

JTG

中华人民共和国推荐性行业标准

JTG/T 3332—2026

公路土工合成材料应用技术规范

Technical Specifications for Application of Geosynthetics in Highway

2026-04-24 发布

2026-07-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据《交通运输部关于下达 2019 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2019〕427 号）的要求，由招商局重庆交通科研设计院有限公司承担《公路土工合成材料应用技术规范》（JTG/T D32—2012）的修订工作。

本规范是对《公路土工合成材料应用技术规范》（JTG/T D32—2012）的全面修订。经批准颁发后以《公路土工合成材料应用技术规范》（JTG/T 3332—2026）（以下简称“本规范”）颁布实施。

编写组在总结我国十余年来土工合成材料发展、工程应用经验和相关研究成果的基础上，吸收了国内外相关标准规范的先进技术方法，按照“安全耐久、实用先进、环境和谐”的理念，充分考虑土工合成材料现状和工程需求，对土工合成材料要求、应用形式、质量控制等进行了重点修订，力求使本规范技术先进、指标合理、可操作性强。

本规范分为 10 章，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 土工合成材料及其工程应用、4 路基加筋、5 路基防排水、6 路基防护、7 路基不均匀沉降防治、8 加筋土挡墙、9 其他工程、10 质量控制与验收。

本次修订的主要内容如下：

1. 完善了总则、术语和符号。
2. 调整了土工合成材料分类，完善了对土工合成材料性能的要求。
3. 新增加筋土挡墙一章，提出了加筋土挡墙的材料、结构形式与构造、设计计算、施工、质量检验与验收等方面的要求。
4. 将 2012 年版规范中的防沙固沙、膨胀土路基处治、盐渍土路基处治与构筑物表面防腐、路面裂缝防治合并为其他工程，加强了与相关标准的协调性。
5. 对质量控制与验收中的检查项目、检查方法与控制指标等进行了完善和调整。

本规范由邓卫东起草第 1 章，阎宗岭起草第 2 章，邓卫东、阎宗岭起草第 3 章，邓卫东、李志勇起草第 4 章，邓卫东、阎宗岭起草第 5 章，李志勇、邓卫东起草第 6 章，吴万平、阮艳彬、付伟起草第 7 章、第 10 章，杨建国、李海平、邓卫东起草第 8 章，钱劲松起草第 9 章第 1 节、第 3 节，郑健龙、张锐、刘朝晖起草第 9 章第 2 节，郑健龙、张锐、付伟起草第 9 章第 4 节。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：阎宗岭（地址：重庆市南岸区学府大道 33 号；邮编：400067；电话：023-62653540；邮箱：64210818@qq.com），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

参 编 单 位：长沙理工大学

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

湖南省交通科学研究院有限公司

同济大学

主 编：邓卫东

主要参编人员：阎宗岭 郑健龙 吴万平 杨建国 李志勇 张 锐

钱劲松 李海平 刘朝晖 阮艳彬 付 伟

主 审：刘怡林

参与审查人员：张留俊 何光春 吴连海 何 波 薛忠军 戴征杰

刘吉福 陈国靖 于海臣 刘元炜 栾 海 刘 杰

石大为 吴剑锋 吴有铭

参 加 人 员：马小斐 邹维烈 郑 治 柳 力 张静波 刘文劼

郑祖恩 满 立 陈康为 冯守中 薛 明 陈 芳

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	5
3	土工合成材料及其工程应用	6
3.1	材料分类及选择	6
3.2	工程应用基本要求	12
4	路基加筋	13
4.1	一般规定	13
4.2	材料选择与设计参数	14
4.3	结构形式	17
4.4	设计计算	19
4.5	施工要点	25
5	路基防排水	28
5.1	一般规定	28
5.2	反滤与排水设计	28
5.3	防渗设计	33
5.4	施工要点	34
6	路基防护	36
6.1	一般规定	36
6.2	边坡防护	36
6.3	冲刷防护	42
7	路基不均匀沉降防治	48
7.1	一般规定	48
7.2	材料选择与设计参数	48
7.3	结构形式与计算	50
7.4	施工要点	56
8	加筋土挡墙	58
8.1	一般规定	58
8.2	结构形式与构造	59

8.3	设计计算	68
8.4	施工要点	77
9	其他工程	79
9.1	防沙固沙	79
9.2	膨胀土路基处治	82
9.3	盐渍土路基隔离与构筑物防腐	86
9.4	路面裂缝防治	89
10	质量控制与验收	95
10.1	一般规定	95
10.2	试验路段	97
10.3	检查验收	97
10.4	质量管理	101
	本规范用词用语说明	103

交通运输部信息公开
浏览专用

1 总则

1.0.1 为规范土工合成材料在公路工程中的应用，保证土工合成材料应用工程质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各等级公路工程。

条文说明

土工合成材料目前主要应用于路基、路面、隧道等工程中，在桥梁工程中应用尚少。考虑到隧道相关标准已就土工合成材料应用提出了明确要求，故本规范主要针对在路基、路面中的应用提出了相关要求。

1.0.3 应用土工合成材料时，应遵循因地制宜、合理取材、有利施工、方便养护的原则，根据所在公路等级及所处地质、水文、气候等条件进行方案比选，做到安全环保、经济适用。

条文说明

将土工合成材料应用于公路工程中，主要是材料的变化，同时不同应用方案也带来不同的效果。因此，方案比选要注意与非应用土工合成材料的工程方案比选，以及不同应用方案的比选。

1.0.4 土工合成材料应根据应用目的、工程特性、所处的环境条件和材料性能进行选择，并应符合国家和行业现行有关标准及环境保护的要求。

1.0.5 土工合成材料的应用应积极稳妥地推广应用新材料、新技术、新工艺、新设备。

1.0.6 公路土工合成材料的应用除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 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总称，其主要品种有土工织物、土工格栅、土工网、土工格室、土工带、土工膜、土工排水材料、土工模袋等。

条文说明

土工合成材料品种多，选用基材复杂，制造方式也千差万别，因此，很难从某一角度（如基材种类、制作方法、组成形式或作用等）给土工合成材料确切定义，其分类也存在不同的观点。本定义及下述土工合成材料相关术语主要参照了《土工合成材料应用技术规范》（GB/T 50290—2014）和《公路工程土工合成材料》（JT/T 1432—2022）。

2.1.2 土工织物 geotextile

以人工或天然聚合物纤维为主要原料制成的具备透水性的布状土工合成材料，包括无纺土工织物、有纺土工织物等。

2.1.3 土工格栅 geogrid

由抗拉条带单元结合形成，有规则网格形式，具有较高强度的平面加筋土工合成材料，其开孔可容土、石或其他材料嵌入。包括塑料土工格栅、钢塑土工格栅、纤塑土工格栅、聚酯土工格栅、玻纤土工格栅等。

2.1.4 土工网 geonet

高分子聚合物挤出制成的网状材料或其他材料经编织形成的网状材料。包括平面土工网、三维土工网、复合土工网、复合土工植物纤维毯等。

2.1.5 土工格室 geocell

由长条形塑料片材或在其中加入钢丝、玻璃纤维、碳纤维的片材，通过焊接、铆

接、插接或注塑等方法连接，展开后构成蜂窝状或网格状的立体结构材料。包括塑料土工格室、增强土工格室等。

2.1.6 土工带 geobelt

经挤压拉伸或再加筋制成的条带抗拉材料。包括塑料土工带、钢塑土工带等。

2.1.7 土工膜 geomembrane

由聚合物制成的一种相对不透水薄膜。包括与土工织物或其他高分子材料形成的复合土工膜。

2.1.8 土工排水材料 geodrain

由合成材料制成，用于工程内部排水的材料。包括排水带（板）、塑料盲沟、排水软管、排水硬管等。

2.1.9 土工模袋 geofabriform

双层聚合化纤织物制成的连续或单独的袋状材料。充填混凝土或水泥砂浆凝固后形成防护板块体。

2.1.10 聚苯乙烯泡沫塑料块 expanded polystyrene sheet (EPS)

由聚苯乙烯加入发泡剂膨胀经模塑或挤压制成的轻型块体。

2.1.11 植生袋 geobag

采用孔隙率为70%~99.5%的多功能滤毡状纤维，运用针刺法、喷胶法等生产出的，可填充草种、灌木种、培养料、保水剂和肥料等绿化辅料的袋状材料。

条文说明

对植生袋，有的标准将其与生态袋进行了区分，袋不能自行降解的称为生态袋，能自行降解称为植生袋。无论是否降解，关键在于袋需具有一定的孔隙率，便于植物生长，因此，没有从袋的材料是否能自行降解来加以区分。

2.1.12 土工合成材料黏土垫 geosynthetic clay liner (GCL)

土工织物或土工膜间包入膨润土或其他低透水性材料，并通过针刺、缝接或化学黏结制成的一种防水材料。

2.1.13 抗拉强度 tensile strength

材料抵抗拉伸破坏的极限能力，又称断裂强度。数值上等于土工合成材料试样受单轴拉伸时，单位宽度的最大拉力。

2.1.14 断裂伸长率 tensile strain at break

材料拉伸至断裂破坏时，试样的伸长量与原长度的比值。

2.1.15 设计抗拉强度 design tensile strength

考虑设计使用年限内相关因素影响后取用的土工合成材料抗拉强度。

2.1.16 等效孔径 equivalent opening size

用于表示织物型土工合成材料孔隙大小的指标，又称表观孔径，系指织物孔径分布曲线中，小于某一百分数对应的孔径。

条文说明

等效孔径是土工织物的一个特有概念，也称为“表观孔径 (apparent opening size, AOS)”，常以 O_{95} 表示，系指在织物的孔径分布曲线中 (图 2-1)，对应于 95% 的孔径。也就是说，在织物大小不同的孔隙中，有 95% 的孔径小于该孔径。

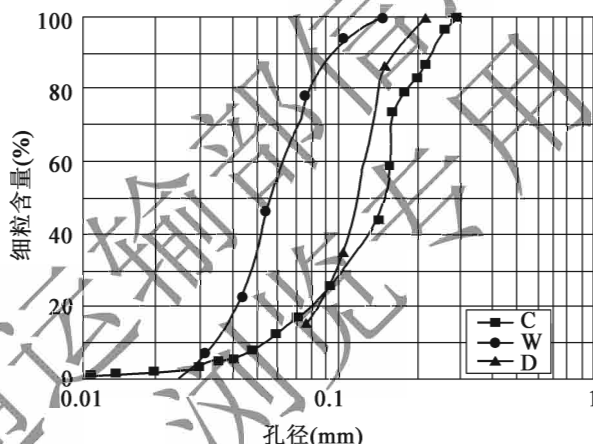


图 2-1 典型的孔径分布曲线 (无纺布物)

确定 O_{95} 值的方法有间接法 (如干筛法、湿筛法) 和直接法 (如水银压入法、图像分析法等)，用不同测试方法求得的孔隙分布曲线，有时可能差别很大。一般认为，湿筛法比干筛法更好，但比较麻烦。根据试验结果，采用湿筛法求得的等效孔径比干筛法略大，可大 25% 左右。

2.1.17 特征粒径 characteristic grain size

与某一筛余率对应的土粒径，用于表示土颗粒大小的指标。

2.1.18 反滤 filtration

土中呈渗流状态的流体流经多孔材料时，流体可以通过，而把起骨架作用的固体颗粒截流下来的行为。

2.1.19 柔性支护结构 flexible supporting structure

以土工格栅为主要加筋材料而构建的具有良好整体性、可变形性和结构稳定性，且具有坡面防护和防排水功能的边坡综合处治结构。

2.2 符号

- c_{GS} ——土工合成材料与接触材料的界面黏聚力；
- d_{85} 、 d_{50} ——土的特征粒径；
- f_{GS} ——土工合成材料与接触材料界面阻力系数；
- GR——水力梯度比；
- K_G ——土工织物的渗透系数；
- K_S ——土的渗透系数；
- L_e ——土工合成材料锚固长度，以不同下标表示不同情况下的锚固长度；
- O_{95} ——土工合成材料（土工织物）的等效孔径；
- R_c ——加筋覆盖率；
- RF——土工合成材料总折减系数；
- RF_{CR} ——土工合成材料蠕变折减系数；
- RF_D ——土工合成材料老化折减系数；
- RF_{ID} ——土工合成材料施工损伤折减系数；
- T ——土工合成材料所受拉力，以不同下标表示不同情况下的拉力；
- T_a ——土工合成材料设计抗拉强度；
- T_p ——土工合成材料锚固的抗拔力，以不同下标表示不同情况下的锚固抗拔力；
- T_{ult} ——土工合成材料抗拉强度；
- φ_{GS} ——土工合成材料与接触材料的界面摩擦角。

3 土工合成材料及其工程应用

3.1 材料分类及选择

3.1.1 土工合成材料可按表 3.1.1 进行分类。

表 3.1.1 土工合成材料类型

	大类	典型品种	
	土工合成材料	土工织物	无纺土工织物、有纺土工织物等
土工格栅		塑料土工格栅、钢塑土工格栅、纤塑土工格栅、聚酯土工格栅、玻纤土工格栅等	
土工网		平面土工网、三维土工网、复合土工网、复合土工植物纤维毯等	
土工格室		塑料土工格室	
		增强土工格室 (加入钢丝、玻璃纤维、碳纤维等)	
土工带		塑料土工带	
		钢塑土工带	
土工膜		聚合物土工膜、复合土工膜 (“一布一膜” “两布一膜” 等)	
土工排水材料		塑料排水带 (板)、凸点排水板、塑料盲沟 (又称速排龙、长丝热粘排水体)、复合排水网、复合排水垫、排水软管、排水硬管等	
土工模袋		机织土工模袋、针织土工模袋等	
其他	聚苯乙烯泡沫塑料板 (EPS)、植生袋、土工合成材料黏土垫 (GCL) 等		

条文说明

从原材料、结构形式、功能等不同角度，可以对土工合成材料进行不同的分类。本规范分类，主要参考了《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432—2022)。

通常土工织物强度较低，变形量也较大，但随着材料生产技术的进步，已能生产出强度达 80kN/m 以上的高强度土工织物。

土工格栅 (图 3-1) 强度较高，按受力性能可分为单向、双向、三向格栅；按制造方法可分为整体拉伸格栅、经编格栅、焊接格栅。单向格栅纵向抗拉强度大，横向抗拉强度小；双向格栅两个方向强度比较一致，三向土工格栅结构更加稳定。

土工网 (图 3-2) 包括平面土工网、三维土工网、复合土工网和复合土工植物纤维毯。平面土工网为由高密度聚乙烯或聚丙烯等高分子材料挤出成型的平面网状结构制品。三维土工网为双向拉伸网和平面挤出网组合，经点焊或缝合形成的三维凹凸状或多

层网状结构制品，其具有一定的厚度（一般为 10 ~ 16mm）。这两种土工网强度较低，伸长率较大。复合土工网为三维土工网与土工格栅材料组合，经缝合形成的三维多层复合网状制品，其具有一定的厚度（通常不小于 16mm）和较高的强度。复合土工植物纤维毯为由两层平面土工网夹持植物纤维层，经缝合形成的毯状结构制品，一般有三层和六层两种，三层结构纤维毯不带草籽，其强度取决于采用的平面土工网材料。

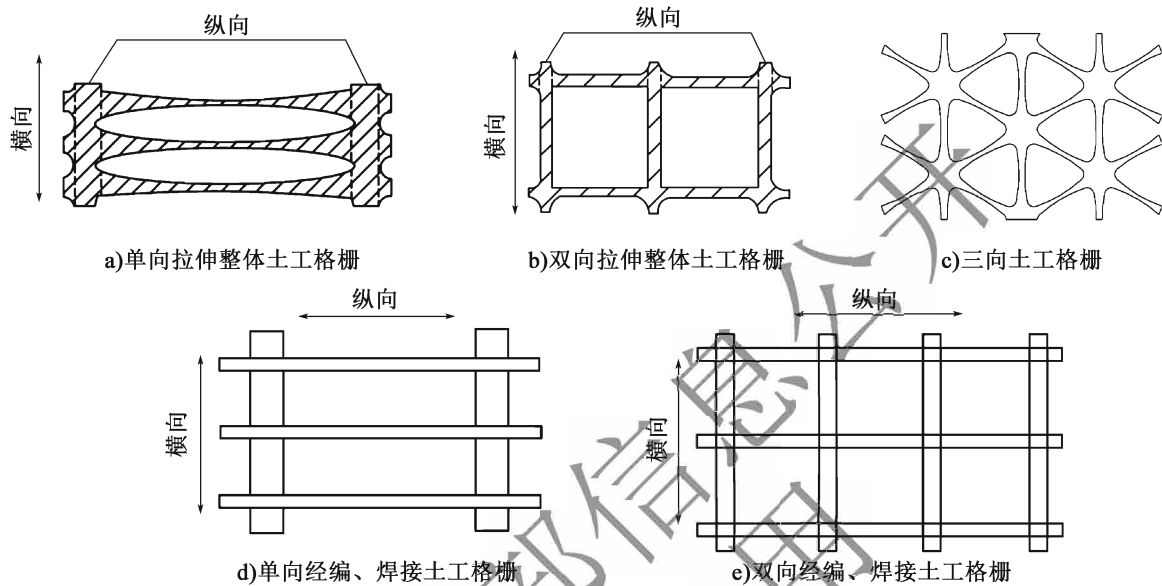


图 3-1 土工格栅示意图

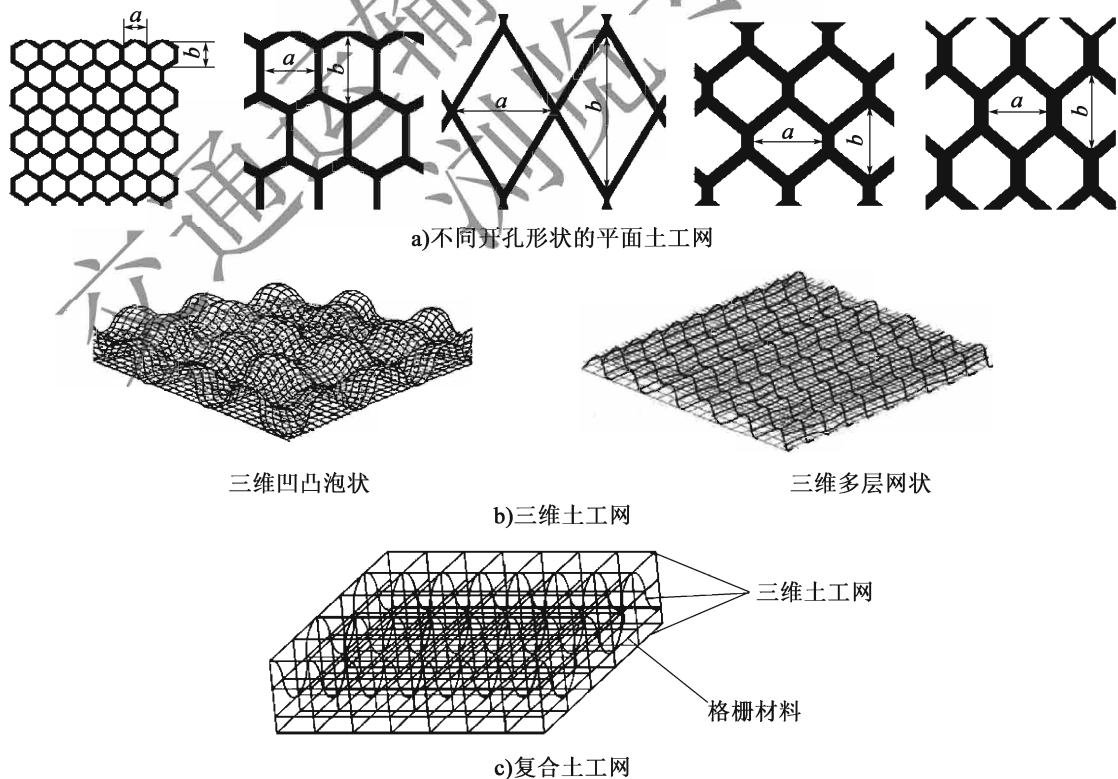


图 3-2

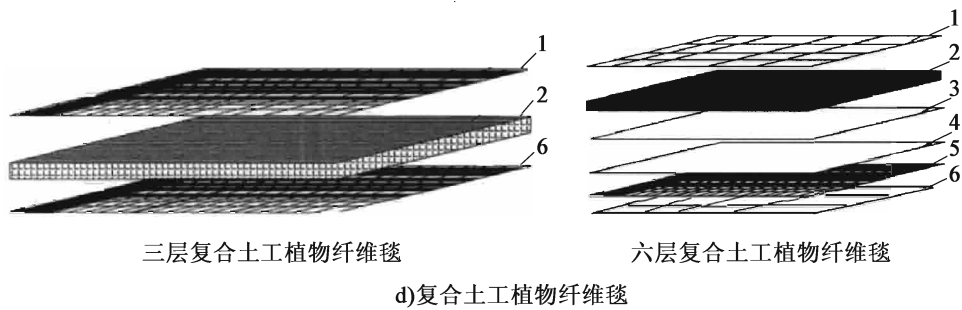


图 3-2 土工网示意图

1-平面土工网防护层(上); 2-植物纤维层; 3-草种、营养肥料层; 4-定型草籽黏胶纤维层; 5-土工织物衬托层; 6-平面土工网防护层(下)

土工格室(图 3-3)的高度一般在 50~300mm, 结点距离一般为 165~800mm。随着材料的发展, 土工格室片材的强度得到进一步提高, 增强型土工格室片材的断裂强度可达到 30kN/m。

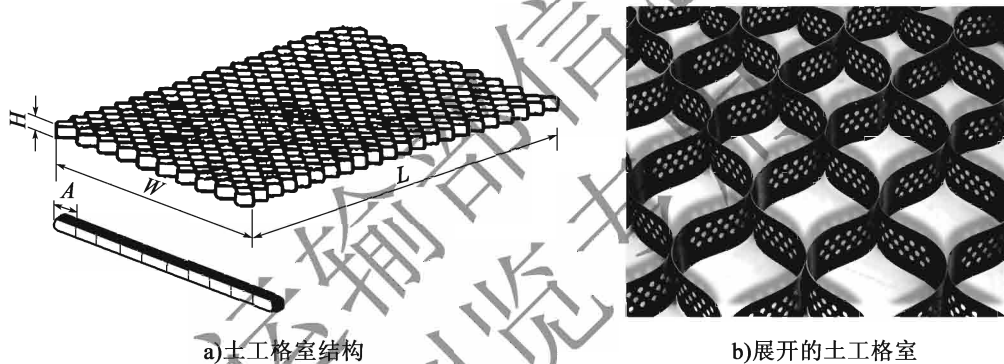


图 3-3 土工格室示意图

土工带主要有钢塑土工带、塑料土工带, 钢塑土工带抗拉强度大、变形小。

单纯的土工膜厚度薄、强度低, 易刺破损伤, 与无纺土工织物复合的土工膜, 强度大幅度提高。

土工排水材料品种较多, 排水带(板)以无纺土工织物为滤材, 包裹或热熔具有纵向排水通道的高分子聚合物芯材组成(图 3-4), 厚度较薄; 凸点排水板则以圆柱状或半锥状突起壳体为芯材, 芯材凹凸高度通常可达 10~20mm(图 3-5)。塑料盲沟由高分子聚合物长丝经热粘堆缠成不同形状的排水芯材, 外包土工织物构成, 又称速排龙或长丝热粘排水体(图 3-6)。排水软管(透水软管)以经防腐处理、外覆高分子聚合物的弹簧钢丝或其他高强材料丝为骨架, 外包土工织物构成(图 3-7), 其管径一般为 50~300mm。排水硬管(透水硬管)以高分子聚合物或其他材料制成的多孔管材为芯材, 外包土工织物构成。除此之外, 以聚乙烯或其他高分子材料挤出的带材, 或在其中加入其他材料的带材, 经缠绕焊接制成的缠绕式排水管(图 3-8), 以其环刚度较高, 适应变形能力强等特性, 在市政及公路工程中也得到广泛应用。

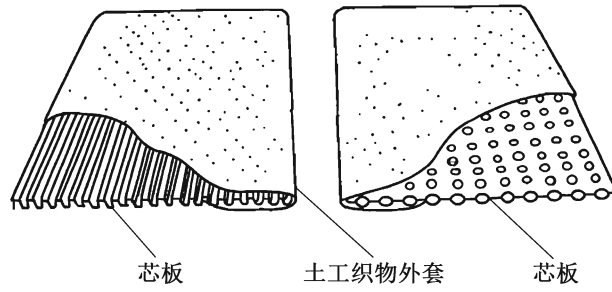


图 3-4 排水带典型断面

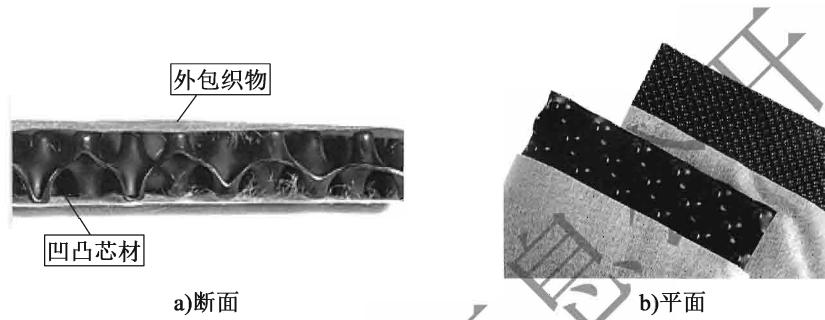


图 3-5 帽状芯材复合排水板



图 3-6 塑料盲沟

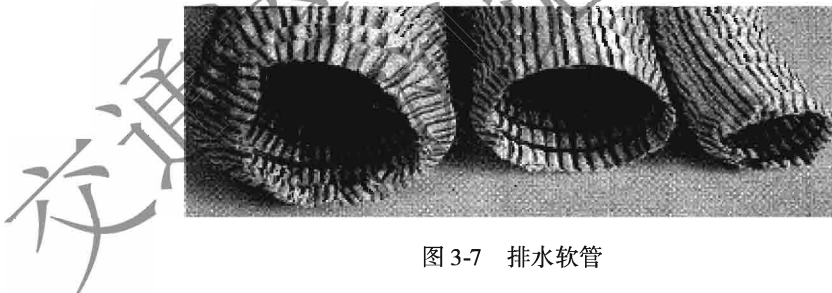


图 3-7 排水软管



图 3-8 缠绕式排水管

土工模袋是以双层织物制成的连续或单独的袋状材料，在袋中充填混凝土、水泥砂浆或砂，凝固后可形成不同大小和不同厚度的整体护面结构（图 3-9），尤其适用于复杂起伏地形的冲刷防护。



图 3-9 土工模袋示意图

聚苯乙烯泡沫塑料板 (EPS) 具有密度小、易于安装的特点。其密度一般为 $20 \sim 40\text{kg/m}^3$ ，是一般压实填土密度的 $1/100 \sim 1/50$ 。

植生袋 (图 3-10) 抗紫外线性能优，耐久性好，透水性与透气性俱佳，内装土后可用于路基绿化防护。



图 3-10 植生袋及护坡示意图

3.1.2 应根据实际工程的使用场合、环境条件，选择性能匹配的土工合成材料。

3.1.3 土工合成材料可应用于公路路基加筋、路基防排水、路基防护、路基不均匀沉降防治、加筋土挡墙、特殊路基处治、路面裂缝防治等工程，可按表 3.1.3 的规定选用。

表 3.1.3 土工合成材料的工程应用

应用工程	可采用的主要土工合成材料
路基加筋	土工格栅、土工织物、土工格室
路基防排水	排水带 (板)、凸点排水板、塑料盲沟、排水软管、排水硬管、缠绕式排水管、复合土工膜、无纺土工织物、土工合成材料黏土垫 (GCL)
路基防护	土工网、土工格室、土工格栅、土工模袋、植生袋
路基不均匀沉降防治	土工格栅、土工织物、土工格室、聚苯乙烯泡沫塑料板 (EPS)
加筋土挡墙	土工格栅、土工织物、土工格室、土工带

续表 3.1.3

应用工程		可采用的主要土工合成材料
特殊路基 处治	防沙固沙	土工格室、土工织物、土工格栅、土工网
	膨胀土路基处治	土工格栅、无纺土工织物、复合土工膜
	盐渍土路基隔离 与构筑物防腐蚀	复合土工膜、土工织物、土工格栅
路面裂缝防治		无纺土工织物、经编玻纤土工格栅、玄武岩纤维格栅

3.1.4 采用聚乙烯、聚丙烯（丙纶）材料制成的土工合成材料可用于酸、碱的化学环境中，不宜用于长时间直接暴露于阳光的环境中。确需在长时间直接暴露于阳光下的环境中使用时，应选择添加抗老化剂的品种。

条文说明

聚乙烯类土工合成材料具有较强的化学稳定性和极好的耐低温特性，聚丙烯类土工合成材料具有极强的化学稳定性和耐酸碱特性。但这两类材料的抗光老化性能较差，通过添加适量炭黑等抗老化剂，可提高其抗光老化（紫外线）性能。未添加抗老化剂的品种，在阳光下暴露时间不能超过48h，紫外线强烈地区暴露时间不能超过4h。

3.1.5 采用聚酯类（涤纶）材料制成的土工合成材料可用于长时间暴露于阳光下的环境中，不宜用于与水泥、石灰类材料直接接触等碱性化学环境中。

条文说明

聚酯类土工合成材料包括聚酯土工布（也称涤纶土工布）、聚酯格栅等，具有极好的抗光老化性能，但化学稳定性较差，尤其是在碱性条件下易发生不可逆的水解反应，使材料性能下降甚至完全丧失。美国联邦公路局（FHWA）的《加筋土挡墙与加筋土坡设计与施工指南》（2009）对聚酯（PET）材料仅推荐用于 $3 < \text{pH} < 9$ 的环境中。因此，聚酯类土工合成材料不适于与水泥、石灰、盐碱地等碱性界面直接接触。

3.1.6 采用聚酰胺类（尼龙）材料制成的土工合成材料不宜在酸性环境中使用。

条文说明

聚酰胺材料也称尼龙，通常用于制作土工尼龙绳，具有极好的耐磨特性，但耐碱不耐酸，因此，不适于在酸性环境中长期使用。

3.1.7 采用玻璃纤维制成的土工合成材料可用于高温和酸性环境中，不宜用于与水

泥、石灰直接接触的环境。

条文说明

玻璃纤维类土工合成材料具有较好的耐高温和抗变形特性，但耐磨性较差，耐酸不耐碱，不适于在与水泥、石灰直接接触等碱性环境中长期使用。

3.2 工程应用基本要求

3.2.1 应根据工程设计与施工需要，对土工合成材料的物理、力学、水力学和耐久性等性能指标进行检验。

3.2.2 土工合成材料性能指标测试应按现行《公路工程土工合成材料试验规程》(JTG 3460)等相关标准的规定进行，并应考虑工程实际条件，分析荷载、加荷速率、使用时间、温度、岩土体性质等工程环境对指标测定值的影响。对重要工程尚应进行现场试验。

3.2.3 土工合成材料基本性能应满足现行《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432)的要求。

3.2.4 土工合成材料运送过程中应有包装和封盖，装卸应采用厂家提供的方式。现场存放时，不同土工合成材料应分类堆放，并应通风干燥，远离火源，不得受日光照射和被雨水淋泡。

3.2.5 应根据功能要求、工程结构和施工条件，确定土工合成材料的长度、幅宽；应根据工程进度情况，分批适量取用。有断裂或破损的土工合成材料不得用于工程。

3.2.6 施工中应合理选择施工机具，减少施工对土工合成材料的损伤；用于隐蔽工程的土工合成材料，铺设后应及时回填、覆盖。

条文说明

不同的碾压机具对土工合成材料的损伤不同，光面压路机对土工合成材料损伤较小，羊足碾、冲击式碾等压路机可能造成土工合成材料较严重的损伤。因此，在施工中要注意施工机具的选择，减少对土工合成材料的损伤。

用于隐蔽工程的土工合成材料大部分为聚乙烯和聚丙烯类等高分子材料，紫外线照射下易老化。因此，对于加筋、防排水、特殊路基处治等隐蔽工程，要求铺设土工合成材料后及时回填、覆盖。

4 路基加筋

4.1 一般规定

4.1.1 当需要增强路基稳定性、构筑陡坡以减少占地、对路基边坡进行修复加固、道路加宽、增强挡墙稳定性时，可采用土工合成材料进行加筋。

条文说明

土工合成材料应用于路基加筋的主要应用场合如图4-1所示。

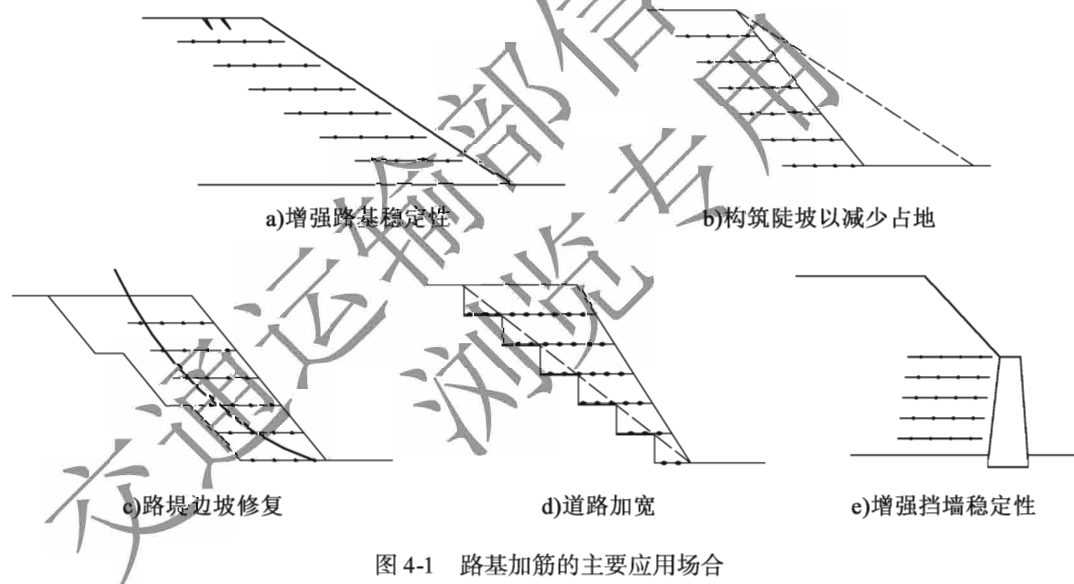


图4-1 路基加筋的主要应用场合

当重力式挡墙断面尺寸受到控制而造成支挡能力不足，或条件发生变化造成已建挡墙支挡能力不足时，通过对墙后填料进行加筋，可增强挡墙稳定性。本规范编写组建立了考虑加筋作用的土压力计算方法，分析了加筋材料特性及其铺设位置对土压力减少效果的影响，并在挡墙工程中进行了实际应用检验，证明墙后填料加筋对减小墙背土压力有一定效果，故本规范增加了相关规定。

4.1.2 应通过现场调查、地质勘察、室内外试验，获得相关基础资料，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，确定路基加筋方案。

4.1.3 地基承载力与路基填料压实度应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的规定。

条文说明

良好的地基承载力是保证路堤和挡墙稳定的必要条件,良好的压实是保证土工合成材料与填料之间具有足够的相互作用力、发挥加筋作用的关键,不能因为加筋而降低地基承载力与路基压实度要求。

4.2 材料选择与设计参数

4.2.1 路基加筋宜采用整体性和耐久性好、强度高、变形小的土工格栅、高强土工织物、土工格室等作为加筋材料,不应采用玻纤格栅。

条文说明

强度、变形、整体性和耐久性是加筋材料选择考虑的主要因素,强度高、变形小的土工合成材料,其模量往往高,对控制加筋土工程的变形是有利的,因此,做出了本条规定。

4.2.2 用于路基加筋的土工合成材料,应按式(4.2.2)确定其设计抗拉强度 T_a :

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \cdot RF_D \cdot RF_{ID}} \quad (4.2.2)$$

式中: T_{ult} ——土工合成材料抗拉强度(kN/m);

RF——土工合成材料总折减系数;

RF_{CR} ——土工合成材料蠕变折减系数;

RF_D ——土工合成材料老化折减系数,考虑微生物、化学、热氧化等影响;

RF_{ID} ——土工合成材料施工损伤折减系数。

条文说明

土工合成材料多为高分子聚合物材料,具有蠕变特性,应用于公路工程时,还会受到紫外线、生物或化学物质的影响,铺设碾压过程也会对其产生损伤,导致性能降低,设计时需考虑这些不利影响。路基加筋工程中,对土工合成材料强度影响较大的因素是蠕变和施工损伤。

4.2.3 应根据所选择的加筋材料、填料类型,以及加筋材料所处的环境条件、应力水平等,进行有关试验,获得式(4.2.2)中各折减系数;无条件时,可根据具体情况,按表4.2.3-1和表4.2.3-2取值,所处工作环境对土工合成材料强度有较大影响

时，取高值，反之取低值。总的折减系数宜为 2.0~5.0。

表 4.2.3-1 路基加筋工程土工合成材料蠕变与老化折减系数

土工合成材料原材料	蠕变折减系数	老化折减系数
聚酯	1.5~2.5	1.1~2.0
聚丙烯	2.0~4.0	
高密度聚乙烯	1.5~3.5	

表 4.2.3-2 路基加筋工程土工合成材料施工损伤折减系数

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

注：表中土系按《公路土工试验规程》(JTG 3430—2020) 进行的分类。

条文说明

FHWA 的《加筋土挡墙与加筋土坡设计与施工指南》(2009) 推荐的土工合成材料抗拉强度折减系数见表 4-1，同时指出：如无严重危害发生时，对永久性工程的初步设计，可取总的折减系数 $RF=7.0$ ；对临时结构工程，可取总的折减系数 $RF=3.0$ ；通常情况下，考虑蠕变、施工损伤、老化的总的折减系数为 3~6。

表 4-1 FHWA 推荐的土工合成材料抗拉强度折减系数

土工合成材料类型	折减系数		
	蠕变折减系数	老化折减系数	施工损伤折减系数
聚酯 (PET)	1.6~2.5	1.1~2.0	1.05~3.0
聚丙烯 (PP)	4.0~5.0		
高密度聚乙烯 (HDPE)	2.6~5.0		

Robert M. Koerner (1998) 建议，主要用于加筋目的时，土工格栅和土工织物的各项折减系数值见表 4-2。

表 4-2 Robert M. Koerner 推荐的各项强度折减系数

材料类型	应用场合	施工损伤 RF_{ID}	蠕变 RF_{CR}	化学损害 RF_{CD}	生物损害 RF_{BD}
土工格栅	路堤	1.1~1.4	2.0~3.0	1.1~1.4	1.0~1.2
	边坡	1.1~1.4	2.0~3.0	1.1~1.4	1.0~1.2
	挡墙	1.1~1.4	2.0~3.0	1.1~1.4	1.0~1.2
	地基承载	1.2~1.5	2.0~3.0	1.1~1.6	1.0~1.2
土工织物	挡墙	1.1~2.0	2.0~4.0	1.0~1.5	1.0~1.3
	地基承载	1.1~2.0	2.0~4.0	1.0~1.5	1.0~1.3
	边坡	1.1~1.5	2.0~3.0	1.0~1.5	1.0~1.3

邓卫东、唐颂 (2005) 通过对不同填料和不同土工合成材料的室内模拟碾压试验和现场碾压试验, 得出表 4-3 所示的施工损伤折减系数推荐值。

表 4-3 土工合成材料施工损伤折减系数推荐值

应用场合	土工合成材料类型	细粒土	砂类土	砾类土	漂石质土	漂石夹土
加筋工程	土工织物	1.1~1.2	1.1~1.6	1.2~2.0	1.3~2.5	1.5~3.0
	土工格栅	1.1~1.2	1.1~1.4	1.2~1.6	1.3~2.0	1.5~2.2
路面工程	无纺土工织物 (<200g/m ²)	1.5~2.0				
	玻纤格栅	1.0~1.5				

注: 有 100mm 厚细料保护时, 按细粒料情况取值。

由这些推荐的折减系数看, 不同工程应用条件, 折减系数不同, 各家推荐的值也存在较大差异。在同类工程应用场合, 各家所推荐的系数均普遍反映出土工织物的施工损伤系数大于土工格栅。

蠕变折减系数是最难确定的折减系数, 其原因在于影响蠕变的因素除原材料外, 还有应力水平。本条给出的折减系数为根据相关研究结果, 并考虑到实际工程中加筋材料所处的应力水平并不高的情况综合确定的。

本条未给出大粒径填料如漂石质土、漂石夹土条件下的施工损伤折减系数, 是考虑到在这种填料下不加保护就直接铺设土工合成材料是不可取的, 需要设置细粒料保护层, 此时, 损伤折减系数需按细粒料情况取值。

4.2.4 填料应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的要求, 应选择易于压实、与土工合成材料产生良好摩擦与咬合、对筋材不产生腐蚀作用的填料; 墙后填料应有良好的水稳定性, 宜采用砾石土、碎石土。

4.2.5 应根据填料来源, 选择有代表性的土样进行室内试验确定填料参数。填料及地基抗剪强度参数 c 、 φ 值试验条件, 应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。

4.2.6 加筋材料与填料间的界面阻力系数 f_{GS} , 对二级及二级以上公路施工图设计, 应采用现行《公路工程土工合成材料试验规程》(JTG 3460) 规定的直剪摩擦特性试验或拉拔摩擦特性试验方法, 按加筋材料、填料实际条件试验确定; 其他等级公路, 或二级及二级以上公路的初步设计, 可按式 (4.2.6-1)、式 (4.2.6-2) 确定:

土工织物:

$$f_{GS} = \frac{2}{3} \tan \varphi_s \quad (4.2.6-1)$$

土工格栅:

$$f_{GS} = 0.9 \tan \varphi_s \quad (4.2.6-2)$$

式中: φ_s ——与加筋材料接触的填料内摩擦角 ($^{\circ}$)。

条文说明

对土工合成材料与填料接触的界面特性参数，国内外进行过大量的试验研究。试验方法主要有直接摩擦试验和拉拔试验两类。在表述界面特性参数的方式上，仍主要采用 c 、 φ 两个强度参数，主要考虑的是参数 φ 。

直接摩擦试验和拉拔试验方法不同，得出的结果也不同。拉拔试验测得的界面摩擦系数往往比直接摩擦试验大。拉拔试验复杂，且试验结果稳定性较直接摩擦试验差，故优先推荐采用直接摩擦试验。

加筋材料类型、填料压实度和含水率对筋土界面特性都有影响。有关研究表明，土工格栅与土的界面摩擦系数大于土工织物，填料压实度大，界面摩擦系数大，筋土界面摩擦系数随填土含水率的增加而降低。

《公路工程土工合成材料试验规程》(JTG 3460) 中的直剪摩擦特性试验规定采用标准砂，但对实际工程需要的界面摩擦参数，需要根据实际采用的填料及其压实度、含水率和土工合成材料进行试验确定。综合国内外有关试验结果和工程需要，作出了本条规定。

4.3 结构形式

4.3.1 应根据工程具体情况，遵循技术可行、经济合理、施工方便的原则，经综合比较分析，确定结构形式。对路堤加筋，可采用如图 4.3.1-1 所示的结构形式；对重力式挡墙墙后加筋，宜采用图 4.3.1-2 所示的沿墙高全断面加筋结构形式。

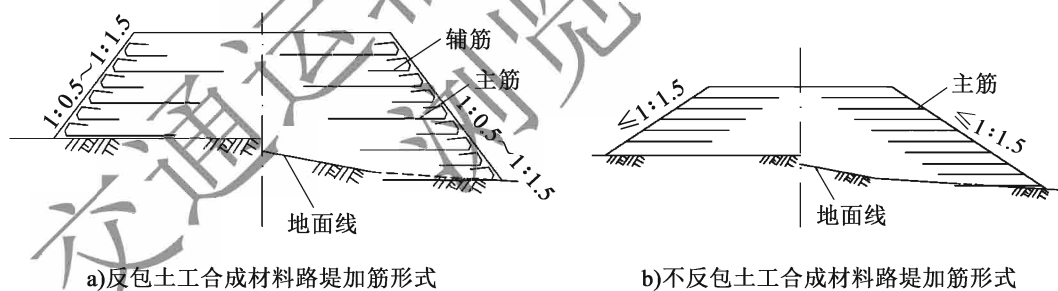


图 4.3.1-1 路堤加筋结构形式

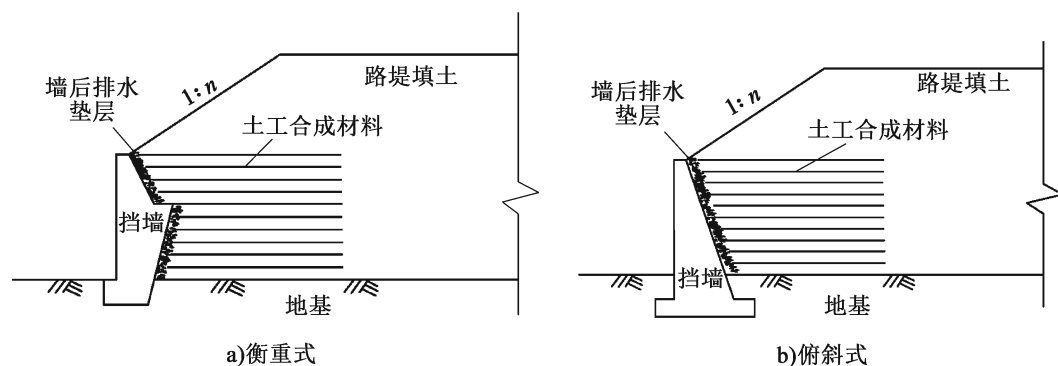


图 4.3.1-2 重力式挡墙墙后加筋结构形式

条文说明

邓卫东、邓昌中 (2005) 就筋材铺设于墙后填料上部、中部、下部, 以及沿墙高全断面铺设对土压力的影响进行了数值分析研究, 结果表明: 无论是衡重式挡墙还是俯斜式挡墙, 沿墙高全断面铺设效果最好。因此, 本条推荐采用沿墙高全断面铺设形式。

4.3.2 加筋路堤边坡坡率不应陡于 1:0.5。当边坡坡率陡于 1:1.5 时, 应采用反包土工合成材料的形式; 当坡率缓于或等于 1:1.5 时, 可采用不反包的形式。

条文说明

根据有关计算分析, 当路堤边坡坡度大于 70° 时, 土压力趋于控制设计; 小于 70° 时, 稳定性趋于控制设计。 70° 的坡度对应的坡率为 1:0.364, 我国常采用的坡率为 1:0.3、1:0.5、1:0.75、1:1、1:1.5。据此, 将路堤的最陡坡率定在了 1:0.5, 当陡于这个坡率时, 按加筋土挡墙进行设计。

坡面是否需要反包既与边坡坡率有关, 也与填料性质有关, 还与筋材层间距有关。FHWA 的《加筋土挡墙与加筋土坡设计与施工指南》(2009) 规定: 一般情况下, 当筋材层间距小于 0.4m、坡度缓于 1:1 时, 坡面可采用不反包形式。考虑到路基的长期稳定, 本条对陡于 1:1.5 的边坡, 提出应进行反包的要求。

4.3.3 加筋材料的竖向层间距, 不宜小于一层填料最小压实厚度。对路堤加筋, 受力主筋层间距不宜大于 0.8m, 当大于 0.8m 且边坡坡率陡于 1:1.5 时, 应设置辅筋; 辅筋层间距不宜大于 0.4m, 长度不应小于 2.0m。对墙后加筋, 加筋材料竖向层间距不宜大于 1m。

条文说明

当筋材层间距大于 0.8m 且坡率较陡时, 筋层间的土体易出现局部坍塌, 进而影响加筋体长期稳定性, 为此, 要求加设辅筋。

4.3.4 应加强加筋体内部与表面的排水, 排水设施的结构形式与尺寸、铺设位置与范围应根据场地水的情况确定。对有地下水的地基及斜坡, 以及墙背, 应设置排水层, 如图 4.3.4 所示。

4.3.5 宜采取植物防护为主、工程防护为辅的措施对加筋路堤坡面进行防护。路堤边坡坡率缓于或等于 1:1.5 时, 土工合成材料可不反包, 坡面防护可按一般路基进行防护。坡率陡于 1:1.5 时, 土工合成材料应反包, 坡面防护形式可按表 4.3.5 选择, 防护的材料、结构应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。

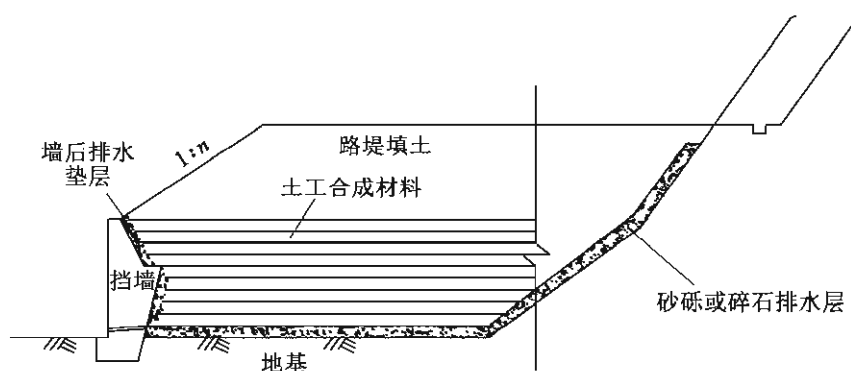


图 4.3.4 墙后加筋内部排水层设置示意图

表 4.3.5 加筋路堤坡面防护形式

防护措施	植物防护	骨架植物防护	工程防护
防护形式	直接喷播、喷护有机材绿化等	不推荐	石笼(应与加筋材料有效连接)等

条文说明

坡面防护形式取决于填料类型、坡率和加筋层间距。就我国的情况看,对缓于或等于1:1.5的边坡,多采用直接喷播或有机材喷播的植被绿化防护,以及骨架植被防护;对陡于1:1.5的边坡多采用有机材喷播绿化,单纯的工程防护一般很少采用。反包形式的加筋路堤坡面,土工合成材料长期暴露在外,易受紫外线的影响而老化,需要重视路堤的坡面防护。石笼兼具工程防护与植物防护优点,且适合较陡的坡面,近年来得到越来越多的应用。

4.4 设计计算

4.4.1 加筋路堤的设计计算应考虑内部稳定破坏与外部稳定破坏两种模式。计算分析内容及其要求可按表4.4.1确定。进行各项分析时,应根据现行《公路路基设计规范》(JTG D30)要求考虑正常工况、暴雨工况、地震工况等不同的工况。

表 4.4.1 加筋路堤计算分析内容与要求

破坏模式		分析内容	稳定安全系数 F_s
内部 稳定 破坏	滑动面位于堤身	堤身稳定性	满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的要求
	滑动面穿过地基	地基与堤身的整体稳定性	满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的要求
	筋材拔出	抗拔稳定性	1.5(粒料土), 2.0(黏性土)
外部 稳定 破坏	平面滑动破坏	平面滑动稳定性	1.30, 考虑地震荷载时取1.1
	深层滑动破坏	深层滑动稳定性	满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的要求
	局部承载破坏	局部承载稳定性	1.30, 考虑地震荷载时取1.1
	过量沉降	沉降	满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的要求

条文说明

FHWA 的《加筋土挡墙与加筋土坡设计与施工指南》(2009) 将加筋路堤的破坏划分为内部稳定破坏、外部稳定破坏和复合稳定破坏三种类型。内部稳定破坏指滑动面穿过加筋体，外部稳定破坏指滑动面位于加筋体范围外，复合稳定破坏主要指滑动面同时穿过加筋体和加筋体外。表 4-4 为 FHWA 针对不同破坏模式提出的稳定安全系数要求。

表 4-4 FHWA 推荐的加筋路堤稳定安全系数要求

破坏类型		稳定安全系数 F_s
外部稳定破坏	滑动破坏	1.3
	深层整体滑动破坏	1.3
	局部承载破坏 (侧向挤出)	1.3
	动载	1.1
复合稳定破坏		1.3
内部稳定破坏		1.3
抗拔		1.5 (粒料土), 2.0 (黏性土)
沉降		工后沉降根据工程要求而定

考虑到复合稳定破坏模式计算方法与仅穿过加筋体的内部稳定破坏是一致的，故本规范将加筋路堤的破坏划分为外部稳定破坏和内部稳定破坏两种模式。

外部稳定破坏包括平面滑动破坏、深层滑动破坏、局部承载破坏 (侧向挤出破坏)、过量沉降四种形式，如图 4-2 所示。

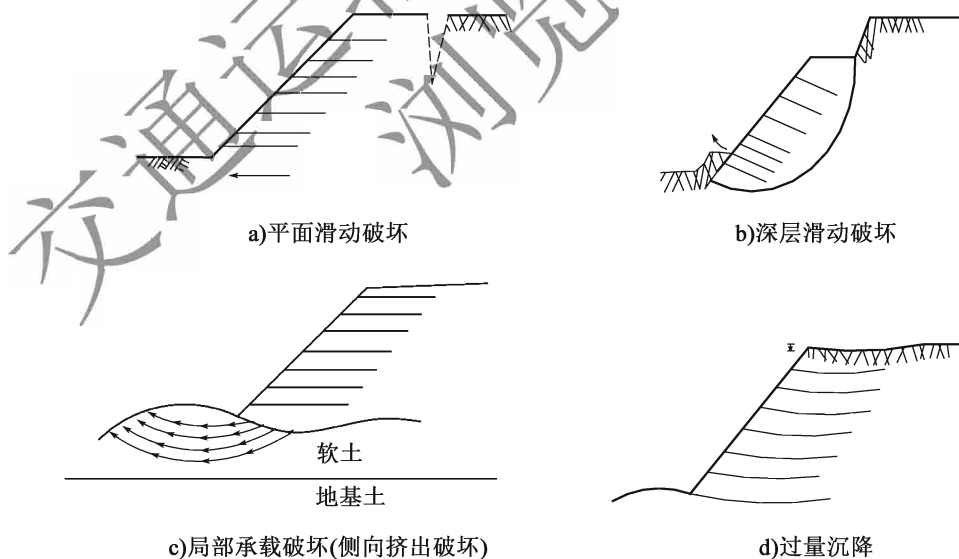


图 4-2 加筋路堤外部稳定破坏形式

我国现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 对路堤稳定性的计算及稳定安全系数提出了明确要求，土工合成材料加筋路堤的目的是使路堤达到规定的要求，因此，对内部稳定破坏涉及的堤身稳定性、地基与堤身的整体稳定性，以及外部稳定破坏涉及的深

层滑动稳定性与沉降，要求满足现行标准规定的稳定安全系数要求；对未涉及的平面滑动稳定性、局部承载稳定性、筋材拔出，借鉴了表 4-4 的推荐值。

4.4.2 应通过计算分析，确定加筋路堤筋材的铺设层数、铺设范围和铺设方式。重要工程宜结合数值分析方法，获得加筋体变形与破坏特征，确定铺设方案。

4.4.3 加筋路堤筋材宜按上疏下密的方式进行布置，其层间距可按下列步骤确定：

1 可按图 4.4.3-1 和式 (4.4.3-1) 计算满足稳定安全系数 F_s 需要的筋材总拉力 T_s 。应由式 (4.4.3-1) 搜索得出最大总拉力 T_{smax} 及其对应的滑动面。

$$T_s = (F_s - F_{su}) \frac{M_D}{D} \quad (4.4.3-1)$$

式中： F_s ——要求达到的稳定安全系数，按现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 取值；

F_{su} ——未加筋时路堤圆弧滑动破坏的稳定系数，按现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 规定的方法计算；

D ——筋材总拉力 T_s 作用的力臂 (m)，对土工格栅、土工织物等片状筋材，取 $D = R$ ；

M_D ——滑动力矩 (kN)，可按式 (4.4.3-2) 计算；当需要考虑地震力作用时，需计入地震力；

$$M_D = \sum (W_i + Q_i) R \sin \alpha_i \quad (4.4.3-2)$$

W_i ——土条 i 的重力 (kN/m)；

Q_i ——作用于 i 土条垂直方向的外力 (kN/m)，如车辆荷载等；

R ——滑弧半径 (m)；

α_i ——土条 i 底滑面与水平面的夹角 ($^\circ$)。

2 可根据 T_{smax} 和坡高 H 确定不同加筋层间距的区域，当坡高 $H \leq 6.0\text{m}$ 时，按 1 个区域布置；当 $H > 6.0\text{m}$ 时，按大致等高的 2 个或 3 个区域布置。各区域筋材所受拉力 T_z 按下列方式考虑，如图 4.4.3-2 所示。

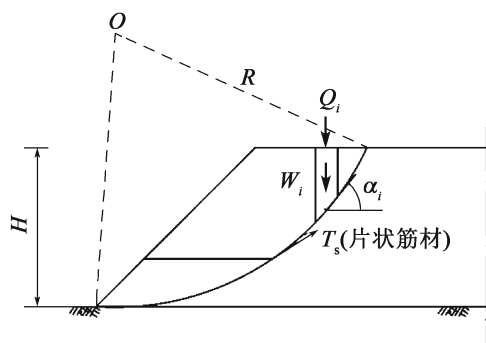


图 4.4.3-1 筋材总拉力计算图示

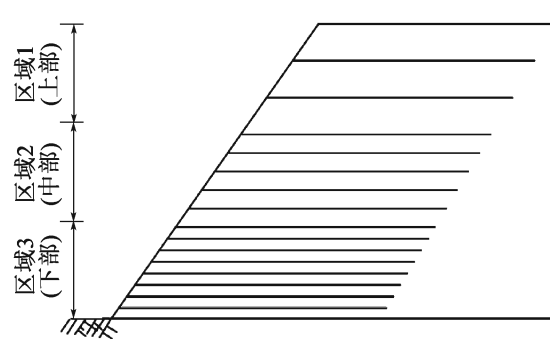


图 4.4.3-2 筋材的区域布置

1 个区域布置时: $T_z = T_{smax}$;

2 个区域布置时: 底部 $T_z = 3/4T_{smax}$, 上部 $T_z = 1/4T_{smax}$;

3 个区域布置时: 底部 $T_z = 1/2T_{smax}$, 中部 $T_z = 1/3T_{smax}$, 上部 $T_z = 1/6T_{smax}$ 。

3 可按式 (4.4.3-3) 确定各加筋区域筋材竖向间距或所需的加筋层数。当计算获得的筋材竖向间距小于一层填料最小压实厚度时, 应改用强度更高的加筋材料。

$$T_j = \frac{T_z S_v}{H_z} = \frac{T_z}{N} \leq T_a R_c \quad (4.4.3-3)$$

式中: R_c ——加筋覆盖率, 对土工格栅和土工织物, 取 $R_c = 1$;

S_v ——各加筋区域筋材竖向间距 (m);

H_z ——各加筋区域高度 (m);

N ——各加筋区域加筋层数;

T_z ——各加筋区域筋材所受拉力 (kN/m), 按本条第 2 款确定;

T_j ——第 j 层筋材所受拉力 (kN/m);

T_a ——筋材设计抗拉强度 (kN/m), 按式 (4.2.2) 确定。

条文说明

大量的研究分析表明, 中下部的加筋材料对路堤稳定性贡献大, 因此, 推荐上疏下密的布设方式。

对筋材的受力方向, 目前主要有两种假定, 其一是假定沿筋材的铺设方向, 其二是假定沿滑弧的切向。实际的情况比较复杂, 筋材的受力方向与加筋材料的刚度和加筋路堤的变形有关, 更多是介于两者之间。FHWA 的《加筋土挡墙与加筋土坡设计与施工指南》(2009) 认为, 对刚度大的条带式加筋材料, 如钢条, 筋材的受力方向为沿筋材的铺设方向; 对土工格栅、土工织物等片状式筋材, 柔性大, 其受力方向为滑弧切向。本条规定是根据专题研究成果, 并参考 FHWA 的标准提出的。

筋材布置过密, 不便于施工, 也不经济, 因此, 筋材竖向间距小于最小压实厚度时, 要求重新选择加筋材料。

4.4.4 加筋材料的铺设长度应根据堤身稳定性、地基与堤身的整体稳定性、堤身沿地基表面的平面滑动稳定性、抗拔稳定性计算结果综合确定, 并符合下列规定:

1 堤身稳定性、地基与堤身的整体稳定性, 可采用式 (4.4.4-1) 所示的圆弧条分法进行计算, 计算图示如图 4.4.4-1 所示。计算时应假定若干滑弧, 求得最小稳定系数。最小稳定系数不得小于表 4.4.1 规定的稳定安全系数要求。

$$F_c = F_{su} + \frac{\sum T_j D_j}{M_D} = F_{su} + \frac{\sum T_j D_j}{\sum (W_i + Q_i) R \sin \alpha_i} \quad (4.4.4-1)$$

式中: F_c ——堤身稳定性、地基与堤身整体稳定性系数;

F_{su} ——未加筋时的稳定性系数, 采用现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 规定的方法进行计算;

T_j ——第 j 层筋材所受拉力 (kN/m), 按式 (4.4.3-3) 计算;
 D_j ——第 j 层筋材拉力作用力臂 (m), 对土工格栅和土工织物, 取 $D_j = R$ 。

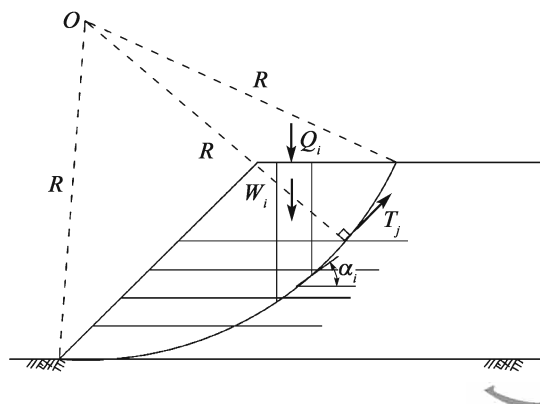


图 4.4.4-1 堤身稳定性、地基与堤身整体稳定性计算图示

2 堤身沿地基表面的平面滑动稳定性可采用式 (4.4.4-2) 计算, 计算图示如图 4.4.4-2 所示, 稳定系数 K_p 应满足表 4.4.1 相应的要求。

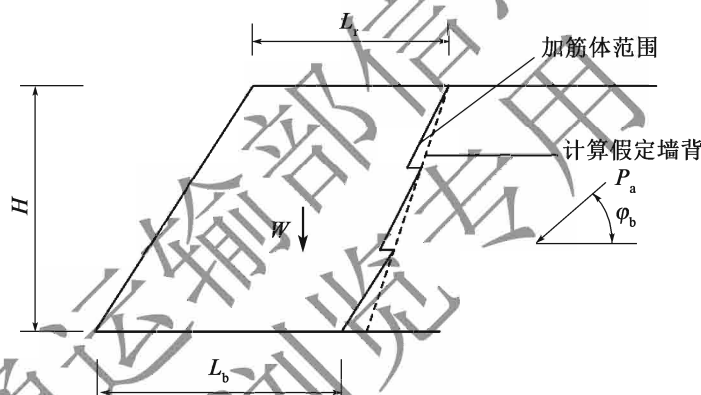


图 4.4.4-2 堤身沿地基表面的平面滑动稳定性计算图示

$$K_p = \frac{(W + P_a \sin \varphi_b) \tan \varphi_{\min}}{P_a \cos \varphi_b} \quad (4.4.4-2)$$

式中: W ——加筋体重力 (kN/m);
 P_a ——作用于加筋体的主动土压力 (kN/m);
 φ_b ——加筋体后填料内摩擦角 ($^\circ$), 当加筋体背后铺设有排水层或反滤层时, φ_b 为排水层或反滤层与填料间的相互作用摩擦角;
 φ_{\min} ——加筋体与地基间的摩擦角 ($^\circ$), 取填料与筋材间、地基土与筋材间摩擦角, 或填料、地基土摩擦角中的小者。

3 筋材埋入稳定土体内的锚固长度 L_e 可按式 (4.4.4-3) 确定, 当计算的锚固长度小于 2.0m 时, 取为 2.0m。

$$L_e = \frac{T_j F_c}{2f_{GS} \alpha \sigma'_v R_c} \quad (4.4.4-3)$$

式中: f_{GS} ——抗拔出阻力系数, 按本规范第 4.2.6 条确定;

α ——考虑筋材与土相互作用的非线性分布效应系数, 取 0.6~1, 资料缺乏时, 土工格栅取 0.8, 土工织物取 0.6;

σ'_v ——筋土交界面的有效正应力 (kN/m), 可按作用于筋材上的自重应力计算;

F_e ——筋材抗拔出的稳定安全系数, 对粒料土 $F_e = 1.5$, 对黏性土 $F_e = 2.0$ 。

4.4.5 当路堤下存在深度 D_s 小于边坡宽度 b' 的软弱土时, 可采用式 (4.4.5) 计算局部承载破坏 (侧向挤出) 的稳定系数 F_{sq} , 计算图示如图 4.4.5 所示。计算所得到的稳定系数 F_{sq} 应满足表 4.4.1 的要求; 当不满足要求时, 应对地基进行处理。

$$F_{sq} = \frac{2C_u}{\gamma D_s \tan \theta} + \frac{4.14C_u}{H\gamma} \quad (4.4.5)$$

式中: C_u ——软弱土体的不排水剪强度 (kN/m²);

γ ——路堤填料重度 (kN/m³);

D_s ——软弱土体深度 (m);

θ ——边坡坡角 (°);

H ——路堤高度 (m)。

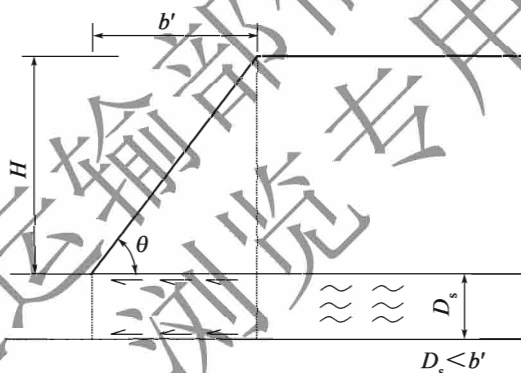


图 4.4.5 局部承载破坏 (侧向挤出) 计算图示

4.4.6 墙后加筋不应降低对挡墙自身设计与施工的要求。挡墙稳定性计算方法及其要求应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。土压力和筋材锚固长度计算应符合下列规定:

1 墙后加筋体作用于墙背的土压力水平作用力 P 可按式 (4.4.6) 计算, 根据计算的土压力确定挡墙尺寸, 根据所需筋材拉力确定加筋层间距。

$$P = P_{ax} - T_r \quad (4.4.6)$$

式中: P_{ax} ——未加筋时主动土压力的水平分量 (kN/m), 主动土压力按现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 中相关要求计算;

T_r ——筋材的总设计拉力 (kN/m), 应结合工程具体情况确定工作应变, 以工作应变对应的拉力作为筋材的设计拉力; 对塑料土工格栅和土工织物,

当先构筑挡墙后铺设加筋材料时，可取 0.5% ~ 1% 应变对应的筋材拉力作为设计拉力；当先完成加筋再构筑挡墙时，可取 1% ~ 2% 应变对应的筋材拉力作为设计拉力。

2 墙后加筋材料应穿过破裂面，破裂面后的锚固长度可按式 (4.4.4-3) 计算确定。

条文说明

墙后的填料和加筋材料一般不会同时进入极限状态。填料进入极限状态（或主动土压力状态）所需的变形相对要小，而加筋材料达到最大抗拉强度所需变形要大得多。因此，重力式挡墙墙后加筋设计需以重力式挡墙稳定进行控制，根据允许变形条件下筋材应变对应的拉力考虑筋材的作用。

加筋体作用于挡墙的作用力主要有三种假定，其一是假定加筋材料对墙后土体的滑裂面没有影响，墙后土压力由重力式挡墙和加筋材料共同承担，土压力的水平分量等于传统主动土压力水平分量减去筋材在相应工作状态下的总拉力；其二是假定墙后加筋土体的滑裂面为朗肯主动滑裂面，取主动区为脱离体，求解作用于挡墙的水平作用力；其三是假定加筋材料导致墙后土体的滑裂面转变为 $0.3H$ 确定的潜在滑裂面，取主动区为脱离体，求解作用于挡墙的水平作用力。

本规范就墙后加筋进行了专题研究，结果表明：假定一和假定二的结果非常接近，且与数值分析结果基本吻合；假定三土压力较数值分析结果明显要低，且计算相对复杂。为此，本条推荐假定一。

筋材所处工作状态与施工方法及顺序等因素相关。本规范针对塑料土工格栅、土工织物加筋材料的专题研究结果表明：对于先构筑挡墙后加筋的重力式挡墙，筋材的变形受挡墙限制较明显，可取 0.5% ~ 1% 为工作应变；对于先构筑加筋土再构筑挡墙情况，可取 1% ~ 2% 为工作应变。据此，做出了本条规定。

4.4.7 应采用现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 规定的方法进行沉降分析，并满足相应的要求。当沉降不能满足要求时，应采取措施对地基进行处理。

条文说明

尽管有大量的研究表明，采用土工合成材料加筋后，路堤的沉降，尤其是不均匀沉降有所改善，但至今仍未建立起考虑加筋作用的沉降计算方法，因此，本条规定采用现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 规定的方法进行沉降分析。

4.5 施工要点

4.5.1 土工合成材料加筋路基施工前，应清理和平整场地，完成地基的处理和地下

排水设施的施工。

4.5.2 筋材的铺设与连接应满足下列要求：

- 1 路堤加筋，加筋材料强度高的方向应垂直于路线方向；墙后加筋，加筋材料强度高的方向应垂直于挡墙墙面。
- 2 应根据设计确定筋材的裁剪长度，尽量避免在主受力方向连接，必须连接时，连接处强度不得低于材料的抗拉强度的80%。
- 3 横向相邻两幅加筋材料应相互衔接，不同层面的衔接位置应相互错开不小于0.5m。
- 4 铺设筋材的土层表面应平整，不应有尖锐凸出物。
- 5 筋材的铺设应平整、无褶皱，可用人工拉紧、U形钉固定等措施将加筋材料固定于填料表面。
- 6 筋材铺设完毕后应及时用填料覆盖。

条文说明

通常情况下，连接强度难以达到加筋材料的原强度，因此，在主受力方向，要根据设计做好筋材用材计划，尽可能不要连接。

要求不同层面的衔接位置应相互错开是为了增强加筋的整体效应。

4.5.3 填料应分层摊铺、分层碾压，应避免运料车及其他施工机械直接在张紧定位的加筋材料上行进，不得直接将填料卸在土工合成材料上。填料摊铺和碾压应符合下列规定：

- 1 压实面与筋材之间应有不少于0.15m厚的填料，距离加筋材料上下0.1m范围内的填料，最大粒径不得大于80mm。
- 2 对软弱地基，应采用后卸式卡车沿路堤中心线方向两侧边缘卸料，填料不应集中堆卸。第一层填料宜采用推土机或其他轻型压实机具进行压实，当填筑厚度大于0.6m后方可采用重型压实机具压实。
- 3 对非软弱地基，宜从路堤的中心线位置开始，对称向两侧摊铺填料并碾压。
- 4 采用重型压路机压实时，应先静压后振动。临近路堤边坡坡面，以及临近挡墙等重型压路机难以压到部位，应采用轻型压实机具分层压实，压实厚度不得大于0.15m。

条文说明

软土地基上若直接用重型机具碾压，或堆土不当，易造成地基局部承载力不足而破坏，使加筋材料产生局部大变形。采用后卸式卡车沿路堤轴线方向两侧边缘卸料，既便于将土工合成材料张紧，也便于形成运土的交通便道，因此，对卸土的方式做出规定。

在临近边坡坡面，以及临近墙后部位，难以采用正常的压实机械进行压实，是压实的薄弱环节，因此，要求采用轻型压实机具对这部分填料进行压实，以保证填筑质量。

4.5.4 加筋路堤边坡坡率陡于或等于1:1时，应设置坡面支撑体。可采用木模等临时型支撑体或土工织物土袋、石笼、钢架等永久型支撑体。

4.5.5 当坡面采用反包形式时，加筋材料卷入路堤的长度不得小于1.5m，如图4.5.5所示；当采用土工格栅加筋时，应用细网、草席或植生袋等置于坡面格栅内侧，防止填料漏出。

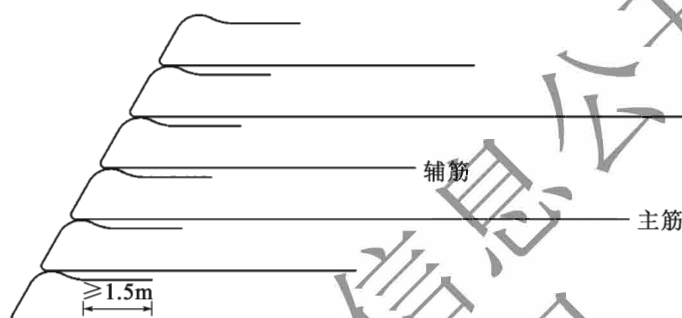


图 4.5.5 加筋路堤土工合成材料卷入长度

4.5.6 加筋路堤的边坡应及时防护。防护施工滞后时应及时对坡面采取临时保护措施，避免土工合成材料长时间暴露和雨水对边坡的冲蚀。

4.5.7 施工中应修筑临时排水设施，减少水的影响。

4.5.8 对边坡高度大于10m或地基条件不良的加筋路堤，以及高度大于10m的墙后加筋挡墙，应加强施工期间的稳定性监测。当出现稳定性不足的迹象时，应采取控制填筑速率、变更设计方案等措施，确保其稳定。

5 路基防排水

5.1 一般规定

5.1.1 采用土工合成材料进行反滤、排水和防渗时,应根据场地情况,合理选择材料,进行系统设计,与其他相关设施一起共同构成完善的反滤、排水和防渗系统。

5.1.2 应根据场地的具体工程地质和水文地质条件、环境条件,确定土工合成材料应用的位置、铺设方式和数量,保障反滤、排水和防渗结构的有效性。

5.1.3 与路基防排水相关的流量计算,反滤、排水、防渗系统结构形式及其铺设位置等,应按现行《公路排水设计规范》(JTG/T 3333)、《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定执行。

条文说明

土工合成材料应用于反滤、排水和防渗,仅仅是材料的变化。对反滤隔离、排水和防渗系统的设置,针对不同的工程,相关标准都有具体的要求。为此,提出了本条的规定。

5.2 反滤与排水设计

5.2.1 反滤宜采用无纺土工织物,排水可选用排水带(板)、凸点排水板、排水软管、排水硬管、塑料盲沟、复合排水网、复合排水垫等土工排水材料。

5.2.2 用于反滤的土工织物,应满足挡土、透水(保持水流畅通)和防止淤堵三方面的要求。对一般工程结构设计或重要工程结构的初步设计,可按下列要求选定土工织物;对重要工程结构的施工图设计,除应按下列要求选定土工织物外,尚应根据实际的荷载、渗流、被保护土质、工程特点等条件,通过相应的试验进行检验。

1 挡土要求:

$$\begin{cases} O_{95} \leq nd_{85} & \text{粗粒土 (粒径 } d < 0.075\text{mm 的颗粒含量小于 } 50\%) \\ O_{95} \leq 0.21\text{mm} & \text{细粒土 (粒径 } d < 0.075\text{mm 的颗粒含量大于或等于 } 50\%) \end{cases}$$

(5.2.2-1)

式中： O_{95} ——土工织物的等效孔径（mm）；
 d_{85} ——被保护土的特征粒径（mm），按土中小于该颗粒粒径的土粒质量占总土粒质量的85%确定；
 n ——系数，与被保护土类型、级配、土工织物品种及所处工作状态有关， n 值宜根据试验确定，不宜小于2。

2 透水性要求：

$$K_G > AK_S \quad (5.2.2-2)$$

式中： K_G 、 K_S ——土工织物的渗透系数（m/s）和被保护土的渗透系数（m/s）；
 A ——系数，宜按工程经验确定，不宜小于10。

3 防淤堵要求：

$$GR = i_1/i_2 \leq G \quad (5.2.2-3)$$

式中： GR ——梯度比；

i_1 、 i_2 ——土工织物被保护土侧与另一侧的水力梯度；

G ——1.5~3.0，对容易淤堵的填料和使用场合， G 取较小值。

4 当排水失效会引起巨大损失时，应进行室内淤堵试验，确定合适的材料与反滤结构。

条文说明

荷载、渗流、被保护土质情况等均会对土工织物的反滤性能产生影响。因此，需保证土工织物性能和结构稳定，避免由于荷载的作用而导致其孔径发生大的变化。

反滤准则包括挡土准则、透水准则、淤堵准则3个方面。总的看来，静荷单向水流下的反滤准则较为成熟，动荷或双向水流下的反滤准则仍处于研究中。在此提出的三方面要求，主要针对静荷单向水流，即水总是从被保护土体流入土工织物的情况。

对静荷单向水流下的挡土准则，具有代表性的有 Calhoun 准则、Giround 准则和 Heerteen 准则。Calhoun 准则简单，物理概念明确，在我国工程中得到广泛使用，许多工程的实践经验认为在挡土方面是可靠的，其土类的划分标准与我国现行的土工试验规程划分标准较一致，织物的等效孔径试验方法和取值与我国多数部门或工程实践采用的方法、取值相近或相同。基于简单、便于应用、安全可靠、便于与现行方法标准衔接几个方面考虑，本条选取 Calhoun 准则作为挡土准则。

挡土和透水是相互矛盾的，土工织物的选择是在挡土和透水之间寻求合理的平衡。维持长期的透水性是最难的，而挡土的要求则较易达到。故各国的反滤准则中有将孔径加大的趋势。

n 值主要与被保护土类型、级配、土工织物品种及所处工作状态有关，《土工合成材料应用技术规范》（GB/T 50290—2014）的 n 值取值见表 5-1。

表 5-1 系数 n 的取值

被保护土细粒 ($d \leq 0.075\text{mm}$) 含量 (%)	土的不均匀系数, 或土工织物品种		n 值
$\leq 50\%$	$C_u \leq 2, C_u \geq 8$		1
	$2 < C_u \leq 4$		$0.5C_u$
	$4 < C_u < 8$		$8/C_u$
$> 50\%$	有纺织物	$O_{95} \leq 0.3\text{mm}$	1
	无纺物		1.8

公路路基填筑土常常由不同粒径材料组成, 发生少量的细颗粒流失一般不会影响路基结构的稳定性, 因此, 对于公路结构, 可以适当增大土工织物的孔径。但对粉土等较为均匀的细颗粒材料, 在选择滤层材料时需谨慎, 经验认为, 此时增加一定厚度的砂砾料保护层对防止被保护土流失, 效果更好。

在透水准则方面, 目前常见的有两种表达方式: 其一是以等效孔径和特征粒径表示的准则, 其二是以渗透系数表示的准则。综合分析各研究情况, 参考《土工合成材料应用技术规范》(GB/T 50290—2014) 的规定, 认为对土工织物取 $K_G > 10K_S$ 比较合适。

在淤堵准则方面, 研究表明, 土和土工织物共同组成了一个平衡的反滤系统, 而不是织物单独起作用, 少量细颗粒的流失是允许的 (包承钢, 2008), 较多观点认为 GR 取 3 太大, 实际工程中的 GR 值很少大于 1.5 (陆士强等, 1994)。因此, 本规范对梯度比采用了 1.5 ~ 3.0。

对动荷载及双向水流下的反滤, 一般认为, 以采用较厚的无纺物并与砂层相结合的措施较为合适。对公路工程而言, 双向水流情况较少, 一般仅在沿河护坡工程及沿河挡土工程中遇到, 动荷作用也不大, 且土工织物滤层不会单一暴露在外, 其上往往有块石或混凝土块覆盖层。因此, 对公路工程中的双向水流情况, 未单独提出要求, 可以参考采用静荷单向水流的反滤准则。

考虑到反滤准则的复杂性, 要求对重要的工程或结构, 需要根据实际工程情况通过相应的渗透试验、淤堵试验或模型试验进行检验, 选择土工织物。

5.2.3 用于包裹碎石暗沟和渗沟、带孔塑料管等管件的土工织物, 处治冒泥翻浆和季节性冻融翻浆的土工织物, 支挡结构物壁墙后和水下坡面隔离的土工织物等, 应按反滤设计要求进行选择。

5.2.4 土工织物用于处治冒泥翻浆或季节性冻融翻浆时, 应在土工织物上铺设 100 ~ 200mm 的中粗砂保护层, 在其下铺设 50 ~ 100mm 的中粗砂垫层, 提高反滤效果。

5.2.5 土工排水材料的强度应满足现行《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432) 的要求。应根据其埋设深度和承受荷载, 选用相应的规格。

5.2.6 土工织物包裹的碎石暗沟和渗沟，以及土工排水材料等排水体，其设置位置、布置方式、材料、结构形式等应根据相应标准进行设计。排水体的断面尺寸应根据排水需求、土工排水材料的排水能力和与其配合的其他排水材料的排水能力、水力梯度等综合确定。

5.2.7 排水软管及排水硬管，其排水安全储备系数 F_b 应满足式 (5.2.7) 的要求。

$$F_b = \frac{Q_c}{Q} \geq 2.0 \sim 5.0 \quad (5.2.7)$$

式中： F_b ——安全系数，对能清淤的管道， F_b 取较小值，对难以清淤的管道， F_b 取较大值；

Q ——需要排出的水流量 (m^3/s)；

Q_c ——管件的排水能力，即能排出的水流量 (m^3/s)，其值取渗入管内的水流量 q_e 和管件的排水流量 q_t 两者中的小者。

5.2.8 用塑料排水带（板）插入软土地基，加速地基排水固结时，其设计应按现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02) 的有关规定执行。

5.2.9 将凸点排水板、塑料盲沟、复合排水网、复合排水垫等土工排水材料水平放置，用于排除地基土固结水或其他水流时，应符合下列规定：

1 排水材料应贯穿路堤底部，并保持一定的坡度，如图 5.2.9 所示。在平面上，可采用平行排列式或鱼刺式进行铺设，也可满铺。在竖向，可一层铺设，也可采用间隔的方式两层甚至多层铺设；当需要排除的水较多时，应和砂砾（碎石）排水垫层或其他排水措施联合应用。

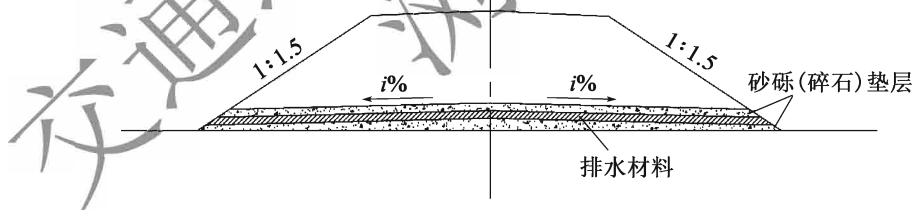


图 5.2.9 土工合成材料用于软弱地基顶部排水示意图

2 铺设的数量应根据地基固结排出的水量确定，并应满足式 (5.2.9) 的要求。

$$q_c \geq kq \quad (5.2.9)$$

式中： q ——垂直于水渗流方向，每延米需排出的水流量 (m^3/s)；

q_c ——排水材料出水断面每延米的排水能力 (m^3/s)；

k ——安全系数，取 1.5 ~ 2.0，对于易淤堵和较重要的使用场合，取较大值。

5.2.10 将凸点排水板、塑料盲沟等土工排水材料用于路基排水时，应符合下列规定：

1 用于挖方路基的路侧排水时，排水材料应沿路侧竖向铺设，如图 5.2.10-1 所示。

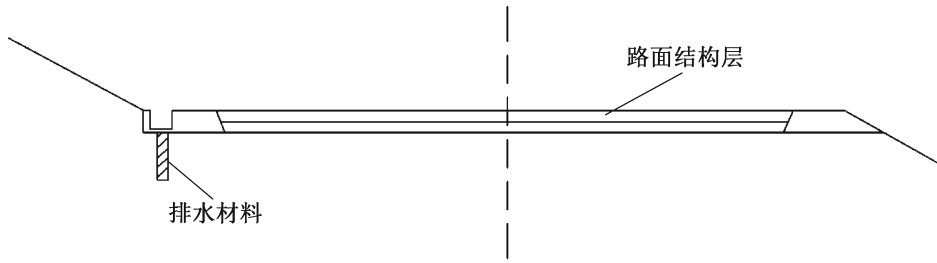


图 5.2.10-1 挖方路段路侧排水示意图

2 用于排除路基内部积水或因负温差作用而积聚在路基上层的自由水时,应根据预计积水位置确定排水材料铺设范围和铺设间距;铺设方式可采用平行排列式或鱼刺式,铺设坡度宜与路拱横坡一致,如图 5.2.10-2 所示。

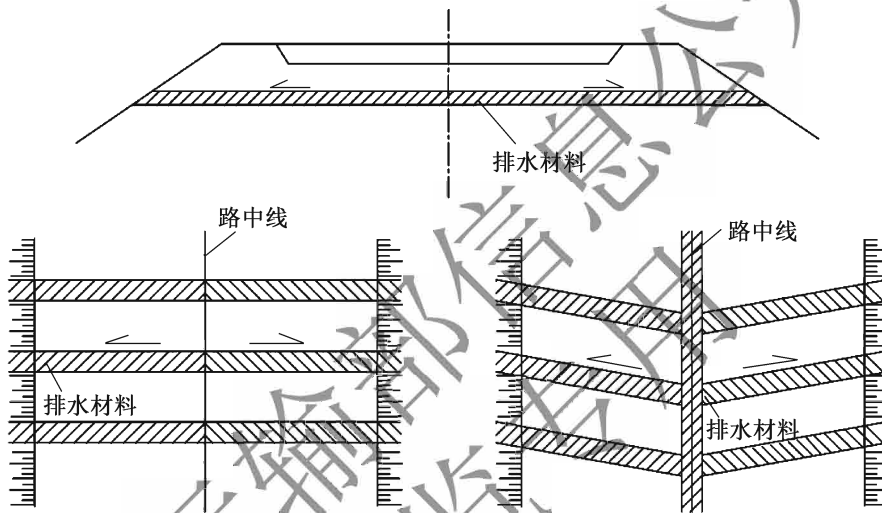


图 5.2.10-2 路基内部或顶部排水示意图

3 用于排除地基渗水时,排水材料应设置在地下水渗出的部位,并根据渗水量确定排水材料的布设间距和数量。

4 用于墙(台)背排水时,排水材料宜沿整个墙高铺设,可满铺或以 1~2m 的间距沿墙(台)背布设,并采取合适的方式固定于墙背,如图 5.2.10-3 所示。

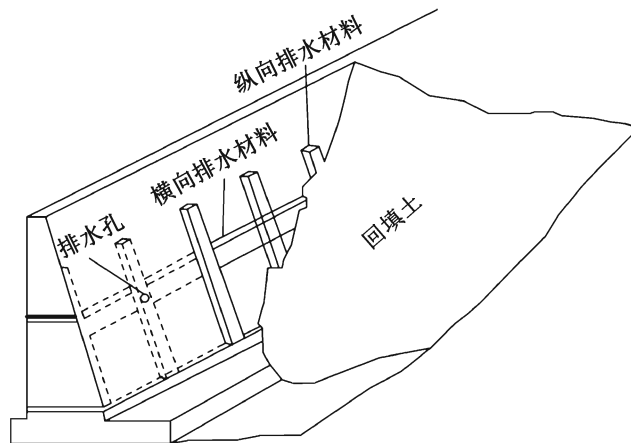


图 5.2.10-3 墙(台)背排水示意图

5.2.11 土工排水材料不宜弯折，在出现弯折的情况下，应对弯折部位的通水能力进行折减，并验算接头、转角部位排水体的通水能力。

条文说明

土工排水材料在弯折的情况下，排水能力会下降。试验得出，凸点排水板在弯曲率为40%时，排水能力下降50%左右；在弯曲率为50%时，排水能力下降60%左右。因此，土工排水材料不宜弯折。

5.3 防渗设计

5.3.1 土工合成材料可用于公路中央分隔带防渗、排水结构防渗、路肩底部防渗、路基防渗隔离等。防渗宜采用“两布一膜”的复合土工膜。

条文说明

单纯的土工膜容易受施工和填料的影响造成损坏。从实际工程效果看，“两布一膜”对膜保护较好，因此，推荐采用“两布一膜”。

5.3.2 对中央分隔带防渗与排水结构防渗，复合土工膜规格宜为织物质量/膜厚/织物质量=200 (g/m²) /0.5~1 (mm) /200 (g/m²)；对路肩底部防渗，复合土工膜膜厚可采用0.3mm。必要时，在复合土工膜铺设前，可铺设一层20~50mm厚的水泥砂浆找平层。复合土工膜的铺设应符合下列规定：

1 用于中央分隔带防渗时，复合土工膜应铺设于中央分隔带沟槽底部，如图5.3.2-1所示。

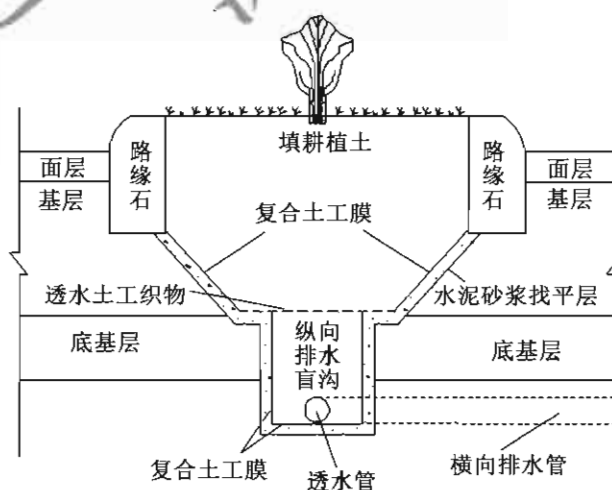


图 5.3.2-1 中央分隔带防渗示意图

2 用于排水结构防渗时，复合土工膜应铺设于排水结构靠近路基侧或排水结构下

侧位置,如图 5.3.2-2 所示。

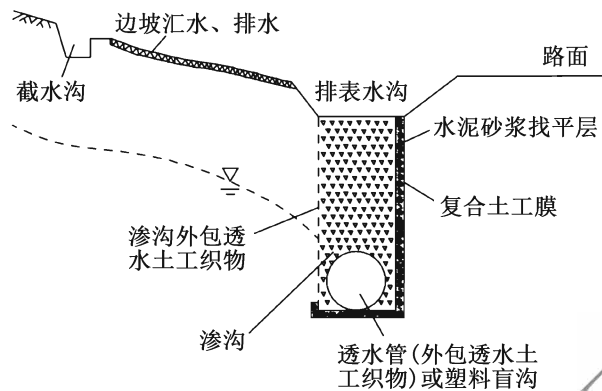


图 5.3.2-2 排水结构防渗示意图

3 用于路肩底部防渗时,复合土工膜应铺设于路肩底部,如图 5.3.2-3 所示;当路肩外侧有挡土结构时,应预留排水出口。

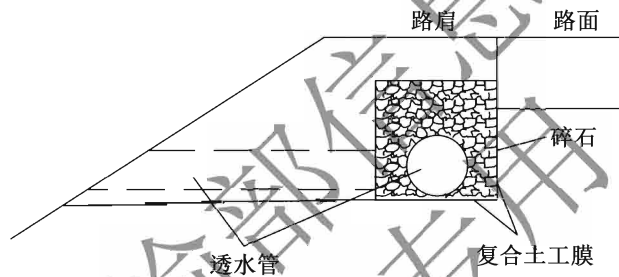


图 5.3.2-3 路肩底部防渗示意图

5.3.3 对一般工程的路基防渗隔离,复合土工膜膜厚不应小于 0.3mm;对重要工程的路基防渗隔离,复合土工膜膜厚不宜小于 0.5mm。防渗隔离层应与其他防排水措施紧密配合,形成完善的防排水系统。与复合土工膜直接接触的回填料,不得含有大粒径棱角尖锐石子。

5.4 施工要点

5.4.1 施工前应做好剪裁和连接工作,根据实际需要、受力情况和材料特点等,按下列方式选择土工合成材料连接方式:

1 土工织物连接可采用缝合法或搭接法。采用缝合法时,缝合宽度不应小于 100mm,连接处抗拉强度应达到土工织物抗拉强度的 60% 以上;采用搭接法时,搭接宽度不应小于 150mm。

2 土工排水材料的连接可采用芯材插接、搭接,以及专用连接构件等方法。连接处外包土工织物滤材应相互覆盖,覆盖长度应大于 200mm,并用镀锌细铁丝或尼龙绳绑扎牢固。

3 土工膜连接宜采用热熔焊接法，局部修补可采用胶黏法，正式连接前应进行试连接。采用胶黏法时，连接宽度不宜小于 100mm，采用的胶料应在遇水后不溶解。

条文说明

土工织物的缝接一般采用手提缝纫机。缝接形式有平接缝、丁形接缝和蝶形接缝等，如图 5-1 所示。缝线可为 1 道、2 道甚至 3 道，其中以蝶形强度最高。

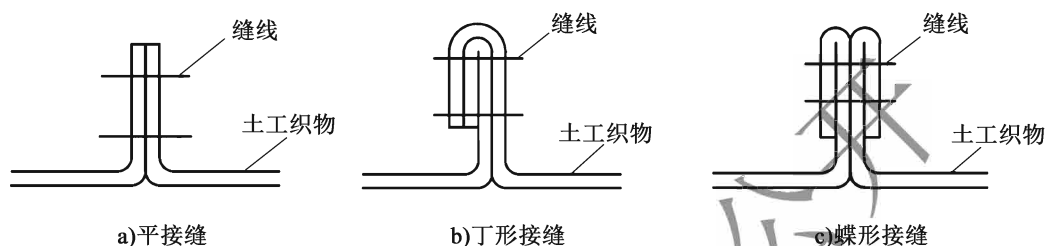


图 5-1 土工织物缝接方式

土工排水材料种类较多，对不同的材料，连接方式也不同。对排水带（板）、凸点排水板通常采用芯材插接的方式，对塑料盲沟、排水软管等一般采用对接方式，对排水硬管一般有专用连接构件或采用焊接等方法。

土工膜的连接有热熔焊接法和胶黏法。热熔焊接法质量易于保证，应用较普遍。胶黏法多用于局部修补。为保证连接质量，提出了相关要求。

5.4.2 土工合成材料的铺设应平顺，严禁出现扭结、断裂和土工膜撕破等现象。在坡面上铺设土工合成材料时，宜自上而下铺设并就地连接。

5.4.3 应采取下列措施加强施工期土工合成材料的保护：

- 1 铺设土工合成材料前，应平整场地，清理树根、灌木或尖石等场地杂物。
- 2 施工车辆不得直接在土工合成材料上作业，可采取先碾压、后挖槽铺设等措施减小施工车辆荷载的影响。

- 3 土工合成材料上方填石料时，应在覆盖保护层完成后再填筑，严禁将石料直接抛落于土工合成材料上。

5.4.4 当施工中发现土工合成材料被破坏时，应及时修补。

6 路基防护

6.1 一般规定

6.1.1 土工合成材料可应用于路基边坡防护与路基冲刷防护。

6.1.2 采用土工合成材料进行路基防护应在路基稳定的前提下进行，根据场地情况、环境条件、防护目的、施工工艺等，合理选择土工合成材料，与其他防护措施共同形成完善的防护系统。

6.2 边坡防护

6.2.1 路基边坡生态防护可采用土工网、土工格栅、土工格室、植生袋等土工合成材料。二级以下公路和临时工程的边坡工程防护可采用土工格栅喷射混凝土。

6.2.2 应用土工合成材料进行坡面防护时，应考虑紫外线等环境条件对土工合成材料的影响和土工合成材料的受力情况。当需要考虑紫外线影响时，土工合成材料的强度保持率对土工网应不小于60%，对其他材料应不小于80%；当需要考虑土工合成材料受力时，应进行强度折减，强度总折减系数可按表6.2.2取用。

表 6.2.2 路基防护工程土工合成材料强度折减系数

土工合成材料原材料	聚酯	聚丙烯	聚乙烯
总折减系数	1.5~2.5	2.0~3.0	1.5~3.0

注：环境和受力对土工合成材料强度影响较大时，取高值，反之取低值。

条文说明

土工合成材料用于路基边坡防护主要是为植物防护提供植物生长条件、为其他工程防护提供条件。除土工格室生态防护外，土工网、土工格栅、植生袋等土工合成材料一般受力很小，通常不进行受力分析计算。土工格室置于边坡上，长期受到格室内填土下滑力的作用，需要考虑其蠕变特性。

土工合成材料应用于边坡生态防护，会受到紫外线的影响。对土工织物、土工网、土工格栅，《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432—2022)对不同的土工合成材料提出

了不同的炭黑含量和抗紫外线强度保持率要求（表 6-1）。

表 6-1 公路工程土工合成材料抗紫外线强度保持率要求

土工合成材料		炭黑含量 (%)	抗紫外线强度保持率 (%)
土工织物	聚丙烯类土工织物	—	≥80
	聚酯类土工织物	—	≥90
土工网	平面、三维、复合土工网	2 ± 0.5	≥60
	复合土工植物纤维毯	2 ± 0.5	≥70
土工格栅	拉伸塑料土工格栅	≥2.0	≥90
	其他类土工格栅	—	≥80

随着植物的生长，紫外线影响会逐步减弱。本规范编写组对 3 年后边坡绿化防护采用的三维土工网、土工格栅现场取样进行室内拉伸试验，得到的强度保持率基本在 80% 左右。

土工格室回填土后，其大部分埋于土中。对土工格室，中国铁路总公司企业标准《铁路工程土工合成材料 第 1 部分：土工格室》(Q/CR 549.1—2016) 提出的要求为：炭黑含量 ≥ 2.0%，抗紫外线强度保持率 ≥ 80%。

从我国路基边坡防护实际工程情况看，由于土工合成材料性能本身导致的工程问题不多，总体上是满足工程要求的。考虑到土工合成材料的实际应用条件、我国土工合成材料的基本性能，以及长期使用要求，参考本规范第 4 章加筋工程蠕变折减系数，提出了强度保持率要求与强度折减系数值。

6.2.3 三维土工网、平面土工网、土工格栅、复合土工网、复合土工植物纤维毯等面状土工合成材料边坡生态防护结构形式如图 6.2.3 所示，应用时应符合下列规定：

1 三维土工网、复合土工网、复合土工植物纤维毯宜用于坡率不陡于 1:1，适宜植物生长的土质、强风化岩及易风化软岩路基边坡，并宜辅以客土措施。边坡较高时，应与骨架工程防护措施组合使用。

2 平面土工网可用于岩体边坡和喷锚边坡，使用时应与攀缘植物配合，其纵、横向抗拉强度不应小于 5kN/m。当边坡较高或较陡时，宜采用拉伸塑料土工格栅，土工格栅的纵、横向抗拉强度不应小于 25kN/m。

3 土工合成材料应紧贴坡面，并用锚钉固定于坡面上。锚钉宜采用 $\phi 6 \sim 10$ 钢筋制作，长度宜为 0.3 ~ 0.5m，完整岩体边坡可取小值，土质及破碎岩体边坡宜取大值；竖向间距宜为 1.0m，横向间距宜为 1.0 ~ 1.5m。在坡上、下两端应各留 0.3m 以上，并用 U 形钉交错固定。

4 土工合成材料搭接宽度应大于 0.1m，搭接部分应用尼龙绳或镀锌细铁丝连接，并用 U 形钉固定。

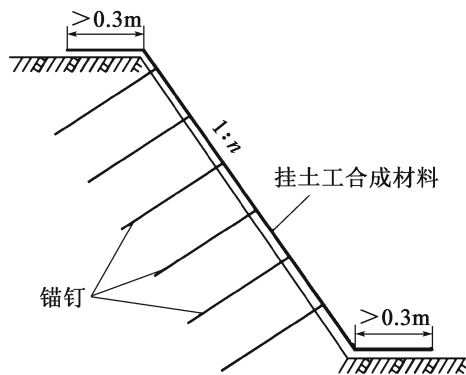


图 6.2.3 面状土工合成材料边坡生态防护结构形式

条文说明

三维土工网、复合土工网、复合土工植物纤维毯这三类材料厚度有限，难以直接形成植物生长层，为此，本条提出了边坡坡率和坡面岩土体的要求。当边坡较高或较陡时，土工合成材料受力增加，为此，本条提出了应与骨架工程防护措施组合使用的要求。

土工网和土工格栅的强度是根据我国《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432—2022) 的指标及工程经验提出的。

6.2.4 土工格室用于边坡生态防护时，每级坡高不应大于 10m。土工格室性能及布设应符合下列规定：

1 土工格室性能应满足表 6.2.4-1 的要求，结点距宜为 0.25 ~ 0.4m，格室高度宜为 100 ~ 200mm，格室片厚不应小于 1.1mm。格室片应平整、无气泡、无沟痕。

表 6.2.4-1 边坡生态防护土工格室性能要求

项目	格室片性能		结点处抗拉强度 (kN/m)	结点性能	
	聚丙烯材料	聚乙烯材料		格室组间连接处抗拉强度	
				格室片边缘 (kN/m)	格室片中间 (kN/m)
环境应力开裂 F_{50} (h)	—	≥ 800	≥ 20	≥ 20	≥ 12
低温脆化温度 (°C)	≤ -23	≤ -50			
维卡软化温度 (°C)	≥ 142	≥ 112			
200°C 氧化诱导时间 (min)	≥ 20	≥ 20			
抗拉强度 (MPa)	≥ 23	≥ 20			

2 土工格室铺设方式应根据边坡坡率确定。当坡率缓于或等于 1:0.75 时，可采用平铺式；当坡率陡于 1:0.75 时，宜采用叠置式，土工格室叠置的宽度不得小于 1m，如图 6.2.4 所示。

3 土工格室应采用锚杆进行固定，锚杆宜采用 $\phi 12$ 钢筋，锚孔直径宜为 38 ~ 42mm，孔内应灌注 M30 砂浆；在土层或全风化 ~ 强风化岩层中锚杆入土深度宜为 0.5 ~

1m，在中等~弱风化岩层中锚杆入岩层深度不应小于0.3m。采用平铺式时，每隔三个结点宜设一个固定锚杆，在坡面上呈上密下疏布置，布置的水平、垂直间距可按表6.2.4-2确定；采用叠置式时，在断面上每层应设置一个固定锚杆，锚杆的水平间距可按表6.2.4-2确定。

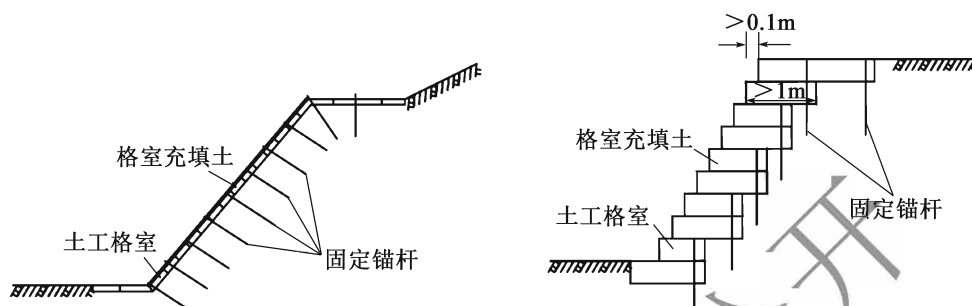


图 6.2.4 土工格室坡面生态防护结构形式

表 6.2.4-2 土工格室锚杆锚固长度和布置间距

边坡坡率与岩性		锚固长度 (m)	豎直间距 (m)	水平间距 (m)
1:0.5	土质	0.75~1.0	0.75~1.0	1.0~1.5
	岩质	0.5~0.75	1.0~1.5	1.0~1.5
1:1.0	土质	0.5~0.75	1.0~1.5	1.5~2.0
	岩质	0.3~0.5	1.5~2.0	1.5~2.0
1:1.5	土质	0.5~0.75	1.5~2.0	1.5~2.0
	岩质	0.3~0.5	1.5~2.0	1.5~2.0

注：锚杆长度 = 锚固长度 + 格室高度。

条文说明

对土工格室性能，《土工合成材料 塑料土工格室》(GB/T 19274—2024)、《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432—2022)、中国铁路总公司企业标准《铁路工程土工合成材料 第1部分：土工格室》(Q/CR 549.1—2016)提出了不同的要求，本条参考这些标准，结合边坡生态防护特点，提出了土工格室性能及尺寸要求。

6.2.5 植生袋边坡生态防护宜用于坡率不陡于1:1的砂类土、碎石类土、软质岩、硬质岩等边坡，每级边坡高不宜大于10m。植生袋性能及布设应符合下列规定：

- 1 植生袋袋体尺寸宜为0.5m×0.3m×0.15m，材料应满足表6.2.5的要求。
- 2 植生袋装填物应为种植土，不得采用风化岩石等材料，每袋宜掺入有机肥0.5kg左右，种植土应拌和均匀。应根据气候特征、土壤条件等选择宜在当地生长的常用灌木籽和草籽。
- 3 植生袋宜与骨架、框架梁、孔窗式护墙等结合应用，当边坡坡率陡于1:1.5时，应采用防护网+锚杆锚固等稳固措施。

4 植生袋铺设可采用平铺、叠铺等方式。边坡坡率陡于 1:1.5 时, 应采用叠铺方式。

表 6.2.5 边坡生态防护植生袋材料性能要求

植生袋	性能指标		
	单位面积质量 (g/m^2)	纵、横向抗拉强度 (kN/m)	CBR 顶破强力 (kN)
可降解植生袋	≥ 150	≥ 2.5	≥ 0.3
不降解植生袋	≥ 100	≥ 7.5	≥ 1.4

条文说明

可降解的植生袋一般分为四层, 最外层为聚乙烯或聚酯纤维网, 第二层为能在短期内自动分解的无纺棉纤维布 (或纸浆层), 第三层为植物种子, 第四层为无纺土工布。不降解植生袋以聚丙烯、聚酯等为主要原料, 采用无纺针刺工艺制成。

对植生袋边坡生态防护, 中国铁道学会标准《铁路路基土工合成材料应用技术规程》(T/CRS C0601—2021) 进行了比较详细的规定, 本规范结合公路特点, 参考此标准, 提出了相关规定。

当边坡较陡时, 单纯铺设植生袋易出现溜塌和鼓出, 因此, 提出当边坡坡率陡于 1:1.5 时, 应采用防护网 + 锚杆锚固等加固措施的要求。《铁路路基土工合成材料应用技术规程》(T/CRS C0601—2021) 对此提出的要求为: 锚杆宜采用 HRB400 ϕ 20 钢筋, 间距宜为 1~2m, 锚杆长度不小于 2.5m, 锚孔直径 49mm, 孔深比设计锚固深度长 50mm。一个框架梁或孔窗式护墙内锚杆根数不应少于 4 根, 钢筋外露部分需采用外涂防锈漆防锈处理。镀锌钢丝网为热镀锌机编钢丝网, 钢丝直径不小于 2.5mm, 网孔为 50mm \times 50mm 左右。

6.2.6 土工合成材料边坡生态防护施工宜在适宜植物生长的季节进行, 并应符合下列规定:

- 1 铺设土工合成材料前应整平坡面, 清除杂草、石块、树根等。
- 2 土工合成材料铺设应平顺, 并紧贴坡面; 施工过程中应避免拉断、顶破。
- 3 土工格室应采用插件式连接, 对于平铺式护坡, 土工格室应沿坡面自上而下铺设, 坡顶加强锚固; 对叠砌式护坡, 土工格室应沿坡脚自下而上铺设; 坡顶、坡脚平铺包边宽度宜为 0.5~1m, 并夯填加固。土工格室内回填土应使用振动板使之密实, 靠近表面时应用潮湿的黏土回填, 并应高出格室面 10~20mm。

4 植生袋应从下往上铺砌, 上下袋应交错, 袋与基面、袋与袋之间的缝隙应用土填实, 应保证植生袋自身的稳定, 不溜塌和鼓出, 铺设后的表面应平整。当骨架顶部植生袋出现沉降缺口时, 应及时填补植生袋。植生袋外加设防护网时, 防护网与植生袋应贴紧, 并有效固定在锚杆上。

- 5 生态防护喷射客土的厚度应满足设计要求, 无网包外露、空包或压包现象。喷

射客土应为土、肥料及含腐殖质土的混合物；喷播液应包含植物种子、附着剂、纸纤维、复合肥、保湿剂等，并搅拌均匀。雨季施工，应加盖无纺布或稻草、秸秆编织席，促进植物的发芽生长。覆盖物应在植物长出 30 ~ 50mm 后除去。

6 锚杆外露坡面部分应进行防锈处理。

7 应加强边坡生态防护的养护管理，保持植物全苗、齐苗，并应注意及时浇水、施肥和防治病虫害。

条文说明

气温、降水、土质等条件均会影响护坡植物的选择，中国科学院植物研究所针对不同地区推荐的护坡植物见表 6-2。

表 6-2 中国科学院植物研究所推荐的护坡植物

地区	草籽名称
华北、东北、西北	野牛草、无芒雀麦、冰草、高羊茅
华中、华东	狗牙根、高羊茅、黑麦草、香根草
西南	扁穗牛鞭草、园草芦、黑麦草、香根草
华南	雀稗、假俭草、两耳草、香根草
青藏高原	老芒麦、垂穗披碱草
新疆	无芒雀麦、老芒麦

6.2.7 土工格栅喷射混凝土边坡防护可用于坡比缓于 1:0.5 的岩质边坡，材料性能及布设应满足下列要求：

1 土工格栅喷射混凝土坡面防护材料性能应满足表 6.2.7-1 的要求。

表 6.2.7-1 土工格栅喷射混凝土坡面防护材料性能要求

材料	要求
土工格栅	双向拉伸格栅，网孔孔径不小于 40mm，抗拉强度 $\geq 30\text{kN/m}$
喷射混凝土	C20 ~ C30 速凝混凝土
锚杆	钢筋直径 16 ~ 22mm

2 土工格栅喷射混凝土坡面防护结构形式如图 6.2.7 所示，锚杆宜采用梅花形布置，间距宜为 1 ~ 2m，锚杆进入稳定岩层内的深度不得小于 0.5m；岩层局部破碎地段，可根据围岩的具体情况，随机加设锚杆或加长锚杆；锚孔宜与坡面垂直，孔径宜为 38 ~ 60mm，孔深应大于设计锚固长度 0.2m，孔内应灌注 M30 水泥砂浆。

3 沿边坡纵向每隔 15m 应设置一条宽 50mm 的伸缩缝，缝内填塞沥青麻筋或泡沫板，并按设计要求在坡面喷射混凝土护层内设置泄水孔。

4 应按现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 划分边坡岩体类型，采用以边坡岩体类型分类为基础的工程类比法进行喷射混凝土设计，确定喷射混凝土层厚度。各级边

坡岩体类型对应的喷射混凝土层厚度可按表 6.2.7-2 取值。喷射混凝土设计强度等级宜为 C20 ~ C30，1d 龄期的抗压强度不得低于 5MPa。

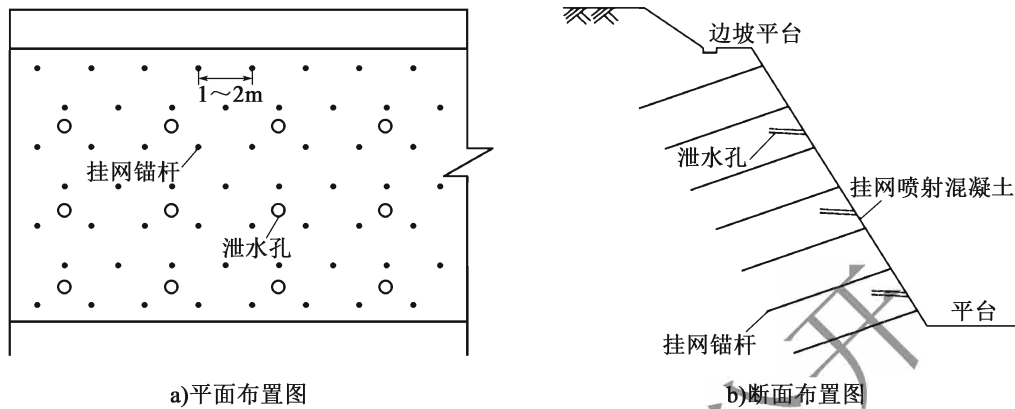


图 6.2.7 土工格栅喷射混凝土坡面防护结构图

表 6.2.7-2 土工格栅喷射混凝土边坡防护的喷射混凝土层厚度

边坡岩体类型	I	II	III	IV
喷射混凝土层厚度 (mm)	50 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 150

6.2.8 土工格栅喷射混凝土坡面防护的施工工艺可按挂钢筋网喷射混凝土坡面防护进行，并应满足下列要求：

1 防护工程施工前，应清除坡面上松动的岩块石及碎石、岩屑、浮土等杂物，平整坡面。当岩面有较大凹洼时，应采用混凝土嵌补；对局部不稳定的岩块应进行加固或清除；对较大的裂缝应进行灌浆或填缝处理。

2 锚杆施工定位应准确，水泥砂浆应灌筑至孔底，压浆应饱满。锚杆出露部分应弯曲以固定土工格栅。

3 铺设土工格栅时，固定锚杆的砂浆强度应达到设计值的 70% 以上。土工格栅铺设应平顺，距坡面不应小于 20mm。相邻土工格栅间应用铁丝相互连接并适当拉紧。

4 喷射的混凝土层应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。混凝土喷射前应清除边坡面岩粉，湿润坡面，确保坡面、混凝土、土工格栅间的牢固黏结。喷射作业应分段、分片、分层，由下而上进行，覆盖土工格栅的混凝土层厚度不得小于 20mm，土工格栅及锚杆头不得外露，雨、雪、大风天气及气温低于 5℃ 时不得进行喷射作业。

5 混凝土初凝后，应在常温下洒水养护。养护时间不宜少于 5d，每天不宜少于 3 次。在养生过程中若发现剥落、外鼓、裂纹、局部潮湿、色泽不均等不良现象，应分析原因，采取补救措施。

6.3 冲刷防护

6.3.1 沿河、库区和海岸路基冲刷防护可采用土工织物软体排、土工模袋等。

6.3.2 土工织物软体排可用于水下路基工程的坡面冲刷防护，可采用单片垫和双片垫两种结构形式。排体材料宜采用质量不低于 $200\text{g}/\text{m}^2$ 的有纺土工织物，对易冲刷的粉细砂地基，应与无纺土工织物复合使用。

条文说明

土工织物软体排是在土工织物上以块石或预制混凝土块体为压重的护坡结构，常用的软体排有单片垫和双片垫两种。

单片垫是利用土工织物拼接成大面积的排体；双片垫是将两块单片垫重叠后按一定距离和形式将两片垫连接在一起而构成管状或格状空间，其中再填充透水性材料（如砂卵石等），形成砂被，起到防冲与反滤的作用。双片垫的结构形式如图 6-1 所示。

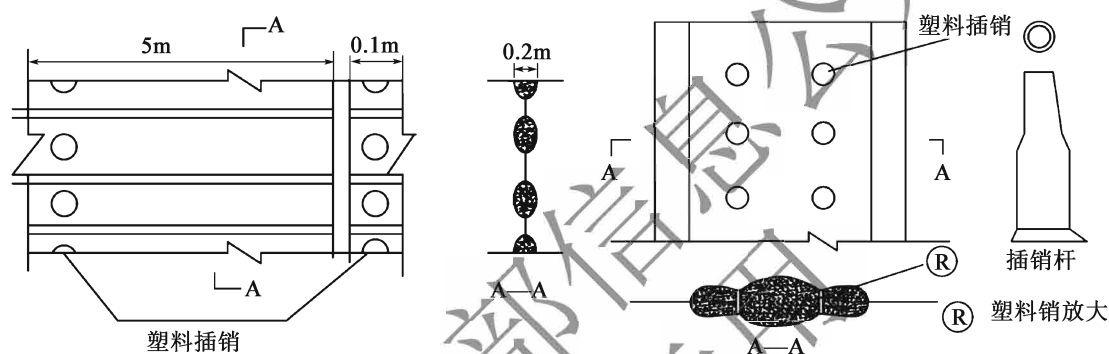


图 6-1 双片垫形式

《水运工程土工合成材料应用技术规范》（JTS/T 148—2020）根据土工织物排布及其上压载连接方式，将软体排分为系结软体排、分离压载软体排和砂被软体排，对软体排护底进行了比较详细的规定。对路基冲刷防护，应用较多的是分离压载软体排和砂被软体排。本规范参考《水运工程土工合成材料应用技术规范》（JTS/T 148—2020）并结合公路特点，提出了相应要求。

6.3.3 土工织物软体排压载材料应根据水流、波浪、水深和可能产生的冲刷情况等因素选择，可采用块石、混凝土块或混凝土连锁块等，其强度和尺寸应符合下列规定：

1 采用混凝土块或混凝土连锁块时，混凝土的强度等级不宜小于 C20，块体厚度不宜小于 0.1m，长厚比和宽厚比不宜小于 2。

2 采用块石时，块石的饱和单轴抗压强度不宜低于 30MPa，块石的层数不宜小于 2 层，厚度不宜小于 0.5m。

6.3.4 土工织物排体的长度和宽度应按下列原则确定：

1 垂直于水流方向的排体长度以枯水位为界，水上部分排体长度为水上坡面长度与固定所需长度之和；水下部分排体长度为与水上排体连接长度、水下坡体长度、预计冲刷所需预留长度、褶皱和收缩预留长度之和。

2 顺水流方向排体的宽度为防护区宽度、接缝或搭接宽度、褶皱和收缩预留宽度之和。

6.3.5 对土工织物软体排，应验算排体压载稳定性、排体整体抗滑稳定性。稳定性验算方法和要求可按现行《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTS/T 148) 执行。

6.3.6 土工织物软体排施工前，应平整坡面，保证排体与坡面接触良好；排体间搭接宽度不应小于 0.5m，并应按要求缝合；排面压载可采用人工施工或机械施工。

6.3.7 土工模袋充填混凝土或砂浆用于路基冲刷防护时，应根据工程要求和当地土质、地形、水文与施工条件等进行模袋选型，根据出水流量选定模袋滤水点分布数量；当选用无滤水点模袋时，应增设渗水滤管。土工模袋材料应满足表 6.3.7 的要求。

表 6.3.7 土工模袋材料要求

纵、横向抗拉强度 (kN/m)	CBR 顶破强力 (kN)	渗透系数 (10^{-5} m/s)	等效孔径 O_{95} (mm)	伸长率 (%)	炭黑含量 (%)
≥40	≥5	0.5 ~ 50.0	0.07 ~ 0.25	≤30	2 ± 0.5

6.3.8 土工模袋充填混凝土时，混凝土强度等级不宜低于 C20，混凝土粗集料最大粒径应满足表 6.3.8 的要求，坍落度不宜小于 200mm；充填砂浆时，砂浆强度等级不宜低于 M15。

表 6.3.8 混凝土集料的最大粒径要求

土工模袋混凝土厚度 (mm)	集料最大粒径 (mm)
150 ~ 250	≤20
≥50	≤40

6.3.9 充填混凝土或砂浆的土工模袋体用于路基冲刷防护时，应根据应用场合选择铺设形式。应用于坡面冲刷防护时，边坡的坡率不得陡于 1:1；水下施工时，水流速度不宜大于 1.5m/s。

条文说明

土工模袋混凝土可用于路基坡面、支挡结构物地基等的冲刷防护。应用的场合不同，铺设的位置和形式不同，如图 6-2 所示。

坡面过陡，容易导致模袋体失稳；在水下施工水流太快，容易导致模袋充填困难，因此，本条提出了适用的边坡坡率和水流速度要求。

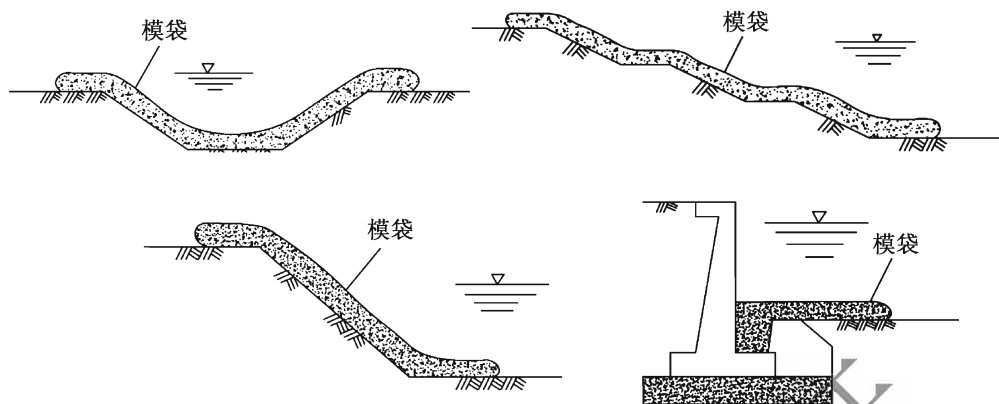


图 6-2 充填混凝土或砂浆土工模袋体的应用及铺设形式

6.3.10 土工模袋体的厚度应考虑抵抗浮动力的要求、抵抗弯曲应力要求；对存在冰推力的情况，尚应考虑抵抗冰推力的要求。膜袋体厚度，当充填混凝土时不宜小于 150mm，当充填砂浆时不宜小于 100mm。

条文说明

对土工模袋体的厚度目前尚无一致的计算方法，有关文献推荐的计算方法如下。

(1) 抵抗浮动所需厚度 t_1 可按式 (6-1) 计算：

$$t_1 \geq 0.07 C_m H_w \sqrt{\frac{L_w^3 \gamma_w}{B \gamma_c - \gamma_w} \frac{\sqrt{1+m^2}}{m}} \quad (6-1)$$

式中： C_m ——面板系数，对无滤点板取 1，有滤点板取 1.5；

H_w 、 L_w ——设计波浪高度和长度 (m)；

B ——垂直水边线的护面长度 (m)；

γ_w ——水的重度 (kN/m^3)；

γ_c ——充填料的有效重度 (kN/m^3)；

m ——坡角的余切， $m = \cot \alpha = 2 \sim 5$ 。

(2) 抵抗弯曲应力所需厚度 t_2 可按式 (6-2) 计算：

$$t_2 \geq F_2 \frac{0.287 \gamma_c a^2}{0.5 \sqrt[3]{R^2}} \quad (6-2)$$

式中： R ——充填料的抗压强度 (kPa)；

a ——假设模袋底架空面积为正方形时的边长 (m)，取 0.1~0.2；

F_2 ——安全系数，可取 3.0。

(3) 抵抗冰推力所需厚度 t_3 可按式 (6-3) 计算：

$$t_3 \geq \frac{\left[\frac{P_i t_i}{\sqrt{1+m^2}} (F_3 m - f_{ps}) - H_1 c_{ps} \sqrt{1+m^2} \right]}{\gamma_c H_1 (1+m f_{ps})} \quad (6-3)$$

式中： p_i ——水平冰推力 (kPa)，设计时可取 150；
 t_i ——冰层厚度 (m)；
 H_1 ——冰层以上护面的垂直高度 (m)；
 c_{ps} ——护面与坡面之间的黏聚力 (kPa)；
 f_{ps} ——护面与坡面之间的摩擦系数；
 F_3 ——安全系数，可取 3.0。

6.3.11 应按图 6.3.11 计算分析土工模袋体沿坡面的滑动稳定性，稳定系数 F_{ts} 应满足式 (6.3.11) 的要求。

$$F_{ts} = \frac{L_3 + L_2 \cos \alpha}{L_2 \sin \alpha} f_{MS} \geq 1.5 \quad (6.3.11)$$

式中： L_2 、 L_3 ——土工模袋体在坡面、坡脚处的长度 (m)；
 α ——坡角 ($^\circ$)；
 f_{MS} ——土工模袋体与坡面间的摩擦系数，无实测资料时，可采用 0.5。

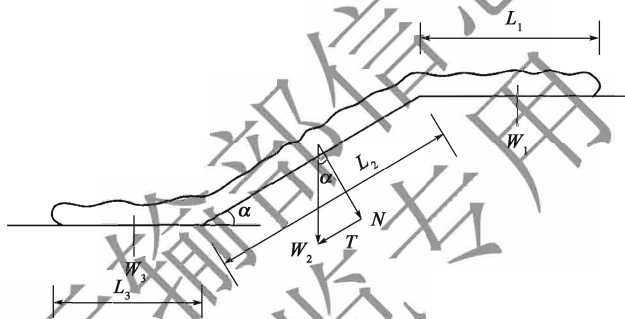


图 6.3.11 土工模袋体稳定性分析图

6.3.12 土工模袋铺设前，应对坡面进行处理。土坡应按设计要求进行修坡，坡面应平顺，表面无树枝、植被、块石等杂物，并开挖好上、下锚固沟槽。抛石坡面应先按设计断面进行理坡，理坡后采用片石、碎石进行整平。

6.3.13 土工模袋护坡的坡顶部宜采用浆砌块石保护或填土覆盖，有地面径流的坡顶应设截水沟等，防止地表水侵蚀土工模袋下地基。土工模袋底部应设压脚棱体或块体，对河岸路基，土工模袋下端尚应伸过设计冲刷线以下 0.5m。土工模袋侧翼应开沟槽，将两侧土工模袋埋入沟槽中。相邻两块土工模袋接缝处，应垫设土工织物，土工织物与土工模袋搭接长度不应小于 0.5m。

6.3.14 土工模袋铺设应按先上游后下游、先深水后浅水、先标准断面后异形断面的次序进行，并满足下列要求：

- 1 土工模袋铺设时，土工模袋应紧贴于基面，长度方向应垂直于坡面或水流方向，

铺设后的土工模袋应平顺。应尽量缩小相邻两块土工模袋的接缝，前一模袋宜预留一定长度，搭在后一块土工模袋之上，后一土工模袋在充灌混凝土时应辅以人工使之密实。

2 土工模袋纵向应预留收缩富余量，应设定位桩及拉紧装置，定位桩宜打在坡顶距土工模袋上缘 15 ~ 20mm 处，其间距宜为 1 ~ 2m，每块土工模袋不应少于 4 根，每根定位桩上应设紧拉器或滑轮。水下部分铺设应由潜水员配合并进行检查。

3 土工模袋铺设后应及时充灌混凝土或砂浆，水上部分的土工模袋在充灌前应洒水润湿，泵管与填充口应轧牢。充灌应从已充灌的相邻块处开始，每一充灌口应自下而上连续充灌，充灌速度应控制在 10 ~ 15m³/h 的范围内，出口压力以 0.2 ~ 0.3MPa 为宜。充灌接近饱满时，应暂停 5 ~ 10min，待土工模袋中水分渗出后，再充灌至饱满。

条文说明

土工模袋充灌混凝土或砂浆时的速度过快容易使其中的空气不易排出，过慢容易出现部分凝固现象。为保证充灌质量，根据工程经验，本条给出了充灌速度范围要求。

6.3.15 充灌完成后，应及时用水将土工模袋表面和滤点孔内的灰渣清理干净，应在混凝土或填充砂浆初凝前按 1 ~ 1.5m 的间距设渗水孔，如图 6.3.15 所示，并进行养护。

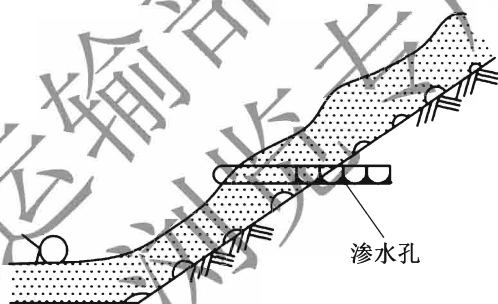


图 6.3.15 土工模袋渗水孔布置示意图

7 路基不均匀沉降防治

7.1 一般规定

7.1.1 软土地基路堤、不同地基处理方式交界处、高路堤与陡坡路堤、路基填挖交界处、改扩建公路新旧路基结合处，以及路基与桥台构造物结合处等路段，可采用土工合成材料防治路基不均匀沉降。

7.1.2 应根据公路等级、荷载条件、地基条件、路基断面形式或桥涵台形式，结合路基沉降变形情况，选择土工合成材料。

7.1.3 应考虑地基处理方式、路基填料类型、路基强度与稳定性、排水系统、施工工艺、工程造价等，结合预估的不均匀沉降情况和不均匀沉降控制要求，进行综合设计，确定合理的路基不均匀沉降防治方案。

7.1.4 进行路基不均匀沉降防治时，应先做好地基处理。路基压实度及稳定性应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的要求。

条文说明

采用土工合成材料仅是协调路堤不均匀沉降，不能有效减少总沉降量。因此，不能因为加铺了土工合成材料而放松地基处理与填筑体压实度等要求。

7.2 材料选择与设计参数

7.2.1 防治路基不均匀沉降宜采用整体性和耐久性好、强度高、变形小的双向或三向土工格栅、土工格室等土工合成材料；当受力方向明确时，可采用单向土工格栅；不应选用玻纤格栅。需要减轻路基自重时，可采用 EPS 块等轻质材料。土工合成材料性能应满足表 7.2.1 的要求。

表 7.2.1 防治路基不均匀沉降土工合成材料要求

材料	要求
土工格栅	抗拉强度 $\geq 50\text{kN/m}$ ，2%伸长率时的拉力 $\geq 17\text{kN/m}$

续表 7.2.1

材料	要求
土工格室	格室片抗拉强度 $\geq 20\text{MPa}$, 结点处抗拉强度 $\geq 10\text{kN/m}$, 高度 $\geq 100\text{mm}$
EPS 块	密度 $\geq 20\text{kg/m}^3$, 10% 应变时的压应力 $\geq 110\text{kPa}$, 7d 体积吸水率 (体积比) $\leq 1.5\%$

条文说明

路基不均匀沉降形态受地形、地基、路基等多种因素影响,在方向上存在不确定性,因此,宜采用纵横向特性较为一致的土工合成材料,如双向拉伸土工格栅或三向土工格栅。玻纤格栅虽然具有强度高、应变小的特性,但极易折断,因此,不适用于路基中。

对路基不均匀沉降防治,土工合成材料的强度和模量是需要考虑的主要指标。考虑到土工合成材料拉伸曲线的非线性,以及所受拉力大小,以 2% 伸长率时的拉伸强度来考虑模量。表 7.2.1 中土工格栅和土工格室的性能指标要求是根据《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432—2022),结合路基不均匀沉降特点和工程实践经验提出的。

三向土工格栅整体性较好,有研究表明,其加固效果主要与格栅孔径和土粒径的匹配有关,强度和模量还不是主要因素,为方便选材,以 0° 、 30° 、 60° 、 90° 方向上的 2% 伸长率时割线模量来表示其特征(规格),其值通常为 130~350kN/m。

聚苯乙烯泡沫塑料块通常有模塑(EPS)和挤塑(XPS)两种。公路工程常用的是密度为 20~30 kg/m^3 的 EPS 块,其密度仅为普通填料的 1/50~1/100。

EPS 块的强度和模量与密度密切相关,随着密度的增加,其强度和模量增加,其应力-应变关系呈非线性特征,在 3% 的应变内,呈直线变化,随后产生明显的塑性,但没有明显的峰值和软化现象,表现为屈服硬化,如图 7-1 所示。表 7-1 是通过试验得到的主要物理力学参数。

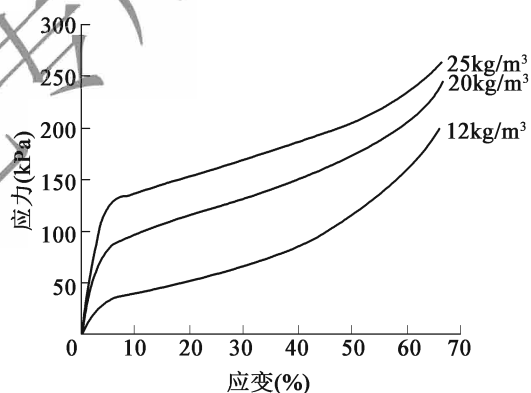


图 7-1 EPS 块单轴抗压应力-应变关系曲线

表 7-1 EPS 块物理力学参数

试验项目	试件尺寸 (mm)	单位	试验结果		
			15	20	30
体积密度	—	kg/m^3	15	20	30
10% 应变时的压应力	50 × 50 × 50	kPa	50 ~ 110	110 ~ 160	200 ~ 250
抗弯强度	120 × 25 × 20	kPa	30 ~ 60	150 ~ 390	330 ~ 570
抗剪强度	—	kPa	80 ~ 130	120 ~ 170	210 ~ 260
弹性模量	—	MPa	1.6 ~ 5.2	3.4 ~ 7.0	7.7 ~ 11.3

《土工用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》(QB/T 5167—2017)提出的 XPS 块主要物理力学性能要求见表 7-2。

表 7-2 土工用 XPS 物理力学指标

项目	单位	产品类型						
		X200	X350	X450	X550	X650	X750	X1000
压缩强度或相对形变 10% 的压缩应力, \geq	kPa	200	350	450	550	650	750	1 000
吸水率 (浸水 96h), \leq	%	1.5	1.0					
压缩蠕变, \leq	80℃, 48h, 20kPa	%	3.0			5.0		
	70℃, 168h, 40kPa	%	3.0			5.0		

根据上述相关标准, 结合工程应用实践, 本条提出了 EPS 块的密度和强度要求。

7.2.2 设计时应考虑土工合成材料施工损伤、蠕变和老化问题。当需要进行稳定性等计算分析时, 土工合成材料的设计抗拉强度应按本规范第 4.2.2 条确定。

7.2.3 路基填料应有良好的水稳定性与压实性能, 应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关要求。

7.3 结构形式与计算

7.3.1 采用土工合成材料防治软土地基段路基不均匀沉降时, 应根据地质条件、路堤高度等情况, 结合软土地基处理措施, 进行综合防治, 并应符合下列规定:

1 对路堤横向不均匀沉降, 当与排水固结预压法联合处理时, 可采用土工格栅、土工格室、高强土工织物; 当与复合地基联合处理时, 宜采用土工格栅、土工格室。土工合成材料宜与地基顶部的砂砾、碎石等共同形成加筋垫层, 铺设层数以 1~2 层为宜, 铺设宽度宜与路堤底部同宽, 如图 7.3.1-1 所示。必要时, 可在路床增设双层土工合成材料。

2 当软土含水率超过 80%, 或十字板抗剪强度小于 10kPa 时, 可采用土工织物或土工格栅包裹砂砾、碎石等散体材料形成约束桩, 对地基进行处理, 如图 7.3.1-2 所示。

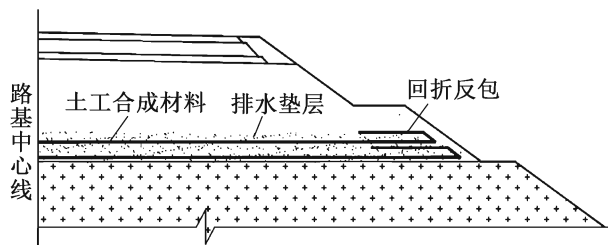


图 7.3.1-1 软土地基柔性加筋垫层示意图

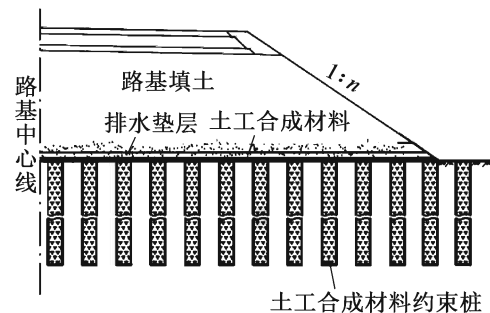


图 7.3.1-2 土工合成材料约束桩复合地基示意图

3 防治不同软土地基处治路段交界处纵向不均匀沉降时，宜采用土工格栅、土工格室。土工合成材料宜铺设在交界处路基底部，不同处理路段内铺设长度均不得小于10m，如图7.3.1-3所示。必要时，可在路床增设双层土工合成材料。

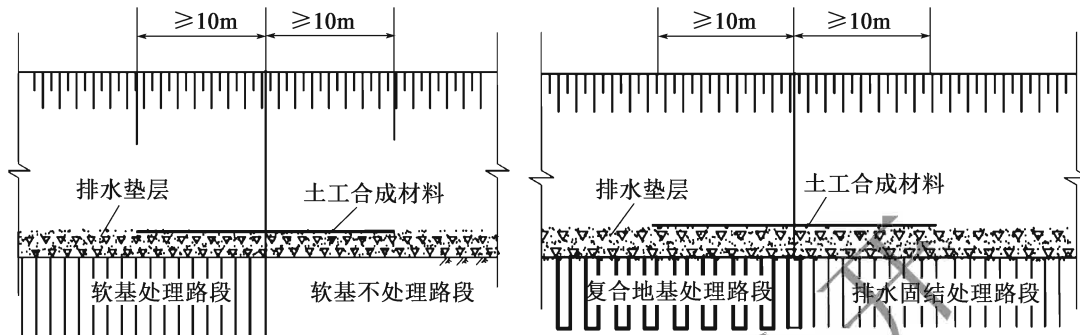


图7.3.1-3 不同软土地基处治路段交界处处理示意图

4 与桥涵构造物衔接路段、拓宽拼接路基沉降较大路段，可采用EPS块修筑台背过渡段、拼接路基，如图7.3.1-4和图7.3.1-5所示。断面可采用直立挡板式或土包边两种形式，EPS块铺设长度及高度应根据工后沉降要求计算确定，EPS块的强度应结合上覆路面或填料厚度确定。应用于受洪水影响区的地区时，应考虑水浮力对EPS路堤稳定性的影响。

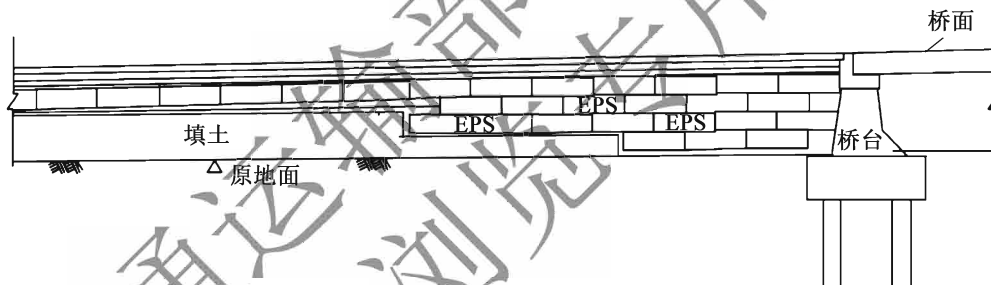


图7.3.1-4 软土地基路段桥涵台背EPS块过渡段结构形式示意图

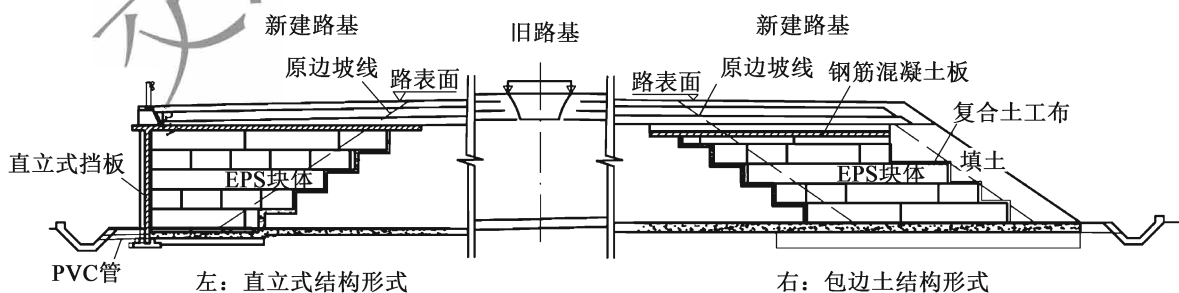


图7.3.1-5 软土地基路段EPS块拓宽拼接结构形式示意图

条文说明

对软土地基，无论是预压法还是复合地基处治方法，往往都需要在地基顶部加铺0.3~0.5m厚的砂砾、碎石排水垫层，以起到排除地基固结水、隔断地下水或调节桩土

应力的作用。有关研究表明：将土工格栅、高强土工织物铺设在砂砾、碎石排水垫层上下，或采用土工格室填充砂砾、碎石，共同形成加筋垫层，对减少路堤不均匀沉降，增强路堤稳定性是有利的。对软基与非软基衔接处、不同软基处治方式衔接处，当差异沉降较大时，仅在路堤底部铺设土工合成材料难以达到预期效果，故推荐在路床铺设双层土工合成材料。

采用土工织物、土工格栅包裹砂砾或碎石等散体材料形成的土工合成材料约束桩，具有易成桩、桩体质量易于保证等优点，而且由于土工合成材料的约束，使桩体具有较大的强度和抵抗变形的能力。对软土含水率超过 80%，或十字板抗剪强度小于 10kPa 不易成桩的极软地基，土工合成材料约束桩是一种较好的地基处理措施。

EPS 块材料轻质，同时具有自立性、侧向变形小、耐水的特点，用于软弱地基上桥涵过渡段或旧路拓宽，对减少地基压缩变形，进而减少差异沉降有显著效果，同时，还可以减轻对桥涵台的侧向压力。但应用于洪水多发等路段时，可能会由于水浮力导致路基浮起甚至倾覆，因此，在这些路段需考虑水浮力的影响，进行特殊设计。

当 EPS 块受力较大时，可能会导致塑性变形，因此，本条提出应结合上覆路面或填料厚度确定 EPS 块的强度要求。可每铺设 2~3m 厚的 EPS 块后，铺设一层 50~100mm 厚的混凝土板调整层，或结合路面结构层设计，将 EPS 块的受力限制在弹性范围内，防止由于汽车动荷载而使 EPS 块发生塑性变形而导致破坏。

7.3.2 采用土工合成材料防治高路堤横向不均匀沉降时，宜采用土工格栅、土工格室。土工合成材料宜铺设在路床及路堤底部，铺设长度应与路基同宽，设置层数应视地表形态、路堤高度、路基填料和施工工艺等确定，必要时，可在路堤中部每隔 3~5m 铺设一层土工合成材料，如图 7.3.2 所示。

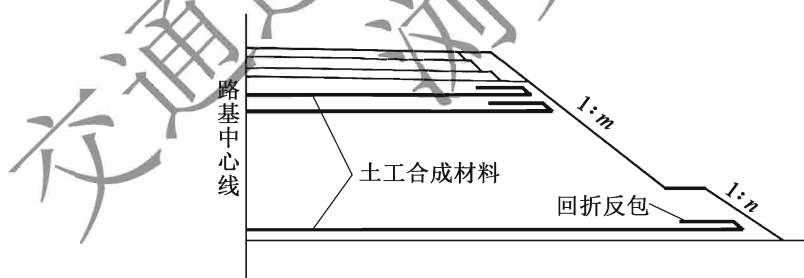


图 7.3.2 高填路堤横向不均匀沉降防治结构示意图

7.3.3 采用土工合成材料防治路基填挖交界处不均匀沉降时，宜采用土工格栅、土工格室。铺设方案应结合挖方区路床超挖回填、地表斜坡等确定，并应符合下列规定：

1 宜在路床范围内设置两层土工合成材料，层间距不应小于最小压实厚度，且不宜大于 0.4m，其中一层应设置在路床底部。

2 对半填半挖路基，土工合成材料铺设长度宜为填挖交界处两端均不小于 8m，当路基宽度小于 8m 时宜满铺，如图 7.3.3-1 所示；对纵向填挖交界处路基，土工合成材

料铺设长度在挖方段不宜小于 8m，填方段宜结合过渡区进行综合设计，必要时可延伸至一般填方区，如图 7.3.3-2 所示。

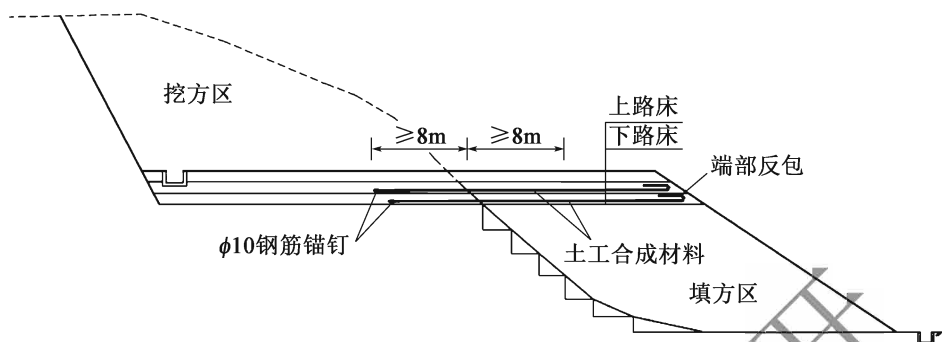


图 7.3.3-1 半填半挖路基交界处路基结构示意图

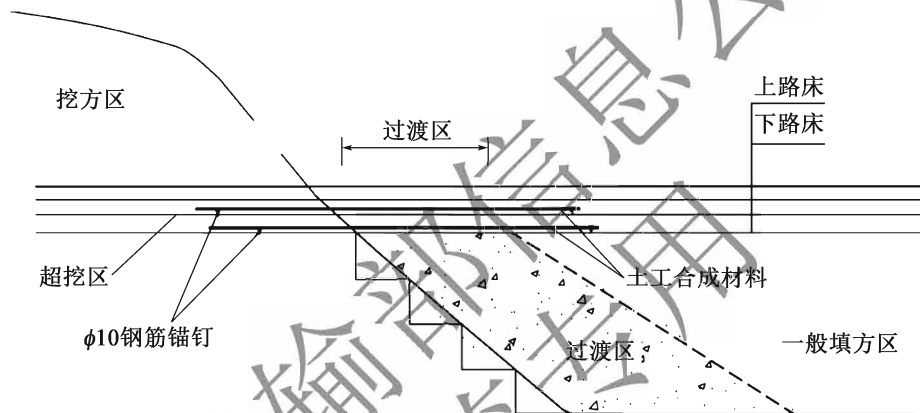


图 7.3.3-2 纵向填挖交界处路基结构示意图

3 当填方区路基高度较大，或地表横坡较陡时，可在填方区底部或中部增设土工合成材料，铺设间距视其高度、地基条件和路基填料性状确定。

7.3.4 采用土工合成材料防治改扩建公路新旧路基结合处不均匀沉降时，宜采用土工格栅、土工格室。铺设方案应结合旧路路床超挖回填、旧路基开挖台阶、拓宽拼接段地表斜坡等确定，并应符合下列规定：

1 土工合成材料宜铺设在新填路基底部和路床处的新旧路基结合部位，如图 7.3.4 所示。在路床处，宜铺设两层土工合成材料，层间距不应小于最小压实厚度，且不宜大于 0.4m，其中一层应设置在路床底部。在新填路基底部可铺设一层土工合成材料。

2 土工合成材料铺设长度，在原有路床范围不应小于 2m，路面损害严重或为新建路面时，原有路基路床范围的土工合成材料铺设长度不宜小于 8m。在拓宽拼接路基范围不宜小于 8m，当路基宽度小于 8m 时宜满铺。

3 当拓宽拼接路基高度较大时，可在路基中部增设土工合成材料。铺设层数和间距视其高度、地基条件和路基填料性状确定。

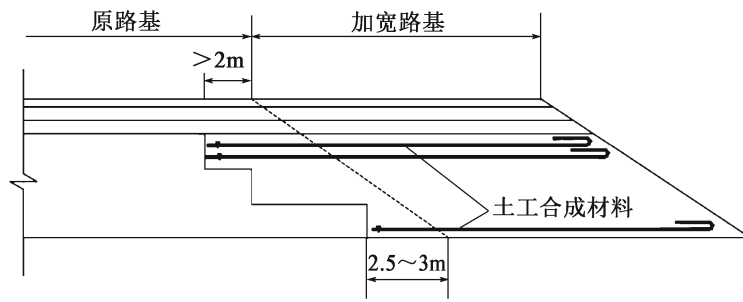


图 7.3.4 改扩建公路新旧路基结合处路基结构示意图

7.3.5 采用土工格栅防治石砌和混凝土桥台与路基间不均匀沉降时，台背高度宜为 5~10m。当地基承载力不能满足路基高度要求时，应对地基采取有效措施进行处理。土工格栅的铺设应符合下列规定：

1 土工格栅应分层铺设，最下一层宜铺设在构造物基础的顶面，最上一层宜铺设在路基的顶面。土工格栅纵向铺设宜上长下短，可采用缓于或等于 1:1 的坡度自下而上逐层增大纵向铺设长度，最下一层的铺设长度不应小于最小纵向铺设长度，如图 7.3.5-1 所示。

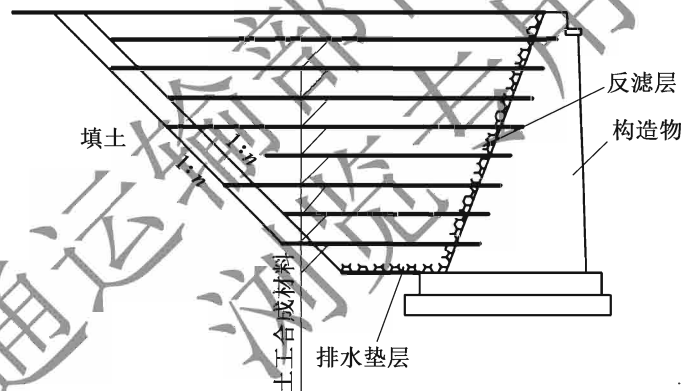


图 7.3.5-1 石砌桥台与混凝土桥台结构形式示意图

2 最下一层土工格栅最小铺设长度应按式 (7.3.5-1) 计算；土工格栅竖向层间距应按式 (7.3.5-2) 计算，最小铺设间距不应小于单层压实填料厚度，在距路基顶面 5.0m 的深度范围内，最大铺设间距不宜大于 0.8m。

$$L_{\min} = 2 + \frac{0.5T_a}{c_{GS} + \gamma_m H_m \tan\varphi_{GS}} \quad (7.3.5-1)$$

$$\Delta H = \frac{0.1T_a^2}{E_T H_m \left[0.2H_m \left(1 - \frac{Z^2}{H_m^2} \right) + \left(1 - \frac{Z}{H_m} \right) \right]} \quad (7.3.5-2)$$

式中： L_{\min} ——最下一层土工格栅最小铺设长度 (m)；

ΔH ——土工格栅竖向层间距 (m)；

T_a ——土工格栅的设计抗拉强度 (kN/m)，应按式 (4.2.2) 确定；

- c_{GS} ——土工格栅与路基填料的界面黏聚力 (kPa);
- φ_{GS} ——土工格栅与路基填料的界面摩擦角 ($^{\circ}$);
- γ_m ——填料压实后的重度 (kN/m^3);
- H_m ——路基顶面与构造物基础顶面之间的高差 (m);
- Z ——上一层土工格栅的铺设位置距路基表面的垂直距离 (m);
- E_T ——土工格栅的拉伸模量 (kN/m), 取 2% 伸长率时对应的割线模量。

3 当填料采用细粒土时, 台背与填料之间应设置厚度不小于 0.3m 的反滤层, 在原地面应设置厚度不小于 0.3m 的级配碎石排水垫层。在摊铺碎石排水垫层前, 应将地面平整成 4% 的双向横坡, 对 U 形桥台, 还应设置 4% 的纵坡将水引至桥台区以外。

4 对石砌桥台, 可将土工格栅嵌固在砌体内, 嵌固深度不宜少于 0.2m。嵌固土工格栅的砌体边界部位应设置 50mm 宽的柔性垫块, 柔性垫块可用橡胶或木条制作, 也可采用土工格栅的边角余料替代, 如图 7.3.5-2a) 所示。石砌构造物墙背明显凹凸不平时, 也可将土工格栅直接挂铺在墙背上利用土压力使其锚固, 如图 7.3.5-2b) 所示。

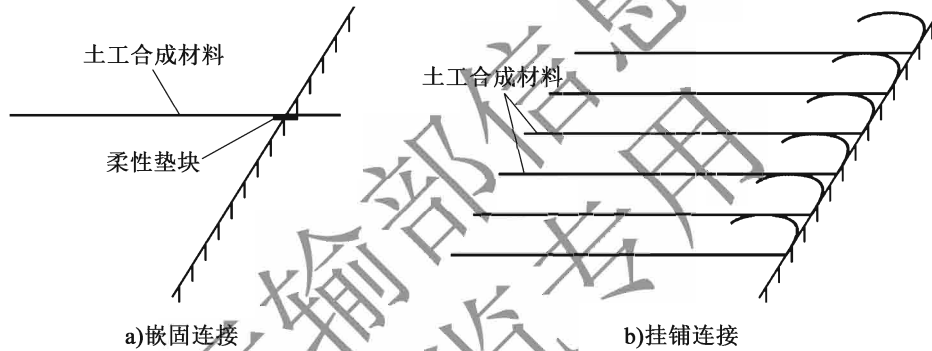


图 7.3.5-2 土工格栅与石砌台背连接示意图

5 对混凝土桥台, 可采用经防锈蚀处理的膨胀螺钉与钢压条, 将土工格栅锚固在结构物台背面的壁面上, 如图 7.3.5-3 所示。

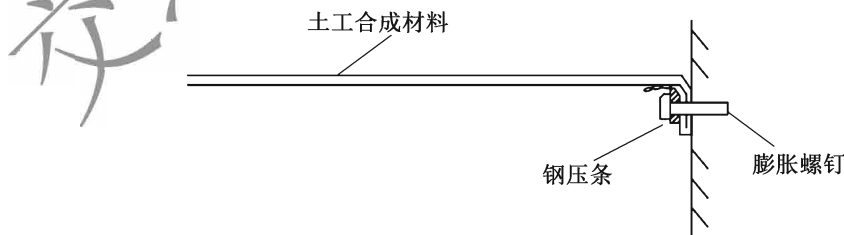


图 7.3.5-3 土工格栅与混凝土桥台连接示意图

条文说明

目前在工程试验中获得成功的试验桥台高度一般在 4~12m, 故推荐适宜的桥台高度为 5~10m。

在台背与填料间要求设置 0.3m 厚的反滤层是为了避免路表水通过构造物与填料交

界部位渗入并滞留于填料内；在原地面设置厚度不小于0.3m的级配碎石排水垫层，是为了防止地下水进入台背填料，降低填料强度，增大荷载。

研究发现，当土工格栅铺设间距大于1.2m时，土体与土工合成材料交界面上的剪应力很大，有可能导致两者之间的相对滑动，破坏台背填筑体整体性。因此，本条提出，在路基顶面以下5m深度的范围以内，土工格栅的最大层间距以不大于0.8m为宜。

7.3.6 路基与桥涵构造物衔接段，可采用土工格室形成柔性搭板减缓衔接段不均匀沉降。土工格室的铺设长度、层数、竖向层间距等应根据桥台形式、过渡段长度、填料类型及台背路基工后沉降值综合确定，并应符合下列规定：

1 土工格室应在台背过渡段路基顶部范围铺设，铺设层数宜为2~3层，必要时，可增至4~5层或与刚性搭板联合使用。土工格室顶层铺设长度不宜小于8m，底层不宜小于4m；竖向层间距不宜小于一层填料厚度，且不宜大于1.5m。

2 土工格室应采用锚钉与桥台固定牢固。

3 当原地基承载力不能满足路基填料高度要求或沉降较大时，应对地基采取有效措施进行处理。

条文说明

土工格室柔性搭板是利用土工格室形成一个具有良好整体性的筋土复合体，协调路桥过渡段路基与桥台间的差异沉降。

增加土工格室铺设层数对减小不均匀沉降是有利的，但过多的层数使工程造价增加，差异沉降也并不随土工格室层数的增加而线性减少。工程上一般铺设2~3层，当工后沉降量较大时可铺4~5层，或在路基顶部增设刚性搭板（图7-2）。

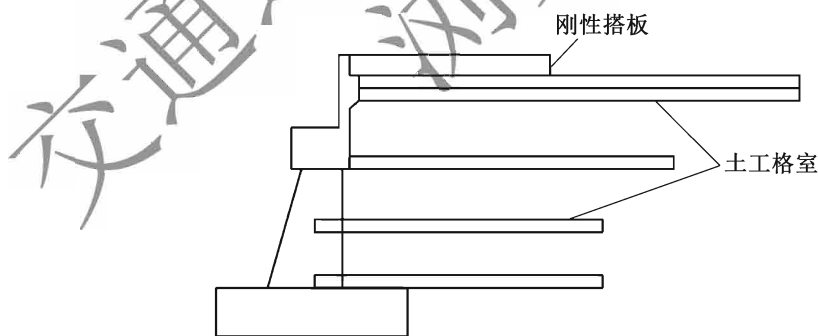


图7-2 土工格室柔性搭板与刚性搭板联合使用示意图

7.4 施工要点

7.4.1 土工合成材料铺设前，应完成场地平整等工序的施工，保证与土工合成材料接触的土层表面平整，无尖锐凸出物。

7.4.2 土工格栅和土工格室的铺设与连接应满足下列要求：

- 1 强度高的方向应与主受力方向一致。桥台构造物与路线方向成斜交时，应将土工合成材料的嵌固端截成与交角相等的倾角，保证土工合成材料的铺设方向与路线走向平行。
- 2 应根据设计确定筋材的裁剪长度，尽量避免在主受力方向连接，必须连接时，土工格室宜采用专用插件连接，土工格栅连接处强度不得低于材料的抗拉强度的80%。
- 3 非主受力方向相邻两幅加筋材料应相互衔接，不同层面的衔接位置应相互错开不小于0.5m。
- 4 土工合成材料的铺设应平整、无褶皱，可用人工拉紧、U形钉固定等措施将加筋材料固定于填料表面。
- 5 筋材铺设完毕后应及时用填料覆盖。

7.4.3 EPS块的铺设应符合下列规定：

- 1 与其他填料路堤或旧路基的接头处，EPS块应呈台阶铺设。EPS块铺筑前，施工基面应保持干燥，并铺设厚度不小于100mm的砂垫层，砂垫层应夯压密实。
- 2 最底层块体与垫层之间、块体之间的连接应牢固，连接件应进行防锈处理。
- 3 EPS块的铺设应遵循由低到高、先中间后两侧、自下而上逐层错缝铺设的原则。块与块之间应紧贴，缝隙不得大于20mm，块体间错台高差不得大于10mm，各层块体间的错缝应大于0.6m。最下层块体间的缝隙或错台应由砂浆垫层调整，中间各层缝隙应采用无收缩水泥砂浆充分填塞。
- 4 每层EPS块铺设完成后，与旧路基的接合处宜采用C20混凝土填塞密实。
- 5 EPS块铺设完成后，其顶部应铺设一层厚度不小于100mm的钢筋混凝土层。

7.4.4 填料应分层摊铺、分层碾压，应避免运料车及其他施工机械直接在土工合成材料加筋材料上行驶，不得直接将填料卸在土工合成材料上。填料摊铺和碾压应符合下列规定：

- 1 压实面与土工合成材料之间应有不少于150mm厚的填料，距离土工合成材料上下100mm范围内的填料，最大粒径不得大于80mm。
- 2 土工格室上的填料宜增加50~100mm的虚铺高度，确保土工格室内填料饱满无凹陷，格室片竖直。
- 3 采用重型压路机压实时，应先静压后振动。在大型压路机压不到的部位，应采用小型压实机具分层压实，压实厚度宜小于150mm。
- 4 纵向填挖交界处填筑时，应从低处往高处分层摊铺碾压，并注意填挖交界处的拼接，碾压应做到密实无拼痕。

7.4.5 当桥台背区以外的路基尚未填筑时，桥台背填筑段的施工长度宜大于50m；当桥台背区以外的路基已经填筑压实时，应将已填筑压实路基端部开挖成台阶状，保证新、旧压实区的有效衔接。

8 加筋土挡墙

8.1 一般规定

8.1.1 采用土工合成材料构筑加筋土挡墙，应收集拟建路段气象、水文、地形地貌、地质等资料，做好工点的地质勘察、纵横断面勘测、填料调查和室内外试验等工作，获得相关基础资料。

8.1.2 加筋土挡墙不应直接修建于滑坡、泥石流、崩塌等不良地质地段；确需修建时，应先完成处治并满足加筋土挡墙修建条件。

8.1.3 应根据场地的地质与环境条件、填料特性、加筋材料性能、使用目的、工程造价等因素，经技术经济比选，确定加筋土挡墙方案。

8.1.4 挡墙应具有足够的强度、耐久性及墙面抗冲刷性能。挡墙结构形式应考虑与其自然环境和其相邻构造物的协调，与公路构造设施及相邻构筑物应衔接平顺。

8.1.5 当采用单级墙时，高速公路、一级公路墙高不宜大于12m，二级及二级以下公路墙高不宜大于15m。当采用多级墙时，每级墙高不宜大于10m，上、下两级墙体之间宜设置宽度不小于2.0m的平台。当墙高超过以上高度，以及采用多级墙时，应进行专项分析和设计。

条文说明

加筋土宜用墙高目前尚无明确定论，但根据国内不完全统计，在已建工程中，除采用砂砾和黄土作填料的加筋土挡墙外，单级墙高大于20m者较少，故对加筋土挡墙常用墙高进行了限定。

8.1.6 在受水流影响路段，应分析水流对加筋土挡墙的影响。季节性冻土地区和冰冻地区，应考虑冻融影响和防冻要求。当需要考虑地震力作用时，应进行抗震计算分析，计算分析应符合现行《公路工程抗震规范》(JTG B02)的有关规定。

条文说明

日本以及我国汶川等地震后的调查结果表明，加筋土挡墙具有良好的抗震工程特性，但需要加强相应的抗震计算分析。

8.1.7 软弱地基、陡斜坡路段等特殊路段的加筋土挡墙，以及总墙高大于15m的加筋土挡墙应进行监测设计，明确监测路段、监测项目、监测点位置及数量、监测频率及精度要求等，监测项目、监测点布置、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、地基条件、挡墙高度等确定，可按表8.1.7选定。

表8.1.7 加筋土挡墙监测项目

监测项目	监测点布置	监测目的
地基表面水平及竖向位移	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	监控地基稳定性
墙面水平和竖向位移	在地基强度低、挡墙高度大的断面，沿墙高布置	监控加筋土挡墙稳定性
路基顶部沉降	在路基顶部沿边缘布置	监控加筋土挡墙路基的工后沉降，确定路面施工时间
地基分层水平位移	在地基强度低、地基条件复杂、挡墙高度大的断面，沿深度方向布置	用于稳定监控与研究，掌握地基分层位移量，推定土体剪切破坏位置；必要时采用
筋材拉力、上覆压力	根据需要，沿筋材长度方向布置	用于研究掌握筋材受力状态；必要时采用

2 监测频率应结合施工期、气候环境条件等确定，监测周期宜为公路建成营运后不少于一年。

条文说明

软弱地基、陡斜坡路段等特殊路段的加筋土挡墙，以及总墙高大于15m的加筋土挡墙易出现大的变形，导致加筋土挡墙及上部结构破坏，故提出了本条要求。

8.2 结构形式与构造

8.2.1 加筋土挡墙横断面形式宜采用如图8.2.1a)、图8.2.1b)所示的矩形或平行四边形。当地形受限时，可采用如图8.2.1c)所示的台阶式；当地基承载力较低时，可采用图8.2.1d)所示的错台式。断面尺寸应根据稳定性分析计算确定。

8.2.2 挡墙墙面的平面可采用直线、折线和曲线，相邻墙面间的内夹角不宜小于70°。

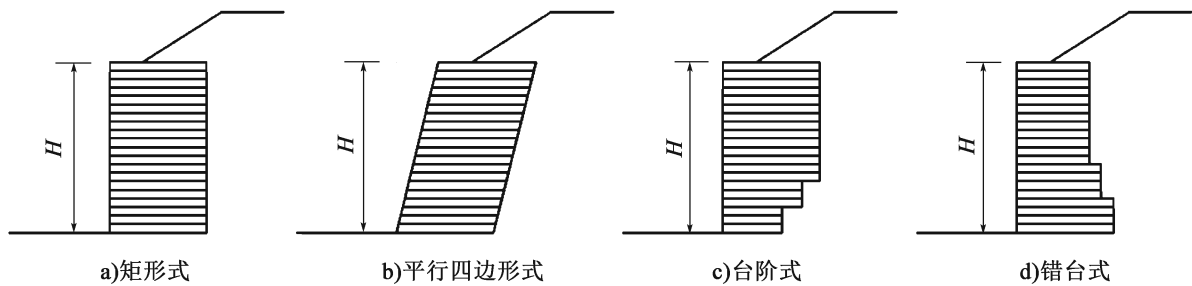


图 8.2.1 加筋土挡墙典型断面形式示意图

8.2.3 用于加筋土挡墙的主筋筋材宜采用整体性和耐久性好、强度高、抗变形能力强的土工格栅、高强土工织物等土工合成材料。其布置应符合下列规定：

1 加筋筋材应水平布设，土工格栅、高强土工织物等面状筋材应垂直于墙面，土工带宜呈扇状分开。当相邻墙面的内夹角小于 180° 时，土工格栅、高强土工织物可搭接；当相邻墙面的内夹角大于 180° 时，应适当增加角隅处筋材数量，避免出现无筋材区域。

2 加筋筋材竖向间距不宜小于一层填料最小压实厚度。对无面板和模块式墙面挡墙，主筋竖向间距不宜大于 0.8m ，上下相邻筋材搭接处应错开。

3 墙高大于 3.0m 时，主筋筋材长度不应小于本级墙高的 0.8 倍，且不小于 5.0m ；墙高不大于 3.0m 时，主筋筋材长度不应小于 3.0m ，且应采用等长筋材。当处于斜坡地段主筋筋材长度不能满足上述要求时，应进行专项分析和设计。

4 采用不等长的筋材时，同一处挡墙筋带长度规格不宜多于 3 种。同等长度筋材的墙段，高度应大于 3.0m ，且相邻不等长筋材的长度差不宜小于 1.0m 。

条文说明

除本条所推荐的土工格栅、高强土工织物外，可用于加筋土挡墙的主筋材料还有钢丝网、钢筋网、钢筋混凝土带、土工带和土工格室等。钢丝网、钢筋网、钢筋混凝土带为非土工合成材料，土工格室由于其加筋机理、设计计算方法比较复杂，仍处于探索研究阶段，因此，本规范暂未纳入。

规定不同墙高的主筋筋材长度是为了保障筋材有足够的锚固长度。在山区斜坡地段修筑加筋土挡墙，底部筋材长度有时难以满足条文所述筋材长度要求，对此需要进行专项分析，并采取增强锚固的工程措施。一些工程案例采取挖沟增长锚固长度、采用锚杆将筋材锚固于斜坡岩土体中等措施，取得了较好效果。

8.2.4 挡墙墙面形式应根据当地气候条件、地基承载条件、施工条件，以及周边自然环境和相邻构造物情况等合理确定，可采用无面板墙面和有面板墙面。

8.2.5 无面板墙面应采用土工合成材料反包形成；有面板墙面可采用预制混凝土模

块、预制钢筋混凝土板块、石笼、整体现浇钢筋混凝土等墙面形式。预制混凝土模块、预制钢筋混凝土板、石笼应运输方便、易于安装。

条文说明

加筋土挡墙墙面结构类型较多，目前常见的有无面板墙面、预制混凝土模块式墙面、预制钢筋混凝土板块式墙面、石笼式墙面、整体现浇钢筋混凝土墙面等。

无面板墙面是利用加筋的土工格栅、高强土工织物反包形成墙面，为便于绿化，大多是利用土工格栅进行反包形成墙面。其具有施工简便、适应变形能力强、可绿化防护等特点。

8.2.6 受水流冲刷路段，应采用石笼式墙面、整体现浇混凝土墙面、预制钢筋混凝土板块式墙面。设计低水位以下宜采用石砌或混凝土实体墙，不宜采用加筋体。

8.2.7 无面板墙面不宜采用直立式，其结构形式如图 8.2.7 所示。筋材应逐层反包，直至墙顶。当采用土工格栅时，反包筋材内侧宜设置植生袋、土工细网等，防止填料漏出。反包筋材与上层筋材之间应通过连接棒等方式连接，反包段卷入正常填筑范围的回折长度不应小于 2m，最上部 1~2 层筋材回折长度应适当加长。

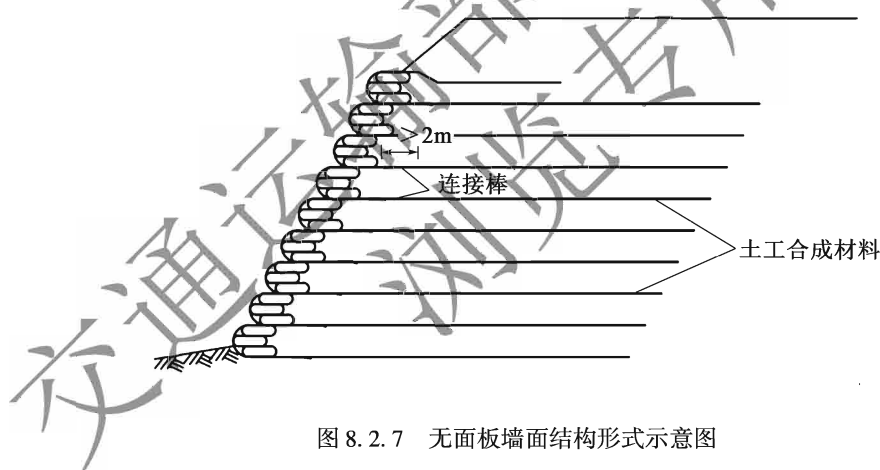


图 8.2.7 无面板墙面结构形式示意图

8.2.8 预制混凝土模块式墙面结构形式如图 8.2.8 所示，其面板构造、连接等应符合下列规定：

1 模块形状可结合景观需要确定，可为实心或空心，尺寸宜为长 250~500mm、宽 200~400mm、高 100~300mm；模块混凝土强度等级不宜低于 C25。

2 模块宜带相互衔接的企口，竖向可直接码砌也可采用插销连接。当采用钢插销连接时，插销直径不应小于 12mm。

3 模块与筋材间连接应有效可靠，可采用插销连接、连接件连接等方式。连接部件应与筋带有相同的耐腐蚀性能。

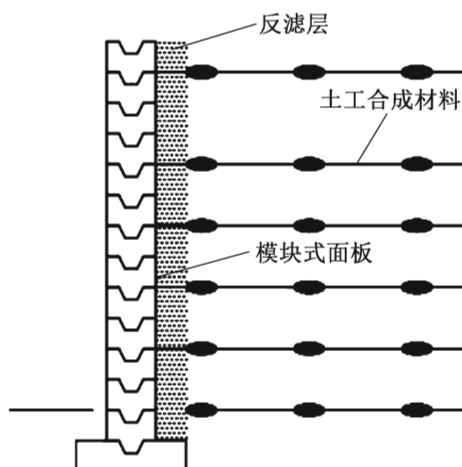


图 8.2.8 预制混凝土模块式墙面结构形式示意图

条文说明

预制混凝土模块式墙面是利用预制混凝土模块直接码砌或采用插销连接形成墙面，通常为干砌，其具有施工快、适应变形能力强等特点。模块外立面可做成不同的形状和不同的材质，以增强墙面的景观性。

插销连接是将筋材置于上下两层模块之间，在预留的插孔中放置插销进行连接，如图 8-1 所示；连接件连接是将专用的连接件置于预制模块间预留楔口中，通过连接件将面板与筋材相连，如图 8-2 所示。这两种连接一般适用于土工格栅筋材。

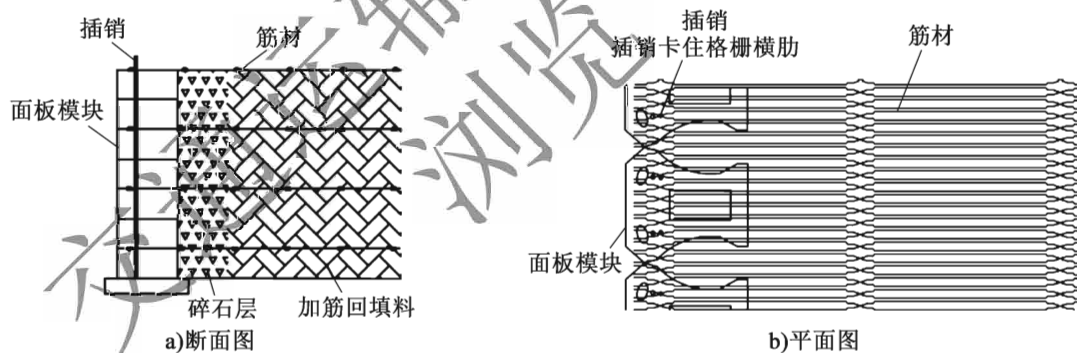


图 8-1 插销连接示意图

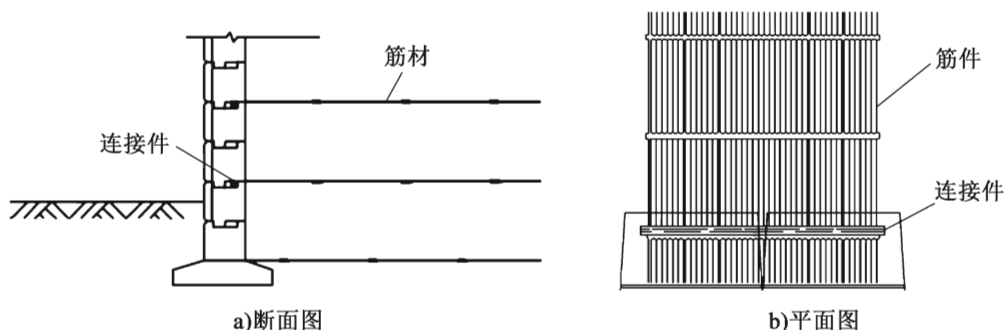


图 8-2 连接件连接示意图

8.2.9 预制钢筋混凝土板块式墙面结构形式如图 8.2.9 所示，其面板构造、连接等应符合下列规定：

- 1 面板外形可选用十字形、六角形、矩形、弧形、槽形、L 形等，其高度和宽度不宜大于 1.5m，厚度不应小于 100mm、不宜大于 200mm；面板混凝土强度等级不宜低于 C25。
- 2 板四周应设企口或连接装置，采用钢插销连接装置时，插销直径不应小于 12mm。
- 3 面板与筋材的连接应坚固可靠，可采用预埋连接、插销连接等方式。连接部件应与筋带有相同的耐腐蚀性能。

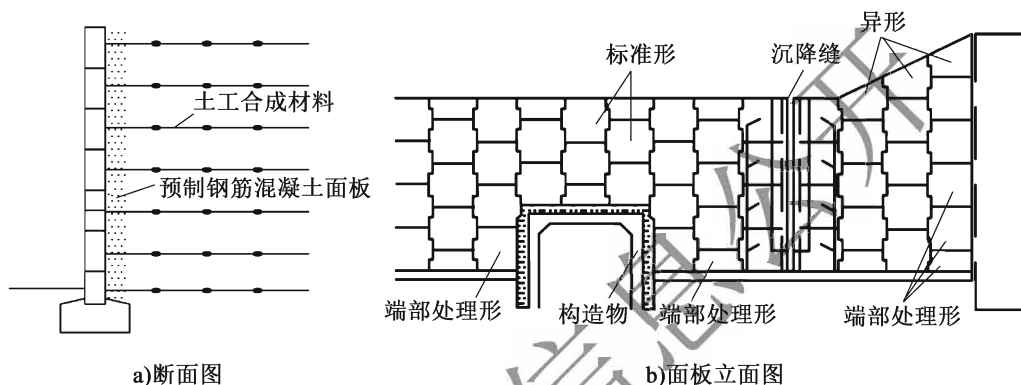


图 8.2.9 预制钢筋混凝土板块式墙面结构形式示意图

条文说明

预制钢筋混凝土板块式墙面是利用预制钢筋混凝土板块通过与加筋筋材连接形成，是目前国内应用较多的墙面形式，其具有施工快、适应变形能力强等特点。面板可做成十字形、六角形、矩形、弧形、槽形、L 形等不同的形式，为便于施工，板块尺寸不宜过大，中交第二公路勘察设计研究院有限公司编写的《公路挡土墙设计与施工技术细则》推荐的板块尺寸见表 8-1。考虑到现行相关标准对保护层厚度的新要求，本条将厚度的最小值由表 8-1 中的 80mm 增加到 100mm。

表 8-1 预制钢筋混凝土板块式墙面板常用尺寸（单位：mm）

类型	简图	高度	宽度	厚度
十字形		500 ~ 1 500	500 ~ 1 500	80 ~ 200
槽形		300 ~ 750	1 000 ~ 1 500	140 ~ 200
六角形		600 ~ 1 200	700 ~ 800	80 ~ 200
L 形		300 ~ 500	1 000 ~ 1 500	80 ~ 120
矩形		500 ~ 1 000	1 000 ~ 1 500	80 ~ 200

注：1. L 形面板下缘高度可采用 200 ~ 250mm，厚度可采用 80 ~ 120mm。

2. 槽形面板的底板和翼缘厚度不应小于 50mm。

3. 矩形面板的长边为弧形即为弧形面板。

由于预制钢筋混凝土板块式墙面面板厚度通常不大，一般为 200mm 左右，因此，其与筋材的连接多采用预埋连接方式。

预埋连接通常有两种方式，其一是将土工格栅筋材横肋浇筑到模块中，外侧至少预留一条横肋，通过连接棒将其与加筋格栅筋材连接，如图 8-3 所示，但对聚酯类土工格栅不能采用预埋连接方式。其二是将连接栓（销）、拉环等连接件预埋在面板中，通过这些预埋件与加筋筋材连接。露于混凝土外部的连接件要做防锈处理。

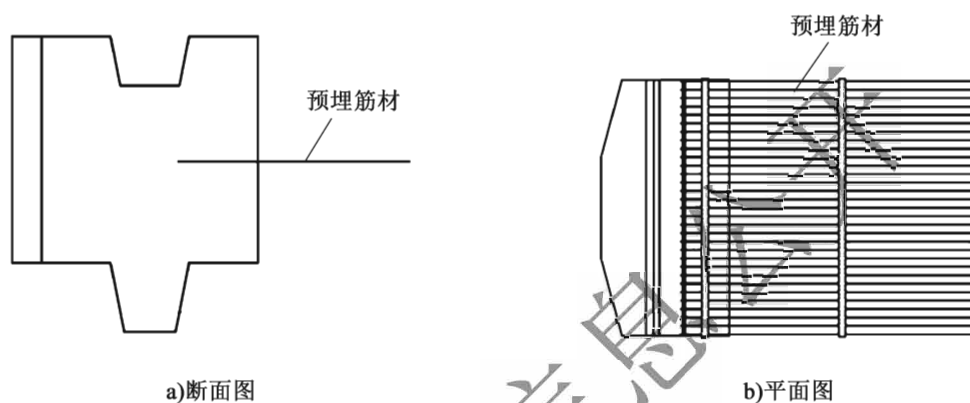


图 8-3 格栅预埋连接示意图

8.2.10 石笼式墙面结构形式如图 8.2.10 所示，其墙面构造、连接等应符合下列规定：

1 石笼应具有良好的抗腐蚀性能，宜采用重镀锌钢丝、镀锌覆有机涂层、镀锌铝合金覆有机涂层钢丝编织。

2 石笼内填充物应采用质地坚硬、不易崩解和水解的片石或块石，石料粒径宜为 100~300mm，小于 100mm 粒径的填料不应超过 15% 且不得用于外露面，填充孔隙率不得超过 30%。

3 石笼墙面厚度不宜小于 0.8m。加筋材料与石笼网箱间应通过摩擦连接、绑扎、穿孔钢筋等方式形成有效连接。

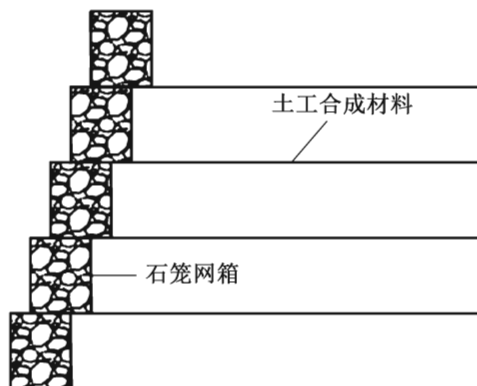


图 8.2.10 石笼式墙面结构形式示意图

条文说明

石笼式墙面是采用金属网面等形成石笼网，内填片石、块石形成的墙面。石笼网多采用经过防腐处理的低碳钢丝机编而成，形成双绞合六边形结构。石笼网墙面可根据需要构成不同宽度，其具有透水、抗冲刷、就地取材、施工快、适应变形能力强等特点。近年来，国内应用越来越广泛。

8.2.11 整体现浇钢筋混凝土墙面结构形式如图 8.2.11 所示。墙面应在加筋体施工完成一段时间至变形基本稳定后，利用加筋体中预埋的钢筋在包裹体外侧挂钢筋网，再立模现浇混凝土形成，其构造应符合下列规定：

- 1 墙面厚度不宜小于 150mm，混凝土强度等级不宜低于 C25，应按构造要求配筋。
- 2 预埋钢筋直径不应小于 14mm，长度不应小于 1.2m，竖向间距可取筋材竖向间距的 1 倍，横向间距可取筋材竖向间距的 2 倍。
- 3 应结合现场情况留设伸缩缝，并预留泄水孔。沉降缝间距宜为 10~20m，泄水孔间距宜为 1.5~4.5m。
- 4 包裹体应采用透水性填料。

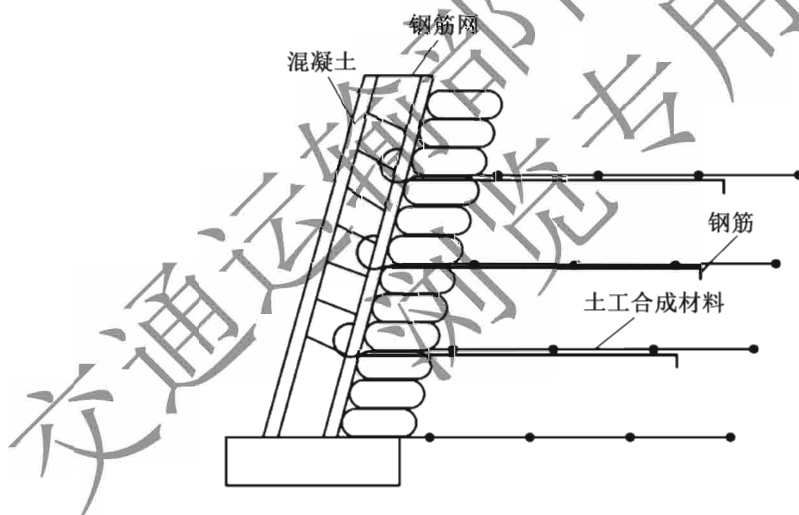


图 8.2.11 整体现浇钢筋混凝土墙面结构形式示意图

条文说明

整体现浇钢筋混凝土墙面主要适用于土工格栅、土工织物等平面土工合成材料作为筋材并反包的加筋土挡墙，其整体性好，有利于保护土工合成材料，也可以弥补由于施工原因导致土工合成材料反包式墙面坡率不一致而影响外形美观的缺陷，但外观质量特别依赖于混凝土现浇质量。

8.2.12 有面板加筋土挡墙墙面，基础、面板宜分段，分段长度宜为 10~15m。墙

高、地地质、水文情况突变处应设置沉降缝，缝宽宜为 10 ~ 20mm。无面板墙面加筋土挡墙可不设置沉降缝。

8.2.13 无面板加筋土挡墙，以及在石砌圬工或混凝土、中等风化硬质岩质地基上的有面板加筋土挡墙墙面可不设基础。其他情况下，应根据墙高、面板形式、地基条件设置基础。基础设置应符合下列规定：

1 基础基底宜水平或结合地形做成台阶形。每个台阶长度不应小于 2.0m，相邻台阶宽度不宜大于 2.0m。

2 土质地基加筋体面板基础底面的埋置深度不应小于 0.6m；岩石地基应清除表面风化层，当风化层较厚难以全部清除时，可按土质地基埋置深度要求设置。

3 季节冻土地区冻结深度小于 1.0m 时，基底埋深应在冻结线以下不小于 0.25m；冻结深度大于 1.0m 时，基底最小埋深不应小于 1.25m，同时应对基底至冻结线以下 0.25m 深度范围地基土采取换填弱冻胀材料等措施进行处理。

4 基础宜采用混凝土，强度等级不宜小于 C20，宽度不宜小于 0.4m，厚度不宜小于 0.2m。

5 斜坡上的加筋土挡墙应设宽度不小于 1m 的护脚或预留襟边宽度，面板基础埋置深度应从护脚顶面算起，如图 8.2.13 所示。

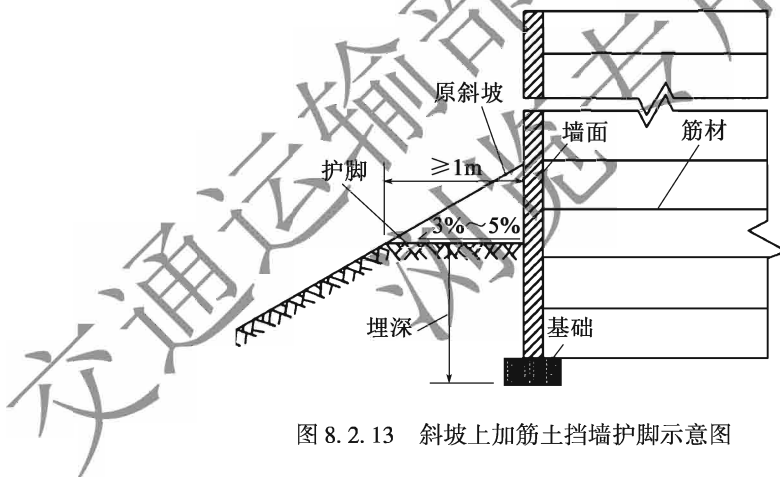


图 8.2.13 斜坡上加筋土挡墙护脚示意图

8.2.14 加筋土挡墙应设置完善的防排水系统，如图 8.2.14 所示。防排水设施应与墙外其他防排水设施衔接，使地下水和地表水有效排出。防排水设施的设置应符合下列规定：

1 对预制混凝土模块式墙面、预制钢筋混凝土板块式墙面，墙面后应设置透水无纺土工织物反滤层；当加筋体填料为细粒料时，尚应在墙面后沿墙高设置厚度不小于 0.3m 的碎石排水层。对石笼式墙面，墙面后应设置透水无纺土工织物反滤层，反滤土工织物应满足本规范第 5.2.2 条的要求。对整体现浇混凝土墙面，应利用包裹体作为排水层。

2 在有泉水、渗水等地段，应在地表增设砂、砂砾、碎石排水层或纵横向渗沟等排水设施，将墙后积水排出。

3 挡墙顶部应设置隔水封闭层和排水设施。封闭层应选用黏土或掺灰土筑成，厚度宜为 0.3 ~ 0.6m，压实度应达到 93% 以上。

4 当面板基础埋深小于 1.25m 时，宜在墙面地表处设置宽度为 1.0m，厚度大于 0.25m 的混凝土预制块或浆砌片石防护层，其表面应做成向外倾斜 3% ~ 5% 的排水横坡。

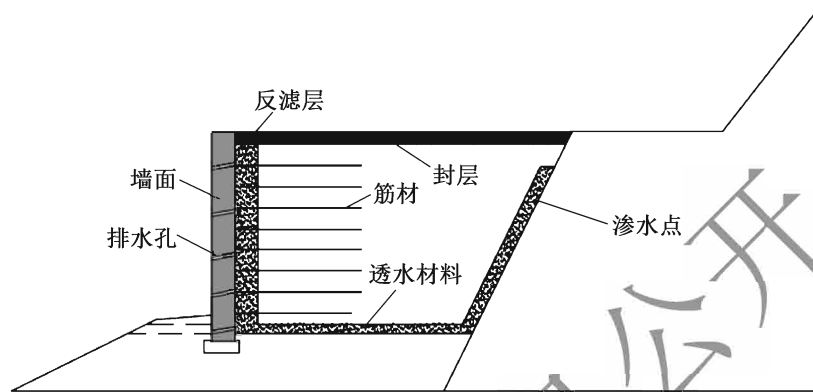


图 8.2.14 加筋土挡墙防排水系统设置示意图

8.2.15 多级加筋土挡墙的平台应设置坡率不小于 2% 的排水横坡，如图 8.2.15 所示。对有面板加筋土挡墙，平台应采用厚度不小于 0.15m、强度不低于 C20 的混凝土板进行防护；对无面板加筋土挡墙，平台顶部可采用厚 0.15m、强度不低于 C20 的混凝土进行防护，混凝土下宜设置复合土工膜。

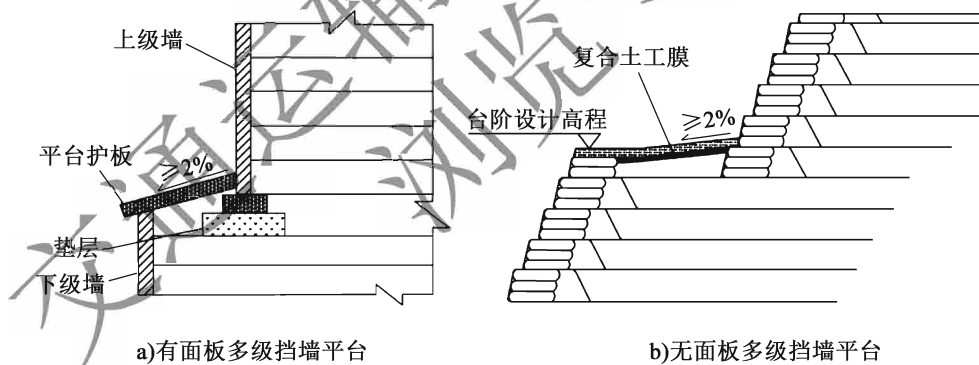


图 8.2.15 多级加筋土挡墙平台防护示意图

8.2.16 加筋土挡墙墙体填料选择、压实、强度参数获取应符合下列规定：

1 填料应具有良好的水稳定性和压实性，不应与筋材产生腐蚀作用，宜采用具有一定级配、渗水性能良好的中粗砂、砂砾或碎石；填料和筋材直接接触部分不应含有尖锐棱角块体，填料最大粒径不宜大于 100mm。

2 浸水部位应采用透水性填料。季节性冻土地区和冰冻地区，宜采用非冻胀性填料。

3 距加筋土挡墙墙面 1.0m 以内的填料压实度不应小于 90%，其他区域压实度应

符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定。

4 应根据填料来源,选择有代表性的填料进行室内试验,并结合现场情况确定填料参数。填料及地基抗剪强度参数 c 、 φ 值试验条件,应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定。初步设计时,填料参数可按表 8.2.16 选用。

表 8.2.16 填料设计参数

填料种类		综合内摩擦角 φ_0 (°)	内摩擦角 φ (°)	填料重度 γ (kN/m ³)
细粒土	黏性土	墙高 $H \leq 6\text{m}$	32.5 ~ 40.0	17.0 ~ 19.0
		墙高 $H > 6\text{m}$	30.0 ~ 35.0	
粗粒土 (砂类土)	中砂、细砂		—	18.0 ~ 19.5
	砂砾、粗砂、角砾、圆砾		—	18.5 ~ 21.0
巨粒土 (碎石土)	碎石、卵石		—	19.0 ~ 21.5

注:墙高大于 12m,表中的内摩擦角或综合内摩擦角取低值。

条文说明

水对填料强度及填料与土工合成材料的相互作用特性有较大影响,为此,对填料的选择提出了要求。

表 8.2.16 参数来源于《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)附录 H,本规范引用这一参数,便于初步设计时采用。

8.2.17 在较长、较高的挡墙区段,应根据检测和养护需要设置检修台阶或检修梯。

8.3 设计计算

8.3.1 加筋土挡墙设计时,应进行外部和内部稳定性分析。应通过外部稳定性分析,确定加筋体布设形式和加筋体总体尺寸等;应通过内部稳定性分析,确定筋材强度、设置间距和锚固长度等。对重要工程、复杂工程,宜结合数值分析方法进行分析。

8.3.2 加筋土挡墙设计计算应采用以极限状态设计的分项系数法为主的设计方法。结构重要性系数 γ_0 应按表 8.3.2-1 采用,荷载组合可按表 8.3.2-2 采用,荷载分项系数可按表 8.3.2-3 采用。

表 8.3.2-1 结构重要性系数 γ_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

表 8.3.2-2 常用作用（或荷载）组合

组合	作用（或荷载）名称
I	挡墙结构重力、墙顶上的有效永久荷载、填料重力、填料侧压力及其他永久荷载组合
II	组合 I 与基本可变荷载组合
III	组合 II 与其他可变荷载、偶然荷载组合

注：1. 洪水与地震力不同时考虑。
2. 冻胀力、冰压力与流水压力或波浪压力不同时考虑。
3. 车辆荷载与地震力不同时考虑。

表 8.3.2-3 承载力极限状态作用（或荷载）分项系数

情况	荷载增大对挡土墙结构起有利作用时		荷载增大对挡土墙结构起不利作用时	
	I、II	III	I、II	III
垂直恒载 γ_c	0.90		1.20	
恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力 γ_{Q1}	1.00	0.95	1.40	1.30
被动土压力 γ_{Q2}	0.30		0.50	
水浮力 γ_{Q3}	0.95		1.10	
静水压力 γ_{Q4}	0.95		1.05	
动水压力 γ_{Q5}	0.95		1.20	

条文说明

表 8.3.2-1 ~ 表 8.3.2-3 来源于《公路路基设计规范》（JTG D30—2015）附录 H，本规范引用这一参数，便于设计时采用。

8.3.3 对加筋体上部的填料，如图 8.3.3 所示，当进行外部稳定性验算时，应按填料的实际几何尺寸进行计算；内部稳定性验算时，应按式（8.3.3）换算为等代均布填料层厚度进行计算。

$$h_1 = \frac{1}{m} \left(\frac{H}{2} - b_b \right) \quad (8.3.3)$$

式中： h_1 ——加筋体上部填料等代均布填料层厚度（m），当 $h_1 > H'$ 时，取 $h_1 = H'$ ；

H ——加筋体高度（m）；

H' ——加筋体上填料高度（m）；

b_b ——加筋体上填料坡脚至墙面的水平距离（m）；

m ——加筋体上填料的边坡坡率。

8.3.4 对作用于加筋体的车辆和行人荷载，当进行外部稳定性验算时，应按实际荷载进行计算；内部稳定性验算时，可按式（8.3.4）换算为等代均布土层厚度进行计算。

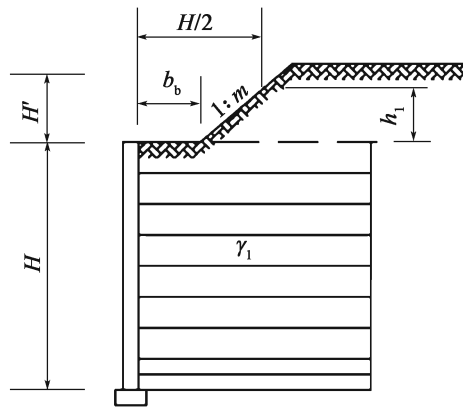


图 8.3.3 加筋体顶部填料计算图

$$h_0 = \frac{q}{\gamma} \quad (8.3.4)$$

式中： h_0 ——车辆和行人荷载的等代均布土层厚度 (m)；

q ——作用于加筋体的车辆和行人荷载 (kN/m^2)；对车辆荷载，当墙高小于 2m 时，取 $20\text{kN}/\text{m}^2$ ，当墙高大于 10m 时，取 $10\text{kN}/\text{m}^2$ ；墙高在 2 ~ 10m 时，按直线内插法取值；对行人荷载，取 $3\text{kN}/\text{m}^2$ ；

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m^3)。

8.3.5 加筋土挡墙外部稳定性验算应包括加筋体沿基底的抗滑稳定性验算、抗倾覆稳定性验算，地基承载力验算，整体滑动稳定性验算等，必要时应进行地基沉降计算。

条文说明

加筋土挡墙的外部稳定性分析是将加筋体作为一个墙体进行分析，其分析内容、方法与重力式挡墙基本一致，对此，本规范第 8.3.6 条、第 8.3.7 条、第 8.3.8 条主要参考了《公路路基设计规范》(JTG D30—2015) 的分析方法。

8.3.6 加筋土挡墙的抗滑稳定计算应满足式 (8.3.6-1) 的要求，抗滑稳定系数应按式 (8.3.6-2) 计算，并应满足表 8.3.6-1 的要求。

$$[1.1G + \gamma_{Q1} (E_y + E_x \tan \alpha_0) - \gamma_{Q2} E_p \tan \alpha_0] \mu + (1.1G + \gamma_{Q1} E_y) \tan \alpha_0 - \gamma_{Q1} E_x + \gamma_{Q2} E_p > 0 \quad (8.3.6-1)$$

$$K_c = \frac{[N + (E_x - E'_p) \tan \alpha_0] \mu + E'_p}{E_x - N \tan \alpha_0} \quad (8.3.6-2)$$

式中： K_c ——加筋土挡墙抗滑稳定系数；

G ——作用于基底以上的重力 (kN)，浸水部分应计入浮力；

E_y ——墙后主动土压力的竖向分量 (kN)；

E_x ——墙后主动土压力的水平分量 (kN)；

- E_p ——墙前被动土压力的水平分量 (kN), 当为浸水挡墙时, $E_p = 0$;
 E'_p ——墙前被动土压力水平分量的 0.3 倍 (kN);
 N ——作用于基底上合力的竖向分力 (kN), 浸水挡墙应计浸水部分的浮力;
 α_0 ——基底倾斜角 ($^\circ$), 基底为水平时, $\alpha_0 = 0$;
 μ ——基底与地基间的摩擦系数, 应根据试验确定; 初步设计时, 可按表 8.3.6-2 采用。

表 8.3.6-1 抗滑稳定系数 K_c

荷载情况	抗滑稳定系数 K_c	荷载情况	抗滑稳定系数 K_c
荷载组合 I、II	≥ 1.3	施工阶段验算	≥ 1.2
荷载组合 III	≥ 1.3		

表 8.3.6-2 基底与地基间的摩擦系数 μ

地基土的分类	摩擦系数 μ	地基土的分类	摩擦系数 μ
软塑黏土	0.25	碎石类土	0.50
硬塑黏土	0.30	软质岩石	0.40 ~ 0.60
亚砂土、黏砂土、半干硬的黏土	0.30 ~ 0.40	硬质岩石	0.60 ~ 0.70
砂类土	0.40		

条文说明

表 8.3.6-1 ~ 表 8.3.6-2 来源于《公路路基设计规范》(JTG D30—2015) 附录 H, 本规范引用这一参数, 便于设计时采用。

8.3.7 加筋土挡墙的抗倾覆稳定方程应满足式 (8.3.7-1) 的要求, 抗倾覆稳定系数应按式 (8.3.7-2) 计算, 并应满足表 8.3.7 的要求。

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1} (E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2} E_p Z_p > 0 \quad (8.3.7-1)$$

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \quad (8.3.7-2)$$

式中: K_0 ——加筋土挡墙抗倾覆稳定系数;

Z_G ——墙身重力、基础重力、基础上填料的重力及作用于墙顶的其他荷载的竖向力合力重心到墙趾的距离 (m);

Z_x ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离 (m);

Z_y ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m);

Z_p ——墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)。

表 8.3.7 抗倾覆稳定系数 K_0

荷载情况	抗倾覆稳定系数 K_0	荷载情况	抗倾覆稳定系数 K_0
荷载组合 I、II	≥ 1.5	施工阶段验算	≥ 1.2
荷载组合 III	≥ 1.3		

8.3.8 加筋土挡墙地基承载力验算时, 基底不应出现拉应力。加筋土挡墙基底压应力 σ 应满足式 (8.3.8-1) 的要求。

$$\sigma = \frac{N_d}{B - 2e_0} \leq Kf_a \quad (8.3.8-1)$$

$$e_0 = \frac{M_d}{N_d} \quad (8.3.8-2)$$

式中: σ ——挡墙基底的压应力 (kPa);

N_d ——作用于基底上的垂直力组合设计值 (kN/m);

B ——基底宽度 (m), 倾斜基底为其斜宽;

e_0 ——基底合力的偏心距 (m), 对土质地基不应大于 $B/6$; 对岩石地基不应大于 $B/4$; 当 $e_0 < 0$ 时, 取 $e_0 = 0$;

M_d ——作用于基底形心的弯矩组合设计值 (kN·m);

f_a ——经基础埋深修正后的基底容许承载力值 (kPa), 可按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 的规定采用;

K ——地基承载力特征值提高系数, 当荷载组合为 I、II 时, $K = 1.0$; 当荷载组合为 III 及施工荷载, 且 $f_a > 150\text{kPa}$ 时, 可取 $K = 1.25$ 。

条文说明

多项研究表明, 对加筋体这种柔性结构, 基底压应力分布更加符合耶霍夫分布形式, 即竖向应力在 $(B - 2e_0)$ 区域内均匀分布, 这与刚性圬工挡墙的应力分布有较大区别。《铁路路基支挡结构设计规范》(TB 10025—2019) 对加筋土挡墙的基底应力采用了梅耶霍夫分布形式, 本规范也推荐这种分布形式。

8.3.9 设置于不良土地基、覆盖土层下为倾斜基岩地基及斜坡上的加筋土挡墙, 应验算整体滑动稳定性, 验算方法及要求应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。

8.3.10 软弱地基上的加筋土挡墙应进行沉降分析, 工后沉降应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。

8.3.11 加筋土挡墙内部稳定计算应包括筋材抗拔稳定性验算、筋材抗拉承载力验算等。当墙高大于 12m 时, 尚应按式 (8.3.11) 进行全墙抗拔稳定性验算。

$$K_b = \frac{\sum T_{pi}}{\sum T_i} \geq 2 \quad (8.3.11)$$

式中: K_b ——全墙抗拔稳定系数;

$\sum T_{pi}$ ——各层筋材锚固抗拔力总和;

$\sum T_i$ ——各层筋材承受的水平拉力总和。

8.3.12 筋材抗拔稳定性应满足式 (8.3.12-1) 的要求。

$$\gamma_0 T_d \leq \frac{T_{pi}}{\gamma_{R1}} \quad (8.3.12-1)$$

$$T_d = \gamma_{Q1} T_i \quad (8.3.12-2)$$

式中: T_d ——深度 Z_i 处筋材所受的拉力设计值 (kN/m 或 kN);

T_i ——深度 Z_i 处筋材所受的拉力 (kN/m 或 kN);

T_{pi} ——深度 Z_i 处筋材锚固抗拔力 (kN/m 或 kN);

γ_0 ——结构重要性系数, 按表 8.3.2-1 采用;

γ_{Q1} ——土压力分项系数, 按表 8.3.2-3 采用;

γ_{R1} ——筋材抗拔力计算调节系数, 可按表 8.3.12 取用。

表 8.3.12 筋材抗拔力计算调节系数

作用(或荷载)组合	I、II	III	施工荷载
γ_{R1}	1.4	1.3	1.2

8.3.13 筋材所受拉力应考虑加筋体填料、加筋体上部填料、车辆荷载和行人荷载等作用, 其计算应符合下列规定:

1 筋材为土工格栅、土工织物等面状筋材时, 筋材所受拉力应按式 (8.3.13-1) 计算; 筋材为土工带等带状筋材时, 筋材所受拉力应按式 (8.3.13-2) 计算。

$$T_i = (\sigma_{ni} + \sigma_{bi} + \sigma_{si}) S_y \quad (8.3.13-1)$$

$$T_i = (\sigma_{ni} + \sigma_{bi} + \sigma_{si}) S_x S_y \quad (8.3.13-2)$$

式中: T_i ——深度 Z_i 处的筋材所承受的拉力 (kN);

σ_{ni} ——加筋体填料引起的水平土压应力 (kPa);

σ_{bi} ——加筋体上部填料引起的水平土压应力 (kPa);

σ_{si} ——车辆和行人等可变荷载引起的水平土压应力 (kPa);

S_x 、 S_y ——筋带(材)节点的水平间距和垂直间距 (m)。

2 加筋体填料引起的水平土压应力 σ_{ni} 应按式 (8.3.13-3) 和式 (8.3.13-4) 计算, 如图 8.3.13-1 所示。

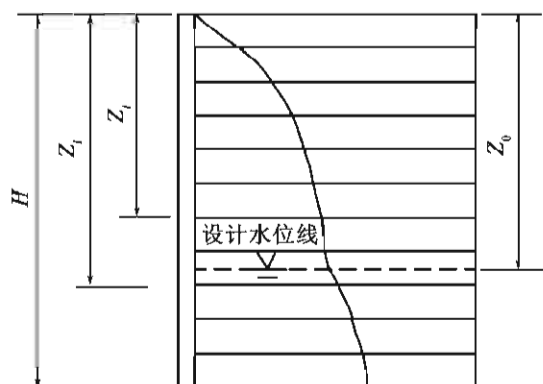


图 8.3.13-1 加筋体填料作用下的水平压应力计算示意图

设计水位线以上:
$$\sigma_{zi} = K_i \gamma Z_i \quad (8.3.13-3)$$

设计水位线以下:
$$\sigma_{zi} = K_i [\gamma Z_0 + \gamma_{\text{sat}} (Z_i - Z_0)] \quad (8.3.13-4)$$

式中: K_i ——加筋体土压力系数, 可取 $K_i = \tan^2 (45^\circ - \varphi/2)$;

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m^3);

γ_{sat} ——加筋体填料的饱和重度 (kN/m^3);

Z_i ——第 i 层筋材至加筋体顶面的垂直距离 (m);

Z_0 ——设计水位线至加筋体顶面的垂直距离 (m)。

3 加筋体上部填料引起的水平土压应力 σ_{bi} 可按式 (8.3.13-5) 计算。

$$\sigma_{bi} = K_i \gamma_1 h_1 \quad (8.3.13-5)$$

式中: γ_1 ——加筋体上部填料的重度 (kN/m^3);

h_1 ——加筋体上部填料等代均布土层厚度 (m), 按本规范第 8.3.3 条计算。

4 车辆和行人等可变荷载引起的水平土压应力 σ_{ai} 可按式 (8.3.13-6) 计算, 如图 8.3.13-2 所示。

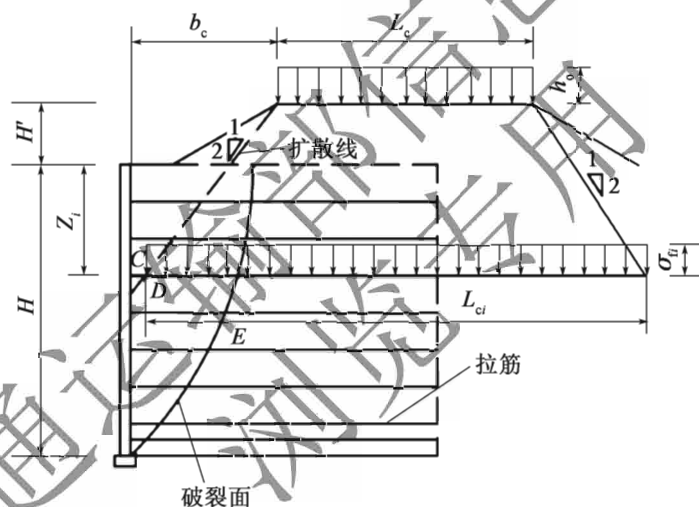


图 8.3.13-2 车辆荷载作用下垂直应力计算示意图

$$\sigma_{ai} = K_i \sigma_{fi} \quad (8.3.13-6)$$

式中: σ_{fi} ——车辆等可变荷载作用于深度 Z_i 处的附加竖直压应力 (kPa), 可按沿深度以 1:0.5 的扩散坡率计算扩散宽度进行计算。当扩散线的内边缘点未进入活动区时, $\sigma_{fi} = 0$; 当扩散线的内边缘点进入活动区时, 可按式 (8.3.13-7) 计算:

$$\sigma_{fi} = \gamma h_0 \frac{L_c}{L_{ci}} \quad (8.3.13-7)$$

h_0 ——车辆和行人荷载的等代均布土层厚度 (m), 按本规范第 8.3.4 条计算;

L_c ——加筋体计算时采用的荷载布置宽度 (m), 取路基顶全宽;

L_{ci} ——加筋体深度 Z_i 处附加竖直压应力扩散宽度, 可按式 (8.3.13-8) 计算:

$$\left. \begin{aligned} L_{ci} &= L_c + b_c + \frac{H' + Z_i}{2} & (Z_i + H' > 2b_c) \\ L_{ci} &= L_c + H' + Z_i & (Z_i + H' \leq 2b_c) \end{aligned} \right\} \quad (8.3.13-8)$$

b_c ——墙背面至路基边缘的水平距离 (m);

H' ——加筋体上填料高度 (m)。

条文说明

有关研究表明,加筋土挡墙破裂面依据加筋材料的刚度不同而呈现出不同的形式。当采用钢带、钢筋混凝土带等刚度较大的筋材时,破裂面多为折线,其破裂面及土压力系数沿墙高的分布如图 8-4 所示。当采用土工格栅、土工织物等柔性筋材时,破裂面多为图 8-5 的形式,为简化计算常采用直线,破裂面与水平面的夹角为 $(45^\circ + \varphi/2)$,土压力系数沿墙高等值分布,可取为主动土压力系数,即 $K_i = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$ 。本规范主要针对土工合成材料构筑的加筋土挡墙,为此采用了等值分布的主动土压力系数。

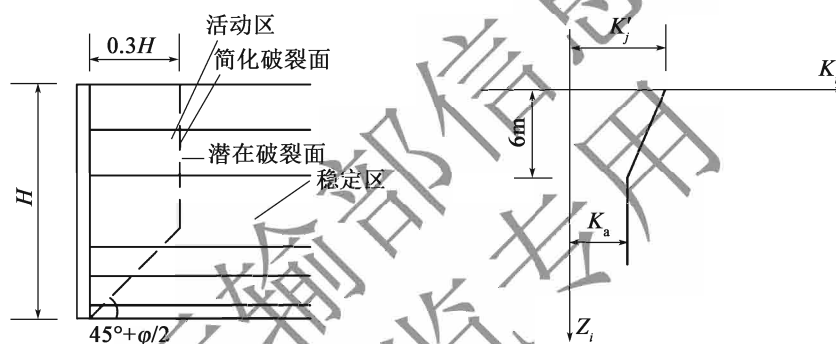


图 8-4 刚度较大的筋材加筋土挡墙简化破裂面及土压力系数分布图

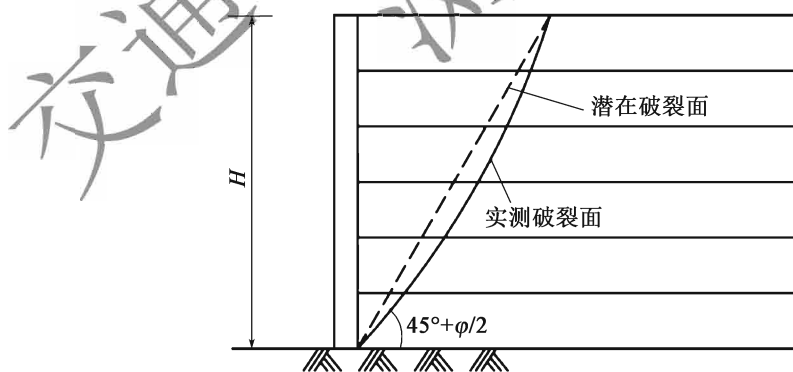


图 8-5 刚度较小的土工合成材料加筋土挡墙简化破裂面

8.3.14 对筋材锚固抗拔力,应只计及填料等永久荷载作用。当筋材为土工格栅、土工织物等面状筋材时,应按式 (8.3.14-1) 计算;当筋材为土工带等带状筋材时,应按式 (8.3.14-2) 计算。

$$T_{pi} = 2f_{CS}\alpha\sigma_i L_{ei} \quad (8.3.14-1)$$

$$T_{pi} = 2f_{CS}\alpha\sigma_i b_i L_{ei} \quad (8.3.14-2)$$

式中： α ——考虑筋材与土相互作用的非线性分布系数，取 0.6 ~ 1；资料缺乏时，土工格栅取 0.8，土工织物和土工带取 0.6；

b_i ——每延米上筋带的总宽度 (m)；

L_{ei} ——深度 Z_i 处筋材在稳定区的锚固长度 (m)；

f_{CS} ——填料与筋材间的界面阻力系数，应按本规范第 4.2.6 条的要求确定；当采用土工带时，对二级及二级以上公路的初步设计，以及二级以下公路可按表 8.3.14 取用；

σ_i ——加筋体内深度 Z_i 处的竖向压应力 (kPa)，应按式 (8.3.14-3) 计算：

$$\sigma_i = \gamma Z_i + \gamma_1 h_1 \quad (8.3.14-3)$$

γ ——加筋体填料的重度 (kN/m^3)，加筋体浸水时，应按设计水位上下不同分别计入，水位以下应取加筋土填料的浮重度；

γ_1 ——加筋体上部填料的重度 (kN/m^3)；

h_1 ——加筋体上部填料等代均布土层厚度 (m)。

表 8.3.14 填料与筋带间的界面阻力系数

填料类型	黏性土	砂类土	砾碎石类土
界面阻力系数	0.25 ~ 0.40	0.35 ~ 0.45	0.40 ~ 0.50

8.3.15 筋材抗拉强度验算时，对土工格栅、土工织物等面状筋材应满足式 (8.3.15-1) 的要求；对土工带等带状筋材应满足式 (8.3.15-2) 的要求。

$$\gamma_0 T_{d0} \leq T_a \quad (8.3.15-1)$$

$$\gamma_0 T_{d0} \leq \frac{Af_k}{1000\gamma_f\gamma_{R2}} \quad (8.3.15-2)$$

式中： T_a ——土工格栅、土工织物的设计抗拉强度 (kN/m)，按本规范第 4.2.2 条确定，且总的折减系数不应小于 2.25；

A ——筋带截面的有效净截面积 (mm^2)；

f_k ——筋带抗拉强度 (MPa)；

γ_f ——筋带材料抗拉性能的分项系数，取 1.25；

γ_{R2} ——筋带抗拉计算调节系数，取 1.55 ~ 2.0，施工条件差、材料蠕变大时，取大值；材料蠕变小或施工荷载验算时，可取较小值。

8.3.16 加筋土挡墙筋材长度应根据外部稳定性和内部稳定性分析结果综合确定。根据内部稳定性分析确定的筋材总长度，应包括在加筋体活动区内的长度、在稳定区的锚固长度，以及考虑反包、回折、连接等的长度。其中，锚固长度、面状筋材反包卷入正常填筑范围的回折长度均不应小于 2m。

8.4 施工要点

8.4.1 加筋土挡墙施工前，应熟悉设计文件，理解设计意图，编制施工组织计划，清理、平整场地，做好施工准备工作。

条文说明

加筋土挡墙各环节的施工对整体质量均产生影响，因此，根据施工地段的地形、地质、水文、气象、环境等条件，以及设计和工期要求，编制合理的施工组织计划尤为重要。

8.4.2 加筋体施工前应根据设计要求和现行有关标准的规定，完成地基的加固处理和地下排水设施的施工。

8.4.3 面板式挡墙的面板安装、砌筑应横平竖直，砌缝均匀一致，上下层错缝，相近两层不应重缝；沉降缝或伸缩缝两端应整齐一致，整条缝应贯通，不得上下交错。

8.4.4 整体现浇混凝土墙面应在土工格栅反包式墙面施工完成且变形基本稳定后施工，可利用加筋体中预埋的锚杆或植筋在包裹体外侧挂钢筋网，再浇筑混凝土形成整体混凝土墙面。

8.4.5 石笼式墙面施工可包括组装、安装、面墙装填、封盖等工序，其施工应满足下列要求：

1 施工石笼墙面单元时，应将折叠的面网单元展开至预定形状，并采用绞合钢丝将面网绞合牢固，各单元面网相邻边缘均应进行绞合连接，使面网形成一个连续的整体面。

2 石笼面墙应分层填筑，每隔三分之一高度应在前面网与后面网间加装绑缚钢丝，将单体石笼单元接连，形成连续的整体面。

3 石笼表面应大面平整，相邻两层石笼单元应进行连接。

8.4.6 加筋材料的铺设除应符合本规范第4.5节的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 土工格栅、土工织物等面状筋材应将强度高的方向垂直于墙面铺设，在此方向不宜连接。土工格栅、土工织物等与面板的连接构造、回折长度应满足设计要求。土工格栅、土工织物等应拉直、拉紧，不得有卷曲、扭结。铺设完成后，宜适当固定，并应及时填筑上层填料。

2 土工带应呈扇形辐射状铺设，如图8.4.6所示。筋带可采用单孔、上下孔合并或左右孔合并等穿筋方式，与面板连接处应有隔离措施。筋带尾部宜挖一浅槽，埋入

0.1m×0.1m×3m 的方木，用夹具逐根张紧后，钉在方木上。筋带应紧贴填料，不得有折曲、卷曲和重叠。

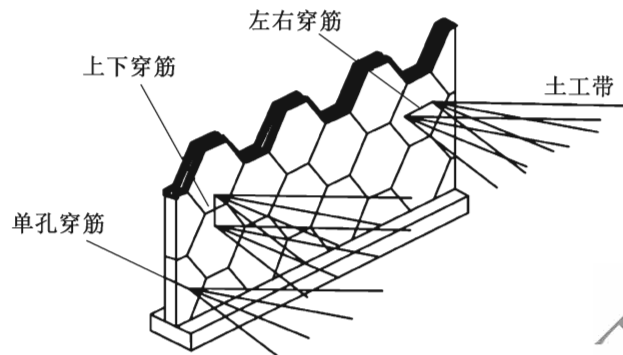


图 8.4.6 土工带布设示意图

8.4.7 填料的摊铺与压实等除应符合本规范第 4.5 节的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 面板后的排水反滤层及加筋土挡墙墙后的排水层应与填料同步摊铺、同步碾压。
- 2 距墙面 1m 范围内应采用人工摊铺和小型机械压实。
- 3 填料碾压应先从筋材长度的二分之一处开始，向筋材尾部碾压，然后再向墙面碾压，第一遍宜慢速静压，以免壅土将筋材推起。

条文说明

在临近墙面部位，难以采用正常的压实机械进行压实，是压实的薄弱环节，因此，要求采用轻型压实机械对这部分填料进行压实，以保证填筑质量。

8.4.8 应通过设置临时防排水等措施，加强施工期防排水。当填料为细粒土时，降雨后应将表面浸水层铲除，再进行后续填筑施工。

8.4.9 应加强施工期间加筋土挡墙的稳定监测，根据监测资料，掌握加筋土挡墙稳定状态。当出现稳定性不足的迹象时，应采取控制填筑速率、变更设计方案等措施，确保加筋土挡墙稳定。

9 其他工程

9.1 防沙固沙

9.1.1 土工合成材料可用于沙漠地区公路路基稳定与防护、线外阻沙固沙。

9.1.2 应结合应用场合及所处气候条件考虑紫外线对土工合成材料的影响。当土工合成材料长期裸露使用时，抗紫外线抗拉强度保持率应大于85%；当与植被绿化联合使用时，抗紫外线抗拉强度保持率应大于80%。

条文说明

沙漠地区往往紫外线强烈，需要考虑紫外线对土工合成材料的影响。从暴露情况看，沙漠地区土工合成材料应用，主要有三种情况，其一是基本不暴露，如用于路基加筋、隔离等；其二是部分暴露，如用于有植物的边坡防护；其三是完全暴露，如线外阻沙固沙等，可区别对待。

现行《沙漠地区公路设计与施工指南》（JTG/T 3331-01）对线外阻沙固沙材料（塑料网、土工编织袋）抗紫外线强力保持率提出“沙漠化自然环境使用10年”的要求。中国铁路总公司企业标准《铁路工程土工合成材料 第9部分：防沙材料》（Q/CR 549.9—2016）规定，5年抗紫外线强力保持率不小于75%、10年不小于85%、20年不小于95%。《公路工程土工合成材料》（JT/T 1432—2022）也对土工合成材料强度保持率提出了要求，见表6-1。

结合沙漠地区应用的实际情况和相关标准的规定，提出了本条要求。

9.1.3 提高沙漠地区风积沙填方路基整体稳定可采用土工格室、土工织物，可单层或多层铺设。土工格室高度不宜小于80mm，结点距离不宜大于高度的4倍，其性能应满足表6.2.4-1的要求；土工织物宜采用有纺土工织物，其性能应满足表9.1.3的要求。

表 9.1.3 风积沙填方路基整体稳定土工织物性能要求

单位面积质量 (g/m ²)	厚度 (mm)	纵向抗拉强度 (kN/m)	纵横向断裂伸长率 (%)	CBR 顶破强力 (kN)
≥160	≥1.0	≥35.0	纵向≤35，横向≤30	≥2.0

条文说明

采用风积沙填筑路基往往面临碾压困难、路基顶面直接铺筑砂砾料会导致表面剪切松散等问题，在路基中或路基顶部铺设土工格室、土工织物，既有助于路基碾压施工，也可起到增强路基整体稳定的作用。

对增强路基稳定，土工织物需具备一定的强度。根据我国沙漠地区的工程经验，结合现行《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432)有纺土工织物的性能指标，提出了表 9.1.3 的土工织物性能要求。

9.1.4 土工合成材料用于沙漠地区公路风积沙填方路基边坡稳定与防护时，可采用边坡堆垛法、边坡侧限法、边坡包裹法等方法。其材料、结构形式与铺设应符合下列规定：

1 边坡堆垛法宜采用土工织物袋，其结构形式如图 9.1.4-1 所示。可根据路基高度，采用不同的堆积方式，如图 9.1.4-2 所示。堆垛体的边坡坡率宜为 $1:1.0 \sim 1:1.5$ ；土工织物袋的长宽比宜大于 1.8，装沙体积宜为扎紧容积的 $2/3 \sim 3/4$ ，堆垛体的宽高比不宜小于 0.75。有条件时，可在堆垛体上种植植物或填粗粒土覆盖。

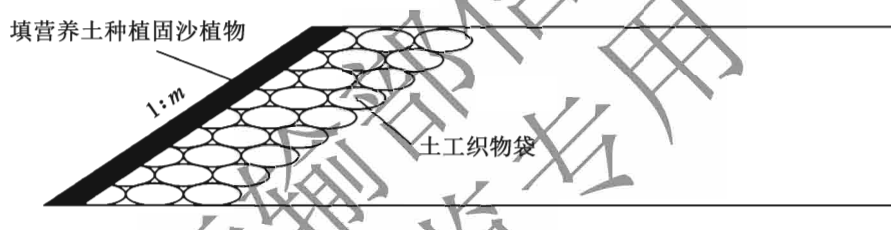


图 9.1.4-1 边坡土工织物袋堆垛法结构示意图

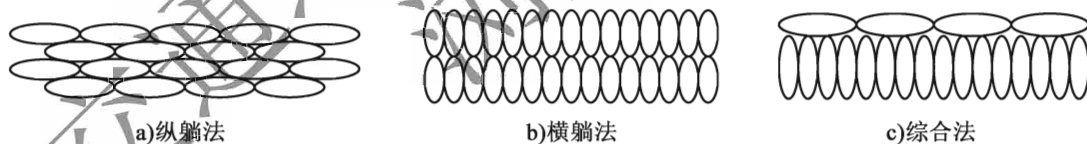


图 9.1.4-2 边坡土工织物袋堆垛堆积方式示意图

2 边坡侧限法可采用土工格室，其结构形式如图 9.1.4-3 所示。土工格室的规格、铺设宽度及高度应根据路基宽度和高度等确定。土工格室片材厚度不宜小于 1mm，高度不宜小于 200mm，结点距离宜为 300~400mm，其材料性能应满足表 6.2.4-1 的要求。

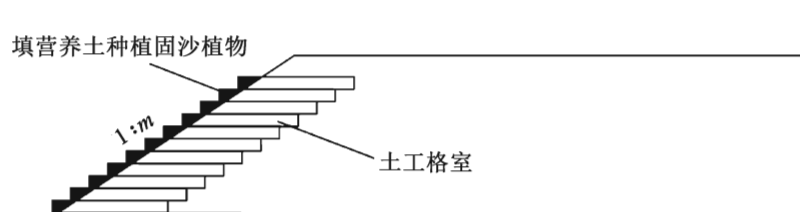


图 9.1.4-3 边坡土工格室侧限法结构示意图

3 边坡包裹法宜采用土工织物，其结构形式如图 9.1.4-4 所示。边坡坡率宜为 $1:1.5 \sim 1:2.5$ ，单层边裹法可用于高度不超过 1.2m 的路基；双层边裹法可用于高度为 1.2 ~ 4.0m 的路基；多层边裹法及全裹法可用于地基条件较差路段路基。土工织物上下压边长度 L 宜为 1.0 ~ 1.5m，其性能指标应满足表 9.1.3 的要求。

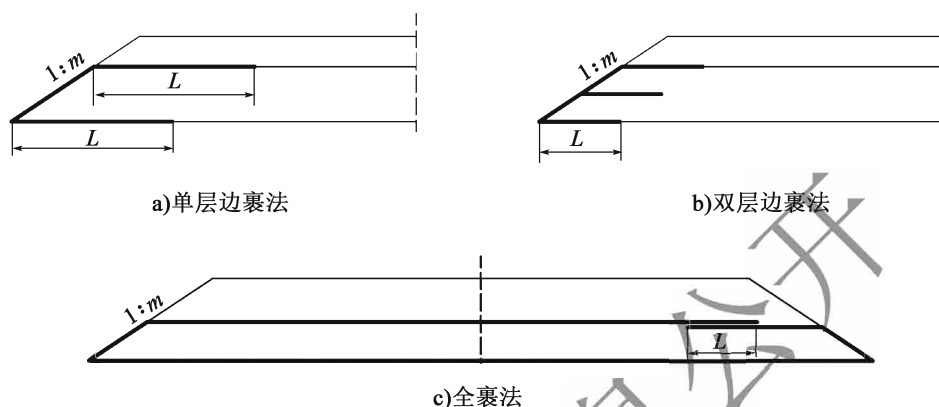


图 9.1.4-4 边坡土工织物包裹法结构示意图

9.1.5 土工合成材料应用于沙漠地区公路边坡绿化防护时，宜与稳定措施相结合，采用的土工合成材料、铺设要求等应符合本规范第 6 章的有关规定。

9.1.6 采用土工格室加固风积沙用作路面底基层时，其上应设置厚度不小于 120mm 的级配砂砾层，级配砂砾层与土工格室加固层间可设置一层土工织物。土工格室材料性能应满足表 6.2.4-1 的要求，格室高度宜为 80 ~ 150mm，结点距离宜为 300 ~ 360mm。

条文说明

土工格室加固风积沙具有很好的整体强度，抗压回弹模量 E_0 大多在 250 ~ 350MPa，可以作为路面底基层，现行《沙漠地区公路设计与施工指南》(JTG/T 3331-01) 推荐了这种应用形式。在土工格室加固层上设置 120mm 的级配砂砾层，是为了防止格室应力集中而开裂，在格室加固层与砂砾层间设置土工织物可防止风积沙污染砂砾层导致强度降低。参考现行《沙漠地区公路设计与施工指南》(JTG/T 3331-01)，提出本条的相关要求。

9.1.7 线外阻沙固沙可采用土工网栅栏阻沙法、土工织物沙袋固沙法、土工格室固沙法等措施。其布置原则与位置、形式等应符合现行《沙漠地区公路设计与施工指南》(JTG/T 3331-01) 的有关规定，其布设及土工合成材料应符合下列规定：

1 土工网栅栏阻沙法栅栏外露高度宜为 1.2 ~ 1.5m，立桩间距宜为 3 ~ 4m，地形起伏较大时应加密至 2 ~ 3m。立桩埋深不应小于 0.4m，并应设置锚固设施，锚固深度不应小于 0.4m，锚固铁丝应与立桩顶部可靠连接。在风力较大地区，立桩应采用钉入方式，埋入深度不应小于 0.5m。土工网宜采用高密度聚乙烯网，抗拉强度宜大于

11kN/m, 孔隙率宜为 20% ~ 40%。

2 土工织物沙袋和土工格室固沙法应能实现自由调节规格和移动, 形成活动沙障, 在沙障被流沙埋后可提起, 恢复固沙效果。土工织物沙袋与土工格室外露高度宜为 50 ~ 200mm。土工织物袋直径宜为 10 ~ 200mm, 长 2m, 土工织物材料性能应满足表 9.1.3 的要求; 土工格室结点距离宜为 1m × 1m, 高度不宜小于 200mm, 其材料性能应满足表 6.2.4-1 的要求。

9.1.8 沙漠地区公路土工合成材料应用施工应符合下列规定:

1 路基施工过程中, 推土机、挖掘机、铲运机等施工机械不得直接在土工合成材料上作业。在铺设好的土工合成材料顶面设置的沙质保护层厚度不宜小于 10mm。

2 铺设土工格室前, 路基应按设计高程进行精平。土工格室的连接应采用专用插件, 上下层的连接部位应错开 1m 以上。铺设时应采用人工或专用工具对土工格室进行张拉, 并固定于铺设表面。聚乙烯类土工格室应避免夏季中午炎热高温时间段, 聚丙烯类土工格室在冬季应避免清晨低温时间段。

3 边坡侧限法施工中土工格室的堆筑与路堤的填筑宜同步进行。

9.2 膨胀土路基处治

9.2.1 应遵循“保湿防渗、以柔治胀”的原则, 合理选择土工合成材料及其相应的结构形式, 对膨胀土路基进行有效的防排水和边坡加固。

9.2.2 应用于膨胀土填方路基包边加筋及路堑边坡柔性支护的加筋材料宜采用单向土工格栅, 其性能应满足表 9.2.2 的要求; 防渗应采用“两布一膜”, 复合土工膜的规格宜为织物质量/膜厚/织物质量 = 200 (g/m²) / 1 (mm) / 200 (g/m²)。

表 9.2.2 土工格栅性能要求

纵向抗拉强度	断裂伸长率	伸长率为 5% 时的拉应力
≥50 kN/m	≤10%	≥20kN/m

条文说明

对膨胀土边坡而言, 土工格栅的弹性模量越大, 其伸长率越小, 坡面的变形越小, 吸湿条件下加筋材料对边坡变形的约束作用越明显, 然而, 过大的约束作用又会使被加筋膨胀土体增湿产生过大膨胀力, 因此, 要求土工格栅既具有一定的抗拉强度, 又具有一定的变形能力。结合工程实践经验, 提出表 9.2.2 的要求。

9.2.3 膨胀土及筋土界面抗剪强度指标 c 、 φ 值, 应根据膨胀土所受大气影响程度的不同而采用不同的试验方法确定, 试样制备及试验方法应符合现行《公路膨胀土路基

设计与施工技术规范》(JTG/T 3331-07)的有关规定。

9.2.4 应通过地质勘察确定当地膨胀土大气显著影响层深度 d_r ，根据 d_r 确定路基边坡加筋范围。初步设计时，大气显著影响层深度可在 2~3m 内取值。

条文说明

大气显著影响层深度可由各地区膨胀土的深层变形观测、干缩裂隙深度、含水率观测及地温观测资料确定，一般为大气影响层深度的 2/3 左右。根据广西、云南、河南等省区膨胀土勘察结果，同时考虑到膨胀土边坡破坏的浅层性，提出了大气显著影响层深度 d_r 的取值范围建议，供初步设计参考。

9.2.5 填方路基包边加筋可采用如图 9.2.5-1 所示的结构形式。其设计应符合下列规定：

1 上路堤和路床应采用水稳性好且模量较大的非膨胀性填料填筑。膨胀土只限于下路堤填筑且填筑高度不宜大于 6m。用于路堤填料的膨胀土应满足 $1.00 \leq$ 天然稠度 $w_c \leq 1.30$ 、承载比 $EBR \geq 4\%$ 、胀缩总率 $< 5.0\%$ 的要求，应分层压实，压实度不应低于湿法重型击实最大干密度的 90%。 w_c 、 EBR 、胀缩总率的试验方法应符合现行《公路膨胀土路基设计与施工技术规范》(JTG/T 3331-07)的有关规定。

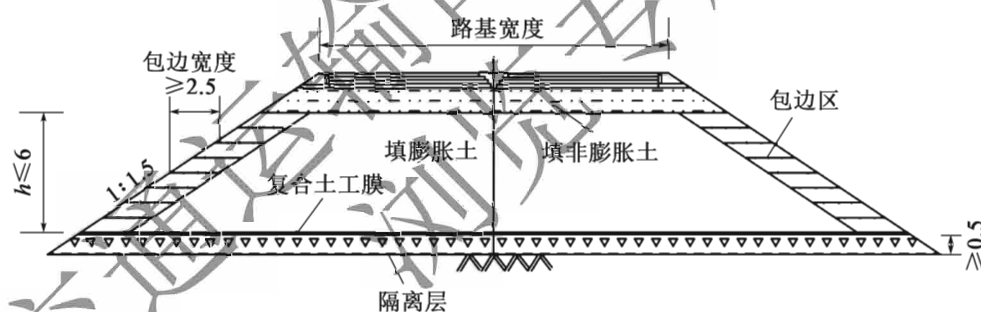


图 9.2.5-1 填方路基包边加筋断面示意图 (尺寸单位: m)

2 膨胀土填方路基底部应设置隔离层。隔离层厚度应根据材料压实后潜在的毛细水上升高度和路基基底地质水文条件综合分析后确定，并不应小于 0.5m，其顶部应铺设复合土工膜。隔离层材料宜采用砂砾土、碎石土等透水性材料；缺乏砂砾土、碎石土时，隔离层可采用低液限土掺拌无机结合料填筑，无机结合料剂量不宜小于 3%。

3 加筋包边区填料宜采用非膨胀性土、无机结合料处治的膨胀土，其宽度 L_a 宜按式 (9.2.5) 确定，最小宽度不应小于 2.5m，且应上下一致；筋材应采用土工格栅，其竖向间距宜为 0.5~0.75m。下层的土工格栅应反包至上层，与上层土工格栅重叠不应小于 1m，并用连接棒相互连接，如图 9.2.5-2 所示。

$$L_a \geq \frac{d_r}{\sin(\arccot m)} + 0.5 \quad (9.2.5)$$

式中： L_a ——加筋包边区宽度 (m)；
 d_r ——大气显著影响层深度 (m)；
 m ——边坡坡率。

4 包边加筋边坡坡面宜填筑 0.2 ~ 0.3m 的耕植土进行坡面植被防护。

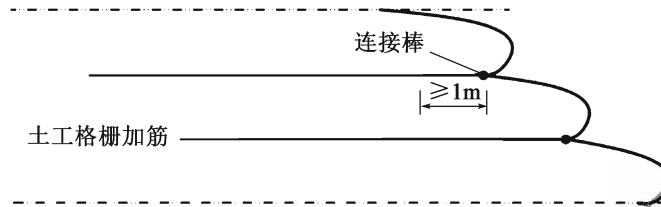


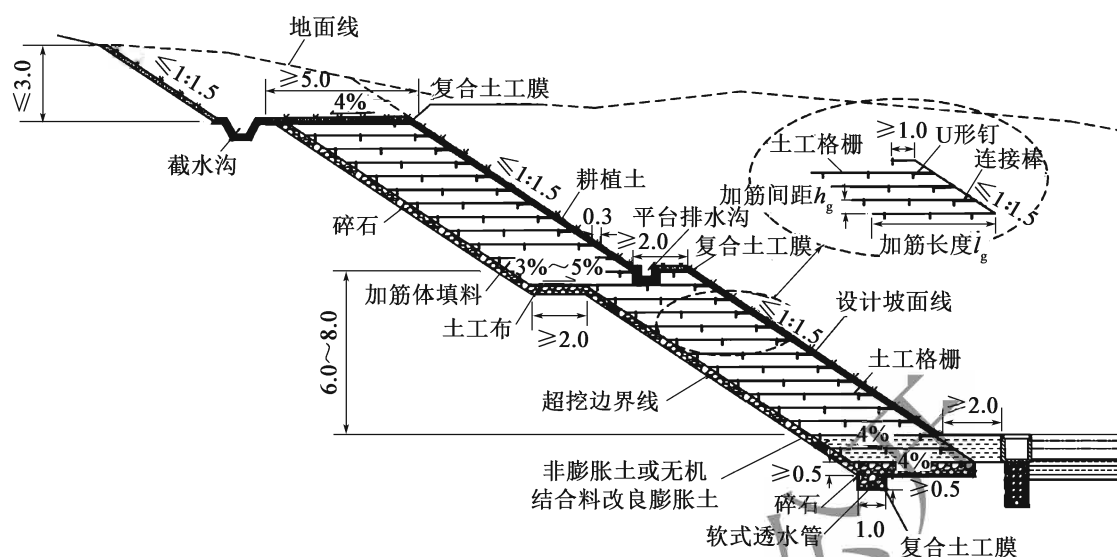
图 9.2.5-2 包边区土工格栅反包搭接示意图

9.2.6 膨胀土填方路基加筋包边施工应符合下列规定：

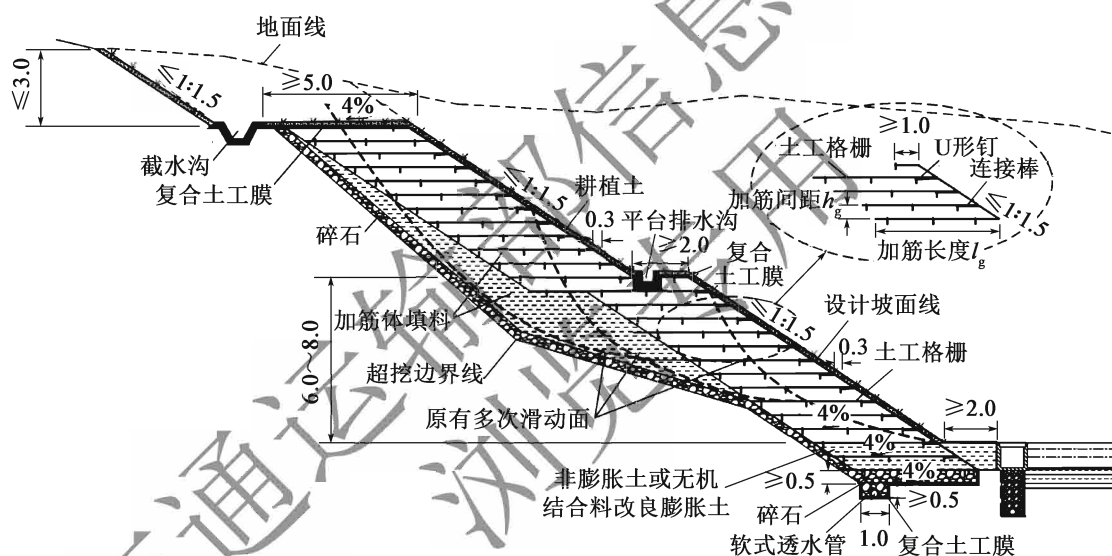
- 1 每层土填筑前应先行进行测量放线，标出边坡线和土工格栅边线。
- 2 土工格栅主受力方向应沿路基横向。铺设土工格栅的表面应平整、无松软隆起；土工格栅应张紧，并采用 U 形钉固定。相邻土工格栅搭接宽度不应小于 0.1m，搭接处应用 U 形钉固定。
- 3 土工格栅铺设后应及时摊铺和碾压填料，避免土工格栅暴晒，两个工序间隔时间不应超过 2h。
- 4 施工机械设备不得直接在土工格栅上碾压。摊铺膨胀土填料时，装载车应采用倒车方式将填料卸在土工格栅上，推平铺满后，方可碾压。土块粒径不得超过 10mm。
- 5 填料填筑压实后，应按设计坡率修坡，坡面应平整、无局部松散。反包土工格栅沿修好的边坡向上反包后，应采用人工或张拉装置拉紧后用 U 形钉锚固稳定。
- 6 在土工格栅反包铺设完 24h 内，应对路基边坡进行耕植土覆盖。

9.2.7 土工格栅加筋柔性支护结构处治新开挖和已滑坍的膨胀土路堑边坡，宜采用如图 9.2.7 所示的结构形式。其设计应符合下列规定：

- 1 柔性支护结构加筋体坡率不应大于 1:1.5，其高度可低于边坡高度，但其坡顶以上边坡高度应小于 3.0m；当高度大于 10m 时，应按每 6 ~ 8m 设置一级平台。
- 2 柔性支护结构加筋体宽度宜为 3 ~ 6m，加筋层间距宜为 0.5 ~ 0.75m，加筋的土工格栅应反包。具体的宽度和间距应根据当地大气影响活动层深度、加筋材料抗拔稳定性等，按现行《公路膨胀土路基设计与施工技术规范》(JTG/T 3331-07) 规定的方法确定。当存在滑塌区时，应清理滑塌区至未滑边界面。
- 3 柔性支护结构加筋体底部应采用非膨胀土或无机结合料改良膨胀土填筑，填筑厚度不应小于 1m；其余部分可采用膨胀土填筑，膨胀土的稠度 w_c 应满足 $0.95 \leq w_c \leq 1.30$ 的要求。膨胀土填料应分层压实，压实度不应低于湿法重型击实最大干密度的 87%。



a) 新开挖的膨胀土路堑边坡柔性支护处治结构示意图(尺寸单位: m)



b) 滑坍膨胀土路堑边坡柔性支护处治结构示意图(尺寸单位: m)

图 9.2.7 膨胀土路堑边坡土工格栅加筋柔性支护结构示意图

4 边坡底部应设置排水垫层,排水垫层宜采用碎石,宽度不应小于柔性支护加筋体宽度。排水垫层底部靠边坡一侧应沿纵向设置纵向渗沟,渗沟深度不应小于1.0m,纵向坡度不应小于1%,渗沟内应沿纵向铺设透水管。在渗沟的底面和侧壁,以及排水垫层的底面和排水垫层靠路基一侧的侧壁应铺设复合土工膜,防止排水层内的水渗入基底。

5 柔性支护结构加筋体背部应设置疏排裂隙水并吸收附近土体膨胀能的排水层,排水层宜采用碎石,宽度宜为0.2~0.3m,并应上下贯通与边坡底部排水垫层连为一体,保证排水畅通。

6 柔性支护结构顶面外侧应设置截水沟,柔性支护结构顶面及截水沟沟底应连通设置复合土工膜。柔性支护结构顶面复合土工膜上应回填耕植土植草防护,耕植土压实

度不宜小于 80%。

7 柔性支护结构坡面可采用回填耕植土绿化或喷播绿化进行防护。当采用回填耕植土绿化时,耕植土厚度不应小于 0.3m。

条文说明

边坡过陡将给施工造成困难,边坡过缓将使坡面汇水面积过大,增大降雨对坡面的冲刷,综合比较,柔性支护结构的边坡坡率以不大于 1:1.5 为宜。柔性支护结构加筋体的底部是剪应力集中区,采用非膨胀土、无机结合料改良膨胀土填筑,能有效提高柔性支护结构的抗滑稳定性。

膨胀土路基处治的基本原则是保湿防渗,系统完善的防排水措施对于保证膨胀土路基长期稳定性至关重要。为此,本条提出了相应的防渗和排水要求。

9.2.8 膨胀土路堑边坡柔性支护结构的施工应符合下列规定:

1 应根据设计断面确定边坡与基础开挖的水平宽度和深度。挖出的膨胀土应放置于附近位置以备用。

2 边坡底部渗沟应从路基填挖交界处开始开挖,并与引接边沟水的排水沟相连,出口应设置一字墙出水口;渗沟上的排水垫层应采用未筛分碎石分层填筑、压实,每层的松铺厚度不宜大于 0.3m,压实度不应小于 85%,其底面设置为倾向于坡内渗沟的横坡,横坡坡度不宜小于 4%。

3 柔性支护结构加筋体底部非膨胀土或无机结合料改良膨胀土填筑层应分层摊铺碾压,每层松铺厚度不宜大于 0.3m,压实度不应小于 93%。

4 柔性支护结构加筋体背部排水层碎石应与加筋体同步摊铺和碾压,摊铺范围宜超出设计范围 0.1m 以上,每层松铺厚度不宜大于 0.3m,压实度不应小于 90%;加筋体应保持外高内低的横坡,坡率不宜小于 4%。压实应沿纵向由外向内推进,靠近加筋体外侧坡面附近 1.0m 范围应采用人工夯实,使其达到规定的压实度。

5 土工格栅的受力方向应与路基横断面方向一致。铺设时应将土工格栅张紧,并用 U 形钉锚固在下承层的压实土体顶面。相邻土工格栅应相互搭接,搭接宽度不应小于 0.1m。施工时,施工机械严禁直接在土工格栅上行驶。

6 柔性支护结构加筋体的坡面防护应及时进行。当采用回填耕植土绿化防护时,应每两层加筋体施工结束后,及时铺筑耕植土,并用人工或机械夯实;加筋体全部施工结束后,应对坡面耕植土进行修整,并进行植物防护。

7 柔性支护加筋体施工结束后,应及时施工顶面防排水沟设施,并进行其后的坡面防护。

9.3 盐渍土路基隔离与构筑物防腐

9.3.1 土工合成材料用于盐渍土路基隔离时,应根据公路沿线的土质类型和水文条

件，以及防治目的等进行综合分析，合理确定隔断层位置，使路基不受下部盐、水影响，保证路床的强度与稳定性。隔断层设置位置应符合现行《盐渍土地区公路路基设计与施工技术细则》(JTG/T 3331-08)的有关规定。

9.3.2 用于盐渍土路基隔断层的土工合成材料应根据盐渍环境及工程特点、重要性等因素进行选择，宜采用复合土工膜和无纺土工织物。土工合成材料的性能指标及隔断层铺设应符合下列规定：

1 复合土工膜用作隔断层时，其性能指标应满足表 9.3.2-1 的要求。中盐渍土地段，可选用“一布一膜”的复合土工膜；强、过盐渍土地段，应选用“两布一膜”或“三布两膜”的复合土工膜。当采用“一布一膜”时，应在膜一侧设置厚度不小于 0.1m 的砂保护层。铺设在细粒土中的复合土工膜，其上下应分别设置不小于 0.2m 的粒料排水层；粒料可采用中粗砂或砂砾，其最大粒径不应大于 50mm，粒径小于 0.075mm 的颗粒含量不应大于 10%。

表 9.3.2-1 用于盐渍土路基隔断层的复合土工膜性能要求

性能指标	复合土工膜类型		
	“一布一膜”	“两布一膜”	“三布两膜”
布(质量, g) / 膜(厚, mm)	布/膜 ≥ (250/0.25)	布/膜/布 ≥ (150/0.3/150)	布/膜/布/膜/布 ≥ (100/0.25/100/0.25/100)
总厚度 (mm)	≥1.9	≥2.4	≥3.5
抗拉强度 (kN/m)	≥14	≥17	≥24
断裂伸长率 (%)	≥30		
CBR 顶破强力 (kN)	≥2.5	≥3.0	≥3.5
撕破强度 (kN)	≥0.35	≥0.42	≥0.60
垂直渗透系数 (m/s)	10 ⁻⁹ ~ 10 ⁻¹²		

2 当采用土工织物时，应与粒料共同形成隔断层，性能指标应满足表 9.3.2-2 的要求。土工织物应铺设在粒料层上下，隔断层厚度宜为 0.3 ~ 0.5m。粒料宜采用碎石、砂砾，最大粒径不宜大于 50mm，其中粒径小于 0.5mm 的含量不应大于 5%。

表 9.3.2-2 用于盐渍土路基隔断层的土工织物性能要求

厚度 (mm)	单位质量 (g/m ²)	等效孔径 O_{95} (mm)	抗拉强度 (kN/m)	CBR 顶破强力 (kN)	撕裂强度 (kN)	断裂伸长率 (%)
≥2.4	≥300	≤0.21 ^a ; ≤2 d_{95} ^b	≥9.5	≥1.5	≥0.24	≥50

注：^a适用于细粒土（粒径小于 0.075mm 的颗粒含量大于或等于 50%）。

^b适用于粗粒土（粒径小于 0.075mm 的颗粒含量小于 50%）。

3 土工合成材料铺设面应平整、密实，无尖锐突出物，并应设置与路基表面相同的横坡。土工合成材料应沿路线纵向全断面铺设，铺设于地表时应适当加宽，铺设应平整，无折皱。土工合成材料纵向搭接应内幅压外幅，搭接宽度不宜小于 0.2m，最外侧

一幅搭接宽度应大于 0.3m；横向搭接宽度宜大于 0.5m。

4 在土工合成材料上填筑粗粒土的路段，应在保护层完成后再填筑。当施工过程中发现土工合成材料破损时，应及时修补。

5 三级、四级公路可用土工膜作为路基隔断层。

条文说明

不同原材料制成的土工合成材料具有不同的耐酸碱特性，应用于盐渍土地地区时，需要考虑盐渍环境对土工合成材料的影响，按照本规范第 3.1 节的要求，选择合适的土工合成材料。

复合土工膜具有隔离、防渗功能，从功能上可单独作为隔断层，但其不透水性可能会导致隔断层下面聚集水分和盐分，造成软弱夹层，如硫酸盐含量聚集过多会成为盐胀性土层。因此，提出在细粒土中，其上下应分别设置不小于 0.2m 的粒料排水层。

土工织物需要与碎石、砂砾等粒料共同形成隔断层，其主要起反滤作用，减少对粒料隔断层的淤堵。

复合土工膜通常由无纺土工织物和土工膜复合而成。无纺土工织物的断裂伸长率一般为 30%~80%，土工膜的极限伸长率一般为 100%~500%。复合土工膜受力变形时，往往是土工织物先破坏，而膜后破坏。表 9.3.2-1 和表 9.3.2-2 的材料性能要求是结合无纺土工织物复合土工膜材料特性提出的。

近年来，出现了有纺土工织物复合土工膜等产品，以提高土工膜强度。有纺土工织物的断裂伸长率一般小于 30%。在应用时，需论证织物对土工膜保护的有效性，以及抗变形能力。

9.3.3 土工合成材料用于盐渍土地地区公路构筑物表面防腐蚀时，其使用部位应根据构筑物干湿影响区范围和位置确定，土工合成材料及设置范围应符合下列规定：

1 土工合成材料宜采用对防腐涂料渗透性和吸附性强的土工织物。当防护位置处于地面以上时，土工织物抗紫外线抗拉强度保持率应大于 80%。

2 当构筑物基础较浅，有条件使防腐作业连底进行时，土工织物设置范围应为基底到设计水位的溅浪影响线上 1m；当构筑物基础较深，无条件使防腐作业连底进行时，土工织物设置范围应为枯水位以下 1m 到设计水位的溅浪影响线以上 1m。当构筑物仅受地下水影响时，土工织物设置范围应为 20 年一遇地下水位影响区及上下各 1m。

条文说明

我国盐渍土地地区往往日照时间较长，常水位以上土工合成材料会受到光老化的直接影响，因此，本条结合工程实践，参照现行《公路工程土工合成材料》(JT/T 1432)的有关指标，提出了土工织物抗老化要求。

9.3.4 公路构筑物表面防腐可采用包裹防腐法和面贴防腐法。对桩、柱等构筑物，宜采用包裹防腐法，如图 9.3.4-1 所示，搭接部位应位于平面或缓弧面上，搭接宽度 L 应大于 0.25m；对大体量构筑物墙面等，可采用面贴防腐法，如图 9.3.4-2 所示。其施工应符合下列规定：

1 防腐层施工前应去除防护对象表面所黏附的盐类、土类等污染物。当防护对象表面存在松散、裂缝、松动、坑槽等病害时，应彻底根治，并填补平整。

2 防腐底料应具有较强的渗透性，能渗透并堵塞防护区全部开口孔隙，防腐底料的涂刷数量应保证表面成膜，不得流淌。

3 防腐胶黏剂应与防腐底料及选用的土工织物充分黏结。

4 土工织物包裹（敷贴）应平整、紧固，不得在包裹（敷贴）面下形成气泡。

5 防腐封闭剂的涂刷应完全覆盖土工织物包裹面（敷贴面），形成一定厚度的封闭膜。

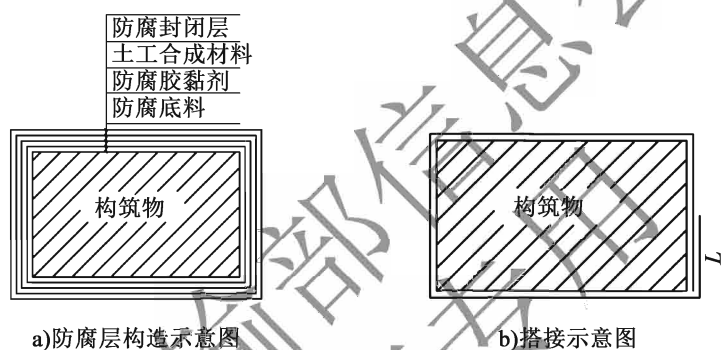


图 9.3.4-1 土工织物包裹防腐法示意图

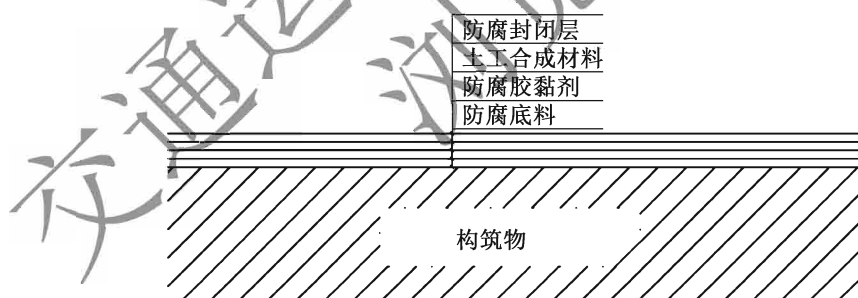


图 9.3.4-2 土工织物面贴防腐法示意图

9.4 路面裂缝防治

9.4.1 土工合成材料可用于减少或延缓旧路面裂缝对沥青加铺层的反射裂缝。

条文说明

根据已有的工程实践经验，土工合成材料不仅可用于减少或延缓旧路面裂缝对上覆

沥青层的反射裂缝，在新建刚性基层和半刚性基层沥青路面中，也具有有效抑制基层裂缝向上反射的作用。

9.4.2 用于路面裂缝防治的土工合成材料可采用土工格栅（双向经编玻纤土工格栅）和无纺土工织物（聚丙烯无纺土工织物、聚酯无纺土工织物）等。其性能指标除应满足现行《公路工程土工合成材料》（JT/T 1432）的规定外，尚应满足表 9.4.2-1、表 9.4.2-2 的要求。

表 9.4.2-1 用于路面裂缝防治玻纤土工格栅技术要求

技术指标	技术要求
原材料	无碱玻璃纤维，碱金属氧化物含量不应大于 0.8%
网孔形状	矩形
纵横向抗拉强度	$\geq 50\text{kN/m}$
纵横向断裂伸长率	$\leq 5\%$
热老化后断裂强度	经 170℃、1h 热处理后，其经向和纬向拉伸断裂强度不应小于原强度的 90%

表 9.4.2-2 用于路面裂缝防治的无纺土工织物技术要求

技术指标	无纺土工织物类型			
	聚丙烯长丝	聚酯长丝	聚丙烯短纤	聚酯短纤
单位面积质量 (g/m^2)	120 ~ 160			
纵横向抗拉强度 (kN/m)	≥ 13.0	≥ 9.0	≥ 9.0	≥ 8.0
纵横向断裂伸长率 (%)	40 ~ 130	40 ~ 80	50 ~ 90	40 ~ 80
CBR 顶破强力 (kN)	≥ 2.0	≥ 1.65	≥ 2.0	≥ 1.4
纵横向撕破强力 (kN)	≥ 0.35	≥ 0.25	≥ 0.25	≥ 0.2
吸油率 (kg/m^2)	≥ 1.2			

注：聚丙烯无纺土工织物应单面烧毛，直接与摊铺温度 200℃ 及以上的沥青混合料接触时，应进行工程试验验证其可用性。

条文说明

除双向经编玻纤土工格栅外，近年来玄武岩纤维土工格栅也广泛应用于路面反射裂缝的防治，常用的控制指标见表 9-1。

表 9-1 用于路面裂缝防治的玄武岩纤维土工格栅控制指标

控制指标	指标要求
网孔形状	矩形
纵横向抗拉强度	$\geq 50\text{kN/m}$
纵横向断裂伸长率	$\leq 3\%$
耐碱性	饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中煮沸 4h 后，其经向和纬向拉伸断裂强度不应小于原强度的 75%
耐热性	经 170℃、1h 热处理后，其经向和纬向拉伸断裂强度不应小于原强度的 90%

玻纤土工格栅用于路面反射裂缝防治时，格栅孔径是材料选择时需要考虑的因素之一，普遍认为应当与上覆沥青加铺层材料的粒径相匹配，但对具体取值尚未有一致的认识，有的认为宜为上覆沥青加铺层材料公称最大粒径的0.5~1.0倍，有的认为不宜小于上覆沥青加铺层材料的公称最大粒径，需要进一步加强研究与工程验证。

用于路面防裂的土工织物主要为无纺土工织物，按原材料分为聚丙烯无纺土工织物和聚酯无纺土工织物。

聚丙烯材料特点是耐酸碱性好、与沥青亲油性好，缺点是耐高温性能差。聚丙烯非织造土工织物的熔点为165℃，相关研究和我国北方部分地区的实践证明，在下层温度较低的施工条件下，聚丙烯非织造土工织物可以适应沥青路面施工时的温度要求。鉴于我国取得的经验尚不丰富，条文中提出在应用于高温混合料前，应加强室内外试验，验证其可行性。

聚酯材料特点是耐高温性能好，耐碱性能差，加铺路面层后期需通过工程试验验证再生利用可行性。

采用土工织物防治沥青路面反射裂缝时，在保证其材料本身完整、耐久的情况下，也要求能与路面结构层形成良好黏结，满足厚度适宜，避免层间剥离；控制变形，调节应力分布；防止损伤，保障施工作业；相互渗透，形成整体黏结等要求。为此，本条提出了单位面积质量、抗拉强度、断裂伸长率、CBR顶破强力、撕破强力、吸油率等指标要求。

9.4.3 应用土工合成材料进行路面裂缝防治时，应先对旧路进行强度和外观评定，确定旧路处理和加铺层设计方案。路面结构形式及上覆沥青层厚度不得因加铺土工合成材料而改变。高速公路和一级公路的旧水泥混凝土路面上覆沥青层厚度不宜小于100mm，其他等级公路的上覆沥青层厚度不宜小于70mm。

条文说明

虽然有资料得出加铺土工合成材料可减薄路面厚度，但由于我国在这方面的研究还不深入，目前尚无可靠的数据支持这一结论，提出相应的设计计算方法，因此，本条规定路面结构及厚度的设计仍与未铺土工合成材料时相同。上覆沥青层厚度与黏结材料有很大关系，对上覆沥青层厚度提出要求是为了防止层间黏结不足，引发上覆沥青层推移风险。从近年来应用土工织物防止反射裂缝实践来看，大量养护工程采用40mm厚的上覆沥青加铺层，通过好的层间黏结，也起到了较好的效果。

9.4.4 应根据旧路面、基层表面裂缝状态及分布特征，按下列要求选择土工合成材料铺设方式和铺设层位：

1 当旧路面裂缝较多时，宜采用土工合成材料满铺方式；当旧路面较完好，裂缝较少时，可采用条铺方式，条铺宽度不宜小于1m。

2 用于防治旧沥青路面反射裂缝时,土工合成材料宜铺设于上覆沥青层的底面,如图 9.4.4-1 所示。

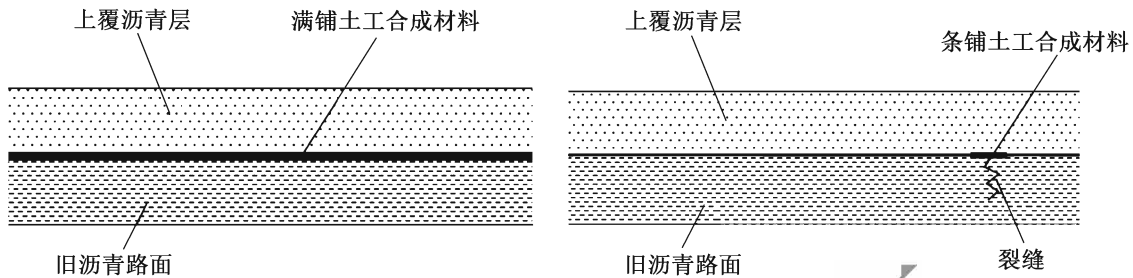


图 9.4.4-1 旧沥青路面加铺层结构示意图

3 用于防治旧水泥混凝土路面反射裂缝时,对破损较严重的旧水泥混凝土路面,应设置沥青混合料整平层,土工合成材料应采用满铺方式铺设于整平层上部;对破损较轻、整体结构性好、平整的旧水泥混凝土路面,可不设置整平层,土工合成材料可采用条铺方式铺设于路面裂缝处,如图 9.4.4-2 所示。

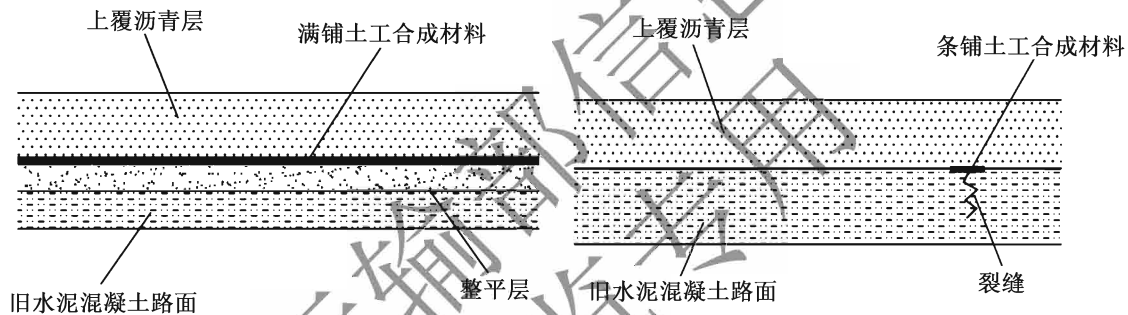


图 9.4.4-2 旧水泥混凝土路面加铺层结构示意图

9.4.5 土工合成材料铺设前,应对旧水泥混凝土路面的板底脱空、面板破碎、断板等病害进行修复,对旧沥青路面的坑槽裂缝病害进行修补,并对旧路面进行清扫、清洗。

条文说明

旧路面的各类病害直接影响到加铺层和土工合成材料的效果,路面不清洁则会影响加铺层与原路面的结合,为此,提出了本条要求。

9.4.6 旧水泥混凝土路面的整平层宜采用沥青砂或细粒式沥青混凝土,整平后的平整度应小于 5mm;对不设置整平层的旧水泥混凝土路面,应清除接缝中的填料与杂物,并灌填常温施工式的硅酮类、聚氨酯类填缝材料,或灌填加热施工式的橡胶沥青类、改性沥青类和道路石油沥青类填缝材料。

9.4.7 采用土工格栅时，宜先铺设土工格栅，再洒铺黏层油，黏层油上应洒布单一粒径碎石加以保护，碎石用量宜按满铺的40%~55%确定。满铺土工格栅时，应先将一端固定，用机械和人工张紧后，固定另一端；条铺土工格栅时，宜采用人工张拉并粘贴至对应的接（裂）缝，固定两端。

9.4.8 采用土工织物时，应先洒布黏层油再摊铺土工织物，上层沥青混合料摊铺前不必再洒黏层油。土工织物应采用机械或人工张拉粘贴，满铺土工织物时，黏层油洒布宽度应宽于土工织物两侧各50mm。

9.4.9 土工格栅黏层油宜采用热沥青，土工织物黏层油宜采用普通石油沥青。热沥青或黏层油的类型和用量可按表9.4.9确定。

表 9.4.9 热沥青与黏层油的类型与用量

土工合成材料类型	热沥青或黏层油	
	类型	用量 (kg/m ²)
玻纤土工格栅	普通石油沥青	1.2~1.4
	改性沥青或橡胶沥青	1.6~2.0
聚酯无纺土工织物	普通石油沥青	1.1~1.4
	改性沥青或橡胶沥青	1.2~1.6
聚丙烯无纺土工织物	普通石油沥青	1.0~1.3
	改性沥青或橡胶沥青	1.1~1.5

条文说明

土工织物-沥青层不透水，可起到良好黏结作用，延缓裂缝产生。有资料表明，浸透沥青在界面层中起着主要作用，对延迟裂缝产生起着2/3的作用，而土工合成材料起着1/3的作用。

沥青用量与土工织物的材质、单位面积重量（厚度）等有关，以土工织物浸泡沥青，黏结良好，不产生泛油为宜，可通过试验确定。FHWA建议沥青用量取0.9L/m²；德国赫司特公司推荐的标准为路面表面平整、坚实、无坑洞时，沥青用量取1.1L/m²，有裂缝时取1.4L/m²，有开口裂缝时取1.7L/m²；法国资料为1~1.2kg/m²。本条推荐的用量是在总结工程经验的基础上提出的。

9.4.10 土工合成材料相邻横向拼接缝宜错开不小于5m，避免拼接缝位于同一断面。

9.4.11 土工合成材料宜对接铺设，横向间隙应控制在10mm以内，纵向间隙应控制在30mm以内。确需搭接时，应符合下列规定：

- 1 土工合成材料短边宜搭接200mm，并根据摊铺方向，将后一端压在前一端部之

下并进行固定；长边宜搭接 100mm，对土工格栅，搭接处可采用尼龙绳或铁丝绑扎，绑扎间距不应超过 1m；对土工织物，搭接处可直接用黏层油黏结。

2 接缝及边缘部位黏结不牢时，应采用人工涂刷黏层沥青并使用橡胶锤夯实。

9.4.12 在进行沥青路面施工时，施工车辆不得在土工合成材料表面转弯。

交通运输部信息公开
浏览专用

10 质量控制与验收

10.1 一般规定

10.1.1 应加强土工合成材料质量控制，杜绝不合格的材料进场。土工合成材料及其辅助产品，应具有产品质量合格证和具有检测资质的单位出具的技术性能检测报告。

10.1.2 施工前应检查核实材料的产地、品种、规格、批次、外观、生产日期、数量和相关合格证明材料，并对拟采用的土工合成材料，根据设计文件提供的设计指标要求，按表 10.1.2 所列试验项目和频度，委托具有相应资质的单位按现行《公路工程土工合成材料试验规程》(JTG 3460) 的规定进行相关试验。施工过程中，当土工合成材料及其连接材料等来源发生变化时，应重新进行试验。

条文说明

规定中有的以“批”为单位，是因为一个工程所需材料可能要分几次购入，或购入材料时材料、生产厂家发生变化，故规定每批都得试验。数量太少时，不要分批购入，以免影响材料稳定性。

土工合成材料品种较多，且功能往往兼而有之。表 10.1.2 所列为主要试验项目，未列出握持拉伸、撕裂、圆球顶破等试验项目，相关指标可作为材料对比的参考指标。

10.1.3 应记录并完整保留所有与工程相关的施工原始记录、试验检测数据、计算数据、汇总表格、质量检验结果等资料。对已采取措施进行返工和补救的项目，应在原始记录或数据上备注关联，并不得销毁或覆盖原始资料。

10.1.4 公路土工合成材料应用工程质量检测评定应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 的有关规定，采用项目合格率法对工程质量进行验收评定。

表 10.1.2 土工合成材料试验项目

试验项目	加筋		排水	反滤	防渗/隔离	坡面防护		冲刷防护		不均匀沉降防治		路面防裂		频度
	土工织物	土工格栅/格室				土工网	土工格栅/格室	土工织物	土工模袋	土工织物	土工格栅/格室	土工织物	土工格栅	
单位面积质量	★	☆	★	★	★	★	☆	★	★	☆	★	★	☆	1次/10 000m ²
厚度	☆	☆	★	★	★	★	☆	★	★	☆	☆	☆	☆	1次/10 000m ²
孔径	×	★	☆	☆	×	★	★	×	×	★	★	×	★	1次/10 000m ²
几何尺寸	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	1次/10 000m ²
垂直渗透系数	×	×	★	★	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1次/10 000m ²
水平渗透系数	×	×	★	★	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1次/10 000m ²
有效孔径	×	×	☆	★	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1次/10 000m ²
淤堵	×	×	★	★	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1次/10 000m ²
耐静水压	×	×	×	×	★	×	×	×	×	×	×	×	×	1次/10 000m ²
拉伸强度	★	★	☆	☆	×	☆	☆	☆	☆	★	★	★	★	1次/10 000m ²
CBR 顶破	★	×	★	★	★	×	×	★	★	×	×	★	×	1次/10 000m ²
刺破	★	×	★	★	★	×	×	☆	☆	×	×	★	×	1次/10 000m ²
节点/焊点强度	×	★	×	×	×	★	★	×	×	×	×	×	★	1次/批
直接剪切摩擦 (或拉拔摩擦)	★	★	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	☆	1次/批

注：1. “★”为必做项；“☆”为选作项；“×”为不做项。
 2. 试验频度也可根据工程规格、所用材料数量由设计单位或监理单位确定。当材料数量不足 10 000m²时，抽样频度也取 1 次。
 3. 当需要土工合成材料兼具两种或多种功能时，应测试各功能所包含的所有试验项目。
 4. 设计单位可根据设计目的、土工合成材料的品种，对技术指标和试验项目作适当增减。

10.2 试验路段

10.2.1 对应用土工合成材料的重要工程、特殊地区应用土工合成材料的工程，以及采用新技术、新工艺、新材料的工程，在应用土工合成材料的工程正式开工前，应结合工程提前修筑试验路段。试验路段应检验和完善下列工作：

- 1 检验土工合成材料的选材与设计方案的试验方案是否合适，能否达到工程预期目的。
- 2 根据试验路段施工情况提出施工设计图的修改建议。
- 3 确定工程项目全线指导性的施工组织方案和工艺，包括施工机械设备组合、施工过程，施工质量控制方法与指标等。
- 4 完善项目施工质量保障体系，细化质量管理制度，确定工程质量评价指标、标准等。

10.2.2 试验路段应选在地质条件、断面形式及工程要求均具有代表性的路段，宜选取在主线上施工方便的路段。对选定的场地，应加强勘察及土工试验，保证勘察成果的可靠性和代表性。

10.2.3 试验路段施工前应编制试验研究大纲，制定详尽的试验研究计划，并进行专门的现场观测设计。试验路段完成后应编制试验报告，并对试验路段进行检测或监测。

10.3 检查验收

10.3.1 土工合成材料分项工程，以及所在分部和单位工程，其交工及竣工验收的质量检查评定，应在使用的材料、半成品、成品及施工工艺符合相关规定，无外观和质量缺陷，保证资料真实并基本齐全的前提下，按现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)的有关规定进行。

10.3.2 施工质量验收应遵循“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的原则。检查验收时应随机抽样，随机取样位置应按现行有关标准的要求确定。

10.3.3 土工合成材料应用工程施工过程中及隐蔽之前应做好施工过程记录及相关验收手续，未经验收合格，不得隐蔽。对属于隐蔽工程的部位宜采用图像或视频记录隐蔽工程实态，验收应以检查图片、视频、样品和原始资料为主，必要时可开挖检查。

10.3.4 土工合成材料工程质量应符合下列基本规定：

- 1 土工合成材料质量应符合设计规定，外观尺寸、色泽应均匀，无破损，无老化，

无污染。严禁使用不符合规定的材料。

2 应在平整的下承层上按设计要求铺设、固定土工合成材料。铺设的土工合成材料应无皱褶，紧贴下承层，锚固端施工应满足设计要求。

3 土工合成材料的铺设层数、范围、方向和连接方式应符合设计要求。上、下层土工合成材料搭接缝应交替错开。

10.3.5 对满足本规范第 10.3.4 条基本要求的土工合成材料应用工程，应按表 10.3.5-1 ~ 表 10.3.5-12 规定的实测项目进行分项工程质量检验与工程质量评定，表中标识“△”的关键检查项目合格率不应低于 95%，其他检查项目的合格率不应低于 80%，否则该检查项目为不合格。下承层的要求和检查频度应满足现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 的有关规定。

表 10.3.5-1 土工合成材料与地基质量检验实测项目

项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
主控项目	1△	土工合成材料特性	符合设计要求	按本规范第 10.1.2 条的试验方法和频率进行
	2	地基承载力	符合设计要求	按规定方法
一般项目	1	土石料有机质含量	符合设计要求	焙烧法，抽查 2%
	2	层面平整度 (mm)	≤20	2m 直尺，每 200m 检查 4 处
	3	每层铺设厚度 (mm)	±25	水准仪，每 200m 检查 4 处
	4	下承层平整度、拱度	符合设计要求	满足现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 的要求

表 10.3.5-2 路基加筋工程土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	铺设位置和范围	符合设计要求	丈量，每 200m 检查 4 处
2△	铺设层数	符合设计要求	目测，全部
3	铺设层间距 (mm)	±50	水准仪，每 200m 检查 4 处
4△	铺设长度	不小于设计值	丈量，每 200m 检查 4 处
5△	反包长度	不小于设计值	丈量，每 200m 检查 4 处
6	搭接宽度 (mm)	+50, -0	丈量，抽查 2%
7	搭接缝错开距离	符合设计要求	丈量，抽查 2%
8	连接处强度	符合设计要求	每 200m 检查 4 处

表 10.3.5-3 隔离防水工程土工合成材料 (土工膜) 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△	铺设位置和范围	符合设计要求	丈量，每 200m 检查 4 处
2△	铺设长度	不小于设计值	丈量，每 200m 检查 4 处
3	搭接宽度 (mm)	+50, -0	丈量，抽查 2%
4	搭接缝错开距离	符合设计要求	丈量，抽查 2%
5	搭接处透水点	不多于 1 个点	每搭接缝
6	表面保护层厚度	符合设计要求	丈量，抽查 2%

表 10.3.5-4 反滤排水工程土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
2△	铺设长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
3	搭接宽度 (mm)	+50, -0	尺量, 抽查 2%
4	搭接缝错开距离	符合设计要求	尺量, 抽查 2%

表 10.3.5-5 边坡防护工程土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	土工合成材料老化性能	符合设计要求	按本规范第 10.1.2 条的试验方法, 抽查频率: 1 次/10 000m ² , 不足 10 000m ² 也抽查 1 次
2△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
3△	铺设长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
4	搭接宽度 (mm)	+50, -0	尺量, 抽查 2%

表 10.3.5-6 冲刷防护工程土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
2△	铺设长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
3	土工织物软体沉排	搭接宽度 (mm)	+50, -0
4		压重块体厚度 (mm)	符合设计要求
5	土工模袋	模袋厚度 (mm)	+50, -0
6		模袋混凝土坍落度	符合设计要求
7		充填料强度	符合设计要求
			每 100m ³ 检查 4 处
			每 100m ³ 检查 2 次
			每 100m ³ 检查 1 组

表 10.3.5-7 不均匀沉降防治工程土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
2△	铺设层数	符合设计要求	目测, 全部
3	铺设层间距 (mm)	±50	水准仪, 每 200m 检查 4 处
4△	铺设长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
5	搭接宽度 (mm)	+50, -0	尺量, 抽查 2%
6	搭接缝错开距离	符合设计要求	尺量, 抽查 2%
7	连接处强度	符合设计要求	每 200m 检查 4 处

表 10.3.5-8 不均匀沉降防治工程 EPS 路堤实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	EPS 砌筑体	长度 (mm)	±10	尺量, 抽样频率: EPS 施工用量 $V < 2\,000\text{m}^3$ 时抽检 2 块, $2\,000\text{m}^3 \leq V < 5\,000\text{m}^3$ 时抽检 3 块, $5\,000\text{m}^3 \leq V < 10\,000\text{m}^3$ 时抽检 4 块, $V > 10\,000\text{m}^3$ 时, 每 $2\,000\text{m}^3$ 抽检 1 块
		宽度 (mm)	±8	
		厚度 (mm)	±3	
2		密度	不低于设计值	天平, 抽样频率同项次 1
3		强度	符合设计要求	抗压试验抽样频率同项次 1
4	EPS 铺设	块体间平整度 (mm)	≤5	3m 直尺, 每 20m 检查 3 点
5		块体间缝隙 (mm)	≤20	尺量, 每 20m 检查 1 点
6		块体间错台 (mm)	≤10	尺量, 每 20m 检查 1 点
7	基底压实度 (%)		≥90	环刀法或灌砂法, 每 $1\,000\text{m}^2$ 检测 3 点
8	垫层平整度 (mm)		≤10	3m 直尺, 每 20m 检查 3 点
9	基底横坡 (%)		±0.5	水准仪, 每 20m 检查 6 点
10	护坡宽度		不小于设计值	尺量, 每 40m 检查 1 点
11	钢筋混凝土板厚度 (mm)		+10, -5	尺量板边, 每块 2 点 (钻孔, 视需要)
12	钢筋混凝土板宽度 (mm)		±20	尺量, 每 100m 检查 2 点
13	混凝土强度		符合设计要求	抗压试验, 每工作台班留 2 组试件
14	钢筋网间距 (mm)		±10	尺量

注: 路线曲线部分的 EPS 块体缝隙不得大于 50mm。

表 10.3.5-9 加筋土挡墙工程实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	加筋材料 铺设	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
2△		铺设层数	符合设计要求	目测, 全部
3		筋材层间距 (mm)	±50	水准仪, 每 200m 检查 4 处
4△	加筋材料 铺设	筋材铺设长度、反包、 回折长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
5		搭接宽度 (mm)	+50, -0	尺量, 抽查 2%
6		搭接缝错开距离	符合设计要求	尺量, 抽查 2%
7		筋材与面板连接	符合设计要求	目测, 全部
8△	预制面板	强度	符合设计要求	抗压试验, 每工作台班留 2 组试件
9		边长 (mm)	±5	尺量, 抽查 10%
10		对角线 (mm)	±10	尺量, 抽查 10%
11		厚度 (mm)	+5, -3	尺量, 抽查 10%
12		预埋 (留) 件位置 (mm)	±5	尺量, 抽查 10%
13△	现浇面板	混凝土强度	—	抗压试验, 每工作台班留 2 组试件
14		厚度 (mm)	+10, -5	尺量板边, 每块 2 点 (钻孔, 视需要)

续表 10.3.5-9

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
15	石笼面板	石笼材料特性	符合设计要求	按《工程用机编钢丝网及组合体》(YB/T 4190—2018)方法测试, 一批抽查 1 次
16		石笼网箱尺寸	±5	尺量, 抽查 10%
17		石笼网箱间的绞合连接	符合设计要求	目测, 每 20m 检查 2 处
18		石料强度	符合设计要求	按规定方法, 抽查 2%
19		石料粒径	符合设计要求	尺量, 每 20m ³ 检查 2 处
20		填充充实度	符合设计要求	目测或密度测试
21	墙面整体平整度 (mm)		≤15	2m 直尺, 每 20m 检查 3 处

表 10.3.5-10 沙漠地区线外阻沙固沙土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	土工合成材料老化性能	符合设计要求	按本规范第 10.1.2 条的试验方法, 抽查频率: 1 次/10 000m ² , 不足 10 000m ² 也抽查 1 次
2△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
3	沙障高度	符合设计要求	尺量, 抽查 2%
4	编织袋间距 (mm)	±100	尺量, 每 50m 检查 1 处
5	沙障锚固长度	符合设计要求	尺量, 抽查 2%
6	土工网埋沙深度	符合设计要求	尺量, 抽查 2%

表 10.3.5-11 盐渍土路基隔断层土工合成材料实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
2△	铺设长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
3	搭接宽度 (mm)	+50, -0	尺量, 抽查 2%
4	搭接缝错开距离	符合设计要求	尺量, 抽查 2%
5	表面保护层厚度	符合设计要求	尺量, 抽查 2%

表 13.3.5-12 路面防裂工程土工合成材料处治层实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	铺设位置和范围	符合设计要求	尺量, 每 200m 检查 4 处
2△	铺设长度	不小于设计值	尺量, 每 200m 检查 4 处
3	土工合成材料对接、搭接宽度	符合设计要求	尺量, 抽查 2%
4	黏结力 (N)	≥20	现场测试, 抽查 2%

10.4 质量管理

10.4.1 应根据建设任务、施工管理和质量检验评定的需要, 在施工准备阶段按现行

《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 将建设项目划分为单位工程、分部工程和分项工程。施工单位、工程监理单位和建设单位应按相同的工程项目划分进行工程质量的监控和管理。

10.4.2 工程质量管理应遵循“分项保分部、分部保单位工程”的原则。应用土工合成材料的分项工程质量检验都应从基本要求、实测项目、外观鉴定和质量保证资料4个方面进行检验。

10.4.3 施工单位应有完整的施工原始记录、试验数据、分项工程自查数据等质量保证资料,并进行整理分析,应提交齐全、真实和系统的施工资料和图表。工程监理单位应提交齐全、真实和系统的监理资料。

10.4.4 质量保证资料应包括下列内容:

- 1 所用原材料、半成品和成品质量检验结果。
- 2 施工质量控制检验和试验数据。
- 3 地基处理、隐蔽工程施工记录。
- 4 各项质量控制指标的试验记录和质量检验汇总图表。
- 5 施工过程中非正常情况的记录及其对工程质量的影响分析。
- 6 施工过程中如发生质量事故,经处理补救后,达到设计要求的认可证明文件等。

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标 准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”“应符合本规范第×.×节的有关规定”“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。