ICS 47.020.99
CCS U66

# 团 体 标 准

T/CSNMAE 213—2026

# 液化天然气运输船货物控制及安保系统功能要求

Functional requirements for the cargo control and safety system of LNG carriers

2026－11－06 发布　　2026－02－06 实施

中国造船工程学会　　发 布

# 前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：中国船舶集团有限公司第七一一研究所、齐耀能效（上海）科技有限公司、大连海事大学。

本文件主要起草人：张呈龙、刘青林、史斌杰、王洋、王伟铭、石浩舰、江川、王付双、刘建中、刘中银、姜瑞政。

# 液化天然气运输船货物控制及安保系统功能要求

## 1 范围

本文件规定了液化天然气（LNG）运输船货物控制及安保系统（以下简称“控制及安保系统”）的组成、要求和试验方法。

本文件适用于所有液化天然气运输船及类似船舶上的货物控制及安保系统的设计、制造、安装、调试与验收。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 28561—2023 船舶电气设备 自动化、控制和测量仪表

IEC 60092-504 船舶电气装置 第504部分：自动化、控制和仪表（Electrical installations in ships — Part 504: Automation, control and instrumentation）

ISO 17894 船舶与海上技术 计算机应用 海上用可编程电子系统的开发和使用总则Ships and marine technology — Computer applications — General principles for the development and use of programmable electronic systems in marine applications

IMO,国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则（International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk，IGC Code）

中国船级社，散装运输液化气体船舶构造与设备规范，2022

## 3 术语和定义

GB/T 28561—2023界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**货物控制及安保系统 cargo control and safety system**

设置于液化天然气运输船上，用于实现货舱监测、货物管路及阀门控制、货物装卸与转运、蒸发气管理、气氛转换、燃气供给、气体探测、应急切断以及运行与状态管理等功能的船舶自动化系统。

注：通常由控制器、输入输出模块、通信网络设备、操作与监视设备及相关软件组成。

3.2

**应急切断系统 emergency shut down system**

在发生危险或异常状况时，自动或手动触发，对系统实施安全切断和停机操作的联动系统。

3.3

**工作站 work station**

在控制及安保系统中，用于人机交互、系统监控及指令下达的操作终端。

3.4

**故障保护 fail to safe**

防止其事故导致严重故障的项目设计属性。

[来源：GB/T 28561-2023，3.10]

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BOG：蒸发气（Boil-Off Gas）

ESD：应急切断系统（Emergency Shut Down System）

I/O：输入/输出（Input/Output）

LNG：液化天然气（Liquefied Natural Gas）
UPS：不间断电源（Uninterruptible Power Supply）

## 5 组成

### 5.1 硬件

控制及安保系统的硬件配置应结合系统功能、系统类别及安全保护要求进行设计，并符合IEC 60092-504中关于环境与供电条件、电路设计、电气分隔、系统分类、系统配置、设备结构及安装等方面的要求。系统硬件应包括以下关键单元：

a) I/O 模块及现场接口设备，用于采集现场传感器、检测设备的输入信号，并向阀门、泵及其他执行机构输出控制信号。输入输出接口应与现场设备的信号类型、电气特性及通信方式相匹配；
b) 控制器，用于执行控制逻辑、数据处理、系统状态管理及模块管理。应根据系统类别和功能要求确定控制器的配置方式；对于承担安全保护功能的控制器，应考虑其与其他控制功能之间的独立性、故障隔离及故障保护要求；
c) 电源模块，用于为控制器、I/O 模块、通信设备及其他系统单元供电。应根据设备负载和系统运行要求确定供电容量、供电回路及保护方式；
d) 通信网络设备，包括工业以太网交换机及必要的通信接口设备，用于实现系统内部各单元以及与外部设备、子系统之间的数据交换。通信链路及网络配置应考虑通信可靠性、故障隔离、网络集成及数据传输安全；
e) 工作站，包含计算机、显示设备及必要的输入设备，用于实现系统状态监视、报警显示、参数设置及操作控制；
f) 网络安全设备，用于实现网络边界防护、访问控制及未经授权访问的防范；
g) 机柜及辅助设备，包括控制柜、机柜内部配线、端子及必要的散热和防护装置，用于安装、固定和保护系统各硬件单元。其结构设计应考虑设备安装、接线、检修、更换、散热以及机械载荷和振动等要求。

### 5.2 软件

控制及安保系统的软件设计、开发、配置、验证及维护应遵循ISO 17894中船用可编程电子系统开发与使用的一般原则，并符合IEC 60092-504中关于系统分类、软件配置、数据通信、网络集成、人机界面、数据保护、软件维护、远程访问及文件资料的要求。系统软件应包括以下关键部分：

a) 基础软件。包括操作系统、设备驱动程序及必要的运行环境，用于支持应用软件运行和系统硬件资源管理；
b) 数据管理软件。用于运行数据、报警信息、操作日志及历史数据的采集、存储、查询、检索和管理；
c) 通信与接口软件。用于实现系统内部各功能单元之间，以及控制及安保系统与外部设备、子系统之间的数据通信和信息交互；
d) 应用软件。用于实现货舱监测、货物管路及阀门控制、货物装卸与转运、BOG 管理、舱内气氛转换、燃气供给、气体探测、ESD 以及运行与状态管理等功能。应用软件应包括相应的控制逻辑、数据处理、报警管理、状态监视及人机交互功能，其设计应满足功能正确性、运行可靠性及操作安全性要求。

### 5.3 架构

5.3.1 控制及安保系统应采用分层、分区及冗余相结合的架构设计，确保系统在船舶运行全过程中的高可靠性、安全性和可维护性。系统应按照功能分区配置专属控制器，形成区域自治控制单元。各控制单元应具备独立运行能力，确保单一区域发生故障时不影响其他区域的安全与稳定。系统典型架构如图1 所示。

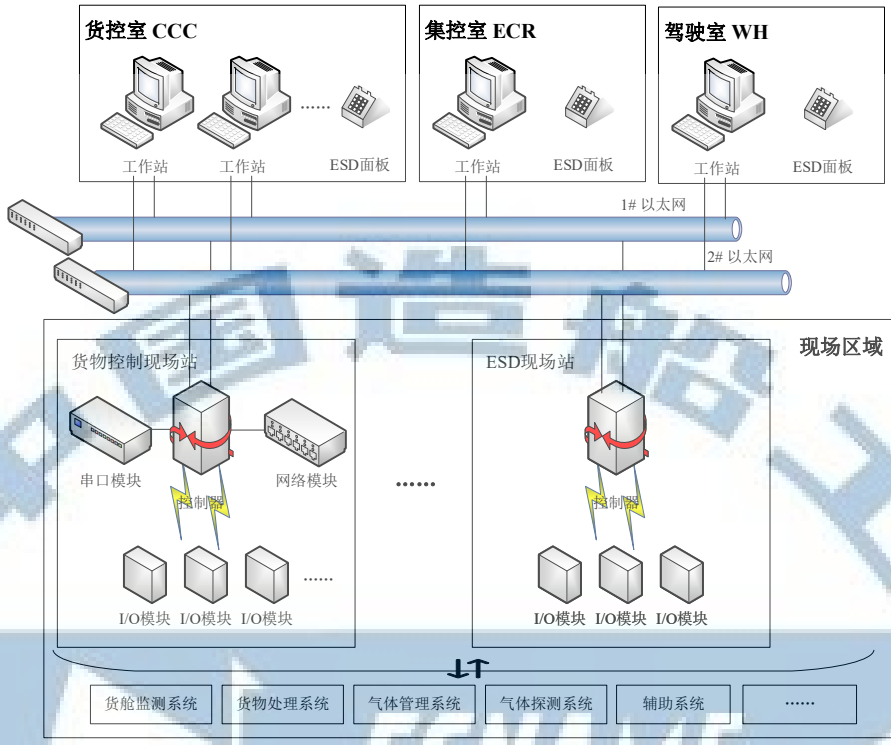



图1　控制及安保系统典型架构图

5.3.2　控制及安保系统的主要功能应清晰划分，各子系统互相独立，即在任一子系统发生故障时互不影响彼此运行。

5.3.3　控制及安保系统所有关键组件应冗余配置，包括控制器、交换机、电源、工作站等，确保在任一组件发生单点故障时，系统正常运行。

5.3.4　系统通信网络应采用冗余总线或双环网结构，满足实时性、抗干扰性及可靠性要求。网络应支持关键数据的优先级管理及带宽保障，确保安保信号与控制信号的高效传输。

5.3.5　应配置 UPS，可保障控制及安保系统持续运行 30 min。

5.3.6　控制及安保系统的设计应符合故障保护原则，在故障发生后，系统应自动进入危害最小的安全状态。

5.3.7　应设置 ESD 系统，用于在发生紧急情况时停止货物流动，并执行相关设备的停车及阀门关闭操作。

## 6　功能要求

### 6.1　货舱监测功能

控制及安保系统应具备货舱状态监测、报警及控制功能，符合《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第13章13.1、13.2、13.3、13.4及13.5的相关要求。功能至少包括：

a)　应具备对货舱液位、压力和温度等参数的连续监测、显示及记录功能；

b)　应具备液位高报警及溢流保护功能。液位报警与溢流保护应设置触发条件，并按照安全逻辑执行报警、停止装载或其他保护动作；

c)　应具备货舱压力高、压力低及其他压力异常报警功能，并根据货舱允许工作压力和工艺要求，对影响货舱安全的异常压力工况执行保护措施；

d)　应具备货舱温度异常监测及报警功能。在货舱冷却、装载及其他温度变化较大的作业过程中，应能持续监测温度变化，并对异常温度及变化速率进行报警或保护。

### 6.2　管路与阀门控制功能

控制及安保系统应具备货物管路及阀门的状态监测和控制功能，至少包括：

a) 应具备对货物管路、装卸总管、货物泵进出口管路、蒸气回流管路及其他相关管路的关键压力、温度等参数进行监测和报警的功能；
b) 应具备对货物管路阀门的开关状态、控制指令及故障状态的监测功能。对于具有远程控制功能的阀门，应能够执行开启、关闭或规定的调节操作，并反馈实时状态；
c) 应根据货物系统工艺流程及安全要求，对相关阀门设置必要的操作许可条件、动作顺序和联锁关系，防止阀门误操作、管路误连通及不符合工艺要求的设备操作；
d) 对低温管路，应具备冷却过程温度监测功能，并根据管路材料及工艺规定，对冷却速率进行控制或提示；
e) 对可能发生液体封闭的管段，应监测管路压力，并对异常压力执行报警或相应保护措施。

### 6.3 装卸、转运及加注功能

控制及安保系统应支持货物装载、卸载、舱间转驳及适用的LNG加注等操作，并对工艺过程进行监测和控制。装卸、输送与转驳控制功能应至少包括：

a) 应具备货物装载、卸载、船对船转运及适用的 LNG 加注作业的监测与控制功能，能够根据作业模式显示设备、阀门、管路及货舱的运行状态；
b) 应具备对货物泵、喷淋泵及其他转运设备的启停和运行状态进行监测与控制的功能。对于采用变频驱动的设备，应根据工艺要求调节其运行速度或输送能力；
c) 应根据装卸作业要求，对货物泵启动条件、阀门配置、管路连通状态及安全联锁条件进行检查。在不满足规定启动条件时，应限制相关设备启动，并向操作人员提供明确的状态或报警信息；
d) 应具备货物泵运行异常、出口压力异常、设备过载、货物泄漏相关信号及其他影响转运安全的异常工况监测和报警功能，并执行相应的停机或安全保护动作；
e) 对配置蒸气回流管路的船舶，应具备蒸气回流相关阀门状态、管路压力及设备运行状态的监测功能，并协调液相输送与气相回流过程。

### 6.4 蒸发气管理功能

控制及安保系统应具备对BOG处理设备的监测及控制功能，以支持货舱压力管理和BOG的安全处置。相关功能应至少包括：

a) 应具备对货舱 BOG 产生、收集及处理过程的监测和控制功能，并对货舱压力、BOG 管路压力及相关处理设备的运行状态进行监测；
b) 对配置 BOG 压缩机的船舶，应监测其运行状态、进出口压力等参数，实现启停、容量调节及联锁控制；
c) 对配置 BOG 再液化、过冷等处理设备的船舶，应监测其运行状态、关键参数及故障状态，并根据工艺要求实现协调控制；
d) 应根据货舱压力、BOG 处理能力及设备运行状态实施协调控制，并在设备故障、处理能力不足或货舱压力异常时报警或执行保护措施；
e) 对存在货物分层及翻滚风险的货舱，应根据设计及风险评估要求，配置相应的监测或预警功能，识别异常蒸发及压力快速上升风险。

### 6.5 气氛转换及冷却控制功能

控制及安保系统应根据船舶工艺配置，支持货舱及相关管路的气氛转换、惰化、置换、冷却和恢复等作业的监测与控制。相关功能应至少包括：

a) 对具备货舱气氛转换功能的船舶，应支持货舱排空、残液蒸发、升温、惰化、气体置换、充气及冷却等作业的状态监测与控制；
b) 对采用氮气惰化或吹扫的系统，应监测供气设备、阀门及管路状态，并根据设计要求监测气体压力、氧含量等参数；
c) 对采用天然气充气置换的系统，应根据工艺要求实施相应的过程控制与保护；
d) 采用喷淋冷却时，应协调喷淋流量、冷却过程及蒸气处理过程；
e) 在货舱气氛转换、吹扫及冷却过程中，当相关参数不满足规定条件或辅助设备发生故障时，应发出报警，并限制后续操作或执行相应的保护措施。

### 6.6 燃气供给功能

控制及安保系统应根据船舶燃料供应系统的实际配置，对LNG及BOG燃料供应相关设备和工艺过程进行监测与控制。相关功能应至少包括：

a) 对采用 LNG 或 BOG 为主机、发电机组等设备提供燃料的船舶，应具备燃气供给系统的监测与控制功能，包括燃料泵、BOG 压缩机、气化器、加热器、缓冲罐、燃气阀组及相关管路等设备；
b) 应具备对燃气供给压力、温度、设备运行状态及其他必要工艺参数的连续监测、显示和报警功能，并根据燃气用户的需求协调燃气供给过程；
c) 对采用 LNG 液相供给的系统，应根据工艺配置实现燃料泵、气化器及加热器等设备的协调控制，并监测相关设备的入口和出口参数；
d) 对采用 BOG 供气的系统，应具备 BOG 压缩机运行状态及供气参数的监测功能，并根据燃气用户需求和联锁条件调节供气能力；
e) 对设置燃气缓冲罐、主燃气阀及双壁管或其他具有泄漏监测要求的燃气管路，应监测压力、阀门状态、气体泄漏及通风状态等信号；
f) 当发生燃气泄漏、供气压力异常、气化或加热设备故障、规定的通风失效或其他影响燃气供给安全的情况时，应执行报警、燃气切断或其他保护动作。

### 6.7 气体探测功能

控制及安保系统应根据船舶危险区域划分及安全设计要求，接收或处理可燃气体、氧气及其他相关探测信息，功能应至少包括：

a) 应根据船舶危险区域划分及安全设计要求，对货舱区域、货物处理区域、压缩机区域、燃气设备区域及其他规定区域配置相应的气体探测功能；
b) 应具备对规定区域内可燃气体浓度的监测、显示和报警功能，并根据设定的报警条件输出相应的报警信号；
c) 对配置氧含量分析仪的系统，应具备对规定区域或工艺管路中氧含量的监测和报警功能；
d) 应具备气体探测器及相关分析仪表的故障状态监测功能。发生探测器故障、信号中断或测量异常时，应发出相应的故障报警，不应将无效测量值作为正常状态显示；
e) 当气体浓度达到规定的报警或联锁触发条件时，应执行声光报警、设备停机、阀门关闭、燃气切断或其他保护动作；
f) 应配备便携式气体检测仪。

### 6.8 ESD 功能

ESD应具备以下功能：

a) 发生紧急情况时，应停止货物流动，并按照预定的因果矩阵停止货物泵、压缩机及其他货物处理设备，关闭应急切断阀；
b) 应能通过按钮手动触发 ESD。操作位置至少包括驾驶室、货物控制室或规定的货物操作位置，以及货物区域内不少于两个位置；
c) 货物区域露天甲板或货物机械处所检测到火灾时，应自动触发 ESD；
d) 应设置船岸 ESD 联锁接口，接收岸站传来的 ESD 信号，并按照因果矩阵执行相应动作；船舶触发 ESD 时，应向岸站发送相应的联锁信号。
e) 应急切断阀应能远程操作，并在驱动动力丧失时自动关闭；应具备阀门实际位置指示及就地手动关闭功能；
f) 主电源恢复后，相关设备不得未经安全条件确认而自动重新启动。ESD 复位前应确认触发条件已解除，并应防止未满足安全条件时恢复货物作业；
g) ESD 功能流程图应设置在货物控制站和驾驶室。

### 6.9 操作及状态管理功能

控制及安保系统应具备统一的操作管理、过程状态显示、报警管理和事件记录功能，支持操作人员对货物系统进行监视、控制和作业追溯。相关功能应至少包括：

a) 应提供货物系统主要设备、工艺流程及关键参数的集中监视界面，并支持控制室及其他授权操作位置的监控和操作；
b) 应根据设备及系统的权限配置实施操作权限管理，防止未经授权的控制操作；
c) 应对设备启动、停止、阀门操作、运行模式切换及其他重要操作进行状态反馈，并对操作失败或执行结果与指令不一致的情况进行提示；
d) 应具备报警显示、报警确认、报警优先级管理及历史报警查询功能，并明确显示报警来源、时间、等级和当前状态；
e) 应记录重要操作、设备状态变化、报警事件、ESD 触发与复位及其他关键事件，记录信息应包含必要的时间标记和事件来源；
f) 应支持关键工艺参数的实时趋势及历史趋势查看，并根据系统配置提供历史数据查询和导出功能；
g) 应具备必要的通信状态监测功能，对关键设备或子系统通信中断、数据异常及接口故障进行报警或状态提示；
h) 应根据系统设计对关键设备及子系统的状态信息进行统一显示，并保持货物控制、报警管理和安全联锁相关信息的一致性；
i) 应在操作界面中明确区分正常运行、报警、故障、联锁及应急切断等状态，避免操作人员对系统当前状态产生误判。

## 7 试验方法

### 7.1 货舱检测功能试验

通过信号模拟货舱液位、压力、温度及相关设备运行状态的变化，检查参数采集、显示、报警及记录功能，应满足6.1要求。

通过模拟参数越限，验证相应报警和安全保护动作，应满足6.1要求。

### 7.2 管路与阀门控制功能试验

通过模拟管路压力、温度及阀门状态变化，检查参数显示、报警和阀门状态反馈功能，应满足6.2要求。

通过阀门开关操作及联锁条件模拟，验证阀门控制、操作许可、动作顺序和异常工况保护功能，应满足6.2要求。

### 7.3 装卸、转运及加注功能试验

通过模拟货物装载、卸载、舱间转驳及适用的加注作业，检查作业状态显示、设备启停、输送调节及过程控制功能，应满足6.3要求。

通过模拟启动条件不满足、设备故障及参数异常等工况，验证相应的启动限制、报警和保护动作，应满足6.3要求。

### 7.4 蒸发气管理功能试验

通过模拟货舱压力、BOG产生量及燃气用户需求变化，检查BOG处理设备的状态监测、启停、容量调节及协调控制功能，应满足6.4要求。

通过模拟设备故障或处理能力不足，验证报警及相应保护功能，应满足6.4要求。

### 7.5 气氛转化及冷却控制功能试验

通过模拟气氛转换、惰化、置换及冷却等作业过程，检查相关设备状态、工艺参数及作业阶段的显示和控制功能，应满足6.5要求。

通过模拟参数越限或辅助设备故障，验证报警、操作限制及相应保护功能，应满足6.5要求。

### 7.6 燃气供给功能试验

通过模拟燃气需求变化、供气压力异常及相关设备故障，检查燃气供给设备的状态监测、参数显示、启停及协调控制功能，应满足6.6要求。

通过模拟燃气泄漏、供气异常或辅助设备故障，验证报警、燃气切断及其他保护动作，应满足6.6要求。

### 7.7 气体探测功能试验

通过采用标准气体或经认可的模拟方法，检查气体探测器的测量、显示、报警及信号传输功能，应满足6.7要求。

通过模拟探测器故障、信号中断及气体浓度达到报警或联锁设定值等情况，验证相应的故障报警、安全联锁及保护动作，应满足6.7要求。

### 7.8 ESD 功能试验

通过模拟手动触发、火灾探测及船岸联锁等规定的ESD触发条件，验证系统是否按照预定因果矩阵执行相关货物设备停机、应急切断阀关闭及联锁信号传输，应满足6.8要求。

通过检查阀门位置反馈、驱动动力丧失时的关闭功能，验证ESD复位和设备重新启动条件，应满足6.8要求。

### 7.9 操作及状态管理功能试验

通过模拟设备启停、阀门操作、运行模式切换及控制权转移等操作，检查操作指令反馈、设备状态显示、关键参数趋势、历史数据查询及事件记录功能，应满足6.9要求。

通过模拟操作结果与指令不一致、通信中断及数据异常等情况，验证相应的状态提示或报警功能，应满足6.9要求。