

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·港口航道与海岸工程

航道整治

主编 徐金环 [河海大学]

主审 李国臣 [河海大学]



NLIC 2970714995



人民交通出版社
China Communications Press

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

Hangdao Zhengzhi

航道整治

(港口航道与海岸工程专业)

主 编 徐金环 [河海大学]
主 审 李国臣 [河海大学]



NLIC 2970714995

人民交通出版社

(英国青芝片 北京图书局回京航安海印在印)

内 容 提 要

本书为高等学校水利学科港口航道与海岸工程专业规范核心课程教材,系统介绍了航道整治工程的基本理论和当前航道工程的先进技术。内容包括:航道与航道尺度、航标与航标配布、碍航浅滩与浅滩演变分析、整治工程规划、整治工程设计、整治建筑物设计、整治工程水力计算、航道疏浚工程,共八章。

本书是港口航道与海岸工程专业本科学生的必修教材,也可作为从事海岸工程、海洋工程、土木工程、交通工程、结构工程、环境工程等相关专业及工程管理技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航道整治/徐金环主编. —北京:人民交通出版社,2011.2

高等学校水利学科专业规范核心课程教材
ISBN 978-7-114-08861-2

I. ①航… II. ①徐… III. ①航道整治—高等学校—教材 IV. ①U617

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 007092 号

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

书 名: 航道整治

著 者: 徐金环

责任编辑: 钱悦良

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.cpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15.75

字 数: 367 千

版 次: 2011 年 2 月 第 1 版

印 次: 2011 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08861-2

印 数: 0001—2000 册

定 价: 40.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与20世纪末相比,水利学科专业的办学点增加了将近1倍,每年的招生人数增加了将近2倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程、水利水电工程、港口航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适用不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各类港口航道与海岸工程专业学校参照专业规范组织教学,考虑到港口航道与海岸工程专业的特殊性和历史延续性,经水利学科教学指导委员会研究决定,由港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会与人民交通出版社共同策划,组织编写出版港口航道与海岸工程专业“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好,我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会,对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划港口航道与海岸工程专业11种,计划在2010年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力,付出了许多心血,但是,由于专业规范还在修订完善之中,参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高,加之,在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验,因此,这套教材一定会有各种不足与缺点,恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材,以利于教、便于学,更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会
港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会
人民交通出版社
2008年7月

前 言

航道是航运的基础。近几十年来我国进行了大规模的航道整治工程,改善了通航条件,加快了内河航运发展,促进了航道整治技术的显著进步。航道整治工程又是一个系统性、实践性较强的工程技术领域,涉及水利、结构、材料等多个方面,本教材在编排过程中力求从多个角度反映航道整治工程领域的新理论、新技术、新结构、新进展,对原港口与航道工程专业课《航道整治》和《航道工程学》作了适当调整,方便学生在学习过程中接触工程实际,掌握工程先进技术和实用技术。

《航道整治》共分八章,主要内容有:航道与航道尺度、航标与航标配布、碍航浅滩与浅滩演变分析、整治工程规划、整治工程设计、整治建筑物设计、整治工程水力计算、航道疏浚工程。全书绪论、第一至第七章由河海大学徐金环教授编写,第八章由东南大学陈一梅教授编写,徐金环负责修改定稿。

河海大学李国臣教授主审了全部书稿,并提出了许多宝贵意见。在编写过程中还得到了河海大学张玮教授、李安中教授、王昌杰教授、常福田教授的指导与帮助,长江南京航道局胡建新高级工程师、长江航道规划设计研究院刘怀汉教授级高工、东南大学廖鹏博士提供了部分参考资料,李丹、刘淑伟、姜晓均、樊传启等硕士研究生作了许多文字工作,在这里一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,对于书中存在的缺点和错误,请读者批评指正。

目 录

绪论	1
第一章 航道与航道尺度	5
第一节 河流与航道	5
第二节 航道尺度与航行条件	11
第三节 航道通过能力	24
第二章 航标与航标配布	34
第一节 内河航标	34
第二节 内河航标配布设计	44
第三节 航标维护管理	52
第三章 碍航浅滩与浅滩演变分析	54
第一节 浅滩及其成因	54
第二节 浅滩上的水流和泥沙运动	55
第三节 浅滩演变及演变分析方法	58
第四章 整治工程规划	67
第一节 整治思想及原则	67
第二节 整治断面设计	67
第三节 整治线平面布置与控制	77
第五章 整治工程设计	86
第一节 过渡段浅滩整治	86
第二节 分汊型河段浅滩整治	90
第三节 弯曲型河段浅滩整治	96
第四节 潮汐河口段浅滩整治	101
第五节 水利枢纽河段航道整治	118
第六节 山区河流滩险河段整治	132
第六章 整治建筑物设计	151
第一节 整治建筑物的材料与构件	151
第二节 坝体的结构形式	153
第三节 丁坝设计	156
第四节 顺坝、洲头分流建筑物设计	162
第五节 锁坝设计	165
第六节 平顺式工程护岸和生态护岸设计	170
第七章 整治工程水力计算	176
第一节 单一河道整治水力计算	176
第二节 丁坝和顺坝水力计算	179

第三节	丁坝群壅水计算	181
第四节	非淹没丁坝下游回流范围计算	183
第五节	丁坝、顺坝束水后航槽流速分布及冲刷深度计算	185
第六节	丁坝坝头冲刷坑深度计算	188
第七节	汉道整治与锁坝水力计算	191
第八章	航道疏浚工程	201
第一节	概述	201
第二节	疏浚工程设计	203
第三节	疏浚工程机械的选择	224
第四节	疏浚工程回淤估算及防淤	232
第五节	航道疏浚对环境影响与控制	238
	参考文献	242

绪论

一、水运的特色优势

水运是以船舶为主要运输工具,在海洋、江河、湖泊、水库和运河等水域沿一定的航线载运货物的运输方式。按航行区域分为远洋运输、沿海运输和内河运输,是综合交通运输体系的重要组成部分,在与铁路、公路、航空和管道运输方式的有机结合中,构筑了立体式的现代化交通运输网。水运在综合运输体系中始终占据着重要的地位,特别海洋运输是沟通世界各个国家和地区的主要运输方式,在大力发展外贸经济、对外交往的过程中,起着无可替代的作用。

水运在发展和建设现代化综合运输体系中,与其他运输方式相比,具有鲜明的特色优势。

1. 载运量大,有利于构筑“大能力”的综合运输体系

海上运输小的船舶有几千吨级,大的运输船舶有 50~60 万吨级,一艘万吨级船舶的载运量就相当于几列火车或数千辆汽车的载重量。内河运输的船舶有几十吨、几百吨到几千吨,顶推船队可达几万到十几万吨。水运不仅运量大,而且适宜中、长距离运输和超长、超宽、超重等特大货物的运输。目前,有“黄金水道”之称的长江干线,其水道货物通过能力就相当于 14 条铁路的通行水平,承担着沿江大型企业 80% 铁矿石、40% 原油和 83% 电煤的运输供给。

2. 能耗少,成本低,通过能力大,有利于构建节能的综合运输体系

内河船舶的能耗水平只有铁路火车的 1/2,公路卡车的 1/10。而一条单线铁路的年运量约为 3000 万 t 左右,一条通航河流的运输能力远远超过这个数量,如德国莱茵河 1970 年年运量就相当于 20 条铁路。所以,大力发展内河航运,能够极大地减少由于运输造成的能源消耗,从整体上降低综合运输的变动成本。对于构建节能的综合运输体系、促进社会经济的健康发展有重要意义。

3. 建设投资省,有利于构建环境友好的综合运输体系

航道建设的投资和维护管理费用都较铁路或公路小。建设年通过能力 100 万吨级的航道投资仅相当于铁路建设投资的 1/10,公路建设投资的 1/4~1/3。内河水运所造成的环境污染仅是铁路运输的 1/3 和公路运输的 1/15。大力发展内河航运,提高内河航运能力,分流不必要的陆路运输,特别是公路运输,对于改善水网地区特别是城市中心区的大气质量,减少综合运输体系的生态环境负效应,具有显著的效果和作用。

4. 节省土地,有利于发展土地节约的综合运输体系

根据我国公路、铁路建设的实际,4 车道高速公路约占用土地 110 亩/公里,国家 I 级双线铁路约占用土地 90 亩/公里,同比内河航运占用的土地则相当有限,其运输主要依靠天然河流和岸线,除了港口码头外基本不占用土地,而且有些航道的疏浚和码头建设,还可以利用疏浚的泥沙回填,既可以增加沿岸的土地利用面积,又可以节约相应的成本。



5. 河流的分布面广,有利于实行大、中、小结合及长短途运输的结合

我国幅员辽阔,河流纵横,全国 1km^2 以上的湖泊有2800多个,流域面积在 100km^2 以上的河流有50000多条, 1000km^2 以上的河流有1580条,河流总长约43万公里,大陆海岸线长18000多公里,大小岛屿6500多个,岛屿海岸线长14000多公里,是水运资源十分丰富的国家。我国水路运输源远流长,内河航道像血脉一样遍布祖国各地,有利于结合水利资源的综合利用,发展水运,实现大、中、小规模和长短途运输的有机结合与多种运输方式的无缝衔接。

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还比较低,且受自然条件的影响较大,存在着一定的局限性。为了充分发挥水运的优越性,必须加强现代化航道建设,建立四通八达的航道网。研究航道演变、航道治理,确保通航建筑物安全运转,满足船舶航行的基本条件,必须依靠技术进步和创新,开发建设深水航道,促进水运事业的发展,重视相关的基础及应用研究,妥善解决工程中的关键技术问题。

二、我国的航道建设和近期目标

航道是水运的基础。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,常常不能完全满足船舶安全航行的要求。为了延长通航里程和提高航道尺度,改善通航水流条件,扩大船舶通过能力,需要采取保障船舶安全航行的整治工程措施。航道整治工程措施有整治工程、疏浚工程、河流渠化和水下炸礁等,其主要任务是通过整治建筑物调整水流与河床,加大航道深度、宽度和弯曲半径,改善水流流态,并且稳定优良河势,避免流态恶化。

新中国成立后,我国大力发展水运事业,对主要河流进行了航道工程建设。1953~1957年第一个五年计划期间,重点整治了川江航道,初步实现了上水夜航,增加了船舶载货量。并在1978年按通航1000吨级船队的标准进行二期全面整治,航道尺度由 $1.8\text{m} \times 40\text{m} \times 300\text{m}$ 提高到 $2.7\text{m} \times 50\text{m} \times 560\text{m}$ 。特别是重庆以下到宜昌段660km的川江航道,经过20多处的全面整治,航道条件得到很大改善,枯水期船舶(队)载货量由上水400~500t提高到1100~1600t,枯水期船舶(队)载货量由下水500~800t提高到3000t,航行周期也大为缩短。

1958~1962年第二个五年计划期间,国家重点建设京杭运河苏北段,地方重点整治各省地方干线航道,航道条件得到改善,通航里程大幅度增加,水运得到蓬勃发展。京杭运河苏北段蔺家坝—六圩404km,于1958~1961年间拓宽浚深313km航道,并兴建解台、刘山、皂河、宿迁、刘老涧、泗阳、淮阴、淮安、邵伯、施桥10座船闸及配套工程,可以通航500~700吨级的船舶。

1978年中国共产党十一届三中全会以后,我国经济建设进入了一个新的阶段,航道建设重新得到重视,积极开展流域航运规划工作,有步骤地对全国重点河流进行重点建设。1982年后,京杭运河苏北段按通航 2×2000 吨级船队标准进行建设,疏浚航道,建造8座复线船闸,船闸尺度统一为 $230\text{m} \times 23\text{m} \times 5\text{m}$,现全线基本达到三线船闸标准,京杭运河已建设成连接山东、江苏、浙江三省,沟通淮河、长江、太湖和钱塘江水系,形成了纵贯我国沿海东部地区约1000km的水运主通道,改善了通航条件,货运量大幅度增加。2003年京杭运河苏北段年货运量已达到1.0亿t,苏南运河货运量也达到1.4亿t,承担了我国北煤南运的主要任务。

20世纪90年代初,我国制定了《全国水运主通道总体布局规划方案》,计划从1991~2020年、用30年时间实现水运主通道总体布局规划目标,即“两纵三横”的总体布局方案,包括沿

海南北纵向主通道、京杭运河纵向主通道、长江及其主要支流横向主通道、珠江及其主要支流横向主通道和黑龙江、松花江横向主通道。其中内河的“一纵”包括京杭运河、苏申外港线、长湖申线、淮河、沙颍河。“三横”包括长江水系主通道的长江干线、嘉陵江、湘江、汉水、赣江、信江、江淮运河、两沙运河；珠江水系主通道的西江干线、右江、北盘江及红水河、柳江及黔江、虎跳门水道；黑龙江、松花江主通道的黑龙江干线、松花江干线，共 20 条河流（河段），总长约 15000km，构筑内河水运“一纵、三横、两网”的总体框架。

在 1991~1995 年间，沟通了京杭运河和钱塘江，初步形成了以京杭运河和长江主通道为骨架，以四级、五级航道为基础的长江三角洲航道网；长江流域完成了珠洲—城陵矶、汉水襄樊—汉口、赣江南昌—湖口等航道整治工程；西江干线完成了梧州—广州的三级航道建设，建成了桂平航运梯级等。内河水运主通道达到规划标准的里程为 5445km，占内河水运主通道规划总里程的 37.1%。

1996~2000 年重点建设了长江干线、西江干线、京杭运河济宁—杭州段和长江三角洲江南航道网、珠江三角洲航道网等水运主通道重点项目，从而使内河主通道达到规划标准的里程增至 6869km，占规划总里程的 46.8%。特别是长江口深水航道整治工程，共筑导堤总长 97.2km，其中北导堤长 49.2km，南导堤长 48km，束水丁坝 13 条，分流口工程 4.6km，疏浚挖槽长度 174.5km，确定最终整治目标为水深 12.5m，底宽 350~400m，可以保证第四代集装箱船全天候进出长江口，并基本满足 10 万吨级散装货船和油轮乘潮进出，充分发挥长江水运的优势。

在我国内河航道建设取得长足发展的同时，内河航运支持保障系统也得到不断完善，我国内河航道的测量、疏浚技术取得了很大提高，对各种浅滩的整治、急流滩整治、施工技术、模型试验理论和实验技术都有很大的进步，达到了世界先进水平。

当前，长江三角洲依托其优越的地理区位和交通优势，综合运输发展一直走在全国前列。已基本形成以功能齐全的公路网、运网密集的铁路网、规模庞大的水路网以及初具规模的管道网为通道主骨架，以公路、铁路、水路、航空、管道五种运输共同发展的综合运输体系。以长江为主体的内河航运承担着沿江区域主要的大宗散货物质以及外贸进出口货物的运输与流通，已成为世界上运输最繁忙、运量最大的通航河流，货运总量分别是美国密西西比河和欧洲莱茵河的 2 倍和 3 倍。内河航运完成的货物运输量占长江三角洲综合运输体系的比重超过 25%，其中煤炭、铁矿石等大宗货物运输量占该类货物总运量的 80% 以上，在长江三角洲综合货运体系特别是大宗货运体系中居于主导地位，对于支撑和促进区域经济健康发展发挥着举足轻重的作用。

按照交通运输部《长江三角洲地区高等级航道网规划》安排，未来长江三角洲内河水运网主要承担跨区域、涉及国计民生的大宗物资运输，预计到 2020 年全面实现以长江干线和京杭运河为核心，三级航道为主体，四级航道为补充，由 23 条航道组成，共计 4200km 的长江三角洲地区“两纵六横”高等级航道网。届时长江三角洲高等级航运网将完成内河货物运输量 7.2 亿吨和内河集装箱 450 万 TEU。

三、航道整治课程的任务

航道是水运之母，航道是港口发展的生命线。随着水运事业的不断发展，运输船舶大型化



趋势日益加快,目前世界三大集装箱干线上投入的集装箱船已发展到第五代、第六代,海进江煤炭和油品将要求采用5万吨级以上的大型船舶。为适应新的水运形势和新要求,迫切需要加快内河航道和深水航道的建设。

航道整治课程的任务主要包括两方面:掌握利用水流和泥沙运动的基本原理,应用整治建筑物调整水流与河床之间的相互作用,加大航道深度、宽度和弯曲半径,改善流速、流态,提高航道等级或延长航道长度;采用科学管理和合适的工程措施,稳定和维护优良航道条件,避免航行条件恶化。

航道整治是综合治理河道的一个重要组成部分,必须努力提高河流利用的综合效益,充分发挥河流的水运资源。河流自然条件复杂,航道整治涉及面广,必须立足全局,全面规划,加强现场观测,不断总结工程实践经验。整治滩险与稳定河势密切联系,远近结合,综合协调,处理好整治与护岸、防洪、排灌和城市用水等多方面的关系,互相配合,避免顾此失彼。

切实掌握和利用河床演变的基本规律,才能取得航道整治调整河流自然条件的主动,提高航道整治工程的效益。但河床演变与水流、泥沙运动的基本规律密切相关,属于河流动力学研究的范畴;河流又与流域条件密切联系,河流的流域因素千差万别,不仅是河流动力学的研究对象,部分也是地貌学的研究范畴。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,目前还不能做到准确、完全有效地控制河床的变形。所以航道整治课程中提出来的一些整治理论计算公式,适合于航道整治工程的规划设计,有一定的局限性,远远没有达到结构设计那样的广度和深度。重大航道工程的设计,必须深入现场,掌握第一手资料,研究滩险的基本规律,进行模型试验研究,制定合理的航道整治方案。

航道整治是一门工程实践性强、知识面广的专业课程。学习本课程时,必须具备河流动力学、水力学和水文学的知识,还必须具有材料、力学、图学、计算机运用和施工技术、建筑物设计方面的知识。学习航道整治的一些基本原则和原理,应抓住调整水流和调整河床的主导思想,注重提高分析问题和解决问题的能力,掌握航道整治工程中解决重大问题的主要矛盾和关键技术。目前,随着新材料、新技术、新结构不断应用到航道整治工程实践,应围绕航道整治的基本思想和基本原理,不断探索航道整治的新经验和新思路,丰富航道整治工程理论和实践。

本课程的教学目的是使学生掌握航道整治的基本原理,了解航道整治工程的设计、施工、管理等方面的知识,培养学生分析和解决航道整治工程问题的能力,为从事航道整治工程的设计、施工、管理工作打下基础。

本课程的教学内容应包括:绪论、水流与泥沙运动的基本原理、整治建筑物的类型及作用、整治建筑物的设计、施工、管理等方面的知识。本课程的教学重点应放在水流与泥沙运动的基本原理、整治建筑物的类型及作用、整治建筑物的设计、施工、管理等方面。本课程的教学难点应放在整治建筑物的设计、施工、管理等方面。

本课程的教学方法应采用讲授法、讨论法、案例分析法等。本课程的教学评价应采用过程评价和结果评价相结合的方法。本课程的教学资源应包括教材、讲义、录像带、光盘等。

第一章 航道与航道尺度

第一节 河流与航道

河流是河道和水流相互作用下的水流运动。河道是水流运动的固体边界,一般由泥土、砂粒、卵石和顽石等组成(统称泥沙),有些局部河段是固定不动的基岩。水流在河道上运动,一般情况下泥沙也会发生运动,随着水流条件的不同,泥沙运动形式多种多样,河床形态变化千姿百态,按照河流形态、水文泥沙运动、河床冲淤演变特性的差异,一般将河流区分为山区河流和平原河流。对于较大的河流,其上游段多为山区河流,下游段多为平原河流,中游段则往往兼有山区河流和平原河流的特性。对于较小的河流,其全河段可能均位于山区,也可能均位于平原地区,分别显现相应的特性。

一、河流形态基本特征

河流形态特征主要是河流的平面形态和河流的横纵剖面方面的几何特性。山区河流的平面形态沿程宽窄相间,呈藕节状。在峡谷河段,河谷横断面多呈V形,谷坡陡峭,岸线极不规则,急弯、卡口多,常有孤石突出或礁石林立;在宽谷段或丘陵地段,河床横断面多呈U形,谷坡一般较缓,有发育的阶地,江心有洲滩;在溪沟汇入处,常有大量砂石堆积,形成扇形冲积体,将河道缩窄,甚至堵塞,山区河流的特征横断面见图1-1。山区河流的纵断面存在很多折点,河床高程起伏很大,有的河段河床高差3~5m,局部河段河床高差30~40m,甚至局部河床高差60m以上。山区河流由于纵断面沿程起伏变化,水面线一般也存在折点,形成水流急流段和缓流段相间,形成各种碍航的滩险。

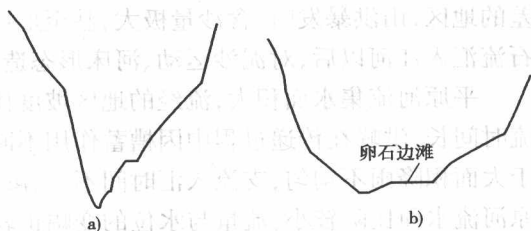


图1-1 山区河流特征横断面

a) V形河谷;b)U形河谷

平原河流流经地势平坦、土质疏松的平原地区,冲积层一般都比较深厚,往往达数十米甚至数百米以上,平面形态多不规则。平原河流河谷宽广,横断面尺度较大,多呈宽浅型,在河谷中分布着广阔的河漫滩,平原河流的特征横断面见图1-2。中枯水期水流限制在主河槽中流动,洪水期水流漫滩,河面宽阔。平原河流的河床形态是水流和河床相互作用的产物,其平面形态随河床边界组成不同,形成顺直(微弯)型、弯曲线型、分叉型和游荡型等不同河型。平原河流河床纵坡较为平缓,水面比降较小,一般均在0.3%~0.4%以下,流速不大,流态平稳。河床沿程走向由一系列的深槽和浅滩组成,呈高低不平、波浪起伏状态,两深槽之间的浅滩处,水深不足,常是船舶航行的主要障碍。



航道整治

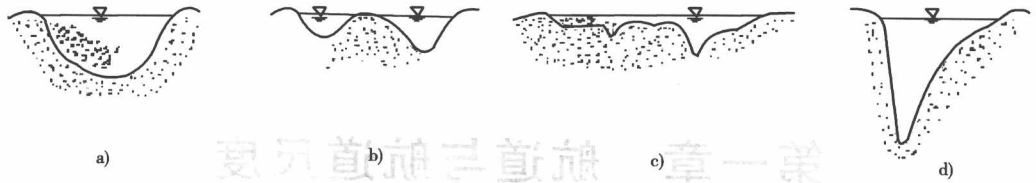


图 1-2 平原河流特征横断面
a) 顺直过渡段; b) 分汊段; c) 游荡段; d) 弯曲段

二、河流水文泥沙运动基本特征

山区河流的河床质多由砾卵石或砂卵石组成,流经的地区坡面陡峻,径流模数大,汇流时间较短。在暴雨集中地区洪水时暴涨暴落,暴雨与山洪往往同时发生,但一般洪水持续时间不长,降雨过后,河道又恢复原来的低水细流。山区河流流量与水位变幅大,最大流量与最小流量相差可达几百倍,如长江支河嘉陵江最大流量 $39600\text{m}^3/\text{s}$,最小流量 $220\text{m}^3/\text{s}$,两者差 180 倍。但在集水面积大的山区河流,流量过程线自然调平,洪枯流量相差较小。另外,受河床形态及水流条件影响,山区河流水面比降一般都较大,且沿程分布不均匀,绝大部分落差集中在局部河段。河床上存在急弯、石梁、卡口等滩险,形成很大的横比降。同时山区河流的流态十分险恶,常有回流、泡水、漩涡、跌水、剪刀水、横流等出现,对航行造成很大的威胁。

山区河流的泥沙来量主要集中在汛期,含有冲泻质、悬移质和推移质,悬移质含沙量视地区而定。在岩石风化不严重或植被较好的地区,含沙量较小。相反,在岩石风化严重或植被较差的地区,山洪暴发时,含沙量极大,甚至形成泥石流。有些山区河流处于泥石流发育地区,泥石流汇入江河以后,对泥沙运动、河床形态造成很大影响。

平原河流集水面积大,流经的地区坡度比较平缓,河槽两侧存在广阔的河漫滩,降雨后汇流时间长,洪峰在传递过程中因槽蓄作用不断削平,一般没有洪水陡涨陡落的现象。另外,由于大面积降雨不均匀,支流入汇时间不一,洪水起涨和回落都比较平缓,且持续时间较长。平原河流水面比降较小,流量与水位的变幅也较小,一般流速在 $2 \sim 3\text{m}/\text{s}$ 以下,没有山区河流的跌水、横流、泡水等险恶流态。但有一些平原河流,流域内暴雨集中,降雨面积小而强度大,次数又较多,会造成洪水多峰相连,峰型尖瘦,涨落较快,持续时间较短。如我国黄河花园口站流量过程和长江汉口站流量过程有显著不同,见图 1-3。

平原河流的泥沙,以悬移质为主,由于河床组成多为细颗粒泥沙,所以悬移质中床沙质部分多处于饱和状态,自然条件下含沙量变化一般不大。但在工程建筑物干扰条件下,水文泥沙运动特性则变化较大,如长江三峡工程蓄水前(1956 ~ 2002 年),宜昌站年平均径流量为 $4163.0 \sim 4390.2$ 亿 m^3 ,年平均含沙量为 $0.91 \sim 1.27\text{kg}/\text{m}^3$,年平均输沙量为 $3.11 \sim 5.55$ 亿 t,三峡工程蓄水后(2003 ~ 2007 年),宜昌站年平均径流量为 3937.0 亿 m^3 ,年平均含沙量为 $0.17\text{kg}/\text{m}^3$,年平均输沙量为 0.67 亿 t,见表 1-1。

三、河流演变特征

山区河流除基岩裸露的河床外,一般均为卵石所覆盖,推移质多为卵石及粗沙。在峡谷河

段,洪水期间峡谷流速大,将峡谷内的推移质输送到下游河床宽阔段;枯水期间峡谷段水流平缓,而宽阔段的滩上流速、比降相对较大,将洪水时期淤积的泥沙部分或全部输移到峡谷河段,推移质运动在空间分布上有明显的不连续性。宽阔段的浅滩,由于洪、枯水流路不一致,一般呈洪淤枯冲的周期性变化。山区河流两岸多为岩质组成,一般横向变幅不大。

长江宜昌、监利站水沙条件变化

表 1-1

时间段(年)	平均年径流量(亿 m ³)		平均年输沙量(亿 t)		平均年含沙量(kg/m ³)	
	宜昌	监利	宜昌	监利	宜昌	监利
1956~1966	4390.2	3219.0	5.48	3.33	1.25	1.04
1967~1972	4163.0	3358.0	3.93	3.55	1.18	1.06
1973~1980	4301.8	3603.0	3.99	3.94	1.16	1.09
1981~1988	4385.0	3818.0	5.55	3.48	1.27	1.17
1989~1995	4283.9	3872.0	3.11	3.56	0.96	0.92
1996~2002	4387.0	3866.9	3.98	3.09	0.91	0.80
2003~2007	3937.0	3560.0	0.67	1.02	0.17	0.28

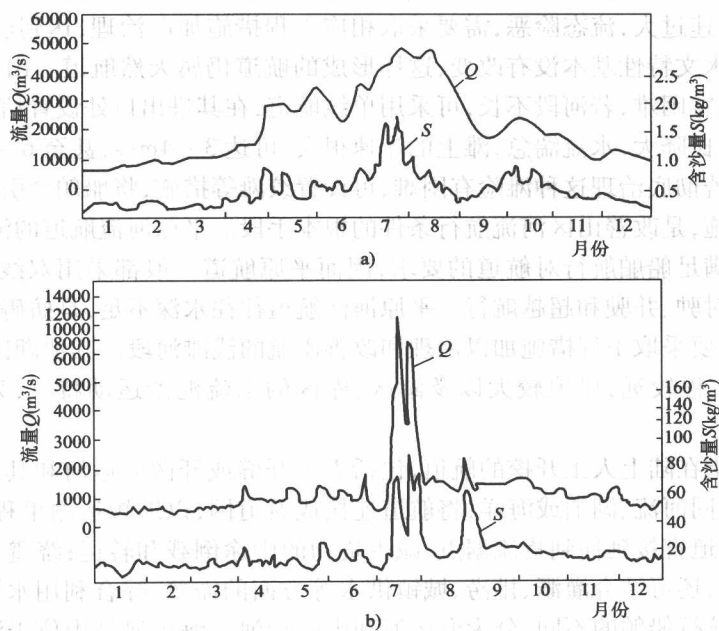


图 1-3 山区河流、平原河流流量与含沙量过程特征

a) 长江汉口站(1957年); b) 黄河花园口站(1957年)

平原河流在一定的流域来水、来沙和河床边界条件下,经过水流与河床的长期调整,多数已达到平衡或准平衡状态。平原河流的河床均由中、细沙等松散物质构成,在水流作用下很容易发生运动,即使流域来水、来沙和边界条件不发生大的变化,但由于局部条件的影响,河床也会产生冲淤变化。因此平原河流自然演变主要表现为河床的往复变形,特别是河床的平面变



迁和河床中泥沙堆积体的不断变化,这些均对船舶安全航行带来较大影响。特别是天然河流建设拦河建筑物后,坝上、坝下游河段水流泥沙条件发生改变,河床演变规律变化,丹江口水库、长江三峡枢纽工程等坝下游河段含沙量明显减小,坝下游河段水流挟沙长期处于次饱和和状态,河床产生距离冲刷调整,坝下游河段船舶安全通航将会遇到新的问题。因此,研究河流特性,掌握河流的水文、泥沙运动特性及河床、浅滩的演变规律,才能合理选择船舶航行线路,保障船舶安全航行。

四、航道

航道是以组织水上运输为目的,在江河、湖泊、水库、港湾等水域供规定船舶(包括船拖木筏)航行的水上通道。简单地说,航道是水路运输的通道。航道只是河流、湖泊等水域中能满足船舶航行要求的一部分,通常用航标在宽阔的水面上标示其范围和位置。

航道可按多种方法分类。

航道按形成的因素划分为天然航道、人工航道和渠化航道三大类。天然航道是指自然形成的江、河、湖、海等天然水域中的航道,包括水网地区在原有较小通道上拓宽加深的那一部分航道。按照航道经过区域的不同,天然航道又分为山区航道、平原航道、潮汐河口航道、湖区航道、库区航道等。在有些河流或湖泊中,由于局部处所水深不够,或宽度不足,或弯曲半径过小,或有些处所流速过大,流态险恶,需要采取相应工程措施加以治理,达到航道的基本条件,此时由于河流的水文特性基本没有改变,这样形成的航道仍属天然航道。山区河流航道有的河段航道狭窄,拓宽困难,若河段不长,可采用单线航道,在其进出口处设置信号标志。有的山区河流航道,水面比降大,水流湍急,滩上的流速很大,可达 $3 \sim 4\text{m/s}$,甚至 $6 \sim 8\text{m/s}$,船舶往往不能自航上滩。若彻底治理这种滩险有困难,可设置绞滩等措施,将船舶牵引过滩。山区航道采取渠化工程措施,是改善山区河流航行条件的根本手段。平原河流航道的河面一般较宽,平面尺度通常都能满足船舶航行对航道的要求,因而平原航道一般都采用双线航道,船舶(队)在同一断面可以对驶、并驶和超越航行。平原河流航道往往水深不足,是妨碍船舶安全航行的主要矛盾,通常需要采取工程措施加以治理和改善碍航的浅滩河段。其他湖区、库区航道还应根据水面开阔,吹程较远,风浪较大以及湖区、库区的水流泥沙运动特点,采取相应的工程措施。

人工航道是指在陆上人工开挖的航道,包括人工开辟或开凿的运河和其他通航渠道。主要作用是:沟通不同河流、湖泊或海洋,将航道连接成航道网,以缩短运输里程;连接重要城镇或工矿企业,把航道直接延伸到货流据点,减少货物的中途倒载和转运;绕避天然水域中滩险等航行障碍;此外,还可结合灌溉、排涝、城镇供水等方面的需要,综合利用水资源。运河按所处的地理位置及航行船舶的不同,分为海运河和内陆运河。海运河是指位于滨海地区沟通海洋与海洋或连通港口的运河,主要行驶海船,如苏伊士运河和巴拿马运河。内陆运河是指位于内陆地区仅供内河船舶通航的运河,如京杭运河和伏尔加—顿运河。运河按设闸控制与否又分不设船闸的开敞运河,如苏伊士运河;设置船闸(或升船机)的设闸运河,如京杭运河、巴拿马运河。在运河中,设闸运河居多数,跨越分水岭的运河(又称越岭运河)均为设闸运河。

渠化航道是介于天然航道和人工航道之间的半天然、半人工航道。因为渠化航道是通过修建拦河坝壅高坝上水位而形成的梯级航道,具有较天然状况更大的航道尺度。坝区引航道

往往是人工开凿而成,属于人工航道;坝上常年库区航道水流平缓,类似于湖泊航道;库尾与上一梯级完全衔接或基本衔接,其间的滩险已经淹没或者经过根治,航道也类似于渠道。所以,渠化航道虽然是天然河流上形成的,但它已根本改变了天然航道的特性,其通航条件虽仍然受到上游来水来沙的部分影响,但也在相当程度上受到枢纽的人为控制。

航道按所处区域划分,基本上分为内河航道和沿海航道两大类。内河航道是河流、湖泊、水库内的航道以及运河和通航渠道的总称。其中湖区航道又进一步分为湖泊航道(位于常年湖泊范围内航道)、河湖两相航道(位于高水位为湖泊、低水位时为河流的水域内的航道)、滨湖航道(靠近湖泊、受湖水顶托影响的河流航道)。

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。德国将沿海航道称作“海上航道”,其《联邦航道法》规定:“海上航道系指位于中高潮位时,海岸水线或内河航道,或内河航道与海域的分界线,与领海外侧边界之间的水域。以导堤防波堤一侧或两侧为界的进港航道,海岸护堤、排水设施、填海造地设施、海滨浴场、沙滩浴场,均不属于海上航道的范围。”我国沿海航道的具体范围尚未见明确界定,有时把海港进港航道也划入沿海航道的范畴。对于属于内河范畴的潮汐河口,其与海域的分界线也没有统一的规定。

航道按通航条件划分,又可根据通航时间的长短、限制条件的有无和大小、通航船舶的类型进行分类。按通航时间的长短分为常年通航航道(可供船舶全年通航的航道,又称常年航道)和季节通航航道(只能在一定季节或水位期内通航的航道,又称季节性航道)。

按限制条件的有无和大小分为单行航道、双行航道和限制性航道。

单行航道,即在同一时间内,只能供船舶一个方向行驶,不容许船(队)对驶、并驶或超越的航道,又称单线航道。如山区河流航道整治困难的某些航标段,上下游采用航行信号控制,为单线航道。

双行航道,即在同一时间内,允许船舶对驶、并行或追越的航道,又称双线航道。平原河流水面尺度较宽,一般容许船(队)对驶、并驶,航道尺度均按双线航道设计。在水网地区、限制性航道一般多为双线航道,容许船(队)对驶、并驶或超越。在长江下游区域,江面开阔,容许多艘船(队)同时对驶、并驶,为多线航道。

限制性航道,即由于水面狭窄、断面系数小等原因,对船(队)的航行速度受到明显限制的航道。运河、通航的灌溉、排水、供水渠道以及水网地区航道属于限制性航道。限制性航道的断面形状一般采用梯形或复合形,断面尺度小,形状比较规则,河床(渠底)平坦,水深和宽度沿程变化不大,水流平缓,水位变幅小。在通过岩石地区和城市、工矿区等土地资源紧缺地区时,一般采用矩形断面。为防止船行波对航道岸坡的冲刷破坏作用,限制性航道的岸坡一般均需要护坡。

按通航船舶的类型划分又有多种:

内河船航道,指只能供内河船舶或船队通航的内河航道;

海轮进江航道,指内河航道中可供进江海船航行的航道;

主航道,指供多数尺度较大的标准船舶或船队航行的航道,在河流的分叉河段或某些 W 形河床的地区或湖泊、水库等水域中具有两条以上的航道时,其中供船舶常年航行、在运输上起主要作用的航道常称主航道;

副航道,指为分流部分尺度较小船舶或船队而另行在主航道外增辟的航道,副航道通常只



在一定的水位时期或根据航道的具体情况短期内开放通航；
 缓流航道，指为使上行船舶能利用缓流航行而开辟的航道，这种航道一般都靠近凸岸边滩；
 便捷航道，指分叉河道上开辟的较主航道航程短的航道，这种航道一般都位于可在中洪水期通航的支汊内。

航道按管理属性划分为国家航道、地方航道和专用航道。

国家航道是指构成国家航道网、可通航 500 吨级以上船舶的内河干线航道，跨省、自治区、直辖市可常年通航 300 吨级以上船舶的内河干线航道，可通航 3000 吨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。

地方航道是指常年通航 300 吨级以下船舶的内河航道，可通航 3000 吨级以下海船的沿海航道，地方沿海中小港口间的短程航道，非对外开放的海港航道，以及其他属于地方航道主管部门管理的航道。

专用航道是指由军事、水利电力、林业、水产等部门以及其他企事业单位自行建设和常用的航道。

相对于专用航道而言，国家航道、地方航道均属于公用航道。

航道按航道级别划分，目前，我国将内河航道航行 50 ~ 3000 吨级标准驳船及船型的航道依次分为 7 个等级航道，具体见表 1-2，并将通航 3000 吨级以上船舶的航道列入 I 级航道。

内河航道等级划分 表 1-2

航道等级	I	II	III	V	VI	VII	VIII
船舶吨级(t)	3000	2000	1000	500	300	100	50

除上述分类方法外，按航道所处特殊位置定名的还有桥区航道、港区航道、坝区航道、内河进港航道、海港进港航道等。

近年来，随着科学技术和管理模式进步，又提出了数字航道和定线制航道。所谓数字航道就是采用先进的数字和信息技术，实现航道属性中航道空间河势、航槽、水深、水位、助航设施等主要信息的航道数字化。对航道自然条件进行实时采集、量化分析和综合处理，建立预警机制，实现科学决策，同时运用动态的现代化服务手段，提升内河航道的服务水平。数字航道的核心部分是电子航道图的制作和应用，我国 2003 ~ 2004 年长江航道局完成了三峡库区庙河至鳊鱼溪河段电子航道图的制作，2007 ~ 2008 年完成了长江中游中水门至大埠街河段和长江下游南京（慈湖河口）至浏河口电子航道图的制作，2009 年 1 月正式启动长江上游宜宾至鳊鱼溪河段和长江中、下游大埠街至慈湖河口两段电子航道图的制作，从而实现长江电子航道图的全线贯通。在电子航道图的基础上，结合船舶跟踪导航系统、航标遥测监测系统、水位遥测系统以及系统支撑平台，实行航道维护全天候、全方位、全过程管理。

定线制航道是利用长江南京下游水深河宽特点，将航道宽度 500m（不低于 200m）、近期航道维护水深 10.5m（江阴以上航行基准面，江阴以下理论最低潮面）水域设置为深水双向航道，中间设置 100m 宽分隔带，在深水航道外两侧各 200m 范围设置为推荐航路。船舶航行严格执行定线制原则，实行各自靠右航行，大型、特大型船舶、深水海轮在深水航道行驶，小型船舶在推荐航路行驶。定线制自 2005 年 7 月 1 日实行至今，每年海轮船舶递增 30% 以上，目前定线制实行已延伸至安徽钱江嘴河段，规划 2020 年前南京以下河段全线达到 12.5m 深水航道标准。