

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 213 – 2025

道路边坡工程水泥基生态修复技术规程

Technical specification for cement-based ecological restoration
of road slope engineering

2025-12-22发布

2026-03-01实施

深圳市住房和建设局
深圳市交通运输局

联合发布

深圳市工程建设地方标准

道路边坡工程水泥基生态修复技术规程

Technical specification for cement-based ecological restoration
of road slope engineering

SJG 213 – 2025

2025 深圳

前　　言

根据深圳市住房和建设局关于发布《2023年度深圳市工程建设地方标准制修订计划项目（第一批）》的通知，并结合深圳市规划和自然资源局关于印发《深圳市边坡工程治理与生态景观提升工作指引（试行）的通知》（深规划资源〔2020〕705号），规程编制组充分吸收边坡生态恢复的先进技术和实践成果，经广泛调查研究，结合深圳市道路边坡工程中水泥基生态修复技术的实际运用和实践经验，参考国内相关行业标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程主要技术内容：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.材料与设备；5.技术要求；6.施工；7.质量检验及工程验收。

本规程由深圳市住房和建设局、深圳市交通运输局联合批准发布，由深圳市交通运输局归口并组织深圳市交通公用设施建设中心、深圳市南山区建筑工务署等编制单位负责具体技术内容的解释。本规程实施过程中如有意见或建议，请寄送深圳市瑞耀霖生态科技有限公司（地址：深圳市南山区西丽街道麻磡社区麻磡路32号2栋102，邮编518055），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：深圳市交通公用设施建设中心

深圳市南山区建筑工务署

本标准参编单位：深圳市瑞耀霖生态科技有限公司

三峡大学

深圳市综合交通与市政工程设计研究总院有限公司

湖北润智生态科技有限公司

深圳市大鹏新区建筑工务署

深圳市博林环保工程有限公司

深圳中绿环境集团有限公司

本标准主要起草人员：许文年 董书赞 钟诗圣 吴连波 李军

孙宗波 薛晓晶 王巍 闵康 杨淼

李达伟 陈松 杨利君 刘黎明 夏栋

王明 郁龙清 刘振忠 肖承红 董文豪

艾尚进 张志霖 栾毅 范嘉华 黄浩彬

严建财 李春雷 汤曙光 朱炜坤 蒋岭

鹿浩 白玉 袁克明 肖军 赵旭

黄国东 贺文员 杨帆 林晓东 何良勇

本标准主要审查人员：周洪涛 雷斌 王晓明 王辉 王永喜

黎国健 程智鹏

目 次

1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	3
4 材料与设备.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 材料.....	4
4.3 设备.....	5
5 技术要求.....	6
5.1 一般规定.....	6
5.2 坡顶集水区.....	6
5.3 坡面预处理.....	7
5.4 加筋系统.....	7
5.5 植物遴选.....	9
5.6 景观营造.....	10
5.7 生境基材配制.....	10
5.8 生境基材喷播.....	10
6 施工.....	12
6.1 一般规定.....	12
6.2 施工准备.....	12
6.3 施工要点.....	13
6.4 养护管理.....	14
7 质量检验及工程验收.....	15
7.1 质量检验.....	15
7.2 工序质量验收.....	15
7.3 工程验收.....	15
附录 A 基本资料记录内容及格式.....	17
附录 B 坡面推荐植物名录.....	18
附录 C 主要边坡类型水泥基生态修复方案图.....	19
本规程用词说明.....	21
引用标准名录.....	22
附：条文说明.....	23

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms.....	2
3	Basic Requirement.....	3
4	Materials and Equipments.....	4
4.1	General Requirements.....	4
4.2	Materials.....	4
4.3	Equipments.....	5
5	Technical Requirements.....	6
5.1	General Requirements.....	6
5.2	Watershed of slope crest.....	6
5.3	Slope Pretreatment.....	7
5.4	Reinforcement System.....	7
5.5	Plant Selection.....	9
5.6	Landscape Construction.....	10
5.7	Habitat Substrate Preparationing.....	10
5.8	Habitat Substrate Spraying.....	10
6	Construction.....	12
6.1	General Requirements.....	12
6.2	Construction Preparation.....	12
6.3	Construction Points.....	13
6.4	Conservation Management.....	14
7	Inspection and Quality Acceptance.....	15
7.1	Quality Inspection.....	15
7.2	Workmanship Quality Acceptance.....	15
7.3	Quality Acceptance.....	15
Appendix A	Basic Information Record Content and Format.....	17
Appendix B	List of Recommended Plants on Slopes.....	18
Appendix C	Diagram of cement-based ecological restoration schemes for various types of slopes....	19
Explanation of Wording in This Standard.....		21
List of Quoted Standards.....		22
Addition: Explanation of Provisions.....		23

1 总 则

1.0.1 为规范深圳市道路边坡工程水泥基生态修复过程中的设计、施工、验收与管理，实现道路边坡安全、技术先进、因地制宜、经济合理、生态可持续等目标，特制定本规程。

1.0.2 深圳市道路边坡工程水泥基生态修复应遵循工程防护和生态修复并重的原则，以提升边坡工程安全，恢复边坡植物群落为目标，实现边坡工程治理与生态景观相协调。

1.0.3 本规程适用于深圳市边坡坡率不超过 1:0.2 的各类稳定道路边坡，其他工程边坡可按本规程规定应用。

1.0.4 深圳市道路边坡工程水泥基生态修复技术的应用，除应符合本规程外，尚应符合国家、广东省、深圳市现行有关规定。

2 术 语

2.0.1 水泥基生境基材 cement-based habitat substrate

一种以水泥作为胶结和骨架材料，与壤土、改良剂、有机肥、有机物料、植物种子和水等材料均匀混合而成，具备边坡浅层防护和生态修复功能的基材。

2.0.2 植生孔 vegetative hole

用于定植灌木，增强生境基材与边坡坡体之间能量的连通与交换，贯穿于人工硬化护面的孔洞。

2.0.3 植生棒 vegetative rod

用于支撑挂网，阻滞喷射物流淌，布局景观，营造水分迁移通道，内部充填营养基质的柔性棒状物。

2.0.4 生境构筑 habitat construction

通过边坡的地形改造、基质优化、植被配置等工程和生态措施，在裸露边坡构建出植物物种或植物种群赖以生存的生态环境。

3 基本规定

3.0.1 边坡生境构筑应在保障边坡安全稳定的前提下，遵循生态修复、景观营造与工程支护有机结合的原则，构筑并修复边坡生态。

3.0.2 边坡生境构筑应综合考虑深圳市气象气候条件、边坡状况、区域景观风貌、乡土植物及目标植物群落、施工条件与工程投资等因素，科学设计，规范施工，并应采取适宜的养护与管理措施。

3.0.3 边坡生态修复后，应满足边坡稳定的要求。

3.0.4 根据地表出露物质性状，可将边坡分为土质边坡、岩质边坡、土石混合边坡、人工硬化边坡四种类型，不同类型边坡应采取不同生境构筑方式。

3.0.5 根据工程地点、工程规模、设计及经济环保要求，应对生境构筑材料和植物苗木进行本地调研，宜就地取材。

3.0.6 根据工程规模、设计要求和施工进度要求，应合理选择施工机械和设备。

3.0.7 边坡生态修复应具备下列资料：

- 1** 工程项目区域及邻近区域内的地表植物群落、土壤类别等生态环境现状；
- 2** 工程项目区域的岩土工程勘察报告；
- 3** 工程项目边坡支护施工图、验收资料、评估报告等；
- 4** 边坡生态修复方案；
- 5** 边坡生态修复工程施工图；
- 6** 边坡生态修复工程施工组织设计。

4 材料与设备

4.1 一般规定

4.1.1 苗木及植物种子应符合现行国家及深圳市相关质量检验标准。

4.1.2 生境基材搅拌及喷播设备在喷播施工前应进行检查、调试、验收合格，应符合现行国家及深圳市有关环保、消防、安全等规定。

4.2 材料

4.2.1 水泥基生境基材中的壤土应符合下列规定：

1 壤土应满足边坡植物生长所需的水、肥、气、热等条件，严禁使用受重金属污染或其他有害成分的土壤；

2 壤土的 pH 值应介于 5.5~7.5 之间，砂粒含量不应大于 20%，黏粒含量不应低于 30%，粉粒含量不应低于 30%，含水率宜控制在 20% 以内；

3 壤土宜选用开山红土并应经破碎及过筛处理，环保性能应符合现行国家标准《土壤环境质量标准》GB 15618 的有关规定。

4.2.2 水泥基生境基材中的水泥宜选用普通硅酸盐水泥，标号宜采用 P.O 42.5，主要性能指标及检验方法应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定，并应满足下列要求：

1 水泥进场时，应有出厂合格证，并检查其品种、标号、生产日期等；

2 进场时，水泥质量受不利环境影响或水泥出厂超过三个月，应进行复检，并按复检结果处治。

4.2.3 水泥基生境基材改良剂主要性能指标及检验方法应符合表 4.2.3 的有关规定，并应提供出厂合格证和相关检测报告。

表 4.2.3 水泥基生境基材改良剂主要性能指标及检验方法

指标	参考值	检验方法
总养分	≥ 8.5%	按现行国家标准《绿化用有机基质》GB/T 33891 的有关规定执行
有效活菌数	≥ 1.0×10^8 cfu/g	按现行行业标准《微生物肥料产品检验规程》NY/T 2321 的有关规定执行
pH 值	2~5	按现行《土壤环境监测技术规范》HJ/T 166 的有关规定执行
持水力	≥ 280 g/kg	按现行行业标准《农林保水剂》NY/T 886 的有关规定执行
亚甲基蓝吸附值	≥ 0.16 mg/g	按现行国家标准《木质活性炭试验方法亚甲基蓝吸附值的测定》GB/T 12496.10 的有关规定执行

4.2.4 水泥基生境基材中的有机肥应来源于植物或动物经过发酵腐熟的含碳生境基材有机物料，外观均匀，呈粉末状，无恶臭。出厂技术指标应符合现行行业标准《有机肥料》NY 525 的有关规定。

4.2.5 水泥基生境基材中的有机物料应符合下列规定：

1 应选取适宜的有机物料，宜选用农业或城市绿化产生的园林废弃物，并应经粉碎、发酵、消毒处理；

2 有机物料应质地疏松、无结块、无明显异臭味；

3 有机物料经粉碎、混配、堆置发酵等工序处理后，有机物料主要性能指标及检验方法应符合表 4.2.5 的有关规定。

表 4.2.5 有机物料主要性能指标及检验方法

指 标	参 考 值	检 验 方 法
粒径	$\leq 8.0\text{ mm}$	按现行国家标准《化学品 土壤粒度分析试验方法》GB/T 27845 的有关规定执行
含水率	$\leq 20\%$	按现行国家标准《绿化用有机基质》GB/T 33891 的有关规定执行
总养分	$\geq 1.5\%$	按现行国家标准《绿化用有机基质》GB/T 33891 的有关规定执行
碳氮比 (C/N)	≤ 300	有机碳和全氮含量测定应按现行行业标准《有机肥料》NY 525 的有关规定执行
pH 值	$5.5 \sim 8.5$	按现行国家标准《绿化用有机基质》GB/T 33891 的有关规定执行

4.2.6 水泥基生境基材所用水的水质不应低于现行国家标准《农田灌溉水质标准》GB 5084 的有关规定。

4.2.7 苗木及植物种子应符合下列规定：

- 1 植物种子应注明品系、产地、生产单位、采收年份、纯净度、发芽率、千粒重；
- 2 草本植物种子质量不应低于现行国家标准《豆科草种子质量分级》GB 6141 和《禾本科草种子质量分级》GB 6142 规定的二级质量标准；木本植物种子质量不应低于现行国家标准《林木种子质量分级》GB 7908 规定的二级质量标准；
- 3 苗木应根系发达、生长健壮，无伤苗，茎、叶无污染，无病虫害；
- 4 采购的植物及种子应提供检验检疫合格证；
- 5 采购的植物种子不应含有检疫性植物种子。

4.2.8 当采用湿喷法施工时，水泥基生境基材宜添加植物纤维，植物纤维可选用稻草纤维、木质纤维和椰壳纤维中的一种或两种及以上的组合。

4.3 设 备

4.3.1 干法喷播干混物料制备时，筛土设备可采用滚筒式碎土筛分机或振动式筛土机，搅拌设备可采用强制式搅拌机或自落式搅拌机。

4.3.2 湿法喷播所采用的离心泵喷播机或柱塞泵喷播机性能应符合下列规定：

- 1 应具有良好的密封性和连续均匀输料能力；
- 2 生产能力宜大于 $5\text{ m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的粒径不宜大于 15 mm。

4.3.3 干法喷播所采用的转子式砼喷射机性能应符合下列规定：

- 1 应具有良好的密封性和连续均匀输料能力；
- 2 生产能力宜大于 $3\text{ m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的粒径不宜大于 20 mm。

4.3.4 空气压缩机及送风管性能应符合下列规定：

- 1 转子式喷播设备用空气压缩机的供风量不应小于 $15\text{ m}^3/\text{min}$ ；
- 2 泵送式喷播设备用空气压缩机的供风量不应小于 $9\text{ m}^3/\text{min}$ ；
- 3 空气压缩机应能提供稳定的风压，其波动值不应大于 0.01 MPa，风压不宜小于 0.6 MPa；
- 4 空气压缩机至喷播设备的送风管工作时的承压能力不应小于 0.8 MPa，送风管接头应牢固可靠。

4.3.5 输料管工作时的承压能力应大于 0.8 MPa，管径应满足输送设计最大粒径骨料的要求，并应具有良好的耐磨性能。

5 技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 水泥基生态修复设计及施工前应对项目区域基本资料进行收集与调查，掌握边坡现状、植物群落特征等信息，基本资料收集调查的具体内容及方法应符合表 5.1.1 的有关规定。基本资料记录内容及格式应符合本规程附录 A 的有关规定。

表 5.1.1 基本资料收集调查一览表

收集调查对象	收集调查内容	收集调查方法
边坡状况	边坡类型、边坡面积、边坡坡向、边坡坡度、坡面形态、坡面渗水状况、坡体稳定性	以收集和分析资料为主，辅以现场勘察
其它设施	边坡施工影响范围内的管线分布情况、建（构）筑物、附着物、边坡监测数据	以现场调查为主，辅以资料分析
植物群落	坡面周边植被类型及生长状况、植物物种、优势物种	以现场调查为主，辅以资料分析

5.1.2 道路边坡水泥基生态修复工程设计应包括下列内容：

- 1 坡顶集水区系统设计；
- 2 铺网及固网设计；
- 3 喷播施工方法选择；
- 4 喷播基质厚度及对应配合比设计；
- 5 植物选择。

5.2 坡顶集水区

5.2.1 道路边坡工程支护、截排水等土工工程设施应在生态修复工程实施之前完成。

5.2.2 排水设施应根据集水面积、降雨强度、历时和径流方向等进行整体规划和布置。对于坡率大于或等于 1:1.0 的边坡，在截排水设计时，宜在修复坡面的上缘与坡顶截水沟之间设置坡顶集水区，坡顶积水区布置可见图 5.2.2。

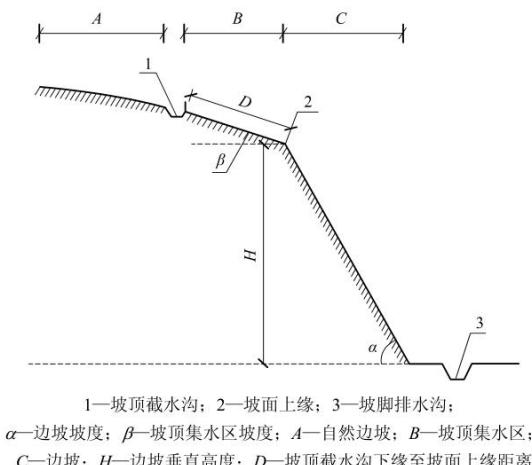


图 5.2.2 坡顶生态集水区布置图

5.2.3 设置坡顶生态集水区时，坡顶截水沟下缘至修复坡面上缘的距离宜按下式计算：

$$D = \frac{2.94\eta\psi H^{0.32}}{(\cos\alpha)^{0.06} \cos\beta} \quad (5.2.3)$$

式中：

- D ——坡顶截水沟下缘至修复坡面上缘距离（m），若计算值小于3m取3m，若计算值大于8m取8m；
 η ——多年平均年降水量相关系数，取0.95~0.90；
 Ψ ——边坡目标植被相关系数，纯草本群落取0.8，草灌群落取1.0，纯灌木群落取1.2；
 H ——边坡垂直高度（m），多级边坡取最高一级边坡的垂直高度值；
 α ——边坡坡度（°）；
 β ——坡顶集水区坡度（°）。

5.3 坡面预处理

5.3.1 地表出露物质为土壤基质、岩石基质、混凝土或浆砌块料基质时，水泥基生境构筑边坡可对应划归为土质边坡、岩质边坡、人工硬化边坡，其他情况均宜划归为土石混合边坡。

5.3.2 坡面预处理应符合下列规定：

- 1 应清除坡面浮土、松石、植物浮根等易坠落物；
- 2 强风化及含砂率较高的土质边坡，喷播前坡面应保持湿润状态，宜采用喷淋方式润湿坡面；
- 3 土石混合边坡应采用土壤充填、洒水沉降等方式减小松散块料间空隙，应确保坡体稳定；
- 4 混凝土等人工硬化边坡应在坡面设置植生孔。植生孔应贯穿硬质护面层，间距宜为1m~2m，孔口面积不宜小于0.015m²，植生孔应设置在混凝土层内的钢筋网间；
- 5 开挖后的边坡如存在反坡或深度大于0.2m的凹陷部位，宜采取削坡或填充生态袋、植生袋等方式进行预处理；
- 6 格构梁加固边坡应采用生态袋堆码填充格构，生态袋应堆码平整且稳定，表面应与格构梁顶面平齐，不应出现明显凹窝和错台，生态袋内应填充壤土。格构深度较大时，应先在格构底部填充一部分壤土，再堆码生态袋。

5.4 加筋系统

5.4.1 坡率大于或等于1:1.25的边坡和下承层为生态袋等堆码体或不良土质的缓坡面边坡，应设置加筋系统，水泥基生境构筑的加筋系统设置应符合下列要求：

- 1 加筋系统宜由挂网、锚固件与植生棒组成；
- 2 加筋系统施工时，应先安装锚固件和植生棒或等直径草绳，再铺设挂网；
- 3 挂网与锚固件、挂网与植生棒或等直径草绳、挂网与挂网之间均应采用扎丝绑扎牢固；
- 4 若边坡治理原设计有锚杆、柔性防护网等防护结构且可利用时，可兼作加筋系统的锚固件使用。

5.4.2 挂网材料应符合下列规定：

- 1 宜选用活络金属网、柔性塑料网、土工格室或植物纤维网，土工格室、柔性塑料网和植物纤维网可用于坡率小于1:1.25平滑的缓坡，对于坡率大于或等于1:1.25且坡体表层粗颗粒多、凹凸不平的坡面宜采用金属网。岩质边坡、人工硬化边坡不应使用植物纤维网；

2 活络金属网料丝直径不应小于 2.0mm，且应过塑或镀锌防腐处理；柔性塑料网可采用双向土工格栅等材料，柔性塑料网最大拉伸力不应小于 6.0kN/m，且抗老化性不应低于 10 年；植物纤维网最大拉伸力不应小于 0.8kN/m；

3 坡率小于 1:0.75 边坡，挂网材料的网目间距不宜大于 70mm×70mm；坡率大于或等于 1:0.75 边坡，挂网材料的网目间距不宜大于 50 mm×50 mm。

5.4.3 加筋系统施工应符合下列规定：

1 施工前，应清除坡面所有松动石块、浮土及其它松散杂物；

2 铺设时，应将剪裁好的加筋网整理成卷，应从上而下顺坡铺设，应保证网片与坡面之间的密切接触。应在网片两头开挖布设沟槽并保证足够的反压量，网片在沟槽内的埋深应大于 400 mm 并应充分压实；

3 挂网时相邻网搭接宽度宜为 100mm~150mm，在坡顶处应向上延伸反包，延伸距离不应小于 1m；

4 应采取措施确保网片与坡面距离为设计喷播总厚度的 1/2 ~2/3。

5.4.4 锚固件材料符合下列规定：

1 锚固件应选用热轧带肋钢筋，土质边坡可选用木桩；

2 对于土质边坡，当坡率小于 1:0.75 时，锚固钢筋直径不应小于 14mm，当坡率介于 1:0.75~1:0.5 时，锚固钢筋直径不应小于 16mm，当坡率介于 1:0.5~1:0.2 时，锚固钢筋直径不应小于 18 mm；

3 对于岩质边坡，当坡率小于 1:0.75 时，锚固钢筋直径不应小于 12mm，当坡率介于 1:0.75~1:0.5 时，锚固钢筋直径不应小于 14mm，当坡率介于 1:0.5~1:0.2 时，锚固钢筋直径不应小于 16mm；

4 用于锚固的热轧带肋钢筋应进行除锈和防腐，坡率小于 1:0.75 时锚固钢筋防腐宜采用镀锌或复合涂层，坡率大于或等于 1:0.75 时锚固钢筋防腐宜采用环氧树脂涂层。

5.4.5 锚固件的施工应符合下列规定：

1 每一级边坡的坡顶位置均应设置锚固件，坡顶网片延伸反包处、相邻网片纵向搭接处的固定锚固件应加深和加密；

2 对于土质边坡，坡面锚固件与坡顶线间距不应大于 0.5 m，横向及竖向布置间距不应大于 2 m，锚固件植入边坡体长度不应小于 0.9 m；

3 对于人工硬化边坡和岩质边坡，当坡率小于 1:0.75 时，锚固件与坡顶线处间距不应大于 0.75 m，横向及竖向布置间距不应大于 1.5 m。当坡率大于或等于 1:0.75 时，锚固件与坡口线处间距不应大于 0.5m，横向及竖向布置间距不应大于 1.0 m；

4 对于岩质边坡，锚固件植入边坡体长度不应小于 0.3m，且应按植筋方式处理；对于土质边坡，锚固件的设置应能确保与加筋网片的稳定连接，应确保水泥基生境基材层的稳固；

5 锚固件应安装稳固，出露坡面长度应和生境基材的喷播厚度一致，与坡面的水平夹角应为 15°。

5.4.6 植生棒材料应符合下列规定：

1 植生棒当采用圆形截面的柔性条袋时，直径应为 50mm~100mm，最大拉伸力不应小于 15.0kN/m，抗老化性不应小于 3 年；

2 植生棒内土壤充填饱满度不应低于 95%；

3 对无景观效果要求的边坡，植生棒可采用同等直径的草绳替代。

5.4.7 植生棒施工应符合下列规定：

1 植生棒宜沿坡面横向布设，竖向间距宜为 1.0m~1.5m，与坡面锚固件之间应进行绑扎固定；

2 对有景观效果要求的边坡，植生棒应按景观设计布设，并在其中加入植物种子。

5.5 植物遴选

5.5.1 植物筛选应以乡土物种为主，并应符合下列规定：

1 所选植物应安全长效、因地制宜，应遵循灌木和草本相结合，固氮与非固氮品种相结合、深根与浅根品种相结合的原则；

2 应结合所调查的基本资料，选择适应深圳市气候且水土保持能力强和抗逆性强的品种，宜选用乡土物种，严禁使用外来入侵物种；

3 应以常绿植物为主，结合景观要求选择观赏性较好的植物；

4 在满足生态安全的基础上，应以常绿植物为主形成常绿景观；宜结合景观要求选择观赏性较好的植物；

5 对坡率介于 1:0.5~1:0.2 的岩质边坡和人工硬化边坡，不宜选用冠幅较大的灌木，宜选用适合水泥基生境基材中生长且根系发达的低矮灌木和草本、藤本植物；边坡位于景观性要求较高的市区、交通要道时，宜加入花草种子；

6 边坡坡面植物配置可按本规程附录 B 坡面推荐植物名录的有关规定设置。

5.5.2 植物种子与苗木预处理应满足下列要求：

1 植物种子应进行纯净度、发芽率、千粒重现场试验与检验，其检验方法应符合现行国家标准《林木种子检验规程》GB 2772 的有关规定；

2 应对植物种子进行消毒、浸种，对有破壳要求的种子应进行破壳处理；

3 非容器苗木进场移栽前，应按现行行业标准《园林绿化工程施工及验收规范》CJJ 82 的有关规定进行假植；

4 苗木外观应检验根系、株型、病虫害等状况。

5.5.3 用于水泥生态修复的植物种子播种量应满足下列规定：

1 土质边坡种子使用量不宜低于 20g/m²，其中草本种子的用量占比宜为 40%~55%，灌木种子的占比宜为 60%~45%；

2 岩质边坡及人工硬化边坡种子使用量不宜低于 30g/m²，其中草本种子的用量占比宜为 55%~75%，灌木种子的占比宜为 45%~25%。

5.5.4 植物配置应符合下列要求：

1 植物配置可按项目周边天然植被的群落结构，进行生态景观设计；

2 植物配置应结合边坡坡顶平台、坡脚碎落台、边坡平台、坡面等四个部位进行针对性整体设计，且应符合下列规定：

1) 坡顶平台及生态集水区可进行草、灌、乔配置，宜以种植乔木及灌木植物为主，并可辅以两种以上的草本植物；

2) 坡脚碎落台宜根据宽度进行草、灌、乔、藤配置。当碎落台宽度小于 1m 时，宜在碎落台种植草本、灌木或吸附藤本植物；当平台宽度大于或等于 1m 时，宜在碎落台种植草本、灌木、乔木或吸附藤本植物；

3) 边坡平台可根据宽度进行草、灌、藤配置。当平台宽度小于 2 m 时，可在排水沟外侧种植垂吊藤本植物；当平台宽度大于或等于 2m 时，可在排水沟内侧种植槽及外侧种植灌木或攀缘藤本植物；

4) 边坡坡率小于等于 1:0.5 时，坡面宜按草、灌、藤进行配置；坡率大于 1:0.5 时，坡面宜按草、藤进行配置，辅以少量的低矮灌木。

- 3** 土质边坡和土石混合边坡宜选用根系发达的植物种类；
4 人工硬化边坡可在植生孔内栽种低矮灌木或藤本植物，植生孔内植物习性宜兼顾攀缘性与垂吊性。

5.6 景观营造

5.6.1 景观营造应结合区域城市设计或景观风貌控制要求，宜与项目周边景观生态和当地人文环境相协调。

5.6.2 景观营造应与边坡立地条件相适应，景观营造种植方式可分为生态种植和景观种植两种。景观营造应通过方案比选后择优选用。

5.6.3 根据景观需求，可利用植生棒营造图案景观，利用植生孔营造点式景观。

5.7 生境基材配制

5.7.1 水泥基生境基材应分为基层基材和面层基材，两者应分别配制。生境基材各组成材料的用量计算应以种植壤土体积为基准计算其他材料用量，不同坡率类型水泥基生境基材配合比应符合表 5.7.1 的有关规定。

表 5.7.1 不同坡率类型水泥基生境基材推荐配合比表

坡率 (α)	基材部位	壤土 (m^3)	水泥 (kg)	有机物料 (m^3)	生境基材改良剂 (kg)	有机肥 (kg)	复合肥 (kg)	植物种子 (g/m^2)
$\alpha \leq 1:1.75$	面 层	10	250~300	2.5	250~300	150	3~5	20~25
	基 层	10	500~550	3.0	500~550	200	3~5	-
$1:1.75 < \alpha \leq 1:1.0$	面 层	10	300~350	2.5	300~350	150	3~5	25~30
	基 层	10	550~600	3.0	550~600	200	3~5	-
$1:1.0 < \alpha \leq 1:0.5$	面 层	10	500~550	3.0	500~550	150	3~5	30~35
	基 层	10	600~750	3.5	600~750	200	3~5	-
$1:0.5 < \alpha \leq 1:0.3$	面 层	10	500~550	3.0	500~550	150	5~8	35~40
	基 层	10	750~800	3.5	750~800	200	5~8	-
$1:0.3 < \alpha \leq 1:0.2$	面 层	10	550~600	3.0	550~600	150	5~8	40~45
	基 层	10	800~850	4.0	800~850	200	5~8	-

5.7.2 拌合后的生境基材 pH 值不应大于 10，28d 无侧限抗压强度值不应小于 0.25MPa，无侧限抗压强度试验应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 无侧限抗压强度试验的有关规定进行。

5.7.3 拌合后的生境基材应在 12h 内使用完毕，如遇降雨、大风等情况，应对拌合好的生境基材进行妥善保管，淋雨后的生境基材应弃用。

5.8 生境基材喷播

5.8.1 生境基材面层喷播厚度宜为 20mm~30mm。

5.8.2 生境基材基层喷播厚度应符合下列规定：

- 1** 采用干法喷播和湿法喷播的生境基材喷播基层最小厚度建议值应满足表 5.8.2 的有关规定。

定；

表 5.8.2 生境基材喷播基层最小厚度建议值

边坡类型	边坡坡率范围 (α)	喷播基质最小厚度建议值 (mm)
土质边坡	$\alpha \leq 1:1.5$	60
	$1:1.5 < \alpha \leq 1:0.75$	70
	$1:0.75 < \alpha \leq 1:0.3$	90
岩质边坡 人工硬化边坡	$\alpha \leq 1:1.0$	80
	$1:1.0 < \alpha \leq 1:0.5$	100
	$1:0.5 < \alpha \leq 1:0.2$	120

2 水泥基生态修复方案根据不同边坡类型可参考本规程附录 C。

5.8.3 当生境基材需覆盖格构梁、人字骨架或喷射混凝土等支护结构时，覆盖总厚度不宜小于 120 mm。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 施工前应理解生态修复设计意图、施工方法及要求，应掌握现场施工及质量控制要点，应对现场施工影响范围内的管线分布情况、建（构）筑物、附着物进行排查和保护，应制定详尽的专项施工方案，应配置相应的专业人员和施工设备，应合理安排施工工期，并应做好现场技术交底工作。

6.1.2 施工过程中，发现实际地质情况与岩土工程勘察报告不符时，应联系勘察及设计单位进行设计修正；边坡治理未达到稳定要求时应进行处理并达到相应稳定要求。

6.1.3 施工前应根据本规程第5.7节的规定做好生境基材配合比设计，宜选取典型坡段进行试验，试验段面积不应小于200m²，通过试验段确定最佳配合比及基材厚度、施工方法和施工工艺。

6.1.4 边坡施工条件受限时，坡面材料转运、基材喷播、养护和监测等作业可选用无人机、高空作业台车、移动端等智能设备。

6.2 施工准备

6.2.1 施工进场前，应结合工程特点，调查周边料源分布、交通和场地等环境条件优化施工方案；进场后应按照施工方案开展料场、设备场地等临时施工设施的建设；现场设备材料应有序堆放。应选用合理的运输工具，避免和减少二次转运。

6.2.2 喷播操作工应熟悉喷播作业机械和施工工艺，喷播施工前，应进行试喷，各项性能合格后方可进行正式喷播作业。

6.2.3 喷播施工现场，应做好下列准备工作：

1 应清理或移除影响喷播施工的障碍物；

2 当水平喷播的宽度超过1.5m或竖向喷播的高度超过3m时，应搭设工作台架，并配置安全防护设施，工作台架的搭设应符合现行国家标准《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130的要求；

3 当水平喷播的宽度超过1.5m或竖向喷播的高度超过3m，且现场不具备搭设工作台架条件时，应采用座板式单人吊具进行半悬吊作业；

4 座板式单人吊具应使用具有防坠功能的无动力载人用具，无动力载人用具工作绳应固定在坡顶挂点装置上且沿作业面敷设，下降器安装在工作绳上应有可靠的防坠措施；

5 座板式单人吊具作业人员应正确、熟练使用安全保险绳和防坠器。每个作业人员应单独配置坠落保护系统，安全保险绳和防坠器严禁两人或多人大同时使用；

6 应确保喷播设备司机与喷播操作工之间的联系畅通；

7 喷播作业区应具备良好的通风、采光条件；

8 现场应埋设控制喷播水泥基生境基材厚度的网格标尺，其纵横间距宜为1.0m~1.5m；当设有锚钉时，可用锚钉露出坡面的长度标记作为控制喷层厚度的标尺。

6.2.4 坡面喷播施工前，应达到下列要求：

1 岩质边坡应选择合适的开挖和修整方式。自然边坡应先将松动的岩石、浮石、浮渣等障碍物清除干净，每平方米面凹凸度不宜超过200mm，且宜平均在100mm；

2 岩石边坡喷播前应用高压水冲洗岩面，对遇水易分解、泥化的岩层应使用压缩空气吹除岩

面上的浮渣和灰尘；

- 3 应按设计要求做好边坡的截排水系统；
- 4 边坡表面喷播前应保持湿润。

6.3 施工要点

6.3.1 采用干法喷播施工时，生境基材干拌料拌制工艺应符合下列规定：

1 当现场单个边坡面积小于 5000 m² 或边坡位置较分散时，生境基材干拌料可在施工现场进行搅拌，条件允许时，宜缩短混合料搅拌机与喷播设备之间的距离；

- 2 搅拌时应严格控制材料设计配合比，生境基材原材料的允许偏差应符合下列规定：
 - 1) 水泥和生境基材改良剂允许偏差应为±1%；
 - 2) 壤土允许偏差应为±2%；
 - 3) 生境基材有机物料允许偏差应为±1%。

3 装料时应先加入壤土，再加入水泥、生境基材改良剂，最后加入生境基材有机物料和有机肥。拌制生境基材干拌料宜采用强制式搅拌机。无条件时，亦可用自落式搅拌机。生境基材干拌料应充分搅拌，各种组成材料混合均匀；采用强制式搅拌机搅拌应严格控制搅拌时间为 120s~160s，若采用自落式搅拌机减半控制搅拌时间为 160s~240s；

- 4 当连续施工边坡面积超过 50000m² 时，可设置搅拌站进行集中搅拌。

6.3.2 水泥基生境基材干法喷播施工应符合以下要求：

1 水泥基生境基材喷播前应洒水湿润坡体，使坡面湿润；
2 喷播机与喷播作业面之间的距离不宜大于 60m，配制好的生境基材固相拌合料宜在 12h 内喷播完毕；

3 喷播应分两次进行，可先喷播基层，再喷播面层。面层喷播时，基层应保持湿润，基层和面层的喷播时间间隔不应大于 8h；

4 喷枪口出口压力不应低于 0.6MPa，喷枪的喷射角应控制在 15° 以内，喷枪口与坡面间距宜为 0.8m ~1.2m；

5 干法喷播作业开始时，应先给水后送料，结束时应先关闭空压机出风口阀门，再关水；
6 供水应保证喷头处的水压不小于 0.15MPa，喷头用水量应保证喷播基材聚集，不飞扬。采用加压供水时，水泵应有回水装置；

- 7 基材面层喷播后应进行覆盖养护，覆盖材料宜采用草帘、遮阳网、无纺布、地膜等；
8 喷播完成后应根据土壤墒情进行浇水。

6.3.3 采用湿法喷播施工时，生境基材湿拌料拌制工艺应符合下列规定：

1 应严格按照材料设计配合比在搅拌罐中按适量水、壤土、有机肥、有机物料、植物纤维、水泥、生境基材改良剂的顺序投放，边投放边搅拌，并应根据需求补加水；拌制基材面层时应投放植物种子；

- 2 全部材料投放完毕，应继续拌制 10min~15min；
3 用水量应保证水泥基生境基材喷播在坡面不散落、不流淌。

6.3.4 水泥基生境基材湿法喷播施工应符合以下要求：

1 生境基材混合均匀后应在规定时间内喷播完毕；
2 离心泵喷播机湿喷法应采用多层喷播方式，分层喷播时每一层喷播厚度宜为 10mm~20mm，面层应为种子层；
3 柱塞泵喷播机湿喷法基层应采用一次喷播方式，面层可采用人工播种或离心泵喷播机喷播；

- 4 种子层喷播后应进行覆盖养护，覆盖材料宜采用草帘、遮阳网、无纺布、地膜等；
 - 5 喷播完成后应根据土壤墒情进行浇水。
- 6.3.5 风速大于 5 级或降雨强度大于 10mm/h 时不应喷播施工。

6.4 养护管理

- 6.4.1 生境基材面层喷播施工完毕后应进行覆盖，坡面覆盖应符合下列规定：
- 1 宜选用密度 13 g/m²~20 g/m²的无纺布从上至下进行覆盖，相邻无纺布之间应保持搭接，覆盖完毕的无纺布可用竹签或 U 型钉固定；
 - 2 坡面覆盖应在面层喷播完毕后 2h 内进行，覆盖物应铺设牢固，同坡面应接触紧密；
 - 3 坡面喷播施工后 4h 内遇台风天气或强降雨天气，应加盖易降解的塑料薄膜。
- 6.4.2 养护管理宜分为成活期养护和日常养护，且应符合下列规定：
- 1 成活期养护时间不应少于 90d。成活养护期内种子萌发、幼苗生长期应保证水分供应，当苗期养护条件较差时，应延长苗期成活养护管理时间；
 - 2 草本植物应进行不少于 270d 的日常养护管理，木本植物应进行不少于 1 年的日常养护管理。日常养护管理工作内容应包括灌溉、病虫害防治、苗木补植、局部缺陷修补等。
- 6.4.3 根据不同的坡面立地条件和边坡规模，可采用人工灌溉、自动化灌溉、无人机灌溉、智能灌溉等养护方式。对于植物生长环境恶劣的岩质边坡，种植的植物应增加养护。
- 6.4.4 养护灌溉所用的管材及用水应满足下列规定：
- 1 灌溉管材、结构布局应符合现行国家标准《灌溉与排水工程设计标准》GB 50288 和《管道输水灌溉工程技术规范》GB/T 20203 的有关规定；
 - 2 灌溉水的水质应符合现行国家标准《农田灌溉水质标准》GB 5084 的有关规定，且应进行过滤及防堵塞处理。
- 6.4.5 养护灌溉工作应满足下列要求：
- 1 根据植物生长需求，应结合降雨、坡面蒸发情况确定灌溉时间和水量；
 - 2 灌溉应根据植物生长需求遵循适量、均匀的原则，应少量多次，避免大水浇灌，浇水速度不应超过生境基材吸水速度；宜遵循“不干不浇，浇则浇透”的原则；
 - 3 夏季和早秋应避免在午后强烈的阳光下灌溉，夏季亦应避免傍晚灌溉；
 - 4 目标植物群落营营造应结合施工节点动态调节养护时间。
- 6.4.6 成活期应每天巡检边坡一次，检查内容应包括坡面植被水分、植物种子发芽率或苗木成活率、病虫害、生境基材稳定状况等。
- 6.4.7 病虫害防治应符合下列规定：
- 1 应加强病虫害检查，发现病虫害应采取防治措施；
 - 2 根据病虫害疫情，应采取生物措施、物理措施和化学措施对症防治；
 - 3 化学防治应选用高效、低毒、低残留、安全无污染的药剂，药剂应严格执行说明书使用方法。
- 6.4.8 发现苗木死亡时，应挖除死亡的苗木后再进行补植。成活期内发现强入侵性的银合欢和薇甘菊等外来入侵物种时，应连根拔除并集中销毁，防止再生。
- 6.4.9 养护期内的局部缺陷修补应符合下列规定：
- 1 当发现基材秃斑或脱落时，应查明原因，制定措施，并进行修补；
 - 2 当局部缺陷面积不超过 10m²时，宜人工补种或移栽苗木；
 - 3 当局部缺陷面积超过 10m²时，应先清除缺陷部位浮渣，进行二次喷播。

7 质量检验及工程验收

7.1 质量检验

7.1.1 采购水泥、生境基材改良剂、挂网材料、锚固件材料、灌溉管材等材料时，应检查出厂证明、产品合格证；采购进口植物种子和种苗时，应检查检验检疫合格证。

7.1.2 材料进场使用前，应对水泥、生境基材改良剂、挂网材料、锚固件材料、灌溉管材、壤土，有机物料和灌溉用水进行批次随机抽样检验，并形成检验报告。

7.1.3 材料检验批及取样方法应符合下列规定：

- 1** 同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的水泥 20t 应为一检验批；
- 2** 挂网 4000m² 应为一个检验批，锚固件 2000 根应为一个检验批；
- 3** 壤土每 500m³ 应为一检验批，宜随机取样 5 处，每处 100g 经混合组成一组试样，不足一批的应计为一批；
- 4** 每配置生境基材 5000m² 所使用的生境基材改良剂、有机肥、有机物料、植物纤维等材料应为一检验批，不足一批的计应为一检验批，取样方法应符合相关标准要求；
- 5** 非连续供应的材料应按每供应批次单独检验；
- 6** 同一配置比例、相同配置材料的水泥生境基材基层混合料，每 5000m² 应进行 28d 无侧限抗压强度试验。

7.2 工序质量验收

7.2.1 边坡修整及截排水系统质量验收应包括下列内容：

- 1** 边坡表面的危石、浮石应清除；
- 2** 边坡坡率应符合设计要求；
- 3** 渗水边坡应具有引排水设施；
- 4** 边坡上有碍于喷播基质附着的浮根、草本植物和垃圾应清除。

7.2.2 边坡加筋系统质量验收应包括下列内容：

- 1** 锚钉工作长度；
- 2** 锚钉布设密度；
- 3** 相邻网的搭接长度与固定、网与坡面间隙；
- 4** 边坡坡顶外延铺网长度。

7.2.3 喷播作业质量验收应包括下列内容：

- 1** 喷播基质的取样检测宜在喷播完成后 10d 内进行；
- 2** 喷播基质的基层和面层厚度应符合设计要求。

7.3 工程验收

7.3.1 在植物生长期内，植物生长达到 75d 时应进行竣工验收。

7.3.2 施工单位在竣工验收前应完成自检，施工成果应符合设计要求和有关标准规定，技术资料应齐全。

7.3.3 竣工验收前应保证工程使用的主要原材料、成品、半成品、配件、器具和设备等具有质量合格证明文件，并应符合国家现行标准及设计要求。植物材料、工程物资进场时应做检验、验

收，并应经监理工程师核查确认，形成检验、验收记录。

7.3.4 边坡水泥基生态修复竣工验收应符合下列规定：

- 1 应综合考虑植物种类，喷播季节等因素，结合植物生长发育阶段进行验收；
- 2 目标植物群落的植物种类应达到设计种类的 50%以上。

7.3.5 目标植物竣工验收指标应符合表 7.3.5 规定。

表 7.3.5 目标植物竣工验收指标

边坡类型	边坡坡率范围 (α)	项目	植物分类	指标	植物生长状况	
土质边坡 土石混合边坡 格构梁加固边坡	$\alpha \leq 1:1.0$	植被密度	木本植物	大于 125 株/(100m ²)	植物整体生长健壮、长势良好	
			草本植物	覆盖率达到 95%以上		
	$1:1.0 < \alpha \leq 1:0.5$		木本植物	大于 75 株/(100m ²)		
			草本植物	覆盖率达到 90%以上		
	$1:0.5 < \alpha \leq 1:0.2$		木本植物	大于 50 株/(100m ²)		
			草本植物	覆盖率达到 85%以上		
岩质边坡 人工硬化边坡	$\alpha \leq 1:1.0$	植被密度	木本植物	大于 75 株/(100m ²)	植物整体生长健壮、长势良好	
			草本植物	覆盖率达到 90%以上		
	$1:1.0 < \alpha \leq 1:0.5$		木本植物	大于 50 株/(100m ²)		
			草本植物	覆盖率达到 85%以上		
	$1:0.5 < \alpha \leq 1:0.2$		木本植物	大于 30 株/(100m ²)		
			草本植物	覆盖率达到 80%以上		

7.3.6 下列边坡或部位可降低覆盖率要求：

- 1 坡率大于或等于 1:0.3 的岩质边坡或格构梁加固边坡；
- 2 孤石或岩石突出部位和岩质边坡局部反坡部位。

附录 A 基本资料记录内容及格式

表 A. 0.1 边坡状况记录内容及格式

工程名称：

边坡位置：

序 号	项 目	单 位	结 果	备 注
1	类 型			
2	面 积	m ²		
3	坡 向			
4	坡 度	%		
5	倒坡、平整度、分级状况等坡面形态			
6	边坡施工影响范围内的管线分布、建(构)			
7	坡面渗水状况			
8	裂隙、节理发育、不良土质等			
调查者	签 字：			

注：1 边坡类型指土质边坡、岩质边坡、土石混合边坡、人工硬化边坡；

2 不良土质指松散回填土、砂性土、软土等抗雨水侵蚀性或稳定性较差的土层。

表 A. 0.2 植物群落特征记录内容及格式

工程名称：

边坡位置：

序 号	项 目	结 果		
1	植物物种	草本		
		灌木		
		乔木		
2	优势物种	草本		
		灌木		
		乔木		
3	坡面周边植被类型及生长状况			
调查者	签 字：			

注：生长状况指乔、灌、草的天然搭配，生长期及覆盖率等。

附录 B 坡面推荐植物名录

表 B 坡面推荐植物名录

边坡坡率	配置结构	植物品种
≤ 1:0.5	草本 +灌木 +藤本	草本: 假俭草(<i>Eremochloa ophiurooides</i>) 百喜草(<i>Paspalum notatum Flugge</i>) 狗牙根(<i>Cynodon dactylon</i>) 香根草(<i>Chrysopogon zizanioides</i>) 马蹄金(<i>Dichondra micrantha</i>) 长春花(<i>Catharanthus roseus</i>) 马鞭草(<i>Verbena officinalis</i>) 柱花草(<i>Stylosanthes guianensis</i>) 狼尾草(<i>Pennisetum alopecuroides</i>) 狗尾草(<i>Setaria viridis</i>) 糖蜜草(<i>Melinis minutiflora</i>) 类芦(<i>Neyraudia reynaudiana</i>) 灌木: 秋英(<i>Cosmos bipinnatus</i>) 百日菊(<i>Zinnia elegans</i>) 黄秋英(<i>Cosmos sulphureus</i>) 千日红(<i>Gomphrena globosa</i>) 半枝莲(<i>Scutellaria barbata</i>) 牵牛(<i>Pharbitis nil</i>) 铺地黍(<i>Panicum repens L.</i>) 画眉草(<i>Eragrostis pilosa Beauv</i>) 雀稗(<i>Paspalum scrobiculatum Linn</i>) 黑麦草(<i>Lolium perenne</i>) 结缕草(<i>Zoysia japonica</i>) 细叶结缕草(<i>Zoysia tenuifolia</i>)
>1:0.5	草本 +藤本	灌木: 黄槐决明(<i>Senna surattensis</i>) 多花木蓝 (<i>Indigofera amblyantha</i>) 盐肤木(<i>Rhus chinensis</i>) 六月雪(<i>Serissa foetida</i>) 莩芝(<i>Cudrania cochinchinensis</i>) 宝巾(<i>Bougainvillea glabra Chois</i>) 夹竹桃(<i>Nerium oleander</i>) 篱杜鹃(<i>Bougainvillea spectabilis</i>) 桃金娘(<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>) 车轮梅(<i>Rhaphiolepis indica</i>) 紫薇(<i>Lagerstroemia indica</i>) 野牡丹(<i>Melastoma candidum</i>) 双荚决明(<i>Senna bicapsularis</i>) 伞房决明(<i>Senna corymbosa</i>) 黄花槐(<i>Sophora xanthoantha</i>) 车桑子(<i>Dodonaea viscosa</i>) 胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>) 六月雪(<i>Serissa japonica</i>) 紫薇(<i>Lagerstroemia indica</i>) 山毛豆(<i>Tephrosia candida</i>) 木豆(<i>Cajanus cajan</i>) 金合欢(<i>Acacia farnesiana Willd</i>) 藤本: 莩芝(<i>Cudrania cochinchinensis</i>) 薜荔(<i>Ficus pumila</i>) 灌木: 地锦(<i>Parthenocissus tricuspidata</i>) 山牵牛(<i>Thunbergia grandiflora</i>) 葛藤(<i>Pueraria lobata Ohwi</i>) 猫爪藤(<i>Macfadyena unguis-cati</i>) 扭肚藤(<i>Jasminum elongatum</i>) 使君子(<i>Combretum indicum</i>) 地果(<i>Ficus tikoua</i>) 凌霄(<i>Campsis grandiflora</i>) 红萼龙吐珠(<i>Clerodendrum speciosum</i>) 爬山虎(<i>Parthenocissus tricuspidata</i>) 炮仗花(<i>Pyrostegia ignea Presl</i>) 小叶铺地榕(<i>Ficus tikoua</i>) 三脉野木瓜(<i>Stauntonia trinervia</i>) 首冠藤(<i>Bauhinia corymbosa</i>)
> 1:1.0	草本 +藤本	

附录 C 主要边坡类型水泥基生态修复方案图

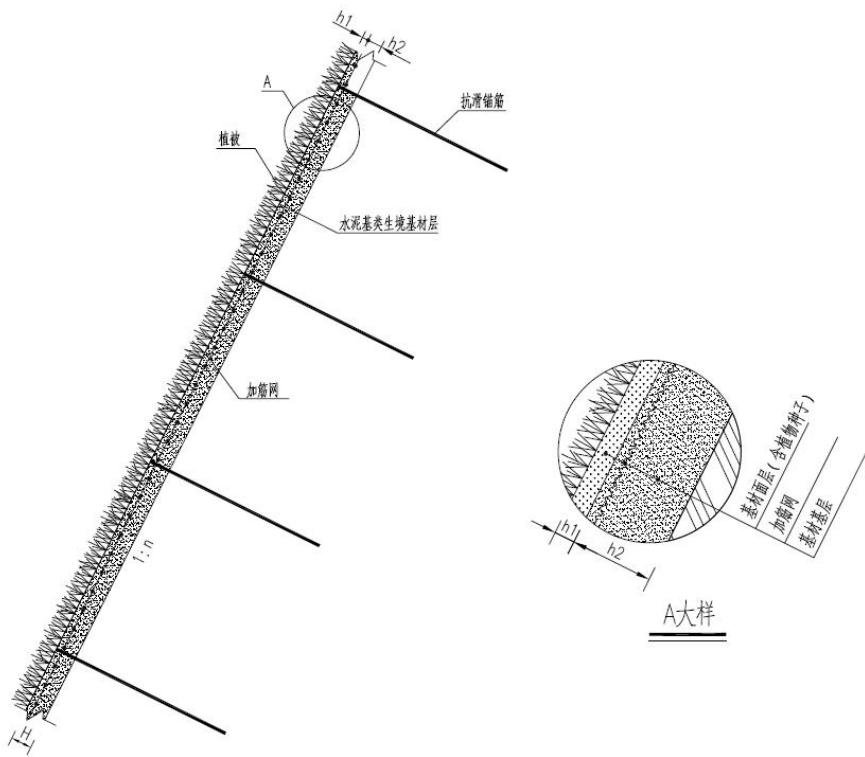


图 C. 0. 1 水泥基边坡生态修复大样图（A型）

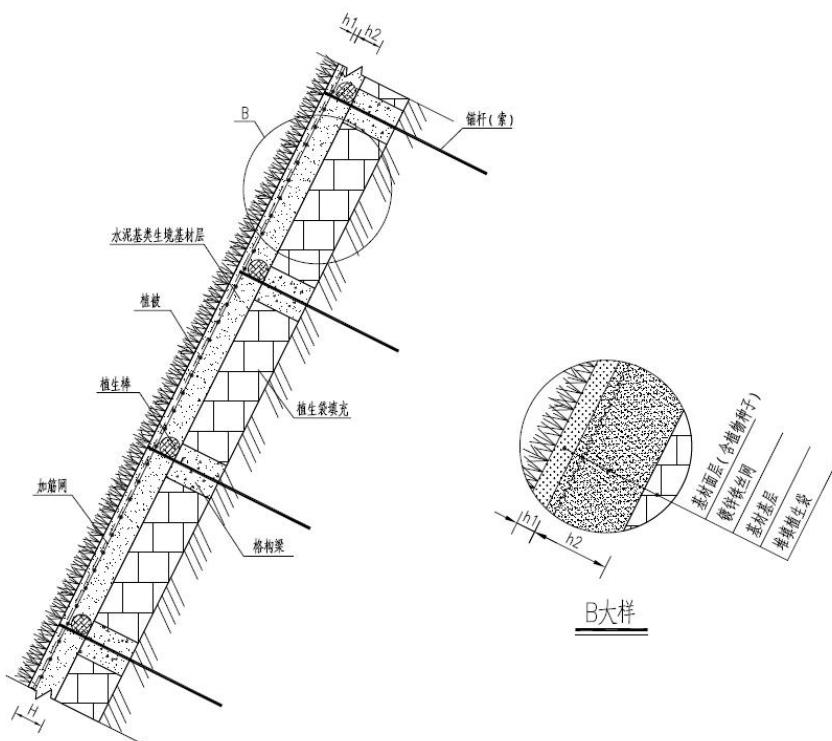


图 C. 0. 2 水泥基边坡生态修复大样图（B型）

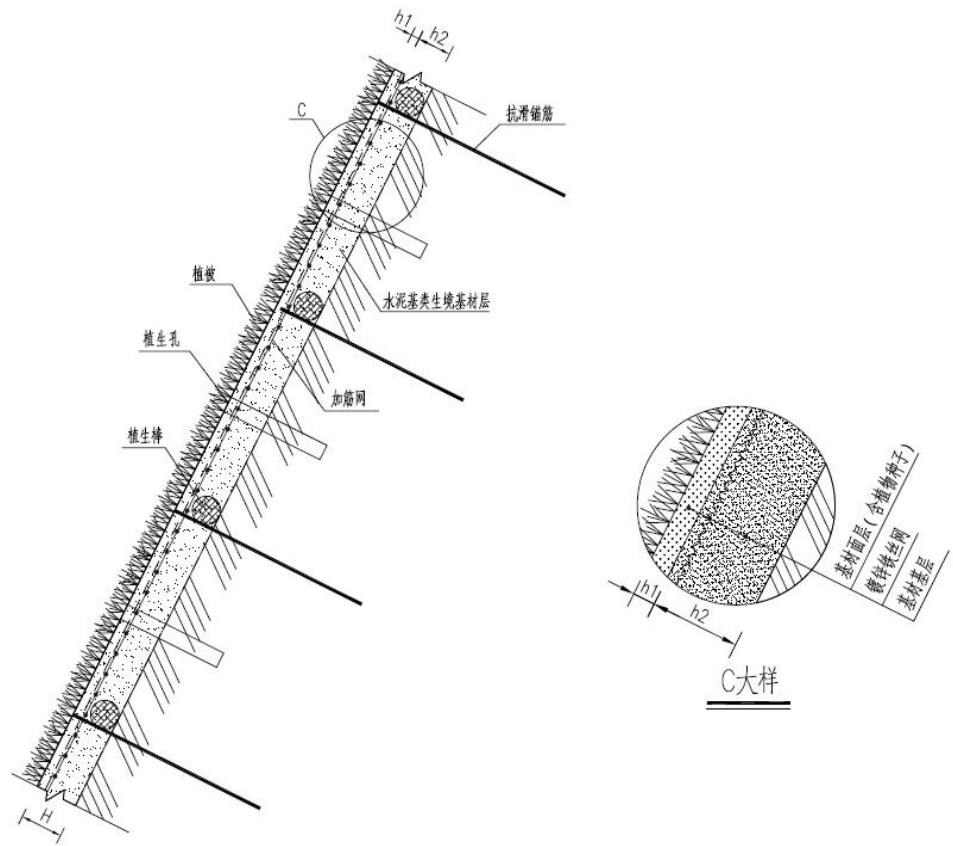


图 C. 0.3 水泥基边坡生态修复大样图 (C型)

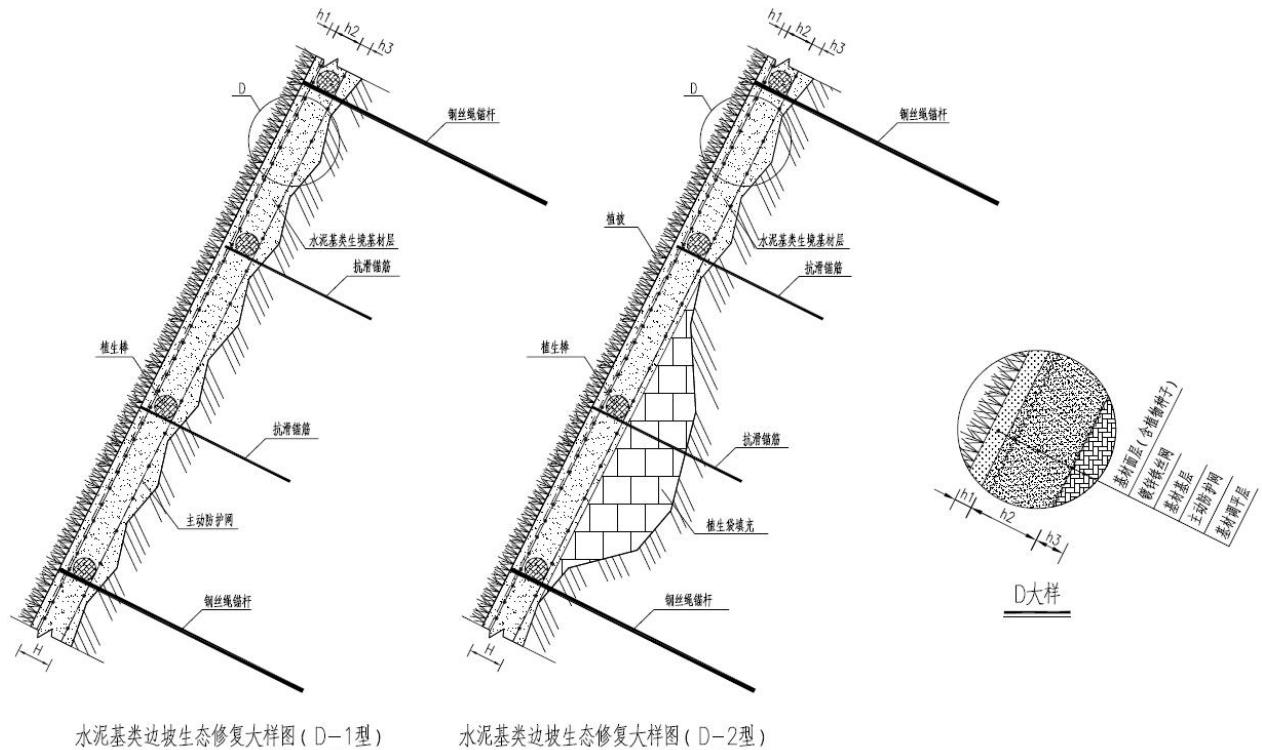


图 C. 0.4 水泥基生态修复设计方案 (D型)

本规程用词说明

1 为了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，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

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

引用标准名录

- 1** 《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
- 2** 《灌溉与排水工程设计标准》 GB 50288
- 3** 《禾本科草种子质量分级》 GB 6142
- 4** 《座板式单人吊具悬吊作业安全技术规范》 GB 23525
- 5** 《林木种子质量分级》 GB 7908
- 6** 《豆科草种子质量分级》 GB 6141
- 7** 《林木种子检验规程》 GB 2772
- 8** 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 9** 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 10** 《绿化用有机基质》 GB/T 33891
- 11** 《农业灌溉设备滴灌管技术规范》 GB/T 17187
- 12** 《管道输水灌溉工程技术规范》 GB/T 20203
- 13** 《复混肥料（复合肥料）》 GB/T 15063
- 14** 《木质活性炭试验方法亚甲基蓝吸附值的测定》 GB/T 12496.10
- 15** 《喷射混凝土应用技术规程》 JGJ/T 372
- 16** 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》 JGJ 130
- 17** 《有机肥料》 NY 525
- 18** 《水电工程陡边坡植被混凝土生态修复技术规范》 NB/T 35082
- 19** 《水电工程边坡植生水泥土生境构筑技术规范》 NB/T 10490
- 20** 《园林绿化种植土质量》 DB 440300/T 648
- 21** 《深圳市边坡工程技术标准》 SJG 85

深圳市工程建设地方标准
道路边坡工程水泥基生态修复技术规程

SJG 213 – 2025

条文说明

制 定 说 明

为推动深圳市边坡生态修复工程高质量工作顺利开展，解决现状边坡生态修复未能形成与本地气候适应的生境基材、未能形成本地化的植物体系以及未能满足日益强烈的品质需求等问题，制定本规程。

本规程制定过程中，编制组在充分调查、深入研究的基础上，认真总结植被混凝土、植生水泥土等水泥基生境基材的技术特性和应用特点，探索突出边坡“安全稳固、绿色生态、自然和谐、低碳环保”的全过程解决途径，总结了水泥基生态修复技术的实践经验，充分吸收了近年来水泥基生态修复技术所取得的科技成果，结合深圳市边坡工程中水泥基生态修复技术的实际运用和实践经验，提出适用于深圳市的水泥基边坡生态修复技术，并向有关建设、科研、设计、施工、监理和管理单位广泛征求了意见，用于规范和指导水泥基生境构筑技术在深圳市边坡生态修复工程中的推广和应用，同时也是对现行行业设计和施工规范的补充和完善。

为便于广大建设、科研、设计、施工、监理和管理等单位的有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《道路边坡工程水泥基生态修复技术规程》编写组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的一、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	26
3	基本规定	27
4	材料与设备	28
	4.2 材料	28
	4.3 设备	28
5	技术要求	30
	5.2 坡顶集水区	30
	5.3 坡面预处理	30
	5.4 加筋系统	30
	5.5 植物遴选	30
	5.7 生境基材配制	32
6	施工	34
	6.2 施工准备	34
	6.3 施工要点	34
	6.4 养护要求	35
7	质量检验与工程验收	36
	7.1 质量检验	36
	7.3 工程验收	36

1 总 则

1.0.1 深圳地区具有强台风、强降雨等气候特点，仅依靠自然力量，对扰动的边坡生态恢复将极其缓慢，甚至难以恢复。常规的边坡生态修复技术存在抗冲刷能力弱、生态修复慢、修复效果差、生态修复不可持续甚至退化、植被物种单一等问题，边坡水泥基生态修复技术能克服上述缺陷，填补了边坡尤其是高陡边坡抗冲刷、快速生态修复技术空白。

1.0.2 道路边坡生态修复需重点体现边坡植被修复、浅层防护和水土保持效果，力求形成环境协调的自然景观。

1.0.3 本规程所指的各类稳定边坡包括无整体或局部滑动、坍塌等潜在危险，处于安全稳定状态下的天然边坡和经处理后稳定的人工扰动边坡，主要包含岩质边坡、土石混合边坡、混凝土硬化边坡、格构梁加固边坡、各类土质边坡等。

水泥基生态修复技术不仅适用于一般的工程创面，对于其他喷混植生技术（如客土喷播）无法处理的高陡岩质边坡、混凝土硬质坡面同样具有良好的生态修复效果，改变目前深圳市边坡设计及施工中存在的强结构支护弱修复的现状。

本条约定适用的边坡坡率原因是当边坡坡率大于 1:0.2 时，可接收的自然降水极少，植物难于生长，后期管养难度极大。水泥基生态修复技术虽然适用边坡坡率不超过 1:0.2 的各类稳定边坡，但基于成本考虑，对于坡率缓于 1:1.25 的边坡，可采用其他边坡生态修复方法，建议实施前与其他边坡生态修复技术进行技术经济比选。

3 基本规定

3.0.4 边坡类型不同，其植物群落构建目标、水泥基生境构筑细节等均存在较大差异，如此分类，以方便设计与施工。

4 材料与设备

4.2 材料

4.2.1 本条第2款砂粒含量规定不仅为了保证生境基材的质量,也是为了减少施工中的粉尘和水泥基生境基材的硬化收缩;同时土壤的湿度宜控制在20%内,主要是为了减少材料粉碎过筛和搅拌时水泥的飞扬,降低粉尘,有利于物料在管道中的输送和在喷嘴加水时能与材料均匀混合,提高水泥基生境基材的施工质量。

4.2.5 本条第1款优先选用农业或城市绿化产生并经粉碎、发酵、消毒处理的园林废弃物,是因为深圳市城市绿园林化每年都会产生大量的固体废弃物,为了资源化利用城市园林绿化所产生的大量固体废弃物,让园林废弃物无害化、资源化,实现园林废弃物回归土壤、节能环保、服务城市、反哺生态,创建可持续发展的生态环境。

4.2.8 湿喷法施工在水泥基生境基材中加入植物纤维是为了保证喷播后的基质不会产生大面积的裂缝,保证施工质量。同时植物纤维也可作为有机物料使用,加入植物纤维后可以适量调整配比中有机物料的含量。

4.3 设备

4.3.2 湿法喷播主要使用机械有:离心泵喷播机或柱塞泵喷播机、水泵、发电机、打泥机等。湿法喷播与干法喷播技术相比,湿法喷播喷射速度快、效率高、准备时间短、喷射范围广且移动方便,能提高作业循环的速度,加快施工进度,但喷射基材强度低,初期抗冲刷能力较弱,结合深圳市气候特点及已有工程经验,按坡率1:0.75进行划分干法喷播和湿法喷播工艺,能保证质量效果,又经济合理,利于项目推进。

4.3.3 干法喷播主要机械有:转子式混凝土喷射机、空气压缩机、液压喷播机、水泵、发电机、打泥机等,干法喷射基材强度高,初期抗冲刷能力较强,结合深圳市气候特点及已有工程经验,对于坡率大于1:0.75的岩质边坡和格构梁加固边坡,干法喷播工艺,能保证质量效果。

转子式喷射机是实现水泥基生境基材干法喷播工艺全过程的主要设备。目前国内已有多种定型产品。如治建65型双罐式喷射机;PH30—74型转子式喷射机;SP—2、SP—3型转盘式喷射机;HPH—6B型、CP—1型喷射机等。这些不同型号的喷射机,各有其特点,可根据施工需要,选择使用。本条规定对选用喷射机性能的三点要求就是为了:

- 1 减少水泥基生境基材施工中的回弹率;
- 2 降低喷射作业面空气中的粉尘浓度;
- 3 提高水泥基生境基材施工作业效率;
- 4 提高水泥基生境基材工程质量,降低工程造价。

本条第2款规定尽管目前常用喷射机均可使用最大粒径为25mm的粗骨料,但是为了减少回弹和管路堵塞,采用粒径较小的粗骨料更为有利。因此,本条规定干法喷播骨料的最大粒径不宜大于20mm。

4.3.4 本条第1款的规定水泥基生境基材施工中当需要配置专用空气压缩机时,转子式喷播设备用空气压缩机的供风量不能小于 $15m^3/min$,这是由喷射机的输送能力所决定的。同时,风压也应该满足水泥基生境基材施工要求。实践表明,风压和风量不足,易产生堵管,影响喷射作业的顺利进行,也会减弱料流的冲击捣实力,导致生境基材的密实性和初期强度差,会降低基材后期的

抗冲刷性能。

本条第3款的规定空气压缩机的风压要尽量保持稳定，其波动值不应大于0.01 MPa是因为水泥基生境基材施工过程中，工作风压波动过大，势必造成料流在输料管路中的速度时大时小，这种料流送到喷头处遇水也难以混合均匀，喷射手也难以调节水灰比，使得水泥基生境基材干湿不均，质量粗劣。这在空气压缩机站集中供风的情况下，因有大型贮存气罐进行调节，是不成问题的。但在现场使用专用空气压缩机供风的情况下，这一条是绝不能忽视的。

另压缩空气进入喷播机前应进行油水分离，因为压缩空气中都有少量的油水混合物。如果不将其分离出去，势必影响生境基材质量和施工的顺利进行。

4.3.4 本条规定输料管工作时的承压能力是为了防止作业时爆管，以保证作业安全。

5 技术要求

5.2 坡顶集水区

5.2.3 多年平均降水量相关系数、边坡目标植被相关系数根据植物正常生长需水量估值确定。

考虑到边坡植物生态用水需求、深圳市工程用地实际以及水泥基生境基材防冲刷剂边坡稳定性要求，截水沟至修复坡面上缘距离介于3m~8m之间。

5.3 坡面预处理

5.3.2 本条第4款约定植生孔设置于混凝土等人工硬化边坡，可采取开凿或预留等方式设置。孔口形状多为圆形，其尺寸大小主要依据混凝土护面层内钢筋网的孔径与孔内所定植灌木的规格而确定。混凝土护面层内钢筋网的孔径一般为150mm左右，考虑到边坡立地条件、苗木成本、苗木成活率等因素，所定植苗木的地径为20mm~50mm，由此，要求植生孔孔口面积不小于0.015 m²。

植生孔的作用主要为保证坡面与坡体之间的水汽联通以及能量交换。

本条第5款约定开挖边坡如存在反坡或凹陷大于0.2m的较大凹陷坡面，宜采取削坡或填充生态袋、植生袋等方式进行预处理。主要是为了保证坡面的基本平整度，减少基质喷播用量，提高施工效率及生态修复效果。

5.4 加筋系统

5.4.2 本条约定网目间距，是因为间距过小会阻碍喷播基质与边坡之间的紧密附着，间距过大会影响喷播基质的支撑作用。铺网材料的选择依据喷播方法和边坡条件确定。另从生态环保的角度考虑，在施工过程推荐使用可降解材料。

5.4.4 5.4.5 锚固件材料与边坡加固工程中的土钉、锚杆（索）的有着本质区别，边坡加固工程中的土钉、锚杆（索）的主要作用是加固边坡，抗滑止滑。而锚固件材料的主要作用是将网与边坡牢固连接，为水泥基喷播基质的附着起到支撑作用。锚固件材料承受荷载主要来自网和水泥基喷播基质，依据喷播施工方法和不同的坡面类型选择合适的锚固件材料，保证其结构强度满足验算或经验值要求。

锚固件一般分为主锚固件和次锚固件。主锚固件主要作用是防止网与水泥基喷播基质下滑，次锚固件的主要作用是将网均匀地压紧在边坡上，保证水泥基喷播基质的良好附着。

本条规定锚固件的布置间距指主锚固件，设计无明确要求时次锚固件的间距可视坡面与网之间的情况现场进行确定。

5.4.6 本条约定植生棒的直径是为了保证网与边坡坡面之间保持一定的间距，让铁丝网在水泥基喷播基质中起到骨架作用。

5.5 植物遴选

5.5.1 外来入侵植物将导致本地生物多样性降低，甚至丧失。常见外来入侵植物有紫茎泽兰、薇甘菊、空心莲子草、豚草、毒麦、飞机草、假高粱、马缨丹、银合欢、加拿大一枝黄花、蒺藜草、大薸、银胶菊等。管养过程如发现的坡面入侵植物应及时清除。

5.5.4 植物配置建议结合边坡坡顶、坡脚、平台、坡面四个部位进行针对性设计：

1 坡顶平台及生态集水区的植物配置可视坡率而定,如集水区坡率小于1:2时,亦可配置少量的乔木;

2 碎落台可根据宽度进行草灌乔藤配置,当碎落台宽度小于或等于1m时,可在碎落台种植草本、灌木或吸附藤本植物,如图1所示;当平台宽度大于1m时,可在碎落台种植草本、灌木、乔木或吸附藤本植物,如图2所示;

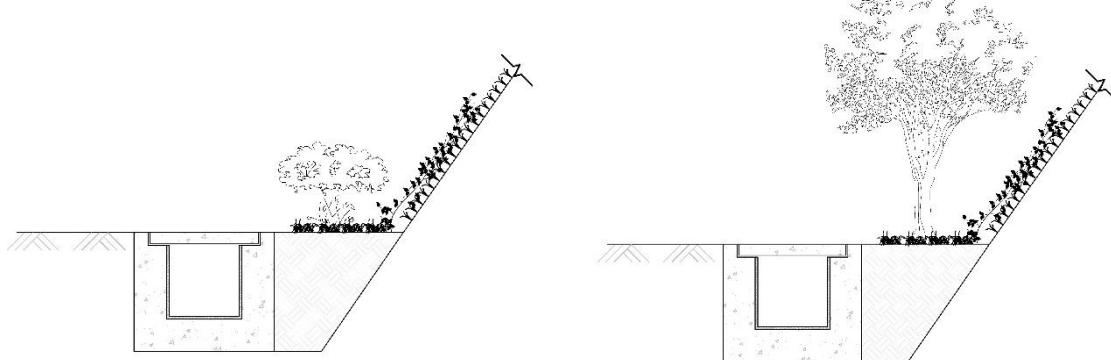


图1 碎落台宽度小于1m做法图

图2 碎落宽度大于1m做法图

3 平台可根据宽度进行草灌藤配置,当平台宽度小于或等于2m时,可在排水沟外侧种植灌木或垂吊藤本植物,如图3所示;当平台宽度大于2m时,在排水沟内侧种植槽及外侧均可种植灌木或攀援藤本植物,如图4所示;

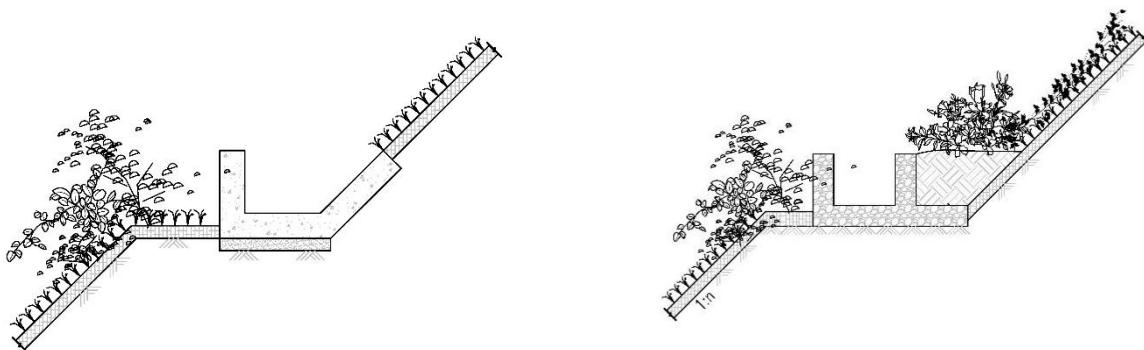


图3 平台宽度小于2m做法图

图4 平台宽度大于2m做法图

4 坡面需根据坡面朝向、坡率选择合理的生境基材厚度,并根据生境基厚度选择合适的植物搭配,宜采用草本、藤本和灌木结合配置。如坡面存在坑槽,可根据坑槽情况设置植生穴等措施,可在植生穴内种植草本、藤本和低矮灌木,如图5所示。

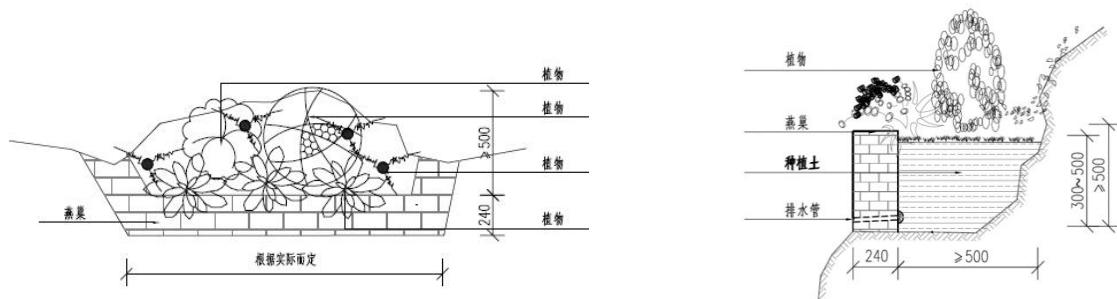


图5 种植槽平面及剖面

5.7 生境基材配制

5.7.1 水泥基生境基材分为基材基层和基材面层，两者的组成材料基本相同，主要区别为原材料配比差异，基层强度比面层强度高，面层中含有植物种子。面层主要为植物种子萌发营造良好环境，同时也为了降低种子的实际使用量，基层主要为植物生长提供适宜的水、热、气、肥及微生物等生境条件。

本条约定是因为土壤是植物生长繁育的基本载体，因此配制生境基材时，以壤土体积为基准计算其他材料用量。水泥的功效在于作为骨架材料和粘结材料，目的是为增强生境基材附着于坡面的附着力和抗侵蚀性，因此水泥用量以土壤用量为基准，综合考虑了边坡坡度和年均雨量的影响。

生境基材改良剂的功效主要包括改善生境基材生物与理化性质、降低 pH 值、活化土壤、固持养分、增强抗冻融性能等，因此生境基材改良剂用量以土壤用量为基准，同时综合考虑水泥用量的影响。

有机肥的功效在于改善土壤颗粒级配，提升生境基材肥力的可持续性，因此有机肥用量以土壤用量为基准，考虑了土壤砂粒含量的影响。

有机物料的功效主要在于改善生境基材固、液、气三相结构，及协同有机肥提升生境基材肥力的可持续性，因此生境基材有机料用量以土壤用量为基准，考虑了有机肥用量的影响。

表 5.7.2 不同坡率类型水泥基生境基材配合比是基于深圳市多年降雨数据及边坡试验结果确定。当边坡坡率大于 1:0.3 时，为保证边坡安全，可不再区分基层和面层。

1 当采用干法喷播时，水泥基生境基材混合料各组成用量可参考现行行业标准《水电工程陡边坡植被混凝土生态修复技术规范》NB/T 35082-2016 中第 8.2.2 条的规定进行复核计算：

1) 生境基材有机物料用量可按下式计算：

$$V_{om} = (0.25 + 0.35K_a K \frac{\alpha-45^0}{90^0}) V_{PS} \quad (1)$$

式中：

V_{om} ——生境基材有机料体积 (m^3)；

V_{PS} ——壤土体积 (m^3)；

K_a ——地带相关系数，取 1.00。

2) 水泥用量宜按下式计算：

$$M_c = K_l (0.06 + 0.07 \frac{K \alpha-45^0}{K_a 90^0}) V_{ps} \rho_{ps} \quad (2)$$

式中：

M_c ——水泥质量 (kg)；

V_{ps} ——土壤干密度 (kg/m^3)；

K_l ——基层和面层相关系数，基层取 1.0，面层取 0.5。

3) 生境基材改良剂用量可按下式计算：

$$M_{aa} = 0.9 M_c \quad (3)$$

式中：

M_{aa} ——水泥质量 (kg)；

2 当采用湿法喷播时，水泥基生境基材混合料各组成用量可参考行业标准《水电工程边坡植生水泥土生境构筑技术规范》NB/T 10490-2021 中第 8.2.2 条的规定进行复核计算：

1) 水泥用量可按下式计算：

$$M_c = 0.035K_s K_r V_{ps} \rho_{ps} \quad (4)$$

式中：

M_c ——水泥质量 (kg)；

K_s ——边坡坡度调整系数，边坡坡度大于或等于 45° 且小于等于 60° 取 1.3，边坡坡度大于等于 30° 且小于 45° 取 1.0，边坡坡度小于 30° 取 0.8；

K_r ——年均雨量调整系数，年均雨量大于或等于 1200 mm 取 1.1，年均雨量大于或等于 900 mm 且小于 1200 mm 取 1.0，年均雨量大于或等于 600 mm 且小于 900 mm 取 0.9，年均雨量小于 600 mm 取 0.8；

V_{ps} ——土壤体积 (m^3)；

ρ_{ps} ——土壤干密度 (kg/m^3)。

2) 生境基材改良剂用量可按下式计算：

$$M_\alpha = 0.95M_c \quad (5)$$

式中：

M_α ——生境基材改良剂质量 (kg)。

3) 有机肥用量可按下式计算：

$$M_{of} = 0.015K_i V_{ps} \rho_{ps} \quad (6)$$

式中：

M_{of} ——有机肥质量 (kg)；

K_i ——土壤砂粒含量调整系数，砂粒含量小于 30% 取 0.7。

4) 生境基材有机物料用量可按下式计算：

$$M_{om} = 0.5M_{of} + 0.75M_c \quad (7)$$

式中：

M_{om} ——生境基材有机物料质量 (kg)。

5) 植物纤维用量可按下式计算：

$$M_v = 0.0015 (K_d + K_r - 0.8) V_{ps} \rho_{ps} \quad (8)$$

式中：

M_v ——植物纤维质量 (kg)；

K_d ——年均无霜期调整系数，年均无霜期大于或等于 360d 取 0。

6 施工

6.2 施工准备

6.2.3 本条第1款拆除影响喷播施工的障碍物是指照明电线、动力电缆及妨碍喷射作业的脚手架等，此规定主要是保证喷播作业的顺利进行及水泥基生境基材喷播的质量。

本条第2款的规定是从施工实践中总结出来的，利于搭设工作台架的环境中按照这个规定搭设工作台架，就能保证喷射基材施工质量和作业人员的安全。

本条第3款和第4款的规定是从深圳市的边坡工程实际出发，结合现行国家标准《座板式单人吊具悬吊作业安全技术规范》GB 23525有关规定，在不利搭设或者无法搭设工作台架的环境下，遵照上述规范的有关规定，能保证喷射基材施工质量和作业人员安全，且经济性最优。

本条第5款的规定，一是为了保证进行正常的喷射作业；二是为了保证在紧急情况下（如发生堵管等）能及时处理。

本条第7款规定在喷射作业区应设有良好的采光是为保证喷射手能看清工作面的状况，从而保证喷射基材质量；作业面通风良好，对降低喷射作业粉尘浓度至关重要。因此，本款特别强调了喷射作业区要有良好的通风。

为确保施工安全和提高效率，当施工条件允许时可选用高空作业车进行喷播作业。

6.2.4 本条对岩石边坡表面处理有三项规定：

1 本款规定新开挖的岩石边坡可采用适当的开挖和修整方式如光面或预裂爆破，其目的在于获得适度平整且相对粗糙的喷播面，更好地发挥水泥基生境基材受力性能，还可减少原材料的消耗；

2 自然岩石边坡表面覆盖有浮石、泥土、杂草等物，在水泥基生境基材施工之前需将其清除干净的原因是为了增加水泥基生境基材与基岩面的粘结力，保证水泥基生境基材和坡面岩层的良好附着；

3 无论是自然边坡还是新开挖的岩石边坡，坡脚处堆积的岩渣和其它堆积物等如不清除，在喷射水泥基生境基材施工过程中会造成失脚现象。

6.3 施工要点

6.3.1 施工实践表明，良好的干混合料拌和质量，是保证喷射机向输料管均匀连续送料、混合料送到喷头处与水混合均匀、减少回弹和粉尘、提高生境基材质量的重要一环。本条规定干混合料的拌和应优先使用强制式搅拌机，就是为了避免干混合料搅拌时的粉尘飞扬和水泥散失，使施工符合环保要求和保证生境基材质量。

当没有强制式搅拌机时，也可以在通风良好的场地使用自落式搅拌机。此时，在保证顺利喷射的情况下，可适当加大壤土含水率，同时辅助喷雾降尘措施，以减少搅拌时的水泥飞扬和散失。

尽量缩短搅拌机与喷射机之间的距离是基于尽量减小混合料的停放时间，保证干混合料在新鲜的情况下进行喷射作业。

施工实践表明，喷射作业中的堵管次数，随着输料管长度的加大而增加。输料距离越长，混合料在管路中的阻力越大，堵塞的机率就越大，处理时难度也加大。因此，施工中应尽可能采用短距离喷射作业，以减少堵管现象发生，提高工作效率。

6.3.2 本条第1款规定，喷射作业前应用高压风水（对遇水易泥化的坡面只能用压风）清洗受喷面，是为了喷射水泥基生境基材与坡面粘结牢固，保证喷射水泥基生境基材与岩层具有良好的受力性能；

本条第2款规定喷播机与喷播作业面之间的距离不宜大于60m，主要是为了减少喷播作业中的堵管，提高工作效率。同时因水泥基生境基材中主要以水泥为胶结材料和骨架材料，为保证水泥不失效，规定配制好的生境基材宜在6h内喷播完毕。

本条第3款规定是为了保证面层和基层之间的粘合度，防止后期面层剥落。

本条第4款规定喷枪出口压力值不应低于0.6MPa主要是为了保证喷层的压实度，保证水泥基生境基材的施工质量，防止水泥基生境基材出现开裂、离鼓和剥落现象。

本条第5款规定干法喷播作业开始时，应先给水后送料，结束时应待风停后再关水主要是防止如因堵管、停风、输料中断或喷播作业完毕后，应立即关闭喷头水阀，并将喷头朝下放置，以防混合用水倒流入输料管中。

本条第6款约定喷头的水压力是因为喷头供水压力适宜，是保证干混合料与水混合均匀的重要条件。实践和理论分析表明。混合水的最低压力应比喷头处料流的压力大0.05MPa左右，以保证压力水穿透料流与混合料混合均匀。喷头料流的压力，一般在0.1MPa左右。为此，本条规定喷头处的水压不应小于0.15MPa。

本条第7款除种植层喷播需覆盖之外，试验数据显示，水泥基生境基材喷射完毕4h内，其抗冲刷能力尚比较微弱。此时段内，如发生强降雨，需加盖塑料薄膜避免侵蚀流失。

6.3.2 风速大于5级对应的风速范围为8.0m/s~10.7m/s。

6.4 养护要求

6.4.2 采用水泥基生境基材进行生态修复的坡面相对立地条件比较恶劣，前期的生态较脆弱，且水泥基基材的强度较高，植物的生长相对较缓慢，因此约定的成活期养护为不小于90d。

草苗成坪期、苗木恢复生根期一般为90d，如遇气温较低的冬期施工，草苗成坪期、苗木恢复生根期可适当延长。

7 质量检验与工程验收

7.1 质量检验

7.1.1 采购国外生产进口的植物或种子时，需提供检疫合格证。

7.3 工程验收

7.3.4 工程竣工验收建议在苗木基本发芽，满足验收条件后进行。