

里运河东堤险工险段调查分析

戴永琪^{1,2}, 刘爱军³, 代 菊³, 李宏恩^{1,*}, 刘晓青²

(1. 南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所, 江苏 南京 210029;

2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 扬州市水利局, 江苏 扬州 225000)

摘要:在全面收集京杭大运河里运河段堤防工程地质勘探、设计施工、运行管理等基础资料的基础上,通过现场调查和必要的检测探测,对现状里运河东堤所存在的主要险工险段进行了系统梳理。针对里运河东堤实际存在的安全隐患,讨论了里运河堤防工程中土堤、水闸和穿堤涵洞等主要建筑物隐患的主要成因,分析了影响堤防安全的主要因素,提出了里运河堤防工程可能的失效路径和破坏模式,并针对里运河东堤险工险段的安全隐患提出了除险加固方案建议。

关键词:里运河; 东堤; 险工险段; 调查

中图分类号:TV871.2

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)07-0064-05

Investigation and analysis on the dangerous sections of the east levee of the Li Canal

DAI Yongqi^{1,2}, LIU Aijun³, DAI Ju³, LI Hongen^{1,*}, LIU Xiaoqing²

(1. Dam Safety Management Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, Jiangsu;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu;

3. Yangzhou Water Resources Bureau, Yangzhou 225000, Jiangsu)

Abstract: On the basis of collecting the basic data of geological exploration, construction process, operation and management of the levee project in the Li Canal Section of the Beijing – Hangzhou Grand Canal, through on – site investigation and necessary detection, the main dangerous sections existing in the current east levee of the Li Canal were systematically sorted out. In view of the potential safety hazards existing in the east levee of the Li Canal, the main causes of the hidden dangers of the main structures such as earth levees, sluices and culverts crossing the levee along the Li Canal were discussed, the main factors affecting the safety of the levee were analyzed, and the possible failure paths and failure modes of the levee project of the Li Canal were put forward. Finally, some suggestions were put forward for the reinforcement of the dangerous sections of the east levee of the Li Canal.

Key words: the Li Canal; east levee; dangerous section; investigation

1 里运河东堤概况

里运河是京杭大运河最早开凿的河段,自古“盐运”“南粮北运”“北煤南运”等通航作用巨大。

南水北调东线工程全线贯通后,里运河作为输水主干线肩负了重要的提水北送任务。里运河位于南水北调东线江苏省内,介于长江和淮河之间,北接中运河,南接江南运河,是输水河道和通航河道,同

收稿日期:2019-01-28

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0401809, 2017YFC0405006),江苏省水利科技项目(2017005),国家自然科学基金项目(51579154),中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(Y717012, Y718001, Y718001)。

作者简介:戴永琪(1996—),女,硕士研究生在读,研究方向为水工结构数值模拟与安全评价。

通讯作者:李宏恩(1982—),男,博士研究生,教授级高级工程师,主要从事水库大坝安全管理方面工作。

时也是淮河入江水道的一条泄洪通道。扬州市管辖的高邮、江都段内的里运河堤防为国家一级堤防,东堤全长 74.4 km,防洪标准为 100 年一遇。里运河东堤既是运河堤防,也是我省苏北地区南北向一条重要的交通干线淮江公路高邮段的路基,故沿线堤防是确保里下河地区人民生命和财产安全的生命线。

里运河东堤自北向南分为里运河高邮段、里运河江都段和江都高水河 3 个堤段,其沿线的堤防及穿堤建筑物大部分建设年代久远,最早涵闸(如子婴闸)为文物,历史可追溯到清朝。里运河东堤目前普遍存在堤防超高不足、堤身单薄、窖潮渗漏、堤后深塘、堤基深淤、护坡损坏和沿线建筑物老化严重等安全隐患与险工险段。里运河东堤是高邮和江都两地的防洪安全屏障,是沿线群众生产生活的安全保证。

2 里运河东堤险工险段

2.1 堤防超高不足

(1) 里运河江都段

该段共有 2 处堤防超高不足,分别为邵伯临镇 630 m 和昭关船厂北 11500 m,险工长度共计 12130 m。

(2) 江都高水河

邵伯烈士陵园南人字坝 800 m 堤防超高不足。

2.2 堤身单薄

江都高水河沿线共有 2 处堤身单薄,分别为土山洞北 300 m 和人字坝 800 m,险工长度共计 1100 m,急需加宽堤身处理。

2.3 窖潮渗漏

(1) 里运河高邮段

当里运河高水位运行时,即水位达到 7.5 m 以上时,东堤车逻坝背水坡出现多处渗漏点,是历史遗留的险工险段。

(2) 里运河江都段

该段共有 14 处窖潮渗漏段,分别为崇湾斜路南 40 m、崇湾油码头 500 m、戚运公路北 50 m、小六堡 200 m、戚运公路南 100 m、小蔡潭南 500 m、新庄路北 50 m、王庄路北 60 m、昭关坝 80 m、宋家浅 10 m、昭关闸 50 m、江港作业区 60 m、铜材厂院内 10 m、万寿宫 80 m,险工长度共计 1790 m,部分渗漏经历年防渗、导渗处理有所缓解,但仍有窖潮渗漏现象。

(3) 江都高水河

该段共有 4 处窖潮渗漏段,分别为江都老船厂段 200 m、原刘庄小桥北段 300 m、谈庄洞南 150 m、东堤邵伯临镇大王庙段背水坡有渗漏情况 20 m,险工长度共计 670 m。

2.4 堤后深塘

(1) 里运河高邮段

该段因 1992 年淮江公路高邮段拓宽改造工程的实施,在征用的土地范围内进行取土筑路,沿运东堤背水坡遗留下许多取土坑,形成了多处顺堤鱼塘,后来因确权划界不到位,致使临堤养殖,严重侵蚀堤防土体。现堤脚平均高程 4.5 m,堤顶高程 12.0 m,鱼塘底部高程约为 1.0 ~ 1.5 m。南水北调工程实施后,运河长期高水位运行,最高运行水位达 8.0 m 以上,目前运河水位正常在 7.5 m 左右,而鱼塘底部高程在真高 1.0 ~ 2.0 m 左右,因此堤防两侧水位差很大,严重影响里运河东堤堤防的安全,迫切需要对鱼塘进行清理整治。

(2) 里运河江都段

该段共有 6 处堤后深塘,分别为来圣庵 125 m、小六堡 390 m、小蔡潭 540 m、荷花塘 151 m、昭关坝 72 m、宋家浅 282 m,险工长度共计 1560 m。由于这些深塘大都是人工养殖的鱼塘,对堤脚的侵蚀不可小视,有部分堤段已侵蚀堤防超过 10 m,急需进行填块石护坡或直立墙工程处理。

(3) 江都高水河

该段共有 3 处堤后深塘,分别为黑鱼塘、南塘和人字头坝。东堤北段黑鱼塘、南塘是历史上溃堤决口段,抢险时填筑材料较为复杂,堤身质量较差,加之堤后深塘,形成险工险段。两塘沿堤线方向长约 700 m(桩号 12+500 ~ 13+200),堤身一般为粉质黏土,但自高程 2.0 m 以下堤基土质为重粉质壤土、粉质黏土质淤泥夹腐植质,堤基软淤土厚度最大达 16 m,土质情况较为复杂,物理力学性质较差,塘底高程一般在 0.0 ~ -2.0 m,堤后基本无青坎,迎水面无二台,为历史险工隐患。东堤人字头坝后有深塘,堤后塘底高程约为 0.2 m 左右,塘深 6 m 左右,为历年防汛险工。

2.5 堤基深淤

(1) 里运河高邮段

邵家沟至头闸段长 4 km(K98+950 ~ K102+950)(其中 K100+220 ~ K100+400 段已加固)系淤土筑堤,淤深达 10.8 ~ 12.6 m;清水潭段长 3.3 km(K93+600 ~ K96+900)是历史遗留的险工险段,堤基淤土最深处达 30.8 m,现堤脚平均高程

4.5 m,堤顶高程 11.46 m,堤身不稳定,存在安全隐患。

(2) 里运河江都段

该段共有 4 处堤基深淤,分别为东堤小六堡塘北 3600 m、蔡家潭 2400 m、宋家浅 1400 m、淤溪河口 250 m,险工长度共计 7650 m,最大淤深 23.8 m,最小 7.5 m。

2.6 护坡损坏

(1) 里运河高邮段

东堤界首段迎水面块石护坡出现多处浪窝、浪洞(单个面积约为 $10 \sim 20 \text{ m}^2$ 左右);由于船行波和河水冲刷的影响,高邮船闸以北的东堤浆砌石护坡淘刷损坏严重。

(2) 里运河江都段

该段共有 4 处护坡损坏,分别为东堤露筋渡口 1500 m、联盟庄码头 600 m、王庄段 2000 m、邵伯临镇段 500 m 等也是由于靠船及河水冲刷造成护坡损坏,险工长度共计 4600 m。

2.7 沿线建筑物老化严重

里运河高邮段东堤沿线建筑物主要有子婴闸、界首小闸、周山洞、头闸、车逻闸和车逻坝等,里运河江都段东堤沿线建筑物主要有艾菱洞、昭关闸和昭关坝等,江都高水河东堤沿线建筑物主要有玉带洞、土山洞、肖桥洞、谈庄洞和江都船闸。

上述建筑物大都建于 20 世纪 60、70 年代,大部分工程都由民间筹资、筹劳建成,没有严格的设计标准。因其长年运行,损坏严重,随着时间的推移,工情、水情不断变化,大部分建筑物都存在运行隐患,混凝土碳化深度普遍较大,混凝土表面胀裂破损,底板开裂,闸门、门槽毁坏,漏水严重,护坡、护底毁坏严重,高水河输水期,水位抬高,加大建筑物运行期的安全隐患。

3 里运河东堤险情原因分析

3.1 土堤险情原因分析

3.1.1 漫堤破坏

漫堤破坏属于水文破坏,可分为洪水漫溢和洪水漫顶 2 种表现形式,前者指洪水位已经超过堤顶,由于堤前洪水直接漫过堤顶造成的堤防失事;后者指洪水位并没有超过堤顶,而是由于风荷载等作用造成波浪爬高越过堤顶造成的堤防失事^[1]。漫堤破坏的原因是显而易见的,通常是由于堤防高度不足(堤顶未达到设计高程或堤防设计标准过低)或者堤前水位过高(发生超标准洪水)。近年

来,随着堤防的普遍加高培厚以及防洪标准的提高,漫堤破坏在堤防工程失事统计中所占的比例已经不断减小。

里运河江都段共有邵伯临镇和昭关船厂北 2 处堤防超高不足,江都高水河沿线有邵伯烈士陵园南人字坝 1 处堤防超高不足。若河道实际发生超标准洪水,这 3 处堤段很可能由于堤顶高程不满足设计要求而引起堤防漫堤破坏。

通过上述对里运河东堤漫堤破坏机理的分析可知,堤防工程漫堤破坏的内部因素主要是堤防高度不足,外部因素主要是超标准洪水。

3.1.2 渗透破坏

渗透破坏属于结构破坏,是堤防工程的主要破坏形式。渗透破坏在堤防工程中非常普遍,我国历史上的堤防决口绝大多数都与堤防的渗流有关^[2]。渗透破坏是指堤身或堤基由于渗流时产生的渗透力而导致的堤防破坏,可分为管涌、流土、接触冲刷和接触流失 4 种表现形式。其中,在单一土层中主要发生管涌和流土破坏,而接触冲刷和接触流失主要发生在土层的接触面处。管涌是指在渗流作用下,土体细颗粒沿较大骨架颗粒形成的孔隙发生移动,水在土孔隙中的流速增大引起土的细颗粒被冲刷带走的现象,主要发生在堤防内部结构不稳定的非黏性土砂砾石层中。流土是指在向上的渗流作用下,局部土体表面隆起、浮动或某一颗粒群同时起动而流失的现象^[3],既可以发生在黏性土中,也可以发生在非黏性土中。接触冲刷是指渗流通过 2 种不同土层的接触面流动时,沿层面带走细颗粒的现象。接触流失是指渗流垂直于渗透系数相差较大的两相邻土层的接触面流动时,将渗透系数较小的细粒层中的细颗粒带入渗透系数较大的粗粒层的现象^[4]。

江都高水河东堤沿线共有土山洞北和人字坝 2 处堤身单薄,急需加宽堤身处理。由于这些堤段的堤身单薄(堤身断面不足),堤防背水坡会出现渗水现象,随着汛期洪水位的升高,当堤身的实际渗透坡降大于堤身土层的允许坡降时,渗透水流会将堤身透水层的细颗粒冲刷带走,可能引起堤防管涌破坏。

里运河高邮段的车逻坝背水坡在里运河高水位运行时曾出现多处渗漏点;里运河江都段共有崇湾斜路南、崇湾油码头、戚运公路北、小六堡、戚运公路南、小蔡潭南、新庄路北、王庄路北、昭关坝、宋家浅、昭关闸、江港作业区、铜材厂院内和万寿宫等

14处管潮渗漏段,部分堤段的渗漏情况经历年防渗、导渗处理有所缓解,但仍存在管潮渗漏现象;江都高水河共有江都老船厂段、原刘庄小桥北段、谈庄洞南和邵伯临镇大王庙段背水坡等4处管潮渗漏段。管潮渗漏是指运河高水位运行时堤防背水坡渗水的现象,可能造成堤坡冲刷和堤身漏洞等险情,容易引起堤防渗透破坏。

里运河高邮段沿线有多处堤后深塘和鱼塘,严重侵蚀堤防土体,且堤防两侧水位差很大,导致堤防渗漏严重;里运河江都段共有来圣庵、小六堡、小蔡潭、荷花塘、昭关坝和宋家浅等6处堤后深塘,这些深塘大都是人工养殖的鱼塘,对堤脚的侵蚀不容小视;江都高水河共有黑鱼塘、南塘和人字头坝等3处堤后深塘,加之这些堤段堤身质量较差,渗漏情况严重。这些堤段的堤后深塘使得堤基长时间浸水,导致堤基及其附近土壤变得潮湿松软且透水性强,渗漏严重,容易引起渗透破坏。随着汛期洪水位的升高,当堤基的实际渗透坡降大于堤基土层的允许坡降时,渗透水流会将堤基透水层的细颗粒冲刷带走,引起堤防管涌破坏。同时,堤后深塘堤段的堤防两侧水位差较大,在渗透动水压力的作用下,使得堤脚局部土体浮动流失,引起堤防流土破坏。

通过上述对里运河东堤渗透破坏机理的分析可知,堤防工程渗透破坏的内部因素主要与堤身断面形式、堤身和堤基的材料及力学特性,如堤防填筑材料的级配、密实度以及土层的渗透特性等条件有关。除此之外,洪水期间波浪对堤防迎水面强烈的冲击作用和对堤基产生的淘刷作用等外部因素也是引起堤防渗透破坏的原因。

3.1.3 失稳破坏

失稳破坏属于结构破坏,也是堤防工程中常见的破坏形式。失稳破坏是指堤防由于局部岸坡土体的滑动或崩塌而造成的堤防破坏,可分为滑坡和崩岸2种表现形式,通常发生在暴雨、长期降雨以及退水期。滑坡是指堤防岸坡局部土体受浸水、渗流、地震等因素影响,在重力作用下沿一定的软弱面或者软弱带,整体地或者分散地顺坡向下滑动的现象,可分为临水面滑坡和背水面滑坡^[5]。崩岸是指堤防岸坡受河流冲刷、裂缝等因素影响,在重力作用下上部土体失去稳定沿岸坡产生崩落、崩塌的现象。

里运河高邮段共有邵家沟至头闸段和清水潭段2处堤基深淤,堤基淤土最深处达30.8m,堤身

不稳定存在安全隐患;里运河江都段共有东堤小六堡塘北、蔡家潭、宋家浅和淤溪河口等4处堤基深淤,最大淤深23.8m,最小7.5m。这些堤段堤基深淤中的淤泥属于软土,具有含水量大、压缩性高、抗剪强度和承载力低的特点,在堤身自重和堤顶动荷载的作用下,易使堤防产生不均匀沉降变形,严重时可能导致堤身下陷和裂缝,在汛期暴雨的影响下,雨水充满裂缝并沿裂缝渗入堤身内部,使得堤防土体强度降低,引起堤防失稳破坏^[6]。堤基淤泥层性质软弱、强度低且抗冲性差,堤防临水面的堤基深淤在河流冲刷和高水位时水压力的作用下,易使淤泥层受到水流侵蚀并产生侧向挤压流动,堤防岸坡的上部土体前缘临空失去稳定,引起堤防失稳破坏。

里运河高邮段东堤界首段迎水面块石护坡出现多处浪窝、浪洞(单个面积约为10~20m²左右),高邮船闸以北的东堤浆砌石护坡由于船行波和河水冲刷导致护坡淘刷损坏严重;里运河江都段共有东堤露筋渡口、联盟庄码头、王庄段、邵伯临镇段等4处护坡损坏,也是由于靠船及河水冲刷造成护坡损坏。船行波和河水风浪的冲击淘刷作用使得堤防护坡不断受到侵蚀损坏,易造成护坡塌陷,引起堤防失稳破坏。

通过上述对里运河东堤失稳破坏机理的分析可知,堤防工程失稳破坏的内部因素主要与堤防岸坡条件有关,如堤防土体的组成、土体的物理力学性质、土层的渗透特性等。除此之外,高水位作用、暴雨、船行波和河流冲刷等外部因素也是引起堤防失稳破坏的原因。

3.2 水闸险情原因分析

3.2.1 渗漏破坏

渗漏破坏有2种情况,一是通过水闸基础的闸下渗漏,二是通过水闸与堤防边坡连接处的绕闸渗漏。水闸的渗漏破坏主要是由于地基本身存在安全隐患以及水闸的防渗排水设施失效等因素造成的。里运河部分水闸存在闸门底漏水的问题,长期渗漏会引起闸基和堤防边坡土体的渗透变形,甚至导致闸室倾斜和倒塌,严重威胁水闸的安全。

3.2.2 冲刷破坏

冲刷破坏是水闸破坏中常见的破坏形式,包括对闸基、闸室底板、翼墙、护坦等部位的冲刷。冲刷破坏主要是由于闸基软弱、水流流速过大、产生波状水跃等自然和人为因素造成的。水流冲刷会导致水闸各组成结构的剥蚀、磨损和毁坏,是里运河

部分水闸存在翼墙块石脱落问题的原因。

3.2.3 裂缝破坏

裂缝破坏可分为温度裂缝和沉降裂缝^[7]。温度裂缝主要是由于温降时混凝土的温度应力过大,是里运河部分水闸存在混凝土胀裂问题的原因;沉降裂缝主要是由于闸基的不均匀沉降引起的。需要注意的是,裂缝往往会引起水闸其他形式的破坏,并形成恶性循环,对水闸的安全造成严重危害。

3.3 穿堤涵洞险情原因分析

根据有关涵洞破坏的现场调查资料和历史文献资料分析,穿堤涵洞的失效模式主要为渗漏破坏,即由于渗漏引起的穿堤涵洞破坏。由于里运河东堤沿线部分穿堤涵洞长期运行,老化和损坏问题严重,且存在多处渗漏点,对堤防安全造成严重影响。

在施工过程中,由于施工条件的限制,穿堤涵洞周围回填土填筑质量差,洞身与堤身的接触面不密实,在上、下游水位差的作用下,造成洞身和堤身之间的接触渗漏^[8]。高水位运行时,渗水流经堤身进入涵洞及其周边孔隙,在长期渗流的作用下,易在穿堤涵洞周围形成渗漏通道,不断冲刷涵洞外壁及其周边土壤,从而导致洞身局部沉陷,产生错位裂缝,引起洞身渗漏,严重时将造成堤防渗透破坏。除此之外,里运河东堤还有多处堤段存在堤基深淤的安全隐患,其中的淤泥属于软土,具有含水量大、压缩性高、抗剪强度和承载力低的特点,在堤身自重和堤顶动荷载的作用下,易使堤防产生不均匀沉降变形,洞身挤压变形,从而导致穿堤涵洞的断裂漏水。

4 里运河东堤除险加固方案建议

通过对里运河东堤险工险段的深入调查分析,现存堤顶超高不足、堤身单薄、管涌渗漏、堤后深塘、堤基深淤、护坡损坏和沿线建筑物老化严重等安全隐患极易引起堤身溃决,给东堤沿线社会和公众安全带来极高风险。因此,作者建议对里运河东堤各险工险段应在充分论证的基础上,及时开展“提质达标”加固工作,使堤防各类建筑物质量满足现行规程规范要求,降低里运河东堤运行风险。

对堤顶不足段应加高堤防或研究增设防洪墙,堤身单薄段可考虑培厚堤身或加筑戗台,堤身渗流可采用灌浆、粘土斜墙、土工膜等综合防渗措施,堤

基渗流可采用薄防渗墙、帷幕灌浆等措施,堤防下游侧坡脚设反滤排水措施,堤后深塘应加快填塘固基,护坡损坏应进行护坡修葺,并尽可能考虑采用生态护坡。

针对部分穿堤涵洞存在的安全隐患,应分阶段尽快除险加固或拆除重建。水闸闸基的加固可采用改性灌浆水泥灌浆处理,绕闸渗漏应加深和加长防渗齿墙、灌浆处理以及构筑垂直防渗,水流冲刷导致的翼墙块石脱落可用混凝土材料修复,水闸裂缝可采取砂浆黏补和喷浆修补等措施。

5 结论

根据里运河东堤的现场调研资料,对其主要险工险段进行归纳分析可知,里运河东堤目前普遍存在堤防超高不足、管涌渗漏、堤后深塘、堤基深淤、护坡损坏和沿线建筑物老化严重等安全隐患。土堤险情主要由于漫堤破坏、渗透破坏和失稳破坏,水闸险情主要由于渗漏破坏、冲刷破坏和裂缝破坏,穿堤涵洞险情主要由于渗漏破坏。结合里运河东堤实际存在的安全隐患,分析东堤各建筑物出现险情的原因,从而揭示土堤、水闸和穿堤涵洞可能的失效路径和破坏模式,针对里运河东堤险工险段的安全隐患提出相应的除险加固方案建议。

参考文献:

- [1] 邢万波. 堤防工程风险分析理论和实践研究[D]. 南京:河海大学, 2006.
- [2] 曹云. 堤防工程风险因子分析和风险计算模型研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2006, 4(4):14-17+48.
- [3] 赵二峰, 等. 黄河下游堤防失事模式及识别方法[J]. 人民黄河, 2014(11):36-38.
- [4] 陈红. 堤防工程安全评价方法研究[D]. 南京:河海大学, 2004.
- [5] 李舒瑶, 王俊. 黄河下游堤防安全评价系统分析[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2007, 37(5):538-540.
- [6] 丁丽. 堤防工程风险评价方法研究[D]. 南京:河海大学, 2006.
- [7] 张丽明. 水闸破坏形式与除险加固措施的研究[J]. 水利科技, 2001(2):25-28.
- [8] 郑惠成. 浅议穿堤涵洞渗透破坏及其防治[J]. 江苏水利, 2001(7):18.