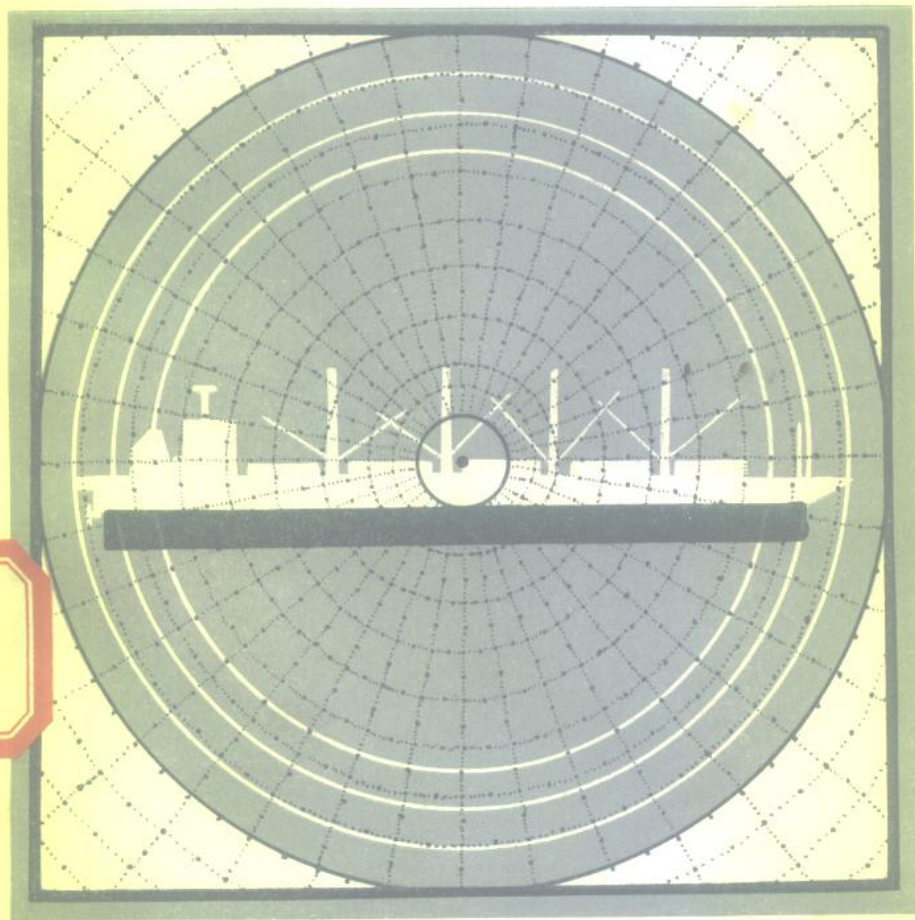


雷达在航行与避碰中的应用

人民交通出版社

刘仁吉 编



151069

雷达在航行与避碰中的应用

刘 仁 吉 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

目前雷达已是海上船舶重要的航海仪器之一，在保证船舶航行安全方面已起到重要的作用。为了帮助沿海中小型船舶驾驶人员进一步熟悉和掌握雷达的基本原理和操作使用方法，作者通过生产实践并结合当前船舶驾驶人员应具备的操作使用和维护管理雷达的基本要求，用较通俗的语言、浅显的道理，对船用雷达的技术性能、图象分析、操作使用、各种情况的应用以及整机调整、维护等方面作了较系统的介绍。尤其对我国沿海中小型船舶已安装各类型雷达，作了更加具体的叙述，并配有面板图和操作实例，对沿海中小型船舶驾驶人员如何更好地在航行和避碰中使用雷达具有一定指导作用。

雷达在航行与避碰中的应用

刘 仁 吉 编

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：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：9 字数：200千

1982年7月 第1版

1982年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,900册 定价：1.65元

前 言

随着我国电子工业的发展，雷达设备在沿海中、小型船舶上已逐渐普及。

船用雷达能够在能见度不良的情况下，为航海人员提供本船周围物标的回波影象，并通过简单的观测和绘算，就可以了解到物标的位置和动态，借以引导船舶安全航行。因而，船用雷达已成为沿海中、小型船舶的重要助航仪器之一。

为了帮助我国广大中、小型船舶驾驶人员尽快地熟悉雷达的使用和掌握雷达引航特点，特编写了这本《雷达在航行与避碰中的应用》一书。

本书从沿海中小型船舶的实际需要和现有条件出发，介绍了船用雷达的技术特性，回波影象的分析、使用和操纵以及雷达的一般维护、调试和保养常识等几个方面，并着重讨论了船用雷达在引航和避碰中的实际应用等。

本书在编写过程中，得到了辽宁无线电二厂、海军南海舰队、大连海运学院、大连工学院、大连水产学院、南海海洋水产研究所、广州航海学会、湛江水产学院以及湛江航运局有关领导和同志们热情支持和帮助，在此谨致谢意。

由于个人水平有限，故书中错谬之处在所难免，恳请同志们批评指正。

作 者

目 录

第一章 船用雷达的技术特性	1
§1 船用雷达的距离分辨能力.....	1
§2 船用雷达的最小作用距离.....	4
§3 船用雷达的最大作用距离.....	6
§4 船用雷达的方位分辨能力.....	12
§5 船用雷达的主要技术数据举例.....	15
第二章 船用雷达回波影象分析	20
§1 船用雷达各种条件下回波影象分析.....	20
§2 雷达回波影象的失真.....	26
§3 雷达的雨雪干扰和海面反射.....	29
§4 雷达的各种假回波伪象.....	33
第三章 船用雷达的操作	38
§1 船用雷达各分机及其作用.....	38
§2 雷达显示器面板上的各旋钮和开关名称 及性能.....	40
§3 雷达的使用和操作.....	49
第四章 雷达在沿海航行中的应用	75
§1 熟悉航区情况, 掌握雷达导航特点.....	75
§2 船用雷达影象的精确度.....	81
§3 雷达在进出港口、狭窄水道及危险航区 的应用.....	90
§4 沿海航行时雷达导航的应用.....	103
§5 船用雷达方位换算法.....	107

§6 船用雷达测距·····	115
§7 船用雷达测定船位·····	130
第五章 船用雷达在避碰中的应用·····	145
§1 雷达避碰的常用名词解释·····	145
§2 雷达屏幕上在航船舶相对运动的特点·····	150
§3 船用雷达在船舶避碰中应用的特点·····	158
§4 雷达避碰中船舶的操纵概述·····	164
§5 雷达避碰操纵事故实例·····	179
§6 利用相对位移对在航船舶的相遇分析·····	188
§7 舷角方位不变的船舶相遇绘算·····	192
§8 相对运动绘算图解法·····	203
§9 定距离、安全距离避让绘算·····	220
§10 简易相对运动绘算法·····	225
§11 相对运动—真方位显示绘算法·····	232
第六章 船用雷达的调整、检查、保养·····	236
§1 一般要求·····	236
§2 752 型雷达的基本调整·····	236
§3 雷达零部件的拆装·····	245
§4 雷达的三级保养·····	249
§5 船用雷达维修保养常识·····	260
§6 维修工具的使用及保养常识·····	265
§7 雷达日志·····	272
附录一: 雷达显示器面板常用名称英汉对照表·····	275
附录二: 关于雾航运用雷达避碰的几点意见·····	279
附录三: 雷达主要备用器件名称英汉对照表·····	282

第一章 船用雷达的技术特性

§1 船用雷达的距离分辨能力

船用雷达的所谓距离分辨能力，是指在同一方位上的两个物标回波影象，在雷达荧光屏上能够清晰地分辨开来的最小距离。

假定在雷达所发射的脉冲电磁波（以下简称雷达波）传播方向上，同时有两个物标存在，距本船较近的为甲船，距本船较远的为乙船。

设由甲船到乙船的距离为 Δr ，当某一时间，本船雷达发射的雷达波前沿到达甲船，那么甲船受到雷达波束射后，便开始在雷达发射脉冲宽度 τ 的时间内反射雷达波。雷达波由甲船反射后，经过 $\Delta r/C$ 的时间内（ C 为雷达波的传播速度 3×10^8 米/秒），乙船开始反射。由此可见，只有当甲船的反射回波在乙船的反射回波到达甲船之前完结，才能在本船雷达的荧光屏上分辨出甲、乙这两个物标。不难看出，船用雷达的分辨能力与雷达本身所发射的雷达波的脉冲宽度有着直接的关系。

为了达到在雷达荧光屏上能够清晰地分辨出在同一方位上的两个物标的回波影象，雷达波脉冲宽度时间 τ 应当适合下列公式

$$\tau \leqslant 2\Delta r/C$$

由上式则可得出计算雷达的距离分辨能力公式

$$\Delta r_{\text{最小}} = C\tau/2$$

设本船雷达在两种不同时间的脉冲宽度 τ_1 (长脉冲时间) 和 τ_2 (短脉冲时间) 下工作 ($\tau_1 > \tau_2$)。这就会产生如下情况；其一是当雷达用长脉冲工作时，因为 $\Delta r < C\tau_1/2$ ，则甲、乙两船的回波影象在雷达荧光屏上就分辨不清，显示出来的只是一个物标的回波亮点，如图1-1所示。

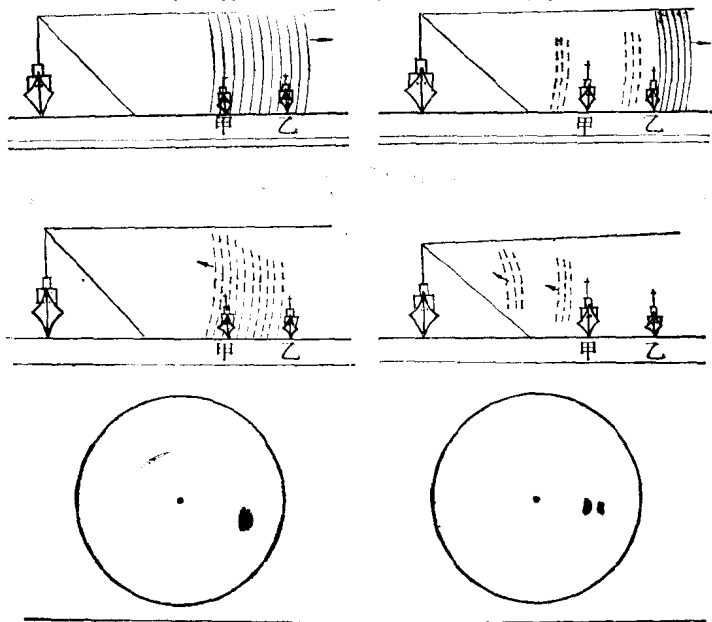


图1-1 分辨不清

图1-2 分辨清楚

另一种情况是雷达用短脉冲 τ_2 的时间工作时，因为 $\Delta r \geq C\tau_2/2$ ，则甲、乙两船的回波影象在本船雷达荧光屏上就被明显地分开为两个物标了，如图1-2所示。

例如某雷达的发射脉冲宽度是 $0.1\mu s$ 时，当两物标在雷达的扫描方向距离为15米时，这个长度刚好是在雷达波往返行走的距离。因此，雷达的发射脉冲宽度为 $0.1\mu s$ 时，雷达

的分辨能力从理论上讲可达到15米。

但实际上雷达并达不到这个比较精确的指标，船用雷达的距离分辨能力还受到雷达本身接收机通频带宽度、荧光屏上回波亮点的直径大小以及扫描速度等因素的影响，上述诸条件均会使雷达的距离分辨能力有所下降。例如国产752G型船用雷达的最小距离分辨能力不大于60米，英KH-14/12型船用雷达当短脉冲发射时最小分辨能力为32米，而长脉冲发射确为64米。

航行中，驾驶人员对雷达的距离分辨能力，在狭窄水道和进出港口引航时考虑得比较多。就是说，当雷达工作在近距离量程档级上，例如工作在1~3海里的范围之内，则要求能尽量提高雷达的距离分辨能力。在中、远距离量程档级上，雷达的距离分辨能力可相应地要求低一些；不仅如此，在尽量提高近距离的分辨能力的同时，还要兼顾到雷达的最大作用距离。所以船用雷达的发射机多采用两种或两种以上的不同发射脉冲宽度进行变换的工作，即在近距离量程档级上采用短（窄）脉冲发射；中、远距离量程档级上则采用长（宽）脉冲发射。例如国产752G型船用雷达，在0.75、1.5海里档级上采用 $0.1\mu\text{s}$ 的短脉冲发射；而其余量程档级则采用 $0.5\mu\text{s}$ 的长脉冲发射。再如英KH-14/12型雷达，在“1/2~3MILE”（0.5~3英里）的距离档级上，采用 $0.3\mu\text{s}$ 的短脉冲发射；其余量程档级采用 $0.6\mu\text{s}$ 的长脉冲发射。

船用雷达距离分辨能力的测定，一般在雷达出厂技术说明书上均有记载。在实际应用时，如发现雷达的距离分辨能力有较大变化时，航海人员也可根据技术说明书的数据再做相应的验证。

例如开启国产755型船用雷达，将本船泊定后，选用1海里的量程档进行观测，选择在本船同一方位附近的两只小船

的回波影象，应在雷达荧光屏上清晰地分辨开来。记下这两只小船间的距离，看与雷达技术说明书是否相符合。也可用验证后的数据为依据，来掌握本船雷达的距离分辨能力。

§2 船用雷达的最小作用距离

船用雷达的最小作用距离，即航海人员习惯称之为雷达“盲区”。在盲区内的任何物标，在雷达荧光屏上无回波影象显示。

船用雷达的盲区大小与雷达发射机所发射电磁波的脉冲宽度有直接关系，当物标非常靠近本船时，物标的回波就与雷达所发射的脉冲波混在一起，分辨不开。因而发射脉冲宽度越窄，盲区的距离也就越小。例如当雷达的发射脉冲宽度为 $0.1\mu s$ 时，再考虑到雷达接收机的通频带、荧光屏上亮点的直径、扫描速度等因素，实际上雷达的最小作用距离在20米左右。

在另一方面，影响雷达最小作用距离的因素还与雷达发射的垂直波束角宽度以及雷达天线架设的高度又有直接的关系。

当船在海面上正浮时，通常船用雷达天线所发射的电磁波的垂直波瓣的角度多在 $23\sim 25^\circ$ 之间，如国产752G型雷达为 23° ；755型雷达为 24° ；英KH-14/12型雷达为 25° 等。处在雷达垂直波瓣的死角之内的物标，因受不到雷达所发射的电磁波束的照射，也就谈不上物标对雷达波的反射了，所以在雷达荧光屏上就无影象显示出来；又因为雷达的天线大都是安装在驾驶台顶的天线架上，雷达天线架设的高或低，又直接影响到雷达垂直波瓣死角的大小，即天线架设的高度越高，垂直波瓣的死角也就越大，盲区也大；而当天线相应架

设得比较低时，雷达天线垂直波瓣死角就小，盲区也小。

从实际需要出发，雷达天线架设得越高，则对雷达的最大作用距离非常有利；而雷达天线架设较低，则对雷达的最大作用距离产生不良的影响。要兼顾上述几个方面的要求，以及结合船上所具备的客观条件，一般沿海中小型船舶天线架设的高度约为15米左右。在这个高度上，由雷达垂直波瓣死区而引起的最小作用距离，大约为75米左右（即盲区为75米左右）。

由于各船舶雷达天线架设的高度各异，因而每艘船的盲区也各不相同。船用雷达的盲区如图1-3所示。

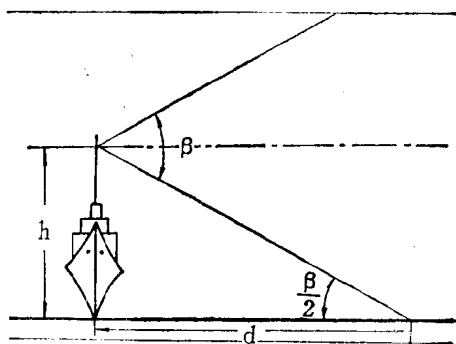


图1-3 盲区图

雷达盲区的距离 d 则可由下列公式求得：

$$d = h \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \quad (\text{米})$$

式中： h ——雷达天线高度（米）；

β ——雷达天线发射的垂直波瓣宽度（度）。

船用雷达的盲区，因各船天线高度不同而异，新安装的雷达天线或雷达天线高度改变时，应对本船雷达的盲区做新的测定，其测定也可列入船舶厂修后的试航项目之一与其它

项目一起进行。测定方法简介如下。

选一较宽敞的水域，将本船泊定后，放下本船的救生艇或其它小艇。开启雷达，选取雷达的最近距离量程档级工作，这时可让小艇向离开本船的方向划去。当小艇的回波在本船雷达荧光屏上发现时，即令小艇停住，记下小艇到本船的距离。还可将小艇远离本船，然后令小艇再由远方向着本船所在的位置划来，仔细观测本船雷达荧光屏上该小艇回波影象的变化，当小艇的回波在荧光屏上消失掉时，即令小艇停住，记下小艇到本船的距离。上述两种方法反复做几次，并取出距离的平均数，这个数据就能比较准确地反应出本船雷达的最小作用距离（盲区）来。

此外，船用雷达的最小作用距离，还受发射机收发开关管（TR 管）恢复时间的影响，这种时间过程称为消电离时间。其原理是当收发开关管放电时产生必要的离子，而放电之后这些离子又不能立刻就消除掉。在开关管离子存在的情况下，雷达接收物标反射的回波信号就要受到妨碍，只有在离子消除之后，物标反射的回波信号才能通过收发开关管而被雷达接收机所接收。因而这个离子恢复时间，对雷达的最小作用距离也起到一定影响。

准确地掌握本船雷达的盲区，对航海人员是必要的。特别是在能见度不良的情况下进出港口航道和避让，其特点是航道狭窄，往返的船只又比较多，对那些回波比较弱的小物标，要及时和准确地进行观测，及早发现这些物标，严防被淹没在盲区中。

§3 船用雷达的最大作用距离

船用雷达发射的雷达波，是沿着直线方向传播的。但地

球本身又是圆的，雷达波则不能沿球面方向传播。这个道理就好象‘可见地平’一样，人们的眼力只能见到你站在某一高度上的地平面，俗语说得好，“站得高看得远”，就是这个道理。

当本船对于海平面上一定高度的雷达天线所发射的雷达波，在地球表面上沿直线方向传播时，雷达波本身也只能到达某一定距离的地平面。这就是我们常说的‘雷达地平’，如图1-4所示。



图1-4 雷达地平

‘雷达地平’随船上雷达天线架设的高度而变化，船用雷达的‘雷达地平’距离 D （海里）可由下式决定。

$$D = 2.2\sqrt{h}$$

式中： h ——为雷达的天线架设高度（米）。

由于船用雷达工作在海面上，许多因素直接影响了雷达波的直线传播。在诸因素中，海洋上的气象条件对雷达波的传导影响最大，也直接影响到雷达的最大作用距离。

一种情况是海洋上的气象条件会增加雷达波的作用距离。

在海洋上，当气温随高度的增加而降低的程度比标准的气候条件下要慢一些时，或者是水蒸汽的密度的增加随高度而降低得更快一些时，都会导致雷达波的传播路径向球面方向弯曲得更多一些，这样就增加了雷达的探测距离，这种传播条件称为“超折射”现象，如图1-5所示。

另外，在接近陆地的海面上经常会有温暖而干燥的空气

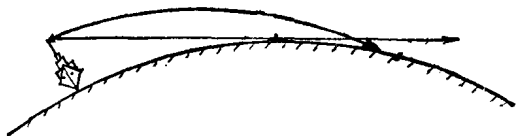


图1-5 超折射

从大陆吹向海洋,海面上的空气温度较低,温度随高度增加而增加,下层的大气密度高于上层,下层的水蒸汽密度也高于上层。由于温度与湿度在不大的高度范围之内(一般在15~30米),起了急剧的变化,这也使得雷达波沿着地球表面向下弯曲。如果这一层的范围比较大,雷达波就有可能传播得更远一些,这一层大气就好象雷达的波导管一样,于是我们称它为无线电波导管,即“大气波导”现象。只要有陆地温暖而干燥的空气一吹到海上,“大气波导”就会立即形成,在我国沿海,特别是夏季这种现象会经常出现,如图1-6所示。

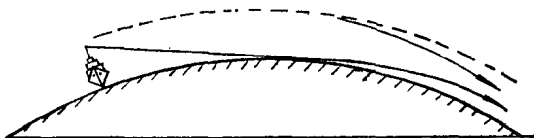


图1-6 大气波导

另一种情况是海洋上的气象条件会减小雷达波的作用距离。

当海空上的空气露点温度高于海面温度时,湿度随高度增加,雷达波的传播路径会向上弯曲,出现“亚折射”现象,这种现象在北方冬季的冰区航行时往往会碰到。

还有当海面上温度随着高度在急剧降低时,也会产生“亚折射”现象,这种情况多会发生在夜航中,当你开启雷

达探测海面上的物标时，往往就会遇到，由于“亚折射”的原因，雷达的有效探测距离明显的减小了，如图 1-7 所示。

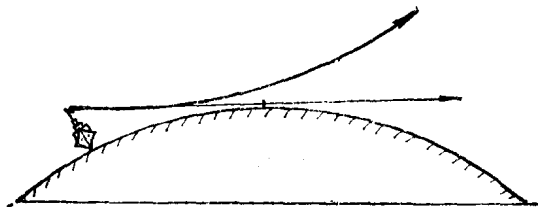


图1-7 亚折射

在一般情况下，船用雷达的最大作用距离 D （海里）可由下式求得：

$$D = 2.2(\sqrt{h} + \sqrt{H})$$

式中： h ——雷达天线高度（米）；

H ——雷达所探测的物标高度（米）。

在使用雷达时，我们很快可以发现，上述计算公式所求得的雷达最大作用距离，与实际最大作用距离并不完全符合，也就是说大部分船用雷达还达不到这个计算的最大作用距离。这又是为什么呢？这是因为雷达波只有被所探测的物标反射并且还需具备一定的强度时，接收机接收到之后再经过一定的信号放大，在雷达荧光屏上才有影象显示。可见，物标反射回波的强弱是一个决定因素，反射雷达波较强，显示影象就明亮清晰；反射的雷达波弱，影象就暗淡或者无法被观测者的视觉所发现。

一般说，金属物体，如轮船、大型海上石油钻井台架等，其导电性能好，反射雷达波的能力就强。反之，物标的导电性能不好，被雷达波探测到的面积很小，如低平的岸线、海拔高度较低的小岛等，其反射雷达波就弱，需要在较近的距离才能被雷达所发现。

航行在我国南海西沙群岛附近海面时，往往会发现，在本船用视觉已清楚看到的小岛，但在雷达荧光屏上得不到该小岛的回波影象。这一方面是因为小岛本身的海拔高度较低（一般在8米左右），另一方面则是小岛多为柔软低平的沙地，当雷达波扫到小岛后，反射回来的雷达波就比较弱了，因而小岛的探测距离受到限制。

还应提及的是，船用雷达的最大作用距离并不就等于雷达在使用时的最大探测距离。例如国产751型船用雷达，其技术说明书给出的最大作用距离是48海里，该数据是雷达制造厂设计制造时规定的。而在实际使用中，雷达安装在船上，客观条件产生了很大变化，雷达将直接受到所在海区各种复杂条件的直接影响，所以其最大作用距离将小于48海里。

海区中出现的雨、大雪、浓雾、大风沙等，都会引起雷达作用距离的下降，尤其是大暴雨对雷达的作用距离的影响会更大些。

船用雷达产生作用距离下降的原因还与雷达天线发射电磁波的垂直角度大小有关，垂直发射角大，则作用距离就远些；垂直发射角小，作用距离就近一些。一般船用雷达均采用固定垂直角发射，垂直发射角度多选定在 $20\sim 25^\circ$ 之间。

风浪大，船舶的摇摆，对雷达的作用距离影响也很严重，如果一艘万吨级轮船，在雷达波正常传导的条件下，其横摇为 10° ，则雷达最大作用距离虽为48海里，但其实际工作距离仅为25海里左右，就是说雷达的实际工作距离比设计数据下降了 $1/2\sim 1/3$ 。不难看到，雷达这种实际工作距离的下降，是因为船舶在风浪影响下产生的摇摆改变了雷达波的垂直发射角度，这样雷达波的一部分能量被消耗在近距离和空间中，而反射回波的能量就相应地下降了。可见，沿海中

小型船舶，特别是小型船舶，在风浪中航行时摇摆的度数大、周期快、雷达的最大工作距离下降得更加显著。一般船舶在摇摆 $10\sim 15^\circ$ 、周期为 $5\sim 6$ 秒时，其作用距离可能会下降到只有 $15\sim 20$ 海里左右。

对于这些现象，往往在初装雷达的船舶上，由于航海人员对雷达的工作特点缺乏认识，对雷达的回波影象从想象中提出了过高的要求，把雷达显示当为观看电视节目那样清晰，这在目前而言还是难以达到的。

此外，雷达本身的质量也有很大影响，一部发射功率大、接收机灵敏度高、天线增益大的船用雷达，在良好的技术状态下工作，其作用距离就会相应地有所提高。

当船用雷达处于良好的技术状态和在一般的气象条件下进行观测时，能够发现物标的最大距离如下（供参考）：

1. 在近距离量程档上，如在 2.5 或 3 海里档，能够发现下列物标：

（1）小艇；

（2）小型浮标；

（3）群众渔业的网栅、漂浮的木材、适淹礁激起的浪花；

（4）自船和他船的航迹（物标回波影象后面的一条白条状回波）；

（5）集中在水面和低空飞翔的鸟群。

2. 在中距离量程档上，如 5 或 6 海里之内，能够发现下列物标：

（1）小型渔船（ $3\sim 5$ 海里）；

（2）中型航道浮标（ $4\sim 6$ 海里）；

（3）水面上的礁石、礁群及干出礁；

（4）海岸线；