



# 氟碳涂料在风电领域的应用

中远关西涂料 刘会成



**COSCO KANSAI**





# 主要议题



- 1 风电设备简介
- 2 我国风电场腐蚀环境特点
- 3 氟碳树脂在风机塔筒涂料上的应用
- 4 氟碳树脂在风机叶片涂料上的应用
- 5 总结



# 风电设备构造 (1.5mw)



- 1、基座：φ18m，钢筋44t，混凝土460m<sup>3</sup>
- 2、塔架：61m，重115t，底直径4.2m，三段
- 3、机舱：61t，内装底座、电机、齿轮箱、轮毂
- 5、叶片：3\*6t，玻璃钢，37-40m
- 6、底座、轮毂、轴承
- 7、变压器控制柜：美式或欧式箱变

涂料重点是塔筒，难点叶片





# 风电设备构造



**COSCO KANSAI**



## 我国风电场腐蚀环境特点



- 风电场多位于高山、沙漠、海洋

- 环境恶劣，风沙大，昼夜温差大



- 工业大气污染严重

- 海上环境潮湿、紫外线强



# 目前我国风机塔筒树脂体系



COSCO KANSAI



출처: 앤더슨 컨설팅



## 我国机塔筒涂料相关标准



- 2003年9月1日，我国机械工业联合会提出风机塔架表面的防护处理的相关要求，执行标准（GB/T19072-2003）；
  - 2006年1月1日，由我国机械工业联合会对风力发电机组及外观防护提出要求，执行标准（GB/T19960.1-2005）；
  - 2008年6月1日，中国船级社（CCS）发布并确定塔筒涂层的选用执行标准ISO-12944-3和ISO-12944-5，是我国对塔筒涂料选用的主要标准；
  - 海上风电设施保护还须参照（ISO20340）循环腐蚀试验标准；
  - 此外，对防护涂料的涂装设计规范中大气腐蚀性分类执行标准GB/T19292-2003金属和合金的腐蚀，大气腐蚀性分类。
- 



# 目前我国风机塔筒涂料传统配套

塔筒涂料配套，设计依据：**ISO 12944-5:2007**



涂装部位	环境类型	涂装体系	涂料类别	涂料名称 (以中远关西产品为例)	干膜厚度	总膜厚
风机塔筒外表面	C4	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	50μm	240μm
		中涂漆	环氧云铁中间漆	FERRODOR EPX-29	140μm	
		面漆	聚氨酯面漆	RETAN 6000	50μm	
	C5-I C5-M	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	60μm	320μm
		中涂漆	环氧云铁中间漆	FERRODOR EPX-29	210μm	
		面漆	聚氨酯面漆	RETAN 6000	50μm	
风机塔筒内表面	C3	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	50μm	200μm
		面漆	环氧漆	EPOMARINE EX-500	150μm	
	C4	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	60μm	200μm
		面漆	环氧漆	EPOMARINE EX-500	140μm	

# 塔筒涂装体系不同涂层功效



## 塔筒涂装 配套体系

### 防腐蚀涂层

环氧富锌底漆+环氧云铁  
中间漆

- 提高涂层对底材附着力；
- 提高整体涂层耐蚀性
- 提高涂层屏蔽作用。

### 耐候性涂层

聚氨酯面漆

- 成膜细腻，美化塔筒外观；
- 漆膜耐粉化、耐粘污、保光保色；
- 屏蔽紫外线



# 目前风机塔筒涂料配套存在的隐患



COSCO KANSAI

中国环境



进口产品  
(聚氨酯体系)

## 气候差异

- 昼夜温差大
- 风沙多
- 地理环境复杂

## 工业大气污染

- 酸雨
- 含氯气体

## 涂装管理缺陷

- 底材处理粗糙
- 喷涂工艺问题
- 涂装质量差

## 维护成本高

- 海上维修困难
- 危害较大





## 聚氨酯配套涂膜存在的隐患



### 耐候性不足

一般7-8年涂膜出现失光、粉化、老化等不同程度破坏

### 酸碱腐蚀严重

位于沙漠、沿海或大气污染严重区域，涂膜易被介质破坏

### 维修成本昂贵

维修频率高，海上维修难度更高





# 如何解决传统聚氨酯涂层隐患





# 氟碳树脂特点及涂料性能



氟原子电负性最高

氟碳键能最大

氟碳键距最短

氟原子与碳主链结合紧密

C-F键结合牢固

氟碳涂料  
特点

耐污染性好

阻挡紫外线侵蚀

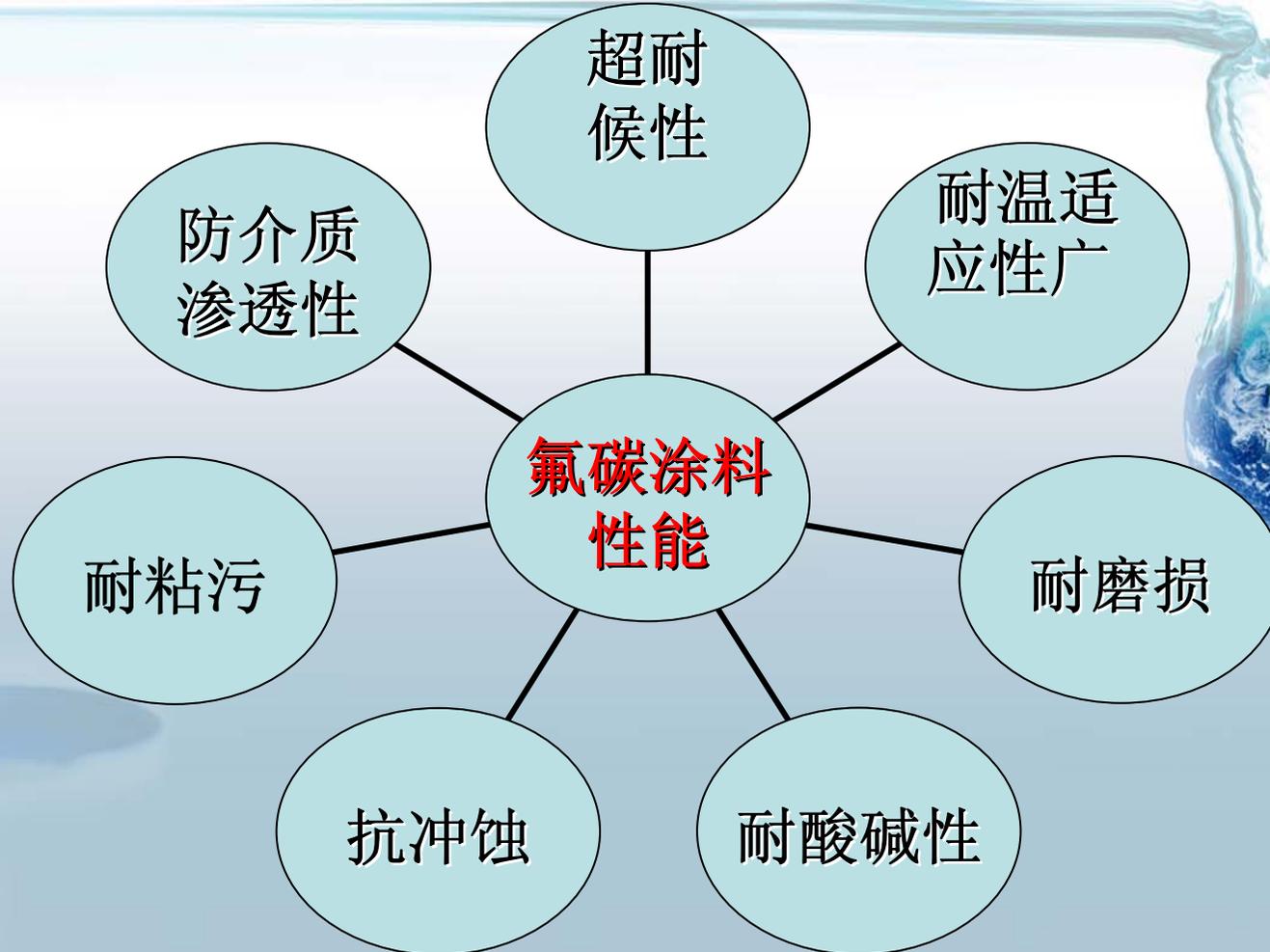
耐化学介质性好

屏蔽作用好

耐高低温



# 氟碳涂料特点及性能





## 氟碳树脂的应用



### 工业防腐涂料领域:

钢结构建筑、桥梁、船舶、轨道交通车辆、石油储罐和管道、化工设施、海上设施、彩涂钢板等。





# 氟碳涂料与聚氨酯涂料性能对比



	聚氨酯涂料	氟碳涂料
耐冲击性	50cm/kg	50cm/kg
耐屈曲性	1mm	1mm
漆膜消耗量	2 μ m/年	小于0.5 μ m/年
耐碱性	5%NaOH , 120h无异常	5%NaOH , 240h无异常
耐酸性	5%硫酸, 120h无异常	5%硫酸, 240h无异常
施工性能	重涂无障碍	重涂无障碍
抗氯离子渗透性	$3.135 \times 10^{-9}$	$5.863 \times 10^{-10}$
加速耐候性	氙灯2000h, 漆膜无异常, 保光率 $\geq 80\%$	氙灯5000h, 漆膜无异常, 保光率 $\geq 80\%$
加速耐候性	QUV-B 1000h, 漆膜无异常, 保光率 $\geq 80\%$	QUV-B 3000h, 漆膜无异常, 保光率 $\geq 80\%$



# 塔筒氟碳涂装配套



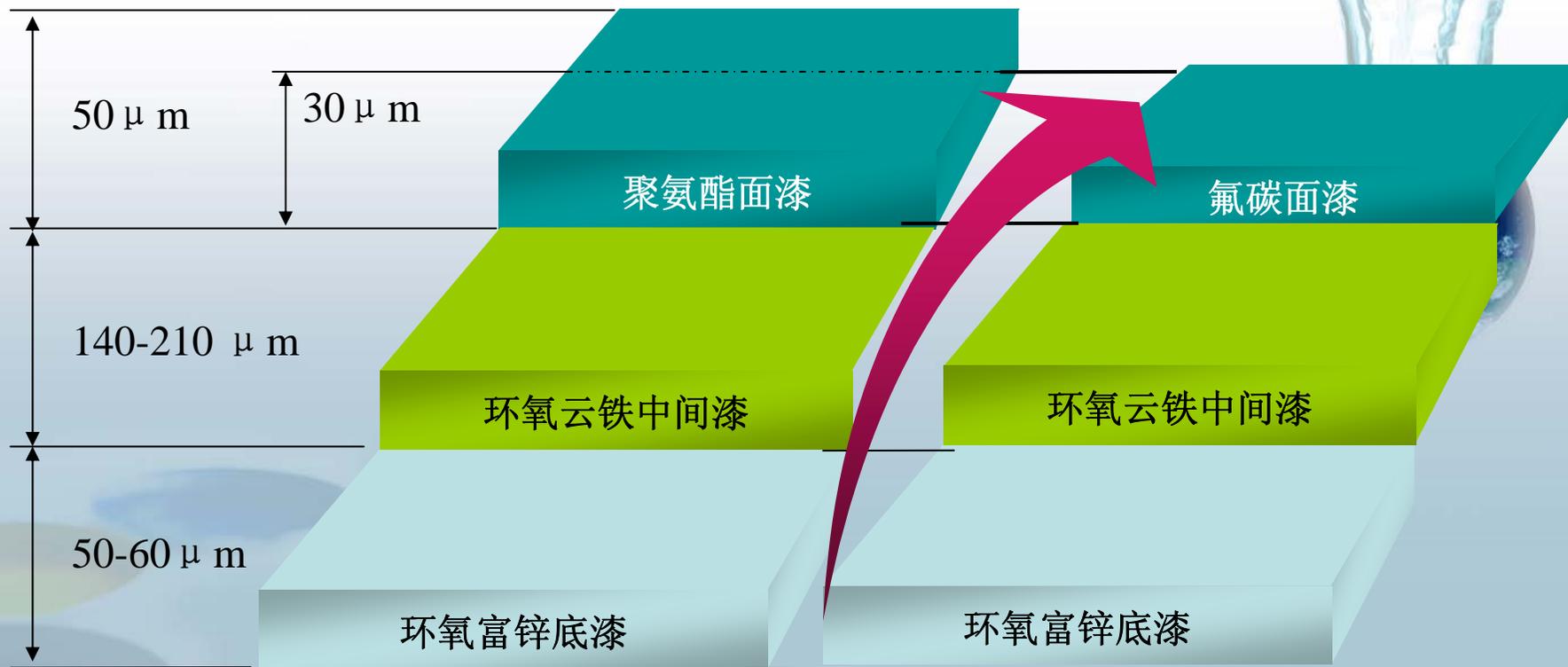
涂装部位	适用环境	涂装体系	涂料类别	涂料名称（以中远关西产品为例）	干膜厚度	总膜厚
风机塔筒外表面	C4	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	50μm	220μm
		中涂漆	环氧中间漆	FERRODOR EPX-29	140μm	
		面漆	氟碳面漆	WINFLON TOPCOAT 1070	30μm	
	C5-I C5-M	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	60μm	300μm
		中涂漆	环氧中间漆	FERRODOR EPX-29	210μm	
		面漆	氟碳面漆	WINFLON TOPCOAT 1070	30μm	
风机塔筒内表面	C3	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	50μm	200μm
		面漆	环氧漆	EPOMARINE EX-500	150μm	
	C4	底漆	环氧富锌底漆	SD ZINC 500	60μm	200μm
		面漆	环氧漆	EPOMARINE EX-500	140μm	



## 塔筒氟碳涂料的设计特点



COSCO KANSAI



- 防腐涂层膜厚一致
- 耐候涂层氟碳涂料膜厚低于聚氨酯涂料

# 塔筒氟碳涂料配套的设计特点



耐酸碱性能优异

耐湿热变化

耐高低温变化

综合性能优异

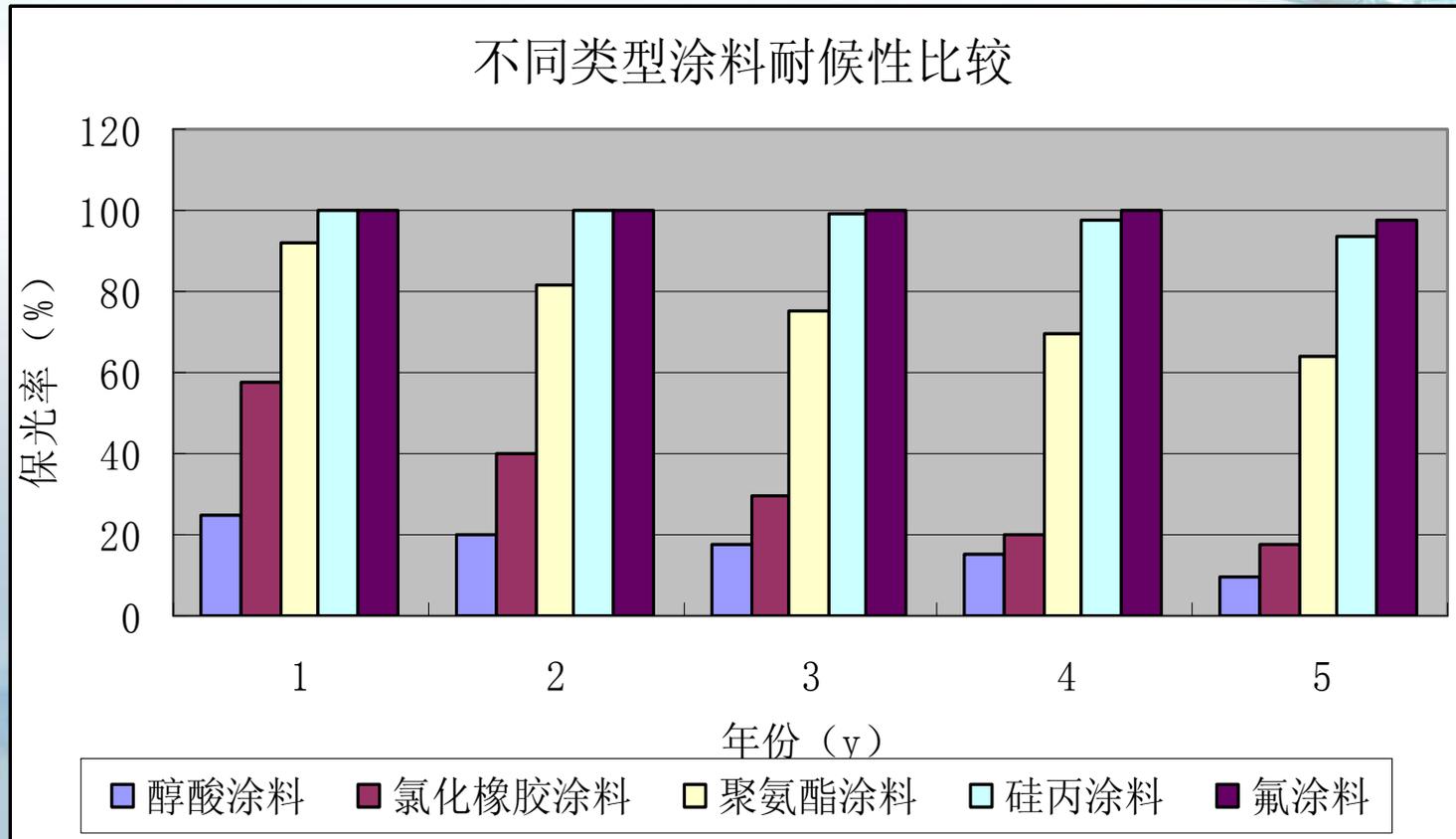




# 塔筒氟碳涂料配套的设计特点



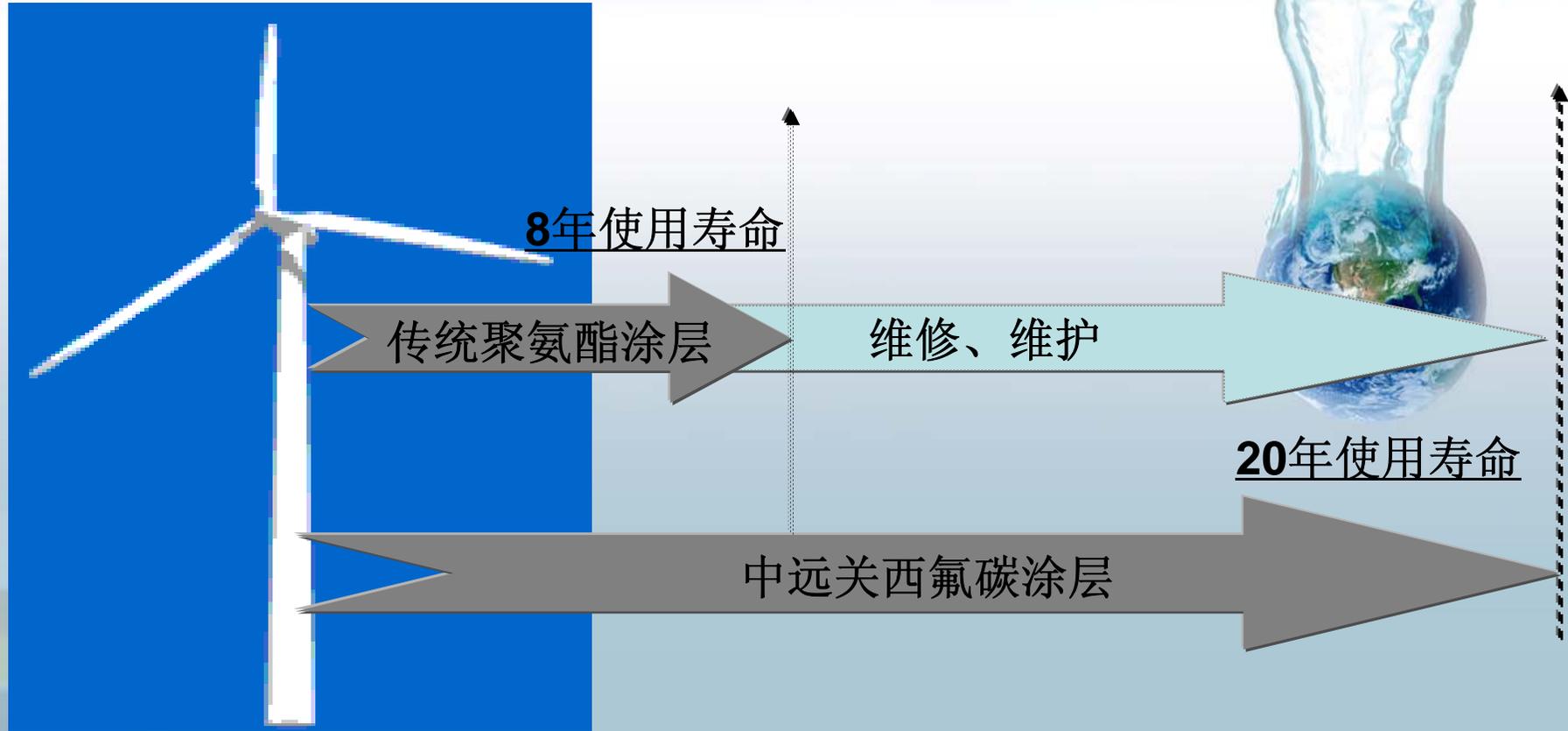
COSCO KANSAI



耐候性：氟涂料 > 硅丙涂料 > 聚氨酯涂料 > 氯化橡胶涂料 > 醇酸涂料



# 塔筒氟碳涂料配套的设计特点



中远关西塔筒氟碳配套涂层确保**20**年维护寿命

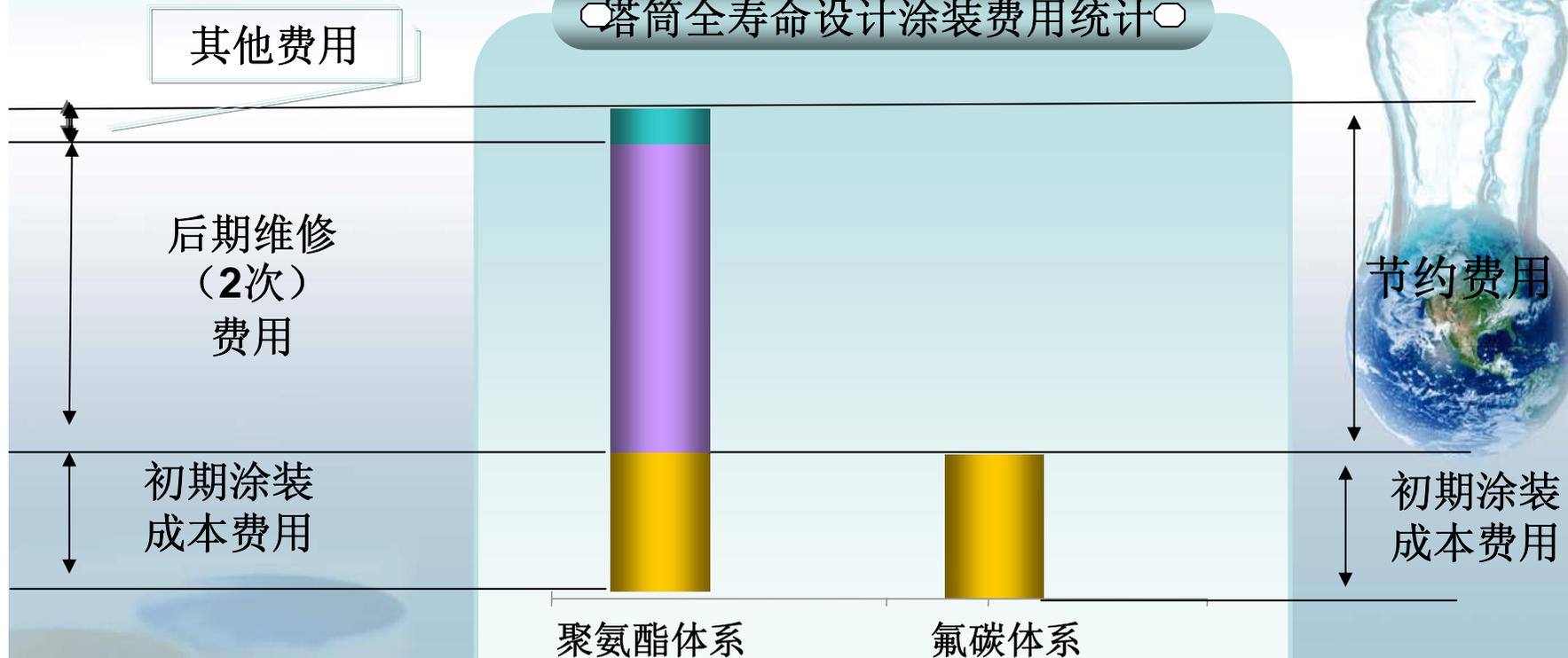


# 塔筒氟碳涂料配套的设计特点



COSCO KANSAI

## 塔筒全寿命设计涂装费用统计



备注：两种体系初期涂装成本相当；  
聚氨酯体系需修补2次（以20年使用寿命计算）；  
氟碳涂料提供更长的免维护时间，大大降低了成本。



# 中远关西塔筒氟碳涂料的应用



## 保定天威风电内蒙古卓资风场100MW工程





# 风机叶片涂料现状



- 近年来，伴随我国风电产业的迅速发展，风电涂料已经成为新的热点。风机叶片是风机的关键部位，由于叶片基材的弱点及所处环境极为恶劣，因此，对叶片涂料提出了更高的性能要求。
  - 目前，我国的风机叶片涂料市场基本为国外品牌所占领，价格较高。
  - 我国环境复杂，气候恶劣，目前市场上流行的风机叶片涂料基本为聚氨酯配套体系，实际应用效果不尽理想，涂层提前老化、剥落及磨蚀。这些给风机的长期运转带来了隐患，也阻碍了我国风电产业的蓬勃发展。
  - 需要开发适合我国风场条件的新型叶片涂料
- 

# 目前风机叶片涂料的主要体系



COSCO KANSAI

## 主要类型

双组分溶剂型脂肪族聚氨酯涂料

双组分水性聚氨酯涂料

聚天门冬氨酸酯



# 风机叶片涂料现状



厂家	涂料配套	涂料体系	配套干膜厚 / $\mu\text{m}$	施工	价格
PPG	底面合一	溶剂型环氧丙烯酸聚氨酯	200 (100+100)	滚涂或 喷涂	较高
Mankiewicz	底漆+面漆	溶剂型聚氨酯	150	滚涂或 喷涂	较高
BASF	透明胶衣+ 底漆+面漆	无溶剂聚脲+水 性聚氨酯	480	滚涂或 喷涂	高
Bergolin	胶衣+面漆	无溶剂聚氨酯+ 水性聚氨酯	280	滚涂或 喷涂	高

效果并不理想，多有运行4年的维护记录

存在不足或难以适应之处，如耐风蚀性能直观试验

耐候性亟待改进



## 风机叶片涂料主要性能要求



目前暂时没有针对风机叶片涂料的行业标准，根据叶片材料标准（**JB/T10194-2000**）和叶片涂料长期应用效果,可以得出：

- **耐候性：**耐紫外老化性，使用寿命在20年以上；
- **耐磨性：**能够抵御风沙的侵蚀及叶轮高速转动产生的磨擦；
- **耐盐雾：**适应海上及沿海地区的苛刻环境；
- **耐湿热：**沿海及高湿热环境下的性能；
- **耐酸碱性：**抵抗酸雨、化工污染的侵蚀；
- **附着力：**可以和玻璃钢基材具有很好的粘合力；
- **延伸率：**适应叶片的热形变；
- **抗结冰：**防止叶片发生损坏。





# 中远关西风机叶片涂料体系



**COSCO KANSAI**

面漆

聚氨酯涂料  
PU ELSAT FINISH 3140

底漆

聚氨酯涂料  
RETAN PRIMER 70

腻子

无溶剂聚氨酯腻子  
WINTHANE PUTTY SF-25





## 氟碳涂料是叶片涂料的趋势



COSCO KANSAI

- ✓ 氟碳涂料与聚氨酯涂料主要性能对比
- ✓ 氟碳涂料性能优势
- ✓ 氟碳涂料的耐候性
- ✓ 氟碳涂料的耐化学品性
- ✓ 氟碳涂料的抗结冰性
- ✓ 风机叶片用氟碳涂料可行性





## 氟碳树脂与聚氨酯树脂主要性能对比



COSCO KANSAI

类型	聚氨酯涂料	氟碳涂料
耐候性	○	●
耐磨性	●	●
耐盐雾	●	●
耐湿热	●	●
耐酸碱性	○	●
附着力	●	●
延伸率	○	○
抗结冰	○	●

● 非常好

○ 较好

◎ 一般

△ 较差



## 氟碳涂料性能优势



### ➤ 超耐候性

氟碳涂料具有超长耐候性，经5000h人工加速老化试验，保光率80%，作为风机塔筒涂层，可应用20年以上，涂层不粉化，不起泡，不起皱，不脱落。

### ➤ 氟材料的低表面能憎水，具有抗结冰性。

与纯水的接触角大于其他材料，而且氟含量增多，接触角也逐渐增大，当氟在整个膜中达到8%（质量分数）左右时接触角接近100%。

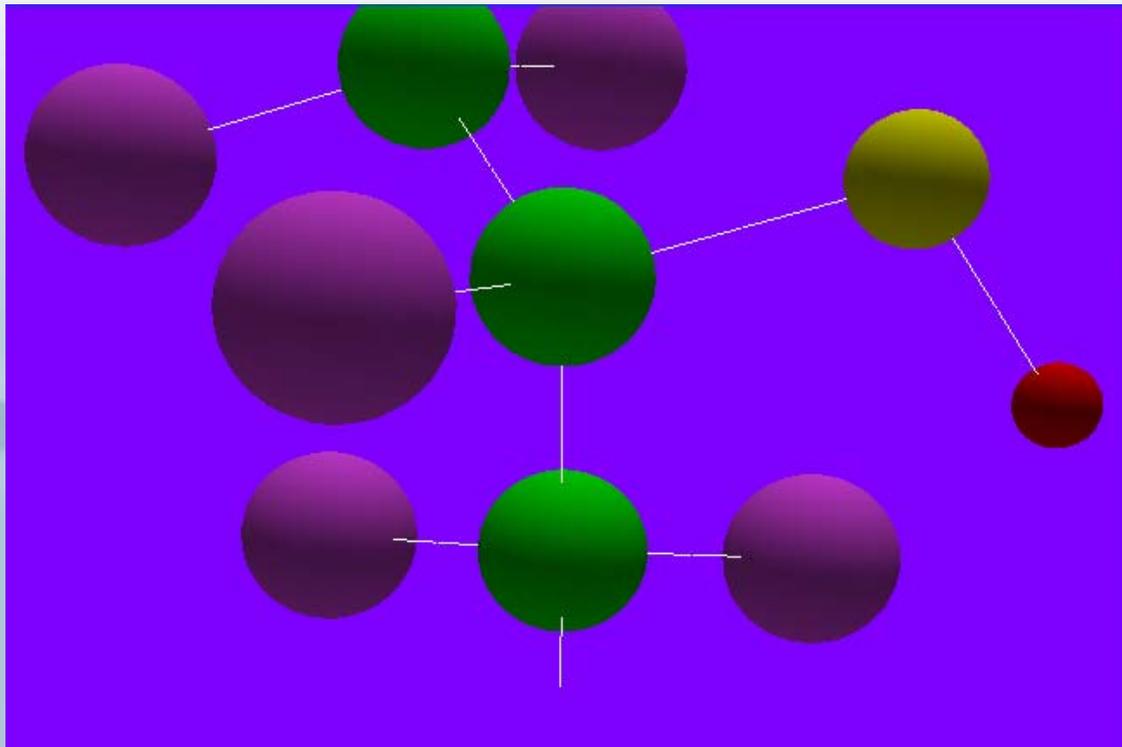
### ➤ 机械性能满足要求

可以通过采用弹性固化剂等方式，改变风机叶片用氟碳涂料的机械性能，满足其弹性、耐磨性等特殊功能



## 氟碳涂料的耐化学品性

- 氟原子与碳碳形成一个螺旋形结构，氟原子具有屏蔽作用；氟原子保护C-C键免受紫外线和化学品侵蚀。





## 氟碳涂料抗结冰性能



- 在低温结冰等自然灾害条件下，国际品牌叶片涂料表现出很差的抗结冰性能，造成叶片负荷加重，运行极不稳定，严冬时水会结冰导致内芯快速损坏。





## 氟碳涂料的低表面能



FEVE氟碳涂料表面亲水程度低，雨水呈水珠状

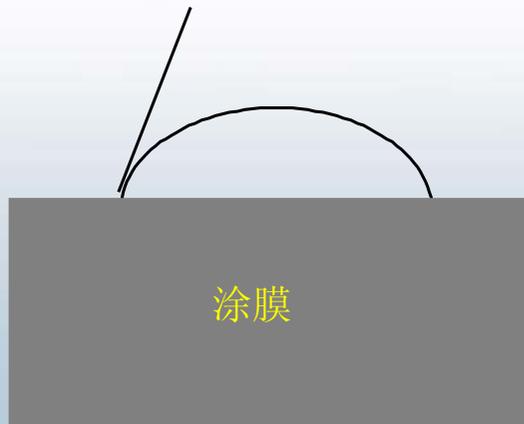
防冰雪涂料就是在需要保护的材料表面形成一薄层特殊取向的疏水分子层，实质上相当于在被保护表面与冰晶之间筑起一层分隔膜，表面对水的接触角大于90°，表面能低于 $25 \times 10^{-3} \text{N/m}$ ，冰雪不易附着。



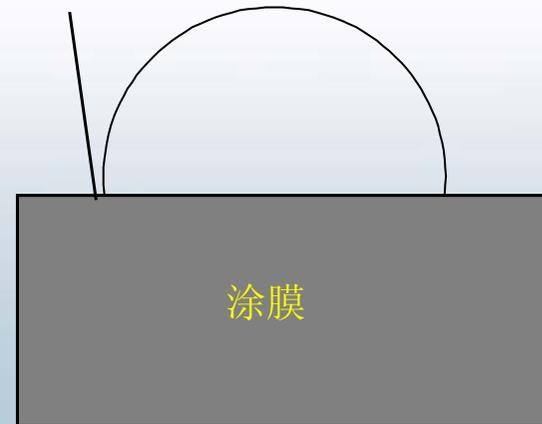
## 氟碳涂料的接触角



### 涂膜接触角比较



普通聚氨酯涂膜 (  $70^{\circ}$  )



普通氟碳涂膜 (  $100^{\circ}$  )

氟碳涂料较低的表面能和较大的接触角导致冰雪难以附着在叶片表面

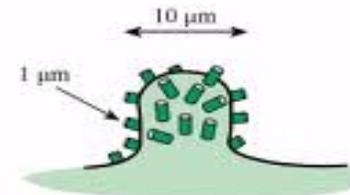
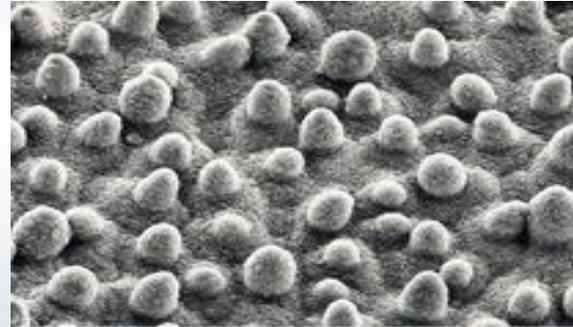




# 氟碳涂料抗结冰性能设计



- 荷叶效应

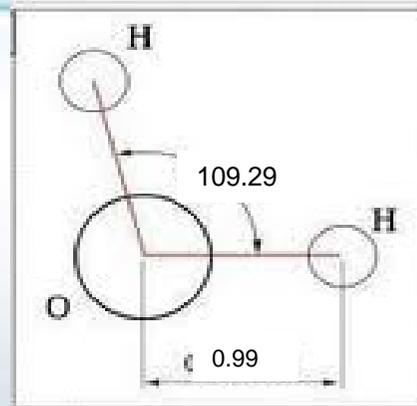




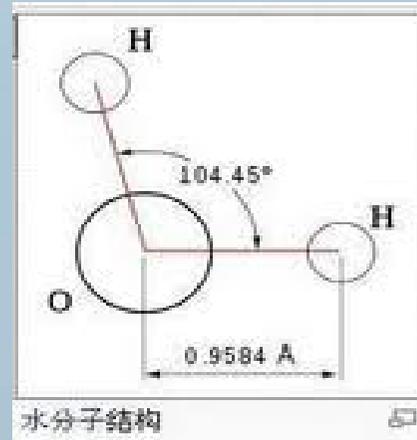
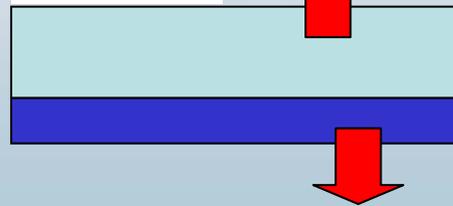
# 氟碳涂料抗结冰性能设计



- 特殊技术



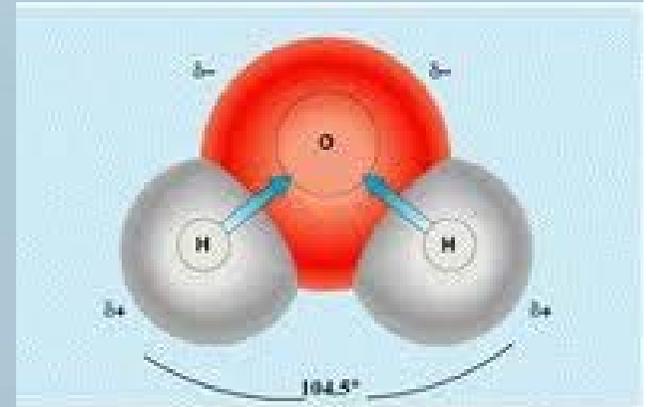
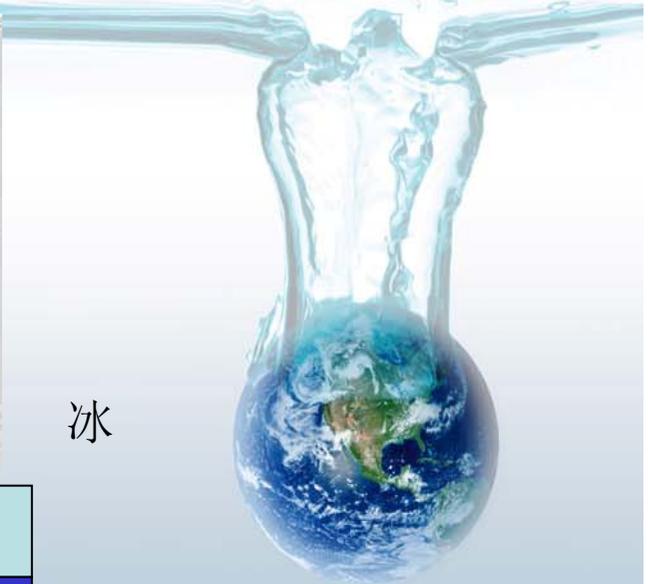
冰分子结构



水分子结构

冰

水



# 叶片涂料的国产化要求



## 合作协议

甲方：化工行业生产力促进中心

乙方：中远关西涂料化工(天津)有限公司

本着优势互补、资源成果共享的原则，双方协商，乙方作为国家化工行业生产力促进中心的合作企业共同承担 863 课题。

国家 863 计划“MW 级风力发电机组风轮叶片原材料国产化”子课题“叶片辅料原材料国产化的制备及应用技术研究”中“叶片表面保护涂料”的产业化研究，其项目编号：SQ2009AAA03ZX1487234。

合作内容达成如下协议：

### 1、课题组织管理

甲乙双方共同组建课题组，保证工作紧张有序地完成，实现水性风电涂料产业化生产和供货。

### 2、任务分工

乙方负责叶片表面保护涂料的配方优化设计，甲方和乙方共同进行叶片表面保护涂料的性能评价，共同参加风电叶片涂料标准制定。

乙方负责批量生产，达到项目产业化考核的目标。

### 3、项目经费

前期研究双方共同承担，最终验收费用由总题支付。

### 4、知识产权与成果管理及权益分配

本课题中由双方共同申报的专利、双方确认的共有知识产权以及

## 863项目风电性能指标

### 定性描述：

- 提高叶片耐紫外老化、耐风沙侵蚀以及耐湿热、盐雾腐蚀能力，适应我国南北方不同极端气候条件下风电场使用需求，保证风轮叶片20年的设计使用寿命

### 具体指标要求是：

- 1附着力 $\geq 5\text{MPa}$
- 2自然表干/8h，40℃烘干/3h
- 3耐磨性500g/500转 $\leq 20\text{mg}$
- 4耐盐雾 $\geq 2000\text{h}$ ，无脱落，附着力保持80%
- 5耐砂尘试验满足GB2423.37-89

联系电话：010 8488 5387

代表签字：

日期： 年 月 日

联系电话：022-25292009

代表签字：

日期： 年 月 日



# 叶片涂料的标准化

CGC  
北京鉴衡认证中心认证技术规范

CGC/GFxxxx:2011  
(CNCA/CTSxxxx:xxxx)

## 风力发电机组风轮叶片 涂料技术规范

Technical Specification of Coatings for Rotor Blade of  
Wind Turbine

201X-XX-XX 发布 201X-XX-XX 实施

北京鉴衡认证中心 发布



# 北京鉴衡认证标准

表1 风力发电机组风轮叶片底漆、面漆性能要求

序号	项目	性能指标	
		底漆	面漆
1.	漆膜颜色和外观	表面颜色均匀一致, 符合颜色样板或色卡, 表面平整光滑。	
2.	细度/μm	≤ 60	35
3.	密度/(g/ml)	符合产品要求, 误差±0.05	
4.	光泽度(60°)	—	30
5.	不挥发物含量/(% (油性涂料))	≥ 70	60
6.	VOC含量/(g/L)(水性涂料)	≤ 150	
7.	干燥时间	表干/h	≤ 1
		实干/h	≤ 10
8.	柔韧性/mm	≤ 1	
9.	耐冲击性/cm	≥ 50	
10.	耐磨性(500g/500r)/mg	—	20
11.	热裂伸长率/%	25℃	≥ 30
		-40℃	≥ 5
12.	热裂程度	25℃	待定
		-40℃	待定

SAI

表2 风力发电机组风轮叶片底漆和面漆配套体系性能要求

序号	项目	性能指标
1.	附着力/MPa	≥ 5
2.	落砂耐磨(100L砂)/(L/μm)	≥ 5
3.	耐盐雾性	2000h 漆膜不起泡、不剥落, 附着力保持率不小于80%
4.	耐水性	240h, 漆膜无变化
5.	耐湿热性	1000h 漆膜不起泡、不剥落, 附着力保持率不小于80%
6.	耐人工加速老化性	1500h 漆膜不起泡、不剥落、不粉化, 允许轻微变色, ΔE≤3.0, 保光率不小于80%
7.	耐酸性, 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	240h 漆膜不起泡、不剥落, 允许轻微变色
8.	耐碱性, 5% NaOH	240h 漆膜不起泡、不剥落, 允许轻微变色
9.	耐液压油	4h 漆膜可恢复
10.	冷热+高温高湿循环	循环3~5次漆膜不起泡、不剥落



## 风机叶片用氟碳涂料的可行性



- 风机叶片涂料性能要求较高，必须有高性能涂料与之结合，以前广为流行的聚氨酯涂料的耐候、抗结冰性能略显不足；
  - 氟碳涂料性能优越，具有“涂料之王”的称号，已经广泛应用于桥梁、电视塔、风电塔筒等难以经常施工或施工成本较高的塔架防腐等领域；
  - 氟碳涂料具有聚氨酯涂料的优点，如耐盐雾、耐磨、耐湿热及优异的附着力等，而且还能弥补聚氨酯涂料的缺点，如：耐候性、耐介质及抗结冰性能；
- 



# Thank You !



**COSCO KANSAI**



COSCO KANSAI