

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 2016—2023

土工格栅加筋土路基设计与施工 技术规范

Technical specifications for design and construction of geogrid
reinforced soil subgrade

2023 - 05 - 16 发布

2023 - 07 - 16 实施

湖北省市场监督管理局 发 布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 材料	4
5.1 一般规定	4
5.2 加筋材料（土工格栅）	4
5.3 路基材料	5
5.4 墙面（坡面）材料	6
5.5 排水与反滤材料	6
6 作用与抗力	6
6.1 极限状态	6
6.2 作用及其效应组合	7
6.3 抗力及其分项系数	8
7 设计	9
7.1 一般规定	9
7.2 常规加筋土挡墙设计	10
7.3 复杂结构型式加筋土挡墙设计要点	18
7.4 加筋土边坡设计	24
7.5 加筋土路基的排水设计	30
8 施工与质量验收	30
8.1 一般规定	30
8.2 建筑材料检测	30
8.3 加筋土挡墙施工	31
8.4 加筋土边坡施工	32
8.5 现场监测	32
8.6 施工质量验收	33
附录 A（资料性） 加筋土挡墙设计案例	36
参考文献	41

前 言

本文件按照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。

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。

本文件由湖北省交通规划设计院股份有限公司提出。

本文件由湖北省交通运输厅归口。

本文件起草单位：湖北省交通规划设计院股份有限公司、同济大学。

本文件主要起草人：兰志雄、颜廷舟、罗华松、张明、徐超、陈建峰、李剑、翟佳、章煦、刘仪。

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省交通运输厅，联系电话：027-83460670，邮箱：2651259230@qq.com；对本文件的有关修改意见、建议请反馈至湖北省交通规划设计院股份有限公司，联系电话：02784879926，邮箱：358208239@qq.com。

土工格栅加筋土路基设计与施工 技术规范

1 范围

本文件规定了土工格栅加筋土路基的术语、符号、材料、作用与抗力、设计、施工与质量验收。
本文件适用于湖北省各等级新建、改扩建公路工程 and 损毁路基修复工程。

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。

GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范
JT/T 1432.1 公路工程土工合成材料 第1部分：土工格栅
JTG B02 公路工程抗震规范
JTG C20 公路工程地质勘察规范
JTG D30 公路路基设计规范
JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范
JTG E50 公路工程土工合成材料试验规程
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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，主要品种有土工织物、土工膜、土工复合材料、土工特种材料等。

3.2

土工格栅 geogrid

由抗拉条带通过节点连接而成的平面型、格栅状土工合成材料。根据生产工艺和材质可分为塑料拉伸土工格栅、涤纶经编土工格栅、聚酯焊接土工格栅、钢塑土工格栅和玻璃纤维土工格栅等。

3.3

加筋 reinforcement

利用土工合成材料改善土体结构力学性能的方法和措施。

3.4

加筋土 reinforced soil

将加筋材料有规则地埋入或随机掺入填土内构成的筋材与填土的复合体。在本文件中，特指按一定的层间距由土工格栅与压实填土层交替水平铺设而构成的复合体。

3.5

加筋土路基 reinforced soil subgrade

由加筋土修筑的路基。从结构形式上分为加筋土挡墙和加筋土边坡。

3.6

加筋土挡墙 reinforced soil retaining wall

由筋材、压实填土和面板构成的墙面与水平面夹角（倾角）不小于70°的柔性挡土结构。

3.7

加筋土边坡 reinforced soil slope

由筋材和压实填土构成的、坡面与水平之间的夹角（坡角）小于70°的边坡。

3.8

极限抗拉强度 ultimate tensile strength

材料抵抗拉伸破坏的极限能力，又称断裂强度。数值上等于试样受单轴拉伸时，单位宽度的最大拉力，且拉伸应变不超过10%。

3.9

抗拉强度标准值 standard value of tensile strength

极限抗拉强度概率分布的一个统计值，可取一批产品抽样测得的极限抗拉强度的最小平均值。

3.10

极限状态 limit state

加筋土结构即将发生破坏或丧失应有功能的临界状态，可分为结构的承载能力极限状态和正常使用极限状态。

3.11

分项系数 partial factor

按极限状态法进行设计时，为保证所设计的结构具有规定的可靠度，在设计中考虑作用和抗力包含的各种不确定性而采用的调整系数，可分为作用分项系数和抗力分项系数。

4 符号

下列符号适用于本文件。

C —— 填料或地基土的黏聚力，kPa；

C' —— 填料或地基土有效黏聚力，kPa；

C_p —— 筋土相互作用的拉拔系数；

C_p —— 筋土相互作用的直剪系数；

C_u —— 地基土的不排水抗剪强度，kPa；

D —— 多级挡墙中相邻上下级墙的错开距离，或者背对背挡墙中两墙之间净距，m；

e —— 加筋土挡墙偏心距，用于抗倾覆极限状态验算，m；

e_B —— 加筋土挡墙偏心距，用于地基承载力极限状态验算，m；

E —— 正常使用极限状态下路基变形或筋材应变的允许值；

E_a —— 填土或被挡土体的主动土压力，kN/m；

E_{aq} —— 路基上附加荷载引起的主动土压力，kN/m；

$F(.)$ —— 正常使用极限状态的功能函数；

H —— 加筋土挡墙或加筋土边坡的高度，m；

k_a ——主动土压力系数；
 k_{ab} ——墙后被挡土体的主动土压力系数；
 L ——加筋长度，m；
 L_e ——筋材的锚固长度，m；
 M_D ——加筋土边坡的总滑动力矩；
 M_{RS} ——由填土强度提供的抗滑力矩；
 M_{RR} ——由加筋材料提供的抗滑力矩；
 q ——路基上交通分布荷载，kPa；
 q_{uk} ——地基极限承载力标准值，kPa；
 R ——加筋土挡墙单宽抗滑阻力标准值，kN/m；
 RF ——筋材强度折减系数；
 RF_{CR} ——筋材蠕变折减系数；
 RF_D ——筋材老化折减系数；
 RF_{ID} ——筋材施工损伤折减系数；
 R_k ——承载能力极限状态中材料性能参数的标准值；
 $R(\cdot)$ ——承载能力极限状态的抗力函数；
 S ——作用效应组合的设计值；
 S_{Gk} ——永久作用的标准值；
 S_{Qk} ——可变作用或临时、偶然作用标准值；
 S_{eq} ——路肩墙墙顶填土的等效高度，m；
 S_V ——加筋土路基的加筋层间距，m；
 T_{ac} ——筋材与挡墙面板连接强度的标准值，kN/m；
 T_d ——筋材抗拉强度设计值，kN/m；
 T_{Max} ——各层筋材中承受的最大拉力值，kN/m；
 T_{pd} ——筋材锚固强度设计值，kN/m；
 T_{pk} ——筋材锚固强度标准值，kN/m；
 T_{sd} ——筋材与填土之间界面直剪强度设计值，kN/m；
 T_{sk} ——筋材与填土之间界面直剪强度标准值，kN/m；
 T_{uk} ——筋材极限抗拉强度标准值，kN/m；
 T_{ult} ——筋材极限抗拉强度，kN/m；
 X_d ——填料或土的强度参数设计值；
 X_k ——填料或土的强度参数标准值；
 α_d ——材料或构件的几何参数设计值；
 β ——边坡坡角，°；
 φ ——分项系数；
 φ_{co} ——筋材与面板连接强度的分项系数；
 φ_f ——考虑施工损伤、蠕变和老化因素之外其他不确定性的筋材强度调整系数；
 φ_m ——承载能力极限状态中材料性能参数的分项系数；
 φ_{mg} ——筋材抗拉强度的分项系数；
 φ_{mgs} ——筋材与填料之间界面直剪强度的分项系数；
 φ_{mgs} ——筋材在填料中锚固强度的分项系数；
 φ_{ms} ——填料或土强度参数的分项系数；
 φ_G ——永久作用的分项系数；

φ_Q ——可变作用或临时、偶然作用的分项系数；
 φ_{rb} ——地基承载力分项系数；
 φ_{Rs} ——加筋土挡墙基底抗滑力分项系数；
 φ ——填料或土的内摩擦角，°；
 φ' ——填料或土的有效内摩擦角，°；
 φ'_b ——被挡土体的有效内摩擦角，°；
 φ'_r ——加筋土的有效内摩擦角，°；
 Y ——填料或土的重度， kN/m^3 ；
 Y_0 ——结构重要性系数；
 Y_b ——被挡土体的重度设计值， kN/m^3 ；
 θ ——加筋土挡墙墙面倾角，°；
 μ ——加筋土路基基底的摩擦系数；
 σ_H ——加筋土体内水平应力， kPa ；
 σ_v ——加筋土体内或基底竖向应力， kPa ；
 σ'_v ——填料或土种竖向有效应力， kPa ；
 ψ ——加筋土挡墙潜在滑动面与水平面的夹角，°；
 ψ_{ZL} ——作用（荷载）效应组合系数；
 $\Delta\sigma_{Hz}$ ——偶然作用（如地震、撞击等）引起的 z 深度处水平应力标准值， kPa 。

5 材料

5.1 一般规定

- 5.1.1 加筋土路基选用的加筋材料（土工格栅）应符合JT/T 1432.1 的规定。
- 5.1.2 材料的耐久性应满足加筋土路基设计使用年限内的性能要求。
- 5.1.3 加筋土路基可采用土工合成材料设置排水措施，无纺土工织物设置反滤措施。

5.2 加筋材料（土工格栅）

5.2.1 原材料应满足如下要求：

- a) 经编涤纶土工格栅应使用涤纶纤维长丝，涂覆聚氯乙烯（PVC）胶或丁苯胶乳；
- b) 拉伸塑料土工格栅应使用高密度聚乙烯（HDPE）或聚丙烯（PP）树脂原生料颗粒，不应使用粉状原生料或再生料。

5.2.2 外观应满足如下要求：

- a) 土工格栅产品外观应无损伤、无破裂，网孔大小应一致、形状均匀；
- b) 经编涤纶土工格栅应无断丝、无网眼抽缩，每米幅宽纬纱歪斜长度应小于 30mm，结点应牢固、无滑移，涂覆应均匀；
- c) 聚酯焊接土工格栅节点应牢固，无剥离现象。

5.2.3 性能指标应满足如下要求：

- a) 土工格栅的性能指标应包括极限抗拉强度及对应的延伸率、2%和 5%延伸率对应的材料抗拉强度，以及与应用环境和条件相适应的施工损伤、蠕变和老化折减系数；
- b) 土工格栅的抗拉强度和延伸率应满足设计要求。材料供应商应提供土工格栅的性能指标和相应的出厂检验报告；

- c) 土工格栅强度的折减系数的取值应有依据，有条件的情况下全部或某一个应通过试验确定；对于重要加筋土结构，当采用磨圆度差的碎石土作为加筋填料时，施工损伤折减系数应通过现场试验确定。
- 5.2.4 对于一般工程，土工格栅强度折减系数可根据土工格栅类型、填土特性、碾压设备与工艺等因素，按表 1 取值。

表1 土工格栅抗拉强度折减系数

土工格栅类型 ^a	折减系数		
	施工损伤RF _{ID} ^b	蠕变RF _{CR} ^c	老化RF _D ^d
HDPE 拉伸土工格栅	1.10~1.45	2.6~5.0	1.10
PP 拉伸土工格栅	1.10~1.45	4.0~5.0	1.10
PET 焊接土工格栅	1.10~1.85	1.6~2.5	1.15~1.30
PET 经编土工格栅	1.10~1.85	1.6~2.5	1.15~1.30
^a 本表之外的其他类型的土工格栅应在应用中不断积累经验，可参照此表确定强度折减系数； ^b 施工造成的格栅抗拉强度损伤程度取决于颗粒大小、磨圆度、硬度和施工碾压工艺。对于最大粒径接近100mm、带棱角的硬质填料，RF _{ID} 应取大值；对于最大粒径不超过20mm、磨圆度好的填料，RF _{ID} 可取小值； ^c 蠕变折减系数的取值除了与材料的种类、材质等有关外，还与加筋土结构使用寿命密切相关，表中折减系数对应结构物寿命75~100年；对于临时性加筋土结构，RF _{CR} 可取1.0； ^d PET格栅抗水解耐久性与环境pH值有关，5≤pH≤8环境中取低值，否则取高值。			

5.2.5 在进行初步设计时，可采用总折减系数RF替代施工损伤、蠕变和老化折减系数的乘积。对于永久性工程，RF可取 5.0~7.0；对于临时性工程RF可取 3.0。

5.3 路基材料

- 5.3.1 加筋土路基填料的最大粒径、颗粒级配、颗粒强度、塑性指数和有机质含量等应符合 JTG D30 的规定。
- 5.3.2 在选择填料时，应综合考虑筋土相互作用特性、碾压施工对土工格栅的损伤和填方路基的稳定性与变形需求。
- 5.3.3 加筋土挡墙的填料宜符合表 2 的要求。

表2 加筋土挡墙的填料要求

级配	粒径 mm	累计百分数%
	≤ 100	100
	≤ 0.5	0~65
	≤ 0.075	0~15
塑性指数	$I_P \leq 6$	

5.3.4 加筋土边坡的填料宜符合表 3 的要求。

表3 加筋土边坡的填料要求

级配	粒径 mm	累计百分数%
	≤100	100
	≤5	20~100
	≤ 0.5	0~65

表 3 加筋土边坡的填料要求（续）

级配	粒径 mm	累计百分数%
	≤ 0.075	0~50
塑性指数	$I_P \leq 20$	

5.3.5 填料中不应包含泥岩、页岩或其他稳定性差的颗粒，以及经淋滤易于流失组分的颗粒。

5.3.6 浸水路段的加筋土路基应选用水稳性和透水性好的粗粒土填筑，并应符合 JTG D30 的规定。

5.4 墙面（坡面）材料

5.4.1 加筋土路基的墙面或坡面的选择应兼顾功能性和耐久性，并与周围环境相协调。

5.4.2 可根据场地的工程地质条件和周围环境特点选择加筋土挡墙的面板形式，可选择整体式、预制混凝土板/砌块组合式、土工格宾叠合式等。

- 加筋土挡墙的面板应能与土工格栅牢固连接，其连接强度宜通过试验确定。
- 现浇或预制混凝土面板的强度等级不应低于 C20，且不应与土工格栅产生腐蚀性。
- 永久性加筋土挡墙不宜单独采用土工格栅反包式面板。当采用土工格栅反包式面板时，应采取避免土工格栅暴露于日光下，可与生物防护相结合使用或施作后浇整体式面板。

5.4.3 根据当地气候、边坡坡率和工程经验等，可采用喷播植草、三维土工垫、土工格栅反包植生带、土工格室、浆砌块石和混凝土格构进行路基边坡防护。

5.5 排水与反滤材料

5.5.1 排水材料可选用无纺土工织物、土工复合排水材料、带微型排水管的复合排水材料或土工织物包裹级配碎石、土工排水管作为排水体。排水土工合成材料应符合 JTG/T D32 的规定。

5.5.2 在进行排水设计时，应根据当地气候和地形特征对排水量进行计算。应结合具体位置的排水需求选择排水材料，设置排水体。

5.5.3 排水体四周应设置反滤层或反滤材料。可选择无纺土工织物作为反滤材料，反滤材料应满足保土、透水和防淤堵三原则。

6 作用与抗力

6.1 极限状态

6.1.1 加筋土路基的承载能力极限状态可用式（1）表达。

$$Y_0 S \leq R \left(\frac{R_k}{\phi_m}, \alpha_d \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Y_0 ——加筋土路基的重要性系数，可按表 4 选取；

S ——作用效应组合的设计值，应根据验算的承载能力极限状态、作用组合及分项系数，按式（3）

确定；

$R(\cdot)$ ——与验算的承载能力极限状态相对应的抗力函数；

R_k 、 ϕ_m ——所验算的承载能力极限状态中材料性能参数的标准值及对应的分项系数；

α_d ——材料或构件的几何参数设计值，无可靠资料时，可采用几何参数的平均值。

表4 加筋土路基重要性系数 Y_0

墙高 m	公路等级	
	高速公路、一级公路	二级及二级以下公路
≤ 5.0	1.0	0.95
> 5.0	1.05	1.0

6.1.2 加筋土路基的正常使用极限状态可用式（2）表示。

$$F\left(S, \frac{R_k}{\phi_m}, \alpha_d\right) \leq E \quad (2)$$

式中：

$F(\cdot)$ ——与验算的正常使用极限状态相对应的功能函数；

S ——作用效应组合的设计值，应根据验算的承载能力极限状态、作用组合及分项系数，按式(3)确定；

R_k 、 ϕ_m ——所验算的承载能力极限状态中材料性能参数的标准值及对应的分项系数；

α_d ——材料或构件的几何参数设计值，无可靠资料时，可采用几何参数的平均值；

E ——与验算的正常使用极限状态对应的加筋土路基变形或筋材应变的允许值。

6.2 作用及其效应组合

6.2.1 加筋土路基承受的作用及作用效应组合应符合 JTG D30 和 JTG B02 的规定。

6.2.2 加筋土路基承受的作用（荷载），按其性质可分为永久作用（荷载）、可变作用（荷载）和偶然作用（荷载），其类型和名称见表 5。

表5 作用（荷载）分类

作用（荷载）类型		作用（荷载）名称
永久荷载		挡墙面板自重
		填料自重
		填土侧向土压力
		路基表面的永久荷载
		静水压力
		地下水渗透压力
可变荷载	基本可变荷载	车辆荷载及其引起的土压力
		人群荷载及其引起的土压力
	其他可变荷载	水位退落时的动水压力
		流水压力
		波浪压力
	施工荷载	与施工有关的临时荷载
偶然荷载		地震荷载
		滑坡、泥石流作用力
		作用在防撞护栏上的汽车撞击力

6.2.3 作用（荷载）设计值应考虑不同性质作用（荷载）的效应组合。一般情况下，应考虑永久荷载与基本可变荷载组合。在施工期内，应考虑永久荷载与施工临时荷载的组合。在浸水地段、地震动峰值加速度等于 0.2 g 及以上的地区，尚应考虑其他可变荷载和偶然荷载。设计时，可按表 6 确定作用（荷载）效应组合进行极限状态验算。

表6 常用作用（荷载）效应组合

组合	作用（荷载）效应组合
I	加筋土路基自重、土压力、静水压力、路基上的其他有效永久荷载等
II	组合 I 与基本可变荷载组合，组合 I 与施工荷载组合
III	组合 II 与其他可变荷载组合，组合 II 与某一种偶然荷载组合 ^a
^a 洪水与地震力不同时考虑；车辆荷载与地震力不同时考虑。	

6.2.4 考虑地震作用（荷载）时，应按 JTG B02 的规定执行。

6.2.5 在极限状态表达式中，作用效应组合的设计值应按式（3）计算：

$$S = \psi_{ZL} [\sum_i \varphi_{Gi} S_{Gik} + \sum_j \varphi_{Qj} S_{Qjk}] \quad (3)$$

式中：

S ——作用效应组合的设计值；

ψ_{ZL} ——作用（荷载）效应组合系数，按表 7 取值；

φ_{Gi} 、 φ_{Qj} ——分别为第 i 个永久作用和第 j 个可变或偶然作用的分项系数；

S_{Gik} ——第 i 个永久作用的标准值；

S_{Qjk} ——第 j 个可变作用或偶然作用的标准值。

表7 作用（荷载）效应组合系数 ψ_{ZL} 值

作用组合	ψ_{ZL}	作用组合	ψ_{ZL}
I、II	1.0	施工作用（荷载）	0.7
III	0.8	—	—

6.3 抗力及其分项系数

6.3.1 在加筋土路基承载能力极限状态下，土工格栅抗拉强度设计值应按式（4）计算：

$$T_d = T_{uk} / \varphi_{mg} \quad (4)$$

式中：

T_d ——土工格栅抗拉强度设计值，kN/m；

T_{uk} ——土工格栅抗拉强度标准值，kN/m；

φ_{mg} ——土工格栅抗拉强度分项系数，按式（5）计算：

$$\varphi_{mg} = RF_{ID} RF_{CR} RF_D \varphi_f \quad (5)$$

式中：

RF_{ID} 、 RF_{CR} 、 RF_D ——分别为土工格栅的施工损伤折减系数、蠕变折减系数和老化折减系数，无实测数据时可按表 1 取值；

φ_f ——考虑施工损伤、蠕变和老化因素之外的其他不确定而设置的筋材强度调整系数。当无实测数据时，可取 1.0。

6.3.2 路基填料与土的强度参数设计值应按式（6）计算：

$$X_d = X_k / \varphi_{ms} \quad (6)$$

式中：

X_d ——填料与土的强度参数设计值；

X_k ——填料与土的强度参数标准值；

φ_{ms} ——对应于填料与土强度参数的分项系数。

6.3.3 在加筋土路基中，当土工格栅在外力作用下从填料中拔出时，应按锚固强度验算；当出现沿土工格栅与填料接触面水平滑动时，应按界面直剪强度进行验算。

6.3.4 土工格栅在填料中应连续铺设，其锚固强度设计值应按式（7）计算：

$$T_{pd} = T_{pk} / \varphi_{mgp} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

T_{pd} ——筋材锚固强度设计值, kN/m;

φ_{mgp} ——筋材在填料中锚固强度的分项系数。

T_{pk} ——筋材锚固强度标准值, kN/m, 按式(8)计算:

$$T_{pk} = 2C_p \sigma'_v L_e \dots\dots\dots (8)$$

式中:

C_p ——筋土相互作用的拉拔系数, 应根据加筋土路基的材料通过室内试验确定; 初步设计时可取 $0.8 \tan \varphi, \sim 2/3 \tan \varphi$, (φ 为填土的有效内摩擦角, °), 位于加筋土结构顶部取高值, 中部和下部取低值;

σ'_v ——土工格栅在锚固区的上覆竖向有效应力, kPa;

L_e ——土工格栅锚固长度, 在加筋土路基内部稳定性验算中指潜在滑动面之后稳定区内土工格栅长度, m。

6.3.5 土工格栅与填土之间的直剪强度设计值应按式(9)计算:

$$T_{sd} = T_{sk} / \varphi_{mgs} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

T_{sd} ——土工格栅与填土之间界面直剪强度设计值, kN/m;

φ_{mgs} ——作用于界面直剪强度的分项系数;

T_{sk} ——土工格栅与填土之间界面直剪强度标准值, kN/m, 按式(10)计算:

$$T_{sk} = C_s \sigma'_v L \dots\dots\dots (10)$$

式中:

C_s ——筋土相互作用的直剪系数, 应通过试验确定; 初步设计时, 可根据土工格栅几何与结构特征取 $0.8 \tan \varphi \sim 2/3 \tan \varphi$, (φ 为填土的有效内摩擦角, °), 位于加筋土结构顶部取高值, 中部和下部取低值;

σ'_v ——验算的土工格栅上覆竖向有效应力, kPa;

L ——土工格栅加筋长度, m。

6.3.6 抗力和材料分项系数可按表8取值。

表8 加筋土路基的抗力和材料分项系数

分项系数类型	对象	承载能力极限状态	正常使用极限状态
填料和地基土的材料系数	$\tan \varphi$	1.0	1.0
	c	1.5	1.0
	c_u	1.0	1.0
筋材强度系数	抗拉强度标准值 T_k	见 6.3.1	
筋土界面系数	筋土界面摩擦强度 T_{sk}	1.3	1.0
	筋土锚固强度 T_{pk}	1.3	1.0
筋材与面板连接系数	筋材与面板连接强度	1.3	1.0
抗力系数	地基承载力	1.5	—
	挡墙与地基之间水平抗滑力	1.1	—

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 应结合工程要求和场地条件, 进行加筋土路基的选型, 设计应符合 GB/T 50290 和 JTG/T D32

的规定。根据加筋土路基坡角分为“加筋土挡墙”和“加筋土边坡”两种结构类型：

- a) 当坡角不小于 70° 时，按加筋土挡墙设计；
- b) 坡角小于 70° 的，按加筋土边坡设计。

7.1.2 应按照 JTG C20 的规定，通过工程地质勘察事先查明场地的工程地质条件。

7.1.3 应掌握设计对象的路基高度、宽度和线性特征，根据工程要求和场地的工程地质水文地质条件，综合确定加筋土路基断面的几何形态。

7.1.4 应获取路基承受作用（荷载）大小和作用效应组合，以及是否考虑地震、洪水、撞击等偶然作用。

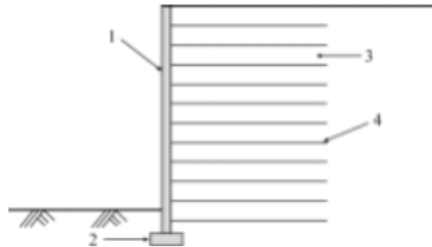
7.1.5 应查明填料来源及其基本特性，取得加筋土路基拟用土工格栅的性能参数。

7.1.6 加筋土路基应采取防水和排水措施。

7.2 常规加筋土挡墙设计

7.2.1 常规加筋土挡墙的构成与型式

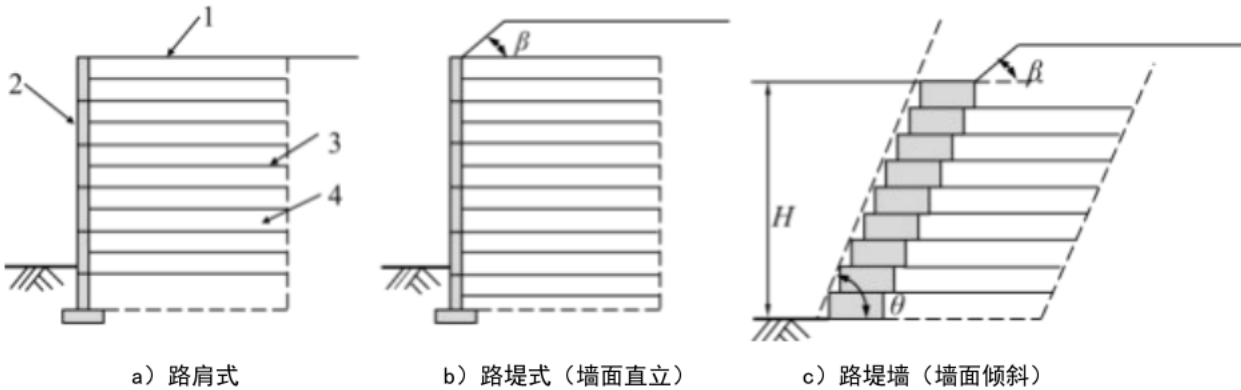
7.2.1.1 加筋土挡墙由填土、加筋材料、面板构成（图 1），根据需要可设置面板基础。



注：1-面板；2-面板基础；3-墙体填土；4-加筋材料

图1 加筋土挡墙示意图

7.2.1.2 应根据工程特点和工程地质条件确定加筋土挡墙的型式，如图 2 a)、图 2 b)、图 2 c) 所示。



注：1-墙顶；2-面板；3-加筋材料；4-填土； β -墙顶路基坡角； θ -墙面倾角； H -墙高

图2 一般挡墙式加筋土路基示意图

7.2.1.3 加筋土挡墙的断面型式、几何尺寸和加筋布置应符合下列要求：

- a) 根据路基标高、宽度、地形条件、红线限制等，综合确定路基断面的几何形态和断面尺寸；
- b) 加筋土挡墙的埋置深度应大于墙前冲刷深度，并符合表 9 的规定；
- c) 加筋土挡墙的高度从碎石垫层底面算起；

- 1) 加筋长度和加筋层间距应计算确定，且满足如下要求；
 - 2) 加筋长度（ L ）取 $0.7H$ （ H 为墙高），且不小于 2.5 m ；
 - 3) 对于路堤墙，或墙顶存在附加荷载的情形，应增大加筋长度；
 - 4) 加筋层间距（ S_V ）：不宜大于 0.6 m ，并与面板形式相协调。
- d) 当墙高（ H ）超过 10 m 时，应分级设置。

表9 面板基础的最小埋置深度

墙前地面坡率	最小埋置深度 ^a
水平	$H/20$ ^b
1:3	$H/10$
1:2	$H/7$
1:1.5	$H/5$

^a 任何情况下，挡墙最小埋深不应小于 0.5 m ；
^b H 为加筋土挡墙的高度。

7.2.2 加筋土挡墙承受的作用（荷载）及极限状态

7.2.2.1 加筋土挡墙承受的作用包括自重和外部作用。外部作用应考虑被挡土体的水平土压力与基本可变作用（荷载）；使用时应包括其他可变作用和偶然作用。

- a) 对于 $80^\circ \leq$ 墙面倾角 $\theta \leq 90^\circ$ 的加筋土挡墙，可假定加筋土体区域为一刚性整体，被挡土体的主动土压力按下列规定计算：
 - 1) 对于路肩墙如图 3 所示，被挡土体的主动土压力系数按式（11）确定：

$$k_{ab} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'_b}{2} \right) \dots\dots\dots (11)$$

式中：
 k_{ab} ——墙后被挡土体的主动土压力系数；
 φ'_b ——被挡土体的有效内摩擦角（ $^\circ$ ）。

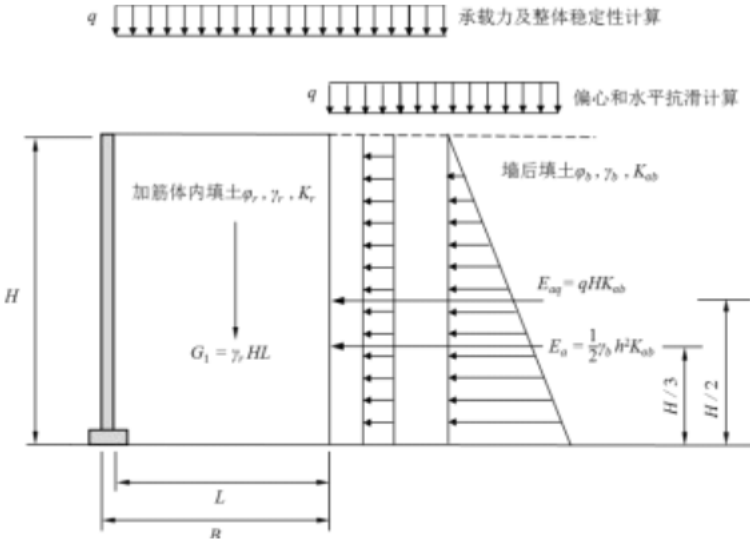


图3 路肩墙被挡土体的土压力（考虑墙顶可变荷载）

2) 对于路堤墙如图 4 所示，将墙顶填土概化为坡角等于 I 的斜坡，按式（12）估算被挡土体的主动土压力系数。

$$k_{ab} = \frac{\sin^2(\theta - \varphi'_b)}{\Gamma \cdot \sin^2 \theta \sin(\theta + \delta)} \dots\dots\dots (12)$$

$$\Gamma = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi'_b + \delta) \sin(\varphi'_b - \beta)}{\sin(\theta + \delta) \sin(\theta - \beta)}} \right]^2 \dots\dots\dots (13)$$

式中：
 θ ——墙面倾角。当 $80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 时，取 90° ；当 $70^\circ \leq \theta < 80^\circ$ 时，按实际倾角取值；
 β ——墙顶填土边坡的坡角（。），对于路堤墙，应取概化后的墙顶边坡坡角 I ；
 δ ——被挡土体与加筋土体之间的摩擦角，取 $\delta = I$ 。

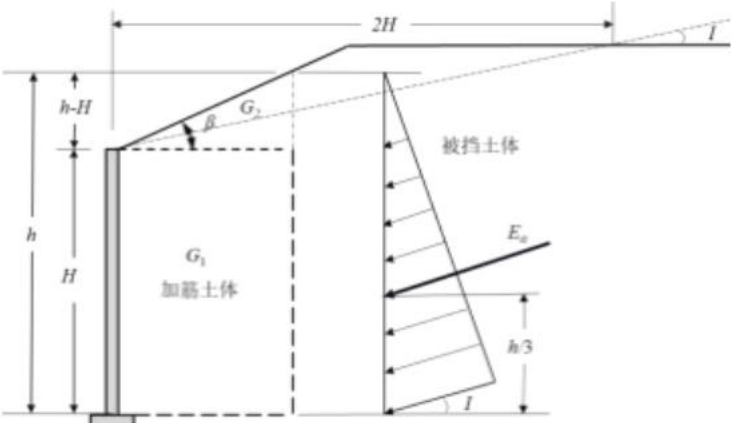


图4 路堤墙后被挡土体的土压力

b) 对于墙面倾角 $70^\circ \leq \theta < 80^\circ$ 的加筋土挡墙，被挡土体的主动土压力作用在加筋土体背面的倾斜面上如图5 所示，主动土压力系数仍可按式（12）计算；

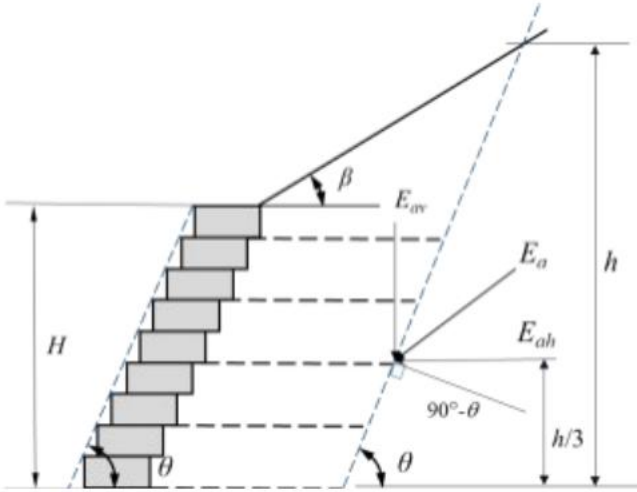


图5 墙面倾角 $70^\circ \leq \theta < 80^\circ$ 时被挡土体的土压力

c) 交通荷载可换算为等效高度的填土施加在墙顶，交通荷载的大小宜根据公路等级确定；
d) 地震作用（荷载）应符合 JTG B02 的规定，可按静力法计算。

7.2.2.2 应按如下规定校核加筋土挡墙的极限状态：

- a) 承载能力极限状态的三种破坏模式如下：
- 1) 外部破坏模式：验算加筋土挡墙水平滑动、地基承载力和深层滑动的承载能力极限状态；
 - 2) 内部破坏模式：验算筋材抗拉强度、筋材锚固强度、筋材与面板连接强度的承载能力极限状态；
 - 3) 复合型破坏模式：验算加筋土挡墙的滑动面穿过加筋区和被挡土体的承载能力极限状态。
- b) 正常使用极限状态，验算路基工后沉降和路基侧向变形的正常使用极限状态。
- 7.2.2.3 对于加筋土挡墙，永久作用和可变作用的分项系数可按表 10 取值。

表10 加筋土挡墙上各作用（荷载）的分项系数

极限状态	作用（荷载）				
	加筋土体自重	墙顶填土自重	墙后土压力	墙顶交通荷载	墙后交通荷载
筋材抗拉强度	1.35	1.35	0	1.5	0
筋材锚固强度	1.0	1.0	0	0	0
墙体抗滑	1.0	1.0	1.5	0	1.5
地基承载力	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5
挡墙抗倾覆	1.0	1.0	1.5	0	1.5
正常使用	1.0	1.0	1.0	0	0

7.2.3 加筋土挡墙外部极限状态分析

7.2.3.1 抗滑极限状态分析应符合如下规定：

- a) 只考虑被挡土体上的可变均布荷载，不考虑加筋土体上的可变均布荷载如图 3 所示，且不应考虑挡墙埋深部分的被动阻力；
- b) 被挡土体的主动土压力按下列方法确定：
 - 1) 对于路肩墙，被挡土体产生的单宽土压力按式（14）计算，作用方向水平，作用点距墙底 $H/3$ ；墙顶均布附加荷载产生的土压力按式（15）计算，作用方向水平，作用点距墙底 $H/2$ ；

$$E_a = \frac{1}{2} k_{ab} y_b H^2 \dots\dots\dots (14)$$

$$E_{aq} = k_{ab} q H \dots\dots\dots (15)$$

式中：

E_a 、 E_{aq} ——分别为被挡土体和附加荷载产生的主动土压力标准值，kN/m；

k_{ab} ——被挡土体的主动土压力系数；

y_b ——被挡土体的重度设计值，kN/m³；

H ——加筋土挡墙的高度，m；

q ——墙顶均布附加荷载标准值，当等效填土高度 $\square_e$ 确定后， $q = y_r \square_e$ （ y_r 为加筋填土重度）。

- 2) 对于路堤墙，单宽土压力按式（16）和式（17）计算，作用方向与概化后墙顶填土坡面平行，作用点距墙底 $h/3$ ；

$$E_a = \frac{1}{2} k_{ab} y_b h^2 \dots\dots\dots (16)$$

$$E_{aq} = k_{ab} q h \dots\dots\dots (17)$$

式中：

E_a 、 E_{aq} ——分别为被挡土体和附加荷载产生的主动土压力标准值，kN/m；

k_{ab} ——被挡土体的主动土压力系数；

y_b ——被挡土体的重度设计值， kN/m^3 ；

q ——墙顶均布附加荷载标准值，当等效填土高度 $\square_e$ 确定后， $q = y_r \square_e$ (y_r 为加筋填土重度)；

h ——路堤墙的总高度 (m)，等于加筋土体的高度 H 与墙顶填土折算高度之和。

3) 对于墙面倾角 $70^\circ \leq \theta < 80^\circ$ 的加筋土挡墙，被挡土体产生的单宽主动土压力标准值仍可按式 (16) 计算，式中挡墙总高度和土压力作用方向按图 5 所示方法确定。

c) 应根据具体工况，考虑其他可变作用和偶然作用对抗滑极限状态的影响；

d) 加筋土挡墙的单宽水平抗滑阻力可按下列方法确定：

1) 对于路肩墙，单宽抗滑阻力设计值按式 (18) 计算：

$$R = \mu \varphi_{G1} G_1 \dots\dots\dots (18)$$

式中：

R ——加筋土挡墙单宽抗滑阻力标准值 (kN/m) ；

μ ——加筋土挡墙基底摩擦系数，应根据潜在滑动面所处位置取值，可取地基土内、加筋填土内、筋材-地基土接触面、筋材-填土接触面四者的摩擦系数最小值；

G_1 ——单宽加筋土挡墙的自重， kN/m 。

2) 对于路堤墙，单宽抗滑阻力设计值按式 (19) 计算，其中 β 取如图 4 中概化后斜坡坡角 I 。

$$R = \mu(\varphi_{G1} G_1 + \varphi_{G2} G_2 + \varphi_{Q1} E_a \sin \beta + \varphi_{Q2} E_{aq} \sin I) \dots\dots\dots (19)$$

式中：

R ——加筋土挡墙单宽抗滑阻力标准值 (kN/m) ；

μ ——加筋土挡墙基底摩擦系数，应根据潜在滑动面所处位置取值，可取地基土内、加筋填土内、筋材-地基土接触面、筋材-填土接触面四者的摩擦系数最小值；

φ_G ——永久作用的分项系数；

φ_Q ——可变作用或临时、偶然作用的分项系数；

E_a 、 E_{aq} ——分别为被挡土体和附加荷载产生的主动土压力标准值， kN/m ；

G_1 ——单宽加筋土挡墙下部矩形断面墙体的自重， kN/m ；

G_2 ——单宽加筋土挡墙墙顶填土的自重， kN/m 。

e) 加筋土挡墙抗水平滑动应满足如下极限状态：

$$R/\varphi_{Rs} \geq y_0 s_i \dots\dots\dots (20)$$

式中：

R ——加筋土挡墙单宽抗滑阻力标准值 (kN/m) ；

φ_{Rs} ——加筋土挡墙基底抗滑力的分项系数，按表8取值；

y_0 ——加筋土路基的重要性系数；

s_i ——某一作用效应组合下加筋土挡墙上的单宽水平推力组合值， kN/m 。

7.2.3.2 地基承载能力极限状态分析应符合如下规定：

a) 根据加筋土挡墙形态，偏心距 e 按下列方法计算；

1) 对于路肩墙，偏心距 e 按式 (21) 计算 (图 6)：

$$e = \frac{\varphi_{Q1} E_a (H/3) + \varphi_{Q2} E_{aq} (H/2)}{\varphi_{G1} G_1} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

e ——加筋土挡墙偏心距，用于抗倾覆极限状态验算， m ；

φ_G ——永久作用的分项系数；

φ_Q ——可变作用或临时、偶然作用的分项系数；

E_a 、 E_{aq} ——分别为被挡土体和附加荷载产生的主动土压力标准值， kN/m ；

G_1 ——单宽加筋土挡墙下部矩形断面墙体的自重， kN/m 。

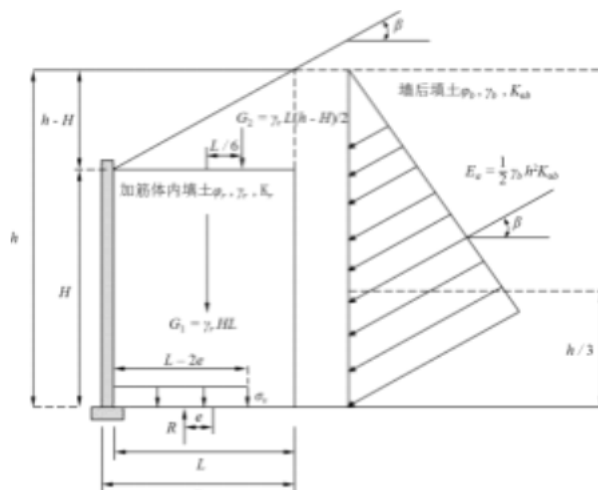


图6 加筋土挡墙偏心距和基底压力计算示意图

2) 对于路堤墙, 偏心距 e 按式(22)计算:

$$e = \frac{\varphi_{Q1}E_{aH}(h/3) + \varphi_{Q2}E_{aqH}(h/2) - [\varphi_{Q1}E_{av} + \varphi_{Q2}E_{aqv}](L/2) - \varphi_{G1}G_1(0) - \varphi_{G2}G_2(L/6)}{\varphi_{G1}G_1 + \varphi_{G2}G_2 + \varphi_{Q1}E_{av} + \varphi_{Q2}E_{aqv}} \quad (22)$$

式中:

e ——加筋土挡墙偏心距, 用于抗倾覆极限状态验算, m;

φ_G ——永久作用的分项系数;

φ_Q ——可变作用或临时、偶然作用的分项系数;

E_{aH} 、 E_{av} ——分别为被挡土体主动土压力水平分量和垂直分量的标准值, kN/m;

E_{aqH} 、 E_{aqv} ——分别为墙顶附加荷载引起的主动土压力水平分量和垂直分量的标准值, kN/m;

G_1 ——单宽加筋土挡墙下部矩形断面墙体的自重, kN/m;

G_2 ——单宽加筋土挡墙墙顶填土的自重, kN/m。

b) 偏心距 e 不应大于 $L/4$ (L 为加筋长度), 否则应增加布筋长度;

c) 加筋土挡墙基底压力应按式(23)调整:

1) 对于路肩墙, 基底压力可按式(23)计算:

$$\sigma_v = \frac{\varphi_{G1}G_1 + \varphi_{Q2}qL}{L - 2e_R} \quad (23)$$

式中:

σ_v ——调整后的挡墙基底压力设计值, kPa;

φ_G ——永久作用(荷载)的分项系数;

G_1 ——单宽加筋土挡墙下部矩形断面墙体的自重, kN/m;

φ_Q ——基本可变作用(荷载)的分项系数;

e_R ——加筋土挡墙的偏心距(m), 对于路肩墙和路堤墙, 可分别按式(21)和式(22)计算, 但两式中永久荷载分项系数应取地基承载力极限状态验算的分项系数;

q ——墙顶均布附加荷载标准值, 当等效填土高度 e 确定后, $q = \gamma_R e$ (γ_R 为加筋填土重度);

L ——土工格栅加筋长度, m。

2) 对于路堤墙, 基底压力可按式(24)计算。

$$\sigma_v = \frac{\varphi_{G1}G_1 + \varphi_{G2}G_2 + \varphi_{Q1}E_{av} + \varphi_{Q2}E_{aqv}}{L - 2e_R} \quad (24)$$

式中:

σ_v ——调整后的挡墙基底压力设计值, kPa;

φ_G ——永久作用（荷载）的分项系数；

G_1 ——单宽加筋土挡墙下部矩形断面墙体的自重，kN/m；

φ_Q ——基本可变作用（荷载）的分项系数；

e_B ——加筋土挡墙的偏心距（m），对于路肩墙和路堤墙，可分别按式（21）和式（22）计算，但两式中永久荷载分项系数应取地基承载力极限状态验算的分项系数；

q ——墙顶均布附加荷载标准值，当等效填土高度 $\square_e$ 确定后， $q = Y_r \square_e$ （ Y_r 为加筋填土重度）；

L ——土工格栅加筋长度，m。

d) 加筋土挡墙的地基承载力应满足式（25）的要求。如不满足，应对地基进行加固。

$$\frac{q_{uk}}{\phi_{rb}} \geq Y_0 \sigma_v \dots\dots\dots (25)$$

式中：

q_{uk} ——地基极限承载力标准值（kPa），可按现行 JTG C20 的规定进行计算，计算时不作埋深修正；

ϕ_{rb} ——地基承载力的分项系数；

Y_0 ——加筋土路基的重要性系数；

σ_v ——调整后的挡墙基底压力设计值，kPa。

7.2.3.3 深层滑动极限状态验算方法可按 JTG D30 的相关规定执行，验算时，作用和材料强度应采用表 8 规定的分项系数。

7.2.3.4 应进行地基沉降（包括差异沉降）和路基变形验算。

a) 地基沉降验算按 JTG D30 的相关规定进行，地基附加应力应取按偏心距（ e_B ）调整后的平均基底压力。

b) 加筋土挡墙的侧向变形可按 $1/120H \sim 1/80H$ （ H 为墙高）估计。有条件的，可采用数值分析方法进行计算确定。如不满足要求，可从材料选择和施工质量等环节进行控制。

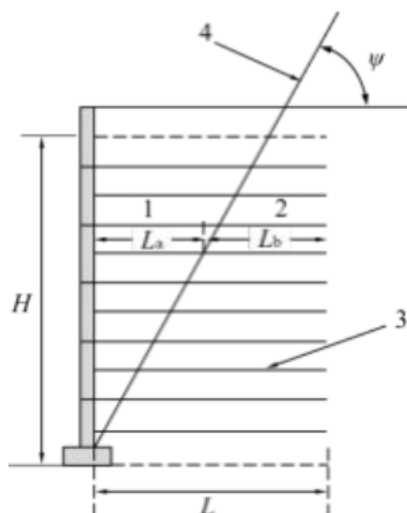
c) 当工后沉降或差异沉降不满足要求时，应对地基进行加固。

7.2.3.5 加筋土挡墙外部极限状态分析案例见附录 A。

7.2.4 加筋土挡墙内部极限状态分析

7.2.4.1 基于工程实际选择加筋材料（土工格栅），初步确定加筋层间距。

7.2.4.2 加筋土挡墙的潜在滑动面可设定为一个通过墙趾、与水平面呈 ψ 的平面，以此潜在滑动面将加筋土体划分为主动区和被动区（图 7）。



注：1-主动区；2-被动区；3-筋材；4-潜在滑动面

图7 墙面直立时加筋土挡墙内部潜在滑动面示意图

7.2.4.3 潜在滑动面与水平面夹角 ψ 应按如下规定取值:

- a) 当 $80^\circ \leq \theta < 90^\circ$, $\psi = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_r'}{2}$, φ_r' 为加筋土挡墙填料的有效内摩擦角 ($^\circ$)。
- b) 当 $70^\circ \leq \theta < 80^\circ$, ψ 按式 (26) 计算:

$$\tan(\psi + \theta) = \frac{\tan(\varphi_r' - \beta) - \sqrt{\tan(\varphi_r' - \beta)[\tan(\varphi_r' - \beta) + \cot(\varphi_r' + 90 - \theta)][1 + \tan(\delta + \theta - 90)\cot(\varphi_r' + 90 - \theta)]}}{1 + \tan(\delta + \theta - 90)[\tan(\varphi_r' - \beta) + \cot(\varphi_r' + 90 - \theta)]} \dots\dots\dots (26)$$

式中:

θ ——墙面倾角 ($^\circ$);

β ——对于路肩墙, 取 $\beta = 0$ 。对于路堤墙, β 取墙顶概化后的斜坡坡角 I ($^\circ$);

δ ——墙背主动土压力作用方向与作用面法向的夹角 ($^\circ$), 可取 $\delta = \beta$ 。

7.2.4.4 进行内部极限状态分析时, 加筋土挡墙上的作用 (荷载) 应考虑加筋土体自重和路面交通荷载。需要时应计入地震、渗透压力等作用。

- a) 当 $80^\circ \leq \theta < 90^\circ$ 时, 加筋体内主动土压力系数 k_a 等于朗肯主动土压力系数; 当 $70^\circ \leq \theta < 80^\circ$ 时, 按式 (27) 确定主动土压力系数:

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta - \varphi_r')}{\sin^3 \theta \left(1 + \frac{\sin \varphi_r'}{\sin \theta}\right)} \dots\dots\dots (27)$$

式中:

θ ——墙面倾角 ($^\circ$);

φ_r' ——加筋土体区域内填料的有效内摩擦角 ($^\circ$)。

- b) 对于路肩墙, 墙顶交通荷载 q , 可换算为等效高度的填土荷载。

- c) 对于路堤墙, 可按图 8 所示的方法换算成等效高度为 s_{eq} 的填土荷载, 均匀分布在 $0.7H$ 宽度的加筋土体上。

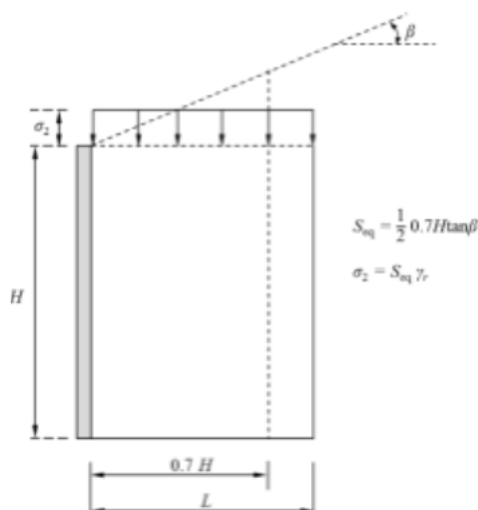


图8 路堤墙墙顶填土的竖向应力计算

- d) 加筋体内任意深度 z 处 (从墙顶平面算起) 的水平土压力设计值由式 (28) 计算:

$$\sigma_{Hz} = \psi_{ZL} (\varphi_G k_a \sigma_{VGz} + \varphi_Q k_a \sigma_{VQz} + \varphi_{Q3} \Delta \sigma_{Hz}) \dots\dots\dots (28)$$

式中:

σ_{VGz} 、 σ_{VQz} ——分别为加筋土体内 z 深度处由永久作用和可变作用引起的竖向土压力标准值 (kPa);

ψ_{ZL} ——作用（荷载）效应组合系数，按表 7 取值；

φ_G 、 φ_Q ——分别为永久作用和可变作用的分项系数；

φ_{Q3} ——偶然作用的分项系数；

$\Delta\sigma_{Hz}$ ——偶然作用（如地震、撞击等）引起的 z 深度处水平应力标准值（kPa）。地震作用与车辆撞击作用不同时考虑，地震作用力计算应符合 JTG B02 的规定。

e) 第 i 层加筋材料单位宽度承受的拉力 T_i 可按式 (29) 计算：

$$T_i = \sigma_{Hi} s_{vi} \dots\dots\dots (29)$$

式中：

s_{vi} ——第 i 层筋材分担水平土压力的挡墙高度（m）。当筋材竖向等间距布置时， $s_{vi} = s_v$ ；筋材不等间距布置时， s_{vi} 等于第 i 层筋材与上、下层筋材之间中点的距离。对于墙底第 1 层和墙顶第 n 层筋材， s_{v1} 应包括第 1 层至墙底面的距离， s_{vn} 应包括第 n 层筋材至墙顶面的距离。

σ_{Hi} ——第 i 层筋材上下（ S_{vi} 范围内）水平土压力平均值，kPa。

7.2.4.5 应按式 (30) 对每层土工格栅进行抗拉强度验算。当初选的土工格栅不能满足要求时，应采用强度更高的筋材或调整筋材层间距，重新进行验算。

$$T_i \leq T_d \dots\dots\dots (30)$$

式中：

T_d ——筋材的抗拉强度设计值（kN/m）。

7.2.4.6 应按式 (31) 对每层土工格栅进行锚固强度验算。当某层土工格栅不满足式 (31) 的要求时，应增大锚固长度。

$$T_i \leq T_{pid} \dots\dots\dots (31)$$

式中：

T_{pid} ——第 i 层土工格栅的锚固强度设计值（kN/m）。

7.2.4.7 加筋土挡墙内部极限状态分析案例见附录 A。

7.2.5 加筋土挡墙面板

a) 采用预制整体面板或预制组合式面板时，应满足以下要求：

- 1) 预制面板内应设置与加筋材料连接的预埋件，预埋件的竖向间距应与加筋层间距相一致，预埋件与筋材连接后，应进行防腐保护；
- 2) 应根据地基条件在面板下设置一定宽度的面板基础，基础厚度取 150~200 mm，宽度取 $B_f + 150\text{mm}$ （ B_f 为面板宽度）。

b) 采用砌块面板时，面板与筋材应通过机械连接，不应单独使用摩擦连接。

c) 采用土工格宾、土工格室等柔性面板时，加筋材料与面板之间应设置足够的搭接长度。

d) 对于临时性工程，可采用土工格栅反包土袋或植生袋形成柔性面板；对于永久性工程，不应单独采用土工格栅反包土袋或植生袋作为墙面。

e) 无论采用何种面板，面板与筋材之间的连接强度应满足如下极限状态：

$$T_{\max} \leq T_{ac}/\varphi_{co} \dots\dots\dots (32)$$

式中：

$T_{\max}$ ——各层土工格栅中承受的最大拉力值（kN/m）；

T_{ac} ——加筋材料与挡墙面板连接强度的标准值（kN/m），通过试验测定，并考虑蠕变和老化因素进行折减；

φ_{co} ——土工格栅与面板连接强度的分项系数。

7.3 复杂结构型式加筋土挡墙设计要点

7.3.1 复杂结构型式加筋土挡墙类型

7.3.1.1 当场地条件受限或工程上需要时，可采用图 9 a)、图 9 b)、图 9 c)、图 9 d) 所示的复杂结构型式的加筋土挡墙。复杂结构型式的加筋土挡墙和墙高超过 12 m 的挡墙，应进行特殊设计。

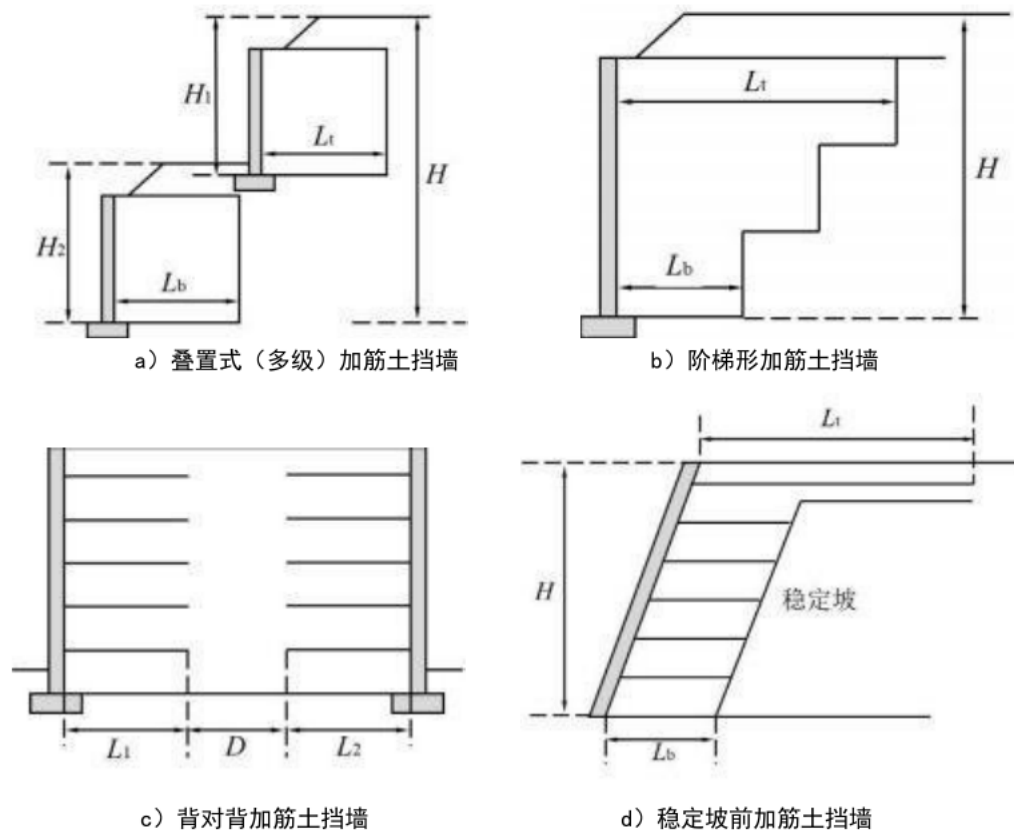


图9 复杂结构形式的加筋土挡墙示意图

7.3.1.2 针对复杂结构型式的加筋土挡墙式，除满足本文件加筋土挡墙设计的一般要求外，还应符合本节的规定。

7.3.2 叠置式加筋土挡墙设计

- 对于两级叠置式加筋土挡墙，在分析下级墙地基承载力验算时，上级墙作为墙顶荷载考虑；采用楔体法进行抗滑稳定验算，滑动面沿下级墙底最薄弱面；按照边坡稳定分析方法验算其整体稳定性和混合稳定性。
- 对于两级叠置式挡墙，依据上级墙与下级墙的错开距离 D 、上下级墙高 H 和 H_2 的关系确定内部潜在滑动面如图 10 所示。

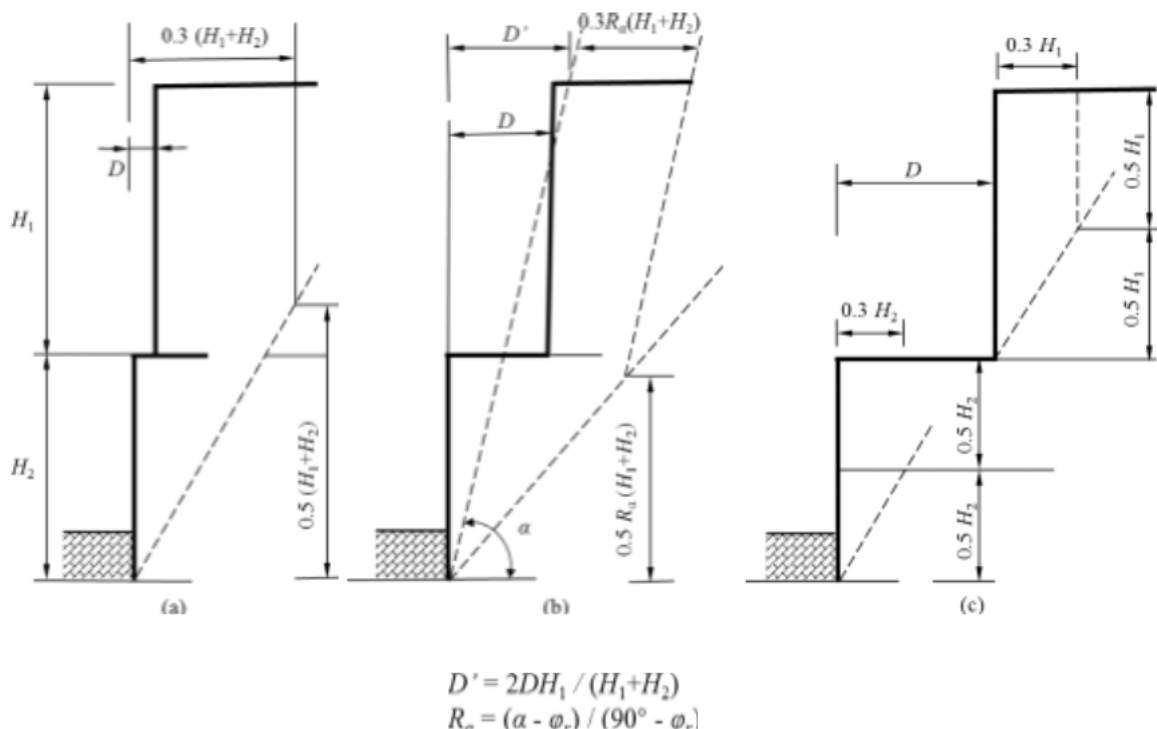


图10 两级叠置墙内部潜在滑动面位置

- c) 两级叠置式挡墙设计时，上下墙的加筋长度应根据两墙的错开距离 D 确定。
- 1) 当 $D \leq (H_1 + H_2)/20$ 时，应视为高度 $H = H_1 + H_2$ 的单级墙进行设计；
 - 2) 当 $D > H_2 \tan(45^\circ + \varphi_r'/2)$ 时，不考虑上级墙对下级墙的影响，按两个独立的加筋土挡墙进行设计；
 - 3) 当 $(H_1 + H_2)/20 < D \leq H_2 \tan(45^\circ + \varphi_r'/2)$ 时，上下级墙的加筋长度可按式 (33) 和式 (34) 确定。进行下级挡墙内部稳定性分析时，应考虑上级墙引起的附加竖向应力。

$$L_1 \geq 0.7H_1 \quad (33)$$

式中：

L_1 ——上级墙加筋长度，m；

H_1 ——上级墙高，m。

$$L_2 \geq 0.6(H_1 + H_2) \quad (34)$$

式中：

L_1 、 L_2 ——分别为上、下级墙加筋长度，m；

H_1 、 H_2 ——分别为上、下级墙高，m。

- d) 对于多级叠置式加筋土挡墙，应按如下规定进行设计：

- 1) 从最上一级墙开始设计，进行下一级墙设计时，仅考虑紧邻上一级墙的影响；
- 2) 最下一级墙的加筋长度取 0.6 倍总墙高；
- 3) 应进行多级叠置墙的整体稳定性和复合型破坏模式下的稳定性验算。

7.3.3 阶梯形加筋土挡墙设计

- a) 阶梯形加筋土挡墙适用于地基土层为基岩或密实土层，且在挡墙荷载作用下地基变形满足工程要求的情形；

- b) 将阶梯型加筋土挡墙概化为一个高度、截面积相等的矩形挡墙如图 11 所示，按常规加筋土挡墙进行外部稳定分析；
- c) 概化的矩形加筋土挡墙的底宽 (L_0) 不应小于 $0.7H$ (H 为墙高)；
- d) 阶梯形挡墙底部的加筋长度取 $0.4H$ 和 2.5m 中的大者，相邻台阶区域的加筋长度差值不小于 $0.15H$ (H 为墙高)；
- e) 阶梯形加筋土挡墙的内部潜在滑动面为朗肯滑动面；
- f) 进行内部稳定性验算时，按台阶将整个挡墙划分为几个矩形区域，从最上面的矩形区域开始，根据筋材强度和加筋长度，按常规加筋土挡墙的方法进行抗拉强度和抗拔出的极限状态分析。分析下部矩形区域时，上部加筋土体作为附加荷载分布在整個挡墙顶面。

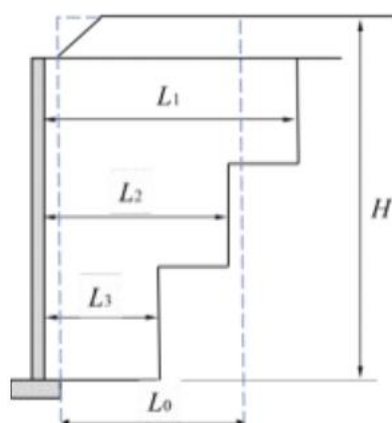


图11 阶梯形加筋土挡墙及其概化图

7.3.4 背对背加筋土挡墙设计

- a) 根据背对背加筋土挡墙的两墙之间净间距 D 如图 12 所示，计算墙背上的土压力；
 - 1) 当 $D \geq H_1 \tan(45^\circ - \varphi_r'/2)$ 时 (H_1 为两墙中较高者的墙高)，二者不存在相互影响，按两个独立的加筋土挡墙进行设计；

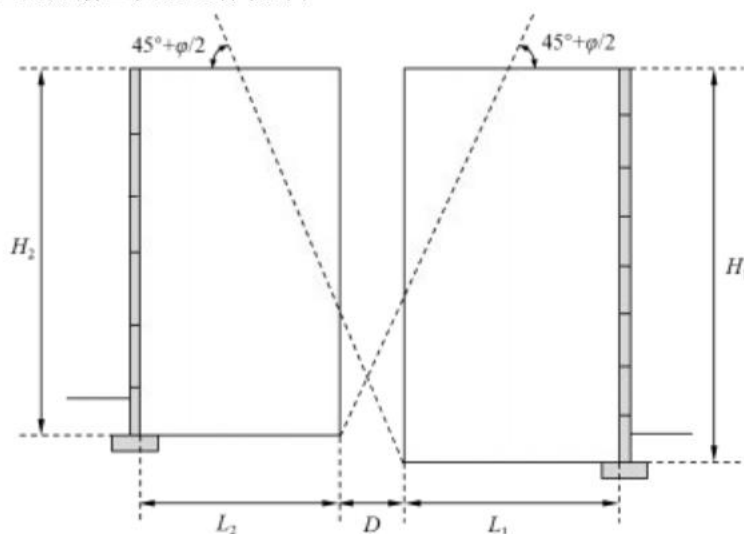


图12 背对背加筋土挡墙示意图

- 2) 当两墙有加筋区域相互重叠, 加筋重叠长度 $L_R \geq 0.3H_2$ (H_2 为两墙中较低者的墙高), 设计时不考虑被挡土体的主动土压力如图 13 所示;

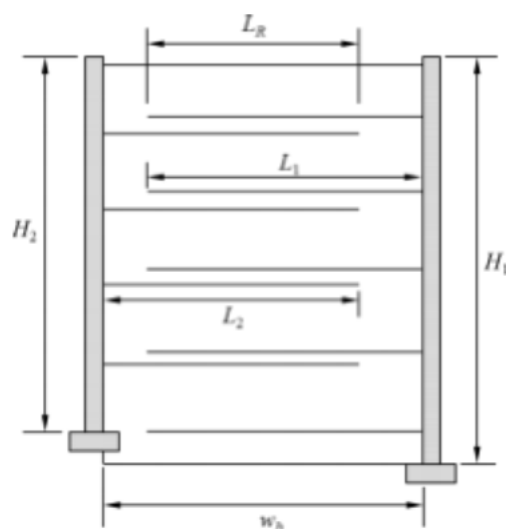


图13 重叠布筋的背对背加筋土挡墙

- 3) 当 $0 < D < H_1 \tan(45^\circ - \varphi_r'/2)$ 时, 在进行加筋土挡墙外部稳定分析时, 墙后主动土压力根据 D 的大小在主动土压力与零之间线性内插。
- b) 当重叠布筋 $L_R \geq 0.3H_2$ 时如图 13 所示, 挡墙有加筋长度按式 (35) 和式 (36) 确定; 背对背加筋土挡墙的底面总宽度 (w_b) 按式 (37) 确定;

$$L_1 \geq 0.6H_1 \quad (35)$$

式中:

L_1 ——两墙中较高者的加筋强度, m;

H_1 ——两墙中较高者的墙高, m。

$$L_2 \geq 0.6H_2 \quad (36)$$

式中:

L_2 ——两墙中较低者的加筋强度, m;

H_2 ——两墙中较低者的墙高, m。

$$w_b \geq 1.1H_1 \quad (37)$$

式中:

w_b ——背对背加筋土挡墙的底面总宽度, m;

H_1 ——两墙中较高者的墙高, m。

- c) 背对背加筋土挡墙有加筋重叠区域中, 筋材采用搭接方式连接。当筋材采用机械刚性连接时, 应采用静止土压力计算加筋土体的侧向土压力。

7.3.5 稳定坡体前加筋土挡墙的设计

- a) 稳定坡前的加筋土挡墙如图 14 所示, 加筋长度和布置应满足如下要求:
- 1) 挡墙底部的筋材长度取 $0.3H$ 和 2.0 m 二者中的大值;
 - 2) 各层筋材应铺设到稳定坡体面, 其中顶部筋材长度不应小于 $0.8H$, 且至少有 2 层筋材跨越与稳定坡体的接触面, 跨越长度不小于 2.0 m ;

- 3) 加筋层间距宜取 0.5 m，其中稳定坡体之上的筋材层间距宜采用 0.3~0.4m，与坡顶的净间距不应小于 150 mm。

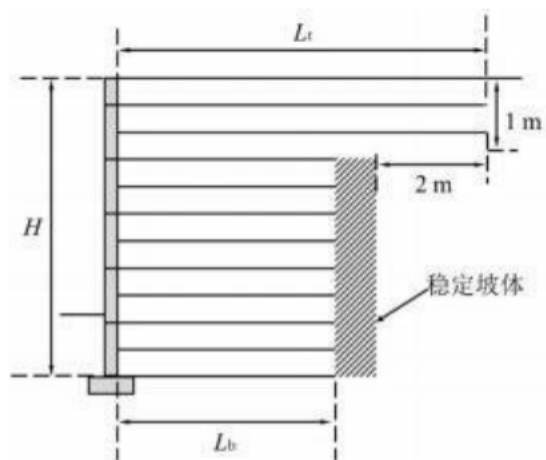


图14 稳定坡体前的挡墙式加筋土路基示意图

- b) 应校核加筋土挡墙后坡体在施工期和运营期内的变形和稳定性：
- 1) 进行加筋土挡墙地基的沉降分析；
 - 2) 进行加筋土挡墙与墙后稳定坡体接触面两侧的差异沉降分析；
 - 3) 考虑施工期和运营期附加荷载，进行加筋土挡墙后坡体的稳定性分析；
 - 4) 当墙后坡体不满足变形和稳定性要求时，应采用锚杆等措施进行加固。
- c) 采用圆弧法和楔体法验算各种失稳模式下稳定坡体前加筋土挡墙的稳定性的（图 15 和图 16）。

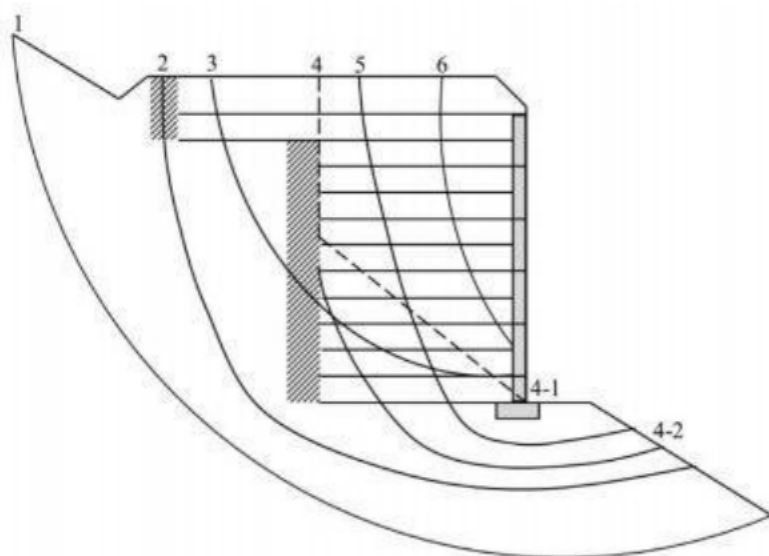
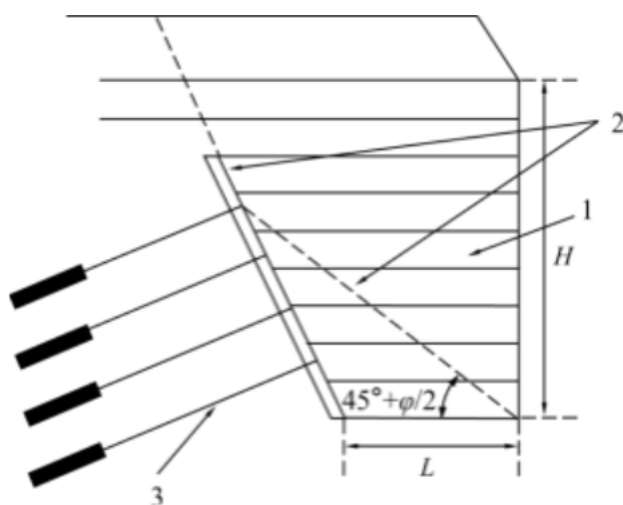


图15 稳定坡体前加筋土挡墙的潜在破坏模式



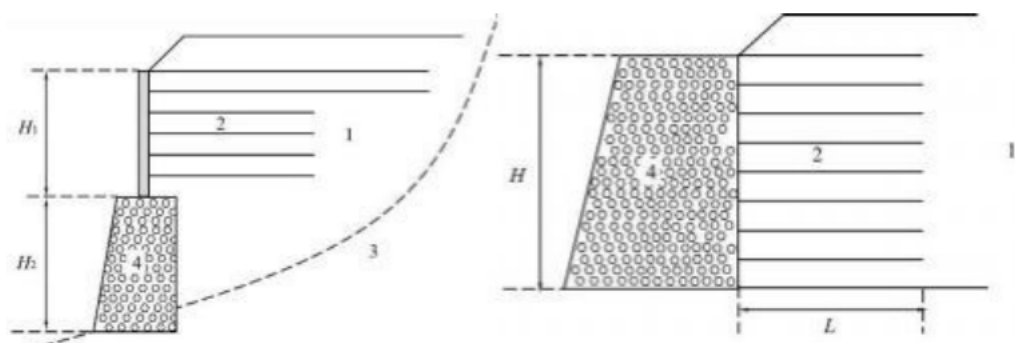
注：1-加筋土体；2-潜在破裂面；3-锚杆

图16 稳定坡体前加筋土挡墙的潜在滑动面（楔体法）

- d) 应将加筋土挡墙与墙后稳定坡体的排水措施统一考虑，构成统一的排水系统。

7.3.6 圬工挡墙与加筋土挡墙的组合式路基

- a) 对于上下组合式路基如图 17 a) 所示，应将上部加筋土挡墙看作下部圬工挡墙的附加荷载，将下部圬工挡墙视为加筋土挡墙的基础。
- 1) 圬工挡墙应嵌入稳定地层中，在验算地基承载力和整体稳定性时，应考虑圬工挡墙自重、加筋土挡墙和路基上的附加荷载。
 - 2) 验算圬工挡墙和加筋土挡墙的抗倾覆稳定性时，应考虑加筋土挡墙与圬工挡墙之间的相互作用。
 - 3) 圬工挡墙地基稳定的前提下，按常规加筋土挡墙进行上部加筋土路基设计。
- b) 对于前后组合式路基如图 17 b) 所示，根据圬工挡墙的整体稳定性和二者相互作用分析结果，进行加筋土体和圬工挡墙设计。



a) 上下组合式

b) 前后组合式

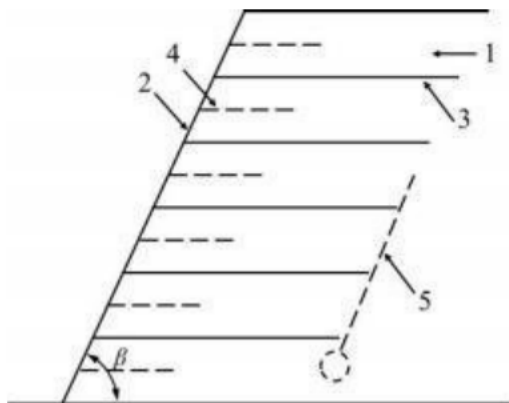
注：1-填土；2-加筋土挡墙；3-基岩；4-圬工挡墙

图17 圬工挡墙与加筋土挡墙组合式路基示意图

7.4 加筋土边坡设计

7.4.1 加筋土边坡极限状态

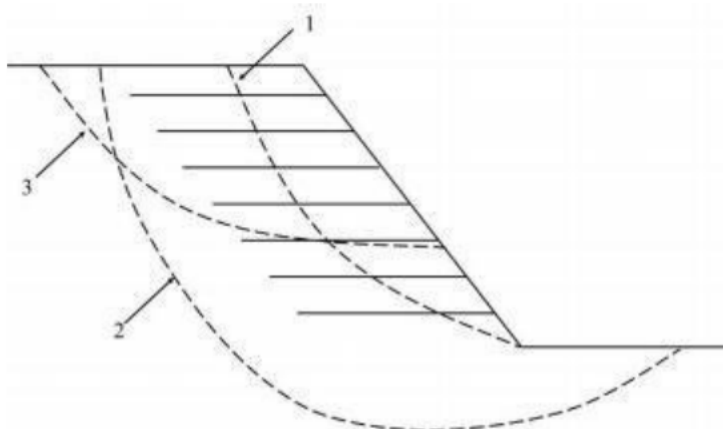
7.4.1.1 加筋土边坡由压实填料、加筋材料（土工格栅）、坡面防护和排水设施构成如图 18 所示。可根据边坡坡率和主筋层间距确定是否设置次筋。



注：1-加筋体内填土；2-坡面；3-主筋；4-次筋；5-排水系统

图18 加筋土边坡构成示意图

7.4.1.2 加筋土边坡设计时，应验算外部破坏、内部破坏和复合型破坏模式下的承载能力极限状态（图 19）和正常使用极限状态。



注：1-内部破坏；2-外部破坏；3-复合型破坏

图19 加筋土边坡破坏模式示意图

7.4.2 加筋土边坡极限状态分析

7.4.2.1 确定加筋土边坡（路基）的断面几何形态和断面尺寸。

7.4.2.2 确定加筋土边坡承受的外部作用，应考虑坡上永久荷载、交通荷载、其他可变作用（荷载）和偶然作用。

7.4.2.3 验算如下极限状态，各作用的分项系数可按表 11 取值。

- 外部破坏：加筋土体整体侧向滑动极限状态、滑动面穿过未加筋土体和地基的深层滑动极限状态；
- 内部破坏：滑动面仅穿过加筋土体区域，出现筋材拉断或拔出的极限状态；
- 复合破坏：滑动面部分穿过未加筋区域及一层或多层筋材的极限状态；
- 功能失效：加筋土边坡（路基）变形超过允许值而丧失或影响正常使用的极限状态。

表11 加筋土边坡上各作用（荷载）的分项系数

极限状态	作用（荷载）		
	填土自重	坡顶永久荷载	交通荷载
承载能力极限状态	1.35	1.3	1.5
正常使用极限状态	1.0	1.0	0

7.4.2.4 加筋土边坡外部破坏的承载能力极限状态分析可按下列方法进行：

- a) 假定加筋区域如图 20 所示，逐一验算加筋土体侧向滑移、地基承载力和深层滑动模式下的极限状态；
- b) 当任一外部破坏模式下不能满足承载能力极限状态的要求时，应通过增大加筋长度、进行地基加固或放缓边坡坡率等措施，直至各外部破坏模式下均满足承载能力极限状态的要求；
- c) 根据外部稳定性分析结果确定加筋区域。

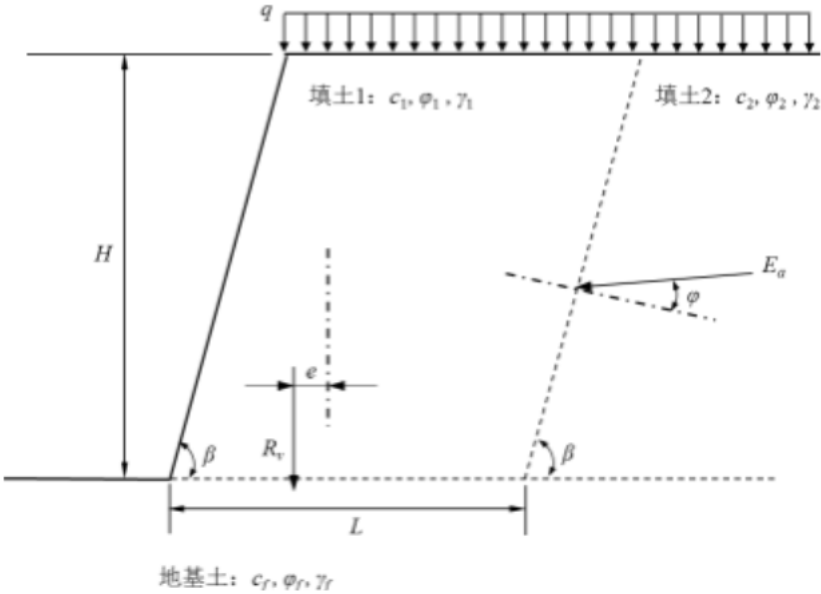


图20 加筋土区域示意图

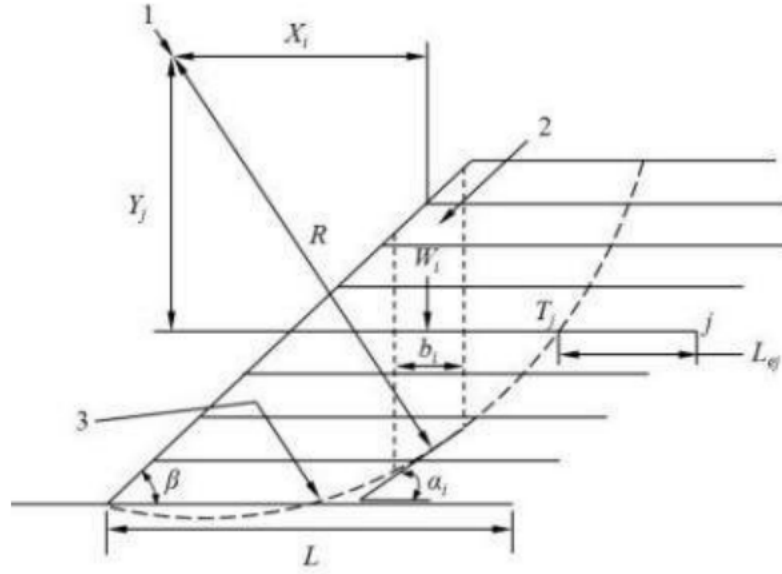
7.4.2.5 加筋土边坡内部极限状态分析可采用楔体法和圆弧法。

- a) 当采用楔体法进行内部极限状态分析时，应遵守如下规定。
 - 1) 任选一潜在滑动面穿过加筋区域如图 21 所示，通过极限平衡分析确定该滑动面上产生的总滑动力和需要的总加筋力。
 - 2) 选择各种可能的潜在滑动面，计算各滑动面上对应的总滑动力和需要的总加筋力，将总滑动力最大值对应的滑动面作为最危险滑动面。
 - 3) 选择加筋材料，按下密上疏原则进行加筋材料的布置，确定层间距。
 - 4) 按式（38）确定每层筋材承受的拉力 T_j （图 22）。

$$T_j = \sigma_{hj} s_{vj} \dots\dots\dots (38)$$

式中：

- s_{vj} ——第 j 层筋材与上、下层筋材之间中点的距离（m）；
- σ_{hj} ——第 j 层筋材上下（ s_{vj} 范围内）水平土压力平均值（kPa）。



注：1-滑弧圆心；2-土条*i*；3-滑动面

图23 条分法内部破坏的极限状态分析

- 2) 选择加筋材料，在确定的加筋区域初步布置加筋材料。
- 3) 对应最危险的潜在滑动面，填土和加筋材料提供的抗滑力矩应满足极限状态。

$$M_D \leq M_{RS} + M_{RR} \quad (41)$$

$$M_D = \sum_{i=1}^n [(\phi_G W_i + \phi_Q b_i q_i) \sin \alpha_i] R \quad (42)$$

$$M_{RS} = \sum_{i=1}^n \frac{\left[\frac{c' b_i}{\phi_{ms}} + (\phi_G W_i + \phi_Q b_i q_i) \frac{\tan \phi'}{\phi_{ms}} \right] \sec \alpha_i R}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha_i}{\phi_{ms}}} \quad (43)$$

$$M_{RR} = \sum_{j=1}^m T_j y_j \quad (44)$$

式中：

M_D —— 加筋土边坡的总滑动力矩；

M_{RS} —— 由填土强度提供的抗滑力矩；

M_{RR} —— 由加筋材料提供的抗滑力矩；

c' —— 土的有效黏聚力，kPa；

ϕ' —— 土的有效峰值内摩擦角，°；

b_i —— 第*i*土条宽度，m；

w_i —— 第*i*土条自重，kN/m；

q_i —— 作用在第*i*土条上的附加荷载，kPa；

ϕ_G ——永久作用的分项系数；

ϕ_Q ——可变作用或临时、偶然作用的分项系数；

ϕ_{ms} ——填料或土强度参数的分项系数；

T_j ——每层筋材承受的拉力，kN/m。

- 4) 每层筋材承受的拉力 T_j 应满足式(30)和式(31)的要求。如不满足，应调整加筋长度和加筋间距，或重新选择加筋材料。

7.4.2.6 复合型破坏模式下承载能力极限状态验算，可采用楔体法（图24）和条分法。

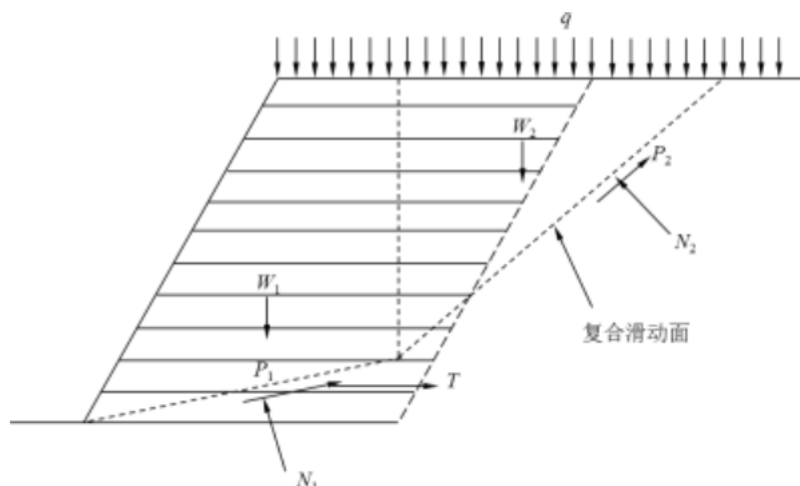


图24 复合型破坏模式的极限状态分析（双楔体法）

- a) 当潜在滑动面穿过加筋区域时，应验算筋材拉断和筋材拔出的内部极限状态。
 - b) 当混合型破坏模式下不能满足极限状态要求时，应调整筋材和加筋长度等，重新进行极限状态分析，直至满足要求。
- 7.4.2.7 可采用数值模拟方法进行加筋土边坡变形分析，加筋土边坡应满足如下正常使用极限状态：
- a) 工后沉降不大于 JTG D30 的相关规定值；
 - b) 侧向变形不超过坡高的 1%。
- 7.4.2.8 当加筋层间距较大时，宜在主筋之间布置次筋。
- a) 对于较缓的加筋土边坡，次筋在坡内的埋设长度不小于 1.2 m，筋材的层间距可取 400 mm，参见图 25 a)。
 - b) 对于较陡的加筋土边坡，筋材在坡面处宜作反包，反包段埋入坡体内的长度不小于 1.2 m，最大层间距不宜超过 600 mm，见图 25 b)。

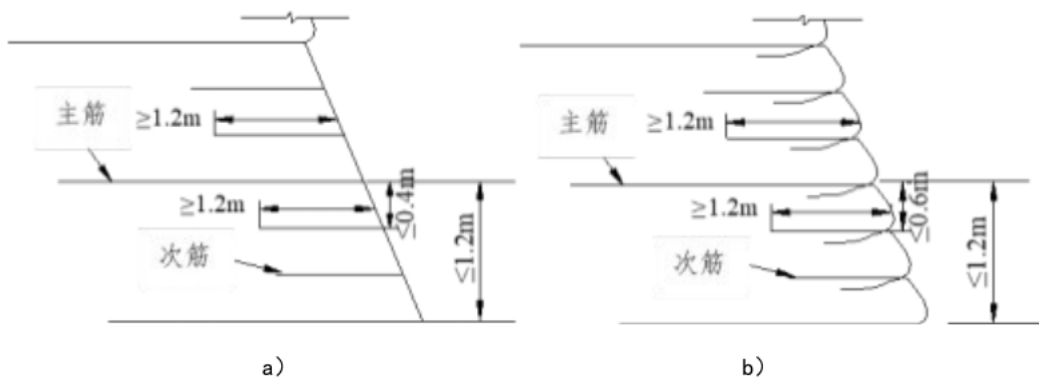


图25 加筋土边坡中主筋和次筋分布

- 7.4.2.9 加筋土边坡坡面防护应符合 JTG D30 的相关规定，并根据边坡坡率、填土类型、气候特征和工程经验选择坡面防护措施。
- a) 对于较陡的加筋土边坡，可采用土工格宾或格构骨架进行坡面防护。
 - b) 对于较缓的加筋土边坡，宜采用筋材反包、三维植被网等措施进行坡面防护。
 - c) 对于碎石或砂质边坡，宜采用客土喷播或三维植被网进行坡面防护。

- d) 进行加筋土边坡生态防护时, 应选择根系发达的当地草种。

7.5 加筋土路基的排水设计

7.5.1 加筋土路基排水设计包括外部排水和内部排水两个部分, 应遵守 JTG D30 的规定。

7.5.2 进行加筋土路基的外部排水, 应采取如下措施:

- a) 在路面基层下铺设土工膜或施作低渗透性封层;
- b) 存在墙趾可能被侵蚀情形时, 应采用保护措施;
- c) 对于斜坡上的单侧加筋土路基, 应在上游一侧设置截水沟;
- d) 结合当地气候和地形条件, 设置横向排水暗沟(或排水涵洞)和地表径流截水沟, 满足上游排水需求。

7.5.3 进行加筋土挡墙的内部排水, 应采取如下措施:

- a) 结合挡墙面板类型、填料类型和级配, 在面板后设置反滤层和竖向排水体;
- b) 对于斜坡上的单侧加筋土挡墙, 应在墙后设置疏排地下水的碎石盲沟或复合排水板;
- c) 在挡墙基底设置碎石排水层;
- d) 面板后竖向排水体、墙后排水措施和墙底碎石排水层应水力畅通, 构成整体排水系统, 通过排水管排出墙外;
- e) 排水系统中的碎石排水层、碎石盲沟和排水管应包裹土工织物反滤层。

7.5.4 进行加筋土边坡的内部排水设计, 应采取如下措施:

- a) 对于斜坡上加筋土边坡, 应在加筋区后缘设置土工复合排水板、排水带或碎石暗沟;
- b) 应在加筋土边坡底部设置碎石排水层;
- c) 加筋区后的排水体应与坡底排水设施相连通;
- d) 碎石排水盲沟和碎石排水层应包裹土工织物反滤层。

8 施工与质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 施工前应根据设计文件、现场条件和环境编制加筋土路基专项施工组织方案。

8.1.2 应根据设计文件要求和实际需要, 开展施工人员岗前培训和现场试验性施工。

8.1.3 建筑材料的选择, 除遵守本文件规定外, 尚应满足施工图设计的要求。

8.1.4 现场应妥善存放土工格栅, 不应风吹、日晒、雨淋。

8.1.5 土工格栅加筋土路基施工应符合 JTG/T 3610 的相关规定。

8.1.6 土工格栅加筋土路基的验收办法按 JTG F80/1 土建工程的规定执行, 按分项工程进行质量检验和评定。

8.2 建筑材料检测

8.2.1 用于加筋土路基的主要建筑材料, 应在施工前委托具有相应资质的第三方进行抽检, 材料性能满足设计要求后方可用于施工。

8.2.2 土工格栅的抽检频次、抽检指标和测试方法应满足如下要求:

- a) 抽检指标: 极限抗拉强度及其延伸率、2%和 5%延伸率对应的拉伸强度、格栅网孔尺寸和横肋间距;
- b) 抽检频率包括:
 - 1) 1 次/10000 m²;

- 2) 如加筋材料分批进场, 每批次至少抽检一次;
 - c) 测试方法: 试验样品截取方法和测试方法应符合 JTG E50 的规定。
- 8.2.3 加筋土路基填料及其压实度的抽检频次、抽检指标和测试方法应满足如下要求:
- a) 抽检指标: 填料级配、压实度;
 - b) 填料抽检频率包括:
 - 1) 1 次/100 延米加筋土路基;
 - 2) 如填料分批进场, 每批次至少抽检一次;
 - c) 填料压实质量检测频率: 1 次/1 层 (层厚与加筋层间距一致);
 - d) 测试方法: 应符合 JTG 3430 的规定。

8.3 加筋土挡墙施工

8.3.1 加筋土挡墙施工包括场地准备、面板与加筋土体施工、内部与外部排水措施施工, 可按图 26 的流程图进行。

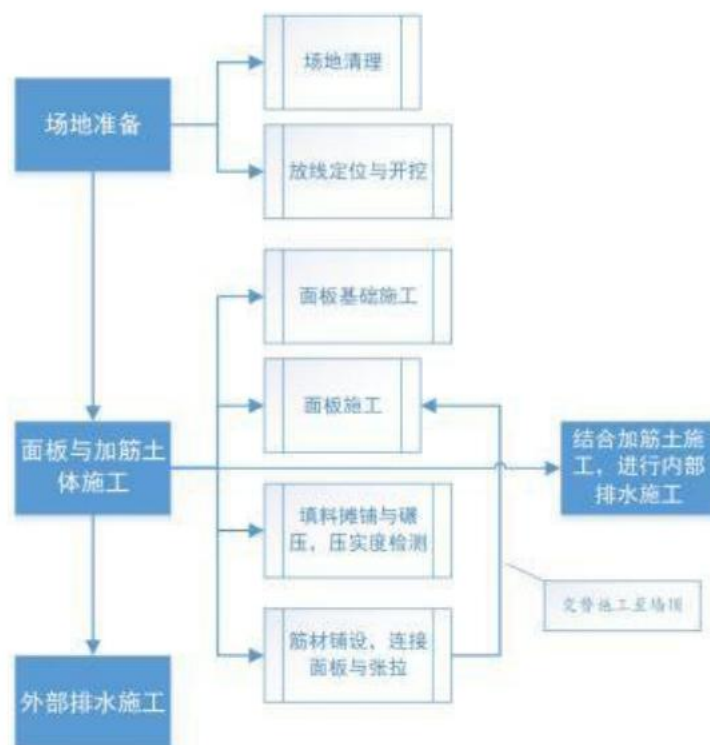


图26 加筋土挡墙施工流程图

- 8.3.2 施工场地准备应包括如下内容:
- a) 对地基表面进行清理, 应去除有机质、植被和其他不稳定物质;
 - b) 按照施工图设计, 进行放线定位和必要的开挖工作; 如不需开挖, 应对地基表面松散体进行夯实;
 - c) 检验地基承载力和压缩性, 如地基条件不满足设计要求, 应先进进行地基加固。
- 8.3.3 挡墙面板施工应满足如下要求:
- a) 制作预制整体面板和预制组合式面板时, 面板上与筋材连接的预埋件位置, 应按设计的加筋层间距确定;
 - b) 采用预制面板时, 应根据设计要求在墙面底部现浇素混凝土基础或采用预制的面板基础;

- c) 对于现浇面板基础，应在混凝土具有足够强度后（至少 7 d），放置第一层面板。将第一层墙面板居中放置在面板基础上；
- d) 采用土工格宾或土工格室面板时，应捣实格宾和格室内填料；
- e) 采用筋材反包土袋形成柔性面板时，土袋应错缝码砌，筋材回折长度不小于 1.0 m；
- f) 必要时可采用辅助措施，使墙面倾角符合设计要求；
- g) 对于砌块面板，应在墙顶面板上设置帽石。

8.3.4 筋材的铺设应符合如下要求：

- a) 应按筋材主强度方向垂直于墙面的方式铺设，一般情况下应满铺，幅与幅之间可采用绑扎带拼接；
- b) 沿筋材主受力方向不应进行拼接；非要拼接时应采用机械连接，连接强度不应低于筋材的抗拉强度；
- c) 筋材与墙面之间应连接牢固；
- d) 摊铺填料前，应张拉筋材并在末端并固定；
- e) 对于斜坡上的单侧加筋土挡墙，可根据筋材铺设长度和坡体现状，在原始边坡上开挖台阶；台阶标高应与筋材铺设位置一致，筋材延伸到台阶内；
- f) 施工过程中，应及时覆盖加筋材料，避免日晒。

8.3.5 填料摊铺与碾压应符合如下要求：

- a) 填料摊铺和碾压时，车辆和碾压机械不可直接在筋材上行走，二者之间应至少有 150 mm 厚度的填料；
- b) 按设计要求的压实机械（能量）分层压实，距墙面板 1 m 范围内的填料宜采用轻型碾压机械压实。各分层压实后的填土厚度应与对应的层间距一致；
- c) 在距离面板 1 m 范围内，填料压实度不低于 90%，其余范围内填料压实度不低于 95%；
- d) 施工过程中应做好外部防排水作业，避免降水和地表径流渗入墙体。

8.3.6 排水设施可按如下要求施工：

- a) 墙底应铺设碎石排水层，并经排水管将水导出墙体；
- b) 根据设计要求，施作面板后的竖向排水体和反滤层；
- c) 根据设计要求，施作墙后排水体；
- d) 根据施工组织设计，面板后竖向排水体和墙后排水体的施工应与加筋土挡墙填筑交替进行。

8.3.7 加筋土挡墙主体施工完成后，应按照设计要求在墙趾前填土并压实。浸水路段，应按设计要求施作墙趾防护措施。

8.4 加筋土边坡施工

8.4.1 加筋土边坡施工中，场地准备、筋材铺设、填料摊铺和碾压、排水措施施工可参照加筋土挡墙的相关施工技术要求。

8.4.2 填料压实时，可根据填土类型选择合适的碾压设备，靠近坡面 1 m 范围内应采用轻型压实设备。对细粒含量高的填土，施工时含水率应在最优含水率上下 2% 范围内。

8.4.3 设有次筋的加筋土边坡，次筋长度和层间距应满足施工图设计要求。次筋下部填料压实后，再铺设次筋和上部填料。

8.4.4 对于较陡的加筋土边坡，施工时宜使用临时模架，使填料压实度和坡面倾角符合设计要求。

8.4.5 采用植被网进行坡面防护时，应采用塑料钉将植被网在坡面固定。

8.4.6 采用生态防护的加筋土边坡，施工结束后，应及时养护。

8.5 现场监测

8.5.1 加筋土路基的现场监测可分为施工期监测和工后监测，应进行施工期监测，宜进行工后监测。

8.5.2 现场监测应包括如下内容：

- a) 加筋土挡墙面板的水平位移；
- b) 加筋土挡墙面板的竖向位移；
- c) 加筋土挡墙面板倾斜度；
- d) 加筋土挡墙的墙顶沉降和不均匀沉降；
- e) 加筋土边坡坡顶沉降和不均匀沉降。

8.5.3 加筋土路基现场监测宜包括如下内容：

- a) 加筋土挡墙面板后水平土压力；
- b) 加筋土路基基底竖向土压力及其分布；
- c) 加筋材料的应变（受力）及其分布；
- d) 加筋土挡墙墙后水位或水压力；
- e) 现场气温和降水量。

8.6 施工质量验收

8.6.1 土工格栅加筋土路基可按分项工程进行质量检验和评定。

8.6.2 分部工程应无明显外观缺陷，质量验收应在施工单位自检合格后进行。

8.6.3 施工质量验收应提供如下技术资料 and 文件：

- a) 工程勘察报告；
- b) 施工图设计文件；
- c) 专项施工方案；
- d) 所用土工合成材料出厂合格证明文件；
- e) 建筑材料性能测试报；
- f) 施工质量检测报告；
- g) 监理记录与评价报告（如有）；
- h) 施工监测记录与总结报告（如有）。

8.6.4 加筋土路基验收时，实测项目的规定值或允许偏差、实测项目的检查方法和频率按表 12～表 17 的要求进行。

表12 土工格栅实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	筋材长度	不小于设计长度	尺量：每 20m 检查 5 处
2	筋材与墙面连接	符合设计要求	目测：每 20m 检查 5 处
3	筋材搭接宽度和连接	符合设计要求	尺量：每 20m 检查 5 处
4	筋材铺设	符合设计要求	尺量：每 20m 检查 5 处
5	筋材间距	符合设计要求	尺量：每 20m 检查 5 处
6	反包段筋材埋入长度	符合设计要求	尺量：每 20m 检查 5 处

表13 混凝土水准基座实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	尺寸	符合设计要求	尺量：每 20m 检查 3 处
2	标高	±3mm	水准仪：每 20m 检查 3 处

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
3	平整度	$\pm 3\text{mm}/3\text{m}$	水准仪：每 20m 检查 3 处

表14 预制面板（模块）安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	每层筋材处墙面高程	$\pm 10\text{mm}$	水准仪：每 20m 检查 3 处
2	轴线偏位	10mm	挂线、尺量：每 20m 检查 3 处
3	垂直度	+0	吊垂线：每 20m 检查 3 处
4	错台	5mm	尺量：每 20m 检查 3 处

表15 预制面板（模块）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	检查方法和频率
1	墙顶平面位置	+50mm	经纬仪：每 20m 检查 3 处
2	墙顶高程	$\pm 50\text{mm}$	水准仪：每 20m 检查 3 处
3	墙面倾斜度	+0.5%H 且不大于+50mm，-1%H 且不小于-100mm	吊垂线或坡度板：每 20m 检查 2 处
4	缝宽	10mm	尺量：每 20m 至少检查 5 处
5	墙面平整度	15mm	2m 直尺：每 20m 检查 3 处，每处检查竖直和墙长两个方向
6	面板距水准基座边缘	不小于 75mm	尺量：每 20m 检查 3 处
注：平面位置和倾斜度“+”指向外，“-”指向内。H为墙高。			

表16 柔性墙面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	检查方法和频率
1	墙顶平面位置	+100mm	经纬仪：每 20m 检查 3 处
2	墙顶高程	$\pm 50\text{mm}$	水准仪：每 20m 检查 3 处
3	墙面倾斜度	+0.5%H 且不大于+50mm	吊垂线或坡度板：每 20m 检查 2 处
4	墙面鼓出	50mm	尺量：每 20m 检查 3 处
5	墙面平整度	30mm	2m 直尺：每 20m 检查 3 处，每处检查竖直和墙长两个方向

表17 加筋土边坡总体实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	坡顶平面位置	+100mm	经纬仪：每 20m 检查 3 处
2	坡顶高程	$\pm 50\text{mm}$	水准仪：每 20m 检查 3 处
3	坡面平整度	50mm	2m 直尺：每 20m 检查 3 处，每处检查竖直和墙长两个方向
4	坡面防护	符合设计要求	目测：每 20m 检查 5 处

8.6.5 外观鉴定应符合如下规定：

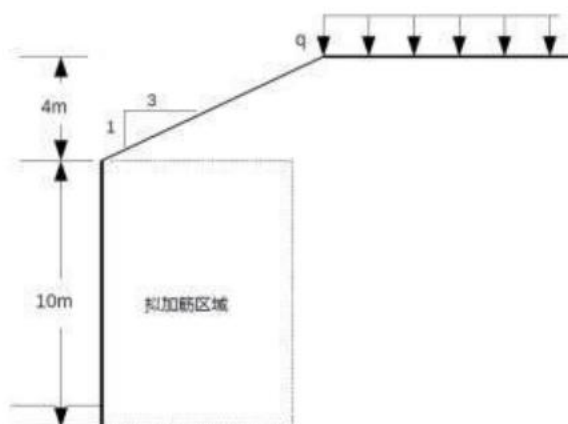
- a) 混凝土预制面板表面应平整光洁，模块表面完整，线条顺直美观，不应有破损翘曲、掉角、啃边等现象；

- b) 由土工格宾构成墙面或坡面的加筋土路基，上下土工格宾错台一致，水平方向线性流畅；
 - c) 反包墙面或坡面平顺，外观流畅；
 - d) 采用生态护坡的加筋土路基，坡面植被分布均匀，无斑秃；
 - e) 混凝土面板无非受力裂缝。
- 8.6.6 加筋土路基的施工质量符合如下规定的，综合评定为合格，否则评定为不合格：
- a) 验收文件齐全，满足基本要求；
 - b) 经实测，各检测项目误差在允许范围内，满足设计；
 - c) 经外观鉴定，无明显缺陷。

附录 A
(资料性)
加筋土挡墙设计案例

A.1 案例背景

A.1.1 根据规划红线和工程条件，某公路路基断面几何尺寸如图A.1所示。为保证路基的稳定性，采用土工格栅加筋，拟加筋区域如图所示。本案例结合如下相关条件和参数进行加筋土挡墙的稳定性分析计算。



图A.1 填方路基断面图

A.1.2 依据本文件的相关要求和设计方法进行设计，本案例中仅考虑静载和路面上的交通荷载（按15 kPa计），不考虑撞击、地震等偶然荷载。岩土参数包括：加筋填料 $\varphi_r' = 35^\circ$ ， $\gamma_r = 20 \text{ kN/m}^3$ ；被挡土体 $\varphi_b' = 30^\circ$ ， $\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$ ；地基极限承载力标准值 $q_{\text{uk}} = 750 \text{ kPa}$ 。假定为高速公路路堤，重要性系数 $\gamma_0 = 1.0$ 。

A.2 计算步骤

A.2.1 确定加筋土挡墙的墙趾埋深和加筋长度

- 墙趾前水平，则埋深为 $H/20 = 10/20 = 0.5 \text{ m}$ 。本文件规定：任何情况下墙趾最小埋深不应小于 0.5 m，故可取 0.5 m。[注：不管埋深取多少，在验算加筋土挡墙外部稳定性时，均不考虑墙趾前约束的影响]
- 一般加筋长度取 $0.7H$ ，且不小于 2.5 m。考虑本案例墙顶有较大荷载（边坡和交通荷载），属于路堤墙，取加筋长度 L 为 $0.9H = 0.9 \times 10 = 9 \text{ m}$ 。则 $h = H + (1/3)L = 10 + (1/3) \times 9 = 13.0 \text{ m}$ 。

A.2.2 荷载计算

- 除自身自重外，本例中加筋土挡墙承受来自被挡土体的土压力和路面交通荷载引起的压力。
- 墙顶坡高等于 3 m，则角度 $I = \tan^{-1}(4/20) = 11.3^\circ$ ，如图 A.2 所示。对于直立的路堤墙，按 7.2.2 条的规定，取 $\delta = \beta = I = 11.3^\circ$ ， $\theta = 90^\circ$ 。墙背填土 $\varphi_b' = 30^\circ$ ，则有：

$$\Gamma = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi'_b + \delta) \sin(\varphi'_b - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right]^2 = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 11.3) \sin(30 - 11.3)}{\sin(90 - 11.3) \sin(90 + 11.3)}} \right]^2 = 2.16$$

$$K_{ab} = \frac{\sin^2(\theta + \varphi'_b)}{\Gamma \cdot \sin^2 \theta \sin(\theta - \delta)} = \frac{\sin^2(90 + 30)}{2.16 \times \sin^2 90 \times \sin(90 - 11.3)} = 0.35$$

- c) 将拟加筋区域作为一个类似于重力式挡墙的整体，单位长度挡墙受到的荷载（作用）计算如下：

自重： $G_1 = \gamma_r L H = 20 \times 9 \times 10 = 1800 \text{ kN/m}$

墙顶坡体重力： $G_2 = 0.5 \gamma_r L (h - H) = 0.5 \times 20 \times 9 \times 3.0 = 270 \text{ kN/m}$

填土的土压力： $E_a = 0.5 k_{ab} \gamma_b h^2 = 0.5 \times 0.35 \times 18 \times 13^2 = 532.4 \text{ kN/m}$

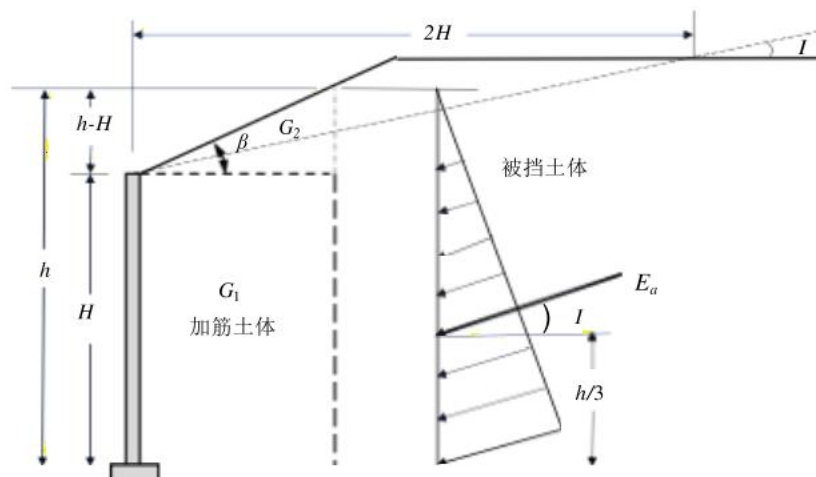
- 水平分量： $E_{aH} = E_a \cos I = 532.4 \times \cos 11.3^\circ = 522.0 \text{ kN/m}$

- 垂直分量： $E_{aV} = E_a \sin I = 532.4 \times \sin 11.3^\circ = 104.3 \text{ kN/m}$

交通荷载产生的土压力： $E_{aq} = k_{ab} q h = 0.35 \times 15 \times 13.0 = 68.3 \text{ kN/m}$

- 水平分量： $E_{aqH} = E_{aq} \cos I = 68.3 \times \cos 11.3^\circ = 66.9 \text{ kN/m}$

- 垂直分量： $E_{aqV} = E_{aq} \sin I = 68.3 \times \sin 11.3^\circ = 13.4 \text{ kN/m}$



图A.2 土压力计算

A.2.3 荷载组合及荷载与抗力分项系数

- 按 6.2.3 的规定，属于作用效应组合 II，即自重、土压力与基本可变荷载的组合。作用效应组合系数 ψ_{ZL} 取 1.0。
- 荷载分项系数：验算地基承载力和内部稳定极限状态时，自重和墙顶静载取 1.35，墙顶可变荷载取 1.5（本例不适用），墙后土压力取 1.5；在验算抗倾覆和抗水平滑动极限状态时，自重和墙顶静载取 1.0，墙后土压力取 1.5。
- 抗力分项系数：地基承载力，取 1.5；挡墙与地基之间水平抗滑力，取 1.1。

A.2.4 外部稳定性评价

- 抗滑稳定性验算

假定桥台与地基之间的摩擦系数为： $\mu = \tan \varphi' = \tan 30^\circ = 0.577$

单宽水平推力由墙后填土和路面交通荷载造成的土压力水平分量构成，按下式计算：

$$S = \psi_{ZL} [\varphi_{Q1} E_{aH} + \varphi_{Q2} E_{aqH}] = 1.0 \times (1.5 \times 522.0 + 1.5 \times 66.9) = 883.5 \text{ kN/m}$$

沿加筋土挡墙墙体底面与地基之间的单宽摩阻力为：

$$\begin{aligned} R &= \mu(\varphi_{G1} G_1 + \varphi_{G2} G_2 + \varphi_{Q1} E_{av} + \varphi_{Q2} E_{aqv}) \\ &= 0.577 \times (1.0 \times 1800 + 1.0 \times 270 + 1.5 \times 104.3 + 1.5 \times 13.4) = 1296.2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

则有 $R/\varphi_{Rs} = 1296.2/1.1 = 1178.4 > Y_0 S_i = 1.0 \times 883.5$ ，满足要求。

b) 抗倾覆验算稳定性算

按下式计算加筋土挡墙基底的偏心距 e ，计算中永久荷载的分项系数取 1.0。

$$\begin{aligned} e &= \frac{\varphi_{Q1} E_{aH} (\frac{h}{3}) + \varphi_{Q2} E_{aqH} (\frac{h}{2}) - [\varphi_{Q1} E_{av} + \varphi_{Q2} E_{aqv}] (L/2) - \varphi_{G1} G_1 (0) - \varphi_{G2} G_2 (L/6)}{\varphi_{G1} G_1 + \varphi_{G2} G_2 + \varphi_{Q1} E_{av} + \varphi_{Q2} E_{aqv}} \\ &= \frac{1.5 \times 522 \times (13/3) + 1.5 \times 66.9 \times (13/2) - [1.5 \times 104.3 + 1.5 \times 13.4] (9/2) - 1.0 \times 270 \times (9/6)}{1.0 \times 1800 + 1.0 \times 270 + 1.5 \times 104.3 + 1.5 \times 13.4} \\ &= 1.27 \text{ m} \end{aligned}$$

$e = 1.27 \text{ m} < L/4 = 9/4 = 2.25 \text{ m}$ ，因此满足要求。

c) 地基承载力验算

1) 基底偏心距 e_B

在进行基底压力验算时，基底偏心距计算式中永久荷载的分项系数应取 1.35。重新计算可得 $e_B = 0.91 \text{ m}$ 。

2) 基底压力验算

$$\sigma_v = \frac{\varphi_{G1} G_1 + \varphi_{G2} G_2 + \varphi_{Q1} E_{av} + \varphi_{Q2} E_{aqv}}{L - 2e_B} = \frac{1.35(1800 + 270) + 1.5(104.3 + 13.4)}{9 - 2 \times 0.91} = 413.9$$

3) 承载力验算

$$\frac{q_{uk}}{\phi_{rb}} = \frac{750}{1.5} = 500 > Y_0 \sigma_v = 1.0 \times 413.9 = 413.9$$
，满足要求。

d) 整体稳定性

可采用目前常用的边坡稳定性分析软件，按圆弧法或其他方法进行分析评价。计算时应按本文件规定的分析系数对荷载和抗力（或材料参数）进行调整。

e) 沉降计算

沉降计算属于功能极限状态下设计验算的内容，设计中应根据本文件进行分析评价。本例未给出地层条件及对工后变形的要求。暂不作计算和评价。

A. 2. 5 内部稳定性评价

根据工程经验，初步选择极限抗拉强度为90kN/m PET焊接土工格栅，加筋层间距为0.6m。如不足内部承载能力极限状态的要求，则可选择更高强度的土工格栅，或减小加筋层间距。

A. 2. 5. 1 潜在破裂面

对于直立的土工格栅加筋土挡墙，潜在滑动面可设定为一个通过墙趾、与水平面呈 ψ 的平面（见本文件图7）。

$$\psi = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'_r}{2} = 45^\circ + \frac{35^\circ}{2} = 62.5^\circ$$

A. 2. 5. 2 每层加筋材料受力

加筋体内主动土压力系数等于朗肯主动土压力系数，即：

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_r'}{2}\right) = \tan^2(45^\circ - 17.5^\circ) = 0.27$$

对于路堤墙，墙体边坡填土的等效厚度为（图5）：

$$S_e = 0.5(0.7H) \tan \beta = 0.35 \times 10 \times \left(\frac{1}{3}\right) = 1.17m$$

本例中，挡墙内任一深度处（z）的水平土压力为：

$$\sigma_{Hz} = K_a \gamma_r (S_e + z) \varphi_G = 0.27 \times 20(1.17 + z) \times 1.35 = 7.29(z + 1.17)Kpa$$

可根据每次筋材的位置，按下式计算每层筋材受力，见表A. 1。

$$T_{imax} = \sigma_{vz} S_{vi}$$

式中，S_{vi} 为第i层筋材分担的土层厚度。对于均匀布置的加筋土挡墙，除了底层（第1层）和顶层外，S_{vi} = S_v。在本例中，先铺0.3 m碎石，然后铺设土工格栅，则S_{v1} = S_v = 0.6 m。等间距布置，共铺设16层，第17层的S_{v17} = 0.4 m。

A. 2. 5. 3 抗拉强度评价

土工格栅极限抗拉强度标准值为90 kN/m，按施工损伤、蠕变和老化折减系数分别取1. 15，1. 80和1. 20。三因素之外的调整系数取1. 0。可得

$$T_d = T_{uk}/\varphi_{mg} = 90/(1.15 \times 1.8 \times 1.2 \times 1.0) = 36.2KN/m$$

从表A. 1的计算结果看，选择标准值为90 kN/m的PET格栅不能满足抗拉断极限状态的要求。应选择抗拉强度更高的加筋材料，比如120 kN/m的PET土工格栅，分项系数不变，则有

$$T_d = T_{uk}/\varphi_{mg} = 120/(1.15 \times 1.8 \times 1.2 \times 1.0) = 48.3KN/m$$

任一层土工格栅均满足：T_i ≤ T_d。或者选择两种强度的土工格栅：下部8层采用120 kN/m的PET土工格栅；其余采用90 kN/m的PET土工格栅。

表A. 1 筋材拉力计算表

筋材层号	埋深 z m	水平土压力σ _{H_z} kPa	S _{vi} m	筋材拉力T _i kN/m
17	0.1	9.3	0.4	3.7
16	0.7	13.6	0.6	8.2
15	1.3	18.0	0.6	10.8
14	1.9	22.4	0.6	13.4
13	2.5	26.8	0.6	16.1
12	3.1	31.1	0.6	18.7
11	3.7	35.5	0.6	21.3
10	4.3	39.9	0.6	23.9
9	4.9	44.3	0.6	26.6
8	5.5	48.6	0.6	29.2
7	6.1	53.0	0.6	31.8
6	6.7	57.4	0.6	34.4
5	7.3	61.7	0.6	37.0
4	7.9	66.1	0.6	39.7
3	8.5	70.5	0.6	42.3

表A.1 筋材拉力计算表（续）

筋材层号	埋深 z m	水平土压力 σ_{Hz} kPa	S_{vi} m	筋材拉力 T_i kN/m
2	9.1	74.9	0.6	44.9
1	9.7	79.2	0.6	47.5

A.2.5.4 加筋材料锚固力评价

按潜在破裂面（与水平面夹角 62.5° 。）划分加筋土挡墙的主动区和被动区，计算每层筋材在主动区的长度和在被动区的锚固长度 L_e 。对于路堤墙，应考虑墙顶边坡计算每层筋材 L_e 上的平均竖向应力 σ'_v ，然后按式（7）和式（8）计算每层筋材的锚固强度标准值和设计值。计算中，取筋土相互作用系数等于0.7，荷载分项系数取1.0，抗拔分项系数取1.3。计算结果见表A.2。从计算结果可知，锚固强度远大于筋材最大拉力，满足要求。

表A.2 加筋材料锚固强度

筋材层号 i	高度 m	锚固长度 L_{ei} m	竖向应力 σ'_{vi} kPa	锚固力 T_{di} kN/m	筋材拉力 T_i kN/m
17	9.9	3.8	49.2	203.8	3.7
16	9.3	4.2	60.1	269.5	8.2
15	8.7	4.5	71.1	342.5	10.8
14	8.1	4.8	82.0	422.9	13.4
13	7.5	5.1	93.0	510.6	16.1
12	6.9	5.4	104.0	605.7	18.7
11	6.3	5.7	114.9	708.2	21.3
10	5.7	6.0	125.9	818.1	23.9
9	5.1	6.3	136.8	935.3	26.6
8	4.5	6.7	147.8	1059.9	29.2
7	3.9	7.0	158.8	1191.9	31.8
6	3.3	7.3	169.7	1331.2	34.4
5	2.7	7.6	180.7	1477.9	37.0
4	2.1	7.9	191.6	1632.0	39.7
3	1.5	8.2	202.6	1793.4	42.3
2	0.9	8.5	213.6	1962.2	44.9
1	0.3	8.8	224.5	2138.4	47.5

A.2.5.5 加筋材料与面板连接强度评价

连接强度的验算需要了解具体情况下筋材与面板的连接强度 T_{ac} ，一般由室内实验确定，并满足式（32）的要求。

A.2.6 其他需要考虑的设计内容

本例未涉及具体面板形式。可以根据环境条件、当地使用经验和料源等确定面板形式，增加生态美化效果。另外应进行排水设计（略）。

参 考 文 献

- [1] BS 8006-1:2010, Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. (英国标准《加强/加筋土和填料应用规范》)
- [2] Ryan R. Berg, Barry R. Christopher, and Naresh C. Samtani. Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes. Publication No. FHWA-NHI-10-024, 2009. 11 (《力学加固土挡墙与加筋土边坡设计与施工》)
- [3] 杨广庆, 徐超, 张孟喜主编. 土工合成材料加筋土结构应用技术指南. 北京: 人民交通出版社, 2015.