

大连海运学院自编讲义

海上船舶避碰专题

郭 焱 编著
古文贤 主审



航 海 分 院

前 言

本书是根据大连海运学院海洋船舶驾驶专业教学计划与教学大纲的要求，为驾驶专业本科生的“避碰专题”选修课教学而编写的。目的是使学生广泛深入地掌握海上避碰知识，并了解避碰研究的基本思想和方法，培养学生从事避碰专题研究的能力，以及使学生在做涉及船舶避碰的毕业专题论文时有所指导和借鉴。

本书由航海分院驾艺教研室周郁英讲师编写，古文贤教授审阅。

由于作者水平有限，时间仓促，书中错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

1992年11月

目 录

第一章 瞭望.....	4
第一节 视觉瞭望.....	4
第二节 雷达瞭望.....	4
第三节 VHF 无线电电话及其在避碰中的应用.....	6
第四节 瞭望的组织.....	8
第二章 安全航速.....	12
第一节 安全航速的影响因素.....	12
第二节 安全航速的标准.....	18
第三节 雷达与安全航速.....	20
第三章 碰撞危险.....	23
第一节 碰撞危险的概念.....	23
第二节 碰撞危险的判断.....	25
第四章 避免碰撞的行动.....	33
第一节 船舶大幅度避让行动的资淮.....	33
第二节 基于感速比 R 的转向避让定量分析.....	44
第三节 避让施舵点及最晚施舵距离.....	57
第五章 互见中让路船与直航船的行动.....	63
第一节 让路船的行动.....	63
第二节 直航船的行动.....	64
第三节 不协调行动问题.....	68
第六章 雷达与避碰.....	71

第一节 能见度不良时使用雷达的碰撞原因分析.....	71
第二节 雷达各种假回波的识别.....	74
第三节 雷达避碰简易估算方法.....	78
第四节 能见度不良时运用雷达避碰的几点建议.....	85
第七章 ARPA 避碰.....	89
第一节 引言.....	89
第二节 ARPA 的基本原理.....	90
第三节 基于PAD信息选择避碰行动.....	94
第四节 关于改进PAD显示图形的建议.....	105
第五节 狭水道及港内的ARPA应用.....	106
第八章 避碰行为与碰撞因素研究.....	109
第一节 避碰行为的统计分析.....	109
第二节 碰撞中的人为因素.....	119
第三节 海事中船员的心理因素.....	126
第九章 碰撞案例研究.....	132
第一节 船舶碰撞事故分析.....	132
第二节 典型案例分析.....	135
第三节 ARPA模拟海事分析.....	139
第十章 避碰自动化.....	143
第一节 避碰自动化的必要性和现状.....	143
第二节 避碰自动化决策的基础研究.....	148

第一章 瞭望

《规则》第五条指出：“每一船舶应经常用视觉、听觉以及适合当时环境和情况下一切有效的手段保持正规的瞭望，以便对局面和碰撞危险作出充分的估计”。

碰撞事故统计分析证明，一船或两船“瞭望”不佳将促成紧迫局面，以致措手不及导致碰撞。为此，“瞭望”作为一条独立的条款而列入“驾驶和航行规则”的首位。由此可见它的重要性。而视觉瞭望又是现代航海中最基本和最常用的瞭望手段，更将引起驾驶员的重视。

第一节 视觉瞭望

视觉瞭望是最基本和最主要的瞭望手段，用视觉由近及远、从前到后，由一船到另一船对本船周围的水域进行仔细的研究，并观察海面，发现他船时，应及时判明他船的类型、动态（在航或锚泊）和态势等，并应注意他船发出的视觉信号（如旗语或灯号等）。

视觉瞭望主要是凭借驾驶员的目力观测目标，获得目标的运动信息。但是由于人本身的目测距离有限，因此望远镜的使用大大地提高了目标探测距离，所以，在互见中望远镜利用的好坏直接影响到视觉瞭望的质量。

第二节 雷达瞭望

视觉瞭望是船舶保持正规瞭望的常规手段或传统手段，而适合当时

环境和情况的一切有效手段是指对现有助航仪器设备的有效使用。不论是在能见度不良或是能见度良好时，雷达的使用已相当普遍，因而雷达瞭望也成为驾驶员最常用和最主要的瞭望手段。尤其是航行于狭水道和进出港口的船舶，更加依赖雷达，以获得更多目标的距离、方位信息。

雷达瞭望不同于视觉瞭望的特点是：

1、雷达瞭望不一定互见，当能见度不良时，则不存在互见和让路船之分，当用雷达发现存在碰撞危险时，或出现紧迫局面时，任何船舶都要主动避让。

2、目标可在目力观测之前就被探测到。

3、对本船周围的目标可显示在一个俯视图上，可直观地测出它们的距离和方位，可对它们的相对运动轨迹进行标绘，测得其最近会遇的距离，并可预测其经过时间。

与视觉瞭望相比，雷达瞭望的缺点是：

1、目标回波需要识别。必须对来自雷达的资料认真分析，不能主观臆断，这是保证避碰成功的关键。

2、雷达的方位精度远不及视觉方位直观。

3、在显示器上的物标大小和形状不能说明物标的种类或动态。

4、测定目标船的动态变化和进行标绘都需要一定的时间，并且双方协调行动困难。

5、并不是每一物标都能在射程以内呈现出来。如在近距离时，雷达由于中心收缩现象使盲区之外的近距离目标与中心粘在一起，脉冲宽度的限制和量程的限制及显影失真现象会使观测不够准确。除此之外，雷达发现小船距离一般较近。若海面有风浪，或雨雪较大时，小船的回波可能被海浪的回波淹没，但这并不意味着近海域没有来船。

6、对航海人员来说，用相对运动来考虑问题尚不熟悉。

尽管雷达瞭望不如视觉瞭望简便，并且雷达也有一定的局限性，但雷达的确是很好的瞭望工具，尤其在能见度不良时，更显示出了它的优越性。现在又有了自动雷达标绘仪（即ARPA），使雷达瞭望的优点更加突出，其缺陷也得到了一定的弥补。目前，雷达已成为船舶航行中不可缺少的助航仪器。

鉴于雷达本身所存在的问题，要求驾驶人员在使用中应注意：

1、雷达观测时间不应过长，为保证机群高压部分休息，可使雷达处于预备状态（Stand by），一旦需要立即发射。

2、观测时应该轮流使用大量程（12—24海涅）和较小量程（3—6海涅），并配合以视觉瞭望，及早发现近处的被荧光屏盲区所淹没的小目标回波。

3、小角度地改变航向，以避免天线不高所产生的阴影区域（即船首向左、右各10°范围）。

4、要对探测到的物标进行雷达标绘，并系统地作好观测记录。

第三节 VHF无线电话及其在避碰中的应用

利用VHF无线电话与他船或岸基雷达站以及现代化的船舶交通管理中心进行通讯联系，可以获得周围船舶的动态，从而迅速对局面和碰撞危险作出正确估计，以及获得安全通航的有关信息。因此VHF无线电话是保持瞭望的一种新型有效手段。

目前，VHF在避碰中的应用越来越受到航海界人士的重视。特别是在能见度不良时，及在受限水域或分道通航制区域内航行的船舶，

通过VHF彼此间可及早地、正确地了解对方的运动要素、意图和动向，从而对会遇态势和碰撞危险作出正确的估计，并采取有效的避让措施。

但是，由于VHF协助船舶避碰使用的时间还不长，范围也不够广泛，还不具有规范性和统一性，加之VHF仪器本身的缺陷，以及对VHF使用不当和过分依赖，而忽视了遵守避碰规则所规定的避让原则等因素，在实践中难免出现一些不应有的失误。

一、VHF在协助船舶避碰中所存在的问题

1、过分依赖VHF协助避让行动，而疏忽了正规瞭望的其它措施。或由于长时间的呼叫不通而失去了进行避让的最佳时机，而形成紧迫局面，造成了碰撞事故。

2、不正确的初始呼叫与识别。尤其在通航密度大的航区或狭水道，以及在能见度不良情况下更容易发生误叫与误答。

3、不重视“标准航海用语”的训练和使用。由于语言隔阂，导致通信用语使用不当，影响了信文的及时接收和正确翻译，延误了避让时机。

4、过分依赖VHF协调避让行动，而忽视了遵守避碰规则所规定的行动规则，造成不应有的碰撞事故。

上述问题的关键是通信用语障碍，因而普及“标准航海用语”是对驾驶员的最基本要求。“标准航海用语”是在各国驾驶人员长期的无线电通信实践中所积累的通信用语及习惯用语的基础上提出的，被IMO海上安全委员会所采纳，是一种含意明确，简练、而又不易混淆的通信用语。IMO建议各成员国向所有未来使用者和海运教育部门进行广泛传播。而且在“1978年海员培训、发证和值班标准公约”中明文规定，对驾驶员培训发证时，一定要具有听懂和运用

“标准航海用语”的能力。目前，在无线电语通信中虽未强制使用“标准航海用语”，但旨在通过广大海员的广泛使用和反复实践，使其日趋完善，成为一种海员普遍可接受的航海专用英语。

驾驶员在船舶避碰通信中，不但要能熟练运用航海标准用语，还要能保证正确呼叫和识别，并且掌握好避让时机。

二、使用 V H F 协助避碰的行动时机，

只有严格执行海上避碰规则所规定的避让行动才能减少船舶间的紧迫局面和碰撞事故。而 V H F 通信仅是为了及时对局面和碰撞危险作出正确的估计，以便争取时间，及早地采取避让措施。只有在某船因周围环境所迫，无法按照《规则》进行避让时，即必须符合《规则》第二条第二款规定，才能用 V H F 通知对方背离规则，否则随心所欲任意采取行动，其后果将不堪设想。总而言之，V H F 通信只能是执行规则的辅助手段，使用中，不能违背甚至取代规则。

利用 V H F 协助船舶避碰的时机非常重要。使用得当将给安全航行带来很多有益的帮助，但如果使用时机不当，甚至滥用，也会给船舶避碰带来诸多不利。

第四节 瞭望的组织

一、值班驾驶员的任务

瞭望的任务就是保证发现周围环境中的突然变化；在能见度良好时立即发现，在能见度受限时，能在最短时间内发现。一般来说，值班驾驶员要不间断地进行瞭望。当必须进入海图室时，值班驾驶员必须指示值班水手来代替自己。如果能见度良好，船舶在没有其他船舶的开阔海面上航行进海图室时，就无须将甲板上的水手叫来。

白天在大洋中航行时，船使用自动舵操纵的，并且往往只有值班驾驶员一人在驾驶室。但是，当出现会遇船时，则必须叫水手到驾驶室，改用手操舵。这时叫水手要及时，以避免驾驶员本人不得不上舵从而将严重削弱了瞭望。当方位线不变或几乎不变时，必须采取避免危险接近的机动措施。假设方位线是变化的，但较慢或较难于测出两船让开的距离，或者较难确定在转到新航向之后会遇形势如何变化，或者在什么位置上将发生追越，或者处于要求确认的其他情况时，都必须使用雷达进行标绘。1972年《规则》的第五、七、十三、十四条中良好船艺的基本要求的一个共同内容是：不靠自信，而应认为碰撞危险存在，并且必须采取行动，即使弄清形势没有危险之后，亦应连续进行观测，直到两船让清为止。

值班驾驶员的一项必须履行的任务是，不仅应瞭望船首舷角，还要瞭望船尾各舷角。这在夜间于交通繁忙的狭窄航道的海峡中航行时，具有特殊意义。向正横以后瞭望并不意味着值班驾驶员解脱向前瞭望的责任。在避让过程中，如果船长和引航员的注意力都放在对驶船上而对其他船舶的瞭望有所削弱，则此时值班驾驶员和瞭望水手的瞭望就更有特殊意义。

二、瞭望人员的配置

1、在正常能见情况下：由引航员引航时，~~船长~~（长时间引航时是大副）和值班驾驶员应在驾驶室，在夜间通过狭水道最复杂的区段时，船长（大副）与两名初级驾驶员应在驾驶室。各履行瞭望职能，另一名监测船位、防止可能出现的过失，必要时要进行船舶运动图绘算，监督舵工执行舵令情况，在车钟附近传达转换主机工作口令。

在航行到最危险的水域而没有引航员航行时，除船长之外，大副和值班驾驶员均应在驾驶室。在必要的情况下，要叫两名初级驾驶员

上驾驶室，大副负责监督海图作业和定位，向船长提供一切必须信息帮助船长操船、决策，监督舵工的工作，与岸上通话，向机舱传达口令等。

叫两名初级驾驶员上驾驶室时，他们的任务分配可与领航员时一样，这是很必要的。这样可以减轻大副的负担，使其集中注意力去汇总和综合所收到的信息资料，直接帮助船长。

2、在能见度受限情况下，在航路密度不大的开阔海域航行时，有一名经验丰富的驾驶员就够了，否则应予替换或吸收较有经验的驾驶员以提高其实际水平。

在航海上并不复杂而通航密度较高的水域，雷达荧光屏上几乎总有目标，这时，在驾驶室应经常有两名瞭望驾驶员，其中之一应是船长或大副。船长（大副）在雷达上，将二名驾驶人员根据船长提供的数据在运动图上进行标绘。他还要记下测距目标方位与距离的时刻，预告船长接近和到达下一个点的时刻。当情况弄清楚时，总有一股足以测距船位的时间，为此可以放弃下一个点的标绘，但不能中断瞭望。

经验表明，上述程序（即在发现目标之后立即在运动图上标绘的情况下），可以对很多船舶进行有把握的观测。特别是设有12海涅距离档上可以在正横之前看见7~8个目标，这在多数情况下是可以进行有效的监测的。这样，所发现目标中的大部分行驶在相当远的距离上，因而只要求定时地测定方位即可。

在实行分道通航制的繁忙水域航行时，例如，英吉利海峡、新加坡海峡，不管是否有领航员在船，船长与值班驾驶员均应在驾驶室。当必须再叫1~2名初级驾驶员上驾驶室时，其中一人的唯一任务应该是根据船长或大副所提供的数据进行雷达标绘。

有领航员领航时，为了连续进行环境监测，如果雷达天线分装在不同高度上，不会造成干扰，应定时地使第二部雷达工作，

如果在同一波束工作的两部雷达天线分装的间隔不足，干扰很大，致使实际上无法进行观测时，亦应同领航员一起进行瞭望，而不应盲目地过分信任领航员。

总之，在通过危险地段时，船长可根据具体的航海和水文气象情况减少或增加在驾驶室的驾驶员人数，并根据初级驾驶员的知识与实际技能分配他们相应的任务。

第二章 安全航速

每一船舶在任何时候均应用安全航速行驶，以便能采取适当且有效的避碰行动，并能回避合当时环境和情况的距离以内把船停住。

安全航速在航行中尤其在大航行中是重要的，从多年的统计数据知道，碰撞发生时两船速度一般都很高，相应的碰撞损失就比较大。1972年《规则》第六条对安全航速作了规定，要求所有船舶要根据当时环境和情况适当控制航速，为采取避让行动留有足够距离和时间。

第一节 安全航速的影响因素

在决定安全航速时，考虑的因素应包括下列各点：

1) 对所有船舶：

(1) 能见度情况；

(2) 通航密度，包括渔船或者任何其他船舶的密集程度；

(3) 船舶的操纵性能，特别是在当时情况下的冲程和回转性能；

(4) 夜间出现的背景灯光，诸如来自岸上的灯光或本船灯光的反向散射；

(5) 风、浪和流的情况以及靠近航海危险物的情况；

(6) 吃水与可用水深的关系。

2) 对备有可使用的雷达的船舶，还须考虑：

(1)、雷达设备的特性、效率和局限性；

(2)、所选用的雷达距离标尺带来的任何限制；

(3)海况、天气和其他干扰源对雷达探测的影响；

(4)在适当距离内，雷达对小船、浮冰和其他漂浮物有探测不到的可能性；

(5)雷达探测到的船舶数目、位置 and 动态；

(6)当用雷达测定附近船舶或其他物体的距离时，可能对能见距离出更确切的估计。

1、能见距离情况

能见度的情况对于安全航速的决定极为重要。过去的避碰规则一直就对能见度不良时船舶的行驶速度有所限制，即应减速行驶。

1972年《规则》不仅在第六条中提出决定安全航速时要考虑能见度情况，而且在第十九条中也进一步提出要求。如“每一船舶应以适合当时能见度不良的环境和情况的安全航速行驶，机动船应将机器作好随时操纵的准备。”，“除已断定不存在碰撞危险外，每一船舶当听到他船的雾号显似在本船正横以前，或者与正横以前的他船不能避免紧迫局面时，应将航速减到能维持其航向的最小速度。”

1) 从能见度与灯光照距的关系看

表 2—1 能见度与灯光照距的关系

(根据英国海员航标灯光照距图解)

施灯照距 (海里)	发光强度 $K=0.8$ (新烛光)	各大气能见度的灯光照距 (海里)		
		5 海里 (国际代号 6)	7 海里 (国际代号 7)	10 海里 (国际代号 10)
大气透射率 $K=0.8$ (相当于 13 海里能见度)				
6	94	3.7	4.3	5.3
5	52	3.2	3.7	4.4
2	4.3	1.5	1.5	1.8

2) 从倒车惯性冲程看

在能见度不良的情况下，初见来船的灯光但一时尚未看清来船首向之前，如盲目改向避让反而可能造成紧迫局面，故一般采取减速、停车甚至在必要时倒车的做法。

来船大小在初见时不易识别，夜间则更加困难，因此只能根据自然船尺度大小作避让的打算，以各自的最大临界距离为基准，借以决定停车或减速的大气能见度。

结合表2—1桅灯在不同大气能见度情况下的能见距进行考虑，就1.5万吨级的船来说在能见度为4海里、10万吨级的船为7海里和30万吨的船为10海里时，按理即应备车。如能见度进一步降低即应减速以适合当时能见度的安全航速行驶。这样的要求看来对巨型船似乎过高，人们可能不乐于接受，但却是确保安全的可靠措施。对于无人机舱自动化程度高的船来说是容易办到的。如果采取改向避让措施作为替代办法，那么由于临界距离可缩短3.0~3.5海里，则可等到大气能见度降到5海里时备车。但必须以加强瞭望，保持雷达观测，切实掌握来船动向为前提，随时作好避让准备以免延误时机。

此外，为便利倒车的尽快开出，压缩主机换向过程的时间，各车后的转速一般应适当减少，如减到正常全速转速的80%（实际上相当于主机额定功率约一半时的航速，即俗称的半速）。

2、通航密度

船舶在渔船群密集或港口附近等交通密度较大的水域航行，行驶速度一般来说要比在交通密度小的水域低一些，备车航行更符合好船艺的做法。

根据碰撞偶然几率推导，单船通过船舶密集区有碰撞次数，是随过船群的距离、船舶密度（单位面积的船艘数）、本船和他船的长

度、密度及速度比的函数，其中密度尤为关键因素。因为本船的转向旋回余地受到很大限制，因此避让的手段主要靠车速的控制，以便在必要时能把船停住。

3、船舶操纵性能

就船舶而言，船舶的操纵性能主要指旋回性能（冲程）和旋回性能。船舶越大，吨位吨载，对船速越是要加以控制。就万吨船而言，全速满舵旋回前进距达3~5倍船长，而紧急倒车冲程达6~8倍船长。超大型船的数值更大。为了能在适当当时环境和情况的距离以内把船停住，大型重载船舶在决定安全时尤其要考虑本船操纵性能的改善。

4、背景灯光

夜间出现的背景灯光，诸如来自岸上的灯光或本船灯的反向散射，对于瞭望时及时发现来船有不利影响。根据英国海军航标表提供的灯光照距图等资料，以照距为6海里的灯柱或桅灯为例，其背景如为居民区的较弱的灯光影响，就可能使照距下降至2.5海里。如背景为城市或港口设施的较强灯光，则桅灯的可见距离可降至1海里。此外，处于月光下的航行灯的照距也会降低，在下雾时本船号灯的反向散射也影响本船发现来船的号灯。因此在上述条件下航行，船舶应在航速上加以控制。

5、风、流、浪及航海危险物的情况

对于所有船舶而言，考虑风、流、浪因素主要是水文地理情况。这类情况会影响船舶的操纵能力或操纵余地。在狭水道、浅水区、岛礁区以及沿岸水域航行时尤其需要加以考虑。此外，船舶在靠近航海危险物区域航行时也受控制航速。因为在与它相遇时需要采取避让行动时，这些航海危险物可能成为行动的障碍而使操纵余地受到

限制。

6、吃水与可用水深关系

主要是指浅窄水道航行，避让余地不多，而且船底富余水深减少，阻力增加，航速降低，操纵性能大受影响，例如舵效差，旋回圈增大等。当水深或浅到吃水为1.36倍左右时，旋回圈几乎增大一倍。再者船在浅水航行时，船体周围的水流比在深水中要多，因而增大了阻力值和惯性矩，消耗很大一部分倒车功率，使冲程有所增加。

船在航行中船首尾有下沉现象，航速越快下沉越多。特别是在浅水中，如水深与吃水为1.1倍时下沉更甚。因此富余水深不足时，不但有触底甚至可能造成搁浅的危险。降低航速减少下沉量，不仅可以防止触底，而且有利舵效，增进航行安全。

当水深只有1.1倍吃水时，可用下列公式计算本船航行时避免触底的临界速度：

$$V = 0.13 \sqrt{L \cdot g}$$

式中：V—临界速度（米/秒）；

L—船长（米）；

g—重力加速度（米/秒²）。

根据多年经验，浅水航行时如速度不超过1.2节，船底富余水深达0.4%L时不致触底。

7、使用雷达时船舶应考虑的因素

一般来说，在能见度不良时，船舶各有雷达并能正确使用是比无雷达更有利于避免碰撞发生。因为利用雷达探测可以获得视觉所不能获得的来船信息，而雷达探测距离上又远来船并经过雷达标绘判断会遇情况与碰撞危险。从这一点说，正确使用雷达比能见度不良