

基于灰色关联理论的内河桥区水域通航因素研究^{*}

吴梅平 王艳锋

(武汉交通职业学院, 湖北 武汉 430065)

摘 要:内河桥梁建设不可避免地会对桥区水域通航环境产生重要影响,且该影响不可逆变。本文根据内河桥梁桥墩位置及通航孔宽度,确定建桥中和建桥后的影响因子,并运用灰色相关理论分析这些影响因子在通航孔宽度发生变化条件下的相互关联性,为减小桥梁建设对该水域通航环境的影响,提供一定的理论依据。

关键词:灰色理论;桥区水域;通航因素

DOI: 10.3969/j.issn.1672-9846.2015.01.017

中图分类号: U697

文献标志码: A

文章编号: 1672-9846(2015)01-0074-04

随着我国经济发展由东南沿海向内陆延伸,依托长江黄金水道建设长江经济带,是我国经济发展的新棋局。长江经济带的不断完善和发展,各种跨江桥梁日益增多。据不完全统计,仅长江主航道上已建成的特大型桥梁就有 20 余座。正在建设的约 10 余座,规划建设的特大型桥梁还有 10 余座。长江航道上桥梁的建设将不断改变通航环境中的各个因素。

为了最大限度地利用长江可航水域资源,保障船舶在桥区水域的航行安全,对可航水域内布设有主、辅通航孔的桥梁的各通航因素进行关联性研究,是内河桥梁设计中的重要问题。

1 灰色理论

1.1 灰色关联理论

1982 年 3 月,中国学者邓聚龙教授首先提出灰色理论^[1]。灰色理论中的关联度分析方法是,一个系统关系因素很多,各种因素关系不清,相互影响不明,通过灰色系统理论的方法使各关系因素量化和序化。

经过处理后的各关系因素数据列,虽然有了初步的规律,但不一定能够用数学关系做出更为

精确的表达。灰色系统理论将这些加工后的数据列,建立相应的数学模型关系,这个建模过程称为灰色建模。

1.2 灰色关联建模^[1]

(1)确定特征序列和因素序列。进行灰色关联分析,首先要有作为参照的特征序列和被比较的因素序列,采集 m 个特征序列数据: $x_0(t) = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(m)\}$; 采集 m 个因素数据: $x_i(t) = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(m)\}$ 。

(2)无量纲化处理。均值化的数据值为:

$$x_i(k)d = \frac{x_i(k)}{\bar{X}_i}, \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k), k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

(3)关联度计算。特征序列与因素序列在第 t 点的关联系数为:

$$\xi_{0i}(t) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(t) + \rho \Delta_{\max}} \quad (2)$$

因此,特征序列与因素序列间的关联度为:

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \xi_{0i}(t) \quad (3)$$

(4)关联度排序。将求得的 n 个关联度 γ_{0i} 自大到小顺序排列,得到关联度序集。若特征序列有 p 个,因素序列有 q 个,就可构成关联矩阵。

*收稿日期:2014-11-12

作者简介:吴梅平(1971-),男,湖北武汉人,武汉交通职业学院航海学院院长,主要从事航海技术教学研究。

王艳锋(1982-),男,河南驻马店人,武汉交通职业学院航海学院教师,主要从事交通信息工程及控制研究。

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1q} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \gamma_{p1} & \gamma_{p2} & \cdots & \gamma_{pq} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(5)根据灰色关联理论分析,建立相应数学模型(见图1)。

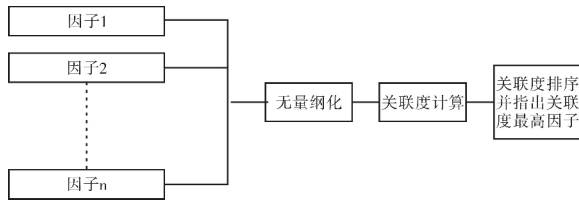


图1 灰色关联理论分析数学模型图

2 桥区水域关联因子提取

2.1 通航时间因子

(1)辅助通航孔与水位关系。拟建武汉沌口长江大桥建设方案中,1#和2#桥墩之间为1#通航孔,设计宽度为275m。由于受水位的影响,1#通航孔有效通航净宽会随着水位变化而变化,通航时间也会随之变化。因此,1#通航孔为辅助通航孔,主要用于上行船舶通行,在中、洪水期,特别是洪水期,上行船舶需沿右岸侧航行,走缓流,此时1#通航孔就会显得十分重要。2#和3#桥墩之间为2#通航孔,为主通航孔,设计宽度为760m,可保障船舶全年双向通航(见图2)。

因此,北侧辅助通航孔的通航时间,受到通航孔的宽度和桥区水位两个因素的制约,而桥区水位是一个随机变量,通过对这个随机变量的统计分析,在保障2#主通航孔有效通航净宽的同时,对1#通航孔不同宽度条件下,船舶安全(水深4m)通过1#辅助通航孔所需水位也会随之变化。

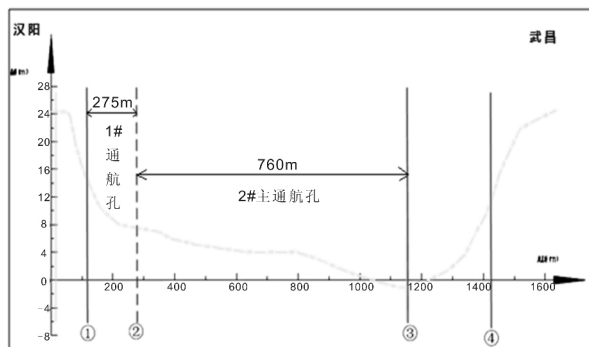


图2 桥区水域水下地形图(1956年黄海高程)

根据船队单向通航净宽为256m,1#通航孔宽度最小为260m;根据施工期2#主通航孔最小

可通航水域宽度为492m(1#通航孔宽度为275m条件下),结合船队双向通航净宽为455m,2#桥墩向南最多移动37m,因此1#通航孔最大宽度为310m。1#通航孔宽度从最小位移至最大,每移动5m所需水位高度递减(见表1)。

表1 1#通航孔不同宽度下所需水位

1#通航孔宽度(m)	所需水位(吴淞高程)
260	20.10
265	19.57
270	19.12
275	18.32
280	17.72
285	17.42
290	16.97
295	16.67
300	16.32
305	16.02
310	15.67

(2)水位与时间关系。通过近几年汉口站水位统计资料(汉口站逐月平均水位统计见表4.2),能否满足1#通航孔通航水位要求主要集中在3—4月份和11—12月份两个时间段,5—10月份水位均能满足通航需要^[2]。2013年相关月份水位统计见表2和表3。

表2 2013年3月20日—5月20日水位
(吴淞高程,m)

序号	日期	水位	序号	日期	水位	序号	日期	水位
1	3月20日	15.15	22	4月10日	18.71	43	5月1日	18.02
2	3月21日	15.38	23	4月11日	18.76	44	5月2日	18.22
3	3月22日	15.59	24	4月12日	18.66	45	5月3日	18.34
4	3月23日	15.77	25	4月13日	18.50	46	5月4日	18.46
5	3月24日	15.89	26	4月14日	18.32	47	5月5日	18.55
6	3月25日	16.11	27	4月15日	18.14	48	5月6日	18.57
7	3月26日	16.25	28	4月16日	17.96	49	5月7日	18.53
8	3月27日	16.57	29	4月17日	17.82	50	5月8日	18.60
9	3月28日	16.89	30	4月18日	17.67	51	5月9日	18.80
10	3月29日	17.27	31	4月19日	17.55	52	5月10日	19.10
11	3月30日	17.62	32	4月20日	17.45	53	5月11日	19.60
12	3月31日	17.81	33	4月21日	17.42	54	5月12日	20.00
13	4月1日	17.92	34	4月22日	17.41	55	5月13日	20.25
14	4月2日	17.92	35	4月23日	17.43	56	5月14日	20.45
15	4月3日	17.89	36	4月24日	17.43	57	5月15日	20.63
16	4月4日	17.84	37	4月25日	17.44	58	5月16日	20.84
17	4月5日	17.8	38	4月26日	17.43	59	5月17日	21.21
18	4月6日	17.82	39	4月27日	17.58	60	5月18日	21.56
19	4月7日	18.12	40	4月28日	17.63	61	5月19日	21.82
20	4月8日	18.45	41	4月29日	17.67	62	5月20日	22.03
21	4月9日	18.65	42	4月30日	17.81			

表 3 2013 年 10 月 1 日—10 月 23 日水位
(吴淞高程,m)

序号	日期	水位	序号	日期	水位
1	10 月 1 日	21.35	13	10 月 13 日	18.34
2	10 月 2 日	21.26	14	10 月 14 日	17.88
3	10 月 3 日	21.09	15	10 月 15 日	17.34
4	10 月 4 日	20.82	16	10 月 16 日	16.97
5	10 月 5 日	20.71	17	10 月 17 日	16.61
6	10 月 6 日	20.48	18	10 月 18 日	16.27
7	10 月 7 日	20.19	19	10 月 19 日	16.00
8	10 月 8 日	19.87	20	10 月 20 日	15.76
9	10 月 9 日	19.62	21	10 月 21 日	15.53
10	10 月 10 日	19.35	22	10 月 22 日	15.32
11	10 月 11 日	19.07	23	10 月 23 日	15.12
12	10 月 12 日	18.77			

(3)辅助通航孔与时间关系。根据表 1 以及 2013 年水位统计分析,能够满足 1#通航孔不同宽度所需水位要求的时间见表 4。

表 4 1#通航孔不同宽度与时间关系

1#通航孔宽度(m)	能够通航时间(天)
260	137
265	141
270	144
275	153
280	157
285	188
290	191
295	192
300	194
305	197
310	201

2.2 航道宽度风险度因子

根据《内河通航标准》(GB50139—2004),船长、船宽和航道宽度之比是影响通航环境风险的重要因子。考虑到船舶大小对相同航道宽度会遇率与碰撞率的不同影响,本文选取桥梁各通航孔通航净宽与通航的最大船舶的船长与之比值作为航道水域环境船舶航行风险度的评价指标,其风险评价标准如表 5 所示。

表 5 航道尺度的风险度评价标准

指标	低	较低	一般	较高	高度危险
航道最窄处的 宽度/最大船长	1 以上	0.8—1	0.5—0.8	0.3—0.5	0.3 以下

(1)桥梁建成后,北侧辅助通航孔航道宽度风险度因子。根据上述评价标准,采用代表船队的船长 271m,在北侧辅助通航孔不同宽度下,辅助通航孔航道尺度风险度评价结果见表 6。

表 6 辅助通航孔航道尺度风险度评价

1#通航孔宽度(m)	通航孔宽度/最大船长
260	0.96
265	0.98
270	1.00
275	1.01
280	1.03
285	1.05
290	1.07
295	1.09
300	1.11
305	1.13
310	1.14

(2)桥梁施工期,主通航孔航道宽度风险度因子。根据武汉沌口长江大桥工程施工期对通航环境的影响,在栈桥和平台施工阶段,北岸栈桥、平台搭设施工占用水域为 472×550m,南岸施工占用水域为 467×500m,主通航孔可通航宽度取最小值为 492m。在 2#墩从北向南平移时,施工范围在不发生变化的情况下,也会随之平移,此时主通航孔的可通航宽度也会发生变化。当 2#墩由北向南每 5m 移动一位时,本施工阶段主通航孔的宽度见表 7。

表 7 主通航孔航道尺度风险度评价

主通航孔宽度(m)	通航孔宽度/最大船长
507	1.87
502	1.85
497	1.83
492	1.82
487	1.80
482	1.78
477	1.76
472	1.74
467	1.72
462	1.70
457	1.69

3 桥区水域灰色关联建模及分析

3.1 灰色关联建模

根据第 3 章灰色关联理论,结合武汉沌口长江大桥 1#通航孔发生变化情况下,提取对通航影响较大的三个关联因子,建立相应的数学模型(见图 3)。根据灰色关联建模,列出相关因子矩阵(见表 8)。

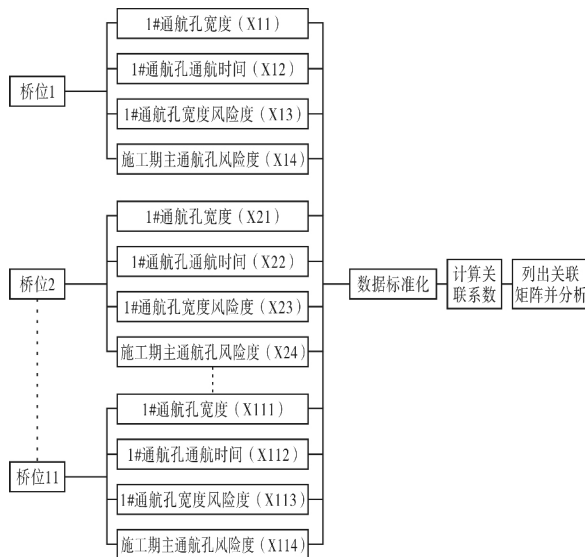


图3 不同桥位下灰色关联建模图

表8 不同桥位相关因子矩阵

桥位	1#通航孔 宽度 (X1)	1#通航孔 通航时间 (X2)	1#通航孔 宽度风险度 (X3)	施工期主 通航孔风险度 (X4)
桥位1	260(m)	137(天)	0.96	1.87
桥位2	265(m)	141(天)	0.98	1.85
桥位3	270(m)	144(天)	1.00	1.83
桥位4	275(m)	153(天)	1.01	1.82
桥位5	280(m)	157(天)	1.03	1.80
桥位6	285(m)	188(天)	1.05	1.78
桥位7	290(m)	191(天)	1.07	1.76
桥位8	295(m)	192(天)	1.09	1.74
桥位9	300(m)	194(天)	1.11	1.72
桥位10	305(m)	197(天)	1.13	1.70
桥位11	310(m)	201(天)	1.14	1.69

3.2 灰色关联度计算及分析

(1)将表8相关矩阵数据根据灰色关联数学模型进行分析计算,计算结果如表9、10、11、12。

表9 X1和其它因子的关联序

序号	X3	X2	X4
关联系数	0.8790	0.6033	0.2395

(注:相关序: $X_3 > X_2 > X_4$, 最大差值 $\Delta_{\max} = 3.00567$ 。)

表10 X2和其它因子的关联序

序号	X1	X3	X4
关联系数	0.5943	0.5904	0.1634

(注:相关序: $X_1 > X_3 > X_4$, 最大差值 $\Delta_{\max} = 2.87927$ 。)

表11 X3和其它因子的关联序

序号	X1	X2	X4
关联系数	0.8787	0.5989	0.2301

(注:相关序: $X_1 > X_2 > X_4$, 最大差值 $\Delta_{\max} = 2.99623$ 。)

表12 X3和其它因子的关联序

序号	X1	X3	X2
关联系数	0.2395	0.2305	0.1691

(注:相关序: $X_1 > X_3 > X_4$, 最大差值 $\Delta_{\max} = 3.00567$ 。)

根据上述计算结果和公式(4),列出4个因子的相关矩阵见表9,相关矩阵图如图3所示。根据表13和图3可知:(1)当最大差值取得最小时, X_2 因子与 X_1 因子关联度最高;(2)在4个关联序列中, X_4 因子与其它因子的关联度最低。

表13 通航因子相关矩阵表

关联矩阵	X1	X2	X3	X4
X1	1.0000	0.6033	0.8790	0.2395
X2	0.5943	1.0000	0.5904	0.1634
X3	0.8787	0.5989	1.0000	0.2301
X4	0.2395	0.1691	0.2305	1.0000

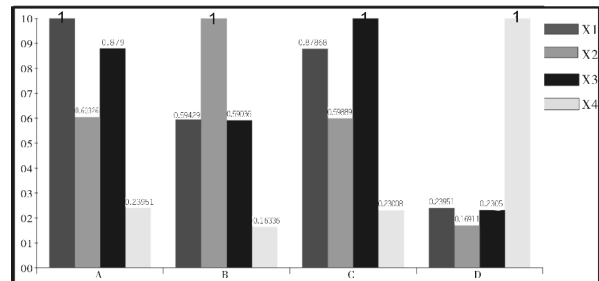


图4 相关矩阵图

4 结论

(1)在设计有主、辅通航孔的内河桥梁,当辅助通航孔宽度发生变化时,辅助通航孔的可通航时间与通航孔的宽度关联度最高。因此,在不同的桥梁设计方案中,不同的通航孔宽度对辅助通航孔可通航时间影响最大。建议在选择桥型方案时,应主要考虑不同水位期条件下,辅助通航孔可航时间因素。

(2)辅助通航孔宽度发生变化时,对通航影响的4个因素中,对施工期主通航孔的影响度最小。因此,在能够满足主通航孔施工期双向通航的条件下,施工对通航环境的影响度最小。

参考文献:

- [1]刘思峰.灰色系统理论及其应用[M].北京:科技出版社,2010:2,47-97.
- [2]中华人民共和国交通部.内河航道与港口水文规范(JTJ214-2000)[Z].2000.