

航海类专业精品系列教材

航海仪器

Nautical Navigational Instruments

(下册：船舶导航雷达)

第二版

刘彤著



大连海事大学出版社

航海类专业精品系列教材

航海仪器

Nautical Navigational Instruments

(下册：船舶导航雷达)

第二版

刘彤 著

大连海事大学出版社

©刘 彤 2016

图书在版编目 (CIP) 数据

航海仪器. 下册, 船舶导航雷达 / 刘彤著. —2 版. —大连: 大连海事大学出版社,
2016. 3

航海类专业精品系列教材

ISBN 978-7-5632-3303-8

I. ①航… II. ①刘… III. ①航海仪器—高等学校—教材②航海导航—导航雷达—高等学校—教材 IV. ①U666.15②U665.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 040538 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号

邮编: 116026

电话: 0411-84728394

传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2013 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 2 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm×260 mm

印数: 1~3000 册

印张: 12.5

字数: 313 千

出版人: 徐华东

责任编辑: 刘长影

版式设计: 解瑶瑶

封面设计: 解瑶瑶

责任校对: 张 华

ISBN 978-7-5632-3303-8

定价: 25.00 元

前 言

海上运输是交通运输的重要组成部分，在促进外贸运输发展和推动对外贸易增长等方面以其他运输方式不可比拟的优势发挥出越来越重要的作用。

大连海事大学作为我国唯一的国家重点航海类专业院校，多年来为我国乃至国际海上运输业培养了大量的航海类专业高级人才，对促进航运业的发展起到了重要作用。近年来，随着科学技术的进步和交通运输业的发展，学校针对航海类专业的鲜明特色，在人才培养方案、教学内容及课程体系改革等方面进行了一系列的研究和实践。在此基础上，我校组织编写出一套与新的培养方案、教学内容及课程体系相适应的航海类专业精品系列教材，旨在加强航海类专业建设，提高航海类人才培养的质量和水平，进一步推动高等航海教育的发展。

为了保证航海类专业精品系列教材顺利出版，学校在人力、物力和财力等方面予以充分保证。组织校内航海类专业的资深专家、骨干教师和管理干部做了大量工作，从筹备、调研、编写、评审直至正式出版，历时三载有余。2005年5月，学校先后组织召开了两次航海类专业教学改革研讨会，来自交通部海事局、辽宁海事局、中国远洋运输（集团）总公司、中国海运（集团）总公司、中国船级社等单位的专家为教材编写的筹备工作提出了中肯的意见和建议。2006年初，教材编写工作正式启动，确定重新编写航海类专业教材22种，其中航海技术专业教材13种、轮机工程专业教材9种。教材编写大纲先后征求了中国远洋运输（集团）总公司、中国海运（集团）总公司及大连海事大学等单位10多位专家的意见。学校组织教材主要编写人员分赴北京、天津、青岛、上海、广州、武汉及厦门等多家航运企事业单位进行调研，收集了大量的最新技术资料，同时听取了有关领导和专家的意见。2007年我校先后召开了五次评审会，来自交通部海事局、驻英大使馆海事处、中国海事服务中心考试中心、辽宁海事局、山东海事局、中国远洋运输（集团）总公司、中国海运（集团）总公司、大连港引航站、上海海事大学、海军大连舰艇学院、大连水产学院（现称大连海洋大学）、集美大学、青岛远洋船员学院及大连海事大学等单位的多位专家对22种教材的初稿就内容、文字及体例等方面逐一评审，反复推敲，几易其稿，逐步完善，反复审核，最终正式出版。该套教材中共有16种教材入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

这套航海类专业精品系列教材以履行修订后的STCW公约为前提，结合海上运输业发展的国际性和信息性等特点，以更新教学内容为重点，对原有教材做了大量的增删与修改，注重理论基础及内容阐述的逻辑性和准确性，力求反映国内外航海科技领域的新成就与新知识，适应21世纪海上运输业对航海类人才的知识、能力和素质结构的要求，兼顾各教材内容之间的衔接与整合，避免重复与遗漏。我衷心地希望，通过全体编写人员的不懈努力，这套精品系列教材，能够进一步加强我校航海类专业的建设，为国内兄弟院校航海类专业的发展提供有益的借鉴，为我国高等航海教育发展尽微薄之力。

教材在编写和出版过程中，得到了方方面面领导、专家和同仁的大力支持和热心帮助（具体名单附后）。我谨代表大连海事大学及教材编写全体成员对以上单位和个人致以最诚挚的谢意。各

位专家和同仁渊博的专业知识、严谨的治学态度、精益求精的学术风范以及细致入微的工作作风为教材的顺利出版做出了卓越的贡献，在很大程度上可以说，这套教材的成功出版，是全体编写人员，各港航企事业单位的领导、专家和同仁共同努力的成果。

航海类专业精品系列教材的编写是一项繁重而复杂的工作，鉴于时间和人力等方面的因素，这套教材在某些方面还不是十分完善，缺点和不妥之处在所难免，希望同行专家不吝指正。同时，希望以此为契机，吸引更多航海技术领域的专家、学者参与到这项工作中来，为我国航海教育献计献策，为我国乃至国际海上运输事业培养出大量高素质的航海类专业人才。

大连海事大学校长



2008年3月

对教材出版给予大力支持和帮助的单位及个人如下：（以姓氏笔画为序）

于晓利	教授	大连水产学院（现称大连海洋大学）
于智民	高级船长、高工	中远散货运输有限公司
马文华	高工	大连远洋运输公司
王 阳	高工	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
王 健	高工、高级引航员	大连港引航站
王国荣	高级轮机长	中远散货运输有限公司
王征祥	船长	中远集装箱运输有限公司
王新全	高工、总轮机长	中国远洋运输（集团）总公司
车 毅	船长	大连远洋运输公司
方伟江	轮机长	中海国际船舶管理有限公司上海分公司
叶依群	高级船长	中远散货运输有限公司
石爱国	教授	海军大连舰艇学院
田喜林	高工	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
邢 钺	高工	中远散货运输有限公司
任辰西	高级船长	中远散货运输有限公司
刘 屹	高工	大连远洋运输公司
刘世长	船长	日照海事局
安 彬	高级船长	大连远洋运输公司
孙 广	高工	辽宁海事局
吴 恒	教授、博导	大连海事大学
吴万千	副教授	青岛远洋船员学院
杜荣铭	教授	大连海事大学
杨君浩	轮机长	中海国际船舶管理有限公司上海分公司
李 录	高级轮机长	广州远洋船员管理公司

李志华	副教授	大连海事大学
李忠华	高工	珠海海事局
李恩洪	船长、高工	交通部海事局
李新江	副教授	大连海事大学
沈毅	工程师	辽宁海事局
邱文昌	教授	上海海事大学
邱铁卫	高级轮机长	大连远洋运输公司
邹文生	高级轮机长	大连远洋运输公司
陈志强	高级轮机长	中远集装箱运输有限公司
陈建锋	高工、高级船长	中远散货运输有限公司
邵哲平	教授、船长	集美大学
张仁平	教授	驻英大使馆海事处
张文浩	高工	中远散货运输有限公司
张均东	教授、博导	大连海事大学
张秋荣	教授	上海海事大学
林长川	教授	集美大学
易金华	指导船长、高级船长	中海国际船舶管理有限公司广州分公司
金松	教授级高工	中国船级社大连分社
金义松	船长、高工	中海国际船舶管理有限公司
周邱克	高工、高级船长	中海客轮有限公司
房世珍	大副	青岛远洋对外劳务合作有限公司
赵金文	高工、轮机长	大连远洋运输公司
赵晓玲	副教授	青岛远洋船员学院
赵爱屯	高级船长	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
姜勇	教授级高工	山东海事局
洪碧光	教授、船长	大连海事大学
姚杰	教授	大连水产学院（现称大连海洋大学）
敖金山	高级船长	枫叶海运有限公司
夏国忠	教授	大连海事大学
顾剑文	高工	大连国际船员培训中心
徐波	高工	中远集装箱运输有限公司
殷传安	高级轮机长	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
郭子瑞	教授	辽宁海事局
郭文生	高级船长	广州远洋船员管理公司
黄党和	轮机长	中国海事服务中心
崔保东	船长	青岛远洋对外劳务合作有限公司
蔡振雄	教授	集美大学
魏茂苏	轮机长	青岛远洋对外劳务合作有限公司

作者的话

——第二版

人是有生命的，知识也是有生命的。人的生命力来自于不断创造，知识的生命力有赖于持续创新。写作是充满了欣喜与遗憾的旅程，新作完成时的喜悦犹如新生命诞生那一刻的欢欣，然而生命的历程注定伴随着徘徊与成长中的艰难跋涉，经历着否定之否定的痛苦惆怅。欣喜鼓励我们无怨无悔地前行，遗憾驱动我们百折不挠地攀登。

恍然之间，这本雷达教材三岁了。三岁的生命还只是在父母庇护之下的幼儿，但三岁的雷达教材已经赫然伫立，经历了 IMO 如深邃海洋狂浪风暴般的考验。基于船舶导航雷达教学研究的积累，作者通过中国海事局于 2015 年 2 月向 IMO 递交的提案 *Revision of IMO model course 1.07 on Radar Navigation at Operational Level* 顺利地在 IMO HTW 第二次分委会上审议通过，IMO 授权由中国政府牵头完成示范课程 1.07 雷达导航修订更新工作。在中国海事局的领导下，由广东海事局与大连海事大学主办，在上海海事大学、集美大学、武汉理工大学、广州航海学院和青岛远洋船员职业学院的通力协作下，经过近一年的艰苦努力，作者主持完成了对该示范课程的技术修订更新工作，并于 2016 年 2 月在 IMO HTW 第三次分委会上审验顺利通过。这是中国第一次承接 IMO 示范课程开发工作，对于一个有着灿烂航海文化的文明古国，当今船员总量、航海院校数量和船员培训规模均位居世界首位的航海教育大国，能够在 IMO 的平台上展示中国的航海教学成就，向全球航海人传递中国的航海教育理念，无疑是中国从航海教育大国走向航海教育强国道路上的一个里程碑。

示范课程开发工作的顺利完成极大地推进了雷达教学内容的完善，是雷达教材改版的内在动力。同时，在我国“11 规则”运行的 3 年中，我们也发现了教材存在诸多不妥之处，新版教材呼之欲出。基于这些因素，本版雷达教材逐一修订和更正了首版内容的不妥之处，较大幅度地更新了雷达定位和导航的内容，对雷达基本原理以及雷达在瞭望、观测、定位、导航和避碰中的性能和功能进行了深入剖析。特别是针对 MSC.192(79) 雷达性能标准关于显示方式的规定，与国际航联 (IAIN) 主席 Andy Norris 先生 (IEC TC80 委员会前主席) 探讨，提出了新的教学观点。教材内容力求贴近信息时代的航海实践，进一步引领信息航海发展。

第二版教材作者团队在保留第一版原班作者的基础上，由广州航海学院毕修颖修改和完善了第六章内容。感谢大连海事大学丁勇教授对雷达定位内容提出的宝贵建议。

一部雷达教材不仅仅传递着专业知识，更传承着航海教育理念。IMO 顺利通过对基于本教材内容的“示范课程 1.07 雷达导航”的审核，期望中国的航海教育理念能够更好地推动世界航海教育的发展。

作者
2016 年 2 月

作者的话

——雷达教材导读

船舶导航雷达又称民用航海雷达，是驾驶员在船舶瞭望、定位、导航和避碰中保障航行安全不可或缺的助航设备。教材简明地介绍了船舶导航雷达的系统配置及工作原理，详细地分析了雷达的性能和功能，深入地阐述了影响雷达性能的各种因素和雷达的局限性，系统地探讨了雷达在瞭望、定位、导航和避碰等航行活动中的操作技术，全面地讨论了雷达在航海实践中的使用方法及注意事项。

《航海仪器（下册：船舶导航雷达）》根据 IMO MSC.192（79）决议附件《经修订的雷达设备性能标准建议案》、IEC 62388 标准化文件《船舶导航——雷达性能要求、测试方法和测试结果》、STCW 公约马尼拉修正案以及中华人民共和国海事局制定的海船船员履约考试和评估大纲编写，可以作为航海技术、海事管理、仪器测控等涉及航海仪器相关专业的专业课教材，尤其可以作为我国履行 STCW 公约马尼拉修正案的海船船员适任考试评估培训的教材和参考用书，还可以成为驾驶员和从事航海专业技术的相关人员常备的参考书。

一、雷达教材沿革与雷达性能标准

在全球，民用船舶导航雷达的教材版本较多，IMO 示范课程推荐的教材有 4 本。W. Burger 编著的 *Radar Observers Handbook for Merchant Navy Officers*，1957 年在英国首次出版，至 1998 年更新了 9 个版本，内容理论与实践并重，几乎主导了 20 世纪的船员雷达培训教学；R. Lownsbrough 编著的 *Electronic Aids to Navigation: Radar and ARPA*，1993 年在英国出版，内容偏重设备原理，对实践有一定指导意义；H. Subramaniam 编著的 *Shipborne Radar and ARPA*，1989 年第一版，2010 年第二版，流传不是很广泛；A. G. Bole 和 W. O. Dineley 编著的 *Radar and ARPA Manual*，1990 年首次出版，2005 年第二版，预计 2013 年第三版，是近年流传广泛的、适用于航海培训较好的教材。纵观以上 IMO 推荐教材，对比 IMO 相关示范教程，就驾驶员培训而言，设备原理部分的介绍篇幅偏多，对最新雷达性能标准的支持不足，尚未有 STCW 公约马尼拉修正案之后的版本。

在我国，1956 年 11 月上海科学技术出版社出版的施彬编译的《简明航海雷达》第二版，比较系统地介绍了船舶导航雷达的基本原理和操作使用方法，较为详尽地介绍了雷达观测与标绘的基本知识。这是我国早期具有较大影响的航海技术专业雷达教材。在相当长一段时期内，电子导航技术发展较为迟缓，也受到当时国内政治形势对学术发展的影响，直到 20 世纪 80 年代，雷达教材都未更新。改革开放之后，正式出版的航海技术专业的雷达教材，在我国航海界影响较大的有两个版本：1990 年 6 月大连海运学院出版社出版的缪德刚主编的《航海雷达》和 1998 年 8 月大连海事大学出版社出版的王世远主编的《航海雷达与 ARPA》。这两部教材的专业观点和教学思想统一了全国的航海技术专业的本科、专科以及我国船舶驾驶员适任评估教学，几乎跨越了船舶导航雷达技术发展最迅速的 20 多年，在中国航海仪器的教学和船舶驾驶员培养工作中做出了突出的贡献。除了以上两个版本的雷达教材之外，为了配合中华人民共和国港务监督局（海事局前身）

1997 年 330 号文件《中华人民共和国船员雷达操作与模拟器专业培训、考试和发证办法》，即 B07/B08“雷达两证”管理办法——“雷达观测与标绘和雷达模拟器培训”和“自动雷达标绘仪培训”证书培训，1998 年 10 月和 2005 年 11 月，大连海事大学出版社两次出版了孙文强等作者主编的《雷达观测与标绘》，对应 B07 证书培训，但没有对应 B08 证书的教材问世。这期间，为了配合“雷达两证”的培训，全国各培训机构主要使用 1999 年由上海海运学院方泉根、孙国元主编的港务监督局内部培训教材《雷达观测与模拟器》和《自动雷达标绘仪（ARPA）》。2009 年 6 月和 2010 年 9 月，武汉理工大学出版社分别出版了吴建华主编的《自动雷达标绘仪》和祝建国与翁建军主编的《雷达观测与标绘》，用于华中、华东和西南地区的“雷达两证”培训。此外，2010 年 8 月大连海事大学出版社出版了张杏谷主编的《航海雷达》，主要用于集美大学航海技术专业本科与培训教学。该书第一次涉及 IMO MSC.192（79）雷达设备性能标准中 AIS 报告目标的功能，举例介绍了 AIS 在雷达中的应用，并且在书后附录刊出了 MSC.192（79）雷达性能标准的汉语翻译版本。

事实上，我国改革开放之后的教材涉及的雷达性能标准依据的是 1981 年 11 月 IMO A.477（XII）决议附件《雷达设备性能标准建议案》和 1995 年 11 月 IMO A.823（19）决议附件《ARPA 性能标准建议案》，而对于 1996 年 11 月 IMO 曾经通过对 A.477（XII）雷达性能标准建议案的修正案，即 IMO MSC.64（67）决议附件 4《雷达设备性能标准建议案》，以及在 2004 年 12 月 IMO 通过的 MSC.192（79）雷达性能标准，我国的雷达教材并未将其中反映的雷达在技术和功能上的更新和进步及时吸收到船员培训教学评估工作之中。

二、雷达技术发展与雷达教材建设

20 世纪 90 年代末期，特别是进入 21 世纪以来，IMO 积极倡导电子信息航海技术对航行安全的保障作用。随着卫星导航技术、数字通信技术、传感网技术和多传感器信息处理与融合技术的快速发展，船舶导航雷达的技术和功能有了长足的进步，从模拟技术到数字技术，从信号处理到信息融合，从单雷达设备视频显示到多传感器综合信息处理，雷达已经成为综合导航系统中的重要核心设备，其具备的观测（瞭望）、定位、导航和避碰功能必然在综合导航系统中占有着不可替代的重要地位。可以说，当前雷达涉及的专业内容已经涵盖了主流航海仪器设备的技术和应用。不全面、不完善的雷达教学内容直接影响我国航海技术专业的人才培养质量，影响了我国履行 STCW 公约的有效性，影响了航行安全。因此，雷达教材的写作已经成为航海技术专业教材建设的重点和难点之一。

三、雷达课程学习与本书导读及教学建议

对于航海技术专业，雷达是一门难度较大的专业技术课程，更是取得船舶驾驶员证书必须精通的适任考试评估课程。其难点在于：（1）系统配置复杂；（2）设备工作原理复杂；（3）设备功能复杂；（4）人机交互界面复杂；（5）操作步骤复杂；（6）精湛的操作需要深刻理解设备原理；（7）雷达回波图像受设备性能、电磁波传播条件、目标电磁波特性、使用者操作技术等多方面因素的影响；（8）对图像的正确解释需要深入理解和掌握以上各因素，并应积累丰富的雷达观测经验。雷达课程内容通常可分解为雷达设备基本工作原理、雷达操作、雷达观测、雷达导航和雷达避碰等五个部分。

本书共分九章并两个附录。第一章从技术进步的角度概括地介绍了船舶导航雷达的发展，旨在让读者了解现代雷达技术的基本特征。第二章首先介绍雷达图像的基本特点和雷达测量目标的基本物理原理，而后重点介绍雷达的显示方式及其应用，让读者熟悉和掌握雷达的显示特点。建

议本章的理论教学 2 学时，真实雷达设备实践 1 学时。第三章介绍雷达系统的基本配置及其工作原理，是本书的难点。这一章也是驾驶员能够正确操作雷达，解释雷达观测现象，掌握雷达使用功能的基础。根据航海技术专业的特点，在这一章中，结合雷达原理从理论上分析雷达操作和观测现象，为后续章节做好铺垫。建议本章理论教学 8 学时，熟悉真实雷达设备结构实践 0.5 学时。第四章详细介绍了雷达基本按钮的操作使用技巧和雷达开关机的基本步骤，建议本章理论课 2.5 学时并配合实验室真实雷达操作实践 1.5 学时。第五章详细介绍雷达的观测性能与观测技术、目标的观测性能及影响雷达正常观测的各种因素，是本书的重点内容之一。建议这一章的理论教学安排 8 学时，同时需要通过 3 学时实验室真实雷达的观测操作，认真领悟各种雷达观测现象，以做到在各种复杂恶劣的观测环境中能够发现弱小目标。第六章介绍雷达定位和导航的基本操作技术和使用注意事项。这一章是航海学中重点讨论的内容，这里在定位方面从雷达观测的角度侧重介绍目标识别与选择，在雷达导航方面侧重介绍了新的性能标准涉及的海图雷达导航。建议本章理论课 2 学时，在真实雷达（若具备条件）或在模拟雷达上安排 2 学时实践配合理论教学。第七章的内容是教材的另一个重点——雷达避碰功能，即传统的 ARPA 功能及其在新技术条件下的功能扩展，是最近 20 年船舶导航雷达技术发展的侧重点，也是其他设备无可取代的重要功能。通过深入研究 IMO 和 IEC 最新雷达性能标准以及 IEC 62288 标准化文件《船载航行显示器导航相关信息显示要求、测试方法和测试结果》，作者按照国际规范，将研究成果与航行实践相结合，详细探讨了雷达目标跟踪与 AIS 报告目标信息在雷达避碰行动中的操作使用方法、设备的优势与局限性。建议本章的理论教学不少于 10 学时，真实雷达设备的操作 2 学时，模拟设备的操作实践及评估 30 学时。第八章作者结合 20 多年雷达安装与维护保养的实践，从设备管理角度完整地介绍驾驶员应了解和具备的雷达安装验收与维护保养知识，建议理论授课 2 学时。如果为了加强设备维护保养训练，如对船舶电子电气专业，则本章是授课的重点之一，建议强化实验室实践授课。第九章概要介绍了近几年开始发展起来的新体制雷达的技术特点及其观测特性。针对航海技术专业，本教材建议授课学时分配如下表所示。

章	理论学时	实践学时（包括评估）		雷达操作与应用评估 对应内容备注
		真实雷达设备	雷达模拟器	
第一章	0.5	×	×	×
第二章	2	1	×	（下列评估都涉及）
第三章	8	0.5	×	×
第四章	2.5	1.5	×	雷达基本操作与设置
第五章	8	3	×	雷达定位、雷达导航
第六章	2	2		
第七章	10	2	30	雷达与 AIS 避碰操作
第八章	2	×	×	×
第九章	1	×	×	×
总计	36	10	30	×

为了帮助广大读者和专业技术人员更好地理解雷达原理，准确掌握雷达性能，熟练运用雷达功能，我们将 IMO MSC.192(79) 雷达性能标准和 IEC 62288 中雷达导航相关信息显示标准翻译为汉语作为本书的附录。在翻译过程中，我们发现性能标准的原文也存在表述并不十分准确的文

字，究竟应该忠实原文表述还是以专业准确为准则，平衡其中的取舍给翻译带来了一定难度。当然，最终的评判还取决于本书的读者，竭诚期望各方圣贤不吝赐教，指出不当之处。需要说明的是，对雷达显示器上导航相关图标标识和信息（附录二）的翻译，我们没有采用与原文对应的翻译方式，而是按照对专业内容的理解用汉语重新组织了这部分内容，我们认为这样会更有利于理解和掌握导航信息显示的标准。

四、教材各章节作者

本书由大连海事大学刘彤、杨晓、成川、陈铎、全东群等著。其中：第三章第七节由陈铎撰写；第八节由陈铎、刘彤、杨晓共同撰写；第五章第三节由成川撰写；第六章由陈铎、杨晓、刘彤共同撰写；第七章第二节至第六节由刘彤、杨晓共同撰写；第八章第二节和第三节由全东群撰写；第九章由杨晓撰写；附录一由刘彤翻译，成川提出宝贵建议；附录二由余枫编译；全书其他章节均由刘彤撰写。全书统稿人为刘彤。大连海事大学索继东教授审阅了全书并提出了宝贵意见。

五、致谢

从收集资料，与相关航运管理部门、航运企业专业人员、教学培训机构专家学者座谈沟通，到着手写作，紧随国际公约的发展、技术标准的更新、设备功能的丰富和我国履行 STCW 公约的进程，我们反复多次不断修改和完善教材内容，直至歇笔已经过去了五载春秋。在这期间，陆续从作者手中脱稿的教材和著作已经接近 10 部，本书的上册《航海仪器（上册：船舶导航设备）》也已经在 2009 年开始面向广大读者和专家学者，而唯有这部《航海仪器（下册：船舶导航雷达）》却心存惶恐，不安付梓，深忧限于生平才学的浅薄，妄自揣测现代科技的深奥。

感谢海洋奉献给人类广袤的世界，感谢 IMO 和中国航海教育搭建的历史舞台，感谢大连海事大学多年孜孜培育，感谢航运管理部门和相关企事业专家的大力提携，敦促我们能够在这个广阔天地的大舞台上扮演一个小小的配角，殚精竭虑演绎自己的角色。自从 2010 年 STCW 公约马尼拉修正案颁布以来，中国海事局降任我等作者完成海船船员考试评估履约大纲的修订起草工作。巧借契机，四海汲取航海界精英之锐气，八方采纳资深专家学者之灼见，内强雷达理论之筋骨，外润航海应用之肌肤。再赖得中国海事局、大连海事大学及大连海事大学出版社的宽容与信任，又幸有朝夕相处同仁的鼓励和支持，虽一推再拖突破脱稿限期，但终于极思毕力为大家献出倾心之作。作者深知才疏学浅，挂一漏万献疵于大庭广众，唯有无奈何跪谢各位尊敬的同仁志士的关心和期盼。我等确实尽力而为了。

作者

2013 年 2 月

目 录

第一章 引言.....	(1)
思考题.....	(3)
第二章 雷达目标探测与显示基本原理.....	(4)
第一节 雷达测量目标距离与方位.....	(4)
第二节 雷达显示方式.....	(7)
思考题.....	(11)
第三章 雷达设备工作原理.....	(12)
第一节 雷达系统配置.....	(12)
第二节 雷达发射机.....	(15)
第三节 雷达双工器.....	(20)
第四节 雷达微波传输及天线系统.....	(22)
第五节 雷达接收机.....	(30)
第六节 雷达信息处理与显示系统.....	(33)
第七节 多雷达系统.....	(40)
第八节 雷达性能监视器.....	(45)
思考题.....	(48)
第四章 雷达操作.....	(50)
第一节 雷达主要控制的操作要领.....	(50)
第二节 雷达基本操作方法.....	(59)
思考题.....	(61)
第五章 雷达观测.....	(62)
第一节 雷达观测性能与观测技术.....	(62)
第二节 目标观测特性.....	(73)
第三节 影响雷达正常观测因素.....	(83)
思考题.....	(92)
第六章 雷达定位与导航.....	(93)
第一节 雷达定位.....	(93)
第二节 雷达导航.....	(97)
思考题.....	(106)
第七章 雷达目标跟踪与 AIS 目标报告.....	(107)
第一节 雷达目标跟踪基本原理.....	(107)
第二节 雷达目标跟踪基本功能.....	(114)

第三节	AIS 报告目标.....	(124)
第四节	雷达跟踪目标与 AIS 报告目标关联.....	(126)
第五节	会遇局面与碰撞危险判断及试操船.....	(129)
第六节	雷达避碰功能优势与局限性.....	(134)
	思考题.....	(142)
第八章	雷达安装验收与维护管理.....	(143)
第一节	雷达安装与验收.....	(143)
第二节	雷达维护保养与误差校正.....	(146)
第三节	雷达交接班与雷达使用记录簿.....	(149)
	思考题.....	(152)
第九章	新体制固态雷达简介.....	(153)
	思考题.....	(156)
附录一	MSC. 192 (79) 决议.....	(157)
	通过经修订的雷达设备性能标准.....	(157)
	经修订的雷达设备性能标准建议案.....	(157)
附录二	雷达显示器上导航相关图标标识和信息.....	(175)
参考文献		(183)

第一章 引言

雷达是英文 Radio Detection and Ranging 的缩写,意为无线电探测与测距。雷达发明于第二次世界大战前夕,借助战争,雷达技术得到了迅速发展。第二次世界大战之后,雷达技术在多个领域转为民用。应用于船舶导航的雷达称为船舶导航雷达(Shipborne Navigation Radar),亦称民用航海雷达(Civil Marine Radar, CMR),也称为航海雷达或船用雷达。随着航运市场和电子信息技术的发展和进步,为了规范雷达的使用性能和技术性能,IMO 和 IEC 颁布并多次修订了雷达的性能标准和测试标准。

IMO 在雷达性能标准中指出,通过提供其他水面航行器、障碍物和危险物、导航目标和海岸线等相对于本船位置的指示,雷达设备应有助于安全航行和避免碰撞。按照国际海上避碰规则的要求,雷达是唯一被认可的避碰助航设备。因此,雷达是驾驶员赖以瞭望、观测、定位、导航和避碰的重要航海仪器。在本书中,未有特别说明时,“雷达”一词即指船舶导航雷达,性能标准即指 MSC.192(79)船舶导航雷达性能标准建议案。雷达能够及时发现远距离弱小目标,精确测量目标相对本船的距离和方位,确定船舶位置,引导船舶航行。通过传感器的支持,雷达还具备了目标识别与跟踪、水文地理参考信息显示等功能,能够有效地避免船舶碰撞,保障航行安全。

一、雷达技术发展

在半个多世纪的发展过程中,雷达收发机主要沿用着传统的简单脉冲发射与接收体制,雷达技术的进步主要表现在传感器及视频信息综合处理方面。随着晶体管、集成电路、传感网技术以及卫星定位技术和信息技术的发展,雷达的发展历程大致经历了模拟信号处理、数字信息处理和计算机信息处理三个阶段。

随着最新性能标准的实施,雷达技术突破了传统的简单脉冲体制,全集成固态化复杂调制发射技术已经开始应用于 S 波段雷达系统。这种新体制的雷达目前市场环境正在逐渐成熟,本书将在第九章做简单介绍。

(一) 模拟信号处理

这段时期大约为 20 世纪 90 年代之前,雷达设备完全或主要采用电子管或晶体管分立器件,发射功率较大,回波信号经过接收设备实时处理,直接显示在径向圆周扫描显示器(亦称平面位置显示器,Plan Position Indicator, PPI)上。这个阶段晚期的雷达传感器技术已经十分成熟,具有非常好的目标探测和分辨能力,天线技术性能稳定,发射能力强,接收信噪比高,抗干扰能力强,故障率低,目标图像稳定清晰,操作简单方便,成为航海人员安全航行的好帮手,被称为驾驶员的“眼睛”。

然而,这个时期雷达的缺点也显而易见。由于采用实时的模拟信号处理系统和径向圆周扫描显示器,荧光屏的显示亮度和对比度受到了限制,实现彩色显示困难,在有环境光的时候,需要用遮光罩遮挡环境光才能正常使用雷达。改变量程时,屏幕的亮度也必须随之改变,否则回波图像质量降低,还容易发生“烧屏”现象,损坏显示器。尤其是实时系统不利于信息处理,无法方便地实现目标跟踪功能,难以处理文字和图标标识信息,不方便接收其他现代航海仪器的信息以实现航行信息共享,雷达显示器只能作为雷达回波图像的专用显示器,显

示信息单一。

（二）数字信号处理

1990年前后，在雷达收发体制基本不变的情况下，随着微波元器件的发展和应用，雷达接收设备回波处理能力有了很大的提高，雷达发射功率逐渐降低，接收灵敏度提高，动态范围加宽。随着大规模集成电路的广泛应用，雷达设备的体积实现了小型化，雷达视频信息的再处理也有了长足的进步。这个阶段普遍采用了数字处理技术，将原始雷达视频数字化，利用雷达显示休止期对信息进行处理，克服了前一阶段雷达的主要缺点，实现了均匀高亮度光栅扫描显示，提高了信息检测能力，并且能够方便地实现目标自动标绘和跟踪（ARPA）功能。

这个阶段，雷达信号处理采用专门设计的硬件，其技术和雷达的使用功能基本上可视为过渡期。原始视频信息经过模数转换得到的数字视频质量并不很高，出现失真较大和目标闪烁明显等问题。即便如此，数字信号处理技术还是给雷达信息的再处理带来了革命性的进步，使雷达信息处理技术从整体上进入了一个新的时期，为后来的雷达信息化发展奠定了基础。

从使用层面看，这个阶段的雷达仍然保持着独立专用显示器，但操作界面更为复杂，既保留了传统的旋钮按键式操作界面，又应用了屏幕触摸式操作界面，还出现了类似计算机鼠标式的轨迹球与屏幕菜单结合的操作界面；雷达的功能在瞭望、观测和定位的基础上，提供了更为丰富的导航和避碰信息。

（三）计算机信息处理

进入 21 世纪，传感网技术、现代通信技术、信息处理技术和卫星定位技术对航海仪器的发展起到了不可估量的推动作用。计算机数字信息处理、卫星定位、AIS 及电子航海图（ENC）的应用，带给了雷达更强大、更丰富的功能。现代雷达系统具有一些共同特点，发射功率一般不超过 30 kW，趋于小功率发射；雷达传感器越来越多采用桅上型结构（见第三章第一节），硬件趋于集成化、模块化；信息处理硬件采用工业计算机系统，软件采用近现代信息处理方法，运用相关检测技术，综合处理来自多传感器的信息，为驾驶员提供在强杂波环境下目标最优检测结果；人机交互采用较为成熟的图形用户界面（GUI），将雷达图像与综合信息分窗口显示在平面光栅显示器（如 LCD、LED 和 OLED 等）上，雷达显示终端已经成为多功能显示终端，至少满足了 INS（B）的综合显示功能。

计算机系统处理雷达信息，有助于综合利用船舶多传感器导航安全信息，辅助雷达系统及时为驾驶员提供航行安全信息，辅助驾驶员做出最佳航行决策，是现代航海仪器发展的必然之路。但是，目前雷达信息的计算机处理技术除了仍旧遗留了数字信息处理技术中固有的不足，如数字视频回波失真较大、目标闪烁明显、误差未得到明显改善等问题之外，由于计算机技术的限制，这类新型的雷达还会出现“死机”、程序出错、屏幕刷新不及时等计算机常见的问题，影响了雷达性能。另外，现代雷达的操作类似于计算机，通常比较复杂，因而在使用上并不十分方便，影响了雷达功能的正常发挥。计算机信息处理技术和人机工程学在船舶导航雷达领域的应用仍然留有广阔的发展和完善空间。

二、IMO 关于驾驶员适任要求

雷达是关键的助航设备，正常工作过程涉及众多传感器信息，完善的雷达系统配置至少已经具备了 INS（B）的功能，操作复杂，专业性强。为了保障航行安全，IMO 在性能标准、STCW 公约和 ISM 规则中对雷达的探测能力、使用性能、驾驶员适任能力和操作规程都提出了严格而明确的要求。本书面向驾驶员和与航海仪器专业相关技术人员，力图全面介绍雷达

设备原理、操作技术和管理知识，使驾驶员在满足海船船员适任要求的基础上，能够在较高层次深入掌握和理解现代雷达设备的功能、优势与局限性。

思考题

1. 概述雷达在民用船舶应用经历的三个阶段。
2. 简述进入 21 世纪以来船舶导航雷达的技术特点。
3. 综述船舶导航雷达在民用航海应用历程中人机交互界面的变化特点。
4. 请查阅 STCW 公约关于使用雷达保持航行安全的规定，思考驾驶员雷达应用适任要求。

第二章 雷达目标探测与显示基本原理

第一节 雷达测量目标距离与方位

一、雷达图像特点

雷达通过发射微波脉冲探测目标和测量目标参数,习惯上称雷达发射的电磁波为雷达波。微波具有似光性,在地球表面以近似光速直线传播,遇到物体后被散射。在雷达工作环境中,能够散射雷达波的物体,如岸线、岛屿、船舶、浮标、海浪、雨雪和云雾等,统称为目标。这些目标朝向雷达方向的散射波被雷达天线接收,称为目标回波。回波经过接收设备处理,调制屏幕亮度,最终在显示器上显示为加强亮点,对目标回波距离和方位的测量在显示器上实现。

(一) 雷达图像基本元素

雷达显示系统将雷达传感器探测到的本船周围目标以平面位置图像(极坐标系)显示在屏幕上,因此,早期的雷达显示器也被称为PPI,如图2-1-1所示。其中图(a)为海面航行场景示意图,本船左舷有一岛屿,另有一目标船与本船相向行驶;图(b)为海图平面示意图,可以看出本船航向000,目标船正航行在本船右舷,本船左舷后方方位约245处有一岛屿;图(c)为雷达屏幕,在中心显示方式下,扫描中心(起始点)以本船天线辐射器位置为参考,位于回波图像区域几何中心。图中雷达量程为12 n mile,即在雷达屏幕上显示了以本船为中心,以12 n mile为半径本船周围海域的雷达回波。在雷达屏幕上,HL(Heading Line)称为船首线或艏线,其方向由本船发送艏向装置(THD)或陀螺罗经驱动,指示船首方向。源自于扫描起始点的径向线称为扫描线。扫描线沿屏幕顺时针匀速转动,转动周期主要由雷达天线在空间的扫描周期决定。屏幕上等间距的同心圆称为固定距离标识圈(Range Ring, RR,

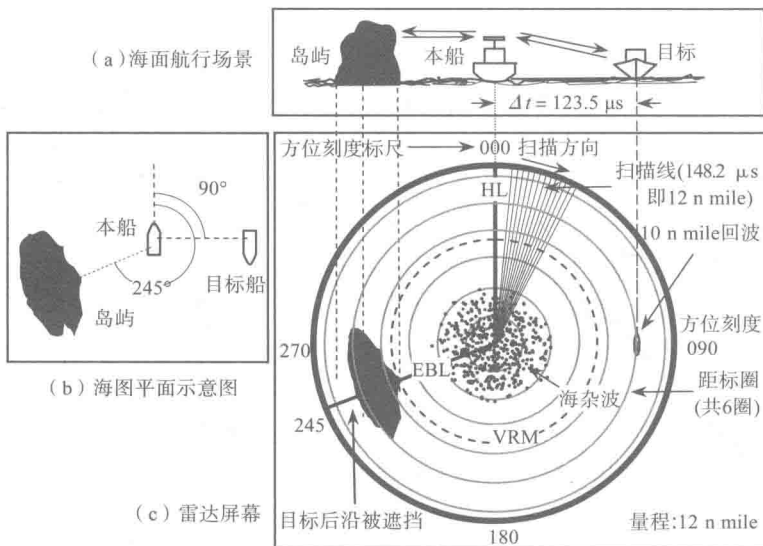


图2-1-1 雷达图像