

永定河绿色生态走廊 建设工程中减渗方案的设计与思考

杨琼 张敏秋 周志华 邓卓智

(北京市水利规划设计研究院 100048)

摘要 防洪与生态是永定河的2个重要功能，相互联系又相互制约。永定河生态环境退化根本原因是缺乏生态用水。由于永定河平原区河床为砂卵砾石，渗透性较强，要实现河道内有水有绿的生态景观，考虑在适当的范围内采取合适的减渗措施十分必要。结合永定河绿色生态走廊建设工程的规划设计，对工程中减渗方案的选取进行分析、总结与思考，以期为今后的河流生态治理工程提供借鉴。

关键词 减渗结构 生态河道治理 渗透系数 永定河

中图分类号 TV223.4

文献标志码 B

文章编号 1673-4637(2011)02-0001-03

永定河的防洪与生态是2个重要功能，相互联系又相互制约。永定河生态环境退化根本原因是缺乏生态用水。上游官厅水库由于入库水量大幅度衰减，水库现状蓄水仅 1.2亿m^3 ，远不能满足生态用水的需求。根据规划，永定河平原段最小生态需水量为 $1.2\text{亿m}^3/\text{a}$ ，包括蒸发、渗漏及绿化灌溉用水，水源拟综合利用再生水、雨洪水、官厅水库水和外调水。永定河绿色生态走廊建设2010年首批建设项目主要包括门城湖、莲石湖、晓月湖、宛平湖等，水源以清河和卢沟桥再生水以及本区域雨洪水和再生水为主，官厅水库水作为补充、备用水源，生态补水量约 $5000\text{万m}^3/\text{a}$ 。

在北京水资源严重短缺的形势下，如何利用有限的生态用水，实现河道内有水有绿的生态景观效果，改善区域生态环境，促进北京西南地区的水岸经济发展，应该是工程重点研究的问题。永定河平原区河床为砂卵砾石，含水层为单、双层砂卵石结构，颗粒粗、厚度大，导水性富水性好，渗透性极强，考虑在局部范围内采取适当的减渗措施是十分必要的。同时，永定河也是北京市平原区重要的地下水水源补给河道，能否保证减渗措施的规模和形式，在汛期降雨和发生洪水时基本不影响地下水入渗回补，更是决定减渗方

案合理可行的关键。工程设计中，结合永定河的特点，综合考虑防洪防冲、生态修复、环境景观、地下水回补等因素，科学划定减渗范围，通过经济技术比较，最终确定减渗方案。

1 河道减渗范围确定

永定河绿色生态走廊建设工程2010年开工建设的平原城市段，自三家店拦河闸至卢沟桥下游燕化管架桥，全长 18.4 km ，总规划占地面积 1700 hm^2 。利用现状河道砂石坑塘，分别规划建设门城湖、莲石湖、晓月湖、宛平湖等4湖工程。

由于工程区域位于北京平原地下水系统中的永定河冲洪积扇地下水子系统的中上部，是北京市地下水富水地段之一，该区含水层为单一的砂卵砾石层，厚度($18\sim35\text{ m}$)，直接裸露于地表，渗透系数为 $(100\sim300)\text{ m/d}$ ，单位涌水量达 $(3000\sim5000)\text{ m}^3/\text{d}$ ，渗透性强、补给充分。该区地下水的主要补给源为大气降水入渗、山区和上游的侧向流入、河湖入渗。为使工程建设不影响汛期降雨和发生洪水时的地下水入渗回补，设计减渗面积按照总河床面积的20%左右考虑，以此确定水面面积约为 370 hm^2 ，水位相当于3a

收稿日期：2011-02-18

作者简介：杨琼（1980—），女，工程师。

一遇洪水标准。3 a一遇水面以外保留天然河道现状砂卵石河床地貌，不进行减渗处理，可供地表水回补入渗。

经计算，采取减渗措施后，枯水期通过河道蓄水，每年可增加地下水补给量3 000万m³。

2 减渗方案比选

2.1 方案比选

在分析永定河减渗对地下水回补影响及再生水作为生态用水对地下水影响的基础上，对以下5种减渗方案进行了比选。

(1) 硬化处理。采用硬质护砌的方式进行减渗，如混凝土衬砌。其优点是减渗效果好，且抗冲刷能力强。缺点是生态效果差，有损河道水与地下水的联系，破坏了自然生态系统。与生态治理河道的理念明显背离，故设计中不采用此种方式进行减渗。

(2) 复合土生态减渗。又称为掺混料生态减渗，减渗结构采用200 mm厚的掺混料复合土减渗层，上覆300 mm厚的石笼格+砂石混料回填作为保护层，如图1所示。

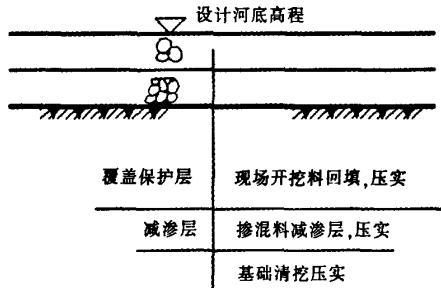


图1 复合土生态减渗结构图

覆盖保护层由现场开挖料回填压实形成；掺混料减渗层的主要材料为粒径小于5 cm的河床砂砾料、土料和膨润土，通过控制混料的配比和碾压密实度，可控制渗透系数在($1.0 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-7}$)cm/s。复合土生态减渗具有减渗效果良好，有一定抗冲性，天然生态，就地取材造价低等优点，能充分利用当地河床质，与天然河道浑然一体。缺点是当湖区水头较高时，减渗层土体颗粒在垂直水头压力作用下，可能造成流土型渗透破坏，减渗层土体带入下部的卵砾石中，从而可能导致减渗层土体的破坏。另外，还需对现状河床质及减渗源料土进行详细的试验分析，控制其级配，且施工需现场碾压压实，碾压压实密度对减渗层渗透系数影响明显，施工工艺较为复杂，施工减渗效果控制较难。

(3) 复合土工膜减渗。采用厚0.6 mm的复合土工膜作为减渗层，减渗结构由无纺布(200 g/m²)+0.6 mm厚土工膜+无纺布(200 g/m²)组成。减渗结构上覆保护层为300 mm厚石笼(格+砂石混料回填)。土工膜减渗的基材减渗系数可达($1.0 \times 10^{-11} \sim 1.0 \times 10^{-13}$)cm/s，优点是减渗效果好，且当湖区水头较高时，与复合土生态减渗方案相比，无减渗层土体颗粒流失、减渗层土体有被破坏的可能，适用于湖泊中部深水区的底部减渗。同时，由于其渗透系数小，适用于水质净化的人工湿地的底部减渗，可防止再生水下渗进入地下含水层污染地下水，减轻对地下水环境的影响。缺点是土工膜为非天然材质，隔绝了河道地上地下的连通性，且土工膜较为脆弱容易损坏，适应地形变化的能力弱，因此不宜用在湖泊浅水区、种植区等需要种植、扦插水生植物的区域、岸坡等地形变化起伏处及需设亲水平台、栈桥的港湾区。

(4) 膨润土防水毯减渗。采用厚6 mm的膨润土防水毯作为减渗层，减渗结构由厚100 mm素土夯实层+厚6 mm的膨润土防水毯组成。减渗结构上覆保护层为300 mm厚石笼(格+砂石混料回填)。防水毯的基材减渗系数可达($1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-9}$)cm/s。膨润土防水毯具有减渗效果好，对自然生态系统的影响较硬化处理及土工膜减渗小，防水毯自身有一定的结构强度，不易受损坏，且受损后能自身修复，适应地形变化能力强等优点，适用于湖泊浅水区，岸坡，种植区及港湾区。

(5) 黏土减渗。采用黏土作为减渗层。优点是减渗及生态效果良好，缺点是受黏土资源限制，且取土也对当地生态环境造成破坏。永定河河床大多为卵砾石，黏土资源稀缺。本次设计不考虑采取此种方式进行减渗。

减渗方案比选如表1所示。

表1 减渗方案比选表

减渗措施	优点	不足
硬化处理	减渗效果好、抗冲刷	生态效果差、有损河道水与地下水的联系，不适应地基变形
土工膜 减渗	减渗效果好	非天然材质、隔绝了河道地上、地下的连通性
膨润土防 水毯减渗	减渗及对自然生态系统影响较前2项措施小	非天然材质、与自然河道不协调
黏土减渗	减渗及生态效果良好，适应地基变形	受黏土资源限制
复合土 生态减渗	减渗效果良好，能充分利用当地河床质，与天然河道浑然一体	需对现状河床质及减渗源料土进行详细的试验分析，科学配比，施工工艺较复杂，施工效果控制较困难

2.2 方案确定

通过比选各个方案的优缺点，结合永定河绿色生态走廊建设工程实际，根据蓄水区范围、蓄水深度及水质和地形等要求，采用以下3种减渗方式相结合的减渗方案。

(1) 土工膜减渗。湖泊中部深水区及再生水水质净化湿地底部采用土工膜减渗。渗透系数为 $(1.0 \times 10^{-11} \sim 1.0 \times 10^{-13}) \text{ cm/s}$ 。

(2) 膨润土防水毯减渗。湖泊浅水区、种植区等需要种植、扦插水生植物的区域及岸坡等地形变化起伏处及需设亲水平台、栈桥的港湾区采用膨润土防水毯减渗。渗透系数为 $(1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-9}) \text{ cm/s}$ 。

(3) 复合土生态减渗。水深较浅的溪流主槽和岸坡均采用复合土生态减渗，渗透系数在 $9.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 左右。由于复合土生态减渗方式的渗透系数较其余2种减渗方式大，故溪流区属于回补地下水的入渗地区。溪流水深较浅，面积较小，采用复合土生态减渗方式，减渗层受损坏以后容易发现并及时修补。减渗方案推荐如表2所示。

表2 减渗方案推荐表

分区	部位	减渗做法
湖泊	湖泊中部深水区	复合土工膜
	浅水湾、岸坡	膨润土防水毯
溪流	主槽底	复合土生态减渗
	主槽岸坡	复合土生态减渗
湿地	湿地底部	复合土工膜

采用以上减渗方案，综合渗透系数达到 25 mm/d
 $(3 \times 10^{-5} \text{ cm/s})$ 。

3 减渗结构形式的确定

3.1 减渗保护层

减渗方案确定后，需确定合适的减渗层上覆保护层形式，以保护减渗层不受日照、外力等破坏，并能抵抗水流的冲刷。

采用抗冲刷柔性结构作为减渗上覆保护层，对减渗层进行防护。工程中采用格栅石笼格+砂石混料回填作为减渗层的上覆保护层。格栅石笼具有强度高，柔性好，整体性好，抗变形破坏能力强，能够随地而冲刷变形发生自我调整而不受损坏，且施工方便，造价低，很适合作为本工程主要防护结构。上覆保护层具体结构如下：以1m宽1m高的格栅石笼沿长度方向形成格子，然后在格子中间回填砂石混料。由于有格

栅的整体成型和保护作用，抗水流冲刷能力强。减渗保护层示意图如图2所示。

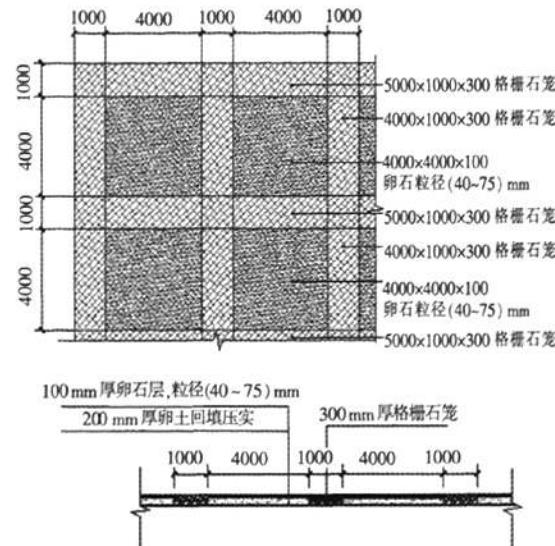


图2 减渗保护层大样图

3.2 减渗层上、下垫层

为保证施工和工程完工后减渗层不被破坏，需设计减渗层的上下垫层。工程中采用 $(100 \sim 200) \text{ mm}$ 厚的细粒土作为减渗层的上、下垫层。

3.3 减渗结构

(1) 溪流区。采用复合土生态减渗结构形式。减渗结构做法自上而下为：300mm厚的上覆保护层(石笼格+砂石混料回填)+200mm厚细粒土上垫层+200mm厚的掺混料复合土减渗层+100mm厚细粒土下垫层+基底碾压平整。

(2) 湖底区。采用复合土工膜减渗结构形式。减渗结构做法自上而下为：300mm厚的上覆保护层(石笼格+砂石混料回填)+300mm厚原土回填压实+100mm厚细粒土上垫层+复合土工膜(200 g/m^2 无纺布+ 0.6 mm 厚土工膜+ 200 g/m^2 无纺布)+100mm厚细粒土下垫层+基底碾压平整。

(3) 岸坡及浅水湾区。采用防水毯减渗结构形式。减渗结构做法自上而下为：300mm厚的上覆保护层(石笼格+砂石混料回填)+200mm厚细粒土上垫层+厚6mm的膨润土防水毯+基底碾压平整。

门城湖、莲石湖均为湖区与溪流相结合的水面形态，减渗形式包含以上3种(复合土生态减渗、土工膜减渗、防水毯减渗)做法。晓月湖与宛平湖无溪流，减渗形式包含土工膜减渗和防水毯减渗做法。

(下转页)

仪器主要由高精度 GPS、水位计、流速仪、视频系统、笔记本电脑、支架等模块组合而成，仪器采用模块化设计，根据不同需求，可以自由组合，组成新的测量仪器。各类仪器使用蓝牙技术和笔记本电脑通讯，笔记本电脑通过 GPRS 把数据传至中心。

3 结论

通过以上信息化技术手段，可以初步实现对于城区主要河道重点部位及重要排水泵站、入河口等设施的水位、流量信息的掌握，能够及时判断是否发生顶托和水流不畅现象，监控相关设施的运行状况；在突发积水事件时，随时随地监测积水发生区域及相关排水设施的水流状态，为分析判断积水原因、评估排水

效果提供技术手段，从而可以及时了解河道水位及排水管网情况，为河道日常管理及汛期防汛指挥调度提供决策支持及后期数据分析基础，使其兼顾水体景观和城市防洪的要求，满足河道景观和排水系统防汛需求的平衡点，同时为合理、有效、及时地进行城区河流水流调度提供技术手段。

参考文献

- [1] 马丰斌. 北京城市防汛排水系统问题与对策[J]. 北京水务, 2009(5):6~8.
- [2] 王毅, 刘洪伟. 北京城市防汛突发事件应急处置策略和方向探讨[J]. 北京水务, 2008(2):22~25.

(责任编辑：林跃朝)

(上接第 3 页)

减渗结构剖面图如图 3 所示。

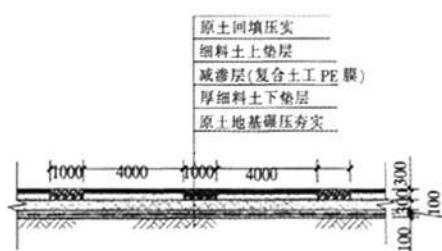


图 3 复合土工膜减渗结构剖面详图 (mm)

3.4 减渗结构抗冲刷计算

减渗结构抗冲刷按 10 a 一遇洪水标准设计。

永定河卢三段 10 a 一遇洪峰流量为 $1681 \text{ m}^3/\text{s}$ ，流速为 $(1.18\sim3.32) \text{ m/s}$ ，水深 $(1.6\sim2.9) \text{ m}$ 。减渗层上覆的保护层为 300 mm 厚格栅石笼格+砂石混料回填。格栅石笼由于有格栅的整体成型和保护作用，抗水流冲刷能力很强。需进行砂石混料回填的抗冲设计，提出适合的格栅石笼格间回填砂石粒径，满足抗冲要求。

根据非黏土渠道的允许不冲流速，水深为 2 m 左右时，粒径为 $(40\sim75) \text{ mm}$ 的大卵石的允许不冲流速为 $(2.1\sim2.8) \text{ m/s}$ ，考虑水力半径 R 的影响，选取 $R=2$ ，修正指数 $\alpha=1/4$ (R^α 约为 1.2) 进行估算，修正允许不冲流速为 $(2.52\sim3.36) \text{ m/s}$ 。

因此，为满足减渗保护层抗 10 a 一遇洪水冲刷的要

求，砂石混料回填的粒径要求为 $(40\sim75) \text{ mm}$ 。

4 结论与思考

河流需要健康的状态已经得到世界各国的广泛重视。河流水量的多少是干旱河流生态修复的关键。我国北方大部分地区干旱缺水，河流水量小甚至干涸，难以满足河流生态修复的需求。针对干旱地区有限的水资源量，对河道进行减渗处理是河流生态修复过程中必不可少的关键环节。

结合永定河绿色生态走廊建设“四湖一线”工程，总结工程中的减渗方案及措施，选取适当的减渗范围，在河道蓄水区采取减渗措施，满足不影响汛期降雨和发生洪水时的地下水入渗回补的要求。根据蓄水区范围、蓄水深度、水质和地形等要求，采用 3 种减渗方式相结合的减渗方案，通过工程试运行，达到了预期效果，希望能对今后河道生态治理工程提供借鉴。

根据综合经济技术比较，本次设计减渗保护层的防洪标准确定为 10 a 一遇，如遇永定河 100 a 一遇防洪标准内的洪水时，可能造成减渗结构的破坏，进而堵塞闸孔桥孔，影响行洪安全。相关部门应实时监测，并做好防洪预案。

参考文献

- [1] 钱文仓, 任仲宇, 王波. 河道生态减渗的不同土层渗透性研究[C]. 2010 中国(北京)国际建筑科技大会论文集, 2010.
- [2] 北京市水务局. 永定河绿色生态走廊建设规划[R]. 2009.

(责任编辑：穆金元)