



T/CECS 353-2024

中国工程建设标准化协会标准

生态格网结构技术规程

Technical specification for application of eco-mesh structure



中国建筑工业出版社

中国工程建设标准化协会标准

生态格网结构技术规程

Technical specification for application of eco-mesh structure

T/CECS 353 - 2024

主编单位：江阴市金利达堤坡防护工程有限公司

北京万澎科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2024年12月1日

中国建筑工业出版社

2024 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 2061 号

关于发布《生态格网结构技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕40 号）的要求，由江阴市金利达堤坡防护工程有限公司、北京万澎科技有限公司等单位编制的《生态格网结构技术规程》，经本协会绿色建筑与生态城区分会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS 353-2024，自 2024 年 12 月 1 日起施行。原《生态格网结构技术规程》CECS 353: 2013 同时废止。

中国工程建设标准化协会

2024 年 7 月 22 日

前 言

《生态格网结构技术规程》（以下简称规程）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕40 号）的要求进行编制。规程编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规程。

本规程共分 8 章和 1 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料和格网成品、生态格网结构挡土墙设计、生态格网绿滨垫护坡设计、生态格网施工、质量检验等。

本规程是对《生态格网结构技术规程》CECS 353：2013 的修订。本次修订的主要内容包括：

- 1 修改了术语的表达；
- 2 修改了对材料的要求；
- 3 增加了对格网成品的技术要求；
- 4 完善了钢丝和成品的检验方法；
- 5 对引用标准进行了增减等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会绿色建筑与生态城区分会归口管理，由江阴市金利达堤坡防护工程有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请反馈给江阴市金利达堤坡防护工程有限公司（地址：江苏省无锡市江阴市祝塘镇新达路 8 号，邮编：214415，邮箱：sales@gabion.cn）。

主 编 单 位：江阴市金利达堤坡防护工程有限公司
北京万澎科技有限公司

参编单位：中国水利水电科学研究院

水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

水利部基本建设工程质量检测中心

黑龙江省水利水电集团

安徽水利开发有限公司

云南省红河州水利水电勘察设计院

江阴市金利达轻工机械有限公司

黑龙江众野农业机械制造有限公司

翔冠工程设计集团有限公司

无锡市水利局

东台市水务局

广德市水利局

江苏省水利勘测设计研究院有限公司

长春市水利勘测设计研究院有限责任公司

中铁水利水电规划设计集团有限公司

中水淮河规划设计研究有限公司

浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司

江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司

乌兰察布市水旱灾害防御技术中心

青海省水利水电勘测规划设计研究院有限公司

甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司

云南省水利水电科学研究院

内蒙古自治区水利水电勘测设计院有限公司

福建省水利水电勘测设计研究院有限公司

浙江省钱塘江管理局勘测设计院

乐山市水利电力建筑勘察设计院

无锡市水利设计研究院有限公司

徐州市水利建筑设计研究院有限公司

金华市水利水电勘测设计院有限公司
苏州市水利设计研究院有限公司
宁波市水利水电规划设计研究院有限公司
杭州水利水电勘测设计院有限公司
青海河海水利水电设计有限公司
盐城市水利勘测设计研究院有限公司
青岛市水利勘测设计研究院有限公司
营口市城市规划设计院有限公司
南通市苏东建设工程有限公司

主要起草人：张绍华 廖昌建 徐雪峰 孙 玮
焦万明 马 峰 司学成 薛晓光
王晓莺 郎启庄 赵光礼 党 杰
程丽丽 陈开煜 金雪林 莫昊勇
陈亚军 程 实 喻桂成 陈 栋
薛永诚 嘉晓辉 张晓乾 刘仁德
邓翼峰 洪理健 焦 龙 过 杰
潘树新 杨怡平 周 晶 杨 艺
张 华 王文彬 王 宁 牛承佑
王扬志 袁立恒 李晓娜 袁 萍
主要审查人：王 浩 张惠锋 陈梁擎 杨会臣
马以超 王永海 党玉栋

目 次

1	总则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(4)
4	材料和格网成品	(5)
4.1	材料	(5)
4.2	格网成品	(7)
5	生态格网结构挡土墙设计	(9)
5.1	一般规定	(9)
5.2	固滨笼挡土墙土压力计算和整体稳定性验算	(10)
5.3	加筋固滨笼挡土墙筋片强度和稳定性验算	(12)
5.4	挡土墙承载力验算	(14)
5.5	挡土墙地基承载力验算	(15)
6	生态格网绿滨垫护坡设计	(17)
6.1	一般规定	(17)
6.2	绿滨垫厚度及填料计算	(17)
6.3	护坡稳定性验算	(19)
7	生态格网施工	(21)
7.1	施工准备和场地、地基处理	(21)
7.2	生态格网的组装施工	(22)
7.3	填料施工	(26)
7.4	施工质量控制	(27)
8	质量检验	(30)
8.1	质量检验的内容、标准和方法	(30)

8.2 工程质量评定	(33)
附录 A 工程质量评定记录表	(34)
用词说明	(38)
引用标准名录	(39)
附：条文说明	(41)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(4)
4	Materials and finished products of eco-mesh structure	(5)
4.1	Materials	(5)
4.2	Finished product	(7)
5	Design of ecological grid structure retaining wall	(9)
5.1	General requirements	(9)
5.2	Earth pressure calculation and integral stability checking of retaining wall with cage	(10)
5.3	Checking calculation of strength and stability of reinforced cage retaining wall	(12)
5.4	Checking calculation of retaining wall bearing capacity	(14)
5.5	Checking calculation of bearing capacity of retaining wall foundation	(15)
6	Design of eco-mesh grid green mat slope protection	(17)
6.1	General requirements	(17)
6.2	Calculation of thickness and filling of green shore mat	(17)
6.3	Checking calculation of slope protection stability	(19)
7	Eco-mesh construction	(21)

7.1	Construction preparation and site and foundation treatment	(21)
7.2	Assembly and construction of eco-mesh	(22)
7.3	Filling construction	(26)
7.4	Construction quality control	(27)
8	Quality inspection	(30)
8.1	Contents, standards and methods of quality inspection	(30)
8.2	Engineering quality assessment	(33)
	Appendix A Engineering quality assessment record	(34)
	Explanation of wording	(38)
	List of quoted standards	(39)
	Addition: Explanation of provisions	(41)

1 总 则

1.0.1 为了在生态格网结构设计、制造及施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全、适用、经济，保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于生态格网结构的工程设计、产品制造、工程施工和工程质量检验。

1.0.3 生态格网结构的工程设计、产品制造、工程施工和工程质量检验除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 网丝 body mesh wire

编织格网主体的钢丝。

2.1.2 边丝 selvedge wire

缠绕固定在格网边缘的钢丝。

2.1.3 扎丝 lacing wire

绑扎生态格网结构网片的钢丝。

2.1.4 格网 mesh

由网丝通过专用设备制作而成的双绞状、六边形网孔的网片结构。

2.1.5 生态格网结构 eco-mesh structure

在格网组装成的箱体内存填充块体材料形成的柔性结构，有固滨笼、加筋固滨笼、绿滨垫和网袋四种类型。

2.1.6 固滨笼 gabion

由格网组装成的长方形箱体，箱体的前端板、底板、后端板和盖板为整体网片折叠而成，边板和隔板通过扎丝与其绑扎而成，长方形箱体中间每一米设置隔板且隔板为单隔板。

2.1.7 加筋固滨笼 reinforced gabion

由固滨笼和筋片组成的生态格网结构体，结构体的筋片、后端板和盖板为整体网片折叠而成，其与前端板、边板和隔板通过扎丝绑扎成箱体，箱体内每一米设置隔板且隔板为单隔板。

2.1.8 绿滨垫 mattress

由格网组装成的垫状箱体，与固滨笼相比高度较小，盖板为独立盖板，垫状箱体内每一米设置有隔板且隔板为双隔板。

2.1.9 网袋 sack gabion

由格网卷制绑扎而成的袋状结构。

2.2 符 号

- a_v —— 竖向设计地震加速度；
 a_h —— 水平向设计地震加速度；
 b —— 水面宽度；
 C_0 —— 基底土的黏聚力；
 C_g —— 黏滞系数；
 C_v —— 流速分布系数；
 C_s —— 填料稳定系数；
 f 、 μ_s —— 摩擦系数；
 g —— 重力加速度；
 H_s —— 波浪设计高度；
 K_1 —— 边坡修正因子；
 n —— 填料空隙率；
 R —— 水力半径；
 V —— 断面平均流速；
 α_0 —— 河岸倾角；
 γ —— 土的重度；
 γ_s —— 填料的重度；
 γ_w —— 水的重度；
 φ —— 土的内摩擦角；
 φ^* —— 网格之间内摩擦角；
 θ_e —— 地震系数角；
 δ —— 墙背与填土间的摩擦角。

3 基本规定

3.0.1 生态格网结构用于城乡防洪、城镇景观、输水、排水等工程时，其设计标准应符合当地发展规划要求，生态格网结构方案应根据工程所在地的地形、地质、水流等条件以及所属构筑物的总体布置、功能特点、使用要求等确定，做到因地制宜、就地取材。

3.0.2 城市防洪工程中，生态格网结构应符合国家现行标准《防洪标准》GB 50201、《城市防洪工程设计规范》GB/T 50805、《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252 及《水工挡土墙设计规范》SL 379 的有关规定。

3.0.3 生态格网结构的耐久性应符合现行行业标准《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL 654 的有关规定。

4 材料和格网成品

4.1 材 料

4.1.1 生态格网结构用钢丝应符合下列规定：

1 生态格网结构用钢丝应采用符合现行国家标准《优质碳素结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 711 或《制丝用非合金钢盘条 第2部分：一般用途盘条》GB/T 24242.2 规定的盘条加工。

2 生态格网结构用钢丝应采用符合现行行业标准《工程机编钢丝网用锌-5%铝-镁合金镀层钢丝》YB/T 4749 规定的锌-5%铝-镁合金镀层并涂覆环保无机涂层保护膜的钢丝，不应使用包覆聚氯乙烯（PVC）、聚乙烯（PE）、聚酰胺6（PA6）、聚对苯二甲酸乙二酯（PET）等塑料或其他镀层的钢丝。环保无机涂层保护膜的颜色应为墨绿色。

3 锌-5%铝-镁合金镀层中铝含量不应小于4.2%，镁含量不应小于0.3%。

4 钢丝的力学性能应符合表4.1.1-1的规定。

表 4.1.1-1 钢丝的力学性能

抗拉强度标准值 (MPa)	断后伸长率 (%) (原始标距 $L_0=250\text{mm}$)
$350 \leq f_{yk} \leq 550$	≥ 10

5 编织前钢丝镀层重量应符合表4.1.1-2的规定。钢丝经编织施工后，镀层损耗量不得大于5%。

表 4.1.1-2 编织前钢丝镀层重量

钢丝直径 (mm)	镀层重量 (g/m ²) 不小于
2.2	230
2.5	245
2.7	245
3.0	255

4.1.2 生态格网结构的填料应符合下列规定：

1 生态格网结构的内部填充材料，可采用天然块石、卵石、强度等级 C30 以上的再生混凝土块等；

2 填料应具有耐久性好、坚硬不碎、无风化的特点，填料 50% 重量的粒径不应小于网孔绞合轴线之间距离的 1.5 倍~2.0 倍；不符合要求的填料用量不应超过 15%，且应填充在结构中部；填料级配宜经过试验分析确定，空隙率不应大于 30%，重度不应小于 16kN/m³；

3 选择其他特定生态功能的产品作为填充材料时，其性能应满足结构体的功能性和耐久性要求。

4.1.3 钢丝检验应符合下列规定：

1 钢丝的直径测量用精度为 0.01mm 的千分尺或游标卡尺，在同一横截面两个互相垂直的方向上测量，取测量所得直径的算术平均值；钢丝直径的允许偏差应符合表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 钢丝直径允许偏差 (mm)

钢丝直径	允许偏差
2.2、2.5、2.7	±0.06
3.0	±0.07

2 钢丝的变形能力检验应符合现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 的有关

规定。

3 钢丝的镀层质量检验应符合现行国家标准《钢产品镀锌层质量试验方法》GB/T 1839 的有关规定。

4 钢丝镀层中铝和镁含量的检验应符合现行国家标准《锌及锌合金化学分析方法 铅、镉、铁、铜、锡、铝、砷、锑、镁、镧、铈量的测定 电感耦合等离子体—发射光谱法》GB/T 12689.12 的有关规定。

4.2 格网成品

4.2.1 格网网丝之间应采用机械双绞合，不得使用五绞合等其他绞合方式。格网端边应用边丝通过机械收边，边丝与网丝应缠绕不小于 2.5 圈。格网边丝、扎丝的材质应与网丝相同，网片的网孔规格，双线绞合部分最小长度，网丝、边丝和扎丝直径应符合表 4.2.1 的规定。成品网片不应有断丝、破损、锈蚀等。

表 4.2.1 网片的网孔规格，双线绞合部分最小长度，
网丝、边丝和扎丝直径 (mm)

成品类别	固滨笼	绿滨垫	
网片的网孔规格 ($D \times X$)	100×120	60×80	80×100
双线绞合部分最小长度	30	25	30
网丝直径	2.5	2.2	2.2
边丝直径	3.0	2.7	2.7
扎丝直径	2.2	2.2	2.2

注：网片的网孔为六边形， D 为网孔两个双绞合轴线之间的距离， X 为顺绞合轴线方向网孔的最大尺寸。

4.2.2 生态格网钢丝的表面、格网四周网丝和边丝缠绕处、所有钢丝端口部分以及隔板和底板连接扣环应涂覆环保无机涂层保护膜，且应无机械加工过程中产生的擦痕和损伤。

4.2.3 成品尺寸和网孔尺寸允许偏差应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 成品尺寸和网孔尺寸允许偏差

格网类型	网片尺寸 (mm)			网孔尺寸 (%)	
	长	宽	高	D	X
固滨笼	±50	±50	±50	±5	±10
绿滨垫	±50	±50	±30		

4.2.4 成品网片的质量应按下列步骤进行检验：

1 生态格网成品应每 20000m² 划分为一个检验批，不足 20000m² 应视为一个检验批。每批取样数量应满足检验项目需要，满足规定为合格产品。

2 将网面自然展开置于平面上，用钢尺测量网面的长度、宽度。

3 用钢尺测量，D 值和 X 值均取不小于连续十个网孔的平均值。

4 成品格网紫外线老化试验应符合现行国家标准《塑料 实验室光源暴露试验方法 第 3 部分：荧光紫外灯》GB/T 16422.3 的有关规定。

5 经 500h 盐雾试验，钢丝表面和端口应无白锈；经 3000h 盐雾试验，钢丝表面和端口应无红锈；经 3000h 紫外线照射试验，钢丝和端口的环保无机涂层应无粉化脱落。

5 生态格网结构挡土墙设计

5.1 一般规定

5.1.1 生态格网结构挡土墙的设计等级应按现行行业标准《水工挡土墙设计规范》SL 379 的规定确定，且 2 级~4 级的挡土墙应按提高一级设计，但洪水标准可不提高。

5.1.2 生态格网结构挡土墙的抗倾覆稳定性安全系数、抗滑移稳定性安全系数、基底应力平均值及最大值、墙体结构强度安全系数等应符合国家现行标准《河道整治设计规范》GB 50707、《堤防工程设计规范》GB 50286、《水闸设计规范》SL 265、《水工挡土墙设计规范》SL 379 的有关规定。

5.1.3 生态格网结构挡土墙的土压力，可不考虑墙前后水位差引起的墙后剩余水压力；除采用混凝土底板基础外，可不考虑墙底渗透压力；宜考虑墙后填土内渗透压力对墙背土压力的影响。

5.1.4 生态格网结构挡土墙填料的内部空隙率不应大于 30%，挡土墙的自重应按填料的有效重度计算。

5.1.5 生态格网结构挡土墙的墙高，应预留结构施工期间的累计沉降量，累计沉降量可根据本地区的实践经验和挡土墙特性综合确定，当无本地区经验时，宜取墙身计算高度的 3%~5%。

5.1.6 生态格网结构挡土墙的埋置深度应在满足挡土墙稳定性要求的前提下，综合地形、地质、冲刷深度等因素确定。土质地基墙趾于冲刷深度以下埋深不宜小 0.5m，当冲刷较严重或河床起伏不平时，可设置绿滨垫护坦，护坦外伸长度宜为冲刷深度的 3.0 倍~5.0 倍。当固滨笼挡土墙基础位于水面以下时，可根据水深及水下地形地质情况，采用抛石或网袋做基础平台。

5.1.7 生态格网结构挡土墙的墙后回填土宜采用排水性良好的

非黏性土。

5.1.8 生态格网加筋固滨笼挡土墙的墙体、基础断面和筋片长度应根据作用于墙上的荷载，分别按墙体外部稳定性和加筋格网内部稳定性确定，筋片长度应超出填土滑动范围。

5.1.9 生态格网加筋固滨笼挡土墙筋片上回填土的压实度应满足设计要求，设计无规定时应按行业现行标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274 的有关规定执行。

5.2 固滨笼挡土墙土压力计算和整体稳定性验算

5.2.1 固滨笼挡土墙正常使用下的土压力宜按现行行业标准《水工挡土墙设计规范》SL 379 的有关规定计算。

5.2.2 地震作用的主动土压力代表值可分别取式 (5.2.2-1) 中的“+”、“-”号，按下列公式计算，取计算结果中的大值：

$$F_E = \left[q_0 \frac{\cos\phi_1}{\cos(\phi_1 - \phi_2)} H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right] \left(1 \pm \frac{\zeta a_v}{g} \right) C_e \quad (5.2.2-1)$$

$$C_e = \frac{\cos^2(\varphi - \theta_e - \phi_1)}{\cos\theta_e \cos^2\phi_1 \cos(\delta + \phi_1 + \theta_e) (1 + \sqrt{Z})^2} \quad (5.2.2-2)$$

$$Z = \frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \theta_e - \phi_2)}{\cos(\delta + \phi_1 + \theta_e) \cos(\phi_2 - \phi_1)} \quad (5.2.2-3)$$

$$\theta_e = \tan^{-1} \frac{\zeta a_h}{g \pm \zeta a_v} \quad (5.2.2-4)$$

式中： F_E ——地震主动土压力代表值；

q_0 ——填土表面单位长度的荷重；

ϕ_1 ——挡土墙与垂直面的夹角；

ϕ_2 ——填土表面和水平面的夹角；

H ——土的高度；

θ_e ——地震系数角；

- γ ——土的重度；
 φ ——土的内摩擦角；
 ζ ——计算系数，采用拟静力计算地震作用效应，固滨笼挡土墙取 0.25；
 g ——重力加速度；
 a_h ——水平向设计地震加速度，按表 5.2.2 取值；
 a_v ——竖向设计地震加速度，取 $2a_h/3$ ；
 δ ——墙背与填土间的摩擦角。

表 5.2.2 水平向设计地震加速度值 a_h

设防烈度 a_h	7 度	8 度	9 度
	0.10(0.15) g	0.20(0.30) g	0.40 g

5.2.3 固滨笼挡土墙（图 5.2.3）应按式（5.2.3-1）进行整体抗倾覆验算，应按式（5.2.3-2）进行整体抗滑移验算。 K_0 和 K_s 应按本规程第 5.1.2 条的规定取值。

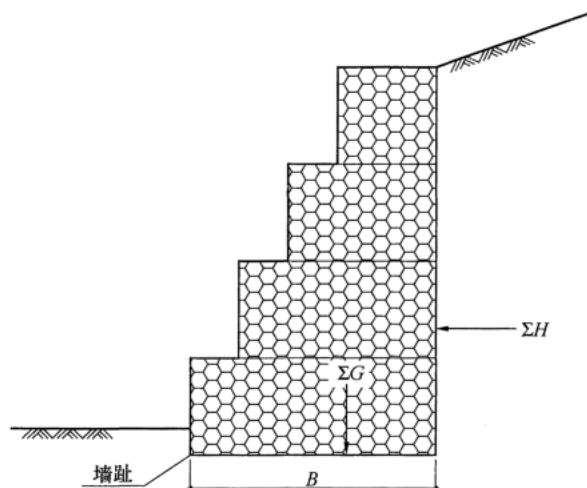


图 5.2.3 固滨笼挡土墙稳定性计算简图

$$K_0 \leq \frac{\Sigma M_v}{\Sigma M_h} \quad (5.2.3-1)$$

$$K_s \leq \frac{f\Sigma G + C_0 B}{\Sigma H} \quad (5.2.3-2)$$

式中： ΣM_v ——对挡土墙基底前趾的抗倾覆力矩；

ΣM_h ——对挡土墙基底前趾的倾覆力矩；

C_0 ——基底土的黏聚力；

f ——基础摩擦系数，按现行行业标准《水工挡土墙设计规范》SL 379 的有关规定取值；

ΣG ——作用在挡土墙上垂直于基础底面的全部荷载；

B ——基底宽度；

ΣH ——作用在挡土墙上平行于基础底面的全部荷载。

5.3 加筋固滨笼挡土墙筋片强度和稳定性验算

5.3.1 加筋固滨笼挡土墙的土压力计算应符合本规程第 5.2.1 条、5.2.2 条的规定。

5.3.2 加筋固滨笼挡土墙的水平荷载应全部由固滨笼的筋片承担，第 i 层筋片所承受的水平拉力（图 5.3.2）可按下式进行计算：

$$T_i = [(\sigma_{vi} + \Sigma \Delta \sigma_{vi})K_a + \sigma_{hi}]s_{vi} \quad (5.3.2)$$

式中： T_i ——第 i 层筋片所承受的水平拉力（kN/m）；

σ_{vi} ——第 i 层筋片处的有效法向应力（kN/m²）；

$\Delta \sigma_{vi}$ ——第 i 层筋片处因超载引起的垂直附加应力（kN/m²）；

σ_{hi} ——第 i 层筋片处作用于挡土墙上的水平附加应力（kN/m²）；

s_{vi} ——第 i 层处筋片的间距（m），取上、下层的平均值；

K_a ——主动土压力系数。

L_{ei} ——第 i 层筋片有效长度 (m)，按滑动面以外的筋片长度确定。

5.3.5 筋片宜沿高度采用相同的长度，或分段采用相同的长度。每层筋片的长度均应满足强度和稳定性要求，第 i 层筋片的计算长度应按下式确定。

$$L_i = L_{oi} + L_{ei} \quad (5.3.5)$$

式中： L_i ——第 i 层筋片的计算长度 (m)；

L_{oi} ——第 i 层筋片滑动面以内的长度 (m)；

L_{ei} ——第 i 层筋片滑动面以外的长度 (m)。

5.4 挡土墙承载力验算

5.4.1 挡土墙应根据墙体实际受力，分别验算墙体的抗压和抗剪承载力。

5.4.2 挡土墙的允许压应力 σ_{am} 取值取决于网箱、填充材料的规格和填筑质量，当填料为块石或卵石时可根据经验取 0.2N/mm^2 ，当挡土墙的等级较高或对沉降控制要求较严格时，宜通过试验确定 σ_{am} 值。

5.4.3 在竖向荷载的偏心作用下，以竖向荷载等效作用点为中心，取压应力均匀分布时，挡土墙的压应力可按式 (5.4.3-1) 计算。挡土墙的压应力应符合式 (5.4.3-2) 的规定。

$$\sigma = \frac{\Sigma G}{L(B - 2e_0)} \quad (5.4.3-1)$$

$$\sigma \leq \sigma_{am} \quad (5.4.3-2)$$

式中： σ ——挡土墙计算截面的压应力计算值 (N/mm^2)；

ΣG ——挡土墙计算截面以上全部竖向荷载 (N)；

e_0 ——挡土墙竖向荷载对于计算截面形心的偏心距；

L ——截面长度 (mm)；

B ——截面宽度 (mm)。

5.4.4 挡土墙的允许剪应力应按下列公式确定：

$$\tau_{\text{am}} = \left(\frac{\tan \varphi^* \Sigma G}{B} + C_g \right) \times 10^{-3} \quad (5.4.4-1)$$

$$\varphi^* = 2.5\gamma_s - 10 \quad (5.4.4-2)$$

$$C_g = 0.03P_u - 0.05 \quad (5.4.4-3)$$

式中： τ_{am} ——挡土墙的允许剪应力 (N/mm²)；

γ_s ——填料的重度 (kN/m³)；

P_u ——空固滨笼的单位重量 (kN/m³)；

C_g ——黏滞系数 (kN/m²)，按式 (5.4.4-3) 计算， $C_g < 0$ 时取 $C_g = 0$ ；

φ^* ——网格之间内摩擦角 (°)；

ΣG ——竖向荷载 (kN/m)；

B ——截面宽度 (m)。

5.4.5 挡土墙的剪应力应按下列公式计算：

$$\tau = \frac{\Sigma H}{LB} \quad (5.4.5-1)$$

$$\tau \leq \tau_{\text{am}} \quad (5.4.5-2)$$

式中： τ ——挡土墙的计算剪应力 (N/mm²)；

ΣH ——作用于计算截面以上全部水平力 (N)；

L ——截面长度 (mm)；

B ——截面宽度 (mm)。

5.5 挡土墙地基承载力验算

5.5.1 生态格网结构挡土墙基底压应力应按式 (5.5.1-1) 计算，偏心距应按式 (5.5.1-2) 计算。

$$p_{\text{max}} = \frac{\Sigma G}{A} \pm \frac{\Sigma M}{W} \quad (5.5.1-1)$$

$$e_0 = \frac{\Sigma M}{\Sigma G} \quad (5.5.1-2)$$

式中: $p_{\max}$ 、 $p_{\min}$ ——基础底面的最大、最小压应力 (kPa);
 ΣG ——等效于基础底面形心处的全部竖向荷载 (kN);
 ΣM ——等效于基础底面形心处的全部力矩 (kN·m);
 A ——基础底面面积 (m^2);
 W ——基础底面的抵抗矩 (m^3)。

5.5.2 生态格网结构挡土墙基底应力应符合下列规定:

1 在各种情况下, 最大压应力应符合式 (5.5.2-1) 的规定;

2 正常使用情况下, 按本规程式 (5.5.1-1) 计算的基底压应力不应小于 0;

3 施工期间和地震情况下, 按本规程式 (5.5.1-1) 计算的基底最小应力小于 0 时, 最小应力的绝对值不应大于 100kPa, $p_{\max}$ 应按式 (5.5.2-3) 计算。

$$p_{\max} \leq f_{\text{ak}} \quad (5.5.2-1)$$

$$e_0 \leq B/6 \quad (5.5.2-2)$$

$$p_{\max} = \frac{2\Sigma G}{3(B/2 - e_0)L} \quad (5.5.2-3)$$

式中: f_{ak} ——地基承载力特征值 (kPa);

B ——基础宽度 (m);

L ——基础长度 (m)。

6 生态格网绿滨垫护坡设计

6.1 一般规定

6.1.1 在自然边坡稳定的前提下，宜选用绿滨垫护坡。绿滨垫可简单铺设于需要防护的稳定岸坡上，黏性土土坡的坡度不宜大于 1:1.5，砂质土坡的坡度不宜大于 1:2.0。

6.1.2 采用绿滨垫护坡时，应确保边坡自身稳定。除对河床全断面防护外，设置护脚时，应将护脚设置于最大冲刷深度以下；不设护脚时，防护范围应向河床中延伸 3 倍~5 倍的最大冲刷深度。

6.1.3 绿滨垫应用隔片分成格室，隔片间距不应大于 1m。

6.1.4 绿滨垫下宜铺设一层土工布或 100mm~150mm 厚的砂砾石层作为反滤层。土工布的技术参数应符合现行国家标准《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》GB/T 17639 的有关规定。

6.1.5 护坡的设计高度应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的有关规定。

6.1.6 寒区采用冰上沉排施工绿滨垫护坡时，绿滨垫应形成整体，并应满足下沉过程中的强度和变形要求。

6.2 绿滨垫厚度及填料计算

6.2.1 绿滨垫厚度 t 应符合下列规定：

1 考虑填料粒径， t 应符合式 (6.2.1-1) 的规定；

2 考虑波浪作用，当 $\tan\alpha_0 \geq \frac{1}{3}$ 时， t 应符合式 (6.2.1-2)

的规定；

3 考虑波浪作用, 当 $\tan\alpha_0 < \frac{1}{3}$ 时, t 应符合式 (6.2.1-3)

的规定;

$$t \geq 2.0D_m \quad (6.2.1-1)$$

$$t \geq \frac{H_s \tan\alpha_0}{2(1-n)\Delta m} \quad (6.2.1-2)$$

$$t \geq \frac{H_s (\tan\alpha_0)^{\frac{1}{3}}}{4(1-n)\Delta m} \quad (6.2.1-3)$$

式中: H_s ——波浪设计高度 (m), 按现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 取值;

α_0 ——河岸倾角 ($^\circ$);

n ——填料空隙率 (%);

γ_s ——填料的重度 (kN/m^3);

γ_w ——水的重度 (kN/m^3);

Δm ——填料的水下相对重度, $\Delta m = (\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w$ 。

6.2.2 对坡降不大于 2% 的缓流河段, 当绿滨垫的厚度为 150mm ~ 500mm 时, 绿滨垫填料的中值粒径值应按式 (6.2.2-1) 确定, 位于河道转弯处外侧的绿滨垫填料的中值粒径值应乘以 1.2。

$$D_m = S_0 C_s C_v d \left[\left(\frac{\gamma_w}{(\gamma_s - \gamma_w) g d K_1} \right)^{\frac{1}{2}} V \right]^{\frac{5}{2}} \quad (6.2.2-1)$$

$$C_v = 1.283 - \frac{0.21gR}{b} \quad (6.2.2-2)$$

式中: D_m ——填料的中值粒径 (m);

S_0 ——粒径系数, 不小于 1.1;

C_s ——填料稳定系数, 可取 0.1;

C_v ——流速分布系数, 不小于 1.0, 在堤和混凝土渠道的端部可取 1.25;

V ——断面平均流速 (m/s)，取水面下 0.6 倍水深处的流速，或者取水面下 0.2 倍和 0.8 倍水深处流速的平均值；

d ——流速 V 处局部水深 (m)；

γ_s ——填料的重度 (kN/m³)；

γ_w ——水的重度 (kN/m³)；

g ——重力加速度 (m/s²)；

K_1 ——边坡修正因子，按表 6.2.2 取值；

R ——水力半径 (m)；

b ——水面宽度 (m)。

表 6.2.2 边坡修正因子 K_1

边坡坡度	1 : 1	1 : 1.5	1 : 2	1 : 3	1 : 4
K_1	0.46	0.71	0.88	0.98	1.0

6.2.3 为增加护坡侧缘的强度，在上、下游的护坡边界处绿滨垫应加厚。

6.3 护坡稳定性验算

6.3.1 水流动对河床底部施加的剪切力 τ_b 、移动填料中块石的临界剪切力 τ_c 、岸坡剪切力 τ_m 、岸坡临界剪切力 τ_s 应按下列公式计算：

$$\tau_b = \gamma_w id \quad (6.3.1-1)$$

$$\tau_c = C(\gamma_s - \gamma_w)D_m \quad (6.3.1-2)$$

$$\tau_m = 0.75\tau_b \quad (6.3.1-3)$$

$$\tau_s = \tau_c \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{0.4304}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.3.1-4)$$

式中： d ——断面平均水深 (m)；

i ——河床坡降；

C ——防护系数，抛石结构 0.047，绿滨护坡 0.10；

θ ——河岸与水平线的夹角 ($^{\circ}$)。

6.3.2 绿滨垫护坡抗冲刷稳定性应符合式 (6.3.2-1) 的规定, 绿滨垫变形稳定性应符合式 (6.3.2-2) 的规定。

$$\tau_b \leq \tau_c / 1.2 \quad (6.3.2-1)$$

$$\tau_m \leq \tau_s / 1.2 \quad (6.3.2-2)$$

6.3.3 水流穿过绿滨垫和底部滤层后的残余流速 V_f 应按式 (6.3.3-1) 计算, V_f 应符合式 (6.3.3-3) 的规定。

$$V_f = \frac{1}{4} V_b \sim \frac{1}{2} V_b \quad (6.3.3-1)$$

$$V_b = \frac{1}{n_f} (0.5 D_m)^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (6.3.3-2)$$

$$V_f \leq V_e \quad (6.3.3-3)$$

式中: V_b ——绿滨垫与织物或砾石滤层界面处的水流速度 (m/s);

V_f ——水流穿过绿滨垫和底部滤层后的残余流速 (m/s);

V_e ——黏性土的表面最大允许流速 (m/s);

n_f ——织物滤层取 0.02, 砾石滤层取 0.022。

6.3.4 护岸应按下列规定进行整体稳定性验算:

1 护岸及岸坡基础土整体滑动的稳定性验算, 可采用瑞典圆弧滑动法;

2 沿绿滨护坡底面滑动的稳定性验算, 可简化成沿护坡底面通过堤基的折线整体滑动, 计算方法可按现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的有关规定执行。

7 生态格网施工

7.1 施工准备和场地、地基处理

7.1.1 施工场地准备应符合下列规定：

1 生态格网结构施工前应根据勘测设计文件、地基和场地的实际情况制定施工方案。

2 施工范围应进行场地平整，清除不合格的土和杂物，回填部分应符合技术要求。场地测量允许偏差取值应符合下列规定：

- 1) 平面位置允许偏差应取 40mm；
- 2) 高程允许偏差应取 30mm；
- 3) 坡面平整度的允许偏差应取 50mm。

3 场地土不应有明显冰夹层和冻胀现象。

4 施工机械，施工工具，设备型号、规格、技术性能应满足施工需要。

5 对进场材料应按规定进行质量检验。

6 应确保电力满足施工用电需求。

7 应按需求布置临时设施。

7.1.2 防渗土工膜的铺设计应符合设计要求和现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的有关规定。

7.1.3 土工织物或反滤层的运输、存放和铺设应符合设计要求和下列规定，并应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的有关规定：

1 土工布在运输、存放和铺设过程中应采取防火、防晒、防潮和防止机械损伤等措施；

2 施工中凡与土工布接触面应结实平整，孤石、树根等可

能损坏土工布的杂物应清理干净；铺设时应沿一定方向铺设，留有一定宽松度；

3 土工布幅间应采用搭接的方式连接，搭接宽度宜为400mm，搭接方式宜为上游压下游；

4 施工之前应在结构护面与回填料的界面上铺设土工织物，在顶部和底部织物都应伸出一定长度。

7.1.4 固滨笼挡土墙的基底土质及其密实度、基础固滨笼入土深度、开挖长度和宽度等均应符合设计要求。软弱土的地基处理应符合下列规定：

1 采用换填法时，宜采用中粗砂或砂砾分层压实；

2 采用抛石挤淤法时，应使用粒径不小于300mm的坚硬石块；当抛石露出土面或水面时，宜顶面改用较小石块填平压实；

3 应对处理后的地基进行现场密实度检验。

7.1.5 生态格网绿滨垫宜作护坡或护底，铺设面应平整、密实、无杂质。

7.1.6 固滨笼挡土墙墙后回填土应按下列要求分层压实，并应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定：

1 回填土分层厚度不宜大于300mm；

2 回填土施工应以机械摊铺为主，人工配合为辅；

3 机械运行方向应平行于墙面；

4 应由中间向两边碾压，先轻压后重压，直至规定压实度；

5 靠近挡土墙的1m范围内不应使用重型机械，宜人工或小型机械冲击压实。

7.2 生态格网的组装施工

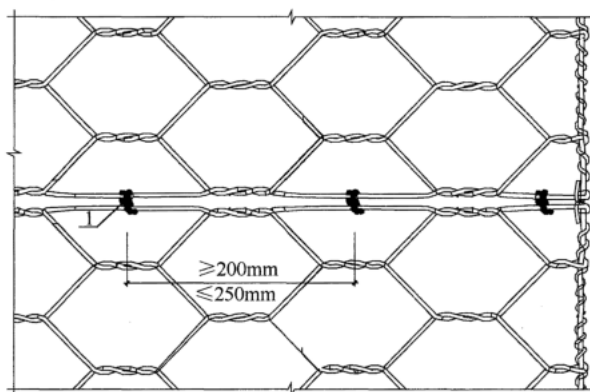
7.2.1 生态格网固滨笼组装施工应符合下列规定：

1 扎丝应使用与网丝相同材质的钢丝，每道绑扎应为双股

线并绞紧，扎丝的末端应向里折。

2 网片交接处绑扎应符合下列规定（图 7.2.1-1）：

- 1) 间隔网与网身的四处交角应各绑扎一道；
- 2) 间隔网与网身交接处应每间隔 200mm~250mm 绑扎一道。



1—扎丝绑扎

图 7.2.1-1 扎丝绑扎示意

3 固滨笼组箱体间的连接绑扎应符合下列规定：

- 1) 相邻固滨笼组的上下四角应各绑扎一道；
- 2) 相邻固滨笼组的上下框线或折线，应每间隔 200mm~250mm 绑扎一道；
- 3) 相邻固滨笼组的网片结合面每平方米绑扎不应少于 2 道；
- 4) 固滨笼组在三笼交汇点处，应将三笼绑扎成一体；
- 5) 各层箱连接完成后，可用长 6m 以上的木杆或钢管顺层箱边缘临时固定，保证箱体装料后边缘线顺直流畅。

4 箱体封盖绑扎应符合下列规定（图 7.2.1-2）：

- 1) 封盖应在顶部填料砌垒平整的基础上进行；

- 2) 应先固定每端相邻结点后再绑扎, 封盖与固滨笼边框相交线应每间隔 200mm~250mm 绑扎一道。

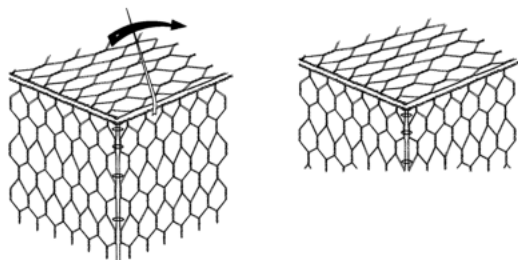


图 7.2.1-2 箱体封盖示意

5 固滨笼组装施工时, 应对墙前顺直度进行控制, 可采用模板或者钢管固定, 顺直度偏差不应大于 5° 。

6 固滨笼当采用螺旋式缠绕绑扎或采用扣件绑扎时, 应符合设计要求。

7.2.2 生态格网绿滨垫组装施工应符合下列规定:

1 绿滨垫组应按设计要求定位, 并依次安置, 定位时应挂线调整平整度。

2 边网片、端网片和隔片应拉直, 相邻绿滨垫可靠连接。

3 间隔网与网身应成 90° 相交后才可绑扎, 扎丝应使用与网丝相同材质的钢丝, 每道绑扎应为双股线并绞紧。

4 绿滨垫组的间隔网与网身间绑扎应符合下列规定:

1) 间隔网与网身的四处交角应各绑扎一道;

2) 间隔网与网身交接处, 应每间隔 200mm~250mm 绑扎一道。

5 河床铺设时, 绿滨垫隔片应垂直于水流方向; 岸坡铺设时, 绿滨垫隔片应平行于水流方向; 陡坡铺设时, 绿滨垫隔片应在距顶部网片以下 2m 处或按工程要求打入硬木桩固定。

6 封盖施工应符合下列规定:

- 1) 面层填料应砌垒整平;
- 2) 封盖网与网身、间隔网间相交边框线,应每间隔200mm~250mm 绑扎一道。

7 坝下游护坦及水流能直冲位置的绿滨垫施工时,应在绿滨垫的底网片与顶网片之间,垂直安装支撑钢筋。

8 绿滨垫当采用螺旋式缠绕绑扎或采用扣件绑扎时,应符合设计要求。

9 绿滨垫护坡施工时,应对坡面顶部顺直度进行控制,可采用模板或者钢管固定。

10 寒区采用冰上沉排施工绿滨垫时应在岸坡顶部设置固定设施,并应复核冰面承载能力、固定设施抗拉强度和稳定性。

7.2.3 生态格网加筋固滨笼箱体组装除应符合本规程第 7.2.1 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 安放加筋固滨笼的地基应进行开挖或回填压实处理,处理地基时,应表面推平,铲掉松散物质及植被;

2 加筋固滨笼应放在平坦、坚硬的平面上,所有网片应摆放位置正确,所有边的顶端应排列整齐;

3 铺设筋片时下层填料应碾压密实、平整,筋片应拉直、拉紧,平铺应不重叠,无卷曲、不扭结或皱褶,与挡土墙面应垂直,尾部应成均匀辐射形状;与墙面连接应牢靠,不得与有硬质、尖锐棱角的填料直接接触;

4 墙面外转角处两侧相邻 4 个固滨笼上应增设筋片。

7.2.4 网袋组装施工应符合下列规定:

1 网袋装配应符合下列规定:

- 1) 网袋和地基之间可按设计要求采用合适的隔离方法;
- 2) 网片应卷成圆柱状,并在镶边处搭接,并应拉紧横向钢丝,再使用钢丝将边丝牢固绑扎。纵向绑扎后,应再绑扎圆柱体的一端,拉紧网袋底部钢丝的两端,并在自身上缠绕、扭结,应避免损伤钢丝镀层。网袋的

另一端应开口，用以填充石料。

2 网袋可单个摆放，也可成组绑扎摆放。提升网袋时，起吊位置应选择在重叠的边丝处。

3 网袋水下施工应符合下列规定：

- 1) 网袋抛投宜选在枯水期；
- 2) 抛填前，应测量抛填区的水深、流速、断面形状等基本情况，宜通过试验掌握抛石位移规律；
- 3) 抛填时应从最低控制险情的部位抛起；
- 4) 船上抛投应准确定位，自下而上逐层抛填，并同时探测水下抛投坡度、厚度；
- 5) 抛填完后，用石块将网袋间不严密处抛填补齐。

7.3 填料施工

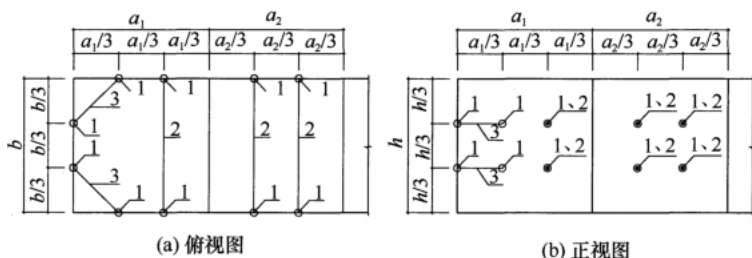
7.3.1 固滨笼组合体的排列应层与层间纵横交错、上下联结，不应出现“通缝”，每层固滨笼组均应适当选择部分箱体摆放为“丁”字形。

7.3.2 填料施工时，应同时均匀地向同层的多个箱体内投料，不应向单格箱体内一次性投满，填料顶面宜高出结构体 30mm~50mm，且应密实。封盖应一次性完成并用同材质的扎丝或扣件连接。

7.3.3 填料施工中，箱体应平放，每层投料厚度不应超过 300mm，并应用小碎石进行密实，调整箱体外形。外侧表面的填料应人工砌筑平整，填料间应相互搭接。

7.3.4 箱格填料时，应设置内部连接加强钢丝并绑扎（图 7.3.4），加强钢丝及绑扎应符合下列规定：

- 1 1m 高的固滨笼单元应在 1/3 和 2/3 高度处绑扎；
- 2 0.5m 高的单元应在 1/2 高度处绑扎；
- 3 水平方向应保证每一个单元格至少有 2 组加强钢丝；
- 4 内连加强钢丝应连接格室的外露面及其对面。



1—绑扎位置；2、3—与扎丝同材质的内部连接加强钢丝
图 7.3.4 固滨笼内部连接加强钢丝及绑扎示意

7.3.5 网袋填料应符合下列规定：

1 填料粒径宜为 100mm~250mm，其中粒径为 120mm~200mm 宜超过 60%；

2 填料时应防止损坏镀层，石料间空隙可手工填充；石料填好后，应绞紧端口钢丝，形成网袋。

7.3.6 施工之前应在结构护面与回填料的界面上铺设土工织物，在顶部和底部织物均应超出边界不少于 300mm。

7.4 施工质量控制

7.4.1 施工质量控制应符合下列规定：

1 施工单位应建立健全完善的质量保证体系，建设、监理单位应建立相应的质量检查体系，分别承担工程质量的自检和抽检任务，实行全面质量管理。

2 工程质量检验人员所需资质条件以及工程质量检验的职责范围、工作程序、事故处理、数据处理等，均应符合水利水电工程施工质量评定规程或相关行业规范、规程的相关规定。

3 应保证检验成果、材料检验资料的真实性，不得伪造或任意舍弃成果和资料；质量检测记录应妥善保存，不得涂改或销毁。

4 生态格网结构防护工程施工质量控制应包括内在质量控制和外观质量控制，并应符合下列规定：

- 1) 应在每一道工序进行自检、抽检合格后，方可继续下道工序；质量检测部位应有代表性，且应在面上均匀分布，不得随意挑选；
- 2) 隐蔽工程应由项目法人组织设计、监理、施工等单位进行质量评定，并留存影像资料；
- 3) 生态格网所使用的材料应符合国家现行有关标准的规定；
- 4) 施工过程中应进行竖向位移的监测。

7.4.2 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙施工质量应符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙施工质量

检测项目	允许偏差	检测数量和方法
长度	±50mm	每 20m 测 1 点，尺量
宽度	±50mm	
高度	±50mm	
网孔尺寸 D	±5%	每 20m 测一组，每组连续量取 10 个网孔，尺量
网孔尺寸 X	±10%	
轴线位移	40mm	每 20m 测 1 点，全站仪
顶面高程	+30mm, 0	每 20m 测 1 点，水准仪
表面平整度	50mm	每 10m 测 1 点，靠尺
坡面坡度	±0.5%	每 20m 测 1 点，坡度尺
挡墙纵向顺直度	50mm/5m	钢尺、全站仪等，测曲线上上中下三点
填料和墙后填土	符合设计要求	

7.4.3 绿滨垫护坡施工质量应符合表 7.4.3 的规定。

表 7.4.3 绿滨垫护坡施工质量

检测项目	允许偏差	检测数量和方法
长度	$\pm 50\text{mm}$	每 20m 测 1 处, 量
宽度	$\pm 50\text{mm}$	
高度	$\pm 30\text{mm}$	
网孔尺寸 D	$\pm 5\%$	每 20m 测一组, 每组连续 10 个网孔, 量
网孔尺寸 X	$\pm 10\%$	
表面平整度	50mm	每 20m 测 1 点, 量
护坡顶部顺直度	50mm/5m	拉 5m 线, 不足 5m 拉通线, 量
坡面坡度	$\pm 0.5\%$	每 20m 测 1 点, 坡度尺
曲线段处理	符合设计要求	曲线上中下三点, 量、全站仪等
填料	符合设计要求	

7.4.4 生态格网网袋施工质量控制应符合下列规定:

- 1 用于堤脚防护的网袋应满足设计要求;
- 2 网袋和填料应在使用前进行检验, 经检验合格后方可使用;
- 3 抛投网袋应按设计的程序进行, 抛投过程中应采取相应的保护措施, 并应避免相互碰撞、摩擦等造成格网材料保护层的破损;
- 4 网袋在抛填过程中应进行复测, 形成的网袋抛体偏差应在规定允许的范围内。

8 质量检验

8.1 质量检验的内容、标准和方法

8.1.1 单元工程应按下列规定进行质量控制：

1 采用的原材料及成品应进行进场验收，凡涉及安全、功能的应进行复验，并应经监理工程师见证取样送样；

2 各工序均应进行质量控制，每道工序完成后应进行检查。

8.1.2 工程中使用的原材料和成品均应由供货单位提供产品合格证书和材料检测报告。

8.1.3 格网成品检验的组批和取样应符合下列规定：

1 格网成品进场检验时，应每 20000m^2 划分为一个检验批，不足 20000m^2 应视为一个检验批；每批取样数量应满足检验项目需要，格网钢丝的检测应在施工现场取 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 网片；

2 施工检验时，固滨笼挡土墙应每 2000m^3 划分为一个检验批，绿滨垫护坡应每 1000m^3 划分为一个检验批，抽检部位为成品的 6 个网面及隔板，每批取样数量应满足检验项目需要。

8.1.4 填料应每 $400\text{m}^3 \sim 500\text{m}^3$ 取一组试样检测。

8.1.5 生态格网材料和格网成品质量应符合本标准第 4 章的规定。

8.1.6 绿滨垫护坡质量检验应符合下列规定：

1 绿滨垫护坡工序质量检验应符合表 8.1.6-1 的规定。

表 8.1.6-1 绿滨垫护坡工序质量检验

检查项目	质量合格标准
材料和格网成品	符合本规程第 4 章的规定
绿滨垫组装	符合本规程第 7 章的规定
填料施工	符合设计和本规程第 7 章的规定
封盖	符合本规程第 7 章的规定

2 绿滨垫护坡施工质量检验应符合表 8.1.6-2 的规定。

表 8.1.6-2 绿滨垫护坡施工质量检验

检测项目	允许偏差	检测数量和方法
长度	±50mm	每 20m 测 1 处，量
宽度	±50mm	
高度	±30mm	
网孔尺寸 D	±5%	每 20m 测一组，每组连续 10 个网孔，量
网孔尺寸 X	±10%	
表面平整度	50mm	每 20m 测 1 点，量
护坡顶部顺直度	50mm/5m	拉 5m 线，不足 5m 拉通线，量
坡面坡度	±0.5%	每 20m 测 1 点，坡度尺
曲线段处理	符合设计要求	曲线上中下三点，量、全站仪等
填料	符合设计要求	

8.1.7 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙的质量检验应符合下列规定：

1 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙组装工序质量检验应符合表 8.1.7-1 的规定。

表 8.1.7-1 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙组装工序质量检验

检查项目	质量合格检验
材料和格网成品	符合本规程第 4 章的规定
绿滨垫组装	符合本规程第 7 章的规定
加强钢丝及绑扎	符合本规程第 7 章的规定

续表 8.1.7-1

检查项目	质量合格检验
填料和墙后填土施工	符合设计和本规程第 7 章的规定
加筋固滨笼加筋长度	符合本规程第 7 章的规定
封盖	符合本规程第 7 章的规定

2 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙施工质量检验应符合表 8.1.7-2 的规定。

表 8.1.7-2 固滨笼和加筋固滨笼挡土墙施工质量检验

检测项目	允许偏差	检测数量和方法
长度	$\pm 50\text{mm}$	每 20m 测 1 点, 量尺
宽度	$\pm 50\text{mm}$	
高度	$\pm 50\text{mm}$	
网孔尺寸 D	$\pm 5\%$	每 20m 测一组, 每组连续量取 10 个网孔, 量尺
网孔尺寸 X	$\pm 10\%$	
轴线位移	40mm	每 20m 测 1 点, 全站仪
顶面高程	+30mm, 0	每 20m 测 1 点, 水准仪
表面平整度	50mm	每 10m 测 1 点, 靠尺
坡面坡度	$\pm 0.5\%$	每 20m 测 1 点, 坡度尺
挡墙纵向顺直度	50mm/5m	测曲线上上中下三点, 量尺、全站仪等
填料和墙后填土	符合设计要求	

8.1.8 网袋护脚的质量检验应符合下列规定:

1 网袋护脚工序质量检验应符合表 8.1.8-1 的规定;

表 8.1.8-1 网袋护脚工序质量检验

检查项目	质量要求
网袋组装工序	符合本规程第 7 章的规定

续表 8.1.8-1

检查项目	质量要求
网袋结构、质量、强度	符合本规程第 7 章的规定
抛投程序	符合本规程第 7 章的规定
抛投位置和数量	符合本规程第 7 章的规定

2 网袋护脚施工质量检验应符合表 8.1.8-2 的规定。

表 8.1.8-2 网袋护脚施工质量检验

检测项目	允许偏差	检测数量和方法
抗冲体体积	+10%，0	尺量
护脚坡面相应位置高程	±0.3m	每 20m 测 1 点，水准仪

8.2 工程质量评定

8.2.1 生态格网结构的质量评定应按单元工程进行，单元工程的划分应结合工程实际、结构特点、施工部署和施工合同要求进行，并应符合现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176 的有关规定。

8.2.2 单元工程质量应由施工单位自评、监理单位复核。监理工程师应核定质量等级并签字确认。

8.2.3 检验不合格的单元工程应进行返工整改，可按返工整改后的检验结论评定质量等级。

8.2.4 单元工程应按表 8.2.4 确定质量等级。

表 8.2.4 单元工程质量等级评定

等级	主要检查、检测项目	其他检查项目	其他检测项目
合格	全部符合	基本符合	70%符合
优良	全部符合	全部符合	90%符合

8.2.5 工程质量评定应进行记录，记录表可采用本规程附录 A 的格式。

附录 A 工程质量评定记录表

A.0.1 原材料和成品质量评定应按表 A.0.1 的格式进行记录。

表 A.0.1 原材料和成品质量评定记录表

单位工程名称			单位工程编号												
分部工程名称			分部工程编号												
单元工程名称			单元工程编号												
序号	检查项目	质量标准		检验结果		评定									
1	△力学性能	符合规范规定													
2	△镀层化学成分专项检验	符合设计及相关规范规定													
3	填充料	符合标准，无风化石													
4	△观感质量	格网表面平直、无损伤													
序号	检测项目	允许偏差	设计值	实测值										合格率	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	笼长度	±50mm													
2	笼宽度	±50mm													
3	笼高度	固滨笼±50mm 绿滨垫±30mm													
4	网孔 D	±5%													
5	网孔 X	±10%													
6	钢丝直径不大于 2.7mm	±0.06mm													
7	钢丝直径 3.0mm	±0.07mm													
8	填充料粒径	中值粒径													

续表 A.0.1

检验结果	项目	检验数	合格数	合格率 (%)	评定
	主控项目				
	一般项目				
施工单位自评意见及质量等级			监理(建设)单位复评意见及质量等级		
年 月 日			年 月 日		
检测员		专职质检员		监理工程师	

注：标有“△”的为自控项目。

A.0.2 施工质量评定应按表 A.0.2 的格式进行记录。

表 A.0.2 施工质量评定记录表

单位工程名称				单位工程编号										
分部工程名称				分部工程编号										
单元工程名称				单元工程编号										
序号	检查项目	质量标准		检验结果				评定						
1	相邻网片面	每平方米绑扎两道，双股并绞紧												
2	四角	各绑扎一道，双股并绞紧												
3	相交框线	每 200mm~250mm 绑扎一道，双股并绞紧												
4	固滨笼拉筋	外露面向高度方向每隔 250mm~350mm 设一道拉筋												
序号	检测项目	允许偏差	设计值	实测值										合格率
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	轴线位移	±50mm												
2	表面平整度	±50mm												

续表 A.0.2

序号	检测项目	允许偏差	设计值	实测值										合格率
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	顶面高程	+30mm, 0												
4	垂直度	±5%												
5	挡墙/护坡 顶部顺直度	50mm/5m												
6	△加筋长度	符合设计值要求												
7	加筋土压实 度	符合设计要求												
8	填料	符合要求												
检验结果		项目	检验数	合格数			合格率 (%)			评定				
		主控项目												
		一般项目												
施工单位自评意见及质量等级				监理(建设)单位复评意见及质量等级										
年 月 日				年 月 日										
检测员			专职质检员				监理工程师							

注：标有“△”的为主控项目。

A.0.3 网袋施工质量评定应按表 A.0.3 的格式进行记录。

表 A.0.3 网袋施工质量评定记录表

单位工程名称		单位工程编号		
分部工程名称		分部工程编号		
单元工程名称		单元工程编号		
序号	检查项目	质量标准	检验结果	评定
1	△材料观感	网袋表面平直、无损伤		
2	网袋组装工 序	符合设计及规范规定		

续表 A.0.3

序号	检查项目	质量标准		检验结果										评定
3	△网袋结构、质量、强度	符合设计要求												
4	抛投程序	符合设计及规范规定												
5	抛投位置和数量	按单元内各网格位置和数量抛投												
序号	检测项目	允许偏差	设计值	实测值										合格率
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	抗冲体体积	+10%，0												
2	护脚坡面相应位置高程	+30mm，0												
检验结果		项目	检验数	合格数						合格率(%)		评定		
		主控项目												
		一般项目												
施工单位自评意见及质量等级				监理(建设)单位复评意见及质量等级										
年 月 日				年 月 日										
检测员			专职质检员							监理工程师				

注：标有“△”的为自控项目。

用 词 说 明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

- 《防洪标准》GB 50201
- 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 《堤防工程设计规范》GB 50286
- 《河道整治设计规范》GB 50707
- 《城市防洪工程设计规范》GB/T 50805
- 《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1
- 《优质碳素结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 711
- 《钢产品镀锌层质量试验方法》GB/T 1839
- 《锌及锌合金化学分析方法 铅、镉、铁、铜、锡、铝、砷、锑、镁、镧、铈量的测定 电感耦合等离子体—发射光谱法》GB/T 12689.12
- 《塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分：荧光紫外灯》GB/T 16422.3
- 《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》GB/T 17639
- 《制丝用非合金钢盘条 第2部分：一般用途盘条》GB/T 24242.2
- 《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176
- 《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252
- 《水闸设计规范》SL/T 265
- 《碾压式土石坝设计规范》SL 274

《水工挡土墙设计规范》SL 379

《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL/T 654

《工程机编钢丝网用锌-5%铝-镁合金镀层钢丝》YB/T 4749

中国工程建设标准化协会标准

生态格网结构技术规程

T/CECS 353 - 2024

条 文 说 明

修 订 说 明

本规程是在《生态格网结构技术规程》CECS 353:2013 的基础上修订而成。

本规程修订过程中，编制组进行了各类生态格网结构工程案例的调查研究，总结了我国生态格网结构工程建设的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，对规程的具体技术内容进行了完善。

本次修订主要技术内容为：

- 1 修改了术语的表达；
- 2 修改了对材料的要求；
- 3 增加了对格网成品的技术要求；
- 4 完善了钢丝和成品的检验方法；
- 5 对引用标准进行了增减等。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《生态格网结构技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款的规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	(45)
2	术语和符号	(47)
2.1	术语	(47)
4	材料和格网成品	(48)
4.1	材料	(48)
4.2	格网成品	(49)
5	生态格网结构挡土墙设计	(54)
5.1	一般规定	(54)
5.2	固滨笼挡土墙土压力计算和整体稳定性验算	(54)
5.5	挡土墙地基承载力验算	(54)
6	生态格网绿滨垫护坡设计	(55)
6.1	一般规定	(55)
6.2	绿滨垫厚度及填料计算	(55)
6.3	护坡稳定性验算	(56)
7	生态格网施工	(58)
7.2	生态格网的组装施工	(58)
7.3	填料施工	(58)

1 总 则

1.0.1 制定本规程的目的首先是要保证生态格网结构设计、制造及施工的安全可靠，同时兼顾经济合理。

本规程的制定主要从以下方面考虑：

生态格网结构是在格网组装成的箱体内填充符合要求的块体材料而成的柔性结构，起源于古代竹笼、羊圈结构，主要用于护岸或挡土设施，其特点是保证护坡具有安全性和耐久性的同时兼顾工程的环境效应和生态效应，以达到一种土体和生物相互涵养，适合生物生长的仿自然状态。生态格网结构具有以下功能：安全性。生态格网结构是一种整体、透水性结构，不仅具有柔韧性、适应基础变形，而且能抗风浪、抗冲刷，可有效固坡和护坡；生态性。生态格网结构具有高空隙率和高透水性，土体、水体和生物相互涵养，不影响原有生物的栖息环境，施工完成后能被本土生物接受。

生态格网结构在国际上应用于水利、市政等行业已有近百年的历史，已经积累了一些成熟的经验，在大量应用的基础上，美国材料与试验协会、欧洲标准委员会相继编制了相关标准，对生态格网结构的材料进行了规范。我国于 20 世纪 90 年代研究和开发应用此技术，经过近 20 年的实践，积累了一些成功经验，但也暴露出产品生产制造混乱、产品使用年限达不到相关标准的要求、设计依据不足、施工不够规范等问题。为使生态格网结构在水利、交通、市政、园林、航道等各行业规范使用，制定了本技术规程。

多年来混凝土结构和浆砌石结构主要用于水利、公路、铁路边坡防护等方面，这种刚性结构有对地基承载力要求高、抗震性

能差、使用材料不能重复利用等缺点，工程项目对水泥需求大，而水泥生产能耗大污染大，使生态环境恶化，在目前强调可持续发展节能减排的形势下，用生态格网结构取代已有的混凝土结构和浆砌石结构是一个好的选择，但要保证好的工程效果，需要从产品的生产制造、设计、施工到质量评定实施全过程的控制，从目前全国出现的问题看，市场不够规范，不能有效地控制项目实施的各个环节，不利于生态格网结构应用领域的健康发展，工程的安全性得不到有效保障，如果出现质量事故将会造成国家投资的浪费。为了有效发挥生态格网结构的经济效益、社会效益和生态效益，编制本规程是非常必要的。

固滨笼和加筋固滨笼适用于挡土墙、河道护岸和护脚等；绿滨垫适用于河岸和石坝上、下游的护坡；网袋适用于河流的防汛抢险、临时围堰、消能防冲设施和护脚。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.3 用于绑扎生态格网结构各网片间和相邻结构体间的扎丝在一定情况下也可用扣环代替。扣环是由锌-5%铝-镁合金镀层钢丝制成的环形金属连接构件。

4 材料和格网成品

4.1 材 料

4.1.1 钢丝的钢基应为低碳钢丝，为增强钢丝的防腐性和耐久性，保证生态格网产品的使用年限符合现行行业标准《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL 654 的规定，达到或超过 30 年或 50 年的要求。钢丝的表面镀层采用锌-5% 铝-镁合金镀层，并涂覆环保无机涂层保护膜。由这种钢丝制成的生态格网网片的耐腐蚀性能可以达到或超过上述使用年限。生态格网的材料严禁使用包覆塑料的钢丝。

塑料的耐候性差，不适用于永久性工程。塑料制品因受到阳光照射、温度变化、风吹雨淋等外界条件的影响，会出现褪色、变色、龟裂、粉化和强度下降等一系列老化现象。其中紫外线照射是促使塑料老化的关键因素。光照、高温和潮湿是造成塑料涂层失光、褪色、黄变、粉化的主要原因。

包覆在钢丝上的塑料没有办法检测其物理化学性能，因为只有塑料粒子制作成哑铃状的试件后才能检测，所以包覆在生态格网成品网钢丝上的塑料无法辨别质量好坏。塑料的原材料有再生料和原料之分，价格天壤之别，但是肉眼无法分辨。由于包覆了一层塑料，生态格网制造过程中容易偷工减料，偷梁换柱，包覆在塑料里面的钢丝质量无法保证，质量难控制。塑料一般都不阻燃，遇火容易被焚烧，工程损毁的概率大。塑料中的添加剂容易对水体产生污染，不环保。包覆塑料的钢丝加工性差，塑料受到机器的挤压容易变形破裂，起不到防腐的作用。

在水利工程的实际应用中，由于各地每年都有洪水期和枯水期，加上有些河流水质差，环境污染程度不确定性多，钢丝的使

用环境复杂，所以普通钢丝的使用寿命低。环保无机涂层是一种以无机材料为主要胶粘剂的涂料，由无机聚合物和经过分散活化的硅钛等金属、金属氧化物纳米材料、稀土超微粉体等组成，其致密性高、耐候性强、阻燃性好、防腐性能强。通过加速腐蚀测试验证，涂覆有环保无机涂层保护膜 的 锌-5%铝-镁合金镀层的钢丝抗腐蚀性能，是纯锌镀层的钢丝的 10 倍~20 倍，是 锌-5%铝合金镀层钢丝的 5 倍~8 倍。采用涂覆有环保无机涂层保护膜的 锌-5%铝-镁合金镀层钢丝作为生态格网结构的材料能符合永久工程的合理使用年限。

4.1.2 生态格网结构的填充材料可选用具有净化水质的材料，也可选用其他具有生态效果的材料。选择采用多种材料作为填充材料时，不得影响结构体的安全。

生态格网结构抗冲流速取决于石料的粒径控制，并非厚度。因此，对石料粒径的要求是 $1.5D\sim2.0D$ ，设计时要了解当地材料的粒径情况。网箱填充石料的整体重度宜在 $15\text{kN/m}^3\sim20\text{kN/m}^3$ 。表 1 为常用石料的重度。

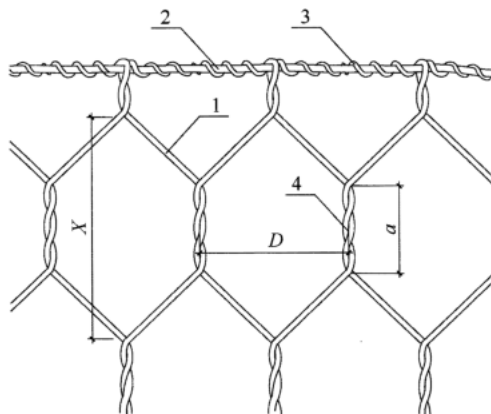
表 1 常用石料的重度

石料	重度 γ_s (kN/m^3)
玄武岩	29.6
花岗岩	26.5
紫石灰石	26.5
砂岩	23.4

4.2 格网成品

4.2.1 生态格网的成品是网片，网片是用网丝（钢丝）制作的网状结构（图 1），网片的网孔为六角形孔，网孔尺寸表示为两个双绞合轴线之间的距离 D 乘以对角之间的距离 X ，分为

100mm×120mm（固滨笼）、60mm×80mm 和 80mm×100mm（绿滨垫）三种规格。网孔中 D 值和 X 值的允许偏差分别应为 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ 。



1—网丝；2—边丝；3—机械收边；4—网丝机械绞合；
a—绞合长度

图 1 网片示意图

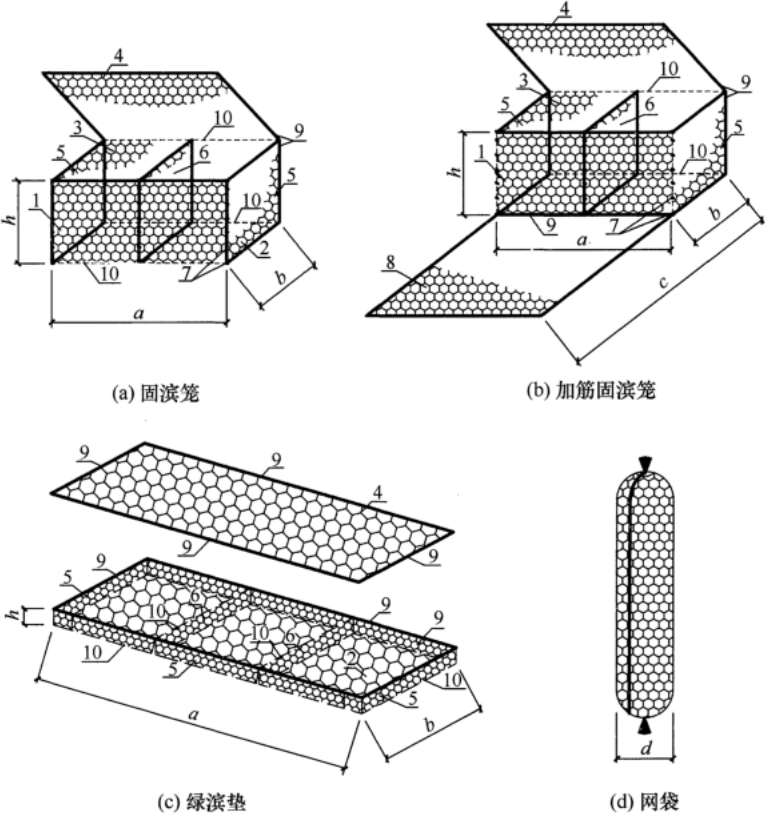
由网片组装的固滨笼、加筋固滨笼、绿滨垫和网袋（图 2）的箱体如下：

固滨笼的前端板、底板、后端板和盖板为整体网片折叠而成，边板和隔板通过扎丝与其绑扎成箱体（图 a）；加筋固滨笼的筋片、后端板和盖板为整体网片折叠而成，前端板、边板和隔板通过扎丝与其绑扎成箱体（图 b）；绿滨垫底板、盖板、边板和隔板通过扎丝绑扎成箱体（图 c）；网袋由整片网片卷成圆柱状（图 d）。

固滨笼和加筋固滨笼规格可参考表 2，绿滨垫规格可参考表 3。

由于过载绞合会损害钢丝物理性能，使钢丝的抗拉强度和延

伸率受到严重损伤，过载绞合部分的金属防腐层被破坏，从而降低产品的使用寿命，所以格网的绞合方式应为双绞合，严禁使用五绞合的绞合方式。



1—前端板；2—底板；3—后端板；4—盖板；5—边板；6—隔板；7—扎丝；
8—筋片；9—边丝（图中加粗实线）；10—连续网片折痕（图中虚线）；
 a —箱体长度； b —箱体宽度； h —箱体高度； c —筋片长度， d —网袋直径

图2 格网箱体组装示意

表 2 固滨笼和加筋固滨笼规格

格网	格网箱体尺寸			隔片 数量	展开 面积 (m ²)	箱体 体积 (m ³)	加筋筋 片长度 <i>c</i> (m)	网孔	
	长 <i>a</i> (m)	宽 <i>b</i> (m)	高 <i>h</i> (m)					<i>D</i> (mm)	<i>X</i> (mm)
固 滨 笼	1.5	1.0	0.5	0	5.50	0.75	—	100	120
	1.5	1.0	1.0	0	8.00	1.50	—		
	2.0	1.0	0.5	1	7.50	1.00	—		
	2.0	1.0	1.0	1	11.0	2.00	—		
	3.0	1.0	0.5	2	11.0	1.50	—		
	3.0	1.0	1.0	2	16.0	3.00	—		
	4.0	1.0	0.5	3	14.5	2.00	—		
	4.0	1.0	1.0	3	21.0	4.00	—		
	5.0	1.0	0.5	4	18.0	2.50	—		
	5.0	1.0	1.0	4	26.0	5.00	—		
加 筋 固 滨 笼	2.0	1.0	0.5	1	11.5	1	3.0		
	2.0	1.0	0.5	1	13.5	1	4.0		
	2.0	1.0	0.5	1	15.5	1	5.0		
	2.0	1.0	0.5	1	17.5	1	6.0		
	2.0	1.0	0.5	1	19.5	1	7.0		
	2.0	1.0	1.0	1	15	2	3.0		
	2.0	1.0	1.0	1	17	2	4.0		
	2.0	1.0	1.0	1	19	2	5.0		
	2.0	1.0	1.0	1	21	2	6.0		
	2.0	1.0	1.0	1	23	2	7.0		

表 3 绿滨垫规格

格网箱体尺寸			隔片数量	展开面积 (m^2)	箱体体积 (m^3)	网孔
长 a (m)	宽 b (m)	高 h (m)				D (mm) $\times$ X (mm)
3.0	2.0	0.2	2	16.08	1.2	60 $\times$ 80 或 80 $\times$ 100
4.0	2.0	0.2	3	21.44	1.6	
5.0	2.0	0.2	4	26.80	2.0	
6.0	2.0	0.2	5	32.16	2.4	
3.0	2.0	0.3	2	18.48	1.8	
4.0	2.0	0.3	3	24.64	2.4	
5.0	2.0	0.3	4	30.80	3.0	
6.0	2.0	0.3	5	36.96	3.6	

5 生态格网结构挡土墙设计

5.1 一般规定

5.1.3 生态格网结构挡土墙属于新型结构形式，2级~4级的挡土墙应按提高一级设计，但洪水标准不提高。生态格网固滨笼挡土墙为重力式挡土墙的一种，其承受的荷载与重力式挡土墙相同，可不考虑墙前后水位差引起的墙后剩余水压力和墙前渗透压力。

5.1.6 当固滨笼挡土墙基础位于水面以下时，可根据水深及水下地形地质情况，采用抛石或网袋做基础平台，在基础平台上进行生态格网结构的施工。

5.1.8 生态格网加筋固滨笼挡土墙应考虑整体稳定性和内部稳定性，筋片长度应超出填土滑动范围。

5.2 固滨笼挡土墙土压力计算和整体稳定性验算

5.2.1、5.2.2 由于生态格网结构具有透水性，无需考虑墙前后不同水位水压力作用。

5.2.3 通过将回填土产生的推力与基础产生的摩擦力及黏聚力比较，校核挡土墙的抗滑移能力。

5.5 挡土墙地基承载力验算

5.5.2 基底反力不宜出现应力为0的区域，所以对偏心距 e_0 的大小有要求，偏心过大对稳定性也不利，一般要求 e_0 在底板中间的1/3范围内。

6 生态格网绿滨垫护坡设计

6.1 一般规定

6.1.1、6.1.2 绿滨垫适用于堤岸防护、河床防护和填土边坡防护。当绿滨垫需要具有不透水特性或为了保护来往船只及防止波浪对绿滨垫的冲击时，可在绿滨垫表面灌注热沥青胶。当坡度大于 1 : 1.5 或者预期冲刷较严重的坡脚，应联合使用趾墙及护坦，底层铺设绿滨垫并向河道中延伸，延伸范围应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的规定，绿滨垫护坡的厚度也可根据需要而变化。对预期冲刷较小的坡脚，应使用固滨笼趾墙代替护坦，支撑护坡防止破坏。

河岸防护的纵向范围取决于现场条件。通常，由于水流冲击造成河岸材料移位，则护岸应超过这一部分的长度。对于已出现侵蚀的河流，应由场地勘测确定纵向防护长度：对于顺直河段，纵向防护长度为现有侵蚀位置各向上、下游延伸 1 倍河宽，对于弯曲河段，纵向防护长度为现有侵蚀位置向上游延伸 1 倍河宽，向下游延伸长度则需要视弯曲河段的水流流态而定。

6.1.3 在承受高速水流、泥石流、冰流等情况下，横隔片间距宜减小到 0.6m，防止绿滨垫中填料的移动。

6.1.5 护坡设计高度等于设计高潮位加超高。超高包括波浪爬高、风壅增水高度及安全加高（考虑河流冲淤变化、主流位置改变、堤顶磨损和风雨侵蚀等）。

6.2 绿滨垫厚度及填料计算

6.2.2、6.2.3 合理确定填料尺寸。绿滨垫中的填料不应出现移位，否则将会引起绿滨垫变形，造成水流阻力改变及钢丝破坏。

设计时对绿滨垫（固滨笼）厚度及填料级配进行选择可按表 4 执行，表中临界流速是指绿滨垫（固滨笼）中的填料不产生移动的流速，极限流速是指虽然填料移动导致绿滨垫（固滨笼）变形，但流速仍在可接受的范围内。

表 4 不同尺寸与填料下的临界流速与极限流速

形式	厚度 (mm)	填料级配 (mm)	D_m (mm)	临界流速 (m/s)	极限流速 (m/s)
绿滨垫	170	75~100	85	3.5	4.2
		75~150	110	4.2	4.5
	230	75~100	85	3.6	5.5
		75~150	120	4.5	6.1
		75~125	100	4.2	5.5
	300	100~150	125	5.0	6.4
固滨笼	500	100~200	150	5.8	7.6
		120~250	190	6.4	8.0

填料稳定系数取 0.1，适用于填料有棱角、最大粒径与最小粒径比在 1.5~2.0 之间的情况。

6.3 护坡稳定性验算

6.3.1、6.3.2 美国科罗拉多州立大学的模型试验表明，绿滨垫防护系数 C 约为 0.10，而抛石防护系数 C 约为 0.047，前者是后者的 2 倍。也就是说在相同的水力条件下，绿滨垫中填料平均直径仅需抛石块直径的 1/2。水流冲刷对固滨笼、绿滨垫中的填料施加剪力，若填料不发生移动，则认为结构具备抗冲刷稳定的能力。当填料开始出现移动，则认为达到冲刷稳定的极限。

6.3.3 校核绿滨垫下的土壤对穿过绿滨垫水流冲刷的抵抗力能否满足要求，能否保证河床材料不出现永久损坏。穿过绿滨垫到达土壤的水流流速是决定稳定性的关键因素之一。织物滤层后水

流流速（亦即水流穿过绿滨垫和织物后的流速）会降至绿滨垫-滤层界面的 $1/4 \sim 1/2$ ，需在绿滨垫底下的土表面布置砾石滤层，降低水流流速，直至 V_f 达到允许值；若 V_f 仍旧很高，应降低砾石尺寸。

7 生态格网施工

7.2 生态格网的组装施工

7.2.1 生态格网固滨笼组装：拉直边网片、端网片和隔片，组装时确保所有折缝位置正确，固滨笼组应按设计图示位置依次安置，并按设计要求定位，定位时应挂线调整平整度。间隔网与网身应成 90° 相交，经绑扎形成长方体或正方体固滨笼（图 3）。

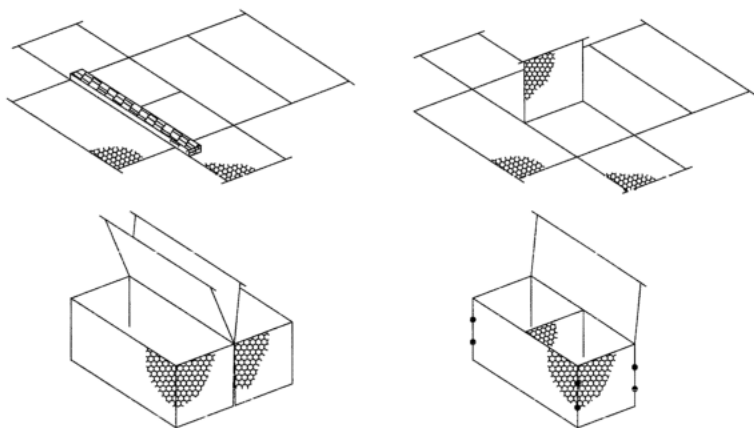


图 3 固滨笼组装示意

7.3 填料施工

7.3.2 固滨笼可按图 4 进行填料。

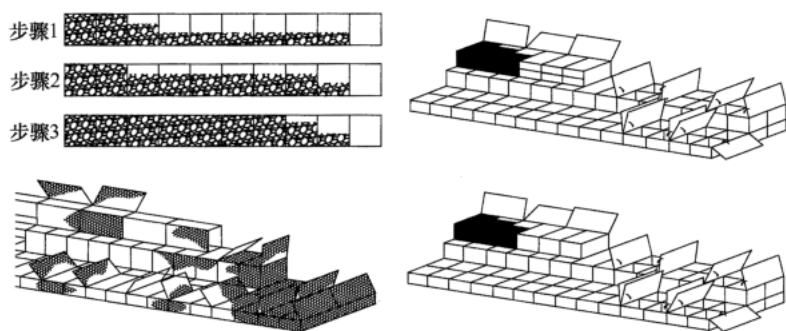


图 4 固滨笼组合体填料示意