

【技术解析】为何船舶二氧化碳事故频发

作者：韦毓良



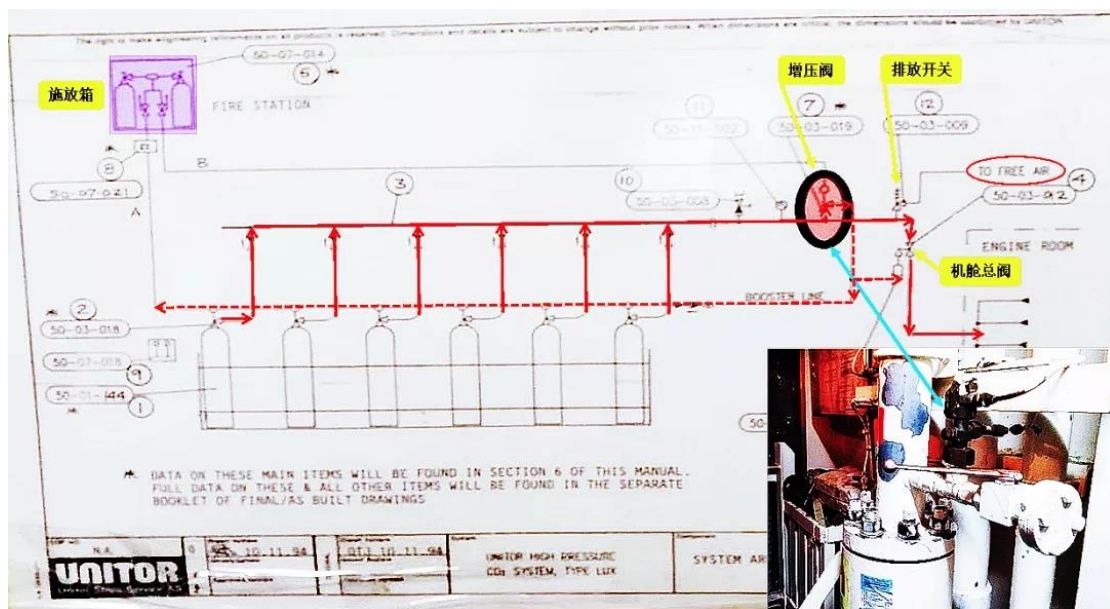
摘要

2021 年 9 月 27 日，一艘靠泊于舟山某船厂的滚装船发生固定式二氧化碳灭火系统（下简称二氧化碳系统）被误操作释放导致人员伤亡事故。船员在按船级社要求检查二氧化碳系统的警报时由于误操作，二氧化碳被释放进入机舱，导致 3 人死亡 2 人受伤的重大事故。这是继 2019 年西霞口船厂发生二氧化碳误操作泄漏后的又一起重大伤亡事故，尽管此次事故的正式调查报告尚未披露，但是诸多迹象表明，此次事故与西霞口事故十分相似，都是船舶在船厂进行法定检验的时候由于人为过失导致的事故。如果将人为过失单纯地归咎于船员，那显然是不公平和不客观的。籍此，笔者在下文中将对二氧化碳系统误释放事故的背后问题展开分析，以期能够给予船舶在日常操作中防止二氧化碳事故的发生有所警示。

一、近期二氧化碳误释放事故回顾

2019 年 5 月 25 日，某散货船 J 轮在西霞口船厂接受船舶法定检验期间，按照船级社的要求，船长安排三副到二氧化碳钢瓶间抄写二氧化碳钢瓶有关参数。三副在攀附二氧化碳钢瓶查看时，意外碰触开一个钢瓶的瓶头阀，导致该瓶内二氧化碳气体进入管道。为防止管道内的二氧化碳气体进入机舱，三副通过微信向二氧化碳系统检修公司专业人员询问处置办法，试图将管道内的二氧化碳气体泄放掉，但操作过程中又误触开启了增压阀，导致管道内压力气体打开了通往机舱的总阀和其他二氧化碳钢瓶的瓶头阀，致使大量二氧化碳气体释放进入机舱。虽然船舶警报同步发出报警，但由于灭火系统被意外启动，没有实现提前预警，当时在机舱正常作业的大部分人员无法及时撤离，导致人员窒息。最终造成 10 人死亡、19 人受伤的特大事故。

2021 年 9 月 27 日，巴拿马籍 S 轮在长涂一船厂出坞准备开航，船长根据船级社要求指示船员进行二氧化碳系统警报测试，测试过程中一处报警器不发声音，调试船员在检查过程中误碰释放开关，导致系统释放二氧化碳到机舱。当时机舱内共有 20 余人，大部分人员自行出舱，少部分人情况较为严重，后经送医全力救援后，造成 3 人死亡，2 人受伤的重大事故。



二、船舶二氧化碳事故原因分析

上述两起事故都是发生在船厂修船期间，船员按照船级社的要求对二氧化碳系统进行信息收集和测试时，误操作而发生的二氧化碳释放事故。二氧化碳作为一种良好灭火

的介质，被船舶广泛使用。误释放事故不仅发生在船厂，同时在船舶正常营运期间也有发生，结合诸多二氧化碳误释放的案例，笔者对事故的原因分析如下：

1. 系统设计缺陷

很多事故的发生在于系统的设计不能很好防止误释放操作。一些老旧系统二氧化碳钢瓶的启动和机舱总阀的开启没有独立隔离，使得一个误操作就会将二氧化碳释放进机舱而无法补救；另外有的系统使用释放的二氧化碳气体作为引导气体来开启其他二氧化碳钢瓶和机舱的总阀，一个钢瓶的漏气或被船员不小心触碰打开，都可能激活整个系统而发生重大事故。如一船在航行时机舱集控室值班的大管轮和机工突然听到释放二氧化碳的声光报警，主机突然停车，二氧化碳气体由管道喷嘴喷出，所有在机舱的人员所幸都安全逃离没有发生人员伤亡的情况。发生的原因是一启动钢瓶漏气，同时启动了所有二氧化碳钢瓶的释放和开启了通往机舱的总阀。

2. 系统或设备故障

系统或设备保养不到位，再加上前述系统的设计缺陷，也是发生二氧化碳误释放的主要原因。英国海事调查局（UK MAIB）曾发布一个事故调查报告，两条滚装船由于一个或几个二氧化碳钢瓶瓶头阀漏气，导致整个系统的二氧化碳钢瓶打开释放。这也推进了国际海事组织在海安会第 103 次会议上通过对通函 MSC.1-Circ.1318《固定式二氧化碳灭火系统保养和检查指南》的修订，明确了所有二氧化碳钢瓶应在 20 周年期间进行水压试验的要求，并增加了对所有控制阀每 5 年内部检查的要求。

3. 测试或检修时误操作

英国海事调查局在一个关于二氧化碳误释放事故调查报告中，曾引用英国卫生与安全执行委员会（UK HSE）研究数据，数据表明 1975-2000 年间二氧化碳事故曾导致 72 人死亡和 145 人受伤，其中大部分事故发生在船舶检修期间或系统本身原因。二氧化碳系统在测试或检修时由于没有采取足够的安全措施，再加上船员或检修人员对系统的不熟悉而误释放的案例屡见不鲜，特别是在船厂修船时，在机舱的人员较多，极易发生重大的伤亡事故。同时也有船舶在营运期间检修时发生误释放而造成重大人员伤亡的案例，如一船在准备安全设备年检时，二氧化碳钢瓶被不小心启动，释放的气体由于通向机舱的总阀没有打开被憋在总管上，船员在试图将总管上的气体向室外空气释放时操作不当，导致在二氧化碳室内的 4 名高级船员窒息死亡。

4. 演习培训时误操作

船上在模拟机舱失火演习时，通常设定有模拟释放固定式二氧化碳系统的情节，一般步骤只是由设备主管人员进行现场讲，向船员讲解释放二氧化碳的步骤和注意事项，不进行具体操作。在一期事故中，某轮的三副在演习过程中，由于误解驾驶台发出的指令，以为机舱确实失火需释放二氧化碳，慌乱中直接把二氧化碳释放进机舱，导致值班轮机员死亡。

5. 外来人员的误操作

船舶在码头停泊或船厂修理期间，如果二氧化碳间没有严格控制外来人员的进入，极易发生误释放事故。某轮在上海某船厂修船期间，曾经发生一船厂工人自行进入船舶的二氧化碳间推动二氧化碳控制瓶瓶头阀操纵杆，导致二氧化碳灭火系统配备给机舱处所的 128 只钢瓶中的 93 只钢瓶内的二氧化碳气体迅速通过管系释放到机舱，并最终导致 7 人死亡，11 人受伤的特大事故。

三、SOLAS 公约和 FFS 规则的修改和完善

船舶的二氧化碳系统一般由控制装置、延时器、存贮瓶、瓶头阀、安全销、安全阀、单向阀、气路控制（分配）阀、增压阀、压力表、喷嘴、管路、管路吹通装置、压力释放阀、压力开关、声光警报等部件组成。为了保证船上这些固定式气体灭火系统的安全，特别是避免误释放以保护人员的生命安全，《国际海上人命安全公约》（SOLAS）和消防安全系统规则（FFS）对系统安全设施的配备要求和规定提出了一系列的修改和完善。

1. 释放控制系统

国际海事组织（IMO）通过 MSC. 27(61)决议对 SOLAS 公约进行了修改，要求 1994 年 10 月 1 日及以后安装的固定式二氧化碳灭火系统的释放控制系统，应采取两套独立系统来控制二氧化碳气体的释放和通向保护处所总阀的开启。后 IMO 再通过 MSC206(81)决议修改 FFS 规则要求 2010 年 7 月 1 日以后建造的船舶，其释放控制系统应采取切实可行的措施以确保其按照先打开总阀再释放二氧化碳的顺序操作。后来考虑到仍有不少老旧船在继续营运，IMO 通过 MSC. 256(84)决议再次对 SOLAS 公约进行修改，要求 2002 年 7 月 1 日前建造的船舶应于 2010 年 1 月 1 日后首次坞检满足 FFS 第 5 章 2.2.2 条规定的要求。



2. 预释放警报

2002 年 7 月 1 日生效的 FFS 规则明确了在灭火剂释放前声响警报不得少于 20 秒以便人员能够及时撤离，而在以前 SOLAS 公约仅要求“适当的时间”。后 IMO 再通过 MSC206(81) 决议修改 FFS 规则要求 2010 年 7 月 1 日起建造的船舶应增加视觉警报，同时听觉警报应在整个被保护处所内都能听见的位置，且与其他听觉警报区分开来。警报通常在打开控制箱和/或打开总阀时自动启动，并通过延时装置控制二氧化碳的释放时间。



3. 压力释放阀

IMO 通过 MSC206 (81) 决议修改 FFS 要求 2010 年 7 月 1 日起建造的船舶如阀门的布置导致在管路区段内形成封闭管段时，在这些封闭管段上应配置压力释放阀，该阀的出口应通向露天甲板。



四、二氧化碳误事故暴露的安全管理问题

通过案例分析，我们发现很多二氧化碳误操作的事故都是发生在一些使用老系统的船上，特别在新公约或新规定生效前后建造的船可能在技术上没有完全履约，存在打擦

边球的嫌疑。例如，MSC. 27(61)决议要求 1994 年 10 月 1 日及以后安装的固定式 CO₂ 灭火系统的释放控制系统应采取两套独立系统的规定，有些船上控制系统可能并没有符合追溯要求；另外有些系统使用释放二氧化碳气体作为引导气体来开启其余二氧化碳钢瓶，和/或通往机舱的总阀，由于存在一个钢瓶的泄露可能激活整个系统的缺陷，虽然很多船舶已经意识到这个潜在风险，对船上配备的此类系统进行了改装，但仍有一部分船舶在使用此类系统。

二氧化碳灭火系统的检查和保养主要通过船级社认可有资质的服务商来进行，但不少事故都是发生在检查当时或检查和保养后不久。现实情况是服务商良莠不齐，有的缺乏专业技术人员或对船上的系统不熟悉，未能完全根据船级社、厂家以及 IMO 通函 MSC. 1/Circ. 1318/Rev. 1《经修订的固定式二氧化碳灭火系统保养和检查指南》要求进行检查和保养，致使原本有缺陷的没有被及时发现，甚至可能检修后产生新问题，而对于船员很难有能力去核实和监控服务商的工作。

船舶在船厂修造船期间，由于机舱内维修人员众多，各类警报频发，再加之船厂外包工人员的安全意识薄弱，如果一旦发生二氧化碳系统误操作事故，人员极易疏忽二氧化碳预释放的警报而失去宝贵的逃离时间，从而发生群死群伤的严重事故。

二氧化碳系统的误释放与船员对系统的熟悉和接受的培训紧密相关。由于二氧化碳系统的特殊性，平时船员通常只能通过口述进行模拟演习，不像救生设备可以进行实际操作，使得演习流于形式，主管船员包括高级船员仅仅满足于简单的操作程序，船员包括主管船员都对整个系统不熟悉。结果形成恶性循环，越不了解越是对系统有害怕心理，越是害怕越不敢去了解系统。到实际发生火灾或意外时，容易紧张到手忙脚乱而发生错误释放的情形。

五、防范二氧化碳系统误操作安全建议

1. 船舶在船厂期间

(1) 船方和船厂签订消防安全管理协议时应明确二氧化碳间为控制区域，未经船方同意不得进入。如经船厂的消防安全许可，并船长认为船舶受二氧化碳系统保护的处所有足够的消防措施，可以采用盲板隔离有人员进入的二氧化碳保护处所的管路；

(2) 船方联合船厂建立应急撤离机制，至少要让所有进入机舱或二氧化碳保护处所工作的人员熟悉二氧化碳释放时灯光和声响警报以及应急逃离路线；

(3) 二氧化碳系统检修时应提前与船厂联系，并通知机舱或其他保护处所的工作人员。如船厂和船上的消防安全许可，可以临时隔离二氧化碳释放间通往机舱和其他保护处所的管路，来避免二氧化碳的误释放对人员的伤害；

(4) 主管单位和船级社应严把服务商资质审核关，并定期评估，对不符合资质的服务商及时吊销其资质证书；

(5) 管理公司应选择信誉好、熟悉本船系统有资质的服务商，服务商应本着对船舶安全及本身负责态度，严格按照船级社、厂家以及 IMO 指南的要求认真做好各项检查和保养工作；

(6) 二氧化碳系统的主管船员应提前了解厂家和公约规范对本次检查和保养的项目细节，以便监控服务商的工作是否符合要求，同时在服务商开始工作前应督促其做好预防误释放二氧化碳的措施。

2. 船舶在运营期间

(1) 公司和船长应考虑指定甲板和机舱的高级船员共同负责船舶二氧化碳系统的日常维护和保养，而不要按照传统习惯指定三副来具体负责。主管系统的船员应主动学习和了解整个系统的操作规程及所有部件和附属设施的功能，提高业务能力，增强工作信心，遇到紧急情况不慌张；

(2) 公司应掌握各船舶二氧化碳灭火系统的具体情况，加强对船舶的指导。公司人员可在登轮访船时与船长和船员进行现场互动指导，或利用维修和检测二氧化碳灭火系统的机会，安排服务商培训相关船员；

(3) 诸多的二氧化碳误释放伤人事故在实践中已经对一些船员造成“宁愿不作为”的心理影响，船员对于船舶的二氧化碳系统避之不及。对此，公司应加强对船员的心理疏导，通过有效的业务培训让船员了解到二氧化碳系统硬件设施的配备在安全上还是有保障的，从而消除船员的恐惧心理，让船上消防安全工作回归到正常轨道。

结束语

综上所述，防范二氧化碳误释放导致人员伤亡事故是一项系统性综合工作，在二氧化碳系统的技术把控环节中，不仅是要通过培训和演习等措施来提高船员的业务能力，还要提高管理公司、船级社、服务商、船厂等机构对二氧化碳系统安全操作的重视程度，充分意识到二氧化碳系统是一把能保护人亦能伤人的双刃剑。各单位应该各司其职，严格把关，相互协作，确保船舶二氧化碳灭火系统的安全稳定。



以上仅供会员参考，如需具体建议请联系协会相关人员。