

团体标准  
《橡胶表面碳薄膜制备及评价方法》  
编制说明

2022 年 11 月

# 《橡胶表面碳薄膜制备及评价方法》

## 编制说明

### 一、工作简况

#### （一）任务来源

当前，我国尚无“橡胶表面碳薄膜制备及评价方法”，国内各橡胶密封体使用、生产和销售企业、科研院所和高效形成合力编制的、适用于中国橡胶动密封系统需求的“规范”，有利于从而解决目前面临的共性问题，“规范”侧重橡胶表面碳薄膜制备及评价方法，对与碳薄膜进行分类描述，规范了测试方法和参考标准，体现“规范”的实用性。在大家合力、决心完善橡胶表面低摩擦碳薄膜薄膜应用技术条件的编制思路下，该技术文件将促进动密封系统低摩擦事业取得的进步、利于产业相关技术经验的积累与传承，推动我国动密封技术的持续发展。

本标准是基于中国科学院兰州化学物理研究所等科研院所、高校和企业的基础、应用研究和应用评估等成果。

密封系统作为液压伺服机构的重要结构单元，其密封圈磨损失效是导致液压伺服机构渗漏油的最重要因素。密封圈装入不锈钢密封槽后，受到高压介质挤压变形并在与不锈钢槽壁接触面部位形成压力（形变越大压力越大）。一旦密封圈形变部位磨损，压力不能完整建立，高压油液便会从受损部位渗漏。我国长五、长六及目前正在预研的重型运载火箭配套伺服机构均使用航天煤油作为工作介质，工作时油液由箭上煤油增压后直接输送使用，航天煤油因粘度低、润湿性差，在动密封摩擦副界面难以形成油膜；同时，高压氮气端密封圈处于干摩擦，容易引起密封件形变部位快速磨损，从而导致煤油泄漏甚至是伺服机构失效，影响火箭运行安全。因此，我国航天工业急需解决密封材料磨损难题并发展高可靠技术。

碳薄膜薄膜是现有固体润滑薄膜中摩擦系数和磨损率最低的薄膜之一。在国家自然科学基金重点项目及国际合作与交流项目、甘肃省科技支撑等的持续支持下，中国科学院兰州化学物理研究所历经数年产学研联合攻关，取得了在橡胶表面沉积高结合、强韧性 DLC 薄膜，实现其在航空煤油、高压氮气工作介质中的连续稳定运行，则可以解决伺服机构密封件的磨损问题，显著延长其服役寿命，满足航天系统的可靠在轨运行。本技术文件规范“橡胶表面低摩擦碳薄膜薄膜技术条件”旨在提高我国动密封制造企业及相关配套企业的技术水平和竞争力，指导橡

胶研发、应用，提高我国动密封技术水平和行业竞争力。

## （二）起草单位

本标准起草单位有中国科学院兰州化学物理研究所、松山湖材料实验室等离子体放电团队、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、福州大学、广东工业大学、烟台润蚨祥油封有限公司、上海新弧源涂层技术有限公司。

主要起草人有张 斌、田修波、王永欣、任志英、谭桂斌、张俊彦、杜 杰、冯利民、白常宁、强 力、苏宝滕、高凯雄。

## （三）主要工作过程

### 1、起草阶段

经过前期充分的调研与文献查阅，在参考国际和国内密封件相关技术标准的基础上，中国科学院兰州化学物理研究所牵头就本标准的可行性分析与立项问题进行了充分讨论，于 2022 年 3 月成立标准起草小组，向中国国际科技促进会递交材料，提出立项申请并顺利立项。随后启动标准草案编制工作。

9 月 28 日召开标准制定初次启动会，中国科学院兰州物理研究所张斌研究员、松山湖材料实验室田修波教授、中国科学院宁波材料技术与工程研究所王永欣研究员、福州大学任志英教授、广东工业大学谭桂斌副教授、烟台润蚨祥油封有限公司杜杰总经理、上海新弧源涂层技术有限公司冯利民总经理等主要起草单位起草人参加会议并讨论。会议张斌研究员对本标准的任务来源、技术内容、编制说明等进行了简要介绍，各起草人对本标准的内容逐字逐句地进行了积极热烈的讨论，对术语和定义、橡胶类型、规格尺寸、要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输、贮存等相关内容进行修改补充。各工作组成员重点讨论了柔性基体表面硬质涂层的硬度测量方法、碳薄膜薄膜术定义进行规范、以及判定膜基结合力的方法等。针对碳薄膜改性橡胶动密封件的应用环境和法向载荷进行了进一步限定：室温大气环境湿度不大于 40% RH，低温环境限定为液氧，干燥气氛可为氮气、氩气、二氧化碳等，通过膜厚限定了法向载荷取值范围。会后结合各项意见，形成标准草案。

### 2、征求意见阶段

11 月 7 日，为进一步完善标准技术内容，标准编制小组组织召开二次启动会议，对一次会的修改成果及新增内容进行研讨，修改后形成征求意见稿，于 11 月由中国国际科技促进会提交全国标准信息平台进行公开征求意见。

3、审查阶段

4、报批阶段

## 二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

### （一）标准的编写原则

#### 1、通用性原则

本标准提出的橡胶表面碳薄膜制备及评价方法不仅适用于各类动密封零部件，包括丁腈橡胶、氢化丁腈橡胶、氟橡胶、硅橡胶等表面碳薄膜薄膜等的质量、性能检测、工艺验证等，也适用于相似环境下的零部件表面碳薄膜薄膜，通用性高。

#### 2、指导性原则

本标准提出的橡胶表面碳薄膜制备及评价方法能为碳薄膜薄膜在柔性基体表面制备和应用提供指导作用。目前没有碳薄膜薄膜在橡胶表面上应用相关技术规范。

#### 3、协调性原则

本标准提出的技术条件与目前使用的国家标准中的方法协调统一、互不交叉。仅作为一种更便捷、精确度更高、更高效的方法对目前使用的方法进行补充。

#### 4、兼容性原则

本标准提出的低摩擦碳薄膜薄膜技术条件充分考虑了动密封系统所用到的橡胶材质，具有普遍适用性。

### （二）提出本标准的依据

在标准的编制过程中，对行业相关的技术信息进行了调研，分析主要技术内容，在充分总结和比较了国内外橡胶表面碳薄膜测试方法标准、调研了国内外对碳薄膜薄膜分析的试验方法的基础上，参考了《GB 191 包装储运图示标志》、《GB/T 8264-2008 涂装技术术语》、《GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法划痕法》、《GB/T 38518 柔性薄膜基体上涂层厚度的测量方法》、《ASTM D3359-02 胶带试验测定粘合性的方法 划 X 法》、《ASTM D1894-2011 塑料薄膜和薄板静态和动态摩擦系数的标准试验方法》、《ISO 25178 表面形状面粗糙度的参数》、《GB/T 1031 产品几何技术规范 (GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》、《GB/T 17754 摩擦学术语》、《JB/T 12721 固体材料原位纳米压痕/划痕测试仪 技术规范》、《ISO 18535 碳薄膜薄膜采用球盘法测定碳薄膜薄膜的摩擦和磨损特性》。本标准对橡胶表面碳薄膜制备和性能评价作

了较详细的规定，以确保在动密封系统中可靠性运行。

### （三）制定本标准的基础

编写组主要起草单位中国科学院兰州化学物理研究所具备完整的橡胶表面碳薄膜检测能力。其中就包括该项目中涉及的《ISO 25178.2-2012 表面性状（表面粗糙度测量）》、《GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法》、《GB/T 1031-2009 表面结构轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》等。积累了大量的试验数据，其检测过程及结果得到了众多专家的认可。自项目开展以来，在国际标准、国外先进标准的ASTM D1894-2011 塑料薄膜和薄板静态和动态摩擦系数的标准试验方法进行摩擦系数测定、ASTM D3359-02 胶带试验测定粘合性的方法-划X法进行结合力测定等技术研究上也投入了大量的精力，并取得了阶段性的成果。经过大量的对比技术指标，本标准提出的准确度更高且技术参数更全，本标准具有一定的先进性、通用性、科学性和可操作性。

### （四）实验内容

本标准共分为7章，规定了本标准规定了低摩擦碳薄膜薄膜分类标识、技术要求及试验方法等。内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求和试验方法、试验报告、包装与交付等。

### （五）实际应用效果

无。

## 三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

### （一）主要试验或验证的分析

#### 1、关键技术问题说明

本标准提出的方法首先对碳薄膜薄膜进行分类，根据薄膜①结构：非晶碳/四面体碳/类富勒烯碳②含氢/不含氢③金属掺杂/非金属掺杂等原则分为13类。其次对不同基底表面及不同碳薄膜薄膜进行了技术条件的规范，碳薄膜薄膜在不同基底表面具有低摩擦系数，高纳米硬度。最关键的是，镀膜前对橡胶基体的清洗进行了技术条件的规范。

#### 2、标准主要内容的论据

根据各动密封系统制造商对橡胶表面碳薄膜应用的总结，结合我国目前低摩擦技术的发展情况，本技术文件提出了碳薄膜薄膜的基本分类

和性能参考条件，归纳了橡胶表面碳薄膜制备和测试方法和适用表面等基本技术信息。如在测定摩擦系数时，规定了试验尺寸(长 20 mm×宽 20 mm×厚 2 mm)，摩擦偶件条件 (GCr15 钢球， $66 \geq \text{HRC} \geq 60$ ，直径为  $(6.000 \pm 0.010)$  mm，球面无缺陷、清洁、干燥，钢球与盘的摩擦轨迹的直径  $d$  为 8 mm)、测试条件 (室温大气环境，湿度不大于 40 %RH；法向载荷为 3.00 N，转盘转速为  $(200 \pm 2)$  r/min，即线速度  $(83.73 \pm 0.002)$  m/s；球固定不动。)、测试程序：施加载荷，在 1 min 内将盘转速升至预定值，连续测量并记录摩擦力，当摩擦系数增大至 0.5 时，判为溅射低摩擦碳薄膜薄膜膜层润滑失效，终止摩擦试验；取试验开始后 1 min 内摩擦系数最高值为启动摩擦系数  $d_0$ ；取其稳定段的平均值为稳定段摩擦系数  $d$ ，取低摩擦碳薄膜薄膜溅射膜润滑失效前的累计转数为摩擦寿命。

### 3、标准工作基础

编写组主要起草单位中国科学院兰州化学物理研究所具备完整的橡胶表面碳薄膜检测能力。其中就包括该项目中涉及的《ISO 25178.2-2012 表面性状 (表面粗糙度测量)》、《GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法》、《GB/T 1031-2009 表面结构轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》等。积累了大量的试验数据，其检测过程及结果得到了众多专家的认可。自项目开展以来，在国际标准、国外先进标准的 ASTM D1894-2011 塑料薄膜和薄片静态和动态摩擦系数的标准试验方法进行摩擦系数测定、ASTM D3359-02 胶带试验测定粘合性的方法-划 X 法进行结合力测定等技术研究上也投入了大量的精力，并取得了阶段性的成果。经过大量的对比技术指标，本标准提出的准确度更高且技术参数更全，本标准具有一定的先进性、通用性、科学性和可操作性。

### (二) 预期的经济效益

本技术文件规范“橡胶表面碳薄膜制备及评价方法”旨在提高我国动密封制造企业及相关配套企业的技术水平和竞争力，指导碳薄膜薄膜在发动机领域的研发、应用，提高我国动密封技术水平和行业竞争力。

当前，我国尚无“橡胶表面碳薄膜制备及评价方法”，国内动密封系统生产、设计企业形成合力编制的、适用于动密封市场需求的“规范”，有利于从而解决目前面临的共性问题，“规范”侧重低摩擦碳薄膜薄膜的应用技术条件，规范了测试方法和参考标准，体现“规范”的实用性。在大家合力、决心完善我国橡胶动密封应用技术条件的编制思路下，该技术文件将促进动密封低摩擦事业取得的进步、利于产业相关技术经验的积累与传承，推动我国橡胶动密封技术的持续发展。

### （三）真实性验证

无。

### 四、采用国际标准和国外先进标准的程度

尚无。

### 五、与现行的法律、法规和强制性国家标准的关系

1、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》要求进行编写。

2、参照相关法律、法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

本标准规范性引用文件包括：

GB 191 包装储运图示标志

GB/T 8264-2008 涂装技术术语

GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法

GB/T 38518 柔性薄膜基体上涂层厚度的测量方法

ASTM D3359-02 胶带试验测定粘合性的方法 划 X 法

ASTM D1894-2011 塑料薄膜和薄板静态和动态摩擦系数的标准试验方法

ISO 25178 表面形状面粗糙度的参数

### 六、重大分歧意见的处理经过和依据

尚无。

七、贯彻标准的要求和建议措施（组织实施、技术措施、过渡办法等）

严格按照本标准提出的试验方法对材料的卤素含量进行检测，对试验人员进行理论学习和操作培训，保证检测方法操作的准确性。

### 八、其他应予说明的事项。

无。

### 九、标准中涉及专利的情况说明

无。

标准编制小组

2022年11月