



湖北省学术著作出版专项资金资助项目
现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书



长江干线水上交通 风险评估与预警管理研究

Research on Waterway Transportation Risk Evaluation
and Early Warning Management in the Yangtze River

张矢宇 熊 兵 著



武汉理工大学出版社

WUTP Wuhan University of Technology Press

1 绪 论

1.1 国内外相关研究综述

风险评估与预警管理一直是水上交通安全工程领域的一个研究热点。国内外科学家和工程技术人员对这一方面已进行了广泛的研究,取得了许多研究成果,其中部分技术已在工程和管理实践中得到应用。总体而言,我国在水上交通风险评估、安全预警与应急反应领域的研究尚处于发展阶段,相关研究成果的实用性和应用范围还落后于先进发达的国家。随着长江水上交通运输的发展,长江水上交通风险评估与安全预警管理仍是人们关注的重点,还有许多新问题需要攻克。以下从水上交通安全风险评估、安全预警管理与应急反应等方面对国内外研究现状做简要概述。

1.1.1 水上交通风险评估

水上交通运输系统包括内河水运(航运)和海上水运(航运),由通航环境、人员、船舶等子系统构成,属于高风险的产业,其风险分析和安全管理引起了人们的广泛关注。国内外关于水运安全风险及安全管理的研究较多,主要涉及水上交通安全事故特征分析、水上交通安全评价、风险评估与预测、国际海事组织公约等对航运安全的要求等方面的理论、方法和技术。

1)水上交通安全事故特征分析

水上交通安全事故特征分析是指在事故发生后,根据事故发生时的通航环境条件、船舶信息及事故发生过程数据等,对事故发生特征、规律及事故成因进行分析。水上交通安全事故特征分析是通航安全风险识别、评估及其预警的重要依据。

水上交通安全事故特征分析主要是通过事故统计数据,从不同角度分析事故发生的时间、空间分布特征等。目前,世界上大部分国家已建立起自己的水上交通安全事故数据管理系统,要求相关职能管理部门及时填写并上报水上交通安全事故登记表,并根据上报的水上交通安全事故数据定期发布事故特征的统计数据。例如,英国从1998年起每年发布事故统计报表,包括不

同吨位与不同国籍船舶发生的事故次数、事故类型、损失情况等,通过对比历年的统计数据,分析事故发生的规律,针对不同类型船舶给出了安全航行建议。美国的 Blnac 等采用聚类分析的方法对 1978—1987 年间密西西比河下游的 936 起事故进行了分类分析,其研究事故样本的信息包括美国海岸警卫队新奥尔良 VTS 参加者、事故发生位置、天气状况、事故发生时间等。荷兰作为世界水运强国之一,1977 年开始建立全国船舶事故数据库,并于 1989 年启动“内河通航安全”计划,致力于建立新安全措施的评价模型、辅助费用效益分析和建设决策。

水上交通安全事故的特征分析虽然能反映事故发生的特点,但很多情况下不能解释产生这些事故特征的原因,无法根据不同的通航条件对各类船舶提出有针对性的事故防范措施和安全建议。

2) 水上交通风险评估

风险是某一有害事故发生的可能性与事故后果的总和^[1-2]。根据水上交通运输安全事故的特征,采用适当的方法,从人员、船舶、环境和管理等方面分析导致安全事故的风险因素,并对风险因素进行分类,确定风险及危险因素存在的位置和存在的方式,以及可能引发事故发生的部位、频次、严重程度及相关后果,确定风险等级尤其是重大风险源,并制定风险控制和安全管理对策,包括制定各类风险预防措施和应急预案。由于水上交通运输系统结构复杂、风险因素多、属性差异大,因此,多数情况下采用定性与定量相结合或系统模拟、系统仿真等综合方法进行风险评估和控制。^[3-5]

1993 年,英国海事安全局在 IMO 海上安全委员会第 62 届会议中提出了将综合安全评价(Formal Safety Assessment, FSA)应用于船舶安全领域的议案,将其作为识别、区分、计算相关的风险,进行更深层次的研究及管理决策的依据。FSA 是一种系统性和规范化的船舶航运安全综合评估方法,有五个步骤:①危险识别;②风险评估;③风险控制方案;④成本与效益评估;⑤提出决策建议。FSA 是一种集风险评价和成本/效益评估于一体,兼顾技术性与经济性,具体应用时,各步骤需要有效整合适用的定性和定量方法。FSA 的应用主要为三方面:一是概率风险评价(PRA, Probability Risk Assessment),是在事故发生前预测某设施(项目)可能发生什么事故及其可能带来的风险;二是实时的后果评价,主要研究对象是事故发生期间给出实时的污染物质的迁移轨迹及实时浓度分布,以便做出正确的防护措施决策,减少事故的危害;三是事故后的后果评价,主要研究事故后对社会、环境等的影响。从国内外研究现状来看,第一类问题一直是学术界讨论的热点。此外,在船

舶设计、航运与安全管理等方面,也可以运用上述五个规范化的步骤,全方位地对船舶设计、检验、营运、航行的相关项目进行综合评估^[6-8]。

除了 FSA 综合安全评价理论与方法的研究外,模糊数学、灰色理论、统计学、运筹学、人工神经网络、系统工程等理论和方法也逐渐被广泛应用于事故的分析与安全评估工作,国内外学者研究和建立了各种事故与风险关联模型,在水运风险、安全评价方面取得了令人瞩目的成绩。主要研究方法有:专家经验法、安全检查表(Safety Checklist Analysis)、预先危险性分析(Preliminary Hazard Analysis)、事件树分析(Event Tree Analysis)、故障树分析(Fault Tree Analysis)、危险和可操作性分析(Hazard and Operability Analysis)、失效模式和后果分析(Failure Mode and Effect Analysis)、作业条件危险性评价(LEC)、回归分析模型(Regression Analysis)、判别分析模型(Discriminant Analysis)、时间序列分析模型(Time Series Analysis)、贝叶斯网络模型(Bayesian Net)、景气指数法(Climate Index)、主成分分析(Principal Component Analysis)、马尔可夫链(Markov Chain)、层次分析(Antalytic Hierarchy Process)、模糊综合评价法(Fuzzy Comprehensive Evaluation)、灰色关联分析(Grey Relational Analysis)、数据包络分析(Data Envelopment Analysis)、人工神经网络方法(Artificial Neural Network)等。

此外,模拟及系统仿真的理论与方法也逐渐被应用于水上交通风险分析与安全评估中,结合应用信息技术和计算机科学技术进行水上交通流模拟、操船仿真模拟等,有效地对船舶航行的事故模式进行了识别。各种模拟、仿真实验在通航环境安全研究及安全模型验证等方面,一直发挥着重要作用。目前,水运安全研究在风险监测与评估、事故态势预测、应急反应及安全管理辅助决策支持等方面,逐步向集成化、信息化、智能化方向发展。

综合国内外水上交通风险评估相关研究成果,风险分析与安全评估受到了国内外学术及管理机构的广泛重视,但技术、方法显得分散凌乱,缺乏完善的理论体系。

1.1.2 水上交通安全预警

预警(Early Warning)一词,最早来源于军事,也常用于军事,是指在预警飞机、雷达、卫星等相关设施的辅助监测下,达到提前知晓、详细分析、准确判断敌人进攻与否的目的,并通过将预判的危险程度报告给指挥中心,以实现事前准备而降低风险。广义地说,预警就是安全系统的一种信息反馈机制。随着社会的不断进步,预警所具有的信息反馈机制不仅适用于军事领域,还

可应用于现代经济、技术、教育、医疗、灾变等自然和社会领域。^[9-13]

预警与应急理论应用于交通运输领域,主要集中在高速公路灾害预警与应急方面,航空、铁路和水上交通灾害预警与应急方面也有一些研究。在交通领域,世界各国对安全预警与应急的基本理论研究与实践过程大体一致,即在分析现状的基础上,分析、归纳其规律与特征,通过交通立法制定交通安全管理规章,从而控制交通过程,防止事故发生及减少死亡人数、减少财产损失等。

国外常以技术为重点进行预警与应急方法的研究,且侧重于公路运输安全方面的研究。在国家大环境中,欧美、日本等发达国家依托科技创新和先进技术,已建立先进完善的高速公路预警与应急管理系统。如美国针对恶劣天气建立预警与应急系统,并实现广泛应用。德国通过在线位移监控和预警系统,对高速公路本身和周边环境实施预警和检测,并成功应用于工程实践。^[14-16]

针对水上交通安全事故预警与应急辅助决策支持,国外先进发达国家正在深入开展基础理论研究,在安全事故相关信息获取技术、态势评估与预测技术、跨区域跨部门的应急信息共享技术、事故应急组织与优化调度技术、应急辅助决策支持等方面取得了较丰富的成果。

近年来,美国海岸警卫队着手部署的“救援 21”系统,基于人工知识推理技术和先进的信息融合处理技术,实现了以事故态势评估、应急指挥、辅助决策支持、现场指挥调度为一体的现代化应急与辅助决策支持,增强了事故应急反应水平与能力;英国海岸警卫署使用的 SARIS(The Search and Rescue Information System)系统,通过船舶动态、海况、搜救力量分布等信息,为确定水上交通安全事故区域和应急调度搜救力量提供辅助决策支持服务;欧盟推出的集海事监控、安全管理、事故应急、信息服务等为一体的海事安全监管与综合信息服务系统 MarNIS(Maritime Navigation Information Services),能够实时向应急指挥人员提供最佳的处置信息,为水路安全事故应急提供完善的辅助决策。

国内对预警与应急理论的研究起源于 20 世纪 80 年代中叶,先是对经济问题的研究,后来延伸至粮食、金融等领域。20 世纪 90 年代,经济预警的应用开始由宏观领域向微观经济领域延伸。随后,国内大量学者置身于交通安全预警与应急的研究,研究对象包括公路、铁路、水路及航空等。随着经济、社会和水路运输业的快速发展,水路交通越来越繁忙,水上交通运输安全事故发生的概率也不断增高,为此,水上交通运输系统必须拥有足够的应急能力,这对水上交通事故应急与辅助决策支持提出了更高的要求。^[17-21]

从事故控制理论出发,如果能够在船舶航行中通过管理手段干预环境因素,人、船、环境因素的风险将减少或避免演化为危险事件。预警管理就是一种常用的干预手段,通过对水上交通安全状态的监测,采集和识别风险信息,做出预控管理决策并组织实施,以便回避风险、避免或减少安全事故发生。相关研究中,主要体现为水上交通安全系统中特殊事故预警研究、预警技术研究及预警管理研究等。目前,针对碰撞事故,尤其是船舶、船桥碰撞方面,已有不少学者做出较全面的研究。在水上交通安全事故应急与辅助决策支持领域,开展了水上交通运输安全突发事件预测和监测技术、危险品船舶网络监控技术、航运安全事故应急辅助决策支持技术等方面的基础性研究。此外,已经初步建立了水上交通运输安全应急系统,形成了各级水上交通安全突发事件应急预案,提高了水上交通安全事故的预防、应急反应和处置能力,有力地促进了我国水上交通运输安全保障能力的提高。然而,水上交通安全预警与应急,尤其是内河水运交通安全预警与应急的研究,理论研究较多,可操作的实施技术仍不成熟。^[22]

近年来,武汉理工大学与长江航务管理局、长江海事局、湖南海事局等单位合作,在水上交通安全预警管理与应急反应技术等方面开展了有益的探索,研究了长江干线、湘江等水上交通安全预警管理机制、事故防范及应急处置措施等,获得多项中国航海学会科技奖。

总体而言,我国在水上交通安全预警与应急反应领域的各项研究尚处于发展阶段,相关研究成果的实用性和应用范围还落后于先进发达国家,还缺乏水上交通安全预警管理理论和方法的系统研究,尤其缺乏针对我国最大的内河干线——长江干线水上交通预警管理与技术的实证研究。随着长江水上交通运输的发展,长江水上交通风险动态评估、安全预警与应急方法、快速反应及应急处置技术、情景应对型预警与应急辅助决策技术等仍是人们关注的重点,还有许多新问题需要攻克。

1.2 主要研究内容与方法

应用现代统计学、应用数学、风险管理、安全系统工程等理论和方法,从水上交通系统整体角度出发,开展长江干线风险评估与安全预警管理研究。主要研究内容包括七个方面。

1) 长江干线水上交通运输发展现状与特点

阐述长江干线航道环境、运量、运力及水上交通安全监管发展现状,通过

水上交通事故统计,分析长江干线水上交通安全事故总数、类型分布、水域空间分布、时间分布及船舶种类分布等方面的特征。主要采用统计分析与归纳分析的方法。

2) 长江干线水上交通风险分析与评估方法

论述长江干线水上交通风险分析与评估的流程,从人员、船舶、环境和管理四个方面,分类分析影响水上交通安全的主要风险因素,研究适合于长江水上交通风险评估的方法和模型;重点研究基于单因素突变、多因素耦合及动态贝叶斯网络的水上交通风险评估模型的构建方法。主要采用系统分析法、水上交通系统要素分类分析法、风险管理理论分析法、归纳分析法、加权结构方程模型法、人工神经网络模型法、动态贝叶斯网络模型法等。

3) 长江干线水上交通风险评估实证研究

针对长江不同航段水上交通风险特征,采用不同的风险分析与评估方法开展通航环境及船舶航行风险评估。采用预先危险性分析法(PHA)及作业条件危险性评价法(LEC)对气象状况复杂水域——三峡库区通航环境进行风险分析与评估;采用基于事故发生率(Accident Rate)—环境风险(Environmental Risk)—事故后果(Accident Consequence)的综合风险评价模型,对繁忙水域——芜湖航段通航环境进行风险分析与评估;采用结构方程多因素耦合及BP人工神经网络多因素耦合风险评估模型,对浅险航段通航环境进行风险评估;从单船(队)航行环境风险分析角度对船舶航行风险进行综合评估。

4) 长江干线水上交通安全预警管理模式

长江水上交通安全预警管理模式应是在现有安全管理模式中,增加预警预控管理职能,并形成制度化和系统化。在阐述安全预警管理内涵的基础上,提出“四级预警、三级发布”的长江干线水上交通安全预警管理模式,研究预警管理组织运作模式、预控管理对策库的构建、水上交通安全预警管理与应急管理的关系,以及水上交通安全预警管理绩效评价的方法。主要采用系统分析法、管理模式理论与方法、组织行为理论与方法、预警与应急管理理论方法、绩效评价理论与方法、层次分析法(AHP)及模糊综合评价法(FCE)等。

5) 长江干线水上交通安全预警管理关键技术

根据长江干线水上交通事故险情与风险因素特点,设计初步预警指标体系;通过问卷调查与专家评估相结合的方式,分析安全风险因子,确定并构建预警指标体系;采用规范法、德尔斐法,结合专家评估确定各预警指标的等级与阈值;以多因素耦合风险评估模型为核心,以长江干线水上交通安全预警管理模式为依据,采用现代计算机管理系统开发的方法与技术,进行预警管

理系统的设计与开发,包括预警管理系统结构设计,预警管理信息采集、传输与发布模式的确定,预警管理系统的开发,以及预警管理系统在长江干线航段的应用示范。

6)三峡库区雾航安全预警管理研究

雾情已经成为影响三峡库区船舶航运安全的主要因素之一。研究三峡库区雾情特点及其对航运的影响,在分析目前雾航安全管理存在问题的基础上,提出雾航安全预警等级及评判标准、预警管理组织及运行机制,以及预警预控管理对策。主要采用统计分析法、系统分析法、预警管理理论方法、实践经验法及专家意见法等。

7)基于状态方程的水上交通安全管理评价与控制

针对水上交通安全事故发生的离散特征,运用离散动态系统分析方法,建立反映水上交通安全系统“危险”与“控制”矛盾运动关系的安全状态方程;针对水上交通安全统计样本少、“噪声大”的特点,采用最小二乘法—卡尔曼滤波—最小二乘法(Least square method—Kalman filtering algorithm—Least square method,LKL)参数估计算法,测算长江干线不同航段安全状态方程,进行危险度和安全度评价;运用离散动态系统最优控制的理论和方法,构建基于最优资源投入策略的安全目标控制模型,为水上交通安全系统管理目标的制定提供方向和依据。

1.3 研究技术路线

通过查阅国内外相关文献,深入长江航务管理局、长江海事系统等各级机构,以及多家从事长江干线水上交通运输的航运企业实地调研、交流考察、专家咨询等,进行资料收集和研究成果意见征询,采用理论研究与实证研究相结合、定量与定性分析相结合等方法,进行课题研究和攻关。研究的技术路线见图 1.1。

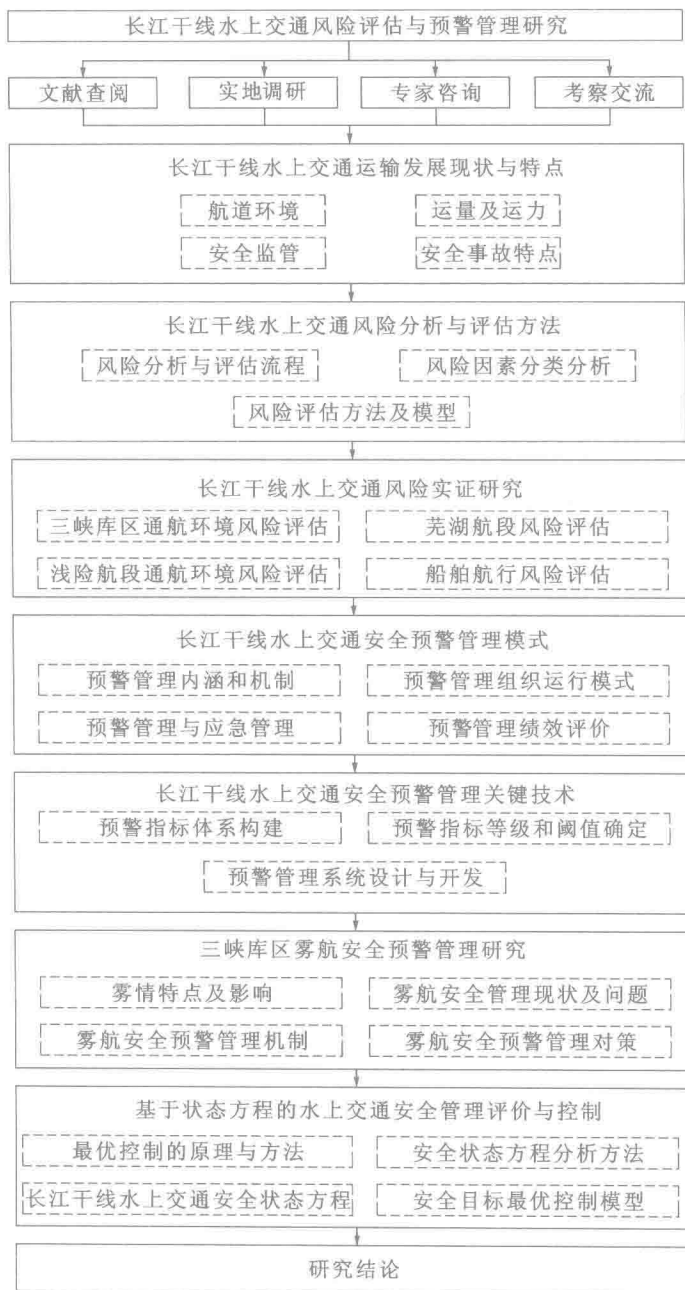


图 1.1 研究技术路线

2 长江干线水上交通运输发展现状与特点

依托黄金水道推动长江经济带发展上升为国家战略,极大地提升了长江水路运输的地位。近十多年来,长江水上交通运输保持了较强的发展韧性,政策环境持续改善,基础性制度改革和法治建设稳步推进,统筹规划建设、运输保障、监管执法、创新发展和行业文明、治理体系和治理能力建设等取得了重要进展,为长江航运平稳运行提供了有力保障;长江水上交通运输生产规模持续较快增长,实力明显增强,发展活力和服务区域经济发展能力显著提升。

本章着重阐述长江干线航道环境、运量、运力及水上交通安全监管发展现状,通过水上交通事故统计,分析长江干线水上交通安全事故特征,为后续风险分析与评估打下基础。

2.1 航道环境

2.1.1 航道及水上作业区

按照河道水文和地理特征,长江上中下游划分区段为:湖北宜昌以上河段为上游,湖北宜昌至江西湖口河段为中游,江西湖口以下河段为下游。按照航道养护管理的特点,长江上中下游划分区段为:湖北宜昌以上为长江上游航道,湖北宜昌至湖北武汉为长江中游航道,湖北武汉至上海长江口(南汉)为长江下游航道。本书按照航道养护管理的特点进行长江干线航段划分。

2.1.1.1 航道

长江干线航道上起云南水富,下至长江口(南汉)入海,全长 2838km。其中,云南水富至四川宜宾合江门段 30km,由四川省交通运输厅负责养护管理;湖北宜昌中水门至秭归庙河段 59km,由长江三峡通航管理局负责养护管理;江苏太仓浏河口至上海长江口(南汉)段 120km,由长江口航道管理局负责养护管理;其余河段由长江航道局负责养护管理。

1) 上游航道

云南水富至湖北宜昌为上游航道,习称川江,全长 1085km,属山区河流,多为石质河床,航道弯曲狭窄,滩多流急,流态紊乱。

目前,水富向家坝至江津红花碛为山区天然航道;江津红花碛至重庆涪陵为三峡水库变动回水区航道;重庆涪陵至三峡大坝为常年库区航道;三峡大坝至葛洲坝为两坝间航道。

(1)水富—重庆段

水富向家坝至宜宾合江门段,全长 30km,目前航道技术等级为 V 级,航道养护类别为二类。

宜宾合江门至重庆羊角滩段,全长 384km,目前航道技术等级为 III 级,航道养护类别为一类,航标配布类别为一类。

该段流经峡谷、丘陵和山地,河床多为卵石,间有基岩,航槽相对稳定。峡谷河段航道弯窄急险,丘陵地带河谷开阔,洪水期河宽 500~1000m,枯水期一般为 300~400m。宜宾至重庆河段枯水期水流流速一般为 1.5~3.0m/s,个别滩险河段最大流速可达 4.2m/s,年径流量达 2060 亿 m^3 。该河段共有 30 余处碍航滩险,以卵石浅滩碍航为主。

(2)重庆—宜昌段

重庆羊角滩至宜昌下临江坪段,全长 671km,目前航道技术等级为 II 级,航道养护类别为一类,航标配布类别为一类。过去,该河段航道弯窄,滩险众多;三峡工程全面建成后,大部分滩险消失,特别是大坝至丰都河段航道条件显著改善。

三峡蓄水以来,库区航段航道条件得到极大改善,河面放宽,水流放缓,通航条件优良,水域一般宽度为 400~500m。峡谷河段除个别地段河面宽 180~200m 外,其余河段河面宽度为 280~300m;宽谷河段河面宽 500~800m,部分河段达 1000m 以上,航道最小曲率半径为 1200m。流量 $30000\text{m}^3/\text{s}$ 以下时,库区航道的平均表面流速约 0.5m/s。145m 水位回水至重庆郭家沱,175m 水位回水至重庆九龙坡。自 2005 年 12 月 1 日实行船舶定线制后,长江上游宜昌十码头至丰都河段分月维护水深提高至 3.2m,船舶最大承载吨位由 2000t 增加到 6000t。

目前,影响航道维护效能的制约因素有:一是两坝间水流条件,三峡电站调峰作用使得两坝间水流条件复杂多变;二是局部水域碍航礁石的存在,尤以莲沱至坝河口一带水域礁石居多,大多数水上安全事故均发生在上述水域,其中,岸溪礁石群及鹰子咀礁石群碍航程度最大。

2)中游航道

湖北宜昌至湖北武汉为中游航道,全长 613km;该段有芦家河、枝江、江口、太平口、武桥等 10 多个重点浅水道。长江中游历来是枯水期长江航道养

护的重中之重,航道技术等级为Ⅱ级,航道养护类别为一类,航标配布类别为一类。

中游河段枯水期水流流速为 $1.0\sim 1.7\text{m/s}$,洪水期流速为 $2.0\sim 3.0\text{m/s}$,多年平均径流量为4510亿 m^3 。相比于上游、下游航道,中游航道高洪水期两岸易漫坪,枯水期多沙质浅滩,河床易变。该航段河床浅、险、多变,主要由砾石和砂组成,多淤积变迁,呈现由山区河流向平原河流过渡的特点。其中,宜昌至枝城段为山区向平原过渡的丘陵河段,泥沙卵石河床。除局部河床汛后有一定的淤积变化外,大部分河床河势稳定,常年航道维护最小尺度为 $2.9\text{m}\times 80\text{m}\times 750\text{m}$,可通行1500~3000t级船舶。葛洲坝冲沙和三峡水电站流量调节水流含沙量减少导致坝下河段有下切趋势。根据地质水文条件的差异,中游航段一般划分为四个区段:

(1)宜昌至枝城段45km,为由山地、丘陵向平原过渡的过渡性河段。该区段河道稳定顺直,枯水期江面宽约1000m,主要浅水道有宜都水道。

(2)枝城至荆州藕池口段175km,习称“上荆江”。该区段河槽宽,河床底质以砾石、砂和泥组成,并有松滋口、太平口、藕池口分汊入洞庭湖。河道蜿蜒曲折,河床冲淤多变,极不稳定,平均宽度1300m左右,多江心洲。主要浅水道有芦家河水道、枝江水道、太平口水道、马家嘴水道、周公堤水道、天星洲水道等。芦家河、太平口、天星洲、藕池口等水道冲淤变化剧烈,枯水期航道狭窄水浅。洪水位和中水位交替的9~10月间,时常出现很大的吊坎水,船舶上坎时操作稍有不当,容易发生翻沉事故。荆州长江公路大桥坐落在三八洲上,航槽极不稳定,南北摆动频繁,枯水期航道狭窄、水浅,每年11月底至次年4月初,需要禁航疏浚才能满足基本通航要求。

(3)荆州藕池口至岳阳城陵矶段165km,习称“下荆江”。河道蜿蜒曲折,素有“九曲回肠”之称,平均宽度为1000m左右。河床冲淤多变,河床底质以沙为主,两岸地势低平、土质松软,洪水易泛滥出现大片漫坪。主要浅水道有藕池口水道、碾子湾水道、窑集老水道、监利水道、大马洲水道、铁铺水道、尺八口水道等。近年来,窑监水道枯水期浅窄变迁。此外,该航段受长江上游来水和洞庭湖水系水位涨落时间错开的影响,在荆河口附近出现顶拖和吊口水现象,对船舶航行影响较大。

(4)岳阳城陵矶至武汉段228km,习称“外荆江”,为顺直分汉性河段,江面较宽,平均宽度为1500m左右。有湘、资、沅、澧四大支流汇入,流量增大;河床底质较硬,稳定不易变迁,河道较宽,弯曲较少,主要浅水道有界牌水道、陆溪口水道、嘉鱼水道、武桥水道。每年四五月份受洞庭湖涨水影响,该航段

易形成短时的春汛,七八月份受上游来水影响形成伏汛,9月份以后还会发生短时间的秋汛。该航段河床呈东北走向,若遇4~5级及以上北到东北风时,江面易形成大浪,对船舶航行威胁较大。

3) 下游航道

湖北武汉至上海长江口(南汊)为下游航道,全长1140km,目前航道技术等级为Ⅰ级,航道养护类别为一类,航标配布类别为一类。

该航段河道宽阔,流路曲折,汉河发育,洲滩众多;河床地质由沙、泥组成,航道多变,呈现典型的平原河流特点。武汉至南京河段有汉江、鄱阳湖水系、皖南诸支流汇入,河床宽窄相间,河道宽度除局部较窄外,一般都在1000m以上,多形成分汊河段;南京至浏河口河段江面进一步展宽,特别是出江阴后江面成喇叭形逐渐展宽,在南通附近达18km,至口门处达约90km。江阴以下为潮汐河段,受潮汐影响较大。该河段枯水期水流流速为0.8~1.2m/s,洪水期流速为1.6~1.9m/s,汉口、大通站多年平均径流量分别为7380亿 m^3 、8940亿 m^3 。

下游的浅滩主要分布在武汉至芜湖之间,一般在宽阔河道的分汊河段及其上下口、放宽段、过渡段,或与支流汇合口的上方,其中主要有汉口、罗湖洲、戴家洲、沙洲、武穴、新洲、张家洲、马阻、东流、安庆、太子矶等处,主要出现在枯水期,出浅程度严重的有武穴、张家洲、马阻、东流等几个水道。

枯水期,下游航道水深常有不足,需计划维护水深。经疏浚等工程,武汉以下可保持4.5m水深,洪水期自然水深均在7.5m以上,故5000t级海轮常年可驶至武汉。

下游航道水深季节性变化明显,枯水期的浅窄航道及浅滩礁石等对船舶通航安全影响大。

2.1.1.2 水上作业(活动)区

1) 港区

长江干线辖区有重庆、万州、宜昌、武汉、黄石、九江、安庆、芜湖等规模以上港口30个;港区水域码头、取水口等水工设施众多,船舶流密集,船舶进出频繁,航路交叉,船舶航行、停泊、作业行为复杂。

2) 桥(坝)区

据不完全统计,目前长江干线从上海至宜宾航段,共有85座大桥(含长江隧道),平均每33km有1座大桥。桥梁等过河建筑物对船舶自由通航尺度产生限制,且辖区桥梁绝大多数为多孔桥梁,船舶通航高度和通航宽度均有较大程度的缩小,再加上受河道演变影响,多孔桥梁桥区水域水流条件易发生

变化,桥区实际通航条件进一步受限制。另外,受三峡大坝和葛洲坝两座大型水利枢纽运行影响,坝区水域水势流态复杂,也增加了船舶航行难度。

3) 干支交汇区

长江干线由于嘉陵江、清江、汉江等众多支流汇集及江心洲对河道的分割,形成众多的干支交汇水域。干支交汇水域水流流势、流态复杂,船舶流密度相对密集,航路交叉,增加了船舶对驶相遇、交叉相遇概率,增加了船舶安全航行的困难。

4) 施工作业区

长江干线水上水下施工作业种类多,包括修建码头、桥梁、闸坝,实施航道整治、水文测量,架设管线、采砂作业等。水上施工作业一般均需在航道内划定一定的水域作为施工作业专用区域,同时施工作业往往需实施交通管制,有时还需禁航施工,这些对过往船舶通航产生了较大影响。在长江中下游还规划采砂区 28 个,采砂期间采区水域运砂船众多,航路交叉,现场通航秩序复杂;另外,受利益驱使,非法碍航采砂行为屡禁不止,也影响了船舶正常航行和航道安全。

5) 锚泊区

长江干线的锚泊区内船舶密集停泊,船舶航行、停泊行为复杂,船舶航路交集,受风、水流等因素影响,锚泊船舶易发生走锚、漂移,可能导致与其他锚泊船舶或航行船舶发生碰撞。

近年来,随着国家对长江航道建设的大力投入,长江干线航道条件得到了较大的改善,长江干线全航段具备了夜航条件。随着产业布局的调整,水上运输方式发生了部分变化,如船舶大型化、干散货运输、集装箱运输、危险化学品运输、汽车滚装船等均得到了迅猛的发展;据 2014 年长江干线断面船舶流量统计,三峡库区主要断面的日均船舶流量达 250~350 艘次,安徽段长江干线主要断面日均船舶流量达 1000~1500 艘次。

2.1.2 气象水文

2.1.2.1 气象

长江水域气候温暖,雨量丰沛,由于地形变化大,有着多种多样的气候类型。上游段地处我国西南部,受多重季风影响,气候变化大,有暴雨洪涝、干旱、低温阴雨、雷暴、冰雹、高温和大雾等气候灾害;中游段地处我国中部,绝大部分处于亚热带地区,气候温暖湿润,温度、降水、风和雾都对通航环境产生较大的影响;下游段地处我国东部,属于北亚热带、湿润的季风气候区,一

般特点是四季分明,春秋较长,夏季炎热,冬季寒冷。具体特征为:

1) 温度

长江上游段年平均气温为 18°C 左右。盛夏平均气温一般为 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$,秋季凉爽,多细雨;冬季气温最低的1月份,平均温度为 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

三峡成库后,年平均气温为 $16\sim 19^{\circ}\text{C}$,最高月平均气温 28.2°C ,最低月平均气温 4.7°C ,每年2~3月气温骤降频繁,气温降幅最大可达 8°C 。因库区航段地貌特点,周围山势高,冬季冷空气不易侵入,夏季热空气不易散发,形成了库区冬暖夏热的气象特征。

长江中游段温差较大,夏季最高温度可达 42°C 左右,冬季受寒潮影响,最低温度可降至 -17°C 。

长江下游段平均气温一般在 16°C 左右,最高温度可达到 40°C 以上,最低温度可降至 -10°C 以下。

2) 降水

上游段常年降水充沛,年均降水量为 $1070\sim 1682\text{mm}$,降水时段主要集中在春末至仲秋,冬干夏雨,雨热同季。春季降水与秋季降水总量相近,但秋雨持续时间长,强度不大,形成绵绵秋雨。平均暴雨日数为2~4天,东部平均暴雨日数略多于西部的;暴雨主要发生在4~11月,6、7月发生次数最多。

三峡成库后,上游航段年平均降水量增加约 3mm ,其影响涉及库周几千米至十几千米,因地形而异。

中游段降水多集中在6~8月,年均降水量约 1200mm ,当降水时间持续较长时,可能出现特大洪水。区域性和局部性暴雨还易导致山洪暴发、河水泛滥等自然灾害。

下游段雨量充沛,多集中于春夏二季,年均降水量 $1000\sim 1300\text{mm}$ 。降水日数平均为120天左右,夏季从6月中旬到7月上旬为降雨量集中的梅雨季节。

3) 风

上游段年平均风速为 1.3m/s ,季节变化和月变化均不大,但最大瞬间风速可达 27m/s ,风力达8级以上,并常伴有寒潮或雷雨出现。

三峡成库后,上游段年平均风速增加 $15\%\sim 40\%$,因成库前库区平均风速仅 2m/s 左右,故成库后风速仍不大。

中游段受北方冷空气南下或西伯利亚寒潮的影响,冬季易出现较强的偏北风,风力5~6级,阵风可达7~8级。全年8级以上大风日在岳阳段平均为21天,武汉段为10天,其他地区一般为6~8天。

下游段地处平原,当北方冷空气南下与太平洋高压气旋交汇时,冬春有寒潮侵入,夏秋季有台风袭击,风力远较中上游的为大,最大风力可达10级以上。沿江各地常年以东北风和东风居多,地区差异不显著。全年平均风速为2.2~4.0m/s,其中春季为2.4~4.0m/s,夏季为2.1~3.2m/s,秋季为2.0~3.6m/s,冬季为2.1~3.8m/s。

4)雾

全线雾日多发于秋、冬、春季,7~8月雾日最少。

上游段平均雾日为40~41天,一般发生在秋、冬季节。大雾从10月份开始增加,12月份达最多,2月份雾日逐渐减少,夏季8月达最少。

三峡库区航段为多雾日区。三峡蓄水运行以后,由于江面放宽,水流流速减缓,加之两岸高山陡峭,日照较少,雾情有加重的趋势。发雾时间年内分布以秋冬两季为最多,雾区河段的长度一般6~30km不等,年最多连续雾日22天。

中游段平均雾日为16~33天,多出现在冬季。其中,荆州段、武汉段雾日最多,可达30天以上;监利段最少,7~8天,其他地区一般为14~17天。霜降至立春间多发生辐射雾,雾多起在每天凌晨以后,持续时间一般只有几小时,在午前10~11时即消失。

下游段冬春两季(11月至次年4月)雾较多,尤其是11~12月间最为频繁,年平均雾日一般在10~30天之间,月平均发雾2~5次,发雾的持续时间不等,有的几十分钟,有的持续1~2天之久。一般春雾持续时间短,冬雾持续时间长。7、8月雾日最少。

5)雪

长江干流沿线一般降雪量不大。上游河段较少降雪;中下游河段偶见大雪,会造成霜冻和能见度不良,对船舶航行和水上作业(活动)安全造成一定影响。

2.1.2.2 水文

根据长江干流水位多年的变化规律,一般来说,6、7、8、9四个月为洪水期,水位高,流速大;12月至翌年3月为枯水期,水位低,流速小;4、5、10、11四个月为中水期,水位适中,为全年航行条件较好的时期。

长江上游云南水富至重庆航段属川江自然河段,沿途支流、溪沟众多,水位周期变化,比降、流速较大,水流流态紊乱。在洪水季节,洪峰来临时,水位日涨落剧烈。其中,回水变动区段,中枯水期比降小、流速缓慢,流态平稳;洪水期恢复自然状态,比降、流速较大,水流流态紊乱。

三峡库区航段,水深富余,比降小、流速缓慢,流态平稳。按照调度方案,

三峡水库按 145m、156m 和 175m 三个不同水位运行。每年 5 月末至 6 月初, 水库水位降至 145m; 汛期 6~9 月, 按 145~156m 运行; 10~11 月蓄水, 逐渐升高到 175m; 12 月至次年 5 月底, 水位逐步降落, 但枯水期消落最低水位不低于 155m。

中游宜昌至武汉航段, 受长江上游来水和支流水系雨水补给影响, 水位变化非常明显, 按照季节、月份分为枯、中、洪三个时期。一般情况下, 12 月至次年 3 月为枯水期; 4~5 月和 10~11 月为中水期; 6~9 月为洪水期。中游平均纵比降为 0.0421‰, 其中宜昌至城陵矶为 0.0511‰, 城陵矶至武汉为 0.0261‰。中游段枯水期流速为 1.0~1.7m/s, 个别河段可超过 2.0m/s; 洪水期一般可达 3.0m/s, 洪峰时可达 5.0m/s。中游段水流流态复杂, 在干支流交汇水域, 当干流水位急退或支流水位暴涨时出现吊口水; 在弯曲河段出现扫弯水; 在秋后江水急退时出现走沙水等。

下游武汉至太仓浏河口航段, 水量浩大, 水势平稳, 含沙量小, 受季节性降雨、中游来水和下游汉河来水的汇注、潮汐的影响, 水文情况较为复杂。一般情况下, 6~9 月, 武汉汉口水位 10m 以上时为洪水期; 4~5 月和 10~11 月, 汉口水位在 4.5~10m 时为中水期; 12 月至次年 3 月, 汉口水位在 4.5m 以下时为枯水期。下游的流速一般是洪水期大于枯水期, 上游段大于下游段, 狭窄区大于宽敞区, 主航道大于经济航道, 落潮流速大于涨潮流速。除此之外, 长江下游还出现周期性的潮汐现象, 枯水期小潮汛时可到芜湖, 大潮汛时可到大通, 有时还可波及安庆。

2.2 运量及运力

2.2.1 运输量

2014 年, 长江干线完成货物通过量 20.6 亿 t, 同比增长 7.3%。按运输区域分, 干线至干线的货运量为 5.6 亿 t, 同比增长 9.4%; 支流进入干线和干线进入支流的货运量为 2.6 亿 t, 同比增长 9.7%; 海进江和江出海货运量为 11.7 亿 t, 同比增长 5.9%。江海货运量占总通过量的 57%, 干线和干支货运量占总通过量的 40%。通过量排在前 3 位的货物依次为煤炭 5.2 亿 t, 金属矿石 4.0 亿 t, 矿建材料 3.4 亿 t, 分别占总通过量的 25.2%、19.4% 和 16.5%。

长江干线规模以上港口有 30 个, 主要港口 15 个, 分别为: 泸州港、重庆港、宜昌港、荆州港、岳阳港、武汉港、黄石港、九江港、安庆港、马鞍山港、芜湖