

绪 论

历史上,世界各地大多数政治、经济和文化中心都是沿水运发达的河流两岸发展起来的,水运曾极大地促进了人类文明的发展。今天,水运因为有运量大、成本低和能耗少等许多优点,仍在经济领域发挥着重要作用。一个万吨级的船队相当于几列火车的运量,而消耗能量相对要少得多。正因为水运具备环保、节能和大运量等优越性,许多发达国家的大型企业多沿河建造,企业的建立又促进了水运的发展,充分利用水运是当今世界各发达国家的宝贵经验。

航道是水运的首位要素,要发展水运首先应加强作为基础设施的航道工程建设。航道是船舶能够安全航行的水面区域,并非所有自然状态下的河流均能满足安全航行要求。为了使河流湖泊中的这些部位满足航行要求,常常需要采取一定的工程措施,这就是航道工程。同时,为了增大船舶运量和延长通航里程,也需在河流上实施航道工程建设。

在工业化过程中,美国、俄罗斯和西欧各国分别利用当地的自然条件,建立了以密西西比河、伏尔加河和莱茵河为主干的连接江河湖海的标准统一的航道网,大大促进了当地社会经济的发展。我国地处温和湿润的北温带,河湖众多,海岸线长,有发展建设航道的良好自然条件。江河湖泊水量充沛、多数冬季不冻。很早以前我国人民就有目的地开发建设航道,战国时代就开凿了胥溪,将太湖和长江等连接起来;秦代开挖灵渠,沟通了长江、珠江两大水系;举世闻名的京杭大运河,沟通了海河、黄河、淮河、长江和钱塘江等五大水系。

新中国成立以后,国家对航道建设极为重视,航道建设事业又有了巨大的发展。在航道疏浚、整治、炸礁、渠化、开挖运河以及河口治理上,均取得了许多新的成就。例如著名的川江(长江上游宜宾至宜昌河段)全长约 1000km,是沟通大西南与我国东部的水运干线。1949 年前,川江从未进行过整治,航道长期处于自然状态;特别是其中著名的三峡河段,自古被称为天险。新中国成立后,国家大规模地进行了整治,川江通航条件得到了极大的改善;尤其是随着三峡工程的建设完成,通航条件得到了根本的改善,通航水深已超过美国密西西比河上游渠化后的 2.74m。另外,随着我国对外贸易的发展,长江口通过大规模整治,通航水深已经达到 12.5m,万吨级海轮每日可进出上海港,且可直达南京,目前正在为长江下游进出更大吨位的船舶而努力。珠江口、闽江口、瓯江口、甬江口等也都进行了大规模的整治和疏浚工程,均取得了成功,在河口航道治理方面积累了宝贵的经验。此外,众多的内河如珠江、西江、北江、淮河、松花江、湘江、沅水、赣江、汉江、右江、闽江、嘉陵江、岷江和大渡河等,以及洞庭湖和鄱阳湖航道也都进行了系统的整治,在通航条件的改善方面取得了显著成效。

长度位居世界第三的长江,横贯我国中部,跨越西南、中南和华东地区,具备良好的航道建设基础条件。随着长江流域经济的快速发展,长江黄金水道规模化、集约化的水运能力不断提高。2014 年长江干线完成货物通过量 20.6 亿吨,再创历史新高。这也是自 2005 年长



江年货物通过量首次跃居世界内河榜首后,连续 10 年夺得世界内河第一,实现“十连冠”。长江已经成为世界上内河运输最繁忙、运量最大的通航河流,长江黄金水道对沿江经济的推动作用越来越明显。

目前我国的航道建设与世界上先进发达国家相比,一些方面还比较落后,优越的水运资源还未充分开发和利用。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。由此,增加了运输成本,限制了水运优越性的充分发挥。近年来,国家对交通基础条件进行了大规模的投资建设,水运的基础条件也得到了很大的提高。内河水运要保持其竞争能力,发挥出优势,必须有标准比较高的通航航道网络。航道标准的高低和航道是否成网,对提高水运效益的关系重大。根据国外航道网建设的经验,在开发干流的基础上,必须抓紧支流航道的建设。例如,美国建设密西西比河的支流俄亥俄河、阿肯色河等,德国建设与莱茵河沟通的内卡河、美因河、摩泽尔河等。按照我国交通运输部的规划和安排,正在逐步扩建长江的支流汉江、湘江、赣江、信江、岷江、昌江以及淮河的支流西肥河、沙颍河等。为发展直达运输,江海联运和水陆联运,充分发挥水运优势而创造条件。近年来,我国对江河湖海进行了大规模的整治,航道的标准在不断提高,长江干线、京杭运河已经成为世界上运量最大的通航河流和运河,且水运能力的增长空间仍然巨大。随着我国综合国力的逐步增强,一个标准统一、四通八达的水运网络正在形成,配合信息技术的应用和管理的加强,水运事业的面貌必将大大改观。

2014 年 12 月 28 日全国人大常委会第八次会议通过《中华人民共和国航道法》,2015 年 3 月 1 日开始施行。航道法的颁布对开发、建设和保护航道,促进水运的发展具有极其重要的意义。航道法能使内河航运建设事业在一个有法可依、有章可循的法治环境下更好地发展,进而促进经济的腾飞。

以往在改造和利用河流方面积累的丰富经验,对今后从事航道整治工作具有很大的指导和借鉴作用。随着河流动力学等基础学科的发展和施工技术的不断进步,航道整治学科的发展已经进入了着眼长河段、考虑全方位综合治理的新阶段。与发达国家相比,我国在整治工程建设中采用新材料、新技术还不够;中小河流整治施工中效率还不高;河道原型观测投入不够,资料收集赶不上工程设计和理论研究的需要;特别是新型电子和信息技术的应用还远远跟不上技术本身发展的进程。

整治好航道必须首先掌握河床演变的基本规律,因此河道演变分析是进行航道整治的前提和基础。河流变迁十分复杂,受自然条件影响很大,不同的水文、气象、生态、地质和地貌条件下,河流演变过程差别很大,目前还难以做到准确、定量预报河床变形。同时滩险情况千差万别,即使在同一河段上,也难找到地质、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。河流的整治必须因滩而异,不能生搬硬套教科书上的或别的滩险的整治方法。目前提出来的一些设计理论和计算方法,受前提条件的限制,都有一定的局限性,远远不能达到结构设计那样的精度。因此要加大原型观测的力度,在工作中深入现场掌握第一手资料,调查研究滩险的基本演变规律,在认识滩险的基础上确定相应的整治方法和措施。必要时,可进行模型试验或数学模型计算,强化对河段和滩险的认识,验证整治效果。目前,新观念、新技术不断出现,应努力将这些新的材料、方法、结构等应用到航道整治工程中来,解决新环境下航道工程建设中的问题。

本教材内容的取舍力求符合新的国家专业技术标准、工程技术规范及工程技术发展的特点。读者要针对不同情况,灵活应用整治工程的一些技术原则和原理,注意理论与实际的结合,树立综合利用水利资源和可持续发展的理念,注重锻炼综合分析问题和解决多目标问题的能力,学会在大量错综复杂的资料中,通过对一些成功事例的分析,不断修正和提高对课程内容的认识,为今后从事专业工作打好基础。

第一章 航道与航道工程

航道是发展水上运输的基础,它既受自然演化的影响,也受人类活动的干扰。本章从自然和人类影响两个层面出发,介绍航道和航道工程。

第一节 航道与通航水域

一般意义上,船舶及排筏能够通达的水域就是通航水域。从交通运输的角度来看,应该将具有能让营运船舶和大中型排筏通达的水域定为通航水域。由于不同水位期的通航水域是变化的,而且在具体界定航道时受许多因素的影响,因此不能简单地将可通达水域认为就是航道。

广义的航道与河道或基本河槽等同,常用水道(英文用 waterway)一词来表示。可以把航道理解为包括常遇洪水位线以下的基本河槽,或者是中高潮位以下的沿海水域的水道和河道整体。

狭义的航道等同于“航槽”(navigation channel),除了运河、通航渠道和一些水网地区的航道以外,航道的范围总是小于河槽的范围。这是因为航道应当有尺度标准和设标界限,航道位置会随河道演变和水位变动而随时移动,航道尺度也可以随季节与水位变化以及整治工程产生效果而有所变化。

在天然河道、湖泊、水库内,航道的设定范围总是只占水面宽度的一部分而不是全部。用航标标出可供船舶航行的这部分水域,既是确保航行安全的需要,也是客观条件的制约。因为在天然条件下,不同水位期能供船舶安全航行的水域,不仅要有足够的水深,而且要有平稳的流态,这样的水域不可能是无限宽阔的,在某些地方,还受过河建筑物的限制。因此,狭义的航道是一个在三维空间上既有要求,又有限制的通道。

可以明确地定义航道如下:为了组织水上运输所规定或设置的船舶、排筏航行通道称为航道。这里所谓的“规定”,是指在图纸上画定或在现场标志出;所谓“设置”,是指用疏浚或建筑物导治而形成的通道。一般说来,航道标准尺度应满足一定船舶(队)安全、方便地航行,为此对航道有以下的基本要求:

- (1)应有足够的水深、宽度和弯曲半径;
- (2)适合船舶航行的水流条件,包括适宜的流速,良好的流态;
- (3)水上跨河建筑物应满足船舶的通航净空要求。

对于上述几个方面要求,天然状态下的河流不是都能满足的。平原河流及河口段,常常由于泥沙堆积造成水深不足,出现所谓的浅滩。山区河流由于河床边界一般为岩石,除有些河段水深和宽度不足外,有些河段落差大,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,并存在险恶的流态,驾驶中容易发生事故,这样的河段即所谓险滩。

航道可以根据多种原则进行分类。

1. 按航道的级别划分

许多国家都制定了航道分级标准,我国将航道由高到低分成 I ~ VII 级,达不到 VII 级标准的航道称为等外级航道。

2. 按航道的管理属性划分

根据管理属性,可将航道划分为国家航道、地方航道和专用航道。国家航道系指构成国家航道网,可通行 500 吨级以上船舶的内河干线航道,跨省、市、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、使用的航道。

3. 按航道所处地域划分

按航道所处地域可分为内河航道和沿海航道两大类。

内河航道包括河流、湖泊和水库内的航道,以及运河和通航渠道。其中,河流航道又可以分为山区河流航道、平原河流航道和潮汐河流航道。

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。例如,德国在《联邦航道法》中将沿海航道规定为:“系指位于中高潮位时,海岸水线、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;以及导堤或防波堤一侧或两侧的进港航道。”目前,我国还没有对沿海航道进行具体界定,为了理顺管理体制,有必要对其进行科学的界定。

另外,还可以根据航道的形成因素,将航道划分为天然航道、人工航道和渠化航道。湖区航道还可分为湖泊航道、河湖两相航道和滨湖航道等。根据航道的通航时间的长短分为常年通航航道和季节通航航道;根据有无对通航的限制划分为单行航道、双行航道和限制性航道等。

第二节 航道标准及航道尺度

一、内河船舶的航行方式

根据船舶的动力条件,内河船舶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,需要由机动船带动行驶。根据已经发布的国家标准、行业标准及各大水系的现实情况,内河货运船舶包括分节驳、普通驳船、机动驳船、普通货船、内河集装箱船及江海直达货船等几大系列。在内河上常见船舶编队航



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,比单船行驶运输成本低。目前我国内河上推荐采用的编队方式为普通驳顶推船队和分节驳顶推船队,拖带船队多在河道的下游及平原水网地区运营。

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尾流冲击到驳船队,避免加大船队的水流阻力,一般要求拖轮与第一艘驳船之间的缆索长度较长,具体长度按拖轮的动力大小而异。在航道尺度允许时,为了减小船队阻力,逆流行驶时,可以采取多排一列式,如图 1-1a) 所示,顺流行驶时,可以采用多排并列式,如图 1-1b) 所示。拖带船队的编队方式行驶时的阻力大,运价高,但由于它是软联结,要求的航道条件可以低些,弯曲半径较顶推船队为小。

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 1-2a) 所示,顶推船队较拖带船队有以下优点:

(1) 阻力小,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) 顶推船队联结为一个整体,偏转摆动幅度小,增加了船队的稳定性。

(3) 顶推船队的船员数量相对大大减少。

(4) 编队、解队的作业简便快速,提高了劳动效率。

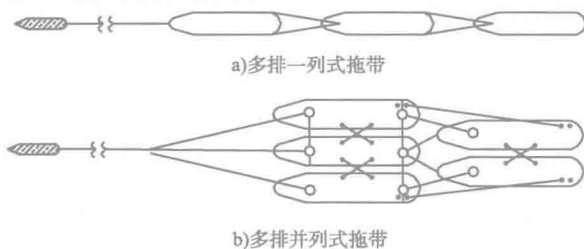


图 1-1 拖带船队

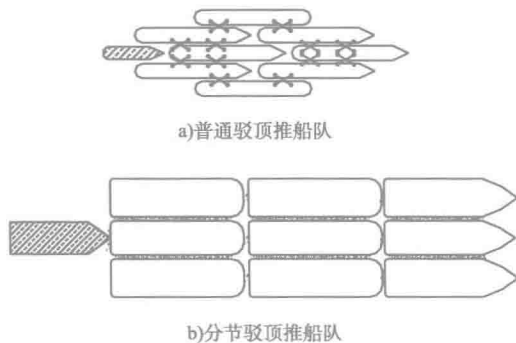


图 1-2 顶推船队

1980 年代开始,我国长江及其他一些水系,推行了分节驳顶推运输方式。分节驳顶推船队类似铁路列车,由许多艘统一规格驳节,编组成一支庞大的船队,由一艘推轮在后面顶推前进,如图 1-2b) 所示。这种船队与普通顶推船队相比,其技术性能和经济指标都显示出明显的优越性,具有如下优点:

(1) 船队的整体线型得到改善,航速可提高 6% ~ 15%。

(2) 由于取消了普通驳船的驾驶楼、舵设备、救生设备和船员住宿等设施,降低了分节驳造价。

(3) 船型丰满,在船队长度不变的情况下,其载重量可增加 8% ~ 14%;若载重量不变,则船队长度可缩短,从而减少造船材料消耗量。

(4) 驳船上可不配船员,节省人力。

(5) 驳船建造易于标准化和系列化;线型简单,便于建造。

(6) 船队驾驶操纵性能较好。

应该注意的是,由于船型的特点,分节驳若单独使用阻力会很大;在同一船队中编入尺度相同的分节驳船,船队的高效才能显现;在装货时要严格控制配载,保证各分节驳船吃水均衡,以形成较好的整体线形。

二、通航标准与航道等级

不少航运发达的国家制定了通航标准,明确了标准船舶(队)的尺度、过河建筑物净空、通航建筑物的尺度和通航水位的规定等。欧洲为了实现跨国的水上运输,还制定了可供有关国家共同遵守的通航标准。同时,依照标准,结合各河流、湖泊的实际情况和通航要求,确定了各区段的航道建设等级,使航道建设、管理和保护具有统一的依据。

航运发达国家的航道等级技术指标有两种,有的以航道尺度为主线,将航道分为各个等级,如俄罗斯;另一种则以标准驳船的吨位及船型作为分级的标志,以控制有关的航道尺度,如西欧。美国虽然没有明确颁布通航标准,实际工作中都遵循一定的标准,结果是其航道和船舶以及水运干线的互通程度很高,形成了四通八达的现代化航道网。譬如,美国密西西比河水系以航道水深作为分级的指标,结合选定船舶吨位和船型,航道按水深分为四级,即 1.83m、2.74m、3.66m、12.20m,其中以 2.74m 为航道网的标准水深,以 3.66m 为航道远景规划水深的目标。

为了使我国水运建设工作经济合理,并符合国家远景发展规划的需要,使全国内河航道相互衔接,逐步形成方便通行的水运网络;同时,使水运建设能与水利、桥梁等有关的建设工作相互协调,充分发挥水运在国民经济中的作用,1963 年 1 月国家计委转发了交通部制定的《全国天然、渠化河流及人工运河通航试行标准》(简称 63 标准)。经过 20 多年的试行之后,交通部于 1980 年组织对《内河通航标准》进行修编,至 1990 年完成,建设部于 1990 年 12 月批准了该标准(简称 90 标准)并于 1991 年 8 月 1 日起施行。《内河通航标准》(GBJ 139—90)颁布实施十余年,对内河航道的建设管理和水资源综合利用发挥了重要作用,取得了显著的社会效益和经济效益。经过十多年的实践,发现 90 标准仍然有些规定不便操作,使用困难,而且条文说明未同标准合在一起公开发行人,不利于对标准的准确理解,出现了简单套用有关尺度的现象。随着水运事业的不断发展,内河船型、船队和运输方式都发生了很大变化,内河航道、通航建筑物和过河建筑物的建设也积累了许多新的经验,为适应新的发展要求,2000 年开始,建设部和交通部组织有关单位,在 90 标准的基础上对原标准进行了修订。2004 年完成并于当年 5 月 1 日开始实施,《内河通航标准》(GB 50 139—2004)(简称 04 标准)总结和借鉴国内外通航技术研究成果和实践经验,并通过大量调查研究、广泛征求意见



和专题研究再次进行了修订。与修订前相比,04 标准调整了原标准中天然及渠化河流航道和限制性航道的部分通航尺度;纳入了特殊宽浅河流、水势汹乱的山区性河流和湖泊、水库航道的技术内容;增加了船闸的规模、工程布置和通航水流条件的有关规定;补充了过河建筑物的选址和布置以及通航水位的有关规定。2010 年后,对 04 标准再次进行了修订,增加了海轮进江航道尺度的确定方法和原则;调整了原标准中天然及渠化河流航道、限制性航道和珠江三角洲至港澳线内河航道的个别货船代表船型尺度;增加了临河建筑物的选址和布置技术要求;将“港口作业区”的用语调整为“码头、船台滑道、取排水口等临河建筑物”;调整了水上过河建筑物与码头、船台滑道、取排水口等临河建筑物的间距要求;补充了过河建筑物、临河建筑物的安全保障措施等。新标准《内河道航标准》(GB 50 139—2014)于 2014 年完成并于当年 4 月 15 日发布,2015 年 1 月 1 日开始实施。

根据现行通航标准,将国内河流、湖泊、水库及规划通航的航道进行等级评定,定为 I ~ VII 航道, VII 以下的内河航道等级,按省、市、自治区、直辖市的交通主管部门的规定自行评定。航道等级评定的原则包括:航道定级应充分考虑航运远期发展的需要;应考虑河道基本条件和开发治理的可能性;要有利于干支直达、江海直达运输,有利于水运主通道和现代化航道的建设;应结合江河流域、铁路、公路、城市、军事、林业、船舶工业等部门的发展规划综合考虑;应综合考虑航道在综合交通运输网和水资源综合利用中的地位和作用及邻省干支航道的等级标准。

三、航道尺度与通航水流条件

1. 航道尺度

根据我国《内河通航标准》的规定,各级航道的尺度是航道工程要达到的标准,系指在设计最低通航水位下滩险河段上保证通航的最小尺度,包括航道水深,航道宽度,航道弯曲半径,以及在设计最高通航水位下跨河建筑物的净空等。弯曲段最小宽度与直线段的值是不一样的,而且,同一等级或档次条件下的航道水深还存在一个幅度。因此,具体确定某个河段的航道尺度时,应该依据不同河流或水域的性质、通航船队船型、过船的密度和运量等情况进行分析论证。

一般地讲,航道标准尺度应保证船舶正常安全航行,并能提供发挥合理运输效益的条件,同时航道工程的投资和维护费用少。因此,它是满足一定船舶(队)安全有效航行条件下的最低技术标准。凡客观条件许可,无需增加航道工程费用,或费用虽有增加,但经论证仍属合理的情况下,可采用较大的航道尺度。

航道尺度的选择,应根据航道条件、工程量(包括基建性和维护性工程量)以及运输效益确定。大的江河具有能获得大的航道尺度的自然条件,能航行大的船舶,能满足大的货运要求;小河达到较大的航道尺度就较困难。图 1-3 表示航道尺度与成本的定性关系,说明如果航道尺度提高,花在工程方面的费用必将增大;但由于大的航道尺度能满足较大船舶(队)

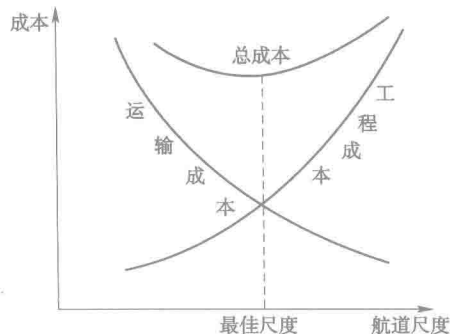


图 1-3 航道尺度与建设成本关系

航行要求,能使运输成本降低,经济效益提高。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。需要指出的是,图 1-3 中的两条成本曲线涉及的因素较多,绘图和分析时需要进行深入调查研究,充分掌握第一手资料,否则无法正确地反映两因素的合理关系。

2. 航道水深

航道水深是航道尺度中最为直接的一项尺度。航道水深决定着船舶的航速和载重量。一般在平原和河口地区,航道水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道水深问题。

航道标准水深是指设计最低通航水位下航道范围内的浅滩最小水深,其定义参见图 1-4。航道标准水深一般包括船舶的标准吃水和富余水深,可用下式表示:

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

式中: H ——航道水深(m);

T ——船舶吃水(m);

ΔH ——富余水深(m)。

船舶吃水 T 是指代表船型的设计吃水。在设计驳船时,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,长江中游的一种油驳标准载量 3000t,标准吃水为 3.3m,而其最大载重量约为 3300t,最大吃水是 3.6m。

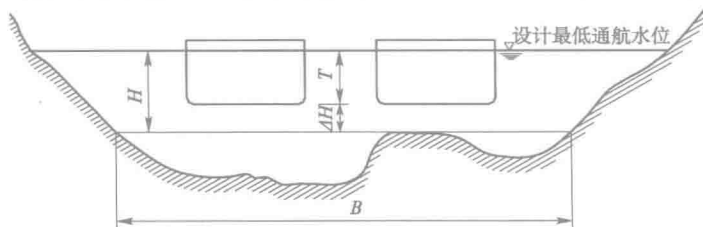


图 1-4 航道标准水深定义图

富余水深是指船舶在标准载重时,处于静浮状态船底龙骨下至河底的最小距离。在确定航道标准水深时,富余水深应着重考虑下列两项因素:

(1) 船舶航行下沉量 ΔH_1 , 也称动吃水。船舶航行时,因绕流作用,其四周流速增大,水位下降,水压力降低,船体下沉,因而吃水增加。船舶航行下沉量主要受航道水深所制约,随航道水深的减小而增大,浅水中船体下沉量比较大。 ΔH_1 还与船舶的航行速度有关,随航行速度的增大而增大;另外与航道断面系数和船型也有关。就天然(渠化)河流的航道而言,主要是浅水影响。我国的船模试验资料表明,分节驳船队当 $\frac{H}{T} > 5.5$ 时,浅水影响可不考虑。

在确定航行下沉量时一般以中速为准,因此,船舶在通过浅滩时不得快速行驶。

目前确定航行下沉量通常采用实船试验的方法,有时也采用经验公式估算,其中以俄罗斯霍密尔公式较为简便。

$$\Delta H_1 = m \sqrt{\frac{T}{H}} v^2 \quad (1-2)$$

式中: ΔH_1 ——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 1-1。

航行下沉量系数 m 表

表 1-1

船长/船宽	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

(2)触底安全富余量 Δd 。由风、浪引起的水面下降或船舶吃水增加;船舶编队的吃水增值;为保证舵效,以达到操纵安全灵活所增加的吃水;为保证推进器的安全运转所增加的吃水。所有这些因素,一并归入触底安全富余量中。

富余水深除关系到船舶(队)的航行安全外,还直接影响船舶的航行阻力及操纵性能,随着富余水深增大,船舶航行阻力减小,航速增快,船舶所需的动力大大节省,效益提高。一般说来,内河顶推船队采用的水深吃水比 $\frac{H}{T}$ 不小于 1.2。鉴于我国河流众多,条件各异,航道多处于自然状态,目前大幅度增加航道水深尚较困难,而且船舶航速尚不很高,因此,我国通常采用的 $\frac{H}{T}$ 值在 1.14 ~ 1.43 之间,泥沙质河床浅滩最小富余水深为 0.2 ~ 0.5m,石质河床另加 0.1 ~ 0.2m。

为了减小航道工程费用,同时获得较大的营运经济效益,在航道工程、船舶设计和航运管理等方面都实行“变吃水”的航运措施。

(1)在船舶构造上,使结构吃水(最大吃水)大于标准吃水,例如我国建造的 300t 分节驳标准吃水 1.30m,而最大可装载 350t,最大吃水 1.45m。当水位高于设计最低通航水位时,船舶可加载,这样使得年内大多数时期能获得较大的经济效益。

(2)在航道建设上,规定同一级航道的标准水深有一个幅度范围,标准值的下限等于船舶(队)的标准吃水,上限为船舶标准吃水加富余水深。凡采用小于上限值的航道,在接近或达到最低通航水位时,船舶减载通航。船舶枯水期虽然减载,经济效益有所损失,但航道工程费用可大量减少。

3. 直线航道宽度

航道宽度是指设计最低通航水位时具有航道标准水深的宽度(图 1-4)。航道宽度取值一般以保证两个对开船队安全错船为原则,在船舶(队)航行密度很小,航道狭窄段不长,拓宽工程较大时可采用单线航道。

如图 1-5 所示,双线航道的宽度可用下式表示:

$$B = 2b\cos\alpha + 2L\sin\alpha + C_1 + 2C_2 \quad (1-3)$$

式中: B ——航道宽度;

b ——船队宽度;

L ——船队长度(拖带船队为最大单船长度);

α ——漂角;

C_1 ——船队间的富余宽度;

C_2 ——船队与航道边缘间的富余宽度。

由式(1-3)可概括成两部分,其中 $2b\cos\alpha + 2L\sin\alpha$ 为船舶航行时占有的水域宽度,也称航迹带,而 $C_1 + 2C$ 为航道富余宽度。航迹带不仅决定于船队宽度,还与船队长度,船队操纵性能及航行条件等密切相关。

式中的漂角定义如图 1-5 所示。船舶(队)作直线航行时,常受侧风和斜向水流的外力作用,船舶(队)本身也往往有两侧阻力不均现象,因此需经常用舵来保持航向。此时,船舶(队)纵轴线与航向线之间形成一个角度,漂角的大小主要受制于水流流态。由实船试验可知,由于各河段间的流态不同,引起航向不断发生变化,漂角也随之变化。另外,漂角还受船(队)型及操纵性能和驾驶技术的影响,直线航行的船舶(队)所受的作用力主要是流体动力,不同船型的流体动力和力矩不同,因而漂角不同。目前我国根据实船试验成果,并参照国外资料,一般一级至四级航道的漂角选用 3° ,五级至七级航道的漂角选用 2° 。

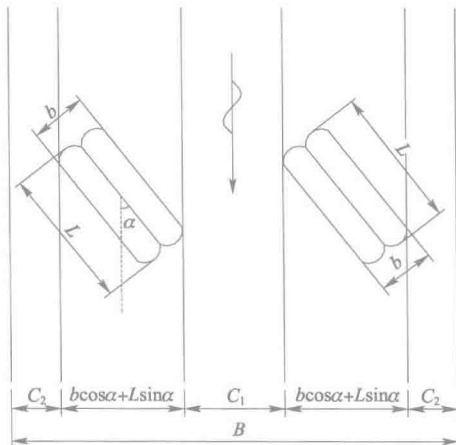


图 1-5 双线航道宽度示意图

航道富余宽度是保证船舶安全航行,不产生船吸和岸吸现象的最小富余尺度,两船队交会时,船队两侧存在着流速差和水位差,形成压力差而产生互吸。船舶与岸线之间的水流有推动船首离岸而引船尾靠岸的倾向,船舶航行时应该与岸线(或建筑物)保持足够的安全距离。影响航道富余宽度的因素有船型、队形、系结方式;船队的航速及推轮的舵效;水流流速,流向、流态;河岸的线形、土质及坡度等。航道富余尺度可由实船试验确定,也可参照下式估算:

(1) 平原、丘陵地区航道:

$$C_1 = 0.7b' + 4$$

$$C_2 = 0.2b + 1.2$$

式中: b' ——会船的两船队宽度的平均值,其他符号意义同前。

(2) 山区航道:

$$C_1 = 0.8b$$

$$\text{IV级以上(含IV级)航道: } C_2 = (0.24 \sim 0.33)b$$

$$\text{IV级以下航道: } C_2 = (0.32 \sim 0.60)b$$

我国目前确定的直段双线航道宽度大致是船队宽度的 4 倍,即 $\frac{B}{b} = 4$,随着航运事业的发展,船舶趋向大型化,高速化,这一比值将会增加。根据资料,美国一般 $\frac{B}{b} = 5.0 \sim 6.0$,西欧 $\frac{B}{b} \geq 4.4$ 。

4. 航道弯曲半径 R 和弯曲航道加宽

航道弯曲半径 R 是指弯曲航道中心线的曲率半径,弯曲半径越大航行越便利。但是受自然河道地形及两岸地物限制,船舶往往不得不在半径较小的弯曲河道中行驶。因此,就规



定一个弯曲半径的最小限值,作为航行保障的一个条件。我国《内河通航标准》中规定航道最小弯曲半径为顶推船队长度的3倍、拖带船队最大单船长度的4倍,特殊困难航道难以达到此值时,弯曲半径可适当缩小,但不得小于顶推船队长度的2倍、拖带船队最大单船长度的3倍。随着内河运输的发展,顶推船队逐步推广,船队尺度日益增大,船舶航速提高,操纵性能改进,弯曲半径的最小限值可适当减小。美国的经验认为他们的船队可以在弯曲半径与船队长度相等的航道中转弯,弯曲半径一般采用船队长度的1.5~2.5倍。

众所周知,航道弯曲后,流向发生变化,面流扫向凹岸,底流指向凸岸。纵向流速在横断面上分布也不均匀,外侧较大,内侧偏小,在凸岸下游,常出现回流或泡漩,流态紊乱。航行在弯曲航道中的船舶,在前进中的同时必须围绕弯道中心旋转,不断改变航向。改变航向的过程,会使船舶承受力矩、离心力和动水压力,船舶必须用较大的漂角来克服这些作用力,因此要求船舶有更高的灵活性和自控能力,亦即是说,当船舶条件相同时,在弯道上行驶的航迹要比直段上宽得多,其宽度随弯曲半径减小而增加。

弯曲航道的航行漂角是指船队纵轴线与通过船队回转中心圆弧的切线间夹角。目前对弯曲航道的研究多将航道宽度同弯曲半径结合在一起考虑,而集中注意船舶(队)转弯时的航行漂角。因为漂角最能代表船舶(队)在弯道航行时的航态,反映船舶(队)尺度、弯曲航道尺度、流速、航速等多种因素的关系。根据我国实船试验并结合国外的研究资料,影响漂角的各项因素有:

(1) 弯曲半径:漂角 α 与比值 $\frac{R}{L}$ 呈反比关系,此处 R 为航道的弯曲半径, L 为船舶(队)长度。

(2) 弯道圆心角:在弯曲航道中航行的船舶(队),其漂角是变化的。当弯道圆心角较大时,产生的最大漂角亦大。

(3) 流速和航速:在有一定流速的弯道上,下水船的漂角比上水船大。在一定的弯曲半径下,船对岸的航行速度 V_s 与船对水的航行速度 V_r 的比值越大,漂角越大,亦即下水航行时,流速越大,漂角亦越大,上水航行时,流速越大(但仍比 V_r 小),漂角则越小。

(4) 水深:一般 H/T 越大,漂角越大, H/T 越小,漂角亦越小。

(5) 船队队形:一般 L/b 较小的队形其漂角较大。

综合我国多次实船试验资料,漂角值如表1-2所示。

弯曲航道的船舶(队)航行漂角

表 1-2

R/L	α (下水)	α (上水)
2.0	28° ~ 35°	9°
3.0	21° ~ 25°	5°
4.0	16° ~ 20°	4°
5.0	13° ~ 17°	3°

在弯道上的航道宽度应在直段宽度的基础上加宽。影响弯曲航道加宽值的因素很多:如漂角、船长、航速、视距和船舶控制性能等,河流的弯曲半径、过渡段长度等参数也应该加以考虑。弯道加宽值与漂角、船长、航速成正比,与弯曲半径、视距和船舶控制性能成反比。弯曲航道的航迹带宽度可按照直线航道的方法计算。而弯曲航道的富余宽度一般比直线航

道大,各级航道随弯曲半径变化的宽度取值亦可查相关表格。由于船舶在弯曲航道中行驶时下行的航迹带宽度大于上行的航迹带宽度,故单线航道的尺度按下行需要确定,双线航道则按上下行要求宽度之和计算。

在弯道上航行,还必须有足够的通视距离,以便安全会让对方来船。弯道的通视距离 S 如图 1-6 所示。通视距离以不小于船队长度的 3 倍为宜,由图可得:

$$S = \sqrt{\left(R + \frac{B}{2}\right)^2 - \left(R - \frac{B}{2}\right)^2} + \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{B}{2}\right)^2} \quad (1-4)$$

式中: S ——通视距离;

B ——航道宽度;

R ——弯曲半径。

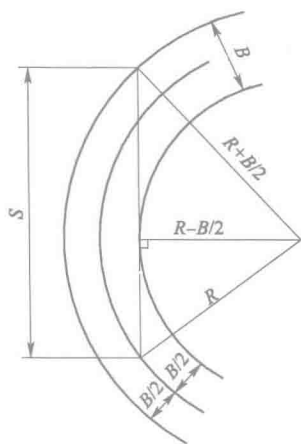


图 1-6 弯曲航道视距计算图

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 1-7 所示。

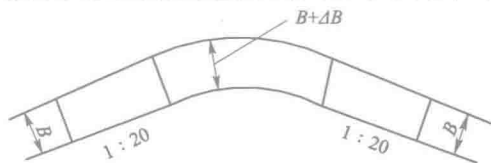


图 1-7 航道扩宽过渡段示意图

5. 航道断面系数

航道断面系数 η 是指设计最低通航水位时,航道过水断面面积与船舶(队)标准载量时船舶横断面面积的比值

$$\eta = \frac{A}{A_{\phi}}$$

式中: η ——航道断面系数;

A ——航道过水断面面积;

A_{ϕ} ——船舶横断面面积。

航道断面系数与船舶航行阻力关系密切, η 值越小,航行阻力越大; η 值应随船速的提高而增大;航道流速大时,同样也应增加 η 值。国内外的研究成果表明: $\eta = 7$ 是最经济合理的。当 $\eta > 10$ 时,断面形状对航道阻力的影响可忽略不计,当 $\eta \geq 14$ 时,再增加 η 值对阻力影响不明显。

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

6. 流速流态

航道中的表面流速和局部比降不能过大,否则航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措施有着密切关系,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,发生事故。例如,船闸引航道口门区要求最大横向流速不大于 0.3m/s,回流流速不大于 0.4m/s。航道中的流态应满足船舶(队)航行安全要求。

7. 水上跨河建筑物的净空

跨河桥梁、渡槽、管道、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地通过。净空高度是指设计最高通航水位至建筑物底部的垂直距离。设计最高通航水位



的标准,应根据航道等级依据国家颁布的标准执行。净空高度的数值应满足设计船舶空载的水上高度加富余值。净空宽度系指航道底标高以上桥墩(或墩柱)间的最小净宽度,包括船舶过桥航行轨迹宽度和富余宽度两部分。一般说来,为了使桥梁通航孔的净宽尺度尽量小些,较大船舶(队)应避免在桥孔会船。水上跨河建筑物的布置不得影响和限制航道的通过能力,通航孔的布置应满足所在河段双向通航的要求,应该特别注意航道两侧安全距离的取值。桥墩(墩柱)的顺水面应尽可能与水流流向平行,其偏角超过 5° 时,净宽必须相应加大。

天然、渠化河流上的水上跨河建筑物,一般应不少于两个通航孔,水运很繁忙的河流上,应设多孔通航。若在限制性航道上,净宽应采用航道宽度值,一般宜一孔跨过。

第三节 内河助航标志

一、航标的基本概念

航标,即助航标志,是船舶安全航行的重要助航设施。它的主要功能是标示内河航道的方向、界限与碍航物,揭示有关航道信息,为船舶指引安全、经济的航线。

航标分类,因不同的分类方法和标准而不同。

1. 按航标的作用分类

可以分为视觉航标、音响航标和无线电助航设施。

(1) 视觉航标

是固定的或浮动的、更直观的助航标志。它具有易辨认的形状与颜色,可安装灯器及其他附加设备。广泛设置于沿海及内河上,是一种最重要、最基本的助航标志。国际航标协会亦称为传统航标(Traditional Aids)。

视觉航标常用标身的形状、颜色或顶标来区分或表示不同的航标功能,供驾驶人员在白天观察使用,而在夜间则以灯质即灯光颜色、灯光节奏、周期来区分别。

(2) 音响航标

音响航标是指能发出声音传送信息以引起驾驶人员注意其概略方位的助航标志,一般与视觉航标共同设置,多用于沿海地区。

音响航标,在能见度不良的天气里,发出具有一定识别特征的音响信号,使驾驶人员知道其概略方位,起警告船舶避免发生危险的作用。

(3) 无线电助航设施

无线电助航设施,是以无线电波传送信息供船舶接收以测定船位的助航标志。

无线电助航设施能在大雾或恶劣的天气下远距离地保证船舶准确测定船位和航行安全。无线电助航设施包括:无线电指向标、无线电测向仪、雷达应答器、雷达反射器、雷达设标、雷达指向标、罗兰、台卡、奥米加和卫星导航等。

2. 按航标设置水域分类

按照航标设置在不同的水域,可分为内河航标(包括湖泊、水库)和海区航标,当航标在

不同地点如岸上或水中时,也可简单划分为岸标与浮标。

3. 按航标的功能分类

内河航标按功能分为航行标志、信号标志和专用标志。航行标志包括过河标、沿岸标、导标、过渡导标、首尾导标、侧面标、左右通航标、示位标、泛滥标、桥涵标;信号标志包括通行信号标、鸣笛标、界限标、水深信号标、横流标、节制闸标;专用标志包括管线标和专用标。

根据国家标准《内河助航标志》的规定,内河航标配布类别应根据航道条件与运输需要,通过技术经济论证确定。内河航标配布可分为以下四类:

(1)一类航标配布:配布的航标夜间全部发光。白天,船舶能从一座标志看到次一座标志;夜间,船舶能从一盏标灯看到次一盏标灯。

(2)二类航标配布:发光航标和不发光航标分段配布。在昼夜通航的河段上配布发光航标,其标志配布与一类航标配布相同;在夜间不能通航的河段上配布不发光航标,其标志配布密度与三类航标配布相同。

(3)三类航标配布:航标配布的密度比较稀,不要求从一座标志看到次一座标志,对优良河段的沿岸航道,可沿岸形航行不再配布沿岸标,但每一座标志所表现的功能与次一座标志的功能应互相边贯,指引船舶在白天安全航行。

(4)重点航标配布:只在航行困难的河段和个别地点配布航标。优良河段一般仅标示出碍航物。根据需要与条件配布发光航标或不发光航标。船舶需借助驾驶人员的经验利用航标和其他物标航行。

根据国家标准《内河助航标志》的规定,决定河流左、右的原则为:按水流方向确定河流的上、下游;面向河流下游,左手一侧为左岸,右手一侧为右岸。

对水流流向不明显或各河段流向不同的河流,按下列顺序确定上、下游(图 1-8):

- (1)通往海口的一端为下游;
- (2)通往主要干流的一端为下游;
- (3)河流偏南或偏东的一端为下游;
- (4)以航线两端主要港埠间的主要水流方向确定上、下游。

航道右侧的标志漆红色,夜间闪红灯,航道左侧的标志漆白色,夜间闪白灯或绿灯。

具体设置内河航标时还应根据国家标准局批准发布的《内河助航标志》办理。

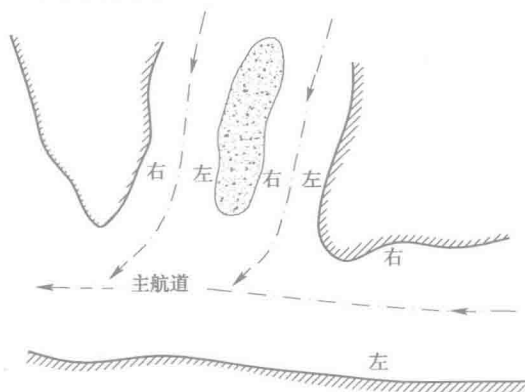


图 1-8 确定航道左右方向示意图

二、内河助航标志及设置

平原河流浅滩多出现于枯水期或中枯水期,在分叉河段、汇流河口等处,从一岸到另一岸的过渡段尤易形成碍航浅滩,在沙质河床河段,由于冲淤活动频繁,浅滩航道位置、水深等经常处于变化之中,故航标配布应随时依据探测及测量结果予以调整,使航标能随时为船舶标示出或提供安全而经济的航行条件。



1. 过河标

标志跨河航道的起点或终点,指示由对岸驶来的船舶在接近标志时沿着本岸航行,或指示沿本岸驶来的船舶在接近标志时驶往对岸,如图 1-9 所示。其形状在标杆上端装正方形顶标两块,分别面向上、下方航道。如跨河航道距离过远以致目标不够显著时,可以在标杆前加装面向航道的梯形牌,梯形牌的颜色按背景的明暗来确定,背景深暗处为白色,背景明亮处为黑色。灯质左岸为白光,莫尔斯信号“A”(·—)或“M”(— —),右岸为红光,莫尔斯信号“N”(—·)或“D”(—··)。此处“·”表示闪光时间较短,“—”表示闪光时间较长。

2. 沿岸标

标杆顶端装球形顶标一个,标示沿岸航道的方向,指示船舶继续沿着本岸行驶,如图 1-10 所示。灯色左岸为白色或绿色单闪,右岸为红色单闪。

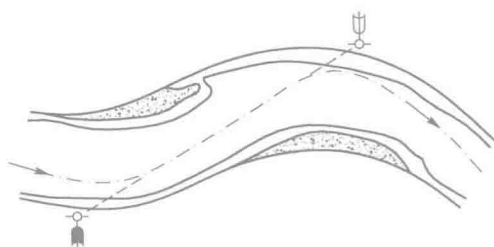


图 1-9 过河标布置

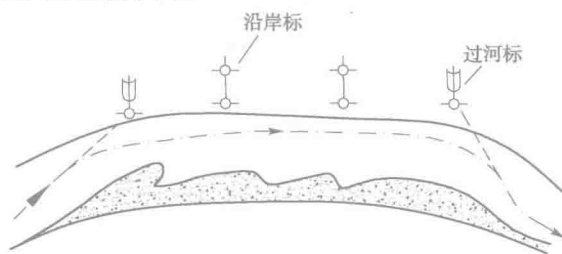


图 1-10 沿岸标布置

3. 导标

由高低不同的两座标志(前低后高)前后竖立组成。前后标所构成的导线标志狭窄航道方向,引导船舶沿该导线行驶,如图 1-11 所示。导标的每一座标志由标杆顶端加一块正方形顶板制成。如导线航道过长以致目标不够显著时,可以在标杆前加面向航道方向的梯形牌。导标灯质前、后标均为白色单面定光,如背景灯光复杂白色容易混淆时,可以改为红色单面定光。

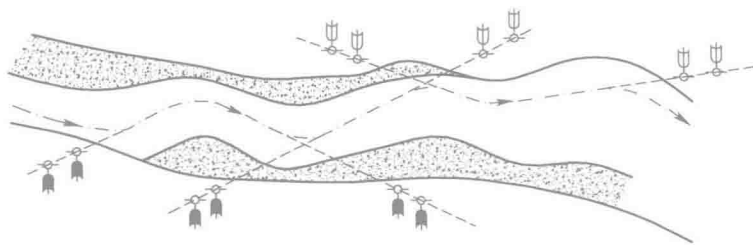


图 1-11 导标标志河心航道

4. 过渡导标

由前标同过河标,后标同导标的两座标志组成,标示一方为导标指示的狭窄航道,另一方为较宽阔的沿岸航道或跨河航道,指示沿导线驶来的船舶在接近标志时驶入较宽阔的沿岸航道或跨河航道(或反之),如图 1-12 所示。灯质前标同过河标,后标同导标。

5. 首尾导标

由三座标志前后鼎足组成,前一座同过河标,后两座与导标相同。三座标志组成两条导线分别标示上、下方狭窄航道的方向,指示循导线驶来的船舶在接近标志时转向另一条导线

航道,如图 1-13 所示。灯质前一座同过河标,后两座同导标。

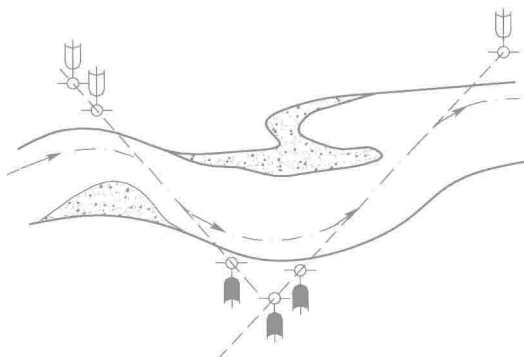


图 1-12 过渡导标布置

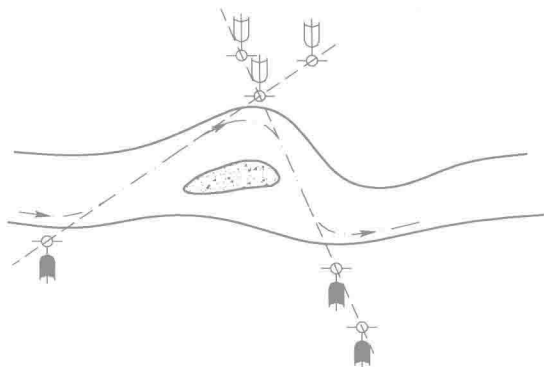


图 1-13 首尾导标布置

6. 侧面标

设在浅滩、礁石、沉船或其他碍航物靠近航道一侧,标示航道的侧面界限;设在水网地区优良航道两岸时,标示岸形、突嘴或不通航的汉港。其形状浮标可采用柱形、锥形、罐形、杆形或灯船,灯桩可采用框架形。也可以固定设置在水中。灯质左岸为绿色或白色,右岸为红色,均为单、双闪光。

7. 左右通航标

设在航道中个别河心碍航物或航道分汊处,标示该标两侧都是通航航道。在同一标体中线两侧分别为红色和白色,灯质为绿色和白色,三闪光。

8. 示位标

设在湖泊、水库、水网地区或其他宽阔水域,标示河口、岛屿、浅滩、礁石等位置,供船舶确定航向,指示船舶循标志进入河口或警告船舶偏离危险区。其形状可采用各种形状的塔形体。灯质为白光、绿光或红光莫尔斯信号。

9. 泛滥标

设在被洪水淹没的河岸或岛屿靠近航道一侧,标示岸线或岛屿的轮廓。其形状为标杆上端装载锥体顶标一个,也可以安装在具有浮力的底座上作为浮标设置,左岸为白色或黑色,右岸为红色。灯质左岸为绿光或白光,右岸为红光,都为定光。

10. 桥涵标

在桥梁通航孔中央设置正方形红色或圆形白色标牌,分别指引大轮或小轮通过该桥孔。正方形标牌夜间为红色单面定光,圆形标牌为绿色单面定光。

三、浅滩河段航标配布

航标配布应根据河段的具体情况设计,此处以平原浅滩河段为例说明航标的配布。

在过渡段浅滩航道上,一般是在过河航道的两端河岸上设置过河标或过渡导标,但当过河处的岸边滩较大或岸上一时无法设标时,在不影响视距条件下,过河标可改用浮标形式设置。

浅滩过河航道通往上、下深槽的两端出入口,应各设一对侧面浮标(图 1-14)。如该段