

基于模糊物元模型的长江就便浮桥 桥节门桥方案优选

李峰, 邵飞, 王建平, 解文彬

解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007

摘要 利用民船与装配式公路钢桥结构桥节门桥架设浮桥是战时保障长江南北机动的必然选择。桥节门桥方案是一个综合指标, 包含多种技术因素和不确定性, 最优方案要从整体上架设时间、器材数量和作业强度上达到优化。在桥节门桥各方案设计计算结果基础上, 提取并建立了由节间长度、门桥长度、桁架数量、作业难易度和最大弯曲应力组成的评价指标体系, 通过定性分析和定量分析相结合的方法, 建立了桥节门桥优选的模糊物元分析模型。最后通过计算欧氏贴近度确定各方案的排序从而最终得到桥节门桥最优方案。应用结果表明该方法科学合理、简单易行。

关键词 桥节门桥; 方案优选; 模糊物元; 欧氏贴近度

中图分类号 U446

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.11.005

Optimized Scheme Selection for Bridge Raft of the Yangtze River Floating Bridge Based on Fuzzy Matter Element Model

LI Feng, SHAO Fei, WANG Jianping, XIE Wenbin

Engineering College of Engineer Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China

Abstract It is necessary to ensure the maneuver across the Yangtze River by floating bridge constructed by portable steel bridges and civilian ships. A comprehensive consideration should be involved in the scheme of the bridge raft, including a variety of technical factors and uncertainties. The optimization of the scheme is related with the factors such as constructing time, equipment and man power. Based on the calculation results of bridge rafts, an evaluating system is built, with consideration of spacing between interior bays, raft length, number of trusses, easiness of operation and the maximal bending stress. A fuzzy matter element model of optimizing the selection of bridge rafts is built by combining quantitative analysis with qualitative analysis. The sequence of schemes and the optimization result are obtained finally based on Euclidean Closeness degree. The application result shows that the method is simple and practical.

Keywords bridge raft; optimizing selection; fuzzy matter element; Euclid approach degree

0 引言

战时, 长江上桥梁一旦遭到破坏短时间难以修复, 这将对南北战略机动有较大影响。从未来渡海登岛作战纵深作战集团渡江需求看, 应以浮桥渡江为主, 但仅依靠渡江专业部队的制式器材显然难以满足要求, 利用民用器材架设浮桥将是克服制式器材不足的必然选择。

装配式公路钢桥是中国重要的战备器材, 存储量大。100t 半甲板式驳船是长江里数量众多的一种民用船舶, 吃水浅、甲板平整且强度高, 只要稍加改装即可使用。实践证明, 以装配式公路钢桥作为浮桥上部结构, 100t 半甲板式驳船作为桥

脚舟在长江上结构就便器材浮桥是可行的。桥节门桥设计是在满足浮性、稳性、坡度和强度前提下, 通过合理化确定桥脚舟和上部桁架形式形成桥节门桥方案, 桥节门桥方案的优劣将直接影响浮桥架设的时间、器材和作业手数量。以往对桥节门桥方案的选择主要依靠经验, 其优选尚无可参考借鉴的资料, 近年来, 模糊物元模型广泛运用于多目标决策问题, 如基坑支护方案优选^[1]、区域物流水平评价等^[2]。本文利用影响因素的量值构造模糊物元, 并通过欧式贴近度实现方案的排序与择优, 对满足设计要求的众多桥节门桥方案优选从而提高浮桥架设的效率与效益具有现实意义。

收稿日期: 2010-10-13; 修回日期: 2011-03-16

作者简介: 李峰, 讲师, 研究方向为渡河工程保障技术与评估, 电子信箱: lifeng7949@163.com

1 桥节门桥方案

长江就便器材浮桥一般采用铰接悬臂梁体系,浮桥河中部分的结构由各相邻门桥铰连组成,铰能自由转动,能使门桥间迅速分解和结合。

浮桥的跨径和桁架组合形式由桥脚舟的尺寸、浮桥的载重量、现有器材数量等条件确定。桥节门桥通常由2—5舟组

成,若采用100t半甲板式驳船作为桥脚舟,其吃水浅、载重量大,且多舟会导致作业量大幅增加,一般桥节门桥考虑二舟和三舟两种形式;桁架的组合形式一般只用单排单层、加强的单排单层、双排单层或加强的双排单层4种。

以公路I级、履带-50为设计荷载,对桥节门桥进行浮性、稳性、坡度、强度等验算,形成6个桥节门桥方案,见表1。

表1 桥节门桥评价指标和量值

Table 1 Evaluation indexes and their values for bridge rafts

| 方案 | 节间长度/m | 门桥长度/m | 桁架数/100m ⁻¹ | 结构作业难易度 | 最大弯曲应力/MPa | |
|-----|-----------|--------|------------------------|---------|------------|--------|
| 方案1 | 两舟 加强单排单层 | 18 | 30 | 66.7 | 0.1 | 249.26 |
| 方案2 | 两舟 双排单层 | 18 | 30 | 133.3 | 0.3 | 125.10 |
| 方案3 | 两舟 加强双排单层 | 30 | 42 | 133.3 | 0.5 | 230.91 |
| 方案4 | 三舟 加强单排单层 | 12 | 36 | 66.7 | 0.3 | 240.58 |
| 方案5 | 三舟 双排单层 | 12 | 36 | 133.3 | 0.7 | 120.07 |
| 方案6 | 三舟 加强双排单层 | 21 | 54 | 133.3 | 0.9 | 224.65 |

2 模糊物元模型

2.1 模糊物元

物元可以描述为“事物、特征、量值”,即 M, C, V , 定义事物 M 的特征为 C , C 的量值为 V , 组成一个三元有序组^[3-4], 即 $R=(M, C, V)$, 物元模型可表示为

$$R=(M, C, V)=\begin{pmatrix} M & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

如果物元模型中的量值 V 具有模糊性, 便称其为模糊物元。事物 M 有 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n , 其相应的量值分别为 V_1, V_2, \dots, V_n , 则称 R 为 n 维物元^[5]。 m 个事物的 n 维物元组合在一起, 便构成 m 个事物的 n 维复合物元, 记作 R_{nm} , 称为模糊物元模型, 可表示为

$$R_{nm}=\begin{pmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ C_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 标准化模糊物元

各指标特征值对量化结果影响不同, 有越大越优型, 有越小越优型。用 y_{ij} 表示从优隶属度, 对于越大越优型指标, 有

$$y_{ij}=\frac{x_{ij}-\min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij}-\min_i x_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

对于越小越优型指标, 有

$$y_{ij}=\frac{\max_i x_{ij}-x_{ij}}{\max_i x_{ij}-\min_i x_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

则规范化模糊物元模型矩阵可表示为

$$R^n=(y_{ij})_{n \times m} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

2.3 指标权重的确定

层次分析法确定权重^[6], 对全部影响因素的重要性进行

两两比较, 构建判断矩阵, 通过一致性检验得指标权重矩阵。

2.4 欧氏贴近度及方案选择

由式(2)可构成标准样品 M_0 的 n 维模糊物元 R_0^n , 其中第 i 项评价指标相应的从优隶属度 $y_{i\alpha}$ 由 R_0^n 内各方案从优隶属度中的最大值或最小值确定。以 $\Delta_{ij}(j=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n)$ 表示 R_0^n 与 R^n 两者各项差的平方, 即 $\Delta_{ij}=(y_{i\alpha}-y_{ij})^2$, 则组成复合模糊物元 $R_1^{[7]}$ 。

用欧氏贴近度表示所给样本与标准样本的贴近程度, 即

$$\rho H_j=1-\sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i \Delta_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

其中, ρH_j 为第 j 个方案与标准方案(最优方案)之间的相互接近程度, ω_i 为评价指标的权重。由此构造样本欧氏贴近度复合模糊物元为

$$R_{\rho H}=\begin{pmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \rho H_1 & \rho H_1 & \rho H_2 & \dots & \rho H_m \end{pmatrix} \quad (7)$$

根据欧氏贴近度对各备选方案进行优劣排序, 确定最终方案。

3 桥节门桥方案优选

3.1 评价指标选取

评价桥节门桥方案的优劣, 最终归结为桥节门桥和浮桥的架设作业简单、作业量小、时间短、所需器材和人员少等。因此, 将桁架数和结构作业难易度作为评价指标易于理解。

节间长度为桥脚舟中线之间的距离, 节间长度越大, 浮桥单位长度上的桥脚舟越少, 其需要改装的工作量越少, 结构桥节门桥的时间越短; 其次, 桥脚舟越少, 在相同河流条件下, 浮桥所受的水阻力越小, 锚定作业量亦越小, 也减少了浮桥架设时间。门桥长度为上部结构两端之间的距离, 门桥越长, 浮桥所需的桥节门桥数量越少, 门桥之间的连接越少, 浮桥架设时间越短。

在桥节门桥方案计算中, 铰力、桥脚舟载重量为过程参数, 非桥节门桥方案控制指标; 6个方案的吃水、坡度和桥桁

强度是验算指标,均小于容许值,即这6个方案为可行方案,通不过验算的方案直接剔除,因此吃水、坡度、桥桁强度也不能作为评价指标。桁架强度的大小可以从一方面反映桁架是否被最大化利用,将最大弯曲应力作为评价指标之一。

桥节门桥结构作业主要包括设置辅助舟、设置滚轮、拼装上部结构、推出桁架、坐落和固定上部结构等步骤,在其他条件同等的情况下,桥节舟越多、桁架排数越多、节间越大,需要的连接越多,结构越复杂且困难。

因此,最终确定节间长度、门桥长度、桁架数、结构作业难易度和最大弯曲应力作为评价指标,见表1。其中,结构作业难易度作为模糊指标,将作业难易度分为:易、较易、一般、较难、难,取值分别为:0.1,0.3,0.5,0.7,0.9^[8]。

3.2 评价模型的建立

(1) 确定模糊物元

将桥节门桥作为物元的事物,各指标作为事物的特征,构造模糊物元为

$$R_{5 \times 6} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ C_1 & 18 & 18 & 30 & 12 & 12 & 21 \\ C_2 & 30 & 30 & 42 & 36 & 36 & 54 \\ C_3 & 66.7 & 133.3 & 133.3 & 66.7 & 133.3 & 133.3 \\ C_4 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.3 & 0.7 & 0.9 \\ C_5 & 249.26 & 125.1 & 230.91 & 240.58 & 120.07 & 224.65 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(2) 标准化模糊物元

根据式(8)所确定的物元,进行标准化。其中, C_1, C_2, C_5 为越大越优型指标,用式(3)计算; C_3, C_4 为越小越优型指标,用式(4)计算,则 R^n 为

$$R^n = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ C_1 & 0.33 & 0.33 & 1 & 0 & 0 & 0.5 \\ C_2 & 0 & 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 & 1 \\ C_3 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ C_4 & 1 & 0.75 & 0.5 & 0.75 & 0.25 & 0 \\ C_5 & 1 & 0.04 & 0.86 & 0.93 & 0 & 0.81 \end{bmatrix} \quad (9)$$

(3) 确定指标权重

运用层次分析法计算,指标权重矩阵为

$$w = (0.346, 0.346, 0.086, 0.181, 0.041) \quad (10)$$

(4) 综合评判

计算桥节门桥各指标与标准指标差的平方 Δ_{ij} ,得到复合模糊物元 R_{Δ} :

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ C_1 & 0.44 & 0.44 & 0 & 1 & 1 & 0.25 \\ C_2 & 1 & 1 & 0.25 & 0.56 & 0.56 & 0 \\ C_3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ C_4 & 0 & 0.06 & 0.25 & 0.06 & 0.56 & 1 \\ C_5 & 0 & 0.92 & 0.02 & 0 & 1 & 0.04 \end{bmatrix} \quad (11)$$

欧氏贴近度为

$$R_{\rho i} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ \rho H_i & 0.50 & 0.37 & 0.78 & 0.45 & 0.23 & 0.65 \end{bmatrix} \quad (12)$$

根据欧氏贴近度大小进行排序,长江浮桥桥节门桥优化顺序是:方案3>方案6>方案1>方案4>方案2>方案5,即双排单层加强型上部结构的二舟门桥为最优方案。

4 结论

利用民船与装配式公路钢桥结构桥节门桥形式较多,各种形式有各自的优点。本文从方案计算中提取了优选指标,应用模糊物元的方法,将欧氏贴近度与物元评价方法相结合,建立了桥节门桥优选的模糊物元评价模型。量化模型计算方法简便,计算结果直观、合理,能为专业分队确定桥节门桥形式、制定浮桥架设方案提供科学的依据,具有实用价值。

需要指出的是,指标权重是建立在专家经验基础上的,作者走访的专家具有长期设计浮桥、指导浮桥架设的经验,数据较为符合长江浮桥设计与架设的实际情况,但若收集到浮桥架设的详细信息(桥节门桥结合、浮桥结合、锚定、连接等)、人员、器材数量等数据,可利用熵值法等权重计算方法与AHP法相结合^[9],计算综合权重,从而使结果更为科学。

参考文献 (References)

- [1] 蒋崇春, 孟茁超. 基于组合权重的基坑支护方案模糊物元优选 [J]. 湖南城市学院学报: 自然科学版, 2010, 19(2): 5-9.
Jiang Chongchun, Meng Zhuochao. *Journal of Hunan City University: Natural Science Edition*, 2010, 19(2): 5-9.
- [2] 周泰, 王亚玲. 基于模糊物元的区域物流发展水平评价 [J]. 北京交通大学学报: 社会科学版, 2010, 9(3): 37-41.
Zhou Tai, Wang Yaling. *Journal of Beijing Jiaotong University: Social Sciences Edition*, 2010, 9(3): 37-41.
- [3] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
Cai Wen. *Matter-element model and its application*[M]. Beijing: Science and Technology Literature Publishing House, 1994.
- [4] Cai W. Extension theory and its application[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(17): 1538-1548.
- [5] 谢光花, 刘承平. 模糊数学方法及其应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.
Xie Guanghua, Liu Chengping. *Fuzzy mathematics and its applications* [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2000.
- [6] 朱茵, 孟志勇, 肖芳淳. 模糊物元分析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
Zhu Yin, Meng Zhiyong. *Fuzzy matter element analysis* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [7] 贾永飞. 模糊物元评价方法在水库移民安置区优选中的应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(1): 129-130.
Jia Yongfei. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(1): 129-130.
- [8] 何磊, 尹群. 大型油船槽形舱壁结构形式设计及模糊综合评判[J]. 船舶工程, 2010, 32(1): 18-19.
He Xiaolei, Yin Qun. *Ship Engineering*, 2010, 32(1): 18-19.
- [9] 王靖, 张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较 [J]. 河北工业大学学报, 2010, 30(2): 52-57.
Wang Jing, Zhang Jinsuo. *Journal of Hebei University of Technology*, 2010, 30(2): 52-57.

(责任编辑 代丽)