



基于模糊层次分析法的高桩码头安全性评估

王德虎^{1,2}, 鲁子爱¹, 侯代云³

(1. 河海大学港口海岸及近海工程学院, 江苏南京 210098;

2. 中国人民解放军92689部队, 广东湛江 524000; 3. 中国人民解放军91329部队, 山东威海 264200)

摘要: 影响高桩码头安全性的因素很多。传统的高桩码头安全性评估方法主要是依靠检测结果进行定性分析, 很少对其进行准确的量化评估。为了准确分析高桩码头安全性状况, 本文参考桥梁安全性评估法进行研究, 将安全性评估分为外观检测评估和承载能力评估, 通过模糊层次分析法最终得出码头的安全等级。该方法简洁明了, 能准确反映在役高桩码头的安全性状况, 为码头管理及维修加固提供依据。

关键词: 高桩码头; 安全性评估; 模糊层次分析法

中图分类号: U 657.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)01-0076-05

Safety evaluation of high-piled wharf based on fuzzy analytic hierarchy process

WANG De-hu^{1,2}, LU Zi-ai¹, HOU Dai-yun³

(1. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. PLA 92689 Army, Zhanjiang 524000, China; 3. PLA 91329 Army, Weihai 264200, China)

Abstract: Many factors affect the safety of high-piled wharf. The traditional safety assessment method for the high-piled wharf mainly relies on the test results of the qualitative analysis, and seldom on the accurate quantitative evaluation. In order to analyze the safety conditions of high-piled wharf accurately, this paper carries out a research on the safety assessment with reference to the safety assessment method for bridges, in which the safety assessment is divided into visual inspection assessment and bearing capacity assessment. Through the fuzzy analytic hierarchy process, the safety degree of the pier is obtained. The method is concise and can reflect accurately the safety situation of the existing high-pile pier. It provides a foundation for the management, maintenance and reinforcement of wharves.

Key words: high-piled wharf; safety evaluation; fuzzy analytic hierarchy process

目前, 国内外对码头的安全性评估系统综合考虑不全面, 如何对码头进行准确的安全性评估是一个值得研究的课题^[1-4]。本文借鉴桥梁安全性评估方法^[5-8], 充分考虑影响码头安全性的因素, 采用模糊层次分析法对高桩码头进行安全评估。

1 模糊层次分析法简介

层次分析法, 即AHP法^[9], 于1970年由美国Saaty提出, 是将复杂问题系统化、层析化, 对底

层指标进行定性和定量分析。

模糊层次分析法是将层次分析法和模糊综合评价结合起来、使用层次分析法来确定指标体系中指标的权重、用模糊综合评价方法对模糊指标进行评估的方法。

本文采用该方法建立数学模型, 评估步骤如下:

- 1) 评估因素分析;
- 2) 评估指标体系建立及权重计算;

收稿日期: 2012-05-07

作者简介: 王德虎(1986—), 男, 硕士研究生, 从事码头结构设计及码头安全性评估方向的研究。

- 3) 评语集和评估因素集建立;
- 4) 评估模型的应用。

2 高桩码头安全性评估

2.1 安全性因素分析

高桩码头结构的安全性是指结构在使用期间, 能够承受正常施工、正常使用状况下出现的各种荷载、外加变形、约束变形等作用, 在偶然事件发生时和发生后, 结构能保持整体稳定性、不发生倒塌或连续破坏的能力。因此, 安全性表征了结构抵御各种作用的能力^[10]。

2.1.1 承载能力评价

采用有限元方法, 建立无损码头及损伤码头结构的有限元模型, 对损伤码头结构进行模拟, 研究码头损伤前后的内力变化, 对损伤后结构的承载能力进行评价^[11]。

2.1.2 外观检测评估

根据高桩码头结构特点及《港口水工建筑物检测和评估技术规范》^[12]规定将其分为上部结构、桩基、岸坡(基础)和附属设施4部分, 每部

分由构件组成, 因此影响码头安全性的因素, 可以从码头系统、组成部分、构件3部分考虑。

高桩码头结构安全性降低主要是由于结构长期处于恶劣环境下及超载作用, 出现了结构裂缝(受力裂缝、锈蚀裂缝、变形裂缝)、钢筋锈蚀、变形及表面缺损。变形裂缝、锈蚀裂缝、变形及表面缺损的影响最终表现在钢筋锈蚀上, 所以评价结构安全性主要考虑裂缝宽度和钢筋锈蚀^[6]。

本文外观检测评估中考虑上部结构各构件的裂缝宽度和钢筋锈蚀、岸坡的冲刷程度、桩的完整性因素及附属设施的破损情况。

2.2 评估体系建立及指标权重计算

2.2.1 评估体系建立

高桩码头安全性评估指标体系是码头安全性影响因素构成的有机整体, 是进行安全性评价的基础。本文是在对高桩码头安全性问题进行综合分析的基础上进行的评估, 通过分析高桩码头结构特点, 将码头结构安全性系统划分为目标层、准则层、指标层、一级指标层、二级指标层。高桩码头结构安全性评估指标体系如图1所示。



图1 高桩码头结构安全性评估指标体系

2.2.2 指标权重计算

通过邀请专家和结合已有研究成果对评价指标的相互重要性进行两两比较,构造模糊判断矩阵,运用Excel软件中最优权向量计算得出相应权重^[7],模糊判断矩阵及权重见表1~3,指标权重见表4。

表1 上部结构承载能力模糊判断矩阵及权重

| | 面板 | 纵梁 | 横梁 | 权重 |
|----|-------|-----------|-----------|-------|
| 面板 | [1,1] | [1/3,1/2] | [1/4,1/3] | 0.148 |
| 纵梁 | [2,3] | [1,1] | [1/3,1/2] | 0.289 |
| 横梁 | [3,4] | [2,3] | [1,1] | 0.563 |

表2 外观检测模糊判断矩阵及权重

| | 上部结构 | 下部结构 | 附属设施 | 岸坡 | 权重 |
|------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|
| 上部结构 | [1,1] | [1/2,1] | [4,5] | [3,4] | 0.385 |
| 下部结构 | [1,2] | [1,1] | [4,5] | [3,4] | 0.401 |
| 附属设施 | [1/5,1/4] | [1/5,1/4] | [1,1] | [1/4,1/3] | 0.081 |
| 岸坡 | [1/4,1/3] | [1/4,1/3] | [3,4] | [1,1] | 0.133 |

表3 上部结构外观检测模糊判断矩阵及权重

| | 靠船构件 | 面板 | 纵梁 | 横梁 | 权重 |
|------|-------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 靠船构件 | [1,1] | [1/3,1/2] | [1/4,1/3] | [1/5,1/4] | 0.093 |
| 面板 | [2,3] | [1,1] | [1/3,1/2] | [1/4,1/3] | 0.142 |
| 纵梁 | [3,4] | [2,3] | [1,1] | [1/3,1/2] | 0.302 |
| 横梁 | [4,5] | [3,4] | [2,3] | [1,1] | 0.463 |

表4 指标权重

| 目标层 | 准则层 | 权重 | 指标层 | 权重 | 一级指标层 | 权重 | 二级指标层 | 权重 |
|---------------|------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 高桩码头 结构安全性 | 承载能力 评估 | 0.75 | 上部结构 | 0.500 | 面板 | 0.148 | 承载能力 | 1 |
| | | | | | 纵梁 | 0.289 | 承载能力 | 1 |
| | | | | | 横梁 | 0.563 | 承载能力 | 1 |
| | | | 下部结构 | 0.500 | 桩 | 1 | 承载能力 | 1 |
| | | | | | 靠船构件 | 0.093 | 钢筋锈蚀 | 0.5 |
| | | | | | | | 裂缝宽度 | 0.5 |
| | 外观检测 评估 | 0.25 | 上部结构 | 0.385 | 面板 | 0.142 | 钢筋锈蚀 | 0.5 |
| | | | | | | | 裂缝宽度 | 0.5 |
| | | | | | 纵梁 | 0.302 | 钢筋锈蚀 | 0.5 |
| | | | | | | | 裂缝宽度 | 0.5 |
| | | | 下部结构 | 0.401 | 桩 | 1 | 完整程度 | 1 |
| | | | | | 橡胶护舷 | 0.500 | 破损程度 | 1 |
| | | | | | 系船柱 | 0.500 | 破损程度 | 1 |
| | | | | | 岸坡 | 0.133 | 冲刷程度 | 1 |

2.3 评语集和评估因素集建立

2.3.1 评语集建立

根据《港口水工建筑物检测和评估技术规范》规定将高桩码头安全性分为4类,相应的评语集为{A类(完好)、B类(良好)、C类(差)、D类(危险)},港口水工建筑物安全性评估等级标准见表5^[12]。

2.3.2 评估因素集建立

从评价指标体系中可以得出,高桩码头评价过程中有定量和定性因素,根据《港口水工建筑物检测和评估技术规范》中的分级标准结合已有研究成果,建立了构件承载能力、构件裂缝宽度、钢筋锈蚀、冲刷程度、桩完整性、附属设施破损程度的等级标准(表6)。

表5 港口水工建筑物安全性评估等级标准

| 等级 | 分级标准 | 加权值 | 得分 |
|----|----------------------------|------|-----------|
| A | 安全性符合国家有关标准要求,具有足够的承载能力 | 0.95 | 1.00~0.90 |
| B | 安全性略低于国家有关标准要求,尚不显著影响承载能力 | 0.85 | 0.80~0.90 |
| C | 安全性不符合国家有关标准要求,显著影响承载能力 | 0.70 | 0.60~0.80 |
| D | 安全性严重不符合国家有关标准要求,已严重影响承载能力 | 0.30 | <0.60 |

表6 分级标准

| 等级 | 构件承载能力 | 板裂缝宽度 | 梁裂缝宽度 | 钢筋锈蚀率 ρ | 基础冲刷程度 | 桩的表观评估 | 附属设施破损程度 |
|----|----------------------------|------------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|---|----------|
| A | $1.00 \leq R_d/S_d$ | 无 | 无 | $0 < \rho \leq 3\%$ | 无冲刷 | 承载能力满足规范要求 | 整体完好 |
| B | $0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$ | 局部微小锈蚀裂 缝, 裂缝宽度小 于0.3 mm | 局部微小锈蚀 裂缝, 裂缝宽 度小于0.3 mm | $4.4\% < \rho \leq 5.8\%$ | 冲刷小于设计 值, 基底冲空 面积在3%以内 | 桩基混凝土强度小于设计 值, 桩头存在缺损, 缺损面积小于10% | 小于5%破损 |
| C | $0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$ | 锈蚀裂缝较多或 成网状, 裂缝宽 度0.3~1.0 mm | 锈蚀裂缝较 多, 部分为 顺筋连续裂 缝, 裂缝宽度 0.3~3.0 mm | $7.2\% < \rho \leq 8.6\%$ | 冲刷小于或等 于设计值, 基 底冲空面积在 15%以内 | 桩基混凝土强度小于 设计值的20%, 桩头 存在缺损, 缺损面积 小于20% | 小于15%破损 |
| D | $R_d/S_d < 0.90$ | 大面积锈蚀裂缝 呈网状, 裂缝宽 度大于1.0 mm | 大面积顺筋连 续裂缝, 裂缝 宽度大于3.0 mm | $10\% < \rho$ | 冲刷大于设计 值, 基底冲空 面积在15%以上 | 桩基混凝土强度大于设计 值的20%, 桩头存在 缺损, 缺损面积大于 20% | 大于20%破损 |

2.4 评估模型的应用

由层次分析法可以得到指标权重 W , 对检测数据模糊化可以得到模糊矩阵 R , 采用模糊综合评价基本式 $V=W \circ R$, 计算结果最终确定评估等级。

3 评估实例

3.1 工程概况

本工程于2002年建成, 为高桩梁板结构, 码头长280.0 m, 宽25.0 m, 排架间距为6.6 m, 共设置43个排架, 分4个结构分段。上部结构为现浇横梁, 预制纵梁, 预制面板; 下部结构采用600 mm × 600 mm的预应力空心方桩, 桩长34.3 ~ 36.0 m。码头面设计高程为6.0 m, 前沿泥面高程为-12.3 m, 设计高水位为3.25 m, 设计低水位为-0.18 m。本文结合南京水利科学研究院检测报告采用模糊层次分析法对码头某一结构段进行安全性评估。

3.2 检测结果

面板: 预制面板板底未发现明显结构裂缝, 存在宽度0.20 mm左右裂缝, 锈蚀不明显;

横梁: 个别横梁存在结构裂缝, 裂缝宽度0.20 mm左右, 少数横梁存在混凝土局部破损、露筋等缺陷, 锈蚀不明显;

纵梁: 部分纵梁在跨中出现结构性裂缝, 裂缝宽度0.05~0.15 mm, 个别纵梁有效搁置宽度小于10 cm, 严重影响纵梁安全, 锈蚀不明显;

靠船构件: 码头少数靠船构件存在混凝土局部破损、露筋等缺陷, 其余靠船构件完好, 未发现明显缺陷;

桩: 现场检测桩身结构完整, 无缺陷;

橡胶护舷: 码头部分橡胶护舷损坏, 大部分橡胶护舷基本完好, 未发现明显缺陷或缺失;

系船柱: 码头系船柱均完好, 未见明显缺陷;

岸坡冲刷: 前沿泥面高程变化不大。

3.3 评估

将检测结果依据等级标准转化为模糊向量, 通过计算得出评估结果, 承载能力评估见表7, 外观检测评估见表8。

表7 承载能力评估

| 评估指标 | | 评估输入 | | 评估输出 | | | | |
|------|-----|-------|-------|-------|----|-----------|-------------------|-----------------------|
| 指标层 | 权重 | 一级指标层 | 权重 | 二级指标层 | 权重 | 评估结果 | 指标层 | 准则层 |
| 上部结构 | 0.5 | 面板 | 0.148 | 承载能力 | 1 | (0,1,0,0) | (0.563,0.437,0,0) | (0.781 5,0.218 5,0,0) |
| | | 纵梁 | 0.289 | 承载能力 | 1 | (0,1,0,0) | | |
| | | 横梁 | 0.563 | 承载能力 | 1 | (1,0,0,0) | | |
| 下部结构 | 0.5 | 桩 | 1 | 承载能力 | 1 | (1,0,0,0) | (1,0,0,0) | |

表8 外观检测评估

| 指标层 | 权重 | 评估指标 | | | | 评估输入 | | 评估输出 | |
|------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----------|-----------------------|------|-----------------------|
| | | 一级指标层 | 权重 | 二级指标层 | 权重 | 评估结果 | 指标层 | 准则层 | |
| 上部结构 | 0.385 | 靠船构件 | 0.093 | 钢筋锈蚀 | 0.5 | (0,1,0,0) | (0.231 5,0.768 5,0,0) | | |
| | | | | 裂缝宽度 | 0.5 | (0,1,0,0) | | | |
| | | 面板 | 0.142 | 钢筋锈蚀 | 0.5 | (0,1,0,0) | | | |
| | | | | 裂缝宽度 | 0.5 | (0,1,0,0) | | | |
| | | 纵梁 | 0.302 | 钢筋锈蚀 | 0.5 | (0,1,0,0) | | | |
| 裂缝宽度 | 0.5 | | | (0,1,0,0) | | | | | |
| 横梁 | 0.463 | 钢筋锈蚀 | 0.5 | (1,0,0,0) | | | | | |
| | | | | 裂缝宽度 | 0.5 | (0,1,0,0) | | | (0.663 6,0.336 4,0,0) |
| 下部结构 | 0.401 | 桩 | 1 | 完整程度 | 1 | (1,0,0,0) | | | (1,0,0,0) |
| 附属设施 | 0.081 | 橡胶护舷 | 0.5 | 破损程度 | 1 | (0,1,0,0) | | | (0.5,0.5,0,0) |
| | | 系船柱 | 0.5 | 破损程度 | 1 | (1,0,0,0) | | | |
| 岸坡 | 0.133 | 冲刷程度 | 1 | | | (1,0,0,0) | | | (1,0,0,0) |

依据承载能力评估和外观检测评估结果得出高桩码头结构安全性评估结果,高桩码头结构安全性评估见表9。

表9 高桩码头结构安全性评估

| 评估指标 | | 评估输入 | | 评估输出 |
|-----------|--------|------|-----------------------|-------------------|
| 目标层 | 准则层 | 权重 | 评估结果 | 目标层 |
| 高桩码头结构安全性 | 承载能力评估 | 0.75 | (0.781 5,0.218 5,0,0) | (0.752,0.248,0,0) |
| | 外观检测评估 | 0.25 | (0.663 6,0.336 4,0,0) | |

3.4 评估结果

从评估结果中可以了解码头承载能力和外观情况,码头安全性评估综合结果结合等级标准得出该码头级别为 $0.752 \times 0.95 + 0.248 \times 0.85 = 0.925$ 2,级别为A级。评价结果与专家一致,证明了采用此方法的正确性。

4 结语

1) 从影响高桩码头结构安全性因素角度进行分析,选取了影响结构安全性较大的因素进行评估,采用层次分析法建立了高桩码头结构安全性评估体系,评估结果表明体系合理;

2) 通过对已有研究成果总结建立了评估因素的分级标准;

3) 采用模糊综合法将检测结果模糊化,避免主观因素对评估的影响;

4) 借助有限元模型进行承载能力分析,对比构件无损及有损情况下承载能力变化;

5) 使用模糊层次综合法对高桩码头进行安全

性评估,将桥梁结构安全性评估的方法及有限元方法应用到了高桩码头结构安全性评估中,评估结果与实际情况相符,该方法可用于高桩码头结构的安全性评估。

参考文献:

- [1] 杨东香,陆健辉.高桩码头安全性评估[J].中国水运:下半月,2011,11(11):231-233.
- [2] 吉同元,方海东,秦网根.老旧高桩码头安全性检测评估实例分析[J].水运工程,2011(12):83-86.
- [3] 孟静,刘现鹏,王崇宇.高桩码头完好状态的模糊综合评估[J].水道港口,2009,30(5):369-375.
- [4] 马艳,赵利平,徐华.在役码头的现状、检测与评估[J].中国水运:理论版,2007,5(11):32-34.
- [5] 杨则英,曲建波,黄承逵.基于模糊综合评判和层次分析法的桥梁安全性评估[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2005,38(12):1063-1067.
- [6] 张永清,冯忠居.用层次分析法评价桥梁的安全性[J].长安大学学报:自然科学版,2001,21(3):52-56.
- [7] 罗阳青,邵旭东,胡柏学.桥梁健康评估模糊层次分析法的应用[J].湖南交通科技,2008,34(4):98-101.
- [8] 范剑锋,袁海庆,刘文龙,等.基于不确定型层次分析法的桥梁模糊综合评估[J].武汉理工大学学报,2005,27(4):54-57.
- [9] 许树伯.层次分析法[M].天津:天津大学出版社,1987:28-30.
- [10] 金伟良,钟小平.结构全寿命的耐久性与安全性、适用性的关系[J].建筑结构学报,2009,30(6):1-7.
- [11] 王能贝.某高桩码头损伤原因及承载能力研究[D].长沙:长沙理工大学,2010.
- [12] JTJ 302—2006 港口水工建筑物检测与评估技术规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)