

土工合成材料在堤防建设中的应用及施工工艺

董磊

内蒙古自治区呼伦贝尔市牙克石市水利事业发展中心 内蒙古 牙克石 022150

摘要: 土工合成材料在堤防建设中主要应用于加筋加固、反滤排水、防渗隔离及坡面防护四个方面,其施工工艺需严格遵循材料特性和工程规范,材料选择与检验,材料需满足抗拉强度、顶破强度、渗透系数等设计要求,进场前抽样检测。优先选用耐腐蚀、抗老化的高分子合成材料(如聚酯、聚乙烯)。基底处理,清除地表杂草、碎石,夯实软弱地基;地下水位高时需预埋排水管。

关键词: 土工合成材料;堤防建设;应用;施工工艺

土工格栅或土工布铺设于堤身填土层间,提高抗剪强度,减少不均匀沉降(尤其适用于软基堤段)。减小构筑物与堤身间的沉降差。反滤与排水,土工织物作为反滤层,防止土颗粒流失同时允许渗水排出,用于堤身内部排水暗沟、坡面防护层下部。复合土工膜用于堤基或堤身防渗,阻断渗流路径(如库区堤防)。坡面与冲刷防护,土工网垫、土工格室结合植被固坡,或采用石笼+土工布结构抵御水流冲刷。

1 土工合成材料主要功能

(1) 功能复合性应用。协同作用,如复合土工膜(土工织物+土工膜)兼具防渗与排水功能;三维排水网结合反滤与排水,用于垃圾填埋场基底。生态价值,土工网垫植草实现防护与生态修复融合。

(2) 工程意义。替代传统材料:减少砂石用量,降低工程成本与环境负荷;抢险效能:快速铺设土工布管袋处置管涌等险情。实际应用需根据工程需求选择匹配功能材料,如加筋首选高强度土工格栅,防渗需用HDPE土工膜。

2 土工合成材料在堤防建设中的应用

(1) 土工合成材料如何提高堤防稳定性。土工合成材料通过加筋强化、坡面防护及排水防渗三重机制提升堤防稳定性,加筋强化结构稳定性,路堤主体加筋,铺设高强度土工格栅或土工格室于填土层间,通过锚固形成整体骨架,约束土体侧向位移,显著提高抗滑能力。蜂巢土工格室分散荷载,减少沉降差异,适用于软基段堤防加固。台背过渡区处理,在堤防与构筑物(如桥台)连接处分层铺设加筋材料,缓解不均匀沉降导致的裂缝风险。排水与防渗协同控制。内部排水降压,堤身内设置土工织物排水盲沟或复合排水网,快速导出渗水,防止孔隙水压力升高引发滑塌。防渗截流系统,临水侧堤基铺设HDPE土工膜或膨润土垫(GCL),阻断渗

流路径;背水侧结合反滤层(土工织物)防止管涌。

(2) 土工合成材料如何减小堤防不均匀沉降。土工合成材料通过协调变形、隔离软弱层及控制渗流三重机制减小堤防不均匀沉降,加筋协调差异变形,台背过渡区处理,在堤防与涵洞、桥台等刚性构筑物连接处,分层铺设土工格栅(抗拉强度 $\geq 80\text{kN/m}$),通过摩擦作用协调填土与结构的刚度差异,减少衔接处差异沉降达60%以上。搭接长度 $\geq 1.5\text{m}$ 并严格锚固,确保筋材与土体协同受力。管顶分散荷载,跨越埋管区域时,在管顶覆土层铺设单向土工格栅,形成“应力扩散层”,使竖向荷载均匀分布,降低管道周边沉降差(效果达50%)。格栅铺设范围需超出管道外缘1.5m,回填压实厚度 $\leq 30\text{cm}$,避免机械损伤管道。隔离与填筑控制,软弱地基隔离,在淤泥质软基表面铺设高强土工布(400g/m²以上规格),分隔填土与原状土,防止扰动软弱层导致局部沉陷。结合砂垫层加速排水固结,缩短工后沉降周期。分层压实优化,填筑时采用土工格室约束土体侧向位移,分层厚度 $\leq 30\text{cm}$,压实度 $\geq 95\%$,避免压实不足引发后期沉降。轻质填料(如粉煤灰混合土)替换部分土方,降低基底压力。渗流控制防软化,前堵后排防渗体系,临水侧:铺设复合土工膜(HDPE膜+土工布)阻断渗流路径,降低浸润线;背水侧:设置土工织物排水盲沟+反滤层,及时导出渗水避免孔隙水压力升高。坡面防侵蚀,采用三维植被网植草固坡,减轻雨水冲刷导致的表层土流失和局部塌陷。施工控制核心:材料耐久性:紫外线环境下选用防老化配方,低温区防冻裂;时效管理:筋材铺设后48小时内覆土,避免暴露老化;监测要求:重点监测水位骤降期的浸润线与位移量。

(3) 土工合成材料在堤防建设中的过滤与排水作用。过滤作用:拦截土颗粒,防止渗透破坏,反滤层结构设计,液固分离原理:土工织物(如针刺无纺布)通

过精确控制的孔径分布（等效孔径 $O_{90} < 0.1\text{mm}$ ），允许渗流水自由通过，同时有效拦截95%以上细颗粒土，防止管涌和流土破坏。应用场景：堤身内部排水暗沟表面包裹土工布，保护排水结构不被淤堵；临水坡面反滤层替代传统砂石，抵御波浪冲刷导致的土体流失（如防波堤护坡）。动态适应性，在反复水位变动下，土工织物通过纤维自适应调整维持稳定渗透率，避免传统砂石层因震动导致的级配失效。排水作用：疏导渗流，降低孔隙水压力，立体排水通道构建，水平导水：三维土工排水网（导水率 $>0.01\text{m}^2/\text{s}$ ）水平铺设在堤基或堤身内，快速汇集渗流水并排向集水井，降低浸润线高度达40%。垂直减压：结合塑料排水板（如SPB-1型）插入软基，加速超静孔隙水消散，缩短固结时间30%以上（适用于围垦堤防）。协同应用：过滤-排水一体化系统，复合防渗结构，技术控制要点，材料参数选择，过滤层： $O_{90} \leq$ 基土 d_{85} （细粒土选0.08~0.2mm孔径）；排水层：平面导水率需 $>$ 地基渗透系数10倍。施工质量控制，土工织物铺设需平整无破损，搭接宽度 $\geq 30\text{cm}$ 并缝制牢固；排水网连接点强度需 \geq 材料自身抗拉强度80%。

（4）土工合成材料如何进行堤防坡面与冲刷防护。坡面防护技术，土质边坡防护，生态固坡，三维植被网铺设在坡面（坡度1:1~1:2），覆土植草形成“草根-网垫”复合层，根系与网垫协同固土，暴雨条件下土壤流失量减少85%。固定草种布直接覆盖撒种草籽，无需额外覆土，适用于低矮边坡快速绿化。网格增强，土工格栅室展开固定后填充种植土，蜂窝结构分散径流冲击力，提升浅层抗滑力。岩石边坡防护，裂隙封闭，清除松散岩体后覆盖土工网/格栅，喷水砂浆封闭裂隙，坡度宜缓于1:0.3。裸岩加固，采用高强度双向经编格栅（ $\geq 50\text{kN/m}$ ）锚固岩面，抑制局部岩崩。关键施工控制，材料参数，植被网孔隙率 $\geq 90\%$ ，抗拉强度 $\geq 8\text{kN/m}$ ；软体沉排用聚丙烯编织布顶破强度 $\geq 2.5\text{kN}$ 。工艺要求，模袋铺设需拉紧固定绳防下滑，充填饱满度 $\geq 95\%$ ；岩石喷浆前岩面设排水孔，防止水压力破坏。环境适配，酸性水域选用聚酯纤维抗腐蚀，紫外线强区添加防老化剂。

3 土工合成材料施工工艺

（1）施工工艺流程。基层处理，场地平整压实，平整度误差 $\leq 50\text{mm}$ ，清除尖锐物防刺破材料；软基需预埋排水板加速固结，砂垫层含泥量 $\leq 5\%$ 。材料铺设与固定，铺设方向：土工格栅主强度方向垂直路堤轴线，纵向搭接 $\geq 15\text{cm}$ ，横向30-90cm；土工布铺设方向垂直水流方向，坡面自下而上施工。固定方式：U型钉锚固（间距1.0-1.5m，地形突变处加密至0.5m）；陡坡增设防滑

钉，顶部/底部压重防位移。

（2）特殊工艺控制。土工格栅张拉控制，铺设时预张拉，伸长率1.0%-1.5%，避免松弛褶皱。复合土工膜防渗施工，采用波浪形松弛铺设，适应地基变形；锚固端嵌固足够长度，砼封顶板锁定。边坡回折处理，每填筑0.8m预留2m格栅回折长度，覆盖砂石增强抗滑力。

（3）环境适应性措施。腐蚀环境：选用聚酯纤维土工布，避免丙纶在碱性土壤中使用；低温地区：材料耐寒温度 $<$ 当地极端低温，防冻裂；雨季施工：铺设后及时覆盖，防积水浸泡导致位移。

4 土工合成材料施工质量控制要点

（1）材料进场验收。性能指标核查，核对产品合格证、出厂检测报告，重点验证抗拉强度、导水率（排水材料）、等效孔径（过滤材料）等关键参数是否符合设计要求，偏差 $\leq 5\%$ 。外观检查：表面无针眼、疵点、裂纹或老化痕迹，卷材无硬折痕。特殊环境适配，酸性环境选用聚酯纤维抗腐蚀，紫外线强区添加防老化剂；低温地区材料耐寒温度需 $<$ 当地极端低温。

（2）铺设工艺关键点。铺设方向与固定，土工格栅主强度方向垂直工程轴线（如路堤轴线），土工布垂直于水流方向；固定要求：U型钉锚固（平地间距1.0-1.5m，陡坡加密至0.5m）；坡顶/坡脚压重防滑移，格栅预张拉伸长率1.0%-1.5%。松弛度控制，复合土工膜铺设保留1%富裕度，呈波浪形适应变形；土工布紧贴基面，无悬空、褶皱。

（3）防护与时效控制。覆盖时效，GCL垫、土工膜等光敏材料暴露时间 ≤ 48 小时，铺设后及时覆盖填料；首层填料粒径 $\leq 50\text{mm}$ ，轻碾压实（接地比压 $\leq 35\text{kPa}$ ）。分层施工，格栅分层填筑：每层厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，压实后再铺上层；边坡填筑每0.8m预留2m回折长度。环境防护，雨季施工时及时覆盖防积水，低温环境避免冻融损伤。

5 土工合成材料施工面临的问题与挑战

（1）材料选型与适配问题。性能参数不匹配，抗拉强度不足或等效孔径偏差 $> 5\%$ 时，导致加筋效果弱化或反滤失效（如格栅无法分散荷载、土工布堵塞）。环境适配失误：酸性环境使用丙纶纤维加速腐蚀，紫外线强区未添加防老化剂缩短寿命。替代传统材料的隐性风险，薄层土工织物替代砌石护坡时，抗撕裂强度不足易被砾石顶破，暴雨下发生局部溃散。分层回填失控，格栅层填料粒径 $> 50\text{mm}$ 或压实接地比压 $> 35\text{kPa}$ ，造成筋材断裂；边坡回折长度不足 $< 2\text{m}$ ，削弱抗滑力。

（2）环境与外部干扰挑战。气候条件制约，高温：加速混凝土充填模袋水分蒸发，形成冷缝与塑性裂缝；

低温：材料脆化，焊接接缝强度下降 $\geq 20\%$ ；雨季：积水浸泡导致基层软化，铺设后位移量超限。既有结构干扰，堤防加固中管道穿越、栈桥锚固点阻碍清基，导致设计断面与实际偏差 $> 0.5\text{m}$ ；老堤防鱼塘淤泥层增厚，清基深度远超设计值（原计划 30cm ，实际需 $> 1.5\text{m}$ ）。

（3）结构协同与隐蔽工程风险。新旧界面结合不良，加筋土挡墙中格栅与填料咬合不密实，应力分布不均引发局部沉降；新老堤防接触带未彻底清基（残留腐殖土），形成渗流通道。隐蔽工程验收盲区，水下软体沉排搭接缝检测困难，抗浮验算遗漏致整体滑移；锚固深度不足（如岩石格栅锚杆嵌入 $<$ 设计值），岩崩防护失效。应对策略要点，材料优化：酸性环境改用聚酯纤维，紫外线区添加炭黑抗老化剂；工艺强化：格栅预张拉（伸长率 $1.0\text{--}1.5\%$ ）、土工膜双缝焊接+空腔气压检测；环境适配：高温时段覆盖隔热毡，低温采用预热骨料；管理措施：严格验收进场材料性能偏差（ $\leq 5\%$ ），隐蔽工程留存影像记录。

6 土工合成材料在堤防建设中的应用及施工工艺

（1）应用方向。加筋加固，堤身加筋：土工格栅或土工布铺设于堤身填土层间，提高抗剪强度，减少不均匀沉降（尤其适用于软基堤段）。台背填土处理：减小构筑物与堤身间的沉降差。反滤与排水，土工织物作为反滤层，防止土颗粒流失同时允许渗水排出，用于堤身内部排水暗沟、坡面防护层下部。防渗隔离，复合土工膜用于堤基或堤身防渗，阻断渗流路径（如库区堤防）。坡面与冲刷防护，土工网垫、土工格室结合植被固坡，或采用石笼+土工布结构抵御水流冲刷。

（2）施工工艺关键点。材料选择与检验，材料需满足抗拉强度、顶破强度、渗透系数等设计要求，进场

前抽样检测。优先选用耐腐蚀、抗老化的高分子合成材料（如聚酯、聚乙烯）。基底处理，清除地表杂草、碎石，夯实软弱地基；地下水位高时需预埋排水管。基底平整度误差 $\leq 30\text{mm}$ ，防止材料受力不均。铺设与连接，铺设要求：紧贴基底，无褶皱、重叠；斜坡段用U形钉控制松紧度。连接工艺，搭接法：长度 $0.3\text{--}0.9\text{m}$ ，上下层接缝错开 $\geq 0.5\text{m}$ ；缝接法：粘合宽度 $\geq 50\text{mm}$ ，强度不低于材料抗拉强度。填筑与碾压，铺设后48小时内覆盖填土，避免暴晒老化。分层填筑（每层厚 $\leq 30\text{cm}$ ），轻型机械碾压；距材料层 1.5m 内禁用重型设备。特殊部位处理，锚固端：预留足够长度回折压覆（ $\geq 2\text{m}$ ），增强抗拔力。结构物周边：采用柔性连接，防止应力集中开裂。

（3）质量控制措施。施工监测：实时检查材料破损情况，及时修补；雨后加强渗漏点排查。环境防护：材料存储需防潮、防晒；寒冷地区避免低温脆裂。验收标准：搭接宽度偏差 $\leq +50\text{mm}$ 、层间距偏差 $\leq 30\text{mm}$ 。应用场景扩展，防汛抢险：快速铺设土工布管袋（“土工合成材料反滤围井”）处置管涌险情。生态护坡：三维土工网垫种植草皮，实现工程与生态结合。

总之，材料需满足抗拉强度、顶破强度、渗透系数等设计要求，进场前抽样检测。优先选用耐腐蚀、抗老化的高分子合成材料。

参考文献

[1]赵鹏.土工合成材料在堤防建设中的应用与施工工艺探讨.2023.

[2]李海英.浅谈土工合成材料在堤防建设中的应用及施工工艺分析.2022.