方根速度、平均速度和层速度，应符合下列要求：

1) 提取有效的均方根速度，应判别有效反射波和其他干扰波的速度信息；

2) 提取适合于时深转换的平均速度，应对不同方法获取的速度资料进行综合分析，由速度谱取得的速度资料应进行校正和换算；

3) 分析计算各地质层位不同岩层的层速度应利用各种速度资料；

4) 应对比平均速度和层速度的横向变化规律，绘制速度横向变化的有关剖面图和平面图件。

f) 速度谱应符合下列规定。

- 1) 速度谱及道集动校正显示应清晰;
 - 2) 速度谱的扫描范围应涵盖探测各地层的速度值;
 - 3) 每 100m 应至少有 1 个速度谱点, 满足处理与解释的要求;
 - 4) 应通过震源深度和缆深校正, 将地震数据的零时间点校正到平均水平面。
- g) 波的对比和反射层划分应符合下列规定:
- 1) 波的对比应综合分析剖面结构及波组特点, 识别时间剖面上的正常反射波、侧面波、断面波、回转波、绕射波及各种干扰等, 结合地震地层学的标志进行对比;
 - 2) 划分反射层, 确定与地质层位的对应关系, 应分析区域地质、钻探和其他地球物理资料;
 - 3) 浅、中、深层应整体对比, 着重于主要目的层的对比, 防止串层;
 - 4) 判定断点应根据波相组中断、产状突变、断面波、绕射波等, 结合偏移剖面分析;
 - 5) 波的对比解释应重复检查, 利用各种方法处理的时间剖面, 验证对比解释的可靠性。
- h) 应根据地震剖面的反射结构、振幅、频率和同相轴连续性和反射波接触关系等特征, 结合地质资料等, 划分地震层序, 解释地层沉积结构、地层构造, 推测沉积类型、沉积环境及其工程地质特性等; 应分析地层中的灾害地质要素, 确定其性质、大小、形态、走向及分布范围。

5.5.11 成果图应符合下列要求:

- a) 宜包括测线平面布置图、航迹图、地震剖面解译图、主要层位的地层等厚度图、地层顶界面埋深图和分层构造图等;
- b) 图件水平与垂直比例应合理, 且纵横比例不应小于 1:25;
- c) 图中应包括海底地形线、地层界面、岩性、构造、灾害地质要素、主要地物标志, 宜包括取样站位、钻孔位置及其柱状图和测试结果等。

5.6 海洋磁法

5.6.1 海洋磁法应用条件应符合下列要求:

- a) 海底目标体应为磁性材质;
- b) 目标体应与周边介质之间存在磁导率差异, 应有一定规模;
- c) 海底管线应为金属管线或载有电流。

5.6.2 海洋磁法仪器设备应符合下列规定:

- a) 可选用光泵式磁力仪、质子磁力仪、水下磁探头;
- b) 仪器分辨力应高于 0.1nT, 磁场测量精度应高于 1nT;
- c) 测量动态范围应不小于 20000nT~100000nT。

5.6.3 海洋磁法工作布置应符合下列要求:

- a) 布置的测区范围应覆盖探测目标, 测线间距、测点间距应根据任务要求、目标体大小等确定;
- b) 进行管道、电缆等线状目标体探测时, 测线应垂直目标体可能的走向布置, 每个目标的测线数不少于 3 条, 间距不大于 200m, 测线长度不小于 500m, 相邻测线的走航探测方向应相反;
- c) 进行海底非线性状磁性物体探测时, 测线应在探测目标周围网格布置, 测线数量、间距和测线长度根据探测目标的大小等确定。

5.6.4 海洋磁法现场工作应符合下列规定:

- a) 主测线宜垂直目标障碍物的延伸方向;
- b) 物探船宜选用玻璃钢等非铁质船舶, 拖曳电缆长度应不小于物探船长度的 3 倍;
- c) 探测开始前, 应在作业海区附近调试设备, 确定最佳工作参数;
- d) 磁力仪探头入水后, 物探船应保持稳定的低航速和航向, 不应停船或倒退;
- e) 磁力仪探头离海底高度宜在 10m 以内; 探测海底光缆等弱磁性目标体时, 磁力仪探头离海底高度宜在 5m 以内; 海底起伏较大的海域, 探头距海底的高度可适当增大;
- f) 宜采用超短基线水下声学定位系统进行探头定位, 浅水海域可采用人工计算进行探头位置改正定位;
- g) 探测记录应完整, 漏测或记录无法正确判读时应进行补测;
- h) 现场探测数据应进行初步分析, 发现目标障碍物时, 应布设补充测线作进一步探测;
- i) 遇到磁暴或干扰较大时应停止作业;
- j) 班报记录内容包括项目名称、工作海区、测量人、仪器名称与型号、工作日期时间、测线号、点号、航行参数速、仪器作业参数、磁场干扰源等。

5.6.5 数据处理和资料解释应符合下列要求：

- a) 应根据收集的资料，分析目标体磁性特征；
- b) 识别非海底磁性物体造成的磁场异常干扰；
- c) 宜进行日变改正和磁异常计算；
- d) 结合侧扫声呐、水域地层剖面探测的成果，进行磁法探测资料解释，识别海底磁性物体，确定其性质、位置和范围，确定海底已建电缆、管道的位置和走向等。

5.6.6 成果图件宜包括：

- a) 磁异常平面和剖面图，根据需要绘制磁场强度磁异常等值线图；
- b) 航迹图、海底磁性物体分布图。

5.7 海洋电磁法

5.7.1 海洋电磁法应用条件

海洋电磁法应用条件应符合下列规定：

- a) 目的体相较周围地层有明显的电性差异，具有足够的规模，引起的异常信号能够被识别；
- b) 被探测目标层或目标体不在探测盲区内；
- c) 各地层及目标体电性应稳定；
- d) 测区内电磁噪声较安静，其他自然、人文干扰较小；
- e) 测区内海底地形地貌适合设备投放、拖拽行进；
- f) 海域内环境及气候条件满足作业要求；
- g) 设备作业环境适应性满足作业周期内海水环境强腐蚀和强压力环境；
- h) 作业海域内水深满足大型船舶拖拽作业和设备投放条件；
- i) 避开海底光缆、管道、渔网及建筑等障碍物。

5.7.2 海洋电磁法仪器设备性能和指标

海洋电磁法仪器设备性能和指标应符合下列规定。

a) 海洋音频大地电磁测深法和海洋可控源音频大地电磁测深法包括主机、甲板控制单元、电磁接收系统、GPS 定位系统、水密电缆、供电设备等。

1) 座底式电磁接收系统要求如下：

——电磁接收机一般具备四至六道电磁信号（三个正交的电场分量和三个正交的磁场分量）记录能力；

——需装备独立测量方位的传感器、用于确定水下位置的声学应答器、浮球，并能准确计算接收机上浮与下沉的速度；

——接收机在携带水泥块时能自由沉入海底，并用自带的锚固定位置，与水泥块分离后能自动浮起并成功回收；

——接收机的倾角测量精度应优于 0.5° ；

——信号记录频带宽一般为 $0.0001\sim 100\text{Hz}$ ；

——电场观测灵敏度 $0.01\sim 0.02\mu\text{V}/\text{m}$ ，磁场观测灵敏度 $0.1\sim 0.3\text{V}/\text{nT}$ ；

——接收机的动态接收范围达到 $3\text{nV}\sim 0.3\text{V}$ ；

——电场传感器的本底噪声应低于 $0.1\text{nV}/\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$ ；

——磁场传感器的本底噪声应低于 $1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}@0.1\text{Hz}$ ；

——电磁接收机的电池续航应满足海上作业数据采集时长，接收机内存不小于 32G，数据记录精度不低于 4 个字节；

——接收机应具备 GPS 实时同步功能，时间误差小于 0.01ms ；

——电磁接收机的时钟漂移不超过 $1\text{ms}/\text{d}$ ，应对每个采集通道进行时钟漂移校正；

——采集电信号所使用电极应为适用于海水的不极化电极，磁力传感器在出海作业前应进行标定；

——具有耐腐蚀性，适应工作环境温度： $-20^\circ\text{C}\sim +70^\circ\text{C}$ 。

2) 拖拽式电场接收机还应满足如下要求：

——所配绞车及电缆满足拉力需求，并可控制水下设备的离底高度；

——应配备的拖缆总长度应大于调查区最大水深的 3 倍，一般建议配备的拖缆总长度为调查区

最大水深的 4 倍及以上；

- 拖拽电缆应配有相应浮力的采集系统拖体并可控制水下设备姿态平稳；
- 电场传感器的本底噪声应低于 $0.1nV/m/\sqrt{Hz}@1Hz$ ；
- 采集电信号应使用适用于海水的无极化电极，磁力传感器在出海作业前应进行标定；
- 电磁接收机的电池续航应满足海上作业数据采集时长，接收机内存不小于 32G；
- 接收机应具备 GPS 实时同步功能，时间误差小于 0.01ms；
- 每个测量节点需装备独立测量方位的传感器，用于测量位置的声学换能器，安装高度计。

3) 其他辅助设备应符合作业要求，并应准备足够的备品和部件：

——接收机上应安装 CTD 计，海底温度测量精度 $1^{\circ}C$ ，测量海水的电阻率与温度剖面，出海前 CTD 计应校准；

- USBL 系统应满足工作距离的需求，确保其最大量程超过水下装置与调查船的距离；
- 吊车操作臂长度应能满足投放和回收接收机的需求；
- 准备充足数量的拖缆缆端承重装置及制作工具、适用作业工区水深的水密接插件。

b) 海洋可控源音频大地电磁测深法还需包括电磁发射系统，包括船上高压发电机、同步时钟、水下电磁发射机、变压器和发射（激发）电极等部分。电磁发射系统要求如下：

- 1) 依据勘探要求选择座底式或拖拽式电磁发射系统；
- 2) 大功率发电机、甲板大功率电源和拖缆能够满足电能大功率输送的设计要求；
- 3) 发射频率范围：0.01~100Hz；
- 4) 发射天线长度一般在 100m~300m 之间，激发电流不小于 500A，发射波形为方波；
- 5) 基波的频率范围为 0.01Hz~100Hz，满足多种发射频率需求；
- 6) 电流记录精度不低于满量程的 $\pm 2\%$ ；
- 7) 配备逆变、控制、大电流输出和状态监测的装置，并安装声学换能器，支持实时记录离底高度和拖体三轴姿态信息；
- 8) 具有耐腐蚀性，适应工作环境温度： $-20^{\circ}C \sim +70^{\circ}C$ 。

5.7.3 现场工作要求

5.7.3.1 定位要求应按照 GB/T 18314 的有关规定执行，同时应满足以下要求。

a) 根据作业区的位置、项目定位精度要求选择合适的定位系统，确保定位信号和误差校正信号覆盖整个作业区域。

b) 静态定位的坐标及高程误差应小于 2m。

c) 定位系统数据的传输频率不低于 1Hz。

d) 当作业区水深 $< 100m$ 时，可采用缆长计数装置记录拖缆的长度，拖体定位的准确度应优于拖缆长度的 10%。

e) 当作业区水深 $\geq 100m$ 时，宜使用水下定位系统时，要求如下：

- 1) 使用符合工作水深要求的定位信标；
- 2) 定位精度应优于定位信标至作业船距离的 0.5%；
- 3) 准确测量水下定位系统换能器相对于水面导航定位参考点的三维偏移距。

5.7.3.2 测线布设应符合下列规定：

a) 依据最新版本的海图或实地踏勘情况，避开渔场、岛礁、海底管道等障碍物；

b) 主测线的方向应与地质构造走向尽量垂直，联络测线与主测线垂直相交。

5.7.3.3 现场作业要求。按照设计的测点布设海底装置，在作业船行进过程中发射电流，应满足以下要求。

a) 根据海底地形和测线布置图，避开海底沟槽及障碍物，选择合适的地点投放接收机。

b) 一般情况下，接收机座底定位偏差不超过点距的 10%；特殊情况下，不超过点距的 20%。

c) 接收机投放完毕后，应利用 USBL 测量每个接收机的实际坐标并记录。

d) 根据洋流的流向及流速预判接收机的沉底位置。

e) 对于二维测线，根据接收站分布确定发射航线，当探测目标深度 $\leq 1500m$ 时，发射航线在测线两端外延 5km。

f) 对于三维测网，发射航线在外延的基础上，应确保每个接收机有至少两次被测线正交覆盖。

g) 应结合测线与发射天线的偏移距离，确保发射航线与接收机布设线路基本一致。

- h) 发射测线与接收测线夹角不应超过 30° ，偏移距离应小于探测目标深度。
- i) 通过建立的作业区地电正演模型，确定发射频率、最大偏移距的范围。
- j) 航速根据发射源长度和发射最大周期进行计算，需确保发射源移动1个自身长度能发射3个以上周期的电流，一般情况下，航速不超过3kn。
- k) 测量船应保证匀速直线航行，测线转弯时，不应小于角度转弯，作业时船实际航速不大于5kn。
- l) 作业船航向修正时，每分钟最大修正航向夹角 $<5^\circ$ ，特殊情况（例如避障碍物）除外。
- m) 水下发射机定位要求按照5.7.4.1的规定执行，距离海底高度一般不超过100m，在增大发射电流的情况下，可适当增大水下发射机的离底高度，发射源离底高度应通过调节船速或电缆长度将其变化范围控制在20%的离底高度以内。
- n) 水下发射机发射电流的波动不超过 $\pm 10\%$ ，发射中断时间应小于15s，发射中断时，发射源拖曳轨迹重叠夹角小于 5° 。
- o) 水平电偶源在0.5km~10km收发距范围内，连续丢失数据段不超过2个，发射源横向偏移距小于发射源自身的长度。
- p) 不宜在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，全员躲进船舱内部。
- q) 数据采集过程中，如遇到金属管道、金属物品、电缆等结构，应记录相关的坐标信息。
- r) 水面数据采集时，应避免在风浪过大、过急条件下作业。

5.7.4 数据处理与资料解释

5.7.4.1 数据处理符合下列规定。

- a) 测点数据处理：
 - 1) 预处理，包括数据解编、去噪、滤波处理、数据叠加、方位校正和频谱计算等；
 - 2) 载入坐标数据，形成MVO、PVO、N-MVO曲线；
 - 3) 回看并对比每个测点的MVO曲线，确定最小振幅曲线；
 - 4) 基于参考站位对每个测点的振幅与相位曲线进行归一化处理，获得N-MVO和相位随偏移距归一化曲线(N-PVO)。
- b) 测线数据处理：
 - 1) 将N-MVO按测点顺序排列形成测深曲线；
 - 2) 将N-MVO极值点按照测点施工顺序绘制形成归一化极值曲线；
 - 3) 绘制归一化异常测深拟断面图。
- c) 数据三维处理：
 - 1) 三维区N-MVO蒙太奇分析，浏览各剖面的变化规律；
 - 2) 对N-MVO进行极值点提取，绘制N-MVO极值点平面图；
 - 3) 绘制N-MVO拟深度三维立体图；
 - 4) 对比二维处理与三维处理的结果，保证数据结果相互吻合。
- d) 数据反演：
 - 1) 根据N-MVO拟深度结果，结合地质及其他地球物理资料建立初始地电模型；
 - 2) 一维反演，对所有测点数据进行一维反演，将所有测点的一维反演组合形成剖面图；
 - 3) 二维反演，以一维反演作为初始模型，反演得到二维电阻率剖面图；
 - 4) 三维反演，针对三维测网数据进行三维反演，获得工区三维电阻率-深度断面图；
 - 5) 约束反演，利用现有的地震、测井、钻井等资料添加约束条件进行电阻率反演。

5.7.4.2 资料解释符合下列规定。

- a) 根据测点归一化曲线异常特征，确定有利异常的范围及勘探目标体的平面范围。
- b) 根据反演电阻率断面，确定地层电性结构并圈定高阻异常。
- c) 结合电阻率深度断面图和地震剖面图，标定高阻异常的空间分布、平面位置、埋深规模及延伸情况等。
- d) 形成的图件包括：
 - 1) 各测点的MVO、PVO和N-MVO；
 - 2) 归一化异常N-MVO和拟断面图；
 - 3) 反演电阻率断面图；
 - 4) 地质与地球物理综合解释图。

5.7.5 成果

成果应包含以下内容。

a) 成果报告：

报告内容应充实完整、表述清晰，结论应当简洁明了、推断合理，符合客观实际。

b) 成果图件要求如下：

- 1) 应包括测线平面布置图、航迹图、剖面解释图、地球物理与地质综合解释图；
- 2) 解释图上应当标明地层分界线、异常构造形态等；
- 3) 成果图件比例尺应与作业比例尺及技术设计规定比例尺相同，横向与纵向比例尺保持一致。

5.8 电磁感应法

5.8.1 电磁感应法应用条件应符合下列要求：

- a) 目标管线邻近不宜有强电流或强电磁干扰；
- b) 目标管线所产生的异常场应有足够的强度，可从背景场中分辨出来；
- c) 探测的目标管线长度应远大于其埋深。

5.8.2 电磁感应法仪器设备应符合下列规定：

- a) 发射机和接收机主动工作频率应不少于 3 个；
- b) 接收机应具有电力和无线电频率两个被动频率；
- c) 发射机输出功率应大于 10W，具有瞬间过压保护功能，最大输出电压宜不低于 90V。

5.8.3 工作布置应符合下列规定：

- a) 电缆、光缆走向不明时测线宜采用网格状布置；
- b) 初步了解电缆、光缆的走向后，测线方向宜与电缆、光缆走向垂直或大角度斜交。

5.8.4 试验工作应调查目标管线附近的电磁场干扰影响状况，避免管线周围电磁场的干扰。

5.8.5 现场探测工作应符合下列规定：

- a) 当探测感应信号较弱时，宜采用水下天线并靠近目标电缆探测；
- b) 海底金属管线位置和埋深现场工作时，宜采用多种工作方式进行综合探测和对比分析；
- c) 采用直接法时，应保持信号施加点处的电性接触良好；接地电极应布设合理，且确保接地条件良好；
- d) 采用夹钳法时，应确保夹钳套在目标管线出露端上，并应保证夹钳接头形成通路；
- e) 应使发射机与目标管线耦合良好，接收机与发射机应保持最佳收发距。

5.8.6 数据处理和资料解释应符合下列要求：

- a) 电磁感应法应分析背景信号、噪声和有效信号特征，确定管线异常点；
- b) 宜优先采用 ΔH_x 极大值法确定管线平面位置，当管线仪不能观测 ΔH_x 时可用水平分量极大值 H_x 方法定位；
- c) 采用极小值法定位时，宜与其他方法配合使用；
- d) 采用直读法直接读出管线埋深时，应在不同地段、不同已知管线上方通过探查方法试验，确定深度修正系数，进行深度校正，提高探测深度的精确度；
- e) 结合收集调查的资料，综合确定水下管线的位置、走向和埋深。

5.8.7 电磁感应法成果图件宜包括航迹图、水下管线平面分布图和埋深剖面图。

5.9 地球物理测井

5.9.1 地球物理测井内容宜包括岩土体波速、地层电阻率、岩土体分层，计算动泊松比、动弹性模量、动剪切模量、场地等效波速，划分场地类别。

5.9.2 钻孔测井方法选择应符合下列要求：

- a) 岩体纵波速度测试宜选用单孔声波测试法；
- b) 覆盖层纵波速度和横波速度测试宜选用单孔地震波法，横波速度测试宜选择单孔悬挂法；
- c) 地层电阻率测试宜选择电阻率测井；
- d) 钻孔地层观察宜选择钻孔全景数字成像。

5.9.3 测井方法应用条件应符合下列要求。

- a) 钻孔应竖直，成孔质量应符合现行行业标准《海上风电场工程钻探规程》NB/T 10106 的规定。
- b) 单孔声波法测试孔段应无套管。

c) 单孔地震波法测试孔段护壁管材应为非金属套管；应用于横波测试时，适用于退潮时潮间带或滩涂。

d) 单孔悬挂法测试孔段应无套管。

e) 电阻率测试孔段宜无套管；使用非金属管材护壁时，应在管子上钻取小孔制成花管。

f) 钻孔全景数字成像段应为无套管，孔壁干净，井液清澈。

5.9.4 单孔声波法和单孔地震波法测试应符合现行行业标准《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T 35101 的规定外，还应符合下列规定：

a) 单孔声波法测试点距不宜大于 20cm；

b) 单孔地震波法宜采用三分量孔中贴壁传感器，检波点间距宜为 1m~2m；

c) 单孔地震波法厚度小于检波点间距的地层应加密测试；

d) 检查观测点数量应不少于观测点总数的 10%，声波或地震波初至时刻允许相对偏差应为 $\pm 2\%$ 。

5.9.5 钻孔全景数字成像应符合现行行业标准《水电工程地球物理测井技术规程》NB/T 10225 的规定。

5.9.6 单孔悬挂法仪器设备应符合下列规定：

a) 主机宜采用悬挂式波速测井仪；

b) 通频带应满足有效波的频率范围要求；

c) 仪器动态范围不应低于 96dB，A/D 转换位数不应低于 16bit；

d) 各通道振幅和相位差异应小于 3%；

e) 采样点数不应小于 512，最小采样间隔不应大于 0.05ms。

5.9.7 电阻率测井仪器设备和现场工作除应符合现行行业标准《水电工程地球物理测井技术规程》NB/T 10225 的规定外，还应符合下列规定：

a) 电极系可选择三侧向电极系、梯度电极系、对称四极电极系和横向电测深电极系，宜根据地质条件合理选择；

b) 同一测区，应选择统一的电极距；

c) 梯度电极系、对称四极电极系、横向电测深电极系电极距应根据任务书要求和测区地电条件选择，不宜小于 2m；

d) 梯度电极系的测量极距与电极距的比值宜为 1/3~1/5，无穷远极与钻孔水平距离不宜小于 50 倍电极距；

e) 横向电测深电极系宜采用对称四极装置，供电电极不宜少于 3 组，供电电极间距在双对数坐标系下宜均匀分布，最大供电电极间距不宜小于 4m；

f) 采用三侧向电极系，应保证地表电极接地良好且供电稳定，记录电流曲线时应检查并确定增量方向；

g) 测试前，应根据采用的电极系装置校核或计算装置系数。

5.9.8 单孔悬挂法现场工作应符合下列规定。

a) 应与单孔地震波法进行对比试验，了解适用性。

b) 测试前，孔内宜注满泥浆；应先使用通孔器进行通孔，记录孔内水位及孔深。

c) 应将收发换能器匀速地放入钻孔底部，稳定后自下而上测试。

d) 测试点距不宜大于 1.0m，地层界面处应加密。

e) 检查观测点数量应不少于观测点总数的 10%，横波波至时或第一相位极值点时间允许相对偏差为 $\pm 2\%$ ，相对偏差按附录 C 中的公式 (C.1.1) 计算。

5.9.9 单孔声波法资料整理除应符合现行行业标准《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T35101 的规定外，还应符合下列规定：

a) 应按附录 C 中的公式 (C.1.2) 计算岩体完整性指数，岩体完整程度应根据表 5.9-1 进行分类；

b) 应按附录 C 中的公式 (C.1.3) 计算岩体风化波速比，岩体风化应根据表 5.9-2 进行分带；

表5.9-1 岩体完整程度分类

完整性指数	$k_v > 0.75$	$0.75 \geq k_v > 0.55$	$0.55 \geq k_v > 0.35$	$0.35 \geq k_v > 0.15$	$k_v \leq 0.15$
完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

表5.9-2 岩体风化分带

风化波速比	$k_w = 1$	$1 > k_w \geq 0.8$	$0.8 > k_w \geq 0.6$	$0.6 > k_w \geq 0.4$	$k_w < 0.4$
风化带	新鲜	微风化	弱风化	强风化	全风化

c) 成果图件宜包括波速-孔深曲线图。

5.9.10 单孔地震波法资料整理除应符合现行行业标准《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T35101 的规定外,还应符合下列规定:

a) 应计算岩土体地震纵波速度、横波速度、泊松比、动弹性模量、动剪切模量,应按附录 C 的公式(C.1.4~C.1.6)计算;

b) 土的类型划分、场地覆盖层厚度确定、土层等效剪切波速度计算、建筑场地类别确定应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定;

c) 成果图件宜包括横波速度-孔深分布图。

5.9.11 单孔悬挂波法资料整理还应符合下列规定:

a) 宜根据相邻点波形的相似性、同相性、波至时、振幅强、频率低等特征识别横波;

b) 横波对比分析应选择靠近有效波起始相位处,可采用单相位或多相位对比;

c) 横波速度旅行时宜读取首波起跳时间,当首波起跳不明显时可读取第一相位极值点;

d) 计算测点横波速度,土的类型划分、场地覆盖层厚度确定、土层等效剪切波速度计算、建筑场地类别确定应符合 5.9.10 的规定;

e) 成果图件宜包括横波速度-孔深分布图。

5.9.12 电测井资料整理还应符合下列规定:

a) 应计算三侧向、梯度电极系、对称四极电极系、横向电测深测井视电阻率;

b) 应分析测区地层与视电阻率的对应关系;

c) 可根据层间接触带或层内小层的曲线特征、形态,建立岩性标志层;

d) 地层界线点定量解释原则应根据电极装置型式、观测方向等综合确定;

e) 应根据井径、海水电阻率值,对梯度电极系、对称四极电极系测井视电阻率进行校正;

f) 结合地质资料,宜采用计算机模拟正反演法、量板法计算地层电阻率;

g) 应结合地质资料、井径、海水电阻率值,对侧向测井资料进行校正,计算地层真电阻率;

h) 成果图件宜包括视电阻率-孔深分布图、电阻率-孔深分布图。

5.9.13 钻孔全景数字成像资料整理应符合下列要求:

a) 宜根据摄录的图像对孔内地质现象的观察、描述,判别和计算地层、构造及不良地质现象的位置、产状和厚度;

b) 应对测试段地质现象分类进行统计,列表或绘图给出断层、裂隙、夹层、孔洞等的发育条数和线密度;

c) 成果图件应主要为钻孔土层剪切波速度分布图、地层电阻率分布图或孔壁全景数字图像。

6 导航定位

6.1 一般规定

6.1.1 平面坐标系

采用 2000 国家大地坐标系(China geodetic coordinate system 2000, CGCS2000)。采用其他坐标系时,应当建立与 CGCS2000 的转换关系。

6.1.2 高程基准

采用 1985 国家高程基准。对于远海及极地,可采用平均海平面作为高程基准。

6.1.3 深度基准

采用理论最低潮面。采用其他深度基准时,应与理论最低潮面建立转换关系。

6.1.4 投影方式

主要采用墨卡托或通用横轴墨卡托(Universal Transverse Mercator, UTM)投影,或与测量区域相适应的投影方式。

6.1.5 时间系统

采用北京时间和世界协调时（Universal Time Coordinated, UTC），当采用其他时间系统时，应建立与北京时间和UTC的换算关系。

6.1.6 水面导航定位系统

水面导航定位系统利用 GNSS 及安装在船上的罗经，实现水面导航定位，并符合以下要求：

- a) 应具备独立的卫星定位系统；
- b) 卫星信号（包括校正信号）稳定可靠，并具有不中断作业的能力，定位信号和误差校正信号的作业距离应覆盖整个作业区域；
- c) 卫星差分信号定位精度应优于 1.0 m。

6.2 水面定位

6.2.1 导航定位宜采用通用 DGNSS 接收机，技术指标应符合下列规定：

- a) 接收机具备 DBDS、DGPS、DGLONASS 或 DGALILEO 信标信号中 2 种以上信号的能力；
- b) 接收通道数不少于 120 通道，数据更新率应不低于 1Hz。

6.2.2 走航式连续探测时导航定位应符合下列规定。

- a) 宜采用高斯正形投影按 3° 分带的国家坐标系统。
- b) 测区高程应采用正常高系统，一个测区应采用同一坐标系，按照现行国家高程基准起算；引测困难时，可采用独立高程系统；深度基准应采用当地理论最低潮面，已确定深度基准面的区域应使用已有数据，未确定深度基准面的区域，应与邻近长期验潮站进行联测推算。
- c) 平面控制宜在国家等级控制网内建立加密网，可直接利用四等、一级已知点均可作为测区首级平面控制。

d) 导航高程可通过差分全球导航卫星系统（DGNSS）赋值或通过验潮进行水位改正方法获取，导航高程应进行实时或事后水位、静吃水、动吃水及波浪等各项改正。

6.2.3 导航定位应在差分 DGNSS 定位作用距离应覆盖作业区域内，有效观测卫星数不应少于 4 颗，卫星仰角不应小于 5°，点位几何因子（PDOP）不应大于 6，差分信号更新率不应大于 3s。

6.2.4 工作前，设计物探测线应输入到导航定位系统中，已知点应进行比测试验和中误差比对试验。

6.2.5 DGNSS 接收天线应安装在调查船上净空条件好的部位，并远离通信天线和雷达；各传感器的真实位置应通过计算传感器与 DGNSS 接收天线之间的相对距离确定。

6.2.6 定位标记点的图上间距应不大于 1cm。

6.2.7 定位中误差应符合下列规定：

- a) 测图比例尺大于 1:5000 时，海上定位中误差不应大于图上 1.0mm；
- b) 测图比例尺不大于 1:5000 时，海上定位中误差不应大于图上 0.5mm；
- c) 在水深 H 不大于 20m 时，导航定位的高程允许误差宜为 $\pm 0.2m$ ；水深 H 大于 20m 时，导航定位的高程允许误差宜为 $\pm 0.01H$ ；
- d) 对有特殊要求的海上定位测量，应根据工程的设计要求确定定位精度。

6.2.8 导航定位班报记录宜包括测线号、首尾点号、日期和时间、卫星信号质量指标、中断情况处理意见等。

7 综合应用

7.1 一般规定

7.1.1 海上风力发电场地球物理勘探综合应用应符合现行国家标准《海上风力发电场勘测标准》GB 51395 的规定。

7.1.2 现场探测前，应进行试验探测，试验探测成果可作为生产成果的一部分。

7.1.3 物探成果解释应合理，应针对探测目的做出相应的成果解译。

7.1.4 海上风力发电场地球物理勘探主要解决海底地层探测、海底地质构造探测、海底浅层气探测、海底管线探测、海底障碍物探测等问题。

7.2 海底地层探测

7.2.1 海底地层探测内容宜包括：海底浅部地层结构、各地层厚度、界面形态、物性参数和特殊地质现象。

7.2.2 海底地层探测方法可选用水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、海洋电磁法和地球物理测井等。

7.2.3 海底地层探测方法选择应符合下列规定：

a) 应根据地质、地球物理条件和任务要求选用一种物探方法进行全面探测，并宜在主测线和地质条件较复杂的地段采用综合物探方法；

b) 浅海、港口、码头和水面较宽、水较深、水流较缓、沉积物粒径较小的水域地层探测时，宜采用水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、海洋电磁法等；

c) 水流较急、受潮水涨落影响较大、沉积物粒径较大的水域地层探测时的宜选择水域多道地震法；

d) 应利用水域地质钻孔进行地球物理测井、弹性波测试，进行地层分层和物性参数测试。

7.2.4 现场工作除应符合5.4、5.5、5.9的规定外，还应符合下列规定：

a) 在进行地层探测之前，应对仪器设备进行调试，选择合适的探测参数；

b) 地层探测应避开台风季节，选择在海水涨落幅度小，水流较缓的时段进行；

c) 测线宜布置在风机机位位置，至少布置2条大角度相交测线，长度宜不小于风机基础直径，探测深度宜深入风机基础设计埋深5m~10m；

d) 测线宜经过勘探孔，并应依托钻孔进行相应的地球物理测井、弹性波测试工作；

e) 采用水域地层剖面法探测时，在一个作业水域，根据回波信号的强弱，选择恰当的发射方式、发射频率、发射功率、接收增益、时变增益（TVG）和打印增益等参数，并固定用于该区域测量；

f) 采用水域多道地震勘探法探测，正式测试前，应在附近水域进行试验探测，试验应根据任务要求和测试水域地质条件确定，内容宜包括最佳道间距、偏移距、炮点距、激发时间间隔、激发能量、震源沉放深度、采样频率、记录长度和覆盖次数等工作参数；

g) 采用海洋电磁法探测，应根据预估探测深度，选取合适的发射和接收频率；

h) 采用海洋电磁法探测，测试区域及邻近不宜有电网、电磁发射站、变电站、发电站等强电磁干扰。

7.2.5 资料整理与解释应符合下列规定。

a) 应计算海底各地层的电阻率、波速等物性参数、厚度、埋深等，分析各地层物性参数在垂直方向上的变化规律和物性层与地质层的对应关系。对不同地段进行的试验，应对比分析测区各地层的物性参数在水平方向的变化情况。

b) 水域地层剖面法应先进行波速等数据处理得出反射时间剖面，选择合适的层速度，将时间剖面转换成深度剖面，并根据反射分层情况、能量和相位变化特点、反射界面形态等对深度分层剖面进行地质解译。

c) 水域多道地震勘探法应先根据观测系统对数据进行处理，得出反射时间剖面，选择合适的层速度将时间剖面转换成深度剖面，并根据反射分层情况、能量和相位变化特点、反射界面形态等对深度分层剖面进行地质解译。

d) 海洋电磁法资料解释应依据各地层间的电性差异，对比孔旁电性剖面，进行电性分层和层厚度计算。

e) 地球物理测井应依据各地层在波速、电阻率、密度、放射性上的差异，对实测资料进行分层解释，计算各层厚度和物性参数。

f) 采用综合方法探测的地段，应进行综合分析，得出各层位在不同方法下的物性分层依据，综合解释各层厚度。

g) 当物性参数在水平方向有变化时，宜分段解释和计算各地层厚度。

7.2.6 成果图件应包括各地层剖面地质成果图、平面等厚度图、各地层界面等高线图。

7.3 海底地质构造探测

7.3.1 海底地质构造探测内容宜包括：海底微地貌、地质构造、地层分布特征和不良地质作用。

7.3.2 海底地质构造探测可采用侧扫声呐法、多波束测深法、水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、钻孔测试等。

7.3.3 侧扫声呐法探测时，相邻测线扫描应重叠 50%；多波束测深法测量时，相邻测线应重叠 20%。

7.3.4 采用水域地层剖面法探测地质结构应符合 5.4 的规定，还应符合下列规定：

进行地层探测时，主测线宜与地质勘探线或其他物探方法的测线重合；进行地质构造探测时，主测线宜垂直于地质构造走向，联络测线宜垂直于主测线。

7.3.5 采用水域多道地震勘探法探测地质结构应符合 5.5 的规定，还应符合下列规定。

a) 进行地层探测时，主测线宜与地质勘探线或其他物探方法的测线重合；进行地质构造探测时，主测线宜垂直于地质构造走向，联络测线宜垂直于主测线。

b) 数据采集应采用多次覆盖，排列长度、道间距、偏移距、炮点距或激发时间间隔、激发能量、震源及接收沉放深度、采样间隔、记录时间长度等采集参数应根据试验结果和任务要求确定。

7.3.6 钻孔内岩土纵波速度测试宜选择单孔声波或地震测井；钻孔剪切波速度测试可选择单孔地震法；钻孔地层电阻率测试宜选择梯度电极系法或横向电测深法，测点距宜为 1m~2m，层位变化处宜加密；钻孔地层观察宜选择钻孔全景数字成像。

7.3.7 资料整理和解释应符合 5.2、5.3、5.4、5.5 的规定，还应符合下列规定。

a) 侧扫声呐法采集的资料应进行噪声的识别和滤除、图像镶嵌拼接，并结合其他资料对微地貌特征进行解释。

b) 水域地层剖面法采集的资料应进行坏道剔除、涌浪滤波、频率滤波、多次波压制、增益控制、动平衡、时深转换等处理，形成可供资料解释的成果剖面数据，绘制地层剖面图。

c) 水域多道地震勘探法采集的资料整理宜主要包括滤波与振幅补偿、多次波压制、速度分析、动校正和叠加、叠后偏移归位和时深转换，并应绘制时间剖面图和深度剖面图，形成可供地震勘探资料解释的成果剖面。

d) 采用水域地层剖面法和水域多道地震勘探法进行地质结构探测时，应结合地质资料，分析反射波时间剖面中波形和振幅突变、同相轴连续性、反射波组的间距，以及波组的错断、分叉、合并、尖灭现象，解释海底地层结构、地质构造、不良地质作用。

e) 宜采用钻孔内岩体弹性纵波速度划分岩体风化带，评价岩体完整性；宜根据钻孔土层剪切波测试成果按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定场地覆盖层厚度。

f) 宜根据井径、井液电阻率等影响因素，对测试的电阻率值进行校正，结合地层岩性资料，对电阻率曲线进行综合分析，确定地层电阻率。

g) 探测成果图件应主要包括测线平面布置图、航迹图、海底底质类型分布平面图、海底微地貌图、时间剖面图、地层剖面地质解释图、地震剖面地质解释图、综合地层剖面图和钻孔测井成果图。

7.4 海底浅层气探测

7.4.1 海底浅层气探测内容宜包括浅层气分布范围、埋深、形态等。

7.4.2 海底浅层气宜采用侧扫声呐法、多波束测深法、水域地层剖面法、水域多道地震勘探法。

7.4.3 海底浅层气探测方法选择应符合下列规定。

a) 当需探测的浅层气埋藏深度小于 30m 时宜采用浅地层剖面探测法；当需探测浅层气埋藏深度大于 30m 时宜采用中地层剖面法；当需探测深部含油气层通过断裂等向上运移形成的浅层气时宜采用水域多道地震勘探法。

b) 当海底沉积物中浅层气溢出后，形成海底凹陷等海底地貌时，可采用侧扫声呐或多波束测深法进行探测。

7.4.4 资料整理与解释应符合下列规定：

a) 应在侧扫声呐图像上对海底凹陷等特殊微地貌进行识别，通过航速、倾斜距和拖鱼位置校正，确认其真实位置、分布范围、凹陷深度；

b) 应在多波束海底地形图上识别麻坑，计算海底凹陷的位置、形态、凹陷深度；

c) 在水域地层剖面上，应重点识别声空白、声学幕、海底凹陷、强反射亮点等典型的浅层气发育声学特征。

7.4.5 成果与评价应符合下列规定：

a) 应阐明海底浅层气平面分布特征、埋藏深度、溢出通道等；

b) 成果图件宜包括海底凹陷区侧扫声呐影像或多波束声呐影像图、浅层气发育区典型浅剖面、浅层气分布平面图。

7.5 海底管线探测

7.5.1 水下管线探测内容宜包括海底电缆、光缆等管线的位置、分布。

7.5.2 水下管线探测方法可采用侧扫声呐法、多波束测深法、海洋磁法、水域地层剖面法、电磁感应法。

7.5.3 水下管线探测的物探方法选择应符合以下规定：

a) 现场探测前应调研探测海域水下管线的情况，宜采用侧扫声呐法和水域地层剖面法进行普查；

b) 根据普查结果，对存在疑似管线的海域宜采用侧扫声呐法或多波束测深法进行三个以上不同方向的探测，并采用水域地层剖面法加密测线进行探测，再采用海洋磁法查明管线规模、埋置状况和物性；

c) 对于可能存在光缆或者电缆时，还应进一步采用电磁感应法进行探测。

7.5.4 水域地层剖面法和海洋磁法宜垂直目标管线的延伸方向，初步分析发现目标管线时，应布设补充测线做进一步探测。

7.5.5 侧扫声呐法、多波束测深法、电磁感应法应符合5.2、5.3、5.8的规定。

7.5.6 资料整理和解释应符合下列规定：

a) 侧扫声呐法采集的资料应进行水深和图像比例失调校正、噪声的识别和滤除、图像镶嵌拼接，绘制声呐图像镶嵌图；

b) 多波束测深法应、水域地层剖面法采集的资料符合7.3.6的规定；

c) 海洋磁法采集的资料应进行磁场强度校正，并计算磁异常，绘制磁异常剖面图，根据需要绘制磁异常等值线图；

d) 电磁感应法应分析背景信号、噪声和有效信号特征，确定电缆、光缆异常点；

e) 应对探测资料进行分析和解释，结合收集调查的资料，综合确定水下管线的位置、走向和埋深；

f) 成果图件应主要包括航迹图、水下管线平面分布图和埋深剖面图。

7.6 海底障碍物探测

7.6.1 海底障碍物探测内容宜包括海域水下障碍物的位置、分布。

7.6.2 海底障碍物探测方法可采用多波束测深法、侧扫声呐法、水域地层剖面法、海洋磁法。

7.6.3 海底障碍物探测的物探方法选择应符合7.5.3 a)、b)的规定。

7.6.4 侧扫声呐法应根据测线间距选择合理的声呐扫描量程，根据现场声呐图像初步判断存在目标障碍物时，应在其周围布设不同方向的补充测线做进一步探测。

7.6.5 水域地层剖面法和海洋磁法主测线宜垂直目标障碍物的延伸方向，初步分析发现目标障碍物时，应布设补充测线做进一步探测。

7.6.6 资料整理和解释应符合下列规定：

a) 侧扫声呐法、多波束测深法、水域地层剖面法、海洋磁法采集的资料应符合7.5.7的规定；

b) 应结合水下地形地貌、地质和其他资料，对物探资料进行综合分析和解释，确定水下障碍物的物性、位置、形状、大小和分布范围；

c) 成果图件应主要包括航迹图、海底面状况图、障碍物平面分布图。

8 成果报告

8.1 地球物理探测项目外业工作结束后应编写物探成果报告，报告应内容全面、目的明确、方法技术可靠、数据真实、图表齐全、结论正确。

8.2 采用单项物探方法完成一个工区的一项或几项工作任务应编写单项（或专项）物探成果报告，采用多项物探方法完成一个工区的一项或几项工作任务应编写综合物探成果报告。完成一个工程或工区的一个阶段的物探工作后，应编写阶段性物探综合探测成果报告。

8.3 单项（或专项）和综合物探成果报告宜包括概况、地质简况及地球物理特征、物探方法与技术、探测依据、质量控制、资料整理与解释、结论与评价、问题与建议、附图与附表，报告应符合下列规定：

a) 概况宜包括工程概况、任务来源、工作内容、工作时间、以往工作情况、工作量完成情况；

b) 地质简况及地球物理特征宜包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、岩土体的物性特征；

c) 物探方法与技术宜包括所选用的物探方法及原理、现场试验情况、测网和测线布置、现场工作方法与技术、仪器设备及工作参数；

d) 探测依据宜包括规程规范、设计要求等；

e) 质量控制宜包括质量控制目标、质量控制措施；

f) 资料整理宜包括数据质量评价、数据处理流程、方法、参数、反演计算成果；

g) 资料解释宜结合相应地质资料对物探孔、测网和测线的物探成果资料进行地质解译和推断；

h) 结论与评价宜包括探测成果结论、任务解决的程度、成果验证对比情况及解释精度等；

i) 问题与建议宜包括本次物探工作尚存在的问题，以及需要补充开展其他物探工作和验证工作的建议；

j) 附图与附表宜包括工作布置图、物探成果图、物探成果地质解译图、物探成果表等；

k) 综合物探成果报告应突出综合物探方法在解决地质问题方面的应用及各种方法所获得资料的综合分析。

8.4 阶段性综合物探成果报告宜在该阶段或以前各阶段综合物探成果报告的基础上编写。报告内容宜包括概况、地质简况及地球物理特征、物探方法综合探测成果、结论与评价、问题与建议、附图与附表。报告应符合下列规定：

a) 概况宜包括工程概况、地理位置、物探任务、工作起止时间、物探工作布置，综合利用各种物探技术的探测情况及完成的工作量；

b) 地质简况及地球物理特征宜包括与物探工作有关的地形地貌、地层构造及水文地质情况、地球物理特征；

c) 物探方法综合探测成果宜包括探测内容、探测方法技术、各物探方法的综合分析和地质解译；

d) 结论与评价宜包括阐明应用综合物探方法所解决的工程地质问题的结论与效果，做出成果质量与精度评价；

e) 问题与建议宜包括本次物探工作尚存在的问题以及需要补充和需要开展的其他物探工作和验证工作的建议，或者是本次探明的问题，以及可行的设计及施工处理建议；

f) 附图与附表宜包括工作布置图、物探成果图、物探成果地质解译图、物探成果表等。

8.5 物探成果报告的插图可包括方法原理图、典型曲线图、对比分析图等，插表可包括工作量表、物性参数表、仪器参数表、成果解译表、测试数据表、探测精度表等。

附录 A
(资料性)
探测项目及方法

探测项目			多波束测深法	侧扫声呐法	水域地层剖面法	水域多道地震勘探法	海洋磁法	海洋电磁法	电磁感应法	地球物理测井
海底障碍物探测	裸露	磁性障碍物	△	●	△		●			
		非磁性障碍物	△	●	△					
	隐蔽	磁性障碍物			△		●			
		非磁性障碍物			△					
水下管线探测	裸露	金属管线	△	●	●		●	△	●	
		非金属管线	△	●	●					
	隐蔽	金属管线			●		●	△	●	
		非金属管线			●					
海底地形地貌探测	全覆盖探测		●	●	△	△				
	测线探测		●	●	△	△				
海底浅层气探测			△	△	●	●				
海底底质分类			●	●						
海底地层探测	探测地层厚度<150m				●	●		●		●
	探测地层厚度≥150m				△	●		●		●
海底地质构造探测			△	●	●	●				●
潮间带地层探测					●	△		△		●
电阻率测试								△		●
岩土物理力学参数测试										●

注：●为主要方法，△为辅助方法。

附录 B
(资料性)
物性参数表

表 B-1 常见介质的相对介电常数和电导率

介质	相对介电常数	电导率/(10 ⁻³ S/m)	电磁波速度 (m/ns)	电磁波衰减 (dB/m)
空气	1	0	0.3	0
海水	81	3×10 ³	0.1	103
灰岩	4~8	0.5~2.0	0.12	0.4~1
页岩	5~15	1~100	0.09	1~100
黏土	5~40	2~1000	0.06	1~300
花岗岩	4~6	0.01~1	0.13	0.01~1
盐岩	5~6	0.01~1	0.13	0.01~1
冰	3~4	0.01	0.16	0.01

表 B-2 常见介质的密度及速度

类别	名称	密度/(g/cm ³)	纵波速度 V _p /(km/s)	横波速度 V _s /(km/s)
松散层	黏土	1.60~2.04	1.6~2.5	0.4~0.8
	砂质黏土	—	0.4~0.9	0.1~0.3
	饱水砂、砾石	—	1.5~2.5	—
沉积岩	砾岩	1.90~2.90	1.5~4.2	0.9~2.5
	泥质灰岩	2.25~2.65	2.0~4.0	1.2~2.3
	硅质石灰岩	2.80~2.90	4.4~4.8	2.6~3.0
	致密石灰岩	2.60~2.77	2.5~6.1	1.4~3.5
	页岩	2.30~2.70	1.3~4.0	0.8~2.3
	砂岩	2.42~2.77	1.5~5.5	0.9~3.2
	致密白云岩	2.80~3.00	2.5~6.0	1.5~3.6
变质岩	石膏	2.41~2.58	2.1~4.5	1.3~2.8
	片麻岩	2.50~3.30	6.0~6.7	3.5~4.0
	大理岩	2.68~2.72	5.8~7.3	3.5~4.7
	石英岩	2.56~2.90	3.0~5.6	2.8~3.2
	片岩	2.68~3.00	5.8~6.4	3.5~3.8
	板岩	2.55~2.66	3.6~4.5	2.1~2.8
岩浆岩	千枚岩	2.71~2.86	2.8~5.2	1.8~3.2
	花岗岩	2.30~2.96	4.5~6.5	2.4~3.8
	闪长岩	2.52~2.70	5.7~6.4	2.8~3.8
	玄武岩	2.53~3.30	4.5~7.5	3.0~4.5
	安山岩	2.30~3.10	4.2~5.6	2.5~3.3
	辉长岩	2.55~2.98	5.3~6.5	3.2~4.0
	辉绿岩	2.53~2.97	5.2~5.8	3.1~3.5
	橄榄岩	2.90~3.40	6.5~8.0	4.0~4.8
其他	凝灰岩	1.60~1.95	2.6~4.3	1.6~2.6
	水	1.00	1.4~1.6	—
	冰	0.80~0.90	3.1~3.7	—

表 B-3 常见介质电阻率

类别	名称	电阻率 $\rho /(\Omega \cdot \text{m})$
松散层	黏土	$1 \times 10^0 \sim 2 \times 10^2$
	含水黏土	$2 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10$
	亚黏土	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^2$
	砾石加黏土	$2.2 \times 10^2 \sim 7 \times 10^3$
	亚黏土含砾石	$8 \times 10^1 \sim 2.4 \times 10^2$
	卵石	$3 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$
	含水卵石	$1 \times 10^2 \sim 8 \times 10^2$
沉积岩	泥质页岩	$6 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$
	砂岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$
	泥岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
	砾岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^4$
	石灰岩	$6 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$
	白云岩	$5 \times 10^1 \sim 6 \times 10^3$
	硬石膏	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$
变质岩	片麻岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$
	大理岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	石英岩	$2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	片岩	$2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4$
	板岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
岩浆岩	花岗岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	正长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	闪长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	辉绿岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	辉长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	玄武岩	$5 \times 10^1 \sim 1 \times 10^5$
其他	冰	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^8$
	海水	$1.5 \times 10^0 \sim 3 \times 10^1$

附录 C
(规范性)
常用计算公式

C.1.1 观测数据偏差 δt 计算应符合下列规定：

$$\delta_t = \frac{t_i - t_m}{t_m} \times 100\% \quad (\text{C.1.1})$$

式中： t_i —观测数据；

t_m —观测数据平均值。

C.1.2 岩体完整性指数 k_v 计算应符合下列规定：

$$k_v = \left(\frac{v_p}{v_{pr}} \right)^2 \quad (\text{C.1.2})$$

式中： v_p —纵波速度（m/s）；

v_{pr} —测区新鲜、完整岩块的纵波速度（m/s）。

C.1.3 岩体风化波速比 k_w 计算应符合下列规定：

$$k_w = \frac{v_p}{v_{pr}} \quad (\text{C.1.3})$$

C.1.4 岩土体动泊松比 μ 计算应符合下列规定：

$$\mu = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (\text{C.1.4})$$

式中： v_s —横波速度（m/s）。

C.1.5 岩土体动弹性模量 E_d 计算应符合下列规定

$$E_d = \rho v_p^2 \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \quad (\text{C.1.5})$$

式中： ρ —密度（ kg/m^3 ）。

C.1.6 岩土体动剪切模量 G_d 计算应符合下列规定：

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (\text{C.1.6})$$

参 考 文 献

- [1] GB/T 12763.8 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查
 - [2] GB/T 12763.10 海洋调查规范 第10部分：海底地形地貌调查
 - [3] GB/T 12763.11 海洋调查规范 第11部分：海洋工程地质调查
 - [4] HY/T 0351 海底地形地貌调查导航定位技术要求
 - [5] JTS 133 水运工程岩土勘察规范
 - [6] NB/T 31030 陆上风电场工程地质勘察规范
 - [7] SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探
-