

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

2022 - 09 - 21 发布

2022 - 10 - 21 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	2
4 基本规定	2
5 勘测与勘察	3
5.1 一般规定	3
5.2 工程勘测	3
5.3 地质勘察	3
6 材料	4
6.1 一般规定	4
6.2 填料	4
6.3 筋材	5
6.4 面板	5
6.5 辅助材料	8
7 设计	8
7.1 一般规定	8
7.2 挡土墙设计	9
7.3 设计计算	16
8 施工	29
8.1 一般规定	29
8.2 施工准备	30
8.3 施工要求	31
9 质量检验	36
9.1 一般规定	36
9.2 基本要求	36
9.3 实测项目	37
9.4 外观鉴定	40
附录 A （规范性） 常用筋材主要技术指标	41
附录 B （规范性） 常用筋材与面板材料检验项目	45
附录 C （资料性） 常用钢丝（筋）网植生面板和石笼网箱面板几何尺寸规格	46
附录 D （规范性） 土工格室极限抗拉强度计算方法	47
附录 E （资料性） 柔性生态加筋挡土墙计算实例	48
附录 F （资料性） 柔性生态加筋挡土墙施工实例	54

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本标准代替DB33/T 988—2015，与DB33/T 988—2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了规范性引用文件（见第2章，2015年版的第2章）；
- b) 更改了术语和定义（见第3章，2015年版的第3章）；
- c) 更改了基本规定的内容（见第4章，2015年版的第4章）；
- d) 更改了工程勘测的内容（见5.2，2015年版的5.3），更改了地质勘察的内容（见5.3，2015年版的5.2）；
- e) 更改了材料中的一般规定、填料、筋材和辅助材料等的内容（见6.1、6.2、6.3和6.5，2015年版的6.1、6.2、6.3和6.4），增加了面板内容（见6.4）；
- f) 更改了设计中的一般规定和设计计算内容（见7.1和7.3，2015年版的7.1和7.4），增加了挡土墙设计内容（见7.2），删除了荷载、构造设计和防护、排水及附属设施（见2015年版的7.2、7.3和7.5）；
- g) 更改了施工的内容（见第8章，2015年版的第8章）；
- h) 更改了质量检验的一般规定内容（见9.1，2015年版的9.1）；检验标准更改为基本要求、实测项目和外观鉴定（见9.2、9.3和9.4，2015年版的9.2）；
- i) 更改了常用筋材主要技术指标内容（见附录A，2015年版的附录A）；
- j) 更改了常用筋材与面板材料检验项目内容（见附录B，2015年版的附录B）；
- k) 增加了土工格室极限抗拉强度计算方法的内容（见附录C）；
- l) 删除了单位、分部及分项工程的划分的内容（见2015年版的附录E）；
- m) 增加了“常用钢丝网植生面板和石笼网箱面板几何尺寸规格”资料性要求的内容（见附录D）；
- n) 更改了柔性生态加筋挡土墙计算实例的内容（见附录E，2015年版的附录C）；
- o) 更改了柔性生态加筋挡土墙施工实例的内容（见附录F，2015年版的附录D）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由浙江省交通运输厅提出并组织实施。

本标准由浙江省公路工程标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：浙江数智交院科技股份有限公司、浙江交工国际工程有限公司、浙江交工金筑交通建设有限公司、浙江交工路桥建设有限公司、杭州路孚交通科技有限公司和兰州德科工程材料有限公司等。

本标准主要起草人：陈建荣、刘泽、楼华锋、曾怀武、翁艾平、楼伟鑫、傅程辉、水小清、章其星、金康康、鲍英儒、程伟述、缪国波、梁诚玉、王益锋、胡继强、林亚芳、钟正、何建国、余茂科、陈新国、俞涛、陈刚、孙美华、张勇、金小平、唐博、吕保中、曹海涛、张秋丽、王飞、谭林、熊海军、郭海波、陈石、朱志铭、郭元弘、向俊、余红宇、何根明、马卓倩、李梁亮。

本标准及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2015年首次发布为DB33/T 988—2015；

——本次为第一次修订。

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基本规定、勘测与勘察、材料、设计、施工及质量检验等技术要求。

本标准适用于新建、改建或扩建公路和养护工程的柔性生态加筋挡土墙勘察设计、施工与质量检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 1499.3 钢筋混凝土用钢 第3部分：钢筋焊接网
- GB/T 1839 钢产品镀锌层质量试验方法
- GB/T 9789 金属和其他无机覆盖层 通常凝露条件下的二氧化硫腐蚀试验
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 16422.2 塑料实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯
- GB/T 16422.3 塑料实验室光源暴露试验方法 第3部分：荧光紫外灯
- JB/T 10696.6 电线电缆机械和理化性能试验方法 第6部分：挤出外套刮磨试验
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG/T 3610—2019 公路路基施工技术规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- 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施工技术细则
- JTG/T D32—2012 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 E50—2006 公路工程土工合成材料试验规程
- JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- YB/T 4190 工程用机编钢丝网及组合体
- YB/T 4221—2016 工程机编钢丝网用钢丝标准
- DB33/T 916 公路边坡植被防护工程施工技术规范

3 术语与定义

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
由填料、筋材和可绿化的墙面组成的支挡结构，简称“挡土墙”。

3.2

筋材 reinforcement
用于加筋补强作用的土工合成材料或金属材料。

3.3

加筋体 reinforced soil
由填料和筋材层层交替铺设而成的加筋复合体。

3.4

土工合成材料 geosynthetics
以人工合成或天然聚合物为原料制成的工程材料。
[来源：JTG/T D32—2012，2.0.1，有修改]

3.5

钢丝（筋）网 steel wire mesh
由钢丝（筋）编织（或焊接）而成，且表面经过防腐处理的平面网状结构物。

3.6

生态袋 eco bag
一种采用聚合化纤维织物或天然纤维制成的，可装入植生营养土的袋状结构物。

3.7

土工格室 geocell
由条带式筋材通过焊接、铆接、插接、注塑等工艺连接而成，展开后呈蜂窝状或网格状的立体结构物。
[来源：JTG/T D32—2012，2.0.11，有修改]

3.8

连接件 connector
用于连接筋材、提高加筋挡土墙整体性的辅助构件。

4 基本规定

4.1 挡土墙适用于用地受限需设支挡或有生态、环保和景观要求的填方路段，不应直接修建于滑坡、泥石流、崩塌等不良地质路段。

4.2 设计和施工应遵循“安全耐久、经济合理、技术先进、质量可控”的原则，做到因地制宜、资源节约和环境协调。

4.3 采用单级挡土墙时，高速公路、一级公路上的挡土墙墙高宜不大于 12 m，二级及以下公路宜不大于 20 m。采用多级挡土墙时，每级墙高宜不大于 10 m，上下级墙体之间宜设置宽度不小于 2 m 的平台。当墙高超过以上高度或基本地震动峰值加速度大于等于 0.1 g 地区时，应按照 JTG D30 和 JTG B02 的要求进行专项分析和设计。

4.4 应做好挡土墙设置路段的勘测与勘察、工程环境和筑路材料调查以及必要的土工试验和材料试验等工作，为设计和施工提供准确可靠的基础资料。

4.5 应根据工程环境、地形和水文地质条件，结合填料特性、材料选择等因素，经技术经济比选，确定挡土墙方案，并进行动态设计，确保挡土墙具有足够的强度、稳定性、耐久性和墙面抗冲刷性能，其沉降变形应满足使用极限状态的要求，外观应与相邻结构和周边环境相协调。

4.6 应选用整体性和耐久性好、强度高、变形小的筋材，并加强其在运输、储存及施工中的管理。筋材性能检测指标应符合设计要求，筋材铺设与连接应符合 8.3.3 规定。

4.7 对大型挡土墙、墙体总高大于 12 m 的挡土墙和不良地质及特殊岩土等路段的挡土墙，应根据建管养“一体化”需求，设置永久性动态监测点及检修设施。

注：大型挡土墙为平均墙高大于或等于 6 m 且墙身面积大于或等于 1 200 m² 的挡土墙。

4.8 设计与施工应积极稳妥地采用成熟可靠的新材料、新技术、新工艺和新设备。

5 勘测与勘察

5.1 一般规定

5.1.1 挡土墙的勘测和勘察应按 JTG C10、JTG C20、JTG D30 和本标准的要求分阶段进行，各勘测和勘察阶段的工作内容和深度应满足各设计阶段的要求。

5.1.2 应对挡土墙设置路段的地形、地貌、气象、水文、排水设施、筑路材料、周边环境及施工条件等基础资料进行收集、调查、分析和试验工作。

5.1.3 应根据挡土墙的设置位置和结构形式，合理确定勘测和勘察工作量，满足工程设计要求。

5.1.4 宜采用适用的勘测、勘察技术和信息化手段，确保勘测和勘察资料的真实性、完整性和准确性。

5.2 工程勘测

5.2.1 应根据挡土墙的设置位置、结构形式、规模和工程环境，确定调查、勘测的范围、要求和方法。

5.2.2 应对墙址处的基础资料进行搜集，进行必要的勘测、调查和试验分析，除符合 5.1.2 规定外，还应符合下列要求：

- a) 沿河挡土墙应在调查、搜集洪水流量、水位、水深、流速、流向和冲刷等工程地质情况和水文资料基础上，进行初步的分析计算，初步确定挡土墙的布设位置、结构形式和埋置深度等设计要求；
- b) 应对挡土墙墙背填料的重度、黏聚力、内摩擦角以及筋材与填料间的摩阻系数等设计参数进行调查与试验；
- c) 在定测阶段还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、地质纵剖面图、横剖面图及设计和施工所需的其他资料。

5.2.3 在完成 5.2.2 相关工作基础上，确定挡土墙的位置、起讫桩号、长度、结构形式，按照 JTG C10 规定做好相应阶段的勘测工作，并符合下列要求：

- a) 初测阶段应对防护工程的设置条件进行勘测，地质条件特别复杂、防护工程规模较大的工点，应进行纵横断面控制测量；
- b) 定测阶段应实地放出挡土墙构造物轴线，进行高程测量和横断面测量；对地形变化大或地质条件复杂的工点，应测绘 1:500~1:1 000 的地形图。

5.2.4 初测、定测阶段应按照JTG C10的规定，提交初测和定测的成果及资料，并对勘测成果进行检查、实地核查和验收。

5.3 地质勘察

5.3.1 应在资料收集和勘测的基础上，根据挡土墙的设置位置、工程规模（墙高、长度）、地形状况、地质条件和公路等级采用综合勘察方法，确定勘探试点数量和位置，查明基础的地层岩性、地质构造、水文地质条件，纵横向地质条件差异，提供设计所需的岩土物理力学指标及参数。

5.3.2 挡土墙基础勘探工作量要求应符合下列规定：

- a) 初勘阶段挡土墙基础应采用挖探、钻探等方法进行勘探，勘探点的数量应不少于 1 个；当地质条件复杂时，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，且不小于 3m；
- b) 初勘阶段地质条件复杂的路段，每条横向勘探断面上勘探点数量应不少于 2 个，勘探深度应穿过滑动面至其下的稳定地层中不小于 1 m；
- c) 详勘阶段应复核初勘勘探工作量可利用情况，并根据纵向、横向的地质变化复杂程度相应增加横向勘探断面。

5.3.3 应提供单独的挡土墙工程工点勘察成果，主要包括：挡土墙墙址处的工程地质平面图、纵断面图、代表性地质横断面图、岩土物理力学指标汇总表、设计计算参数推荐值表、挡土墙基础的（差异）沉降和稳定性对工程的影响分析，并提出相关的处理建议和注意事项。

5.3.4 初勘、详勘阶段应按照 JTG C20 等规定，提交初勘和详勘的成果及资料，并对勘察成果进行检查、实地核查和验收。

6 材料

6.1 一般规定

6.1.1 挡土墙的材料选择主要包括填料、筋材、面板和辅助材料。

6.1.2 材料应遵循因地制宜、合理取材、有利施工、方便养护的设计原则，根据公路等级、挡土墙结构形式、工程特性、环境条件和材料性能等条件进行方案比选，考虑填料及环境对筋材的影响，满足 JTG D30 和 JTG/T D32 规定的要求，做到安全可靠、经济适用和生态环保。

6.1.3 应根据工程设计与施工需要，按 JTG 3430 和 JTG E50 规定对填料、筋材、面板和辅助材料的物理性能、力学性能和耐久性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选择易于填筑和压实、能与筋材产生良好摩擦与咬合作用、对筋材无腐蚀作用和水稳定性良好的填料，并符合 6.1.2 的规定。

6.2.2 墙后加筋体填料应优先采用具有一定级配、渗水性强的砂类土和碎（砾）石类等材料，不应采用高液限土、腐殖土和崩解性岩土等；采用细粒料填筑时，宜在考虑筋材属性匹配后采用稳定或固化处治；墙体总高超过 12 m 且采用特殊土作加筋体填料时，对专项设计中的特殊土填料应通过试验研究及验证确定。

6.2.3 与筋材直接接触部分的填料不应含有尖锐棱角的块体，填料的粒径不应大于 10 cm。

表1 填料的化学与电学标准

项目	电阻率 (Ω/mm)	氯离子 (0.035 5 g/100 g 填料)	硫酸根离子 (0.048 g/100 g 填料)	pH值
无水工程	>100	≤ 5.6	≤ 21.0	5~10
淡水工程	>100	≤ 2.8	≤ 10.5	5~10

6.2.4 采用金属材质类筋材时，填料的化学和电学标准应满足表 1 的规定；采用土工合成类筋材时，填料不宜含有二价以上铜、镁、铁离子及氯化钠、碳酸钠、硫化物等化学物质。

6.3 筋材

6.3.1 加筋体筋材宜采用平面式、网孔式和立体式筋材，不宜采用条带式筋材。常用筋材可参照表 2 进行分类。

表2 常用筋材分类表

外观特征 (筋材形态)	材料名称
平面非网孔式	高韧聚酯有纺土工布、经编复合土工布等
平面网孔式	钢丝网、钢筋网、聚乙烯土工格栅、聚酯土工格栅、纤塑(聚酯纤维或玄武岩纤维)土工格栅等
立体网孔式	三维土工格栅、土工格室等

6.3.2 筋材应符合下列要求：

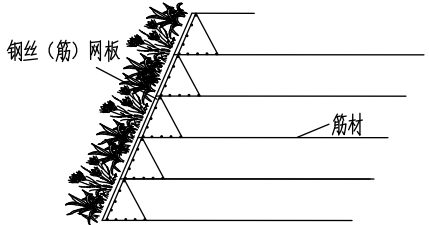
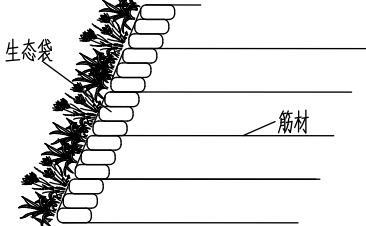
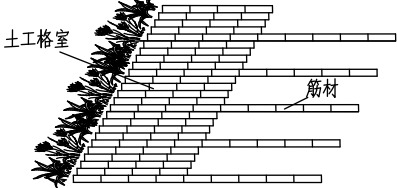
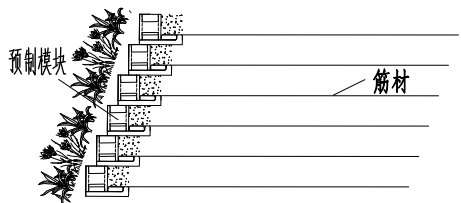
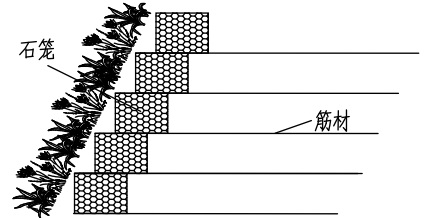
- 筋材应整体性好、强度高、变形小，不应产生脆性破坏，其抗拉强度应能满足设计要求；
- 具有良好的耐久性。当采用土工合成材料类筋材时，筋材应具有低蠕变性和良好的抗紫外线老化性能；当采用金属材质类筋材时，筋材表面应进行有效的防腐处理；
- 筋材表面粗糙，与填料间应能形成良好的摩擦咬合作用，能产生足够的摩阻力；筋土界面阻力系数应符合设计要求；
- 与墙面结构的连接应牢固可靠，施工方便；
- 常用筋材主要技术指标应符合附录 A 的要求，常用筋材检验项目应符合附录 B 的要求。

6.4 面板

6.4.1 常用面板类型

挡土墙的常用面板包括钢丝(筋)网植生面板、生态袋面板、土工格室面板、预制模块面板和石笼网箱面板等类型，其形式与特点见表3。

表3 常用面板形式及其特点

名称	形式（图例）	特点
钢丝(筋)网植生面板		挡土墙墙面采用经防腐处理的钢丝(筋)网经编织或焊接而成的绿色加筋格宾挡土墙钢丝网面板、吉奥挡土墙钢筋网面板等，可采用喷播或插播等技术实现墙面绿化，面板整体性好、抗震性好、施工方便、绿化效果好。
生态袋面板		挡土墙墙面采用生态袋构成，袋内充填耕植土(营养土)以便墙面喷播或插播植生绿化，抗震性好、施工方便和绿化效果好，但其坡面平整度稍差，外露的土工材料宜老化、防火灾能力稍差。
土工格室面板		挡土墙墙面采用高强度的土工格室构成，格室内充填土料并通过插播或喷播等方式实现土工格室墙面绿化，抗震性好和绿化效果好，但施工工艺要求稍高。
预制模块面板		挡土墙墙面采用可绿化的混凝土或钢筋混凝土预制的模块构成，模块与筋材之间设有合适的连接方式（如台阶式预制模块式加筋挡土墙、生态模块加筋挡土墙等），外观平整、美观，墙面可采用插播进行绿化，施工要求高。
石笼网箱面板		挡土墙墙面采用钢丝制成经防腐处理的石笼网箱并充填石料构成，结构整体性、抗震性和抗冲刷能力好，坡脚可通过种植易生长的灌木或爬藤类植物、坡顶种植下垂挂的植物实现坡面的绿化，早期绿化效果稍差。

6.4.2 钢丝(筋)网植生面板

主要由钢丝(筋)网面、土工垫和支撑杆件等工程组件构成，并符合下列要求：

- a) 钢丝网植生面板采用经防腐处理的机编钢丝网面反包，并在内侧设置土工垫、焊接钢筋面板及三角支撑杆件形成的组合面板，钢丝网面应符合 YB/T 4190 中加筋土单元的要求；
- b) 钢筋网植生面板采用经防腐处理的钢筋网、土工垫及三角支撑杆件形成的组合面板，钢筋网片材料应符合 GB/T 1499.3 的要求。

6.4.3 生态袋面板

主要由生态袋、三维排水联结扣和填土等构成，并符合下列要求：

- 生态袋应具有良好的抗紫外线辐射、抗老化性能、且无毒无害，宜采用可自然降解环保型生态袋，不宜采用普通货物包装用的化纤编织袋；生态袋主要技术要求：单位面积质量 $\geq 140\text{ g/m}^2$ ，CBR 顶破强度 $\geq 1.5\text{ kN/m}$ ，纵向断裂强度 $\geq 8.0\text{ kN/m}$ ，横向断裂强度 $\geq 10.5\text{ kN/m}$ ，抗紫外线强度保持率不低于 80%；
- 三维排水联结扣将生态袋相互联结，形成稳定的三角内摩擦紧锁结构；
- 生态袋内宜装填配有植物种子的营养土；当需快速复绿时，可对墙面喷播草灌；对有特殊景观要求路段，生态袋层间也可采用压枝法种植合适的灌木。

6.4.4 土工格室面板

主要由土工格室、格室连接件和填土等构成，并符合下列要求：

- 土工格室应采用整体性和耐久性好、强度高、变形小的材料，高度为 10 cm~20 cm，网孔尺寸宜为 40 cm \times 40 cm~60 cm \times 60 cm；抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$ ，炭黑含量 $\geq 2.0\%$ ；节点及条带的极限抗拉强度 $\geq 1.8\text{ kN/cm}$ ，延伸率 $\leq 10\%$ ；
- 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 1 cm~3 cm，外侧土工格室内植草乔灌木。

6.4.5 预制模块面板

由可绿化的预制混凝土面板或预制钢筋混凝土面板组成，应符合下列要求：

- 预制模块式面板应采用标准化模具预制成的构件，预制模块质量和外形应满足坚固、美观、运输方便、易于安装、尺寸标准、无缺角掉块，并宜考虑墙面的生态绿化功能，如图 1 所示，模块面板的外观形式和几何尺寸应符合设计的要求；
- 预制模块采用混凝土时其强度等级不宜低于 C20，厚度应不小于 20 cm；采用钢筋混凝土时其强度等级不宜低于 C25，厚度应不小于 8 cm。

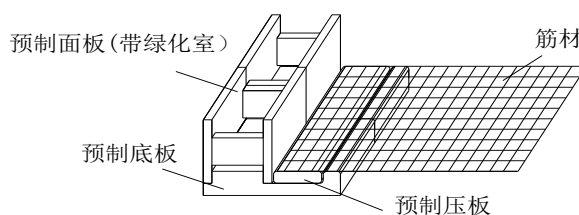


图1 常见预制模块构件形式示意图

6.4.6 石笼网箱面板

主要由石笼网箱、填石等工程组件构成，并符合下列要求：

- 石笼网箱应采用经防腐处理的机编钢丝网面制作，包括网箱和加筋网面两部分，加筋网面与网箱的底板由同一张钢丝网面制成。钢丝网面应符合 YB/T 4190 中加筋土单元的要求；
- 石笼网箱内应采用坚硬且不易风化的块石、片石或卵石充填，岩块饱和单轴抗压强度应不低于 30MPa。石料采用干砌方式填充，网箱的充填率应不小于 70%；块（片）石宽度为 10 cm~30 cm，以网箱不发生变形或小变形为控制要素，保证加筋格宾挡土墙外观平整；在缺乏合适尺寸块石的地段，其中心部位可由较小的石料填充，其粒径在 10 cm~20 cm 之间，最小粒径应不小于网格尺寸；

- c) 石笼网箱与筋材之间应有可靠连接措施。筋材宜采用双绞合钢丝网,也可以采用其它种类的筋材;相邻网箱单元体间应采用绑扎钢丝或C型钉连接成整体,连接点应均匀牢靠,无明显间隙;
- d) 当石笼网箱宽度大于1m时,网箱内设置横向垂直隔板;隔板应采用与石笼相同材质及型号的网面制作,隔板边缘应固定在网箱内;
- e) 石笼网箱面板后应设置一层透水土工布。

6.4.7 常用面板要求

常用面板材料检验项目应符合附录B的要求,常用钢丝(筋)网植生面板和石笼网箱面板几何尺寸规格可参照附录C。

6.5 辅助材料

- 6.5.1 辅助材料主要包括面板与筋材的连接件、临时固定件、反滤层和排水层材料等。
- 6.5.2 连接件的材质、力学性能和耐腐蚀性能应与筋材一致;连接件与面板、筋材的固定连接应牢固、可靠和施工方便。
- 6.5.3 铺设筋材的临时固定件可采用铁质U型钉、竹钉或木桩。
- 6.5.4 排水层可采用级配碎石、砂砾或其他排水材料(如三维排水网、排水垫等);反滤层可选用砂砾石、土工布等。
- 6.5.5 用于排水层和反滤层的级配碎石或砂砾应洁净,小于0.075mm颗粒含量大应大于5%;透水性好,其渗透系数大于 5×10^{-2} cm/s;用于反滤层的土工布断裂抗拉强度应不小于10 kN/m,刺破强度应不小于0.5 kN, CBR顶破强度应不小于2.5 kN;其他辅助材料主要技术指标应符合JTG/T D32和设计的要求。

7 设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 应根据勘测与勘察成果,结合挡土墙的强度、稳定性和沉降计算,对挡土墙结构形式、材料、基础、防护、排水、附属设施、监测等进行设计。
- 7.1.2 挡土墙的位置应综合考虑地形地貌、工程地质、水文气候条件、荷载、施工条件、填料特性、工程造价等因素合理确定,挡土墙的结构形式设计应考虑与自然环境相协调、与相邻构造物衔接平顺。
- 7.1.3 挡土墙加筋体填料、筋材、面板和辅助材料的选择应符合第6章的要求,并对填筑施工方法和质量控制等提出具体要求。
- 7.1.4 挡土墙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,应保证结构具有足够的强度、耐久性和稳定性,其沉降变形应满足使用极限状态的要求;抗震强度和稳定性验算范围和要求应符合JTG B02的规定。
- 7.1.5 挡土墙应综合考虑地形地质条件等因素的影响进行工点设计和监测设计,并根据施工监测或现场实际情况进行动态设计。
- 7.1.6 挡土墙的设计流程应按图2所示流程执行。

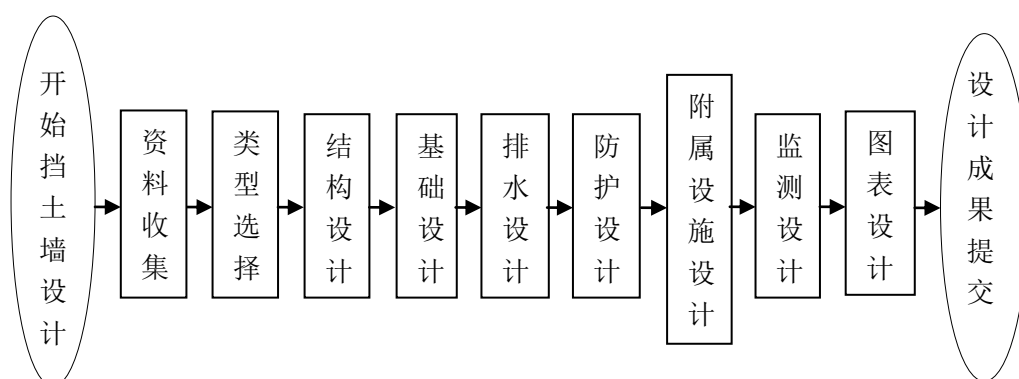


图2 挡土墙的设计流程图

7.2 挡土墙设计

7.2.1 资料收集

按照第5章的要求，做好初测、初勘成果或定测、详勘成果等不同设计阶段相关资料的收集工作。

7.2.2 类型及选择

7.2.2.1 挡土墙按筋材材质可分为土工合成材料类（土工格栅、土工格室和土工布等）挡土墙和金属材料类（钢丝网片、钢筋网片等）挡土墙；按面板形式可分为钢丝（筋）网挡土墙、生态袋挡土墙、土工格室挡土墙、预制模块挡土墙和石笼挡土墙等。常用挡土墙结构形式示意图见图3。

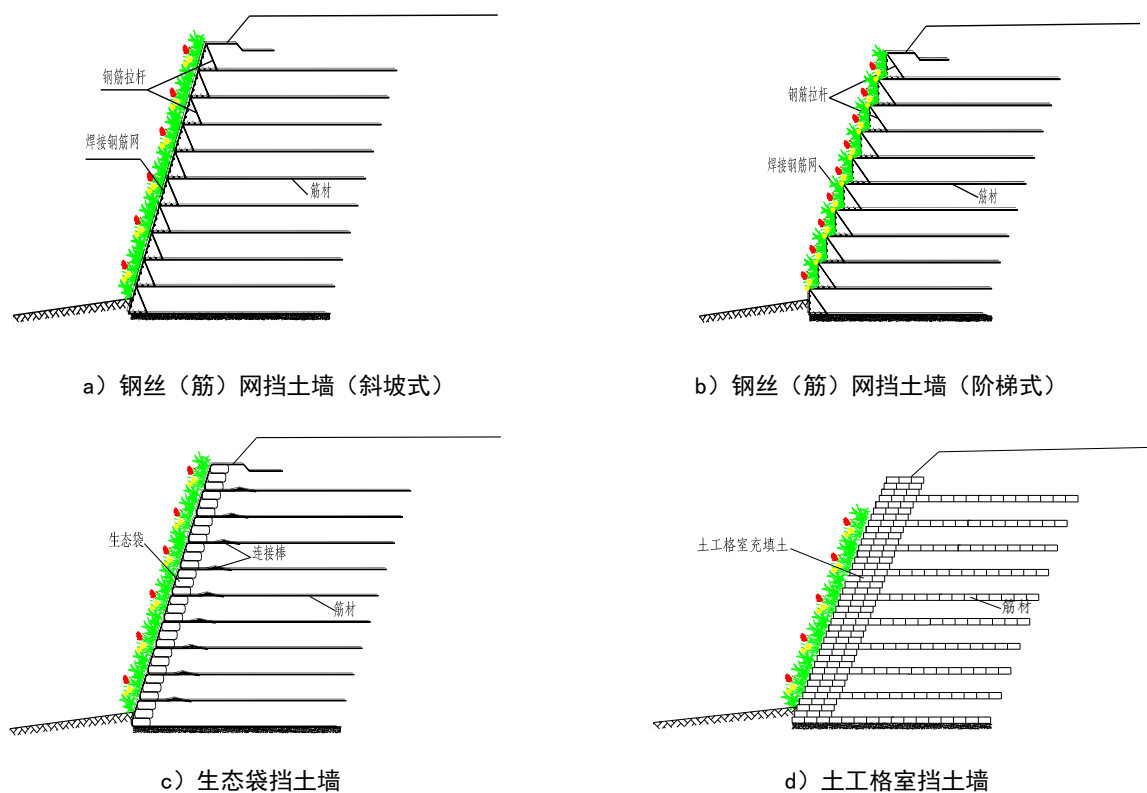


图3 常用挡土墙结构形式示意图

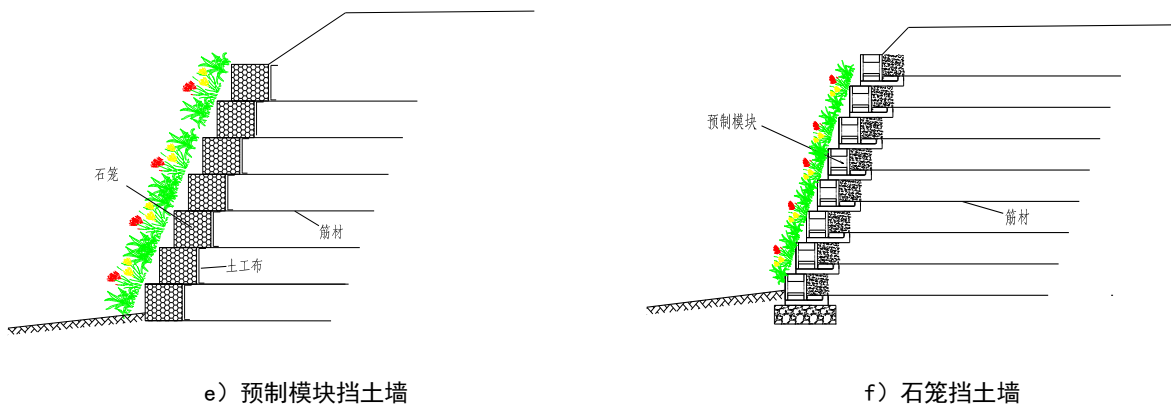


图3 常用挡土墙结构形式示意图（续）

7.2.2.2 钢丝（筋）网片挡土墙、生态袋挡土墙和土工格室挡土墙不宜用于常水位以下路基的支挡工程。

7.2.2.3 挡土墙加筋体典型横断面形式示意图见图4，宜采用图4a)所示的平行四边形；当受地形、地质条件限制时，也可采用图4b)所示的台阶式；当地基承载力较低时，可采用图4c)所示的错台式。断面尺寸应根据内部稳定性和外部稳定性的计算确定。

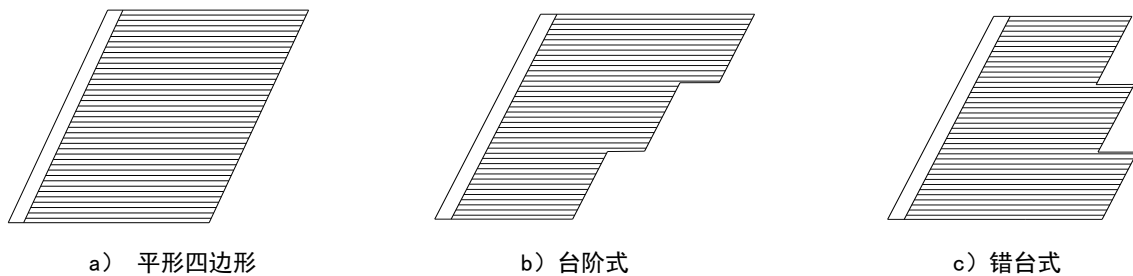


图4 挡土墙加筋体典型横断面形式示意图

7.2.2.4 应根据工程具体情况，按照4.5和7.1.2的规定，经综合比较，合理确定挡土墙类型及结构形式。

7.2.3 结构设计

7.2.3.1 在对依据7.2.1收集的资料进行分析的基础上，先初步拟定挡土墙类型和结构形式，再进行挡土墙结构设计。

7.2.3.2 根据拟定的挡土墙结构类型，按照构造设计要求初步确定挡土墙的基本尺寸（包括墙面形式、墙高、筋材间距和长度等），并按第6章的要求，确定筋材、面板和填料的设计参数。

7.2.3.3 按7.3的规定，对挡土墙荷载、内外部稳定性和面板进行计算，确定筋材长度、间距、分层要求和面板尺寸等。

7.2.3.4 挡土墙墙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宜在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 。当相邻墙面的内夹角大于 180° 时，应加设补强筋材，不应留有无筋区。

7.2.3.5 钢丝（筋）网挡土墙、生态袋挡土墙和土工格室挡土墙宜为斜坡式，墙面常用坡率为1:0.5、1:0.466和1:0.3；预制模块挡土墙和石笼挡土墙墙面可采用台阶式。

7.2.3.6 路堤式挡土墙的墙顶宜设计成平坡或阶梯状。

7.2.3.7 挡土墙加筋体采用的填料应符合 6.2 规定的要求；浸水地区挡土墙的材料与结构要求应满足下列要求：

- a) 浸水部分填料应采用透水性强的粒状填料；
- b) 浸水部分墙面应具有抗冲刷能力，宜采用石笼网箱面板或预制模块面板；
- c) 面墙后宜铺设反滤土工布。

表4 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 $H \leq 6$ m	35~40	17~19	
		墙高 $H > 6$ m	30~35		
粗粒土（砂类土）	中砂、细砂		--	30~35	18~19.5
	砂砾、粗砂、角砾、圆砾		--	35~40	18.5~21
巨粒土（碎石土）	碎石、卵石		--	45~50	19~21.5

7.2.3.8 加筋体填料的设计参数应根据其来源，选择有代表性的料样按 JTG 3430 的要求进行室内试验，并结合现场情况按如下要求确定：

- a) 初步设计缺乏可靠试验数据时，填料的设计参数可参照表 4 的数值采用；
- b) 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；
- c) 墙体总高大于 12 m 的挡土墙，表 4 中的综合内摩擦角或内摩擦角取低值。

7.2.3.9 加筋体填料最小承载比应符合 JTG D30 规定的要求，并应分层铺筑，均匀压实，填料压实度应符合表 5 的规定。

表5 填料压实度表

填土范围		路槽底面以下 深度 (m)	压实度 (%) ^a	
			高速公路、一级公路	二级及以下公路
距面板 内侧1 m 以外	下路床	轻、中及重交通	≥96	≥95
		特重、极重交通		
	上路堤	轻、中及重交通	≥94	≥94
		特重、极重交通		
	下路堤	轻、中及重交通	≥93	≥92
		特重、极重交通		
距面板内侧1m以内		全部墙高	≥90	≥90

^a 表列压实值系按 JTG 3430 中重型击实试验法的最大干密度的压实度。

7.2.3.10 筋材设计抗拉强度 T_a 应考虑筋材的蠕变、老化和施工损伤等因素综合影响，并按式(1)确定。

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

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 (kN/m)；土工格室的极限抗拉强度，按附录 D 计算确定；其余筋材的极限抗拉强度按 JTG E50 试验确定；

RF ——考虑筋材蠕变、老化和施工损伤等因素的强度总折减系数，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 2.0~5.0；对于金属材质材料筋材，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。

7.2.3.11 筋材与土接触的界面阻力系数 f_{GS} ，应符合下列规定：

- a) 对二级及以上等级公路的施工图设计应采用 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；
- b) 二级及以上等级公路的初步设计或其他等级公路，有填料与筋材接触的土内摩擦角实测试验数据时按式(2)、式(3)和式(4)计算确定；无实测数据是按表 6 确定，当墙高大于 12 m 时，表 6 中的界面阻力系数宜取低值。

平面非网孔式筋材： $f_{GS}=0.667\tan\phi_s$(2)

平面网孔式筋材： $f_{GS}=0.9\tan\phi_s$(3)

立体网孔式筋材： $f_{GS}=0.92\tan\phi_s$(4)

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(°)；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。

表6 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）
土工合成类材料	土工格栅、土工织物	0.25~0.40	0.35~0.45	0.40~0.50
	土工格室	0.35~0.50	0.45~0.55	0.50~0.60
金属材质类材料	钢丝（筋）网	0.30~0.50	0.45~0.65	0.60~0.90

7.2.3.12 筋材设计长度和间距除应满足结构稳定性要求外，还应符合下列规定：

- a) 当墙高小于等于 3.0 m 时，筋材长度不应小于 3.0 m，且应采用等长筋材；当墙高大于 3.0 m 时，筋材最小长度宜大于 0.8 倍墙高，且不小于 5 m；
- b) 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 m；相邻不等长筋材的长度差宜不小于 1.0 m；
- c) 筋材的竖向加筋间距应根据计算确定。石笼网箱面板的最大加筋间距应不大于 100 cm，其他面板形式的最大加筋间距应不大于 80 cm，最小加筋间距应不小于一层填土的最小压实厚度；
- d) 当墙高大于 6.0 m 时，宜在挡土墙中下部加设长度不小于 2.0 m 的辅筋，辅筋竖向间距宜根据不同的面板形式确定。

7.2.3.13 筋材应水平铺设，且满足下列要求：

- a) 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；
- b) 采用生态袋挡土墙时，反包筋材的预留长度宜不小于 2.0 m，并与上层筋材进行可靠连接。

7.2.3.14 面板设计应符合坚固、美观、运输方便、易于安装等要求，面板尺寸及材料应满足 6.4 的要求。当面墙筋材网孔尺寸较大且未采用生态袋构筑面墙时，应在面墙内侧铺衬小网孔的土工网、土工织物或生态植生垫。

7.2.3.15 面板与筋材的连接应坚固可靠。钢丝(筋)网植生面板、石笼网箱面板与金属材质类筋材之间宜采用连续或整体式的成品构件(见附录 C)；与土工合成材料类筋材之间的连接可采用摩擦连接。预制模块面板、土工格室面板与筋材之间的连接可采用预埋连接、插销连接以及连接件连接。

7.2.3.16 预制模块挡土墙应设置伸缩缝、沉降缝；其它类型挡土墙可不设伸缩缝、沉降缝。挡土墙的伸缩缝、沉降缝设置应符合下列要求：

- a) 在墙身断面变化处、与其他构造物相接处宜设置伸缩缝；在软基路段、挡土墙按折线布置转折处以及地地质、水文情况突变处宜设置沉降缝；
- b) 伸缩缝和沉降缝可合并设置，设缝间距宜为 10 m~20 m，应不大于 25 m。

7.2.3.17 路肩式挡土墙的结构设计应考虑挡土墙护栏基础设置的要求，其顶面宽度不应占据硬路肩、行车道及路缘带的路基宽度范围，并应设置护栏。

7.2.3.18 应做好挡土墙与相邻构造物的衔接处理；挡土墙端部可采用护坡、锥坡、护墙等构造措施或直接与相邻的构筑物衔接。

7.2.4 基础设计

7.2.4.1 挡土墙基础设计包括面板基础和加筋体基础两部分，挡土墙宜采用明挖基础。

7.2.4.2 挡土墙的稳定性和地基承载力不满足设计要求时，可采用就地浅层固化、换填、强夯、复合地基或桩基础等方法对挡土墙的基础进行处理。

7.2.4.3 挡土墙纵向基底应做成水平或台阶状，每个台阶长度应不小于 2.0 m，相邻台阶高差宜不大于 2.0 m。

7.2.4.4 挡土墙采用预制模块面板时，在面板下部应设置一条宽度不小于 40 cm，厚度不小于 20 cm，强度不低于 C20 的混凝土或片石混凝土条形基础；采用钢丝(筋)网植生面板、生态袋面板、土工格室面板和石笼网箱面板时，宜在地基上铺设厚度不小于 20 cm 的碎石垫层；当挡土墙设置在混凝土、片石混凝土和中风化硬质岩质地基上时可不设基础。

7.2.4.5 挡土墙的基础设置还应符合下列要求：

- a) 对可能发生不均匀沉降的基础，面板下的条形基础需要布置纵横向钢筋；
- b) 对软弱土地基，除作必要处理外，还应考虑设置扩大基础；
- c) 挡土墙面板基础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，并应符合下列规定：
 - 1) 加筋体面板基础的埋置深度从护脚顶面算起，护脚横断面图见图 5；设置在土质地基上时，面板基础底面的最小埋置深度应不小于 0.6 m；设置在岩石上时，应清除表面风化层，当风化层较厚难以全部清除时，面板基础底面的埋置深度应不小于 0.6 m；
 - 2) 在临河路基或浸水路段，基础受水流冲刷时，应按路基设计洪水频率计算冲刷深度，基础底面应设置于局部冲刷线以下不小于 1 m；
 - 3) 斜坡上的挡土墙面板基础埋深小于 1.25 m 时非浸水挡土墙，应设距地表的水平距离宽度不小于 1.0 m、厚度大于 0.25 m 的护脚防护层，其表面做成向外倾斜 3%~5% 的排水横坡；护脚可采用 M7.5 浆砌片块石、C15 片石混凝土或 C20 混凝土。

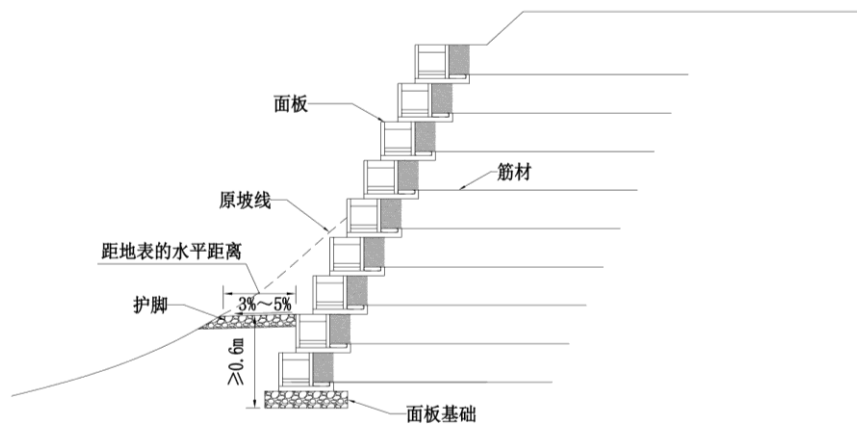


图5 护脚横断面图

7.2.5 排水设计

7.2.5.1 挡土墙应进行表面和内部防排水的综合设计，并满足下列规定：

- a) 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；
- b) 宜先在地基表面设置不小于 20 cm 排水垫层或隔离层填料，再铺设筋材；筋材不宜直接设置于原地基表面；
- c) 加筋体后及墙背宜设置排水层，排水层最小宽(厚)度为 30 cm，碎石排水层与加筋土填料之间应设置反滤层；
- d) 当加筋体后水量较大时，可在排水层底部加设纵横向渗沟。

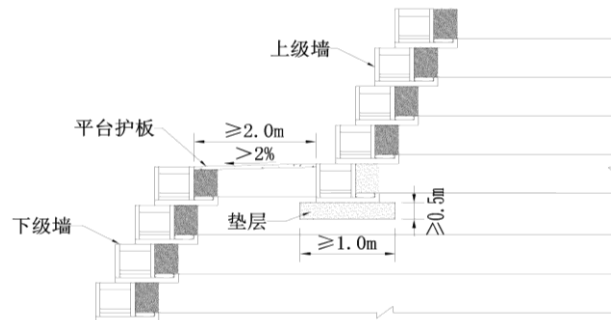


图6 分级挡土墙平台及横断面排水示意图

7.2.5.2 分级挡土墙及护脚排水设计示意图见图 6，并应符合下列规定：

- a) 分级挡土墙的平台顶部应设不小于 2% 的排水横坡；
- b) 分级平台宜采用 C20 及以上、厚度大于 15 cm 的素混凝土防护；平台宽度大于 2.0 m 时，宜设置平台排水沟；素混凝土或平台排水沟下宜采用防渗土工膜或黏土及灰土封闭等可靠平台防水处理措施；
- c) 当多级预制模块挡土墙采用细粒填料填筑时，上级墙的面板下应设置宽度不小于 1.0 m、厚度不小于 0.50 m 的砂砾或灰土垫层。

7.2.5.3 挡土墙可不设排水孔；预制模块挡土墙和石笼面板挡土墙的面板后应设置土工布反滤层。

7.2.6 防护设计

7.2.6.1 挡土墙坡面应采用植物防护。植物防护宜采用喷播草灌乔、喷混植生和插枝灌木等方法。

7.2.6.2 植物类型选择应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；对于陡里面墙不宜采用乔木植物树种；
- d) 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。

7.2.6.3 喷播草灌乔和喷混植生植物防护中的基质理化指标和植被恢复效果评价应符合 DB33/T 916 和设计的要 求。

7.2.7 附属设施设计

7.2.7.1 挡土墙设计应考虑挡土墙护栏和标志等基础设置的要求，挡土墙护栏和标志的设置应符合 JTG D80 和 JTG D81 的规定；

7.2.7.2 挡土墙应根据工程实际、建管养及监测的需要，设置必要的检修台阶或检修梯等设施。

7.2.8 监测设计

7.2.8.1 大型挡土墙、墙体总高大于 12m 的挡土墙和不良地质及特殊性岩土的路 段挡土墙，应按 4.7 条规定进行挡土墙的监测设计，明确监测内容和控制标准，说明施工中应注意的事项；并根据施工监测或现场实际情况进行动态设计。

7.2.8.2 监测设计主要包括挡土墙墙面坡顶和坡脚的水平位移、垂直位移、墙面倾斜度、墙面平整度等内容的监测；在不利季节或灾害性天气中，应增加监测的频次。

7.2.8.3 监测设计应结合建管养一体化的要求，采用物联网技术做好智能化监控，统筹考虑防治效果监测和运营期监测。

7.2.9 图表设计

7.2.9.1 初步设计阶段，应结合沿线地形地质条件、路基横断面设计，根据挡土墙的结构特点和适用条件，进行方案比选，做好结构的总体布局设计，初步确定挡土墙结构类型、形式和基本尺寸；图表设计应符合下列规定：

- a) 应列出挡土墙工程设计方案比较图(表)，比较各种挡土墙方案的优缺点、工程造价等，并作出推荐；
- b) 挡土墙工程数量表应列出挡土墙起讫桩号、长度(左侧、右侧)、挡土墙高度、工程及材料数量等；
- c) 挡土墙工程设计图应绘出主要挡土墙一般设计图，比例可采用 1:50~1:200，按不同高度、坡率等列出每延米工程、材料数量表；
- d) 挡土墙的监测方案设计图与工程数量表。

7.2.9.2 施工图设计阶段，应在初步设计的基础上，进一步确定挡土墙设置位置、墙高、断面型式、起讫桩号及两端衔接方式等，进行相应的工程结构设计计算，进行挡土墙的工点设计；图表设计应符合下列规定：

- a) 挡土墙工程数量表应列出挡土墙起讫桩号、长度(左侧、右侧)、挡土墙高度、工程及材料数量等;
- b) 挡土墙工程设计图应绘出主要挡土墙的立面、断面及详细结构设计图设计图,比例尺用 1:50~1:200,按不同高度、坡率等列出每延米工程、材料数量表;同时还应绘制平、纵面图、逐桩及墙高变化处的横断面图、挡土墙断面大样图、挡土墙顶部护栏基础设计图,以及不同墙高对应尺寸和每延米数量,并计列每处(段)工程及材料数量表。
- c) 按 7.2.8.2 规定,绘制挡土墙监测设计详图及工程数量表。

7.3 设计计算

7.3.1 设计计算流程

挡土墙设计计算按图 7 所示流程进行。

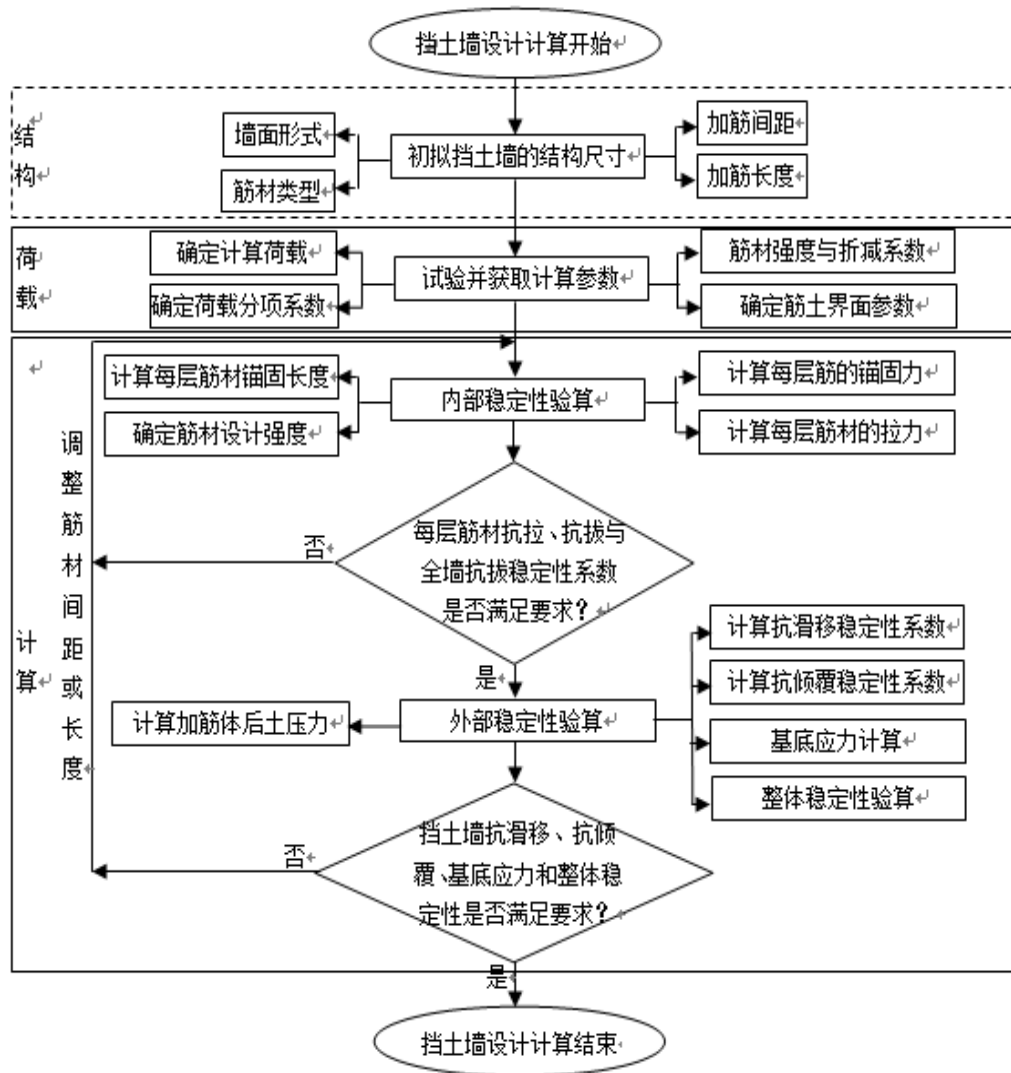


图7 设计计算流程图

7.3.2 荷载

7.3.2.1 挡土墙结构设计的荷载类型按表 7 采用。

表7 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

7.3.2.2 荷载效应组合应符合下列规定：

- a) 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 8 所列的组合；
- b) 一般情况下作用在挡土墙上的力，可只计算永久荷载和基本可变荷载。

表8 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

7.3.2.3 挡土墙按承载能力极限状态设计时，除另有规定外，荷载分项系数按表 9 的规定采用。

表9 承载力极限状态荷载分项系数

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	
	组合	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	

7.3.2.4 挡土墙上受地震力作用时的设计，应符合 JTG B02 的规定。

7.3.2.5 浸水挡土墙计算荷载规定应满足下列要求：

- a) 筋材强度设计采用低水位浮力；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 浸水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。

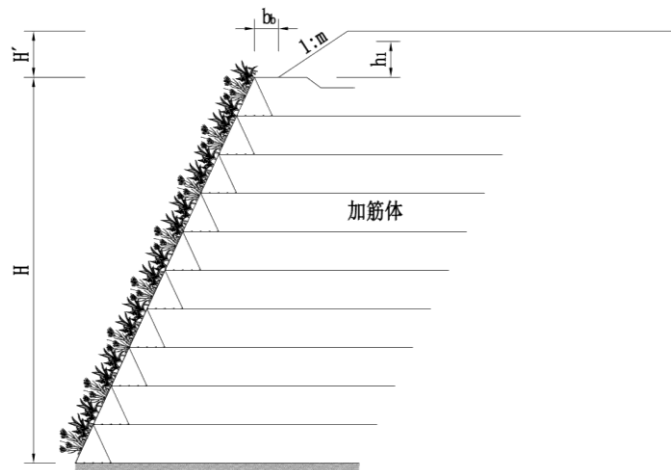
7.3.2.6 当基础埋置较深且地层稳定、不受水流冲刷和扰动破坏时，可计入墙前被动土压力，并按表 9 的规定计入被动土压力分项系数；其它情况的墙前被动土压力可不计。

7.3.2.7 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（5）换算为等代均布土层厚度计算，见图 8。

$$h_1 = \begin{cases} \frac{1}{m}(H/2 - b_b) & (h_1 < H') \\ H' & (h_1 \geq H') \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

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）。



字母符号说明：

图中符号意义与式（5）相同。

图8 加筋体顶部填土的等代均布土层厚度计算图

7.3.2.8 永久荷载重力作用下，筋材所在位置的竖向压应力按式（6）计算：

$$\sigma_i = \gamma(z_i + h_1) \dots\dots\dots (6)$$

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重度分别计入；
- 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）。

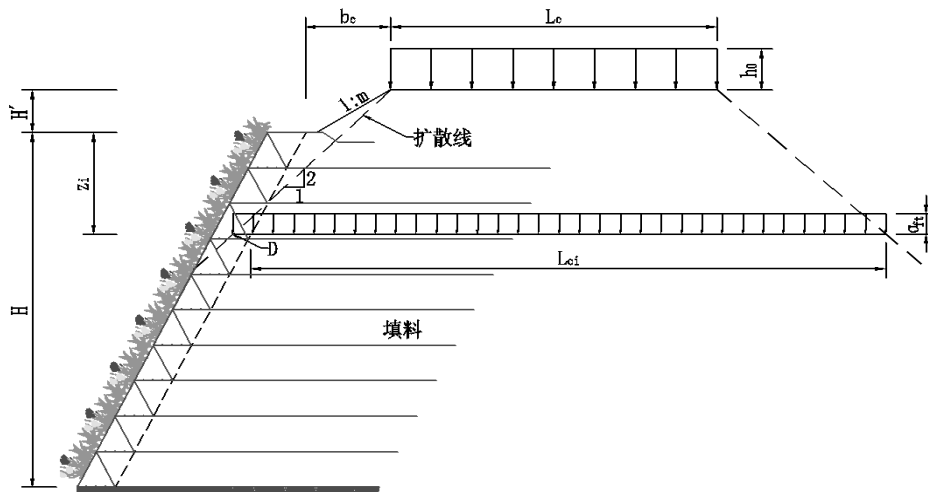
7.3.2.9 车辆荷载、人群荷载引起的附加土体侧压力和竖向土压力按下列规定计算：

- 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 20 kN/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 3 kN/m^2 ，行人密集区取 3.45 kN/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（7）换算成等代均布土层厚度计算：

$$h_0 = \frac{q + q_r}{\gamma} \dots\dots\dots (7)$$

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（8）和式（9）计算，竖向压应力按式（10）计算，见图 9：



字母符号说明：

D——附加荷载边缘在填土内的扩散线与加筋体深度 z_i 处的水平线的交点；

其余图中符号意义与式 (8)、(9)、(10) 相同。

图9 车辆荷载、人群荷载作用下竖向压应力计算图

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

$$\text{当 } z_i > \frac{2b_c - H'}{1 - 2 \tan \alpha} \text{ 时, } L_{ci} = L_c + b_c + \frac{H' + z_i}{2} + z_i \tan \alpha \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma_{fi} = \gamma h_0 \frac{L_c}{L_{ci}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

L_{ci} ——深度 z_i 处应力扩散宽度 (m)，按式 (8) 和式 (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， $\alpha < 26.5^\circ$ ；

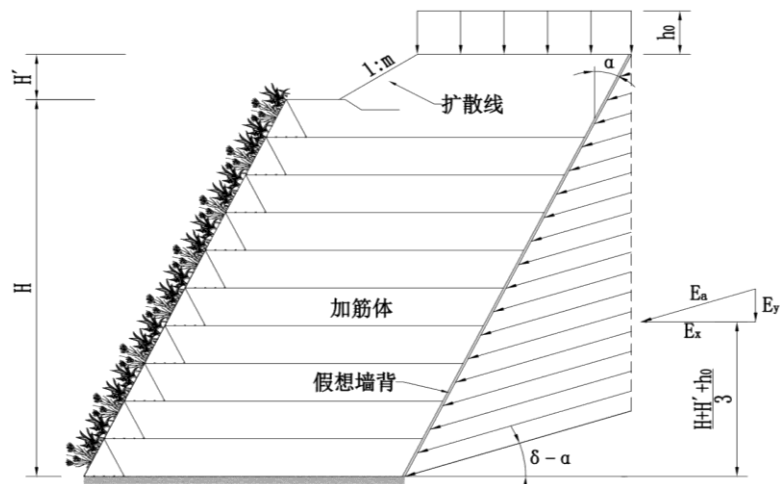
σ_{fi} ——车辆荷载和人群荷载作用下，加筋体内深度 z_i 处的竖向压应力 (kPa)；当图 9 中扩散线上的 D 点未进入活动区时，取 $\sigma_{fi}=0$ ；

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)。

7.3.2.10 外部稳定验算时土压力计算应符合下列规定：

- a) 作用在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 (11) 和式 (12) 计算，见图 10；



字母符号说明:

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)、(12) 相同。

图10 外部稳定性验算时的土压力计算图

$$E_a = 0.5K_{ao}\gamma(H + H' + h_0)^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$K_{ao} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin \phi / [\cos(\alpha + \delta) \cos \alpha]} \right]^2} \dots (12)$$

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' ——加筋体以上路堤的高度 (m);

h_0 ——车辆荷载和人群荷载的等代均布土层厚度 (m);

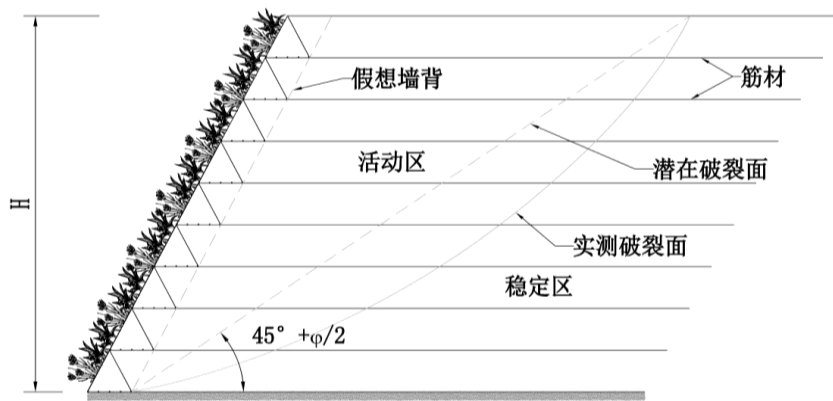
ϕ ——加筋体填料的内摩擦角 (°); 当填料为砂性土时, 取填料的内摩擦角; 当填料为黏性土时, 取黏性土填料的综合内摩擦角 ϕ_0 ;

α ——假想墙背面与竖直线的夹角 (°); 竖直线位于加筋体内时为正, 竖直线位于加筋体外时为负;

δ ——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。

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 或综合内摩擦角 ϕ_0 可参照表 4 选用; 计算水位以下的填料重度采用浮容重。

7.3.2.11 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:



字母符号说明：

图中符号意义与式 (11)、(12) 相同。

图11 挡土墙土压力计算图

- a) 挡土墙墙背土压力系数根据筋材的抗拉模量和延伸率采用柔性筋墙计算模式；
- b) 挡土墙的潜在破裂面简化为图 11 所示破裂面，在破裂面与水平面夹角为 $45^\circ + \phi/2$ ；
- c) 假想面板后的土压力系数 K_a 按式 (13) 计算：

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \dots\dots\dots (13)$$

7.3.2.12 作用于第 i 层假想面板上的水平土压应力 σ_{Ei} 按式 (14) 计算：

$$\sigma_{Ei} = K_i(\sigma_i + \sigma_{fi}) \dots\dots\dots (14)$$

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) 。

7.3.3 计算

7.3.3.1 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 (15) 和式 (16) 计算。

$$\gamma_0 S \leq R(\cdot) \dots\dots\dots (15)$$

$$R(\cdot) = R\left(\frac{R_k}{\gamma_f}, \alpha_d\right) \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- γ_0 ——结构重要性系数，按表 10 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10 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

7.3.3.2 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：

- 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；
- 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；
- 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。

7.3.3.3 筋材抗拉强度验算应符合下列规定：

- 第 i 层筋材受到的水平拉力按式 (17) 式计算：

$$T_i = \gamma_{Q1} \sigma_{Ei} \Delta h_i \dots\dots\dots (17)$$

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 9 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， $\Delta h_i = (d_i + d_{i-1}) / 2$ 。

- 第 i 层筋材的抗拉强度应符合式 (18) 的规定：

$$\gamma_0 \gamma_f T_i \leq T_a \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- γ_0 ——结构重要性系数，按表 10 采用；
 γ_f ——筋材抗拉性能分项系数，各类筋材均取 1.25；
 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)。

7.3.3.4 筋材抗拔稳定性验算应符合下列规定：

- 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；
- 第 i 层筋材的抗拔力按式 (19) 计算：

$$T_{pi} = 2 f_{GS} \sigma_i L_{ai} \dots\dots\dots (19)$$

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 6 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 (20) 的规定:

$$\gamma_0 T_i \leq \frac{T_{pi}}{\gamma_R} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

- γ_0 —— 结构重要性系数, 按表 10 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 11 采用。

表11 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

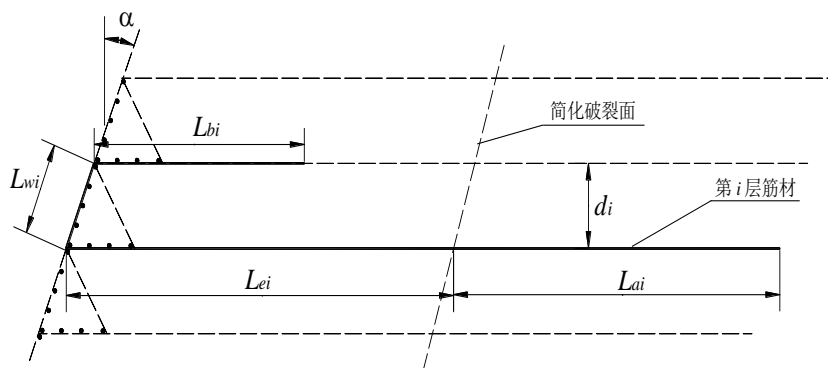
d) 筋材长度按下列规定计算:

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 (21) 计算, 见图 12:

$$L_i = L_{ei} + L_{ai} + L_{wi} + L_{bi} \dots\dots\dots (21)$$

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 2 m;
- 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 为墙面与竖直线夹角;
- L_{bi} —— 回折反包部分长度, 不宜小于 2.0 m。



字母符号说明:

图中符号意义与式 (21) 相同。

图12 筋材长度计算图

2) 筋材有效锚固长度和在主动区长度之和还应满足 7.2.2.12 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。

7.3.3.5 全墙抗拔稳定性验算应按式(22)进行验算:

$$K_b = \frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} \geq 2 \dots\dots\dots (22)$$

式中:

- K_b ——全墙抗拔稳定系数;
- $\sum T_{pi}$ ——各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。

7.3.3.6 挡土墙抗滑稳定验算应符合下列规定:

a) 挡土墙的滑动稳定方程应满足式(23)的验算要求:

$$[1.1G + \gamma_{Q1}E_y] \mu - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p > 0 \dots\dots\dots (23)$$

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 9 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 12 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 9 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, $E_p = 0$ 。

表12 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

b) 抗滑动稳定系数 K_c 按式(24)计算, 并符合表 13 的要求:

$$K_c = \frac{\mu \sum N + E'_p}{E_x} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

K_c ——抗滑动稳定系数；

μ ——基础与地基间的摩擦系数；

ΣN ——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)。

c) 在本标准规定的墙高范围内，验算挡土墙的抗滑动稳定时，抗滑动稳定系数不宜小于表 13 的规定；如果不能满足要求，可加长筋材长度后重新验算。

表13 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

7.3.3.7 挡土墙抗倾覆稳定性验算应符合下列规定：

a) 挡土墙的倾覆稳定方程应满足式 (25) 的验算要求：

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2} E_p Z_p > 0 \dots\dots\dots (25)$$

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 9 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 9 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 (26) 计算，并符合表 14 的要求：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \dots\dots\dots (26)$$

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) 在本标准规定的墙高范围内，验算挡土墙的抗倾覆稳定时，抗倾覆稳定系数不应小于表 14 的规定。

表14 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

7.3.3.8 挡土墙地基承载力计算应符合下列规定：

- 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 $\gamma_{\omega_2}=0.3$ 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 (27) 计算：

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \dots\dots\dots (27)$$

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 ，土质地基不应大于基底宽度 $B/6$ ，岩质地基不应大于基底宽度 $B/4$ ； $e < 0$ 时，取 $e = 0$ 。

- d) 挡土墙基底压应力满足地基承载力要求，按式 (28) 计算：

$$\sigma = \frac{\sum N}{B - 2e} \leq k f'_a \dots\dots\dots (28)$$

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 $f/a > 150$ 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)，可参照《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能满足承载力、稳定和变形的要求。

7.3.3.9 挡土墙地基沉降计算应符合下列规定：

- a) 土质地基上的挡土墙，当软土地基或下卧层有软弱夹层的地基、挡土墙地基应力接近地基允许承载力、挡土墙基底的地基沉降不符合设计规定的要求时，凡属上列情况之一者，应进行地基沉降计算；
- b) 地基沉降计算应按 JTG D30 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，应采用调整挡土墙结构形式、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。

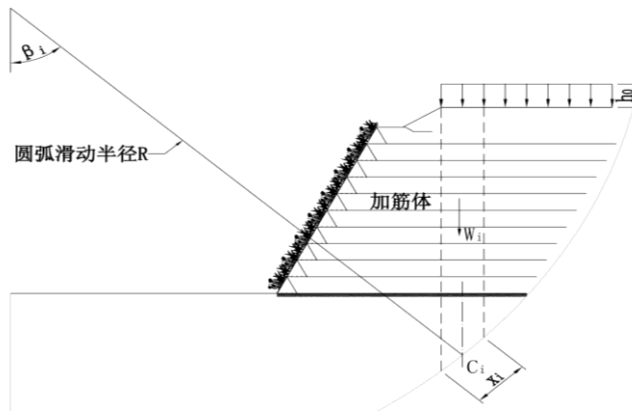
7.3.3.10 挡土墙整体稳定性验算应符合下列规定：

- a) 设置于不良土地基、覆盖土层下为倾斜基岩地基及斜坡上的挡土墙，应进行加筋体与地基整体稳定性验算，计算模型见图 13，挡土墙整体滑动稳定系数不应小于 1.25；
- b) 整体滑动稳定系数 K_s 按式 (29) 计算：

$$K_s = \frac{\sum (c_i x_i + W_i \cos \beta_i \tan \phi_i)}{\sum W_i \sin \beta_i} \dots\dots\dots (29)$$

式中：

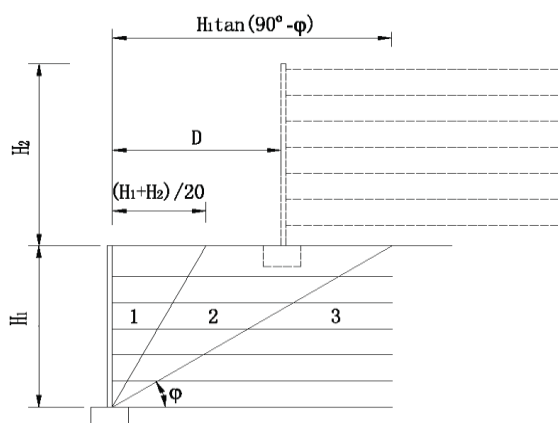
- K_s —— 整体滑动稳定系数；
- c_i —— 第 i 土条的黏聚力 (kPa)；
- x_i —— 第 i 土条弧长 (m)；
- W_i —— 第 i 土条的重力 (kN/m)；
- β_i —— 第 i 土条滑动弧法线与竖直线的夹角 (°)；
- ϕ_i —— 第 i 土条的滑动面处内摩擦角 (°)。



字母符号说明：
图中符号意义同式 (29)。

图13 挡土墙整体稳定性计算模型图

7.3.3.11 多级挡土墙整体稳定性分析计算模型见图 14，其分级平台宽度 D 不宜小于 2.0m，并应根据分级平台宽度及基础位置条件按表 15 的规定进行整体稳定性验算，其余计算应符合本标准规定的要求。



标引序号说明：

- 1——下级墙影响显著区；
2——下级墙稳定过渡区；
3——下级墙稳定区。

图14 多级挡土墙整体稳定性分析计算模型图

表15 多级挡土墙整体性稳定计算方法

上级面板基础位置条件	平台宽度情况	计算方法
位于图 14 中的 1 区	$D \leq (H_1 + H_2) / 20$	按单级加筋土挡墙模式进行设计
位于图 14 中的 2 区	$(H_1 + H_2) / 20 \leq D \leq H_2 \tan(90^\circ - \varphi)$	逐级分析设计。最上层一级挡土墙可采用单级加筋土挡墙的模式设计，下级墙应将上级墙作为外加荷载进行外部和整体稳定性检算。
位于图 14 中的 3 区	$D > H_2 \tan(90^\circ - \varphi)$	各级挡土墙可进行单独设计。
注1：D为分级平台宽度； H_1 为上级墙高度； H_2 为下级墙高度； φ 为填料内摩擦角。		
注2：图14中符号意义与表15中相同。		

7.3.3.12 预制模块面板应按下列规定设计计算：

- 作用于单板上的土压力视为均匀分布；
- 面板作为两端外伸的简支板，沿垂直方向和水平方向分别计算内力；
- 墙面板与筋材的连接部分宜适当加强；
- 其他未列内容应按现行 JTG 3362 执行。

7.3.3.13 挡土墙的设计计算应用案例见附录 E。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 挡土墙施工包括施工准备、基础施工（基坑槽开挖、地基处理、基础砌筑或浇筑、排水设施）墙体施工（墙面组件安装、筋材铺设、填料摊铺与压实）和附属结构施工等内容。

8.1.2 挡土墙的施工应实行首件制，明确首件工程位置、数量、生产工艺和技术要求，首件制长度不宜小于 20 m；首件工程经检验合格后应编制首件工程报告，报监理单位批准后，指导挡土墙施工。

8.1.3 施工时应按照 JTG/T 3610、JTG/T D32 的规定和设计要求，加强施工质量检查工作，并采取有效措施保证工程质量。

8.1.4 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，并做好施工检验记录。

8.1.5 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。

8.1.6 应按设计要求挡土墙与路基填方、桥台相接处应衔接合理、紧密，做到过渡平滑、安全稳固。

8.1.7 施工过程中应按照监测设计要求对挡土墙进行监测，并根据监测数据，掌握挡土墙的稳定状态，必要时立即调整施工方法或采取其他有效措施。

8.1.8 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，并符合下列规定：

- a) 各种材料应分类保管；不应露天存储，存放场所应通风干燥，远离火源；
- b) 在运输、储存过程应封盖，避免筋材、面板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) 对因结构需要而临时裸露的材料应采取保护措施进行覆盖。

8.1.9 挡土墙的施工工艺流程见图 15。

8.2 施工准备

8.2.1 施工前应熟悉设计文件，理解设计意图，做好对工程环境、施工条件和地质条件的现场核查和测量工作；当设计与实际情况不同时，应按程序通知相关方，设计单位立即修改完善设计方案。

8.2.2 开工前应根据施工路段的地形、地质、水文、气象、环境条件、设计要求和工期要求，做好施工组织设计。其内容一般包括编制说明、工程概况、施工总体规划（施工内容、组织机构、人员、设备、工期等）、施工方案（施工工艺、施工方法等）和质量、安全、环境保证措施以及安全应急预案等。

8.2.3 施工人员配置应满足工程施工和质量技术管理的需要。挡土墙施工前，应根据设计要求、施工内容和批复的施工技术方案，按相关程序要求分级对主要技术管理人员、施工人员进行质量、安全和环保等技术交底，交底过程形成书面记录。

8.2.4 开工前应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），并用素混凝土包封保护。

8.2.5 路基中轴线加密桩点及横断面测量应符合下列规定：

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

8.2.6 施工前应对各项材料进行核对，并根据设计文件要求，对筋材和面板按附录 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检测。监理单位应抽检，合格后方可用于工程。

8.2.7 经施工单位自检和监理单位抽检合格的筋材，在装卸、转运和堆放过程中应执行厂家提供的装卸吊运方法，并做好防火工作。

8.2.8 除按路基施工要求配备压实机械外，还应选备振动板、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。

8.2.9 施工现场应设置醒目的安全、警示标志和安全防护设施。

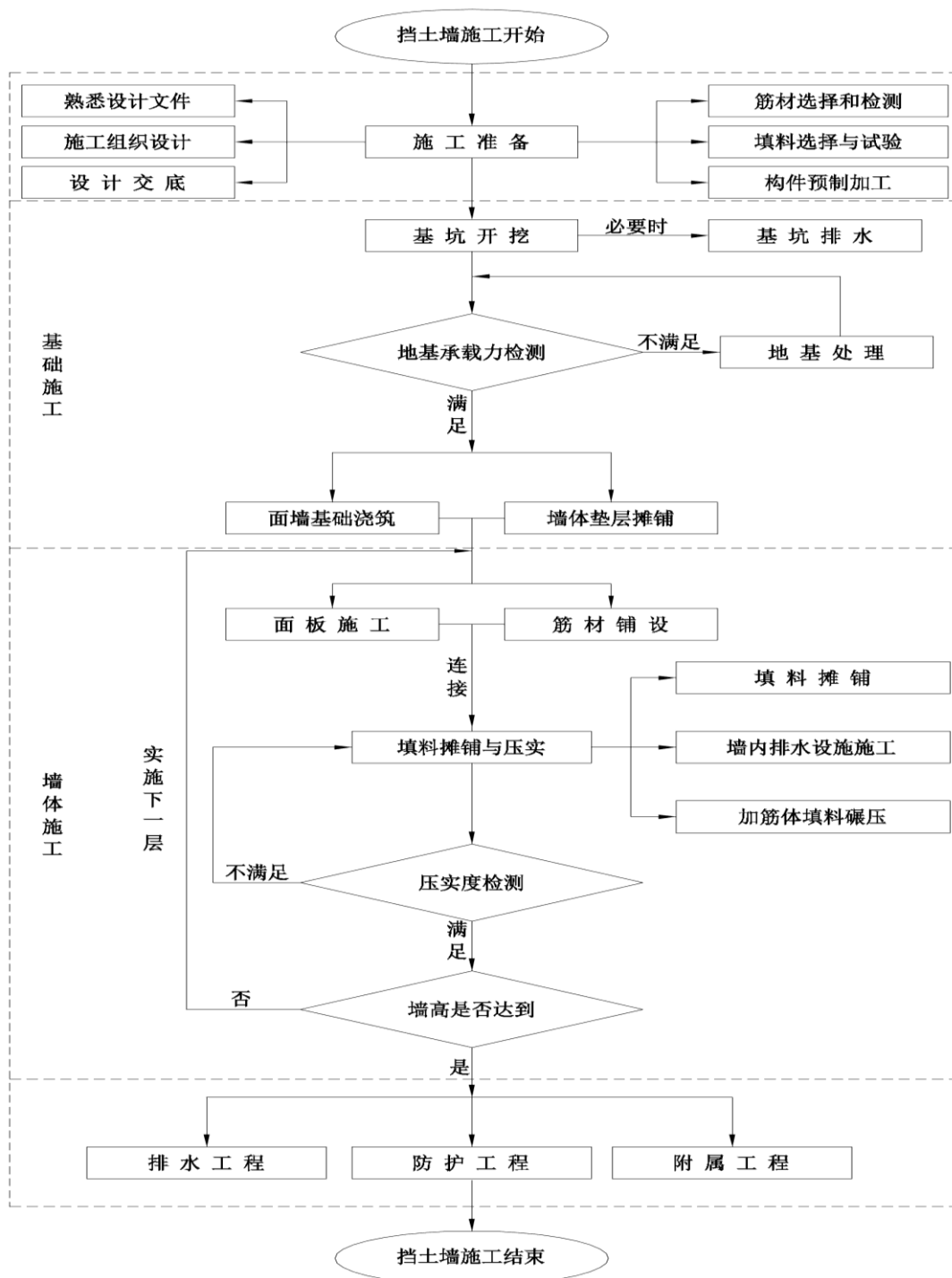


图15 挡土墙施工工艺流程图

8.3 施工要求

8.3.1 挡土墙基础施工

8.3.1.1 根据设计要求对施工现场测量放线，并符合下列规定：

- 中线测量、恢复原有中线桩，测定挡土墙面墙基线，并根据 8.2.4 规定做好设桩工作；

- b) 水平测量、测量中线桩和挡土墙基础标高，并设置施工水准点；
- c) 复测中线桩核对横断面并按需要增补横断面测量。

8.3.1.2 挡土墙基坑开挖应符合下列规定：

- a) 挡土墙基础施工前应清除地表腐植土、杂物、表面风化和松软的土石；
- 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) 基坑开挖宜分段跳槽进行，分段位置宜结合伸缩缝、沉降缝的位置确定；
- d) 开挖时应控制基底高程，不应超挖填补；超挖后不应回填虚土；当开挖接近基底设计标高时，应保留 0.1m~0.2m 厚度；在基础施工前再人工挖除；
- e) 开挖时如有涌水或雨水流入，应设置专门的排水设施；土质或易风化软质岩石地基在雨季开挖时，应在基坑挖好后及时封闭坑底；
- f) 基础开挖时，应根据土质、水文和开挖深度等条件选择安全的边坡坡度或支撑防护措施，并对基坑边坡稳定性进行观测，必要时应采取相应的处理措施；在松散软弱土质路段，挖弃土或坑边材料的堆放不应影响基坑的稳定；
- g) 基坑开挖后应对坑底整平、压实，及时施作基础或挡土墙，不应使基坑长时间暴露或被扰动、浸泡。

8.3.1.3 基坑开挖后应及时进行检验，并符合下列规定：

- a) 基坑几何尺寸应满足设计要求；
- b) 确认基底土质与设计文件是否相符，承载力是否满足要求。当基底土质与设计不同时，应有文字和影像记录并取样分析，报监理单位复核后提请设计单位调整设计方案；
- c) 对地基承载力进行检测，当地基承载力不满足要求时，应按设计和 JTG/T D31—02 的要求对地基进行处理；
- d) 基础检验合格并经监理单位确认后，方可进行基础施工。

8.3.1.4 基础施工应符合下列规定：

- a) 当基底为软弱土层时，应按设计和 JTG/T D31—02 的要求进行地基处理施工，施工质量应符合 JTG/T 3610 的规定；
- b) 垫层应分层摊铺、压实，并符合设计和 JTG/T 3610 的规定；
- c) 基础采用混凝土或片石混凝土的强度应满足设计要求；混凝土强度达到设计强度的 75%后，应采用小型压实机械立即对基坑分层回填夯实；
- d) 基础的施工质量应符合表 16 的规定。

8.3.2 面板施工

8.3.2.1 钢丝（筋）网墙面板施工应符合下列规定：

- a) 钢丝（筋）网面板单元组装：先将钢丝（筋）网面展开，再将配备的土工垫、焊接钢筋网架、三角固定架、支撑杆等按设计图纸组装成钢丝（筋）网面板单元，确保面板倾斜度与设计一致；
- b) 钢丝（筋）网面板定位与连接：将钢丝（筋）网面板单元摆放在指定位置，并采用绑扎钢丝或 C 型钉将相邻钢丝（筋）网面板单元连接成整体；绑扎钢丝应按间隔 10cm~15cm 单圈缠绕—双圈锁紧的方式绞合，C 型钉间距不宜大于 20cm；
- c) 面板反包部分钢筋网片或筋材可采用木桩临时固定于挡土墙外侧；
- d) 钢丝（筋）网面板材料质量和规格应符合设计要求；面板的施工质量应符合表 17 的规定。

8.3.2.2 生态袋面板施工应符合下列规定：

- a) 装填生态袋：将适合植物生长的客土装入生态袋，并保证袋体充盈；客土内宜添加一定的砂性土、有机肥或复合肥和植物种子；生态袋面板宜现装现垒，已装填的生态袋不应长时间曝晒或被雨水淋泡；
 - b) 筋材裁剪与铺设：筋材裁剪时应按设计要求有足够的长度，并预留反包筋材的长度；
 - c) 生态袋码砌：将装好土料的生态袋按设计墙面坡率和加筋间距分层码砌形成墙面；生态袋码砌时应按先内后外逐层进行，并层层错缝，不宜出现贯通多层的通缝；两层生态袋之间应放置排水联结扣，并使每个排水联结扣骑跨两个生态袋，排水联结扣的棘爪应刺入生态袋；
 - d) 面板压实整型：每层生态袋铺设完成后应用小型机具人工将其压实，并对其上表面和外侧整型，做到“顺直、平整、密实”，袋体外露部分不起皱，相邻袋体无明显高差；
 - e) 生态袋面板安装后应喷灌浇水，保持墙面湿润；
 - f) 生态袋墙面板施工质量应符合表 18 的规定。
- 8.3.2.3 土工格室面板施工应符合下列规定：**
- a) 放线定位：在铺设工作面挂线或用石灰划线，按照厂家提供的张拉锚固距离设置锚固楔钉（木楔或铁楔），楔钉顶面应高出土工格室高度 1 cm~3 cm；
 - b) 土工格室铺设：借助已打入的锚固楔钉，将土工格室完全展开并铺设在下承层上；土工格室的主受力方向应与路面横断面方向一致；
 - c) 土工格室填土：将符合要求的客土均匀填入土工格室的各个格室内，并高出格室高度 1 cm~2 cm；客土应选择种植土，不应使用掺杂石块、砂砾的填料，充填时应使每个格室中的客土密实，并符合首件工程明确的松铺厚度要求，再用小型压实机械或人工夯实；
 - d) 重复 b)、c) 步骤以形成墙面；
 - e) 土工格室面板施工质量应符合表 19 的规定。
- 8.3.2.4 预制模块面板施工应符合下列规定：**
- a) 预制模块面板的预制应符合下列要求：
 - 1) 预制模块面板宜采用钢模预制；
 - 2) 预制模块面板外观尺寸、混凝土强度和预埋件等应满足设计要求，且应做到外光内实，轮廓清楚，线条顺直，无掉角啃边。
 - b) 预制模块面板的安装应符合下列要求：
 - 1) 预制模块墙面板可采用干砌或浆砌方式施工；
 - 2) 面板砌筑应横平竖直，砌缝均匀一致，上下层错缝；
 - 3) 按照设计要求进行放坡。每层应用垂球挂线核对，每安装完三层面板应用仪器测量标高及轴线。
 - c) 面板与筋材之间的连接应符合下列要求：
 - 1) 插销连接：面板安装时，宜将筋材置于上下两层模块之间，在预留的插孔中放置销钉进行连接；
 - 2) 预埋连接：预制模块时，宜将一定长度的筋材浇筑到模块中，外露侧至少预留一条横肋，通过连接棒将其与筋材连接；聚酯类土工格栅和土工布不应采用浇筑于混凝土中的方式进行连接；
 - 3) 连接件连接：预制模块时在其上下侧预留楔口，面板安装时将筋材置于上下模块间通过专用连接件将面板与筋材相连；
 - 4) 对于各种连接形式，施工中均应注意将连接部位拉紧，避免局部的应力集中与损伤。
 - d) 预制模块面板挡土墙施工质量应符合下列规定：
 - 1) 墙面板安装应根据高度和填料情况设置适当的仰斜，斜度宜为 1:0.02~1:0.05。安装好的面板不应外倾斜；

2) 模块面板的预制和安装质量应符合表 20 和表 21 的规定。

8.3.2.5 石笼网箱面板施工应符合下列规定：

- a) 组装单个石笼网箱面板：将石笼网箱面板单元展开，面板、边板、隔板及背板均应垂直摆放，采用绑扎钢丝或 C 型钉进行现场连接与组装；
- b) 整体组装石笼网箱面板：将组装好的单个石笼网箱面板单元首尾相接地摆放在指定位置，并用绑扎钢丝或 C 型钉将相邻棱角连接起来；
- c) 装填石料：填充石料前，宜在石笼网箱面板外侧设置木板或钢管等临时约束装置。石笼网箱填石应按每层 25 cm~35 cm 的高度分层填充，面墙外侧 30 cm 宽范围应采用人工码砌，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；
- d) 石笼网箱封盖：盖板与网箱四周及隔板采用绑扎钢丝或 C 型钉连接封盖；
- e) 石笼挡土墙施工质量应符合下列规定：
 - 1) 石笼制作应符合 JTG/T 3610—2019 第 6.4.6 条的规定；
 - 2) 每层挡土墙施工完毕后，墙背应及时回填；回填面应与石笼顶面持平，墙后回填土应压实，压实度应符合设计要求；
 - 3) 石笼网箱面板施工质量应符合表 22 的规定。

8.3.3 筋材铺设

8.3.3.1 筋材铺设时应拉直、铺平，不应出现皱褶、突起现象，可用 U 型铁钉或小木桩固定使其紧贴承接土层。筋材铺设后应及时用填料覆盖。施工时筋材暴露总时间不应超过 8 小时。

8.3.3.2 筋材的主受力方向（抗拉强度高的方向）应与路基横断面方向一致；施工时应根据设计长度确定筋材的剪裁长度，避免在主受力方向连接。确需在主受力方向连接时，应采用连接棒、连接件或其他连接形式连接，连接强度不应低于筋材极限抗拉强度的 80%。

8.3.3.3 相邻筋材或加筋单元应通过搭接或绞接方式联接成一整体；相邻筋材采用搭接时，搭接宽度不宜小于 15 cm，且不同层面的搭接位置宜相互错开，错开距离不小于 1.0 m。

8.3.3.4 筋材与面板之间的连接应牢固，连接处强度不应低于筋材的极限抗拉强度的 80%。

8.3.3.5 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 10 cm，粒径大于 6 cm 的含量不宜超过 30%。

8.3.3.6 加筋体顶部应按设计要求施工封闭层。

8.3.3.7 筋材的施工质量应符合表 23 的规定。

8.3.4 填料摊铺与压实

8.3.4.1 填料应符合设计要求。填料采集前应进行土工实验，获得填料的最佳含水量、最大干密度以及相应的物理力学指标；

8.3.4.2 加筋体填料应均匀回填、分层摊铺、压实平整，填料顶面横坡符合设计要求：

- a) 应根据首件试验确定的填料碾压机具、分层松铺厚度、碾压速度、碾压遍数等施工设备和工艺参数进行填料摊铺与压实；
- b) 填料摊铺、碾压应先从筋材中部开始并平行于墙面进行，再向筋材尾部逐步摊铺、压实，然后向墙面方向进行；人工摊铺填料应顺筋材长度方向作业，分层厚度不大于 20 cm；
- c) 填料碾压时，压实机械应先轻后重；第一遍宜用轻型压路机械碾压；若采用振动压路机，应进行不震动碾压；不应采用羊足碾压机压实；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 5 cm 的细土料；在距面墙 1.0 m 处应设明显标志；
- d) 靠近面墙 1 m 范围内的填料应用小型机具压实或人工夯实；

- e) 机械行驶方向应与墙面平行, 不应在未覆盖填料的筋材上行驶, 不应在未经压实的填料上急剧改变运行方向和急刹车;
- f) 每层填料摊铺完毕, 应及时碾压密实。特殊情况需延时碾压时, 可用塑料薄膜覆盖填料;
- g) 雨天不应进行填料摊铺和压实作业。

8.3.4.3 加筋体后的路基填料施工应与加筋体同步进行。

8.3.4.4 加筋体填料施工量应符合表 24 的规定; 当压实度采用灌砂法、灌水(水袋)试验时, 试坑底面位置为每一压实层底部; 采用环刀法试验时, 取样位置应为压实层厚的 1/2 深度处。

8.3.5 排水、防护及附属工程

8.3.5.1 排水工程施工应符合下列规定:

- a) 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;
- a) 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;
- b) 反滤层应采用首件工程明确的砂、卵砾石、角砾或碎石等材料;
- c) 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, 不应有杂物; 施工质量应符合 JTG/T 3610 的规定。

8.3.5.2 防护工程施工应符合下列规定:

- a) 挡土墙坡面经验收合格后, 应及时进行植物绿化防护;
- b) 植物防护施工前, 应根据墙面植物群落设计要求, 合理确定绿化物种;
- c) 植物种子应有检验合格报告, 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; 草本植物用种量应按设计要求配制, 并根据发芽率高低、喷播季节和环境、建植目标群落的不同适当增减; 灌木植物密度成苗数不小于 3 株/m²;
- d) 喷播草灌乔和喷混植生植物防护应按首件工程批准的种子配制和基材配置(客土、黏合剂和保水剂等基材添加剂、复合纤维料、泥炭土、有机肥、种子和水等); 在基材喷播前应按规定报验, 其理化指标符合设计方可使用;
- e) 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, 控制用水量和搅拌时间, 搅拌时间宜不少于 2 分钟;
- f) 基材混合料应通过专用喷播设备喷附到挡土墙墙面, 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; 喷播厚度首件工程批准的厚度控制;
- g) 喷播完成后(高次团粒喷播植被防护除外)应对墙面铺设无纺布或遮荫网;
- h) 植物防护采用插枝或种植方式时, 应将植物的根或枝条末端插入到挡土墙面墙后的填料内;
- i) 植物防护施工技术和质量应满足 DB33/T 916 和 JTG/T 3610 的规定;
- j) 植物防护施工完成后, 应对植被进行养护, 并对外观质量和局部缺陷进行整修或处理、评价。

8.3.5.3 附属设施(护栏基础、护栏和建管养设施等)的施工应满足设计要求。

8.3.6 施工监测

8.3.6.1 挡土墙的施工应进行动态监测, 动态监测项目、内容和频率应满足监测设计的要求。

8.3.6.2 挡土墙路段观测点宜布置在同一横断面上, 且观测点横断面不宜少于 2 个; 同一横断面变形观测点不宜小于 3 个; 地基条件差、地形变化大和差异变形大的部位应增设置观测点断面。

8.3.6.3 各类观测点、基准点在观测期均应采取有效措施加以保护并在标杆上涂设醒目的警示标志。

8.3.6.4 当挡土墙墙身的变形和沉降发现异常变化时, 应立即分析原因并采取处理措施, 待挡土墙恢复稳定后, 方可继续施工挡土墙。

8.3.7 施工实例

柔性生态加筋挡土墙的施工应用实例见附录F。

9 质量检验

9.1 一般规定

- 9.1.1 挡土墙作为路基工程的一个分项工程进行检验评定，应按基本要求、实测项目、外观质量和质量保证资料等检验项目进行质量检验。
- 9.1.2 使用的原材料、半成品、成品及施工控制要点和施工质量等符合基本要求的規定，无外观质量限制缺陷且质量保证资料真实齐全时进行检验评定。
- 9.1.3 一般项目的合格率应不低于 80%，关键项目（文本中以“△”标识的实测项目）合格率应不低于 95%，否则该检验项目为不合格。
- 9.1.4 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。凡不合格者应进行整修或返工处理直至合格；
- 9.1.5 挡土墙质量检查与评定除符合本标准的规定外，其余应按照 JTG F80/1 的规定执行。

9.2 基本要求

- 9.2.1 挡土墙基础地基承载力、变形、稳定性和埋置深度应满足设计要求。
- 9.2.2 筋材施工质量应符合下列规定：
 - a) 筋材的质量、规格和数量，应满足设计和本标准的要求，无老化，外观无破损，无污染；
 - b) 筋材的铺设层数、范围、方向应符合设计要求；
 - c) 铺设的筋材应无皱折、紧贴下承层；筋材与面板、筋材与筋材连接牢固；上、下层筋材的搭接缝宜交替错开。
- 9.2.3 筋材施工质量应符合下列规定：
 - a) 筋材的质量、规格和数量，应满足设计和有关规范的要求，无老化，外观无破损，无污染；
 - b) 在筋材的铺设层数、范围、方向应符合设计要求；
 - c) 铺设的筋材应无皱折、紧贴下承层；筋材与面板、筋材与筋材连接牢固；上、下层筋材的搭接缝应交替错开。
- 9.2.4 填料施工质量应符合下列规定：
 - a) 填料性质、级配和压实度应符合设计要求，墙面、坡面无填料漏失；
 - b) 加筋体填土应和挖方路基、填方路基搭接，并应满足设计要求；
 - c) 填土应分层填筑压实，每层表面平整，顶层路拱合适，排水良好；
 - d) 反滤层的材料、铺设范围应满足设计要求。
- 9.2.5 面板施工质量应符合下列规定：
 - a) 混凝土预制模块构件材料、质量和规格应符合设计要求，且不应存在 JTG F80/1—2017 附录 P 所列限制缺陷；
 - b) 石笼网箱、绑扎钢丝和填石的种类、规格和质量应满足设计要求。石笼应充填饱满，填充率满足设计要求；石笼的坐码或平铺应错缝，绑扎应牢固，不应出现松脱、遗漏；
 - c) 生态袋和土工格室的几何尺寸、质量技术指标和施工工艺要求应符合设计要求；
 - d) 墙面平整，外观上无漏土、外鼓变形等严重缺陷。
- 9.2.6 排水工程设置和施工应满足设计要求；工程齐全、沟底平整、不渗漏、线条直顺、曲线圆滑、排水畅通。

9.2.7 墙面防护和绿化应满足设计要求，做到植被防护乔、灌、草错落有致。

9.2.8 沉降缝、伸缩缝、泄水孔的位置、尺寸和数量应满足设计要求；沉降缝及伸缩缝应竖直、贯通，采用弹性材料填充密实，填充深度满足设计要求。

9.2.9 安全设施及管养等附属设施等设置位置、尺寸和数量应满足设计要求。

9.3 实测项目

9.3.1 挡土墙基础实测项目见表 16。

表16 挡土墙基础实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频度
1△	混凝土强度 (MPa)		在合格标准之内	按《公路工程质量检验评定标准 第一册土建工程》(JTG F80/1—2017)附录D检查。
2	平面尺寸 (mm)		±50	全站仪：测墙顶外边线，长度不大于30 m时长度各宽度各测3点，每增加10 m增加1点。
3	轴线偏位 (mm)		≤25	全站仪：测墙顶外边线，长度不大于30 m时长度各宽度各测2点，每增加10 m增加1点。
4	顶面高程 (mm)		±30	水准仪：长度不大于30 m时测5点，每增加10 m增加1点。
5	基底高程 (mm)	土质	±50	水准仪：长度不大于30 m时测5点，每增加10 m增加1点。
		岩质	+50, -200	

9.3.2 挡土墙面板实测项目见表 17~表 22。

表17 钢丝（筋）网植生面板实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1△	单元构件（长、宽、高）	±5%	丈量：每 20 m 检查 5 个
2	钢筋（丝）防腐处理	符合设计	每 20 m 检查 10 处

表18 生态袋面板实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	垒砌、联结	压实度不低于 75%	丈量：每 100 ² m 抽查 10 处
2	生态袋数量	不少于设计要求	丈量：每坡面抽查 20%

表19 土工格室面板实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	锚杆设置间距	符合设计要求	丈量：每层面抽查 20%
2	面板填土厚度 (mm)	0~20	丈量：每 100 ² m 抽查 10 处

表20 预制模块面板预制实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频度
1△	混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1—2017)附录 D 检查
2	边长 (mm)	边长小于 1 m	±5	丈量: 每板长宽各量 1 次, 抽查 10%
		其他	0.5%边长	
3	两对角线差 (mm)	边长小于 1 m	≤10	丈量: 每板测 2 对角线, 抽查 10%
		其他	0.7%最大对角线长	
4△	厚度 (mm)		+5, -3	丈量: 每板测 2 处, 抽查 10%
5	表面平整度 (mm)		≤5	2m 直尺: 每板长方向测 1 次, 抽查 10%
6	预埋件位置 (mm)		≤5	丈量: 抽查 10%

表21 预制模块面板安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	每层面板顶高程 (mm)	±10	水准仪: 长度不大于 30 m 时测 5 组, 每增加 10 m 增加 1 组
2	轴线偏位 (mm)	≤10	挂线、丈量: 长度不大于 30 m 时测 5 点, 每增加 10 m 增加 1 点
3	面板垂直度或坡度 (%)	+0, -0.5	铅锤法: 长度不大于 30 m 时测 5 处, 每增加 10 m 增加 1 处
4	相邻面板错台 (mm)	≤5	丈量: 长度不大于 30 m 时测 5 条缝最大处, 每增加 10 m 增加 1 条
5	面板缝宽 (mm)	≤10	丈量: 每 30 m 检查 5 条, 每增加 10 m 增加 1 条

表22 石笼网箱面板实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	单元构件 (长、宽、高)	±5%	丈量: 每 20 m 检查 5 个
2	石料强度 (MPa)	符合设计要求	抽查 2%
3	填充密实度 (%)	符合设计要求	目测&密度测试
4	绞合连接	符合设计要求	丈量&目测: 每 20 m 检查 2 处, 用手用力拽, 不会滑动。
5	墙面平整度 (mm)	≤50	2 m 直尺: 每 20 m 测 3 处, 每处测竖直和墙长两个方向

9.3.3 挡土墙筋材实测项目见表 23。

表23 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
1△	筋材尺寸 ^a (mm)	筋材长度	不小于设计值	尺量：每 20 m 检查 5 束
		单元构件	单元构件长、宽、高：±5%； 筋长：不小于设计值	尺量：每 20 m 检查 5 个
2	筋材与面墙连接		符合设计	目测：每 20 m 检查 5 处
3	筋材与筋材连接		符合设计	目测：每 20 m 检查 5 处
4	筋材铺设	层数	符合设计	目测：每 20 m 检查 5 处
		间距(mm)	±50	尺量：每 20 m 检查 5 处
5	钢筋(丝)防腐处理		符合设计	每 20 m 检查 10 处
^a 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。				

9.3.4 挡土墙墙背填料实测项目见表 24。

表24 挡土墙墙背填料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1△	距面墙 1 m 范围以内(%)	≥90%	密度法：每层 50 延米每压实层测 1 处，并应不小小于 1 处
2	距面墙 1 m 范围以外(%)	符合设计要求	密度法：每层 100 延米每压实层测 2 处，并应不小小于 2
3	反滤层厚度 (cm)	不小于设计要求	尺量：长度不大于 50m 时测 5 处，每增加 10 m 增加 1 处。

9.3.5 挡土墙总体实测项目见表 25。

表25 挡土墙总体实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	墙顶平面位置 (mm)	路堤式	+50, -100	经纬仪：长度不大于 30 m 时测 5 点
		路肩式	±50	
2	墙顶高程 (mm)	路堤式	±50	水准仪：长度不大于 30 m 时测 5 点
		路肩式	±30	
3	墙面倾角		-0.5° , +3°	坡度仪：每 30 m 测量 1 处
4	墙面倾斜度 (mm)		+0.5%H 且不大于+50, -1%H 且不小于-100	铅锤法或坡度板：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 5 m 增加 1 点
5	墙面平整度 (mm)		±50mm (台阶式不做要求)	2 m 直尺：每 20 m 检查 3 处，每处检测竖直和墙长两个方向

表25 挡土墙总体实测项目（续）

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
6	预制面板缝宽 (mm)	≤10	尺量：每20 m至少测5条
注1：挡土墙平面位置“+”为外，“-”为内；墙面倾角“+”为外，“-”为内； 注2：预制面板缝宽仅针对预制模块面板挡土墙实测项目要求。			

9.4 外观鉴定

9.4.1 墙面直顺，线形顺适，沉降缝贯通垂直。

9.4.2 钢丝（筋）网面不应有断丝，且不应有破损、锈蚀（钢丝切断面除外）；石笼式挡土墙外露面石块应砌筑平整。

9.4.3 生态袋大小均匀、码砌平整；筋材无老化、外观无破损和无断裂现象。

9.4.4 混凝土预制面板表面应平整光洁，模块表面完整，线条顺直美观，不应有破损翘曲、掉角、啃边等现象。

9.4.5 墙面绿色覆盖均匀、饱满，无斑秃，植被无明显病虫害现象。

9.4.6 排水工程齐全，沟底平整、排水畅通，坡面无冲刷。

9.4.7 安全设施、管养设施等附属工程齐全。

9.4.8 挡土墙应相邻结构工程衔接平顺，与周围环境协调性好。

附 录 A
(规范性)
常用筋材主要技术指标

A.1 土工合成材料类筋材应选用整体性好、强度高、变形小、耐久性好、筋土界面阻力系数大、连接牢固可靠、方便施工的材料，并符合下列规定：

- a) 高密度聚乙烯单拉塑料格栅 (HDPE) 技术要求：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。土工格栅最小炭黑含量 $\geq 2.0\%$ ，灰分 $\leq 1.0\%$ ，炭黑分布应均匀，分散外观等级不低于 B 级，蠕变折减系数 ≤ 3.0 ，抗紫外线强度保持率 $\geq 90\%$ ，其余主要技术指标应满足表 A.1 的要求。

表A.1 单向拉伸聚乙烯土工格栅 (HDPE) 主要技术指标表

规格	纵向标称抗拉强度 (kN/m)	纵向 2% 伸长率时的拉伸强度 (kN/m)	纵向 5% 伸长率时的拉伸强度 (kN/m)	纵向标称伸长率 (%)
80	≥ 80	≥ 21	≥ 40	≤ 10
120	≥ 120	≥ 33	≥ 65	
160	≥ 160	≥ 47	≥ 93	
180	≥ 180	≥ 52	≥ 103	
200	≥ 200	≥ 57	≥ 110	

- b) 单向焊接聚酯土工格栅技术要求：应埋置于 $4 \leq \text{PH} \leq 9$ 的土体中。土工格栅极限抗拉强度宜 $\geq 80 \text{ kN/m}$ ，断裂延伸率 $\leq 8\%$ ，连接点极限分离力 $\geq 100 \text{ N}$ ，抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$ ，其余主要技术指标应满足表 A.2 的要求。

表A.2 单向焊接聚酯土工格栅主要技术指标表

规格	纵向标称抗拉强度 (kN/m)	纵向 2% 伸长率时的拉伸强度 (kN/m)	纵向 5% 伸长率时的拉伸强度 (kN/m)	纵向标称伸长率 (%)
80	≥ 80	≥ 36	≥ 53	≤ 8
120	≥ 120	≥ 54	≥ 97	
160	≥ 150	≥ 67	≥ 121	
180	≥ 180	≥ 81	≥ 145	
200	≥ 200	≥ 90	≥ 162	

- c) 单向焊接聚酯纤维土工格栅技术要求：宜选用单向焊接聚酯纤维土工格栅和双向玄武岩纤维土工格栅，炭黑含量 $\geq 2.0\%$ ，抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$ ，连接点极限分离力 $\geq 300 \text{ N}$ ，其余主要技术指标应满足表 A.3 和表 A.4 的要求。

表A.3 单向焊接聚酯纤维纤塑土工格栅主要技术指标表

规格	纵向标称抗拉强度 (kN/m)	纵向2%伸长率时的拉伸强度 (kN/m)	纵向5%伸长率时的拉伸强度 (kN/m)	纵向标称伸长率 (%)
100	≥100	≥20	≥53	≤10
150	≥150	≥30	≥79	
200	≥200	≥40	≥106	
300	≥300	≥60	≥159	
400	≥400	≥80	≥212	

表A.4 玄武岩纤维纤塑土工格栅主要技术指标表

规格	纵向标称抗拉强度 (kN/m)	横向标称抗拉强度 (kN/m)	纵(横)向标称伸长率(%)
80-80	≥80	≥80	≤4
100-100	≥100	≥100	
120-120	≥120	≥120	
150-150	≥150	≥150	
180-180	≥180	≥180	

- d) 高韧聚酯有纺土工布技术要求：120年蠕变折减系数≤1.45，使用前须提供超过100 000 h通过认证的测试中心的蠕变报告，其余主要技术指标应满足表A.5的要求。

表A.5 高韧聚酯有纺土工布主要技术指标表

规格	纵向标称抗拉强度 (kN/m)	横向标称抗拉强度 (kN/m)	120年蠕变 极限抗拉强度 (kN/m)	纵向2%伸长率时 的拉伸强度 (kN/m)	纵向5%伸长率 时的拉伸强度 (kN/m)	纵(横)向标 称伸长率 (%)
100	≥100	≥50	≥69	≥20	≥50	≤10
200	≥200		≥138	≥40	≥100	
300	≥300		≥207	≥60	≥150	
400	≥400		≥276	≥80	≥200	
600	≥600		≥414	≥120	≥300	

- e) 定角注塑型土工格室技术要求：其最小炭黑含量≥2.0%，抗紫外线强度保持率≥80%，其余主要技术指标应满足表A.6的要求。

表A.6 定角注塑型土工格室主要技术指标表

规格		格室条带的 断裂强度 (kN/m)	格室节点 对拉强度 F_T (kN/m)	格室节点 抗剪强度 F_S (kN/m)	格室节点 剥离强度 F_P (kN/m)	格室条带的 伸长率 (%)
格室高度 (mm)	格室网孔尺寸 (mm)					
50	400×400	≥180	≥180	≥100	≥100	≤10
100	400×400	≥180	≥180	≥100	≥100	≤10
150	500×500	≥180	≥180	≥100	≥100	≤10
200	600×600	≥180	≥180	≥100	≥100	≤10

A.2 金属材质类筋材宜采用钢丝网片或钢筋网片，并符合下列规定：

- a) 钢丝网片技术要求：宜采用机编六边形双绞合低碳钢丝网，对于钢丝网式墙面、石笼式墙面、钢丝网片筋材等加筋土结构单元应采用金属镀层和覆有机涂层的双层防腐形式，其余主要技术指标应满足表 A.7 的要求，网面的耐久性要求应满足表 A.8 的要求；

表A.7 机编六边形双绞合钢丝网主要技术指标表

网孔型号	网孔尺寸 mm	网孔公差 mm	网面钢丝直径 mm	网面钢丝 镀层克重 (g/m^2)	网面标称 抗拉强度 (kN/m)	网面标称翻遍 抗拉强度 (kN/m)
M8	80	0~+10	2.7	≥233	≥42	≥35

表A.8 覆塑主要技术指标

防腐类型	测试项目	技术要求
金属镀层	镀层克重	按照 GB/T 1839 对成品钢丝进行测试，镀层重量符合设计要求。
	铝含量	按照 YB/T 4221 中的附录 A 规定方法对成品钢丝进行测试，镀层铝含量符合设计要求。
	二氧化硫腐蚀试验	按照 GB/T 9789 的试验方法对成品网面钢丝进行二氧化硫腐蚀试验，网面样品上产生深棕色红锈的面积应不大于试样面积的 5%。
	盐雾试验	按照 GB/T 10125 的试验方法对成品网面钢丝按进行盐雾试验，网面样品上产生深棕色红锈的面积应不大于试样面积的 5%。
有机涂层	抗 UV 性能	有机涂层原材料应进行抗 UV 性能测试，测试时经过氙弧灯按照 GB/T 16422.2 照射 4000 小时或 I 型荧光紫外灯按暴露方式 1 按照 GB/T 16422.3 照射 2500 小时后，其延伸率和抗拉强度变化范围，不应大于初始值的 25%。
	抗开裂性能	按照 YB/T 4190 的网面拉伸试验方法，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。
	耐磨性能	按照 JB/T 10696.6 的测试方法对钢丝施加 20 N 的垂直作用力，在刮磨 100 000 次后，有机涂层不应破损。

- b) 钢筋网片宜采用热镀锌的钢筋网，钢筋网材料应符合 GB/T 1499.1、GB/T 1499.2 和 GB/T 1499.3 的要求；钢筋网的主要技术指标应符合表 A.9 的要求。

表A.9 钢筋网片主要技术指标表

网孔规格 mm	钢筋直径 mm	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)
150×225	6.0/7.5/9.0	≥400	≥150	≥450	≥63

附录 B
(规范性)
常用筋材与面板材料检验项目

B.1 对筋材和面板材料的检验，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 常用筋材与面板材料检验项目

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	标称伸长率	节点/焊接强度	直接剪切摩擦	拉拔摩擦
土工格栅	△	△	☆	-	-	☆	-	-	☆	☆	☆	☆
土工布	☆	△	-	-	-	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆
土工格室	-	△	☆	-	-	☆	-	-	☆	☆	-	-
钢丝网片 钢筋网片	△	△	☆	-	-	☆	-	-	-	☆	☆	☆
生态袋	☆	△	-	△	☆	☆	☆	☆	△	-	-	-
检验频率	1次/10 000 m ²										1次/批	
注：表中“△”为选检项目，“☆”为必检项目。												

B.2 检验频率可根据工程规模、所用数量，由设计单位或监理单位确定；表B.1 中数量不足 10 000 m² 以 10 000 m² 计；表B.1 中“批”，如每批大于 5 000 m²，则以 5 000 m² 为一批；不足 5 000 m² 以 5 000 m² 计。

B.3 土工合成材料类筋材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）。当需要考虑土工合成材料受力时，应进行强度折减。土工合成材料的抗紫外线性能试验应按JTG E50—2006 中 T1164 的规定进行，对应的暴露条件为：

- a) 选择 UVA-340 灯管；
- b) 光谱密度：0.83 W / (m² · nm) ± 0.02 W / (m² · nm) ；
- c) 暴露周期：6 h 为一个周期，5 h 光照，黑标（板）温度 50 ℃ ± 3 ℃ ；
- d) 1 h 喷淋，喷淋时灯关闭；
- e) 老化时间：试验时间为 370 h，如果喷淋时灯不关闭，则对应的试验时间为 310 h。

B.4 筋材采用金属材质类筋材时，宜按照YB/T4221 和YB/T 4190 对筋材的镀层的粘附力、镀层附着量、均匀度和有机涂层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。

B.5 预制模块面板用的水泥、砂、外加剂钢筋等原材料的检验项目应符合JTG/T 3650 规定。

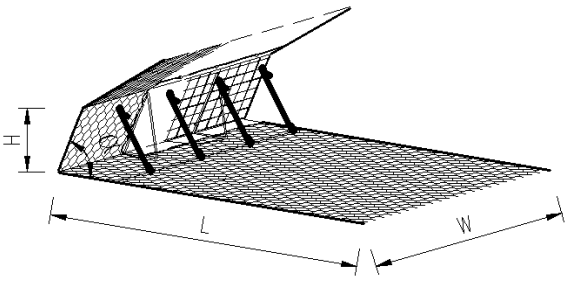
附录 C

(资料性)

常用钢丝(筋)网植生面板和石笼网箱面板几何尺寸规格

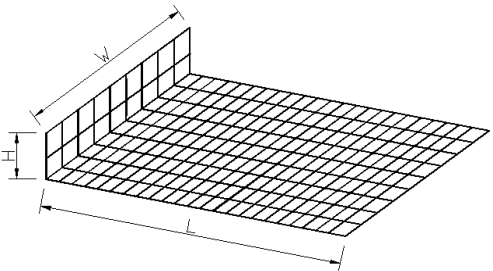
C.1 常用的钢丝网植生面板的几何尺寸规格见表C.1。

表 C.1 钢丝网植生面板的常用定型规格尺寸表

	长度L (m)	宽度W (m)	高度H (m) / 倾角 α (°)
	3	3	0.76/70 0.73/65 0.58/45
	4	3	
	5	3	
	6	3	

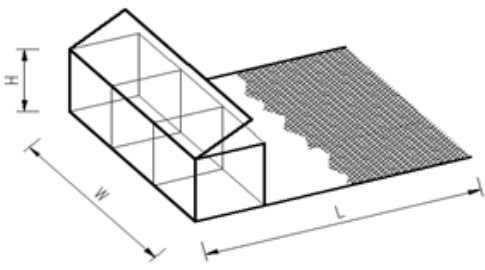
C.2 常用的钢筋网植生面板的几何尺寸规格见表C.2。

表 C.2 钢筋网植生面板的常用定型规格尺寸表

	钢筋直径 (mm)	高度H (mm)	宽度W (mm)	长度L (m)
	6.0	450	1800	由设计计算确定
	7.5	450	1800	
	9.0	450	1800	

C.3 常用的石笼网箱面板的几何尺寸规格见表C.3。

表 C.3 石笼网箱面板的常用定型规格尺寸表

	长度L (m)	宽度W (m)	高度H (m)
	3	3	0.8/1.0
	4	3	0.8/1.0
	5	3	0.8/1.0
	6	3	0.8/1.0

附录 D
(规范性)

土工格室极限抗拉强度计算方法

D.1 土工格室极限抗拉强度 F_t ，按式 (D.1) 计算：

$$F_t = f \times (n-1) / L \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

F_t ——土工格室极限抗拉强度 (kN/m)；

f ——土工格室节点对拉断裂时的最大拉力 (kN)；土工格室检测报告中有土工格室节点对拉强度 F_T (即节点断裂时单位宽度的最大拉力) 设计指标时，可按 $f = F_T \times H$ (格室高度) 直接计算；否则应按土工格室节点对拉强度测定方法 (如图 D.1 所示)，通过对拉试验测定 f ；

L ——展开土工格室单元时不小于 3m 范围两端节点处长度 (m)，见图 D.2 所示；

n ——展开土工格室单元时不小于 3m 范围节点数，见图 D.2 所示。

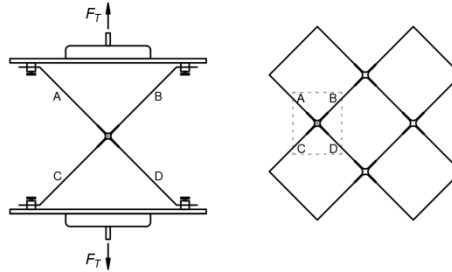


图 D.1 土工格室节点对拉强度 F_T 检测方法示意图

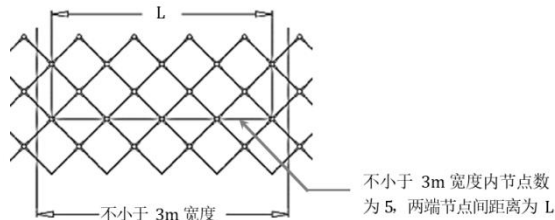


图 D.2 节点数及节点间长度计算示意图

D.2 常用定角注塑型土工格室应按照 D.1 的规定进行土工格室极限抗拉强度的计算，具体计算结果见表 D.1。

表 D.1 常用定角注塑型土工格室极限抗拉强度计算实例表

规格		格室节点对拉强度 F_T (kN/m)	格室节点对拉断裂时的最大拉力 f (kN)	格室单元节点对角线长度 L (m)	格室单元两端节点长度 L 内的节点数 n	格室每延米极限抗拉强度 F_t (kN/m)
格室高度 (mm)	格室网孔尺寸 (mm)					
50	400×400	≥180	≥9	3.39	7	≥16
100	400×400	≥180	≥18	3.39	7	≥32
150	500×500	≥180	≥27	3.35	6	≥38
200	600×600	≥180	≥36	3.39	5	≥42

附录 E

(资料性)

柔性生态加筋挡土墙计算实例

E.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26 m，挡土墙墙高8.4 m，墙顶填土0.5 m。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。填料重度 $\gamma=19\text{ kN/m}^3$ ，内摩擦角 $\phi=30^\circ$ 。经基础深度修正后的地基承载力特征值 $f'_a=230\text{ kPa}$ 。

E.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 $T_{ult}=120\text{ kN/m}$ ；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，取强度总折减系数为 $RF=2.0$ 。由式(1)可确定筋材的设计抗拉强度 T_a ：

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{120}{2.0} = 60\text{ kN/m}$$

由表6确定筋材与土接触的界面阻力系数 $f_{cs}=0.4$ 。

E.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。不利荷载重力分项系数，根据表9取竖向恒载分项系数 $\gamma_G=1.2$ 。

E.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 E.1 所示。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0.6 m，墙内共布设有14层筋材，初定筋材长度为6.5 m，面墙倾角为 70° 。

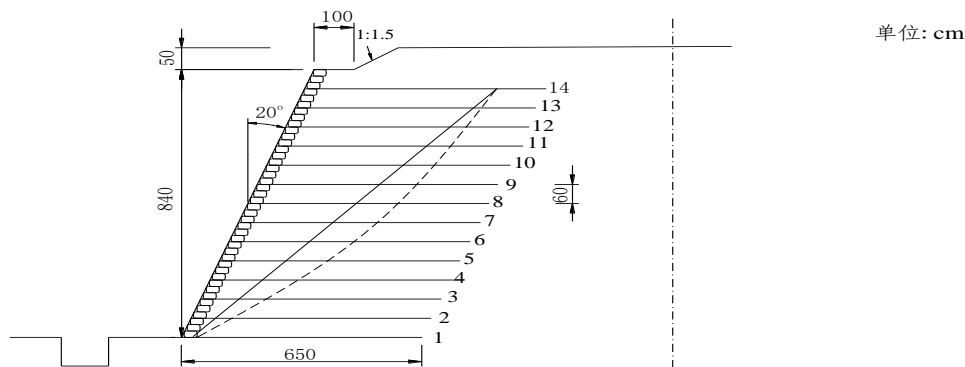


图 E.1 初定柔性生态加筋挡土墙结构示意图

E.5 稳定性验算

E.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 (5) 将加筋体顶部填土自重换算为等代均布土层厚度 $h_i=H' =0.5\text{ m}$;
- b) 按式 (6) 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 E. 1;
- c) 按式 (13) 和式 (14) 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 E. 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 E. 1;
- e) 按式 (17) 计算第 i 层筋材受到的水平拉力, 计算结果见表 E. 1;
- f) 由表 10 取结构重要性系数 $\gamma_0=1.05$, 按 7.3.3.1 规定取筋材抗拉性能分项系数 $\gamma_f=1.25$, 按式 (18) 验算第 i 层筋材的抗拉强度稳定性;

$$\gamma_0\gamma_f T_i < T_a = 60\text{ kN/m}$$

故筋材的抗拉强度满足要求。

- g) 按式 (19) 计算第 i 层筋材抗拔力 T_{pi} , 计算结果见表 E. 1。由表 11 取筋材抗拔力计算调节系数 $\gamma_R=1.04$, 按式 (20) 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 (22) 计算全墙抗拔稳定性:

$$K_b = \frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} = \frac{4498.01}{261.20} = 17.2 \geq 2$$

故全墙抗拔稳定性满足要求。

表 E. 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

表 E.1 筋材计算表 (续)

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)
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

E.5.2 外部稳定性验算

a) 取 $\delta=\varphi=30^\circ$, $\alpha=20^\circ$, 按式 (12) 计算加筋体的主动土压力系数 K_a :

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

b) 取 $\gamma=19\text{kN/m}^3$, 按式 (11) 计算加筋体后的土压力 E_a :

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

c) 按式 (23) 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:

$$G = \gamma A = 19 \times [6.5 \times 8.9 - (1.57 + 1) \times 0.5 / 2] = 1086.94 \text{ kN/m}$$

主动土压力的竖向分量:

$$E_y = E_a \sin(\varphi - \alpha) = 165.51 \times \sin(30^\circ - 20^\circ) = 28.74 \text{ kN/m}$$

主动土压力的水平分量:

$$E_x = E_a \cos(\varphi - \alpha) = 165.51 \times \cos(30^\circ - 20^\circ) = 163 \text{ kN/m}$$

由式 (23) 得:

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

按式（24）计算挡土墙的抗滑稳定性系数：

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

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：

墙身重力作用线距墙趾距离 $Z_G=4.93\text{ m}$ ；

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

墙后主动土压力的水平分量到墙趾距离 $Z_y=3.233\text{ m}$ 。

由式（25）校核挡土墙的倾覆稳定性：

$$\begin{aligned} & 0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2} E_p Z_p \\ &= 0.8 \times (1086.94 \times 4.93) + 1.4 \times (28.74 \times 7.21 - 163 \times 3.23) \\ &= 3839.71 > 0 \end{aligned}$$

按式（26）计算挡土墙的抗倾覆稳定系数 K_0 ：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x}{E_x Z_y} = \frac{1086.94 \times 4.93 + 28.74 \times 7.67}{163 \times 3.23} = 9.76 > 1.5$$

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（27）计算基底合力的偏心距 e ：

$$\begin{aligned} e &= \frac{\sum M}{\sum N} \\ &= \frac{-1086.94 \times 1.68 - 28.74 \times 4.42 + 163 \times 3.23}{1086.94 + 28.74} \\ &= -0.05\text{ m} \end{aligned}$$

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（28）校核基底压应力：

$$\sigma = \frac{\sum N}{B - 2e} = \frac{1086.94 + 28.74}{6.5 - 2 \times 0} = 171.64\text{ kPa} < k f'_a = 230\text{ kPa}$$

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

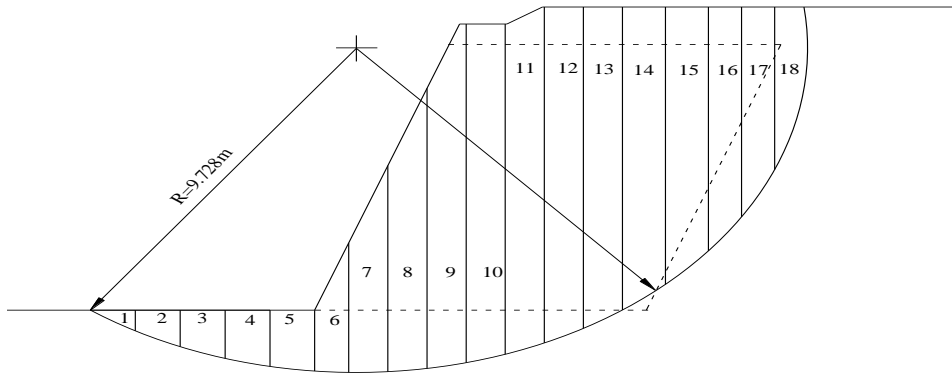


图 E.2 整体滑动稳定性验算图

- 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 9.728 m。
- 2) 按条分法对滑动体进行分条（图 E.2），并计算各分条的相关参数，计算结果见表 E.2。

表 E.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
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
18	0.87	77.80	4.14	10	30	46.35	45.3	47.03
Σ							606.37	870.09

3) 按式 (29) 计算整体抗滑稳定性系数。

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

故整体抗滑动稳定性足够。

附录 F

(资料性)

柔性生态加筋挡土墙施工实例

F.1 施工准备

F.1.1 施工前应熟悉设计文件，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。

F.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。

F.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。

F.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，检查设备工作状态。确保各类设备运转良好。

F.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。

F.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0.3 m~0.5 m，开挖平整压实后应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。

F.2 挡土墙施工

F.2.1 按挡土墙的墙面倾角，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 F.1），按挡土墙的墙面倾角摆放，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。

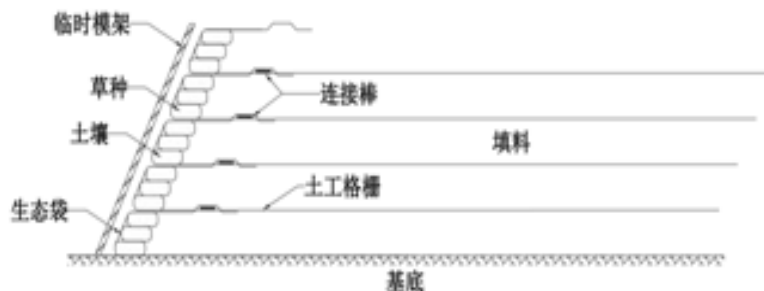


图 F.1 临时模架示意图

F.2.2 筋材铺设、填土和压实

F.2.2.1 钢丝（筋）网片柔性生态加筋挡土墙应符合下列规定：

- 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 20 cm；

- b) 相邻绿色加筋网片单元的生物垫应交叠 100 mm，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，填料内不应含有机料。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 300 mm，然后压实至要求高度；

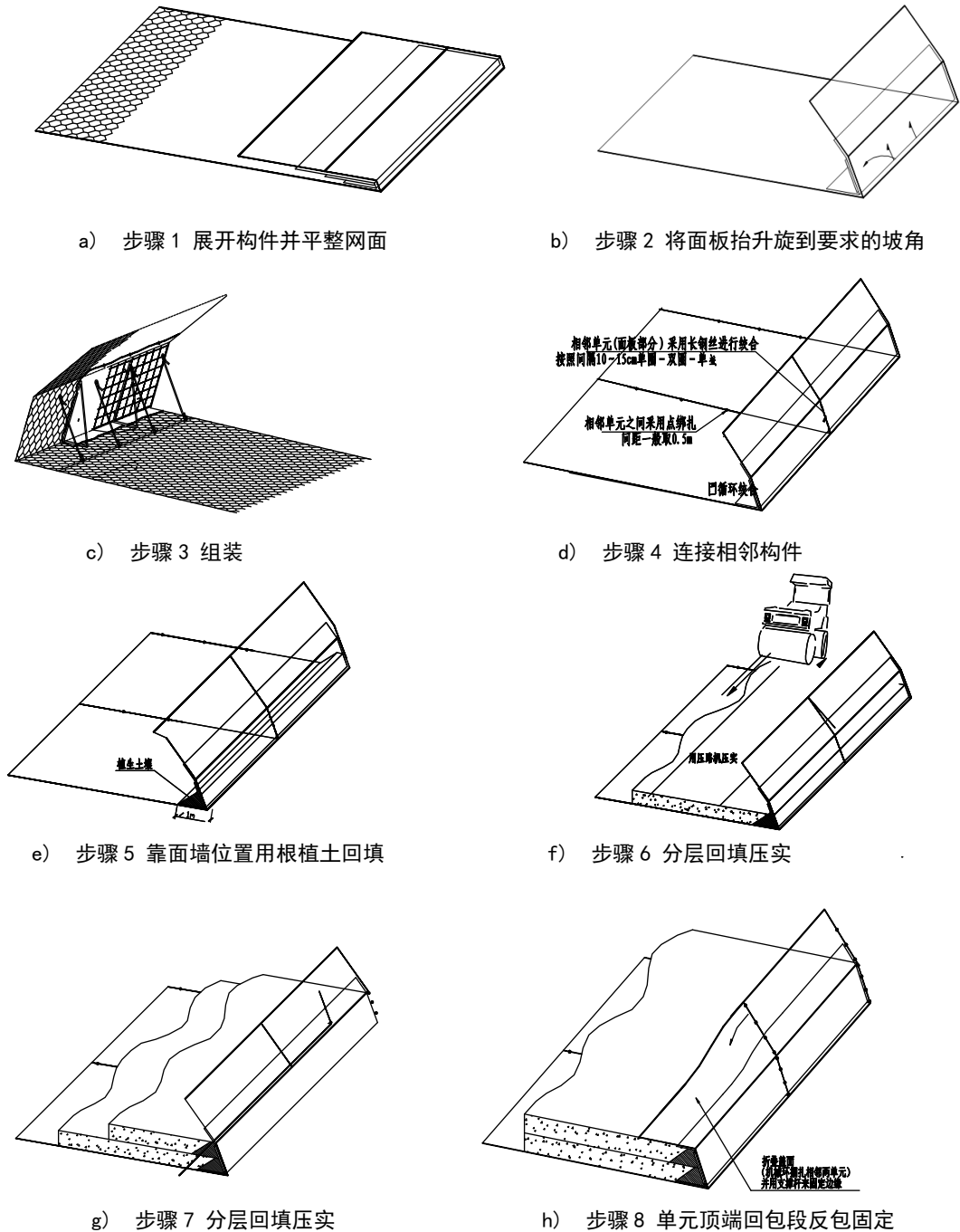


图 F.2 钢丝（筋）网片挡土墙施工步骤

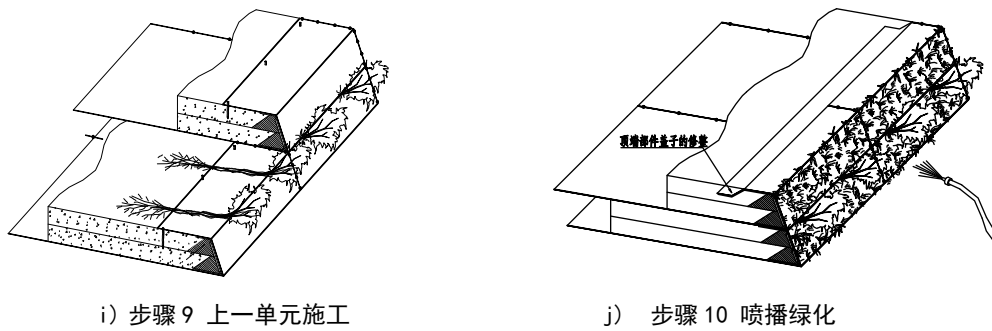


图 F.2 钢丝（筋）网片挡土墙施工步骤（续）

- 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，摊铺机械距挡土墙墙面不应小于 1.0 m。机械运行方向应与墙面平行，并不应在未覆盖填料的钢筋加筋网上行驶或停车；
- e) 机械不应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。填料应分层碾压，碾压时应先轻后重，并不应使用羊足碾。压路机不应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土墙墙面部位，压实机械距挡土墙墙面不应小于 1.0 m，在面板内侧 1.0 m 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) 最上层单元上面板在回填完成后向内折叠时，埋入土中长度应不小于 300 mm；
- i) 钢丝（筋）网片挡土墙的施工步骤见图 F.2。

F.2.2.2 生态袋柔性生态加筋挡土墙施工应符合下列规定：

- 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) 铺放第一层土工格栅。土工格栅应水平铺放，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 10 cm，并按适当距离用 U 型钉将土工格栅固定；
- c) 生态袋的铺设。按模架及拉线控制施工坡面位置，将装有土壤及草种生态袋按设计坡率安装，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) 在底层土工格栅生态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 1.0 m 以外将回填料压实，1.0 m 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生态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放工作；

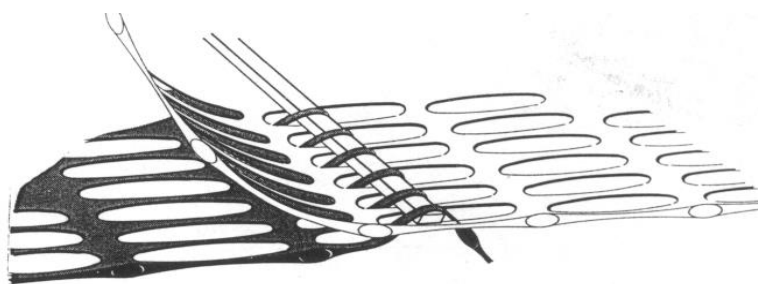


图 F.3 土工格栅用连接棒连接示意图

- 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 F.3），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。重复 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。
- F.2.2.3 土工格室柔性生态加筋挡土墙应符合下列规定：**
- a) 墙体放线。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；
 - b) 进行第一层土工格室的施工。如图 F.4a) 将土工格室按照设计拉伸方向平铺在基础顶面，应确保格室完全展开（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，在验收合格后方可填料，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；
 - c) 铺设面板位置土工格室层。如图 F.4b) 依设计间隔分层错位铺设面板位置土工格室层，张拉展开后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；
 - d) 重复施工至指定标高。如图 F.4c) 和图 F.4d) 符合设计间隔再次铺设土工格室加筋层并摊铺填料压实及再次分层错位铺设面板位置土工格室层并摊铺压实，重复施工至指定标高；
 - e) 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；
 - f) 土工格室柔性生态加筋挡土墙施工步骤见图 F.4。

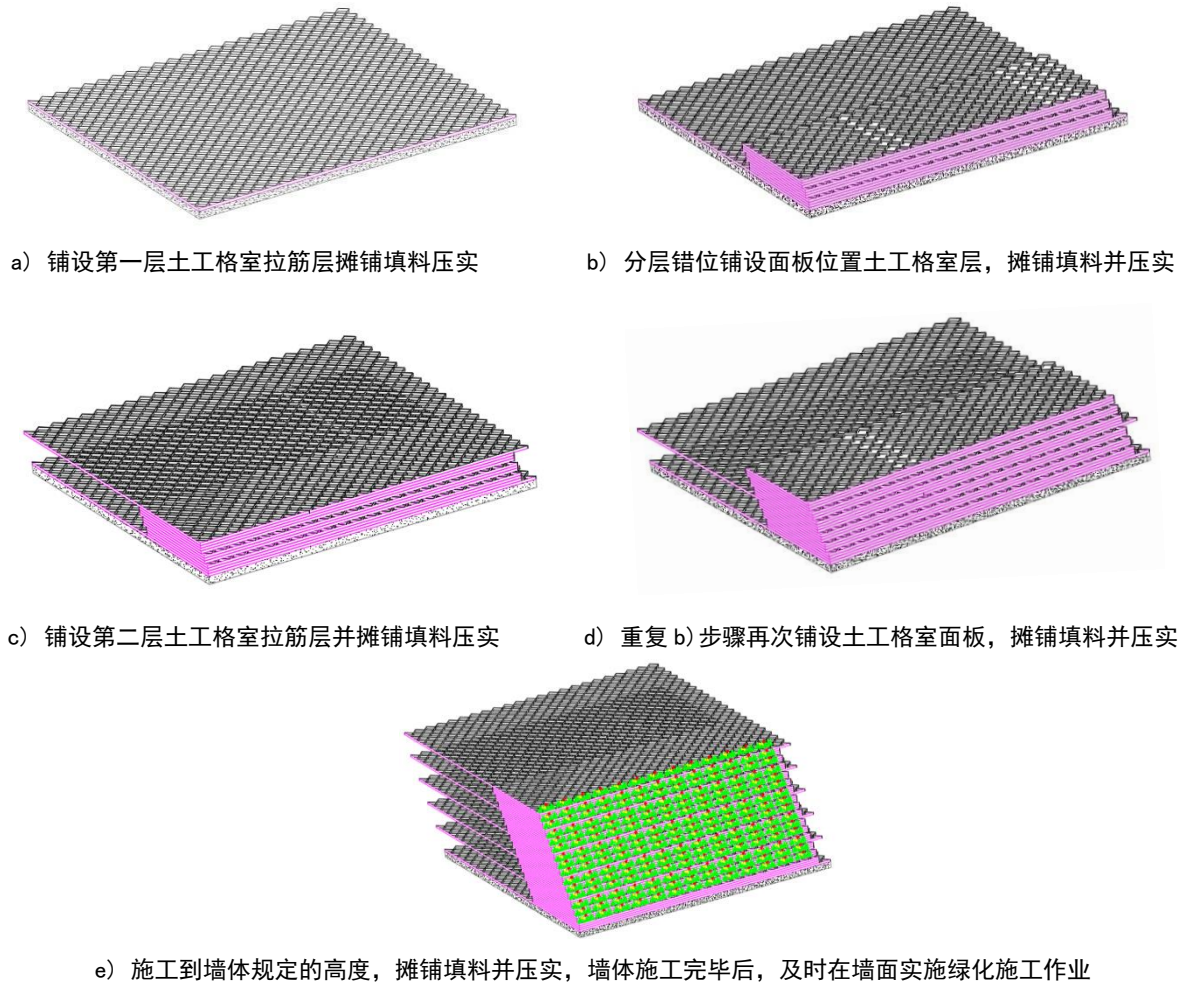


图 F.4 土工格室柔性生态加筋挡土墙施工步骤

F.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，合格后及时进行挡土墙墙面的绿化防护，快速恢复坡面植被和道路景观，避免筋材长时间外露。