

太湖流域生态河道防渗结构设计及施工方法

何清¹ 丁键² 朱宝卫¹

1. 江苏省太湖地区水利工程管理处, 中国·江苏 苏州 215000
2. 南京市江宁区水务局, 中国·江苏 南京 211100

摘要: 针对传统河道防渗措施存在的抗冻性差、生态破坏及施工质量难控等问题, 论文提出一种兼顾防渗性能与生态修复的河道防渗结构及施工方法。该结构由河底与边坡防渗层构成, 自下而上分为六层: 粗砂垫层 (8~12cm) 用于基础平整; 复合土工膜 (三层涤纶+聚乙烯) 通过锚固槽固定, 防渗性能稳定; 细粒土垫层 (20~40cm) 结合压实施工降低渗透系数; 土工布增强抗变形能力; 雷诺护垫层 (单元尺寸 6m×2m×0.3m) 通过填充块石、软石等材料提升抗冲刷性, 并采用差异化摆放方式 (河底隔板垂直水流、边坡平行水流); 顶部种植土层 (15~30cm) 混合有机质, 栽种荷花、黑藻等水生植物以修复生态。施工流程包括河道塑形、分层铺设与压实, 重点控制复合土工膜热熔拼接 (错缝重叠 1.5~2m)、雷诺护垫填充率 (85%) 及绑扎工艺 (钢丝间距 20~30cm)。该结构融合复合防渗与柔性护坡技术, 通过分层协同作用提升抗渗耐久性, 雷诺护垫消能减冲, 种植层促进生态平衡, 解决了传统措施刚性破坏、冻融失效等缺陷, 为枯水河道治理及水资源高效利用提供技术支撑。

关键词: 太湖流域生态河道; 防渗结构设计; 施工方法

Design and Construction Method of Anti-seepage Structure of Ecological Channel in Taihu Basin

Qing He¹ Jian Ding² Baowei Zhu¹

1. Water Conservancy Project Management Office of the Taihu Lake Area, Jiangsu Province, Suzhou, Jiangsu, 215000, China
2. Nanjing Jiangning District Water Bureau, Nanjing, Jiangsu, 211100, China

Abstract: In view of the problems of the traditional watercourse anti-seepage measures, such as poor frost resistance, ecological damage and difficult construction quality control, this paper proposes a watercourse anti-seepage structure and construction method that take into account both anti-seepage performance and ecological restoration. The structure is composed of the anti-seepage layer of the river bottom and slope, which is divided into six layers from bottom to top: the coarse sand cushion layer (8 ~ 12cm) is used for foundation leveling; the composite geomembrane (three-layer polyester + polyethylene) is fixed by anchoring groove, and the impermeability is stable. The fine soil cushion (20 ~ 40cm) combined with the pressure layer reduces the permeability coefficient; Geotextile enhanced deformation resistance; Reynold's pads (unit size 6m×2m×0.3m) are filled with stones, soft stones and other materials to improve the erosion resistance, and the use of differentiated placement (river bottom partition vertical flow, slope parallel flow); the top planting soil layer (15 ~ 30cm) is mixed with organic matter, and aquatic plants such as lotus and black algae are planted to restore the ecology. The construction process includes channel shaping, layering and compaction, focusing on the control of hot melt splicing of composite geomembrane (overlapping 1.5 ~ 2m), Renault pad filling rate (85%) and binding process (steel wire spacing 20 ~ 30cm). The structure integrates composite impermeability and flexible slope protection technology, improves impermeability durability through layering synergies, Reynolds pad dissipates energy and reduces impact, and planting layer promotes ecological balance, solves the defects of traditional measures such as rigid failure and freeze-thaw failure, and provides technical support for low-water river treatment and efficient utilization of water resources.

Keywords: ecological river channel in Taihu basin; anti-seepage structure design; construction method

0 前言

由于有些地区的河道长期处于枯水状态, 这主要是因为河道在施工过程中, 河道渗漏问题一直未得到有效解决。因此, 亟须有效的河道防渗技术提高河道的运行效率, 同时能更好地利用水资源, 最大限度地发挥河道的作用。目前常见的河道防渗措施包括:

土料防渗: 一般是指以黏性土、黏砂混合土、灰土、三合土和四合土等为材料的防渗措施; 土料防渗具有较好的防渗效果, 而且由于土料资源丰富, 可就地取材, 造价低, 投资少, 施工简单。但土料防渗允许河道的流速较低, 而且土料防渗层的抗冻性较差, 往往由于冻融循环, 使得防渗层疏松、剥蚀, 从而失去防渗效果。

混凝土防渗: 这是目前广泛采用的河道防渗措施; 混

凝土防渗的优点是防渗效果较好、使用年限长、耐久性强,缺点是混凝土衬砌板适应变形的能力差,施工工艺要求较高,混凝土的质量、混凝土浇筑的连续性和及时性要严格把控,在缺乏砂、石料的地区,造价较高,混凝土强度高,会影响水生植物的生长,对周边生态环境造成破坏。

砌石防渗:这种方法主要是通过石料堆砌形成一层防渗墙达到防渗的目的;在进行砌石施工时,首先要对河道的施工面进行清理,然后通过砂浆将石料有效地在河道表面进行堆砌;砌石防渗的优点是可以就地取材,成本较低,砌石有较强的耐磨能力和抗冻能力;砌石防渗的缺点是容易采用机械化施工,施工质量较难控制。

传统的河道防渗措施已无法满足河道治理的需要,因此亟须开发一种能够营造良好生态环境,并在后期河道蓄水后水流湍急对河道底部和边坡造成冲刷的河道防渗结构。

1 技术方案

第一,一种生态河道的防渗结构,包括河底防渗结构和边坡防渗结构。

河底防渗结构的层面结构与边坡防渗结构的层面结构相同并包括自下而上依次设置的粗砂垫层、复合土工膜、细粒土垫层、土工布、雷诺护垫层和种植土层。其中:

①粗砂垫层铺设在河道的土体表面上,粗砂垫层的厚度为 8~12cm。

②复合土工膜铺设在粗砂垫层的上表面,复合土工膜的两端一一对应地嵌入开设在河道的两侧边坡顶面上的锚固槽内,并通过在锚固槽内回填满细粒土后压实。

③细粒土垫层铺设在所述复合土工膜的上表面,细粒土垫层的厚度为 20~40cm。

④土工布铺设在细粒土垫层的上表面,土工布的两端一一对应地嵌入河道的两侧边坡顶面上的细粒土垫层内。

⑤雷诺护垫层铺筑在所述土工布的上表面,该雷诺护垫层由多个呈长方体的雷诺护垫单元组装而成;每个雷诺护垫单元包括雷诺护垫本体、填充料和盖板,雷诺护垫本体由底板、两块一一对应地垂直连接在底板的两端的端板、两块一一对应地垂直连接在底板的两侧的边板和若干与端板平行地连接在两块边板之间的隔板构成;所述填充料为块石、软石和混凝土块;所述盖板与雷诺护垫本体的顶部采用钢丝绑扎连接。

⑥种植土层铺设在所述雷诺护垫层的上表面,种植土层的厚度为 15~30cm,种植土层上栽种水生植物。

第二,生态河道的防渗结构的施工方法,包括以下步骤:

①先对原有河道进行表土清理,再通过土方开挖和土方回填对河道进行塑形,然后在河道的两侧边坡顶面上各自沿河道的水流方向开设一道锚固槽。

②在塑形后的河道土体上铺设 8~12cm 厚的粗砂垫层。

③在粗砂垫层的上表面铺设复合土工膜,将卷状的复合土工膜从两侧边坡顶端往边坡底部滚动铺设,再滚动铺设

河底部分;复合土工膜的两端一一对应地嵌入两岸边坡顶面上的锚固槽内,再向锚固槽内回填满细粒土后压实;当复合土工膜的长度不够时,在河底采用热熔拼接,每道拼接缝的重叠长度为 1.5~2m,并确保与相邻的拼接缝错缝。

④在复合土工膜铺设厚度为 20~40cm 细粒土,再采用压路机碾压压实。

⑤在细粒土垫层的上表面铺设土工布,土工布的两端一一对应地嵌入河道的两侧边坡顶面上的细粒土垫层内,并压实。

⑥在土工布的上表面铺筑雷诺护垫层,先摆放雷诺护垫本体,位于河底的雷诺护垫本体以隔板与水流方向垂直的方式摆放,位于两侧边坡的雷诺护垫本体以隔板与水流方向平行的方式摆放;将相邻的雷诺护垫本体采用钢丝绑扎连接,再向每个雷诺护垫本体内装填填充料,填充料要分层装填,填充料的顶面高出雷诺护垫本体的顶面 2~6cm,然后将盖板与雷诺护垫本体的端板、边板和隔板均通过钢丝绑扎连接。

⑦在雷诺护垫层的上表面铺设种植土层。

⑧在种植土层的上表面种植水生植物,水生植物采用荷花、黑藻、微齿眼子菜、金鱼藻、穗花狐尾藻、矮型苦草和大茨藻中的一种或多种^[1]。

2 附图说明

生态河道的防渗结构的横断面图见图 1,生态河道的防渗结构中位于河底的雷诺护垫的摆放示意图见图 2,生态河道的防渗结构中位于边坡的雷诺护垫的摆放示意图见图 3。

3 具体实施方式

请参阅图 1 至图 3,生态河道的防渗结构,包括河底防渗结构 11 和边坡防渗结构 12。

河底防渗结构 11 的层面结构与边坡防渗结构 12 的层面结构相同并包括自下而上依次设置的粗砂垫层 1、复合土工膜 2、细粒土垫层 3、土工布 4、雷诺护垫层 5 和种植土层 6;其中,粗砂垫层 1 铺设在河道的土体表面上,粗砂垫层 1 的厚度为 8~12cm;粗砂垫层 1 采用的粗砂细度模数为 3.7~3.1,含泥量 $\leq 6\%$ 。

复合土工膜 2 为三层结构,即两层涤纶土工布与中间的聚乙烯土工膜紧密粘合在一起,两层涤纶土工布的规格均为 200g/m²,聚乙烯土工膜的厚度为 0.6mm;复合土工膜 2 铺设在粗砂垫层 1 的上表面,复合土工膜 2 的两端一一对应地嵌入开设在河道的两侧边坡顶面 10 上的锚固槽 20 内,并通过在锚固槽 20 内回填满细粒土压实;锚固槽 20 的横截面呈边长为 50cm 的正方形。

细粒土垫层 3 铺设在复合土工膜 2 的上表面,细粒土垫层 3 的厚度为 20~40cm;细粒土垫层 3 采用的细粒土的粒径 $\leq 3\text{cm}$,其中小于 5mm 的颗粒含量 $\geq 50\%$,小于 0.075mm 的颗粒含量 $\geq 15\%$,小于 0.005mm 颗粒含量 $\geq 8\%$;细粒土垫层 3 采用 20T 的压路机碾压压实,压实度 ≥ 0.95 ,使细粒土垫层 3 的渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ 。

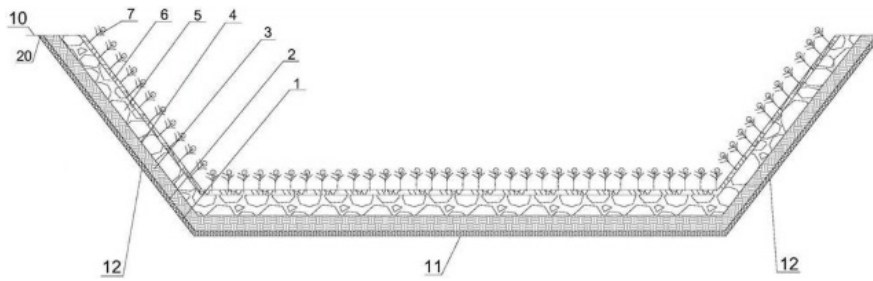


图 1 生态河道的防渗结构的横断面图

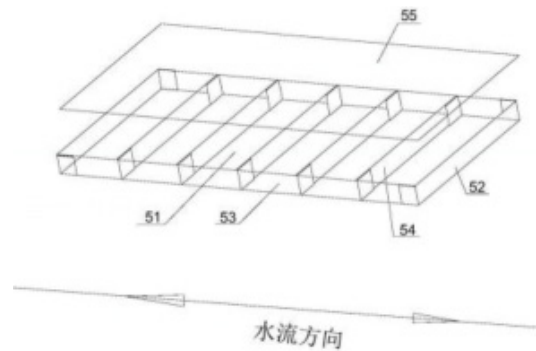


图 2 生态河道的防渗结构中位于河底的雷诺护垫的摆放示意图

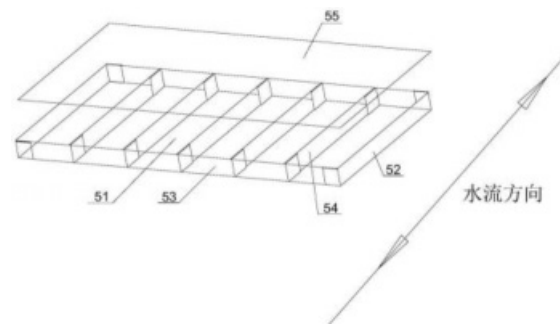


图 3 生态河道的防渗结构中位于边坡的雷诺护垫的摆放示意图

土工布 4 的规格为 $300\text{g}/\text{m}^2$ ，土工布 4 铺设在细粒土垫层 3 的上表面，土工布 4 的两端一一对应地嵌入河道的两侧边坡顶面 10 上的细粒土垫层 3 内压实。

雷诺护垫层 5 铺筑在土工布 4 的上表面，该雷诺护垫层 5 由多个呈长方体的雷诺护垫单元组装而成，每个雷诺护垫单元的尺寸规格为长 \times 宽 \times 高 = $6\text{m} \times 2\text{m} \times 0.3\text{m}$ ；雷诺护垫单元采用表面包覆 PVC 的锌 -5% 铝 - 混合稀土合金的镀锌钢丝编织而成；每个雷诺护垫单元包括雷诺护垫本体、填充料和盖板 55，雷诺护垫本体由底板 51、两块一一对应地垂直连接在底板 51 的两端的端板 52、两块一一对应地垂直连接在底板 51 的两侧的边板 53 和五块与端板 52 平行地连接在两块边板 53 之间的隔板 54 构成；填充料采用粒径为 $10\sim 20\text{cm}$ 的块石、软石和混凝土块，填充率 $70\%\sim 95\%$ ；盖板 55 与雷诺护垫本体的端板 52 顶部、边板 53 顶部和隔板 54 顶部均通过钢丝绑扎连接，钢丝的间距为 $20\sim 30\text{cm}$ ；河底防渗结构 11 中的雷诺护垫本体以隔板 54 与水流方向垂直的方式摆放；边坡防渗结构 12 中的雷诺护垫本体以隔板 54

与水流方向平行的方式摆放。

种植土层 6 铺设在雷诺护垫层 5 的上表面，种植土层 6 的厚度为 $15\sim 30\text{cm}$ ，种植土层 6 采用质量百分比为细粒土 $45\%\sim 75\%$ 、粪便 $20\%\sim 35\%$ 、有机肥料 $10\%\sim 20\%$ 的混合物；种植土层 6 上栽种水生植物 7，水生植物 7 采用荷花、黑藻、微齿眼子菜、金鱼藻、穗花狐尾藻、矮型苦草和大茨藻中的一种或多种。

生态河道的防渗结构的施工方法，包括以下步骤：

步骤一：先对原有河道进行表土清理，再通过土方开挖和土方回填对河道进行塑形，然后在河道的两侧边坡顶面 10 上各自沿河道的水流方向开设一道锚固槽 20；锚固槽 20 的横截面呈边长为 50cm 的正方形。

步骤二：在塑形后的河道土体上铺设厚度为 $8\sim 12\text{cm}$ 的粗砂垫层 1；粗砂垫层 1 的厚度最好为 10cm 。

步骤三：在粗砂垫层 1 的上表面铺设复合土工膜 2，将卷状的复合土工膜 2 从两侧边坡顶端往边坡底部滚动铺设，再滚动铺设河底部分；复合土工膜 2 的两端一一对应地嵌入

两岸边坡顶面 10 上的锚固槽 20 内, 再在锚固槽 20 内回填满细粒土后压实; 当复合土工膜的长度不够时, 在河底采用热熔拼接, 每道拼接缝的重叠长度为 1.5~2m, 并确保与相邻的拼接缝错缝。

步骤四: 在复合土工膜 2 铺设细粒土垫 3, 再采用 20T 的压路机碾压压实, 形成厚度为 20~40cm 的细粒土层 3, 细粒土垫层 3 的厚度最好为 35cm。

步骤五: 在细粒土垫层 3 的上表面铺设土工布 4, 土工布 4 的铺设方法与复合土工膜 2 的铺设方法相同, 土工布 4 的两端一一对应地嵌入河道的两侧边坡顶面 10 上的细粒土垫层 3 内, 并压实。

步骤六: 在土工布 4 的上表面铺筑雷诺护垫层 5, 先摆放雷诺护垫本体, 位于河底的雷诺护垫本体以隔板 54 与水流方向垂直的方式摆放, 位于两侧边坡的雷诺护垫本体以隔板 54 与水流方向平行的方式摆放; 将相邻的雷诺护垫本体采用钢丝绑扎连接, 再向每个雷诺护垫本体内装填填充料, 填充料为块石、软石和混凝土块, 填充料的粒径为 15cm, 填充料要分层装填, 填充率为 85%, 填充料的顶面高出雷诺护垫本体的顶面 2~6cm, 最好为 4cm, 然后将盖板 55 与雷诺护垫本体的端板 52、边板 53 和隔板 54 均通过钢丝绑扎连接。

步骤七: 在雷诺护垫层 5 的上表面铺设厚度为 15~30cm 的种植土层 6, 种植土层 6 的厚度最好为 20cm; 种植土层 6 采用质量百分比为细粒土 45%~75%、粪便 20%~35%、有机肥料 10%~20% 的混合物。

步骤八: 在种植土层 6 的上表面种植水生植物 7, 水生植物 7 采用荷花、黑藻、微齿眼子菜、金鱼藻、穗花狐尾藻、矮型苦草和大茨藻中的一种或多种^[2]。

4 结语

采用复合土工膜、细粒土和土工布等多层防渗材料进行阻水, 并将复合土工膜两端分别嵌入锚固槽, 确保复合土工膜与细粒土垫层紧密连接, 土工布的两端分别延伸至细粒土垫层内, 且在土工布上部铺筑雷诺护垫层, 提升防渗结构强度和防渗效果, 整个防渗结构的稳定性好, 使用寿命长, 防渗蓄水效果稳定, 并且工艺简单, 施工便捷, 材料成本、机械成本和劳务成本均较低。

雷诺护垫层的布置, 能够减轻后期河道蓄水后, 水流湍急对河道底部和边坡造成冲刷破坏。

种植土是利用现有的细粒土, 加入适量的粪便和有机肥料进行改良, 使水生植物的生长效果好, 不仅实现了资源化利用, 还能营造良好的生态环境^[3]。

参考文献:

- [1] 冯可. 太湖流域水污染综合治理对策研究[D]. 上海: 华东政法大学, 2015.
- [2] 李计初. 太湖水污染控制技术专项取得关键技术突破——访“太湖水污染控制与水体修复技术及工程示范”课题验收组专家陈荷生[J]. 中国水利, 2006(17): 2.
- [3] 刘会成. 太湖流域生态安全缓冲区的建设路径分析[J]. 中国资源综合利用, 2025(2).