



三峡危险货物过闸运输现状分析及通过量预测

许 鹏¹, 何兴昌¹, 郭 涛², 陈淑楣¹, 王广莹¹, 刘 展¹

(1. 长江航运发展研究中心, 湖北 武汉 430014; 2. 长江航务管理局, 湖北 武汉 430014)

摘要: 从过闸危险货物分类、管理流程及运输特征等3个方面分析2015—2020年三峡危险货物过闸运输现状, 在此基础上运用灰色均值GM(1,1)模型(EGM)对“十四五”期过闸危险货物通过量进行预测。结果表明, 过闸危险货物绝大部分为散装运输和易燃易爆危险货物, 其主要流向为上行; 过闸危险货物货种数呈逐年减少趋势, 2020年过闸危险货物货种数减少至32种; 预计“十四五”期间散装危险货物和易燃易爆危险货物通过量仍将呈较缓增长态势, 到“十四五”末其通过量分别将达1120.6万和854.4万t。危险货物过闸管理中也暴露出易燃易爆危险货物界定依据不足、船闸耐火抗爆性有待深入评估等一些不容忽视的问题, 还须在后续工作中予以解决。

关键词: 危险货物运输; 三峡过闸管理; 运输特征; 灰色模型; 通过量预测

中图分类号: U 695.2+92; U 641.7+3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)07-0199-06

Analysis of status of Three Gorges dangerous goods lockage transportation and forecast of throughput

XU Peng¹, HE Xing-chang¹, GUO Tao², CHEN Shu-mei¹, WANG Guang-ying¹, LIU Zhan¹

(1. Shipping Development Research Center of Yangtze River, Wuhan 430014, China;

2. Changjiang River Administration of Navigational Affairs, Wuhan 430014, China)

Abstract: We analyze the status of dangerous goods passing through the Three Gorges ship lock from 2015 to 2020 from three aspects, such as classification, management process and transportation characteristics of dangerous goods, use the EGM(1, 1) model to predict the trend of the throughput of flammable and explosive dangerous goods in bulk in the 14th Five-Year Plan period. The results show that most of the dangerous goods are in bulk, flammable and explosive, and most of the dangerous goods are upward. The quantity of the dangerous goods types is decreasing year by year, and has been reduced to 32 in 2020. The predicted throughputs of bulk, flammable and explosive dangerous goods will maintain a slow growth trend in the 14th Five-Year Plan period. By the end of the 14th Five-Year Plan period, the throughputs of bulk, flammable and explosive dangerous goods will respectively reach 11.2 million tons and 8.5 million tons. There are obvious deficiencies in the management of dangerous goods passing through the lock, which need to be solved in the follow-up management, such as insufficient basis for defining flammable and explosive dangerous goods, and fire resistance and explosion resistance of the lock need to be further evaluated.

Keywords: dangerous goods transportation; Three Gorges lockage management; transport characteristics; grey model; throughput forecast

自三峡船闸2003年通航以来, 长江航运发展迅猛, 三峡过坝货物通过量呈爆发式增长, 年均

增长达15.9%, 对长江经济带经济社会快速发展发挥了巨大的促进和推动作用^[1]。与此同时随着

国民经济的快速发展，长江经济带沿线省市石油、天然气及其制品等工业消费品的需求快速增长，带来了三峡过闸危险货物通过量和船舶数量的快速增加^[2]。截至 2020 年三峡过闸危险货物通过量已达 979 万 t，2007 以来年均增长超过 20%，年过闸船舶也已达 5 800 艘次，长江航运已逐渐成为我国东西部危险货物运输的主要方式，三峡船闸也已成为我国东西部危险货物运输的必经通道。

三峡船闸是长江航运的关键节点，对长江经济带经济社会发展的发挥着重要支撑作用^[3]，加之三峡河段具有政治敏感度高、安全风险度高、民生关联度高和社会关注度高的“四高”特征。随着三峡过闸危险货物通过量的逐年攀升，过闸危险货物运输安全已越来越引起社会各界的关注。近年来国内外学者^[4-7]对三峡危险货物过闸运输情况开展了一些宏观定性分析研究，但却缺乏针对过闸危险货物运输特征和通过量预测等问题较全面、深入的研究。如何全面系统阐述现行过闸危险货物分类、管理流程及管理措施，对危险货物过闸运输特征进行多维度定性定量分析，并在此基础上对未来过闸危险货物通过量变化趋势进行预测是十分必要和迫切的。本文成果不仅可为国内外相关学者研究三峡危险货物过闸问题提供重要的技术参考，还可为相关部门科学认识三峡过闸危险货物运输现状和载运危险货物船舶过闸管理提供技术支撑。

1 三峡过闸危险货物分类及载运危险货物船舶过闸管理现状

1.1 过闸危险货物分类

根据《危险货物分类和品名编号》^[8]，危险货物是指具有爆炸、易燃、毒害、感染、腐蚀、放射性等危险特性，在运输、储存、生产、经营、使用和处置中，容易造成人身伤亡、财产损毁或环境污染而需要特别防护的物质和物品。根据危险货物形态和运输方式，三峡过闸危险货物分为散装和包装 2 大类^[9]。根据危险货物的危险程度，

三峡过闸危险货物分为一级和二级危险货物，在原国标品名编号中，后 3 位数字小于等于 500 的为一级危险货物，大于 500 的为二级危险货物。根据危险货物燃爆性和消防方式，三峡过闸危险货物分为易燃易爆和非易燃易爆危险货物，其中易燃易爆危险货物主要为《危险货物分类和品名编号》中“第 2 类气体、第 3 类易燃液体、第 4 类易燃固体、易于自燃的物质和遇水放出易燃气体的物质”。

1.2 载运危险货物船舶过闸通道

三峡、葛洲坝两坝船闸正常运行时，载运危险货物船舶过闸通道为三峡南、北线船闸和葛洲坝 2#船闸。葛洲坝 2#船闸检修期间，在船闸消防部门随闸监护情况下，载运危险货物船舶可临时通过葛洲坝 1#船闸。

1.3 载运危险货物船舶过闸管理

载运危险货物船舶过闸管理流程，如图 1 所示。

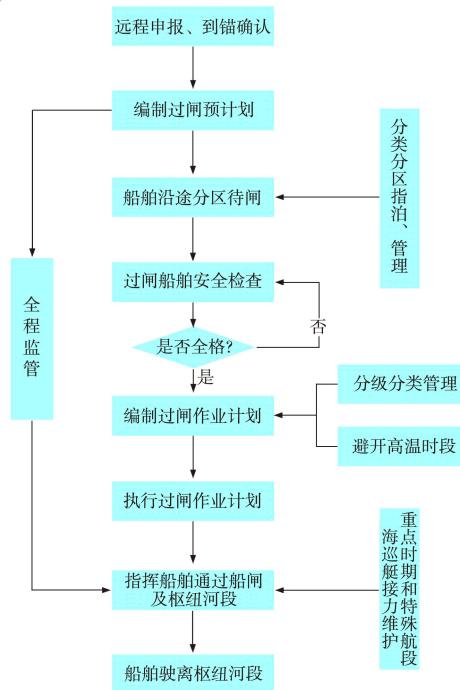


图 1 载运危险货物船舶过闸管理流程

载运危险货物船舶与其他船舶过闸流程总体相同，主要包括过闸申报、分区待闸、过闸安检、编制和执行过闸作业计划、指挥船舶通过闸室及枢纽河段等 5 个环节，但在具体过闸管理环节上

要求更高, 主要体现在以下 5 个方面:

1) 过闸作业计划编制时, 对载运危险货物船舶采取分级分类管理, 即对载运一级和二级易燃易爆危险货物船舶安排“专闸通过”, 但载运一级易燃易爆危险货物船舶过闸时消防部门须随闸监护; 对载运非易燃易爆危险货物船舶按货物理化学性质不相冲突的原则安排“集中通过”, 或安排与其他非危险品船舶同一闸室通过。

2) 对载运危险货物船舶实施沿途分类分区待闸, 在三峡坝上、两坝间和葛洲坝下分别设置载运危险货物船舶待闸锚地, 按分类分区原则, 对散装载运一级、二级易燃易爆、非易燃易爆和集装箱危险货物船舶实施分区指泊和管理。

3) 对载运危险货物船舶过闸实施 100% 安全检查, 除过闸船舶安检项目外, 还应核查随船人员和危险货物清单, 并重点检查火星熄灭器和舱面水雾系统是否按标准配置并处于正常工作状态。

4) 通过船舶交通服务 (vessel traffic service, VTS) 等手段对载运危险货物船舶通过船闸实施全程监管, 在重点时期和枢纽河段特殊航段进行海巡艇接力维护。

5) 在过闸时间安排上, 载运危险货物船舶在夏季应尽量避开高温时段。

2 三峡危险货物过闸运输特征分析

2.1 载运危险货物船舶过闸数量及通过量

基于 2015—2020 年过闸危险货物数据^[10], 运用统计学方法对其运输特征进行多维度定性定量分析。

2015—2020 年载运危险货物船舶共过闸 34 451 艘次, 过闸危险货物通过量为 5 306 万 t, 主要为散装运输, 包装运输危险货物极少, 其中上行通过量占 82.3%。

2.1.1 散装危险货物船舶过闸艘次及通过量特征

2015—2020 年散装和易燃易爆危险货物船舶过闸艘次及通过量构成和变化趋势, 如图 2 所示。

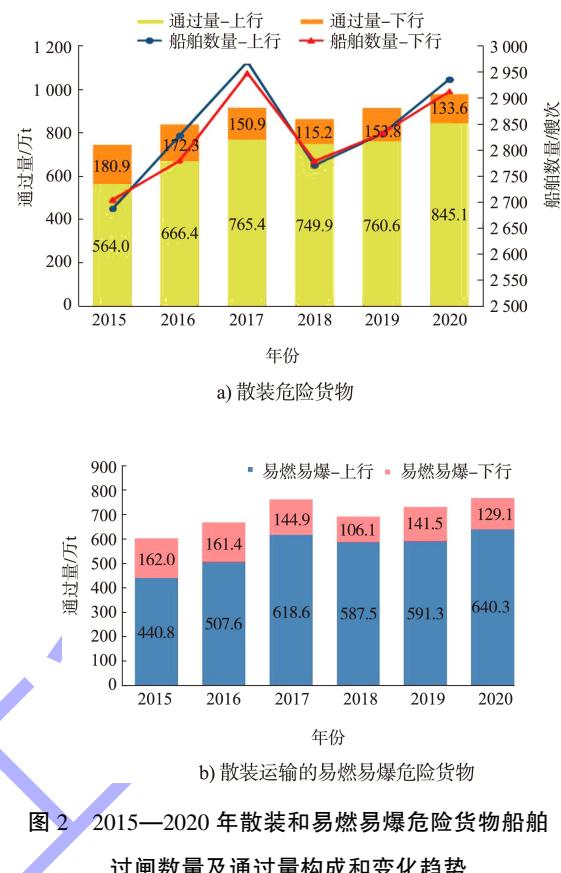


图 2 2015—2020 年散装和易燃易爆危险货物船舶过闸数量及通过量构成和变化趋势

由图 2a) 可以看出, 2015—2020 年过闸散装危险货物船舶共过闸 3.4 万艘次, 年平均过闸 5 663 艘次左右, 各年上、下行过闸数量较均衡, 未见显著差异。过闸散装危险货物通过量为 5 258.2 万 t, 主要流向为上行, 占比 82.8%; 年平均通过量为 876.4 万 t, 各年通过量总体呈逐年增长趋势, 年均增长 5.6%。由图 2b) 可以看出, 2015—2020 年过闸散装运输的易燃易爆危险货物通过量为 4231.1 万 t, 主要流向为上行, 占比 80.0%, 年平均通过量为 705.2 万 t, 各年通过量总体呈增长趋势, 年均增长 5.0%。

2.1.2 包装危险货物船舶过闸数量及通过量特征

2015—2020 年包装危险货物船舶共过闸 472 艘次, 通过量为 47.8 万 t, 过闸数量和通过量均呈逐年显著减少趋势, 2020 年过闸数量减少至仅为 6 艘次, 通过量减少至仅为 2 000 t, 如图 3 所示。



图 3 2015—2020 年过闸包装危险货物船舶过闸数量及通过量变化趋势

2.2 过闸危险货物货种特征

2015—2020 年过闸危险货物共计 113 种，过闸危险货物种类总体呈现逐年减少趋势，其中散装货物种类由 2015 年的 49 种逐步减少至 2020 年的 30 种，包装货物种类则由 2015 年的 38 种骤减至 2020 年的 2 种，如图 4 所示。

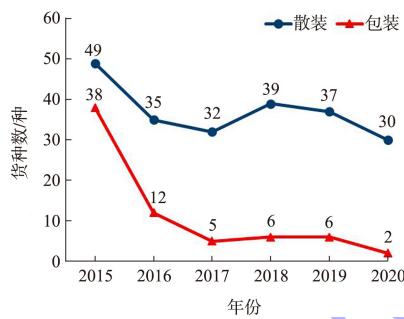


图 4 2015—2020 年过闸危险货物种类变化趋势

2015—2020 年上行过闸散装危险货物主要为易燃液体(柴油和原油 SZ36-1)、煤焦沥青、汽油(闪点 -18~<23 °C)、煤油和汽油(闪点 <-18 °C)，通过量占比 97.1%；下行过闸散装危险货物主要为甲醇、1,2-二甲苯、乙酸乙烯酯、正丁醇和乙酸甲酯，通过量占比 80.1%。

3 三峡过闸散装危险货物通过量预测

3.1 预测方法选择

根据前文分析，由于近 6 年过闸包装危险货物通过量极少，占比不足 1%，故本文以散装和易燃易爆危险货物为对象，基于 2015—2020 年通过量统计数据，预测其“十四五”期通过量。

过闸散装和易燃易爆危险货物通过量受区域

发展战略、经济发展、产业布局和综合交通体系发展等多种因素的影响，是一个部分信息已知、部分信息未知的灰色系统。灰色预测是对原始数据进行序列算子处理，然后通过建立微分或差分方程，实现对系统发展趋势的预测，适用于贫信息、规律性差且产生机理不清楚的数据^[11]。当数据样本较小时，灰色预测能克服回归分析的不足，数据规律性差时能通过序列算子作用减弱随机性。灰色模型(grey model)是灰色预测理论的基本模型，其中 GM(1,1) 模型具有简单、短期预测精度较高等优点^[12]，已在农业、工业、经济、交通等众多领域广泛应用，并取得较好效果，本文将其运用到散装和易燃易爆危险货物通过量的预测中。

3.2 GM(1,1) 模型基本形式选择

根据 GM(1,1) 模型的原始和均值形式及其差分、微分 2 种不同求解路径，GM(1,1) 模型主要包括均值 GM(1,1) 模型(EGM)、原始差分 GM(1,1) 模型(ODGM)、均值差分 GM(1,1) 模型(EDGM) 和离散 GM(1,1) 模型(DGM) 等 4 种基本形式^[13]。对非指数增长序列和振荡序列，微分、差分混合形态的 EGM 模拟误差要小一些；对接近齐次指数序列的非指数增长序列和振荡序列，应优先选择离散形态的 ODGM、EDGM 或 DGM 模型^[14]。鉴于现阶段过闸散装和易燃易爆危险货物通过量增速趋缓，呈现非指数增长序列特征，故选择 EGM(1,1) 模型进行预测。

3.3 模型构建

设 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ 为原始序列，其中 $x^{(0)}(i) \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$ 。 $X^{(0)}$ 的 1-AGO 序列(其为灰色预测中的一阶累加生成序列)为 $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ ，其中 $x^{(1)}(i) = \sum_{i=1}^n x^{(0)}(i), i = 1, 2, \dots, n$ ，则 EGM 模型及白化微分方程分别为：

$$x^{(0)}(i) + az^{(1)}(i) = b \quad (1)$$

$$\frac{dx^{(1)}(i)}{dt} + ax^{(1)}(i) = b \quad (2)$$

其中：

$$z^{(1)}(i) = 0.5[x^{(1)}(i) + x^{(1)}(i-1)] (i=2,3,\dots,n) \quad (3)$$

式中: a 为发展系数; b 为灰作用量; t 为时间。

式(1)(2)中的参数向量可运用最小二乘法估计, 则参数向量 α 为:

$$\alpha = [a, b] = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y} \quad (4)$$

其中:

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

由式(2)(4)~(6)得出 EGM(1,1) 模型的时间响应式及累减还原式:

$$x^{(1)}(i) = \left[x^{(1)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(i-1)} + \frac{b}{a} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$x^{(0)}(i) = (1-e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(i-1)} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

3.4 模型精度检验

为验证灰色预测模型的有效性和准确性, 需要对模型精度进行检验, 具体检验方法包括残差检验、后验差检验、小误差概率检验和关联度检验^[15]。灰色预测模型精度检验等级见表1。

表 1 模型精度检验等级参照

精度等级	指标临界值			
	平均相对误差 $\bar{\varphi}$	关联度 R	均方差比值 C	小概率误差 P
一级	0.01	0.90	0.35	0.95
二级	0.05	0.80	0.50	0.80
三级	0.10	0.70	0.65	0.70
四级	0.20	0.60	0.80	0.60

3.5 预测结果

根据 2.1.1 和 3.2 节计算可知, 散装和易燃易爆危险货物通过量预测模型分别为:

$$x_{\text{散装}}^{(0)}(i) = 821.4947 e^{0.031(i-1)} \quad (i=2, \dots, n) \quad (9)$$

$$x_{\text{易燃易爆}}^{(0)}(i) = 676.0239 e^{0.0234(i-1)} \quad (i=2, \dots, n) \quad (10)$$

由式(9)(10)得出 2015—2020 年过闸散装和易燃易爆危险货物通过量拟合值。模型精度检验结果表明, 散装危险货物通过量预测模型精度检

验的 $\bar{\varphi}_1 = 0.02$ 、 $R_1 = 0.6$ 、 $C_1 = 0.17$ 、 $P_1 = 1$, 易燃易爆危险货物通过量预测模型精度检验的 $\bar{\varphi}_2 = 0.03$ 、 $R_2 = 0.64$ 、 $C_2 = 0.29$ 、 $P_2 = 1$, 上述模型拟合精度均较好, 可用于实际预测。由式(9)(10)得“十四五”期散装和易燃易爆危险货物通过量预测值, 如图 5 所示。可以看出, “十四五”期过闸散装和易燃易爆危险货物通过量仍保持较缓增长态势, 预计“十四五”末过闸散装危险货物和易燃易爆危险货物通过量分别将达 1 120.6 万和 854.4 万 t, 三峡危险货物过闸管理工作任务依然艰巨。

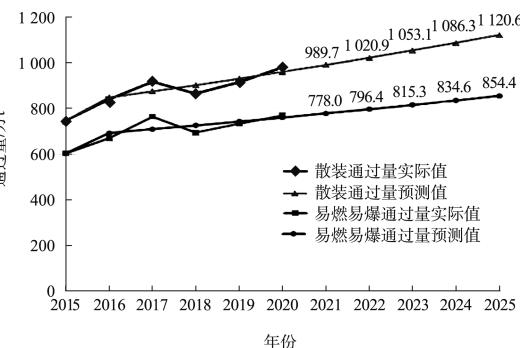


图 5 过闸散装和易燃易爆危险货物通过量预测值

4 存在的问题及相关建议

1) 过闸易燃易爆危险货物界定依据不足。由于《易燃易爆化学物品消防安全监督管理办法》已于 2002 年废止, 加之相关国际公约及规则关于部分易燃易爆危险货物性质界定存在不一致的情况, 导致目前对过闸易燃易爆危险货物界定缺乏依据。建议对全部过闸危险货物的危险性开展专题研究, 对其是否属于易燃易爆进行明确界定。

2) 三峡船闸耐火抗爆性还有待深入评估。过闸危险货物船舶在船闸闸室内一旦发生火灾、爆炸事故, 闸墙、闸室及人字门等设施设备的结构强度能否承受事故高温热辐射和爆炸冲击破坏尚无明确定论。建议对上述场景下三峡船闸设施设备的耐火抗爆性进行客观评估, 提出危险货物过闸控制要求。

3) 三峡过闸消防工作主体责任部门尚未明确。根据最新修订的《消防法》, 消防工作已由公安部门调整至应急管理部门, 而三峡过闸消防工作原主体责任单位长航公安局已隶属于公安部。目前

三峡过闸消防工作职责暂未调整，但未来职责调整后过闸消防工作由谁负责尚未明确。建议国家尽快明确三峡过闸消防工作的主体责任部门。

4)三峡船闸消防救援能力能否满足当前载运易燃易爆危险货物船舶过闸需求尚无定论。三峡船闸闸室消防设施设防标准为扑灭 3 000 t 油驳 2 个最大油舱同时起火的火灾，而据统计 2020 年易燃易爆危险货物船舶实载质量大于 3 000 t 的船舶艘次占比已达 21.1%，三峡船闸消防救援能力能否满足上述船舶过闸需求亟待论证。建议对三峡船闸消防救援能力能否满足易燃易爆危险货物船舶过闸需求开展评估。

5 结语

1)2015—2020 年三峡过闸危险货物通过量为 5 306 万 t，其中 82.3% 为上行，散装占比 99.1%；散装和易燃易爆年平均通过量分别为 876.4 万和 705.2 万 t，各年通过量均呈逐年增长趋势，年均分别增长 5.6% 和 5.0%。

2)2015—2020 年三峡过闸危险货物种类呈逐年减少趋势。上行过闸散装危险货物主要为易燃液体、煤焦沥青、汽油(闪点 -18~<23 °C)、煤油和汽油(闪点 <-18 °C)，下行过闸散装危险货物主要为甲醇、1,2-二甲苯、乙酸乙烯酯、正丁醇和乙酸甲酯。

3)预测结果表明“十四五”期散装和易燃易爆危险货物通过量仍将呈较缓增长态势，到“十四五”末其通过量分别将达 1 120.6 万和 854.4 万 t，三峡危险货物过闸管理工作任务依然艰巨。但上述预测结果是基于当前三峡枢纽过闸运输供需矛盾突出和过闸通过量发展缓慢的前提，未来一旦新通道建设后，预计过闸危险货物通过量将会持续快速增长。

4)随着三峡过闸危险货物通过量的持续增长，危险货物过闸安全风险也在不断增大。近年来管理部门虽采取了一系列措施，部分缓解危险货物过闸安全风险，但并未从根本上消除风险，危险货物过闸管理中仍存在易燃易爆危险货物界定依

据不足、船闸耐火抗爆性有待深入评估等一些不容忽视的问题，亟需在后续工作中解决。

5)下阶段建议加大危险货物通过三峡船闸安全风险防控方面的科研力度，并呼吁尽快明确三峡过闸消防体制机制，积极推进三峡危险货物过闸安全问题的根本性解决。

参考文献：

- [1] 郭涛.三峡工程的航运效益分析[J].水运工程, 2010(7): 104-106, 139.
- [2] 贾进.长江三峡船闸实施危险品过闸禁限的必要性和对策[J].综合运输, 2020, 42(11): 121-126.
- [3] 钮新强.建设三峡水运新通道提升黄金水道支撑力[J].长江技术经济, 2018, 2(2): 47-52.
- [4] 兰毓峰,蔡述忠.三峡船闸化危品运输船舶过闸安全分析[J].中国水运, 2014(7): 20-21.
- [5] 向英,王娟,邓银婕.危险品通过三峡枢纽船闸现状分析[J].化工管理, 2017(31): 87-89.
- [6] 周建武,张义军.三峡船闸危险品船舶通航管理措施探讨[J].交通企业管理, 2012, 27(10): 27-29.
- [7] 汪璐,刘莹,杨孝作,等.联动控制下危险品船舶过闸交通组织管理[J].中国水运, 2021(8): 38-40.
- [8] 交通运输部水运科学研究所,上海化工研究院.危险货物分类和品名编号: GB 6944—2012[S].北京: 中国质检出版社, 2012.
- [9] 徐培红,郭君.关于长江干线散装液体危险化学品船洗舱站现状与发展对策的思考[J].航海, 2018(5): 34-38.
- [10] 长江三峡通航管理局.三峡通航统计年报[R].宜昌: 长江三峡通航管理局, 2015-2020.
- [11] 刘思峰.灰色系统理论的产生与发展[J].南京航空航天大学学报, 2004(2): 267-272.
- [12] 刘思峰,邓聚龙.GM(1,1)模型的适用范围[J].系统工程理论与实践, 2000(5): 121-124.
- [13] 刘思峰,杨英杰.灰色系统研究进展(2004—2014)[J].南京航空航天大学学报, 2015, 47(1): 1-18.
- [14] 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及其应用[M].北京: 科学出版社, 2010.
- [15] 李凯.灰色预测模型的优化及其应用研究[D].上海: 上海财经大学, 2020.