

ICS 13.020.01

CCS Z00

# 团 体 标 准

T/ACEF 231—2025

## 水力聚氨酯碎石生态护坡工程技术规范

Technical specifications for ecological slope protection engineering of hydraulic  
polyurethane aggregates mixture

2025-12-02 发布

2025-12-02 实施

中华环保联合会 发布





## 目 次

前 言 .....	i
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本规定 .....	2
5 材料 .....	2
6 设计 .....	3
7 施工 .....	5
8 质量检验 .....	7

## 前 言

本文件按照 GB/T1.1—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。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件起草单位：水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院、深圳市中泰基建设工程有限公司、南京水科院瑞迪科技集团有限公司、惠州市水力生态科技有限公司、民航中南机场设计研究院（广州）有限公司、武汉长科设计有限公司、珠海市规划设计研究院、东甲林集团有限公司、中国石油规划总院、中国环境科学研究院、黄河勘测规划设计研究院有限公司、惠州大亚湾环境水务集团有限公司、晋江市围头湾开发建设有限公司、罗源县城建设发展集团有限公司、河海大学、南京市水利规划设计院股份有限公司、南京市栖霞区水务局、中交第四航务工程勘察设计院有限公司、深圳市大铲湾海洋科技有限公司、厦门市政集团有限公司、江苏省淮河入海水道二期枢纽工程建设局、重庆大学、中国市政工程中南设计研究总院有限公司、瑟纳化工新材料有限公司。

本文件主要起草人：黄志庚、李景林、焦志斌、杨杰、黄汉雄、胡丽香、李冰、黄楚康、刘涛、鲁勇、张述涛、马志恒、李俊标、郑雷明、赵亮、王玉峰、彭君、余成武、龚泉、周子骏、魏潇淑、沈雨生、陈煜、邓晨光、张建、刘诗坤、肖剑、王浩、牟永春、陈晨、郝晓东、张晓芳、王岩峻、高树林、曹平伟、张方方、赵才全、丁选明、陈武、陈洪喜、黄世杰、肖佳俊、黄少欣、鲁冠涛、吴泽熠、林佑高、杨克勤、王烽、李荣玉、陈清艺、翟作卫、陈新荣、孙增强、李豆豆、罗春辉。



# 水力聚氨酯碎石生态护坡工程技术规范

## 1 范围

本文件规定了水力聚氨酯碎石生态护坡工程的材料、设计、施工、生态、质量验收方面的技术要求。

本文件适用于水利工程、海洋工程、交通工程、核电工程、市政工程等岸坡和边坡的生态防护。

## 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 19250 聚氨酯防水涂料

GB 50286 堤防工程设计规范

GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范

SL191 水工混凝土结构设计规范

SL/T 352 水工混凝土试验规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**水力聚氨酯胶粘剂** hydraulic polyurethane adhesive

由 A 组分植物系多元醇和 B 组分异氰酸酯按一定比例混合反应后形成的强力胶粘剂，胶粘剂分子链中含有氨基甲酸酯基团（ $-\text{NHCOO}-$ ），具有环保、强度高、抗冻融、耐久性好等特征。

### 3.2

**集料** aggregate

与水力聚氨酯胶粘剂拌和形成的混合料中起骨架作用的碎石或卵石。

### 3.3

**水力聚氨酯碎石结构** hydraulic polyurethane aggregate structure

由水力聚氨酯胶粘剂和集料拌和凝结形成的结构层。

## 4 基本规定

- 4.1 水力聚氨酯碎石生态护坡结构应满足强度、稳定性、耐久性、环保等相关要求。
- 4.2 水力聚氨酯碎石生态护坡应综合考虑边坡工程地质与水文地质条件、场地与环境要求、施工条件等因素，并结合工程经验，因地制宜进行设计和施工。
- 4.3 水力聚氨酯碎石生态护坡应设置在稳定的边坡上，并满足生态护坡工程的整体稳定。
- 4.4 水力聚氨酯碎石生态护坡工程应严格执行防洪、防潮相关标准与要求，护坡工程抗滑稳定安全系数应符合 GB 50286 相关规定。
- 4.5 单级边坡高度不宜大于 4 m，高度大于 4 m 时坡面宜设置构造措施。
- 4.6 水力聚氨酯碎石生态护坡不应用于波高大于 5 m，或水流流速大于 8 m/s 工况。
- 4.7 水力聚氨酯碎石生态护坡植物宜根据工程需要选择人工种植或自然恢复。

## 5 材料

- 5.1 水力聚氨酯胶粘剂 A 组分植物系多元醇和 B 组分异氰酸酯质量比宜为 100:65。各组分应按要求存储，密封处理。
- 5.2 水力聚氨酯胶粘剂的主要性能指标应符合表 1 的相关规定。

表 1 水力聚氨酯胶粘剂主要性能指标

项目	计量单位	性能指标
凝胶时间	min	30±10
有机物含量（质量占比）	%	≥90
拉伸强度	MPa	≥16
紫外老化拉伸强度	MPa	≥12
紫外老化断裂延伸率	%	≥10

- 5.3 水力聚氨酯胶粘剂应满足相关环保性要求。材料环保性除应符合 GB/T 19250 的相关规定外，尚应符合表 2 的相关规定。

表 2 水力聚氨酯胶粘剂主要环保性能指标

项目	计量单位	要求
游离甲苯二异氰酸酯（TDI）和游离六亚甲基二异氰酸酯（HDI）总和	g/kg	≤0.2
挥发性有机化合物	g/L	≤40
苯	g/kg	≤0.02
甲苯、二甲苯和乙苯总和	g/kg	≤1.00
可溶性铅	mg/kg	≤50
可溶性铬	mg/kg	≤10
可溶性镉	mg/kg	≤10
可溶性汞	mg/kg	≤2

5.4 集料应选择 5 mm~10 mm、10 mm~16 mm 或 10 mm~20 mm 的单粒级建筑石子或卵石，集料主要性能指标应符合表 3 的相关规定。

表 3 集料性能指标

项目	计量单位	技术要求
含水率	%	≤0.5
压碎指标	%	≤10
针、片状颗粒含量	%	≤5
不规则颗粒含量	%	≤10
泥粉含量（质量分数）	%	≤0.5
泥块含量（质量分数）	%	≤0.1
质量损失率	%	≤5

5.5 土工布性能应符合 GB/T 50290 的有关规定。

## 6 设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 水力聚氨酯碎石生态护坡设计应统筹考虑水文、气象、地质、经济性、水位情况、生态效果、管护能力等因素，因地制宜选择相应型式。

6.1.2 水力聚氨酯碎石结构应满足变形要求。

6.1.3 当边坡变形较大或结构层厚度小于 60 mm 时，宜采用预制方式。

6.1.4 水力聚氨酯碎石结构弹性模量宜根据试验确定，缺少试验资料时可取 3 GPa。

6.1.5 水力聚氨酯碎石抗压强度测试试样立方体边长应为 150 mm，立方体抗压强度试验方法宜参照 SL/T 352。

6.1.6 水力聚氨酯碎石生态护坡抗冻要求可参照混凝土抗冻等级，符合 SL 191 的有关规定。

6.1.7 水力聚氨酯碎石结构设计年限不应小于 50 年。

6.1.8 采用新技术、新材料时，宜选取国内相关成功的工程经验数据或相关行业测试数据作为设计依据。

### 6.2 配合比设计

6.2.1 水力聚氨酯胶粘剂和集料设计掺入比宜为 0.026~0.032（质量比），且应通过配合比试验确定。

6.2.2 配合比试验时，搅拌均匀后碎石颗粒应被水力聚氨酯粘胶剂完全包裹，干燥环境养护，测定 72 小时龄期试块立方体抗压强度。

6.2.3 水力聚氨酯碎石试块立方体抗压强度设计值应符合表 4 的相关规定。

表 4 水力聚氨酯碎石试块强度指标

集料公称粒级 (mm)	立方体抗压强度值 (MPa)
5~10	≥1.6
10~20	≥1.5
10~16	≥1.4

### 6.3 结构设计

6.3.1 水力聚氨酯碎石生态护坡一般包含水力聚氨酯碎石结构、碎石垫层、反滤层和护脚。

6.3.2 水力聚氨酯碎石结构厚度可取 4 倍~7 倍集料平均粒径，宜取 30 mm~120 mm。

6.3.3 碎石垫层的厚度宜为 50 mm~100 mm，碎石粒径宜为集料粒径的 1 倍~2 倍。

6.3.4 基层为土或砂时，碎石垫层与基层之间宜设置反滤层，反滤层宜选用土工布，土工布重量不小于 300 g/m<sup>2</sup>。基层为块石结构时可不设反滤层。

6.3.5 水力聚氨酯碎石生态护坡应设置护脚，护脚宜采用预制混凝土或预制水力聚氨酯碎石结构。

6.3.6 坡脚应满足抗冲刷和抗滑稳定要求。

### 6.4 生态设计

6.4.1 植物物种应选择适合工程所在地生长的禾本科草坪物种，种子纯净度应达到 95% 以上。冷地型草坪种子发芽率应达到 85% 以上，暖地型草坪种子发芽率应达到 70% 以上。播种前应做发芽试验和催芽处理，确定合理播种量，常见草种的播种量见表 5。

表 5 常见草种播种量推荐表

草坪种类	精细播种量 (g/m <sup>2</sup> )	粗放播种量 (g/m <sup>2</sup> )
剪股颖	3~5	5~8
早熟禾	8~10	10~15
多年生黑麦草	25~30	30~40
高羊茅	20~25	25~35
羊胡子草	7~10	10~15
结缕草	8~10	10~15
狗牙根	15~20	20~25

6.4.2 播种前应对该地区的土壤理化性质进行化验分析，采取相应的土壤改良、施肥和置换客土等措施，土层厚度不小于 150 mm。土壤表层应整洁，土块粒径不大于 20 mm。

6.4.3 宜采用播种方式，优先选择在水力聚氨酯碎石结构上、下播撒草籽。

## 7 施工

### 7.1 一般规定

7.1.1 现场施工应根据配合比试验确定结构和材料参数。

7.1.2 施工前应依据设计文件查勘施工现场，编制水力聚氨酯碎石生态护坡专项施工方案，并对施工作业人员进行技术交底和必要的实际操作培训。

7.1.3 土工布铺设应自下而上进行，与坡面密贴，不留间隙，铺设应平顺，松紧适度，不应有张拉受力、折叠、打皱等情况。与岸坡结构物连接处，不应留有空隙。

7.1.4 相邻土工布拼接宜采用搭接或缝接，搭接宽度不应小于 500 mm。土工布破损，应修补或更换。

7.1.5 土工布铺设后，应避免受日光直接照射，随铺随填碎石垫层。

7.1.6 碎石垫层应采用人工摊铺，根据设计厚度定位控制线，铺设应自下而上进行，不应从高处倾倒，碎石垫层铺设应保证平整、密实、厚度均匀。

7.1.7 水力聚氨酯碎石结构层施工前应对护脚、基层、反滤层和碎石垫层进行检查验收，检查验收合格后方可进行铺筑。

7.1.8 施工现场温度范围应为 10 °C~40 °C，不应在雨天施工。

7.1.9 施工部位处于潮差区时，应根据现场水位确定施工方案。

### 7.2 施工准备

7.2.1 现场应根据工程量大小、施工进度、施工工序和运输工具等因素选择搅拌设备。

7.2.2 应根据专项施工方案配备齐全施工机械和辅助工具，做好开工前的保养、调试和试机，消除施工期间有碍进度和质量故障。

7.2.3 水力聚氨酯材料应附有生产厂家的产品质量合格证、化验单和产品使用说明书等。不同厂家、品牌、等级、品种的产品不应混存、混用。

7.2.4 集料和垫层碎石应按照表 3 要求保持清洁干燥。

7.2.5 坡面应按设计要求修整，清除边坡表面的松石、浮土、树根、杂草等杂物。

### 7.3 现场施工

7.3.1 现场应有专人负责材料配比称量，水力聚氨酯胶粘剂重量允许误差值为 $\pm 0.2\%$ ，集料重量允许误差值为 $\pm 2\%$ 。

7.3.2 两种组分材料应采用机械混合搅拌，混合搅拌时间宜为 3 min~4 min，搅拌后混合物达到均质状态，形成水力聚氨酯胶粘剂，及时使用。

7.3.3 水力聚氨酯胶粘剂与集料应采用机械方法拌和，拌和时间宜为 5 min~8 min，拌和后目视检查，集料表面应完全被聚氨酯粘胶剂包裹，未被完全包裹时应增加聚氨酯粘胶剂并重新搅拌。

7.3.4 拌和地点应靠近作业地点，根据运量、运距及路况，选取运输方式，减小混合料离析。

7.3.5 水力聚氨酯碎石混合料从搅拌机出料至摊铺压实完毕的最长时间应符合表 6 的相关规定。

表 6 不同温度下允许施工时间

施工气温 (°C)	允许最长施工时间 (min)
10~15	40
16~25	30
26~30	25
35~40	20

7.3.7 水力聚氨酯碎石混合料宜采用专用设备或人工均匀摊铺，找准坡面坡度和表面平整度，施工时应确保边角处完整。

7.3.8 宜采用专用低频振动压实机压实混合料，同时应辅以人工补料及找平。人工找平时，作业人员应穿减压鞋进行操作，并随时检查模板，如有变形或松动，应及时纠正。

7.3.9 预制结构应确保边角处结构完整。

7.3.10 播种前应对种子进行消毒，杀菌。播种时应先浇水浸土，保持土壤湿润，并将表层土耩细耙平。用等量土与种子拌匀进行撒播，播种后应均匀覆细土 3 mm~5 mm 并轻压。播种后应及时喷水，种子萌发前，干旱地区应每天喷水 1~2 次，水点宜细密均匀，浸透土层 80 mm~100 mm，保持土表湿润，不应有积水，出苗后可减少喷水次数，土壤宜见湿见干。

## 7.4 养护

7.4.1 水力聚氨酯碎石混合料摊铺检查合格后，即进入养护期。

7.4.2 水力聚氨酯碎石混合料铺设后养护时间不应小于 90 min。

7.4.3 水力聚氨酯碎石混合料铺设后养护期间应保持水力聚氨酯碎石混合料干燥，避免接触水等其他液体和人员踩踏。

7.4.4 工程项目竣工后，养护管理期不应少于 1 年。

7.4.5 生态养护管理包括浇水、施肥、病虫害观测及防治等。植物病虫害防治，应采用生物防治方法和生物农药。

## 8 质量检验

8.1 工程材料应符合设计文件要求，并具有材质证明书或检验报告。

8.2 质量检验应确定主控项目、一般项目，并分项列出质量要求、检验方法、检验数量。

8.3 水力聚氨酯碎石生态护坡工程质量检验应符合表 7 的相关规定。

表 7 水力聚氨酯碎石生态护坡工程质量检验表

工程名称		施工单位		施工日期	
类别	序号	检验项目	质量要求	检验方法	检验数量
主控项目	1	水力聚氨酯碎石结构抗压强度	符合设计要求	检测	3 组 (100 m <sup>3</sup> )
	2	冻融循环 50 次质量损失率	≤5%	试验	3 组
	3	水力聚氨酯碎石结构厚度	±5mm	检测	每 50m <sup>2</sup> 测 1 点
	4	集料级配	符合设计要求	试验	3 组
	5	集料含水率	≤0.5%	试验	3 组 (100 m <sup>3</sup> )
	6	集料泥粉含量 (质量分数)	≤0.5%	试验	3 组
	7	绿化覆盖率	≥95%或符合设计要求	检测	每 100m <sup>2</sup> 测 1 次
	8	土工布单位面积质量	符合设计要求	试验	3 组 (每批次)
一般项目	1	坡顶高程	±5mm	检测	每 50m <sup>2</sup> 测 1 点
	2	坡底高程	±5mm	检测	每 50m <sup>2</sup> 测 1 点
	3	坡度	±5%	检测	每 50m <sup>2</sup> 测 1 点
	4	碎石垫层厚度	±5mm	检测	每 50m <sup>2</sup> 测 1 点
	5	垫层碎石级配	符合设计要求	试验	3 组