

台湾海峡 VTS 雷达子系统的研究

李杰¹ 张杏谷²

(1.福建海事局 2.集美大学航海学院)

内容提要:建设台湾海峡 VTS,确保该水域海上交通安全是非常必要和迫切的。本文研究台湾海峡 VTS 雷达子系统的站址选择及设备选型,分析雷达子系统的检测性能、系统分辨力和定位精度,提出符合台湾海峡 VTS 总体要求的雷达子系统。

关键词:台湾海峡 VTS 雷达 海上交通

0 概述

台湾海峡位于我国东南沿海台湾岛与福建省陆岸之间,其南界为南澎列岛灯塔与台湾岛鹅銮鼻的连线,北界为马祖岛与台湾岛北端富贵角的连线(航海上的定义)。北出海峡可直达我国北方及华中一带各港口及日、朝、俄等国。南出海峡可达我国南方各港口及东南亚、欧洲、非洲诸国,是我国南北运输的主通道,远东-东南亚国际航线的必经之路,有着重要的战略地位。

海峡西岸福建省海岸线漫长曲折,海湾众多,有着优越的建港条件。福建沿海地区是众多台胞的祖籍地,也是海峡两岸人流、货流的重要口岸。随着两岸往来的不断增多,台湾海峡船舶交通流量不断增大,使得台湾海峡的水上交通形势日益严峻,交通事故频繁发生。为了有效维护水域船舶交通秩序,保障船舶交通安全,建设台湾海峡船舶交通管理系统(VTS)是非常必要和迫切的。目前台湾海峡 VTS 的建设已进入工程实施,其组织管理采用分区域模式,分别在福州海事局、泉州海事局、厦门海事局设立 VTS 中心,对辖区范围内的船舶交通实施管理;在福建省海事局设立 VTS 协调中心,宏观掌握台湾海峡的交通态势,协调各 VTS 中心的工作,支持与协调台湾海峡水域水上联合行动。

船舶交通管理系统(VTS)是应用现代化的技术手段和管理方法,通过交通信息进行交通控制,从而实施对船舶运行的动态管理的系统。国际海事组织(IMO)的《VTS 指南》对该系统的定义:VTS 是负责增进交通安全和提高交通效率及保护环境的主管部门所实施的任何服务系统。其功能有:数据搜集;数据评估;信息服务;航行协助服务;交通组织服务;支持联合行动。

雷达子系统是 VTS 的主要部分,对所覆盖水域目标进行探测、定位,并向数据处理子系统提供信息。

1 雷达站址的选择

根据台湾海峡 VTS 的建设目标,雷达站址选择应能全面覆盖台湾海峡西侧小型船舶习惯航线、近岸交通复杂、事故多发水域,加强台湾海峡西侧船舶定线制水域、沿海主要港口口门外水域、近岸中小型船航线水域的船舶交通动态管理,增进船舶航行安全,提高通航效率,防止或减少水上交通事故的发生,保护水域生态

环境。同时,雷达站址的选择还应考虑充分发挥雷达设备的使用性能和技术性能,便于管理使用;交通供电方便,力求获得最大的效益/投资比。

通过实地勘察,确定台湾海峡 VTS 9 个雷达站的站址如下:烟台顶山雷达站、旗山雷达站、王爷山雷达站、九重山雷达站、烟墩山雷达站(湄洲湾 VTS 站点)、大山雷达站、南太武山雷达站(厦门 VTS 已建)、虎头山雷达站、岩仔山雷达站。(见示意图 1)



图 1 台湾海峡 VTS 系统总体布置示意图

• 烟台顶山:位于闽江口北部、三都澳港口门外的西洋岛上,山高 227 m。该处地势平坦,距离台湾海峡船舶定线制航线垂直距离约 43 n mile,雷达天线高度为 237 m 左右。由于是西洋岛的最高点,对台湾海峡视野开阔,可以有效覆盖闽江口北面台湾海峡水域(台湾海峡北口)、罗源湾和经小安水道至三都澳口水域。本处有电,道路条件较好,汽车可以直达山顶。

• 旗山:位于闽江口南侧、长乐市文岭镇与梅花镇交界处,山高 201 m。该处地势平坦,有废弃防空洞,距离台湾海峡船舶定线制航线垂直距离约 56 n mile,距离台湾海峡海坛海峡北口约 6 n mile,雷达天线高度为 211 m 左右。此处视野开阔,可以有效覆盖福州港进出港航道、闽江口外水域、台湾海峡北界限附近水域。上山道路已修到山顶下,距雷达站处约 30 m。山上无高压电,需建专用通信线路。

• 王爷山:位于平潭岛东北部突出处,山高 188 m,

该处地势平坦开阔,距离台湾海峡船舶定线制航线垂直距离约 21 n mile,对台湾海峡方向视野开阔。由于该处位于海岛上,距离台湾海峡船舶定线制航线距离较近,便于雷达的监控。山上有电,通信传输业务已开通,交通状况较好,汽车可直达雷达站处。

- 九重山:位于南日岛东部突出处,山高 186 m,距离台湾海峡船舶定线制航线直线距离约 19 n mile,距离台湾海峡沿岸航线约 7.5 n mile。此处视野开阔,可以有效覆盖台湾海峡船舶定线制航线等水域,但对海潭海峡南口、兴化水道、南日水道航段有部分遮挡。山下有电,岛上有通信传输业务,交通状况较好,汽车可以直达雷达站山下,需建设到山顶雷达站的道路。

- 烟墩山:位于湄洲岛中南部,山高 85 m。湄洲湾 VTS 工程在此设置雷达站,雷达天线设计架设高度为 115 m,可以覆盖湄洲岛外台湾海峡水域,台湾海峡 VTS 可以利用此站,不需要建设新的雷达站。

- 大山:位于围头半岛沿海中部,山高为 74 m,距台湾海峡船舶定线制航线直线距离约 16 n mile,对台湾海峡视野开阔,同时可以覆盖围头湾部分水域;缺点是地势较低,雷达天线高度需 110 m 左右。该处建设条件较好,附近有电,已开通数据传输业务,需要修简易道路,但投资不大。

- 南太武山:位于厦门港口门,厦门港及附近水域 VTS 已在此建设雷达站,雷达站建设高度为 440 m,可以有效覆盖台湾海峡水域及厦门港进出港航道。台湾海峡 VTS 可以利用此站,不需要建设新的雷达站。

- 虎头山:位于六鳌半岛南端,山高 86 m,雷达站拟建于山上最高处,天线高度 116 m 左右。此处距台湾海峡船舶定线制航线直线距离约 27 n mile,附近没有岛屿,视野开阔,可以覆盖浮头湾、台湾海峡船舶定线制航线附近水域。该站建设条件尚可,需从山下引电,投资建设数据传输线路,建设上山简易道路(已有约 400 m 道路基础)。

- 岩仔山:位于苏峰山山脚下,海拔 111 m,山顶地势平坦,有废弃建筑,雷达天线高度 130 m 左右。此处距台湾海峡船舶定线制航线直线距离约 21 n mile。在这里建设雷达站,可以覆盖台湾海峡水域。该站需从附近西埔供电所引电,并需投资建设数据通信线路和至山顶道路,但建设难度不大。

2 雷达最大探测距离的计算

根据雷达最大探测距离计算公式:

$$R=2.23(\sqrt{h_1+h_2}+\sqrt{h_0}) \quad (\text{n mile})$$

式中: h_1 为山的高度(m); h_2 为天线高度(m); h_0 为目标高度(m)。

新建 7 个雷达站对浮标、20 m 木船、300 GT 钢船、3 000 GT 钢船和 10 000 GT 钢船的最大探测距离计算

结果(表 1)表明,各雷达站所设高度能满足系统要求的在 15 n mile 区域内,监控 300 GT 船舶;15 n mile 区域外,监控 3 000 GT 船舶。雷达覆盖不到的区域将由 AIS 信息弥补。

表 1 雷达的最大探测距离 单位:n mile

目标类型 雷达站 (高度 m)	浮标 (1.5 m)	20 m 木船 (2 m)	300 GT 钢船(4 m)	3 000 GT 钢船(8 m)	10 000 GT 钢船(15 m)
烟台顶山 雷达站 237	36.6	37.0	38.3	40.1	42.4
旗山 雷达站 211	34.7	35.1	36.4	38.2	40.5
王爷山 雷达站 195	33.4	33.8	35.1	36.9	39.2
九重山 雷达站 158	30.3	30.8	32.1	33.9	36.2
大山 雷达站 114	26.2	26.6	27.9	29.7	32.0
虎头山 雷达站 116	26.4	26.8	28.1	29.9	32.2
岩仔山 雷达站 136	28.4	28.8	30.1	31.9	34.2

3 雷达子系统性能分析

雷达子系统由雷达天线、收发机、控制器及维修终端组成。考虑到系统的高可靠性要求,雷达收发机配置采用双机热备份方式。雷达维修终端采用高性能通用计算机和高亮度液晶显示器,维修显示器的显示内容、对雷达参数的调整内容等应满足雷达维修的要求。

3.1 雷达的最大作用距离

雷达的最大作用距离与雷达发射功率、接收机灵敏度、天线增益、大气衰减等因素有关。它反映了雷达子系统发现远距离目标及近距离小目标的综合能力。

根据辖区水域的通航条件和目前 VTS 雷达常用设备,选择通用的 21 ft、18 ft X 波段雷达,其主要技术指标如表 2 所示。

由工程计算软件,可计算出有效反射面积为 1 m²、10 m²、50 m²、100 m²、300 m²、1 000 m²、2 000 m² 在四种气象条件下(晴天、雾天、小雨 1 mm/h、中雨 5 mm/h 和暴雨 16 mm/h、20 mm/h)雷达的最大作用距离,其结果如表 3 所示。

可以看出,所选设备均可满足在晴天时,对 20 m 小船的检测能力应达 8 n mile 以上,及在 20 mm/h 雨量的气象条件下,系统应能监测到相应港区水域 300 GT 船舶的检测能力要求。

表 2 常用沿海监控雷达主要参数

天线	21ftX 波段	18ftX 波段
频率(MHz)	9 375	9 375
功率(kw)	50、75	50、75
PRF(Hz)	400-4 400	400-4 400
脉宽(ns)	50-1 000	50-1 000
噪声系数(dB)	4	4
水平波宽(°)	0.4	0.5
垂直波宽(°)	15	15
增益(dB)	36	35
极化	水平	水平
天线类型	裂缝波导	裂缝波导
天线转速(转/分)	20	20
发现概率(%)	90	90
虚警概率	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶

表 3 通用雷达设备检测能力表 单位:n mile

雷达设备 主要指标	目标有效 反射面积	晴天	雾天能见度(m)			雨天降雨量(mm/h)				
			1000	120	30	1	5	16	20	
										1
18ft 天线 50kw 收发机 X 波段	1 m ²	5.36	5.36	5.30	4.92	5.33	5.05	4.25	4.01	
	10 m ²	9.47	9.47	9.25	8.21	9.32	8.54	6.61	6.09	
	50 m ²	14.01	14.01	13.56	11.50	13.72	12.13	8.75	7.92	
	100 m ²	16.57	16.57	15.95	13.21	16.17	14.03	9.80	8.81	
	300 m ²	21.56	21.56	20.55	16.34	20.92	17.55	11.62	10.32	
	1000 m ²	28.70	28.70	26.96	20.38	27.58	22.19	13.83	12.15	
	2000 m ²	34.13	34.13	32.06	24.24	32.80	26.39	16.45	14.45	
21ft 天线 50kw 收发机 X 波段	1 m ²	6.16	6.16	6.08	5.59	6.10	5.76	4.88	4.61	
	10 m ²	10.86	10.86	10.58	9.25	10.68	9.67	7.51	6.92	
	50 m ²	16.04	16.04	15.46	12.88	15.69	13.65	9.95	9.00	
	100 m ²	18.97	18.97	18.17	14.75	18.46	15.76	11.14	10.01	
	300 m ²	24.65	24.65	23.34	18.15	23.82	19.61	13.20	11.73	
	1000 m ²	32.73	32.73	30.52	22.50	31.31	24.65	15.72	13.81	
	2000 m ²	38.92	38.92	36.29	26.76	37.24	29.32	18.69	16.42	
18ft 天线 75kw 收发机 X 波段	1 m ²	5.94	5.94	5.87	5.45	5.90	5.59	4.70	4.44	
	10 m ²	10.48	10.48	10.24	9.08	10.32	9.45	7.32	6.74	
	50 m ²	15.50	15.50	15.00	12.73	15.19	13.42	9.69	8.77	
	100 m ²	18.33	18.33	17.65	14.62	17.90	15.53	10.84	9.75	
	300 m ²	23.86	23.86	22.74	18.08	23.15	19.43	12.86	11.42	
	1000 m ²	31.76	31.76	29.84	22.56	30.52	24.56	15.31	13.45	
	2000 m ²	37.77	37.77	35.48	26.83	36.29	29.20	18.20	16.00	
21ft 天线 75kw 收发机 X 波段	1 m ²	6.82	6.82	6.73	6.19	6.75	6.37	5.40	5.10	
	10 m ²	12.02	12.02	11.71	10.24	11.82	10.70	8.32	7.66	
	50 m ²	17.75	17.75	17.11	14.25	17.36	15.11	11.01	9.96	
	100 m ²	20.99	20.99	20.11	16.32	20.43	17.44	12.32	11.08	
	300 m ²	27.28	27.28	25.83	20.08	26.36	21.70	14.61	12.98	
	1000 m ²	36.22	36.22	33.77	24.90	34.65	27.28	17.39	15.28	
	2000 m ²	43.07	43.07	40.16	29.61	41.21	32.44	20.68	18.18	

3.2 系统分辨力

系统的分辨力分为雷达距离分辨力和方位分辨力。雷达距离分辨力主要取决于发射脉冲宽度、接收机通频带宽等。方位分辨力主要取决于天线水平波束宽度,它与雷达覆盖距离的远近有很大关系。选择台湾海峡船舶定线制南澎岛至兄弟屿航段(P₁ P₂ P₃ P₄)、厦门港外航段(P₅ P₆ P₇ P₈)、乌丘屿航段(P₉ P₁₀)、牛山岛航段(P₁₁ P₁₂)、东沙岛航段(P₁₃)的通航分道和沿岸分割带的起点作为特征点,并对其位置的点目标进行雷达分辨力计算,结果见表 4。

其中:R—特征点至雷达天线的距离;W—特征点处航

表 4 系统分辨力验证计算

特征点	R(km)	W(m)	ZD(m)	ZR(m)	特征点	R(km)	W(m)	ZD(m)	ZR(m)
P1 点	72.0	5556	628.3	35.0	P8 点	39.0	1852	340.3	35.0
P2 点	62.0	1852	540.1	35.0	P9 点	38.0	5556	331.6	35.0
P3 点	45.0	5556	392.7	35.0	P10 点	29.0	1852	253.1	35.0
P4 点	31.5	1852	274.9	35.0	P11 点	34.0	5556	296.7	35.0
P5 点	58.0	5556	506.1	35.0	P12 点	23.0	1852	200.7	21.0
P6 点	46.0	1852	401.4	21.0	P13 点	14.0	300	122.2	21.0
P7 点	47.0	5556	410.2	35.0	—	—	—	—	—

道宽度;ZD—特征点处雷达方位分辨力;ZR—特征点处雷达距离分辨力。

根据计算分析,所选的雷达设备可满足系统性能要求,即分辨力小于或等于航道宽度的 1/2。

3.3 系统定位精度

系统定位精度分为方位精度和距离精度,根据上述雷达选型和雷达数据处理的技术水平,对上述特征点处的点目标进行距离和方位定位精度的计算,其结果如表 5 所示。

表 5 系统定位精度验证计算

特征点	R(km)	W(m)	QD(m)	QR(m)	特征点	R(km)	W(m)	QD(m)	QR(m)
P1 点	72.0	5556	251.3	30.0	P8 点	39.0	185	136.1	30.0
P2 点	62.0	1852	216.4	30.0	P9 点	38.0	555	132.6	30.0
P3 点	45.0	5556	157.1	30.0	P10 点	29.0	185	101.2	30.0
P4 点	31.5	1852	110.0	30.0	P11 点	34.0	555	118.7	30.0
P5 点	58.0	5556	202.4	30.0	P12 点	23.0	185	80.3	18.0
P6 点	46.0	1852	160.6	18.0	P13 点	14.0	300	48.9	18.0
P7 点	47.0	5556	164.1	30.0	—	—	—	—	—

其中:R—特征点至雷达天线的距离;W—特征点处航道宽度;QD—特征点处雷达方位定位精度;QR—特征点处雷达距离定位精度。

根据计算分析,所选雷达设备可满足系统对定位精度的要求,即定位精度小于或等于航道宽度 1/3。

4 结语

台湾海峡是重要的南来北往国内、国际海上运输通道,担负着繁重的运输任务,每年过往海峡的大中型船舶十几万艘次。在海峡内有东南沿海重要的渔场,有数万渔船在该水域进行捕鱼作业。台湾海峡 VTS 的建设将实时监控水域船舶交通,为该水域的海上交通安全、海洋环境保护提供重要的技术保障,促进海峡两岸海上直航的顺利发展及海峡交通运输的发展。

* 作者:李 杰,福建海事局 高级工程师 lijie@fjmsa.gov.cn

参考文献

- 1 张杏谷. 台湾海峡船舶交通管理系统(VTS)的研究. 台湾海峡 1998.
- 2 刘人杰等. 船舶交通管理电子信息系统. 大连海事大学出版社. 2006.9.
- 3 IALA. VESSEL TRAFFIC SERVICES MANUAL, 2002.
- 4 李杰,张杏谷. 厦门船舶交通管理系统(VTS). 厦门科技. 2004(1).