**T/CECS ××××-202×**

**中国工程建设标准化协会标准**

海洋筒型基础岩土工程勘察标准

Specification for geotechnical investigation of offshore bucket foundation

**XXXXXXXXX出版社**

中国工程建设标准化协会标准

海洋筒型基础岩土工程勘察标准

Specification for geotechnical investigation of offshore bucket foundation

**T/CECS XXX-202X**

主编单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年X月X日

**XXX出版社**

202X　北　　京

前 言

根据中国工程建设标准化协会文件《关于印发《2022年第二批协会标准制定、修订计划》的通知》（建标协字〔2022〕40号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规范。

本规范的主要技术内容是：总则，术语，基本规定，工程勘察任务、内容与方法，筒型基础与地基计算、工程地质指标体系及试验，工程物探，勘探平台与钻探取样，水和土的腐蚀性评价，基础检测与监测，岩土工程分析评价和成果报告。

本规范由中国工程建设标准化协会提出并负责日常管理，由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司（地址：浙江省杭州市西湖区三墩镇灯彩街321号，邮编：310030）。

主编单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司

参编单位：

主要起草人员：

主要审查人员：

**目 次**

**[1 总 则 1](#_Toc160435810)**

**[2 术 语 2](#_Toc160435811)**

**[3 基 本 规 定 3](#_Toc160435812)**

**[4 工程勘察任务、内容与方法 4](#_Toc160435813)**

**[4.1 一般规定 4](#_Toc160435814)**

**[4.2 选址阶段工程勘察 4](#_Toc160435815)**

**[4.3 方案设计阶段工程勘察 4](#_Toc160435816)**

**[4.4 技施设计阶段工程勘察 6](#_Toc160435817)**

**[4.5 施工阶段工程勘察 7](#_Toc160435818)**

**[5 筒型基础与地基计算 8](#_Toc160435819)**

**[5.1 一 般 规 定 8](#_Toc160435820)**

**[5.2 基础结构与承载力分析 8](#_Toc160435821)**

**[5.3 沉贯分析 11](#_Toc160435822)**

**[6 岩土指标体系及试验 13](#_Toc160435823)**

**[6.1 一 般 规 定 13](#_Toc160435824)**

**[6.2 岩土指标体系 13](#_Toc160435825)**

**[6.3 土体物理指标试验 13](#_Toc160435826)**

**[6.4 土体力学指标试验 14](#_Toc160435827)**

**[6.5 岩体物理力学指标试验 15](#_Toc160435828)**

**[6.6 地基与基础界面特性试验 16](#_Toc160435829)**

**[6.7 岩土动力特性试验 17](#_Toc160435830)**

**[7 工程物探 27](#_Toc160435831)**

**[7.1 一 般 规 定 27](#_Toc160435832)**

**[7.2 地层结构探测 28](#_Toc160435833)**

**[7.3 地形地貌调查 29](#_Toc160435834)**

**[7.4 障碍物调查 30](#_Toc160435835)**

**[7.5 管线调查 30](#_Toc160435836)**

**[7.6 浅层气探测 31](#_Toc160435837)**

**[7.7 原位波速测试 32](#_Toc160435838)**

**[7.8 电阻率测试 34](#_Toc160435839)**

**[8 工程测绘 37](#_Toc160435840)**

**[8.1 一般规定 37](#_Toc160435841)**

**[8.2 平面控制测量 37](#_Toc160435842)**

**[8.3 高程控制测量 38](#_Toc160435843)**

**[8.4 水位控制测量 39](#_Toc160435844)**

**[8.5 地形测量 40](#_Toc160435845)**

**[8.6 成果检查与验收 40](#_Toc160435846)**

**[9 勘探平台与钻探取样 41](#_Toc160435847)**

**[9.1 一般规定 41](#_Toc160435848)**

**[9.2 勘探平台选型 41](#_Toc160435849)**

**[9.3 自升式平台与插桩分析 42](#_Toc160435850)**

**[9.4 钻探 44](#_Toc160435851)**

**[9.5 取样 47](#_Toc160435852)**

**[10 水和土的腐蚀性评价 49](#_Toc160435853)**

**[11 检测与监测 52](#_Toc160435854)**

**[11.1 一 般 规 定 52](#_Toc160435855)**

**[11.2 检测 52](#_Toc160435856)**

**[11.3 监测 52](#_Toc160435857)**

**[12 岩土工程分析评价和勘察报告 55](#_Toc160435858)**

**[12.1 岩土工程分析评价 55](#_Toc160435859)**

**[12.2 岩土参数 55](#_Toc160435860)**

**[12.3 勘察报告 56](#_Toc160435861)**

**[本规范用词说明 59](#_Toc160435862)**

**[引用标准名录 60](#_Toc160435863)**

**Contents**

1 General provisions 1

2 Terms 2

3 Basic requirements 3

4 Task, content, and method of engineering survey 4

4.1 General requirements 4

4.2 Engineering survey in the phase of site selection 4

4.3 Engineering survey in the phase of project design 4

4.4 Engineering survey in the phase of technological application design 6

4.5 Engineering survey in the phase of construction 7

5 Bucket foundation and foundation calculation 8

5.1 General requirements 8

5.2 Foundation structure and bearing capacity analysis 8

5.3 Penetration analysis 11

6 Engineering geology index system and test 13

6.1 General requirements 13

6.2 Geotechnical index system 13

6.3 Physical properties test of soil 13

6.4 Mechanical properties test of soil 14

6.5 Physical and mechanical index test of rock 15

6.6 Interface characteristics test between foundation and soil 16

6.7 Dynamic characteristic test of rock and soil 17

7 Engineering geophysical exploration 27

7.1 General requirements 27

7.2 Stratigraphic structure exploration 28

7.3 Topography survey 29

7.4 Obstacles survey 30

7.5 Pipeline survey 30

7.6 Shallow gas detection 31

7.7 In-situ wave velocity test 32

7.8 Electrical resistivity test 34

8 Engineering surveying and mapping 36

8.1 General requirements 36

8.2 Horizontal control survey 36

8.3 Elevation control survey 37

8.4 Water level control survey 38

8.5 Topographic survey 39

8.6 Result inspection and acceptance 39

9 Survey platform and drilling sampling 40

9.1 General requirements 40

9.2 Survey platform selection 40

9.3 Jack-up platform and pile penetration analysis 41

9.4 Drilling 43

9.5 Sampling 46

10 Corrosion evaluation of water and soil 48

11 Detection and monitoring 51

11.1 General requirements 51

11.2 Detection 51

11.3 Monitoring 51

12 Geotechnical engineering analysis evaluation and results report 54

12.1 Geotechnical engineering analysis evaluation 54

12.2 Geotechnical parameters 54

12.3 Results report 55

Explanation of Wording in Specification 58

List of Quoted Standards 59

# 总 则

**1.0.1** 为统一海洋筒型基础岩土工程勘察技术要求，保障勘察质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于海洋筒型基础岩土工程勘察、检测与监测。

**1.0.3** 海洋筒型基础岩土工程勘察，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准和法规的规定。

# 术 语

**2.0.1 筒型基础** bucket foundation

底端开口且顶端闭口的大直径筒形结构基础。

**2.0.2 吸力筒基础** suction bucket foundation

通过将筒内水和气抽出，形成内外压差将筒体压入海床地基的基础。

**2.0.3 筒-土界面摩擦角** friction angle between the soil and bucket

筒型基础与周边土体接触界面的摩擦角。

**2.0.4 卓越周期** predominant period

随机震动过程中出现概率最大的周期。

**2.0.5 沉放阻力** penetration resistance

筒型基础在负压作用下贯入土体过程中受到的阻力。

**2.0.6 模态分析** modal analysis

用于确定设计结构固有频率和振型的分析方法。

**2.0.7 水域地层剖面法** waters stratum section detection

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

**2.0.8 水域多道地震勘探法**waters multiple traces 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多次覆盖进行探测的一种反射波地震勘探方法。

**2.0.9 勘探平台** exploration **platform**

勘探作业的载体，根据海况和勘探要求可采用漂浮式勘探平台或固定式勘探平台。

# 3 基 本 规 定

**3.0.1** 海洋筒型基础岩土工程勘察，应根据海床岩土特性及其区域性差异，结合设计和施工的具体要求，采用综合勘察方法。

**3.0.2** 海洋筒型基础岩土工程勘察，应遵守国家、地方和相关部门有关环境保护、安全生产的法律法规，做到文明勘察，保障人身和勘探装备的安全。

**3.0.4** 海洋筒型基础岩土工程勘察作业前，应收集和分析工程勘察区域的基础资料，进行危险源辨识和安全风险评价，建立健全安全管理机构，制定安全风险控制措施和应急预案，按照规定办理水上水下作业许可证。

**3.0.5** 海洋筒型基础岩土工程勘察应制定勘察大纲，明确勘察目的与任务、勘察内容、勘察方法与手段、勘察布置、岩土指标体系及试验方法、原位测试要求及数据分析方法、勘探平台的选型及作业要求、勘察项目部组成及分工、安全环保和职业健康管理措施、勘察进度计划、工程地质评价及成果报告。

**3.0.6** 海洋筒型基础沉放前应先调试、检验，沉放过程中应对地基和基础进行实时监测。

# 4 工程勘察任务、内容与方法

**4.1 一般规定**

**4.1.1**  海洋筒型基础岩土工程勘察可划分为选址阶段、方案设计阶段、技施设计阶段和施工阶段。

**4.1.2** 海洋筒型基础岩土工程勘察应在收集资料的基础上，为相应建设阶段的筒型基础设计和施工提供水文地质和工程地质依据。

**4.1.3** 海洋筒型基础岩土工程勘察，应根据工程建设各阶段的勘察目的、任务和内容，结合水深、地形、地基和场地的复杂程度，合理布置勘察工作。

**4.1.4** 海洋筒型基础岩土工程勘察各阶段均应提交勘察报告和相应的图表。

**4.2 选址阶段工程勘察**

**4.2.1** 选址阶段工程勘察的主要任务应包括了解区域构造、地震历史，了解海洋气象和水文环境，了解场地地形地貌、地层岩性、不良地质作用和地质灾害，了解场地航道、沉船、海底管线等人类活动情况。

**4.2.2** 选址阶段工程勘察应包括下列主要内容：

**1**  了解区域地质与地震概况。

**2** 了解规划区的地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质作用发育情况。

**3** 了解场地航道、沉船、海底管线等人类活动情况。

**4** 初步分析场址区主要工程地质问题及其对工程建设的影响。

**4.2.3** 选址阶段可以收集资料为主，对近期开发场址，缺乏工程地质资料时，可布置少量物探或钻探工作。

**4.3 方案设计阶段工程勘察**

**4.3.1** 工程地质勘察应在选址阶段的基础上进行，评价主要工程地质问题，查明场地的工程地质条件，对基础方案设计提出工程地质建议，对各筒型基础布置提出初步建议。

**4.3.2** 工程地质勘察应包括下列内容：

**1** 复核场区的区域地质构造稳定性及地震动参数。

**2** 查明场区对筒型基础布置有影响的海底滑坡、活动沙丘、浅层气、海底障碍物等主要工程地质问题。

**3** 查明场区海床地形地貌，重点查明海沟、海槽的分布范围及形态。查明场区各地层组成、厚度、结构特征，基岩岩性、地质构造和岩体风化等地质条件。

**4** 查明场区岩土体物理力学性质，提出各岩土体物理力学参数。

**5** 划分场地抗震地段、场地类别，进行无黏性土液化判别，评价场地和地基地震效应。

**6** 查明场区水文地质结构，地下水类型及水位；查明环境水、土对混凝土及钢结构的腐蚀性。

**7** 初步查明建议的筒型基础布置区域的工程地质条件。

**4.3.3** 工程地质勘察应在选址阶段的基础上，采用工程地质测绘、物探、钻探、原位测试及室内试验等综合方法，并应符合下列规定：

**1** 工程地质测绘比例尺可选用1:2 000。工程地质测绘范围应包括不良地质作用发育地段。

**2** 物探剖面间距宜为2 000m~3 000m。地质条件复杂地段可适当加密。

**3** 钻孔间距宜为3 000~5 000m。

**4** 钻孔深度应根据场地工程地质条件确定，浅覆基岩地基钻孔进入弱风化基岩不宜少于10m，遇断层破碎带和软弱夹层宜揭穿。当海床面为斜坡时，钻孔深度应满足边坡稳定评价要求。深厚覆盖层地基钻孔进入稳定持力层不宜少于10m，并应满足承载力和变形验算要求。

**5** 主要岩土层应进行取样试验或原位测试，每一工程地质单元主要岩土层取样试验或原位测试不应少于6组。

**6** 钻孔期间应量测潮水位变化和承压水水头。

**7** 海水水质简分析试样不应少于2组。每层承压水水质简分析试样不宜少于2组。主要土层腐蚀性试验的试样不宜少于2组。

**4.3.4** 场区地层物理力学指标应与基础方案设计工况相匹配；应综合分析原位测试和室内试验成果，并结合地区经验提出地层参数取值建议。

**4.3.5** 建筑物抗震地段划分和场地类别划分应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。地层剪切波速的测试孔不应少于2个，当剪切波速差异大时，应适量增加测试孔数。

**4.3.6** 对场区不良地质、地质灾害、压覆矿、海底障碍物和特殊岩土，应综合采用物探、钻探、原位测试等方法查明，并评价其对工程的影响。场地存在软弱黏性土层时，应进行软土震陷判别。

**4.4 技施设计阶段工程勘察**

**4.4.1** 工程地质勘察应在方案设计基础上进行，查明各筒型基础的工程地质和水文地质条件，对基础的详细设计提出地质建议，为招标文件编制和施工详图设计提供工程地质资料。

**4.4.2** 工程地质勘察应包括下列内容：

**1** 查明各筒型基础地形条件，地基岩土层的组成、厚度、结构及分布规律，重点查明海洋特殊岩土体的分布。

**2** 查明各筒型基础地基的物理力学性质，提出岩土体物理力学参数，评价地基的均匀性、稳定性，提出基础持力层建议及地基承载力特征值。

**3** 复核场地不良地质作用，评价不良地质作用的影响，提出主要地质问题的处理建议。

**4** 复核场地类别、场地抗震地段、砂土和粉土液化判别，复核软土震陷、场地地震效应。

**5** 查明各筒型基础地下水的埋藏条件、水位、类型，复核水和土腐蚀性评价。

**4.4.3** 工程地质测绘比例尺可选用1:500~1:1000，测绘范围不应小于筒型基础边界以外200m，侧扫声纳法探测宜覆盖测绘区域，浅地层剖面法应以建筑基础中心为基点网格状布置，剖面间距不宜大于50m。

**4.4.4** 勘探孔布置应符合下列规定：

**1** 单筒基础的勘探孔应位于基础中心位置，每个基础不应少于1个勘探孔。对群筒基础，勘探孔宜布置在各筒中心，每个筒位不宜少于1个勘探孔。地形起伏较大、基础持力层变化较大或存在软弱下卧层时，宜加密勘探孔。

**2**  对黏土、粉土、砂土地基，宜采用钻探和静力触探相结合，每座基础的地基不宜少于1个静力触探孔，且静力触探孔数量不宜少于勘探孔总数的1/2，静力触探宜采用带孔隙水压力测试的探头。

**3** 对深厚覆盖层地基，勘探孔深度不宜小于基础底面下1.5倍~2.0倍基础宽度，并进入稳定持力层不宜少于10m。需作变形计算的地基，孔深应超过地基变形计算深度。

**4** 主要岩土层应取样试验或进行原位测试，每一工程地质单元主要岩土层取样试验或原位测试不应少于6组。当持力层为基岩时，应取不少于6件岩样进行单轴饱和抗压试验，对软岩和极软岩等遇水崩解的岩体可不进行饱和处理。

**5** 每一工程地质单元各地层剪切波速和电阻率测试均不宜少于3个孔。

**6** 每座基础进行地基液化判别的勘探孔不宜少于1个，勘探孔深度应大于液化判别深度。

**7** 地基中存在软土时，应进行软土震陷判别。每一地质单元用于软土震陷判别的勘探点不应少于3个，每层软土不宜少于6组试样。

**8** 海水水质简分析试样不应少于3组；每层承压水水质简分析试样不应少于2组。腐蚀性试验的主要土层试样不应少于2组。

**4.4.5** 钻孔期间应量测潮水位变化和承压水水头。

**4.5 施工阶段工程勘察**

**4.5.1** 施工阶段工程勘察应对施工中出现的工程地质问题提出处理建议，对施工期专门工程地质问题进行补充论证，对优化设计和施工提出工程地质建议，并检验前期勘察成果。

**4.5.2** 工程地质勘察应包括下列内容：

**1** 施工中出现工程地质问题或设计需要优化时，应进行专门工程勘察，并对工程地质提出处理建议。

**2** 对地基与基础监测方案提出建议。

**3** 检验前期勘察成果。

**4.5.3** 工程地质勘察应符合下列要求：

**1** 根据施工出现工程地质问题的性质、复杂性、前期勘察内容等具体情况，布置物探、钻探、原位测试和补充试验，开展专门工程勘察。

**2** 综合分析施工期收集的地质、检测和监测资料，对工程地质问题提出处理建议。

**3** 结合施工方案、工程地质条件和工程地质问题，对地基和基础监测的内容、方法、布置方案、技术要求提出建议。

**4** 收集专门勘察、施工、检测、监测、观测等资料，检验前期勘察成果，并参与工程验收。

**4.5.4** 施工结束后，应汇编工程勘察、试验、测试、监测与检测等工程地质资料，分类整理、存档。

# 5 筒型基础与地基计算

**5.1** 一 般 规 定

**5.1.1** 筒型基础应进行整体荷载计算，设计荷载应包括施工期和运行期可能遭遇的风、浪、流、地震、冰、潮位等海洋环境荷载，以及运维船舶靠泊与碰撞、海生物附着荷载。

**5.1.2** 筒型基础设计时，极端状况下海况设计标准的重现期不宜低于50年；施工工况复核时，海况设计标准的重现期不宜低于5年。

**5.1.3** 环境荷载特征参数应根据实测资料统计分析确定，场区边界条件复杂时还应结合数值模拟或物理模型试验确定。

**5.1.4** 场址水深应满足筒型基础运输的需求，防止运输过程中基础或船只触底。

**5.1.5** 筒型基础荷载与结构分析，尚应结合室内实验、现场试验、监测和地区经验验证。

**5.1.6** 海洋筒型基础宜通过物理模型分析海底冲刷范围与深度，对海底冲刷进行监测，并强化基础的防冲刷保护。

**5.1.7** 基础筒体材料可采用钢筋混凝土结构、钢结构或组合结构。

**5.1.8** 对坡度较陡或者存在海底滑坡风险的海床区域建设筒型基础，应验算斜坡及基础的稳定性。

**5.2** 基础结构与承载力分析

**5.2.1** 筒型基础结构静力、动力、疲劳、抗震分析、抗冰设计和连接结构设计应符合现行行业标准《海上风电场工程风电机组基础设计规范》NB/T 10105的有关规定。

**5.2.2** 基础结构分析可采用耦合分析或非耦合分析方法，并应符合下列要求：

**1** 耦合分析方法可将上部结构、支撑结构、筒型基础和地基集成在一个模型中，可计算空气动力和水动力荷载下结构-基础-地基-水体的相互作用；

**2** 非耦合分析方法，可在单独的模型中分析不同的元件，在接触界面处共享刚度和荷载，接触界面处应迭代获得一致的载荷和刚度。

**5.2.3** 基础结构分析应考虑下列工况：

**1** 筒型基础安装和拆除工况。

**2** 原位运行工况，包括承载能力极限状态和正常使用极限状态。

**3** 自升式船舶安装时桩靴对筒型基础的影响。

**4** 其他特殊工况。

**5.2.4** 筒型基础的竖向承载力可按下列公式计算：

**1** 黏性土地基不排水工况

(5.2.4-1)

式中：地基竖向抗压承载力极限值（kPa）

*D*—筒型基础的直径（内径、外径平均值）(m)；

*h*—筒型基础的贯入深度(m)；

*α*—黏性土强度发挥系数；

—筒型基础贯入深度范围内土体不排水抗剪强度平均值(kPa)；

*A*—筒型基础的有效面积(m2)，不考虑弯矩作用时等于其横截面面积；

—地基力系数，可取；

—筒型基础底部土体的不排水抗剪强度(kPa)；

*B*—筒型基础的有效宽度(m)，不考虑弯矩作用时等于其直径*D*；

*L*—筒型基础的有效长度(m)，不考虑弯矩作用时等于其直径*D*；

—形状参数，可取；

—深度参数，可取；

*H*base—筒型基础底部水平力(kN)；

—倾斜系数，可取；

**2** 砂土地基排水工况

(5.2.4-2)

式中：——水平地应力系数；

——地基与基础界面的摩擦角；

——砂土有效内摩擦角；

——地基承载力系数，可取；

——地基承载力系数，可取；

——基础形状参数，可取；

——基础形状参数，可取；

——基础深度系数，可取；

*H*base——筒型基础底部竖向力(kN)；

和——荷载倾斜系数，可分别取和。

**3** 对于竖向上拔承载力计算，不宜只考虑筒壁摩擦，可开展数值模拟确定被动负压发挥对抗拔承载力的影响。

**5.2.5** 筒形基础的水平承载力可按下列公式计算：

**1** 黏土地基不排水条件

(5.2.5-1)

**2** 砂土地基排水条件

(5.2.5-2)

(5.2.5-3)

式中：*K*p、*K*a——被动、主动土压力系数；

*φ*'——砂土的有效内摩擦角。

**5.2.6** 筒形基础的力矩承载力宜符合下列规定：

**1** 力矩与竖向荷载等效为偏心荷载，计算对称地基上的承载力，并在其中心处施加一个减小的“有效面积”。对于圆形地基，“有效面积”为：

(5.2.6)

式中：*e*——偏心距。

**2** 倾覆力矩承载力可通过“有效面积”和竖向承载力进行验算。

**5.2.7** 筒型基础与地基计算尚应符合下列要求：

**1** 地基承载力和变形验算，应考虑上部荷载、波浪、风和海流等循环荷载作用下土体强度和刚度的弱化。

2 地基稳定性、承载力和变形计算应考虑基础与地基的冲刷情况，冲刷深度与范围可根据数值模拟、物理模型或现场观测确定。

**3** 应考虑结构、基础、地基与水体的相互作用，宜采用三维数值方法进行分析。

**4** 安全标准应符合国家现行标准《海上风力发电场设计标准》GB/T 51308、《海上风电场工程风电机组基础设计规范》NB/T 10105的有关规定。

**5** 计入施工误差后，整个运行期内基础顶部累积总倾角不应超过0.50。

**6** 通过模态分析获得包含地基、筒型基础、上部荷载在内的整体固有频率。

**7** 结构抗震分析应考虑地基液化、弱化和水体的地震附加动力效应。

**5.3** 沉贯分析

**5.3.1**  筒型基础均应进行沉贯分析，并应符合下列要求：

**1** 沉贯分析应综合考虑地质条件、水深、结构特点、上部荷载和负压系统特性。

**2** 沉贯阻力宜采用静力触探结合土工试验获得岩土参数。

**3** 宜结合沉贯经验进行综合分析；无沉贯经验时，宜先开展现场沉贯试验，并结合沉贯试验进行综合分析。

**4** 对工程地质条件复杂、沉贯风险较大的基础，应通过调整基础结构或采用可靠的辅助措施降低沉贯风险，并应制定基础未沉贯到位的预案。

**5** 对于多筒基础，应计算每个单筒的沉贯阻力，求和得到多筒基础总沉贯阻力，并应考虑各筒间的相互影响。

**6** 吸力下沉阶段，筒内外或多筒内外压差应小于下沉深度土体的渗透破坏临界压差。

**5.3.2** 筒型基础贯入阻力可采用下列公式计算。

**1**  黏土地基中的贯入阻力

(5.3.2-1)

式中：——土体的侧摩阻力(kN)；

——土体的端阻力(kN)；

——土体深度(m)；

——强度弱化系数；

——筒型基础外径、内径(m)；

——黏土的有效容重(kN/m3)；

——平均不排水抗剪强度(kPa)；

——筒型基础筒壁刃角处的不排水抗剪强度(kPa)；

——平面应变条件下的地基承载力系数；

——筒型基础筒壁刃角面积(m2)。

**2**  砂土地基中的贯入阻力

(5.3.2-2)

式中：——摩擦系数；

——端部承载力系数；

——静力触探锥尖阻力，与深度有关。

**5.3.3** 吸力下沉阶段应开展屈曲变形验算，确定导致筒壁屈曲的临界压差值，作为吸力下沉阶段压差的控制标准。

# 

# 6 岩土指标体系及试验

**6.1** 一 般 规 定

**6.1.1** 岩土分类宜符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定。

**6.1.2** 试验成果分析，应考虑仪器设备、试验条件、试验方法的影响；对不合理数据应分析原因，对可疑数据应进行复核，数据确定无误后方可采用。

**6.1.3** 勘察报告应附上试验报告，试验报告应主要包括工程概况、试验依据和标准、试验方法、试验项目、试验条件、试验成果和试验成果使用的相关问题。

**6.2 岩土指标体系**

**6.2.1** 土体物理指标应主要包括土粒比重、含水率、密度、孔隙比、液限、塑限、塑性指数、液性指数、颗粒级配、砂土相对密度、导热系数。

**6.2.2** 土体力学指标应主要包括土体的压缩系数、压缩模量、压缩指数、回弹指数、先期固结压力、抗剪强度指标、黏性土不排水抗剪强度、*ε*50、灵敏度、地基承载力特征。

**6.2.3** 岩体物理力学指标应主要包括下列内容：

**1** 岩体的含水率、块体密度、颗粒密度、吸水率、饱和吸水率、膨胀率。

**2** 岩体的单轴抗压强度、抗剪强度、弹性模量、变形模量、泊松比、点荷载强度。

**3** 岩石的单轴抗压强度、抗剪强度、弹性模量、变形模量、泊松比、点荷载强度。

**6.2.4** 地基与基础界面模型应主要包括理想弹塑性Culomb滑动模型、Clough双曲线本构。地基与基础界面指标应主要包括界面的切向刚度、界面的峰值内摩擦角*φ*p、界面的残余内摩擦角*φ*r。

**6.2.5** 岩土动力指标应主要包括阻尼比、动弹性模量、动剪切模量。

**6.3** 土体物理指标试验

**6.3.1** 土粒比重宜采用比重瓶法、浮称法、虹吸筒法试验测定。

**6.3.2** 含水率试验应采用两个试样平行测定，非均质土应采用三个以上试样测定。试验时宜采用烘干法，温度控制在105℃～110℃；对含有机质的土，烘干温度应控制在65℃～70℃。

**6.3.3** 土的密度试验宜采用环刀法，无法用环刀制备试样时，可用蜡封法。均质土密度值应取同一组两块试样的均值，非均质土密度值应取同一组三块以上试样的均值。

**6.3.4** 土的孔隙比可根据测得的土粒比重、含水率和密度按下式计算：

 （6.3.4）

其中，*G*s——土粒比重；

*ρ*w——水的密度(g/cm3)；

*ρ*——土的密度(g/cm3)；

*w*——含水率(%)。

**6.3.5** 土的塑限和液限可采用联合法测定，液限也可采用蝶式液限仪测定，塑限含水率也可采用搓条法测定。土的塑性指数和液性指数可采用下列公式计算：

 （6.3.5-1）

 （6.3.5-2）

其中，*w*L——液限(%)，76g圆锥仪沉入土中深度为10mm时土的含水率；

*w*p——塑限(%)；

*I*p ——塑性指数，应由相应于76g圆锥仪沉入土中深度为10cm时测定的液限计算而得；

*I*L ——液性指数。

**6.3.6** 颗粒分析试验可采用筛析法、密度计法、移液管法。

**6.3.7** 导热系数宜采用热探针法测定。

**6.4** 土体力学指标试验

**6.4.1** 压缩系数、压缩模量、压缩指数、回弹指数、固结系数、先期固结压力应采用标准固结试验测定，试验的最大固结压力应大于地基的自重应力与附加压力之和，宜采用1600kPa或3200kPa。

**6.4.2** 抗剪强度指标宜采用三轴压缩试验测定。固结不排水强度指标可采用三轴固结不排水剪切或直剪固结快剪测定，粉土、砂性土的固结排水强度指标可采用三轴固结排水剪切或直剪慢剪测定。

**6.4.3** 黏性土的不排水抗剪强度宜通过孔压静力触探试验并采用下式计算，也可采用预固结的三轴不固结不排水剪切测定，或采用快剪测定。

 （6.4.3）

其中，*s*u——黏性土的不排水抗剪强度(kPa)；

*q*t——修正后的锥尖阻力(kPa)；

*σ*v0——土的竖向总应力(kPa)；

*N*kt——锥尖因子，宜结合土工试验和地区经验确定。

**6.4.4** 黏性土的 *ε*50值应采用三轴不固结不排水剪切测定，取各级围压下最大主应力差50%时应变的平均值。

**6.4.5** 吸力筒基础设计宜考虑黏性土扰动导致的土体强度降低，黏性土的灵敏度宜通过原位十字板剪切试验或室内无侧限抗压试验确定，或采用孔压静力触探试验结果通过下式计算：

 （6.4.5）

其中，*S*t ——黏性土的灵敏度。

*F*r——归一化侧摩阻比。

*N*s——经验系数，宜结合土工试验和地区经验确定。

**6.4.6** 砂性土的有效内摩擦角宜采用三轴固结排水剪切测定，或采用孔压静力触探试验通过下式计算：

**1** 对于粉砂、细砂：

 （6.4.6-1）

其中，*φ*'——砂性土的有效内摩擦角。

*q*n——净锥尖阻力(Mpa)。

**2** 中砂、粗砂、砾砂：

 （6.4.6-2）

**6.4.7** 砂土的渗透系数宜采用常水头渗透试验测定，粉土和黏土的渗透系数宜采用变水头渗透试验测定。

**6.4.8** 筒形基础的承载力可采用现场静载荷试验获取，或通过高应变法估算。

**6.5** 岩体物理力学指标试验

**6.5.1** 含水率试验应采用烘干法，宜在105℃～110℃的恒温下烘24h。试样应保持天然含水率。

**6.5.2** 块体密度试验可采用量积法、水中称量法、蜡封法，并宜符合下列规定：

**1** 制备成规则试件的岩石，宜采用量积法。

**2** 除遇水崩解、溶解和干缩湿胀的岩石外，均可采用水中称量法。

**3** 不能用量积法或水中称量法测定的岩石，可采用蜡封法。

**6.5.3** 吸水性试验可用于遇水不崩解、不溶解和不干缩膨胀的岩体，应包括吸水率试验和饱和吸水率试验，并应符合下列规定：

**1** 吸水率应采用自由浸水法测定。

**2** 饱和吸水率应采用煮沸法或真空抽气法强制饱和后测定。饱和吸水率应在吸水率测定后进行。

**3** 测定吸水率与饱和吸水率时，宜采用水中称量法测定块体干密度。

**6.5.4** 膨胀性试验应包括自由膨胀率试验、侧向约束膨胀率试验和体积不变条件下的膨胀压力试验，并应符合下列规定：

**1** 遇水不易崩解的岩体可采用自由膨胀率试验，遇水易崩解的岩体不应采用自由膨胀率试验。

**2** 各类岩体均可采用侧向约束膨胀率试验和体积不变条件下的膨胀压力试验。

**3** 试样应在现场采取，并应保持天然含水状态，不得采用爆破法取样。

**6.5.5** 单轴抗压强度可根据工程需要和岩体性质选择在天然含水状态、烘干状态、饱和状态下测定，计算软化系数时，应分别测定干燥和饱和状态下的强度。当采用非标试样时，可按现行国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266相关规定换算成标准尺寸的强度。

**6.5.6** 弹性模量、变形模量、泊松比可采用单轴压缩试验测定。单轴压缩试验可采用电阻应变片法或千分表法。

**6.5.7** 岩体三轴压缩试验宜根据其应力状态选用四种围压，并提供不同围压下的主应力差与轴向应变关系、抗剪强度包络线和强度参数*c*、*φ*值。

**6.5.8** 岩体直接剪切试验可测定岩体以及节理面、滑动面、断层面或岩层层面等不连续面上的抗剪强度，并提供*c*、*φ*值和各法向应力下的剪应力与位移曲线。

**6.5.9** 抗拉强度可采用劈裂法试验，在试件直径方向上，施加一对线性荷载，使试件沿直径方向破坏，间接测定抗拉强度。

**6.5.10** 对较为破碎的岩体，取样困难时，可取样进行点荷载试验，其与单轴抗压强度的换算可按《工程岩体分级标准》GB/T 50218执行。

**6.6** 地基与基础界面特性试验

**6.6.1** 地基与基础界面特性可采用环剪法，加荷方式可采用应变控制式，可用于细粒土和粒径小于2mm的砂土，测定地基与基础之间的界面模型及参数。

**6.6.2** 界面环剪法试验设备和试验步骤应符合《海上风电场工程岩土试验规程》NB/T 10107的有关规定。

**6.6.3** 试验材料应与现场筒型基础相同，试验材料表面粗糙度应与筒型基础一致。

**6.6.4** 以界面剪应力为纵坐标，剪切位移为横坐标，绘制界面剪应力与剪切位移曲线。可取曲线峰值为峰值强度，经原点绘制峰值强度曲线，取倾角为界面的峰值内摩擦角*φ*p；可取最终稳定值为残余强度，经原点绘制残余强度曲线，其倾角为界面的残余内摩擦角*φ*r。

**6.7 岩土动力特性试验**

Ⅰ动力特性指标

**6.7.1** 海洋岩土动力特性指标应主要包括动强度、动模量、阻尼比、场地卓越周期，岩土动力特性试验应符合下列要求。

**1** 对黏性土和粉土应采用I级原状土样；对砂性土，应保证室内制备土样与天然土样具有相同的级配和相对密度。

**2** 当轴向应变范围为10-4至10-1时，动弹性模量和阻尼比可采用动三轴试验或动单剪试验测定。当轴向应变范围为10-6至10-4时，动弹性模量和阻尼比宜采用共振柱试验或带有霍尔效应传感器的动三轴试验测定。

**3** 当间接确定岩石的动弹性模量、动刚性模量或动剪切模量、动泊松比等指标时，可进行岩石声波速度测试。

**4** 试样的安装、固结及加载方法等应符合国家现行行业标准《海上风电场工程岩土试验规程》NB/T 10107的相关规定。

Ⅱ 动 强 度

**6.7.2** 土体动强度宜采用动三轴试验或动单剪试验测定。

**6.7.3** 振动三轴试验仪应满足下列规定：

**1** 振动三轴仪应具备反压施加及测量系统。

**2** 轴向动力控制系统激振波形良好，拉压两半周幅值和持时基本相等，相差应小于10%。

**3** 量测系统包括轴向载荷、轴向位移及孔隙水压力传感器等。

**4** 振动三轴仪应能输出稳定的正弦、三角或随机波形，输出频率范围0.1~10Hz。

**6.7.4** 动强度试验设计及破坏标准应符合下列规定：

**1**动强度试验宜采用固结不排水试验。

**2**试验时对同一密度的试样，可选择1个～3个固结应力比；同一固结应力比下，可选择1个～3个不同的侧向压力；每一侧向压力下，宜选择4个～6个的动剪应力水平，可分别选择10周、20周～30周和100周等不同的振动破坏。

**3**试样的破坏标准，对于等压固结试验，可取双幅轴向动应变极大值与极小值之差达到5%；对于偏压固结试验，可取单幅轴向总动应变峰值达到5%；对于可液化土的抗液化强度试验，可以初始液化作为破坏标准。

**6.7.5** 动强度试验成果整理应符合下列规定：

**1**应力状态指标应采用下列方法计算：

1）振前试样45°斜面上静应力应按下列公式计算：

 （6.7.5-1）

 （6.7.5-2）

式中：*σ'*0——振前试样45°斜面上的有效法向固结应力（kPa）；

*σ*1c ——初始轴向固结应力（kPa）；

*σ*3c ——初始侧向固结应力（kPa）；

*u*0——初始静孔隙水压力（kPa）；

*τ*0 ——振前试样45°斜面上的剪应力（kPa）。

2）固结应力比应按下式计算：

 （6.7.5-3）

式中：*K*c——固结应力比；

*σ'*1c——初始有效轴向固结应力（kPa）；

*σ'*3c——初始有效侧向固结应力（kPa）；

*u*0——初始孔隙水应力（kPa）。

3）轴向动应力应按下式计算：

 （6.7.5-4）

式中：*σ*d——轴向动应力（kPa）；

*W*d——轴向动荷载（N）；

*A*c——试样固结后横截面积（cm2）。

4）轴向动应变应按下式计算：

 （6.7.5-5）

式中：*ε*d——轴向动应变（%）；

Δ*h*d——轴向动变形（mm）；

*h*c——试样固结后振前高度（mm）。

5）试样45°斜面上的动剪应力应按下式计算：

 （6.7.5-6）

式中：*τ*d——试样45°斜面上的动剪应力（kPa）。

6）试样45°斜面上的总剪应力应按下式计算：

 （6.7.5-7）

式中：*τ*sd——试样45°斜面上的总剪应力（kPa）。

7）当饱和粉土或砂土液化时，液化应力比应按下式计算：

 （6.7.5-8）

**2** 动强度试验曲线可按下列要求绘制：

1）以破坏振次*N*f的对数值为横坐标，动剪应力*τ*d为纵坐标，在半对数坐标上绘制不同侧向固结应力下的动剪应力*τ*d与破坏振次*N*f的关系曲线。

2）当饱和粉土或砂土液化时，以破坏振次*N*f的对数值为横坐标，液化应力比为纵坐标，在半对数坐标上绘制不同固结应力比下的液化应力比与破坏振次*N*f的关系曲线。

3）以破坏振次*N*f的对数值为横坐标，动孔隙水压力*u*d为纵坐标，在半对数坐标上绘制动孔隙水压力*u*d与破坏振次*N*f的关系曲线。动孔隙水压力*u*d可取记录时程曲线上的峰值；也可根据工程需要，取残余动孔隙水压力值。

4）对于每一个试样，以循环*N*为横坐标，轴向动应变*ε*d为纵坐标，绘制动应变与振次关系曲线。

Ⅲ 动模量与阻尼比

**6.7.6** 不同状态下模量与阻尼比可采用共振柱仪、动三轴仪、动单剪仪测定。

**6.7.7** 共振柱试验仪按试样约束条件，可分别采用一端固定一端自由，或一端固定一端用弹簧和阻尼器支承；按激振方式可分别采用稳态强迫振动法或自由振动法；按振动方式可分别采用扭转振动或纵向振动。

6.7.8 试验成果整理应符合下列规定：

1 试样的动应变可采用下列方法计算：

1）动剪应变可按下式计算：

 （6.7.8-1）

式中：*γ*——动剪应变（%）；

*A*d——动剪切位移（cm）；

*d*1 ——加速度计到试样轴线的距离（cm）；

*d*c——试样固结后的直径（cm）；

*h*c——试样固结后的高度（cm）。

2）动轴向应变可按下式计算：

 （6.7.8-2）

式中：*ε*d ——动轴向应变（%）；

Δ*h*d ——动轴向位移（cm）。

2 扭转共振时的动剪切模量可按下式计算：

 （6.7.8-3）

式中：*G*d——动剪切模量（kPa）；

*f*nt——有试样时实测的扭转振动共振频率（Hz）；

*ρ*0——试样天然密度（g/cm3）；

*β*s——扭转无量纲频率因数，可根据仪器说明或者使用标定棒测试。

**3** 阻尼比可采用下列方法计算：

1）无弹簧支承自由振动时的阻尼比可按下式计算：

 （6.7.8-4）

式中：*λ*——阻尼比；

*N*——计算所取的振动次数，取*N*小于或等于10；

*A*1——停止激振后第1周振动的振幅（mm）；

*AN*+1——停止激振后第*N*+1周振动的振幅（mm）。

2）无弹簧支承稳态强迫振动时的阻尼比可按下式计算：

 （6.7.8-5）

式中：*f*1、*f*2——分别为稳态强迫振动振幅与频率关系曲线（图6.7.8）上0.707倍最大振幅值所对应的频率（Hz）；

*f*n——最大振幅值所对应的频率（Hz）。



图6.7.8稳态强迫振动振幅与频率关系曲线

3）有弹簧支承自由扭转振动时的阻尼比可按下列公式计算：

 （6.7.8-6）

 （6.7.8-7）

式中：*δ*t、*δ*0t ——有试样和无试样时系统扭转振动时的对数衰减率；

*s*t——扭转振动时的能量比。

4）有弹簧支承自由纵向振动时的阻尼比可按下列公式计算：

 （6.7.8-8）

 （6.7.8-9）

式中：*δ*l、*δ*0l——有试样和无试样时系统纵向振动时的对数衰减率；

*s*l——纵向振动时的能量比。

**4** 宜以动剪应变*γ*的对数值为横坐标，动剪切模量*G*d为纵坐标，在半对数坐标上绘制不同围压下动剪切模量*G*d与动剪应变*γ*的关系曲线，取纵轴上的截距作为该级压力下的最大动剪切模量*G*dmax。

**5** 宜以轴向动应变*ε*d的对数值为横坐标，动弹性模量*E*d为纵坐标，在半对数坐标上绘制不同围压下动弹性模量*E*d 与轴向动应变*ε*d的关系曲线，取纵轴上的截距作为该级压力下的最大动弹性模量*E*dmax。

**6** 宜以动剪应变*γ*的对数值为横坐标，动剪切模量比*G*d/*G*dmax为纵坐标，在半对数坐标上绘制不同围压下动剪切模量比*G*d/*G*dmax与动剪应变*γ*的归一化曲线。

**7** 宜以轴向动应变*ε*d的对数值为横坐标，动弹性模量比*E*d/*E*dmax为纵坐标，在半对数坐标上绘制不同围压下动弹性模量比*E*d/*E*dmax与轴向动应变*ε*d的归一化曲线。

**8** 宜以围压*σ*3的对数值为横坐标，最大动剪切模量*G*dmax的对数值为纵坐标，在双对数坐标上绘制最大动剪切模量*G*dmax与围压*σ*3的关系曲线，曲线表达式为：

 （6.7.8-10）

式中：*K*——当*σ*3等于*p*a时的*G*dmax值；

*p*a——标准大气压值（kPa）；

*σ*3——围压值（kPa）；

*n*——直线斜率。

**9** 宜以动剪应变*γ*或轴向动应变*ε*d的对数值为横坐标，阻尼比*λ*为纵坐标，在半对数坐标上绘制动阻尼比*λ*与动剪应变*γ*或轴向动应变*ε*d的关系曲线。

**6.7.9** 动弹性模量和阻尼比试验成果整理应符合下列规定：

**1** 动弹性模量可按下式计算：

 (6.7.9-1)

式中：*E*d——动弹性模量（MPa）。

**2** 动剪切模量可按下式计算：

 (6.7.9-2)

式中：*G*d——动剪切模量（MPa）；

*μ*——泊松比。

**3** 阻尼比可按下式计算：

 (6.7.9-3)

式中：*λ*——阻尼比；

*A*——动应力—应变滞回圈*ABCDA*所包围的面积（kPa）；

*A*T——三角形*AOE*的面积（kPa）。

****

图6.7.9 动应力—应变滞回圈示意图

**4** 动弹性模量和阻尼比试验曲线可按下列方法绘制：

1）以轴向动应变*ε*d为横坐标，轴向动应力*σ*d为纵坐标，绘制轴向动应力*σ*d与轴向动应变*ε*d的关系曲线。

2）以轴向动应变*ε*d为横坐标，动弹性模量倒数1/*E*d为纵坐标，绘制动弹性模量倒数1/*E*d与轴向动应变*ε*d的关系曲线，取曲线线性拟合的截距值的倒数为最大动弹性模量。

3）以轴向动应变*ε*d为横坐标，动弹性模量*E*d为纵坐标，绘制动弹性模量*E*d与轴向动应变*ε*d的关系曲线。

4）以轴向动应变*ε*d为横坐标，阻尼比*λ*为纵坐标，绘制阻尼比*λ*与轴向动应变*ε*d的关系曲线。

6.7.10 动单剪试验设计及破坏标准应符合下列规定：

**1** 排水条件宜根据工程实际选择。

**2** 设置振幅、频率、波形、振次等动态参数和试验结束条件。波形可采用正弦波，频率可按荷载特征确定。

**3** 动应力幅宜逐级施加，每个试样宜选择4级～5级的动应力幅，后一级的动应力幅值可控制为前一级的2倍左右，每级的振动次数不宜大于5次。

**4** 同一干密度的试样，宜选择1个～3个法向压力。

**5** 同一干密度的试样，宜选择1个～3个法向压力。同一法向压力下，宜采用4个试样，可选择10周、20周、50周、100周左右的破坏周次进行动强度试验。试样的破坏标准，可取总动剪应变达到5%，也可根据具体工程情况选取。当试样达到破坏标准后，可再振5周～10周。

6.7.11 动单剪试验成果整理宜符合下列规定：

**1** 法向压力宜按下式计算：

 (6.7.11-1)

式中：*σ*n——法向压力（kPa）；

*F*n——法向力（N）；

*A*s——试样截面积（cm2）。

**2** 法向应变宜按下式计算：

 (6.7.11-2)

式中：*ε*d——法向应变（%）；

Δ*h*d——法向位移（mm）；

*h*d——试样固结后的高度（mm）。

**3** 动剪应力宜按下式计算：

 (6.7.11-3)

式中：*τ*d——动剪应力（kPa）；

*Fτ*——动剪切荷载（N）；

**4** 动剪应变（图6.3-4）宜按下式计算：

 (6.7.11-4)

式中：*γd*——动剪应变（%）；

Δ*hτ*——切向动位移（mm）；

*θ*——试样剪切后倾斜面与垂直面的夹角。

**5** 动剪模量宜按下式计算：

 （6.7.115）

式中：*Gτ*——动剪模量（MPa）。

**6** 阻尼比宜按下式计算：

 （6.7.11-6）

式中：*A*——应力应变滞回圈（图6.7.11）ABCDA的面积（kPa）；

*A*t——三角形OAE的面积（kPa）。

****

图6.7.11 应力应变滞回圈

7 成果分析宜以动剪应变为横坐标，以动剪模量为纵坐标，绘制不同法向压力下动剪模量与动剪应变的关系曲线；宜以动剪应变为横坐标，以阻尼比为纵坐标，绘制不同法向压力下阻尼比与动剪应变的关系曲线。

**8** 宜以破坏振次*N*f的对数值为横坐标，以动剪应力比*τ*d/*σ*n为纵坐标，在半对数坐标系下绘制不同法向压力下的动剪应力比与破坏振次的关系曲线。

Ⅳ 场地卓越周期

**6.7.12** 场地卓越频率和卓越周期可采用地脉动测试。

**6.7.13** 地脉动测试系统应符合下列规定：

**1** 通频带应选择1Hz~40Hz ，信噪比应大于80Db。

**2** 低频特性应稳定可靠。

**3** 测试系统应与数据采集分析系统相配接。

**4** 加速度型传感器的频率特性和灵敏度等应满足测试要求，对地下脉动测试用的速度型传感器，通频带应为1Hz~25Hz，并应密封防水。

**5**  建筑场地的地脉动测点不应少于2个；距离观测点100m 内应无人为振动。

**6** 测点宜选在天然地基土上，且宜在波速测试孔附近，传感器应按东西、南北、竖向三个方向布设。

**7** 地下脉动测试时，测点深度应根据工程需要进行布置。

**6.7.14** 地脉动测试采样频率和记录次数符合下列规定：

**1** 脉动信号记录时，应根据所需频率范围设置低通滤波频率和采样频率，采样频率宜取50Hz~ 100 Hz，每次记录时间不应少于15min，记录次数不宜少于3次。

**2** 测试数据处理宜采用功率谱分析法。每个样本数据不应少于1024 个点，采样频率宜取50Hz~100Hz，并应进行加窗函数处理，频域平均次数不宜少于32 次。

**6.7.15** 卓越频率的确定应符合下列规定：

**1** 卓越频率应采用频谱图中最大峰值所对应的频率。

**2** 当频谱图中出现多峰且各峰值相差不大时，宜在谱分析的同时，进行相关或互谱分析，并经综合评价后确定场地卓越频率。

**6.7.16** 场地卓越周期可按下式计算：

 （6.7.16）

式中：*Tp*——场地卓越周期(s) ；

*fp* ——场地卓越频率(Hz) 。

# 7 工程物探

## 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 工程物探可根据探测目的、任务要求、海况、地质条件、地球物理特征选用水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、多波束法、侧扫声纳法、电磁感应法、海洋磁法、原位波速测试和原位电阻率测试，复杂情况可采用多种物探方法综合探测。

**7.1.2** 物探工作宜按接收任务、搜集资料、现场踏勘、编制技术方案、探测、资料检查与评价、数据处理、资料解释与制图、成果报告编写与校审、成果提交与归档的程序进行。

**7.1.3** 物探技术方案应根据项目合同和物探任务要求，在搜集和分析相关资料的基础上，结合现场实际情况编制。物探技术方案应主要包括任务目的、工作量及范围、地质概况及地球物理特征、物探方法与技术、导航定位、测网和测线布置、人员与设备及勘探船配置、工期与进度安排、预期成果、安全预防保障措施。

**7.1.4** 物探仪器设备技术指标应满足探测项目的要求，应在检定、校准有效期内，并处于正常工作状态。

**7.1.5** 现场探测前，应进行试验探测；有效的试验探测成果可作为生产成果的一部分。

**7.1.6** 水域地层剖面法、水域多道地震勘探法、多波束法、侧扫声纳法、海洋磁法和电磁感应法应采用走航式连续探测方式，并应符合下列规定：

**1** 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。

**2** 勘探船应沿测线延伸线提前上线、推迟下线；有拖体情况下，延伸线长度不应少于2倍拖缆长度。

**3** 工作航速不宜大于5 kn；施测过程中不应停车或倒车。

**4** 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。

**5** 多波束法测量时，相邻主测线扫描重叠应不小于20％；侧扫声纳法探测时，相邻测线扫描重叠应不小于50%；磁法探测时，拖曳电缆长度应大于3倍勘探船长度。

**6** 采用多种方法综合探测时，同一测线应采用统一的桩号。

**7.1.7** 原位波速测试和原位电阻率测试宜在裸孔内进行，测试前应做好人员和设备安全防护措施。测试时宜有钻机施工配合。在软弱土层中测试时过程应尽量简短，避免出现孔内事故。

**7.1.8** 物探记录内容应准确、齐全，不得涂改。现场技术人员应对全部物探资料进行自检，发现不合格记录，应分析原因，做好记录，进行补测或重测。

**7.1.9** 数据采集和数据处理应符合下列要求：

**1** 数据采集和数据处理软件应为有效专业软件。

**2** 采集到的数据应在现场及时进行整理和初步解释。

**3** 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。

**4** 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，形成可供地震资料解释的成果剖面等。

**5** 多波束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；水深应进行水位校正；绘制微地貌图，结合其他资料对微地貌特征进行解释。

**6** 侧扫声纳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，绘制声纳镶嵌图。

**7** 海洋磁法采集的资料应校正磁场强度值和磁异常计算，绘制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。

**7.1.10** 成果解释和成果报告应符合下列要求：

**1** 成果解释软件应为有效专业软件，人工解译应由经验丰富的技术工程师参与或负责。

**2** 物探资料的解译应充分结合物探工作范围内的地质、设计和测量等资料，应遵循从已知到未知、先易后难、由点到面、点面结合的原则。

**3** 物探成果报告内容宜包括概述、地质条件及地球物理特征、探测方法与技术、质量控制、资料处理、成果分析、结论与建议、附图与附表，物探成果图件应包括物探测线位置平面图、物探成果图、物探成果地质解释图等。

## 7.2 地层结构探测

**7.2.1** 海底地层结构探测宜采用水域地层剖面法和水域多道地震勘探法。

**7.2.2** 进行地层探测时，主测线宜与地质勘探线或其它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。

**7.2.3** 采用水域地层剖面法探测地层结构应符合下列规定：

**1** 探测海底以下30m深度内的地层分布特征和不良地质作用宜采用浅地层剖面探测法，地层分辨率不宜大于0.3m。探测海底以下200m深度内的地层分布特征和不良地质作用宜采用中地层剖面探测法，地层分辨率不宜大于1m。

**2** 拖曳式声源和水听器阵应拖曳于船尾涡流区外，且平行列置。

**3** 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。

**7.2.4** 采用水域多道地震勘探法探测地层结构应符合下列规定：

**1** 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。

**2** 地震电缆接收道数不宜少于24道。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。

**3** 电缆尾标偏离测线不应大于15°。

**7.2.5** 采用水域地层剖面法和水域多道地震勘探法进行地层结构探测时，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。

**7.2.6** 探测成果图件应主要包括测线平面布置图、航迹图、地层时间剖面图、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。

## 7.3 地形地貌调查

**7.3.1** 海底微地貌宜采用多波束法和侧扫声纳法探测。

**7.3.2** 根据现场声纳图像初步判断存在地形地貌异常时，多波束法和侧扫声纳法应在其周围布设不同方向的补充测线作进一步探测。

**7.3.3** 多波束法和侧扫声纳法应根据水深和声纳扫描量程布置合理的测线间距。

**7.3.4** 多波束测深数据应进行噪点清理、剔除错误和数据校正，生成标准水深数据，并对数据资料进行计算、统计、描述和制图。

**7.3.5** 侧扫声纳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。

**7.3.6** 探测成果图件应主要包括测线平面布置图、航迹图、地形平面图、三维色谱图、声纳镶嵌图和底质类型分布图。

## 7.4 障碍物调查

**7.4.1** 海底障碍物调查应符合下列规定：

**1** 现场工作前应先调研相关海域障碍物的历史背景及工程情况。

**2** 大范围障碍物调查宜采用侧扫声纳法和水域地层剖面法进行普查，对存在疑似障碍物的区域宜采用多波束法、侧扫声纳法、水域地层剖面法进行加密测线详测。

**3** 对铁磁性障碍物应采用海洋磁法查明规模、埋置状况和物性。

**7.4.2** 侧扫声纳法应根据水深和声纳扫描量程布置合理的测线间距。根据现场声纳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作进一步探测。

**7.4.3** 海洋磁法和水域地层剖面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，应布设补充测线作进一步探测。

**7.4.4** 资料整理和解释应符合下列要求：

**1** 侧扫声纳法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，绘制声纳镶嵌图。

**2** 多波束法应根据地形、灰度、色谱和数据特征进行分析，结合其他资料对障碍物特征进行解释。

**3** 海洋磁法采集的资料应校正磁场强度值和磁异常计算，绘制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。

**4** 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。

**5** 物探资料的综合分析和解释，应结合水下地形地貌、地质和其他资料，确定水下障碍物的物性、位置、形状、大小和分布范围。

**7.4.5** 探测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。

## 7.5 管线调查

**7.5.1** 出露的海底管线探测可采用多波束法、侧扫声纳法和三维实时声纳法。海底管线平面位置和埋深探测可采用高分辨率地层剖面法和合孔径声纳法。海底管线平面位置探测电磁感应法、海洋磁法。

**7.5.2** 水域地层剖面法电磁感应法、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，应布设补充测线作进一步探测。

**7.5.3** 侧扫声纳法测线宜平行管线走向，应根据水深和声纳扫描量程布置合理的测线间距。根据现场声纳图像初步判断存在目标管线时，应在其周围布设不同方向的补充测线作进一步探测。

**7.5.4** 电磁感应法应符合下列要求：

**1** 电缆、光缆走向不明时测线宜采用网格状布置；初步了解电缆、光缆的走向后，测线宜垂直电缆、光缆走向布置。

**2** 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。

**7.5.5** 资料整理和解释应符合下列要求：

**1** 多波束法和侧扫声纳法应根据已有管线施工图等资料，合理判断线状物是否具有管线特征，根据管线形态分析和判断管线的平面位置和出露情况。

**2** 海洋磁法和电磁感应法应参考已有管线施工图等资料，识别电、磁信号异常分析和判断管线的平面位置。

**3** 水域地层剖面法应参考已有管线施工图等资料，根据声学影像的和声学信号特征分析和判断管线的平面位置与埋深。

**4** 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。

**5** 探测资料分析和解释，应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。

**7.5.6** 探测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 浅层气探测

**7.6.1** 浅层气探测宜选择侧扫声纳法和水域地层剖面法。侧扫声纳法可用于探测逸出到海水中的浅层气；水域地层剖面法可用于探地层内浅层气的情况。

**7.6.2** 侧扫声纳法应根据水深和声纳扫描量程布置合理的测线间距，机位和路由区域应全覆盖，两侧范围均不应小于50m。根据现场声纳图像初步判断存在浅层气异常特征时，宜在其周围布设不同方向的补充测线作进一步探测。

**7.6.3** 采用水域地层剖面法探测浅层气应符合下列规定：

**1** 探测海底以下30m深度内的浅层气宜采用浅地层剖面探测法，地层分辨率不宜大于0.3m。探测海底以下200m深度内的浅层气宜采用中地层剖面探测法，地层分辨率不宜大于1m。

**2** 探测测线宜按网格状布置，主测线应经过机位和路由位置，测线间距间距不宜大于10m。初步分析发现目标浅层气异常特征时，应布设补充加密测线作进一步探测。

**7.6.4** 资料整理和解释应符合下列要求：

**1** 浅层气在侧扫声纳图像中形态主要表现为逸出气体在海水中造成的声学扰动和空白噪声。

**2** 浅层气在浅地层剖面上的状态主要表现为声学幕、声学空白、声学扰动。浅层气的判断可参考下列特征：

1）顶界面不规则强反射或相位倒转，表现为烟囱状、锯齿状等。

2）竖交界面侧面陡立或两侧相位下拉，表现为地震信号突然变弱或消失等。

3）整体形态的柱状扰动、幕状屏蔽或空白屏蔽，表现为团块状、囊状等。

**3** 间歇性和持续性浅层气探测均有具体时效性，可采用钻探验证。

**4** 物探资料的综合分析和解释，可结合水下地形地貌、地质和其他资料，确定浅层气的位置、形状、大小和分布范围。

**7.6.5** 探测成果图件应主要包括测线平面布置图、航迹图、声纳镶嵌图、地层时间剖面图、地层剖面地质解释图、地震剖面地质解释图和综合成果图。

## 7.7 原位波速测试

**7.7.1** 海上原位波速测试应符合下列要求。

**1** 测试宜选择单孔法，测试参数宜包括岩土层的剪切波速度和纵波速度。

**2** 单孔法可选择单孔悬挂法或单孔检层法。

3 单孔悬挂法可用于土层的剪切波速度测试。

4 单孔检层法和跨孔法可用于岩土层剪切波速度和纵波速度测试。

5 岩体波速可采用一发一收的单孔声波测试或穿透声波测试。

6 单孔悬挂法和岩体声波测试宜在裸孔内进行

7 钻孔应竖直；孔深大于 15m的钻孔宜测斜，测斜仪应能测0°～360°的方位角及0°～30°的倾角，方位角的测试误差不宜大于1°，倾角的测试误差不宜大于0.1°。

**8** 岩体风化带宜采用钻孔内岩体弹性纵波速度划分，并评价岩体完整性。

**9** 钻孔土层剪切波测试宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011确定场地覆盖层厚度。

7.7.2 海上原位波速测试成果整理应符合下列规定：

**1** 土层等效剪切波速可按下列公式计算：

 （7.7.2-1）

 （7.7.2-2）

式中：*V*se——土层等效剪切波速（m/s）；

*d*0——计算深度（m），该值需要取覆盖层厚度和20m二者的较小值；

*dj*——计算深度范围内第*j*土层的厚度（m）；

*t*——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间（s）；

——计算深度范围内第*j*土层的平均剪切波速度（m/s）；

*n*——计算深度范围内土层的分层数。

**2** 地层平均波速可按下式计算：

 （7.7.2-3）

式中：——地层平均波速（m/s）；

*hi* ——第*i*层地层厚度（m）；

*Vi*——第*i*层地层波速（m/s）；

*n*——计算深度范围内地层的分层数。

7.7.3 单孔法测试成果整理应符合下列规定：

**1** 单孔悬挂法剪切波速应按下式计算：

 （7.7.3-1）

式中：*V*——剪切波波速(m/s)；

*T*1——剪切波到达第1个接收换能器的时间(s)；

*T*2——剪切波到达第2个接收换能器的时间(s)；

*L*——两个接收换能器之间的距离(m)。

**2** 单孔检层法剪切波或纵波的旅行时间和波速，应按下列公式计算：

**** （7.7.3-2）

 （7.7.3-3）

式中：*ti*——激发点至接收点剪切波或纵波的旅行时间（s）；

——垂直距离修正后剪切波或纵波的旅行时间（s）；

*hi*——接收点深度(m)；

*d*——从震源至孔口的水平距离(m)。

**7.7.4** 岩体声波测试应符合下列规定：

**1** 单孔岩体声波测试应使用一发双收换能器，源距不宜小于0.3m，换能器每次移动距离不应大于0.2m。

**2** 单孔岩体声波测试时，应将收发换能器及电缆匀速地放入钻孔底部，待收发换能器稳定后自下而上测试。

**3** 穿透声波测试应量测两孔口中心点的距离，其相对误差应小于1%。

**4** 穿透声波测试应使用一发一收换能器，换能器每次移动距离宜为0.2m～1.0m，收发换能器的距离应进行核算。

**7.7.5** 岩体声波速度应按下式计算，并应绘制声波速度随深度的变化曲线。

 （7.7.5）

式中：*T*1——声波到达第1个接收换能器或接收孔测点的时间（s）；

*T*2——声波到达第2个接收换能器或接收孔测点的时间（s）；

*D*——两个接收换能器或接收孔测点之间的距离（m）。

## 7.8 电阻率测试

7.8.1 地层电阻率应符合下列要求：

1 钻孔地层电阻率测试宜采用电阻率测井法。

2 测试前应对仪器和导线及线路联通状况进行检查，有漏电现象时应消除故障后重新测试。

3 电阻率测井法应在无套管、有井液的孔段进行测试，测区内应无较强的工业游散电流或电磁干扰。

7.8.2 电阻率测井装置（图7.8.2）宜采用三极装置或对称四极装置。三极装置测量极距MN与供电电极A至记录点的距离AO的比值宜在1/3～1/5之间。对称四极装置测量极距MN与供电极距AB的比值宜在1/3～1/5之间。

(a)三极装置 (b) 对称四极装置

图7.8.2 电阻率测井装置

1—电源；2—检流计；A、B—供电电极； M、N—测量电极；O—MN中点

7.8.3 测点的电阻率可按下列公式计算：

 （7.8.3-1）

三极装置时， （7.8.3-2）

对称四极装置时， （7.8.3-3）

式中：*ρ*s——电阻率(Ω·m)；

Δ*V——MN*两点间的电位差(mv)*；*

*I*——电流强度(mA)

*K*——装置系数（m）。

7.8.4 电阻率测试的资料整理与解译应符合下列要求：

1 电阻率解译图绘制应注明装置长度和点距等参数。

2 同一工区的电阻率解译图应采用相同的比例尺，宜绘制剖面成果图。

3 成果解译应充分研究测线附近的地形、地质条件及干扰体的位置与异常的关系，区分异常和干扰。

4 成果报告应统计并分析地层电阻率与埋深的对应关系。

**5** 成果整理应绘制电阻率值沿孔深的变化曲线，电阻率测井曲线应与钻孔柱状图相对应。

**6** 成果分析应根据井径、井液电阻率等影响因素，对测试的电阻率值进行校正

7 地层电阻率确定应结合地质情况，并对电阻率曲线进行综合分析。

# 8 工程测绘

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 测绘作业前应收集分析相关资料、进行现场踏勘，编写技术设计书；测绘作业过程中应进行质量控制；测绘作业完成后应编写技术总结报告。重大工程的测绘技术设计方案应通过设计论证，测绘成果应通过专业审查。

**8.1.2** 测绘仪器设备技术指标应满足测绘项目的要求，应在检定、校准有效期内，并处于正常工作状态，使用的数据处理软件应通过鉴定或审查。

**8.1.3** 测绘前应进行工作海域危险源辨识和风险评估，制定风险控制措施和应急预案，测绘人员应进行海上作业安全教育培训。

**8.1.4** 工程测绘应采用2000国家大地坐标系和1985国家高程基准，当需要采用其他坐标系统、高程基准时，应与2000国家大地坐标系和1985国家高程基准建立联系。

**8.1.5** 测量的精度指标应为中误差，极限误差应为2倍中误差。

## 8.2 平面控制测量

**8.2.1** 测量控制网应按现行国家标准《工程测量规范》GB50026的有关规定建立。

**8.2.2** 首级平面控制网宜按四等或一级执行，平面控制宜采用卫星定位测量法、导线测量法。

**8.2.3** 四等和一级卫星定位测量平面控制网的主要技术指标应符合表8.2.3的规定.

表8.2.3 卫星定位测量控制网精度要求及相邻点平均边长

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 平均边长（km） | 固定误差A（mm） | 比例误差 | 最弱相邻点边长相对中误差 |
| 四等 | 2 | ≤10 | ≤1/100000 | ≤1/40000 |
| 一级 | 1 | ≤20 | ≤1/40000 | ≤1/20000 |

**8.2.4** 卫星定位测量控制网主要技术指标应符合表8.2.4的规定。

表8.2.4 卫星定位测量控制网主要技术指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | | 四等 | 一级 |
| 接收机类型 | | 双频或单频 | |
| 仪器标称精度 | | 10mm+5×10-6 | |
| 静态 | 卫星高度角（°） | ≥15 | ≥15 |
| 观测时段数（个） | ≥1 | ≥1 |
| 观测时段长度（min） | ≥45 | ≥30 |
| 同时观测有效卫星数（颗） | ≥4 | ≥4 |
| 数据采样间隔（s） | 5~15 | 5~15 |
| 快速静态 | 卫星高度角（°） | — | ≥15 |
| 观测时段长度（min） | — | 10~15 |
| 同时观测有效卫星数（颗） | — | ≥4 |
| 数据采样间隔（s） | — | 5~15 |
| PDOP值 | | ≤6 | ≤8 |

**8.2.5** 已建立连续运行参考站（CORS）的地区，一级平面控制点可采用CORS进行RTK测量，主要技术指标应符合表8.2.5的规定。

表8.2.5 采用CORS进行RTK测量一级平面控制点主要技术指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 点位中误差（cm） | 边长相对中误差 | 观测次数 | 起算点等级 |
| ≤5 | ≤1/20000 | ≥4 | 四等及以上 |

## 8.3 高程控制测量

**8.3.1** 首级高程控制网宜按四等或五等执行，四等高程控制宜采用水准测量法或电磁波测距三角高程测量法，五等高程控制也可采用GNSS高程测量法。

**8.3.2** 高程控制点间距应为1~3km，测区至少应有3个高程控制点。

**8.3.3** 水准测量主要技术指标应符合表8.3.3的规定。

表8.3.3 水准测量主要技术指标

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 路线长度（km） | | 每千米高差中数中误差（mm） | 水准仪  型号 | 检测已测测段高差之差（mm） | 环线或附合路线闭合差（mm） | | 每千米高差中数偶然中误差（mm） |
| 环线 | 附合  路线 | 平地 | 山地 |
| 四等 | ≤100 | ≤80 | 10 | DS3/DSZ3 |  |  |  | 5.0 |
| 五等 | ≤45 | | 15 |  |  |  | 7.5 |

注： 1.结点之间或结点与高级点之间，其路线长度不应大于表中规定路线长度的0.7倍。

2.表中所列的水准仪型号为最低要求。

3.*R*为检测测段的长度（km）；*L*为附合路线或环线长度（km）；*R*、*L*小于1km时按1km计算；n为测站数。

4.当每千米水准测量单程测站数*n*大于16站时，宜按测站数计算闭合差。

**8.3.4** 五等水准测量为附合或闭合水准路线时可采用单程观测，为支线时应采用往返观测或单程双转点观测，五等水准测量主要技术指标应符合表8.3.4的规定。

表8.3.4 五等水准测量主要技术指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器类型 | 最大视距（m） | 前后视距差 | 前后视距累积差 | 视线高度 | 重复测量次数 |
| 光学水准仪 | 150 | ≤20.0 | ≤100.0 | 三丝能读数 | — |
| 数字水准仪 | 100 | ≤20.0 | ≤100.0 | 能读数 | ≥2次 |

**8.3.5** 已建立连续运行参考站（CORS）的地区，五等高程控制点可采用CORS进行RTK测量，主要技术指标应符合表8.3.5的规定。

表8.3.5 五等高程控制点主要技术指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 点位中误差（cm） | 观测次数 | 起算点等级 |
| ≤3 | ≥2 | 四等及以上 |

**8.3.6** 采用GNSS测量获取高程宜建立测区内高程异常模型，用于求解高程异常模型的已知点应覆盖全部水深测量区域，且分布均匀；转换后的高程中误差应小于0.03m；应避免在模型有效范围外实施测量作业。

## 8.4 水位控制测量

**8.4.1** 深度基准面应为理论最低潮位面，深度基准面一经确定不得随意更改，场区应建立高程基准与深度基准的转换关系。

**8.4.2** 水位站可主要采用水尺、自容式水位仪、遥报式水位仪进行水位观测。

**8.4.3** 水位站布设的密度应能控制全测区的水位变化，相邻水位站之间的距离应满足最大潮高差不大于1m，最大潮时差不大于2h，潮汐性质基本相同。

**8.4.4** 采用自容式水位仪应符合下列要求：

1 观测误差不应大于2cm。

2 观测时应选择流速小、底质硬、海洋渔业活动不频繁等相对安全的海区，且应与北京时间进行校准并提前投放。

3 对于淤泥质或沙质海区，在抛设自容式水位仪前应加工重件式支架，用于保护和固定验潮仪，防止因仪器移动或陷入泥沙影响观测精度。

4 数据记录间隔根据实际需求设置，且不应大于5min。

5 在对自容式验潮仪数据进行回放时，应对数据采集期间的气压进行改正，以消除大气压对水位观测的影响。

**8.4.5** 水位控制工作完成后，应整理水位站坐标、水位控制成果、水位站基准关系图等。

## 8.5 地形测量

**8.5.1** 地形测量基本精度应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026的有关规定。

**8.5.2** 测深点的定位及测深中误差应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026的有关规定。

**8.5.3** 地形图图示海域部分应符合现行国家标准《中国海图图示》GB 12319的有关规定，陆域部分应符合现行国家标准《国家基本比例尺地图图式 第1部分：1：500 1:1 000 1:2 000地形图图式》GB/T 20257.1、《国家基本比例尺地图图式 第2部分：1:5 000 1:10000地形图图式》GB/T 20257.2和《国家基本比例尺地图图式 第3部分：1:25000 1:50000 1:100000地形图图式》 GB/T 20257.3的有关规定。

**8.5.4** 海岸地形测量可采用极坐标、GNSS-RTK、机载激光雷达和航空摄影测量等方法。

**8.5.5** 水深测量宜采用单波束测深仪、多波束测深仪，设备的精度指标、测深线的具体布设、补测和重测应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026的有关规定。

**8.5.6** 海底地形测量宜选用GNSS实施载体定位。

**8.5.7** 测区水深点的高程可根据测区实际情况采用验潮法或GNSS无验潮法施测。

## 8.6 成果检查与验收

**8.6.1** 海洋筒型基础岩土工程测绘项目应实行“二级检查、一级验收”制度，二级检查包括过程检查和最终检查，过程检查由测绘单位作业部门完成，最终检查由测绘单位质量管理部门实施，各级检查应独立、按顺序进行，通过检查后才能提交验收。

**8.6.2** 测绘成果质量评定与验收应符合现行国家标准《测绘成果质量检查与验收》GB/T23456和《数字测绘成果质量检查与验收》GB/T18316的有关规定。

# 9 勘探平台与钻探取样

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 钻探作业前，应收集工程勘察区域的气象、水文、地形、地质、航运及障碍物分布等基础资料，并应根据钻孔任务书要求进行技术和安全交底。

**9.1.2** 浓雾或风力大于5级时，海上勘探平台**严禁**抛锚、起锚、移位作业，交通船舶**严禁**靠近勘探平台接送作业人员；6级以上大风或浪高3.0m以上的恶劣天气时，**严禁**进行钻探作业。

## 9.2 勘探平台选型

**9.2.1** 勘探平台可分别采用浮动式平台和固定式平台，作业平台选择应按海域水深、地形、潮汐、风浪等水文情况来确定，并宜符合表9.2.1的规定。

表9.2.1 勘探平台类型适用表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 勘探平台类型 | | 浪高 | 流速(m/s) | 水深(m) | 安全距离(m) | |
| 漂浮式勘探平台 | 50 t ~100 t | ＜0.8 | ＜2.0 | 1.5~5.0 | 全载时吃水线距平台面距离 | ＞1.0 |
| 100 t ~300 t | ＜1.0 | ＜3.0 | 2.0~20.0 | ＞1.0 |
| 300 t ~500 t | ＜2.0 | ＜4.0 | 10.0~30.0 | ＞1.2 |
| 500 t ~1000 t | ＜3.0 | 10.0~50.0 | ＞1.5 |
| 固定式勘探平台 | 桁架式 | ＜1.0 | ＜3.0 | 平台底面与海面距离 | ＞1.0 |
| 自升式 | ＜3.0 | ＜5.0 | 按平台设计适用水深确定 | ＞3.0 |

**9.2.2** 在水深20m以内，勘探平台最低载重安全系数不应小于5倍；当水深在20m～50m范围内，涨落潮水流流速大于4m/s条件下，其最低载重安全系数不应小于10倍。

**9.2.3** 搭建平台应符合下列规定：

**1** 搭建平台所用工字钢或槽钢应有足够强度，焊工应持证上岗，钻探平台应结构牢靠、面积紧凑、布置规正。

**2** 平台长×宽尺寸不应小于9m×6m，铺设枕木的间距宜为0.50m~0.80m。平台板厚度不应小于40mm，平台临海周边架设不应低于0.90m高的安全栏杆和护网，并配置足够救生、消防设施。

**3** 平台搭建完毕应组织专人验收。

## 9.3 自升式平台与插桩分析

**9.3.1** 选择自升式平台勘探时，自升式平台应满足现场作业和各种管材堆放的需要。

**9.3.2**  自升式平台应由桩腿支撑，桩腿长度应按下列要素叠加：

**1** 桩腿入泥深度。

**2** 水深，含天文潮和风暴潮。

**3** 从水面到平台底部之间的距离。

**4** 平台的型深。

**5** 固桩室的高度。

**6** 安全余量可按2.0m估算。

**9.3.3** 勘探作业前应对自升式平台进行安全评估，安全评估应主要包括下列内容：

**1** 桩腿长度是否满足安全作业要求。

**2** 是否具备足够的拔桩能力。

**3** 自升式平台站立后的坐底稳性。

**9.3.4** 自升式平台安全评估应考虑下列因素：

**1** 海域环境条件和作业期的海况。

**2** 海床地质条件和海床面坡度。

**3** 由海洋环境及平台作业引起的荷载。

**4** 平台的插桩深度和穿刺的可能性。

**5** 平台和桩腿的结构强度。

**6** 冲刷造成的浅层海床损失。

**9.3.5** 自升式平台作业前应收集下列基础资料：

**1** 作业现场水文资料，包含不同重现期的波浪、海流和潮位信息。

**2** 作业现场气象资料，包含不同重现期的气象信息。

**3** 作业现场地质资料，包含海床平整度、表层土质分布范围和参数、海域水深、地层结构浅剖面探测等资料。

**4** 作业现场的扫测资料，包含基础冲刷、地下管线、海底电缆、锚缆、沉船等周边环境资料。

**5** 项目设计文件和勘察方案，包括各项勘察作业的持续时间。

**6** 作业过程中的各类荷载。

**7** 自升式平台的结构及性能参数。

**9.3.6** 自升式平台桩腿底端可采用多边形或圆形桩靴基础，自升式平台插桩深度可采用下列步骤预测：

**1** 将桩靴模型化（图9.3.6）。

**2** 采用适当的方法计算海底不同深度处地基竖向极限承载力，并绘制地基竖向极限承载力—插深曲线。

**3** 将指定最大预加荷载加在地基竖向极限承载力—插深曲线中，读取预测插深。

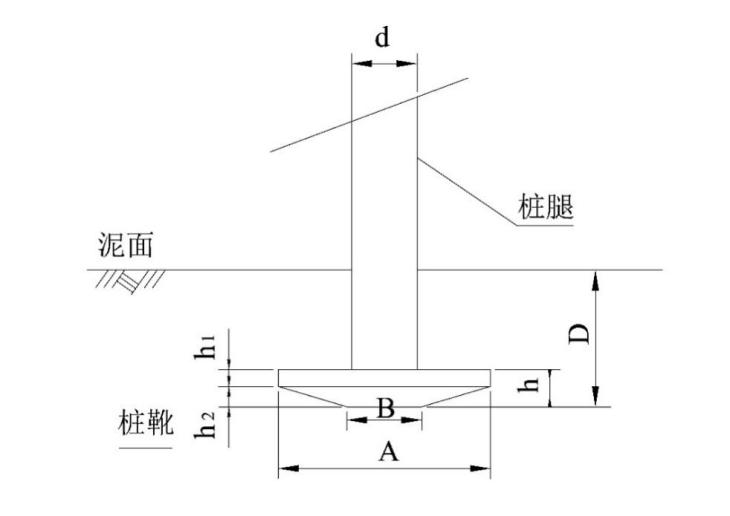


图9.3.6 自升式平台插桩深度计算模型

h1—桩靴上部厚度；h2—桩靴下部厚度；h—桩靴总厚度；A—桩靴与土接触的最大承载面宽度或直径；B—桩靴与土接触的最小承载面宽度或直径；D—桩靴底部至海底泥面距离

**9.3.7** 自升式平台插桩深度分析中，可采用理论公式或基于静力触探测试计算地基竖向极限承载力。

**1** 桩靴入泥过程可视为基础埋深增大的过程，桩靴入泥深度计算可使用经典土力学极限承载力理论公式。

**2** 对于不排水条件的黏性土，内摩擦角*φ*=0，地基竖向极限承载力公式为：

（9.3.7-1）

式中，*qu*——地基竖向极限承载力，kPa;

*cu*——黏性土的不排水抗剪强度，按桩靴底面下*A/2*深度范围内的平均抗剪强度取值，也可取距海底泥面*D*+*A*/4处的不排水抗剪强度，kPa；

*Nc*——承载能力系数，可按下式计算：

（9.3.7-2）

——基础承载力形状因素，可按下式计算：

（9.3.7-3）

*Nq*——承载能力系数，可根据土的内摩擦角从表9.3.7取值；

*D*——若桩靴顶面没有覆土回填，*D*取值为海底泥面到桩靴基线的距离；若桩靴顶面被覆土回填，*D*取桩靴平均厚度*h*，m；

γ*1*——桩靴基线以上土的有效重度，kN/m3；

*A*——桩靴与土接触的最大承载面宽度或直径，m；

*L*——桩靴与土接触的最大承载面长度或直径，m。

**3** 对于砂土，可取粘聚力*C* =0，地基竖向极限承载力公式为：

（9.3.7-4）

式中，*sq*，*sr*——基础承载力形状因素，可分别按下式计算：

*φ* （9.3.7-5）

（9.3.7-6）

*C*——土的粘聚力，kPa；

γ*2*——桩靴底面处土的有效重度，kN/m3；

*Nr*——承载能力系数，可根据土的内摩擦角从表9.3.7取值。

**表9.3.7 承载能力系数*Nr*，*Nq***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *φ* | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° |
| *Nr* | 0 | 0.51 | 1.2 | 1.8 | 4 | 11 | 21.8 | 45.4 | 125 | 326 |
| *Nq* | 1.0 | 1.64 | 2.69 | 4.45 | 7.42 | 12.7 | 22.5 | 41.4 | 81.3 | 173.3 |

上述计算应考虑桩靴上部土回填对地基竖向极限承载力造成的折减。

**9.4** 钻探

**9.4.1** 钻探设备选择应符合下列要求：

**1** 钻探设备的类型和规格宜结合水深、地形、潮汐、风浪等海况，根据钻孔任务书要求合理选择钻探机具。

**2** 回转钻进宜采用立轴式岩心钻机；选择漂浮式平台钻探，宜优先选择具有波浪补偿功能的海洋工程钻机。

**3** 水泵应根据现场抽水扬程、钻探方法与工艺等要求选择。

**4** 钻塔可采用铁质三脚架、铁质四脚架，钻塔提升能力与空间应满足钻孔作业需要。

**5** 钻探所用管材宜跟钻进方法与工艺配置，并应符合现行国家标准《地质岩心钻探钻具》GB/T 16950的有关规定。

**6** 钻杆级配应合理选择，宜在粗径钻具上部增加扶正器。

**9.4.2** 海上钻探开孔应符合下列要求：

**1** 开孔前应检查浮动平台各锚受力是否均匀，锚是否有松动或锚位移的迹象；

**2** 安装隔水套管应选择在平潮或低潮时；当海水流速较大时，套管下部可设置拉绳配合。

**3** 用套管孔壁时，应适时掌握潮位的变化；并应备有足够数量的短套管，以应对潮位变化而增减套管的长度。

**4** 用伸缩装置做隔水套管时，内外套管应匹配；入土套管深度应适中，钻孔达到终孔深度，应将套管全部拔起。

**5** 采用径式套管做护孔管，钻机宜高于平台0.50~1.0m，另宜配备一定数量的长0.30~1.0m短套管。

**6** 采用伸缩装置做护孔管，内套管在外管内应伸缩自由，内套管内径应大于开孔直径10mm以上。

**9.4.3** 钻进应符合下列规定。

**1** 取样前应清孔，做到孔壁稳定，不缩孔，不坍塌，孔内干净，孔底残留土厚度不应大于取土器废土段的长度，并应减少对孔底土层的扰动；在取土位置以上1m处，不应用水冲、冲击、振动等钻进方法清孔。

**2** 取土器下入孔内临近取样位置时，应稳慢落底，防止冲击孔底土层；取样器入土取样应均匀连续的快速压入；当遇硬土或砂土压入困难时，宜采用厚壁取土器用重锤少击或孔底锤击的方法取样。

**3** 取土器在孔内完成取样，应把卷扬速度换至中档或慢档，以确保取样器均速提出孔内。

**4** 原状土样的土样直径宜在75mm~100mm，长度不应小于20cm。

**5** 海上钻进取样，应采取低压力、低转速和适量的冲洗液量，不同地层钻进参数宜符合表9.4.3的要求。

表9.4.3 不同地层钻进参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 土类别 | 钻压（kN） | 转速（r/min） | 流量（L） |
| 1 | 淤泥质或黏土类 | ＜0.50 | 100～180 | 50～60 |
| 2 | 砂性土类 | 0.50～0.80 | 65～120 | 40～50 |
| 3 | 岩石类 | 1.0～3.0 | 200～350 | 50～70 |

**9.4.4** 泥浆性能和配制应符合下列要求：

**1** 采用优质黏土配制泥浆，当用钙质黏土应经钠化处理。根据性能指标要求，可加入各种化学处理剂进行调整。常用化学处理剂可按表9.4.4-1选择。

表9.4.4-1 常用化学处理剂

|  |  |
| --- | --- |
| 分类 | 处理剂品种 |
| 选择性絮凝剂 | 水解度30%聚丙烯酰胺、醋酸乙烯脂与顺丁烯酸酐共聚物 |
| 增黏剂 | Na-CMC、SM胶、水解聚丙烯酰胺 |
| 絮凝剂 | 水泥、石灰、石膏、氯化钙、水玻璃 |
| 降黏剂、稀释剂 | 单宁酸钠、栲胶碱液、煤碱剂、木质素磺酸钠、腐植酸钾 |
| 降失水剂 | Na-CMC、单宁酸钠、煤碱剂、聚丙烯酸钠、水解聚丙烯酰胺、植物胶（钻进粉、瓜尔胶、香叶粉、海藻粉、SM胶） |
| 水敏抑制剂 | 石灰、石膏、氯化钙 |
| PH值控制剂 | 烧碱、纯碱、石灰 |
| 润滑剂 | 皂化溶解油、太古油 |

**2** 用于海上钻探的护壁泥浆，泥浆主要性能指标宜符合表9.4.4-2的规定。

9.4.4-2 泥浆主要性能指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能指标 | 坍塌掉块地层 | 水敏地层 | 漏失地层 | 涌水地层 | 卵砾石层 |
| 漏斗黏度s | 23～30 | 18～25 | 30～60 | ＞30 | ＞40 |
| 比重 | 1.03～1.08 | 1.03～1.05 | 1.03～1.05 | 根据水头计算 | 1.03～1.08 |
| 含砂量% | ＜0.5 | ＜0.5 | ＜0.5 | ＜0.5 | ＜1 |
| PH值 | 8～12 | 8～12 | 8～12 | 8～12 | 8～12 |

**9.4.5** 钻探编录应符合下列要求。

**1** 钻探编录应及时、清晰、详实。

2 记录应按钻进回次逐段填写，不应事后追记。

**3** 勘察钻孔终孔后，应进行钻孔验收和质量评定。

**9.4.6** 钻探记录班报表宜包括下列内容：

**1** 工程名称、钻孔编号、钻孔坐标。

**2** 作业海域海况。

**3** 设备类型、套管规格和长度。

**4** 钻孔护壁和堵漏、钻进和取样。

**5**  孔内异常与处理情况。

**6** 钻孔深度、地层描述。

**9.5** 取样

**9.5.1** 取样孔应符合下列要求：

**1** 钻孔孔径应符合取样要求。

**2** 取样前应先清孔，并防止孔底土层扰动。

**3** 取样深度应根据水深变化情况计算和校正。

**4** 每回次取样孔深允许误差为±0.2m。

**9.5.2** 不同质量等级土试样的取样工具应符合表9.5.2的要求。

表9.5.2 不同质量等级土试样的取样工具

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土试样质量等级 | 取样工具 | | 适用土类 | | | | | | | | | | |
| 黏 性土 | | | | | 粉  土 | 砂 土 | | | | 砾砂、 碎石土、 软岩 |
| 流塑 | 软塑 | 可塑 | 硬塑 | 坚硬 | 粉 砂 | 细 砂 | 中 砂 | 粗 砂 |
| Ⅰ | 薄壁 取土器 | 固定活塞 | × | **+ +** | **+** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 水压固定 活塞 | **+ +** | **+ +** | **+** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 自由活塞 | × | **+** | **+ +** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 敞口 | × | **+** | **+** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 回转 取土器 | 单动三管 | × | **+** | **+ +** | **+ +** | **+** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | × | × | × |
| Ⅰ~Ⅱ | 原状取砂器 | | × | × | × | × | × | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+** |
| Ⅱ | 薄壁 取土器 | 水压固定 活塞 | **+ +** | **+ +** | **+** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 自由活塞 | **+** | **+ +** | **+ +** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 敞口 | **+ +** | **+ +** | **+ +** | × | × | **+** | **+** | × | × | × | × |
| 回转 取土器 | 单动三管 | × | **+** | **+ +** | **+ +** | **+** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | × | × | × |
| 厚壁敞口取土器 | | **+** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+** | **+** | **+** | **+** | **+** | × |
| Ⅲ | 厚壁敞口取土器 | | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+** | × |
| 标准贯入器 | | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | × |
| 岩芯钻头 | | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+** | **+** | **+** | **+** | **+** |
| Ⅳ | 标准贯入器 | | + + | + + | + + | + + | + + | + + | + + | + + | + + | + + | × |
| 岩芯钻头 | | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** | **+ +** |

注：1 ++为适用；+为部分适用；×为不适用；

2 采取砂土试样应有防止试样失落的补充措施。

**9.5.3** 土试样质量等级及取样方法应符合表9.5.3的要求。

表9.5.3 土试样质量等级及取样方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 级别 | 扰动程度 | 试验内容 | 取样方法 |
| Ⅰ | 不扰动 | 土类定名、含水量、密度、强度试验、固结试验 | 敞口式薄壁取土法；  回转静压活塞式薄壁取土法； |
| Ⅱ | 轻微扰动 | 土类定名、含水量、密度 | 阀式、真空、双管等取土法； |
| Ⅲ | 显著扰动 | 土类定名、含水量 | 真空、双管取土法； |
| Ⅳ | 完全扰动 | 土类定名 | 箱式取土法、抓斗取样器 |

**9.5.4** 贯入式取样应符合下列要求：

**1** 采用贯入式取土器取Ⅰ级和Ⅱ级土试样时，取土器宜平稳下放，不宜冲击孔底。取土器下放后，应核对孔深与钻具长度，发现残留浮土厚度超过规定时，应提起取土器重新清孔。

**2** 采取Ⅰ级土试样，宜采用快速、连续的静压方式贯入，贯入速度不宜小于0.1m/s。当利用钻机的给进系统施压时，应保证具有连续贯入的足够行程。采取Ⅱ级土试样可使用间断静压方式或重锤少击方式。

**3** 回次取样贯入深度不应超过取样管总长的90%，贯入深度应在贯入结束后量测并记录。

**4** 提升取土器之前，宜先原位回转2圈~3圈或静置1min~2min以上。

**9.5.5** 回转式取样方法应符合下列要求：

**1** 采用回转取土器取Ⅰ级和Ⅱ级土试样时，应保证钻机平稳、钻具垂直、平稳回转钻进，并宜采用小泵量钻进。

**2** 采用套管护壁时，做到先取样后跟管；套管底端距离孔底不应小于3倍孔径。

# 10 水和土的腐蚀性评价

**10.0.1** 判别海水、地下水及土的腐蚀性时，应收集工程建筑物场地海区的气候条件、冰冻资料、高程、岩土性质、地下水的径流条件和污染情况，以及类似条件下工程建筑物的腐蚀情况等资料。

**10.0.2** 水和土腐蚀性的测试项目和试验方法应符合下列规定：

**1** 水对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：pH值、Ca2+、Mg2+、Cl-、SO42-、HCO3-、CO32-、侵蚀性CO2、游离CO2、NH4+、OH-、总矿化度。

**2** 土对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：pH值、Ca2+、Mg2+、Cl-、SO42-、HCO3-、CO32-的易溶盐（土水比1:5）分析。

**3** 水对钢结构腐蚀性的测试项目包括：pH值、Cl-、SO42-。

**4** 土对钢结构的腐蚀性的测试项目包括：pH值、氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失。

**10.0.3** 海水、地下水和土的腐蚀性评价，应符合表10.0.1~10.0.5的规定。

表10.0.1 海水、地下水和土对混凝土腐蚀性评价

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 腐蚀性类型 | | 腐蚀性  判定依据 | 腐蚀程度 | 界限指标 | |
| 分解类 | 溶出型 | HCO－ 3含量  （mmol/L） | 微腐蚀 | HCO－ 3>1.07 | |
| 弱腐蚀 | 1.07≥HCO－ 3>0.70 | |
| 中等腐蚀 | HCO－ 3≤0.70 | |
| 强腐蚀 | --- | |
| 一般酸性型 | pH值 | 微腐蚀 | pH>6.5 | |
| 弱腐蚀 | 6.5≥pH>6.0 | |
| 中等腐蚀 | 6.0≥pH>5.5 | |
| 强腐蚀 | pH≤5.5 | |
| 碳酸型 | 侵蚀性CO2  含量（mg/L） | 微腐蚀 | CO2<15 | |
| 弱腐蚀 | 15≤CO2<30 | |
| 中等腐蚀 | 30≤CO2<60 | |
| 强腐蚀 | CO2≥60 | |
| 分解结晶复合类 | 硫酸镁型 | Mg2+含量（mg/L） | 微腐蚀 | Mg2+<1000 | |
| 弱腐蚀 | 1000≤Mg2+<1500 | |
| 中等腐蚀 | 1500≤Mg2+<2000 | |
| 强腐蚀 | Mg2+≥2000 | |
| 结晶类 | 硫酸盐型 | SO2－ 4含量（mg/L） |  | 普通水泥 | 抗硫酸盐水泥 |
| 微腐蚀 | SO2－ 4<250 | SO2－ 4<3000 |
| 弱腐蚀 | 250≤SO2－ 4<400 | 3000≤SO2－ 4<4000 |
| 中等腐蚀 | 400≤SO2－ 4<500 | 4000≤SO2－ 4<5000 |
| 强腐蚀 | SO2－ 4≥500 | SO2－ 4≥5000 |

注: 1 本表规定的判别标准所属场地应是不具有干湿交替或冻融交替作用的地区，以及具有干湿交替或冻融交替作用的半湿润、湿润地区；

2 当混凝土建筑物直接接触污染源时，污染源对混凝土的直接腐蚀作用应专门研究；

3 表中数值适用于水的腐蚀性评价，对土的腐蚀性评价，应乘以 1.5的系数；单位以mg/kg表示。

表10.0.2 海水、地下水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 腐蚀性判定依据 | 腐蚀程度 | 长期浸水 | 干湿交替 |
| Cl-的含量  （mg/L） | 微腐蚀 | Cl-<10000 | Cl-<100 |
| 弱腐蚀 | 10000~2000 | 100≤Cl-<500 |
| 中等腐蚀 | --- | 500≤Cl-<5000 |
| 强腐蚀 | --- | Cl-≥5000 |

注:当环境水中同时存在氯化物和硫酸盐时，表中的Cl-含量是指氯化物中的Cl-与硫酸盐折算后的Cl-之和，即Cl-含量= Cl-+ SO2－ 4×0.25，单位为mg/L。

表10.0.3 土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 腐蚀性判定依据 | 腐蚀程度 | A | B |
| Cl-的含量  （mg/kg） | 微腐蚀 | <400 | <250 |
| 弱腐蚀 | 400~750 | 250~500 |
| 中等腐蚀 | 750~7500 | 500~5000 |
| 强腐蚀 | >7500 | >5000 |

注: A是指地下水位以上的碎石土、砂土，稍湿的粉土，坚硬、硬塑的黏性土；B是湿、很湿的粉土，可塑、软塑、流塑的黏性土。

表10.0.4 海水、地下水对钢结构腐蚀性评价

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 腐蚀性判定依据 | 腐蚀程度 | 界限指标 |
| pH值、  (Cl-+ SO2－ 4)  含量（mg/L） | 弱腐蚀 | 3≤pH<11、(Cl-+ SO2－ 4)含量<500 |
| 中等腐蚀 | 3≤pH<11、(Cl-+ SO2－ 4)含量≥500 |
| 强腐蚀 | pH<3、(Cl-+ SO2－ 4)任何浓度 |

注: 1 表中是指氧能自由溶入的环境水；

2 如环境水的沉淀物中有褐色絮状物沉淀(铁)、悬浮物中有褐色生物腊、绿色从块,或有硫化氢臭味，应做铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查，查明有无细菌腐蚀。

表10.0.5 土对钢结构的腐蚀性评价

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 腐蚀程度 | pH值 | 氧化还原电位（mV） | 视电阻率（Ω·m） | 计划电流密度（mA/cm2） | 质量损失（g） |
| 微腐蚀 | >5.5 | >400 | >100 | <0.02 | <1 |
| 弱腐蚀 | 5.5~4.5 | 400~200 | 100~50 | 0.02~0.05 | 1~2 |
| 中等腐蚀 | 4.5~3.5 | 200~100 | 50~20 | 0.05~0.20 | 2~3 |
| 强腐蚀 | <3.5 | <100 | <20 | >0.20 | >3 |

注：土对钢结构的腐蚀性评价，取各指标中腐蚀等级最高者。

# 11 检测与监测

**11.1** 一 般 规 定

**11.1.1** 筒型基础调试前，应根据工程特性、地质条件和周边环境编制检测方案、沉放方案和监测方案。

**11.1.2** 筒型基础沉放前，应对筒型基础和监测设备进行全面检查，保证基础结构完好和气密性、阀门和管路正常、传感器等仪器设备正常。

**11.1.3** 筒型基础沉放前，应对沉放区域地形进行探测，当区域地形平整度不满足设计要求，应采取措施对局部区域进行整平。

**11.2** 检测

**11.2.1** 筒型基础水中下沉应符合下列规定：

**1** 筒型基础沉放应以标高控制，下沉至设计高程。

**2** 浮吊或其他辅助设备辅助应具有沉放作业扶正能力并符合作业半径要求。

**3** 在复杂的水中下沉应通过数值模拟与模型试验进行校核。

**4** 自重下沉阶段应控制下沉速率和下沉允许偏差，及时对基础下沉姿态进行调整。

**5** 对于多筒基础，应对倾斜较高的筒型基础抽取负压。

**11.2.6** 筒型基础自重下沉后，应开展下列检测工作：

**1** 启动预置的吸力下沉系统，应进行吸力下沉与调平。

2 吸力下沉阶段应实时检测基础内部负压和基础顶部水平度。

**3** 调平完成后，应对基础沉降和水平度进行检测，宜通过检测数据对基础沉放与调平进行反分析，校核基础沉放阻力与负压情况。

**4**  基础下沉后应检测基础绝对位置、高程以及顶法兰水平度。

**5** 筒型基础结构与海床之间存在大体积空腔时，沉放完成后宜注水或回填灌浆料。

**6** 筒型基础周围宜设置抛石、衬垫等防冲刷设施并宜进行检测。

**11.3** 监测

**11.3.1** 筒型基础沉放全过程应实时监测，监测参数和仪器设备应符合表11.3.1的要求。

表 11.3. 1 监测参数和仪器设备

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 仪器或监测量 |
| 有效结构/筒型基础重量 | 起重机荷载 |
| 竖向沉放 | 深度传感器  回声测深仪（内部和/或外部）  外部沉放标记和无人潜水器 |
| 倾斜（两个方向） | 安装于顶盖和结构顶部的倾斜仪  无人潜水器 |
| 筒内压力\* | 内部和外部压力记录  泵测量 |
| 流速 | 泵抽取速率 |
| 土体隆起 | 回声测深仪 |
| 注浆 | 注浆压力  每个部分的流速 |
| 海床标高 | 无人潜水器照相机  安装船上的地理测量设备 |

注：对于多筒基础，应对每个筒进行单独监测。

**11.3.2** 筒型基础的监测应符合下列要求：

**1** 监测应包括沉放前准备、沉放过程、沉放完成后测量三部分。

**2** 传感器应具有足够的精度，传感器布置应能反映测量参数的代表值，并应避免筒型基础筒裙变形和土体扰动的影响。

**3** 筒型基础沉放应实时监测筒型基础顶部倾角和吊具受力情况；

**4** 筒型基础水中下沉阶段的倾角应控制在合理范围，直至基础入泥。

**5** 筒型基础触地时，应监测吊机荷载直逐渐减小至自重下沉完成。

**6** 自重下沉阶段，应允许水自由排出，应监测下沉速率，控制筒型基础内部超压值为最小值，不因压力梯度造成土体管涌或流土。

**11.3.3** 筒型基础自重下沉阶段，应监测下列内容：

**1** 吊机荷载。；

**2** 竖向沉贯距离。

**3** 两个方向的倾斜。

**4** 舱室内超压值。

**11.3.4** 筒型基础自重下沉结束，排水孔应关闭，抽水泵应启动，筒型基础吸力下沉阶段，应监测下列内容：

**1** 吊机荷载。

**2** 竖向沉贯距离。

**3** 两个方向的倾斜。

**4** 基础内负压。

**5** 抽水泵泵速。

**11.3.5** 筒型基础沉降完成后应监测下列内容：

**1** 两个方向的倾斜。

**2** 外部压力减去内部压力的基础内负压。

**3** 基础法兰处水平度。

**4** 土体隆起高度。

**5** 海床标高。

# 12 岩土工程分析评价和勘察报告

**12.1** 岩土工程分析评价

**12.1.1** 岩土工程分析评价应在工程地质测绘、勘探、测试和搜集已有资料的基础上，结合工程特点和要求进行。

**12.1.2** 岩土分析评价应符合下列要求：

**1** 充分了解工程结构的类型、特点、荷载情况和变形控制要求。

**2** 掌握场地的地质背景，考虑岩土材料的非均质性、各向异性和随时间的变化，评估岩土参数的不确定性，确定其最佳估值。

**3** 充分考虑当地经验和类似工程的经验。

**4** 对于理论依据不足、实践经验不多的岩土工程问题，可通过现场模型试验或足尺试验取得实测数据进行分析评价。

**5** 可通过施工监测，调整设计和施工方案。

**12.1.3** 岩土工程分析评价应在定性分析的基础上进行定量分析。岩土体的变形、强度和稳定应定量分析；场地的适宜性、场地地质条件的稳定性，可定性分析。

**12.1.4** 岩土工程分析评价，可开展工程原型或足尺试验获取岩土性状，可采用反分析的方法优化岩土参数、验证设计计算、查验工程效果、分析事故原因。

**12.2** 岩土参数

**12.2.1** 岩土参数应根据工程特点和地质条件选用，并按下列内容评价其可靠性和适用性。

**1** 取样方法和其他因素对试验结果的影响。

**2** 采用的试验方法和取值标准。

**3** 不同测试方法所得结果的分析比较。

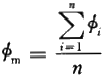
**4** 测试结果的离散程度。

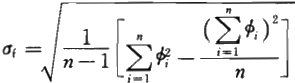
**5** 测试方法与计算模型的配套性。

**12.2.2** 岩土参数统计应符合下列要求：

**1** 按场地的工程地质单元和层位分别统计。

**2** 按下列公式计算平均值、标准差和变异系数：

 （12.2.2-1）

 （12.2.2-2）

 （12.2.2-3）

式中：φm——岩土参数的平均值；

——岩土参数的标准差；

δ——岩土参数的变异系数。

**3** 分析数据的分布情况并说明数据的取舍标准。

**12.2.3** 主要参数宜绘制沿深度变化的图件，并按变化特点划分为相关型和非相关型，可分析参数在水平方向的变异规律。相关型参数可结合岩土参数与深度的经验关系，按下式计算剩余标准差，并用剩余标准差计算变异系数。

 (12.2.3-1)

 (12.2.3-2)

式中 ——剩余标准差；

r——相关系数；对非相关型，r=0。

**12.2.4** 岩土参数的标准值可按下列方法确定：

 (12.2.4-1)

 (12.2.4-2)

式中 γs——统计修正系数；也可按岩土工程的类型和重要性、参数的变异性和统计数据的个数，根据经验选用。

注：式中正负号按不利组合考虑，如抗剪强度指标的修正系数应取负值。

**12.3** 勘察报告

**12.3.1** 岩土工程勘察报告所依据的原始资料，应进行整理、检查、分析，确认无误后方可使用。

**12.3.2** 岩土工程勘察报告应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理、便于使用和适宜长期保存，并应因地制宜、重点突出、有明确的工程针对性。

**12.3.3** 岩土工程勘察报告应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和地质条件等具体情况编写，并应包括下列内容：

**1** 拟建工程概况。

**2** 勘察目的、任务要求和依据的技术标准。

**3** 勘察方法和勘察工作布置。

**4** 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质及其均匀性。

**5** 岩土的物理指标、强度指标、变形指标、地基承载力特征值的建议值。

**6** 土和水对建筑材料的腐蚀性评价。

**7** 灾害地质和不良地质作用分析，危害程度评价及防治措施建议。

**8** 场地稳定性和适宜性评价。

**12.3.4**勘察报告应按下列情况提供岩土参数建议值：

**1**岩土物理力学参数的平均值、标准差、变异系数、数据分布范围和数量。

**2** 承载能力极限状态计算所需的岩土参数标准值，可按式(12.2.4-1)计算。

**3** 设计规范另有专门的参数取值方法时，应按有关规范执行。

**12.3.5** 勘察报告应包括下列图件：

**1** 勘探点平面布置图。

**2** 工程地质剖面图。

**3** 工程地质柱状图；

**4** 原位测试成果图表。

**5** 室内试验成果图表。

**12.3.6** 勘察报告宜对岩土利用、整治和改造方案进行分析并提出建议，宜进行不同方案的技术经济分析，提出设计、施工和监测的建议。

**12.3.7**对筒型基础施工和使用期间可能发生的岩土工程问题，宜进行预测，并提出监控和预防措施的建议

**12.3.8** 任务需要时可提交下列专题报告：

**1** 岩土工程测试报告。

**2** 岩土工程检验或监测报告。

**3** 岩土工程事故调查与分析报告。

**4** 岩土利用、整治或改造方案报告；

**5** 专门岩土工程问题的技术咨询报告。

**12.3.9** 勘察报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位、标点，均应符合国家有关标准的规定。

# 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

《建筑抗震设计规范》GB50011

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《海上风力发电场勘测标准》GB 51395

《地质岩心钻探钻具》GB/T 16950

《海底电缆管道路由勘察规范》GB/T 17502

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《工程岩体分级标准》GB/T 50218

《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266

《海上风力发电场设计标准》GB/T 51308

《海上风电场工程风电机组基础设计规范》NB/T 10105

《海上风电场工程岩土试验规程》NB/T 10107

《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72

《码头结构设计规范》 JTS 167

中国工程建设标准化协会标准

海洋筒型基础岩土工程勘察标准

T/CECS xxxxx-202x

条文说明

制 订 说 明

《海洋筒型基础岩土工程勘察标准》T/CECS xxx-202x，经中国工程建设标准化协会xxxx年xx月xx日以第xx号公告批准发布。

本规范制订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国海上筒型基础工程的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验和工程经验给出了设计和施工重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《海洋筒型基础岩土工程勘察标准》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 1 总 则

**1.0.1** 由于筒型基础在海洋环境下的突出优势，在各类海洋工程中应用越来越广。与其他类型的基础相比，海洋筒型基础设计和施工具有显著的特点。为满足基础设计和施工的需求，全面指导海洋筒型基础岩土工程勘察，海洋筒型基础的岩土工程勘察，制订本标准。

# 4 工程勘察任务、内容与方法

4.1 一 般 规 定

**4.1.1** 根据工程建设各阶段的任务，本条对海洋筒型基础岩土工程勘察的阶段提出建议。

**1** 对气象和水文条件单一、场地和地基条件简单、不良地质和地质灾害不发育，前期资料齐全的或具备较多工程经验的，勘察阶段也可以适当合并。

**2** 选址阶段勘察，主要任务是排查重大地质灾害、压覆矿、航道及其他用途等颠覆性因素，需要了解不良地质和地质灾害，了解特殊岩土、地下障碍物、航道等，了解场地的地层结构、地层状态、岩土构成等工程地质条件。有些规范也称为规划阶段或桌面工作阶段。

**3** 方案设计阶段勘察，主要任务是满足方案比选和工程概算，需要查明场地的不良地质、地质灾害、特殊岩土、地下障碍物，查明场地的地层结构、地层状态、岩土构成等工程地质条件，初步查明场地各地层的岩土物理力学参数。有些规范细化为预可行性研究、可行性研究或初步设计阶段。

**4** 技施设计阶段勘察，主要任务是满足筒型基础结构详细设计和工程详细预算需求，需要查明各个基础的工程地质条件，地层结构、地层状态和岩土物理力学参数。有些规范也称为施工详图设计阶段、详细勘察阶段，也有些规范设置了招标设计阶段勘察。

**5** 施工阶段勘察，主要任务是满足施工阶段的地质问题和技术服务，有些规范也称为施工地质阶段。

4.2 选址阶段工程勘察

**4.2.2~4.2.3** 选址阶段工程地质勘察主要是对场地基本地质条件的了解，对海洋筒型基础，尤其需重视了解对筒型基础有重大影响的不良地质作用及地质障碍物等，如海底滑坡、浅层气、沉船、海底管线等。选址阶段工程地质勘察方法以收集资料为主，由于海域基本地质条件无法通过现场踏勘直观了解，因此近期开发海域场址或缺乏地质资料时可结合工程的需要布置一些勘探工作。

4.3 方案设计阶段工程勘察

**4.3.3** 方案设计阶段的勘察布置，是在总结海洋筒型基础场地勘察经验的基础上提出的。鉴于物探技术在海洋工程勘察中的作用，对物探布置提出了要求。钻孔间距主要考虑场地复杂程度、地基复杂程度等因素，场地和地基条件复杂时可以取小值，对简单场地和地基结构单一的场区可以取大值。

**4.3.5** 方案设计阶段的场地勘察中，对地层剪切波速的钻孔数量做了具体规定，目的是掌握场区的地层情况，以划分场地类别。

4.4 技施设计阶段工程勘察

**4.4.4** 技施设计阶段勘探孔的布置需要考虑筒型基础的类别。单筒基础，由于占用场地面积小，且大部分海域地质条件相对简单，因此要求每个筒型基础不少于1个勘探孔。群筒基础，由于各筒相互独立，占用场地面积大，地质条件可能存在差异，因此要求每个筒位均不少于1个勘探孔。

静力触探技术已在海洋工程中或者广泛应用，取得了良好的效果。结合工程经验，要求筒型基础的岩土工程勘察，根据场地条件布置静力触探测试，可以取得更为详细的海洋地层结构和更合理的岩土参数。

4.5 施工阶段工程勘察

**4.5.1~4.5.4** 施工阶段工程地质勘察主要为施工服务，根据海洋筒型基础施工出现的情况，进一步复核前期勘察成果。施工过程出现了新的地质情况，或者对前期勘察成果有疑问，需要根据问题性质和对工程的影响程度，提出处理措施建议或进行专门工程勘察。

# 5 筒型基础与地基计算

与其他类型的海洋基础相比，筒型基础的设计和施工具有显著的特点，对岩土工程勘察提出了新的需求。本标准中列入了海洋筒型基础与地基相关的设计与施工计算要求，包括动力分析、地基竖向承载力、地基水平承载力、沉贯阻力等，是为了全面掌握岩土工程勘察需要提供的参数，并理解其用途，了解这些参数取值对筒型基础工程设计与施工的影响，以使工程勘察时不遗漏工程所需的地质指标，并能提供合理可靠的参数。

5.3 沉贯分析

**5.3.3** 屈曲应力的计算公式：

**1**  屈曲轴向应力

(5.3.3-1)

式中：—筒体悬空高度(m)；

*t*—筒壁厚度(m)；

—筒体材料弹性模量(MPa)；

—泊松比；

—屈曲系数。

**2**  屈曲环向应力

(5.3.3-2)

式中： *Cθl*—屈曲系数，根据不同非对称屈曲模态的几何形状将会有不同的定义。

筒体悬空高度为筒型基础吸力下沉阶段未入泥面的高度，如下图所示。



图5.3.3-1 筒型基础下沉示意图

屈曲轴向应力是指物体或结构在受到压缩载荷时，沿着其长度方向产生的应力。这种应力通常会导致物体或结构的弯曲或屈曲；轴向应力屈曲系数是一种用于评估结构在受到压缩作用时的稳定性的参数，该数值通过实验或理论分析，可以确定结构的屈曲系数。这个系数反映了结构的几何形状和材料的力学性质对其屈曲性能的影响。屈曲环向应力是指在工程结构中，当受到压缩力作用时，在横截面的环向方向产生的应力；环向应力屈曲系数*Cθl*是一种用于评估圆形结构在受到压缩力作用时稳定性的参数。环向应力屈曲系数*Cθl*的计算依赖于结构的几何形状和材料的力学特性。在实际工程中，需要进行详细的结构分析以确定适当的屈曲系数。这包括考虑到结构的几何形状、截面尺寸、材料的弹性模量等因素。参数取值方法可参考DNVGL-RP-C202 BUCKLING STRENGTH OF SHELLS。

# 6 岩土指标体系及试验

6.1 一 般 规 定

**6.1.1** 目前土体的分类方法主要有两类，一类是采用国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021，另一类是国家标准《土的工程分类标准》GB/T 50145。考虑实际经验积累，本标准沿用了《岩土工程勘察规范》GB 50021的分类方法。

6.2 岩土指标体系

**6.2.2** *ε*50为原状样三轴不固结不排水剪切试验50%峰值主应力差相应的轴向应变。灵敏度是指原状土不排水抗剪强度与其重塑土不排水抗剪强度之比值。地基承载力特征值是指由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

6.3 土体物理指标试验

**6.3.5** 对于液塑限联合测定法，一般取76g落锥下沉深度为2mm的试样含水率作为塑限，落锥下沉深度为10mm和17mm的试样含水率为10mm液限和17mm液限，蝶式液限仪测定得到的是17mm液限。我国《岩土工程勘察规范》GB 50021采用10mm液限计算土体的塑性指数对土体进行分类，《土的工程分类标准》GB/T 50145采用17mm液限计算土体的塑性指数对土体进行分类。本标准沿用了应用经验较丰富的落锥深度为10mm的液限。

**6.3.7** 单位温度梯度下单位时间内通过单位面积土体的热量称为导热系数。热探针法参考了美国标准ASTMD5334-14Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure（美国材料与试验协会-热探针法测定土与软岩的导热系数的标准测试方法），热探针法适用范围广，但应注意加热的探针可局部改变水热梯度，对水体温度产生局部影响。

6.4 土体力学指标试验

**6.4.3** 对试样进行预固结处理，可以减少由于取样与样品处理引起的试样扰动。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011规定采用室内剪切试验时，推荐选择三轴压缩试验的自重应力下预固结的不固结不排水试验。国际标准BS EN ISO 19901-8:2015 Petroleum and natural gas industries-Specific requirements for offshore structures-Part 8: Marine soil Investigations（石油天然气行业标准-离岸结构物-第8部分：海洋土勘察）建议：对试样进行预固结处理恢复其应力状态，当超固结比大于1时，试样在75%～80%先期固结压力下固结；当超固结比不大于1时，试样在75%～80%天然土层有效自重应力下固结。

修正锥尖阻力*q*t是采用锥肩位置的孔隙水压力*u*2对实测锥尖阻力*q*c进行修正后得到的，*q*t=*q*c+*u*2(1-*a*)，其中*a*为探头的有效面积比，大部分探头为0.55~0.9，常为0.75或0.8。关于黏性土的锥尖因子*N*kt的取值，在不同海域黏性土存在较大差异，锥尖因子*N*kt可以采用不同的强度试验方法进行标定，例如原位十字板剪切试验、单剪试验、直剪试验、三轴UU试验、三轴CU试验等，一般情况下锥尖因子*N*kt的范围为15~25，缺乏地区经验时，可采用较高值作强度解译。

**6.4.5** 归一化摩阻比的计算公式如下：

 (6.4.5)

根据《水运工程静力触探技术》规程 JTS/T 242-2020，无地区资料时，*N*s可以采用6.3。

**6.4.6** 本标准推荐的砂性土有效内摩擦角的解译公式参照《水运工程静力触探技术》规程 JTS/T 242-2020，主要是基于珠三角地区水运工程项目数据得到。王宽君等（2022）“CPTU Interpretation for Silty Sand in Binh Dai Offshore Wind Farm”一文中，基于越南平大海上风电场粉砂土层的直剪慢剪试验和三轴固结排水试验（CD），得到粉砂土的有效内摩擦角的解译公式：

 (直剪慢剪) (6.4.6-1)

 (三轴CD) (6.4.6-2)

**6.4.8** 目前海洋基础承载力的可以采用现场载荷试验和高应变法。现场载荷试验费用较大，但可直观获取筒型基础承载力，如需要直接为设计提供依据，应采用慢速维持荷载法进行试验。高应变法费用较低，但需注意，基础沉筒到位后如果立即进行试验，由于沉筒过程对地层的扰动影响，高应变测试后采用凯司法公式（见《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2013）计算得到的承载力会大幅低于实际工程，一般情况下建议沉筒后1个月开展高应变测试。

6.7 岩土动力特性试验

Ⅰ 动力特性指标

**6.7.1** 海洋动力环境复杂，一般需要分析地基基础动力特性，其中地基土的动力参数主要包括土体动强度、动模量和阻尼比等特征。本条规定了取土试验的土样等级，对于黏性土和粉土应采用I级原状土样，对于砂性土除采用冻结法外很难取得原状样，对于海洋工程来说多为重新制样，制样时应保证室内制备土样与天然土样有相同的级配和相对密度。天然砂土的相对密度可以采用原位CPT反演数据或根据砂土物理指标估算。

Ⅱ 动强度

**6.7.3** 振动三轴仪设备需要施加反压，便于试样饱和并提高试验的均匀性。振动波形一般施加正弦波，输出频率需要0.1~10Hz，实际加载一般不大于2Hz，加载频率过高实际加载中波形输出一般不稳定。

**6.7.5** 一般土体动强度需要开展振动过程的不排水试验。对于试验有特殊要求的，可根据需要，进行振动过程的排水试验。

2 本款规定了动三轴试验的破坏准则，一般对于等压固结砂性土，可用超孔隙水压力判别，当超孔隙水压力等于初始有效固结应力时可以认为达到动力破坏，一般与采用动力应变判别准则是相同的。对于黏性土，一般按动力应变破坏准则进行判定。

3 本款规定了动力加载循环次数，对于地震荷载时，一般加载几周次到几十周次，对于风浪流荷载，一般加载几十周次到几千周次。

**6.7.5** 动力加载最大动剪应力出现在试样45°斜面上，所施加的轴向动应力除以2为试样45°斜面上的动剪应力。数据处理分析一般需要按动剪应力等进行换算。

Ⅲ 动模量与阻尼比

**6.7.6** 土体动模量与阻尼比需要联合使用共振柱仪、动三轴仪、动单剪仪进行，需要获得10-6至10-1应变区间内土体的动模量与阻尼比。一般共振柱仪和动三轴仪获得的模量与应变衰减关系联合绘制的曲线并不连续，可用经验公式进行拟合。此外，试验表明，共振柱所得土体最大剪切模量一般与弯曲元测得的土体最大剪切模量较为接近，同步开展时若两者差异较大需进行数据检查并分析原因。

**6.7.9** 利用动三轴试验进行动模量和阻尼比计算公式对于应变小于1%时计算较为准确，当土体应变较大时滞回圈发展不稳定，容易产生畸变，计算可能产生一定误差，尤其是一般动应变超过3%后变形发展迅速，可能迅速进入破坏状态，利用相关公式计算时应注意判别。

Ⅳ 场地卓越周期

**6.7.12** 场地动力特性一般指场地卓越周期及阻尼比，其中场地卓越周是可测定的场地动力参数。

**6.7.13~6.7.16** 地脉动测定的本质是利用场地土体在地球天然背景噪音下的振动响应，通过一定时间的高频数据采集进行谱分析，得到场地卓越周期。我国海洋场地，特别是江浙海域海洋场地一般覆盖层较厚，场地卓越周期较长，一般2~3s。此外，还可以利用公式T=4H/Vs计算，前提是覆盖层厚度及其剪切波速要明确，对于覆盖层厚度未知或钻孔为揭穿覆盖层的场地，不建议采用这一公式估算。

# 7 工 程 物 探

7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 工程物探是海洋工程勘察的重要手段，可以为设计和地质提供重要的基础资料。条件许可时选用多种物探方法探测可以减少多解性。

近年来海洋工程物探仪器设备和导航系统发展较快，本标准将海洋地震勘探方法分为水域地层剖面法和水域多道地震勘探法。相对于水域多道地震勘探法而言，水域地层剖面法一般为单道；根据采用的仪器设备，水域地层剖面法分为浅地层剖面法和中地层剖面法；浅地层剖面仪在测深仪的基础上发展而来，接收单元一般由多个水听器阵组成，激发和接收距离较小，探测时可以实时显示时间剖面或者深度剖面。水域多道地震勘探法一般采用多次覆盖、水平叠加技术，但与地层剖面探测比较，偏移距大，要求震源能量更强。

侧扫声纳以成像为主，能够获得高分辨率的海底图像，由于定位精度相对较低，仅能给出海底地貌、海底障碍物的大概位置。传统多波束系统以测深为主，现有多波束系统也可记录海底反射波的振幅等信息，但相对于侧扫声纳的海底图像成像质量较差。

多波束法和侧扫声纳法可以作为海上筒型基础海底微地貌探测的主要方法，多波束法可以作为海洋工程底质分类探测的辅助方法。

**7.1.2** 科学、严谨的工作流程是工程物探成果质量的保证。根据任务书要求和项目的具体情况，本条的工作流程在具体使用时根据实际情况可以适当调整。

**7.1.3** 物探技术方案是开展工程物探工作的依据和质量保证措施之一，条文所列内容是技术方案的基本要求，在工作中需结合工作实际编制内容全面、具有可操作性的技术方案。

**7.1.4** 海洋工程物探仪器为精密电子仪器，仪器的工作状态和有效性直接影响物探成果的质量和可靠性。由于有些仪器超出检定、校准的有效期，虽然依然可以正常工作，但检测成果不可靠。故物探仪器需同时满足“检定、校准有效期内”和“正常工作状态”的要求。

**7.1.5** 现场试验探测是为了进行观测系统和工作参数的确认和选择。一般情况下，由于物探探测前的探测海域水下地形和地球物理特征条件不明，为了保证成果质量，选择合适的物探方法和工作参数，因此，在现场正式探测前，需进行现场试验探测工作。

**7.1.6** 本条第1款 由于不能保证勘探船直线走航及涌浪的影响，水下拖曳探头距勘探船较远时,以勘探船为基准的拖曳探头导航定位可能会产生较大的误差，因此采用超短基线水下声学定位系统对拖曳探头进行定位。不同海况、船速会导致勘探船的航向不同，因此本条未明确规定水下拖曳探头距勘探船的距离多少时采用超短基线水下声学定位系统。

本条第2款 勘探船提前上线、推迟下线以保证在探测时确保电缆拖直，船只和船尾水下拖曳设备在进测线前对准测线。拖体距离大于后拖电缆长度的2倍，是为了避开船体、尾流及螺旋桨空化等影响。勘探船体一般为铁磁性体，拖曳电缆长度大于3倍勘探船长度是为了减少勘探船对磁法探测的影响。

本条第3款 控制工作航速是为保持拖曳探头的正常工作姿态，保证探测精度、探测分辨率及仪器设备安全的需要。

**7.1.7** 现场观测资料检查是取得高质量数据可靠的重要保证，也是保证海洋工程物探成果准确性的基础。

**7.1.9** 本条第1款 侧扫声纳法、水域地层剖面法、水域多道地震勘探法资料处理和解释软件一般由各仪器厂商或使用单位开发，在正式使用前需经过验证和评审。现场工作及时对数据进行整理和初步解释是为了及时发现异常，便于及时对探测工作作出针对性调整。第3款中物探成果图包括剖面图、等值线图、障碍物分布图、曲线图、统计图等。

7.2 地层结构探测

**7.2.****2**进行地层分层探测，主测线与地质勘探线或其它物探方法的测线重合以便综合分析；进行地质构造探测，主测线垂直于地质构造走向目的是为了在反射时间剖面图上取得最明显的异常反映；布置联络测线的主要目的是进行面积勘探和提高成果精度。

**7.2.3** 本条第1款采用浅地层剖面仪探测海底地质结构，一般以电声和电磁脉冲作为震源，主频一般为3.5kHz~15kHz，探测地层厚度一般不超过30m；采用中地层剖面仪探测海底地质结构，以电火花作为震源，主频一般为200Hz~5kHz，探测地层厚度一般不超过200m。

本条第2款 拖曳式声源和水听器阵应拖曳于船尾涡流区外的目的是为了避开尾流和螺旋桨空化引起的干扰。

**7.2.4**  本条第1款和第2款 水域多道地震勘探法采用多次覆盖方法，可以采用叠加等技术手段压制干扰，提高信噪比。覆盖次数和采集道数有关，采集道数越多，可实现的叠加次数相应也越多，提高探测分辨率。

7.4 障碍物探测

**7.4.1** 海洋水下障碍物的种类多样，从形成条件上分为自然产物和人为造成；从物质成分上分，包括金属与非金属、磁性与非磁性；从掩埋条件分，有裸露和非裸露。对于裸露障碍物可以选用侧扫声纳法或多波束法，磁性障碍物可以选用海洋磁法，非磁性掩埋障碍物一般选择水域地层剖面法。当探测海域缺少相关资料的情况下，需采用侧扫声纳法和水域地层剖面法进行普查，了解整个探测海域非隐蔽水下障碍物的分布，为后续进一步详查工作提供基础。在工作过程中，需充分利用前期勘探成果，为水下障碍物的进一步探测提供基础资料。

**7.4.2** 侧扫声纳扫描量程与水深、探测频率和探测精度有关，选择合理的声纳扫描量程是为了确定合适的测线间距，满足探测精度要求。目标体在不同探测方向上的侧扫声纳图像特征不同，难以判断障碍物的形状通过布设不同方向的侧扫声纳测线，可以获得更准确的障碍物形态和位置信息。考虑到障碍物形态的复杂性，为了查明障碍物的形态特征，多波束法测量时也需要补充测线。

**7.4.3** 水下磁性障碍物的被磁化后所产生的磁场一般较弱，影响范围也有限，主测线垂直目标障碍物的走向可使磁异常在磁场强度曲线上更明显，更利于障碍物的探测。在初步分析发现目标障碍物时布设补充测线作进一步探测，以探明障碍物形态和规模。

**7.4.4** 本条第1款 目前大多侧扫声纳设备测量水深误差较大，计算障碍物的高度时需要对水深进行校正。比例失调是指船速变化造成图像与实际地形地貌的比例失调。

本条第3款 海洋磁法一般采用海洋磁力仪，探测的是磁场总强度*T*，磁场总强度一般校正后转换为磁异常，然后绘制剖面图或平面图；剖面图间距一般以能反映磁异常的变化情况进行控制。根据磁异常大小和分布分析地下障碍物的位置和形状。磁异常*△T*计算公式为：

式中：*T0*为地磁正常场值，*T*d为地磁日变偏差值，*T*s为船磁影响偏差值。

本条第4款 关于涌浪滤波，在外业采集采用硬件压制后，在室内可以用数字滤波的方法对涌浪进一步压制。

关于频率滤波，海况、生物、尾流及螺旋桨空化引起的背景噪声的频带一般较宽，在地层反射剖面记录上常表现为雪花状；机械振动引起的噪声频带一般较窄，在地层反射剖面记录上常表现为条带状；根据噪声和有效波间的频率差异，采用数字频率滤波方法压制干扰。

7.5 管线调查

**7.5.1** 通常情况下，与海洋工程勘测相关的水下管线一般为燃气管、给水管、输油管、光缆、电缆等。直径较大的水下管线与水下障碍物探测方法相同；隐蔽的直径较小的光缆和电缆若采用侧扫声纳法、多波束法、水域地层剖面法和海洋磁法，则难以探明，需要采用电磁感应法探测。

**7.5.2** 采用水域地层剖面法探测水下管线时，若需要初步了解管线的直径，地层剖面仪激发的有效波波长需小于探测管线直径的1/4，管径过小，探测分辨率低或探测不出。

**7.5.4** 本条第2款 海水对电磁波吸收作用较大，感应信号一般较弱，故水下天线需尽量靠近目标电缆，提高信噪比。

7.7原位波速测试

**7.7.1** 单孔法多采用孔口激振，孔内接收的单孔检层法，也常采用孔内一发双收的单孔悬挂式法。跨孔法需采用多个试验孔进行测试，操作较复杂，工作实施也较为困难，对较深地层的波速测试不适用，在近海和潮间带有海水覆盖的场地中，测试难度也较大。岩体声波测试测位置可以选择在地表露头、钻孔中，适用于岩体波速测试。

斯通利波是在两种不同介质的半空间体的交界面上传播的波，是一种波速与两个介质的性质有关的变态瑞利波。斯通利波的存在与介质的弹性拉梅常数和介质密度有关。

单孔悬挂法波速测试采用电磁激震，接收的是斯通利波，而非真实剪切波。悬挂法波速测试所测得的波速大小与土层的纵波速度、剪切波速度及井液的纵波速度有关，在低速松软土层中该值接近并略小于剪切波速，验证后可以作为剪切波的替代速度使用；在基岩或坚硬土层中该值远小于土层的剪切波速度，不能作为剪切波的替代速度使用，但其数值的变化趋势可以作为划分地层的参考依据。

波速值可以应用于：（1）推导岩土体在小应变10-4～10-6条件下的动力参数，如地基的动弹性模量、动剪切模量、动体积模量和动泊松比；（2）场地土的类型划分和场地土层的地震反应分析；（3）在地基勘察中，配合其他测试方法综合评价场地工程性质。

地基的小应变动剪切模量*G*d和动弹性模量*E*d，根据测试的*V*P、*V*s值由下列公式计算：

 （7.7.1-1）

 （7.7.1-2）

 （7.7.1-3）

式中：*V*s、*V*P——地基的剪切波波速和纵波波速（m/s）；

*G*d——地基的动剪切模量（kPa）；

*E*d——地基的动弹性模量（kPa）；

*ρ*——地基的密度（kg/m3）；

*μ*d ——动泊松比。

# 9 勘探平台与钻探取样

9.1 一般规定

**9.1.1** 海上钻探由于受气象、水文、地形、地质、航运及障碍物分布等海况因素的影响较大，为了做好勘探前的准备工作，确保海上勘探作业安全和勘探质量，本条规定了海上作业前需要收集的一些基础性资料内容。

**9.1.2** 条文中当海上风力5级时，风速一般为8.0m/s~10.7m/s，浪高一般为2.0m左右；当海上风力6级时，风速一般为10.8m/s~13.8m/s，浪高一般为3.0m左右。雾的等级分为轻雾、大雾、浓雾、强浓雾、特强浓雾5个等级，浓雾能见度一般为200m~500m，浓雾等级以上时，海上的航行安全不能得到保障。根据航行情况，波高达2.5m~3.0m的海浪对于没有机械动力、仍借助于风力的帆船、小马力的机械船、游艇等小型船只的安全已构成威胁；波高达4.0m~6.0m的巨浪对于1000t以上和万吨以下的中远程的运输作业船舶已构成威胁；水上勘察所用船舶载重量多在几十吨至近千吨不等，本条除了规定遇到灾害性气象条件时应作出限制外，还根据作业船舶条件，对水上作业条件作出限制。

9.2 勘探平台选型

**9.2.1~9.2.3** 本条对勘探平台的类型选择、安全系数及平台搭建等作了规定。对于水深大于50m的勘探平台的选择，需进行专门论证平台的适用性，以保证作业安全。

## 9.3 自升式平台与插桩分析

**9.3.2** 桩腿是将自升式平台托起的结构，常为中空圆柱体结构、三角形桁架结构或四边形桁架结构，底部带有桩靴。

型深是在船舶设计中的一个术语，具体是指在船长中点处，从龙骨板上缘量到干舷甲板横梁上缘的垂直距离。

固桩室是自升式平台用于对桩腿升降装置起到稳固和导向作用的结构。

**9.3.3** 稳定性指受风、海浪、浮冰等荷载作用下依然能维持自身稳定的能力。

**9.3.4** 插桩深度指插桩作业时，桩靴底部高程到泥面高程之间的差值。

穿刺是指在自升式钻井平台预压载或正常作业过程中，因为海底土层支撑的桩基础持力层在巨大的桩腿施加的载荷下突然发生破坏(剪切滑动或冲剪破裂)，桩腿失去平衡的支撑力而快速下沉现象。

浅层海床损失指海床表面受海流或波浪冲刷作用而被侵蚀的现象。

**9.3.6** 按照地基承载力计算方法，对应于不同插桩深度处可以计算得到地基竖向极限承载力。以地基竖向极限承载力为横坐标，插桩深度为纵坐标，可以绘制地基竖向极限承载力-插深曲线。

**9.3.7** 经典土力学极限承载力理论公式，即Tersagi条形基础极限承载力公式。式中，*qu*为地基极限承载力，*cu*为土的粘聚力，*Nc*，*Nq*，*Nr*为承载能力系数，*D*为基础埋深，A为基础宽度，γ*1*为地基以上土的有效重度，γ*2*为地基基线处土的有效重度。

地基竖向极限承载力公式采用经典土力学极限承载力理论公式（即Tersagi条形基础极限承载力公式），并根据地基土的性质和基础的形状等对其各分项进行相应修正。

桩靴基线为桩靴最底部所在位置高度的水平线。

地基土的粘聚力是指地基土壤颗粒之间的相互吸引力和粘着力，是土壤的重要物理性质之一。

桩靴上部土回填需要考虑的情况为：在软土或插深较深砂土中，部分或完全回填可能会发生，需考虑回填对地基承载力的影响；而在坚硬土和砂土中，插深较浅时可不考虑回填对地基承载力的影响。