

高等学校教材

航道工程学

(港口航道与海岸工程专业)

程昌华 刘晓平 唐寿鑫 编著
蔡志长 主审

HANGDAO GONGCHENGXUE

人民交通出版社





策划编辑 / 刘永芬

责任编辑 / 盛周伟

封面设计 / 彭小秋

ISBN 7-114-03806-2



9 787114 038068 >

ISBN 7-114-03806-2

U · 02754

定价: 18.00 元

高等学校教材

Hangdao Gongchengxue

航道工程学

[港口航道与海岸工程专业]

程昌华 刘晚平 唐寿鑫 编著
蔡志长 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分7章,主要内容有:河流与航道、航道整治及疏浚工程、河流渠化工程、通航建筑物、运河工程等。

本教材适用于港口航道与海岸工程专业本科生以及水利类、土建类相关专业的本科生及工程技术人员。

图书在版编目(C I P)数据

航道工程学/程昌华等编著. —北京:人民交通出版社, 2001.1

ISBN 7-114-03806-2

I. 航… II. 程… III. 航道工程-高等学校-教材
IV. U61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 72805 号

高等学校教材

航 道 工 程 学

[港口航道与海岸工程专业]

程昌华 刘晓平 唐寿鑫 编著

蔡志长

主审

版式设计: 刘晓方 责任校对: 刘高彤 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10 字数: 242 千

2001 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-114-03806-2

U · 02754

前 言

1996年5月在湖北宜昌和1997年5月在海南海口先后召开的全国高等学校港口及航道工程专业教学指导委员会会议上,审订了“航道工程学教学内容与课程体系的改革”研究课题及《航道工程学》教学大纲。交通部(教高字[1996]128号)将《航道工程学》列入“九五”教材规划。

《航道工程学》共分七章,主要内容有:河流与航道、航道整治及疏浚工程、河流渠化工程、通航建筑物、运河工程等。该教材的主要特点有:

1. 将原港口及航道工程专业课《航道整治》和《渠化工程学》合并,形成新的课程体系,在适当保留原教材部分内容的基础上,重点放在基本概念、基本方法、基本原理的介绍。

2. 以河流系统为背景,以“河流—航道—航道工程”为主线,进行教材内容的取舍和配置,并适当包含最新的航道工程内容。

3. 注重内容的外延和拓展,既考虑与相应专业基础课的承接,又隐含向相关专业转化的“教学台阶”。

本书由程昌华教授编写第二、三、四章,唐寿鑫教授编写第一、五章,刘晓平副教授编写第六、七章,全书由重庆交通学院程昌华负责统稿,河海大学蔡志长教授担任主审。在本书编写过程中得到了原南京交通高等专科学校的季永华副教授全力协助与指导,也得到了重庆交通学院的吴宋仁教授、王绍成教授的指导与帮助,在这里表示衷心感谢。

本教材适用的主要对象是:港口航道与海岸工程专业(原港口及航道工程)本科生以及水利类、土建类相关专业的本科生及工程技术人员。

由于编者水平有限,本教材会存在不少缺点与错误,请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 水运在国民经济中的地位	1
第二节 我国内河航道建设的成就	2
第三节 现代化内河航道网的要求	3
第二章 河流与航道	5
第一节 天然河流的主要特征	5
第二节 航道条件	7
第三节 航道规划及航道工程措施	15
第四节 船舶及其特征	17
第五节 内河航标及配布	20
第三章 航道整治工程	25
第一节 概述	25
第二节 整治线设计与布置	26
第三节 整治断面设计	29
第四节 主要整治建筑物的特性与作用	38
第五节 主要整治建筑物的结构	43
第六节 平原河流航道的整治工程	46
第七节 山区河流的航道整治	52
第四章 航道疏浚工程	58
第一节 概述	58
第二节 疏浚工程基本要求	60
第三节 航道疏浚工程与环境	68
第五章 河流渠化工程	71
第一节 水利资源的综合利用	71
第二节 河流渠化的类型及特点	79
第三节 河流渠化工程规划	80
第六章 通航建筑物	87
第一节 通航建筑物的主要形式及特点	87
第二节 船闸的组成和类型	88
第三节 船闸的规模	92
第四节 船闸在水利枢纽中的布置	103
第五节 船闸输水系统	110
第六节 船闸的闸门、阀门	123
第七节 船闸结构形式及特点	126

第八节 升船机的类型及其工作原理	135
第七章 运河工程	138
第一节 概述	138
第二节 运河的选线及设计	139
第三节 运河的护坡	147
主要参考文献	151

第一章 绪 论

第一节 水运在国民经济中的地位

交通运输业是国民经济中的一个重要组成部分,它在国民经济中的作用如同人体的血液循环一样,时刻影响着整个社会的经济活动。现代交通运输业是由铁路、公路、水运、航空和管道等运输方式所组成的。由于生产和消费的需要,各种运输方式都是根据其本身的特点和具体条件合理分工、相互配合、扬长避短、各尽其用,形成一个统一的运输体系。

水运(内河运输和海洋运输)是交通运输业中的一个重要组成部分。它对现代工农业的发展,改善人民生活 and 促进国际贸易与文化交流都起着重要的作用。

目前,世界上凡是工农业生产较为发达的国家,其水运也都是比较发达的。例如美国、德国、荷兰和俄罗斯等国,基本上都已建成一个四通八达的内河航道网,其货物周转量仅次于铁路运输。

水运之所以重要,是由于它与其他运输方式相比,具有如下的优越性:

1. 内河水道的建设可以密切结合水利资源的综合利用、综合开发

综合利用水利资源是我国水利建设的基本原则,许多水利工程的建设都为水运的发展创造了极其有利的条件。只要注重通航建筑物和航道的建设,兴建水利工程对内河航运事业能起着很好的促进作用。同时,内河航道的建设都是尽可能结合灌溉、防洪、供水、发电、渔业等方面综合进行的,因此,水运建设也可以取得多方面的综合效益。

2. 水运的运输能力(即航道的通过能力)比较高

通常一条单线铁路的年运量约为 3 000 万 t 左右,而一条通航河流的运输能力远远超过这个数量,可以说几乎是不受限制的,如德国莱茵河 1970 年年运量就相当于 20 条铁路。

3. 水运的运输成本低

据以往调查,我国铁路平均运输成本比内河航运高 5%。在国外,水运的运输成本一般仅为铁路的 $1/3 \sim 1/2$,为公路的 $1/10 \sim 1/5$ 。促成运输成本低的原因是:

(1)船舶的航行阻力小,因此在一定的船速下,利用水运运输货物所消耗的动力和燃料比其他运输方式低;

(2)航道建设投资和维持管理费用较铁路或公路小。建设年通过能力 100 万 t 的航道投资仅相当于铁路的 $1/10$,公路的 $1/4 \sim 1/3$ 。在运输工具制造方面,水运也比较经济,每一载重吨船的造价一般为铁路车辆的 $1/6 \sim 1/5$,而且每一载重吨铁路车辆所需的钢材超出船舶 1 倍以上;

(3)船舶的载重量大,而且自重所占的比重较小。目前国外大型船舶的载重量一般为 4 ~ 5 万 t,最高可达 40 万 t。这相当于几列火车或数千辆汽车的载重量,在整个载重量中,船舶自重仅占 $7.5\% \sim 28\%$,而铁路车辆的自重却相当于它的载重量的 $40\% \sim 60\%$ 。

4. 由于河流的分布面广,使水运便于实行大、中、小结合及长短途运输的结合

船舶能装载各种类型的货物,特别是大宗散货、石油以及危险物资等。在同一条航道上,既可行驶大型船舶,为重要的工业建设生产服务,也可以行驶小型船舶,为短途运输,集散物资和农业生产服务。

此外,水运在现代化国防建设中也起重要作用,是打不烂、炸不垮的交通运输线。水运对环境的污染(噪声、振动、尘垢和散发有害物等)较公路和铁路运输为少。

但应指出,目前水运在技术上还存在一定的局限性。首先,由于航道地形、船舶技术和营运管理等方面的原因,水运的技术速度和商务速度都比较低。对于货物运输来说,商务速度比技术速度更重要,所谓商务速度是指货物由交运到交付的全部时间的平均速度。铁路的商务速度较技术速度低得多,而水运的商务速度仅略低于技术速度。因此,从商务速度来看,铁路运输的商务速度虽大于水运,但两者的差别不如技术速度那么大。因此,水运一般适用于运量大而对运期要求不高的货物运输。其次,水运受自然条件的影响较大,在有些地区不像汽车、火车那样,可以长年不分昼夜进行不间断地运输。此外,在建成四通八达的航道网以前,水系还自成体系,互不沟通,运输的连续性差,有时需转驳倒载,甚至造成货损货差等。不过随着科学技术的发展和现代化内河航道网的建设,在提高水运的连续性和加快运输速度的同时,不断提高营运管理水平,水运的缺点会逐渐被克服,其优越性就会更充分显示出来。

改革开放后,我国国民经济迅速发展,人民生活水平迅速提高,国内外经贸往来频繁,旅游业蓬勃发展,水上客流成倍增长,人们对交通运输提出了“安全、舒适、快速”的要求,低速水上客运已不能满足形势发展的需要,因此在我国港澳地区、珠江三角洲、长江水域、黄河水域、黑龙江水域等都先后发展了高速航运。据不完全统计,在全国各水域已开辟的高速船运输航线已有 79 条,从事高速客运的公司有 68 家。今后,随着我国国民经济的更大发展,人民生活水平的更大提高,旅游业的更加兴旺,我国高速水运事业必将有更大发展。

第二节 我国内河航道建设的成就

我国是世界上最早利用水运的国家。早在 4000 年前,我国人民就临河聚居,制造木舟,发展水上运输。大禹时代就已“导四渎而为贡道”,使当时中原地区的江、河、淮、济四条大河都能通航。

春秋时期(公元前 506 年),我国首开胥溪运河。它是世界上最早的运河,较欧洲最早的瑞典果达河早 2300 多年。继后吴王夫差又开凿了胥浦运河,这是我国的第二条运河。到公元前 84 年,开挖邗沟,沟通长江和淮河,是凿通南北大运河的先声。自隋朝起,经过漫长的年代,通过历代劳动人民的辛勤劳动,直到元朝,工程浩大,贯通南北,联贯海河、黄河、淮河、长江和钱塘江五大水系的京杭大运河终于完全打通。大运河全长 794 km,是世界上最长的一条运河。

秦始皇时代(公元前 19 年至公元前 214 年),开凿了灵渠,沟通了湘江和漓江。为了克服两江水位落差,唐朝宝历年间,李渤监修灵渠,创设陡门(即闸门)18 座,船驶入一陡后把陡门关闭,等水积满后再前进一级,这是船闸的雏形,比欧洲公元 1375 年在荷兰出现的“半船闸”约早 400 年。到了宋朝,乔维岳在灵渠创二陡门(“二门相距五十步,复以夏屋,设悬门,积水俟平及泄之,而舟运往来无滞”),这是世界上最早的船闸。这些成就都是我们祖先勤劳智慧的结晶,也为现代内河航运建设积累了丰富的经验。

尽管我国水运事业发展得很早,有过伟大的创造和光辉的成就,但由于长期遭受封建统治的束缚和帝国主义的侵略,水运事业的发展速度极其缓慢。解放前夕,全国仅有渠化河流两

条,通航船闸约 30 座。内河航道大都处于天然状态,致使通航里程只有 73 000 km,其中能通轮船的仅仅 24 000 km。内河港口布局凌乱,多半为斜坡式码头,装卸都是肩挑人抬,效率很低。

解放初期,全国内河航道通航里程为 73 600 km,全国内河货运量为 2 500 万 t,货运周转量为 63.12 亿 t·km。至 1952 年,全国内河航道通航里程达到 95 000 km,净增大 21 400 km;货运量达 4 505 万 t,货运周转量为 75.9 亿 t·km,分别比解放初增长 80% 和 20%。

第一个五年计划(1953 年~1957 年)期间,以川江航道整治为重点的航道建设,使川江航道初步实现了昼夜通航,1.0 m 以上水深的航道里程增加了 50 000 km,使全国内河航道通航里程达到 144 100 km,水运各项主要指标均超过历史的最好水平。

第二个五年计划(1958 年~1962 年)期间,全国内河航道普遍进行了不同程度的整治和渠化,结合河网化进行的航道建设均取得了较好的经济效益。全国内河航道通航里程继续增加,达 17.2 万 km,加快了货物周转,运量显著提高,货运量达 1.8 亿 t,货运周转量为 456 亿 t·km。

后经 3 年调整(1963 年~1965 年)时期和文化大革命 10 年(1966 年~1976 年),内河航运各方面都受到了严重影响,1979 年统计资料表明,全国内河航道通航里程缩短为 107 800 km。

1978 年党的十一届三中全会以后,由于国家的重视并采取了一系列措施,在内河航道建设方面又出现了可喜的发展局面。“六五”期间(1981 年~1985 年)国家将一批内河航道建设工程列为国家重点工程,各级地方政府也十分重视内河航道建设,并取得了可喜的成绩。1985 年,全国内河航道通航里程达 109 300 km;内河货运量达 303 830 万 t,货运周转量达 770.09 亿 t·km,分别比解放初期增长 12.1 倍和 11.2 倍。“七五”期间(1986 年~1990 年)全国以长江、西江、松花江、京杭运河、淮河这三江两河为重点,相应改善一部分支流的通航条件。如湘江、汉江、漓江、嘉陵江等,逐步建成一个四通八达、干支协调的内河航道体系。建成三级和三级以上航道 5 400 km,四级和五级航道 8 500 km,内河货运量达 5.6 亿 t,货运周转量达 1 100 亿 t·km。

总之,建国以来我国的内河航运得到了较大发展,取得了显著成绩。但与其他运输方式的发展速度相比则十分缓慢,与世界上内河航运发达国家相比尤为落后。我国虽有内河航道 10.9 万 km,但其中通航 1 000 吨级驳船的航道仅占总通航里程的 4%。近 50% 的航道水深不足 1.0 m,80% 多的航道只能通航 100 吨级以下的船舶。这种不成网的低标准航道导致运距短、转运倒驳多,增加运输成本,限制了水运优越性的充分发挥。面对严重的形势,我国已明确提出“九五”内河航运建设规划;完成“两纵三横”五条水运主要通道的格局,到 2000 年我国将拥有三级及三级以上航道 6 700 km,四级和五级航道 12 500 km;建成联通海河、黄河、淮河、长江和钱塘江流域,通航 300~500 吨级船舶标准的内河航道网。预计到 2020 年,我国航道建设可望有更大的发展,接近美国目前的水平。在今后一段时期内,我国内河航道建设的任务十分繁重。

第三节 现代化内河航道网的要求

治理天然河流,开挖人工运河,沟通各个水系,统一航道标准,形成一个四通八达的航道网,这是内河运输现代化的基础,也是发挥内河水运优越性的必要条件。

近几十年来,一些工业发达国家,都相当重视内河航道的规划和建设,他们投入巨款,经过几十年的持续努力,对河流进行综合治理和开发。

一个现代化的内河航道网主要应满足以下几方面的要求:

1. 航道成网、四通八达 凡具备一定自然地理条件的区域都应该重视航道的开发,尽可能做到各个水系相通,干支流相通,江河湖海相通,以形成一个四通八达的航道网。航道网的布局要与工农业建设的布局和国防建设相适应,做到与工业区和消费中心相联系,与主要城镇和铁路等交通枢纽相联系,充分发挥水运在统一的运输体系中的作用。

2. 全面规划、统一标准 所谓统一标准就是根据近期和远期船队船型、航行条件、运输状况及建设费用等因素,将航道划分成不同的等级,按照其级别规定相应的航道尺度和通航建筑物的尺度。统一内河航道标准犹如统一铁路轨距一样,对于建设现代化内河航道网有着十分重要的意义。只有统一了船舶和航道标准,才能做到江河湖海相通,船舶才能深入腹地,扩大直航范围,减少中转倒载,降低运价,使内河航运在国民经济中发挥更大的作用。

3. 统筹安排、综合利用 综合利用水利资源是建设现代化内河航道网的基本原则。在开发和建设航道时,要统筹全局、全面安排,不仅要考虑水运的要求,而且应尽可能满足发电、防洪、灌溉、工业及民用供水、渔业、木材浮运以及旅游等部门的需要,做到一水多用,以期获得最大的经济效益。

4. 更新设施、科学管理 航道及通航建筑物设施现代化,营运管理科学化是现代化内河航道网的一项重要要求。航道设施应不断更新完善,以便保证船舶安全顺利地航行;船舶过闸的操纵应自动化,以加速船舶过闸;管理机构要健全,营运要符合经济规律。

第二章 河流与航道

第一节 天然河流的主要特征

河流是陆域地表宣泄洪水的通道,是溪、川、江、河的总称。水流、泥沙与河床边界组成了河流。天然河流中的水量随季节降水而变化,同时,限制水流变化的周界及河床错综复杂,形态各异。

一、河流形态特征

河流形态特征主要指河流的横断面和纵剖面的几何特征(如横断面形状和纵剖面比降)以及河流发育过程中的地貌特征(如河流的蜿蜒形势和弯曲度、河漫滩、沙洲和三角洲的大小、形态和分布等)。

1. 河流横断面与纵剖面 垂直于水流动力轴线的河槽断面叫河流横断面。山区河流在水流侵蚀作用下常呈V形或U形断面。平原河流河谷开阔,地势平坦,有深厚冲积层,不同河段将形成不同的横断面形状,如图2-1所示。

顺直河段多为抛物线断面,弯曲河段多为不对称的三角形断面;分汊河段为马鞍形断面;游荡河段断面很不规则。在河口段,横断面更加宽阔,往往有很多股深槽。被水流充满的横断面,称为过水断面,它反映河流的过水能力,通过它推求平均水深和平均流速等,是研究河床演变,进行水力计算的基本参数。

河流的平面形状和它的水下地形是相适应的。河槽是由一系列的深槽与浅段所组成的,深槽位于河湾部分且接近凹岸,浅段则一般位于相邻两深槽之间的河段中,因此,河流纵剖面是深槽与浅段交替出现的波形线,见图2-2。

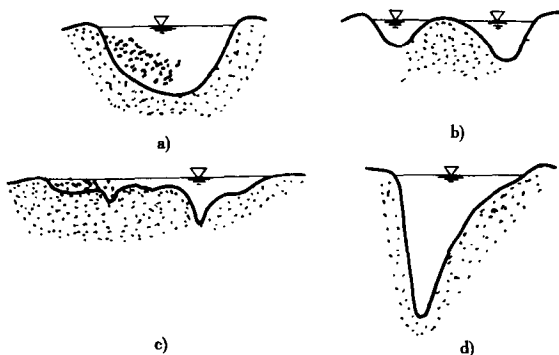


图2-1 平原河流不同河段横断面
a)顺直过渡段;b)分汊段;c)游荡段;d)弯曲段

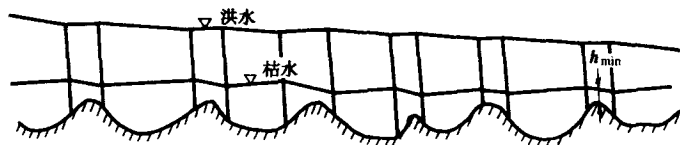


图2-2 河流的纵剖面形状

2. 河流阶地 河流阶地是由河流下切侵蚀和堆积作用交替进行,在河流两岸形成的台阶状地貌。如流域地区内发生过多次地壳升降,就会出现多级阶地。一般在间歇性上升地区,阶地位置越高,形成的时间越早。与河床相连的最低一级阶地算起,自下而上、由新到老,依次为一级、二级、三级阶地,逐次上推。

河流阶地按其结构可分为侵蚀阶地、堆积阶地、基座阶地和埋藏阶地等四类:

(1) 侵蚀阶地,阶地面由基岩组成,阶面上没有或很少有冲积物,如图 2-3 中的 I 级阶地;

(2) 堆积阶地,阶地全由冲积物组成,反映河流下切深度没超过老的冲积层,如图 2-3 中的 I、II 级阶地;

(3) 基座阶地,阶地中的上部为冲积物,而阶地下部为基岩,如图 2-3 中 III 级阶地;

(4) 埋藏阶地,地壳下降使前期的河床漫滩沉积层为后期河流堆积物所掩埋,如图 2-3 中 *a* 处。

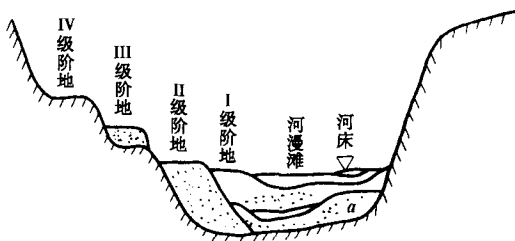


图 2-3 河流阶地结构类型示意图

3. 河流节点 由抗冲性较强的突岸形成,并对河势变化起控制作用的河岸形态。河流两岸由于组成物质不均匀,抗冲性能差别很大。在山坝、硬土角或人工护岸处,抗冲性强,河流不能自由摆动,河槽宽浅,使得河流呈现宽窄相间的藕节状形态。由抗冲性强的物质形成的窄深河段对于河流的河势变化具有一定的控制作用,成为河流的节点。

河流节点有两种类型,一种是两岸皆有依托,位置固定,长年靠流。另一种是只有一岸依托,另一岸则是易于冲刷的滩地,当弯道凹岸与抗冲一岸重合时,可以起控制河势的作用,而且当上游流向发生变化、洲滩变动时,主流位置会上下变动,甚至会使节点脱溜,不起作用。河流节点不仅对其所在河段的主流摆动有控制作用,而且对节点上下游宽浅河段也有控制作用,其影响范围、程度与节点的长度、河宽等特征有密切关系。节点对上游河段有一定的壅水作用,从而会使泥沙落淤。节点下游水流扩散,泥沙也易堆积,因此,节点上下游宽浅河段内多有洲滩分布。

二、河流水力特征

河流水力特征是河流系统中最活跃、最关键性的因素,是开发河流水能资源的主要依据,也是影响河床变形的主导因素。主要包括 4 个方面:水位、流量特征,比降特征,流速特征,流态特征。其中流速经常是影响航行的一项重要因素。当流速过大时或具有与航道轴线斜交的显著的横向流速时,都将使船舶航行产生困难。横向流速一般产生于航道的转弯段、浅滩上的沙脊以上及支流汇入或侧向取水口所在的地方。

三、河流泥沙特征

河流泥沙主要来自于流域坡地及沟被侵蚀的岩土,以及河床包括河岸被冲刷的岩土。河床泥沙是河流重要水文现象之一,对河床演变起主要作用,对水情也有一定的影响。泥沙是河床冲淤变形的纽带,也是污染物的载体,对河流水质带来一定的影响。

河流泥沙特性主要有静态特性和动态特性,静态特性包括:几何特性,重力特性,级配特性;动态特性包括:沉降特性,运动特性和冲淤特性,在河流动力学中已有介绍。

天然河流总是处于不断变化之中。不仅是水深、流速等随着洪水、枯水季节而变化,而且由于水流与组成河床的泥沙之间的相互作用,河床经常是处于程度不同的冲、淤变化之中。例如在河湾的河床变形过程中一般有逐渐向下游移动的趋势,而深槽和浅滩的深度也随着高、低水位的变化而产生相应的冲淤变化。这将使航道轴线的位置和曲度、航道的宽度和深度等也随之改变,从而造成航道在使用上及管理上的困难。因此改善天然河流通航条件的重要原则之一就是要建立并维持稳定的,不冲不淤的航道。

第二节 航道条件

船舶在河流中行驶,要求有一条连续而通畅的航槽——航道。航道也是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)的通道。

河流的航行条件首先是由其航道的基本尺度(包括航道的宽度、深度、净空及河弯半径)来表示的。深、宽而且曲线平缓的航道可以行驶吃水较深、航速较快的大型船队,其通过能力较高。相反浅、窄而且曲线急陡的航道则只能行驶吃水浅、航速慢的小船,因而限制了河流的通过能力。

一、通航保证率

通航保证率是指在规定的航道水深下,1年内能够通航的天数与全年天数之比,一般用百分率表示。通航保证率与河流的大小及其所承担的运输任务有关。大的河流,其运输任务一般都较繁重,故要求的保证率高些,使之达到要求的水深。如果保证率定得过高,航道工程的投资就较大。反之,过低时,则对河流利用率不高。故保证率须根据河流的特征、航运及战备的要求和技术经济的可能来决定,它是确定航道设计水位的依据。我国颁发的通航标准,对通航保证率规定见表 2-1。

天然河流试行通航标准

表 2-1

航 道 等 级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	VI 级	VII 级
浅滩最小水深(m)	> 3.2	2.5 ~ 3.0	1.8 ~ 2.3	1.5 ~ 1.8	1.2 ~ 1.5	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0
通航保证率(%)	98 ~ 99	93 ~ 97	90 ~ 95	85 ~ 95	80 ~ 93	80 ~ 90	75 ~ 90

二、航道尺度

根据航道内通过设计船型载重吨位的大小,航道分为七级,见表 2-2。

为了保证设计船型(船队)在通航期内能安全、方便地航行,航道必须具备必要的通航条件,它们包括:

1. 足够的水深、宽度和弯曲半径;
2. 合适的水流条件,包括流速、比降和流态;
3. 足够的水上净空,包括净空高度和宽度。

把在设计通航期内,航道能保证设计船型(船队)安全航行的最小尺度称为航道标准尺度。它包括:在设计最低通航水位下的航道标准水深、航道标准宽度、航道最小弯曲半径,在设计最高通航水位时跨河建筑物的净空高度和净空宽度(又简称为通航净空)。

全国内河航道分级与航道尺度

表 2-2

航道等级	驳船吨级(t)	船型尺度(m×m×m) (总长×型宽×吃水)	船队尺度(m×m×m) (长×宽×吃水)	航道尺度(m)					
				天然及渠化河流			限制性航道		弯曲半径
				水深	单线宽度	双线宽度	水深	宽度	
I	3 000	75×16.2×3.5	(1)350×64.8×3.5	3.5~4.0	120	245			1 050
			(2)271×48.6×3.5		100	190			810
			(3)267×32.4×3.5		75	145			800
			(4)192×32.4×3.5		70	130	5.5	130	580
II	2 000	67.5×10.8×3.4	(1)316×32.4×3.4	3.4~3.8	80	150			950
			(2)245×32.4×3.4		75	145			740
		75×14×2.6	(3)180×14×2.6	2.6~3.0	35	70	4.0	65	540
III	1 000	67.5×10.8×2.0	(1)243×32.4×2.0	2.0~2.4	80	150			730
			(2)238×21.6×2.0		55	110			720
			(3)167×21.6×2.0		45	90	3.2	85	500
			(4)160×10.8×2.0		30	60	3.2	50	480
IV	500	45×10.8×1.6	(1)160×21.6×1.6	1.6~1.9	45	90			480
			(2)112×21.6×1.6		40	80	2.5	80	340
			(3)109×10.8×1.6		30	50	2.5	45	330
V	300	35×9.2×1.3	(1)125×18.4×1.3	1.3~1.6	40	75			380
			(2)89×18.4×1.3		35	70	2.0	75	270
			(3)87×9.2×1.3		22	40	2.5	40	260
VI	100	26×5.2×1.8	(1)361×5.5×2.0	1.0~1.2			2.5	18~22	105
		32×7×1.0	(2)154×14.6×1.0		25	45			130
		32×6.2×1.0	(3)65×6.5×1.0		200	15	30	1.5	25
		30×6.4(7.5)×1.0	(4)74×6.4(7.5)×1.0		220	15	30	1.5	28
VII	50	21×5.4×1.75	(1)273×4.8×1.75	0.7~1.0			2.2	18	85
		23×5.4×0.8	(2)200×5.4×0.8		10	20	1.2	20	90
		30×6.2×0.7	(3)60×6.5×0.7		13	25	1.2	26	180

(一)航道尺度与水运经济效益

航道尺度的选择应综合考虑其必要性、可能性和经济合理性。较大的航道尺度,能通航较大的船舶,完成较大的运量,可以降低运输成本,提高水运经济效益。但航道尺度的提高并不是无止境的,它受到河流自然条件的制约。大江大川经适当的工程措施能得到较大的航道尺度,而对较小的河流要得到较大的航道尺度就比较困难。排除投入大量的工程投资,一般来说,对具体的某河流,在技术可行的前提下,要求的航道尺度越大,需要投入的工程成本(包括基建性的工程投资和航道的维护费用)越大。

如果需要完成的货运量是一定的,工程成本随航道尺度的加大而增加,而运输成本随航道尺度的加大而降低,如图 2-4 所示。工程成本与运输成本之和为完成一定运量的总成本。理论上总可以找到一个总成本最小时对应的航道尺度,这就是所谓的最佳航道尺度。这里需要指出的是,影响工程成本和运输成本的因素较多,需做大量的调查研究,充分掌握第一手资料,

并认真仔细地分析计算,才能找到合理的航道尺度。

(二) 航道标准尺度的计算

1. 航道标准水深

航道水深是航道尺度中非常重要的指标,决定着船舶的航行速度和载重量,若水深不足,船舶只能减载航行。一般在平原河流和河口,海港航道,航道水深不足是碍航的关键因素,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。

航道标准水深是指在设计最低通航水位下航道范围内保证的最小水深,如图 2-5 所示,是航道工程设计的主要依据之一,也称为航道设计水深。

航道标准水深由设计船型的标准吃水和富裕水深两部分组成,可用下式表示:

$$H = t + \Delta H \quad (2-1)$$

式中: H ——航道标准水深(m);

t ——设计船型标准吃水(m);

ΔH ——富裕水深(m)。

设计船型标准吃水 t 是指设计船型在标准载重量时的吃水。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重量为 3 000 t,标准吃水为 3.3m,而其最大载重量约为 3 300 t,相应的最大吃水为 3.6m。

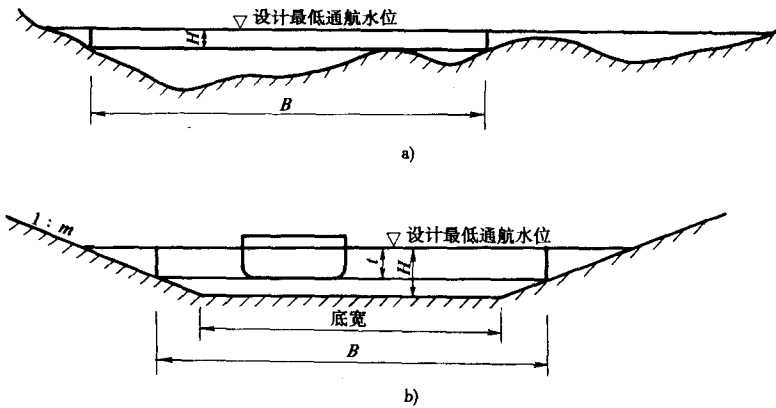


图 2-5 航道标准水深定义图

a) 天然、渠化河流航道断面; b) 限制性航道断面;

H —航道标准水深; B —航道标准宽度; t —船舶标准吃水

富裕水深是指船舶在标准载重时,船底龙骨下至河底的最小安全距离。富裕水深应考虑以下因素:

(1) 触底安全富裕量 ΔH_1

为了保证航道航行安全,船底龙骨下应有最小富裕量 ΔH_1 。 ΔH_1 包括船舶装载不均匀,水深测量误差的影响。采取表 2-3 中数值时,设计底面以下的土层厚度不应小于 0.5 m。如果小于 0.5 m,而下层土质又比上层土质坚硬,则应选择较坚硬的下层土质要求的 ΔH_1 。如码头的

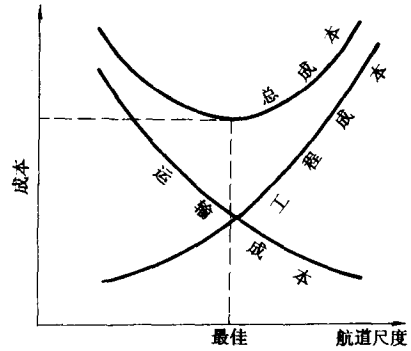


图 2-4 航道尺度与成本关系图

抛石基床伸入港池内宽度超过 2 m 时,则应按岩石土质选取表 2-3 中的数值。

触底安全富裕量(m) 表 2-3

土 质	船 舶 吨 位 (t)			
	> 8 000	8 000 ~ 3 000	3 000 ~ 500	< 500
淤泥、松沙、沙质粘土	0.20 ~ 0.30	0.20 ~ 0.30	0.20 ~ 0.30	0.20
粘土、沙	0.45	0.35	0.30	0.30
岩石、块石、砾石	0.60	0.50	0.40	0.30

(2)考虑波浪影响的富裕量 ΔH_2

波浪对船体的作用使船舶产生复杂的运动,在纵横方向俯仰、摇摆等,使船舶吃水有所增加。其影响主要和波浪要素有关,一般可用下列经验公式估算 ΔH_2 :

$$\Delta H_2 = 0.3H' - \Delta H_1 \tag{2-2}$$

式中: H' ——最大设计波高(m)。

当按公式(2-2)得出的 ΔH_2 为负值时,则取 ΔH_2 为零。

(3)船舶航行下沉量 ΔH_3

船舶航行时,因回流作用,其四周流速增大,水位下降,使船体下沉。其下沉量和航道水深、船舶的航行速度、航道断面系数及船型有关;随航道水深的减小而增大;随航行速度的增加而增加;船舶的方形系数(船长/船宽)越小,下沉量越大;航道的断面系数较大时,产生的下沉量较小。一般可采用经验公式:

$$\Delta H_3 = m\sqrt{\frac{t}{H}}v^2 \tag{2-3}$$

式中: ΔH_3 ——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 ——系数,见表 2-4。

船舶航行下沉量系数 表 2-4

船长(L) 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

(4)考虑水体密度影响的富裕水深 ΔH_4

由于水体含盐量的不同,水的密度会发生变化,影响船舶吃水。因为海船的标准吃水是指在夏季海水中标准载重量时的吃水,因此当海船进入河口或内河时吃水将会有所增加,吃水增加的百分比 p 见表 2-5,则 $\Delta H_4 = t \cdot p/100$ 。

水的密度对吃水的影响 表 2-5

含盐量(‰)	密度(1/m³)	增加吃水 p(%)	含盐量(‰)	密度(1/m³)	增加吃水 p(%)
35	1.025	0.0	15	1.010	1.5
30	1.021	0.5	10	1.005	2.0
25	1.017	1.1	0	1.000	2.5
20	1.013	1.2			