

风力发电设施防护涂装技术规范》 编制说明

（征求意见稿）

《风力发电设施防护涂装技术规范》标准编制组

2024.12

一、工作简况

（一）任务来源

2024年3月工业和信息化部办公厅“关于印发2024年第一批国家标准制修订和外文版项目计划的通知”，推荐性国家标准《风力发电设施防护涂装技术规范》获得批准立项，项目编号为20240517-T-606，由全国涂料和颜料标准化技术委员会负责归口，由中海油常州涂料化工研究院有限公司负责标准的起草工作，要求于2025年7月完成报批任务。

（二）修定背景

1、概述

气候变化是人类面临的重大挑战。限制全球气温上升，削减碳排放已成为全球共识。“双碳”目标正式被提升至国家战略层面，全面绿色低碳转型成为社会经济发展的主旋律。受益于碳达峰、碳中和成为全球共识，中国和全球风电装机容量的迅速提高，未来新增风电设备涂装需求与维护需求将保持良好发展态势。

“双碳”目标对我国电力结构优化转型提出了新的要求，对于中国来说，新能源在“双碳”目标实现过程中起到核心支撑的引领作用，风电等新能源的占比将得到提升。

近年，我国风电行业迎来快速发展期，装机容量、发电量不断增长。到目前我国已成为全球风电装机量最多的国家。未来新增风电设备涂装需求与维护需求将保持良好发展态势。根据预测数据，在2023年到2030年，中国风电年装机容量将达到70-80GW，将继续保持全球最大的风电市场地位。

未来我国风电产业还将维持较高速发展，因此也将带动涂料需求。根据相关资料估算，随着我国风电累计装机量的快速增长，预计2025年我国风电涂料消费量有望达到10万吨，市场规模约50亿元。从市场竞争趋势来看，我国风电涂料行业的国产化替代效应逐步增强，海上风电涂料核心技术国产化率虽然较低，但未来有很大的发展空间。

2、现状

GB/T 31817-2015《风力发电设施防护涂装技术规范》发布以来，得到了较好的实施，促进了高性能、低污染的风电涂料研究和涂装应用；提升了国产涂料生产企业的竞争力，提高了国产风电涂料的市场份额，缩小了国内外技术差距；为国内风电涂料涂层体系和涂装设计提供了技术依据，延长了风力发电设备的使用寿命。该标准实施后提升了风电涂料生产企业的经济效益，减少了风电设备维修维护时间和成本，产生了较好的社会、生态效益。

但标准实施多年来，随着风电涂料行业技术更新，对涂层体系和涂装、验收等提出了更为科学的新要求，通过多年的实践，我国也已经拥有了一批具有丰富的风电涂料研发、涂装、维修维护等经验的专家，积累了丰富的应用经验和数据，急需对标准中相关内容进行修订及完善。

3、目的意义

该标准是风电设施建造和维修不可缺少的关键技术标准，修订后将会提升我国风电涂料和涂装的质量，提高风电装备制造产业链的竞争力，促进涂料行业在风电涂料领域的关键技术、材料以及基础研究方面取得进一步发展，降低出口贸易成本，为我国保持在该领域的领先作出贡献。修订后其技术指标和试验方法更科学，更好地促进产品的技术进步，使标准能更好地为我国经济高质量发展服务。

4、当前国际水平

我国风电年装机总量已经稳居世界第一，风电也成为中国参与国际竞争的战略性高端绿色装备制造业之一，形成了完整风电装备制造产业链，零部件及整机产量已经占据了全球 50%以上的市场份额。国内涉及风电用涂料生产、销售的企业众多，行业竞争非常激烈。本标准以实际需求以及目前产品实际质量状况为基础确定了各类产品的要求。所采用的试验方法基本为国际通用方法。

5、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。

本项目为修订现行标准 GB/T 31817-2015《风力发电设施防护涂装技术规范》。

（三）起草过程

1、起草阶段（2024.4~2024.5）

1) 起草工作组

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修订的前期准备工作。为使修订的标准能充分体现出产品的特性，由涂料标委会牵头，中海油常州涂料化工研究院有限公司组织行业内专家对风电涂料用户

对产品的性能项目和试验方法等要求进行了调研，了解了国内外风电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，查阅了国内外风电涂料体系相关技术资料，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修订工作，为了确保标准水平，被邀企业均是管理规范、已有相当生产规模和市场占有率、具有良好社会形象、敢于承担社会责任、在行业中能引领技术进步、产品质量达到较高水平的骨干企业。该项工作得到了许多单位的积极响应和大力支持，使标准制定工作组得以顺利组成，为圆满完成标准修订工作奠定了基础。

标准工作组由中海油常州涂料化工研究院有限公司、天津灯塔涂料工业发展有限公司、冶建新材料股份有限公司、信和新材料股份有限公司、江苏兰陵高分子材料有限公司、洛阳船舶材料研究所（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）、佐敦涂料(张家港)有限公司、珠海展辰新材料股份有限公司、中航百慕新材料技术工程股份有限公司、广东睿智环保科技股份有限公司、国恒信（常州）检测认证技术有限公司、中材科技风电叶片股份有限公司、中德新亚建筑材料有限公司、江苏云湖新材料科技有限公司、陕西宝塔山油漆股份有限公司/西安经建油漆有限责任公司、黄山中邦孚而道涂料有限公司、阿克苏诺贝尔防护涂料（苏州）有限公司、中海油常州环保涂料有限公司、重庆三峡油漆股份有限公司、西北永新涂料有限公司、株洲市九华新材料涂装实业有限公司、株洲飞鹿高新材料技术股份有限公司、金风科技股份有限公司、大金氟化工（中国）有限公司、庞贝捷涂料（昆山）有限公司、立邦工业涂料（上海）有限公司、无锡市联邦涂料有限公司、广东明阳新能源材料科技有限公司、天顺风能（苏州）股份有限公司、江苏金陵特种涂料有限公司、山东石油化工学院、麦加芯彩新材料科技（上海）股份有限公司、山东中车同力钢构有限公司、运达能源科技集团股份有限公司、国电象山海上风电有限公司、湖南省德谦新材料有限公司、上海曦骅检测技术有限公司、国电投南通新能源有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、三峡新能源海上风电运维江苏有限公司、常州合欣达旭新能源科技发展有限公司、上海海隆赛能新材料有限公司、沧州惠邦机电产品制造有限责任公司、海虹老人北亚投资有限公司、青岛中氟氟碳材料有限公司、湖北瑞莱斯精工科技有限公司、山东孚日宣威新材料科技有限公司等单位组成。

2) 分工情况

经过协商，由中海油常州涂料化工研究院有限公司和天津灯塔涂料工业发展有限公司负责国内外相关标准资料的研究，其他工作组成员负责行业调研并提供日常工作中遇到的标准问题，负责提供标准的修改意见和建议。

3) 调查研究过程（现状、重点问题、难点问题、解决方案）

多年的标准应用中也发现，现行标准主要有以下几个方面需要进行完善：1) 腐蚀环境分类已经有最新 ISO 12944.2-2017《色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第2部分:环境分类》，需要结合我国地域环境实际情况进行完善；随着经验和数据的积累，对涂装部位的分类越来越细致和完善，需要对涂装部位的分类进行修改；2) 随着风力发电设备的大型化，风力发电设备的叶片尺寸明显加大，尖部线速度明显加快，更容易出现雨蚀等危害，因此需要提高叶片等涂层配套体系要求，增加耐雨蚀试验、拉伸强度、断裂伸长率、低温/湿热循环试验等项目；3) 随着新型涂料的发展，低污染的无溶剂聚天门冬氨酸酯聚脲、水性环氧富锌底漆、水性环氧中间漆、水性聚氨酯面漆等已经成功应用，需要在涂层配套体系中增加相应的涂料品种，以及相应的涂料产品技术要求；4) 由于配套体系中增加了水性涂料，其涂装要求高于溶剂型涂料，因此需要补充水性涂料的涂装要求；5) 根据用户反馈的意见，部分涂层体系的附着力等指标需要提高；6) 维修涂装的工艺已经有很大改进，需要对标准中相关内容进行完善。因此在现行技术可行的条件下，如何控制多类型产品的质量、保证涂装质量，又能促进行业的技术进步，就是本标准要解决的问题。

在召开第一次工作组会议之前，主编单位做了大量的前期准备工作，收集了风电领域的相关标准，对国内风电涂料体系的技术现状和发展趋势进行了分析研究，编制出了标准和标准编制说明的工作组讨论稿，供工作组会议讨论。

4) 工作组讨论稿

根据收集的行业和专家的意见，对国内风电涂料体系的技术现状和发展趋势进行了分析研究，2024年5月完成了工作组讨论稿。

5月16日在常州召开了第一次工作组会议，采取线下会议方式，参会企业34家，参会人数58人，与会代表对标准工作组讨论稿中的各项要求和指标逐一进行了认真细致的讨论，提出了修改意见。讨论并确定了标准制定的工作原则、标准适用范围、检验项目、指标要求及相应的试验方法，并安排了工作进度及下一步的验证试验工作。根据工作组讨论意见，形成标准征求意见稿。会后根据这次会议确定的修改内容，中海油常州涂料化工研究院有限公司修改了标准工作组

讨论稿，具体修改如下：

- a) 将腐蚀环境分类从附录改为直接写在正文第 4 章“分类”中。
- b) 海上桩基涂层体系增加“耐冲击性”项目。
- c) 材料性能中密度、黏度指标改为“商定”。
- d) 附录中增加叶片底漆和面漆的具体品种的具体要求。增加了风电设施所用涂料的具体品种的具体要求。

5) 验证过程（或试验过程）[验证单位、验证（试验）内容、验证（试验数据分析）、验证评价]

验证（试验）内容：

在第一次工作组讨论会上，与会代表确定了验证试验项目，叶片腻子、底漆、面漆进行拉伸强度和断裂伸长率项目试验、桩基涂料进行耐冲击性项目试验。

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主要负责拉伸强度、断裂伸长率和耐冲击的试验工作，由中国船舶集团有限公司第七二五研究所和佐敦涂料（张家港）有限公司负责耐雨蚀的比对试验工作。

2024 年 8 月国恒信（常州）检测认证技术有限公司/国家涂料质量检验检测中心收集了来自 5 家企业的叶片腻子 7 个，叶片底漆 4 个，叶片面漆 8 个，桩基涂料 4 个，叶片前缘漆 2 个。同时由上海曦骅检测有限公司和天津灯塔涂料有限公司提供了近年来行业内企业叶片涂料的检测数据。

验证（试验）数据及数据分析、验证评价：

见第三章“验证试验、推广應用和预期达到的经济效果”。

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）

标准编制坚持以下基本原则：

——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》的要求编写；

——按照国标委、化工行业以及全国涂料与颜料标准化委员会对标准工作的指导意见编写；

——标准编写体现先进性和前瞻性，在总结成熟技术、成功经验的同时，推出新产品、新技术和新工艺；

——标准编写把环保特性置于更加突出的地位，大量引入水性涂料和（超）

高固体份涂料，对不挥发物含量和 VOC 含量指标提出更高要求。

——标准编写借鉴了相关标准和规范，包括 ISO12944: 2017《色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》和 DNVGL-CP-0424《Coatings for protection of FRP structures with heavy rain erosion loads》，以及主要主机厂、叶片厂和塔筒厂的技术规范。在此基础上总结提炼，使得标准更具有适用性、实用性和先进性。

(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、修订前后水平对比

标准修订后引入先进成熟技术并推动新技术的发展，能更好地规范风电设施防护涂装市场，推动技术进步，并能更好的满足国内外环保法规要求。涂层配套体系更具有先进性、环保性和前瞻性，检验项目、技术指标更好地反映产品优良的性能，检验方法更科学准确，更好地促进产品的技术进步，可有效减少碳排放，使标准能更好地为我国经济高质量发展服务。所采用的试验方法基本为国际通用方法。标准整体水平为国际先进水平。

2、范围变化及原因

本标准范围未变化。

3、分类变化及原因

a) 删除了“涂层体系设计年限分类”（见 2015 版 4.1）

实际在用的涂层体系基本都是按照长效型体系设计，几乎没有采用普通型防腐涂层体系设计的情况，并且涂层体系寿命与风电机组设计寿命趋同，这一是行业大势所趋。因此，新版标准删除了“涂层体系设计年限分类”。

b) 更改了“腐蚀环境分类”（见 4.1，2015 版的 4.2）

2015 版标准中的腐蚀环境分类直接引用了国际标准 ISO12944，新版标准综合考虑钢铁基材、高分子复合材料基材及涂料三方面的腐蚀老化因素，并结合风电场特定的应用环境进行分类。具体更改理由如下：ISO12944 是针对钢结构防护的通用标准，根据对钢铁的腐蚀因素分类设计相应涂层体系，在涂层体系设计时涂料的老化因素考虑的并不充分；风电机组不仅有钢铁材料基材，还有大量的复合材料基材，复合材料老化因素和钢铁的腐蚀因素也是有差异的；风电厂的使用环境有特定的区域，按照主要的腐蚀因素和地域做区分更方便应用，实际上在用 ISO12944 时考虑某种腐蚀环境类型也是定性的参考。

c) 更改了“涂装部位分类”（见 4.2，2015 版的 4.3）

2015 版涂装部位分为五类，新版标准涂装部位分为九类。新版标准保留了

塔筒、叶片和法兰三个涂装部位，把其他部为统筹细化为基础环、海上桩基、机舱罩和导流罩（轮毂罩）、齿轮箱和发电机、轮毂和底座、其他构件六个部位。这样的更改使得涂层体系设计更加明确，标准使用更加方便。

4、要求部分变化及原因

4.1、涂装施工单位基本要求（2015 版 5.1）

标准修订时删除了涂装施工单位要求。主要考虑本标准仅规定技术要求，对企业资质的要求应另有规范或者招投标文件或者合同约定。

4.2 涂层体系配套要求（5.1.1,2015 版 5.2.1）

本部分变动较大，一是原标准按腐蚀环境就不同部位对应相应的涂层体系，新标准按涂装部位详细列出不同腐蚀环境对应的涂层体系；二是涂层方案更加细化；三是增加了新品种和新配套。

具体各个部位的涂层体系配套要求说明如下：

a) 风电叶片部位涂层体系配套要求

——在具体方案的涂料品种选择上，除了保留 2015 版标准中聚氨酯叶片漆之外，引入了水性聚氨酯涂料、水性氟碳涂料、聚天门冬氨酸酯聚脲涂料。近几年在风电叶片涂料应用领域，除了溶剂型聚氨酯涂料外，水性聚氨酯涂料和无溶剂（高固体份）聚天门冬氨酸酯聚脲涂料大量采用，占比已经达到了 50%，而水性氟树脂涂料本质上属于水性含氟聚氨酯涂料，具有更加优异的耐候性，在力学性能和配套性满足要求时也是可以选择的。

——除了明确大面部位的油漆配套体系外，特别规定了前缘保护漆的配套，前缘保护漆的配套性主要考虑到和上道油漆应该具有优异附着力和相容性，选择的配套涂料可以和大面部位完整的涂装规格书一样，也可以是其中的部分涂层，还可以采用专门配套涂料增强配套性。从施工便利角度优选大面油漆体系，考虑到防结冰面漆低表面能影响前缘保护漆的附着力，最后一道防结冰漆可以不进行涂装，从防结冰效果考虑，宜选择耐候性优异、防结冰能力持续性好的涂料，如溶剂型防结冰氟树脂涂料，该类型防结冰涂料的持续防结冰能力根源于树脂本身的低表面能和高耐候性。

——明确了配套方案的总体要求。有别于钢结构防腐涂层体系，叶片防护体系主要是为了避免环氧玻璃钢基材在阳光下的老化粉化。只要附着力不存在问题，从保护效果角度，单一涂料涂层是可以满足要求的。但从施工角度考虑，某些涂料一道施工膜厚太薄，如水性面漆，这时候配套高固含厚膜涂装的底漆，对于厚涂层的施工效率更高。风电叶片的旋转状态，使得涂层的粉化减薄速度比静态的物体要强烈的多，面漆粉化磨掉后，还需要底涂层承担相当的保护功能，因此，底涂层也需要和面漆相当的耐候性能，这一点和钢结构只要求底漆防腐性能不要求耐候性能明显不同。

b) 塔筒部位涂层体系配套要求

——在涂层配套方案具体涂料品种上，保留了 2015 版标准中环氧富锌底漆、环氧漆和丙烯酸聚氨酯漆作为主要品种，同时引入了更加环保的水性环氧富锌涂料、水性环氧涂料和水性丙烯酸聚氨酯涂料，以及高固含的聚天门冬氨酸酯聚脲涂料，并且引入更优异耐候性的氟树脂涂料和聚硅氧烷涂料。

——配套设计膜厚要求参考了 ISO12944-2017 版标准，并结合耐久年限超长的实际情况，设计了超长寿命涂层方案。环氧-丙烯酸聚氨酯体系 I 型、II 型、III 型腐蚀环境下对应膜厚分别为 130 μm 、180 μm 和 240 μm ，采用环氧富锌底漆+环氧中间漆+丙烯酸聚氨酯面漆体系 I 型、II 型、III 型、IV 型、V 型和 VI 型腐蚀环境下对应的膜厚 100 μm 、160 μm 、200 μm 、260 μm 、320 μm 和 360 μm ，当采用氟树脂和聚硅氧烷等高耐候性面漆时，膜厚可适当减薄 10-20 μm 。

——塔筒内外壁采用相同的涂料品种便于供货和施工应用。因为塔筒内壁的腐蚀环境比外壁轻，并且不受阳光照射，可以适当降低膜厚，并且不用采用耐候面漆。但考虑到面漆的封闭性能和防霉菌性，以及好的漆膜外观，在潮湿腐蚀环境下的塔筒内壁也可加涂面漆。

c) 法兰部位的涂层配套方案

——与 2015 版标准比，新标准删除了无机硅酸锌涂料，选择了热喷锌涂层，这样修订主要是从力学性能和耐久性方面综合考虑，并且对应了行业的普遍做法。同时规定法兰不同部位的配套要求，防腐方案更加精细方便使用。

d) 基础环的涂层配套方案

——新标准规定基础环上排椭圆孔下边缘以上范围内,外表面和内表面的涂层配套体系按塔筒外表面和内表面对应大气区腐蚀类型高一级的涂层配套体系执行,其余所有面积,喷涂无机富锌底漆或环氧富锌底漆,比 2015 版标准细化了不同部位的涂层配套方案,实现更加精准的防护要求。

e) 其他几个部位的涂层配套方案

与 2015 版标准相比,这一部分对分类进行了全面细化,便于标准的应用。

——海上桩基在涂层配套方案具体涂料品种上,保留了环氧玻璃鳞片涂料、改性环氧涂料改为超强耐磨环氧漆、增加了聚酯玻璃鳞片涂料和氟碳涂料品种,这主要从力学性能、耐久性方面考虑。这部分涂层需要优异的附着力、耐磨蚀、耐海浪冲刷、耐船舶停靠摩擦碰撞,以及对氯离子优异的阻隔性能。

——机舱罩和轮毂罩采用的是复合材料,底漆可以选用与复合材料结合牢固,施工性好的环氧类漆,并规定统一的涂膜厚度 40 μm ,面漆选用耐候性的丙烯酸聚氨酯面漆及氟树脂面漆,随着腐蚀环境的增强,适当增加面漆涂层厚度,以弥补涂层使用过程中的粉化减薄。在高腐蚀环境下(VI型),用氟树脂面漆代替丙烯酸聚氨酯面漆,可比丙烯酸聚氨酯面漆大幅降低涂膜厚度。并且规定可采用溶剂型同类型的水性化品种,以提供更好的环保性能。如果聚氨酯涂料与基材附着力和匹配性没有问题,也可以不用环氧底漆。

——齿轮箱和发电机增加了底面合一的环氧涂层配套,以及环氧底漆+环氧面漆的配套,并且细化了配套体系,增添了在IV型及以下腐蚀环境下,可采用同类型的水性化品种。这些改变主要是考虑单一涂层施工的便利性,不见阳光可以采用环氧面漆,以及从环保角度在腐蚀环境不恶劣的情况下可采用水性化体系。

——明确了轮毂和基座的涂层配套体系按照发电机和齿轮箱的涂层配套体系执行。

——其他附属构件根据基材的不同也给出了相应的配套要求,便于标准使用。

5 试验项目变化及原因

本标准的项目设置根据实际使用情况，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，叶片涂层体系、塔筒内外涂层体系、海上桩基和机舱罩和导流罩（轮毂罩）涂层体系具体项目设置原因分析见表 1、表 2、表 3、表 4。

其他部位涂层体系性能根据基材状况和使用环境特点明确了相应的技术要求。法兰、基础环、发电机和齿轮箱，轮毂和底座、钢铁基材的其他构件均参照塔筒涂层体系要求执行，非金属基材的其他构件参照机舱罩和导流罩（轮毂罩）涂层体系要求执行。并规定了其他基材涂层附着力（划格法）不大于 1 级，其他基材主要是铝合金和金属涂层构件本身耐腐蚀主要要求涂层要和这些基材结合牢固。

表 1 叶片涂层体系性能要求项目设置比较

项目	前版GB/T 31817-2015	新版GB/T 31817-×× × ×	项目增减原因
附着力	●	●	
耐水性	—	●	考虑到叶片涂装好后一般在户外放置，在叶片表面可能会有存水区域，在阳光直射下类似于热水浸泡环境
耐酸性	●	●	
耐碱性	●	●	
耐湿性	●	●	修改为与国际标准等同的试验方法
耐盐雾性	●	●	
人工加速老化试验	●	●	
低温/湿热循环试验	—	●	反映涂层使用过程中受到冷热潮湿等环境的交变影响
耐油性	—	●	存在接触油品的可能
接触角	—	●	有防结冰需求，采用防结冰面漆时，需考察该项目
耐雨蚀试验	—	●	在叶片前缘部位，需考察该项目
涂膜外观	●	—	该性能为基础要求，在现场均对外观有所要求

弯曲试验	●	—	考虑弯曲试验采用玻璃钢基材难以实现，并且叶片涂料都要拉伸试验要求，反映的柔韧性远大于耐弯曲性最严格的指标要求，设置耐弯曲
------	---	---	--

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/088006134110007011>