

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.12.052

高聚物注浆在苏州河堤防防渗中的创新应用

田爱平

(上海市堤防(泵闸)设施管理处, 上海市 200080)

摘 要: 苏州河防汛墙渗漏情况复杂,为结构性渗漏,场地狭窄、管线交错、检测难度大、渗漏修复难度大,渗漏特点明显。高聚物注浆在苏州河堤防防渗中的创新应用,开“微创”防汛墙工程除险加固的技术先河,结合工程实际、因地制宜,创新应用新技术。第一次提出防汛墙结构性渗漏的概念,并对防汛墙的四钟结构性渗漏作了简单的归纳和分析。针对不同的结构性渗漏,提出了适用创新的技术方案,创新的注浆方法等,解决了防汛墙防渗中的技术难题。高聚物注浆技术在苏州河堤防防渗中创新应用,至 2019 年底已完成阶段性工作,其创新应用新技术的实践,可作为类似工程参考。

关键词: 苏州河;结构性渗漏;高聚物;防渗;注浆;新技术;创新应用

中图分类号: TV871

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0194-05

0 引 言

高聚物注浆在苏州河堤防防渗中的创新应用,开“微创”防汛墙除险加固技术的先河,促进了科技成果转化及推广应用。苏州河防汛墙渗漏情况复杂,为结构性渗漏,不同于土坝渗水,检测难度大、场地狭窄、管线交错、施工难度大,特点明显。本阶段围绕高聚物注浆防渗在苏州河堤防的应用,创新技术方案、创新注浆方法,优化施工方法,提出质量验收要求等;各个环节衔接有序,取得了较好的阶段性成果。实现了给苏州河堤防做“微创手术”,“微创”就是采用破坏性较小的方式进行防渗修复。采用的是非开挖修复技术中的高聚物注浆技术,在国内防汛墙渗漏修复中也是第一次。

新技术的创新应用,解决了工程实际问题,也为高聚物注浆技术增添了新的内涵,扩大了该技术的应用范围。高聚物注浆在苏州河防渗中应用,无规范指导,无成熟的工艺可用,无工程实例参考。河南省地方规范,只是针对水库大坝、堤坝防渗加固,而土坝出现的渗水、管涌、漏洞、滑坡、冲塌等险情,渗漏机理相对简单,也有成熟的经验。而城市防汛墙渗漏情况复杂,结构性渗漏实属“疑难杂症”。本次高聚物注浆创新使用,结合本地实际、因地制宜,有所创新,可作为类似工程参考。

高聚物防渗技术在苏州河除险加固中的成功应用,为黄浦江防汛墙、水闸、泵站等水利工程中

的除险加固,提供了示范。未来这种非开挖修复技术将进一步推广,除水利工程外,在道路、桥梁、码头等建(构)筑物中,也可以用于纠偏、调整沉降、稳固地基等,有着广泛的应用前景。日前,苏州河正进行滨江贯通工程,但未对防汛墙进行改造,施工期或建成后如发生渗漏,采用高聚物注浆技术适合贯通工程需求,不会造成二次破坏,但现有的技术和施工设备仍需根据实际情况进行提升改造^[1-13]。

1 技术背景

1.1 苏州河防汛墙渗漏概况

苏州河在上海市域段长 53 km,总面积约 139 km²。按照建设世界级滨水区的总目标,苏州河沿岸定位为特大城市宜居生活的典型示范区,将打造舒适宜人的生活型活动轴线,实现中心城区段滨水空间全线贯通,滨河步道即将实现公共空间贯通开放,今后组合式苏州河防汛墙亲水设施与沿线桥梁等将成为集安全、景观、生态、文化于一体的多功能风景线。多功能的滨水空间的打造,也进一步增加了苏州河堤防防渗的难度。

苏州河两岸沿线防汛墙结构型式较多,按照不同的基础结构和墙身结构进行划分,常见的有浆砌块石重力式、斜坡式、高桩承台式、低桩承台式、拉锚板桩式、L 型钢钢筋混凝土直立式等。苏州河防汛墙墙后场地高程较低,大多在 3.50 m 及以下,个别岸段在 2.5 m 左右,常年处于苏州河常水位以下。苏州河下游段为上海市主城区,两岸均为住宅区,周边人口密集,防汛安全直接影响到两岸人民群众生命财产安全。苏州河下游段现有防汛墙,大部分

收稿日期: 2020-09-27

作者简介: 田爱平(1970—),男,硕士,高级工程师,从事水利工程管理工作。

为板桩骑跨式高桩承台结构。结构本身稳定虽无问题,但随着运行时间的延长特别是受到沿河工程影响,板桩脱榫、墙后土体扰动、漏土等现象逐渐开始显露。当底板基础下存在渗水通道,若不及时处理,久而久之将会造成底板下基础掏空出现险情。

本阶段苏州河市区段防汛墙渗漏整治共有 41 处,按影响类别,建(构)筑物跨河或穿河的部位渗漏最多,如桥梁跨河渗漏为 35 处,占 85.4%。按防汛墙结构部位渗漏查看,有变形缝渗漏、板桩与底板间渗漏、板桩之间渗漏和墙体渗漏等,其中变形缝处渗漏占结构性渗漏最多,其次是板桩间接缝处渗漏,初步统计见图 1。

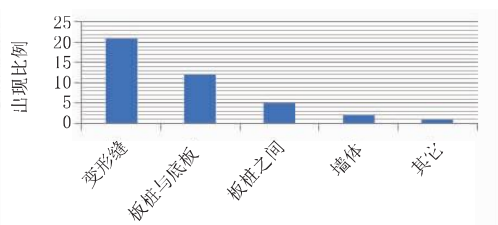


图 1 苏州河下游段堤防结构性渗漏统计图

1.2 传统防渗修复技术

传统的堤坝防渗修复技术较多,但比较适用于苏州河堤防防渗修复技术,有压密注浆防渗技术。压密注浆是将配制成的浆液,通过注浆设备压入地层空隙,经过一定的时间浆液凝结、硬化后,可以起到加固的作用。该技术在上海堤防防渗中有所应用,例如,2006 年苏州河下游临时度汛工程对华师大段、江西路桥等 10 余处隐患部位采取墙后压密注浆;2007 年对龙泉港出海闸闸首墙后采用劈裂注浆与旋喷桩相结合的防渗处理方法。但由于注浆工艺中水泥基浆液材料流动性能不好,注浆压力不易控制且需要借助周边土体凝固,注浆效果难以保证。浆液容易离析和沉淀、稳定性较差;刚性材料,变形协调性差,需要养护,来不及凝固就被水冲散,用量难以控制。防渗体自身也存在缺陷,混凝土和水泥浆等水泥类制品在凝结过程中有干缩特性,与土固结后易造成两者结合不紧密,出现“两张皮”的情况,因而会造成防渗效果不能达到设计要求的情形。

另外,传统的压密注浆防渗加固技术,施工不便,设备体积庞大,进场困难,对防汛墙刚性防渗体抗震抗裂性较差,修复困难;对作业面要求较高,易引起施工环境问题,特别是对于快速抢险性堤坝防渗,已明显不能胜任。这类方法施工成本较高、工期长、施工区居民生活和交通会受到严重干扰。

1.3 高聚物注浆技术

高聚物注浆是一项新技术,按照一定配比,向地基和结构中注射双组份高聚物材料,材料发生反应后体积迅速膨胀并形成泡沫状固体,达到填充脱空、排除积水积泥、防渗加固、抬升等目的。高聚物注浆防渗常规技术有:

(1)堤坝防渗高聚物定向劈裂注浆技术,静压成槽、开缝引导、片状搭接。

(2)柔性连续防渗墙高聚物注浆技术,套孔压槽、提注同步、无缝连接。

(3)堤坝管涌和隧道涌水封堵高聚物复合注浆技术。

与传统通过开挖路面进行改造的方式相比,高聚物注浆为非开挖修复技术,具有施工速度快,噪音小,适应性强等特点。二者相比,高聚物注浆施工工期缩短至一半,开挖占地面积大大缩小,施工设备少,对路面破坏小,对周围环境和交通的影响也较小。

2 高聚物注浆技术应用的创新点

高聚物注浆成套技术及装备,主要是针对土坝研发的,其注浆防渗的三种常规技术,无法直接应用于苏州河堤防防渗中,需要结合工程实际,因地制宜,创新应用新技术。要针对结构性渗漏的特点,“对症下药”创新应用,才能消除渗流隐患。在苏州河防汛墙防渗修复中,创新应用高聚物注浆技术,主要体现在结构性渗漏概念、找准点位“一点一策”渗漏处置方案设计、创新注浆方法等几方面。

2.1 创新提出结构性渗漏的概念

通过工程实践,本阶段完成了由实践到理论的升华,创新提出结构性渗漏,以方便人们更好地研究和应用;明确了结构性渗漏的概念,表明了结构与土坝渗漏不同,渗漏点位不同处置方法也不同。一个概念的建立,往往决定着整个项目综合矛盾的解决方向和主导思路。概念的思想将贯穿处置的全过程,并且随着项目向纵深方向发展而不断得到完善。

(1)结构性渗漏的概念

苏州河下游段均为防汛墙护岸,防汛墙底板下或板桩内侧,由于施工质量或使用年限较长尤其是年代久远的桥梁下方驳岸与两侧堤防不同结构的连接,板桩缝内砂浆脱落或墙身之间止水带、伸缩缝失效等等,往往会造成底板下或板桩内侧土体流失,形成渗漏通道。因为均是由于防汛墙结构原因引起的渗漏,故简称为结构性渗漏。

防汛墙渗漏与结构密不可分,防汛墙结构是用以抵抗施加在构筑物上的荷载,是传递荷载、支撑构筑物的骨骼,结构发挥其功能的有效程度影响着构筑物的质量。防渗修复虽然不需要对防汛墙结构进行改造,但正确对待与应用结构构成,是解决渗漏问题的先决条件。不同类型的防汛墙,其结构有所不同,掌握结构构成和变形机理,将有助于快速查找渗漏点,有助于渗漏的处置,从而能做到精准注浆。

显而易见,对于按照挡水设计的防汛墙,在结构完好无损时是不会发生渗漏;只有在结构或构件发生变形或不同结构连接破坏后,才会有渗漏发生,这也是防汛墙渗漏的实质。因此,对防汛墙结构破坏机理的分析,也是研究结构性渗漏的意义之所在。

(2) 结构性渗漏分类

结构性渗漏,其分类是一种归纳、分析和综合,分类是为了更好地认识其共性和个性。渗漏的原因很多,从不同的角度出发,会有不同的归纳和分类。例如,防汛墙渗漏按部位分类有墙体、底板、桩基;因此,要进行严格的统一分类也是非常困难的。在对按结构性分类分个阐述之前,为了表达整体概貌,通过从个别到一般、分析与综合、归纳与演绎相结合的逻辑思维过程,对结构性渗漏按分类、渗漏特点及原因简析等一并综合于表1。

表1 苏州河防汛墙结构性渗漏分类表

分类	渗漏位置形式	渗漏特点	原因简析
变形缝处渗漏	垂直缝渗漏 水平缝渗漏	线型渗漏	止水带连接点脱节、严重的断开,或缝口处密封胶老化
板桩或墙体与底板相交处渗漏	底板下水平缝渗漏 底板上水平缝渗漏	散点、线型渗漏	板桩脱榫,墙体与底板交接处存在渗水缝隙
板桩间接缝处渗漏	垂直缝渗漏	线型渗漏	填缝砂浆不密实、板桩缝存在空隙
块石护岸松动或墙体破损处渗漏	裂缝或碎洞渗漏	散点式、管涌状	墙身混凝土或浆砌块石破损

2.2 创新结构性渗漏的处置方案

高聚物注浆的创新应用,针对结构性渗漏特点“对症下药”,消除苏州河防汛墙渗漏的隐患。掌握防汛墙结构,确定渗漏点,从而精准注浆。苏州河防汛墙结构性渗漏,有变形缝处渗漏、板桩或墙与底板相交处渗漏、板桩间接缝渗漏、块石护岸或墙体破损处渗漏等,创新应用的技术方案,需要“精准施策”,“一点一策”制定处置方案。一个部

位,一个渗漏点,一个布孔方案,一个注浆方案。采用“绣花针”功夫,创新技术应用。重点在技术方案设计,布孔、深度、注浆压力等,与土坝防渗注浆有所不同。针对四种不同的结构性渗漏情况,提出对应的处置方案。技术路线是:发现地面渗漏→查结构型式→渗漏形式判断→设计处置方案→高聚物注浆。

根据不同的部位渗漏,提出布孔注浆方案,有墙前渗漏孔洞封堵;墙后布孔二排高聚物注浆,墙前水平布孔,变形缝处加密布孔,墙前迎水侧布孔,板桩孔洞处注浆封堵,墙后沿底板后边线布孔;新老墙交界处及漏点处注浆封堵,墙后高聚物注浆,等等。

另外,新老墙连接处通常是变形缝,因不是同时施工,止水带无法正常设置(甚至发现墙体变形缝与底板变形缝不在同一断面),因此,也是渗漏易发部位。一般由于老墙底板较短,在高水位压力作用下通过底板下方进行渗透。老墙保留段一般在桥的两侧,若地下存在地铁或其他管线,则情况更为复杂,因此应综合考虑确定注浆位置和钻孔深度。

2.3 创新注浆方法

现有的高聚物防渗墙技术规范,主要针对土体防渗,给出了高聚物三锥头或单锥头成槽注浆法。苏州河防汛墙防渗修复,无法使用该注浆法,因而针对结构性渗漏的特点,创新导管注浆法的应用。

导管注浆法,在结构上先打穿注浆孔,注浆管、注浆孔和高聚物能准确到达土层中的设计堵漏防渗位置,高聚物就在膨胀压力作用下劈裂土层进入土体孔隙,在土体中形成一个整体,并向周围扩展并挤密四周土体。若在注浆过程中连续提升注浆管,在注浆管底端就形成一系列“重叠”的泡沫体,从而形成连续的注浆体,达到防渗堵漏的目的。

对变形缝渗漏、板桩与底板相交处渗漏、板桩间接缝处渗漏等,均可采用导管注浆法,但布孔位置、孔深有所不同。例如,对于垂直缝渗漏,可以采用在防汛墙迎水面导梁上水平布孔注浆方案,也可以采用水平钻孔注浆和在墙后垂直钻孔注浆相结合的方案。对于底板上的水平缝,通常是采用在板上垂直钻孔注浆方案。一般沿变形缝两侧交叉布孔,孔深要求穿透混凝土板,注浆孔距变形缝边20 cm,孔间距小于1.0 m。在注浆孔内下注浆管至设计高程。注浆时高聚物浆液膨胀扩散,迅速充填伸缩缝孔隙,自内向外封堵渗漏缝隙通道。水平缝一般在渗漏处加密布孔,距离防汛墙500 mm处开

始布孔,两侧交叉布置,间距为 800~1 000 mm。

2.4 创新技术展望

结构性渗漏修复是一个新领域、新技术,工程实践中在渗漏点检测,渗漏点防渗修复,注浆质量检测等方面仍有不足,存在瓶颈与短板,需要在实践中不断创新、不断完善。水利工程技术创新往往是伴随着工程现状所存在的问题,理清工程中的难点和关键点,确定解决问题的思路,围绕着难点、关键点开展工作,寻找解决的方法,这就是技术创新。掌握结构性渗漏特点,然后针对各个局部加以改进。提出问题,找出缺陷,再试从材料、结构、功能等方面加以改革创新;水到渠成,从而形成技术创新。

本次创新应用,紧密结合苏州河防汛墙渗漏修复中的技术难题,开发了适用于变形缝处渗漏的注浆修复技术。苏州河防汛墙一般每隔 10~15 m,就需要设置一道沉降缝(变形缝),据此,仅下游段两岸防汛墙就有变形缝 7 000 条左右(不含各种桥梁下方护岸与现有堤防连接变形缝),如此之多,因此是苏州河堤防防渗的关键部位。变形缝破损后,修复是难点也是关键点。变形缝渗漏修复是注浆技术中的难点,常规的注浆修复变形缝渗漏的同时,往往造成变形缝失效,如何有效地利用高聚物注浆,修复变形缝防止渗流,亟需进一步研究创新技术。

开发了适用于横向注浆新技术,对于水平缝的渗漏,现有的竖向注浆往往难以处置,或注浆效果无法达到理想效果,这也促进了注浆技术的创新。另外苏州河市区堤防由于墙后地坪较低且受其它市政道路管线影响需要探索结构性高聚物注浆技术与其他导渗技术结合如目前地坪较低渗漏通道不明岸段采用疏堵结合技术路径,在市政道路结合排水管网设置盲沟排水等。

建立防汛墙监控“云”,通过结构性渗漏的分析,在容易发生渗漏处设置传感器,对渗流、压力等数据进行采集。于高水位或受其他工程影响时自动运行,每 5 min 传输一次数据,“监控云”随时汇总、分析,进行精准管控,渗漏能及时被发现。

3 高聚物注浆在苏州河总体应用情况

3.1 高聚物注浆防渗技术阶段性成果

苏州河作为上海母亲河是城市高质量发展和市民高品质生活的滨水空间,防汛工作关系到城市运行及人民财产的安全。经过苏三期的整治苏州河下游防汛墙已基本达标,但运行至今受墙后市政道路反复开挖、轨交穿越等多种原因,每年都

发生渗漏,影响防汛安全。为此上海市堤防(泵闸)设施管理处引进高聚物注浆技术对苏州河进行渗漏处理,取得了较好的经济效益和社会效益。

2014~2019 年,高聚物注浆技术在苏州河历年防渗工程项目分布,见图 2。处置渗漏点 41 处,高聚物注浆总长度 1 453.4 m,处置防汛墙长度为 1 177.51 m。经过近几年的跟踪巡查,除个别渗漏点有反复的情况出现,大部分的岸段都取得较好的防渗堵漏效果。

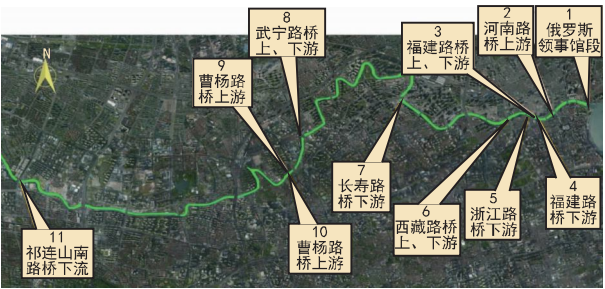


图 2 苏州河下游段渗漏处置点分布图

3.2 技术参数与施工质量检验

苏州河防汛墙渗漏应用到高聚物注浆技术,作为一种新技术,目前还没有适用的质量检验与评定标准,本阶段结合多年来高聚物注浆技术在苏州河堤防防渗的应用,建立了苏州河下游段防汛墙防渗高聚物注浆技术参数,见表 2。对应于技术参数,质量检验要求是:孔位±20 mm,孔深±100 mm,竖孔垂直度 1%H,斜孔倾角±2°。

表 2 苏州河防汛墙防渗高聚物注浆技术参数

项目	技术参数
注浆孔深	2.5~4.0 m
注浆孔径	d≥25 mm
注浆方式	一次性注浆
浆液配比	1:1
浆液温度	32℃~40℃
注浆流量	≥150 g/s
注浆压力	≥6 MPa
注浆量	10~15 kg/m(管涌除外)

3.3 快速无损检测技术应用

根据探测对象的结构物理特征和相关技术规范的要求,由于苏州河堤防后方为市政道路且沿线桥梁管线交错,此次苏州河防汛墙检测工作采用探地雷达法作为无损检测方法,后续根据高聚物注浆技术深化应用进一步探索综合检测手段。

探地雷达是用高频的无线电波来确定介质分布规律的一种地球物理方法。探地雷达利用发射

天线发射高频宽频带电磁波,接收天线接收来自地下介质界面的反射波。电磁波在介质中传播时,其路径、电磁场强度与波形将随通过介质的电学性质及几何形态发生变化,可根据接收到波的旅行时间、幅度与波形资料,推断渗漏或异常部位位置和分布。

利用探地雷达法检测基础渗漏通道,一般采用剖面法。剖面法是发射模块(T)和接收模块(R)以固定间距沿测线同步移动的一种测量方式,见图3。对于高频天线,发射模块和接收模块一般封装在一个天线中,发射~接收间距为0,称为单天线模式。在每个测点,发射模块发射电磁波,电磁波在探测目标区域内传播,遇到不同介质的分界面、异常体时,电磁波发生反射,反射波被接收模块接收,主机对反射信号记录,完成一次测量,天线移动到下一个测点,开始另一次测试。结合本工程的实际情况,注浆前选用200 MHz天线,本阶段布设探地雷达法测区共8个区域,测线总长度为544 m。注浆后选用270 MHz天线,测区共11个区域,测线总长度为605 m。

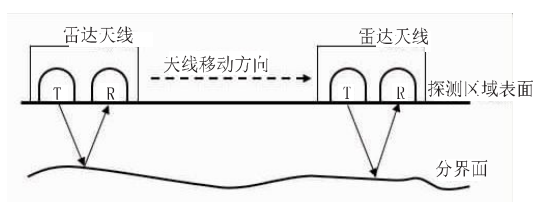


图3 探地雷达剖面法工作原理图

4 结论

结构性渗漏的修复,一直是工程界的难题。高聚物注浆技术在苏州河防汛墙防渗中的创新应用,结合工程实际、因地制宜,有所创新,较好地解决了防汛墙结构性渗漏的修复。实践表明,新技术需要结合工程实际,进行再创新。

高聚物防渗体为柔性防渗材料,能够与水膨胀与土体和结构物能紧密粘合,协调变形,抗震、抗裂和抗变形性能良好,与其他防渗技术相比,高聚物防渗技术可显著节省造价,同时施工方便快捷,节省工期,施工不开挖,对结构扰动较小,对水

和环境无污染,不产生污水污泥,节能环保。同时,结合高聚物防渗体的作用机理,通过对苏州河防汛墙渗漏的成因和特征分析,高聚物注浆技术对防汛墙渗漏具有较好的适应性和应用的可行性。

上海是一座特大型城市,苏州河沿线堤防经过几轮达标改造,部分中心城区堤防结构较为复杂,墙后空间狭窄、地坪较低、市政设施交错,需进一步消除堤防渗漏,确保沿河堤防贯通工程稳步推进,方便市民出行。要根据近年来高聚物注浆技术的创新应用经验,深入分析存在问题,研究解决方法,进一步优化设计方案,改进施工工艺和检测手段,进一步完善监测技术,继续探索适合上海市中心城区堤防防渗的常态化应用;要提供技术保障加快沿线地下管线排摸、设施调查,为及时快速的处理渗漏隐患提供充足依据,为城市区域功能提升及重要岸段堤防防汛及运行提供安全保障。

参考文献:

- [1] 上海市水务局(上海市海洋局).苏州河沿岸地区建设规划(2018-2035)[Z].2020.
- [2] 上海市堤防(泵闸)设施管理处总工室.高聚物注浆在苏州河堤防防渗中的应用阶段总结[R].2020.
- [3] 邓雪辉,唐金忠.黄浦江上游防汛墙改建结构型式探讨[J].水利规划与设计,2017(11):111-113.
- [4] 王复明,李曼璐,方宏远,等.黄河大堤高聚物防渗墙稳定性分析[J].人民黄河,2019(10):56-60,94.
- [5] 唐金忠.水工基础工程设计与分析[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [6] 王旭斌,郑洪,林飞,等.全风化花岗岩防渗关键技术研究与应用[J].水利规划与设计,2019(4):149-153.
- [7] 陈玲,涂顺华,陈鸣.高聚物注浆防渗墙在府庙水库大坝防渗工程中的应用[J].河南水利与南水北调,2012(16):159-160.
- [8] SL734-2016,水利工程质量检测技术规程[S].
- [9] 唐金忠,朱博华.水利工程专利创作简论[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [10] 张钦杰,田利勇,曹睿哲.定向钻施工对海塘影响分析及保护措施研究[J].水利规划与设计,2020(2):149-152.
- [11] DB41/T 712-2011,高聚物防渗墙技术规范[S].
- [12] 石正宝.苏州河底泥疏浚和防汛墙加固改造技术创新[J].水利规划与设计,2019(3):93-97.
- [13] 胡欣,田爱平.黄浦江苏州河堤防日常养护技术手册[M].上海:同济大学出版社,2014.