ICS 03.220.40
CCS R22

团　　体　　标　　准

T/CIN XXX—XXX

船舶氨燃料供应系统及运输安全操作要求 第1部分 氨燃料供应系统

Guidelines for the Safe Operation of Shipboard Ammonia Fuel Supply Systems and Ammonia Transportation Part I　Ammonia Fuel Supply Systems

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXX-XX-XX 发布　　XXX-XX-XX 实施

中国航海学会　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　总体要求 1
5　氨燃料供应操作安全要求 2
6　其他操作要求 5
附录 A（资料性）　氨燃料安全须知 6
附录 B（资料性）　氨燃料供应系统关键风险说明 7
附录 C（资料性）　氨燃料供应系统常见故障处理方法 7
附录 D（规范性）　氨燃料供应启动前检查 8
参考文献 9

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。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：中远海运能源运输股份有限公司、中远海运重工股份有限公司、中国船级社武汉规范研究所、交通运输部科学研究院。

本文件主要起草人：李彦璋、耿佳东、李晓姣、邵山、王显光、冯荣业、王远、刘禹、陈超、 尹相涵、凌志远、黄家彬、刘铁英、王志芳、毛进、石欣、赵子聪。

船舶氨燃料供应系统及运输安全操作要求
第 1 部分 氨燃料供应系统

1 范围

本文件规定了氨燃料供应系统的操作人员资质、人员防护以及系统运行各阶段的人员操作安全要求。

本文件适用于与船用二冲程低速氨燃料发动机配套的氨燃料供应系统的安全操作、运行及维护。

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。

IMO MSC-Circ.1687 船舶应用氨燃料安全临时导则

中国船级社 钢质海船入级规范(2025版)

中国船级社 船舶应用氨燃料指南(2022版)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氨燃料 ammonia fuel

系指适合在船上安全操作,满足发动机等装置使用要求的氨。

3.2

氨燃料供应系统 ammonia fuel supply system

指从燃料罐到发动机之间,按照所需温度、压力和流量条件供应燃料的系统。主要由压缩机、泵、换热器、缓冲罐、燃料阀件单元(FVT)、再液化系统、氨释放处理系统以及相关管路、阀件、附件等组成。

3.3

燃料舱主阀 tank master valve

系指位于燃料舱供应管路上尽量靠近燃料舱出口的遥控截止阀。

[来源:中国船级社《船舶应用氨燃料指南(2022版)》,1.1.2.19]

3.4

主燃料阀 master fuel valve

通向每组或每台发动机设备的供应总管上的截止阀门,通常位于机器处所外,靠近热交换器。

3.5

ESD 阀(紧急切断阀)emergency shutdown Value

系指当出现重大事故时,用于立即执行无延迟关闭切断燃料供应的阀门。

[来源:中国船级社《船舶应用氨燃料指南(2022版),1.1.2.23,有修改》]

4 总体要求

4.1 人员资质

氨燃料供应系统操作人员应根据主管机关要求取得相关操作资质。

4.2 人员防护

4.2.1 在可能存在氨气但暴露风险较低的区域工作的作业人员（不直接操作氨相关设备，且在操作和设备维护等特定高风险活动期间不在高风险区域），应穿戴安全帽、面罩/护目镜和防护手套，并携带过滤式防毒面具（配氨气专用滤罐）。

4.2.2 在面临可能存在更高氨泄漏和飞溅风险的区域工作的作业人员（如负责进行设备维护等工作），应穿戴依据公认标准选择的个人防护装备。个人防护装备应覆盖操作人员的整个身体，不得有任何皮肤暴露。

4.2.3 预计需要长时间进入受污染区域进行必要的紧急操作的作业人员（如不得不执行阀门关闭操作的抢险人员或应急救援人员），应穿戴符合中国船级社《船舶应用氨燃料指南（2022 版）》中 12.1.4 要求的安全设备。个人防护装备应覆盖操作人员的整个身体，不得有任何皮肤暴露。

4.2.4 人员执行 4.2.2 和 4.2.3 所述操作时，应携带合适的通信设备，需另有一人穿戴同样防护装备进行监护。

4.3 氨蒸气浓度阈值

4.3.1 应按 IMO MSC-Circ.1687 的要求提出氨蒸气浓度毒性阈值。

4.3.2 氨浓度达到 25 ppm 以上可视为对人体健康有害。氨浓度达到 110ppm 时相关探测器应发出警报告知风险。氨浓度达到 220 ppm 应触发相关安全保护动作，如切断氨燃料供应等。

5 氨燃料供应操作安全要求

5.1 系统运行前的准备和检查

5.1.1 确认换热系统、氨释放处理系统等关键辅助系统满足运行条件要求。其中换热器的状态直接关系到系统安全性和运行效率，故障时可能出现泄漏或对发动机设备造成损伤，为避免缺项，应制定检查清单并按清单依次执行。

5.1.2 检查所有供应系统管路、阀门、仪表、控制和供应设备的设置和连接。该过程主要通过目视检查的方式进行，通过初步排查降低供应系统运行时发生风险的可能。

5.1.3 对于系统长时间停机或维护保养后的首次运行，应提前对氨燃料供应管系进行吹扫，以降低供应系统内的氧气浓度和水分，避免供应的液氨中含水量过高影响燃料质量或含氧量过高在系统内产生可燃环境。在吹扫出口使用便携式氧气探测设备和露点测量装置测量氧气含量和露点，探测露点低于-40℃且氧含量低于 8%时视为吹扫合格。应确保吹扫氮气的供应压力满足设备厂商的要求。

5.2 系统启停

5.2.1 氨供应启动前应换热系统，确保换热介质温度达到标准要求。换热器启动后应巡检设备和管道是否有异常振动、噪音或微量泄漏。当换热介质温度满足要求后，切换至氨燃料供应，并启动引燃油供应系统。

5.2.2 氨燃料供应之前，引燃油供应提前启动。通常发动机控制单元（ECU）会自动激活引燃油泵，将引燃油加压并注入共轨系统，维持稳定压力。此阶段引燃油暂未喷射，但系统已具备即时响应能力。

5.2.3 氨燃料供应启动操作应符合下列规定：

a) 启动前应先开启液氨储罐供液管的燃料舱主阀、换热器进出口阀门及缓冲罐进口阀门，启动输送泵提升缓冲罐压力；
b) 缓冲罐压力达到设定值后，应开启缓冲罐出口阀门及下游供应管路上的阀门；
c) 液氨燃料应经高压泵增压至进机压力后供入发动机；配置后置缓冲罐与调温单元的供应系统，可经后置缓冲罐稳压、调温单元调温后再供入发动机；
d) 氨燃料供应过程中，应通过变频输送泵调节或缓冲罐与液氨燃料罐之间的压差调节，将缓冲罐压力维持在设定值范围内，保障燃料稳定供应；

e） 实际操作应严格执行供应系统操作手册的规定，阀门应缓慢开启，并实时监测压力、温度、流量等关键参数，确认参数处于正常范围且无较大波动。

5.2.4 氨燃料供应和引燃油供应启动后，供应系统将根据发动机功率设置值自动调整氨燃料和引燃油的供应比例，调节过程中应重点关注发动机的燃烧指标和排放指标是否在可接受范围内以及是否存在较大波动。

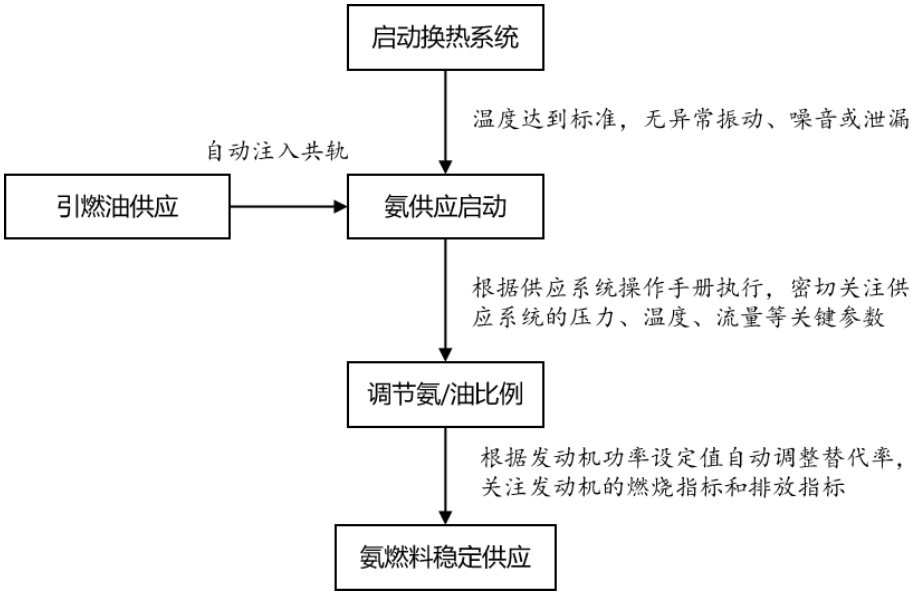


图1 氨燃料供应启动过程及安全要点

5.2.5 供应系统可接收发动机或安保系统通过远程控制发送的停止信号，根据信号类型，执行不同的停止操作。若停机过程中或停机后发生氨泄漏，还应立即按照应急预案处置。

5.2.6 若接收到发动机发送的故障停止信息或安保系统发送的停止信息，输送泵、主燃料阀、ESD 阀等将自动关闭，停止氨燃料供应。一般情况下操作人员无需进行额外操作。

5.2.7 若需手动停止时，操作人员应按下输送泵、主燃料阀等的停止按钮，停止氨燃料供应。操作时应根据供应系统的操作手册严格执行，并密切关注压力、温度、流量等关键参数是否在正常范围内以及是否存在较大波动。

5.2.8 当预计氨燃料供应系统停止运行时间较长时，在完成 5.2.6 规定的故障自动停止或 5.2.7 规定的正常手动停止后，应执行下列操作：

a） 手动关闭其余主要气动阀、电磁阀及换热系统；

b） 按供应系统操作手册规定的流程，将阀门、管路和设备内的液氨/氨蒸气吹扫至氨收集罐或氨释放处理装置；与氨介质不直接接触且可靠隔离的部件可不予吹扫；

c） 手动截止阀关闭数分钟后，应再次确认其完全关闭状态，防止冷缩导致阀门关闭不严造成氨燃料泄漏。

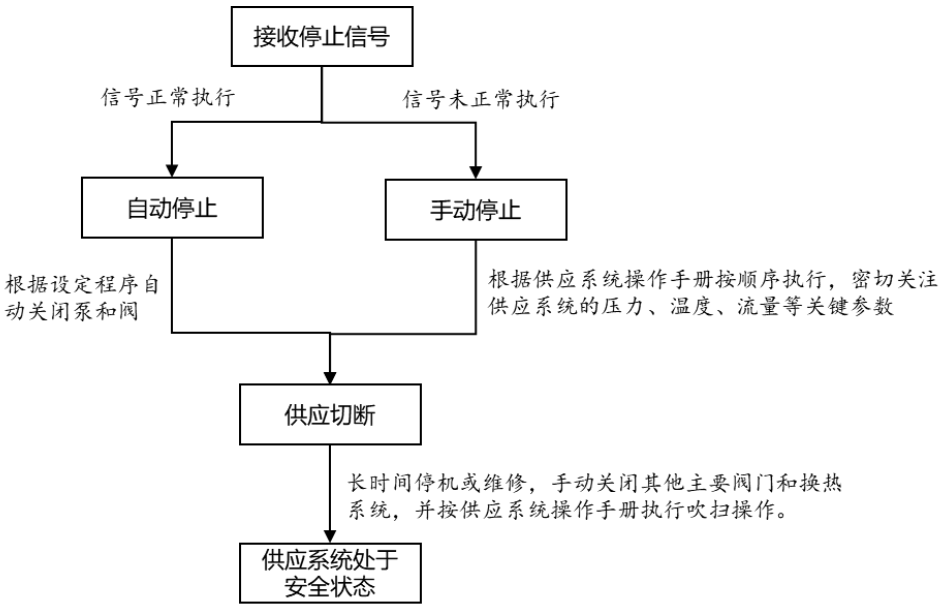


图2　氨燃料供应关闭过程及安全要点

5.3　燃料切换

5.3.1　正常营运期间，氨燃料供应自动或手动停止时，系统应自动实现从氨燃料供应至燃油供应的切换。

5.3.2　对于作为主机使用的发动机设备，负载低于设定功率或输出波动过大时，供应系统应强制自动切换至燃油供应，防止熄火。若自动切换未响应，操作人员应手动切换。

5.3.3　手动切换应设置误触保护，切换后应记录切换时间、触发原因及操作信息，生成日志文件供后续核查。

5.3.4　氨燃料供应切换至燃油供应的操作应按照供应系统操作手册执行，关闭主燃料阀、输送泵等切断氨燃料供应和引燃油供应，并通过 ECU 控制燃料油泵分阶段提升燃料油喷射量，数秒内将燃料油供应量逐步增至 100%。操作时应注意阀门的操作顺序和间隔时间要求，关闭主燃料阀后应观察压力变化判断阀门是否发生泄露，同时密切监控发动机的运行参数（转速、功率、排温等）是否合理以及是否有异常波动，确保平稳过渡。

5.3.5　若预计氨燃料供应系统将停止较长时间，操作人员还应手动关闭其他所有气动阀、电磁阀以及换热系统。阀门、管路和设备内的液氨和氨蒸气应吹扫至氨收集罐或氨释放处理装置。手动截止阀关闭数分钟后应再次确认是否完全关闭，避免因冷缩导致阀门关闭不严造成氨燃料持续泄漏。

5.3.6　燃油供应切换至氨燃料供应应按照 5.1 和 5.2 进行操作。

5.4　监测与控制

5.4.1　根据规范设计要求，氨燃料供应系统应对氨燃料舱液位高/低、氨燃料舱压力高/低、热交换器燃料出口温度低、换热介质液位高/低、换热介质温度低、热交换器传热介质停止循环、压缩机进气压力低、压缩机排气压力高/低、压缩机运行故障、舱壁轴填料函和轴承温度高、供应系统氨泄漏等异常场景进行监测报警，部分异常场景伴随着氨燃料供应的自动切断。

5.4.2　操作人员应能根据报警信号执行相关操作，包括报警信号的确认、异常场景的原因排查以及可能的故障处理等。

5.5　维护和保养

5.5.1　应根据设备厂家的要求制定定期检查和维护制度，并根据制度进行系统的检查维护，包括对储存容器、输送管道、泵、阀门等设备的检查。检查和维护过程中应使用防爆的检测设备和照明设备，全程携带便携式氨蒸气探测器，并做好静电防护，严格控制动火作业。

5.5.2　应根据设备厂家的要求制定保养计划，及时发现并处理设备可能出现的腐蚀、磨损、泄漏等问题。若保养时发现泄漏，应在保养结束后通过密性试验验证气密性。

5.5.3 维修和保养之前，应对氨燃料供应系统进行吹扫除气。氮气可由船上氮气瓶组或岸上提供，吹扫出口处氨蒸气浓度降低至 25ppm 以下视为吹扫合格，置换气体应引至氨收集罐或氨释放处理装置。除气后应使用空气对氮气进行置换，置换完成后应经测氧合格。

5.6 应急操作

5.6.1 应编制氨燃料供应系统泄漏后的安全应急预案，定期开展应急演练。
5.6.2 船上应根据液氨危险特性，配备适用的应急救援器材、设备和物资，并对应急救援器材、设备和物资进行日常检查和定期维护保养，保证其处于适用状态。
5.6.3 消防设备应定期检查并保持良好状态。用于消防的监控报警系统应保持良好状态。
5.6.4 抢险人员必须穿戴重型防化服、正压式空气呼吸器和便携式氨浓度检测仪，严禁未佩戴防护装备的人员进入可能危害健康的环境中。
5.6.5 抢险人员在限制区域内必须使用防爆对讲机，不应携带和使用非防爆电子产品。

6 其他操作要求

6.1 一般要求

6.1.1 若配备有再液化系统，应确保氨燃料舱内压力达到压力释放阀调定压力之前启动再液化系统以及打开氨蒸气向再液化系统供应的阀门。
6.1.2 对于燃料管路系统上的双截透气阀的排放、燃料管的吹扫和排空操作产生的排放以及燃料管路系统中的压力释放阀的排放，应通过氨释放处理装置进行收集或处理。双截止透气阀（与惰性气体系统连接）的排放以及燃料管吹扫排空通常需要操作人员手动操作。双截止透气阀开启后，还需人工复位。

附 录 A
（资料性）
氨燃料安全须知

氨（NH3）是氮和氢的化合物，在大气环境下是一种无色、有强烈刺激性气味的气体，目前多通过加压（25℃，10bar或45℃，18 bar）或降温（-33℃）转化为液氨进行储运或作为燃料使用。

1、氨的危险性

氨对人体的健康有危害。低浓度氨对粘膜有刺激作用，高浓度可造成组织溶解坏死。轻度者出现流泪、咽痛、声音嘶哑、咳嗽、咯痰、眼结膜、鼻粘膜、咽部充血、水肿、胸部 X线征象符合支气管炎或支气管周围炎等急性中毒现象。中度中毒上述症状加剧，出现呼吸困难，胸部 X线征象符合肺炎或间质性肺炎。严重者可发生中毒性肺水肿，或有呼吸窘迫综合征，出现剧烈咳嗽、咯大量粉红色泡沫痰、呼吸窘迫、谵妄、昏迷、休克等症状，甚至出现喉头水肿或支气管粘膜坏死脱落窒息。高浓度氨可引起反射性呼吸停止和眼灼伤；

2、个人防护

空气中氨浓度超标时，建议佩戴过滤式防毒面具（半面罩或全面罩）。紧急事态抢救或撤离时，必须佩戴自给式空气呼吸器。操作人员在工作中须穿戴化学安全防护眼镜（佩戴全面罩防毒面具除外），穿防静电工作服（气密），戴橡胶手套，使用防爆型设备，如便携式氨蒸气探测仪。

3、灭火

氨蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物，遇明火、高热可能引起燃烧爆炸。氨与氟、氯等接触会发生剧烈的化学反应。若遇高热，储氨容器内压增大，有开裂和爆炸的危险。消防人员必须穿全身防火防毒服，在上风向灭火。应及时切断气源，若不能，则不允许熄灭泄漏处的火焰。可通过喷水冷却氨燃料储罐，可使用雾状水、抗溶性泡沫、二氧化碳、砂土等进行灭火。

4、泄漏应急处理

发生大量氨燃料泄漏时，应迅速撤离泄漏污染区人员至上风处，远离泄漏源或进入安全避难所进行急救。应急处理人员应穿戴自给正压式呼吸器，穿防静电工作服，尽可能切断泄漏源。对于高浓度泄漏区，可通过雾状水稀释、溶解。如有可能，将残余气或漏出气用风机送至氨释放处理系统内。漏气容器和设备要妥善处理，修复、检验后再使用。

5、人员急救措施

若吸入氨，应迅速脱离现场至空气新鲜处，保持呼吸道通畅。如呼吸困难，应提供吸氧。如呼吸停止，立即进行人工呼吸并及时送医；

若眼睛接触氨，应立即提起眼睑，用大量流动清水或生理盐水彻底冲洗至少15分钟；若皮肤接触氨，应立即用醋酸冲洗皮肤；若出现人员冻伤，应用大量清水（建议15℃-25℃温水）连续冲洗冻伤部位30分钟以上，冲洗后将冻伤部位浸泡于40-42℃温水中15-30分钟，直至皮肤恢复血色和温度，可用2%硼酸溶液或醋酸溶液中和残留氨，再涂抹防冻软膏（如磺胺嘧啶银）保护创面。若出现水疱、皮肤坏死、剧烈疼痛或全身症状（如呼吸困难、休克）时应尽早送医。

若中毒或冻伤人员失去行动能力，救援人员应佩戴自给式呼吸器和防护服，将中毒人员带出氨气泄漏处所，移至甲板等开放空间，被救护人员应在上风口处。而后按照对应症状进行急救。

附 录 B
（资料性）
氨燃料供应系统关键风险说明

1、毒性风险

氨蒸气对人体有毒，在极低浓度时就可能对人体的呼吸道、眼睛等产生刺激，若浓度较高，则可能对人体造成不可逆的健康损伤甚至直接死亡，具体毒性损伤程度取决与蒸气浓度和持续时间。对于氨燃料动力船，现有技术规则要求出现110ppm浓度的氨蒸气需报警，出现220ppm的浓度就要切断氨燃料供应，浓度阈值远低于可燃下限（16%），因此毒性风险是氨燃料供应系统应用最关键也是最大的风险。

2、低温风险

船上液氨通常以-33℃的温度储存，存在一定的低温风险。除此之外，对于氨燃料供应系统，若发生液氨泄漏，液氨的气化和接触可能导致周围环境温度快速下降，与其接触的设备表面温度可降低至-20℃以下，会对船体结构、系统设备、操作人员等造成低温损伤风险。

3、火灾风险

供应系统包括从氨燃料舱出口至发动机进口中间的管路、设备、阀门，整个系统中有较多泄漏点，其中多数泄漏点位于燃料舱接头处所和燃料准备间，属于围蔽区域。燃料泄漏后，舱室内浓度很可能达到可燃下限（16%），虽然舱室内会使用合格防爆型设备，但机械设备产生火花引起火灾的风险并不能完全避免，因此还应重点关注围蔽处所内氨的火灾风险。

4、动力损失风险

氨供应系统故障或供应不稳定可能导致氨燃料发动机应燃料供应不足而熄火，从而造成船舶动力系统的损失。当前氨燃料发动机仍处于研制阶段，考虑到氨燃料的持续燃烧较为困难，燃料供应不稳定导致熄火的风险也会比传统燃油发动机更大。

附 录 C
（资料性）
氨燃料供应系统常见故障处理方法

1、管路、设备或附件发生少量氨泄漏。发生氨泄漏后，系统应自动切断供应，并立即启动通风系统等降低氨的浓度。操作人员并应根据泄漏的位置和程度，在穿戴好安全防护设备后，排查泄漏点并采取相应的堵漏、隔离等措施。

2、发生持续或大量氨泄漏。对于液氨燃料供应系统，持续或大量泄漏后可能发生液氨的快速气化，从而产生结冰等现象，这一可能会暂时减缓氨泄漏，在此期间操作人员可在穿戴好安全防护设备后，排查泄漏点并采取相应的堵漏、隔离等措施；若无法及时堵漏或隔离，应按照船舶应急响应预案甚至应急撤离程序执行。

3、设备故障或滤器堵塞。操作人员应关闭氨燃料供应并进行吹扫，之后对设备进行维修或更换。若设备可带压检修，则检修前可不关闭氨燃料供应。

附 录 D
（规范性）
氨燃料供应启动前检查

氨燃料供应启动前检查表			
序号	**对象**	**检查内容**	**检查结果**
1	换热器	检查设备完整性，确认外壳有无腐蚀、变形、裂缝	
		检查设备密封性，确认是否有堵塞，阀门开度是否正确	
		检查流量计和泄压阀是否完好且在校验有效期内	
		检查换热介质的进出口压力是否在正常范围内	
2	氨释放处理装置	检查液位、压力、温度是否在正常范围内	
		检查安全阀、压力表、温度计、液位计等附件是否完好且在校验有效期内	
		检查压缩机紧固件有无松动，润滑油油位是否正常，电气连接是否安全	
		检查泵的紧固件有无松动，电源连接是否正常	
		检查缓冲罐外观无异常，压力表指示正常	
3	安全防护系统	确认探测器正常工作、报警值设定正确	
		确认紧急切断阀功能可靠，动作正确	
		检查安全阀是否完好且在校验有效期内	
4	电控系统	确认供电稳定，控制系统供电正常	
		检查压力、温度、液位、流量等传感器工作正常，读数准确	
		确认联锁保护功能已投入且逻辑正确，必要时进行模拟测试	
5	燃料舱	检查燃料舱液位、温度、压力等关键参数是否处于正常范围内，且监测装置的功能正常	
6	供应系统连接	检查所有氨管道、法兰、接头等连接处无泄漏	
		确认阀门开关灵活、状态正确（开/闭）、无卡涩，阀门标识清晰	
		确认氮气源压力正常，吹扫管路连接正确，阀门开关状态正确	
		检查管路绝热层有无破损，管路和阀门表面有无结霜现象	
7	FVT	检查氨燃料供应系统控制箱准备就绪、安保箱、FVT 本地控制箱信号显示正常、无报警	
8	燃料泵	检查地脚螺栓和各类连接法兰螺栓已牢固拧紧	
		检查托架内润滑油量适中（通常在油位计中心线）	
		短暂通电，观察电机轴转向是否与标识一致	

参 考 文 献

[1] 中国船级社《船舶应用氨燃料指南》