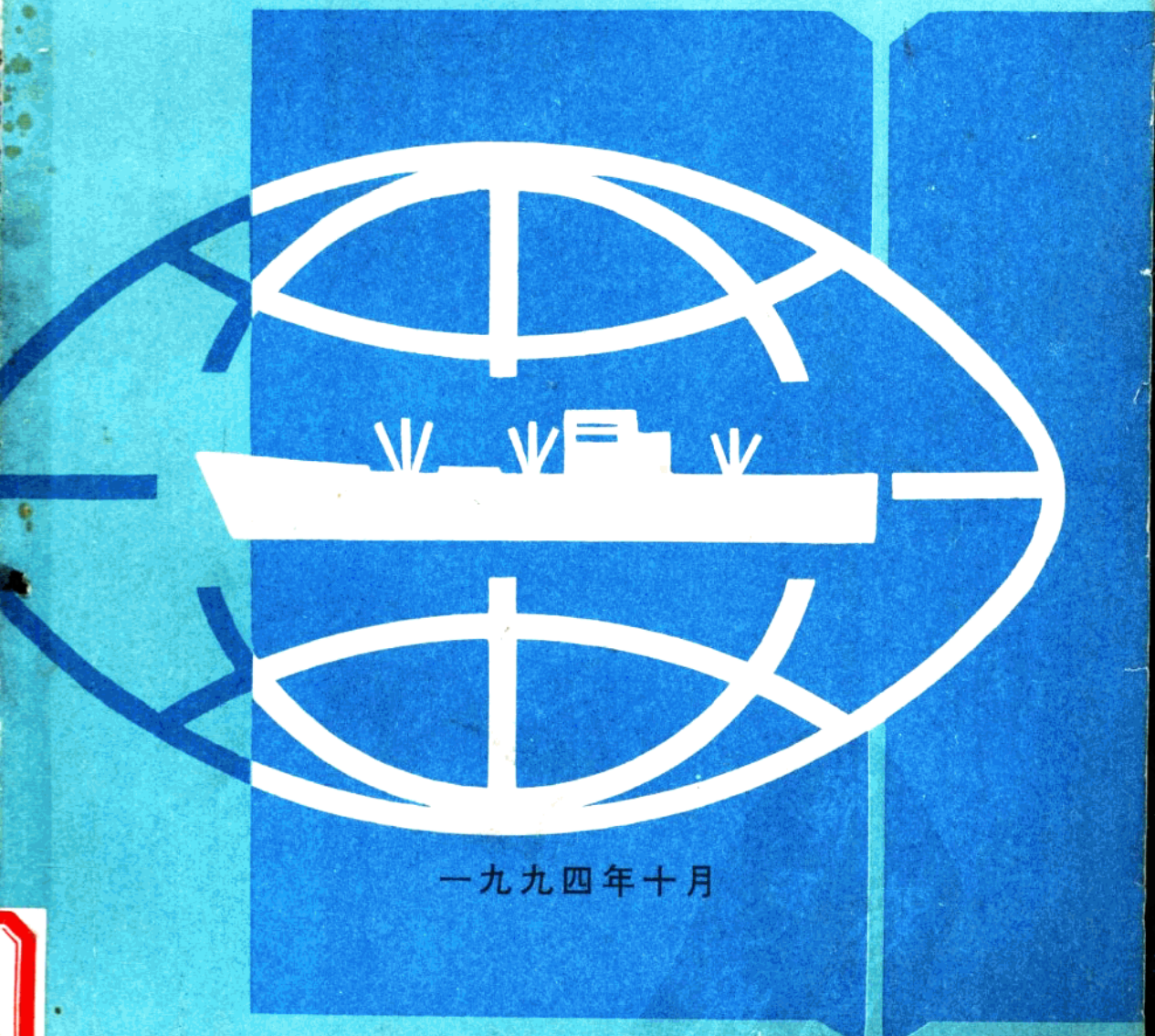


大连海事大学自编讲义

# ARPA 原理

董小兵 主编



一九九四年十月

# ARPA 原理 目 录

第一章 概述	1
§ 1.1 雷达的基本概念	1
§ 1.2 航海雷达及ARPA的发展过程	3
§ 1.2.1 航海雷达的发展	3
§ 1.2.2 ARPA的发展	4
§ 1.3 光栅扫描ARPA	6
§ 1.4 ARPA性能及功能	10
第二章 ARPA基本概念	17
§ 2.1 ARPA的显示方式	17
§ 2.1.1 方位显示方式	17
§ 2.1.2 矢量显示方式	18
§ 2.1.3 运动方式	19
§ 2.2 ARPA的录取	19
§ 2.2.1 手动录取与自动录取	19
§ 2.2.2 跟踪波门	20
§ 2.3 ARPA的目标跟踪( TRACKING )	22
§ 2.4 ARPA的危险判断功能	24
§ 2.4.1 碰撞三角形DCPA和TCPA的计算	25
§ 2.4.2 可能碰撞点PPC	26
§ 2.4.3 预测危险区PAD	28
§ 2.5 ARPA的报警、试操船等功能	29
§ 2.5.1 ARPA的报警	29
§ 2.5.2 试操船	30
§ 2.5.3 ARPA的其它功能	31
第三章 高亮度雷达显示原理	33
§ 3.1 影响亮度的原因	33
§ 3.2 距离慢扫方式	34
§ 3.2.1 原理	34
§ 3.2.2 利用CCD的高亮度方法	35
§ 3.2.3 Decca ARPA高亮度方法	37

§ 3.3	重新定时的径向园扫描	39
§ 3.4	螺旋式扫描	40
§ 3.5	光栅扫描	42
§ 3.5.1	光栅扫描系统的基本结构	42
§ 3.5.2	扫描变换器	43
§ 3.5.2.1	扫描变换器原理	43
§ 3.5.2.2	坐标变换原理	45
§ 3.5.2.3	坐标变换的实现方法	46
§ 3.5.3	光栅扫描存在的问题	49
第四章	雷达信号处理	51
§ 4.1	触发脉冲接口	51
§ 4.2	雷达方位信号接口	55
§ 4.2.1	Beger 马达的天线方位接口	56
§ 4.2.2	步进码的方位接口	58
§ 4.2.3	同步发送机方位信号接口	60
§ 4.3	船首信号处理	66
§ 4.4	视频信号处理	67
§ 4.4.1	视频接口电路	67
§ 4.4.2	雷达杂波处理	68
§ 4.4.2.1	D-ARPA 杂波处理方法	69
§ 4.4.2.2	Sperry Mk3012 4016 雷达恒虚警率处理 电路举例	72
§ 4.4.2.3	反同频干扰电路	76
第五章	ARPA 的外部设备接口	78
§ 5.1	计程仪信号接口	78
§ 5.1.1	计程仪信号分析	78
§ 5.1.2	利用硬件完成计程仪数据接口	79
§ 5.1.3	利用计算机中断实现 LOG 接口	81
§ 5.2	导航仪接口	82
§ 5.3	ARPA 的数据输出接口	86
§ 5.4	罗径接口电路	88
第六章	RACAL-DECCA Bridgemaster 340 ARPA	94
§ 6.1	Bridgemaster 340 ARPA 总体概述	94

§ 6 . 1 . 1	简介	94
§ 6 . 1 . 2	系统组成	96
§ 6 . 2	BridgeMaster 技术参数及性能	98
§ 6 . 3	BridgeMaster 340 ARPA系统分析	103
§ 6 . 3 . 1	总体概述	103
§ 6 . 3 . 2	PROCESSOR PCB 简介	106
§ 6 . 3 . 3	VIDEO PCB 简介	110
§ 6 . 3 . 4	Autotrack & GEO PCB 简介	110
§ 6 . 4	BrideMaster 电路详解	111
第七章	SPERRY RASCAR 3400 ARPA	112
§ 7 . 1	RASCAR 3400 总体概述	112
§ 7 . 1 . 1	简介	112
§ 7 . 1 . 2	系统工作原理	113
§ 7 . 1 . 3	RASCAR 3400 的结构	113
§ 7 . 2	RASCAR 3400 技术参数与性能	115
§ 7 . 3	Sperry RASCAR 3400 工作原理	119
§ 7 . 3 . 1	整机系统框图	119
§ 7 . 3 . 2	总线结构概述	120
§ 7 . 3 . 3	菜单显示和触摸屏接口概述	121
§ 7 . 3 . 4	雷达视频处理概述	123
§ 7 . 4	Sperry RASCAR 3400 各电路板介绍	124
§ 7 . 4 . 1	主 CPU 板( A1A2) 和跟踪器 Cpu 板( A1A15)	124
§ 7 . 4 . 2	跟踪视频处理器板( A1A6 )	125
§ 7 . 4 . 3	显示视频处理器板	126
§ 7 . 4 . 4	扫描转换板( A1A10)	130
§ 7 . 4 . 5	雷达视频存贮板( A1A11) 和符号存贮板( A1A13)	132
§ 7 . 4 . 6	图形处理器板( A1A12)	138
§ 7 . 4 . 7	触摸屏控制板( A5 )	139
§ 7 . 4 . 8	雷达接口板( A1A8 )	140
§ 7 . 4 . 9	传感器 I/O 板( A1A1)	140
第八章	雷达新技术及与雷达有关的航海新技术	146
§ 8 . 1	雷达天线新技术	146

§ 8 · 1 · 1	S H V 系列港口用新型裂缝波导天线	146
§ 8 · 1 · 2	小型船用雷达微带天线	148
§ 8 · 2	雷达接收机微波集成组件 ( M I C )	149
§ 8 · 3	雷达性能监视器	153
§ 8 · 3 · 1	被动式雷达性能监视器	154
§ 8 · 3 · 2	主动式雷达性能监视器	155
§ 8 · 4	搜救雷达应答器 S A R T	157
§ 8 · 4 · 1	GMDSS 简介	157
§ 8 · 4 · 2	搜救雷达应答器的发展概述	160
§ 8 · 4 · 3	搜救雷达应答器 SART 工作原理及技术指标	162
§ 8 · 4 · 4	设备组成及工作原理	165
§ 8 · 5	电子海图系统 ECDIS	168
§ 8 · 5 · 1	电子海图的组成	169
§ 8 · 5 · 2	ECDIS 系统的优点及功能	170
§ 8 · 5 · 3	ECDIS 在航海中的应用前景	171
§ 8 · 5 · 4	ECDIS 的不足	173
§ 8 · 6	目前使用的 ECDIS 系统 CHARTMASTER 简介	173
§ 8 · 6 · 1	主要技术指标	174
§ 8 · 6 · 2	主要功能	174

# 第一章 概述

## § 1.1 雷达的基本概念

雷达技术是利用物体对电磁波的二次辐射、转发或固有辐射来探测目标，获取其空间坐标、速度、特征等信息的一个无线电技术学科。实现这种技术的设备称为雷达站或雷达机，简称雷达。“雷达”一词来自英语 Radio Detection and Ranging 的缩写 RADAR 的音译名，原意为“无线电探测和测距”，即用无线电的方法发现目标和测定其位置参数。

电磁波在介质中传播，遇到任何物体，会产生“反射”、“散射”、“绕射”三种情况。如果目标表面非常平滑，会发生“反射”。如果目标尺寸远大于原电磁波的波长，但其表面十分粗糙，会形成“散射”。如果目标尺寸远小于原电磁波的波长，结果使电磁波连续弯折绕过目标，朝其背后继续传播，这就是“绕射”。对一个复杂目标来说，以散射为主；由许多尺寸远小于波长，相互距离又较大的独立单元组成的目标（在冰雹、雨雪之类），则以绕射为主。

雷达测距的物理基础是电磁波在均匀介质中具有等速直线传播特性。主动雷达测距是靠测定反射波相对于发射波的延时  $t_R$  来实现的。因为电磁波是等速直线传播的，所以目标距离  $R$  可用下式表示：

$$R = \frac{1}{2} c t_R \quad (1-1)$$

式(1-1)中， $c$ —电磁波在自由空间传播的速度， $c=3 \times 10^8$  m/s； $t_R$ —电磁波往返传播的时间，即时延。

雷达测角的物理基础是电磁波在均匀介质中具有等速直线传播特点，而且在超短波、微波及光波波段能实现方向图十分尖锐的定向辐射与接收，因此，天线的方向就是目标所在方向。如果天线旋转，依次向四周发射，则可探知周围所有目标的距离和方位了。雷达天线的方向图是尖锐的瓣形，或称为波束。当其轴线旋至目标时，接收到的回波最强，此刻天线波束轴线指向即为目标的方向，如图 1-1 所示。零度起点可规定为真北向或船首向。这种测角方法称最大值法，船舶导航雷达普遍采用这种方法。

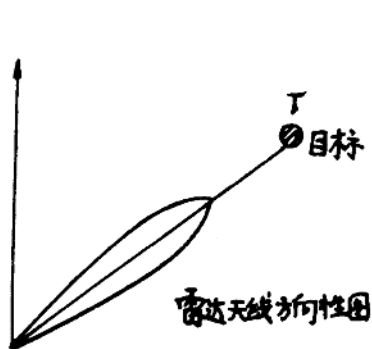


图 1-1 最大值法测角示意图

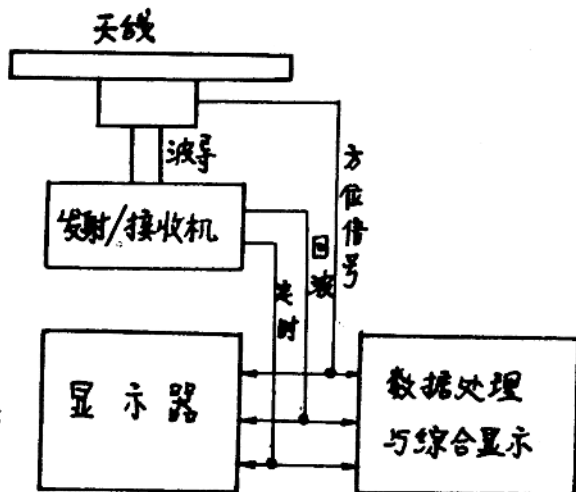


图 1-2 现代船用导航雷达基本框图

关于船舶导航雷达的工作频率，在 1960 年国际电气通信会议上决定为：S 波段（波长 10 厘米）、C 波段（波长 5 厘米）、X 波段（波长 3 厘米）和  $K_a$  波段（波长 8 毫米）。相应频率范围如下：

S 波段—10 cm	2000~4000 MHz
C 波段—5 cm	4000~8200 MHz
X 波段—3 cm	8200~12400 MHz
$K_a$ 波段—8 mm	26500~40000 MHz

在航海雷达中，最常使用的是 3 cm 雷达，其次为 10 cm 雷达，8mm 雷达主要用于内河航运及渡口管理等方面。

图 1-2 是现代船用导航雷达的基本框图。整个系统由发射机 (transmitter)、接收机 (receiver)、天线 (antenna)、显示器 (display) 或综合显示器 (synthetic display)、数据处理机 (data processor) 所组成。其中发射与接收因结构上的需要组成一个收发机 (transceiver) 整体。综合显示器与数据处理机也常组成一个整体，即 ARPA。早期雷达仅作为单纯的传感器 (sensor)，没有数据处理与综合显示设备。操纵、观测与数据处理都由观测者完成。现代雷达为了增强自动化功能，代替观测员的一部分职能、已由传感器 (原有雷达)、处理机、综合显示器组合成一体。显示的图象已不仅是雷达的原始视频的图象，而又附加了处理视频，如代表目标的各种字符，运动矢量线、航迹线、危险符号等等。现在船用导航雷达，有的沿用原来的

原

书

缺

页



原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

扫描雷达。在这方面，日本的公司首先生产出用数字扫描变换技术实现的TV形式小型彩色显示器，并在渔业及小型船舶上占据大量的市场。但由于显示器件和存贮器件等技术上的原因，这种形式的雷达一直局限在小尺寸、低分辨率的简单雷达显示器上，满足不了ARPA所要求的显示尺寸和分辨率。

直到1984年，西德的Krupp-Atlas公司才首次推出了它的7600和8600系列的ARPA，它是完全符合IMO规则的16英寸单色光栅扫描形式的ARPA。一年后，意大利的Selesmar公司生产出Selescan 1024 Rasterscan ARPA，它的CRT分辨率达1380×1060个象素，雷达显示区域达1024×1024个象素和8个灰度级别，高分辨率多电平分层技术使得原始雷达图象的清晰度和精度不受到影响。

在美国，Raytheon公司和Sperry公司先后推出了自己的光栅ARPA产品。Raytheon的PATHFINDER/ST系列ARPA采用了独特的计算机控制技术，使得雷达发射机、接收机、信号检测门限、脉冲处理波束处理、扫描变换等均在计算机控制之下，大大提高了雷达的检测目标的能力。Sperry的RASCAR(RASTERscan Collision Avoidance Radar) ARPA采用了创新的操作方法，它除电源开关及总亮度控制旋钮外没有任何旋钮、按键和操纵杆，所有功能均可在屏幕上完成。采用“触摸屏”方法作人机接口，操作员只需用手在屏幕右边合适的部位指一下即可完成某一功能。这种无旋钮的方式使操作更为简单直观，避免了因为过多开关造成驾驶员的操纵困难。由于Sperry公司将它的ARPA控制功能分组编入页面，使得它的CAS程序处于领先地位。位于显示器周围的软开关根据调用和显示的不同页面而有多组功能。这种采用页面的控制方法已取得了很大的发展。

Sperry的12英寸彩色ARPA2500C不满足IMO规定的16英寸标准，直到1987年随着大屏幕、高分辨率彩色CRT技术的成熟，Racal-Decca公司在世界上首次推出了符合IMO标准的彩色光栅扫描ARPA2690BT。

2690BT ARPA的26英寸显示器运用了数字扫描变换(DSC)技术，它可在各种条件下迅速而明确地把各种情况用不同彩色显示出来，满足航行的需要。通过变换彩色编码，可以选择蓝色或黑色的背景，这样不论白天夜晚都可使观察者的眼疲劳程度最小，在光线条件变化时仍能方便地

观察。特殊的高亮度显示器提高了图象质量，因而雷达视频、图表、数字都能在数米外清楚地观看。值得指出的是视频、图表、数字的亮度设有分别的控制，这就使感兴趣的信息得到最佳显示。屏幕上强视频以明黄色显示，较弱的变化或不定的回波（比如干扰、杂波等）按其强度及持续时间以棕色或橙色显示。其他所用的颜色有：白色的电子方位线（EBL）、活动距标（VRM）、矢量、指示线（INDEX LINE）；绿色的船首标、距标圈、方位刻度、除了报警以外的读数；红色的警报符号、警戒圈、地图；兰青色的航迹。不同的彩色清楚地呈现出回波、杂波、航迹及计算机产生的数据之间的区别。红色的警报符号重叠在图象上，就不会产生混淆。弱回波持续出现时也以明黄色显示，作为真回波，从而避免浮筒之类的小目标丢失。

随后又推出的2490MT ARPA是一种低价格的黑白光栅显示ARPA，它使得船方可以在高性能和低价格两者之间作出合适选择。2690BT、2490MTARPA系列提供的另一个装置是能将每套8幅图（每图可多达50线或点）绘在板上的视频绘图装置。这些随时能够存储和重现的海图可表明诸如浅水、沉船、交通分叉航道等危险。利用手柄可将这些图对准识别的雷达回波。如果雷达与台卡导航仪MK53或Racal-Decca MBS2000船舶导航系统接口，这些图就能自动地实现船位配准。这样操作员在看不到可识别的雷达回波时也能利用视频地图。这样的地图是识别接近陆地的目标和浮筒的有效手段。如果本船位置是错的，地图也就不能与陆地回波配准。2690ARPA里装有一个装置，通过位移来校正这一错误将地图与雷达回波配准。Racal-Decca公司首先提出了“清晰扫描”（Clearscan）技术，采用两块视频处理器（VP1和VP2），使雷达的抗杂波能力明显提高，显示图象清晰。所谓“清晰扫描”就是自适应杂波抑制，雷达的增益电平能自动地随着杂波干扰而调整，以达到最佳状态，即抑制了杂波又不丢失目标。并且这种增益调整是瞬时的，能分别针对不同距离、不同方位上的杂波情况作自适应调整。VP2具有噪声抑制抗同频信号干扰和回波展宽等功能。

1987年Kelvin-Hughes公司也推出了它的Concept光栅ARPA，监视器具有 $1360 \times 1024$ 个象素的屏幕清晰度，显示的导航线/海图、数据、标志和标绘等综合信号的显示及其亮度由四个存储盘分别控制。所有雷达信号都被数字量化和扫描变换，在三个存储盘上产生8个灰度级，第四个存储盘用于目标拖尾（闪光后的滞留余辉）。杂波

抑制采用扫掠(雷达天线的旋转—旋转)相关技术来特别选址,以便抑制这些随机信号。在整个扫掠变换过程中,图象质量和清晰度保持在最低量程上为2米的分辨率。绘图与导航线标绘功能允许产生16幅(每幅64线字符)的海图,并可将其永久储存。其后Kelvin-Hughes公司又推出了 $1360 \times 1024$ 的彩色光栅ARPA。

日本的雷达公司顺应ARPA的发展趋式,也投入光栅ARPA的竞争中。1988年以后,HZS(Hitachi Zosen Information System)公司和Furuno公司也先后推出符合IMO标准的光栅扫描ARPA。HZS的Narcas ARPA采用了26英寸彩色CRT,全部ARPA操作是由面板上很少的几个触感开关来控制的,每个开关在不同情况下都有不同的操作功能,在CRT显示的指令下,触感开关可以对ARPA作方便的操作。Furuno公司的FAR2800系列ARPA采用高分辨率28英寸绿色CRT,由于采用了多电平量化(MLQ)技术,回波展宽、回波平均等处理方法,提高了目标的检测能力。

表1-1中列出了目前世界上光栅扫描ARPA的主要特点。从光栅扫描ARPA的发展过程可以看出,随着技术的发展及新型元器件的出现各种型号ARPA都在下面几个方面注意提高其性能。

1、显示器件在尺寸上趋向于28英寸大屏幕,使得PPI显示范围达到IMO规定的16英寸标准。在分辨率上应达到 $1024 \times 1024$ 以上,满足雷达基本的测量精度和分辨率要求,显示CRT将采用平面直角屏幕,使得显示的图形不至因屏幕曲率而变形。目前由于大屏幕(24英寸以上)高分辨率 $1024 \times 1024$ 以上的彩色CRT尚处于研究阶段,因此彩色高分辨显示将取决于CRT的研究过程。1988年日本东芝公司生产出21英寸 $1028 \times 1024$ 彩色直角平面CRT,因此高分辨率彩色ARPA的问世将为时不远。

2、由于兆位以上大规模存贮器件发展迅速,ARPA将普遍采用多电平量化(MLQ)技术,有灰度的图象会使得原始雷达的清晰度不受影响,并提高目标的检测能力。

3、先进的杂波处理功能使得目标从杂波环境中清晰显示出来,由于图象被存贮,一些先进的图象处理及相关技术,如扫描相关技术,可以得到应用,更大限度地提高杂波抑制能力。

4、在满足IMO的ARPA规则条件下,尽可能提高ARPA的功

能，如目标跟踪能力，两个VRM，两个EBL及ERBL功能。

5、采用先进的结构设计，使操作者更直观、简便、充分地利用ARPA提供的全部功能。Sperry的触摸屏技术，HZS的屏幕指令控制方式都可使操作更为简化。

6、能存贮更多幅、每幅信息量更大的海图资料，使之在近岸航行时可在雷达屏幕上直接进行海图标绘。特别是将电子海图(Electronic Chart)与ARPA显示器相结合，使海图的全部信息都显示在荧光屏上。

7、在接收机上普遍使用微波低噪声前置放大，提高接收机的灵敏度和噪声系数。在发射机上采用固态器件，提高机器的可靠性。收发机用计算机进行最优控制，提高目标的检测能力。

8、新研制的ARPA都具有串行接口和并行接口的能力，使得ARPA很方便地与导航定位仪、自动舵、海图绘图仪、电子海图、综合航行显示端等配接，组成统一的综合航行系统，实现船舶航行的智能控制。

(表1-1转下页)

#### § 1.4 ARPA性能及功能

##### 国际海事组织(IMO)A.422(XI)决议

##### “自动雷达标绘仪(ARPA)的性能标准”

所有的ARPA都应满足国际海事组织第A.422(XI)号决议规定的性能标准，其内容如下：

##### 1、概要

(1)为了达到防止海上碰撞事故的目的，ARPA应当：

①必须象用手动标绘单个目标时一样，能自动获得对多目标标绘的数据，以减轻操作者的负担。

②必须能连续、迅速而正确地给出态势评价。

(2)ARPA除了应满足对电子助航装置的一般要求(第A.281(VIII)号决议)之外，必须符合下述的最低工作性能标准。

##### 2、定义

该性能标准中所用的术语定义如下：

相对航向：用雷达多次测定目标的距离和方位所得出的目标相对于本船的运动方向。用以正北为基准的角度来表示。

相对速度：用雷达多次测定目标的距离和方位所得出的目标相对于本

表 1-1 目前常见的光栅 A F P A

公 司	型 号	颜色	CRT尺寸	分辨率	综合海图显示	目标跟踪	其它特点	
Krupp Atlas	7600 8600	单	64cm (16英寸PPI)	704行	80幅每幅图40线	10 20	可组成MACOS20综合航行系统	
Selesmar	1024 Selescan	单		屏幕 1380x1060 PPI 1024 x 1024 8级灰度	每幅图40线	>20	可组成VECTOR综合航行系统	
Raytheon	Pathfinder/ST 34 25	单	34cmPPI 250cmPPI			>40	采用多级、多功能信号处理, 弱信号检测能力特别好	
Sperry	Rascar 3400M 2500M 2500c	单	26英寸CRT 340cmPPI 19英寸CRT 250cmPPI	1280x1024	具有数据输出接口和航图接口	20	“触摸屏”技术 操作简单 可组成VMS系统	
Racal Decca	2690BT 2490MT	彩	26英寸CRT 24英寸CRT	819线	8幅图每幅50线	>20	具有调色功能, 可组成Racal综合航行系统。	
Kelvin Hughes	Concept HR2000 HR3000	单	250cm PPI 340cmPPI	136x1024 8灰度	16幅图每幅 64线或字符	>20	键盘、监视器、处理器可分开, 便于安装	
HZS	Navcas ARPA	彩	26英寸CRT			>20	屏幕指令操作, 键盘少 可配接各种型号雷达	
Furuno	FAK2800	单	28英寸CRT	1360x1024 15分屏		20手动 40手动	采用大规模集成DSC 芯片功能强	
RACAL DECCA	Bridge Master 340	彩	26英寸CRT 340cm PPI	1024x807 16分屏	用RAM卡存储 海图数不限	30	可组成MIRANS 综合航行系统	
Krupp Atlas	9600	彩	340cm PPI					



船的速度。

**真航向：**根据目标的相对运动与本船的运动进行矢量合成所得出的目标视在首向。用以正北为基准的角度表示。

**真速度：**根据目标的相对运动与本船的运动进行矢量合成所得出的目标速度。

**方位：**由地球上某一点看另一点的方向。用以正北为基准的角度表示。

**相对运动显示：**本船的位置在显示器上保持固定的显示方式。

**真运动显示：**本船的位置在显示器上随本船的运动而移动显示方式。

**方位稳定：**显示器上的目标反射回波不随本船船首方向变化而变动，而用本船的罗经信息输入给显示器的显示方式。

**真北上：**扫描中心与显示器的上方的连线为北向。

**船首向上：**扫描中心与显示器的上方的连线为本船首方向。

**航向向上：**把预定航向，放在扫描中心与显示器上方的连线上。

**船首方向：**船首所指的方向。用以正北为基准的角度表示。

**目标的预测运动：**根据用雷达测定过去最新的目标距离和方位，用直线外推法显示出目标未来的运动。

**目标的运动趋势：**目标预测运动的初期显示。

**雷达标绘：**目标探测、跟踪、参数计算及信息显示的全过程。

**探测：**识别目标的存在。

**捕获：**选出需要跟踪处理的目标，并开始对其进行录取。

**跟踪：**为确定目标的运动，观测目标位置的连续变化的过程。

**显示：**ARPA数据和雷达数据在平面位置显示器上的显示。

**手动：**雷达观测者用机器辅助执行动作。

**自动：**全靠机器自动执行动作。

### 3、性能标准

#### (1)探测

当用雷达观测者以外的探测目标的独立功能时，其性能应不低于使用雷达显示器所得到的性能。

#### (2)捕获(录取)

①捕获目标的方式可以是手动或自动的。但是，必须具有手动捕获和消除的功能。

自动捕获方式的ARPA，应具有能在一定范围内抑制捕获的功能。在任何一档距离范围内对某一范围进行抑制捕获时，捕获的范围必须在显