

# 船舶自动识别系统在海底电缆运维中的应用

崔庆伟<sup>1</sup>, 杨 洋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津

<sup>2</sup>西南石油大学, 四川 成都

收稿日期: 2022年3月3日; 录用日期: 2022年3月30日; 发布日期: 2022年4月22日

## 摘 要

随着我国海洋航运事业的发展, 海底电缆(后简称“海缆”)锚害事故增多, 影响海缆正常运行。所以减少海缆锚害事故的发生, 加强海缆运维水平十分重要。目前在海缆的运维方面的研究, 除了传统的海缆运维方式, 无人机技术以及多波束和侧扫声呐等海底地形地貌检测技术也应用到了海缆的运维当中, 船舶自动识别系统(后简称“AIS”)技术也在研究应用到海缆的运维当中。本文说明了AIS的技术原理以及应用于海缆运维当中的优势, 对AIS技术应用于海缆运维中的监控应用进行了概括, 对海缆运维中的警报应用进行了分析。最后通过对某海上油气工程实例分析, 得出AIS技术可以大大提高海缆运维水平。

## 关键词

船舶自动识别系统, 海缆运维, 监控报警

# Application of Ship Automatic Identification System in Submarine Cable Operation and Maintenance

Qingwei Cui<sup>1</sup>, Yang Yang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNOOC (China) Co., Ltd. Tianjin Branch, Tianjin

<sup>2</sup>Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Received: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2022; accepted: Mar. 30<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2022

## Abstract

With the development of China's marine shipping industry, the anchoring accidents of submarine cables (hereinafter referred to as "submarine cables") are increasing, affecting the normal operation of submarine cables. Therefore, it is very important to reduce the occurrence of submarine

cable anchor accidents and strengthen the operation and maintenance level of submarine cables. At present, in the research on submarine cable operation and maintenance, in addition to the traditional submarine cable operation and maintenance mode, UAV technology, seabed topography and landform detection technology such as multi beam and side scan sonar are also applied to submarine cable operation and maintenance, and automatic ship identification system (hereinafter referred to as "AIS") technology is also being studied and applied to submarine cable operation and maintenance. This paper explains the technical principle of AIS and its advantages in submarine cable operation and maintenance, summarizes the monitoring application of AIS technology in submarine cable operation and maintenance, and analyzes the alarm application in submarine cable operation and maintenance. Finally, through the analysis of an offshore oil and gas project, it is concluded that AIS technology can greatly improve the operation and maintenance level of submarine cable.

## Keywords

Ship Automatic Identification System, Submarine Cable Operation and Maintenance, Monitoring Alarm

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国海洋航运事业的不断发展,海缆的船锚事故越来越多,对海底电缆的安全影响愈来愈大。在船舶拖锚的过程中,海缆被船锚钩挂而破坏是锚害事故的最主要原因[1]。根据国际大电网会议(CIGRE)统计,海缆的外力破坏事故占海缆所有事故的90%以上,其中船舶锚害致使海缆故障就高达80%。船舶锚害是海缆安全运行的主要安全隐患,它不仅会对社会产生巨大的影响,而且海缆的维修耗费的人力物力也大,一次维修至少要数百万甚至上千万的维修费用[2]。因此,做好对可能发生的船锚事故的预防对海缆运维十分重要。

目前对于预防海缆锚害事故的方法主要有海上巡游船巡视、设立瞭望塔和在海面上设立警示标志。但这些传统方法对于禁止船舶停锚的防止存在耗时长、观察范围有限以及效率低下等缺点。近年来,国内外对AIS技术不断研究,使得人们可以将AIS的船舶航行信息反应在电子海图上直接观察。文献[3]提出了雷达光电一体化与AIS相融合的船舶监控系统,对于船舶违停、违法抛锚有很大的抑制作用,文献[4]提出了加强了对船舶AIS位置监控以及全国实时接入的技术,文献[5]、文献[6]对船舶动态预测进行了研究,文献[7]提出了基于Storm框架的重点区域船舶异常行为实时监测系统。文献[8]提出了基于避让度的船舶领域边界确定方法。

综上所述,通过AIS系统中的船舶航行数据,对船舶的航行进行实时反映,可以很好地监控、抑制船舶违规停留、违规放锚的行为。本文通过介绍AIS系统的技术原理以及AIS系统应用于海缆运维中的优势,接着说明了AIS系统在海缆运维中的监控和报警应用,最后根据某实际油田说明了其准确性与高效性。

## 2. 船舶自动识别系统

### 2.1. AIS系统技术与原理

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, 简称AIS)是一种新型的助航设备,图1所示为一

款 B 级 AIS 设备。它的核心技术是以自组织时分多址接入(Self Organized Time Division Multiple Access, 简称 SOTDMA)为核心技术, 可以用于海上的交通联络与交通指挥, 包括岸上到船上、船上到岸上以及船与船之间的通讯[9] [10]。



Figure 1. AIS equipment  
图 1. AIS 设备

AIS 系统设备由船载设备和岸台设备两部分组成: 在岸台 VTS 覆盖区域内, AIS 基站可以对配有 AIS 设备的船舶进行指定模式的通信[11]。一般的船载 AIS 系统如图 2 所示:

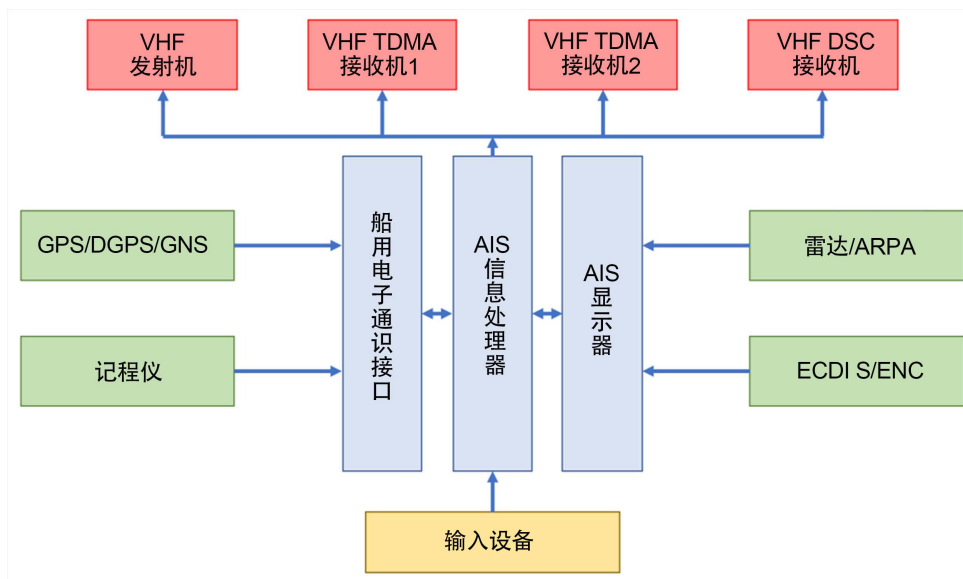


Figure 2. AIS system diagram  
图 2. AIS 系统图

AIS 运用 SOTDMA 方式发射船舶数据、信息: MMSI 码、船名、静态信息、动态信息以及安全信息等, 经过接口电路转换后送信息处理器, 在计算机内实现信息的融合、编程[12], 然后再由接口电路经信道选择、编码, 由 VHF 发信机发送到 VHF 信道, 在此信道守听的目标船就可以接收; 同时, 本船也可以接收目标船的识别信息, 并将目标船的信息和本船信息一并储存在本船的储存器, 以便向其他目标船发送目标范围内的它船信息。[13]

## 2.2. AIS 系统的应用优势

国际海事组织规定(IMO)规定,国际航线的 300 总吨以上船舶和公约国航与国内航线的 500 总吨以上的船舶,2008 年 7 月 1 日以后必须安装 AIS 系统。目前我国海事部门已经建成覆盖中国沿海的 AIS 网络,政府部门从 2011 年以后就要求所有的客船、货船以及渔船都必须安装 AIS 设备。且 AIS 在世界各地发展十分迅速,我国现阶段已建设 AIS 基站数十座,且都实现了联网。

传统的海上运维方式主要有 3 种方案,如图 3 所示:(a) 在海缆的登陆点附近建造瞭望塔,每日派遣专人来值守,来监视禁锚区域是否有违规船只;(b) 在禁锚区内及其周边设置警示标志,提醒过往的船只这个地方为海缆禁锚区域;(c) 派遣巡逻船巡视相关的海域,遇到船只违规的行为进行警告及劝离等。这些方案虽在一定层度上减少了海缆锚害事故的发生,但是也有很多的不足之处:1) 人员的肉眼识别距离有限,特别是夜晚时分,难以观察远处船舶情况;2) 警示标志一般为发光标志,一旦出现故障,航行船只复无法发现禁止标志,可靠性不高;3) 巡逻船巡视效率低,人力财力资源耗费大;4) 违规船只可能无法被追究责任等缺陷。

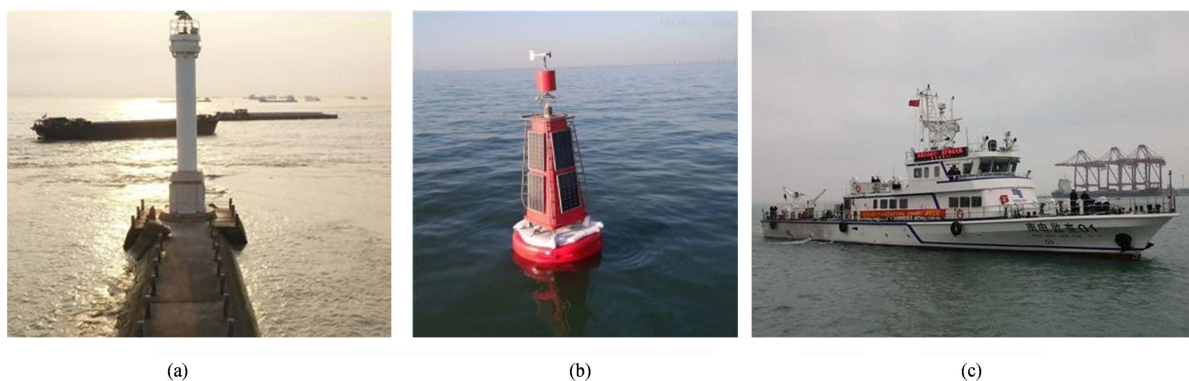


Figure 3. Traditional submarine cable operation and maintenance mode  
图 3. 传统海缆运维方式

相较之下将 AIS 系统应用到海缆的运维当中,不仅可以实时地监控到禁锚区域周围船舶的航行信息,还能对进入禁锚区的船只进行提醒和警告。这样可以提高海缆运维的效率性、准确性和实时性,使得监控人员可以在船只进入禁锚区域前、航行于禁锚区域中以及与禁锚区域中的违规操作船只进行监控、警告、记录等操作。还能减少人力物力的输出,减少海缆的运维成本。

## 3. AIS 对船只航行的监控应用

### 3.1. 监控船只航行情况

通过 AIS 系统监控 AIS 基站周围海域的船只,通过相关软件将 AIS 信息叠加显示到电子海图上(如图 4 所示),不仅可以监控每一艘船只的航行情况,船只的 IMO 码、船名、船长名、装载货物信息等静态信息,以及航信目的地、预计到达时间等航行相关信息,以及相应船只经纬度、航向状态等动态信息。

### 3.2. 船只航行预警

记录船只的航行记录,通过 AIS 数据对船舶航迹信息分析,基于 RNN-LSTM (Recurrent Neural Networks-Long Short-Term Memory)和 C++平台和 Tensorflow 1.1 系统[14]对船只航行轨迹进行仿真分析(如图 5 所示)。五边形为防护区,预测船只下一刻江湖驶入安防区域,给与感叹号提醒。

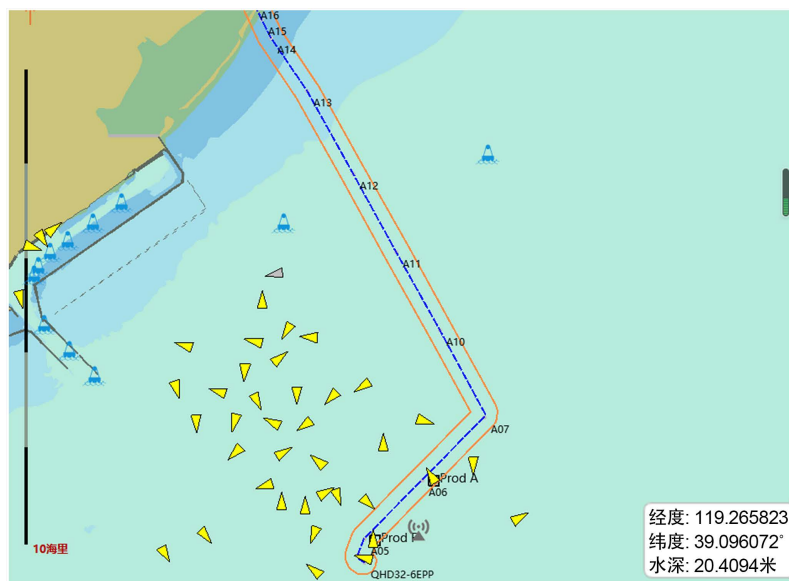


Figure 4. AIS monitoring diagram  
图 4. AIS 监控图



Figure 5. Simulated ship track warning  
图 5. 仿真船迹预警

并且可以通过 AIS 系统记录统计船只航行路线, 对船流量大且经过禁锚区域的区域进行重点监控。

### 3.3. 船只历史轨迹回放

利用 AIS 监控船只的航行等情况, 很好地弥补海缆运维中人工监视、巡视海上船舶范围小、效率低的不足; 当海缆锚害事故发生后, 需要寻找肇事船只证据时, 可以通过 AIS 系统对指定 MMSI 号船只进行历史轨迹回放(如图 6 所示)取证, 作为事故发生相关追究责任的法律依据。



Figure 6. AIS history playback  
图 6. AIS 历史回放

## 4. AIS 对船舶停锚的报警应用

AIS 在海缆中的报警应用主要包括船只进入海缆禁锚区域时对船只的提醒、警告以及船只在禁锚区域具有停锚趋势或者停锚行为的异常行为进行报警。具体方案就是对重点水域的船只进行异常行为检测。

### 4.1. 船只异常行为检测框架

由于船舶异常行为的发生具有随机性、发展过程的复杂性及现有资料的不完备性, 导致对船舶异常行为分析时, 很多因素都无法直接量化。因此, 采用层次分析法[15]将问题定量化。又由于每个重点区域的船只活动状态又有不同, 所以把不同的重点区域进行分区, 参考层次分析法的主体思想, 采用 Delphi 专家调查法[16], 根据不同的异常因子对不同的重点区域的船舶异常行为进行检测。

将重点区域作为二层元素, 异常因子作为三层元素。对不同的检测区域, 二层元素的数量可以增加, 异常因子也是可以增加的。

本文以 2 种常见的异常因子(停留时间和航速)和 2 个重点区域(A02 至 A07 段海缆和 QHD32-6EPP 至 A01 段海缆)为例构建层次模型。检测框架如图 7 所示。

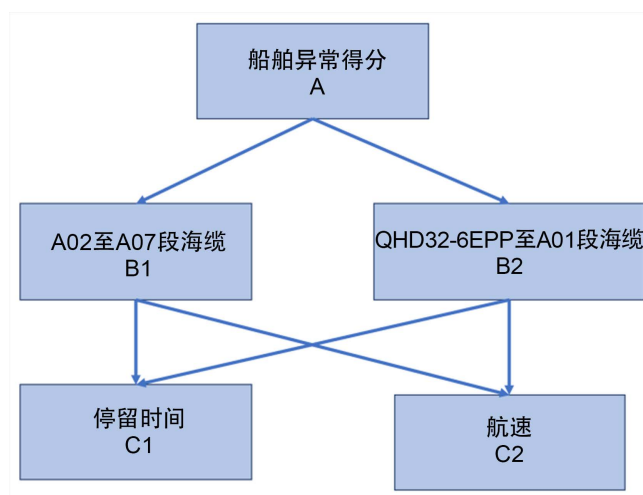


Figure 7. Hierarchy model  
图 7. 层次结构模型

### 4.2. 基于异常因子扣分值的报警判断

由于船只在重点区域正常行驶时, 其速度会维持在一个合理的范围内。当着船速参数发生较大变化时, 便可以认定此船只发生了异常。当船只在重点区域减速或停留时, 考虑到位于海缆禁锚区域, 这种行为属于禁止行为。根据 Delphi 专家评定, 将异常因子划分为 I、II、III 3 个等级, 权重倍率有 1、2、3、4, 根据公式 3-1 求出船只异常行为扣分值。

$$S_i = X_i \cdot W_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3-1)$$

其中  $S_i$  为行为扣分值;  $X_i$  为异常等级的基本扣分值;  $W_i$  为权重倍率。

#### 1) 船舶停留时间

在海缆 QHD32-6EPP 至 A01 段和海缆 A02 至 A07 段的禁锚区域的停留时间扣分和权重不同。由于海缆 QHD32-6EPP 至 A01 段是属于海上油气平台区域, 这个区域附近的船舶数量较多, 船速较慢, 并且由于一些船只需要运输石油、天然气, 所以运输船只需要停留一段时间用于传输石油和天然气, 这个过

程一般需要 30 分钟左右的时间, 所以船只在这个区域船只停留时间较长。而海缆禁锚区域 A02 至 A07 段不属于油田附近海域, 所以此区域船只停留时间一般为 2 分钟左右, 最多不超过 5 分钟。如表 1 所示。

**Table 1.** Weight of points deducted for residence time  
**表 1.** 停留时间扣分权重表

禁锚区域	停留时间	扣分值	等级	权重
QHD32-6EPP 至 A01 段	≤10 min	0	I	1
	>10 min, ≤35 min	2	II	2
	>35 min	4	III	4
A02 至 A07 段	≤2 min	0	I	1
	>2 min, ≤5 min	2	II	2
	>5 min	4	III	4

2) 船舶航行速度

同船舶停留时间情况相同, 海缆 QHD32-6EPP 至 A01 段由于有海上平台, 所以船只航行速度小甚至为 0 kn, 海缆 A02 至 A07 段的船只速度至少应大于 8 kn。如表 2 所示。

**Table 2.** Weight of navigation speed deduction  
**表 2.** 航行速度扣分权重表

禁锚区域	航行速度	扣分值	等级	权重
QHD32-6EPP 至 A01 段	>3 kn	0	I	1
	>0.5 kn, ≤3 kn	1	II	2
	≤0.5 kn	2	III	3
A02 至 A07 段	>5 kn	0	I	1
	>0.5 kn, ≤5 kn	1	II	2
	≤0.5 kn	2	III	3

最后根据船只异常行为扣分值总和, 结合运维工作人员和监控中心意见, 通过公式(3-2)、(3-3)计算出船只异常行为扣分值并判断船舶异常行为状态。

$$\begin{cases} 2 \leq P < 6 \text{ (一级预警)} \\ 6 \leq P < 10 \text{ (二级预警)} \\ P \geq 10 \text{ (锚泊报警)} \end{cases} \quad (3-2)$$

$$P = S_1 + S_2 \quad (3-3)$$

式中:  $S_1$  为船舶停留时间扣分值;  $S_2$  为船舶航行速度扣分值;  $P$  为船只扣分值总和。

当船舶异常行为扣分值达到 2 分, 判断该船只有停泊的嫌疑, 给出一级预警的对策; 当船舶异常行为扣分值达到 6 分, 判断该船只有很大的停泊嫌疑, 给出二级预警的对策; 当船舶异常行为扣分值达到 10 分, 判断该船只确定已经停泊, 给出锚泊报警的对策。

**5. 实例应用**

以中海油某油田实际海上平台的海缆区域为监控对象。图 8 展示了某一时刻 AIS 系统的船只监控图。



**Figure 8.** AIS system monitoring diagram  
**图 8.** AIS 系统监控图

图中我们可以清楚直观地观测到海缆禁锚区域周边的船只航行方向、位置、速度等情况，以及海缆禁锚区域和海缆重点保护边界。选取某日某一时段，系统监控的两艘报警船只的报警信息，监控报警信息如表 3 所示：

**Table 3.** System alarm information  
**表 3.** 系统报警信息

船 MMIS 号	报警时间	报警等级	报警内容
636009882	10:08	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 400.1 米 航速：3.1 节，位置：39.107622, 119.18402
	10:08	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 408.8 米 航速：0.4 节，位置：39.107567, 119.184092
	10:09	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 394.9 米 航速：1.6 节，位置：39.107538, 119.183837
	10:09	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 388.5 米 航速：1.1 节，位置：39.107447, 119.18362
	10:10	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 387.6 米 航速：0.5 节，位置：39.107445, 119.183598
	10:10	二级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 396.2 米 航速：2.6 节，位置：39.107493, 119.183803
	10:11	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 A05_A06 段 454.7 米 航速：5.8 节，位置：39.107387, 119.184583
	10:16	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 QHD32-6EPP_A01 段 173.7 米 航速：2.8 节，位置：39.09907, 119.180053
	10:17	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 QHD32-6EPP_A01 段 96.9 米 航速：2.1 节，位置：39.099205, 119.178845
	10:18	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 QHD32-6EPP_A01 段 75.7 米 航速：1.5 节，位置：39.09957, 119.179118
	10:19	一级预警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站，距 QHD32-6EPP_A01 段 81 米 航速：0.5 节，位置：39.099582, 119.179207



## Continued

	10:08	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 QHD32-6EPP_A01 段 41.3 米 航速: 0 节, 位置: 39.099842, 119.177343
	10:09	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 QHD32-6EPP_A01 段 31.2 米 航速: 0.6 节, 位置: 39.09995, 119.17727
	10:10	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 QHD32-6EPP_A01 段 17.5 米 航速: 0 节, 位置: 39.100088, 119.177185
	10:11	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 15.2 米 航速: 0.1 节, 位置: 39.100117, 119.177152
	10:11	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 QHD32-6EPP_A01 段 14.7 米 航速: 0.4 节, 位置: 39.10014, 119.177112
	10:12	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 QHD32-6EPP_A01 段 11 米 航速: 0.2 节, 位置: 39.100193, 119.177098
	10:12	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 10.4 米 航速: 0.4 节, 位置: 39.100225, 119.17708
413375460	10:13	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 8.8 米 航速: 0.4 节, 位置: 39.100257, 119.177063
	10:14	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 6.1 米 航速: 0.3 节, 位置: 39.100343, 119.177012
	10:15	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 0.2 米 航速: 0.1 节, 位置: 39.100398, 119.17703
	10:15	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 3.9 米 航速: 0.5 节, 位置: 39.100425, 119.177063
	10:16	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 14 米 航速: 0.3 节, 位置: 39.100505, 119.177123
	10:17	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 22.7 米 航速: 0.3 节, 位置: 39.100567, 119.177185
	10:18	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 27.2 米 航速: 0.5 节, 位置: 39.10058, 119.177238
	10:19	锚泊报警	QHD32-6EPP 至乐亭开关站, 距 A01_A02 段 30.5 米 航速: 0.3 节, 位置: 39.100583, 119.177283

636009882 号船只的报警信息中分为了两个时间段。10:08 至 10:11 间, 该船只在海缆禁锚区域 A05\_A06 段附近, 通过船只异常行为扣分值判断, 该船只在此处有停留的嫌疑, 系统给出一级报警的警告, 在 10:10 时刻船只异常扣分值达到 10 分, 判断其船只可能已经停留, 给出锚泊报警的警告; 10:10 第二次信息更新, 船只扣分值只有 8 分, 报警等级下降为二级预警直至解除。10:16 该船只靠近海缆的 QHD32-6EPP\_A01 段, 行为扣分值处于 2 至 6 之间, 系统给出一级预警。经过核定, 该船只在 10:08 至 10:11 时间段内确实减了速, 准备向海上平台移动停靠。

413375460 号船只在 10:08 至 10:19 间一直处于报警状态, 但经过计算 10:08 至 10:18 应该是二级预警状态, 那就有可能船只在 10:08 以前就停留了很长的时间。经过工作人员核定, 当日时间 413375460 号船于 09:57 至 10:24 在海上平台停靠。

## 6. 结论

随着 AIS 系统的不断发展, 将 AIS 系统应用到海缆运维当中不仅可以提高海缆运维作业的效率, 大大减少运维成本, 对事故后肇事船只追究责任进行取证, 还能够减少巡逻船员出海落水等风险。AIS 系统对海缆运维的监控报警方面有很大的作用, 可以提高海缆运维的水平。

## 参考文献

- [1] 徐伟, 汪嘉钰, 郑志源, 黎予颖. 船舶拖锚对海底电缆埋深的影响[J]. 船海工程, 2018, 47(1): 147-150+154.
- [2] 黄小卫, 郭强, 张维佳, 吴聪, 蔡驰, 李晓骏, 陈航伟. 地形地貌检测在琼州海峡 500 kV 海底电缆运维中的应用[J]. 海洋技术学报, 2019, 38(5): 78-85.
- [3] 吴文庚. 海底电缆船舶锚害监测技术研究和应用[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福州大学, 2017.
- [4] 张永传. 基于大数据平台的船舶 AIS 设备智能监测技术研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2020. <https://doi.org/10.26989/d.cnki.gdlhu.2020.000247>
- [5] 徐国庆. 基于 AIS 数据的船舶航行动态预测[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东交通学院, 2021.
- [6] 崔可征. 基于机器学习的船舶 AIS 轨迹预测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2020. <https://doi.org/10.27466/d.cnki.gzzdu.2020.002046>
- [7] 丁兆颖. 基于 AIS 数据的重点区域船舶异常实时监测系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2016.
- [8] 齐乐. 基于 AIS 数据的船舶领域研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [9] 孙辉, 吴炳昭, 严建华. 基于 AIS 的海洋环境目标监测技术研究[J]. 海洋测绘, 2014, 34(3): 40-43.
- [10] 陈辉. Web 方式下电子海图的显示技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学.
- [11] 李穆, 卢文华, 向冬冬. 输变电设备智能化运维系统研究与应用[J]. 电气工程学报, 2015, 10(7): 71-77.
- [12] 张宇, 许昌如, 周建军. 通用自动识别系统的 SOTDMA 通信模型初探[J]. 船海工程, 2003(6): 41-43.
- [13] 霍立平, 陈必然, 贾绍文. 发展机载 AIS 的设想[J]. 科技信息, 2010(23): 951+941.
- [14] 杨博辰. 基于 AIS 的船舶轨迹分析的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [15] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [16] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP) [J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.