

上海市工程建设规范

上海市堤防隐患探测标准

(征求意见稿)

Standards of exploration for Shanghai dike hidden trouble

DG/TJ08-XXXX-2025

20XX-XX 发布

20XX-XX 实施

2025 上海

前 言

根据沪建标定〔2024〕668号“上海市住房和城乡建设管理委员会关于印发《2025年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划》的通知”要求，上海市水务局组织上海市堤防泵闸建设运行中心、上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司、上海勘测设计研究院有限公司、上海勘察设计院（集团）股份有限公司、上海新地海洋工程技术有限公司和上海山南勘测设计有限公司，在总结本市堤防工程隐患探测等工作的经验基础上，开展专题调查研究、广泛征询意见，经多次研讨和反复修改，编制形成本标准。

本标准共分6章 33节和5个附录。主要技术内容有：总则，术语和符号，基本规定，探测方法，隐患探测应用，成果报告，附录。

请各单位在执行本标准的过程中，注意总结经验，积累资料，将有关的意见和建议反馈至上海市堤防泵闸建设运行中心（地址：上海市虹口区吴淞路80号，邮编：200080 E-mail: shhtglk@126.com），或上海市建筑建材业市场管理总站（地址：上海市小木桥路683号；邮编200032；E-mail: bzglk@shjjw.gov.cn），以便今后修订时参考。

主编单位：

上海市堤防泵闸建设运行中心

上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司

参编单位：

上海勘测设计研究院有限公司

上海勘察设计院（集团）股份有限公司

上海新地海洋工程技术有限公司

上海山南勘测设计有限公司

主要起草人：

参与起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定	5
4 探测方法	7
4.1 一般规定	7
4.2 探地雷达法	7
4.3 反射波法	10
4.4 折射波法	11
4.5 瑞雷面波法	12
4.6 微动法	14
4.7 井间地震层析成像法	16
4.8 自然电场法	17
4.9 阵列式电流场法	18
4.10 拟流场法	20
4.11 电阻率层析成像法	21
4.12 直流电阻率法	22
4.13 激发极化法	25
4.14 瞬变电磁法	26
4.15 水下结构探测法	28
4.16 水下浅地层探测法	31
4.17 温度场法	31
4.18 同位素示踪法	32
4.19 钻孔全景光学成像法	33
5 隐患探测应用	35
5.1 一般规定	35
5.2 防汛墙前区域	36

5.3 防汛墙后区域	36
5.4 滩面	37
5.5 消浪平台区域	38
5.6 外护坡区域	38
5.7 堤顶区域	39
5.8 内护坡区域	40
5.9 内青坎区域	40
5.10 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位	41
6 成果报告	43
6.1 报告编写	43
6.2 成果数字化	43
6.3 成果验收及归档	43
附录一 不同区域探测方法应用选择	45
附录二 典型隐患方法应用选择	47
附录三 探测成果报告目录	49
附录四 堤防典型断面形式	50
附录五 海塘典型断面形式	52
引用标准名录	53
本标准用词说明	54
条文说明	55

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	4
3	Basic regulations.....	5
4	Detection methods.....	7
4.1	General.....	7
4.2	Ground penetrating radar method.....	7
4.3	Reflection wave method.....	10
4.4	Refractive wave method.....	11
4.5	Rayleigh surface wave method.....	12
4.6	Microtremor survey method.....	14
4.7	Cross-well seismic tomography method.....	16
4.8	Natural electric field method.....	17
4.9	Array current field method.....	18
4.10	Simulated flow Field method.....	20
4.11	Electrical resistivity tomography method.....	21
4.12	Dc resistivity method.....	22
4.13	Induced polarization method.....	25
4.14	Transient electromagnetic method.....	26
4.15	Underwater detection method.....	28
4.16	Underwater shallow formation detection method.....	31
4.17	Temperature field method.....	31
4.18	Isotope tracing method.....	32
4.19	Borehole television logging method.....	33
5	Hidden danger detection applications.....	35
5.1	General.....	35
5.2	Tidal flat surface area.....	36

5.2 Behind revetment area.....	36
5.4 Beach surface.....	37
5.5 Wave dissipating platform area.....	38
5.6 External slope protection area.....	38
5.7 Embankment top area.....	39
5.8 Inner slope protection area.....	40
5.9 Area between the inner of the sea dike and the revetment..	40
5.10 Across under/over、along crossing buildings area.....	41
6 Results report.....	43
6.1 Report writing.....	43
6.2 Digital management of achievements.....	43
6.3 Achievement acceptance and archiving.....	43
Appendix 1 Application selection of different area detection.....	45
Appendix 2 Typical hidden danger methods application selection....	47
Appendix 3 Table of contents for detection results report.....	49
Appendix 4 Typical cross-sectional forms of dike.....	50
Appendix 5 Typical cross-sectional forms of sea dike.....	52
List of quoted standards.....	53
Explanation of wording in this code.....	54
Explanation of provisions.....	55

1 总则

1.0.1 为规范本市堤防隐患探测工作的技术要求，保证探测成果质量，为堤防的维修养护、除险加固提供依据，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于本市范围内 2 级及以上堤防、海塘的隐患探测工作，其他堤防参照执行。

1.0.3 本市堤防隐患探测工作除应符合本标准规定外，尚应符合国家和行业现行相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 堤防 dike

指在河道及海域沿岸建造的具有挡潮防洪能力的构筑物及其附属设施。

2.1.2 海塘 sea dike

指长江口、东海和杭州湾沿岸以及岛屿四周修筑的堤防、堤防构筑物及保滩工程。

2.1.3 堤防隐患 dike hidden trouble

指影响或潜在影响堤防设施安全的缺陷、薄弱部位及其它不利因素。

2.1.4 防汛墙 floodwall

指河道沿岸具有挡潮防洪能力的墙式建筑物，主要由基础、墙身、护坡等主体结构 and 防汛通道等配套附属设施组成。

2.1.5 多级防汛墙 stepped floodwall

指河道沿岸按不同高程逐级设置挡墙的防汛墙，可由两级或者两级以上挡墙组成，末级挡墙墙顶高程应达到设防高程要求。

2.1.6 内青坎 area between the inner of the sea dike and the revetment

指位于海塘堤身内坡坡脚外侧、与堤防相连的一定宽度的带状区域，通常用于绿化种植（乔木、灌木及草皮），并设排水沟排水，起到保护堤防坡脚、防止水土流失、美化环境等作用，必要时可作为防汛抢险取土的土源区。

2.1.7 滩面 tidal flat surface

指位于海塘堤防外坡坡脚外侧、与堤防相连的一定宽度的带状区域，通常与保滩工程等共同构成海塘的防冲消浪体系。

2.1.8 消浪平台 wave dissipating platform

指对风浪大的海塘等临水侧的建筑工程常设置的一种结构，带有复式斜坡堤，以有效减少波浪的爬高，达到降低堤顶高程的目的。

2.1.9 护坡 revetment

指河道及海域边坡上设置的防止水流、雨水、风浪等冲刷侵蚀的坡面保护设施。

2.1.10 穿、跨、沿堤建（构）筑物 across under/over、along crossing

buildings

指堤防上新建、改建、扩建的穿、跨、沿河构筑物，包括桥梁、码头、隧道、管道、缆线、取水口、排水口等构筑物的合称。

2.1.11 空洞 void

指堤防海塘因水土流失形成、生物作用或自然发育的具有一定规模的洞体。

2.1.12 脱空 cavity underneath pavement

指堤防海塘地面硬壳层与地基土之间脱开小于 10cm 的空腔病害。

2.1.13 不密实区 loosely infilled void

指堤防海塘因水土流失、沉降等原因，其密实度明显低于周边正常地质体。

2.1.14 富水 water-rich (void)

指堤防海塘空洞、脱空、疏松体因降雨、水体冲刷等原因而富集水体。

2.1.15 裂缝 levee crack

指在堤防海塘的堤身、堤基或护坡等部位出现的开裂现象，表现为堤体表面或内部的连续性破坏，形成不同走向、长度、宽度和深度的缝隙。

2.1.16 渗漏通道 seepage channel

指在堤防海塘的堤身、堤基及其接触部位，由于土体结构缺陷、施工质量问题、生物破坏或长期渗透变形等原因，形成的集中渗流路径或通道。

2.1.17 软弱夹层 weak interlayer

指位于堤防海塘堤基或堤身内部、厚度相对较薄、物理力学性质显著低于上下相邻土层的软弱层带。

2.2 符号

2.2.1 动力学参数主要包括下列各项：

V_p ——纵波速度

V_s ——横波速度

V_R ——瑞雷波速度

2.2.2 时间、距离、方位、尺寸参数主要包括下列各项：

Δh ——波速层的厚度

Δt ——时间间隔

2.2.3 其它参数主要包括下列各项：

B_q ——放射性活度

$Spac$ ——空间自相关法

E_{spac} ——扩展空间自相关法

$F-K$ ——频率-波数法

3 基本规定

3.0.1 堤防隐患探测区域包括防汛墙墙前、防汛墙墙后，海塘的滩面、消浪平台、外护坡、堤顶、内护坡、内青坎及穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位。

3.0.2 堤防隐患探测的主要方法包括探地雷达法、反射波法、折射波法、瑞雷面波法、微动法、井间地震层析成像法、自然电场法、阵列式电流场法、拟流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、水下探测方法、水下浅地层探测法、温度场法、同位素示踪法、钻孔全景光学成像法；应根据探测方法的适用范围、应用条件和探测对象选用探测方法，宜选择具有互补效果的探测方法开展综合探测。

3.0.3 堤防隐患探测方法的选用应根据探测区域、隐患类型、地质条件、物性特征、外部环境等因素综合确定，隐患探测方法的选用可参考附录一。单一方法无法完成探测目的时，应采用具有互补效果的探测方法开展综合探测。

3.0.4 堤防隐患探测工作宜包括现场踏勘、资料收集、工作技术大纲或方案编制、现场探测、资料检查与评价、数据处理与资料解释、成果报告编写等。

3.0.5 探测过程中，发现异常后应及时分析原因，必要时宜进行重复探测，并在班报中记录。分班、分区段探测时，不同班次、区段次应保证一定的重复探测范围。探测过程中应进行检查，检查点宜均匀分布在全测区。重复探测和检查点应符合《水利水电工程勘探规程第1部分：物探》SL/T291.1、《堤防隐患探测规程》SL/T436 的规定。

3.0.6 隐患探测工作应分为普查和详查。普查宜采用工作效率较高的探测方法开展。详查宜在普查的基础上，增加测线、测点数量进行探测，或开展多方法综合探测。隐患探测工作中，宜选择疑似隐患部位进行验证。验证可选择钻孔、探坑、触探、测井等方法。

3.0.7 首次隐患探测宜在堤防海塘建设（含海塘达标建设）完工或竣工验收后5年内进行，以后应定期进行。

3.0.8 应调查收集被探测工程的地质勘察、设计、施工、运行、维护资料，以及历次出险、处理加固情况等。

3.0.9 应现场踏勘调查堤防现场环境、现场干扰源类型和分布情况。分析前期

地质、设计、施工等已知资料, 预估重点探测范围, 了解探测区与背景介质的物性特征。

3.0.10 应根据工程和探测区域规模确定测区、测线、测点分布。工作布置应根据工程规模、性质进行规划。探测时宜布置多条平行测线且测线方向宜沿工程轴线走向及垂直潜在的渗漏通道方向, 探测深度应大于预估隐患深度。可根据追踪隐患的需要, 延伸或加密布置测线、测点。

3.0.11 应根据收集资料和现场踏勘情况编制隐患探测工作技术大纲或方案, 其主要内容宜按《水利水电工程勘探规程第 1 部分: 物探》SL/T291.1 的有关规定执行。

3.0.12 应通过测量或定位设备确定测区、测线、测点及探测确定的隐患位置。布置测区、测线、测点时, 应确认其与堤防海塘管理桩号的对应关系。测量定位精度应符合上海市坐标系统的相关规定。

3.0.13 上海市常见堤防类有高桩承台式、低桩承台式、拉锚板桩式、护坡式、L形、重力式、两级挡墙组合式。海塘大堤常见的典型断面有单坡堤身断面、复式坡堤身（与促淤坝结合式）断面、复式坡堤身（与促淤坝分离式）。见附录四、附录五。

3.0.14 用于堤防隐患探测的仪器应达到标准规定的技术指标。

4 探测方法

4.1 一般规定

4.1.1 现场探测可采用普查和详查相结合的方式，并应符合下列规定：

- 1 普查时，应对测区进行全覆盖探测，宜选用能够快速移动的探地雷达等方法，初步判定地下异常分布情况；
- 2 详查时，宜根据任务要求、地球物理条件，有针对性的选择对应方法。复杂条件下宜采用综合探查方法；
- 3 详查时应对重大异常区域进行复测和验证，应查明隐患属性；
- 4 根据探测结果进行风险评估并提出处置建议；
- 5 采用新技术、新方法时，应验证方法的有效性及成果的可靠性。

4.1.2 探测现场作业安全和成果质量检查应符合《工程物探技术标准》中相关规定。

4.2 探地雷达法

4.2.1 探地雷达法可用于探测堤防海塘内部的脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝及软弱夹层隐伏病害。

4.2.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 目标体与周边介质之间应存在明显介电常数差异，目的物功率反射系数应大于 0.01。
- 2 目标体在探测深度或距离范围内，其尺寸应满足探测分辨率的要求。
- 3 地下探测目标体上部不应存在高导电屏蔽层。
- 4 测区内不存在大范围金属构件，或通过处理可消除其干扰。
- 5 三维雷达探测的工作面大小应满足探测隐患空间分布范围的要求。
- 6 孔内探测时，钻孔应无金属套管。

4.2.3 现场工作应符合下列规定：

根据探测任务要求及测区内干扰源分布情况、探测深度和分辨率等，选择合适的探测方式及雷达天线主频，设置合适的系统采集参数。测点间距宜为 0.05m~0.5m，具体数值可通过现场试验确定，宜选择两种或两种以上的天线频率进行复测。

1 二维探地雷达探测

1) 根据探测任务要求及测区内干扰源分布情况、探测深度和分辨率等，选择合适的主频天线，设置合适的系统采集参数。

2) 普查时，点测模式下测点间距不宜大于 1.0m，宜在天线相对静止时采集数据，连测模式下天线移动速率宜用较大值。

3) 详查时，点测模式下测点间距不宜大于 0.25m，宜在天线相对静止时采集数据，连测模式下天线移动速率宜用较小值。

4) 探测堤身内部隐患时，应根据探测深度和分辨率合理选择中心频率。探测脱空、空洞及不密实区等不良地质构造时，宜选择频率为 25MHz~500MHz 的天线，当多个频率的天线均能符合探测深度要求时，宜选择频率相对较高的天线。软弱夹层等潜在隐患探测时宜选择频率为 25MHz~500MHz 的天线，当多个频率的天线均能符合探测深度要求时，宜选择频率相对较高的天线。

5) 记录时窗宜按最大探测深度与上覆介质平均电磁波速度之比的 2.5~3 倍数值选取。

6) 采样率宜为天线频率的 15~20 倍。

7) 发射与接收天线间距宜小于最大探测目标埋深的 20%。

8) 剖面法探测时天线标示的测量方向应与测线方向一致，天线中心线偏离测线的距离不应大于天线宽度的 1/3。

9) 探测过程中，天线宜紧贴探测面，保持耦合良好。

10) 连续测量时，天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配，天线移动速度宜控制在 6m/min~20m/min，每 10m 应至少校对一次测量桩号，允许误差为 $\pm 1\%$ ；点测时，采样时应保证天线静止。

11) 测线定位标注应与测线桩号一致，应避免仪器线缆干扰天线工作信号。

12) 探测中优先选择屏蔽天线，宜详细记录干扰源的分布及雷达波响应。

13) 仪器参数设置的要求：

a. 记录时窗的选择应根据最大探测深度与上覆地层的平均电磁波波速确定；

b. 仪器的信号增益应保持信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4，天线静止时信号应稳定；

c. 宜选择所用天线的中心频率的 6 倍~10 倍作为采样率。

2 三维探地雷达探测

1) 普查时,应根据天线的单幅检测宽度设计测线间距,进行全覆盖检测,宜采用多频空气耦合阵列天线。

2) 网格密度应根据目标体大小确定,测线间距宜相等,且应保证同一方向有 3 条测线经过目标体。

3) 使用三维雷达矩阵天线探测时,相邻测带搭接宽度不宜小于矩阵宽度的 1/4。

4) 现场探测应按照事先标识的测网有序进行,各探测仪器工作参数应保持一致。

5) 在数据采集过程中及时记录各类干扰源及地面积水、变形等环境情况,可根据干扰情况、图像效果调整采集参数。

4.2.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 数据处理流程方法应保持简单,按真实性、规则性和一致性的原则,以达到提高数据信噪比、压制干扰和凸显地下管线、构筑物、病害体的目的。

2 宜进行数据整理及编辑、时间零点校正等处理,时间零点校正应与实际地面位置对应,以保证探测数据深度准确性。

3 对数据处理流程和参数全面检查,对处理结果实施抽查,发现处理结果不符合要求的,宜按要求重新处理。

4 宜根据二维探地雷达的同相轴及振幅、相位和频率等属性特征提取异常,并可以对比附近测线探地雷达数据的相关特征。

5 三维探地雷达应综合考虑纵剖面、横剖面、时间切片三个方向数据的处理结果,确保三个方向数据结果最优。

6 进行地下病害体解译时宜结合地面变形、管线破损和历史塌陷等调查资料及测区地质资料进行综合分析。

7 确定异常体的类型、位置、尺寸、埋深,并在雷达剖面上进行注释,标明地下病害体的位置和范围。

8 对探测图像有怀疑或结果未满足探测深度要求时,对相应区段进行复测。

9 对解译的疑似空洞等地下病害体,应选用钻探、挖探、钎探或内窥设备等

方法进行验证，验证点应布设在探地雷达图像异常反映最强部位或中心部位。

4.2.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、雷达剖面图像及雷达成果解释剖面图，雷达剖面图像上应标出目标体反射波的位置或反射波组。

4.3 反射波法

4.3.1 反射波法可用于探测堤防海塘内部的空洞、脱空、不密实区及软弱夹层隐伏病害。

4.3.2 应用条件应符合下列规定：

1 探测的目标层或目标体与其相邻地层或其他介质之间存在明显的波阻抗差异。

2 目标体应有一定规模，几何尺寸不宜小于有效波长的 $1/4$ 。

3 纵波反射法，勘查深度小，宜选择较高固有频率的检波器；勘查深度大，宜选择较低固有频率的检波器。

4 横波反射法，宜采用固有频率通常为 $40\sim 60\text{Hz}$ 的水平检波器。

4.3.3 现场工作应符合下列规定：

1 作业开展前应进行波场调查、最佳观测系统和仪器工作参数选择等试验工作，试验点应选择有代表性地段，展开排列长度不应小于勘查要求深度的 1.5 倍，道间距不应大于水平勘探精度要求的 $1/3$ 。

2 测线宜呈直线布置，受场地条件限制时，也可布置成非纵测线；当地形坡度大于 15° 时，应实测激发点和检波点的位置及高程。

3 应根据试验结果选择道间距和接收道数。道间距确定应符合空间采样定理。

4 应根据试验结果合理选择偏移距和最大炮检距，保证浅、中、深目的层均能达到有效覆盖次数，满覆盖后的信噪比不应小于 3 。

5 现场作业中局部地段记录变坏时，需增做补充试验，找出原因，调整观测系统和仪器工作参数，改善记录品质。

4.3.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 根据原始记录的信噪比和探测任务要求，拟定处理流程。宜包括预处理、

静校正、滤波、反褶积、速度分析、动校正、CDP 叠加、偏移等过程。

2 原始记录预处理应将不正常道数据充零，校正反极性道，准确定义炮、检波点的空间分布。

3 通过详细分析和测试，合理选择各处理模块及参数。

4 应依据基础图件，采用地质和其他物探资料对比分析，确定地质层位和地震波组关系，选取与探测目的层位对应的波组进行对比、追踪，获得目的反射层的特征。

5 应分析地震映像图中波形的振幅、频率、相位、初至波、散射波、绕射波等动力学特征与地下介质纵横向变化的关系。

6 应分析时间剖面图中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象，准确分析地层、岩性、构造的变化关系。

4.3.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、反射波时间剖面图、推断解释成果剖面图、综合成果平面图及设计要求的其他成果图件。

4.4 折射波法

4.4.1 折射波法可用于探测堤防海塘内部的不密实区及软弱夹层隐伏病害。

4.4.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 被探测界面的下层波速应大于上覆各层的波速，并具有一定的厚度。
- 2 沿测线被追踪地层的视倾角与折射波临界角之和应小于 90° 。
- 3 被追踪地层界面应起伏不大，折射波沿界面滑行时无穿透现象。

4.4.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 测线宜按直线布置；当需测线转折时，同一排列内检波器应在一条直线上，转折点应安排在排列端部，并应布置重叠观测点。
- 2 采用的观测系统应保证各目的层折射波的连续对比追踪。
- 3 当观测面和被探测界面平坦、地层结构简单时，可采用单支时距曲线观测系统。
- 4 采用相遇时距曲线观测系统时，应保证追踪界面的相遇段至少有 4 个检波点能有效接收折射波。

5 采用追逐时距曲线观测系统时,应保证被追踪段至少有 4 个检波点能重复接收同一界面的折射波。

6 采用多重时距曲线观测系统时,应保证各层折射波的连续对比追踪,并在综合时距曲线上均有能独立解释的相遇段。

4.4.4 资料处理与数据解释应符合下列规定:

1 应根据波形和振幅的相似性、相位一致性以及旅行时、视速度,采用单相位或多相位对比方式,进行互换道、连续道的波的对比。

2 可利用原始记录或依据干扰情况进行处理后读取波的初至时间。

3 应绘制综合时距曲线,绘制时距曲线时,应对旅行时读数进行校正。

4 应根据地球物理条件、方法特点和精度要求选择解释计算方法:单支时距曲线观测可采用截距时间法、波路算法;相遇时距曲线可选择 t_0 法、延迟时法、时间场法、共轭点法、时间项法与波路算法。

5 对于多层不均匀或具有特殊结构的地层,应采用多种方法综合求解。

6 应依据任务要求,在分析测区内有关地质、钻探及其他物探资料的基础上做出地质解释:

1) 应依据钻孔或物性资料确定地震界面与地质界面的对应关系;

2) 应依据物性和地质资料推断水平方向岩性变化;

3) 应分析原始记录上有无伴随振幅衰减、波形变化等现象确定低速带与断层破碎带的对应关系。

4.4.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、综合时距曲线图、成果地质解释剖面图及平面图等。

4.5 瑞雷面波法

4.5.1 瑞雷面波法可用于探测堤防海塘的空洞、脱空、不密实区、富水以及软弱夹层隐伏病害。

4.5.2 应用条件应符合下列规定:

1 被探测地层与其相邻层之间、隐患与背景介质之间存在明显的波速差异。

2 被探测地层应为横向相对均匀的层状介质。

3 地面应相对平坦，无沟壑陡坎等复杂的地形影响。

4.5.3 现场工作应符合下列规定：

1 视探测对象规模布置测线或测网。

2 主测线宜与探测对象走向垂直，联络测线平行于走向。

3 道间距应小于最小勘探深度所需波长的 $1/2$ 。

4 检波器排列长度应大于最大勘探深度所需波长的 $1/2$ 。

5 偏移距的大小宜通过现场试验确定，最小偏移距可与道间距相等。

6 激震可采用人工锤击、落重或其他机械激震方式，激震源应有足够的能量和频带宽度，以同时满足最浅和最深探测目的层的要求。

7 当勘探深度小于 20m 时，宜选择人工锤击；当勘探深度为 20m~50m 时，宜选择落重或机械冲击激震；当大于 50m 时，宜选择其他能量更大的激震方式。

8 地质条件简单时可采用单端激震法，条件复杂时宜采用双端激震法，震源应在检波器排列以外的延长线上激发。

9 观测时宜采用全排列移动、半排列移动或部分道移动。

10 仪器滤波应设置在全通状态。

11 采样时间间隔应满足不同瑞雷波周期的时间分辨，保证在最小周期内采集 4 个~8 个样点。

12 记录长度应满足在距震源最远通道记录的最大周期基阶瑞雷波完整。

4.5.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 检查修正排列几何参数、采集记录参数，并对合格记录中的坏道予以清零处理。

2 检查记录中瑞雷波多振型组分的发育情况，尤其观察基阶波组分和干扰波的发育情况，选用利于提取基阶波组分的时间-空间窗口。

3 选用合理的处理方法计算瑞雷波的频散曲线：当记录道数较多（12 道以上）、等道间距，且无坏道时，可选用 F-K 分析法提取瑞雷波频散曲线；当记录道数较少或有坏道时，应采用 F-K 分析法、相位差法、 τ -p 变换法、互相关法等两种或两种以上方法综合分析联合提取瑞雷波频散曲线。

4 剪切波层速度和层厚的反演计算宜选择固定层厚的方式进行。

5 宜将反演计算的各层瑞雷波速度 V_R （或剪切波速度 V_S ）和厚度，绘制 V_R

(或 V_s) 等值线剖面图、色谱图和灰度图。

6 应结合钻探等资料判断曲线的拐点和曲率变化,求取对应层的瑞雷波相速度,并根据换算的深度绘制速度-深度曲线。

7 应结合已知资料求得瑞雷波相速度与横波速度对应关系后,利用瑞雷波相速度换算横波速度。

8 绘制地质解释剖面图时应分析同点位、同深度映像的速度值与地层的关系,逐层确认划分,并结合面波频散曲线的分层结果或地层地质柱状资料进行。

9 利用面波法换算深度、动力参数时,应首先利用已知资料标定。

4.5.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、典型记录、频散曲线图或波速-深度曲线图,瑞雷波速度 V_R 等值线剖面图、推断解释成果剖面图及平面图等。

4.6 微动法

4.6.1 微动法可用于探测堤防海塘的空洞、脱空、不密实区以及软弱夹层隐伏病害。

4.6.2 应用条件应符合下列规定:

- 1 探测对象与周围介质存在明显的横波速度差异,具有一定的规模。
- 2 测区地形、地貌、地物、道路等野外作业场地条件满足微动台阵布设要求。
- 3 测区有能量足够强、频率范围满足探测深度要求的微动信号。

4.6.3 现场工作应符合下列规定:

- 1 测点、测线应根据勘探点和勘探线布设,能控制区内主要目标体。
- 2 当探测目标体复杂时,宜采用平行测线或网格状布设测线形成测网,测网的密度依据地质条件和探测条件的复杂性确定。
- 3 测点、测线的间距应满足探测任务的精度要求。
- 4 若现场条件不允许,可适当调整测点、测线位置,但点距、线距调整量不应超过设计位置的 20%。
- 5 测区边界附近发现异常时,应延长测线长度,确保异常形态的完整探测。
- 6 测点、测线应统一编号,应确认其与堤防海塘管理桩号的对应关系,并在现场设置明显标志。

7 测线布设图应注明测点、测线端点、转折点、钻孔、探洞、布线方向等主要信息。

8 台阵应沿测线布设，当地形起伏较大时，可适当调整位置，位置偏差不宜超过设计位置的 15%。

9 若场地存在固定干扰源，台阵应远离固定干扰源。

10 当干扰源可作为有效震源时，宜采用直线型台阵，台阵延长线宜通过干扰源。

11 台阵规模应结合垂向探测分辨率和最大探测深度综合考虑。

12 正式探测前，应根据探测目的和现场探测条件开展采集试验，确定台阵型式及采集参数等，设计测点、测线和测网等。

13 数据的采样间隔、记录长度应满足探测深度和精度的要求。

14 现场探测过程中应填写班报记录，记录清晰、完整。

15 应检查、评估数据，数据不合格，应补测。

16 微动探测点的位置宜以台阵几何中心综合确定，宜同时测量探测点、检波器位置及高程。

17 现场台阵布设应优先选择套三角形型台阵，其次选择单圆型台阵、同心多重圆型台阵、十字型台阵、L 型台阵、菱型台阵，在测网探测中可选择密集型台阵，当场地具备一维采集条件时，可选择直线型台阵。

4.6.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 有中心点的规则台阵，宜选择 SPAC 法；无中心点的非规则台阵，宜采用 ESPAC 法；拾震器数量较多(不少于 10 个)的非规则台阵采集的微动数据处理，尤其是采集过程中方位性震源明显或混入较大能量体波时，宜使用 F-K 法。

2 频散曲线提取应采用有效频段内的数据，且同一数据记录提取的频散曲线应一致。

3 利用频散曲线划分地层应综合曲线的拐点、斜率和频散点的疏密等特征进行。

4 反演计算宜由浅及深、逐层调试，使正、反演结果逐渐逼近，依据频散曲线特征进行分层和反演地层的横波速度。

5 宜利用测线附近钻孔资料对剖面进行标定，结合已知资料反演层速度，并

总结已知地层和反演横波速度的关系。

6 根据物性参数和已有资料进行综合分析,采用定性、定量相结合原则进行地质解释。

7 依据频散曲线特征、面波速度剖面图、拟速度剖面图、横波速度剖面图及物探地质成果图等进行物性分析和地质推断。

8 采用多种物探方法时,应综合解释。

9 在有地质、钻孔等资料的情况下,应结合已知资料进行解释。

4.6.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、典型记录、频散曲线图或波速-深度曲线图,面波速度 V_R 等值线剖面图、推断解释成果剖面图及平面图等。

4.7 井间地震层析成像法

4.7.1 井间地震层析成像法可用于探测堤防海塘内部的空洞、不密实区及裂缝隐伏病害。

4.7.2 应用条件应符合下列规定:

1 震源应有足够强度,且不破坏钻井套管。

2 震源井及接收井均应径向平行,且井壁光滑、无坍塌及掉块,深度超过30m时应进行孔斜距离校正。

3 在进行连续剖面测试时,每个孔段在观测纵波的同时还应观测横波,横波的提取量不应少于纵波数据的50%;同时,还应在不同的井段设置质量检查观测点,检测点数不少于总炮检对的5%,检查观测的相对误差应小于 $\pm 5\%$ 。

4.7.3 现场工作应符合下列规定:

1 应保证井下检波器链的每次移动至少有一个测点的重复观测。

2 在完成一次完整的观测后,应将发射井及接收井互换实施第二次测量。

3 井间地震层析成像区域划分的单元数不应超过数据采集的有效炮·检对数。

4 宜采用多通道数字地震仪。根据工程需要配置井中发射设备及带贴壁装置的三分量井下检波器,检波器的固有频率应小于地震波主频的1/2。

4.7.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 由三分量检波器竖向传感器记录的波形中，拾取出纵向初至时间，由横向传感器记录的波形中，拾取出横波初至时间。

2 波速层的划分，应结合工区地质或岩土情况，按时距曲线上具有不同斜率的折线段确定。

3 每一波速层的纵波速度或横波速度，应按公式（4.7.4-1）计算：

$$V = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4.7.4-1)$$

式中： V ——波速层的纵波速度或横波速度（m/s）；

Δh ——波速层的厚度（m）；

Δt ——纵波或横波传播至波速层顶面及底面的时间差（s）。

4.7.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图及根据波速或衰减分布规律推断解释得到的井间目标体空间分布图。

4.8 自然电场法

4.8.1 自然电场法可用于探测堤防海塘内部的渗漏通道隐伏病害。

4.8.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 有氧化-还原电化学反应、地下水渗透、扩散作用及其他作用。
- 2 能形成稳定的自然电场，观测到的电位差能有效地从干扰背景中分辨出来。

3 过滤电场和游散电流干扰严重又难以克服的地区，不宜采用自然电场法。

4.8.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 自然电场法现场电位观测宜根据观测需求选择合适的观测系统。
- 2 保证在预计的异常范围内至少有两条测线通过，至少有 3 个测点反映异常。
- 3 在以往工作基础上扩大测区时，应至少重复观测原测区 2 条测线。
- 4 测点位置在垂直测线方向移动时，梯度观测法不得超过 MN 的 1/5，电位观测法不得超过点距的 1/5。
- 5 探测地下水流向时，采用环形方式测量的环形直径宜大于探测水深 2 倍。

6 自然电场法观测时,应正确区分电位的正负极性。对于观测曲线的异常段、突变点、可疑点等均应进行重复观测,必要时应加密测点或增设短剖面。

7 电极的极差应稳定,在开工前测量的极差应小于 2mV;当测完一条剖面重复返回时应测量极差,测量的极差应小于 5mV。

8 电位法观测时,总基点应选择在测区自然电场平稳区域,接地应良好。分基点应选择自然电场稳定,且交通便捷区域。

4.8.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 一个测区的所有观测的电位应换算到同一个总基点,所有观测的电位或梯度应进行极差校正。

2 对梯度观测结果计算电位曲线上的锯齿状跳跃电位可以进行平滑处理;对异常不明显测区的观测结果,应进行多剖面相关处理计算。

3 区分正常场与异常场,并正确识别有用异常与干扰异常,异常值应超过测量平均绝对误差的 3 倍,且具有一定的规律性和分布范围。

4 宜利用环形测量的等位极形图判定地下水的流向。

5 可采用经验公式法和正、反演数值计算的方法确定异常体的规模、埋深。

4.8.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、自然电位剖面图、自然电位平面图及平面等值线等。

4.9 阵列式电流场法

4.9.1 阵列式电流场法可用于探测堤防海塘内部的渗漏通道隐伏病害。

4.9.2 应用条件应符合下列规定:

1 供电正极与测量电极间应有相对高阻隔离结构或材料。

2 高阻隔离结构或材料应处于相对封闭状态。

3 待测区域应具备可供布置电极阵列的平坦区域。

4 测区内无明显的工业电干扰。

4.9.3 现场工作应符合下列规定:

1 供电系统的输出功率不宜小于 400W,且输出电流不宜小于 2A,输出电压不宜小于 80V。

2 供电电极宜采用导电性好、坚固耐用的铜电极。

3 供电正极与供电负极应分别位于高阻隔离结构的两侧，间距不宜小于 3 倍电极阵列长度。

4 供电负极与测量电极宜位于同侧，且与最近的测量电极距离不宜小于 20m。

5 测量电极宜采用不极化电极，探测前应对电极进行极差测量，极差应小于 1mV。现场宜按等间距布置成规则的阵列，电极间距应满足探测的平面分辨率要求，并对每个电极的位置进行测量。

6 分段连续探测时，相邻测线之间重叠部分不宜小于 3m，且不少于 3 个测量电极。

7 测量电极布置完毕后，应在测量电极同侧直接供电检查电极的接地情况。如发现接地不良电极应及时进行调整。

8 探测时应随时记录测区附近施工活动，如发现干扰过大应停止采集数据，避开干扰期后再行采集数据。

4.9.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 数据处理前对测量电极的极差进行校正。

2 根据现场记录对测量数据的畸变点进行剔除。

3 根据测量电极的坐标，对测量值进行插值，插值网格间距不宜大于最小电极间距，根据插值结果绘制电场平面等值线图。

4 电场平面成果图上宜同步标注电极点位、高阻隔离结构位置以及其他干扰物位置等。

5 渗漏异常解释应结合场地水文地质资料、高阻隔离结构的设计和施工资料进行综合判断，渗漏异常判断应同时考虑下列因素：

a) 渗漏异常的形态应具有从高阻隔离结构由近向远的扩散特征。

b) 渗漏异常的幅值会随供电位置的变化而变化。

c) 渗漏异常的空间位置应与地层的导电性密切相关。

4.9.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、不同深度典型电场分布平面等值线图及判定的渗漏平面分布图及深度分布图。

4.10 拟流场法

4.10.1 拟流场法可用于探测堤防海塘内部的渗漏通道隐伏病害。

4.10.2 应用条件应符合下列规定：

1 渗漏出水口与渗漏入水口应有水流联系，并有一定的渗漏量和流速。

2 水深应大于 0.6m，且不宜超过 50m。

4.10.3 现场工作应符合下列规定：

1 测线宜网格状布置，并避开金属物。

2 探测时宜连续扫描，分为普查和详查定位 2 个工作阶段。普查测线间距宜按 3m~5m 扫描；详查定位测线间距宜按 1m 左右扫描。发现异常时宜采用点测方式，测点间距宜为 0.5m~1m。

3 供电电极 A 应置于渗漏出水口；有多处渗漏时，可在每一渗漏处各布置一电极，然后将各电极并联；供电电极 B 应置于离查漏区域较远水体中，距离宜为测区边长的 2 倍~5 倍。

4 出水点电极宜采用电极板，电极板入水面积宜为电极板面积的 $1/3 \sim 2/3$ ，若出水点不具备放置电极板条件时，宜采用铅棒电极。

5 船只宜采用非金属的橡皮艇、木板船，且能容纳 3 人~5 人。在流动水体中探测时，测量船只宜顺流观测。

6 发现有效异常时，应设置浮标定位或者记录 GPS 坐标，并重复观测。

7 工作中，供电电流宜控制在 400mA~500mA。

8 测试时探头宜先放置至水底后再垂直向上提升 10cm，记录数时宜保持接收探头垂直。

9 发送机供电电流强度应保持稳定，电流强度变化应不超过 2%。

10 应记录信号放大倍数、探头入水深度、水位高程和发送电流值等信息。

4.10.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 应根据发送电流值、信号放大倍数对观测电位梯度值进行归一化处理。

2 应以已知未发生渗漏的区段测得的水位梯度值作为测区背景值，可根据地质、环境条件确定测区背景值，剔除干扰异常。相对异常大于或等于 2 倍背景值时可作为有效异常。

3 应根据有效异常值、异常范围、测试曲线的形态，确定渗入水口的范围和

特征。

4 应结合已有地质资料、水位监测资料和工程设计资料，分析电位梯度异常的幅值、范围和形态等曲线特征与已知渗漏方式的关系，对未知地段的渗情况、规模、渗漏方式等进行推断解释。

5 成果应圈定渗漏通道的位置、范围等。

4.10.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、电位梯度曲线图、电位梯度等值线图和水深等值线图，渗漏位置分布平面图等解释成果图。

4.11 电阻率层析成像法

4.11.1 电阻率层析成像法可用于探测堤防海塘内部的渗漏通道隐伏病害。

4.11.2 应用条件应符合以下规定：

1 测孔的平面布设位置应整体考虑待测堤防海塘结构长度，以有效探测、经济适用为布设原则。

2 测孔内径宜为 60mm-90mm，测孔之间的平面间距应不小于 5m。

3 孔深应不小于待测目标的深度，且不应小于孔间距的 1.5 倍。

4 在孔间和两孔连线外侧的地表应同时布设地表测量电极。

5 电极接地条件良好，孔内不应有金属套管及其他金属介质，且应有井液。

4.11.3 现场工作应符合以下规定：

1 观测前，应先进行成孔。当测孔周围存在软弱土层时，为防止塌孔，应在孔中设置带滤网的花管（塑料套管）进行护壁，套管内径宜大于 60mm。

2 当地下水位较深时，应在测孔中或套管外注满井液或清水。

3 应通过测试地下电阻率情况，确定发射电压大小，并剔除接地不良的电极。

4 采集过程中，应随时监视分析电位数值，如单个剖面的不合格数据超过总检测数据的 5%时，应进行重新检测。

5 现场观测时，注明特殊环境因素的位置，同时应在草图上表明。

6 应根据现场记录草图，进行内业数据整理及反演，并及时提交探测成果报告。

4.11.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 1 应对照现场观测记录，剔除采集数据中的畸变点。
- 2 反演过程中使用的电性参数及反演结果应在地下土体电性参数合理范围内，否则应修改模型及反演参数，再次进行反演，直至符合要求为止。
- 3 有钻孔资料的测段应利用地层电性资料进行约束反演计算。
- 4 成像的影像宜采用伪彩色色块、等值线方式。同一工区应采用相同的色谱、色标。
- 5 根据初步判断的渗漏异常位置，应综合分析施工记录与工程地质、水文地质情况，并排除各种干扰因素引起的异常，最终定性判断渗漏点的位置和范围。

4.11.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、井间电阻率剖面图、井间探测目标体空间分布图，且降水前后的同一剖面应绘制在同一张图件。

4.12 直流电阻率法

4.12.1 直流电阻率法可用于探测堤防海塘内部的空洞、裂缝、不密实区隐伏病害等隐患的探测。

4.12.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 隐患和周边介质之间应存在明显的电性差异，并在所用装置和设备的探测范围内。
- 2 采用需要布置固定接地电极的方法时，应保证良好的接地条件。
- 3 测区内不应存在较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。

4.12.3 现场工作应符合下列规定：

1 宜选择剖面法、测深法、高密度电阻率法及跨孔、三维、时移等电阻率成像方法；测试装置包括对称四极、偶极、三极等。供电电极宜采用铁或钢制的钎状电极，其规格可根据工区接地条件及供电电流强度选定。

2 测量电极应使用同一类电极，宜采用铜、高碳钢或不极化电极；水下测量时宜使用铅电极；自然电场法、激发极化法应使用不极化电极。

3 不极化电极宜采用 Cu-CuSO₄ 液态不极化电极或 Pb-PbCl 等固态不极化电极，内阻不应大于 1kΩ，且电化性稳定，极差小于 2mV。

4 当多台仪器在同一场地工作时，不同供电单元间的距离不应小于最大供电极距的 5 倍。

5 选用的电极应坚固耐用，导电性能良好，现场电极安置位置应准确，导线与电极应可靠连接。

6 供电电流应稳定，同一观测条件下两次电流测量值的相对误差应小于±1.0%。

7 供电电极接地电阻应满足供电电压和供电电流的要求。当需要较大的供电电流或供电困难时，可采取增加电极根数、加大入土深度、埋设铝箔或铜丝绳、浇水、加粗供电线等措施减少供电回路电阻；供电电流出现异常时，应查明原因，排除周围干扰因素的影响。

8 当测量电极使用非不极化电极时，应在布极完成至少 60s 后方可进行观测。

9 测量电极接地电阻应小于 $10\text{k}\Omega$ ；当接地电阻偏大时，可采取移动位置、多根电极并联、浇盐水等措施来改善观测条件；布设测量电极时，应避免沥青、垃圾堆、炉渣、碎石等高阻地点。

10 当现场遇下列情况之一时，应进行重复观测：

- 1) 读数困难、数据不稳定和存在明显干扰的测点；
- 2) 曲线异常点和畸变点；
- 3) 电测深法不正常脱节的接头和单边供电极距大于 100m 的每个极距点；
- 4) 仪器显示错误指标或数字位数跳跃较大的极距。

11 对曲线上的特征点、畸变段及有疑问的测段，应进行自检观测。

12 重复观测时应以一个测点或一个测站为单元，检查该测点或测站的全部数据，并应符合下列规定：

- 1) 重复观测应改变供电电流，且改变量不限。
- 2) 重复观测误差超过允许范围时，应多次观测，并检查漏电、电极接地、仪器工作情况等，核对接地位置附近的地形、地质及干扰情况。
- 3) 应取剔除超限重复观测值后剩余观测值的算术平均值作为最终的观测值。

13 对于电测深法 $AB/2$ 不小于 500m 的所有测点、电剖面法每隔 10~20 个测

点及每个剖面的最后一个测点,以及导线位于潮湿地区时和有疑问的异常区(点)应进行漏电检查。

14 观测中如发现有漏电存在时,应立即查明原因并消除后,按序返回重新观测,直至连续3个点的观测值与原观测值之差在原观测值的5%以内为止。

4.12.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 数据处理前应进行资料整理,内容包括整理探测班报、检查数据的正确性及完整性等。

2 应根据外业记录的信息进行数据格式整理、坏值剔除及格式转换、拼接等预处理;对地形起伏较大区域的探测数据,应利用实测地形数据进行地形校正。

3 应利用专业软件进行数据处理、反演和成果图件绘制。

4 各种剖面、曲线图的绘制,应符合下列规定:

1) 正式图件的编绘,必须在观测数据经过质量验收的基础上进行。提交的正式图件所用的数据与绘制的曲线应进行100%的复核。

2) 同一测区的各类图件应采用相同的比例尺;面积性工作应绘制剖面平面图;等值线图的画线间隔宜采用等差间隔;充电法的剖面平面图上应标出充电点的投影位置。

3) 图中所绘各种文字符号、图形符号,应全部列入图例,并说明其代表意义;图例排序应为直流电法等地球物理探测符号、地质符号、地物符号、其它符号。

5 资料解释应符合下列规定:

1) 应研究不同介质的电性特征及变化规律。

2) 应研究异常所处位置及附近的地形、地质条件、干扰体位置、已知资料与异常的关系,并区分有意义异常和干扰异常。

3) 应对比正、反演曲线和试验结果,研究异常的特征,确定异常体的性质及其平面位置、埋深和形态等。

4) 应对定量反演结果进行合理性分析,反演的电性参数应在合理范围内且符合测区地质规律。

5) 宜结合不同装置观测的结果并综合其他物探、钻孔以及相关工程资料进行综合解释推断。

4.12.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、视电阻率剖面曲线图、测深曲线图,二维电阻率等值线图、电阻率色谱图、相关系数成像图,三维电阻率分布图、切片图等;隐患分布图、隐患探测成果表等。

4.13 激发极化法

4.13.1 激发极化法可用于探测堤防海塘内部渗漏通道隐伏病害。

4.13.2 应用条件应符合下列规定:

1 目标体与围岩之间有明显激发极化性质差异,且目标体的规模和埋深适当,能够在地表引起可测量能分辨的异常。

2 人文电干扰强度不大,目标体异常能从背景或干扰中分离出来。

4.13.3 现场工作应符合下列规定:

1 宜选择对称四极装置,进行长剖面探测时,可选用联合剖面或中间梯度装置。

2 用中间梯度装置时,MN 宜小于 $AB/30$,MN 应限于装置的中部 AB 的 $2/3$ 范围内移动。

3 线距应保证至少有两条测线通过最小目标体上方,点距应保证在异常区内至少有 3 个测点,测线间距宜为点距的 2 倍~5 倍。

4 对称四极装置的最大供电电极距 AB 应大于探测深度的 3 倍。

5 供电导线与测量导线之间的距离应大于 1m,且应随导线长度增加而增大。

6 观测供电时间宜大于 30s,供电电流随电极距增大而增加。

7 二次场电位差应大于 0.5mV;在有明显干扰的地区,二次场电位差值宜大于干扰信号幅度的 3 倍。

8 凡出现下列情况之一者,应进行重复观测和检查观测:

1) 断电后某一瞬间的二次场电位差小于 0.5mV;

2) 在观测前后发现有明显的干扰现象难以保证最终结果精度时;

3) 相邻点视极化率突变、仪器读数不稳或显示出超差等错误指示信息。

9 当 AB 排列内测线观测长度超出可测范围时,需移动 AB 排列完成相邻测线

段的观测，在相邻测线段间应有 2 个～3 个重复观测点。

10 实际接地点因无法埋设电极而需要移动时，在测地误差允许范围内可以自由移动，否则应按 A、B、M、N 电极点坐标计算装置系数 K 值。

11 在观测过程遇有干扰时，应分析原因并采取相应措施消除或减小干扰影响。

4.13.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 绘制工作布置图；电测深工作绘制各参数等值线断面图、曲线类型图、探测成果综合图等。

2 参数等值线断面图的起始值以异常的下限值确定。

3 绘制参数等值线平面图时，宜选择最能清楚反映异常特征的等值线间隔绘制。

4 综合分析电阻率和多个激电参数异常的强度、形态、规模、走向等特点及异常与地质体的对应关系，结合其他相关的已知资料及场地环境条件对异常进行定性解释。

5 在定性解释的基础上进行半定量解释与定量反演解释。地形起伏地区使用带地形的反演方法；宜利用已知的地质、物性资料进行约束反演。

6 在单个异常解释推断的基础上分析异常间的相关性，结合已知地质资料、调查搜集资料对全测区的异常进行综合推断解释。

4.13.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、等值线断面图、曲线类型图、探测成果综合图等。

4.14 瞬变电磁法

4.14.1 瞬变电磁法可用于探测堤防海塘内部不密实区、空洞、脱空及渗漏通道隐伏病害。

4.14.2 应用条件应符合下列规定：

1 场地条件表面平坦，便于布设探测线圈。

2 探测目标与周边介质有明显的电阻率差异，并在所用装置的探测深度范围内。

3 测线应避开金属物体、高压电力线、路面积水以及其他易引起电磁噪声干扰的物体。

4.14.3 现场工作应符合下列规定：

1 应根据工作条件和探测任务选择使用合适的工作装置，包括重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、大定源回线装置等；浅层探测宜选用重叠回线与中心回线装置，深层探测宜选用大定源回线装置，探测陡倾角断层宜选用偶极装置。

2 测线宜顺堤防桩号在堤顶布设，测点距可根据探测任务需要调整；发现异常时可进行加密探测，中心回线加密探测时，每次移动的距离可为发射回线边长的 $1/2$ ；探测渗漏通道时，宜在前后坡面、堤肩、堤脚、地面等处增设平行于堤防的测线。

3 接地线源长度应根据探测深度和观测的信号强度确定；回线发射的线框边长 L 可根据其与最大发射电流强度 I 、探测深度 H 的关系公式参照《工程物探技术标准》进行选择。

4 剖面应垂直于异常走向且通过异常中心布设，且宜与测线重合，剖面长度应覆盖异常范围，点距和观测精度应保证异常有完整反映。

5 测区内如有其他方法的测线、测点或钻孔等验证点时，测线宜与其重合或接近。

6 采用大尺寸回线或多匝回线时，应评估发射波形斜波关断时间，宜与接收信号延时采样匹配。

7 宜根据测点上的干扰水平选择叠加次数，叠加次数不宜少于 1024 次。

8 每个测点观测完毕，应对数据、曲线进行检查，合格后方可搬站。

9 重复观测应符合下列规定：

1) 除最后 3~5 道外，观测值在噪声电平以下时，应查明原因，并采用增加叠加次数等方法重复观测。

2) 测点曲线出现畸变时，应查明原因后重复观测；若测点附近存在干扰源，可移动点位避开重测，并做详细记录。

3) 在异常附近应加密测点，若曲线衰减变慢时，应扩大时间范围重复观测。

4) 单个测点的观测、重复观测和检查观测曲线的形态和幅值应一致，且各

观测道的总均方相对误差 m 应小于 10%。

10 当曲线出现畸变时，应查明原因后重复观测，必要时可加密测点，并作详细记录。

4.14.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 1 宜对数据进行滤波处理，并对发送电流切断时间影响进行改正处理。
- 2 应通过处理软件计算和绘制视电阻率、视纵向电导断面图、视时间常数等。
- 3 应根据瞬变电磁的响应时间特征和剖面曲线类型划分背景场及异常场，确定地电模型和划分异常。
- 4 应结合测点临近区域的钻探、物探、地质等有关资料进行综合解释分析，宜通过已知资料建立异常性质、深度、范围的对应关系，并据此对同测区其它视电阻率剖面进行解释。

5 应根据观测资料处理结果进行定性解释和异常的半定量、定量解释，编制平面剖面地质解释图。

4.14.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、视电阻率剖面图、解释成果剖面或平面图。

4.15 水下结构探测法

4.15.1 水下结构探测法可用于探测海塘堤防水下结构附近水体的流速、流向等，可用于探测海塘堤防渗漏通道。

4.15.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 开展水下摄像探测时，水下环境能见度宜大于0.5m。
- 2 声呐、ADCP 设备应选择合适载体，水下与水域环境宜相对开阔。
- 3 示踪法宜采用颜料示踪剂，示踪剂应环保无毒、色泽鲜明、易于辨认。

4.15.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 水下摄像应符合下列规定：
 - 1) 作业前应进行准备和检查工作。
 - 2) 探测工作过程中应对设备进行水下定位。
 - 3) 测线、测网宜贴近水下建筑物；应根据探测对象特点确定摄像部位。

4)发现缺陷部位应及时记录、定位和重点观察；发现渗漏时，宜结合水下喷墨设备，观察颜料吸入情况。

2 二维图像声呐探测应符合下列规定：

- 1)应根据现场环境和探测目的选择测量方式、规划测站或测线布置。
- 2)应根据探测要求选择探头类型、频率和工作方式。
- 3)探测中发现异常部位时应进行重复扫描。

3 三维成像声呐探测应符合下列规定：

1)应根据探测目的选择合适的探头类型、频率和工作方式，采集前应进行工作水域声速测定。

- 2)应根据现场环境和探测目的规划测站和测线位置。
- 3)可通过布置强反射定位标靶提高探测效果。

4 多波束声呐和三维实时声呐探测应符合下列规定：

1)现场工作应按 JT/T790 的相关规定执行，水下构筑物缺陷探测精度应达到特等测量等级要求；

- 2)探测时应记录仪器位置信息；探测前后应记录测区水位。
- 3)设备应按照厂家的技术要求进行安装和固定，并记录安装位置参数。

4)正式作业前应进行系统稳定性试验，重复误差在水深小于 30m 时应小于 0.6m，水深大于 30m 时应小于水深的 2%。

5)每次探测前后应测量换能器吃水深度，测量误差应小于 5cm；应测量代表性区域声速剖面，测量误差应小于 1m/s。

7)测船最大航速应根据数据更新率、波束脚印和测区最浅水深确定；测船在探测区域内应保持匀速直线航行。

8)探测过程中应实时记录探测数据、监控数据覆盖情况和质量；信号质量不稳定时，应及时调整多波束发射和接收单元参数；必要时进行补测或重测。

5 侧扫声呐探测应符合下列规定：

1)探头宜采用船侧固定安装方式，记录仪应接地良好；探测前应在代表性区域调试，合理设置采集参数。

2)探测过程中，测量船应保持匀速、直线航行，船速应低于 3km/h；探测过程宜记录定位信息。

3) 探测过程中应及时检查探测数据质量, 数据覆盖不足或漏测、信号质量不满足要求时, 应及时进行补测或重测。

6 示踪法探测应符合下列规定:

1) 示踪剂释放装置可由水下机器人或其它载体搭载; 喷嘴应固定在摄像头前方。

2) 应实时记录示踪剂在水中的运动状态; 探测裂缝、结构缝或混凝土破损部位时应录像, 并对缺陷部位进行示踪检查; 岸上探测人员应通过示踪剂的流动状态对判断渗漏情况。

3) 普查时, 可对渗漏区域进行单次喷墨; 确定渗漏部位后, 可对渗漏区域进行连续喷墨; 可通过示踪剂连续吸入时间和吸入速率判断渗漏程度。

4. 15. 4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 宜进行水下探测数据的对比分析。

2 水下摄像数据应进行回放分析, 判断缺陷位置、规模和性质, 并截取缺陷部位视频; 可对成果进行图像增强处理。

3 二维图像声呐数据应进行回放分析, 标识目标体信号, 分析目标体规模、位置。

4 三维成像声呐数据应进行噪声处理、数据拼接处理、三维建模处理; 应根据建模数据进行构筑物尺寸、位置及缺陷情况的分析解释。

5 多波束声呐数据处理应确认原始数据完整性, 剔除不合格数据, 进行水深改正; 资料解释应根据成果分析水下建筑物和地形变化和异常情况

6 侧扫声呐数据处理应确认数据完整性、进行数据校正; 应绘制侧扫声呐条幅平面图, 并进行数据拼接, 绘制侧扫声呐镶嵌图; 资料解释应根据成果分析水底或者建筑物表面特征。

7 三维实时声呐数据处理应确认数据完整性, 剔除不合格数据, 进行数据校正; 资料分析应根据成果分析构筑物 and 地形外形变化和异常情况。

4. 15. 5 成果资料提交

提交的成果除宜包括成果数据、测线测点分布图外, 还应符合下列要求:

1 水下摄像成果宜包括水下摄像编辑资料、缺陷位置分布图等。

2 二维图像声呐成果宜包括二维声呐图像及对应的解释图件。

3 三维成像声呐和三维实时声呐成果宜包括三维数据模型图及局部放大图、典型断面图、平面等值线图及缺陷分布图等。

4 多波束声呐成果宜包括水深图、三维数字高程模型图、典型断面图及缺陷分布图等。

5 侧扫声呐成果宜包括侧扫声呐镶嵌图及解释图。

4.16 水下浅地层探测法

4.16.1 水下浅地层探测法可用于探测堤防海塘内部空洞、不密实区及渗漏通道隐伏病害。

4.16.2 应用条件应符合下列规定：

1 水深大于 0.5m, 且具备剖面仪载体航行条件。

2 水中 50Hz~8kHz 频段的干扰噪音强度应小于 150dB。

4.16.3 现场工作应符合下列规定：

1 探测区域水底地层为砂砾石层、砂层等砂质地层时，不宜使用浅地层剖面仪进行地层分层及地层内目标体的探测工作。

2 应保证单位距离内的采样点数达到工程任务要求。

3 开展水下探测工作前，应对水底地层的波速特征进行分析。

4 探测前后应记录水位高程，探测过程中应记录定位信息。

5 应根据工程情况设计测线；测量过程中，探测设备与测线的水平位置偏差宜小于 1m。

4.16.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 探测数据处理应包括数据回放、波形分析、界面追踪等。

2 可通过同相轴追踪方法判断地层分界面和异常体位置；可根据反射信号特征判断反射界面性质。

4.16.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、探测轨迹图、地层剖面图、目标体分布图等。

4.17 温度场法

4.17.1 温度场法可用于探测堤防海塘内部的渗漏通道。

4.17.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 渗漏水体与环境温度存在温差。
- 2 渗漏水体未被植被等物体完全遮挡。

4.17.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 可采用红外测温仪、热成像仪、激光测温仪等非接触式测温设备。
- 2 宜对堤防背水面、堤脚和其它可能出渗部位采用巡查式探测。
- 3 现场探测前应对仪器进行检查或校正。
- 4 应考虑地貌、植被对温度测量值的影响；发现温度异常部位应及时进行人工检查确认。
- 5 宜与车辆、无人机等载体及定位设备配合使用。

4.17.4 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 1 对发现的温度异常区域位置、分布范围、环境温度、异常温度、人工检查结果分条记录。
- 2 宜保存温度成像的图像或视频。

4.17.5 成果资料提交：

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、温度成像图和视频，应在温度成像图中标示除温度异常区域位置和分布范围等。

4.18 同位素示踪法

4.18.1 同位素示踪法可用于探测堤防海塘内部的渗漏通道等隐伏病害。

4.18.2 同位素示踪法分为人工同位素示踪法（单孔稀释法、单孔示踪法和多孔示踪法）和天然同位素示踪法两大类，应用条件应符合下列规定：

- 1 渗漏通道长度宜小于100m。
- 2 渗漏水流宜有一定的流速。

4.18.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 测试水文参数时，应选择合适的放射性同位素。测试地下水流速流向时，宜选用 ^{131}I ，每次投放量应低于 $1 \times 10\text{Bq}$ 。
- 2 测试渗透速度和流向应采用单孔稀释法，测试地层平均孔隙度，地层弥散系数等宜采用多孔示踪法。

3 开展多孔示踪法时,应事先估计投放点至探测点之间的距离、渗漏量、饱水层体积、孔隙度等基本参数;需要投放较大量的放射性同位素时,应选用符合相关标准的放射性同位素,可选用 ^{131}I ,剂量范围宜为 $1 \times 10^6 \text{ Bq} \sim 100 \times 10^6 \text{ Bq}$;同位素应一次投放完毕。

4 同位素示踪法的测线和钻孔布置应符合 GB50027 的要求;可在堤顶布置 1 条测线,钻孔沿测线布置;普查时,孔距宜为 100m;详查时,孔距宜为 50m,必要时可增加钻孔数量验证测量结果的准确性;可利用堤防已有的钻孔和观测孔开展测试。

5 现场测量时,测量仪器应进行本底测量、置零及现场测量方向校正。

6 垂直测点距离宜为 1m;发现异常点时,应进行多次重复测量。

4.18.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 钻孔中或井间人工同位素示踪测量时,应计算渗透流速、流向及渗透系数。

2 天然同位素示踪法数据分析应考虑岩体、温度对天然同位素含量造成的漂移。

4.18.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、测区的流速矢量平面分布图;渗漏路径的剖面分布图;渗透流速、渗透系数沿各孔的高程分布图;与图件相对应的渗透流速、渗透系数以及渗流方向统计表;环境同位素数据分布图。

4.19 钻孔全景光学成像法

4.19.1 钻孔全景光学成像法可用于探测堤防海塘内部的空洞、脱空、软弱夹层及裂缝病害。

4.19.2 应用条件应符合下列规定:

1 宜在无套管的干孔或清水孔中进行;当孔中、管中水质透明度不足时,应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清。

2 在冲洗沉淀达不到观测效果时可采用玻璃套管。

4.19.3 现场工作应符合下列规定:

1 应现场记录工程名称、测试钻孔编号、工作日期等参数。

2 图像显示的深度相对误差不应大于 0.5%, 与电缆标记的绝对误差不应大于 100mm, 每隔 500mm 应进行一次校正。

3 记录的图像应清晰可辨, 且能显示图像的方位角和钻孔的倾角。

4 连续拍摄拼图成像时, 探头移动速度不宜大于 3m/min。

4.19.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 钻孔全景光学成像成果图像宜展开拼接成分段连续的图片; 横向从左到右宜按北、东、南、西、北方向展开, 并标注方位; 垂向应标注深度或高程。

2 钻孔全景光学成像应对钻孔的地质现象进行描述, 并计算裂隙、断层、软弱夹层等的倾角、倾向及厚度, 在顶角大于 5° 的斜孔中计算产状时, 应该利用孔斜测量资料进行斜度校正。

3 钻孔全景光学成像应对主要地质异常进行追踪观察, 图像清晰可辨。

4.19.5 成果资料提交:

提交的成果宜包括成果数据、测线测点分布图、编辑后的图像和典型地质现场的图片。

5 隐患探测应用

5.1 一般规定

5.1.1 不同区域常见典型隐患类型应参照5.1-1表格。

5.1.2 不同区域隐患探测内容应包括隐患的位置、范围、分布、形态、尺寸、规模、走向等信息。

5.1.3 普查时测线间距宜小于2.0m；详查时测线间距宜小于1.0m，异常处宜布设网格状测线，且适当加密，保证一条测线至少有3个数据经过异常体。

5.1.4 对具备孔中探测条件的区域，宜选用专项方法进一步探测或验证，探测及验证后需对堤防海塘进行原样恢复。

表5.1-1 常见典型隐患

序号	区域位置	常见典型隐患
1	防汛墙前区域	脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝、渗漏通道、软弱夹层
2	防汛墙后区域	脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝、渗漏通道、软弱夹层
3	滩面	空洞
4	消浪平台区域	脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝、渗漏通道、软弱夹层
5	外护坡区域	脱空、不密实区、富水、空洞、渗漏通道、软弱夹层
6	堤顶区域	脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝、渗漏通道、软弱夹层
7	内护坡区域	脱空、不密实区、富水、空洞、渗漏通道、软弱夹层
8	内青坎区域	脱空、不密实区、富水、空洞、渗漏通道
9	穿、跨、沿建（构） 筑物区域	脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝、渗漏通道

5.2 防汛墙前区域

5.2.1 防汛墙前区域的典型隐患可以采用探地雷达法、反射波法、井间地震层析成像法、直流电阻率法、瞬变电磁法、水下探测方法、水下浅地层探测法、钻孔全景光学成像法。

5.2.2 防汛墙前区域隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。
- 3 软弱夹层分界面及延伸分布情况等。

5.2.3 防汛墙前区域隐患探测应符合下列规定：

1 防汛墙前区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.3反射波法、4.12直流电阻率法。

2 防汛墙前区域渗漏通道探测宜选用4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法、4.17温度场法。

3 防汛墙前水位较高时，宜选用4.15水下探测方法和4.16水下浅地层探测法进行不密实区域探测。

5.2.4 防汛墙前区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜沿防汛墙走向布设。迎水面有护坡时宜在护坡处布设一条顺堤测线，当无护坡时宜在防汛墙前布设一条顺堤测线。
- 2 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。
- 3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。
- 4 电剖面法及高密度电法应采用同一条测线，弯曲堤段应分段探测。

5.3 防汛墙后区域

5.3.1 防汛墙后区域的典型隐患可以采用探地雷达法、反射波法瑞雷面波法、微动法、自然电场法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、温度场法、同位素示踪法、钻孔全景光学成像法。

5.3.2 防汛墙后区域隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

3 软弱夹层分界面及延伸分布情况等。

5.3.3 防汛墙后区域隐患探测应符合下列规定：

1 防汛墙后区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.3反射波法、4.5瑞雷面波法、4.12直流电阻率法、4.13激发极化法、4.14瞬变电磁法。

2 防汛墙后区域管涌及渗漏通道探测宜选用4.8自然电场法、4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法、4.17温度场法、4.18同位素示踪法。

5.3.4 外护坡区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜沿防汛墙走向布设。
- 2 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。
- 3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。
- 4 电剖面法及高密度电法应采用同一条测线，弯曲堤段应分段探测。

5.4 滩面

5.4.1 滩面的典型隐患可以采用拟流场法、水下探测法、水下浅地层探测方法、同位素示踪法，井间地震层析成像法、钻孔全景光学成像法。

5.4.2 滩面隐患探测应包括下列内容：

- 1 空洞、不密实区位置、范围、分布等。
- 2 渗漏通道位置、大小规模、延伸方向等。

5.4.3 滩面隐患探测应符合下列规定：

1 滩面空洞、不密实区探测宜选用4.16水下浅地层探测方法。

2 滩面渗漏通道探测宜选用4.10拟流场法、4.15水下探测法、4.18同位素示踪法。

5.4.4 滩面区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜通过预测目标体布设。
- 2 测线布设宜避开对探测方法产生干扰的环境因素。
- 3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。

5.5 消浪平台区域

5.5.1 消浪平台区域的典型隐患可以采用探地雷达法、反射波法、折射波法、瑞雷面波法、微动法、井间地震层析成像法、自然电场法、阵列式电流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、钻孔全景光学成像法。

5.5.2 消浪平台区域隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

5.5.3 消浪平台区域隐患探测应符合下列规定：

- 1 土石或砌石类消浪平台区域脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.3反射波法、4.14瞬变电磁法。
- 2 内混钢筋混凝土类消浪平台区域脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.3反射波法、4.6微动法。
- 3 消浪平台区域渗漏通道探测宜选用4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法。

5.5.4 消浪平台区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜沿消浪平台走向布设，若测线因穿堤设施无法连续采集时，应跨过穿堤设施重新布设测线。
- 2 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。
- 3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。

5.6 外护坡区域

5.6.1 外护坡区域的典型隐患可以采用探地雷达法、井间地震层析成像法、自然电场法、阵列式电流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、钻孔全景光学成像法。

5.6.2 外护坡区域隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

5.6.3 外护坡区域隐患探测应符合下列规定：

1 砌石类外护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.14瞬变电磁法。

2 栅栏板类外护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞、隐患探测宜选用4.2探地雷达法。

3 外护坡区域渗漏通道探测宜选用4.8自然电场法、4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法。

5.6.4 外护坡区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

1 测线宜沿外护坡走向布设，若测线因穿堤设施无法连续采集时，应跨过穿堤设施重新布设测线。

2 栅栏板类外护坡区测线应避开栅栏板。

3 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。

4 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。

5.7 堤顶区域

5.7.1 堤顶区域的典型隐患可以采用探地雷达法、反射波法、折射波法、瑞雷面波法、微动法、井间地震层析成像法、阵列式电流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、钻孔全景光学成像法。

5.7.2 堤顶区域隐患探测应包括下列内容：

1 脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患的位置、范围、分布情况等。

2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

3 软弱夹层分界面及延伸分布情况等。

5.7.3 堤顶区域隐患探测应符合下列规定：

1 堤顶区域脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.3反射波法、4.6微动法、4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法。

2 堤顶区域渗漏通道探测宜选用4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法。

3 堤顶区域软弱夹层探测宜选用5.3反射波法、4.9阵列式电流场法、4.11电阻率层析成像法、4.12直流电阻率法、4.14瞬变电磁法。

5.7.4 堤顶区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

1 测线宜沿堤顶走向布设。

2 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。

3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。

5.8 内护坡区域

5.8.1 内护坡区域的典型隐患可以采用探地雷达法、井间地震层析成像法、自然电场法、阵列式电流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、温度场法、钻孔全景光学成像法。

5.8.2 内护坡区域隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

5.8.3 内护坡区域隐患探测应符合下列规定：

1 无拱肋砌块石、土石、混凝土类内护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.14瞬变电磁法。

2 有拱肋砌块石、土石、混凝土类内护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测宜选用4.9阵列式电流场法、4.14瞬变电磁法。

3 内护坡区域渗漏通道探测宜选用4.8自然电场法、4.9阵列式电流场法、4.14瞬变电磁法、4.17温度场法。

5.8.4 内护坡区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜沿护坡走向布设，若测线因穿堤设施无法连续采集时，应跨过穿堤设施重新布设测线。
- 2 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。
- 3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。

5.9 内青坎区域

5.9.1 内青坎区域的典型隐患可以采用反射波法、折射波法、瑞雷面波法、微动法、井间地震层析成像法、自然电场法、阵列式电流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、激发极化法、瞬变电磁法、钻孔全景光学成像法。。

5.9.2 内青坎区域隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

5.9.3 内青坎区域隐患探测应符合下列规定：

1 内青坎区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测宜选用4.2探地雷达法、4.3反射波法、4.4折射波法。

2 内青坎区域渗漏通道探测宜选用4.8自然电场法、4.9阵列式电流场法、4.12直流电阻率法。

5.9.4 内青坎区域隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜通过预测目标体布设。
- 2 测线布设宜避开地形突变及对探测方法产生干扰的环境因素。
- 3 测线长度应确保其数据成果能够覆盖异常体并保留适当的背景场。

5.10 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位

5.10.1 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位的典型隐患可以采用探地雷达法、反射波法、折射波法、瑞雷面波法、微动法、井间地震层析成像法、自然电场法、阵列式电流场法、拟流场法、电阻率层析成像法、直流电阻率法、瞬变电磁法、钻孔全景光学成像法。

5.10.2 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位隐患探测应包括下列内容：

- 1 脱空、不密实区、富水、空洞隐患的位置、范围、分布情况等。
- 2 裂缝隐患的深度、长度、宽度、走向、分布等。
- 3 渗漏通道位置、渗漏情况、大小规模、分布情况等。

5.10.3 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位隐患探测应符合下列规定：

1 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测宜选用5.2探地雷达法、5.3反射波法、5.4折射波法、5.6微动法。

2 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位渗漏通道探测宜选用4.8自然电场法、4.9阵列式电流场法、4.10拟流场法。

3 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位隐患埋深较大时，宜选用5.6微动法、4.9阵列式电流场法、4.14瞬变电磁法。

5.10.4 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位隐患探测测线布设应符合下列规定：

- 1 测线布置应根据任务要求、待测目标的位置等因素综合确定。
- 2 测线宜按直线布设，当测线通过建（构）筑物、障碍物时测线可转折，但应采取相应措施，确保转折测线的资料能够独立解释。

3 测线密度应确保探测异常完整和便于追踪，且宜对待测区域全覆盖。

6 成果报告

6.1 报告编写

6.1.1 探测成果报告宜包括工作概况、方法技术、现场工作、资料分析与解释、结论与建议、附录图表等内容。

6.1.2 工作概况宜包括堤防概况、探测任务、探测依据、工区地质与地球物理特征、工作组织与实施情况等。

6.1.3 方法技术宜包括方法选择、方法原理、仪器设备、测线(测点)布置等。

6.1.4 现场工作宜包括现场工作安排、实施情况、质量检查等。

6.1.5 资料分析与解释宜采用隐患智能判读技术开展，主要内容宜包括原始资料评价、资料处理与解释方法、异常的定性和定量分析、隐患推断解释、验证情况、质量检查等。

6.1.6 结论与建议宜包括探测成果分析及评价、隐患处理建议等内容。

6.1.7 探测成果报告宜采用人工智能技术批量化输出。报告应有附图和附表；附图宜包括测线布置图、探测成果图（应注明海塘或堤防设施里程桩号，重要的水工建筑物及地形地物标志，隐患的性质、平面位置及埋深规模等信息）等；附表宜包括工作量统计表、物性参数表、仪器参数表、成果统计表等。

6.2 成果数字化

6.2.1 应建立统一数据库系统对数据和成果进行管理。探测成果数据应满足数据库入库要求，宜包括隐患点编号、隐患类型、隐患点坐标、隐患点埋深、探测单位信息、现场照片等。

6.2.2 探测成果数据应建立数据标签进行分类管理，数据标签应标准化，具有唯一性和可识别性，便于数据的分类、检索、分析和存取。

6.2.3 应建立数据日志，记录数据产生的设备、时间、空间及修改历史等信息。

6.3 成果验收及归档

6.3.1 探测成果应经校核和审查批准后，按照有关规定进行归档。归档应采用数字化归档，归档的探测成果数据结构形式、数据库格式应满足委托方数据平台接入要求。

6.3.2 堤防隐患探测工作结束后，隐患探测组织单位应按照档案管理的相关规定，及时将隐患探测报告等资料进行归档。

6.3.3 堤防隐患探测归档材料应满足下列要求：

- 1 内容完整、准确、系统。
- 2 字迹清楚、图样清晰、图表整洁及签字（章）手续完备。

6.3.4 技术资料经整理、分类、甄别，按上海市城建技术档案管理要求，对明确需要归档的即成为技术档案。技术档案由文字材料、图纸、表格、照片、录音、像带、光盘等组成。

6.3.5 技术档案的主要内容应包括：

- 1 现状探测中形成的材料与专题成果。
- 2 堤防隐患探测形成的成果（包括报告及附件）。

6.3.6 堤防海塘隐患探测组织单位应逐步实行技术档案的数字化及计算机管理。

附录一 不同区域探测方法应用选择

探测方法 \ 适用区域	防汛 墙前	防汛 墙后	滩面	消浪 平台	外护坡	堤顶	内护坡	内青坎	穿、跨、沿 建（构）筑物
探地雷达法	●	●		●	●	●	●	●	●
反射波法	●	●		●	○	●	○	●	●
折射波法				○	○	○	○	●	●
瑞雷面波法		●		○	○	○	○	○	●
微动法				●	○	●	○	○	●
井间地震层析成像法		○		○	○	○	○	○	○
自然电场法	●	●	○	○	●	○	●	●	●
阵列式电流场法				○	○	●	●	●	●
拟流场法			●		○		○	○	○
电阻率层析成像法				○	○	○	○		
直流电阻率法	●	●		●	●	●	●	●	○
激发极化法		●		○					○
瞬变电磁法	●	●		●	●	●	●	○	●

水下探测法	●		●						
水下浅地层探测法	●		●						
温度场法		○			○	●	○	○	
同位素示踪法		○	●		○		○	○	
钻孔全景光学成像法	○		○	○	○	○	○	○	○
说明： 1、普查时，宜选用探地雷达法，初步判定地下异常分布情况。 2、详查时，宜根据任务要求、地球物理条件，有针对性的选择对应方法。复杂条件下宜采用综合探查方法。 3、详查时应对重大异常区域进行复测和验证，应查明隐患属性。									

注：“●”表示推荐方法，“○”表示可选方法

附录二 典型隐患方法应用选择

典型隐患 探测方法	脱空	不密实区	富水	空洞	裂缝	渗漏通道	软弱夹层
探地雷达法	●	●	●	●	●	○	●
反射波法	●	●		●	○	○	●
折射波法	○	●		○	○	○	●
瑞雷面波法	●	●	●	●	○	○	●
微动法	●	●		●		○	●
井间地震层析成像法	●	●		○	●	○	○
自然电场法						●	
阵列式电流场法	○	○		○	○	●	
拟流场法						●	
电阻率层析成像法	○	○	○	○	○	●	
直流电阻率法	●	●	●	●	●	○	○
激发极化法	○	○	○	○	○	●	
瞬变电磁法	●	●	●	●	○	○	○

水下探测法	●		●				
水下浅地层探测法						●	
温度场法						●	
同位素示踪法						●	
钻孔全景光学成像法	●	○		●	●	○	●
说明： 1、普查时，宜选用探地雷达法，初步判定地下异常分布情况。 2、详查时，宜根据任务要求、地球物理条件，有针对性的选择对应方法。复杂条件下宜采用综合探查方法。 3、详查时应对重大异常区域进行复测和验证，应查明隐患属性。							

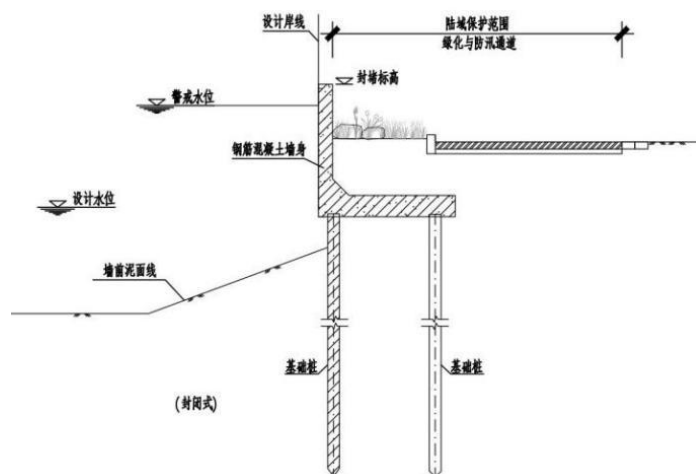
注：“●”表示推荐方法，“○”表示可选方法

附录三 探测成果报告目录

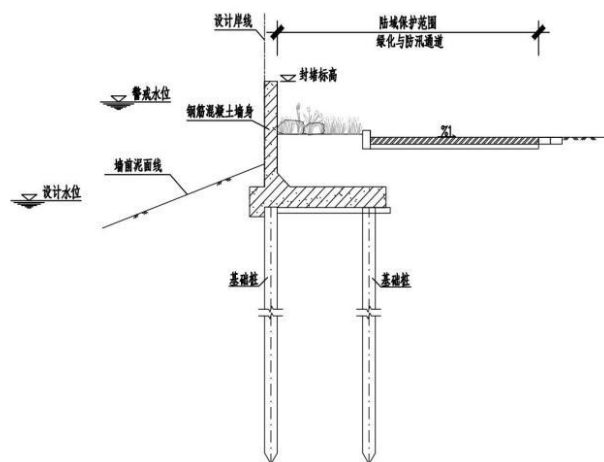
1 工程概况·····	X
1.1 堤防概况·····	X
1.2 任务来源及探测依据·····	X
1.3 工区地质与地球物理特征·····	X
1.4 工作组织与实施情况·····	X
2 方法技术·····	X
2.1 工作方法及原理·····	X
2.2 人员及设备配置·····	X
2.3 测线测点布置·····	X
3 现场工作·····	X
3.1 工作安排·····	X
3.2 实施情况·····	X
3.3 质量检查·····	X
4 资料处理及解释·····	X
4.1 数据处理·····	X
4.2 数据解释·····	X
4.3 验证情况·····	X
5 结论与建议·····	X
5.1 成果分析及评价·····	X
5.2 隐患处理建议·····	X
附图·····	X
附表·····	X

附录四 堤防典型断面形式

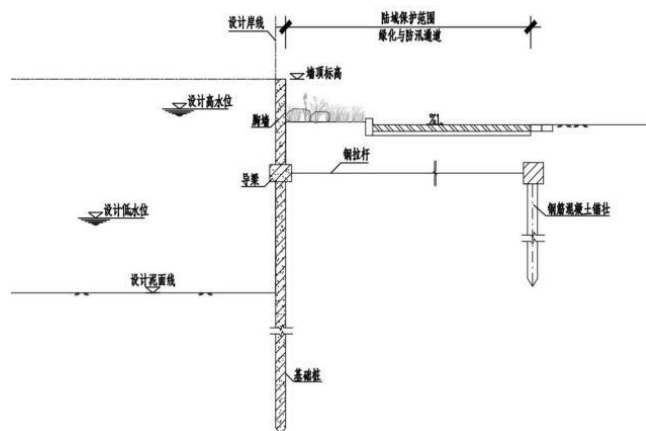
1、高桩承台式防汛墙典型断面



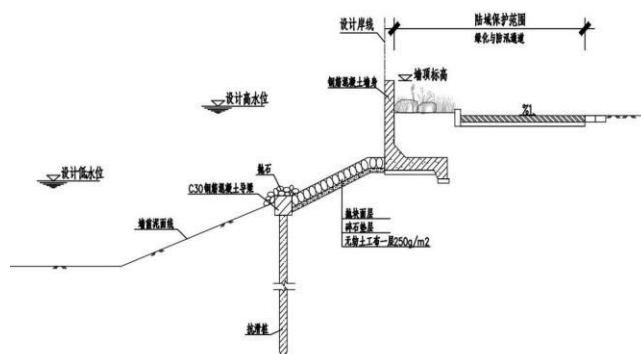
2、低桩承台式防汛墙典型断面



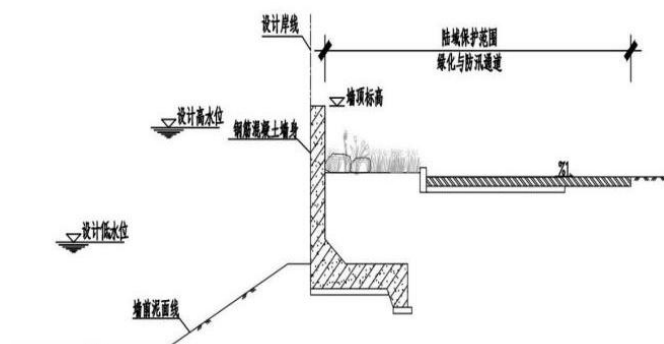
3、拉锚板桩式防汛墙典型断面



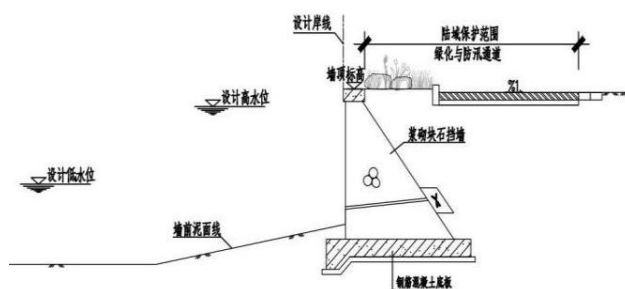
4、护坡式防汛墙典型断面



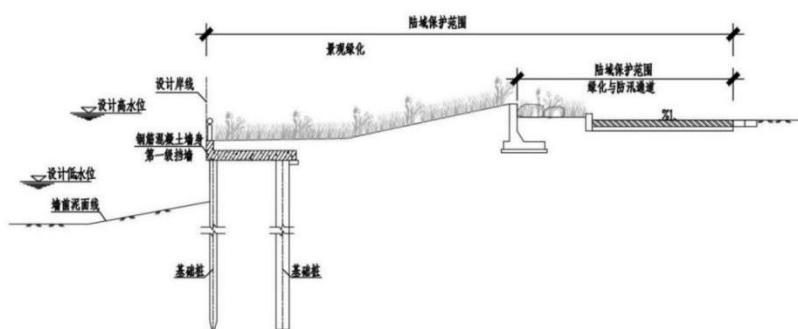
5、L 形防汛墙典型断面



6、重力式防汛墙典型断面

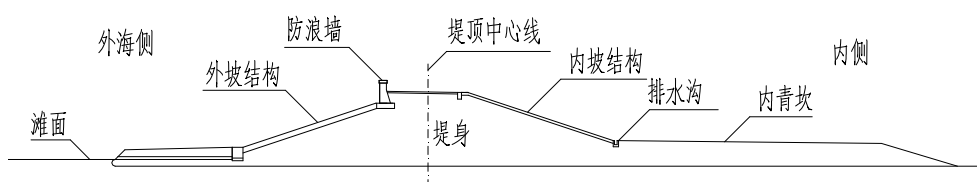


7、两级挡墙组合式防汛墙典型断面

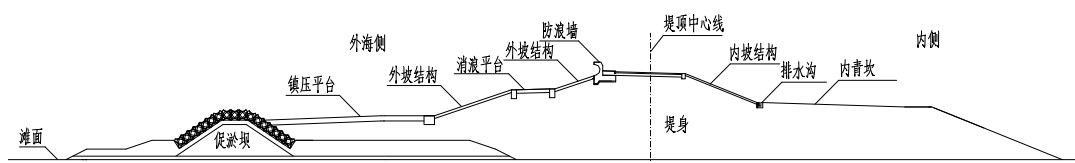


附录五 海塘典型断面形式

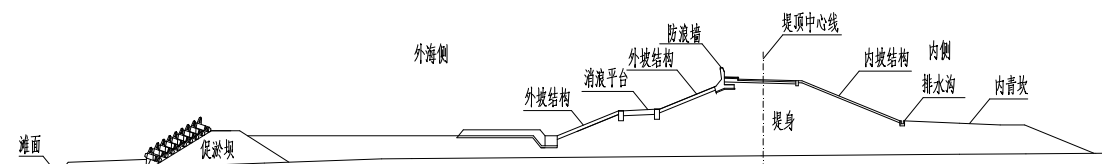
1、单坡堤身断面



2、复式坡堤身断面（与促淤坝结合式）



3、复式坡堤身断面图（与促淤坝分离式）



引用标准名录

- [1] 《堤防隐患探测规程》 SL 436
- [2] 《水利水电工程勘探规程第 1 部分：物探》 SL/T 291.1
- [3] 《海堤工程设计规范》 GB/T51015
- [4] 《工程物探技术标准》 DG/TJ08-2271
- [5] 《防汛墙工程设计标准》 DG/TJ 08-2305
- [6] 《堤防工程安全监测技术规程》 SL/T794

本标准用词说明

为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

(1)表示很严格，非这样做不可的用词： 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用词： 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用词：

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”。

(5)标准中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应 符合……的规定(要求)”
或“应按……执行”。

条文说明

上海市工程建设规范

上海市堤防隐患探测标准

**Standards of exploration for Shanghai dike hidden
trouble**

DG/TJ08-XXXX-2025

条 文 说 明

目 次

1 总则.....	61
2 术语和符号	62
2.1 术语	62
3 基本规定	63
4 探测方法	64
4.1 一般规定	64
4.2 探地雷达法	64
4.3 反射波法	64
4.4 折射波法	65
4.5 瑞雷面波法	65
4.6 微动法	66
4.7 井间地震层析成像法	66
4.8 自然电场法	66
4.9 阵列式电流场法	67
4.11 电阻率层析成像法	68
4.12 直流电阻率法	68
4.13 激发极化法	68
4.14 瞬变电磁法	69
4.15 水下探测方法	69
4.16 水下浅地层探测法	70
4.18 同位素示踪法	70
5 隐患探测应用	28
5.1 一般规定	72
5.2 防汛墙前区域	72
5.3 防汛墙后区域	72
5.4 滩面	72
5.5 消浪平台区域	73
5.6 外护坡区域	73

5.7 堤顶区域	73
5.8 内护坡区域	73
5.9 内青坎区域	73
5.10 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位	74
6 成果报告	75
6.1 报告编写	75
6.2 成果数字化管理	75
附录三 探测成果报告目录	76
附录四 堤防典型断面形式	77
附录五 海塘典型断面形式	80

Contents

1 General provisions.....	61
2 Terms and symbols.....	62
2.1 Terms.....	62
3 Basic regulations.....	63
4 Detection methods.....	64
4.1 General.....	64
4.2 Ground penetrating radar method.....	64
4.3 Reflection wave method.....	64
4.4 Refractive wave method.....	65
4.5 Rayleigh surface wave method.....	65
4.6 Microtremor survey method.....	66
4.7 Cross-well seismic tomography method.....	66
4.8 Natural electric field method.....	66
4.9 Array current field method.....	67
4.11 Electrical resistivity tomography method.....	68
4.12 Dc resistivity method.....	68
4.13 Induced polarization method.....	68
4.14 Transient electromagnetic method.....	69
4.15 Underwater detection method.....	69
4.16 Underwater shallow formation detection method.....	70
4.18 Isotope tracing method.....	70
5 Hidden danger detection applications.....	28
5.1 General.....	72
5.2 Tidal flat surface area.....	72
5.3 Behind revetment area.....	72
5.4 Beach surface.....	72
5.5 Wave dissipating platform area.....	73

5.6 External slope protection area.....	73
5.7 Embankment top area.....	73
5.8 Inner slope protection area.....	73
5.9 Area between the inner of the sea dike and the revetment..	73
5.10 Across under/over、along crossing buildings area.....	74
6 Results report.....	75
6.1 Report writing.....	75
6.2Digital management of achievements.....	75
Appendix 3 Table of contents for detection results report.....	76
Appendix 4 Typical cross-sectional forms of dike.....	77
Appendix 5 Typical cross-sectional forms of sea dike.....	80

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms and symbols.....	错误! 未定义书签。
2.1 Terms.....	错误! 未定义书签。
3 Basic regulations.....	错误! 未定义书签。
4 Typical cross-sectional forms of dike and sea dike.....	错误! 未定义书签。
4.1 Typical cross-sectional forms of dike.....	错误! 未定义书签。
4.2 Typical cross-sectional forms of sea dike.....	错误! 未定义书签。
5 Detection methods.....	错误! 未定义书签。
5.1 General.....	错误! 未定义书签。
5.2 Ground penetrating radar method.....	错误! 未定义书签。
5.3 Reflection wave method.....	错误! 未定义书签。
5.4 Refractive wave method.....	错误! 未定义书签。
5.5 Rayleigh surface wave method.....	错误! 未定义书签。
5.6 Microtremor survey method.....	错误! 未定义书签。
5.7 Cross-well seismic tomography method.....	错误! 未定义书签。
5.8 Natural electric field method.....	错误! 未定义书签。
5.9 Array current field method.....	错误! 未定义书签。
5.11 Electrical resistivity tomography method.....	错误! 未定义书签。
5.12 Dc resistivity method.....	错误! 未定义书签。
5.13 Induced polarization method.....	错误! 未定义书签。
5.14 Transient electromagnetic method.....	53
5.15 Underwater detection method.....	错误! 未定义书签。
5.16 Underwater shallow formation detection method.....	错误! 未定义书签。
5.18 Isotope tracing method.....	错误! 未定义书签。
6 Hidden danger detection applications.....	错误! 未定义书签。
6.1 General.....	错误! 未定义书签。
6.2 Tidal flat surface area.....	错误! 未定义书签。
6.3 Behind revetment area.....	错误! 未定义书签。

6.4 Beach surface	错误！未定义书签。
6.5 Wave dissipating platform area	错误！未定义书签。
6.6 External slope protection area	错误！未定义书签。
6.7 Embankment top area	错误！未定义书签。
6.8 Inner slope protection area	错误！未定义书签。
6.9 Area between the inner of the sea dike and the revetment	错误！未定义书签。
6.10 Across under/over、along crossing buildings area	错误！未定义书签。
7 Results report	错误！未定义书签。
7.1 Report writing	错误！未定义书签。
7.2 Digital management of achievements	错误！未定义书签。
7.3 Achievement acceptance and archiving	错误！未定义书签。
Appendix 3 Table of contents for detection results report	错误！未定义书签。

1 总则

1.0.1 本条阐明了制定本标准的目的。上海市位于长江三角洲前缘，地处太湖流域下游，境内河网密布，汛期常受台风、高潮、暴雨的侵袭，防汛形势严峻。一旦发生洪涝灾害，国家和人民的生命财产损失将不可计量。新中国成立以来，上海在防汛设施建设上投入了大量人力、物力，千里海塘、千里江堤、区域除涝、城镇排水“四道防线”基本形成，发挥了巨大的防灾减灾效益。其中“千里海塘”是“四道防线”中的第一道防线，是指长江口、东海和杭州湾沿岸以及岛屿四周修筑的堤防、堤防构筑物及保滩工程。“千里江堤”是指上海黄浦江干支流防洪挡潮的堤防。“千里海塘”“千里江堤”构成了上海抵御风暴潮洪灾害的重要防线和安全屏障，对上海城市发展和安全发挥了重要作用。作为上海市防洪体系的核心屏障，堤防海塘直接关系城市运行和千万人口生命财产安全。随着城市化进程的加快，黄浦江苏州河堤防及海塘沿岸开发强度不断增加，堤防海塘设施的运行环境更加复杂。同时，气候变化导致极端天气事件增多，进一步加剧了隐患的复杂性和隐蔽性。为准确掌握堤身内部安全状况，便于及时维修加固，确保防汛安全，堤防海塘管理部门定期进行堤身内部缺陷探测工作。目前已有的相关技术标准难以直接指导上海市的实际工作。因此，为规范上海市堤防隐患探测工作的技术要求，保证探测成果质量，为堤防的维修养护、除险加固提供依据，制定本标准。

1.0.2 本条规定了本标准适用的适用范围。本标准适用于上海市范围内“一江一河”堤防及海塘的隐患探测工作，亦适用于上海市土石坝的隐患探测工作。一线海塘和备塘其余堤防在技术条件相同的情况下也可适用。

1.0.4 本标准是上海市堤防隐患探测的地方专业技术标准，与岩土工程设计、勘察、水文地质、质量检测、工程测量等工作密切相关，因此在实际工作中会涉及相关的国家、行业及本市的其他专业技术标准等。所以，本条明确规定本市堤防隐患探测工作除应符合本标准外，尚应符合国家、行业及本市现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 堤防 dike

上海市指在河道及海域沿岸建造的具有挡潮防洪能力的构筑物及其附属设施，包含黄浦江、苏州河堤防及海塘。。

2.1.6 内青坎 area between the inner of the sea dike and the revetment

通常用于绿化种植（乔木、灌木及草皮），并设排水沟排水，起到保护堤防坡脚、防止水土流失、美化环境等作用。

2.1.7 滩面 tidal flat surface

通常与保滩工程等共同构成海塘的防冲消能体系。

2.1.17 软弱夹层 weak interlayer

该层带抗剪强度低、压缩性高、渗透性差异大，常成为堤防海塘整体或局部滑移、不均匀沉降及渗透破坏的潜在控制面。

3 基本规定

3.0.1 防汛墙墙前包括迎水面护坡及堤脚区域。防汛墙墙后区域包括景观绿化、防汛通道及挡墙下桩基础。

3.0.2 开展堤防隐患探测工作时，要根据探测任务要求确定解决问题的重点，结合探测环境与场地条件，选择有效的探测方法。由于每种物探方法都有适用条件和适用范围，应分析开展工程物探可能遇到的各种干扰和影响因素，有针对性地选择探测方法，可以取得事半功倍的效果。工程物探可能遇到的干扰因素包括地电干扰、电磁干扰、振动干扰、磁性干扰、植度干扰、声波干扰等可能遇到的影响因素包括接地条件变化、地形影响、交通影响、人流影响及场地影响等。为保证探测成果的准确性，宜选择具有互补效果的探测方法开展综合探测。

3.0.4 本条规定了堤防隐患探测工作主要内容的要求。由于物探工作探测对象的未知性和隐蔽性，在物探工作开展前，应搜集、整理测区范围内已有的物探、地质、水文、气象、勘察、设计、施工及运营等与物探任务相关的资料，并通过现场踏勘了解工作环境条件、地形地貌情况，核实、分析已搜集资料的可利用程度，编制工作大纲。进而进行野外数据采集、数据处理及解释、成果报告编制工作。

3.0.6 普查阶段以初步摸清范围内隐患分布情况为主，宜选用工作效率较高、经济实惠的探测方法开展工作。详查阶段以准确探测为目的，因此需加密测线、测点或开展多方法综合探测，并采用钻探、触探等方法对隐患部位进行验证。

3.0.12 本条规定了堤防隐患探测的测量工作要求。堤防隐患探测的测量工作除满足本条规定外，还应应符合上海市坐标系统的相关规定。

3.0.14 用于堤防隐患探测的仪器除应达到本标准规定的技术指标外，还应满足现行仪器设备标准的规定。

4 探测方法

4.1 一般规定

4.1.1 本条对现场探测采用普查和详查的方式进行了规定。考虑到各类方法的探测效率和探测深度的差异，为了保证探测效率和质量，宜先进行浅部、大范围快速普查，并根据需要，对普查不能探明的深部、局部的病害，再开展精细详查。对应本条中需要说明的事项如下：

1 三维探地雷达具有分辨率高、效率高、精度高等优点，是目前国内公认的最高效的病害探查设备，因此宜优先选用。

2 详查探测方法的选择应兼顾场地条件、性价比、探测精度等综合因素。宜采用比普查更低主频的二维探地雷达设备进行地下病害体详查确认，复杂条件下可采用多种方法进行综合探测，目的是通过详查确认异常性质、边界、深度等，为验证提供依据。

4.2 探地雷达法

4.2.1 本条对探地雷达法的应用范围及观测方式进行了规定。

4.2.2 本条对探地雷达法的应用条件进行了规定。

1 功率反射系数 P_r 计算公式为：

$$P_r = \left[\frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \right]^2 \quad (1)$$

式中 ϵ_{r1} ——目标体周围介质相对介电常数；

ϵ_{r2} ——目标体相对介电常数。

4.2.3 本条规定了探地雷达现场作业的要求，应根据场地条件和工作目的，选用二维探地雷达法或三维探地雷达法。对不同的工作任务，应选择合适天线频率范围及耦合方式。

4.3 反射波法

4.3.1 反射波法一般采用纵测线单次覆盖和多次覆盖两大观测系统类型。单次覆盖观测系统又可分为简单连续观测系统和间隔连续观测系统，可用于地震地质条

件简单的测区；多次覆盖观测系统能对地下同一反射界面点进行多次观测，以便进行叠加压制干扰波，提高信噪比，可用于地震地质条件比较复杂的地区。

测区地面平坦、地质结构简单且探测深度较小时，可采用单道等偏移距观测系统，即地震映像法。

4.3.3 本条对反射波法施工前开展试验的要求进行了规定：

1 正式施工之前，应全面了解和分析测区的地形、地质和地球物理特征，遵循由已知到未知，由简单到复杂的原则，选择具有代表性地段进行试验工作。一般选择已知钻孔，便于反射波层位对比。

试验的目的是了解测区有效波、干扰波分布情况，选择激发、接收方式，确定最佳观测系统和仪器工作参数。

试验内容应根据地质目标、测区地震地质条件和试验目的拟定。一般应进行干扰波和环境噪声调查、目的层反射波特征调查、激发-接收因素试验、观测系统试验和仪器工作参数选择试验；施工经验丰富地区可按需要选择部分试验。

2 试验应采用足够长度的展开排列观测系统单边、双边和中间激发，完整得到试验点段波场全貌；单边或双边激发的展开排列长度宜为勘查要求最大深度的1.5倍~2倍；中间激发的展开排列长度宜为勘查要求最大深度的2倍~4倍。

3 通过试验资料处理分析，给出本测区反射波法最佳观测系统、激发方式、接收方式和仪器数据采集参数。

4.4 折射波法

4.4.2 本条对应用折射波法应具备的基本条件进行了规定。常规的折射是基于地震波以超过临界角入射时，沿界面滑行产生返回地面的折射波的基本理论。基于其他理论基础的某些特殊的折射数据处理手段（如折射层析成像），对地质、地形条件的要求较宽松。

4.4.4 对折射波法资料处理与解释进行了基本规定。折射波法的处理解释方法有多种，有不同的商业软件，物探单位也可以使用自行开发并经验证的软件。对于地层结构复杂的测区，宜采用多种方法综合求解，以提高解释精度和可靠性。

4.5 瑞雷面波法

4.5.3 本条对瑞雷面波法现场工作选择进行了规定。

1 勘察深度小时，震源应激发高频率波；勘察深度大时，震源应激发低频率波。同种震源方式，改变激振点条件和垫板亦可使激发频率改变，硬质激振点和垫板激发频率高，软质激振点和垫板激发频率低。

2 通常情况下：勘察深度 20m 以内，宜选择大锤激震；20m~50m 选择机械冲击震源或落锤激震；50m 以上选择炸药激震（在无法使用炸药的场地亦可采用加大落锤重量或提高落锤高度的办法加大勘察深度）。

4.5.4 本条对瑞雷面波法数据处理的一般要求进行了规定。物探单位既可以利用现行的商业软件，也可以使用自行开发并经验证的软件进行数据处理、解释。

4.6 微动法

4.6.1 本条对微动法的适用范围进行了规定。微动法是通过观测大地微动信号，并通过数据处理方法提取面波频散信息，反演地下介质剪切波速度结构，从而解决工程地质问题的一种地震勘探方法。微动探测无需人工震源、并不受利用场地环境振动干扰影响、施工方便，在工程勘察领域得到了广泛应用。

4.6.3 本条对微动法现场工作布置进行了规定。

台阵类型、规模和采集参数是微动探测数据采集关键因素，应根据探测精度、深度和分辨率要求综合考虑确定。一般原则是：

- a) 准确探测横波速度的项目采用二维台阵型式；
- b) 大深度探测项目加大台阵内采集点的最大距离；
- c) 高分辨探测项目增加台阵内采集点数量。

具体台阵类型、规模和采集参数的选择在符合上述规定的基础上，通过现场试验优选确定。

4.7 井间地震层析成像法

4.7.4 本条对井间地震层析成像法数据处理的一般要求进行了规定。

- 1 同一剖面的多组井中地震层析成像剖面可拼接成一幅成果剖面图。

4.8 自然电场法

4.8.1 本条对自然电场法的适用范围进行了规定，随着物探技术的研究与发展，其适用范围还可能增加。

4.8.2 本条对自然电场法的应用条件进行了规定。对于测区内可能存在的过滤电场和游散电流干扰,在项目实施前应进行场地干扰源的调查,并做好记录,以便在项目实施时加以避开或克服。

4.8.3 本条对自然电场法现场电位观测进行了规定。

4 采用梯度法观测时,在每条测线上测完 10 个~20 个点应测一次极差,并对各测点进行极差校正。梯度法观测的记录点为 MN 的中心点,不得将梯度换算成电位成果。测量电极距 MN 宜等于观测点距, MN 保持不变沿测线同时移动测量电位差,在一个测区内仪器上连接的 M 端、N 端的顺序固定不变。

8 当分基点与总基点相距较近时,可直接联测两次并取平均值,两次观测的绝对误差不应超过 5mV。

4.9 阵列式电流场法

4.9.1 本条对阵列式电流场法的应用范围进行了规定。堤防海塘等封闭结构整体上与周围土体等介质相比,主要表现为高阻特征,当存在渗漏点时,渗漏点位置表现为低阻特征,根据阵列式电流场法的基本原理可知,电流场会在渗漏点位置表现出电场差异,根据此差异可圈定渗漏点位置。

4.9.2 本条主要对阵列式电流场法的应用条件进行了规定。

1 供电正极与测量电极间高阻隔离结构或材料可以阻止电流场的穿过,当高阻隔离结构或材料中局部存在空洞、裂缝等缺陷时,由于上海地区水位较高,这些缺陷一般会被泥土或地下水充填,电流场会向低阻缺陷处汇集并穿过,形成可量测的电流场。

2 高阻隔离结构若不是相对封闭状态,电流便会从非封闭区域产生绕流,造成渗漏点的电场难以区分,为防止此类情况,高阻隔离结构应处于相对封闭状态,才能保证探测的有效性。

3 阵列式电流场通常需要不少于 60 个电极对场地的电流场进行面状观测,为了减小由于地表电阻率差异带来的不确定性,检测区域地表应相对平坦,且面积应满足可布置电极的要求。

4 经实践证明,电焊等作业会在场地产生强烈电场干扰信号,导致观测数据不可靠,因此,检测时段测区内不应有明显的工业电干扰。

4.9.3 本条对阵列式电流场法的工作布置进行了规定。

3 为使电场能顺利穿越高阻隔离结构的渗漏点，产生电场异常，供电正极与供电负极应分别位于高阻隔离结构的两侧，并将测量电极布置在高阻隔离结构负极一侧，对传入高阻隔离结构内侧电场进行观测。

5 等间距观测时，能保证观测场值总体比较均匀，减小后期数据插值引起测量场值的形态畸变。因此，测量电极宜按等间距规则布置，并准确测量电极的位置。

6 为获取稳定可靠的电场数据，应保证电极接地良好。为了保证观测场值在形态分布连续，对目标体实现连续覆盖，相邻测线重叠部分不宜小于 3m，且不少于 3 个测量电极。

4.9.4 本条对阵列式电流场法资料解释进行了规定。由于工程物探为间接检测方法，其检测结果存在一定的多解性。因此，对于检测发现的异常，应结合测区水文地质资料、高阻隔离结构设计及施工资料等进行综合分析，才能进一步减少多解性，提高解释的精准度。对于异常的平面及深度位置的判断，基本原则是根据异常值的大小及形态进行综合确定。

4.11 电阻率层析成像法

4.11.1 本条对电阻率层析成像法的适用范围进行了规定。电阻率层析成像是井中物探中最主要的方法之一。主要用于划分地层、区分岩性，确定软弱夹层、裂隙和破碎带位置及厚度，测试土层电阻率。利用井间电阻率跨孔层析还可以对堤防海塘的渗漏通道进行定位等。

4.12 直流电阻率法

4.12.1 剖面法宜选用对称四极剖面法、联合剖面法和中间梯度法等。

4.13 激发极化法

4.13.2 本条对激发极化法的应用条件进行了规定。在进行电阻率法测量时，在地下供入稳定电流情况下，仍可观测到测量电极间的电位差随时间而变化，并经几分钟后趋于某一稳定的饱和值；断开供电电流后，测量电极间的电位差在最初一瞬间很快下降，而后便随时间相对缓慢地下降，并在几分钟后衰减接近于零。这种在充电和放电过程中产生随时间缓慢变化的附加电场现象，称为激发极化效

应，它是岩土及其所含溶液在电流作用下所发生的复杂电化学过程的结果。激发极化法是以探测目标体与周边岩土体的激发极化效应的差异为基础，通过观测和研究激电效应，来探查目标体的一种直流电法。

4.14 瞬变电磁法

4.14.1 本条对瞬变电磁法的适用范围进行了规定。瞬变电磁法利用不接地回线源或接地线源向地下发送一次脉冲电磁场，利用线圈或接地电极观测二次涡流磁场或电场，研究浅层至中深层的地电结构。主要用于寻找低阻目标体，也可用于构造探测等。

4.15 水下探测方法

4.15.3 本条对水下探测法现场工作布置进行了规定。

1 水下摄像设备下水前应安置地面作业平台，选择下水位置，搭建辅助设施，并按设备检验规程开展密封性、通电性能、操作功能等检查工作；构筑物表面存在淤积、附着物等影响摄像检查效果时应先对干扰物进行清理；水下定位可采用惯性导航定位系统、水声定位系统，也可根据检查局域的特征点，根据深度传感器、图像声呐数据等进行定位；应根据水下环境情况合理设置照明灯光亮度，能见度不足时应增加辅助灯光，宜合理选择辅助灯光位置，避免发生反向散射现象，干扰摄像效果；检测闸门、护坡等具有结构构造线的水下建筑物时，宜沿构造线、边墙、易受损部位详细观察；观察水平分布的水底、面板时，应布置测网，沿测线观察；检查过程中，发现构筑物缺陷部位时应停止观测设备运动，对缺陷部位进行重点观察并进行定位，应同时人工记录探查时间、空间位置、异常特征等信息。宜利用激光标尺或其它带有刻度的参照物测量缺陷尺寸。每日外业工作结束时，应检查当日成果，发现遗漏或可疑处应安排重新检查。

2 二维图像声呐探测前，宜根据现场情况和工作要求，合理选择固定工作方式或搭载水下机器人工作方式；开展管道类型的构筑物检测时，宜选择具有360°扫描功能的探头，应根据确定管道形态的需要合理设置扫描间隔。现场检查宜根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于10m时宜选择2000Hz以上频率探头，探测距离10m~50m时宜选择900kHz~2000kHz频

率探头，探测距离大于 50m 时宜选择 900kHz 以下频率探头；扫描过程中应注意监测仪器工作状态，发现异常部位时应进行重复扫描。为进行检测图像的拼接，重复检测区域应大于图像面积的 1/3。

3 三维成像声呐探测可选择固定工作方式或水下机器人搭载的工作方式；应根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于 10m 时宜选择 2000Hz 以上频率探头，探测距离 10m~30m 时宜选择 1300kHz 频率探头；宜根据检测要求设定合适的探头扫描速率；普查时，云台旋转速率可为 $2^{\circ}/s$ ，详查时云台旋转速度不宜大于 $1^{\circ}/s$ 。采用固定工作方式时，应保持支架稳定，防止探头因水流等出现抖动；

4 多波束声呐和三维实时声呐探测过程宜采用具有载波相位差分功能的全球定位系统进行定位；设备宜采用固定支架安装在船侧或船底，可通过调整探头方向进行侧向建筑物缺陷检测；多波束换能器应安装在噪声低且不宜产生气泡的位置；姿态传感器应安装在能准确反映多波束换能器姿态的位置，其方向应平行于测量船轴线；设备安装完成后应测量各部件位置，各安装组成部分的空间相对关系测量误差应小于 2cm；记录的数据宜包括时间、测线号、水深值或距离值、航向、船速、位置坐标等，当数据覆盖不足或水深漏空、信号质量不满足精度要求时，应及时进行补测或重测。

5 侧扫声呐探测的定位宜采用具有载波相位差分功能的全球定位系统；探测过程中，宜记录的数据包括时间、测线号、定位点号、航向、船速、工作频率等；

6 示踪法采用水下机器人载体时，应将示踪剂储存装置和喷射装置固定牢固，并在水中进行配平；喷嘴应调整角度保证摄像清晰。

4.16 水下浅地层探测法

4.16.1 本条规定了浅地层剖面法的适用范围。浅地层剖面法采用小能量、高频震源向水下发射震动脉冲，接收探头或水听器接收来自水底和地层分界面的反射波，当测船航行时可获得连续的地层反射记录，根据该记录可获取水深变化、进行地层划分、不密实区域等特殊地质现象。

4.18 同位素示踪法

4.18.4 本条规定了同位素示踪法测量的数据处理和资料解释的几种方法和基本原则。实际工作中，应注意开发和研究新的更好的测量方法，注重测量资料与地质实际情况对比，使之更能切合实际反映堤防隐患的真实情况。不断总结经验、使其完善和提高。

5 隐患探测应用

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了堤防海塘不同区域常见典型隐患，未对堤防海塘隐患穷举。

5.1.4 堤防隐患探测工作宜在对已知资料分析、研究的基础上，从已知到未知，从简单到复杂开展。当现场条件较为复杂或精度要求高时，应采用多种物探方法进行综合探测，互相验证，减少多解性，提高解译精度。必要时，采用钻探、触探等直接手段进行验证。验证后需对堤防海塘进行恢复。

5.2 防汛墙前区域

5.2.1 防汛墙前为临水面作业，探测方法受限，需要针对不同隐患问题和边界条件，选择适合的一种或多种物探方法，遵循已知到未知原则，逐步探测隐患分布。

5.2.3 渗漏通道探测的解释应符合以下要求：

- 1 宜先建立入水点和出水点的关系，确定渗漏路径；
- 2 渗漏异常应为探测成果中的低电阻率、磁异常变化；
- 3 直流电阻率法可以采用时移探测，需要对比同一探测方法、同一探测剖面的异常位置和幅值的变化。
- 4 钻孔摄像需要详细编录观察记录，必要时可邀请经验丰富的地质人员一同观测。
- 5 现场需要对井中探测的资料进行检查，不合格的资料要及时复测。

5.3 防汛墙后区域

5.3.3 当采用电剖面法探测时，应将墙后区域划分为若干电阻率接近的测区，确定每段测区的电阻率背景值。背景值的选取采用数理统计的方法进行，具体统计方法见 SL/T 291.1 第 5.12 章节。防汛墙后的渗漏通道探测注意事项同防汛墙前的渗漏通道探测保持一致。

5.4 滩面

5.4.3 滩面空洞、不密实区探测除符合本规定外，亦可选用 4.15 水下探测法。

5.5 消浪平台区域

5.5.3 消浪平台区域隐患探测应符合下列规定：

1 土石或砌石类消浪平台区域脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测除符合本规定外，亦可选用4.3反射波法、4.4折射波法、4.5瑞雷面波法、4.6微动法、4.11电阻率层析成像法、4.12直流电阻率法、

2 内混钢筋混凝土类消浪平台区域脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测除符合本规定外，亦可选用4.4折射波法、4.5瑞雷面波法。

3 消浪平台区域渗漏通道探测除符合本规定外，亦可选用4.7自然电场法。

5.6 外护坡区域

5.6.3 砌石类外护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测除符合本规定外，亦可选用4.9阵列式电流场法、4.11电阻率层析成像法、4.12直流电阻率法。

5.7 堤顶区域

5.7.3 堤顶区域隐患探测应符合下列规定：

1 堤顶区域脱空、不密实区、富水、空洞、裂缝隐患探测符合本规定外，亦可选用4.4折射波法、4.5瑞雷面波法、4.9阵列式电流场法。

2 堤顶区域渗漏通道探测除符合本规定外，亦可选用4.7自然电场法。

5.8 内护坡区域

5.8.3 内护坡区域隐患探测应符合下列规定：

1 无拱肋砌块石、土石、混凝土类内护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测除符合本规定外，亦可选用4.9阵列式电流场法、4.11电阻率层析成像法、4.12直流电阻率法。

2 有拱肋砌块石、土石、混凝土类内护坡区域脱空、不密实区、富水、空洞隐患探测除符合本规定外，亦可选用探地雷达法电测方式。

5.9 内青坎区域

5.9.1 内青坎区域隐患探测除了5.9中推荐方法外，还可以采用瑞雷面波法、微动法、电阻率层析成像法、激发极化法、瞬变电磁法进行相互验证。

5.10 穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位

5.10.1 穿、跨、沿建（构）筑物区域隐患探测除了 5.10 中推荐方法外，还可以采用瑞雷面波法、电阻率层析成像法、直流电阻率法进行相互验证。

5.10.3 当穿、跨、沿建（构）筑物与堤防连接部位隐患埋深大于 5m 时，宜选用微动法、瞬变电磁法等探测深度相对较深的方法进行探测。

6 成果报告

6.1 报告编写

6.1.1 完成一个工程的探测任务时，应对所获得的各种资料进行综合研究，编写探测成果报告。探测成果报告宜包括工作概况、方法技术、现场工作、资料分析与解释验证、结论与建议、附录图表等内容。

6.2 成果数字化管理

6.2.1 本条规定了数据库数据类型及数据表结构。

6.2.3 数据修改时，需详细记录修改过程日志，包括修改前数据、修改后数据、修改原因、修改人员以及修改时间等。

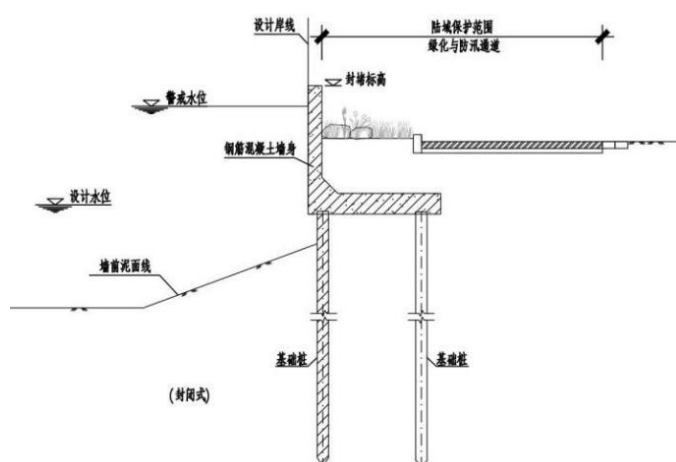
附录三 探测成果报告目录

本标准规定了报告的一、二级标题内容，针对三级等子标题内容，探测单位可以依据实际工作内容进行编制。

附录四 堤防典型断面形式

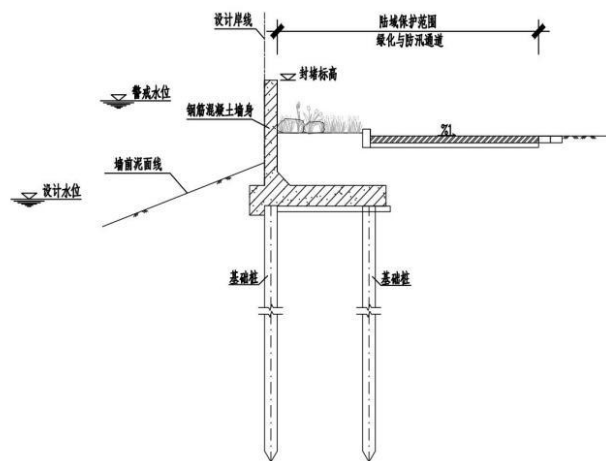
1、高桩承台式防汛墙典型断面

高桩承台式基础为前排（迎水侧）封闭式钢筋混凝土板桩（钢板桩、密排桩等），后排为离散式钢筋混凝土方桩（灌注桩、钢管桩、管桩等），承台底板露出河床泥面以上，上部为钢筋混凝土墙身。此种结构的防汛墙优点是结构稳定、安全可靠，施工时可赶潮施工，不需筑围堰，但由于前排桩露出泥面，若基础桩脱榫极易造成土体流失，导致墙后地坪渗水。高桩承台式防汛墙是黄浦江、苏州河上新建防汛墙采用的主要结构形式。



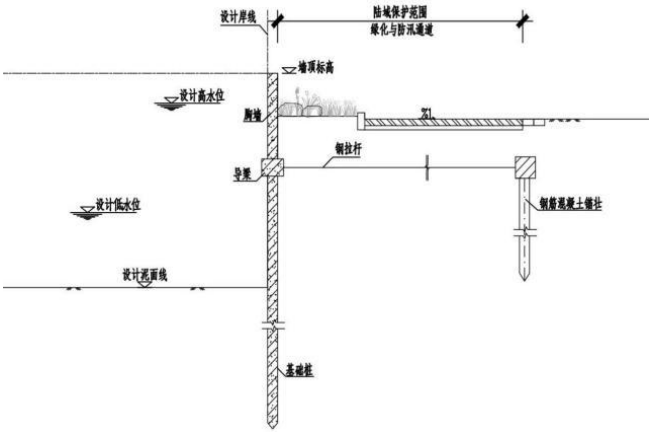
2、低桩承台式防汛墙典型断面

低桩承台式基础桩前后排多为离散式钢筋混凝土方桩（灌注桩、PHC 管桩）等结构承台底板位于河床泥面线以下，上部为钢筋混凝土或浆砌块石墙身。其优点是结构稳定、安全可靠，但由于基础桩为离散式布置，如果墙前泥面遭遇淘刷，使之底板裸露，则将导致底板下部淘空，形成防汛隐患或险情。



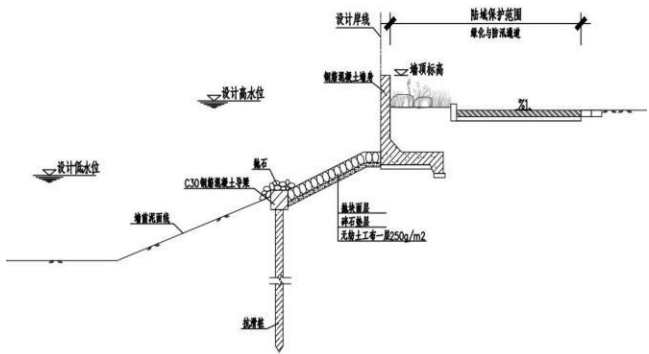
3、拉锚板桩式防汛墙典型断面

拉锚板桩式基础桩为单排钢筋混凝土板桩，桩顶通过导梁形成锚固端，通过拉杆与后侧锚碇结构锚固，达到结构稳定，基础桩上部为钢筋混凝土胸墙。此种结构常见于驳岸兼作小型中转码头的岸段，其优点是墙顶侧向位移较小，不足之处是其后方要有较宽的场地，且墙后场地堆载有控制，因此使用受到较大限制。



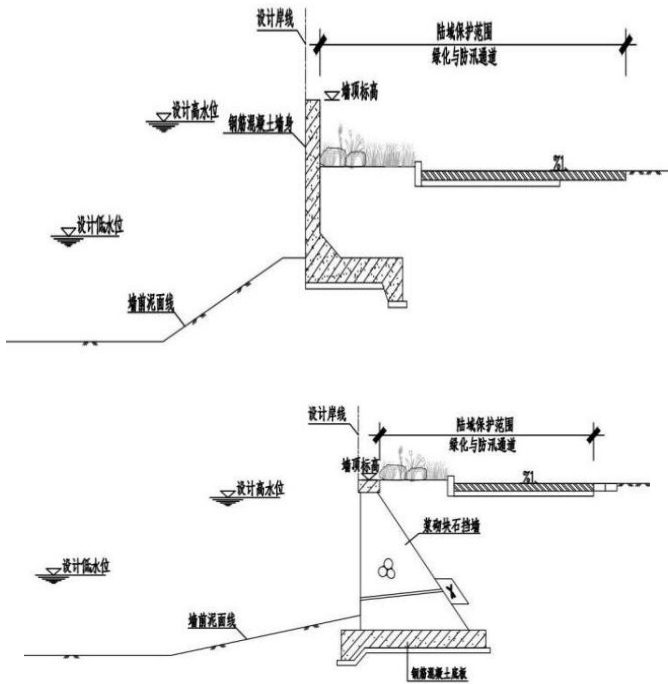
4、护坡式防汛墙典型断面

护坡式防汛墙由钢筋混凝土墙身和护坡两部分结构组成。墙身可设置成 L 形、斜角或倒 L 形。迎水坡面设有浆（灌）砌块石或混凝土护坡，坡脚处一般都设有块石或混凝土镇脚或短桩（板桩、方桩）进行止滑。其优点是较为经济，缺点是护坡面易出现局部下沉或开裂现象，下坎如受淘刷会造成下坎外倾、倒塌，导致护坡面滑落塌陷，危及墙体安全。护坡式防汛墙一般分布在支流河段上。另外，在黄浦江附近岸前码头如与河岸线采用栈桥连接脱开布置的，其后侧防汛墙一般多采用护坡式防汛墙。



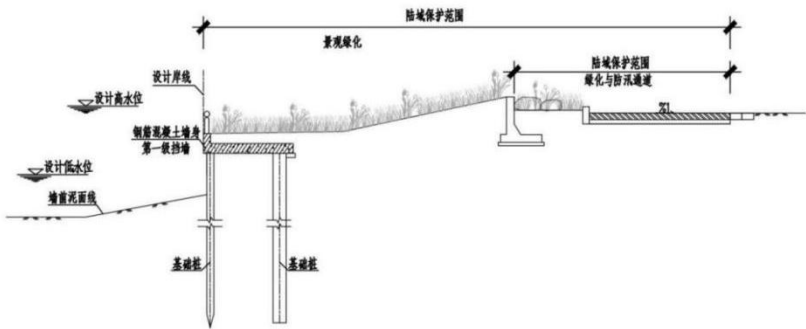
5、L 形防汛墙典型断面

无桩基的重力式防汛墙和 L 形防汛墙适合于墙前滩面稳定的岸段。若岸前出现冲刷或超挖，极易造成结构失稳。该种结构形式在黄浦江与苏州河防汛墙新建工程多作为二级墙采用。



7、两级挡墙组合式防汛墙典型断面

将迎水侧防汛墙上部墙身与下部（地面地下部分）护岸结构分开布置，构成前驳岸（第 1 级挡墙）和后墙身（第 2 级挡墙）的两级挡墙组合式防汛墙，允许水位淹过前驳岸，后墙身墙顶标高须满足防汛要求，二级挡墙结构均须满足防汛墙设防标准。两级挡墙组合式防汛墙是为适应城市滨江环境景观发展需求、在黄浦江和苏州河两岸的公共岸线新建或改建防汛墙采用的主要结构形式之一。



附录五 海塘典型断面形式

1、上海市海塘主要为土石结构，海塘主体结构包括海塘堤身、外坡、防浪墙、堤顶道路、内坡、青坎和防汛闸门等。上海市保滩结构主要包括保滩顺坝、保滩丁坝、护滩结构。

堤身：上海早期海塘一般以单坡结构为主；近年海塘断面型式以复坡结构为主，外坡一般设置消浪平台。

外坡：外坡常用护坡结构为干砌块石、浆砌块石、混凝土灌砌块石、螺母块体、混凝土栅栏板、预制混凝土异形块体等。

防浪墙：堤顶防浪墙常采用浆砌块石防浪墙、钢筋混凝土防浪墙等。

堤顶道路：上海地区海塘堤顶道路通常采用沥青混凝土路面、混凝土路面。

内坡：不允许越浪海塘内坡常用灌砌块石拱肋草皮护坡、彩砖拱肋草皮护坡及草坡护坡等，允许越浪海塘内坡常用灌砌块石等。

保滩顺坝：保滩顺坝常用结构型式有斜坡式抛石顺坝、管桩顺坝等，外坡护面常用抛石理砌、干（浆、灌）砌块石、人工块体等。

保滩丁坝：保滩丁坝常用长丁坝、短丁坝、勾头丁坝、T形丁坝等型式。

护滩结构：护滩常用抛石加护滩排体结构。

