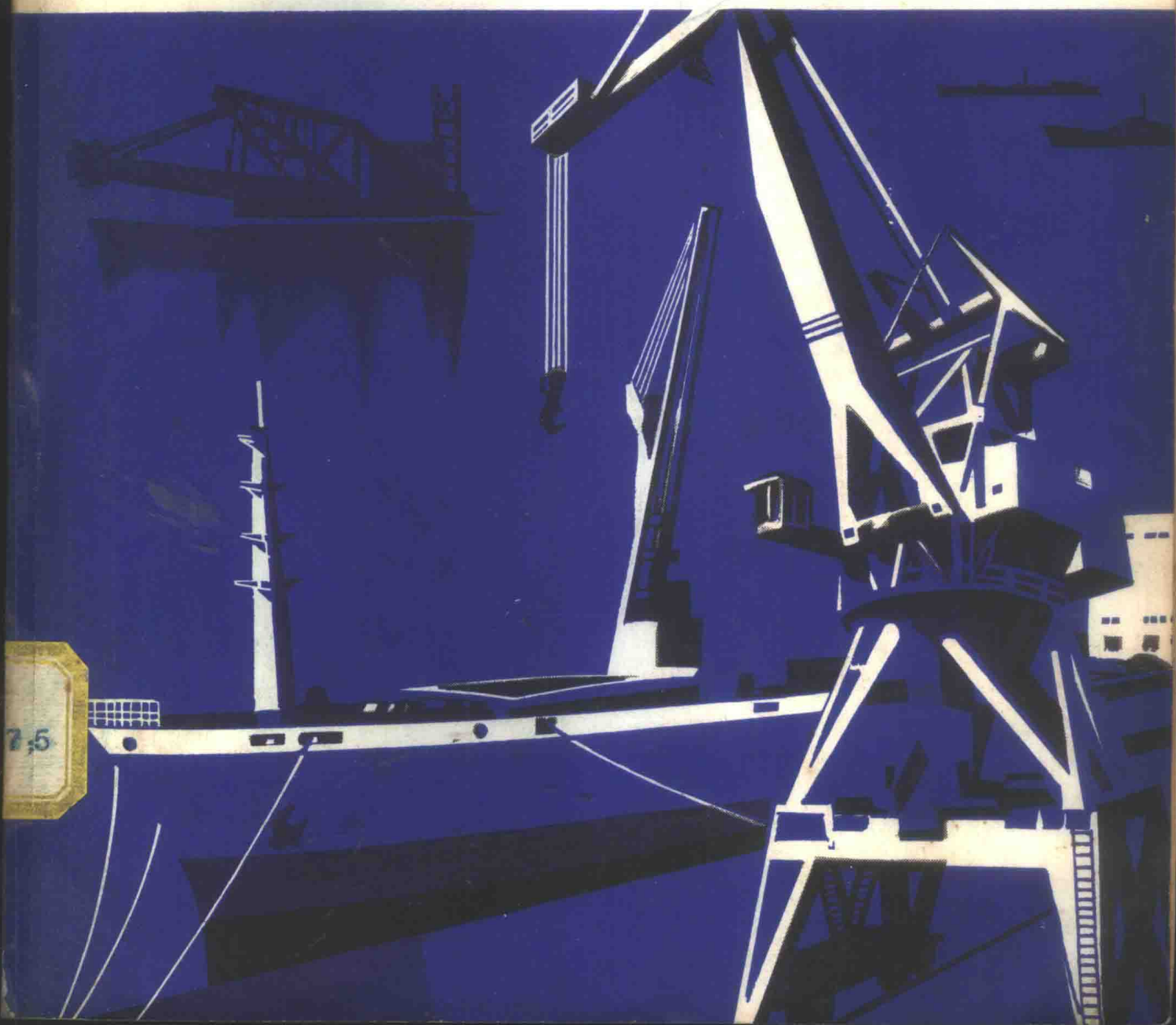


高等學校  
試用教材

# 航道整治

华东水利学院、重庆交通学院 编

人民交通出版社



616922

512  
421273

高等学校试用教材

# 航道整治

(港口与航道工程专业用)

华东水利学院、重庆交通学院 编

人民交通出版社

高等学校试用教材

航 道 整 治

(港口与航道工程专业用)

华东水利学院、重庆交通学院 编

人民交通出版社出版、发行

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$  印张：13.75 字数：331千

1980年11月 第1版

1980年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,700册 定价：1.45元

# 前 言

本书是根据交通部教材规划工作会议决定编写的。为高等学校“港口及航道工程”专业的教材。

本书在内容上以平原航道整治为主，兼顾山区河流和潮汐河口的整治。在编写中力求贯彻“少而精”的原则；注意加强基本概念，基本理论和基本方法的阐述；尽量作到理论联系实际，列举了一些整治成功的实例；并在一定程度上反映了国内近期成果和国外有关情况。

本书绪论，第一、二、三、六、八、九章由华东水利学院常福田、李安中、钟修成编写；第四、五、七章由重庆交通学院王绍成、沈有贤编写。全书由常福田主编。

本书初稿完成后，召开了审查会议，由王绍成主审。除编写人员参加外，还邀请天津大学负英、杭州大学蒋梦林、人民交通出版社刘书伦参加，根据审查意见进行了修改补充。

限于编者的水平，书中难免存在缺点和错误，希广大读者提出宝贵意见。

编 者

1980年

6A534.2

# 绪 论

我们伟大的祖国，有着丰富的发展水运事业的自然条件。河湖众多，海岸线长。仅大陆海岸线就长达18,000余公里，流域面积在100平方公里以上的河流，总长42万余公里，联系着城镇、工矿和广大农村。其中举世闻名的大河长江，横贯我国的西南、中南和华东地区，全长6,300余公里，为这些地区的运输和经济发展，创造了非常有利的条件。

水运有着悠久的历史，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起来的，很多大城市都位于河畔。我国是水运发展最早的国家之一，战国时代开凿了胥溪，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场。

水运有着运量大、成本低的优点。例如，美国密西西比河的下游，5万吨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。水运是消耗能源最少的一种运输方式。据统计，如内河完成每吨公里消耗的燃料为1，则铁路为1.5、公路为4.8、空运为126。水运的投资比铁路省，据美国运输部最近研究，完成同样的运量，铁路为内河投资的4.6倍。水运成本为铁路的 $1/3 \sim 1/5$ ，为公路的 $1/8 \sim 1/20$ 。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。近年来在国外交通运输中，水运的比重有着很大的增长。

航道是船舶航行的线路。航道是水运的基础。为了充分发挥水运的优越性，必须建立四通八达的航道网，增长通航里程。

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。在一定的航行要求下，一般都不能完全满足，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，水流太乱阻碍航行。为了满足航行要求，在河流上常需采取一定的工程措施，调整水流和调整河床，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。

解放后，航道事业同其他国民经济事业一样，取得了巨大发展。仅以著名的川江为例，川江（长江上游宜昌至宜宾河段）全长一千余公里，是沟通大西南与全国各地的重要水运干线。解放前，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。解放后，党和国家对航道建设极为重视，20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2.75米。随着我国对外贸易的发展，长江口通过大规模疏浚，万吨级海轮每日可以进出上海港，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。此外，珠江、北江、东江、湘江、沅水、赣江、汉水、右江、闽江、嘉陵江和岷江等河流也都进行了大规模的整治工程，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。

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，不远的将来，一个统一标准、四通八达的水运网建成后，并配合其它薄弱环节的改进，水运面貌必将大大改观。

航道整治是综合治理河道的一个组成部分，它与防洪、用水等部门应相互协调，相互配合，航道整治的任务主要包括：

1. 通过整治建筑物调整水流和河床。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。

由此可见，航道整治是与河流作斗争的一项工程技术。做好这项工作，必须掌握河床演变的基本规律。河床演变是与泥沙运动密切相关的，是属于河流动力学的研究范畴；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，不仅是动力学的研究对象，部分也属于地貌学的范畴。此外，整治建筑物的结构设计，还需要具备材料及工程学方面的知识。由此可见，航道整治涉及的知识面是很广泛的。

几千年来，我国劳动人民与河流有着长期斗争的丰富经验，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，随着河流力学等学科的发展才前进了一大步。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，即使是在同一河段上，也难以找到地质、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，掌握第一性资料、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，可以进行模型试验，验证整治效果。

学习本课程时，应以河床演变的知识为基础，从调整水流和调整河床，即从水流与河床相互作用的角度上去理解整治的一些原则和原理，以便针对不同情况灵活应用，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。

## 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、弯道和汉道浅滩整治；山区航道整治；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试用教材，亦可供本专业工程技术人员参考。

# 目 录

绪 论	1
第一章 航道工程概述	1
第一节 航道工程的内容	1
第二节 航道尺度	2
第三节 航道工程措施	7
第四节 航标	8
第二章 浅滩的演变和整治	13
第一节 浅滩及其成因	13
第二节 浅滩演变	14
第三节 浅滩演变的分析方法	16
第四节 浅滩整治的原则	20
第五节 浅滩整治	21
第三章 整治工程设计	28
第一节 两种整治措施	28
第二节 整治断面设计	29
第三节 整治线的平面布置	46
第四节 整治建筑物的作用与布置	49
第五节 整治工程的水力计算	59
第四章 分汊段和汇流段的整治	73
第一节 概述	73
第二节 汊道整治	75
第三节 汊道的水力计算	83
第四节 支流河口浅滩整治	90
第五节 入湖河口浅滩整治	93
第五章 弯道整治	98
第一节 弯道演变及碍航特点	98
第二节 弯道整治	101
第三节 裁弯取直后河床的演变及其估算	107
第六章 航道疏浚	114
第一节 概述	114
第二节 挖槽定线及抛泥区的选择	116
第三节 挖槽设计和水力计算	118
第四节 河口挖槽的设计与维护	125
第五节 疏浚对环境的影响	130



<b>第七章 山区河流滩险整治</b> .....	132
第一节 山区河流主要特性及滩险类型 .....	132
第二节 石滩整治 .....	137
第三节 绞滩 .....	150
第四节 山区航道疏浚 .....	155
<b>第八章 潮汐河口浅滩整治</b> .....	158
第一节 河口水流 .....	158
第二节 河口演变 .....	167
第三节 浅滩整治 .....	173
第四节 河口建闸与围垦 .....	184
<b>第九章 整治建筑物的结构与施工</b> .....	187
第一节 整治建筑物的材料与构件 .....	187
第二节 整治建筑物的结构与施工 .....	189
第三节 平顺护岸工程的结构与施工 .....	193
第四节 整治建筑物的受力分析与设计 .....	202
<b>附录 有关国际单位制的说明</b> .....	209

# 第一章 航道工程概述

## 第一节 航道工程的内容

为满足船舶安全、方便的航行，对航道有以下的基本要求：

1. 应有足够的深度，宽度和弯曲半径；
2. 流速不能过大，水流不能太乱；
3. 跨河建筑物应满足船舶的水上净空要求。

以上几项要求，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水深不足，即所谓的浅滩。山区河流由于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，存在着险恶的流态如：回流、横流、滑梁水、扫弯水、泡水、漩水等……，引起航行危险，驾驶中稍有不慎，即发生海事，这些常称险滩。以上都是处于自然状态下的河流对航行产生的碍航现象。为了船舶安全方便的航行以及延长通航里程和加大船舶吨位，就必须对这些碍航滩险采取工程措施，这些措施统称为航道工程。

航道工程包括：

1. 疏浚工程：沙质和沙卵石河床上采用挖泥船挖除碍航浅滩，增加航深。在石质河床上，采用爆破的方法（常称炸礁）炸除碍航的河床边界及引起不利水流的河床边界。

2. 整治工程：建造整治建筑物改变和调整水流结构，达到冲深河床，增加航深；调整流态和水流比降以改善险滩的流态和降低急流滩的流速。采取护岸等工程可以保护河床，稳定目前的河势。

3. 渠化工程：在河床上建造拦河闸坝，抬高闸坝上游水位，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。随着流速的减缓也自然地消除了急、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，需建造船闸等过船建筑物。根据规划要求，可只建一座闸坝，形成一个梯级；也可以沿河建造一系列闸坝，将壅水河段联结在一起，河流完全由人工控制起来，每一个梯级相当一个渠段，如图1-1所示。

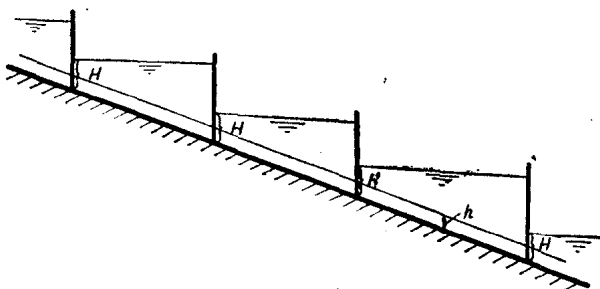


图1-1 渠化示意  
 $h$ -渠化前水深， $H$ -渠化后水深

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

在急流滩上，通过技术经济比较，有时还可直接采用外力拖引船舶过滩的措施，俗称绞滩。

以上是为改善河流航行条件，所采取的主要工程措施。

航道上还有一些助航措施。一条未通航的河流开发成通航的河流之前，需要进行：扫床、清槽和布设航标。

扫床：在河口区也有称扫海的，主要是探明在航道上影响航行障碍物的位置。山区河流，采用炸礁措施后，也需要扫床来检查航道的尺度。

清槽：清除打捞障碍物。

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的在航道中行驶，就需用标志标示出航道的范围。这种标志称为航标。

## 第二节 航道尺度

航道的设计尺度是进行航道工程要达到的标准。

航道尺度包括：航道水深，航道宽度，航道弯曲半径和水上净空等。航道尺度设计，应满足船舶安全航行和经济的要求。

航道尺度，一般系指枯水期浅滩上保证通航的最小尺度。航道尺度的大小与河流的自然条件，船型以及所要求的货运量等因素有关。大河具有能获得大的航道尺度的自然条件，能航行大的船舶，能满足大的货运量要求。小河达到较大的航道尺度就较困难。因而，一条河流上航道尺度的确定，要综合技术经济等因素来考虑，如用图1-2所示的简单关系来表示，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提高，但由于大的航道尺度能满足较大的船舶航行，使船舶的运输成本下降，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。

为了统一全国的航道尺度标准，达到船舶能四通八达的目的，1963年国家计委曾转发了《全国内河通航试行标准》，包括：船型、航道、船闸、桥梁净空等主要尺度。由于十几年来，航运事业的发展，原标准有些内容已不适应目前情况，有些标准需要增补。目前正在修订之中。

本节仅对确定航道尺度时，应考虑的因素作一些阐述，具体确定时，还需要根据国家颁发的《全国内河通航标准》办理。由于航道尺度与船型、船舶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

在我国内河上航行的船舶型式很多，主要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，需要由机动船来顶推或拖带行驶。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。目前我国内河上常采用的编队方式为拖带船队和顶推船队。

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乱流冲击

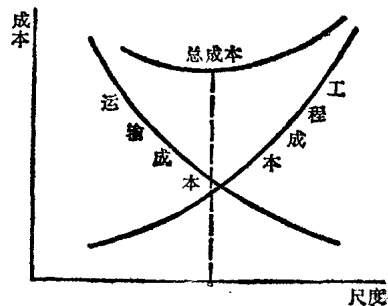


图1-2 航道尺度与成本关系

到驳船队，从而加大船队的水流阻力，拖轮与第一艘驳船之间的缆索长度，通常应不小于100米。在航道平面尺度允许的条件下，为了减小船队阻力，逆流行驶时，可以采取多排一列式拖带方式，见图1-3(a)，顺流行驶时，可以采用多排并列式拖带方式，如图1-3(b)所示。拖带编队行驶比单船行驶之所以能减少每个船舶的阻力，在于各个驳船可以利用船队前进时的附随水流。为了充分利用附随水流和减少各驳船尾激起的乱流对后面驳船增加的阻力，应使各个驳船之间的距离尽量短。

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1-4(a)所示。顶推船队较拖带船队又有着以下优点：

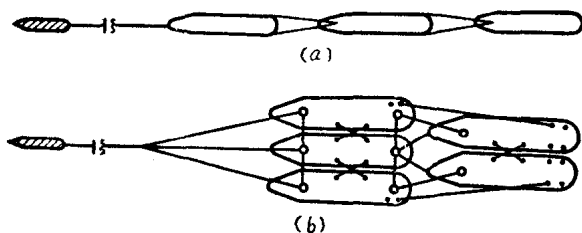


图1-3 拖带船队  
(a)多排一列式拖带；(b)多排并列式拖带

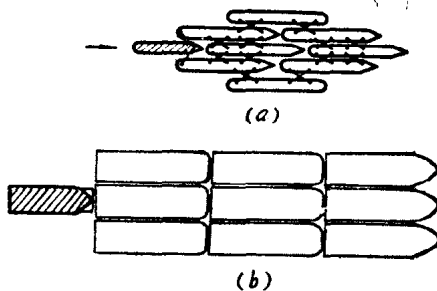


图1-4 顶推船队  
(a)顶推船队；(b)分节驳顶推船队

1. 阻力小，包括由于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. 顶推船队不偏转摆动，增加了船队的稳定性。

3. 由于推轮与驳船队联结成一个整体，驳船上的船员工作条件和生活条件得到改善。在同样劳动条件下，顶推船队可以较拖带船队大大减少船员数量。

4. 编队解队简便，提高了生产率。

由于顶推船队有着上述优点，目前顶推船队得到了广泛的采用。

我国长江及其他主要水系，近年来正在积极试验，推行分节驳顶推运输。分节驳顶推船队类似铁路列车，由许多艘统一规格的驳节，编成一支庞大的船队，由一艘推轮在后面顶推驳船前进，如图1-4(b)所示。这种船队与普通驳顶推船队、拖驳船队和自航船相比，其技术和经济方面都有优越性；操作方便，简单灵活，可靠；单驳和船队载重量均高于相同尺度的普通驳和普通驳顶推船队。分节驳结构简单，节省工料、造价低。分节驳船队船员定额可减少很多，装卸方便。分节驳顶推船队的运输经济指标，据长江航运局测算，与普通驳船队相比较，单位运输成本可降低10%以上。据黑龙江航运局测算，与普通船队相比较，运输成本可降低40%。

分节驳顶推运输是我国内河运输当前发展的一个重要方向。然而，由于目前航道和船型还没有统一标准，再加上运输的货源、货种和航线复杂，分节驳顶推运输还不可能完全代替拖驳、机动货驳等运输方式。但是，毫无疑问，分节驳顶推运输，近期将会较快的发展成为我国长江和其他重要河流上的一种主要货运方式。

## 二、航 深

航深是航道尺度中非常重要的指标，航深决定着船舶的航速和载重量。一般在平原河

流，航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深问题。

确定航深时，首先要确定从那一级枯水位向下计算航深，这个水位称为最低通航水位。最低通航水位减去航深，就可以得出设计的航道底部高程。最低通航水位具有一定的保证率。显然，最低通航水位定的越低，通航保证率就越高，航道底部高程要求的就越低，需要的工程费用就越大。反之，这个水位定的越高，通航保证率就越低，航道底部高程为满足航深要求，所需的工程费用就越少。最低通航水位的保证率定多少，应根据每一河段的运量情况、河段的自然条件和水文情况等因素，进行技术经济比较综合考虑。显然、重要的河段，设计的最低通航水位的保证率应高些，次要的河段，通航保证率应低些，以减少工程费用。

航道水深一般是指设计船舶的满载吃水深加富裕水深，可用下式表示：

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

式中：H——航道水深；

T——设计船舶的满载吃水深；

$\Delta H$ ——富裕水深。

富裕水深是航道稳定和航行不可忽视的一个因素。富裕水深过小，机动船尾下沉，螺旋桨推动的水流强烈冲刷河底，局部冲刷引起局部出浅，有时会引起螺旋桨与河底接触而受到损坏，影响船舶满载及正常运输。浅水中行驶的船舶，由于底部水流的改变，而使阻力增大，航速降低，操作也困难。一般  $H/T$  小于 2 时，浅水阻力增值迅速上升，航速大于  $2.5\sqrt{H}$  米/秒时，浅水阻力增加较快。因而在一定范围内富裕量越大阻力越小，船舶航行越安全。

富裕水深包括：

1. 船舶航行时的下沉量。船舶在浅水中航行时，其四周水位有所下降，会发生船体下沉，下沉的数值随着船对水速度的提高和水深的减小而增加。浅水中船体下沉量比深水大。

船体下沉在纵向上是不均匀的。据观测到，船舶的速长比 ( $V/\sqrt{L}$ )，即船速与船长平方根之比小于 1 时，船首水位下降值大于船尾。当速长比大于 1 时，对于未扰动的水面而言，船尾水位继续下降，而船首处水位则开始上升。

2. 保持舵效，操作安全灵活，保持螺旋桨安全运转以及因风浪船体发生颠动时，不致触及河底所需的富裕量。其富裕量的大小，应考虑是沙质、卵石和石质等不同河床底质情况分别确定。沙质河床可以小些，石质河床应大些。

根据 1963 年国家颁布的“通航试行标准”中规定富裕水深：沙质河床为 0.1~0.3 米，石质河床为 0.2~0.3 米。这些富裕水深值，不包括长江宜宾至海口段，也不包括航行载重 50 吨以下船舶的地方小航道。

表 1-1 是我国长江和国外几条河流，顶推船队使用的最小  $H/T$  值和船队最小富裕水深值：

几条航道的航深

表 1-1

航 道	长江汉口以下				美国密西西比河		西 德 莱 茵 河	南斯拉夫多瑙河	苏联伏尔加河
	最小保证水深 $H$ (米)	4.0	全程 2.75	干流 3.6	4.0	2.8	3.65		
船舶最大吃水 $T$ (米)	3.3	2.25	2.74	3.2	2.2	2.82			
$H/T$ 最小值	1.21	1.22	1.31	1.25	1.27	1.29			
最小富裕水深 $\Delta H$ (米)	0.7	0.50	0.86	0.8	0.6	0.83			

从上表可以看出，在这些河段上，内河顶推船队使用的  $H/T$  值不小于1.2，航道最小富裕水深一般不小于0.5米。

如上所述，水深是指在最低通航水位时（如在通航保证率为95~98%的时间里）可以达到的水深。由于年内大多数时期，水位都高于最低通航水位，在这个时期内，条件许可时，可考虑行驶载重量大的船舶，以取得较大的经济效益。反之，如果在最低通航水位时，只有个别浅滩碍航，且增加航深困难时，为了减少工程量，通过比较，也可以考虑船舶的短期减载。

### 三、航道宽度

航道宽度以保证两个对开船队安全错船为原则，在地形特殊困难的河段，可考虑单行航道。理想情况下，直段上的航道宽度为两个对开的船队宽度之和( $b_1 + b_2$ )加上船队与船队之间的富裕宽度  $C_1$  和船队与岸线之间的富裕宽度  $C_2$  即：

$$B = b_1 + b_2 + C_1 + 2C_2 \quad (1-2)$$

然而，由于船队在航行中受到风、波浪和水流的作用；在船队交错时，由于两船队之间，水流的干扰和船队两侧存在着压力差而产生互吸；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，这些都会使船舶舵效降低，控制困难。船舶为了在这些外力作用下，沿着航线前进，不得不在偏航条件下航行，因而需要加大航道宽度。偏航需要加大的宽度与船长有关，在同样的偏角下，船长愈大，需要的加宽值也愈大。此外，航宽与导航条件也有密切关系。目前常用来标示航道的浮标，其位置沿风、浪和水流三者的方向移动。在有潮差的航道上，浮标的摆动更大，这也促使航道宽度需要加大，如遇到横流，船首和船尾受到的水流作用不同时，船舶更加难以控制。此外，船舶性能好坏以及驾驶人员的水平也影响着航道尺度的确定。目前各国对航道宽度都有一些经验尺度以及实船试验和船模试验的成果。我国目前正在1963年《试行标准》的基础上，通过实船试验和船模等手段，制订新的标准。所谓实船试验其任务就是通过实船航行，反复测定所必要的各种参数，根据这些参数确定航道所必需的各种尺度。在实船试验中，利用各种不同尺度的船舶，在直段和具有不同弯曲半径的弯段上，对船舶和船队上下水航行的情况进行考查和测定。

考虑到偏角的影响，式(1-2)中需增加  $L \sin \alpha$  一项， $L$  为船队长（单船为船长）， $\alpha$  为偏角，一般取  $3^\circ \sim 5^\circ$  如图1-5所示，航道宽度近似值为：

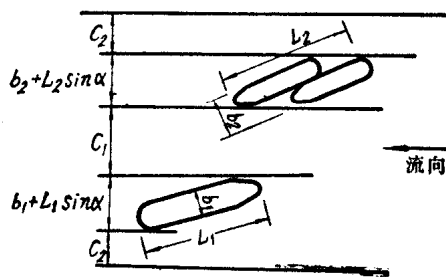


图1-5 双向航道宽度示意

$$B = b_1 + L_1 \sin \alpha_1 + b_2 + L_2 \sin \alpha_2 + C_1 + 2C_2 \quad (1-3)$$

根据一些资料，美国一般  $B/b = 3.0$ ，西欧  $B/b \geq 2.2$ 。 $b$  值为  $b_1$  与  $b_2$  之和。

### 四、航道断面系数 $\eta$

航道断面系数  $\eta$  是指航道横断面面积与船舶（或船队）的船中横断面面积之比。 $\eta$  值越小，船舶航行阻力越大。 $\eta$  值应随船速的提高而增大。航道流速大时，同样应增加  $\eta$  值。过去一般认为， $\eta$  的最小值应大于5~6。当  $\eta > 10$  时，断面形状对航道阻力的影响，可忽略不计，当  $\eta \geq 14$  再增加  $\eta$  值对阻力影响不明显。

随着船速的不断提高，在运河上美国建议  $\eta \geq 10$ ；欧洲已采用  $\eta \geq 7$ ；南斯拉夫认为，在特殊情况下，此值可建议降至  $\eta \geq 5$ 。

在平原河流上，由于河流横断面面积大， $\eta$  值一般都能满足要求。新开的狭窄浅水航道或运河上则必须考虑  $\eta$  值。

### 五、航道弯曲半径 $R$

航道弯曲会使航道中的水流流向和流速发生变化。船舶在弯道中行驶要不断改变方向，改变方向的过程，会使船舶承受力矩、侧压力和水动压力，因此在弯道上操纵船舶保持航向要比直段上困难得多。

我国《试行标准》规定：航道最小弯曲半径为船长或顶推船队长度的4~5倍，如限于自然条件难于达到此标准时，最小弯曲半径可减至3倍。

表1-2是我国长江和国外几条河流上，顶推船队用的航道最小弯曲半径。

几条航道的最小弯曲半径

表1-2

航 道	长江(汉口以下)	俄亥俄河	莱茵河	多瑙河	伏尔加河
船队长度 $L$ (米)	226	372	185	184	308
航道最小弯曲半径 $R$ (米)	800	1,000	350	350	600
$m = \frac{R}{L}$	3.54	2.69	1.89	1.90	1.95

从上表可以看出，这些航道一般  $m$  近似于2，这是由于推轮操纵性能的改善。近几年在国际上  $m$  值已趋向于1.8。

船舶在弯道上航行时，由于离心力和斜流等的作用，促使船舶从其航线向河岸偏离，并以不同的偏转量跨越航线，这种偏转量远较直线航道大。船舶在弯道上行驶的航迹，比直段上的航迹要宽，其宽度随弯曲半径的减少而增加。因而，在弯道上的航宽要比直段航道加宽。影响弯段加宽值的因素很多：如偏转角、船速、船长、弯曲半径、视距和船舶的控制性能等，其中加宽值与偏转角、船速和船长成正比，与弯曲半径、视距和船舶的控制性能成反比。确定航道加宽值的关系式，从不同的角度目前已提出了很多表达型式，可参考有关文献，但是加宽值的最后确定，还是要通过实船试验。

从直线段的正常宽度到弯曲段的加宽段，应采取逐步平缓的过渡，形成一个渐变段。一般采用直线渐变过渡段，其最小扩宽率为1:20，如图1-6所示。

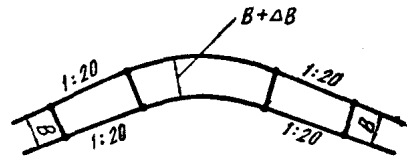


图1-6 航道扩宽过渡示意

### 六、流速流态

航道中的表面流速和局部比降不能过大，否则上行船舶的推力不能克服逆流阻力前进，下行船舶的舵效难以发挥，使船舶操纵困难。航道中允许的最大纵向表面流速和局部比降的数值与船型和整治的措施有着密切的关系，应进行综合比较确定。垂直航道轴线的横向流速亦不应过大，否则会将船舶推离航道，发生海事。

航道中的流态应尽可能平顺，以保证航行安全。

## 七、跨河建筑物的净空要求

跨河桥梁，电缆等应有足够的水上净空高度和净空宽度，以便船舶能安全顺利的通过。净空高度是指：建筑物底部高程至设计最高通航水位的垂直距离。设计最高通航水位的标准、应根据航道等级而定。净空高度的数值应满足设计船舶空载的水上高度加富裕值。净空宽度，如桥墩间的净跨应符合单向航行船舶（队）的航道宽度要求，当水流流向与桥梁轴线交角不垂直，其偏角超过 $5^\circ$ 时，净跨必须相应加宽。

## 第三节 航道工程措施

为使航道能获得较大的尺度，充分发挥河流的潜力为水运服务，应使碍航的滩险通过工程措施得到改善。如前所述，通常采用的航道工程措施有下列几种。

### 一、疏浚工程

疏浚工程是用挖泥船或其他疏浚工具加深航道，以满足通航要求。在平原河流及其河口地区，航深不足是航道的主要矛盾，通常主要工作是浚深航道。疏浚的特点是：通过疏浚，航道尺度即刻增加，可收到立竿见影之效，施工比较单纯，不需要大量的工程材料、人力和机具。随着挖泥船的生产能量日益加大，疏浚在航道工程上用得越来越多。在较大的平原河流下游和河口地区，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，反而可能引起不良后果，疏浚就不会产生这些问题。

疏浚中最主要的问题是挖槽的回淤。由于挖槽尺度与河床的尺度相比常常很小，不会引起河床水流条件有很大的变化，因而在淤积的季节挖槽中必然产生大量回淤，以致有不少挖槽，每年定期都要进行维修性的疏浚。

在石质河段，清除碍航礁石常采用爆破的方法，俗称炸礁，包括炸除碍航石嘴、石梁、孤石、岩盘等。这些碍航礁石有的是造成航道水深不足；有的是形成卡口，使航道流速过大；有的是引起险流。

### 二、整治工程

整治工程是通过建造整治建筑物，造成有利的水流结构，冲深河床，达到增加航深的目的。正确的整治措施必须建立在对河性及其演变规律有充分掌握的基础上。整治工程做得好，不但可使航道加深，还可以使航道较长期的维持稳定。

通过整治后，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，特别是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上所取得的成果。一般未经整治的河流和河段，可以参考优良河段上浅滩的水深，作为整治后一般浅滩所能达到的标准。所谓优良河段上的浅滩，就是长期以来比较稳定，水深比较大的浅滩。

上述的考虑对疏浚能达到的稳定水深也是适用的，即疏浚的挖槽深度定得太深是没有意



义的。挖槽超出了稳定深度，挖得越深回淤得越快。一般为了减少挖槽的回淤量，除在挖槽的布置上力求合理外，最好利用整治建筑物配合挖槽，以造成有利的水流维护挖槽的稳定。即采用疏浚与整治相结合的整治原则，效果常常是好的。

### 三、渠化工程

在河流流量小的情况下，采用疏浚和整治措施均难以增加航深，以及增加航深后引起流速增加，超过航道允许值时和货运发展较快，还需要进一步大幅度增加航深时，往往就只有用渠化才能解决问题。然而，相对整治而言，渠化工程量比较大，工程技术比较复杂，投资比较多，因而是否采用渠化应慎重考虑。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，才考虑采用渠化。

以航运为主要目的的渠化，多是建造低水头的梯级。梯级的开发应注意到综合利用，水位抬高要考虑到淹没损失，排洪影响，水电开发和农业用水等。

### 四、径流调节

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，需要建造大型水库，同时水库距浅段越远，增深的效果越差。事实上，水库的建造都是为了多目标的综合利用，不可能单纯为增加航道的枯季航深而建造水库。因而，径流调节增加航深是河流综合利用的结果。水库建成后，浅滩上的来水、来沙受到了控制，洪峰减小，枯季流量增加，流量变幅平缓，来沙量低，有利于河床的稳定和浅滩的刷深。

以上各种改善航行条件的工程措施，在一条河流的不同区段，由于条件的不同，如上游河段流量小、土质坚实可采用以渠化为主，平原河流可采用整治与疏浚相结合的方法，河口段可采用以疏浚为主的措施，应视具体的自然条件和航行要求，通过技术经济比较确定。例如，一个急流滩，根据河流的运量和航道的情况可以采取疏浚、整治、渠化和绞滩等措施进行比较。一个河段，滩险少，采取疏浚和整治措施可能是合理的，如果存在着密集的滩或是一系列难以整治的滩险，可能采用渠化措施是合理的。一个河段，初期运量不大时，可先采取疏浚和整治措施，随着货运量和航深要求的不断增加，最终必将导致渠化。

## 第四节 航 标

航道只是河流中能满足航行尺度的那一部分。为保证船舶能安全、方便的在航道内航行，必须采用标志标示出航道的位置，这种标志叫航标。航标的作用在于标示航道的方向和界限，航道的最小水深，航道内和它附近的水上或水下障碍物，预告风讯、雾以及指挥狭长河段和急弯河段上的水上交通等。

内河上常用的航标可分为：

1. 指示航道方向的标志，主要有接岸标、过河标、导标等；
2. 指示航道界限的标志，包括三角浮标，浮鼓和棒形浮标等；
3. 指示航道深度，预告风讯，指示水下管线位置，鸣笛地点以及为船舶通过狭窄航道、船闸和桥梁等的通行信号标志。
4. 根据航道的等级，航标可分为三等。一等航标设置在航道繁忙日夜通航的河段，夜间全部发光，船舶从一个标志可以看到下一个标志。二等航标设置在航运较为繁忙的河段，夜