



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



现代内河航道 助航技术

Modern Inland Waterway
Navigation Technology

刘怀汉 初秀民 吕永祥 著



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

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

现代内河航道助航技术

刘怀汉 初秀民 吕永祥 著

武汉理工大学出版社

·武汉·

内 容 提 要

内河助航系统是船舶安全、经济和便利航行的重要保障,科学技术的进步赋予内河助航系统新的内涵,内河航道助航技术正朝着信息化、网络化和智能化方向发展,其内涵日益丰富、功能日益完善,从而使得船舶的航行更加安全、经济、便利。本书对现代内河航道助航技术进行了全面深入的阐述和总结,主要内容包括:航标技术(视觉航标、无线电航标、虚拟航标)、内河智能航道关键技术、内河航道水位感知与融合技术、内河航道通航环境监测技术、控制河段交通指挥关键技术等。

本书在撰写时力求通俗易懂,避免使用晦涩难懂的专业词汇,可作为内河航运从业人员了解现代内河航道助航技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代内河航道助航技术/刘怀汉,初秀民,吕永祥著. —武汉:武汉理工大学出版社,
2016. 11

ISBN 978-7-5629-5412-5

I. ①现… II. ①刘… ②初… ③吕… III. ①内河航道-助航设备 IV. ①U644. 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 261727 号

项目负责:陈军东 陈 硕

责任编辑:夏冬琴

责任校对:雷红娟

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.wutp.com.cn> 理工图书网

E-mail:chenjd@whut.edu.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.75

字 数:448 千字

版 次:2016 年 11 月第 1 版

印 次:2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价:78.00 元(精装本)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87515798 87165708

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书

编审委员会

主任委员:严新平

航运物流与交通规划技术系列主任委员:张培林

内河航运技术系列主任委员:黄立文

船港设备绿色制造技术系列主任委员:袁成清

交通智能化与安全技术系列主任委员:吴超仲

委员(按姓氏笔画为序)

邓健 甘浪雄 田高 白秀琴 刘正林

刘明俊 刘敬贤 刘清 牟军敏 杨亚东

杨学忠 肖汉斌 吴建华 吴超仲 初秀民

张矢宇 张培林 陈宁 周新聪 袁成清

钟鸣 黄立文 黄珍 蒋惠园 蔡薇

秘书长:杨学忠

总责任编辑:陈军东

出版说明

航运与物流作为国家交通运输事业的重要组成部分,在国民经济尤其是沿海及内陆沿河沿江省份的区域经济发展中起着举足轻重的作用。我国是一个航运大国,航运事业在经济社会发展中扮演着重要的角色。然而,我国航运事业的管理水平和技术水平还不高,离建设航运强国的发展目标还有一定的差距。为了研究我国航运交通事业发展中的安全生产、交通运输规划、设备绿色节能设计等技术与管理方面的问题,立足于安全生产这一基础前提,从航运物流与社会经济、航运物流与生态环境、航运物流与信息技术等角度用环境生态学、信息学的知识来解决我国水运交通事业绿色化和智能化发展的问题,促进我国航运事业管理水平与技术水平的提升,加快航运强国的建设。因此,武汉理工大学出版社组织了国内外一批从事现代水运交通与物流研究的专家学者编纂了《现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书》。

本丛书第一期拟出版二十多种图书,分为船港设备绿色制造技术、交通智能化与安全技术、航运物流与交通规划技术、内河航运技术等四个系列。本丛中很多著作的研究对象集中于内河航运物流,尤其是长江水系的内河航运物流。作为我国第一大内河航运水系的长江水系的航运物流,对长江经济带经济发展的促进作用十分明显。2011年年初,国务院发布《关于加快长江等内河水运发展的意见》,提出了内河水运发展目标,即利用10年左右的时间,建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系,2020年全国内河水路货运量将达到30亿吨以上,拟建成1.9万千米的国家高等级航道。2014年,国家确定加强长江黄金水道建设和发展,正式提出开发长江经济带的战略构想,这是继“西部大开发”、“中部崛起”之后的又一个面向中西部地区发展的重要战略。围绕航运与物流开展深层次、全方位的科学研究,加强科研成果的传播与转化,是实现国家中西部发展战略的必然要求。我们也冀望丛书的出版能够提升我国现代航运与物流的技术和管理水平,促进社会经济的发展。

组织一套大型的学术著作丛书的出版是一项艰巨复杂的任务,不可能一蹴而就。我们自2012年开始组织策划这套丛书的编写与出版工作,期间多次组织专门的研讨会对选题进行优化,首期确定的四个系列二十余种图书,将于2017年年底之前出版发行。本丛书的出版工作得到了湖北省学术著作出版专项资金项目的资助。本丛书涉猎的研究领域广泛,在这方面的研究成果众多,首期

出版的项目不能完全包含所有的研究成果,难免挂一漏万。有鉴于此,我们将丛书设计成一个开放的体系,择机推出后续的出版项目,与读者分享更多的我国现代航运与物流业的优秀学术研究成果,以促进我国交通运输行业的专家学者在这个学术平台上的交流。

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书编委会
2016年10月

序

长江、黄河等流域孕育了古老的中华文明,内河航道在 5000 年的中华民族历史长河中发挥了重要作用。从春秋战国时期的战道到明清时期的槽道,再到今天的长江黄金水道,无不打下了时代的烙印。在内河航道资源的开发利用过程中,内河航道助航技术的革新始终伴随,并发挥了重要作用。约在 7000 年前,先民们便驾着独木舟开始了原始航行的行程;但直至宋元时期,才出现了人工助航标志,并有了航道测量和水位观测的记载;明朝时期,出现了长江水系中大型固定导航标志;1840 年以来,开埠港口陆续设置少量助航设施;1949 年以前的半个世纪,始终只是利用长江航道的自然水深,引进西方航道测绘技术与助航标志加以维护管理;1949 年新中国成立后,长江干线航道上建立了一套锁链式的内河新航标,开创了上下水全面夜航,实现了航标改革与航标电气化、自动化、绞滩机械化;在 1984 至 2004 年间,新技术、新设备、新工艺、新材料得到广泛应用,航标、航道测绘等技术取得新的突破,航道助航水平显著提升;2009 年长江干线 2687.8km 航道实现了电子航道图的全线贯通;2014 年,在刘怀汉、吕永祥教授级高工主持的交通运输部科技成果推广项目《多功能航标成套技术应用推广》的支持下,长江干线推广了 330 座多功能航标;2015 年又正式对外推广应用新型长江电子航道图系统。至此,长江航道助航技术无论是概念内涵还是体系组成均发生了很大的变化,形成了由视觉航标、无线电助航设施、电子航道图等组成的综合助航系统。长江航道助航技术的进步,也有力促进了长江航运的持续快速发展。当前,内河航道助航系统正在朝着标准化、系统化、数字化、多样化的方向发展,亟须对现代内河航道助航技术进行系统的总结。《现代内河航道助航技术》一书是交通运输部长江航道局刘怀汉、吕永祥教授级高工和武汉理工大学国家水运安全工程技术研究中心交通感知与控制研究所所长初秀民教授共同完成的著作,总结了他们团队“产学研用”的成果。本书的出版,能为广大读者了解、掌握现代内河航道助航技术提供帮助,同时,该书作为内河智能航运技术丛书的首部著作,对于丰富内河智能航运知识体系、推动内河智能航运技术的发展也将发挥重要作用。

严新平

国家水运安全工程技术研究中心主任
武汉理工大学智能交通系统研究中心教授

2015 年 4 月 20 日

前 言

水运具有占地少、运能大、能耗小、成本低等比较优势。我国水运资源非常丰富,以长江、珠江、京杭运河、淮河、黑龙江和松辽水系为主体的内河水运格局,在现代综合交通运输体系中占有重要的地位。尤其是素有“黄金水道”之称的长江干线已成为世界上运量最大、运输最繁忙的通航河流,对促进流域经济和社会发展发挥了重要作用。2011年国务院出台《关于加快长江等内河水运发展的意见》,提出利用10年左右的时间建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系,长江等内河水运进入了一个新的快速发展时期。2014年国务院又颁布了《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》,内河航运发展被提升到国家战略层面。

在航运三大要素中,航道是基础,助航设施是航道的重要组成部分。近年来,内河航运快速发展,船舶流量逐年加大,船舶大型化、快速化趋势明显。传统的纸质航道图、视觉航标、信号台等已无法满足航行船舶的助航需求,内河助航系统亟须新方法、新技术、新装备提升其效能。信息技术的发展和在内河航运中的应用,为内河航道助航设施的功能创新提供了技术支撑,也赋予了内河航道助航系统新的内涵。因此,非常有必要对现代内河航道助航技术进行总结,为内河航运从业人员提供参考和帮助。

本书共9章,主要在传统助航设施介绍的基础上,阐述了内河助航系统的信息化、数字化、多功能化以及智能化等技术。本书主要内容如下:

第1章简述了助航系统的定义及内涵、助航系统的发展和现代助航系统的关键技术。

第2章描述了视觉航标的定义、分类以及功能,分析了视觉航标的特性及其影响因素,介绍了视觉航标的构成、设计关键技术等。

第3章介绍了无线电助航系统中最常用的几种无线电助航设施:雷达应答器、基于AIS的航标、虚拟航标,分别从它们的设计基础以及具体设计等方面进行描述。

第4章介绍了多功能航标的发展、组成、应用以及集成的关键技术,同时介绍

了多功能数据管理与服务的关键技术。

第5章介绍了航行基面、航行水尺、航道水位信息感知与信息服务研究现状,分析了航道水位感知关键技术,提出了航道水位预测预报方法,介绍了航道水位信息服务示范应用系统。

第6章介绍了能见度监测技术发展现状与系统开发关键技术、能见度传感器及其布设方法、能见度信息采集精度提高方法以及航道能见度信息服务技术等。

第7章介绍了控制河段交通指挥系统的现状及发展趋势、控制河段交通流感知技术,阐述了控制河段交通指挥方法,提出了控制河段交通指挥系统的设计方法,建立了控制河段交通指挥应用示范系统。

第8章介绍了内河电子航道图的原理、技术标准,电子航道图显示的关键技术、应用及展望。

第9章分析了内河航道助航技术的发展趋势,分析了仿真技术以及智能决策技术在航道助航工程设计与维护管理中的应用,提出了智能航道的定义、构成、逻辑框架以及物理框架,构建智能航道的基础知识体系。

本书由刘怀汉、初秀民、吕永祥著,郭涛、刘兴龙、徐武雄、陈先桥、李学详、何乐也参与了部分编写工作。

本书的出版主要依托以下研究项目和工程实践:国家高技术研究发展计划(863计划)《船-标-岸协同下的水上交通状态感知与交互(2012AA112303)》、交通运输部重大科技专项《长江航道要素智能感知与融合技术研究及综合应用(2013364548200)》、交通运输部科技成果应用推广项目《多功能航标成套技术应用推广》、长江数字航道建设系列工程。

本书在撰写过程中得到了长江航道局、长江航道规划设计研究院和武汉理工大学智能交通系统研究中心的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,恳请读者批评指正!

作 者

2015年1月

目 录

1 绪 论	1
1.1 助航系统与助航技术概述	1
1.1.1 航道助航系统的概念	1
1.1.2 航道助航关键技术概述	2
1.2 航道助航系统的发展	2
1.2.1 发展历史	3
1.2.2 发展趋势	4
1.3 内河航道现代助航技术	7
1.3.1 航标技术	7
1.3.2 电子航道图	10
1.3.3 内河航道通航环境监测系统	10
1.3.4 助航设施管理系统	11
1.3.5 控制河段交通指挥系统	12
1.4 本书的内容概要	12
1.4.1 主要内容	12
1.4.2 本书研究的目的与局限性	13
参考文献	14
2 视觉航标	15
2.1 视觉航标概述	15
2.1.1 视觉航标的定义	15
2.1.2 航行标志的种类与功能	15
2.1.3 视觉航标构成	27
2.2 视觉航标助航特性	29
2.2.1 视觉航标灯光颜色	29
2.2.2 表面颜色	30
2.2.3 视觉航标的可见性	30
2.2.4 视觉航标助航特性分析	32
2.3 航标灯同步闪技术	39
2.3.1 国内外航标灯同步闪技术现状及分析	39
2.3.2 GPS 授时航标灯同步闪技术	40
2.4 航标遥测遥控技术	42
2.4.1 航标遥测遥控系统作用	43
2.4.2 航标遥测遥控系统架构	43
2.4.3 航标遥测遥控终端设计关键技术	45
2.4.4 航标遥测遥控系统软件设计	49

2.5 内河航标新材料与新能源技术	51
2.5.1 航标新材料应用	51
2.5.2 内河航标新光源与新能源	53
参考文献	55
3 无线电助航技术	56
3.1 无线电助航技术概述	56
3.1.1 无线电助航系统的概念	56
3.1.2 内河航道典型的无线电助航系统简介	56
3.2 雷达信标	61
3.2.1 雷达反射器概述	61
3.2.2 雷达应答器概述	63
3.2.3 雷达反射器的设计	66
3.2.4 雷达应答器的设计	68
3.3 AIS 航标	70
3.3.1 AIS 航标概述	70
3.3.2 内河 AIS 航标设计关键技术	72
3.3.3 AIS 航标在长江航道中应用实例	81
3.4 虚拟航标	82
3.4.1 虚拟航标概述	82
3.4.2 内河航道虚拟航标实施方案	82
3.4.3 内河航道虚拟航标示范应用	90
参考文献	93
4 航标多功能集成技术	95
4.1 多功能航标技术概述	95
4.1.1 多功能航标技术国外发展现状	95
4.1.2 多功能航标功能需求	97
4.1.3 总体结构	99
4.2 航标多功能集成的关键技术	99
4.2.1 总体设计	99
4.2.2 信息采集传感器的选择	100
4.2.3 数据分类、优化存储、信息的收发与解压缩	101
4.2.4 标-岸-船信息交互技术	105
4.3 多功能航标信息管理系统	108
4.3.1 需求分析	108
4.3.2 总体设计	109
4.3.3 系统软件界面设计	114
4.4 三峡坝区多功能航标示范应用	117
4.4.1 三峡坝区多功能航标示范应用需求分析	117
4.4.2 三峡坝区多功能航标示范系统布局方案	117
4.4.3 三峡坝区多功能航标测试与应用	119

参考文献	120
5 航道水位信息服务技术	122
5.1 航道信息服务概述	122
5.1.1 航行基面	122
5.1.2 航行水尺	123
5.1.3 航道水位感知与信息服务技术概述	124
5.1.4 航道水位感知与信息服务需要解决的关键技术	125
5.2 内河航道水位感知技术	126
5.2.1 水位感知传感器	126
5.2.2 水位感知传输技术	134
5.3 航道水位感知点布设方法	137
5.3.1 水位感知点布设密度与水面线捕捉精度之间的关系	137
5.3.2 水位感知点布设原则	139
5.4 航道通航水位预测方法	139
5.4.1 航道通航水位预测算法	139
5.4.2 水位短期预测流程——以长江干线航道为例	143
5.5 航道水位预测预报数据管理与信息服务示范应用	145
5.5.1 长江干线航道水位预测预报数据管理系统设计	145
5.5.2 长江干线航道水位预测预报信息服务	156
参考文献	159
6 航道能见度信息服务技术	160
6.1 概述	160
6.1.1 能见度监测传感器选择	160
6.1.2 监测站布设方法	161
6.2 提高内河山区航道能见度监测应用精度方法	162
6.2.1 能见度多元回归法插值法应用	162
6.2.2 距离权重反比法、协同克里金法应用	163
6.3 长江航道局航道能见度信息服务系统举例	167
参考文献	168
7 控制河段交通指挥技术	169
7.1 概述	169
7.1.1 控制河段交通指挥信号台	169
7.1.2 控制河段交通指挥发展趋势与关键技术问题	170
7.2 控制河段交通流感知技术	171
7.2.1 船舶交通流	171
7.2.2 主动式船舶交通流感知技术	172
7.2.3 被动式船舶交通流感知技术	179
7.3 控制河段交通指挥方法	192
7.3.1 基于规范标准的交通指挥	192
7.3.2 控制河段智能化交通组织方法	193

7.4 控制河段交通指挥系统开发与应用	195
7.4.1 控制河段交通指挥系统研发	195
7.4.2 控制河段自动指挥系统示范应用	202
参考文献	206
8 内河电子航道图技术	208
8.1 电子航道图概述	208
8.1.1 电子航道图由来	208
8.1.2 纸质航道图与电子航道图的关系和比较	209
8.1.3 电子航道图的发展历程	211
8.1.4 电子航道图的组成部分	213
8.1.5 电子航道图生产制作服务流程	214
8.2 电子航道图主要标准	215
8.2.1 IHO 系列电子海图标准	215
8.2.2 我国内河电子航道图标准简介	222
8.2.3 长江电子航道图标准	223
8.3 电子航道图关键技术	228
8.3.1 地图与制图技术	228
8.3.2 航道测绘技术	232
8.3.3 地理信息与服务技术	233
8.4 电子航道图功能与应用	236
8.4.1 地理信息功能	236
8.4.2 船舶定位定向功能	238
8.4.3 电子航道图助导航功能	239
参考文献	241
9 内河航道助航技术展望	242
9.1 仿真技术在内河航标工程设计中的应用	242
9.1.1 航标布设仿真模型构建	242
9.1.2 内河航道航标布设模拟仿真系统	247
9.2 助航系统资产管理智能化技术概述	252
9.2.1 助航系统资产管理现状	252
9.2.2 助航系统资产管理系统	252
9.2.3 助航系统维护决策支持系统	255
9.3 内河智能航道系统概述	258
9.3.1 智能航道的定义	258
9.3.2 内河智能航道服务与用户	259
9.3.3 内河智能航道技术支撑分析	261
9.3.4 内河智能航道体系框架制定	264
参考文献	269

1 绪 论

1.1 助航系统与助航技术概述

1.1.1 航道助航系统的概念

1.1.1.1 航道

航道是指江河、湖泊等内陆水域中,以及内海、领海中经建设、养护可以供船舶通航的通道。航道包括通航建筑物、航道整治建筑物和航标等航道设施。

截至2013年年底,全国内河航道通航里程12.59万千米,设置航标8000余座,内河运输完成货运量32.39亿吨、货物周转量11514.14亿吨千米,形成以长江、珠江、京杭运河、淮河、黑龙江和松辽水系为主体的内河水运格局。特别是长江干线已成为世界上运量最大、运输最繁忙的通航河流,对促进流域经济和社会发展发挥了重要作用。

1.1.1.2 助航系统

助航系统是为保证船舶安全、经济和便利航行而设置的、最重要的船舶导航与航道辅助设施。广义的船舶助航系统包括:

- (1) 自然物标:高山、树林、烟囱、灯塔等地物地貌。
- (2) 船舶导航设施:船用雷达、船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)、测深仪、罗经等。
- (3) 港口与岸基助航设施:水深风向信号、CCTV、AIS基站、海事广播与电台、路标路牌、水位公告、航行通告等。
- (4) 航道助航设施:航标、信号台、航行水尺、航行参考图、电子航道图、通航环境感知系统等。
- (5) 空间定位助航设施:GPS、北斗、CORS地基增强系统等。

内河航道助航系统的研究范围主要包括广义助航系统的(4)与(5)的内容。在内河航道助航系统中最典型的设施是航标。根据国际航标协会(IALA)制定的《助航指南》,航标具有四项功能,即定位、危险警告、确认和指示交通。定位就是能确定船舶所在的位置;危险警告就是能标示航道中的危险物和碍航物;确认就是能确认船舶相对航标的距离和方位;指示交通就是能指示船舶遵循某些交通规则,如指示船舶分道通航制、指示深水航道和装载危险货物船舶的航道等。航标指示交通的功能除能帮助船舶安全航行外,还具有防止污染、保护环境的作用。

目前,大量先进技术引入到内河航道助航系统的建设和管理中,特别是AIS,它是工作在VHF水上频段新兴的标-船-岸通信系统。随着航标与内河电子航道图的发展,人类水上活动范围和方式的日益增多,内河航道助航系统被赋予了新的定义,即为各种内河航道水上活动提供安全信息的设施或系统,其内涵和服务领域都有了很大的变化。首先,新定义将助

航的服务对象由船舶扩大到各种水上活动;其次,新定义将助航系统提供的信息从助航信息扩大到安全信息。助航系统实现数字化和信息化,将船、标和岸连为一体,互联互通,船舶随时随地可以获取标或岸发送的航道、水文、气象和安全信息。

近年来,随着内河航运的飞速发展,船舶逐步大型化,船舶流量逐年加大,影响通航安全的跨河、临河建筑物日益增多,传统的纸质航道图、视觉航标已无法完全满足内河航道助航的需求,以人工为主的信号台也无法适应控制河段船舶通行指挥的需求,内河航道助航系统亟须新方法、新技术、新装备提升其效能。针对传统内河航道助航系统存在的问题,设计新型内河航道助航设备,并通过将先进的信息技术大量引入水上助航系统建设和管理中,将有助于实现助航系统的数字化、信息化、智能化、标准化,促进助航系统技术升级换代,提升内河航道助航服务品质。

1.1.2 航道助航关键技术概述

1.1.2.1 视觉航标新能源、新技术和新材料应用技术

近年来,视觉航标建设始终把节能减排放在航标发展的重要位置,要求将新能源、新技术、新材料应用于航标上。打造“绿色”航标涉及的关键技术有:新能源技术、低能耗灯器技术、遥测遥控技术、新材料技术等。

1.1.2.2 无线电航标设计关键技术

随着 AIS 在内河船舶上的普及应用,AIS 航标已经成为内河航道最重要的助航基础设施之一。了解内河航道环境下 VHF 信号特性,是 AIS 航标设计的基础。因此,需进行内河航道环境下 VHF 信号特性分析试验方法、场强修正模型以及 VHF 发射功率条件技术研究。

1.1.2.3 基于无线通信系统的标-岸-船信息交互技术

实现内河标-岸-船信息有效交互是实现内河航道助航信息化的基础。船-船间、航标-航标间、船-航标间采用低功率 VHF/UHF 为通信手段,而航标体系与远程管理中心间,采用 2W/5.2W 的 VHF 频段通信链路或者 3G 通信链路。

1.1.2.4 船舶交通流信息采集和通航环境感知技术

船舶交通流信息采集技术,通过 AIS、雷达、视频、RFID、多功能航标等设施对船舶的动态和静态信息进行采集,并和岸基监控信息进行综合,需解决多源信息的采集、无效数据甄别与容错处理、信息的传输和信息的融合等技术;基于航标载体的通航环境感知技术,利用航标船感知航道水文、气象、航道尺度以及水域环境等信息,需要解决航标状态的远程感知以及自动报警技术、多种传感器(包括温度、湿度、大气压强、风速、风向、降雨量、水流、水深、能见度等)选型和低功耗供电技术。

1.1.2.5 内河电子航道图应用技术

内河电子航道图是实现数字化航道的核心内容,是开展内河水运信息化建设的重要保障,其关键技术如下:基于 S-57 的国际标准的空间数据组织技术、电子航道图生成技术、电子航道图编辑技术、电子航道图检验技术、电子航道图数据保护技术、WGS-84 与北京-54 坐标转换技术等。

1.2 航道助航系统的发展

航道助航系统的发展历史源远流长,从最原始的天然助航标志到现代的高科技人工助

航系统经历了四千多年的发展。航道助航系统的结构从简单到复杂,其功能从单一到多样化,经历了从古代航标、近代航标到现代航标的发展演变过程,已经成为保障船舶水上安全航行不可或缺的重要组成部分。

1.2.1 发展历史

1.2.1.1 古代航标

在古代,人们以自然物作为船舶航行的标志,一块礁石、一座山头、一片树林都可能成为“航标”,谓之“自然航标”。“上古之书”《尚书·禹贡》有“岛夷皮服,夹右碣石入于河”的记载。“碣石”就是公元前约 21 世纪至公元前约 17 世纪中国夏王朝时代的“自然航标”。“岛夷皮服”说的是当时东北辽东半岛的少数民族,取道渤海北部航行进入黄河口,再到中原都城进贡的一段历史。“夹右碣石入于河”指入黄河时右边有碣石作为航道的标志。

随着船舶数量的增加,船只触礁、搁浅、翻沉的事故也随之增长,自然航标已不能满足水运经济发展的需要。于是人们通过在水域中刻石示警、立标指浅、烽火引航以及修建宝塔或灯塔等作为航行标志,这些人工设置的航标,被称之为“人工航标”。在古时,开发长江山区航道时有凿石为标,或在岩石上刻上简单的指导航行的方法。例如,位于四川云阳县城东约 5 里的宝塔滩(即今宝塔沱,在宜昌上游 269.4km),因南北两岸均有岩石延伸江中,如齿横阻,使江水流态十分紊乱,大水时行舟极险。为平安行舟,古人在下游石崖上“凿石作塔,以为舟标”。唐代贞观年间(627—649 年),广州建伊斯兰教怀圣寺,寺内建光塔,高 165 尺,矗立在当时珠江岸边,夜间悬灯,指引船只到广州。元代至大四年(1311 年),因漕运需要,海道府同意常熟州船户苏显的建议,自备两只船锚泊于刘家港(今江苏省太仓市浏河镇)西暗沙嘴两处,竖立旗纛,指引粮船绕过浅滩,是谓“记标指浅”。明代永乐十年(1412 年)成祖朱棣钦准漕运总兵官陈瑄奏请,在苏州府嘉定县之青浦筑土为山,其上“昼则举烟,夜则明火”,是谓“宝山烽喉”,引导船只进出长江口。公元前 285 年,埃及人在亚历山大港附近的法罗斯(Pharos)岛建造了法罗斯灯塔,这座塔建在海拔 185m 处,塔高约 120m,大理石塔身用熔铅粘合石缝,结构牢固,塔顶置一大火炉,夜间点燃木材,用巨大青铜镜反射,射程可达 55km。公元 50 年前后,古罗马帝国在 Ostia 建造了他们的第一座灯塔。英国第一座灯塔建于 1550 年,美国第一座灯塔建于 1716 年。这个时期的灯塔都采用燃烧木材或煤炭获取火光,使用青铜镜作为反射镜。古代的自然航标和人工航标其形式是多样的,有的由民间集资修建,有的由官府修建,有的由官民共建,其航标规格、管理模式和经费来源都没有统一的规范,更没有专业队伍。但对船舶的航行安全、水运和渔业的发展,做出了不朽的贡献。

1.2.1.2 近代航标

进入 19 世纪后,由于科学技术的进步,发明了各种类型的航标,比如视觉航标(包括灯塔、灯桩、立标、灯浮标、浮标、灯船、系碇设备和导标)、音响航标(包括气雾号、电雾号和雾情探测器)。这些助航设施大部分都采用电能作为能源来控制 and 照明,航标设备开始迈入自动化运行阶段,可以实现航标设备在无人或少人介入的情况下连续可靠地工作。

20 世纪 20 年代以后,出现了无线电导航设备和系统。一般认为无线电导航系统是航海导航的新技术。与视觉航标相比,无线电导航系统通常有更大的覆盖区,如果有足够数量的船舶载有相应的接收机,它就有较好的成本效益。

20 世纪 20 年代,发明了无线电指向标,可以帮助船舶定位及归航。

20 世纪 30 年代中后期,开始在船上安装雷达来发现障碍物和其他船只,也可以用来测距、测速和确定目标方位;也有由管理当局操作的陆基雷达,用来实现对船舶的监管。根据国际海上人命安全公约,在一些船上配备雷达是强制性的。随后又出现了雷达反射器和雷达应答器。雷达反射器是一种无源设备,通过增大目标有效截面面积(也称为回波或反向散射面积)来增强目标的回波,以改善远距离目标的探测或海浪或风雪干扰下目标的探测。雷达应答器在被雷达扫到时,它会将所收到的信号放大后重新传递出去,可以增大导航标志的作用距离,并改善返回信号的一致性。

1.2.1.3 现代航标

美国于 1964 年建成“海军导航卫星系统”供军用,1967 年开放供民用。该系统覆盖全球,精度高,但不能连续定位。20 世纪 70 年代美国开始研制一种可连续定位、精度更高的卫星导航系统,称为全球定位系统(GPS)。到 1994 年,全球覆盖率高达 98% 的 24 颗 GPS 卫星星座已布设完成并投入使用。1996 年 5 月 28 日,国际海事组织承认 GPS 标准定位服务作为全球无线电导航的一个组成部分。由于 GPS 精确定位服务不公开提供,而标准定位服务又人为地降低了定位精度,致使需要高精度定位的民用用户使用差分技术,提高标准定位服务的定位精度,进而形成了差分全球定位系统(DGPS)。

随着雷达技术的发展,海事专家认识到岸基雷达结合船岸通信手段可以提高港口、航道的安全系数和效率,于是船舶交通服务系统 VTS 应运而生。第一座 VTS 系统于 1948 年在马恩岛的道格拉斯市建成。早期的 VTS 系统的主要技术特征是雷达加 VHF(甚高频)无线电话,雷达居主导地位。经过 60 多年的技术革新和发展,VTS 系统的结构和功能越来越完善。现在的 VTS 系统利用 AIS 基站、雷达、CCTV、无线电话和电子航道图等设施实现对港口和航道上船舶的管控,并实时提供航道、水文和气象等信息服务。VTS 系统除了增进船舶航行安全、提高船舶航运效率之外,力求减小对水域环境造成的损害。

人们在长期研究航行安全保障技术中越来越认识到船舶之间和船岸之间的信息交换与船舶识别的重要性,同时也深感现行助航设备存在的诸多局限性,为了解决以上问题,需开发一种助航装置。国际海事组织要求于 2012 年 7 月 1 日起,所有的新造船舶强制安装 AIS 船台终端,同时对其他类型的船舶做出了相应的强制安装的规定。我国国家海事局要求航行于长江干线、珠江干线、京杭运河及黄浦江的船舶从 2010 年 10 月 1 日起分阶段强制安装 AIS 船台终端。

近年来,随着 AIS 岸基系统和船台终端的普及,AIS 的功能不断被扩展,基于 AIS 技术和电子航道图的虚拟航标概念被提出,并已在内河航道示范应用。长江南京航道局组织科研力量开发了虚拟航标,并于 2012 年 11 月 9 日在长江干线江苏段进行了示范应用,取得了预期效果。

1.2.2 发展趋势

信息化建设是我国现代化建设的战略举措,是贯彻落实科学发展观和建设创新型国家的迫切需要和必然选择。国内外海事组织和政府部门都非常重视水上航运和内河航运监管的数字化和信息化建设工作,纷纷提出了“数字海事”、“数字航道”和“数字航标”等概念。助航系统的信息化、数字化和智能化是未来发展的必然趋势。