

上海市工程建设规范

原位利用疏浚泥建设生态护岸技术标准

Technical standard for construction of in-situ ecological revetment using

dredged mud

(征求意见稿)

2026 上海

前 言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2026 年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划〉的通知》（沪建标定〔2026〕7 号）要求，由上海市建筑科学研究院有限公司、堡森（上海）新材料科技有限公司对《原位利用疏浚泥建设生态护岸技术标准》DG/TJ 08-2331-2020 进行修订。

本标准的主要内容包括：总则；术语；基本规定；材料及配合比设计；设计；施工；质量检验与评定等。

本次修订的主要内容有：

1. 修订了术语、基本规定。
2. 修订了固化剂的细度、初始和 60min 净浆流动度。
3. 修订了 28d 无侧限抗压强度、孔隙率的试验方法。
4. 新增了生态筋原材料性能、设计、施工和验收等相关规定。
5. 修订了质量检验与评定标准。
6. 删除了附录中净浆流动度的测定、水稳系数试验方法和生态护岸工程外观质量评定表。

各单位及相关人员在执行本标准过程中，如有意见和建议，请反馈至上海市住房和城乡建设管理委员会（地址：上海市大沽路 100 号；邮编 200003；E-mail: shjsbzgl@163.com），上海市建筑科学研究院有限公司（地址：上海市闵行区申富路 568 号；邮编 201108；E-mail: lumeirong@sribs.com），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: shgcbz@163.com），上海市水务局（地址：上海市江苏路 389 号；邮编 200050；E-mail: kjxxc@swj.shanghai.gov.cn），以供今后修订时参考。

主 编 单 位：上海市建筑科学研究院有限公司

堡森（上海）新材料科技有限公司

参 编 单 位：

主 要 起 草 人：

主 要 审 查 人：

上海市建筑建材业市场管理总站

目 次

1	总 则.....	1
2	术 语.....	2
3	基本规定.....	4
4	材料及配合比设计.....	5
4.1	材料性能.....	5
4.2	配合比设计.....	7
5	设计.....	8
5.1	一般规定.....	8
5.2	护岸结构形式.....	8
5.3	生态筋设计.....	9
5.4	护岸稳定计算.....	10
6	施工.....	11
6.1	一般规定.....	11
6.2	海绵土护坡.....	12
6.3	固化土挡墙.....	12
6.4	生态筋.....	13
6.5	绿化种植及养护.....	14
7	质量检验与评定.....	15
7.1	一般规定.....	15
7.2	固化剂.....	15
7.3	海绵土护坡.....	16
7.4	固化土挡墙.....	17
7.5	生态筋.....	18
	附录 A 固化土和海绵土的允许不冲流速的测定	19
	本标准用词说明.....	20
	引用标准名录.....	21
	条文说明.....	20

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms.....	2
3	Basic requirements.....	4
4	Materials and mix design.....	5
	4.1 Material properties.....	5
	4.2 Mix design.....	7
5	Design.....	8
	5.1 General provisions.....	8
	5.2 Revetment and toe design	8
	5.3 Ecological geostrip design.....	9
	5.4 Stability calculation.....	10
6	Construction.....	11
	6.1 General provisions.....	11
	6.2 Sponge soil slope protection.....	12
	6.3 Solidified soil retaining wall.....	12
	6.4 Ecological reinforcement construction.....	13
	6.5 Plant cultivation and conservation.....	14
7	Quality Inspection.....	15
	7.1 General provisions.....	15
	7.2 Stabilizer.....	15
	7.3 Sponge soil slope protection.....	16
	7.4 Solidified soil retaining wall.....	17
	7.5 Ecological geostrip.....	18
	Appendix A Determination of permissible non-flushing velocity of sponge soil and solidified soil	19
	Explanation of wording in this standards.....	20
	List of quoted standards.....	21
	Explanation of provisions.....	23

1 总 则

1.0.1 为规范原位利用疏浚泥建设生态护岸技术运用，保障原位利用疏浚泥建设生态护岸施工质量，统一质量检验及评定方法，做到技术先进、安全适用、经济合理，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于河（湖）原位利用疏浚泥建设生态护岸工程的设计、施工和质量检验。

1.0.3 原位利用疏浚泥建设护岸工程的设计应因地制宜的选择技术参数，并应遵循安全、环保、经济、适用、美观的原则。

1.0.4 原位利用疏浚泥建设护岸除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和本市现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 原位利用疏浚泥建设生态护岸 in-situ ecological revetment using dredged mud

在河道疏浚泥中掺入改良材料、固化材料并均匀拌合，用于原位建设满足结构安全稳定、防止水土流失、实现水陆横向连通、增强水体自净能力的河道生态护岸技术。

2.0.2 固化剂 stabilizer

用于固化高含水率疏浚泥的无机水硬性胶凝材料，主要由硅酸盐熟料或铝酸盐熟料、粉煤灰和矿渣粉等矿物掺合料，以及脱硫副产物和激发剂等外加剂按一定比例复配后，经磨细并均匀混合而制成的粉状材料。

2.0.3 固化土 solidified soil

在河道疏浚泥中掺入一定比例的改良剂、固化剂，经拌合、成型和养护后所形成具有一定力学性能的硬化结构体。按使用部位和功能可分为 I 型固化土和 II 型固化土。

2.0.4 海绵土 sponge soil

在河道疏浚泥中掺入一定比例的改良剂、固化剂，并掺入发泡剂，经拌合、成型和养护后所形成具有较高孔隙率且力学性能满足要求的硬化体。按使用部位和功能可分为 I 型海绵土和 II 型海绵土。

2.0.5 生态筋 ecological geostrip

指横截面为工字形，采用改性岩纤维和热固性树脂基体通过拉挤成型工艺制成，用于提高护岸整体抗滑移稳定性的加筋构件。

2.0.6 原位搅拌施工法 in-situ mixing construction method

采用原位利用疏浚泥建设生态护岸技术进行护岸施工时，根据设计尺寸和设计配合比，将固化剂均匀摊铺在疏浚泥表面，按设计深度采用原位搅拌机械充分搅拌、成型和养护后形成护岸结构的施工方法。

2.0.7 浇筑施工法 pouring construction method

采用原位利用疏浚泥建设生态护岸技术进行护岸施工时，根据设计尺寸支设

模板，采用强制搅拌机拌合制备固化土或海绵土拌合料，通过泵送浇筑入模，振捣密实并养护后形成护岸结构的施工方法。

2.0.8 水稳系数 coefficient of water stability

固化土和海绵土试件，采用标准养护方法养护 6d 后浸水 1d，所测得的试件无侧限抗压强度，与标准养护 7d 所测得的试件无侧限抗压强度之比。

3 基本规定

3.0.1 原位利用疏浚泥建设生态护岸应满足护岸工程使用功能和安全的基本要求，与区域的自然条件、生态环境和经济社会发展相协调。

3.0.2 原位利用疏浚泥建设生态护岸应注重保护原有岸坡植被。

4 材料及配合比设计

4.1 材料性能

4.1.1 固化剂的物理指标应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 固化剂的物理指标

项目		指标	试验方法
细度（80 μm 方孔筛筛余）（%）		≤ 20	GB/T 1345
比表面积（ m^2/kg ）		≥ 400	GB/T 8074
密度（ g/cm^3 ）		≥ 2.5	GB/T 208
凝结时间	初凝（min）	≥ 45	GB/T 1346
	终凝（h）	≤ 15	
净浆流动度（mm）	初始	≥ 100	GB/T 17671
	60min	≥ 80	
胶砂抗压强度（MPa）	7d	≥ 17.0	
	28d	≥ 32.5	

4.1.2 固化剂的浸出液重金属含量应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 固化剂的浸出液重金属限值

项目	限值（mg/L）	试验方法
铬	0.1	GB/T 30810
铜	1.0	
锌	1.0	
砷	0.05	
汞	0.001	
镉	0.01	
铅	0.05	
镍	0.05	

4.1.3 发泡剂应对环境无影响，发泡剂性能指标应符合现行行业标准《泡沫混凝土》JG/T 266 的有关规定，利用发泡剂发泡后的气泡群质量应符合下列规定：

- 1 气泡群密度应为 $48 \text{ kg/m}^3 \sim 52 \text{ kg/m}^3$ 。
 - 2 标准气泡柱静置 1h 的沉降距不应大于 5mm。
 - 3 标准气泡柱静置 1h 的泌水量不应大于 25mL。
- 4.1.4 用于建设生态护岸的疏浚泥应符合下列规定：
- 1 疏浚泥不应混有树枝、石块等较大体积杂物，石块、砖块等有较高强度的杂物粒径不宜大于 50mm。
 - 2 疏浚泥的含水率宜小于 90%，试验方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定执行。
 - 3 疏浚泥的有机质含量不宜大于 10%，试验方法应按现行国家标准《土壤有机质的测定》GB/T 47361 的规定执行。
- 4.1.5 生态筋表面应平整、无裂纹、气泡和毛刺。生态筋的强度性能指标应符合表 4.1.5 的规定。

表 4.1.5 生态筋的强度指标

检验项目	强度指标	试验方法
纵向拉伸强度/MPa	≥ 400	GB/T 1447
纵向弯曲强度/MPa	≥ 400	GB/T 1449

4.1.6 拌合水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

4.1.7 固化土和海绵土的性能指标应符合表 4.1.7 的规定。

表 4.1.7 固化土和海绵土的性能指标

型号	I 型固化土	II 型固化土	I 型海绵土	II 型海绵土	试验方法
28d 无侧限抗压强度 (MPa)	≥ 0.5	≥ 2.0	—	≥ 0.3	JGJ/T 70
孔隙率 (%)	≥ 15	≥ 5	≥ 30	≥ 25	GB/T 50123
干密度 (g/cm^3)	≥ 1.2	≥ 1.4	≥ 0.8	≥ 1.0	GB/T 50123
拌合物 pH 值	6~9				NY/T 1121.2
植物种子发芽指数	$> 75\%$				GB/T 23486

4.1.8 固化土和海绵土的稳定性应符合下列规定：

- 1 固化土和海绵土在水中浸泡至 28d、90d、180d 龄期，无侧限抗压强度不应随龄期的增长而降低。

2 固化土和海绵土允许不冲流速应大于河道水流最大流速，试验方法应符合本标准附录 A 的规定。

3 固化土和海绵土的水稳系数不应小于 80%，试验方法应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486 的规定。

4.1.9 28d 固化土的重金属浸出液限值应符合现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 中 IV 类限值的规定。

4.1.10 固化土和海绵土的渗透系数和压缩系数宜通过试验确定，试验方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB 50123 的规定。

4.2 配合比设计

4.2.1 固化土和海绵土的配合比设计应通过试验室试配，使其强度、孔隙率、干密度等满足相关设计要求。

4.2.2 固化土和海绵土试验抗压强度不应小于设计抗压强度的 1.05 倍。

4.2.3 固化土和海绵土的浆液流动度应根据施工性能要求调整，并符合下列规定：

1 采用原位搅拌工艺时，固化土和海绵土的浆液流动度应控制在 120mm 以下。

2 采用浇筑施工法浇筑挡墙或护坡时，浆液流动度宜控制在 150mm~200mm。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 护岸应具有河岸生态系统的基本功能，并应符合下列规定：

1 护岸植被可根据工程位置、绿化要求，选择适合本地区生长的植物进行种植；

2 设计时，固化土和海绵土的指标应满足本标准表 4.1.7 的要求。

5.1.2 护岸的工程级别和设计标准应按现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 有关规定执行，同时应符合所在区域的有关规划和规定。

5.1.3 护岸工程设计应具备满足设计阶段深度相应的地形地质资料及水文勘测资料。

5.1.4 护岸工程设计应根据现行国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 规定的设计原则，采用以概率论为基础的极限状态设计方法，按分项系数的设计表达进行设计。

5.1.5 当护岸边坡高差大于 3m、或沿线有鱼塘或水稻田时，应设置生态筋加筋骨架进行抗滑移稳定加固。

5.1.6 生态护岸设计单位应做好下列工作：

1 加强现场踏勘，熟悉周边环境，掌握水文地质特征，了解施工便道、边坡坍塌、沿线障碍物及周边企事业单位等情况。

2 根据河道规划断面及岸边实际情况，以尽量原位消耗河道疏浚泥，减少外运为原则，因地制宜设计合适的护岸结构型式。断面设计应考虑施工最不利工况和极端天气因素，确保结构整体边坡稳定。

3 对于引排水河道、通航河道、感潮河道等流速大于 2m/s 的河道，固化土及海绵土强度指标应相应提高等级。

5.2 护岸结构形式

5.2.1 生态护岸的结构形式应根据安全实用、经济合理、生态景观、便于维护和施工等因素选择确定。常用的生态护岸可分为斜坡式结构（矩形河

道断面)、复合式结构(复合型河道断面)和原密排木桩改造。

5.2.2 斜坡式断面适用于河口宽度不大于 10m 的河道。当河底宽度不大于 1.5m 时,河底全断面宜采用固化土护底。当采用海绵土护坡时,应符合以下规定:

1 护坡厚度不应小于 200mm,护坡坡度不应超过 1:1.5。

2 河道平均流速小于 0.5m/s 时,宜选用 I 型海绵土护坡;河道平均流速介于 0.5m/s~1m/s 时,宜选用 II 型海绵土护坡。

3 河道平均流速介于 1m/s~2m/s 时,宜选用 I 型固化土护坡。

5.2.3 复合式断面适用于河口宽度大于 10m 的河道,可采用固化土挡墙,挡土墙悬臂高度不宜大于 0.6m。固化土挡墙应符合下列规定:

1 挡土墙厚度、宽度不宜小于 0.5m;挡土墙顶高程不应高于常水位,宜在常水位以下 100mm;

2 挡土墙可采用固化剂原位搅拌施工法加固地基;

3 根据边坡稳定安全验算结果,结合岸边实际情况,宜设置生态筋抗滑;

4 挡土墙沿长度方向宜设置变形缝,变形缝可采用泡沫板分缝,分缝间距宜为 30m。

5.2.4 原密排木桩改造应符合下列规定:

1 原密排木桩腐烂部位割除。

2 桩顶设置固化土挡墙,桩顶伸入挡墙内不应小于 100mm;挡土墙顶高程不应高于常水位,宜在常水位以下 100mm。

3 原状土坡有塌陷、淘空的,宜采用生态还绵土回填,并新建海绵土护坡,护坡厚度不应小于 200mm。

5.3 生态筋设计

5.3.1 生态筋设计图纸应标明桩位坐标或定位尺寸、间距、桩长、入土深度及桩顶标高;当现场地质条件与勘察资料不符时,设计单位应根据试沉桩记录调整桩长及入土深度。

5.3.2 生态筋与海绵土、固化土组合使用,其截面规格、长度应根据安全计算结果确定,应顺水流方向布置,间距不宜大于 500mm。

- 5.3.3 生态筋应采用单排线性骨架形式。纵向生态筋应垂直沉入护岸潜在滑动面以下的稳定持力层，横向生态筋应通过卡扣与纵向筋垂直连接。
- 5.3.4 纵向生态筋应沿坡脚线或挡墙中心线按设计间距单排布置，顶端应高出固化土设计顶面 50mm~100mm，与横向筋连接。
- 5.3.5 纵向生态筋下端应设锥形尖端，便于沉桩；横向生态筋应水平铺设，垂直于墙面布置。
- 5.3.6 生态筋在生态固化土中的最小锚固长度不应小于 1.0m。
- 5.3.7 生态筋的节点连接应保证刚性，锁固螺栓应有防松措施。
- 5.3.8 生态筋加固后的边坡抗滑稳安全系数应按现行行业标准《水利水电工程边坡设计规范》的有关规定进行计算。

5.4 护岸稳定计算

- 5.4.1 护岸设计应根据不同岸段的边界条件，结合结构形式选择具有代表性的断面进行结构计算。护岸结构计算应按现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的有关规定执行，应进行整体边坡抗滑稳定、挡墙基底应力等验算。
- 5.4.2 护岸稳定计算中土体作用在护岸上的侧向压力宜按水土分算的原则计算，应按现行行业标准《水工建筑物荷载设计规范》SL 744 的有关规定计算。
- 5.4.3 固化土、海绵土的抗剪指标宜通过试验确定。
- 5.4.4 固化土挡墙基底的最大压应力应小于地基的允许承载力，固化土挡墙自身不允许出现影响安全的拉应力。压应力应小于允许抗压强度，应按下式进行计算：

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{\sum W} \quad (5.4.4)$$

- 式中： $\sigma_{\max, \min}$ —— 基底最大和最小压应力（kPa）；
 $\sum G$ —— 垂直荷载（kN）；
 A —— 底板面积（m²）；
 $\sum M$ —— 荷载对底板形心轴的力矩（kN·m）；
 $\sum W$ —— 底板的截面系数。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 固化土和海绵土施工前应编制生态护岸专项施工方案，确定合理的施工总体部署及工艺总流程。

6.1.2 施工单位应做好下列施工准备：

1 熟悉设计文件和图纸，掌握生态护岸工程规模、结构型式、技术指标及施工影响范围的沿线情况（包括地形地貌、工程水文地质、周边环境、道路交通、地下和地上管线等）。

2 根据项目现场实际情况、工程目标，编制生态护岸专项施工方案，明确施工总工艺流程，细化分部分项施工技术方案及质量安全保证措施等内容，及时报送参建单位审核。

3 按批准的专项施工方案，完成相关人员准备、材料组织、机械设备进场及现场施工布置等。

6.1.3 固化土和海绵土的拌合制备应符合下列规定：

1 材料的计量应根据配合比计算，材料计量精度应满足表 6.1.3 的要求。

2 混合料的强制搅拌应确保固化剂与疏浚泥混合均匀，搅拌时间不宜小于 2min。

3 浆液流动度应根据施工性能要求取值，当采用原位搅拌施工工艺时，浆液流动度不应大于 120mm；当采用浇筑施工法时，浆液流动度宜控制在 150mm~200mm。

表 6.1.3 材料的计量精度

材料	计量精度（%）
固化剂	±2
疏浚泥	±2
发泡剂	±0.5

6.1.4 当地基承载力特征值不满足设计要求时，应及时告知设计单位，并由相关参建单位按设计处置方案实施。

6.1.5 当遇大雨、暴雨或持续时间较长的小雨天气时，未硬化的固化土和海绵

土表面应采取遮雨、防水流冲刷和浸泡等措施。

6.1.6 施工应按现行行业标准《水利水电工程施工通用安全技术规程》SL 398 的相关规定，落实安全生产管理和技术措施。

6.2 海绵土护坡

6.2.1 海绵土护坡施工前应进行清基和修坡处理，基面不得有树根、杂草、建筑生活垃圾、废渣等。

6.2.2 基面平整度、坡比、表面压实度应满足设计要求。

6.2.3 海绵土护坡施工应符合下列规定：

1 施工前，应根据护坡的尺寸进行固化剂掺量的核算，规划好材料运输路线，并合理计算固化剂材料的堆放间距；

2 施工段内应进行测量放线、设标桩，标出海绵土护坡边缘的设计高度；

3 当遇到坡面局部不平整时，可在摊铺前用土找平或局部采用海绵土填充；

4 固化剂和疏浚泥的拌合应充分、均匀，拌合和摊铺成型时间不宜超过 6h；

5 混合料应按海绵土护坡设计厚度一次摊铺成型，可采用机械或人工修整，使“点、线、面”外观质量满足要求。

6.2.4 海绵土护坡应在施工完成并经检查合格后，自然养护不应少于 7d。

6.3 固化土挡墙

6.3.1 固化土挡墙施工工艺应根据设计断面选择，泥面线以下挡墙基础可采用原位搅拌法施工，悬臂端挡墙应采用浇筑法施工，并应立模板施工。

6.3.2 固化土挡墙如分层施工，且下层超过初凝时间后，应进行表面凿毛处理，且深度不宜小于 50mm。两层之间不得留有未掺拌固化剂的素淤泥土夹层。

6.3.3 固化土挡墙基础的施工应符合下列规定：

1 基础施工宜采用原位搅拌施工法，固化剂应摊铺均匀，搅拌过程应保证固化剂和疏浚泥拌合充分、均匀，搅拌深度不宜大于 2m；原位搅拌固化剂和疏

浚泥的拌合和成型时间不应超过 6h。

2 原位搅拌固化后的基础不应小于设计尺寸；当基础顶面达到设计高程面时，应保持表面一定粗糙度，不宜人工进行整平。

6.3.4 固化土挡墙施工应符合下列规定：

1 施工段内应进行测量放样并设标桩，标出挡墙上下边缘的设计高度，轴线位置、墙顶高程应满足设计图纸要求。

2 现场支模应满足挡墙的宽度和高度的设计要求，采用木桩或铁桩进行张拉和固定（包括控制高度）。模板支撑体系应牢固安全，确保刚度和强度。

3 模板宜根据河道现状布置，线形应平顺流畅，避免尖角、折角，施工时应注意观察，防止跑模、胀模现象发生。

4 挡墙应采用浇筑法施工，固化剂和疏浚泥采用强制拌合后浇筑入模，修整成型。现场有施工条件的，宜采用集中拌合，直接浇筑或泵送，泵送距离不宜大于 200m。

5 固化剂和疏浚泥的拌合和成型时间不应超过 6h。

6 进料后应及时整形，宜一次浇筑到位，可采用微型电动抹具或采用人工压实表面，浆料在模具内填实，不宜采用大功率振捣器进行振捣。整形后顶面高程相邻高差应满足相关要求。

7 拆模应注意避免破坏挡墙。同时应加强成品保护，不应在挡墙上方踩踏，堆放施工机械等。如作为施工人员作业通道，应采取保护措施。

6.3.5 挡墙施工如需采用植筋加固时，应根据设计要求在挡墙基础初凝之前采用机械方式将植筋材料打入挡土结构内部。

6.3.6 施工完成并经检查合格后，自然养护不应少于 7d。

6.4 生态筋

6.4.1 生态筋施工前应根据设计图纸进行测量放样，标出桩位，桩位偏差不应大于 50mm。

6.4.2 生态筋施工宜采用振动沉桩，并应符合下列规定：

1 首节沉桩时垂直度偏差不应大于桩长的 0.5%，沉桩过程中应随时观测和

调整垂直度，垂直度偏差不应大于桩长的 1%。

2 沉桩应连续进行，不宜中途长时间停顿。沉桩过程中如遇贯入度突变、桩身倾斜、地面明显隆起等异常情况，应暂停沉桩，查明原因后方可继续施工。

3 桩顶标高和入土深度应符合设计要求，桩端应沉入潜在滑动面以下稳定持力层不少于 1.0m。

6.4.3 生态筋铺设时应拉直、铺平，不应出现皱褶、突起现象，可用 U 型铁钉或小木桩固定使其紧贴承接土层。

6.4.4 采用纵向生态筋加固前，应进行测量放样，标出桩位。

6.4.5 采用横向生态筋加固时，应与纵向筋垂直交叉，并采用卡扣锁固组件进行连接。

6.4.6 横向生态筋施工时应使抱箍与生态筋生态筋翼缘紧密贴合，所有节点应在浇筑固化土前安装完成并经检验合格。

6.4.7 生态筋骨架安装完成后才可进行固化土或海绵土的浇筑。浇筑时应确保浆料充分填充生态筋翼缘与腹板间的空隙，形成机械互锁。

6.5 绿化种植及养护

6.5.1 施工单位应编制绿化种植（包括水生植物、草籽播散、草皮等）专项施工方案，做好工序衔接及技术交底，落实好种植穴、护坡表面松土、洒水养护等工序。

6.5.2 海绵土护坡的绿化为草籽播散，绿化施工应符合下列规定：

1 施工前应进行凿毛、松土处理，深度不宜小于 20mm，凿毛后的土块应敲碎；

2 草籽应均匀播散，并应采取覆盖保温措施，防止滚落、雨水冲刷流失；

3 草籽播散后应及时洒水，每天不宜少于 2 次。草籽发芽后，可撤除上覆盖。如发现局部稀疏或长势不良，应及时补种；

4 施工宜避开大于 30° 高温或小于 5° 低温季节。

6.5.3 固化土挡墙的绿化种植孔应满足设计要求。

7 质量检验与评定

7.1 一般规定

- 7.1.1 项目试验、检测、验收应做到原始记录齐全、数据准确和资料完整。
- 7.1.2 生态护岸工程的检验应包括固化剂、生态筋的质量检验，以及海绵土护坡、固化土挡墙和生态筋植筋的质量检验。
- 7.1.3 每道工序施工完成后，施工单位应进行自检，合格后方可进行下道工序。经检测不合格的，应进行返修，达到合格要求。
- 7.1.4 生态护岸工程在项目划分中宜作为分部工程，项目划分表应按相关规定报工程质量安全监督机构核备。
- 7.1.5 生态护岸单元工程按护岸沿河道的长度划分，根据施工部署和质量考核要求确定长度，宜取 300m~600m 为一个单元工程。
- 7.1.6 单元工程、分部工程施工质量合格标准、优良标准应按现行上海市工程建设规范《水利工程施工质量检验与评定标准》DG/TJ08-90 的规定执行。
- 7.1.7 生态护岸工程施工质量检验与评定，应按现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL176、《水利水电工程单元工程施工质量验收标准 第 4 部分：堤防与河道整治工程》SL / T 631.4 和现行上海市工程建设规范《水利工程施工质量检验与评定标准》DG/TJ 08-90 的规定执行。

7.2 固化剂

- 7.2.1 固化剂进场前应提供年度型式检验报告，检测报告的技术指标应包括固化剂的物理指标和浸出液重金属含量。
- 7.2.2 固化剂的进场检验应符合下列规定：
 - 1 每 300t 为一个批号，不足 300t 也为一个批号，取样应符合现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526 的有关规定。
 - 2 检验项目、指标要求和检测方法应符合本标准第 4.1.1 和 4.1.2 条规定，所有检验项目检测合格，判定固化剂为合格品。
- 7.2.3 固化剂的包装、标志、运输和贮存应符合现行行业标准《软土固化剂》

CJ/T 526 及现行相关法律法规的规定。

7.3 海绵土护坡

7.3.1 海绵土护坡主控项目的质量、检测频率和检测方法应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 海绵土护坡主控项目的质量、检测频率及检测方法

项目	检查项目	质量标准或允许 偏差 (mm)	检测频率		检测方法
			范围	点数	
主控 项目	固化剂等原材料质量	按规范和设计要求	抽样检查进场批	1	进场检验、型式检验报告、出厂检验报告或质保书
	28d 无侧限抗压强度	符合设计要求	每单元工程	1	抽样送检, 查试验报告
	干密度	符合设计要求	每单元工程	1	抽样送检, 查试验报告
	孔隙率	符合设计要求	每单元工程	1	抽样送检, 查试验报告

7.3.2 海绵土护坡一般项目的质量、检测频率和检测方法应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 海绵土护坡一般项目的质量、检测频率及检测方法

项目	检查项目	质量标准或允许 偏差 (mm)	检测频率		检测方法
			范围	点数	
一般 项目	坡面平整度	不超过坡面厚度的 20%, 且 $\leq 50\text{mm}$	30m	1	2m 靠尺量
	坡面坡度	不陡于设计值	30m	1	坡度尺和吊线测量
	坡面厚度	设计厚度的 ± 15	30m	1	钢尺量

7.3.3 海绵土护坡的质量等级评定应符合下列规定：

1 合格：主控项目应全部符合质量标准，一般项目不应少于 70% 的检查点符合质量标准。

2 优良：主控项目应全部符合质量标准，一般项目不应少于 90% 的检查点

符合质量标准。

7.4 固化土挡墙

7.4.1 固化土挡墙主控项目的质量、检测频率和检测方法应符合表 7.4.1 的规定。

表 7.4.1 固化土挡墙主控项目的质量、检测频率及检测方法

项目	检查项目	质量标准或允许 偏差 (mm)	检测频率		检测方法
			范围	点数	
主控 项目	固化剂等原材料质量	按规范和设计要求	抽样检查进场批	1	进场检验、型式检验报告、出厂检验报告或质保书
	28d 无侧限抗压强度	符合设计要求	每单元工程	1	抽样送检, 查试验报告
	干密度	符合设计要求	每单元工程	1	抽样送检, 查试验报告
	孔隙率	符合设计要求	每单元工程	1	抽样送检, 查试验报告

7.4.2 固化土挡墙一般项目的质量、检测频率和检测方法应符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 固化土挡墙一般项目的质量、检测频率及检测方法

项目	检查项目	质量标准或允许 偏差 (mm)	检测频率		检测方法
			范围	点数	
一般 项目	挡墙顶标高	±10	30m	1	水准仪测量
	挡墙宽度	±10	30m	1	钢尺量
	挡墙厚度	±10	30m	1	钢尺量
	基础顶标高	±10	30m	1	水准仪测量
	基础宽度	±10	30m	1	钢尺量
	基础厚度	±10	30m	1	钢尺量

7.4.3 固化土挡墙的质量等级评定应符合下列规定:

1 合格: 主控项目应全部符合质量标准, 一般项目不应少于 70% 的检查点符合质量标准。

2 优良：主控项目应全部符合质量标准，一般项目不应少于 90%的检查点符合质量标准。

7.5 生态筋

7.5.1 生态筋主控项目的质量、检测频率及检测方法应符合表 7.5.1 的规定。

表 7.5.1 生态筋主控项目的质量、检测频率及检测方法

项目	检查项目	质量标准或允许 偏差 (mm)	检测频率		检测方法
			范围	点数	
主控 项目	生态筋原材料质量	按规范和设计要求	抽样检查进场批	1	进场检验、出厂检验报告或质保书
	生态筋规格尺寸	符合设计要求	抽样检查进场批	1	抽样钢尺量

7.5.2 生态筋一般项目的质量、检测频率及检测方法应符合表 7.5.2 的规定。

表 7.5.2 生态筋一般项目的质量、检测频率及检测方法

项目	检查项目	质量标准或允许 偏差 (mm)	检测频率		检测方法
			范围	点数	
一般 项目	间距	符合设计要求	每单元工程	1	钢尺量
	桩顶高程	±10	每单元工程	1	水准仪测量
	轴线位移	设计厚度的±15	每单元工程	1	拉线、钢尺量

7.5.3 生态筋的质量等级评定应符合下列规定：

1 合格：主控项目应全部符合质量标准，一般项目不应少于 70%的检查点符合质量标准。

2 优良：主控项目应全部符合质量标准，一般项目不应少于 90%的检查点符合质量标准。

附录 A 固化土和海绵土的允许不冲流速的测定

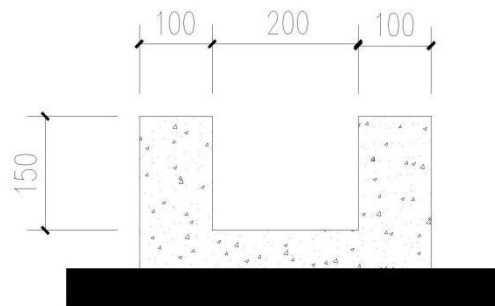
A.0.1 用于试验的固化土和海绵土，应符合本标准第 4.1.7 条的规定。

A.0.2 试验用仪器设备应包括旋桨式流速仪、卷尺、游标卡尺等。

A.0.3 试验应按以下步骤进行：

1 采集工程项目的疏浚泥，自然风干至含水率70%，加入固化剂，拌合均匀，以设计掺量配比制备固化土和海绵土。

2 浇筑一条长6m（前3m为固化土，后3m为海绵土）、宽0.2m的矩形试验槽（图A.0.3），设计水力坡度0.06，浇筑后自然养护28d。



图A.0.3 矩形试验槽

3 采用水泵抽水，并用阀门调节水泵出水流量。模拟河道冲刷，改变阀门开度，分别选取 $v/2$ 、 v 、 $v+0.5$ 、 $2v$ （ v 为河道设计流速, m/s）四个流速冲刷试验槽，每种流速下冲刷时间保持5min。

4 用游标卡尺测量固化土和海绵土在 $v/2$ 、 v 、 $v+0.5$ 、 $2v$ 流速逐步加大过程中，水槽冲刷前后各断面底宽的变化，同时观察固结土表面剥落、流失情况。当流速增加至河道设计流速 $v+0.5$ m/s 时，保持冲刷时间 5min，未发现水槽断面底宽变化，及固化土和海绵土表面无剥落和流失情况，即可判定固化土和海绵土的允许不冲流速大于河道的设计流速。

本标准用词说明

1 为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，在正常情况下均应这样做的用词：

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”。

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

引用标准名录

- 1 《水泥密度测定方法》 GB/T 208
- 2 《水泥细度检验方法 筛析法》 GB/T 1345
- 3 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》 GB/T 1346
- 4 《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》 GB/T 1447
- 5 《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》 GB/T 1449
- 6 《水泥比表面积测定法 勃氏法》 GB/T 8074
- 7 《地下水质量标准》 GB/T 14848
- 8 《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》 GB/T 17671
- 9 《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》 GB/T 23486
- 10 《水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法》 GB/T 30810
- 11 《土壤有机质的测定》 GB/T 47361
- 12 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 13 《工程结构可靠度设计统一标准》 GB 50153
- 14 《堤防工程设计规范》 GB 50286
- 15 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 16 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 17 《水利水电工程施工质量检验与评定规程》 SL176
- 18 《泡沫混凝土》 JG/T 266
- 19 《水利水电工程施工通用安全技术规程》 SL 398
- 20 《土壤固化外加剂》 CJ/T 486
- 21 《软土固化剂》 CJ/T 526
- 22 《水利水电工程单元工程施工质量验收标准 第4部分：堤防与河道整治工程》
SL/T 631.4
- 23 《水工建筑物荷载设计规范》 SL 744

- 24 《土壤检测第2部分：土壤pH的测定》 NY/T 1121.2
- 25 《水利工程施工质量验收标准》 DG/TJ 08-90

上海市工程建设规范

原位利用疏浚泥建设生态护岸技术标准

Technical standard for construction of in-situ ecological revetment using
dredged mud
(征求意见稿)

条文说明

2026 上海

目 次

1	总 则	25
2	术 语	26
4	材料及配合比设计.....	27
	4.1 材料性能.....	27
	4.2 配合比设计.....	31
5	设计.....	34
	5.1 一般规定.....	34
	5.2 护岸结构形式.....	34
	5.3 生态筋设计.....	39
	5.4 护岸稳定计算.....	40
6	施工.....	42
	6.1 一般规定.....	42
	6.2 海绵土护坡.....	42
	6.3 固化土挡墙.....	43
	6.4 生态筋.....	44
	6.5 绿化种植及养护.....	44
7	质量检验与评定.....	46
	7.1 一般规定.....	46
	7.2 固化剂.....	46
	7.3 海绵土护坡.....	46
	7.4 固化土挡墙.....	47
	7.5 生态筋.....	47

1 总 则

1.0.1 原位利用疏浚泥建设生态护岸技术充分利用河道疏浚底泥，建设多孔固化土和海绵土生态护岸，代替传统的水泥制品和传统木桩形式，使废弃的疏浚泥实现原位资源化再利用，减少护岸工程对河道环境的影响，从而实现疏浚泥综合利用与河道治理的统一。原位利用疏浚泥建设生态护岸技术可以稳定河道护岸结构，显著提升边坡水土保持能力，明显改善水体水质，提升滨水空间的生态功能。本标准为本标准原位利用疏浚泥建设生态护岸的设计、施工与质量检验提供技术依据。本标准的制定对推动水利建设行业技术进步、解决疏浚泥处置难题、节能降耗、保护环境具有积极意义。

1.0.2 随着本标准的发布和实施，原位利用疏浚泥建设生态护岸工程除了在镇级、村级主管的一、二级及其他河道和泖沟中应用外，在骨干河道、河湖治理工程中也有了相关工程案例支撑，效果良好。因此，本标准的修订将标准适用范围拓展至河（湖）原位疏浚泥生态护岸工程的设计、施工和质量验收。

2 术 语

2.0.1 在河道综合整治过程中，会产生大量的疏浚泥。疏浚泥的天然含水率高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、透水性差，故不能直接为工程所应用。疏浚泥的传统处置方法主要有以下几种：抛泥处理、堆存回填、物理脱水和焚烧。这些处置方法成本高、环境影响大，因此疏浚泥的处置成为河道整治的主要难点。原位利用疏浚泥建设生态护岸技术采用添加固化材料，将疏浚泥资源化用于建设护岸，可防止水流侵袭淘刷，实现水陆横向连通，增强河道自净能力。

常规的河道护岸技术主要围绕水泥混凝土板桩和水泥类制品，这类不透水的刚性河坡缺乏涵养水源、净化水质的功能，导致护坡生态功能的逐渐缺失。原位利用疏浚泥建设生态护岸技术，将河道疏浚泥与适量固化材料和泡沫剂制备成多孔材料用于建设生态护岸，代替水泥基不透水制品；竣工后河水环保指标（溶解氧、透明度、氨氮含量）明显改善，边坡水土保持能力显著提升。

2.0.2 传统的固化剂主要用于市政公路工程，而对于高含水率、高压缩性的疏浚泥固化效果并不理想。本标准中的固化剂专门针对高天然含水率的饱和淤泥质土，具有良好的固结效果，其特点如下：

1 强度高，固化剂的加固土强度可超过水泥土强度的50%以上，同时所需养护时间更短，节省工程工期。

2 耐水能力更强，其水稳系数 ≥ 0.85 ，对于河道工程，耐水能力是固化剂效果的重要指标。

3 材料的生态性，固化剂对于疏浚泥中的重金属具有较好的稳定效果，同时其材料本身是无机矿物材料，对生态环境的影响小。

4 较好的施工性，固化剂的细度、配制浆液的流动性、泵送性等施工性能良好，可采用浆液或粉体形式与疏浚泥进行搅拌。

因此本标准中的固化剂作为专用于疏浚泥固化处理的胶凝材料，有必要通过应用技术标准的制定，进一步规范产品质量、设计、施工和质量检验，以利于技术成果的推广应用。

4 材料及配合比设计

4.1 材料性能

4.1.1 固化剂的物理指标分析如下：

1 细度（80 μm 方孔筛筛余）、比表面积：细度值越小，比表面积越大，固化剂和疏浚泥的水化反应的速度越快，反应越充分，并能够充分发挥固化剂中各种胶凝材料的潜在活性，使早期强度更高，有利于在建设生态护岸过程中，固化土和海绵土快速制备和反应，降低地下水对其反应过程的影响。当固化剂细度（80 μm 方孔筛筛余） $\leq 20\%$ ，比表面积 $\geq 400\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，满足生态护岸施工的相关要求。

2 密度：固化剂的组成材料中含有密度较小的矿渣、脱硫石膏、脱硫粉煤灰等，故固化剂密度低于水泥密度。

3 凝结时间：固化剂属于硬性胶凝材料，故采用现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346的方法，检测其凝结时间和安定性。

4 净浆流动度：为保证固化剂浆液在施工过程中的流动性和可泵性，本标准规定了初始流动度和60min流动度。

5 胶砂抗压强度：为保证固化后的海绵土和固化土符合设计要求的强度，参考现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526和上海市工程建设规范《土体硬化剂应用技术标准》DG/TJ 08-2082，规定固化剂的28d胶砂强度相当于32.5水泥的强度。

对固化剂的物理力学性能进行检测，各项性能指标均符合本标准的要求。结果如表1所示。

表1 固化剂的物理力学性能指标

检测参数	本标准规定值	检测结果（一）	检测结果（二）	检测结果（三）	检测结果（四）	检测结果（五）
细度（80 μm 方孔筛筛余）/%	≤ 20	11	0.6	1	10	3
比表面积/ $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	≥ 400	480	481	165	465	462

密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		≥ 2.5	2.63	2.88	2.76	2.94	2.84
凝结时间	初凝/min	≥ 45	225	210	165	293	257
	终凝/h	≤ 15	7	4h32min	4h19min	6h8min	5h57min
流动度/mm	初始	≥ 100	165	180	190	246	172
	60min	≥ 80	144	170	150	195	168
胶砂抗压强度/MPa	7d	≥ 17.0	27.3	26.5	31.9	36.8	21.7
	28d	≥ 32.5	40.5	41.7	52.2	45.4	36.0

4.1.2 对固化剂的重金属浸出毒性进行测试,符合现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526的规定,结果如表2所示。

表2 固化剂重金属检测结果对比表

序号	项目	检测值	本标准限值	CJ/T 526限值
		mg/L	mg/L	$\leq$ mg/L
1	铬	0.038	0.1	0.1
2	铜	<0.010	1.0	1.0
3	锌	<0.050	1.0	1.0
4	砷	<0.005	0.05	0.05
5	汞	<0.00010	0.001	—
6	镉	<0.0010	0.01	0.01
7	铅	<0.010	0.05	0.05
8	镍	<0.010	0.05	0.05

注：“<”表示检测结果低于设备检测的最低限。

4.1.3 在海绵土制作过程中,为了达到合理的孔隙率,需要通过添加发泡剂来实现,本条对发泡剂性能指标做要求,应符合《泡沫混凝土》JG/T 266的要求。

4.1.4 用于建设生态护岸的疏浚泥如果掺入大体积的杂物(如树枝、石块、砖块等)不利于固化土和海绵土的施工,同时也影响护岸的结构强度。适量的小体积的石块或者砖块等杂物有利于提高固化土的强度,但体积过大不利于搅拌,因此本规程规定了杂物颗粒的粒径不宜大于50mm。

疏浚泥具有黏粒含量高，含水率高、强度低、渗透性差的特性，其含水率一般在40~100%，用于疏浚泥建设生态护岸的疏浚泥含水率应控制在40%-90%之间，含水率过低，不利于固化剂和疏浚泥的充分混合，以及影响凝固速率；含水率过高，不利于固化土、海绵土的强度提升和施工浇筑成型。上海市区域大部分河道抽水截留后，疏浚泥自然状态的含水率在70%左右，对于该含水率的疏浚泥，ISER固化剂具有最佳成型效果。

根据不同的河道污染情况，疏浚泥的有机质含量相差很大。大部分未受污染或受轻度以下污染的河道疏浚泥有机质含量在1-3%，而黑臭河道的疏浚泥有机质含量可高达10-40%以上。当有机质含量超过10%时，需要增加固化剂的掺量来满足固化土和海绵土的强度，因此本规程规定了疏浚泥的有机质含量不宜大于10%。

4.1.7 本条对固化土和海绵土的物理力学指标做了规定，护岸所使用的固化土和海绵土的抗压强度、孔隙率、干密度应满足表4.1.7的要求。

经过长期的工程实践经验的积累，海绵土用于河道岸坡的抗侵蚀防护，固化土用于护岸挡墙和基础的建设，对护岸起到稳定的作用。

I型固化土：抗压强度 $\geq 0.5\text{MPa}$ ，挡墙和基础的加固（挡墙高度小于0.6m，），同时保持孔隙率 $> 10\%$ ，保证了护岸的透水保水的生态特性。

II型固化土：根据工程实际需求，通过控制固化剂掺量，可将固化土的强度提升至1.5MPa甚至以上，其相应的绿化恢复效果和生态效应明显下降，可用于河道护岸建设中对强度要求更高的护脚区域，抗压强度 $\geq 2\text{MPa}$ 的结构稳定要求建议采用其他材料。

I型海绵土：由于其强度低，孔隙率大，适用于河道抗冲刷能力要求一般、绿化、水生植物要求高的护坡。

II型海绵土：抗压强度 $\geq 0.3\text{MPa}$ ，孔隙率可达25%，适用于河道抗冲刷能力要求强的河道，绿化、水生植物要求相对低的护坡。

4.1.8 固化土和海绵土的稳定性主要反映在其无侧限抗压强度不随龄期增长而降低以及允许不冲流速大于河道水流设计流速两个方面。《软土固化剂》CJ/T 526中第5.5条规定了固化土的稳定性通过检测无侧限抗压强度不随龄期增长而降低来表征，同时由于本标准的固化土和海绵土应用于河道，因此增加了“允许不冲流速”的指标，要求应用于河道的固化土和海绵土不受水流侵蚀，允许不冲流速

大于河道水流设计流速。上海勘测设计研究院检测中心对Ⅱ型海绵土和Ⅰ型固化土的抗侵蚀能力做了研究分析,实验表明Ⅱ型海绵土和Ⅰ型固化土的允许不冲流速大于2.0m/s(表3),检测方法参考附录A。

表3 Ⅱ型海绵土和Ⅰ型固化土抗侵蚀能力指标

样品名称	干密度(≥) (g/cm ³)	28d抗压强度(≥) (MPa)	孔隙率(≥) (%)	允许冲刷流速(≥) (m/s)
Ⅱ型海绵土	1.0	0.42	25	2.0
Ⅰ型固化土	1.2	0.60	15	2.0

同时,由于河道项目的建设周期较短,按质监单位先检后用的原则,90d和180d的龄期指标可能会对工期造成影响,因此河道稳定性的指标也可由厂家提供证明性材料。

水稳系数表征的是材料的水稳定性,以采用标准养护龄期7d最后一天浸水的稳定土试件无侧限抗压强度与不经过水中浸泡的同龄期试件的无侧限抗压强度比来评价稳定土的水稳性。

4.2.3 本条参考现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526中第5.4条的规定,同时由于利用疏浚泥建设护岸的固化土和海绵土需长期存在河道中,对用于建设生态护岸的疏浚泥作了更严格的规定,28d固化土浸出液中重金属含量应满足现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848中Ⅳ类限值的规定。

上海理工大学对固化剂固化重金属污染土的重金属污染情况做了大量实验。实验表明,固化剂对于重金属污染的土质具有显著的稳定效果,原泥中的重金属能够有效减少。铬、铜、铅、锌等重金属存在形态以残渣态为主,其他形态存在状态稳定(表4)。

表4 不同存放条件下试块7d-28d重金属浸出毒性结果(mg/L)

存放条件	编号	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
	原泥	1.853	9.965	23.715	4.975	0.0236	0.0267
养护箱条件	7d	0.039	0.0616	0.0662	0.0054	0.0001	—
	14 d	0.1092	0.0722	0.2097	0.0061	0.0001	—
	28 d	0.1616	0.0715	0.1800	0.0066	0.0002	—
室外暴露条件	7 d	0.1850	0.0870	0.2116	0.0115	0.0008	0.0017

	14 d	0.0117	0.0655	0.1776	0.0081	0.0003	—
	28 d	0.1087	0.0495	0.0356	0.0040	—	—
酸性水环境	7 d	0.0766	0.1000	0.1712	0.0034	0.0006	—
	14 d	0.0570	0.0931	0.1191	0.0091	0.0004	—
	28 d	0.0660	0.0843	0.0687	0.0071	0.0002	0.0006
雨水冲刷条件	7d	0.0886	0.1596	0.1517	—	0.0005	—
	14 d	0.0629	0.13855	0.1331	—	0.0003	—
	28 d	0.0765	0.15679	0.1284	—	0.0008	—
浸泡条件	7d	0.0961	0.14938	0.1526	—	0.0005	—
	14 d	0.0765	0.16557	0.1509	—	0.0007	—
	28 d	0.0587	0.15447	0.1549	—	0.0007	—
水流冲刷条件	7d	0.0812	0.14505	0.1778	—	0.0004	—
	14 d	0.0676	0.16809	0.1440	—	0.00112	0.0012
	28 d	0.0544	0.15655	0.1730	—	0.0008	—

注：“—”表示未检出浓度。

4.2 配合比设计

4.2.1 固化土和海绵土的配合比试配可在试验室进行拌合制备，试验用的固化剂、疏浚泥和发泡剂等原材料必须与施工现场使用的材料一致。且疏浚泥含水率应满足本标准第4.1.4条规定，发泡剂性能指标应符合本标准第4.1.3条的规定。

在试验室进行拌合实验时，采用搅拌机拌合，转速宜为 50r/min，拌合时间不宜少于 2min。配合比试验可按表 5 进行试配。

表 5 配合比试配

28d 无侧限抗压强度 (MPa)	材料用量比例 (w%)		孔隙率 (%)	类别
	固化剂	发泡剂		
—	5-7	适量	40	海绵土
0.3	5-9	适量	25	海绵土

0.5	7-15	适量	20	固化土
0.7	9-15	适量	15	固化土
0.5	7-13	0	15	固化土
0.7	9-13	0	10	固化土
1	11-13	0	5	固化土
2	15-17	0	—	固化土

表6～表8由大量工程数据和试验数据的总结得出，仅供配合比试验参考，减少配合比试验的盲目性。

表6 粘性土泥所做试块抗压强度测试结果

编号	固化剂用量 /%	强度（MPa）					
		3d		7d		28d	
1	3	0	0	0	0	0	0
2	5	0	0	0.12	0.15	0.22	0.22
3	7	0.20	0.20	0.29	0.27	0.31	0.38
4	9	0.42	0.40	0.51	0.60	0.63	0.67
5	11	0.61	0.69	0.88	0.82	1.07	1.00
6	13	0.95	0.95	1.23	1.24	1.67	1.51
7	15	1.21	1.25	1.50	1.31	1.95	2.05
8	17	1.80	1.68	1.66	1.60	2.19	2.52
9	20	2.21	2.14	2.78	2.31	3.09	2.87

表7 高有机质泥所做试块抗压强度测试结果

编号	固化剂用量 /%	强度（MPa）					
		3d		7d		28d	
1	3	0	0	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0	0	0
3	7	0	0	0.15	0.19	0.10	0.09
4	9	0.10	0.15	0.30	0.25	0.35	0.30
5	11	0.20	0.20	0.30	0.29	0.31	0.26
6	13	0.35	0.34	0.60	0.64	0.71	0.70
7	15	0.91	0.99	1.86	1.74	1.99	2.07
8	17	1.34	1.19	2.11	2.25	2.66	2.83
9	20	1.86	1.49	3.04	3.31	3.59	3.35

表8 砂性土泥所做试块抗压强度测试结果

编号	固化剂用量 /%	强度（MPa）		
		3d	7d	28d

1	3	0	0	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0	0	0
3	7	0	0	0.11	0.12	0.10	0.11
4	9	0.22	0.24	0.31	0.31	0.30	0.28
5	11	0.48	0.46	0.59	0.62	0.58	0.52
6	13	0.91	0.88	1.19	1.00	1.19	1.00
7	15	1.20	1.08	1.79	1.87	2.01	2.15
8	17	1.71	1.64	2.06	1.61	1.71	2.51
9	20	1.98	2.10	2.20	1.75	2.98	3.69

4.2.2 本条明确了试配抗压强度和设计抗压强度的关系。由于固化土和海绵土的强度不高，其试验抗压强度高于设计抗压强度的数值不宜过大，故取1.05倍。

4.2.3 控制浆液流动度是为了满足施工性能，但同时又能有利于固化土和海绵土的最终成型。因此一般在采用原位搅拌工艺时，固化土和海绵土的浆液流动度控制在120mm以下；在采用浇筑施工法浇筑格埂或护坡时，浆液流动度宜控制在150mm-200mm。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 护岸应具有河岸生态系统的基本功能，主要表现在生物生产、能量流动、物质循环和信息传递等方面。护岸可以连通水陆能量和物质交换的渠道来达到生态系统的基本功能，同时护岸应适应本土动植物的恢复，让生态护岸的环境影响降到最低。

5.1.2 护岸工程属于堤防工程的一部分，堤防工程的级别和设计标准在国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286-2013已有规定，本标准应符合该规定。

5.1.3 护岸工程不同设计阶段所要求的基本资料深度不同，基本资料的深度要求需满足不同设计阶段的设计要求。

5.1.5 生态护岸施工时，一般需要河道干地施工，处于最不利工况。河道沿线往往情况复杂，现场难以按设计坡比放坡，且农村地区河道岸边有大量鱼塘、水稻田等，经常引排水，水头较高，暴雨期间容易浸泡，诱发边坡失稳。因此，在保障边坡安全的前提下，为防范边坡整体滑移，可采用生态筋加筋处理。

5.2 护岸结构形式

5.2.1~5.2.4 河道整治工程常需要开挖、回填土方平衡计算，河道有淘刷或堤顶高程不满足设计要求的，常采用粘土回填。但河道实际情况复杂，施工便道不通畅，外运粘土回填综合成本较高。本标准海绵土可替代粘土回填，施工便利，实现淤泥资源化利用，减少淤泥外运量。

护岸结构主要考虑到防止水流冲刷、波浪淘刷、冰和漂浮物的撞击破坏，同时还有考虑到景观生态要求，可根据需要选合适的护岸型式。固化土和海绵土应用于生态护岸的典型断面型式如图1~图3和表9所示。

典型设计断面如下：

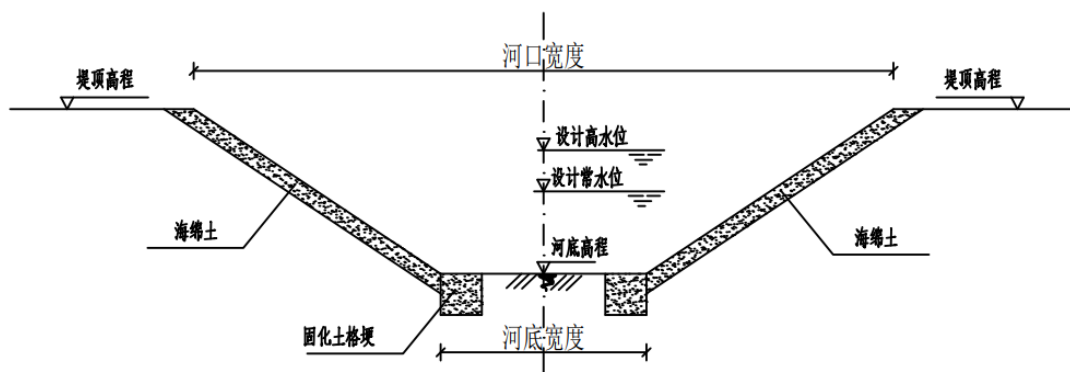


图 1 斜坡式断面（护坡+挡墙）

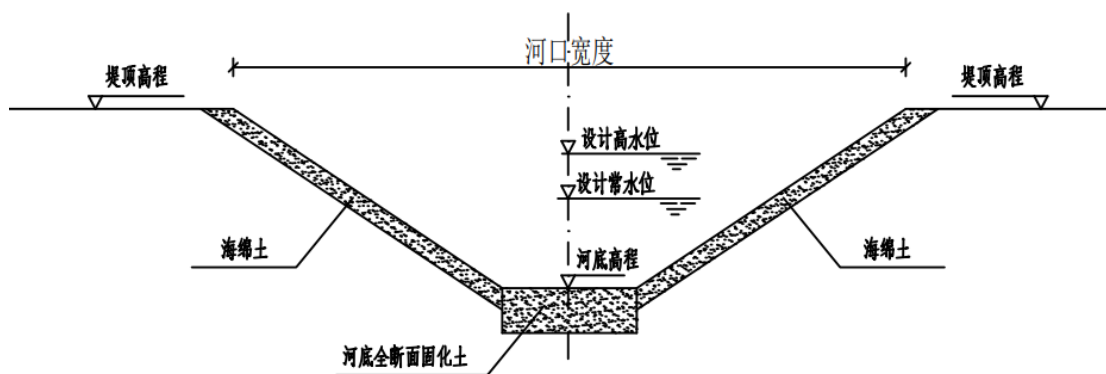


图 2 斜坡式断面（护坡+护底）

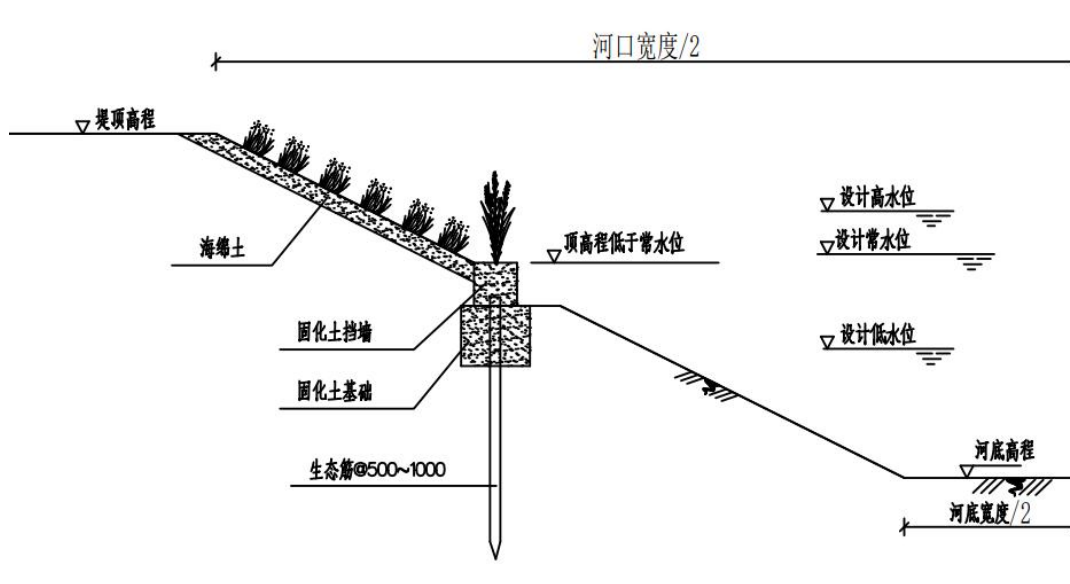


图 3 复合式断面（桩基+挡墙+护坡）

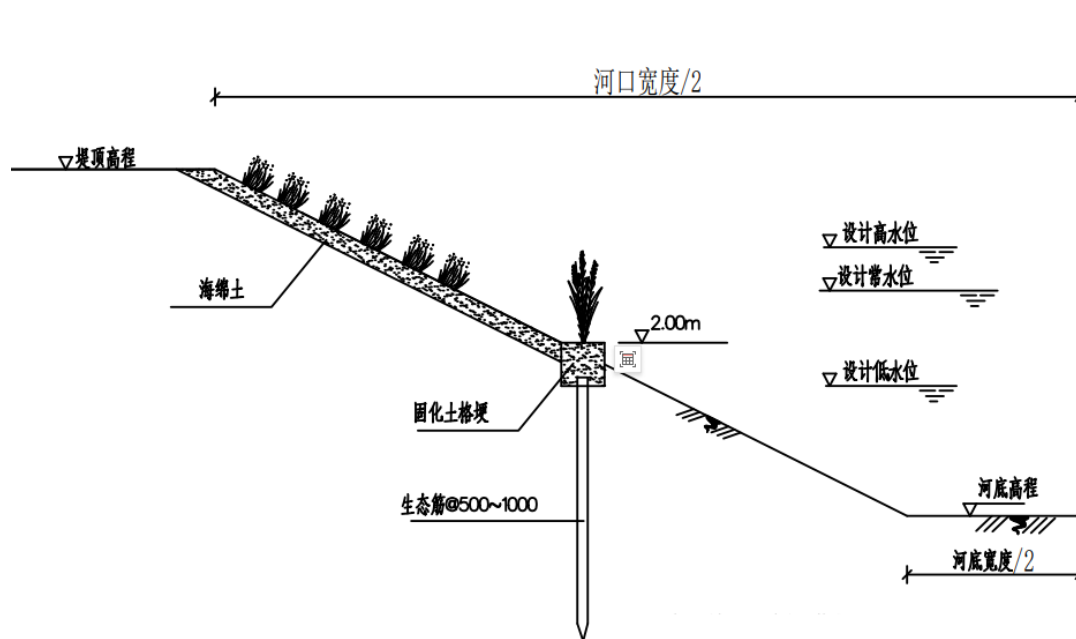


图4 复合式断面（桩基+格埂+护坡）

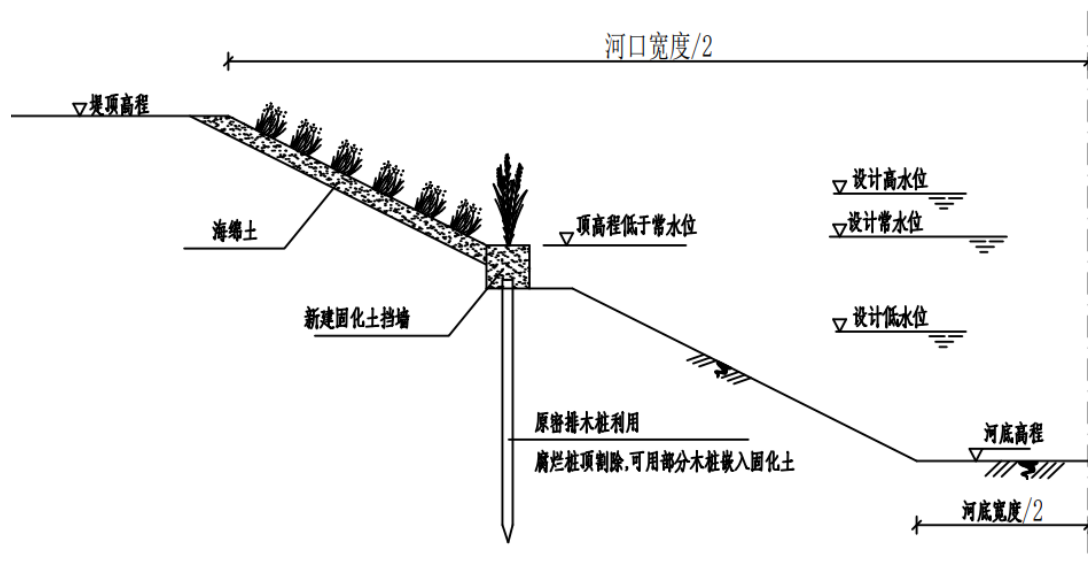


图5 原密排木桩改造

表9 典型断面的形式和适用范围

名称	断面形式	适用范围
典型断面1	护坡+挡墙	适用于河口宽度不大于10m的河道
典型断面2	护坡+护底	适用于河底宽度不大于1.5m的小型河沟
典型断面3	桩基+挡墙+护坡	适用于河口宽度大于10m的河道
典型断面4	桩基+格埂+护坡	适用于河口宽度大于10m的河道
典型断面5	原密排木桩改造	适用于木桩顶部腐烂，土体流失的情况

护岸结构不限于上述典型断面的几种结构型式，在上海已有诸多的成功案例。海绵土护坡广泛应用于上海市镇村级河道及泖沟的坡面防护，尤其是水位变动区边坡的防护处理。水位变动区边坡由于常年受到水位变动的侵蚀，土体易坍塌、流失严重，采用海绵土作为护坡结构，护坡厚度200~300mm，能够起到抗水流侵蚀、保持边坡土稳定的效果。

土堤受限的地段采用固化土挡墙或固化土挡墙与海绵土护坡的结合形式往往是比较经济合理的。固化土挡墙与海绵土护坡的结合形式参考典型断面1。

在上海市崇明区三星镇纯阳村27号横河护岸和生态河道修复工程，横河呈东西向，工程全长1600m，河道宽5 m~9m，两侧为公路，居民较多，河道两岸岸坡破损严重，河道淤积，过水断面束窄，该项目利用型固化土建设挡墙结构(其形式详见图1)，具备良好的防护和稳定效果。

上海市崇明区向化镇2018年度镇村级河道轮疏工程，采用图1的断面形式，对河道护岸进行生态修复，护坡采用Ⅱ型海绵土，坡比1: 1.5，Ⅱ型海绵土厚度150mm。通过检测机构对河道海绵土试样的检测，满足本标准第4.1.7条技术要求。

上海市崇明区竖新镇2018年度镇村级河道疏浚工程，采用图1的断面形式，对河道护岸进行生态修复，护坡采用Ⅱ型海绵土，坡比1: 1.5，Ⅱ型海绵土厚度150mm。通过检测机构对河道ISER海绵土试样的检测，满足本规程4.1.7条技术要求。

在崇明区三星镇纯阳村27号横河护岸和生态河道修复工程中I型固化土做挡墙结构每隔15m左右设置一道变形缝，变形缝采用聚乙烯低发泡填缝板隔开。

护坡在上海市河道中有成熟的应用，有大量的工程实例支持，项目检测指标可参见表10。

表10 各项目中国化土和海绵土检测指标

序号	项目名称	工程部位	检测参数	技术要求	检测值	单项结果
1	崇明区向化镇2017年度镇村级河道疏浚项目	生态明沟护坡	干密度 (g/cm ³)	≥0.7	0.83	合格
			孔隙率 (%)	≥15	48	合格

2	崇明区三星镇 27号横河生态 护岸	挡墙基础	干密度 (g/cm ³)	0.77~1.04	0.83	合格
			孔隙率 (%)	≥10	40	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.5	0.56	合格
		两侧边坡	干密度 (g/cm ³)	0.77~1.04	1.02	合格
			孔隙率 (%)	≥15	48	合格
3	三星镇2017年 度镇村级河道 疏浚工程	水位变动区 0~308 (桩位 号)	干密度 (g/cm ³)	0.51~0.69	0.68	合格
			孔隙率 (%)	≥30	48	合格
		挡墙基础 0~308 (桩位 号)	干密度 (g/cm ³)	1.02~1.38	1.1	合格
			孔隙率 (%)	≥10	40	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.5	0.52	合格
4	青浦区2016中 小河道整治项 目 (朱家角淀峰 村)	生态护坡	干密度 (g/cm ³)	≥0.7	0.74	合格
			孔隙率 (%)	≥30	0.41	合格
		生态挡墙护 岸	干密度 (g/cm ³)	≥1.2	1.2	合格
			孔隙率 (%)	≥10	24	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.5	0.63	合格
5	崇明区向化镇 2018年度镇村 级河道疏浚项 目	I 型固化土	干密度 (g/cm ³)	≥1.0	1.1	合格
			孔隙率 (%)	≥10	32	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.5	0.52	合格
6	竖新镇2018年 度镇村级河道 疏浚工程	I 型海绵土 护坡	干密度 (g/cm ³)	≥0.8	0.83	合格
			孔隙率 (%)	≥15	33	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.3	0.32	合格

7	崇明区建设镇 2018年度镇村 级河道疏浚工 程	I 型固化土 挡墙	干密度 (g/cm ³)	≥1.0	1.09	合格
			孔隙率 (%)	≥10	31	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.5	0.52	合格
		I 型海绵土 护坡	干密度 (g/cm ³)	≥0.8	0.83	合格
			孔隙率 (%)	≥15	32	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.3	0.33	合格
		I 型固化土 挡墙	干密度 (g/cm ³)	≥1.0	1.11	合格
			孔隙率 (%)	≥10	30	合格
			抗压强度 (MPa)	≥0.5	0.52	合格

5.3 生态筋设计

5.3.2 为了增强结构刚度或边坡稳定性，常采用桩基础抗滑，传统的桩基处理有钢筋砼方桩、木桩、钢板桩等。在国家双碳战略背景下，固废利用成为一种新需求，生态筋是一种利用废旧纺织品通过资源循环再生产将聚酯、棉等各类混杂纤维和热塑型基体构成的一种新的纤维增强结构复合材料。可实现全生命周期资源循环利用，代替木材保护森林植被，可减少矿山资源开采。常见生态筋的性能应满足表11的要求。

表11 生态筋的力学性能指标

名称	抗拉 (MPa)	抗弯 (MPa)	抗剪 (MPa)	抗压
生态筋	≥400	≥400	≥28	巴斯硬度 (≥50)
塑钢板桩	≥42	≥65	/	≥85MPa
木桩	≥5.1	≥11	≥1.6	≥15MPa

生态筋设计中型号规格、布置间距的选择，主要根据河道实际情况，安全验算结果综合而定。一般长度有1.5m、2.5m两种型号，具体长度根据设计要求。

5.3.6 生态筋沉入潜在滑动面以下稳定持力层的深度应按SL 386-2025附录H

“抗滑桩计算”确定，初步设计阶段锚固深度可取桩长的1/3~1/2。

5.3.7 生态筋的节点连接应保证刚性，锁固螺栓的紧固扭矩宜为30~50 N·m，并应有防松措施。

5.4 护岸稳定计算

5.4.1 护岸结构计算包括护岸边坡抗滑移稳定计算、抗滑稳定计算、基底应力比计算、地基承载力计算等内容，应按国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286-2013有关规定执行。

5.4.2 考虑到上海地区工程影响范围内的浅部土层为滨海河口沉积层，层理明显，往往黏性土和粉性土或粉砂层交互薄层，水平渗透系数最小值约为 1×10^{-6} cm/s，具有一定的透水性，故规定作用于围护墙上的侧压力宜按水土分算原则计算。本标准涉及的土层以浅部土层为主，故规定护岸稳定计算中土压力及水压力宜按水土分算的原则计算。具体土压力计算按行业标准《水工建筑物荷载设计规范》SL 744-2016 的有关规定计算，不考虑固化土与墙后土体的胶结作用，计算结果偏于保守。

5.4.3 上海市护岸整体稳定计算中土体的抗剪强度指标一般采用固结快剪指标；结合上海市整体稳定计算的设计经验，整体稳定计算中土体的抗剪强度指标基本采用固结快剪指标，故本标准建议固化土和海绵土的抗剪强度指标采用固结快剪指标。

通过上海市崇明区某河道工程中的河道边坡土和河道底泥加入固化剂进行试验，当固化剂掺量在5%、7%、9%、11%、13%、15%时，通过养护7d、28d，测试其粘聚力和内摩擦角参数，如表12和表13所示，为设计计算提供依据。

表12 1号河道底泥不同固结剂掺量下7d、28d龄期固结性能参数表

掺量	1号河道底泥7d龄期数据(粉土)						1号河道底泥28d龄期数据					
	5%	7%	9%	11%	13%	15%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
黏聚力 c (kPa)	21.91	19.32	59.92	159.50	287.17	364.31	20.02	131.6	180.72	318.21	399.74	459.81
内摩擦角 $\phi (^{\circ})$	19.9	20.8	15.5	22.5	33.9	38.0	23.6	8.9	27.7	29.0	31.0	34.7

表13 2号河道底泥不同固结剂掺量下7d、28d龄期固结性能参数表

掺量	2号河道底泥7d龄期数据(横沙黏土)	2号河道底泥28d龄期数据
----	--------------------	---------------

	5%	7%	9%	11%	13%	15%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
黏聚力 c (kPa)	31.2	42.13	57.63	89.92	129.86	175.13	50.54	84.22	112.33	159.91	229.37	388.46
內摩擦 角 ϕ (°)	19.6	21.1	16.1	20.6	29.03	50.60	18.96	18.7	20.2	21.9	33.42	34.83

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 河道项目通常为综合整治工程，包括河道疏浚、桩基、土方开挖、绿化种植等分部分项工程，本标准生态护岸工程与其他工程存在交叉施工影响，为确保施工质量，应编制专项施工方案。

6.1.3 为确保施工质量，固化剂与淤泥应采用强制搅拌设备施工，搅拌均匀后方可入仓。本条对固化土和海绵土制作过程中，固化剂计量和拌合时间，以及混合料的浆液流动度做了规定。

6.1.4 河道测量断面或地质勘察报告有时无法反映现场实际情况，海绵土、固化土基面可能遇到不良地基，如不采取措施，可能造成生态护结构开裂、下沉或失稳现象。

6.1.5 特殊气候条件下，如遇大雨、暴雨或持续时间较长的小雨天气时，未硬化的固化土和海绵土表面应采取遮雨、防水流冲刷和浸泡等措施；如昼夜平均温度超过30℃，固化土和海绵土失水较快，应加强洒水养护措施；如昼夜平均温度低于5℃，应采取防寒保暖的覆盖措施，防止冻融，有条件的可放水养护。

6.2 海绵土护坡

6.2.1 本条对护坡施工前的清基和修坡处理做了规定。

6.2.2 在海绵土护坡施工之前，要求基面达到设计要求。

6.2.3 本条对海绵土护坡的施工过程做了规定，施工前应根据设计图纸进行固化剂掺量的核算，拌合过程确保拌合均匀，采用机械或人工方式摊铺且拌合和摊铺时间不应大于6h。

6.2.4 固化土和海绵土在养护期间强度不高，尚未成型，如遇水流冲刷、侵蚀，容易遭到破坏。养护期过后才可进行河道通水及护坡表面的植被种植。

6.3 固化土挡墙

6.3.1 生态护岸的挡墙结构分为基础和挡墙两个部分，挡墙基础的施工宜采用原位搅拌施工法(图4)，格埂施工宜采用浇筑法(图5)。两种施工法均需对河道进行抽水断流措施，原位搅拌施工法在疏浚泥上均匀摊铺固化剂，利用原位搅拌机械根据设计深度拌合，拌合均匀后的混合料整形后形成护岸挡墙基础。该施工法也有一定的局限性，由于固化剂采用表面摊铺的方式，对于搅拌深度大于1.2 m 的情况，固化剂和疏浚泥的混合效果不佳，应采取拌合效果较好的施工措施，如“旋喷桩”“搅拌桩”等。

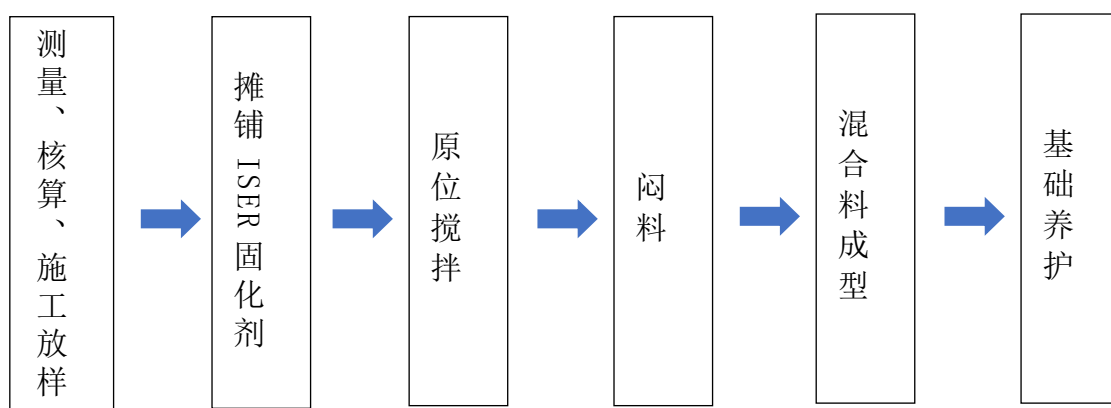


图 4 原位搅拌施工法工艺流程

挡墙施工采用浇筑法，基础养护3d~7d，具有一定的强度，在基础上采用浇筑法，根据挡墙设计尺寸支模板，采用强制式拌合机等搅拌设备拌合制备混合料并浇筑入模，采用人工或小型机械压实表面，进入养护期，约7d就拆模继续养护，直到设计强度即可通水。

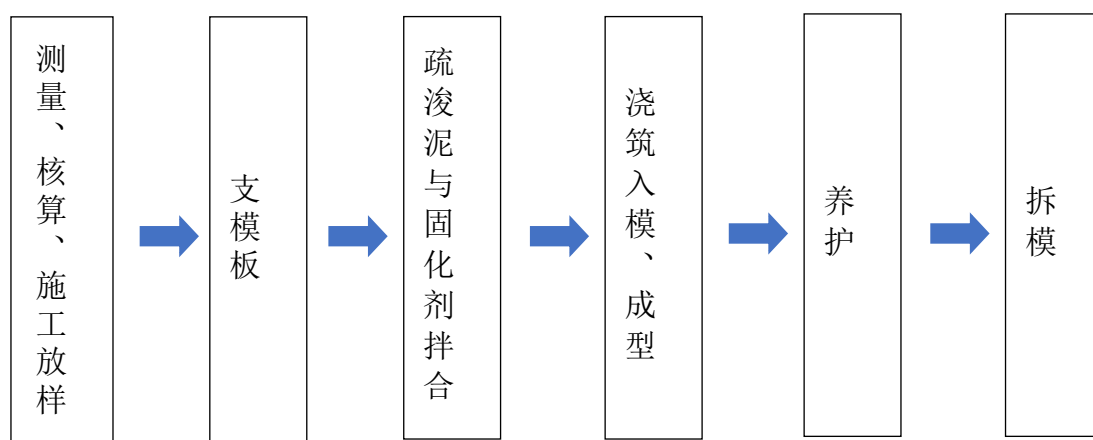


图5 浇筑施工法工艺流程

6.3.2 本条对挡土结构分层施工做了规定，基础和格埂分部施工时，基础表明应做5cm左右深度的破坏，保证基础和格埂的整体稳定。

6.3.3 本条对挡墙基础的施工过程做了规定，基础施工应采用原位搅拌施工法，并保证原位搅拌后基础大小和尺寸满足设计要求。施工固化剂和疏浚泥的拌合和成型时间不超过6h。

6.3.4 本条对挡墙施工过程做了规定。挡墙施工宜采用浇筑施工方式，通过拌合机械拌合后的混合料浇筑入模，施工中保证固化剂和疏浚泥的拌合和成型时间不超过6h。

6.3.5 挡墙施工采用生态筋加强时，应根据设计要求在挡墙基础初凝之前将植筋材料打入挡土结构内部。

6.3.6 施工完成并检验合格的挡墙，至少养护7d后方可对河道进行通水。

6.4 生态筋

6.4.1-6.4.2 生态筋强度高，规格尺寸不大，施工机械可采用市场上成熟的静压震动设备，减少对周围土体的扰动，并辅助人工配合施工。施工时，按设计图纸要求，测量放样，标出桩位。其垂直度要求参考相关桩基施工验收规范。

6.5 绿化种植及养护

6.5.1 植物的种植根据设计图纸要求施工，常规上可分为常水位以上、水位变动区、常水位以下几个种植区域。海绵土、固化土成型后具备一定强度，与原状土壤不同，绿化施工有一定特殊性，需要做好相关技术准备工作。

6.5.2 近年来，海绵土护坡大量采用草籽种植，由于现场实际情况复杂，边坡有时难以按设计坡比放坡，通常较陡峭；而且，固化剂为胶凝材料，海绵土护坡成型后表面较平整光滑，且具备强度，如按常规施工方法，草籽播撒后容易滚落，较难落地生根，成活率不高。因此，海绵土护坡草籽种植前，需对表面进行凿毛处理。

草籽播撒后要落实洒水养护工作，一般早晚各一次，直至生根发芽。经过大

量实践经验，草籽种植工艺流程如下：海绵土护坡→表面凿毛→松土→播撒草籽→覆盖土工布→洒水→养护（补种）→验收。

6.5.3 水生植物种植穴宜在固化土成型后使用打孔机械施工，其间距、规格尺寸按设计图纸要求。各专业施工单位宜做好工序交接，尽量避免二次进场，对生态护岸成品造成破坏。

7 质量检验与评定

7.1 一般规定

7.1.2 根据国家相关法律法规，为确保生态护岸工程质量，杜绝不合格固化剂原材料进入施工现场。

7.1.4 本标准所指的生态护岸工程为固化土、海绵土的护岸建设，后道工序一般还有绿化工程。在项目划分体系中，宜将固化土和海绵土护岸建设作为分部工程，取消原标准生态护岸工程外观质量评定。

7.1.5 现行上海市工程建设规范《水利工程施工质量检验与评定标准》DG/TJ 08-90对单元工程的划分作了规定。护岸工程，利用河道疏浚泥建设生态护岸，可按河道开挖和疏浚单元工程划分，“市级以上(含)河道每200m~500m河段划分为一个单元工程，市级以下河道每300m~600m 划分为一个单元工程”，故本条采用300m~600m作为单元工程划分范围。

7.2 固化剂

7.2.1 本标准生态护岸适用于河（湖）工程，固化剂应用于河道护岸建设时，应确保生态环保性及安全性。不合格的固化剂应用于河道护岸建设项目，可能导致水质污染、土壤板结、护坡开裂严重、重金属超标等问题。

固化剂生产企业应确保产品合格，进场前应提供相关资料报审。

7.2.3 固化剂进入施工现场，其原材料应具有可追溯性，包装应符合相关规范要求，杜绝三无产品进入工地。

7.3 海绵土护坡

7.3.1~7.3.3 海绵土护坡工程的质量、检测频次及检测方法中取消原标准中“草皮”相关内容，参考现行上海市工程建设规范《水利工程施工质量检验与评定标准》DG/TJ 08-90进行规定。

7.4 固化土挡墙

7.4.1~7.4.3 参考现行上海市工程建设规范《水利工程施工质量检验与评定标准》DG/TJ 08-90进行规定。

7.5 生态筋

7.5.1~7.5.2 本条参考现行上海市工程建设规范《水利工程施工质量检验与评定标准》DG/TJ 08-90中“沉入桩”相关内容进行规定。