

风机叶片侵蚀及钢结构腐蚀的防护 及在线监测系统

Rotor Blade Erosion, Steel Structural Corrosion Protection and Online Monitoring Systems

保护风机叶片遭受紫外线及风雨的侵蚀，以及防止钢支撑结构的腐蚀，对于确保降低运作成本至关重要：

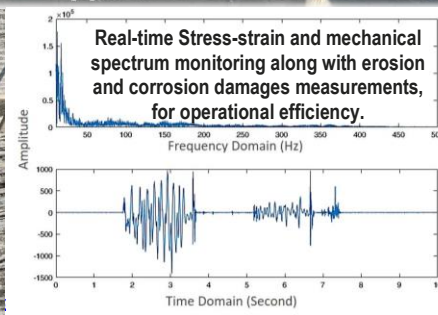
- 再生能源的海上和陆上风力发电，正成为世界经济的重要组成部分。
- 环氧纤维风机叶片需要 1-2 年不断检查和维护。
- 海上钢支撑结构，在某些情况下，不到 12 个月的时间内就开始出现明显的腐蚀。
- 随着时间的推移腐蚀损坏，也很严重影响风机电气和机械系统正常运作。
- AIT 创新技术：聚偏二氟乙烯 PVDF 涂层可阻挡带溶解盐和酸性气体的腐蚀性湿气，从而防止腐蚀。PVDF 的紫外线阻挡和疏水防雨特性还可以保护环氧纤维复合材料，免受侵蚀。

新创在线监测侵蚀和腐蚀损坏，并对疲劳和机械损坏引起的应力异常发出实时警报，发出潜在危险信号，提供及时维护，防止灾难性和破坏性故障：

- 风机叶片前缘厚度损耗监测与降雨强度随时间的累积效应结合，可以进行预测性维护。
- 随着时间的推移，对单桩和其他钢结构厚度损耗进行监测，可提供预测性维护。
- 对风机叶片和支撑结构，进行风浪强度、应力应变和振动频谱监测，以实现异常例外情况关联和警报。

风机叶片侵蚀

- 量化高速降雨冲击
- 侵蚀速率测量及相关分析



应力应变和机械反应谱的监测，以及侵蚀和腐蚀速率测量，以提高风机运作效率。



FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯 (PVDF) 侵蚀和腐蚀防护:

- 疏水排雨和防紫外线, 可防止风机叶片侵蚀
- 创新的聚偏二氟乙烯 涂层技术, 具有阻挡带溶解盐和酸性气体的湿气特殊性能, 防止风机钢结构腐蚀

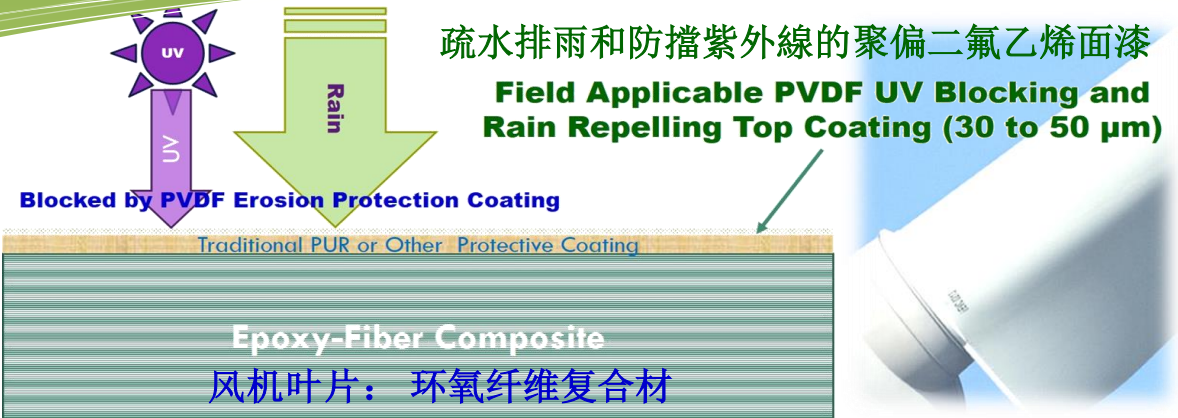
风机结构由环氧树脂和聚氨酯涂层保护的钢制成, 而风机叶片由环氧纤维复合材料制成, 分别容易受到腐蚀和侵蚀。

- 环氧聚氨酯涂层分子容易受到紫外线降解。
- 环氧聚氨酯涂料分子自由空间含量高, 对含有腐蚀性酸性和离子元素的水分具有高渗透性。
- 海水线以上的钢桩和平台结构, 容易因以下原因而退化和腐蚀劣化:

- 传统环氧聚氨酯涂层的紫外线造成分子损伤, 使钢材直接暴露于盐雾和盐雾中。
- 腐蚀性离子和/或充满盐雾和盐雾的酸性气体逐渐渗透。
- 海水线以下的钢平台、系泊装置和结构容易因下列原因而发生腐蚀失效:
 - 腐蚀性离子和/或酸性气体充满盐水的逐渐渗透
 - 机械损伤引起的直接盐水所引起的钢腐蚀
 - 细菌、海藻、紫藤盆等的生长

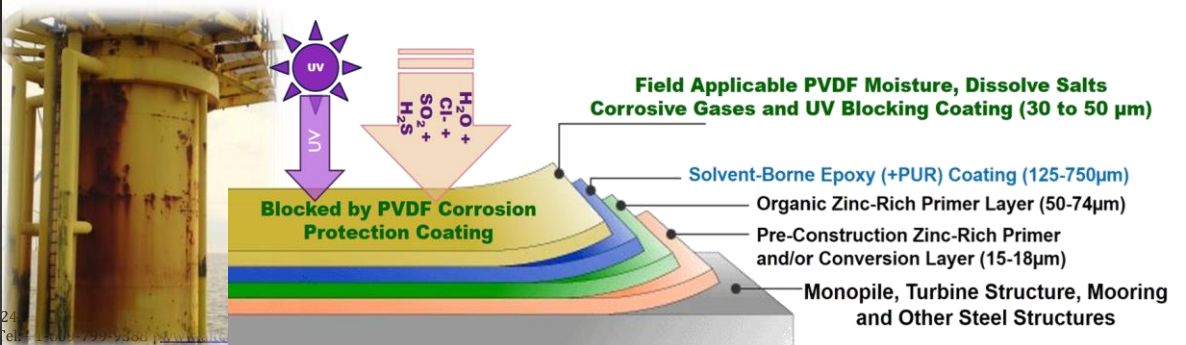
FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯 (PVDF) 涂层:

- 现场适用的环境储存单组分无 VOC 涂层
- 可覆盖在现有的环氧树脂或聚氨酯涂层上
- 空乾形成透明外涂层 (CPC 7150, CPC7153-WH)
- 风乾交联版本 (CPC 7280), 具有耐磨性和耐化学性
- 具有杀菌剂增强功能的交联版本 (CPC 7283), 水线以下
- 专利申请中的 100% PVDF 面漆 (CPC 7650)
- 经过验证的防腐蚀保护 <75 μm 涂层厚度
- 经证明的紫外线屏蔽效果, 可保护底层的环氧树脂-聚氨酯涂层
- 经证明的防潮和防雨屏障



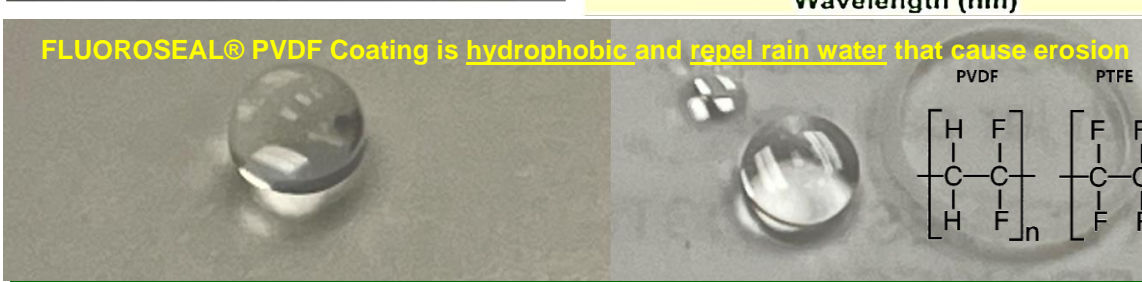
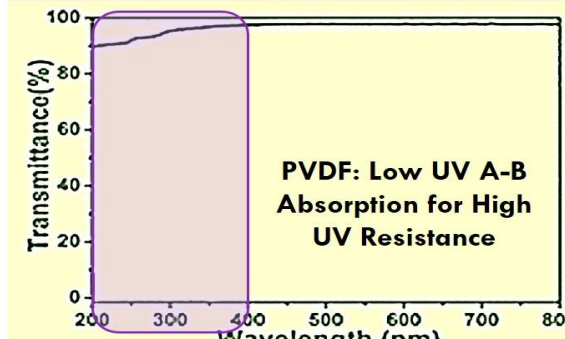
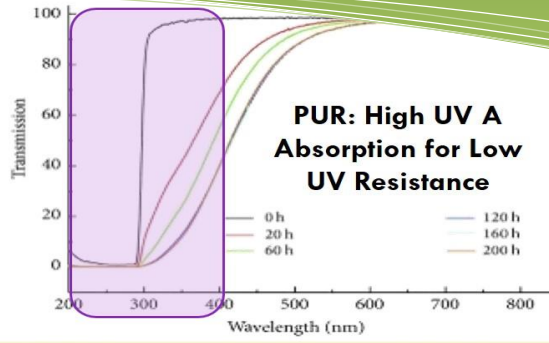
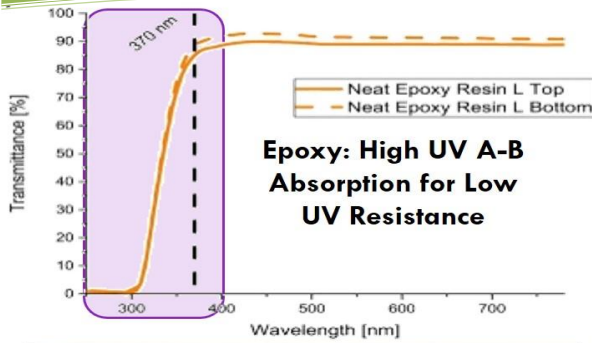
PHYSICAL CHARACTERISTICS OF FLUOROSEAL® PVDF Protection Coatings

	CPC 7150	CPC 7280	CPC 7650
SPECIAL ATTRIBUTES	1) Transparent, flat finish 2) Primerless, VOC-Exempt Coating 3) Roller-Brush or Spray 4) Corrosion & antifouling	1) Transparent, flat finish 2) Primerless, VOC-Exempt Coating 3) Roller-Brush or Spray 4) Corrosion & antifouling	1) Corrosion + Antifouling 2) Field Applicable 100% PVDF Protection 3) Roller or Spray 4) VOC Free Coating
WATER-MOISTURE PROPERTIES	STANDARD AND CONDITIONS (@25°C)		
Water Absorption (D570) %	<0.01 (Typical Acrylic: >0.4)	<0.01 (Typical Acrylic: >0.4)	<0.01 (Typical Acrylic: >0.4)
Water Permeability (gm.mm/m ² .d) @ 1atm	0.0009 (Typical Acrylic: >5.2)	0.0009 (Typical Acrylic: >5.2)	0.0009 (Typical Acrylic: >5.2)
Percentage of PVDF (%)	>70%	>70%	100%
THERMAL PROPERTIES	STANDARD AND CONDITIONS (@25°C)		
Glass Transition Temp (T _g , °C)	-45	-45	-45
"Melting Point" (°C)	>120	>120	NA (Cured & Cross-linked)
CTE (Coefficient of Thermal Expansion, ppm/°C)	95	75	80
Thermal Conductivity (BT U-in/hr-ft ² -°F)	1	1	1
Thermal Decomposition (°C)	>350	>350	>350
MECHANICAL PROPERTIES	STANDARD AND CONDITIONS (@25°C)		
Hardness (Shore D)	50	80	50
Tensile Modulus (Psi/Mpa)	40000/(275)	200,000/(1,375)	180,000/(1,238)
Flexural Modulus (Psi/Mpa)	30,000/(206)	150,000/(1,031)	135,000/(928)
Tensile Elongation (%)	300	30	300
OPTICAL PROPERTIES	STANDARD AND CONDITIONS (@25°C)		
Refractive Index (D542)	1.43	1.43	1.43
ELECTRICAL PROPERTIES	STANDARD AND CONDITIONS (@25°C)		
Dielectric Strength (KV/mil)	0.8	0.8	0.8
Volume Resistivity (ohm-cm)	1.8x10 ¹⁴	1.8x10 ¹⁴	1.8x10 ¹⁴



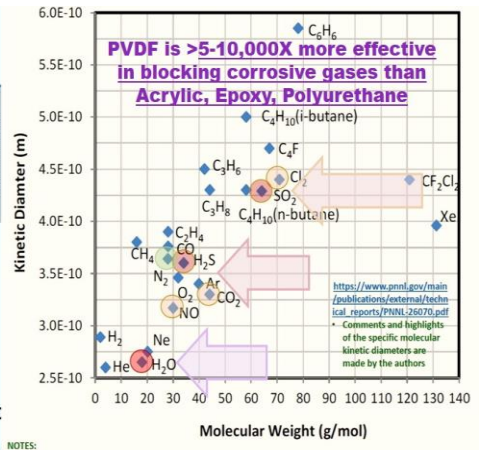
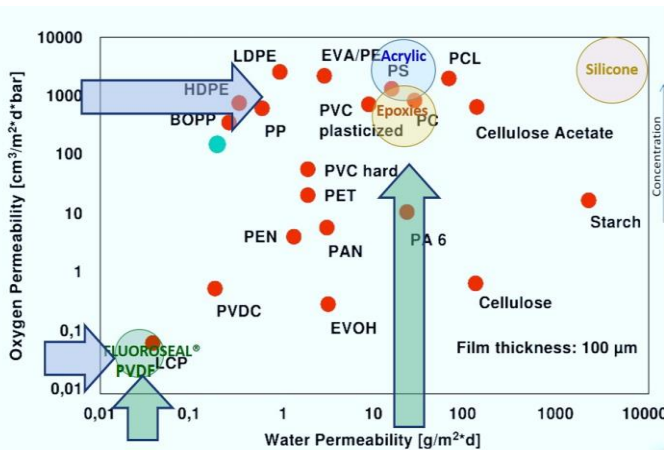
FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯涂层 (PVDF) 从分子角度来说最适合风力发电结构的侵蚀和腐蚀防护:

- 本质分子疏水防雨性和屏蔽紫外线性能, 是环氧纤维复合材料侵蚀防护选择。
- 阻挡含溶解盐的水分, 是钢结构防腐蚀的理想涂层。



UV radiation causes photooxidative degradation which results in breaking of the polymer chains, produces free radical and reduces the molecular weight, causing deterioration of mechanical properties and leading to useless materials.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4320144/>

FLUOROSEAL® PVDF 聚偏二氟乙烯分子结构不吸收紫外线, 经验证的紫外线稳定性。还具有高度疏水性, 可以排斥雨水, 从而减少侵蚀。



NOTES:
• Smaller molecular kinetic diameter is easier to penetrate the lid-sealing adhesives and/or barrier coatings
• Barrier against H₂O is even better barrier against larger kinetic diameter of the more corrosive gases such as H₂S and SO₂
• He molecule has similar kinetic diameter to that of water vapor molecules and thus a good media for leaks comparison

FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯 PVDF 是最密集分子结构的涂层之一, 最有效阻挡含溶解盐离子子的水分。与其他传统聚合物涂层相比, 对 H₂O 和 O₂ 等最小动力直径的气体, 以及腐蚀性气体如 CO₂, H₂S, SO₂, NO, CO, Cl₂ 等的渗透性低 4-5 个数量级, 因此在防止腐蚀方面有类似数量级的效果。

疏水性抗雨及紫外线屏蔽涂层, 理想的风电叶片侵蚀防护:

- FLUOROSEAL® 100% 聚偏二氟乙烯涂层具有分子疏水性和防雨性, 是环氧纤维复合材料侵蚀防护的理想选择。
- FLUOROSEAL® 涂层本质上的抗紫外线能力和内建的紫外线阻挡功能, 确保长期的风电叶片侵蚀保护。

紫外线和水分屏蔽的聚偏二氟乙烯分子结构, 理想的腐蚀保护层:

- 阻挡含碳酸的水分、二氧化碳等酸性气体和盐离子, 是减少或消除这些有害因素的关键。
- 阻挡水分和酸性及腐蚀性气体进入内部, 进一步阻止腐蚀和化学反应导致的劣化。
- 与环氧树脂、聚氨酯和醇酸涂层相比, FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯 (PVDF) 涂层分子结构经过工程设计, 吸水量低数千倍, 水分和腐蚀性气体的渗透性更低, 提供有效的密封保护。
- FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯 (PVDF) 密封涂层具有卓越的剪切-粘结强度 (5B 格栅测试结果), 即使在严苛的环境下也能提供保护。
- 涂层具有低玻璃化转变温度 (T_g) 的分子结构的, 可吸收应力, 并经受住极端气候循环和暴露。
- FLUOROSEAL® 聚偏二氟乙烯 (PVDF) 密封涂料不含 VOC, 可在任何地方进行涂刷, 辊涂和喷涂。

- 风机钢结构腐蚀关联的振动搭应力应变监测系统
- 风机叶片侵蚀关联的振动搭应力应变监测系统
- 海浪强度与风机结构应力应变监测系统

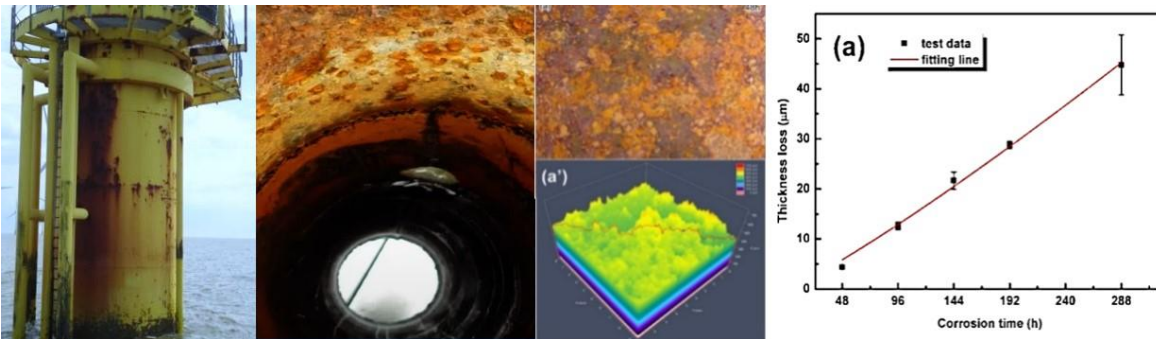


除了涂层保护技术，用于阻止风机叶片腐蚀和钢单桩、系泊和风力发电结构腐蚀，AVANTE (AIT 的姊妹公司) 开发了一系列物联网和基于传感器的在线系统，用于监测侵蚀速率和腐蚀和相关损坏。侵蚀和腐蚀会导致结构弱化，加速应力集中和疲劳引起的灾难性故障。



在线风机叶片侵蚀应力劳损监测系统 (Online Rotor Blade Erosion-Stress Monitoring System):

- 多位置侵蚀厚度减少监测 Erosion Thickness Reduction Monitoring at Multiple Positions
- 降雨强度*风速量化集成记录 Integrated Quantitative Rain-Intensity*Wind-Speed Recording
- 振动冲击和应变监测 Vibration-Strain Monitoring for Unforeseen Fatigue and Mechanical-Structural Events



在线结构腐蚀应力劳损监测系统 (Online Structural Corrosion-Stress Monitoring System):

- 多位置腐蚀厚度减少监测 Corrosion Thickness Reduction Monitoring at Multiple Positions
- 振动冲击和应变监测 Real-Time Vibration-Strain Monitoring for Unforeseen Fatigue and Mechanical-Structural Events



风电结构应力应变劳损监测系统 (Wind Power Structural Stress-Strain Monitoring System):

- 风电结构应力应变监测 Real-Time Wind Power Stress-Strain Monitoring
- 振动冲击和应变监测 Real-Time Vibration-Shock Monitoring for Unforeseen Fatigue and Mechanical-Structural Events

众所周知，风力发电机叶片的侵蚀是由紫外线和高速雨水对环氧纤维复合结构的冲击所造成的。与定期检查相比，直接监测侵蚀率可以为预防性维护提供更多的预测能力。当过度侵蚀和损伤应力集中时，加上相应的机械振动谱异常，可以在灾难性故障发生之前及时修复。

已知咸海水，盐雾和喷雾对离岸风力发电厂支撑风力涡轮机结构的钢结构的腐蚀。即使采用最好的防腐蚀涂层，如 AIT FLUOROSEAL 聚偏二氟乙烯(PVDF) 涂层，在线监测支撑结构腐蚀退化的能力，能提供及时维修，以确保 30 年的使用寿命。

AVANTE 与 AIT 合作设计了多个在线监测系统，提供侵蚀、腐蚀、应力应变和振动冲击频谱的定量数字线上数据，从而针对可能导致不可预见的灾难性故障的异常情况提供实时警报。

- 在线风机叶片侵蚀应力劳损监测系统
- 在线结构腐蚀应力劳损监测系统
- 风电结构应力应变劳损监测系统