ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 004-2023

船用发动机低压天然气喷射阀 技术条件

Technical requirements for low-pressure natural gas injection valve for marine engine

2023-12-04 发布　　2023-12-04 实施

中国内燃机学会　发 布

目　次

前 言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　要求 2
4.1　接口 2
4.2　密封性 3
4.3　适用压力与压差 3
4.4　全开流量 3
4.5　平均单次喷射量重复性 3
4.6　平均单次喷射量一致性 4
4.7　响应时间 4
4.8　可靠性 4
4.9　环境适应性 5
4.10　外观质量 5
5　试验方法 5
5.1　试验条件与一般规定 5
5.2　电气接口测试 7
5.3　耐压试验 7
5.4　密封试验 7
5.5　内部泄漏量试验 7
5.6　回火压差试验 7
5.7　全开流量试验 7
5.8　平均单次喷射量试验 7
5.9　响应时间测试 8
5.10　可靠性测试 8
5.11　环境适应性 8
5.12　外观质量与机械接口 8
6　检验规则 8
6.1　检验分类 8
6.2　型式检验 8
6.3　出厂检验 9
7　标志、包装、运输及贮存 10
7.1　标志 10
7.2　包装 10
7.3　运输 10
7.4　贮存 11

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。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：中国船舶集团有限公司第七一一研究所、哈尔滨工程大学、中船动力研究院有限公司、重庆红江机械有限责任公司、河南柴油机重工有限公司、陕西柴油机重工有限公司、安庆中船柴油机有限公司、中国内燃机学会、淄柴动力有限公司、大连中车柴油机有限公司、宁波中策动力机电集团有限公司、潍坊力创电子科技有限公司。

本文件主要起草人：魏鹏飞、金江善、董全、徐建新、方文超、王昌庆、张岳、文李明、肖朝南、任晓辉、焦联国、张旭东、徐文涛、杨国峰、王延瑞、邢瑜、吕晓东、何海斌。

本文件于2023年首次发布。

船用发动机低压天然气喷射阀 技术条件

警告：本文件的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本文件之前有责任制定相应的安全和防护措施，并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本文件规定了船用发动机低压天然气喷射阀的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存等要求。

本文件适用于船用中、高速天然气或双燃料发动机，适用于0.05 MPa～1.0 MPa的天然气喷射压力的低压天然气喷射阀的制造和验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 191 包装储运图示标志

GB/T 2423 电工电子产品基本环境试验规程

GB/T 3836.1—2010 爆炸性环境第1部分：设备 通用要求

GB/T 6113.2—2018 无线电骚扰和抗扰度测量方法

GB/T 6388 运输包装收发货标志

GB/T 13306 标牌

GB/T 17799.4-2022 电磁兼容 通用标准 第4部分

GB/T 17820-2018 天然气

GB/T 21465-2008 阀门 术语

GB/T 23258-2020 钢质管道内腐蚀控制规范

JB/T 7352-2010 工业过程控制系统用电磁阀

JB/T 11792.1-2014 中大功率燃气发动机技术条件第1部分：天然气发动机

JB/T 11792.2-2014 中大功率燃气发动机技术条件第2部分：柴油/天然气双燃料发动机

CCS 钢制海船入级规范

CCS 船舶应用天然气规范

3 术语和定义

3.1

天然气喷射阀 gas fuel injection (admission) valve

系指发动机上，可根据气缸实际的天然气需要控制天然气供应的阀或喷嘴。

3.2

最大工作压差 maximum differential pressure

喷射阀在自身可以正常工作条件下允许的最大入口压力与出口压力之差。

3.3

全开流量 full open flow rate

天然气喷射阀在阀板完全打开时的单位时间质量流量。

3.4

平均单次喷射量 average single injection mass

天然气喷射阀在多次喷射过程中平均每次喷射的天然气质量。

3.5

开启响应时间 open response

天然气喷射阀从接收到喷射开启信号到喷射开始所需要的时间，包括从接收到喷射开启信号到喷射阀开始打开的开启延迟时间与喷射阀从开始打开到完全打开的开启动作时间。

3.6

关闭响应时间 close response

天然气喷射阀从接收到喷射结束信号到完全关闭所需要的时间，包括从接收到喷射结束信号到喷射阀开始关闭的关闭延迟时间与喷射阀从开始关闭到完全关闭的关闭动作时间。

3.7

回火压差 backfire pressure spike

天然气喷射阀保持关闭条件下允许出口压力高于入口压力的压差。

3.8

内部泄漏 inner leakage

天然气喷射阀完全关闭时在设定的压力条件下由喷射阀出口泄漏出的天然气流量。

3.9

Peak 电流 Peak current

可以驱动喷射阀从关闭状态到完全打开的电流。

3.10

Hold 电流 Hold current

喷射阀完全打开后可以维持阀板开启状态的电流。

4 要求

4.1 接口

4.1.1 机械接口

低压天然气喷射阀接口尺寸及重量应符合用户使用的接口需求，包括外形尺寸、与机体安装接口尺寸、天然气供给管路接口尺寸等。

当应用于船舶时，喷射阀内部应设置泄漏收集通道，并预留与外部双壁管连接的接口。

4.1.2 电气接口

低压天然气喷射阀的电阻、电感应由制造厂商与用户协商确定。

低压天然气喷射阀需确定额定供电电压大小，直流供电电压允差为额定值的±10%。通用直流电压应从24 V、36 V、48 V、110 V、220 V中选取，若采用其他额定供电电压应由用户和制造厂协商决定。

低压天然气喷射阀需确定在规定的压力条件下对驱动电流的描述，应至少包括Peak电流大小、Peak电流持续期、Hold电流大小、Hold电流持续期（与工况相关）、开启响应时间、关闭响应时间。

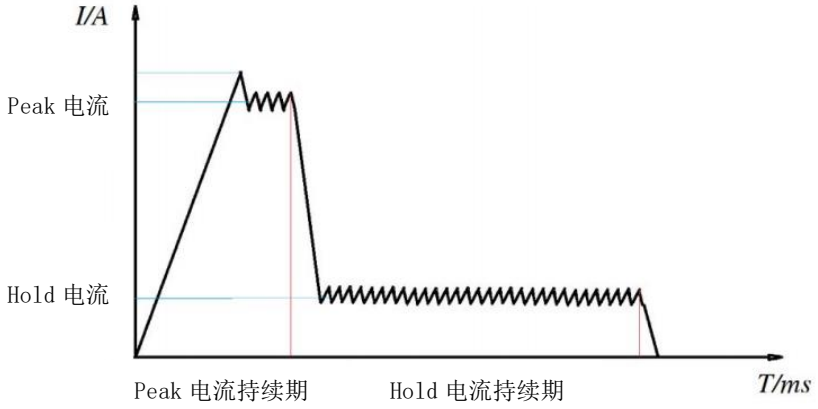


图 1 喷射阀驱动电流示意图

4.2 密封性

低压天然气喷射阀除喷射出口外的各密封处应密封良好，不得有向阀外漏气现象。

低压天然气喷射阀在标准压力条件（入口压力0.15 MPa、出口压力为大气压、温度25℃）下的最大内部泄漏不应超过喷射阀自身全开流量的0.25%，允许按制造厂与用户协议规定试验压力以及泄漏量比例或泄漏量数值。

4.3 适用压力与压差

4.3.1 耐压

低压天然气喷射阀需确保在1.5倍最大工作压力下耐压性能良好，喷射阀各处不得有裂纹、损伤等压力破坏现象。

4.3.2 工作压差

低压天然气喷射阀应至少可以在0.15 MPa的压差下正常工作。

为保证喷射阀的使用寿命，制造厂商应提供喷射阀允许长期使用的额定压差值与验证文件。

4.3.3 回火压差

低压天然气喷射阀需确保在0.05 MPa的回火压差下保持关闭，不会异常打开或者对喷射阀内部零件产生损坏。可由制造厂商与用户双方协商确定测试要求与实船应用需求。

4.4 全开流量

低压天然气喷射阀额定压力条件下全开流量测试结果与匹配发动机要求的全开流量最大偏差为5%，允许按制造厂商与用户协议规定执行。其中，额定压力条件由用户根据发动机实际运行要求明确。

4.5 平均单次喷射量重复性

采用标准规定测试方法重复测量额定压力条件下的平均单次喷气量，要求低压天然气喷射阀平均单次喷射量重复性相对标准差应不超过3%，允许按制造厂商与用户协议规定执行。

4.6 平均单次喷射量一致性

低压天然气喷射阀额定流量的一致性偏差应满足如下要求：

在匹配发动机的一组天然气喷射阀中，低压天然气喷射阀的额定最大平均单次喷射量Q_{max}和最小平均单次喷射量Q_{min}值对该组平均单次喷射量Q_m值的喷气量偏差应符合表1的要求，平均单次喷射量一致性偏差 δ按公式（1）计算：

$$\delta = \frac{(Q_{max} - Q_{min})/2}{\sum_{i=1}^{n} Q_i / n} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

式中：

δ ——同组天然气喷射阀的平均单次喷射量一致性偏差，±%；

Q_{max}——同组天然气喷射阀中最大平均单次喷射量，单位为毫克（mg）；

Q_{min}——同组天然气喷射阀中最小平均单次喷射量，单位为毫克（mg）；

Q_i ——同组天然气喷射阀中第i支平均单次喷射量，单位为毫克（mg）；

N ——同组中天然气喷射阀总数量，单位为个。

表1 每个天然气喷射阀各工况点平均单次喷射量一致性允许偏差

序号	工况点 （压力、压差 MPa/脉宽 ms或名义额定流量mg/s）	平均单次喷射量偏差 δ
1	额定工况工作条件	±5%
2	最低工况工作条件	±20%
注：1)需要增加检测点时由制造厂商与发动机主机厂协商确定。 2)压力(MPa)、压差(MPa)/[脉宽(ms)或名义喷气量(mg)]为与发动机工况点匹配的压力、压差和额定流量。 3)该项额定流量偏差按照 $\delta=Q_{max}$(或Q_{min})-Q_m计算。 4)额定工况、最低工况的定义由用户根据发动机实际运行要求明确。		

用户和制造厂商可协商明确其余工况的一致性。

多缸发动机低压天然气喷射阀允许控制系统对各缸天然气喷射阀的喷气量作补充校正。

4.7 响应时间

低压天然气喷射阀应在规定的压力条件下，测定响应时间应满足表2要求，其允许的最大响应与延迟时间以及采用非额定供电电压或驱动电流导致的响应时间差异可由制造厂与用户协商确定。

表2 低压天然气喷射阀允许响应时间

转速/rpm	最大开启响应时间/ms	最大关闭响应时间/ms
≥1500	2	2
900～1500	3	3
600～900	4	4
＜600	5	5

4.8 可靠性

低压天然气喷射阀在正常使用的条件下的寿命应由用户和制造厂商协商确定，但通常应满足动作次数≥2.4×10^{8}次，其动作可以连续或者间断进行，在累积达到规定动作次数后，其密封性与全开流量仍应符合4.2、4.4要求。

4.9 环境适应性

4.9.1 使用条件

低压天然气喷射阀应能满足制造厂商与用户约定好的使用条件，包括但不限于振动、盐雾、储存温度、使用温度等。

喷射阀应至少在以下标准工作条件下可以正常开闭：

工作压差：0.15 MPa；

工作温度：-20 ℃～40 ℃；

工作湿度：≤85%。

4.9.2 耐腐蚀性

低压天然气喷射阀与天然气直接接触部分的材料应能抗天然气腐蚀，天然气抗腐蚀性应满足GB/T 23258-2020及相对应金属腐蚀类型的相关要求。

4.9.3 防爆性

低压天然气喷射阀的防爆性应满足GB/T 3836.1及其相对应防爆类型的相关要求，防爆标志应满足船级社要求，特殊应用条件允许用户和制造厂商协商确定。

4.9.4 电磁兼容性

在温度为15 ℃～35 ℃，相对湿度不大于85%的环境条件下，电磁铁线圈接线端与外壳间的绝缘电阻不应小于20 MΩ。

在温度为15 ℃～35 ℃，相对湿度不大于85%的环境条件下，电磁阀线圈接线端与外壳间应能承受频率为50 Hz和试验电压按JB/T 7352规定的正弦交流电压，历时1 min的绝缘强度试验，不应出现击穿和飞弧现象。

低压天然气喷射阀应能够在电磁环境中能正常工作且不对环境中任何事物构成不能承受的电磁干扰，其电磁干扰水平应满足GB/T 6113.2—2018及发动机复杂电磁环境的相关要求。

4.10 外观质量

低压天然气喷射阀结构与外观应满足以下要求：

a）装配应完整，商标应清晰，外观不得有磕伤、变形等缺陷；

b）有防锈要求的零部件，其外表面应进行防腐涂层或防护处理；

c）天然气喷射阀与发动机天然气供给系统的过滤结构需匹配，应保证清洁。

5 试验方法

5.1 试验条件与一般规定

5.1.1 测量设备

测试设备应包括测试气体气源、减压阀、质量流量计、气轨、测试容器、压力传感器、温度传感器、电流卡钳、电荷放大器、示波器、高速信号采集卡、CAN卡、上位机PC、喷射阀控制系统。

所有测量设备的校准应该可溯源到国家基准并满足下表3条件,测量中所用重要零件标准满足下表4条件，具体可按制造厂商与用户协商确定。

表3　测量设备校准标准

序号	测量设备	精　度
1	电流卡钳	读数的±2%或驱动电流最大值的±1%，取大值
2	压力传感器	读数的±2%或所测压力最大值的±1%，取大值
3	温度传感器	读数的±2.5%或所测压力最大值的±1.5%，取大值
4	质量流量计	喷射阀最大值的2%

表4　重要零件标准

序号	名称	标准
1	压力气源	压力气源需满足测试系统压力需求，测试气体应符合GB/T-17820-2012技术要求
2	减压阀	减压阀量程为最大喷气压力的1.2～1.5倍
3	钢制气管	钢制气管尺寸应满足流量测试需求，长度不长于80 cm
4	供电电源	供电电源24 V、220 V

5.1.2　试验介质

试验用气为空气。

5.1.3　试验条件

试验台供气温度：0℃～60℃。
环境温度：20 ℃～30 ℃。
相对湿度：40%～80%。
大气压力：86 kPa～106 kPa。
注：在试验期间，允许的温度变化每小时不超过1℃。

5.1.4　清洁度要求

试验台及低压天然气喷射阀装配与使用过程注意保持清洁，避免杂质污物进入精滤后试验管路，试验气体最后一级过滤精度通常为5 μm。

5.1.5　标准压力气源

压力输出在整个量程范围内的应连续可调且稳定，压力输出也可以采用阶跃式调节,但阶跃的方式必须保证被试传感器在试验过程中不因过冲和扰动而引起迟滞误差。

5.1.6 试验结果处理

使用空气作为测试气体的试验结果，应提供将天然气作为工作介质的换算公式与结果。

5.2 电气接口测试

5.2.1 电气参数测试

使用电阻与电感测试仪测试喷射阀的电阻与电感,其大小应不超过制造厂商与用户协商允许的最大电阻与电感。

5.2.2 驱动电流与最大工作压差测试

在试验台上，将电流卡钳连接天然气喷射阀接线端和示波器，将喷射压差调节为最大工作压差，在额定驱动电流条件下天然气喷射阀应能正常完成动作，运行 5 分钟，通过示波器观察驱动电流变化范围应不超过额定值的±10%。

5.3 耐压试验

在试验台上设定低压天然气喷射阀压力为1.5倍最大工作压力的条件下，观察低压天然气喷射阀各处不得有裂纹，不得出现压力破坏现象。

5.4 密封试验

在试验台上设定低压天然气喷射阀压力为最大工作压力的条件下,观察低压天然气喷射阀各密封处应密封良好，不得有向阀外漏气现象。

5.5 内部泄漏量试验

在试验台上，将天然气喷射阀处于关闭状态，设定入口压力标准入口压力0.15 MPa，出口压力为大气压（或其他规定的压力条件），计量内部泄漏量试验结果应满足4.2节规定要求。

5.6 回火压差试验

在试验台上，低压天然气喷射阀上游设置调压装置与压力稳定装置，设定喷射阀压力在0.05 MPa回火压差条件下，低压天然气喷射阀功能应无异常，喷射阀下游连接质量流量计，检验是否出现异常天然气泄漏现象，恢复正常工作压差后各项性能满足出厂检验要求。

注：质量流量计选用标准参考5.1.1节规定要求，测试介质参考5.1.2规定要求。

5.7 全开流量试验

在试验台上，使用Peak电流将喷射阀完全打开后维持Hold电流，保持喷射阀处于完全开启状态，使用压力调节阀调节入口压力，使用流量计计量不同工作压差下的全开流量，全开流量的测试结果应满足4.4节规定要求。

注：质量流量计及压力调节阀选用标准参考5.1.1节规定要求。

5.8 平均单次喷射量试验

5.8.1 平均单次喷射量试验

平均单次喷射量通过平均单次喷射量测量装置测量，具体方法为：将喷射阀通过阀座安装在密封容器内部，喷射阀电气部分暴露于外部环境与喷射阀控制系统连接，推荐采用高精度科氏质量流量计作为

流量计量装置，在质量流量计上游设置稳压气室，使气体先进入稳压气室进行缓冲。设置额定驱动电流与喷射频率进行喷射，取60次测试结果的平均值作为平均单次喷射量试验测试结果。

5.8.2 平均单次喷射量重复性

在试验台上，使用平均单次喷射量测量装置，多次测量给定工况下的单个天然气喷射阀的平均单次喷射量，计算喷气量重复性相对标准差，测试结果应满足4.5节规定要求。

5.8.3 平均单次喷射量一致性

在试验台上，使用平均单次喷射量测量装置，测量最低工作条件与额定工作条件下的多个天然气喷射阀的平均单次喷射量，计算喷气量一致性偏差，测试结果应满足4.6节规定要求。

5.9 响应时间测试

在试验台上，设定喷射阀驱动电流为额定驱动电流，将工作压差调节为低压天然气喷射阀额定工作压差，使用电流卡钳捕捉驱动电流波形，使用位移传感器或振动传感器捕捉喷射阀运动位移曲线信号或振动信号，将两者信号波形通过示波器捕捉并从中读取开启响应与关闭响应时间，响应时间的长短应满足4.7节规定要求。

5.10 可靠性测试

低压天然气喷射阀的可靠性通过平台可靠性试验，或在制造厂商与用户协商一致的情况下通过配机台架试验进行验证。喷射阀的可靠性试验应在额定工作压差进行，允许压力波动±20%，设定喷射阀驱动电流为额定驱动电流，电磁阀开闭次数由计数器计数或者通过频率与时间换算，达到2.4×10^{8}次后（或与用户商定的其他动作次数），按4.2、4.4要求测试其密封性与全开流量并予以评定，评定方法允许与用户商定的有关技术文件的规定进行。

低压天然气喷射阀可靠性测试期间，阀体电磁线圈与表面温度不得超过电磁线圈以及喷射阀防爆标准相关温升要求。

5.11 环境适应性

低压天然气喷射阀应提供能满足制造厂商与用户约定使用条件的相关合格证或者报告，包括耐腐蚀性、防爆性、电磁兼容性以及制造厂商与用户协议规定其他证明材料。

5.12 外观质量与机械接口

低压天然气喷射阀外观质量采用目视、手摸的方法进行检验。

应用相应等级精度的量具检查低压天然气喷射阀尺寸，各尺寸均应符合用户使用的需求，包括外形尺寸、与机体安装接口尺寸、天然气供给管路接口尺寸等。

6 检验规则

6.1 检验分类

本文件规定的检验分类如下：

a） 型式检验；

b） 出厂检验。

6.2 型式检验

6.2.1 检验时机

凡属下列情况之一者，应进行型式检验：

a） 新产品试制、定型或鉴定；

b） 转产生产的首制产品；

c） 因产品结构、材料或工艺有较大改变，且可能影响低压天然气喷射阀性能；

d） 产品停产后恢复生产。

6.2.2 检验项目

低压天然气喷射阀型式检验和出厂检验项目及顺序按表 5 的规定。

表5 检验项目和顺序

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	要求章节号	检验方法章节号
1	接口	●	●	4.1	5.2
2	密封性	●	●	4.2	5.4
3	内部泄漏量	●	●	4.2	5.5
4	耐压性	●	—	4.3.1	5.3
5	最大工作压差	●	●	4.3.2	5.2
6	回火压差试验	●	—	4.3.3	5.6
7	全开流量	●	●	4.4	5.7
8	平均单次喷射量重复性	●	—	4.5	5.8.2
9	平均单次喷射量一致性	●	—	4.6	5.8.3
10	响应时间	●	●	4.7	5.9
11	可靠性	●	—	4.8	5.10
12	环境适应性	●	—	4.9	5.11
13	外观质量	●	●	4.10	5.12
注：●必检项目；—不检项目。					

6.2.3 检验样品数量

提交型式检验的低压天然气喷射阀样品数量可按与用户商定的有关技术文件的规定进行。

6.2.4 判定规则

对首套低压天然气喷射阀进行型式检验。型式检验的项目全部符合要求时判为型式检验合格。若有一项不符合要求，则判定型式检验不合格。

6.3 出厂检验

6.3.1 检验项目

低压天然气喷射阀的出厂检验项目及顺序见表 5。

6.3.2 检验样品数量

低压天然气喷射阀的密封性、内部泄漏量、全开流量、外观质量应逐件检验；接口、最大工作压差、平均单次喷射量一致性应作抽样检验。同工艺、同材料连续生产的天然气喷射阀视为一批，抽样数量取批量的 5%，抽样数量不足 5 个，则应取 5 个。

6.3.3 出厂试验

每套低压天然气喷射阀出厂前均应进行总成出厂检验。出厂检验的项目全部符合要求时判定该产品出厂检验合格。否则，判定该产品出厂检验不合格。

喷射阀产品出现以下情况重新进行出厂检验：

a）间隔 1 年以上未使用的喷射阀；

b）使用中出现异常的喷射阀。

7 标志、包装、运输及贮存

7.1 标志

每套低压天然气喷射阀在显著部位至少标明以下内容，标志字迹永久清晰：

a）制造厂名（标识）或商标；

b）产品名称、型号或代号；

c）装箱数量和日期；

d）额定电压；

e）额定工作压力；

f）额定压力下的全开流量；

g）其它内容按用户协议标注。

7.2 包装

低压天然气喷射阀发货时，出入口端均应封口，装入衬有防潮材料的紧固包装箱内，保证各部件不受潮、不受机械损伤和化学腐蚀。每个包装箱内都应附有装箱清单、产品合格证及其他相关技术资料。在包装箱外表面应标明：

a）产品名称；

b）产品型号；

c）制造厂的厂标或商标；

d）制造厂名；

e）装箱者的姓名或工号；

f）装箱数量；

g）装箱日期；

h）运输保护标志。

7.3 运输

运输过程中，应对包装箱采取可靠的固定措施、防雨淋和防溅水措施，保证产品在运输中不受潮、不受机械损伤和化学腐蚀。

7.4 贮存

产品应贮存在干燥的仓库，不与酸碱及其它能引起腐蚀的化学药品存放在一起，在正常保管情况下，自出厂之日起一年内不发生锈蚀。