ICS 83.060
CCS G 35

T

团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

氢能密封用氟橡胶材料性能评价方法

Performance evaluation method for fluoroelastomer materials used in hydrogen energy sealing

（征求意见稿）

2026-X-XX 发布 2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 评价原则 2
4.1 科学性 2
4.2 公正性 2
4.3 一致性 2
4.4 全面性 2
4.5 可操作性 2
5 评价指标 2
5.1 外观指标 2
5.2 力学性能指标 2
5.3 密封性能指标 2
5.4 耐热老化性能指标 3
5.5 低温适应性指标 3
5.6 氢环境抗爆性能指标 3
5.7 氢相容性与阻隔性能指标 3
5.8 介质耐受性指标 3
6 试验方法 4
6.1 试样制备与调节 4
6.2 外观试验 4
6.3 力学性能试验 4
6.4 密封性能试验 4
6.5 耐热老化性能试验 4
6.6 低温适应性试验 5
6.7 氢环境抗爆性能试验 5
6.8 氢相容性与阻隔性能试验 5
6.9 介质耐受性试验 5
7 取值规则 5
7.1 指标权重确认 6
7.2 评价等级划分 6
7.3 总指标分值计算 7
8 评价结果 7
8.1 评价结果判定 7
8.2 评价结果的适用 8
9 评价报告 8
9.1 报告内容 8
9.2 报告有效期 8

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

氢能密封用氟橡胶材料性能评价方法

1 范围

本文件规定了氢能密封用氟橡胶材料性能评价的评价原则、评价指标、试验方法、取值规则、评价结果和评价报告。

本文件适用于氢能制取、储存、输送及加注系统中用于静密封和低速动态密封的氟橡胶材料及制品的性能评价。

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 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 529 硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定（裤形、直角形和新月形试样）

GB/T 1682 硫化橡胶 低温脆性的测定 单试样法

GB/T 1690 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法

GB/T 2941 橡胶 物理试验方法试样制备和调节通用程序

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 7755.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 透气性的测定 第1部分：压差法

GB/T 7758 硫化橡胶 低温性能的测定 温度回缩程序（TR 试验）

GB/T 7759.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第1部分：在常温及高温条件下

GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语

GB/T 34903.2 石油、石化与天然气工业 与油气开采相关介质接触的非金属材料 第2部分：弹性体

GB/T 39693.4 硫化橡胶或热塑性橡胶 硬度的测定 第4部分：用邵氏硬度计法（邵尔硬度）测定压入硬度

3 术语和定义

GB/T 24499界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氟橡胶材料 fluoroelastomer material

以含氟单体共聚物为基体，经配合、混炼和硫化后形成的弹性体材料。

3.2

快速气体减压 rapid gas decompression；RGD

聚合物材料在高压气体环境中达到气体饱和后，环境压力在短时间内急剧降低，导致溶解于材料内部的气体迅速膨胀，进而引发材料内部空穴、鼓泡、开裂或碎裂的损伤过程。

3.3

氢渗透系数 hydrogen permeability coefficient

在单位压差和单位时间内，氢气通过单位面积和单位厚度试样的量，以 $cm^3 \cdot mm/(cm^2 \cdot s \cdot Pa)$ 表示（标准状态下）。

4 评价原则

4.1 科学性

评价指标依据氢能装备密封失效机理和氟橡胶材料特性设定，试验方法采用现行国家标准或国际通用方法，数据处理符合统计学要求，确保评价结果客观、准确、可追溯。

4.2 公正性

评价活动由独立于生产方和使用方的第三方机构实施，评价人员与被评材料无利益关联，评价流程、原始数据和判定结论公开透明。

4.3 一致性

同一批次样品在不同时间、不同实验室按本文件评价时，试样制备、试验条件和判定规则应保持统一，确保结果可重复、可对比。

4.4 全面性

评价指标覆盖力学性能、密封性能、耐热老化性能、低温适应性、氢环境抗爆性能、氢相容性与阻隔性能、介质耐受性七个方面，涵盖氢气服役全过程中的主要失效模式，无关键性能遗漏。

4.5 可操作性

试验设备应为通用定型产品且处于检定合格有效期内，试样规格统一，指标限值量化明确，单一样品完整评价周期宜控制在 30 d 以内。

5 评价指标

5.1 外观指标

制品表面应光滑、色泽均匀，不应有气泡、裂纹、杂质、机械损伤及欠硫或过硫引起的缺陷。模压制品分型面处的飞边应修整平整，修边损伤深度不应超过 0.10 mm。

5.2 力学性能指标

力学性能指标应符合表 1 的规定。

表1 力学性能评价指标

序号	评价指标	指标要求
1	邵氏 A 硬度（HA）	75～90
2	拉伸强度（MPa）	≥12.0
3	扯断伸长率（%）	≥200
4	撕裂强度（直角形，kN/m）	≥22

5.3 密封性能指标

密封性能评价指标及要求见表2。

表2 密封性能评价指标

序号	评价指标	指标要求
1	压缩永久变形（200℃×24h，压缩率 25%，%）	≤22
2	压缩永久变形（150℃×70h，压缩率 25%，%）	≤15

序号	评价指标	指标要求
3	回弹弹性（23℃，%）	≥25
4	压缩应力松弛率（200℃×24h，压缩率 25%，%）	≤25

5.4 耐热老化性能指标

耐热老化性能评价指标及要求见表3。

表3 耐热老化性能评价指标

序号	评价指标（200℃×70h）	指标要求
1	拉伸强度变化率（%）	≤±20
2	扯断伸长率变化率（%）	≤±25
3	邵氏 A 硬度变化（HA）	≤±10

5.5 低温适应性指标

低温适应性评价指标及要求见表4。

表4 低温适应性评价指标

序号	评价指标	指标要求
1	脆性温度（℃）	≤-40
2	低温回缩温度 TR10（℃）	≤-20

5.6 氢环境抗爆性能指标

氢环境抗爆性能评价指标及要求见表5。

表5 氢环境抗爆性能评价指标

序号	评价指标（60℃、35MPa、保压 24h）	指标要求
1	快速气体减压损伤评级（级）	0～3
2	氢暴露后拉伸强度保持率（%）	≥75
3	氢暴露后扯断伸长率保持率（%）	≥70

5.7 氢相容性与阻隔性能指标

氢相容性与阻隔性能评价指标及要求见表6。

表6 氢相容性与阻隔性能评价指标

序号	评价指标（60℃、35MPa、168h）	指标要求
1	体积变化率（%）	≤15
2	质量变化率（%）	≤2.0
3	氢渗透系数〔$cm^3 \cdot mm/(cm^2 \cdot s \cdot Pa)$〕	≤1.0×10-7

5.8 介质耐受性指标

介质耐受性评价指标及要求见表7。

表7 介质耐受性评价指标

序号	评价指标（23℃×168h）	指标要求
1	蒸馏水浸泡体积变化率（%）	≤8
2	氧气饱和蒸馏水浸泡体积变化率（%）	≤8
3	润滑油蒸气冷凝液浸泡体积变化率（%）	≤10
4	浸泡后拉伸强度保持率（%）	≥80

6 试验方法

6.1 试样制备与调节

除另有规定外，试样应按 GB/T 2941 进行制备和调节。硫化橡胶试样在硫化后至少放置 16 h 方可进行试验。RGD 试样和氢暴露试样应从同一批胶料、同一硫化条件的试片中截取，试样表面不应有加工痕迹或缺陷。

6.2 外观试验

6.1.1 在照度不低于 300 lx、观察距离 300 mm 的条件下，以矫正视力不低于 1.0 的目视方式逐件检查试样表面，必要时借助 10 倍放大镜。每批抽取 5 件，全部符合要求时判定外观合格。

6.1.2 修边损伤深度采用分度值 0.02 mm 的深度千分尺或读数显微镜测量，每件测量 3 处，以最大值作为该件测定结果。

6.3 力学性能试验

6.3.1 邵氏 A 硬度

按 GB/T 39693.4 测定，采用邵氏 A 型硬度计。读数在试样上相距不少于 6 mm 的五个不同位置测量，取中位数。

6.3.2 拉伸强度和扯断伸长率

按 GB/T 528 测定，采用 1 型哑铃试样，拉伸速度（500±50）mm/min。

6.3.3 撕裂强度

按 GB/T 529 测定，采用直角形试样。

6.4 密封性能试验

6.4.1 压缩永久变形

按 GB/T 7759.1 的规定进行，采用 A 型圆柱试样，压缩率为 25%，试验条件分别为 200 ℃×24 h 和 150 ℃×70 h，每组试样不少于 3 个，取算术平均值。

6.4.2 回弹弹性

按 GB/T 1681 的规定进行，采用 A 型圆柱试样，试验温度为 23 ℃±2 ℃，每组试样不少于 3 个，取算术平均值，精确至 1%。

6.4.3 压缩应力松弛率

试验步骤如下：

a）将 A 型圆柱试样置于应力松弛试验装置的恒温腔中，在 23 ℃±2 ℃下压缩至 25%的压缩率，保持 30 min 后记录初始密封应力 F_0；

b）将腔体升温至 200 ℃±2 ℃，保持 24 h，记录试验终了时的密封应力 F_1 ；

c）按式（1）计算压缩应力松弛率：

$$F=\frac{F_0-F_1}{F_0}\times 100\% \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（1）$$

式中：

F——压缩应力松弛率，%；

F_0——初始密封应力，N；

F_1——试验终了密封应力，N。

d）每组试样不少于 3 个，取算术平均值，结果精确至 1%。

6.5 耐热老化性能试验

按 GB/T 3512 进行，老化条件 200 ℃×70 h。老化后按 6.3.2 测定拉伸强度和扯断伸长率，变化率按式（2）计算：

$$\Delta X=\frac{X_1-X_0}{X_0}\times 100\% \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（2）$$

式中：

ΔX——性能变化率；

X_1——老化后的性能测定值；

X_0——老化前同批次试样的性能测定值。

6.6 低温适应性试验

6.6.1 脆性温度

按 GB/T 1682 测定，采用单试样法。

6.6.2 低温回缩温度

应按照 GB/T 7758 的规定进行，取 TR10 值作为低温回缩温度，结果精确至 1 ℃。

6.7 氢环境抗爆性能试验

6.7.1 试验条件

试验应按照 GB/T 34903.2 的规定执行。RGD 试验介质为纯度不低于 99.99%的氢气，试验温度为 60 ℃±3 ℃，初始压力为 35 MPa（设计压力为 70 MPa 的密封件按 70 MPa 进行），保压 24 h，泄压时间不大于 10 s。

6.7.2 损伤评级

泄压后 30 min 内取出试样，沿垂直于试样表面的方向剖切，在 10 倍放大镜下观察截面气泡、裂纹的数量与尺寸，每组试样不少于 3 个，以 3 个试样中最高级别作为该批材料的评级结果，按下列规定评级：

a）0 级：截面无可见气泡与裂纹；

b）1 级：截面出现直径不大于 0.1 mm 的孤立气泡，数量不多于 3 个；

c）2 级：截面气泡直径 0.1 mm～0.5 mm，或气泡数量 4 个～10 个，无裂纹；

d）3 级：截面气泡直径大于 0.5 mm，或出现长度不大于 1 mm 的裂纹；

e）4 级：出现长度 1 mm～3 mm 的裂纹，或气泡密集贯通；

f）5 级：出现长度大于 3 mm 的裂纹、材料碎裂或试样断裂。

6.7.3 氢暴露后性能保持率

试样在 60 ℃±3 ℃、35 MPa 氢气中暴露 168 h 后按 6.7.1 的规定泄压，在标准试验室条件下调节不少于 24 h，按 6.3.2 测定拉伸强度和扯断伸长率，保持率按式（3）计算：

$$R=\frac{X_1}{X_0}\times 100\% \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（3）$$

式中：

R——性能保持率，%；

X_1——氢暴露后的性能测定值；

X_0——氢暴露前同批次试样的性能测定值。

6.8 氢相容性与阻隔性能试验

6.8.1 氢相容性

应按照 GB/T 34903.2 的规定进行，采用方形试样，试验条件为 60 ℃±3 ℃、35 MPa、168 h。泄压后 30 min 内称量试样质量并测定体积，质量变化率和体积变化率分别以暴露前后质量、体积之差与暴露前值之比计算，结果精确至 0.1%。

6.8.2 氢渗透系数

按 GB/T 7755.1 执行。试验温度（60±3）℃，上游氢气压力（3.0±0.1）MPa。试样厚度宜为（1.0±0.1）mm，有效渗透面积不应小于 50 cm²。每个样品应至少测试 3 个平行试样，结果取算术平均值，单值与平均值的偏差不应大于±15%。

6.9 介质耐受性试验

应按照 GB/T 1690 的规定进行，试验液体分别为蒸馏水、氧气饱和蒸馏水和润滑油蒸气冷凝液，试验条件为 23 ℃±2 ℃×168 h。试验后测定体积变化率与拉伸强度保持率，每组试样不少于 3 个，取算术平均值。

7 取值规则

7.1 指标权重确认

各评价指标权重应按照表8执行，同一性能类别内各指标权重之和等于该类别权重，全部指标权重总和为100%。

表8 评价指标权重分配表

序号	性能类别（类别权重）	评价指标	指标权重
1	外观	表面质量	2%
		修边质量	1%
2	力学性能	邵氏 A 硬度	4%
		拉伸强度	5%
		扯断伸长率	3%
		撕裂强度	3%
3	密封功能性能	压缩永久变形（200℃×24h）	7%
		压缩永久变形（150℃×70h）	5%
		回弹弹性	4%
		压缩应力松弛率	4%
4	耐热老化性能	拉伸强度变化率	4%
		扯断伸长率变化率	4%
		邵氏 A 硬度变化	4%
5	低温适应性	脆性温度	5%
		低温回缩温度 TR10	3%
6	氢环境抗爆性能	快速气体减压损伤评级	12%
		氢暴露后拉伸强度保持率	7%
		氢暴露后扯断伸长率保持率	6%
7	氢相容性与阻隔性能	体积变化率	5%
		质量变化率	3%
		氢渗透系数	4%
8	介质耐受性	蒸馏水浸泡体积变化率	2%
		氧气饱和蒸馏水体积变化率	1%
		润滑油冷凝液体积变化率	1%
		浸泡后拉伸强度保持率	1%

7.2 评价等级划分

基于性能评价指标的测试数据，将氢能密封用氟橡胶材料性能评价结果划分为A级、B级、C级、D级四个等级，各指标分级标准见表9。

表9 评价指标分级标准

序号	性能类别	评价指标	A 级	B 级	C 级	D 级
1	外观	表面质量	表面光滑、色泽均匀，无任何缺陷	轻微色差或分型面痕迹，无功能性缺陷	局部气泡≤0.5mm 且不多于 3 处，不影响密封	有裂纹、杂质或贯穿性气泡
		修边质量	修边损伤深度	≤0.10mm	≤0.15mm	>0.15mm 或

序号	性能类别	评价指标	A 级	B 级	C 级	D 级
			≤0.05mm			飞边未修整
2	力学性能	邵氏 A 硬度（HA）	80～85	75～80 或 85～90	70～75 或 90～95	<70 或>95
		拉伸强度（MPa）	≥16.0	≥14.0	≥12.0	<12.0
		扯断伸长率（%）	≥250	≥230	≥200	<200
		撕裂强度（kN/m）	≥30	≥26	≥22	<22
3	密封性能	压缩永久变形（200℃×24h，%）	≤15	≤18	≤22	>22
		压缩永久变形（150℃×70h，%）	≤8	≤11	≤15	>15
		回弹弹性（%）	≥35	≥30	≥25	<25
		压缩应力松弛率（%）	≤15	≤20	≤25	>25
4	耐热老化性能	拉伸强度变化率（%）	≤±10	≤±15	≤±20	>±20
		扯断伸长率变化率（%）	≤±15	≤±20	≤±25	>±25
		邵氏 A 硬度变化（HA）	≤±5	≤±8	≤±10	>±10
5	低温适应性	脆性温度（℃）	≤-50	≤-45	≤-40	>-40
		低温回缩温度 TR10（℃）	≤-30	≤-25	≤-20	>-20
6	氢环境抗爆性能	快速气体减压损伤评级（级）	0～1	2	3	≥4
		氢暴露后拉伸强度保持率（%）	≥90	≥82	≥75	<75
		氢暴露后扯断伸长率保持率（%）	≥85	≥78	≥70	<70
7	氢相容性与阻隔性能	体积变化率（%）	≤5	≤10	≤15	>15
		质量变化率（%）	≤0.5	≤1.0	≤2.0	>2.0
		氢渗透系数〔cm^3·mm/(cm^2·s·Pa)〕	≤1.0×10^{-8}	≤3.0×10^{-8}	≤1.0×10^{-7}	>1.0×10^{-7}
8	介质耐受性	蒸馏水浸泡体积变化率（%）	≤3	≤5	≤8	>8
		氧气饱和蒸馏水体积变化率（%）	≤3	≤5	≤8	>8
		润滑油冷凝液体积变化率（%）	≤5	≤8	≤10	>10
		浸泡后拉伸强度保持率（%）	≥90	≥85	≥80	<80

7.3 总指标分值计算

氟橡胶材料性能总指标得分通过各指标得分加权计算，具体步骤如下：

a）指标得分确定：根据表9中各指标的实测结果对应等级确定得分，A级得100分，B级得80分，C级得60分，低于C级要求得0分；

b）加权得分计算：各指标加权得分＝指标得分×该指标权重；

c）总得分计算：总得分＝Σ各指标加权得分，精确至1分；

d）缺项处理：因评价范围不涉及而未测的指标，其权重按同类其余指标权重的比例分配，调整后总权重仍为100%；因试样数量不足造成的缺项不得按缺项处理，应判定为评价不成立。

8 评价结果

8.1 评价结果判定

根据总得分将氢能密封用氟橡胶材料性能划分为以下4个等级：

a）A级：总得分≥90分；

b）B级：总得分80～89分；

c）C级：总得分60～79分；

d）D级：总得分＜60分。

8.2 评价结果的适用

不同等级氟橡胶材料的适用范围应满足以下要求：

a）A级：性能全面优异，适用于公称压力70 MPa及以上储氢瓶阀、加氢枪、高压氢压缩机及液氢汽化系统的动密封部位，要求高抗爆性与低渗透性的场景；

b）B级：性能均衡可靠，适用于公称压力35 MPa级车载储氢气瓶阀、管路接头、减压阀等承压密封部位，满足常规氢能装备使用要求；

c）C级：性能基本达标，适用于公称压力不大于10 MPa的氢气管路、静态密封及非承压部位的密封；

d）D级：性能存在缺陷或安全隐患，不应使用于氢气介质密封部位，应返回生产企业改进配方与工艺后重新评价。

9 评价报告

9.1 报告内容

实施评价的机构应根据检测及数据处理结果形成评价报告，内容包括但不限于：

a）评价基本信息（目的、范围、准则、日期地点、委托方、样品名称与批号）；

b）实施信息（机构及人员资质、设备检定情况、氢气纯度与供气方式）；

c）过程信息（试样制备与调节、检测环境、试验条件、数据处理方法）；

d）结果信息（各指标实测值、对应等级与得分、总得分及评价等级）；

e）支持材料（原始记录、检定证书、损伤评级照片等）。

9.2 报告有效期

报告经技术负责人审核、质量负责人批准，由评价机构签发并加盖检验章。报告有效期宜为1年，一式三份，分送委托方、生产企业及机构存档（存档期不少于3年）。委托方公开报告内容前，应取得机构的书面确认。

T/CEATEC XXX—XXXX

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
XXXXXXXXXXXXXXXXXXX
T/CEATEC XXXX－XXXX
*
中国欧洲经济技术合作协会
网址 https://www.ceatec.org.cn/
*
开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 XXX 千字
2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷
*
如有印装差错 由中国欧洲经济技术合作协会调换
版权专有 侵权必究
举报电话：010-64516951