

雷 达 导 航

〔日〕笠原包道 著

王 瑞 菊 译

刘 耳 杨守仁 校

人 民 交 通 出 版 社

U605.21

L

196042

雷 达 导 航

〔日〕笠原包道 著

王 瑞 菊 译

刘 耳 杨守仁 校



人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书针对航海雷达的技术特性、雷达的优越性及局限性，特别对雷达定位、导航和避让的具体应用方法，作了深入的颇有实用价值的论述，可供船舶驾驶人员及海运院校师生参考。

本书第九章是对1960年及1972年国际海上避碰规则的对比探讨，翻译时予以删除。

DY / 0

雷 达 导 航

〔日〕笠原包道 著

王 瑞 菊 译

刘 耳 杨守仁 校

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：5 字数：124千

1984年7月 第1版

1984年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,250册 定价：0.94元

前 言

商船上装备雷达，已经超过四分之一世纪。从一开始，雷达就被认为是一种新的系统，但过分强调了它的优越性能，而对其缺点的认识则很不够。很多人没能排除错觉而认为雷达象是一种“神眼”，能看穿万物，认为船舶装备了雷达，在雾中也能象在视线良好时同样航行。

然而，雷达装备尽管已经普及到一般船舶，但从海事统计记录来看，雾中发生的碰撞和搁浅事故，比例数并没减少，相反，在追究碰撞事故原因时，还出现了“雷达增添了碰撞”的违心的言论。虽然有人持有极其消极的、悲观的看法，对雷达承担保障航行安全的作用有所指责。但是，雷达不借助其他助航设备而自行提供出船位资料以及周围他船和地物等危险物标的资料，具有其他航行仪器所不具备的性能，表明雷达无疑是一种有用的仪器。雷达究竟是盲人的手杖，还是航行事故的火种，这要看使用这种仪器的驾驶员具备什么样的技术水平和思想准备来评价。不要忘记有一利必有一弊，为了发挥雷达的优越性，也就必须补救它的缺陷。 ●

在以前的雷达教科书和说明书中，对于雷达的构造和性能，对于应用雷达及其资料进行航行规则方面的避让判断，虽然已有很多叙述，但是对于当班驾驶员应该如何运用雷达进行具体地操作，这方面的叙述还比较少见。

如果说从航海仪器的方面研究雷达硬件的一个侧面，再从航海法规的方面掌握使用规则，那么也就有可能考虑正确地使用雷达。可是，作为实际当中的一种使用方法，还有必要与上述两个方面区别对待。

例如，对作雷达运动图时显示器上的方位显示方式问题，提出真方位方式和相对方位方式何者较为适用，这也许还是尚未解决的问题。现时的情况表明，对这两种方式具有什么样的优缺点，还没有进行过充分的研究。

从实际应用的角度来看这类问题是很多的，本书写作的用意就是着眼于这些问题而去考察雷达航法，向实际应用雷达的人员提供一种与以往的有关雷达的书籍不同的参考用书。为了做到这一点，不仅要精通雷达的硬件及其在航海法规中的理解与地位，而且还要具有丰富的应用雷达的实践经验，这大概是作者力所不及的。

然而，作者在海技大学担当雷达模拟器的实验和在实际指导雷达航法中，感到这都是必须予以解决的问题。因此，没有顾及个人的水平不够、准备不足，为了满足个人学习的需要和整理有关这方面的知识而动笔写了此书。当然在实际应用雷达方面即对于值班驾驶员准确调整雷达、使之显示最佳图象，从中尽量取得所需的航行资料并且予以灵活运用等方面，还提出了实际的理解和问题，并作了说明，这也是写作本书的一个附带目的。

在本书中，对磁控管和速调管等雷达发射机、接收机的内部构造，没有文字叙述，作“黑箱”处理只是对显示器上反映的图像特性和调整方法、图像识别和测定方法以及雷达信息的利用方法作了说明。当然，涉及到属于探测介质的微波特性和接收机装置方面的少量硬件知识和雷达导航的有关法规等，这是无法回避的，但也只限于作为实际判断中的依据而已。

本书对 ILO（国际劳联）和 IMCO（政府间海事协商组织）1970 年的国际船员培训指南中有关雷达航法的记载事项及 IMCO 的关于航行值班标准的建议方面的国际动向，虽然也有收纳，但可认为那是雷达在助航装置中一种特殊情况（在原文第 9 章，译文删掉——译者）。

最后，对海技大学长谷川健二教授为写作本书给予的全面指导，对海文堂工作人员为本书出版所作的努力，深表感谢。

另外，再说明一点，本书曾在海文堂刊行的“船长讲座”上，从1974年4月开始分12期连载过。

1976年12月

作者谨记

目 录

前 言	1
第一章 雷达原理和性能	1
1.1 雷达的原理	1
1.1.1 雷达应用的电磁波	1
1.1.2 测定方位、距离的原理	2
1.2 雷达电磁波的传播方式	4
1.2.1 反射波的强度	4
1.2.2 雷达地平	6
1.2.3 物标对雷达电磁波的反射	6
1.2.4 天线的定向性	7
1.3 雷达的性能	9
1.3.1 最大探测距离	9
1.3.2 最小探测距离	10
1.3.3 距离分辨能力	11
1.3.4 方位分辨能力	12
1.4 雷达电磁波与接收图像	12
1.4.1 雷达图像的显现方法	12
1.4.2 影响图像清晰度的因素	14
第二章 雷达的调整	15
2.1 雷达的操作部分	15
2.1.1 调整图像的操作	15
2.1.2 确定图像方向及测定方位的操作	16
2.1.3 测距离的操作	17
2.1.4 其他操作	17

2.2 预备调整 (一次调整)	17
2.2.1 焦点的临时调整	17
2.2.2 信号的识别和荧光屏面的亮度	18
2.2.3 辉度和接收增益的调整	18
2.2.4 焦点的最后调整	19
2.2.5 调谐调整	19
2.2.6 中心调整	19
2.3 常用操作 (二次调整)	19
2.3.1 选择距离范围	19
2.3.2 接收增益的调整	20
2.3.3 海面回波的抑制	20
2.3.4 雨雪干扰的消除	21
2.3.5 方位基准的选择	21
2.3.6 距离圈及照明的辉度调整	22
2.3.7 正规操作程序的重要性	22
2.3.8 雷达的使用	22
第三章 雷达图像的识别	23
3.1 影响雷达图像的因素	23
3.1.1 距离	23
3.1.2 反射面积	23
3.1.3 脉冲宽度	23
3.1.4 方向性	24
3.1.5 折射	24
3.1.6 环境	24
3.1.7 材质构成	24
3.1.8 高度	25
3.1.9 障碍物	25
3.1.10 效率	25
3.1.11 表面	25
3.2 天然物标的显示	25

3.2.1	陆地的图像	25
3.2.2	冰的图像	27
3.2.3	海面的图像	28
3.2.4	雨、雪的图像	29
3.3	各种建筑物的图像	30
3.3.1	建筑物、道路等	30
3.3.2	烟囱、塔等	30
3.3.3	海上物标的图像	30
3.4	物标的识别	32
3.5	物标的最大探测距离	33
第四章	图像障碍和假回波	35
4.1	阴影扇形和盲区	35
4.1.1	船体建筑物与阴影效应	35
4.1.2	实际阴影效应	36
4.1.3	天线的安装位置和障碍物	37
4.1.4	阴影扇形的测定	38
4.2	假回波	39
4.2.1	传播路径中间的反射物体引起的假回波	39
4.2.2	雷达电磁波的特性和发射、接收方式引起的 假回波	42
4.3	呈特殊显示的图像	45
4.3.1	架空线等的图像	45
4.3.2	高速移动物体的图像	45
4.4	有妨碍的图像	45
4.4.1	他船的雷达干扰	45
4.4.2	海面回波及雨雪回波	47
4.5	识别物标的注意事项	47
第五章	方位、距离的测定及其误差	48
5.1	雷达方位误差	48
5.1.1	水平波束宽度引起的图像扩大效应	48

5.1.2	方位分辨能力引起的误差	50
5.1.3	中心差	50
5.1.4	同步误差	51
5.1.5	船首标志线的误差	52
5.1.6	视差	52
5.1.7	船体倾斜引起的误差	53
5.1.8	偏荡引起的误差	54
5.1.9	中心扩大的影响	54
5.2	测定方位的要领及其精度	55
5.2.1	测定方位的注意事项	55
5.2.2	雷达定位的精度	55
5.3	雷达测定距离的误差	56
5.3.1	距离分辨能力引起的误差	56
5.3.2	距离标度的误差	56
5.3.3	扫描线的非直线性引起的误差	57
5.3.4	显示器表面曲率引起的误差	57
5.3.5	焦点调整不良引起的误差	58
5.4	测定距离的要领及误差	58
5.4.1	测定距离的注意事项	58
5.4.2	雷达测定距离的精度	58
5.5	利用方位、距离时的注意事项	59
5.5.1	方位、距离的误差和使用上的注意事项	59
5.5.2	物标移动引起的误差	59
5.5.3	物标形状和反射特性引起的错误	60
5.5.4	平行方位标尺及电子方位标尺的应用	60
第六章	雷达导航	62
6.1	雷达显示方式的特征和选择方法	62
6.1.1	方位基准	62
6.1.2	偏心显示方式	66
6.1.3	物标运动的显示方式	67

6.1.4 中心扩大	70
6.2 应用雷达的沿岸导航	70
6.2.1 沿岸航行中船位的测定	70
6.2.2 雷达避险法	73
6.2.3 应用雷达接近陆地的方法	76
6.2.4 狭水道及港内的雷达导航	78
6.2.5 应用雷达进行的了望	79
6.2.6 雷达的应用和海难事故	83
第七章 雷达运动图	85
7.1 雷达运动图的意义	85
7.1.1 雷达运动图的必要性	85
7.1.2 作图的标准	86
7.2 雷达作图的方法	87
7.2.1 实景作图	87
7.2.2 相对运动作图	90
7.3 相对运动的解法	95
7.4 雷达运动图的作图法	97
7.4.1 雷达作图用纸	98
7.4.2 作图盘	100
7.4.3 速度三角形作图法	102
7.4.4 作图法的实例	103
7.4.5 避让行动的几何学研究	115
7.4.6 雷达作图的误差	118
7.4.7 实际作图时的注意事项	120
7.4.8 对多物标的避让方法	122
第八章 避让操纵方法的研究	135
8.1 避让位置问题	135
8.2 卡尔瓦特避让法及其问题	136
8.3 卡尔夏·弗利亚斯将军的提案	139
8.4 避让操纵图表	140

8.4.1 约翰斯氏的操纵图表	140
8.4.2 寇科劳夫特氏的操纵图表	141
8.4.3 避让操纵图表存在的问题	142
8.5 垂直拉开操纵法	143
8.5.1 垂直拉开操纵法的优点	143
8.5.2 对垂直拉开量的评价	144
8.5.3 卡尔瓦特指示器	145
8.6 决定避让行动时的注意事项	147

第一章 雷达原理和性能

电磁波和光一样，具有直达、定速、反射等三个特性。其直达性可用于测方位，定速性可根据其传播需要的时间间隔来测距离，其反射性可根据接收的回波用于探索物标。因为在雷达上可以全部利用这三个特性，所以能够探索物标并测出物标的方位和距离。雷达的命名即是“应用电磁波探测物标并测定其距离的仪器或“应用电磁波测定物标方位和距离的仪器(Radio Detection and Ranging)”的略语(Radar)。由于运用雷达对物标加以探索和测定，不同于目测，所以必须首先对雷达电磁波的特性、电磁波的发射以及对反射电磁波的接收方式等加以了解。

1.1 雷达的原理

1.1.1 雷达应用的电磁波

关于航海用雷达频率，在1960年国际电气通信会议上决定为：X波段（波长3厘米，9300千赫~9500千赫），C波段（波长5厘米，5470千赫~5650千赫）以及S波段（波长10厘米，2900千赫~3100千赫），这些都属于微波（超短波）的范围。

微波和光一样具有直达性质，很少有绕射等现象，配以适当的天线即可发射定向性能良好的电磁波。在同样的微波中，波长越长定向性越差，使天线系统的尺寸及重量亦有增加，但，雨滴导致的衰减小，海面反射影响也小。对经济性一并加以综合考虑，目前的船用雷达多取X波段（3厘米波长）。通常在远洋船和客船上多装备两部雷达，如果装备两部不同频率的雷达，则可互相补充以提高性能。因此，如何选择新装备雷达的使用频

率，很有充分研究的必要。由于波长越短定向性越好，今后装备两部雷达时，应该考虑利用 Q 波段（毫米波段）。

1.1.2 测定方位、距离的原理

雷达发射的电磁波，是一种在极短时间内发射出的脉冲波，且以一定时间间隔，规整而重复地发射。在表示电磁波的发射形式时，通常将该脉冲波持续时间称脉冲宽度（ π ）；该脉冲的发射间隔称脉冲的重复周期（ T ）；其倒数（ $1/T$ ）称脉冲的重复数（PRF）。

现在，向着单一方向发射定向性的脉冲波，该脉冲波直线前进，碰到前进方向上的物标便象回声那样被反射回到天线的位置。雷达虽然使用同一天线进行发射和接收，但因天线具有敏锐的定向性，所以接收的反射波的方向也只限于来自天线主轴线的那个方向，根据接收到反射波时的天线方向便可立即知道物标的方位。

物标距离是根据反射波返回时间求得，而电磁波的传播速度与光速相同，即一秒钟可绕地球 7 圈半（ $C = 3 \times 10^8$ 米/秒），所以 10 海里的距离要 1.24×10^{-4} 秒，就是说往返约需一万分之一秒，测量这种微小的时间是需要特殊办法的。

即将接收到的反射信号引入阴极射线管（CRT），那一反射信号的显示位置是和脉冲波反射时间成正比的。恰如阴极射线管的电子束从阴极射线管中心往外侧偏转一样，其偏转量如图 1.1 是与偏转线圈里电流的大小成正比的。

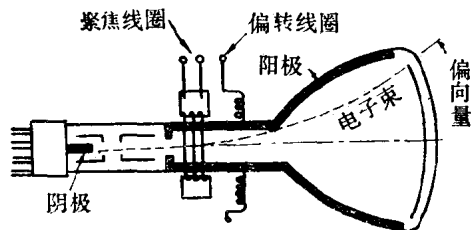


图1.1 阴极射线管和电子线的偏向

为了说明该结构，使如图1.2a 那样方式发射出去的脉冲波

碰到距离为 r 的某物标，在 $2r/C$ 秒钟后被接收回来。这时，如偏转线圈里没有电流流动，则电子束由于碰到阴极射线管中心 O ，发射后经 $2r/C$ 秒钟， O 点因反射信号而发

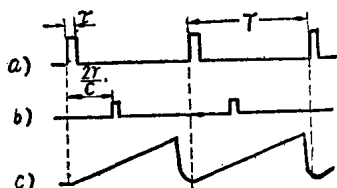


图1.2 脉冲波的发射、接收和扫描电流的同步状态

出光点，然而这一滞后时间却无论如何无法用钟表计量出来。如果在偏转线圈上，象图 c 所示的那样使其有与脉冲发射同步且按时间比例增加的电流通过的话，则电子束因受偏转线圈磁力线的影响将随时间而向外侧偏转。因此，在 $2r/C$ 秒接收到反射信号时，由于电子束正以相当的时间量从 O 点偏向外侧，所以在外侧就能产生反射信号的光点。偏转线圈里通过的电流可以调整，即将要探测的最大距离值调整到荧光屏的外圈附近，阴极射线管的电子束将按着各个发射脉冲从中心向外缘偏转，电子束的这种移动称为扫描(sweep)。

以上考虑的是天线停止在一个方向上来测方位和距离的方式。可是为了探测全方向的物标，就一定要使天线依次旋转。X波段的船用雷达天线旋转速度每分钟多为15~20转，3~4秒钟可旋转一圈。如使阴极射线管的偏转线圈也和天线同步旋转，则阴极射线管上显示的各图像与实际存在物标的方位、距离具有相同的位置关系，于是就可以知道各物标的相互位置关系。

扫描是向各个方位呈放射状地进行，而脉冲又每秒钟要发射数百次以上，所以可认为在全方位是连续着的。即以本船为中心的一定距离内的平面，在阴极射线管上相似地显示出来，像这样的显示方式称为“平面位置指示方式(PPI)”。可是为了使阴极射线管上的图像连续显示出来，至少应该保持天线旋转一周时的余辉。因此，在阴极射线管的表面上，要重叠地涂上可使信号发光的荧光膜和具有残光的磷光膜。如果余辉过强，在改变距离档时新图象会与原有图像造成混乱，所以各制造厂采取了不同的解

决办法。真运动显示方式的雷达可以利用这种余辉表示他船的航迹，因此，可以应用余辉强的阴极射线管。

在平面位置显示方式（PPI）中，本船位置也有不在阴极射线管中心而可以任意移动的，这称为离心平面位置显示方式（off center PPI）。

还有将方向基准定在船首方向的叫做相对方位显示方式（relative bearing display）。用电罗经联动以真北作为基准的叫做真方位显示方式（True Bearing Display）。然而不管那种显示方式都是从本船作为中心，周围他船和陆地岸形等可在雷达荧光屏上直接得到，这对船舶操纵是极为有利的方式。

1.2 雷达电磁波的传播方式

1.2.1 反射波的强度

（1）距离与电磁波的强度

天线辐射出的电磁波强度与光的情况一样，即使没有传播路径上的衰减也和距离（ r ）的平方成反比例地减小。因为电磁波发射到物标时，其强度减小 $1/r^2$ ，而在完全反射回来并被接收时，又减小 $1/r^2$ ，结果强度按 $1/r^4$ 的比例降低了。

该关系可用下面雷达方程来表示。

$$S_r = \frac{GP_t\delta}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{r^4} \quad (1.1)$$

式中： S_r ：反射波的接收电力密度（ W/cm^2 ）；

G ：天线增益；

P_t ：发射输出功率；

δ ：雷达有效反射断面面积。

此外，用同一天线接收到该反射波时的功率 P_r 如下式：

$$P_r = \frac{G^2 P_t \delta \lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \frac{1}{r^4} \quad (1.2)$$

式中： λ ：发射电磁波的波长。

(2) 路径干扰

对于离海面不太高的物标或远距离物标, 从天线直接到达物标的电磁波与由海面一次反射到达的电磁波因传播路径的长度差异而产生相位差。由于两电磁波的干扰使到达的电磁波的合成强度因物标的高度和距离而变得复杂起来, 考虑到这种影响, (1.1) 式可用下式表示。

即:

$$S_r = \frac{(4\pi)^2 G P_t \delta h_1 h_2}{\lambda^4} \cdot \frac{1}{r^3} \quad (1.3)$$

式中: h_1 、 h_2 : 物标及天线的高度 (米)。

(1.1) 式适用于高物标或近物标, (1.3) 式适用于量程内的远物标或低物标。对于远距离物标反射强度因与 r^3 成反比而急剧减少, 这是必须注意的。

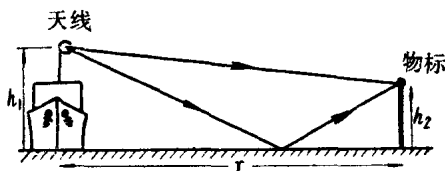


图1.3 电磁波的传播路径

(3) 传播路径衰减

与人的视线因雨和雾而受影响的情况一样, 微波也因传播路径上的氧气、水蒸气、水滴等而导致衰减, 因而实际反射波的电功率密度比前项例举的式子的值为小。然而, 氧气、水蒸气等气体成分导致的衰减对于波长在 3 厘米以上的电磁波的传播来说几乎是不成问题的。

对于雾、雨、雪等水滴或其结晶所造成的影响是不容忽视的。倾盆暴雨可经常被误认为是陆地的回波, 或者使电磁波造成很大的衰减。水滴造成的衰减与水滴的大小及单位时间内的降水量成正比。降水区域内的物标因水滴反射而被遮蔽, 很难进行探测。