



TAGECS G: DXX-XX -2023

中国工程建设标准化协会标准  
Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

# 道路生态加筋土挡墙技术规程

Specifications for Ecological Reinforced Earth Retainingwall  
of Roads  
(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

## 目录

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	6
3.1	适用范围	6
3.2	一般要求	7
4	工程勘测与地质勘察	8
4.1	一般规定	8
4.2	勘测	8
4.3	地质勘察	9
5	材料	11
5.1	一般规定	11
5.2	加筋材料	11
5.3	路堤填料	12
5.4	墙面材料	13
5.4.1	预制混凝土模块式面板应符合下列要求:	13
5.5	其他材料	15
6	结构形式与构造	16
6.1	一般规定	16
6.2	预制块加筋土挡墙	16
6.3	石笼加筋土挡墙	19
6.4	生态袋加筋土挡墙	20
6.5	土工格室加筋土挡墙	22
6.6	钢丝网加筋土挡墙	25
6.7	组合类生态加筋挡土墙	26
7	设计和计算	29
7.1	一般规定	29
7.2	荷载与土压力	29
7.3	筋材与填土接触的界面阻力系数	36
7.5	筋材长度计算	38
7.6	外部稳定性验算	42
7.7	内部稳定性验算	47
7.8	沉降计算	48
7.9	筋材设计抗拉强度计算	49
8	坡面植物防护与景观设计	50
8.1	一般规定	50
8.2	坡面植物防护设计	50
8.3	生态景观设计	51
9	施工	52
9.1	一般规定	52
9.2	施工准备	52

9.3	预制块加筋土挡墙施工.....	53
9.4	石笼加筋土挡墙施工.....	55
9.5	生态袋加筋土挡墙施工.....	57
9.6	土工格室加筋土挡墙施工.....	58
9.7	钢丝（筋）网类加筋土挡墙施工.....	60
9.8	组合类加筋土挡墙施工.....	61
9.9	生态防护施工应符合下列规定：.....	61
10	质量检测与控制.....	62
10.1	一般规定.....	62
10.2	质量检测与控制要求.....	63
10.3	施工监测.....	67
附录 A:	.....	68
附录 A	常用土工材料的主要技术指标.....	68
表 A-1	单向拉伸 HDPE 塑料土工格栅的性能指标.....	68
附录 B:	.....	71
附录 B	土工格室加筋土破坏轴向应变计算方法.....	71
附录 C:	.....	72
附录 C	土工格室条带拉伸试验方法.....	72
附录 D:	.....	74
附录 D	土工格室节点强度（含剥离强度、剪切强度和对拉强度）的测定.....	74
附录 E:	.....	77
附录 E	不同使用环境下不同镀层钢丝参考使用年限.....	77
附录 F	钢丝刮磨测试.....	79
附录 G:	.....	81
附录 G	土工格室加筋土挡墙通用条分法计算软件.....	81
附录 H:	.....	82
算例 H.1	土工格栅反包生态袋加筋土挡墙算例.....	82
算例 H.2	土工格室加筋土挡墙算例.....	88
	(1) 工程背景.....	88
	(2) 格室挡墙工程.....	88

---

# 1 总则

1.0.1 为贯彻绿色交通理念，节约资源，保护环境，提升道路生态景观，规范和指导道路工程生态加筋土挡墙设计与施工，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各等级公路、城市道路新建、改建或扩建工程生态加筋土挡墙的设计与施工。

1.0.3 道路生态加筋土挡墙设计应遵循“安全耐久、因地制宜、节约资源、保护环境”的原则，经过技术经济比选确定。

1.0.4 道路生态加筋土挡墙设计与施工应积极稳妥地采用新材料、新技术、新工艺、新设备。

1.0.5 道路生态加筋土挡墙设计与施工除应符合本规程的规定外，尚应符合有关法律、法规及国家、行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

---

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 加筋土挡墙 reinforced earth retaining wall

由墙面、筋材和填土共同组成的挡土墙。分为有面板和无面板加筋土挡墙。

#### 2.1.2 生态加筋土挡墙 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。

#### 2.1.3 筋材 reinforcement

发挥加筋补强作用的土工合成材料或金属材料。

#### 2.1.4 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。

#### 2.1.5 生态袋 geo ecologic bag

采用聚丙烯或聚酯人造纤维针双面熨烫针刺无纺布加工而成，可内装土、草种、灌木种和其他营养物质的袋状材料。

#### 2.1.6 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。

#### 2.1.7 极限抗拉强度 ultimate tensile strength

筋材试样单轴拉伸时，单位宽度的最大拉力，又称断裂强度。

#### 2.1.8 设计抗拉强度 design tensile strength

考虑结构设计使用年限内筋材蠕变、老化、施工损伤等影响因素的抗拉强度。

#### 2.1.9 网面翻边强度 connection to selvedge strength for wire mesh

石笼网面拉伸试验时，网面翻边处散开或翻边处第一根网丝断裂时单位宽度的最大拉力。

#### 2.1.10 延伸率 tensile strain

筋材单轴拉伸试验时，伸长量与原长度的比值。

#### 2.1.11 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。

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用和作用效果符号

---

$E_p$ ——墙前被动土压力的水平分量；

$E_x$ ——墙后主动土压力的水平分量；

$E_y$ ——墙后主动土压力的竖向分量；

$E_{ih}$ ——第  $i$  截面以上墙身重心处的水平地震作用；

$f_a$ ——经基础埋深修正后的地基承载力特征值；

$M_d$ ——作用于基底形心的弯矩组合设计值；

$N_d$ ——作用于基底上的垂直力组合设计值；

$q$ ——作用于墙后填土上的车辆荷载；

$q_r$ ——作用于墙后填土上的人群荷载；

$W_i$ ——第  $i$  计算条块单位宽度重力；

$y_i$ ——作用在土条上的切向力；

$Z_{Ri}$ ——第  $i$  计算条块右侧条间力合力；

$Z_{Li}$ ——第  $i$  计算条块左侧条间力合力；

$\sigma_i$ ——永久荷载作用下，加筋体内深度  $Z_i$  处的竖向压应力；

$\sigma_{Ei}$ ——加筋体内深度  $Z_i$  处作用于假想面板上的水平土压应力；

$\sigma_{fi}$ ——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；

### 2.2.2 材料性能与抗力性能符号

$c_i$ ——第  $i$  计算条块滑面的粘聚力；

$c_r$ ——表观粘聚力；

$f_{GS}$ ——筋土界面阻力系数；

$M$ ——为格室条带拉伸应变达到  $\varepsilon$  时的割线模量；

$R_k$ ——抗力材料的强度标准值；

$T_a$ ——筋材设计抗拉强度；

---

$T_{ult}$  ——筋材的极限抗拉强度；

$\phi_s$  ——与筋材接触的填土内摩擦角；

$\phi_i$  ——第  $i$  计算条块滑面的内摩擦角；

### 2.2.3 几何参数符号

$e_i$  ——横向力  $Q_i$  对圆心  $o$  的力臂；

$h_{Li}$  ——第  $i$  计算条块左侧条间力合力作用线高度；

$h_{Ri}$  ——第  $i$  计算条块右侧条间力合力作用线高度；

$L_i$  —— $Z_i$  层深度处的筋材总长度；

$L_{ci}$  ——筋材在主动区的长度；

$L_{ai}$  ——筋材在稳定区的有效锚固长度；

$L_{wi}$  ——面墙侧包裹长度；

$l_i$  ——第  $i$  计算条块滑面长度；

$m$  ——加筋体顶面的路堤边坡坡率；

$X_i$  ——第  $i$  土条弧长；

$X_{Li}$  ——第  $i$  计算条块左侧条间力合力作用点横坐标；

$Z_i$  ——第  $i$  层筋材至加筋体顶面的垂直距离；

$Z_P$  ——墙后被动土压力的水平分量到墙趾的距离；

$Z_X$  ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离；

$Z_y$  ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离；

$\theta_{Li}$  ——第  $i$  计算条块左侧条间力合力作用线与水平面的夹角；

$\theta_{Ri}$  ——第  $i$  计算条块右侧条间力合力作用线与水平面的夹角；

$\alpha_d$  ——结构或结构构件几何参数的设计值；

$\Delta_{hi}$  ——第  $i$  层筋材的加筋间距；

---

$\beta_i$ ——第  $i$  计算条块顶面倾角；

$\varepsilon_v$ ——为格室加筋土破坏时的竖向应变；

$\varepsilon_c$ ——为土工格室加筋土竖向应变为  $\varepsilon_v$  时对应的圆周向应变；

#### 2.2.4 计算系数符号

$f_{GS}$ ——筋材与填土接触的界面阻力系数；

$f_R$ ——考虑筋材蠕变、老化和施工条件等因素的强度折减系数；

$K_a$ ——外部稳定性计算时的主动土压力系数；

$K_i$ ——加筋体内深度  $Z_i$  处土压力系数；

$K_j$ ——静止土压力系数；

征求意见

## 3 基本规定

### 3.1 适用范围

3.1.1 生态加筋土挡墙适用于有用地受限需设支挡、景观要求较高的公路、城市道路等。

3.1.2 生态加筋土挡墙优先用于填土高度不小于 2m 的路堤式支挡工程。用于路肩式支挡工程时，宜加宽路基，并完善加筋土挡墙顶部护栏基础设计及防排水措施。

#### 条文说明

经调研，区别于实体圬工类挡土墙，生态加筋土挡墙为柔性结构，一般墙体与护栏基础未整体化连接，如护栏基础设置不当、防排水措施不完善时，易出现护栏失稳，因此优先推荐生态加筋土挡墙用于路堤式支挡工程。用于路肩式支挡工程时，考虑预制块、生态袋及石笼等自身构造宽度及安全冗余，路基宜进行加宽，一般土路肩外侧加宽不小于 1m。

3.1.3 生态加筋土挡墙不宜设置于滑坡、泥石流、采空区等不良地质地段及浸水路段、沿河水流冲刷路段。

#### 条文说明

相较圬工类挡土墙、传统直立坡面加筋土挡墙，生态加筋土挡墙适应变形能力更强，对地基承载力要求更低，但滑坡、泥石流、采空区等不良地质地段条件复杂，生态加筋土挡墙使用性能会下降，耐久性难以保证，故不推荐采用。

生态加筋土挡墙抗冲刷性能较差，不宜用于浸水路段、沿河水流冲刷路段。石笼加筋土挡墙用于浸水路段、沿河水流冲刷路段时，应完善反滤构造措施，避免石笼后部填料流失。

3.1.4 高速公路、一级公路、城市主干道单级墙高不宜大于 12m，二级及二级以下公路、城市次干道不宜大于 20m；当采用多级墙时，每级墙高不宜大于 10m，上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台。超出上述范围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。当总高度超过 20m 或其他特殊工况时应进行专题论证。

3.1.5 干旱地区生态加筋土挡墙墙面应选择耐旱、耐寒植物。极端干旱地区不宜采用生态加筋土挡墙时，应同时进行养护灌溉措施设计，保证植被生长环境。

## 3.2 一般要求

3.2.1 生态加筋土挡墙设计应综合考虑地形地貌、工程地质、水文地质、气候条件、周边环境、筑路材料、施工技术、工程造价等因素,做好方案比选设计。

3.2.2 应根据路基横断面、地形、地质条件、地基承载能力及景观要求,合理确定挡土墙位置、起讫点、长度和高度,并按下表进行技术经济比较后,选择适宜的挡土墙类型。

表 3.2.2 生态加筋土挡墙适用条件

挡土墙类型	适用条件
预制块加筋土挡墙	适用于景观要求较高,植物生长较快的地区和路段。
石笼加筋土挡墙	适用于地下水较多或地表有积水,有一定防冲刷要求的路段
生态袋加筋土挡墙	适用于植被生长较为缓慢,早期可能有坡面冲刷的地区和路段
土工格室加筋土挡墙	适用于整体性要求高,透水性材料相对匮乏的地区和路段
钢丝(筋)网类加筋土挡墙	适用于坡面平整度及外观要求高的路段
圬工类、石笼挡墙与生态加筋挡土墙组合	支挡结构高度较大、景观要求较高、下部有浸水可能的路段

3.2.3 生态加筋土挡墙结构应保证具有足够的强度、和整体安全稳定性,挡墙结构材料应满足耐久性需求,其沉降变形应满足使用极限状态的要求。

3.2.4 生态加筋土挡墙应与公路构造设施及相邻构筑物衔接平顺。

3.2.5 对特殊路段的挡土墙宜设置临时性或永久性的观测点进行沉降和稳定监测,根据监测和养护需要,设置检修台阶或检修梯。

3.2.6 工程地质、水文地质条件复杂、环境敏感的路段,应注重工点的动态设计。

---

## 4 工程勘测与地质勘察

### 4.1 一般规定

4.1.1 生态加筋土挡墙的工程地质勘察和勘测应按现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)、《市政工程勘察规范》(CJJ 56)、《公路勘测规范》(JTG C10)、《城市道路设计规范》(CJJ 37)及本规程等要求分阶段进行,工作内容和深度满足相应设计阶段的要求。

4.1.2 应做好地形地貌、地质构造、地层岩性、地震、水文、气象和建筑材料等基础资料的收集、调查。加强地基和填料的测试及试验工作,为设计提供必要的参数。

4.1.3 应根据勘测成果确定生态加筋土挡墙的设置位置,确定勘察方案,合理确定勘察工作量,查明基底及拟建挡土墙影响范围内工程地质条件。

4.1.4 应做好生态加筋土挡墙路段的现场调查、勘测和相关地质勘察工作,基础资料应准确可靠,满足设计要求。

### 4.2 勘测

4.2.1 应根据生态加筋土挡墙的设置位置、规模和环境,确定调查、勘测的范围、要求和方法。

4.2.2 正式勘测前应对搜集的资料、实地调查的结果进行分析,初步确定生态加筋土挡墙的设置位置、结构类型、形式和基本尺寸,为设计提供依据。

4.2.3 初测阶段生态加筋土挡墙的勘测与调查应符合下列规定:

1 沿河路段应按路基设计要求,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。

2 调查沿线既有挡土墙的常用型式及防护效果。

3 调查山坡土体的稳定性,坡面、坡脚受水流冲刷及地下水出露情况。

4 调查挡土墙设置位置、形式和长度,实地放出其起终点桩号;地质条件特别复杂、规模较大的工点应进行控制测量,并测绘 1:500~1:1000 的地形图。

4.2.4 定测阶段生态加筋土挡墙的勘测与调查应符合下列规定:

1 应对初测收集的资料实地进行核查,并进行补充和完善。

2 应现场确定设置的位置、起讫桩号、长度和形式。

3 应实地放出挡土墙轴线，进行高程测量和横断面测量。

4 挡土墙测量间距应不大于 10 米，宜采用 5 米，并在挡墙起终点处、地形变化较大处、土质变化及不良地质地段起终点处进行加密测量。

4.2.5 生态加筋土挡墙勘测方法与技术要求应按路线中桩测量的方法与技术要求执行。

4.2.6 勘测资料提交应符合下列规定：

1 应提交调查、勘测原始记录、检验、计算及成果等资料。

2 提交的各种图表及资料应清晰，签署完备。

3 所有资料的电子文档。

### 4.3 地质勘察

4.3.1 初步勘察应初步查明拟建场地的岩土工程条件，提出初步设计所需要的建议及岩土参数；详细勘察应针对生态加筋土挡墙特点和场地岩土工程条件，进行岩土工程分析与评价，提供设计及施工所需的岩土工程参数及有关结论与建议。根据挡土墙规模、场地与地基的复杂程度，结合勘察方案的适宜性，可合并勘察阶段，进行一次性勘察。

4.3.2 初步勘察应满足工程方案比选及初步设计文件编制的要求；详细勘察应满足确定结构尺寸、筋带与填料选定、地基承载力设计、变形控制、稳定性验算、排水设计等要求。

4.3.3 应在资料收集的基础上，根据生态加筋土挡墙的设置位置、高度、长度、地形状况、地质条件和道路等级选择勘察方法，确定勘探测试点数量和位置，查明墙址纵、横向地层岩性、地质构造、水文地质条件。

4.3.4 生态加筋土挡墙工点勘察成果主要包括：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、挡墙基础的沉降分析、挡墙地基稳定性分析等。

4.3.5 生态加筋土挡墙基础勘探工作量要求：

1 挡墙承重部位应采用挖探、钻探等方法进行勘探，勘探点的数量不应少于 1 个；当工程地质条件变化大时，宜结合物探进行综合勘探，勘探深度应达挡墙基础持力层以下稳定地层中不小于 6m；在此深度范围内遇基岩，钻孔至基岩中的深度不宜小于 3 米。

---

2 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岩层中的深度不小于 6 米，至稳定土层中不小于 10 米。

征求意见

---

## 5 材料

### 5.1 一般规定

5.1.1 道路生态加筋土挡土墙的材料主要包括加筋材料、加筋体填料、墙面材料和其他材料，各种材料应满足相关标准的规定与要求。

5.1.2 用于道路生态加筋土挡土墙的所有材料耐久性应满足相应的工程设计年限要求。

5.1.3 用于道路生态加筋土挡土墙的各种构件宜采用工厂化、标准化生产，且满足机械化施工要求，构件应满足相关规范标准要求，并经过第三方机构检测合格，并提供相关报告。

5.1.4 工厂化生产的构件应满足运输及施工要求。

### 5.2 加筋材料

5.2.1 筋带材料应符合现行《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)的有关规定。

5.2.1 常用筋材可按材质和形状分类，并应符合下列规定：

1 从材质上分，常用加筋材料可分为土工合成材料筋材和金属材质筋材。土工合成材料筋材又可分为土工格栅、土工格室、土工布等。金属材质筋材主要分为钢丝网、钢筋网等。

2 从形状上分，常用加筋材料可分为条带式筋材和平面网状筋材。条带式筋材主要分为钢带、刚塑复合土工带等。平面网状筋材主要包括单向拉伸塑料土工格栅(HPDE)、焊接聚酯土工格栅、焊接纤塑土工格栅、焊接钢塑土工格栅、土工格室及钢丝(筋)网等。

5.2.3 筋材选用应符合下列规定：

1 生态加筋土挡墙宜选用平面网状筋材，不宜采用条带式筋材。

2 筋材应具有抗拉强度高、整体性好、延伸率小、蠕变小，不易产生脆性破坏，抗拉强度应满足设计要求。为防止生态加筋土挡墙产生过量变形，土工合成材料筋材设计延伸率宜小于5%。

3 筋材应具有良好的耐久性能，要求土工合成材料筋材应具有较低的蠕变变形和较好的抗老化性能；金属材质筋材应采取镀金属镀层、覆高耐磨有机涂层

或聚酰胺等有效防腐处理措施。

4 筋材应能与填料形成良好的摩擦咬合作用，提供足够的摩阻力；筋土界面摩阻系数应符合设计要求。

5 不得使用聚丙烯（PP）土工格栅材料作为筋材。

6 筋材连接件的材质和耐久性能不应低于所连接筋材的性能，筋材之间的连接强度不应低于筋材抗拉强度的 90%。

7 筋材与面板连接应牢固可靠。

#### 5.2.4 常用筋材的主要技术指标

土工合成材料应选用色泽均匀、外观无损坏、无破裂，大小形状均匀的材料。主要技术指标详见附录 A。

### 5.3 路堤填料

5.3.1 路堤填料应满足《公路路基设计规范》（JTG D30）和设计的的要求。

5.3.2 路堤填料应优先采用易于压实、水稳定性好的砂砾和碎（砾）石等材料，黏性土可作为填料，宜采用相应的改善措施。

5.3.3 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。

5.3.4 当筋材为金属材质时，填料的化学和电学标准应满足表 5.3-1 的规定。

表 5.3-1 加筋体填料的化学与电学标准

项目	电阻率 ( $\Omega/m$ )	氯离子 ( $m \cdot e/100g$ 土)	硫酸根离子 ( $m \cdot e/100g$ 土)	pH值
无水工程	>100	$\leq 5.6$	$\leq 21.0$	5-10
淡水工程	>100	$\leq 2.8$	$\leq 10.5$	5-10

5.3.5 加筋体填料的设计参数应由试验或当地的经验参数确定。无条件时，可按表 5.3-2 的数值采用。

表 5.3-2 加筋体填料的设计计算参数

填料类型	容重 ( $kN/m^3$ )	内摩擦角 ( $^\circ$ )	摩擦系数
中低液限粘性土	18~21	25~40	0.25~0.40
砂类土	18~21	25	0.35~0.45
砾碎石类土	19~22	35~40	0.40~0.50

5.3.6 在道路等级较低且地质条件较好的环境下，可以采用粘性土、粉煤灰作为路堤填料。

5.3.7 浸水地区的加筋体应采用渗水性良好的填料。季节性冰冻地区的加筋体宜采用非冻胀性土作填料。

## 5.4 墙面材料

5.4.1 预制混凝土模块式面板应符合下列要求：

- 1 由空心或实心混凝土预制块相互交错搭接构成。
- 2 预制块强度不宜小于 C20。
- 3 采用预制拼装结构型式。
- 4 混凝土预制块的强度除应满足工程稳定性需求外，还应满足运输、装卸、安装的需求。

5.4.2 石笼面板应符合下列要求：

1 石笼网箱材料的选择应根据公路等级、挡土墙位置、使用环境，选择强度高、耐久性好的机编低碳钢丝网面，其防腐应符合下列要求：

1) 宜选用镀合金钢丝网、镀锌覆有机涂层钢丝网、镀合金覆有机涂层钢丝网；临时工程可选用镀锌钢丝网。

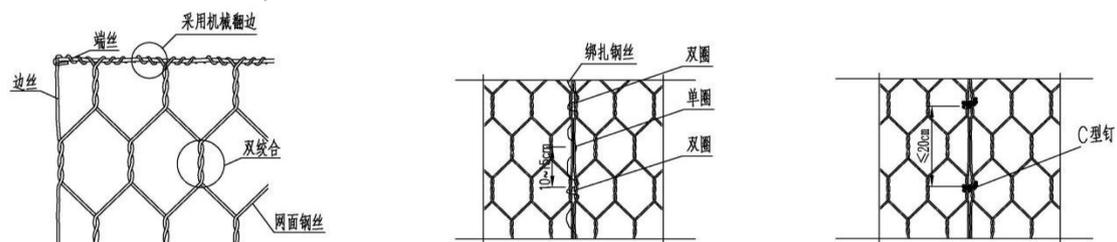
2) 临水、风沙等磨蚀环境应采用高耐磨有机涂层的石笼网面。

3) 对于外覆有机涂层的网面，当对网面试件加载抗拉强度的 50% 时，双绞合区域有机涂层不应开裂；

4) 钢丝的耐磨性能可按照附录 F 的方法进行检测；不同使用环境下不同镀层钢丝参考使用年限，参照附录 E。

2 网面裁剪后末端与端丝的联接处应采用专业的翻边机将网面钢丝缠绕在端丝上，不应采用手工绞。

3 联结工艺可采用绑扎钢丝联结或 C 型钉联结，如图 6.3.3-1 所示。



a) 网面示例

b) 绞边示例

c) C 型钉联结示例

6.3.3-1 挡土墙顶部处理示意图

4 当石笼单元体长度超过 1.5m 时，每隔 1m 设置一道横向垂直隔板，并固定

---

在石笼单元两侧,其材质及型号应与石笼网面相同。

5 面墙填充石料应选用坚硬、不易崩解及水解、抗风化的卵石、片石或块石,强度等级 MU30,比重不小于 2.5t/m。

6 填充石料粒径一般宜为 100-300mm,最大直径不应超过石笼网箱单元高度的 1/3。小于网眼尺寸或 80mm 粒径的石料不应超过 15%,可用于辅助填塞间隙,不得用于石笼网箱的外露面。

7 石笼网箱面墙的充填率不应低于 70%。

8 加筋体后的路基填料和加筋体填料宜为同一种材料。

6.4.3 生态袋作为绿化墙面应符合下列要求:

1 生态袋宜用长丝无纺布生态袋。

**条文说明:**

目前常用的生态袋有短丝无纺生态袋、长丝无纺生态袋、丙纶编织生态袋。丙纶编织生态袋强度高,但透水性差,不利于植物的生长,雨季时生态袋内的水份无法及时排除,容易造成边坡失稳塌方。随着国内长丝无纺布生产工艺快速提高,加之长丝无纺生态袋优良的力学性能和透水保土性能,短丝无纺生态袋已逐步被替代。

2 聚丙烯材质生态袋抗老化强度保留率不应小于80%。

3 生态袋布应进行双面热烫或烧毛,减少毛羽,并配合工程扣、连接扣、格栅等一起施工。

4 常用的生态袋土工布规格是 150g/m<sup>2</sup>,袋体规格为长 810-840mm,宽 420-440mm,生态袋主要技术指标见附录 A。

5.4.3 钢丝网作为绿化墙面应符合下列要求:

1 网面标称拉伸强度应满足工程设计要求,钢丝网面拉伸强度不低于 42kN/m。

2 在现场取样,对有机涂层网面试件加载 50%的名义拉伸强度荷载时,双绞合区域有机涂层不应出现破裂情况。

3 有机涂层原材料经过氙弧灯(GB/T 16422.2)照射 4000 小时或 I 型荧光紫外灯按暴露方式 I(GB/T 16422.3)照射 2500h 后,其延伸率和抗拉强度变化范围,不应大于初始值的 25%。

---

4 绑扎钢丝、水平加强丝应采用与双绞合钢丝网面相同材质（抗拉强度和镀层类型）的钢丝，直径不小于 2.0m。

5 对于外覆有机涂层的网面，当对网面试件加载抗拉强度的 50%时，双绞合区域有机涂层不应开裂；

6 钢丝的耐磨性能可按照附录 F 的方法进行检测；不同使用环境下不同镀层钢丝参考使用年限，参照附录 E。

## 5.5 其他材料

5.5.1 墙面绿化材料主要包括三维土工网、土工布、生态袋和可降解生物垫、生态基材或其他营养基质等。

5.5.2 支撑连接材料主要指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，支撑连接件材质应和被连接部分有相同的要求。

5.5.3 排水及反滤材料应符合下列规定：

1 用于排水、反滤作用的砂砾(碎)石应洁净、透水性好，小于 0.075mm 的颗粒含量不宜大于 5%。

2 用于反滤作用的土工布的断裂抗拉强度应不小于 10kN/m，CBR 顶破强度不小于 2.6kN，其挡土性、透水性、防堵性等技术要求应符合现行《公路土工合成材料应用技术规范》（JTG/TD32）的规定。

---

## 6 结构形式与构造

### 6.1 一般规定

6.1.1 挡墙基础宜设置于承载力满足要求的天然地基上，当天然地基承载力不满足要求时，应进行地基处理。

6.1.2 位于斜坡上的挡墙应设宽度不小于 1.0m 的护脚，挡墙基础埋置深度应从护脚顶面算起，且应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30)第 5.4.3 条的有关规定。

6.1.3 挡墙基底沿纵向不宜设置纵坡，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 1.0m。

6.1.4 应根据当地气候、水文、地质条件，结合公路排水系统进行挡墙表面和内部防排水综合设计。

6.1.5 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。

6.1.6 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。

6.1.7 多级加筋土挡土墙的平台顶部应设不小于 2% 的排水横坡，并用厚度不小于 0.15m 的 C15 混凝土板防护。

6.1.8 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，避免墙身承受额外的静水压力。

6.1.9 冻结深度小于或等于 1.0m 时，基底应在冻结线以下不小于 0.25m，且最小埋深不小于 1.0m。冻结深度大于 1.0m 时，基底最小埋深不应小于 1.25m，并应对基底至冻结线以下 0.25m 深度范围的地基土采取措施，防止冻害。

### 6.2 预制块加筋土挡墙

6.2.1 预制块加筋土挡墙的总体形式应符合下列规定：

1 加筋材料应分层铺设锚固在墙后土体中，应与墙面板牢固连接，如图 6.2.1 中 a) 所示。

2 墙面板可由空心或实心混凝土预制块相互交错搭接构成，如图 6.2.1 中 b) 所示。

3 空心预制块内宜填腐殖质土作为绿化植物种植土。

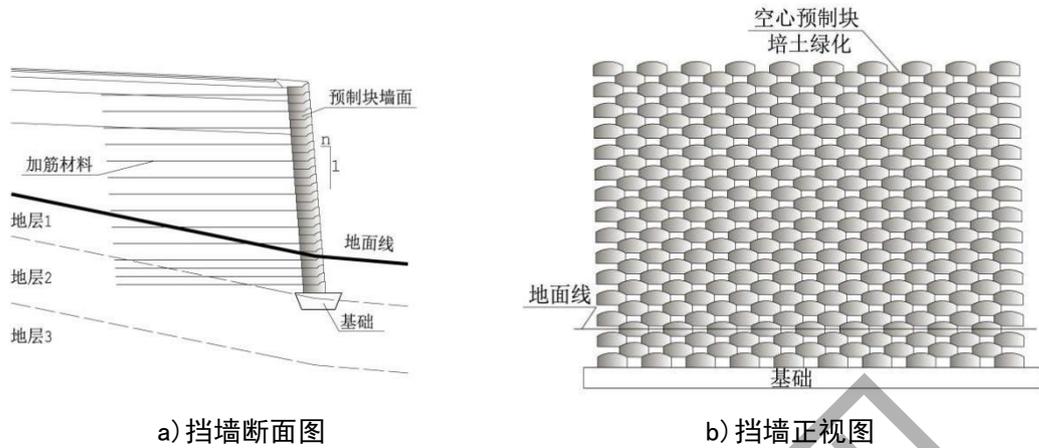


图 6.2.1 预制块加筋土挡墙结构示意图

条文说明

与一般的墙面板相比，预制块墙面板主要有两个优点：一是施工更加方便，墙面板施工时能够自身稳定，不需专门支挡，加筋土工布与墙面板的连接仅依靠预制块及其内部填土在自重下与拉筋间的摩擦力，不需专用的联结构件；二是空心预制块内部填种植土后植草灌，实现陡直墙面绿化，适用于对景观有较高要求的路段。

6.2.2 预制块加筋土挡墙结构与构造应满足下列要求：

1 加筋材料与墙面板的连接仅依靠预制块及其内部填土在自重下与拉筋间的摩擦力，预制块和加筋土工布有效接触长度不应小于 30cm。

2 应做好预制块加筋土挡墙与路基或其他构造物的衔接处理。生态加筋挡土墙墙面端部，可采用锥坡或直接与相邻的构筑物衔接，如图 6.2.2-1 所示。墙面外观设计应与周边环境相协调。

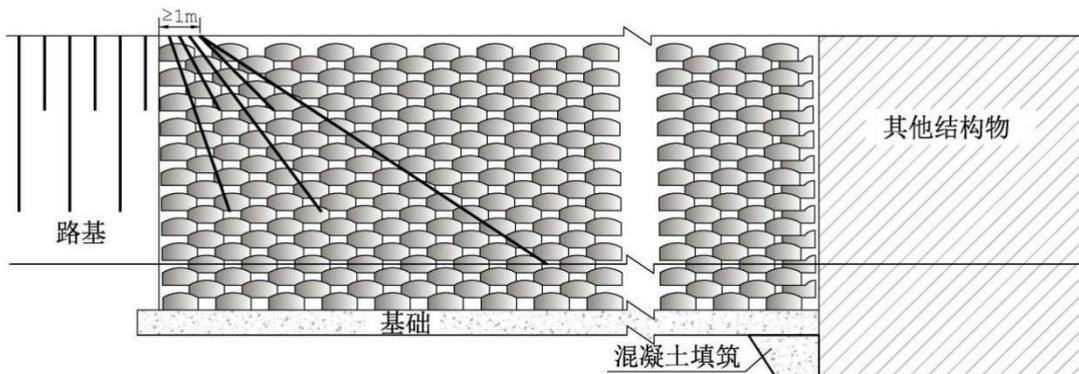
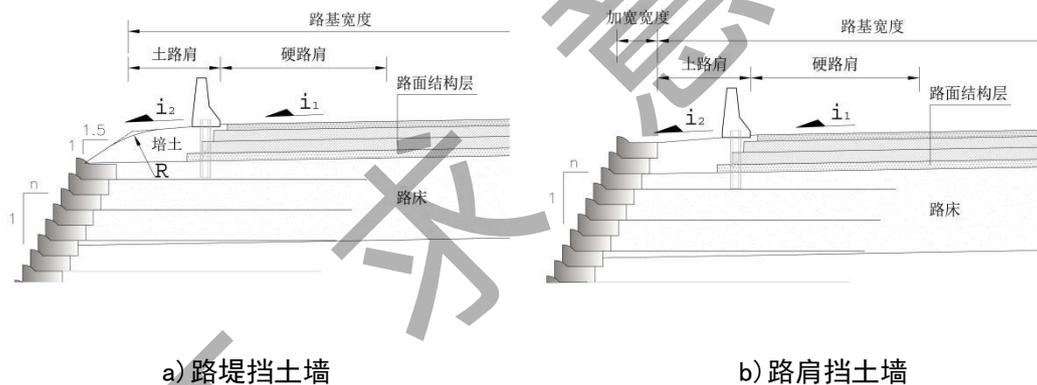


图 6.2.2-1 预制块加筋土挡墙与路基及其他构造物衔接示意图

- 3 预制块挡土墙可不设伸缩缝、沉降缝。
- 4 墙面坡率宜在 1:0.25~1:0.5 的范围内。
- 5 加筋带的垂直距离应在计算的基础上,取预制块的高度或预制块高度的整数倍,且宜在 3 倍以内。
- 6 墙背宜采用渗水性良好的粗粒土或中粗砂填筑,填料与筋材直接接触部分不应含有尖锐棱角的块体,填料最大粒径不应大于100mm。
- 7 斜坡上的加筋体应设宽度不小于1.0m的护脚,加筋体面板基础埋置深度应从护脚顶面算起。
- 8 预制块生态加筋土挡墙顶面,可直接放坡,如图6.2.2-2中a)所示;当路肩墙采用石笼加筋土挡墙时,宜加宽路基,加宽宽度不小于1m,如图6.2.2-2中b)所示。



6.2.2-2 挡土墙顶部处理示意图

- 9 根据挡墙墙高的不同,应采用合适的混凝土预制块尺寸。当挡墙小于 2.0m 时,单块标准重量不宜小于 18kg;墙高小于 4m 时,单块标准重量不宜小于 50kg;墙高小于 12m 时,单块标准重量不宜小于 120kg。

- 10 空心预制块内部填种植土后植草灌,植物的生长仅凭降雨难以维持的地区,可在预制块顶面预留有槽孔,布设浇灌水管,以满足运营期浇灌需要。
- 6.2.3 当天然地基满足设计要求时,预制块墙面板可采用 20cm 厚素混凝土基础,且宽出混凝土预制块不宜小于 10cm,如图 6.2.3 所示。

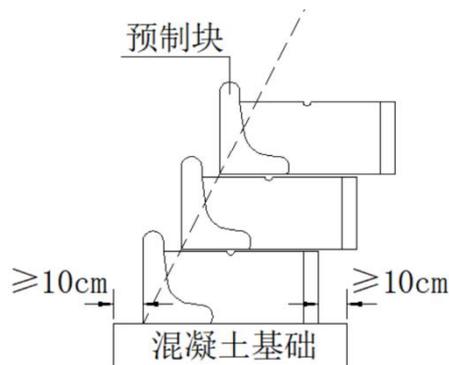
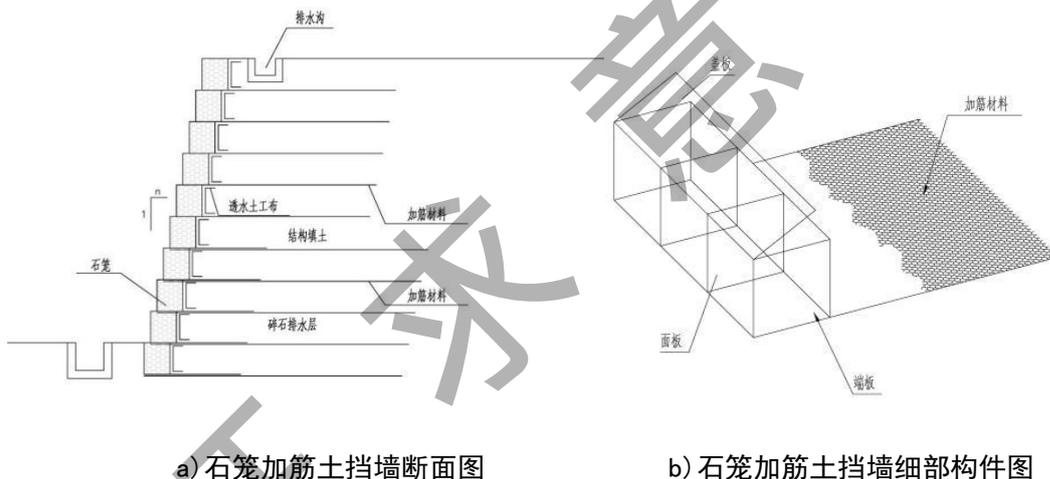


图 6.2.3 挡土墙基础示意图

### 6.3 石笼加筋土挡墙

6.3.1 石笼加筋土挡墙的总体形式应符合下列规定：

- 1 石笼加筋土挡墙由石笼、土工格栅拉带及附件堆砌而成，如图6.3.1所示。
- 2 加筋材料应分层铺设锚固在墙后土体中，并应与石笼牢固连接。



a) 石笼加筋土挡墙断面图

b) 石笼加筋土挡墙细部构件图

图 6.3.1 石笼加筋土挡墙结构示意图

#### 条文说明

石笼加筋土挡墙的石笼主要作为墙面板，墙后铺设加筋材料。石笼加筋土挡墙通常采用石笼网箱，网箱内充填石块，墙面可以为直立墙，也可为分级直立墙或退台式墙，台面和墙面均可进行绿化。

石笼加筋土挡墙是一种成品化很强的产品，面墙与加筋筋带也为无节点联结，消除了构件节点易成为结构弱点的毛病，装配式施工，方便快捷，工效高。由于墙面板非传统加筋土挡墙的混凝土刚性面板，墙面可以自然透水，利于填土中地下水排出，保证了结构长期稳定，面墙有较好的刚度，不存在“鼓肚”现象。

6.3.2 石笼加筋土挡墙结构设计应与构造应满足下列要求：

- 1 加筋土工布宜从墙面处向墙后铺设，有效接触长度宜同石笼宽度。
  - 2 石笼挡墙与路基或其他构造物的衔接可参考预制块加筋土挡墙的处理方式。
  - 3 石笼加筋土挡墙可不设伸缩缝、沉降缝。
  - 4 墙面宜采用退台式墙，退台宽度一般为 0.15~0.5m。
  - 5 加筋带宜按照石笼网箱高度逐层布设。
  - 6 在满足抗拔稳定条件下，拉筋长度按预制块加筋土挡墙的要求执行。
  - 7 墙背宜采用渗水性良好的粗粒土或中粗砂填筑，填料与筋材直接接触部分不应含有尖锐棱角的块体，填料最大粒径不应大于100mm。
  - 8 斜坡上的加筋体应设宽度不小于1.0m的护脚，加筋体面板基础埋置深度应从护脚顶面算起。
  - 9 石笼加筋土挡墙用于浸水路段、沿河水流冲刷路段时，应完善反滤构造措施。
  - 10 石笼加筋土挡墙宜采用路堤墙，路肩处构造可参考 6.2.2 条第 8 款。
  - 11 根据挡土墙墙高的不同，应采用合适的石笼尺寸。但石笼的最小边长不应小于 0.5m。
- 6.3.4 石笼加筋土挡墙墙顶宜设置排水沟。当可能存在地下水时，可在沿墙长一定范围内及挡墙端部处设置碎石盲沟排水出口，如图 6.3.4 所示。

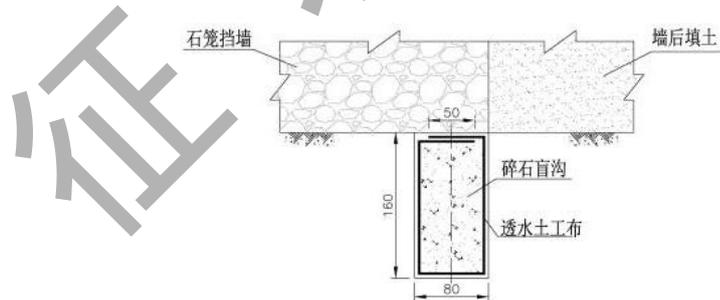


图6.3.4 挡墙端部盲沟排水出口示意图

## 6.4 生态袋加筋土挡墙

6.4.1 生态袋加筋挡墙的总体形式应符合下列规定：

- 1 生态袋加筋土挡墙由填土、土工格栅拉带及附件和生态袋堆砌而成，如图6.4.1所示。

- 2 生态袋通过联接扣、加筋格栅等组件相互联接。
- 3 生态袋需填充种植土，种植灌木、草本等植物进行绿化。

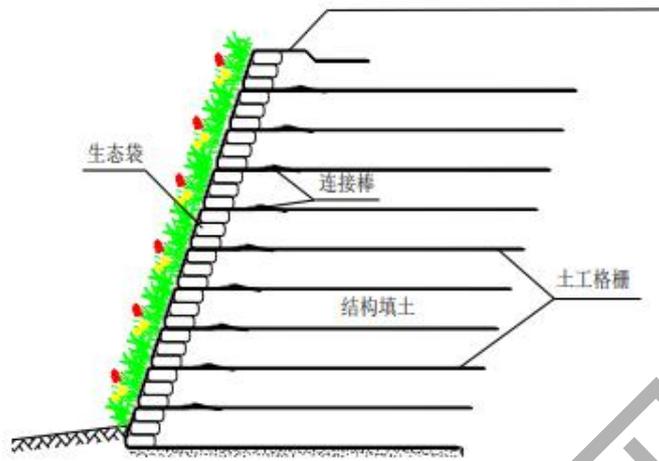


图6.4.1 生态袋加筋挡墙示意图

**条文说明：**

与传统的挡土墙相比，生态袋加筋土挡墙具有生态环保、节能、节约工程造价及缩短工期等优点。

**6.4.2 生态袋加筋挡墙结构与构造应满足下列要求：**

1 生态袋加筋土挡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  $70^\circ$ 。当相邻墙面的内夹角小于  $90^\circ$  时，应加设补强筋材，不应留有无筋区。路堤两侧均采用生态加筋挡土墙时，筋材应错开铺设，避免重叠。

2 生态袋加筋土挡墙墙面坡率宜陡于  $1:0.5$ ，常用坡率为  $1:0.5$ 、 $1:0.466$  和  $1:0.3$ ，不宜为直立式。

3 筋材长度除应满足结构稳定性要求外，还应符合下列规定：

1) 筋材最小长度宜大于  $0.8$  倍墙高，且不小于  $5\text{m}$ ；当墙高小于  $3.0\text{m}$  时，筋材长度不应小于  $3.0\text{m}$ ，且应采用等长筋材；

2) 采用不等长的筋材时，同等长度筋材的墙段高度，应大于  $3.0\text{m}$ ；相邻不等长筋材的长度差不宜小于  $1.0\text{m}$ ；

3) 当墙高大于  $6.0\text{m}$  时，为控制挡土墙变形，宜在挡土墙中下部加设长度不小于  $2.0\text{m}$  的辅筋，辅筋间距不宜大于  $0.3\text{m}$ 。

4 生态袋加筋土挡墙可不设伸缩缝、沉降缝。当墙高突变过大或地基地质、

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。

5 生态袋加筋土挡墙其摆放、联接形式如图6.4.2所示。

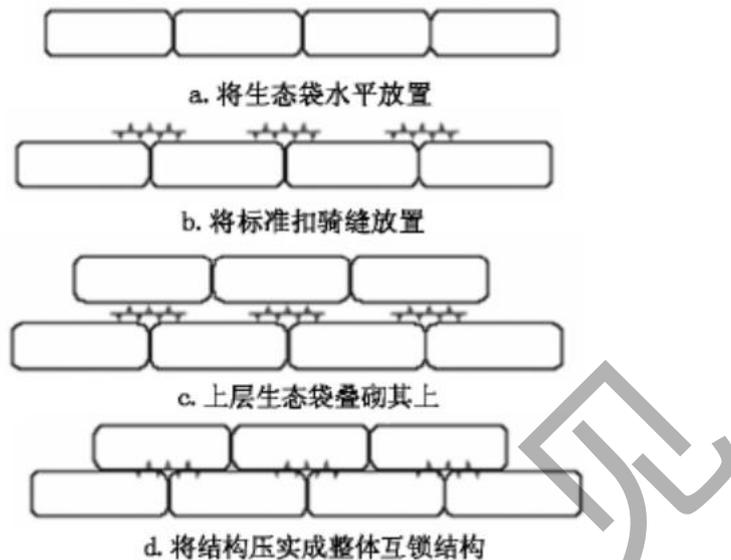


图6.4.2 生态袋摆放、联接示意图

6 生态袋装土应为袋容量的80%，采用高强度抗紫外线封口带封口。生态袋码放应采用错缝压角搭接，有营养膜的面朝上。平铺码放第一层生态袋，第二层生态袋应搭接压第一层的1/3，错缝码放，互相咬接叠压。

7 生态袋加筋土挡墙路肩处构造可参考6.2.2条第8款。

## 6.5 土工格室加筋土挡墙

6.5.1 土工格室加筋土挡墙的总体形式应符合下列规定：

1 土工格室加筋土挡土墙以土工格室为骨架加筋材料，格室网格内部充填填料，经压实后层层填高，面板部分采用土工格室回填填料层叠铺设，加筋层采用土工格室内回填填料间隔铺设，加筋层同面板部分通过层间锚钎层间固定连接在一起并延伸到土体中，如图6.5.1所示。

2 挡墙墙面土工格室网格内部可充填种植营养土，采用插播或喷播种植方式实现墙面生态绿化。

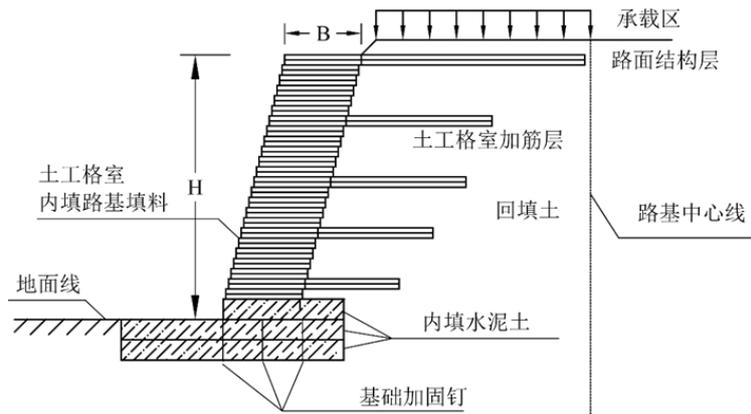


图 6.5.1 土工格室加筋土挡墙断面图

### 条文说明

土工格室生态挡土墙主要优点有：一是施工方便，施工材料可就地取材，主材土工格室和连接附件，通过回填填料压实，无需要专门支挡，施工效率高；二是挡墙墙面格室网格内部可充填种植营养土，易于实现墙面生态绿化，适用于对景观有较高要求的路段；三容易实现后期生态养护自动灌溉。

#### 6.5.2 土工格室加筋土挡墙结构与构造应满足下列要求：

1 土工格室加筋挡土墙构造设计要求初步确定挡土墙的基本尺寸，包括墙高、土工格室筋材间距和土工格室铺设长度等，确定土工格室规格、面板尺寸和填料的设计参数，对挡土墙荷载、内外部稳定性和面板进行计算，确定土工格室长度、格室层间铺设间距、分层要求和面板尺寸等。

2 土工格室挡土墙采用斜坡式，墙面常用坡率为  $1:0.3 \sim 1:0.5$ 。

3 挡墙高度小于等于  $12\text{m}$  时，可采用一级挡墙的形式，如图 6.5.2 所示。整个支护结构分为上、下两个部分，上半部挡墙厚度为下半部分的  $1/2 \sim 3/4$ ，土工格室支护拉筋带位置：距墙底  $1/3$ ， $1/2$ ， $3/4$  和  $7/8$  墙高处，下部两层筋带内填水泥砂砾石，上部两层则为内填砂砾石；距离墙底  $1/3$  墙高处的拉筋带长度为挡墙高度的  $1/2 \sim 1$ ；其余拉筋带的长度约为墙高  $1/2$ 。土工格室挡墙可分为无面板和有面板两种结构形式。

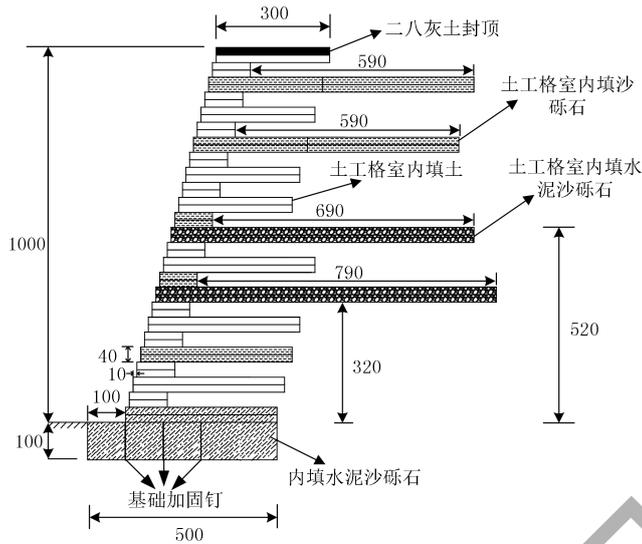


图 6.5.2 土工格室挡墙结构示意图（一级挡墙结构型式）

4 挡墙高度在 12m~20m 之间时，应采用二级挡墙的形式，两级挡墙之间设置宽度为 1m 的马道，下级挡墙的高度约为边坡高度 45%，上级挡墙的高度约为边坡高度 55%，两级挡墙的结构型式和上述一级挡墙相同。

5 应做好加筋土挡墙与路基或其他构造物的衔接处理。生态加筋挡土墙墙面端部，可采用锥坡或直接与相邻的构筑物衔接。墙面外观设计应与周边环境相协调。

6 土工格室宜按层叠方式设置。每层土工格室铺装后，应在格室内回填耕植土或客土，回填土厚度应高出格室顶面 1cm~3cm，外侧土工格室内植草乔灌木。

6.5.3 土工格室加筋土挡墙加筋体后及墙背应设置排水层，排水层最小宽(厚)度宜为 30cm，碎石排水层与加筋土填料之间应设置反滤层。当水量较大时，可在排水层底部加设纵向渗沟，配合排水层把水导出墙外。

6.5.4 土工格室加筋土挡墙顶部格室内应填灰土，用于防水。为了挡墙墙身排水的需要，从基础开始每隔 2m 铺设一层砂砾排水层，土工格室挡墙排水层平面图，沿墙身长度方向每隔 4m 填筑一条 1.2m 宽的砂砾石带（沿墙身厚度方向，砂砾石的直径与底部基础砂砾石层相同），其余部分填普通填料，如图 6.5.4 所示。

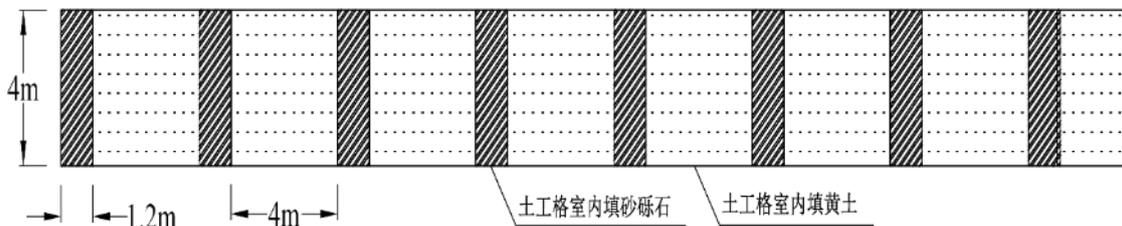


图 6.5.4 土工格室挡墙排水层平面图

6.5.5 土工格室加筋挡土墙基础包括面板基础和加筋体基础两部分，并应符合下列规定：

- 1 面板可采用厚度不小于 20cm 的碎石垫层基础，或设置在混凝土、片石混凝土、中风化硬质岩质地基上。
- 2 基底纵向应做成水平或台阶状，每个台阶长度不应小于 2.0m，相邻台阶高差不宜大于 2.0m。

## 6.6 钢丝网加筋土挡墙

6.6.1 钢丝网加筋土挡墙的总体形式应符合下列规定：

- 1 钢丝网加筋土挡墙由镀锌覆高耐磨有机涂层的六边形双绞合钢丝网面、焊接金属网、金属三角支架、金属支撑杆、土工垫组合而成，如图 6.6.1 所示。
- 2 钢丝网加筋土挡墙的面墙与加筋筋带（网面）应为一体化成成品。

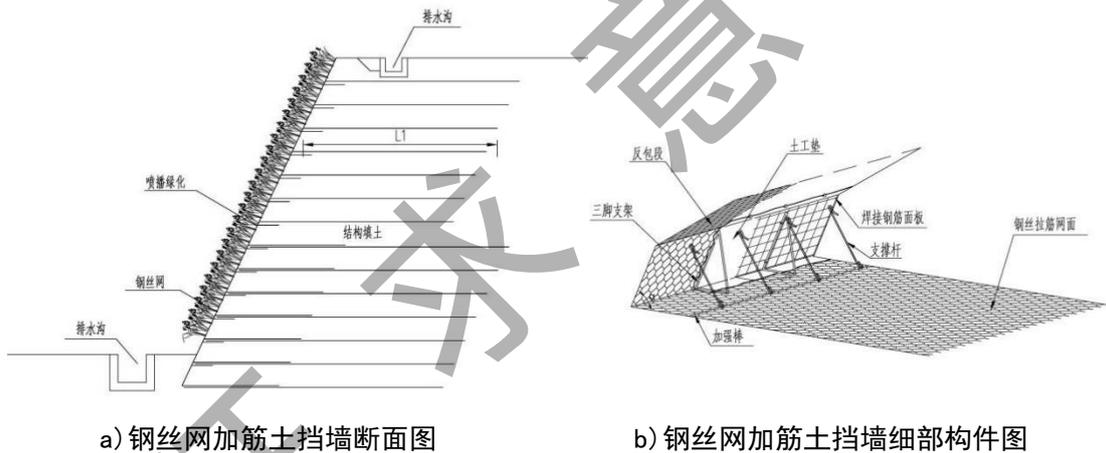


图 6.6.1 钢丝网加筋土挡墙结构示意图

### 条文说明

钢丝网加筋土挡墙的面墙与加筋筋带（网面）为一体化成成品，无节点联结，即消除了构件节点易成为结构弱点的毛病，又大大方便了施工，保证了结构安全和施工工效，其面墙加强构件均为装配式，施工简单快捷。施工时，在面墙钢丝内侧铺垫有椰棕植生垫，只需人工植入枝条或藤蔓草种，稍加养护，坡面绿化即可自然形成。

6.6.2 钢丝网加筋土挡墙结构与构造应满足下列要求：

- 1 应做好钢丝网加筋土挡墙与路基或其他构造物的衔接处理。墙面外观设计

应与周边环境相协调。

2 钢丝网加筋土挡墙可不设伸缩缝、沉降缝。

3 墙面坡率宜在 1:0.25~1:0.5 的范围内。

4 墙背宜采用渗水性良好的粗粒土或中粗砂填筑, 填料与筋材直接接触部分不应含有尖锐棱角的块体, 填料最大粒径不应大于100mm。

5 斜坡上的加筋体应设宽度不小于1.0m的护脚, 加筋体面板基础埋置深度应从护脚顶面算起。

## 6.7 组合类生态加筋挡土墙

6.7.1 当支挡结构高度较大、景观要求较高时, 可以采用组合类生态加筋挡土墙。组合类生态加筋挡土墙的总体形式应符合下列规定:

1) 当圬工类挡墙、生态挡墙组合时, 宜为下部圬工类挡墙、上部生态挡墙。下部圬工类挡墙一般由浆砌块石、钢筋混凝土、素混凝土和片石混凝土等组成, 上部生态挡墙一般为各类加筋土挡墙等组成。组合挡墙典型断面如图6.7.1-1所示。

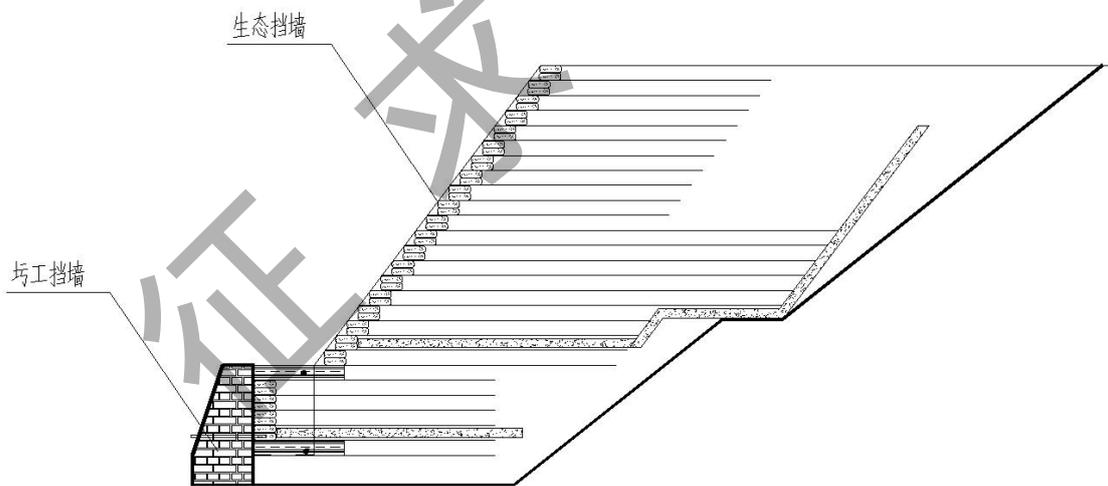


图 6.7.1-1 圬工类挡墙与生态挡墙组合典型断面示意图

2) 当下部、上部全部采用生态挡墙组合时, 可结合现场地质情况、挡墙使用功能、挡墙高度等在不同高度采用预制块加筋土挡墙、石笼加筋土挡墙、生态袋加筋土挡墙、土工格室加筋土挡墙、钢丝(筋)网类加筋土挡墙等进行组合。当地下水较多或地表有积水, 下部有浸水可能, 有一定防冲刷要求时, 下部生态挡墙宜为石笼加筋土挡墙。生态组合挡墙典型断面如图6.7.1-2所示。

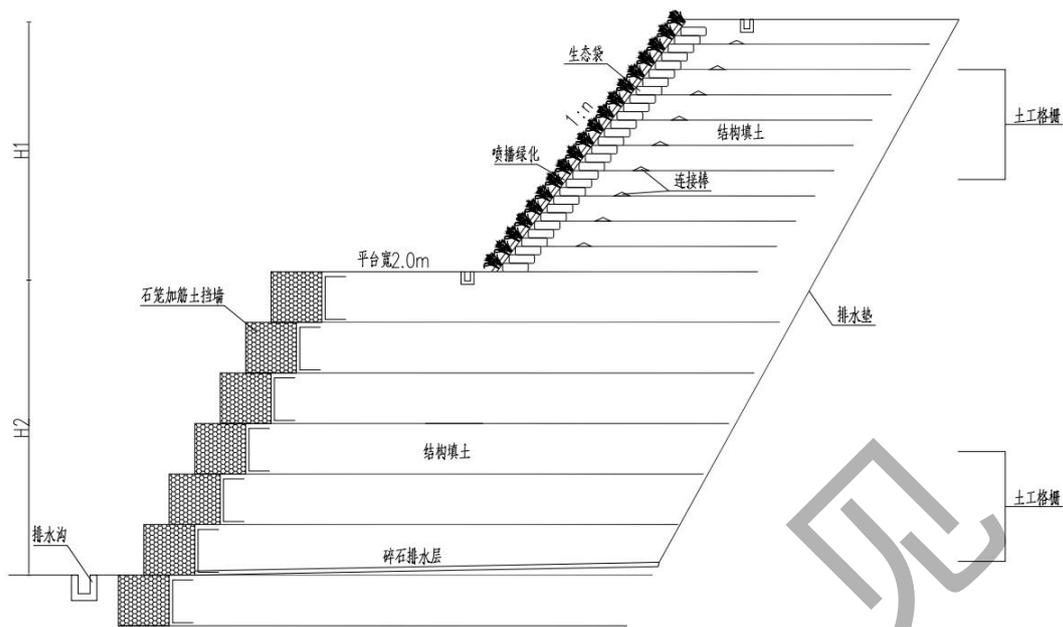


图 6.7.1-2 生态组合挡墙典型断面示意图

6.7.2 组合式生态加筋挡土墙结构与构造应满足下列要求：

1 挡墙应进行整体稳定性验算，验算内容包括抗滑移稳定、抗倾覆稳定、地基承载力验算等。

2 下部挡墙采用圬工类结构时，在土质地基中墙高宜不大于6m，在石质地基中墙高宜不大于10m。

3 下部挡墙采用圬工类结构时，宜结合挡墙墙身材料、地质条件等每隔10~20m设置一道变形缝（伸缩、沉降缝）。

4 组合类生态加筋挡土墙的高度控制、构造应符合节6.1~6.6的规定。

5 下部、上部挡墙采用的混凝土、石料、水泥砂浆、土工材料、预制块等，应根据所采用的挡墙结构形式，结合挡墙使用功能和所处的工程环境等综合确定。

6 下部挡墙采用浆砌片石时，其强度等级不宜低于MU30；采用混凝土结构时，其强度等级不宜低于C20。

7 生态挡墙结构中的加筋材料可以选择土工格室、土工格栅、钢丝（筋）网，其材料性能应满足相应的设计要求。

6.7.4 排水设计应满足下列要求：

1 下部、上部挡墙之间宜设置不小于2.0m宽的平台，平台上宜设置排水沟。

2 下部挡墙采用圬工类结构时，应从墙背向外设置泄水孔，排水坡度不宜小

---

于4%，泄水孔进水侧墙背应设置反滤层。

3 上部生态挡墙内宜结合地形、地质条件，设置排水垫层，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。

征求意见

## 7 设计和计算

### 7.1 一般规定

7.1.1 生态加筋土挡墙设计应采用以极限状态设计的分项系数法为主的设计方法，进行承载力极限状态计算和正常使用极限状态验算。对于特别复杂的生态加筋土挡墙，宜补充采用数值模拟分析。

7.1.2 外部稳定性验算应包括基底滑移、抗倾覆性检算、基底应力检算、整体滑动验算。

7.1.3 内部稳定验算应包括筋材强度检算、筋材锚固长度检算。

7.1.4 设置于不良土质地基、覆盖土层下为倾斜基岩地基及斜坡上的挡土墙，应对挡土墙地基及填土的整体稳定性进行验算，其稳定系数不应小于 1.25。

7.1.5 除加筋反包类生态挡土墙筋带长度计算外，各类生态加筋挡土墙的外部稳定性，内部稳定性及整体稳定性计算方法相同。

7.1.6 组合类生态加筋土挡墙的计算，除整体滑动稳定性验算外，内部稳定性、外部稳定性验算采用上部、下部分别计算。下部挡墙计算时，将上部挡墙作为超载作用于下部挡墙顶面上。

### 7.2 荷载与土压力

7.2.1 公路加筋土挡墙结构设计的荷载类型应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 公路荷载分类

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、冰压力、膨胀力
		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 公路荷载效应组合应符合下列规定：

1 生态加筋土挡墙设计时，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 7.2.2 所列的组合；

2 一般情况下作用在生态加筋土挡墙上的力，可只计算永久荷载和基本可变荷载。

表 7.2.2 公路常用荷载组合

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、偶然荷载组合

7.2.3 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 7.2.6 的规定计入被动土压力分项系数。

7.2.4 市政道路加筋土挡墙结构设计的荷载类型应符合表

表 7.2.4 市政道路荷载分类

荷载分类		荷载名称
永久荷载		路基、路面层结构重力
		填土重力
可变荷载	基本可变荷载	车辆荷载
		人群荷载
	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、冰压力、膨胀力
		温度影响力
施工荷载	与道路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

7.2.5 市政道路荷载效应组合应符合下列规定：

1 市政道路工程设计时，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 7.2.5 所列的组合；

2 一般情况下作用在市政道路路基上的力，可只计算永久荷载和基本可变荷载。

表 7.2.5 市政道路常用荷载组合

组合	荷载名称
I	路基路面层结构重力、填土重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、偶然荷载组合

7.2.6 生态加筋土挡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 7.2.6 的规定采用。

表 7.2.6 承载能力极限状态荷载分项系数

情况 组合	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
$\gamma_G$ (竖向恒载分项系数)	0.90		1.10	
$\gamma_{Q1}$ (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
$\gamma_{Q2}$ (被动土压力分项系数)	0.30		0.50	
$\gamma_{Q3}$ (水浮力分项系数)	0.95		1.10	
$\gamma_{Q4}$ (静水压力分项系数)	0.95		1.05	
$\gamma_{Q5}$ (动水压力分项系数)	0.95		1.20	

7.2.7 生态加筋挡墙按静力法验算，挡土墙  $i$  截面以上墙身重心区地震作用可按式 (7.2.7-1) 式 (7.2.7-2) 计算：

$$E_{ih} = C_i C_z A_h \psi_i G_i / g \quad (7.2.7-1)$$

$E_{ih}$ —第  $i$  截面以上墙身重心处的水平地震作用 (kN)；

$C_i$ —抗震重要性修正系数，按《公路工程抗震规范 JTGB02-2014》表 3.2.2 采用；

$C_z$ —综合影响系数，取 0.3；

$A_h$ —水平向设计基本地震动峰值加速度；

$\psi_i$ —水平地震作用沿墙高的分布系数，按式 (7.2.7-2) 计算取值；

$$\psi_i = h_i / 3H + 1.0 \quad (0 \leq h_i \leq 0.6H) \quad (7.2.7-2)$$

$$\psi_i = 3h_i / 2H + 0.3 \quad (0.6H < h_i \leq H)$$

$h_i$ —生态加筋挡墙墙址至  $i$  截面的高度。

### 条文说明

其它相关规定按《公路抗震设计规范》(JTGB02-2014 的规定执行。

7.2.8 车辆荷载、人群荷载引起的竖向土压力计算应符合下列规定：

1 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  $20\text{kN/m}^2$ ，当墙高  $\geq 10\text{m}$  时，取  $10\text{kN/m}^2$ ；墙高在  $2\text{m} \sim 10\text{m}$  之间时，按直线内插法取值；

2 作用于墙顶或墙后填土上的人群荷载标准值规定为  $3\text{kN/m}^2$ ，行人密集区取  $3.45\text{kN/m}^2$ ；

3 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（7.2.8）换算成等代均布土层厚度计算：

$$h_0 = \frac{q + q_r}{\gamma} \dots\dots\dots (7.2.8)$$

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（ $\text{kN/m}^2$ ），按 a）取值；
- $q_r$ —作用于墙后填土上的人群荷载（ $\text{kN/m}^2$ ），按 b）取值；
- $\gamma$ —加筋体填料的重度（ $\text{kN/m}^3$ ）。

7.2.9 加筋体上部填土重力荷载计算应符合下列规定：

1 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，并应将该面以上的填土自重作为加筋体上的填土重力。

2 在内部稳定性计算时，加筋体顶部填土重力应按式（7.2.9）换算为等代均布土层厚度计算（参见图 7.2.9）。

$$\begin{cases} h_1 = \frac{1}{m}(H / 2 - b_b) & h_1 < H' \\ h_1 = H' & h_1 \geq H' \end{cases} \dots\dots\dots (7.2.9)$$

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）；
- $m$ —加筋体顶面的路堤边坡坡率（m）；

$H'$  -加筋体上路堤的高度 (m) ;

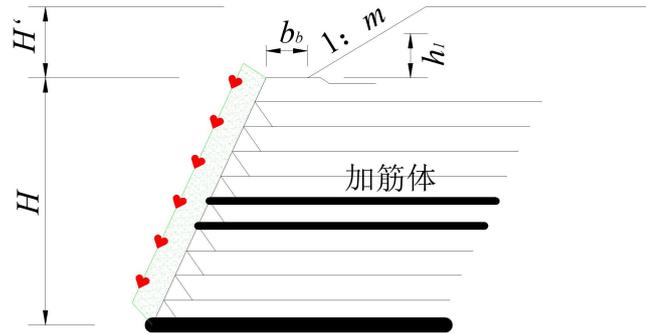


图 7.2.9 加筋体顶部填土的等代均布土层厚度计算图

7.2.10 永久荷载重力作用下，筋材所在位置的竖向压应力可按式(7.2.10)计算。

$$\sigma_i = \gamma z_i + \gamma_1 h_1 \dots \dots \dots \quad (7.2.10)$$

式中：  $\sigma_i$ -永久荷载重力作用下，加筋体内深度  $z_i$  处的竖向压应力 (kPa) ;

$\gamma$ -加筋体填料的重度 (kN/m<sup>3</sup>) ， 浸水部分应采用浮重度

$z_i$ -第  $i$  层筋材至加筋体顶面的垂直距离 (m) ;

$\gamma_1$ -加筋体上部填料的重度 (kN/m<sup>3</sup>) ;

$h_1$ -加筋体上部填料等代均布土层厚度 (m) 。

7.2.11 外部稳定验算时土压力计算应符合下列规定：

1 作用在生态加筋土挡墙的加筋体墙背的主动土压力可依据库仑土压力理论按式 (7.2.11-1) 和式 (7.2.11-2) 计算(参见图 7.2.11)。

$$E_a = 0.5K_a\gamma(H + H' + h_0)^2 \quad (7.2.11-1)$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2\alpha \cos(\alpha + \delta) [1 + \sqrt{\sin(\varphi + \delta)\sin\varphi / [\cos(\alpha + \delta)\cos\alpha]}]^2} \quad (7.2.11-2)$$

式中：

$E_a$ -主动土压力 (kN/m) ;

$K_a$ -外部稳定性计算时的主动土压力系数;

$\gamma$ -加筋体填料的重度 (kN/m<sup>3</sup>) ;

$H$ -加筋体高度 (m) ;

$H'$ -加筋体以上的路堤高度 (m) ;

$h_0$ -车辆荷载和人群荷载的等代均布土层厚度 (m) ;

$\varphi$ -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  $\phi_0$ ；

$\alpha$ —墙面与竖直线的夹角（°）；

$\delta$ —加筋体墙背与假想墙后土体之间的摩擦角（°），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。

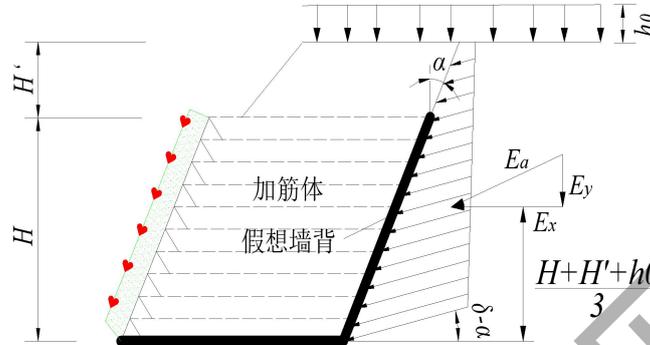


图 7.2.11 外部稳定性验算时的土压力计算图

2 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  $\gamma$  内摩擦角  $\phi$ （综合内摩擦角  $\phi_0$ ）可参照表 7.2.11-1 选用。计算水位以下的填料重度应采用浮重度。

表 7.2.11-1 膨胀土填料设计参数表

粘性土填料种类		综合内摩擦角 $\phi$ (°)	填料重度 $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )
粘性土	墙高 $H \leq 6\text{m}$	35~40	17~18
	墙高 $H > 6\text{m}$	30~35	

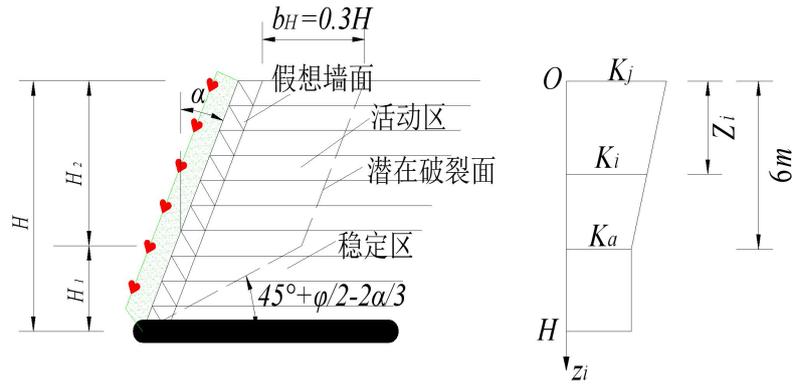
3 基础与基底土体间的摩擦系数  $\mu$  可按表 7.2.11-2 选用。

表 7.2.11-2 基础与基底土体间的摩擦系数  $\mu$

地基土的分类	摩擦系数 $\mu$
软塑黏土	0.25
硬塑黏土	0.30
半干硬土	0.30~0.40
含砂类土	0.40
碎石类土	0.50
软质岩土	0.40~0.60
硬质岩土	0.60~0.70

7.2.12 加筋体内部稳定验算时面墙后的土压力系数计算应符合下列规定：

加筋土挡墙面墙后的土压力系数计算如图 7.2.12-1 所示：



(a) 加筋挡墙的破裂面图 (b) 加筋挡墙的土压力系数分布规律图

图 7.2.12-1 加筋土挡墙土压力计算图

说明：图中符号意义与式 (7.2.12-1)、(7.2.12-2) 相同。

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 7.2.12-1 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  $45^\circ + \phi/2 - 2\alpha/3$ ；简化破裂面上下两部分的高度  $H_1$ 、 $H_2$  可按式 (7.2.12-1) 计算：

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H - H_2 \\ H_2 &= b_H \tan(45^\circ + \phi/2 - 2\alpha/3) \end{aligned} \right\} \quad (7.2.12-1)$$

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)；

$b_H$ -加筋体简化破裂面的破棱体顶面宽度 (m)；

$\phi$ -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  $\phi$ ；

$\alpha$ -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 7.2.12-1 中 b)，土压力系数按式 (7.2.12-2) 计算：

$$\left\{ \begin{aligned} K_i &= K_j(1 - z_i/6) + K_a z_i/6 & z_i \leq 6m \\ K_i &= K_a & z_i > 6m \end{aligned} \right. \dots \dots (7.2.12-2)$$

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,  $K_j=1-\sin \phi$ ;

$z_i$ -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,  $K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$ 。

7.2.13 作用于不同深度位置面板上的水平土压力可按式(7.2.13)计算。

$$\sigma_{Ei} = K_i(\sigma_i + \sigma_{fi}) \dots \quad (7.2.13)$$

式中:

$\sigma_{Ei}$  -加筋体内深度  $z_i$  处作用于假想面板上的水平土压力 (kPa);

$K_i$ -加筋体内深度  $z_i$  处侧向土压力系数;

$\sigma_i$  -永久荷载作用下, 加筋体内深度  $z_i$  处的竖向压应力 (kPa);

$\sigma_{fi}$  -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);

### 7.3 筋材与填土接触的界面阻力系数

#### 7.3.1 筋材与填土接触的界面阻力系数应按下列方法确定:

1 二级及二级以上公路施工图设计, 应采用现行《公路工程土工合成材料试验规程》(JTG E50)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。

2 二级及二级以上公路初步设计或其他等级公路, 可按式(7.3-1)和式(7.3-2)或表 7.3 确定; 当墙高大于 12m 时, 表 7.3 中的界面阻力系数宜取低值。

$$\text{土工织物: } f_{cs} = 0.67 \tan \phi_s \quad (7.3-1)$$

$$\text{土工格栅: } f_{cs} = 0.9 \tan \phi_s \quad (7.3-2)$$

式中:  $f_{cs}$ ——筋材与填土接触的界面阻力系数;

$\phi_s$ ——与筋材接触的填土内摩擦角 ( $^\circ$ )。对粘性土应取考虑黏聚力影响的综合内摩擦角。

表 7.3 筋材与填土接触的界面阻力系数

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

7.3.2. 土工格室对填料提供的约束围压引起的加筋土表观粘聚力可由式(7.3.2-1)~式(7.3.2-3)确定。加筋土破坏分为格室中填料破坏和格室节点破坏两种破坏模式，加筋土表观粘聚力应取为两种破坏模式下的粘聚力较小值。

$$c_r = \min \{c_{r1}, c_{r2}\} \quad (7.3.2-1)$$

$$c_{r1} = \frac{M_s}{D_0} \left( \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{1 - \varepsilon_1} \right) \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (7.3.2-2)$$

$$c_{r2} = \frac{(M_s + T_s) T_s}{D_0 M_s} \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (7.3.2-3)$$

式中： $c_r$ ——土工格室对填料提供的约束围压引起的加筋土表观粘聚力(kPa)；

$c_{r1}$ ——格室加筋土破坏模式为填料破坏时的加筋土表观粘聚力(kPa)；

$c_{r2}$ ——格室加筋土破坏模式为格室节点破坏时的加筋土表观粘聚力(kPa)；

$D_0$ ——表征土工格室网格尺寸的等效圆直径，对于方形、蜂巢状等形状格子，可根据单个格子面积相等的原则，将其等效为圆形求得(m)；

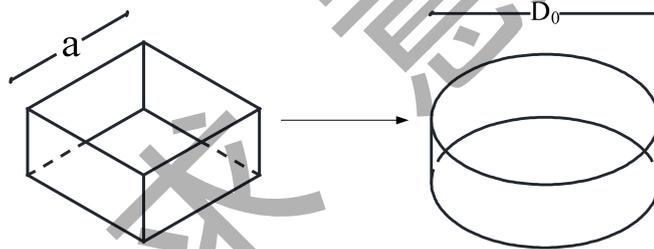


图 7.3.2-1 等效圆直径计算示意图

$\varepsilon_1$ ——土工格室加筋土破坏时的竖向应变，可采用常规三轴试验得到的填料邓肯张模型参数结合摩尔-库伦准则求解，详见附录 B.1。如缺少填料三轴试验数据，可近似取为 0.05~0.06，格室条带刚度越大， $\varepsilon_1$ 在上述范围中的取值亦越大。格室条带刚度  $M_s \leq 1000 \text{kN/m}$  时， $\varepsilon_1$  可取为 0.05； $1000 \text{kN} \leq M_s \leq 1500 \text{kN/m}$ ； $\varepsilon_1$  可取为 0.055， $M_s \geq 1500 \text{kN/m}$  时， $\varepsilon_1$  可取为 0.06。

$M_s$ ——土工格室条带拉伸应变达到  $\varepsilon_c$  时的割线模量，可按 GB/T 1040.1-2018《塑料拉伸性能的测定 第 1 部分：总则》及 T/CHTS 20031-2023《公路土工格室》中的试验方法测定。 $\varepsilon_c$  为土工格室加筋土竖向应变为  $\varepsilon_1$  时对应的圆周向应变，应由下式确定：

$$\varepsilon_c = \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{\sqrt{1 - \varepsilon_1}} \quad (7.3.2-4)$$

如无试验数据， $M_s$ 可由下表确定：

土工格室材料	HDPE（挤出型） (kN/m)	PP（拉伸型） (kN/m)	PET（拉伸型） (kN/m)
$M_s$	550~700	1800~1850	2250~2400

$T_s$ ——土工格室节点强度，宜取节点剥离强度、剪切强度和对拉强度的最小值（kN/m），可按 T/CHTS 20031-2023《公路土工格室》中的试验方法测定，如无试验数据， $T_s$ 可由下表确定：

土工格室	超声波焊接型土工格室 (kN/m)	注塑型土工格室 (kN/m)
$T_s$	16~22	80~100

### 条文说明

以土工格室为代表的立体加筋材料的加圈作用等效为填料的围压增量，该约束围压会增加格室加固区域内（即格室高度范围内）填料的刚度和强度。格室约束作用等效为填料粘聚力增量，称之为表观粘聚力。在加筋土结构稳定分析中，格室高度范围内的粘聚力增加，但加筋土的内摩擦角和未加筋土取相同值，如图 7.3.2-2 所示。

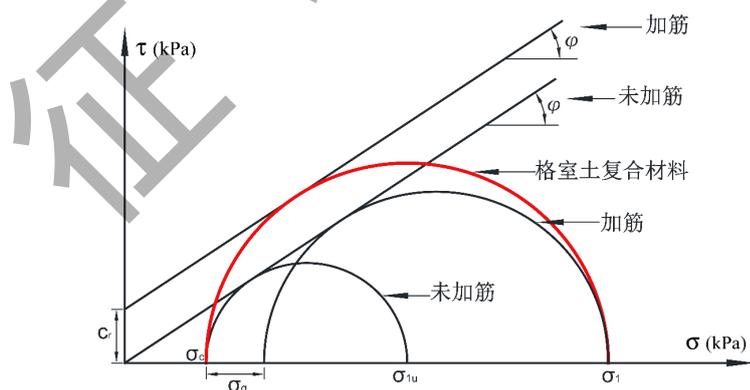


图 7.3.2-2 土工格室加筋土表观粘聚力计算示意图

## 7.5 筋材长度计算

7.5.1 筋材总长度(图7.5.1)应包括稳定区的有效锚固长度和主动区的非锚固长度，采用筋材反包结构时，还应包括包裹部分和回折部分的长度，可采用式

(7.5.1-1)和式(7.5.1-2)计算。

$$L_i = L_{ai} + L_{ei} + L_{wi} + L_{bi} + \dots \quad (7.5.1-1)$$

$$L_{wi} = d_i / \cos \alpha \quad (7.5.1-2)$$

式中： $L_i$ —— $z_i$ 层深度处的筋材总长度（m）；

$L_{ai}$ ——筋材在稳定区的有效锚固长度，不应小于2m；

$L_{ei}$ ——筋材在主动区的非锚固长度（m）；

$L_{wi}$ ——面墙侧包裹长度（m）；

$L_{bi}$ ——回折反包部分长度，不宜小于2.0m；

$d_i$ ——第*i*层加筋体厚度（m）；

$\alpha$ ——墙面与竖直线的夹角（°）。

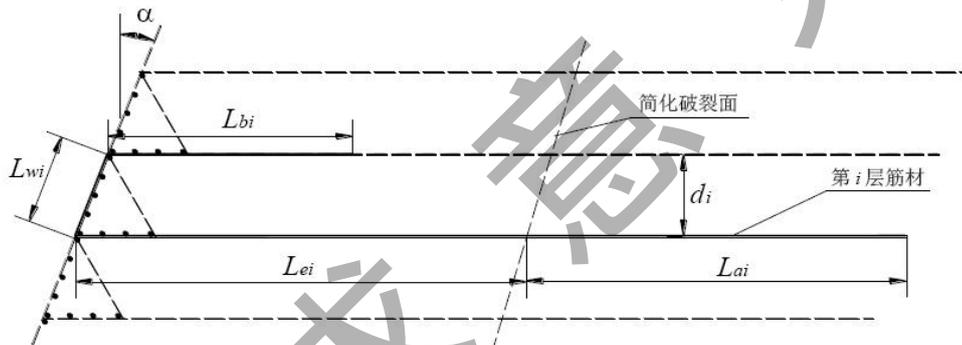


图 7.5.1 筋材总长度计算示意图

7.5.2 筋材最小长度及布置应符合下列规定：

- 1 墙高小于6.0m时，筋材长度不宜小于5.0m，采用等长布置。
- 2 墙高大于6.0m时，筋材长度取0.8~1.1倍的墙高，且不得小于5m；必要时，可增设长度不小于2.0m的辅筋，其间距不宜大于0.3m。
- 3 当挡土墙上方有填土等其他附加荷载时，应适当增加筋材长度，筋长与墙高之比不应小于1：1。
- 4 挡土墙上部1/3墙高范围的筋材长度宜根据工程实际情况适当增长。
- 5 采用不等长的筋材时，同等长度筋材的墙段高差应大于3.0m；相邻不等长筋材的长度差不宜小于1.0m。

#### 条文说明

有资料表明，加筋土挡墙基底垂直土压力沿土工格栅筋材长度方向呈非线性

分布,最大值发生在筋材中部附近;施工期墙面最大水平变形位置在墙高的下部,竣工后墙面最大水平变形发生在墙顶处。实际工程中部分挡土墙由于顶部筋材长度不足,导致运营过程中发生挡土墙顶部发生变形破坏。

7.5.3 加筋土挡墙筋材的设计长度可按式(7.5.3-1)计算,且不得小于第7.5.2条规定的最小长度。

$$L_i = L_{fi} + L_{bi} \quad (7.5.3-1)$$

式中:

$L_i$ —第  $i$  层筋材的设计总长度(m);

$L_{fi}$ —第  $i$  层筋材在加筋体非锚固区内的长度(m);

$L_{bi}$ —第  $i$  层筋材在锚固区的有效锚固长度(m)。

7.5.4 非锚固区筋材长度计算应符合下列要求:

1 采用钢带、钢塑复合土工带、焊接钢塑土工格栅、钢丝网等筋材时,加筋土挡墙潜在破裂面如图 7.5.4 所示,非锚固区筋材长度应按式(7.5.4-1)和式(7.5.4-2)计算。

$$L_{fi} = 0.3H \quad (0 < Z_i \leq b_H) \quad (7.5.4-1)$$

$$L_{fi} = (H - Z_i) * \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (b_H < Z_i \leq H) \quad (7.5.4-2)$$

式中:

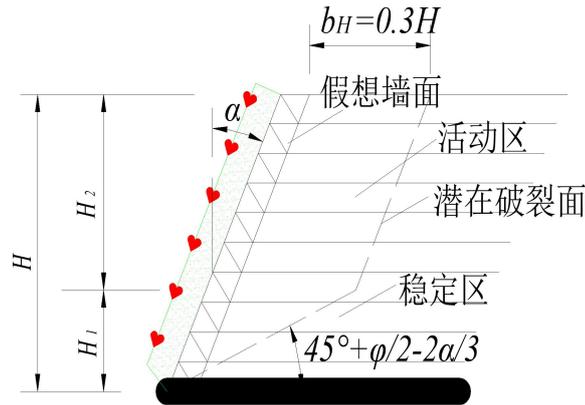
$H$ —加筋体高度(m);

$b_H$ —0.3m 潜在破裂面对应的垂直深度(m);

$Z_i$ —第  $i$  单元筋材节点至加筋体顶面的垂直距离(m);

$\phi$ —填料的内摩擦角( $^\circ$ )

其余符号意义同上。



7.5.4 加筋土挡墙潜在破裂面示意图

2 采用其他土工合成材料筋材时,加筋土挡墙潜在破裂面如图 7.5.4 所示,非锚固区筋材长度可按式(7.5.4-3)计算。

$$L_{fi} = (H - Z_i) * \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (0 < Z_i \leq H) \quad (7.5.4-3)$$

7.5.5 筋材的有效锚固长度应按式(7.5.5-1)进行计算。

$$L_{bi} = \frac{T_i}{2\sigma_{vi}b_i f_{GS}} \quad (7.5.5-1)$$

式中:

$T_i$ ——第  $i$  层筋材深度处筋材所承受的水平拉力(kN);

$\sigma_{vi}$ ——第  $i$  层筋材高度处的垂直压应力(kPa);

$b_i$ ——筋材宽度(m),条带状筋材取筋带的实际宽度,平面网状筋材取 1m 计算;

$f_{GS}$ ——筋材与填土间的界面摩阻系数。

7.5.5 筋材的竖向加筋间距为 30cm~60cm,最大间距不宜大于 80cm,当间距超过 60cm 时宜增设辅筋。

#### 条文说明

对于高度较低的加筋土挡墙通常只选用同一强度筋材且进行等竖向间距布置,而较高的挡土墙可根据情况沿墙高选用多种强度的筋材或进行非等竖向间距布置。筋材间距并不是越小越好,过小时容易造成“超筋土”,不但会导致经济上的不合理,增加建设投资,增大施工难度,而且实际的加筋效果并不比适度加筋效果明显。因此,要使加筋土挡墙更加稳定,并充分地发挥其效用,发挥其强度特性,必须确定合理的筋材竖向间距。土工格栅包裹式加筋土挡墙筋材竖向间距一般也

不超过 60cm。模块式加筋土挡墙筋材竖向间距应为模块高度的倍数,但最大间距不应超过 80cm。

《加筋土挡墙与加筋土坡设计施工指南》中,规定加筋土挡墙的加筋间距不应大于 80cm。

对于面板单元高度较大的加筋土挡墙,最大的加筋间距不应超过面板单元的高度,且不得大于 100cm。AASHTO 修编时的全墙测试,研究了加筋间距 1m 的加筋土挡墙各项性能,各项测试数据表明性能良好,也符合加筋土挡墙的传统设计理论,在 2014 版本的 AASHTO 标准中进行了调整,具体如下:“主筋的垂直间距,在没有全尺寸挡土墙测试数据(如筋材应力、应变,总变形量等)支持采用比较大的加筋间距情况下,不应超过 82.3cm(2.7ft),除非加筋土挡墙采用的面板单元高度于或等于 82.3cm(2.7ft),并且面板单元的最小宽度大于或等于面板单元的高度。对于这些面板单元较大的加筋土挡墙,最大的加筋间距不应超过面板单元的宽度或者 100.6cm(3.3ft),取两者中的最小值。”

## 7.6 外部稳定性验算

7.6.1 加筋土挡墙外部稳定性验算应包括抗滑稳定性验算、抗倾覆稳定性验算,地基承载力验算,整体滑动稳定性验算等。

7.6.2 加筋土挡墙的滑动稳定方程应满足式(7.6.2-1)的要求;抗滑稳定系数应按式(7.6.2-2)计算,并不应小于表 7.6.2 的规定。

$$\left[1.1G + \gamma_{Q1}(E_y + E_x \tan \alpha_0) - \gamma_{Q2}E_p \tan \alpha_0\right] \mu + (1.1G + \gamma_{Q1}E_y) \tan \alpha_0 - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p > 0 \quad (7.6.2-1)$$

$$K_c = \frac{\left[N + (E_x + F_{hE} - E'_p) \tan \alpha_0\right] \mu + E'_p}{E_x + F_{hE} - N \tan \alpha_0} \quad (7.6.2-2)$$

式中:  $G$ ——作用于基底以上的重力(kN),包括墙身重力、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;浸水部分应计入浮力;

$E_y$ ——墙后主动土压力的竖向分量(kN);

$E_x$ ——墙后主动土压力的水平分量(kN);

$F_{hE}$ ——作用于墙体重心处的水平地震力 (kN)，应符合现行《公路工程抗震规范》(JTG B02)的有关规定；

$E_p$ ——墙前被动土压力的水平分量 (kN)，挡墙浸水时  $E_p=0$ ；

$E'_p$ ——墙前被动土压力水平分量的0.3倍 (kN)；

$N$ ——作用于基底上合力的竖向分力 (kN)，浸水部分应计入浮力；

$\alpha_0$ ——基底倾斜角(°)，基底水平时  $\alpha_0=0$ ；

$\mu$ ——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 7.2.11-2 的规定采用；

$\gamma_{Q1}$ 、 $\gamma_{Q2}$ ——分别为墙后主动土压力分项系数和墙前被动土压力分项系数，可按表 7.2.6 的规定采用。

表 7.6.2 抗滑动稳定系数  $K_s$

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

7.6.3 加筋土挡墙的倾覆稳定方程应满足式(7.6.3-1)的要求；抗倾覆稳定系数应按式(7.6.3-2)~式(7.6.3-4)计算，并不应小于表 7.6.3 的规定。

$$0.9GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2} E_p Z_p > 0 \dots \dots (7.6.3-1)$$

$$K_0 = \frac{M_y}{M_0} \dots \dots (7.6.3-2)$$

$$M_y = GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p \dots \dots (7.6.3-3)$$

$$M_0 = E_x Z_y + F_{hE} Z_{hE} \dots \dots (7.6.3-4)$$

式中： $M_y$ ——稳定力系对墙趾的总力矩(kN·m)；

$M_0$ ——倾覆力系对墙趾的总力矩(kN·m)；

$Z_G$ ——基底以上重力的合力重心到墙趾的距离(m)；

$Z_x$ ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离(m)；

$Z_y$ ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离(m)；

$Z_p$ ——墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离(m)；

$Z_{hE}$ ——水平地震力到墙趾的距离(m)。

表 7.6.3 抗倾覆稳定系数  $K_0$

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

7.6.4 加筋土挡墙地基承载力验算时，基底不应出现拉应力，基底压应力应满足式(7.6.4-1)的要求。

$$\sigma = \frac{N \cos \alpha_0 + (E_x + F_{hE}) \sin \alpha_0}{B - 2e} \leq k f_a \quad (7.6.4-1)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_y - M_0}{N \cos \alpha_0 + (E_x + F_{hE}) \sin \alpha_0} \quad (7.6.4-2)$$

式中： $\sigma$ ——挡墙基底的压应力(kPa)；

$N$ ——作用于基底上的竖向力总和(kN)，包括基底以上重力  $G$  和墙后主动土压力的竖向分量  $E_y$ ；

$B$ ——挡墙基底宽度(m)，等于筋材长度与面板厚度之和；倾斜基底时为其斜宽；

$e$ ——基底合力的偏心距(m)，对土质地基不应大于  $B/6$ ，对岩石地基不应大于  $B/4$ ；当  $e < 0$  时，取  $e = 0$ ；

$f_a$ ——经基础宽度、埋置深度修正后的地基承载力特征值(kPa)，可按

现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)的规定采用。

$k$ ——地基承载力特征值修正系数，当荷载组合为I、II时， $k=1.0$ ；当荷载组合为III及施工荷载，且  $f_a > 150\text{kPa}$  时， $k=1.25$ 。

#### 7.6.5 整体滑动稳定性验算

将加筋体作为一个实体，实体在其后土压力作用下，沿加筋体与其后的土体界面和基底产生整体滑动，作整体稳定性验算。

1. 平面加筋材料生态加筋土挡墙墙身、墙身和地基的整体稳定性宜采用简化 Bishop 法。

a) 加筋土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 7.6.5-1，生态加筋土挡墙整体滑动稳定系数不应小于 1.25。

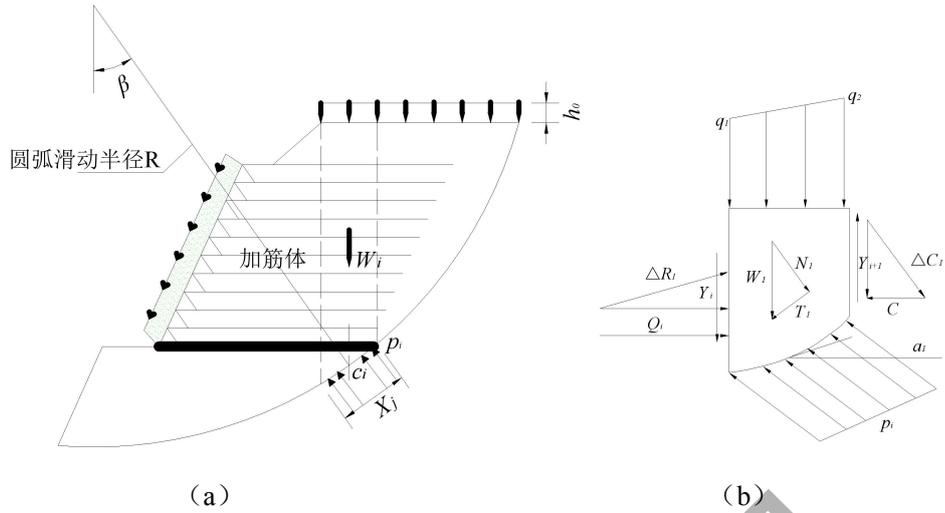


图 7.6.5-1 生态加筋土挡墙整体稳定性计算模型

说明：图中符号意义同式（7.5.5-1）、（7.7.5.5-2）。

b) 整体滑动稳定系数  $K_s$  按式（7.5.2-2）计算：

$$N_i = \sum \frac{1}{m_i} [W'_i + Y_i - Y_{i+1} - \frac{c_i l_i \sin \alpha_i}{K_s}] \quad (7.6.5-1)$$

$$K_s = \frac{\sum c_i l_i + \sum N_i \cdot \tan \phi_i}{\sum W'_i \sin \alpha_i + \sum Q_i \frac{e_i}{R}} \quad (7.6.5-2)$$

式中：

$K_s$ -整体滑动稳定系数；

$c_i$ -第  $i$  土条的粘聚力（kPa）；

$L_i$ -第  $i$  条土条宽度

$W_i$ -第  $i$  个土条等效重度

$Q_i$ -作用在土条上的横向力

$y_i$ -作用在土条上的切向力

$R$ -滑动面圆弧半径

$e_i$ -横向力  $Q_i$ 对圆心  $O$ 的力臂

$\phi_i$ -第  $i$  土条的滑动面处内摩擦角（°）。

$m_i$ -计算系数， $m_i = \cos \alpha_i + (\tan \phi_i \cdot \sin \alpha_i / K_s)$

$\alpha_i$ -坡面的坡角。

2.土工格室属立体加筋材料，立体加筋材料挡墙，墙身、墙身和地基的整体稳定性宜采用折线滑动面法。

计算模型见图 7.6.5-2 所示，在格室铺设高度内，加筋土的强度参数提高。选用同时满足力与力矩平衡的通用条分法对土工格室挡墙进行整体稳定性分析评价，要求稳定安全系数达到 1.25 以上。根据安全系数的要求，采用试算的方法确定墙体宽度  $B$  和拉筋带长度  $L$ 。

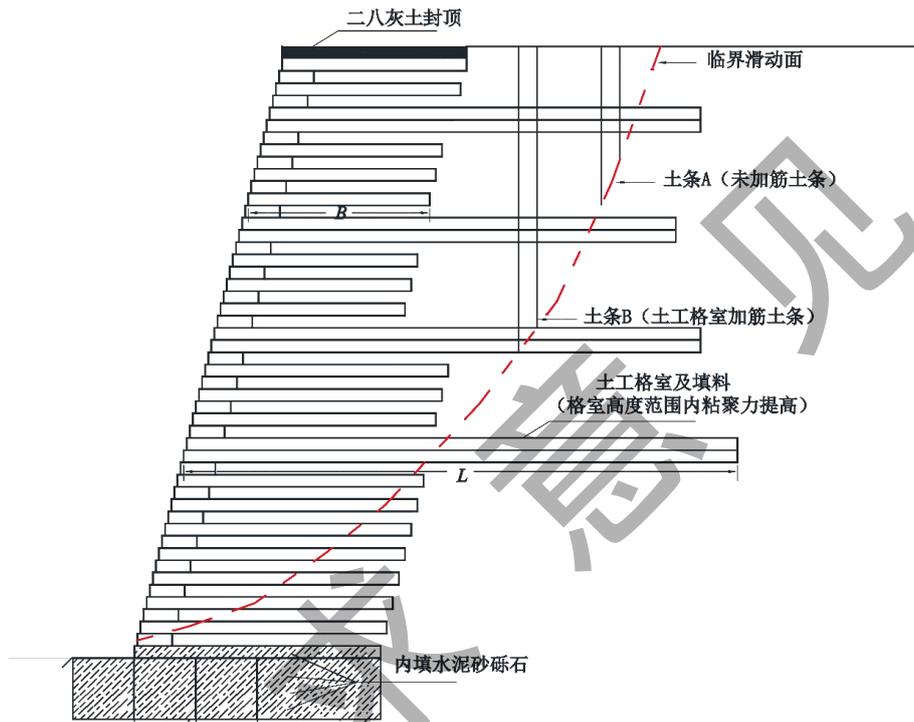


图 7.6.5-2 土工格室加筋土挡墙整体稳定分析示意图

如图 7.6.5-2 所示，土条 A 底面为素土，土条 B 底面为土工格室加筋土，在进行稳定性验算时，土条 A 和 B 底面的内摩擦角均取为填土内摩擦角，土条 A 底面的粘聚力为素土粘聚力，土条 B 为土工格室加筋土的粘聚力，其由两部分组成，一部分为素土粘聚力  $c_{ur}$ ，一部分为由于格室约束效应引起的表观粘聚力  $c_r$ ，表观粘聚力确定方法详见本规程 7.3.2 节。

#### 条文说明：

研究表明，对于格室加筋土和素土组成的非均质土结构，滑裂面选用折线滑动面较为合理，本规程采用同时满足力与力矩平衡条件（见图 7.6.5-3）的通用条分法进行分析计算，具有较高的计算精度，也可采用国际上通用的摩根斯坦-普赖法进行计算。

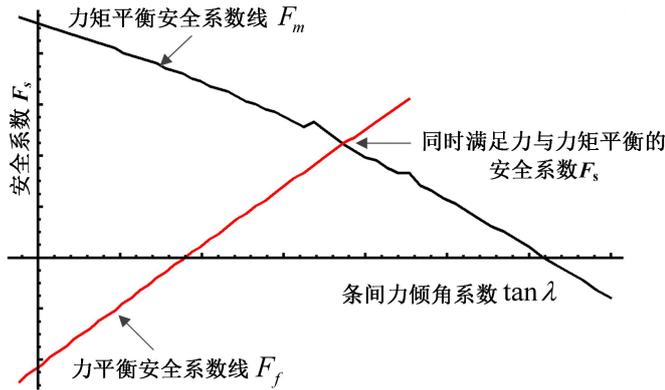


图 7.6.5-3 通用条分法安全系数迭代求解过程

## 7.7 内部稳定性验算

7.7.1 加筋土挡墙内部稳定性验算应包括筋材强度验算、筋材抗拔验算；土工格室加筋土挡墙可不进行筋材抗拔验算。

### 条文说明

对土工格室加筋土挡墙可不进行筋材抗拔验算进行说明。

7.7.2 筋材拉力可按下式计算。

$$T_i = \gamma_{Q1} \sigma_{Ei} S_x S_y \quad (7.7.2)$$

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）；

$\gamma_{Q1}$ ——墙后土主动土压力荷载分项系数，按表 7.2.3 采用；

$\sigma_{Ei}$ ——加筋体内深度 $z_i$ 处作用于面墙上的水平土压力（kPa），包括加筋体填料、加筋体上部填料、车辆荷载和行人荷载引起的水平土压力；

$S_x$ 、 $S_y$ ——分别为筋材之间的水平和垂直间距（m），筋材为土工格栅、土工织物等面状筋材时仅有垂直间距 $S_y$ ，此时 $S_x=1$ 。

7.7.3 筋材抗拉强度应满足式(7.7.3)的要求，并应对每层筋材进行验算。

$$\gamma_0 \gamma_f T_i \leq T_a \quad (7.7.3)$$

式中： $\gamma_0$ ——结构重要性系数，按表 7.7.3 采用；

$\gamma_f$ ——筋材抗拉性能分项系数，各类筋材均取 1.25；

$T_a$ ——筋材设计抗拉强度（kN）。

表 7.7.3 结构重要性系数 $\gamma_0$

墙高	$\gamma_0$	
	高速公路、一级公路、高等级公路	二级及以下公路、中等级公路、低等级公路
$\leq 6.0$	1.00	0.95
$> 6.0$	1.05	1.00

7.7.4 筋材抗拔验算应符合下列规定：

1 筋材抗拔力可按式（7.7.4-1）计算：

$$T_{pi} = 2f_{GS}\sigma_i b_i L_{ai} \dots \quad (7.7.4-1)$$

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

$f_{GS}$ ——筋土界面阻力系数；

$b_i$ ——筋材宽度（m），土工格栅、土工织物等面状筋材  $b_i=1$ ；

$L_{ai}$ ——筋材在稳定区的有效锚固长度（m）。

2 筋材抗拔稳定性应满足式（7.7.4-2）的要求，并应对每层筋材进行验算。

$$\gamma_0 \gamma_R T_i \leq T_{pi} \quad (7.7.4-2)$$

式中： $\gamma_R$ ——筋材抗拔力计算调节系数，应按表 7.7.4 采用。

表 7.7.4 筋材抗拔力计算调节系数 $\gamma_R$

荷载组合	I、II	III	施工荷载
$\gamma_R$	1.4	1.3	1.2

3 全墙抗拔稳定性应满足式（7.7.4-3）的要求。

$$\frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} \geq 2 \quad (7.7.4-3)$$

式中： $\sum T_{pi}$ ——各层筋材产生的抗拔力总和（kN）；

$\sum T_i$ ——各层筋材承担的水平拉力总和（kN）。

## 7.8 沉降计算

7.8.1 土质地基上的生态加筋土挡墙，属下列情况之一时，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。

#### 条文说明

生态加筋土挡墙是一种柔性结构，具有很好的变形协调能力，施工到路基顶面时，可以适当增加填土路基的高度来消除沉降的影响。在满足地基承载力设计的条件下，一般不需要进行沉降验算。如果地基中存在较厚软弱下卧层，或存在欠固结土层时，才需进行沉降验算。

7.8.2 沉降计算时，应将加筋体作为一个实体，并应考虑自重、上部堆载、交通荷载等作用。计算方法应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定。

7.8.3 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。

### 7.9 筋材设计抗拉强度计算

通过筋材折减分项系数求得设计抗拉强度。如：施工损伤、蠕变、老化等包含非锚固区筋材长度、有效锚固长度及筋材回折反包长度等

筋材设计抗拉强度  $T_a$  按式 (7.9-1) 确定。

$$T_a = \frac{T_{ult}}{f_R} \quad (7.9-1)$$

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 (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。

---

## 8 坡面植物防护与景观设计

### 8.1 一般规定

8.1.1 生态加筋土挡墙生态防护应与生态景观营造相结合，应充分体现绿色环保的发展理念。

8.1.2 生态防护应从减少雨水对墙面的冲刷、保护墙面裸露筋材免受光热辐射等方面考虑，采用植物防护的方式及时进行防护。

8.1.3 植物防护设计前应对区域内已有植被、地质条件和气象条件进行调查。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，并应以乡土植物为主。

8.1.4 坡面生态防护应在满足结构安全的前提下，考虑植物的地域性、生态性及形态性，选择与周边环境相搭配的植物种类。

### 8.2 坡面植物防护设计

8.2.1 生态加筋土挡墙坡面可采用喷播植被防护（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、生态袋植被及插枝灌木等方法，按下表经技术经济比较后选择适宜的植被防护措施。

8.2.2 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，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。

8.2.3 植物种植应根据所采用植物的特性，适时种植，避免在暴雨季节、干燥大风和高温天气施工。边坡植被防护工程施工应安排合理的工期，在雨季到来之前使植物形成边坡防护能力，未形成防护能力时，宜采取排水、覆盖等临时保护措施。

8.2.4 墙址处宜栽植灌木、攀缘植物，顶部栽植垂藤植物，可起到较好的美好效果。

表 8.2.4 坡面植物防护型式及适用条件

挡墙类型	坡面绿化形式
预制块加筋土挡墙	预制块栽植绿化或铺草皮等
石笼加筋土挡墙	面墙采用人工插枝，将藤蔓、枝条等放置在两层石笼之间，植物的末端介入墙背填料中。平台可采用植生袋栽种灌木及攀缘植物
生态袋加筋土挡墙	生态袋内充填耕植土或营养土，快速形成坡面绿化。为防止反包土工格栅日晒老化，墙面可挂三维网喷播防护
土工格室加筋土挡墙	土工格室回填土结合三维植被网喷播防护
钢丝网类加筋土挡墙	面墙内侧铺设植生垫，喷播绿化、植入当地典型灌木插条绿化

### 8.3 生态景观设计

**8.3.1** 景观布置的植物群落应优先选择与边坡周围群落相同或相近的物种和群落类型，使其与周边景观相协调。

**8.3.2** 植物群落类型应依边坡坡度、土壤硬度、植物生长发育所需最低土层厚度、播种期 20 天内的最低土壤湿度等条件确定。

**8.3.3** 坡面植物群落可分为草灌型、草本型和观赏型，并应符合下列规定：

1 草灌型群落结合灌木根系发育较好的特性进而稳定坡体，促进、加快植物自然演替，与周围景观相协调；

2 草本型群落应结合前期生长快的特点，布设于坡面易受侵蚀的路段；

3 观赏型群落应结合地形，布设于视线好、有特殊景观需求的路段，通过积极使用花草、观赏性强的灌木等，营造出特殊的观赏性植物群落。

---

## 9 施工

### 9.1 一般规定

9.1.1 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、绿化等。

9.1.2 进场材料应进行抽检,合格后方可使用。筋材不得露天堆放,应建立明确的保管制度,减少筋材及附件的破坏和损伤。

9.1.3 施工场地应设置临时排水设施有效截排地表水和导排地下水,并与永久排水设施相结合。墙后防排水设施及反滤层应与墙面同步施工。

9.1.4 挡土墙起终点应衔接合理、紧密,做到过渡平滑、安全稳固。

9.1.5 施工过程中应对生态加筋挡土墙进行沉降变形监测,掌握挡土墙的稳定情况,必要时及时调整施工方法或采取其他有效措施。

9.1.6 施工作业应严格执行有关安全操作规程。

### 9.2 施工准备

9.2.1 施工准备应符合下列规定:

1 熟悉设计文件,做好现场材料核查。根据调查资料、设计文件和工期要求,做出具有可实施性的施工组织设计。

2 施工前应恢复原有中线桩,测定加筋土挡墙的墙面基础线、基础主轴线、墙顶轴线、挡土墙起讫点等。

3 施工前应测量中线桩和加筋土挡墙基础标高,并设置施工水准点。复核横断面是否满足筋带铺设宽度要求。

4 施工前应核对所用的筋材和辅助材料等,委托具有相应资质的单位进行检测。

5 加筋土工程施工,除应按路基施工要求配备压实机械,还应配备适用于墙面内侧小范围内压实的小型压实机具。

6 清除地基表面的植被、腐殖土等,对基础底面进行整平、夯实。

9.2.2 材料运输及堆放应符合下列规定:

1 加筋材料及其附件应分类保管;现场存放时应堆放在室内,保持通风干

燥，远离火源。

2 运输及储存过程应封盖，避免筋材和及其附件暴露在阳光下或被雨水淋泡。

9.2.3 试验路段修筑应选择代表性路段进行，应根据试验路段确定下列施工参数和工艺：

- 1 填料试验参数。
- 2 筋材铺设、面板安装施工方法。
- 3 施工机具选型与组合、松铺厚度、碾压遍数等填料压实工艺参数。
- 4 过程质量控制。
- 5 施工组织方案及工艺。

### 9.3 预制块加筋土挡墙施工

9.3.1 预制块加筋土挡墙施工流程如图 9.3-1 所示。

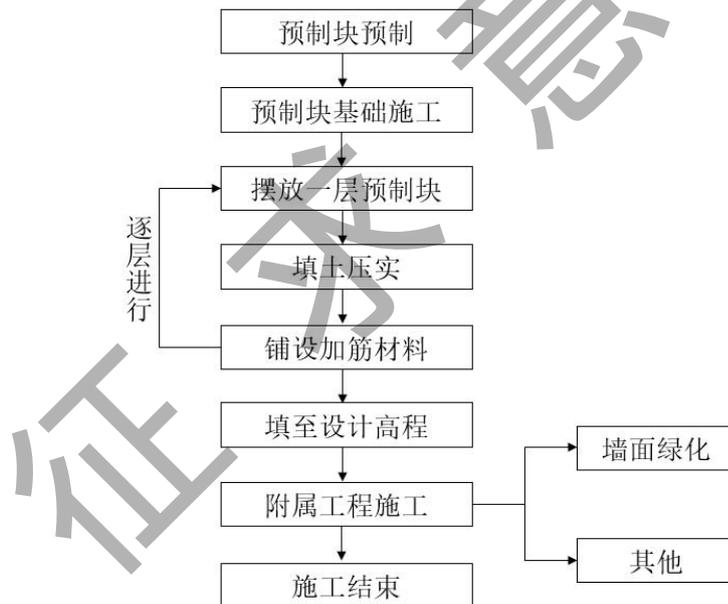


图 9.3-1 预制块加筋土挡墙施工流程图

9.3.2 基础施工应符合下列规定：

- 1 开挖前应进行详细测量定位并标出开挖线，基槽底应开挖到设计标高，当纵向高度变化较大时，基槽底沿纵向可成阶梯状开挖。
- 2 基槽开挖完成后应检测地基承载力，达不到设计要求进行相应处理，使其满足设计要求。
- 3 在砌筑或浇筑基础前，必须经过检查验收，确认符合设计要求后方能进

---

行下道工序。

4 按设计要求进行基础施工，基础施工完成后，应立即对基坑回填，并分层夯实，在回填土表面设 3%~4%的外倾斜坡，防止积水渗入基底。

5 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。

### 9.3.3 筋材铺设应符合下列规定：

1 根据设计长度确定筋材的剪裁长度，在已经整平、压实的地基上按筋材主强度方向垂直于墙面的方式铺设底层筋材。

2 相邻的筋材或加筋单元应按照设计要求联接成一整体。

3 铺设筋材的土层表面应平整，不应有尖锐凸出物；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，筋材尾部用 U 型铁钉等固定后及时铺筑填料。

4 挡土墙边（拐）角处筋材应按设计要求满铺于设计范围。

### 9.3.4 填料摊铺与压实应符合下列规定：

1 填料铺筑应分层压实并符合现行《公路路基施工规范》(JTG/T3610)的要求。

2 填料与筋材接触部分不应含有尖锐棱角的块体，填料中最大粒径不应大于 100mm，且不宜大于单层填料压实厚度的 1/3。填土表面严禁有碎块石坚硬凸起物。

3 填料应按一定间距呈鳞状卸于筋材上，运输机械、摊铺机械距墙面板的距离不应小于 1.5m，并严禁直接在筋材上行驶。

4 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。

5 加筋土挡墙不得采用羊足碾、冲击碾压、强夯等，距墙面 1.5m 以内，不应有大型机械行驶作业，应采用人工摊铺、人工夯实或小型压实机械碾压密实。

### 9.3.5 预制块面板的预制和安装应符合下列规定：

1 预制块宜按图 9.3.5 所示方式施工。

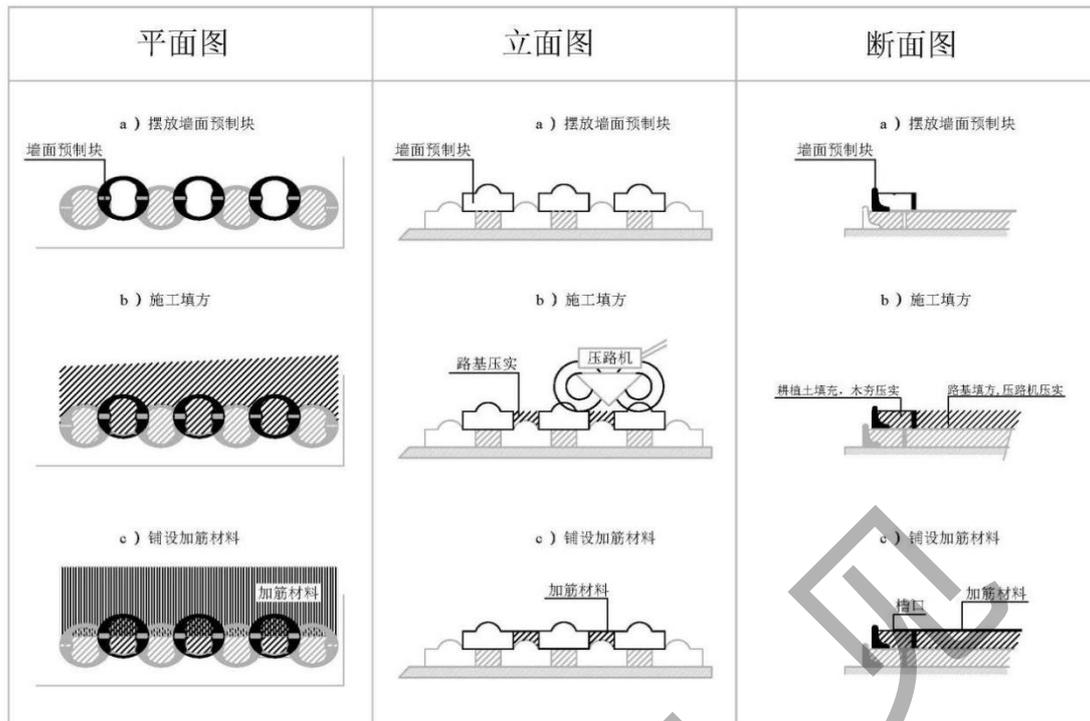


图 9.3.5

- 2 预制块外观尺寸、混凝土强度等级等应符合设计要求。
- 3 预制块安装前,应在基础上准确定位预制块外缘线及位置。
- 4 预制块面板安装应按照要求的垂度、坡度挂线分层摆放,错缝安装。预制块与筋材按照设计要求进行连接。
- 5 不得在未完成填土作业的预制块上安装上一层预制块。

#### 9.4 石笼加筋土挡墙施工

9.4.1 石笼加筋土挡墙施工流程如图 9.4.1 所示。

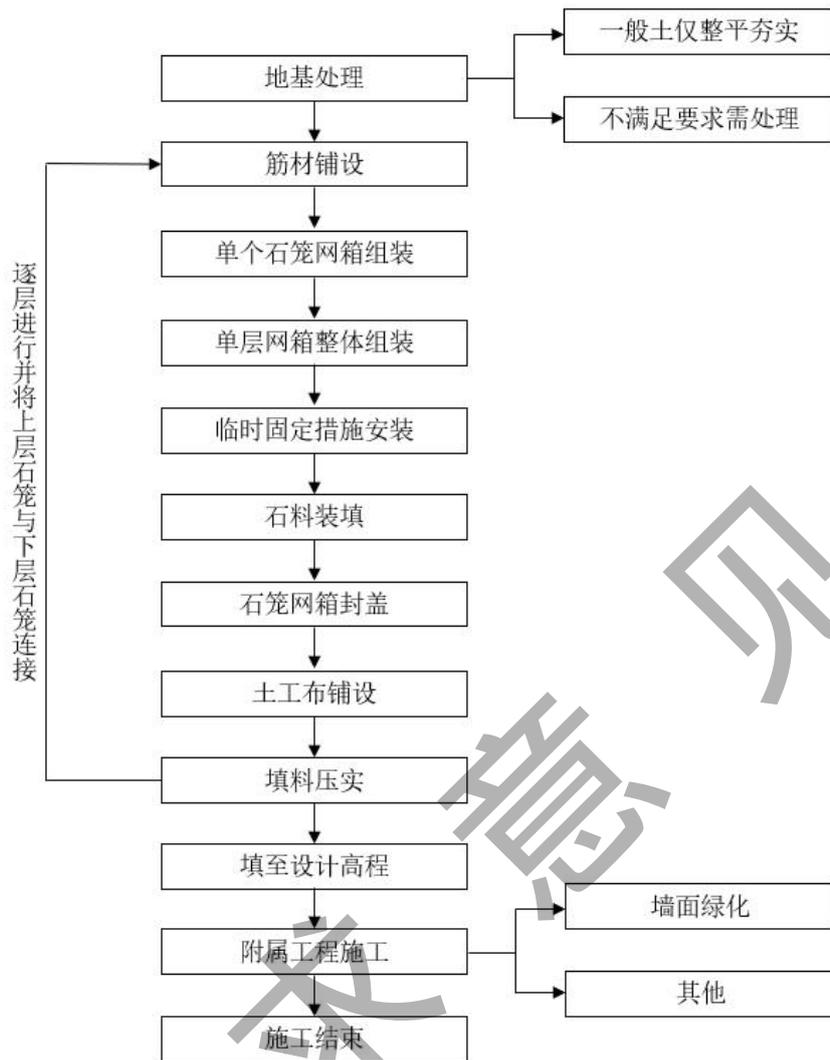


图 9.4.1 石笼加筋土挡墙施工图流程图

9.4.2 石笼加筋土挡墙基础施工、筋材铺设及填料摊铺与压实等应符合 9.3.2~9.3.4 条相关规定。

9.4.3 石笼的制作和安装应符合下列规定：

1 单个石笼网箱组装：石笼网的面板、边板、隔板及背板均应与底板垂直，采用绑扎钢丝或 C 形钉连接；绑扎钢丝应按间隔 100mm~150mm 单圈缠绕-双圈锁紧相间的方式绞合；C 形钉间距不宜大于 200mm，C 形钉最小拉开拉力值不应小于 2.0kN。

2 整体石笼网箱组装：将多个石笼网箱紧密整齐地摆放在设计位置上，按设计要求连接成整体并与筋带连接。

3 石笼网箱面板外侧宜设置临时固定措施，以约束石笼网箱变形，墙体外观应平顺、整齐。

4 石料装填：填石按 250mm~350mm 的厚度分层填充；每填充完一层石料，应在石笼网箱前后面板之间设置水平加强钢丝，限制面墙的变形；石笼外露面 300mm 范围的石料宜采用人工码砌，其余部分可采用机械填充；石笼网箱的顶层应适当超填，预留后期沉降量。

5 石笼网箱封盖：应采用钢丝或 C 形钉将盖板与网箱四周及隔板连接牢固。

6 墙背填土与筋带铺设与墙体同步施工。

7 相邻两层石笼网箱之间应采用钢丝或 C 形钉连接牢固。

8 墙体施工后，应及时在墙面种植合适的草灌植物进行绿化，并加强早期养护。当发现大面积生长不良时，要及时补种。

## 9.5 生态袋加筋土挡墙施工

9.5.1 生态袋加筋土挡墙施工流程如图 9.5.1 所示。

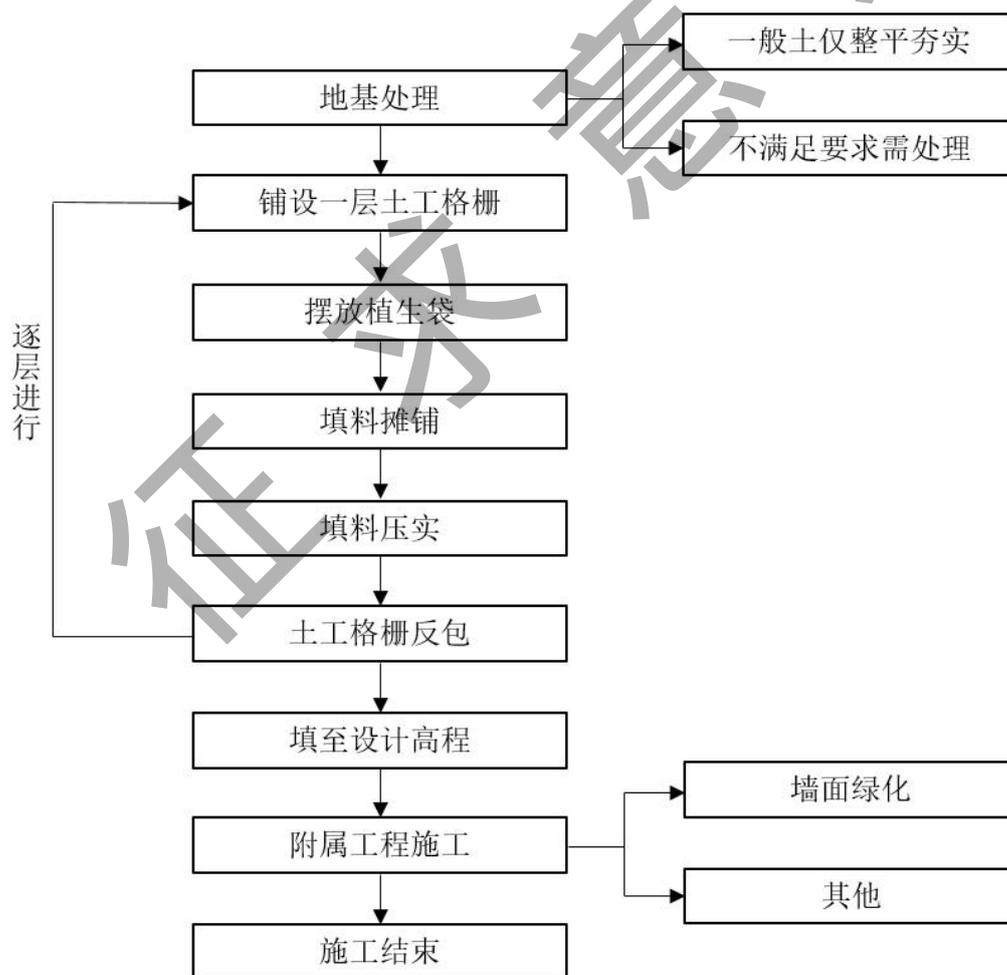


图 9.5.1 生态袋加筋土挡墙施工图流程图

9.5.2 生态袋加筋土挡墙基础施工、筋材铺设及填料摊铺与压实等应符合

---

9.3.2~9.3.4 条相关规定。

### 9.5.3 生态袋加筋土挡墙施工应符合下列规定：

1 按挡墙的墙面倾角，架立临时模架并拉线：可用角钢或木条制作两个临时的模架，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。

2 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。

3 铺放第一层土工格栅。水平铺放，且与墙面垂直，尾部用 U 型钉等固定在墙底上，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。

4 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，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。

5 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。

6 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。

7 洒水压实

8 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。

9 把模架取下，按上述程序进行第二层的土工格栅下料及铺放工作。

10 重复以上操作铺设第三层，直到完成作业为止。

11 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。

## 9.6 土工格室加筋土挡墙施工

9.6.1 土工格室加筋土挡墙施工流程如图 9.6.1 所示。

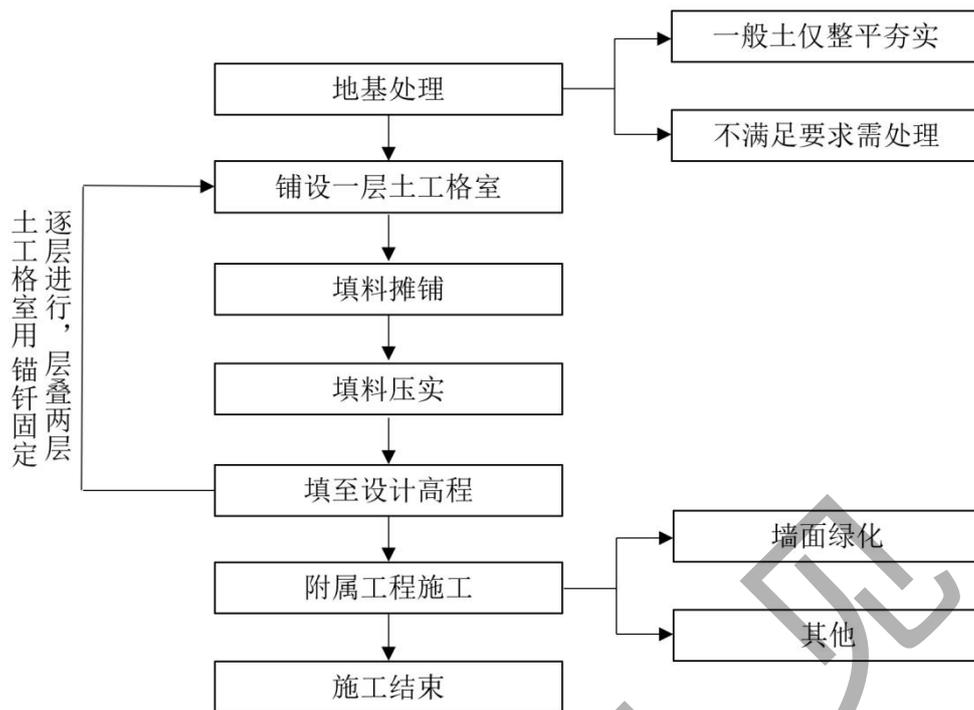


图 9.6.1 土工格室加筋土挡墙施工流程图

9.6.2 土工格室加筋土挡墙基础施工、筋材铺设及填料摊铺与压实等应符合 9.3.2~9.3.4 条相关规定。

9.6.3 土工格室加筋土挡墙施工应符合下列规定：

1 用全站仪对挡土墙外部边缘进行精确放线，确保墙体平面位置正确无误，用水准仪进行高程测量，控制好第一层面板格室的底层标高；用石灰线标示出墙面轮廓线，确保墙面板成型后线形光滑、平顺，与道路中心线相协调；

2 将土工格室按照设计拉伸方向平铺在基础顶面，应确保格室充分展开（呈正菱形状），并用固定锚钉将土工格室两端及两侧固定于地面，在验收合格后方能填料，土工格室在填料时要保持土工格室张拉后的状态，不应随意踩踏或用重物压迫导致格室变形；

3 依设计间隔分层错位铺设面板位置土工格室层，充分张拉展开后并用锚钉将格室四周固定于地面，使用机械向格室网格内摊铺填料并压实，边缘部分留有 20cm~50cm 保持松铺状态以利于后期绿化防护，错位分层间应由 1cm~3cm 填料压实厚度，避免压实损伤土工格室；

4 墙体施工后，应及时在墙面种植合适的草灌植物进行绿化，并加强早期养护。当发现大面积生长不良时，要及时补种。

## 9.7 钢丝（筋）网类加筋土挡墙施工

### 9.7.1 钢丝（筋）网类加筋土挡墙施工流程如图 9.7.1 所示

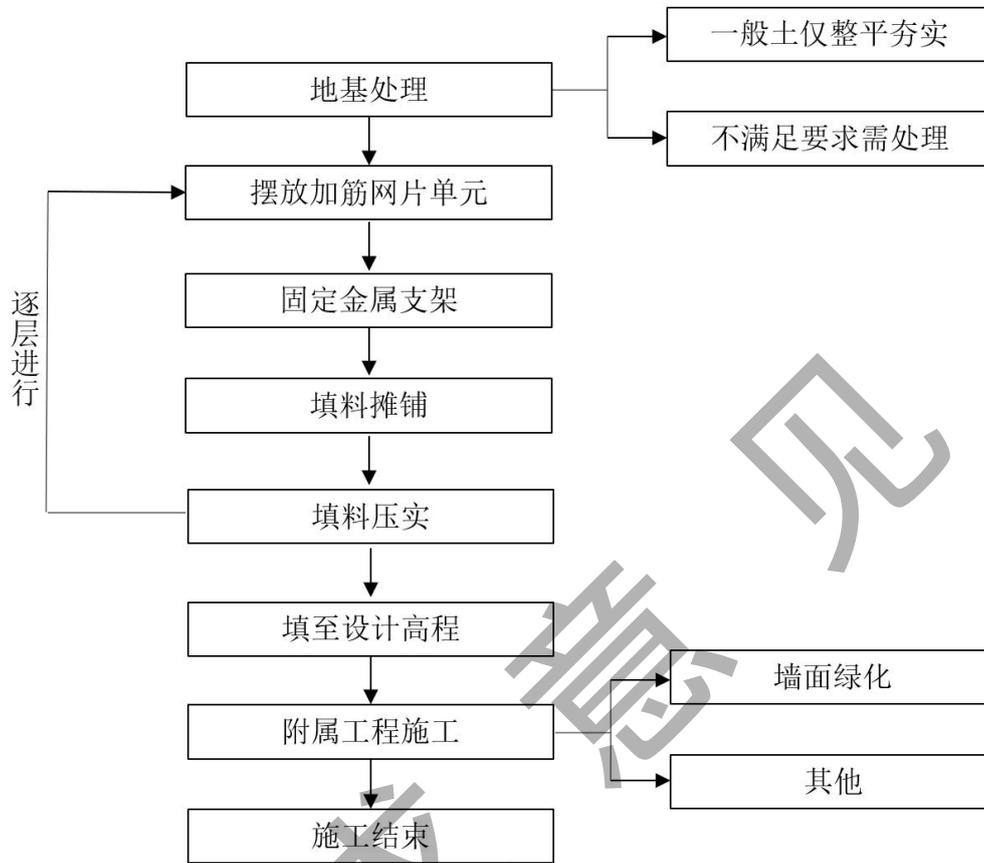


图 9.7.1 钢丝（筋）网类加筋土挡墙施工图流程图

9.7.2 钢丝（筋）网类加筋土挡墙基础施工、筋材铺设及填料摊铺与压实等应符合 9.3.2~9.3.4 条相关规定。

9.7.3 钢丝（筋）网类加筋土挡墙施工应符合下列规定：

1 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。

2 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。

3 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。

4 路基填料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 1.5m。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。

5 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。

6 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，压实机械距挡墙墙背不得小于 1.5m，在墙背内侧 1.5m 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。

## 9.8 组合类加筋土挡墙施工

1 当圬工类挡墙、生态挡墙组合时，圬工类挡墙施工参照《公路路基施工技术规范》（JTG F10）及相关标准规范执行，生态挡墙施工按照挡墙类别参照 9.3~9.7 条相关规定执行。

2 当下部、上部全部采用生态挡墙组合时，挡墙施工按照挡墙类别参照 9.3~9.7 条相关规定执行。

## 9.9 生态防护施工应符合下列规定：

1 生态加筋挡土墙施工完毕应及时进行植被绿化防护。

2 生态加筋挡土墙生态防护可采用面板填种植土植草灌、喷播植草、人工植入枝条或藤蔓、草种等方式。

3 绿化选用的物种、施工工艺要求等应与一般路基防护保持一致。

4 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。

## 10 质量检测与控制

### 10.1 一般规定

10.1.1 质量检测包括材料检测、施工过程中的质量管理和检查验收。

10.1.2 主要原材料、半成品、成品进场前应按批次进行抽检,其质量应满足设计文件提供的设计指标要求。

10.1.3 筋材与辅助材料的检验应符合设计要求。

1 检验项目和评率应满足表 10.1.3 的要求。

表 10.1.3 检验项目和评率表

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	☆	△		△	☆	☆	☆	☆			
土工布	△	△				☆	☆	☆		☆	☆
土工格栅 土工格室	△	△	☆			☆			☆	☆	☆
钢丝网片 钢筋网片	△	△	☆			☆			☆	☆	☆
检验频率	1 次/10000m <sup>2</sup>									1 次/批	

注：“☆”为必检项目，“△”为选检项目。数量不足 10000m<sup>2</sup>，以 10000m<sup>2</sup>计；表中“批”，如每批大于 5000m<sup>2</sup>，以 5000m<sup>2</sup>为一批；不足 5000m<sup>2</sup>以 1 批计。

2 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）。

3 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。

10.1.4 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、面板、坡面防护、排水及总体外观等，应按上述的工程项目划分进行工程质量的监控和管理。

10.1.5 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。

10.1.6 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相关规定执行。

## 10.2 质量检测与控制要求

10.2.1 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，并应符合设计要求。挡墙基底与基础底面工程实测项目应满足表 10.2.1 的要求。

表 10.2.1 基底与基础工程实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差值	检测方法 & 频率（小于 20m 时按 20m 计）
1	混凝土强度（MPa）	符合设计要求	按 JTG F80/1 附录 D 要求检查
2	轴线偏位（mm）	≤25	全站仪或经纬仪：每 20m 纵、横各检查 2 点
3	平面尺寸（mm）	±50	尺量：每 20m 长、宽各检查 3 处
4	顶面高程（mm）	±30	水准仪：每 20m 测量 5~8 点
5	基底高程（mm）	土质	水准仪：每 20m 测量 5~8 点
		石质	

10.2.2 挡墙墙背填料实测项目应满足表 10.2.2 的要求。

表 10.2.2 墙背填料实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差值	检测方法 & 频率
1	压实度	符合设计要求	按 JTG F80/1 附录 B 检测，每 50m 每压实层测 1 处，并不少于 1 处
2	反滤层厚度	≥设计厚度	尺量：长度不大于 50m 时测 5 处，每增加 10m 增加 1 处

10.2.3 排水工程实测项目应满足表 10.2.3 的要求。

表 10.2.3 排水工程实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差值	检测方法 & 频率
1	沟底高程（mm）	±50	水准仪：每 200m 测 5 点
2	断面尺寸（mm）	30	尺量：每 200m 测 2 处

10.2.4 绿化工程实测项目应满足表 10.2.4 的要求

表 10.2.4 绿化工程实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差值	检测方法 & 频率
1	基材混合物喷射厚度（mm）	±10	环刀取样或挖样洞，尺量：每 20m 测 3 处
2	插枝苗木规格与数量	满足设计要求	尺量：抽测 10%

10.2.5 加筋筋材质量检测与控制应符合下列规定：

1 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。

2 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。

3 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。

4 筋材实测项目应符合表 10.2.5 的规定。

表 10.2.5 筋材实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	筋材长度	不小于设计长度	尺量:每 20m 检查 5 处
2	筋材与墙面连接	符合设计要求	目测:全部
3	筋材固定与连接	符合设计要求	尺量:每 200m 测 2 处, 目测全部
4	筋材铺设	符合设计要求	尺量:每 200m 测 2 处, 目测全部
5	筋材层间距	符合设计要求	尺量:每 200m 测 2 处, 目测全部
6	反包长度	符合设计要求	尺量:每 200m 测 2 处;
7	钢筋(丝)防腐处理	符合设计要求	每 20m 检查 5 处

10.2.6 预制块加筋土挡墙预制块检测与控制应符合下列规定:

- 1 预制块的质量、规格和数量应满足设计要求。
- 2 地基承载力应满足设计要求。
- 3 排水设施应满足设计要求。
- 4 预制块预制实测项目应符合表 10.2.6-1 的规定。

表 10.2.6-1 预制块预制实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)	符合设计要求	按 JTGF80/1 附录 D 要求检查
2	预制块尺寸 (mm)	±5	尺量, 抽查 10%
3	预制块厚度 (mm)	+5, -3	尺量, 抽查 10%
4	表面平整度 (mm)	≤5	尺量, 抽查 10%

5 预制块安装实测项目应符合表 10.2.6-2 的规定。

表 10.2.6-2 预制块安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	预制块高程 (mm)	±10	水准仪: 长度不大于 30m 时测 5 点, 每增加 10m, 增加 1 点
2	墙顶平面位置	±10	全站仪: 长度不大于 30m 时测 5 点, 每增加 10m 增加 1 点

3	墙面倾角 (%)	-0.5° , +3°	坡度仪: 每 20m 测量 1 处
注: 挡土墙平面位置及墙面倾角“+”为外,“-”为内。			

6 预制块加筋土挡墙的外观应符合下列要求:

- (1) 墙面平整, 无破损、外凸等严重缺陷。
- (2) 排水设施齐全, 沟底平顺、无积水, 无冲蚀。
- (3) 墙面绿化覆盖均匀、饱满, 不得有连续空秃, 植被无明显病虫害现象。
- (4) 挡土墙应与其他相邻构筑物衔接平顺。

10.2.7 石笼质量检测与控制应符合下列规定:

- 1 石笼网箱的质量、规格和数量应满足设计要求。
- 2 填充石料规格和填充度应满足设计要求。
- 3 反滤土工布质量和规格应满足设计要求。
- 4 墙面平整, 无破损、外凸等严重缺陷。
- 5 地基承载力应满足设计要求。
- 6 排水设施应满足设计要求。
- 7 石笼加筋土挡墙的实测项目应符合表 10.2.7-1~表 10.2.7-4 的规定。

表 10.2.7-1 石笼网箱实测项目

项次	检测项目		规定或允许偏差值	检测方法及时度
1	长度、宽度、高度		±5%	尺量: 抽查 10%, 每套各方向测 1 次
2	网孔尺寸		满足设计要求	尺量: 抽查 10%
3	钢丝直径		满足设计要求	尺量: 抽查 10%
4	绞合连接	绑扎钢丝, 单双圈间距(cm)	10~15	尺量和目测: 每 20m 检查 2 处, 用手用力拽, 不会滑动
		C 形钉, 间距(cm)	≤20	

表 10.2.7-2 石料要求及实测项目

项次	检测项目	规定或允许偏差值	检测方法及时度
1	石料强度(MPa)	符合设计要求	按 JTGE41—2005 中 T0221 检查
2	石料粒径(mm)	100~300	尺量: 每 20m <sup>3</sup> 检查 2 处
3	填充密实度	≥70%	目测或密度测试, 每 20m 检查 2 处

表 10.2.7-3 石笼墙面实测项目

项次	检测项目	规定或允许偏差值	检测方法及时度
1	表面平整度(mm)	±50	2m 直尺: 每 20m 检查 3 处, 每处检查竖直和墙长两个方向

2	石笼顶面 高程(mm)	±50	水准仪：每 20m 测 3 点
3	绞合连接 (mm)	绑扎钢丝，单双圈间距 100~150；C 形钉，间距不大于 200	尺量或目测：每 20m 检查 2 处， 用手用力拽，不会滑动

表 10.2.7-4 石笼加筋土挡墙总体实测项目

项次	检测项目	规定或允许偏差值	检测方法及时度
1	墙顶平面位置(mm)	±50	全站仪：长度不大于 30m 时测 5 点， 每增加 10m 增加 1 点
2	墙顶高程(mm)	±50	水准仪：每 20m 检查 3 处
3	表面平整度(mm)	±50	2m 直尺：每 20m 检查 3 处，每处检 查竖直和墙长两个方向

8 石笼加筋土挡墙的外观应符合下列要求：

- (1) 石笼网面不应有断丝、破损、锈蚀(钢丝切断面除外)。
- (2) 石笼挡墙外露面石块应砌筑平整。
- (3) 排水设施齐全，沟底平顺、排水畅通，无冲蚀。
- (4) 墙面绿化覆盖均匀、饱满，不得有连续空秃，植被无明显病虫害现象。
- (5) 挡土墙应与其他相邻构筑物衔接平顺。

10.2.8 生态袋质量检测与控制应符合下列规定：

- 1 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。
- 2 地基承载力应满足设计要求。
- 3 排水设施应满足设计要求。
- 4 墙面绿化应满足设计要求。
- 5 生态袋加筋挡土墙实测项目如表 10.2.8 所示：

表 10.2.8 生态袋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
1	墙顶 高程	路堤式 (mm)	±50	水准仪：每 20m 测 3 点
		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
		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

4	墙面倾角	-0.5°, +3°	坡度仪：每 20m 测量 1 处
5	植物覆盖率	≥95%	目测：每 20m 检查 3 处
注：挡土墙平面位置及墙面倾角“+”为外，“-”为内。			

6 生态袋加筋土挡墙的外观应符合下列要求：

- (1) 墙面直顺、线形顺适，不得亏坡，曲线圆滑。
- (2) 排水设施齐全，沟底平顺、排水畅通，无冲蚀。
- (3) 墙面绿化覆盖均匀、饱满，不得有连续空秃，植被无明显病虫害现象。
- (4) 挡土墙应与其他相邻构筑物衔接平顺。

10.2.9 土工格室质量检测与控制应符合本规程第 10.2.8 条的有关规定。

10.2.10 钢丝（筋）网墙质量检测与控制应符合本规程第 10.2.8 条的有关规定。

### 10.3 施工监测

10.3.1 挡墙地基沉降监测应符合下列规定：

- 1 对土质地基上的挡墙应进行地基沉降监测，确保地基沉降满足设计要求。
- 2 沉降监测点宜布置在混凝土基础和墙顶。
- 3 沉降监测点布置间距宜按不超过 100m 控制。
- 4 观测频率：施工期宜每铺一层筋带观测 1 次，挡墙施工完后 3 个月内每月观测 1 次，3 个月后每季度观测 1 次直至交工验收。

10.3.2 墙面变形监测应符合下列规定：

- 1 确保墙面平整，无破损、外凸等严重缺陷，如施工期间墙面变形不满足设计要求，及时采取相应措施。
- 2 施工期宜 20m 布置 1 个变形监测断面。
- 3 变形监测断面上测点间距宜控制在 2~3 层筋带高度。
- 4 施工期宜每铺 2~3 层筋带观测 1 次，挡墙施工完后 3 个月内每月观测 1 次，3 个月后每季度观测 1 次直至交工验收。

附录 A:

附录 A 常用土工材料的主要技术指标

表 A-1 单向拉伸 HDPE 塑料土工格栅的性能指标

项目		规格					
		50	80	120	160	180	200
内孔尺寸 mm		网孔长 $\leq$ 320, 12 $\leq$ 网孔宽 $\leq$ 30					
纵向标称抗拉强度	kN/m	$\geq$ 50	$\geq$ 80	$\geq$ 120	$\geq$ 160	$\geq$ 180	$\geq$ 200
纵向 2%伸长率时的拉伸强度	kN/m	$\geq$ 12	$\geq$ 21	$\geq$ 33	$\geq$ 47	$\geq$ 52	$\geq$ 57
纵向 5%伸长率时的拉伸强度	kN/m	$\geq$ 23	$\geq$ 40	$\geq$ 65	$\geq$ 93	$\geq$ 103	$\geq$ 113
纵向标称延伸率 %		$\leq$ 11.5					

表 A-2 单向焊接聚酯土工格栅的性能指标

项目		规格			
		50-20	80-20	120-20	160-20
内孔尺寸/mm		80 $\leq$ 网孔长 $\leq$ 130, 30 $\leq$ 网孔宽 $\leq$ 60			
纵向标称抗拉强度/(kN/m)		$\geq$ 50	$\geq$ 80	$\geq$ 120	$\geq$ 160
纵向 2%伸长率时的拉伸强度/(kN/m)		$\geq$ 17	$\geq$ 28	$\geq$ 42	$\geq$ 56
纵向 5%伸长率时的拉伸强度/(kN/m)		$\geq$ 30	$\geq$ 48	$\geq$ 72	$\geq$ 96
纵向标称延伸率 (%)		$\leq$ 8.0			
连接点极限分离力 (N)		$\geq$ 100			

表 A-3 单向焊接纤塑土工格栅的性能指标

项目		规格					
		100	150	200	300	400	500
网孔尺寸 (内孔) (mm)		200 $\leq$ 网孔长 $\leq$ 950, 40 $\leq$ 网孔宽 $\leq$ 140					
纵向标称抗拉强度 (kN/m)		$\geq$ 100	$\geq$ 150	$\geq$ 200	$\geq$ 300	$\geq$ 400	$\geq$ 500
聚酯纤维纵向 2%伸长率时的拉伸强度 (kN/m)		$\geq$ 20	$\geq$ 30	$\geq$ 40	$\geq$ 60	$\geq$ 80	$\geq$ 100
聚酯纤维纵向 5%伸长率时的拉伸强度 (kN/m)		$\geq$ 53	$\geq$ 79	$\geq$ 106	$\geq$ 159	$\geq$ 212	$\geq$ 265
纵向标称强度下延伸率 (%)		$\leq$ 9.5					

表 A-4 单向焊接钢塑土工格栅的性能指标

项目		规格					
		50-50	60-60	80-80	100-100	120-120	150-150
网孔尺寸 (内孔) mm		网孔长 $\leq$ 180, 40 $\leq$ 网孔宽 $\leq$ 180					
纵横向极限抗拉强度	kN/m	$\geq$ 50	$\geq$ 60	$\geq$ 80	$\geq$ 100	$\geq$ 120	$\geq$ 150
极限抗拉强度下的延伸率 %		$\leq$ 3					
连接点极限分离力 N		$\geq$ 300					

表 A-5 单向焊接钢塑土工格栅的性能指标

项目	规格						
	50-30	60-30	80-30	100-50	120-50	180-50	200-50
网孔尺寸 (内孔) (mm)	网孔长 $\leq$ 180, 网孔宽 $\leq$ 180						
纵向标称抗拉强度 (kN/m)	$\geq$ 50	$\geq$ 60	$\geq$ 80	$\geq$ 100	$\geq$ 120	$\geq$ 180	$\geq$ 200
横向标称抗拉强度 (kN/m)	$\geq$ 30	$\geq$ 30	$\geq$ 30	$\geq$ 50	$\geq$ 50	$\geq$ 50	$\geq$ 50
纵横向标称伸长率 (%)	$\leq$ 3						
连接点极限分离力 (N)	$\geq$ 300						

表 A-6 钢塑土工加筋带物理力学性能表

项目		规格						
		30015A	30015B	30020A	30020B	30020C	50022	60022
单根条带截面尺寸	宽度 (mm)	30	30	30	30	30	50	60
	厚度 (mm)	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2
单根断裂拉力 kN		$\geq$ 5.0	$\geq$ 6.0	$\geq$ 7.0	$\geq$ 9.0	$\geq$ 12.0	$\geq$ 22.0	$\geq$ 30.0
断裂强度标准值 Mpa		110	130	115	150	200	200	225
断裂延伸率%		$\leq$ 3						

表 A-7 未经拉伸钢丝网片主要技术指标表

网面抗拉强度 (KN/m)	网孔尺寸 (mm $\times$ mm)	直径 (内径/外径) (mm)	抗拉强度 (kN/m)	延伸率 (%)	钢丝网面的钢丝延伸率 (%)	最小镀锌量 (g/m <sup>2</sup> )
$\geq$ 35	80 $\times$ 100	$\phi$ 2.2/ $\phi$ 3.2	350~550	$\leq$ 9	$\leq$ 7	$\geq$ 230
$\geq$ 50	80 $\times$ 100	$\phi$ 2.7/ $\phi$ 3.7	350~550	$\leq$ 9	$\leq$ 7	$\geq$ 245

表 A-8 钢丝网有机涂层主要性能表

项目	技术要求
厚度	$\geq$ 0.5 mm
力学性能	对网面试件加载拉伸强度的 50%时, 双绞合区域有机涂层不开裂
抗 UV 性能	有机涂层原材料经过氙弧灯 (GB/T 16422.2) 照射 4000 小时或 I 型荧光紫外灯按暴露方式 1 (GB/T 16422.3) 照射 2500 小时后, 其延伸率和抗拉强度变化范围, 不得大于初始值的 25%。

表 A-9 定角注塑型土工格室主要性能表

项目	技术要求
高度	10cm~20cm
网孔尺寸	宜为 30cm $\times$ 30cm~60cm $\times$ 60cm
抗 UV 性能	抗紫外线强度保持率 $\geq$ 80%, 炭黑含量 $\geq$ 2.0%。
力学性能	节点及条带的抗拉强度 $\geq$ 200N/mm, 延伸率 $\leq$ 10%

表 A-10 聚酯长丝机织土工织物性能指标

序号	项目	规格						
		50	80	100	160	180	200	250

1	纵向断裂强度 (kN/m)	≥50	≥80	≥100	≥160	≥180	≥200	≥250	≥300
2	横向断裂强度 (kN/m)	按设计要求, 无特殊要求时, 则不小于纵向断裂强度的 0.7 倍							
3	断裂伸长率 (%)	≤11.5							
4	CBR 顶破强力 (kN)	≥4.0	≥8.0	≥10.5	≥18.0	≥20.5	≥23.0	≥28.0	≥33.0
5	纵横向撕破强力 (kN)	≥0.7	≥1.2	≥1.4	≥1.9	≥2.1	≥2.3	≥2.7	≥3.1

表A-11 常用生态袋技术指标

序号	项目	单位	测试方法	技术指标
1	单位面积质量	g/m <sup>2</sup>	GB/T 13762	150±5%
2	厚度	mm	GB/T 13761	≥1.3
3	断裂强度	纵向	GB/T 15788	≥10
		横向		
4	断裂伸长率	纵向	GB/T 15788	40-80
		横向		
5	CBR 顶破强力	KN	GB/T 14800	≥1.6
6	撕裂强力	纵向	GB/T 13763	≥380
		横向		
7	垂直渗透系数	cm/s	GB/T 15789	≥0.25
8	等效孔径 090	mm	GB/T 17634	0.15-0.25
9	抗酸碱强度保持率	纵向	GB/T 17632	≥90
		横向		
10	抗紫外线强度保持率	纵向	GB/T 16422	≥85
		横向		

## 附录 B:

### 附录 B 土工格室加筋土破坏轴向应变计算方法

土工格室中填料破坏时，格室加筋土破坏轴向应变由下式确定：

$$\sin\varphi = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + 2\left(\sigma_c + \frac{\sigma_g}{2} + ccot\varphi\right)(a + b\varepsilon_1)} \quad \#(1)$$

$$\sigma_g = \frac{2M_s}{D_0} \left[ \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{1 - \varepsilon_1} \right] \quad \#(2)$$

$a$  和  $b$  分别由以下两式确定：

$$a = \frac{1}{kp_a \left( \frac{\sigma_c + \frac{\sigma_g}{2}}{p_a} \right)^n} \quad \#(3)$$

$$b = \frac{R_f(1 - \sin\varphi)}{2\left(\sigma_c + \frac{\sigma_g}{2}\right)\sin\varphi + 2ccos\varphi} \quad \#(4)$$

(1) ~ (4) 式中  $\sigma_c$  为加筋土的围压。(3) 式和 (4) 式中  $c$  和  $\varphi$  为填料的粘聚力和峰值内摩擦角，可采用直剪试验或常规三轴压缩试验确定。如果考虑砂砾填料的峰值强度随围压逐渐减小这一强度非线性的力学特性， $\varphi$  可由下式确定：

$$\varphi = \varphi_0 - \Delta\varphi \log \left( \frac{\sigma_c + \frac{\sigma_g}{2}}{p_a} \right) \quad \#(5)$$

(3) 式和 (4) 式中  $k$ 、 $n$  和  $R_f$  为邓肯张模型非线性弹性常数，由 3 组常规三轴试验确定，相应的测定方法按照《土工试验规程》(SL 237-1999) 进行。(3) 式中  $p_a=101.4\text{kPa}$ 。

由于 (1) 式中同时含有  $\varepsilon_1$  和  $\sigma_g$  两个未知数，需迭代求解。计算时可先令  $\varepsilon_1 = 0.05$ ，代入 7.3.2 节 (7.3.2-4) 式可求得  $\sigma_c$ ，并确定割线模量  $M_s$ ，代入 (2) 式求得格室的约束围压  $\sigma_g$ ，将求得的  $\sigma_g$  代入 (1) ~ (5) 可求解  $\varepsilon_1$ ，如此反复迭代求解，直至前后两次的  $\varepsilon_1$  相差小于 0.01 为止，求出加筋土破坏的轴向应变  $\varepsilon_1$ 。

将求得的  $\varepsilon_1$  代入 7.3.2 节 (7.3.2-2) 式可以求得加筋土的表现粘聚力  $c_r$ 。

## 附录 C:

### 附录 C 土工格室条带拉伸试验方法

#### C.1 仪器设备

C.1.1 试验机：应达到一级试验机要求，拉伸速率可以设定，具有等速拉伸功能，并能测读拉伸过程中的拉力和伸长量，记录拉力—伸长曲线，量程使用范围为 10%~90%。

C.1.2 夹具：宜使用压缩式夹具，夹持面平行，钳口应有足够的约束力，避免试样滑移和损伤。

C.1.3 引伸计：应采用精度为 $\pm 2\%$ 的引伸计。

#### C.2 试样制备

C.2.1 试验的样品在格室条带上沿长度方向裁取，每组样品数量应不少于 5 个。

C.2.2 试样型式应符合下列要求

- (1) PE材质的格室采用GB/T 1040.3中规定的5型试样。
- (2) PP和PET材质的格室采用产品条带的实际宽度，但应避免条带宽度大于夹具宽度。
- (3) 若试样在夹具内出现滑移情况，则从条带长度方向中心轴向两边对称裁取样品，宽度取50mm，试样的长度应满足夹钳隔距100mm。

C.2.3 针对切刀和剪刀裁剪可能对试样造成影响的材料，可使用热切或者其他技术进行裁剪，并在报告中注明。

C.2.4 试样应置于温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中进行状态调节不小于 4h，并在该环境下进行试验。

#### C.3 试验步骤

C.3.1 试验应按 GB/T1040.1—2018 中第 9 章的规定进行，拉伸速率为 $50\text{mm}/\text{min}\pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。

C.3.2 记录试验中的屈服/断裂拉力，应精确至 1N。记录屈服/断裂拉力下的伸长量，应精确至 0.1mm。

#### C.4 结果计算

C.4.1 条带单位宽度屈服/断裂拉力应按式 (C.4.1) 计算，试验结果取 5 个试

---

样的平均值，修约到整数位。

$$\alpha = \frac{F}{H} \quad (\text{C. 4. 1})$$

式中：

$\alpha$ ——单位宽度屈服/断裂拉力，单位为牛每米（N/m）；

$F$ ——屈服/断裂拉力，单位为牛（N），屈服力取出现应力不增加而应变增加的最初力值；

$H$ ——试样宽度，单位为（m）。

C.4.2 条带的屈服/断裂伸长率按式（C.4.2）计算，试验结果取 5 个试样的算术平均值，修约到整数位。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (\text{C. 4. 2})$$

式中：

$\varepsilon$ ——屈服/断裂伸长率（%）；

$\Delta L$ ——拉伸至屈服力或断裂力对应的标距增量，单位为（mm）；

$L_0$ ——试样标距，单位为毫米（mm）。

## 附录 D:

### 附录 D 土工格室节点强度（含剥离强度、剪切强度和对拉强度）的测定

#### D.1 仪器设备

D.1.1 试验机：应达到一级试验机要求，拉伸速率可以设定，具有等速拉伸功能，并能测读拉伸过程中的拉力和伸长量，记录拉力——伸长曲线，量程使用范围为 10%~90%。

D.1.2 夹具：宜使用压缩式夹具，夹持面平行，钳口应有足够的约束力，避免试样滑移和损伤。

#### D.2 试样

D.2.1 以节点为中心分别向两侧各截取 150mm 作为试样（宽度为格室高度），每组试样数量不应少于 5 个。

D.2.2 试样应置于温度为  $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  的环境中进行状态调节不小于 4h，并在该环境条件下进行试验。

#### D.3 试验步骤

D.3.1 采用精度不低于 0.1mm 的游标卡尺量取节点中心处条带宽度（Hj），结果精确至 0.1mm。

D.3.2 节点对拉强度测试：将试样 A 端和 B 端、C 端和 D 端分别并在一起，夹入上、下夹具。试样节点应处于上、下夹具的中间位置，如图（D.3.2（a））所示。设定试验机拉伸速率为  $50\text{mm}/\text{min}\pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。

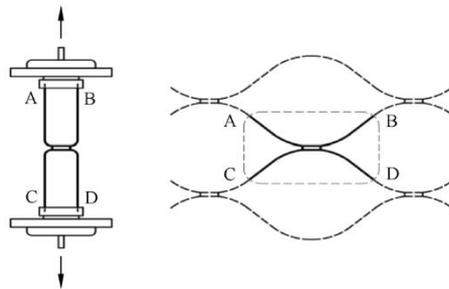


图 D.3.2（a）节点对拉强度测定示意图

标引序号说明：

A——试样A端；B——试样B端；C——试样C端；D——试样D端。

D.3.3 节点剪切强度测试：将试样A端、D端分别夹入上、下夹具，试样节点应处于

上、下夹具的中间位置，如图（D.3.2（b））所示。设定试验机拉伸速率为50mm/min±5mm/min。

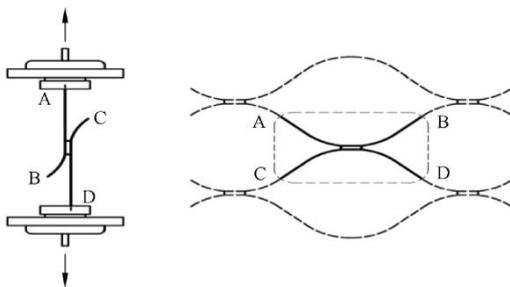


图 D.3.2（b）节点剪切强度测定示意图

标引序号说明：

A——试样A端；B——试样B端；C——试样C端；D——试样D端。

D.3.4 节点剥离强度测试：将试样 A 端、C 端分别夹入上、下夹具，试样节点应处于上、下夹具的中间位置，如图（D.3.2（c））所示。设定试验机拉伸速率为 50mm/min±5mm/min。

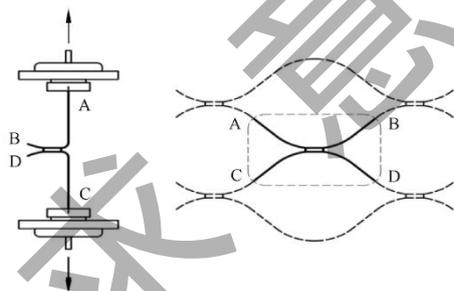


图 D.3.2（c）节点剥离强度测定示意图

标引序号说明：

A——试样A端；B——试样B端；C——试样C端；D——试样D端。

D.3.5 启动试验机，试验中应保持试样受力均匀。

D.3.6 试验进行到试样完全断开为止，记录试验中的最大拉力，精确至 1N。

#### D.4结果计算

D.4.1 土工格室节点对拉强度按式（D.4.1）计算，试验结果应取 5 个试样的算术平均值，修约到整数位。

$$F_T = \frac{f_T}{H_j} \quad (D.4.1)$$

式中：

$F_T$ ——对拉强度，单位为牛每米（N/m）；

$f_T$ ——最大拉力，单位为牛（N）；

---

$H_j$ ——节点处条带宽度，单位为米（m）。

D.4.2 土工格室节点剪切强度按式（D.4.2）计算，试验结果应取 5 个试样的算术平均值，修约到整数位。

$$F_s = \frac{f_s}{H_j} \quad (\text{D. 4. 2})$$

式中：

$F_s$ ——剪切强度，单位为牛每米（N/m）；

$f_s$ ——最大拉力，单位为牛（N）；

$H_j$ ——节点处条带宽度，单位为米（m）。

D.4.3 土工格室节点剥离强度按式（D.4.3）计算，试验结果应取 5 个试样的算术平均值，修约到整数位。

$$F_p = \frac{f_p}{H_j} \quad (\text{D. 4. 3})$$

式中：

$F_p$ ——剥离强度，单位为牛每米（N/m）；

$f_p$ ——最大拉力，单位为牛（N）；

$H_j$ ——节点处条带宽度，单位为米（m）。

附录 E:

附录 E 不同使用环境下不同镀层钢丝参考使用年限

现场环境等级	现场环境 环境条件	有机涂层	金属镀层	参考使用年限 (年) <sup>a</sup>
中等侵蚀 (C1) 干燥环境	1 温带; 2 中度污染或受到一些氯化物影响的大气环境区域; 如: 污染较少的城区; 3 氯化物低沉积的沿海地区; 典型区域: 温带的城区, 大气污染低的地区。	-	Zn	10
		-	Zn-5%Al	25
		-	Zn-10%Al	>50
		聚氯乙烯(PVC)	Zn-5%Al	>120
		聚酰胺(PA6)		
		高耐磨有机涂层	Zn-10%Al	>120
		聚氯乙烯(PVC)		
		聚酰胺(PA6)		
高耐磨有机涂层				
高侵蚀 (C2) 潮湿环境	1 温带; 2 高污染或大气环境受到氯化物影响较严重的地区; 3 大气中度污染的工业区、沿海地区以及沿海岸线的防护地区; 典型区域: 温带的污染较重的城区、工业区、沿海地区。	-	Zn -5%Al	10
		-	Zn -10%Al	25
		聚氯乙烯(PVC)	Zn-5%Al	120
		聚酰胺(PA6)		
		高耐磨有机涂层	Zn-10%Al	>120
		聚氯乙烯(PVC)		
		聚酰胺(PA6)		
		高耐磨有机涂层		
极高侵蚀 (C3) 潮湿环境	1 温带及亚热带地区; 2 极高污染及(或)氯化物严重影响的大气环境区域; 典型区域: 温带及亚热带污染重的工业区、沿海地区以及沿海岸线的防护地区。	聚氯乙烯(PVC)	Zn-5%Al	120
		聚酰胺(PA6)		
		高耐磨有机涂层		
		聚氯乙烯(PVC)	Zn-10%Al	>120
		聚酰胺(PA6)		
		高耐磨有机涂层		
极端侵蚀 (C4)	1 亚热带及热带区域; 2 SO <sub>2</sub> (大于 250 μg/m <sup>3</sup> ) 及其衍生物极高污染和(或)氯化物强烈影响的大气环境; 典型区域: 亚热带及热带污染严重的工业区、沿海和近海地区。	聚氯乙烯(PVC)	Zn-10%Al	>120
		聚酰胺(PA6)		
		高耐磨有机涂层		

---

注：表中产品参考使用年限仅供参考，实际使用年限受众多不可控因素影响，如设计、施工、环境、使用和维修等，因此供货商并不能保证产品的实际使用年限在对应的环境下一定能达到参考使用年限。

征求意见

## 附录 F 钢丝刮磨测试

### 1 试验目的与适用范围

本试验用于测定钢丝聚合物涂层的耐磨性能。

### 2 试验设备

刮磨试验装置如图 F.2 所示。

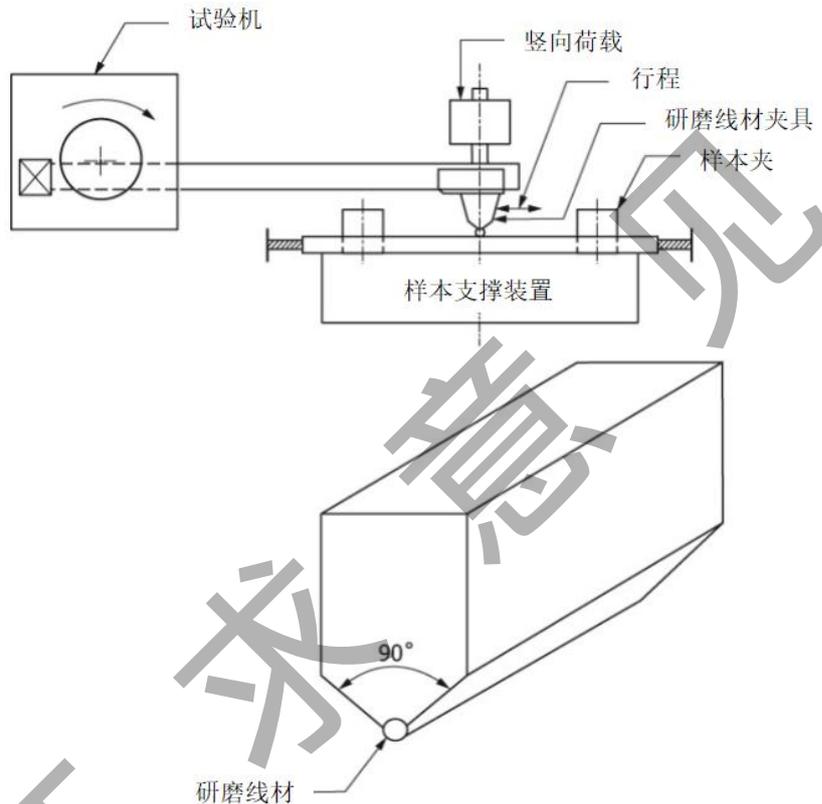


图 F.2 刮磨试验装置

### 3 试样制备

本试验所使用的聚合物涂层钢丝试样应从生产批量中随机抽取。

### 4 试验程序

- 1) 在固定之前,在试样两端应剥去一小段聚合物涂层。总竖向荷载为  $2400\text{g} \pm 50\text{g}$  (5.3 磅  $\pm$  0.1 磅), 研磨线材直径为  $0.5\text{mm} \pm 0.05$  毫米 (0.02 英寸  $\pm$  0.002 英寸);
- 2) 在  $12.7\text{ mm}$  (0.5 in.) 的冲程长度下,以每分钟  $55 \pm 5$  个循环的速度对试样进行磨损。当聚合物涂层磨损至金属钢丝时,测试应自动停止,记录循环次数;
- 3) 每个样品总共要进行四次试验。后续每次测试,将试样移动  $25\text{mm}$  并旋转  $90^\circ$ 。每次测试前应更换磨损钢丝。

---

## 5 试验结果的评定

最终结果应以 4 次试验的平均值计算。

征求意见

## 附录 G:

### 附录 G 土工格室加筋土挡墙通用条分法计算软件

采用通用条分法及折线滑动面求解土工格室挡墙安全系数，搜索折线临界滑动面及其对应的最小安全系数，可在理正边坡，Geoslope 及 Zslope 等边坡稳定分析软件中进行。

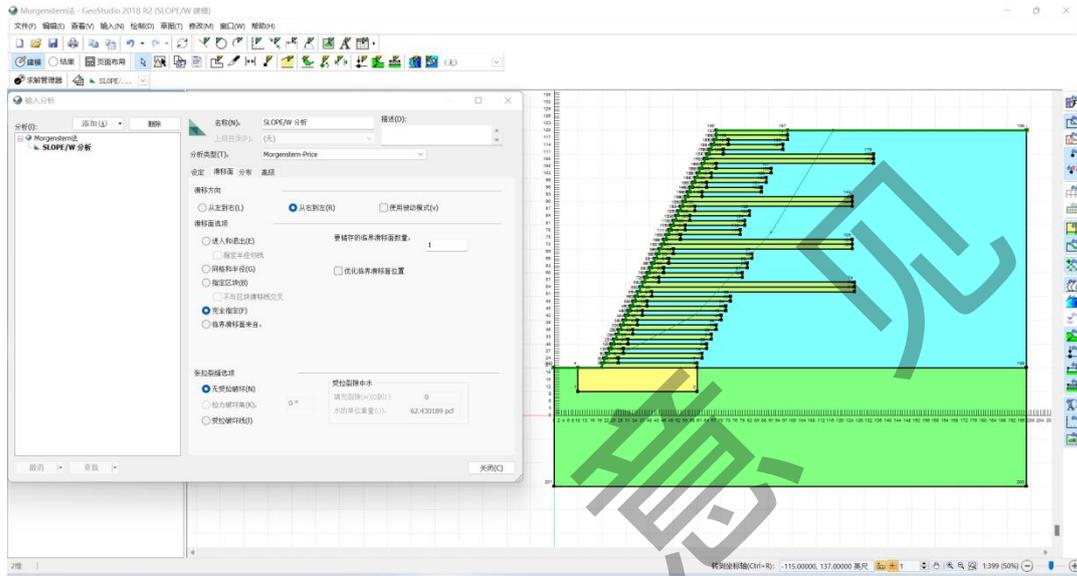


图 G.1 Geoslope 软件求解土工格室挡墙临界滑动面及安全系数

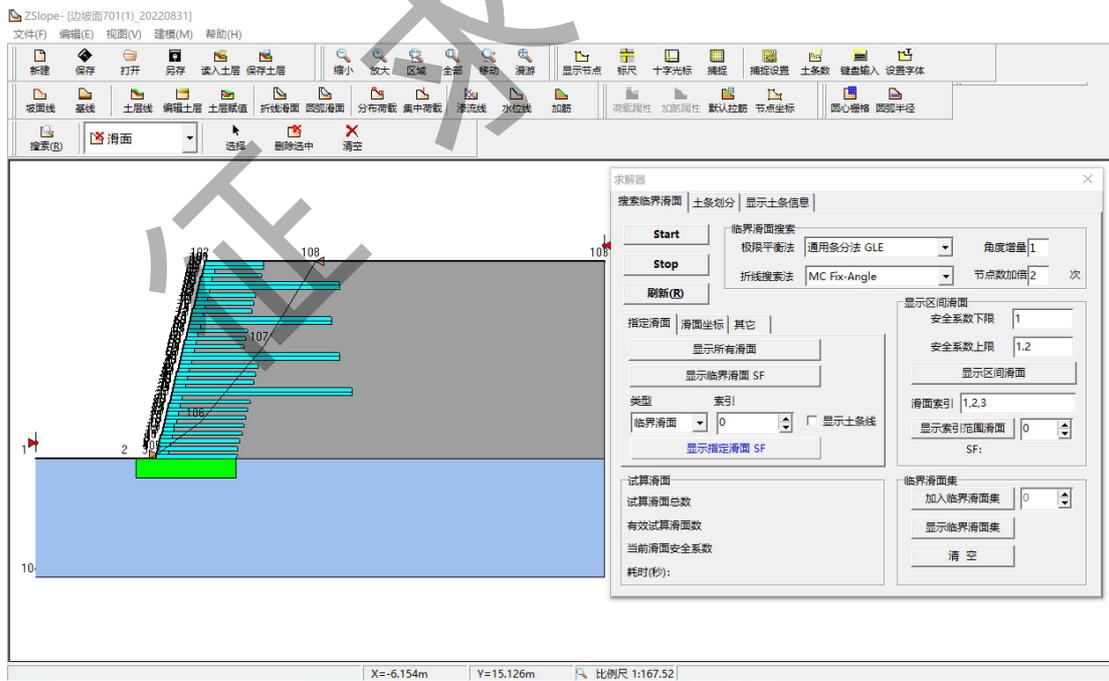


图 G.2 Zslope 软件求解土工格室挡墙临界滑动面及安全系数

## 附录 H:

### 算例 H.1 土工格栅反包生态袋加筋土挡墙算例

#### 1.设计概况

某路堑边坡挡墙，采用土工格栅反包土工生态袋的方法进行支护，加筋土挡墙高 5.0m，坡率 1: 0.25，筋材铺设间距为 0.5m，设计断面如图 1 所示。墙后填土重  $20\text{kN/m}^3$ ，内摩擦角  $15^\circ$ ，粘聚力  $20\text{kPa}$ ，墙背与竖直线夹角为  $26.6^\circ$ ，填土表面坡角为  $0^\circ$ ，加筋墙背与墙后土体内摩擦角为  $15^\circ$ ，筋材容许拉应力为  $50\text{kN/m}$ 。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。在墙顶考虑  $q=50\text{kN/m}$  的堆载影响。取荷载分项系数  $\gamma_G=1.2$ ， $\gamma_{Q1}=1.4$ ， $\gamma_{Q2}=0$ ，取地基承载力特征值提高系数  $k=1.0$ 。

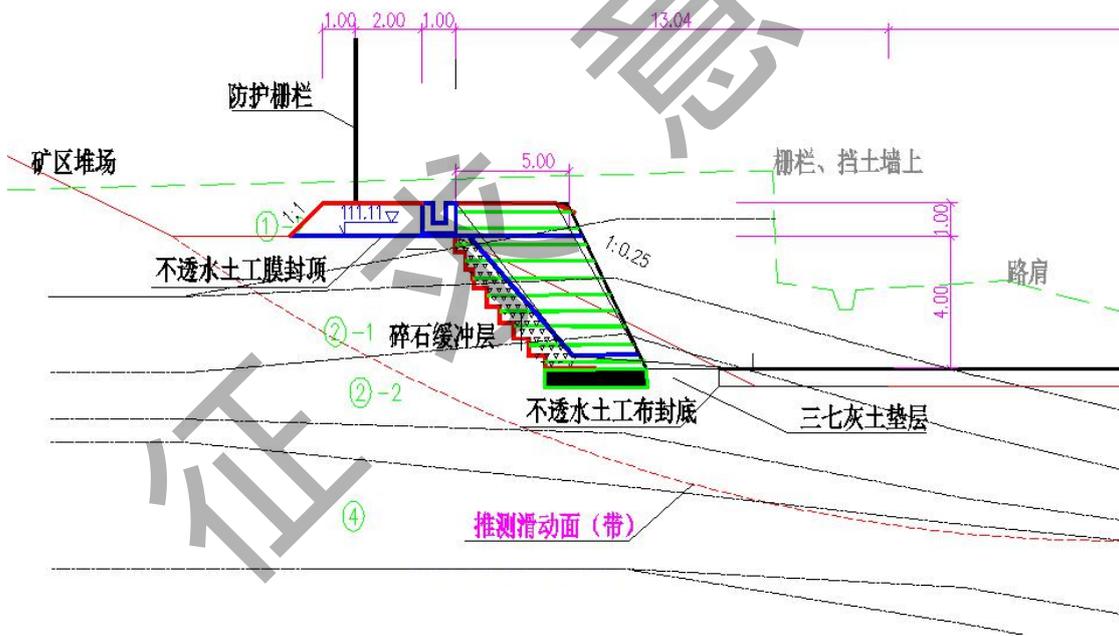


图 1 设计断面图

#### 2.内部稳定性验算

a) 永久荷载作用下筋材所在位置处竖向压力应按下式计算:

$$\sigma_i = \gamma(z_i + h_i) \quad (1)$$

式中:

$\sigma_i$  为永久荷载作用下，加筋体内深度  $z_i$  处的竖向压应力；

$\gamma$ 为加筋体填土的重度，本算例为  $20\text{kN/m}^3$ ；

$z_i$ 为第  $i$  层筋材至加筋体顶面的垂直距离；

$h_i$ 为加筋体上坡面填土换算等代均布土层厚度，本算例换算结果为  $2.5\text{m}$ 。

按照式（1）计算每层筋材所受到的竖向压力，整理结果如表 1 所示。

表 1 筋材内部稳定性计算表

筋带序号	面墙后竖向压应力 /kPa	面墙后水平压应力 /kPa	筋材锚固长度/m	筋材受到的拉力 $\gamma_0 T_{i0}$ /kN	筋材抗拔力 $\frac{T_{pi}}{\gamma_R}$ /kN	抗拉安全系数
10	55	40.4	2.8	30.7	105	3.42
9	65	46.9	2.8	36.1	125	3.46
8	75	53.2	2.8	38.8	145	3.73
7	85	59.2	2.8	42.2	165	3.91
6	95	64.9	3.2	45.3	185	4.08
5	105	70.5	3.5	48.2	205	4.25
4	115	75.7	3.9	51.3	235	4.58
3	125	80.7	4.3	54.4	280	5.15
2	135	85.5	4.7	58.3	310	5.32
1	145	90.0	5	61.7	360	5.83

b) 面墙后的土压力系数应按下列式计算：

$$K_i = K_j \left(1 - \frac{z_i}{6}\right) + K_a \frac{z_i}{6} \quad (2)$$

式中：

$K_i$ 为加筋体内深度  $z_i$ 处土压力系数；

$K_j$ 为静止土压力系数， $K_j = 1 - \sin \varphi$ ，即 0.741；

$K_a$ 为主动土压力系数， $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ ，即 0.589；

按照式（2）计算不同筋材所在深度处，面墙后的土压力系数。

c) 面墙后的水平土压力应按下列式计算：

$$\sigma_{Ei} = K_i(\sigma_i + \sigma_{fi}) \quad (3)$$

式中：

$\sigma_{Ei}$ -加筋体内深度  $z_i$ 处作用于面墙上的水平土压应力；

$\sigma_{fi}$ -堆载荷载作用下，加筋体内深度  $z_i$ 处的竖向压应力。

结合式（2）所求土压力系数，计算不同深度处面墙水平土压力，整理结果如表 1 所示。

d) 按下式计算第  $i$  层筋材受到的拉拔力和抗拔力，以验算筋材抗拔稳定性。

取结构重要性系数 $\gamma_0=1.05$ ，筋材抗拔力计算调节系数 $\gamma_R=1.4$ 。

$$\gamma_0 T_{i0} \leq \frac{T_{pi}}{\gamma_{R1}} \quad (4)$$

$$T_{i0} = \gamma_{Q1} T_i \quad (5)$$

$$T_{pi} = 2 f_{GS} \sigma_i L_{ai} \quad (6)$$

$$T_i = \sigma_{Ei} d \quad (7)$$

式中：

$\gamma_0$ 为结构重要性系数；

$T_{i0}$ 为 $z_i$ 层深度处的筋材所承受的水平拉力设计值，即50kN/m；

$T_{pi}$ 为永久荷载重力作用下 $z_i$ 层深度处，筋材有效长度所提供的抗拔力；

$\gamma_R$ 为筋材抗拔力计算调节系数；

$T_i$ 为 $z_i$ 层深度处的筋材所承受的水平拉力；

$\gamma_{Q1}$ 为加筋体及墙顶填土主动土压力或附加荷载土压力的分项系数，本次计算取为1.4；

$f_{GS}$ 为筋土界面阻力系数，本次计算取为0.4；

$L_{ai}$ 为筋材在稳定区的有效锚固长度，通过加筋体潜在破裂面位置确定，潜在破裂面以0.3H法确定；

$d$ 为相邻两层筋材的竖向间距，为0.5m。

先根据式(6)、(7)计算不同深度处格栅的抗拔力以及承受的拉力，整理结果如表1所示，其计算结果均满足式(4)的要求。

e) 筋材抗拉性能分项系数 $\gamma_f=1.25$ ，筋材抗拉计算调节系数 $\gamma_{R2}=1.55$ ，按下式验算第 $i$ 层筋材的抗拉强度稳定性。

$$\gamma_0 T_{i0} \leq \frac{T_k}{\gamma_f \gamma_{R2}} \quad (8)$$

式中 $T_k$ 为筋材强度标准值。

通过计算获得加筋体内部筋材各项计算结果如下表所示，内部筋材抗拉安全系数最小值为3.42>2.0，满足安全设计要求。

### 3. 外部稳定性验算

外部稳定性验算主要包括基底滑移、抗倾覆性检算、基底应力检算、整体滑动验算。编列加筋土挡墙外部稳定性验算应符合的具体要求。

### (1) 加筋土挡墙墙背土压力计算

加筋土挡墙顶部土体重力以及荷载作用换算为等代均布土层厚度计算, 根据库仑土压力理论, 作用在挡土墙墙背的主动土压力可以由式 (9) 计算。

$$P_s = 0.5K_a\gamma'(H+h)^2 \quad (9)$$

$K_a$  为验算外部稳定性时的主动土压力系数, 由式 (10) 计算

$$K_a = \frac{\cos^2(\omega + \phi')}{\cos^2 \omega \cos(\omega - \delta)} \times \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \beta)}{\cos(\omega - \delta) \cos(\omega + \beta)}} \right)^{-2} \quad (10)$$

式中:

$\gamma$ —墙后填土的单位重度 ( $kN/m^3$ );

$\phi'$ —墙后填土的内摩擦角 ( $^\circ$ );

$\omega$ —为墙背与竖直线的夹角 ( $^\circ$ );

$\beta$ —填土表面坡角 ( $^\circ$ );

$\delta$ —加筋墙背与墙后土体之间的摩擦角 ( $^\circ$ ),  $\delta = \min(\phi, \phi')$ 。

则, 主动土压力的水平分量和竖直分量:

$$P_{sh} = 0.5K_a\gamma'(H+h)^2 \cos(\delta - \omega) \quad (11)$$

$$P_{sv} = 0.5K_a\gamma'(H+h)^2 \sin(\delta - \omega) \quad (12)$$

通过代入边坡相关参数可计算出主动土压力系数

$$K_a = \frac{\cos^2(26.6+15)}{\cos^2 26.6 \cos(26.6-15)} \times \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(15+15) \sin(15-0)}{\cos(15-15) \cos(15+0)}} \right)^{-2} = 0.397$$

墙背主动土压力  $P_s = 0.5K_a\gamma'(H+h)^2 = 0.5 * 0.397 * 20 * (5 - 2.5)^2 = 223.3 kN/m$

墙背主动土压力水平分量  $P_{sh} = 223.3 * \cos(15 - 26.6) = 218.7 kN/m$

竖直分量  $P_{sv} = 223.3 * \sin(15 - 26.6) = -44.9 kN/m$

### (2) 抗滑动稳定性计算

加筋挡墙抗滑稳定性系数按照下式进行计算:

$$K_c = \frac{\mu(G + P_{sv})}{P_{sh}} \quad (13)$$

式中:

$K_c$  为抗滑动稳定系数;

$\mu$  为基底摩擦系数, 取 0.7;

$G$  为每延米挡土墙重度。

可求出抗滑动稳定性系数  $K_c = \frac{0.7 \cdot (5 \cdot 5 \cdot 20 - 44.9)}{218.7} = 1.46 > 1.35$ ，即满足抗滑

稳定性要求。

### (3) 抗倾覆稳定性验算

加筋土挡墙抗倾覆稳定性系数按照下式进行计算：

$$K_0 = \frac{GZ_G + P_{sv}Z_x}{P_{sh}Z_y} \quad (14)$$

式中：

$K_0$  为抗倾覆稳定性系数；

$Z_G$  为墙身重力、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；

$Z_x$  为墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离；

$Z_y$  为墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离。

可求出抗倾覆稳定性系数  $K_0 = \frac{5 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 2.5 - 44.9 \cdot 3.6}{218.7 \cdot 2.1} = 2.37 > 1.5$ ，即满足

抗滑稳定性要求。

### (4) 地基稳定性验算

基底合力的偏心距应按下式计算：

$$e = \frac{M_d}{N_d} \quad (15)$$

式中， $e$ ——基底合力的偏心距（m）；

$N_d$ ——作用于基底上的垂直力组合设计值（kN/m），经计算为 1328.9kN/m；

$M_d$ ——作用于基底形心的弯矩组合设计值（MPa），经计算为 2778.4MPa。

通过上述计算式可求出基底合力的偏心距  $e=0.388\text{m}$ 。

基底最大压应力应按下式进行计算：

$$\sigma = \frac{\sum N_d}{B - 2e} < kf'_a \quad (16)$$

式中：

$\sigma$  为作用于基底的压应力；

$B$  为基底宽度；

$k$  为地基承载力特征值提高系数；

---

$f_a'$ 为经基础埋深修正后的地基承载力特征值。

通过上述计算式可求出基底最大压应力 $\sigma=144.5\text{kPa}<200\text{kPa}$ 。

#### 4.整体稳定性验算

地基下可能存在深层滑动时，应作加筋体与地基整体滑动稳定验算，生态加筋挡土墙整体稳定系数不应小于 1.25。

抗滑动整体稳定系数  $K_s$  可按下式进行计算：

$$K_s = \frac{\sum (c_i' X_i + W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i)}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (17)$$

式中  $K_s$  为抗滑整体稳定性系数；

$c_i$  为第  $i$  土条的黏聚力；

$X_i$  第  $i$  土条弧长；

$W_i$  为第  $i$  土条的重力；

$\alpha_i$  为第  $i$  土条滑动弧法线与竖直线的夹角

通过条分计算，总的下滑力为 1226.3kN，总的抗滑力为 2154.7kN，边坡整体稳定性系数  $K_s=1.76>1.25$

## 算例 H.2 土工格室加筋土挡墙算例

### 1 设计概况

#### (1) 工程背景

延安机场迁建工程场地（南泥湾场址）位于延安市东南方向，属宝塔区柳林镇，距延安市公路 14.5km。地形总体趋势为西北低，东南高，区内冲沟发育，山体被冲沟切割成形状复杂的侵蚀剥蚀黄土梁峁地貌，地形呈梁峁起伏、沟谷深切的地势，山坡坡度一般约 20~40°。

#### (2) 格室挡墙工程

根据延安机场迁建工程现场办公室的总体规划安排，I 标段二号沟（位于柳林镇尚家沟）为 100m 高度的填方工程，其中包括高度为 10m 的土工格室挡墙的设计施工和 90m 的土方填挖碾压工程。

土工格室加筋挡墙施工完成后，在墙顶开始填方施工。通过在场区内山体上挖方取土和填方压实，共填筑九级边坡，每级高 10m，且每两级填方之间留有约 4m 宽的台阶。除第一级填方的坡度为 20°外，其余八级填方的坡度均为 60°，每层填方土体的压实度都达到 90%以上。高填方竣工之后，沿着九级填方两侧和各层台阶以及挡墙右侧边缘修筑石砌排水沟，并于坡面撒种草籽，实现疏通排水和坡面绿化。

### 2 格室加筋土挡墙设计计算

#### 2.1 素土边坡稳定性

本工程为延安机场迁建工程项目子项目，土工格室挡墙高度 10m，长度 50m，坡度 1:0.25，主要用于高填方坡脚的加固。

未加固的素土边坡参数表如表 1 所示。

表 1 素土边坡参数表

材料	密度 $\rho$ / (g/cm <sup>3</sup> )	黏聚力 c/Kpa	内摩擦角 / (°)
上部填土	1.73	35	20
地基	1.79	55	25

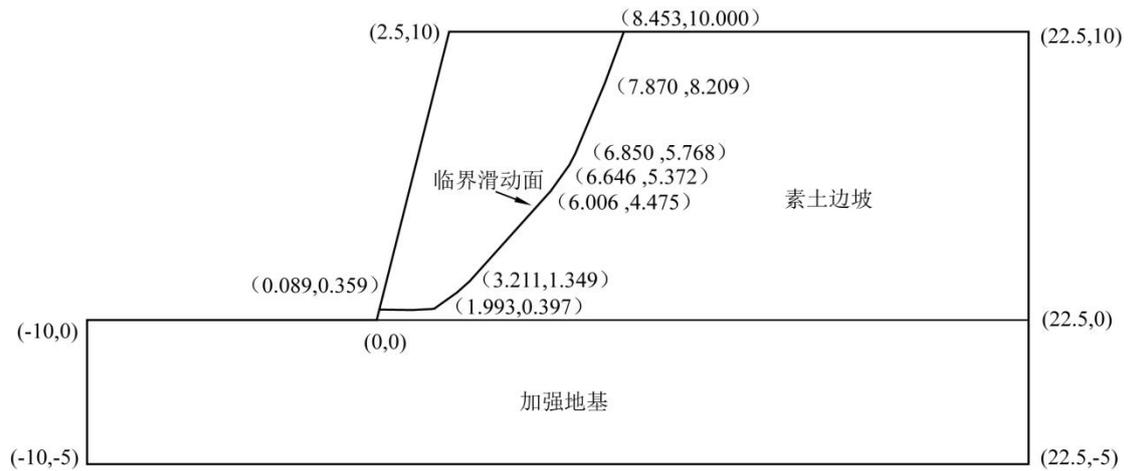


图 1 加固前临界滑动面

采用本规程中的通用条分法进行计算，得到临界滑动面见图 1，加固前滑动面安全系数为 0.70，应进行加固。

采用土工格室加筋土挡墙加固边坡，选用土工格室规格为单幅 4m\*4m，单个格室高度 20cm，焊炬 80cm。本工程基础为 1m 厚水泥砂砾石垫层，其中 20% 水泥，80% 砂砾石，在基础以上将土工格室和充填料组成的结构层按 1: 0.25 坡度层层叠加，每一层土工格室与上下相邻的土工格室用钢筋锚固连接，水平面内土工格室通过铆钉连接，所修筑挡土墙为变截面结构型式，如图 2 所示。底部 5.2m 高度的挡墙厚度为 4m，上部 4.8m 高度的挡墙厚度为 3m，在距离墙底 3.2m，4.8m，7.2m，8.8m 处分别普通加长土工格室拉筋带，下部两层的长度为 10m，内填水泥砂砾石，上部两层的长度为 5m，内填砂砾石，此外在距离墙底 1.6m、3.6m 和 5.2m 的土工格室中填筑砂砾石，用作排水层。

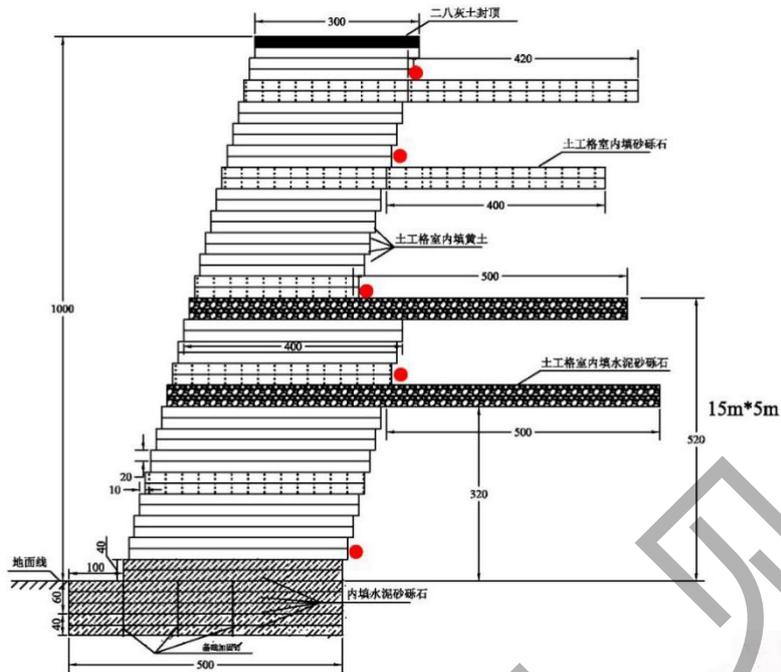


图 2 土工格室挡墙变截面断面

## 2.2 格室加筋土强度参数确定

格室网格尺寸为  $0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$ ，换算其等效圆直径为  $0.45\text{m}$ ，根据《公路工程土工合成材料试验规程(JTG E50-2006)》、《土工合成材料 塑料土工格室(GB/T 19274-2003)》以及《中国铁路总公司企业标准(Q/CR 549.1-2006)》等规范要求测试格室的条带拉伸曲线、节点剥离强度、对拉强度和剪切强度。格室条带拉伸试验结果如图 3 所示，格室节点剥离强度、剪切强度和对拉强度分别为  $19\text{kN/m}$ 、 $27\text{kN/m}$  和  $34\text{kN/m}$ 。

根据三轴试验结果测得黄土的非线性弹性常数和强度参数分别为： $k=330$ ， $n=0.55$ ， $R_f=0.88$ ， $c=35\text{kPa}$ ， $\varphi=20^\circ$ 。填料黄土的容重为  $17.3\text{kN/m}^3$ ，计算得到加筋土的围压约为  $50\text{kPa}$ 。基于格室拉伸曲线可以确定不同拉伸应变水平  $\varepsilon_c$  下的割线模量  $M_s$ 。格室拉伸应变  $\varepsilon_c$  与加筋土轴向应变  $\varepsilon_1$  之间的关系由下式确定：

$$\varepsilon_c = \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{\sqrt{1 - \varepsilon_1}} \quad \#(1)$$

加筋土的破坏轴向应变可由 (2) ~ (5) 迭代求解得到，约为  $0.0518$ 。

$$\sigma_g = \frac{2M_s}{D_0} \left( \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{1 - \varepsilon_1} \right) \quad \#(2)$$

$$\sin\varphi = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + 2 \left( \sigma_c + \frac{\sigma_g}{2} + c \cot\varphi \right) (a + b\varepsilon_1)} \quad \#(3)$$

$$a = \frac{1}{kp_a \left( \frac{\sigma_c + \frac{\sigma_g}{2}}{p_a} \right)^n} \quad \#(4)$$

$$b = \frac{R_f(1 - \sin\varphi)}{2 \left( \sigma_c + \frac{\sigma_g}{2} \right) \sin\varphi + 2c \cos\varphi} \quad \#(5)$$

土工格室加筋黄土的表观粘聚力计算公式如下：

$$c_r = \frac{M_s}{D_0} \left[ \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{1 - \varepsilon_1} \right] \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad \#(6)$$

将 $\varepsilon_1 = 0.0518$ 代入(1)式可求解得到 $\varepsilon_c = 0.0278$ ，根据格室条带拉伸曲线得到 $M_s = 590 \text{ kN/m}$ ，此时，格室受力为 $T = M_s \varepsilon_c = 590 \times 0.0278 = 16.4 \text{ kN/m} < 19 \text{ kN/m}$ ，因此格室节点强度足够，又 $D_0 = 0.45 \text{ m}$ ， $\varphi = 20^\circ$ ，代入(2)式求得格室对填料提供的约束围压为 $73 \text{ kPa}$ ，代入(6)式可求得由格室约束围压引起的表观粘聚力 $c_r$ 为 $52 \text{ kPa}$ 。因此加筋土粘聚力为 $c_r + c = 52 + 35 = 87 \text{ kPa}$ 。同样的方法求得格室内填砂砾石的表观粘聚力为 $73 \text{ kPa}$ 。

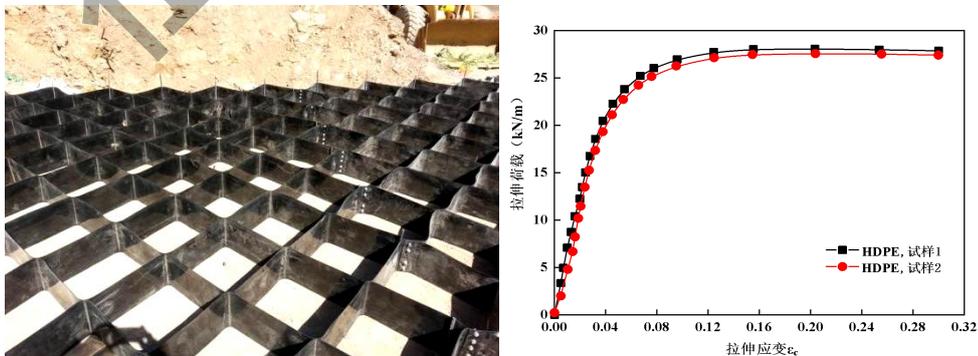


图3 土工格室条带拉伸曲线

表2 格室力学性质参数

工程名称	延安机场迁建工程土工格室挡墙			
样品名称	土工格室	收样日期	2015.3.10	
使用部位	格室挡墙	报告日期	2015.3.10	
检测依据	GB/T 1040 塑料 拉伸性能的测定; JTG E50-2006 公路工程土工合成材料试验规程; GB/T 19274-2003 土工合成材料 塑料土工格室			
检测项目	单位	平均值	标准差	变异系数 (%)
屈服强度 (20%应变速率)	kN/m	29.79	0.87	2.91
断裂强度 (20%应变速率)	kN/m	38.04	1.97	5.18
剥离强度	kN/m	19.03	0.20	1.06
对拉强度	kN/m	34.48	2.17	6.29
抗剪强度	kN/m	27.71	0.43	1.55

表 3 整体稳定验算参数表

材料	密度 $\rho$ / (g/cm <sup>3</sup> )	黏聚力 c/Kpa	内摩擦角/ (°)
填土 (压实黄土)	1.73	35	20
天然黄土地基	1.79	55	20
水泥石基础	1.83	100	15
水泥砂砾石	2.4	500	45
格室内填压实黄土	1.73	87	20
格室内填砂砾石	2.25	73	40

### 2.3 加筋土挡墙整体稳定性验算

采用本规程中的通用条分法进行稳定分析计算, 加固后安全系数为 1.29, 土工格室加固后滑动面安全系数明显提高, 提高幅度约 84%。

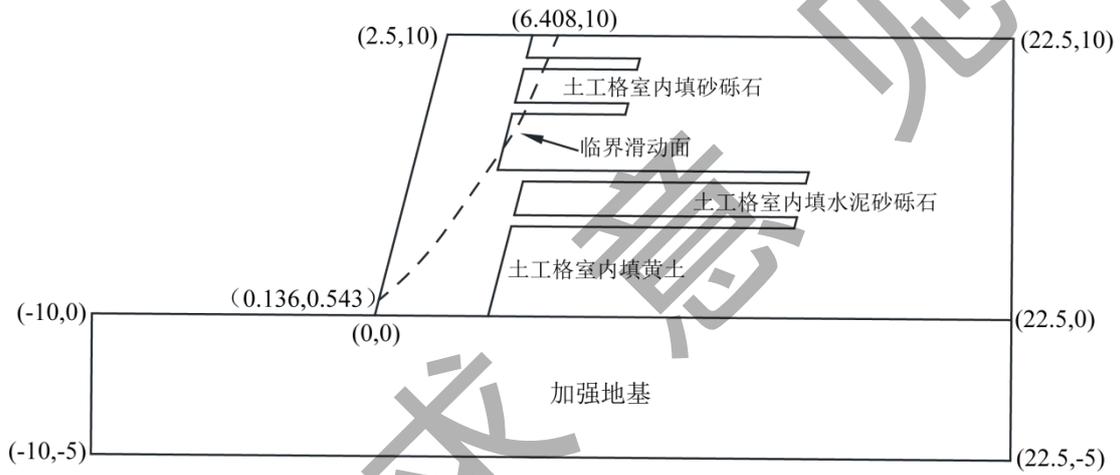
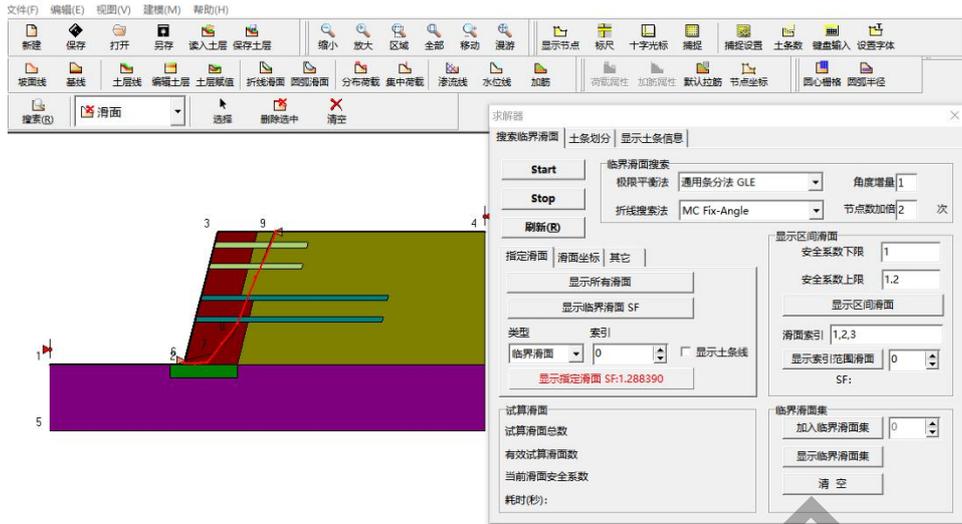


图 4 加固后滑动面



图 5 格室挡墙照片

### 2.3 加筋土挡墙内部稳定性验算

根据图 2 中加筋土挡墙达到 1.25 安全系数的要求，采用通用条分法试算得

---

到格室侧约束作用引起的表观粘聚力  $c_r=50\text{kpa}$ 。

根据 (7) 式和 (8) 式验算土工格室条带刚度和节点强度。

$$M_s \geq \frac{c_r D_0 (1 - \varepsilon_1)}{(1 - \sqrt{1 - \varepsilon_1}) \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)} \quad \#(7)$$

$$T_s \geq \frac{c_r D_0 \sqrt{1 - \varepsilon_1}}{\tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)} \quad \#(8)$$

将  $\varepsilon_1 = 0.0518$ 、 $D_0=0.45\text{m}$ 、 $\varphi=20^\circ$  和  $c_r = 50\text{kPa}$  代入 (7) 式和 (8) 式右端可得所需格室条带刚度  $M_s$  和节点强度  $T_s$  分别为  $569\text{kN/m}$  和  $15.3\text{kN/m}$ 。

根据  $\varepsilon_1 = 0.0518$  和 (1) 式可得  $\varepsilon_c = 0.0278$ ，从图 3 所示的条带拉伸曲线可得  $M_s=590\text{kN/m}>569\text{kN/m}$ ，满足要求。

根据表 2 可知，格室节点的剥离强度、对拉强度和剪切强度的最小值为剥离强度，其强度值  $19\text{kN/m}>15.3\text{kN/m}$ ，满足要求。