

ICS

CCS 点击此处添加中国标准文献分类号

DB 21

辽宁省地方标准

DB21/T XXXX—XXXX—XXXX

软土海床资源开发与灾害预警 勘察与测试技术规程

Specification for survey, testing and disaster warning in resource development of
soft soil seabed

征求意见稿

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

辽宁省市场监督管理局 发布

目 次

软土海床资源开发与灾害预警 1

勘察与测试技术规程 1

目 次 I

前 言 II

软土海床资源开发与灾害预警勘察与测试技术规程 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本规定 3

5 自然资源软土海床地质测绘调查 4

6 软土海床致灾荷载调查 5

7 钻探与取样 6

8 船基测试 7

9 室内试验 9

10 软土海床灾害隐患识别与预警 18

11 软土海床灾害预警勘察报告 23

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。

本文件由辽宁省自然资源厅提出并归口。

本文件起草单位：大连理工大学、辽宁地矿建设集团、中国建筑东北设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：王胤、张剑、孙振华、任玉宾、韦桐忠。

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

归口管理部门通讯地址：辽宁省自然资源厅（沈阳市皇姑区北陵大街 29 号），联系电话：024-62789175。

文件起草单位通讯地址：大连理工大学（辽宁省大连市甘井子区凌工路 2 号），联系电话：0411-84702927。

软土海床资源开发与灾害预警勘察与测试技术规程

1 范围

本标准规定了软土海床资源开发中勘察与测试及灾害预警技术的要求。其目的是为软土海床的滑坡等灾害预警提供岩土勘察方法和测试依据，保证在软土海床进行多金属结核、富钴锰结核、水合物等资源的顺利开发，防止部分危险对开发工程造成损失。

本标准以软土海床的资源开发与灾害预警勘察与测试为对象，主要描述适用于软土海床的勘察方法与测试技术及要求。

软土海床的资源开发与灾害预警勘察与测试，除应符合本规范的规定外，尚应符合《工程勘察通用规范》（GB 55017-2021）、《岩土工程勘察规范》（GB/T 50021-2009）、《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ83-2011）及其它国家现行有关标准的规定。

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 40112-2021 地质灾害危险性评估规范
- GB17501 海洋工程地形测量规范
- GB/T 42332-2023 海岛及周边海域地形图测绘规范
- GB/T 40554.1-2021 海洋石油天然气开采安全规程
- GB/T 32864-2016 滑坡防治工程勘察规范
- GB/T 50021-2009 岩土工程勘察规范
- GB/T 50123-2019 土工试验方法标准
- GB 55017 工程勘察通用规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- SY/T 7617-2021 海相页岩地质力学评价规范
- SY/T 6707-2016 海洋井场调查规范
- SY/T 4101-2012 滩海岩土工程勘察技术规范
- SY/T 10030-2018 海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法工作应力设计法
- DZ/T 0327-2019 海洋地质取样技术规程
- JTS 145 港口与航道水文规范
- JTS 144-1-2010 港口工程荷载规范
- JTS 146-2012 水运工程抗震设计规范
- JGJ 83-2011 软土地区岩土工程勘察规程
- JGJ/T 87-2012 建筑工程地质勘探与取样技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 软土 soft clay

天然孔隙比大于或等于1.0、天然含水量大于液限、具有高压缩性、低强度，高灵敏度、低透水性和高流变性，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。

3.2 自然资源软土海床 natural resources seabed

分布多金属结核、富钴锰结核、水合物等资源的软土海床。

3.3 场地 site

自然资源开发现场区域

3.4 灵敏度 sensitivity

原状土与其重塑后立即进行试验的剪切强度之比。

3.5 船基测试 ship based testing

在工程海域现场船上开展的现场测试。

3.6 单剪试验 direct simple shear test

试样有多个侧向剪切环，对试样施加垂直压力后，直接在试样上下面施加剪应力，直至发生剪切破坏的剪切试验。

3.7 共振柱试验 resonant column test

根据共振原理在一个圆柱形土试样上进行振动，改变振动频率使其产生共振，并借以测求试样的动弹性模量及阻尼比等参数的试验。

3.8 弯曲元试验 bender element test

通过对土体试样中的剪切波传播速度进行测量以确定土体的小应变剪切模量试验。

3.9 循环本构关系 cyclic constitutive relation

循环荷载作用下软土海床的应力和应变关系。

3.10 超固结比 over-consolidation ratio

土的先期固结压力与现有土层自重压力之比。

3.11 软土海床灾害 Hazard of soft clay seabed

由于软土特殊物理力学性质而引起的滑坡、沉降等灾害。

3.12 海底滑坡 Underwater landslide

海底未固结的松软沉积物或存在软弱结构面的岩石，在重力作用下沿斜坡发生的快速滑动过程。

3.13 海床沉降 Seabed settlement

海底地表因自然或人为因素发生的缓慢或快速下沉现象。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 在自然资源软土海床进行资源开发的岩土勘察宜按可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个阶段进行勘察，当资源开发工程需要时，应增加施工勘察阶段。
- 4.1.2 可行性研究勘察阶段应以搜集资料为主，结合工程地质测绘、勘探、原位测试和室内试验，初步查明对场址适宜性有影响的特殊岩土的空间展布和工程地质特征。
- 4.1.3 初步勘察阶段应研究前一阶段的成果资料，进一步查明特殊岩土的类型、成因、分布等特征，提出初步的工程措施建议。
- 4.1.4 详细勘察阶段应进行大量探测、原位测试和实验室试验，为灾害预警评估提供精确参数。
- 4.1.5 施工勘察阶段主要为资源开发工程中出现的问题，或验证之前的勘察结果，进行补充勘察。
- 4.1.6 勘察阶段划分及各阶段任务除了满足本规范要求外，还应满足《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定。

4.2 场地勘察等级

- 4.2.1 场地勘察重要性等级的划分应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2009）的规定。
- 4.2.2 软土海床资源开发岩土工程的勘察等级可按工程重要性等级、软土场地和地基的复杂程度划分为甲、乙、丙三级。根据场地和地基的复杂程度，软土地基工程地质勘察等级划分应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 软土海床资源开发工程地质勘察等级划分

工程重要性等级 场地、地基复杂程度	一级	二级	三级
复杂	甲级	甲级	甲级
中等复杂	甲级	乙级	乙级
简单	甲级	乙级	乙级

注：1 勘察级别按表中指标划分分属不同级别时，按最高级别确定。
2 对甲级勘察，地质条件较好时，可降低一级。

表 4.2.3 软土海床地基等级划分

地基等级	场地的复杂程度（符合下列条件之一者）
一级（复杂地基）	1 岩土种类多，极不均匀，性质变化大。 2 严重膨胀、盐渍、污染的特殊性岩土以及其他情况复杂需做专门处理的岩土。
二级（中等复杂地基）	1 岩土种类较多，不均匀，性质变化较大。 2 一般性岩土。
三级（简单地基）	1 岩土种类单一、均匀、性质变化不大。 2 无特殊性岩土。

注：从一级开始，向二级、三级递推，以首先满足为准。

4.2.3 软土海床场地等级应根据场地的复杂程度划分为三级，并应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 软土海床场地等级划分

场地等级	场地的复杂程度（符合下列条件之一者）
一级（复杂场地）	1 场地地震基本烈度大于或等于Ⅶ度，存在可液化土层，发生过较大的软土震陷。 2 地形起伏较大，微地貌单元较多，不良地质作用发育，对地基基础有不良影响。 3 土质变化大，场地处于不同的工程地质单元，地基主要受力层内硬层和基岩面起伏大。 4 场地地质环境或周边环境条件复杂。 5 场地地层分布不稳定，交互层复杂。
二级（中等复杂场地）	1 场地地震基本烈度为Ⅵ度，对建筑物抗震不利区。 2 场地地层分布不稳定，交互层较为复杂。 3 土质变化较大，地基主要受力层内硬层和基岩面起伏较大。 4 地形微起伏，地貌单元较单一。 5 不良地质作用较发育。 6 场地地质环境或周边环境条件较复杂地形地貌一般。
三级（简单场地）	1 场地地震基本烈度小于Ⅵ度，对建筑物抗震有利区。 2 地形地貌简单。 3 地层结构简单。 4 地下水位埋藏深。 5 不良地质现象不发育。

注：1 从一级开始，向二级、三级递推，以首先满足为准。

5 自然资源软土海床地质测绘调查

5.1 一般规定

5.1.1 自然资源海床地质测绘和调查的内容应根据勘察阶段、水深、海底地形、地貌复杂程度综合确定，测绘和调查的成果应作为勘察纲要编制和岩土工程评价的基本资料。

5.2 自然资源海床地质测绘和调查

5.2.1 自然资源海床地质测绘和调查宜包括下列内容：

- 1) 土层的成因年代、埋藏条件、分布范围、应力历史等。
- 2) 场地地形地貌特征和障碍物探测。
- 3) 水位变化幅度及其与潮汐的水力联系，水位观测期间的天气状况等气象和水文条件。
- 4) 工程海域航线及附近航运对工程地质的影响。
- 5) 场区的地震烈度、震害、软土震陷等。
- 6) 拟建场地附近已建建筑物的变形和软土地基处理经验。

5.2.2 自然资源海床地质测绘和调查的范围，应包括拟建场地及其附近相关地段。

5.2.3 自然资源海床地质测绘和调查的比例尺应符合下列规定:

- 1) 可行性研究勘察可选用 1:5000~1:10000。
- 2) 初步勘察可选用 1:2000~1:5000。
- 3) 详细勘察可选用 1:500~1:1000。
- 4) 条件复杂时, 比例尺宜适当放大。
- 4) 对自然资源开发有重要影响的地质单元体, 宜采用扩大比例尺表示。

5.2.4 测绘与调查的成果资料宜包括实际材料图、综合工程地质图、工程地质分区图、综合地质柱状图、工程地质剖面图以及各种素描图、照片和文字材料等。

5.2.5 测绘与调查方法宜参考《海洋工程地形测量规范》(GB17501-2017)。

6 软土海床致灾荷载调查

6.1 一般规定

6.1.1 在软土海床进行自然资源开发时, 勘察应包含致灾荷载调查, 并进行分析和记录, 作为室内试验输入荷载和软土海床灾害识别与预警的依据。

6.1.2 致灾荷载分析应至少包含风荷载、波流荷载、地震作用、海冰作用。

6.2 风荷载

6.2.1 风荷载的调查与监测应结合离岸距离、监测时间选用合适的测风方法, 可采用以下方法:

- 1) 浮标监测: 固定或漂流浮标配备传感器, 长期记录海面风况。
- 2) 船舶观测: 使用手持风速计或船舶自动气象站收集数据, 一般用于补充短期数据。
- 3) 卫星遥感: 采用散射计、微波辐射计、云导风技术等反演风速和风向, 可用于近海或远海监测。
- 4) 雷达监测: 采用多普勒雷达、高频地波雷达等技术实现长期监测, 一般用于近海。

6.2.2 风的强弱应以风速大小来表示。风由长周期部分和短周期部分组成。其中长周期部分一般称为平均风部分, 平均风是定常的, 在给定时间间隔内风力大小、方向均不改变, 其周期常在 10min 以上; 短周期部分是在平均风的基础上产生的脉动, 脉动风体现了大气边界层的紊流特征, 其周期通常只有几秒钟左右, 可近似模拟为零均值的具有各态历经性的平稳随机过程。

6.3 波流荷载

6.3.1 波流荷载主要包括波浪和水流引起的荷载, 应根据监测时间和水深要求选择合适的方法:

- 1) 直接传感器测量法: 结合海洋结构物, 在结构物表面安装传感器, 实现长期监测, 适用水深视结构物水深而定。
- 2) 浮标与潜标系统: 浮标和潜标内置传感器, 用于深水区长期监测。
- 3) 声学方法: 采用声学多普勒流速剖面仪, 发射声波并接收反射信号, 实现波流监测, 一般用于短期监测补充数据。
- 4) 雷达与激光测波: 采用高频雷达和激光雷达, 反演波浪参数, 一般用于浅海长期监测。

6.4 地震作用

6.4.1 软土海床上的地震作用调查, 可根据中国地震动参数区划图(GB 18306-2015)确定地震动参数, 并宜参考临近工程场地的地震动参数取值。

6.4.2 可结合工程需求,采用地震仪、光纤传感器、水声监测等方法获取地震反应谱等关键参数。

6.5 海冰作用

6.5.1 海冰作用调查应根据水深要求选择合适的方法:

1) 遥感监测:可采用高时空分辨率卫星组网、微波辐射反演技术、激光测高技术,可用于深水区监测。

2) 浮标阵列:浮标内置传感器,可用于深水区监测。

3) 声学方法:采用水下声阵,实现浅海区监测。

7 钻探与取样

7.1 一般规定

7.1.1 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与安全交底。

7.1.2 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。

7.2 钻探设备及机具选择

7.2.1 海上钻探设备及机具选择应根据作业海域海况和钻孔技术要求等确定,宜参考《软土地区岩土工程勘察规程》(JGJ 83-2011)。

7.2.2 根据海上钻探作业特点,宜选择具有波浪补偿功能的钻机和隔水套管。

7.2.3 勘探作业平台载重安全系数应大于5,钻探作业所需的钻场面积不宜小于50m²。

7.2.4 勘探作业平台应搭建牢固、布置合理,并设置安全防护措施。

7.3 钻探方法

7.3.1 勘探作业平台抛锚定位锚型、锚缆和系缆长度应按作业海域海况和海底底质选择。抛锚定位作业应选择能见度好,风浪小的时间段。

7.3.2 钻孔孔身结构应根据钻孔任务书要求确定,并应采取护孔技术措施。

7.3.3 孔口管规格和长度应根据水深、潮差、浪高及钻孔技术要求等因素确定;采用伸缩套管作导向套管时,其长度应满足最大潮差与波浪起伏要求。

7.3.4 孔口管安装应选在风浪小的时段,其轴线应与钻机立轴、天车保持在同一垂线。

7.3.5 钻进方法的钻进工艺应根据钻探作业区域海况、地层特性和钻孔技术要求等确定。钻进回次进尺不应大于2m。

7.3.6 钻孔冲洗液和护壁堵漏材料应根据钻孔技术要求、地层、钻进方法、设备条件和环境保护要求等进行选择。当采用泥浆护壁钻进工艺时,泥浆性能应根据地层和海水特性调整。

7.3.7 钻孔孔内原位试验宜在固定式勘探平台上进行;当在漂浮式勘探平台进行孔内原位试验时,应保持平台稳定,并采用多重套管。

7.3.8 钻探方法除符合本规范规定外，应符合《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定。

7.4 取样要求和方法

7.4.1 岩芯采取率应根据钻孔技术要求、岩土层性质确定，并应符合表 7.4.1 的规定。

表 7.4.1 岩芯采取率

岩土层	岩芯采取率（%）
黏土层	≥90
粉土层	≥85
砂土层	≥70
碎石土层	≥70
破碎岩层	≥70
完整岩层	≥90

7.4.2 试样采取应根据土层特性和土试样质量等级确定，土试样质量等级划分应符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 土试样质量等级划分

等级	扰动程度	试验内容
I	不扰动	土类定名、含水率、密度、力学性质试样
II	轻微扰动	土类定名、含水率、密度
III	显著扰动	土类定名、含水率
IV	完全扰动	土类定名

7.4.3 海底底质采样应在孔口管安装前进行。底质采样可分为表层采样和柱状采样。表层采样可采用柱式采样器或箱式采样器；柱状采样可使用重力采样器或振动采样器。柱状样直径不宜小于 65mm，黏性土柱状样长度不宜小于 2m；砂性土柱状样长度不宜小于 0.5m；表层底质采样量不宜小于 1kg。

7.4.4 土样标识应清晰、详实，对 I、II、III 级试样应妥善封存；I、II 级试样运输过程中应避免振动；对易于振动液化和水分离析的土试样，宜在现场土工试验室进行试验。

7.4.5 取样方法除符合本规范规定外，应符合《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定。

7.5 钻探编录

7.5.1 钻探编录应及时、清晰、详实。记录应按钻进回次逐段填写，不得事后追记。

7.5.2 记录内容应包括钻探作业海域海况、设备类型、套管规格和长度、钻孔护壁和堵漏、钻进和取样、孔内异常和处理情况等。

7.5.3 钻孔终孔后，应进行钻孔验收和质量评定。

7.5.4 钻探编录除符合本规范规定外，应符合《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定。

8 船基测试

8.1 一般规定

8.1.1 船基测试应至少包括微型十字板剪切试验、海洋土落锥试验、全流动贯入试验。

8.2 微型十字板剪切试验

8.2.1 微型十字板剪切仪应由十字板头、钻杆和扭力装置组成，操作步骤应满足下列要求：

- 1) 试验前进行十字板仪率定，精度为1~2kPa；
- 2) 十字板插入到试验深度后，应静止2~3min，方可开始试验；
- 3) 等速扭转板头，在土体中形成圆柱破坏面，2min内测得峰值强度；当读数出现峰值或稳定值后，再继续旋转测读1min，其峰值读数或稳定值读数即为原状土剪切破坏时量表最大读数；
- 4) 重塑土的不排水抗剪强度，在峰值强度出现后，顺剪切扭转方向连续转动6圈后测定；
- 5) 逆时针快速转动手柄十余圈，使轴杆与十字板头脱离，再顺时针方向匀速转动手柄，测记轴杆与土摩擦时的量表读数；
- 6) 试验完毕，取出钻杆和十字板头。清洗十字板头，检查钻杆是否弯曲。

8.2.2 采用微型十字板剪切仪测量的结果，应按下式计算软土原状土的不排水抗剪强度、重塑土的不排水抗剪强度、土的灵敏度：

$$C_u = 10K'_2 C (R_y - R_g) \quad (8.2.1)$$

$$C'_u = 10K'_2 C (R_c - R_g) \quad (8.2.2)$$

$$K' = \frac{2L_{1b}}{\pi D^2 H \left(1 + \frac{D}{3H}\right)} \quad (8.2.3)$$

$$S_t = C_u / C'_u \quad (8.2.4)$$

式中： C_u —原状土不排水抗剪强度（kPa）；

C'_u —重塑土不排水抗剪强度（kPa）；

K' —与微型十字板头尺寸有关的常数（ cm^{-3} ）；

R_y —原状土剪切破坏时的读数；

R_c —重塑土剪切破坏时的读数；

R_g —钻杆与土摩擦时的量表最大读数；

D —十字板头直径（cm）；

H —十字板头高度（cm）；

S_t ——土的灵敏度。

8.3 海洋土落锥试验

8.3.1 落锥仪可测量原状土不排水剪切强度和重塑试样的剪切强度，且测量范围至少为 0.01~200kPa。试验步骤应符合以下规定：

- 1) 根据试验土的强度选择锥体类型；
- 2) 将试样置于锥架下，使锥顶接触试样；
- 3) 将锥体从磁铁固定器中释放出来并测量穿透深度；

4) 对照试样的剪切强度表确定土的抗剪强度。

表 8.3-2 试样的剪切强度表

椎体质量 (g)	椎体角度 (°)	贯入深度 (mm)	不排水剪切强度 (kPa)
10	60	5.0-20.0	0.063-1.0
60	60	5.0-15.0	0.67-6.0
100	30	5.0-15.0	4.5-40
400	30	4.0-15.0	18-250

室内试验原状土的抗剪强度 (s) 与锥的重量 (Q) 成正比, 与锥在试样中的贯入深度 (h) 的平方成反比: $s = K - \frac{Q}{h^2}$ 。比例常数 (K) 主要取决于圆锥体的角度和粘土的敏感性。

8.4 全流动贯入试验

8.4.1 对不排水剪切强度低于 20kPa 的黏土样和粉质土样应进行全流动贯入试验 (T-bar 试验), 根据 T-bar 连续贯入土样获得贯入阻力-贯入深度曲线, 通过计算转换, 获得土样的不排水剪切强度等参数。全流动贯入仪由 T 形探头、刚性细杆、圆柱形金属外壳、压力传感器和底座组成。试验方法应符合以下规定:

- 1) 设备安装: T-bar 探头传感器分别与 12V 直流电源和数据采集卡连接, 有轨电机分别与驱动器 和 220V 电源连接, 驱动器与电机控制终端通过端口连接, 数据采集卡与终端通过端口连接。
- 2) 探头标定: 进行 T-bar 试验之前, 均需进行探头标定, 至少进行 5 组。标定方法为: 在探头上 施加已知荷载, 记录数据采集终端输出的电压值, 绘制应力-电压曲线, 得到线性关系, 完成标定。
- 3) 测试: 在作业前, 对 T-bar 进行测试, 若探头推进速度缓慢、匀速且平稳, 数据采集终端数值 稳定, 方可开始作业。土样要求为圆柱土样, 直径至少 70 mm, 每次试验所需土样长度不小于 300 mm。
- 4) 操作: 设置参数: 打开电机控制终端, 输入速度参数为 2mm/s, 探头下贯位移参数为 4cm~8cm。 放置土样: 将试验土样放置在 T-bar 便携式工作架下部, 并通过侧限固定好土样, 通过电机调节 T-bar 探头高度与土样表面高度一致。
- 5) 贯入测试: 连通传感器开关, 运行数据采集软件; 通过控制系统控制电机, 带动装置上的探头 和探杆垂直贯入到样品内部; 探头到达指定位移 (贯入试样深度 8cm 处), 立即停止下贯, 得到探头 阻力的实时电压信号, 导出采集终端数据, 完成一次 T-bar 贯入; 做循环试验时, 下贯完成后, 以缓慢 速度控制探头向上移动至土体指定位置 (贯入试样深度 4cm 处), 再次下贯, 持续进行 10 次; 试验完 成后, 将探头移出土样, 切断电源, 清洗擦干探头。
- 6) 成果处理: 根据应力-电压线性关系及电压变化值可得到阻力值, 进而绘制阻力-深度 (q-z) 曲 线。根据贯入曲线的线型特征, 获取单次贯入试验最大阻力区间平均值作为一次贯入的阻力值, 从而计 算得到不排水抗剪强度值; 获取第10次循环贯入阻力区间平均值作为阻力值, 从而计算得到残余强度值。

9 室内试验

9.1 一般规定

9.1.1 应根据现场测试数据, 对土样进行分层, 来规划高级室内土工试验。优先做如下高级实验; 分 级加载标准固结试验或常应变控制加载固结试验、静态单剪试验、静三轴试验、循环单剪试验、动三轴 试验。

9.1.2 静态试验时,根据土样的埋深以及容重、超固结比 OCR,计算土样所处的有效应力环境,在实验室内进行饱和预固结,恢复到原位应力状态下,进行试验。根据静态实验结果与现场测试结果解析曲线进行对比标定,从而获取全孔深的静态参数。

9.1.3 根据实验过程数据,判断土样的扰动等级;并分析实验数据的可靠性与精度,可结合工程经验,来对实验结果进行修正。

9.2 分级加载标准固结试验

9.2.1 固结容器应由环刀、护环、透水版、加压上盖和量表架等组成。仪器的技术性能和尺寸参数应符合现行国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019)的相关规定。分级加载标准固结试验应按照下列步骤进行:

- 1) 根据工程需要,切取原状土试样或制备给定密度与含水率的扰动土试样。
- 2) 在固结容器内放置护环、透水版和薄滤纸,将带有环刀的试样小心装入护环,然后在试样上放薄滤纸、透水版和加压盖板,置于加压框架下,对准加压框架的正中,安装量表。
- 3) 为保证试样与仪器上下各部件之间接触良好,应施加 1kPa 的预压压力,然后调整量表,使读数为零。
- 4) 确定需要施加的各级压力。加压等级宜为 12.5kPa、25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、400kPa、800kPa、1600kPa、3200kPa。最后一级的压力应大于上覆土层的计算压力 100kPa~200kPa。
- 5) 需要确定原状土的先期固结压力时,加压率宜小于 1,可采用 0.5 或 0.25。最后一级压力应使 $e\text{-}lgp$ 曲线下段出现较长的直线段。
- 6) 第 1 级压力的大小视土的软硬程度宜采用 12.5kPa、25.0kPa 或 50.0kPa (第 1 级实加压力应减去预压压力)。只需测定压缩系数时,最大压力不小于 400kPa。
- 7) 需测定沉降速率时,加压后宜按下列时间顺序测量表读数: 6s、15s、1min、2min15s、4min、6min15s、9min、12min15s、16min、20min15s、25min、30min15s、36min、42min15s、49min、64min、100min、200min、400min、23h 和 24h 至稳定为止。
- 8) 当不需要测定沉降速率时,稳定标准规定为每级压力下固结 24h 或试样变形每小时变化不大于 0.01mm。测记稳定读数后,再施加第 2 级压力。依次逐级加压至试验结束。
- 9) 需要做回弹实验时,可在某级压力固结稳定后卸压,直至卸至第 1 级压力。每次卸压后的回弹稳定标准与加压相同,并测记每级压力及最后一级压力时的回弹量。
- 10) 需要做次固结沉降实验时,可在主固结实验结束继续实验至固结稳为止。
- 11) 实验结束后,迅速拆除仪器各部件,取出带环刀的试样。需测定试验后含水率时,则用干滤纸吸去试样两端表面上的水,测定其含水率。

9.2.2 分级加载固结试验各项指标计算应符合下列规定:

- 1) 试样的初始孔隙比 e_0 应按下列式计算:

$$e_0 = \frac{\rho_w G_s (1 + 0.01 w_0)}{\rho_0} - 1 \quad (9.2.1)$$

式中: e_0 —初始孔隙比。

- 2) 各级压力下固结稳定后的孔隙比 e_i 应按照下列式计算:

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \frac{\sum \Delta h_i}{h_0} \quad (9.2.2)$$

式中: e_i —某级压力下的孔隙比;

$\sum \Delta h_i$ —某级压力下试样的高度总变形量 (cm);

h_0 —试样初始高度 (cm)。

- 3) 某一压力范围内的压缩系数 a_v 应按照下列式计算:

$$a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \times 10^3 \quad (9.2.3)$$

式中： a_v —压缩系数（ MPa^{-1} ）；

p_i —某一单位压力值（ kPa ）。

4) 某一压力范围内的压缩模量 E_s 和体积压缩系数 m_v 应按下列公式计算：

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a_v} \quad (9.2.4)$$

式中： E_s —压缩模量（ MPa ）；

m_v —体积压缩系数（ MPa^{-1} ）。

5) 压缩指数 C_c 及回弹指数 C_s （ C_c 即 e - $\lg p$ 曲线直线段的斜率。用同样的方法在回弹支上求其平均斜率，即 C_s ）应按下列公式计算：

$$C_c \text{ 或 } C_s = \frac{e_i - e_{i+1}}{\lg p_{i+1} - \lg p_i} \quad (9.2.5)$$

式中： C_c —压缩指数；

C_s —回弹指数。

9.2.3 固结系数 C_v 、次固结系数 C_a 、先期固结压力 p_c 的确定方法可按《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）的相关规定。

9.3 应变控制加荷固结试验

9.3.1 所用的仪器设备应符合《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）的相关规定。应变控制式加荷固结实验应按下列步骤进行：

1) 制备试样；

2) 测定试样密度和含水率；

3) 将固结容器底部连接孔隙水压力传感器的阀门打开，用无气水排除底部滞留的气泡；

4) 将装有试样的环刀放入护环内，装入固结容器，压入密封圈内。试样上放薄滤纸、透水板、上盖和加压盖板，用螺丝拧紧，使环刀和护环与底座密封。然后将固结仪放置到轴向加荷设备正中。在组装固结仪时，孔隙水压力测量系统不应带入气体；

5) 装上位移传感器，并对试样施加 1kPa 的设置压力，然后调整孔隙水压力和位移传感器的初始读数或零读数；

6) 选择适宜的应变速率。其标准应使在试验时的任何时间试样底部产生的孔隙水压力为施加垂直压力的 3%~20%。应变速率可按表 9.3.1 选择。试验时，当超孔隙水压力值超出建议的范围时，可调整应变速率。

表 9.3.1 应变速率

液限 w_L (%)	应变速率 ε (%/min)	液限 w_L (%)	应变速率 ε (%/min)
0~40	0.04	80~100	0.001
40~60	0.01	100~120	0.0004
60~80	0.004	120~140	0.0001

7) 接通控制系统、采集系统和加压设备的电源，预热 30min，采集初始读数。在所选的常应变速率下，施加轴向荷载，使产生轴应变。

8) 数据采集时间间隔。在历时前 10min 内间隔 1min；随后的 1h 以内间隔 5min；1h 以后间隔 15min 采集 1 次轴荷载、超孔隙水压力和变形值。

9) 连续加荷一直到预期应力或应变为止。当轴向荷载施加完成后，在轴向荷载不变或变形不变的

条件下使孔隙水压力消散。

10) 在试验时, 需获得次固结数据时, 在所需轴向荷载时中断控制应变加荷, 并保持该荷载不变条件下, 按《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019) 规定的时间顺序记录变形值, 一直延续至变形和对数时间关系曲线上呈现一次固结部分线性特性阶段为止。若需进一步加荷, 则在先前常应变速率条件下, 恢复控制应变的轴向加荷。

11) 当要求回弹或卸荷特性时, 试样在等于加荷时的应变速率条件下卸荷。卸荷时关闭孔隙水压力测量系统。回弹完成后, 打开孔隙水压力测量系统, 监测孔隙水压力, 并允许其消散。

12) 所有试验完成后, 从固结仪中取出整个试样, 称量、烘干, 求得干密度及含水率。

9.3.2 应变控制式加荷固结实验指标应按下列规定计算:

- 1) 试样的初始孔隙比 e_0 应按照本标准式(9.2.2-1);
- 2) 任意时刻试样的孔隙比 e_i 应按本标准式(9.2.2-2);
- 3) 任意时刻试样的有效压力 σ'_i 应按下列式计算:

$$\sigma'_i = \sigma_i - \frac{2}{3}u_b \quad (9.3.1)$$

- 4) 某一时刻范围内的压缩系数 a_v 应按本标准式(9.2.2-3)计算;
- 5) 某一压力范围内压缩模量 E_s 和体积压缩系数 m_v 应按本标准式(9.2.2-4)、式(9.2.2-5)计算;
- 6) 压缩指数 C_c 和回弹指数 C_s 应按本标准式(9.2.2-6)计算;
- 7) 任意时刻 t 的固结系数 C_v 应按下列式计算:

$$C_v = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t} \frac{h^2}{2m_v u_b} \quad (9.3.2)$$

式中: $\Delta \varepsilon$ —两读数间的应变变化(%);

h —两读数间的试样平均高度(cm);

Δt —两读数间的历时(s);

u'_b —两读数间试样底部测得的孔隙水压力平均值(kPa);

9.4 静态直剪试验

9.4.1 静态直剪试验应包括快剪、固结快剪和慢剪, 试验仪器及方法应符合《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 的相关规定。

9.5 单调加载单剪试验

9.5.1 单调单剪试验加荷方式为应变控制式, 应变控制式反复直剪仪应包括变速设备、可逆电动机和反推夹具, 相关设备应符合《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019) 相关规定。试样制备应按下列步骤进行:

1) 用环刀制样法切取制备试验试样。操作步骤应符合《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019) 相关规定。

2) 将试样放置在剪切盒中, 再将剪切盒安装在试验机上。

3) 给试样施加竖向固结应力。

4) 固结稳定后, 将试样的固结压力卸载至所需的超固结比。

5) 通过控制软件, 保持试样高度不变, 在试样底部施加水平位移, 粘性土单剪试验的剪切速率应变为4.5%/h。

6) 当剪应变达到 20%时, 停止试验。

9.5.2 试验结果可得到一定条件下土体的应力应变曲线, 若曲线为硬化型, 则取 15%应变对于的应力为土体的强度, 若为软化型, 则选取峰值点作为土体的强度。

9.6 循环单剪试验

9.6.1 循环单剪试验加荷方式为应变控制式，应变控制式反复直剪仪应包括变速设备、可逆电动机和反推夹具，相关设备应符合《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）相关规定。

9.6.2 试样制备应按下列步骤进行：

- 1) 用环刀制样法切取制备试验试样。操作步骤与本规程第9.6.1条相同。
- 2) 将试样放置在剪切盒中，再将剪切盒安装在试验机上。
- 3) 给试样施加竖向固结应力。
- 4) 固结稳定后，将试样的固结压力卸载至所需的有效应力，具体按照现场荷载条件确定。
- 5) 卸载稳定后，保持试样高度不变，在试样底部施加循环剪应变（根据要求的动剪应变幅值和振动频率选择合适的正弦曲线），施加循环荷载后，当试样达到规定应变的上限时则停止剪切阶段。

9.6.3 试验结果应采用固结不排水振动试验条件得到动强度特性。

9.7 共振柱试验

9.7.1 宜制备多个性质相同的试样.在不同周围压力 and 不同固结比下进行试验。周围压力和固结比宜根据工程实际确定。可采用 1 个~4 个周围压力，1 个~3 个固结比。

9.7.2 所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1) 共振柱试验仪：按试样约束条件，可分为一端固定一端自由及一端固定一端用弹簧和阻尼器支承两类；按激振方式，可分为稳态强迫振动法和自由振动法两类；按振动方式，可分为扭转振动和纵向振动两类。
- 2) 压力室：内部置放激振器、加速度计及试样压力室底座和试样上压盖板应具有辐射状的凸条。
- 3) 静力控制系统：用于施加周围压力、轴向压力、反压力，包括储气罐、调压阀、放气阀、压力表和管路等。
- 4) 激振控制系统：包括信号发生器、功率放大器、D/A转换器和计算机。
- 5) 量测系统：包括加速度计、电荷放大器、频率计、示波器或A/D转换器和计算机。

9.7.3 试样制备应符合下列规定：

- 1) 本试验采用的试样直径为 50mm，试样高度为直径的 2 倍~2.5 倍；
- 2) 原状土样的试样制备应按下列步骤进行：
 - a) 对于较软的土样，先用钢丝锯或削刀切取一稍大于规定尺寸的土柱，放在切土盘的上、下圆盘之间。再用钢丝锯或削土刀紧靠侧板，由上往下细心切削，边切削边转动圆盘，直至样的直径被削成规定的直径为止。然后按试样高度的要求，削平上下两端。对于直径为 10cm 的软黏土样，可先用原状分样器分成 3 个土柱，再按上述的方法切削成直径为 39.1mm 的试样；
 - b) 对于较硬的土样，先用削土刀或钢丝锯切取一稍大于规定尺寸的土柱，上、下两端削平，按试样要求的层次方向放在切土架上，用切土器切削。先在切土器刀口内壁涂上一薄层油，将切土器的刀口对准土样顶面，边削土边压切土器，直至切削到比要求的试样高度高约 2cm 为止，然后拆开切土器，将试样取出，按要求的高度将两端削平。试样的两端面应平整，互相平行，侧面垂直，上下均匀。在切样过程中，当试样表面因遇砾石而成孔洞时，允许用切削下的余土填补；
 - c) 将切削好的试样称量，直径为 101.0mm 的试样应准确至 1g；直径为 61.8mm 和 39.1mm 的试样应准确至 0.1g。取切下的余土，平行测定含水率，取其平均值作为试样的含水率。试样高度和直径用卡尺量测，试样的平均直径应按下式计算：

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (9.7.3)$$

式中： D_0 —试样平均直径（mm）；

D_1 、 D_2 、 D_3 —试样上、中、下部位的直径（mm）。

d) 对于特别坚硬的和很不均匀的土样，当不易切成平整、均匀的圆柱体时，允许切成与规定直径接近的柱体，按所需试样高度将上下两端削平，称取质量，然后包上橡皮膜用浮称法称试样的质量，并换算出试样的体积和平均直径。

2) 扰动土样的试样制备应按《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）的相关规定进行制备。

a) 选取一定数量的代表性土样。直径为 39.1mm 的试样约取 2kg，直径为 61.8mm 和 101.0mm 试样分别取 10kg 和 20kg。经风干、碾碎、过筛，筛的孔径应符合《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）的规定，测定风干含水率，按要求的含水率算出所需加水量；

表 9.7.3 土样粒径与试样直径的关系（mm）

试样直径 D	最大允许粒径 d_{max}
39.1	$\frac{1}{10}D$
61.8	$\frac{1}{10}D$
101.0	$\frac{1}{5}D$

b) 将需加的水量喷洒到土料上拌匀，稍静置后装入塑料袋然后置于密闭容器内至少 20h，使含水率均匀。取出土料复测其含水率。含水率的最大允许差值应为 $\pm 1\%$ 当不符合要求时，应调整含水率至符合要求为止；

c) 击样筒的内径应与试样直径相同。击锤的直径宜小于试样直径，也可采用与试样直径相等的击锤。击样筒壁在使用前应洗擦干净，涂一薄层凡士林；

d) 根据要求的干密度，称取所需土质量。按试样高度分层击实，粉土分 3 层~5 层，黏土分 5 层~8 层击实。各层土料质量相等。每层击实至要求高度后，将表面刨毛，再加第 2 层土料。如此继续进行，直至击实最后一层。将击样筒中的试样两端整平，取出称其质量。

3) 砂性土的试样制备应按下列步骤进行：

a) 根据试验要求的试样干密度和试样体积称取所需风干砂样质量，分三等份，在水中煮沸，冷却后待用；

b) 开孔隙压力阀及量管阀，使压力室底座充水。将煮沸过的透水板滑入压力室底座上，并用橡皮带把透水板包扎在底座上，以防砂土漏入底座中。关孔隙压力阀及量管阀，将橡皮膜的一端套在压力室底座上并扎紧，将对开模套在底座上，将橡皮膜的上端翻出，然后抽气，使橡皮膜贴紧对开模内壁；

c) 在橡皮膜内连脱先水约达试样高的 1 用长小将煮沸冷却的一份砂样装入膜中，填至该层要求高度。对含有细粒土和要求高密度的试样，可采用干砂制备，用水头饱和或反压力饱和；

d) 第 1 层砂样填完后，继续注水至试样高度的 $\frac{2}{3}$ ，再装第 2 层砂样。如此继续装样，直至模内装满为止。如果要求干密度较大，则可在填砂过程中轻轻敲打对开模，使所称出的砂样填满规定的体积。然后放上透水板、试样帽，翻起橡皮膜，并扎紧在试样帽上；

e) 开量管阀降低量管，使管内水面低于试样中心高程以下约 0.2m，当试样直径为 101mm 时，应低于试样中心高程以下约 0.5m。在试样内产生一定负压，使试样能站立。拆除对开模，测量试样高度与直径应符合本标准第 9.7.2 条第 2 款第 3 项的规定，复核试样干密度。各试样之间的干密度最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。

9.8 不固结不排水静三轴试验

9.8.1 不固结不排水静三轴试验应采用静三轴仪进行，其组成包括主机（压力室和加载器）、静力控制系统、动力控制系统、量测系统、数据采集和处理系统，相关设备应符合《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）相关规定。

9.8.2 操作步骤应符合下列规定：

1) 试样制备：试样高度 h 与直径 D 之比(h/D)应为2.0~2.5, 直径 D 分别为39.1mm、61.8mm及101.0mm。先用钢丝锯或削土刀切取一稍大于规定尺寸的土柱, 放在切土盘的上、下圆盘之间。再用钢丝锯或削土刀紧靠侧板, 由上往下细心切削, 边切削边转动圆盘, 直至土样的直径被削成规定的直径为止。然后按试样高度的要求, 削平上下两端。对于直径为10cm的软黏土土样, 可先用原状土分样器分成3个土柱, 再按上述的方法切削成直径为39.1mm的试样。

2) 试样饱和：试样装好后装上压力室罩。施加所需的周围压力。周围压力大小应与工程的实际小主应力 σ_3 相适应, 并尽可能使最大周围压力与土体的最大实际小主应力 σ_3 大致相等。具体压力按照现场荷载条件操作。带等向固结完毕后, 分级施加围压, 计算每级周围压力下的孔隙压力增量 Δu , 并与周围压力增量 $\Delta\sigma_3$ 比较, 当孔隙水压力增量与周围压力增量之比 $\Delta u / \Delta\sigma_3 > 0.98$ 时, 认为试样饱和; 否则应按上述操作重复, 直至试样饱和为止。反压饱和完毕后施加轴向力完成等向固结。

3) 剪切试样：剪应变速率按照第三方指导单位的技术要求指标执行。

4) 试验结束后, 关闭电动机, 下降升降台, 开排气孔, 排去压力室内的水, 拆除压力室罩, 揩干试样周围的余水, 脱去试样外的橡皮膜, 描述破坏后形状, 称试样质量, 测定试验后含水率。

9.9 固结不排水静三轴试验

9.9.1 固结不排水静三轴试验应采用静三轴仪进行, 相关设备应符合本规范第9.8.1条相关规定。

9.9.2 操作步骤应符合下列规定：

1) 试样制备：可按不固结不排水静三轴试验试样制备进行。

2) 试样饱和与固结：可按不固结不排水静三轴试验试样饱和进行。

3) 试样安装：

a) 开孔隙压力阀及量管阀, 使压力室底座充水排气, 并关阀。然后放上试样, 试样上端放一湿滤纸及透水板。在其周围贴上7条~9条浸湿的滤纸条, 滤纸条宽度为试样直径的1/5~1/6。滤纸条两端与透水石连接, 当要施加反压力饱和试样时, 所贴的滤纸条必须中间断开约试样高度的1/4, 或自底部向上贴至试样高度3/4处。

b) 将橡皮膜套在承膜筒内, 两端翻出筒外, 从吸气孔吸气, 使膜贴紧承膜筒内壁, 套在试样外, 放气, 翻起橡皮膜的两端, 取出承膜筒。用橡皮圈将橡皮膜分别扎紧在压力室底座和试样帽上。

c) 用软刷子或双手自下向上轻轻按抚试样, 以排除试样与橡皮膜之间的气泡。对于饱和软黏土, 可开孔隙压力阀及量管阀, 使水徐徐流入试样与橡皮膜之间, 以排除夹气, 然后关闭。

d) 开排水管阀, 使水从试样帽徐徐流出以排除管路中气泡, 并将试样帽置于试样顶端。排除顶端气泡, 将橡皮膜扎紧在试样帽上。

e) 降低排水管, 使其水面至试样中心高程以下20cm~40cm, 吸出试样与橡皮膜之间多余水分, 然后关排水管阀。

f) 装上压力室罩。安装时应先将活塞提升, 以防碰撞试样, 压力室罩安放后, 将活塞对准试样帽中心, 并均匀地旋紧螺丝。开排气孔, 向压力室充水, 当压力室内快注满水时, 降低进水速度, 水从排气孔溢出时, 关闭排气孔。

4) 试样排水固结：

a) 使量管水面位于试样中心高度处, 开量管阀, 测读传感器, 记下孔隙压力起始读数, 然后关量管阀。

b) 关体变传感器或体变管阀及孔隙压力阀, 开周围压力阀, 施加所需的周围压力。周围压力大小应与工程的实际小主应力相适应, 并尽可能使最大周围压力与土体的最大实际小主应力大致相等。具体技术要求可按照现场情况确定。

c) 打开孔隙压力阀, 测记稳定后的孔隙压力读数, 减去孔隙压力计起始读数, 即为周围压力与试样的初始孔隙压力。

d) 开排水管阀, 按0min、0.25min、1min、4min、9min...时间测记排水读数及孔隙压力计读数。固结度至少应达到95%, 固结过程中可随时绘制排水量 ΔV 与时间平方根或时间对数曲线及孔隙压力消散度与时间对数曲线。

e) 当要求对试样施加反压力时, 关体变管阀, 增大周围压力, 使周围压力与反压力之差等于原来选定的周围压力, 记录稳定的孔隙压力读数和体变管水面读数作为固结前的起始读数。

f) 开体变管阀, 让试样通过体变管排水, 并应按本操作b~d进行排水固结。

g) 固结完成后, 关排水管阀或体变管阀, 记下体变管或排水管和孔隙压力的读数。开动试验机, 到轴向力读数开始微动时, 表示活塞已与试样接触, 记下轴向位移读数, 即为固结下沉量 Δh 。依此算出固结后试样高度 h_c 。然后将轴向力和轴向位移读数都调至零。

h) 其余几个试样按同样方法安装试样, 并在不同周围压力下排水固结。

5) 试样剪切:

a) 剪应变速率应符合《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019)相关规定。

b) 试验结束后, 关闭电动机, 下降升降台, 开排气孔, 排去压力室内的水, 拆除压力室罩, 揩干试样周围的余水, 脱去试样外的橡皮膜, 描述破坏后形状, 称试样质量, 测定试验后含水率。

9.10 固结排水静三轴试验

9.10.1 固结排水静三轴试验应采用静三轴仪进行, 相关设备应符合本规范第9.8.1条相关规定。

9.10.2 固结排水静三轴试验步骤可按第9.8.2条进行试样制备、饱和、固结、安装。剪切试样时应保持排水阀打开。

9.10.3 数据结果处理可参考《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019)相关规定进行计算。

9.11 固结不排水动三轴试验

9.11.1 固结不排水动三轴试验应采用动三轴仪进行, 其组成应包括主机(压力室和激振器)、静力控制系统、动力控制系统、量测系统、数据采集和处理系统。相关设备应符合《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019)相关规定。

9.11.2 操作步骤应符合以下要求:

1) 试样制备: 试验采用的试样最小直径为39.1mm, 最大直径为101mm, 高度以试样直径的2~2.5倍为宜。先用钢丝锯或削土刀切取一稍大于规定尺寸的土柱, 放在切土盘的上、下圆盘之间。再用钢丝锯或削土刀紧靠侧板, 由上往下细心切削, 边切削边转动圆盘, 直至土样的直径被削成规定的直径为止。然后按试样高度的要求, 削平上下两端。对于直径为10cm的软黏土土样, 可先用原状土分样器分成3个土柱, 再按上述的方法切削成直径为39.1mm的试样。

2) 试样饱和: 可按第9.9.2条进行。

3) 试样安装: 可按第9.9.2条进行。

4) 试样固结:

a) 等向固结应先对试样施加20kPa的侧压力, 然后逐级施加均等的周围压力和轴向压力, 直到周围压力和轴向压力相等并达到预定压力;

b) 不等向固结应在等向固结变形稳定后, 逐级增加轴向压力, 直到预定的轴向压力, 加压时勿使试样产生过大的变形;

c) 对施加反压力的试样应按不固结不排水静三轴试验的反压力饱和法施加反压力;

d) 施加压力后打开排水阀或体变管阀和反压力阀, 使试样排水固结。固结稳定标准, 对黏土和粉土试样, 1h内固结排水量变化不大于0.1cm³;

e) 固结完成后关排水阀, 并计算振前干密度。

5) 剪切试样:

a) 试验中应测定应力、应变和孔隙水压力的变化过程, 根据一定的试样破或孔隙水压力等于周

围压力，也可根据具体工程情况选取。

b) 试样固结好后，在计算机控制界面中设定试验方案，包括动荷载大小、振动频率、振动波形、振动次数等。

c) 在计算机控制界面中新建试验数据存储的文件。

d) 关闭排水阀，并检查管路各个开关的状态，确认活塞轴上、下锁定处于解除状态。

e) 当所有工作检查完毕，并确定无误后，点击计算机控制界面的开始按钮，试验开始。

f) 当试样达到破坏标准后，再振 5 周~10 周左右停止振动。

g) 试验结束后卸掉压力，关闭压力源。

h) 描述试样破坏形状，必要时测定试样振后干密度，拆除试样。

i) 对同一密度的试样，可选择 1 个~3 个固结比。在同一固结比下，可选择 1 个~3 个不同的周围压力。每一周围压力下用 4 个~6 个试样。可分别选择 10 周、20 周~30 周和 100 周等不同的振动破坏周次。

j) 整个试验过程中的动荷载、动变形、动孔隙水压力及侧压力由计算机自动采集和处理。

9.11.3 数据结果处理可参考《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）相关规定进行计算。

9.12 弯曲元试验

9.12.1 弯曲元系统可以通过测量土体的最大剪切模量（ G_{max} ）来评估其刚度，通常使用的剪应变水平可达 0.001%。最大剪切模量（ G_{max} ）在小应变动态分析中是一个关键参数，用于振动期间预测土体或土体结构的相互作用。主要的部件有波形发生器、示波器、弯曲元接收器和发射器，可与三轴压力室一起使用。

9.12.2 操作步骤应符合以下要求：

1) 使用电子天平称量出称量盒质量，称量应准确至 0.01g。取有代表性细粒土试样 15g~30g，将试样放入称量盒内，立即盖好盒盖，称量，试样称量应准确至 0.01g。称量盒、装入试样称量盒质量均需记录，二者数值相减得到试样质量。

2) 弯曲元原件安装与土样帽和底座上，试验时插入土体中。

3) 将烘干后的试样和盒取出，盖好盒盖冷却至室温，称量质量，记录。减去称量盒质量，得到干土质量。

4) 弯曲伸缩元主要由发射端和接收端两部分组成，对于波，发射端在施加激发信号电压脉冲后，压电陶瓷片一片伸长，另一片则缩短，产生弯曲运动并在周围土体中产生横向振动，即产生波。当波通过土体从发射端传播到接收端时，接收端将波振动转化为电信号，与发射信号同时显示和储存在示波器上，通过信号对比得到剪切波传播时间，由传播距离计算得到剪切波速。对于波，当施加激发信号电压脉冲后，发射端同时伸长或者同时缩短，在周围土体中产生竖向振动，即产生波。当波通过土体从发射端传播到接收端时，接收端将波振动转化为电信号，与发射信号同时显示和储存在示波器上，通过信号对比得到压缩波的传播时间，由传播距离计算得到压缩波速。

9.12.3 试验数据处理应符合以下要求：

1) 通过弯曲元试验可以获得剪切波速或压缩波速，最大剪切模量和侧限模量，杨氏模量和泊松比。

2) 在弯曲元试验中，剪切波速或压缩波速 V_s 或 V_p 是通过剪切波的传播距离和传播时间确定的，应按下式计算：

$$V_s = \frac{d}{t_s} \quad (9.12.3-1)$$

$$V_p = \frac{d}{t_p} \tag{9.12.3-2}$$

式中： d —直达剪切波的传播距离，即弯曲元传感器尖端之间的距离；
 t_s 、 t_p —剪切波和压缩波在试样中的传播时间，确定传播时间的方法可采用时域初达波法、特征点法和互相关法。

3) 根据波的传播理论，最大剪切模量和侧限模量可分别由下式计算得到：

$$G_0 = \rho V_s^2 \tag{9.12.3-3}$$

$$M_0 = \rho V_p^2 \tag{9.12.3-4}$$

式中： ρ —试样的密度（kg/m³）。

4) 依据各向同性材料本构理论，通过下计算可由 G_0 、 M_0 得到试样的杨氏模量和泊松比。

$$E_0 = 2(1 + \mu)G_0 \tag{9.12.3-5}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{M_0}{G_0} \right) \tag{9.12.3-6}$$

10 软土海床灾害隐患识别与预警

10.1 一般规定

10.1.1 软土海床灾害识别与预警主要包括风荷载、波流荷载、地震、海冰、滑坡、沉降作用的识别及其灾害预警。

10.1.2 软土海床灾害按照人员伤亡、经济损失的大小，分为四个等级：

- 1) 特大型：因灾死亡30人以上或者直接经济损失1000万元以上的；
- 2) 大型：因灾死亡10人以上30人以下或者直接经济损失500万元以上1000万元以下的；
- 3) 中型：因灾死亡3人以上10人以下或者直接经济损失100万元以上500万元以下的；
- 4) 小型：因灾死亡3人以下或者直接经济损失100万元以下的。

10.1.3 软土海床灾害防治工程等级可根据灾害造成的潜在经济损失、威胁对象及威胁设施重要性等因素，按表 10.1.1 划分为一级、二级和三级：

表10.1.1 灾害防治工程等级划分

灾害防治工程等级		一级	二级	三级
潜在经济损失（万元）		≥5000	<5000，且≥500	<500
威胁对象	威胁人数（人）	≥500	<500，且≥100	<100
	威胁设施的重要性	重要	较重要	一般

注：表中只要满足一项即可按就高原则划为对应等级。

10.2 软土海床灾害识别基本要求

10.2.1 应根据勘察与测试分析结果进行灾害识别，勘察与测试方法应符合本规范相关规定。宜结合遥感和海底核查等手段，对正在发生变形及将来可能发生变形的灾害体进行提前判识，分析和识别灾害体位置、形变范围与方向及灾变可能性等。

10.2.2 灾害识别应包括以下内容：

- 1) 位置与航运状况、气象条件、水文条件、海床利用状况、社会经济概况等自然地理条件。
- 2) 地形地貌、地质构造、工程地质岩组、易崩易滑地层、斜坡结构、软弱层、风化程度、岩体结构、沟谷特征、人类工程活动等孕灾地质环境条件。
- 3) 灾害类型、变形破坏模式、分布范围、发育现状、规模、形态、地质结构特征、岩土体结构及物理力学性质、滑动面或软弱结构面位置、变形迹象与活动历史、运动形式及路径影响因素和诱发因素、威胁对象及其易损性等灾害或灾害隐患基本特征。
- 4) 灾害发生的原因，评价灾害体在不同工况条件下的稳定性、可能的变形破坏模式、运移路径、致灾范围、危险性和危害性。
- 5) 提供防治工程设计所需要的地质资料、参数、建筑材料及防治建议等。

10.3 风荷载隐患识别与预警

10.3.1 风荷载通过工程结构传递至软土海床，应按照《浅海钢质固定平台结构与建造技术规范》（SY/T 4094-2012）计算，作用在工程结构上的风荷载 F 可按下式进行计算：

$$F = K K_z p_0 A \tag{10.3.1}$$

式中： F —风荷载（N）；
 K —风荷载形状系数，梁及建筑物侧壁取 1.5，对圆柱体侧壁取 0.5，对平台总投影面积取 1.0；
 K_z —海上风压高度变化系数，取值参考《海上风电场工程风电机组基础设计规范》；
 p_0 —基本风压（Pa）；
 A —即垂直于风向的轮廓投影面积（m²）。

10.3.2 基本风压应按照公式（6.3.4）进行计算：

$$P_0 = \beta \alpha V_t^2 \tag{10.3.2}$$

式中： β —风压增大系数，结构基本自振周期 T 等于 0.25s 时， β 取 1.25；结构基本自振周期 T 等于 0.5s 时， β 取 1.45；结构基本自振周期 T 大于 0.25s 且小于 0.5s 时， β 值可根据内插法确定；
 α —风压系数，取 0.613；
 V_t —时距为 t min 的设计风速（m/s），可选取平均海平面以上 10m 处、时距为 3s 的最大阵风风速或时距为 1min 的最大持续风速。

10.3.3 应考虑台风荷载对软土海床产生的循环弱化效应，需要对台风进行处理。以 50 年一遇台风为例，需要先将台风全过程根据风速分成若阶段，每个阶段以 10 分钟平均风速，有效波高（ H_s ）和波浪周期（ T ）作为输入参数，插入对应最大波高（ H_{max} ）作为约束波，在最大下压荷载和最大上拔荷载情况分别进行时域分析得到泥面处的等效荷载，进而通过雨流计数法得到每个阶段的循环荷载的荷载包，用于后续土体循环弱化效应的计算。台风各阶段分组参考表 10.3.1。

表 10.3.1 台风各阶段分组

时间（h）		风速（m/s）	Hs（m）	T（s）
始	终			
-24	-11	29.98	6.22	9.27

-11	-5	39.45	6.61	10.20
-5	2	52.60	7.78	10.84
2	4	31.56	7.00	10.44

10.3.4 当风荷载超出软土海床承载性能时,应进行预警。软土海床承载性能可参考《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法工作应力设计法》(SY/T 10030-2018)进行计算,其中软土海床物理力学参数的获取应符合本规范勘察与测试相关规定。

10.4 波流荷载隐患识别与预警

10.4.1 波浪作用的流体荷载通过结构物传递到软土海床,应选择适合的波浪理论,确定波浪理论适用范围的选择依据。

10.4.2 作用在单位长度结构物上波流力的计算公式如下:

$$f(t) = f_D(t) + f_I(t) = \frac{1}{2} \rho_w C_D D u(t) |u(t)| + C_M \rho_w \frac{\pi}{4} D^2 a(t) \quad (10.4.1)$$

式中: C_D —拖曳力系数;

C_M —惯性力系数;

ρ_w —海水密度;

D —结构物等效直径。

10.4.3 波流力,需要沿着结构物长度方向进行积分,从而得到总波流力。静水面以下构件(单元)的波流力可以沿着长度方向直接积分,而对于水线交界处的构件,需要考虑波面变化的影响,积分到瞬时波面位置。水下构件的单元波流力积分应按下式计算:

$$F(t) = \int_0^L \left[\frac{1}{2} \rho_w C_D D u(t) |u(t)| + C_M \rho_w \frac{\pi}{4} D^2 a(t) \right] dl \quad (10.4.2)$$

式中: L —单元长度。若结构物为倾斜的,可仅考虑与构件垂直的法向速度和加速度的影响,也即忽略切向速度力和惯性力。

10.4.4 应用 Morison 方程中的一个关键问题是拖曳力系数 C_D 和惯性力系数 C_M 的确定,目前国内很多学者开展了这方面的物理模型试验研究工作,但是该方面的理论模型还不完善,本规范建议参照《港口与航道水文规范》(JTS 145-2015),取 $C_D=1.2$; $C_M=2.0$ 。

10.4.5 当波流荷载超出软土海床承载性能时,应进行预警。软土海床承载性能可参考《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法工作应力设计法》(SY/T 10030-2018)进行计算,其中软土海床物理力学参数的获取应符合本规范勘察与测试相关规定。

10.5 地震隐患识别与预警

10.5.1 地震灾害隐患识别应包括地震荷载分析、地震引起软土海床承载性能的弱化、软土震陷判别。

10.5.2 软土海床地震灾害荷载的计算宜采用现行行业标准《水运工程抗震设计规范》JTS146 推荐的振型分解反应谱法进行,具有场地谱资料的软土海床场地亦可采用场地谱进行校核。

10.5.3 地震惯性力应根据软土海床拟建设工程的整体结构质量分布，采用多质点体系进行计算。

10.5.4 地震引起软土海床承载性能降低，当承载性能低于工程需求时，应进行预警。软土海床承载性能降低量应结合相关工程结构物进行分析，可参考《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）。当软土海床无法采用标准贯入试验进行液化判别时，宜根据软土海床物理力学性质，建立仿真模型分析地震隐患识别分析，其中软土海床物理力学性质的勘察和测试方法应符合本规范的规定。

10.5.5 软土震陷判别，可按以下方法：

1) 当黏性土的临界等效剪切波波速大于表10.5.1的数值时,可不考虑震陷影响。

表10.5.1 临界等效剪切波速

设防烈度	VII 度	VIII度	IX度
临界等效剪切波速（m/s）	90	140	200

2) 对于我国渤海、黄海常见的饱和粉质黏土，其震陷判别还可采用下列方法：设防烈度为VIII度且地震动参数为0.3g或IX度，当饱和粉质黏土的塑性指数小于15，且符合下式规定时，可判为震陷性软土：

$$\omega \geq 0.9W_L, I_L \geq 0.75 \quad (10.5.1)$$

式中： ω —天然含水率；

ω_L —液限含水率，可采用液、塑限联合测定法测定；

I_L —液限指数。

3) 饱和粉质黏土震陷的危害性和抗震陷措施应根据沉降和横向变形大小等因素综合研究确定。

10.6 海冰隐患识别与预警

10.6.1 海冰灾害隐患主要为海冰与软土海床上工程结构物的撞击而引起。撞击荷载分析应满足《港口与航道水文规范》（JTS 145-2015）相关要求。

10.7 滑坡隐患识别与预警

10.7.1 易滑坡体识别与预警：

1) 坡度>15°、相对高差大于 5m 的软黏土构成的海床斜坡，容易发生滑动变形失稳，滑面一般为弧形。

2) 坡度>20°、相对高差大于 10 m 的海底岩质海床斜坡，当发育顺坡向的软弱岩层、软弱结构面、节理裂隙破碎带，容易发生滑动变形失稳。

3) 表层由人工堆填软土构成的坡体，存在倾向坡外的下伏基岩面、堆积界面，容易发生滑动变形失稳。

4) 陡倾坡内层状坡体，当倾倒变形强烈、折断面基本贯通，容易发生滑动变形失稳。

10.7.2 发生迹象识别：

1) 滑坡变形失稳通常表现为坡体开裂、鼓胀、海床表面构筑物异常等迹象其中坡体开裂可作为滑坡隐患识别的主要依据

2) 当坡体后部陡缓交界处出现弧形拉张裂缝或拉陷槽，坡体前缘出现鼓胀及纵向开裂，可识别为滑坡隐患。

3) 当坡脚受洋流侧向掏刷或人为开挖扰动，上方由松散结构岩土体组成的较陡坡体往往由下而上出现一级或多级错台，弧形及侧缘裂缝贯通，可识别为滑坡隐患。

4) 当斜坡为软硬相间顺层单面坡、且与岩层倾角基本一致时，坡脚出现贯穿式横向拉裂缝或出现褶皱、剪切结构面及膨胀现象，一般可识别为滑坡隐患。

5) 当陡倾坡内的软弱岩层或软硬互层反倾坡体出现倾倒折断面、后缘拉裂, 坡体及坡表垂直及水平位移、前缘膨胀时, 可识别为滑坡隐患。

10.7.3 出现以下现象应视为临滑前兆:

- 1) 坡体周界裂缝扩展、位错加速、呈贯通趋势。
- 2) 坡体内部裂缝快速增多。
- 3) 坡体前缘出现持续小规模溜滑、垮塌等现象、且短时间内频率不断增大。
- 4) 后缘张开的裂缝突然封闭或后缘地堑式拉张作用突然加剧。

10.7.4 滑坡体边界确定:

1) 滑坡边界宜借助遥感影像, 综合坡体结构面、周界形变差异等确定。后缘多依拉张裂缝弧形延展方向及附近陡缓急变地带确定; 侧缘以两侧裂缝及自然冲沟确定; 前缘以鼓胀变形或剪错底部为边界。

2) 新近发生的具有变形破坏迹象的堆积体, 可以堆积体(新土)与周围老土分界作为滑坡边界。存在复活迹象的老滑坡的边界, 可根据圈椅状地形, 后缘拉陷槽、侧缘冲蚀沟谷及前缘舌状地形确定。

3) 当两侧沟谷有出露或坡体有地质勘探资料, 可推测滑动面的位置及形态。对于地震抛射型滑坡堆积体隐患, 可以堆积体底部扰动带为滑面。

4) 当滑坡改造严重、边界确定困难时, 可根据微地貌、冲沟及堆积体结构综合判定滑坡体边界

10.7.5 危险区预估:

应根据本规范勘察与测试方法获取的坡体物理力学参数进行滑坡危险区预估, 可采用但不限于如下方法

1) 经验判断。应考虑滑坡位置、滑体规模、岩土体类型、形态结构、失稳模式、前方地形等影响因素, 并符合等效摩擦角基本原理;

2) 工程地质类比。可以通过对比临近斜坡或类似斜坡历史滑动影响范围进行预估;

3) 数值模拟。宜采用能够模拟滑坡运动过程的软件工具, 宜根据软土海床物理力学性质建立仿真模型。其中软土海床物理力学性质的勘察和测试方法应符合本规范的规定。。

对于软土海床, 宜预估滑坡体转化为碎屑流, 对危险区扩大的影响。受前方地形限制时, 可能导致滑动路径转折等情况对危险区扩大的影响。

10.8 沉降隐患识别与预警

10.8.1 软土海床沉降隐患应根据水深、离岸距离、工程构筑物特点, 选用合适的方法进行识别, 必要时可通过多种方法综合识别与预警。

1) 采用多波束声呐探测, 定期对比海底地形数据, 发现局部凹陷或坡度突变需警惕。

2) 在海床布设海底监测站点, 通过位移计、压力计、加速度传感器等仪器持续监测地形的变形。

3) 在工程结构物布设海底监测站点, 通过位移计、压力计、陀螺仪、加速度传感器、应变传感器等仪器持续监测结构物的位移、倾斜度、应变量。

10.8.2 海床沉降量分析应结合基础类型进行计算, 可参考《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法工作应力设计法》(SY/T 10030-2018), 软土海床物理力学参数的获取应符合本规范勘察与测试相关规定。

10.9 隐患认定与管控

10.9.1 识别人员应填写灾害隐患识别记录表, 并提交灾害防治主管部门。滑坡与沉降灾害隐患可按附录 A 填写。

10.9.2 灾害防治主管部门依据灾害隐患识别记录表组织专家予以认定。

10.9.3 对于人类工程活动引发的灾害隐患点，由灾害防治主管部门备案，发函工程建设行政主管部门及责任主体，督促指导加强管控。

10.9.4 防灾预案宜明确监测责任人，不同预警等级、判据、信号及响应措施等。

10.9.5 防灾宜明确隐患基本情况、监测预警情况、避险撤离等具体措施责任人及联系方式。发放至防灾工作责任人，并告知其内容及使用方法。

10.9.6 当灾害隐患危险区内无承灾体存在，且已设置警示标识，或已实施治理工程并经竣工验收后 1 个水文年以上工程效果监测结论为稳定，或已发生地质灾害且无次生灾害可能的，可予以核销。

10.9.7 灾害防治主管部门接到隐患点核销申请后，宜组织专家评估认定，并予以公告。

11 软土海床灾害预警勘察报告

11.1 一般规定

11.1.1 灾害预警勘察报告成果报告应对试验成果进行统计分析，并结合场地实际情况进行灾害分析评价。灾害分析评价应具备下列条件：

- 1) 上部结构的类型、刚度、荷载情况和对变形控制等要求。
- 2) 软土成层条件、应力历史、结构性、灵敏性、流变性等力学特性和排水固结条件等场地的工程地质条件。
- 3) 地区经验和类似工程经验。

11.1.2 灾害分析评价内容应符合《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）的有关规定。

11.1.3 软土强度参数指标宜优先选择静力触探试验等原位测试指标。

11.1.4 灾害预警勘察报告应结合软土海床的特点和主要岩工程问题进行编写，并应做到资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、重点突出、建议合理、有明确的工程针对性、便于使用，文字报告与图表部分应相互配合、相辅相成、前后呼应。

11.2 灾害参数的分析和选定

11.2.1 灾害参数应根据下列因素分析和选定。

- 1) 取样和试验的方法。
- 2) 软土的形成条件、成层特点、均匀性、应力历史、地下水及其变化条件；
- 3) 施工方法、程序以及加荷速率对软土性质的影响。
- 4) 测试方法与计算模型的配套性。

11.2.2 地基土室内试验及原位测试的参数统计应符合下列规定：

- 1) 应按不同工程地质单元分层进行统计。
- 2) 土样的取舍宜考虑数据的离散程度和已有经验。
- 3) 按工程性质及各类参数在工程设计中的作用，可分别给定范围值、计算值（算术平均值、标准值或最大、最小平均值）、子样数及变异系数，当变异系数较大时，应分析其原因，并提出建议值。

11.2.3 地基室内及原位测试的参数统计应符合国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2009）的规定。

11.2.4 岩工程特性指标应包括强度指标、压缩性指标、静力试验、标准贯入试验、动力试指标和荷试承载力等特性指标。岩土工程特性指标代表值可包括标准值、平均值及特征值等。抗剪强度指标应取标准值，压缩性指标应取平均值，载荷试验应取承载力特征值，土的物理性质指标宜取平均值。

11.2.5 静力触探测试参数应提供分层统计值，当土质均一、测试数据离散较小时，可采用单孔分层平均法确定计算值。当土质不均匀、测试数据离散性较大时，可采用单孔分层厚度加权平均法计算最小平均值。

11.2.6 十字板剪切强度等现场船基测试、静三轴试验和单调加载单剪试验应提供分层统计值和建议值，并应绘制随深度的变化曲线。

11.2.7 对于重大的岩土工程问题，可根据工程原型或足尺试验获得量测结果，用反分析的方法反求土性参数，验证设计计算，查验工程效果。

11.3 灾害预警勘察报告的基本要求

11.3.1 灾害预警勘察报告编写前，应对所依据的搜集、调查、测绘、勘探、测试所得等原始资料，进行整理、分析、鉴定，并应经确定无误后再作为编写报告的依据。

11.3.2 初步勘察报告应满足软土海床初步设计的要求，并应对拟建场地的稳定性和建筑适宜性作出评价并给出明确结论，为合理确定建筑布置、选择地基基础结构类型、防治不良地质作用提供依据。

11.3.3 详细察报告应满足施工图设计要求，为地基基础设计、地基处理、水下基坑工程、基础施工方案的确等提供岩土工程资料，并作出相应的分析和评价。

11.3.4 详细察报告除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2009）的规定外，尚应重点阐明下列问题：

1) 对地基岩土层的空间分布规律、均匀性、强度和变形状态及与工程有关的主要地层特性进行定性和定量评价。

2) 软层采取土试样的方法。

3) 波流有关水文地质参数。

4) 当采用天然地基方案时，应对地基持力层进行分析，提供地基承载力和沉降计算的参数，必要时结合工程条件对地基变形进行分析，天然地基的承载力及变形特征可参考《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定计算。

5) 提供地基处理分析计算所需的岩土参数，根据软土海床特征及场地条件建议一种或多种地基处理方案，并宜分析评价复合地基承载力及复合地基的变形特征，复合地基的承载力及变形特征可参考《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定计算。

6) 根据水下基坑的规模及场地工程地质、水文地质条件提出基坑支护控制方案的建议。

7) 对地基基础及基坑支护等施工中应注意的岩土工程问题及工程检测、现场检验、监测工作提出建议。

8) 必要时，对特殊岩土工程问题提出专题研究的建议。

11.3.5 灾害预警勘察报告宜对地基基础和上部结构的设计、施工和使用等进行综合分析，提出减少和预防由于地基变形引起建筑物的结构损坏或影响正常使用的建议。

11.3.6 灾害预警勘察报告包括的主要图件应满足《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）相关规定。

附录A

灾害隐患识别记录表

填表日期: 海面风速: 浪高: 现场编号: 室内编号:

名称												
地理位置	经度： 纬度：								后缘海拔			
									前缘海拔			
形成环境	地貌	海床结构		☐ 坡体 ☐ 平地		坡度	坡高		坡向			
		平面状态				剖面状态						
	地质	地层岩性		产状	构造部位	工程地质岩组		水文地质				
	洋流影响	流向				流速						
基本特征	滑坡/沉降基本特征	长度	宽度	厚度	面积	体积		坡度		坡向		
		物质组成岩性		滑体结构		滑面产状		滑带厚度		滑床岩性		
				☐ 可辨层次 ☐ 零乱								
	发生迹象	时间		迹象特征								
		地形	☐ 斜坡陡峭 ☐ 圈椅状地形 ☐ 其他									
		地质	☐ 岩体碎裂 ☐ 主控结构面 ☐ 软弱夹层强/风化层界面									
		引发因素	☐ 地震 ☐ 卸荷 ☐ 水流冲刷 ☐ 人工削坡过陡 ☐ 开挖 ☐ 加载 ☐ 振动 ☐ 其他									
危险性	稳定现状	☐ 蠕动变形 ☐ 强烈位移 ☐ 暂时稳定后重新复活										
	稳定趋势	☐ 稳定 ☐ 基本稳定 ☐ 潜在不稳定 ☐ 不稳定										
	危害特征											
	承灾体											
	危害程度	受威胁对象					威胁财产					
		威胁人数					直接损失					
管控建议		☐ 临时避险 ☐ 监测预警 ☐ 工程治理 ☐ 永久避让 ☐ 加强工程活动监管										
平面示意图或全景影像					剖面示意图							

填表人: 审核人: 审查单位: