

在役船闸工程安全性分析研究

——以广东省架桥石枢纽工程为例

梁照清

(湖南省中源航务工程有限责任公司, 湖南 长沙 410008)

摘要: 在役的水工建筑物长期受到内外因素的影响, 建筑物的形态及内部结构等受到一定的影响, 故应对水工建筑物定期开展安全性检测及评价, 以指导工程的除险加固。结合广东省架桥石枢纽工程实例, 开展船闸的安全性评价, 对上闸首、闸室及下闸首的渗流和结构安全进行了系统地分析研究, 通过现场检测以及比照相关规范将架桥石枢纽船闸安全性评价为四类闸, 并给出了相应的船闸安全改进措施及建议, 可为今后船闸安全性评价分析提供了参考依据。

关键词: 安全评价; 船闸; 渗流安全; 结构安全; 安全复核

中图分类号: U641

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0034—03

1 工程概况

1.1 枢纽简介

架桥石枢纽是连江渠化工程的第十一梯级, 距上一梯级枢纽 16.4km, 与下一梯级枢纽相距 14.0km, 上游流域面积为 8109km², 航道等级为 VI 级。船闸等级为 100t 级, 布置在坝址右岸, 下闸首与泄水闸平齐, 闸室、上闸首等整条船闸布置在坝上游。闸室有效尺寸为 180m × 11.6m × 1.5m (长 × 口门宽 × 门槛水深)。上闸首采用钢筋砼筏式基础, 边墩为分离重力式结构, 浆砌石砌筑, 砼预制块件砌面。闸室地基为灰岩, 左、右闸墙各采用一排固结灌浆进行地基处理。下闸首结构与上闸首大致相同。船闸上、下游引航道布置为反对称式, 上下游引航道分别向河岸及河中一侧扩宽。

1.2 主要现状

船闸等水工结构物运行到一定年限后, 为确保建筑物的安全运行, 需要对建筑物进行安全鉴定和评估^[1,2]。架桥石枢纽已运转 60 年左右, 经过多次大修以及岁修后, 目前仅能勉强维持通航。期间多处出现岩溶或经受特大洪水而出现险情, 并对航运枢纽实施了改建、抢险和加固工程。但仍长期带病运转, 形成恶性循环, 随时可能突发险情, 危及到建筑物及流域内人民的生命财产安全。因此, 根据收集的资料、现场调查分析报告及安全检测等情况, 分析架桥石枢纽船闸现状主要存在闸室渗流与结构稳定性等安全问题, 从而确定船闸结构的功能指标和可靠性等级^[3,4]。具体如下:

(1) 河床右侧有一条较大的断裂带穿过船闸下闸首。底板下曾出现较大溶洞, 虽经抢险加固处理, 但处理措施均为隐蔽工程, 实际效果很难确定; 目前下游仍有漏水现象, 说明下闸首地基内仍有渗漏通道, 影响船闸泄水及渗流安全。

(2) 根据现场检测结果, 船闸周围普遍存在开裂、

渗水等质量问题, 虽经后期抢险加固处理, 但基本结构并未改变, 未根本解除长期运行以来的地质缺陷以及砂浆松散等问题, 影响结构安全。船闸下闸首曾采取过换填、注浆方式充填溶洞, 采取帷幕灌浆方式减小渗透压力, 但实际效果难以确定; 同时本次安全检测在下闸首附近发现溶洞, 结构稳定性须特别关注。

(3) 船闸相关金属结构外观质量一般, 部分构件涂层脱落, 部分构件有轻微变形和局部锈蚀; 侧封和底封普遍老化、存漏水现象。

基于上述船闸现状的分析, 本文对船闸的结构安全以及渗流安全进行安全性分析, 以期对船闸的安全进行全面、准确的评价, 为后续开展船闸的除险加固工程以及船闸的运行提供参考依据^[5,6]。

2 船闸安全性分析

2.1 渗流安全

根据收集的资料, 选取最不利的船闸断面进行渗流安全分析, 土基上结构渗流稳定计算其土质渗透坡降的大小; 岩基上只考虑渗透压力对结构稳定性的影响, 不单独计算渗透坡降。因此, 本文枢纽渗流安全计算主要为船闸下闸首渗流坡降。根据现行的船闸设计规范, 对船闸下闸首渗流稳定可能出现的最不利水位情况进行组合: 正常运行工况: 上游为正常挡水位 (33.10m) + 雍水 (0.3m), 下游为下一梯级正常挡水位 (28.00m), 即上游水位 33.40m, 下游 28.00m, 水头 5.4m。依据《水闸设计规范》^[7] 及《船闸水工建筑物设计规范》^[8], 其水平段允许渗流坡降值为 0.28, 出口段允许渗流坡降值为 0.55。采用改进阻力系数法复核其水平段与出口段渗流坡降是否满足要求。参照《水闸设计规范》(SL265—2001) 附录 C.2 的公式, 将地下轮廓线分段, 通过计算各段的阻力系数, 以求得各分段的渗透要素。架桥石枢纽渗流稳定性计算结果见下表:

表1 渗流稳定性计算结果表

	水位组合	水平段允许渗透坡降	出口段允许渗透坡降	计算渗流坡降	
		砂卵石		水平段	出口段
下闸首	正常挡水	0.28	0.55	0.06	0.37
	是否满足规范要求			满足	满足

根据上述计算结果，架桥石枢纽船闸下闸首渗流稳定性满足要求。但枢纽结构充填物处于松散状态，建设期存在清基不干净的情况和帷幕灌浆的实际效果难以保证的情况，这些都影响结构渗流安全。所以船闸渗流复核评定为 B 级。

2.2 结构安全

架桥石船闸位于枢纽右侧，下闸首与坝轴线齐平，上闸首与闸室处于上游库区内。其中，本文主要计算上闸首、下闸首以及闸室的抗滑、抗倾、抗浮稳定性以及基底应力。根据《船闸水工建筑物设计规范》(JTJ 307-2001) 的有关规定，并参考水利、公路规范的相关规定，对船闸可能出现的最不利水位情况(表 2)进行组合。最终计算结果如表 3 和表 4 所示。

表 2 船闸上闸首计算水位组合表 (m)

工况	上游	下游	
	基本组合	33.70	31.37
正常挡水	33.10	28.00	
特殊组合 I	检修	33.10	25.00

根据计算结果可知，建筑材料在长期的自然环境和环境的作用使用下，逐渐松散，对结构的稳定性产生影响，所以上闸首结构安全复核分级为 B 级。架桥石枢纽下闸首最大应力小于允许地基承载力，基底出现较小的拉应力，强度满足要求，沉降不大；而根据现场安全检测，下闸首还有漏水现象，存质量缺陷；同时以前的溶洞处理措施为隐蔽工程，实际的效果难以确定，结构存在安全隐患，所以下闸首结构安全复核分级为 B 级。从船闸闸室计算结果可见，闸墙地基出现拉应力较小，闸墙出现裂缝，所以闸室结构安全复核评定为 B 级。

3 安全复核评价结论及建议

3.1 安全复核评价结论

架桥石枢纽防洪标准不满足要求；挡水线上的下闸首渗流稳定性满足要求；船闸上闸首、下闸首、闸室结构稳定性满足要求，闸墙地基出现的拉应力较小。最终，根据表 5 各主要结构安全复核结果，船闸结构安全复核评定等级为 B 级。

3.2 建议

(1) 分期分批报废重建；依据《水闸安全评价导则》(SL 214-2015) 的相关要求，建议枢纽分期分批报废

表 3 闸首复核计算结果

部位	工况	稳定性				基底应力 (kpa)		
		K_c	顺水流 K_0	垂直水流 K_0	K_f	σ_{max}	σ_{min}	
上闸首	基本组合	高水运行	2.31	6.36	9.78	1.80	77.37	31.41
		正常挡水	1.83	5.60	8.97	1.81	72.28	28.20
		控制系数	1.05	1.4	1.4	1.05	2000	—
	特殊组合	检修	1.1	4.23	5.62	1.50	59.20	3.31
		控制系数	1.0	1.3	1.3	1.05	2000	—
	分级		A	A	A	A	A	
下闸首	基本组合	高水运行	4.61	15.35	10.50	1.93	102.38	53.87
		正常挡水	2.97	3.35	4.50	2.96	149.77	46.96
		控制系数	1.05	1.4	1.4	1.05	2000	—
	特殊组合	检修	6.01	4.45	4.41	5.43	141.69	70.64
		控制系数	1.0	1.3	1.3	1.05	2000	—
	分级		A	A	A	A	A	

表 4 船闸闸室复核计算结果

部位	工况	稳定性			基底应力 (kPa)		
		K_c	K_0	K_f	σ_{max}	σ_{min}	
外闸墙	基本组合	运行	1.73	1.49	3.89	456.60	-164.70
		控制系数	1.05	1.4	1.4	2000	—
	特殊组合	检修	1.69	1.47	5.17	486.70	-169.80
		控制系数	1.0	1.3	1.3	2000	—
内闸墙	基本组合	运行	1.47	1.75	5.37	425.30	-71.40
		控制系数	1.05	1.4	1.4	2000	—
	特殊组合	检修	1.54	1.71	7.76	452.70	-73.90
		控制系数	1.0	1.3	1.3	2000	—
分级		A	A	A	A		

港口危险货物集装箱火灾风险辨识与事故树分析

张佳斌, 褚冠全

(交通运输部水运科学研究院安全与应急技术研究中心, 北京 100088)

摘要: 本文针对港口危险货物集装箱火灾风险, 分析了导致可燃物与空气混合的风险因素和会形成点火源的风险因素。以风险因素辨识为前提编制港口危险货物集装箱火灾事故树, 得到导致事故发生的基本事件及各基本事件的结构重要度, 提出预防港口危险货物集装箱火灾事故的措施。

关键词: 危险货物集装箱; 火灾; 风险辨识; 事故树

中图分类号: X951 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0036—04

我国港口危险货物集装箱堆场主要分布于上海、深圳、宁波、青岛、广州、天津、大连、厦门、太仓等沿海和长江港口的集装箱码头附近区域, 《危险货物分类和品名编号》(GB6944-2012) 将危险货物分为爆炸品等九大类, 按照现行做法, 我国港口同一危险货物集装箱堆场可能同时堆存除第 7 类放射性物质之外的其他 8 个类别危险货物的集装箱。一旦发生火灾, 由于各种复杂因素交织, 可能造成严重损失。

事故树分析 (Fault Tree Analysis, 简称 FTA), 是通过各种符号和其连接的逻辑门组成, 用于分析导致固定事件发生的基本事件的一种方法。事故树分析以系统所不希望发生的事件作为分析的目标, 逐层追溯可能的原因, 通过逻辑门进行连接, 直到原因事件不可再细分为止, 从而确定“基本事件”。初步建立的事故树, 可以通过布尔代数规则进行简化, 得到最小割集与最小径集, 即导致顶上事件发生的基本事件的组合和保证顶上事件不发生的事件的组合, 最后可计算出各基本事件对顶上事件的影响力度的

相对结构重要度系数, 对各基本事件的结构重要度进行排序, 为制定管理措施提供依据。

事故树分析法作为一个比较成熟的技术, 有很多的应用。在火灾爆炸研究方面, 文献 [1~3] 分别使用事故树研究法从定性分析和定量计算等方面针对丙烯、储油罐以及油库等不同的对象的火灾爆炸风险进行分析, 得出基本事件的结构重要度, 从而提出管理建议和措施; 文献 [4] 运用事故树分析法对高纯液氨罐式集装箱泄漏进行了分析, 找出影响泄漏的各基本事件并计算结构重要度, 提出响应的对策措施; 文献 [5] 采用事故树分析法针对 4.2 类易自然物质集装箱发生火灾事故的风险进行分析, 得出系统的薄弱环节预测和安全对策改进措施。

港口危险货物集装箱安全管理方面的研究有很多成果, 文献 [6] 通过分析集装箱化危险品船载运典型事故案例, 构建事故树并计算, 得到风险至因关键因子及各因子重要度; 文献 [7] 选取某危险货物集装箱堆场作为研究对象, 运用 CASST-QRA 软件模拟, 从而对危险货物集装箱堆场

表 5 各主要结构安全与抗震安全复核结果表

结构	复核等级	备注
船闸上闸首	B	稳定性及基地应力满足规范, 充填物松散
船闸下闸首	B	稳定性安全满足规范, 基底应力出现拉应力, 有漏水现象
船闸闸室	B	稳定性安全满足规范, 基底应力出现拉应力, 闸墙出现裂缝

重建, 可以重新设计、施工, 重新地基处理, 彻底解决防洪标准低及渗流安全问题, 从根本上消除枢纽安全隐患。综合航运、防洪、供水、发电等方面, 进行详细勘察, 重新规划选址, 解决岩溶问题, 以及解决枢纽淤积问题; 同时建设时全部采用钢筋混凝土结构, 摒弃水力自控旋倒门, 改用人工控制闸门, 扩大泄流闸孔尺度, 解决泄洪及结构安全问题。

(2) 提升航道等级; 由于 100t 级及以下船舶市场在竞争中处于劣势已逐渐退出市场。连江航道 100t 级维护标准已经偏低, 建议尽快开展前期规划研究工作, 并按 1000t 级标准进行论证, 以方便北江干流 1000t 级的船舶能通过转运进入连江航道, 提高通航效率, 加快经济发展。

参考文献:

- [1] 尤林贤, 钟惠钰, 周斌. 水闸工程安全监测系统数据分析及探讨 [J]. 水利科技与经济, 2009, (1): 29-31.
- [2] 于文蓬, 张超, 兰昊. 大型水闸工程安全检测设计研究 [J]. 水利建设与管理, 2013, (8): 50-52.
- [3] 王杭州. 船闸水工建筑物的检测评估与维修探讨 [J]. 中国水运, 2010, 10 (5): 194-197.
- [4] 陈灿明, 黄卫兰, 张敏, 等. 三河船闸闸室墙安全性评估 [J]. 水运工程, 2003(5): 54-57.
- [5] 张敏, 徐铭, 杨步松, 等. 三河船闸的安全检测与加固改造 [J]. 水运工程, 2008, 412 (2): 86-91.
- [6] 应宗权, 郁达, 苏林王. 船闸水工建筑物的检测与评估技术 [J]. 水运工程, 2011, 455 (7): 100-106.
- [7] SL 265-2001 水闸设计规范 [S].
- [8] JTJ 307-2001 船闸水工建筑物设计规范 [S].