

# HEMPAGUARD - 性能提升证明

Mads Raun Bertelsen, 海虹老人集团船舶漆解决方案管理总监

Diego Meseguer Yebra, 海虹老人集团船舶漆研发总监

## 概述

Hempaguard系统具备优于传统防污涂料的优异性能。此系列可通过以下方式最大限度降低船体的摩擦阻力：(a) 出坞便具备光滑的表面；(b) 无论基材和施工条件，都能够始终保持光滑，不会随时间推移而改变；(c) 优异的防污能力，船只在侵蚀性水域内闲置时，此性能尤为突出。本文汇总了各类资料，证明Hempaguard作为高端船体涂料解决方案，能够提高船体能效，极大提升船只的碳强度指标（CII），并为提升现有船舶能效指数（EEXI）而提高船只的参考航速（Vref）。Hempaguard在一系列与外部合作伙伴一道开展的实验室级实验和流体动力学研究项目中，都展现出最引人注目的燃油节省潜力。实验结果还通过各类运营船舶实际的性能监测数据得到了最终验证。

## 1. Hempaguard在现有船舶能效指数（EEXI）和碳强度指标（CII）方面的性能

已确认Hempaguard具备以下燃油节省性能：

- 与所有传统型防污涂料相比，出坞便立即可帮助船只降低6%到8%的燃耗，相当于船舶速度提升2%到3%，因此预计EEXI将提高2%到3%。此外，与表面处理时进行局部修补相比，对水下船体进行全面喷砂处理后，还可再减少2.5%左右的燃耗。
- 采用ISO 19030方法的测量结果显示，Hempaguard与市面上普通的防污涂料相比，出坞便表现出更强的燃油节省性能，且随时间推移出现的速度损失较小（Hempaguard X8和X7分别可保证仅有1.2%和1.4%的速度损失率）。也就是船舶运营期间总效率将提升20%到22%。这意味着船舶运营期间二氧化碳排放量将减少20%到22%，从而碳强度指标（年效率比）预计将提高20%到22%。与传统高端防污涂料相比，使用Hempaguard后的船舶总效率和碳强度指标预计都将提升9%到12%。



图1: Hempaguard与传统防污漆相比对船只在燃油节省性能上的影响（转换为CII和EEXI的提升值）

## 2. 体现性能的证明

Hempaguard具备优于传统防污涂料的优异性能。此系列可通过以下方式最大限度降低船体的摩擦阻力：（a）出坞便有光滑的表面；（b）无论基材和施工条件，都能够始终保持光滑，不会随时间推移而改变；（c）优异的防污能力，船只在侵蚀性水域内闲置时，此性能尤为突出。下文阐述了造成船只在水中摩擦加大的各项因素，并给出了Hempaguard相对于传统防污涂料的测量与测试结果。

### 2.1 Hempaguard出坞便有极为光滑的表面

众所周知，船舶表面粗糙度会对其性能产生影响。对刚出坞的船舶进行实测后得出的船体平均粗糙度（AHR）可证明，与传统防污涂料相比，应用Hempaguard的船体表面更光滑。海虹老人近年对100艘船进行了调研，其中涂装了有机硅涂料的船舶中，有86%的船体平均粗糙度低于100微米，而涂装了传统防污涂料的船舶，其平均值则为140微米到160微米。这将对油耗产生极大影响。Townsin（1979年）提出了一项理论，即粗糙度每提高约10微米，油耗就会上升0.7%到1%。

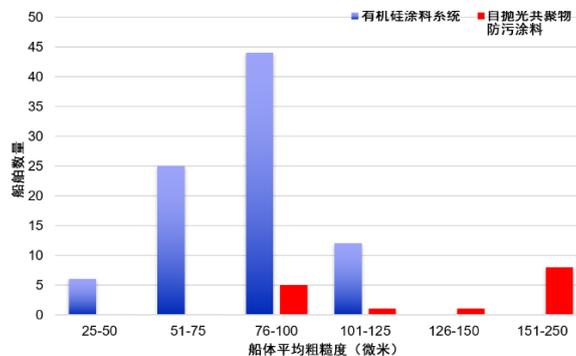


图2：实测船体平均粗糙度数据——抽样约100艘船，包括各类尺寸的集装箱船、油轮和散货船。

### 2.2 Hempaguard涂层将始终保持光滑

传统防污涂料所形成的涂层，会随时间的推移而抛光，表面粗糙度会不断提升。与其不同的是，Hempaguard将始终保持表面光滑度，如下图所示。传统防污涂料通常初期具备一定平滑效应，可解决船体表面不均匀的问题。但之后的防污抛光过程会因形成渗透层而导致表面粗糙度上升。

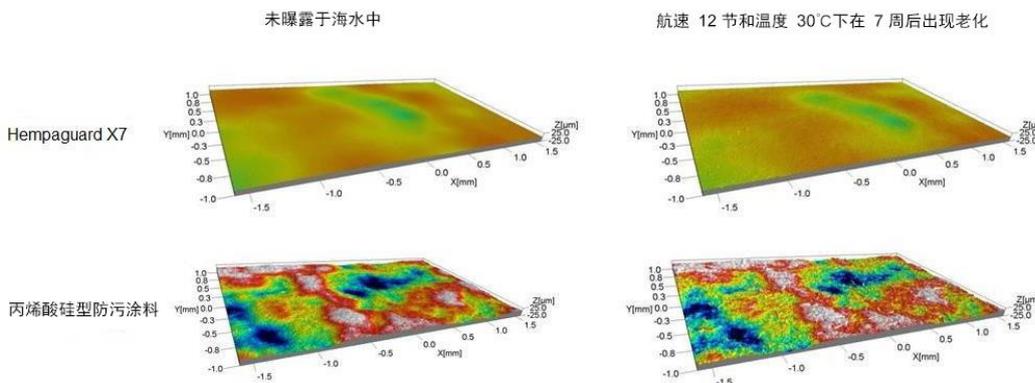


图3：对施工的两层表面在暴露于海水前进行测量，并在暴露于海水（30度）7周（12节/小时）后进行对比。Hempaguard®涂层仍保持光滑，丙烯酸硅型防污涂层的粗糙度则从一开始就比较高，且随时间的推移不断增加。

## 2.3 无论基材和施工条件，Hempaguard都能形成光滑的表面

通常，基材会影响最终涂层的表面质量。表1列出了涂装一系列不同涂料后的平均粗糙度。无论基材的表面粗糙度如何，Hempaguard始终能够形成光滑的表面。

涂料类型	实验室条件 (理想条件)	干坞—基材与施工条件均良好	干坞—基材与施工条件均欠佳
Hempaguard	45微米	可达100 微米	可达 125 微米
有机硅涂料	50微米	可达 110 微米	可达 135 微米
高端纳米丙烯酸酯涂料	60 微米	可达 125 微米	可达 175 微米
高端丙烯酸硅型涂料	70 微米	可达 150 微米	可达 200 微米

表1：涂装几种涂料后所形成的各类涂层所具备的表面平均粗糙度

## 2.4 与传统防污涂料相比，Hempaguard具有极大降低摩擦阻力的优势

Hempaguard可形成更光滑的表面，且无论基材和施工方式，表面都能始终保持光滑。然而，涂层表面的重点在于摩擦方面的影响。许多独立研究机构都开展了相关研究，对比了硅涂料与传统防污涂料抗阻力的能力。下表汇总了其中部分研究结果：

来源	摩擦系数 ( $\Delta C_f$ ) 减小率	备注
Weinell et al.(2003)	6.1%	转盘试验（库埃特流Couette），PVC光滑表面
Candries et al.(2003)	3.5%	转盘法，PVC光滑表面
Schultz (2004)	3.0-3.8%	304SS
Candries和Atlar (2005)	5.3%	光滑钢表面，湍流边界层测量
Force Technology (2008)	1.4%	拖曳试验，光滑铝板

表2：清洁型海生物不粘附涂料与自抛光涂料之间在摩擦系数上的典型差异。结果显示，与侵蚀型防污涂料相比，有机硅面漆可持续降低船体阻力

### 2.4.1 船模水池拖曳试验

为进一步确认Hempaguard®的性能优势，海虹老人与印度马德拉斯理工学院（Indian Institute of Technology Madras）合作，使用船模进行了水池拖曳试验。计算了Hempaguard®涂料和高端防污涂料在有效功率上的差异，详见下文。速度间隔平均差值为3.6%。

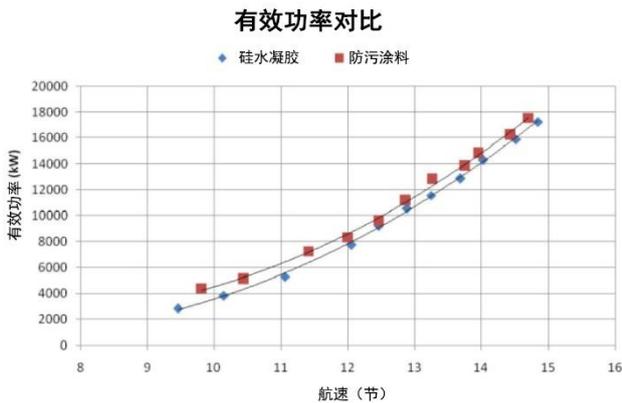


图4: 与高端防污涂料相比, Hempaguard®涂料船模试验的有效功率随船速变化, 推动功率降低3.6%。

### 2.4.2 转盘试验

本实验采用了在海水中旋转圆盘的实验装置。转盘上涂有不同的防污涂料。测量了扭矩差, 并将其换算为摩擦系数。下图显示了两种涂料系统的摩擦系数差与基材粗糙度的关系。基材粗糙度越大, 摩擦系数差就越大。

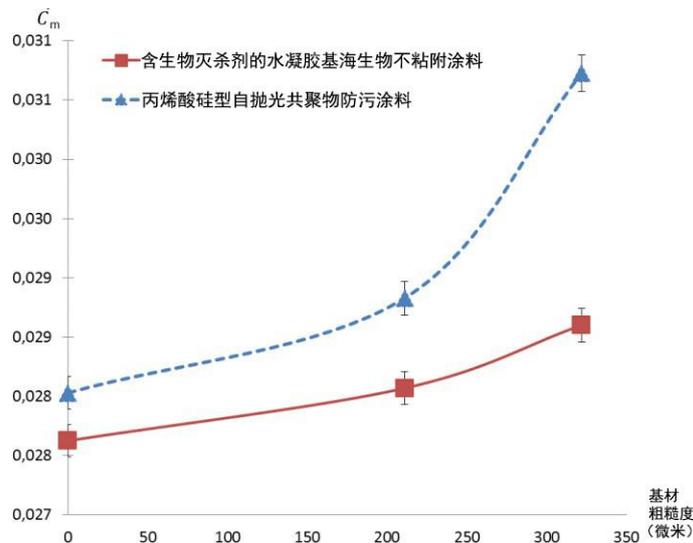


图5: 涂装两种涂料系统后, 摩擦系数与基材粗糙度之间的关系。无论基材有怎样的粗糙度, Hempaguard® (红线) 和丙烯酸硅型防污涂料 (蓝线) 将形成的表面始终更光滑。

### 2.4.3 大型拖曳水池试验

为提高摩擦研究的准确性, 海虹老人利用FORCE Technology科技咨询服务公司的拖曳水池, 采用ITTC的标准进行了大规模试验。在规格为2.5m x 0.6m的试验板上涂装了涂料, 并以每秒7米的速度拖曳。最后计算了各种涂料的表面摩擦系数。

FORCE Technology计算了Hempaguard相对于传统防污涂料的燃油节省潜力, 具体见下表所示。初期平均燃油节省率为6%。之所以具备这样的燃油节省潜力, 源于Hempaguard可形成更光滑的涂层, 且拖曳水池试验期间施工该涂料的平板在水中前行更顺畅。

船型	初期燃油节省率 (%)
阿芙拉型油轮	7.2
散货船	5.9
集装箱船	6.5
气体运输船	5.1
滚装客船	4.8
补给船	3.5
超大型油轮	8.6

表3: 针对不同船型而言, Hempaguard相比传统防污涂料的初期燃油节省率。

### 2.4.4 污损条件下的摩擦系数测量

为测试涂料的防污性能, 将扁平圆盘在荷兰登海尔德浸泡了一个月, 使涂层暴露于海洋污损环境中。针对不同涂料产品计算了污损对拖曳阻力的影响。圆盘在海水中暴露一个月后的外观如下图所示。



图6: Hempaguard®和三种高端传统防污涂料的涂层暴露于海洋环境一个月后的外观。

涂层暴露于海洋环境后, 采用无污染状态下测量转盘的程序再次对阻力进行测量, 即利用葛兰维尔 (Granville) 计算公式将测得的扭矩值换算为摩擦系数, 再用FORCE Technology开发的ResPro软件换算为针对不同船型的实船功率提升值。下图汇总了旋转圆盘实验在污染和非污染条件下得出的结果, 以阿芙拉型油轮为例。

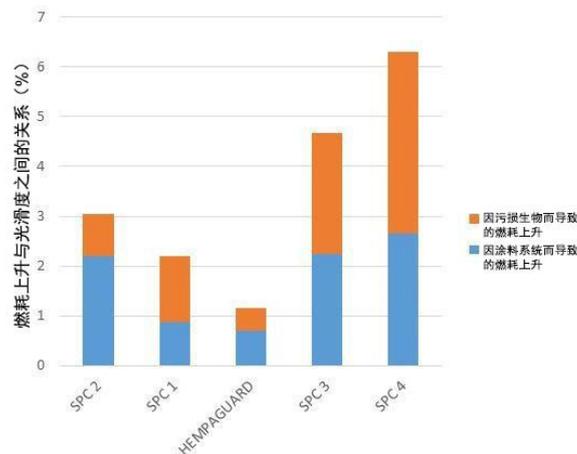


图7: 显示了一系列船体涂料 (Hempaguard®和四款高端传统型防污涂料) 所形成的流体力学光滑船体对于油耗上升所发挥的作用。Hempaguard®在海洋环境中形成的涂层光滑、最耐污损, 所以其性能优于其他所有涂料。

## 2.5 运营船只的船体性能监测

要对Hempaguard的卓越性能所带来的实际影响进行评估，最好的方式是用船上监测设备对运营船只的性能进行监测。船体涂层的性能结合以下两个性能指标进行测量：

### (1) 出坞性能

体现出干坞后初期绝对性能的指标。此时视船体为未粘附污损生物，且机械损伤有限，即运营前10到12个月内的性能，按相同的速度对比功率消耗。以下给出了一个典型例子，对比了两艘带轴功率测量仪且航行模式相同的苏伊士型姊妹船。A船完全喷砂并施工了Hempaguard。B船则局部喷砂并施工传统型防污涂料。按13节的速度对两者的功率消耗进行对比。前10个月的实际数据显示，应用Hempaguard涂料的A船功率消耗少15%。

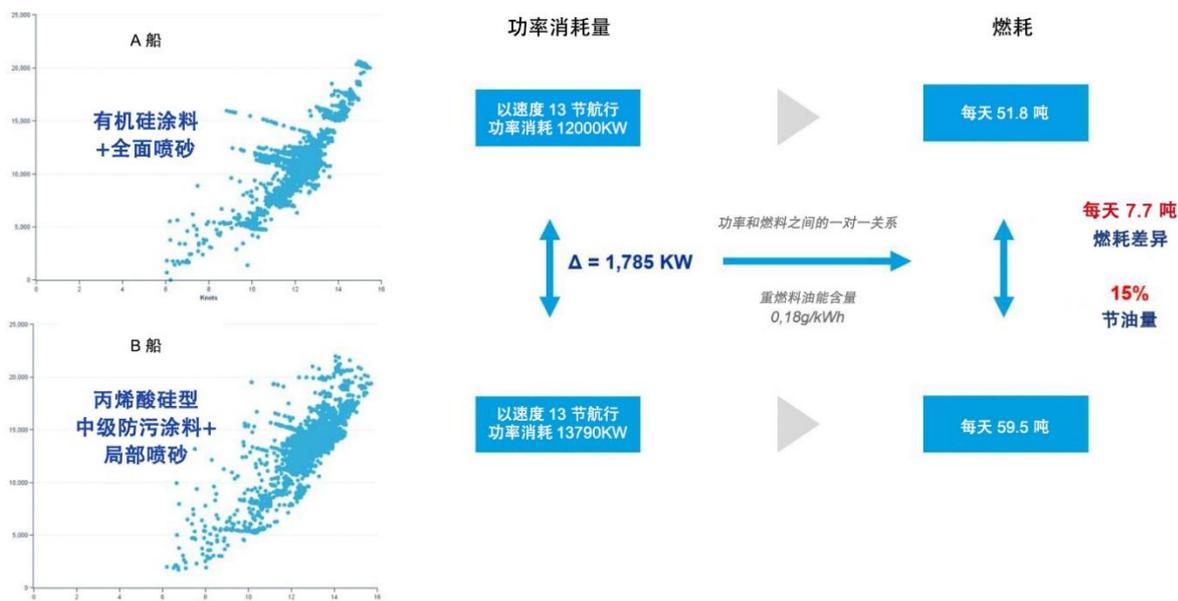
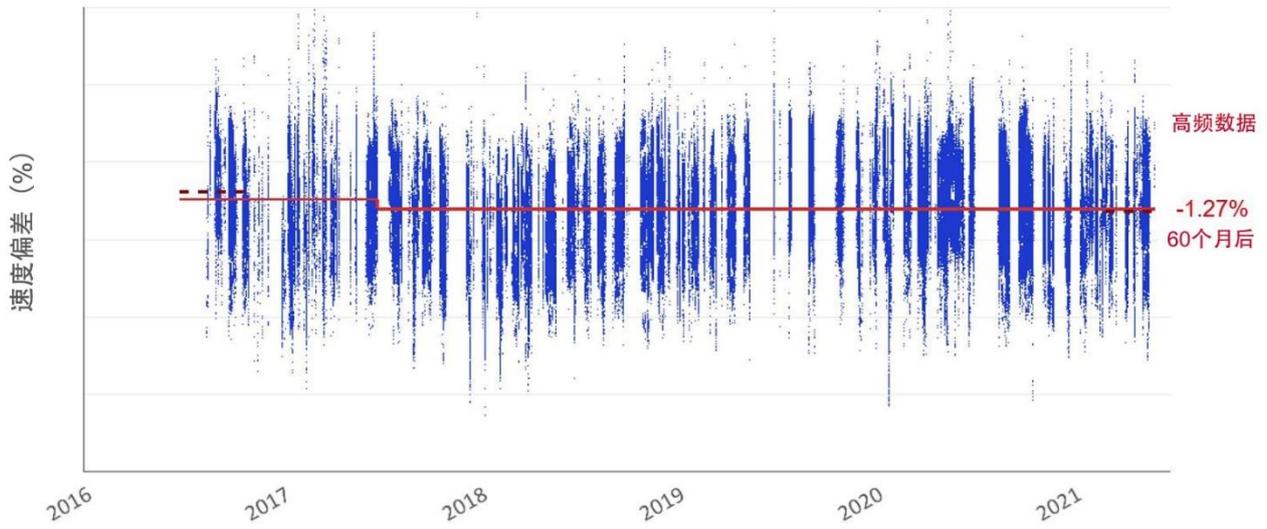


图8：出坞性能示例——两艘航行模式相同但船体涂料和表面处理方式不同的姊妹船

### (2) 随时间推移产生的性能变化

这是一个依据ISO 19030标准对随时间而变化的性能进行测量的指标。船只运营首年的指标为基线，其他运营期的指标与其相对比，由此展示性能随时间的下滑情况。依据参考航速功率曲线测量了各数据点的偏差（%）。

下图对比了Hempaguard涂层和甲基丙烯酸酯防污涂层因船体和螺旋桨污损而导致的常见速度变化率（速度损失率%）（图9）差异，并显示了Hempaguard形成的速度变化情况（图10和图11）。速度损失率（%）指给定固定功率输出下船舶的速度变化值。给定功率输出下，船体上积污越多，船舶速度越慢。



安装了轴功率计与数据记录器的LNG船出现的速度变化——运营60个月，未清洗



图10：运营3年的油轮（超大型油轮）随时间推移因船体积污而导致的速度变化

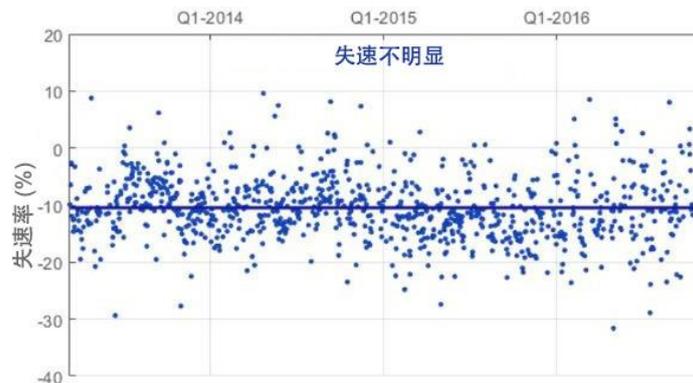


图11：运营4年的集装箱船随时间推移因船体积污而导致的速度变化

## 2.6 结论

综上所述，采用转盘（包括污损和无污损转盘）试验、拖曳水池试验和船模大规模试验的摩擦测试的结果证明，Hempaguard与传统型自抛光防污涂料相比，具备如下优势：

- 船只自运营第一天起就形成光滑的表面，且初期平均燃油节省率为6%
- Hempaguard涂层始终保持光滑，不受时间影响
- Hempaguard防海洋污损生物堆积的能力最强，能够在其整个使用寿命期间保持光滑

从一系列运营船只上采集的船上性能监测数据证实，实验室结果和拖曳水池试验结果具有可靠性。以上数据表明，Hempaguard是市面上最节能的船体涂料，也是市面上有助于节约燃油的、最具成本效益的翻新用涂料。

## 参考文献

- 1) “涂料与涂料工业” (Paint and Coating Industry), 30, 8, 20-23, 2014
- 2) Granville, P., “通过旋转圆盘试验法表现任意粗糙表面的阻力” (Drag-characterization method for arbitrarily rough surfaces by means of rotating disks)。《流体工程期刊》(Journal of Fluids Engineering), 104, 373–377, 1982。
- 3) Candries, M.和Atlar, M., “船舶防污涂层表面湍流边界层的实验性研究” (Experimental investigation of the turbulent boundary layer of surfaces coated with marine antifouling), 《流体工程杂志》(Journal of Fluids Engineering), 127 (2), 219–232, 2005
- 4) Candries M.、Atlar M.、Mesbahi E.和Pazouki K., “使用转子装置测量无锡自抛光共聚物涂层和海生物不粘附涂层的抗阻特性” (The measurement of the drag characteristics of tin-free self-polishing co-polymers and fouling release coatings using a rotor apparatus), 《生物污损》期刊 (Biofouling), 19 (增刊), 27-36, 2003
- 5) Schultz M.P., “防污涂料系统的摩擦阻力” (Frictional resistance of antifouling coating systems), 《流体工程期刊》(Journal of Fluids Engineering), 126, 1039–1047, 2004
- 6) Schultz M.P. (2007) “涂层粗糙度和生物污损物对船舶阻力和动力的影响” (Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering), 《生物污损》期刊 (Biofouling), 23 (5), 第331-341页
- 7) Townsin, R.L. (1979) “污损生物和粗糙性造成的经济后果” (The economic consequences of fouling and roughness), 海洋污损生物研讨会 (Marine Fouling Seminar), 伦敦
- 8) Weinell C.E.、Olsen K.N.、Christoffersen M.W.和Kiil S., “使用实验室规模旋转装置的抗阻实验研究” (Experimental study of drag resistance using a laboratory scale rotary set-up), 《生物污损》期刊, 19 (增刊), 45-51, 2003