

高等学校教材

航道整治

第二版

(港口与航道工程专业用)

河海大学 重庆交通学院 编

人民交通出版社

HANG DAO ZHENG ZHI

高等学校教材

航道整治

Hangdao Zhengzhi

第二版

(港口与航道工程专业用)

河海大学 重庆交通学院 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容以平原航道整治设计为主，兼顾山区河流和潮汐河口的整治。主要包括：浅滩演变，过渡段浅滩、弯道和汊道浅滩整治；潮汐河口浅滩整治；航道疏浚；整治工程设计和水力计算；整治建筑物设计等。

本书为高等学校港口与航道工程专业的教材，亦可供本专业工程技术人员参考。

高等学校教材 航 道 整 治 第 二 版

(港口与航道工程专业用)

河海大学 重庆交通学院 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京通县曙光印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：15.75 字数：392千

1980年11月第1版

1987年12月第2版第2次印刷

印数：2,701—6,550册 定价：2.70元

前 言

1985年8月召开了高等学校港口及航道工程专业教材编审委员会和教材编审组会议。在会上修订和提出了航道整治教学大纲，并经过编审委员会全体会议审定。会议认为审定后的教学大纲即作为教材编写大纲。参加编写大纲的有大连工学院、天津大学、长沙交通学院、河海大学（华东水利学院）、南京航务工程专科学校和重庆交通学院等院校。本教材即是根据这个大纲编写的。

本教材是在1980年出版的《航道整治》第一轮教材的基础上经过几年试用后修改而成。在修改前曾搜集了部分使用单位的意见。在修改过程中进一步明确了与其他课程的分工，删减了一些内容，充实了一些知识，并增加了一些新的材料。力求在第一轮教材的基础上有较大的提高。

本教材初稿完成后，在南京召开了审查会，与会人员在会上对本书逐章进行了审查并提出了意见，编写人根据审查意见再次进行了修改。

本教材编写分工：绪论、第二、八章由河海大学常福田编写；第一、六章由河海大学李国臣编写；第三、九章、附录由河海大学李安中编写；第四、五章由重庆交通学院王绍成编写；第七章由重庆交通学院沈有贤编写。常福田担任主编。刘书伦担任主审。责任编辑董雅文。

限于编者的水平，本书肯定有不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编 者

1986年9月

目 录

绪论	1
第一章 航道工程与航道尺度	4
第一节 航道工程	4
第二节 航道尺度	6
第三节 内河助航标志	16
第二章 浅滩的演变和整治	20
第一节 浅滩及其成因	20
第二节 浅滩上的水流和泥沙运动特点	21
第三节 浅滩演变的基本规律	26
第四节 浅滩演变分析	29
第五节 浅滩的整治原则	44
第六节 浅滩的整治措施	46
第三章 整治工程规划与设计	55
第一节 概述	55
第二节 整治断面设计	57
第三节 整治线的平面布置	72
第四节 整治建筑物的作用与布置	74
第五节 整治河段的水力及冲淤计算	91
第四章 分汊段和汇流段的整治	99
第一节 概述	99
第二节 汊道整治	100
第三节 汊道的水力计算	106
第四节 支流河口及入湖河口的浅滩整治	112
第五章 弯道整治	119
第一节 弯道演变及碍航特点	119
第二节 弯道整治	121
第三节 裁弯取直后河床的演变及其估算	127
第六章 航道疏浚	134
第一节 挖槽定线及抛泥区选择	134
第二节 挖槽设计和水力计算	135
第三节 河口挖槽设计	147
第四节 疏浚对环境的影响	153
第七章 山区河流滩险整治	155
第一节 山区河流的主要特征	155

第二节	石质滩险整治	162
第三节	卵石滩险整治	178
第八章	潮汐河口浅滩整治	185
第一节	河口水流和泥沙特性	185
第二节	河口演变	190
第三节	浅滩整治	193
第四节	河口建闸	210
第九章	整治建筑物的结构与施工	212
第一节	概述	212
第二节	轻型整治建筑物	212
第三节	重型整治建筑物	215
第四节	平顺护岸工程	218
第五节	整治建筑物的受力分析与设计	226
附录	河道水流泥沙演算数学模型	233

绪 论

交通运输是国民经济的重要组成部分。充分利用水运是我国既定的国策。航道是水运的基础，要发展水运首先应加强航道的现代化建设。

水运有着悠久的历史，它与人类社会的发展有着密切的联系。世界上很多政治、经济和文化中心都是在河流两岸发展和建立起来的。

我们伟大的祖国，幅员辽阔，有着发展水运事业的丰富自然条件。河湖众多，海岸线长。大多河湖水量充沛、冬季不冻，它们联系着城镇、工矿和广大农村。其中举世闻名居世界第三位的长江，横贯我国西南、中南和华东地区，全长约6300km，为这些地区的水运和经济振兴，创造了非常有利的条件。

我国是世界上水运发展最早的国家之一。战国时代就开凿了胥溪，把太湖、长江等联接起来，秦朝开灵渠，沟通了长江、珠江两大水系；世界闻名的南北大运河，沟通了海河、黄河、淮河、长江和钱塘江等五大水系。公元前200多年，秦汉时代已经有了相当规模的造船厂。

水运有着运量大、成本低和能耗小等优点。例如，美国密西西比河的下游， 5×10^4 t级的顶推船队和西欧莱茵河上万吨级的船队已很普遍。一个万吨级的船队相当于几列火车的运量。水运是消耗能量最少的一种运输方式。内河、铁路、公路运输成本之比，美国为1:4:15，联邦德国为1:3.3:5.1，正因为水运有着如此的优越性，一些大的厂矿企业多沿河建造。厂矿的建立又促进了水运的发展。近年来在发达国家的交通运输中，水运的比重有着很大的发展。如联邦德国、法国、荷兰、比利时和瑞士等五个西欧国家的内河货运周转量1955年为 576×10^8 t·km，1970年增加到 1005×10^8 t·km，15年共增加了74%。美国、苏联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，大大促进了当地工农业的发展。

航道是船舶航行的线路。天然河流在水流与河床的相互作用下，无时无刻不在变化着。处于自然状态下的河流，常常不能完全满足航行要求，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。为了满足航行要求，在河流上常需采取一定的工程措施，这就是航道工程。同时，为了提高船舶尺度和延长通航里程，也需在河流上进行航道工程。

建国以来，我国航道事业同其他国民经济部门一样，有了很大的发展。在航道疏浚、整治、炸礁、渠化、开挖运河以及河口治理上，取得了许多新的成就。仅以著名的川江为例，川江（长江上游宜昌至宜宾河段）全长约1000km，是沟通大西南与全国各地的水运干线。建国前，长期未加整治，航道处于自然状态，尤其是著名的三峡河段，自古称天险。建国后，党和国家对航道建设极为重视，30余年来，在川江上共整治滩险160余处。通航水深已超过美国密西西比河上游渠化后的2.74m。随着我国对外贸易的发展，长江口通过大规模疏浚，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。闽江口、甌江口、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，积

累了河口治理的宝贵经验。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、岷江和大渡河等也都进行了整治工程，并取得了显著成果。

然而，目前我国的水运事业与世界各发达的国家相比，还很落后，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约为铁路的数倍，而水运运量的比重远小于铁路。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还封冻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 $3 \sim 4 \times 10^4$ t级的顶推船队，干线运量已超过 4×10^8 t，运输成本仅是铁路的 $\frac{1}{4}$ 。长江水系可通航1000t级驳船的只有干线宜宾以下及京杭运河苏北段的航道，干线通航船队的载量一般只有 $0.4 \sim 1 \times 10^4$ t，支流船队则更小，干线运量约 1×10^8 t，运载成本与铁路相近，而支流成本却高于铁路3倍以上。我国长江无论是深水航道里程、船队规模、货流密度和营运经济指标等与国外相比均有较大差距，其他内河更是如此。此外，水利资源未能综合利用，建闸坝后通航设施常常不能跟上，形成建闸坝断航，结果近年来通航里程反而减少。

目前在公路运输迅速发展的形势下，内河航道要保持其竞争能力，发挥出水运的优势，必须有通航标准比较高的航道网。航道的标准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，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。随着我国四个现代化建设的开展和逐步实现水运的现代化，不久的将来，一个统一标准、四通八达的水运网建成后，并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：

1. 通过整治建筑物调整水流与河床。根据碍航情况的不同，可加大航道深度、宽度和弯曲半径，减少航道中的流速和改善流态。或用疏浚的方法、炸礁的方法调整河床，达到上述目的。

2. 稳定优良河势。对于目前航行条件较好，但有变坏趋势的河段，应采取措施，将河势稳定下来，避免恶化。

近百年来，一些工业发达的国家多在河流的上游及其支流采用渠化措施。整治工程主要在河流的中下游及河口区进行，结合疏浚，较大幅度地提高了航道尺度。整治还可使一些滩险得到某种程度的根治，从而使整个河段的航道尺度能稳定的提高。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，宜大力提倡。

航道整治是与河流作斗争的一项工程技术。它是综合治理河道的一个组成部分。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，从而取得对自然作斗争的主动权。还要注意纵观全局、综合规划。整治一个滩险要同整个河段联系起来，做到远近结合，处理好整治与护岸、防洪、排灌和城市用水等方面的关系，避免顾此失彼，达到相互协调互相配合。

几千年来，我国劳动人民改造河流的丰富经验，对我们从事航道整治工作具有很大的参考价值。但过去对总结经验，建立理论的工作做得很少。近数十年来，随着河流动力学等学科的发展才前进了一大步。我国目前情况与国际先进水平相比，在河床演变研究和整治工程设计理论上差距不是很大，河工模型的设计理论和试验技术已进入世界先进行列。主要表现在大江大河及河口段整治工程建得较少，不少河段仍处于自然状态；整治工程采用新材料不多，施工中人工作业比重大、效率不高；河道观测力量薄弱，资料赶不上工程设计和理论研究的需要；模型试验设备和测试仪器比较陈旧。因而今后应特别注意发挥整治工程在航道治理上的作用，不断提高工程技术水平。

河床演变知识是进行航道整治的理论基础。做好航道整治必须掌握好河床演变的基本规律。河床演变是与泥沙运动密切相关的，是属于河流动力学研究的范畴；另一方面，河流又是与流域因素分不开的，分析这些流域因素的性质和作用，不仅是河流动力学研究的对象，部分也属于地貌学的范畴。由于影响河床演变的因素十分复杂，河流受自然条件，特别是水文气象条件影响很大，目前还不能作到准确的、定量预报河床变形。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。整治必须因地制宜，不能生搬硬套别的滩险的整治方法。目前提出来的一些计算公式，受条件的限制，都有一定的局限性，远远不能达到结构设计那样的广度和深度。要坚持实践是检验真理的唯一标准。加强实践性，在工作中要深入现场，掌握第一手资料，调查研究滩险的基本规律，在此基础上确定相应的整治原则和措施。必要时，可进行模型试验，验证整治效果。

航道整治是一门专业课程。学习本课程时，除了必须具备河流动力学、水力学和水文学的知识外，为了进行整治建筑物的设计与施工，还须具有材料、工程力学和施工技术方面的知识。在学习整治的一些技术原则和原理时，应紧紧抓住调整水流和调整河床，即从水流与河床相互作用（通过泥沙运动）的角度去理解。要针对不同情况灵活应用各项原理，切忌死记硬背。注意锻炼分析问题和解决问题的能力，学会在大量错综复杂的资料中，找出问题的主要矛盾和关键所在，为今后从事整治工作打好基础。

第一章 航道工程与航道尺度

第一节 航道工程

为了组织水上运输所规定或设置的船舶航行（包括船拖木排）通道称谓航道。这里所谓的“规定”，是指在图纸上画定或在现场以标志标出；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净空要求。

上述几项要求，处在天然状态下的河流，不是都能满足的。常常是平原河流及河口段由于泥沙堆积造成水深不足，即所谓的浅滩。山区河流由于岩石河床边界所起的主导作用，除有些河段水深不足外，亦有宽度不足的。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，并存在着险恶的流态，如：回流、横流、滑梁水、剪刀水、扫弯水、泡水、漩水等……，驾驶中稍有不慎，即发生故事，这样的河段即所谓险滩。以上都是处于天然状态下的河流对航行产生的浅、急、险等碍航现象。为了巩固和提高航道尺度、改善航行条件、扩大通过能力、增加通航里程、提高水运经济效益和社会效益，必须对上述碍航滩险加以治理，所采取的工程措施称为航道工程。

航道工程包括：

1. 整治工程：建造整治建筑物，改变和调整水流结构，稳定主流，控制和调整泥沙在河槽内的运动，集中水流冲刷浅滩河床，增加航道水深；改善或消除不利于航行的急弯与汉道，减缓过大的纵向和横向流速，调整不利的水流流态，以达到改善险滩的流态和降低急流滩的流速。采取护岸等工程保护河岸，稳定目前的良好河势。成功的整治工程能较大地提高航道尺度，并能长期地维持航道的稳定。

通过整治，航道的最大稳定深度能达到多少？由于浅滩和深槽的分布是有一定规律的，整治的目的不是消灭浅滩形态，而是改善碍航浅滩（详见下章），每个浅滩可以达到的最大稳定深度，与各河流和各河段的自然条件有关。一般说来与枯季流量成正比关系。此外，尚可参考同类河流上，整治得比较好的浅滩所取得的成果。

正确的整治措施必须建立在对河性及其演变规律充分掌握的基础上，因此，在进行航道整治时，要作好分析研究，认真总结实践经验，以及进行必要的数学模型计算和物理模型试验。要注意综观全局，整治一个滩险要同整个河段的河势联系起来，避免顾此失彼。

2. 疏浚工程：这是通过调整河床边界达到改善通航条件的工程措施。对于沙质和沙卵石河床，采用挖泥船挖除碍航的泥沙堆积体，增加航道水深。对于石质河床，采用爆破的方法（常称炸礁）炸除碍航的石嘴、石梁、孤石、岩盘等。疏浚是开发和维护航道的主要手段之一，它的

特点是：通过疏浚，航道尺度即刻增加，通航条件即可改善，不需要大量的工程材料和人力。随着挖泥船的生产能力日益加大，疏浚在航道工程上用得越来越多。在较大的平原河床下游和河口地区，由于河流尺度大，采用其他工程措施，工程量常常很大，还可能引起一系列问题，此时，疏浚常有着它的独特之处，特别是在河流性能还未充分掌握之前，冒然采取整治等强制性的工程措施，弄得不好，反而引起不良后果，疏浚就不会产生这些问题。

疏浚中最主要的问题是挖槽回淤，由于挖槽尺度与河床的尺度相比常常很小，不会引起河槽水流条件有很大的变化，因而在淤积季节挖槽必然产生大量回淤，以致有不少挖槽，每年都要进行定期维护性疏浚。另外，在天然河道及其河口和沿海航道进行疏浚时，常会面对泥沙运动所引起的复杂的河床演变；在基建性疏浚工程（包括开挖运河）中，有可能遇到复杂的地质条件；在开敞水域的疏浚施工中，多变的水文、气象因素常成为棘手问题。凡此种种，都需要通过系统收集实测资料，作仔细的分析研究，弄清其规律和实际情况，以便就浚疏工程中的挖槽定线、抛泥区选择、施工方案的选定等问题，作出恰当的抉择，尽量减少挖槽的回淤。

在山区航道治理中，炸礁工程往往占有较大比重。实践证明，通过爆破，清除碍航礁石，切除石嘴、石梁，对于扩大石质滩航道尺度，改善险滩流态，减缓急流滩流速，比降，常是最有效的措施。今后应逐步采用先进的炸礁工具设备，以进一步提高炸礁的工效和安全可靠程度。

3. 渠化工程：在河床上建造拦河闸坝，抬高上游水位，在闸坝的壅水河段内，由于水位抬高，从而增加了航深，减缓了流速，消除了急、险滩段。河流建造拦河闸坝以后，为了使船舶通过闸坝上下游产生的水位差，需建造船闸或其他型式过船建筑物。渠化是提高河流的航道等级，构成标准统一的航道网和综合利用水资源的有效措施。从长远来看，在全国范围内建设江海衔接、干支直达、水系沟通、四通八达的现代化航道网，离不开河流的系统渠化。然而，相对于整治而言，渠化工程量比较大，工程技术等问题比较复杂，投资比较多，因此，通常在可以满足运量需要的前提下，应首先考虑疏浚和整治措施，如果通过疏浚和整治措施不能满足运量的需要时，才考虑采取渠化。

以航运为主要目的的渠化，枢纽布置以采用低坝多梯级连续渠化的方案为宜。梯级开发应注意到水资源的综合利用，尽可能兼顾防洪、发电、灌溉、水产养殖、木材流放、环境保护和发展旅游事业等方面的利益。

4. 径流调节：根据河流流量加大，水深也相应加大的道理，利用浅滩上游水库调节流量，洪季拦蓄，枯季泄放，使靠近水库下游浅滩段的枯季水深增加。

以径流调节增加航深，一般是航运受到的间接利益。单纯为了增加枯季航深需要补充的流量很大，必须建造大型水库，同时水库距浅滩段越远，增深的效果越差。事实上，水库的建造是多目标的综合开发，不可能单纯为增加枯水期航道水深而建造水库。水库建成后，浅滩河段的来水、来沙受到了控制，洪峰削减，枯季流量增加，流量变幅减小，中水历时增长，来沙量锐减，这在一定程度上有利于河槽的稳定和浅滩的刷深。

以上是为改善河流通航条件，所采取的主要工程措施。航道上还有一些助航措施，主要有：

1. 绞滩：在急流滩上，通过技术经济比较，可直接采用卷扬机一类的设备牵引船舶过滩，俗称绞滩。绞滩一般宜在下列情况下采用：上游有不少滩险紧邻，经判明，彻底整治该滩，由于滩头水位降落，将恶化上游若干滩险；因工程量大，目前难彻底整治。为了解决急需，

可考虑设绞；不久将渠化淹没的急流滩，宜设绞解决当前需要；屡经整治，但整治效果不能巩固、滩势反复重演的急流滩，宜设绞。

2. 扫床：在河口区也称扫海，目的是探明航道内影响航行的障碍物的位置，为清槽工作做准备。扫床工作可分目力观察、探测、用专门的扫床工具清扫等三种方法。目力观察最简单，根据经验，由水面上的浪花、乱流和翻滚现象，推测障碍物的位置。探测则利用测深杆、测深锤、回声测深仪等进行探测，遇到特别浅的地方，就可以判定有障碍物。用和航道相适应的刮刀与链条构成扫床工具，将扫床工具沿整个航道曳动，如遇到障碍物，它们自己就会作出反映。

3. 清槽：主要是清除打捞航道内的障碍物，其次是清除水草，爆破沙滩。一般说来，清槽工作需要进行潜水作业。

4. 布设航标：由于航道只是河道中满足航行要求的那一部分，为了在宽阔的水面上保证船舶能安全方便地在航道中行驶，就需要以特定的标志、灯光、响声或无线电信号等，供船舶确定船位、航向，避免危险。使船舶沿航道或预定航线顺利航行的助航设施，就称为航标。航标按其助航技术手段，有视觉航标、声响航标和无线电航标等。视觉航标是在靠近航道的地点或水面上，设置各种相应的形象标志和灯光信号，用来标明航道所在位置或某些给定的位置，以对船舶进行直观助航。声响航标为装置各种发声的设备，经常或临时发出警告性的或指向性的声响信号，帮助船舶在恶劣天气中或低能见度时安全航行。无线电航标为使用各类无线电装置，利用电波信号对船舶进行航向引导或供船舶决定方位、船位，具有作用距离远，不受气象能见度限制等优点。

在进行航道治理时，采取那一种改善通航条件的工程措施，应视具体的自然条件和航行要求，通过技术经济论证比较确定。一般说来，对于山区河流宜采取渠化工程，但有些山区河流枯水流量丰沛，比降和流速不是特别大，滩险也不甚密集，要求增加的航道尺度又不是太多，也可以考虑采取整治、炸礁和疏浚等措施。对于平原地区的河流，和潮汐河口的拦门沙治理，宜采用整治和疏浚相结合的原则，而对于平原地区的大江大河，用疏浚办法维护航道尺度比较简单易行。可以明显地增加航道水深。河网地区和湖区航道，应以疏浚为主，但不排除在个别河段设置少量导流建筑物。

第二节 航道尺度

航道的设计尺度是航道工程要达到的标准。一般地讲，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。

按照航道尺度的大小，将航道分为各个等级。目前国际上航道等级的技术指标有两种：一种是以航道水深作为分级的指标，结合选定船舶吨位和船型。譬如，美国密西西比河水系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。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。我国航道的分级是采用后一种形式，将全国通航载重量

3000t至50t级驳船的航道依次分为七级，各级航道的代表船型船队和航道尺度根据国家正式颁布的通航标准确定。现在，国家正在对1963年颁布的通航标准进行修订，在新的标准没有颁布以前，可参照表1-1选用。这里需要指出的是表1-1所确定的航道尺度是以纵向表面流速3.0m/s为限，如果流速大于此值，航道尺度应作相应调整。表中所述限制性航道是指河道狭窄、河床平坦、水流平缓、水位变幅较小、断面形状比较规则、对船舶(队)航行有明显限制作用(阻力、航速等)的航道。这类航道有：运河、通航的水利渠道、狭窄的设闸水道、河网地区具有上述情况的航道等。

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。如用图1-1的简单关系来表示，它说明如果航道尺度提高，花在疏浚和整治等方面的工程费用必将增大，但由于大的航道尺度能满足较大的船舶(队)航行，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。这里需要指出的是，图1-1中的两条曲线涉及的因素较多，作图时需深入调查研究，充分掌握第一手资料，这样才能正确地反映两因素的合理关系。

本节将对确定航道尺度时应考虑的因素作一些阐述。由于航道尺度与船型、船舶(队)的航行方式密切相关，因而，应对内河船舶的概貌有一定的了解。

一、内河船舶的航行方式

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。在内河上最常见的运输方式是船舶编队航行，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拖带船队，普通驳顶推船队和分节驳顶推船队。

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长度较长，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，见图1-2a)，顺流行驶时，可以采用多排并列式，见图1-2b)。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，因此，仍可作为100t级以下的地方性六、七级航道的代表船队。

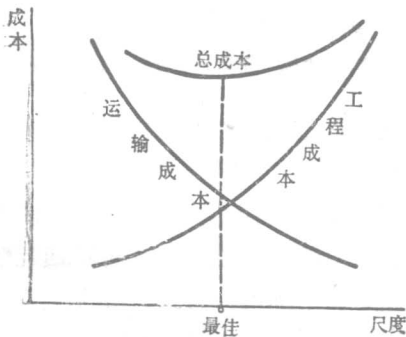


图1-1 航道尺度与成本关系

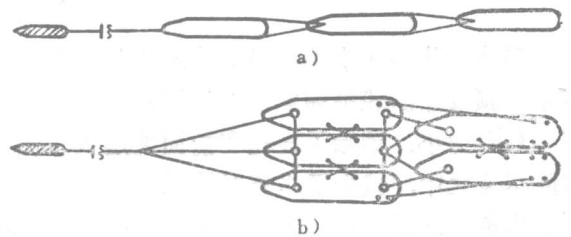


图1-2 拖带船队

a)多排一列式拖带；b)多排并列式拖带

全 国 内 河 主 要

航道等级	驳船吨级 (t)	船型尺度(m) (总长×型宽×设计吃水)	船队尺度(m) (长×宽×吃水)	航	
				天然及渠化	
				浅滩水深①	单线宽度
一	3000	75×16.2×3.5	(1)350×64.8×3.5	3.5~4.0	120
			(2)271×48.6×3.5		100
			(3)192×32.4×3.5		70
二	2000	67.5×10.8×3.4	(1)316×32.4×3.4	3.4~3.8	80
		75×14×2.6	(2)175×21.6×3.4		50
				(3)180×14×2.6	2.6~3.0
三	1000	67.5×10.8×2.0	(1)270×32.4×2.0	2.0~2.4	30
			(2)238×21.6×2.0		55
			(3)167×21.6×2.0		45
			(4)160×10.8×2.0		30
四	500	45×10.8×1.6	(1)160×21.6×1.6	1.0~1.9	45
			(2)112×21.6×1.6		40
			(3)109×10.8×1.6		30
五	300	35×9.2×1.3	(1)125×18.4×1.3	1.3~1.6	40
			(2)89×18.4×1.3		35
			(3)87×9.2×1.3		22
六	100	26×5.2×1.8	(1)361×5.5×2.0	1.0~1.2	
		32×7×1.0	(2)154×14.6×1.0		25
		32×6.2×1.0	(3)65×6.5×1.0		15
		30×6.4(7.5)×1.0	(4)74×6.4(7.5)×1.0		15
七	50	21×4.5×1.75	(1)273×4.8×1.75	0.7~1.0	
		23×5.4×0.8	(2)200×5.4×0.8		10
		30×6.2×0.7	(3)60×6.5×0.7		13

注：①表列“天然及渠化河流”的浅滩水深适用于泥沙质河床，如系石质河床，另加0.1~0.2m。②只适用于⑤当须加大通过能力时，可采用16m或23m。⑥适用于顶推船队。⑦适用于拖带船队。⑧苏、浙、沪平原河网。

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1-3a)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，减少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，减少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，不偏转摆动，增加了船队的稳定性。

3. 顶推船队的船员数量大大减少。

4. 编队解队简便，提高了劳动效率。

通航尺度参考表

表1-1

道 尺 度 (m)			船 闸 有 效 尺 度 (m)			水 上 跨 河 建 筑 物 净 空 尺 度 (m)			
河 流	限 制 性 航 道		弯 曲 半 径	长	宽	门 槛 水 深	净 宽		净 高
	双 线 宽 度	水 深					底 宽	天 然 及 渠 化 河 流	
245			1050				160		24②
190			810				125		18②
130	5.5	120	580	280	34	5.5	85		
150			950				105		18②
100			530				60		10
70	4.0	55	540	195	16(23)③	4.0	50	65	
150			810				100		18②
110			720	260	23	3.0~3.5	70		10
90	3.2	80	500	180	23	3.0~3.5	60	85	
60	3.2	45	480	180	12(16)④	3.0~3.5	40	55	
90			480	180	23	2.5~3.0	60		8
80	2.5	75	340	120	23	2.5~3.0	50	80	
50	2.5	40	330	120	12(16)④	2.5~3.0	35	45	
75			380	140	23	2.0~2.5	50		8⑤
70	2.0	70	270	100	23	2.0~2.5	40	75	
40	2.5⑦ 2.0	30⑦ 35	260	100	12(16)④	2.5~3.0⑦ 2.0~2.5	30	40	5.0⑦
	2.5	20	105	190	(16)⑤ 12(23)	2.5~3.0		22	6.0⑥
45			130	160	16	1.5	30		4.0⑦
30	1.5	25	200	80	8	1.5	20	28	
30	1.5	25	220	80	8(12)	1.5	20	28	
	2.2	15	85	140	12	2.5		17	4.5⑥
20	1.2	18	90	110	12	1.2	15	20	
25	1.2	23	180	70	8	1.2	20	26	3.5⑦

长江干线。③当尚须通过双列1000t、500t的船队时可采用23m。④当尚须通过两列宽度大于5.5m的船队时可采用16m。地区河流的水上跨河建筑物净高，一般宜按拖带船队的要求确定。

近年来，我国长江及其他水系，正积极推行更为先进的分节驳顶推运输。分节驳顶推船队类似铁路列车，由许多艘统一规格的驳节，编组成一支庞大的船队，由一艘推轮在后面顶推前进，如图1-3b)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. 船队的整体线型得到改善，可提高航速6~15%。
2. 分节驳船线型简单，便于建造。同时，取消普通驳船的驾驶楼、舵设备、救生设备和船员住宿等设施，从而降低了造价。
3. 分节驳船船型丰满，在船队长度不变的情况下，其载重量可增加8~14%；若载重量

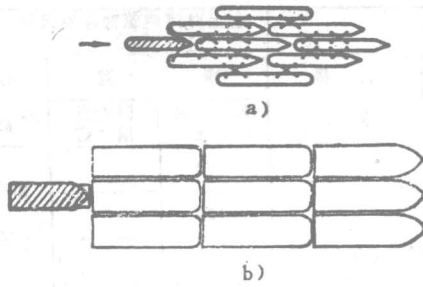


图1-3 顶推船队

a) 普通驳顶推船队; b) 分节驳顶推船队

不变, 则船队长度可缩短, 从而减少钢材消耗量。

4. 分节驳船上不配船员, 节省人力。
5. 分节驳易于标准化和系列化。
6. 分节驳船队驾驶操纵性能较好。

但是, 分节驳船不宜单独使用, 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, 以形成一定线型的整体。

可以认为, 分节驳顶推运输是我国内河运输发展的一个重要方向。

二、航道水深

航道水深是航道尺度中非常重要的指标。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裕水深, 可用下式表示:

$$T = H + \Delta H \tag{1-1}$$

- 式中: T ——航道标准水深;
 H ——船舶标准吃水;
 ΔH ——富裕水深, $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta d$;

$$\tag{1-2}$$

- 其中: ΔH_1 ——船舶航行下沉量;
 Δd ——触底安全富裕量。

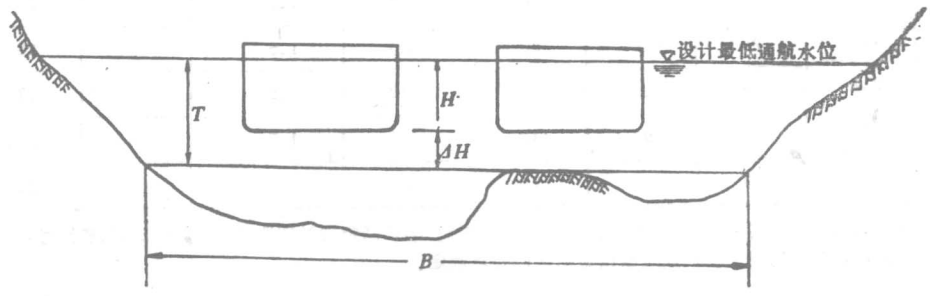


图1-4 天然、渠化河流航道标准水深定义图

船舶标准吃水 H 是指船舶在标准载重时的吃水。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, 目前长江中游的油驳标准载量为3000t, 标准吃水为3.3m, 而其最大载重量约为3300t, 最大吃水3.6m。

富裕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, 富裕水深应着重考虑下列两项:

1. 船舶航行下沉量 ΔH_1 , 也称动吃水。船舶航行时, 因回流作用, 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深水大。 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 $\frac{T}{H} > 5.5$ 时, 浅水影响方可不考虑。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, 其中以苏联霍密尔公式较为简便。

$$\Delta H_1 = m \sqrt{\frac{H}{T}} v^2 \quad (1-3)$$

- 式中: ΔH_1 ——船舶航行下沉量 (m);
 T ——航道标准水深 (m);
 H ——船舶标准吃水 (m);
 v ——船舶相对于水的速度 (m/s);
 m ——系数, 见表1-2。

航行下沉量系数m表

表1-2

$\frac{\text{船长}L}{\text{船宽}b}$	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
m	0.0038	0.0029	0.0023	0.0020	0.0016	0.00145

2. 触底安全富裕量 Δd 。由风、浪引起的水面下降或船舶吃水增加; 船舶编队后的吃水增值; 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裕量中。

不言而喻, 富裕水深除关系到船舶(队)的航行安全外, 还直接影响船舶的航行阻力及操纵性能, 随着富裕水深增大, 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 $\frac{T}{H}$ 值不小于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 $\frac{T}{H}$ 值在1.14~1.43之间, 泥沙质河床浅滩最小富裕水深为0.2~0.5m, 石质河床另加0.1~0.2m。

为了减小航道工程费用, 又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, 这体现在两个方面:

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, 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裕水深。凡采用小于上限值的航道, 在接近或