

ICS 93 080

备案号: P66

DB33

浙江省地方标准

DB 33/ TXXX—2015

柔性生态加筋挡土墙设计与施工技术规范

Technical specifications for design and construction of
flexible ecological reinforced earth retaining wall

(报批稿)

2015 - XX - XX 发布

2015 - XX - XX 实施

浙江省质量技术监督局 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 基本规定	2
5 勘察与勘测	3
5.1 一般规定	3
5.2 工程地质勘察	3
5.3 工程勘测	3
6 材料	4
6.1 一般规定	4
6.2 填料	4
6.3 筋材	5
6.4 辅助材料	6
7 设计	6
7.1 一般规定	6
7.2 荷载	7
7.3 构造设计	14
7.4 设计计算	16
7.5 防护、排水及附属设施	23
8 施工	24
8.1 一般规定	24
8.2 施工准备	25
8.3 施工要求	25
9 质量检验	29
9.1 一般规定	29
9.2 检验标准	29
附 录 A（规范性附录） 常用筋材主要技术指标	33
附 录 B（规范性附录） 筋材与主要辅助材料检验项目	35
附 录 C（资料性附录） 柔性生态加筋挡土墙算例	36
附 录 D（资料性附录） 柔性生态加筋挡土墙施工要点	42
附 录 E（规范性附录） 单位、分部及分项工程的划分	46
参考文献	47

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由浙江省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：浙江省交通规划设计研究院、浙江省交通工程建设集团第三交通工程有限公司、浙江省科威工程咨询有限公司、浙江金筑交通建设有限公司。

本标准主要起草人：陈建荣、沈 坚、李卫炎、郑竞友、刘 泽、翁 辉、楼华锋、王雅茹、施兹国、水小清、程伟述、赵云强、林亚芳、于晓岚、孔庆林、陈 航、孙美华、董熙强、徐 健、方勇刚、朱益军、陈 刚、张伟民、余红宇、熊海军、张京京、徐音昂、杨昌能、夏华盛、徐璐。

柔性生态加筋挡土墙设计与施工技术规范

1 范围

本标准规定了柔性生态加筋挡土墙的勘察设计、材料、施工及质量检验等技术要求。
本标准适用于新建、改建或扩建道路和养护工程的柔性生态加筋挡土墙设计、施工和质量检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有修改单)适用于本文件。

- GB 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋
- GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋
- GB 1499.3 钢筋混凝土用钢 第3部分:钢筋焊接网
- JTG B02 公路工程抗震规范
- JTG C10 公路勘测规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D31-02 公路软土地基路堤设计与施工技术细则
- JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范
- JTG D80 高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范
- JTG D81 公路交通安全设施设计规范
- JTG E40 公路土工试验规程
- JTG E50 公路工程土工合成材料试验规程
- JTG F10 公路路基施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- DB 33/T 916 公路边坡植被防护工程施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性生态加筋挡土墙 flexible ecological reinforced earth retaining wall
由填土、筋材和可绿化的柔性墙面组成的、坡面坡率陡于 1:0.5 的支挡结构。

3.2

加筋路堤 reinforced embankment
采用筋材加筋的、坡面坡率缓于1:0.5的路堤。

3.3

筋材 reinforcement

发挥加筋补强作用的土工合成材料或金属材料。

3.4

土工合成材料 geosynthetics

工程建设中应用的以人工合成或天然聚合物为原料制成的工程材料。

注：改写JTG/T D32-2012，术语2.0.1。

3.5

钢丝（筋）网 steel wire mesh

由经表面防腐处理的钢丝（筋）编织（或焊接）而成的平面网状材料。

3.6

连接件 connector

用于连接相邻筋材、提高加筋挡土墙整体性的辅助材料。

3.7

生态袋 eco bag

采用聚合化纤织物或天然纤维制成的，可装入植生营养土的袋状结构。

3.8

刚性筋墙 rigid reinforced retaining wall

筋材采用抗拉模量高、延伸率低的加筋挡土墙。

3.9

柔性筋墙 flexible reinforced retaining wall

筋材采用抗拉模量低、延伸率较大的加筋挡土墙。

3.10

潜在破裂面 potential failure surface

加筋挡土墙各层筋材最大拉应力位置的连线所组成的面。

4 基本规定

4.1 柔性生态加筋挡土墙适用于有景观要求或用地受限需设支挡的填方路段。

4.2 设计应遵循“因地制宜、安全耐久、资源节约、环境协调、科学合理、技术先进”的原则。

4.3 柔性生态加筋挡土墙墙面坡率宜陡于 1:0.5，单级墙高不宜高于 12m；当采用多级墙时，每级墙高不宜大于 10m，上下级墙体之间宜设置宽度不小于 2m 的平台。单级墙高大于 12m 或设计基本地震动峰值加速度大于或等于 0.1g 地区时应进行特殊设计。

4.4 应做好工点处的地质勘察、纵横断面勘测和调查工作，提供的基本资料应准确可靠，满足设计要求。

4.5 设计计算宜采用以分项系数表示的极限状态设计法，特殊设计宜采用数值分析进行校核。应综合考虑地质条件、勘察资料、填料特性、材料选择 and 环境影响等因素进行工点的动态设计，应保证结构具有足够的强度、耐久性和整体稳定性，其沉降变形应满足使用极限状态的要求。

4.6 应选择符合国家相关标准的耐久性好、强度高、延伸率低的合格筋材。加强对原材料、成品材料在运输、储存、施工中的管理，严格控制填料的质量、压实度，并采用合理的施工方法，尽量减少对环境和相邻工程结构的不利影响。

4.7 设计与施工应积极稳妥地采用新材料、新技术和新工艺。

4.8 对特殊路段的挡土墙宜设置永久性的观测点进行沉降和稳定监测，必要时应根据监测和养护需要设置检修台阶或检修梯。

5 勘察与勘测

5.1 一般规定

5.1.1 柔性生态加筋挡土墙的工程地质勘察和勘测应按 JTG C20《公路工程地质勘察规范》、JTG C10《公路勘测规范》、JTG D30《公路路基设计规范》和本规范等要求分阶段进行，各勘察和勘测阶段的工作内容和深度应满足各设计阶段的要求。

5.1.2 应认真做好工程地质、水文、气象和筑路材料等基础资料的收集、调查、分析和试验工作，为设计提供必要的参数。

5.1.3 应根据勘测成果确定挡土墙设置位置，合理确定勘察工作量，查明基底地质条件。

5.2 工程地质勘察

5.2.1 应在资料收集的基础上，根据柔性生态加筋挡土墙的设置位置、工程规模（墙高、长度）、地形状况、地质条件和公路等级选用综合勘察方法，确定勘探测试点数量和位置，查明基础的不良土分布、地层岩性、地质构造、水文地质条件，纵横向地质条件差异等。

5.2.2 应提供单独的路基工点资料，主要包括：工程地质平面图、纵面图、代表性地质横断面图、岩土物理力学指标汇总表、承载力参数推荐值表、挡土墙基础的（差异）沉降和稳定性对工程的影响分析等。

5.2.3 柔性生态加筋挡土墙基础勘探工作量要求：

- a) 挡土墙基础应采用挖探、钻探等方法进行勘探，勘探点的数量不应少于 1 个；当地质条件变化大时，宜结合物探进行综合勘探，勘探深度应达挡土墙基础持力层以下稳定地层中不小于 3m；
- b) 地质条件复杂的路段，每条横向勘探断面上勘探点数量不应少于 2 个，勘探深度应穿过滑动面至其下的稳定地层中不小于 3m。

5.2.4 应加强勘察过程控制，重视勘察外业现场管理和资料验收等工作，确保勘察资料的真实性、完整性和准确性。

5.3 工程勘测

5.3.1 应根据柔性生态加筋挡土墙的设置位置、规模和环境，确定调查、勘测的范围、要求和方法。

5.3.2 在对实地调查结果与搜集的资料进行分析，初步确定挡土墙的结构类型、形式和基本尺寸后，进行正式勘测。

5.3.3 应对墙址处的相关基础资料进行搜集、调查，并进行试验分析，为挡土墙设计提供设计依据。

- a) 沿河挡土墙应按路基设计要求，调查搜集洪水流量、水位、水深、流速、流向和冲刷等水文分析计算所需资料；
- b) 挡土墙墙背填料的重度、密实度、黏聚力、内摩擦角以及基础与地基土间的摩擦系数等设计参数，宜通过试验确定；
- c) 在施工图设计阶段，应搜集挡土墙路段加密桩号的路基横断面图、挡土墙起讫桩号路基横断面图、墙址纵断面图、地质纵、横剖面图及设计和施工所需的其他资料。

5.3.4 结合本规范第 5.3.3 条收集和调查相关资料，还应对挡墙的周边环境和施工条件进行调查，综合分析确定挡土墙的位置、起讫桩号、长度、形式和地勘要求。

5.3.5 对地形和地质条件特别复杂、规模较大的工点，应实地放出挡土墙等构造物轴线，进行纵横断面控制测量，并测绘 1:500~1:1000 的地形图。

5.3.6 定测阶段应对初测成果进行全面检查和实地核查，并做好补充和完善工作，按相关规定对定测成果进行验收。

6 材料

6.1 一般规定

6.1.1 柔性生态加筋挡土墙的材料选择主要包括加筋体填料、筋材和辅助材料。

6.1.2 应根据工程设计与施工需要，按 JTG E40《公路土工试验规程》和 JTG E50《公路工程土工合成材料试验规程》等相关标准的规定对填料、筋材和辅助材料的物理性能、力学性能等指标进行检验和测试。

6.2 填料

6.2.1 挡土墙加筋体填料应因地制宜，合理选择，并符合以下要求：

- 应选择易于填筑和压实、能与筋材产生良好摩擦与咬合作用、水稳定性良好的填料，并满足 JTG D30《公路路基设计规范》和 design 的要求；
- 墙后填料应优先采用具有一定级配、渗水性强的中粗砂、砂砾和碎（砾）石等材料。可采用中低液限的粘性土，不应采用淤泥、腐殖土等；墙高超过 12m 时，应对填料进行特殊设计；
- 与筋材直接接触部分的填料不应含有尖锐棱角的块体，填料的粒径不应超过 10cm；
- 当筋材为金属材质时，填料的化学和电学标准应满足表 1 的规定。

表1 填料的化学与电学标准

项目	氯离子 (0.0355g/100g填料)	硫酸根离子 (0.048/100g填料)	pH值
无水工程	≤5.6	≤21.0	5~10
淡水工程	≤2.8	≤10.5	5~10

6.2.2 填料的设计参数应根据其来源，选择有代表性的料样按 JTG E40《公路土工试验规程》要求进行室内试验，并结合现场情况确定。

- 初步设计缺乏可靠试验数据时，填料的设计参数可参照表 2 的数值采用；
- 填料重度 γ 可根据实测资料作适当修正，计算水位以下的填料重度 γ 采用浮重度；
- 墙高大于 12m 的柔性生态加筋挡土墙，表 2 中的综合内摩擦角或内摩擦角取低值。

表2 填料设计参数表

填料种类		综合内摩擦角 φ_0 (°)	内摩擦角 φ (°)	填料重度 γ (kN/m ³)
细粒土	黏性土	墙高H≤6m	—	17~18
		墙高H>6 m	—	
粗粒土（砂类土）	中砂、细砂		30~35	18~19
	砂砾、粗砂、角砾、圆砾		35~40	19~21
巨粒土（碎石土）	碎石、卵石		45~50	19~21

6.2.3 压实度要求

- 填料应分层铺筑，均匀压实，压实度应符合表 3 的规定；

表3 填料压实度表

填土范围		路槽底面以下 深度(m)	压实度(%)		
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
距面板内侧 1m 以外	下路床	0.30~0.80	≥96	≥95	≥94
	上路堤	0.80~1.50	≥94	≥94	≥93
	下路堤	1.50以下	≥93	≥92	≥90
距面板内侧 1m 以内		全部墙高	≥90	≥90	≥90

注：表列压实值系按《公路土工试验规程》(JTG E40) 中重型击实试验法的最大干密度的压实度。

- b) 当三、四级公路采用沥青混凝土路面或水泥混凝土路面时，应采用二级公路的规定值；
c) 路堤采用特殊填料时，压实度标准应通过试验路段试验确定，在保证路基强度要求的前提下可适当降低。

6.3 筋材

6.3.1 柔性生态加筋挡土墙宜采用平面网状筋材，不宜采用条带式筋材。常用筋材有钢丝网、钢筋网等金属材料类筋材和土工格栅、土工格室等土工合成材料类筋材。

6.3.2 筋材应符合下列要求：

- a) 筋材应整体性好、强度高、变形小，不应产生脆性破坏，其抗拉强度应能满足设计要求；
b) 具有良好的耐久性。当采用金属材料类筋材时，筋材表面应进行有效的防腐处理；当采用高分子聚合物类筋材时，筋材应具有低蠕变性和良好的抗紫外线老化性能；
c) 筋材表面粗糙，与填料间应能形成良好的摩擦咬合作用，能产生足够的摩阻力；筋土界面阻力系数应符合设计要求；
d) 与(墙)面(结构)的连接必须牢固可靠，施工方便；
e) 常用筋材主要技术指标见附录 A，筋材检验项目见附录 B。

6.3.3 筋材设计抗拉强度 T_a 按式(1)确定。

$$T_a = \frac{T_{ult}}{f_R} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T_a ——筋材设计抗拉强度 (kN/m)；

T_{ult} ——筋材的极限抗拉强度，按 JTG E50《公路工程土工合成材料试验规程》试验确定 (kN/m)；

f_R ——考虑筋材蠕变、老化和施工条件等因素的强度折减系数，宜通过试验确定。当缺乏试验条件时，对于土工合成材料类筋材，可取 1.8~2.5；对于钢丝(筋)网类筋材，可取 1.3~1.8；当筋材蠕变大、施工条件差时取大值，当筋材蠕变小、施工条件好时取小值。

6.3.4 筋材与土接触的界面阻力系数 f_{GS} ，应符合以下规定：

- a) 对二级及以上高等级公路的施工图设计应采用 JTG E50《公路工程土工合成材料试验规程》规定的拉拔试验或直接摩擦试验方法，按筋土界面实际条件试验确定；
b) 二级及以上高等级公路的初步设计或其他等级公路，可按式(2)和式(3)或表 4 确定；当墙高大于 12m 时，表 4 中的界面阻力系数宜取低值。

表4 筋材与土接触的界面阻力系数 f_{GS}

筋材种类	细粒土（黏性土）	粗粒土（砂类土）	巨粒土（碎石土）
土工格栅（织物）土工合成材料	0.25~0.40	0.35~0.45	0.40~0.50
钢丝（筋）网金属材料	0.30~0.50	0.45~0.65	0.60~0.90

$$\text{土工织物: } f_{GS}=0.667\tan\varphi_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{土工格栅: } f_{GS}=0.9\tan\varphi_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

f_{GS} ——筋材与土接触的界面阻力系数;

φ_s ——与筋材接触的土内摩擦角($^\circ$)。对无黏性土取土体直接快剪内摩擦角;对黏性土取考虑黏聚力影响的综合内摩擦角。

6.4 辅助材料

6.4.1 辅助材料主要包括柔性生态加筋挡土墙中的焊接金属网面板、墙面绿化网带(包括土工网、土工布、生态袋和可降解生物垫等)、金属网面板支撑杆和连接件(包括连接棒、卡口和绞合钢丝等)等。

6.4.2 柔性生态加筋挡土墙采用钢丝网、钢筋网等金属材质类筋材时,焊接金属网面板及其支撑杆的主要技术指标与筋材相同。焊接金属网面板和支撑杆均应进行防腐处理。

6.4.3 柔性生态加筋挡土墙所用连接件材质应和被连接部分有相同的要求。

6.4.4 铺设筋材的临时固定件可采用铁质U型钉、竹钉或木桩。

6.4.5 生态袋应有良好的透气性、耐久性,宜采用可自然降解环保型生态袋,不宜采用普通化纤编织袋。

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 应对结构构造、材料选择、基础和墙体、沉降及内外部稳定性计算、防护、排水和附属设施等设计。

7.1.2 柔性生态加筋挡土墙的结构形式选择、位置确定,应综合考虑地形地貌、工程地质、水文气候条件、荷载作用情况、施工条件、填料情况、工程造价等因素。

7.1.3 柔性生态加筋挡土墙设计的材料选择应符合本规范要求,并对填筑施工方法和质量控制等提出具体要求。

7.1.4 柔性生态加筋挡土墙的基础埋置深度以及斜坡地面基础埋置条件均应符合 JTG D30《公路路基设计规范》的要求。

7.1.5 柔性生态加筋挡土墙的抗震强度和稳定性验算范围和要求应符合 JTG B02《公路工程抗震规范》的规定。

7.2 荷载

7.2.1 柔性生态加筋挡土墙结构设计的荷载类型按表 5 采用。

表5 荷载分类

荷载分类		荷载名称
永久荷载		挡土墙结构重力
		填土（包括基础襟边以上土）重力
		填土侧压力
		墙顶上的有效永久荷载
可变荷载	基本可变荷载	车辆荷载引起的土侧压力
		人群荷载、人群荷载引起的土侧压力
	其他可变荷载	水位退落时的动水压力
		流水压力
		波浪压力
		冻胀压力和冰压力
		温度影响力
	施工荷载	与挡土墙施工有关的临时荷载
偶然荷载		地震作用力
		滑坡、泥石流作用力
		作用于墙顶护栏上的车辆碰撞力

7.2.2 荷载效应组合

- a) 柔性生态加筋挡土墙设计时，应相应于各种荷载状态，对可能同时出现的荷载，取其最不利情况，选择表6所列的组合；

表6 常用荷载组合

组合	荷载名称
I	挡土墙结构重力、墙顶上的有效永久荷载、填土重力、填土侧压力及其他永久荷载组合
II	组合I与基本可变荷载相组合
III	组合II与其他可变荷载、偶然荷载相组合

- b) 一般情况下作用在柔性生态加筋挡土墙上的力，可只计算永久荷载和基本可变荷载。

7.2.3 柔性生态加筋挡土墙按承载能力极限状态设计时，除另有规定外，荷载分项系数可按表7的规定采用。

7.2.4 柔性生态加筋挡土墙上受地震力作用时的设计，应符合 JTG B02《公路工程抗震规范》的规定。

7.2.5 浸水地区不宜采用浸水柔性生态加筋挡土墙。确需在浸水地区使用时，应满足下列要求：

- a) 材料与结构要求
- 1) 浸水部分填料必须采用透水性强的粒状填料；
 - 2) 浸水部分墙面应具有抗冲刷能力，宜采用石笼结构或混凝土面板；
 - 3) 面墙后宜铺设反滤土工布。
- b) 计算荷载规定
- 1) 筋材强度设计采用低水位浮力；

表7 承载力极限状态荷载分项系数

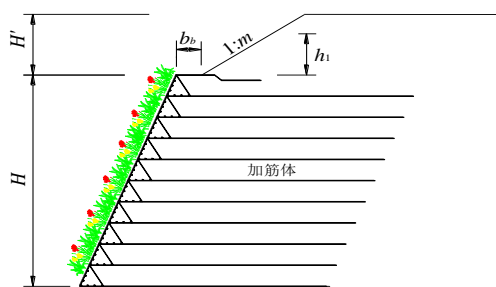
情况	荷载增大对挡土墙结构起有利作用时		荷载增大对挡土墙结构起不利作用时	
	I, II	III	I, II	III
γ_G (竖向恒载分项系数)	0.90		1.20	
γ_{Q1} (恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力分项系数)	1.00	0.95	1.40	1.30
γ_{Q2} (被动土压力分项系数)	0.30		0.50	
γ_{Q3} (水浮力分项系数)	0.95		1.10	
γ_{Q4} (静水压力分项系数)	0.95		1.05	
γ_{Q5} (动水压力分项系数)	0.95		1.20	

- 2) 地基应力验算采用低水位浮力或不考虑浮力；加筋体的滑动稳定验算、倾覆稳定验算采用设计水位浮力；其他情况采用最不利水位浮力；
- 3) 柔性生态加筋挡土墙墙身所受浮力应根据地基地层浸水岩土情况确定：对于砂类土、碎石类土和节理很发育的岩石地基，按计算水位的浮力 100%计算；对于岩石地基按计算水位的浮力 50%计算；
- 4) 浸水柔性生态加筋挡土墙墙背为岩块和粗粒土（粉砂除外）时，可不计墙身两侧静水压力和墙背动水压力。

7.2.6 当基础埋置较深且地层稳定、不受水流冲刷和扰动破坏时，可计入墙前被动土压力，并按表7的规定计入被动土压力分项系数；其它情况的墙前被动土压力可不计。

7.2.7 加筋体与加筋体上填土的计算分界面应为通过加筋体墙面顶部的水平面，该面以上的填土自重作为加筋体上的填土重力。

在内部稳定性计算时，加筋体顶部填土重力按式（4）换算为等代均布土层厚度计算（图1）：



说明：

图中符号意义与式（4）相同。

图1 加筋体顶部填土的等代均布土层厚度计算图

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{1}{m}(H/2 - b_b) & h_1 < H' \\ h_1 &= H' & h_1 \geq H' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

h_1 ——加筋体上坡面填土换算等代均布土层厚度 (m)；

H ——加筋体高度 (m)；

b_b ——墙顶填土坡脚至墙面的水平距离 (m)；

m ——加筋体顶面填土的路堤边坡坡率；

H' ——加筋体以上路堤的高度 (m)。

7.2.8 永久荷载重力作用下，筋材所在位置的竖向压应力按式 (5) 计算：

$$\sigma_i = \gamma(z_i + h_1) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

σ_i ——永久荷载作用下，加筋体内深度 z_i 处的竖向压应力 (kPa)；

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m^3)，当为浸水挡土墙时，应按最不利水位上下的不同分别计入；

z_i ——第 i 层筋材至加筋体顶面的垂直距离 (m)；

h_1 ——加筋体上坡面填土换算等代均布土层厚度 (m)。

7.2.9 车辆荷载、人群荷载引起的附加土体侧压力和竖向土压力按下列规定计算：

- a) 作用在挡土墙墙顶或墙后填土的车辆荷载取值：当墙高 $H \leq 2\text{m}$ 时，取 20kN/m^2 ，当墙高 $\geq 10\text{m}$ 时，取 10 kN/m^2 ；墙高在 $2\text{m} \sim 10\text{m}$ 之间时，按直线内插法取值；
- b) 作用于墙顶或墙后填土上的人群荷载标准值规定为 3kN/m^2 ，行人密集区取 3.45kN/m^2 ；
- c) 车辆荷载和人群荷载作用在挡土墙墙后填土上引起的附加土体侧压力，可按式 (6) 换算成等代均布土层厚度计算：

$$h_0 = \frac{q + q_r}{\gamma} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

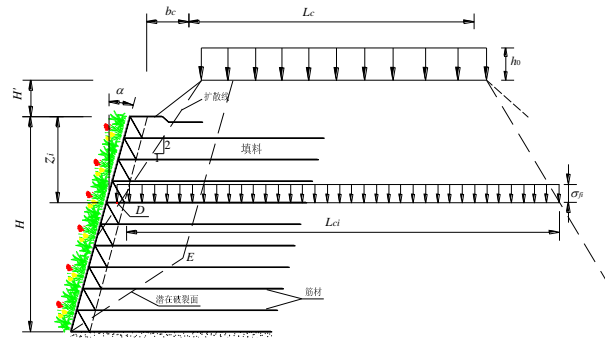
h_0 ——车辆荷载和人群荷载的等代均布土层厚度 (m)；

q ——作用于墙后填土上的车辆荷载 (kN/m^2)，按 a) 取值；

q_r ——作用于墙后填土上的人群荷载 (kN/m^2)，按 b) 取值；

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m^3)。

- d) 车辆荷载、人群荷载可沿深度按 1:0.5 的扩散率计算扩散宽度。车辆荷载、人群荷载在深度 z_i 处的扩散宽度 L_{ci} 按式 (7) 和式 (8) 计算，竖向压应力按式 (9) 计算，见图 2：



说明:

图中符号意义与式 (7)、(8)、(9) 相同。

图2 车辆荷载、人群荷载作用下竖向压应力计算图

$$\text{当 } z_i \leq \frac{2b_c - H'}{1 - 2 \tan \alpha} \text{ 时, } L_{ci} = L_c + H' + z_i \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{当 } z_i > \frac{2b_c - H'}{1 - 2 \tan \alpha} \text{ 时, } L_{ci} = L_c + b_c + \frac{H' + z_i}{2} + z_i \tan \alpha \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma_{fi} = \gamma h_0 \frac{L_c}{L_{ci}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

L_{ci} ——深度 z_i 处应力扩散宽度 (m), 按式 (8) 和 (9) 计算;

L_c ——结构计算时采用的荷载布置宽度, 取路基全宽 (m);

z_i ——第 i 层筋材至加筋体顶面的垂直距离 (m);

b_c ——墙面至路基边缘距离 (m);

H' ——加筋体以上路堤的高度 (m);

α ——墙面与竖直线夹角, $\alpha < 26.5^\circ$;

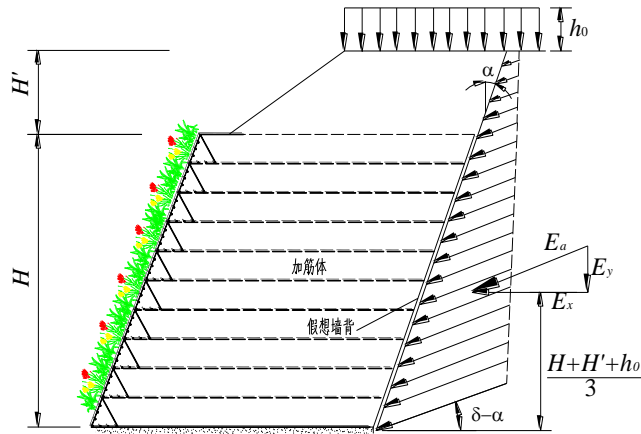
σ_{fi} ——车辆荷载和人群荷载作用下, 加筋体内深度 z_i 处的竖向压应力 (kPa); 当图2中扩散线上
的 D 点未进入活动区时, 取 $\sigma_{fi} = 0$;

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m^3);

h_0 ——车辆荷载和人群荷载的等代均布土层厚度 (m)。

7.2.10 外部稳定验算时土压力计算

- a) 作用在柔性生态加筋挡土墙加筋体墙背的主动土压力依据库仑土压力理论按式 (10) 和式 (11) 计算, 见图 3:



说明:

E_x ——墙后主动土压力的水平分量 (kN/m) ;

E_y ——墙后主动土压力的竖向分量 (kN/m) ;

图中其它符号意义同式 (11) 相同。

图3 外部稳定性验算时的土压力计算图

$$E_a = 0.5K_{ao}\gamma(H + H' + h_0)^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$K_{ao} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi / [\cos(\alpha + \delta) \cos \alpha]} \right]^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

E_a ——主动土压力 (kN/m) ;

K_{ao} ——外部稳定性计算时的主动土压力系数;

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m³) ;

H ——加筋体高度 (m) ;

H' ——加筋体上路堤的高度 (m) ;

h_0 ——车辆荷载和人群荷载的等代均布土层厚度 (m) ;

φ ——加筋体填料的内摩擦角 (°)。当填料为砂性土时, 取填料的内摩擦角; 当填料为黏性土时,

取黏性土填料的综合内摩擦角 φ_0 ;

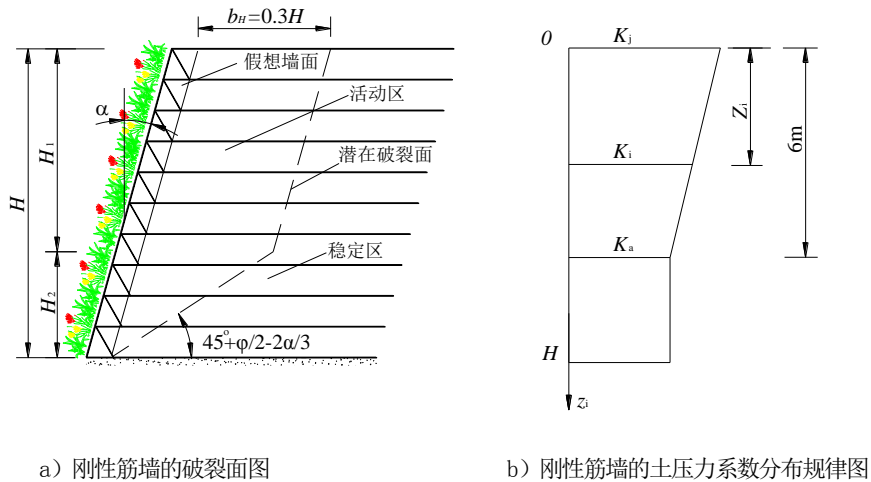
α ——墙面与竖直线的夹角 ($^{\circ}$)；

δ ——加筋体墙背与假想墙后土体之间的摩擦角 ($^{\circ}$)，取加筋体填料内摩擦角与加筋体后填料内摩擦角中的小值。

- b) 设计前应对用于加筋体填料和假想墙后填料的土质进行试验，确定填料的物理力学指标。当缺乏可靠试验数据时，填料重度 γ 、内摩擦角 φ （综合内摩擦角 φ_0 ）可参照表 2 选用。计算水位以下的填料重度采用浮容重。

7.2.11 加筋体内部稳定验算时面墙后的土压力系数计算

- a) 柔性生态加筋挡土墙墙背土压力系数根据筋材的抗拉模量和延伸率可分为刚性筋墙和柔性筋墙两种计算模式；
- b) 刚性筋墙面墙后的土压力系数计算：



a) 刚性筋墙的破裂面图

b) 刚性筋墙的土压力系数分布规律图

说明：

图中符号意义与式（12）、（13）相同。

图4 刚性筋墙土压力计算图

- 1) 采用抗拉模量高、延伸率低的筋材，其潜在破裂面简化为图 4 中 a) 所示 $b_H=0.3H$ 型。将面墙侧生态袋或三角支撑区看作挡土墙的假想面板，破裂面的上部与墙面平行，顶部与假想面板背面的距离 b_H 为 $0.3H$ ，倾斜部分与水平面的夹角为 $45^{\circ} + \varphi/2 - 2\alpha/3$ ；简化破裂

面上下两部分的高度 H_1 、 H_2 可按式（12）计算：

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H - H_2 \\ H_2 &= b_H \tan(45^{\circ} + \varphi/2 - 2\alpha/3) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

H_1 ——加筋体简化破裂面上部高度 (m)；

H ——加筋体高度 (m)；

H_2 ——加筋体简化破裂面下部高度 (m) ;

b_H ——加筋体简化破裂面前的破棱体顶面宽度 (m) ;

φ ——加筋体填料的内摩擦角 ($^\circ$) ; 当填料为砂性土时, 取填料的内摩擦角; 当填料为黏性土时, 取黏性土填料的综合内摩擦角;

α ——墙面与竖直线的夹角 ($^\circ$) 。

2) 假想面墙后的土压力系数分布规律见图 4 中 b), 土压力系数按式 (13) 计算:

$$\begin{cases} K_i = K_j (1 - z_i / 6) + K_a z_i / 6 & z_i \leq 6m \\ K_i = K_a & z_i > 6m \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

K_i ——加筋体内深度 z_i 处土压力系数;

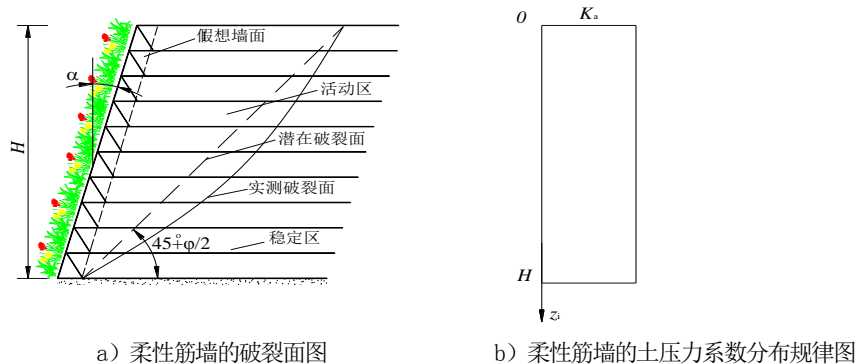
K_j ——静止土压力系数, $K_j = 1 - \sin \varphi$;

z_i ——第 i 层筋材至加筋体顶面的垂直距离 (m) ;

K_a ——主动土压力系数, $K_a = \tan^2 (45^\circ - \varphi / 2)$ 。

c) 柔性筋墙面墙后土压力系数计算:

1) 采用抗拉模量低、延伸率高的筋材, 其潜在破裂面简化为图 5 中 a) 所示破裂面, 在破裂面与水平面夹角为 $45^\circ + \varphi / 2$;



说明:

图中符号意义与式 (12)、(13)、(14) 相同。

图5 柔性筋墙土压力计算图

2) 假想面板后的土压力系数分布规律见图 5 中 b), 土压力系数按式 (14) 计算:

$$K_i = K_a \dots\dots\dots (14)$$

式中:

K_i ——加筋体内深度 z_i 处土压力系数；

K_a ——主动土压力系数， $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$ 。

7.2.12 作用于第 i 层假想面板上的水平土压应力 σ_{Ei} 按式 (15) 计算：

$$\sigma_{Ei} = K_i(\sigma_i + \sigma_{fi}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

σ_{Ei} ——加筋体内深度 z_i 处作用于假想面板上的水平土压应力 (kPa)；

K_i ——加筋体内深度 z_i 处土压力系数；

σ_i ——永久荷载作用下，加筋体内深度 z_i 处的竖向压应力 (kPa)；

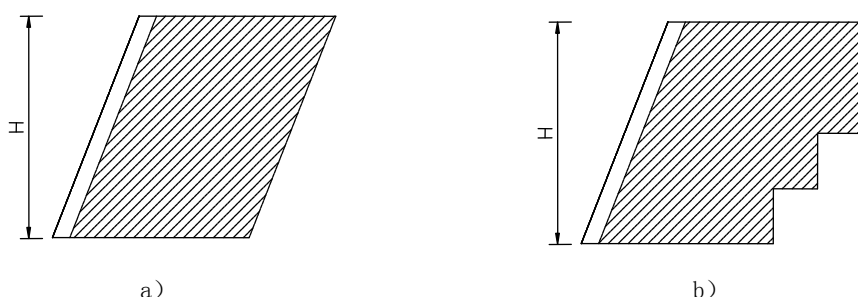
σ_{fi} ——车辆荷载、人群荷载作用下，加筋体内深度 z_i 处的竖向压应力 (kPa)。

7.3 构造设计

7.3.1 柔性生态加筋挡土墙墙面的平面线形可采用直线形、折线形和台阶形。相邻墙面间的内夹角不宜小于 70° 。当相邻墙面的内夹角小于 90° 时，应加设补强筋材，不应留有无筋区。

7.3.2 应根据工程具体情况，按本规范 4.2 条要求，经综合比较，合理确定挡墙结构形式。

- a) 挡土墙加筋体横断面型式宜采用图 6 中 a) 的平行四边形，当受地形、地质条件限制时，也可采用图 6 中 b) 的型式，断面尺寸由计算确定；



说明：H——墙高。

图6 加筋体横断面型式

- b) 按筋材不同可分为土工合成材料（土工格栅、土工格室）柔性生态加筋挡土墙、钢丝（筋）网片柔性生态加筋挡土墙，常见结构型式简图见图 7；
- c) 面墙筋材网孔尺寸较大且未采用生态袋构筑面墙时，应在面墙内侧加铺小网孔的土工网、土工织物或其它生态植生垫。

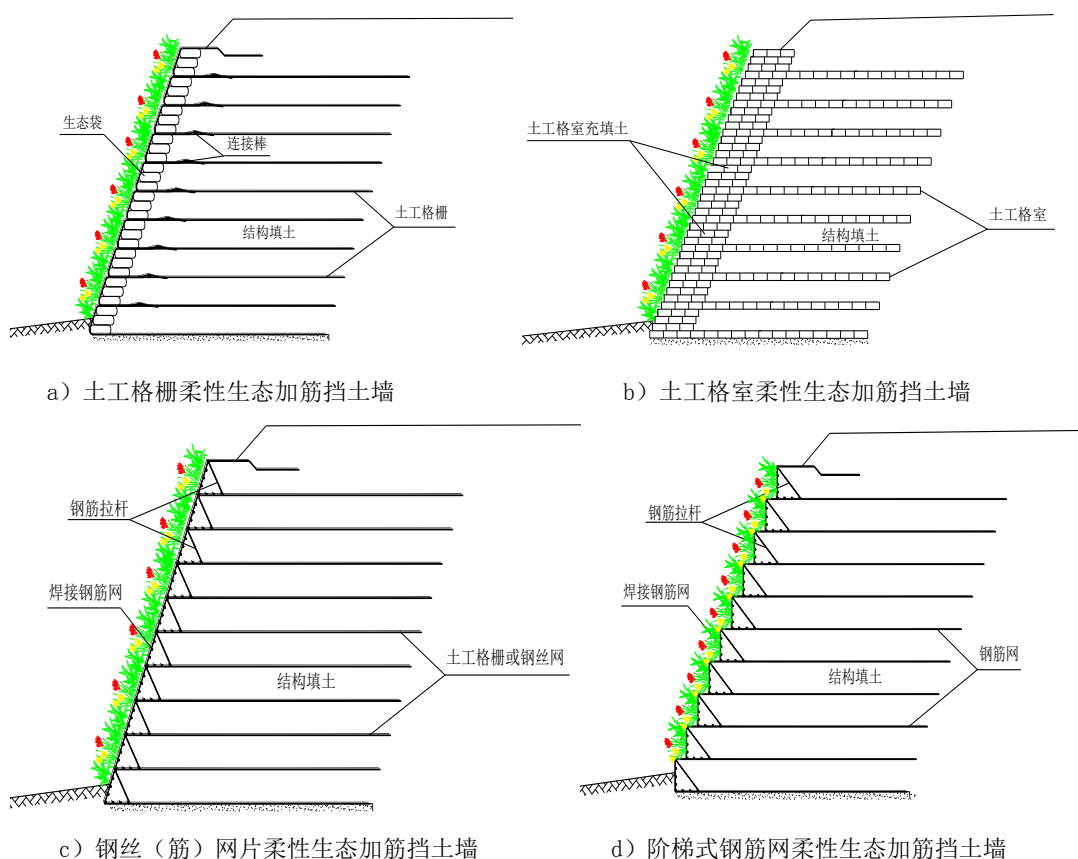


图7 常见的柔性生态加筋挡土墙结构形式

7.3.3 柔性生态加筋挡土墙墙面坡率宜陡于 1:0.5，常用坡率为 1:0.5、1:0.466 和 1:0.3，不宜为直立式。

7.3.4 柔性生态加筋挡土墙宜采用路堤式，墙顶部宜按路线要求设置纵坡，采用钢丝网片加筋挡土墙时可调整墙高，将墙顶设计成平坡或阶梯状。

7.3.5 柔性生态加筋挡土墙在沿墙长方向的纵向基底不宜设置纵坡，可做成水平或结合地形做成台阶形，每个台阶长度不应小于 2.0m，相邻台阶高差不宜大于 2.0m。

7.3.6 柔性生态加筋挡土墙墙趾的埋置深度应根据地形、地质、水流冲刷条件，以及结构稳定和地基整体稳定等要求确定。土质地基墙趾埋深宜为地面以下 0.6m~1.0m，墙前有可能被水流冲刷的土质地基，墙趾埋深宜为计算冲刷深度以下 0.5m~1.0m，否则应采取可靠的防冲刷措施。

7.3.7 斜坡上的柔性生态加筋挡土墙加筋体应设宽度不小于 1.0m 的护脚，加筋体基础埋置深度从护脚顶面算起。

7.3.8 采用的筋材应符合 6.3.2 条要求，筋材长度除应满足结构稳定性要求外，还应符合下列规定：

- 筋材最小长度宜大于 0.8 倍墙高；且不小于 5m；当墙高小于 3.0m 时，筋材长度不应小于 3.0m，且应采用等长筋材；
- 采用不等长的筋材时，同等长度筋材的墙段高度，应大于 3.0m；相邻不等长筋材的长度差不宜小于 1.0m；
- 当墙高大于 6.0m 时，为控制挡土墙变形，宜在挡土墙中下部加设长度不小于 2.0m 的辅筋，辅筋间距不宜大于 0.3m。

7.3.9 采用土工格栅反包结构时，回折反包部分筋材长度不宜小 2.0m，且应与相邻筋材进行可靠连接。

7.3.10 路堤两侧均采用柔性生态加筋挡土墙时，筋材应错开铺设，避免重叠。

7.3.11 柔性生态加筋挡土墙墙面端部，可采用护坡、锥坡、护墙等构造措施或直接与相邻的构筑物衔接。

7.3.12 柔性生态加筋挡土墙可不设伸缩缝、沉降缝。当墙高突变过大或地地质、水文情况突变时，宜在突变界限处，设置泡沫板伸缩缝、沉降缝，缝宽 2cm~3cm。

7.4 设计计算

7.4.1 柔性生态加筋挡土墙宜采用以分项系数表示的极限状态设计法。挡土墙结构抗力函数按式(16)、(17) 计算。

$$\gamma_0 S \leq R \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$R = R\left(\frac{R_k}{\gamma_f}, \alpha_d\right) \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

γ_0 ——结构重要性系数，按表8的规定采用；

S ——荷载效应的组合设计值；

$R(\cdot)$ ——挡土墙结构抗力函数；

R_k ——抗力材料的强度标准值；

γ_f ——筋材抗拉性能分项系数，各类筋材均取1.25；

α_d ——结构或结构构件几何参数的设计值，当无可靠数据时可采用几何参数标准值。

表8 结构重要性系数 γ_0

墙高 (m)	结构重要性系数 γ_0	
	高速公路、一级公路	二级及以下公路
≤5.0	1.0	0.95
>5.0	1.05	1.0

7.4.2 柔性生态加筋挡土墙所需筋材的种类和型式应根据工程要求进行选择，其抗拉强度、变形模量、几何长度等指标应根据通过挡土墙稳定性校核确定。

- a) 内部稳定性可按局部平衡法计算，应包括筋材抗拉强度验算和筋材抗拔稳定性计算；
- b) 外部稳定性分析应包括抗滑稳定性、抗倾覆稳定性验算、地基承载力校核、地基沉降计算和整体稳定性验算；
- c) 特殊设计时宜通过数值分析进行稳定性校核、沉降和变形计算。

7.4.3 筋材抗拉强度验算

- a) 第 i 层筋材受到的水平拉力按式 (18) 式计算：

$$T_i = \gamma_{Q1} \sigma_{Ei} \Delta h_i \dots\dots\dots (18)$$

式中:

T_i —— z_i 层深度处的筋材所承受的水平拉力设计值 (kN/m) ;

γ_{Q1} ——墙后土主动土压力荷载分项系数, 按表7采用;

σ_{Ei} ——加筋体内深度 z_i 处作用于面墙上的水平土压应力 (kPa) ;

Δh_i ——第 i 层筋材的加筋间距 (m) , 取相邻两层加筋体厚度的平均值, $\Delta h_i = (d_i + d_{i-1})/2$ 。

b) 第 i 层筋材的抗拉强度应符合式 (19) 的规定:

$$\gamma_0 \gamma_f T_i \leq T_a \dots\dots\dots (19)$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数, 按表8采用;

T_i —— z_i 层深度处的筋材所承受的水平拉力设计值 (kN/m) ;

T_a ——筋材设计抗拉强度 (kN/m) ;

γ_f ——筋材抗拉性能分项系数, 各类筋材均取1.25。

7.4.4 筋材抗拔稳定性验算

a) 筋材抗拔承载力计算时应考虑车辆荷载、人群荷载引起的拉力作用; 计算筋材抗拔力和筋材锚固长度时, 不计基本可变荷载引起的抗拔力;

b) 第 i 层筋材的抗拔力按式 (20) 计算:

$$T_{pi} = 2 f_{GS} \sigma_i L_{ai} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

T_{pi} ——永久荷载重力作用下, z_i 层深度处, 筋材有效锚固长度所提供的抗拔力 (kN/m) ;

f_{GS} ——筋土界面阻力系数, 由试验确定, 无可靠试验资料时, 可参照表4采用;

σ_i ——永久荷载引起的竖向土压力 (kPa) ;

L_{ai} ——筋材在稳定区的有效锚固长度 (m) 。

c) 第 i 层筋材的抗拔稳定性应符合式 (21) 的规定:

$$\gamma_0 T_i \leq \frac{T_{pi}}{\gamma_R} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数，按表8采用；

T_i —— z_i 层深度处的筋材所承受的水平拉力设计值 (kN/m)；

T_{pi} ——永久荷载重力作用下， z_i 层深度处，筋材有效锚固长度所提供的抗拔力 (kN/m)；

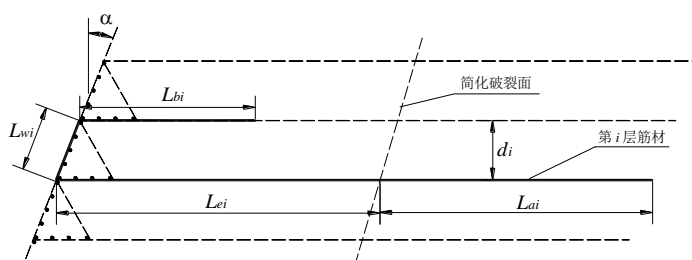
γ_R ——筋材抗拔力计算调节系数，按表9采用。

表9 筋材抗拔力计算调节系数 γ_R

荷载组合	I、II	III
筋材抗拔力计算调节系数 γ_R	1.4	1.3

d) 筋材长度按下列规定计算：

1) 由抗拔稳定性验算确定筋材的锚固段长度后，筋材总长度按式 (22) 计算，见图 8：



说明：

图中符号意义与式 (22) 相同。

图8 筋材长度计算图

$$L_i = L_{ei} + L_{ai} + L_{wi} + L_{bi} \quad \dots \dots \dots (22)$$

式中：

L_i —— z_i 层深度处的筋材总长度 (m)；

L_{ei} ——筋材在主动区的长度 (m)；

L_{ai} ——筋材在稳定区的有效锚固长度 (m)，应不小于2m；

L_{wi} ——面墙侧包裹长度，应不小于 $d_i / \cos \alpha$ ， d_i 为第*i*层加筋体厚度， α 为墙面与竖直线的夹角；

L_{bi} ——回折反包部分长度，不宜小于2.0m。

2) 筋材有效锚固长度和在主动区长度之和还应满足 7.3.8 的要求。

- 3) 为施工方便,不同层的筋材宜按要求的最大长度等长度铺设。如从内部稳定性的要求出发,亦可以分段采用不等长度,底部较短,顶部较长。

7.4.5 全墙抗拔稳定性验算

全墙抗拔稳定性验算应按式(23)进行验算:

$$K_b = \frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} \geq 2 \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

K_b ——全墙抗拔稳定系数;

$\sum T_{pi}$ ——各层筋材所产生的抗拔力总和(kN/m);

$\sum T_i$ ——各层筋材承担的水平拉力总和(kN/m)。

本计算公式中的荷载分项系数均取1.0。

7.4.6 抗滑动稳定验算

- a) 抗滑动稳定性按式(24)验算:

$$\left[1.1G + \gamma_{Q1}E_y \right] \mu - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p > 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

G ——作用于基底以上的重力(kN/m),浸水挡土墙的浸水部分应计入浮力;

γ_{Q1} ——墙后主动土压力荷载分项系数,可按表7的规定采用;

E_y ——墙后主动土压力的竖向分量(kN/m);

μ ——基底与基底土间的摩擦系数,当缺乏可靠试验资料时,可按表10的规定采用;

E_x ——墙后主动土压力的水平分量(kN/m);

γ_{Q2} ——墙前被动土压力荷载分项系数,可按表7的规定采用;

E_p ——墙前被动土压力的水平分量(kN/m),当为浸水挡土墙时, $E_p=0$ 。

- b) 抗滑动稳定系数 K_c 按式(25)计算:

$$K_c = \frac{\mu \sum N + E'_p}{E_x} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

K_c ——抗滑动稳定系数;

μ ——基础与地基间的摩擦系数,见表10;

$\sum N$ ——作用于基底上的竖向力总和 (kN/m)，浸水挡土墙应计浸水部分的浮力；

E'_p ——墙前被动土压力水平分量的0.3倍 (kN/m)；

E_x ——墙后主动土压力的水平分量 (kN/m)。

表10 基底与基底土间的摩擦系数 μ

地基土的分类	摩擦系数 μ
软塑粘土	0.25
硬塑粘土	0.30
砂类土、粘砂土、半干硬的粘土	0.30~0.40
砂类土	0.40
碎石类土	0.50
软质岩石	0.40~0.60
硬质岩石	0.60~0.70

- c) 在本规范规定的墙高范围内，验算柔性生态加筋挡土墙的抗滑动稳定时，稳定系数不宜小于表11的规定；如果不能满足要求，可加长筋材长度后重新验算。

表11 抗滑动的稳定系数 K_c

荷载情况	荷载组合 I、II	荷载组合 III	施工阶段验算
抗滑动稳定系数 K_c	1.3	1.2	1.2

7.4.7 抗倾覆稳定性验算

- a) 倾覆稳定性按式 (26) 验算：

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2} E_p Z_p > 0 \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中：

G ——作用于基底以上的重力 (kN/m)，浸水挡土墙的浸水部分应计入浮力；

Z_G ——墙身重力、基础重力、面墙重力、基础上填土的重力及作用于墙顶的其它荷载的竖向力合力重心到墙趾的距离 (m)；

γ_{Q1} ——墙后主动土压力荷载分项系数，可按表7的规定采用；

E_y ——墙后主动土压力的竖向分量 (kN/m)；

Z_x ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离 (m)；

E_x ——墙后主动土压力的水平分量 (kN/m)；

Z_y ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)；

γ_{Q2} ——墙前被动土压力荷载分项系数，可按表7的规定采用；

E_p ——墙前被动土压力的水平分量 (kN/m)，当为浸水挡土墙时， $E_p = 0$ ；

Z_p ——墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)。

b) 抗倾覆稳定系数 K_0 按式 (27) 计算：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \dots\dots\dots (27)$$

式中：

K_0 ——抗倾覆稳定系数；

G ——作用于基底以上的重力 (kN/m)，浸水挡土墙的浸水部分应计入浮力；

Z_G ——墙身重力、基础重力、面墙重力、基础上填土的重力及作用于墙顶的其它荷载的竖向力合力重心到墙趾的距离 (m)；

E_y ——墙后主动土压力的竖向分量 (kN/m)；

Z_x ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离 (m)；

E'_p ——墙前被动土压力水平分量的0.3倍 (kN/m)；

Z_p ——墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)；

E_x ——墙后主动土压力的水平分量 (kN/m)；

Z_y ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)。

c) 在本规范规定的墙高范围内，验算挡土墙的抗倾覆稳定时，抗倾覆的稳定系数不应小于表 12 的规定。

表12 抗倾覆的稳定系数 K_0

荷载情况	荷载组合 I、II	荷载组合 III	施工阶段验算
抗倾覆稳定系数 K_0	1.5	1.3	1.2

7.4.8 地基承载力

- a) 挡土墙地基承载力计算时，传至基础底面上的荷载效应，应按正常使用极限状态下荷载效应标准组合，相应的抗力采用地基承载力特征值；
- b) 计算挡土墙基底压应力 σ 时，各类荷载组合下，作用效应组合设计值计算式中的作用分项系数，除被动土压力分项系数 $\gamma_{Q2} = 0.3$ 外，其余或荷载的分项系数规定均等于1；
- c) 基底合力的偏心距 e 可按式(28)计算：

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \dots\dots\dots (28)$$

式中：

e ——基底合力的偏心距 (m)；

$\sum M$ ——作用于基底形心的弯矩总和 (kN·m/m)；

$\sum N$ ——作用于基底上的竖向力总和 (kN/m)。

基底合力的偏心距 e 不应大于基底宽度 $B/6$ ； $e < 0$ 时，取 $e = 0$ 。

- d) 柔性生态加筋挡土墙基底压应力满足地基承载力要求，按式(29)计算：

$$\sigma = \frac{\sum N}{B - 2e} \leq kf'_a \dots\dots\dots (29)$$

式中：

σ ——挡土墙基底压应力 (kPa)；

$\sum N$ ——作用于基底上的竖向力总和 (kN/m)；

B ——基底宽度 (m)，倾斜基底时为其斜宽；

e ——基底合力的偏心距 (m)， $e < 0$ 时，取 $e = 0$ ；

k ——地基承载力特征值提高系数；当为荷载组合 I、II 时，取 $k = 1.0$ ；当为荷载组合 III 及施工荷载时，且 $f'_a > 150 \text{ kPa}$ 时，可取 $k = 1.25$ ；

f'_a ——经基础埋深修正后的地基承载力特征值 (kPa)，可按《公路挡土墙设计与施工技术细则》的规定采用。

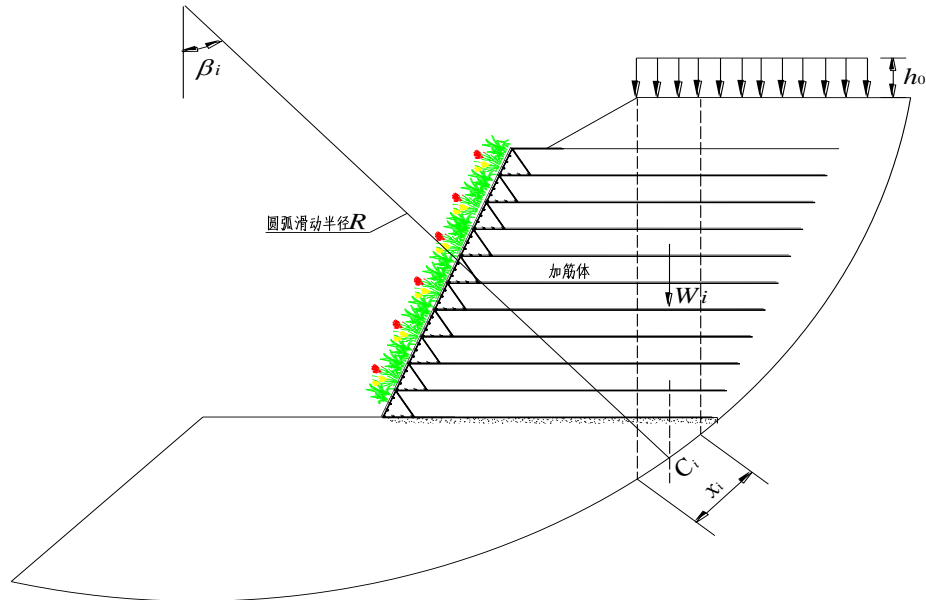
- e) 当挡土墙天然地基不能满足要求时，应根据工程具体情况，因地制宜地进行地基处理设计。经处理后的人工地基应能满足承载力、稳定和变形的要求。

7.4.9 地基沉降计算

- a) 土质地基上的挡土墙，凡属下列情况之一者，应进行地基沉降计算：
- 1) 软土地基或下卧层有软弱夹层的地基；
 - 2) 挡土墙地基应力接近地基允许承载力；
 - 3) 挡土墙基底的地基沉降不符合设计规定的要求。
- b) 地基沉降计算应按 JTG D30《公路路基设计规范》进行；
- c) 对于软土地基上的挡土墙，当地基最大沉降量计算值大于设计规定的允许值时，应采用调整挡墙结构形式、断面尺寸、埋置深度和地基处理等措施，使沉降量满足规范要求。

7.4.10 整体滑动稳定性验算

- a) 地基下可能存在深层滑动时，应进行加筋体与地基整体滑动稳定验算，计算模型见图 9，柔性生态加筋挡土墙整体滑动稳定系数不应小于 1.25；



说明：
图中符号意义同式（30）。

图9 柔性生态加筋挡土墙整体稳定性计算模型

- b) 整体滑动稳定系数 K_s 按式（30）计算：

$$K_s = \frac{\sum (c_i x_i + W_i \cos \beta_i \tan \varphi_i)}{\sum W_i \sin \beta_i} \dots\dots\dots (30)$$

式中：

K_s ——整体滑动稳定系数；

c_i ——第 i 土条的黏聚力（kPa）；

x_i ——第 i 土条弧长（m）；

W_i ——第 i 土条的重力（kN/m）；

β_i ——第 i 土条滑动弧法线与竖直线的夹角（°）；

φ_i ——第 i 土条的滑动面处内摩擦角（°）。

7.4.11 柔性生态加筋挡土墙的设计计算步骤可参考附录 C 进行。

7.5 防护、排水及附属设施

7.5.1 防护设计

- a) 柔性生态加筋挡土墙坡面采用植被防护。坡面防护的材料、结构应符合 JTG D30《公路路基设计规范》等有关规定；
- b) 植被防护宜采用喷播植被防护（客土喷播、TBS 喷播、高次团粒喷播、基材喷播等）、三维网植被防护、土工格室植被防护、生态袋植被和插枝灌木等方法；
- c) 植被类型选择如下：
 - 1) 柔性生态加筋挡土墙坡面植物防护应结合工程周边环境、植被防护类型合理选择目标植物群落，宜设计成草本型、草灌结合型和草灌乔结合型；
 - 2) 选用草种应根据防护目的、气候、土质、施工季节等确定，宜采用易成活、生长快、根系发达、叶茎矮或有匍匐茎的多年生草种；
 - 3) 灌乔木植物种类应结合现场调查情况，选择根系发达、固土护坡能力强、耐干旱、耐瘠薄、抗风耐寒能力强，具有较强的抗污染能力的乡土树种或适生树种；
 - 4) 植物种子的配合、播种量等的设计应根据选用植物的生长特点、防护地点及施工方法确定。
- d) 基材喷播植被防护中的基质理化指标和植被恢复效果评价应符合设计要求。

7.5.2 排水设计

- a) 应进行柔性生态加筋挡土墙的表面和内部防排水的综合设计；
- b) 筋材不宜直接设置于原地基表面，宜先设置 0.3m~0.5m 的砂垫层或其他透水性较好的均质填料，再铺设筋材；
- c) 加筋体顶部应设置 0.6m 的粘土或 0.3m 以上的掺灰土作为封闭层，防止地表水浸入加筋体；
- d) 加筋土体后及墙背应设置排水层，筋材不应伸入排水层，不得破坏排水系统的连续性；
- e) 当墙后水量较大时，可在排水层底部加设纵向渗沟，配合排水层把水导出墙外。如遇有泉水、渗水等地段，应设纵、横向暗沟，将水引出；
- f) 挡土墙墙顶处应因地制宜设置排水设施，将路面水集中排至边沟或排水沟，不应让路面水直接冲刷墙面。

7.5.3 附属设施

- a) 柔性生态加筋挡土墙设计应考虑挡土墙护栏基础设置的要求，挡土墙护栏的设置应符合 JTG D80《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》、JTG D81《公路交通安全设施设计规范》规定；
- b) 当柔性生态加筋挡土墙长度大于 100m、墙高大于 6m 时，宜根据养护和维修及监测的需要，设置检修台阶或检修梯。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 柔性生态加筋挡土墙施工包括：地基处理、基槽（坑）开挖、排水设置、基础砌（浇）筑、墙面组件安装、筋材铺设、填料摊铺与压实、附属构件安装等。

8.1.2 施工时应严格执行 JTG F10《公路路基施工技术规范》、JTG/T D32《公路土工合成材料应用技术规范》和设计要求，并加强施工质量检查工作，积极采取相应的技术措施，以保证工程质量。

8.1.3 各道工序须经施工单位自检、监理单位检查合格后方可进行下道工序施工，并做好施工的检验记录。

8.1.4 应采取有效措施截排地表水和导排地下水；临时防护措施应与永久防护工程相结合。

8.1.5 挡土墙与路基填方、桥台相接处应衔接合理、紧密，做到过渡平滑、安全稳固，并应置于稳定的基础上，必要时宜加临时支撑。

8.1.6 施工过程中应对柔性生态加筋挡土墙进行沉降变形观测。根据观测数据，掌握挡土墙的稳定性的，必要时及时调整施工方法或采取其他有效措施。

8.1.7 应加强筋材和辅助材料在运输、储存、施工中的管理，建立明确的保管制度。

- a) 各种材料应分类保管；现场存放时应通风干燥，远离火源；
- b) 在运输、储存过程应封盖，避免筋材和辅助材料暴露在阳光下或被雨水淋泡；
- c) 施工时应合理选择施工机具和填料，减少施工对筋材和辅助材料的损伤；
- d) 对因结构需要而裸露的材料应采取保护措施进行覆盖。

8.2 施工准备

8.2.1 施工前应熟悉设计文件，充分理解设计意图，做好现场核查和测量工作，当设计与实际情况有出入时，应通知监理单位与设计单位协商修改。

8.2.2 开工前必须进行现场调查，根据施工地段的地形、地质、水文、气象、环境等条件，制定相应的安全技术和环境保护措施，并做好防雨雪、冰冻、风暴、汛情等预案。

8.2.3 开工前应精确测定挡土墙的面墙基线、路基中心线、基础主轴线、墙顶轴线、挡土墙起讫点和横断面，每根轴线均应以四个桩点在基线两端延长线上予以固定(每端两点)，并分别以素混凝土包封保护。

8.2.4 路基中轴线加密桩点及横断面测量应符合以下规定：

- a) 直线路基段且地面纵坡、横坡无突变时，应按 10m~20m 设一桩；
- b) 曲线路基段应按 5m~10m 设一桩；
- c) 一段挡土墙分段长度内，不应少于一个桩点，并根据地形起伏变化，增补加密桩点及横断面。

8.2.5 根据调查资料、设计要求和工期要求，做好实施性施工组织设计。其内容一般包括施工方法，主要工程数量，开工与完工日期，需要劳力、机械设备、运输车辆和主要材料数量，以及临时工程和现场布置等。

8.2.6 施工前应核对所用的筋材和辅助材料等，并根据设计文件提出的技术指标要求，按附录 B 表 B.1 所列试验项目和频率，委托具有相应资质的单位进行相关检测试验。监理单位应进行抽检，合格后方可用于工程。

8.2.7 除按路基施工配备压实机械外，还应选备杵子，振动板，蛙式夯，手扶式振动压路机等适用于面墙内侧 1.0m 范围内压实的小型压实机具。

8.2.8 施工现场应设置醒目的安全、警示标志和安全防护设施。

8.3 施工要求

8.3.1 施工流程

柔性生态加筋挡土墙的基本施工流程见图 10。

8.3.2 挡土墙基础

挡土墙基础应满足以下要求：

- a) 根据设计要求对施工现场测量放线：
 - 1) 中线测量、恢复原有中线桩，测定柔性生态加筋挡土墙的面墙基线，并根据 8.2.4 规定做好设桩工作；
 - 2) 水平测量、测量中线桩和加筋土工程基础标高，并设置施工水准点；
 - 3) 复测中线桩核对横断面并按需要增补横断面测量。

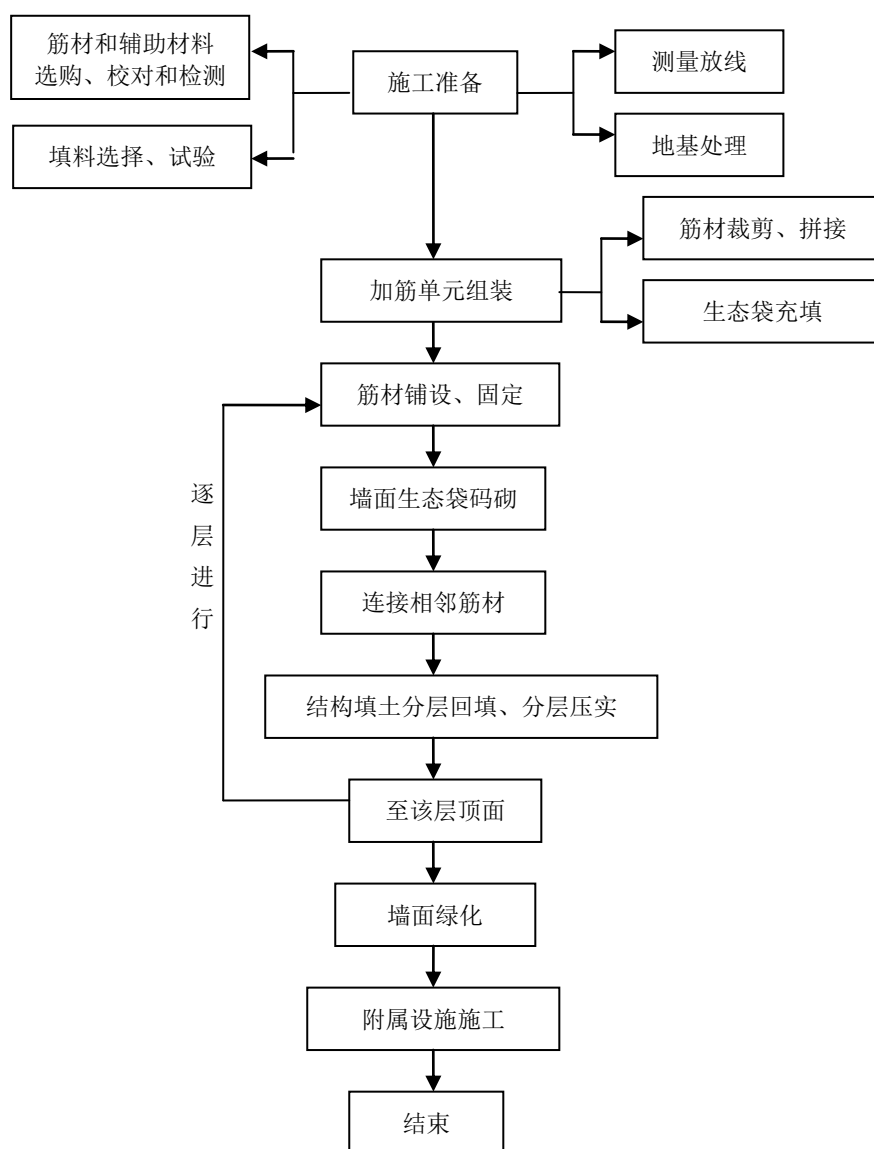


图10 柔性生态加筋挡土墙施工工艺流程

- b) 根据挡土墙基础设计尺寸、形状以及埋置深度要求，测量划线后清除地表腐植土，将地基开挖至设计标高。开挖范围应保证足以容纳筋材设计长度，并便于填料的摊铺、碾压，且应大于基础外缘 0.5m~1.0m；
- c) 基础面应开挖至承载力大于设计要求值之土层，必要时可采用夯实或素混凝土铺底，作为加筋挡土墙结构的基础。非浸水加筋土工程，当基础埋深小于 1.0m 时，宜在墙面地表处设置宽为 1.0m 的混凝土或浆砌片石散水，其表面做成向外倾斜 3%~5% 的横坡。当开挖接近基底设计标高时，应保留 0.1m~0.2m 厚度，在基础施工前，以人工突击挖除；
- d) 基坑开挖后，不得长时间暴露或扰动、浸泡，以防止降低其承载能力；
- e) 地基开挖后应整平、压实，并设置渗水层。开挖时，如有涌水或雨水流入，应设置专门的排水设施；
- f) 基础开挖后，应对地基进行检验，以确认地基土与设计文件的土质是否相符，承载力是否满足设计要求。若基底土质与设计情况有出入时，应有文字和影像记录并取样分析，及时提请变更设计。在松散软弱土质地段，基坑不宜全墙段连通开挖，而应采用跳槽开挖；

- g) 基坑开挖时, 应根据土质、水文和开挖深度等选择安全的边坡坡度或支撑防护, 在施工过程中进行监测, 并及时采取相应的处理措施。开挖弃土或坑边材料的堆放不得影响基坑的稳定;
- h) 当基底为软弱土层时, 应按照 JTG/T D31-02 《公路软土地基路堤设计施工技术细则》的规定办理;
- i) 基坑开挖完成后, 应根据基底纵轴线结合横断面放线复验, 确认位置标高无误并经监理单位签认后, 方可进行基础施工。基础施工完成后, 应立即对基坑回填, 采用小型压实机械分层夯实, 并在回填土表面设 3% 的向外斜坡, 防止积水渗入基底。

8.3.3 筋材铺设

筋材铺设应满足以下要求:

- a) 经施工单位自检及监理单位抽检合格的筋材的装卸、转运和堆放应严格执行厂家提供的装卸吊运方式方法, 并做好防火工作;
- b) 筋材在运输、保管、加工中应防止阳光照射和高温辐射, 应堆放在阴凉通风的室内, 不应露天存储。筋材在制作和铺设时应防止变形、折断, 铺设时宜缩短暴露时间, 及时用填料覆盖, 施工时暴露总时间不得超过 8 小时;
- c) 应根据设计长度确定筋材的剪裁长度。柔性生态加筋挡土墙采用土工格栅筋材反包时, 筋材铺设前应计算好筋材铺设长度(包括加筋部分、面墙部分和反包部分); 避免在主受力方向连接, 必须连接时应采用专业技术连接, 连接处强度不得低于材料的设计强度; 采用钢丝(筋)网片类筋材时, 铺设长度由厂家根据设计文件计算后标准化生产提供;
- d) 筋材强度高的方向应垂直于挡墙墙面; 相邻的筋材或加筋单元应通过搭接或绞接方式联接成一体; 不同层面的联接位置应相互错开, 错开距离不小于 1.0m;
- e) 筋材铺设时应拉直、铺平, 并对筋材进行张拉, 使其紧贴承接土层; 不得出现皱褶、突起现象; 筋材尾部应用 U 型铁钉或小木桩固定;
- f) 铺设筋材的土层表面应平整, 不应有尖锐凸出物。与筋材直接接触的填料的粒径不宜超过 15cm, 粒径大于 6cm 的含量不宜超过 30%;
- g) 加筋体顶部应设 0.6m 厚的封闭层, 防止地表水浸入加筋体。封闭层应选用纯净的粘土筑成。填筑时, 应使其保持最佳含水量, 压实度应达到 93% 以上。

8.3.4 填料摊铺与压实

填料摊铺与压实应满足以下要求:

- a) 填料应符合设计要求。填料采集前应作好标准击实试验, 并提出填料的最佳含水量和最大干密度, 以及相应的物理指标、化学指标, 以控制压实质量;
- b) 碾压前应进行压实试验。应根据筋材铺设设计间距、碾压机具、填料性质及最佳含水量, 通过试验确定填料填筑的分层松铺厚度和碾压遍数, 使压实后的层面恰好与下一层筋材铺设位置相同。施工单位提出的压实试验报告应经监理单位同意后方可指导施工;
- c) 填料应回填均匀、分层摊铺、压实平整, 填料顶面横坡符合设计要求:
 - 1) 距面墙 1.0m 以内, 不应有大型机械行驶作业, 应采用人工摊铺, 人工摊铺填料应顺筋材长度方向作业; 分层厚度不应超过 0.2m, 并采用人工夯实或小型压实机械碾压密实, 不应使用重型压实机械压实, 避免扰动下层筋材和碰撞面墙;
 - 2) 距面墙 1.0m 以外, 采用机械摊铺时, 应设明显标志, 易于司机观察运行;
 - 3) 填料摊铺、碾压应从筋材中部开始, 平行于墙面碾压, 先向筋材尾部逐步进行, 然后再向墙面方向进行, 不应平行于筋材方向碾压;
 - 4) 所有机械行驶方向应与筋材垂直, 并不得在未覆盖填料的筋材上行驶, 不得在未经压实的填料上急剧改变运行方向和急刹车;

- 5) 填料碾压时, 压实机械的行驶离墙面的距离不得小于 1.0m, 应先轻后重; 第一遍宜用轻型压路机械碾压, 若采用振动压路机时, 应在不震动情况下进行压实; 不得采用羊足碾压机压实加筋区填料;
- 6) 若填料中难以避免含有硬质锐利颗粒, 可在贴近筋材处覆盖上厚度不小于 5cm 细土料;
- 7) 每层填料摊铺完毕, 应及时碾压, 不得让松填土延至次日碾压。特殊情况需延时碾压时, 可用塑料薄膜覆盖填料, 以保持最佳含水量。
- d) 雨天严禁进行填料的摊铺和压实作业, 以免含水量失控造成无法达到规定的压实标准;
- e) 加筋体后的回填料施工应与加筋体同步进行。填料的压实度, 应按照 JTG D30《公路路基设计规范》的规定执行。当压实度采用灌砂法、灌水(水袋)试验时, 取土样的底面位置为每一压实层底部; 采用环刀法试验时, 环刀中部处于压实层厚的 1/2 深度。

8.3.5 防护、排水及附属工程

- a) 挡土墙施工时, 应按设计规定设置完善的排水系统, 并应采取措施疏干墙背填料中的水分, 防止墙后积水, 减少雨水和地面水下渗, 避免墙身承受额外的静水压力;
- b) 挡土墙内部排水设施施工时, 应结合现场情况进行核查, 若与设计不符应及时通知设计单位进行动态设计;
- c) 防护、排水设施如反滤层、透水层、隔水层等应按设计要求与墙体施工同步进行, 同时完成;
- d) 柔性生态加筋挡土墙施工完毕, 坡面应符合设计要求, 并及时进行植被绿化防护, 具体要求如下:
 - 1) 植被防护施工前, 应熟悉设计图纸和有关文件, 并根据坡面植物群落设计类型要求, 合理确定绿化选用的物种; 混合基材含有物种应严格按照设计要求进行配置;
 - 2) 植物种子应有国家法定种子检验机构出具的检验合格报告, 若外地调入的种子还应有符合国家种子调拨规定的检疫报告。自行采集的乡土木本和草本种子喷播前应进行发芽试验, 以确定种子质量和播种量。草本植物用种量应按设计要求配制, 宜根据发芽率高低、喷播季节和环境、建植目标群落的不同适当增减; 灌木种子植物密度成苗数每平方米不小于 3 株;
 - 3) 基材喷播植被防护中的基质由客土、基材添加剂(黏合剂、保水剂)、复合纤维料、泥炭土、有机肥、种子、水等按设计比例配制而成; 在基材喷播前应按规定报验, 其理化指标符合设计要求后允许使用;
 - 4) 基材混合物中各类材料应按设计比例和投料顺序依次投入搅拌机均匀搅拌, 严格控制用水量和材料的搅拌时间, 搅拌时间宜不少于 2 分钟; 搅拌完成后, 将基材混合物倒入喷播设备中;
 - 5) 基材混合料通过专用喷播设备喷附到柔性生态加筋挡土墙坡面上, 喷播应自上而下、分层进行, 喷播应均匀, 如发生流淌现象应重新喷播, 喷射厚度按设计要求控制;
 - 6) 喷播完成后除高次团粒喷播植被防护外均应对坡面盖上无纺布或遮荫网, 以保温、保湿, 促进种子发芽生长;
 - 7) 边坡植被防护施工技术和质量要求应满足浙江省地方标准 DB33/T 916《公路边坡植被防护工程施工技术规范》等相关技术标准的规定;
 - 8) 植被防护施工完成后, 应对植被进行维护, 并对外观质量和局部缺陷进行整修或处理、评价。
- e) 其他附属设施(如交通安全设施)的施工应按照相关规范的施工技术要求进行。

8.3.6 柔性生态加筋挡土墙的施工步骤可参考附录 D 进行。

9 质量检验

9.1 一般规定

9.1.1 质量检验包括材料检验、施工过程中的质量管理和检查验收。

- a) 应加强对原材料的质量控制，严把原材料质量关，杜绝不合格的原材料进场。施工单位应根据本规范规定或设计要求或相关规范规定对筋材、填料、辅助材料等进行进场检验，并做好相应记录。监理单位要检查施工单位全部进场检验资料，并经抽检合格后方可进场投入使用；
- b) 施工质量验收应遵循“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的原则。各工序完成后，均应进行质量检查验收，并提供实测数据资料。经验收检查合格后方可进行下一工序施工。凡不合格者必须进行补救或返工，使其达到要求；
- c) 工程质量管理应遵循“分项保分部、分部保单位工程”的原则。柔性生态加筋挡土墙的分项工程，都应从基本要求、实测项目、外观鉴定和质量保证资料四个方面进行质量检验。

9.1.2 柔性生态加筋挡土墙属于路基工程的一个分部工程，分项工程为基础、加筋体填土、筋材、坡面防护、排水及总体外观等。施工单位、监理单位和建设单位应按上述的工程项目划分进行工程质量的监控和管理。

9.1.3 应加强工程质量管理，建立健全质量监理、工程检测及工序间交接验收等项制度。应做到原始记录、分项工程质量验收检查报告等资料齐全，数据真实可靠。

9.1.4 分项工程、分部工程完成后，应按有关规定进行中间检查验收。

9.1.5 工程质量检验评分以分项工程为单元，采用 100 分制进行；在分项工程评分的基础上，逐级计算各相应分部工程、单位工程评分值；分部工程、单位工程评分采用加权平均值算法确定相应的评分值，权值确定见附录 E；具体按照 JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准》的有关规定执行。

9.1.6 工程质量评定等级分为合格与不合格，应按分项、分部、单位工程逐级评定。

9.1.7 柔性生态加筋挡土墙分部（项）工程以及所在的单位工程，其交工及竣工验收的质量检查评定，按照部版《公路工程竣（交）工验收办法》、《公路工程竣（交）工验收实施细则》和 JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准》以及《浙江省公路工程竣（交）工验收实施细则（试行）》的有关规定执行。

- a) 施工单位应对各分项工程按本标准所列基本要求、实测项目和外观鉴定进行自检，按 JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准》附录 J 中“分项工程质量检验评定表”及相关施工技术规范提交真实、完整的自检资料，对工程质量进行自我评定。自我评定合格后，编制符合要求的交（竣）工资料，申请进行交（竣）工验收；
- b) 监理单位应按规定要求对工程质量进行独立抽检，对施工单位检评资料进行签认，对工程质量进行评定；
- c) 建设单位根据对工程质量的检查及平时掌握的情况，对监理单位所做的工程质量评分及等级进行审定；
- d) 质量监督部门、质量检测机构可依据 JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准》和本标准对其工程质量进行检测评定。

9.2 检验标准

9.2.1 基底工程

9.2.1.1 基本要求

基础施工前应对天然或人工加固地基进行地基承载力检测（每20m测1处，不足20m按1处计），并应符合设计要求。

9.2.1.2 实测项目

基底实测项目见表13，表中检查单位小于20m时仍以20m计。

表13 基底实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法及频度	权值
1	轴线偏位 (mm)		25	全站仪或经纬仪：每 20m 纵、横各检查 2 点	2
2	平面尺寸 (mm)		±50	尺量：每 20m 长、宽各检查 3 处	2
3	基础底面标高 (mm)	土质	±50	水准仪：每 20m 测量 5~8 点	1
		石质	+50, -200		

9.2.1.3 外观鉴定

基础底部无明显凹凸不平或积水现象。不符合要求时，减1分~2分。

9.2.2 填料压实

9.2.2.1 基本要求

- 路基填料应符合设计和规范的规定，经认真调查、试验后合理选用；
- 加筋体填土必须和挖方路基、填方路基有效搭接，纵向接缝必须设台阶；
- 填土须分层填筑压实，每层表面平整，路拱合适，排水良好。

9.2.2.2 实测项目

除距面墙1m范围以内压实度实测项目见表14外，其余部分填土的压实度要求均与路基相同或符合设计要求。

表14 填土压实度实测项目

项目	检查项目	压实度	检查方法及频度	权值
1	距面墙 1m 范围以内 (%)	≥90%	每层 100 延米每压实层测 1 处，并不得小于 1 处	1
3	距面墙 1m 范围以外 (%)	符合设计要求	每层 100 延米每压实层测 2 处，并不得小于 2 处	3

9.2.2.3 外观鉴定

- 填土表面应平整，边线直顺。不符合要求时减 1 分~3 分；
- 边坡坡面平顺稳定，不得亏坡，曲线圆滑。不符合要求时减 1 分~3 分。

9.2.3 筋材施工

9.2.3.1 基本要求

- 筋材的质量和规格，必须满足设计和有关规范的要求，无老化，外观无破损，无污染；
- 在平整的下承层上按设计要求铺设、固定筋材。铺设的筋材应无皱折、紧贴下承层，锚固端施工应符合设计要求；
- 筋材的铺设层数、范围、方向和连接应符合设计要求，上、下层筋材的搭接缝应交替错开。

9.2.3.2 实测项目

筋材施工实测项目见表15，表中检查单位小于20m仍以20m计；检查筋材尺寸时，钢筋（丝）网片化筋材单元构件按个检查，土工格栅和土工格室按束检查。

9.2.3.3 外观鉴定

筋材铺设平整、无褶皱，外观无破损，无污染，不符合要求时减1分~3分。

表15 筋材实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法及频度	权值
1	筋材尺寸 (mm)	筋材长度	不小于设计值	尺量：每 20m 检查 5 束	2
		单元构件	单元构件长、宽、高：±5%； 筋长：不小于设计值	尺量：每 20m 检查 5 个	
2	筋材与面墙连接		符合设计	目测：每 20m 检查 5 处	2
3	筋材与筋材连接		符合设计	目测：每 20m 检查 5 处	
4	筋材铺设	层 数	符合设计	目测：每 20m 检查 5 处	1
		间距(mm)	±50	尺量：每 20m 检查 5 处	
5	钢筋(丝)防腐处理		符合设计	每 20m 检查 10 处	2

9.2.4 防护、排水工程

9.2.4.1 基本要求

- 排水工程齐全、沟底平整、不渗漏、线条直顺、曲线圆滑、排水畅通。
- 坡面植被防护的基材配合比及技术要求及植物种子品种和数量等应符合设计要求，乔、灌、草错落有致。

9.2.4.2 实测项目

实测项目见表16。

表16 防护、排水工程实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法及频度	权值
1	沟底标高(mm)	±50	水准仪：每 200m 测 5 点	1
2	断面尺寸(mm)	30	尺量：每 200m 测 2 处	1
3	基材喷播厚度(mm)	-5, +20	尺量：每 20m 检查 3 处	2
4	插枝苗木规格与数量	符合设计	尺量：抽测 10%	2

9.2.4.3 外观鉴定

- 排水边沟内侧及沟底平顺，不得有杂物，不符合要求时，减 1 分~2 分。
- 墙面绿色覆盖均匀、无明显鼓包、坑洞、冲刷流失、剥离现象，不符合要求时，减 1 分~5 分。

9.2.5 竣(交)工检验标准

9.2.5.1 外观鉴定

- 墙面直顺、线形顺适、防护和排水工程及附属工程齐全，不符合要求时，减 1 分~3 分。
- 墙面绿色覆盖均匀、饱满，植被无明显病虫害现象，不符合要求时，减 1 分~5 分。

9.2.5.2 实测项目

柔性生态加筋挡土墙总体外观实测项目见表17，表中检查单位小于20m仍以20m计。

9.2.6 其它工程

地基处理、安全设施等均应符合设计要求，其质量检验评定标准应按JTGF80/1《公路工程质量检验评定标准》有关具体规定执行。

表17 柔性生态加筋挡土墙总体外观实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法及频度	权值
1	墙顶 高程	路堤式 (mm)	±50	水准仪: 每 20m 测 3 点	2
		路肩式 (mm)	±30		
2	墙顶平 面位置	路堤式 (mm)	-100, +50	经纬仪: 每 20m 测 3 处	2
		路肩式 (mm)	±50		
3	墙面平整度		0.05d (d 为加筋层厚度)	沿墙高方向每 20m 测量 1 处	1
4	墙面倾角		-0.5°, +3°	坡度仪: 每 20m 测量 1 处	2
5	植物覆盖率		≥95%	目测: 每 20m 检查 3 处	2
注: 挡土墙平面位置及墙面倾角“+”为外,“-”为内。					

AA

附 录 A
(规范性附录)
常用筋材主要技术指标

A.1 土工格栅宜采用高密度聚乙烯或聚丙烯单拉塑料格栅，颜色为黑色，色泽应均匀，外观应无损伤、无破裂，网孔大小形状应均匀。土工格栅极限抗拉强度宜 $\geq 50\text{kN/m}$ ，断裂延伸率 $\leq 10\%$ ，120年长期蠕变断裂强度 $\geq 30\text{kN}$ ，最小碳黑含量不得小于2%，其余主要技术指标应满足表A.1和表A.2的要求。

表A.1 聚丙烯单拉土工格栅主要技术指标表

产品规格	极限抗拉强度 (kN/m)	2%延伸率时抗拉强度 (kN/m)	5%延伸率时抗拉强度 (kN/m)	断裂延伸率 (%)
TGDG50	≥ 50	≥ 12	≥ 28	≤ 10
TGDG80	≥ 80	≥ 26	≥ 48	
TGDG120	≥ 120	≥ 36	≥ 72	
TGDG160	≥ 160	≥ 45	≥ 90	
TGDG200	≥ 200	≥ 56	≥ 112	

表A.2 高密度聚乙烯单拉土工格栅主要技术指标表

产品规格	极限抗拉强度 (kN/m)	2%延伸率时抗拉强度 (kN/m)	5%延伸率时抗拉强度 (kN/m)	断裂延伸率 (%)
TGDG50	≥ 50	≥ 12	≥ 23	≤ 10
TGDG80	≥ 80	≥ 21	≥ 40	
TGDG120	≥ 120	≥ 33	≥ 65	
TGDG160	≥ 160	≥ 47	≥ 93	

A.2 钢丝网片宜采用机器编织的六边形双绞合钢丝网，其主要技术指标应满足表A.3的要求，钢丝覆塑防腐处理应满足表A.4的要求。

表A.3 钢丝网片主要技术指标表

网面 抗拉强度 (kN/m)	网孔尺寸 (mm×mm)	未经拉伸钢丝			钢丝网面的钢 丝延伸率 (%)	最小镀锌量 (g/m ²)
		直径 (内径/外径) (mm)	抗拉强度 (N/mm ²)	延伸率 (%)		
≥ 35	80×100	$\phi 2.2/\phi 3.2$	350~550	≥ 9	≥ 7	≥ 230
≥ 50	80×100	$\phi 2.7/\phi 3.7$	350~550	≥ 9	≥ 7	≥ 245

表A.4 覆塑主要技术指标

颜 色	比重 (g/mm ³)	邵氏 A 硬度	抗拉强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	覆塑厚度 (mm)
灰色	1.35~1.40	90~100	≥ 20	≥ 200	≥ 0.5

A.3 镀锌层的粘附力检验采用缠绕试验方法，应达到如下标准：当镀锌钢丝绕相当于自身直径2倍的芯轴紧密缠绕6圈时，用手指摩擦钢丝，其镀层不会剥落或开裂。

A.4 钢筋网片宜采用热镀锌的钢筋网，常用钢筋网规格为 150mm×225mm，直径为 6.0mm、7.5mm和 9.0 mm，钢筋网材料应符合GB 1499.1《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》、GB 1499.2《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》和GB 1499.3《钢筋混凝土用钢 第3部分：钢筋焊接网》的要求；钢筋网的主要技术指标应符合表A.5的要求。

表A.5 钢筋网片主要技术指标表

钢筋的抗拉强度 (N/mm ²)	焊接点的抗剪力 (N/mm ²)	镀锌附着量 (g/m ²)	镀锌膜厚度 (μm)
≥400	≥150	≥450	≥63

BB

附录 B

(规范性附录)

筋材与主要辅助材料检验项目

B.1 对筋材和辅助材料的检验，应满足设计文件所要求的设计指标，其检验项目和频率可按表B.1 的规定执行。

表B.1 筋材与主要辅助材料检验项目

检验项目	单位 面积 质量	厚度	几何 尺寸	垂直渗 透系数	水平渗 透系数	抗拉 (拉伸) 强度	CBR 顶破	刺破	节点 焊接 强度	直接剪 切磨擦	拉拔 磨擦
生态袋 植生袋	☆	△		△	☆	☆	☆	☆			
土工格栅 土工格室	△	△	☆			☆			☆	☆	☆
钢丝网片 钢筋网片	△	△	☆			☆			☆	☆	☆
检验频率	1次/10000m ²									1次/批	
注：“☆”为必检项目，“△”为选检项目。											

B.2 检验频率亦可根据工程规模、所用数量，由设计单位或监理单位确定；表B.1中数量不足10000m²以10000m²计；表B.1中“批”，如每批大于5000m²，则以5000m²为一批；不足5000m²以5000m²计。

B.3 筋材采用土工格栅、土工格室等土工合成材料时，宜进行土工合成材料抗老化性能检验（或由厂家提供相关检验报告）。室内紫外线辐射强度为550W/m²，照射150h，强度保持率应大于80%，炭黑含量 $\geq (2.5 \pm 0.5)\%$ 。当需要考虑土工合成材料受力时，应进行强度折减。

B.4 筋材采用金属材料时，宜对筋材的镀锌层的粘附力、镀锌附着量、镀锌膜厚度等防腐性能进行检验（或由厂家提供相关检验报告），检验频率为1次/批。

附 录 C
(资料性附录)
柔性生态加筋挡土墙算例

C.1 设计条件

为提高公路路基的稳定性、减少耕地占用并保护工程的生态环境,某双向四车道高速公路拟采用路堤式柔性生态加筋挡土墙作为路基支挡结构。高速公路路基宽 $26m$,挡土墙墙高 $8.4m$,墙顶填土 $0.5m$ 。工程环境不考虑地震荷载影响;工程排水条件良好,不需考虑静水压力。填料为黏性土,其容重 $\gamma = 19kN/m^3$,综合内摩擦角 $\varphi = 30^\circ$ 。经基础深度修正后的地基承载力特征值 $f'_a = 230kPa$ 。

C.2 筋材选择

挡土墙采用土工格栅包生态袋结构,以高密度聚乙烯单向拉伸土工格栅为筋材,土工格栅的极限抗拉强度为 $T_{ult} = 120kN/m$;考虑到高密度聚乙烯单向拉伸土工格栅蠕变性能良好、填料施工条件好,取强度折减系数为 $f_R = 2.0$ 。由式(1)可确定筋材的设计抗拉强度 T_a :

$$T_a = \frac{T_{ult}}{f_R} = \frac{120}{2.0} = 60kN/m \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

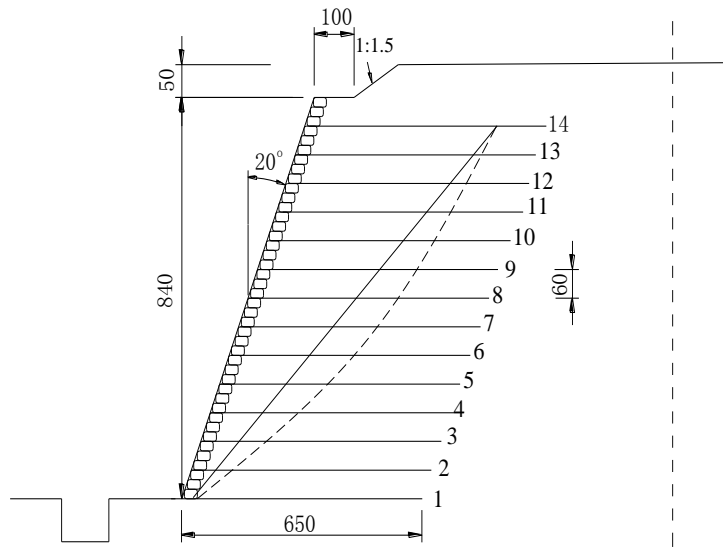
由表4确定筋材与土接触的界面阻力系数 $f_{GS} = 0.4$ 。

C.3 荷载分析

该挡土墙为一般地区的挡土墙,其外部荷载按组合I进行考虑,即只考虑填土重力、墙顶上的有效永久荷载、填土侧压力;因墙前被动土压力为有利荷载,可作为安全储备,故计算中不考虑墙前被动土压力的作用。根据表7取竖向恒载分项系数 $\gamma_G = 1.2$ 。

C.4 结构设计

根据设计条件,初定柔性生态加筋挡土墙结构如图C.1所求。挡土墙以土工生态袋砌筑成面墙,以土工格栅为筋材,加筋间距为 $0.6m$,墙内共布设有14层筋材,初定筋材长度为 $6.5m$,面墙倾角为 70° 。



单位:cm

图C.1 初定柔性生态加筋挡土墙结构示意图

C.5 稳定性验算

C.5.1 内部稳定性验算

按柔性筋墙内部稳定性验算计算。

- a) 按式 (4) 将加筋体顶部填土重换算为等代均布土层厚度 $h_1 = H' = 0.5m$ 。
- b) 按式 (5) 计算永久荷载作用下筋材所在位置的竖向压应力 σ_i ，见表 C.1。
- c) 按式 (13) 和式 (15) 计算面墙生态袋后的土压力系数 K_i 和面墙后的水平土压应力 σ_{Ei} ，计算结果见表 C.1。
- d) 根据破裂面形态，计算筋材有效锚固长度 L_{ai} ，计算结果见表 C.1。
- e) 按式 (18) 计算第 i 层筋材受到的水平拉力，计算结果见表 C.1。
- f) 由表 8 取结构重要性系数 $\gamma_0 = 1.05$ ，取筋材抗拉性能分项系数 $\gamma_f = 1.25$ ，按式 (19) 验算第 i 层筋材的抗拉强度稳定性。

$$\gamma_0 \gamma_f T_i < T_a = 60kN/m \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

故筋材的抗拉强度满足要求。

- g) 按式 (20) 计算第 i 层筋材抗拔力 T_{pi} ，计算结果见表 C.1。由表 9 取筋材抗拔力计算调节系数 $\gamma_R = 1.4$ ，按式 (21) 验算筋材抗拔稳定性，各层筋材均满足抗拔稳定性要求。
- h) 由式 (23) 计算全墙抗拔稳定性：

$$K_b = \frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} = \frac{4498.01}{261.20} = 17.2 \geq 2 \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

故全墙抗拔稳定性满足要求。

表C.1 筋材计算表

筋材 序号	σ_i (kPa)	σ_{Ei} (kPa)	L_{ai} (m)	T_i (kN/m)	$\gamma_0 \gamma_f T_i$ (kN/m)	T_{pi} (kN/m)
14	20.9	6.96	4.84	4.38	5.75	57.78
13	32.3	10.75	4.97	6.77	8.89	91.66
12	43.7	14.55	5.09	9.17	12.04	127.21
11	55.1	18.34	5.22	11.56	15.17	164.41
10	66.5	22.14	5.35	13.95	18.31	203.29
9	77.9	25.93	5.48	16.34	21.45	243.83
8	89.3	29.73	5.61	18.73	24.58	286.03
7	100.7	33.52	5.73	21.12	27.72	329.90
6	112.1	37.32	5.86	23.51	30.86	375.43
5	123.5	41.11	5.99	25.90	33.99	422.63
4	134.9	44.91	6.12	28.29	37.13	471.50
3	146.3	48.70	6.24	30.68	40.27	522.03
2	157.7	52.50	6.37	33.07	43.40	574.22
1	169.1	56.29	6.50	17.73	23.27	628.09
Σ				261.20	--	4498.01

C.5.2 外部稳定性验算

a) 取 $\delta = \varphi = 30^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, 按式 (11) 计算加筋体的主动土压力系数 K_a 。

$$\begin{aligned}
 K_{ao} &= \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos(\alpha + \delta) \cos \alpha}} \right]^2} \quad \dots\dots\dots (C.4) \\
 &= \frac{\cos^2(30^\circ - 20^\circ)}{\cos^2 20^\circ \cos(20^\circ + 30^\circ) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30^\circ + 30^\circ) \sin 30^\circ}{\cos(20^\circ + 30^\circ) \cos 20^\circ}} \right]^2} \\
 &= 0.21995
 \end{aligned}$$

b) 取 $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, 按式 (10) 计算加筋体后的土压力 E_a ：

$$\begin{aligned}
 E_a &= 0.5K_{ao}\gamma(H+H'+h_0)^2 \\
 &= 0.5 \times 0.219948 \times 19 \times (8.4+0.5+0)^2 \dots\dots\dots (C.5) \\
 &= 165.51kN/m
 \end{aligned}$$

c) 按式(24)验算挡土墙的抗滑动稳定性, 不计墙前被动土压力, 取基底摩擦系数为 0.6:
每延米挡土墙的重力:

$$G = \gamma A = 19 \times [6.5 \times 8.9 - (1.57 + 1) \times 0.5 / 2] = 1086.94kN/m \dots\dots\dots (C.6)$$

主动土压力的竖向分量:

$$E_y = E_a \sin(\varphi - \alpha) = 165.51 \times \sin(30^\circ - 20^\circ) = 28.74kN/m \dots\dots\dots (C.7)$$

主动土压力的水平分量:

$$E_x = E_a \cos(\varphi - \alpha) = 165.51 \times \cos(30^\circ - 20^\circ) = 163kN/m \dots\dots\dots (C.8)$$

由式(24)得:

$$\begin{aligned}
 &[1.1G + \gamma_{Q1}E_y] \mu - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p \\
 &= [1.1 \times 1086.94 + 1.4 \times 28.74] \times 0.6 - 1.4 \times 163 = 513.32 > 0 \dots\dots\dots (C.9)
 \end{aligned}$$

按式(25)计算挡土墙的抗滑稳定性系数:

$$K_c = \frac{\mu \sum N + E'_p}{E_x} = \frac{(1086.94 + 28.74) \times 0.6 + 0}{163} = 4.1 > 1.3 \dots\dots\dots (C.10)$$

故挡土墙的抗滑动稳定性满足要求。

d) 抗倾覆稳定性验算

由设计图可求得各荷载的力臂, 得:

$$\text{墙身重力作用线距墙趾距离 } Z_G = 4.93m;$$

$$\text{墙后主动土压力的竖向分量到墙趾距离 } Z_x = 7.67m;$$

$$\text{墙后主动土压力的水平分量到墙趾距离 } Z_y = 3.23m。$$

由式(26)校核挡土墙的倾覆稳定性:

$$\begin{aligned}
 &0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_yZ_x - E_xZ_y) + \gamma_{Q2}E_pZ_p \\
 &= 0.8 \times (1086.94 \times 4.93) + 1.4 \times (28.74 \times 7.21 - 163 \times 3.23) \dots\dots\dots (C.11) \\
 &= 3839.71 > 0
 \end{aligned}$$

按式(27)计算挡土墙的抗倾覆稳定系数 K_0 :

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_yZ_x}{E_xZ_y} = \frac{1086.94 \times 4.93 + 28.74 \times 7.67}{163 \times 3.23} = 9.76 > 1.5 \dots\dots\dots (C.12)$$

挡土墙的抗倾覆稳定系数 K_0 满足要求。

e) 地基稳定性验算

1) 根据式 (28) 计算基底合力的偏心距 e :

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} = \frac{-1086.94 \times 1.68 - 28.74 \times 4.42 + 163 \times 3.23}{1086.94 + 28.74} \dots\dots\dots (C. 13)$$

$$= -0.05m$$

基底合力的偏心距 $e < 0$, 取 $e = 0$ 。

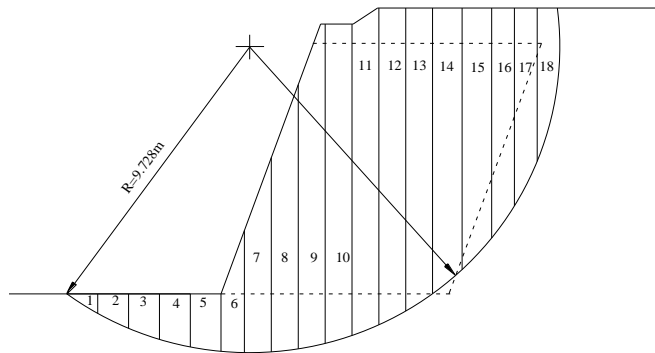
2) 取地基承载力特征值提高系数 $k = 1.0$, 根据式 (29) 校核基底压应力:

$$\sigma = \frac{\sum N}{B - 2e} = \frac{1086.94 + 28.74}{6.5 - 2 \times 0} = 171.64kPa < kf'_a = 230kPa \dots\dots\dots (C. 14)$$

故挡土墙基底压应力满足地基承载力要求。

f) 整体抗滑动稳定性验算

- 1) 假设整体滑动符合圆弧滑动面。将计算坐标原点设在坡脚处, 采用网格法确定最不利圆心和半径, 得: 圆心坐标为(0.08, 8.10)m, 滑动半径为 9.728m。
- 2) 按条分法对滑动体进行分条 (图 C. 2) , 并计算各分条的相关参数, 计算结果见表 C. 2。



图C. 2 整体滑动稳定性验算图

表C. 2 整体稳定性计算表

土条 编号	B_i (m)	θ_i (度)	l_i (m)	c_i (kPa)	φ_i (度)	土条重力 (kN)	下滑力 (kN)	抗滑力 (kN)
1	0.88	-30.60	1.03	10	30	4.4	-2.24	12.47
2	0.89	-24.70	0.97	10	30	12.21	-5.1	16.15
3	0.88	-19.08	0.94	10	30	18.2	-5.95	19.3
4	0.89	-13.64	0.91	10	30	22.58	-5.32	21.77
5	0.88	-8.32	0.89	10	30	25.47	-3.69	23.49
6	0.89	-3.08	0.89	10	30	26.96	-1.45	24.4
7	0.77	1.78	0.77	10	30	38.75	1.21	30.02
8	0.77	6.31	0.77	10	30	68.48	7.52	47

表 C.2 整体稳定性计算表 (续)

土条 编号	B_i (m)	θ_i (度)	l_i (m)	c_i (kPa)	φ_i (度)	土条重力 (kN)	下滑力 (kN)	抗滑力 (kN)
9	0.77	10.87	0.78	10	30	97.33	18.35	62.97
10	0.77	15.50	0.79	10	30	125.24	33.47	77.62
11	1.00	20.99	1.07	10	30	178	63.77	106.66
12	0.75	26.62	0.84	10	30	131.65	58.99	76.34
13	0.66	31.36	0.77	10	30	113.66	59.15	63.74
14	0.87	36.82	1.09	10	30	141.44	84.77	76.22
15	0.87	43.55	1.20	10	30	129.27	89.06	66.08
16	0.87	51.16	1.39	10	30	113.58	88.46	54.98
17	0.87	60.42	1.76	10	30	92.07	80.07	43.85
Σ							606.37	870.09

3) 按式 (30) 计算整体抗滑稳定性系数。

$$K_s = \frac{\sum (c_i x_i + W_i \cos \beta_i \tan \varphi_i)}{\sum W_i \sin \beta_i} = \frac{870.09}{606.37} = 1.43 > 1.25 \quad \dots\dots\dots (C. 15)$$

故整体抗滑动稳定性足够。

附 录 D
(资料性附录)
柔性生态加筋挡土墙施工要点

D.1 施工准备

D.1.1 施工前应熟悉设计文件，充分理解设计意图。开展现场调查，根据设计要求、工期要求、施工地段的地形、地质、水文、气象、环境等条件，做好实施性施工组织设计，制定安全技术和环境保护措施和防雨雪、冰冻、风暴、汛情等预案。

D.1.2 现场测量、核查。测定挡土墙的面墙基线、路基中心线、基础主轴线、墙顶轴线、挡土墙起讫点和横断面。当设计与实际情况有出入时，应通知监理单位与设计单位协商修改。

D.1.3 根据设计文件，准备筋材和辅助材料，委托具有相应资质的单位进行相关检测试验，并报监理单位抽检。

D.1.4 根据施工组织设计准备劳力、机械设备、运输车辆，开展技术培训，检查设备工作状况。确保各类设备运转良好。

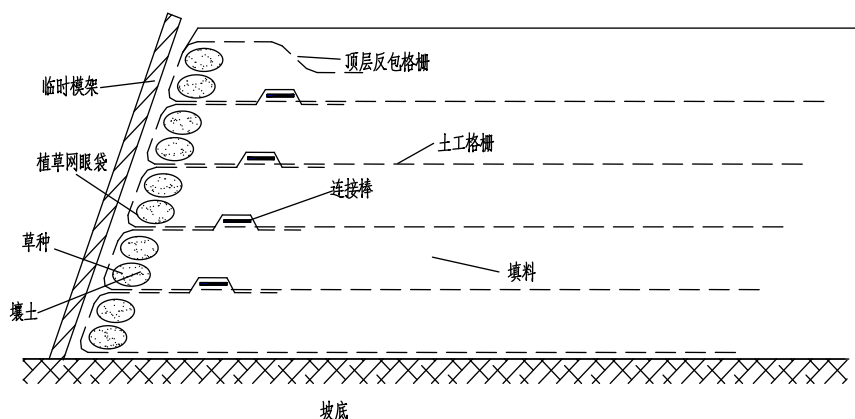
D.1.5 现场布置。确保施工用水电气到位，并在施工现场设置醒目的安全、警示标志和安全防护设施。

D.1.6 开挖基坑、平整场地。墙底范围内的地面应按设计要求进行清表、开挖、平整和压实。开挖范围宜超出墙底范围0.3m~0.5m，开挖平整压实后应全面检查地基承载力及基底压实度，不满足时需进行地基处理；同时还应设计相应的排水设施。

D.2 挡土墙施工

D.2.1 按挡墙的墙面倾角，架立临时模架并拉线

用角钢或木条制作两个临时的模架（见图D.1），按挡墙的墙面倾角摆放，中间用线连接，形成一个坡面，以此来控制边坡的坡率，作为墙面材料组装的参照。

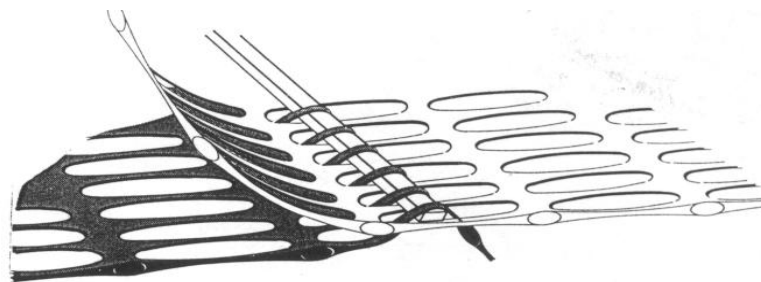


图D.1 临时模架示意图

D.2.2 筋材铺设、填土和压实

D.2.2.1 土工格栅反包柔性生态加筋挡土墙

- a) 土工格栅下料。按照设计长度裁剪土工格栅，土工格栅长度为设计长度+每层土工格栅距离+反包长度。
- b) 铺设第一层土工格栅。必须水平铺设，且与墙面垂直，尾部用U型钉或竹钉固定在墙底上，反包段临时放在墙面外。土工格栅搭接宽度不小于10cm，并按适当距离用U型钉将土工格栅固定。
- c) 将装有土壤及草种（或草皮）的植生袋（或网眼袋）用打包机封口。按模架及拉线控制施工坡面反包植生袋（或网眼袋）位置，需按设计坡率摆放整齐且相互嵌挤，以保证坡面平整、受力均匀，且装有草种的一侧面向坡面。
- d) 在底层土工格栅网眼袋后铺设一定量的填料，土工格栅自由端（非反包端）用张拉器拉紧格栅，用U型钉固定并压土填筑。
- e) 用机械设备（如挖掘机）将填土瀑布式卸到土工格栅上，用人工或机械设备进行摊铺。
- f) 洒水压实：按照填料的最佳含水量洒水后用重型机械在距墙面1.0m以外将回填料压实，1.0m以内用总质量不超过1吨的小型压实机械压实或人工夯实，压实度达到设计要求。
- g) 把预先留在模架外侧的土工格栅反包在已铺筑好的网眼袋及压实好的第一层填料上。
- h) 把模架取下，按上述程序a、b，进行第二层的土工格栅下料及铺设工作。



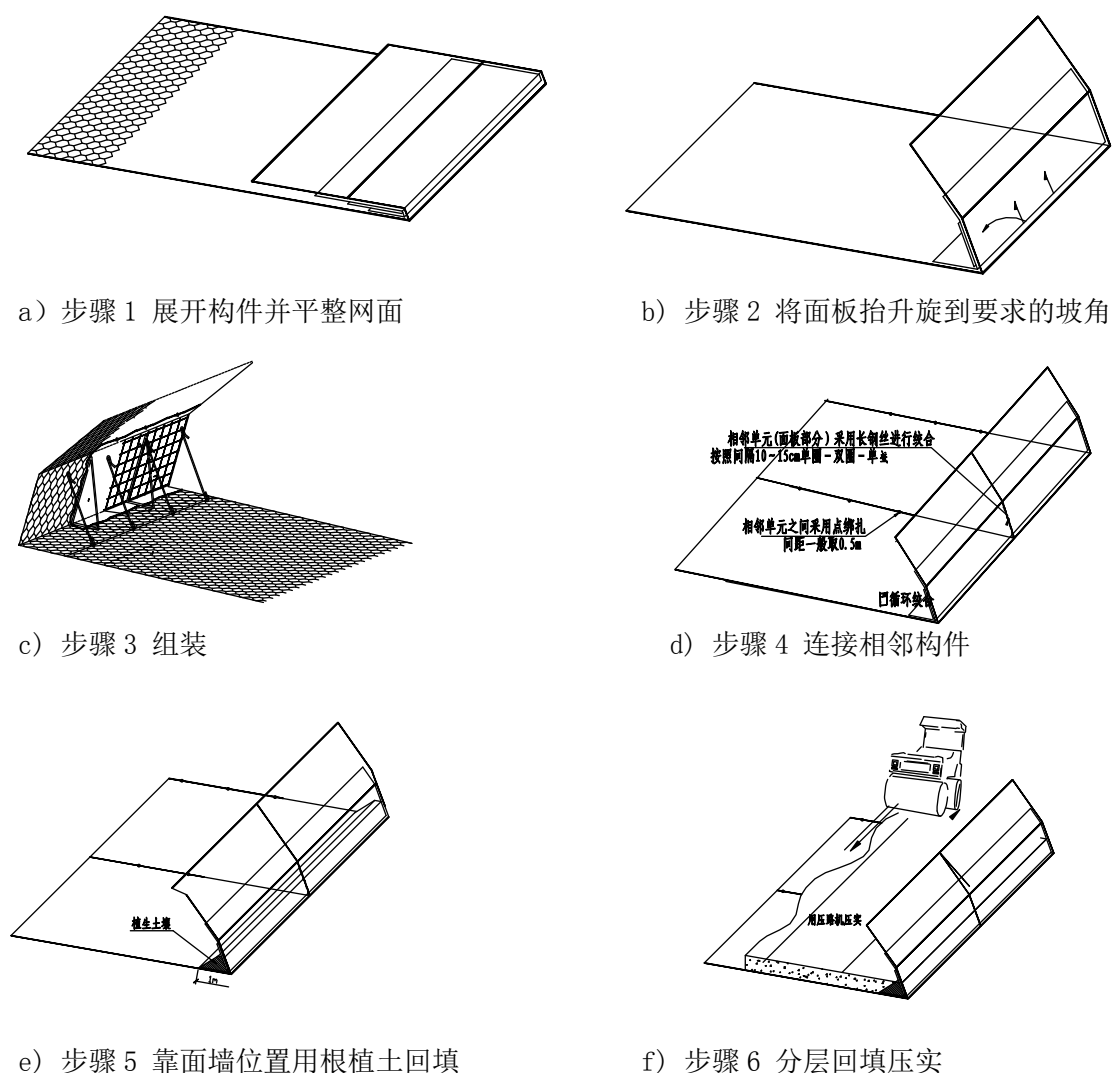
图D.2 土工格栅用连接棒连接示意图

- i) 用连接棒将第二层土工格栅与第一层土工格栅的反包段连接起来（见图D.2），并预留好反包段长度。连接棒平面位置不宜在一条直线上，应错开布置。
- j) 通过张拉器勾住第二层土工格栅自由端施加张拉力（要求施加筋材 $\geq 1\%$ 应变相对应的抗拉力的预加力），使连接棒处于拉紧状态，直至坡面土工格栅绷紧。在保证张拉土工格栅的同时，用U型钉将土工格栅固定，释放张拉器。继续c~g完成第二层土工格栅的铺设。
- k) 重复以上a~j操作铺设第三层，直到完成作业为止。
- l) 对顶部的土工格栅层的反包段，采用将其埋于顶层填料中的措施予以固定，其长度较其下各层的反包段长一些。按要求压实最上一层填土。

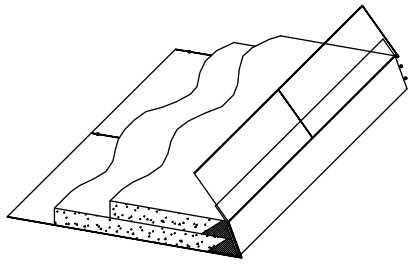
D.2.2.2 钢丝（筋）网片柔性生态加筋挡土墙

- a) 清基完成后，绿色加筋网片单元应按照既定要求的坡比摆放在指定位置，利用通常的紧固工具将金属支架旋转至指定角度后固定在底板（绞合钢丝或钢环），相邻绿色加筋格宾单元间应绞合以保证构成一个连续的整体结构；墙面铺设金属三角支架，其间距一般为20cm。
- b) 相邻绿色加筋网片单元的生物垫应交叠100mm，以保证后部的土壤不会暴露出来。
- c) 墙后填土应符合设计要求，填料内不得含有机料。在面墙后1.0m范围内应回填有利于植被生长的粘土；填土应首先回填300mm，然后压实至要求高度。

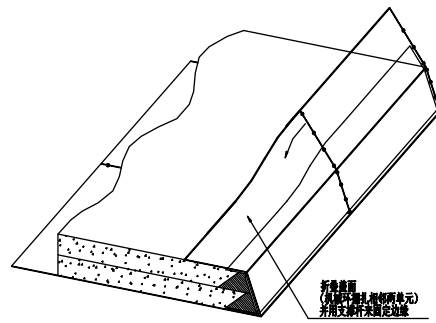
- d) 柔性生态加筋挡土墙可采用人工摊铺或机械摊铺，摊铺厚度应均匀一致，表面平整。当用机械摊铺时，摊铺机械距挡墙壁面不应小于 1.0m。机械运行方向应与墙面平行，并不得在未覆盖填料的钢筋加筋网上行驶或停车。
- e) 机械不得在未覆盖填料的钢丝（筋）网片上行驶，并不得扰动已经铺设好的钢丝（筋）网。填料应严格分层碾压，碾压时应先轻后重，并不得使用羊足碾。压路机不得在未经压实的填料上急剧改变运行方向和急刹车。
- f) 压实作业应先从钢筋加筋网中部开始，逐步碾压至钢筋加筋网尾部再碾压靠近挡墙壁面部位，压实机械距挡墙壁面不得小于 1.0m，在面板内侧 1.0m 范围内应使用手扶式振动压路机等小型压实机具压实填料，以避免损害面墙或破坏坡度。
- g) 按上述程序，进行第二层的加筋材、墙面材及填料铺设，直至设计高度。
- h) 绿色加筋格宾结构最上层单元上面板在回填完成后相内折叠时，应埋入土中约 300mm。
- i) 钢丝（筋）网片的施工步骤见图 D.3。



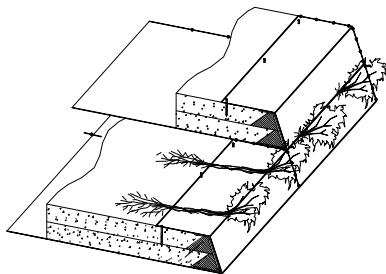
图D.3 钢丝（筋）网片施工步骤



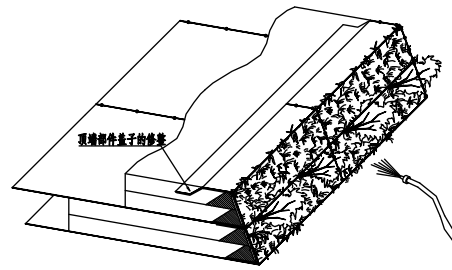
g) 步骤 7 分层回填压实



h) 步骤 8 单元顶端回包段反包固定



i) 步骤 9 上一单元施工



j) 步骤 10 喷播绿化

图 D.3 钢丝（筋）网片施工步骤(续)

D.2.3 柔性生态加筋挡土墙施工完毕后应及时进行质量检验，合格后及时进行挡墙面的绿化防护，快速恢复坡面植被和道路景观，避免筋材长时间外露。

EE

附 录 E
(规范性附录)
单位、分部及分项工程的划分

表E.1规定了柔性生态加筋挡土墙单位工程、分部工程及分项工程的划分见表。

表E.1 单位工程、分部工程及分项工程的划分

单位工程	分部工程	分项工程
路基工程（每 10km 或每标段）	柔性生态加筋挡土墙*	基础*，加筋体填土，筋材*，坡面防护*，排水，总体*等
注：表内标注*号者为主要工程，评分时给以 2 的权值；不带*号者为一般工程，权值为 1。		

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准.《公路路基设计规范》(JTG D30-2015).北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [2] 中华人民共和国行业推荐性标准.《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32-2012).北京:人民交通出版社,2012.
- [3] 中华人民共和国行业推荐性标准.《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-2013).北京:人民交通出版社,2013.
- [4] 浙江省地方标准.《高速公路交通安全设施设计规范》(DB 33/T 704-2013).《山区高速公路勘察设计规范》(DB 33/T 899-2013).《公路边坡植被防护工程施工技术规范》(DB 33/T 916-2014).
- [5] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司.《公路挡土墙设计与施工技术细则》.北京:人民交通出版社,2008.
- [6] 交通部第二公路勘察设计院.《公路设计手册 路基》(第二册).北京:人民交通出版社,1996.
- [7] 杨果林,沈坚,陈建荣,杨啸.《柔性生态型加筋土结构工程应用研究》.北京:科学出版社,2013.
- [8] 杨果林,彭立,黄向京.《加筋土结构分析理论与工程应用新技术》.北京:中国铁道出版社,2007.
- [9] 何光春编著.《加筋土工程设计与施工》.北京:人民交通出版社,2000.
- [10] 浙江省交通规划设计研究院,浙江省交通工程建设集团第三交通工程有限公司,中南大学,绍诸高速公路建设指挥部.柔性生态挡墙在高速公路中的应用专题研究.杭州,2012.
- [11] 浙江省交通规划设计研究院,浙江省交通工程建设集团第三交通工程有限公司,中南大学,绍诸高速公路建设指挥部.柔性生态加筋挡墙设计与施工应用技术指南.杭州,2012.
- [12] 陈建荣,俞红光,黄天元.柔性生态挡墙在浙江高速公路中的应用.浙江交通职业技术学院学报2010年第11卷.
- [13] 刘泽,杨果林,申超.绿色加筋格宾挡墙现场试验研究.中南大学学报(自然科学版),2012年第43卷.
- [14] 刘泽.生态型加筋土挡墙动静力学特性试验研究与数值分析[博士学位论文].长沙:中南大学,2012.
- [15] 宋静晓,王建群,刘泽,廖为东.柔性生态加筋挡土墙的基底应力计算方法研究.浙江交通职业技术学院学报,2015年第16卷.