

里运河东堤典型交叉建筑物安全评价

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. 扬州水利局, 江苏 扬州 225000)

摘要:里运河东堤位于南水北调东线,东堤沿线穿堤涵闸数量多且年久老化,存在严重安全隐患。针对上述问题,为检验交叉建筑物的安全性并且确保里运河东堤运行管理安全和沿线公众生命财产安全,选取里运河东堤高邮段的车逻闸为典型交叉建筑物,根据水闸安全评价导则,在现状调查和安全监测的基础上,对车逻闸进行安全复核计算。计算内容包括防洪标准复核计算、渗流复核计算、稳定复核计算以及消能复核计算4个方面,并结合上述各项安全复核计算结果分别进行安全性分级,最终确定水闸安全类别。

关键词:里运河;堤防工程;交叉建筑物;水闸;安全评价

中图分类号:TV871

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)02-0061-06

Safety evaluation of typical crossing structures along the East Levee of 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: The East Levee of Li Canal is located in the Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project. There are many culverts and sluices crossing the levee along East Levee, which are aging and have serious security risks. In view of the above problems, in order to test the safety of the crossing structures and ensure the safety of the operation and management of the East Levee and the safety of public life and property along the levee, the Cheluo sluice of Gaoyou Section was selected as a typical crossing structure. According to the Guidelines for sluice safety evaluation, the safety check calculation of the Cheluo sluice was carried out on the basis of the current situation investigation and safety monitoring. The calculation included four aspects: flood control standard check calculation, seepage check calculation, stability check calculation and energy dissipation check calculation. Combining with the above safety check calculation results, the safety classification was carried out, and finally the safety category of sluice was determined.

Key words: Li Canal; levee project; crossing structure; sluice; safety evaluation

我国地域辽阔,江河湖泊情况复杂,部分区域
洪涝灾害频繁,对周边地区 and 人民造成非常严重的

损失和影响。堤防工程作为我国防洪工程体系的重要
组成部分,是指沿河、渠、湖、海岸或行洪区、分

收稿日期:2019-03-15

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, 51609149),中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(Y717012, Y717013, Y718001)。

作者简介:戴永琪(1996—),女,硕士研究生,主要从事水工结构数值模拟与安全评价方面研究。

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

洪区、围垦区的边缘修筑的挡水建筑物^[1],能够有效地抵御洪水的侵袭,是我国国民经济的重要水利基础设施。但是,由于我国的堤防工程历史悠久,现有的堤防大多是在民埝或者旧堤基础上加高培厚从而逐渐形成的,没有经过专业的地质勘探和地基处理,也没有严格控制设计标准和施工填筑质量,并且在长期运行过程中历经多次加固、抢险和生物破坏,堤身和堤基的情况非常复杂,存在诸多安全隐患,严重威胁堤防工程的安全^[2]。

里运河位于南水北调东线江苏省内,其沿线的江都、高邮段东堤全长 74.4 km,为国家一级堤防,防洪标准为 100 年一遇。里运河东堤沿线现存的水清潭、车逻坝、小蔡潭等 13 处险工险段不仅普遍存在不良地质条件段、穿堤涵闸多、多次加固堤段资料不详等工程问题,更具有位于南水北调东线输水主干线、部分沿线建筑为文物保护单位等工程特殊性。因此,针对上述问题开展的里运河东堤典型交叉建筑物安全评价研究,为里运河堤防工程的设计加固工作提供依据,对确保南水北调东线工程运行调度与沿线公众生命财产安全具有重要的实际意义和实践价值。

1 工程概况

车逻闸位于车逻镇南约 500 m 处,是里运河东堤沿线的典型交叉建筑物^[3],主要作用是引水灌溉。车逻闸为单孔水闸,底板高程 4.0 m,闸顶高程 10.1 m,闸身长 19.29 m,闸孔净宽 4 m,净高 3.5 m,胸墙底高程 8 m,下游消力池底高程 3.84 m,最大泄水流量 15.6 m³/s,配有 8 t 手电两用螺杆式启闭机一台。根据规范可知,车逻闸工程为 2 级水工建筑物;车逻闸所处场地地震动峰值加速度为 0.10 g,相应的地震基本烈度为 7 度。车逻闸工程复核计算水位组合见表 1。

2 地质条件

车逻闸工程所在地区土层情况自上而下分述如下:

第①层,素填土,层底高程 5.36 m,层厚 6.10 m,比贯入阻力 2.67 MPa。

第②层,淤泥质黏土,层底高程 4.06 m,层厚 1.30 m,比贯入阻力 0.46 MPa,承载力 30 kPa。

第③层,黏土,层底高程 3.06 m,层厚 1.00 m,比贯入阻力 2.14 MPa,承载力 130 kPa。

第④层,黏土,层底高程 2.36 m,层厚 0.7 m,比

表 1 车逻闸工程复核计算水位组合表

计算情况	大运河水位/ m	干渠水位/ m	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
稳定 计算	设计期	7.0	5.6
	校核期	8.46	5.5
	地震期	7.0	5.0
	消能	7.5	5.5
	孔径复核	6.5	5.0

贯入阻力 2.11 MPa,承载力 160 kPa。

第⑤层,黏土,层底高程 1.36 m,层厚 1.00 m,比贯入阻力 1.88 MPa,承载力 130 kPa。

第⑥层,黏土,层底高程 -0.14 m,层厚 1.50 m,比贯入阻力 2.14 MPa,承载力 160 kPa。

第⑦层,黏土,层底高程 -1.34 m,层厚 1.20 m,比贯入阻力 2.01 MPa,承载力 150 kPa。

3 安全复核计算

3.1 防洪标准复核计算

3.1.1 闸顶高程复核计算

根据《水闸设计规范》SL 265—2016^[4],防洪高程应按式复核:

闸顶高程 ≥ 设计防洪水位 + 浪高 + 波浪中心线至静水面距离 + 安全超高;

闸顶高程 ≥ 校核防洪水位 + 浪高 + 波浪中心线至静水面距离 + 安全超高。

浪高和波浪中心至静水面高度的计算,风速根据《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004^[5]可以查得,基本组合时计算风速为 25.6 m/s,特殊组合时计算风速为 17.07 m/s。

由于水闸的级别为 2 级,故对应的波列累积频率取 2%。

用下式计算浪高及波浪中心线至静水面距离:

$$\frac{gh_m}{v_0^2} = 0.13 \tanh \left[0.7 \left(\frac{gH_m}{v_0^2} \right)^{0.7} \right]$$

$$\tanh \left\{ \frac{0.0018 \left(\frac{gD}{v_0^2} \right)^{0.45}}{0.13 \tanh \left[0.7 \left(\frac{gH_m}{v_0^2} \right)^{0.7} \right]} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{gT_m}{v_0} = 13.9 \left(\frac{gh_m}{v_0^2} \right)^{0.5}$$

$$L_m = \frac{gT_m^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi H}{L_m} \tag{2}$$

$$h_z = \frac{\pi h_{2\%}^2}{L_m} \coth \frac{2\pi H}{L_m} \tag{3}$$

各工况闸墩高程计算结果见表 2。

表 2 闸墩高程计算结果 单位:m

计算工况		水位	浪高	波浪中心至静水面距离	安全超高	闸墩顶高程
稳定计算	设计	7.0	0.254	0.044	0.5	7.798
	校核	8.46	0.190	0.033	0.4	9.083
	地震	7.0	0.163	0.028	0.4	7.591

由表 2 可知,闸墩顶高程计算最大高程为 9.083 m,实际高程为 10.10 m,符合设计要求,评定为 A 级。

3.1.2 过流能力复核

车逻闸过流能力复核的水位见表 3。

表 3 车逻闸过流能力复核计算水位流量

计算工况	水位		设计过闸流量/ (m³·s⁻¹)
	大运河水位/m	干渠水位/m	
孔径复核	6.5	5.0	15.6

过流能力计算方法如下:

$$Q = B_0 \sigma \varepsilon m \sqrt{2gH_0^3} \tag{4}$$

车逻闸工程过流能力计算结果见表 4。

表 4 车逻闸工程过流能力计算成果

类别	水位		流量	
计算工况	大运河水位/	干渠水位/	设计流量/	计算流量/
	m	m	(m³·s⁻¹)	(m³·s⁻¹)
孔径复核	6.5	5.0	15.6	38.04

由表 4 可知,车逻闸设计流量为 15.6 m³/s,计算流量为 38.04 m³/s,该闸过流能力满足要求。

3.2 渗流复核计算

3.2.1 水位组合

车逻闸渗流复核计算水位组合见表 5。

3.2.2 验算防渗长度

闸基地下轮廓布置如图 1 所示。该闸室闸基持力层为黏土,根据规范允许渗径系数取为 3~2。

表 5 车逻闸渗流复核计算水位组合 单位:m

计算情况	大运河水位	干渠水位
设计期	7.0	5.6
校核期	8.46	5.5
地震期	7.0	5.0

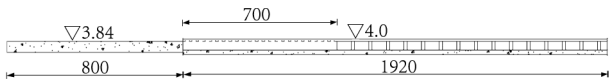


图 1 闸室闸基地下轮廓布置示意图
(单位:高程 m;长度 mm)

运行情况其实际长度:

$$L_{实} = 28.55\text{m}$$

$$\Delta H = 3.6\text{m}$$

$$C = L_{实} / \Delta H = 28.55 / 3.6 = 7.93 > 3 \sim 2$$

故闸室闸基防渗长度满足要求。

3.2.3 闸室渗流计算

根据闸室地下轮廓的特点,采用改进阻力系数法计算,由图 1 可得到地下轮廓简化和分段,具体布置如图 2 所示。

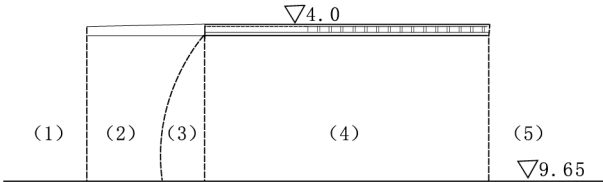


图 2 闸室设计工况地下轮廓简化和分段布置图(单位:高程 m)

(1) 计算地基有效深度

$$L_0 = 27.29\text{m}$$

$$S_0 = 0.7\text{m}$$

$$L_0 / S_0 = 38.99 > 5$$

$$T_e = 0.5L_0 = 0.5 \times 27.29 = 13.65\text{m}$$

闸基土质均匀,闸基渗流的影响范围以有效深度 T_e 控制。

(2) 计算各典型段的阻力系数

进出口段:

$$\xi_0 = 1.5 \left(\frac{S}{T} \right)^{3/2} + 0.441 \tag{5}$$

内部垂直段:

$$\xi_y = \frac{2}{\pi} L_n \text{ctg} \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{S}{T} \right) \tag{6}$$

水平段:

$$\xi_x = \frac{L - 0.7(S_1 + S_2)}{T} \tag{7}$$

表 8 进出口修正及相应典型段渗压水头损失调整计算

单位:m

渗压水头损失		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
设计期	修正前	0.210	0.284	0.002	0.692	0.212
	修正后	0.210	0.284	0.005	0.794	0.106
校核期	修正前	0.449	0.609	0.005	1.482	0.455
	修正后	0.449	0.609	0.010	1.699	0.228
地震期	修正前	0.299	0.406	0.003	0.988	0.303
	修正后	0.299	0.406	0.007	1.133	0.152

表 9 各角隅点渗透水头

单位:m

计算情况	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
设计期	1.400	1.190	0.906	0.901	0.106	0.000
校核期	2.960	2.551	1.942	1.932	0.228	0.000
地震期	2.000	1.701	1.295	1.288	0.152	0.000

表 10 稳定计算水位组合

单位:m

计算情况	大运河水位	干渠水位
设计期	7.0	5.6
校核期	8.46	5.5
地震期	7.0	5.0

式中: p_{\min}^{\max} 为闸身基础底面应力的最大值或最小值; ΣM 为作用于闸身的全部竖向和水平荷载对于基础底面垂直水流向的形心轴的力矩; W 为闸身基础底面对于该底面垂直水流向的形心轴的截面矩; A 为闸底板底面与地基接触面积。

3.3.3 计算结果

根据以上方法,在各计算工况下该工程的闸室抗滑稳定安全系数、地基应力及其地基应力不均匀系数的计算成果见表 11。

由表 11 可知,在各种计算工况下,闸室抗滑稳定安全系数、不均匀系数均满足规范要求,评定为 A 级;车逻闸基底为黏土,地基允许承载力 130 kPa,闸室基底应力的最大值为 56.96 kPa,小于基底土的允许承载力值 130 kPa,故地基承载力满足要求,评定为 A 级。

3.4 消能复核计算

3.4.1 消能复核计算水位组合

车逻闸消能复核计算水位组合见表 12。

3.4.2 消力池深度复核

闸下收缩水深计算方程:

$$h_c^3 - T_0 h_c^2 + \frac{\alpha q^2}{2g\varphi^2} = 0 \tag{14}$$

h_c 对应的跃后水深:

$$h_c' = \frac{h_c}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \frac{\alpha q^2}{g h_c^3}} - 1 \right) \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0.25} \tag{15}$$

出池落差:

$$\Delta Z = \frac{\alpha q^2}{2g} \left(\frac{1}{\varphi^2 h_s'^2} - \frac{1}{h_c'^2} \right) \tag{16}$$

消力池池深:

$$d = \sigma_0 h_c' - h_s' - \Delta Z \tag{17}$$

消力池深度计算成果见表 13 所示。

由表 13 可知,消力池在计算中池深为 0.71 m,而实际工程中消力池深度为 0.16 m,不满足要求。

3.4.3 消力池长度复核

消力池池长:

$$L_{sj} = L_s + \beta L_j \tag{18}$$

$$L_j = 6.9(h_c' - h_c) \tag{19}$$

由表 13 计算得, $h_c = 0.49\text{m}$, $h_c' = 2.35\text{m}$ 。

$L_j = 6.9 \times (2.35 - 0.49) = 12.834\text{m}$,故消力池

表 11 稳定复核计算成果

计算情况		地基应力/kPa			不均匀系数		抗滑稳定系数	
		p_{\max}	p_{\min}	p	η	$[\eta]$	K_c	$[K_c]$
稳定计算	设计期	56.96	56.90	52.03	1.00	2.00	4.95	1.30
	校核期	57.33	51.87	54.60	1.11	2.00	2.43	1.15
	地震期	58.87	53.30	53.30	1.10	2.50	2.70	1.05

表 12 工程消能复核计算水位组合

计算工况	水位		流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
	大运河水位/m	干渠水位/m	
消能	7.5	5.5	15.6 m^3/s

表 13 消力池深度计算结果

H_0/m	T_0/m	$q/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	φ	h_s'/m	h_c/m	h_c'/m	$\Delta Z/\text{m}$	d/m
3.6	4.31	4	0.95	1.5	0.49	2.35	0.25	0.71

全长为: $L=13.98\text{m}$ 。实际消力池全长为 22.5 m,故满足要求。

3.4.4 消力池底板厚度复核

消力池底板厚度(抗冲)计算式为

$$t_1 = k_1 \sqrt{q} \sqrt{\Delta H} \tag{20}$$

消力池底板计算结果见表 14。

表 14 消力池底板计算结果

$q/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$\Delta H/\text{m}$	t_1/m
4.0	2.0	0.50

由表 14 可知,消力池底板厚度不得低于 0.5 m,实际消力池厚度 0.54 m,满足抗冲要求。

3.4.5 海漫长度复核

海漫长度复核计算式为:

$$L_p = k_s \sqrt{q} \sqrt{\Delta H}$$

海漫长度计算结果见表 15。

表 15 海漫长度计算结果

k_s	$q/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$\Delta H/\text{m}$	L_p/m
10	0.48	2.0	8.24

由表 15 可知,海漫计算长度为 8.24 m,实际海漫长度 10 m,满足要求。

综上可知,车逻闸消力池长度、底板厚度和海漫长度满足要求,但消力池深度不满足要求。按照

《水闸安全评价导则》SL 214—2015^[6],该工程消能防冲设施不满足标准要求,故消能防冲安全评定为 C 级。

4 结 论

根据上述车逻闸防洪标准、渗流、稳定和消能复核计算结果,经综合分析评价,车逻闸工程运用指标无法达到设计标准,工程存在安全隐患。按照《水闸安全评价导则》SL 214—2015,虽然车逻闸防洪标准和渗流安全性都评定为 A 级,但是由于结构安全性评定为 C 级,故车逻闸综合评价为四类闸。

参考文献:

[1] 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.

[2] 赵二峰, 何晓洁, 黄浩. 黄河下游堤防失事模式及识别方法[J]. 人民黄河, 2014(11):36-38.

[3] 中华人民共和国水利部. SL/Z 679—2015 堤防工程安全评价导则[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2015.

[4] 中华人民共和国水利部. SL 265—2016 水闸设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.

[5] 中华人民共和国交通部. JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2004.

[6] 中华人民共和国水利部. SL 214—2015 水闸安全评价导则[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2015.