

ICS 点击此处添加 ICS 号
点击此处添加中国标准文献分类号

DB14

山 西 省 地 方 标 准

DB XX/ XXXXX—XXXX

黄土地区公路加筋土桥台技术规范

Technical specification for geosynthetic reinforced soil bridge abutments for highway
in loess area

(征求意见稿)

(本稿完成日期: 2025-2-20)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX

发 布

目 录

前 言	II
1 总则	1
2 术语和定义	1
3 基本规定	2
4 材料	2
4.1 一般规定	2
4.2 筋材	3
4.3 填料	3
4.4 墙面	3
4.5 其它材料	4
5 设计计算	4
5.1 一般规定	4
5.2 结构形式	5
5.3 荷载计算	7
5.4 外部稳定性验算	9
5.5 内部稳定性验算	13
6 施工方法	14
6.1 一般规定	14
6.2 施工准备	15
6.3 场地清理	15
6.4 加筋土基础	15
6.5 填料压实	16
6.6 筋材铺设	16
6.7 墙面修筑	16
6.8 台座施工	16
6.9 梁板放置	17
6.10 引道	17
6.11 排水	17
7 质量检验和验收	17
7.1 一般规定	17
7.2 监测	17
7.3 施工检验	18
7.4 质量检验	19
7.5 验收资料	20

前 言

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

本标准由山西省交通运输厅提出。

本标准由山西省交通运输标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：山西交通科学研究院集团有限公司、武汉大学、山西省智慧交通研究院有限公司。

本标准主要起草人：张军、郑焯炜、孙志杰、郑俊杰、赵紫阳、郭文灏、杨烜宇、贾亚飞、邓嘉隆。

黄土地区公路加筋土桥台技术规范

1 总则

- 1.0.1 为规范黄土地区公路加筋土桥台的设计与施工，提高工程的安全性、耐久性和经济性，推动绿色低碳技术的发展，促进加筋土结构的应用，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于黄土地区公路工程中加筋土桥台结构设计、施工及相关技术要求。铁路工程可参照执行。
- 1.0.3 加筋土桥台的设计与施工应因地制宜，充分考虑黄土地区的特殊工程地质条件，合理选择加筋材料和施工工艺，以确保结构安全和长期性能。
- 1.0.4 加筋土桥台的设计应综合考虑工程地质与水文地质条件、地基承载特性、填料性能、筋材特性、环境影响及长期稳定性，确保结构的安全性、耐久性和适应性。
- 1.0.5 加筋土桥台的施工应符合规范化、标准化要求，宜采用信息化、智能化施工与监测技术，提高施工质量与运行安全性。
- 1.0.6 加筋土桥台的设计与施工，除应符合本规范外，尚应符合国家及行业现行相关标准的规定。

2 术语和定义

2.0.1 桥台（abutment）

位于桥梁两端，支承桥梁上部结构并与路堤相衔接的构筑物。桥台除承担桥梁上部结构荷载外，还具有抵挡台后填土压力、稳定桥头路基、确保桥面与路基平稳连接的作用。

2.0.2 土工合成材料（geosynthetics）

用于工程建设中，与土、岩石或其他材料接触的人工合成或天然聚合物材料的总称。包括土工织物、土工格栅、土工膜、土工复合材料等。

2.0.3 土工格栅

由抗拉单元结合形成的规则网格状土工合成材料，开孔部分可嵌入填料。根据材料和制造工艺的不同，可分为塑料土工格栅、玻纤土工格栅、聚酯经编土工格栅和钢塑土工格栅等。

2.0.4 筋材（reinforcement）

在岩土工程中用于改善土体力学性能、增强结构稳定性和承载能力的土工合成材料，简称筋材。

2.0.5 筋土复合体（geosynthetics-soil composite）

通过土工合成材料加筋后，由分层压实填料构成的加筋土复合结构。筋材的竖向间距通常不大于 30 cm，以增强土体整体性和承载能力。

2.0.6 加筋土桥台（geosynthetic reinforced soil abutment, GRS abutment）

由筋土复合体与墙面等构成的桥台或桥台的一部分，同时支承桥梁上部结构和引道路基，并承担桥梁、路基及挡土体水平荷载的加筋土桥台，与桥梁上部结构和引道路基共同构成桥梁系统。加筋土桥台一般由桥台墙面和两侧翼墙组成，特殊情况下翼墙可减少或省略。

2.0.7 加筋土基础（reinforced soil foundation, RSF）

位于加筋土桥台下部，由加筋土构成，用于承受上部结构荷载的基础系统。

2.0.8 正墙（facing wall）

加筋土桥台中位于桥梁结构正下方与筋材（如土工织物或土工格栅）连接的墙面。

2.0.9 翼墙（wing wall）

加筋土桥台中位于桥台两侧与正墙连接并呈一定角度布置的墙面。

2.0.10 承载区缩进距离（setback of bearing area）

加筋土桥台顶部直接承担桥梁结构荷载的区域与墙面之间的水平净距离，简称“缩进距离”。

2.0.11 引道路基（approach subgrade）

连接桥梁与常规路基的过渡段路基，用于减少桥台与路基之间的不均匀沉降。

2.0.12 加筋土挡墙（reinforced soil retaining wall）

利用土工合成材料加筋土修建的挡土结构，用于支撑天然或人工斜坡，防止土体失稳，确保边坡安全。

3 基本规定

3.0.1 加筋土桥台的结构选型应符合公路桥梁工程的功能需求，并综合考虑结构荷载特性、地基条件、工程地质与水文地质环境、黄土地区特殊地质特性、施工工艺及长期运营维护要求。

3.0.2 加筋土桥台宜用于地质条件较好、地基承载力满足要求的黄土地区公路桥梁工程。适用于单跨跨径不大于30 m、桥台高度不大于10 m的中小跨径桥梁。当桥梁跨径或桥台高度超出该范围时，应进行专项研究，并采取必要的设计优化措施。

3.0.3 加筋土桥台用于受冲刷、侵蚀、滑坡及膨胀性黄土影响严重的区域应采取相应的防护与加固措施，并进行专项安全评估。

3.0.4 加筋土桥台的设计应基于充分的岩土工程勘察，查明桥址范围内的工程地质、水文地质条件以及填料料源，确保填料满足承载力和耐久性要求。

3.0.5 加筋土桥台的材料应满足耐久性、环保性和耐候性要求，并宜采用可再生或环境友好的材料。筋材应具备良好的耐久性，并满足使用年限内的强度及变形要求。

3.0.6 加筋土桥台的设计应采用极限状态设计法进行承载能力与变形验算，并结合实际工况进行荷载-变形分析，确保结构的稳定性和长期性能。

3.0.7 加筋土桥台施工前，应编制专项施工组织方案，并明确填料、筋材、施工工艺及质量控制措施。施工过程中应严格执行分层填筑与压实工艺，确保结构性能符合设计要求。

3.0.8 加筋土桥台施工质量应按照规范要求进行检测，检测项目应包括筋材铺设质量、填料压实度、结构变形控制等，检测频率应符合相关标准的要求。

3.0.9 加筋土桥台宜进行施工期监测，并结合现场情况合理布设监测点。对于重要及复杂的加筋土桥台，应制定详细的监测方案，并兼顾运营期的长期监测需求。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 加筋土桥台的主要材料包括加筋材料、填料（填土）、墙面材料及根据工程需要采用的防渗、排水、反滤及其他功能性材料。主要材料和不可更换的功能性材料应满足耐久性要求，并适应黄土地区的环境特征。

4.1.2 加筋土桥台的材料应满足本规范要求，并符合现行国家及行业标准的相关规定，包括但不限于：筋材应符合《公路工程土工合成材料 第 1 部分：土工格栅》（JT/T 1432.1）、《公路工程土工合成材料 第 2 部分：土工织物》（JT/T 1432.2）等标准的相关规定；填料（填土）应符合《公路路基设计规范》（JTG D30）的相关要求；混凝土或钢筋混凝土应根据结构功能和使用部位选取合适的强度等级，并符合《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）的规定。

4.1.3 加筋土桥台的材料选择应结合黄土地区特殊工程地质条件，重点考虑黄土湿陷性、结构强度及长期稳定性。材料的适用性应通过室内试验或现场试验验证，确保满足工程要求。

4.2 筋材

4.2.1 筋材应根据加筋土桥台的受力特性、结构类型、施工工艺及环境条件合理选择。

4.2.2 筋材的性能指标应符合现行国家和行业标准的规定，具备良好的耐久性、耐候性、抗老化性能及抗化学腐蚀能力。相关性能测试应符合现行相关标准的规定。

4.2.3 加筋土桥台宜采用有纺土工织物或土工格栅作为筋材。其中，有纺土工织物的经纬向抗拉强度比宜介于 0.9~1.1 之间，筋材的抗拉强度标准值一般不应低于 70 kN/m，并应具备较低的蠕变特性，以减少长期变形影响。

4.2.4 采用单向土工格栅时，其主要受力方向应垂直于正墙；采用双向土工格栅时，应优化铺设方式，减少重叠面积，并防止筋材之间发生滑移。

4.2.5 筋材的铺设应符合设计要求，并采取必要的防护措施。

4.3 填料

4.3.1 填料的选择应根据使用部位及施工环境进行适当调整。填料应选择坚硬且不易破碎的砂土、碎石、砾石等无机材料，避免使用如页岩、泥炭、淤泥、盐渍土、垃圾等不符合要求的材料。

4.3.2 填料应符合高速公路所用粒料的粒径和质量要求，且不应含有机物、有害物质或易碎颗粒。

4.3.3 应根据设计的排水要求、压实和抗剪强度要求选择填料级配。对于排水要求较高的区域，宜采用级配不良的碎石、砾石填料；对于压实性和抗变形要求较高的区域，宜采用级配良好的砂、碎石填料。两种级配填料的选择可根据具体工程要求和施工环境进行调整，内摩擦角应 $\geq 38^\circ$ 。

4.3.4 不良级配填料应主要由单一粒径的颗粒组成，宜使用干净且棱角分明的颗粒。填料的 $\text{最大粒径} \leq 5 \text{ cm}$ ；填料的细粒含量应 $< 5\%$ 。

4.3.5 对于含细粒的不良级配填料， 最大粒径 应在 1.3~2cm 之间，以保证该填料能够比良好级配的填料更加容易摊铺、平整和压实；

4.3.6 良好级配填料的粒径应分布均匀，细粒含量宜 $\leq 12\%$ 。填料的不均匀系数应 ≥ 5 ，曲率系数应在 1~3 之间。填料中的最大骨料粒径应在 1.3~5 cm 之间。。

4.3.7 对于临水环境中的桥台，应选用透水性较好的填料，确保水流不会影响桥台的稳定性。填料的渗透系数应 $\geq 10^{-5} \text{ m/s}$ 。

4.4 墙面

4.4.1 墙面应具有足够的强度和稳定性，以确保加筋土桥台的整体稳定性和耐久性。

4.4.2 墙面形式应根据加筋土桥台的类型、设计要求和施工条件选定。常见墙面形式包括：混凝土干砌模块式墙面、模块式挡土墙墙面和现浇混凝土墙面等。

4.4.3 混凝土强度应满足设计要求，采用板式或整体式面板时，混凝土强度等级不应低于 C30；采用砌块式面板时，混凝土强度等级不应低于 C20。

4.4.4 采用摩擦连接的墙面（如干砌混凝土砌块墙面）时，筋材与墙面之间的摩擦系数宜为 0.6~0.8，且摩擦连接强度应满足设计要求。

4.4.5 采用机械连接的墙面（如模块式挡土墙墙面）时，连接节点的抗拉强度不应低于筋材的标准抗拉强度，且连接件应具备良好的抗腐蚀能力。

4.4.6 焊接钢筋面板、三角支架、支撑杆等构件应采用热轧光圆钢筋制作，钢筋型号不应低于HPB300，钢筋直径不应小于8mm。

4.5 其它材料

4.5.1 用于防渗或防水的材料宜选择PE土工膜或土工合成材料黏土垫（GCL）。

4.5.2 PE土工膜厚度不应小于0.25mm，并应在膜上、膜下设置保护层。GCL宜选用天然钠基膨润土，其单位面积质量不应小于4800g/m²。

4.5.3 用于加筋土桥台内部排水的材料可选择土工复合排水网、复合排水带、碎石盲沟、土工管等。排水体的通水能力应满足桥台内部排水需求，并确保长期排水性能。

4.5.4 用于过滤的材料宜选择无纺土工织物，单位面积质量不宜小于200g/m²，并应符合《土工合成材料应用技术规范》（GB/T 50290）的相关反滤性能要求。

4.5.5 采用土工膜作为防渗或防水材料时，宜在其上下铺设无纺土工织物作为保护层，以避免损坏。

4.5.6 用于加筋土桥台的钢网、钢筋网架及相关金属部件应进行防腐处理，宜采用热浸镀锌、环氧涂层或其他防腐涂层，以提高耐久性并减少环境腐蚀影响。

5 设计计算

5.1 一般规定

5.1.1 在进行加筋土桥台设计前，应完成以下工作，以确保设计合理性和安全性：

1 地形勘察：针对拟建场地开展详细的地形勘察，掌握场地的地形特征、起伏变化及周边环境条件，为桥台设计提供基础数据。

2 现有建筑及道路调查：对场地中现有的建筑物、道路、地下管线及其他设施进行调查，评估其对加筋土桥台的影响，并确保设计的可行性。

3 地质勘察：按照《岩土工程勘察规范》（GB 50021）、《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）、《铁路工程地质勘察规范》（TB 10012）等现行标准开展地质勘察，获取以下必要参数：

4 地基土性质：包括地基土的重度、有效内摩擦角、黏聚力、不排水抗剪强度、压缩指数、再压缩指数及渗透系数等。

5 支挡区土体性质：包括土体的重度、有效内摩擦角及黏聚力等，以评估其对加筋土桥台稳定性的影响。

6 地下水条件：包括地下水位埋深、地下水补给情况、潜在的地下水流速及水化学成分，以评估其对桥台长期稳定性的影响。

5.1.2 加筋土桥台的类型及形式应依据桥梁工程的功能、跨度、荷载条件、地基特性及环境约束等因素综合确定。

5.1.3 应依据地质勘察结果，合理选择地基处理方案，并评估地基承载力、沉降特性及稳定性。设计计算中应考虑不同土层的特性变化，确保设计参数符合实际工程情况。

5.1.4 桥梁上部结构的设计应符合《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）和《铁路桥涵设计规范》（TB 10002.1）的相关规定。

5.1.5 加筋土桥台设计流程可参考图5.1.5，具体步骤如下：

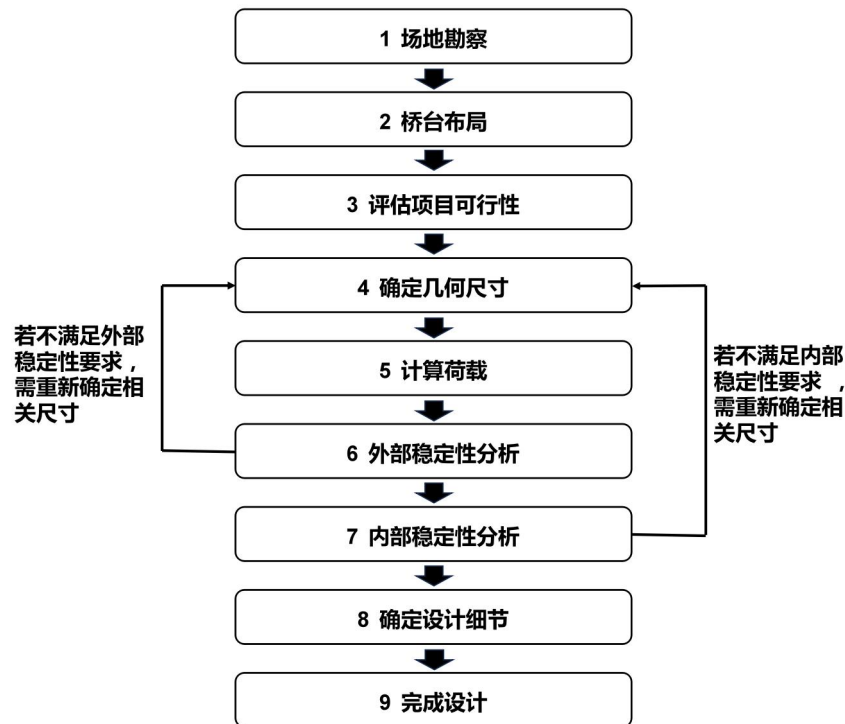


图 5.1.5 设计流程

5.2 结构形式

5.2.1 加筋土桥台结构形式如图5.2.1-1所示，设计需遵循以下步骤：

1. 确定桥台高度和正墙和翼墙的几何形状：

- 加筋土桥台高度 (H)，应根据地形、地基条件和桥梁的净空要求确定，同时应考虑桥台压缩和地基沉降的影响。
- 加筋土桥台的正墙与翼墙应根据桥梁结构特点确定几何形状，并优化结构受力。
- 翼墙宜与正墙垂直，正墙和翼墙的筋材层位在高程上应保持一致。
- 翼墙长度不宜小于正墙顶部加筋长度，同时兼顾桥台与常规道路路基之间的过渡关系。

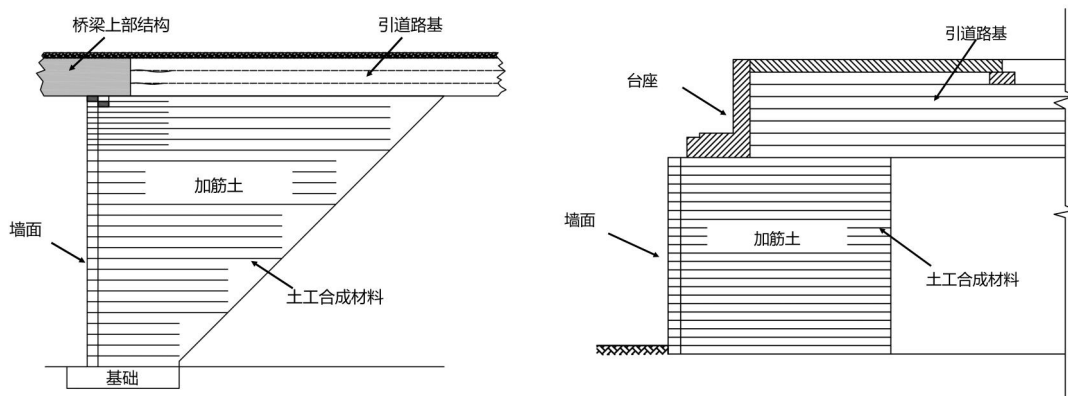


图 5.2.1-1 加筋土桥台结构形式示意图

2. 确定与上部结构相关的桥台几何尺寸满足下列要求（图5.2.1-2）：

- 桥跨 L_{span} 大于或等于 7.6m 时，承载区最小宽度 b 应大于 0.76m。桥跨 L_{span} 小于 7.6m 时，承载区最小宽度 b 为 0.61m；

- b) 承载区缩进距离 (a_b) 不得小于 0.2m; 当桥跨较长或上部结构荷载较大时, 可适当增大承载区缩进距离, 但缩进距离不宜超过 0.6m。
- c) 若无支承台座, 墙面模块的顶部到上部结构底部之间的距离 (d_e) 应为 0.76m 和桥台高度的 2% 中的最大值;

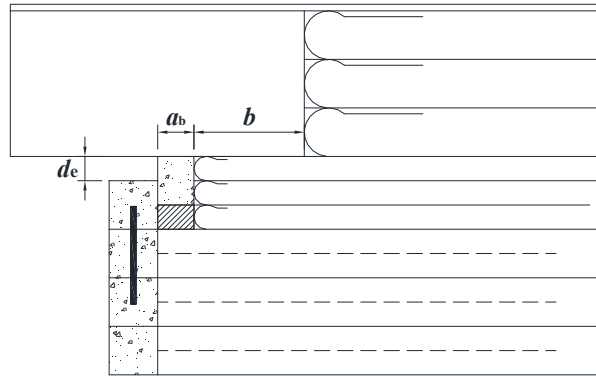


图 5.2.1-2 承载区缩进距离、台座宽度和墙面顶端至梁底面距离

3. 加筋土桥台基础的尺寸应符合如下规定 (图5.2.1-3) :

- a) 当桥跨 L_{span} 大于或等于 7.6m 时, 基础宽度 B_{total} 不应小于 1.8m。当桥跨 L_{span} 小于 7.6m 时, 基础宽度 B_{total} 不应小于 1.5m。
- b) 桥台底宽 (不含墙面宽度) 与桥台高度的比值 (B/H) 不应小于 0.3;
- c) 如果由桥跨长度确定的承载区宽度 b 大于 1.5m, 桥台底宽应满足 $B \geq b+2a_b$;
- d) 加筋土地基应适当延长超过墙面, 其超出长度 X_{RSF} 应不小于基础宽度 B_{total} 的四分之一;
- e) 对于存在水流冲刷的工程, 加筋土桥台的基础应当位于计算冲刷深度之上;
- f) 加筋土地基的厚度 D_{RSF} 应大于 0.45m, 且小于基础宽度 B_{total} 的四分之一; 当基岩或坚硬土层埋深较浅时, 可以取消加筋土地基, 将桥台直接坐落在坚硬地基上。

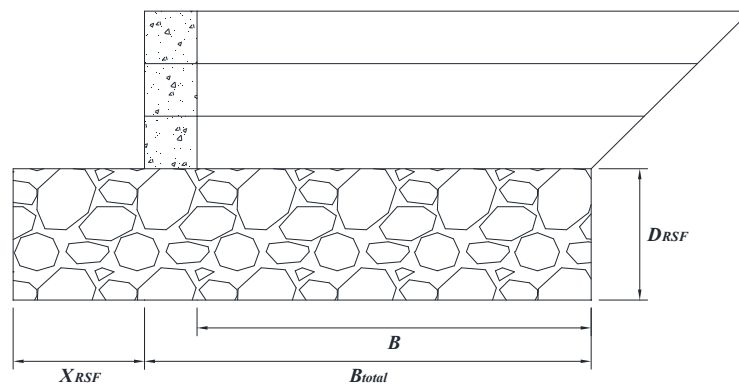


图 5.2.1-3 加筋土地基几何尺寸

4. 加筋土桥台中所用筋材长度和筋材竖向间距应满足下列要求:

- a) 加筋土桥台的筋材铺设方式可采用矩形铺设方式 (各层筋材长度相等) 或梯形铺设方式 (从底层到顶层依次加长) ;
- b) 采用矩形铺设方式的加筋土桥台的筋材长度应不小于 0.7 倍的墙高, 即 $0.7H$;
- c) 采用梯形铺设方式的加筋土桥台最底层筋材长度应不小于 B_{total} ; 最底层筋材长度确定以后, 按给定加筋间距、沿 1:1 坡率向上逐渐延长筋材长度, 直到筋材长度不小于 $0.7H$;

d) 筋材竖向间距 (S_v) 应小于 0.3m, 宜取 0.2m; 承载区正下方不小于 1.0m 的深度范围内的筋材间距宜采用附加筋材进行局部加密。局部加筋的筋材长度应跨越上部结构与连接路基的接触面, 且不应小于 $b+2a_b$ 。

5. 加筋土桥台承载区可设置各类桥梁台座, 也可设置为不小于 0.1m 厚的反包式加筋土; 反包式加筋土的筋材长度应不小于承载区正下方的附加筋材长度;

6. 连接路基应采用加筋土复合体填筑, 加筋间距不应超过 0.3m, 筋材应在桥梁端部或台帽背墙处反包。连接路基内的主筋应延伸到挖方边坡处或桥台与被挡填土接触面, 但顶部 2 层筋材应跨越挖方坡口或桥台与被挡填土接触面至少 1.0m。

5.2.2 依据桥台高度、桥梁跨度等, 确定工程重要性等级和加筋土桥台重要性系数 (γ_0), 对于桥台高度大于等于 8m 或桥跨长度大于等于 30m 的桥台, 其重要性系数宜取 1.10; 其他宜取 1.05。

5.3 荷载计算

5.3.1 加筋土桥台的荷载计算应考虑结构自重、交通荷载、及其他特殊荷载, 并结合黄土地区的地质特性进行适当调整。

其中, 加筋土桥台中加筋土桥台结构自重、交通荷载如图 5.3.1 所示。

图中: q_{DL} 为桥梁上部结构恒载;

q_{LL} 为施加在桥梁上部结构的交通荷载;

q_{rb} 为引道(桥)路基在加筋土桥台上部引起的荷载;

q_t 为施加在引道路基上方的交通荷载(活荷载);

$\sigma_{h,bridge}$ 为桥梁上部结构恒载在加筋土桥台内部引起的侧向土压力;

$\sigma_{h,rb}$ 为引道路基在加筋土桥台上部所引起荷载在加筋土桥台内部引起的侧向土压力;

$\sigma_{h,t}$ 为引道路基上交通荷载(活荷载)在加筋土桥台内部引起的侧向土压力;

$\sigma_{h,W}$ 为加筋土桥台内加筋土自重引起的侧向土压力。

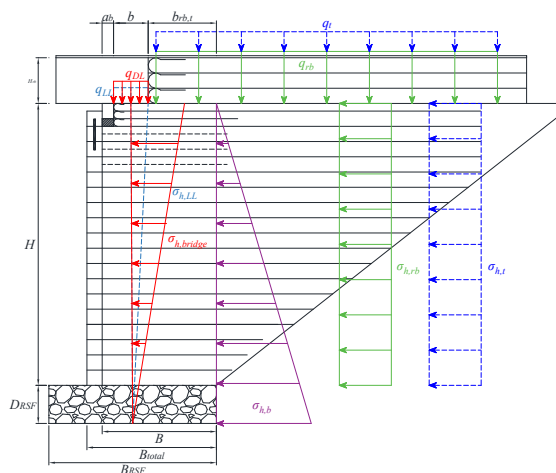


图 5.3.1 加筋土桥台荷载示意图

5.3.2 加筋土桥台顶部承载区承受的竖向荷载 ($q_{v,bridge}$), 包括桥梁上部结构静载和桥面上的可变荷载, 应按式 (5.3.2-1) 计算:

$$q_{v,bridge} = q_{DL} + q_{LL} \quad (5.3.2-1)$$

5.3.3 施加在引道路基上和桥梁上部结构的交通荷载, 可简化为等效上覆土层, 并在加筋土桥台内部引起等效侧向土压力, 等效上覆土层的厚度取决于加筋土桥台的高度 H , 其取值可参考表 5.3.3-1。

表 5.3.3-1 引道路基上活荷载的等效上覆土层厚度

H (m)	h_{eq} (m)
1.5	1.2
3.0	1.0
≥ 6.0	0.6

5.3.4 加筋区域内深度 z 处由桥梁上部结构静载和桥面上的可变荷载引起的应力分布如图5.3.4-1所示，该部分荷载引起的水平应力可通过式（5.3.4-11）到式（5.3.4-5）计算：

$$\Delta\sigma_{h,bridge} = K_a \Delta\sigma_{v,bridge} \quad (5.3.4-1)$$

$$K_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (5.3.4-2)$$

$$\Delta\sigma_{v,bridge} = \frac{P_v}{D_1} \quad (5.3.4-3)$$

$$D_1 = b + z, \quad z \leq z_2 \quad (5.3.4-4)$$

$$D_1 = \frac{z}{2} + a_b + b, \quad z > z_2 \quad (5.3.4-5)$$

式中：
 K_a —— 填料的主动土压力系数；
 φ —— 填料摩擦角（°）；
 P_v —— 承载区承受的竖向荷载（kN/m）；
 D_1 —— 深度处荷载作用的有效宽度（m）；
 z_2 —— 有效宽度与桥台墙面相交处的深度（m）；
 b —— 承载区宽度（m）；
 a_b —— 承载区缩进距离（m）。

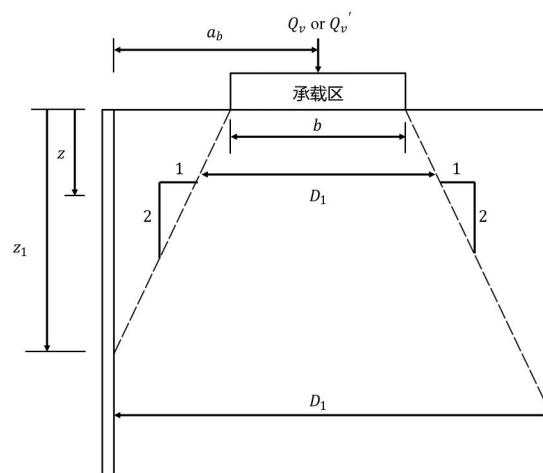


图 5.3.4-1 加筋区域内应力分布

5.3.5 加筋土桥台支承的永久性荷载包括桥梁上部结构引起的荷载、引道路基引起的荷载，以及墙面自重引起的荷载（验算加筋土地基稳定性时考虑）。其中桥梁上部结构恒载由梁、沥青、覆盖层、护栏以及其他能够引起永久性荷载的结构共同引起。

墙面作用于加筋土地基和地基上的荷载有助于抵抗侧向土压力。模块式墙面自重可以根据式（8）计算：

$$W_{face} = N_{block} \frac{W_{block}}{L_{block}} \quad (8)$$

式中： N_{block} —— 模块层数；
 W_{block} —— 单块模块自重（kN/m）；
 L_{block} —— 模块宽度（m）。

5.4 外部稳定性验算

5.4.1 加筋土桥台的外部稳定性验算包括桥台抗水平滑动验算和地基承载力验算。

5.4.2 当使用加筋土基础时，应在加筋土桥台和加筋土基础之间、加筋土基础和地基之间针对水平滑动破坏模式进行抗滑稳定性验算。加筋土桥台直接在地基上建造时，应在加筋土桥台和地基之间进行相关分析。

5.4.3 加筋土桥台与加筋土基础之间抗滑稳定性验算应符合以下规定，加筋土基础和地基之间的抗滑稳定性验算可参照执行：

1 桥台的抗水平滑动安全系数按式（5.4.3-1）计算：

$$FS_s = \frac{R_n}{\gamma_0 F_n} \quad (5.4.3-1)$$

式中： FS_s —— 抗滑安全系数，可取1.5；
 R_n —— 水平抗力（kN/m）；
 F_n —— 水平推力（kN/m）。
 γ_0 —— 加筋土桥台结构的重要性系数。

2 水平推力应包含支挡区填料、引道路基和引道上活荷载分别引起的侧向土压力 F_b 、 F_{rb} 和 F_t ：

$$F_b = \frac{1}{2} \gamma_b K_{ab} H^2 \quad (5.4.3-2)$$

$$F_{rb} = q_{rb} K_{ab} H \quad (5.4.3-3)$$

$$F_t = q_t K_{ab} H \quad (5.4.3-4)$$

式中： γ_b —— 支挡区填料的重度（kN/m³）；
 K_{ab} —— 支挡区填料主动土压力系数；
 H —— 包含墙面顶端至梁底面距离的加筋土桥台总高（m）；
 q_{rb} —— 引道路基在加筋土桥台上部引起的荷载（kPa）；
 q_t —— 施加在引道路基上方的活荷载（kPa）。

3 水平推力应根据式（5.4.3-5）计算：

$$F_n = F_b + F_{rb} + F_t \quad (5.4.3-5)$$

4 加筋土桥台底部抗滑力 R_n 根据式（5.4.3-6）计算：

$$R_n = \mu W_{T,R} \quad (5.4.3-6)$$

式中： μ —— 加筋土桥台与加筋土地基之间的摩擦系数，等于填料与筋材之间摩擦角的正切值；
 $W_{T,R}$ —— 作用在加筋土地上表面的总垂直力（kN/m）。

5 填料与筋材之间摩擦角应通过界面直剪试验测得，若设计阶段没有该参数，可通过以下经验公式计算：

$$\mu = \frac{2}{3} \tan(\varphi_r) \quad (5.4.3-7)$$

式中： φ_r —— 填料摩擦角（°）。

6 $W_{T,R}$ 包括加筋土桥台中填料自重、桥梁上部结构在台座上施加的荷载、墙面自重和引道路基在加筋土桥台上施加的荷载四部分，按照式（5.4.3-8）计算：

$$W_{T,R} = W + q_{DL}b + W_{face} + q_{rb}b_{rb,t} \quad (5.4.3-8)$$

式中： W —— 加筋土桥台自重（kN/m）；
 q_{DL} —— 桥梁上部结构恒载（kPa）；
 b —— 台座宽度（m）；
 W_{face} —— 墙面自重（kN/m）；
 q_{rb} —— 引道路基作用在加筋土桥台上的恒载（kPa）；
 $b_{rb,t}$ —— 引道路基在台座筋材上的搭接长度（m）。

7 加筋土桥台自重 W 按照式（5.4.3-9）计算：

$$W = \gamma_r HB \quad (5.4.3-9)$$

式中： γ —— 土工合成材料加筋土容重（kN/m³）；
 H —— 包含墙面顶端至梁底面距离的加筋土桥台总高（m）；
 B —— 加筋土桥台宽度（m）。

当加筋土桥台与加筋土基础之间抗滑稳定性验算不满足要求时，应考虑加长加筋土桥台底部筋材，进而加宽加筋土桥台。

5.4.4 加筋土基础与地基之间抗滑稳定性验算：

支挡区填料、引道路基和引道上活荷载分别在加筋土桥台和加筋土基础上引起的侧向土压力 $F_{b,RSF}$ 、 $F_{rb,RSF}$ 和 $F_{t,RSF}$ ，按照式（5.4.4-1）~（5.4.4-3）计算：

$$F_{b,RSF} = \frac{1}{2} \gamma_b K_{ab} (H + D_{RSF})^2 \quad (5.4.4-1)$$

$$F_{rb,RSF} = q_{rb} K_{ab} (H + D_{RSF}) \quad (5.4.4-2)$$

$$F_{t,RSF} = q_t K_{ab} (H + D_{RSF}) \quad (5.4.4-3)$$

式中： D_{RSF} —— 加筋土基础厚度（m）。

水平推力应根据式（5.4.4-4）计算：

$$F_{R,RSF} = F_{b,RSF} + F_{rb,RSF} + F_{t,RSF} \quad (5.4.4-4)$$

加筋土桥台底部抗滑力 $R_{R,RSF}$ 根据式（5.4.4-5）计算：

$$R_{R,RSF} = \mu_{RSF} W_{T,R,RSF} \quad (5.4.4-5)$$

式中：
 μ_{RSF} —— 加筋土基础与地基之间的摩擦系数，可取 μ ；
 $W_{T,R,RSF}$ —— 作用在地基上的总垂直力（kN/m）。

$$W_{T,R,RSF} = W_{T,R} + W_{RSF} \quad (5.4.4-6)$$

式中：
 W_{RSF} —— 加筋土基础自重（kN/m）。

$$W_{T,R,RSF} = B_{RSF} D_{RSF} \quad (5.4.4-6)$$

式中：
 B_{RSF} —— 加筋土基础宽度（m）。

当加筋土基础与地基之间抗滑稳定性验算不满足要求时，应考虑加长加筋土桥台底部筋材，进而加宽加筋土桥台。

5.4.5 基底压应力验算应符合以下规定：

$$FS_b = \frac{q_n}{\gamma_0 \sigma_{v,base}} \quad (5.4.5-1)$$

式中：
 FS_b —— 地基承载力安全系数，可取2.5；
 q_n —— 地基极限承载力（kPa）；
 $\sigma_{v,base}$ —— 地基上受到的竖向应力（kPa）。

当使用加筋土基础时，施加在基底的压应力源自加筋土桥台自重、加筋土基础自重、桥梁上部结构恒载、引道路基恒载以及作用在桥梁上部结构和引道路基的活荷载。施加在基底的压应力根据 Meyerhof 理论进行计算：

$$\sigma_{v,base} = \frac{\sum V_R}{B_{RSF} - 2e_{B,R}} \geq 1.0 \quad (5.4.5-2)$$

式中：
 $\sum V_R$ —— 施加在地基上的总垂直力（kN/m）；
 B_{RSF} —— 加筋土基础宽度（m）；
 $e_{B,R}$ —— 偏心距（m）。

$$\sum V_R = W + W_{RSF} + W_{face} + q_t b_{rb,t} + q_{rb} b_{rb,t} + q_{DL} b + q_{LL} b \quad (5.4.5-3)$$

式中：
 W —— 加筋土桥台自重（kN/m）；
 W_{RSF} —— 加筋土基础自重（kN/m）；
 W_{face} —— 墙面自重（kN/m）；
 q_t —— 施加在引道路基上方的活荷载（kPa）；
 $b_{rb,t}$ —— 引道路基在台座筋材上的搭接长度（m）；
 q_{rb} —— 引道路基作用在加筋土桥台上的恒载（kPa）；

- q_{DL} —— 桥梁上部结构恒载 (kPa) ;
 b —— 台座宽度 (m) ;
 q_{LL} —— 桥梁上部结构活荷载 (kPa) 。

$$e_{B,R} = \frac{\Sigma M_{D,R} - \Sigma M_{R,R}}{\Sigma V_R} \geq 1.0 \quad (5.4.5-4)$$

- 式中: $\Sigma M_{D,R}$ —— 驱动总弯矩 (kN·m) ;
 $\Sigma M_{R,R}$ —— 抵抗总弯矩 (kN·m) 。

式 (5.4.5-5) 和式 (5.4.5-6) 对于加筋土基础宽度中心取弯矩。若 $e_{B,R}$ 为负值, 在式 (5.4.5-2) 中应代入 0。

$$\Sigma M_{D,R} = F_{b,RSF} \left(\frac{H+D_{RSF}}{3} \right) + F_{t,RSF} \left(\frac{H+D_{RSF}}{2} \right) + F_{rb,RSF} \left(\frac{H+D_{RSF}}{2} \right) \quad (5.4.5-5)$$

$$\Sigma M_{R,R} = (q_{DL}b + q_{LL}b) \left[\left(\frac{b}{2} + a_b \right) - \left(\frac{B_{RSF}}{2} - x_{RSF} - b_{block} \right) \right] + (q_t b_{rb,t} + q_{rb} b_{rb,t}) \left(\frac{B_{RSF}}{2} - \frac{b_{rb}}{2} \right) + W \left(\frac{B_{RSF}}{2} - \frac{B}{2} \right) + W_{face} \left(B + \frac{b_{block}}{2} - \frac{B_{RSF}}{2} \right) \quad (5.4.5-6)$$

- 式中: b_{block} —— 墙面模块的宽度 (m) 。

地基承载力按照式 (5.4.5-7) 计算, 承载力系数可参考表 5.4.5-1 取值:

$$q_R = \Phi_{bc} (c'_f N_c + \frac{1}{2} B' \gamma'_f N_\gamma + \gamma'_f D_f N_q) \quad (5.4.5-7)$$

- 式中: c'_f —— 地基土体黏聚力 (kPa) ;
 γ'_f —— 地基土体有效重度 (kN/m³) ;
 B' —— 地基有效宽度 (m) ;
 D_f —— 埋置深度 (m) ;
 N_c, N_γ, N_q —— 承载力系数;
 Φ_{bc} —— 折减系数, 0.65。

表 5.4.5-1 承载力系数

φ'_f	N_c	N_q	N_γ	φ'_f	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0	23	18.1	8.7	8.2
1	5.4	1.1	0.1	24	19.3	9.6	9.4
2	5.6	1.2	0.2	25	20.7	10.7	10.9
3	5.9	1.3	0.2	26	22.3	11.9	12.5
4	6.2	1.4	0.3	27	23.9	13.2	14.5
5	6.5	1.6	0.5	28	25.8	14.7	16.7
6	6.8	1.7	0.6	29	27.9	16.4	19.3
7	7.2	1.9	0.7	30	30.1	18.4	22.4
8	7.5	2.1	0.9	31	32.7	20.6	26.0
9	7.9	2.3	1.0	32	35.5	23.2	30.2
10	8.4	2.5	1.2	33	38.6	26.1	35.2

11	8.8	2.7	1.4	34	42.2	29.4	41.1
12	9.3	3.0	1.7	35	46.1	33.3	48.0
13	9.8	3.3	2.0	36	50.6	37.8	56.3
14	10.4	3.6	2.3	37	55.6	42.9	66.2
15	11.0	3.9	2.7	38	61.4	48.9	78.0
16	11.6	4.3	3.1	39	67.9	56.0	92.3
17	12.3	4.8	3.5	40	75.3	64.2	109.4
18	13.1	5.3	4.1	41	83.9	73.9	130.2
19	13.9	5.8	4.7	42	93.7	85.4	155.6
20	14.8	6.4	5.4	43	105.1	99.0	186.5
21	15.8	7.1	6.2	44	118.4	115.3	224.6
22	16.9	7.8	7.1	45	133.9	134.9	271.8

当地基承载力不满足要求时,应考虑增加加筋土桥台和加筋土基础的宽度,将地基土体换填为性质更好的土体,或增加埋置深度。

5.5 内部稳定性验算

5.5.1 加筋土桥台内部稳定性验算包括筋材抗拉强度和筋材抗拔稳定性验算,以及筋材与墙面的连接强度验算。

5.5.2 加筋土桥台筋材抗拉强度验算应符合下列规定。

1 筋材抗拉强度安全系数应按式(5.5.2-1)计算,筋材的容许抗拉强度按式(5.5.2-2)计算:

$$FS_r = \frac{T_a}{\gamma_0 T_{max}} \quad (5.5.2-1)$$

$$T_a = \frac{T_f}{RF} \quad (5.5.2-2)$$

式中: FS_r —— 筋材抗拉断安全系数,可取1.5;
 T_a —— 筋材容许抗的拉强度(kN/m);
 T_{max} —— 筋材承受的最大拉力(kN/m);
 γ_0 —— 加筋土桥台结构的重要性系数。
 RF —— 综合强度折减系数,宜考虑材料蠕变、施工损伤、长期老化等因素,应按筋材类别、填料情况和工作环境等通过试验测定;在无实测资料时,综合强度折减系数可取2.5~5.0,施工条件差、材料蠕变性大时取大值。

每层筋材承受的最大拉力 T_{max} 可按式(5.5.2-3)~(5.5.2-4)计算:

$$T_{max} = \sigma_h S_v \quad (5.5.2-3)$$

$$\sigma_h = K_a [\gamma_r (z + \Delta h + h_{eq})] + \Delta \sigma_{h,bridge} \quad (5.5.2-4)$$

式中: σ_h —— 加筋区域内深度 z 处的水平应力(kPa);
 S_v —— 筋材竖向间距(m);
 Δh —— 加筋区上方道路填土高度(m);
 h_{eq} —— 桥台上交通荷载等效土层厚度(m);
 K_a —— 填土的主动土压力系数;
 $\Delta \sigma_{h,bridge}$ —— 桥梁上部结构在桥台内部产生的水平应力(kPa)。

5.5.3 筋材抗拔出稳定性验算应符合下列规定。

1 假设加筋土桥台的潜在破裂面呈双折线，如图5.5.3-1 所示。

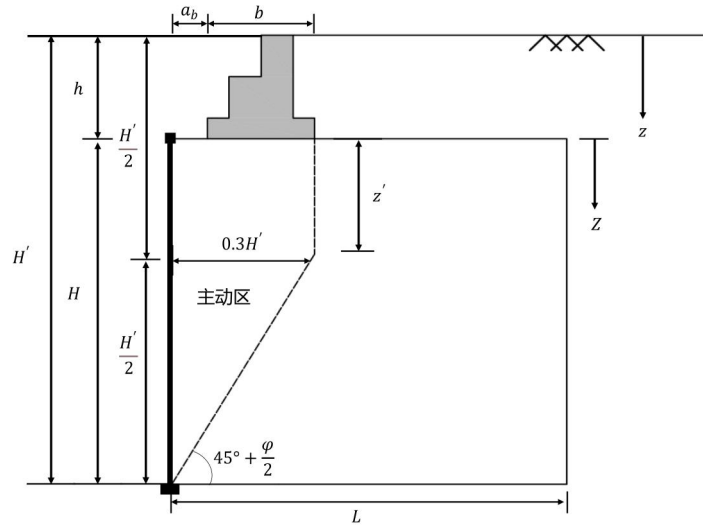


图 5.5.3-1 加筋土桥台的潜在破裂面

2 筋材抗拔出的安全系数按式 (5.5.3-1) 和 (5.5.3-2) 计算：

$$FS_p = \frac{2\alpha c_i \sigma_v L_e}{\gamma_0 T_{max}} \quad (5.5.3-1)$$

$$c_i = \frac{\tan \varphi_{sg}}{\tan \varphi} \quad (5.5.3-2)$$

式中：

- FS_p —— 筋材抗拔出安全系数，可取1.5；
- L_e —— 锚固段筋材长度 (m)；
- α —— 筋土界面尺寸效应系数，根据筋材拉拔试验确定；
- c_i —— 筋土界面相互作用系数；
- φ_{sg} —— 筋土界面等效摩擦角，宜通过拉拔试验确定；
- σ_v —— 筋材位置处的竖向应力 (kPa)。

3 筋材总长度 (L_r) 应通过式 (5.5.3-3) 和 (5.5.3-4) 计算：

$$L_r = L_a + L_e \quad (5.5.3-3)$$

式中： L_a —— 主动区筋材长度 (m)，参见图 5.5.3-1；

3 筋材与墙面之间连接强度的安全系数应按式 (5.5.3-5) 计算：：

$$FS_c = \frac{T_c}{T_{max}} \quad (5.5.3-1)$$

式中：

- FS_c —— 筋材与墙面之间连接强度安全系数，可取1.2；
- T_c —— 筋材与墙面之间的连接强度 (kN/m)，宜通过试验确定。

6 施工方法

6.1 一般规定

6.1.1 加筋土桥台施工时应符合《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650、《铁路路基工程施工安全技术规程》TB 10302、《铁路桥涵工程施工安全技术规程》TB 10303和《公路土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32的规定，并满足设计要求。

6.1.2 筋材和辅助材料在运输、储存、施工过程中的管理应符合下列规定，并建立明确的保管制度：

- 1 各种材料应分类保管，现场存放时应通风干燥，远离火源；
- 2 在运输、储存过程中，应避免筋材和辅助材料暴露在阳光下或被雨水淋泡。
- 3 施工中应合理选择施工机具和填料，减少施工对筋材和辅助材料的损伤。
- 4 对于因结构构造需要而裸露的易腐蚀或老化的材料，应采取防护措施。

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

6.1.4 施工过程中应加强加筋土桥台变形观测，发现异常应及时排查原因，并调整施工方法或采取有效应对措施。

6.1.5 各道施工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。

6.1.6 加筋土桥台与路基相接处应衔接合理、紧密，做到过渡平滑、安全稳固，并应置于稳定的基础上，必要时宜加临时支撑。

6.1.7 施工作业应严格执行安全操作规程。

6.2 施工准备

6.2.1 开工前，应进行技术交底，围绕加筋土桥台关键施工工艺对施工人员进行岗位培训。

6.2.2 开工前，应进行现场调查，根据施工地段的地形、地质、水文、气象、环境等条件，制定相应的安全和环境保护措施。

6.2.3 应根据现场调查、设计要求和项目工期，切实做好施工组织设计。

6.2.4 开工前，应进行测量放线，精确定加筋土桥台基础的位置，并校核加筋土桥台墙面的设计坡率。

6.2.5 开工前，应根据设计文件要求委托具有资质的单位进行检测，监理单位应进行抽检，合格后方可用于工程施工。

6.2.6 在加筋土桥台正式施工前，宜选择代表性工序进行试验施工，优化并确定施工工序和工艺参数。

6.3 场地清理

6.3.1 在铺设筋材之前，应对场地进行平整；

6.3.2 平整后的场地表面应无植被及块石，凹陷处应填平。若场地中存在软土等强度不足的区域，应进行换填作业并压实；

6.3.3 若地基中含有冻土，则在施工时需要开挖至冻土层处，并将冻土进行置换；

6.3.4 若地基深度有限，则可将表层 1m 挖除，并用加筋土基础进行处理；

6.3.5 当加筋土桥台的高度低于10m时，除非地基平整且地基的刚性较大，否则应在第一层模块下修筑水平垫层。水平垫层由路基材料压实而成，其厚度约为 150mm，宽度约为 450mm。水平垫层应使用轻型压实机进行压实，至少达到最大干密度的 95%；

6.3.6 加筋土桥台修建在河床上时，应使用抛石或其他保护措施以保护加筋土桥台免受冲刷和水流侵蚀。

6.4 加筋土基础

6.4.1 加筋土基础应由土工织物将墙面边与两侧翼墙边完全包裹；

6.4.2 工程临水且单张土工织物无法完成包裹作业时，第一张土工织物应放置于上游侧，后续土工织物置于其上并与其重叠最少 0.6m；

6.4.3 典型加筋土基础的筋材竖向间距为 0.3m；

6.4.4 在放置填料时，应拉紧筋材，且填料放置方向应保持由墙面向筋材自由端，以保证筋材平整；

6.4.5 加筋土基础修建完成后，应保证上表面平整以便放置墙面模块；

6.5 填料压实

6.5.1 每层填料厚度不应大于 30cm；

6.5.2 填料含水量应在最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内。如果填料的排水性较好（通过 200 目筛网的质量小于 5%）填料的含水量可控制在最佳含水量 $\pm 3\%$ 范围内；

6.5.3 施工碾压时，使用传统振动压路机进行三到五次碾压，但是实际的碾压次数应根据现场实际条件确定；

6.5.4 当填料为均匀的中细砂时，应使用静力光面压路机或轻型振动压实设备；

6.5.5 填料应铺平并压实，防止填料鼓起或筋材、墙面发生移动；

6.5.6 墙面附近填料的压实度应特别注意，该区域的压实度不应低于最大干密度的 90%；

6.5.7 墙面附近 0.5m 范围内必须使用手扶夯实设备，且该区域至少需要压实三次；

6.5.8 在加筋区内，禁止使用羊角碾类型的压实设备；

6.5.9 应逐层检验压实度是否满足标准；

6.5.10 每天施工结束时，最后一层的填料应向远离墙面方向倾斜，使雨水原理墙面。此外，地表径流应避免进入施工现场。

6.6 筋材铺设

6.6.1 加筋土桥台中常用的土工合成材料为土工格栅和土工织物。在使用前，土工合成材料不应长期暴露在阳光和极端温度下，破损或处理不当的土工合成材料不能在施工中使用；

6.6.2 土工合成材料应在拉伸的状态下被铺设，施工过程中，可通过U形钉等固定装置使筋材一直处于拉伸状态，直至筋材被 150mm 的填料层完全覆盖，才可取出固定装置；

6.6.3 加筋土桥台中铺设的筋材在垂直于墙面方向应为一整块完整筋材，并且筋材的设计强度方向不允许重叠，同时，相邻筋材的应合理铺设，以确保筋材完全覆盖在施工面上；

6.6.4 履带式施工车辆不得直接在土工合成材料上施工作业。在土工合成材料上操作履带车辆之前，要求填料厚度至少为 150 mm。同时车辆的转向应保持在最低速度，以防损坏或移动筋材；

6.6.5 轮式施工车辆应以低于 17km/h 的速度低速通过土工合成材料，并避免突然制动和急转弯；

6.6.6 台座应使用返包式加筋土修建，回折段筋材长度最少为 1.5m；

6.6.7 顶层筋材的返包长度应延伸至到筋材长度。

6.7 墙面修筑

6.7.1 混凝土模块的最低抗压强度为 28MPa，吸水率为 5%；

6.7.2 在冻融侵蚀易发区域使用的混凝土模块应进行冻融试验，要求经历 300 次冻融循环后不发生破坏；

6.7.3 为防止降低墙面结构强度并保证模块的正确摆放，所有混凝土模块应保证完好，无裂缝或其他缺陷；

6.7.4 暴露的混凝土模块在安装后应使用防水涂层进行密封，或在制造模块时加入抗冻剂，以提高抗冻融破坏的能力；

6.7.5 建议用混凝土将顶部两到三层模块粘合在一起。如果使用的是轻质模块，建议用混凝土砂浆填充三至四层模块，并用钢筋加固；

6.8 台座施工

6.8.1 台座厚度一般为 20cm，包含两层 10cm 返包式加筋土；

- 6.8.2 在修建台座之前，必须使用混凝土和钢筋将墙面顶部模块固定在一起；
- 6.8.3 台座施工应遵循先紧挨墙面放置泡沫板，而后在泡沫板上放置混凝土块，最后进行台座施工的程序。
- 6.8.4 在台座顶层中填充 1.2cm 粒径的碎石，以帮助桥梁上部结构最大程度的与承载区域接触；
- 6.8.5 在放置泡沫板时确定承载区缩进距离，一般为 20cm或更大。

6.9 梁板放置

- 6.9.1 当起重机械支撑板下荷载小于 200kPa 时，起重机械可以直接在加筋土桥台上靠近墙面处进行梁板放置作业，若大于 200kPa，必须增加支撑板与墙面的距离；
- 6.9.2 梁板放置要保证平整，禁止在台座表面拖动；
- 6.9.3 梁板放置作业结束后，才可以设置翼墙，翼墙尺寸应与桥梁上部结构相适应，减小梁板与桥台之间的缝隙，防止填料流失。

6.10 引道

- 6.10.1 引道路基所用填料应为良好级配填料；
- 6.10.2 引道路基应被筋材完全包裹，以免填料从侧面流失；
- 6.10.3 引道路基应按照先铺设筋材，然后放置15cm后填料并压实，接着铺设次级筋材，而后再放置15cm填料并压实，最后回折筋材完成包裹的施工顺序进行单层施工，之后循环进行作业直至距离桥梁上部结构顶面 5cm左右；
- 6.10.4 在路面铺装前，对引道路基进行预压有利于减小工后变形；
- 6.10.5 最上层筋材低于桥梁上部结构顶面 5cm，并通过填料将筋材与沥青隔开，防止筋材被损坏；
- 6.10.6 沥青铺装后，应在桥梁上部结构和引道路基表面铺设防水卷材，防水卷材应在桥梁上部结构上延伸1.0米以上。

6.11 排水

- 6.11.1 为了减少地表径流渗入桥台填料，应在桥台顶部设置缓坡，使水从桥台后方排出；
- 6.11.2 应在填料的背部和底部铺设颗粒排水材料和土工复合排水材料；
- 6.11.3 土工织物一般具有排水功能，使用土工织物的加筋土桥台工作面以下一般不需要额外的排水手段。

7 质量检验和验收

7.1 一般规定

- 7.1.1 加筋土桥台应实行全过程质量检验，包括材料进场检验、施工过程检验和完工后验收公路加筋土桥台工程应进行施工期和运营期的监测，以掌握桥台的工作状态，及时发现潜在问题并采取相应措施。
- 7.1.2 公路加筋土桥台工程应进行施工期和运营期的监测，以掌握桥台的工作状态，及时发现潜在问题并采取相应措施。
- 7.1.3 加筋土桥台监测方案的制定宜综合考虑场地的工程地质条件、水文地质条件、周边环境条件、设计方案等因素，并满足施工和运营的要求。

7.2 监测

7.2.1 对坐落于中等复杂或简单场地和地基上，且墙高不大于6m的加筋土桥台，宜对墙面水平和竖向位移、桥台顶部沉降进行监测。

7.2.2 对坐落于复杂场地和地基上，且墙高大于6m的加筋土桥台，监测项目、监测点布置和监测频率应符合下列规定：

1 监测项目、监测点布置应根据监测目的和要求综合确定，可按表7.2.2-1选定。

2 施工期的监测频率宜为1次/（1~3）天，运营期的监测频率宜为1次/（3~7）天，监测数据趋于稳定后，监测频率可为1次/月，监测周期宜为施工开始至运营后不少于一年。

表7.2.2-1 加筋土桥台监测项目

监测项目	监测点布置	监测目的
地基表面竖向位移	在地基强度低、地基条件复杂、挡墙高度大的断面，沿垂直墙面方向布置	监测地基沉降
桥台面板水平和竖向位移	在地基强度低、挡墙高度大的断面，沿墙高布置。	监测加筋土桥台变形
桥台顶部竖向位移	在桥台顶部沿边缘布置	监测加筋土桥台的工后沉降
筋材拉力和土压力	沿筋材长度方向布置	监测筋材受力状态

7.2.3 监测工作所处环境条件受限，监测频次高或需长期监测时，宜采用自动化监测。

7.2.4 监测工作应由具有相应资质的单位承担，监测单位应根据设计要求和工程实际情况编制详细的监测方案，经建设单位、设计单位和监理单位审批后实施。

7.2.5 监测设备应符合相关标准和规范的要求，在使用前应进行校准和检验，确保监测数据的准确性和可靠性。

7.2.6 监测单位应定期对运营期监测数据进行整理、分析和评估，编制监测报告，提交给建设单位和相关管理部门。

7.2.7 当监测数据出现异常或达到预警值时，监测单位应及时通知建设单位和相关管理部门，并提出相应的处理措施和建议。相关单位应根据监测结果和建议，及时采取措施，确保桥台的安全运营。

7.3 施工检验

7.3.1 材料进场时，应按设计要求对品种、级别、包装或散装仓号、批次、出厂日期、出厂检验报告和产品合格证等进行检查。

7.3.2 材料进场应对土工合成材料筋材的类型和强度参数进行检验，当采用土工格栅作筋材时，尚应符合现行《公路土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32的规定。土工合成材料筋材性能指标试验项目应符合表7.3.1-1的规定。

表7.3.1-1 土工合成材料筋材试验项目

试验项目	筋材
单位面积质量	△
厚度	△
孔径	■
几何尺寸	■
拉伸强度	■
延伸率	■

注：■为必做项目；△为选做项目。

7.3.3 施工前，应对填料的颗粒粒径、形状、含水量和持力特性等力学特性进行检验，不得含有腐殖土、草皮、树根等杂物，可参照《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610要求。

7.3.4 施工前，应对墙面模块的数量、类型、完整性、一致性和尺寸公差进行复检。

7.3.5 施工前，应对压实机械是否适用于填料，用于铺设筋材和填料的工具是否到场进行检查。

7.3.6 同一土工合成材料生产厂家、同一品种、同一等级、同一批号的材料，应每1000m²为一个检验批次，回填土应按每500t为一个检验批。各种材料不得少于两个检验批。

7.3.7 不同批次或不连续供应的土工合成材料，在不足一个检验批的情况下，应按同品种和同等级材料每批次检验1次。

7.3.8 应在施工前检查相关参考点是否已经布置或有详细计划：

- 1 桥梁上部结构中心线；
- 2 加筋土基础范围及高程参考线；
- 3 次级筋材承重区参考线；
- 4 翼墙宽度和长度；
- 5 墙面顶端至梁底面距离和承载区缩进距离
- 6 桥跨参考线；
- 7 台座参考线；
- 8 高程；
- 9 坡度。

7.3.9 施工过程应检查：

- 1 工作面：检查其稳定性和排水情况；
- 2 基坑开挖：应按照计划进行开挖，并在压实前重点查看是否存在软土分布区域；
- 3 加筋土基础：应重点查看重叠部分开口是否面向下游，以及三边是否包裹；
- 4 填料压实：应重点检查每层厚度是否超过设计厚度，压实度控制应通过现场密度试验进行；
- 5 筋材铺设：筋材铺设在设计位置，是否与模块间有足够大的接触面，铺设是否平整，次级筋材是否按照设计位置及尺寸铺设；
- 6 墙面模块安装：应重点检查其表面洁净程度，安装的模块是否对齐，墙面是否垂直或处于设计倾角；
- 7 筋材与墙面模块搭接：筋材的铺设方向、缝接状况、搭接长度和面板的连接状况等满足设计要求；
- 7 翼墙：翼墙是否与桥梁上部结构和已有墙面严丝合缝；
- 8 重型机械：重型机械在大面积暴露的筋材附近时，应谨慎工作，防止意外导致筋材受损；
- 9 台座：验证台座构造是否符合要求，并且具有符合设计要求的标高和尺寸；
- 10 墙面顶部模块：检查是否进行混凝土注浆作业，且利用钢筋进行连接和加固；
- 11 引道路路基：每层的厚度和构造是否符合设计要求，是否具有足够的筋材长度，引道的三边是否包裹完好。

7.4 质量检验

7.4.1 加筋土桥台的质量检验标准与要求应符合表7.4.1-1的规定，其中主控项目合格率须达100%，一般项目合格率 $\geq 90\%$ 。

表7.4.1-1 加筋土桥台的质量检验标准和要求

项目	序号	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法	检查频率
			单位	数值		
主控项目	1	基础埋置深度	mm	± 10	经纬仪测量	必检
	2	桥台承载力	不小于设计值		静荷载试验	必检
	3	填料	符合设计要求		取样测试	1次/500t

	4	筋材强度	不小于设计值		拉伸试验	1次/1000m ²
	5	筋材延伸率	不大于设计值		拉伸试验	
	6	加筋间距	符合设计要求		钢尺测量	1次/层
	7	桥台顶标高	mm	±10	水准测量	3点/边
	8	填料压实度	不小于设计值		灌砂法	3点/层
一般项目	1	筋材铺设平整度	mm	±20	用2m靠尺	3处/层
	2	填料含水量	最优含水量±3%		烘干法	1次/3层
	3	辗迹重叠长度	mm	500~1000	钢尺测量	3处/层
	4	墙面倾斜率	≤0.5%		线锤测量	3处/边
	5	墙面平整度	mm	±10	水准测量	

7.4.2 加筋土桥台施工结束后，应采用静载荷试验检验桥台承载力，承压板应具有足够刚度，试验最大加载量应不小于桥台工作荷载的2倍，加载方法宜采用慢速维持荷载法。

7.5 验收资料

7.5.1 现场试验应认真进行，其结果作为档案永久组成部分存档。含水量及密度试验是最主要的现场试验，其结果应在施工期间做好记录。还应包含在验收资料的文件包括施工变更、现场变更和日常工作建设报告。

7.5.2 原材料的质量证明文件和检验报告。

7.5.3 施工过程中的质量检验记录和报告。

7.5.4 设计变更文件和图纸会审记录。

7.5.5 竣工平面图应在工程竣工后提供给业主。