



T/CECS XXX- 202X

中国工程建设标准化协会标准

加筋土支挡工程技术规程

Technical specification for reinforced soil retaining construction

（征求意见稿）

****出版社

中国工程建设标准化协会标准

加筋土支挡工程技术规程

Technical specification for reinforced soil retaining construction

T/CECS xxx-202x

主编单位：福建省地质工程勘察院

福建地矿建设集团公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202x 年 xx 月 xx 日

xxxx 出版社

2024 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会[2022]13 号文的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 9 章，主要技术内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 材料、5 加筋土挡墙设计、6 加筋土边坡设计、7 加筋土挡墙及边坡施工、8 排水工程设计与施工、9 监测、质量检测与验收。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会勘测专业委员会负责归口管理，由福建省地质工程勘察院负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中如有意见或建议，请反馈给福建省地质工程勘察院（地址：福建省福州市鼓楼区杨桥西路 145 号地矿大厦 7 层，邮编：350003，邮箱：fjdky@163.com，传真：0591-83710326）。

主编单位：福建省地质工程勘察院

福建地矿建设集团公司

参编单位：中冶武勘工程技术有限公司

青岛旭域土工材料股份有限公司

石家庄铁道大学

中土集团福州勘察设计研究院有限公司

福建省建筑科学研究院有限责任公司

山东恒正工程材料有限公司

福建顾林建筑研究院有限公司

福建省地质工程研究院

福州大学

主要起草人：郭朝旭 张 涛 吴茂明 唐雪峰 尤文进 阳小良 兰新生 陈致富
陈丽丽 朱洪伟 兰维维 林 枢 鲁克慧 刘 鹏 任聿飞 黄勤钰
余帅会 柳 侃 张智超 黄瑛瑛 叶龙珍 康浩隆 翁峻择 王 浩

主要审查人：【暂略】

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	6
3	基本规定	10
3.1	材料	10
3.2	工程勘察与设计	10
3.3	施工与质量检验	12
4	材料	13
4.1	加筋材料	13
4.2	填料	14
4.3	面板	14
4.4	连接构件	16
4.5	排水及其他材料	18
5	加筋土挡墙设计	20
5.1	加筋土挡墙结构型式	20
5.2	加筋土挡墙设计	22
5.3	设计与计算	23
5.4	构造要求	31
6	加筋土边坡设计	33
6.1	一般规定	33

6.2	加筋土边坡堆填及筋材铺设设计	33
6.3	加筋土边坡稳定性分析	34
7	加筋土挡墙及边坡施工	37
7.1	一般规定	37
7.2	加筋土挡墙施工	37
7.3	加筋土边坡施工	40
8	排水工程设计与施工	42
8.1	一般规定	42
8.2	加筋土挡墙排水设计	42
8.3	加筋土边坡截排水设计	43
8.4	内部排水施工	46
8.5	坡面排水施工	47
9	监测、质量检测与验收	48
9.1	监测	48
9.2	质量检测	50
9.3	验收	56
附录 A	加筋土边坡设计方法	58
A.1	加筋土边坡的组成	58
A.2	加筋土边坡的破坏模式	58
A.3	加筋土边坡的设计步骤	59
附录 B	筋材折减系数的选用	70
附录 C	土工格栅性能指标表	71

用词说明	77
引用标准名录	78
条文说明	79
制定说明	80
正文	81

Contents

1 General principles.....	1
2 Terminology and symbols.....	2
2.1 Terminology.....	2
2.2 Symbols	6
3 Basic provisions.....	10
3.1 Materials	10
3.2 Engineering Survey and Design	10
3.3 Construction and Quality Inspection	12
4 Material.....	13
4.1 Reinforcement materials.....	13
4.2 Filler.....	14
4.3 Panels.....	14
4.4 Connecting elements.....	16
4.5 Drainage and other materials	18
5 Design of reinforced soil retaining walls.....	20
5.1 Structural types of reinforced earth retaining walls.....	20
5.2 Design of reinforced soil retaining walls.....	22
5.3 Design and calculation.....	23
5.4 Constructional Requirements	31
6 Design of reinforced soil slopes	33
6.1 General Requirements	33
6.2 Design of reinforced soil slope fill and reinforcement placement.....	33
6.3 Stability analysis of reinforced soil slopes	34

7 Construction of reinforced Soil retaining walls and slopes	37
7.1 General Requirements	37
7.2 Construction of reinforced soil retaining walls	37
7.3 Construction of reinforced soil slopes	40
8 Design and Construction of Drainage Engineering	42
8.1 General Requirements	42
8.2 Reinforced Soil Retaining Walls Drainage Design.....	42
8.3 Reinforced Soil Slopes Drainage Design	42
8.4 Internal drainage	42
8.5 Slope Drainage	43
9 Monitoring, quality testing and acceptance	48
9.1 Monitoring	48
9.2 Quality Inspection.....	50
9.3 Receiving and Inspection.....	56
Appendix A Design Methods for Reinforced Soil Slopes	58
Appendix B Selection of Sinew Reduction Factor	70
Appendix C Geogrid Performance Index Table	71

1 总 则

1.0.1 为指导我国加筋土挡墙和加筋土边坡建设，规范其设计、施工、监测及建设运营过程，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于支护高度 20m 以下（含 20m）的市政、公路、建筑边坡等领域的加筋土挡墙与边坡设计、施工及质量检验。超过上述限定高度的边坡工程或地质和环境条件复杂的支护工程（加筋土挡墙或边坡）除应符合本规程的规定外，尚应进行专项设计论证，采取有效、可靠的加强措施。

1.0.3 加筋土支挡结构设计应满足结构使用功能及耐久性要求，遵循因地制宜、安全可靠、经济合理、技术先进和绿色环保的原则，结合材料特性进行方案比选，做好综合设计。

1.0.4 加筋土支挡结构设计、施工及质量检验应推广采用安全可靠的新技术、新结构、新材料和新工艺。

1.0.5 加筋土支挡结构设计、施工及质量检验除应符合本规程外，尚应符合有关法律、法规及国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 加筋土支挡工程 reinforced soil retaining construction

由加筋材料与填料组成的支挡工程,包括加筋土挡墙、加筋土边坡两种类型。

2.1.2 加筋土挡墙 reinforced soil retaining wall

由墙面系、加筋材料和填料共同组成的、墙面与水平面夹角不小于 70° 的支挡结构。

2.1.3 加筋土边坡 reinforced soil slope

由加筋材料与填料构成的、坡面与水平面夹角大于填料内摩擦角且小于 45° 的边坡一般称为加筋土缓坡;其中坡面与水平面夹角大于 45° 且小于 70° 的边坡,一般称为加筋土陡坡。以上统称为加筋土边坡。

2.1.4 加筋材料 reinforcement

具有一定抗拉强度,埋置于土体内适当位置,通过其与土体之间的相互作用,提高土工结构强度和稳定性的土工合成材料。

2.1.5 填料 fill

用于加筋土支挡工程填筑、满足颗粒含量要求与有机质要求的压实土体。

2.1.6 土工合成材料 geosynthetics

工程建设中应用的以人工合成或天然聚合物为原料制成的工程材料的总称。

2.1.7 土工格栅 geogrid

由抗拉材料形成的具有规则网孔的平面网状结构土工合成材料。可分为拉伸塑料土工格栅、焊接钢塑土工格栅、焊接纤塑土工格栅、经编聚酯土工格栅等。

2.1.8 拉伸塑料土工格栅 stretched plastic geogrid

以高密度聚乙烯（HDPE）或聚丙烯（PP）为主要原料，经塑化挤出、冲孔、整体拉伸而成的平面网状结构土工格栅。

2.1.9 焊接钢塑土工格栅 welded steel-plastic geogrid

以高强度冷拉钢丝通过聚乙烯塑化挤出包裹成复合型高强度条带，按平面经纬成直角，再经超声波焊接或熔接而成的表面有粗糙压纹的平面网状结构土工格栅。

2.1.10 焊接纤塑土工格栅 welded fiber-plastic geogrid

以聚酯纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维等纤维材料与聚乙烯或聚丙烯材料为主要原料，通过挤出工艺加工成为平面网状结构的复合型高强度条带，按平面经纬方向进行编织，再经超声波焊接而成的土工格栅。

2.1.11 经编聚酯土工格栅 warp knited polyester geogrid

采用高强度聚酯工业长丝，经过经编定向织造网格坯布，经丁苯乳胶等涂覆加工成的土工格栅。

2.1.12 土工格室 geocell

由高分子聚合物格室片连接构成的蜂窝状或网格状三维结构体。

2.1.13 土工布 geotextile

以聚合物及纤维为原料制成的具有渗透性的土工合成材料，也称土工织物。

2.1.14 有纺土工布 woven geotextile

由纤维纱或长丝按一定方向排列机织（编织）的土工布，也称有纺土工织物。

2.1.15 无纺土工布 nonwoven geotextile

由短纤维或长丝按随机或定向排列制成的蒲絮垫，经机械结合、热粘或化粘而成的土工布，也称无纺土工织物。

2.1.16 土工袋 geobag

以无纺土工布为主要材料，加工成一定尺寸的敞口袋体。

2.1.17 拉伸强度 tensile strength

在规定的试验方法和试验条件下,加筋材料试样被拉伸至某一伸长率时对应的拉力,按试样初始宽度折算成单位拉力,单位为千牛每米(kN/m)。

2.1.18 极限抗拉强度 ultimate tensile strength

在规定的试验方法和试验条件下,加筋材料试样被拉伸直至断裂过程中承担的最大拉力,按试样初始宽度折算成单位宽度的拉力,单位为千牛每米(kN/m)。

2.1.19 标称抗拉强度 nominal tensile strength

相应规格加筋材料要求应达到的抗拉强度最小值,单位为千牛每米(kN/m)。

2.1.20 抗拉强度特征值 tensile strength characteristic

结构设计使用年限内考虑加筋材料蠕变、老化、施工损伤等影响,对极限抗拉强度进行综合影响折减后的值,单位为千牛每米(kN/m)。

2.1.21 伸长率 elongation rate

试样拉伸时有效标线部分的长度增量与初始有效标线部分长度的比值,以百分比(%)表示。

2.1.22 断裂伸长率 elongation rate at break

试样在拉伸断裂时的伸长率,以百分比(%)表示。

2.1.23 标称伸长率 nominal elongation rate

试样拉伸拉力达到标称抗拉强度时的伸长率,以百分比(%)表示。

2.1.24 抗紫外线强度保持率 UV (ultraviolet) resistance intensity retention rate

材料在特定的温度和湿度条件下,经过一定的辐照量或辐照时间后,其力学性能的变化,通常表现为抗拉强度保持率。

条文说明:土工布抗紫外线强度保持率测试原理为在特定的温度和湿度条件下,使土工布经过一定的辐照量或辐照时间后,测试其力学性能的变化,并计算抗拉强度保持率。这一原理可以推广到其他材料,通过模拟紫外线对材料的作用过程,进而评估材料性能的改变,其保持率标准一般如下:

聚酯短纤无纺土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$;

聚丙烯短纤无纺土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$;
聚酯长丝无纺土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 85\%$;
聚丙烯长丝无纺土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$;
长丝有纺土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 70\%$;
扁丝有纺土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 70\%$;
复合土工布的抗紫外线强度保持率 $\geq 80\%$ 。

2.1.25 炭黑含量 carbon black content

炭黑含量是指测定物质中碳含量的比例。它常用的质量百分比来衡量，常用的量力有 g/100g 和 ppm（即每百万份）。

条文说明：炭黑含量的简称为 CContent（碳含量），它指测定物质中碳含量的比例。CContent 非常常见，可以用来衡量该物质的黑色或灰色程度。炭黑含量的高低决定了相关物质的性能，如抗氧化性、绝缘性、强度和耐久性等。炭黑含量确定的定量标准不同，一般是在比例，也就是说，某种物质的碳含量比是多少百分之多少。如果按比例表示，碳含量较高的物质，其表示的 CContent 比例也会相对较高；如果按重量来表示，则碳含量较高的物质，其表示的 CContent 重量也会差异较大。

2.1.26 似摩擦系数 pseudo-friction coefficient

在特定条件下，土工拉筋带与填料之间的摩擦系数。

条文说明：似摩擦系数的测试结果在实际工程应用中具有重要意义，可以为加筋技术在路基工程中的应用提供依据，帮助工程师更好地设计和优化土工结构，确保工程的稳定性和耐久性。它通过室内拉拔试验来测定，试验中使用单粒径的标准砂和具有一定级配的砂卵石作为填料，在不同填料、不同含水量和不同压实度条件下进行测试，以研究筋-土间的似摩擦系数的变化规律。

2.1.27 蠕变折减系数 creep reduction coefficient

材料受到持续应力作用时，随着时间的推移，材料的变形能力不断降低的现象，用该参数表示强度应力折减后的数值。

条文说明：蠕变折减系数是用来描述材料在持续应力作用下变形能力逐渐降低的特性。它是一个重要的材料参数，用于预测和评估材料在长期使用中的性能变化。蠕变折减系数越小，表示材料的蠕变性能越好。

2.1.28 施工损伤折减系数 Construction damage reduction coefficient

在施工过程中，由于各种因素导致的材料强度降低的现象，用该参数表示强度应力折减后的数值。

条文说明:对于土工格栅等材料,施工损伤是影响其长期强度的关键因素之一。施工损伤折减系数用于量化土工格栅在铺设和填料碾压过程中因施工损伤而导致的强度降低。通过分析土工格栅施工机械损伤试验数据和影响损伤的不同因素,可以计算出施工机械损伤折减系数。

2.1.29 长期老化折减系数 long term aging reduction coefficient

用于衡量材料或结构在长期老化过程中的性能降低程度的系数。

条文说明:长期老化折减系数具体取值取决于材料类型、环境条件、老化时间等因素。

2.1.30 植生袋 plant bag

又称植草袋、绿化袋,其采用无纺布、尼龙网、植物种子和泥土制作,抗紫外线性能优,耐用性长,透水性与透气性俱佳。

2.3.31 生态袋 ecological bag

通常由聚丙烯或聚酯纤维制成,具有抗紫外线、耐腐蚀和不降解等特点。

2.2 符 号

下列符号适用于本规程。

b_b	墙顶以上填料边坡坡脚至墙面的水平距离, m;
B	加筋墙体计算时采用的荷载布置宽度, m;
B_i	均布土层荷载扩散至第 i 层筋材处的分布宽度, m;
b_i	筋材宽度, m;
D	多级加筋土挡墙级间平台宽度, m;
E_y	加筋墙体后主动土压力的竖向分量, kN;
E_x	加筋墙体后主动土压力的水平分量, kN;
E_a	加筋墙体后主动土压力, kN;

f_{sg}	填料与加筋材料之间的似摩擦系数;
H	加筋土挡墙墙高(如果 2 级, 一般上级为 H_1 , 下级为 H_2 , 一次类推), m;
h_F	墙顶以上填料换算荷载土柱高度, m;
h_c	车辆、人群荷载作用在加筋墙体上时换算土层厚度, m;
K_i	加筋墙体内深度 z_i 处侧向土压力系数;
K_0	静止土压力系数;
K_a	主动土压力系数;
K_b	全墙抗拔稳定系数;
K_c	抗滑稳定系数;
K_d	抗倾覆稳定系数;
l_{oi}	第 i 层加筋材料在非锚固区的长度, m;
l_{ci}	第 i 层加筋材料处从墙面背面至靠近墙面的等代均布土层荷载扩散线的距离, m;
L_{ai}	加筋材料在锚固区的有效锚固长度, m;
L_{0i}	z_i 深度处非锚固区内的加筋材料长度, m;
L_i	z_i 深度处加筋材料设计长度, m;
L_{wi}	z_i 深度处加筋材料外端包裹土工袋所需长度或加筋材料与墙面连接所需长度, m;
L_{wi}'	整体现浇混凝土板式墙面加筋土挡墙 z_i 深度处加筋材料回折反包段长度, m;
m	墙顶以上填料边坡坡率;
q	车辆荷载附加荷载强度, kPa;

q_r	人群荷载强度, kPa;
s_y	加筋材料竖向间距, m;
T_{i0}	z_i 深度处加筋材料承受的水平拉力设计值, kN;
T_i	z_i 深度处加筋材料承受的水平拉力, kN;
T_{pi}	自重作用下, z_i 深度处加筋材料有效长度所提供的抗拔力, kN;
T_{al}	加筋材料抗拉强度设计值, kN/m;
T_{ult}	加筋材料抗拉强度, kN/m;
W	加筋墙体重力, kN;
z_i	加筋墙体顶面至第 i 层加筋材料的垂直距离, m;
$\sum T_{pi}$	各层加筋材料所产生的摩擦力总和, kN;
$\sum T_i$	各层加筋材料承担的水平拉力总和, kN;
$\sum N$	作用于基底上的垂直力组合设计值, kN;
γ_0	结构重要性系数;
γ_{Q1}	恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力分项系数;
γ_1	加筋墙体填料重度, kN/m ³ ;
γ_{R1}	加筋材料抗拔力计算调节系数;
γ_f	加筋材料抗拉强度综合折减系数;
σ_{zi}	加筋墙体填料作用于深度 z_i 处墙面上的水平土压力, kPa;
σ_{bi}	加筋墙体上路堤填料作用于深度 z_i 处墙面上的水平土压力, kPa;
σ_{ai}	车辆、人群荷载作用于深度 z_i 处墙面上的水平土压力, kPa;
σ_{Ei}	作用于深度 z_i 处墙面上的水平土压力, kPa;

- σ_i 在 z_i 深度处，作用于加筋材料上的竖直压应力，kPa;
- σ 加筋土挡墙基底压应力，kPa;
- c 筋材料与填料之间的黏聚力，kPa;
- φ 加筋墙体填料的内摩擦角， $^{\circ}$ 。

3 基本规定

3.1 材料

3.1.1 加筋土支挡工程设计中，应根据地质条件、环境条件、功能需求、使用年限和耐久性要求、施工条件及土工合成材料的性能特点等，综合确定土工合成材料的类型、规格及主要物理、力学、水力学等性能参数，选择性能匹配的材质。

3.1.2 与土工合成材料长期接触的填料及地下水、地表水，应分析其化学侵蚀环境、磨蚀环境等条件，评价土、水对土工合成材料的影响。

3.1.3 加筋土支挡工程所用填料、砂石料、混凝土等的品种、规格、质量及性能应符合设计要求和有关标准的规定。

条文说明：加筋土支挡时应考虑支挡工程的设计寿命，以及筋材的耐久性，当支挡工程的设计寿命大于现有市场通用筋材的设计寿命时，应谨慎选择；同时对于高边坡（高度大于 20m 的加筋土支挡工程），选择筋材时建议关注筋材料的耐久性。

3.1.4 在运输、储存、施工中应加强对原材料、成品材料的管理，减少对材料性能的不利影响。

3.2 工程勘察与设计

3.2.1 加筋土支挡工程设计时应结合工程特点搜集地形地貌、水文气象及工点环境等资料，掌握并查明工程地质、水文地质条件，评价地基均匀性、稳定性及水文地质环境。场地的工程地质勘察应符合国家及行业的现行相关标准的规定。

3.2.2 加筋土支挡工程，在工程设计前应对填料粒径、级配、强度及筋土界面摩擦作用进行勘察测试；当有可靠工程经验时，也可采用工程经验资料。

3.2.3 加筋挡支挡工程设计方案应根据功能需求、应用条件、材料性能及经济指标等因素经综合比选后确定，并综合考虑防排水设计。

3.2.4 加筋土挡墙和边坡宜与周边环境、既有工程相协调。

条文说明：加筋土支挡工程设计时，应考虑新建工程与既有相邻建（构）筑物平顺衔接；同时考虑加筋土支挡工程的柔性结构类型与刚性结构类型（后期可能产生的变形差异）问题。

3.2.5 地震动峰值加速度大于等于 0.10g 地区的加筋土和边坡工程，应进行抗震验算。

3.2.6 加筋土挡墙及边坡单级墙高不宜大于 10m。当高度超过 10m 时宜采用多级设计，但其总高度不宜超过 20m；当总高度超过 20m 时或特殊工况时应进行专题论证。

条文说明：加筋土支挡工程设计时，应考虑新建工程与既有相邻建（构）筑物平顺衔接；同时考虑加筋土支挡工程的柔性结构类型与刚性结构类型（后期可能产生的变形差异）问题。

3.2.7 土工合成材料设计时应根据工程重要性、工程类型、应用环境、功能需要等，确定必要的监测项目。

3.2.8 加筋土挡墙及边坡应根据其损坏后可能造成的破坏后果（危及人的生命、造成经济损失、产生不良社会影响）的严重性、边坡类型和边坡高度等因素，按表 3.2.8 确定挡墙及边坡工程的安全等级。

表 3.2.8 加筋土支挡工程安全等级

支挡工程类型	高度 H (m)	破坏后果	安全等级
加筋土挡墙	$H \leq 10$	很严重	一级
		严重	二级
		不严重	三级
	$10 < H \leq 20$	很严重	一级
		严重	二级
加筋土边坡	$H \leq 10$	很严重	一级
		严重	二级
		不严重	三级
	$10 < H \leq 20$	很严重	一级
		严重	二级

3.2.9 筋材折减系数分为 3 类，蠕变折减系数，施工损伤折减系数和长期老化折减系数，在筋材设计时应考虑上述 3 类折减系数，上述系数在设计中的应用详见本规程 5.2 和 6.2 节条文规定，取值可参考附录 C。

条文说明：加筋土支挡工程设计时应参考蠕变折减系数，施工损伤折减系数和长期老化折减系数 3 类折减系数，由于不同材料厂商的材料取值不同，具体咨询材料提供商或进行单独检测；当没有经验时，可参考附录 C 或《土工合成材料应用技术规范》(GB50290)的相关规定。

3.3 施工与质量检验

3.3.1 加筋土支挡工程施工前，应根据设计文件，以及现场地质和周边环境条件，编制施工组织方案。

3.3.2 加筋土支挡工程宜开展工艺试验时，应根据地质条件、断面型式等选择具有代表性的地段进行现场试验或试验性施工，确定施工工艺及参数，试验要求和数量应符合设计要求。

条文说明：加筋土支挡工程在场地条件允许时，可设置试验段，进行碾压实验确定碾压填方工艺参数（碾压荷载、碾压遍数、填料厚度等），填料的级配、密实度和含水率的控制，筋材的铺设和张拉控制实验等，最终确定工程的施工工艺和方法，以满足设计要求。

3.3.3 土工合成材料铺设后应及时进行填料摊铺或采取临时遮盖措施，避免阳光长时间直接照射。填筑采用机械碾压时，土工合成材料上覆土厚度不宜小于 20cm。

3.3.4 填料与筋材直接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 100 mm，且不宜大于单层填料压实厚度的 1/3。

3.3.4 加筋土挡墙和边坡工程中，应结合材料进场、储存及现场施工、验收等过程，分别进行材料进场检验、施工前材料观感检验和施工时实体质量检验。

4 材料

4.1 加筋材料

4.1.1 土工格栅

常见土工格栅主要技术指标应符合本规程附录 C 表 C.1~表 C.3 的要求，土工格栅选用应符合下列规定：

- a) 应具有抗拉强度高、延伸率小、不易产生脆性破坏的性能，极限抗拉强度应满足设计要求且不小于 50kN/m，极限抗拉延伸率不应大于 11.5%；
- b) 应具有良好的耐腐蚀和耐久性能。当采用金属材质的筋材时，应选用有金属镀层、高耐磨有机涂层或聚酰胺等有效防腐处理措施的筋材；当采用土工合成材料筋材时，应具有较低的蠕变变形和较好的抗老化性能，炭黑含量不应小于 2%；
- c) 应能与填料形成良好的摩擦嵌固作用，筋土界面摩阻系数应符合设计要求；
- d) 不得使用聚丙烯（PP）材料作为支挡结构主要受力筋材。

条文说明：目前市场上的不同材质的土工格栅材料极限抗拉强度相同但蠕变强度差异很大，用于加筋挡土墙的筋材选择要选择蠕变变形较低的材料。例如，单向拉伸塑料土工格栅以高密度聚乙烯（HDPE）和聚丙烯（PP）为主，二者虽质控抗拉强度相同，但蠕变强度差异很大。根据有关试验研究，长期荷载作用下，聚丙烯（PP）格栅在 120 年后蠕变强度为极限抗拉强度的 12%；高密度聚乙烯（HDPE）格栅材料为极限抗拉强度的 40%。因此，条文规定不能使用聚丙烯（PP）材料作为筋材。

现行《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)中是采用炭黑含量作为土工合成材料筋材抗老化性能控制指标，要求炭黑含量不小于 2%；对于采用其他措施提升筋材抗老化性能的材料，使用前要求提供其抗老化性能相关试验报告，保证材料的抗老化性能要求。

4.1.2 土工格室

土工格室条带原材料应使用原生料，不应使用粉状原生料和再生料。当土工格室用作支挡结构加筋材料时，宜采用厚度大于 1mm、高 20cm、焊距 30~40cm 的片材，其材料性能应满足附录 C 中表 C.4~表 C.6 的要求。

4.2 填料

4.2.1 加筋土支挡工程填料的选择应符合下列规定：

- a) 加筋土填料应满足《高填方地基技术规范》GB51254 或相关行业规范的要求，优先选用中粗砂、砾石或碎石土等水稳定性良好的材料，当条件不具备时，可选用中低液限黏性土；
- b) 不应选用淤泥、腐殖土及中-强膨胀土；
- c) 填料与筋材直接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 100 mm，且不宜大于单层填料压实厚度的 1/3。

4.2.2 填料设计参数应通过试验并结合工程现场情况确定，试验应按《土工试验方法标准》GBT 50123 的要求进行。

4.3 面板

4.3.1 加筋土挡墙或陡坡面板可采用砌块、现浇混凝土板、石笼网箱、喷射混凝土面板、预埋锚定板等，如图 4.3.1 所示。

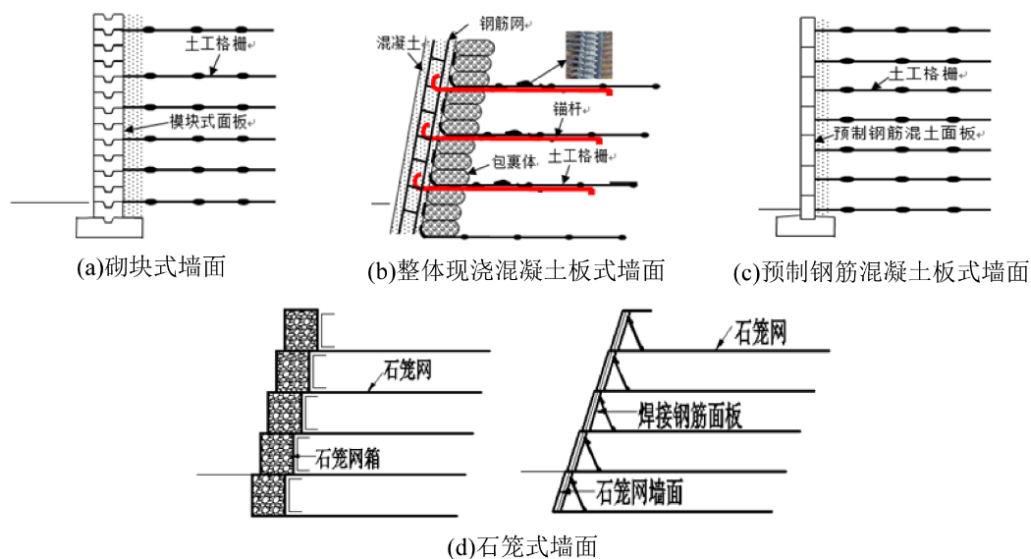


图 4.3.1 常见的加筋挡墙结构面板形式

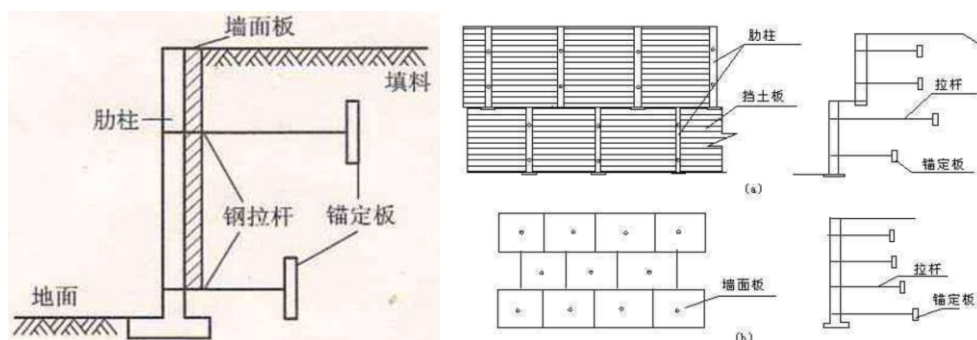
4.3.2 当面板采用砌块时，预制素混凝土砌块高度不应小于 150mm，厚度不宜小于 200mm，且应符合《生态护坡和干垒挡土墙用混凝土砌块》JC/T 2094、《普通混凝土小型砌块》GB/T 8239 的规定，强度不宜小于 C25。预制构件之间应采用企口、销钉等连接，如图 4.3.2 所示。

4.3.3 现浇混凝土面板厚度不宜小于 20 cm，强度不宜小于 C25。

4.3.4 石笼网箱网面拉伸强度不小于 40kN/m，网箱底面网片向后延伸长度不小于 2.0m。

4.3.4 喷射混凝土面板主要适用于加筋土挡墙，其强度等级不宜小于 C25，单层钢筋网喷射混凝土设计厚度不应小于 80mm，双层钢筋网喷射混凝土设计厚度不应小于 150mm，且两层钢筋网之间的间距不应小于 60mm，其它应符合《喷射混凝土应用技术规程》JGJT 372 的规定。

设计说明：加筋土挡墙支护结构面板也可选择预埋锚定面板，按照结构形式可分为肋柱式锚定面板和无肋柱式锚定面板，其中肋柱式锚定面板一般为双层拉杆，锚定板的面积较大，拉杆较长，挡土墙变形较小；无肋柱式锚定板挡土墙由钢筋混凝土面板组成。外观美观，整齐，施工简便，多用于城市交通支挡结构物工程。



肋柱式锚定板的肋柱间距宜为 2.0~2.5m,每级肋柱上拉杆可设计为双层或多层,必要时也可设计为单层,肋柱可整柱,也可以分段拼接,拼接时肋柱接头宜为榫接。肋柱设置钢拉杆穿过的孔道。锚定板、肋柱与螺丝端杆连接处宜用沥青砂浆填充,并用沥青麻筋塞缝。待沉降稳定后,外漏的端部用水泥砂浆封填。

锚定板可采用钢筋混凝土板,厚度不小于 150mm,其中肋柱式锚定板面积不应小于 0.5m^2 ,无肋柱式锚定板面积不应小于 0.2m^2 。

锚定板挡土墙的墙面板、肋柱及锚定板等钢筋混凝土构件的强度等级不应小于 C25。

4.4 连接构件

4.4.1 筋材的连接构件按照形式可以分为筋材之间的连接棒和筋材与面板连接的连接件。

4.4.2 筋材之间的连接棒截面宜为扁圆形,原材料为高密度聚乙烯(HDPE),生产采用全新的原始粒状原料,详见图 4.4.1。筋材之间的连接强度不小于原筋材极限抗拉强度的 90%。

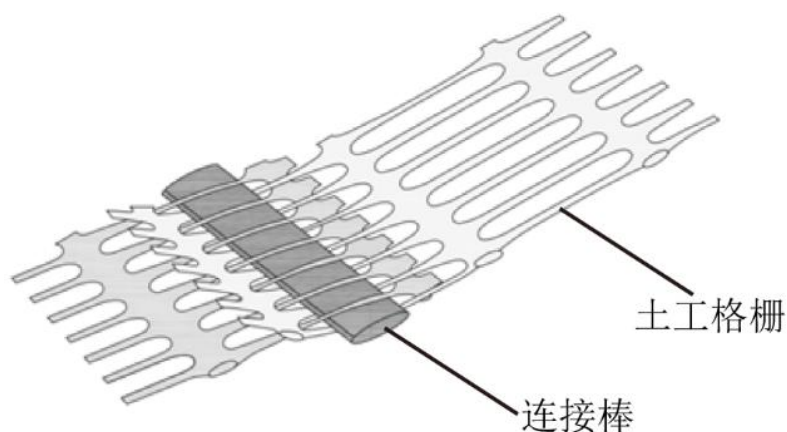


图 4.4.2 连接棒示意图

4.4.3 砌块与筋材之间可采用预埋连接，以及连接件连接，并应牢固可靠，具体连接方式参见表 4.4.3。

表 4.3.4 砌块与筋材连接方式

序号	连接类型	连接方式
1	预埋连接	将筋材横肋浇筑到模块中，外侧至少预留一条横肋，通过连接棒将其与筋材连接见图 4.4.3（a）
2	连接件连接	将专用的连接件置于预制模块间预留楔口中，通过专用的连接件将面板与筋材相连，见图 4.4.3（b）

注：筋材与钢拉环的接触面应做防锈处理。

4.4.4 筋材与面板的连接件置于预制模块间预留楔口中，将面板预制模块与筋材相连，详见图 4.4.4。

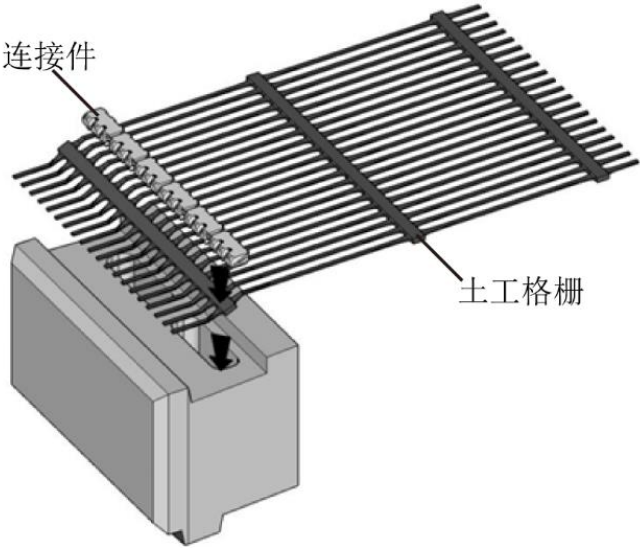


图 4.4.2 连接件示意图

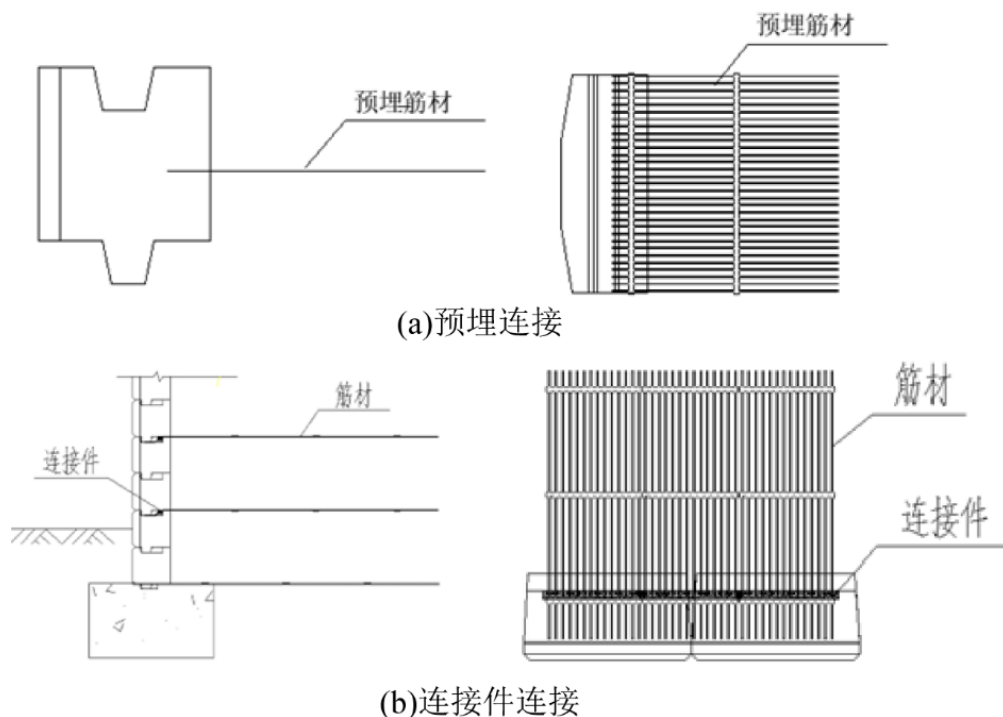


图 4.3.2 面板与筋材连接方式示意图

条文说明：经编材料的连接常采用混凝土浇筑形式；土工布材料采用整体铺设或焊接方式进行。

4.5 排水及其他材料

4.5.1 墙面后的排水层及土工袋充填物宜采用透水性的砂砾、碎石且含泥量应小于 5%。支挡结构加筋体内部排水可选用有毛细效应的毛细排水板，主要技术指标应符合本规程附录 C 表 C.7 的要求。

4.5.2 支挡结构用土工格室作为受力构件时，其生产工艺、结点连接形式、物理力学性能等技术要求应符合《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)的规定。

4.5.3 反滤材料宜采用无纺土工布，其物理力学性能、透水性能、防淤堵性能等技术要求应符合《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)的规定。

4.5.4 土工袋根据坡面绿化要求可采用植生袋或生态袋，应符合以下规定：

(a) 植生袋可采用平铺、叠铺等铺设方式，叠铺时顶层码砌长边方向应垂

直于线路方向。边坡的坡率若陡于 1:1.5 时，应采用叠铺方式。

(b) 生态袋可采用码砌、叠铺等铺设方式，顶层生态袋长边方向应垂直于线路方向。边坡的坡率若陡于 1:1.5 时，应采用叠铺方式铺设。生态袋袋间应采用联结扣连接，并采用码砌、叠铺等方式铺设。

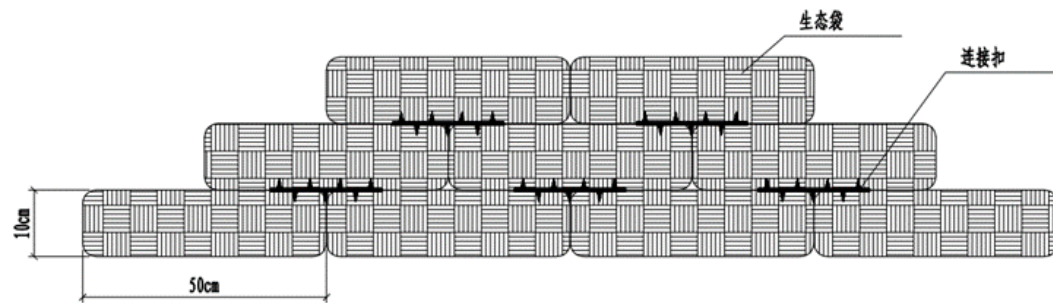


图 4.5.4 生态袋铺设示意图

5 加筋土挡墙设计

5.1 加筋土挡墙结构型式

5.1.1 加筋土挡墙结构型式主要包括：预制混凝土模块式墙面加筋土挡墙、整体现浇混凝土板式墙面加筋土挡墙、石笼网箱式墙面加筋土挡墙等。

5.1.2 预制混凝土模块式墙面加筋土挡墙横断面示意图如图 5.1.2 所示。混凝土模块可采用素混凝土或钢筋混凝土预制，并根据现场环境条件考虑耐久性。

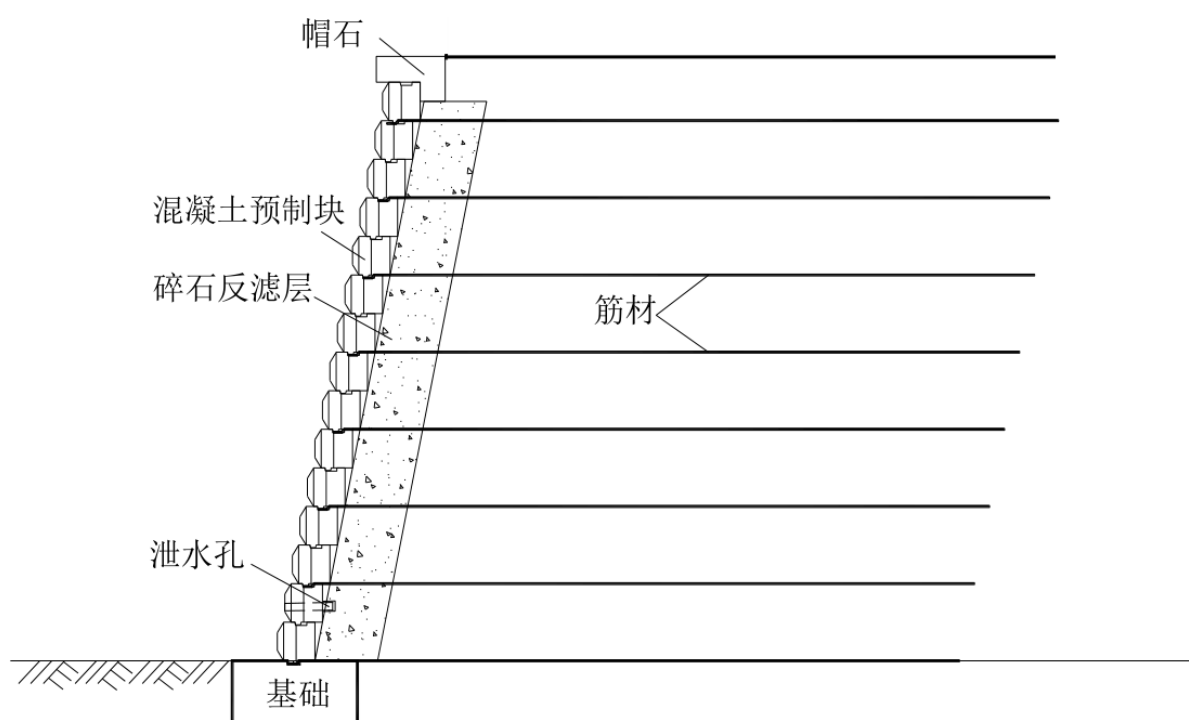


图 5.1.2 预制混凝土模块式墙面加筋土挡墙示意图

5.1.3 整体现浇混凝土板式墙面加筋土挡墙横断面示意图如图 5.1.3 所示。预埋锚固连接钢筋的直径应不小于 20mm，预埋长度及纵横向设置间距应不大于 2.5m。

条文说明：根据现有工程实践，整体现浇混凝土面板钢筋直径建议不小于10mm，钢筋网间距建议不大于200mm，这里不做统一规定。

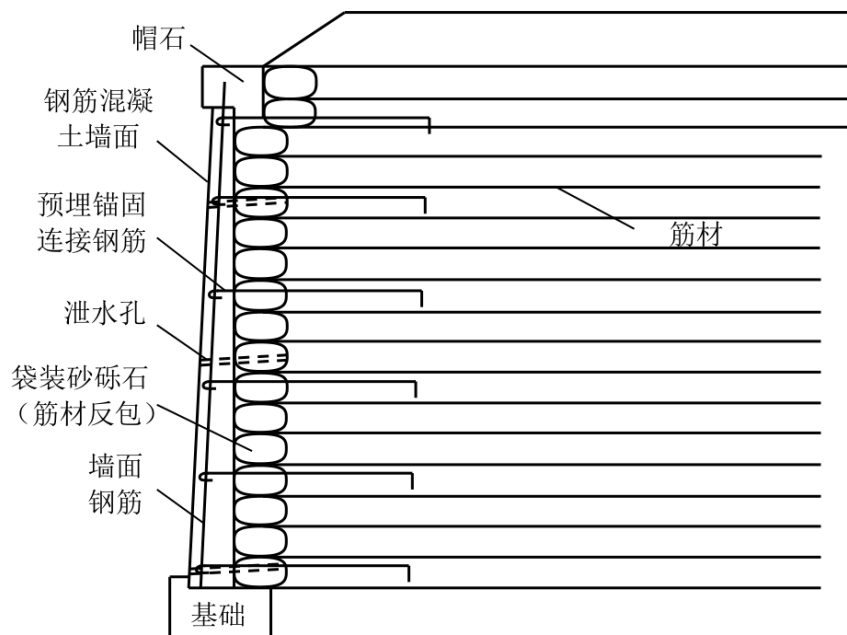


图 5.1.3 整体现浇混凝土板式墙面加筋土挡墙示意图

5.1.4 石笼网箱式墙面加筋土挡墙横断面示意图如图 5.1.4 所示。石笼网箱网面拉伸强度不应小于 40kN/m ，网箱底面网片向后延伸长度不小于 2.0m ；石笼网箱填充石料的饱和单轴抗压强度不小于 30MPa ，填充石料的相对密度不小于 0.7 。石笼网箱及其网面常用技术指标应符合《工程用机编钢丝网及组合体》YB/T 4190 的要求。

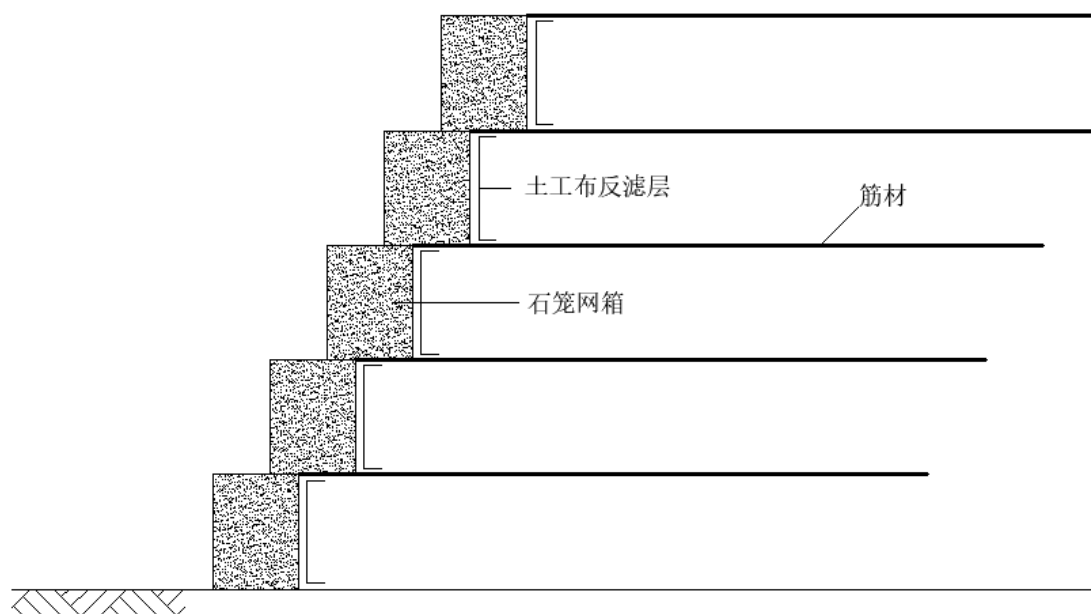


图 5.1.4 石笼网箱式墙面加筋土挡墙示意图

5.2 加筋土挡墙设计

5.2.1 加筋土挡墙应具有足够的强度、整体稳定性和耐久性，设计时应考虑上述性质，同时其变形应满足使用要求。

条文说明：加筋土挡墙由于临空面较为陡峭，为了安全考虑，一般选用土工格栅、土工格室作为加筋材料时，宜选用HDPE材质；根据现场条件也可选用钢带、钢网格+预制混凝土块墙面板加筋土挡墙的类型，以及纤塑格栅、钢塑格栅等，但不宜选用PP或其他耐久性不足的材料。

5.2.2 加筋土挡墙工程建设应做好地质勘察、纵横断面勘测和调查工作，提供的基本资料应准确可靠，满足设计要求。

5.2.3 加筋土挡墙应根据道路功能、类型和等级，结合沿线地形地质、水文气象及路用材料等条件进行设计。应因地制宜、合理选材、节约资源。应选择技术先进、经济合理、安全可靠、方便施工的加筋土挡墙结构型式。

5.2.4 加筋土挡墙应采用以极限状态设计的分项系数法为主的设计方法。

5.2.5 加筋土挡墙设计使用年限应符合《城市道路工程设计规范》(CJJ37)的规定；当达到设计使用年限或遭遇重大灾害后，应进行技术鉴定，确定满足使用要求后方可继续使用。

5.2.6 对高度超过 10m，或修建在陡坡、软土地基等特殊条件时，宜设置永久性观测点对施工期间的稳定与变形进行监测，观测点位和装置宜兼顾运营期观测需要，必要时应根据监测和养护需要设置检修台阶或检修梯。

5.2.7 加筋土挡墙设计压实度应符合《城市道路路基设计规范》CJJ 194 的规定。

5.2.8 加筋土挡墙应按国家规定工程所在地区的抗震标准进行设防。

5.2.9 城市道路加筋土挡墙工程设计应满足各类管线工程的要求，管线工程与加筋土挡墙工程应进行同步规划、同步设计，应按《城市道路工程设计规范》CJJ 37 的规定执行。

5.3 设计与计算

5.3.1 加筋土挡墙的设计应进行内部稳定验算和外部稳定验算。建于软土地基上的加筋体应作地基沉降计算，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。内部稳定验算包括筋材强度和筋材长度验算。外部稳定验算包括抗滑动稳定、抗倾覆稳定、地基承载力验算等。

5.3.2 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 5.3.2 的规定采用。

表 5.3.2 荷载分项系数取值方法

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	
荷载组合	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	
注：荷载组合I、II、III分别为天然工况，暴雨工况和地震工况				

5.3.3 内部稳定性验算时，墙顶存在荷载时应将加筋体上填土换算成等效均布填土荷载，详见图 5.3.3，荷载土柱高 h_F 应按式 5.3.3 计算。进行外部稳定性验算时，加筋土挡墙墙顶以上填土荷载应按填土几何尺寸计算。

$$h_F = \frac{1}{m} \left(\frac{H}{2} - b_b \right) \quad (5.3.3)$$

式中： h_F ——路堤墙上填土换算荷载土柱高(m)，当 $h_F > a$ 时，取 $h_F = a$ ， a 为加筋体上填土高度，单位为 m；

m ——路堤墙顶填土边坡坡率；

H ——加筋土挡墙墙高(m)；

b_b ——墙顶以上填土边坡坡脚至面板背面的水平距离(m)。

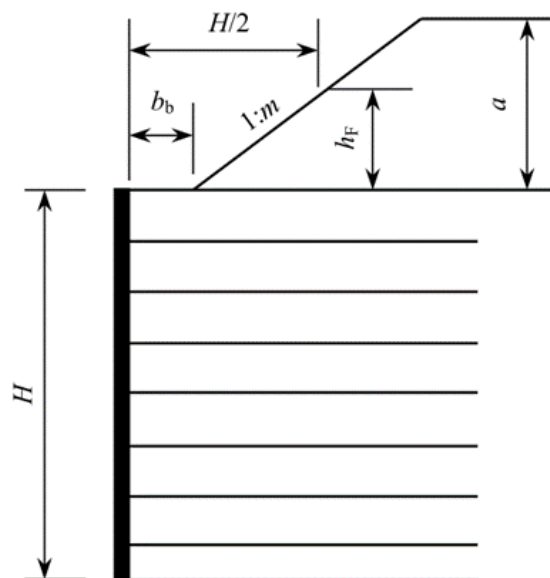


图 5.3.3 加筋土挡墙墙顶填土等代土层厚度计算示意图

5.3.4 加筋体非锚固区与锚固区的分界面可采用简化破裂面。当采用焊接钢塑土工格栅作为筋材时，简化破裂面宜按图 5.3.4(a)所示形状确定；当采用单向拉伸 HDPE 塑料土工格栅、焊接纤塑土工格栅或经编聚酯土工格栅作为筋材时，简化破裂面宜按图 5.3.4(b)所示形状确定。

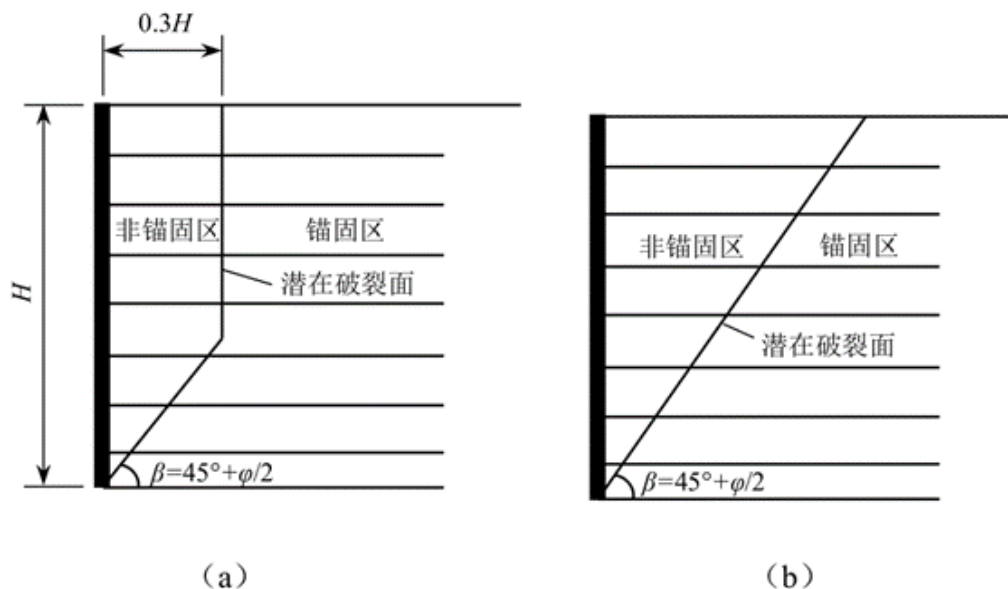


图 5.3.4 加筋土挡墙墙顶存在破裂面的计算示意图

5.3.5 内部稳定性验算应符合下列规定。

a) 墙面板背部侧向土压力系数按式 5.3.5-1~式 5.3.5-4 计算：

$$\text{当 } z_i \leq 10m \text{ 时} \quad K_i = K_0 \left(1 - \frac{z_i}{6}\right) + K_a \frac{z_i}{6} \quad (5.3.5-1)$$

$$\text{当 } z_i > 10m \text{ 时} \quad K_i = K_a \quad (5.3.5-2)$$

$$K_0 = 1 - \sin\varphi \quad (5.3.5-3)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.3.5-4)$$

式中： K_i —— 加筋体内深度 z_i 处侧向土压力系数；

K_0 —— 静止土压力系数；

K_a —— 主动土压力系数；

z_i —— 加筋土挡墙墙高(m)；

p —— 加筋体填料内摩擦角($^\circ$)。

b) 筋体填料作用于深度 z_i 处墙面板上的水平土压力 σ_{zi} 按式(5.3.5-5)计算：

$$\sigma_{zi} = \gamma_1 z_i K_i \quad (5.3.5-5)$$

式中： γ_1 —— 加筋体填料容重(kN/m³)，墙后为浸水加筋体时，取加筋体填料饱和容重。

c) 加筋体上路堤填土作用于深度 z_i 处墙面板上的水平土压力 σ_{bi} 应按式(5.3.5-6)计算：

$$\sigma_{bi} = \gamma_1 h_f K_i \quad (5.3.5-6)$$

d) 车辆、人群荷载作用于深度 z_i 处墙面板上的水平土压力 σ_{ai} 应按如下规定进行计算：

1) 车辆、人群荷载换算为等代均布土层厚度按式(5.3.4-7) 计算

$$h_c = \frac{q+q_r}{\gamma_1} \quad (5.3.5-7)$$

式中， h_c —— 车辆、人群荷载作用在加筋体上时换算土层厚度 (m)；

q —— 车辆荷载强度，墙高小于 2m，取 20kPa；墙高大于 10m，取 10kPa；

墙高在 2~10m 之内时，荷载强度用直线内插法计算；

q_r —— 人群荷载强度，一般情况下取 3kPa，行人密集区取 3.5kPa。

2) σ_{ai} 的计算

车辆、人群荷载换算成等代均布土层后，以 1:0.5 向下扩散传递荷载。当 $l_{oi} > l_{ci}$ 时，如图 5.3.4 (a) 所示，按式(5.3.5-8)计算 σ_{ai} ；当 $l_{oi} \leq l_{ci}$ 时，如图 5.3.4(b) 所示，则不考虑 σ_{ai} 。

$$\sigma_{ai} = h_c \gamma_1 \frac{B}{B_i} K_i \quad (5.3.5-8)$$

$$\text{其中 } B_i = B + a + h_i \quad (h_i + a \leq 2b) \quad (5.3.5-9)$$

$$B_i = B + b + \frac{a + h_i}{2} \quad (h_i + a > 2b) \quad (5.3.5-10)$$

式中， l_{oi} ——第 i 层筋材在非锚固区的长度(m)；

l_{ci} ——第 i 层筋材面板背面至均布土层扩散线外侧的距离(m)；

B ——加筋体计算时采用的荷载布置宽度(m)，取路基全宽；

B_i ——均布土层荷载扩散至第 i 层筋材处的分布宽度(m)。

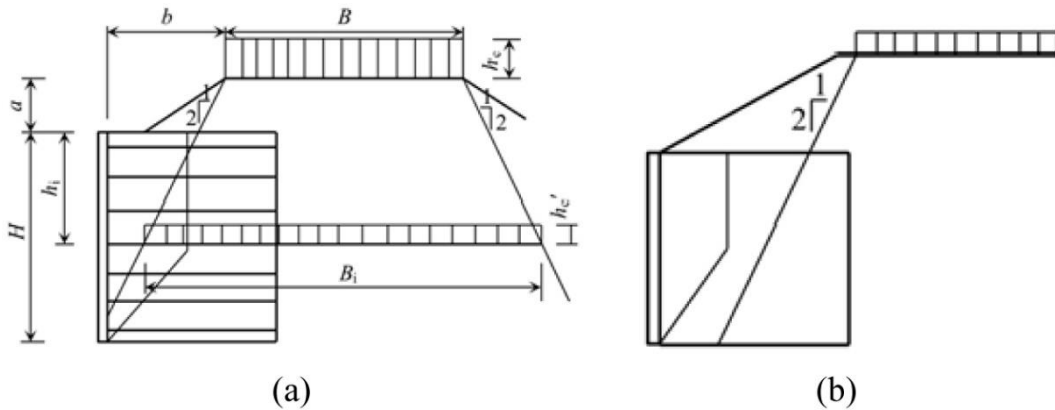


图 5.3.5 加筋土挡墙墙顶填土等代土层厚度计算示意图

e) 作用于深度 z_i 处墙面板上的水平土压力 σ_{Ei} 按式(5.3.5-11)计算：

$$\sigma_{Ei} = \sigma_{zi} + \sigma_{bi} + \sigma_{ai} \quad (5.3.5-11)$$

f) 单层筋材的抗拔稳定性按式(5.3.4-12)进行验算。

$$\gamma_0 T_{i0} \leq \frac{T_{pi}}{\gamma_{R1}} \quad (5.3.5-12)$$

$$T_{i0} = \gamma_{QI} T_i \quad (5.3.5-13)$$

$$T_i = \sigma_{Ei} s_y \quad (5.3.5-14)$$

$$T_{pi} = 2f_{sg} \sigma_i b_i L_{ai} \quad (5.3.5-15)$$

式中， γ_0 ——结构重要性系数，按表 5.3.5-1 的规定采用；

T_{i0} —— z_i 深度处筋材承受的水平拉力设计值(kN)；

T_i —— z_i 深度处筋材承受的水平拉力(kN)；

γ_{Q1} ——恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力分项系数，按表 5.3.2 采用；

T_{pi} ——自重作用下， z_i 深度处筋材有效长度所提供的抗拔力(kN)；

σ_i —— z_i 深度处，作用于筋材上的竖直压应力(kPa)， $\sigma_i = \gamma_1 z_i + \gamma_1 h_F$ 。

γ_{R1} ——筋材抗拔力计算调节系数，按表 5.3.5-2 的规定采用；

s_y ——筋材竖向间距(m)；

f_{sg} ——填料与筋材之间的似摩擦系数，由试验确定。当不具备试验条件时，可按当地经验或相关资料确定，或按式 $f_{sg} = 0.9 \tan \varphi_s$ (φ_s 为筋材与填料之间的摩擦角)或表 5.3.4-3 确定。当墙高大于 12m 时，表 5.3.4-3 中的似摩擦系数宜取低值。

b_i ——筋材宽度(m)，土工格栅满铺时 $b_i = 1.0\text{m}$ ； L_{ai} ——筋材在锚固区的有效锚固长度(m)。

表 5.3.5-1 结构重要性系数 γ_0

墙 高 (m)	结构重要性系数 γ_0
≤ 10.0	1.0
> 10.0	1.05

表 5.3.5-2 筋材抗拔力计算调节系数 γ_{R1}

荷载组合	γ_{R1}
I、II	1.4
III	1.3
施工荷载	1.2

表 5.3.5-3 填料与筋材之间的似摩擦系数

填料类型	似摩擦系数
细粒土	0.25~0.40
砂类土	0.35~0.45
碎石类土、砾石类土	0.40~0.50

全墙抗拔稳定性验算时，分项系数均取 1.0，并应符合式(5.3.5-16)的规定：

$$K_b = \frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} \geq 2 \quad (5.3.5-16)$$

式中， K_b ——全墙抗拔稳定系数；

$\sum T_{pi}$ ——各层筋材提供的抗拔力总和 (kN)；

$\sum T_i$ ——各层筋材承担的水平拉力总和(kN)。

筋材的抗拉强度验算应符合式(5.3.4-17)的规定：

$$\gamma_0 T_{i0} \leq \frac{T_a}{\gamma_f} \quad (5.3.5-17)$$

$$T_a = \frac{T_{ult}}{\gamma_{R2}} \quad (5.3.5-18)$$

式中， γ_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/m)；

T_{ult} ——由筋材拉伸试验测得的极限抗拉强度(kN/m)；

γ_{R2} ——筋材抗拉计算调节系数，考虑筋材蠕变、老化和施工条件等因素的影响，宜通过试验确定。

条文说明：筋材抗拉计算调节系数可参考附录 B 或厂家提供参数或试验索取参数；当缺乏试验条件时，对于单向拉伸 HDPE 塑料土工格栅和经编聚酯土工格栅，可取 1.8~2.5；对于焊接钢塑土工格栅和焊接纤塑土工格栅，可取 1.55~2.0。当施工条件差、筋材蠕变大时，取大值；当施工条件好、筋材蠕变小时，可取较小值。

5.3.6 加筋土挡墙筋材设计长度 L_i 按式(5.3.6-1)计算，并应满足 5.3.5 的要求。整体现浇混凝土板式墙面加筋土挡墙筋材应采用统一的水平回折反包长度，其长度应大于式(5.3.6-2)计算值，且不宜小于 2.0m。

$$L_i = L_{0i} + L_{ai} + L_{wi} + L_{wi}' \quad (5.3.6-1)$$

$$L_{wi}' = \frac{S_y \sigma_{Ei}}{2(C_{sg} + \sigma_i \tan \phi_s)} \quad (5.3.6-2)$$

式中， L_{0i} —— z_i 深度处非锚固区内的筋材长度(m)；

L_{wi} —— z_i 深度处筋材外端包裹土工袋所需长度或筋材与墙面连接所需长

度(m);

Lwi' —— z_i 深度处筋材水平回折反包长度(m)，为水平投影长；

c_{sg} ——筋材与填料之间的黏聚力(kPa)，由试验确定；

φ_s ——筋材与填料之间的摩擦角($^\circ$)，由试验确定，填料为砂类土时取
(0.5~0.8) φ 。

5.3.7 加筋土挡墙外部稳定验算时，可将加筋体作为重力式挡土墙，按《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的有关规定进行抗滑动稳定、抗倾覆稳定、地基承载力验算等，稳定性分析如图 5.4.6 所示。

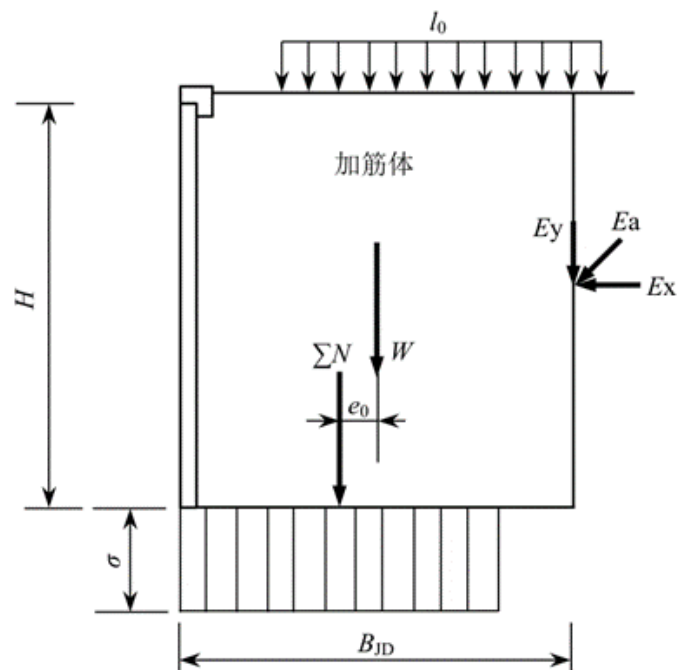


图 5.3.7 加筋土挡墙受力示意图

5.3.8 在规定的墙高范围内，验算加筋土挡墙的抗滑动和抗倾覆稳定时，稳定系数不应小于表 5.3.8 的规定。

表 5.3.8 抗滑动和抗倾覆的稳定系数表

荷载情况	验算项目	稳定系数
荷载组合 I、II	抗滑动 K_c	1.3
	抗倾覆 K_d	1.6
荷载组合 III	抗滑动 K_c	1.3
	抗倾覆 K_d	1.3
施工阶段验算	抗滑动 K_c	1.2
	抗倾覆 K_d	1.2

注：荷载组合I、II、III分别为天然工况，暴雨工况和地震工况。

5.3.9 设置于不良土质地基或斜坡上的加筋土挡墙，对地基及填土的整体滑动稳定进行验算，其稳定系数不应小于 1.25。

5.3.10 建于软土地基上的加筋土挡墙，对地基沉降进行计算并确定容许工后变形。

5.3.11 多级加筋土挡墙设计时，上级墙面基础位置如图 5.3.11 所示。根据级间平台宽度及墙面基础位置，按照下列要求并参照本规程 5.3.1~5.3.10 的有关规定进行设计与计算。

- a) 当上级墙面基础位于下级墙主动区， $D < (H_1 + H_2)/20$ 时，按单级加筋土挡墙进行设计。
- b) 当上级墙面基础位于下级墙过渡区， $(H_1 + H_2)/20 \leq D \leq H_2 \tan(90^\circ - \varphi)$ 时，逐级进行分析设计。最上级墙体按单级加筋土挡墙进行设计，下级墙应将上级墙作为外加荷载进行设计。
- c) 当上级墙面基础位于下级墙稳定区， $D > H_2 \tan(90^\circ - \varphi)$ 时，各级墙体均按单级加筋土挡墙进行设计。

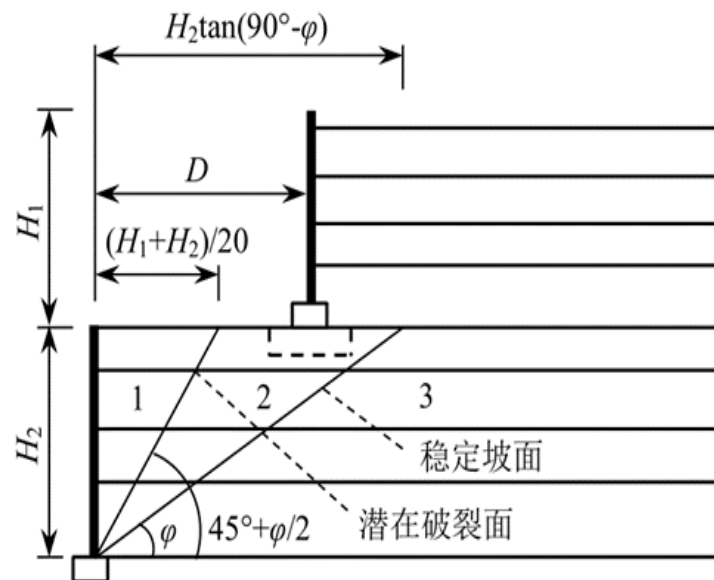


图 5.3.11 多级加筋土挡墙墙面基础位置分区示意图

5.4 构造要求

5.4.1 加筋挡土墙墙面坡率宜陡于 1:0.5, 单级墙高 $\leq 10\text{m}$, 当高度超过此规定时宜采用多级设计, 级间应设置宽度不小于 2.0m 的平台, 每级墙高 $\leq 10\text{m}$, 总高度 $\leq 20\text{m}$, 当总高度超过 20m 时应进行专项论证。石笼网箱式墙面加筋土挡墙总高度 $\leq 10\text{m}$ 。

5.4.2 墙面平面线形可采用直线、折线和曲线, 相邻墙面间的内夹角不宜小于 70° 。

5.4.3 筋材竖向间距宜为 30~60cm, 最大间距不宜超过 80cm, 当间距超过 60cm 时宜增设辅筋。

5.4.4 筋材长度除应满足结构稳定性要求外, 还应符合下列规定:

- a) 墙高大于 3.0m 时, 筋材长度不应小于 0.8 倍墙高, 且不小于 5m。当采用不等长的筋材时, 同长度筋材的墙段高度不应小于 3.0m。相邻不等长筋材的长度差不宜小于 1.0m;
- b) 墙高小于 3.0m 时, 筋材长度不应小于 3.0m, 且应采用等长筋材。

5.4.5 筋材之间连接或筋材与墙面板连接时, 可采用连接棒或其他连接方式, 连接应牢固可靠, 并与筋材有相同的耐腐蚀性能。双面加筋土挡墙的筋材应错开铺设, 避免重叠。

5.4.6 墙面下应设置混凝土或片石混凝土条形基础, 其形式与尺寸应根据地基、墙面型式、墙高等条件确定, 并应符合下列要求:

- a) 墙面基础应按本规程 5.3 节的规定进行地基承载力验算;
- b) 基础宽度不宜小于 0.8m, 厚度不宜小于 0.4m;
- c) 基础混凝土强度等级不宜低于 C20;
- d) 当基底起伏不平时, 可结合地形做成台阶形基础。

5.4.7 加筋土挡墙基础埋置深度应符合《建筑地基基础设计规范》GB_50007 的有关规定。

5.4.8 加筋土挡墙面板顶面宜设置混凝土或钢筋混凝土帽石。

5.4.9 整体现浇混凝土板式墙面加筋土挡墙预埋锚固钢筋直径不宜小于 20mm，预埋长度不宜小于 3.0m，垂直与水平方向的间距均不宜大于 2.5m，并应做好防锈处理。

5.4.10 冰冻地区加筋土挡墙应采取防冻胀措施。

5.4.11 加筋土挡墙面板沿墙长每隔 15m~25m 或与其它建筑物相接处，应设置伸缩缝或沉降缝，可合并设置，缝宽宜为 2cm~3cm，缝内填塞材料可采用沥青麻筋、沥青木板、胶泥、橡胶条或聚苯乙烯泡沫板等，塞入深度不应小于 0.2m。

5.4.12 加筋土挡墙设计应满足各类管线工程的要求，管线工程与加筋土挡墙工程应同步规划、同步设计。

6 加筋土边坡设计

6.1 一般规定

6.1.1 加筋土边坡设计应取得下列资料：

- a) 现状地形图；
- b) 工程地质和水文地质勘察资料；
- c) 若加筋土边坡高度超过 20m，应收集场地周边地区城市总体规划情况以及现状资料和既有设施情况，包括道路、铁路、水利、村庄、管线等；
- d) 气象、气候、地震烈度等资料；
- e) 拟堆填材料的物理力学性质。

6.1.2 加筋土边坡的设计包括堆填要素、安全稳定性分析和安全对策措施、安全防护距离、防渗系统、排水系统等内容。

6.1.3 场地地基变形、稳定性不能满足边坡稳定性要求时，应对堆填地基进行处理。

6.2 加筋土边坡堆填及筋材铺设设计

6.2.1 加筋土边坡堆填设计应包括堆填总高度、分层厚度、台阶高度、平台宽度等。

6.2.2 加加筋土边坡选用土工格栅、土工格室作为加筋材料时，应选用 HDPE 材质，不宜选用 PP 或其他耐久性不足的材质。

6.2.3 加筋土边坡支护工程应满足边坡稳定、场地压实度、场地排水等方面的要求；除整体稳定性验算外，还应验算局部稳定性；设计方法可参考附录 A。外部稳定性分析验算应包括抗(水平)滑动稳定、抗倾覆稳定、基底合力偏心距、地基承载力验算，初步确定加筋体宽度(筋带长度)，软弱地基尚应进行整体滑动稳定

性及地基沉降计算；内部稳定性验算应包括拉筋强度验算、抗拔稳定验算、面板结构设计等。

6.2.4 堆填方式应根据填料性质并结合场地地形、地质、气象等因素比较后确定。

6.2.5 加筋土边坡堆填平台应线性平整，排土线整体均衡推进，排土工作面向坡顶线方向应有 2%~5%的反坡。

6.2.6 堆填材料填筑时应进行分层碾压，分层厚度不宜大于 1.0m，靠近临空面堆填稳定性影响范围内土体压实度不宜小于 0.94，其余区域不宜小于 0.85；当采取夯实方法进行处理时，分层厚度和压实度应满足《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的要求，同时临时稳定性和整体稳定性应满足《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)的要求。

6.2.7 堆填体每级台阶高度可取 5~10m；边坡坡率宜小于 1:1.0。

6.2.8 堆填体采用多台阶时，各台阶之间平台宽度不宜小于 5m；当平台兼作运输通道或有特殊要求时，应满足相应要求。

6.2.9 堆填工程应根据工程、水文地质勘察资料、堆置高度验算堆填前及堆填竣工后的地基承载力及稳定性，并满足《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的要求；对于土质斜坡地基，宜将原坡修整成台阶状，以增加稳定性；对于浸水地基，应堆填之前疏干基底，并填筑块碎石作垫层或设置盲沟，用于排水。

6.2.10 堆填工程地基表层存在腐殖质、软土、植被及树木根系时应进行清除；存在污染源时应无害化处理。

6.3 加筋土边坡稳定性分析

6.3.1 加筋土边坡稳定性分析应主要包括如下内容：

- a) 填料物理力学性质分析；
- b) 筋材物理力学性质分析；
- c) 计算方案及整体和局部稳定性计算分析；

- d) 安全稳定性对策措施;
- e) 稳定性分析结论及建议。

6.3.2 加筋土边坡外部稳定性计算应根据潜在的破坏方式采取相应的计算方法。计算方法主要包括定性分析方法和定量计算方法,分析中宜采用定性分析与定量计算相结合进行;其中松散类材料可采用圆弧法搜索潜在滑动面并采用瑞典条分法或简化毕肖普法计算;考虑结构面稳定性材料时采用折线法搜索潜在滑动面并采用传递系数法进行计算。

6.3.3 加筋土边坡内部稳定性参考 5.3 节加筋土挡墙设计方法。

6.3.4 当加筋土挡墙采用多台阶多级边坡结构类型时,应分别验算每级边坡的外部稳定性和内部稳定性。

6.3.5 计算模型应综合地形地貌、地基特征、水文地质特征、填料特征、堆填方案、堆填过程等确定。

6.3.6 稳定性计算工况应符合下列规定:

- a) 应根据重力、降雨及地下水、地震情况,进行不少于自然工况、降雨及地下水工况、地震工况三种条件下的计算分析;
- b) 堆填工程影响范围内设施和荷载应考虑在内。

6.3.7 力学指标选取应符合下列规定:

- a) 地基土力学指标应采取室内或原位试验,并结合地层结构特征综合确定;
- b) 填料力学指标宜根据填料成分结合堆填工艺综合确定;条件允许时可采取现场原位直剪试验确定。没有条件进行试验时,可通过工程类比选取,实施过程中通过现场试验复核。

6.3.8 加筋土边坡安全稳定性标准应根加筋土支挡工程安全等级和计算工况确定,安全稳定性标准可按照表 6.3.8 选取,根据需要设置拦挡工程措施。

表 6.3.8 加筋土边坡安全稳定性标准表

工程安全等级	永久边坡		临时边坡
	自然工况	地震工况	
一	1.35	1.15	1.05
二	1.30	1.10	
三	1.25	1.05	

- 注：1. 降雨及地下水位上升工况下，边坡整体稳定性系数可在自然工况的基础上降低 0.05~0.10，但不得低于 1.15；
2. 加筋土边坡堆填工程局部稳定性不应低于整体稳定性系数要求；
3. 对地质条件很复杂或破坏后极其严重的堆填工程，其安全稳定性系数应适当提高；
4. 临时边坡不应高于 6m，超过 6m 时应参考永久边坡工程的要求。

7 加筋土挡墙及边坡施工

7.1 一般规定

7.1.1 加筋挡土墙及边坡施工包括：基槽开挖、排水设置、基础砌（浇）筑、筋材铺设、填料摊铺与压实、其它设施安装。

7.1.2 施工每一道工序须经施工单位自检、监理单位检查合格后方可进行下道工序施工，并做好施工的检验记录。

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

7.1.4 施工过程中应对加筋挡土墙及边坡进行变形监测。根据监测数据，掌握挡土墙及边坡的稳定性，必要时调整工艺或采取其它有效措施。

7.2 加筋土挡墙施工

7.2.1 加筋土挡墙的基本施工流程图如图 7.2.1 所示。

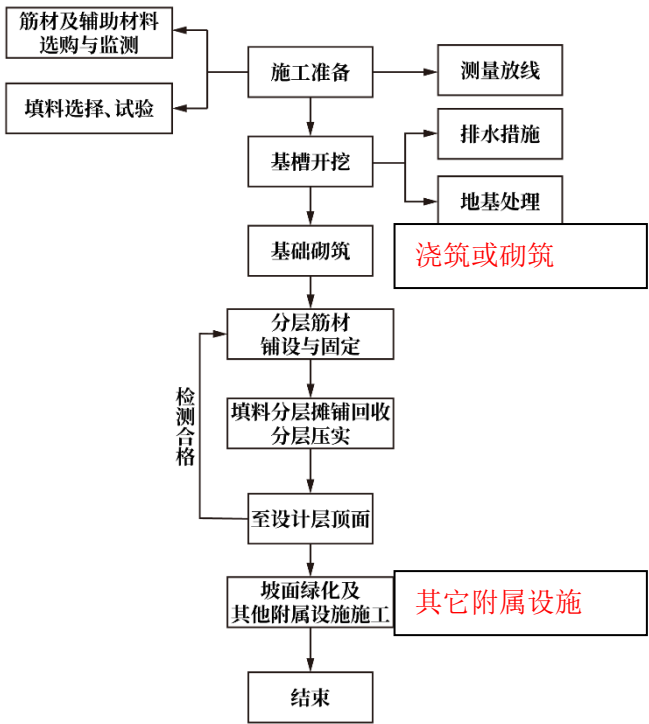


图 7.2.1 加筋土挡墙基本施工流程图（重画）

7.2.2 施工准备应符合下列规定：

- a) 施工前应熟悉设计文件，充分理解设计意图，做好现场核查和测量工作，当设计与实际情况有出入时，应通知监理单位与设计单位协商修改；
- b) 开工前必须进行现场调查，根据场地地形、地质条件、水文、气象、环境等条件，制定相应的安全技术和环境保护措施，并做好相应的应急预案；
- c) 应做好施工组织设计，包含施工方法、工程量、工期要求、人材机，以及临时工程和现场布置。
- d) 施工前应核对加筋材料和辅助材料等，并根据设计文件提出的技术指标要求，委托具有相应资质的单位进行相关检测试验。监理单位应进行抽检，合格后方可使用。
- e) 施工现场应设置安全、警示标志和安全防护措施。

7.2.3 加筋土挡墙基础应符合下列规定：

- a) 根据设计要求对施工现场进行测量放线；
- b) 根据设计尺寸、形状以及埋置深度要求，测量放线后清除地表腐植土，将地基开挖至设计标高，开挖范围应保证足以容纳加筋材料设计长度，并便于填料的摊铺、碾压，且应大于基础外缘 0.5~1.0m；
- c) 基础底面应开挖至承载力大于设计要求的土层，必要时可采用夯实或素混凝土铺底。基槽开挖后，不得长时间暴露或扰动、浸泡，防止降低承载力；
- d) 地基开挖后应整平、压实，开挖时如有涌水或雨水浸入，应设置专门的排水设施；
- e) 基础开挖后，应安排勘察技术人员进行验槽，以确认地基土是否符合设计要求。如不满足设计要求，应做好相关记录并取样分析，及时提请变更设计。

7.2.4 筋材铺设应符合下列规定：

- a) 经施工单位自检及监理单位抽检合格的加筋材料，其装卸、装运和堆放应严格执行厂家提供的方式方法，并做好防火工作；
- b) 加筋材料在运输、保管、加工中应防止阳光照射和高温辐射，应堆放在阴凉通风的室内，不应露天存储。在制作和铺设时应防止变形、折断，铺设时宜缩短暴露时间，及时用填料覆盖，暴露总时间不得超过 8 小时；
- c) 筋材铺设前应计算好铺设长度，包含加筋部分和反包部分。必须连接时应避免在主受力方向连接，应采用专业技术连接，连接强度不得低于材料的设计强度的 90%；
- d) 筋材铺设时应拉直、铺平，采用张拉梁对筋材进行张拉，张拉力不小于极限抗拉强度的 10%，且不大于 10kN/m(宽度 1m)，张拉的同时筋材尾部用 U 型钉固定或小木桩固定；
- e) 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最大粒径不宜超过 10cm，且最大颗粒粒径不超过层厚的 1/3；
- f) 加筋体顶部应设 0.6m 厚的封闭层，防止地表水浸入加筋体。封闭层应选用纯净的粘土筑成，要求保持最优含水量，压实度达到 0.93 以上。

7.2.5 填料摊铺与压实应符合下列规定：

- a) 填料应符合设计要求。摊铺前应做好标准击实试验，提出最优含水量和最大干密度，以及相应的物理、化学指标，以控制压实质量；
- b) 碾压前应进行压实试验。根据筋材铺设间距、碾压机具、填料性质及最优含水量，通过试验确定填筑的分层松铺厚度和碾压遍数，使压实后的层面恰好与下一层筋材铺设位置相同。施工单位提出的压实试验报告应经监理单位同意后方可指导施工；
- c) 填料应回填均匀、分层摊铺、压实平整。填料顶面应符合如下要求：
 - i. 距坡肩 1.0m 以内，不应采用大型机械作业，应采用人工摊铺，人工摊铺应顺筋材长度方向作业，分层厚度不得超过 200mm，

并采用人工夯实或小型压实机碾压密实；同时坡肩人员设置安全绳，或坡面设置脚手架进行防护。

- ii. 距坡肩1.0m以外，采用机械摊铺时，应设置明显标志，便于司机观察运行；
 - iii. 填料摊铺、碾压应从筋材中部开始，平行坡面碾压，先向筋材尾部逐步进行，然后再向坡面方向进行，不应平行于筋材方向碾压；
 - iv. 所有机械行驶方向应与筋材垂直，并不得在未覆盖填料的筋材上行驶，不得在未经压实的填料上急剧改变运行方向和急刹车；
 - v. 填料碾压时，应先轻后重，第一遍宜用轻型压路机机械碾压，若采用振动压路机时，应在不震动情况下进行压实；
 - vi. 每层填料摊铺完毕，应及时碾压，不得延至次日。特殊情况需要延时碾压，可采用塑料薄膜覆盖，以保持最优含水量。
- d) 雨天严禁进行填料摊铺和压实作业，避免含水量失控达不到规定的压实度标准要求。
- e) 填料压实度应按照相关的规范要求进行检测。当采用灌砂法、灌水法试验时，取土样底面位置为每一压实层底部；采用环刀法试验时，环刀中部处于压实层厚的 1/2 深度。

7.3 加筋土边坡施工

7.3.1 加筋土边坡的施工流程与加筋土挡墙施工流程基本相同，如图 7.2.1 所示。

7.3.2 基槽开挖应符合下列规定：

- a) 基槽应按设计图纸要求开挖到设计标高，槽底平面尺寸一般在于基础外缘 30cm；
- b) 基槽开挖时应做好防、排水工作；

- c) 基槽开挖后，应安排勘察技术人员进行验槽，以确认地基土是否符合设计要求。如不满足设计要求，应做好相关记录并取样分析，及时提请变更设计。

7.3.3 筋材铺设过程中，经检测合格的加筋材料在现场加工成铺设块，铺设块的拼缝采纳“包缝”连结，铺设时加筋材料的纵向应垂直于坡面，铺设地面应修正平坦，保证加筋材料顺直、不皱折，可按一定间隔打设塑料钉或木钉加以固定。

7.3.4 填料摊铺与压实过程中，在加筋材料上应按设计厚度铺土，先铺边坡处，再逐渐向后铺填。机械碾压时，近坡面处用轻型机械压实，以保持坡面平坦成线，坡体用一般机械碾压，达到设计要求的压实度，为保证压实效果，应及时控制填料的最优含水率。

7.3.5 主要为单向受力的土工材料铺设时，横向宽度方向每幅之间可不进行搭接，但应密贴排放，并间隔 1~2m 进行绑扎或用 U 型钉进行固定。

条文说明：工程中大部分采用单向受力的土工材料，例如单向土工格栅，土工格室等，由于其受力方向为垂直坡体走向，横向宽度方向的搭接与否对该类工程影响较小，从节省工程造价和成本的方向考量，可不进行搭接；但为了防止在施工过程中土工材料横向移动，故在格栅横向接触位置应进行固定或绑扎。

8 排水工程设计与施工

8.1 一般规定

8.1.1 加筋土工程施工现场应先完成场地排水,以保证正常施工。如出现层间水、裂隙水或涌泉等时,应先修筑排水构造物,再做加筋土工程。

8.1.2 加筋土支挡工程施工时,应按设计规定设置完善的排水系统,应采取措施疏导挡墙墙背及边坡坡体中水分,防止墙后及坡体积水,减少雨水和地面水下渗。

8.1.3 加筋土支挡工程中的反滤层、透水层、隔水层等防排水设施应按设计要求与加筋土主体同步实施。

8.1.4 排水设施施工过程中,应核查现场实际情况,若与设计不符时应及时通知设计单位进行动态设计。

8.2 加筋土挡墙排水设计

8.2.1 加筋土挡墙排水设计应与区域排水系统相协调,根据道路排水总体设计的要求,结合沿线水文、气象、地形、地质等自然条件,设置必要的地表排水和地下排水设施,并应满足城市防洪要求。

8.2.2 加筋土挡墙墙面应设置泄水孔,孔径不小于 100mm,沿墙面自下而上按 2m~3m 梅花型设置,其排水坡度不应小于 4%。

8.2.3 当加筋体填料为细粒土时,墙面板内侧应设置宽度不小于 0.30m 的碎石排水层,且应满足反滤要求。碎石排水层顶部和最低一排泄水孔的进水口下部应设置隔水层。

8.2.4 石笼网箱式墙面加筋土挡墙土工布反滤层应置于石笼网箱和加筋体之间。

8.2.5 墙前应设 4%的横向排水坡,在无法横向排水地段应设纵向排水沟,基础底面应设置于外侧排水沟底以下。

8.2.6 多级加筋土挡墙级间平台顶部应采用厚度不小于 0.15m 的 C15 混凝土板防护并设不小于 2%的横向排水坡。上级墙面板基础下应设置宽度不小于 1.0m，厚度不小于 0.5m 的砂砾或灰土垫层。如图 5.6.6 所示。

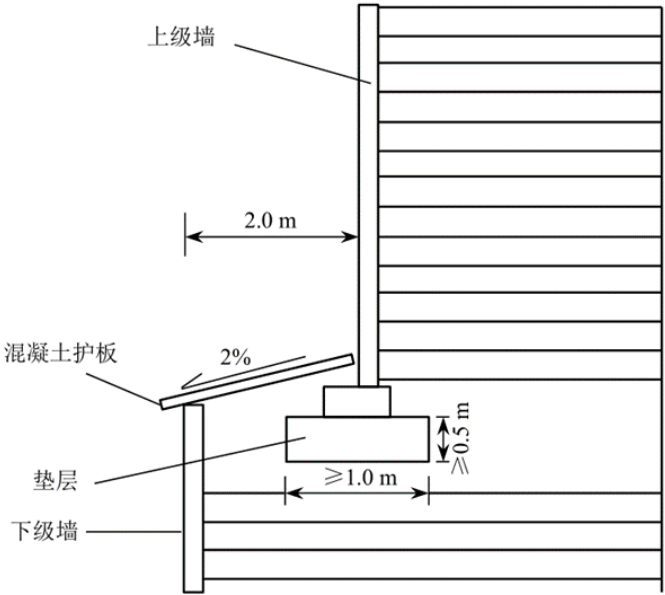


图 8.2.6 多级加筋土挡墙级间平台与面板垫层示意图

8.3 加筋土边坡截排水设计

8.3.1 加筋土边坡防洪设计频率，一、二级支挡工程应不小于 50 年，三级支挡工程应不小于 20 年，且不低于当地的防洪标准，当服务期结束后应根据现场条件重新进行评估及截排水设计。

8.3.2 加筋土边坡应设置完整的排水系统，及时排除地表水、地下水和堆填料内的滞留水。排水系统主要包括堆填完成后的地表水导排系统、地下水导排系统和堆填期间的临时排水系统。

8.3.3 加筋土边坡排水量应根据当地水及气象资料进行计算，可根据《室外排水设计规范》(GB 50014)进行设计计算，缺乏相关资料时，可采用类似工程经验；入渗系数及计算公式可参考式 8.3.3 及表 8.3.3 执行。

$$Q_s = q\Psi_s F \quad (8.3.3-1)$$

$$Q_i = q\Psi_i F \quad (8.3.3-2)$$

式中： Q_s —— 地表雨水设计流量(mm/s)；

Q_i —— 下渗雨水设计流量(mm/s)；

q —— 设计暴雨强度(mm/(s·km²))；

F —— 汇水面积(km²)。

表 8.3.3 径流系数与下渗系数表

地面类型	径流系数 Ψ_s	下渗系数 Ψ_i
各种屋面、混凝土或沥青路面	0.85~0.95	0.05~0.15
大块石铺砌路面或沥青表面各种的碎石路面	0.55~0.65	0.35~0.45
级配碎石路面	0.40~0.50	0.50~0.60
干砌砖石或碎石路面	0.35~0.40	0.60~0.65
非铺砌土路面	0.25~0.35	0.65~0.80
公园或绿地	0.10~0.20	0.80~0.90

8.3.4 排水系统应以重力排水为主，必要时应考虑合理的抽排设施，可分为主、次排水系统。

8.3.5 边坡堆填材料如含有对地表水或地下水有害的物质，应进行无害化处理后再进行堆填，或在堆体内设置防渗系统，渗出的有害物质应进行无害化处理或排入允许排放的管网。

8.3.6 堆体的地表排水应与周边区域的地表排水系统分开设置，避免将周边区域的地表水导排入支挡工程场地内。

8.3.7 地表水导排系统一般由截（排）水沟、排水管（涵）、沉砂池（井）等设施构成。地表水排放前应进行沉淀处理；排水管（渠）坡度较大时应设置可靠的跌水和消能设施；堆填区外围如设置有拦挡工程，应设置穿坝（墙）管（涵）。

8.3.8 加筋体内部排水，应根据加筋土支挡工程的地形地貌、汇水面积、水文地质条件、气象条件和堆体的透水性能等综合确定，并与堆体外部排水设施相协调。

堆体底层和体内应有集水、排水设施。堆体底层宜采用管（涵）方式排水，内部可采用管（涵）、砂槽、竖井方式排水。

8.3.9 管（涵）式排水应符合下列规定：

- a) 管（涵）式排水系统宜根据堆体的物料性质、渗透特性、堆体的整体布局和堆填高度等进行分层设置。
- b) 管（涵）式排水系统可根据需要采用“鱼骨状”分布的地下管（涵），出口处与地表排水系统合理衔接。
- c) 地下管（涵）应满足相应高程的荷载要求，采用柔性连接，并应采用开挖敷设法施工。承担集水功能的盲管（沟），外周宜设置反滤层，反滤层应根据堆填物质的性状和盲管（沟）所在的位置合理确定。地表水严禁接入地下管（涵）。

8.3.10 槽式排水应符合下列规定：

- a) 滤水槽的水平布置形式根据堆填规模、分层厚度、堆填工艺等确定，宜呈“井”字状条带布置；垂向布置应与分层厚度相适应，管（涵）、槽的部位在上下层间应交错布置；
- b) 滤水槽的宽度宜为 500mm~1000mm，深度不宜小于 1000mm，朝向挡坝方向的砂槽底坡度宜为 2~5%；
- c) 坝体上的泄水管应与堆体内的滤水砂槽合理衔接，坝体内侧与堆体之间应设置填砂滤水层，并在坝体上设置泄水孔。

8.3.11 井式排水应符合下列规定：

- a) 堆体内设置竖向集水井时，应与底层排水系统联通；
- b) 集水井井数与平面位置应根据集水井影响范围、支挡工程排水系统、堆体渗透性等因素综合确定，集水井底部应与堆体底层水平向排水系统联通。
- c) 集水井构造由滤水管、围砂、透水井圈三部分组成。

- d) 滤水管直径不宜小于 150mm，井圈与滤水管外径间距不宜小于 500mm。

8.4 内部排水施工

8.4.1 当填料为非砂砾石填料或不透水填料时，加筋体基础及加筋体中应依据状况设置泄水孔、盲沟或滤水排水管等排水设施。

8.4.2 加筋土边坡的加筋体后边坡底部宜设置 50cm 厚的碎石排水层，以保证加筋体后的水能及时排出。

8.4.3 加筋体中的排水盲沟宜用碎石、砂砾石等，并与滤水土工布配套使用。

8.4.4 加筋土体内的泄水孔孔径、埋设位置、管身小孔型式应符合设计要求，其向外排水坡度不应小于 5%，管身和进水口应用透水土工布包裹，并应与护墙身泄水孔连通，确保排水通畅。

8.4.5 加筋土边坡内的盲沟埋置深度，应满足渗水材料的顶部（封闭层以下）不得低于原有地下水位的要求，当排除层间水时，盲沟底部应置于最下面的不透水层上。

8.5 坡面排水施工

8.5.1 加筋土边坡的各类排水沟必须平整、稳定，沟底平整，排水畅通，无阻水现象，并应将水引入排水系统。

8.5.2 坡面排水的截水沟和排水沟施工时应平顺，尽可能采用直线形，转弯区宜做成弧形，其半径应符合要求。

8.5.3 当排水沟、截水沟因坡度过大产生水流速度大于沟底、沟壁土的容许冲刷流速时，应采用排水沟表面加固措施。

8.5.4 设置急流槽时，其纵坡坡度一般不宜超过 1:1.5。当急流槽较长时，应分段砌筑，每段宜为 5~10m，接头用防水材料填塞，密实无空隙。

9 监测、质量检测与验收

9.1 监测

9.1.1 加筋土支挡工程施工前,应由建设方委托具备相应能力的第三方对加筋土支挡工程实施现场监测。

9.1.2 监测单位应编制监测方案,监测方案应包括监测项目、监测目的、监测方法、测点布设、监测项目报警值和信息反馈制度等内容,经建设方、设计方和监理方等认可后实施。

9.1.3 监测应采用巡视检查和仪器监测相结合的方法,宜采用自动化监测系统。

9.1.4 加筋土支挡工程可根据安全等级、地质环境、支挡类型和变形控制要求,按表 9.1.4 选择监测项目;加筋土支挡工程影响区有重要建(构)筑物时,应对重要建(构)筑物进行监测。

表 9.1.4 监测项目

监测项目		支挡工程安全等级		
		一级	二级	三级
加筋土支挡工程	坡顶水平位移	应测	应测	应测
	坡顶竖向位移	应测	应测	应测
	深层水平位移	应测	应测	应测
	筋材应力	宜测	选测	选测
	分层沉降	应测	宜测	选测
	地下水位	应测	应测	宜测
	孔隙水压力	宜测	宜测	选测
	土压力	宜测	宜测	选测
临近建(构)筑物(支挡工程上下游 2 倍高差范围内)	竖向位移	应测	应测	宜测
	水平位移	应测	应测	宜测
	倾斜	应测	应测	宜测
	裂缝	应测	应测	宜测

9.1.4 监测单位应按照规定设计图纸要求进行监测,当加筋土支挡工程设计或者施工有重大变更时,监测单位应及时调整监测方案。

9.1.5 监测方案编制前,委托方应提供下列资料:

- a) 工程勘察报告;

- b) 支挡工程设计文件；
- c) 支挡工程施工方案或施工组织设计；
- d) 周边环境各监测对象的相关资料；
- e) 其他所需资料。

9.1.6 加筋土支挡工程监测与测量精度应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330 中有关规定。

9.1.7 监测点的埋设应符合下列规定：

- a) 监测点埋设应稳固，并采取有效保护措施。监测点破坏时，应及时恢复并复测，以保证监测数据的连续性；
- b) 测斜管、水位管以及分层沉降钻孔埋设时，应避开筋材位置，测斜管管内的十字导槽应对准主要的监测方向；
- c) 孔隙水压力计和土压力计的量程与测量精度应与被测土体应力状况相适应。

9.1.8 加筋土支挡工程应根据工程安全等级、工况阶段、气候条件以及变形速率等因素调整监测周期和频率，并应符合下列规定：

- a) 堆填工程施工期间，宜每 3d 监测一次；堆填施工完成后，半个月內，宜每 3d 观测一次；半个月后，宜每 10d 观测一次；一个半月以后，宜每月观测一次；
- b) 加筋土支挡工程竣工后应对支挡结构、临近建（构）筑物等进行长期监测，监测时间不宜少于 2 年，第 1 年监测次数每 1 个季度不宜少于 1 次，第 2 年监测次数每半年不宜少于 1 次；监测超过 2 年，根据变形速率情况监测次数可适当减少；当发现异常情况时，应加密监测，直至变形稳定；
- c) 强降雨发生时及发生后应加密监测；当出现险情时以及其他异常情况时，应上报有关单位，并加大监测频率，直至变形稳定。

9.1.9 加筋土挡墙工程监测报告应包括下列主要内容：

- a) 工程概况；
- b) 监测目的及依据；
- c) 监测项目和要求；
- d) 监测仪器的型号、规格；
- e) 监测点布置图、监测时程曲线；
- f) 监测数据整理、分析和监测结果。

9.2 质量检测

9.2.1 加筋土挡墙分项工程为基底、加筋体填土、筋材、墙面、排水及总体外观等。施工单位、监理单位和建设单位应按上述的工程项目划分进行工程质量的监控和管理。

9.2.2 加筋土挡墙质量检验包括材料检验、施工过程中的质量管理和检查验收，应满足以下要求：

- a) 施工单位应根据本标准或相关规范规定及设计要求，对筋材、填料、辅助材料等进行进场检验，并做好相应记录。监理单位要检查施工单位全部进场检验资料，并经抽检合格后方可进场投入使用；
- b) 各工序完成后，均应进行质量检查验收，并提供实测数据资料。经验收检查合格后方可进行下一工序施工。凡不合格者必须进行补救或返工，使其达到要求；
- c) 加筋土挡墙的分项工程，都应从基本要求、外观鉴定和实测项目三个方面进行质量检验。

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

9.2.4 基底工程质量基本要求：基础施工前应对地基承载力进行检测，每 20m 测 1 处，不足 20m 按 1 处计，并应符合设计要求，同时满足以下要求：

- a) 土工合成材料进场检验内容应包括资料查检、观感检验和技术性能检验等，并应按材料类型、供货货源及数量等，逐批次检验和验收；
- b) 资料查检采用核对查验出厂检验报告(材料性能报告单)、出厂合格证等方法；核对内容包括材料的品种、型号（规格）、执行标准及产地、生产日期等是否与批准的相符，并确保与合格证相符；
- c) 观感检验采用观察、尺量等方法；检验内容包括检查材料应无老化现象，外观应无破损、无污染；
- d) 技术性能检验应按设计要求的主要技术指标和有关标准进行抽样检验，检验内容包括土工合成材料的外观尺寸、物理、力学和耐久性能等；
- e) 大幅材料需供货方在工厂内连接时，尚应检查其连接用材、尺寸和连接是否合格；
- f) 施工前应对材料进行观感检验，材料进场堆放时间过长或观感质量检验不合规时，尚应对材料的全部或部分技术性能进行检验；
- g) 施工时实体质量检验应按设计要求和有关标准进行施工工序检验和施工质量验收。

9.2.5 基底工程外观质量要求：基底无明显凹凸不平或积水现象。

9.2.6 基底工程实测项目见表 9.2.6。

表 9.2.6 基底工程实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差值	检测要求
1	混凝土强度（MPa）	符合设计要求	按《混凝土强度检验评定标准》GB50107 的规定执行
2	轴线偏位(mm)	≤25	每 20m 纵、横各检查 2 点
3	平面尺寸(mm)	±50	每 20m 长、宽各检查 3 处
4	基础顶面标高(mm)	±30	每 20m 测 5~8 点
5	基础底面标高(mm)	±50	每 20m 测量 5~8 点

9.2.7 加筋体填土质量应满足以下要求：

- a) 加筋体填土符合设计和本标准的规定；
- b) 墙背填土应和填方路基搭接，并应满足设计要求；
- c) 应分层填筑压实，每层表面平整，路拱合适；
- d) 排水反滤层材料、铺设范围应满足设计要求。

9.2.8 加筋体填土外观质量应满足表面不平整的累计长度不得超过总长度的10%；

9.2.9 加筋体填土实测项目见表 9.2.9。

表 9.2.9 加筋体填土实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检测要求
1	距面板 1m 范围以内压实度(%)	≥ 90	每 50m 每压实层测 1 处，且不得少于 1 处
2	距面板 1m 范围以外压实度(%)	符合设计要求	每 50m 每压实层测 1 处，并不得少于 1 处。
3	反滤层厚度	$\geq$ 设计厚度	长度不大于 50m 时测 5 处，每增加 10m 增加 1 处。

9.2.10 筋材质量基本要求：筋材的质量和规格以及筋材的铺设和连接应满足设计和有关标准的要求。

9.2.11 筋材外观质量要求：筋材铺设应平整、无褶皱，外观无破损，无污染。

9.2.12 筋材实测项目见表 9.2.12。

表 9.2.12 加筋体填土实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查要求
1	筋材长度	不小于设计长度	每 20m 检查 5 处
2	筋材与墙面连接	符合设计要求	每 20m 检查 5 处
3	筋材固定与连接	符合设计要求	每 20m 检查 5 处
4	筋材铺设层数	符合设计要求	每 20m 检查 5 处
5	筋材铺设间距	符合设计要求	每 20m 检查 5 处
6	反包长度	符合设计要求	每 20m 检查 5 处

9.2.13 墙面采用的预制面板强度应符合设计要求。

9.2.14 墙面外观质量应满足以下要求：

- a) 面板外观应平整光洁，无裂缝、孔洞、露筋、蜂窝等缺陷，板缝均匀，线形顺畅，沉降缝上下贯通顺直；
- b) 石笼网面不应有断丝、破损、锈蚀（钢丝切断面除外）；
- c) 石笼网箱式墙面加筋土挡墙外露面石块应砌筑平整；
- d) 墙面无漏土、外凸等严重缺陷；
- e) 泄水孔应无反坡、堵塞。

9.2.15 预制面板实测项目见表 9.2.15。

表 9.2.15 预制面板实测项目表

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查要求
1	混凝土强度(MPa)		在合格标准内	按《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107 的规定执行
2	边长(mm)	长度小于 1.0m	±5	抽查 10%，每板长度各测 1 次
		其他	±0.5%边长	
3	两对角线差(mm)	长度小于 1.0m	≤10	抽查 10%，每板测 2 对角线
		其他	≤0.7%最大对角线长	
4	厚度(mm)		+5,-3	抽查 10%，每板测 2 处
5	表面平整度(mm)		≤5	抽查 10%，每板长方向测 1 处
6	预埋件位置(mm)		≤5	抽查 10%

9.2.16 面板安装实测项目见表 9.2.16。

表 9.2.16 面板安装实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查要求
1	每层筋材处墙面高程(mm)	10	长度不大于 30m 时测 5 组，每增加 10m 增加 1 组。
2	轴线偏位(mm)	≤10	长度不大于 30m 时测 5 点，每增加 10m 增加 1 点。

3	面板坡度	+0,-0.5%	长度不大于 30m 时测 5 点，每增加 10m 增加 1 点。
4	相邻面板错台 (mm)	≤5	长度不大于 30m 时测 5 条，每增加 10m 增加 1 处。
5	面板缝宽(mm)	≤10	长度不大于 30m 时测 5 条，每增加 10m 增加 1 处。

9.2.17 现浇混凝土面板实测项目见表 9.2.17。

表 9.2.17 现浇混凝土面板实测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查要求
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按《混凝土强度检验评定标准》GB50107 的规定执行
2	平面位置(mm)	≤30	长度不大于 30m 时测 5 点每增加 10m 增加 1 点。
3	墙面坡度(%)	≤0.3	长度不大于 30m 时测 5 点，每增加 10m 增加 1 处。
4	断面尺寸(mm)	≥设计值	抽查 10%
5	顶面高程(mm)	±20	长度不大于 30m 时测 5 点，每增加 10m 增加 1 点。
6	表面平整度(mm)	≤8	每 20m 检查 3 处，每处检测竖直和墙长两个方向。

9.2.18 石笼面板的实测项目见表 9.2.18-1～表 9.2.18-3。

表 9.2.18-1 石笼实测项目

项次	检测项目	规定或允许偏差值	检测要求
1	长度、宽度、高度	±5%	抽查 10%，每套各方向测 1 次
2	网孔尺寸	满足设计要求	/
3	钢丝直径	满足设计要求	/
4	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。	每 20m 检查 2 处，用手用力拽，不会滑动。

表 9.2.18-2 石料要求及实测项目

项次	检测项目	规定或允许偏差值	检测要求
1	石料强度(MPa)	符合设计要求	按《砌体结构设计规范》GB50003 的规定检测
2	石料粒径(mm)	100-300	尺量：每 20m³ 检查 2 处
3	填充密实度	≥70%	目测或密度测试

表 9.2.18-3 石笼墙面实测项目

项次	检测项目	规定或允许偏差值	检测要求
1	表面平整度(mm)	±50	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	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。	每 20m 检查 2 处，用手用力 拽，不会滑动。

9.2.19 排水工程质量基本要求：排水工程齐全、沟底平整、不渗漏、线条顺直、曲线圆滑、排水畅通。

9.2.20 排水工程外观质量要求：排水边沟内侧及沟底平顺，不应有杂物。

9.2.21 排水工程实测项目见表 9.2.21。

表 9.2.21 排水工程实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查要求
1	沟底高程(mm)	±50	每 200m 测 5 点
2	断面尺寸(mm)	30	每 200m 测 2 处

9.2.22 加筋土挡墙总体外观质量要求：墙面顺直、线形顺适、排水 及附属工程齐全。

9.2.23 加筋土挡墙的总体实测项目见表 9.2.23。

表 9.2.23 加筋土挡墙总体实测项目

项次	检查项目	规定值或 允许偏差	检查要求
1	墙顶平面位置(mm)	50	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	长度不大于 30m 时测 5 点，每 增加 10m 增加 1 点。
3	墙面倾斜度	0.5%H	长度不大于 30m 时测 5 点，每 增加 10m 增加 1 点。
4	墙面平整度(mm)	15	2m 直尺：每 20m 检查 3 处，每 处检测竖直和墙长两个方向
注：墙顶平面位置和倾斜度“+”指向墙外，“-”指向墙内。H 为墙高。			

9.2.24 土工合成材料进场检验内容应包括资料查检、观感检验和技术性能检验等，并按材料类型、供货货源及数量等，逐批次检验和验收。

- a) 资料查检采用核对查验出厂检验报告（材料性能报告单）、出厂合格证等方法；核对内容包括材料的品种、型号（规格）、执行标准及产地、生产日期等是否与批准的相符，并确保与合格证相符；
- b) 观感检验采用观察、尺量等方法；检验内容包括检查材料应无老化现象，外观应无破损、无污染；
- c) 技术性能检验应按设计要求的主要技术指标和有关标准进行抽样检验，检验内容包括土工合成材料的外观尺寸、物理、力学和耐久性能等。

9.3 验收

9.3.1 分项工程完成后，应按有关规定进行中间检查验收。分项工程的划分表详见表 9.3.1。

表 9.3.1 单位工程、分部工程及分项工程的划分

单位工程	分部工程	分项工程
支挡工程	加筋土挡墙或加筋土边坡	基础、加筋体填土、筋材、墙面、排水、总体外观等

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

9.3.3 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，应满足以下要求：

- a) 施工单位应对各分项工程按本标准所列基本要求、实测项目和外观鉴定进行自检，按相关规范提交真实、完整的自检资料，对工程质量进行自我评定。自我评定合格后，编制符合要求的交（竣）工资料，申请进行交（竣）工验收；
- b) 监理单位应按规定要求对工程质量进行独立抽检，对施工单位检评资料进行签认，对工程质量进行评定；

- c) 加筋土挡墙质量验收标准应符合本标准的有关规定。关键项目的合格率不应低于 95%，一般项目的合格率不应低于 80%；
- d) 建设单位根据对工程质量的检查及平时掌握的情况，对监理单位所做的工程质量评分及等级进行审定。

附录 A 加筋土边坡设计方法

A.1 加筋土边坡的组成

加筋土边坡一般指填方工程中采用加筋材料对土体进行补强以提高边坡稳定性的一类工程，主要应用于新建填方边坡、滑坡治理、原路堤边坡加高加宽、护坡、护岸等。

与传统边坡工程相比，通过对土体进行加筋，可以在同样填土条件、甚至是较差的填土条件下修筑更陡的边坡，减少填方量，节约土地资源。无论从安全性、经济性、施工便利性、环境协调性等多方面，加筋土边坡都具有很大的优势，特别是土工合成材料问世后，作为一种柔性加筋材料弥补了金属条带等刚性筋材的缺点，近几十年来在国内外水利、公路、铁路、环境、市政和建筑等不同领域内得到了广泛认可和实践应用。

加筋土边坡主要由填土、加筋材料和面层系统组成，将筋材分层铺设于土体中形成水平加筋层，通过筋材与土体之间的相互作用达到改善土体性能、增强边坡稳定性的目的。根据边坡坡率和结构物工作要求，筋材在坡面边缘处即可水平铺设，也可回折包裹土体，其约束侧向变形的效果更强。面层系统一般为柔性护面与植被相结合的形式，也可不设。

A.2 加筋土边坡的破坏模式

加筋土边坡的破坏模式，主要有三类：内部破坏、外部破坏、混合破坏，详见图 A.2。

（1）内部破坏：破坏面穿过加筋区域，破坏方式包括筋材断裂、拔出、沿筋土界面滑动等。

（2）外部破坏：破坏面在加筋土体区域外，包括地基表面的平面滑动、深层圆弧滑动、软基侧向挤出（坡脚承载力不满足）或过量沉降，具体详见下图。

（3）混合破坏：破坏面一部分在加筋体外，一部分穿过加筋体。

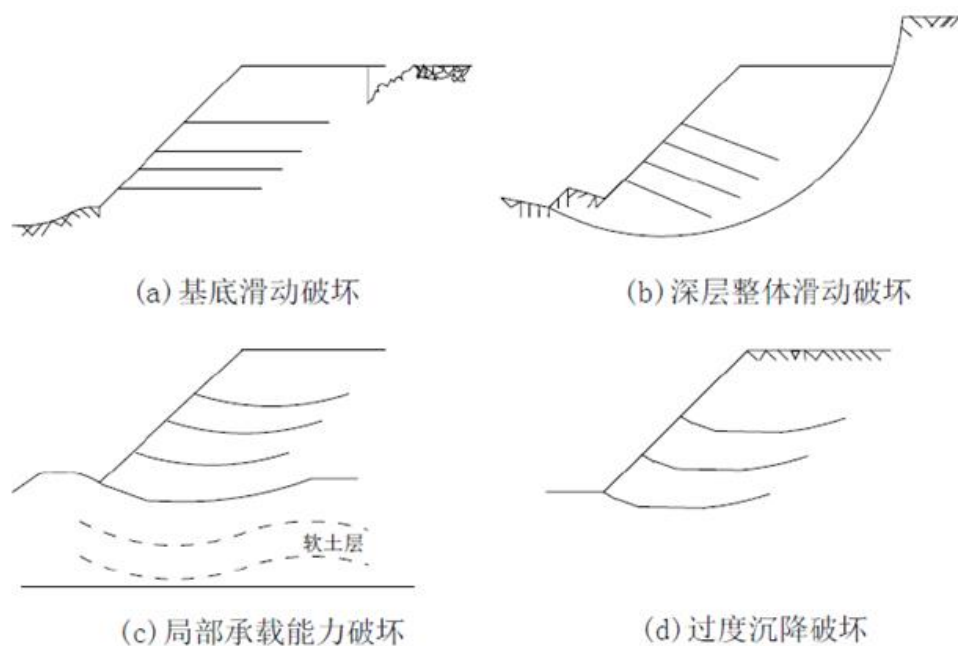


图 A.2 加筋土边坡的外部破坏形式

A.3 加筋土边坡的设计步骤

目前国内规范均采用极限平衡法进行加筋土边坡设计，具体设计方法和流程如图 A.3.1 所示。

Step1：确定加筋土边坡的几何尺寸、荷载条件与功能要求：

①几何尺寸和荷载条件：

包括坡高 H 、坡角 θ 、外部荷载：包括坡顶超载 q ；可变活荷载 Δq ；设计地震加速度 A_m ；

②土坡的安全性要求：

根据规范设定不同破坏形式的安全系数

Step2：确定现场土的工程性质及参数

①地基土及加筋土体后原状土类别及性质；

②土的强度指标： c_u, φ_u 或者 c', φ' ；

③土的重度： γ_{wet} 或 γ_d ；

④固结参数：压缩系数 c_v ，压缩指数 c_c 与回弹再压缩指数 c_e 以及先期固结压力 σ_p ；

⑤地下水位 d_w ，及在有渗流情况下的浸润线。

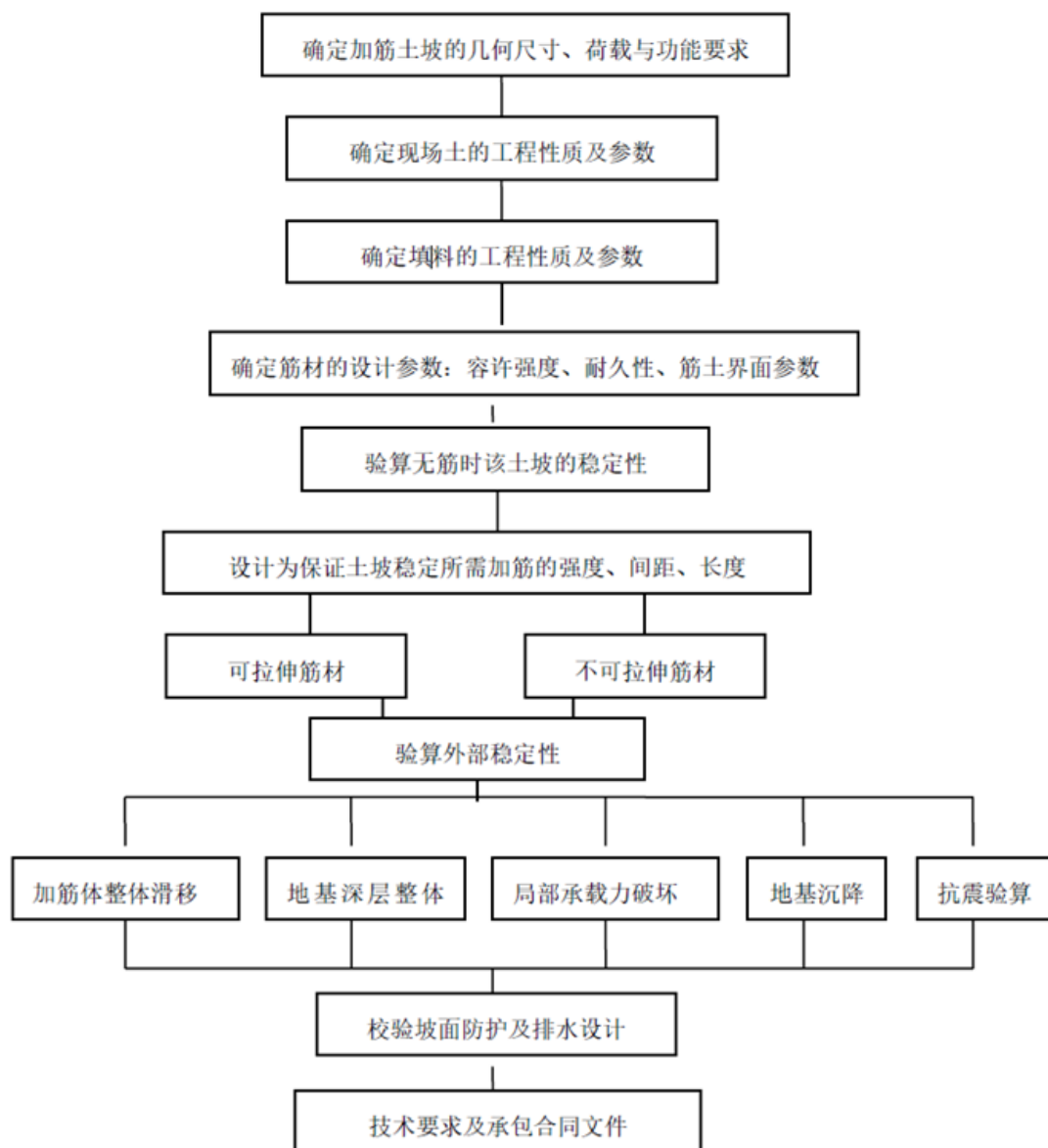


图 A.3.1 加筋土边坡设计流程

Step3: 确定加筋土填方土料的工程性质及参数

如果加筋土中的填土不同于加筋土体后的土性质及种类，还应了解填土的性质及指标。

- ①级配及塑性指数；
- ②压实特性：控制压实度为95%，含水量为最优含水量 $\omega_{op} \pm 2\%$ ；
- ③每层铺土厚度；
- ④抗剪强度指标： c_u, φ_u 或者 c', φ' ；
- ⑤土的 pH 值

Step4: 确定筋材参数

①确定土工合成材料筋材的容许强度。

$$T_{al} = \frac{\text{极限抗拉强度 } T_{ult}}{\text{折减系数 } R_f (\text{蠕变、施工损伤与耐久性})} \quad (\text{A.3.1})$$

②确定界面稳定安全系数:

对于粗粒土: $F_s=1.5$; 对于黏性土: $F_s=2.0$

最小锚固长度 $L_e=1m$ 。

Step5: 验算无加筋土坡的稳定性

①首先应验算土坡无筋时的稳定性，以决定是否需要加筋，论证加筋的必要性（ $F_s > 1.0$ ），校验是否会发生整体深层滑动等；利用常规稳定分析方法计算对于潜在滑动面的稳定安全系数；

②确定需要加筋的安全系数临界区范围

- 1) 确定潜在的破坏面范围: 无加筋的安全系数 $F_{su} \leq F_{SR}$ (要求的安全系数)
- 2) 在边坡断面图上画出所有滑动面
- 3) 安全系数等于设计要求的安全系数 F_{SR} 的所有滑动面的包线就围出了临界区, 见图A.3.2。

③如果临界区延伸到坡脚以下,表明将会发生深层滑动,后者涉及地基承载力问题,需进行地基稳定分析与地基处理。

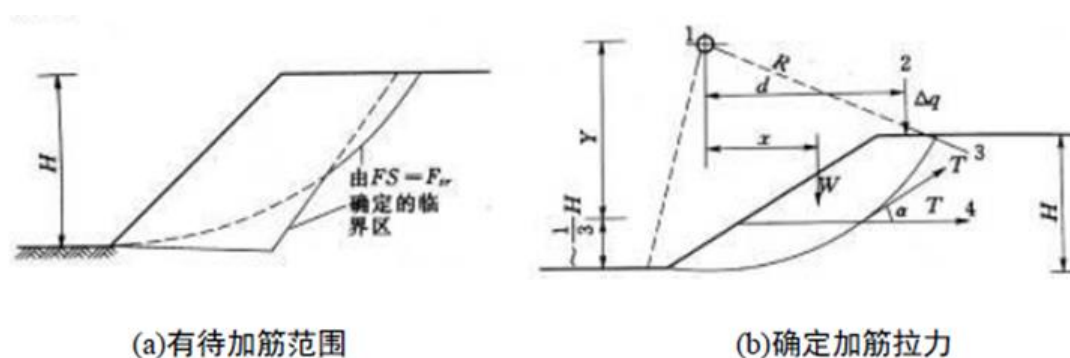


图 A.3.2 加筋土边坡设计示意图

Step6: 加筋边坡设计

(1) 计算筋材总拉力 T_s :

为达到需要安全系数 F_{SR} , 对于在临界区内的每一个潜在的滑动面计算筋

材总拉力（见图2.4-3b）：

$$T_s = (F_{SR} - F_{SU}) \frac{M_D}{D} \quad (\text{A.3.2})$$

式中： T_s ——考虑拉断与拔出，在筋材与滑动面交界处，每延米所需的筋材总拉力 T_s ；

M_D ——滑动土体对应于滑动面圆心的力矩；

D —— T_s 关于圆心的力臂。对于连续片状分布的可延伸性筋材（如土工织物等）或连续片状分布的刚性网状筋材，可认为 $D=R$ ；对于分散的条状类筋材，可先假定破坏面在坡高的1/3处，此时 $D=Y$ ；

F_{SR} ——加筋土坡所要求的安全系数；

F_{SU} ——不加筋土坡的稳定安全系数；

T_{smax} ——最大筋材拉力。

需要注意的是，在不加筋土坡临界区中的搜索时，每一个滑动面都对应于一个 T_s ，具有最小安全系数的滑动面不一定对应于 T_{smax} ，而筋材设计需要寻找最大的筋材拉力 T_{smax} 。

加筋土边坡的安全系数为：

$$F_{SR} = F_{SU} + \frac{T_s + D}{M_D} \quad (\text{A.3.3})$$

(2) 计算筋材单宽最大拉力 T_{smax} ：

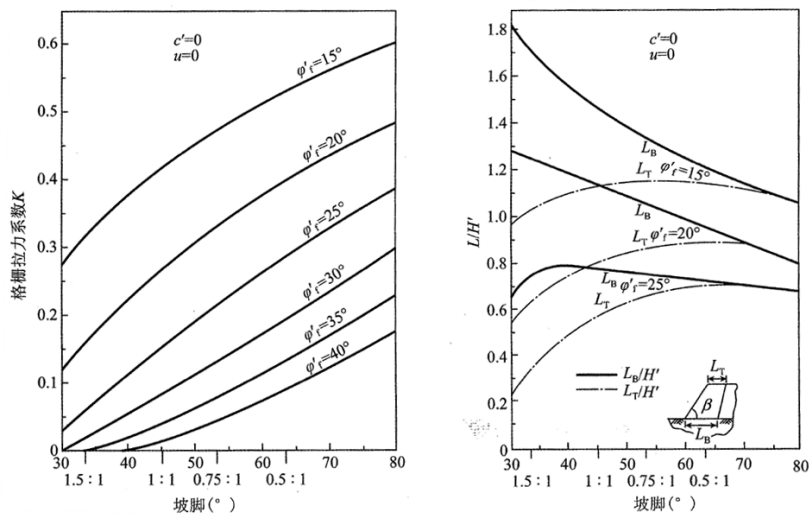


图 A.3.3 确定最大的筋材拉力和加筋长度的计算图

图A.3.3基于以下假设给出了最大筋材拉力和加筋长度的设计图表，可参照使用。

- a. 筋材可拉伸；
- b. 填土为均匀的无黏性土($c=0$)；
- c. 坡内无孔隙水压力；
- d. 坚硬、水平的地基，即承载力足够；
- e. 无地震力；
- f. 坡顶作用均匀超载 $q \leq 0.2\gamma H$ ；
- g. 筋土间摩阻力相对较高， $\varphi_{sg} = 0.9\varphi_r$ ，一般情况下为格栅类筋材。

图中：

- a) 先确定 $\varphi_f = \tan^{-1}(\frac{\tan\varphi_r}{F_{SR}})$ ；

其中： φ_r, γ_r —加筋区填土的内摩擦角与重度。

- b) 确定 $T_{smax} = 0.5K\gamma_r(H')^2$

其中： $H' = H + \frac{q}{\gamma_r}$ ；

q——坡上均布超载。

- c) 确定边坡顶部的加筋长度 L_T 和坡底加筋长度 L_B 。

利用图 A.3-3 将计算的 T_s 与 T_{smax} 相比较，如果二者有明显的差别，应检查无筋土坡稳定安全系数的搜索与计算。

(3) 确定筋材分布（见图A.3.4）：

- a. 如果坡高 $H \leq 6m$ ，则可将总拉力 T_{smax} 均匀分配给各层筋材，筋材可等间距布置；
- b. 如果 $H > 6m$ ，则可沿坡高分为等高度的 2-3 个加筋区，每个加筋区内的筋材拉力均匀分配，其总和等于 T_{smax} 。

1 个分区时， $T_Z = T_{smax}$ ；

2 个分区时，底部 $T_Z = 0.75T_{smax}$ ，上部 $T_Z = 0.25T_{smax}$ ；

3 个分区时，底部 $T_Z = 0.5T_{smax}$ ，中部 $T_Z = 1/3T_{smax}$ ，上部 $T_Z = 1/6T_{smax}$ 。

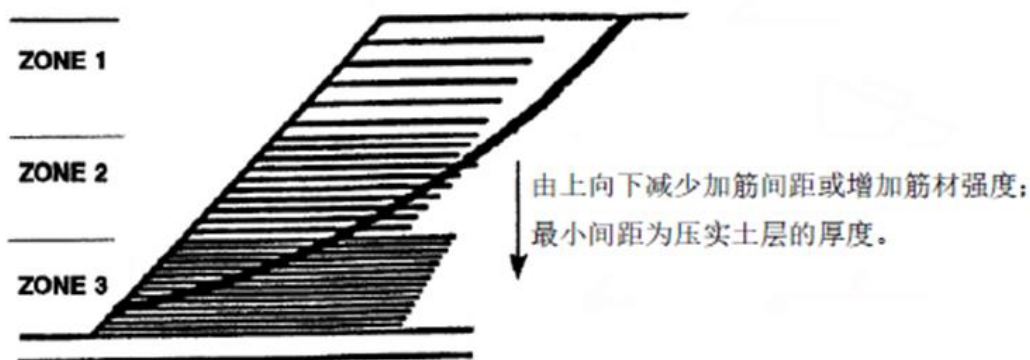


图 A.3.4 加筋土坡筋材的分区布置

(4) 确定筋材竖向间距 S_v ，或各层筋中的最大拉力 T_{max} 。

1) 每个加筋分区的最大筋材拉力 T_{max} 决定于各层筋的竖向间距 S_v ，或者说，如果筋材容许强度已知，则最小的竖向间距及加筋层数由下式决定：

$$T_{max} = \frac{T_{zone} S_v}{H_{zone}} = \frac{T_{zone}}{N} \leq T_{al} R_c \quad (A.3.4)$$

式中： R_c ——加筋覆盖率，对于连续片状筋材， $R_c = 1.0$ ，对于条带状筋材，等于筋材的宽度 b 除以水平间距 S_h ；

S_v ——竖向间距，应等于压实铺土层厚度的倍数；

H_{zone} ——分区高度；

T_{zone} ——各区最大加筋拉力，当坡高小于6m时，即等于 T_{smax} ；

N ——加筋层数；

T_{al} ——筋材允许抗拉强度。

2) 对于1:1的边坡，为了防止包裹式坡面鼓胀，间距需要密一些(不大于40cm)；对于较陡的边坡，为了防止坡面脱落，一般需要包裹式的坡面；也为了预防坡面脱落，可以采用变间距布置，必要时应对坡面鼓胀进行稳定验算。

(5) 为了确保边坡的局部稳定，对于危险与复杂的情况，可以假设潜在滑动面通过各主加筋层以上，用式(1)进行验算，重新计算 T_s 。

(6) 确定筋材锚固长度 L_e 。

1) 每层主筋的埋置长度取决于临界滑动面，一般也是计算 T_{smax} 所用的滑动面，必须满足拉拔阻力要求：

$$L_e = \frac{T_{max} F_s}{F^* \alpha \sigma'_v R_c C} \quad (\text{A.3.5})$$

式中： L_e —— 滑动面后被动区内筋材的埋置长度；

F^* —— 抗拔阻力系数（界面摩擦系数）；

σ'_v —— 筋土交界面的有效正应力，可按作用在筋材上的自重应力计算；

C —— 筋材的有效周长，对于条带、格栅、片状筋可取2；

α —— 考虑筋材与土相互作用的非线性分布效应系数，资料缺乏时，土工格栅取0.8，土工织物取0.6；

R_c ——加筋覆盖率，对于连续分布的土工格栅和土工织物， $R_c = 1.0$ 。

2) 中间加筋层的筋材较短，可以在1.2m~2.0m之间，最大间距为60cm；如果仅仅是为了稳定坡面和便于压实，则可以更短。

3) L_e 的最小值是 1.0m；对于黏性土，应校核短期和长期抗拔稳定，摩擦系数 F^* 可以从半经验公式取得： $F^* = 2/3 \tan \varphi_r$ 。对于长期设计， $c_r = 0$ ，只采用 φ_r 。如果筋材拉力不能满足，可以增加不通过滑动面的筋的长度，或增加底部筋材强度。

4) 为了简化筋长布置，可以分为两段或者三段等长度的配筋；

5) 除底层加筋长度受抗滑移所需要的筋材长度控制，至少应延伸到临界区边界之外，上部筋材一般可不延伸到临界区以外。我国铁路规范中规定加筋土路堤的最小锚固长度不得小于2.5m。

6) 检查验算通过每一个破坏面的筋材总拉力大于所要求的 T_s 。

Step7: 外部稳定性验算

① 抗滑移稳定验算：

这时可以将加筋区当成一个刚性挡土墙进行墙底滑动验算；底边滑动面假定为加筋土坡底部或各层筋材的筋土界面，如图 A.3.5 所示。加筋区后的土压力可由库仑主动土压力确定。外部稳定的安全系数需大于规范规定的最小值。

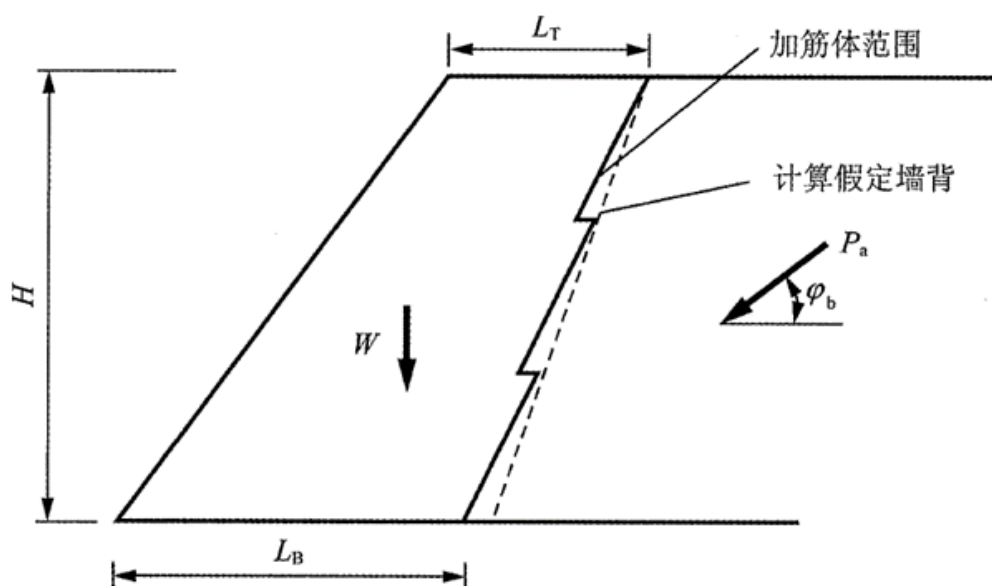


图 A.3.5 加筋边坡外部稳定分析

② 深层滑动稳定验算（见图A.3.6）

在无筋土坡的稳定计算中可以发现是否存在深层滑动面。当完成加筋土坡设计以后，还应检查是否所有通过加筋土体之后及深入地基土层的滑动面是否满足：

$$F_s = \frac{M_R}{D} \geq 1.3 \quad (\text{A.3.6})$$

计算可采用简化毕肖甫(Bishop)法，简布(Janbu)法，斯宾塞(Spencer)法，摩根斯坦—泼赖斯(Morgenstern-Price)法等。

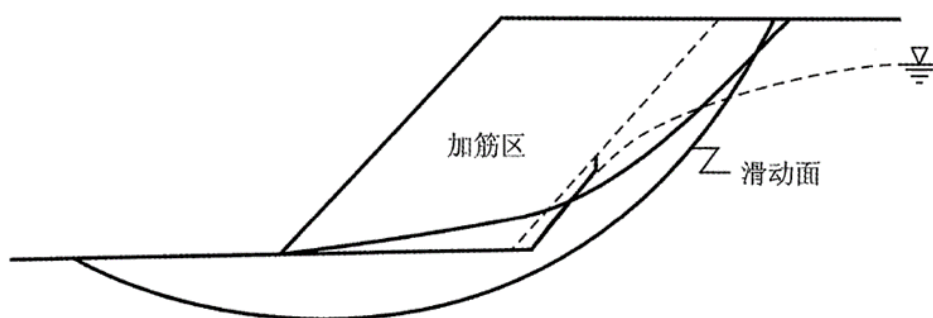


图 A.3.6 整体滑动稳定校核

③ 坡脚局部承载力验算

当边坡下存在深度 D_s 小于边坡宽度 b' 的软弱土时（如图 A.3.7 所示），可采用下式计算局部侧向挤出的稳定系数 F_{sq} 。计算所得到的稳定系数应满足规范要求

求；当不满足要求时，应对地基进行处理。

$$F_s = \frac{2c_u}{\gamma D_s \tan \theta} + \frac{4.14c_u}{H\gamma} \geq 1.3 \tag{A.3.7}$$

式中： θ —— 坡角；
 γ —— 土的重度；
 D_s —— 填方坡底以下软土的厚度；
 H —— 坡高；
 c_u —— 坡下软土的不排水强度。

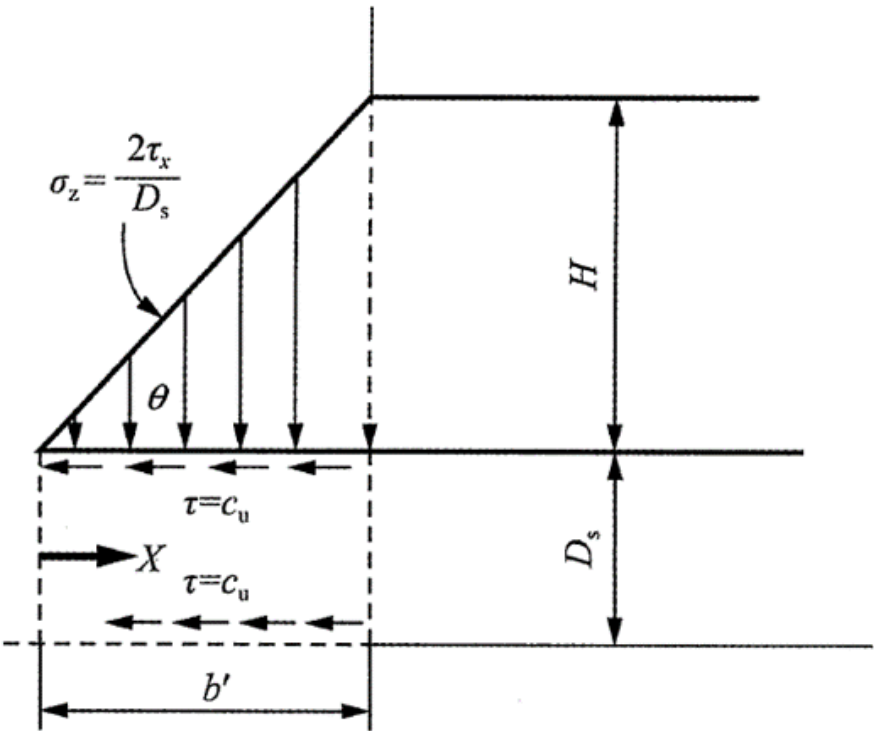


图 A.3.7 局部侧向挤出稳定分析

④地基沉降验算。

可采用经典的沉降计算方法验算，计算总沉降量的大小、差异沉降与沉降速率。

Step8: 抗震稳定验算

对于重要的、高加筋土坡应进行抗震稳定验算。

(1) 进行加筋土边坡的地震动分析及抗震设计首先必须确定边坡所在位置的地震动参数。目前，可依据《建筑工程抗震设计规范》(GB 50111)或《水工

S_D ——最大地震影响系数，对于高于30m的加筋土边坡，建议采用动力数值分析确定水平地震系数。

(4) 采用拟静力法进行筋材抗拉验算时，安全系数取1.1，筋材的抗拉强度不用考虑蠕变折减，仅需考虑老化折减及施工损伤折减；进行筋材拔出验算时，安全系数也取1.1，但筋材的抗拔阻力系数需做一定折减，在缺乏试验结果的情况下，可根据美国FHWA的建议做80%折减，即

$$L_e \geq \frac{1.1T_{max}}{2 \times 0.8 \times F^* \alpha \sigma'_v R_c} \quad (\text{A.3.9})$$

式中， T_{max} ——考虑地震作用的筋材最大拉力。

附录 B 筋材折减系数的选用

设计应用的材料允许抗拉(拉伸)强度 T_a 应根据实测的极限抗拉强度 T 通过下列公式计算确定:

$$T_a = \frac{T}{RF} \quad (\text{B.1.1})$$

$$RF = RF_{\text{CR}} \cdot RF_{\text{ID}} \cdot RF_{\text{D}}$$

式中: RF_{CR} —— 材料因蠕变影响的强度折减系数;

RF_{ID} —— 材料在施工过程中受损伤的强度折减系数;

RF_{D} —— 材料长期老化影响的强度折减系数;

RF —— 综合强度折减系数。

以上各折减系数应按具体工程采用的加筋材料类别、填土情况和工作环境等通过试验测定。

蠕变折减系数、施工损伤折减系数、老化折减系数在无实测资料时, 综合强度折减系数宜采用2.5~5.0; 施工条件差、材料蠕变性大时, 综合强度折减系数应采用大值。

土工合成材料与土的拉拔摩擦系数应通过试验测定。无实测资料, 对于不均匀系数 $C_u > 5$ 的透水性回填土料, 用有纺土工织物作为加筋材料时, 与土的摩擦系数可采用 $\frac{2}{3}\tan\varphi$; 用塑料土工格栅作为加筋材料时, 可采用 $0.8\tan\varphi$ 。

土工合成材料应经具有国家或省级计量部门认可的测试单位测试。材料进场时, 应有出厂合格证和标志牌, 并应进行抽检。

附录 C 土工格栅性能指标表

表 C.1 单向拉伸塑料土工格栅（HDPE）的性能指标表

项目		规格					
		GGR/H DPE/US 50	GGR/H DPE/ US80	GGR/H DPE/US 120	GGR/H DPE/US 160	GGR/H DPE/US 180	GGR/H DPE/US 200
外观尺寸	单位面积质量g/m2	≥250	≥350	≥500	≥650	≥750	≥850
	横肋宽度mm	≥16					
	宽幅 m	1.0~1.5					
力学性能	纵向抗拉强度 N/m	≥50	≥80	≥120	≥160	≥180	≥200
	纵向2%伸长率时的 拉伸强度 kN/m	≥12	≥21	≥33	≥47	≥52	≥57
	纵向5%伸长率时的 拉伸强度kN/m	≥23	≥40	≥65	≥93	≥103	≥113
	纵向标称伸长率	≤11.5%					
耐久性	炭黑含量与分布	炭黑含量≥2.0%，灰分≤1.0%，炭黑分布应均匀，分散表观等级不低于B级					
	蠕变折减系数a	2.2~3.0					
	抗紫外线强度保留率	≥90%					
注：a 环境温度20℃条件下，100年设计使用年限的指标。蠕变实测时间不少于10 000小时，并按照附录H推导蠕变折减系数。							

表 C.2 双向经编聚酯土工格栅的性能指标表

项目		规 格				
		GGR/PET /BK30-30	GGR/PET /BK50-50	GGR/PET /BK80-80	GGR/PET/ BK100-100	GGR/PET/B K200-200
外观尺寸	单位面积质量 g/m ²	≥120	≥170	≥270	≥330	≥670
	内孔尺寸 mm	15≤A≤30、15≤B≤30				
	宽幅 m	3.0~6.0				
力学性能	纵向抗拉强度 kN/m	≥30	≥50	≥80	≥100	≥200
	纵向2%伸长率时的 拉伸强度kN/m	≥10.5	≥17.5	≥28	≥35	≥70
	纵向5%伸长率时的 拉伸强度 kN/m	≥21	≥35	≥56	≥70	≥140
	纵横向标称伸长率	≤13.0%				
耐久性	抗紫外线强度保留率	≥80%				
注：a A为土工格栅内孔长度，B为土工格栅内孔宽度。						

表 C.3 单向焊接钢塑土工格栅的性能指标表

项目		规格						
		GGR/S P/UW5 0-30	GGR/SP/ UW60- 30	GGR/SP/ UW80- 30	GGR/SP/ UW100- 50	GGR/SP/ UW120- 50	GGR/SP/ UW180- 50	GGR/SP/ UW200- 50
外观尺寸	单位面积质量 g/m ²	≥570	≥590	≥670	≥920	≥1100	≥1470	≥1570
	内孔尺寸 ^a mm	A≤180、B≤180						
	单根条带宽度 mm	≥12.0						
	单根条带厚度 mm	≥2.0						
力学性能	纵向标称抗拉强度 kN/m	≥50	≥60	≥80	≥100	≥120	≥180	≥200
	横向标称抗拉强度 kN/m	≥30	≥30	≥30	≥50	≥50	≥50	≥50
	纵横向标称伸长率	≤3%						
	连接点极限分离力N	≥300						
耐久性	炭黑含量	≥2%						
	抗紫外线强度保留率	≥80%						
注：a A为土工格栅内孔长度，B为土工格栅内孔宽度。								

表 C.4 土工格室条带基本性能指标表

序号	检验项目	要求	
		PE	PET
1	环境应力开裂时间，h	≥800	—
2	氧化诱导时间，min	≥20	—
3	抗紫外线强度保持	≥80	
4	炭黑含量，%	≥2.0	
5	灰分，%	≤1.0	
6	炭黑分散度	10个数据中三级不多于1个，四级、五级不允许	
注：炭黑含量和炭黑分散度仅用在黑色产品检测			

表 C.5 土工格室条带力学性能指标表

序号	项目	指标要求	
		挤出型 (E)	拉伸型 (S)
1	单位宽度屈服拉力, N/cm	≥220	—
2	单位宽度断裂拉力, N/cm	—	≥1200
3	断裂伸长率, %	—	≤15
4	纵/横向直角撕裂强力, N	≥160	≥100

表 C.6 土工格室的力学性能指标表

序号	项目	焊接型		插接型	注塑型	
		普通型	热熔型		普通型	定角型
1	结点对拉强度, N/cm	≥260	≥800	≥1800	≥1000	≥1800
2	结点的抗剪强度, N/cm	≥220	≥800	—	≥350	≥1000
3	结点的剥离强度, N/cm	≥140	≥500	—	≥350	≥1000
4	U 型插件开口端剥离力, N	—		≥300	—	
5	组间连接处抗拉强度, N/cm	≥260	≥800	≥1800	≥1000	≥1000
6	悬挂负重时间, d	—		≥30		
7	抗剥离悬挂负重, d	≥30		—		
注：组间连接包括格室条带的边缘和中间，当格室成品需要组间连接时必须进行检验，强度不得低于结点对拉强度。						

表 C.7 毛细排水板性能指标表

序 号	项 目			指 标
1	拉伸强度	纵向 kN/m		≥12
		横向 kN/m		≥5
2	平面通水量	基床排水（法向荷载 150kPa） L/（m·min）		≥4
		挡墙排水（法向荷载 100kPa） L/（m·min）		≥6
3	刺破强力 N			≥200
4	断裂伸长率	纵向		≥70%
		横向		≥70%
5	直角撕裂强力	纵向 N		≥60
6	低温弯折性 不高于零下 20℃ 对折 180°			无裂纹
7	耐碱性（饱和 Ca(OH) ₂ 溶液 23℃×168 h）	拉伸强度	纵向 kN/m	≥11
			横向 kN/m	≥4
		断裂伸长率	纵向	≥60%
			横向	≥60%
8	人工候化	拉伸强度保持率		≥80%

表 C.8 路基加筋工程土工合成材料蠕变与老化折减系数表

土工合成材料原材料	蠕变折减系数	老化折减系数
聚酯	1.5~2.5	1.1~2.0
聚丙烯	4.0~5.0	
高密度聚乙烯	2.2~3.0	

表 C.9 路基加筋工程土工合成材料施工损伤折减系数表

土工合成材料类型	细粒土	砂类土	砾类土
土工织物	1.1~1.2	1.1~1.6	1.2~2.0
土工格栅	1.1~1.2	1.1~1.4	1.2~1.6

用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

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

《土工合成材料应用技术规范》(GB 50290)

《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)

《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)

《公路路基设计规范》(JTG D30)

《工程用机编钢丝网及组合体》(YB/T 4190)

《城市道路工程设计规范》(CJJ 37)

《城市道路路基设计规范》(CJJ 194)

《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79)

《建筑工程抗震设计规范》(GB 50111)

《水工建筑物抗震设计规范》(DL 5073)

中国工程建设标准化协会标准

加筋土支挡工程技术规程

T/CECS XXX-202X

条文说明

制定说明

本规程依据中国工程建设标准化协会[2022]13 号文的要求编写。

加筋土支挡工程是一种土木工程结构,其特点在于通过在土中加入加筋材料来提高土体的整体强度和稳定性。加筋土实际上就是在土中加入抗拉强度比较高的材料,从而使土变成了一种复合材料。由于加筋土本身良好的性能,所以从它提出至今发展迅速,并在工程中得到广泛应用。加筋土挡墙是加筋土技术的发展和工程应用的一个重要方面,与传统的挡土墙如重力式挡土墙相比,有造价低、占地少、结构美观而且施工方便等优点。加筋土挡墙还应用于生态环保方面,由于加筋土挡墙筋材和土共同作用的特性,可以对面板进行特殊处理,然后进行植被种草等。所以,加筋土挡墙在以后的发展和应用方面有着良好的前景。

由于加筋土支挡工程近几年的快速发展且应用需求巨大,为规范加筋土支挡工程建造,吸收最新设计方法、参数取值、研究成果及实践经验,指导工程高质量实施,实现加筋土支挡工程的推广应用,对加筋土支挡工程的材料、设计、施工和质量检验及验收分别作出了规定。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定,《加筋土支挡工程技术规程》编制组按主要章、节、条顺序编制了本规范的条文说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

正文

加筋土土工结构可以分为加筋土挡墙结构及加筋土边坡结构,其中加筋土挡墙是指含有面板,且坡度为垂直或较陡,利用筋材拉结,增强填土或边坡稳定性的支护结构;加筋土边坡则是除了上述利用筋材增强填土或边坡稳定性外,坡度较缓的支护结构。在美国,常以坡度为 70° 作为加筋土挡墙和加筋土边坡的分界线。由于加筋土边坡无需采用砌块或刚性面板,在实际工程中施工难度较小,且在面层可以采用植生袋或绿化措施起到美化环境的效果,常常作为建设单位的优先选用工艺。

加筋土支护结构的筋材类型多种多样,常见的有 1 聚乙烯 PE, 2 聚丙烯 PP, 3 纤维, 4 土工格室, 4 钢塑 (PE 内塑料内含有钢丝), 甚至 5 钢带等,按伸长特性可分为可伸缩加筋材料 (1~4) 和不可伸缩加筋材料 (4~5)。可伸缩筋材刚度小,在拉力作用下变形大,而不可伸缩筋材的刚度大,在拉力作用下变形小,然而在工程实践中,对于永久性工程,由于不可伸缩筋材的耐久性、耐腐蚀性和施工损伤特性较弱,常常将可伸缩加筋材料作为首选。

加筋土边坡是随着十九世纪八十年代加筋材料的出现而产生的边坡支护结构方案,其产生的时间较晚,因而相关计算方法和规范较为不成熟。在国内,筋土边坡工程的设计中,现有规范主要有《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290-2014、《公路土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32-2012 和《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025-2019。国外的规范主要参考美国、日本、德国、英国的规范,主要主要分为极限平衡方法、极限状态法、有限单元法、经验系数法等。

其中不管极限平衡和极限状态法,均属于极限分析法,由于其方便计算,常常被工程师所接受。其主要的理念是将加筋土边坡稳定性计算常常分为外部稳定性、内部稳定性以及复合稳定性计算;外部稳定性是将加筋复核体视为一个结构体,将加筋范围内的土体视为刚性体,即相当于厚度为加筋长度的一般重力式挡墙。加筋土挡墙的外部稳定性分析包括墙体背部侧向土压力计算、抗滑稳定性验算、抗倾覆稳定性验算及基底合力偏心距验算和基底压应力验算;内部稳定性主要为筋材的长度验算,抗拉强度验算等;复合稳定性验算主要为潜在滑动面穿过

筋材，此时边坡的整体稳定性验算。

总的来说，其计算内容和计算方法与挡墙相近，主要规定单级加筋土边坡可参考上述相关规范进行计算，但对于多级加筋土边坡的计算，上述国内规范均未涉及，国际上相关算法仍旧不成熟。

1、极限计算方法

对于常见的多级加筋土边坡极限分析方法，由于国内规范均未涉及，因此在此进行详细叙述，并进行对比分析。常见的计算方法主要有五类，具体详叙如下。

(1) AASHTO 美国交通运输学会方法，中国相关规范也是从其进行学习

美国联邦公路局 FHWA Federal Highway Administration (FHWA)及美国国有公路运输管理员协会 (American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)发布的加筋土边坡及挡墙规范(No. FHWA-NHI-10-025, 2009年11月)详细描述了加筋土挡墙和边坡在工程中的设计方法,其中第二卷(FHWA GEC 011 – Volume II)详细描述了加筋土边坡的设计方法。其主要设计流程为 load and resistance factor design (LRFD)方法，具体为，通过收集岩土体性质，筋材的强度参数，首先验算无筋材时边坡的稳定性，然后根据下式计算筋材拉力。

$$T_s = (FS_R - FS_U) \frac{M_D}{D}$$

式中， T_s ——单位宽度坡体筋材所承受的的拉力；

M_D ——重力及坡顶荷载对圆弧滑面的圆心的力矩；

D ——圆弧滑面对应的直径，相当于力矩，但对于不同的筋材（可延展/不可延展筋材、分片/离散筋材）的力矩计算方式不同；

FS_U ——未设置加筋筋材时边坡的稳定性系数；

FS_R ——边坡的设计目标稳定性系数（美国规范要求为 1.3）。

相关研究学者为了方便工程师，通过提供图表的形式，供工程师查询，然后通过 Schmertmann 提供的图表得到最大筋材拉力和加筋长度的计算。

$$T_{s-max} = 0.5K\gamma_r(H')^2$$

$$H' = H + q/\gamma_r。$$

其中， H ——边坡高度；

q ——边坡坡顶荷载换算的边坡高度；

K ——水平土压力系数，通过查表可得；

γ_r ——加筋区填土的重度。

通过筋材的最大总拉力 $T_{\max}$ ，根据筋材的竖向、水平间距，获取单层或分区筋材的最大拉力。一方面通过查表获取筋材的长度，即底部筋材长度 L_B 和顶部筋材长度 L_T ，另一方面可以通过计算获取筋材的锚固长度 L_e 是否满足抗拔力要求，详见图 1。

以上为内部稳定性的计算，在外部稳定性计算时，将加筋体看作刚体进行抗滑移稳定性计算，另外利用极限平衡方法（例如简化 Bisop 法，Janbu 法等）计算深层整体稳定性，另外还需验算加筋体的地基承载力、地震条件下的整体稳定性等。

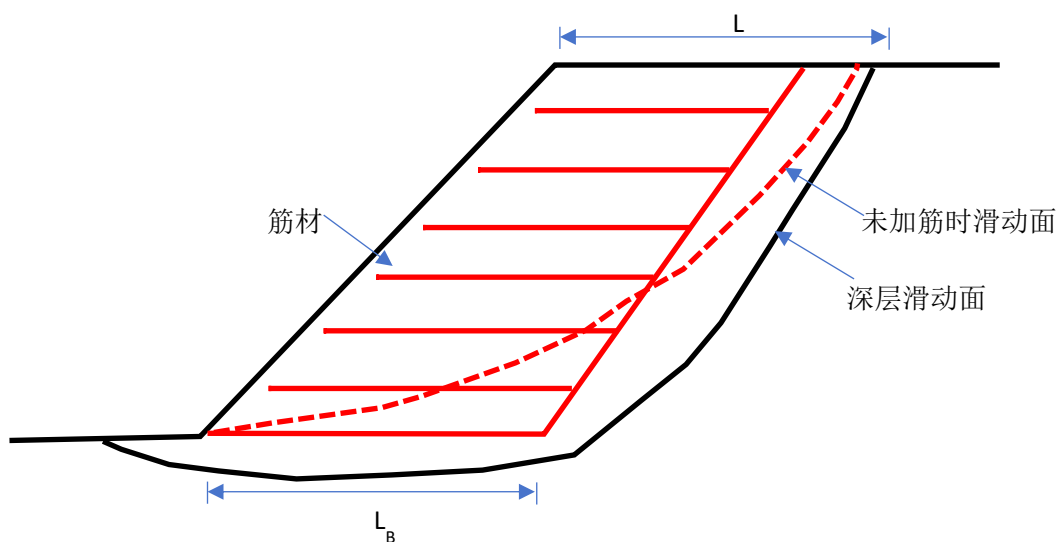


图 1 AASHTO and FHWA 计算方法示意图

(2) 基于上限原理的极限分析方法

土体变形和稳定分析的求解方法是利用静力平衡和变形协调来进行，然而，岩土材料的不连续性、不均匀性、各项异性和非线性的本构关系，以及结构在破

坏时呈现的剪胀和软化、大变形等特性，使求解岩土材料应力和变形的问题变得十分困难和复杂。在工程实践中，常常采用塑性力学的上下限定理分析边坡的稳定问题，其最大的好处是回避了在工程中难以真实获取的土体本构关系，也可以获得理论上十分严格的计算结果。另外，下限定理获取的应力场外荷载 T 一定比真实的极限荷载小，因此往往采用上限定理获取保守的较大的虚拟外荷载。

Michalowski(1997,1998) 利用塑性力学知识提出原理为：在一个处于塑性区 Ω^* 内和滑裂面 Γ^* 上协调的塑性位移场 u_{ij}^* 的增量出发，认定凡是在 Ω^* 内和 Γ^* 上屈服函数表达式处处成立，同时通过功能平衡方程获取到的弹性变形通常相对于塑性区变形要小的多，此时 u 可认为是塑性变形。

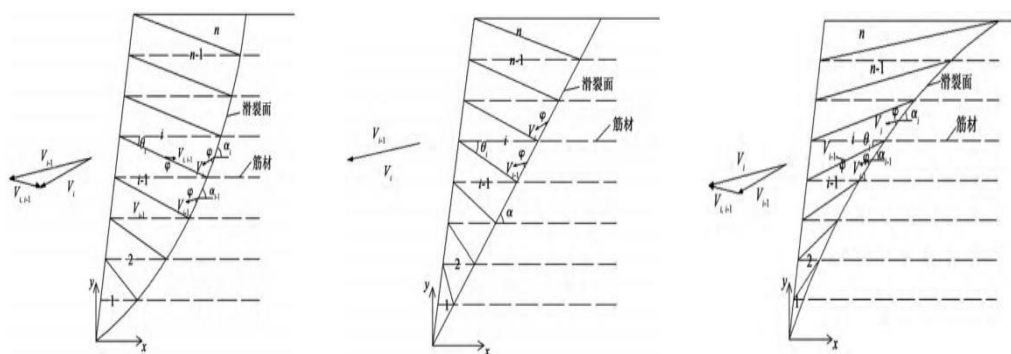
$$\int_V \sigma_{ij}^* \varepsilon_{ij}^* dV \geq \int_S T_i v_i dS + \int_V X_i v_i^* dV - \int_V u \varepsilon_{ij}^* dV, \quad i, j = 1, 2, 3 \dots$$

式子中： ε_{ij}^* 为虚拟位移条件下的应变； σ_{ij}^* 为虚拟应变条件下的应力；体速度 v_i^* 在边界上 $v_i^* = v_i$ ； X_i 为重力矢量； T_i 为外力矢量； S 和 V 分别代表外力和体积力边界条件。

该方法采用了以对数螺旋线为破坏机制的上限解法，只考虑了对数螺旋线破坏面上产生的能量耗散，同时忽略了土体黏聚力提供的抗力作用，认为土体强度符合无黏性土的摩尔—库仑准则，适用范围较窄；当其提出了每层平均抗拉强度为 $k_t = \frac{nT_i}{H}$ ，通过上式计算可以寻找到最大的抗拉强度 $\frac{k_t}{rH}$ ，最不利条件下筋材长度 (L/H) ，在不同的孔隙水压力 ru 和坡度条件下的图表，方便工程师和使用人员查用。

（3）陈祖煜院士基于上限原理的极限分析方法，斜条分法

陈祖煜院士根据 Michalowski 方法的不足，于 2016 年提出了考虑土体粘聚力和三种土压力破坏模式(主动土压力、被动土压力和库伦土压力破坏模式)下，基于塑性力学的上限原理极限分析方法，并采用斜条分方法对筋材和加筋体结构力学分析模式进行简化，详见图 2。



(a) 主动土压力破坏模式 (b) 库仑土压力破坏模式 (c) 被动土压力破坏模式

图 2 加筋土极限平衡条件下破坏模式

作者通过计算分析绘制了横坐标为 $\frac{c}{\gamma HF}$ ，纵坐标为 $\frac{\tan\phi}{F}$ 的安全系数图表。使用者在使用时，首先做一条斜率为 $m = \frac{rH\tan\phi}{c}$ 的直线，与对应的曲线 $\frac{TN_I}{\gamma H^2}$ 的交点，即可以通过横纵坐标查得安全系数值。上述式子中， r 为填土重度， H 为边坡高度， ϕ 为内摩擦角， c 为粘聚力， F 为所计算的稳定性系数。该方法未能给出筋材长度的获取方法，存在一定的不足。

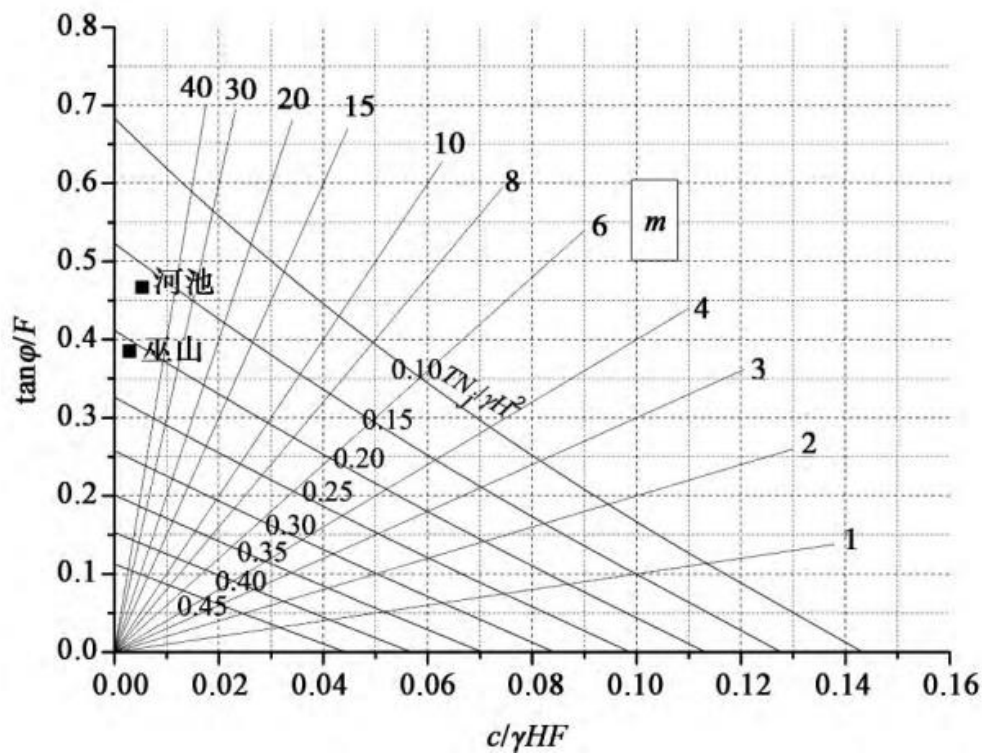


图 3 坡脚 70° 的安全系数图

(4) Dov Leshchinsky 圆弧或者折线滑动计算方法

采用 Slide 软件进行整体稳定性分析，获取稳定性系数为 1.35（或其它规范要求的稳定性系数值），初步设计筋材层数（根据施工经验和工序调整）；对于多级挡墙，由于考虑到筋材铺设的优化问题，以及可能产生局部的稳定性问题（单级或者多级滑动），因此需多每一级的坡脚为滑面的固定通过点，然后进行搜索，确定文献性系数为 1.35（或其它规范要求的稳定性系数值），然后分析该临界滑动面的，该级边坡单层的最大拉力，以及筋材铺设的滑裂面内长度。

在确定完筋材的铺设滑裂面以内长度以及筋材的拉力后，需进行筋材锚固的长度，以及抗拉拔验算，自身筋材强度验算。在上述验算完成后，需要进行整体稳定性分析，即将筋材（允许的抗拉强度、长度）设定完成后，进行最危险滑动面的搜索，需满足设计的稳定性系数要求，同时考虑地震工况、暴雨饱和工况等，这些都可以在 Rock Science Slide 中完成。圆弧条分法示意图详见图 4。

这里需要说明的是，在计算分级稳定性时，需要采用天然工况参数；然后再计算筋材的拉力时，土压力采用下式进行计算：

$$dP_r = R_c \sigma \tan \delta dx$$

计算采用圆弧滑动的条分法进行，或在 Slide 软件中可以查询得到，达到最大的水平力，即为需要设置的筋材拉力。

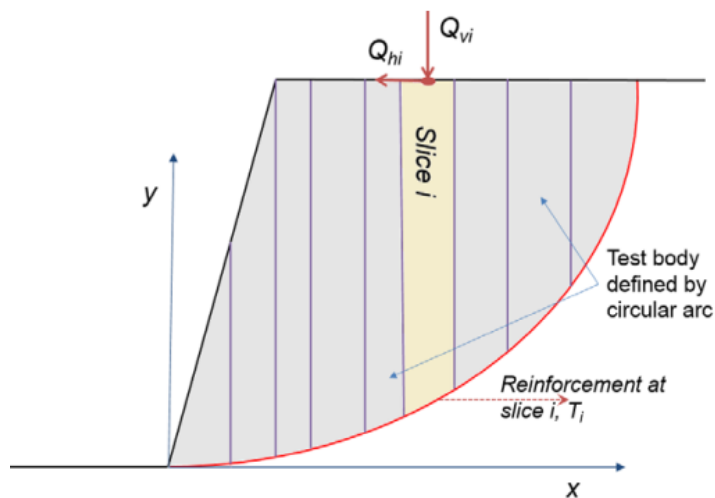


图 4 圆弧条分法示意图

同时，原需要对每一层筋材均进行搜索，但是根据已有文献表明，在筋材竖向间距相同，筋材长度足够长时，其每一级边坡的水平拉力几乎相同（Zornberg et al., 1998），因此在本文中省略了对每一层进行滑动面的搜索，仅对在未设置筋材时，满足设计要求的滑动面进行搜索，从而获取所需的最大筋材拉力。在筋材锚固长度计算时，同现有规范相同。