



中华人民共和国国家标准

GB/T 12763.8—2007
代替 GB/T 13909—1992

海洋调查规范 第 8 部分：海洋地质地球物理调查

Specifications for oceanographic survey—
Part 8: Marine geology and geophysics survey

2007-08-13 发布

2008-02-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	2
4.1 技术设计	2
4.2 调查的基本方法	2
4.3 调查的基本要求	2
4.4 调查的准确度	2
4.5 调查资料整理的基本要求	2
4.6 调查成果	3
4.7 资料归档	4
5 海底地形地貌调查	4
6 海洋底质调查	4
6.1 海洋底质采样	4
6.2 底质样品的现场描述与处理	5
6.3 沉积物粒度分析	7
6.4 底质矿物鉴定	9
6.5 沉积物物理力学性质测试	12
6.6 沉积物古生物鉴定	20
6.7 沉积物化学测定	22
6.8 底质放射性测年	29
6.9 底质古地磁测量	31
6.10 调查成果	33
7 海底浅层结构探测	34
7.1 拖曳式浅地层剖面探测	34
7.2 船载式浅地层剖面探测	35
7.3 海底浅层结构探测成果	36
8 海底热流测量	37
8.1 技术指标	37
8.2 仪器设备	37
8.3 海上测量	38
8.4 资料整理	40
8.5 热流资料地质解释	42
9 海洋重力测量	42
9.1 技术指标	42
9.2 测量仪器	43
9.3 海上测量	43

9.4	资料整理	44
9.5	测量成果	47
10	海洋地磁测量	48
10.1	技术要求	48
10.2	测量仪器	49
10.3	海上测量	49
10.4	资料整理	51
10.5	测量成果	52
11	海洋地震调查	53
11.1	技术指标	53
11.2	调查仪器	53
11.3	海上测量	55
11.4	资料整理	56
11.5	调查成果	59
附录 A (规范性附录)	等比制(φ 值标准)粒级分类表	60
附录 B (规范性附录)	φ 值-毫米换算表	61
附录 C (规范性附录)	沉析(吸管)法采样深度和沉降时间表	70
附录 D (规范性附录)	沉积物粒度三角分类图	71
附录 E (规范性附录)	抗压强度有关参数计算	72
附录 F (规范性附录)	地磁正常场计算公式及其参数:国际地磁参考场 IGRF	74
附录 G (规范性附录)	剩余磁性参量基本计算公式	76
附录 H (规范性附录)	磁化率测量及计算方法	77
图 D.1	沉积物粒度三角图分类	71
图 D.2	深海沉积物等三角图解分类	71
图 H.1	立方体样品各方向测量示意图	77
图 H.2	15个测量方向的旋转测量示意图	77
表 1	调查项目的主要技术要求	3
表 2	粒度分析取样质量估算表	7
表 3	粒度分析允许误差范围	8
表 4	分选程度等级表	9
表 5	沉积物化学测定允许误差范围	22
表 6	标准系列	25
表 7	底质调查中常用的放射性测年方法及测年范围	29
表 8	系统退磁磁性参量记录表	32
表 9	磁性参量记录表	33
表 10	磁性组构特征参量记录表	33
表 11	海底地温梯度测量原始记录表	39
表 12	热导率测量数据表	40
表 13	近海海洋地磁测量误差分配表	48

前 言

GB/T 12763《海洋调查规范》分为 11 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：海洋水文观测；
- 第 3 部分：海洋气象观测；
- 第 4 部分：海水化学要素调查；
- 第 5 部分：海洋声、光要素调查；
- 第 6 部分：海洋生物调查；
- 第 7 部分：海洋调查资料交换；
- 第 8 部分：海洋地质地球物理调查；
- 第 9 部分：海洋生态调查指南；
- 第 10 部分：海底地形地貌调查；
- 第 11 部分：海洋工程地质调查。

第 9 部分：海洋生态调查指南，第 10 部分：海底地形地貌调查和第 11 部分：海洋工程地质调查对应于 GB/T 12763—1991 是新增部分。

本部分为 GB/T 12763《海洋调查规范》的第 8 部分，代替 GB/T 13909—1992《海洋调查规范 海洋地质地球物理调查》。

本部分与 GB/T 12763 的第 1 部分、第 7 部分和第 10 部分配套使用。

本部分与 GB/T 13909—1992 相比主要变化如下：

GB/T 13909—1992 版本为篇、章、条、款结构，本版依据 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写要求》改为章、条、款结构。

本版的表 1 较 GB/T 13909—1992 版本有 4 处变动：

- 删去“远海”、“近海”之分及其内容，近远海均同一要求；
- 删去 1 : 200 × 10⁴ 比例尺调查内容，部分项目增加 1 : 10 × 10⁴ 和 1 : 5 × 10⁴ 比例尺调查内容；
- 删去“以相应比例尺图幅上距离(mm)”来规定导航定位准确度，改为使用 DGPS 定位；
- 海洋重力测量、海洋地磁测量等的测量准确度标准均有较大提高，其中海洋地磁测量的准确度提高幅度较大，原 1 : 100 × 10⁴ 和 1 : 50 × 10⁴ 比例尺的测量准确度由 12nT 和 8nT 提高为 4nT；原 1 : 20 × 10⁴ 比例尺的测量精度由 4nT 提高为 2nT。

第 5 章海底地形地貌调查因调查方法有重大变化，故而独立成为新的标准，即 GB/T 12763 的第 10 部分：海底地形地貌调查，本章改为引用该新标准。

本版第 6 章海洋底质调查相关内容有多处变动：

- 6.1.3.2 b) 柱状取样长度要求由原规定的深海不得少于 50 cm，浅海不得少于 100 cm 均改为不应少于 150 cm，增订采样器配重为 300 kg~600 kg；
- 6.3.2.3 沉积物粒度分析方法改原采用库尔特仪为激光粒度分析仪；
- 6.3.3.2 沉积物粒度分类及命名增订深海沉积物三角图分类法；
- 6.3.3.3 中表 4 分选程度等级由原七等归并为五等；
- 6.5 沉积物物理力学性质测试新增订贯入强度试验和富钴结壳与岩石物理力学性质测试；
- 6.7 沉积物化学测定中，改 6.7.8 有机碳测定、6.7.10 全氮测定、6.7.11 碳酸盐测定的测定方

法均为元素分析仪分析。

第7章标题用“海底浅层结构探测”代替原版本标题“海底浅层结构和表层沉积物声波探测”，7.1和7.2分别用“拖曳式浅地层剖面探测”和“船载式浅地层剖面探测”代替原版本“地层剖面探测”和“海底多频探测”，并删去多金属结核覆盖率和丰度计算内容；

第9章中，由“空间重力异常”一词替代原“自由空间重力异常”一词；9.4.1.1海洋重力测量原始记录验收等级标准的d款“一条测线上连续缺失记录小于测线长的10%，累计缺失小于测线长的20%，不合格测线小于测线总数的10%”，修改为“一条测线上连续缺失记录小于测线长的5%，累计缺失小于测线长的10%，不合格测线小于测线总数的5%”。

原版第10章第6条“海洋底质古地磁测量”调为6.9底质古地磁测量。

本部分的附录A、附录B、附录C、附录D、附录E、附录F、附录G和附录H均为规范性附录。

本部分由国家海洋局提出。

本部分由国家海洋标准计量中心归口。

本部分由国家海洋局第二海洋研究所负责起草(修订)，国土资源部广州海洋地质调查局、国家海洋局第一海洋研究所参加起草(修订)。

本部分主要起草人：李家彪、柯长志、康寿岭、于晓果、王小波、张富元、宋连清、华祖根、陈建芳、钱江初、钱翼鹏、吕文正、李全兴、谭帆、徐家声和丛友滋等。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 13909—1992。

海洋调查规范

第 8 部分：海洋地质地球物理调查

1 范围

GB/T 12763 的本部分规定了海洋地质、地球物理调查的基本内容、方法、资料整理及调查成果的要求。

本部分适用于海洋地质、地球物理环境基础要素调查，一些专业、专项调查亦可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 12763 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

- GB/T 12763.1 海洋调查规范 第 1 部分：总则
- GB/T 12763.6 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查
- GB/T 12763.7 海洋调查规范 第 7 部分：海洋调查资料交换
- GB/T 12763.10 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查
- GB/T 50123 土工试验方法标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3.1

放射性测年 radioactive dating

利用自然界中一些放射性元素按一定的半衰期衰变的规律，确定与放射性元素共存的地质体绝对年代的一种分析研究方法。

3.2

海底热流密度 submarine heat-flow density

指地球内部以热传导的方式，在单位时间内通过海底单位表面积向外散失的热量。

3.3

地温梯度 geothermal gradient

单位深度上的地温差。

3.4

冷却板块模式 cooling plate model

建立在板块运动学基础上的理论热学模式。它假设大洋新生洋壳不断地从洋中脊生成，并推动两侧的洋壳向两边扩张，高温的新生洋壳因散热而逐渐冷却，于是形成了随地壳年龄增长而热流值随之降低的趋势。根据该理论模式，可将实测热流值与理论热流值对比，推算出大洋地壳年龄。

3.5

TVG 增益曲线 TVG gain trace

声波接收机的电压增益随时间变化的规律。

4 一般规定

4.1 技术设计

技术设计的主要内容应包括：

- a) 任务的目的是与要求；
- b) 设计的依据,除任务书要求外,还应包括调查海域前人工作概况、调查区及邻区地质、地球物理基本特征等；
- c) 调查船、仪器、调查比例尺与测线、测网布设,工作量与基本方法；
- d) 技术要求与措施；
- e) 外、内业安排及进度计划；
- f) 预期成果与调查报告内容；
- g) 课题(项目)人员组成,分工与协作；
- h) 经费概算。

调查计划编制的责任、报批等见 GB/T 12673.1 的相关规定。

4.2 调查的基本方法

4.2.1 调查船作业的方式

调查船作业的方式可分为停船定点观测和走航连续测量两类。

停船定点观测项目包括底质采样、海底照相、海底热流测量等。

走航连续测量项目有海底浅层结构探测、海洋重力测量、海洋地磁测量、海洋地震调查等。

4.2.2 调查作业的基本方式

根据调查的目的和任务,采用不同比例尺的面积调查或路线调查,不同比例尺的调查,布设相应的测线、测网进行调查。

4.3 调查的基本要求

调查的基本要求如下：

- a) 调查中应尽量采用多项目的综合调查；
- b) 同一测区的地质、地球物理调查,测线或测网布设应统一,使调查资料相互印证,进行综合解释；
- c) 在调查作业的同时,应对测区内及相邻地区的岛屿、陆地做适当的实地调查;无实地调查时,则应广泛收集资料,以便由陆及海地推断、解释海区的地质构造。

4.4 调查的准确度

环境基础要素调查中,常用调查比例尺的测线或测网、导航定位及测量的准确度规定见表 1。

海底热流测量和海底浅层结构探测项目,可不按调查比例尺的测线、测网密度要求进行测量,而应根据任务要求和/或其他项目调查状况,选择适当剖面或站位进行测量。

4.5 调查资料整理的基本要求

4.5.1 原始资料的验收

原始资料的验收办法：

- a) 依据各调查项目的相关技术标准,进行调查原始资料验收,一般划分为合格、不合格两级,不合格的原始资料应废弃；
- b) 原始资料验收由调查任务下达单位或执行单位组织进行；
- c) 原始资料验收结果应作文字评语,参加验收者签字,单位盖章作为调查成果鉴定验收和资料归档的内容之一。

4.5.2 资料的分析与处理

资料的分析与处理要求如下：

- a) 资料分析、计算应有责任制度,各项分析、计算结果均应有分析(计算)者、校核者、负责人签名;
- b) 分析、计算的成果报表按 GB/T 12763.7 第 11 章的规定填报;
- c) 成果图件编绘应有图名、比例尺、经纬度坐标、主要地物、图例、图的编号和必要的说明、责任表等。责任表包括编图单位、编图者、清绘者、技术负责人以及资料来源、编绘和出版日期等。

4.6 调查成果

4.6.1 样品、原始记录

包括沉积物样品、岩样、生物样、水样、现场描述记录、导航定位记录、模拟记录、数字记录及各种记录表、簿等。这些调查的第一手资料,是调查的初级成果。

4.6.2 基础图件

对调查获得的样品、原始记录经室内处理、分析与计算,按成图比例尺要求,编制各要素的基础图件。海洋地质、地球物理调查的基础图件包括底质类型分布图、底质的物理与化学各要素分布图及剖面图、海底浅层结构探测剖面图、空间重力异常平面图和剖面图、地磁异常(ΔT)平面图和剖面图、地震剖面图、矿产资源评价图、区域地质构造图等。

4.6.3 调查报告

调查报告的内容包括:

- a) 前言,介绍调查任务的来源、目的和任务,调查海区的范围和地理位置、调查项目内容和工作量,外、内业工作时间和分工协作情况等;
- b) 海上调查及资料整理,陈述海上调查的工作方法、测线布设、仪器和设备系统的性能及各项指标、观测系统选择及工作情况、导航定位系统及其准确度、原始资料质量、资料整理方法、成果资料准确度等;
- c) 资料分析和解释,包括资料分析方法及其依据、各要素的分布特征、规律和综合分析等;
- d) 地质环境、地质构造分析以及矿产资源评价等;
- e) 结论与建议。

表 1 调查项目的主要技术要求

调查项目	调查比例尺	主测线间距/km (联络测线间距× 主测线间距) ^a	导航定位要求	测线偏离/测线间距 %	测量准确度(ϵ) ^b
海洋 底质 调查	1:100万	30×30	DGPS 定位	—	—
	1:50万	15×15			
	1:20万	10×10			
	1:10万	5×5			
	1:5万	1×1			
海底 浅层 结构 探测	1:100万	≤40×(5)	DGPS 定位	<20	—
	1:50万	≤20×(5)			
	1:20万	≤10×(5)			
	1:10万	≤5×(5)			
海洋 重力 测量	1:100万	≤20×(2.5~5)	DGPS 定位	<20	≤3×10 ⁻⁵ m/s ²
	1:50万	≤10×(2.5~5)			≤3×10 ⁻⁵ m/s ²
	1:20万	≤5×(2.5~5)			≤2×10 ⁻⁵ m/s ²
	1:10万	≤2.5×(5)			

表 1(续)

调查项目	调查比例尺	主测线间距/km (联络测线间距× 主测线间距) ^a	导航定位要求	测线偏离/测线间距 %	测量准确度(ε) ^b
海洋 地磁 测量	1:100万	≤20×(2.5~5)	DGPS 定位		≤4nT
	1:50万	≤10×(2.5~5)			≤4nT
	1:20万	≤5×(2.5~5)			≤2nT
	1:10万	≤2.5×(5)			≤2nT
海洋 地震 调查	1:100万	≤20×(5)	DGPS 定位	<20	—
	1:50万	≤10×(5)			
	1:20万	≤5×(5)			
	1:10万				
^a “×”号前为主测线间距,“×”后为联络测线间距,括号中数字表示为主测线间距的倍数。 ^b 测量准确度(ε)值的计算见 5.1、9.1 和 10.1。					

4.7 资料归档

调查资料归档内容包括:

- a) 调查任务书或合同书、委托书等;
- b) 课题论证报告、技术设计、方案报告及其审批意见;
- c) 课题调查实施计划、站位表、测线布设图等;
- d) 调查、实验、测试分析等原始记录;
- e) 计算、分析整理的成果数据报表及说明;
- f) 各种图表、图件(包括底图)、照片及文字说明;
- g) 航次报告、专题总结报告;
- h) 调查报告及成果鉴定、审议书;
- i) 课题成员及经费结算表。

上述内容应将纸介质和电子文本同时归档。

资料归档、档案质量与成果验收的相关要求见 GB/T 12763.1 的相关规定。

5 海底地形地貌调查

海底地形地貌调查主要采用多波束测深系统、单波束回声测深仪和侧扫声纳进行,辅以浅地层剖面、单道地震和地质取样。海底地形地貌调查的技术指标、仪器检测、海上测量、资料处理和地形图、地貌图编绘要求见 GB/T 12763.10 的相关规定。

6 海洋底质调查

6.1 海洋底质采样

6.1.1 一般要求

一般要求如下:

- a) 底质采样应先测水深,再表层采样,之后进行柱状采样;
- b) 深海采样应两次定位,调查船到站和采样器到达海底时各测定一次船位;
- c) 样品采集应达到规定数量,并尽量保持原始状态;
- d) 采集的样品一般应及时低温保存。

6.1.2 底质表层采样

6.1.2.1 采样方法

底质表层样品采集一般采用蚌式、箱式、多管式、自返式或拖网等采样方法。

一般情况下多选用蚌式采样器,大洋可适当选用自返式无缆采样器,对样品有特殊要求(如数量大、原状样等)的调查可选用箱式采样器,当底质为基岩、砾石或粗碎屑物质时,选用拖网。

6.1.2.2 采样要求

采取样品应保证一定数量,沉积物样不得少于 1 000 g,达不到此数量,该站列为空样,调查区内空样站位数不得超过总站位数的 10%。拖网采样尽量增大网具的强度和绞车钢绳的负荷能力,以利获取样品。

6.1.3 底质柱状采样

6.1.3.1 采样方法

底质柱状采样常使用重力、重力活塞、振动活塞及浅钻等取样设备进行。

6.1.3.2 采样要求

采样要求如下:

- a) 底质为基岩或粗碎屑沉积物,不宜柱状采样;
- b) 柱状采样管配重为 300 kg~600 kg,采取的柱状样的长度不得少于 150 cm;
- c) 陆架海区柱状采样站数应占表层样站数的 1/10 以上,大洋海区占表层样站数的 1/15;
- d) 采取的样品应及时做好层次标记,上下次序不得颠倒;
- e) 分割样品时,应注意断面和剖面上样品的完整,防止污染或损坏样品。

6.1.4 悬浮体采样和分析要求

6.1.4.1 采样方法

悬浮体采集一般使用横式采水器、颠倒采水器或南森采水器等,采水层次根据水深或调查要求确定,近海一般采集表、中、底三层。

6.1.4.2 样品分析要求

样品分析要求如下:

- a) 悬浮体采水量远海 2 000 cm³,近海不得少于 1 000 cm³,含沙量高的河口区为 500 cm³ 左右;
- b) 滤膜应事先烘干、称重和编号,称量天平感量为 0.000 1 g,分析中各步骤称量应采用同一天平;
- c) 悬浮体分析要求计算出单位体积海水中泥沙的含量;
- d) 泥沙的粒级组分百分比用自动化粒度分析仪分析;
- e) 需进行生物或有机质测定时,取样品的一半作烧失量分析,在 500℃ 温度下灼烧 2 h,计算出烧失量。

6.2 底质样品的现场描述与处理

6.2.1 一般要求

一般要求如下:

- a) 样品从海底采至船甲板,应立即进行现场描述;
- b) 样品现场描述项目和内容应简单明了并表格化,描述记录一律用铅笔书写;
- c) 取样和处理样品时,应注意层次、结构和代表性,所有样品应认真登记、标记,不得混乱。

6.2.2 样品现场描述内容

6.2.2.1 颜色、气味、厚度

6.2.2.1.1 颜色

观察样品表面颜色和剖面颜色的变化,进行记录,颜色名称中主导基调色在后,次要附加色及形容词在前。

6.2.2.1.2 气味

样品采上后,立即鉴别有无硫化氢或其他气味及其强弱。

6.2.2.1.3 厚度

量取样管插入海底深度和实际采取样长度以及分层厚度,记入表格。

6.2.2.2 稠度和粘性

6.2.2.2.1 稠度分类

沉积物现场描述的稠度分类可分为如下五类:

- a) 流动的,沉积物能流动;
- b) 半流动的,沉积物能稍微流动;
- c) 软的,沉积物不能流散,但性软,手指很易插入;
- d) 致密的,手指用劲才能插入;
- e) 略固结的,手指很难插入,用小刀能切割开者。

6.2.2.2.2 粘性分类

沉积物现场描述的粘性分类可分为如下三类:

- a) 强粘性,极易粘手,强塑;
- b) 弱粘性,微粘手,可塑;
- c) 无粘性,不粘手,不可塑。

6.2.2.3 物质组成

物质组成如下:

- a) 按粒级标准(见附录 A 简分法栏)对沉积物粒级组成分选性进行现场粗略划分:
分选优,单一优势粒级含量达 75%以上;
分选良,单一优势粒级含量达 50%~75%;
分选差,单一优势粒级含量达 25%~50%;
分选极差,单一优势粒级含量小于 25%;
- b) 依据沉积物颜色和粒级进行现场命名,名称术语为颜色在前,粒级名在后;
- c) 对岩屑、砾石、结核、团块及生物组分进行特殊描述,现场要鉴别其岩石名称、形状大小、颜色、磨圆度(尖棱角状、次棱角状、磨圆状)、胶结附着物质成分,以及生物种类、数量等。

6.2.2.4 沉积物的结构构造

沉积物结构构造描述内容为:

- a) 沉积物颗粒排列胶结组合特征;
- b) 分层、层间变化和层理特征;
- c) 生物活动痕迹和扰动状况等。

6.2.2.5 其他

典型和有特殊意义的地质现象应进行素描、照相、揭片或 X 光拍片等。

6.2.3 样品现场处理

6.2.3.1 取样分析

取样分析要求如下:

- a) 样品现场描述完毕应立即取样在船上进行 pH 值、 E_h 值和 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值,以及相对密度(比重)、容重等物性测定;
- b) 粒度分析、矿物鉴定、物理力学性质测定、古生物鉴定、化学分析、古地磁测定、测年等在陆地实验室进行;
- c) 柱状样分样时,岩性变化处应取样,岩性变化不大,取样间距不得大于 50 cm;
- d) 拖网样品按岩性或生物种类分别取样,送实验室做岩矿或生物鉴定。

6.2.3.2 样品登记和保存

样品登记和保存要求如下：

- 取好样品的瓶(袋)要贴标签,并将样品瓶号及样品箱号记入现场描述记录表内,在柱状样品的取样位置上放入标签,其编号与瓶(袋)号一致;
- 取好的样品要密封。

6.3 沉积物粒度分析

6.3.1 技术指标

沉积物粒度分析的主要技术要求：

- 粒度标准采用尤登-温德华氏等比制 φ 值粒度标准(见附录 A);
- 筛析法粒度间隔为 0.5φ ,必要时可加密;沉析法粒度间隔为 1φ ;
- 沉积物粗端要筛分到初始粒度质量分数小于 1%(大砾石除外);
- 采用福克和沃德粒度参数公式(公式 1、公式 2、公式 3 和公式 4)计算粒度参数;
- 计算粒度参数的各粒度质量分数,在概率累计曲线上读取;
- 沉积物分类和命名采用谢帕德的沉积物粒度三角图解法(见附录 D 图 D.1)或福克-沃德分类命名法;深海沉积物分类和命名采用深海沉积物三角图解分类法(见附录 D 图 D.2)。

6.3.2 分析方法

沉积物粒度分析,通常使用筛析法加沉析法(吸管法),即综合法。筛析法适用于粒径大于 0.063 mm 沉积物,沉析法适用于粒径小于 0.063 mm 的物质。当粒径大于 0.063 mm 的物质大于 85% 或粒径小于 0.063 mm 的物质占 99% 以上时,可单独采用筛析法或沉析法。用自动化粒度分析仪(如激光粒度分析仪)分析沉积物粒度,应与综合法、筛析法、沉析法对比合格后方可使用。

6.3.2.1 筛析法

筛析法如下：

- 原样搅拌均匀,按四分法取样,取样质量按表 2 估算;
- 分析样烘干后移入烘箱,于 105℃ 恒温 3 h,再置于干燥器 15 min~20 min,然后在感量 0.001 g 的天平上称量;
- 将样品移入玻璃杯后加蒸馏水,加 20 cm³ 的 0.5 mol/dm³ 的六偏磷酸钠([NaPO₃]₆)。浸泡 12 h 使样品充分分散;
- 将分析样倒入孔径为 0.063 mm 的小筛中,用蒸馏水反复冲洗,使小于 0.063 mm 的物质充分冲洗入量筒中,把大于 0.063 mm 的物质烘干称量后做筛析分析;
- 用孔径间隔为 0.5φ 的筛子由粗到细振筛 15 min,将各粒度样品烘干后在感量 0.000 1 g 的天平上称量,求出各粒度的质量分数。

表 2 粒度分析取样质量估算表

最大颗粒直径/mm	取样最小量/kg	最大颗粒直径/mm	取样最小量/kg
25	10	6	0.5
19	5	5	0.25
13	2.5	3	0.1
9	1	0.07	0.01

6.3.2.2 沉析法

沉析法如下：

- 将筛析法 d) 项冲入量筒中小于 0.063 mm 的物质稀释至 1 000 cm³,在吸液前读取悬液温度;
- 用搅拌器匀速搅拌 1 min(60 r/min),在最后 1 s 内轻轻提出搅拌器,沉降时间由此起算,吸液深度和时间见附录 C;
- 吸液前 15 s,将吸管轻轻置于悬液的特定深度,吸液时应在 20 s 内匀速准确地吸取 25 cm³

悬液；

d) 将吸取的悬液置于小烧杯烘干后称量，求出各级粒级质量分数。

6.3.2.3 激光法

激光法如下：

- a) 取沉积物样品数克并置入玻璃杯中，加纯净水、加 0.5 mol/dm³ 的六偏磷酸钠([NaPO₃]₆) 5 cm³；
- b) 浸泡样品 24 h，并每隔 8 h 轻轻搅拌 1 次，使样品充分分散；
- c) 将浸泡样品全部倒入激光样品槽中，加超声振动、加高速离心，使样品再次充分分散；
- d) 测定粒级质量分数；
- e) 要求分析结果的误差小于 3、遮光度小于 30；
- f) 计算粒度参数。

6.3.2.4 粒度分析误差检验

沉积物粒度分析误差检验指标见表 3。

表 3 粒度分析允许误差范围

分析方法	内检数/%	校正系数	平均粒径(M _z)	分选系数(σ _i)
综合法	20~30	0.95~1.05	0.40φ	0.3φ
筛析法	10~20	0.99~1.01	0.15φ	0.1φ
沉析法	20~30	0.95~1.05	0.40φ	0.3φ
激光法	5~10	0.99~1.01	0.15φ	0.1φ

检查结果有个别样品不符合表 3 中指标时，该样品应重做。每批分析样中，有三分之二的分析样与内检数相比，结果偏高或偏低，应整批重做。

6.3.3 资料整理

6.3.3.1 粒级标准

本标准采用尤登-温德华氏等比制 φ 值粒级标准。粒径与 φ 值的互换关系见附录 B(φ 值-毫米换算表)。

6.3.3.2 沉积物粒度分类及命名

沉积物分类和命名一般应采用谢帕德的沉积物粒度三角图解法(见附录 D 图 D.1)，也可采用福克-沃克分类命名法。对样品中少量的未参与粒度分析的砾石、贝壳、珊瑚、结核、团块等，用文字加以说明，或在编制沉积物类型图时，用相应的符号加以标记。

对于深海区沉积物分类和命名可采用三角图解分类法(见附录 D 图 D.2)。深海沉积物三角图解分类法，将深海沉积物分为 26 种，各种沉积物的粘土、钙质生物、硅质生物具体含量指标如附录 D 图 D.2 所示。

6.3.3.3 粒度参数计算

粒度参数采用福克和沃德公式计算：

$$M_z = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

M_z——平均粒径，单位为 mm；

φ₁₆、φ₅₀……——概率累积曲线上第 16、第 50……百分数所对应的值粒径 φ，单位为 mm。

$$\sigma_i = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

σ_i ——分选系数；

φ_{16} 、 φ_{84} ……——概率累积曲线上第 16、第 84……百分数所对应的值粒径 φ ，单位为 mm。

$$S_{ki} = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

S_{ki} ——偏态；

φ_{16} 、 φ_{50} ……——概率累积曲线上第 16、第 50……百分数所对应的值粒径 φ ，单位为 mm。

$$K_g = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44(\varphi_{75} - \varphi_{25})} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

K_g ——峰态；

φ_{16} 、 φ_{50} ……——概率累积曲线上第 16、第 50……百分数所对应的值粒径 φ ，单位为 mm。

根据公式(1)和公式(2)计算结果，判断沉积物粒度分选程度，按分选程度等级表(表 4)划分粒度分选程度等级。

粒度分布曲线峰值位于平均值之左称正偏态，位于平均值之右为负偏态。正态分布曲线的峰态为 1.00。正态分布曲线平缓，称为低峰态，反之，称尖峰态。

表 4 分选程度等级表

分选等级	σ_i
分选极好	$<0.35\varphi$
分 选 好	$0.35\varphi \sim 0.71\varphi$
分选中等	$0.71\varphi \sim 1.00\varphi$
分 选 差	$1.00\varphi \sim 4.00\varphi$
分选极差	$>4.00\varphi$

6.4 底质矿物鉴定

6.4.1 技术指标

底质矿物鉴定的主要技术要求：

- a) 碎屑矿物鉴定，通常宜选择 0.25 mm~0.125 mm 或 0.125 mm~0.063 mm 粒级，做定性和定量鉴定；
- b) 定量计算中统计的碎屑矿物颗粒数不得少于 300 颗，并求出矿物的质量分数；
- c) 分析粒级中 useful 矿物含量达到重砂矿产工业边界品位的 1/4 时，应高度重视，圈出异常点；
- d) 粘土矿物鉴定粒级小于 0.004 mm，一般选用 0.002 mm 粒级，要求半定量分析鉴定到族，双样抽检误差小于 20%；
- e) 采集到砾石或基岩样品，除现场作肉眼鉴定外，选代表性样品作薄片分析，鉴定出岩石名称。

6.4.2 碎屑矿物鉴定

6.4.2.1 样品制备

底质的碎屑矿物鉴定，一般在粒度分析后，直接选取所需粒级制备鉴定样。

6.4.2.1.1 样品分离

样品分离如下：

- a) 样品分离采用淘洗盘法或重液法进行；
- b) 如果矿物颗粒表面带有铁质或粘土质薄膜时，将样品盛入三角烧杯中，加入草酸钠溶液 [$\rho(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 2 \text{ g/dm}^3$] 煮沸 1 h。

6.4.2.1.2 样品分离要求

样品分离要求如下：

- a) 样品分离称量，使用感量 0.001 g 天平；

- b) 分离样品的量一般小于 10 g,若大于 10 g,应进行缩分;
- c) 样品分离后,轻、重矿物达不到矿物定量的最低要求数(300 粒),应在该粒级样品中再取样品进行分离;
- d) 分离出的轻、重矿物,要求轻矿物中基本不含重矿物,重矿物中轻矿物的含量不得超过 10%。

6.4.2.2 分析鉴定

6.4.2.2.1 矿物的定性分析

矿物定性分析的主要内容:

- a) 样品量小于 0.4 g,应全样观察鉴定,超过 0.4 g,用四分法或条带分段法缩分;
- b) 矿物定名,并描述矿物的颜色、结晶程度、大小、形态、结构构造、透明度、磨圆度、包裹体和风化程度等;
- c) 双目实体镜不能完全鉴别时,可采用油浸法,微量矿物化学鉴定法,以及发光、光谱、X 射线和电子探针等辅助方法;
- d) 鉴定结果记入碎屑矿物鉴定表。

6.4.2.2.2 矿物的定量分析

矿物定量分析的主要内容:

- a) 矿物定性分析后,在双目镜或偏光镜下采用条带颗粒记数或视域法进行定量计算;
- b) 定量时,应分别对轻矿物和重矿物各数 300 个~500 个颗粒,在轻矿物的定量中,应将长石中的钾长石和斜长石,碳酸盐中的方解石、霏石(霏石)和贝壳颗粒分开计数;
- c) 计算轻、重矿物中的每一种矿物在其中的质量分数,计算式为:

$$\eta = \frac{R}{Q} \times 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

η ——矿物颗粒质量分数,单位为%;

R ——矿物颗粒数;

Q ——计算的矿物颗粒总数。

6.4.2.3 资料整理

资料整理要求:

- a) 矿物定性和定量的记录、表格和计算结果分别整理,编制碎屑矿物鉴定报表;
- b) 根据要求编制轻、重矿物质量分数分布图,单矿物质量分数分布图,矿物组合分区图,样品站位图等图件;
- c) 编写鉴定报告。

6.4.3 粘土矿物鉴定

6.4.3.1 样品制备

6.4.3.1.1 样品分离提纯

样品分离提纯如下:

- a) 称取沉积物样 50 g~100 g,加蒸馏水洗涤搅拌成 1 000 cm³ 的悬浮液,按斯托克斯沉降定律,用吸管吸取所需粒级,重复多次,至获得 5 g~7 g 干粘土止;
- b) X 射线衍射、差热、电镜等分析样品在 50℃ 恒温水浴锅上蒸干,红外吸收光谱及化学元素分析样品应在 150℃ 以下烘箱内烘干。

6.4.3.1.2 样品处理和制片

6.4.3.1.2.1 X 射线衍射分析样的处理和制片

一批分析样品作 X 射线衍射分析时,需处理制成三种不同的定向片:

- a) 每个样品各取 35 mg~40 mg,去铁,去有机质,用镁-甘油饱和处理或乙醇饱和处理,制成定

向片；

- b) 选择分析样品数的 10%，各取 35 mg~40 mg，去铁，去有机质，制成自然定向片；
- c) 再选分析样品数的 10%，各取 35 mg~40 mg，去铁，去有机质，用 6 mol/dm³ 盐酸溶液浸泡，加热至 80℃，恒温 30 min，制成定向片。

定向片载片为 3.3 cm×4.3 cm 玻璃片或素瓷片，制成晾干，置于存有硝酸钙的干燥器中，24 h 后测试。

6.4.3.1.2.2 红外吸收光谱分析样的处理和制片

称取 1 mg~1.5 mg 干粘土与 200 mg 溴化钾(KBr)混合研磨后压制成片，立即上机测试。

6.4.3.2 样品鉴定

6.4.3.2.1 定性分析

粘土矿物定性分析方法：

- a) 以 X 射线衍射分析为主，适当抽样做差热或红外吸收光谱、电镜、能谱等分析，提高定性的准确度；
- b) 同一批样品应在同一条件下测试；
- c) 分析获得的扫描图谱与有关资料比对，确定出粘土矿物族种名称，同时，定出非粘土矿物组分。

6.4.3.2.2 半定量分析

粘土矿物半定量分析方法：

- a) 确定“权因子”：蒙脱石(doo₁)用 4，伊利石(doo₁)用 1，绿泥石(doo₄)用 1.75，高岭石(doo₂)用 1，绿泥石(doo₂) + 高岭石(doo₁)用 2.5，蒙脱石-伊利石混层矿物用 2.5，伊利石-绿泥石混层矿物用 1.75，混层粘土矿物用其组分权因子的平均值；
- b) 以镁-甘油处理的 X 射线衍射扫描图谱为准，量取各粘土矿物峰高强度值(峰顶至背景线的距离)，权因子的倒数乘以峰高强度值，与加权峰高强度值之和的百分比，对应于该矿物的质量分数；
- c) 样品中粘土矿物加权峰高之和的计算公式为：

$$w = \frac{1}{4}h_m + h_i + \frac{1}{2.5}h_{(c+k)} + \frac{1}{2.5}h_{(m+i)} + \frac{1}{2.5}h_{(c+i)} + \dots \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

w ——样品中数种粘土矿物加权峰高之和，单位为 cm；

h_m ——蒙脱石的峰高，单位为 cm；

h_i ——伊利石的峰高，单位为 cm；

$h_{(c+k)}$ ——绿泥石 + 高岭石的复合峰高，单位为 cm；

$h_{(c+i)}$ ——绿泥石-伊利石混层粘土峰高，单位为 cm；

$h_{(m+i)}$ ——蒙脱石-伊利石混层粘土峰高，单位为 cm。

式(6)右边各项与 w 的百分比代表相应矿物的质量分数。

- d) 计算绿泥石与高岭石的质量分数须先用 1/4 min 慢扫描得绿泥石(doo₄)、高岭石(doo₂)的峰高值，用下式计算质量分数：

$$H_{(c+k)} = h_k + \frac{1}{1.75}h_c \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中：

$H_{(c+k)}$ ——绿泥石(doo₄)与高岭石(doo₂)加权峰高之和，单位为 cm；

h_k ——高岭石峰高，单位为 cm；

h_c ——绿泥石峰高，单位为 cm。

$$w_k = \frac{h_k}{H_{(c+k)}} \times w_{(c+k)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中：

w_k ——高岭石质量分数，单位为%。

h_k ——高岭石峰高，单位为 cm；

$H_{(c+k)}$ ——绿泥石(doo_4)与高岭石(doo_2)加权峰高之和，单位为 cm；

$w_{(c+k)}$ ——式(6)求出的绿泥石与高岭石质量分数之和。

$$w_c = w_{(c+k)} - w_k \dots\dots\dots(9)$$

式中：

w_c ——绿泥石质量分数，单位为%；

$w_{(c+k)}$ ——式(6)求出的绿泥石与高岭石质量分数之和；

w_k ——高岭石质量分数，单位为%。

6.4.3.3 资料整理

资料整理要求如下：

- a) 将各分析图谱等原始资料装订成册；
- b) 填写粘土矿物分析报表；
- c) 根据要求绘制分析站位图、单矿物质量分数分布图、粘土矿物质量分数组合直方图，粘土矿物组合分区图，粘土矿物柱状分布图；
- d) 编写粘土矿物鉴定分析报告。

6.5 沉积物物理力学性质测试

6.5.1 技术指标

沉积物物理力学性质测试的主要技术要求：

- a) 土样必须是原状土样，未失水；
- b) 一组测试样品，长度约 25 cm~30cm，直径 6 cm~8 cm；
- c) 含水量、原状土相对密度、十字板抗剪强度和天然粘着力等尽量在现场测定。

6.5.2 含水量测定

6.5.2.1 测定方法

测定方法如下：

- a) 取代表性试样 15 g~30 g，放入称量盒，盖好盒盖，用感量 0.01 g 天平称量；
- b) 揭开盒盖，将试样连盒放入烘箱，在温度 100℃~105℃下烘至恒重；
- c) 烘干后的试样，放入干燥器内冷至室温，盖好盒盖，称量。

6.5.2.2 含水率的计算公式

$$w = \left(\frac{m_w}{m_d} - 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

式中：

w ——含水量，单位为%；

m_w ——湿(原状)土质量，单位为 g；

m_d ——干土质量，单位为 g。

6.5.3 原状土相对密度测定

6.5.3.1 测定方法

测定方法如下：

- a) 切取原状土样，厚度大于环刀高度 0.3 cm~0.5 cm，环刀涂薄层凡士林，放在土样上，其圆心对准土样中心；
- b) 将环刀垂直下压，边压边用钢丝锯削去外围土样直至土样伸出环刀为止，削平环刀两端余土，并将环刀外壁擦净，用感量 0.01 g 天平称重；

c) 取代表性样品测定含水量。

6.5.3.2 原状土密度和干原状土密度的计算公式

$$\rho = \frac{m_w}{V} \dots\dots\dots(11)$$

式中:

ρ ——原状土密度,单位为 g/cm^3 ;
 m_w ——湿土质量,单位为 g ;
 V ——环刀容积,单位为 cm^3 。

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \dots\dots\dots(12)$$

式中:

ρ_d ——干原状土密度,单位为 g/cm^3 ;
 ρ ——原状土密度,单位为 g/cm^3 ;
 w ——含水量,单位为 %。

6.5.4 相对密度测定

土的相对密度为土颗粒在 $100^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$ 下烘至恒重时的质量与同体积 4°C 下纯水的质量之比值。

6.5.4.1 测定方法

测定方法如下:

- 将烘干土样研散,过 $2\text{ mm} \sim 5\text{ mm}$ 筛,取代表性样 15 g ,装入烘干比重瓶,烘干,放入干燥器冷却,称量;
- 在比重瓶中加中性溶液至比重瓶一半,放入真空缸内抽气,时间约 $1\text{ h} \sim 2\text{ h}$,直至悬液内无气泡逸出为止;
- 待悬液澄清后,用滴管加中性液至比重瓶刻度,加比重瓶塞,使多余中性溶液自瓶塞毛细管中溢出,擦干、称量、测定瓶内中性溶液温度。

6.5.4.2 相对密度计算公式

$$G_s = \frac{m_d}{m_1 + m_d - m_2} G_{kt} \dots\dots\dots(13)$$

式中:

G_s ——土的相对密度;
 m_d ——干土质量,单位为 g ;
 m_1 ——瓶和中性溶液总质量,单位为 g ;
 m_2 ——瓶、中性溶液和土总质量,单位为 g ;
 G_{kt} —— $t^\circ\text{C}$ 中性溶液相对密度(中性溶液的相对密度随温度变化曲线预先绘制)。

6.5.5 粘着力的测定

6.5.5.1 天然粘着力测定方法

天然粘着力测定方法如下:

- 切取均质原状土试样,长、宽和高各 5 cm ,整平试样表面,放在粘着力仪底座上;
- 调节仪器底座使试样与粘锤接触,加适量压力使粘锤与试样完全接触,轻轻卸去压力(避免撞击粘锤杆);
- 调节粘着力仪使两端平衡,在粘着力仪另一端小心加钢珠或砝码,直至粘锤离开试样为止;
- 用感量 0.01 g 天平称钢珠质量,并测定试样含水量。

6.5.5.2 最大粘着力测定方法

最大粘着力测定方法如下:

- 把土样风干、研散,过 0.5 mm 筛,取过筛后土样 200 g ,放在调土皿中加少量蒸馏水,搅拌均匀

匀,盖土湿布,静置 12 h;

- b) 用调土刀调匀,并测试土样有否粘着调土刀,如没有,需加少量蒸馏水调匀,直到土样开始粘着调土刀为止;
- c) 取部分试样密实填满仪器的试杯,并在桌上轻轻敲击排出试样中空气,刮平试样表面,放在仪器底座上,按天然粘着力 b)、c)、d)测定步骤测定粘着力和含水量;
- d) 把试杯中余土挖出与调土皿中土样混合,加 2 cm³~3 cm³ 蒸馏水搅匀,重复测定粘着力与含水量,直至所求的粘着力由小→大→小的转变过程,约 5 个以上粘着力数据。

6.5.5.3 天然粘着力计算与最大粘着力确定

天然粘着力计算与最大粘着力确定方法如下:

- a) 天然粘着力计算公式为:

$$f_0 = \frac{mg}{10A} \dots\dots\dots(14)$$

式中:

- f_0 ——天然粘着力,单位为 kPa;
- m ——钢珠质量,单位为 kg;
- A ——粘锤面积,单位为 cm²;
- g ——当地重力加速度,单位为 m/s²。

- b) 最大粘着力确定

按天然粘着力计算方法计算不同含水量下土的粘着力 f_i ,以含水量为横坐标,粘着力为纵坐标,绘制它们的关系曲线,曲线的最高点即为最大粘着力 f 与其对应的含水量 W_f 。

6.5.6 抗压强度的测定

6.5.6.1 压缩试验

压缩试验方法如下:

- a) 用压缩仪上环刀切取试样(其过程见原状土密度测定)并测定试样原状土密度和含水量;
- b) 试样上下各放一张湿润滤纸,连环刀一起放入压缩容器的透水石上,小心安装护环、透水石和加压板,把压缩容器置于加压柜架中心;
- c) 调整量表使其指针读数为某一数值;
- d) 逐级加荷压缩 24 h,最后 1 h 的压缩稳定不超过 0.05 mm,然后成倍增加下一级荷重,一般压缩试验到 0.4 kPa 为止,高压压缩试验到 3.2 kPa 为止;
- e) 压缩试验结束后,测定压缩后试样含水量。

6.5.6.2 抗压强度有关指标的计算

抗压强度有关指标的计算如下:

- a) 抗压强度有关参数计算见附录 E;
- b) 以压力 p 为横坐标,沉降量 s 或孔隙比 e 为纵坐标,绘制单位沉降量或孔隙比与压力的关系曲线;
- c) 作 $e-\log p$ 曲线,求原状土先期固结压力 P_c 。

6.5.7 贯入强度测定

6.5.7.1 小型贯入强度试验

小型贯入强度试验方法如下:

- a) 依据土质软硬程度,选择贯入探头并与贯入仪连接;
- b) 将贯入探头对准土样中心,慢慢压入土样直至探头深入土样;记录贯入最大值;
- c) 每 2 cm 土样测定一个贯入强度。

6.5.7.2 计算贯入强度的公式

$$P_a = \frac{p}{A} \times 10 \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

P_a ——贯入强度,单位为 kPa;

p ——贯入仪读数,单位为 N;

A ——贯入探头截面积,单位为 cm^2 。

以贯入强度为横坐标,土样深度为纵坐标,绘制贯入强度随深度变化曲线。

6.5.8 抗剪强度测定

6.5.8.1 快剪试验

快剪试验方法如下:

- 用仪器环刀按原状土密度测定要求切取一组四个原状土试样,并测量原状土密度和含水量;
- 四个试样上下各放一张塑料薄膜(大小与环刀直径一致),把试样推入盒内透水石上,并加透水石、压盖板、钢珠、压力框架;
- 转动手轮,使量力环前端与上剪切盒钢珠接触,调整量力环中量表读数为零,(如需测记垂直变形,则安装垂直量表);
- 施加垂直压力:四个试样的垂直压力分别为 0.05 kPa、0.1 kPa、0.2 kPa 和 0.4 kPa,各个垂直压力可一次施加,也可分次施加,达到要求压力;
- 施加垂直压力后,立即拨去剪切盒固定插销,开动秒表,以 4 r/min~12 r/min 均匀速度转动手轮,使试样在 3 min~5 min 内剪损,手轮每转一圈,测记量力环量表读数,直至剪损,剪切后尽快取出试样,测定剪切面上的含水量。

6.5.8.2 固结快剪试验

固结快剪试验方法如下:

- 按 6.5.8.1 的 a)、b)、c) 过程进行,其中试样上下改放湿滤纸,分别推入四个剪切盒内进行固结;
- 施加垂直压力进行固结,其过程与压缩试验一致,但各试样垂直压力分别达到 0.05 kPa、0.1 kPa、0.2 kPa 和 0.4 kPa 为止,每小时垂直变形不超过 0.05 mm 时为达到固结稳定,按快剪过程施加水平剪切力进行剪切;
- 如果试样在预压仪上固结,当四个试样移至剪切仪后,每小时固结稳定仍需不超过 0.05 mm 的变形才可进行剪切。

6.5.8.3 快剪和固结快剪强度计算

快剪和固结快剪强度计算如下:

- 应变控制式直接剪切仪所测得试样的剪应力及剪切位移根据下式计算:

$$\tau_i = CR \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

τ_i ——剪应力,单位为 kPa;

C ——量力环率定系数,单位为 kPa/mm;

R ——量力环量表读数,单位为 mm。

$$\Delta L = nl - R \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:

ΔL ——剪切位移,单位为 mm;

l ——手轮每转一周剪切位移的距离,单位为 mm, $l=20 \times 0.01$ mm;

R ——量力环量表读数,单位为 mm;

n ——手轮转数。

- b) 以剪应力为纵坐标,剪切位移为横坐标绘制 τ_i 与 ΔL 的四条关系曲线,关系曲线上剪应力峰点或稳定值作为抗剪强度 τ ;
- c) 以抗剪强度是 τ 为纵坐标,垂直压力 P 为横坐标,绘制 $\tau-P$ 关系曲线,该曲线应为一一直线,直线的倾角为土的内摩擦角 φ ,直线在纵坐标上的截距为土的内聚力 C 。

6.5.8.4 小型十字板抗剪强度测定

6.5.8.4.1 小型十字板剪力试验

小型十字板剪力试验方法如下:

- a) 用削土刀整平原状土样表面,依据土质软硬程度选用十字板头,并与十字板剪力仪连接;
- b) 将十字板对准土样中心,轻轻压入土样直至十字板头底面与土样接触,慢慢转动十字板剪力仪,约在 0.5 min~1 min 内剪损土样,记录剪力仪上剪损值,并测定土样的含水量和原状土密度。

6.5.8.4.2 十字板抗剪强度计算公式

$$C_a = KR \dots\dots\dots(18)$$

式中:

- C_a ——十字板剪切强度,单位为 kPa;
- K ——十字板头率定系数,单位为 kPa;
- R ——十字板剪力仪读数值。

以十字板抗剪强度为横坐标,土样深度为纵坐标,绘制十字板抗剪强度随深度变化曲线。

6.5.9 富钴结壳与岩石物理力学性质

6.5.9.1 技术要求

技术要求如下:

- a) 结壳试样必须保持原状。试样采取可在结壳与岩石中钻取(拖网获得的样品),或研磨成圆柱状。在钻取和研磨过程中试样不得有人为裂隙出现;
- b) 钻取试样直径为 48 mm~54 mm,高度与直径之比为 2.0~2.5。高度与直径的误差不得大于 0.3 mm,端面不平整误差不得大于 0.05 mm。端面应垂直于试样轴线,最大偏差不得大于 0.25°;
- c) 试样数量、抗压强度和抗拉强度试验每组 3 个试样,抗剪强度试验每组 5 个试样,点荷载强度试验每组 5 个~10 个试样;
- d) 点荷载强度试验中圆柱体试样每组不小于 5 个,作径向试验时试样长度与直径之比不应小于 1.0,作轴向试验时加荷两点间距与直径之比宜为 0.3~1.0。方体或不规则体试样每组不小于 10 个,加荷两点间距宜为 30 mm~50 mm,加荷两点间距与加荷处平均宽度之比宜为 0.3~1.0,试样长度不应小于加荷两点间距;
- e) 结壳与岩石的物理性质试验基本与沉积物的试验一致,需作平行试验。其中相对密度(比重)试验,应用粉碎机粉碎结壳与岩石,并过 0.25 mm 的筛孔。

6.5.9.2 结壳与岩石抗压强度测定

6.5.9.2.1 抗压强度试验

抗压强度试验方法如下:

- a) 将圆柱形试样置于试验机承压板中心,调整球形座使试样两端面与承压板接触均匀;
- b) 以每秒 0.5 MPa~1.0 MPa 速度加荷直至试样压损破裂。记录破坏进荷载,加荷过程中试样变化现象,描述试验破坏形态。

6.5.9.2.2 抗压强度计算公式

$$R = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(19)$$

式中:

R ——富钴结壳或岩石的抗压强度,单位为 MPa;

P ——试样破坏荷载,单位为 N;

A ——试样截面积,单位为 mm^2 。

6.5.9.3 结壳与岩石抗剪强度测定

6.5.9.3.1 抗剪强度试验

抗剪强度试验方法如下:

- 将圆柱形试样置于试验机剪切盒内,试样与剪切盒间缝隙用填料填实,预定剪切面应位于剪切盒缝中部。法向荷载和剪切荷载应通过预定剪切面中心,法向位移和剪切位移的测表应对称布置,各测表数量不小于 2 只;
- 每个试样施加不同法向应力,所施加的最大法向应力不小于预定法向应力。法向应力施加完毕即测读法向位移,5 min 后再测读一次,即可施加剪切荷载;
- 按预估最大剪切荷载分 8 级~12 级施加,每次施加后即测读剪切位移和法向位移,5 min 后再测读一次即施加下一级剪切荷载,直至剪切破坏。当剪切位移量变化大时,可适当加密剪切荷载分级;
- 将剪切荷载退至零,试验结束。描述剪切面破坏情况,擦痕分布、方向和长度,量测剪切面面积和剪切面的起伏差,绘制沿剪切方向断面高度的变化曲线。

6.5.9.3.2 计算抗剪强度

计算抗剪强度要求如下:

- 法向应力和剪应力按下列各式计算:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(20)$$

式中:

σ ——作用于剪切面上的法向应力,单位为 MPa;

P ——作用于剪切面上的总法向荷载,单位为 N;

A ——试样剪切面积,单位为 mm^2 。

$$\tau = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(21)$$

式中:

τ ——作用于剪切面上的剪切应力,单位为 MPa;

Q ——作用于剪切面上的总剪切荷载,单位为 N;

A ——试样剪切面积,单位为 mm^2 。

- 绘制各法向应力下的剪切应力与剪切位移及法向位移关系曲线,根据曲线确定各剪切阶段的剪切应力;
- 根据各剪切阶段的剪切应力和法向应力绘制关系曲线,按库伦表达式确定试样的抗剪强度参数。

6.5.9.4 结壳与岩石抗拉强度测定

6.5.9.4.1 抗拉强度试验

抗拉强度试验方法如下:

- 通过试样直径两端沿轴线方向划两条平行的加载基线,将两根垫条沿加载基线固定试样两端。(垫条建议采用电工胶木板,其宽度与试样直径之比为 0.08~0.1);

- b) 将试样置于试验机承压板中心,调整球形座使试样均匀受荷,并使垫条与试样在同一加荷轴线上;
- c) 以每秒 0.3 MPa~0.5 MPa 的速度加荷直至破坏。记录破坏荷载,加荷过程中出现的现象,以及描述破坏后试样状况。

6.5.9.4.2 抗强强度计算公式

$$\sigma_r = \frac{2P}{\pi Dh} \dots\dots\dots(22)$$

式中:

- σ_r ——富钴结壳或岩石的抗拉强度,单位为 MPa;
- P ——试样破坏荷载,单位为 N;
- D ——试样直径,单位为 mm;
- h ——试样厚度(长度),单位为 mm。

6.5.9.5 富钴结壳或岩石点荷载强度测定

6.5.9.5.1 点荷载强度试验

点荷载强度试验方法如下:

- a) 圆柱体试样作径向试验时,将试样放入点荷仪球端圆锥之间,使上下锥端与试样直径两端紧密接触,量测加荷点间距,接触点距试样自由端的最小距离不应小于加荷两点间距的 0.5;
- b) 圆柱体试样作轴向试验时,按上述装好试样,量测加荷两点间距及垂直于加荷方向试样的宽度;
- c) 方块体与不规则体试验时,选择试样最小尺寸方向为加荷方向,按上述装好试样后,量测加荷点间距及通过两加荷点最小截面的宽度(或平均宽度)。接触点距试样自由端的距离不应小于加荷点间距的 0.5;
- d) 稳定施加荷载,使试样在 60 s 内破坏。记录破坏荷载,描述试样破坏状态。破坏面应贯穿整个试样,并通过两加荷点为有效试验。

6.5.9.5.2 计算点荷载强度

计算点荷载强度要求如下:

- a) 点荷载强度按下式计算:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \dots\dots\dots(23)$$

式中:

- I_s ——未经修正的富钴结壳或岩石的点荷载强度,单位为 MPa;
- P ——试样破坏荷载,单位为 N;
- D_e ——等价试样直径,单位为 mm。

- b) 径向试验时,等价试样直径 D_e 应按下列公式计算:

$$D_e^2 = D^2 \dots\dots\dots(24)$$

式中:

- D_e ——等价试样直径,单位为 mm;
- D ——加荷点间距,单位为 mm。

$$D_e^2 = DD' \dots\dots\dots(25)$$

式中:

- D_e ——等价试样直径,单位为 mm;
- D ——加荷点间距,单位为 mm;
- D' ——上下锥端发生贯入后,试样破坏瞬间的加荷点间距,单位为 mm。

c) 当轴向方块体或不规则块体试验时,等价试样直径 D_e 按下列公式计算:

$$D_e^2 = \frac{4WD}{\pi} \dots\dots\dots(26)$$

式中:

D_e ——等价试样直径,单位为 mm;

D ——加荷点间距,单位为 mm;

W ——通过两加荷点最小截面的宽度(或平均宽度),单位为 mm。

$$D_e^2 = \frac{4WD'}{\pi} \dots\dots\dots(27)$$

式中:

D_e ——等价试样直径,单位为 mm;

D' ——上下锥端发生贯入后,试样破坏瞬间的加荷点间距,单位为 mm;

W ——通过两加荷点最小截面的宽度(或平均宽度),单位为 mm。

d) 当加荷两点间距不等于 50 mm 时,应对计算值进行修正。当其试验数据较多,且同一组试样中等价直径具有多种尺寸时,应根据试验结果绘制 D_e^2 与破坏 P 的关系曲线,在曲线上查找 $D_e^2 = 2\,500 \text{ mm}^2$ 对应的 P_{50} 值,试样点荷载强度按下列公式计算:

$$I_{s(50)} = \frac{P_{50}}{2\,500} \dots\dots\dots(28)$$

式中:

$I_{s(50)}$ ——经尺寸修正的试样点荷载强度,单位为 MPa;

P_{50} ——根据 $D_e^2 - P$ 关系曲线, D_e^2 为 $2\,500 \text{ mm}^2$ 时的破坏荷载 P 值,单位为 MPa。

e) 当加荷两点距离不等于 50 mm,且试验数据较少,不宜采用上述方法修正,应按下列公式计算点荷载强度:

$$I_{s(50)} = FI_s \dots\dots\dots(29)$$

式中:

$I_{s(50)}$ ——经尺寸修正的试样点荷载强度,单位为 MPa;

F ——修正系数;

I_s ——未经尺寸修正的富钴结壳或岩石的点荷载强度,单位为 MPa。

$$F = \left[\frac{D_e}{50} \right]^m \dots\dots\dots(30)$$

式中:

F ——修正系数;

D_e ——等价试样直径,单位为 mm;

m ——修正指数,由同类富钴结壳或岩石的经验值确定。修正指数 $m = 2(1 - n)$,其中 n 为 $\log P - \log D_e^2$ 关系曲线的斜率。

6.5.10 资料整理

6.5.10.1 工程地质单元的划分

根据调查区沉积物力学性质特征,结合地貌、沉积物的地质年代、物质组成、结构构造等,把性质相近的层或土区划分为工程地质单元和土体单元。

6.5.10.2 物理力学性质指标统计

同一工程地质单元要做各参数测定指标统计,编制统计表和散点图,以此反映测定指标的变化范围,从散点图可直接求出单元体的指标值。

6.5.10.3 测定报告

沉积物物理力学性质测定报告的内容包括目的任务、测定项目与工作量、测区沉积物物理力学性质垂直和水平变化规律、工程地质条件评价等。

6.6 沉积物古生物鉴定

6.6.1 技术指标

技术指标如下：

- a) 根据任务确定鉴定的门类、定量或定性鉴定, 以及其分类单位;
- b) 样品采集不得混样和污染;
- c) 样品处理和制备, 应使化石充分分离并高度富集, 化石表面清洁, 结构和纹饰清楚, 防止化石破损;
- d) 定量鉴定, 应称量准确, 缩分均匀, 统计精确;
- e) 样品清洗和浸泡均用过滤水或蒸馏水。

6.6.2 孢粉分析

6.6.2.1 样品制备

样品制备要求如下：

- a) 样品处理采取酸碱法、氢氟酸法等, 除去沉积物中的钙质和其他杂质; 清洗干净后的样品用相对密度为 2.2 的重液进行至少两遍的离心分离, 分离后称重;
- b) 样品充分浮选后制成活动片和固定片;
- c) 样品处理制备应列表登记, 登记内容包括: 原编号、实验室编号、岩性、样品来源及采集地点、水深、湿重、干湿比和干质量、分离后样品质量、每片样品质量、处理方法等。以下各门类样品处理制备均仿此要求列表登记。

6.6.2.2 鉴定分析

孢粉化石统计时, 放大倍数选用 250 倍~300 倍, 观察孢粉化石微结构用 600 倍。油浸镜用 1 000 倍以上。每个样品鉴定 200 粒以上。

鉴定过程中应注意区分出混入的现代孢粉及再沉积孢粉。

鉴定分析结果按样品编号、分类名称、粒级、粒数与质量分数列表统计。

6.6.3 有孔虫分析

6.6.3.1 样品制备

样品先作干湿比测定, 然后称重、浸泡, 充分散开后筛洗, 筛孔径为 0.006 3 mm, 筛上部分经烘干称重后供鉴定。

6.6.3.2 鉴定分析

鉴定分析要求如下：

- a) 样品缩分后, 选一份样品进行鉴定统计, 每个样品鉴定统计: 通常底栖有孔虫不少于 100 个个体, 浮游有孔虫不少于 300 个个体;
- b) 除分类鉴定外, 应观察磨损、破碎程度和溶蚀现象等;
- c) 根据要求, 作壳体微细结构观察和化学成分分析等, 并选取代表性的个体进行扫描电镜照相或显微照相。

6.6.4 硅藻分析

6.6.4.1 样品制备

样品制备要求如下：

- a) 取样数量通常为 10 g, 含砂量大的沉积物可多取, 粉砂及更细沉积物可少取;
- b) 湿样烘干后称质量, 求出干湿比后再浸泡;
- c) 加稀盐酸去钙, 加 30% (体积分数) 双氧水 (或浓硫酸) 去有机质;

- d) 洗净的样品离心去水,然后加两倍于样品体积、相对密度为 2.4 的重液,以 1 500 r/min 速度离心分离 20 min,富集的硅藻用水稀释并加数滴冰乙酸,然后洗去重液;
- e) 用吸管吸取搅拌均匀的硅藻悬浮液,均匀置于盖玻片上,晾干,用加拿大树脂固片。

6.6.4.2 鉴定分析

鉴定到种。观察和描述壳体大小、磨损程度、溶解特征、破碎状况、压实程度及壳体内矿物充填情况等。

每个样品统计不少于 200 个个体,壳体完整程度达 1/2 以上者方可参与计数。

6.6.5 放射虫分析

6.6.5.1 样品制备

与硅藻样品的处理相同,样品浸泡、去钙、去有机质等。处理后的样品用 0.063 mm 孔径筛筛洗,筛上部分烘干称质量,制片方法与硅藻相同。每片所用样品需称质量,片子要均匀无气泡。

6.6.5.2 鉴定分析

鉴定要求同 6.6.4.2。

6.6.6 钙质超微化石分析

6.6.6.1 样品制备

样品制备要求如下:

- a) 鉴定样品为小于 0.035 mm 粒级的沉积物;
- b) 取 1 g 样浸泡,处理液的 pH 值大于或等于 9.4,需除去有机质时加 30% 的 H_2O_2 ;
- c) 光显微镜下鉴定的样品制片是将泡散的样品搅拌成泥浆,取数滴涂于盖玻片上,在酒精灯或电热板上烤干,反转盖在涂有封片剂的载玻片上。

也可以采用涂片法:

- a) 用干净牙签取少量沉积物置于载玻片上,加蒸馏水用牙签充分搅拌后,将粗粒沉积物刮去,使细粒沉积物的悬浮液均匀分布在载玻片上;
- b) 将载玻片置于搅拌加热器上烤干后,将盖玻片用中性树脂胶粘在载玻片上制成固定片。

扫描电镜观察的样品,将泡散的泥浆用反复离心法、烧杯法、滴管法或滤纸法将化石进一步富集,最后摇匀后制成。

6.6.6.2 鉴定分析

偏光镜下放大 1 000 倍鉴定,每片统计 10 个视域以上。

扫描电镜放大 3 000 倍鉴定,进行分类和微细结构观察。

6.6.7 介形虫分析

样品制备和鉴定分析同 6.6.3 条。

6.6.8 其他微体古生物鉴定

翼足类及其他软体动物微体化石、鱼石、鱼耳石、轮藻、珊瑚及苔藓虫等微体化石的样品制片和鉴定分析同 6.6.3 条。

沟鞭藻的样品制备和鉴定分析同 6.6.2 条。

硅鞭藻、几丁虫的样品制备和鉴定分析同 6.6.4 条。

海绵骨针的样品制备和鉴定分析同 6.6.5 条。

6.6.9 大型生物鉴定

软体动物、甲壳动物的鉴定统计方法见 GB/T 12763.6。

珊瑚、钙藻、苔藓虫等需切片,制成光片或薄片进行鉴定。

6.6.10 资料整理

资料整理要求如下:

- a) 整理鉴定统计表,计算相对和绝对含量;

- b) 编制站位图、数量分布图、组合分区图、分类单位垂直分布图、曲线图等；
- c) 编写鉴定报告。

6.7 沉积物化学测定

本标准仅列出沉积物化学测定中常规测定项目及其测定要求,在保证分析准确度的前提下,测定方法可自选。

6.7.1 技术指标

技术指标如下:

- a) 沉积物化学测定的主要项目有:

现场测定项目: E_h 、pH、 Fe^{3+}/Fe^{2+} 等;

室内测定项目: 有机碳、全氮、碳酸盐、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、MgO、CaO、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、MnO、灼减量等;

- b) 分析质量要求,采用标准样品法,须在每批样品分析的同时,插入两个或两个以上标准样品(国内一级或二级),允许分析误差范围见表 5;
- c) 室内分析应进行抽样检查,随机抽取 30% 的样品重复分析,75% 以上的双样在允许偏差范围内(见表 5)者为整批样品分析合格。

表 5 沉积物化学测定允许误差范围

组分	质量分数/ %	允许误差/ %	组分	质量分数/ %	允许误差/ %
SiO_2	>50	0.7	P_2O_3	>1	0.3
	<50	0.6		0.5~1	0.2
Al_2O_3	>20	0.7		<0.5	0.1
	<20	0.5	灼减量		0.5
Fe_2O_3	>5	0.5	pH		±0.3pH 单位
	<5	0.3	E_h		10 mV
MgO	>10	0.6	Fe^{3+}/Fe^{2+}		0.2
	5~10	0.5	可溶硅 (SiO_2)	>5	0.5
	<5	0.4		1~5	0.4
CaO	>10	0.6		<1	0.2
	5~10	0.5	碳酸盐 ($CaCO_3$)	>15	1.00
	<5	0.4		5~15	0.75
<1	0.3	<1		0.5	
K_2O	>10	0.7	有机碳	>5	0.5
	5~10	0.5		1~5	0.4
	<5	0.3		<1	0.3
Na ₂ O	>1	0.3	全氮	>0.5	0.1
	0.5~1	0.2		<0.5	0.05
	<0.5	0.1	Cl		0.2
TiO_2	>1	0.2	FeO		0.5
	<1	0.1			

注: 含量小于 0.1% 的组分以 $(A-B)/(A+B) \times 100\% \leq 50\%$ 来衡量。A、B 分别为重复分析的两个数据。

6.7.2 pH 值测定(电位法)

6.7.2.1 主要仪器

主要仪器包括:

- a) 准确度为 0.01 的 pH 计或离子计;
- b) 玻璃电极及其配套的饱和甘汞电极。

6.7.2.2 试剂

试剂包括:

a) 标准缓冲溶液

苯二甲酸氢钾 [$c(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4) = 0.05 \text{ mol/dm}^3$] (25°C , pHs=4.003);

磷酸二氢钾 [$c(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 0.025 \text{ mol/dm}^3$], 磷酸氢二钠 [$c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.025 \text{ mol/dm}^3$] (25°C , pHs=6.864);

十水四硼酸钠 [$c(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.01 \text{ mol/dm}^3$] (25°C , pHs=9.182);

- b) 配制标准溶液用蒸馏水应煮沸并加入 20 cm^3 蒸馏水冷却, 电导率小于 $2 \times 10^{-6} \text{ s/cm}$, 其 pH 以 5.6~6.0 为宜。

6.7.2.3 分析提要

分析提要如下:

- a) 按规定对仪器进行预热、温度补偿调节、零点调节及定位, 定位用的标准缓冲液选择接近被测沉积物之 pH 值;
- b) 称取有代表性的新鲜湿样约 20 g , 于 50 cm^3 烧杯中, 加入 20 cm^3 蒸馏水, 剔除硬物, 搅成糊状, 半小时内进行测定;
- c) 洗净电极, 用滤纸吸去水分, 插入搅匀后的样品 (玻璃电极的球泡部分应全部浸入样品中, 并稍高于甘汞电极的陶瓷芯端), 放置平衡 30 min 后读数, 应重复测量至前后两次读数一致, 误差不超过 0.01~0.02。

6.7.3 E_h 值测定 (氧化还原电位法)

6.7.3.1 主要仪器

主要仪器包括:

- a) 铂电极和甘汞电极;
- b) 其他仪器设备同 pH 值测定。

6.7.3.2 试剂

醌氢醌 ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}_4$) 饱和缓冲溶液: pH 值为 4.00 或 4.01。

6.7.3.3 分析提要

分析提要如下:

a) 电极检查和校正

以洗净的铂电极为指示电极“+”极, 饱和甘汞电极为参比电极“-”极, 将电极浸入醌氢醌饱和缓冲溶液中, 测量 E_h 值, 测定值与理论值 (25°C 时为 +221 mV) 之差超过 5 mV, 应更换铂电极;

- b) 取新鲜湿样约 20 g , 将两对 (电极间距不超过 1 cm) 铂电极-饱和甘汞电极, 或用两支铂电极与一支饱和甘汞电极组合, 同时插入样品中, 待平衡后 (一般 30 min) 读数, 应重复测定, 前后两次读数不超过 2 mV~3 mV, 取平均值;

c) 计算和温度校正

从仪器上读得的电位值是 E_b 值与饱和甘汞电极的电位差, 需按下式换算得沉积物的 E_h 值:

$$E_h = E_a + E_b \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

E_b ——仪器上测得的电位值, 单位为 mV;

E_a ——饱和甘汞电极电位, 单位为 mV, 其随温度变化, 在 25°C 时其值为 243 mV, 温度每增加 10°C , 约低 6 mV~7 mV, 由于 E_h 的最小读数误差为 5 mV, 故若温度变化不显著时, 可不作校正。