



基于综合指标体系的长江莲沱段航道整治工程方案优选

陈玥如

(长江武汉航道局, 湖北 武汉 430014)

摘要: 为优选长江莲沱段航道整治工程方案, 分析航道整治工程影响因素, 构建航道整治工程方案评价指标体系——综合考虑施工情况、生态影响、整治效果和经济效果 4 个方面的 18 项指标。采用基于该指标体系的模糊综合评价模型对莲沱段航道整治方案进行评价和优选, 得出方案 1(“水下炸礁+清渣+深池抛填”方案)隶属度较高, 且达到优秀的指标数较多的结果, 因此推荐该方案为莲沱段航道整治最终方案。

关键词: 评价指标体系; 航道整治; 方案优选

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0136-05

Scheme optimization of waterway regulation project of Liantuo section of the Yangtze River based on comprehensive evaluation index system

CHEN Yue-ru

(Changjiang Wuhan Waterway Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: To choose the best channel regulation scheme of the Liantuo section of the Yangtze River, this paper analyzes the influential factors of channel regulation and constructs the regulation scheme evaluation index system: 18 indexes from the aspects of construction condition, ecological impact, remediation effect, and economic effect are taken into consideration in this evaluation index system. Adopting the fuzzy comprehensive evaluation model based on the evaluation index system to evaluate and optimize the waterway regulation project scheme of the Liantuo section of the Yangtze River, this paper concludes that the scheme 1(reef explosion+slag removal+ deep-pool filling) has a high degree of affiliation and achieves a higher number of excellent indicators. Thus the scheme 1 is recommended as the better channel regulation scheme.

Keywords: evaluation index system; waterway regulation; scheme optimization

长江黄金水道是长江经济带发展的基本依托和沿江综合立体交通走廊的基本支撑, 一直是全国内河水运建设发展的重点^[1]。其作为沟通中国东、中、西部地区的运输大动脉, 在航运方面具有独特的优势和巨大的发展潜力, 在流域经济社会发展中的地位极其重要^[2]。“十三五”以来, 交通运输部和沿江省市大力推动长江经济带发展和交通强国战略, 长江航运服务能力不断提升, 但

仍存在一些短板和瓶颈。长江三峡大坝至葛洲坝枢纽两坝间河段长约 38 km, 是长江黄金水道的咽喉地段, 但该河段船舶航行条件极差, 通航安全问题突出, 通过能力受限^[3]。其中的莲沱河段更是两坝间“四滩一弯”中著名的洪水急流滩, 碍航特性明显^[4]。因此, 需要对长江莲沱段采取航道工程治理措施, 优化航道通行条件, 以适应不断发展的航运需求。在航道整治工程前期设计过

程中，工程方案的比选是其重点工作之一。本文基于模糊综合评价方法，构建航道整治工程方案评价指标体系，并建立综合评价模型，在此基础上通过对备选方案的评价、比选，提出适宜长江莲沱河段的航道整治工程方案，可为其他河段航道整治工程的方案比选工作提供参考。

1 研究方法

1.1 基本原理

模糊综合评价法是对受多因素影响的事物做出全面分析评价的一种卓有成效的评价方法，即以模糊数学为基础，运用模糊关系合成的原理，将一些边界不清、不易量化的因素量化，从各个因素相对于评价目标的隶属度等级进行评价^[5]，即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰、系统性强的特点，能较好地解决模糊的、难以量化的问题，适合各种非确定性问题的解决^[6]。其基本过程步骤包括：

- 1) 建立评价因素集 $\mathbf{U} = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ ；
- 2) 建立评语集：评语集为刻画每一因素所处状态的 n 种决断(也称评价等级)，评语的个数通常设置为 3~5 个，即 $\mathbf{V} = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ ；
- 3) 确定各指标权重：权重通过层次分析法确

定，具体步骤包括构造判断矩阵、层次单排序及一致性检验、层次总排序及一致性检验；

4) 得到单因素评价向量 $\mathbf{r}_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$ ；

5) 建立单因素评价矩阵：评价矩阵 \mathbf{R} 实质是 \mathbf{U} 与 \mathbf{V} 之间的模糊关系，即 $\mathbf{R}: \mathbf{U} \times \mathbf{V} \rightarrow [0, 1]$ ，评价矩阵 \mathbf{R} 可表示为

$$\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1i} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

6) 进行模糊合成：即 $\mathbf{B} = \mathbf{A} \times \mathbf{R} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ，其中 \mathbf{B} 为模糊子集， \mathbf{A} 为模糊因子。

7) 根据最大隶属度方法，比选各个准则层优劣，选出较优方案。

1.2 航道整治工程方案评价指标体系构建

影响航道整治工程方案的因素具有变量多而庞杂、不确定指标作用显著等特点。选取指标时须综合考虑施工过程中以及项目完工后对河段生态、经济等方面的一系列影响，反映出整治工程总体与影响因素间的内在联系。指标在选取时须遵循综合性、独立性、可操作性和简明科学性的原则。基于以上考虑，本研究将施工情况、生态影响、整治效果和经济效果等多方面因素纳入航道整治工程方案评价指标体系，如图 1 和表 1 所示。

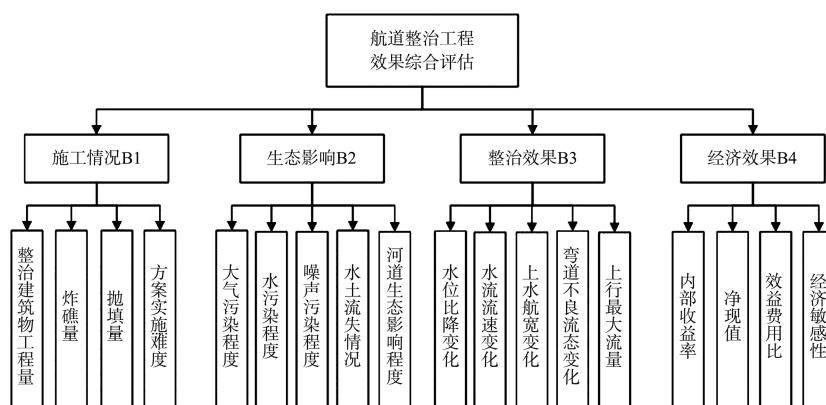


图 1 工程整治效果综合评价指标体系

表 1 综合评价指标

一级指标	二级指标	内容
施工情况 B1	整治建筑工程量	为达到整治效果所需建造整治建筑物的工程量
	炸礁量	为达到整治目的所需炸除礁石的体积
	抛填量	需要处理的因炸礁产生的碎石的体积
	方案实施难度	进行炸礁、抛填等施工方式时的可操作性,以及建造整治建筑物的稳定性
生态影响 B2	大气污染程度	工程机械所消耗的燃油转化为大气污染物的量
	水污染程度	炸礁、抛填所产生的水域悬浮物,以及船舶生活污水及油污水等对河道水质造成的污染
	噪声污染程度	工程机械、船舶以及水下爆破带来的噪声分贝数
	水土流失情况	整治工程对施工地点原有植被以及表层土壤结构造成的破坏情况
整治效果 B3	河道生态影响程度	整治方案实施对陆生生态和水生生态的影响
	水位比降变化	采取整治方案后水位比降的变化
	水流流速变化	采取整治方案后上水及下水流速的变化
	上水航宽变化	整治方案实施后航道最窄处的宽度增加量
经济效果 B4	弯道不良流态变化	整治方案实施后回流速度的变化以及回流宽度变化
	上行最大流量	在设计的流量下,过闸单船能否自航上滩
	经济内部收益率	反映该整治工程对国民经济贡献的相对指标
	经济净现值	反映该整治工程对国民经济贡献的绝对指标
	经济效益费用比	每万元的投资经济费用所获取的经济效益
	经济敏感性	指当项目投资金额,河段运量等因素产生变化时对项目经济效益指标的影响程度和敏感性程度

2 案例分析

2.1 长江莲沱段现状

莲沱河段是长江三峡水利枢纽和葛洲坝水利枢纽间著名的洪水急流滩之一,处于两坝间中上段,上起下岸溪,下至茶园。河段上段下岸溪—胡子沙坝右侧岸线参差不齐,水下岩嘴密布、航深不足;下段丁头镇—茶园河道平面宽窄相间、顺直与弯道相连。滩段河宽由 380 m 突然扩展至 650 m,并有一水深达 100 m 的深沱;河道深泓在陡降 40 m 后又陡升 50 m;进口至深沱过水断面面积由 1.30 万 m² 扩大 2.5 倍至 3.27 万 m²。此外,该河段枯水期水流相对平缓,随着流量的增加,流速逐渐增大;在河道放宽处,存在较强的泡漩及回流,且深沱段主流带宽度不足河宽的 1/3,流态紊乱,水流湍急,流速在 3.0 m/s 以上,最大时可达到 4 m/s,滩段比降在 1.0‰ 以上。

汛期大流量下,滩段碍航主要表现为:

1)下岸溪—丁头镇岸线曲折,水下岩嘴密布,局部航深不足;

2)水田角滩口上水航线水域可航行水域狭窄,水流集中,流速湍急,船舶航行十分困难,对船

舶安全航行十分不利;

3)莲沱弯道下水航线主流带集中,航宽狭窄,航线流速大,航线附近流态恶劣,对船舶航行安全存在较大隐患。

由于两坝间汛期部分河段水流条件较差,为保证大流量情况下各类船舶安全、有序通过两坝间水域,长江三峡通航管理局于 2008 年发布了《三峡—葛洲坝两坝间水域大流量下船舶限制性通航暂行规定》,致使两坝间汛期船舶经常需要停航度汛,尤其是中小功率船舶,经常形成大范围的船舶滞航,这不仅造成巨大的经济损失,也是潜在的安全隐患。

2.2 莲沱段航道整治工程备选方案

莲沱段整治工程措施采取“正态物理模型+遥控自航船模试验”的技术手段提出 2 种航道整治工程备选方案:方案 1 是“水下炸礁+清渣+深沱抛填”方案,方案 2 是“水下炸礁+清渣+深沱抛填+筑坝”方案。

方案 1:开挖左侧晒经坪较高河床(LT7-A ~ LT7-E),开挖方式为平挖,开挖底高程为 30 m,近岸侧边坡为 1:0.2,深沱左侧以缓坡抛填,见图 2a)。

方案2: 开挖左侧晒经坪较高河床(LT7-1~LT7-6), 其中LT7-1、LT7-2、LT7-3为缓坡过渡段, LT7-2、LT7-4设计底高程分别为25、30 m, 边坡均为1:0.5。在右岸狮子脑稍上和狮子脑水田角之间修筑潜坝1#、2#, 坝顶高程与航道设计底高程一致, 取56.5 m; 迎水坡、背水坡坡度分别

为1:1.5、1:2, 坝头段坡度采用1:0.75。抛填A、B、C区位于深沱沱心, A区控制线上游平抛, 控制线以下坡度1:6; B区抛填高程0.0 m, 河心侧边坡取抛石休止角; C区抛填高程10.0 m, 河心侧边坡取抛石休止角, 见图2b)。

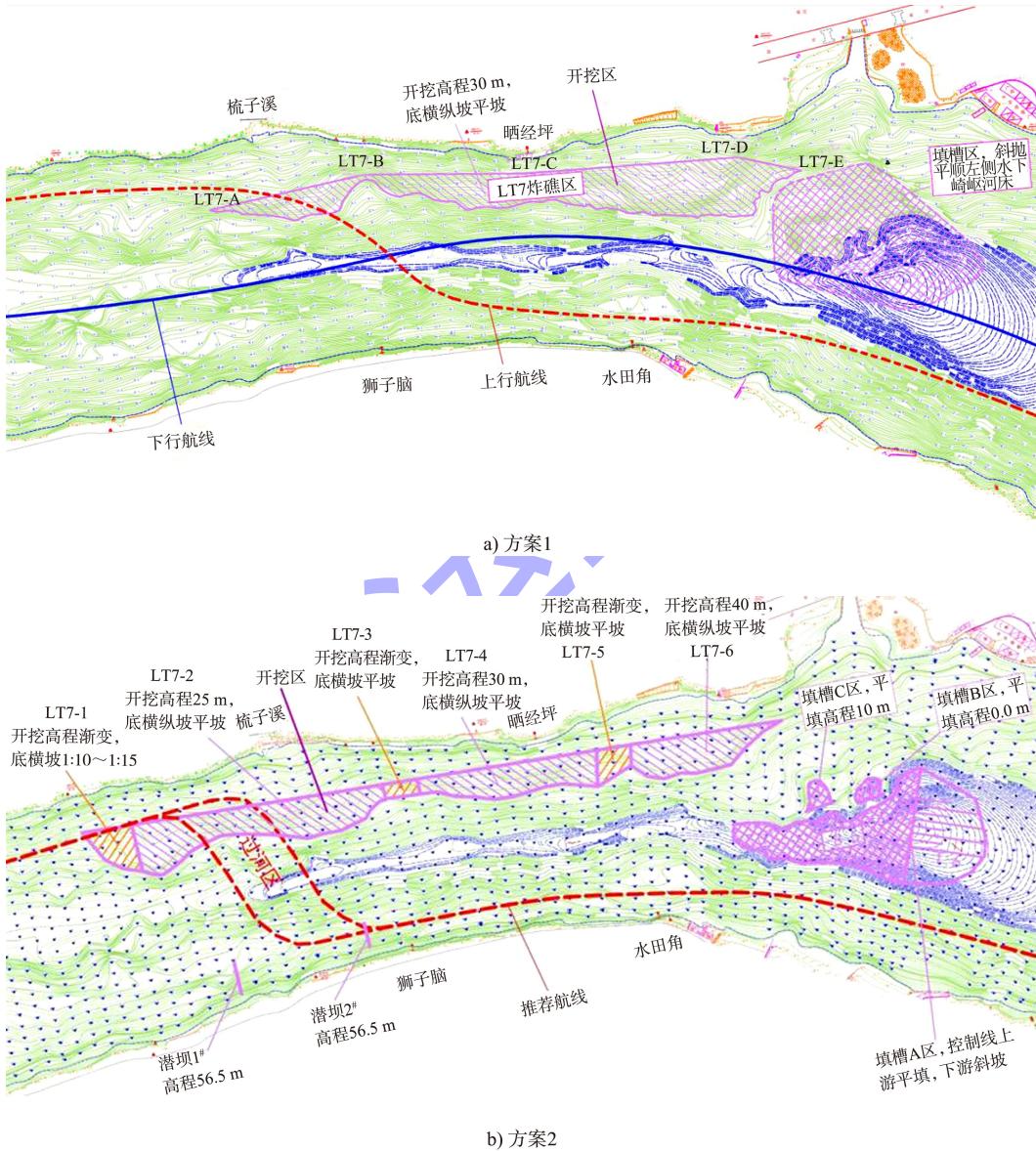


图2 莲沱下段工程平面

2.3 模糊综合评价和结果分析

结合研究河段实际情况, 通过层次分析法计算后, 得到一级评价指标的权重 $W = (0.142, 0.283, 0.337, 0.238)$, 二级评价指标的权重分别为 $W_{B1} = (0.278, 0.165, 0.165, 0.392)$, $W_{B2} =$

$(0.136, 0.180, 0.088, 0.257, 0.339)$, $W_{B3} = (0.087, 0.125, 0.256, 0.194, 0.338)$, $W_{B4} = (0.351, 0.351, 0.109, 0.189)$ 。

通过对18个二级指标和4个一级指标的预期值进行计算或分析, 并请专家打分, 结合上述指

标权重，经模糊合成分别得到 2 个备选方案及其一级指标的评价向量。结合本案例设置的评价集，即 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\text{优秀}, \text{良好}, \text{合格}, \text{不合格}\}$ ，可得到 2 个备选方案各自一级指标和整体方案的评价，结果见表 2。

表 2 模糊综合评价结果

方案	指标层	权重	评价向量	评价结论
1 整治效果	施工情况	0.142	(0.602, 0.398, 0.000, 0.000)	优秀
	生态影响	0.283	(0.383, 0.470, 0.117, 0.000)	良好
	整治效果	0.337	(0.595, 0.405, 0.000, 0.000)	优秀
	经济效果	0.238	(0.685, 0.315, 0.000, 0.000)	优秀
综合评价		(0.497, 0.451, 0.052, 0.000)	优秀	
2 整治效果	施工情况	0.184	(0.363, 0.587, 0.050, 0.000)	良好
	生态影响	0.163	(0.394, 0.474, 0.132, 0.000)	良好
	整治效果	0.362	(0.548, 0.434, 0.018, 0.000)	优秀
	经济效果	0.327	(0.641, 0.342, 0.017, 0.000)	优秀
综合评价		(0.441, 0.469, 0.090, 0.000)	良好	

经分析，方案 2 深沱抛填，右岸急流区水下河床岸坡较陡，水深较大，方块定位存在难点，修筑潜坝实施较为困难，且右岸修筑潜坝，其施工存在风险，并且在两坝间枢纽运行条件下，水位及水流条件变化较大，坝体的稳定存在风险。同时，右岸是航行水域，水下较高的坝体对船舶操纵人员心理有一定的影响。因此，在方案实施难度上，方案 2 大于方案 1。方案 1 综合评价结果为优秀，其中施工情况、整治效果、经济效果 3 个指标均为优秀，生态影响为良好。这表明方案 1 施工难度较小，各类污染问题处于合理范围内，整治效果超出预期目标，经济效果非常好；方案 2 综合评价结果为良好，其中整治效果、经济效果 2 个指标为优秀，施工情况、生态影响 2 个指标为良好。表明方案 2 施工难度处于合理范围内，各类污染问题处于合理范围内，整治效果超出预期目标，经济效果非常好。通过对比可知，方案 1 较方案 2 优势更加明显，故选择方

案 1 为最终整治方案。

3 结论

1) 所构建的航道整治工程方案评价指标体系涵盖了施工情况、生态影响、整治效果和经济效果等 4 个方面的 18 项指标。基于该指标体系所建立的综合评价模型可较为全面地考虑航道整治工程方案的各影响因素，进而为工程方案的优选工作提供依据。

2) 采用建立的综合评价模型对 2 种备选航道整治工程方案进行评价，结果显示方案 1 在施工情况和方案整体评价方面均优于方案 2，即对于长江莲沱段，应选择方案 1 (“水下炸礁+清渣+深沱抛填”方案) 为最终整治方案。

3) 本研究所采用的模糊综合评价法在部分环节依赖于专家的经验判断，因此尚存在一定的主观性。在利用其解决更为复杂的优选问题时，须进行完善和改进。

参考文献：

- [1] 刘涛, 彭东方, 刘均卫. 长江干线宜昌至武汉段航运发展对策分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(1): 76-84.
- [2] 刘怀汉, 杨胜发, 曹民雄. 长江黄金航道整治技术研究构想与展望[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(2): 17-27.
- [3] 冯小香, 李建兵, 樊建超. 三峡两坝间水田角河段航道整治三维水流数学模型应用研究[J]. 水道港口, 2010, 31(6): 577-582.
- [4] 袁涛峰, 曾涛, 马宪浩. 长江三峡两坝间河段航道整治方案[J]. 中国港湾建设, 2012(1): 15-18.
- [5] 丁毓良, 商华. 基于模糊综合评价的人力资源绩效评价模型研究[J]. 现代管理科学, 2011(5): 99-101.
- [6] 王杰. 模糊综合评判在故障树分析法中的应用[J]. 电子设计工程, 2012, 20(6): 41-43.