

中华人民共和国海船船员培训合格证考试培训教材

大型船舶操纵

中国海事服务中心组织编写
中华人民共和国海事局审定



人民交通出版社
China Communications Press



大连海事大学出版社
Dalian Maritime University Press

中华人民共和国海船船员培训合格证考试培训教材

大型船舶操纵

中国海事服务中心组织编写
中华人民共和国海事局审定



人民交通出版社
China Communications Press



大连海事大学出版社
Dalian Maritime University Press

图书在版编目(CIP)数据

大型船舶操纵 / 中国海事服务中心组织编写. --北京:人民交通出版社;大连:大连海事大学出版社, 2012.8

中华人民共和国海船船员培训合格证考试培训教材
ISBN 978-7-114-10000-0

I. ①大… II. ①中… III. ①船舶操纵 - 技术培训 - 教材 IV. ①U675.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 191396 号

中华人民共和国海船船员培训合格证考试培训教材

书 名: 大型船舶操纵

著 作 者: 方泉根

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.chinasybook.com>

销售电话: (010) 64981400, 59757915

总 经 销: 北京交实文化发展有限公司

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 8.25

字 数: 198 千

版 次: 2012 年 8 月 第 1 版

印 次: 2012 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10000-0

定 价: 35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

编委会成员

编委会主任 陈爱平

编委会常务副主任 郑和平

编委会副主任 郭洁平 李恩洪 侯景华

编委 韩杰祥 朱可欣 梁天才 王玉洋

陈国忠 梁军 郑乃龙 王长青

韩光显 葛同林 黄燕品 刘克坚

温宇钦



前言

《中华人民共和国海船船员培训合格证书签发管理办法》已于2012年3月1日起生效,新的《中华人民共和国海船船员培训合格证考试大纲》也将于2012年7月1日开始实施。为了更好地指导帮助船员进行适任考试前的培训,进一步提高船员适任水平,在交通运输部海事局领导下,中国海事服务中心组织全国有丰富教学、培训经验和航海实际经验的专家共同编写了与《中华人民共和国海船船员培训合格证考试大纲》相适应的培训教材。本教材编写依据STCW公约马尼拉修正案,采用图文并茂的形式,改变了长期以来以文字为主的教材编写方式。本教材的创新模式对今后的船员专业和特殊培训具有重要的指导意义。

本套教材知识点紧扣考试大纲,具有权威、准确、系统、实用的特点,重点突出船员专业和特殊培训并结合航海实践中需掌握的知识,旨在培养船员具备在实践中应用知识的能力,并可作为工具书供船员上船工作使用。

本套教材由基本安全、救生艇筏和救助艇操作与管理、快速救助艇操作与管理、船舶高级消防、船舶精通急救、船上医护、船舶保安意识与职责、船舶保安员、油船和化学品船货物操作(基本培训适用)、油船货物操作(高级培训适用)、化学品船货物操作(高级培训适用)、液化气船货物操作(基本培训适用)、液化气船货物操作(高级培训适用)、客船操作与管理、大型船舶操纵、高速船操作与管理、船舶装载包装及散装固体危险和有害物质操作与管理组成。

在本套教材编写、出版工作中,得到了各直属海事局、航海院校、船员培训机构、航运企业以及人民交通出版社、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

中国海事服务中心

2012年7月



编者的话

根据中华人民共和国海事局《中华人民共和国海船船员培训合格证考试大纲》的规定与要求,为了进一步做好船员大型船舶操纵特殊培训工作,在该局的统一安排和组织下编写了本培训教材。

由于近年来船舶日趋大型化和专业化,本教材是专门根据目前大型船舶的现状与实际操作情况、结合专业教学与培训的需要而编写的。编写人员在参考2000年版原有船员大型船舶操纵特殊培训教材内容的基础上,根据当今的实际状况和专业教学培训的需要,大幅度地增删了相关的内容。本教材除了可供参加大型船舶操纵特殊培训的船员使用外,还可用作航海院校师生的专业教学参考书。

本教材共分为六章,具体为:大型船舶操纵特性、外界因素对大型船舶操纵的影响、大型船舶航行与避让操纵、大型船舶靠离泊操纵、大型船舶锚泊操纵和大型船舶应急操纵。

本教材由上海海事大学方泉根教授主编,主审为上海远洋运输有限公司范济秋高级船长。参加编写工作的有中国海运(集团)总公司陈志铭与孙琦高级船长、中远集运有限公司的李健高级船长和上海海事大学周东平副教授。

在编写本教材的过程中,得到了中远集装箱运输有限公司与中远散货运输(集团)有限公司多名资深船长、上海与天津等引航机构多名资深引航员和上海海事大学其他老师的协助。在此特表示衷心的感谢。

为了便于读者的学习,在本书的编写过程中力求概念清楚、理论正确、重点突出、条理清晰、文字通顺、理论结合实际,并运用了相关的实际案例。但由于目前国内外关于大型船舶操纵方面学术资料的局限性,加上编者水平和时间的限制,不足之处和差错在所难免,竭诚希望航海界专家、同行和读者批评指正。

编 者

2012年7月



目 录

第一章 大型船舶操纵特性	1
第一节 大型船舶的主要类型及其结构特点	1
第二节 大型船舶的操纵性能及其特点	5
第三节 大型船舶的操纵性能的测定	24
第二章 外界因素对大型船舶操纵的影响	29
第一节 风对操船的影响	29
第二节 流对操船的影响	39
第三节 受限水域对操船的影响	42
第三章 大型船舶航行与避让操纵	52
第一节 大型船舶操纵特性对航行与避让操纵的影响	52
第二节 大型船舶航行与避让注意事项	55
第三节 回转速度指示器在大型船舶航行与操纵中的应用	63
第四章 大型船舶靠离泊操纵	67
第一节 大型船舶靠泊操纵	67
第二节 大型船舶离泊操纵	76
第三节 大型船舶靠离泊时拖轮的使用	79
第四节 大型船舶靠离泊操纵实例	92
第五章 大型船舶锚泊操纵	100
第一节 大型船舶操纵特性对锚泊作业的影响	100
第二节 大型船舶的锚泊操纵	101
第六章 大型船舶应急操纵	108
第一节 大型船舶操纵中的应急反应	108
第二节 碰撞后的应急处理	109
第三节 搁浅后的应急处理	110
第四节 人员落水救助	114
第五节 主机、舵机故障时的应急处理	116
第六节 能见度不良情况下航行	119
第七节 大风浪中的操纵	120
参考文献	124

第一章

大型船舶操纵特性

第一节 大型船舶的主要类型及其结构特点

一、大型船舶的主要类型

大型船舶在国际上尚无明确的定义,但根据我国海事主管机关的相关规定,船长大于 250m 或载重吨位大于 8 万吨的船舶被定义为大型船舶。它们包括大型油轮、大型散货船、大型集装箱船、大型液化气体船、大型汽车运输船和大型豪华游轮等,但是根据现有国际航运业营运主要大型船舶的实际情况,结合我国海员大型船舶特殊培训的需要,本教材以大型油轮、大型散货船和大型集装箱船三种大型船舶为主体内容加以介绍和说明。

(一) 大型油轮

目前在油轮分类上虽然没有特定的标准,但是人们习惯于将载重量在 10 万吨以上的油轮称为大型油轮 (Large Crude Carrier, LCC),载重量超过 20 万吨到 40 万吨左右的油轮称为超大型油轮 (Very Large Crude Carrier, VLCC),载重量超过 40 万吨的油轮称为超巨型油轮 (Ultra Large Crude Carrier, ULCC)。

自 20 世纪 70 年代 VLCC 问世以来,世界上建造最大的油轮为诺克·耐维斯号 (Knock Nevis),其载重吨位达 56.47 万吨,长度为 458m、宽度和吃水分别为 68.86m 与 24.61m。该船配备的主机最大功率达到 50000 马力。

根据世界航运市场和许多港口的发展的实际情况,近年来建造和使用得最普遍的油轮是载重吨位从 28~32 万吨的 VLCC。据统计,目前全世界共有 400 多条此类 VLCC 投入市场营运。我国大连、南通和广州等地的一些造船厂近年来也建造了多艘 VLCC,它们的载重吨位大多在 30 万吨左右。

(二) 大型散货船

散货船根据其载重吨位的情况分成以下几类。

1. 巴拿马型散货船

巴拿马型散货船(Panamax bulk carrier)是指在满载情况下可以通过巴拿马运河的最大型散货船,即主要满足船舶总长不超过 274.32m,型宽不超过 32.20m 的运河通航有关规定。该类型船舶的载重量一般在 7 万吨左右。

2. 好望角型散货船

好望角型散货船(Capesize bulk carrier)指载重量在 17 万吨左右的散货船,该船型以运输铁矿石等散货为主,由于以前船舶宽度超过 32m 就无法通过巴拿马运河和苏伊士运河,需绕行好望角和合恩角,所以被称为好望角(Capesize)型散货船。应加以说明的是,由于苏伊士对航道的不断拓宽,运河当局已放宽通过运河船舶的吃水限制,该类型的船舶已可满载通过该运河。

3. 超大型散货船

自 20 世纪末以来,由于国际散货市场运输量大幅持续增高,不少航运公司拥有一些超过 20 万载重吨的超大型散货船(Very Large Bulk Carrier,VLBC),前几年国际航运界最大散货船挪威籍“BERGE STAHL”(博格斯坦)轮的载重吨位已达到 364767 吨,其长度、宽度和吃水分别为 338.67m、55m 和 23m。这些船舶被称为超大型散货船(VLBC)或超大型矿砂船(VLOC)。最近随着国际上矿砂运载量继续增加的需要,我国和韩国正在小批量建造全球最大的 40 万吨矿砂散货船,其中船长 360m、型宽 65m、型深 30.4m 的“VALE CHINA”号(“淡水河谷中国”)和长 362m、型宽 65m、吃水 23m 的“VALE BRASIL”号(“淡水河谷巴西”)已建成投入市场营运。

(三)大型集装箱船

集装箱船自 20 世纪问世以来,其船舶的尺度和载重的集装箱数量持续发生变化。其发展的经历大致可分为以下几个阶段。

20 世纪 60 年代,横穿太平洋、大西洋 17000 ~ 20000 总吨的集装箱船可装载 700 ~ 1000TEU,被称为第一代集装箱船。

进入 70 年代,40000 ~ 50000 总吨集装箱船的集装箱装载数增加到 1800 ~ 2000TEU,航速也由第一代的 23kn 提高到 26 ~ 27kn,这个时期的集装箱船被称为第二代。

随着 1973 年石油危机的发生,第二代集装箱船被视为不经济船型的代表,故而被第三代集装箱船取代,这代船的航速降低至 20 ~ 22kn,但由于增大了船体尺寸,提高了运输效率,致使集装箱的装载数达到了 3000TEU。

80 年代后期,集装箱船的航速进一步提高,集装箱船大型化的限度则以能通过巴拿马运河为准绳,这一时期的集装箱船被称为第四代。第四代集装箱船集装箱装载总数增加到 4000TEC 左右。

90 年代初作为第五代集装箱船的先锋,德国船厂建造的 5 艘 APLC-10 型集装箱船可装载近 5000TEU,这种集装箱船的船长/船宽比为 7 ~ 8,被称为第五代集装箱船。

在 90 年代中期,马士基建造的新型集装箱船最多可装载 8000TEU。该型船的建造拉开了第六代集装箱船的序幕。

21 世纪的初期,装载 10000TEU 的船舶投入营运。我国“中海集装箱运输股份有限公司”订造的 8 艘 8600TEU 集装箱船已在 2006 年后相继投入营运;“中远集装箱运输有限公司”订

造的8艘10000TEU万箱船(总船长349 m、船宽45.6 m、型深27.2 m)也已在2009年初全部投入营运。截止2010年底,在世界上最大的集装箱船的长度和宽度分别达到了397m和56m,其实际可运载能力达到14000TEU。据悉,多艘船长达400m,船宽59m,船高73m的18000万TEU的集装箱船舶将于2013~2015年投入营运,它们的面世将使其他海上航行的船舶相形见绌。

除了以上所述三种类型的大型船舶外,在海上航行的大型船舶还包括大型液化气体船、大型汽车运输船和大型邮轮等。鉴于大型船舶操纵课程培训内容的实际需要,不再细述。

二、大型船舶的结构特点

(一)大型油轮与散货船

为了方便装载更多液体或固体货物和基于规模营运效益的需要,大型油轮和散货船在结构上都具有以下“三大”的特点。

1. 几何尺度大

为了增大船舶的装载吨位,大型油轮与散货船的几何尺度,包括船长、船宽和型深都较一般船舶大得多。例如目前常见的30万吨VLCC的总长、型宽和型深都在330m,60m和29m左右,而一般17万吨左右的好望角型散货船的总长、型宽和型深都也可达290m,45m和25m左右。

2. 质量大

由于大型油轮与散货船的几何尺度大,其本身的质量(排水量)也就趋大。30万吨左右VLCC的满载排水量可达到34万吨左右,而17万吨左右好望角型散货船的满载排水量也可达20万吨左右。

3. 方形系数大

大型油轮与散货船为了保证其运载货物的容量,其船体结构都呈肥大型,因此它们的方形系数大多较一般船舶大得多。根据统计,30万吨VLCC和好望角型散货船的方形系数都在0.8以上,而一般的杂货船舶大多在0.65左右。

与此同时,大型油轮和散货船由于货物载运和经济效益的需要,同时又具有以下“三小”的特点。

(1) 舵面积与船体侧面积的比值小

舵叶面积比是指舵叶面积与船舶水线下侧面积在中纵剖面上投影的比值。大型油轮和散货船的舵面积占船体水下侧面积的比例(舵面积比, $A_R/L_{BP}d$)大多在1/70~1/80左右,而一般的杂货船舶在1/60以上。由于舵面积比的大小与舵力和舵力转船力矩成正比,即该值越大,舵力和舵力转船力矩越大。因此,大型油轮与散货船的舵力和舵力转船力矩都偏小,所以它们的舵效与其他类型船舶相比相对较差。

(2) 马力/吨位的比值小

马力/吨位的比值是指船舶配备的主机马力与载运货物的吨位相比的数值。因大型油轮和散货船受到运输成本的限制,正常航行速度仍在15 kn左右,其载重吨与主机功率比大多在0.25以下。以我国新建的“新埔洋”号VLCC为例,其载重吨位为30.8万吨,所配备主机功率为26460kW,折算为360000马力左右,所以其马力/吨位的比值仅为0.12还不到;目前我国新

造的 17.7 万吨的“百安海”号好望角型散货船所配备的主机功率为 18546kW,折算为 29600 马力左右,所以其马力/吨位的比值也仅为 0.17。

(3) 船长/船宽的比值小

大型油轮和散货船的船长/船宽的比值往往都在 5.5 ~ 6.5 左右,如 30 万吨油轮“新埔洋”的船长 333.00 m、宽 60m,其长宽比仅为 5.55;好望角型散货船为 6.4 左右。由于大型油轮与散货船都具有船长与船宽比(L/B)值小而方形系数大的特点(肥胖性),所以它们在航行中的保向能力较差,特别是在风浪中航行易产生偏航。

(二) 大型集装箱船

基于规模营运效益的需要,大型集装箱 TEU 装载量不断增大。这类船舶同样具有大型油轮与散货船几何尺度大和本身质量较大的特点。如万箱级集装箱船的船长已达到 350m,船宽为 45m,总排水量可达 152207t。但是,为了确保其操纵性能可达到快速优质和定点准时的目的,它又具有以下与大型油轮与散货船不同的特点。

1. 马力/吨位的比值大

从确保船舶航行速度和具有较好操纵性能的角度出发,大型集装箱都装备了特大推进功率的主机。如万箱级集装箱 COSCO“太仓”轮的最大载重量为 111499t(DWT),它所装备的主机功率为 68640kW,折算为 93130 马力,所以其马力/吨位的比值达到了 0.84,该值为上述 30 万吨 VLCC 的 7 倍。

2. 船长/船宽的比值大

为了提高船舶的速度和稳定性,大型集装箱船长/船宽的比值也较大型油轮与散货船大。如万箱级集装箱 COSCO“太仓”轮的船长 348.5m、宽 45.6m,其长宽比为 7.64,该值为上述 30 万吨 VLCC 的近 1.37 倍。

3. 方形系数小

由于船舶营运的特点与需要,大型集装箱船在船舶设计中充分考虑到线型和速度的关系,所以这种船舶的方形系数都较大型油轮与散货船小得多,一般都在 0.60 ~ 0.65 左右。

4. 舵面积与船体侧面积的比值大

为确保船舶操纵的舵力和舵力转船力矩,大型集装箱船在设计 and 建造中还充分考虑到舵面积与船体侧面积的比值问题,所以这种船舶的舵面积与船体侧面积的比值都要比大型油轮与散货船大得多,一般都达到 1/50 左右。

5. 侧推器

另外,为了改善船舶的操纵性能,大型集装箱船基本都装备了首侧推器,有些还专门装了尾侧推器。这些侧推器的功率可在 1500 ~ 4000 马力之间。

不同类型大型船舶的结构特点及其相关数据可参见表 1-1-1。

不同大型船舶主要数据表 表 1-1-1

船舶类型	油轮	油轮	散货船	散货船	集装箱船	集装箱船
DWT(万吨)	29.7	10.5	17.7	7.6	8530TEU	5100TEU
总吨	156702	58416	91205	40913	90757	54005

续上表

船舶类型	油轮	油轮	散货船	散货船	集装箱船	集装箱船
净吨	98937	31117	59001	25963	57364	32333
载重吨(t)	297395.10	104404.99	178022.50	75565.89	102395.83	62997.10
满载排水量(t)	339151.80	122609.31	202712.00	88535.90	137288.28	85252.60
总长(m)	330.00	243.80	292.00	225.00	335.00	294
垂线间长(m)	316.00	233.00	282.00	217.00	320.06	284.16
型宽(m)	60.00	42.00	45.00	32.26	42.80	32.30
型深(m)	29.70	21.40	24.80	19.60	24.80	21.80
满载吃水(m)	19.20	13.50	16.50	12.20	13.00	12.00
满载速度(kn)	15.80	15.00	15.00	14.50	25.00	25.50
额定功率	25480kW	9480kW	16860kW	8833kW	68520kW	45760kW
额定转速	79r/min	127r/min	91r/min	105r/min	104r/min	94r/min
方形系数	0.821	0.812	0.862	0.867	0.664	0.642
马力/DWT之比	0.116	0.123	0.129	0.159	0.910	0.988

第二节 大型船舶的操纵性能及其特点

一、大型船舶的操纵性能

(一)大型船舶的惯性

在操船上应考虑到的惯性有启动惯性、停车惯性、倒车惯性和转向惯性,其中经常广泛使用和考虑的是停车惯性和倒车惯性。

1. 停车惯性

船舶以一定速度(全速或半速)行驶中停止主机,至船舶停止对水移动所需的时间和滑行的距离,称为船舶停车惯性。衡量此惯性的指标包括其停车后继续向前行进的距离(冲程)和时间(冲时)。很显然,大型船的质量很大,惯性亦大。此时由船体所带动的周围流体质量的惯力亦应予以考虑在内,一般称为附加质量。故船舶的虚质量(M_x)为船舶质量(m)与其流体附加质量(m_x)之和,附加质量随船体浸水部分的形状和船舶运动方向的不同而不同。肥大的超大型船舶在深水区域的虚质量一般为:前后方向运动时 $M_x = m + 0.07m$;正横向运动时, $M_x = m + 0.75m$,可见附加质量亦相当大。

设船舶虚质量为 M_x ,速度为 v ,加速度为 $\frac{dv}{dt}$,船体阻力为 R_s ,则可得到直航运动方程式:

$$M_x \cdot \frac{dv}{dt} = -R_s$$

R_s 一般与船速的平方成正比,即 $R_s = kv^2$, 即有

$$M_x \cdot \frac{dv}{dt} = -kv^2$$

解此式得:

$$S = \frac{m + m_x}{k} \ln \frac{v_0}{v} \quad (1-1)$$

$$v = v_0 \cdot e^{-kS/M_X} \quad (1-2)$$

式中, v_0 为停车时的初速, v 为任意时刻的速度, S 为淌航距离。

实际上主机停车后, 推力将急剧下降到零。开始时, 船速较高, 阻力也大, 减速较快; 但当速度减小后, 阻力也随之减小, 速度下降率变低, 呈非线性递减, 船舶很难完全停止下来, 且在水中亦很难判断。所以, 通常以船速降至维持舵效的最小速度作为计算所需时间和船舶航进距离的标准, 小型船舶通常 2kn 左右, 大型船舶可取 4kn 左右。

另外, 主机停车后的时间、速度及航进距离存在如下关系:

达到速度 v 时所需的时间:

$$t = 0.00105 \cdot \frac{W \cdot v_0^2}{R_0} \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right) \quad (1-3)$$

达到速度 v 时所航进的距离:

$$S = 0.075 \cdot \frac{W \cdot v_0^2}{R_0} \ln \left(\frac{v_0}{v} \right) \quad (1-4)$$

式中: t ——所需的时间, min;

S ——所航进的距离, m;

W ——船舶实际排水量, t;

v_0 ——发出停车令时的初速度, kn;

R_0 ——速度 v_0 时船舶所受阻力, t;

v ——船舶停止时刻的速度, kn。

计算停车冲程还可采用以下的经验估算式

$$S = 0.024 C \cdot v_0 \quad (1-5)$$

式中, C 为船速减半时间常数(船舶停车后船速每递减一半所需的时间), min; v_0 为船舶停车时初速, kn。 C 值随船舶排水量不同而不同, C 值越小, 减速越快。计算时可由表 1-2-1 中查取。

船速减半时间常数表

表 1-2-1

排水量(t)	C (min)	排水量(t)	C (min)	排水量(t)	C (min)
1000	1	36000	8	120000	15
3000	3	45000	9	136000	16
6000	3	55000	10	152000	17
10000	4	66000	11	171000	18
15000	5	78000	12	191000	19
21000	6	91000	13	210000	20
28000	7	105000	14		

一般船舶在以常速航进中, 从主机停车到降至余速 2kn 时, 其停车冲程约为 8 ~ 20 倍船长; 有些大型船舶, 特别是超大型船舶, 当满载以海上全速航进中停车至余速降至 4kn 时, 其冲程可达 23 倍船长或以上, 耗时在 30min 或以上。当然, 船舶在正常进出港或接近泊位, 最好采

用逐级降速为妥,不要在高速情况下一次性停车,以利于主机的使用。

以下以 8100TEU 超大型集装箱船(船长 334m、船宽 42.8m)和 30 万吨超大型油轮(船长 333m、船宽 60m)为例,表 1-2-2 和表 1-2-3 分别给出了这两种船舶在不同装载情况下,使用不同船速时进行停船测试所得的相应数据。

表 1-2-2 给出了 8100TEU 超大型集装箱船舶在压载和满载不同速度情况下的停车冲程与冲时。压载时海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的全速倒车冲程分别为 16、12、10 和 8 倍船长;满载时海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的全速倒车冲程分别为 24、16、14 和 9 倍船长。

超大型集装箱船舶(8100TEU)不同速度情况下的停车冲程与冲时 表 1-2-2

车 钟 档 位	压 载				满 载			
	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)
海上全速	27.8	5400	15.88	4.3	26.0	7910	—	—
港内全速	18.9	3980	13.97	4.4	17.6	5560	18.60	4.1
港内半速	16.4	3380	12.62	4.4	15.2	4750	16.90	4.2
港内慢速	12.3	2620	11.38	4.3	11.4	3130	12.70	4.4

表 1-2-3 分别为 30 万吨 VLCC 压载和满载时不同船速下的停车冲程和冲时。压载,海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的停车冲程分别约为 17、15、14 和 12 倍船长;满载时,分别约为 37、32、29 和 25 倍船长。

超大型油轮(30 万吨)不同速度情况下的停车冲程 表 1-2-3

车 钟 档 位	压 载				满 载			
	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)
海上全速	18.1	5537		—	16.8	12353		—
港内全速	12.8	4871		—	11.3	10612		—
港内半速	10.7	4519		—	9.3	9760		—
港内慢速	8.1	4000		—	6.7	8334		—

2. 倒车惯性

航行中采取紧急倒车制动是通常所使用的紧急避碰措施之一。在以海上船速航行中,下令全速倒车至船舶停住的紧急停船距离或最短停船距离及其倒车制动性能是衡量船舶制动能力的尺度,是驾驶人员应事先予以了解和掌握的重要性能之一。据 IMO 船舶操纵性衡准规定,全速倒车停船行程不应超过 15 倍船长。对于超大型船舶,全速倒车停船行程会长一些,但是在任何情况下不应超过 20 倍船长。

(1) 实船测试

特定船舶在特定航行速度状况下倒车惯性的数据可以从海上的实船测试(见本章第三节)中得到。以下仍以 8100TEU 超大型集装箱船舶和 30 万吨超大型油轮为例,表 1-2-4 和表 1-2-5 分别给出了这两种船舶在不同装载情况下,使用不同速度时进行倒车测试所得的相应数据。

表 1-2-4 给出了 8100TEU 超大型集装箱船舶在压载和满载不同船速情况下的倒车冲程与

冲时。压载时海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的全速倒车冲程分别为 13、8、6 和 4 倍船长；满载时海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的全速倒车冲程分别为 17、11、9 和 5 倍船长。

超大型集装箱船舶(8100TEU)不同速度情况下的倒车冲程与冲时 表 1-2-4

车 钟 档 位	压 载				满 载			
	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)
海上全速	27.8	4230	10.08	1.1	26.0	5770	13.18	1.3
港内全速	18.9	2660	7.58	1.2	17.6	3520	9.97	1.4
港内半速	16.4	2090	6.47	1.2	15.2	2880	9.12	1.0
港内慢速	12.3	1320	4.82	1.1	11.4	1510	6.03	1.1

表 1-2-5 给出了 30 万吨超大型油轮在压载和满载不同船速情况下的倒车冲程与冲时。压载时海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的全速倒车冲程分别为 8、5、4 和 3 倍船长；满载时海上全速、港内全速、港内半速和港内慢速时的全速倒车冲程分别为 15、9、7 和 4 倍船长。

超大型油轮(30 万吨)不同速度情况下的停车冲程与冲时 表 1-2-5

车 钟 档 位	压 载				满 载			
	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)	初速(kn)	冲程(m)	冲时(min)	余速(kn)
海上全速	18.1	2482	8.93	0	16.8	5019	19.75	0
港内全速	12.8	1648	7.41	0	11.3	3000	15.70	0
港内半速	10.7	1296	6.60	0	9.3	2259	13.70	0
港内慢速	8.1	889	5.38	0	6.7	1370	10.58	0

(2)经验估算法

主机倒车后，船速与时间的变化关系如图 1-2-1 所示。从图中可见，任意时刻的最短停船距离就是船速与时间轴所围成的面积，即：

$$S = \int_0^{t_0} v dt = C v_0 t_s \tag{1-6}$$

式中： v_0 ——倒车时船速，kn；
 t_s ——倒车使用时间，s；
 C ——紧急停船距离系数，大型油轮或散货船可取 0.27~0.29；
 S ——紧急停船距离，m。

系数 C ，一般货船取 0.25~0.27，大型油轮取 0.27~0.29。如大型油轮停船时间单位用分，则 $S=16v_0t$ 。

(3)低速时倒车停船距离的估算

就大型船舶的操纵而言，对于低速时倒车停船距离的估算更具有实际意义。根据低速时船舶阻力远小于倒车拉力的情况，故可近似认为船舶动能由倒车拉力抵消，即：

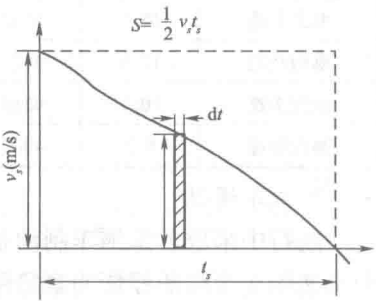


图 1-2-1

$$\frac{1}{2}(m+m_0)v_0^2 = T_p \cdot S$$

$$S = \frac{(m+m_0)v_0^2}{2T_p} = \frac{\Delta \cdot K}{g \cdot 2T_p} \cdot v_0^2 \quad (1-7)$$

据其动量与冲量相等的关系,可有

$$(m+m_0)v_0 = T_p \cdot t_s$$

$$t_s = \frac{(m+m_0)}{T_p} v_0 = \frac{\Delta \cdot K}{g \cdot T_p} \cdot v_0 \quad (1-8)$$

当船舶向泊位接近并使船舶能在一倍船长(L)的距离内使用倒车停船时,由式(1-7)即可得到应保持的余速为

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g \cdot L \cdot T_p}{\Delta \cdot K}} \quad (1-9)$$

反之,如事先已知余速 v_0 、排水量、主机功率 MCR (或 BHP),以及倒车的各级转速,也可以概算其倒车制动时间和距离。

例:排水量为 10 万吨的某轮以 3kn 余速驶向泊位。如 $K=1.07$, $BHP=18000PS$,后退一、二、三的转速分别为 51, 63, 72RPM。后退三时主机输出功率为海上常用功率的 50%,倒车拉力按 100PS 可供 1t 拉力计算。试估算各倒车级别的冲距和冲时。

解:(1)使用后退三的停船

$$\text{时间 } T_s = \frac{\Delta \cdot K}{g \cdot T_p} \cdot v_0$$

$$= \frac{100000 \times 1.07 \times 3 \times 0.154}{9.8 \times \left(\frac{18000}{100} \right) \times 0.5 \times \left(\frac{72}{63} \right)^3} = 187.068s = 3.12min$$

$$\text{距离 } S = \frac{1}{2}v_0 T_s = \frac{1}{2} \times 3 \times 0.154 \times 187 = 143.99m$$

(2)使用后退二的停船

$$\text{时间 } T_s = 187 \times \left(\frac{72}{63} \right)^3 = 187 \times 1.49 = 278.6s = 4.64min$$

$$\text{距离 } S = \frac{1}{2} \times 3 \times 0.514 \times 278.6 = 214.52m$$

(3)使用后退一的停船

$$\text{时间 } T_s = 187 \times \left(\frac{72}{51} \right)^3 = 187 \times 2.81 = 525.5s = 8.76min$$

$$\text{距离 } S = 0.5 \times 3 \times 0.514 \times 525.5 = 404.64m$$

3. 影响惯性因素及控制惯性的方法

1) 影响惯性因素

影响停船惯性的主要因素有:

(1)排水量:排水量越大,停船惯性距离越长,停船冲程约与排水量的立方根成正比。压载时的停船冲程约为满载时的 80%,而压载时的倒车冲程约为满载的 40%~50%左右;

(2)主机倒车功率及换向时间:主机倒车功率越大,紧急停船距离小,超大型船舶每吨排

水量所占主机功率较小,且多为汽轮机,其换向时间长,故一般其冲程较大;

(3)船速:船速越大,冲程越大;

(4)船型:船型与其阻力有密切关系,在相同排水量的情况下,肥大型船比瘦削型船停船的距离短;

(5)其他因素:顺风顺流冲程增大。浅水中船舶阻力增加,冲程减小。船体污底阻力增加,停船距离减小。

2) 操船控制船舶惯性的注意事项

在操船控制船舶惯性的实际过程中,应注意以下各项:

(1) 主机倒车功率、换向时间

主机倒车功率越小,船舶紧急停船距离越大。此外,排水量与功率比越小,紧急停船距离也越大,这是大型船舶往往由于其主机倒车功率较小型船舶大,而紧急停船距离较一般船舶大的原因所在。同时,主机换向时间越短,紧急停船距离越小。主机换向时间因主机类型不同而不同,一般从前进三到后退三换向所需时间:蒸汽机船约需 60 ~ 90s,柴油机船约需 90 ~ 120s,汽轮机船约需 120 ~ 180s。另外,柴油机倒车功率占常用功率的比例也较汽轮机为高。

(2) 主机与推进装置的种类

使用主机倒车操作制动时,汽轮机船较柴油机船停船距离要大 10%;可变螺距(CPP)与固定螺距(FPP)相比,换向时间短,推力功能发挥好,其制动力强,停止距离短。

(3) 船速

若其他条件相同时,船舶的速度越大,则停船和紧急停船距离越大。

(4) 吃水及排水量

在船速和倒车拉力相同时,排水量越大,紧急停船距离越长。通常压载时的停船冲程约为满载时的 80%,而倒车冲程约为满载时的 40% ~ 50% 左右。

(5) 风、流影响

顺风流时紧急停船距离增大;反之则减小。DWT10 万吨级油轮,在水深与吃水比为 1.4 时,8 级顺风较无风时的冲程增加 15%。

(6) 水深影响

根据 DWT20 万吨级油轮的模拟试验,水深与吃水比为 1.2 较 3.0 时冲程减小 17%。这意味着大型船舶在浅水中的阻力增加,前冲距离略有减小。

3) 控制惯性的方法

(1) 倒车制动法

通过螺旋桨倒转或改变螺距角而产生倒退拉力进行制动,是一种有效的制动方法。尤其是在低速航行时更为见效。该法因其制动拉力大,操纵方便、不受水域和船速等条件的限制而被各类船舶广泛采用。但由于会出现较大的偏航量和偏航角,难以控制船位,因而大型船舶在受限水域应谨慎使用。

(2) 大舵角旋回制动法

这是一种利用船舶大角度旋回过程中速降明显的特点来降低船速的方法。通常使用满舵旋回一周,当转 360°时可使船速减少 1/3,大型油轮甚至可降速 50% 以上。据对 DWT20 万吨级船进行的模拟试验,大型船舶施满舵时,船速下降很快,比倒车制动更为有效。该法操作简