

# 河道治理工程中堤防加筋材料性能分析与应用

顾滨 李欢

中水东北勘测设计研究有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6940

**[摘要]** 堤防加筋技术是以在土体中加入高抗拉强度的加筋材料来提高堤防整体性能的一种高效、经济的工程措施,文章重点研究了河道治理工程中堤防加筋材料的应用。首先,梳理了土工织物、土工格栅、土工格室以及植生型生态混凝土等生态友好型材料的主要类型及其功能特性。其次,从力学性能、耐久性能以及水力学与界面相互作用性能维度,剖析了加筋材料的关键性能指标及其标准化测试方法。分析表明,材料的抗拉性能是保障堤防结构稳定性的核心,而其耐久性与界面特性则决定工程的长期安全与效能。最后,结合工程实践,提出了堤身整体加固、软土地基处理、防渗与加筋协同以及生态护坡与结构加固一体化应用策略。

**[关键词]** 河道治理; 堤防工程; 加筋材料; 性能分析

**中图分类号:** TV147 **文献标识码:** A

## Performance Analysis and Application of Reinforcement Materials for Dikes in River Channel Management Projects by

Bin Gu Huan Li

Zhongshui Northeast Survey, Design and Research Co., Ltd.

**[Abstract]** Embankment reinforcement technology is an efficient and economical engineering approach that enhances the overall performance of embankments by incorporating high-tensile-strength reinforcing materials into the soil. This paper focuses on the application of such reinforcing materials in river channel management projects. Firstly, the main types and functional characteristics of eco-friendly materials such as geotextiles, geogrids, geomembranes, and vegetated ecological concrete are discussed. Secondly, the key performance indicators of these reinforcing materials, along with their standardized testing methods, are analyzed from the perspectives of mechanical properties, durability, and hydraulic and interfacial interactions. The analysis shows that the tensile strength of the materials is crucial for ensuring the stability of embankment structures, while their durability and interfacial properties determine the long-term safety and effectiveness of the structures. Finally, based on engineering practices, strategies for integrated applications including overall embankment reinforcement, soft soil foundation treatment, combined use of impermeability measures and reinforcement, and integration of ecological slope protection with structural reinforcement are proposed.

**[Key words]** River channel management; Embankment engineering; Reinforcing materials; Performance analysis

### 引言

江河安澜是社会稳定、经济发展的前提,进入21世纪以后,中国把水利基础设施建设提高到国家战略高度,在“十四五”规划及“2035年远景目标”中提出完善流域防洪工程体系、推进生态河湖建设的重要性,在此基础上陆续出台若干关于水利高质量发展 and 生态文明建设的指导性政策。尽管目前尚未就“堤防加筋材料”出台专项法规,但是《中华人民共和国水法》、《河道管理条例》等宏观法规已经构成河道治理的基本法律框架,

《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T 225-98)等行业标准恰恰为新材料的应用提供具体、可操作的技术指引。

目前各地堤防工程普遍存在地基软弱、填料质量差、洪水冲刷剧烈问题,传统堤防容易发生边坡失稳、不均匀沉降、渗透破坏等病害,采用土工合成材料对堤防进行加筋处理,已成为提高堤防工程安全性、可靠性的十分成熟而有效的技术手段。具体而言,在堤身土体中合理铺设抗拉性能优良的加筋材料,有利于改善土体应力分布,约束土体侧向变形,切实提高堤防的整体

稳定性及抗洪能力。文章将讨论各类堤防加筋材料的性能特点及不同工程场景下的应用准则,为新时期河道治理工程的高质量发展提供有力支撑。

### 1 河道治理工程中的堤防加筋材料类型

在现代河道堤防工程中,应用的加筋材料种类繁多,其功能和形态各异,选择合适的材料类型是确保工程成功的首要步骤。

常见的加筋材料主要包括土工织物、土工格栅、土工格室以及近年来备受关注的生态友好型加筋材料。

土工织物是以合成纤维为原料经针刺或编织制成的透水性土工合成材料,在堤防工程中有着重要的用途,按制造工艺的不同可划分为有纺土工织物和无纺土工织物。具体而言,有纺土工织物抗拉强度高、延伸率小,宜于用作堤基加筋,以提高地基承载力并控制不均匀沉降。无纺土工织物有较好的平面排水及过滤性能,常被用作堤身内部排水通道或反滤层,能降低浸润线,防止填土流失,预防内部侵蚀造成的堤防破坏。

土工格栅是以土体加筋为明确目的而设计的高强度聚合物材料,一般呈网格状,其基本作用机理是利用格栅网孔与土颗粒之间的嵌锁、咬合作用来提高土体的抗剪强度,限制土体侧向位移。又因为土工格栅的抗拉强度比土工织物高很多,成为堤身填筑中理想的材料,常被分层铺设以形成复合土体。

土工格室是由高分子聚合物片材焊接而成的三维蜂窝状结构,展开以后有彼此连通的若干格室,将土工格室填充土、砂或碎石等材料之后,填料便受到土工格室的侧向约束,形成刚度大、整体性极好的结构板。

生态友好型加筋材料是现代生态水利理念的产物,把结构加固与生态修复两大功能完美地融为一体,典型的有加筋格宾和植生型生态混凝土。具体而言,加筋格宾是在传统石笼网基础上增设加筋面板,因而既有挡土、护坡的结构功能,又因多孔隙结构本身为水生生物提供良好的栖息地,也利于植物生长,故能直接、高效地实现坡面生态绿化。而植生型生态混凝土则是一种特殊的多孔混凝土,在满足一定强度要求的同时,其内部的连续孔隙可以填充营养土并生长植物。

### 2 河道治理工程中堤防加筋材料性能分析

#### 2.1 力学性能分析,以抗拉强度为核心

加筋材料在堤防工程中的作用是承受、传递土体内部所产生的拉应力,其本身可弥补土体抗拉能力的不足,抗拉强度的评价要以标准化测试方法为基础。中国国家标准GB/T 17689-2008《塑料土工格栅》对土工格栅抗拉强度的测试有规定,先用单肋法或多肋法制备试样,再以试样夹具间距距离的20%/min作为标准拉伸速率进行试验。行业标准如SL/T 235-1999《土工合成材料测试规程》,该标准也对土工织物等材料的拉伸性能测试作了系统规范。在性能分析时要注意两点:第一是材料的极限抗拉强度,即材料被拉断前所能承受的最大拉力,第二是材料在某一典型应变(如2%或5%)下的抗拉强度,因为实际工程中土体的允许变形量极小,故小应变下的强度对控制堤防变形具有直接而重大的意义。

#### 2.2 耐久性分析

堤防工程属于长期服役的水工建筑物,故其加筋材料要承受各种环境因素的长期作用,保证其在设计寿命内性能不显著劣化是其中重要的要求之一。耐久性分析主要包含耐化学腐蚀性、抗紫外线老化性及耐生物降解性。具体而言,河道水体及堤内土壤环境往往含有酸、碱、盐等多种化学物质,加筋材料具有良好的化学稳定性。常规的评价方法是将材料样品置于模拟酸碱溶液中进行加速老化试验,再测定老化后材料的力学性能保持率。暴露于大气或浅埋于土中的加筋材料,太阳光中的紫外线是引起其高分子链断裂、性能退化的最直接因素,国际上普遍采用ASTM D4355等标准,用氙弧灯模拟日光进行加速老化测试以考核抗紫外线性能。最后,不可忽视的是土壤中大量存在的微生物对某些聚合物材料有明确的降解作用,耐生物降解性也应被纳入耐久性分析之中。

#### 2.3 水力学与界面相互作用性能分析

水力学性能主要针对土工织物等透水性材料,关键指标是垂直渗透系数和等效孔径。在堤防工程中用作反滤层时,土工织物必须具备良好的透水性,以顺利排出土体中的渗透水,降低孔隙水压力,同时其等效孔径又要足够小,以阻止细小的土颗粒流失,防止产生管涌等内部侵蚀破坏。

界面相互作用性能则描述加筋材料与土体接触面上的摩擦和嵌锁效应,这是加筋机理得以实现的基础。加筋材料的拉力需要通过界面作用传递给周围土体,才能形成一个协同工作的复合体。该性能通常通过室内直剪试验和拉拔试验进行量化评估。

### 3 河道治理工程中堤防加筋材料应用策略

#### 3.1 堤身整体加固与稳定性提升

主要针对堤身填料强度不足、堤防边坡过陡或需要提高抗震性能等情况,旨在提升堤防的整体稳定性和结构完整性。具体实施方式是在堤防填筑过程中,沿水平方向分层铺设高强度的土工格栅或土工织物。这些加筋层如同“骨架”一样,将松散的填土连成一个整体。其作用机理在于:当堤身在自重或外部荷载作用下产生侧向变形趋势时,加筋材料会产生张拉力,这个张拉力通过与土体的界面摩擦和嵌锁作用,有效地约束了土体的侧向位移,从而在土体内部产生一个等效的“围压”,提高了土体的抗剪强度。同时,加筋层能够截断潜在的滑动面,迫使滑动面向更深、更长的路径发展,提高了堤防的抗滑稳定安全系数。

在设计上,通常采用极限平衡法或有限元数值模拟来确定加筋材料的层数、间距、长度和所需的抗拉强度,确保堤防在各种工况下均能满足稳定要求。

#### 3.2 加强软土地基处理与承载力提高

在中国沿海、沿湖地区,许多堤防需修建在淤泥、软土等不良地质条件下,软土地基承载力低、压缩性高,直接修筑堤防极易导致过大的不均匀沉降和地基失稳破坏。软土地基处理核心是在堤防底部铺设一层或多层高强度、低延伸率的土工合成材料,形成一个“加筋垫层”。这个垫层主要发挥三种作用:一是“承托效应”,通过其自身的抗拉能力,将上部堤防荷载更均匀

地扩散到更广泛的地基范围内,降低对地基的应力集中,从而减少总沉降量和差异沉降;二是“张拉膜效应”,当软基发生不均匀下沉时,加筋垫层会产生向上的张力,部分抵消堤防荷载,提高地基的整体承载力;三是“隔离效应”,防止堤防填料陷入软弱地基中,保证了堤身的完整性。通过实施该策略,避免传统软基处理带来的高成本和长工期问题,是处理软土地基上堤防工程的一种高效、经济的技术手段。

### 3.3 防渗与加筋协同应用

堤防工程要抵御外洪冲刷、顶托,防止库水或河水从堤身、堤基渗透而导致渗透破坏,因此绝大多数堤防既有加筋增强稳定性的需求,必然有防渗的需求。防渗与加筋协同应用的合理思路是将具有防渗功能的材料与具有加筋功能的材料进行优化组合,形成真正多功能、高性能的复合系统。最典型的组合即“土工膜+土工加筋材料”。具体而言,在堤防迎水坡铺设高密度聚乙烯(HDPE)土工膜或膨润土防渗毯(GCL)作为主体防渗层,再在其上或下合理铺设土工格栅或土工织物予以保护和加固。土工膜发挥隔水屏障的基本功能,而所选的加筋材料又承担着多重重要职责:首先保护土工膜不受施工及运行过程中尖锐石块的穿刺,其次增强坡面表层土的稳定性,防止冲刷或自重引起表土滑落,切实保护防渗系统的完整性。在某些设计中,加筋材料还可以承担一定的结构拉力,协同提高整个坡面的稳定性。这种协同策略将结构安全与防渗安全紧密结合,构建了更为可靠和耐久的堤防防护体系,在水库大坝和高水位运行的河道堤防中应用尤为广泛。

### 3.4 生态护坡与结构加固一体化

随着生态文明建设的深入,现代河道治理追求人与自然的和谐共生。生态护坡与结构加固一体化策略应运而生,它利用加筋技术构建既稳固又富有生命力的生态型护坡。生态护坡与结构加固一体化核心是选用兼具工程加固与生态基底功能的材料。例如,采用土工格室护坡,在格室中填充种植土并撒播草籽或栽植水生植物。土工格室的三维结构为植物根系提供了稳定的生长空间,有效防止了水流对表土的冲刷,而植物根系又能反过来固持土壤,形成一个动态稳定的“植被-土壤-格室”复合体。另一种典型的应用是植生型生态混凝土,其通过特殊级配设计形成大量连通孔隙,在保证抗冲刷性能的同时为植物生长留出充足空间。具体施工工艺为先作坡面处理,再施工格梁作为骨

架支撑,浇筑生态混凝土,在孔隙内填充营养土并种植植物。这种护坡形式改变了传统混凝土护坡“灰色、僵硬”的面貌,实现工程结构与自然景观的融合,为鱼类、两栖类和底栖生物提供了栖息环境。

## 4 结束语

堤防加筋技术作为一项成熟且不断发展的工程技术,已在河道治理中展现出巨大的潜力和优势。文章通过对土工织物、土工格栅、土工格室及生态友好型材料等主要加筋材料的梳理,以及对其力学性能、耐久性能和界面作用性能的深入分析,揭示了科学评估材料性能对于保障堤防工程安全的重要性。在此基础上,提出的堤身整体加固、软土地基处理、防渗与加筋协同以及生态护坡一体化四种应用策略,为不同工程条件下的技术选型和方案设计提供了系统性的思路。总而言之,堤防加筋材料的合理应用,能解决传统堤防工程中的诸多技术难题,提升防洪保障能力,更重要的是,它推动河道治理向着更安全、更经济、更生态的方向发展。展望未来,高性能、长寿命、智能化的新型加筋材料将是重要的研发方向;同时,结合精细化的数值模拟技术和全生命周期的监测评估,实现对加筋堤防设计的进一步优化,将是提升技术水平的关键。

## [参考文献]

- [1]张磊,王耀,张旺勇.堤防填筑材料的颗粒级配与密实度实验检测及工程适用性研究[J].实验室检测,2025,3(24):81-83.
- [2]李凤会.土工合成材料在防洪堤防溢流防护中的应用研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(08):104-107.
- [3]张智明.土工材料在堤防加固地基的应用特性及施工质量控制[J].黑龙江水利科技,2022,50(10):131-135.
- [4]马洪野.水利工程河道治理护岸防护施工技术[J].工程技术研究,2020,5(05):121-122.
- [5]王智勇,杨茹云.关于河道治理工程中生态治理措施的应用与探讨[J].科技创新与应用,2019,(11):179-180.
- [6]黄岳文.土工合成材料在广州水利工程中的应用介绍[J].长江科学院院报,2017,34(02):120-125.

## 作者简介:

顾滨(1983—),男,汉族,上海市浦东新区人,大学本科,职称:高级工程师,研究方向:水利(或水利水电)工程结构设计。