

北港河重金属污染底泥处置研究

汪华安^{1,2}, 丁金伟^{1,3}, 郑文棠^{1,2}, 易树平⁴, 刘伟^{1,2}

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 广东科诺勘测工程有限公司, 广州 510663;
3. 深圳市南科环保科技有限公司, 深圳 518100; 4. 南方科技大学 环境科学与工程学院, 深圳 518055)

摘要: 河道底泥的重金属污染已经成为一个世界性的严重问题, 以电子拆解酸洗迹地贵域北港河重污染河段底泥处置示范工程为例, 介绍了工程勘察设计院与环境科研单位在河道底泥环境调查、污染风险评估、底泥修复技术筛选、河道勘察, 河堤生态设计和底泥处置工程施工中合作分工的经验, 为类似河道治理工程提供了借鉴思路。

关键词: 河道治理; 底泥修复; 重金属污染; 生态设计

中图分类号: TM756.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)02-0095-07

Disposal Research on the Sediment of Beiganghe River with Heavy Metal Pollution

WANG Hua'an^{1,2}, DING Jinwei^{1,3}, ZHENG Wentang^{1,2}, YI Shuping⁴, LIU Wei^{1,2}

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. Guangdong Kennuo Surveying Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
3. Shenzhen Southern Science and Technology Co., Ltd., Shenzhen 518100, China;
4. School of Environmental Science & Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China)

Abstract: The river sediment with heavy metal pollution has been the prime focus all over the world. In this investigation we cited the Beiganghe River demonstration pilot project with the sediment polluted by heavy metal in a case, introduced the environmental investigation, sediment pollution risk assessment, technology selection of sediment restoration, river surveying, embank ecological design, and disposal engineering technology which are completed in cooperation by the surveying engineering company and environmental scientific research. This work provides some guidance for similar riverway treatment.

Key words: riverway treatment; sediment restoration; heavy metal pollution; ecological design

目前河道底泥污染问题已成为一个世界性的严重问题, 引起了国内外学者以及政府部门的高度重视^[1], 尤其是重金属污染底泥的治理问题将日益突出。传统的河道治理, 一般只考虑河道自身的行洪、排涝、灌溉等水利功能, 侧重堤基的隐患调查和加固, 河道工程地质勘察、河堤设计和施工参照《堤防工程地质勘察规程》(SL188 - 2005)^[2]、《堤防工程设计规范》(GB 50286 - 2013)^[3]和《堤防工程施工规范》(SL 260 -

2014)^[4]执行, 但现有规范均未涉及河道底泥的生态环境问题^[5], 工程上主要采用底泥疏浚来改善。根据国外河道治理经验和最新技术, 河道治理不只是岩土工程勘察设计与施工, 还属于环境科学与工程问题, 需考虑河道生态环保和景观文化建设的重要性, 是融工程结构与生态环保为一体的环境岩土工程技术。

目前对于河道底泥的污染调查、控制与修复, 因为涉及到环境科学和岩土工程两个学科, 尚缺乏系统的理论和应用技术指导, 在生态设计和施工中缺乏技术规范和技术导则的支持。一方面需利用环境科学技术来分析环境污染规律、评价污染风险, 提出环境修复方案; 另一方面利用岩土工程理论和技术来实施环境修复方案, 从工程上改善和解决环境问题。

收稿日期: 2017-04-11

基金项目: 2016年广东省科技厅技术重大产业专项(511182110052);
2017年广州市科委产学研协同创新重大专项(201704020200)

作者简介: 汪华安(1977), 男, 安徽当涂人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力勘察设计工作(e-mail) wanghuaan@gedi.com.cn。

本文以广东科诺勘测工程有限公司与广东省生态环境技术研究所2014年合作完成的《北港河重污染河段底泥处置示范工程报告》^[6]为例,介绍了工程勘察设计公司 and 环境科研机构在具体河道污染底泥修复和工程应用中成功实践的经验。

1 北港河重污染河段底泥处置技术路线

汕头市贵屿镇是全球最为关注的电子废物回收导致严重生态环境污染问题的典型区域,2013年至2014年被连续列入广东省重点环境问题挂牌督办项目。贵屿镇境内的北港河旁曾是大批非法电子垃圾(或塑料)酸洗、焚烧加工厂的聚集地,酸液直排河道。在电子垃圾(或塑料)的拆解、酸洗、焚烧、不合理处置等的操作过程中,各种污染物质以各种途径进入河流中,造成了北港河底泥和水体中重金属、有机物等有毒有害物质严重超标,危害当地的生态环境和人体健康。北港河马望河段属于电子拆解酸洗迹地,河床平缓便于调查施工,被选为重金属底泥修复的示范性河段。

目前国家没有河道底泥环境调查、评估和修复的技术导则,可参考环境保护部2014年7月发布的场地环境调查、监测、风险评估和土壤修复导则^[7-10]。对污染地基土的岩土工程勘察,可参考住建部的《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009年版)^[11]的相关规定。结合水利部的堤防工程勘察/设计/施工规范,住建部对污染地基土的调查规定,以及环境保护部的场地环境调查、监测、风险评估和土壤修复导则,可制定北港河重污染河段底泥修复的技术路线为四个方面:(1)河道污染底泥环境调查和工程勘察;(2)河道底泥风险评估工作;(3)河道底泥修复技术筛选;(4)河道底泥处置工程方案实施,包括河道施工图岩土勘察设计、污染底泥处置库结构设计、河道疏浚和施工、生态恢复和景观设计等。

2 河道污染底泥环境调查和工程勘察

河道污染底泥环境调查和场地岩土工程勘察的目的是初步查明污染底泥的分布范围、污染程度、理化性质、重金属和有机物组成,物理力学指标,获得满足风险评估及底泥修复所需基本参数,提供初步岩土设计参数和施工依据。

表1 河道污染底泥环境调查和工程勘察检测项目
Tab. 1 Test items of the environmental investigation and geotechnical engineering investigation

类别	检测项目
基本性质	颗粒组成、有机质含量、pH值
重金属	总铜、总铅、总镉、总铬、总汞、总砷、总锌、总镍
有机污染物	多环芳烃(16项)、多氯联苯(7项)、酞酸酯(6项)、多溴联苯(10项)、多溴联苯醚(9项)、石油烃类等
物理力学指标	天然状态性质指标(含水率、比重、干湿密度、饱和度、孔隙比),稠度指标(液限、塑限、塑性指数、液性指数)、渗透系数(水平、垂直)、固结指标(压缩系数、压缩模量、先期固结压力、压缩指数)、剪切指标(粘聚力、内摩擦角)

2.1 河道污染底泥的环境调查

污染底泥的环境指标主要包括底泥理化性质、重金属和有机物等。在环境调查前需明确河道底泥环境调查的原则、工作程序、调查方法、采样要求等。在北港河示范河段200 m内每间隔60 m采集1个断面,每个断面根据河面宽度均布3个钻孔,共3个断面和9个钻孔。每个钻孔采样深度为5 m,分0~50 cm、50~100 cm、100~300 cm、300~500 cm采样,共采集底泥样品36个。采集的底泥经充分混合后,四分法1 kg装入塑料袋中,用于理化性质和重金属元素等项目测定的样品;另直接采集0.5 kg土壤装入广口磨口玻璃瓶,样品装满并密封,用于有机污染物含量的分析。底泥理化性质、重金属和有机物的分析方法及检测限按照环境科学与工程试验规范来执行。

经检测,北港河污染底泥中的污染物为重金属和有机污染的混合污染。底泥评价采用《土壤环境质量标准》(GB 15618 修订草案)^[12]的绿化用地标准进行。所采集的36个底泥样品中,铜、镍和石油烃超标,超标率分别为8.33%、5.56%和8.33%,铜出现重度污染点位。除重金属污染外,有机物也是北港河处置示范点底泥的重要污染物。北港河处置示范点底泥中还检出了石油烃、酞酸酯、多环芳烃、多氯联苯、多溴联苯和多溴联苯醚等有机污染物,除多氯联苯的检出率为91.7%,其它5种有机物的检出率均为100%,其中石油烃总量、酞酸酯总量和多溴联苯醚总量较高,这3种污染物总量的平均值分别为328 mg/kg、1 157 μg/kg和4 387 μg/kg。超标样点均来自河流的第1层底

泥,深度为0~50 cm。

2.2 河道场地的岩土工程勘察

本阶段的河道场地岩土工程勘察是为污染底泥修复方案提供初步岩土设计参数和施工依据,有针对性地布置工程地质调查、地形测绘、钻探取样和室内土工试验等勘察手段,初步查明示范区的地形、地貌和地层的分布、成因、类别、时代及各岩土层的物理力学性质,提供各岩土层的物理力学性质指标,为河堤设计及施工提供工程地质依据。

利用河道环境调查的9个钻孔进行钻探取样,共取得10件原状土样。底泥的土工试验物理力学性质按照《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)^[13]执行,所采集底泥的土工试验分析项目见表1。

工程地质钻探和测绘表明,北港河示范区域主要涉及4个地层:(1)电子垃圾碎屑层,河道及河堤表面分布,平均厚度约0.5 m;(2)粘土,河堤分布,承载力特征值为100~150 kPa;(3)淤泥,全场区分布,厚度0.60~5.20 m,承载力特征值40~60 kPa;(4)粉质粘土:全场区分布,层顶埋深1.50~5.75 m,厚度1.73~6.80 m,承载力特征值60~100 kPa。本工程处理底泥为淤泥层,含水量 w 很高,平均值为101%;饱和度 S_r 平均值为99,孔隙比 e 平均值为2.72;压缩系数 a_v 平均值为 2.930 MPa^{-1} ,压缩模量 E_s 平均值为1.29 MPa;粘聚力 c 平均值为1.30 kPa,摩擦角 φ 平均值为 2.4° 。淤泥层为高压缩性软土,工程性能差,为不良的软弱地基土,需高度脱水固化后才能作为河堤填土层。

3 河道底泥风险评估工作

河道底泥风险评估工作,包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和底泥修复建议目标值的确定。参考国内外相关风险评估方法,通过全过程的场地环境评价——污染识别、污染取样调查和风险评估,通过健康和生态风险评估,确定基于河道及河堤未来规划用途下的风险水平,以及针对不同情景条件下需要治理、处置的底泥范围和数量。

为了更好地处置污染的底泥,对北港河底泥进行了风险评估,风险评估包括人体健康风险评估和潜在生态风险评估两部分内容。考虑到北港河堤岸的用地性质为绿化用地,在北港河处置示范点底泥

环境质量调查结果的基础上,人体健康风险评估根据国家《污染场地风险评估技术导则》(HJ.3—2014)^[9]和广州市《污染场地调查、评估、修复工作技术指引》(报批稿)^[14]中的相关绿化用地的风险评估模型,对北港河处置示范点地块的土地施工人员和居住人员健康风险进行了毒性评价和风险表征。底泥的生态风险评估按照瑞典学者 Hakanson (1980)^[15]提出的公式对八种重金属(Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni)进行评估。

健康风险评估结果表明,北港河处置示范点第一层底泥(深度0~50 cm)中多溴联苯(PBB)和镍2种污染物可能会对当地居民具有致癌风险,也会产生非致癌危害,造成致癌风险的暴露途径主要为经口摄入。

生态风险评估结果表明,北港河第一层底泥中的Cd、Hg和Cu三种元素的潜在生态风险很强,存在污染风险。

4 河道底泥修复技术筛选

底泥污染物会随着环境的pH、Eh和温度等条件的变化从底泥中再次释放引起二次污染。因此,对底泥重金属污染的修复主要在于控制底泥环境的稳定性。河道底泥的修复目标值(筛选值),可按照北京出台的《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11 T 811—2011)^[16]和广东颁布的《土壤重金属风险评价筛选值—珠江三角洲》(DB 44/ T1415—2014)^[17]。目前,国内外河湖底泥的重金属污染治理修复分类如下:

1)按修复地点分为异位修复和原位修复。异位修复是将污染底泥挖掘出来运输到其它地方后再进行处理,原位修复是将污染底泥留在原处,主要利用化学、生物等措施改变重金属污染物在底泥中的化学形态和赋存状态,从而降低污染物的生物有效性和迁移性,阻止底泥污染物进入水体。2005年以前主要以异位修复为主,目前国外土壤修复逐渐从异位修复转向原位修复。

2)按技术原理分为物理修复、化学修复、生物修复以及这三种技术联合使用。修复技术种类繁多,多达20~30种,常用的技术大致分为土壤气抽提技术(包括多相抽提技术)、土壤淋洗技术(地下水循环井、水力抽提技术)、原位化学氧化技术、土壤固化/稳定化、生物修复技术(包括植物、动物

和微生物修复)、热处理技术(电阻加热脱附、蒸汽加热脱附、水泥窑协同处置、高温焚烧等)。

根据北港河贵屿镇马望河段底泥处置示范点的地理位置和污染现状,我们需要重点考虑需以下几个因素:

1)北港河底泥处置示范点污染物浓度较高,污染物种类复杂,包括重金属污染物和种类繁多的有机污染物共存的复合污染,单一采用化学、物理或生物技术均难以达到固定重金属降解有机物的双重目的,因此处置方法的选择上必须全面兼顾重金属和有机污染物的全面处理。

2)本方案针对的北港河处置示范点200 m河段需处理的底泥量为 $8\,599\text{ m}^3$,若根据北港河在贵屿境内的长度5.2 km估算,后续的污泥总量达到 $2.18 \times 10^5\text{ m}^3$,需处理量非常大,如需进行异位处理堆填,需要面积非常大的堆填场地,这与当地场地紧张、场地使用和管理费昂贵产生了矛盾,尤其需要重视的是,在露天堆填状态下,底泥直接与外界接触,即使其中的污染物质经过处理,在较长的时间尺度下,底泥中的污染物释放风险仍然较大,存在较大的环境安全隐患。

基于以上考虑,本项目采用底泥污染物稳定/固化处理,然后结合铁基生物炭材料的可渗透性反应墙和水泥密封的多重屏障处置方式。考虑到本项目对贵屿辖区内整个河段的示范性和指导性,采用分河段进行不同的底泥污染物稳定/固化措施:河段南岸直接采用水泥固化的处置措施,然后结合河堤的整体工程实施措施进行处置;河段北岸分两段实施稳定/固化措施,其中100 m河段,底泥采用粘土矿物材料作为污染物稳定剂,结合后续的处理措施及工程措施;另外100 m河段采用铁基改性生物炭材料作为稳定处置试剂,同时结合后续的处理措施及工程措施。实施后,观察和监测后续处置效果,以便于辖区内整体河段处置时采用最佳的处置措施。

铁基生物炭材料是广东省生态环境技术研究所研发的一种高效重金属稳定处置试剂,其以废弃生物质为原料,通过高温碳化的方法,停止加热后,在制备生物炭过程中,加入含铁化合物,硼氢化钠等作为还原剂,将铁以特定比例掺杂,形成具有特殊结构和功能的生物炭材料。材料中的生物炭成分具有较大的比表面积和孔径,吸附能力强,能吸附

稳定底泥中的重金属和污染物;材料中的铁基为零价铁和二价铁,具有较强的还原功能,在长时间的填埋厌氧过程中,能还原降解其中的有机污染物。因此,结合本方案底泥处置的厌氧填埋特点特点,选择铁基生物炭材料,在长期的填埋过程中,能有效固定/稳定化底泥中的污染物,并能提供较高的还原势,使其中的有机污染物还原脱毒,有利于工程的长时间环境安全性。

5 河道底泥处置工程实施方案

在确定北港河底泥处置示范点采取河段河堤原位固化处理填埋的技术方案后,对技术方案实施工程方案。本项目的示范区工程方案设计的基本原则是安全第一,生态环保,因地制宜,方便施工。基于以上考虑,北港河底泥处置示范点拟采取河段河堤原位固化处理填埋的技术方案,技术措施包括污染底泥围堰疏浚、底泥重力机械脱水、底泥污染物河堤固化/稳定化、底泥水泥固化、固化后底泥河堤填埋、填埋区环保性护坡、河堤复原及绿化等。力求在保证河段原有生态系统平衡基础上,根据河段实际的地形地貌状况,实现底泥污染物对河道河堤生物群落的无害化,同时保证河道景观的整体性。为北港河的整体治理提供切实可行的修复处置方案。

5.1 施工图岩土工程勘察

根据河道底泥修复技术方案制定的工程实施方案,补充施工图阶段的岩土工程勘察如下:

1)北港河底泥处置示范区1:500地形图测绘,根据示范区底泥污染深度的风险分析成果(第1层底泥,污染深度50 cm)估算示范区范围内的底泥疏挖量约 $8\,599\text{ m}^3$,这是底泥原位生态筑堤的设计依据。

2)补充地震地质调查,论证示范点场地与区域性深、大断裂的安全距离是否符合大型工程建设的要求,确定地区域50年设计基准期超越概率10%的地震动峰值加速度和对应的地震基本烈度,这是堤身及底泥处置单元稳定验算的工况荷载。

3)查明地下水的埋藏条件及其变化规律,分析其对施工可能产生的影响,提出防治措施。

4)对示范区河道污染底泥疏挖期间的施工围堰与导流方案、处置单元基坑开挖与支护、工程降排水方案进行分析评价。

5.2 底泥疏浚和施工截流

经现场踏勘, 考虑到本工程对清淤质量要求高、工程可利用场地面积小、不能对上下游河道水质影响等要求, 结合以往国内类似工程的经验, 通过导流措施抽空河流, 采用人工配合机械进行干挖施工, 可保证示范点污染底泥清淤彻底, 质量可控。

采用全段土围堰法施工, 示范区主河道被全段围堰一次拦断, 水流被导向北港河另外一支自北向南流向的分支河道。本项目属于小型工程, 可争取在当地每年的枯水期建成。根据计算获得土围堰的断面设计参数为: 堤顶标高 $\nabla 6.50$ m、堤高 3.5 m、堤顶宽度 5.00 m、堤顶宽度 21.00 m, 迎水坡坡度 1:2.5、背水坡坡度 1:2.0、围堰填筑材料防渗体土料渗透系数 $<10^{-4}$ cm/s。

5.3 底泥脱水、固化/稳定化过程

由于污染底泥为流塑状, 人力或机械开挖后携带大量河水, 直接采用投加固化剂法脱水将大大增加固化剂投加量, 不仅浪费固化剂, 同时增加了最终产生的底泥体积, 因此需构建污染底泥脱水场地, 对污染底泥进行初步重力脱水和机械施压脱水, 含水率降低到 80% 左右。污染底泥临时脱水场地包括底泥临时脱水平台和渗滤液收集池, 总体布置原则是在示范区河段北侧和南侧河堤上各布置一个临时脱水场地, 以兼顾在北侧和南侧河堤上同时进行底泥脱水。

底泥临时脱水平台的设计方案如下: 平台四周采用砂袋堆填圈闭, 平地底部构建有一定的排水坡度, 坡度不小于 2%, 使渗滤液在重力作用下汇集至设计在平台两侧的渗滤沟, 渗滤沟同样设计成一定的坡度, 最终将场地内的污水汇入渗滤液收集池。为避免场地内的污水对周边土壤以及地下水影响, 在脱水平台中设计了防渗系统。防渗系统自上而下为: (1) 300 g/m² 聚丙烯长丝无纺布; (2) 200 mm 碎石渗滤层; (3) 300 g/m² 聚丙烯长丝无纺布; (4) 200 mm 防渗粘土层; (5) 1.5 mm 光面 HDPE 土工膜; (6) 河堤岩土层。底泥临时脱水平台结构如图 1 所示。

经过重力初步脱水和晾晒后的污染底泥含水率降低到 40% 后, 通过上料设备送进搅拌机, 铁基生物炭材料与底泥的掺加比例为 1:99。经铁基生物炭固化/稳定化后的底泥再与水泥按照一定比例混合

夯实, 并取样进行室内土工试验, 经计算, 当满足无侧限抗压强度 $q_u = 0.5 \sim 4.0$ MPa, 内聚力 $c = 0.2 \sim 0.3 q_u$, 内摩擦角 $\varphi = 20^\circ \sim 30^\circ$ 时可满足规范的防洪固堤要求。

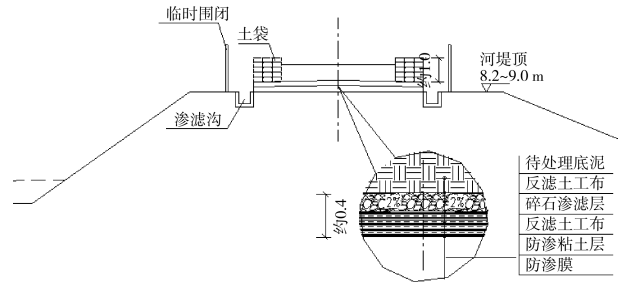


图 1 污染底泥临时脱水平台结构剖面示意图

Fig. 1 Structure diagram of the temporary dewatering platform for polluted river sediment

5.4 底泥原位生态筑堤结构设计

为减少河堤改造面积, 最大程度利用河堤自身永久性处置空间, 在河堤内部或顶部设计处置单元结构, 采用多重屏障和固化剂为反应介质的渗透反应墙来保障底泥安全处置, 在处置单元结构设计中, 本项目设计了地下式和地上式两种处置单元结构。

5.4.1 地下式底泥原位生态筑堤

地下式底泥原位生态筑堤结构设计引入了国际上危险废物处置形式中先进的多种屏障理念, 如图 2 所示, 对底泥中污染物毒性实施三重保障防护。

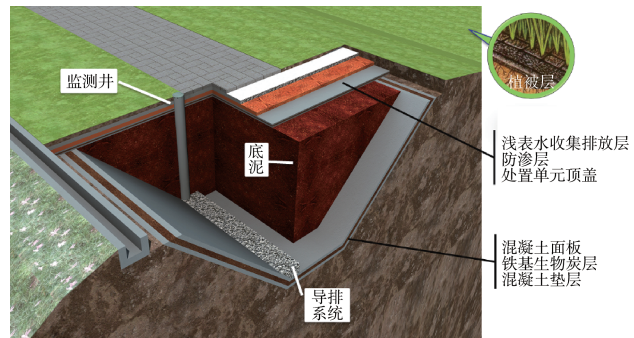


图 2 地下式底泥原位生态筑堤结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of the underground ecological embankment for in situ disposal of polluted river sediment

首先, 底泥中的污染物通过稳定固化材料实现在底泥中的固化/稳定化, 经处理后底泥中污染物的危害性大为降低。

其次, 污染物处置后的底泥经过水泥固化, 通

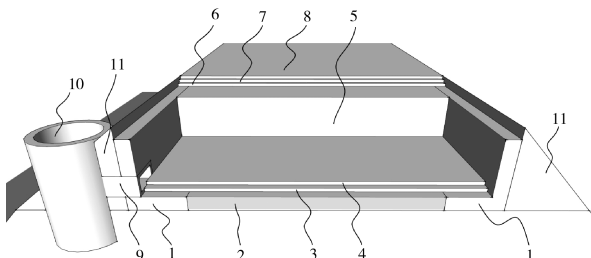
过物理固定的方式降低污染物的渗出风险。

第三,由全混凝土结构加渗透性反应墙封闭危险废物,并起到支撑保护和污染物防渗漏作用,同时在混凝土结构外增加由天然材料组成,且具有多重屏障结构(包括了以稳定固化采用为反应介质的渗透反应墙)的覆盖层。

此类处置单元具有足够的物理稳定性,其结构可长期抵抗因侵蚀、极端天气条件如冻融循环、洪水、龙卷风、地震和其它自然现象造成的破坏,具有稳定性好、结构强度高、使用寿命长,低渗透性,高防护性等特点。因此,经过以上技术措施的处理,污染底泥中的污染物能有效固定在处置单元中,基本无渗出风险。同时该设计方案可最大程度利用河堤自身永久性处置空间,同时兼顾河堤防汛功能性需求,具有占地空间小,防汛能力高的优点。

5.4.2 地上式底泥原位生态筑堤

地上式底泥原位生态筑堤方案以不破坏河堤岩土结构,兼顾河堤防汛功能,在原河堤堤面设置具有多重屏障功能的防渗覆盖层和渗滤液收集系统,将固化和稳定化后的底泥移至夯实于防渗覆盖层之上,并采用铁基生物炭为反应介质的渗透反应墙为功能性阻隔屏障,以满足底泥安全处置的目的。



注:1——“L形”钢筋混凝土筑模;2——粘土保护层;3——无纺土工布和光面 HDPE 土工膜组成的隔水垫层;4——聚丙烯长丝无纺布包裹的一定粒径的碎石渗滤层组成的排水垫层;5——固化/稳定化底泥;6——粘土保护层;7——碎石渗滤层;8——耕植土层;9——渗滤导排系统;10——小型沉井;11——浆砌石支护系统。

图3 地上式底泥原位生态筑堤结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of the above-ground ecological embankment for in situ disposal of polluted river sediment

地表构筑物型式设计为“U”型构造,由相向的一对“L形”钢筋混凝土筑模、下覆防渗、导水和保护功能的功能性阻隔屏障柔性垫层,上覆供植被生长和防止入渗的生态覆盖层,以及一侧具有收集构

筑物内部渗出液体的小型沉井组成,如图3所示^[18]。

这种处置方式不产生异地搬运的高额运输费用,在安全处置污染底泥的同时提高了河堤的防洪安全系数和景观要求,将底泥处置技术和河堤防洪功能进行了统一。

5.5 河堤生态恢复及景观设计

北港河河堤为20世纪60年代修筑的土堤,现场踏勘表明河堤植被发育较差,在满足污染底泥处置的功能性下进一步考虑生态恢复和景观设计,使河流景观成为周边居民亲水、赏水的休闲空间。

利用三维土工网垫植草的优势,在河堤迎水面的上部采用三维土工网植草绿化,下部修筑护脚墙,提高河堤脚部的防水流冲刷能力。护坡的草本植物采用湖南地区的禾本科植物,如华南狗牙根、地毯草、假俭草、结缕草、细叶结缕草、马尼拉结缕草、中华结缕草、百喜草等;其次,处置单元上部依次覆盖粘土封闭层、碎石排水层以及植草层,同时堤顶恢复人行道及绿化,修筑截水沟减少坡面冲刷,河堤绿化可考虑观赏性花卉灌木,如多花木兰、杜鹃、黄刺玫、葱兰等,如图4所示。

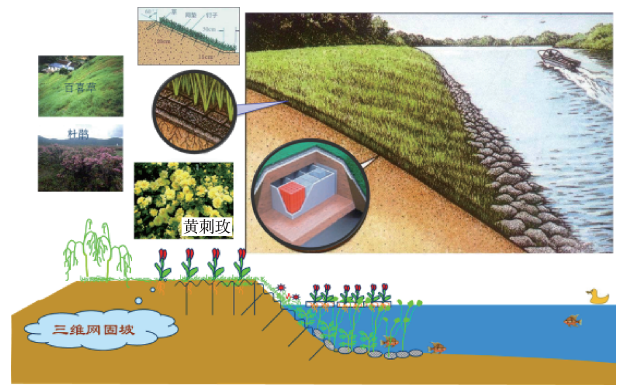


图4 河堤生态恢复及景观设计示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the embankment with ecological restoration and landscape architecture

6 结论

本文以电子拆解酸洗迹地——贵域北港河重污染河段底泥处置示范工程为例,介绍了工程勘察设计院与环境科研单位在河道底泥环境调查、污染风险评估、底泥修复技术筛选、河道勘察,河堤生态设计和底泥处置工程施工中合作分工的经验,为类似河道治理工程提供了借鉴思路。

参考文献:

- [1] DELVALS T A, BLASCO J, SARASQUETE M C, et al. Evaluation of heavy metal sediment toxicity in littoral ecosystems using juveniles of the Fish Sparus Aurata [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1998, 41(2): 157-167.
- [2] 中华人民共和国水利部. 堤防工程地质勘察规程: SL 188-2005 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 中华人民共和国水利部. 堤防工程设计规范: GB 50286-98 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [4] 中华人民共和国水利部. 堤防工程施工规范: SL 260-98 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [5] 董哲仁, 孙东亚. 对堤防工程设计和施工规范修订的建议 [J]. *水利技术监督*, 2005, 13(1): 7-8.
- [6] 广东省生态环境技术研究所, 广东科诺勘测工程有限公司. 北港河重污染河段底泥处置示范工程报告[R]. 广州: 广东省电力设计研究院出版社, 2014.
- [7] 中华人民共和国环境保护部. 场地环境调查技术导则: HJ 25.1—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. 场地环境监测技术导则: HJ 25.2—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [9] 中华人民共和国环境保护部. 污染场地风险评估技术导则: HJ 25.3—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [10] 中华人民共和国环境保护部. 污染场地土壤修复技术导则: HJ 25.4—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [11] 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001(2009年版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [12] 中华人民共和国环境保护部. 土壤环境质量标准: GB 15618 修订草案 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [13] 广州市环境技术中心, 广州市环境科学研究院. 广州市污染场地环境修复工程验收工作技术文件研究 [R]. 广州: 广州市环境技术中心, 2016.
- [14] 中华人民共和国建设部. 土工试验方法标准: GB/T 50123—1999 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.
- [15] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980(14), 975-1001.
- [16] 北京市环保局. 场地土壤环境风险评价筛选值: DB11 T 811—2011 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [17] 广东省质量技术监督局. 土壤重金属风险评价筛选值—珠江三角洲: DB 44/T 1415—2014 [S]. 广州: 广东省质量技术监督局, 2014.
- [18] 杨国义, 郑文棠, 郭岩, 等. 河涌污染底泥处理的构筑物装置 [P]. 广东: CN104912038A, 2015-09-16.

(责任编辑 高春萌)

(下接第 105 页 Continued from Page 105)

2) 该类项目是一个环境综合整治工程, 随着整治工程完成, 原排入河道的污染源废水被截污管道引至污水处理厂进行集中处理, 此外, 沉积多年的沟渠淤泥被清理, 沟渠过水能力加大, 流动顺畅, 提高了对污染物的混合稀释作用, 水体流动的加快增强了对污染物的净化能力, 在运营期工程整治涉及沟渠水体水质会有较大的改善。

参考文献:

- [1] 人民网. 国务院正式发布“水十条”(全文) [EB/OL]. 2014-04-16.
<http://env.people.com.cn/n/2015/0416/c1010-26854928.html>.
- [2] 王帅杰. 扬尘污染防治理论初探 [J]. *安全与环境工程*, 2006, 13(3): 9-12.
WANG S J. Primary exploring on methodologies of pollution prevention for resuspended particulates [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2006, 13(3): 9-12.
- [3] 方敏, 沈恒根, 王吉, 等. 有限空间柴油车辆耗氧量及尾气污染物分析与计算 [J]. *安全与环境学报*, 2016, 16(3): 206-210.
FANG M, SHEN H G, WANG J, et al. Calculation and analysis of the oxygen consumption and exhaust pollutant e-mission of diesel vehicle in a confined space [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2016, 16(3): 206-210.
- [4] 环境保护部. 环境影响评价技术导则 声环境: HJ 2.4—2009 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.
- [5] 环境保护部. 声环境质量标准: GB 3096—2008 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [6] 刘艳艳. 基于河道清淤工程的环境影响分析与环境保护措施 [J]. *黑龙江水利科技*, 2012, 10(40): 268-270.
LIU Y Y. Environmental impact analysis and environmental protection measures based on river dredging project [J]. *Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy*, 2012, 10(40): 268-270.
- [7] 环境保护部. 建筑施工场界环境噪声排放标准: GB 12523—2011 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.

(责任编辑 高春萌)