

新型土工合成材料在渠道防渗工程中的应用效果分析

刀 健

普洱市水利水电勘测设计院有限公司 云南 普洱 665000

摘要:为提升渠道防渗工程质量与效益,本文聚焦复合土工膜、GCL等新型土工合成材料,分析其特性及在渠道防渗中的应用效果。通过研究材料在底部边坡防渗、接缝处理等场景的应用工艺,构建涵盖防渗性能、耐久性等维度的量化评估体系。结果表明,新型材料水力传导系数低至 10^{-12} cm/s量级,接缝渗漏率可控,抗冻胀与适应变形能力优异。相较传统工艺,其施工周期缩短,全生命周期成本降低,兼具经济与环保效益,为渠道防渗工程选材与施工提供科学依据。

关键词:新型土工合成材料;渠道防渗工程应用;效果评价

引言:渠道防渗是水利工程节水降耗的关键环节,传统粘土、混凝土衬砌存在防渗效果差、适应变形能力弱等问题。随着材料技术发展,复合土工膜、膨润土复合防水毯等新型土工合成材料凭借优异性能崭露头角。普洱地区地质条件复杂,渠道防渗需求迫切,传统工艺难以适配软土地基与寒冷环境。本文系统研究新型材料分类特性,探讨其在渠道关键部位的应用技术,建立综合评估模型,旨在解决工程渗漏难题,推动水利工程防渗技术升级与可持续发展。

1 新型土工合成材料分类与特性

1.1 复合土工膜:致密结构下的高效防渗

复合土工膜由高分子防渗薄膜与土工布复合而成,核心结构差异体现在土工布层数上。一布一膜以单层土工布为增强层,拉伸强度可达15-20kN/m,能满足一般渠道的受力需求;二布一膜因双层土工布夹持薄膜,抗撕裂强度较前者提升40%以上,抗穿刺性能更优,适配复杂地质条件。其防渗核心源于高密度聚乙烯薄膜的致密分子结构,实测水力传导系数普遍低于 1×10^{-11} cm/s,优质产品可低至 10^{-12} cm/s量级。同时,材料断裂延伸率超400%,能通过柔性形变消解渠道基础不均匀沉降产生的应力,避免防渗层开裂。

1.2 膨润土复合防水毯(GCL):遇水膨胀的自修复特性

GCL以钠基膨润土为功能主体,采用聚酯长丝土工布双向针刺固定,形成“布-土-布”三明治结构。遇水后膨润土颗粒迅速吸水膨胀,体积膨胀倍数达20-30倍,厚度可提升4-5倍,形成无缝胶状防渗层,能填充基层微小缝隙。微观层面,土工织物的纤维缠绕结构可有效约束膨润土迁移,维持防渗层完整性,实现对毫米级破损的自主修复。抗环境适应性突出,经-40℃至60℃循环测试

后性能稳定,3次冻融循环后渗透率变化率低于5%,施工便捷且搭接可靠性高。

1.3 高性能加筋土工膜:结构优化的强度升级

高性能加筋土工膜通过材料复合与结构创新突破性瓶颈,玻璃纤维增强型产品利用纤维与树脂的界面融合技术,断裂强度较普通土工膜提升80%以上,可达30kN/m以上,抗蠕变性能显著优化,减少长期受力下的形变风险。加糙土工膜通过表面凹凸纹理设计,糙率系数提升至0.018-0.025,增强与周边土体的摩擦锚固效果,避免防渗层滑动;顶破强度同步提升至2000N以上,抗穿刺能力满足严苛施工要求。部分产品添加抗老化剂与紫外线吸收剂,500小时紫外线照射后强度保留率达85%以上,延长露天渠道的服役寿命^[1]。

2 新型土工合成材料在渠道防渗工程中的具体应用

2.1 渠道底部与边坡防渗层构建

渠道底部与边坡是防渗体系的核心区域,其防渗层的完整性与稳定性直接决定整体工程质量。新型土工合成材料在此环节的应用,重点聚焦于铺设工艺优化、地基适应性提升及渗漏风险控制,通过科学的材料组合与施工管控,构建高效可靠的防渗屏障。(1)复合土工膜铺设工艺及接缝热熔焊接渗漏率控制。复合土工膜以土工布为保护层、高密度聚乙烯(HDPE)土工膜为防渗主体,具有抗拉强度高、抗穿刺能力强的特点,是渠道防渗层构建的主流材料。其铺设需遵循“由下至上、分区推进”原则,铺设前需对渠道基底进行精细化处理,清除尖锐杂物并平整压实,平整度与压实度需达到工程规范要求,避免基底沉降导致土工膜受力不均。接缝处理是复合土工膜防渗的关键,主流采用热熔焊接工艺,通过加热使土工膜本体融化粘结,接缝强度可达母材的85%以上。渗漏率控制需双重把控:焊接参数需适配土工膜

厚度,常规厚度HDPE土工膜需设定合理的焊接温度、速度与压力,确保焊缝融合充分;焊缝检测采用“充气法+真空罩法”组合模式,充气法将焊缝制成封闭气腔,加压后保持规定时间,压力下降在允许范围内即为合格;真空罩法针对T型焊缝等特殊部位,涂抹肥皂水后抽真空,规定时间内无气泡即为合格,通过双重检测确保渗漏率达标。(2)土工合成材料膨润土垫(GCL)在软土地基中的替代粘土衬砌方案。软土地基因承载力低、沉降量大,传统粘土衬砌易出现开裂、鼓包等问题。GCL由土工布、膨润土颗粒及土工膜复合而成,自愈性强、适应地基变形能力好,是粘土衬砌的理想替代材料。该方案核心是依据软土地基物理力学指标确定铺设参数,施工前需通过地质勘察明确地基基本特性,对不良软土地基,先铺设级配砂石垫层,实现应力分散与荷载均匀传递。GCL铺设采用“搭接法”,长边与短边均需预留足够搭接宽度,搭接区域撒布干燥膨润土粉强化防渗。铺设时需确保与基底紧密贴合,杜绝空鼓现象,完成后及时覆盖中粗砂保护层,再进行后续工序。与粘土衬砌相比,该方案可大幅减少地基开挖量与施工周期,在地基出现一定沉降量时仍能保持良好防渗性能,渗漏量远优于传统工艺标准,尤其适用于软土地基渠道工程。(3)防渗层与基层的贴合及固定技术也需重视。渠道底部防渗层需与基层紧密贴合,地基含水率较高区域需设置排水盲沟疏导积水。边坡防渗层固定采用“锚固沟+中间压顶”的方式,坡顶设置锚固沟将土工膜铺入并回填压实,边坡中部间隔设置压顶梁,对于陡坡需增设锚固钉固定,确保防渗层与边坡稳定贴合,避免外力作用下出现移位或破损。

2.2 伸缩缝与结构连接处密封处理

伸缩缝与结构连接处是渠道防渗的薄弱环节,受温度变化、地基沉降及水流冲刷影响,易出现缝隙导致渗漏。新型土工合成密封材料与修复材料在此环节的应用,重点解决密封弹性、粘结强度及裂缝修复效果问题,通过针对性材料选型与施工工艺,实现长效密封防渗。(1)聚氨酯密封胶在U型渠接缝中的弹性变形适应应用。U型渠因断面稳定、过流能力强广泛应用于农田灌溉,其接缝宽度受温度影响会产生一定变化,普通密封材料易因变形能力不足开裂。聚氨酯密封胶弹性模量低、延伸率高,能有效适应接缝往复变形,是U型渠接缝密封的优选材料。施工前需对接缝表面彻底处理,用钢丝刷清除混凝土浮浆杂物,丙酮擦拭油污,确保表面清洁干燥。接缝处设置聚乙烯泡沫棒作为背衬材料,其尺寸需与接缝匹配,起到支撑与控厚作用。密封胶采用枪

式注射施工,保证胶缝饱满无气泡,注射后刮板刮平形成规范胶缝。在适宜环境温度下养护规定时间即可达设计强度,养护期需做好防护措施避免外界干扰。应用后接缝渗漏率可控制在极低水平,在较宽温度范围内均能保持良好弹性密封性能。(2)环氧树脂涂层对混凝土裂缝的修复效果量化应用。混凝土渠道易因温度应力或荷载作用出现微裂缝,若不及时处理会加剧渗漏并影响结构安全。环氧树脂涂层粘结强度高、抗渗性好,可渗透填充裂缝形成连续防渗修复层,有效阻断渗漏通道。修复前用专业仪器定位检测裂缝,根据裂缝宽度采取差异化处理方案:宽度较小的微裂缝采用低压注射环氧树脂浆液;宽度较大的裂缝需沿走向开凿V型槽,清理后涂刷环氧树脂底涂。涂层施工厚度根据裂缝宽度合理控制,采用滚涂法确保均匀覆盖裂缝及周边区域^[2]。

2.3 抗冻胀防渗体系设计

寒冷地区渠道防渗工程需同步解决防渗与抗冻胀问题,土壤冻融循环易导致地基隆起、防渗层破坏,因此需采用“保温+防渗”复合体系设计。新型土工合成材料与保温材料的组合应用,通过科学计算保温层厚度,可有效阻断冻融破坏路径,保障渠道低温稳定运行。(1)聚苯乙烯泡沫板与土工膜复合结构的保温层厚度计算应用。聚苯乙烯泡沫板(EPS)导热系数低、密度小,与复合土工膜组合形成“EPS保温层+土工膜防渗层”结构,能显著减少渠道基底土壤冻深,避免冻胀破坏。保温层厚度是体系设计的核心,需结合当地气象资料、土壤参数及渠道结构,采用热传导理论量化计算,确保保温效果满足抗冻要求。计算需收集当地土壤冻深、土壤与EPS板导热系数及渠道设计内水温度等基础参数,依据相关规范公式进行精准计算。复合结构铺设顺序明确:先铺计算厚度的EPS保温板,企口拼接后用聚氨酯密封胶密封接缝;再铺HDPE土工膜,采用专用粘结剂固定防止滑动;最后铺中粗砂保护层及混凝土护面,形成完整的“保温-防渗-防护”体系。该结构可大幅降低基底土壤冻深与冻胀量,土工膜无撕裂破损风险,渗漏率保持在极低水平,实现抗冻胀与防渗双重效果,适用于寒冷地区各类渠道工程。(2)复合土工膜与纤维增强材料的协同抗冻胀应用。在冻胀性较强的粉质粘土地区,仅靠保温层难以完全抵御冻胀破坏,需在土工膜下方铺设纤维增强层,通过材料协同作用提升体系抗拉强度与抗变形能力,进一步强化抗冻胀效果。纤维增强材料选用聚酯长丝土工格栅,其纵横向抗拉强度高、断裂延伸率低,能有效约束土体变形。铺设时土工格栅与EPS保温层紧密贴合,预留足够搭接宽度,搭接区域用U型钉固定牢固。土

工膜与土工格栅通过热熔粘结形成整体，确保外力作用下同步变形，避免出现层间滑移。经多次冻融循环试验验证，该协同体系表现优异：土工膜无破损现象，防渗体系渗漏量变化微小，渠道边坡沉降量控制在允许范围内，完全满足寒冷地区渠道防渗长期运行要求，为冻胀性较强区域的渠道工程提供了可靠的防渗抗冻解决方案^[3]。

3 新型土工合成材料在渠道防渗工程中的应用效果量化评估体系

3.1 防渗性能量化评估指标体系

防渗性能是新型土工合成材料的核心功能，其量化评估需构建多维度指标体系。渗透系数作为衡量材料阻水能力的关键参数，需通过实验室标准渗透试验测定，新型材料应达到极低量级，较传统黏土衬砌显著提升。抗静水压能力反映材料在高压环境下的稳定性，需通过压力试验箱模拟不同水头条件，测试材料在特定压力下长时间无渗漏的耐受阈值。接缝密封性直接影响整体防渗效果，需采用真空检测或电火花检测法，确保焊接或粘接接缝的渗漏率控制在极低水平。耐冲刷性能评估材料在高速水流作用下的抗剥蚀能力，需通过水流冲刷试验台测定材料表面质量损失率，新型材料应较传统材料显著降低，展现优异抗冲刷特性。

3.2 耐久性量化评估方法

耐久性是决定材料全生命周期成本的关键因素，需从环境适应性、化学稳定性及力学性能衰减三方面综合评估。环境适应性方面，需通过人工加速老化试验模拟紫外线、温度循环、冻融循环等极端条件，测定材料力学指标的保留率，新型材料应满足长时间老化后性能保留率的高标准。化学稳定性评估需测试材料在酸碱环境中的质量变化及渗透系数增量，确保其在复杂水质条件下长期稳定。力学性能衰减评估需通过长期荷载试验，模拟材料在渠道运行中的持续受力状态，测定其蠕变变形及应力松弛率，新型材料应较传统材料显著降低衰减

程度。抗生物侵蚀性能需通过微生物培养试验，评估材料表面生物膜形成及强度损失情况。

3.3 经济性与环保性综合评估模型

经济性评估需建立全生命周期成本模型，涵盖材料采购、施工安装、运维维护及残值回收等阶段。材料成本方面，新型土工合成材料单位面积造价应较混凝土衬砌大幅降低，且施工周期显著缩短。运维成本评估需考虑检测频率、维修难度及材料更换周期，新型材料应实现长期免维护，较传统材料大幅降低运维费用。环保性评估需从资源消耗、碳排放及生态影响三方面构建指标，新型材料生产能耗应较混凝土显著降低，且可回收利用率高。评估材料对周边环境的化学影响，确保符合环保标准。综合评估模型应采用层次分析法，将防渗性能、耐久性、经济性及环保性赋予不同权重，通过加权得分实现量化对比，为工程选材提供科学、全面的决策依据^[4]。

结束语：新型土工合成材料以其独特性能为渠道防渗工程提供了高效解决方案。复合土工膜的致密防渗、GCL的自修复特性等，精准解决了传统工艺的渗漏与变形难题。在软土地基、寒冷地区等复杂场景中，其应用实现了防渗与结构稳定的双重目标。量化评估体系证实，新型材料在防渗性能、耐久性上优势显著，全生命周期成本更低且环保性突出。

参考文献

- [1]周嘉威.土工膜防渗技术及施工质量控制研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(9):117-120.
- [2]汪万有,陈志胜,张来全.调蓄水池防渗土工膜的性能研究与应用[J].全面腐蚀控制,2025,39(2):153-155.
- [3]王贺,周世全.土工合成材料在水利工程防渗领域中的应用研究[J].科海故事博览,2025(27):118-120
- [4]王振.渠道防渗材料在水利工程中的应用效果分析[J].区域治理,2025(23):0117-0119.