

[文章编号] 1007-7405(2016)02-0120-05

海上人员安全综合保障系统

成崔芳, 黄鹏飞, 张寿桂

(集美大学航海学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为提升海上人员安全保障力, 采用层次化的结构设计理念, 设计了具有多级防护格局的“四防”海上人员安全综合保障系统。阐述了系统的组成及其功能设计, 解决了功耗处理、AIS天线设计的问题, 建立了落水人员漂移预测模型。通过实际测试, 海上人员安全装备性能良好, 海上人员落水报警与搜救系统能够及时提供准确可靠的落水人员定位信息, 有效地保障了海上人员的生命安全, 为航海保障事业提供了技术支持。

[关键词] 海上人员; 安全保障; 海上搜救; 综合系统

[中图分类号] U675.7

The Design of Integrated System on Maritime Personnel Security Protection

CHENG Cui-fang, HUANG Peng-fei, ZHANG Shou-gui

(Navigation Institute, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to improve the ability to protect the personnel at sea, we adopted the hierarchical structure concept to designed a “four anti - ” integrated system on maritime personnel security protection which has achieved multi-level protection. This paper states the system’s components and functions, and analyzes key technologies which we have emphatically resolved, including power processing, AIS antenna design and man overboard drift forecasting model. Through test, it is discovered that the performance of the safety equipment for personnel at sea is good, and the man overboard alarm and rescue system can provide more reliable, more accurate, effective, timely positioning information of the man overboard so as to effectively protect the personnel at sea, providing technical support for the maritime security.

Keywords: personnel at sea; security protection; search and rescue at sea; integrated system

0 引言

随着海洋资源的开发及远洋运输业的不断发展, 海上作业人员数量也不断增加。据统计, 截至2014年年底, 我国船员注册总人数达131.6万人。由于重大海上事故导致的死亡人数2011年至少1426人, 2012年至少875人, 2013年至少1508人; 2014年4月17日, 韩国“岁月号”船舶, 船上载有476人, 生还者只有172人; 2015年6月1日深夜, “东方之星”号客轮沉船, 客船实有人员454人, 幸存者仅仅12人。为防止这类悲剧的发生, 增强海上人命安全, 国际海事组织各缔约国共同制定了国际海上人命安全公约(SOLAS, International Convention for Safety of Life at Sea)^[1]。根据

[收稿日期] 2015-09-11

[修回日期] 2015-12-16

[基金项目] 福建省科技厅高校产学研合作项目(2015H6005)

[作者简介] 成崔芳(1989—), 女, 硕士生, 从事交通信息工程及控制研究。通信作者: 黄鹏飞(1975—), 男, 副教授, 从事海上交通工程研究, E-mail: hpf1513@163.com.

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

《中华人民共和国海上交通安全法》第三十五条，遇难船舶、设施或飞机及其所有人、经营人应当采取一切有效措施组织自救^[2]。2014年8月发布的《国务院关于促进海运业健康发展的若干意见》要求推进航运业安全绿色发展^[3]。由此可见，国家对海上人命安全和搜救的重视。研究开发海上人员安全综合保障系统，包括：安全登离轮防坠保险装置、专用救生包、海上人员落水报警与搜救系统、手套、防滑鞋等，为保护海上人员安全，减少海事伤亡事故具有很大意义。

1 系统组成和功能设计

针对海上工作人员存在的各种安全问题，按照层次化结构的理念，设计了具有海上人员安全多级防护格局的海上人员安全综合保障系统，包括：安全登离轮防坠保险装置、专用救生包、海上人员落水报警与搜救平台、手套、防滑鞋等，可分为四个层级。

1.1 一级防护——防坠落

一级防护主要包括安全登离轮防坠保险装置，由一个防坠救生器和马甲式安全带配合使用。新型防坠器的防坠功能通过抗棘齿双盘式制动系统，有效控制人体失控下坠，作业时可随意拉出绳索，方便使用，在正常上下船（速度小于2 m/s）时不影响正常作业，但当人体急速下坠时，可以迅速锁住，防止人员继续下坠。马甲式安全带为双肩背带式，在腰间有可扣紧的腰带，两大腿跟部有环式扣带。

此安全装置主要有以下作用：1）保持海上工作人员登轮时的工作位置，防止坠落；2）升高或放松时起到保护作用；3）坠落时拉住人体。

1.2 二级防护——防沉降

二级防护包括专用救生包，海上专用救生包采用救生包和救生衣一体化的设计，运用特殊的材料和工艺，集安全性、背负性、舒适性、防水性、耐用性于一体。采用发光带结构可以在光线较暗环境中便于施救人员发现和确定水中遇险者的位置。采用海水触动式的紧急充气式救生衣，海上作业人员入水5 s内救生衣会自动充气，使其头朝上浮起。其中，海水触动充气式救生衣装备有多个气囊，装备有打捞带，在遇紧急情况时，打捞带充气膨胀，向外凸起，从而便于施救人员打捞。救生包中的口哨功能可以使遇险者发出求救信号，从而便于施救人员发现和确定目标。

1.3 三级防护——防失踪

三级防护包括海上人员落水报警与搜救系统。该系统由报警终端、搜救平台两部分组成。当人员落水时，可手动激活或自动激活终端，终端采集佩戴者定位信息，优化处理后，按照指定的发射频率，通过AIS链路向外发送遇险求救信息，信息内容包括人员身份识别号、位置信息等。当遇险位置在AIS基站覆盖范围内时，可由AIS岸基系统接收并通过移动通信公网转发给搜救任务控制中心，由搜救任务控制中心组织搜救。当遇险位置在AIS基站覆盖范围外时，遇险求救信息由遇险位置周边航行并安装AIS船台的船舶接收，周边船舶根据险情实施搜救。同时，安装有北斗一代定位终端的船舶接收到报警信息后，还可以通过北斗卫星发送求救信号给搜救任务控制中心，以便岸端辅助指挥搜救工作的进行。系统工作原理框图如图1所示。一旦终端搜索过程中出现故障，将不能得到人员落水的实时定位信息，这时搜救平台将启用落水人员漂移轨迹预测功能。

1) 报警终端主要包括系统控制中心、北斗/GPS定位模块、供电单元、AIS信息收发单元、天线、LED报警指示灯、开关单元。系统控制中心采用意法半导体提供的低功耗微控制器STM32F103CBT6，北斗/GPS双模定位通过TM1612芯片实现，AIS信息收发单元采用型号为CMX589的芯片，天线采用内置PCB形式的162 MHz的微带天线。辅助电路设锁相环电路和功率放大电路，以达到终端小型化和低功耗的设计目标。

2) 搜救平台依托于报警终端，分为服务端和客户端两部分。客户端部分安装在搜救船和搜救人员随身携带的移动终端设备上，能够实时显示落水人员的位置等信息，便于在现场实时展开救援措

施。服务端部分安装在船台或搜救任务控制中心，能够采集落水人员的位置信息并发布到客户端，管理人员可以根据服务端上显示的落水人员位置及附近海域的引航艇、拖轮分布情况，实时制定搜救方案并进行调度指挥。

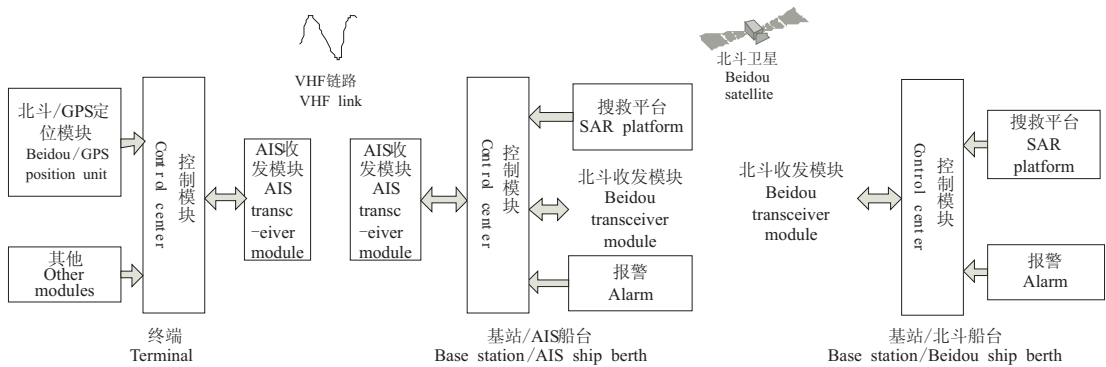


图 1 人员落水报警与搜救系统工作原理框图

Fig.1 Principle block diagram of the man overboard alarm and rescue system

1. 4 四级防护——防伤害

四级防护主要包括手套、防滑鞋。防伤害装备主要应用于海上作业人员在攀爬时防滑到、防刺伤等。海上工作人员因为其工作环境的特殊性，要求手套、鞋子高度防滑、防水、防腐、防静电，还要满足夜间作业的特殊要求。针对这些特点，设计了海上工作人员专用手套、防滑鞋，手套和鞋面均采用防水柔软小牛皮，鞋底采用进口防滑轮胎材料，武警空军部队抗静电鞋底配方。同时，在表层加入适合夜间作业的 3 M 反光材料。

2 重点解决的关键技术

2. 1 功耗处理

佩戴者落水后，终端就会立即启动开始工作，进行定位和发送求救报警信息。由于终端体积结构的要求，一般采用电池等存储能式能源进行供电^[4]，储能式能源携带的能量能量有限，难以保证长时间的持续工作，合理分配和利用有限的能源资源是一个需要考虑的关键问题。因此，终端设计在采用 AIS 链路对外发射报警信息的基础上增加了 AIS 信息接收功能，以发送为主，在没有接收到附近船舶的 AIS 信息时，终端以较低频率对外发送报警信息，以减少终端功能耗散；在能接收到附近船舶的 AIS 信息时，终端自动提升 AIS 求救信息发送的频率，从而为搜救人员提供快速、实时的遇险者位置信息。

2. 2 AIS 天线设计

佩戴者落水后，终端需要保证有足够的有效传输距离将落水人员信息实时传送给周围船舶或 AIS 岸基系统。考虑到终端为随身携带的便携式救生设备，天线的设计不仅要求尺寸小、质量轻、机械强度好，而且要求水平面全向辐射，受周围环境影响小，对人体辐射伤害小等^[5]；同时，考虑到电池的有效工作时间要求，终端发射功率也须严格控制。因此，综合考虑各种因素，采用内置 PCB 式的 162 MHz 的微带天线作为终端的 AIS 天线，以保证落水信息的有效传输距离的同时，兼顾终端的便携性和良好的续航能力。

天线的长度一般以波长的四分之一为标准。介质内的导波波长的计算公式为： $\lambda = c/(f\sqrt{\epsilon})$ ^[6]。其中： ϵ 为介质的介电常数； f 为微带天线的工作频率； c 为光速。在 162 MHz 的频率下，波长太长，直接影响终端的整机的体积，因此，在此采用螺旋形式的 PCB 天线来实现，而馈电方式则选用微带线馈电。

2. 3 落水人员漂移预测模型

由于意外造成终端报警信息的中断或者终端与佩戴者中途脱离，都会影响搜救者对落水人员的搜

救。鉴于此，在搜救平台软件的开发中，增加落水人员漂移预测功能。搜救者手持的移动设备上的搜救平台不仅可以实时显示终端发送的报警信息，而且还可以根据遇险的初始时间、位置和海洋环境状况预测落水人员漂移位置。

根据拉格朗日方程，假设落水人的初始位置为 \vec{S}_0 ，初始时刻为 t_0 ，则经过 Δt 的时间，落水人的位置： $\vec{S} = \vec{S}_0 + \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} V_{drift} dt^{[7-8]}$ 。

由此可知，欲得落水人员的位置，关键在于确定落水人的漂移速度 V_{drift} 。落水人员在不考虑垂向运动的情况下，受风、流两类力的共同影响。根据牛顿第二定律，目标的加速度方程为：

$$(m + km') dV_{drift}/dt = F_w + F_c$$

其中： V_{drift} 为落水人的漂移速度； F_w 为风对落水人的作用力； F_c 为流对落水人的作用力； m 为目标的质量； m' 为附加质量；源于附着在目标表面水离子的加速度； k 为附加质量系数。又

$$F_w = 1/2 S_w D_w \rho_w V_w^2,$$

其中： S_w 为落水人露出海面部分的横截面积； D_w 为风的作用力系数； ρ_w 为空气密度； V_w 为海面风速。

$$F_c = 1/2 S_c D_c \rho_c V^2$$

其中： S_c 为落水人浸没海面以下部分横截面面积； D_c 为流的作用力系数； ρ_c 为海水密度； V 为落水人员相对于周围海水的漂移速度。落水人落入海水中的初始时间，在外力作用下具有较大的加速度，不过在短时间内所受的外力会达到平衡。此时， $F_w + F_c = 0$ ，即 $1/2 S_w D_w \rho_w V_w^2 = 1/2 S_c D_c \rho_c V^2$ 。

由此可知，在已知风场的情况下，落水人相对于周围海水的漂移速度 V 由相关的属性参数决定，表示为： $V = R V_w$ ，称 R 为风致漂移系数。落水人员的漂移速度等于落水人相对于周围海水的漂移速度与周围海水流速 V_c 的矢量和，即 $V_{drift} = V + V_c = R V_w + V_c$ 。将 V_{drift} 代入拉格朗日方程即可计算任意时间内落水人的漂移位置。

3 系统测试

3.1 海上人员安全装备

经测试，在登轮攀爬人员失足坠落时，防坠装置的安全绳拉出速度明显加快，器内双锁止系统立即自动锁止，安全绳拉出距离不超过0.2 m，冲击力小于2 949 N，坠落者不会受伤。负荷解除，该防坠器即自动恢复工作。

自主研发的PB-1型多功能救生包，防水、轻便，可便携多种设备和装置，配备的救生衣充气成型时间 ≤ 5 s；漂浮时间 ≥ 24 h；24 h后浮力损失 $\leq 5\%$ 。

专业手套和防滑鞋的使用效果较好，舒适度和安全性都达到了目标。

3.2 海上人员落水报警与搜救系统

经测试，终端设备防水性好，体积小，质量轻，安装便捷，能够承受较高的水压。落水时自动或手动激活终端，传输落水者的身份信息，以及经、纬度等定位信息。有效距离达到5 n mile，定位精度达到3 m。

搜救平台能较好地辅助搜救团队快速、准确地找到落水人员，如图2所示。落水人员漂移轨迹的智能化预测，在终端发射信号丢失的情况下，能继续为搜救团队提供具有参考价值的位置预报，预测位置与实际位置相差大致为0.15 n mile，能够满足海上搜救的

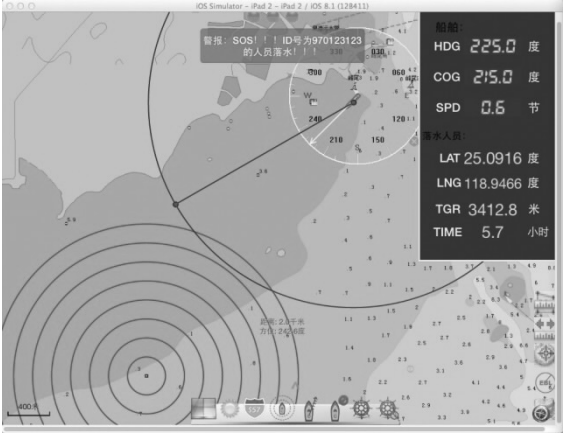


图2 人员落水报警与搜救指挥平台

Fig.2 The alarm and rescue command platform on man overboard

需要。

4 总结

本系统根据现在海上人员作业的安全需要而设计,属于海上人命安全综合保障系统,符合国际海事组织提出的 E-航海战略,符合《福建省海洋经济发展规划》要求,较现有单一的防护措施有一定的系统性和创新性。研发的海上人员落水报警与搜救系统,增加了船台和岸端的联合显示平台,能够及时提供准确可靠的落水人员定位信息,有效地保障了海上人员的生命安全。

其中的报警终端只具备单一报文的播发方式,要实现向 AIS 覆盖范围外的岸基监管中心播发报警信息,需要周围同时安装 AIS 接收机和北斗接收机的船台作为中转中心,然后通过北斗卫星转发岸基监管中心。未来可以开发具有双电文播发方式的终端,即终端自身既具有 AIS 播发功能,也具有北斗短报文播发功能,实现终端远距离、近距离的联合播发,大大扩大报警信息的覆盖范围。鉴于北斗的短消息通信功能,还可以在终端上设计按键和显示屏,实现终端和外界的短消息通信。具备短消息通信功能的终端可以推广应用到登山人员、森林探险人员等在无无线通信信号服务区域活动的人员,方便他们与外界的及时联系。

[参考文献]

- [1] 国际海事组织. 国际海上人命安全公约 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国海上交通安全法[EB/OL]. (1983-09-02) [2005-8-23]. http://www.gov.cn/banshi/2005-08/23/content_25604.htm.
- [3] 国务院. 国务院关于促进海运业健康发展的若干意见[EB/OL]. (2014-09-03). <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146392/c3298518/content.html>.
- [4] 闫俊涛. 基于 GPS 的自定位海上搜救报警系统 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- [5] 赵冬. 小型化海上个人应急搜救示位标的设计与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [6] 李明洋, 刘敏. HFSS 天线设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [7] 刘凯燕. 对海上落水人员漂流轨迹的预测研究 [J]. 电子设计工程, 2013, 23: 1-3, 6. [DOI] 10.14022/j.cnki.dzsjgc.2013.23.011.
- [8] 郭民权, 曾银东, 李雪丁, 等. 平潭近岸海域浮子漂移轨迹及其数值模拟 [J]. 应用海洋学学报, 2014, 04: 449-454.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)