

普通高等教育规划教材



航道整治

港口航道与海岸工程专业

胡旭跃 主 编

陈建强 主 审



人民交通出版社

China Communications Press

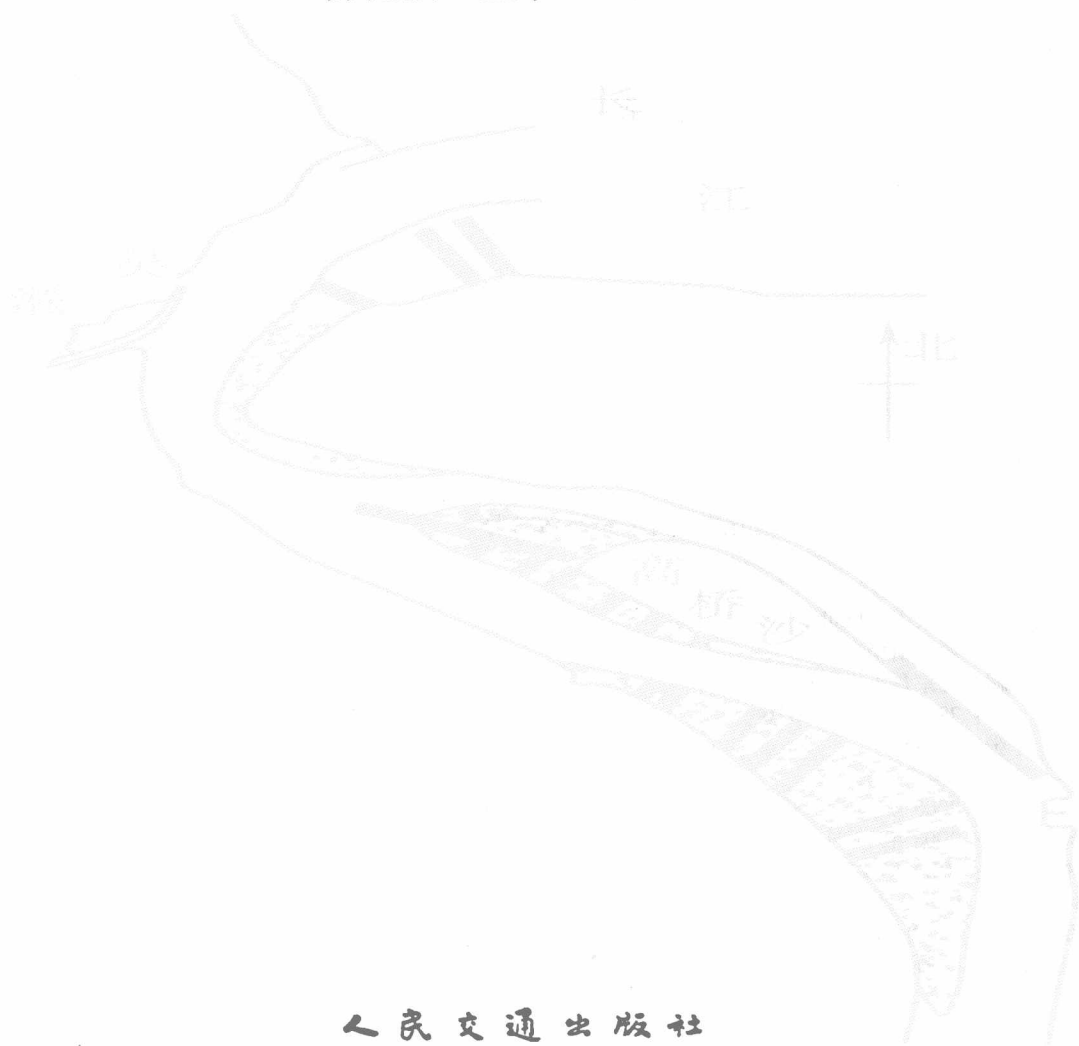
普通高等教育规划教材

Hang dao Zheng zhi



航道整治

胡旭跃 主编
陈健强 主审



人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容以平原河流及山区河流航道整治工程的规划、设计为主,兼顾入海河口及特殊河段航道整治。主要内容包括航道与航道工程介绍、碍航滩险及其特性分析、整治工程规划与设计、整治建筑物设计、航道疏浚、平原及山区河流航道整治、入海河口段航道整治、特殊河段的航道整治等。

本书为高等学校港口航道与海岸工程专业的教材,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航道整治/胡旭跃主编. —北京:人民交通出版社,
2008.11
ISBN 978-7-114-07353-3

I.航... II.胡... III.航道整治 IV.U617

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第133654号

书 名: 航道整治
著 作 者: 胡旭跃
责任编辑: 韩亚楠
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010)59757969 59757973
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 14.75
字 数: 364千
版 次: 2008年11月 第1版
印 次: 2008年11月 第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-07353-3
印 数: 0001-3000册
定 价: 30.00元
(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

进入 21 世纪以来,国家加大了对基础设施的投入,航道工程建设也取得了长足的进步,航道科技工作者在建设的过程中开发利用了许多新技术、新材料、新设备、新方法等,取得了许多新的经验。与此同时,航道整治工程的技术规范、国家标准和工程手册等也进行了修编,这些新经验、新成果很有必要走入课堂,进入教材,为培养新世纪的专业人才服务。

根据港口航道与海岸工程专业近年来教学改革的需要及航道整治工程技术的发展,急需重新编写《航道整治》教材。本教材是根据港口航道与海岸工程专业人才培养需要,参考上一轮《航道整治》教学大纲组织编写的。

在编写过程中,编者力求反映航道整治最新成果,同时注重基本概念,拓宽学生工程知识面,提高学生综合能力。

本教材由胡旭跃教授主编,陈健强研究员级高级工程师主审。具体编写分工为:绪论、第一章、第三章及第九章的第一、第二节由胡旭跃教授编写;第二章、第七章及第九章的第三节由黄伦超教授编写;第四章、第五章由程永舟副教授编写;第六章、第八章由沈小雄教授编写;杨宜章博士参加了第一章第三节的编写及初稿完成后全书的修改工作。

限于编者的水平,本书难免有谬误与不当之处,衷心希望读者批评指正,以便今后改进。

编 者

2008 年 5 月

目 录

绪论	1
第一章 航道与航道工程	4
第一节 航道与通航水域	4
第二节 航道标准及航道尺度	5
第三节 内河助航标志	13
第四节 航道工程	19
第二章 碍航滩险及其特性	23
第一节 碍航滩险的分类	23
第二节 平原河段滩险的特性	32
第三节 山区河段滩险的特性	41
第三章 整治工程规划与设计	49
第一节 河道治理的理念	49
第二节 航道整治设计参数	50
第三节 整治线的平面布置	68
第四节 整治河段的水力及冲淤计算	69
第四章 整治建筑物	82
第一节 整治建筑物的作用与布置	82
第二节 整治建筑物构造	95
第三节 整治建筑物结构设计	104
第四节 平顺护岸工程	108
第五节 整治建筑物的受力分析与设计	115
第五章 航道疏浚	119
第一节 疏浚工程的任务及特点	119
第二节 挖槽定线及抛泥区选择	120
第三节 挖槽设计和水力计算	122
第四节 疏浚对环境的影响	131
第六章 平原河流航道整治	133
第一节 顺直河段浅滩整治	133
第二节 分汊河段航道整治	138
第三节 弯道整治	155
第四节 无序采沙河段航道整治	165

第七章 山区河流航道整治·····	168
第一节 山区河流浅滩整治·····	168
第二节 山区河流急滩整治·····	172
第三节 山区河流险滩整治·····	177
第八章 入海河口段航道整治·····	188
第一节 潮汐河口水沙运动特征·····	188
第二节 河口滩险整治·····	192
第三节 潮汐河口河段整治实例·····	202
第九章 特殊河段的航道整治·····	207
第一节 桥区河段的航道整治·····	207
第二节 湖区航道整治·····	211
第三节 枢纽上下游航道整治·····	215
参考文献·····	228

绪 论

人类利用水运的历史非常悠久,水运曾极大地促进了人类文明的发展。从全球范围来看,世界上大多数国家的政治、经济和文化中心都是沿水运发达的河流两岸发展起来的。

水运是一种重要的交通运输方式,有着运量大、成本低和能耗小等许多优点。一个万吨级的船队相当于几列火车的运量,而消耗能量相对要少得多。正因为水运具备环保、节能和大运量等优越性,世界上许多发达国家中的大型企业多沿河建造,企业的建立又促进了水运的发展。发达国家的交通运输中,水运的比重有很大的发展,充分利用水运是当今世界各发达国家的宝贵经验。

我国地处温和湿润的北温带,有发展水运事业的良好自然条件。河湖众多,海岸线长。多数江河湖泊水量充沛、冬季不冻。其中长度位居世界第三的长江,横贯我国中部,跨越西南、中南和华东地区,具备非常好的建设航道的基础条件。随着长江流域经济的快速发展,长江黄金水道规模化、集约化的水运能力不断提高。2005年长江干线水运货运量达到7.95亿t,是密西西比河干线水运货运量的1.6倍,是莱茵河干线水运货运量的3.1倍。长江水系水运货运量为12.3亿t,是密西西比河水系水运货运量的1.6倍。长江已经成为世界上内河运输最繁忙、运量最大的通航河流,长江黄金水道对沿江经济的推动作用越来越明显。

航道是水运的依托,要发展水运首先应加强航道等基础设施的建设。美国、俄罗斯和西欧各国分别建立了以密西西比河、伏尔加河和莱茵河为主干的连接江河湖海的标准统一的航道网,大大促进了当地社会经济的发展。

航道是船舶能够安全航行的水面区域,天然河流及湖泊中水流与河床无时无刻不在相互作用着。并非自然状态下的河流均能满足航行要求,有些地方水深不够,宽度不足,弯曲半径过小;有些部位流速太大,流态险恶阻碍航行。为了使河流湖泊中的这些部位满足航行要求,常常需要采取一定的工程措施,这就是航道工程。同时,为了增大船舶和延长通航里程,也需在河流上实施航道工程。

我国人民很早就有目的地开发建设航道,战国时代就开凿了胥溪,将太湖和长江等连接起来;秦代开挖灵渠,沟通了长江、珠江两大水系;举世闻名的京杭大运河,沟通了海河、黄河、淮河、长江和钱塘江五大水系。

新中国成立以后,国家对航道建设极为重视,航道建设事业又有了巨大的发展。在航道疏浚、整治、炸礁、渠化、开挖运河以及河口治理上,均取得了许多新的成就。例如著名的川江(长江上游宜宾至宜昌河段)全长约1000km,是沟通大西南与我国东部的水运干线。1949年前,从未进行过整治,航道长期处于自然状态,特别是其中著名的三峡河段,自古被称为天险。新中国成立后,国家大规模投入进行了整治,通航条件得到了极大的改善;尤其是随着三峡工程的建设完成,通航条件得到了根本的改善,通航水深已超过美国密西西比河上游渠化后的2.74m。另外,随着我国对外贸易的发展,长江口通过大规模疏浚,通航水深已经达到10.5m,

万吨级海轮每日可进出上海港,且可直达南京,目前正在为长江口进出更大吨位的船舶而努力。珠江口、闽江口、瓯江口、甬江口等也都进行了大规模的整治和疏浚工程,均取得了成功,在河口航道治理方面积累了宝贵的经验。此外,众多的内河如珠江、西江、北江、淮河、松花江、湘江、沅水、赣江、汉江、右江、闽江、嘉陵江、岷江和大渡河等,以及洞庭湖和鄱阳湖航道也都进行了系统的整治,在通航条件的改善方面取得了显著成效。

目前,我国的航道建设与世界上先进发达国家相比,一些方面还比较落后,优越的水运资源还未充分开发和利用。我国现有内河通航里程远超铁路的长度,而水运运量的比重仍小于铁路。2005~2007年全国水运运量分别为21.1亿t、24.4亿t、27.3亿t,而铁路运量分别为27.0亿t、28.8亿t、31.4亿t。这种落后的原因是多方面的,从航道角度而言,航道标准低,平均运距短,转运倒驳多,干支流运输直达少,增加了运输成本,限制了水运优越性的充分发挥。例如,长江全长约6300km,密西西比河全长6262km,从自然条件比较,长江比密西西比河稍优,特别是长江无封冻期,而密西西比河圣路易斯以上要封冻1~2个月,但密西西比河水系近 2×10^4 km的航道中,已形成相当长度的深水航道网,可通航载量为 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ t级的顶推船队,运输成本仅是铁路的1/4。长江水系干线通航船队的载量一般只有 1×10^4 t,支流船队则更小,运载成本与铁路相近,而支流成本却高于铁路。我国的深水航道里程、船队规模、货流密度和营运经济指标等与先进国家相比仍有一定差距。

近年来,国家对各种交通基础条件进行了大规模的投资建设,水运的基础条件也得到了很大的发展。内河水运要保持其竞争能力,发挥出优势,必须有标准比较高的航道网络。航道标准的高低和航道是否成网,对提高水运效益的关系重大。根据国外航道网建设的经验,在开发干流的基础上,必须抓紧支流航道的建设。例如,美国建设密西西比河的支流俄亥俄河、阿肯色河等,前联邦德国建设与莱茵河沟通的内卡河、美因河、摩泽尔河等。按照我国交通部的内河规划,也要扩建长江的支流汉江、湘江、赣江、信江、岷江、昌江以及淮河的支流西肥河、沙颍河等。为发展直达运输、江海联运和水陆联运,充分发挥水运优势而创造条件。进入21世纪,我国对江河湖海进行了大规模的整治,目前长江干线、京杭运河已经成为世界上运量最大的通航河流和运河。今后长江水运能力的增长空间仍然巨大,预计2008年长江干线水运货运量将突破10亿t,集装箱运输量将达到750万TEU;2010年长江干线水运货运量将突破13亿t,集装箱运输量将达到1000万TEU。随着我国逐步实现水运的现代化,一个标准统一、四通八达的水运网络即将建成,配合其他薄弱环节的改进,水运面貌必将大大改观。

航道整治的任务主要包括:

利用整治建筑物调整水流与河床。整治建筑物通过影响水沙运动可加大航道深度、宽度和弯曲半径,减小航道中的流速和改善流态。或用疏浚、炸礁的方法实现上述目的。

稳定优良航道。对于目前航行条件尚好,但有恶化趋势的河段,采取整治工程措施,将河势稳定下来,避免航道恶化。

20世纪以来,一些发达国家多在河流的上游及其支流采用渠化措施;在河流的中、下游及河口区主要结合疏浚实施整治工程,较大幅度地提高了航道尺度。长河段的整治工程也可使一些碍航河段得到某种程度的根治,从而使整个河段的航道尺度能稳定地提高。根据国内外一些河流上的经验,整治后水深多数可增加30%~50%,有的还可以增加得更多。与渠化相比,整治在多数情况下具有投资较少、收益迅速、实施较快等优点。因此,在自然条件许可的情



况下,宜提倡采用整治工程措施治理航道。

航道整治是河流可持续开发利用的一个重要方面,是河流综合治理的组成部分。河流自然条件复杂,航道整治涉及面广,必须加强现场观测,搞好分析研究,总结实践经验,切实掌握河床演变规律,从而取得与自然协调相处的主动权。还要注意协调全局、综合规划,做到远近结合。整治个别滩险要同整治整个河段联系起来,整治某一河段应与整治整条河流联系起来,并且处理好整治航道与护岸、防洪、排灌、城市用水和水环境保护等方面的关系,避免顾此失彼,达到相互协调、互相配合。

世界各国人民在改造和利用河流方面积累了丰富的经验,对今后从事航道整治工作具有很大的指导和借鉴作用。但过去对经验的总结和理论的建立等方面的工作做得较少。近数十年来,这方面的工作随着河流动力学等基础学科的发展取得了一些进展。与发达国家相比,我国在河床演变研究和整治工程设计理论上差距不大,河工模型的设计理论和试验技术已进入世界先进行列。近年来大江大河及河口段整治工程也随着国民经济的发展取得了很大的成绩,但不少河流的系统整治和综合利用仍然落后;整治工程采用新材料不多;中小河流整治施工中人工作业比重大、效率不高;河道原型观测力量薄弱,资料收集赶不上工程设计和理论研究的需要;特别是新型电子和信息技术的应用还远远跟不上技术本身发展的速度。

整治好航道必须首先掌握河床演变的基本规律,因此河道演变分析是进行航道整治的前提和基础。河流变迁十分复杂,受自然条件影响很大,不同的水文、气象、生态、地质和地貌条件下,河流演变过程差别很大,目前还难以做到准确、定量地预报河床变形。同时滩险情况千差万别,即使在同一河段上,也难找到地质、地形和水流完全一致的滩情,因而,采取的整治措施也不会完全一样。河流的整治必须因滩而异,不能生搬硬套教科书上的或别的滩险的整治方法。目前提出来的一些设计理论和计算方法,受前提条件的限制,都有一定的局限性,远远不能达到结构设计那样的精度。因此要加大原型观测的力度,在工作中深入现场掌握第一手资料,调查研究滩险的基本演变规律,在认识滩险的基础上确定提出相应的整治方法和措施。必要时,可进行模型试验或数学模型计算,强化对河段和滩险的认识,验证整治效果。

本教材内容的取舍力求符合新的国家专业技术标准和工程技术规范及工程技术发展的特点。读者在学习整治工程的一些技术原则和原理时,要针对不同情况灵活应用,注意一般原理与具体情况结合,注意培养综合利用水利资源和可持续发展的理念,注意锻炼综合分析问题和解决多目标问题的能力,学会在大量错综复杂的资料中,通过对一些成功事例的学习,不断修正和提高对课程内容的认识,为今后从事专业工作打好基础。

第一章 航道与航道工程

航道是水运的基础,是人类利用自然的产物,它既受自然条件的影响,也受人类活动的影响。本章从自然和人类主观作用两种因素出发,介绍航道和航道工程。

第一节 航道与通航水域

从一般意义上说,船舶及排筏能够通达的水域就是通航水域。从交通运输的角度来看,应该将具有能让营运船舶和大中型排筏通达的水域定为通航水域。由于不同水位期的通航水域是变化的,而且在具体界定航道时受许多因素的影响,因此不能认为通航水域就是航道。

广义的航道与河道或基本河槽等同,欧美常用水道(英文用 Waterway)一词来表示。可以把航道理解为包括常遇洪水水位线以下的基本河槽,或者是中高潮位以下的沿海水域的水道和河道整体。

狭义的航道等同于“航槽”(Navigation channel),除了运河、通航渠道和一些水网地区的航道以外,航道的范围总是小于河槽的范围,这是因为航道应当有尺度标准和设标界限,航道位置会随河道演变和水位变动而随时移动,航道尺度也可以随季节与水位变化以及整治工程产生效果而有所调整。

在天然河道、湖泊、水库内,航道的设定范围总是只占水面宽度的一部分而不是全部。用航标标出可供船舶航行的这部分水域,既是确保航行安全的需要,也是客观条件的制约。因为在天然条件下,不同水位期能供船舶安全航行的水域,不仅要有足够的水深,而且要有平稳的流态,这样的水域不可能是无限宽阔的,在某些地方,还受过河建筑物的限制。因此,狭义的航道是一个在三维空间上既有要求,又有限制的通道。

可以这样明确地来定义航道,即为了组织水上运输所规定或设置的船舶、排筏航行通道称为航道。这里所谓的“规定”,是指在图纸上画定或在现场标志出;所谓“设置”,是指用疏浚或建筑物导治而形成的航道。一般说来,航道标准尺度应满足一定船舶(队)安全、方便地航行,为此对航道有以下的基本要求:

- (1)应有足够的水深、宽度和弯曲半径。
- (2)适合船舶航行的水流条件,包括适宜的流速,良好的流态。
- (3)水上跨河建筑物应满足船舶的通航净空要求。

对于上述几项要求,天然状态下的河流不是都能满足的。平原河流及河口段,常常由于泥沙堆积造成水深不足,出现所谓的浅滩。山区河流由于河床边界一般为岩石,除有些河段水深和宽度不足外,有些河段落差大,坡陡流急,船舶上行困难,下行危险,即所谓的急流滩。有些河段弯曲半径过小,并存在险恶的流态,驾驶中容易发生事故,这样的河段即所谓险滩。

航道可以根据多种原则进行分类。



1. 按航道的级别划分

许多国家都制定了航道分级标准,我国将航道由高到低分成 I ~ VII 级,达不到 VII 级标准的航道称为等外级航道。

2. 按航道的管理属性划分

为有效进行管理,可将航道划分为国家航道、地方航道和专业航道。国家航道系指构成国家航道网,可通行 500t 级以上船舶的内河干线航道,跨省、市、自治区、直辖市可常年通航 300t 级以上船舶的内河干线航道,可通航 3 000t 级以上海船的沿海干线航道,以及对外开放的海港航道和国家指定的重要航道。可通行 500t 级以上船舶的内河干线航道又称为高等级航道。

3. 按航道所处地域划分

按航道所处地域可分为内河航道和沿海航道两大类。

内河航道包括河流、湖泊和水库内的航道,以及运河和通航渠道。其中,河流航道又可以分为山区河流航道、平原河流航道和潮汐河流航道。

沿海航道原则上是指位于海岸线附近,具有一定边界、可供海船航行的航道。例如,德国在《联邦航道法》中将沿海航道规定为:“系指位于中高潮位时,海岸水线、内河航道或内河航道与海域的分界线,与领海外侧边界之间的水域;以及导堤或防波堤一侧或两侧的进港航道。”目前,我国还没有对沿海航道进行具体界定,为了理顺管理体制,有必要对其进行科学的界定。

另外,还可以根据航道的形成因素,将航道划分为天然航道、人工航道和渠化航道。湖区航道还可分为湖泊航道、河湖两相航道和滨湖航道等。根据航道通航时间的长短分为常年通航航道和季节通航航道;根据有无对通航的限制划分为单行航道、双行航道和限制性航道等。

第二节 航道标准及航道尺度

一、内河船舶的航行方式

根据船舶的动力条件,内河船舶可分为自航与非自航两种。自航船就是船舶带有动力,可以自己单独行驶。非自航船也称驳船,自己没有动力,需要由机动船带动行驶。根据已经发布的国家标准、行业标准及各大水系的现实情况,内河货运船舶包括分节驳、普通驳船、机动驳船、普通货船、内河集装箱船及江海直达货船等几大系列。在内河上常见船舶编队航行,由多个驳船编结在一起,用机动船带动。编队航行的主要优点为运量大,比单船行驶运输单价低。目前我国内河上采用的编队方式为普通驳顶推船队和分节驳顶推船队,拖带船队已不多见。

拖带船队是拖轮在前,用缆索拖带后面的驳船队。为了减少拖轮螺旋桨搅起的尾流冲击到驳船队,从而加大船队的水流阻力,一般要求拖轮与第一艘驳船之间的缆索较长,具体长度按拖轮的动力大小而异。在航道尺度允许时,为了减小船队阻力,逆流行驶时,可以采取多排一列式(图 1-1a),顺流行驶时,可以采用多排并列式(图 1-1b)。拖带船队的编队方式行驶时的阻力大、运价高,但由于它是软联结,要求的航道条件可以低些,弯曲半径较顶推船队为小。

顶推船队是作为动力船的推轮放在船队的后面,驳船之间联结成一个整体,如图 1-2a) 所

示。顶推船队较拖带船队有以下优点：

(1) 阻力小, 消除了拖轮在前面搅起的水流对后面船队引起的冲击阻力; 推轮在驳船队的附随水流之中, 减小了水流对推轮的阻力; 同时, 螺旋桨也在附随水流之中, 改善了螺旋桨的工作条件; 减小或消灭了由于驳船在拖带船队中的偏转摆动所增加的阻力。

(2) 顶推船队联结为一个整体, 偏转摆动幅度小, 增加了船队的稳定性。

(3) 顶推船队的船员数量相对大大减少。

(4) 编队、解队的作业简便快速, 提高了劳动效率。

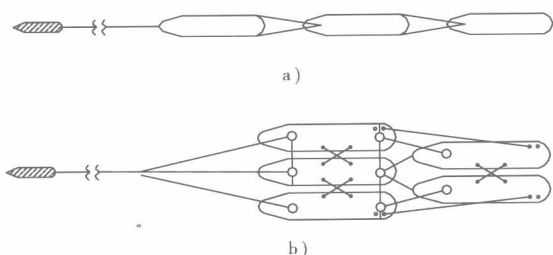


图 1-1 拖带船队

a) 多排—列式拖带; b) 多排并列式拖带

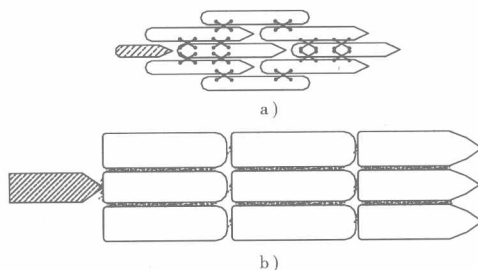


图 1-2 顶推船队

a) 普通驳顶推船队; b) 分节驳顶推船队

20 世纪 80 年代开始, 我国长江及其他一些水系, 推行了分节驳顶推运输方式。分节驳顶推船队类似铁路列车, 由许多艘统一规格驳节, 编组成一支庞大的船队, 由一艘推轮在后面顶推前进, 如图 1-2b) 所示。这种船队与普通顶推船队相比, 其技术性能和经济指标都显示出明显的优越性, 具有如下优点:

(1) 船队的整体线形得到改善, 航速可提高 6% ~ 15%。

(2) 由于取消了普通驳船的驾驶楼、舵设备、救生设备和船员住宿等设施, 降低了分节驳造价。

(3) 船形丰满, 在船队长度不变的情况下, 其载重量可增加 8% ~ 14%; 若载重量不变, 则船队长度可缩短, 从而减少造船材料消耗量。

(4) 驳船上可不配船员, 节省人力。

(5) 驳船建造易于标准化和系列化; 线形简单, 便于建造。

(6) 船队驾驶操纵性能较好。

应该注意的是, 由于船型自身的特点, 分节驳不宜单独使用, 否则阻力很大; 在同一船队中只能编入尺度相同的分节驳船, 在装货时要严格控制配载, 保证各分节驳船吃水均衡, 以形成一定线形的整体。

近年来, 随着船形标准化的加速推进, 顶推船队和拖带船队逐步萎缩, 自航机动船的发展迅速。

二、通航标准与航道等级

为了明确过河建筑物净空、通航建筑物的尺度和通航水位标准, 不少航运发达的国家制定了相关的通航标准。欧洲为了实现跨国的水上运输, 还制定了可供有关国家共同遵守的通航



标准。同时,依照标准,结合各河流、湖泊的实际情况和通航要求,明确了各区段的航道等级,使航道建设、管理和保护具有法律依据。

航运发达国家的航道等级技术指标有两种:一种是以航道尺度为主线,将航道分为各个等级(如俄罗斯);另一种则以标准驳船的吨位及船型作为分级的标志,以控制有关的航道尺度,如西欧。美国虽然没有明确颁布通航标准,实际工作中都遵循一定的标准,结果是其航道和船舶以及水运干线的互通程度很高,形成了四通八达的现代化航道网。譬如,美国密西西比河水系以航道水深作为分级的指标,结合选定船舶吨位和船型,航道按水深分为四级,即1.83m、2.74m、3.66m、12.20m,其中以2.74m为航道网的标准水深,以3.66m为航道远景规划水深的目标。

为了使我国水运建设及与之有关的水利、桥梁等建设工作经济合理、相互协调,并符合远景发展规划,使全国内河航道相互衔接,逐步形成方便通行的水运网络,充分发挥水运在国民经济中的作用,1963年1月国家计委转发了交通部制定的《全国天然、渠化河流及人工运河通航试行标准》(简称“63标准”)。经过20多年的试行之后,交通部于1980年组织开始对《内河通航标准》进行修编,至1990年完成,建设部于1990年12月批准了该标准(简称“90标准”)并于1991年8月1日起施行。《内河通航标准》(GBJ 139—90)颁布实施十余年,对内河航道的建设管理和水资源综合利用发挥了重要作用,取得了显著的社会效益和经济效益。经过十多年的实践,发现“90标准”仍然有些规定不便操作,使用困难,而且标准的《条文说明》未同《内河通航标准》(GBJ 139—90)合在一起公开发行人,不利于对《内河通航标准》(GBJ 139—90)的准确理解,出现了简单套用有关尺度的现象。随着水运事业的不断发展,内河船型、船队和运输方式都发生了很大变化,内河航道、通航建筑物和过河建筑物的建设也积累了许多新的经验。为适应新的发展要求,2000年开始,建设部和交通部组织有关单位,在“90标准”的基础上对原标准进行了修订。2004年完成并于当年5月1日开始实施,新《内河通航标准》(GB 50139—2004)总结和借鉴国内外通航技术研究成果和实践经验,并通过大量调查研究、广泛征求意见和专题研究再次进行了修订。现行标准主要包括航道、船闸、过河建筑物、通航水位等技术内容。与修订前相比,调整了原标准中天然及渠化河流航道和限制性航道的部分通航尺度;纳入了特殊宽浅河流、水势汹乱的山区性河流和湖泊、水库航道的技术内容;增加了船闸的规模、工程布置和通航水流条件的有关规定;补充了过河建筑物的选址和布置以及通航水位的有关规定。

根据现行通航标准,将国境河流、湖泊、水库及规划通航的航道进行等级评定,定为I~VII航道, VII以下的内河航道等级,按省、市、自治区、直辖市的交通主管部门的规定自行评定。航道等级评定的原则包括:航道定级应充分考虑航运远期发展的需要;应考虑航道基本条件和开发治理的可能性;要有利于干支直达、江海直达运输,有利于水运主通道和现代化航道网的建设;应结合江河流域、铁路、公路、城市、军事、林业、船舶工业等部门的发展规划综合考虑;应综合考虑航道在综合交通运输网和水资源综合利用中的地位和作用及邻省干支航道的等级标准。

三、航道尺度与通航水流条件

1. 航道尺度

根据我国《内河通航标准》(GB 50139—2004)的规定,各级航道的尺度是航道工程要达到

的标准,系指在设计最低通航水位下滩险河段上保证通航的最小尺度,包括航道水深、航道宽度、航道弯曲半径以及在设计最高通航水位下跨河建筑物的净空等。弯曲段最小宽度与直线段的值是不一样的,而且,同一等级或档次条件下的航道水深还存在一个幅度。因此,具体确定某个河段的航道尺度时,应该依据不同河流或水域的性质、通航船队船型、过船的密度和运量等情况进行分析论证。

一般来讲,航道标准尺度应保证船舶正常安全航行,并能提供发挥合理运输效益的条件,同时航道工程建设的投资和维护费用少。因此,它是满足一定船舶(队)安全有效航行条件下的最低技术标准。凡客观条件许可,无需增加航道工程费用,或费用虽有增加,但经论证仍属合理的情况下,可采用较大的航道尺度。

航道尺度的选择,应根据航道条件、工程量(包括基建性和维护性工程量)以及运输效益确定。大的江河具有能获得大的航道尺度的自然条件,能航行大的船舶,能满足大的货运要求;小河达到较大的航道尺度就较困难。图 1-3 表示航道尺度与建设成本的定性关系,说明如果航道尺度提高,花在工程方面的费用必将增大;但由于大的航道尺度能满足较大船舶(队)航行要求,能使运输成本降低,经济效益提高。从这两个因素中,就可以找到一个成本总量为最小的航道尺度。需要指出的是,图 1-3 中的两条成本曲线涉及的因素较多,绘图和分析时需要进行深入调查研究,充分掌握第一手资料,否则无法正确地反映两因素的合理关系。

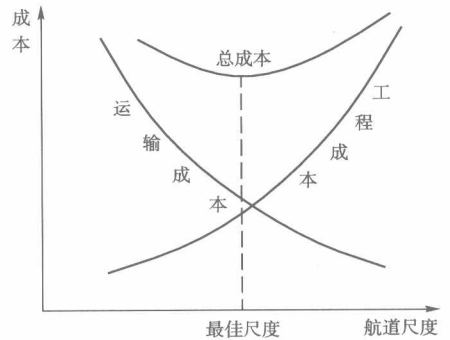


图 1-3 航道尺度与建设成本关系

需要指出的是,图 1-3 中的两条成本曲线涉及的因素较多,绘图和分析时需要进行深入调查研究,充分掌握第一手资料,否则无法正确地反映两因素的合理关系。

2. 航道水深

航道水深是各项航道尺度中最为直接的一项尺度。航道水深决定着船舶的航速和载重量。一般在平原和河口地区,航道水深不足是碍航的关键。在这些地区,采取工程措施的主要目的是解决航道水深问题。

航道标准水深是指设计最低通航水位下航道范围内的浅滩最小水深,其定义参见图 1-4。航道标准水深一般包括船舶的标准吃水和富余水深,可用式(1-1)表示:

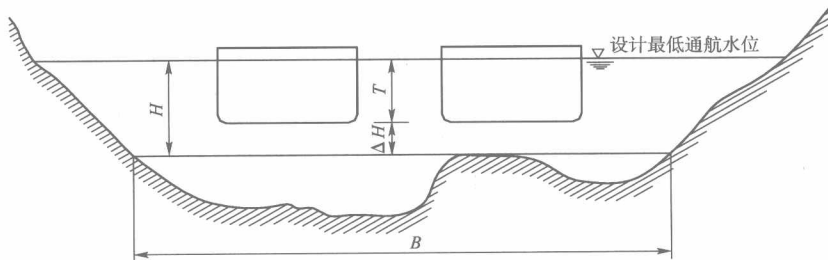


图 1-4 航道标准水深定义图

$$H = T + \Delta H \quad (1-1)$$

式中: H ——航道水深(m);

T ——船舶吃水(m);



ΔH ——富余水深(m)。

船舶吃水 T 是指代表船型的设计吃水。在设计驳船时,船体结构所能承载的吃水称最大吃水(亦称结构吃水)。最大吃水大于标准载重时的标准吃水。例如,长江中游的一种油驳标准载重量 3 000t,标准吃水为 3.3m,而其最大载重量约为 3 300t,最大吃水是 3.6m。

富余水深是指船舶在标准载重时,处于静浮状态船底龙骨下至河底的最小距离。在确定航道标准水深时,富余水深应着重考虑下列两项因素:

(1) 船舶航行下沉量 ΔH_1 , 也称动吃水。船舶航行时,因绕流作用,其四周流速增大,水位下降,水压力降低,船体下沉,因而吃水增加。船舶航行下沉量主要受航道水深所制约,随航道水深的减小而增大,浅水中船体下沉量比较大。 ΔH_1 还与船舶的航行速度有关,随航行速度的增大而增大;另外与航道断面系数和船型也有关。就天然(渠化)河流的航道而言,主要是浅水影响。我国的船模试验资料表明,分节驳船队当 $\frac{H}{T} > 5.5$ 时,浅水影响可不考虑。在确定航行下沉量时一般以中速为准,因此,船舶在通过浅滩时不得快速行驶。

目前确定航行下沉量通常采用实船试验的方法,有时也采用经验公式估算,其中以俄罗斯霍密尔公式较为简便。

$$\Delta H_1 = m \sqrt{\frac{T}{H}} v^2 \quad (1-2)$$

式中: ΔH_1 ——船舶航行下沉量(m);

H ——航道标准水深(m);

T ——船舶标准吃水(m);

v ——船舶相对于水的速度(m/s);

m ——航行下沉量系数,见表 1-1,或查有关手册。

航行下沉量系数 m

表 1-1

船长/船宽	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
m	0.003 8	0.002 9	0.002 3	0.002 0	0.001 6	0.001 45

(2) 触底安全富余量 Δd 。由风、浪引起的水面下降或船舶吃水增加;船舶编队的吃水增加;为保证舵效,以达到操纵安全灵活所增加的吃水;为保证推进器的安全运转所增加的吃水。所有这些因素,一并归入触底安全富余量中。

富余水深除关系到船舶(队)的航行安全外,还直接影响船舶的航行阻力及操纵性能,随着富余水深增大,船舶航行阻力减小,航速增快,船舶所需的动力大大节省,效益提高。一般说来,内河顶推船队采用的水深吃水比 $\frac{H}{T}$ 不小于 1.2。鉴于我国河流众多,条件各异,航道多处于自然状态,目前大幅度增加航道水深尚较困难,而且船舶航速尚不很高,因此,我国通常采用的 $\frac{H}{T}$ 值在 1.14 ~ 1.43 之间。泥沙质河床浅滩最小富余水深为 0.2 ~ 0.5m,石质河床另加 0.1 ~ 0.2m。

为了减少航道工程费用,同时获得较大的营运经济效益,在航道工程、船舶设计和航运管理等方面都实行“变吃水”的航运措施。

(1) 在船舶构造上,使结构吃水(最大吃水)大于标准吃水。例如我国建造的 300t 分节驳

标准吃水 1.30m,而最大可装载 350t,最大吃水 1.45m。当水位高于设计最低通航水位时,船舶可加载,这样使得年内大多数时期能获得较大的经济效益。

(2)在航道建设上,规定同一级航道的标准水深有一个幅度范围,标准值的下限等于船舶(队)的标准吃水,上限为船舶标准吃水加富余水深。凡采用小于上限值的航道,在接近或达到最低通航水位时,船舶减载通航。船舶枯水期虽然减载,经济效益有所损失,但航道工程费用可大量减少。

3. 直线航道宽度

航道宽度是指设计最低通航水位时具有航道标准水深的宽度(图 1-4)。航道宽度取值一般以保证两个对开船队安全错船为原则,在船舶(队)航行密度很小,航道狭窄段不长,拓宽工程较大时可采用单线航道。

如图 1-5 所示,双线航道的宽度可用式(1-3)表示:

$$B = 2b\cos\alpha + 2L\sin\alpha + C_1 + 2C_2 \quad (1-3)$$

式中: B ——航道宽度;

b ——船队宽度;

L ——船队长度(拖带船队为最大单船长度);

α ——漂角;

C_1 ——船队间的富余宽度;

C_2 ——船队与航道边缘间的富余宽度。

式(1-3)可概括成两部分,其中 $2b\cos\alpha + 2L\sin\alpha$ 为船舶航行时占有的水域宽度,也称航迹带,而 $C_1 + 2C_2$ 为航道富余宽度。航迹带不仅决定于船队宽度,还与船队长度、船队操纵性能及航行条件等密切相关。

式(1-3)中的漂角定义如图 1-5 所示。船舶(队)作直线航行时,常受侧风和斜向水流的外力作用,船舶(队)本身也往往有两侧阻力不平衡现象,因此需经常用舵来保持航向。此时,船舶(队)纵轴线与航向线之间形成一个角度,漂角的大小主要受制于水流流态。由实船试验可知,由于各河段间的流态不同,引起航向不断发生变化,漂角也随之变化。另外,漂角还受船(队)型及操纵性能和驾驶技术的影响,直线航行的船舶(队)所受的作用力主要是流体动力,不同船型的流体动力和力矩不同,因而漂角不同。目前我国根据实船试验成果,并参照国外资料,一般 I 级至 IV 级航道的漂角选用 3° , V 级至 VII 级航道的漂角选用 2° 。

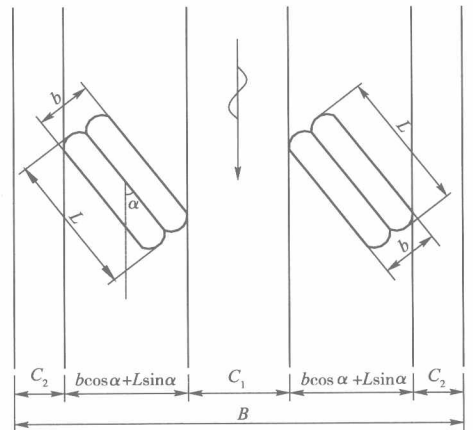


图 1-5 双线航道宽度示意图

航道富余宽度是保证船舶安全航行,不产生船吸和岸吸现象的最小富余尺度,两船队交会时,船队两侧存在着流速差和水位差,形成压力差而产生互吸。船舶与岸线之间的水流有推动船首离岸而吸引船尾靠岸的倾向。影响航道富余宽度的因素有船型、队形、系结方式;船队的航速及推轮的舵效;水流流速、流向、流态;河岸的土质及坡度等。航道富余尺度可由实船试验

确定,也可参照下式估算:

(1)平原、丘陵地区航道估算如下:

$$C_1 = 0.7b' + 4$$

$$C_2 = 0.2b + 1.2$$

式中: b' ——会船的两船队宽度的平均值,其他符号意义同前。

(2)山区航道估算如下:

$$C_1 = 0.8b$$

Ⅳ级以上(含Ⅳ级)航道: $C_2 = (0.24 \sim 0.33)b$;

Ⅳ级以下航道: $C_2 = (0.32 \sim 0.60)b$ 。

我国目前确定的直段双线航道宽度大致是船队宽度的4倍,即 $\frac{B}{b} = 4$,随着航运事业的发展,船舶趋向大型化、高速化,这一比值将会增加。根据资料,美国一般 $\frac{B}{b} = 5.0 \sim 6.0$,西欧 $\frac{B}{b} \geq 4.4$ 。

4. 航道弯曲半径 R 和弯曲航道加宽

航道弯曲半径 R 是指弯曲航道中心线的曲率半径,弯曲半径越大航行越便利。但是受自然河道地形及两岸地物限制,船舶往往不得不在半径较小的弯曲河道中行驶。因此,规定一个弯曲半径的最小限值,作为航行保障的一个条件。我国《内河通航标准》(GB 50139—2004)中规定航道最小弯曲半径为顶推船队长度的3倍、拖带船队最大单船长度的4倍,特殊困难航道难以达到此值时,弯曲半径可适当缩小,但不得小于顶推船队长度的2倍、拖带船队最大单船长度的3倍。随着内河运输的发展,顶推船队逐步推广,船队尺度日益增大,船舶航速提高,操纵性能改进,弯曲半径的最小限值可适当减小。美国的经验认为他们的船队可以在弯曲半径与船队长度相等的航道中转弯,弯曲半径一般采用船队长度的1.5~2.5倍。

众所周知,航道弯曲后,流向发生变化,面流扫向凹岸,底流指向凸岸。纵向流速在横断面上分布也不均匀,外侧较大,内侧偏小,在凸岸下游,常出现回流或泡漩,流态紊乱。航行在弯曲航道中的船舶,在前进的同时必须围绕弯道中心旋转,不断改变航向。改变航向的过程,会使船舶承受力矩、离心力和动水压力,船舶必须用较大的漂角来克服这些作用力,因此要求船舶有更高的灵活性和自控能力。亦即是说,当船舶条件相同时,在弯道上行驶的航迹要比直段上宽得多,其宽度随弯曲半径减小而增加。

弯曲航道的航行漂角是指船队纵轴线与通过船队回转中心圆弧的切线间夹角。目前对弯曲航道的研究多将航道宽度同弯曲半径结合在一起考虑,而集中注意船舶(队)转弯时的航行漂角。因为漂角最能代表船舶(队)在弯道航行时的航态,反映船舶(队)尺度、弯曲航道尺度、流速、航速等多种因素的关系。根据我国实船试验并结合国外的研究资料,影响漂角的各项因素有:

(1)弯曲半径:漂角 α 随 $\frac{R}{L}$ 的增大而减小,此处 R 为航道的弯曲半径, L 为船舶(队)长度。

(2)弯道圆心角:在弯曲航道中航行的船舶(队),其漂角是变化的。当弯道圆心角较大时,产生的最大漂角亦大。