



橡胶护舷 生产的关键环节-混炼

白皮书



在船用护舷中，橡胶对护舷系统的性能起了至关重要的作用。然而，人们对橡胶化合物质量及其对护舷性能的影响的认识普遍有限。对原料选择、混合和生产工艺的作用认识不足。

制定最佳实践

PIANC的《护舷系统设计指南》（2002年版）强调了速度系数（VF）和温度系数（TF）在护舷设计和选择中的重要性，并为报告和计算提供了指导。

由于护舷种类繁多，而且缺乏测试设施，所以在实际靠泊速度下进行测试异常困难。因此，通常以2-8mm/s的压缩速度进行护舷测试，这比船舶的实际靠泊速度低得多。为了弥补这一点，VF被应用到低速测试结果中，以模拟实际的靠泊。

护舷的性能与护舷橡胶的刚度成正比，橡胶刚度随温度变化而变化。护舷通常在 $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 下进行测试。然而，在实际中，会暴露在更广泛的温度下。为了模拟实际性能表现，采用TF。

VF和TF都对不同种类橡胶化合物的化学成分（配方）高度敏感。成分选择和橡胶化合物配方也是决定特定护舷效率（能量吸收和反作用力的比率）的重要因素。

橡胶配方对护舷的疲劳寿命也有直接影响。美国材料试验协会（ASTM）将疲劳寿命定义为“试样在发生特定性质的失效之前所承受的特定性质的应力的循环次数”。对于船用护舷，疲劳寿命定义了护舷的使用寿命，或者说在失效前能承受的疲劳循环次数。

直到最近，由于缺乏合适的测试和规范，护舷行业尚未对橡胶护舷中的化学成分进行实践了解。

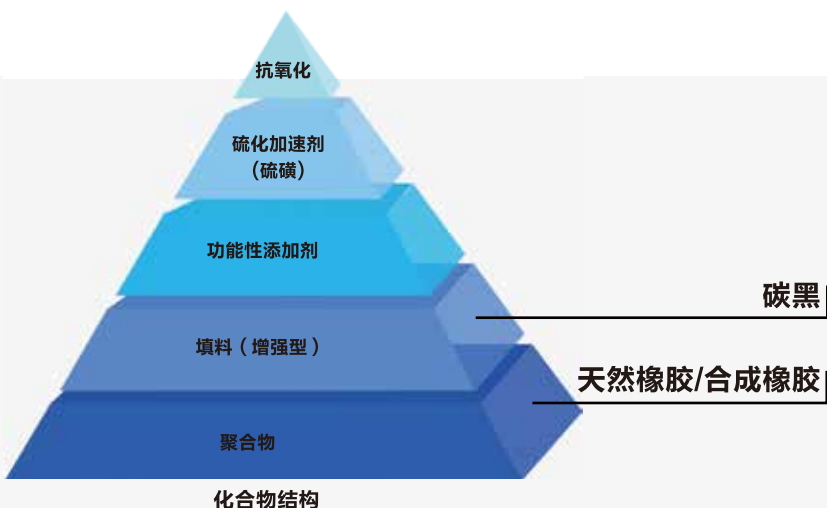
然而，在针对配方对护舷性能的影响进行全面研究后，特瑞堡航运与基建业务部为利益相关者推出了新的规范，利用热重分析或TGA测试，可对特定护舷的化学成分进行定量和定性评估。

TGA测试得到了业界的一致好评。其他高质量的制造商也纷纷效仿，目前，业界的趋势是倾向于顾问公司将TGA测试的要求纳入规范。

这很重要，因为TGA测试决定了护舷生产是否使用了技术含量较高的橡胶配方，这种配方几乎不含回收橡胶，只含碳黑等增强型填料。增强型填料可提高橡胶的力学性能，而碳酸钙等非增强型填料则可能会破坏护舷的力学性能。

所用的橡胶和填料很关键：典型的护舷橡胶配方中，70-80%由生胶（天然或合成）和碳黑组成，而剩下的20%-30%则由10到15种其他低含量成分组成。原胶、碳黑和这些其他成分再通过混炼过程转化为橡胶化合物。

虽然TGA测试可以确保配方优越，但仅依靠该测试不足以保证橡胶化合物的质量或成品的一致性。这些参数依赖于优异的混炼工艺。



成分	%
生橡胶（聚合物）	40-45
填料（增强）	30-40
油（功能添加剂）	20-10
其他（S + ACC等）	10-5
总计	100

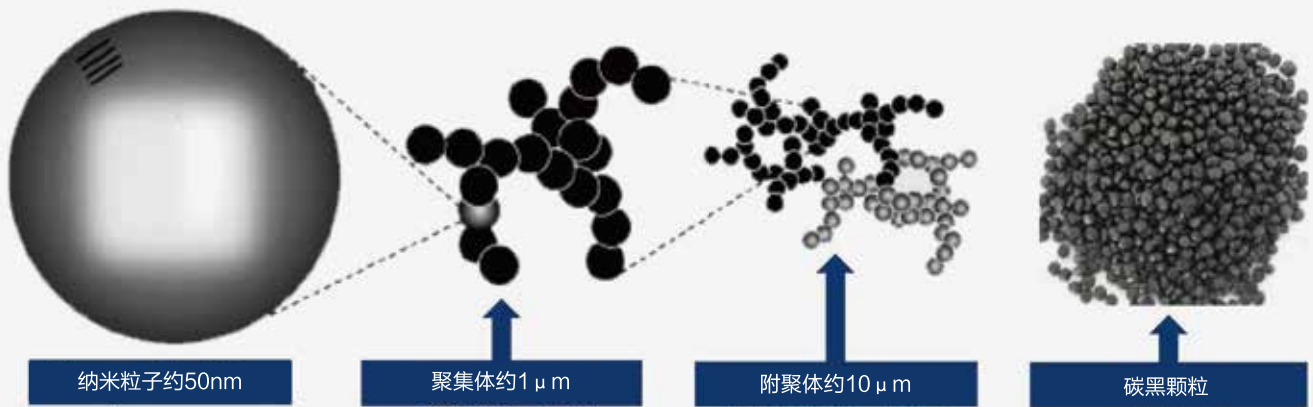
经TGA试验确认的优良配方，在转化为橡胶化合物时，仍可能因混炼工艺低劣而导致质量低劣。这最终会生产出一个劣质的护舷，无法吸收正确的能量。

特瑞堡在聚合物工程设计方面有着悠久的历史，通过对橡胶化合物混炼的不断研究，已经证明了混炼和制造过程对生产优质橡胶化合物，及之后生产优质橡胶护舷的重要性。

本文将透析混炼过程的重要性，用于制造橡胶化合物的设备，以及两者对护舷性能和生命周期的影响。

混炼过程

高质量的化合物是指碳黑被分解，并均匀分布在橡胶基体形成的化合物。碳黑以颗粒的形式供应给制造商。这些颗粒可以进一步粉碎：从碳黑颗粒到附聚体，再到聚集体，最后为纳米粒子。



在理想情况下，碳黑应被分解成纳米粒子，并分布在橡胶基体中。但需要极其先进的混炼设备将其分解到聚集体程度，以确保在橡胶基质中均匀分布。

为了达到这个要求，橡胶和碳黑必须在混炼设备内经过以下主要步骤：

加入碳黑：当碳黑与橡胶混合时，碳黑附聚体会被橡胶包裹，这个过程称为浸润或嵌入。

碳黑分布：然后，橡胶渗透到碳黑附聚体的空隙中。当橡胶穿透胶团之间的狭窄通道时，就会形成粘合橡胶。粘合橡胶有助于将附聚体破碎为聚集体。

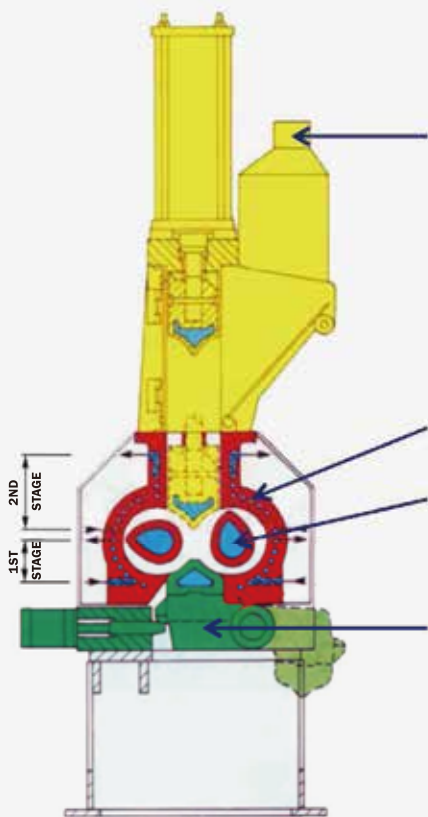
碳黑分散：分散是一个缓慢的侵蚀阶段，在这个阶段，由于混炼过程中产生的应力，附聚体被粉碎到聚集体级。

碳黑在最终化合物中的分散比例是影响最终产品品质的关键。分散性差会导致产品寿命缩短、性能差、外观差、加工特性差，甚至产品均匀性差等不利影响。

为了使碳黑分散度高且均匀，操作员必须保证对混炼过程严密控制，并且在此过程中使用的设备须处于良好状态。

设备提升性能

高性能设备



密炼机

进料斗：设计能达到最大限度的冷却，气动操作。

冷却系统：为避免热量积聚而设计。

注油：可从多处注油。

夹套：铸钢，带高效的冷却/加热系统。

转子：专为性能而设计，采用坚固的结构制造，确保高效生产。

出料口：为高效的批次分散和温度控制而设计。

影响最终混合料炭黑分散性的机械相关参数有很多。这些包括活塞压力、转子速度和设计、填充系数、冷却剂温度、混合顺序、时间和通过密炼机的次数。

活塞压力：在混炼过程中，必须监测施加在活塞上的压力，以确保密炼机中的材料与转子快速接触。这样也可防止后续批次推力升高。

转子速度 and 设计：必须调整转子速度，才能更快地实现分散。

填充系数：必须调整填充系数，满足特定混合物的规格。如果填充系数过高，可能会有部分批次漏料，造成混合料的非均质性和非均匀性。填充系数过低会导致转子翼后的橡胶团形成空隙。

冷却剂温度：根据化合物的类型，混合温度必须控制在特定水平。在混炼过程中，如果混炼腔冷却不充分，可能会出现温度迅速升高，导致橡胶链断裂成小碎片。这可能对橡胶化合物的力学性能产生负面影响。

混合顺序：新原料加入混合物的顺序是另一重要因素。应根据所使用的橡胶、碳和油的种类调整顺序。

通过次数：橡胶化合物重复混炼的次数影响炭黑分散体的质量。对于含有大量增强型填料的化合物，通常采用三阶段混炼顺序。连续混炼阶段之间的熟化时间也影响着最终混合料中碳黑的分散比例。仅在混炼过程中增加一个阶段，就会致使炭黑分散性差。

下表重点介绍了两款机器的特点差异

参数	密炼机	捏炼机
活塞压力	受控	缺乏精细控制
转子速度	变速，以达到高效混炼(20-60 rpm)	固定 (30 rpm)
转子设计	精细，改善分散性	简单
冷却剂温度	受控	缺乏精确的控制装置
混合定时	2-5分钟	8-20分钟
橡胶+化学品的混合顺序+称重系统	受控和自动	手动且难以控制
混合室环境	清洁	扬尘脏污
营业成本	高	低
初期投资	百万	千
批量大小	大 (200 kg/批)	小 (50-75 kg/批)

过去，使用辊式捏炼机进行橡胶与碳黑混炼，其过程非常耗时，现今已不适用。当大批量原料需要高效混合时，有一种优良的机器可供制造商使用：密炼机（或Banbury混炼机）。

捏炼机是一些护舷厂家为了降低混炼过程中的成本而使用的一种小型混炼机。在捏炼机中，大部分关键的混炼参数都难以控制。其通常用于混合非关键产品的橡胶化合物。

密炼机是一个大型的封闭腔体，配备了两个精确设计的转子，连接到一个功率超过1200KW的强大电机。化合物生产是将橡胶、碳黑等原料引入混炼机的批量化生产过程。两个转子的强力旋转使腔体内的生橡胶、填料和其他成分发生剪切。

这种剪切使碳黑和其他化学品通过掺入、分布和分散工艺，在短时间内紧密混合到橡胶基质中。

密炼机需要多层宽敞作业面积。顶层为储料和计量设备，用于将精确数量的原料送入混合腔（位于中间层）。在混炼开始之前，混合腔的底门是关闭的。在加入橡胶、碳黑等成分后，活塞下降，形成了一个密封的腔体。

混炼腔完全密封后，混炼过程开始。在混炼腔内，橡胶发生撕裂和剪切。为了缓解这种放热过程，密炼机的精密冷却系统精确控制温度，以达到加工要求。

在混炼后，该批产品落入位于密炼机下方的双辊式捏炼机上，从而生产出橡胶化合物片材。

密炼机



捏炼机



密炼机配备了自动配料称重系统，消除了批量生产中人为误差和变化的可能性。所用的转子也经过特殊设计，可有效对橡胶进行撕裂和剪切。

捏炼机的体积要小得多，而且不具备密炼机的技术精密性。捏炼机无法产生使炭黑均匀分散所需的剪切力。混炼过程较长，而且人工操作的控制效果差。

机器不具备自动称量不同原料的功能，操作员对温度、混炼周期长短很难进行精确控制。由于温度控制不好，混炼时间延长，橡胶的分子链常被破坏，进而降低了最终化合物的特性。

捏炼机技术正在不断完善；然而，由于更换这些设备需要大额投资，低成本的护舷供应商仍在依赖老式捏炼机混炼。

费用是多少？

橡胶化合物的最终成本由原材料成本和混炼成本组成。因此，优等化合物的橡胶配方昂贵，天然或合成橡胶原料和增强型炭黑填料含量占绝大部分。

在密炼机所进行的混炼过程中，混炼成本可达到最终护舷成本的15%，而使用捏炼机，混炼成本只占最终护舷成本的5%左右。

两种机器所需的投资水平相差很大。捏炼机仅需一层厂房空间，而密炼机则需要多层。此外，这两种机器的初始支出成本在不同国家具有很大差异，密炼机要上百万元，而捏炼机只需几千元。

	高级化合物（不含回收橡胶）		劣质化合物（回收橡胶含量高）	
	密炼机1	密炼机2	密炼机1	密炼机2
硬度	77	74	77	76
共混模量（Mpa）	14.4	13.3	8.7	8.4

衡量成功：

炭黑分散对护舷性能的影响

硬度是目前行业内判断橡胶护舷的吸能能力和反作用力的做法。护舷的硬度可用硬度计这种手持仪器轻松测量。但是，这种衡量护舷性能的方法过于简单，基本不准确。目前市场上认为较软的护舷吸能能力较低，较硬的护舷吸能能力较高，但通过使用非增强型白色填料和再生橡胶，很容易提高橡胶护舷的硬度。

模量（刚度）是指固化橡胶样品抗拉强度测量过程中应力/应变图的斜率。橡胶化合物具有较高模量，表明护舷的能量吸收能力较强。因此，作为一个更稳健的选择，特瑞堡建议行业开始测量模量，而不是硬度。

如上表示例所示：一种没有回收橡胶的优质化合物和一种回收橡胶含量较高的劣质化合物在两种不同的密炼机中混炼。虽然化合物的硬度值相近，但模量值具有较大差异。很明显，只测量硬度会给人一种错误印象。

在其他因素不变的情况下，橡胶化合物的模量和护舷的疲劳寿命取决于碳黑的分散度。因此，行业对混炼过程进行评估，测量橡胶化合物和护舷样品中炭黑分散的均匀性至关重要。

ASTM有一套成熟的方法来测试护舷和橡胶化合物中的炭黑分散度，只需取少量样品。炭黑分散度仪Dispergrader可用于评估炭黑在样品中的分散性。既可测量炭黑颗粒的大小，也可测量分散的均匀度。Dispergrader提供了一个百分比评级，能让工程师了解最终混炼的均匀性。

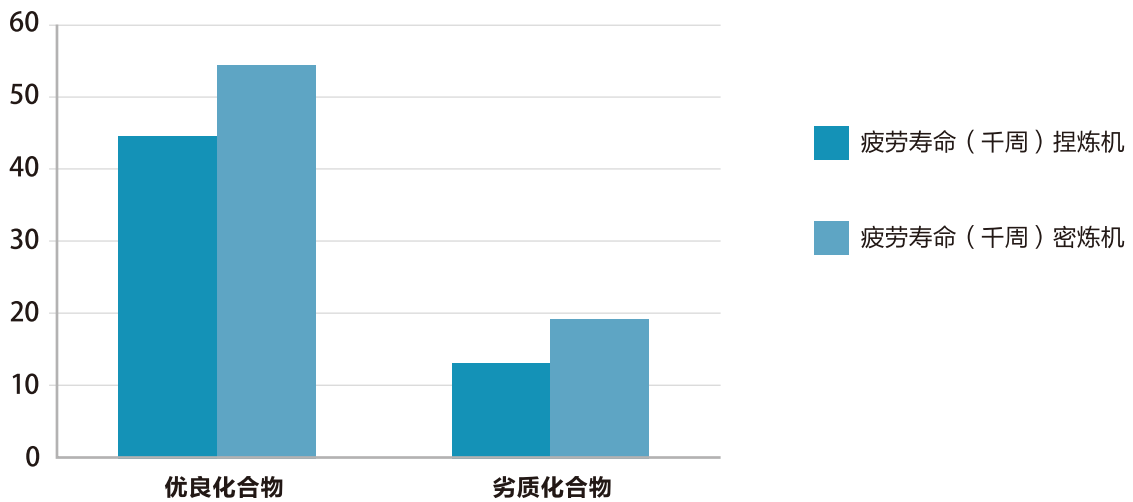
下表说明了一种化合物在两台密炼机和一台捏炼机中混炼的分散等级和共混模量。

	密炼机1	密炼机2	捏炼机
分散度 (%)	79	81	54
共混模量 (Mpa)	8.0	8.1	7.2

护舷的疲劳寿命（生命周期）也会因使用的混炼机而发生明显变化。特瑞堡测试了一种劣质橡胶配方和一种优质橡胶配方。两者分别使用密炼机和捏炼机进行混炼。下图显示了混炼设备对化合物疲劳寿命的影响程度。

对于优质配方，疲劳寿命可减少约10千周。劣质配方的结果差距更大，使用密炼机混炼的化合物的疲劳寿命几乎是捏炼机的2倍。

碳黑分散体对共混模量的影响



结论

经实验证明和理论支持，共混模量（刚度）是决定护舷性能的因素。在所有其他因素不变的情况下，橡胶化合物的模量受碳黑分散度的影响。混炼设备和混炼程序不仅对共混模量有影响，而且对护舷的疲劳寿命也有影响。

应在护舷系统中适当应用橡胶技术原理和标准，强度应与钢结构制造强度相同。

港口基础设施的设计者、运营商和所有者必须开始了解橡胶化合物成分、碳黑分散度和橡胶护舷模数的重要性。在设计和采购过程中需考虑所有这些因素。

重要的是，在确保混炼质量不会影响产品性能的同时，业内人士应致力于更深入地了解制造过程对护舷质量产生的影响。

港口所有者、运营商、承包商和顾问需要全面的规格/测试方法，包括原料选择、混合程序和生产过程，以规定成品的性能。

想了解更多关于如何测量混炼过程以保证符合规格要求并确保性能的信息，请 [点击这里](#) 观看我们关于共混模数和测量的网络研讨会。



特瑞堡是工程聚合物解决方案的全球领导者，可在严苛环境下为关键应用提供密封、减振和防护。我们的创新型工程解决方案以可持续方式助力客户提升性能。

WWW.TRELLEBORG.CN/ZH-CN/MARINEANDINFRASTRUCTURE



官方微信：特瑞堡航运与基建；

脸书：TrelleborgMarineandInfrastructure

推特：@TrelleborgMI

youtube.com/user/TrelleborgMarineandInfrastructure

flickr.com/people/marineandinfrastructure

linkedin.com/company/trelleborg-marine-and-infrastructure

Thesmartapproachblog.trelleborg.com

特瑞堡航运与基建

Email: qingdao@trelleborg.com