

化工行业标准《自修复涂料》
(征求意见稿)
编制说明

《自修复涂料》标准编制组
二〇二三年十月

（一）工作简况

1 任务来源

2023 年 4 月 17 日，工业和信息化部发文《关于印发 2023 年第一批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科〔2023〕18 号），推荐性化工行业标准《自修复涂料》获得批准立项，项目计划号为 2023-0213T-HG，该标准由全国涂料和颜料标准化技术委员会负责技术归口，卡秀万辉（无锡）高新材料有限公司负责起草工作。要求于 2024 年 4 月完成全部标准制定、所有相关材料的编制、审查工作、报批。

2 制定背景

（1）概述

自诊断、自修复功能的智能材料这一概念是由美国军方在 20 世纪 80 年代中期提出的，并很快成为各国研究的重点。将自修复技术应用于涂料领域，即产生了自修复涂料。自修复涂料是一类新型功能性涂料，具有很高的技术门槛，需要开发者掌握先进的跨领域的学科知识和具有创新的理念。

自修复涂料是高附加值的高技术涂料，其机理可分为修复剂释放、可逆化学反应、物理记忆恢复等，目前发展较快的自修复涂料是基于以上机理的一种或几种进行设计。这些产品能在不使用外加修补材料的情况，对涂料表面和内部的损伤进行一定程度的修复，这对保持涂层的外观和机械强度，消除隐患，延长使用寿命有重要意义。该产品主要于高装饰要求的触摸屏等 3C 产品、汽车外壳和内饰件等表面，以及如风力发电设施、海洋钻井平台等维护维修困难的场合。

国内进行自修复涂料研究和生产的科研院所和企业较多，但高端自修复涂料的核心技术被美国垄断，缺少先进的评价标准也是主要原因之一。制定自修复涂料的行业标准，可以为自修复涂料的配方设计提供科学的依据，有助于推动国内自修复理论研究和核心技术的突破，打破美国的技术垄断。

（2）现状

目前，自修复涂料已经在汽车、手机、卷材等一些领域成功应用，发展速度

超过常规涂料，但没有国家标准和行业标准，相关企标或技术协议中验收方法和技术指标水平较低，不能很好引导行业技术进步。因此，一些企业和科研院所提出制定该产品行业标准，有助于打破国外技术垄断，为国内企业相关产品研发和制造提供可靠依据，同时也为检测机构和市场监管部门提供了可靠的自修复性能核查技术。

（3）目的意义

本标准针对当前国内外缺乏自修复涂料性能有效测试和评价方法的问题，建立一种更加准确有效且可行性高的自修复涂料性能评价方法，满足国内外自修复涂料应用单位对自修复性能评价先进技术方法的诉求。为国内自修复涂料的研究和生产企业提供科学评价的方法手段，促进我国功能性涂料的技术进步。

（4）当前国际水平

美国等发达国家对自修复技术的研究较早，掌握了微胶囊自修复、中空纤维自修复、可逆反应自修复和物理记忆修复等技术。近年来，将多种自修复技术配合使用将成为自修复涂料的发展趋势，通过调控多机制间的有序表达和高效协同，实现了对大尺寸裂纹的反复修复，构建了长效智能涂层体系。

国内，对自修复涂料的研究较晚，主要采用跟随国外先进技术的策略，原创的技术较少。整理水平落后国外较多。

（5）该标准项目没有对应的国际标准或国外先进标准可以采用。

（6）标准体系

目前涂料和颜料领域归口的现有标准 517 项（推荐性），其中国家标准 328 项，其结构为基础通用标准 17 项、产品标准 58 项、方法标准 207 项、管理标准 46 项；行业标准 189 项，其结构为基础通用标准 2 项、产品标准 153 项、方法标准 34 项、管理标准 0 项。

在研标准：国家标准 3 项、行业标准 7 项。

涂料领域受工信部委托起草的强制性国家标准 8 项。

目前，国内还没有自修复涂料的相关标准。该标准项目在涂料标准体系中属于功能性涂料产品标准，体系编号为 01-005-01-02-02-03。

3 起草过程

(a) 起草阶段（2023.5～2023.8）

在接到上级主管部门的标准项目批准文件后，标准主要起草单位立即开始了标准制定的前期准备工作。为使制定的标准能充分体现出产品的特性，由卡秀万辉（无锡）高新材料有限公司牵头，国恒信（常州）检测认证技术有限公司组织行业内专家对自修复涂料用户对产品的性能项目和试验方法等要求进行了调研，了解了国内外防指纹涂料相关生产企业的产品类型、生产状况以及产品技术水平和质量状况等，搜集了现有的试验方法和试验数据等，查阅了国内外自修复涂料相关技术资料，编写了标准草案。同时，积极与部分有代表性的企业联系，并邀请其共同参加标准制定工作，得到了许多企业的积极响应和大力支持，成立了由卡秀万辉（无锡）高新材料有限公司、中海油常州涂料化工研究院有限公司、国恒信（常州）检测认证技术有限公司、广东邦固化学科技有限公司、中铁宝桥（扬州）有限公司、成都虹润制漆有限公司、浙江亘元涂料科技有限公司、浙江金质丽化工有限公司、浙江东氩漆业有限公司、欧利生东邦涂料（东莞）有限公司、广东嘉元新材料有限公司、双乐颜料股份有限公司、浙江大学等多家单位组成的标准制定工作组。

(b) 分工情况

经过协商，中海油常州涂料化工研究院有限公司主要负责标准文稿和相关资料的起草编写及测试方法开发工作等任务，同时主要承担验证试验样品的收集与配置、验证试验同时参与各阶段标准材料的编写、审核和把关；其他各参编单位积极配合主编单位参与标准讨论（包括试验项目设置、试验方法和技术指标的确定等）、提供验证试验样品并参与验证试验工作等。工作组成员为陈肖博、曹旭、薛萌、穆长春、江拥、张和明、郑新凯、刘权、朱本武、张定德、毛顺明、任华、纪威等，其中陈肖博主要负责标准编制、组织讨论会议、组织验证试验等工作，曹旭、薛萌、穆长春、江拥、张和明、郑新凯、刘权、朱本武、张定德、毛顺明、任华、纪威等负责组织会议、组织验证试验等工作。

(c) 调查研究过程（现状、重点问题、难点问题、解决方案）

自修复涂料领域，目前国内外模拟产生划痕的技术路线主要有：1) 铜刷法，优点是操作简便，在车衣行业应用较广，缺点是无法保证铜刷材质和刷毛规格的一致性，易产生误差；2) 划痕仪法，可以规定合适的划针和负荷等试验条件，操作简便，但目前并不普及，只有个别生产商采用；3) 弹簧笔法，可以规定合适的笔头和弹簧压力等试验条件，操作简便，但目前并不普及，只有个别生产商采用。4) 铅笔法，只有个别生产商采用，操作较繁琐，应用较少。目前业内缺乏以评级方式表征自修复性能的方法。

表征自修复涂料的自修复性能是本标准的重点和难点。目前自修复涂料主要用于车辆车身和内饰件、触摸屏等电子产品、冰箱等电器产品、家具等家居产品等表面或其保护膜（壳）表面，主要起外观自修复作用。根据自修复时间可分为三类：I 型，在符合 GB/T 9278 的环境或商定条件下，在 $\leq 60\text{s}$ 的时间内可自修复的涂料；II 型：在符合 GB/T 9278 的环境或商定条件下，在 $> 60\text{s}$ 及 $\leq 600\text{s}$ 的时间内可自修复的涂料；III 型：在符合 GB/T 9278 的环境或商定条件下，在 $> 600\text{s}$ 的时间内可自修复的涂料。

I 型自修复涂料主要用于电子产品、车辆车身和内饰件等对外观装饰性要求较高的产品表面，因此对于自修复时间和效果有较高要求，并且基本上属于常温自修复涂料。

II 型和 III 型自修复涂料对自修复时间要求不高，并且可以通过加热等方式缩短自修复时间或提高自修复效果，主要用于对外观装饰性要求相对不高，但在日常生活中经常接触到的场合，如家具、家电表面自修复涂料等。

(d) 验证过程

验证单位：

由国恒信（常州）检测认证技术有限公司/国家涂料质量检验检测中心负责验证试验工作，由相关涂料企业提供验证试验样品。

准备验证（试验）内容：

2023 年 6 月到 10 月，共收集了 4 个生产厂家提供的有代表性的样品 9 个，包括国内外代表性产品。对每个样品，由国恒信（常州）检测认证技术有限公司

/国家涂料质量检验检测中心完成划痕仪法、弹簧笔法和铅笔法自修复性能验证试验工作，部分样品由卡秀万辉（无锡）高新材料有限公司完成铜刷法自修复性能验证试验工作。

验证（试验数据分析）:

按照文本规定的测试方法进行了验证试验，通过对试验数据的分析，确定各项目的技术指标。

样品自修复性能（划痕仪法）

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
划针 A, 200 g	60s, 3 级	60s, 2 级	30s, 0 级	30s, 0 级	60s, 0 级	60s, 1 级	60s, 1 级	30s, 0 级	60s, 0 级
划针 A, 300 g	60s, 4 级	60s, 3 级	60s, 1 级	30s, 0 级	60s, 0 级	60s, 3 级	60s, 2 级	30s, 0 级	60s, 1 级
划针 A, 400 g	60s, 4 级	60s, 5 级	60s, 2 级	30s, 0 级	60s, 3 级	60s, 5 级	60s, 5 级	60s, 2 级	60s, 2 级
划针 A, 500 g	60s, 5 级	—	60s, 4 级	30s, 0 级	60s, 4 级	—	—	60s, 3 级	60s, 2 级

注：试验在符合 GB/T 9278 规定的环境中进行。

样品自修复性能（弹簧笔法）

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.75 mm, 1 N	60s, 2 级	60s, 0 级	—	—	60s, 2 级	60s, 3 级	60s, 3 级	60s, 3 级	60s, 0 级
0.75 mm, 2 N	60s, 3 级	60s, 3 级	30s, 0 级	30s, 0 级	60s, 4 级	60s, 4 级	60s, 3 级	60s, 3 级	60s, 2 级
0.75 mm, 3 N	60s, 4 级	60s, 4 级	60s, 2 级	60s, 3 级	60s, 5 级	60s, 5 级	60s, 5 级	60s, 4 级	60s, 3 级

注：试验在符合 GB/T 9278 规定的环境中进行。

样品自修复性能（铜刷法）

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
200 g, 40 次每 分钟, 刷 50 次, 80℃水浴	30s, 0 级	30s, 0 级	30s, 0 级	—	—	—	—	—	—
200 g, 40 次每 分钟, 刷 50 次	60s, 4 级	60s, 4 级	60s, 3 级	60s, 4 级	60s, 4 级	60s, 4 级	60s, 4 级	60s, 5 级	60s, 3 级
300 g, 40 次每 分钟, 刷 50 次	—	—	60s, 4 级	—	—	—	—	—	60s, 4 级
500 g, 40 次每 分钟, 刷 50 次	—	—	60s, 4 级	—	—	—	—	—	60s, 5 级
注：除特别说明外，试验均在符合 GB/T 9278 规定的环境中进行。									

样品自修复性能（铅笔法）

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
实验结果	6B 擦伤	6B 擦伤	6B, 60s, 4 级	2B, 60s, 2 级	6B 擦伤	6B 擦伤	6B 擦伤	6B 擦伤	4B, 60s, 3 级
注：除特别说明外，试验均在符合 GB/T 9278 规定的环境中进行。									

通过验证试验数据分析发现，自修复性能与选择的产生划痕方法和自修复条件密切相关。同一个样品处于符合 GB/T 9278 规定的环境中时，不同的划痕方法自修复效果差异明显，因此对于自修复涂料的分类，须注明产生划痕的方法和相应的自修复条件，以便于客户进行判断和选择。

对于工作组讨论稿中拟采用的指甲法，由于不同检测人员的主观判断差异和指甲截面状态的不同，实验结果偏差较大，只建议在现场检测时有选择的使用；而拟采用的刀片法，由于目前行业内的自修复涂料产品普遍硬度较低，刀片极易产生破坏性的划痕，无法进行测试，因此暂不采用。

从划痕仪法和弹簧笔法的试验数据可以看出，不同的负荷和弹簧压力对实验结果影响较大，由于漆膜硬度较低，较高的负荷和弹簧压力可能使漆膜发生塑性形变而失去自修复功能，较低的负荷和弹簧压力则无法产生划痕，因此根据验证实验结果，划痕仪法选择划针 A，负荷为 300 g，或弹簧笔法选择 0.75 mm 笔头，弹簧压力为 2 N 时，可有效判断出自修复效果并对产品进行分类。

对于铜刷法，目前由于铜刷头刷毛材质、长度、直径和排列方式等难以实现标准化，并且刷毛的横截面形态、刷毛平直程度等对试验结果也存在较大影响，不同实验室所得试验结果可能存在较大偏差，因此以划痕仪和弹簧笔试验结果为准。从铜刷法的数据可以看出，在符合 GB/T 9278 规定的环境中，所有样品几乎都无法有效修复，同时由于铜刷的刷毛存在长短不齐、横截面不统一，平直程度差异等客观因素，导致部分刷毛将涂层划破、划痕深浅不一等现象，给结果评判带来了困难，同时了解到铜刷法仅适用于软质底材的涂层，如车衣等产品，因此铜刷法只作为参考和商定的产生划痕方法。

铅笔法由于试验过程繁琐应用较少，在实验过程中发现部分漆膜硬度偏低，6B 的铅笔即擦伤，无法进行有效测试，并且采用酒精擦拭划痕会使部分涂层发生失光、轻微溶胀等现象，影响实验结果，因此建议有选择的使用。

（e）工作组讨论稿

通过调研国内外相关用户对自修复涂料的验收要求，结合近年来的检测数据和实际使用经验，初步确定了标准的试验项目、试验方法和指标要求等技术内容，在此基础上于 2023 年 6 月完成了工作组讨论稿。

2023 年 6 月 28 日涂料标委会组织召开了第一次工作组成员会议，共有来自 18 家企业的 18 名代表参加工作组会议。会议讨论了《自修复涂料》标准草案，确定了标准范围、性能要求、试验方法、检验规则和部分项目的验证试验安排等。通过与会专家充分讨论，会上对如下主要问题达成一致意见：1）对自修复涂料的分类，根据自修复效果分为三大类；2）确定了自修复效果评价方法；3）讨论确定了一系列产生划痕的方法；4）会后，收集自修复涂料的客户对于自修复性能测试的要求，根据这些要求进行验证试验。

（二）标准编制原则、主要内容及其确定依据，修订标准时，还包括修订前后技术内容的对比

1 标准编制原则（总体原则、特殊性原则）

（1）总体原则

根据国内外自修复涂料的技术水平和实际需要，参考涂料生产企业的企业标准和技术规范，以验证试验为依据，制定出反映目前我国自修复涂料主流产品的技术要求、质量状况、以及便于实际操作的行业产品标准。

本标准参考了目前行业内普遍采用的测试方法，开发了针对自修复涂料产品的自修复性能表征方法，有选择性参考其他行业的试验方法。

（2）特殊性原则

考虑自修复涂料目前主要应用于车辆车身和内饰件、触摸屏等电子产品、冰箱等电器产品、家具等家居产品等表面或其保护膜（壳）表面，主要起外观自修复作用，因此在项目设置的时候设置了自修复试验项目，其他质量性能则符合相关产品标准要求，体现标准的合理性、先进性。

2 主要内容及其确定依据（确定指标的制定依据、量值的确定过程、验证情况）

（1）范围

标准制定工作组前期根据调研情况，目前市场中自修复涂料主要用于车辆内外饰、电子电器、家电、家具等产品表面，经过工作组会议讨论确定该标准的范围。

本文件适用于自修复涂料。该产品主要用于车辆车身和内饰件、触摸屏等电子产品、冰箱等电器产品、家具等家居产品等表面或其保护膜（壳）表面，主要起外观自修复作用。

（2）分类

经过标准制定工作组讨论，大家认为按自修复时间的分类方式，标准结构最简洁，因此本标准分类如下：

根据自修复涂料的自修复时间分为三类：Ⅰ型，在符合 GB/T 9278 的环境或商定条件下，在≤60s 的时间内可自修复的涂料；Ⅱ型：在符合 GB/T 9278 的环

境或商定条件下，在>60s 及≤600s 的时间内可自修复的涂料；III型：在符合 GB/T 9278 的环境或商定条件下，在>600s 的时间内可自修复的涂料。

(3) 试验项目

本标准的项目设置根据目前自修复涂料实际的使用情况，确定了分类和适用范围，考虑了产品的本身特性及实际应用中需要关注的性能。并根据产品分类和用途，设置了试验项目，具体项目设置原因分析见下表。

检验项目	引用标准	设置原因
自修复效果	—	考察涂料自修复性能

(4) 试验方法

制板要求：归纳总结国内主要自修复涂料企业的涂装方法，确定了制板要求。

试验方法：尽量选用国内或国外普遍采用的试验方法，结合国内行业上常用的试验方法，确定了标准中各项目的测试方法。特殊试验方法确定如下：

- ① 铜刷法：车衣行业普遍采用往复式磨耗仪安装铜刷，模拟实际生活中树枝、草叶、织物等在涂层表面摩擦产生的无序划痕，但由于铜刷规格不统一，造成模拟划痕的程度不同，导致自修复效果受到影响，因此需要规定铜刷的规格和刷毛材质等。对于需要采用特殊规格的铜刷，则需有关方商定确认。铜刷法目前只适用于软质底材产品，对于硬质底材产品的试验效果不佳。因此建议铜刷法作为参考和商定的产生划痕方法。
- ② 划痕仪法、弹簧笔法：考虑到自修复涂料的使用特性，参考其他行业试验方法，并融合产品实际使用过程中的工况条件，开发了一系列模拟划痕方法，如划痕仪法、弹簧笔法等对涂层表面施加模拟划痕，对样品的自修复性能进行表征。验证试验结果表面这两种方法可有效判断出自修复效果并对产品进行分类。
- ③ 铅笔法：目前业内少数厂家采用，适用于漆膜硬度相对较高的产品，缺点是试验过程繁琐，需选择刚好未擦伤漆膜的铅笔硬度等级，对于部分硬度偏低的产品，6B 硬度的铅笔即产生擦伤，该方法基本不适用。部分产品由于漆膜交联程度低，酒精擦拭后会出现失光、轻微溶胀等现象，影响实验结果。因

此建议有选择的使用。

(5) 指标

本标准中常用的技术指标通过讨论并通过验证试验获得。详见“(二) 主要工作过程”中“验证评价”内容。

(三) 试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

1 试验验证的分析和综述报告（对重要步骤的分析）

本标准项目设置为自修复性能，并在资料性附录中提供了不同种类自修复涂料的质量性能要求以供参考，充分考虑了自修复涂料的通用性能和产品的应用领域需求的项目，以及产品的特性，可对产品进行全方位的质量把控，体现了项目设置的科学性和先进性。

标准所采用的自修复性能试验方法为行业内普遍采用的试验方法，经过实际验证，具备科学性和适用性，并已经在生产企业及其用户日常质量控制中得到广泛应用并获得一致认可，具有良好的可操作性。

对于自修复性能，目前国内车衣行业主要采用的产生划痕方法为铜刷法，其他领域多采用弹簧笔法和铅笔法。本标准根据自修复涂料的实际应用领域，将划痕仪法引入产生划痕方法，取得良好的效果。划痕仪可根据自修复涂层的特性，选择不同的划针和负荷，产生的划痕明显，通过验证实验证明可明显区分出不同自修复涂料的自修复性能，试验重复性好，该测试方法在自修复涂料领域属于国内外首创，整体达到国内先进水平。

该标准对国内外代表性产品进行验证测试，结果表明国内外样品的性能水平大致相似，因此本标准在指标的确定上也做到了与国际接轨，体现了指标确定的先进性。

2 技术经济论证（调查研究）

该标准可为自修复涂料的生产提供可靠的性能测试方法，有效降低了生产和研发的成本，提高了国内相关涂料产品的市场竞争力，同时为用户提供了有效的自修复性能验收方法，对于净化市场环境，淘汰劣质产品，提高产品技术水平和

促进产业升级具有积极意义。

3 预期的经济效益、社会效益和生态效益

(1) 产业化情况:

制定标准是一项公益性事业,本标准的制定会进一步促进自修复涂料行业的技术进步,引导涂料生产企业的健康有序发展。本标准的制定可供各涂料用户、生产厂家和检验机构参考和使用。因此,本标准的顺利实施将为涂料生产企业及各级各类用户提供产品质量的考察依据,规范和促进此类涂料行业的发展。其价值主要体现在社会效益上。

(2) 推广应用论证:

近年来,国内自修复涂料的应用领域在快速增长,生产销售规模也在快速增长。本标准的颁布实施,将为产品生产企业、用户、检测机构提供共同遵守的技术依据,有利于提高产品质量,促进企业的技术进步,提高市场份额,具有很好的推广应用前景。

(四) 与国际、国外同类标准技术内容的对比情况,或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

1 与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

(1) 一致性程度

国内外尚未查询到相关的适用于本标准范围所涵盖自修复涂料产品的标准可供参考。

(2) 标准水平

本标准创新性研究开发了适用于不同机理的自修复涂料产品的自修复性能表征方法,该方法能客观反映自修复涂料在不同使用场合的自修复性能,解决了行业中现有方法误差较大的难题。本标准的制定能为自修复涂料的技术配方筛选提供更为有效和可靠的工具,能促进自修复涂料的推广和应用,也有利于不同技术路径的自修复涂料产品的竞争,引导涂料行业向高技术方向发展。本标准能满足当前和至少未来 5 年的自修复涂料的技术和产品发展,整体水平达到国内先进水平。

（3） 对标情况

无。

2 与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

待定。

（五）以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

未查询到相应的国际或国外先进标准，因此本标准未采用国际或国外先进标准。

（六）与有关法律、行政法规及相关标准的关系

1 与现行法律法规、规章协调性

本标准是自修复涂料制订的通用型产品标准，尚未查询到国内外有相关的适用于本标准范围所涵盖的产品的标准，与现行相关的法律、法规、规章及行业相关标准并无矛盾或冲突，对于促进该领域技术进步、引导行业健康有序发展非常必要。

2 与强制性标准的协调性

本标准不涉及有害物质限量的指标。该产品用于汽车内外饰件、汽车玻璃窗时适用于 GB 24409-2020《车辆涂料中有害物质限量》；用于其他领域适用于 GB 30981—2020《工业防护涂料中有害物质限量》。因此本标准与强制性标准是协调一致的。

3 与相关标准协调性

无。

（七）重大分歧意见的处理经过和依据

无。

（八）涉及专利的有关说明

无。

（九）实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等

措施建议

建议在本标准实施前在行业内进行广泛宣贯，让检验机构、涂料生产厂家及时了解标准的最新信息，熟悉检测方法和判定要求，以更好地应用于产品的质量
控制，推动标准的贯彻实施自修复涂料的技术进步，引导自修复涂料的健康发展。

本标准可供各检验机构、用户和生产厂家参考和使用，标准发布后企业需要根据标准要求对涂料配方、工艺等进行适当调整，以更好地满足标准要求，因此
建议本标准批准发布后 6 个月后实施。

（十）其他应当说明的事项（修改标准名称的理由、调整第一起草单位、延迟
标准计划完成时间的理由等）

无。