



# 某大型单级船闸运行保障能力评价<sup>\*</sup>

边 级, 李乐新

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 针对如何科学评价船闸运行保障能力, 进行船闸运行保障的评价体系研究。围绕船闸运行保障能力评价, 从管理机制、设备管理、通航保障、通航服务等核心因素展开, 采用层次分析法、德尔菲法等方法, 采取定性分析与定量计算相结合的研究手段, 综合确定各评价指标及权重, 建立船闸运行保障能力综合评价方法, 并将该方法运用在国内某大型单级船闸, 得出该船闸运行保障能力综合评价。结果表明, 某大型单级船闸运行保障能力综合评价为优秀; 该评价方法基本符合近年来船闸领域及管理单位实践经验, 可推广应用。

**关键词:** 船闸; 运行保障能力; 评价

中图分类号: U 641.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)02-0022-05

## Evaluation of operational supporting capacity of large single-stage lock

BIAN Ji, LI Le-xin

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China)

**Abstract:** Given how to scientifically evaluate the operational supporting capacity of the locks, we study the evaluation system of the operational supporting of the locks. Focusing on the evaluation of the operational supporting capacity of the lock, starting from the core factors such as management mechanism, equipment management, navigation supporting and navigation service, we use the methods of hierarchical analysis, Delphi method, etc., adopt the research means combining qualitative analysis with quantitative calculation, comprehensively determine the evaluation index and weight, establish the comprehensive evaluation method of the operational supporting capacity of the locks, and apply the method to a large single-stage lock in China to derive the comprehensive evaluation of the operational supporting capacity of the lock. The results show that the comprehensive evaluation of the operational supporting capacity of a large single-stage ship lock is excellent. The evaluation method basically conforms to the practical experience of ship lock field and management unit in recent years, and can be applied to similar projects.

**Keywords:** lock; operational supporting capacity; evaluation

我国的船闸建设取得了可喜的成绩。据中国航海学会船闸专业委员会相关调查统计结果, 全国共有通航建筑物 1 089 座, 其中船闸 1 041 座、升船机 48 座<sup>[1]</sup>。随着国民经济的快速发展和中国内河水运主通道“两横一纵”总体布局规划的实施, 一大批船闸还在不断建成投运, 为我国内河水运的发展做出重要贡献。

船闸管理单位均高度重视运行保障工作, 大多建立较为完善的管理制度、操作规程、维护规程, 按照管理要求和技术标准开展设备设施操作、巡检和维护等工作<sup>[2]</sup>。同时, 管理单位也普遍建立设备设施缺陷与故障管理制度和故障处置预案, 按照规定的程序进行缺陷整治和故障分析、处理工作。多年来, 船闸管理单位积累了丰富的运行

收稿日期: 2020-04-10

\*基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402007)

作者简介: 边级(1991—), 女, 硕士, 工程师, 从事船闸运行维护。

维护经验, 也形成不少技术和管理创新的成果。但是, 如何科学评价船闸运行保障能力的研究较少, 没有形成完善的评价体系和相关案例分析应用。

本文通过研究得出船闸运行保障能力的评价体系, 并将成果应用到国内某大型单级船闸的案例分析中, 验证本评价体系的科学性和推广性, 为船闸行业和相关领域关于运行保障能力的评价提供参考。

## 1 船闸运行保障能力评价体系

### 1.1 评价指标

通过文献资料收集分析、大型船闸考察调研、专家咨询、技术交流等方式, 深入开展船闸运行保障能力评价方法研究, 得出船闸运行保障能力与船闸管理机制、设备管理水平、通航保障水平和通航服务水平 4 个核心因素的相关性: 1) 管理机制是船闸运行管理系统的结构及其运行机理, 是决定管理功效的核心<sup>[3]</sup>; 2) 设备管理是对设备的全寿命周期进行全过程的科学型管理, 设备管理水平体现了设备运行可靠度和设备维护能力, 主要包括船闸管理水平和航道管理水平 2 个方面; 3) 通航保障是指为船闸安全运行所配套的设施、人员、装备、技术手段等保障措施的统称, 主要包括配套设施及装备水平、应急处置能力、科研与信息化水平和人力资源保障 4 个方面; 4) 通航服务是通航建筑物运行保障的最终目标, 主要包括通航供给水平和服务能力 2 个方面。

为科学评价船闸运行保障能力水平, 评价体系综合运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP) 和德尔菲法(Delphi method), 建立树状多层次综合评价指标体系, 将管理机制、设备管理、通航保障和通航服务 4 个核心因素确定为船闸运行保障能力评价的一级评价指标, 将 4 个核心因素下面的 8 个方面主要内容作为船闸运行保障能力评价的二级评价指标, 并最终确定 26 个具体评价指标作为船闸运行保障能力评价的三级指标。各指标命名规则如下: 目标层船闸运行保障能力

为 A, 一级指标管理机制为 B1, 设备管理为 B2, 通航保障为 B3, 通航服务为 B4, 设备管理 B2 下分的 2 个二级指标依次为 C21 和 C22, C21 下分的 4 个 3 级指标依次为 D211~D214, 其余指标以此类推。

### 1.2 权重计算

#### 1.2.1 构造两两比较的判断矩阵

1) 比较标度。对同级别的 2 个指标重要性进行比较, 使用 1~9 的比较标度, 赋予其一个数值。标度值为 1, 表示  $B_i$  和  $B_j$  同样重要; 标度值为 9, 表示  $B_i$  比  $B_j$  极端重要<sup>[4]</sup>。

为合理确定指标两两比较标度值, 采取德尔菲法, 以问卷调查形式邀请国内通航建筑物运行管理专家参与两两比较标度赋值。经过 3 轮问卷及反馈, 对比较标度值进行修正, 以一级指标互相比为例, 相关结果为: 1) 管理机制 B1 比设备管理 B2, 标度值为 1/4; 2) 管理机制 B1 比通航保障 B3, 标度值为 1/2; 3) 管理机制 B1 比通航服务 B4, 标度值为 1/3; 4) 设备管理 B2 比通航保障 B3, 标度值为 2; 5) 设备管理 B2 比通航服务 B4, 标度值为 2; 6) 通航保障 B3 比通航服务 B4, 标度值为 1。

2) 判断矩阵。以一级指标为例, 建立一级指标 B1~B4 的相对重要性判断矩阵:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/2 & 1/3 \\ 4 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 3 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

同理, 建立 C21~C22、C31~C34、C41~C42、D101~D103、D211~D214、D221~D223、D311~D313、D321~D323、D331~D333、D341~D342、D411~D413、D421~D422 的相对重要性判断矩阵。

#### 1.2.2 指标权重计算与检验

采取几何平均法(根法)计算权重向量, 计算步骤为:

1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积:

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

2) 计算  $M_i$  的  $n$  次方根:

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

3) 对向量  $\mathbf{W}$  的归一化,  $W_i$  即为指标权重:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4)$$

则  $\mathbf{W} = [W_1, W_2, W_3, W_4]^T$  即为所求特征向量; 有

$$\mathbf{AW} = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/2 & 1/3 \\ 4 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 3 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} [0.099\ 112, 0.438\ 742, 0.219\ 371, 0.242\ 774]^T。$$

4) 为进行一致性检验, 按式(5)计算判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$ :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\mathbf{AW})_i}{W_i} \quad (5)$$

5) 按式(6)计算一致性指标 CI:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (6)$$

6) 查询相应的平均随机一致性指标 RI, 当矩阵阶数为 4 时, RI 取 0.9。按式(7)计算一致性比率 CR:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

7) 进行一致性检验:  $\lambda_{\max} = 4.020\ 594\ 082$ ,  $CI = 0.006\ 864\ 694$ ,  $CR = 0.007\ 627\ 437\ 8 < 0.1$ , 检验通过。

其余指标权重计算与检验以此类推。

### 1.3 综合评价方法

根据各级指标相对上一级指标的权重, 计算出各指标相对目标层的合成权重。其中,  $D_{xyz}$  相对 A 的合成权重等于  $D_{xyz}$  相对  $C_{xy}$  的权重、 $C_{xy}$  相对  $B_x$  的权重、 $B_x$  相对 A 的权重这三者的乘积<sup>[5]</sup>。船闸运行保障的评价采取三级指标单项评分, 逐级汇总计算的方法, A 总分满分为 1 000 分。

根据指标权重和逐级汇总, 并适度取整, 指标的分值分配见图 1。

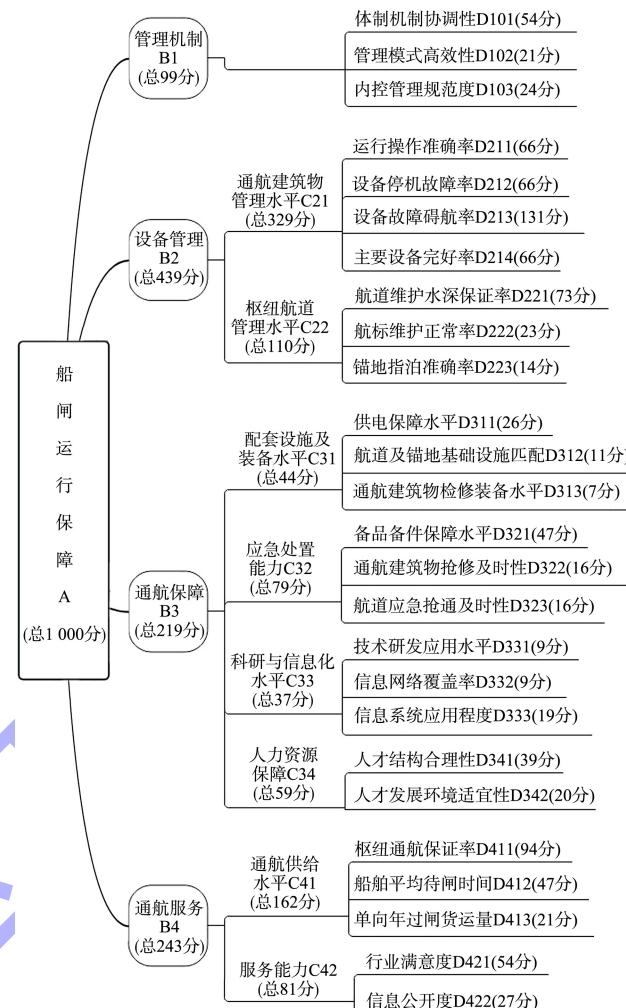


图 1 指标分值分配

根据各项指标的分值, 以及指标评价标准, 可编制船闸运行保障能力综合评分表, 其中评分标准为: 定性指标得分等于指标分值与评价等次的乘积。定性指标评价采取专家组打分的方法, 分为 7 个等次, 分别为:  $A^+(1.0)$ 、 $A(0.9)$ 、 $A^-(0.8)$ 、 $B^+(0.7)$ 、 $B(0.6)$ 、 $B^-(0.5)$ 、 $C(0.3)$ ; 量化指标根据各指标的计算公式与报告期概率计算得分。船闸运行保障能力综合评分满分为 1 000 分, 900 分(含)以上评价为优秀, 800(含)~900 分评价为良好, 700(含)~800 分评价为一般, 600(含)~700 分评价为及格。

## 2 某大型单级船闸运行保障能力评价

### 2.1 管理机制评价

某大型单级船闸管理体制职能清晰、权责明

确、管理顺畅, 通航管理社会公益性职能界定准确, 经费渠道和保障基本畅通, 管理机制运行高效, 能充分发挥枢纽工程的综合效益, 促进流域水资源的综合利用。体制机制协调性指标评价为 A<sup>-</sup>, 综合得分为 43.2 分。

枢纽通航实行综合管理模式, 涵盖船闸运行、船舶调度、海事执法、航道维护等各个专业, 协同程度高、各项业务运转顺畅, 船舶过闸快捷高效。管理模式高效性指标评价为 A<sup>+</sup>, 综合得分为 21 分。

通航管理单位内部管理规范, 各项体系文件和管理规章制度完备, 枢纽通航管理有章可循、有规可依, 文化品牌特色鲜明、理念完整, 文化建设对枢纽通航发展起到积极的促进作用。内控管理规范度指标评价为 A, 综合得分为 21.6 分。

## 2.2 设备管理评价

### 2.2.1 通航建筑物管理水平

通航管理单位制定了完善的运行操作规程, 运行人员熟悉操作规程, 日常操作准确, 无影响通航建筑物安全运行的误操作, 运行操作准确率达到 100%, 综合得分为 66 分。

船闸上年度设备停机故障率  $R_c$  为 0.24%, 远小于 2% 的标准, 综合得分为 62.832 分。

船闸上年度设备故障处理及时, 无故障碍航, 设备故障碍航率  $R_x$  为 0, 远小于 0.5% 的标准, 综合得分为 131 分。

船闸上年度设备设施维护到位, 主要设备完好率  $R_s$  为 99.82%, 大于 95% 的标准, 综合得分为 65.05 分。

### 2.2.2 枢纽航道管理水平

船闸上下游航道维护水深常年保证在规范标准以上, 航道维护水深保证率  $R_h$  为 100%, 大于 98% 的标准, I、II 级航道的综合得分为 73 分。

船闸上下游引航道航标维护到位, 航标维护正常率  $R_b$  为 99.76%, 大于 99% 的标准, 一类维护航标的综合得分为 20.792 分。

锚地指泊准确、合理, 所有待闸船舶均能在锚地可靠、安全停泊, 锚地指泊准确率  $R_m$  为

100%, 大于 98% 的标准, 综合得分为 14 分。

## 2.3 通航保障评价

### 2.3.1 配套设施及装备水平

船闸供电采用两回母线供电, 且设有高压备用自投装置, 但备用自投装置未投入自动运行, 供电保障水平评价为 A<sup>-</sup>, 综合得分为 20.8 分。

船闸上下游航道等级与船闸等级匹配, 锚地容量日趋饱和, 难以满足不断增长的待闸船舶需要, 航道及锚地基础设施匹配评价为 B<sup>+</sup>, 综合得分为 7.7 分。

通航建筑物检修装备齐全, 检修技术水平总体达到国内领先水平, 评价为 A<sup>+</sup>, 综合得分为 7 分。

### 2.3.2 应急处置能力

船闸备品备件储存充足, 根据备品备件重要程度、采购周期等因素综合确定库存量, 仓库管理规范, 出入库手续齐全, 评价为 A, 综合得分为 42.3 分。

船闸抢修及时, 一般故障、事故在 4 h 内处理完毕, 2019 年度未发生较大以上故障、事故, 未发生应急抢通延时事件, 综合得分为 16 分。

航道上年度未发生突发航道抢通事件, 综合得分为 16 分。

### 2.3.3 科研与信息化水平

通航管理单位高度重视科技创新和新技术、新工艺、新装备的研发, 2019 年度获得多项省部级科技成果奖, 科技成果转化应用率达到 85% 以上, 评价为 A, 综合得分为 8.1 分。

通航管理单位各业务站点实现信息网络覆盖, 网络覆盖率高于 90% 的标准, 综合得分为 9 分。

通航管理单位在通航管理主要业务中充分应用信息化手段, 开发应用了船舶调度系统, VTS(船舶交通服务)系统、AIS(船舶自动识别)系统、CCTV(闭路电视监控)系统等, 信息系统应用程度高, 评价为 A<sup>+</sup>, 综合得分为 19 分。

### 2.3.4 人力资源保障

通航管理单位管理、专业技术、工勤 3 类人员总体结构合理, 多人获“全国技术能手”“交通科

技英才”“交通技术能手”称号，人才队伍总量、学历结构、专业类型、职称等级、技能等级与通航管理事业发展相适应，但年龄结构略显两级分化，人才结构合理性评价为 A<sup>-</sup>，综合得分为 31.2 分。

通航管理单位人才培养、使用管理制度健全，但人才激励机制略显不足，人才发展环境适宜性评价为 A<sup>-</sup>，综合得分为 16 分。

## 2.4 通航服务评价

### 2.4.1 通航供给水平

船闸 2019 年度通航率为 99.14%，远大于设计提出的年通航 335 d、每天通航 22 h 的要求，综合得分为 94 分。

船舶平均待闸时间为 112.3 h，船闸通过能力不能适应日益增长的船舶过闸需求，评价为 B，综合得分为 28.2 分。

船闸 2019 年度单向年过闸货运量为 7 397 万 t，大于设计提出的单向 5 000 万 t 的指标，综合得分为 21 分。

### 2.4.2 服务能力

船闸 2019 年度行业满意度  $X$  为 87.2 分，高于 85% 的标准值，综合得分为 35.568 分。

通航管理单位对运行方案和实时船舶过闸信息实行公开，过闸船舶可通过船载终端或互联网实时查询过闸计划信息，通航服务信息透明程度高，评价为 A，综合得分为 24.3 分。

## 2.5 运行保障能力评价

根据前述的某单级船闸运行保障能力各级指标得分值，逐级汇总，可以得到运行保障能力一级指标得分，见表 1。

表 1 某大型单级船闸运行保障能力一级指标得分

一级指标	最大分值	得分	比值/%
管理机制 B1	99	85.800	86.67
设备管理 B2	439	432.674	98.56
通航保障 B3	219	193.100	88.17
通航服务 B4	243	203.068	83.57
合计	1 000	914.642	91.46

由表 1 可知，某大型单级船闸运行保障能力综合评分大于 900，评价为优秀。其中，设备管理水平最高，各项统计指标均远高于标准值；通航

保障水平其次，各项指标基本高于标准值，主要是配套锚地泊位不能满足日益增长的待闸船舶需求；管理机制得分较低，主要是船闸保障经费在发电成本中开支，经费渠道尚未完全理顺；通航服务得分最低，主要原因是船闸通过能力不足，船东满意度评价不高。下一步，应进一步理顺体制机制，增强通航服务水平，采取各种措施提高通航效率，积极推动增建通航建筑物事宜，以缓解通过船闸能力不足的矛盾。

## 3 结语

1) 通过研究得出的船闸运行保障评价体系基本符合近年来船闸领域及管理单位实践经验。

2) 根据案例应用分析，反映出国内船闸运行保障评价体系在体制机制管理、配套设施装备水平、人力资源保障、通航服务等方面还存在较大可提升空间。但在通航供给水平方面，目前国内多数大型船闸面临着船闸通过量远超设计水平，却仍然不能满足日益增长的船舶过闸需求的难题，这一宏观课题值得进行更深入的探讨。

3) 本船闸运行保障的评价方法和评价体系可在我国船闸领域推广应用，对推进船闸运行保障能力提升有着积极的作用。

## 参考文献：

- [1] 赵子云.对船闸设计中几个问题的探讨(上)[J].水运工程, 1980(9): 38-40.
- [2] 张力.江西省航运干线船闸管理体制研究[D].南昌:江西财经大学, 2019.
- [3] 中国铁路上海局集团有限公司.夯实基础深化科研管理体制机制创新[N].人民铁道, 2020-10-28(2).
- [4] 李恒, 周洪文, 周本涛, 等.基于模糊层次分析的钢箱梁桥质量综合评价方法研究[C]//中冶建筑研究总院有限公司.2020 年工业建筑学术交流会论文集(中册).北京:[出版者不详], 2020: 199-205, 236.
- [5] 陈明, 邱娟娟, 徐力群, 等.水库大坝综合评价时效性指标的量化模型[J/OL].三峡大学学报(自然科学版): 1-4.[2020-11-10]. <https://doi.org/10.13393/j.cnki.issn.1672-948X.2020.06.005>.