

高等学校内部教材

内河 引航

吴士惕 主编

武汉河运专科学校

前 言

本书系根据高等学校内河船舶驾驶专业《内河引航》课程教学大纲编写，计划课堂教学为90学时。

1956年我校曾组织有关人员翻译了苏联河运中专教材《普通内河水路图志》，作为当时的中专驾驶专业的教材。1960年，我们又在此基础上组织编写了适合我国国情的《内河水路图志》。该书经交通部批准，定为交通系统中专试用教材，并于1961年公开出版发行，多年来得到全国各航运中专和技校广泛采纳和使用。经过长期教学和生产实践，我校于1964—1965年又对《内河水路图志》和《河船驾驶》两部教材，作了新的调整和改写，编出了《内河引航》教材。由于“文革”而中止使用。“文革”后，随着拨乱反正和教改的深入进行，《内河引航》和《河船操纵》正式分课设置。1981年的《内河引航》大专教材，就是在前述基础上经修改和提高编写而成的，至今已用了六届。该教材实际上已在社会上得到广泛流传和使用。现经修订，交通部教育局批准在内部出版发行。

本书在原有的基础上，参考了八十年代国外高教此类专业的教科书，取其所长，作了增补，吸取了目前我国内河船舶驾驶方面的较新的科研成果，即雷达江图的研制和使用；增加了北方河流的冬季情况及流冰期的引航；摒弃了原内河航标等已经过时的内容；其它方面也作了一定的修改和增补，从而在一定程度上丰富了本教材。

本书第一、二章由刘明俊同志编写，第六、八、十四、十六章部分内容和附录由齐传新同志编写，其余部分的编写和全书统稿工作由吴士惕同志担任。长江航务管理局高级工程师徐宁生同志为本书主审。插图全部由刘明俊同志绘制。

本书在编写过程中，曾得到许多单位和个人的大力支持和帮助，并提供了有关资料，特此致谢！

编 者

1987年8月于武汉

绪 论

内河航运是人类利用天然河流发展交通运输的传统的运输方式，也是现代综合运输体系中必不可少的一种运输方式。它与整个社会的生产、交换、分配和消费密切相关，是城乡物质文化交流的纽带。

我国的内河航运具有十分优越的自然条件，历史上曾经是航运业十分发达的国家，运河的开凿，船闸的建造，都为世界航运史之首创。特别是全长1700千米左右的京杭大运河，是与“万里长城”一样闻名于世的古代伟大工程之一。悠久的航运史，为中华民族的文明和社会生产的发展作出了重大贡献。

我国幅员辽阔，江河湖泊纵横分布。流域面积在100平方千米以上的河流有五千多条；流域面积在1000平方千米以上的河流有一千五百多条，还有大小湖泊九百多个。其中大多水量充沛，蕴藏着丰富的水利资源，有利于内河航运事业的发展。

目前，我国内河航运以天然河流的航道为主。解放初期，全国河流航道通航里程仅有70000千米左右。随着国民经济的蓬勃发展，到1962年，全国内河航道通航里程达到了160000千米以上。但是，文革十年，我国经济建设受到了“左”的思想干扰，在内河水资源的开发利用上未能做到统筹安排、综合治理。如在主要河流的干支流和湖泊上，盲目围垦，倾倒废渣，造成河床淤积，兴建了许多没有过船设施的闸坝，拦断了通航河流，使航运中断。因此全国内河航道通航里程逐年减少，严重地影响了航运事业的发展。据1979年普查，全国现有通航河流五千六百余条，通航里程总计107801千米。其中全年通航的占总里程的80.6%，航道水深在一米以上的占总里程的53%。能通航300吨级以上船舶的占总里程的8.8%；能通航1000吨级以上船舶的仅占总里程的4.2%。而在通航河流上建有水利闸坝2796座，其中建有通航船闸861座，升船机40座。

我国内河航道主要分布在长江水系、珠江水系、黑龙江水系、黄河水系、淮河水系、钱塘江水系及海河、闽江和东南沿海各独自入海水系。这些水系中的河流，上游发源于高山峡谷，下游流经平原沃野，构成我国内河航运中的主要航道。

表1和表2为我国主要河流和湖泊。

在我国众多的河流中，当前大部分都处于自然状态，各水系互不沟通，干支流不能直达，为适应运输生产的发展，内河航道建设的规划是：

1990年通航1000吨级的航道达到七千多千米；通航300~500吨级驳船的航道达15000千米。到2000年通航1000吨级船舶的航道达9000千米；通航300吨级以上船舶的航道为20000千米。

到2000年止，内河航运发展的重点是整治“三江两河”——长江水系、珠江水系、黑龙江水系、淮河、大运河。具体的建设项目是：

1. 整治长江上游的航道，治理长江主要支流。
2. 完成京杭运河天津至杭州段的建设。
3. 着手整治和建设西江，主要是广州至南宁航段。

4. 淮河的上伸和下延工程的开挖和治理。
5. 完成黑龙江水系松花江航道整治。
6. 着手整治沙颍河、盐河运河。
7. 恢复沙市至沙洋的古运河，即治理两沙运河。
8. 汉江航道整治和港口建设。

我国主要河流简表

表 1

编号	河 流 名 称		流量(米³/秒)	长度(千米)	通航里程(千米)	备 注
1	外 <					

注：（1）长度在1000千米以内的外流河未编入；（2）长度在700千米以内的内流河未编入。

我国主要湖泊简表

表 2

编 号	湖 泊 名 称	水 质	海拔高程(米)	面积(平方千米)	成 因 类 型
1	青 海 湖	咸	3,196	4,583	构造湖
2	兴 凯 湖	淡	69	4,380	构造湖
3	鄱 阳 湖	淡	21.0	3,583	古代大湖遗迹
4	洞 庭 湖	淡	34.5	2,820	古代大湖遗迹
5	太 湖	淡	2.14	2,425	海迹湖
6	呼 伦 湖	淡	539	2,315	洼地积水
7	洪 泽 湖	淡	12.28	1,960	河流出海口堵塞
8	纳木错湖	咸	4,718	1,020	构造湖

注：面积在1900平方千米以内的湖泊未编入。

以上建设项目完成后，内河航运基本形成以重庆、长沙、武汉、南昌、合肥、上海、南宁、淮阴、广州、哈尔滨等十大城市为中心的四大水系航道网，为今后沟通全国内河水系的航道网，将打下可靠的基础。

国家有计划地、大规模地建设和整治江河航道，必将为内河船舶的四通八达开辟宽广的前景。

船舶驾驶是驾引船舶（船队）安全地到达指定目的地的全过程。内河船舶驾驶理论是在物理学、力学和数学的基础上发展起来的。它采用了气象学、水力学、地质学和无线电技术等学科的基础理论。

引航是内河船舶驾驶的一个重要组成部分。《内河引航》课是内河船舶驾驶专业的主要专业课之一。

目前内河船舶的引航，主要凭藉目测定位和个人的实践经验，属视觉引航。但随着科学的发展和船员素质的提高，很多先进的助航和导航设备开始用于内河船舶驾驶。今后还将大量采用仪器引航的新技术。因而，提高内河引航人员的技术素质，加强对学引航基础理论和科学方法的教育，是适应河运发展的当务之急。

《内河引航》课程是为了使学生能达到分析航道，拟定引航方案，并实际引领船舶安全、迅速地驶达目的港的要求而设置的。其内容包括较多的基础知识和基本操作方法。由于本书系通用教材，为适应全国需要，侧重于阐明与引航有关的具有普遍意义的基本知识和基本规律。在讨论操作方法时，也不例外。

本课程的全部内容分三篇——引航基础、引航原理和航区引航。第一篇引航基础，包括内河航道、渠化河流和运河、内河助航标志、航行图、气象。这些都是内河引航的基础知识，只有了解和掌握了它们，才能研究引航方法。第二篇引航原理，包括引航的基本要领、各种典型河段的引航、雷达引航、特殊情况下的引航注意事项。本篇将河流分成若干类典型河段，分别分析它们在各种典型情况下的航行条件，并据之以讨论相应的引航方法，从理论上阐明

操作的依据。但所得到的仍属典型情况下的操作方法，不一定能完全适合某具体河段在某一时间内所特有的实际情况。因此在附录中我们提出了这些具体河段或航区的引航教材编写提要。在教学过程中，由各河流或各航区有关单位根据本航区航道特点、航行条件和据此采用的实际引航方法自行编写具体的“航区引航”，以作为本书的后续，并进行有针对性的讲授。后续教材应详细阐明具体河流或航段的河床、岸形、碍航物、水上水下建筑设施、助航标志、水文、气象、定位物标、各河段的具体航法和有关规定等，使掌握了引航基础和引航原理的引航人员能用较短时间在一个不熟悉的航区内定位，并学会引航，真正做到学以致用。

我校另编有《长江中游引航》、《长江下游引航》。亦是本课程的后继部分。另外设课讲授。

目 录

绪 论	1
-----	---

上 篇 引航基础

第一章 内河航道	1
第一节 河流的基本概念	1
第二节 航道尺度和航道等级	3
第三节 比降和流速	12
第四节 水位	19
第五节 流态	25
第六节 泥沙冲积物	31
第七节 河槽的弯曲	36
第八节 浅滩	41
第九节 潮汐	46
第十节 北方河流的冬季情况	61
第二章 渠化河流和运河	65
第一节 渠化和水利枢纽	65
第二节 船闸和升船机	66
第三节 船闸引航道	71
第四节 流量调节	73
第五节 通航运河	75
第三章 内河助航标志	77
第一节 概述	77
第二节 总则	77
第三节 航行标志	78
第四节 信号标志	84
第五节 专用标志	87
第六节 内河航标配布	88
第四章 航行图	98
第一节 制图原理	98
第二节 比例尺与图式	101
第三节 图的使用、保管和改正	105
第四节 雷达航行参考图	107
第五节 航行通告	114

第五章 气象概论	116
第一节 大气概况.....	116
第二节 气象要素.....	119
第三节 气团与锋.....	135
第四节 气旋和反气旋.....	140
第五节 台风.....	147
第六节 雾.....	152
第七节 天气形势分析与预报.....	155

下 篇 引航原理

第六章 引航的基本要领	164
第一节 航行条件的分析.....	164
第二节 引航要领.....	165
第七章 顺直河段的引航	171
第一节 顺直河段的航行条件.....	171
第二节 顺直河段的引航.....	171
第八章 弯曲河段的引航	180
第一节 弯曲河段的航行条件.....	180
第二节 弯曲河段的引航.....	181
第九章 浅滩河段的引航	195
第一节 浅滩河段的航行条件.....	195
第二节 浅滩河段的引航.....	196
第十章 桥区河段的航行	203
第一节 桥区河段的航行条件.....	203
第二节 桥区河段的引航.....	204
第十一章 河口段的引航	207
第一节 入海河口的引航.....	207
第二节 支流河口的引航.....	211
第十二章 山区河流的引航	215
第一节 概 说.....	215
第二节 急流滩的引航.....	216
第三节 险槽河段的引航.....	224
第十三章 湖泊、水库和运河的引航	227
第一节 湖泊、水库的引航.....	227
第二节 运河的引航.....	231
第十四章 流冰期的引航	235

第一节	流冰期的航行条件	235
第二节	流冰期的引航	236
第十五章	特殊情况下的引航注意事项	238
第一节	风天引航注意事项	238
第二节	能见度不良时的引航注意事项	239
第三节	高洪水期的引航注意事项	242
第十六章	雷达引航	244
第一节	雷达显示方式和避碰措施	244
第二节	雷达测距和测方位	252
第三节	雷达定位和引航	255

附 录 航区引航（编写提要）

一、航区概况	263
二、航区航道情况	264
三、下行航法	264
四、上行航法	264
五、副航道情况	264
六、附 录	264

上篇 引航基础

第一章 内河航道

第一节 河流的基本概念

河流是在地壳构造运动的基础上，水流与河床长期不断地相互作用下形成的。

河水是地表水在重力作用下，沿陆地表面上的线性凹地流动的水流。它是地球上最重要的水体之一，在陆地上广泛分布。论面积、水量，它是地球上最小的水体，但它却是最重要的自然资源，在水利、航运、养鱼及人类生存、供水方面有着巨大的作用。

河流一般有河源、河口。河源是河流的发源地，可能是冰川、湖泊、沼泽，也可能是溪涧或泉水。河口是河流的出口，较大的河流的河口多在海洋，较小河流的河口则可能在湖泊、沼泽或沙漠。在干燥的沙漠区，有些河流的水消耗于蒸发和渗透，最后消失在沙漠中，这种河称为瞎尾河。河流除了河源和河口外，一般还可分上、中、下游三段。河流的分段有的重地貌特征，有的重水文特征，有的则重经济特征。同一河流，不同的部门从不同的角度出发，有不同的划分结果，但一般来说，都有共同的特点。

上游：比降大，多瀑布急滩，流速大，流量小，河床底质多为岩基或砾石，演变时以冲刷切深占优势。

中游：比降、流速减小，流量加大，河床底质多为粗沙或细沙。在河道演变过程中，河槽有冲刷，也有淤积。

下游：比降、流速更小，流量更大，河道间多浅滩沙洲，河床底质多为细沙淤泥。

一般来说，只有较大型河流（流域面积超过50,000平方千米）才有可能经过几个不同性质的地理区，也才有可能有上、中、下游的划分，其水文和形态特征也各不相同。中型河流一般都只流经一个地理区，河流地理形态、水文特征比较单纯，流域面积在2000~5000平方千米之间。小型河流则不会超过某一地理区，全段河流的形态、水文特征相差不大，流域面积小于2000平方千米。

河流一般可分为山区河流与平原河流两大类，对于较大的河流来说，其上游段多为山区河流，下游段多为平原河流，而位于上游段与下游段之间的中游河段，往往兼具有山区河流与平原河流的特性。如黄河自河源至河口镇为上游河段，基本属山区河流性质；自桃花峪至海口为下游河段，属平原河流性质；自河口镇至桃花峪为中游河段，其特性介于山区河流与平原河流之间。又如长江，在三峡出口的南津关以上为上游河段，属山区河流性质；南津关至湖口为中游河段，湖口以下为下游河段，其中、下游均属平原河流性质。汉江自丹江口以上为上游河段，属山区河流性质，丹江口至马良为中游河段，马良以下为下游河段，其中、下游同样均属平原河流性质。对于较小的河流，其本身的上、中、下游可能均位于山区，也可能均位于平原地区。

河流的河源到河口间的轴线长度为河流长度。

干流（也称大河）是长度最长或流量最大的河流。但也有根据人们生活习惯而确定河流干、支流的。如大渡河的长度和流量都较岷江大，但习惯上却把大渡河作为岷江的支流。

支流（也称小河）是不与干流同出一源而流入干流的河流。

每一河流都隶属于某一水系。水系是在一定集水区内，大大小小的河流所构成的脉络相通的系统。如果某湖泊与河流相通，则该湖泊也属于同一水系。如洞庭湖属于长江水系。

直接流入干流的是一级支流。流入一级支流的河流是二级支流。依此类推。

分水岭是划分相邻水系、河流的山岭或河间高地。分水线则是分水岭上最高点的连线、也称分水界。

分水线所包围的区域称为河流或水系的流域，也就是河流或水系的集水区域。

河网或河系是在某一集水区域，河流所组成的网络系统。河网中的每一河流，由于它所流经区域的地理、地质特征的差异，其河谷的形态也不尽相同。河谷的形态，从一定意义上说，决定了航道的形态。如前所述，河水是地表水在重力作用下，沿地表的线性凹地流动的水流。这个凹地（河水流经或曾经流经过的凹地）就是河谷。河谷的形成与地质过程、地表的差异、河流的冲淤有关。河谷的平面形态宽窄交替，最宽的可达数十甚至数百千米。而深度则在数百米甚至更深。山区河流的河谷甚至包括两岸陡峭的山壁。

河谷一般由谷底、冲积层、谷坡、阶地、河床、河槽、河漫滩等部分组成。

谷底是河谷的最下部分，一般多为原生基岩。

冲积层是沉积在谷底上的泥沙、砾石、卵石、石块等。山区河流多为石块及卵石，平原河流多为卵石及泥沙质，其厚度可达数十米以上。

谷坡是谷底以上两侧较高的陆地部分，平原河流的谷坡一般比较平缓。具有广阔的冲积平原河流的下游、没有明显的谷坡存在。山区河流的谷坡较陡峭，只有宽浅河段的谷坡才明显。

阶地是沿着谷坡排列着的比较平坦的地形。有的河流的阶地有很多层。如嘉陵江两岸有的地方的谷坡达十层之多。一般山区河流，只有两岸地势开阔的河段才能见到。

河漫滩是冲积层的一部分，因泥沙等淤落在近岸边形成的，洪水时即被淹没。平原河流的河漫滩极为显著，而山区河流只有在丘陵地区，两岸地形开阔的宽浅河段，才出现河漫滩。

河谷内曾经被水流浸漫的部分叫河床。河床内被水流淹没的部分称河槽，如洪水期称洪水河槽，枯水期称枯水河槽。河床按其形态可分为山区河床与平原河床两大类。

山区河床的形态在横断面上多呈V型或U型（图1-1），有的狭窄，仅宽20~30米，对于没有阶地的河谷，其

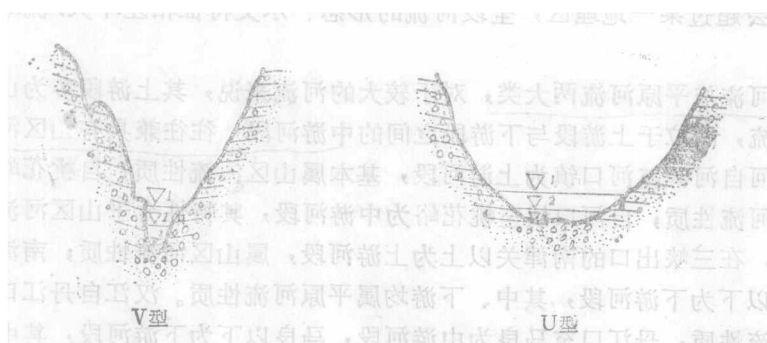


图 1-1 山区河流河床断面图
1-洪水位 2-中水位 3-枯水位

枯水与洪水期的宽度一般都相差不大。

平原河床因不断受到冲淤变化的影响，形状简单且有规则，按其所在位置不同，有抛物线型，不对称三角型及W型等，如图 1 - 2 所示。

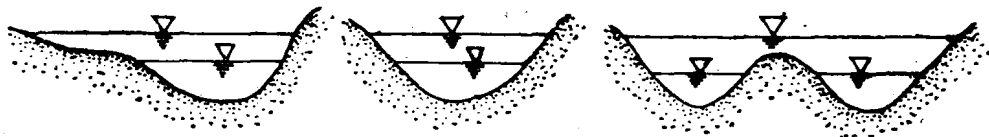


图 1-2 平原河流河床断面图

一般将中水期、枯水期水流经过的河床叫基本河床。洪水期水流经过（漫漫）的河床叫洪水河床。平原河流的河床宽度，有的可达数十千米。

河床的纵向形态由地理、地质条件决定。在我国，地势多为西高东低，河床的形态从总的情况来说，是自西向东由高到低的，并且呈上（游）陡下（游）缓。从局部来看，河床底面平缓急降交替，深浅交错，是一个起伏不平的曲面，如图 1 - 3 所示。

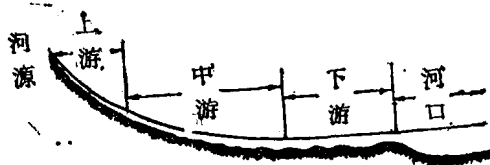


图 1-3 河流的纵断面示意图

河床的纵向形态的描述，可以用河床纵断面（从河谷的开端沿最大深度线到河口的断面）图来表示，并可以用河槽（或水面）的纵向坡度（纵比降）来进行定量的分析。

河谷的平面形态由其流经区域的地理、地质情况和河水的侵蚀作用而决定。表现为曲直交替、宽窄交替。

由于构成河谷的条件差异，使得不同河谷的水流（河流）的特点也各不一样。

第二节 航道尺度和航道等级

河流有一定的范围。对船舶来说，并不是河流的所有地方都能供船舶航行。

凡是能进行水上运输的天然河流称天然河道，它与运河（人工河道）、湖泊、水库等统称内河水道。

天然河道由于是自然形成的，因而河道内障碍物较多，且河水终年流动不息，常发生冲刷和淤积，造成河道宽窄相间、深浅交替、弯曲多变，致使船舶航行受到一定影响。人工河一般较顺直，其宽度和深度在全段或一段范围内几乎是一致的。流速除在泄洪期某些河段较大外，其余时期流速甚小或几乎没有流速，河道的变化较小。

按通航特点，水道分为通航船舶和通航排筏的水道，全年通航水道和季节性通航水道。按航行条件，则可分为有航标水道和无航标水道。

有些国家根据船舶双向流量密度而将水道划分成几个等级。例如：一级水道的双向船舶流量密度为30艘/天。

水道中，具有一定深度、宽度、净空高度和弯曲半径，能供船舶安全航行的水域称之为航道，通常用航标标示。有些河流，汉道较多，有两条以上的航道；习惯上，将水深大、流量大的称为主航道，其它汉道或主航道两侧的缓流区称为副航道。那些只能在特定季节（如夏季）的特定水位（如洪水）时才能通航的水道称为季节性水道。全国内河航道，按照设计最低通航水位时的航道尺度和能通航船舶的吨位等因素而分成六级。

相对主航道而言，能缩短航程、提高航速、减少航行时间（缩短营运周期）从而提高经济效益的航道称为经济航道。经济航道有三种：（1）上行船舶经常选择的流速较主航道缓慢的缓流航道，（2）航程较主航道短的短捷航道，（3）航程虽较主航道长，但由于流速小，上行船仍能缩短航行时间的经济迂回航道。

内河航道的适航程度，通常可以从航道尺度和航道等级诸方面进行分析。

一、内河航道尺度

航道尺度是指一定水位下的航道深度、航道宽度、航道曲率半径。随着季节的不同，水位有所涨落，故航道尺度也会随之而发生变化。通常，洪水期航道尺度将显著增大，枯水期则大为减小。

航道标准尺度是指在全年通航期内，当水位下降至零水位时，航道中必须维护的最小尺度。故航道标准尺度又称航道保证尺度、航道保障尺度或航道最小尺度。它包括航道标准深度、航道标准宽度和航道最小曲率半径。

1. 航道标准深度（H）

航道标准深度是航道在枯水期所应维护的最小水深。它是航道的主要尺度。它的确定，一般应从营运经济和航道条件两个方面进行分析论证。对于中小河流多偏重航道条件分析，即根据航道整治可能达到的尺度来确定航道标准深度；对于大型河流以及水量丰沛，航道条件较好的河流，应从整治可能性和经济的合理性，进行综合的分析论证。航道中应维护的最小水深为：

$$H = T + \Delta h$$

式中：H——航道标准深度，即应维护的最小水深（米）；

T——允许通航船舶的最大吃水深度（米）；

Δh ——剩余水深（米）。

剩余水深的作用是用来保证船舶航行安全。在内河，航道剩余水深通常是根据航道深度及河床底质等因素来决定的。我国颁发的通航标准规定剩余水深为：

沙质河床 0.1~0.3米

石质河床 0.2~0.5米

但在这个范围内，如何进一步选定，没有明确规定。设计时，需根据我国各河流实际航行经验，参考下述方法，进行分析确定。

剩余水深主要包括以下几项：

1）船舶航行时，因船体下沉需增加的水深。

船舶在航行中，一般均有一定下沉量，有时它可占剩余水深的2/3。如何正确确定其航行下沉量（即船舶动吃水量），是确定剩余水深的关键。影响船舶下沉的因素很多，主要

有航速（相对速度），水深吃水比（ h/T ），其次是船型、推进器形式和河宽等。在理论上已有不少半经验公式，其中以霍密尔公式较简便。

$$\Delta T_{cp} = m \sqrt{\frac{T}{h}} V^2$$

式中： ΔT_{cp} ——平均吃水增量，船舶动吃水量（米），

h ——航槽水深（米），

V ——船舶对水速度（米/秒），

T ——船舶吃水（米），

m ——与船型（ L/B ）有关的系数，见表 1 - 1。

吃水增量系数（ m ）表

表 1 - 1

L/B	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
m	0.0058	0.0029	0.0023	0.002	0.0016	0.00145

注： L ——船长（米）； B ——船宽（米）。

这个公式较好地反映了 m 、 T 、 V 三个方面的变化。 m 值是船型影响系数，随船舶长宽比（ L/B ）而变化。图 1 - 4 是 L/B 与 m 的关系曲线。

用霍密尔公式计算而得的 ΔT_{cp} 值与近似队型的实测 ΔT_{cp} 值比较接近。

目前在理论上计算船舶动吃水量的公式虽然较多，但都有一定的局限性，只能作参考。在一般河流中，主要还是靠实船试验来确定。据调查和部分实船试验资料，在中小河流中，当 176~198kw 的拖轮通过急流浅滩时（ $h/T = 1.5 \sim 1.8$ ，相对航速 3~4 米/秒），其下沉量为 0.15~0.3 米。在大型山区河流，通航 1470kw 顶推船队，当加车航行时，其下沉量有的地方可达 0.4~0.6 米。

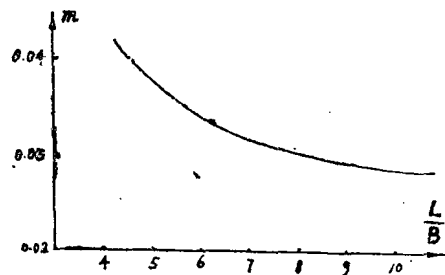


图 1 - 4

2) 为保证推进器的安全而需增加的水深。

3) 为保证舵效应，以达到操纵灵活安全而应增加的水深。

4) 防止船舶因波浪或其他原因偶然触及河底需增加的水深。

一般将第 2 至 4 项共需增加的水深用 Δh_1 表示，其中只要某项水深能满足时，另一项也可利用，因此各项需增加水深的和，不需叠加。一般情况下， $\Delta h_1 = 0.1$ 米左右；当河底为岩石时， $\Delta h_1 = 0.1 \sim 0.5$ 米；当河底为沙卵石时， $\Delta h_1 = 0.1$ 米。但有些河段为了避免卵石上吸，打坏车叶， Δh_1 也应与岩石河底相同。在沙质河床， Δh_1 一般小于 0.1 米。

5) 顶推船舶编队后的吃水增值 Δh_2 。

据实船试验，山区河流大型顶推船舶，编队后船舶动吃水量略有增加，一般为 0.06 米左右，中小河流船队较小，可不必考虑。

综上所述，船舶所需剩余水深 $\Delta h = \text{船舶动吃水量} + \Delta h_1 + \Delta h_2$

交通部长江航运管理局一九七八年颁发的《长航安〔78〕1085号》文件，对长江枯水期航行船舶剩余水深作了如下规定：

(1) 川江：客、货轮0.3米；拖轮（包括华字艇）0.2米。

(2) 中、下游：各轮均为0.2米。

(3) 凡拖、运一级危险品船舶，按上述规定增加0.1米。

当前，长江航道局对长江干线主要航区的航道标准深度规定如下：

川江（重庆至宜昌） 2.9米

中游 2.9米

下游 4米

其他各河流对船舶剩余水深一般也都有具体规定，这里不一一赘述。

必要的剩余水深与航道水深、河床底质、承运货物的品种及船舶的类型有关。

苏联对天然河流和运河中的最小剩余水深的规定见表1-2

表1-2

航 道 水 深 (米)	剩 余 水 深 (米)						
	天 然 河 流						运 河
	单 船、 顶 推 船 队	一 级 油 轮 或 易 爆 物 质		吊 拖 船 队		排 筏	所 有 船 舶 和 排 筏
		沙 河 土 床	石 河 质 床	沙 土 河 床	石 质 河 床		
1.5 以内	0.10	0.10	0.15	0.15	0.10	0.20	0.15
1.5~3.0	0.15	0.15	0.20	0.10	0.15	0.25	0.20
3.0 以上	0.20	0.20	0.25	0.15	0.20	0.30	0.30

苏联对船闸航道的剩余水深的规定见表1-3

表1-3

船 闸 类 型	闸室水深(米)	剩余水深(米)
木 质	1.0 以内	0.10
	1.0 以上	0.15
石 质 和 钢 筋 水 泥	2.5 以内	0.25
	2.5 以上	0.40

湖泊、水库的剩余水深与浪高有关，不同浪高的湖泊、水库，各地有不同的规定。

船舶航行中如果剩余水深小于允许极限，必须卸下部分货物，或组织专门运输船。

2. 航道标准宽度 (B)

航道标准宽度是在设计最低通航水位时的航道宽度，也就是整个通航期内航道的最小宽度。它是由有关部门经过综合分析、计算而得出的，以指令性的形式颁布执行。航道标准宽度的制定，必须考虑以下几个方面的因素：

- 1) 船舶(船队)的尺度、船型(队型)、船性；
- 2) 航道尺度、航道形态；
- 3) 水流流态；
- 4) 气象、天气情况。

3. 若干以资参考的计算式：

- 1) 全国天然、渠化河流及人工运河通航试行标准中的计算公式：

$$\text{单线} \quad B = B_s + L \sin \beta + 2b$$

$$\text{双线} \quad B = 2L \sin \beta + 3.5B_s$$

- 2) 全国内河通航标准：

$$\text{单线} \quad B = B_{sd} + L_d \sin \beta_d + 2b$$

$$\text{双线} \quad B = B_{sd} + L_d \sin \beta_d + B_{su} + L_u \sin \beta_u + 2b + C$$

- 3) 美国陆军工程兵团手册中刊载的公式：

$$\text{单线} \quad B = (0.25 \sim 0.33) L + B_s$$

- 4) 《山区航道整治》一书中采用的计算公式：

$$\text{单线} \quad B = (2 \sim 2.9) B_s$$

$$\text{双线} \quad B = (3.5 \sim 5.5) B_s$$

- 5) 我国在长江干支流及松花江上标准船队试航得出的结果，按不同航道等级的航道最小宽度为：

$$\text{双线} \quad B = (4 \sim 7) B_s$$

- 6) 苏联国家标准：

$$\text{单线} \quad B \geq 3.5 B_s$$

$$\text{双线} \quad B \geq 5.5 B_s$$

- 7) 欧美航道标准：

$$\text{单线} \quad B = 8 B_s$$

$$\text{双线} \quad B = 5 B_s$$

上述各式中：B——直线航道底宽(米)；

B_s ——船舶(队)宽度(米)；

L——船舶(队)长度(米)；

β ——船舶(队)航行漂角；

b——船舶(队)与航道边缘安全航行距离(米)；

C——船舶(队)会船时船与船安全航行间距(米)；

u——作符号下角标用时，表示上水航行；

d——作符号下角标用时，表示下水航行。

对于驾驶员来说，在编组船队和排筏时，应根据航道的实际宽度、深度及船闸中的长度来决定船队的尺度。

通过船闸闸室，应考虑两船的安全间距。此安全间距与闸室尺度有关，见表 1 - 4。

船 闸 尺 度 与 安 全 间 距 表

表 1 - 4

船 闸 宽 (米)	船 两 舷 的 安 全 间 距 (米)
10以内	0.2
18以内	0.4
18以上	0.5
闸 室 长 度 (米)	船 首 尾 的 安 全 间 距 (米)
50以内	1
50~100	2
100~150	4
150~200	6
200以上	10

在运河中，一般宽度安全间距（船与船间距 + 船与岸间距），双向通航时，为通航船队总宽的30%，单向通航时，为船队宽度的50%。

当前，长江航道局对长江干线主要航区的航道标准宽度规定如下：

川江（重庆至宜昌）	60米
中游	80米
下游	100米

当航道宽度和深度无法兼顾维护时，可缩窄宽度以维护深度，但缩窄宽度不得小于：上游（渝~宜）50米，中、下游60米。

上述长江航道标准深度和标准宽度，是根据航运需要，并结合河段自然情况及航道维护能力而规定的。但由于各月水位不同，航道宽度也随之变化，枯水期应按上述标准维护，其它月份，为了利用自然水深，发挥船舶装载能力，凡大于航道标准尺度的则分月设标。分月设标水深及航宽由航道局通过航道公报和航道通电及时通告各船及有关单位。

4. 航道最小曲率半径（R）

航道曲率半径或称航道曲度半径或弯曲半径，它是指航道弯曲处，其轴线的圆半径的长度。一般要求船舶通过弯曲航道时，弯曲不能过急，以免碰岸或搁浅。因此航道的最小曲率半径，应保持最长的下行船队能安全通过弯曲河段。曲率半径的大小，主要根据船舶的最大长度来定。其次，还应考虑流速、流态、船舶操纵灵活性和河岸情况等。

船舶（船队）航行所需要的航道最小曲率半径R（米），按我国通航标准规定1~4级航道， $R = (4 \sim 5) L$ （L为船舶或船队长度）；5~6级航道， $R = 4L$ 。

据我国一些河流航行经验和实船试验，最小曲率半径除与船长有关外，还需考虑流速、流态等影响。对各河段或各滩险须作具体分析，最好能选择几种标准船舶（船队），在典型河段或典型滩险上进行实船试验，从中整理出几组标准的最小曲率半径。对一些特殊河段或特殊险滩，可根据具体情况，略加增减。