

“长航探索”打捞工程中的静电防爆研究

张立山

(交通运输部救助打捞局, 北京 116026)

摘要: 根据“长航探索”打捞工程的工程概况和具体施工方案, 结合国内外油轮静电防爆在打捞工程研究方面不足的现状, 提出“长航探索”打捞工程静电防爆研究的必要性。通过分析油轮打捞工程中的静电隐患, 提出了惰化舱室、原货油泵打气、静电接地、控制输油速度等防静电措施。

关键词: 长航探索; 打捞工程; 静电隐患; 静电防爆

中图分类号: X951 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 06—0026—04

近年来, 随着海上油气运输业不断发展, 海上行驶的油轮越来越多, 随之而来的各种油轮事故也日益增多。面对新发展阶段新的海上交通运输安全形势要求, 我国海上应急抢险打捞工作更加重视油轮打捞工程的静电防爆工作^[1]。本文以“长航探索”油轮打捞工程为例, 对施工过程中的静电防爆内容进行了系统分析研究, 提出了有效举措。

1 打捞工程概况

1.1 “长航探索”打捞工程背景简介

受强台风“天鸽”影响, 2017年8月23日“长航探索”油轮在竹洲仔岛东面触礁。据船东提供的资料, 该轮触礁前有8700吨汽油, 有燃油244吨、柴油144吨。难船触礁海域图和船舶搁坐情况如图1、2所示。

1.2 现场探摸、测量情况

“长航探索”搁坐地点经纬度为 $21^{\circ} 59.84' N$, $113^{\circ} 50.16E$, 位于竹洲岛旁边, 左倾 13° , 尾倾 13° , 左舷船尾吃水越18.2m, 水面漫过甲板, 潮高

100cm。搁浅位置海床底质为礁石, 右舷基本离空, 未接触礁石。



图1 难船触礁海域图



图2 搁坐情况

参考文献:

- [1] 陈伟忠, 周春应. 镇江港口经济发展策略分析[J]. 中国水运, 2020(10):23-25.
- [2] 林振杰. 港口物流与腹地经济的互动关系与协调发展研究[J]. 商展经济, 2021(23):20-22.
- [3] 陈君. 江苏沿海地区经济发展途径浅析[J]. 水利经济, 2018, 36(03):1-5+15+77.
- [4] 赵培红, 李庆雯. 沿海城市“港口——产业——城市”协调发展研究——以河北省为例[J]. 城市发展研

究, 2021, 28(09):37-41+48.

- [5] 潘林元, 吉文林. 江苏南北经济发展差距的成因及对策[J]. 当代经济, 2008(05):89-93.
- [6] 张圆, 郝枫, 李婧文. 新发展理念基础上中国高质量发展水平耦合协调的空间分布研究[J]. 贵州财经大学学报, 2022(02):23-34.
- [7] 陈洪全. 苏北沿海港口开发与可持续发展研究[J]. 海洋科学, 2000(01):52-54.

“长航探索”货油舱左舷 6 个舱室全部破损浸水，右舷舱室完好未破损，前期已进行舱室抽油。破损舱室分布示意图如图 3 所示（带颜色舱室均为破损舱室）：左舷货舱的含氧量和油气情况如表 1 所示。压载舱、机舱、压载泵舱、1# 燃油舱（P）、污水水舱、艏部隔离舱和双层底全部破损进水。

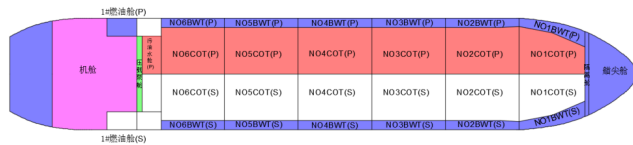


图 3 破损舱室位置示意图

“长航探索”主甲板上货油舱区域及左舷压载水舱透气管头处汽油味较重。NO.5 货油舱（P）及 NO.2 货油舱与 NO.3 货油舱相邻处能听到钢板与礁石的摩擦声。

表 1 “长航探索”左舷 6 个舱室的氧气体积和油气体积比情况表

货油舱	含氧量	油气体积比
左舷 1#舱	8.2%	32.5%
左舷 2#舱	18.8%	11.5%
左舷 3#舱	13.5%	24.5%
左舷 4#舱	4.9%	36.5%
左舷 5#舱	12.7%	29.5%
左舷 6#舱	19.4%	10%

1.3 “长航探索”打捞工程中涉及静电防爆的施工内容

（1）“南天鹏”坐底抛锚，带缆旁靠“长航探索”。“长航探索”打捞工程依托“南天鹏”打捞工程船和“重任 1501”半潜船展开，“南天鹏”坐底“重任 1501”半潜船抗风配合作业。

（2）固定难船。为出浅前稳住难船船态，在难船船尾带 2 条缆绳到岸边，船头带 1 条缆绳到岸边。

（3）货舱惰化及抽油扫舱。为保证货舱封舱打气的船舶安全，对“长航探索”左舷 NO1—NO6 号货油舱进行抽油扫舱。扫舱前对货油舱进行封舱、氮气惰化，将舱内氧气控制在 8% 以内后利用 TK80 抽油泵进行抽油扫舱。

（4）封舱、压水以及打气设备的布置和使用。施工方案将 NO4 货油舱（S）作为调载舱，因此在出浅前在 NO4 货油舱舱口位置船旁放置潜水泵，在舱室周围

配置制氮机和充气设备用以惰化舱室。

（5）抵抗恶劣海况，加固甲板设备和浮筒。作业期间冷空气来袭，风力较大，需对机械设备和浮筒进行二次加固，防止发生设备移位。

2 油轮静电防爆的研究现状

2.1 油轮静电的产生原理

油轮作为专门装载运输易燃液体船舶，结构复杂，发生燃烧爆炸风险高，打捞难度大，因此汽油船“长航探索”打捞工程要对静电起电和放电情况提高警惕。

汽油中产生静电荷，多与存在易产生电荷的细小杂质有关。根据亥姆霍兹偶电层理论，油轮上静电的产生原理可以分为接触、分离和摩擦三个过程。接触过程两种物质和材料发生接触形成偶电层。分离过程结束接触发生静电电容减少和电位的升高。摩擦过程诸多材料间接触部位反复接触和分离，发生电荷转移产生不同极性带电体。反复摩擦形成的静电现象，对打捞工程危害极大，引起油轮燃爆风险极高^[2]。

2.2 国内外油轮静电的研究现状

2.2.1 国内油轮静电研究现状

自 20 世纪 70 年代起，国内对油轮静电的产生原理、发生规律、防护举措开展了大量实验、推测、对比和研究。其中，武汉交通科技大学的韩德恩分析油轮静电灾害的形成原因，提出了装卸作业中油轮静电防护的举措建议^[3]。大连远洋公司的刘雷分析了静电在油轮中的产生过程，提出了防护措施^[4]。邱云明等人从环境、人为和油轮因素等角度详细分析了油轮静电产生机理及原因^[5]。工业自动化部的罗宏昌对洗舱中的储油舱进行静电测试，分析得出洗舱会使储油舱内产生带电油水雾和带电油水雾云团的结论^[6]。同时，随着研究深入，油轮静电防护相关安全技术法规也陆续制定出台^[7]。特别在以下方面取得了突出成就：一是关于静电放电危害防护的理论已基本涵盖静电产生机理和危害形式各方面。二是防静电重要参数的测量仪器系统不断发展。三是关于静电领域标准的制定工作进展喜人，现已发布的标准包括有民用标准如 GB 2439-81《导电和抗静电橡胶电阻率（系数）的测定方法》和 GB 6950-86《轻质油品安全静止电导率》等。

2.2.2 国外油轮静电研究现状

19 世纪以来，随着工业化发展，静电对航运业产生诸多影响，越来越多人开始关注船舶静电。其中，美国壳牌石油公司基于自身业务原因，早在 1956 年就开始研究。随后由于 1969 年，在短短一个月内发生了多起巨型油轮静电燃爆事故，越来越多的研究机构开始着手对油轮静电燃爆防护问题进行研究。其中原子武器研究科学院、皇学院等均在油轮静电防爆研究中取得了突破。同时，在相关安全标准体系研究方面，国外一些静电研究机构制定了一系列相应 ESD 测试标准和工业标准，如《操作静电放电敏感器件的要求》《静电敏感器件的标记和符号》等^[8]。

系统分析国内外研究现状，不难发现，现有油轮静电问题的研究主要集中在油轮贮藏、运输和装卸货等方面，尚没有针对油轮打捞工程中的静电防爆问题研究。本文主要对“长航探索”打捞工程中的静电起火隐患进行了系统分析，结合工程概况、现场探摸结果、工程主要操作，提出了“长航探索”油轮打捞工程中的静电防爆措施和手段。

3 “长航探索”打捞工程静电起火隐患分析

打捞工程施工作业复杂，应用机械设备繁多，必须充分考虑静电起火的各种风险隐患，既要考虑接触、物理效应、静电感应等静电起电隐患，也要考虑电晕、火花等静电放电风险，既要统筹考虑打捞作业环境和现场作业温度因素，也要特别注意工程机械和工具的材料属性。

3.1 静电起电隐患分析

(1) 接触起电。“长航探索”船尾浸水，甲板上有水，风浪较大时，甲板上的水与甲板产生摩擦、碰撞，水与甲板紧密接触，相距小易产生电子转移，引起接触起电。

(2) 物理效应起电。“长航探索”上外置有发电机、抽油泵等机械设备，因船舶摇晃和自身震动将产生静电，静电依附在设备外壳表面凸起部位，一旦场强过强，空气电离，将发生尖端放电现象。

(3) 静电感应起电。船舶周围存在复杂电磁场，当打捞工程中对讲机、手机、雷达等设备运行时，将产生磁场，导致感应生电。

3.2 静电放电隐患分析

在“长航探索”打捞工程中，除静电起电之外，静电放电的现象也要高度警惕。表 2 是几种常见的油轮放电现象，其中以电晕放电和火花放电的现象最为普遍。

(1) 电晕放电。“长航探索”上存在大量尖锐导体，如舱门上的金属把手等。当工作人员与这些导体接触，易发生电晕放电的现象。

(2) 火花放电。由于现场风浪环境比较恶劣，工程队需对机械设备和浮筒进行二次加固，涉及焊接等操作，这种火花放电很容易引起“长航探索”船上可燃性混合气体的爆炸。

表 2 各类 ESD 的发生条件与特点

放电种类	发生条件	特点及引燃性
电晕放电	电极相距远，带电体凸出部位电场较强时发生。	伴有轻微嘶声和微弱淡紫光，引燃力较小。
刷形放电	发生在导体与非导体之间，是自非导体上许多点发出短小火花的放电。	伴随声音和光，引燃力居于中等水平。
火花放电	高压带电体与导体距离较近时，强电场空气电离，形成电流产生电火花。	伴随声音和光，放电通道一般不形成分叉，引燃力处于较强水平。
电场辐射放电	当带电体附近的电场强度达到 3MV/m 时，可能放电。	引燃引爆能力，出现几率很小。

4 “长航探索”打捞工程静电防爆措施研究

油轮打捞工程中，要注意不能同时满足以下两条静电燃爆条件：一是油轮产生静电释放大量能量；二是可燃性气体和氧气融合达到相应燃爆浓度。条件允许时，施工人员应尽量同时避免两种情况产生。

4.1 惰化舱室

惰化舱室是降低油轮油舱内氧气浓度最为有效的方式，需要工程施工人员在抽油操作前，利用打捞工程船舶上的外置制氮装置对货油舱进行充氮操作。一般情况下惰化舱室需要持续反复向油舱内充入足量氮气，直至含氧量降到 8% 以下，才能有效降低静电燃爆风险。

4.2 原货油泵打气

利用原货油泵打气，可使压缩空气从海水中冒出，

目的是防止压缩空气产生静电及对压缩空气进行放电。

4.3 静电接地

为防止发生静电燃爆现象,需要通过静电接地的方式利用导体将油轮上船体、管线、机械设备、金属装具等各种物体上所带电荷尽快泄除。此次施工过程中,因汽油电阻率较高,不能简单通过船体接地来泄除电荷,采用了液体静电安全网的方法。

4.4 控制抽送油速度

由于输油速度越快,电荷分离产生的电荷越大,发生静电燃爆的风险越高。因此,在抽送汽油过程中,要控制油管内的线性流速不能超过 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。抽送油结束后,必须静置 0.5-2h 后再执行后续操作,以进一步降低燃爆几率^[9]。

4.5 汽油处理管路设置应合理

处理汽油应使用金属导电材料;抽油软管末端应有导体法兰盘,软管内有末端焊接在法兰盘的导线,形成放泄回路。

4.6 接地操作应遵循安全顺序

对汽油接触金属进行接地操作时,必须要按照先接地线,后接软管;先拆软管,后拆地线的顺序进行操作。

4.7 防止人体带电

现场施工人员应穿着质量合格的专业防静电鞋和服装,避免穿着尼龙化纤材质工作服,出入船舶舱口时必须要先触摸静电泄漏板^[10]。

4.8 禁止明火作业

施工过程严禁焊接、打火等明火作业。工作人员要携带防爆对讲机,严禁携带手机、打火机等物品。

5 小结

大型油轮打捞工程作为打捞工程中难度和危险性都较高的重大难题,其难点和危险性主要体现在如何在打捞工程中有效预防静电的起电和放电。本文通过深入研究析国内外油轮静电防爆发展现状,结合工程现场情况和施工方案,提出了“长航探索”轮打捞工程中静电防爆的具体措施,为我国大型油轮的打捞工程提供了理论支持。

参考文献:

- [1] 江海学. 静电对油轮安全运输的影响和对策 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 1998(01):10-14.
- [2] 陈国钧. 关于油品起电现象的讨论 [J]. 技术物理教学, 2005, 13(3):21-22.
- [3] 韩德恩. 油船装卸作业的静电灾害及对策 [J]. 交通科技, 1997(5):35-37.
- [4] 刘雷. 油轮防静电 [J]. 油气储运, 1986, 5(2):25-26.
- [5] 张帅, 邱云明. 油船静电的产生及预防 [J]. 江苏船舶, 2007, 24(1):27-28.
- [6] 罗宏昌. 关于原油船油舱清洗时的静电问题 [J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 1999(1):23-30.
- [7] 季新. 油船静电防护科研课题的由来及其成果简介 [J]. 航海技术, 1999(01):53-55.
- [8] 金超. 舰艇静电隐患的评估及防护研究 [D]. 华南理工大学, 2011.
- [9] 王春云. 静电火灾, 爆炸及预防对策 [J]. 中氮肥 (3期):86-90.
- [10] 凌宗峰. 浅谈油船静电产生原因及预防对策 [C]// 2010 年中国航海学会危险货物运输专业委员会 2010 年年会. 2010.

