

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

海堤生态化设计技术指南

Technical guide for ecological design of sea dike

(报批稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

前 言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 总体要求 6

 4.1 基本原则 6

 4.2 设计范围 6

 4.3 工作流程 6

5 基础资料 6

 5.1 一般要求 6

 5.2 环境 7

 5.3 生态 7

 5.4 文化 7

 5.5 约束条件 7

6 水文分析计算 7

 6.1 一般要求 7

 6.2 水位 7

 6.3 风速 8

 6.4 波浪 8

 6.5 气候变化增强的设计余量 9

7 海堤布置 9

8 堤前生态保护与修复 10

 8.1 一般要求 10

 8.2 淤泥质海岸 10

 8.3 砂质海岸 12

 8.4 基岩质海岸 13

9 堤身生态化改造 13

 9.1 一般要求 13

 9.2 堤身改造材料 13

 9.3 堤顶高程 14

 9.4 堤顶宽度 15

 9.5 护面改造 15

 9.6 蓄排水设施 15

 9.7 堤身植物布置 15

 9.8 动物通道布置 16

10 堤后生态空间营造 16

11 游憩通道 16

附录 A（资料性） 海堤生态化改造适宜性评估 17

附录 B（规范性） 波浪爬高计算 21

附录 C（规范性） 越浪量计算 26

附录 D（规范性） 植物消浪计算 28

附录 E（资料性） 已建生态海堤参考断面示意图 29

附录 F（资料性） 海堤生态化改造参考断面示意图 33

附录 G（资料性） 植物参考名录 37

附录 H（资料性） 生态材料 38

参考文献 47

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。

本文件共分为 11 章和 8 个附录，主要技术内容包括总体要求、基础资料、水文分析与计算、海堤布置、堤前生态保护与修复、堤身生态化改造、堤后生态空间营造、游憩通道等。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：珠江水利委员会珠江水利科学研究院

本文件参编单位：广州市南沙区水务局、河海大学、广东省水利电力勘测设计研究院有限公司、香港城市大学、澳门大学、广州珠科院工程勘察设计有限公司、广东省水利水电科学研究院、中水珠江规划勘测设计有限公司、中交三航院澳门有限公司、上海市工程设计研究总院（集团）有限公司、中交上海航道勘察设计研究院有限公司、中国港湾工程有限责任公司、广东省水利水电第三工程局有限公司。

本文件主要起草人：侯棚、朱小伟、杨芳、肖洋、周瑛、龚政、陈俊昂、梁美仪、赖荣盛、翁忠华、胡晓张、曹春顶、陶爱峰、谭超、马志鹏、周洁、陈家鸿、蒋勤、张鹏、刘晓建、王其松、王强、郭辉群、冉韶华、秦茂洁、陈佳鹏、喻丰华、唐乐、严飞、晏萌、王珍、黄春华、陈高峰、王斌、田鹏、孙龙、张斌、王世俊、陈广成、吴臻、吴俊涌、刘琴琴、许劼婧、岳鸿禄、邓忠杰、王英杰、廖杰林、吴辉明、汪亚争、廖志浩、汪洪祥、赵如东、赖敏等。

海堤生态化设计技术指南

1 范围

本文件规定了海堤生态化设计的技术要求。

本文件适用于粤港澳三地已建海堤的生态化改造设计，现有海堤提标加固及新建海堤设计可参照使用。

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 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
GB/T 12763.6 海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查
GB/T 12763.9 海洋调查规范 第9部分：海洋生态调查指南
GB/T 17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析
GB/T 41339.4—2023 海洋生态修复技术指南 第4部分：海草床生态修复
GB/T 51015 海堤工程设计规范
DB44/T 2283 水利工程生态设计导则
HJ 442.1 近岸海域环境监测技术规范 总则
HJ 710.1 生物多样性观测技术导则 陆生维管植物
HJ 710.4 生物多样性观测技术导则 鸟类
HY/T 255 海滩养护与修复技术指南
JTS 145—2015（2022版） 港口与航道水文规范
JTS/T 231 水运工程模拟试验技术规范
T/CAOE 1—2020 围填海工程海堤生态化建设标准
T/CAOE 20—2020（所有部分） 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则
T/CAOE 21.3 海岸带生态减灾修复技术导则 第3部分：盐沼
T/CAOE 21.5 海岸带生态减灾修复技术导则 第5部分：海草床
T/CAOE 21.6 海岸带生态减灾修复技术导则 第6部分：牡蛎礁
T/GDHES 001—2022 水利工程生态护岸设计规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海堤 sea dike

为防御风暴潮（洪）水和波浪对防护区的危害而修筑的堤防工程。

[来源:GB/T 51015—2014, 2.0.1, 有修改]

3.2

海堤生态化 sea dike ecological improvement

利用植被、符合环境保护要求的材料和工法，对已建海堤进行改造，并在不降低其防潮（洪）能力的基础上，提升其生态功能和景观游憩服务等功能的的活动。

3.3

生态海堤 ecological sea dike

沿海岸或河口区河岸修建，集防潮（洪）、防浪、生态和景观游憩等功能于一体的堤防工程。

3.4

堤线 sea dike alignment

沿海岸或河岸走向而修建堤防的线性布局或路径。

3.5

堤前带 front dike zone

沿海堤迎水坡坡脚向海一侧延伸一定宽度的区域。

[来源：T/CAOE 1—2020，3.5，有修改]

3.6

堤身带 dike zone

海堤堤身结构区域，有背水坡的，堤身带为迎水坡堤脚线与背水坡堤脚线之间的区域。

3.7

堤后带 behind dike zone

沿海堤背水坡坡脚向陆一侧延伸一定宽度的区域。

[来源：T/CAOE 1—2020，3.7，有修改]

3.8

潮上带 supratidal zone

海岸线与特大潮或风暴潮时海水影响陆地最远处之间的地带。

[来源：GB/T 18190-2017，2.1.10]

注：海岸线为多年大潮平均高潮位时海陆分界痕迹线。

3.9

潮间带 intertidal zone

高潮线与低潮线之间，海水周期性淹没和退出的浅滩地带。

[来源：GB/T 18190-2017，2.1.11]

3.10

潮下带 subtidal zone

低潮线与闭合水深之间的浅水地带。

注：闭合水深是指低潮线至沉积物不能被波浪作用横向搬运的水深。

[来源：GB/T 18190-2017，2.1.12]

3.11

后滨 offshore

海岸线至平均高潮线之间的地带。

[来源：GB/T 18190-2017，2.1.5]

3.12

前滨 foreshore

平均高潮线至海图0m等深线之间的地带。

[来源：GB/T 18190-2017，2.1.6]

3.13

海滩 beach

由激浪和激浪流作用，在海滨塑造形成的松散沉积物堆积体。

注:海滩包括前滨与后滨。

[来源: GB/T 18190-2017, 2.3.4]

3.14

标准风速 Standard wind speed

标准风速指测风站地面以上10m高度处、逐时观测的风速时距为10min的平均值。

4 总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 安全保障

海堤生态化改造应充分利用既有基础结构，不降低海堤原有的防护能力，保障区域的防（潮）洪安全和公众生命财产安全。

4.1.2 生态优先

牢固树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，采用植物修复、动物栖息地营造等一系列生态化措施，注重提升海堤生态系统服务功能和生物多样性。

4.1.3 因地制宜

尊重海堤所在地的生态系统特征、水文动力等自然条件，综合考虑地形、岸线等情况，科学布置堤线，尽可能维护岸线自然形态，因地制宜选择生态化改造措施。

4.1.4 协同增效

通过保护、修复和可持续管理生态系统，利用生态系统服务功能应对灾害挑战，促进生态减灾协同增效，确保社会经济可持续和有韧性地发展。

4.2 设计范围

海堤生态化改造范围分为堤前带、堤身带、堤后带三个区域，见图1。堤前带范围：1级海堤为迎水坡堤脚线向海侧宽度不低300m的区域；2、3级海堤为宽度不低于200m的区域；4、5级海堤为宽度不低于100m的区域。堤身带范围：海堤堤身结构区域。堤后带范围：背水坡堤脚线向陆侧一定宽度的区域（一般宜不小于50m），区域内有水系和绿地的，宜将其全部纳入堤后带。

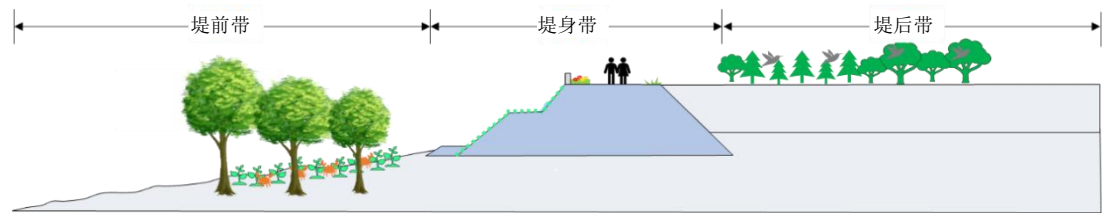


图 1 海堤生态化改造范围示意图

4.3 工作流程

海堤生态化设计工作一般分为资料收集与调查、适宜性评估、方案设计等三个阶段，其中海堤生态化改造适宜性评估方法见附录A，根据评估结果确定是否进行生态化改造。

5 基础资料

5.1 一般要求

5.1.1 海堤生态化设计应收集调查的社会经济、气象水文、工程地形、工程地质、环境、生态及文化等资料，前4项资料收集按GB/T 51015执行。

5.1.2 应收集调查海洋区域综合规划、河口规划和区域防潮（洪）规划、生态海堤规划等有关规划资料。

5.1.3 应通过收集资料，获取海堤及其穿堤建筑物设计、安全监测、险工险段（如有）、现状及运行管护资料，对于历史上曾受损的海堤工程，还应收集受损资料。当资料不足时，应按GB/T 51015的规定开展现状调查分析、现场检测等工作。

5.2 环境

5.2.1 应收集工程区域近3年水质、盐度、水温、污染监测等数据。当资料不足时，可按照GB/T 17378.4、GB/T 12763.2开展相关监测与评估工作。

5.2.2 应开展对海堤生态化改造实施有影响的入河排污口、污染物的调查。

5.3 生态

5.3.1 应收集包括水域生态、陆域生态本底状况，资料不足时通过现场调查和实地监测获取，现场调查、实地监测等工作应按GB/T 12763.6、GB/T 12763.9、HJ 442.1、HJ 710.1、HJ 710.4、T/CAOE 20—2020开展。

5.3.2 生态本底资料宜包括：

- a) 岸线自然状态：潮滩宽度、高程、坡度等。
- b) 水陆生物情况：应开展海洋生物群落结构要素及生态系统功能要素实地监测与评估，获取工程区植被面积、分布、种类组成、盖度和生长状况等植被特征资料，获取浮游生物、底栖生物、潮间带生物、游泳动物等资料。

5.4 文化

应收集海堤所在城市的城市文化、水文化、海洋文化等资源，挖掘和提炼相关要素，并融入海堤生态化改造设计中。

示例：文化资源如古城镇、古村落、古码头、古渡口、古海上丝绸之路、古驿道等。

5.5 约束条件

调查海堤生态化改造的国土空间布局规划和建设的约束条件，如基本农田、生态红线、治导线等。

6 水文分析计算

水文分析计算包括水位、风速、波浪、气候变化增强的设计余量等。

6.1 一般要求

6.1.1 对于堤前滩地有防浪植物的波浪爬高，应先确定防浪植物消浪后的堤脚前波高，再计算波浪爬高值。

6.1.2 应考虑植物消浪作用确定波浪设计爬高的，应考虑植物生长状态的连续性对海堤保护的影响。

6.2 水位

6.2.1 设计潮（水）位应采用频率分析的方法确定。潮（水）位资料系列不宜少于 20 年，并应调查历史上曾经出现的最高、最低潮（水）位值。

6.2.2 设计潮（水）位频率分析的线型，在受径流影响的潮汐河口地区宜采用皮尔逊-III 型分布曲线，在海岸地区可采用极值 I 型（又称 Gumbel）分布曲线。

6.3 风速

6.3.1 风速统计应采用标准风速值，采用的基础风速资料与标准风速要求不一致时，应按照 GB/T 51015 将其换算为标准风速值。

6.3.2 计算不同重现期的设计风速时，若工程点附近有长期风速观测资料，可采用该资料进行统计分析，资料系列长度不宜少于 30 年。

6.3.3 设计重现期风速频率分析宜采用极值 I 型分布曲线，经过分析论证，也可采用其他适合的线型。

6.4 波浪

6.4.1 波浪要素

6.4.1.1 设计波浪和设计风速的重现期宜采用与设计高潮（水）位相同的重现期，当采用其他设计组合时，应有合理依据或经分析论证。

6.4.1.2 宜增加低于设计标准水位和设计标准重现期波浪组合，以检验低水位大浪对海堤中下部结构的破坏性。

6.4.2 波浪爬高

6.4.2.1 波浪爬高计算应采用不规则波要素为计算条件。

6.4.2.2 广东和澳门海堤的波浪爬高计算按不允许越浪时取累积频率为 2% 的波高，按允许部分越浪设计时取累积频率为 13% 的波高，香港海堤均按部分允许越浪设计，取累积频率为 2% 的波高。波浪爬高应按斜坡式、直立式、复合式等海堤断面型式分类计算，计算时应根据海堤实际断面特征，直立式按 GB/T 51015 采用合适的计算公式，斜坡式和复合式海堤按照 JTS 145—2015（2022 版）确定，见附录 B，也可参考 GB/T 51015 选取不利结果作为波浪爬高取值，香港地区也可参考《PORT WORKS DESIGN MANUAL PART 1 General Design Considerations for Marine Works》《PORT WORKS DESIGN MANUAL PART 4 Guide to Design of Seawalls and Breakwaters》计算后选择不利结果。

6.4.2.3 斜坡式海堤采用生态混凝土、植物、自然材料制成的柔性生态结构等工程措施可降低波浪爬高值，其相应的波浪爬高值宜结合数学模型计算或物理模型试验确定。

6.4.3 越浪量计算

6.4.3.1 当海堤允许越浪时，应考虑漫堤后的越浪量，并采取适当的排水措施，避免越浪漫顶导致淹水或加大排水系统压力。

6.4.3.2 按允许部分越浪标准设计的海堤，如果风浪条件较大（如台风天气）时堤顶路对公众开放，则越浪量控制条件参考表 1 取值，如果风浪条件较大时堤顶路不对公众开放，则越浪量控制条件参考表 2 取值。

表 1 越浪量与安全条件的关系

安全条件	允许越浪量/[m ³ /(s·m)]
人员安全	≤3×10 ⁻⁵
车辆正常通行	≤2×10 ⁻⁵

表 2 海堤的允许越浪量

海堤表面防护	允许越浪量/[m³/(s·m)]
堤顶及背海侧为 30cm 厚干砌块石	≤0.01
堤顶为混凝土护面，背海侧为生长良好的草地	≤0.01
堤顶为混凝土护面，背海侧为 30cm 厚干砌块石	≤0.02
海堤三面（堤顶、临海侧和背海侧）均有保护，堤顶及背海侧均为混凝土保护	≤0.05

6.4.3.3 海堤越浪量与堤前波浪要素、堤前水深、堤身高度、堤身断面、护面结构型式以及风场要素等因素有关，应根据海堤的实际情况选择合适的公式进行计算。

6.4.3.4 单坡型式海堤和直立堤的海堤越浪量计算公式按附录 C 执行。对于其他断面结构型式的海堤，经适当概化后可类比单坡型式海堤的计算公式估算越浪量。对于 1 级、2 级或有重要防护对象或复杂断面型式的海堤应结合断面模型试验确定越浪量。当堤顶越浪量超过允许越浪量时，应采取加高堤身或加强护面防冲结构的措施，必要时应开展专题研究。

6.4.4 植物消浪计算

6.4.4.1 植物消浪系数根据附录 D 或数学模型或物理模型试验确定，消浪系数用 K 表示，可按式（1）计算消浪系数：

$$K = 1 - \frac{H_f}{H_i} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 H_i ——种植带前波高，单位为米（m）；
 H_f ——波浪传播经过种植带后的波高，即堤前波高，单位为米（m）。

6.4.4.2 考虑消浪作用后，堤前设计波高的取值可按式（2）或（3）计算：

$$H_0 = \lambda (1 - K) H_i \dots\dots\dots (2)$$

$$H_0 = \lambda H_f \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 H_0 ——堤前设计波高，单位为米（m）；
 λ ——波浪设计安全系数，根据工程重要性程度，取值 1.2~1.3。

6.5 气候变化增强的设计余量

6.5.1 针对未来气候变化可能性较高的温室气体排放情景，核心城区海堤可考虑气候变化不断增强的影响，在设计中留有设计余量，包括非常高温室气体排放情景[SSP5-8.5]和中等温室气体排放情景[SSP2-4.5]在海平面上升、风暴潮增水和波浪效应（爬高、越浪量等）等方面影响。

6.5.2 在考虑限制因素及方案可行性的基础上，可以一次性增加气候变化增强的设计余量，也可以分阶段考虑。

7 海堤布置

7.1 海堤生态化如调整局部堤线位置，平面形态宜结合地形地貌布设，宜遵循工程所在岸线的自然形态，避免水动力条件发生重大变化造成河势不稳，避免引发其他生态环境问题，堤线布置应符合堤线布置一般原则，具体按照 GB/T 51015。

7.2 海堤堤型有斜坡式、直立式、复合式、多级堤等多种型式，应根据城市用地、自然环

境、相关规划等合理选择堤型。新建海堤参考断面见附录 E。海堤生态化改造参考断面见附录 F。

7.3 应与防潮（洪）规划、海洋规划、生态环境规划、国土空间规划等相关规划协调，在保障防灾减灾功能的基础上，尽量满足当地生态、景观、科普教育、休闲娱乐和滨海经济等需求，展现地方人文特色，统筹生态、安全、文化、景观等功能。

7.4 海堤生态化改造可考虑堤前、堤身及堤后多种措施组合式布置：堤前浅滩较宽阔区域可采用主堤与人工鱼礁、牡蛎礁、滩涂植被等组合；高密度城市区域可采用主堤与后方道路、公园组合；空间充足区域可构建堤前-堤身-堤后三重防护组合，形成生态保护与防灾减灾协同增效的综合体系。

7.5 应充分考虑防潮（洪）、生态、景观等方面的要求，结合地质、筑堤材料、结构型式、波浪、施工等条件，经稳定计算和技术经济比较后确定。迎水坡宜缓坡入海，促进近岸海洋生态系统的恢复。堤身断面采用复合式断面，宜妥善处理堤身不同结合部位的衔接。

8 堤前生态保护与修复

8.1 一般要求

8.1.1 海岸类型根据底质类型可分为淤泥质海岸、砂质海岸及基岩质海岸，应根据海岸类型特点选择适宜的堤前生态保护与修复措施。

8.1.2 应先开展调查、监测评估，视其生态环境质量确定是否开展生态保护与修复。

8.1.3 植物的选用根据工程区域的滩面高程、盐度、温度、流速、风浪条件等因素综合确定，采用的植物宜以乡土植物为主，严格控制外来种，禁止引进入侵种，常见植物见附录 G。

8.1.4 生境修复宜采用透水性好、空隙率大、低碳环保的材料，以利于生态系统恢复。

8.1.5 强风浪的开敞海区的海堤生态化改造，在确保海堤护面强度的前提下，可抛投适宜生物附着栖息的材料，如大孔隙率的块体、表面凸凹不平的块石或面板材料。

8.1.6 堤前为砂质海岸的，宜论证海堤生态化改造措施对砂质海岸侵蚀或退化的影响，影响较小的方可进行海堤生态化改造。

8.1.7 可在堤脚采用带有凹槽的粗糙表面、各种尺寸的洞、池、罐、裂缝和阴影的材料，以营造不同物种的生境，如设置不规则凹孔潮汐池、人工鱼礁等，营造海洋生物栖息地应避免有大量淡水输入或有污染物排放的区域，常见材料见附录 H。

8.2 淤泥质海岸

8.2.1 滩面修复

对于滩面侵蚀不稳定的岸段，应结合海堤生态化改造对滩面进行修复，措施如下：

- a) 结合当地的波浪、水流、泥沙等动力条件，采用非工程措施和工程措施进行保滩促淤修复。生物措施有红树林、蕹草属、短叶茳苳、牡蛎礁等；工程措施有丁坝、顺坝（离岸堤）等，也可采用抛石、碎石袋、石笼、预制小型构件等护滩；
- b) 修复措施优先选择以自然恢复为主的技术方法，应考虑与周边环境的协调，避免新建构筑物引起新的岸滩不稳定及生态问题。

8.2.2 栖息地营造

条件适宜的岸段，可结合海堤生态化改造修复栖息地，措施如下：

- a) 采用人工鱼礁、牡蛎礁、鱼巢砖、生态块体等大空隙率、透水好的结构材料，构建缝隙、孔穴和鱼鳞坑水洼，营造异质性生境，改善潮间带生物栖息地质量；
- b) 人工鱼礁投放应选择地形坡度平缓的水域，对于水流条件复杂的水域，为保证鱼礁结构的稳定性，宜通过数学模型计算或物理模型试验确定结构；

- c) 牡蛎礁投放位置根据修复目标确定，以减灾功能为主要目标的，宜布置于潮间带；以提升水质为目标的，宜布置于潮下带。礁基可选择混凝土桩、块石、金属笼、木桩等；具体牡蛎礁修复技术按照 T/CAOE 21.6；
- d) 对于有水鸟经常觅食的滩涂，与鸟类保护规定要求冲突的，不宜进行红树林修复，必要时可设置鸟类临时栖息场所，如木桩、竹桩等。

8.2.3 红树林修复

对于适宜种植红树林的岸段，可结合海堤生态化改造进行红树林修复，可采取的修复措施如下：

- a) 生境修复
 - 1) 红树林修复区底质污染的，宜采用换填底泥、生物降解等措施修复受损滩涂；
 - 2) 滩面高程宜满足红树林周期性淹水出露条件及淹水时间，红树林修复滩面高程宜在多年平均高潮位以上，局部高程不满足的，可采用带状填挖或堆岛的方式，对现状滩涂进行局部微地形改造；
 - 3) 在养殖池塘、围填海等水体交换条件受阻的区域，采用构筑物增加开口、开沟引流等方式，修复红树林自然生长需要的水文环境。
- b) 植被修复
 - 1) 根据红树林植被退化情况，可采取自然恢复或人工种植的方式进行红树林植被修复。红树林植被自然修复主要采取去除外界压力或干扰、封滩育林等方式，促进生态系统自然恢复；
 - 2) 如修复的区域红树林无法通过自然再生能力实现植被自然恢复时，采用人工种植的方式修复红树林植被；
 - 3) 为丰富生物群落多样性和提高生态系统的稳定性，结合当地红树林群落调查资料，宜采用不同种类红树林混合种植、红树与半红树植物组合种植等修复方式，也可营造复合生态系统，如红树林—盐沼生态系统等；
 - 4) 宜布置阶梯式或缓坡红树林生境，潮间带和随后的生态位划分有助于建立具有高生物多样性的潮间带群落；
 - 5) 堤前有景观功能需求的，红树林修复宜以低矮树种为主，成树高度不应遮挡堤前景观形成；
 - 6) 红树幼苗往往死亡率很高，因此，初期种植应考虑高密度种植，后期可以根据生态系统稳定需要对红树林进行修枝；
 - 7) 风浪较大的区域修复红树林，应在修复区外围布置消浪固滩措施，如松木桩、竹桩、挡土板、抛石等；
 - 8) 红树林修复除满足景观生态需求外，还应符合水行政主管部门对行洪纳潮影响的管控等要求，避开现有或规划港口岸线范围，且不应对应堤防、水闸、泵站等水利设施升级改造或重建产生不利影响；
 - 9) 具体种苗选用、种植时间、种植修复方法、有害生物防控、管护措施等参考《广东省红树林生态修复技术指南》。

8.2.4 盐沼修复

对于适宜种植盐沼植物的岸滩，可结合海堤生态化改造进行盐沼修复，可采取的修复措施如下：

- a) 生境修复
 - 1) 如滩涂围垦、围海造地等活动侵占大量盐沼湿地，可采取退塘还湿、潮汐恢复等方式修复生境；

- 2) 如修建道路、桥梁、码头等构筑物导致潮汐交换通道受阻、底质类型改变、岸线侵蚀和滩涂地形地貌改变,或淡水供应减少导致盐沼湿地生境退化,可通过微地貌修复、水系连通、消波护岸等措施开展生境修复;
 - 3) 如盐沼湿地周围存在污染物排放,可采取陆源污染物质排放治理、清理海漂垃圾和修复湿地土壤等措施修复生境。
- b) 盐沼植被修复
- 1) 根据盐沼植被退化现状,可采取自然恢复、人工种植(移植)等方式进行盐沼植被修复;
 - 2) 盐沼植被自然修复主要采取在去除外界压力或干扰、封滩保育的方式,促进盐沼植被自然恢复;
 - 3) 如修复的区域盐沼无法通过自然再生能力实现植被自然恢复时,采用人工种植的方式修复盐沼植被;
 - 4) 盐沼植被修复的物种选择、种植时间、种植修复方法、有害生物防控、管护措施等参考T/CAOE 21.3。

8.2.5 修复目标

为形成稳定的生态系统,淤泥质海岸修复时宜达到以下指标:

- a) 人工修复红树林,红树林平均宽度大于15m,并形成相对稳定的生态系统达2年以上,且生物多样性指标不降低(存疑,是否保留)。
- b) 盐沼修复、蔗草属、短叶茳茅等植物修复可参考上述指标。

8.3 砂质海岸

8.3.1 海滩修复

海滩稳定的区域应维持自然状态,避免人为干扰活动,并加强对海滩平面、剖面形态的监测,出现侵蚀或者退化现象时,应及时修复。可采取沙堤、海滩养护等修复措施,必要时辅助以人工构筑物,如人工岬头、丁坝、顺坝(离岸堤)、生态潜堤等,新建构筑物应考虑对周围生态环境等的影响,避免引起新的生态问题。海滩修复设计具体按照HY/T 255、《PORT WORKS DESIGN MANUAL PART 5 Guide to Design of Beaches》。

8.3.2 栖息地营造

水质良好、流速平缓等条件适宜的区域,可抛投人工鱼礁、人工生物礁等修复鱼类、珊瑚及其他生物群落栖息场所。

8.3.3 岸滩植物修复

砂质海岸滩肩较宽且不影响游憩功能的条件下,可在高滩种植沙生植物,具体植物见附录G。

8.3.4 海草床植物修复

水质良好、无大量悬浮泥沙来源、水体交换良好、平均流速小于1.5m/s、风浪条件较小的海湾、河口、沙洲或光滩,可进行海草床修复,生境丧失或者破坏的,可采取的修复措施如下:

- a) 生境修复
 - 1) 在污染物排放严重区域,减少或停止沿岸居民、养殖和工业活动向海草床区域排放污染物,清理海漂垃圾,改善生态修复区的水质;
 - 2) 因养殖活动等改变水动力条件导致海草床退化的区域,合理清退区域养殖活动,修复区域水动力条件,促进底质环境恢复。
- b) 海草床植被修复

- 1) 根据海草床植被退化现状,可采取自然恢复或人工种植的方式进行海草植被修复;
- 2) 海草植被自然修复主要采取在去除外界压力或干扰、封滩保育的方式,促进修复地中的原生海草植物扩散和生长,实现生态系统自然恢复;
- 3) 海草人工种植措施主要包括移植法修复、种子法修复及综合修复法;
- 4) 移植法修复以草块或仅以植株为移植对象,一般无特别的限制使用情况;
- 5) 种子修复法以海草种子作为海草床生态修复材料,适用于日本鳗草及川蔓草属等种子产量高、易收集和存储的海草物种;
- 6) 对于退化比较严重的海草床宜综合运用生境改良,移植修复法、种子修复法等措施进行海草床生态修复。对于卵叶喜盐草等种子产量低,难采集或不耐存储的海草物种,宜以移植修复法为主,种子修复法为辅;
- 7) 淤泥质海域海草床修复可参考本条文使用,植物见附录G,具体物种选择、移栽时间等参考GB/T 41339.4—2023、T/CAOE 21.5。

8.3.5 修复目标

砂质海岸修复时宜满足以下指标:

- a) 经过退围还海、退养还滩、海滩养护等整治修复工程后形成的海滩,潮间带发育基本完整,长度大于 50m,宽度平均值大于 15m;
- b) 海滩以中细砂为主且岸滩稳定时间超过 2 年,滩面基本无侵蚀或泥化现象,且生物多样性指标不降低。

8.4 基岩质海岸

基岩质海岸设计以维持岸线的自然状态为主,可模仿岩礁生态系统设置不规则石块、人工鱼礁、牡蛎礁等,营造具有多样性的生境。

9 堤身生态化改造

9.1 一般要求

9.1.1 堤身生态化改造设计应根据地形、地质、潮汐、风浪、筑堤材料、管理和生态、景观等要求分段进行,并应妥善处理各堤段结合部位的衔接。

9.1.2 堤身生态化改造设计应包括堤身断面、筑堤材料及填筑标准、护面结构、护面材料等设计内容,并应充分体现安全、生态、景观等方面的要求。

9.1.3 可根据海堤迎水坡空间大小,营造不同的景观、生态功能分区。多级堤断面可设置 0.3~0.5m 高的挡墙,与平台、缓坡等构建多层次景观的滨海亲水空间,宜布置在用地富裕且景观、生态、环境要求较高的区域。

9.1.4 堤身改造有大规模填土或堤基沉降处理时,不应应对周边生态产生不利影响。

9.1.5 堤身生态化改造后,堤身的安全稳定应符合 GB/T 51015 的规定,所需的堤顶高程应不高于无采取生态化措施的同类型堤型,越浪量应不大于无采取生态化措施的相同堤型。

9.1.6 堤身生态化改造宜充分利用既有基础结构。海堤生态化设计采取的生态措施不应降低海堤安全性,不应应对岸滩冲淤演变产生较大影响。

9.1.7 海堤生态化改造不应阻隔潮汐的连通性,在天然潮汐通道上的海堤工程应布置潮汐口,海堤建设工程应布置穿堤水闸。当已建海堤阻隔了潮汐的连通性时,应增设潮汐连通设施。潮汐连通设施的布置应与海堤工程衔接闭合,确保防潮(洪)体系的完整性。

9.2 堤身改造材料

9.2.1 改造材料在满足安全、生态和景观需求基础上,应根据地质条件、材料来源、施工条件等综合分析选定,且尽可能就地取材。

9.2.2 改造材料宜采用绿色环保、适宜当地海域生态系统的无害化材料,以利于植物生长和藻类、贝类附着,促进恢复生物多样性。

9.3 堤顶高程

9.3.1 广东和澳门的堤顶高程根据设计高潮(水)位、波浪爬高及安全加高值,并按式(4)计算:

$$Z_p = h_p + R_F + A \cdots \cdots (4)$$

式中:

Z_p ——设计频率的堤顶高程,单位为米(m);

h_p ——设计频率的高潮(水)位(可按本文件 6.2 的规定确定),单位为米(m);

R_F ——按设计波浪计算的累积频率为 F 的波浪爬高值(海堤按不允许越浪设计时取 $F=2\%$,按允许部分越浪设计时取 $F=13\%$,可按本文件 6.4 的规定确定),单位为米(m);

A ——安全加高值,单位为米(m),根据海堤工程级别选取,见表 3,宜对考虑气候变化增强设计水位的增加值与安全加高值对比,取其大值作为安全加高值。

表 3 堤顶安全加高值

海堤工程级别	1	2	3	4	5
防潮(洪)标准/年	≥ 100	100~50	50~30	30~20	≤ 20
不允许越浪 $A(m)$	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5
允许越浪 $A(m)$	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3

9.3.2 香港海堤均按允许部分越浪设计,堤顶高程根据越浪量确定,并按式(5)计算:

$$Z_p = h_p + \Delta z + h_\delta \cdots \cdots (5)$$

式中:

Z_p ——设计频率的堤顶高程,单位为米(m);

h_p ——设计频率的高潮(水)位(可按本文件 6.2 的规定确定),单位为米(m);

Δz ——满足表 1 和表 2 越浪量安全条件要求的调整高程,单位为米(m);

h_δ ——考虑气候变化增强的设计水位增加值(可按本文件 6.5 的规定确定),单位为米(m);

9.3.3 海堤堤顶高程设计还应考虑结构及其基础设计寿命期间出现的沉降。

a) 预留沉降量可根据堤基地质、堤身土质及填筑密度等因素分析确定,且不小于按照规范 GB/T 51015 计算工后沉降量。

b) 对于直立式或斜坡式,或采用桩基础的海堤,根据结构的类型、重要性、稳定性和用途以及现场条件,工后沉降量应控制在小于 300mm。

c) 对于沉降敏感的区域,需要更严格要求时,沉降量根据需要确定。

9.3.4 海堤按允许部分越浪设计时,堤顶高程应按本文件公式(3)和(4)计算后,还应按附录 C 计算越浪量。越浪量符合 6.4.3.2 条规定。

9.3.5 对于 1 级~3 级或断面几何外形复杂的海堤,堤顶高程的确定考虑堤前及堤身生态化措施对波浪消减作用时,应结合数模计算或物理模型试验确定波浪爬高、越浪量等参数,具体按照 GB/T 51015 和 JTS/T 231 的相关规定执行。

9.3.6 对于允许越浪的城市景观段海堤,堤后带可设计越浪水体蓄滞空间、越浪排水体系,在保证海堤自身安全及对堤后越浪排水畅通的前提下,越浪量可不受本文件 6.4.3 的规定限制,但不计防浪墙的堤顶高程仍应高出海堤设计标准重现期高水位以上 0.5m。

9.3.7 利用堤后公园、城市道路等作为防潮(洪)体系一部分的,堤顶高程经充分论证后,可根据具体情况确定,但仍应符合 GB/T 51015 规定。

9.4 堤顶宽度

9.4.1 堤顶宽度（不包括防浪墙）应根据堤身整体稳定、防汛、管理、施工的需要，可按表4确定，海堤生态化改造时堤顶宽度可在表4的基础上适当加宽。

表4 堤顶宽度

海堤级别	1	2	3~5
堤顶宽度（m）	≥5	≥4	≥3

9.4.2 当紧邻海堤后方有贯通的交通道路时，且在满足海堤的功能使用、管养等需求的条件下，堤顶宽度可不受本文件8.4.1规定限制。

9.5 护面改造

- 9.5.1 海堤生态化改造护面型式可按波浪、越浪量、堤型及生态要求等因素来确定。
- 9.5.2 海堤生态化改造护面结构设计宜考虑提供生物栖息地、维持或恢复自然海岸线等生态功能。
- 9.5.3 海堤生态化改造护面应满足就地取材、方便施工和维护管理、经济美观和生态友好的要求。对沿堤保护地段的不同要求、不同朝向，应选用不同的护面结构。
- 9.5.4 对于受海流、波浪影响较大的凸、凹岸堤段和混合式海堤坡面转折处，或海堤迎水坡位于波浪破碎区时，应加强护面结构强度，符合GB/T 51015要求，必要时通过模型试验确定。
- 9.5.5 海堤迎海侧可布置多样性的生态护面材料营造动植物栖息环境。对堤身生态化改造多通过对堤身护面采用生态材料营造植物生境增加生物多样性，一般岸段常见生态材料见附录H，广东高密度城区、香港和澳门城市岸段堤前空间受限时，可采用表面美化、增设花槽、生态袋、生态砖、生态板等措施，营造动物栖息环境增加生物多样性，见附录H。
- 9.5.6 对于位于强浪区或直面外海的海堤，护面块体的稳定性宜结合模型试验确定。

9.6 蓄排水设施

- 9.6.1 不影响堤身安全的前提下，海堤生态化改造可结合城市建设的要求，在堤身断面内可设置或埋设雨水的收集、储存、净化及利用等设施，为植物生存提供水源。
- 9.6.2 海堤堤身应设置排水设施，确保堤身排水畅通，并符合GB 51015的要求。应统筹考虑堤上各级平台或路面横坡、边坡坡度、高程等竖向关系分区设置，排水路径优先汇入海绵城市建设设施，或流向河道或海洋，也可引入市政管网。
- 9.6.3 堤上布置花坛等绿化景观设施，应设置必要的排水通道，避免雨水浸泡植物产生损伤或死亡。可在景观设施中底部布置雨水收集管槽或花管，通过管道转输到堤上的排水明沟/暗沟、集水沟和集水井等。
- 9.6.4 堤上布置的非堤身防护结构，如亲水步道等，可采用透水混凝土、透水砖等具有透水、净化作用的材料。

9.7 堤身植物布置

- 9.7.1 堤身布置植物见附录G，堤身植物也可选择其他适合本地环境生长的植物。
- 9.7.2 当在河道管理范围内布置植物时，应不影响行洪安全和堤岸安全。同时尚应考虑台风等恶劣天气将植物刮倒或拔出后可能造成阻碍河道行洪、妨碍堤防安全等的不利影响，设置安全距离，并应符合DB44/T 2283的规定。
- 9.7.3 堤身结合景观工程种植乔木时，应确保堤身安全，可采取如下措施：
- a) 在保障堤防安全所需的最小堤身断面的基础上加大堤防堤身断面设置乔木种植区，并根据乔木品种预测其根系分布范围，确保根系不突破种植区进入堤防安全最小断面。

面。

- b) 设置底部及侧面封闭的钢筋混凝土树池,将乔木种植于树池内,并设置必要的防穿刺隔离措施和必要的透气排水措施,确保植物根系不蔓延,应不影响堤防安全。

9.8 动物通道布置

- 9.8.1 在两栖动物难以攀爬通过的堤防上宜设置动物通道。
- 9.8.2 可在通道里模拟动物栖息生境,如铺设沙子、种植植物等,以利于动物迁移。
- 9.8.3 条件具备时,可在动物通道布设视频监控装置,为生态资源保护提供研究数据。

10 堤后生态空间营造

- 10.1 堤后带的生态化建设应充分考虑国土空间规划、城市规划等,结合当地实际情况确定建设内容。
- 10.2 堤后带的建设应统筹园林绿化、城市开发等建设需求,共同推进。
- 10.3 堤后带具备用地空间条件的,可开展湿地小径、滨水绿道、海滨公园等生态空间营造,构建滨海生态景观廊道。
- 10.4 海堤生态化结合城市景观、公园配套建设的洗手间、凉亭、休闲驿站(书吧、咖啡吧等)等公共服务设施宜布置在堤后带。

11 游憩通道

- 11.1 条件适宜的岸段,在充分考虑和保障行人的的人身安全条件下,可结合海堤生态化改造在堤前修建亲水便民及管护设施。
- 11.2 亲水步道、栈道及平台等堤前设施布置应尽量保持河岸或海岸自然状态。
- 11.3 根据红树林管护或其他需求设置的便道或平台,不宜深入主槽。
- 11.4 感潮河段或滨海型亲水步道,亲水游径标高原则上不低于多年平均高高潮位。
- 11.5 在河滩地上建设的亲水步道相关设施,要充分考虑水流作用下的安全问题,使用防冲抗冲材料,同时工程设计方案要尽可能减少对水流的阻碍影响。
- 11.6 亲水步道、栈道及平台等设施应符合相关行业对行洪纳潮、岸滩稳定、结构安全、游览安全等方面的要求。

附录 A

(资料性)

海堤生态化改造适宜性评估

A.1 评估指标

A.1.1 潮间带特性指标定义如下:

堤防所处的位置,一类是临水侧无滩地或岸滩极窄,一类是临水侧有滩或近海水产养殖、作物种基地等。滩地较宽且高程不低于多年平均低潮位的,具有较好的海堤生态化改造实施条件。潮间带特性评估标准可按照表 A.1 确定。

表 A.1 潮间带特性评估指标表

指标层	度量因子	评估标准			
潮间带	潮间带宽度 / km	[0.3, +∞)	[0.1, 0.3)	[0.05, 0.1)	[0.00, 0.05)
	潮间带高程 / m	与区域多年平均低潮位的相互关系			

A.1.2 岸滩稳定性指标定义如下:

生态性好的海堤堤前岸滩应保持一定的稳定性,以近年堤前岸滩年平均高程的变化值衡量,具体按式 (A.1) 计算。

$$E_B = \frac{E_1 - E_0}{n} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

E_B ——岸滩年平均高程变化值,单位为米/年 (m/a);

E_1 ——海堤迎水坡脚线至平均海平面之间区域岸滩的现状平均高程,单位为米 (m);

E_0 —— n 年前海堤迎水坡脚线至平均海平面之间区域岸滩的平均高程,单位为米 (m);

n ——年数。

A.1.3 堤基条件指标定义如下:

海堤生态化改造应选取地质条件较好,冲淤稳定的地段,避开海岸冲刷、古冲沟和尚未稳定的潮流沟等地层复杂的地段。堤基情况评估标准应按照表 A.2 确定。

表 A.2 堤基条件评估指标表

指标层	度量因子	评估标准			
堤基条件	堤基土层物理力学特性/抗剪强度、承载能力等	优良	良好	一般	较差
	渗透稳定	能否满足堤防结构安全			
	改造后堤身滑移稳定/安全系数评估值	是否符合相关规范要求			

A.1.4 近年堤防沉降量指标定义如下:

海堤生态化改造应预留一定的工后沉降量,沉降量可根据堤基地质、堤身土质及填筑密度等因素分析确定,非软土地基可取提高的 3%~5%,加高的海堤可取小值。当土堤高度大于 10m 或堤基为软弱地基时,预留沉降量应按 GB/T 51015 的规定计算确定。沉降量具体按 (A.2) 计算。

$$J_a = \frac{J_1 - J_0}{n} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

J_a ——堤顶高程年平均高程变化值，单位为米/年（m/a）；

J_1 ——海堤堤顶的现状平均高程，单位为米（m）；

J_0 —— n 年前海堤堤顶的平均高程，单位为米（m）；

n ——年数。

A.1.5 建设实施条件指标定义如下：

海堤生态化改造施工设计的主要内容包括施工总布置、施工进度计划、对外交通、建材来源、穿堤建筑物施工导流、主要施工方案等。建设实施条件评估标准应按照表 A.3 确定。

表 A.3 建设实施条件评估指标表

指标层	度量因子	评估标准			
建设实施条件	交通运输能力	优良	良好	一般	较差
	料场质量及距离	$[30, +\infty)$	$[30, 20)$	$[20, 5)$	$[5, 0)$ (km)
	围堰施工条件	是否符合规范要求			
	水下施工条件	是否满足要求			

A.1.6 迎水坡坡比指标定义如下：

海堤生态化改造宜缓坡入海，以迎水坡坡面的垂直高度与水平宽度的比例衡量，具体按式（A.3）计算。

$$R_m = \frac{h_l}{l_h} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

R_m ——迎水坡坡度或综合坡比；

h_l ——迎水坡坡面的垂直高度或堤顶（含挡浪墙的海堤以挡浪墙顶为堤顶）外缘线和迎水坡堤脚线的高程差，单位为米（m）；

l_h ——迎水坡坡面的水平宽度或堤顶（含挡浪墙的海堤以挡浪墙顶为堤顶）外缘线和迎水坡堤脚线的高程差与两者水平距离，单位为米（m）。

A.1.7 堤后生态空间占比指标定义如下：

堤后有空间的适宜营造生态空间，以堤后生态空间面积占陆域带面积的比例衡量，具体按式（A.4）计算。

$$R_E = \frac{S_S}{S_L} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

R_E ——堤后生态空间占比；

S_S ——堤后生态空间总面积，单位为平方米(m²)；

S_L ——陆域带面积，单位为平方米(m²)。

A.1.8 生态维护管控能力指标定义如下：

生态性好的海堤应具有较强的生态维护管控能力。依据现场走访、台账查阅、问卷调查等获取的结果衡量。

A.1.9 防潮（洪）能力评估指标定义如下：

通过风暴潮淹没水深及海岸侵蚀程度、堤后保护对象的重要性来评估受灾危险性。防潮（洪）能力评估标准应按照表 A.4 确定。

表 A.4 防潮（洪）能力评估指标表

指标层	度量因子	评估标准			
风暴潮危险性	淹没水深 / cm	[15, 50)	[50, 120)	[120, 300)	[300, +∞)

海岸侵蚀强度	海岸线侵蚀速率/（m/年）	[0， 1)	[1， 2)	[2， 3)	[3， +∞)
堤后保护对象	堤后保护对象的重要性	有无重要的保护对象			

A.2 评估分级

A.2.1 评估赋分

A.2.1.1 对比工程实施前和预测实施后海堤安全性指标计算值和生态性评估指数，基于海堤防御能力不降低、生态功能有提升的原则，综合判定海堤生态化建设适宜性。

A.2.1.2 海堤生态性分级采用综合评估法，分级应根据各指标的计算公式和衡量方法确定评估等级并进行赋分，各指标得分求和得到评估总分，确定海堤生态性适宜性等级。海堤生态化改造适宜性评估赋分按照表 A.5 确定。

表 A.5 海堤生态化改造适宜性评估赋分表

序号	评估指标	评分标准	赋分
1	潮间带特性	潮间带宽阔，高程适当	10-12
		潮间带宽度一般	7-9
		潮间带宽度狭窄	3-6
		无堤脚潮间带	0-2
2	岸滩稳定性	$E_B \leq 0.05\text{m/a}$	10-12
		$0.05\text{m/a} < E_B \leq 0.2\text{m/a}$	7-9
		$0.2\text{m/a} < E_B \leq 0.5\text{m/a}$	4-6
		$E_B > 0.5\text{m/a}$	0-3
3	堤基条件	优良	10-12
		良好	7-9
		一般	3-6
		较差	0-2
4	近年堤防沉降量	$J_a \leq 0.05\text{m/a}$	10-12
		$0.05\text{m/a} < J_a \leq 0.1\text{m/a}$	7-9
		$0.1\text{m/a} < J_a \leq 0.5\text{m/a}$	3-6
		$J_a > 0.5\text{m/a}$	0-2
5	建设实施条件	优良	10-12
		良好	7-9
		一般	3-6
		较差	0-2
6	迎水坡坡比	$R_m \leq 1:6$	9-10
		$1:6 < R_m \leq 1:4$	6-8
		$1:4 < R_m \leq 1:2$	3-5
		$R_m > 1:2$	0-2
7	堤后生态空间占比	$R_E \geq 80\%$	9-10
		$60\% \leq R_E < 80\%$	6-8
		$40\% \leq R_E < 60\%$	3-5
		$R_E < 40\%$	0-2
8	生态维护管控能力	组织机构和管理制度健全、维护设施完备、维护资金有保障	9-10
		组织机构和管理制度较健全、维护设施较完备、	6-8

		维护资金有一定保障	
		组织机构和管理制度、维护设施、维护资金部分缺失	3-5
		组织机构和管理制度、维护设施、维护资金缺失	0-2
9	防潮（洪）能力评估	优良	9-10
		良好	6-8
		一般	3-5
		不达标	0-2

A.2.2 评估等级

A.2.2.1 海堤生态化改造适宜性评估分为适宜、较适宜、不适宜三个等级，具体如下：

- a) 得分为 80 分（含）以上的，评估结果为适宜；
- b) 得分为 80 分以下 60 分（含）以上，评估结果为较适宜；
- c) 得分为 60 分以下，评估结果为不适宜。

A.2.2.2 基于上述的评分原则，特设置了否决项。具有以下情形之一的，直接判定为不适宜：

- a) 生态化改造实施后，海堤安全性将会降低；
- b) 生态化改造实施后，海堤生态性不会提升；
- c) 若工程在经济上极不合理，与区域有关规划相冲突，或对邻近重要的人文景观、自然景观、生态保护区等有较大影响，可判定为不适宜。

附录 B

(规范性)

波浪爬高计算

B.1 波浪对斜坡式海堤作用的计算方法，除另有规定外，适用条件包括下列内容：

- 1) 波浪正向作用；
- 2) 斜坡坡度 $1:m$ ， m 为 $1\sim 5$ ；
- 3) 建筑物前水深 d 为 $1.5H\sim 5.0H$ ，不规则波时 H 取有效波高；
- 4) 建筑物前底坡 $i\leq 1/50$ 。

B.2 斜坡式海堤上的波浪爬高可按下列规定确定。

B.2.1 符合下列条件时，波浪爬高可按第 B.2.2 款~第 B.2.6 款计算：

- 1) 斜坡坡度 $1:m$ ，斜坡坡度系数 $m\leq 7$ ；
- 2) 建筑物坡脚前半倍波长处的水深 $d>$ 有效波高 H_s ；
- 3) 建筑物前底坡 $i\leq 1/50$ ；
- 4) 斜坡式海堤的长度大于 1 倍波长；
- 5) 波浪平均周期 $T_m<30s$ ；
- 6) 波向线与建筑物纵轴线法线的夹角 β ， $0^\circ\leq\beta\leq 67.5^\circ$ 。

B.2.2 单一坡度斜坡式海堤上的波浪爬高（图 B.1）可按下列公式计算：

$$R_{1\%} = K_{\Delta} K_U K_{\beta} R_0 H_{1\%} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$R_F = K_F R_{1\%} \dots\dots\dots (B.2)$$

$$K_{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\Delta,i} \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \dots\dots\dots (B.3)$$

$$R_{\beta} = \sqrt{\cos \beta} \dots\dots\dots (B.4)$$

$$m\leq 1.25 \text{ 时, } R_0 = 1.24\sqrt{1.5m^2 + 1} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$m>1.25 \text{ 且 } \xi_{1\%}\leq 1.4 \text{ 时, } R_0 = 1.6\xi_{1\%} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$m>1.25 \text{ 且 } \xi_{1\%}>1.4 \text{ 时, } R_0 = 2.66 - 0.5 \frac{1}{\sqrt{\xi_{1\%}}} \dots\dots\dots (B.7)$$

$$\xi_{1\%} = \frac{1}{m} \sqrt{L / H_{1\%}} \dots\dots\dots (B.8)$$

$$L = (g / 2\pi) T_m^2 \operatorname{th}(2\pi d / L) \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

$R_{1\%}$ ——累积频率为 1% 的波浪爬高，单位为米（m）；

K_{Δ} ——位于静水面以下 $0.5H_s$ 到静水面以上 $1.5H_s$ 之间的护面结构的糙渗系数，按表 B.1 选用，当此区间内有两种及以上护面结构时，护面糙渗系数按式（B.3）计算；

K_U ——风速影响系数，当风向与波浪的传播方向一致时，按表 B.2 选取；

K_{β} ——斜向波影响系数，当 $K_{\beta}<0.6$ 时，取 $K_{\beta}=0.6$ ；

R_0 —— $K_U=1.0$ 、 $K_{\Delta}=1.0$ 且 $K_{\beta}=1.0$ 时，单一坡度斜坡式海堤上的波浪相对爬高；

$H_{1\%}$ ——累积频率为 1% 的波高，单位为米（m）， $H_{1\%} \approx 1.51H_s$ ；
 H_s ——建筑物坡脚前半倍波长处的有效波高，单位为米（m）；
 $R_{F\%}$ ——累积频率为 $F\%$ 的波浪爬高，单位为米（m）；
 K_F ——换算系数，按表 B.3 确定；
 $K_{\Delta,i}$ ——第 i 种护面结构的糙渗系数；
 l_i ——第 i 种护面结构的外轮廓线长度，单位为米（m）；
 β ——波向线与建筑物纵轴线法线的夹角，单位为度（°），如图 B.2 所示；
 m ——斜坡坡度系数；
 $\xi_{1\%}$ ——破波参数；
 L ——以平均周期 T_m 计算的建筑物前平均波长，单位为米（m）；
 g ——重力加速度，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）；
 T_m ——波浪平均周期，单位为秒（s）；
 d ——建筑物坡脚前半倍波长处的水深，单位为米（m）。

B.1 糙渗系数 K_{Δ}

护面结构型式	K_{Δ}	护面结构型式	K_{Δ}
整片光滑不透水护面(沥青混凝土)	1.00	块石(抛填 2 层)	0.50~0.55
混凝土护面	0.90	混凝土方块(抛填 2 层)	0.50
草皮护面	0.85~0.90	扭王字块体	0.47
砌石	0.75~0.80	四脚锥体(安放 2 层)	0.40
块石(安放 1 层)	0.60~0.65	扭工字块体(安放 2 层)	0.38
四脚空心方块(安放 1 层)	0.55		

B.2 风速影响系数 K_U

U/C	≤ 1	2	3	4	≥ 5
K_U	1.00	1.10	1.18	1.24	1.28

注 U-风速（m/s）；C-波速（m/s）； $C=L/T_m$

B.3 换算系数 K_F

$F(\%)$	0.1	1	2	4	5	10	13.7	20	30	50
K_F	1.17	1.00	0.93	0.87	0.84	0.75	0.71	0.65	0.58	0.47

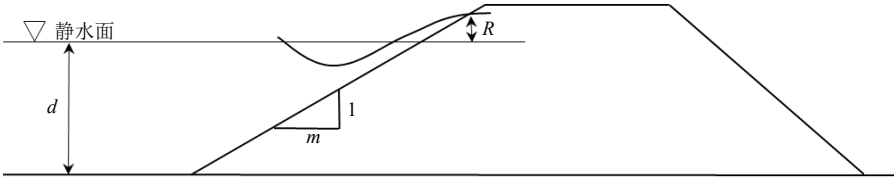


图 B.1 单一坡度海堤上的波浪爬高示意图

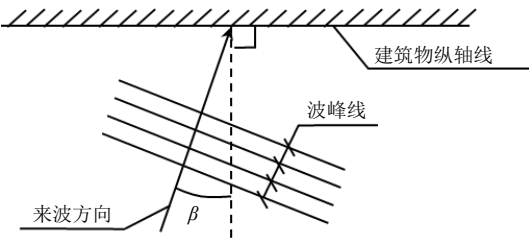


图 B.2 波浪斜向入射角示意图

B.2.3 带平台的复式斜坡海堤上的波浪爬高（图 B.3）可按下列公式计算：

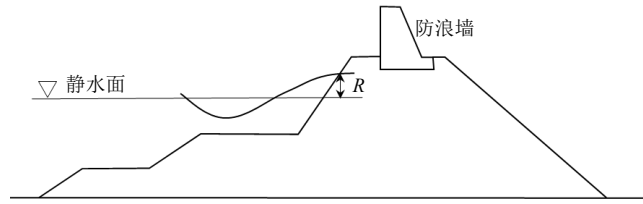


图 B.3 带平台的复式斜坡海堤上的波浪爬高示意图

$$R_{1\%} = K_b K_{\Delta} K_U K_{\beta} R_0 H_{1\%} \dots \dots \dots (B.10)$$

$$R_{F\%} = K_F R_{1\%} \dots \dots \dots (B.11)$$

$$K_{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\Delta,i} \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \dots \dots \dots (B.12)$$

式中：

$R_{1\%}$ ——累积频率为 1% 的波浪爬高，单位为米（m）；

K_b ——平台折减系数；

K_{Δ} ——位于静水面以下 $0.5H_s$ 到静水面以上 $1.5H_s$ 之间的护面结构的糙渗系数，按表 B.1 选用，当此区间内有两种及以上护面结构时，护面糙渗系数按式（B.12）计算；

K_U ——风速影响系数，当风向与波浪的传播方向一致时，按表 B.2 选取；

K_{β} ——斜向波影响系数，按式（B.4）计算；

R_0 —— $K_U=1.0$ 、 $K_{\Delta}=1.0$ 且 $K_{\beta}=1.0$ 时，单一坡度海堤上的波浪相对爬高，按式（B.5）～式（B.9）计算；

$H_{1\%}$ ——累积频率为 1% 的波高，单位为米（m）， $H_{1\%} \approx 1.51H_s$ ；

H_s ——建筑物坡脚前半倍波长处的有效波高，单位为米（m）；

$R_{F\%}$ ——累积频率为 $F\%$ 的波浪爬高，单位为米（m）；

K_F ——换算系数，按表 B.3 确定；

$K_{\Delta,i}$ ——第 i 种护面结构的糙渗系数；

l_i ——第 i 种护面结构的外轮廓线长度，单位为米（m）。

B.2.4 当断面中存在一个平台且平台到静水面的距离 d_B 满足 $-R_0 H_{1\%} / H_s < d_B / H_s < 2$ 时，应考虑该平台对波浪爬高的折减，其初始平台折减系数 K_{b0} 和最终的平台折减系数 K_b ，可按下列公式计算：

$$K_{b0} = 1 - \frac{B}{B + m_c H_s + 6H_s} \dots \dots \dots (B.13)$$

当 $0 < d_B / H_s < 2$ 时：

$$K_b = \frac{1 - K_{b0}}{2} \frac{d_B}{H_s} + K_{b0} \dots \dots \dots (B.14)$$

当 $-0.5 \leq d_B / H_s \leq 0$ 时：

$$K_b = K_{b0} \dots \dots \dots (B.15)$$

当 $-R_0 H_{1\%} / H_s \leq d_B / H_s \leq -0.5$ 时：

$$K_b = \frac{1 - K_{b0}}{0.5 - R_0 H_{1\%} / H_s} \frac{d_B}{H_s} + \frac{1 - K_{b0}}{1 - 2R_0 H_{1\%} / H_s} + K_{b0} \dots \dots \dots (B.16)$$

式中：

B ——平台宽度，单位为米（m），如图 B.4 所示；

d_B ——平台到静水面的距离，单位为米（m），如图 B.4 所示，当平台在静水面以下时取正值；平台在静水面以上时取负值；

m_e ——折算坡度系数。

B.2.5 带平台的复式海堤断面的折算坡度系数 m_e ，可按下列方法确定：

1) 当静水面以下 $0.5H_s$ 到静水面以上 $1.5H_s$ 之间存在单一平台，平台的上坡坡度系数为 $m_{上}$ ，下坡坡度系数为 $m_{下}$ ，当 $m_{上}=m_{下}$ 时， $m_e=m_{上}=m_{下}$ ；当 $m_{上}\neq m_{下}$ 时， m_e 按图 B.4 所示确定：在平台前沿作一条与上坡平行的线，在这条平行线上找到位于静水面以上 $1.5H_s$ 的点，在下坡找到位于静水面以下 $0.5H_s$ 的点，连接两点组成带平台的斜坡式海堤断面的折算斜坡，此折算斜坡的坡度系数为 m_e ；

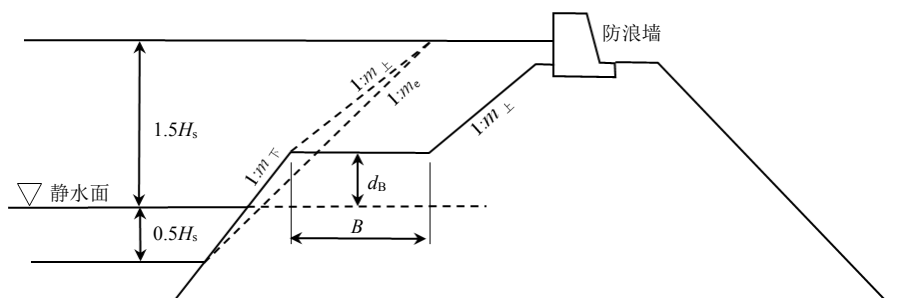
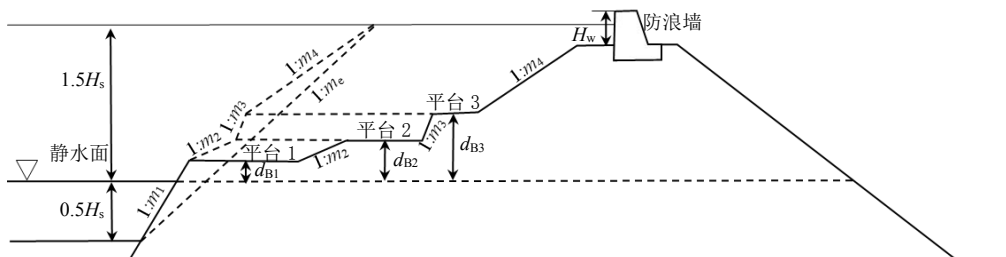
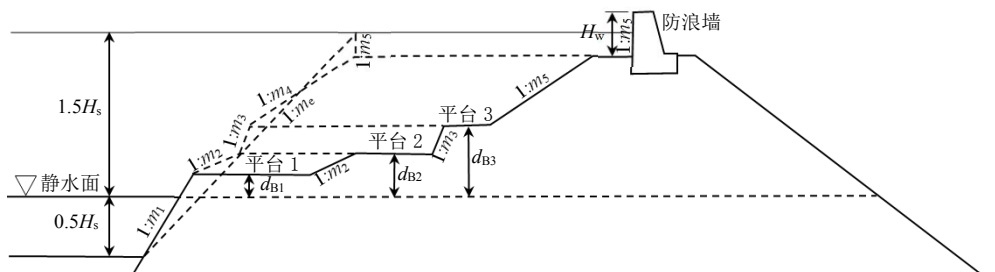


图 B.4 单一平台折算坡度系数 m_e 计算示意图

2) 当静水面以下 $0.5H_s$ 到静水面以上 $1.5H_s$ 之间包含多级平台，各平台上下坡度不同时，折算坡度系数 m_e 按第 1) 项单一平台方法类推确定；当堤顶位于静水面以下 $0.5H_s$ 到静水面以上 $1.5H_s$ 的区间内，防浪墙在堤顶以上的高度 H_w 小于 1.5m 时，在计算折算坡度系数和糙渗系数时不考虑防浪墙的作用，如图 B.5 所示；防浪墙在堤顶以上的高度 H_w 大于 1.5m 时，在计算折算坡度系数和糙渗系数时需考虑防浪墙的作用，如图 B.6 所示。



B.5 3 级平台折算坡度系数 m_e 计算示意图（不考虑防浪墙的作用）



B.6 3 级平台折算坡度系数 m_e 计算示意图（考虑防浪墙的作用）

B.2.6 带有多级平台的斜坡式海堤平台折减系数 K_b （图 B.7）可按下列方法确定：

1) 按图 B.5 或图 B.6 的方法计算折算坡度系数 m_e ；

2) 按式 (B.13) 计算 K_{b0} , 其中式 (B.13) 中的 B 为所有参与折减的平台宽度之和, 即 $B=B_1+B_2+\dots+B_i$;

3) 根据每个平台的 d_{Bi} 按式 (B.14)~式 (B.16) 分别计算各平台的折减系数 K_{b1} 、 K_{b2} 、...、 K_{bi} ;

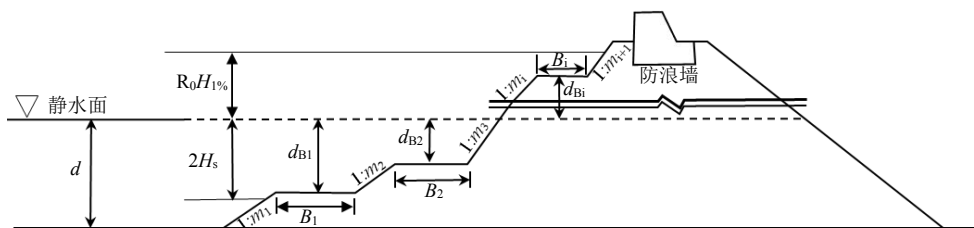
4) 对所有平台折减系数 (K_{b1} 、 K_{b2} 、...、 K_{bi}) 求加权平均值即得到多级平台的折减系数 K_b , 即

$$K_b = \sum_{j=1}^i \frac{B_j}{B} K_{bj} \dots\dots\dots (B.17)$$

式中:

B_j ——第 j 级平台的宽度, 单位为米 (m);

K_{bj} ——第 j 级平台的平台折减系数。



B.7 多级平台折减系数 K_b 计算示意图

注: H_s —有效波高, 单位为米 (m); d —建筑物坡脚前半倍波长处的水深, 单位为米 (m); i —平台的级数; B_j —第 j 级平台的宽度, 单位为米 (m); m_{j+1} 、 m_j —第 j 级平台的上、下坡坡度系数; d_{Bj} —第 j 级平台到静水面的距离 (m), $-R_0H_{1\%}/H_s < d_{Bj}/H_s < 2$

5) 当堤顶位于平台折减范围内时, 有防浪墙的堤顶平台作为平台计入到平台折减系数计算中, 无防浪墙的堤顶不计入。

附录 C

(规范性)

越浪量计算

C.1 斜坡式海堤堤顶越浪量可按下列规定确定。

图 C.1 所示斜坡式海堤, 符合下列条件时, 堤顶越浪量可按式 C.1 和式 C.2 计算:

- 1) 斜坡坡度 $1:m$, 斜坡坡度系数 $m \leq 7$;
- 2) 建筑物坡脚前半倍波长处的水深 d 有效波高 H_s ;
- 3) 建筑物前底坡 $i \leq 1/50$;
- 4) 斜坡式海堤的长度大于 1 倍波长;
- 5) 波浪平均周期 $T_m < 30s$;
- 6) 波向线与建筑物纵轴线法线的夹角 β , $0^\circ \leq \beta \leq 67.5^\circ$ 。

$m \leq 1.25$ 时,

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.0163 \left(\frac{L_0}{H_s} \right)^{0.5} \frac{R_s}{H_s} \exp \left(-3.5 \frac{H_c}{R_s} - \frac{7B_w H_c}{R_s^2} \right) \dots\dots\dots (C.1)$$

$m > 1.25$ 时,

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.032 \frac{1}{m} \left(\frac{L_0}{H_s} \right)^{0.5} \frac{R_s}{H_s} \exp \left(-3.5 \frac{H_c}{R_s} - \left(\frac{3.5B_w}{R_s} + 0.3 \right) \frac{H_w}{H_c} \right) \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

Q ——单位时间单位堤长的越浪量, 单位为立方米每秒乘米 [$m^3/(s \cdot m)$];

L_0 ——以平均周期 T_m 计算的深水波长, 单位为米 (m), $L_0 = gT_m^2 / 2\pi$;

H_s ——有效波高, 单位为米 (m);

R_s ——累积频率为 13% 的波浪爬高, 单位为米 (m), 按照 B.1~B.15 确定;

H_c ——防浪墙顶在静水面以上的高度, 单位为米 (m); 当无防浪墙时, $H_c = R_c$;

R_c ——堤顶在静水面以上的高度, 单位为米 (m); 堤顶在静水面以上时取正值, 在静水面以下时取负值;

B_w ——防浪墙的挑檐宽度, 单位为米 (m);

g ——重力加速度, 单位为米每二次方秒 (m/s^2);

m ——斜坡坡度系数, 斜坡坡度为 $1:m$; 对于带平台的斜坡式海堤, m 取折算坡度系数 m ;

H_w ——防浪墙在斜坡式海堤堤顶以上的高度 (m); 对于堤顶未设置防浪墙和全掩护防浪墙的断面, $H_w = 0$;

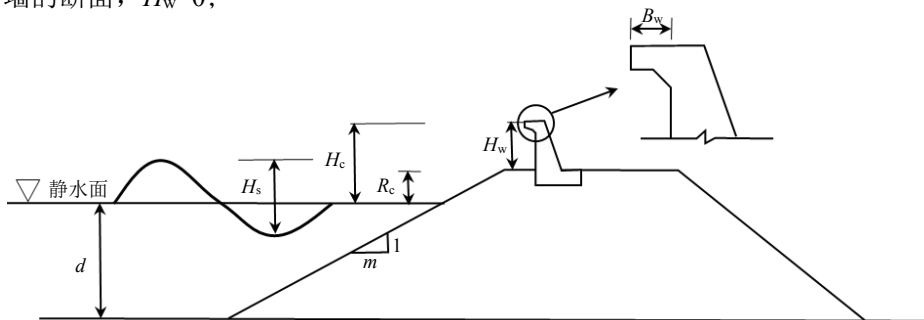


图 C.1 斜坡式海堤堤顶越浪量计算示意图

C.2 直立式海堤堤顶越浪量可按下列规定确定, 该方法由 Besley (1999) 提出。

C.2.1 当 $d_* > 0.3$, 堤前以反射波为主, 可按下列公式计算:

$$d_* = \frac{h}{H_{1/3}} \left(\frac{2\pi h}{gT_m^2} \right) \dots\dots\dots (C.3)$$

$$Q^\# = 0.05 \exp(-2.78 \frac{R_c}{H_{1/3}}) \dots\dots\dots (C.4)$$

$$Q = Q^\# (gH_{1/3}^3)^{0.5} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

d_* ——无量纲深度参数;

h ——堤脚处的水深, 单位为米 (m);

$H_{1/3}$ ——堤脚处的三分之一大波波高, 单位为米 (m);

g ——重力加速度, 单位为米每二次方秒 (m/s^2);

T_m ——平均周期, 单位为秒 (s);

$Q^\#$ ——无量纲流量;

Q ——单位时间单位堤长的越浪量, 单位为立方米每秒乘米 [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$];

R_c ——堤顶在静水面以上的高度 (也称干舷高度), 单位为米 (m); 堤顶在静水面以上时取正值, 在静水面以下时取负值。

如果入射波与海堤的法线成一定角度,

$$Q^\# = 0.05 \exp(-2.78 \frac{1}{\gamma} \frac{R_c}{H_{1/3}}) \dots\dots\dots (C.6)$$

γ 是入射波角度的折减系数, 由下式给出:

当 $0^\circ < \beta < 45^\circ$ 时,

$$\gamma = 1 - 0.0062\beta \dots\dots\dots (C.7)$$

当 $\beta > 45^\circ$ 时,

$$\gamma = 0.72 \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

β ——为波向线与建筑物纵轴线法线的夹角 β 。

C.2.2 当 $d_* \leq 0.3$, 堤前以破碎波为主, 可按下列公式计算:

$$R_h = \frac{R_c}{H_{1/3}} d_* \dots\dots\dots (C.9)$$

$$Q_h = 0.000137 R_h^{-3.24} \dots\dots\dots (C.10)$$

$$Q = Q_h d_*^2 (gh^3)^{0.5} \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:

Q_h ——无量纲流量参数;

R_h ——无量纲干舷高度参数。

附录 D
(规范性)
植物消浪计算

对于堤前植被有防浪林的波浪爬高计算,应先确定防浪林消波后的堤脚前波高计算,再计算波浪爬高值。消波后的堤脚前波高可按下列公式计算:

$$H_f = (1 - K) H_i \dots\dots\dots (D.1)$$

$$K = \left[\frac{30 + \frac{0.03}{\alpha''}}{\frac{0.2 - 0.16(1 - \alpha')}{\alpha' B_v / L}} + \frac{70 - \frac{0.03}{\alpha''}}{\frac{0.0026 - 0.23(0.01 - \alpha')}{\alpha'' B_v / L}} \right] \% \dots\dots\dots (D.2)$$

$$\alpha' = \frac{2\pi(R_t^2 - R_0^2)}{\sqrt{3}l_s^2} \dots\dots\dots (D.3)$$

$$\alpha'' = \frac{2\pi R_0^2}{\sqrt{3}l_s^2} \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

H_f ——经林带消波后的波高,单位为米(m);

H_i ——未经林带消波前的波高,单位为米(m);

K ——防浪林消波系数;

α' ——林木枝叶遮蔽系数;

α'' ——林木主干遮蔽系数;

R_0 ——林木主干的平均半径,单位为米(m);

R_t ——林木整体(包括主干和枝叶在内)的平均半径,单位为米(m);

l_s ——林木成等边三角形交错排列的株距,单位为米(m);

$\frac{\sqrt{3}}{2}l_s$ ——林木成等边三角形交错排列时的行距,单位为米(m);

B_v ——林带宽度,单位为米(m);

L ——以平均周期 T_m 计算波长,单位为米(m)。

注:适用范围为 $0 < \alpha' \leq 1.00$, $0.0006 \leq \alpha'' \leq 0.0091$ 。



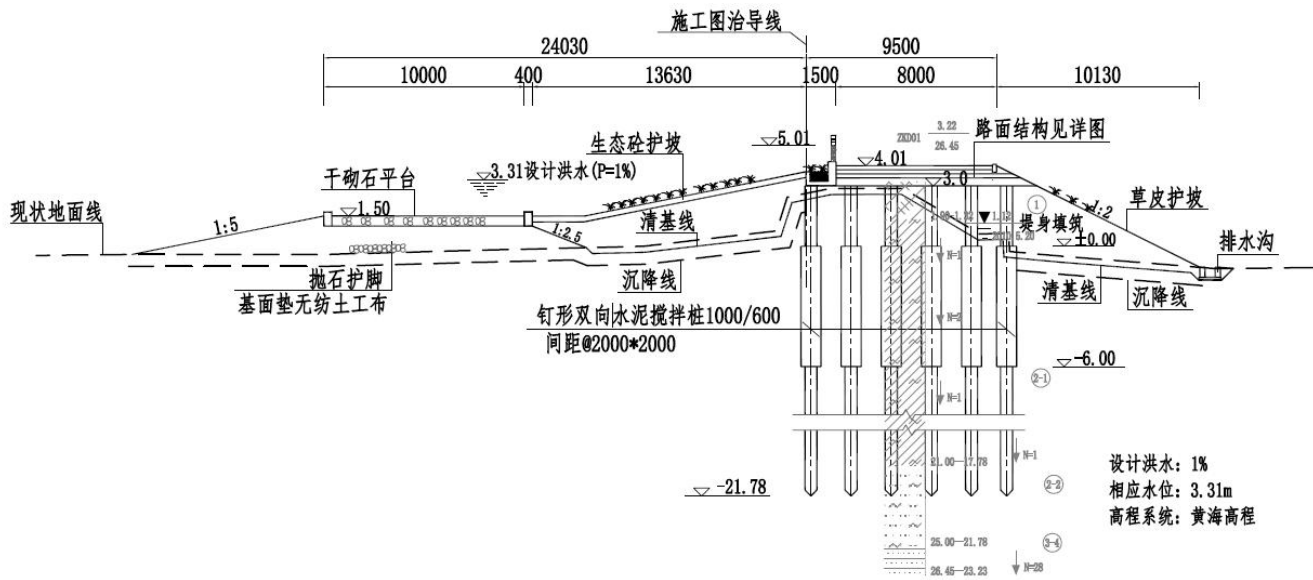


图 E.2 茅洲河界河段综合整治工程 (高程单位: m; 尺寸单位: mm)

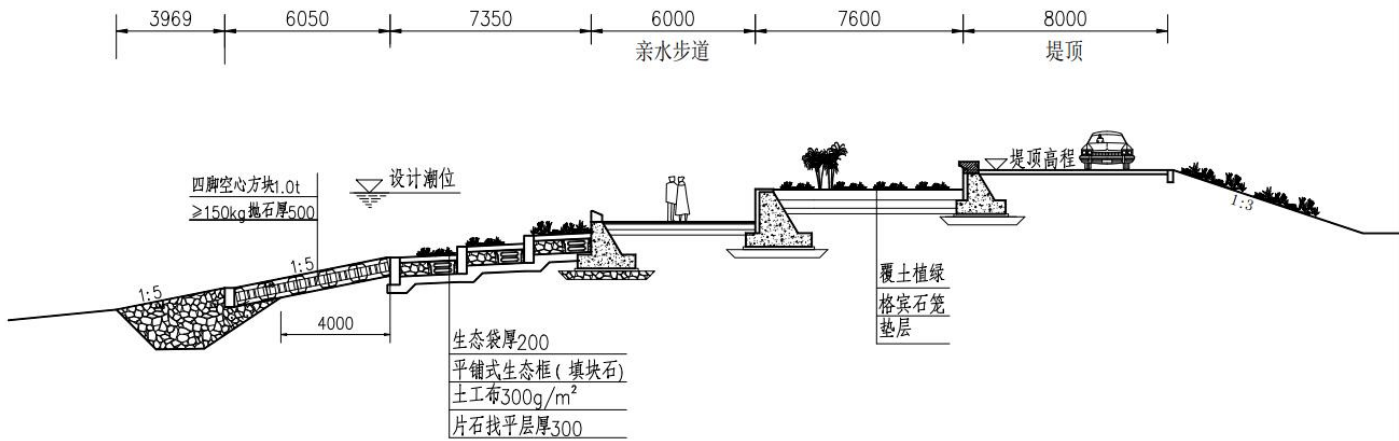


图 E.3 广州市南沙区某生态海堤工程 (高程单位: m; 尺寸单位: mm)

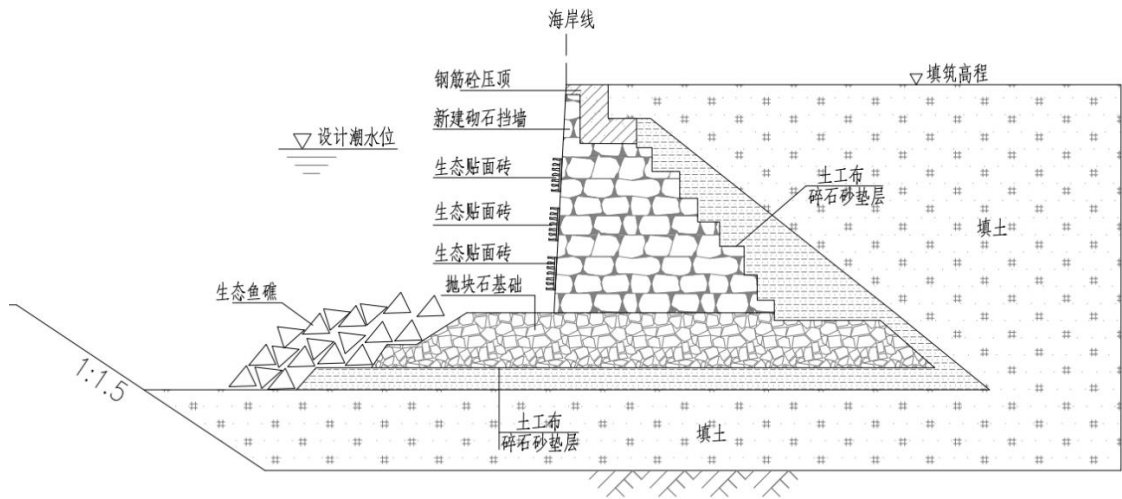


图 E.4 香港海堤常见的两种典型断面图 (1/2)

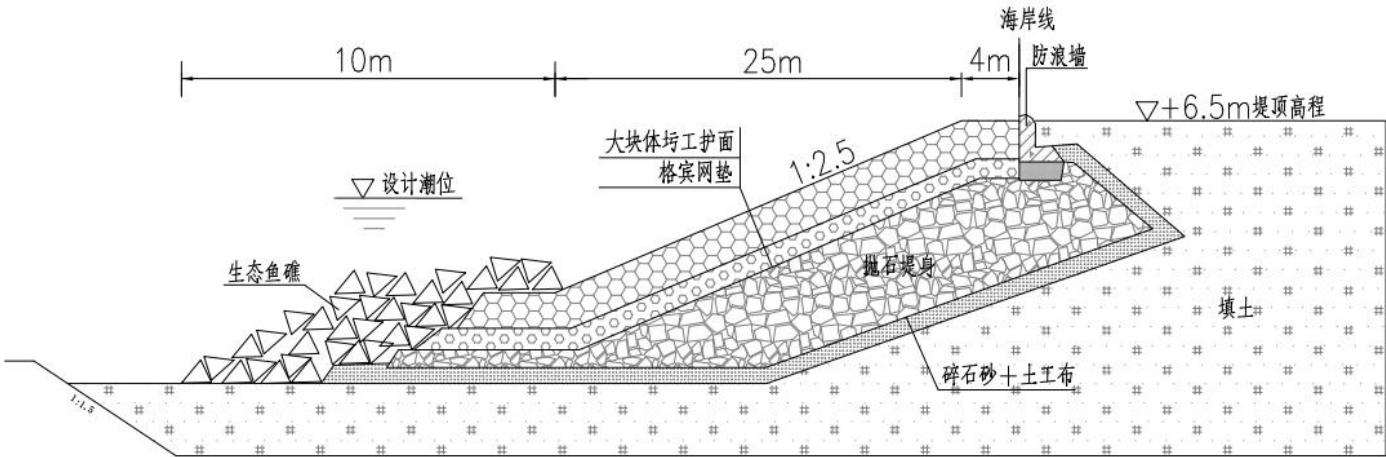


图 E.5 香港海堤常见的两种典型断面图 (2/2) (高程单位: m; 香港基面)

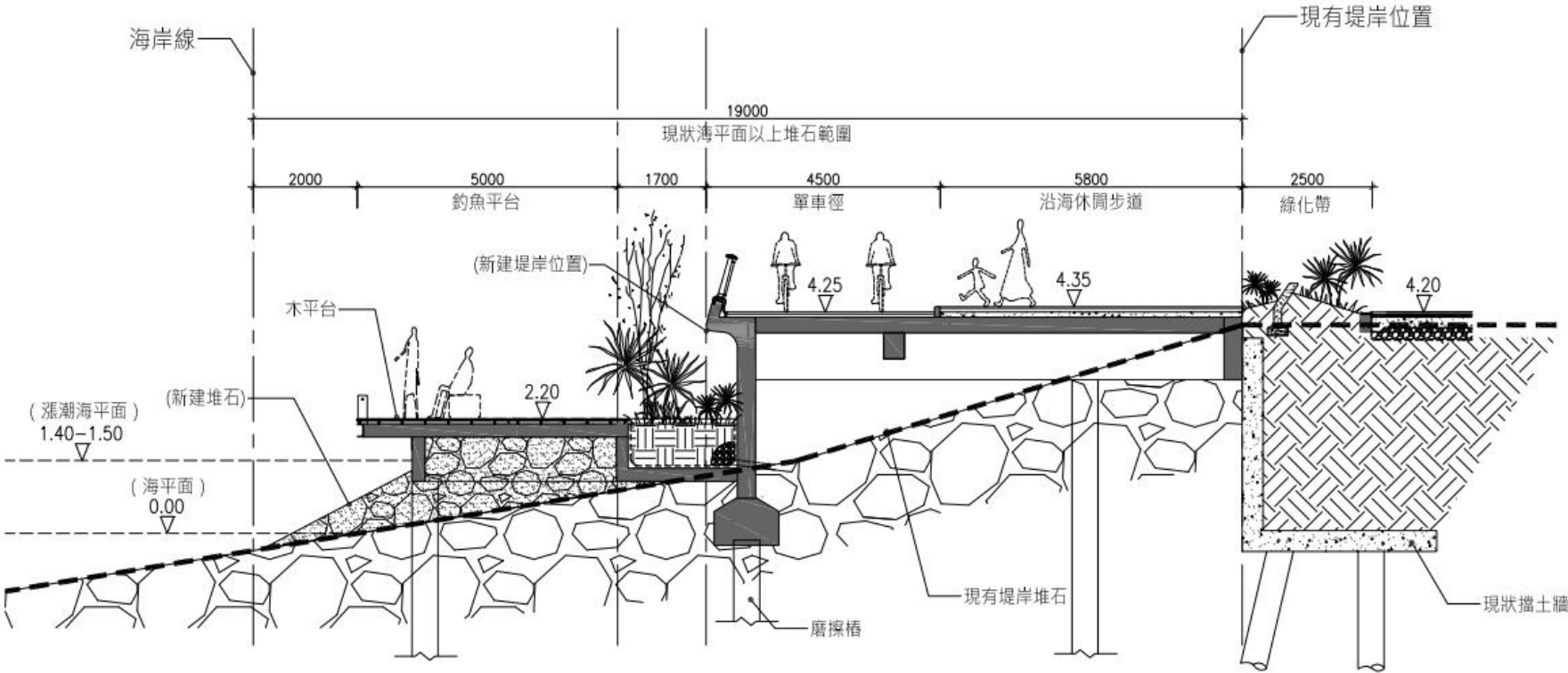


图 E.6 澳门水道北侧海堤典型断面图（高程单位：m；尺寸单位：mm；澳门基面）

附录 F
(资料性)

海堤生态化改造参考断面示意图

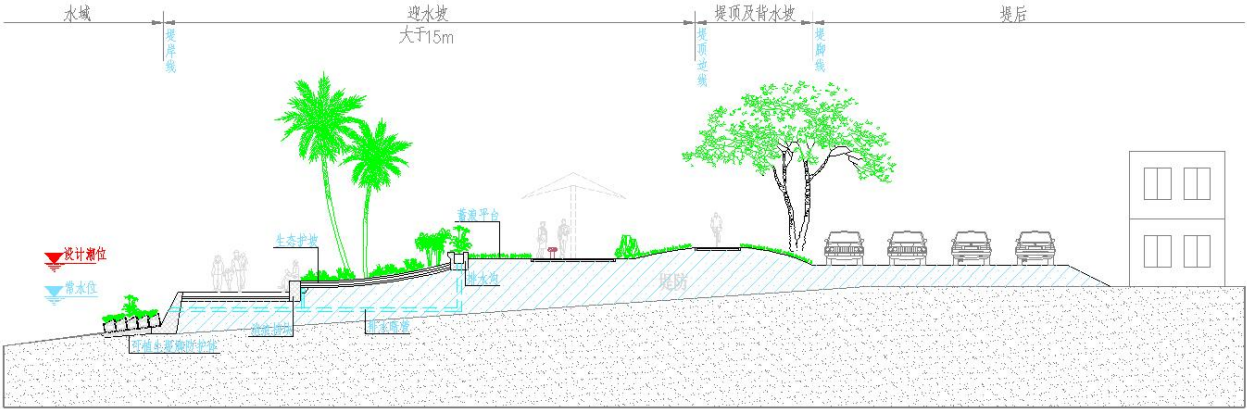


图 F.1 迎水坡场地空间宽度 > 15m

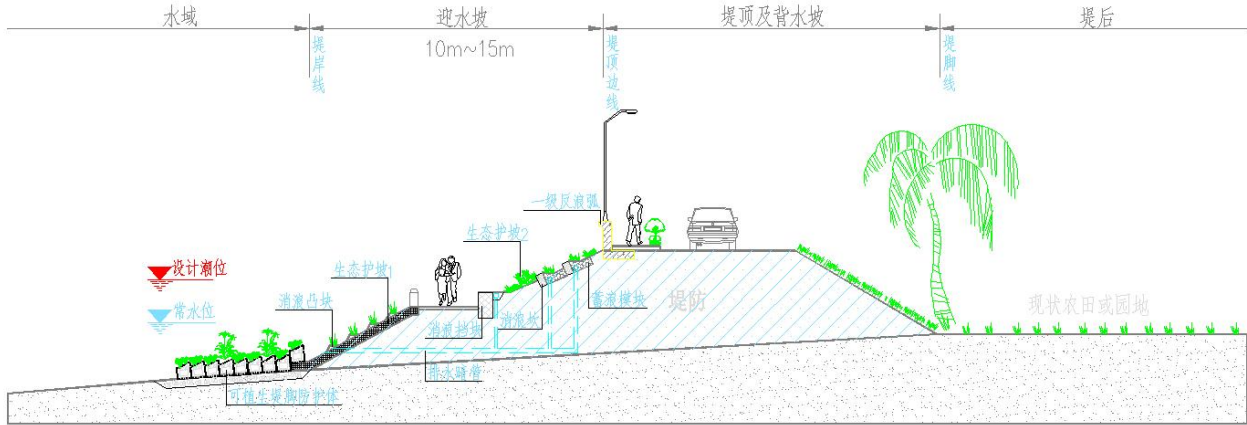


图 F.2 迎水坡场地空间宽度 10m~15m

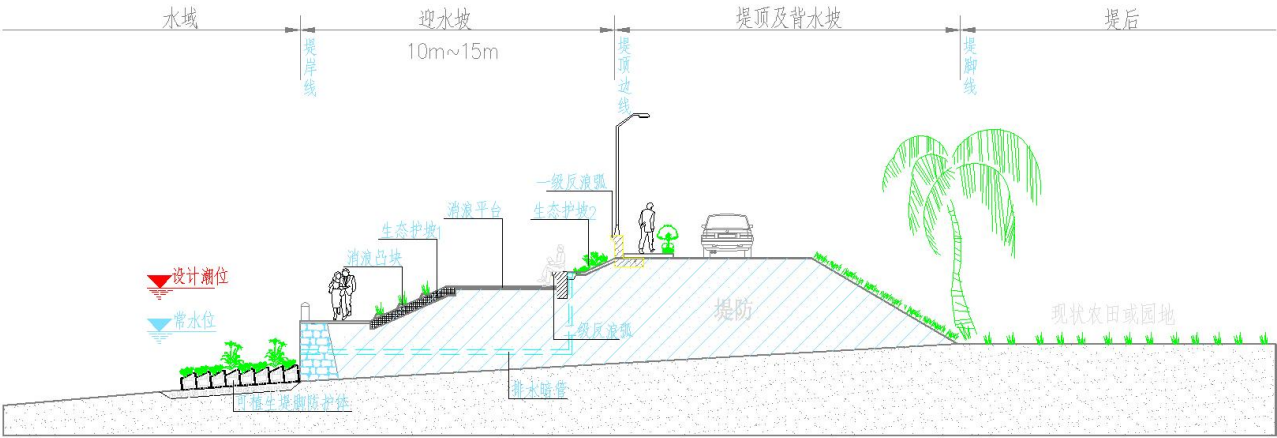


图 F.3 迎水坡场地空间宽度 10m~15m

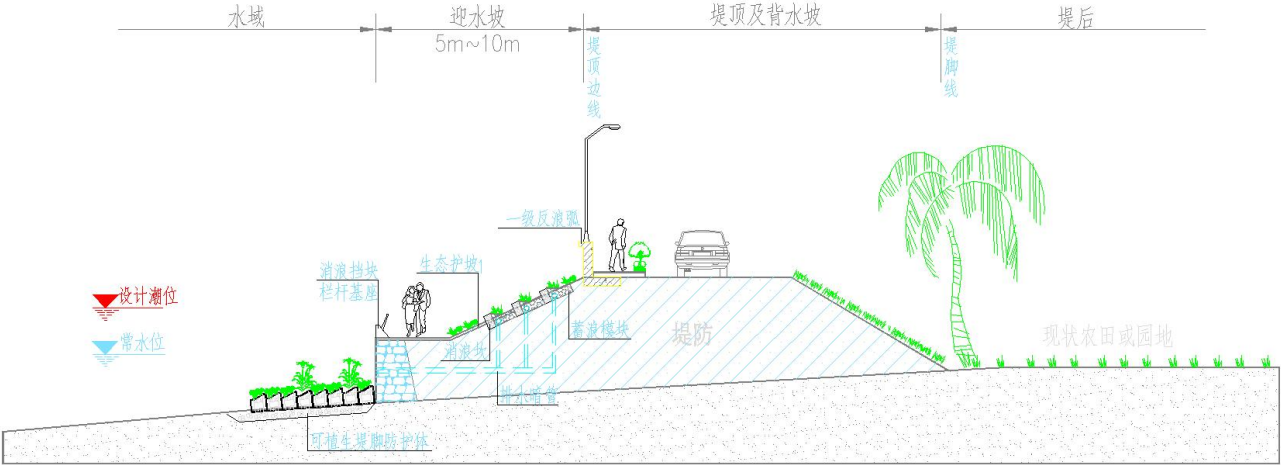


图 F.4 迎水坡场地空间宽度 5m~10m

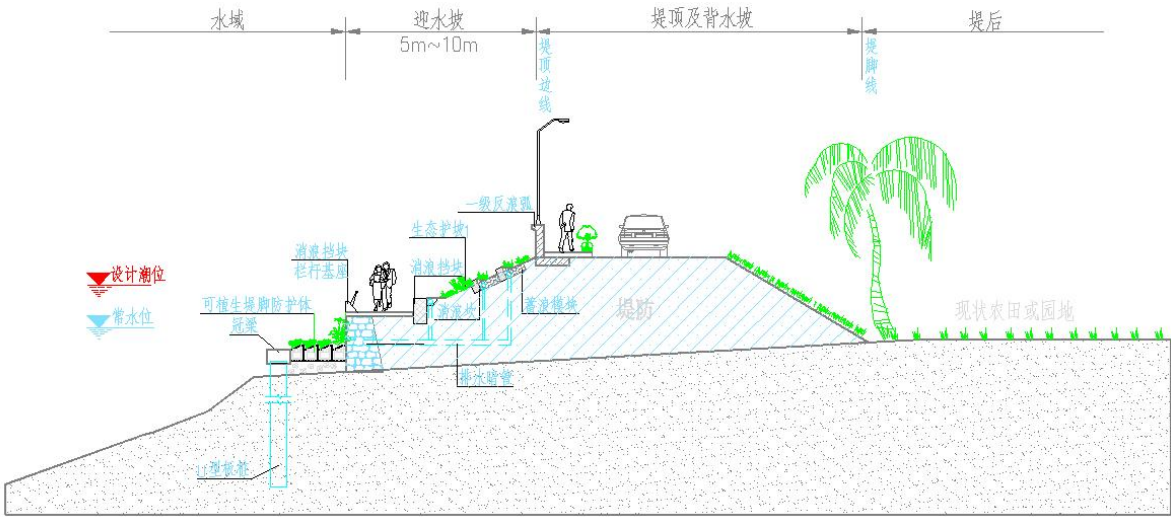


图 F.5 迎水坡场地空间宽度 5m~10m

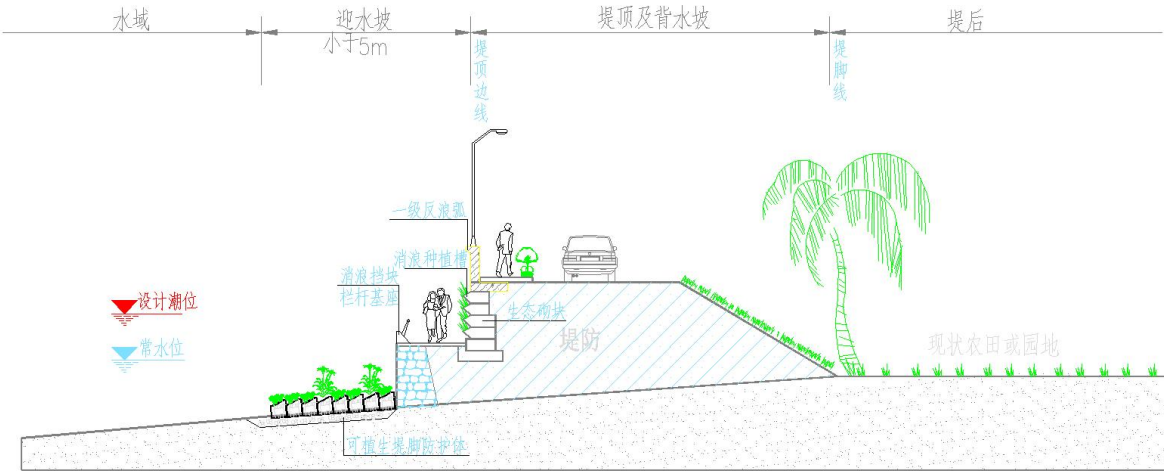


图 F.6 迎水坡场地空间宽度 5m~10m

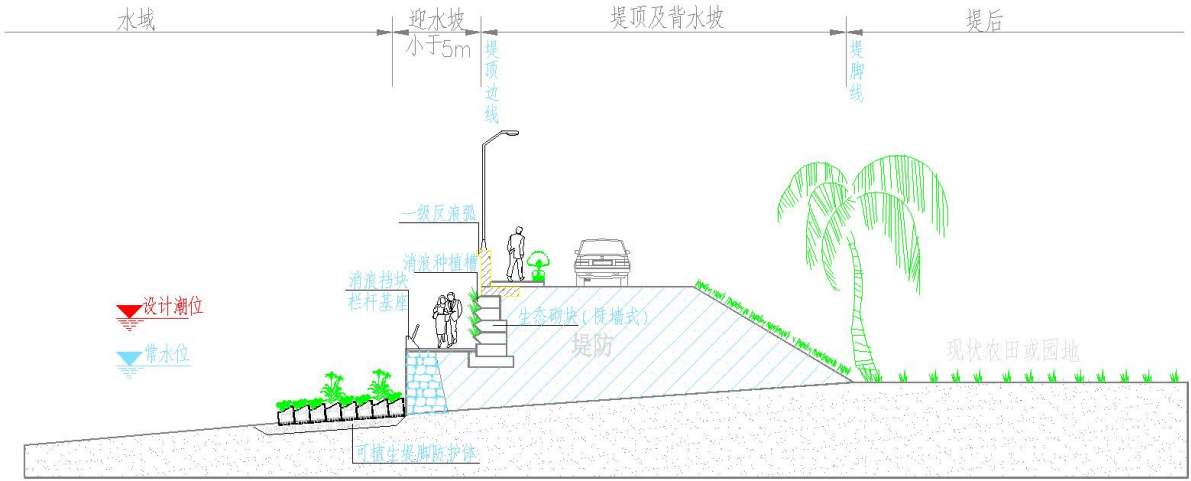


图 F.7 迎水坡场地空间宽度小于 5m

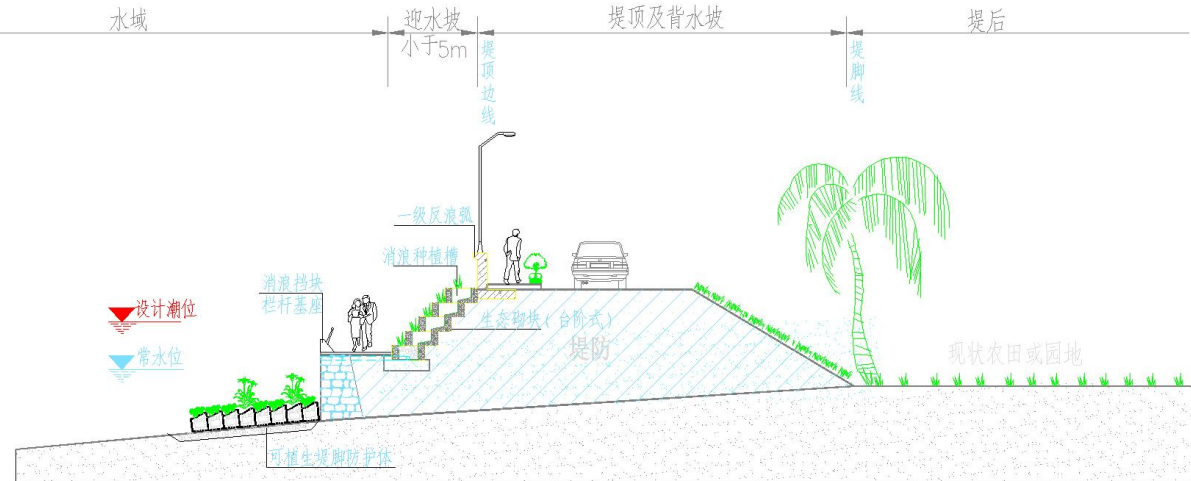


图 F.8 迎水坡场地空间宽度小于 5m

附录 G

（资料性）

植物参考名录

G.1 堤前带

淤泥质滩涂岸滩可选择蔗草属、红树植物、矮蒲苇、花菖蒲、短叶茳苳、美人蕉、千屈菜、鸢尾、香蒲等植物；砂砾质岸滩可选择厚藤、白茅、仙人掌、沟叶结缕草、铺地黍、单叶蔓荆、龙爪茅、狗牙根等植物。

红树植物适合低潮带的有桐花树、白骨壤、红海榄、老鼠簕；适合中潮带的有秋茄、桐花树、白骨壤（又称海榄雌）、红海榄、木榄、榄李、角果木、老鼠簕、卤蕨、海漆、银叶树；适合高潮带的有秋茄、桐花树、木榄、榄李、角果木、卤蕨、海漆、银叶树、黄槿、苦郎树；适合潮上带的有卤蕨、海漆、银叶树、水黄皮、杨叶肖槿、玉蕊、海芒果、黄槿、苦郎树。（注：香港的红树林品种主要有秋茄、桐花树、白骨壤、榄李、海漆、木榄等，澳门红树林品种主要有秋茄、桐花树、老鼠簕、白骨壤、卤蕨等。）

人工修复海草床生态系统时，可选择海菖蒲、泰来藻、喜盐草、二药藻、针叶藻等。

G.2 迎水坡护面

迎水坡护面可参考选择木麻黄属、蔓马缨丹、勒杜鹃（别称三角梅）、南方碱蓬、爬山虎、狗牙根、厚藤、花叶芦竹、翠芦莉、狼尾草、狗牙根、雀稗、马尼拉草、大叶油草等。

G.3 堤顶与背水坡护面

堤顶及背水坡护面可参考选择扁穗牛鞭草、园草芦、雀稗、两耳草、台湾草（别称细叶结缕草）等草本植物。

附录 H
(资料性)
生态材料

- H.1 生态材料包括人工生态材料和天然生态材料。人工生态材料包括人工鱼礁、鱼巢砖、预制块体、废旧沉船等。天然生态材料包括牡蛎礁、牡蛎壳、藤条、草绳、木桩等。
- H.2 人工鱼礁按材料分为混凝土礁、石材礁、钢材礁、贝壳礁、木质礁、玻璃钢礁及其他材质礁。按结构型式分为矩形礁、梯形礁、球形礁、柱形礁、锥形礁、星型及其他型式礁。
- H.3 人工预制块体分为栅栏板、生态框、扭王字块、扭工字块、四角锥体、四角空心方块、螺母块、四角锥体等，采用人工预制块体时宜考虑生态功能改善作用。
- H.4 植物修复为主生态护岸材料见表 H.1（引自 T/GDHES 001-2022），动物栖息地修复为主的生态化材料特征详见表 H.2。

表 H.1 植物修复为主生态护岸材料及特性表

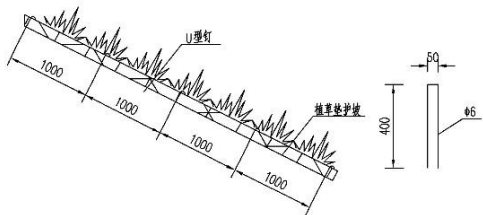
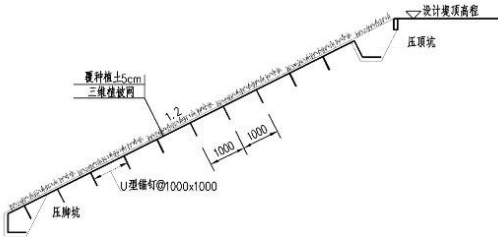
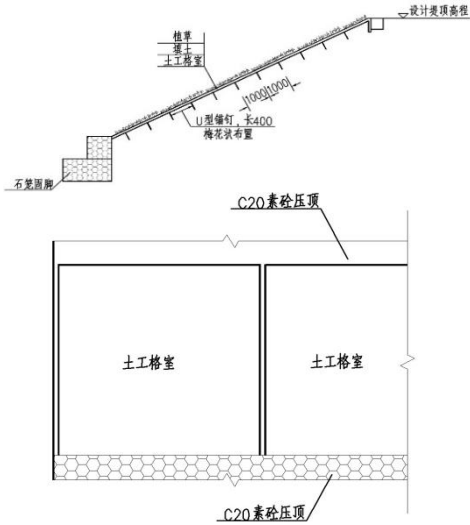
序号	类型	图样	特性
1	植草垫		<p>植草垫采用椰纤维制作，内嵌加筋土工格栅，抗冲流速不大于 3m/s。一般尺寸为：2000mm×2000mm×7.5mm（长×宽×厚）。</p> <p>优点：生态性、景观性、适用性、固土植物生长条件好，且经济环保。</p> <p>缺点：抗水流、风浪冲刷能力一般，迎流顶冲段慎用。</p>
2	三维土工网		<p>土工三维网植草护岸通过植物强大的根系生长结合土工合成材料的固土作用，对边坡进行绿化和加固的一种护坡新技术。</p> <p>优点：生态性、景观性、适用性、固土植物生长条件好，抗冲刷能力较强，且经济环保。</p> <p>缺点：受植物生长影响，抗暴雨冲刷能力一般，在水位变幅区及水位以下植生效果较差。</p>
3	土工格室		<p>土工格室利用聚乙烯、高密度聚乙烯等片状材料，经热熔粘接成蜂窝状的网片整体，在蜂窝状单元中填土植草，实现固土护坡作用。</p> <p>土工格室一般尺寸如下：高度 150mm，焊距 800mm，板材厚度 1.2mm，展开后网格尺寸为 400mm×400mm×150mm（长×宽×高）。</p> <p>优点：有较强抗冲刷能力，能有效防止河岸垮塌；耐久性好，经济、易于施工。</p> <p>缺点：当土工格室裸露时，经太阳暴晒，其耐久性减弱明显，部分聚丙烯材料的土工格室遇火能燃烧，运行管理要求较高。</p>

表 H.1 植物修复为主生态护岸材料及特性表（续）

序号	类型	图样	特性
4	生态砌块		<p>生态砌块材料为钢筋混凝土，混凝土强度等级不小于 C20，一般尺寸为：400mm×300mm×150mm（长×宽×高）。该护岸型式在仰斜角大于 45 度（与水平面夹角小于 45 度）时，是溢水保土结构，具有自挡土功能，与土工格栅组合使用，一般不需要设置反滤层。</p> <p>优点：短期防冲刷能力强，对基础适应性强，景观及生态性较好，易施工；</p> <p>缺点：长期运行，若墙后泥土被水流带走，易导致墙体垮塌；该类护岸主要适用于平直河道，弯度太大的河/海岸不适用于此护岸，适用范围较小。</p>
5	联锁式植草砖		<p>联锁式植草砖护岸由多个植草砖连锁布置，构成整体的连锁结构，槽孔内填土植草。砖尺寸为 500mm×300mm×120mm（长×宽×高）。该护岸型式施工便捷，无需砂浆勾缝等工序，直接安装即可。</p> <p>优点：形式多样，景观性及植生性均较好，易施工。</p> <p>缺点：要求海堤坡度不能过大，坡度足够平顺、密实，否则易滑落、凹陷地带成片损坏；成本较高，且不适合砂质土层，不适合河岸弯曲较多的河道。</p>
6	瓶孔砖		<p>瓶孔砖材料为混凝土，混凝土强度等级不小于 C20，一般尺寸为：500mm×500mm×400mm（长×宽×高）。砖两侧布置自嵌凸缘结构，砖体均匀布置 9 个小孔，孔口直径为 75mm，孔剖面为瓶子状，底部铺设碎石层。</p> <p>该护岸型式既固化岸坡，又留出植物通道，基层土壤的植物可穿过碎石层由孔口长出。</p> <p>优点：自嵌式的设计可增强铺装后护坡的整体性，增强护坡的抗冲刷能力。在孔内种植植物，使护坡面得到绿化，砖孔也可成为海岸洞居动物的洞穴，将提升护坡的生态性及景观性。</p> <p>缺点：费用较高，种植生长期需要加强管理。</p>

表 H.1 植物修复为主生态护岸材料及特性表（续）

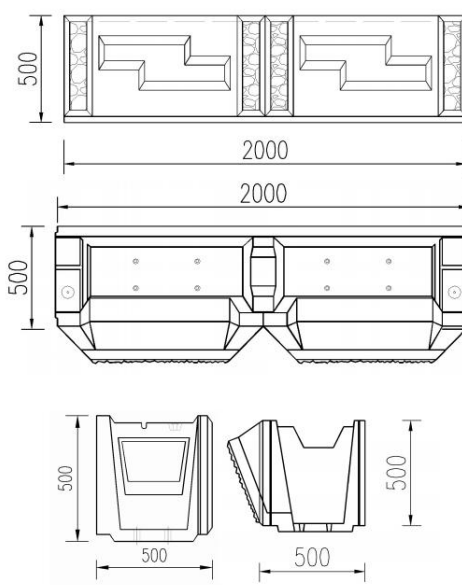
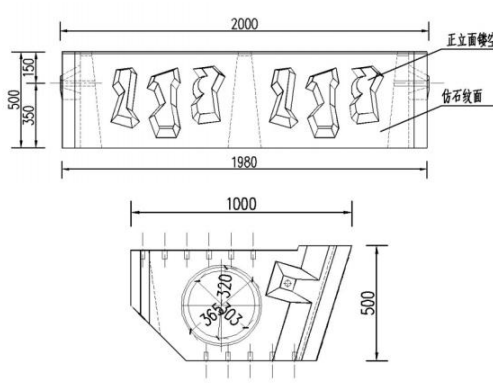
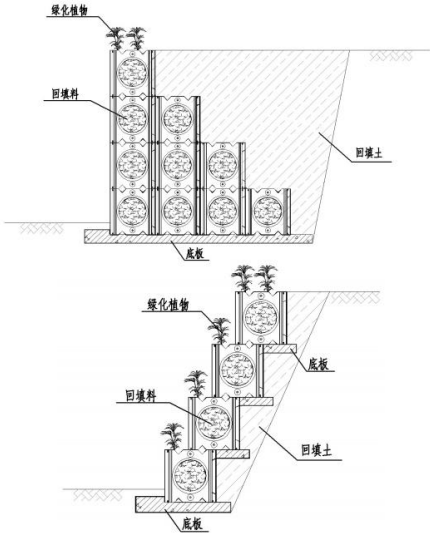
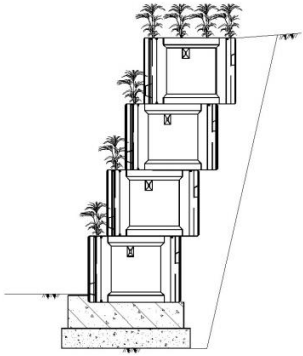
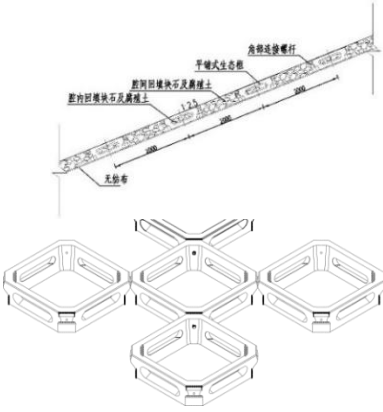
序号	类型	图样	特性
7	鱼巢式生态框、植草式生态框		<p>鱼巢式生态框、植草式生态框材料为钢筋混凝土，混凝土强度等级不小于 C30。一般尺寸为：2000mm×500mm×500mm（长×宽×高）。构件安装采用 M12 热浸镀锌螺栓连接。</p> <p>该护岸型式设计水位以下部分构件内部填充 $\phi 200\text{mm}$ 的卵石或碎石；设计水位以上部分构件内底部填充排水用碎石，然后回填土砂，种植观赏性植物。</p> <p>优点：为水生植物提供了良好的生长空间，为净化水质创造了条件。块体间的空隙和生长起来的植物体系将形成天然的鱼巢，促进水生态环境的平衡。块体本身、水生植物体系、鱼虾等水生动物同组建生态景观，便于施工。</p> <p>缺点：费用高，单块重量重，施工安装较费工费时。</p>
8	阶梯式生态框		<p>阶梯式生态框材料为钢筋混凝土，混凝土强度等级不小于 C30。一般尺寸为：2000mm×1000mm×500mm（长×宽×高）。单个阶梯式生态框约重 60kg。</p> <p>该护岸型式设计水位以下部分构件内部填充 $\phi 200\text{mm}$ 的卵石或碎石；设计水位以上部分构件内底部填充排水用碎石，然后回填种植土，种植观赏性植物。</p> <p>优点：使用碎石和沙土作为填充物且有预留空间，方便水域生物筑巢及生长从而达到绿化并促进环保生态的形成；可以利用施工现场所产生的土沙等进行填充，有利于植被快速恢复生长。</p> <p>缺点：费用高，单块重量重，施工安装较费工费时。</p>

表 H.1 植物修复为主生态护岸材料及特性表（续）

序号	类型	图样	特性
9	堆砌式生态框		<p>堆砌式生态框材料为钢筋混凝土，混凝土强度等级不小于 C30。一般尺寸为：1000mm × 1000mm × 1000mm/2000mm × 1000mm × 1000mm/3000mm × 1000mm × 1000mm（长 × 宽 × 高）。单个生态框约重 650/1350/1910kg。该护岸型式设计水位以下部分构件内部填充 $\Phi 200\text{mm}$ 的片石、卵石</p> <p>石或碎石，然后回填种植土，种植观赏性植物。</p> <p>优点：使用碎石和沙土作为填充物且有预留空间，有利于植被快速恢复生长，方便水域生物筑巢及生长从而达到绿化并促进环保生态的形成。</p> <p>缺点：费用高，单块重量重，施工安装较费工费时。</p>
10	箱式生态框		<p>箱式生态框材料为钢筋混凝土，混凝土强度等级不小于 C30。一般尺寸为：1500mm × 1000mm × 1000mm/1500mm × 1400mm × 1000mm（长 × 宽 × 高）。单个生态框约重 1210/1345kg。该护岸型式设计水位以下部分构件内部填充 $\Phi 200\text{mm}$ 的片石、卵石或碎石，然后回填种植土，种植观赏性植物。</p> <p>优缺点与堆砌式生态框类同。</p>
11	平铺式生态框		<p>平铺式生态框材料为钢筋混凝土，混凝土强度等级不小于 C30。一般尺寸为：1080mm × 1080mm × 300mm/1080mm × 1080mm × 500mm（长 × 宽 × 高）。单个生态框约重 165/273kg。该护岸型式设计水位以下部分构件内部填充 $\Phi 200\text{mm}$ 的片石、卵石或碎石，然后回填种植土，种植观赏性植物。</p> <p>优点：施工周期短、抗冲能力强，生态效果明显。</p> <p>缺点：费用高，单块重量重，施工安装需要起重吊装。</p>

42

表 H.2 动物栖息地修复为主生态化材料及特性表

序号	类型	图样	特性
1	锯齿纹生态贴面砖		<p>锯齿纹生态贴面砖是一种带有凹槽的粗糙表面、各种尺寸的洞、洞、池、盆、裂缝和阴影的生态砖，方砖尺寸 25cm×25cm×7cm，圆型孔洞直径尺寸 0.9cm，突起脊高 5cm，缝隙宽度 4cm，洞穴长 2~6cm，宽 1~2cm，表面纹理深度和宽度分别为 1~3mm、1~5mm。采用焚烧污水污泥灰替代硅酸盐水泥，细骨料尺寸 0~5mm，部分由海洋沉积物替代，粗骨料尺寸 5~10mm。抗压强度 39MPa，pH 值 8.3~10.0。多用于直立式海堤迎水侧直墙安装（采用螺钉固定），也可用于斜坡式海堤平整护面。</p> <p>优点：对现有海堤扰动较小，直接依附于堤身表面，低碳环保，有孔洞巢穴，利用生物附着，生态效果好。</p> <p>缺点：形状纹理构造多，制作工艺复杂。</p> <p>参考来源：香港城市大学海洋污染国家重点实验室。</p>
2	沟脊纹理生态贴面砖		<p>沟脊纹理生态贴面砖是一种带有凹槽的粗糙表面、沟脊间隔的生态砖，方砖尺寸 25cm×25cm×7cm，突起脊最高 5cm，沟深最大 5cm，缝隙宽度 5cm。采用焚烧污水污泥灰替代硅酸盐水泥，细骨料尺寸 0~5mm，部分由海洋沉积物替代，粗骨料尺寸 5~10mm。抗压强度 39MPa，pH 值 8.3~10.0。多用于直立式海堤迎水侧直墙安装（采用螺钉固定），也可用于斜坡式海堤平整护面。</p> <p>优缺点与锯齿纹生态贴面砖类同。</p> <p>参考来源：Australian company Reef Design Lab。</p>
3	网格纹生态贴面板		<p>网格纹生态贴面板是一种带有凹槽的粗糙表面面板，面板尺寸 180cm×90cm，厚 15cm，网格纹理深度 3~5cm。由硅酸盐水泥或其他低碳环保材料（如疏浚的海洋沉积物、焚烧炉或发电厂飞灰）制作，细骨料采用 4.75mm 的细砂或 0~2mm 的天然碎石料。抗压强度 30~80MPa，pH 值 9~10.5。多用于直立式海堤迎水侧直墙安装（采用螺钉固定），也可用于斜坡式海堤的平整护面。</p> <p>优缺点与锯齿纹生态贴面砖类同。</p> <p>参考来源：Israel company EConcrete。</p>

表 H.2 动物栖息地修复为主生态材料及特性表（续）

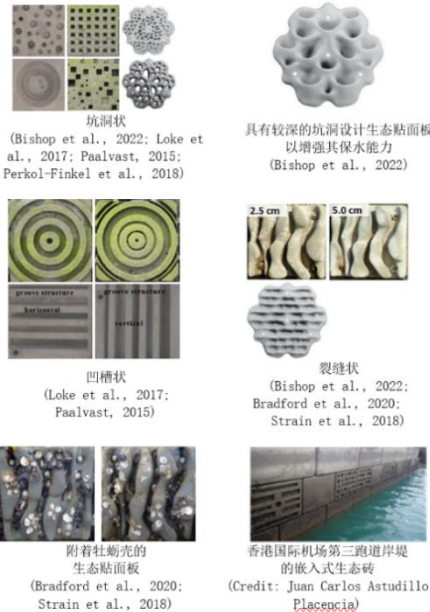
序号	类型	图样	特性
4	鱼鳞纹生态贴面板		<p>网格纹生态贴面板是一种带有凹槽的粗糙表面面板，面板尺寸 185cm×95cm，厚 12cm，纹理深度 5cm。采用玻璃纤维增强塑性 (GFRP)、钢筋增强的普通硅酸盐水泥（也可采用回收骨料、回收烧灰、回收玻璃、海洋沉积物），骨料尺寸为 10mm，抗压强度大于 28MPa，pH 值约 10。多用于直立式海堤迎水侧直墙安装（采用螺钉固定），也可用于斜坡式海堤的平整护面。</p> <p>优缺点与锯齿纹生态贴面砖类同。</p> <p>参考来源：香港城市大学海洋污染国家重点实验室。</p>
5	其他生态贴面板设计	 <p>坑洞状 (Bishop et al., 2022; Loke et al., 2017; Paalvast, 2015; Perkol-Finkel et al., 2018)</p> <p>具有较深的坑洞设计生态贴面板以增强其保水能力 (Bishop et al., 2022)</p> <p>凹槽状 (Loke et al., 2017; Paalvast, 2015)</p> <p>裂缝状 (Bishop et al., 2022; Bradford et al., 2020; Strain et al., 2018)</p> <p>附着牡蛎壳的生态贴面板 (Bradford et al., 2020; Strain et al., 2018)</p> <p>香港国际机场第三跑道岸堤的嵌入式生态砖 (Credit: Juan Carlos Astudillo Placencia)</p>	<p>生态贴面板、砖具有不同形状、大小及深度的设计，可根据实际环境的生物类型、其体长大小等进行优化。部分设计于生态贴面板、砖表面附着上牡蛎或其他双壳类动物的壳，研究指出其能更有效地促进生物附着。</p> <p>优缺点与锯齿纹生态贴面砖类同。</p>
6	垂直生态花槽	 <p>(Browne and Chapman, 2011; Morris et al., 2017)</p>	<p>垂直生态花槽是一种带有凹槽的花盆状人工潮汐池，开口直径 36cm，深度 22~38cm，容量 6~10L。材料为混凝土。</p> <p>优点：对现有海堤扰动较小，直接依附于堤身表面，保水效果比生态贴面板更好，适用于高中水平的潮间带。</p> <p>缺点：单块重量重，制作工艺复杂。</p>

表 H.2 动物栖息地修复为主生态材料及特性表（续）



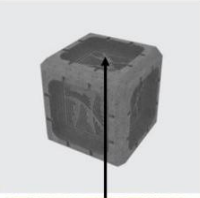
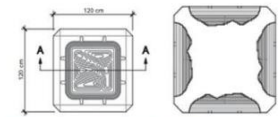
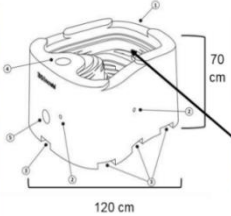

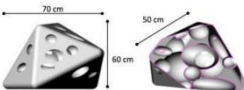


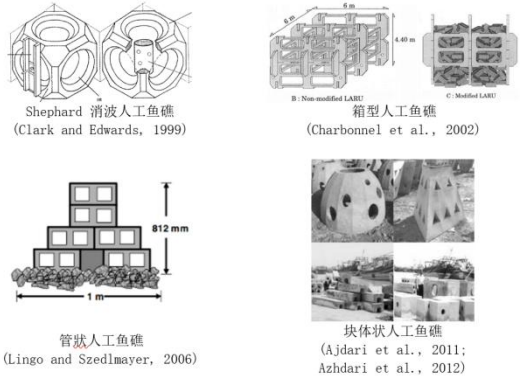
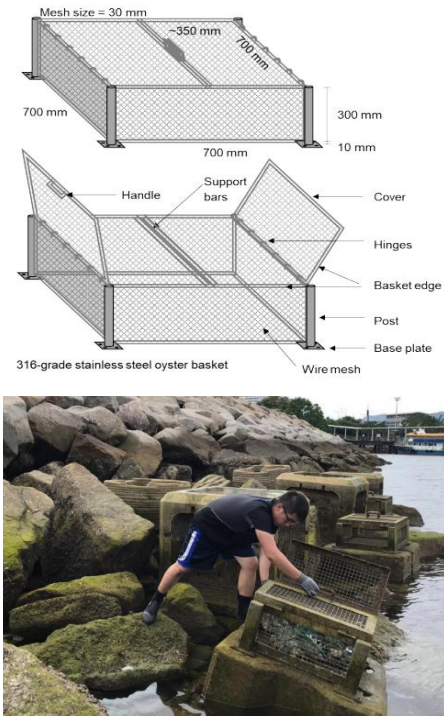

序号	类型	图样	特性										
7	方形潮汐池	<div><table><tr><th>Unit Length (cm)</th><th>Unit Width (cm)</th><th>Unit Height (cm)</th><th>Volume (Liters)</th><th>Weight (Kg)</th></tr><tr><td>120 (47")</td><td>120 (47")</td><td>120 (47")</td><td>1053 (2586 gal)</td><td>2530 (5575 lbs)</td></tr></table><p>Ledges/extrusion height: Approx. 1.5-5 cm Cavity diameter: Approx. 3 cm Pool depth: Approx. 15 cm</p></div>	Unit Length (cm)	Unit Width (cm)	Unit Height (cm)	Volume (Liters)	Weight (Kg)	120 (47")	120 (47")	120 (47")	1053 (2586 gal)	2530 (5575 lbs)	<p>方形潮汐池是一种六面带有凹槽、孔洞、方形层状纹理的正方体，尺寸 120cm×120cm×120cm，纹理高度 1~5cm，孔洞直径约 3cm，孔洞深度 15cm。制作的混凝土建议采用废料（如疏浚的海洋沉积物、焚烧炉或发电厂飞灰），以最大限度地减少水泥的使用，降低碳排放。抗压强度至少应为 20MPa。多用于抛石斜坡式海堤堤脚。</p> <p>优点：低潮位时保水性好，利于生物附着，直接抛投于堤脚，安装简易。</p> <p>缺点：制作工艺比传统护脚块体复杂。</p> <p>参考来源：Israel company EConcrete.</p>
Unit Length (cm)	Unit Width (cm)	Unit Height (cm)	Volume (Liters)	Weight (Kg)									
120 (47")	120 (47")	120 (47")	1053 (2586 gal)	2530 (5575 lbs)									
8	圆型潮汐池	<div><p>Tide Pool Components</p><ol style="list-style-type: none">1. Overflow line2. Lifting sockets3. Handing slots4. Water system trap opening5. Water system footer opening<p>Surface texture height: 0.5-1.5 cm Cavity diameter: Approx. 5-15 cm Pool depth: Approx. 31 cm</p></div>	<p>圆型潮汐池是一种单面带有凹槽、孔洞、环形层状纹理的正方体，尺寸 120cm×70cm，纹理高度 0.5~1cm，孔洞直径约 5~15cm，孔洞深度 31cm。由硅酸盐水泥或其他低碳环保材料（如疏浚的海洋沉积物、焚烧炉或发电厂飞灰）制作，细骨料采用 4.75mm 的细砂或 0~2mm 的天然碎石料，抗压强度 30~80MPa，pH 值 9~10.5。多用于抛石斜坡式海堤堤脚。</p> <p>优缺点与方形潮汐池类同。</p> <p>参考来源：Israel company EConcrete.</p>										
9	“榄核型”持水生态鱼礁	<div></div>	<p>“榄核型”持水生态鱼礁是一种表面带有不同大小凹孔的多边形榄核状块体，长轴尺寸 70~120cm，短轴尺寸 50~120cm，高 60~80cm，凹孔直径 3~20cm。采用玻璃纤维增强塑性(GFRP)的普通硅酸盐水泥（也可采用回收骨料、回收焚烧灰、回收玻璃、海洋沉积物），骨料尺寸为 10mm，抗压强度为 28MPa，pH 值约 10。多用于抛石斜坡式海堤堤脚。</p> <p>优点：低潮位时保水性好/保水时间长，利于生物附着，直接抛投于堤脚，安装简易，自稳性好。</p> <p>缺点：制作工艺比传统护脚块体复杂。</p> <p>参考来源：香港城市大学海洋污染国家重点实验室。</p>										

表 H.2 动物栖息地修复为主生态材料及特性表（续）

序号	类型	图样	特性
10	其他生态鱼礁设计	 <p>Shepherd 消波人工鱼礁 (Clark and Edwards, 1999)</p> <p>箱型人工鱼礁 (Charbonnel et al., 2002)</p> <p>管状人工鱼礁 (Lingo and Szedlmayer, 2006)</p> <p>块状人工鱼礁 (Ajdari et al., 2011; Azhdari et al., 2012)</p>	<p>生态鱼礁可为单一或多个模块组合的大型单元，置于水中，其上多有孔洞和裂缝等设计，方便鱼类或其他游泳动物栖息。多个组合时形成较大单元，可具有一定的消波减浪功能。</p> <p>优点：较其他小型生态材料具有更好的消波减浪功能，同时能为游泳动物提供永久栖息地。</p> <p>缺点：块体重量重，安装工艺复杂。</p>
11	牡蛎笼	 <p>Mesh size = 30 mm</p> <p>700 mm</p> <p>350 mm</p> <p>700 mm</p> <p>300 mm</p> <p>10 mm</p> <p>Handle</p> <p>Support bars</p> <p>Cover</p> <p>Hinges</p> <p>Basket edge</p> <p>Post</p> <p>Base plate</p> <p>Wire mesh</p> <p>316-grade stainless steel oyster basket</p>	<p>牡蛎笼由金属丝网和不锈钢制作，尺寸为 70cm×70cm×30cm，金属丝网厚度 2~3mm，网孔尺寸为 3cm，支柱厚度：10~15 毫米，四个角底板尺寸：6×6cm，底板厚度：4~5mm（每个板有 3 个孔，以安装 8mm 的螺栓（8mm×65mm），手柄：由 4~5mm 的不锈钢制成，支撑杆：位于表面中间的支撑杆由 4~5 mm 不锈钢制作。牡蛎笼被固定在抛石斜坡式海堤的堤脚抛石顶面上，底部以安装螺栓固定。也可固定于直立堤堤脚底部。可填装活牡蛎或牡蛎壳，或任何其他双壳类动物的壳。在使用前应风干约 6 个月。牡蛎笼顶部高程不宜超过当地海图基准面上部 1m。除了牡蛎笼，也可采用柔性的网状牡蛎袋抛投于堤脚。</p> <p>优点：空间大，安装简易，稳定性好，活牡蛎水质净化能力强，改善水质效果好。</p> <p>缺点：保水效果一般，不利于需水能力强的生物附着。</p> <p>参考来源：香港城市大学海洋污染国家重点实验室。</p>
12	牡蛎袋/贝壳袋	 <p>(Scyphers et al., 2015; Morris et al., 2019)</p>	<p>牡蛎袋/贝壳袋可由牡蛎或其他双壳类动物的活体或壳置于网状袋内组成。袋子可由聚乙烯制成，孔径常为 3~5cm，以防止牡蛎壳洩漏，同时允许不同的水域动物在礁石上觅食或定居。</p> <p>优缺点与牡蛎笼类同。</p>

参考文献

- [1] 自然资源部办公厅 国家林业和草原局办公室关于印发《红树林生态修复手册》的通知 自然资办函（2021）1809号. 2021年10月8日
- [2] 《滨海盐沼生态减灾修复手册》，自然资源部. 2024年11月
- [3] 《海草床生态减灾修复手册》，自然资源部. 2024年11月
- [4] 《牡蛎礁生态减灾修复手册》，自然资源部. 2024年11月
- [5] 《砂质海岸生态减灾修复手册》，自然资源部. 2024年11月
- [6] 国家海洋局关于印发《围填海工程生态建设技术指南（试行）》的通知 国海规范（2017）13号. 2017年10月10日
- [7] 广东省自然资源厅, 广东省林业局. 广东省红树林生态修复技术指南. 2022年1月
- [8] SC/T 9416-2014 人工鱼礁建设技术规范
- [9] 自然资源部办公厅 水利部办公厅 发展改革委办公厅 财政部办公厅关于印发《海岸带保护修复工程工作方案》的通知 自然资办函（2020）509号附件 海堤生态化建设技术指南（试行）. 2020年2月21日
- [10] 广东省河长办关于印发《广东万里碧道建设和管理安全标准（试行）》《广东万里碧道水质监测及评价方案（试行）》的通知 粤河长办（2021）41号. 2021年6月25日
- [11] 广东省自然资源厅关于印发《生态恢复岸线验收办法》的通知 粤自然资海域（2022）2582号. 2022年10月25日
- [12] PWD M Part 1 (2023). General Design Considerations for Marine Works (Continuously updated e-version June 2023). Civil Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, HKSAR Government.
- [13] PWD M Part 4 (2023). Guide to Design of Seawalls and Breakwaters (Continuously updated e-version June 2023). Civil Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, HKSAR Government.
- [14] PWD M Part 5 (2023). Guide to Design of Beaches (Continuously updated e-version June 2023). Civil Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, HKSAR Government.
- [15] Guidelines of Design, Installation and Maintenance of Eco-engineered Fixtures on Artificial Shorelines For Site Trials of Eco-shoreline on Seawalls at Sai Kung, Lung Kwu Tan and Ma Liu Shui. 2022.
- [16] Bishop, M. J., Vozzo, M. L., Mayer-Pinto, M. and Dafforn, K. A., 2022. Complexity-biodiversity relationships on marine urban structures: Reintroducing habitat heterogeneity through eco-engineering. *Philos T R Soc B* 377.
- [17] Loke, L. H. L., Bouma, T. J., Todd, P. A., 2017. The effects of manipulating microhabitat size and variability on tropical seawall biodiversity: field and flume experiments. *J Exp Mar Biol Ecol* 492, 113-120.
- [18] Paalvast, P., 2015. The role of geometric structure and texture on concrete for algal and macrofaunal colonization in the marine and estuarine intertidal zone, *Proceedings of the RECIF Congress on Artificial Reefs: From Materials to Ecosystems*, ESITC, Caen, France. ESITC: Caen, France, pp. 77-84.

- [19] Perkol-Finkel, S., Hadary, T., Rella, A., Shirazi, R., Sella, I., 2018. Seascape architecture – incorporating ecological considerations in design of coastal and marine infrastructure. *Ecol Eng* 120, 645–654.
- [20] Bradford, T.E., Astudillo, J.C., Lau, E.T.C., Perkins, M.J., Lo, C.C., Li, T.C.H., Lam, C.S., Ng, T.P.T., Strain, E.M.A., Steinberg, P.D. and Leung, K.M.Y., 2020. Provision of refugia and seeding with native bivalves can enhance biodiversity on vertical seawalls. *Mar Pollut Bull* 160, 111578.
- [21] Strain, E.M.A., Morris, R.L., Coleman, R.A., Figueira, W.F., Steinberg, P.D., Johnston, E.L., Bishop, M.J., 2018. Increasing microhabitat complexity on seawalls can reduce fish predation on native oysters. *Ecol Eng* 120, 637–644.
- [22] Browne, M. A., & Chapman, M. G., 2014. Mitigating against the loss of species by adding artificial intertidal pools to existing seawalls. *Mar Ecol Prog Ser*, 497, 119–129.
- [23] Morris, R.L., Chapman, M.G., Firth, L.B. and Coleman, R.A., 2017. Increasing habitat complexity on seawalls: Investigating large- and small-scale effects on fish assemblages. *Ecol Evol* 7, 9567–9579.
- [24] Clark, S., Edwards, A.J., 1999. An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives. *Aquat Conserv* 9(1), 5–21.
- [25] Charbonnel, E., Serre, C., Ruitton, S., Harmelin, J.G., Jensen, A., 2002. Effects of increased habitat complexity on fish assemblages associated with large artificial reef units (French Mediterranean coast). *Ices J Mar Sci* 59, S208–S213.
- [26] Lingo, M.E. and Szedlmayer, S.T., 2006. The influence of habitat complexity on reef fish communities in the northeastern Gulf of Mexico. *Environ Biol Fish* 76, 71–80.
- [27] Ajdari, D., Hajirezaee, S. and Ajdari, Z., 2011. Fish colonization of artificial reefs in the Persian Gulf (Bandar Lengeh-Iran): Reef designs and seasonal changes of fish abundance. *Int J Fish Aquac* 3, 204–212.
- [28] Azhdari, H., Ibrahim, M., Arshad, A., Shohaimi, S., Ajdari, Z. and Ibrahim, Z.Z., 2012. The effect of artificial reefs on fish assemblage versus natural sites in the Bandar Lengeh-Iran. *Iran J Fish Sci* 11, 1–12.
- [29] Scyphers, S.B., Powers, S.P., Heck, K.L., 2015. Ecological value of submerged breakwaters for habitat enhancement on a residential scale. *Environ Manage* 55, 383–391.
- [30] Morris, R. L., Bilkovic, D. M., Boswell, M. K., Bushek, D., Cebrian, J., Goff, J., Kibler, K. M., La Peyre, M. K., McClenachan, G., Moody, J., Sacks, P., Shinn, J. P., Sparks, E. L., Temple, N. A., Walters, L. J., Webb, B. M., & Swearer, S. E. (2019). The application of oyster reefs in shoreline protection: Are we over-engineering for an ecosystem engineer? *J Appl Ecol*, 56, 1703–1711.
- [31] Scyphers, S. B., Powers, S. P., & Heck, K. L. (2015). Ecological value of submerged breakwaters for habitat enhancement on a residential scale. *Environmental Management*, 55, 383–391.
- [32] Morris, R.L., Heery, E.C., Loke, L.H.L., Lau, E.T.C., Strain, E.M., Airolidi, L., Alexanders, K.A., Bishop, M.J., Coleman, R.A., Cordell, J.R., Dong, Y.W., Firth, L.B., Hawkins, S.J., Heath, T., Kokora, M., Lee, S.Y., Miller, J.K., Perkol-Finkel,

S., Rella, A., Steinberg, P.D., Takeuchi, I., Thompson, R.C., Todd, P., Toft, J.D., Leung, K.M.Y. (2019). Design options, implementation issues and evaluating success of ecologically-engineered shorelines. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 57: 169–228.

[33] Besley, P. (1999). Overtopping of Seawalls, Design and Assessment Manual, R&D Technical Report W 178. Hydraulics Research Ltd, Wallingford.