

高等學校試用教材

水道工程

天津大學編



人民交通出版社

高等學校試用教材

水道工程

(水道及港口专业用)

天津大學編

江苏工业学院图书馆
藏书章

人民交通出版社

目 录

緒論	1
§ 0-1 水运事业在国民經济及我国社会主义建設中的作用	1
§ 0-2 水运发展簡史和我国水运事业的今昔	2
§ 0-3 我国的內河水道建設	3
第一篇 內河船舶	
第一章 內河船舶的特点及其頂拖船队	6
§ 1-1 概述	6
§ 1-2 內河船舶的类型及其特点	6
§ 1-3 船舶編队及其頂拖方法	9
第二篇 河流航道工程	
第二章 天然河流的航行条件及其改善措施	15
§ 2-1 天然河流的航行条件	15
§ 2-2 天然河流航道的基本尺度和允許流速的确定	16
§ 2-3 改善天然河流航行条件的工程措施	19
§ 2-4 扫床与清槽	20
§ 2-5 內河航行标志	21
§ 2-6 縮短河流封冻期的措施	26
第三章 天然河流的水流特点及河床演变的基本規律	26
§ 3-1 天然河流的水流特点及泥沙运动	26
§ 3-2 影响河床演变的基本因素	31
§ 3-3 河床演变的基本类型	33
§ 3-4 河相关系	36
§ 3-5 筑壩对河床演变的影响	39
§ 3-6 河床变形計算及其模型試驗	42
第四章 航道整治工程	48
§ 4-1 概述	48
§ 4-2 整治工程的规划和設計	50
§ 4-3 特征河段的演变及其整治	58
§ 4-4 利用人工环流整治河道的方法	67
§ 4-5 河口整治	69
§ 4-6 整治建筑物的构造	75

第五章 航道疏浚工程	85
§ 5-1 疏浚工程的任务及其分类	85
§ 5-2 疏浚工程设计的主要依据及保证水深	86
§ 5-3 挖槽定线及抛泥区选择	89
§ 5-4 疏浚工程的水力计算	93
§ 5-5 疏浚挖槽的断面设计	97
第六章 渠化工程与径流调节	100
§ 6-1 河流渠化通航的意义	100
§ 6-2 渠化后河流航行条件的改变	101
§ 6-3 渠化工程的规划	102
§ 6-4 水库区航道的設計	104
§ 6-5 径流调节增加航深的方法	106
第七章 木材浮运	108
§ 7-1 概述	108
§ 7-2 木材浮运方式和浮运过程	108
§ 7-3 木材浮运河道的条件及其改善措施	110
§ 7-4 木材浮运的建筑物和过坝措施	111

第三篇 过船建筑物

第八章 过船建筑物总論	116
§ 8-1 概述	116
§ 8-2 船閘的組成部分及其工作原理	116
§ 8-3 升船机的主要型式及其工作原理	119
§ 8-4 船閘与升船机的一般适用特点	120
第九章 船閘的总体布置	121
§ 9-1 船閘的基本尺度	121
§ 9-2 船閘的过閘时间和船閘的通过能力	133
§ 9-3 船閘的耗水	137
§ 9-4 船閘在水利樞紐中的布置	141
§ 9-5 水利樞紐施工时期的通航問題	151
第十章 船閘的輸水系統及其水力計算	155
§ 10-1 船閘輸水系統应滿足的基本要求	155
§ 10-2 船閘輸水系統的类型及其选择	157
§ 10-3 船閘輸水过程的水力計算	171
§ 10-4 閘門后水力現象的复核	182
§ 10-5 船舶允許系纜力标准及过閘船舶系纜力的估算分析	185
第十一章 船閘的結構及构造	194
§ 11-1 概述	194

§ 11-2	船閘的滲透情況及防滲設備的布置	194
§ 11-3	船閘閘室的結構	201
§ 11-4	船閘閘首的結構	219
§ 11-5	船閘引航道上的建築物	225
§ 11-6	船閘的細部構造	232
第十二章	船閘結構的靜力計算	237
§ 12-1	船閘結構靜力計算的任務與內容	237
§ 12-2	作用在船閘結構上的荷載的確定	238
§ 12-3	閘室牆及底的靜力計算	242
§ 12-4	閘首的靜力計算	262
第十三章	船閘的閘門、閘門及其啟閉機械	268
§ 13-1	船閘閘門的基本要求及其類型	268
§ 13-2	人字閘門的組成部件及其主要構件的設計	272
§ 13-3	人字木閘門	298
§ 13-4	人字閘門的啟閉機械	304
§ 13-5	橫拉式平板閘門的構造及其啟閉	312
§ 13-6	臥倒式平板閘門的構造特點	317
§ 13-7	下降式弧形閘門及平板閘門的構造及其啟閉	320
§ 13-8	備修閘門及應變閘門	325
§ 13-9	船閘輸水廊道上的閘門	329
第十四章	船閘的設備和管理	343
§ 14-1	船閘的保安設備	343
§ 14-2	船閘的系船設備	346
§ 14-3	船閘的牽引設備	351
§ 14-4	船閘的操縱和管理	355
§ 14-5	船閘管理房屋的布置	358
第十五章	斜面式升船機	360
§ 15-1	斜面式升船機的類型	360
§ 15-2	斜面式升船機的構造特點	363
§ 15-3	斜面式升船機的優缺點及其適用情況	367
第十六章	垂直式升船機	368
§ 16-1	均衡重式升船機	368
§ 16-2	浮筒式垂直升船機	384
§ 16-3	水壓式垂直升船機	390
§ 16-4	其他型式的垂直升船機	392

第四篇 運河工程

第十七章	運河工程的規劃與設計	397
-------------	-------------------	------------

§ 17-1 概述.....	397
§ 17-2 运河中航行的特点.....	398
§ 17-3 运河横断面設計.....	402
§ 17-4 运河綫路选择及其平面和纵断面設計.....	405
§ 17-5 运河的供水.....	410
§ 17-6 运河的护坡.....	413
第十八章 运河上的建筑物	415
§ 18-1 运河上建筑物的分类.....	415
§ 18-2 运河交叉工程的布置.....	416
§ 18-3 通航隧洞.....	420
§ 18-4 通航渡槽.....	427
§ 18-5 倒虹吸和安全閘.....	429

第五篇 内河航运规划

第十九章 内河航运规划	431
§ 19-1 总述.....	431
§ 19-2 内河航运的經濟规划.....	433
§ 19-3 内河航运的营运规划.....	437
§ 19-4 内河航道工程规划.....	439
附: 本書主要参考書目录	440

緒 論

§0-1 水运事业在国民經济及我国社会主义建設中的作用

水运事业是交通運輸事业中的一个重要組成部分。

交通運輸在国民經济及我国社会主义建設中起着重要的紐帶作用。馬克思把運輸事业称做是在开采业、农业及制造业之外的“第四种物质生产部門”。交通運輸过程在社会生产和生活領域中的作用如同人体中的血液循环，虽然在这一过程中并不产生新的物质财富，但它却直接地、时时刻刻地影响着整个社会的經常的活动。交通運輸是与每一个部門、每一个地区人們的生产活动及生活活动休戚相关的，是使它們能够正常进行的保証。也正因为如此，党一直非常重視交通運輸在整个国民經济中的作用。

近代的交通運輸方式包括有铁路、公路、水运、航空及管道運輸等五个方面。近代复杂的生产过程及社会多方面的需要，要求各种不同的運輸方式互相配合和分工，組成統一的交通運輸系統，才能够更好地滿足生产及社会的需要。同时，也只有这样才能够最充分地、有效地發揮各种運輸方式的优点和特长。但这一点只有在社会主义制度下才能够真正地做到，而在資本主义制度下則是完全不可想象的事。因为在那里，不同的運輸部門掌握在不同的垄断資本集团手里，他們为了各自的利益，互相竞争，互相排挤，和社会主义制度下各种交通運輸部門間的分工协作形成鮮明的对比。这也正說明了資本主义制度的腐朽及其最后的必将灭亡。

水运在交通運輸事业中所占有的重要地位是由其本身所具有如下的优越性所决定的。

首先，內河航运建設可以紧密結合水利資源的綜合利用和綜合开发。我国是一个水利資源极为丰富的国家，而且具有开发这些水利資源的优越自然条件。开发这些巨大的水利資源将为我国社会主义建設提供大量的廉价动力，并且使广大的农田得到灌溉，而每一項綜合利用水利工程的兴建，都将为航运的发展創造有利条件。因此，密切地結合水利綜合利用进行內河航运建設就能够充分地利用水利資源，取得很大的国民經济效益。同时，任何一条水道和运河的开辟，不仅为附近的城市和工厂提供了運輸条件，而且同时也解决了城市、工厂的供水、排水以及改善卫生条件等問題，从而促进工业生产及城市建設的发展。

其次，和铁路、公路等運輸方式相比，水运具有运量大、成本低的优点，这是由于：第一、同一吨貨物利用水运所消耗的功率和燃料数量要远小于铁路或公路運輸；因为发动机需要克服的运动阻力决定于运动的速度，如图0-1所示为在不同的运动速度下铁路貨車与本駁船載运貨物时所需要克服的阻力变化的特性，可見，在普通的貨

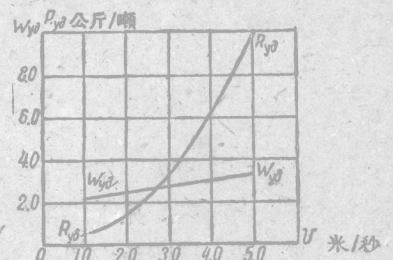


图 0-1 铁路及水路貨物运动时单位阻力变化图

船运动速度 7~8 公里/小时，即約 2 米/秒的情况下，发动机在水上需要克服的阻力 W 比在鉄路上需要克服的阻力 R 几乎要小一半。因此燃料的消耗較少。第二、从运输中的运行工具来看，水运的运输工具投資也較少。鉄路运输中，运输工具自重約为它載重量的 40~60%，而河运則一般仅占 7.5~28%；一吨貨物所需河船运输工具自重的投資仅約为鉄路运输工具自重投資的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{6}$ 。第三、水道的基建費用及維持費用較鉄路或公路为小，当运输距离大致相同时，河运的基本建設投資約为鉄路的十分之一。而且其中很重要的一方面是可以有效地节省鋼材，例如国家每年增修 1000 公里航道来分担相当部分的鉄路运量，便可以节省几万吨的鋼材，而这对国民經济是有很大大意义的。水运投資的效果所以比其他运输方式如鉄路、公路为高，基本原因在于它利用了天然的水流資源，因而开发航道所需要的人力、物力即航运运营和建設中的物质及劳动量的消耗就必然会显著地低于鉄路与公路。因此，发展水运，实际上就是如何去使用大自然赋予我們的宝贵財富的問題。此外在运输的安全性方面，从以往的統計資料說明，河运是具有較高的安全指标的。

但需指出，目前采用水运方式在技术上还受到一定的局限。首先水运的运行速度較低，鉄路貨車运动的技术速度一般在 30 公里/小时以上，而內河船队当上駛时的技术速度为 4~5 公里/小时，下駛时則为 8~12 公里/小时。大幅度地提高河船的技术速度，由图 0-1 可見，必然使运动阻力急剧地增加。对于貨物运输來說，从其运输期长短方面作比較，貨运的商务速度具有更为重要的意义。所謂商务速度系指貨物从交运到交付的全部時間的貨运平均速度，即用裝貨、运转、中歇及卸貨的总時間除运貨距离所得的速度。鉄路运输的商务速度較其技术速度低得多。而对于河运則相反，因为船队运行和路綫的关系較小，可以在航綫的任何地方会让或超越，并且可以很少在中途停泊，所以其商务速度仅略小于技术速度。鉄路运输与河运之間在商务速度上的差别并不象技术速度之間差別那样大。但尽管如此，鉄路运输的商务速度一般仍約为河运的两倍。因此，水运一般最适用于运量大而对运期要求不高的貨物的运输。

在客运方面，近年来水翼船的制造和应用在国内外有了一定的发展，其最高航速可达 60~70 公里/小时左右，已基本上可与一般陆地运输工具的运行速度并駕齐驅，是一种很有前途的客船型式。

此外，河运也常常受到河流水文及气象条件的限制（如洪水、枯水变化及冰冻等）。

水运必須与其他运输方式紧密配合，共同完成社会主义的交通运输任务，水运技术上目前尚存在的局限性将会随着今后科学技术的发展而得到进一步的改善或解决。它将会在国民經济建設中發揮更大的作用。

§ 0-2 水运發展簡史和我国水运事业的今昔

人类很早就学会利用水运，早在四千余年前的石器时代，中国人民就临河聚居，制造船舶，发展水上运输。見于历史記載的如禹貢九洲“导四瀆而为貢道”。四瀆即指当时中原地区的江、河、淮、济四条大河，貢道就是通航的水道。周武王时代（公元前 1122~1116），在今山东半島与今江苏、福建、浙江沿海就已开始航海活动，并已出現漁盐业。到了春秋战国时代，海上航道更为发达，航綫遍及渤海灣、台灣，以及朝鮮、越南、日本等地，自公元前

485年即已沟通淮河与长江，是为凿通南北大运河的先声。到了秦朝，由史禄领导开凿了灵渠（公元前214年），沟通湘水和漓水。灵渠在今广西，起自兴安迄至大溶江镇，长达33公里。公元825年唐宝曆时，李渤监修灵渠，創設陡門18座（陡門即閘門），船駛入一陡后把陡門关闭，等水积滿后再前进一級。公元984~987年，乔維岳在灵渠創設二斗門通航設備，“二門相距五十步，复从夏屋，設悬門，积水俟平乃泄之，以此运舟无滞”。这是世界上最早的船閘。自隋煬帝时（公元605~617年）起，經過了漫长的年代，通过历代千百万劳动人民的双手，直到元朝年間，工程浩大的南北大运河终于全綫打通。大运河北起北京南达杭州，貫通海河、黄河、淮河、长江等水系，长达1782公里，是世界上最长的运河。在历史上成为我国南北物资及文化交流的动脉。与此同时，我国海上航运也有了极大发展，隋唐时（六世紀到九世紀末），我国海船长20丈，可載客600~700人，航綫远达南洋群島、印度、阿剌伯，对外貿易和文化交流日益兴隆昌盛。我国有許多劳动人民乘船往南洋群島从事生产和貿易，很多外国商人、使节、留学生均乘中国船队来我国进行貿易和学习。到宋、元时（十世紀到十四世紀中），因手工业发达，航运事业又向前发展一步。1329年，元朝利用水路从南方运粮北上，达到三百多万石，約占年收粮总数十分之三。国外航运也有很大发展。航海使用的指南針就是在十一世紀时由我国所創始的。

我国水运事业虽然很早就已很发达，但由于长期在封建統治下束縛了生产力发展，到十九世紀，更因經濟落后而使航运事业停滞不前。帝国主义侵略我国的近百年来，我国海关淪丧，全国各大港口和主要航道为外国船只恣意行駛，航运事业实质上已成为帝国主义、封建势力及官僚买办资产階級用来压迫劳动人民的工具。清朝政府在1842年簽訂的南京条約及1844年望厦条約中，先后将沿海与內河航权割让給帝国主义国家。在这种外煎內迫，生产停滞，民生雕敝的情况下，使我国航运事业在相当长的一段时期內处于十分落后的状态。1949年解放前夕，全国河流大都处于自然状态，通航里程不过七万三千公里，其中能通航輪船的仅二万四千公里。內河港口多半采用斜坡式碼頭，內河及沿海港口普遍缺乏机械化装卸和水陆联运設備，布局凌乱，效率很低。全国輪船吨位仅一百多万吨。由于国民党的破坏，到解放时，全国只剩下少数破烂的登陆艇、貨輪、油輪以及少数江輪。

解放以后，人民掌握了政权，我国水运事业和其他建設事业一样，获得了新生，并且成为发展国民經济进行社会主义建設的重要部門之一。一些大江大河的通航状况有了显著的改变。以长江为例：长江是我国航运条件最优越的河道，但宜昌至重庆600多公里的川江，滩多水急，解放前只能在白昼通航长度在43米以下的船只，并莫不視為畏途。解放后連年經過整治滩險40余处，长江全綫2400多公里航道設置了电气化航标，目前长达140米的駁船船队已可在川江昼夜通航。其他天然河流也进行了大量的整治。到1960年底全国內河通航里程已达16万多公里，較解放前增加1.2倍；恢复、扩建和新建許多碼頭泊位，新增了各种装卸机械，因而显著提高了各港口的通过能力。造船和制造装卸机械能力均有了很大发展，1958年并开始自造万吨远洋巨輪。从事水运建設和組織管理的技术力量也日益壮大。

§0-3. 我国的內河水道建設

水道建設是发展水运事业的先决条件。

我国幅員广大，河流湖泊密布，仅据約略統計，流域面积在 100 平方公里以上的河流全国共有 5000 余条，总长度达 42 万公里。其中較大的水系有黑龙江、松花江、海河、黄河、淮河、长江、珠江等。这些河流中的大部分都是水量丰沛、冬季不冻，并且沿河居民稠密，物产丰富，从技术和經濟上为內河运输事业的发展提供了非常有利的条件。

进行我国內河水道建設必須密切地結合水利資源的綜合利用和其他国民經济部門发展的要求；不仅要进行全国範圍內的干綫水道的建設，而且也必須充分地注意分布在广大地区上的、地方性的水道建設；不仅要結合工业布局为工业生产服务，而且也必須紧密地結合广大农村对交通运输日益增长的要求，为农业生产服务。

我国大部分河流不仅具有开发航运的有利条件，而且都有着丰富的水量及水力蘊藏量，这一方面为包括航运开发在內的水利資源綜合开发創造了极有利的条件；另一方面也要求把水道建設作为水利綜合利用中的一个組成部分，与其他部門的要求取得協調和統一。任何一条水道及运河的开辟都不应仅仅滿足运输上的要求，而且要同时解决水利綜合利用問題，滿足不同經济部門的要求。

建国以来特别是 1958 年以来，由于全国水利建設的蓬勃发展，和遍布全国广大地区的群众性、地方性的水利工程的兴建，同时也为內河航运带来很大的繁荣。不少河流的天然航行条件得到了根本的改造，不少的县和专区結合农田水利建設大搞河网化，开辟許多航道。这些新的航道的开辟和使用反轉来又促进了工农业生产的繁荣和发展。特别是其中广大的地方性的水道建設，对开展农村之間以及城乡之間的短途运输及田間运输，促进城乡交流及人民公社的发展和繁荣，起了很大的作用。就形成全国水道运输网來說，全国干綫网是綱，地区性河运网是目，綱目并举，脉絡相承，才能使物资暢通无阻。

根据河流的自然情况 & 特点，对于河流通航，应当采取綜合治理的方針，即采取渠化与整治相結合的方法。对于水流急、險滩多、水量不足的河段，一般見之于河流的上游，以采用渠化为宜，即借助于水工建筑物的壅水作用以增加天然河流的水深。对于河流的断面及水深較大、水量也較多的，如河流的中、下游河段，一般多以采用整治及疏浚等为主，即根据水流运动及河床演变的規律来导治、加深航道，并維持航道的稳定。此外，并須調节天然河流洪水及枯水期的流量分配，使之尽量均匀减少洪水和枯水对通航的影响。在平原地区，河网化是水道建設的主要方法，它便于結合农田灌溉、排水等的要求，便于干綫与地方性水道的結合。

我国的主要河流都是自西向东流入太平洋的，因而內河航道的东西里程长、水深大，并且与沿海航綫相联接。这对河海通航联运、密切沿海与內地的联系方面形成了十分便利的条件。但另一方面，对于南北航运則多只靠支流，其通航里程較短，而且航道一般也較窄淺。随着社会主义建設的发展，南北各地物资的交流数量日益增多，这一状况已經愈来愈不能滿足运输的要求。为了沟通南北，形成全国统一的水道运输网，根据我国地理条件和自然特点，修建几条規模巨大的人工运河，将南北几大水系連接成网将是必要和可能的。

开凿南北方向的人工水道不仅是水道运输事业的要求，而且也是其他国民經济部門以及改造我国自然面貌的一项共同的要求。我国水利資源的分布在地区上是不平衡的，总的說来是南方水量丰富而且有余裕，而北方則水量缺少，偏于干旱。改造华北、西北干旱地区的面貌，解决水源問題，是我国社会主义建設和共产主义建設中的一项偉大任务。而根据我国的

自然地理特点，采用南水北調修建巨大的輸水工程来从根本上解决这种水量分布在地区上的不平衡是完全适合我国的情况的。

南水北調的工程規模巨大，技术复杂，但这一宏偉的理想在我們社会主义建設事业中在不久的将来必将成为生活中的现实。那时我們將改变我国大部河流为东西流向的自然形势，用几条长虹似的南北向的人工长河把全国各大江河沟通起来并且与海洋連接，从而建成全国江河統一的、互相連接的水利水运系統。这样不仅解决了南北运输的問題，而且結合蓄水工程将从根本上保証多水的地区在多水的季节不患水澇灾害，而少水的干旱地区缺水季节，有水可用，不受干旱的威胁。同时，沿运河綫路可以修建許多水电站，为工农业生产提供大量的动力。这是摆在每一个水利、水运工作者面前的一项光荣而又艰巨的任务。

第一篇 內河船舶

第一章 內河船舶的特点及其頂拖船队

§ 1-1 概 述

水道是船舶航行的道路，为了使船舶在內河水道上通行无阻，需要采取一系列技术上和工程上的措施。例如，合理地规划航道的尺度、对天然河流进行整治以改善通航条件、設置通航建筑物使船舶順利地通过梯級河段等等，这些問題是本課程的主要内容。很显然，如要学好本門課程，正确地解决內河水道及其通航建筑物的設計問題，必須对內河船舶及其頂拖方法有比較深刻的了解。

船舶的一般知識已在“港口工程”課中讲过。因此，这里只討論內河船舶的特点和頂拖船队。

§ 1-2 內河船舶的类型及其特点

一、按航行条件分类及各类船舶的特点

凡航行于天然河流、运河、天然湖泊及水庫的船舶統称为內河船舶（简称河船）。河船按其航行地区及其航行条件的不同，又可分为江河船舶和湖泊船舶两类。

內河船舶与海船比較，由于它們的航行条件不同，除有一般共同性之外，还具有其不同的特点。这些特点对于江河船舶和湖泊船舶也是不同的，茲分述如下：

1. 江河船舶的特点 是由江河（包括天然河流和人工运河等）的通航条件所决定。这些条件是：风浪小；河道深度和宽度有限；河道弯曲；河道上設有桥梁和通航建筑物；水流速度較大（指天然河流）等。江河船舶的主要特点是：

(1) 具有較輕型的船体結構。目前除大型船舶都采用鋼质船体之外，木质船体在江河船舶中仍占較大比重。最近，为了降低船舶的造价和增加其耐久性，开始試造玻璃絲水泥船、鋼絲网水泥船、塑料船以及草席船等。

(2) 船舶的吃水較小，一般不超过 4.0 米，航行于淺水河道中的船舶，吃水只有 0.3~0.5 米。但船宽和船长与相同載重量的海船比較則大得多。

(3) 江河船舶的最小干舷高只有几十厘米，而海船則高达几米。

(4) 江河船舶沒有很高的上层建筑物、桅杆和烟筒，所以船高較矮。

2. 湖泊船舶的特点 按航行地区划分，湖泊船舶属內河船舶类；但由于湖泊和水庫（特别是近来建成的大型水庫）的水深大，水面寬闊，风浪較大（波高可达 2.0~3.0 米），故湖

泊船舶的特点接近于海船。

应当指出，由于对天然河流航行条件的逐步改善和通海运河的建成，为了减少货物在运输中的转载，要求沿海船舶直接驶入大江大河和通海运河，这种船舶不但要适应沿海的航行条件，而且又应适应江河的航行条件，称为江海船舶。另外，由于在天然河流上出现一系列的水库，各梯级河段几乎连接起来，这样，天然河流的航行条件已接近湖泊和水库，所以江河船舶和湖泊船舶的特点已渐趋一致，形成一种新型的船舶，这种船舶的特点与江海船舶类似。

二、按行驶方法分类及各类船舶的特点

按行驶方法，船舶可分为机动船舶和非机动船舶两大类。机动船舶主要包括有客船、客货船、货船、机动货驳和拖轮。非机动船主要是驳船。

1. 客货船和客船

客货船主要是用作运送旅客，但为了充分利用它的载重能力，同时也为了压舱的要求，在下面的舱内也装载一定数量的货物，这种船舶的货舱一般是侧向开门的。客货船一般作成单层船和双层船，大型客货船也有作成三层船的。双层船用得比较普遍，在桥下净空尺寸受到限制的河流上多采用单层客货船。客货船的马力为 100~1000 匹（指示马力），载客量 100~900 人，载重量达 1000 吨。客船只运送旅客（不少于 10 人）和少量的行李。多为市内和市郊交通的客艇。远程航行的客船主要作为水上休养和游览用。近年来出现一种新型的快速客船——水翼船（图 1-1），其航速每小时可达 70 公里，载客 40~130 人。这种船装有水下的或空气中的螺旋桨，水下螺旋桨用于有足够水深的条件下，空气螺旋桨用于深度有限的河流（要求水深仅有 20 厘米）。水翼船在行驶时吃水很小（只有几厘米），漂浮于水面上。水翼船在我国已试制成功，并曾试航于长江中。水翼船是内河有发展前途的一种客船。

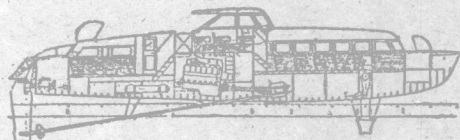


图 1-1 水翼船

2. 货轮和机动驳船

货轮可分为干货轮和油轮两种。它的优点是速度快（在静水中每小时达 18 公里左右），机动性高，可直接靠离码头和过闸，省去编解船队作业。缺点是吃水大，造价和维修费较高。货轮一般见于水深足够的河流上，用以运输远程快速货物，它要求港口有较高的装卸效率。目前货轮在内河运输中所占比重很小，但随着河道的水深增大和造船业的发展，货轮将来在内河运输中有一定的发展前途。

机动驳船的船体为驳船型，但它装有推进器和发动机。一般系用螺旋桨推进器和轻型的发动机（内燃机和煤气机）。机动驳船的建造容易，造价低，维修容易，但它的航速比货轮低（在静水中航速每小时为 12 公里左右），航行性能不如货轮。它一般适用于运输大宗货物（煤、矿石等），也可作拖头用，在我国内河中应用比较广泛。

3. 拖轮

拖轮（包括推轮）是作为顶拖非机动船和木排用的，本身不载货，乃是一种牵引工具。拖轮的主要技术指标不是载重量而是马力。主机所发生的马力称为指示马力；它经过各种机

械摩擦損失以后产生拖輪的推进力，产生推进力的馬力称为**有效馬力**。推进力一部分消耗在拖輪本身的阻力上，剩余的部分用以拖带船队，这部分力量称为**拖鉤牽引力**，相当于这时的馬力称为**牽引馬力**。牽引馬力与指示馬力的比值称为**牽引系数**。当航速为8~10公里/小时时，螺旋桨拖輪的牽引系数約为0.31~0.36，明輪約为0.41~0.43。內河拖輪按航道深度分为**深水拖輪**和**淺水拖輪**。深水拖輪的吃水在1.0米以上，主机馬力从200~1000匹馬力以上；淺水拖輪用于淺水航道，吃水在1.0米以下，最小者吃水仅为0.3~0.5米，甚至可小到0.2米，主机馬力一般在200匹以下，但也有大于200匹馬力的。

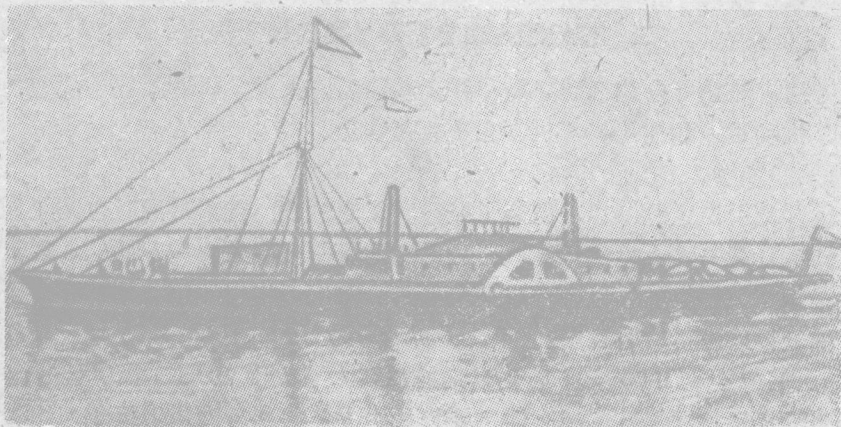


图 1-2 明輪拖輪功率2000匹馬力，船長74.5米，船寬10.7米，艀高4.0米，吃水1.6米

內河拖輪按推进器型式分，主要有**螺旋桨拖輪**、**明輪拖輪**（图1-2）和**噴水拖輪**（图1-3）三种。对于深水航道，螺旋桨拖輪具有明显的优越性。但在寬淺航道中，由于明輪拖輪的牽引效率比螺旋桨拖輪效率高，而得到較广泛的采用。噴水拖輪，由于它的推进功率不受航道水深的影响，一般用于特淺航道中（例如水深小于0.8米）。



图 1-3 噴水拖輪示意图

內河拖輪的主机型式有向內燃机发展的趋势。但在目前我国石油产量还不丰富的情况下，在深水拖輪中蒸汽机仍占有一定地位。在小型的淺水拖輪中可采用煤气机，用木炭和白煤作燃料，因为它具有輕便、吃水小、容易建造和利用当地燃料等优点。

推輪按其工作方式來說，与拖輪有所不同，但它們在技术性能方面，基本上相同。推輪的特点是要求具有坚固的艏結構，較高的駕駛台（舵楼），及較大的舵力。对于大多数現有的拖輪，稍加改装和加固后，即可作为推輪使用，但是由于頂推法的广泛采用，今后有大量建造适合頂推船队要求的專門推輪的趋势。

4. 駁船

駁船是非机动船的一种。占內河船舶总吨位的90%以上（包括木帆船）。

駁船按船体材料可分为鉄质、木质和鋼絲网水泥等，其中以鉄駁較佳。但現在我国木駁，特别是木帆船，仍占有很大比重，因而应该重視这部分的运输量。目前我国已广泛采用了輪木結合运输法，即于下水时把巨大数量的木帆船（最多达67艘）編成船队，用拖輪拖

带或用推輪頂推。

駁船按甲板开敞程度可分为甲板、半甲板及敞口或无甲板駁船。甲板駁船具有全通甲板，艙口总面积不超过甲板面积的 25%。半甲板船的艙口总面积在 25~50% 之間。敞口駁船或无甲板駁船系指艙口总面积大于 50% 或沒有甲板的船。

駁船的艙和艙的形状常見的有箱形、撬形、杓形、方头杓形等四种（图 1-4）。艙和艙的形状可以采用相同的，也可以采用不相同的。杓形艙和楔形艙所受水的阻力最小，并易于保持航行的方向，故多采用于拖带船队中的駁船和湖泊駁船。箱形和撬形的艙和艙可使船舶甲板呈长方形，便于頂推，故常見于頂推船队中的駁船。撬形的艙所受阻力比箱形小，撬形艙便于装置舵，因而撬形的艙和艙比箱形用的普遍。最近在頂推船队中出现一种既便于頂推而阻力又較小的方头杓形艙艙的駁船。

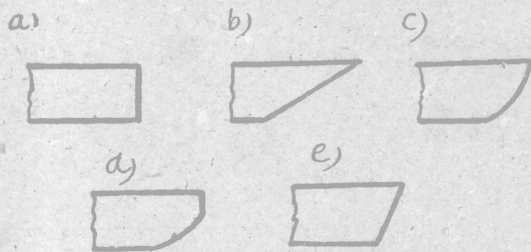


图 1-4 船舶艙艙形状

a) 箱形; b) 撬形; c) 杓形; d) 方头杓形; e) 楔形

作为拖带船队中的駁船都有舵和錨的装置，需要船員在駁船上进行操纵。頂推船队可由推輪的舵来操纵，所以頂推船队的駁船可以不設置舵和錨的装置，因而使之有可能向“无人駁”方向发展。目前在頂推船队中已开始采用分节駁船，分节駁船一般由 3~8 节組成，其中包括艙段和艙段，分节駁船的特点是没有上层建筑，沒有舵和錨的装置，它的造价低，营运性能好，編队系数（定义見 § 1-3）小。分节駁船也可以用于拖带船队中。

頂推船队中的駁船，如采用現有駁船，根据船体結構的情况，需要适当地加固，特别是直接位于推輪前面的駁船，应加設坚强的假艙，以承受較大的推力。

駁船的載重量从几十吨到几千吨，最大油駁的載重量甚至超过一万吨。干货駁船的一般載重量为 500~5000 吨。在河运干綫上行駛的駁船，載重量一般为 500~3000 吨，其长度为 60~90 米，宽度为 9~15 米，滿載吃水 1.5~3.2 米。

船体的形状与船舶营运性能、操纵性能和經濟性能有重要关系。船体的形状一般以綫型图来表示，船体主要尺度比值和形状系数也可用来表示船体的形状。內河船舶主要尺度比值及形状系数值列于表 1-1 中。

§ 1-3 船舶編队及其頂拖方法

一、船舶頂拖方法的发展及其重要意义

在帆船时代，船舶行駛的动力主要是风力和水流。在逆流和頂风时，則采用所謂拉綽方法，即在岸上用人力、畜力或机械来牵引船舶。用人力和畜力拉綽，不但速度慢而且拖运量也少，目前已很少采用。用机械牵引（有軌的蒸汽機車，內燃機車，无軌的汽車，拖拉機）由于受河岸地形和河道上建筑物的限制，也只能用于局部較短的河段和人工运河上，所以也沒有得到普遍的采用。

目前在內河中，广泛采用机动船和駁船队来运输貨物。机动船和駁船、拖輪已在前节中

內河船舶主要尺度比值及形狀系数

表 1-1

船 舶 类 型	功率或載重量	L/B	L/H	B/H	T/B	方形系数 δ 的限度	船舶横剖面 系数	載重水綫 面积系数
蒸汽机螺旋桨拖輪	100~400馬力	4.2~6	7.2~15.8	2.2~2.8	0.22~0.53	0.54~0.7	0.8~0.88	0.74~0.82
蒸汽机螺旋桨拖輪	400~1200馬力	4.8~5.2	11.5~12.5	2.3~3.1	0.2~0.3	0.52~0.6	0.8~0.88	0.74~0.82
內燃机螺旋桨双层客貨輪	400~1200馬力	7.8~9.6	25.5~28	3.0~3.4	0.12~0.19	0.6~0.75	0.98~0.99	0.75~0.86
內燃机螺旋桨貨輪	500~800吨	6.9~8.7	18.8~28.8	2.7~4.0	0.12~0.22	0.73~0.78	0.99	0.85~0.87
干貨甲板駁	150~1000吨	4.4~5.5	20.5~25	4.6~6.0	0.09~0.18	0.81~0.9	0.99	0.85~0.95
干貨甲板駁	100~400吨	5.25~7.2	25~29	4.0~5.2	0.16~0.185	0.85~0.9	0.99	0.85~0.95
油 駁	1000~4000吨	3.8~6.8	26.4~30	5.0~7.1	0.11~0.19	0.82~0.89	0.99	0.85~0.95
側明輪拖輪	150~400馬力	6.3~7.6	16~23	2.9~3.2	0.12~0.185	0.79~0.83	0.99	0.84~0.88

叙述, 本节主要討論頂拖駁船队的編队及其頂拖方法。頂拖运输方法是将若干艘駁船編成一定的队形用拖輪拖帶和推輪頂拖行駛。頂拖运输法不但比古老的帆船和拉棒运输方法优越, 而且与現代的貨輪运输来比較也有許多优点: (1) 每匹馬力的拖运量大, 运输成本便宜, 特别适合于慢速大宗貨物的运输; (2) 船舶的建造和修理养护容易, 造价和維修管理費用低廉; (3) 吃水較小, 要求航道和港口的水深不大。这不但减少了航道和港口工程的建設投資, 而且可能在水深較淺的河流上大力发展航运事业。

二、頂拖运输方法的种类及其优缺点

頂拖运输有三种方法: 綁拖法、拖帶法和頂推法。

1. 綁拖法是拖輪把駁船綁靠在舷側帶着行駛, 一般只能綁拖兩艘駁船。这种方法是我国解放前和解放后初期在內河中广泛采用的。其主要缺点是行駛时阻力大, 因而拖輪的生产率很低, 上水时每匹馬力只能拖 2 吨貨物, 下水时也只能达 3 吨左右。这种方法目前在远程內河运输中已被淘汰, 有时还采用于港內倒載运输和短距离运输中。

2. 拖帶法是把若干艘駁船編成一长列队形 (图 1-3), 拖輪用拖纜在前面拖引船队前进, 这种方法又称为一列式拖駁运输法。这种方法解放以前在我国的个别河流上 (如珠江、苏州河以及鎮江至淮阴一段的运河) 就已采用, 但仅停留在自发的落后阶段。解放后, 由于吸收了苏联的經驗, 一列式拖駁运输法在 1951 年开始进行試驗, 先后在我国松花江、黑龙江、长江、閩江等实行, 到 1952 年已普遍推广到全国各河上。

拖帶法与綁拖法比較, 它的主要优点是船队所受的阻力小, 拖載量大。这两个优点集中地表现在拖輪单位馬力的生产力上, 我国截至 1956 年止, 一般上水为 7 吨左右, 下水为 15 吨左右, 比未实现一列式拖帶法以前增加 5 倍以上。

3. 頂推法是把駁船編成一定的隊形，用推輪在后面頂推前進（圖 1-8）。頂推法自 1953 年開始在我國主要河道（如黑龍江、長江、松花江等）上推廣實行，並且發展很快。

頂推法比一列式拖帶法更加優越，據 1956 年我國各地實行的上水頂推法所取得的成績表明：載運量與拖帶法相同時，其航速一般提高 15~25%；在保證一般航速時，上水時每匹馬力拖運量最高達 14.5 噸，燃料消耗一般也降低 10% 左右。

在技術條件比較好的航道上，例如干綫航道和運河，目前都採用頂推法。而拖帶法只在風浪較大的沿海、湖泊及河段和航道彎曲而狹窄的河流還在繼續採用。

三、船隊阻力及編隊系數

在研究船隊所受阻力之前，先簡單介紹一下單個船舶所受到的阻力。船舶在水中行駛時，主要受兩種阻力：摩擦阻力和剩餘阻力。摩擦阻力是由于水的粘滯力而產生的，它與船體表面的糙率 and 航行速度有關。由于水的粘滯性，當船舶行動時，把靠近船體兩側的水體帶動，這樣所形成的水流稱為附隨水流，其靠近船舷的水流速度最大，約為船舶的航行速度的 45~58%，愈向外愈小，一直到零（圖 1-5）。這一附隨水流層稱為界層，其厚度從艏向艉逐漸增大。

剩餘阻力包括渦流阻力，興波阻力，風的阻力和水下附件阻力。在內河中，其中以渦流阻力為最大。渦流阻力是由于船舶運動時，艏沖開水體，艉後產生渦流，使艏壓力大於艉壓力而產生的（圖 1-5）。

由此可知，如果把駁船一個接一個排成一列，位於后面的駁船，就受到前船附隨水流的有利影響，同時由于後船艏位於前船艉的渦流區域，故船隊的摩擦阻力和渦流阻力都比單船行駛時有所減小。

駁船隊阻力的大小，常以相對阻力表示，這個相對的阻力稱為編隊系數；它等於駁船隊的總阻力與各個駁船單獨行駛時的阻力總和的比值。編隊系數的大小主要決定於編隊的形式、方法及航行方向（上水和下水），同時也受船隊的航速、航道情況（寬度、深度、河底坡降及水流流速）及駁船的尺度、船體形狀和材料等影響。編隊系數的大概數值見表 1-2^①。

整個船隊的阻力等於駁船隊的阻力加上拖輪或推輪的阻力。推輪由于放在駁船隊的后面，受到駁船隊附隨水流的有利影響，其所受的阻力比拖輪小得多。

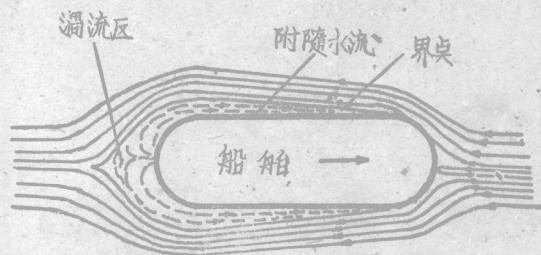


圖 1-5 船行時所產生的水流

四、拖帶法的隊形及編隊

駁船的編隊有三個基本要求，即阻力最小（也就是編隊系數最小），操縱方便和堅固安全。我國和蘇聯目前所採用的上水隊形，有單排一列式、筒狀一列式和天平一列式三種，下水隊形有雙排一列式和多排一列式（圖 1-6）。各種隊形中的駁船數目可多可少。

上水航行時，單排一列式最佳，因為這種隊形的阻力最小。這種隊形目前在寬而深的河

① 表 1-2 系蘇聯資料。