ICS
CCS

团　体　标　准

T/SDHTS XXXXX—XXXX

土工格栅加筋路堤设计与施工技术规范

Technical specification for design and construction of geogrid embankment

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

山东公路学会　发 布

目 次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 2
4 基本规定 2
5 材料 3
5.1 一般规定 3
5.2 土工格栅 3
5.3 路堤及垫层填料 4
6 设计与计算 4
6.1 一般规定 4
6.2 土工格栅抗拉强度计算 6
6.3 圆弧滑移破坏稳定性计算 7
6.4 水平滑动破坏稳定性计算 9
6.5 地基侧向挤出破坏稳定性计算 10
6.6 边坡局部稳定性计算 11
7 施工 12
7.1 一般规定 12
7.2 土工格栅铺设 12
7.3 路堤填筑 13
7.4 施工监测 13
8 检测与验收 14
附录 A（规范性）各种垫层的压实标准 16

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。

本文件由山东大学提出。

本文件由山东公路学会归口。

本文件起草单位：山东大学、济商高速公路（济宁）有限公司、东南大学、葛洲坝集团交通投资有限公司、中国葛洲坝集团路桥工程有限公司、济宁市公路工程公司、济宁鲁南公路工程公司、济宁市公路事业发展中心、济宁市交通运输综合执法支队、济宁市重大项目建设推进中心、济宁市鸿翔公路勘察设计研究院有限公司、中铁十六局集团有限公司、盐城市交通投资建设控股集团有限公司、青海省交通规划设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：庄妍、常胜、魏东方、庄培芝、陈刚、岳红亚、何金成、陈涛、王兵、梁英明、邓经祥、金龙、石亚强、罗涛、吴祥松、赵建飞、王振坤、袁志明、龙凯、杨柳、韩旭、黄剑、王祺东、全昂、屈云帅。

土工格栅加筋路堤设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了土工格栅加筋路堤的基本规定、材料、设计与计算、施工、检测与验收等内容。

本文件适用于各等级公路新建、改扩建工程和养护工程。

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 4357 冷拉碳素弹簧钢丝

GB/T 11115 聚乙烯（PE）树脂

GB/T 12670 聚丙烯（PP）树脂

GB/T 13762 土工合成材料 土工布及土工布有关产品单位面积质量的测定方法

GB/T 16604 涤纶工业长丝

GB/T 17642 土工合成材料 非织造布复合土工膜

GB/T 17689 土工合成材料 塑料土工格栅

GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范

GB/T 50783 复合地基技术规范

JT/T 480 交通工程土工合成材料 土工格栅

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 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 公路工程质量监测评定标准

JTG 3430 公路土工试验规程

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

JTS/T 148 水运工程土工合成材料应用技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 加筋垫层 reinforced cushion

由土工格栅与垫层填料组成，铺设于路堤底部或软弱地基顶部，用以增强地基、减小沉降的加筋复合层。

3.2 土工格栅加筋路堤 geogrid-reinforced embankment

在路堤填土中按一定间距和方式铺设土工格栅，通过筋-土相互作用共同承受荷载、提高稳定性的复合结构。

3.3 整体稳定性 global stability

在自然环境和外部荷载作用下，土工格栅加筋路堤及其地基作为整体系统，抵抗沿深层滑动面发生失稳破坏的能力。

3.4 局部稳定性 local stability

路堤边坡在自重、荷载或环境作用下，土体中某一局部区域抵抗剪切破坏或滑移失稳的能力。

3.5 圆弧滑动破坏 circular slip failure

路堤在自重、交通荷载或外部环境作用下，土体沿圆弧形滑动面发生旋转滑移的破坏模式。

3.6 水平滑动破坏 lateral sliding failure

路堤填土在自重及交通荷载作用下，沿加筋体界面发生水平方向滑移的破坏模式。

3.7 地基侧向挤出破坏 foundation lateral extrusion failure

软弱地基在外部荷载作用下，土体发生侧向塑性流动或剪切挤出，导致地基承载力丧失或产生过大侧向变形与沉降的破坏模式。

4 基本规定

4.1 土工格栅加筋路堤适用于陡坡路堤、高填方路堤、填挖交界过渡段、路桥过渡段、路堤拼宽、软土地区路堤等易发生路基失稳的工程区域。

4.2 土工格栅加筋路堤的设计与施工应遵循安全可靠、经济合理、技术先进、保护环境的原则，并综合考虑工程地质、水文、荷载及施工条件。

4.3 土工格栅加筋路堤设计应收集沿线的地形地貌、水文、地质、构筑物、地下埋设物等资料，必要时应进行专项地质勘察,获得设计所需的基础资料。

4.4 应设置完善的加筋体内部及坡面排水系统,防止水分侵入导致填料强度降低和土工格栅性能劣化。排水设施的结构形式、尺寸及材料，应根据场地水文地质条件、降雨量及汇水面积等综合确定。

4.5 在浸水、软土及盐渍土等特殊路基中采用土工格栅加固路堤时，宜设置不透水性隔断层，防止毛

细水上升对路堤填土的扰动。隔断层宜采用“两布一膜”或“三布两膜”复合隔水土工材料，其材料性能应符合 GB/T 17642 的规定。

4.6 路堤边坡坡率与坡面防护设计应符合 JTG D30 的规定。加筋路堤的坡面防护宜采用以植物防护为主、工程防护为辅的综合防护体系。当坡率较陡或气候条件恶劣时，应加强工程防护措施。

5 材料

5.1 一般规定

5.1.1 土工格栅加筋路堤工程所用材料，包括土工格栅、填料等，其种类、规格及技术指标应符合设计要求和现行国家、行业相关标准的规定。进场时应提供有效的产品合格证及性能检测报告。

5.1.2 所用材料的耐久性应满足土工格栅加筋路堤设计使用年限内的性能要求。

5.1.3 材料在运输和储存过程中应采取保护措施，防止日晒、雨淋、污染、破损和老化。材料应储存在干燥、通风的场地内，避免长期露天堆放。且各类材料应分类存放，标识清晰。

5.2 土工格栅

5.2.1 土工格栅的材料及力学性能指标，除应符合 JT/T 1432.1 的规定外，尚应满足设计要求。

5.2.2 土工格栅的材料性能试验应按 JTG E50 的规定执行。

5.2.3 土工格栅的类型应根据工程用途、受力特性、环境条件和耐久性要求综合选择，且可参照表 1 选用；各类土工格栅的适用范围应符合 GB/T 50290、JT/T 1432.1、GB/T 17689 等现行国家、行业标准的相关规定。

表 1 主要土工格栅类型及适用范围

土工格栅类型	主要原材料及性能指标	主要性能特点	主要适用范围
塑料土工格栅	所用聚乙烯材料应符合 GB/T 11115 的标准要求； 所用聚丙烯材料应符合 GB/T 12670 的相关规定； 成品应符合 GB/T 17689 相关规定。	抗拉强度较高，延伸率适中；蠕变相对较大；耐酸、碱、盐腐蚀；成本较低。	1. 一般路堤、路基的加筋，提高整体稳定性。 2. 软弱地基处理，减少不均匀沉降。 3. 临时性或对长期变形要求不高的边坡工程。
钢塑土工格栅	钢丝应采用符合 GB/T 4357 的相关规定的冷拉碳素弹簧钢丝； 所用聚乙烯包覆材料应符合 GB/T 11115 的规定。	抗拉强度极高，蠕变性能极低；刚度大；耐腐蚀性好；界面摩擦好。	1. 高路堤、高填方路堤的加筋。 2. 对沉降和侧向变形控制严格的路基工程。 3. 桥台台背、涵洞等结构物回填加筋。
纤塑土工格栅	原材料应符合 JT/T 480 相关规定。	兼具纤维的高强低蠕变特性和塑料的柔韧性；界面摩擦和嵌锁作用优异；耐腐蚀、抗老化性能好。	1. 高等级公路、铁路路基加筋。 2. 软弱地基、高填方路堤的加固。

			3. 对耐久性和综合性能要求高的复杂环境。
聚酯土工格栅	涤纶工业纤维长丝应符合GB/T 16604的相关规定；且应符合JT/T 480相关规定。	抗拉强度高，蠕变性能低（优于塑料格栅）；长期耐久性好；抗紫外线和温度稳定性较好。	1. 铁路、高等级公路等对长期变形控制要求高的路基加筋。 2. 永久性承载的地基增强。 3. 需要考虑长期蠕变影响的挡墙和边坡工程。

5.2.4 土工格栅的长期设计强度应考虑施工损伤、材料老化及蠕变等因素的折减。在长期荷载作用下，其设计使用年限内的蠕变应变及强度保持率应满足设计要求。蠕变试验方法应符合JTG E50的规定。

5.3 路堤及垫层填料

5.3.1 路堤填料的级配、粒径、强度、抗剪强度、塑性指数等指标应符合JTG D30的有关规定。

5.3.2 用于加筋区的填料，除应满足5.3.1条的要求外，尚应满足以下与土工格栅协同工作的要求：

a）最大粒径：填料中最大粒径应不大于分层压实厚度的2/3，且应不大于150 mm，并应小于格栅网孔尺寸的1.5倍，以免损伤格栅或填土难以密实。

b）颗粒形状与级配：宜选用具有一定棱角和良好级配的填料，以提供较高的界面摩擦系数和嵌锁作用。

c）细粒含量：当加筋层兼具排水功能时，应严格控制填料中粒径小于0.075 mm的颗粒含量，具体限值应通过设计计算确定。

d）化学性质：不应含氯化钙、碳酸钠、硫化物等化学物质，避免化学腐蚀土工格栅或影响填料耐久性。

5.3.3 土工格栅加筋垫层的设计应根据工程特性和地基土质条件并通过设计计算和进行现场试验确定，并应满足GBT 50290的要求。

5.3.4 褥垫层应采用透水性良好的材料，其级配、渗透系数和压实标准应符合设计要求。褥垫层填料中不得含有可能刺破下层土工格栅或土工膜的尖锐颗粒，最大粒径不宜大于30 mm。

5.3.5 土工格栅加筋褥垫层的加筋体设置宜符合下列规定：

a）单层加筋时宜设置在垫层的中部；

b)多层加筋时，首层筋材距垫层顶面的距离宜为垫层厚度的30%，筋材层间距宜为垫层厚度的30%～50%，且不应小于200 mm。

6 设计与计算

6.1 一般规定

6.1.1 土工格栅加筋路堤设计应根据场地的地质与环境条件、填料特性、材料的耐久性、工程造价等

因素，经技术经济比选，确定加筋技术方案。

6.1.2　土工格栅加筋路堤的设计使用年限不应低于公路项目设计使用年限。

6.1.3　土工格栅加筋高填方路堤设计时应进行专项论证，并应开展稳定性分析、变形控制措施及长期性能评估等。

6.1.4　土工格栅加筋路堤设计时应根据公路预测交通流量，充分考虑行车荷载；当行车荷载考虑为静力作用时可按均布荷载形式简化计算。

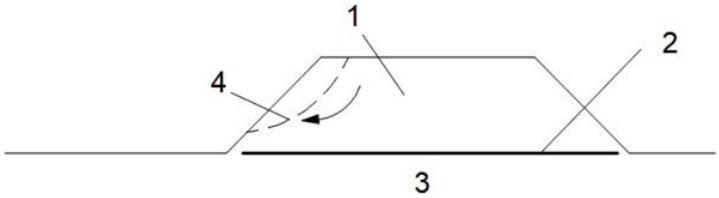
6.1.5　土工格栅加筋路堤设计时应进行下列计算和验算：

a）筋材设计：计算土工格栅在各稳定性模式下的拉伸荷载，确定所需的设计抗拉强度；

b）稳定性验算：进行整体稳定性与边坡局部稳定性验算；

c）构造设计：确定土工格栅的最小搭接长度。

6.1.6　土工格栅加筋路堤稳定性设计应按承载力极限状态和正常使用极限状态进行设计。承载力极限状态包括路堤边坡局部稳定性和路堤整体稳定性，而其中整体稳定性包含圆弧滑动破坏、水平滑动破坏及地基侧向挤出破坏三种破坏模式。正常使用极限状态应考虑路堤的变形、沉降及筋材在长期荷载作用下的蠕变变形，应符合 JTG/T D32-2012、JTG D30 等现行标准的相关规定。



标引序号说明：

1——路堤；

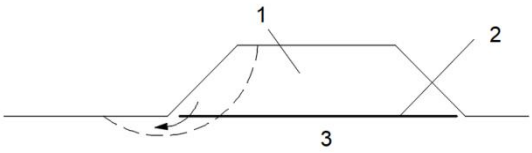
2——土工格栅；

3——软土地基；

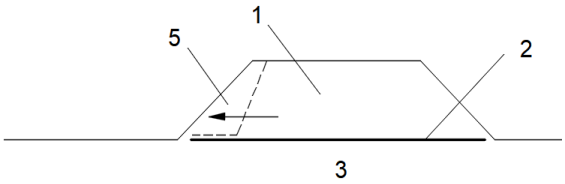
4——路堤滑移面.

注：L_s为边坡投影长度。

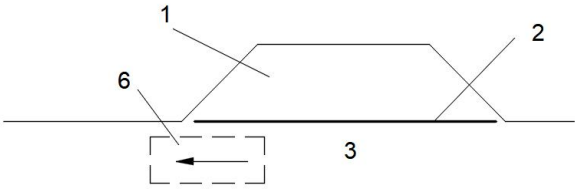
图 1　路堤边坡局部稳定性



a）圆弧滑动破坏



b）水平滑动破坏



c）地基侧向挤出破坏

标引序号说明：

1——路堤；

2——土工格栅；

3——软土地基；

5——填料水平移动；

6——地基侧向挤压。

图 2　路堤整体稳定性

6.1.7　土工格栅加筋路堤的筋材抗拔计算应符合 JTG/T D32-2012、JTG D30 等现行标准的相关规定。筋材与填料之间的界面摩擦特性应通过现场或室内拉拔试验确定；当无试验条件时，可按 JTG/T E50 的相关规定计算。

6.1.8　土工格栅加筋路堤的整体稳定安全系数 F_s 满足 JTG/T D32 和 JTG D30 的相关规定。地震工况下的稳定性验算应符合 JTG B02 的规定。

6.1.9　土工格栅加筋路堤的结构形式应根据路基横断面、工程地质条件和地基承载力综合确定。

6.1.10　土工格栅搭接长度应不小于设计值，且满足本章节及附录 A 的相关要求。

6.1.11　低路堤采用土工格栅加固时，宜选用低延伸率材料或预应力土工格栅，以限制跨中挠度不超过设计允许值。

6.1.12　土工格栅加筋路堤边坡坡率应按照 JTG D30 的有关规定执行。

6.2　土工格栅抗拉强度计算

6.2.1　土工格栅极限状态下拉伸强度应按如下公式计算：

$$T_r = \max(T_{ro}, T_{rf} + T_{ds}) \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

T_r——土工格栅极限状态下拉伸强度（kN/m）；

T_{ro}——抵抗圆弧滑动时土工格栅所需得拉伸强度（kN/m）；

T_{rf} ——抵抗地基侧向挤出时土工格栅所需的拉伸强度（kN/m）；

T_{ds}——抵抗水平滑动时土工格栅所需拉伸强度（kN/m）。

6.2.2　土工格栅的设计抗拉强度 T_D应按 JTG/T D32 相关规定进行折减，尚应满足式（2）：

$$T_D \geq T_r f_n \cdots\cdots (2)$$

式中：

T_D——土工格栅抗拉强度设计值（kN/m）；

f_n——结构重要性系数，详见表 2。

表 2　结构重要性系数取值

类别	分项系数 f_n	结构示例
一般	1.0	填高小于 1.5m 土工格栅加筋路堤
较重要	1.1	满足以下任一条件： 1. 路堤高度 5m～10m 且边坡坡率 1:1.0～1:1.5； 2. 地基软土层厚度 3m～8m； 3. 位于地震基本加速度 0.10g～0.20g 区域； 4. 三、四级公路中的区域唯一重要通道。
重要	1.2	高速公路和一级公路土工格栅加筋路堤；或填高大于 10m 且边坡陡于 1:1 的陡坡路堤。

6.3　圆弧滑移破坏稳定性计算

6.3.1　土工格栅加筋路堤圆弧滑动破坏稳定性计算宜采用极限平衡法，搜索最危险圆弧滑动面，并以条分法计算各土条的剩余下滑力矩。土工格栅提供的抗滑力矩应按式（3）计算：

$$M_{RRj} = T_{roj} Y_j \cdots\cdots (3)$$

式中：

Y_j——沿路堤底部第 j 处临界滑动面的垂直力臂（m）；

T_{roj}——抵抗路堤圆弧滑动破坏时，土工格栅第 j 块土条所需的拉伸强度（kN/m）；

M_{RRj}——沿路堤底部第 j 处土工格栅的最大抗滑力矩（kN·m）。

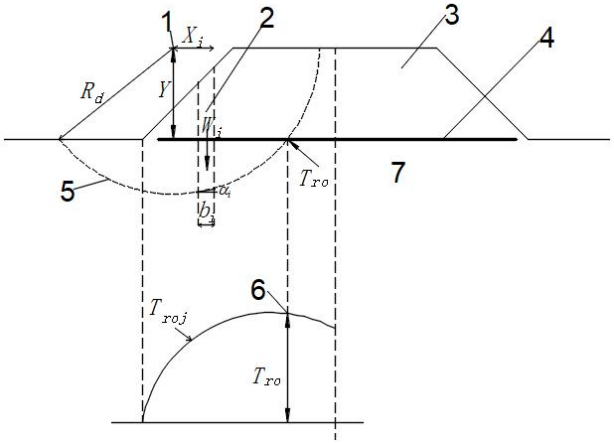
6.3.2　抵抗路堤圆弧滑动破坏时，土工格栅第 j 块土条所需的拉伸强度按式（4）计算：

$$T_{roj} = \frac{M_{Dj} - M_{RSj}}{Y_j} \cdots\cdots (4)$$

式中：

M_{Dj}——沿路堤底部第 j 处土体的最大下滑力矩（kN·m）；

M_{RSj}——沿路堤底部第 j 处土体的最大抗滑力矩（kN·m）。



标引序号说明：

1——滑动面圆心；

2——第 i 块土条；

3——路堤；

4——土工格栅；

5——滑动面；

6——土工格栅最大受力点；

7——软土地基。

图 3　土工格栅加筋路堤旋转稳定性简化计算

6.3.3　土工格栅抵抗圆弧滑动破坏时，所需的拉力 T_{ro}应取所有土条中 T_{roj}的最大值。

6.3.4　式（4）中土条抗滑力矩和下滑力矩可采用毕肖普法或简布法计算。

6.3.5　土工格栅加筋路堤圆弧滑动破坏稳定性计算中土条内土工格栅最小搭接长度 L_j应按下式计算：

$$f_n f_p T_{roj} \le \gamma h \frac{a' \tan \varphi'_{cv}}{f_{ms}} L_j + \frac{a'_{bc} C_u}{f_{ms}} L_j \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

f_p——加筋体抗拔阻力分项系数，见表 3；

T_{roj}——抵抗路堤圆弧滑动破坏时，土工格栅第 j 块土条所需的拉伸强度（kN/m）；

γ ——路堤填料的容重（kN/m^3）；

h——土工格栅上部路堤平均填高（m）；

a' ——土-加筋界面摩擦相互作用系数，通常为 0.8～1.0；

φ'_{cv} ——土体填料内摩擦角（°）；

f_{ms}——用于调整土体强度参数（$\tan\varphi'_{cvi}$ 和 C_u）的分项系数，详见表 3；

L_j——土工格栅加筋路堤抗圆弧滑动破坏时，所需的最小搭接长度（m）；

a'_{bc} ——土-加筋界面粘聚力相互作用系数；

C_u——地基抗剪强度（kPa）。

表 3　分项系数取值

名称	分项系数	承载力极限状态	正常使用极限状态
荷载系数	土体单位重量	f_{fs}=1.3	f_{fs}=1.0
	外部恒载	f_f=1.2	f_f=1.0
	外部活载	f_q=1.3	f_q=1.0
土体材料系数	搭接面摩擦	f_{ms}=1.1	f_{ms}=1.0
加筋体-土体相互作用系数	加筋体表面滑动	f_s=1.3	f_s=1.0
	加筋体的抗拉强度	f_p=1.3	f_p=1.0

6.4　水平滑动破坏稳定性计算

6.4.1　土工格栅加筋路堤水平滑动破坏稳定性应考虑路堤填土沿土工格栅上表面发生水平滑动的可能性。在软土地基路堤或陡坡路堤设计中，应特别重视水平滑动破坏稳定性验算。

6.4.2　土工格栅抗水平滑动破坏时，所需的拉伸强度应按下式计算：

$$T_{ds} = 0.5K_aH(f_{fs}\gamma H + 2f_qW_s) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

式中：

K_a——主动土压力系数，$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi'_{cv}/2)$；

H——路堤高度（m）；

f_{fs}——土体容重荷载系数，详见表 3；

f_q——外部活载分项系数，详见表 3；

W_s——路堤顶部附加荷载（kPa）。

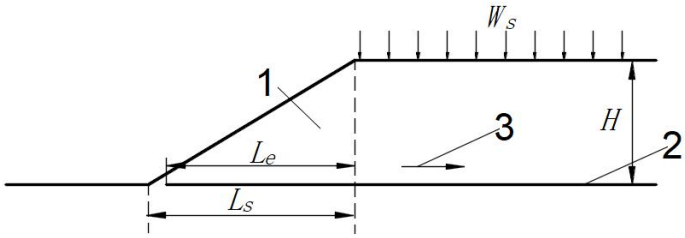
6.4.3　土工格栅加筋路堤水平滑动破坏稳定性计算中土工格栅与土体的最小搭接长度 L_e应按下式计算：

$$L_e \geq \frac{0.5K_aH(f_{fs}\gamma H + 2f_qW_s)f_sf_n}{\gamma h\dfrac{a'\tan\phi'_{cv}}{f_{ms}}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

式中：

L_e——土工格栅加筋路堤抗水平滑动破坏时，所需的最小搭接长度（m），见图 4；

f_s——土工格栅与土体的摩擦系数。



标引序号说明：

1——路堤；

2——土工格栅；

3——土工格栅抵抗平面滑动极限状态下所需最小拉伸强度。

注：L_s为边坡投影长度。

图 4　土工格栅加筋路堤抗横向滑动稳定性计算简图

6.5　地基侧向挤出破坏稳定性计算

6.5.1　土工格栅加筋路堤地基侧向挤出破坏稳定性计算应考虑地基土体侧向挤出的可能性，特别是对于软土地基上的高路堤。地基挤出分项水平力应满足式（8）要求：

$$R_{ha} \le R_{hp} + R_s + R_R \quad \cdots\cdots (8)$$

式中：

R_{ha}——地基侧向挤出破坏时的分项水平力（kN）；

R_{hp}——地基被动抗力产生的分项水平力（kN）；

R_s——深度为 Z_c处的地基土的抗剪阻力产生的分项水平力（kN）；

R_R——土工格栅下侧的地基土的抗剪阻力产生的分项水平力（kN）。

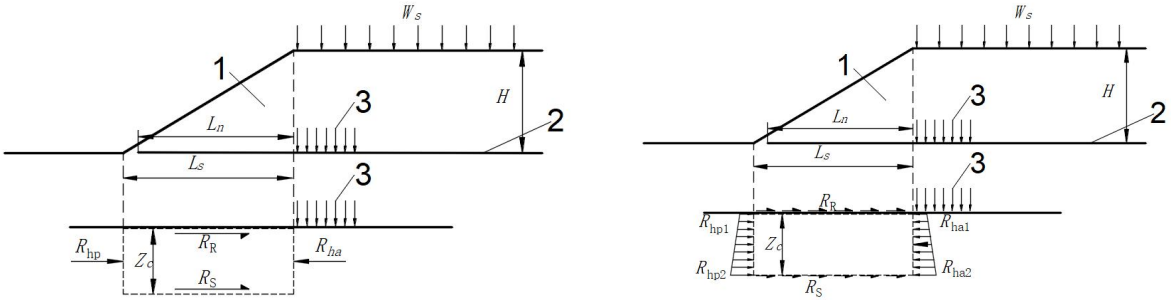
6.5.2　土工格栅抗地基侧向挤出破坏时所需的拉伸强度应按式（9）计算：

$$T_{rf} = \frac{a'_{bc} C_{uo} L_n}{f_{ms}} \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

C_{uo}——饱和地基抗剪强度（kPa）；

L_n——土工格栅加筋路堤抗地基侧向挤出破坏时，所需的最小搭接长度（m），见图 5。



a）地基挤出稳定性分析受力分布图　　b）饱和地基挤出稳定性分析受力分布图

标引序号说明：

1——路堤；

2——土工格栅；

3——路堤底部所受荷载。

注：L_s为边坡投影长度。

图 5　土工格栅加筋路堤地基抗挤出稳定性计算简图

6.5.3　土工格栅加筋路堤地基侧向挤出破坏稳定性计算中土工格栅与土体的最小搭接长度 L_n 应按式（10）计算。

$$L_n \geq \frac{(f_{fs}\gamma_1 H + f_q W_s - \frac{4C_u}{f_{ms}})Z_c}{\frac{(1+a'_{bc})C_u}{f_{ms}}} \cdots\cdots (10)$$

式中：

γ_1——路堤填料浮容重（kN/m³）；

Z_c——极限状态下地面以下的临界深度（m）。

6.5.4　当地基处于浸水区域时，土工格栅加筋路堤地基侧向挤出破坏稳定性计算时应考虑恒定不排水剪切强度。其剪切强度随深度线性增加，极限状态下地面以下的临界深度 Z_c 可按照式（11）计算：

$$Z_c = \sqrt{\frac{(1+a'_{bc})C_u nH}{2\rho}} \cdots\cdots (11)$$

式中：

n——填方路堤边坡坡率；

ρ——不排水剪切强度随深度的变化率。

6.5.5　土工格栅加筋路堤地基侧向挤出破坏稳定性计算中，浸水地基土工格栅与土体的最小搭接长度 L_n 应按式（12）计算：

$$L_n \geq \frac{\left[f_{fs}\gamma_1 H + f_q W_s - \frac{(2C_u + Z_c\rho)^2}{f_{ms}}\right]}{\frac{C_u(a_{bc}+1)+\rho Z_c}{f_{ms}}} Z_c \cdots\cdots (12)$$

式中：

a_{bc}——粘附系数，表示土工格栅与填料之间的粘附性能。

6.6　边坡局部稳定性计算

6.6.1　土工格栅加筋路堤边坡局部稳定性计算，应按式（13）验算：

$$\frac{H}{L_s} \leq \frac{\tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}} \cdots\cdots (13)$$

式中：

L_s——单侧边坡投影边长（m）。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 土工格栅加筋路堤的施工，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行标准 GB/T 50290、JTG D30、JTG/T D32、JTG/T 3610 的有关规定。

7.1.2 施工单位应依据设计文件，结合工程地质、水文、环境及现场施工条件，编制土工格栅加筋路堤的专项施工方案，并按规定程序报批。

7.1.3 施工前应完成场地准备工作，包括地表清理、排水系统布设及地基处理等。作业面应平整、坚实，并形成有效的横向排水坡，其压实度等指标应满足设计和国家现行标准 JTG/T 3610 的有关规定。

7.1.4 当地基为软土地基时，其处理方法与质量标准应符合设计要求，并应符合国家现行标准 GB/T 50783 和 JTG D30 的有关规定。

7.1.5 土工格栅及配套材料的进场检验和存放要求，应符合设计要求以及国家现行标准 GB/T 13762、JTG/T D32 和 JT/T 480 的有关规定。材料进场后应按批次抽样检验，不合格材料严禁使用。

7.2 土工格栅铺设

7.2.1 土工格栅铺设面应平整，场地上的杂物应清理干净。表面有尖石或带棱角的尖锐硬物时，应设置保护层。

7.2.2 土工格栅的铺设方向、平整度要求，应符合设计要求和国家现行标准 JTG/T D32 和 JTS/T 148 的有关规定。

7.2.3 为确保加筋效果，土工格栅铺设时应采用专用工具进行张拉，使其保持紧绷状态。张拉力宜控制在 0.5 ～ 1.0 kN/m，或使格栅产生 1% ～ 2% 的预应变。张拉后应立即用 U 型钉或填料临时固定。

7.2.4 土工格栅的搭接长度应根据稳定性计算确定，其连接方式及要求应符合设计要求及国家现行标准 JTG/T D32、JTS/T 148 的有关规定，搭接处应采用 U 型钉加密固定。

7.2.5 土工格栅宜铺设在路堤底部；多层土工格栅组成的加筋垫层，各层土工格栅之间的间距宜不小于填土最小压实厚度且不大于 0.6 m，且应不小于土工格栅网孔尺寸的 5 倍。

7.2.6 当路堤边坡坡率陡于 1:1.5 或填料为膨胀土等特殊土时，应采用土工格栅反包工艺；坡率缓于 1:1.5 时可采用不反包形式。

7.2.7 当采用土工格栅反包工艺时，其施工方法、回折长度、连接固定和质量控制等要求，应符合国家现行标准 TG/T D32 的有关规定。

7.2.8 铺设完成后，应及时检查铺设位置、搭接长度及固定情况，确保符合设计及规范要求。检查合格后应立即进行上层填料施工，间隔时间不应超过 24h。

7.2.9 铺设完毕未填料前，严禁机械设备在其上行驶。上覆填料的摊铺应采用“后退式”卸料，并采用轻型机械从格栅中部向两侧进行摊铺，严禁机械直接推铺。

7.3 路堤填筑

7.3.1 填料材质、粒径、级配应符合设计要求及国家现行标准 JTG/T 3610 和 JTG/T D32 的有关规定。

7.3.2 路堤填筑应采用分层填筑、分层压实的方法。每层填筑厚度应根据压实机械的类型和性能确定，一般宜不超过 30 cm，且应不大于土工格栅网孔尺寸的 5 倍。

7.3.3 应根据填料类型和压实机械的性能，选择合适的压实方法和压实参数，其具体标准应根据填料类型按附录 A 表 A.1 控制。宜采用振动压路机进行压实，压实遍数应通过试验确定，通常为 4-6 遍。压实过程中，应遵循先轻后重、先慢后快、先边缘后中间的原则，相邻压实轮迹应重叠 1/3 左右，确保压实均匀，无漏压、欠压现象。压实度应符合 JTG D30 的相关规定。

7.3.4 紧贴土工格栅上下 300 mm 范围内的填料，应采用小型振动压路机或平板夯进行压实。当填筑厚度超过 600 mm 后，方可使用大型压路机，且其振动轮边缘距离土工格栅铺设面的最小距离应不小于 150 mm。

7.3.5 碾压过程中应防止机械对土工格栅造成损伤（如划破、过份拉伸、钩挂等）。

7.4 施工监测

7.4.1 为确保施工安全、验证设计并指导后续施工，土工格栅加筋路堤施工期间应进行施工监测。

7.4.2 施工监测方案应根据设计要求、工程地质条件、施工工艺和环境条件编制，并应作为专项施工方案的重要组成部分。

7.4.3 监测工作的实施、数据整理与反馈，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行标准 JTG/T 3610 和 JTG/T D32 的有关规定。

7.4.4 施工监测项目应根据工程重要性、地质条件和加筋结构形式合理选择，宜包括但不限于表 4 所列项目

表 4 施工监测项目表

类别	监测项目	主要监测内容	依据与说明
变形监测	地表垂直位移（沉降）	监控路堤顶面及坡脚的沉降量与沉降速率，评估整体稳定性。	应符合 TG/T 3610）的规定，是基本监控指标。
	水平位移	监控坡脚、路肩等关键位置的水平位移，判断侧向挤出或滑动风险。	应符合 JTG/T 3610 的规定，是失稳前兆的关键指标。
	深层水平位移	监控地基内部不同深度的侧向变形，确定潜在滑动面位置与发展趋势。	应符合 JTG/T 3610 的规定，通常采用测斜仪监测。
	裂缝监测	监测坡面、路面及构造物连接处产生的裂缝情况	应符合 JTG/T 3610 的规定。
应力应变监测	筋材应变	通过在关键层位的土工格栅上布设应变计，直接验证筋材实际受力状态是否与设计相符。	应符合 JTS/T148 的规定。

	孔隙水压力	监控地基及路堤内部孔隙水压力的增长与消散，评估软土地基固结度与稳定性。	应符合 JTG/T 3610 的规定，是软土地基施工控制的核心指标。
	土压力	监控加筋体内或坡脚处的土压力分布，验证设计计算模型或评估特殊边界条件下的结构安全性。	应符合 JTG/T 3610 的规定。
诱发因素监测	降雨量	监控施工期间的降雨强度与总量，评估其对边坡稳定性的不利影响。	应符合 JTG/T 3610 的规定，尤其在多雨或暴雨地区。
	地下水位	监控地下水位的变化，分析其对路堤稳定性的影响。	应符合 JTG/T 3610 的规定。

7.4.5 监测点的布设、监测方法、仪器精度、监测频率及数据采集要求，应符合 JTG/T 3610、JTG/T D32 和 JTS/T148 的有关规定。

7.4.6 对于筋材应变等特殊监测项目，其具体监测方法应在专项监测方案中详细规定，并确保传感器在施工过程中不受损坏。

7.4.7 应根据设计文件确定监测项目的报警值和控制值。

7.4.8 当监测数据出现下列情况之一时，应立即启动应急预案：

a）监测数据速率或总量超过报警值时，应增加监测频率，并向相关方发出预警，分析原因。

b）监测数据达到或超过控制值时，必须立即暂停施工，疏散人员，并会同设计、监理等单位分析原因，采取有效措施后方可恢复施工。

8 检测与验收

8.1 土工格栅加筋路堤工程的检测与验收，除应符合本标准规定外，其质量检验评定方法、程序和组织，应符合国家现行标准 JTG F80/1 的有关规定。

8.2 土工格栅进场前应进行原材料检测，其质量检测项目、频率、取样方法及试验方法，除应符合设计要求外，尚应符合国家现行标准 GB/T 50290、JTG/T D32、JTS/T 148 以及 JTG E50 的有关规定。

8.3 土工格栅的物理性能指标（如单位面积质量、网孔尺寸）和力学性能指标（如抗拉强度、伸长率）应满足设计要求和国家现行标准 JT/T 1432.1 的有关规定。

8.4 土工格栅的特殊性能检测（如蠕变性能、抗紫外线强度保持率等耐久性指标）的检测方法应满足设计要求和国家现行标准 JTG E50 的有关规定。

8.5 施工过程中的各项检测与试验数据应真实、完整，并作为工程质量验收的重要依据。

8.6 施工过程中的质量控制应采用三检制（自检、互检、交接检），上道工序不合格，严禁进入下道工序施工。

8.7 施工过程中应检查基槽清底状况、回填料铺设厚度及平整度、土工合成材料的铺设方向、接缝搭接长度或缝接状况以及填料含水率及压实度检测等，其检测验收要求应符合本标准附录 A 及国家现行标准 JTG/T 3610 和 JTG/T D32 的有关规定。

8.8　每层土工格栅铺设及连接完成后，在上一层填料覆盖前，必须进行隐蔽工程（如焊接、胶接、土工格栅连接）验收；且所有隐蔽工程应经监理人验收合格并签署记录。

8.9　施工结束后，应进行地基承载力检验，检验方法应符合 JTG 3430 的有关规定。

8.10　加筋路基施工中应国家及地方关于土地管理、水土保持、环境保护的法律法规，验收时应提供环保措施落实记录及合规证明。

8.11　加筋路堤分项工程的质量验收判定，应符合国家现行标准 JTG F80/1 的有关规定。所有主控项目必须全部合格，基本项目和实测项目的合格率应满足 JTG F80/1 的要求。经评定不合格的分项工程，应进行返工处理，直至重新评定合格为止。

8.12　工程交工验收时，应提交的技术档案资料及其编制要求，应符合国家现行标准 JTG F80/1 的有关规定。

附录 A
（规范性）
各种垫层的压实标准

表 A.1 各种垫层的压实标准

施工方法	换填材料类别	压实系数 λ_c
碾压振密或夯实	碎石、卵石	0.94～0.97
	砂夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%～50%)	
	土夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%～50%)	
	中砂、粗砂、砾砂、角砾、圆砾、石屑	
	粉质粘土	
	灰土	0.95
	粉煤灰	0.9～0.95
土的最大干密度宜采用击实试验确定，碎石或卵石的最大干密度可取 22 kN/m³；对于特殊填料，应通过试验确定其最大干密度。 注：λ_c 压实系数为土的控制干密度 ρ_d 与最大干密度 $\rho_{d\max}$ 的比值。		

表 A.2 加筋材料铺设的允许偏差、检验数量及检验方法

序号	检验项目	允许偏差	施工单位检验数量	检验方法
1	铺设范围	不小于设计值	沿线路纵向每 100 m 抽样（检验 3 处）	尺量
2	搭接长度	0～+50 mm		
3	层间距	±30 mm		测量仪尺量
4	搭接缝错开距离	±50 mm		尺量
5	回折长度	±50 mm		

土工格栅加筋路堤设计与施工技术规范
编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

根据山东公路学会《关于发布第二批（2024 年度）山东公路学会标准立项计划的通知》（鲁公学会[2024]8 号），《土工格栅加筋路堤设计与施工技术规程》为团体标准制定项目。

本标准由山东公路学会负责管理、发布与组织实施，由山东公路学会归口。

（二）任务分工

在《土工格栅加筋路堤设计与施工技术规程》团体标准的编制过程中，山东大学作为主编单位，负责标准的总体策划、技术路线确定、核心理论框架构建以及各阶段草案的统稿与定稿工作。各参编单位协同配合，其中：东南大学等高校侧重于稳定性计算理论与设计方法的研究；济商高速公路（济宁）公司、葛洲坝集团等工程建设单位主要负责施工工艺、质量验收等实践性内容的编制与验证；各设计院与公路事业发展中心则结合工程实践经验，对材料要求、结构设计及监测等内容提供了重要支撑。通过产学研用的深度融合，保障了本标准的科学性、实用性和可操作性。

单位	任务分工
山东大学	负责总体协调与组织工作。 制定编制计划，分配任务，并监督进度。 汇总各参编单位的意见，形成最终标准初稿。 组织专家评审和修改工作。 工作内容包括：“1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、6 设计与计算”四个章节
济商高速公路（济宁）有限公司、东南大学	协助主编单位进行核心理论攻关与关键技术验证。 主导术语定义、符号说明及理论计算公式的校核与完善。 工作内容包括：“4 基本规定、5 材料和 6 设计与计算”三个章节。
葛洲坝集团交通投资有限公司、中国葛洲坝集团路桥工程有限公司、济宁市公路工程公司、济宁鲁南公路工程公司	提供依托工程的原始数据、案例及现场测试条件。 负责施工工艺、工序流程、质量控制要点的编写与可行性验证。 从工程应用角度，确保条文的可操作性与经济性。工作内容包括：“7 施工、8 检测与验收和附录”三个章节。
济宁市公路事业发展中心、济宁市交通运输综合执法支队、济宁市重大项目建设推进中	负责材料技术指标、结构构造设计等内容的编写。 结合不同地域工程经验，对设计参数的合理性提出建议。

心、济宁市鸿翔公路勘察设计研究院有限公司	参与监测方案与验收标准的制定。 工作内容包括：“7 施工、8 检测与验收和附录”三个章节。
中铁十六局集团有限公司、盐城市交通投资建设控股集团有限公司、青海省交通规划设计研究院有限公司等	全程参与各阶段草案的研讨与评审。 基于广泛的施工与管理经验，对标准的适用性、安全性提出建设性意见。 工作内容包括：“7 施工、8 检测与验收和附录”三个章节。

（三）制定背景

当今交通基础设施蓬勃发展的时代，道路工程不断向复杂地质条件与极端环境区域延伸。路堤作为道路结构的关键支撑部分，其稳定性直接关乎整个交通线路的安全与畅通。因此，路堤稳定性控制备受关注，尤其是高填方路堤、软土地基填筑路堤等。

一方面，在山区地势起伏大，路堤边坡陡峭，在雨水冲刷、风化作用以及车辆荷载长期偏心作用等因素影响下，土体极易沿坡面产生滑动趋势，一旦发生滑坡事故，不仅会阻断交通，造成巨大的经济损失，还可能威胁人员生命安全。另一方面，处于地震活跃带或受强风影响区域的路堤，在水平方向的地震力、风力等外力作用下，容易出现水平滑动，使得路堤结构变形甚至垮塌。

针对上述问题，土工格栅加筋路堤技术具有较为显现的优势。土工格栅作为一种高性能土工合成材料，具有独特的加筋机理。其网格状结构能与土体紧密咬合，当路堤有下滑或水平滑动倾向时，土工格栅凭借自身较高的拉伸强度，在土体中产生拉力，犹如给路堤土体施加了一道道 “紧固枷锁”。它能够重新分布路堤内的应力，将集中的滑动力、水平力分散传递至更大范围的土体，有效抑制土体颗粒的相对位移，进而增强路堤的抗滑与抗水平滑动稳定性。过往简单依靠土体自身强度来维持路堤稳定的方式已难以满足当下高标准的道路建设需求，土工格栅加筋路堤技术的深入研究与广泛应用，无疑为打造稳固可靠的道路路堤工程、保障交通网络在复杂工况下持久稳定运行提供了坚实的技术支撑。

路堤加筋技术作为一种有效提升路堤性能的手段，历经多年发展，在众多领域广泛应用。这一技术的现代概念可追溯至 1963 年法国工程师维达尔开创性地提出土的加筋方法与设计理论，为后续加筋技术的规范化、科学化发展奠定基石。起初，该理论主要聚焦于挡土墙领域的应用。1965 年，法国 Prageres 建成全球首座用加筋土修建的挡土墙，开启了加筋土工程实践新纪元；紧接着在 1966-1968 年，法国-意大利高速公路 Menten 地区密集建设 7 处加筋土墙，通过大规模实践不断检验与完善理论。在中国 20 世纪 70 年代末引入加筋土技术，起步虽晚但发展迅猛。1978-1979 年，云南煤矿设计院在田坝矿区成功建成国内首座加筋土挡墙，开启本土实践探索。此后，该技术在公路、铁路、水运、煤炭、林业、水利、城建等各行各业全面开花，结合国内复杂多样的地质条件与工程需求，不断优化创新，积累了丰富的本土应用经验。通过大量工程实践和经验积累，中国创新发展了符合本国国情的加筋技术且部分领域已达到国际先进水平。截至目前，中国已在工程中得到了广泛应用。为进一步推广应用，有关专家基于

国内外研究成果和工程实践经验，制定了《土工合成材料应用技术规范》。同时水利、交通、铁道等部门也相继制定了相应的行业标准，如《中国公路工程土建规范》、《土工合成材料加筋土的试验方法》、《土工合成材料加筋土的性能规范》等，为加筋技术的规范化应用提供了重要指导。

现有的技术标准和规范主要侧重于加筋挡墙的设计与施工，而针对加筋路堤的专门标准则相对匮乏。这种不平衡的标准化状况可能会导致加筋路堤工程实践中的不确定性和潜在风险。鉴于此，为确保加筋路堤工程的质量控制和技术规范化，迫切需要制定专门的技术标准。该标准的制定将有助于为从业人员提供系统化的技术指导，确保设计和施工过程的规范性；最小化工程质量问题的发生概率，提高工程的整体可靠性；促进加筋路堤技术的标准化应用和持续创新；为工程质量评估和验收提供客观、科学的依据。综上所述从工程实践、技术创新和质量管理的角度来看，加快制定针对加筋路堤的专门技术标准具有重要的理论意义和实际应用价值。这不仅能填补现有标准体系的空白，还能为加筋路堤技术的进一步发展和推广奠定坚实的基础。

（四）起草过程

1. 立项阶段

编制组基于国内外调研分析及专项技术分析论证成果，编写形成立项申报材料，经汇报、答辩，于2024年3月获得山东公路学会标准立项批复。根据山东公路学会《关于发布第二批（2024年度）山东公路学会标准立项计划的通知》（鲁公学会[2024]8号），《土工格栅加筋路堤设计与施工技术规程》为团体标准制定项目。

2. 成立编写组

编制组召开了第一次工作会议，确定山东大学为主编单位，牵头成立标准编制组，并联合东南大学、济商高速公路（济宁）有限公司、葛洲坝集团交通投资有限公司等参编单位完成标准编写。同时，组织编制组成员讨论《规程》制订的指导思路与原则，细化制订内容与章节安排，制定调研与测试验证方案，明确预期目标、任务分工与工作进度计划，由主编负责、参编人员按各自任务分工编写编制大纲初稿后，组织编制组成员召开初稿讨论会，根据编制组讨论意见修改形成编制大纲，经主编单位负责质量控制专门人员审核后上报；根据编制大纲初审意见，组织编制组成员进一步讨论、修改与完善编制大纲；根据编制大纲专家审查意见，再次组织编制组成员召开审查意见研究与讨论会，进一步修改与完善形成最终的编制大纲，制定详细的实施方案（含调研方案），并提交全面实施。

3. 前期调研

编制组系统收集国内外土工格栅加筋路堤技术文献、工程案例及相关标准规范，重点调研济宁至商丘高速公路嘉祥至金乡段等依托工程，分析技术难点与实际需求。同时，编制组组织了多次内部研讨会，对标准大纲进行逐章逐条讨论和修改，形成了《标准编制大纲（初稿）》。2024 年 6 月 29 日：在南京召开编制大纲专家咨询会。审查委员会对《标准编制大纲（初稿）》及编制计划草案进行审议，提出建设性修改意见。编制组根据专家意见对大纲和计划进行修改完善，正式确定了标准编制大纲和工作计划，为后续初稿起草工作奠定了坚实基础。

4. 初稿审查

2025 年 10 月 26 日，山东公路学会在济南组织召开了初稿审查会议。邀请 5 名专家组成了审查委员会。审查委员会听取了标准编制情况汇报，对标准编制说明和标准文本进行了逐章、逐条审查。审查委员会一致认为团体标准初稿编制思路清晰，编制原则正确，核心内容紧扣行业需求，结构基本完整，具有较强的针对性和适用性，符合团体标准初稿审查的基本要求，同意通过初稿审查。

5. 征求意见

编制组根据初稿审查意见修改完善后，形成征求意见稿，面向行业公开征求意见。

6. 送审稿审查

在汇总处理所有反馈意见后，形成送审稿，并召开送审稿审查会，进行最终审议。

7. 报批、发布

编制组根据送审稿审查意见，修改完善形成报批稿，提交山东公路学会审核，根据审核意见修改完善后发布。

二、标准编制原则、主要内容及确定依据

（一）标准编制原则

标准编制遵循“规范性、先进性、实用性”的总原则，编写过程中参考了大量工程实践、现场试验等案例，主要编制原则包括：

1. 遵循国家有关法律法规和方针政策，且应符合国家和行业现行有关标准的规定；

2. 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》规则起草；

3. 充分考虑土工格栅加筋路堤的受力与变形特点，为土工格栅加筋路堤地方、行业标准提供技术补充和支持；

4. 积极采用国际标准和国外先进标准，促进标准的先进性。

（二）标准主要内容

1. 范围

规定了标准的目的、适用范围。

2. 规范性引用文件

规定了本标准所引用的国内主要技术标准。

3. 术语和定义

规定了常用术语及其定义。

4. 基本规定

规定了土工格栅加筋路堤设计、施工等过程中的常规要求。

5. 材料

规定了土工格栅加筋路堤所用的土工格栅和填料的基本要求。

6 设计

规定了土工格栅加筋路堤设计与计算。

7. 施工

规定了土工格栅加筋路堤的施工方法和注意事项等。

8. 质量检验与验收

规定了土工格栅加筋路堤的材料检验、施工质量检验、监控量测等方面的要求。

（三）确定依据

1. 国内外标准与行业规范

参考 GB/T 50290—2014《土工合成材料应用技术规范》、GB/T 50783-2012《复合地基技术规范》、JTG D30-2015《公路路基设计规范》、JTG/T D32-2012《公路土工合成材料应用技术规范》以及英国标准 BS 8006-:2010+A1:2016《Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills》等相关标准，确保内容的一致性和权威性。

2. 科研成果与实践经验

依据山东大学、东南大学等科研机构多年来在土工格栅加筋路堤领域的研究成果，以及济商高速公路（济宁）有限公司、葛洲坝集团交通投资有限公司、中国葛洲坝集团路桥工程有限公司、济宁市公路工程公司、济宁鲁南公路工程公司、济宁市公路事业发展中心、济宁市交通运输综合执法支队、济宁市重大项目建设推进中心、济宁市鸿翔公路勘察设计研究院有限公司、中铁十六局集团有限公司、盐城市

交通投资建设控股集团有限公司、青海省交通规划设计研究院有限公司的工程实践经验，确保标准的科学性和实用性。

3. 国内外先进技术

借鉴国内外土工格栅加筋路堤领域的先进技术和成功案例，提升标准的先进性。

4. 工程需求与反馈

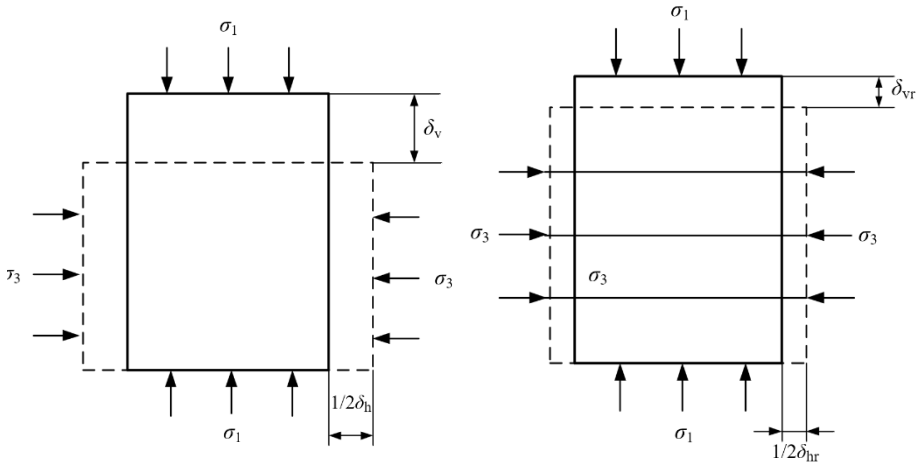
结合公路工程实际需求，广泛征求设计、施工、监理等单位的意见，确保标准内容贴近实际。遵循国家关于基础设施建设和绿色发展的政策要求，确保标准符合国家战略方向。

三、主要技术内容

（一）试验验证的分析及关键技术条文说明

土工格栅加筋路堤在设计与施工时存在以下技术问题，即“挤土效应”“土拱效应”和“拉膜效应”等，这些效应贯穿于土工格栅加筋路堤的勘察、设计、施工及检测等全过程，对其整体性能和长期稳定性将产生深远影响。鉴于此山东大学与东南大学等单位成立攻关研发小组，以济宁至商丘高速公路嘉祥至金乡段项目为依托，开展了题为《管桩加筋复合地基桥头差异沉降控制与自动化监测关键技术与应用研究》的系统性课题研究。该研究聚焦于土工格栅加筋路堤在施工期间及长期服役过程中出现的路堤失稳和过大差异沉降等典型病害，深入探究了管桩加筋路堤“桩-网-土”荷载传递与协同变形机理，阐明了土工格栅加筋路堤在长期服役过程中加筋体张拉膜效应或刚性承台效应的产生、发展和演变过程，分析了不同路堤高度、填料性质、加筋体强度及层数、加筋垫层 类型等因素对土工格栅加筋路堤受力及变形的影响规律，优化和完善了土工格栅加筋路堤的设计参数、施工工艺及长期服役性能，明确了加筋体张力和应变随土拱形态演变发展的量化关系，建立了桩承式加筋路堤服役阶段加筋垫层的理论分析模型，为现场土工格栅加筋路堤的设计与施工提供了理论依据。其主要研究成果中土体-加筋体相互作用总结如下：

当轴向荷载施加于加筋土层时，会诱发轴向压缩应变及与之伴随的侧向拉伸应变。路堤的横向位移仅在加筋体的轴向拉伸刚度超过土体自身轴向拉伸刚度，且土体相对于加筋体发生相对位移的条件下才会出现。当加筋体表面粗糙度达到一定阈值时，土体与加筋体之间的相对运动会在界面处激发剪应力。这种剪应力会在加筋体内部产生拉伸荷载，并以内部约束应力$\Delta\sigma_3$的形式重新分布于土体中，与外部施加的约束应力σ_3发生叠加。相较于未经加固的土体，这种内部相互作用机制的宏观效应主要体现为显著降低土体的轴向和侧向变形，这一机制是加筋路堤有效性的核心所在，为此本标准通过对含多层加筋体路堤进行上受力分析，确立了加筋体-土体的相互作用机理，如图 1 所示。



a）未加筋　　b）加筋

图 1 加筋体-土体相互作用机理

本标准基于上述研究基础，充分考虑土工格栅加筋路堤的挤土效应、土拱效应和拉膜效应对勘察、设计、施工与监测等方面的影响，对标准主要内容进行了梳理和编写，形成了土工格栅加筋路堤设计与施工技术规范。关键技术条文说明如下：

1　范围

土工格栅加筋路堤技术在现代道路工程建设中展现出显著的工程和经济效益，其主要优势体现在以下几个方面：

（1）通过增强土体的抗剪强度，显著提高了路堤的整体稳定性和承载能力；

（2）有效减缓了沉降和侧向变形，从而延长了路堤的服役周期；

（3）土工格栅的加筋作用显著提升了路堤结构的抗震性能；

（4）该技术还改善了路堤的排水性能，有效防止了土体侵蚀，从而降低了长期维护成本。

总体而言，土工格栅加筋路堤技术在提升路堤工程性能、优化资源利用效率以及促进环境可持续发展等方面均表现出卓越的优势。因此，本标准对土工格栅加筋路堤的材料、稳定性控制、加筋设计、施工技术要求等方面进行了规范，非土工格栅加筋路堤按经验或现场试验确定其适用性。

5.2.3　土工格栅材料

不同材料的土工格栅对路堤的稳定性、耐久性和经济性等方面均会产生较大影响，选择合适的材料可以显著提高路堤的性能和使用寿命，同时也可平衡成本和经济效益。因此本标准对土工格栅材料性能、力学性能、耐久性均进行了一般规定。

6.1.6　土工格栅加筋路堤稳定性控制是工程应用中最为关键的控制指标，不同技术等级公路土工格栅加筋路堤控制要求应有所区别。因此，本标准对土工格栅加筋路堤安全稳定系数进行了一般规定。

土工格栅加筋路堤稳定性控制参照 JTG D30《公路路基设计规范》中一般路堤 3.6.11 条相关规定，当采用土工格栅加筋体加固后的路堤也应当满足一般路堤稳定性控制要求。

6.2.1　极限状态理论是工程结构设计中用于评估结构安全性和功能性的关键概念，通常分为承载力极限状态和正常使用极限状态两个层面。承载力极限状态与结构的整体失效或局部破坏相关，当外部荷载效应等于或超过结构的抗力效应时即达到此状态。正常使用极限状态则关注结构在设计寿命内的变形控制和功能维持，确保结构在受到各种影响因素作用时仍能保持其预期的使用性能。现行的 DB42/T 2016—2023《土工格栅加筋土路基设计与施工技术规范》在极限状态方面的规定存在一定局限性，主要体现在仅对加筋路堤的极限状态进行了笼统规定，缺乏对路堤整体稳定性和土工格栅最大拉力极限状态的综合分析。鉴于此，本标准对土工格栅加筋路堤可能出现的多种失稳模式进行了系统性阐述，并通过引入土工格栅的强度安全系数 f_m 及加筋体的设计拉伸强度 T_D 等参数，确立了土工格栅最大拉力极限状态的计算公式。

6.3　土工格栅加筋路堤圆弧滑动破坏稳定性计算

路堤在未加筋条件下发生旋转时潜在滑动面可采用极限平衡法、塑性解法、有限元和有限差分法等手段确定。沿路堤基底任意位置 j 处，计算出每米所需的加固力 T_{roj}；土体和外部荷载引起的扰动力矩 M_{Dj}、土体产生的恢复力矩 M_{RSj} 可根据毕肖普法或者简布法进行计算。而对于不同几何形状的路堤，只需在路堤的一侧进行滑移面分析即可获得 T_{ro}。但对于较低、较宽的路堤，滑移面分析应持续到路堤中心线以外以确定 T_{ro}。

6.4　土工格栅加筋路堤水平滑动破坏稳定性计算

路堤填料的水平滑动破坏稳定性，应考虑填料与基底加固层上表面之间形成的优先横向滑动面。研究表明可通过基底加固来抵抗路堤填料的水平向外推力，加筋体中的荷载可以假定为堤顶边缘处的最大荷载如图 2 所示，从而计算出加固荷载 T_{ds}。

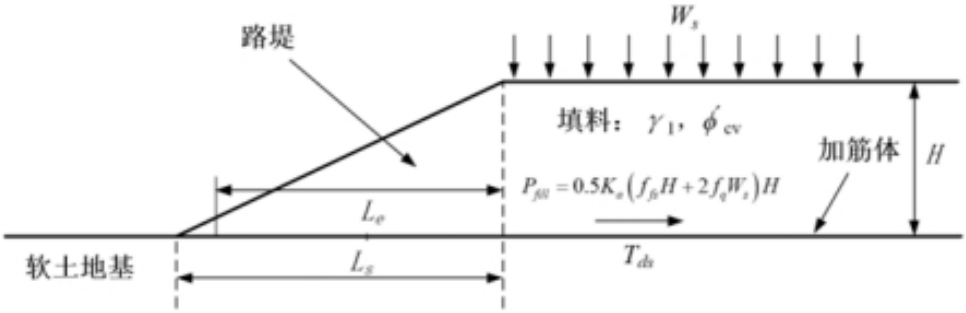


图 2 土工格栅加筋路堤抗横向滑动稳定性计算简图

6.5　土工格栅加筋路堤地基侧向挤出破坏稳定性计算

路堤的几何形状会在软地基土中产生向外的剪应力，如果地基土较软且深度有限，向外的剪应力会导致地基挤压。在基底设置土工格栅可以防止这种极限状态的发生。为了防止基础挤出，应适用以下关系为此本标准参考英国规范《加固/加筋土体和其他填料的操作规范》确立了边坡投影边长 L_s的计算公式。

8 质量检测与验收

加筋路堤质量检测与验收是加筋路堤施工过程中的重要内容，诸如路堤填筑材料质量、压实度、加筋材料性能、铺设质量、整体稳定性等方面对于加筋路堤的施工质量评价具有重要参考作用，因此施工过程中应该对上述指标进行检测。而验收过程则需综合考虑现场检测结果、施工记录、监测数据等多方面信息，对路堤的几何尺寸、强度、变形、稳定性等进行全面评估。同时还需要根据工程特点和实际情况，制定合理的抽样方案和判定标准，确保检测结果具有代表性和可靠性，从而客观评价加筋路堤的施工质量，为工程验收提供科学依据。因此本标准规定了上述两方面内容的具体要求。

（二）综述报告

《土工格栅加筋路堤设计与施工技术规范》团体标准的编制，基于公路工程建设对土工格栅加筋路堤设计与施工技术的迫切需求，结合国内外先进技术和工程实践经验，通过系统研究、试验验证和广泛征求意见形成。标准涵盖了材料要求、设计与计算、施工工艺、质量控制、验收标准及环保安全等内容，体现了科学性、实用性和先进性。其制定填补了技术标准空白，规范了生产与应用，提升了工程质量和耐久性，推动了行业技术进步，为土工格栅加筋路堤技术在公路工程中的推广应用提供了重要技术支撑，助力交通基础设施的高质量建设和可持续发展。

（三）技术经济论证

随着我国交通基础设施建设的持续奋进，公路网络不断向复杂地质区域延伸拓展。无论是沿海地区的软土地带、内陆的山区陡坡，还是城市周边的改扩建工程，都对路堤的稳定性与承载能力提出了严苛挑战。土工格栅加筋路堤技术恰能精准应对这些难题，凭借其独特优势，成为众多项目的首选方案。据行业预测未来 5 年内新开工的高等级公路项目中，该技术的应用覆盖率有望突破 80%。以正在筹备的“沿海经济带高速拓展工程”为例，沿线超 60%的路段面临软土地基处理，土工格栅加筋路堤将成为确保工程按时、高质量完工的关键利器，为区域互联互通筑牢根基。

1. 经济性优势显著

在地基处理环节，土工格栅的介入极大优化了方案经济性。以常见的软土地基场景而言，过去常依赖密集的深层搅拌桩或灌注桩来稳固地基，成本高昂。如今合理铺设土工格栅后，桩基础的用量能够锐

减 40%左右，桩长也可适度缩短，大幅削减桩基施工费用。同时，填土过程中，因加筋有效约束土体，所需额外填土量显著减少，坡面防护工程的规模与复杂度也随之降低，综合核算，相较于传统路堤建设模式，可降低工程成本。从长远运营视角审视，土工格栅加筋路堤的经济效益愈发耀眼。出色的变形调控能力使得路面在长期使用中裂缝、坑洼等病害发生率骤减。此外，边坡稳固无忧，防护设施的更新与维护频次大幅降低，让有限的资金得以更高效地投入到提升公路整体服务品质上。

2. 环保性亮点突出

凭借土工格栅对路堤稳定性的卓越强化功效，设计人员得以大胆优化路堤边坡坡度。相较于传统路堤，每公里平均可节约工程用地，这在耕地保护红线日益紧绷、生态用地弥足珍贵的当下，意义非凡，为公路建设与生态保护的和谐共生开辟新径。土工格栅加筋路堤对填土材质包容度极高，沿线工程开挖产生的弃土、弃渣摇身一变成为优质路堤填料，优质填料的开采量因而大幅降低。这不仅遏制了石料、土料开采对自然山体、土地的创伤，还大幅削减了材料长途运输过程中的碳排放。经测算，每公里路堤建设可减少运输碳排放约 25 吨，切实助力公路建设向绿色低碳转型。

3. 适用性广泛多元

从软如“豆腐”的淤泥质软土，到松散易流动的砂土，再到成分复杂的粉质土，土工格栅加筋路堤都能施展身手。在软土地基场景下，它恰似“紧箍咒”，抑制土体过度变形，加速地基固结进程；于砂土区域，又变身“抗液化卫士”，增强砂土抵抗液化的能力；身处山区复杂地形，更是勇挑重担，保障高填方路堤屹立不倒。诸如东南沿海广袤的软土平原公路建设，以及西南崇山峻岭间的盘山公路修筑，土工格栅加筋路堤均以卓越表现征服难题。无论是服务乡村的低等级小道，还是承载巨量交通的国家级高速大动脉，土工格栅加筋技术均可依据工程实际“量体裁衣”。小型工程选用经济实惠、基础款的土工格栅，在保障基本稳定的前提下严控成本；大型工程则综合考量重载、长期耐久性等关键因素，精心挑选高强度、高性能的格栅产品，实现技术与需求的完美契合，确保落地生根、开花结果。

四、与相关国家标准、行业标准及地方标准技术内容的对比情况

1. 已有标准主要针对土工格栅加筋路堤的材料、设计及施工与质量验收进行了基本说明，但尚未针对施工过程中及路堤服役期间，土工格栅加筋路堤的稳定性控制、软土地基路堤加筋设计等内容做出合理的解释和说明，本标准充分考虑了上述内容，与相关国标、行标、地标及山东公路学会标准等无交叉。

2. 同相关国标、行标、地标技术水平相对比，该标准在以下几方面体现出其先进性：

材料选择和要求：本标准在材料选择和要求部分综合考虑了路堤材料及不同类型的加筋材料，包括

金属土工格栅及聚合物土工格栅等。它要求工程师综合考虑材料的物理性能、力学性能、耐久性能等，以选择最合适的材料来满足设计和工程要求。

设计原则和计算方法：本标准提供了全面的计算方法，包括静力分析、变形分析、破坏机制评估等。它提供了多种设计方法和工具，以满足不同工程场景和目标的需求。这些计算方法有助于工程师进行准确和细致的结构分析，确保土工格栅加筋路堤的稳定性和安全性。

施工工艺和质量控制：包含了更先进的施工工艺和质量控制措施，结合最新技术或先进设备，确保施工质量更高。

维护与监测技术：提供更完善、先进的路堤维护和监测技术，采用了先进的监测设备或方法，确保长期稳定性和安全性。

五、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准符合现行法律、行政法规和强制性标准，不属于强制性标准。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准无重大分歧意见。

七、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利情况。

八、其他应当说明的事项

无