ICS 93.160
CCS P 57

T/CS

团 体 标 准

T/CS 202—2025

水利工程柔性生态边坡结构设计规范

Specification for digital design of flexible ecological slope structure in water conservancy engineering

2025－09－30 发布 2025－09－30 实施

中国商品学会 发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　设计原则 1
5　选型 2
6　运用条件 3
7　设计 3
8　安全监测设计 7

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。

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。

本文件由山东黄河勘测设计研究院有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：山东黄河勘测设计研究院有限公司、济南黄河河务局长清黄河河务局、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司、衡水市水利勘察设计院有限责任公司。

本文件主要起草人：白露、于明英、刘慧如、韩雪岩、高宁、王发力、丰焕平、王泽、刘璐、马春雷、任云楚、田铮、闫召富、王杰、张天福、李艺海、晏帅豪、刘昊男、吕正科、孙秋叶、王小慧。

水利工程柔性生态边坡结构设计规范

1 范围

本文件规定了水利工程柔性生态边坡结构设计的设计原则、选型、运用条件、设计和安全监测设计。

本文件适用于水利工程柔性生态边坡结构的设计。

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 15788 土工合成材料 宽条拉伸试验方法

GB/T 17639 土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布

SL 386 水利水电工程边坡设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性生态边坡结构 flexible ecological slope structure

利用植被根系与坡体相结合的方法加固岸坡，随着时间日趋发达的植被根系使边坡结构的稳定性加强，与自然环境相协调，具有生命的生态结构。

3.2

三维土工网 three-dimensional geonet

呈现出三维结构的网状形态，由连续的纤维或丝线交织而成的土工合成材料。

3.3

土工网垫 geonet mat

用于固土、水土保持和坡面防护等工程的以聚丙烯等聚合物为基本原料一次成型的三维结构网状材料。

3.4

土工格室 geocell

由高强度的高密度聚乙烯或聚丙烯共聚料宽带，经过强力焊接或铆接而形成的网状格室结构。

4 设计原则

4.1 柔性生态边坡结构应根据气象、水文、地形、地质条件并考虑工程总体布置和建筑物运用对边坡结构的要求等进行设计，应重视施工期地质和安全监测的反馈资料分析，结合实际情况的变化修正设计。

4.2 柔性生态边坡结构主要适用于河湖边坡、堤坝边坡以及建筑物的边坡等工程，其工程级别应按照被保护对象的级别进行划分。

4.3 柔性生态边坡结构应综合考虑边坡对周边设施安全和正常运用的影响程度、对人身和财产安全的影响程度、边坡失事后的损失大小、规模、社会和环境等因素。

4.4 对于边坡较长的同一防护断面，可采用一种或多种防护结构型式。宜按不同高程段或不同坡度段上的独立结构型式分别确定防护工程级别。

4.5 柔性生态边坡结构设计时应采用下列极限状态：

a) 承载能力极限状态：

1) 超过防护材料强度而破坏，或变形过大不适宜继续承受荷载，或出现压屈、局部失稳；

2) 结构及被保护土体的整体滑动；

3) 结构整体或局部滑移；

4) 对锚拉或土钉墙结构，锚杆或土钉因土体丧失锚固能力而拔动；

5) 地下水渗流引起的土体渗流破坏。

b) 正常使用极限状态：

1) 超过正常使用的结构位移，或因结构位移造成周边结构破坏；

2) 周边构（建）筑物结构破坏导致柔性生态边坡结构本身变形过大，影响柔性生态边坡结构的正常使用；

3) 因地下水渗流、地下水位骤降造成土体破坏或土体变形影响柔性生态边坡结构正常使用。

4.6 柔性生态边坡结构设计计算或验算应采用下列设计表达式：

a) 承载能力极限状态：

1) 柔性生态边坡结构因超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态，应符合公式（1）的规定；

$$r_0 \times S_d \leq R_d \cdots\cdots (1)$$

式中：

r_0——支挡（护）结构重要性系数，根据其危害程度可按1.25、1.15、1.0选取；

S_d——作用基本组合的效应（轴力、弯矩）设计值，作用基本组合的综合分项系数不应小于1.35；

R_d——结构构件的抗力设计值。

2) 结构倾覆、位（滑）移、土的渗透变形等稳定性计算和验算，应符合公式（2）的规定。

$$\frac{R_k}{S_k} \geq K \cdots\cdots (2)$$

式中：

R_k——抗力标准值；

S_k——作用标准值的效应；

K——稳定性安全系数。

b) 正常使用极限状态：结构位移、地面沉降等正常使用极限状态设计，应符合公式（3）的规定。

$$S_d \leq C \cdots\cdots (3)$$

式中：

C——柔性生态边坡结构的位移、周边建（构）筑物和地面沉降的限值。

5 选型

5.1 柔性生态边坡结构选型时，应考虑下列因素：

a） 河湖水位、水深及其变幅范围对结构和生态植物生长的影响；
b） 被保护土体的物理力学性质、植物生长环境对土体的要求及其地下水条件；
c） 防护主体结构形式、构造、高度等尺寸要求；
d） 防护结构承载能力及其结构一旦失效失事可能产生的后果；
e） 防护结构施工工艺的可行性；
f） 施工条件、施工季节、植物种植及其养护要求；
g） 经济指标、节能环保性能和施工工期。

5.2 常用柔性生态边坡结构型式及适用条件见表1。

表1 柔性生态边坡结构型式及适用条件

结构型式	适用条件
植物种植防护	适用于无潜在深层滑裂面，边坡整体上处于稳定状态，但岸坡表面常受雨水冲蚀或水流冲刷较小的坡面
三维土工网植草防护	
土工网垫植草防护	
土工格室防护	

5.3 防护结构应根据被保护土体的物理力学性质、水位变化幅度和周边环境，可在不同部位分别采取不同的防护结构型式。

5.4 不同防护结构型式的结合处，应考虑相邻结构的相互影响，其过渡段应有可靠的衔接措施。

6 运用条件

6.1 防护结构的运用条件根据其工作状况、作用力出现的概率和持续时间的长短，分为正常运用条件、非常运用条件和特殊运用条件三种。

6.2 正常运用条件为临水边坡正常的高水位与最低水位之间的各种水位及其经常性的降落。

6.3 非常运用条件应包括以下工况：
a） 施工期；
b） 临水边坡的水位骤降；
c） 由于降雨、泄水和其他原因引起的边坡土体饱和及相应的地下水位变化；
d） 正常运用条件下，边坡排水设施失效。

6.4 特殊运用条件应为正常运用条件下遭遇地震时的水位变化。

6.5 柔性生态边坡结构设计应考虑下列因素：
a） 雨水冲刷、波浪淘刷作用；
b） 冻胀、干裂作用；
c） 漂浮物和冰层的撞击和挤压作用；
d） 坡面风化作用；
e） 防护结构的透水透气效果及其保护土体的渗流稳定；
f） 植生效果、环境效应。

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 土工合成材料应符合 GB/T 15788、GB/T 17639 等相关规定。

7.1.2 植物种植防护适用于深层稳定，但岸坡表面常遭受雨水冲蚀或水流冲刷较小的坡面上，植物在生长过程中通过根、茎、叶在地上和地下的空间分布实现其固土护坡的作用。

7.1.3 植物种植应按照生态学原理，在坡面建立当地植被先锋类群，通过自然演替，恢复岸坡植被和生物群落。

7.1.4 植物种植防护按植物类别可分为植草护坡、植灌护坡、藤本植物护坡以及乔木护坡等。应选择适合当地气候条件、土壤及水流条件，且抗逆性强、生长迅速、自繁能力强、适应粗放管理的植物。

7.1.5 迎水边坡按水位变化范围分为陆域、水位变化区和水域，应根据植物物种的水性特点，选择适宜的植物物种。

7.1.6 植物种植防护工程完成 180 d 后，植物成活率不低于 95%。

7.2 植物种植防护

7.2.1 植物种植防护设计前应进行环境调查，包括以下：

a) 气候、土壤、水文等自然环境及人文环境条件；
b) 乡土植物、种植经验及苗源等。

7.2.2 植物种植防护设计内容包括以下：

a) 草种、树种；
b) 种子、苗木、插条的数量、规格；
c) 植物种植方式方法；
d) 灌木树种与草本、藤本植物的配置方案（结构、密度、株行距、行带的走向等）；
e) 植物配置方案，应对灌、草或其组合的植物搭配，浅根与深根、根茎型与丛生型合理搭配，避免植物生存竞争；
f) 迎水坡不宜种植乔木。

7.2.3 灌木植物应具有以下功能：

a) 根系发达、茎秆低矮、分蘖性强；
b) 有效覆盖面积大、叶层低；
c) 根系抗拉、抗剪能力强，能延伸到土体深层；
d) 抗逆性强，如抗旱、抗寒、抗碱、抗贫瘠等；
e) 绿期长、景观效应强、价格低廉。

7.2.4 草本植物应具有以下功能：

a) 根系发达、须根多、分蘖性强；
b) 有效覆盖面积大、叶宽；
c) 抗逆性强、生长快、能迅速覆盖地表；
d) 根系固土能力强；
e) 耐践踏、绿期长、适于粗放管理等。

7.2.5 边坡水位变化区及水下植物防护应根据不同的水深选择适宜的植物物种，符合以下规定：

a) 常水位与设计洪水位之间应选择湿生植物，即根系常扎在潮湿的土壤中，短期内可忍耐被水淹没的植物，如玉簪、落新妇、木芙蓉等；
b) 常水位以下：
   1) 水深不大于 0.8 m 的区域采用挺水植物，即茎叶伸出水面，根和地下茎埋在水下泥土中的植物，如：芦苇、蒲草、菖蒲、荷花、水生美人蕉、灯芯草等；
   2) 水深大于 0.8 m 小于 2.0 m 区域采用浮叶植物，即根生长在水下泥土中，叶柄细长，叶片自然漂浮在水面上的植物，如：金银莲花、睡莲、满江红等；

3) 水深大于 2.0 m 区域采用沉水植物防护，即根系扎于水下泥土中，全株沉没于水面之下的植物，如苦草、金鱼藻等。

7.3 三维土工网植草防护

7.3.1 三维土工网采用高密度聚乙烯或其他高分子聚合物等主要原材料编织而成，似丝瓜网络样的三维网状结构，其质地疏松、柔韧，留有 90%的空间可填充土壤、砂砾和细石，植物根系可以穿过其间扎根于岸坡土层生长，实现其固土护坡的作用。

7.3.2 三维土工网设计应包括以下：

a) 三维土工网的网眼尺寸、单位重、厚度和纵、横向抗拉强度以及抗老化能力等技术指标的选择；

b) 三维土工网铺设、搭接、坡面固定和周边锚固方式方法；

c) 覆土土质及覆土方式方法；

d) 植物种植设计，按 7.2 的规定进行。

7.3.3 三维土工网设计计算内容包括稳定计算和强度计算，设计荷载应包括以下：

a) 三维土工网及覆土自重；

b) 雨滴击溅力；

c) 径流剪切力；

d) 坡面摩擦力；

e) 坡面支撑力；

f) 渗流力；

g) 锚固力；

h) 抗滑稳定。

7.3.4 三维土工网及覆土自重按照几何尺寸及材料重量计算确定。

7.3.5 雨滴击溅力按公式（4）计算。

$$Q = \frac{\rho PBL\cos^2(\alpha-\beta)V_d}{1000} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

Q——雨滴击溅力，单位为千牛（kN）；

ρ——水的密度，单位为千克每立方米（kg/m^3）；

P——降雨强度，单位为毫米每秒（mm/s）；

B——护坡长度，单位为米（m）；

L——坡面长度，单位为米（m）；

α——坡面与水平方向夹角，单位为度（°）；

β——降雨与垂直方向夹角，单位为度（°）；

V_d——雨滴落地速度，单位为米每秒（m/s），大雨、暴雨宜为9.0 m/s。

7.3.6 坡面水流对坡面产生的剪应力，坡面水流为明渠均匀流，坡面的水力半径等于坡面径流深。按公式（5）和公式（6）计算径流剪切力。

$$T = r_w BLh\sin\alpha \quad \cdots\cdots (2)$$

$$h = \left[\frac{nPL\cos(\alpha-\beta)}{1000i^{\frac{1}{2}}}\right]^{\frac{3}{5}} \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

T——径流剪切力，单位为千帕（kPa）；

r_w——水的容重，单位为千牛每立方米（kN/m³）；

h——径流深，单位为米（m）；

n——坡面糙率；

i——坡面坡度，单位为度（°）。

7.3.7 坡面支撑力按公式（7）计算。

$$N = (G_1 + G_2 + G_3)cos\alpha + Qcos(\alpha - \beta) \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

N——坡面支撑力，单位为千牛（kN）；

G_2——三维土工网垫自重，单位为千牛（kN）；

G_3——覆土重，单位为千牛（kN）。

7.3.8 坡面摩擦力按公式（8）计算。

$$F = \mu N \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

F——坡面摩擦力，单位为千牛（kN）；

μ——三维土工网与坡面的摩擦系数。

7.3.9 渗流力按公式（9）计算。

$$J_D = r_w iBLt \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

J_D——渗流力，单位为千牛（kN）；

t——三维土工网垫厚度，单位为米（m）。

7.3.10 锚固力按照网垫允许抗拉强度计算，见公式（10）。

$$F_N = f_t B \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

F_N——锚固力，单位为千牛（kN）；

f_t——网垫允许抗拉强度，单位为千牛每米（kN/m）。

7.3.11 三维土工网沿坡面的抗滑稳定按公式（11）计算。

$$K = \frac{F_N/K_j + F}{(G_1+G_2+G_3)sin\alpha + Qsin(\alpha-\beta) + T + J_D} \quad \cdots\cdots (8)$$

式中：

K——抗滑安全系数；

G_1——面径流水重，单位为千牛（kN）；

K_j——渗流力，单位为千牛（kN）。

7.4 土工网垫植草防护

7.4.1 土工网垫包括塑料土工网垫、镀锌钢丝网垫、过塑钢丝网垫、加筋网垫等，通常成单片状平铺于岸坡上。

7.4.2 土工网垫设计应包括以下：

a) 土工网垫的网眼尺寸、单位重、厚度（高度）和纵、横向抗拉以及抗老化性能等技术指标的选择；
b) 土工网垫铺设、搭接、坡面固定和周边锚固方式方法；
c) 有覆土要求的还应包括覆土土质、厚度及覆土方式方法；
d) 植物种植设计，按 7.2 的规定进行。

7.5 土工格室防护

7.5.1 土工格室防护利用活性植物并结合土工合成材料焊接形成的三维网状格室结构，其结构本身具有较大侧向限制变形能力。格室内种植植物在坡面上构建一个具有自身生长能力的防护系统，植物根系扎根于岸坡土层中，实现其固土护坡的作用。

7.5.2 一般土工格室高度的 2/3 嵌入坡土，1/3 露于坡面外，格室仓充填小砾石、种植土并结合植物种植，防止坡面遭受水流或雨水冲刷。

7.5.3 土工格室设计应包括：

a) 土工格室的尺寸、格室高度、片材厚度、材质、焊接要求、单位重以及纵、横向延伸和抗张拉强度等技术指标；
b) 格室膜片透水孔尺寸及要求，应满足格室间水汽沟通，植物均衡生长；
c) 土工格室铺设、坡面固定和周边锚固方式方法；
d) 格室内充填土土质、厚度及其充填方式方法；
e) 植物种植设计，按 7.2 的规定进行。

7.5.4 应根据下列不同的坡面坡度，选择不同规格或型号的格室：

a) 坡面坡度不大于 45° 时，宜选用 10 cm×25 cm×25 cm 格室；
b) 坡面坡度大于 45° 时，宜选用 15 cm×25 cm×25 cm 格室。

8 安全监测设计

8.1 防护结构应根据其级别、类型、高度、结构型式、地形和地质条件，以及与水工建筑物的关系，设置必要的安全监测项目和设施。

8.2 安全监测设计应符合下列要求：

a) 监视防护结构在施工期、运行期的工作状态和安全性状；
b) 指导施工、检验设计。

8.3 安全监测设计应遵循下列原则：

a) 稳定监测应以整体为主，兼顾局部稳定监测；
b) 监测项目应统筹安排、配合设置，应有针对性地设置监测项目，布设监测仪器和设施；
c) 监测断面的选择应有代表性，重要部位监测断面的主要项目宜采用两种以上监测手段；
d) 施工期和运行期的测点宜结合布置；
e) 测点布置应突出重点。

8.4 监测项目包括以下：

a) 坡顶的水平位移和垂直位移；
b) 坡脚冲刷、淤积变化情况以及基础土体的稳定等；
c) 地基冻胀情况；
d) 地表水和地下水水位及其与降雨的关系；
e) 护岸工程的变化情况；
f) 表面观测，包括裂缝、滑坡、坍塌、隆起、渗透变形及表面侵蚀破坏等；

g） 植物成活率、覆盖率、非引种植物干扰情况，不同型式植物与坡体结合情况。

8.5 安全监测设计除满足本文件规定外，还应按照 SL 386 的规定进行设计。