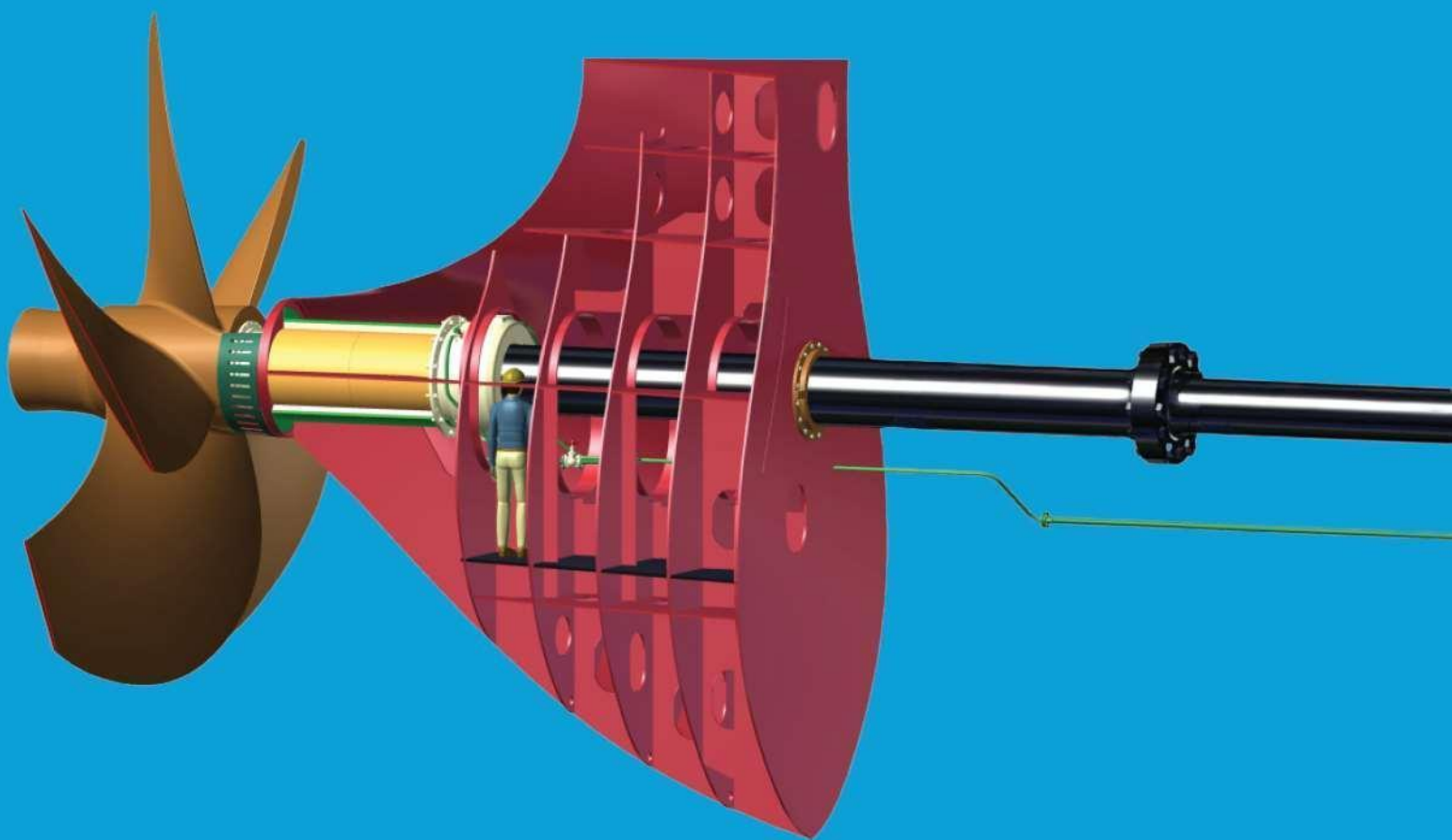




用于支撑海洋船舶的螺旋桨轴的装置及维修该装置的方法

引用自瓦锡兰公司的专利CN109641644(B)、EP3475165(B1)和KR101979186(B1)

基于新造157,000载重吨级苏伊士型原油油轮案例进行的传统密封油润滑艉轴管系统对比 T-BOSS® 无艉轴管轴系海水润滑系统的研究——经济性分析

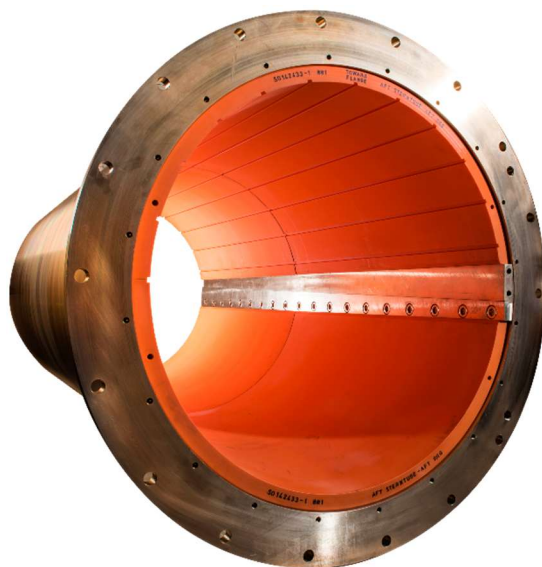
Thordon Bearings Inc. 于2026年1月20日发布的白皮书©

目录

1. 摘要.....	4
2. T-BOSS®设计.....	6
3. 原型船.....	7
4. 技术比较.....	8
4.1 艀轴管密封与轴承系统.....	9
4.2 管道系统.....	9
4.3 结构改装.....	10
4.4 轴系改造.....	12
4.5 装备改装.....	13
4.6 表面处理与涂料.....	13
4.7 电气改装.....	14
4.8 测试/检查程序.....	15
4.9 监管方面	16
5. 其他优势.....	18
5.1 避免艀管润滑油成本.....	18
5.2 缩短轴系长度.....	19
5.3 燃料节约潜力.....	22
5.4 加强检查、维护和更换.....	23
结束语.....	25

1. 执行摘要

本研究以苏伊士型原型船为案例，评估T-BOSS®无艉轴管轴系海水润滑系统解决方案与传统气密式油润滑艉管系统的对比效果。该对比涵盖所有船舶建造的相关领域——密封系统、管道、结构工程、轴系、舾装设备、涂料、电气系统、测试及法规要求。



铜套中的赛龙COMPAC弹性体聚合物轴承

根据目前的分析，两种解决方案表明：

- 采用T-BOSS®设计可降低造船劳动力与安装成本
- 在本案例研究中，采用T-BOSS®设计可使螺旋桨轴长度缩短1.7米。

除这些专业层面的对比外，T-BOSS®还提供设计、操作及使用寿命方面的经济优势：

移除艉轴管前轴承：

设计师/建造商获得了更大的灵活性可以缩短轴系，消除现有限制，使主发动机能够进一步向后移动。这可以提高货舱利用率，初步估计该船可增加约660立方米。

或者，主发动机腾出的空间可用于安装轴带发电机，这得益于中间轴承布置灵活性的提升。这种操作对于现代细长船体结构所面临的空间限制而言，尤其具有重要意义。轴式发电机安装在新型舰艇（包括双燃料型和常规型）中日益普及，因为它们消除了安装或改装双燃料辅助发电机的需要，从而降低成本。此外，即将应用的碳捕集系统（CCS）将需要相当多的额外电力，这进一步强化了这种布局的优势。

避免轴系润滑成本

通过取消润滑油使用，船东能够节省约33,000美元的初始资本支出，并每年节省11,500美元的运营支出。若船东使用的是环保型润滑油（EAL），那么润滑油的成本可能会比普通润滑油高出8-10倍。

简化检查与更换流程

必要时，可在浮船状态下艮管轴承的更换，无需拆卸轴或螺旋桨，避免干船坞作业。原本约50万美元的维修费用，可缩减为一天的浮船作业。根据造船厂担保条款，建造商也能获得可观收益。

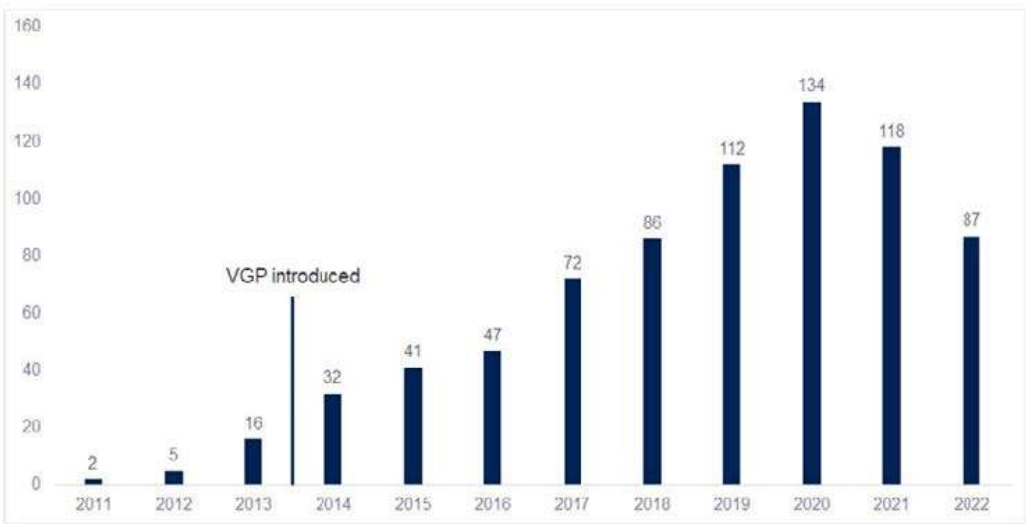
止环境污染和密封损坏风险

T-BOSS®设计通过取消艮管中润滑油的使用，彻底杜绝了润滑油泄漏至海洋环境的风险，确保完全符合环境法规要求（如 MARPOL 、美国 VGP）。

保险公司数据（如Gard）也证实了艮管相关损伤的上升趋势（2023年分析），凸显了油润滑系统的环境与操作风险——这些风险本可通过T-BOSS®系统规避。

劳氏船级社报告指出：“过去20年的缺陷统计表明，艮轴衬套占有所有轴系故障的10%，前艮轴衬套占总故障的4%。值得注意的是，后艮轴密封和前艮轴密封分别占故障的43%和24%。”

综上所述，尽管直接建造成本差异预计微乎其微，但T-BOSS®无艮管解决方案在设计灵活性、机舱空间利用、长期成本节约、显著的维修维护优势以及降低环境污染风险等方面均具有显著优势，为实现船舶设计向更环保、更安全方向转型提供了重要助力。



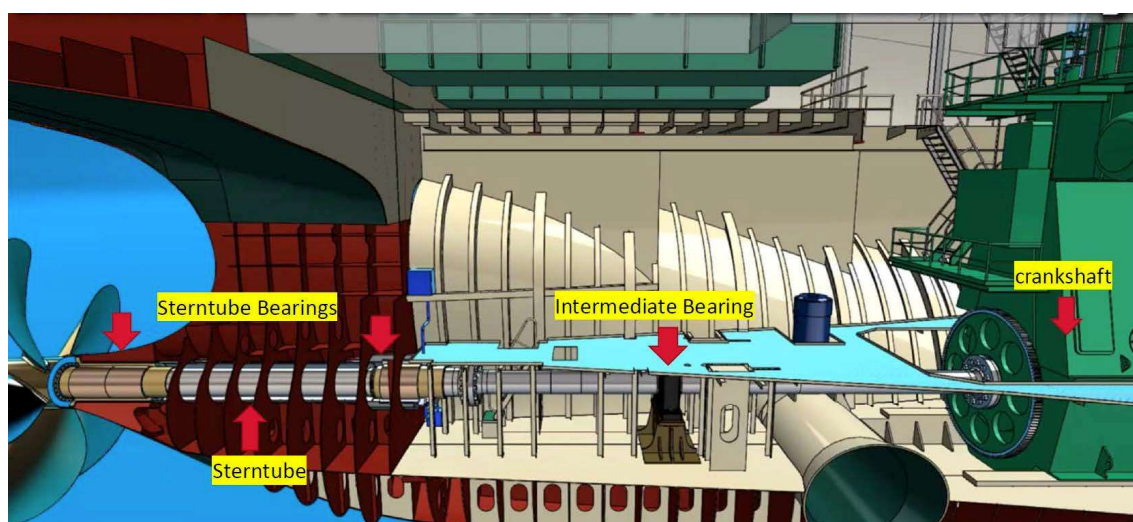
图示反映了在Gard公司中，与艮管相关的索赔总额超过5000美元的记录

2. T-BOSS®设计

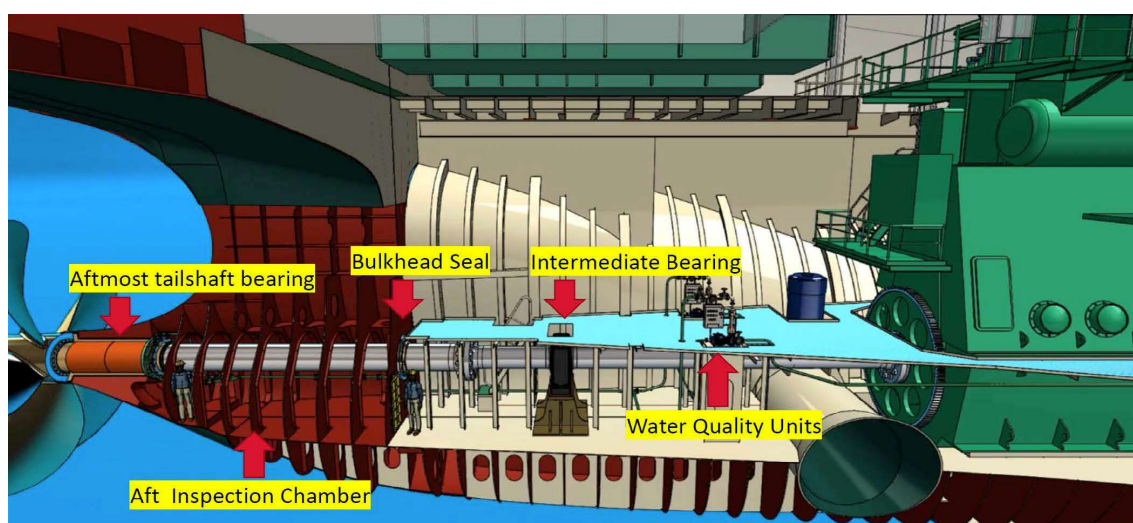
T-BOSS® (Thordon - Blue Ocean Stern Space) 是由以下机构联合开发的创新性无艉轴管轴系布置方案：

- Thordon Bearings Inc.
- 上海船舶研究设计院 (SDARI)
- 美国船级社
- 瓦锡兰
- 雅典国立技术大学 (NTUA)

与传统油润滑尾管系统不同，后者需要艉管、多个轴承和专用冷却油柜，T-BOSS®设计将海水润滑的单艉轴承和密封件集成在干燥的艉部检查舱内。



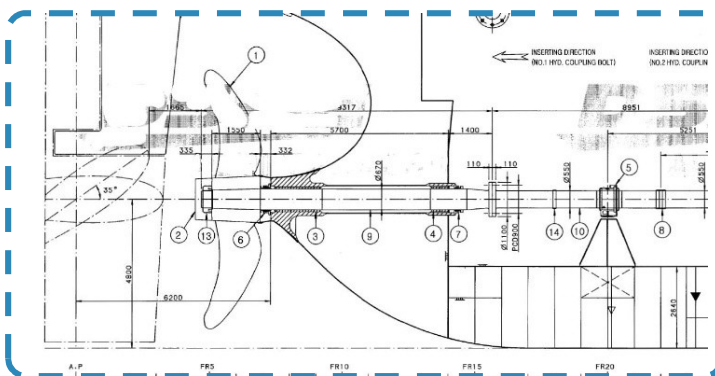
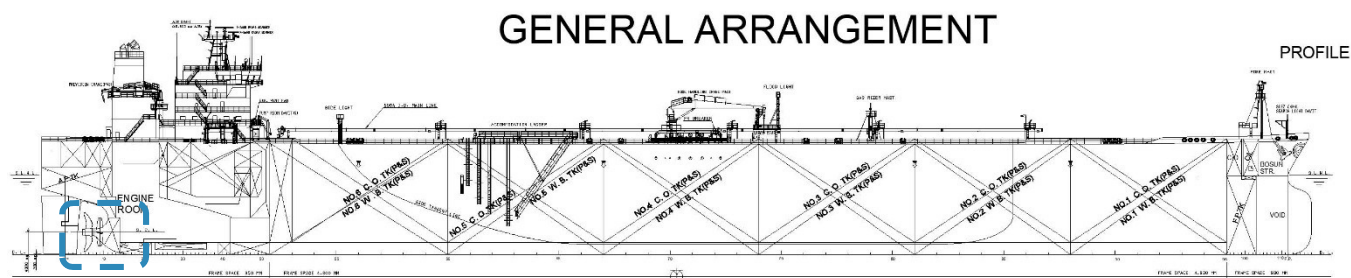
带艉管的常规轴系



T-BOSS® 解决方案

根据瓦锡兰授权的专利CN109641644(B)、EP3475165 (B1)、KR101979186 (B1) 所述的支撑海洋船舶的螺旋桨轴的装置及维修该装置的方法。

3. 原型船



BILL OF MATERIAL				DWG NO	
				SHEET	
				4 / 12	
NO.	DESCRIPTION	MATERIAL	Q'TY	WEIGHT (kg)	SUPPLIER
1	F.P. PROPELLER (4 BLADES, DIA 8.35 M)	G-CuAl10Ni F650	1	42,760	M.M.G
2	PROPELLER CAP	G-CuAl10Ni F650	1	860	
3	AFT S/T BEARING	CAST IRON WITH WHITE METAL	1	1,596	KEMEL
4	FWD S/T BEARING		1	589	
5	INTERMEDIATE SHAFT BEARING		1	890	
6	AFT S/T SEAL & LINER (AX-710)	WITON CHROME STEEL	1	658	
7	FWD S/T SEAL & LINER (AX-710)		1	490	
8	SHAFT EARTHING DEVICE	SILVER ALLOY	1	11	K. C. LTD
9	PROPELLER SHAFT	SILVER ALLOY FORGED STEEL	1	25,166	DSME
10	INTERMEDIATE SHAFT		1	18,237	
11	NO.1 HYD. COUPLING BOLT & NUT	ALLOY STEEL	8	-	SAMBOO
12	NO.2 HYD. COUPLING BOLT & NUT		10	-	
13	PROPELLER NUT	SF560	1	779	DSME
14	SHAFT HORSE POWER METER		1	-	KYMA

轴结构

原型船	
船舶类型	原油油轮
船舶大小分类	苏伊士型
主要尺寸	
总长度	274.0 m
垂线间距	264.0 m
型宽	48.0 m
型深	23.7 m
结构吃水	17.0 m
载重吨	157,430 t
轴系信息	
螺旋桨轴直径	Ø670mm

4. 技术比较

本节旨在明确并记录新建造船厂在将T-BOSS®无艉管解决方案整合至现有船舶设计时需考量的设备要求与设计变更，同时评估可能涉及的成本差异。

上述评估针对原型船进行。

经评估的造船相关领域如下：

1. 艉轴管密封与轴承系统
2. 管道系统
3. 结构
4. 轴系
5. 装备改装
6. 表面处理与涂装
7. 电气系统
8. 测试/检查程序
9. 监管方面

成本差异（涵盖材料、人工及安装费用）主要基于中国某老牌新建造船厂的估算数据，并辅以Hydrus Engineering（希腊）、JBL Tech Service PTE. Ltd.（新加坡）及Thordon Bearings（加拿大）提供的数据。

4.1 艏轴管密封与轴承系统

各尾管密封系统所需组件详见下表：

	带艏管和空气密封的密封油系统		开放式无艏管设计与海水润滑COMPAC轴承	
所需组件	必需	供应商	必需	供应商
密封系统				
艏管后密封组件	✓	密封制造商	✗	-
艏管后轴承总成	✓	密封制造商	✓	Thordon 赛龙
前密封	✓	密封制造商	✓	Thordon 赛龙
前艏管轴承	✓	密封制造商	✗	-
油循环装置（泵组与小型储油罐）	✓	密封制造商	✗	-
空气控制单元	✓	密封制造商	✗	-
润滑油排放系统配置（含油箱）	✓	密封制造商	✗	-
艏管润滑油冷却器	✓	造船厂	✗	-
艏管润滑油泵（2台）——流量2m³/h，工作压力2.5bar	✓	造船厂	✗	-
艏管润滑油	✓	造船厂	✗	-
铜套	✗	-	✓	Thordon 赛龙
Thordon赛龙水处理装置（x2）	✗	-	✓	Thordon 赛龙
轴承磨损监测装置	✓ 简单的人工读取	-	✓ (远程)	Thordon 赛龙

4.2 管道系统

各艏管密封系统所需的管道类别如下表所示：

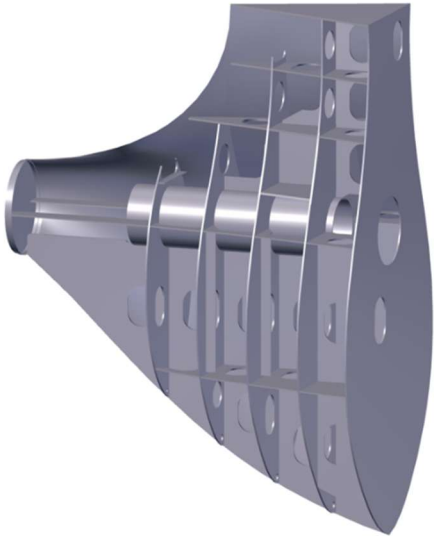
	带艏管和空气密封的密封油系统		开放式无艏管设计与海水润滑COMPAC轴承	
所需组件	必需	供应商	必需	供应商
管道系统				
艏管润滑油管（密封系统）	✓	造船厂	✗	-
控制空气管路	✓	造船厂	✗	-
淡水管道（CWT）充放水	✓	造船厂	✗	-
冷却淡水管道 （艏管润滑油冷却器）	✓	造船厂	✗	-
艏管系统润滑油排气管	✓	造船厂	✗	-
水润滑轴承的海水供给	✗	-	✓	造船厂

4.3 结构改装

对原艏管冷却水舱和重新指定的艏部检查室进行了三维建模，以便对结构重量变化进行详细评估。该分析结果如下所示。

材料清单及重量表

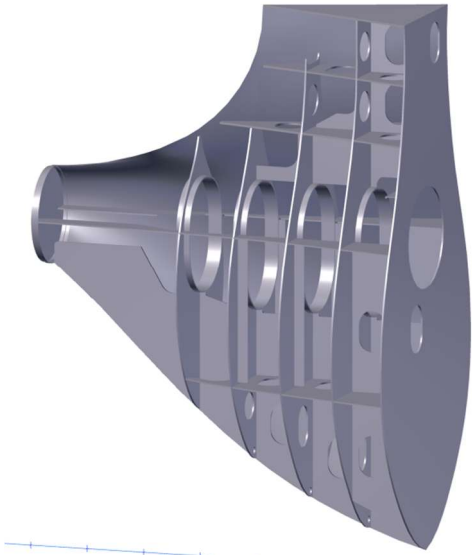
#	物品	体积（立方米）	重量（吨）
1	FB100 x10	0.0028	0.02
2	FB100 x15	0.0015	0.01
3	FB150 x15	0.0217	0.17
4	FB200 x15	0.0112	0.09
5	Plate 15t	0.0806	0.63
6	Plate 20t	0.3922	1.68
7	Plate 25t B	1.7253	13.54
8	Plate 30t D	0.1994	1.57
共计		2.4347 m ³	17.71 t



现有的艏管CSW罐体

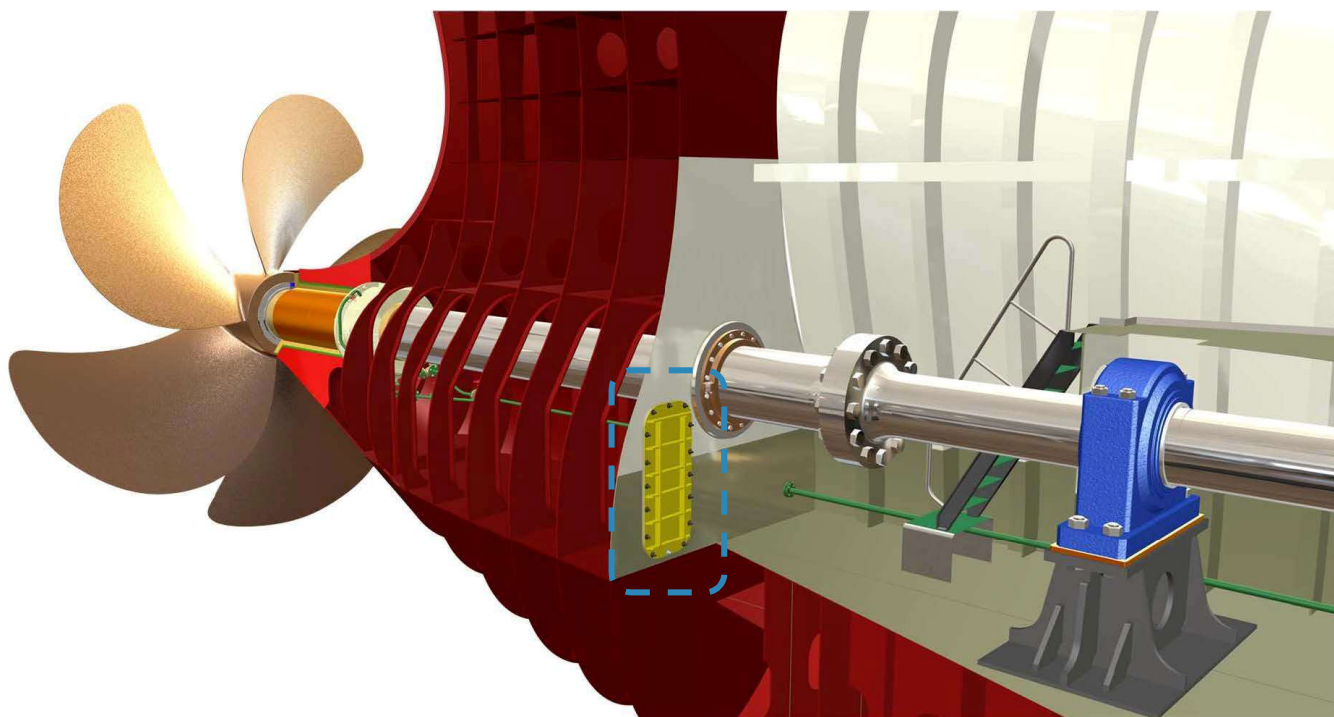
材料清单及重量表

#	物品	体积（立方米）	重量（吨）
1	HP200 x12	0.0060	0.05
2	FB150 x15	0.0217	0.17
3	FB200 x15	0.0067	0.05
4	Plate 15t	0.0806	0.63
5	Plate 20t	0.2229	1.75
6	Plate 25t B	1.7054	13.35
7	Plate 30t D	0.1227	0.96
共计		2.166 m ³	16.96 t



新型艏部检查仓

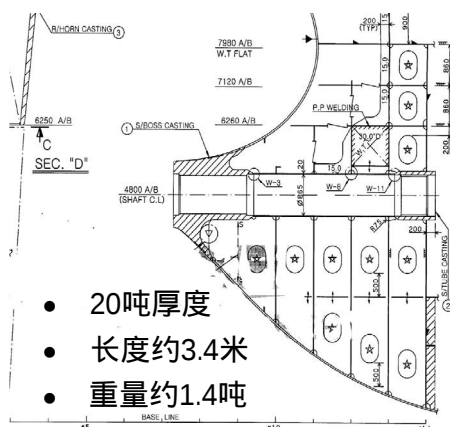
T-BOSS®解决方案的另一项结构改进是为艮管检查舱增设了一个新的检修口。该成本亦已纳入成本比较中。



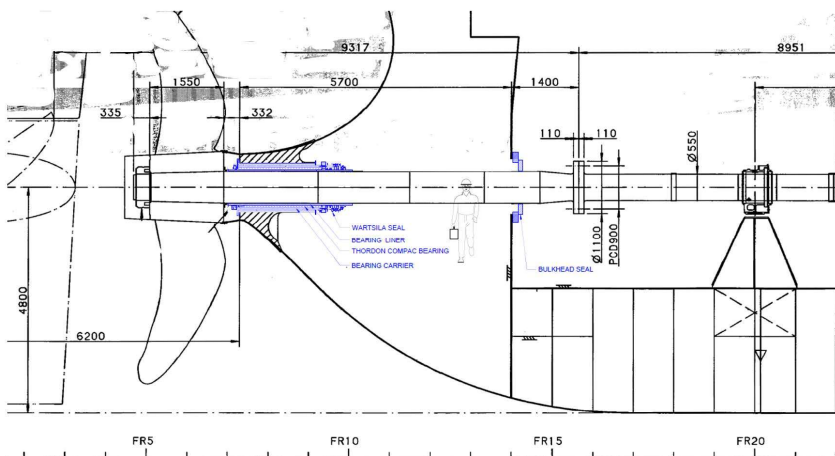
新通道舱口

4.4 轴系改造

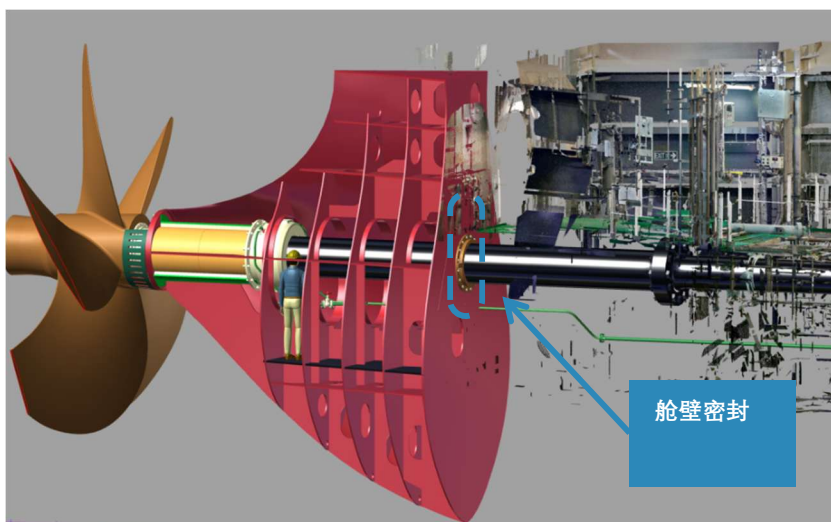
	密封油系统 配备船艙管和气密封条		开放式无艙管设计与海水 润滑COMPAC轴承	
所需组件	必需	供应商	必需	供应商
管道系统				
艙管	✓	造船厂	✗	
舱壁密封	✗		✓	造船厂



艀管特性



T-BOSS® 轴结构 (更新版)



舱壁密封

4.5 装备改装

基于ABS对无艏管水润滑轴承船的要求 ("Sterntubeless-W"符号，艏管检查室应配备以下要求：

- 专用舱底井
- 两个独立的舱底液位报警器
- 一种用于收集内轴承密封下方海水的滴水盘
- 一种便携式通气导管，用于在人员进入船尾检查舱执行维护任务期间提供临时通风

下文将介绍一种典型的便携式通气装置，以满足成本效益要求。

4.6 表面处理与涂料

为本次评估目的，已计算出表面处理与涂料管理之间的成本差异。结果详见随附图表：

涂料区域	车间底漆	外板	品牌名称与油漆色号			干膜厚度(μ)	总干膜厚度(μ)	备注	序列号
			涂层	品牌名称	颜色				
艏轴冷却水舱	S	B1	1st	Jotacote Universal 80	青铜	150	300	(16)	190
			1st	Jotacote Universal 80	铝	150			

现有的艏管CSW 罐体内部面积：约260平方米

涂料区域	车间底漆	外板	品牌名称与油漆色号			干膜厚度(μ)	总干膜厚度(μ)	备注	序列号
			涂层	品牌名称	颜色				
艏轴冷却水舱	S	P3	1st	Jotacote Universal 80	铝	150	150		191

新艏管检查室（干燥区）内部面积：约238平方米

符号	分段建造阶段 (已涂底漆表面的焊接、烧灼及损坏部分)	在分段搭载和船体建造阶段 (分段合拢缝和烧损部分)
P2	St 2 (QISSP DPt-2)	St 2 (QISSP DPt-2)
P3	St 3 (QISSP DPt-3)	St 3 (QISSP DPt-3)
B1	Sa 2½ (QISSP DGB-2½)	St 3 (QISSP DPt-3)
B4	Sa 2½ (QISSP DGB-2½)	Sa 2½ (QISSP DGB-2½) St 3 (QISSP DPt-3)

原型船表面预处理表

4.7 电气改装

针对电气改装，评估了以下类别：

- a) T-BOSS®解决方案的报警与控制功能对比传统气密系统
- b) T-BOSS®解决方案的赛龙水处理装置（x2）电缆（等同于已取消的船艏管润滑油泵电力电缆）
- c) 附加舱底水位报警系统的布线
- d) 船艏管检查室灯的布线
- e) 船艏管检查室附加照明灯

针对上述每一类别，已向船厂提交了详细的警报清单和电缆清单，以便进行成本比较。结果如下所述：

警报与控制

#	常规系统报警与控制	T-BOSS®系统报警与控制
1	艏管润滑油箱高位	流量
2	艏管润滑油箱低位	压力
3	艏管润滑油排放罐高位	压差（过滤器）
4	艏管引流收集器高位	轴承温度
5	艏管前驱密封罐低位	磨损
6	前驱尾管轴承温度过高	水过滤系统
7	艏管轴承温度偏高	泵
8	空气控制单元低压	电源电路

电缆

#	描述	长度（米）	类型（指示性）
1	水处理装置1号	55	3 × 2.5 mm ² (TPYCY-2.5)
2	水处理装置2号	55	3 × 2.5 mm ² (TPYCY-2.5)
3	舱底层警报1号	10	船厂对报警信号的标准
4	舱底层警报2号	10	船厂对报警信号的标准
5	艏管检查室1号灯	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)
6	艏管检查室2号灯	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)
7	艏管检查室3号灯	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)
8	艏管检查室4号灯	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)

4.8 测试/检查程序

根据典型新造船检验测试计划，传统艏管密封系统需进行若干测试项目，但这些项目不适用于T-BOSS®解决方案：

- a) 艏管润滑油管安装检查
- b) 艏管润滑油管系统的安装完整性及紧度测试（最终测试）
- c) 艏管润滑油管的液压测试
- d) 磨损量规测量
- e) 前轴承艏管压机
- f) 艏管安装检查及无损检测焊接
- g) 冷却水箱（CWT）第二层涂层的涂装检查

根据ABS对相关"Sterntubeless-W"符号的要求，以下测试仅适用于T-BOSS®解决方案：

1. 舱壁密封耐压试验的验证
2. 在船舶浮航状态下通过艏部检查舱进行轴承更换的操作程序，是需在海试前向检验员证明符合要求的必要条件

注释

根据船舶检验测试计划，常规系统与T-BOSS®系统均需进行多项其他测试。由于这些测试在两种配置中具有共性，预计不会产生成本差异。

4.9. 监管方面

为从监管角度进行成本比较，已正式联系ABS就以下审查评估产生的任何成本差异提供咨询意见：

项目1—传统密封油润滑系统与T-BOSS®解决方案的指示性评审成本

在考虑不同情况下的具体需求（如多角度评估、ESA符号等）差异的情况下，常规密封式油润滑系统与T-BOSS®方案的轴系对中和艉管轴承设计审查成本可能有所不同。

ABS建议：“两种设计之间不存在成本差异。”

项目2—局部船体强度计算

根据ABS的*Stern tubeless-W*符号第2节第2.2段，应进行局部船体强度计算，以验证新艉管设计（包括材料选择和结构部件尺寸）与采用传统铸造艉管布置的船舶具有等效强度。

ABS建议：“若设计为常规结构，则两种设计无成本差异。若该船体部分设计为非规则结构，则根据通知要求，应提交有限元分析建模，验证费用可能高达1600美元。”

项目3—ABS验船师费用

与传统方案相比，T-BOSS®密封系统解决方案可能需要额外或减少的人力投入。ABS公司指出：“从ABS的角度来看，两种设计方案之间不存在成本差异。”

成本差异表（美元） 670毫米轴径	配备艏管和空气密封的 密封式油润滑系统		配备COMPAC水润滑轴承的 开放式无艏管设计	
所需组件	人工/安装费	采购/材料成本	人工/安装费	采购/材料成本
1.密封与轴承系统	\$4,500	\$183,000 ¹	\$3,400	\$449,285
2.管道系统	\$1,430	\$1,430	\$500	\$500
3.结构改装			-\$600 ²	-\$600 ²
4.轴系改造			\$300	\$11,000 舱壁密封
5.装备改装			\$450	
6.表面处理与涂料			-\$300 ²	-\$900 ²
7.电气改装			\$30	\$30
8.测试/检查程序			\$200	
9.监管方面			\$800	
共计	\$5,930	\$184,430	\$4,780	\$459,315

¹ 含艏管成本及润滑油初始成本

² 与传统的密封油系统相比，采用艏轴管、金属轴承和气密封件

结论

- 采用T-BOSS®设计方案后，船舶建造劳动力成本和安装费用总体降低约1,150美元。
- 从采购/材料成本角度，274,885美元的主要成本差异归因于T-BOSS®系统（青铜材料）的成本支出。然而，从造船成本角度来看，T-BOSS®配置预计可降低成本约3,830美元，这反映了其结构的简化和建造复杂程度的降低。
- T-BOSS®设计方案在本案例研究中可使螺旋桨轴长度缩短了1.7米。由缩短轴系所带来的潜在成本降低因素已被主动排除在成本比较表之外。主发动机可能向后移动，这同时也带来货舱容量增加的机会——这代表了一种设计上的变更和一种概念设计的方案，主要面向新造船设计者。此方案可作为在新造船设计初期增强布局灵活性的工具。

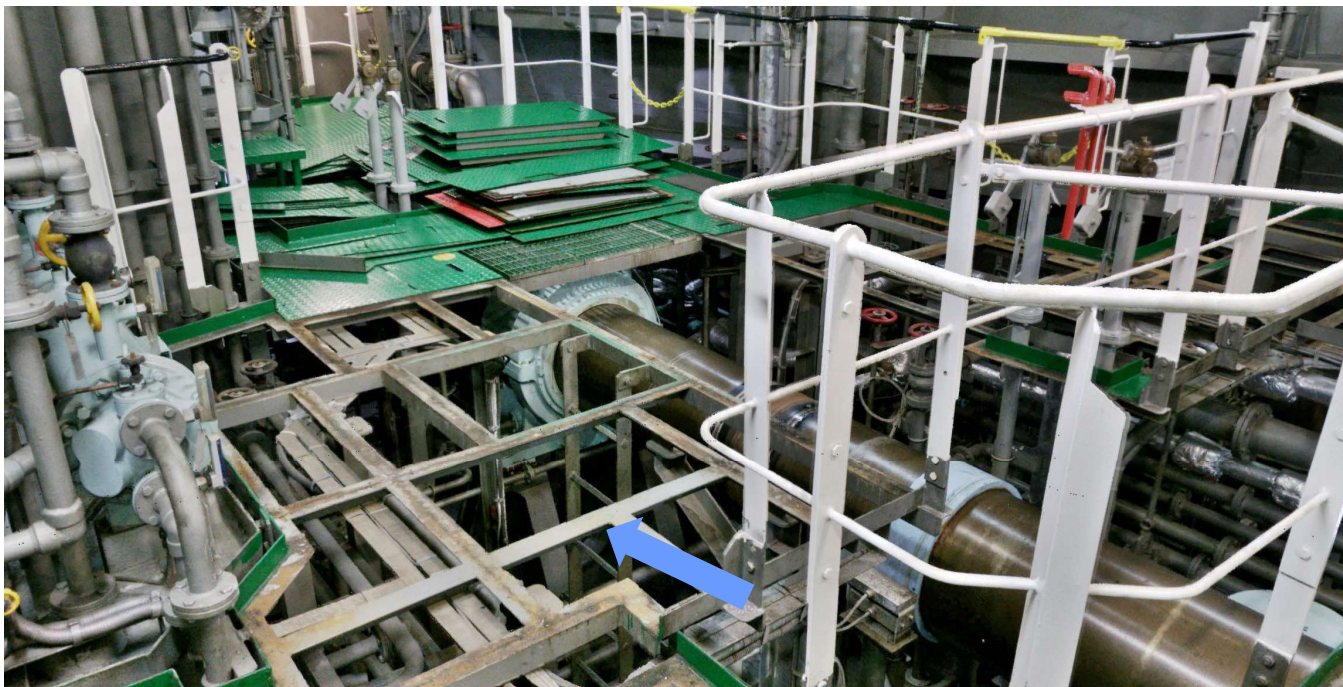
5. 其他优势

5.1 避免艏管润滑油成本

一个显著的成本要素是艏管润滑油的采购费用，该费用通过采用T-BOSS®水润滑解决方案得以消除。

对于原型船，根据一家成熟的艏管密封制造商提供的数据，每日油耗为：后密封约为4升/天，前密封约为1升/天，总计每日消耗量为5升/天或1.8立方/年。

此外，原型船的艏管润滑油排放罐容量为5.2立方。



原型船的艏管润滑油排放罐（5.2立方米）

假设润滑油密度为 900kg/m^3 ，市场价格为7美元/公斤（国际油价清单第43号），避免成本估算如下：

1. 首次采购油品成本节省约33,000美元
2. 运营成本每年可节省约11,500美元

5.2 缩短轴系长度

T-BOSS®解决方案的实施消除了前艏轴承的需求，从而使中间轴承可以被重新安置到更靠近后机舱壁进的位置。

因此，中间轴本身可以设计得更短，从而在主发动机与中间轴之间创造更多的潜在可用空间。由于缩短轴所带来的成本降低在成本比较中并未被考虑在内，因为主机需要重新定位，且这超出了本研究的范围。

此外，在新设计中，T-BOSS®解决方案可以将后机舱边界向后移动，从而在主发动机的后部布置上获得更大的灵活性。



原型船中间轴和轴承

这一新开放的空间提供了两个潜在的设计机会：

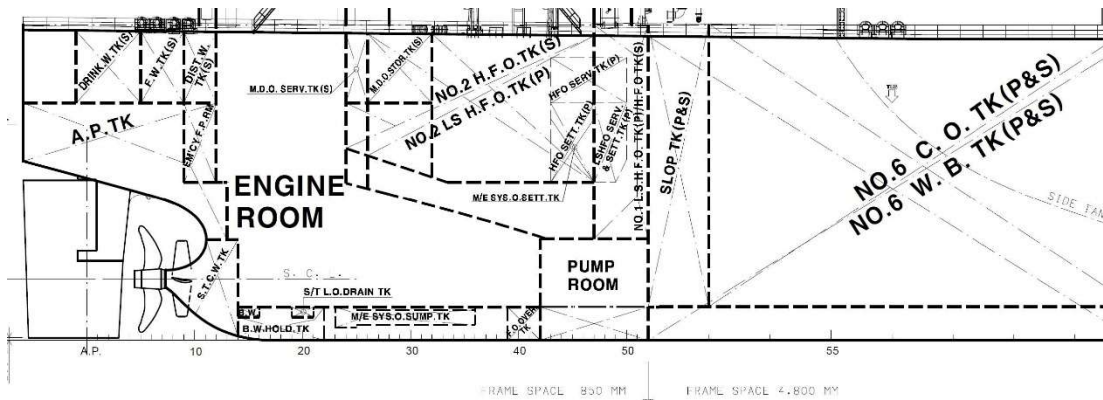
1. 主发动机向船尾方向重新定位，可使机舱结构更为紧凑，腾出的空间可重新分配为货舱容量。
2. 保持主发动机原位，同时利用新空间安装发电机，这是现代设计中的一种合理趋势。

5.2.1 主发动机的重新定位

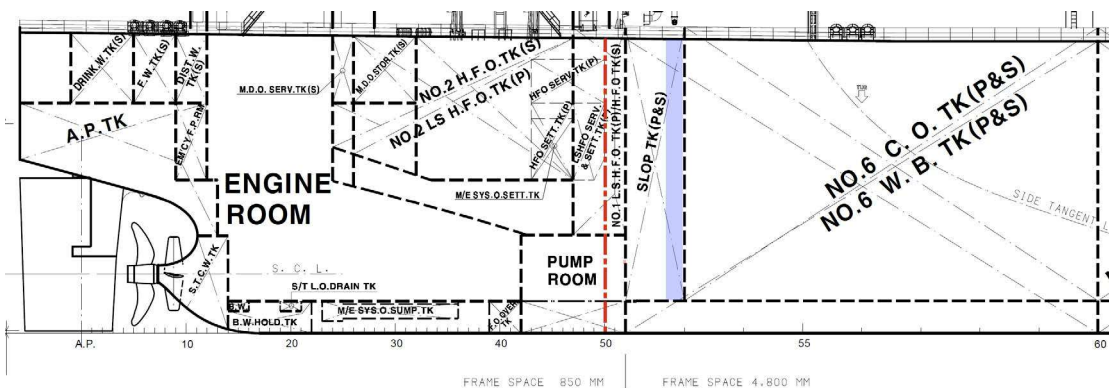
在此方案中，从概念层面考虑了将主发动机向艏部移动的可能性。本次评估的目的并非旨在给出具体方案，而是通过可视化方式展现由于其灵活性而产生的调整主机位置的潜力。原型船的机舱及相邻舱室的布局已经过审查，并基于以下假设进行评估：

假设

- a) 缩短后的中间轴长度约为1,700毫米（比标准长度短约2节）。
- b) 主发动机可以后移，但需遵循相关区域的船体线性限制条件。
- c) 机舱甲板上的剩余设备和储罐可重新布局，以适应更紧凑的空间布局。
- d) 泵房可进行重新布置以适应更小的可用空间。
- e) 前后污油舱的边界将被向后移动。由于船体线行细长导致的容量减少应被认为在可接受范围内。



原型船的原始边界



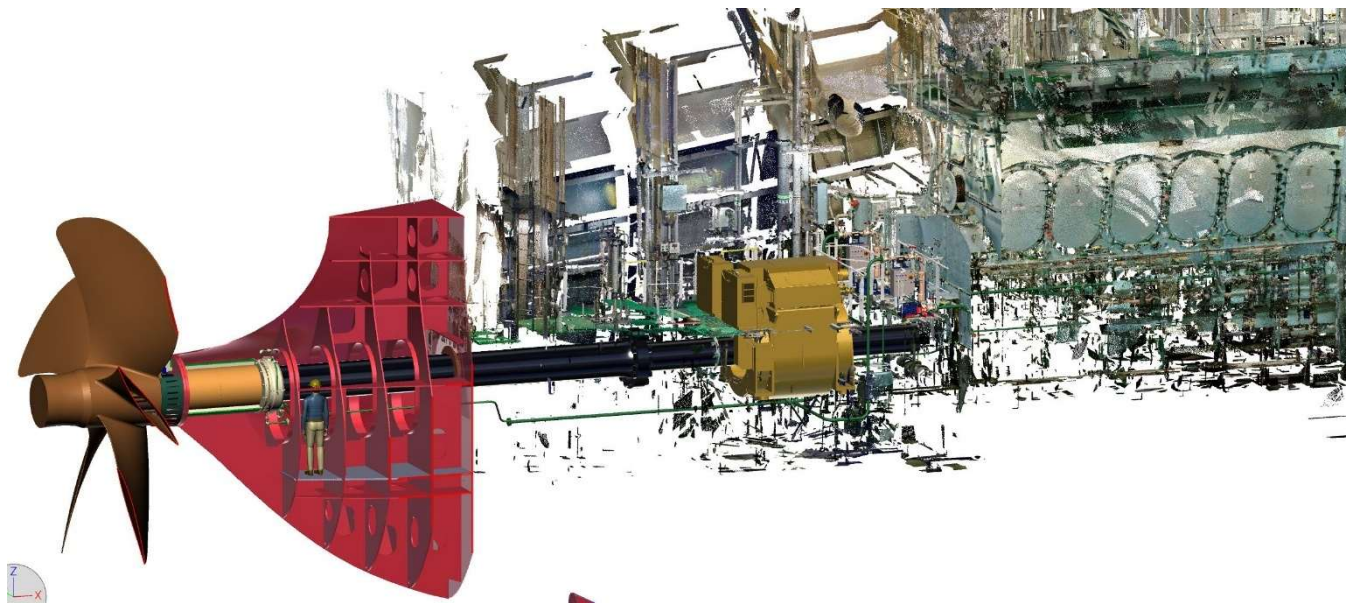
更新的机舱和污油舱边界

评估结果表明，潜在货容量可能增加约660立方米。

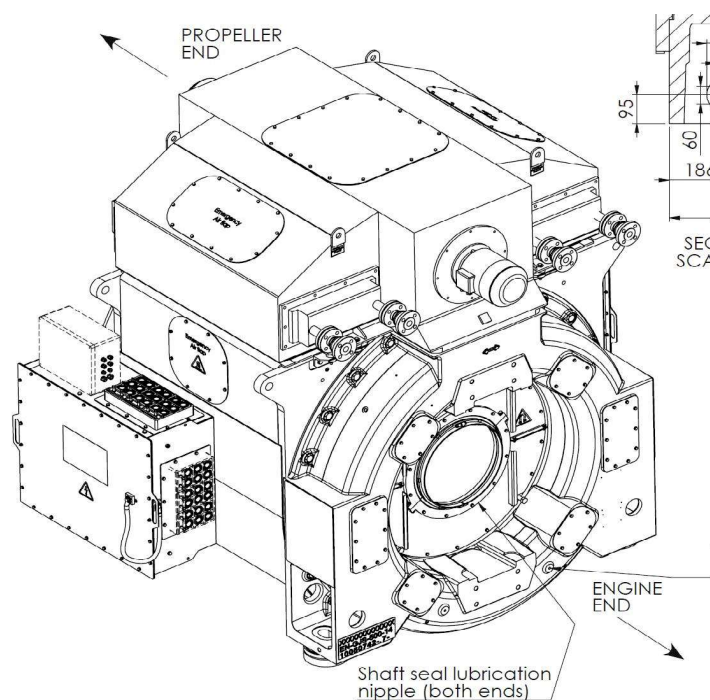
T-BOSS®是为新船设计者提供的额外工具，用于开发更高载货量的设计方案，并降低船舶每吨货物运输的碳排放量。

5.2.2 轴带发电机安装

中间轴轴承结构的更高灵活性，加上机舱后隔板可能向后移动，为实现轴带发电机的集成和轴系设计的优化提供了额外的“工具”。这在现代船舶设计中尤为重要，因为较纤细的船体线条使得安装笨重的轴带发电机更具挑战性。



原型轴带发电机示意位置



1000kWe PTO轴带发电机

轴带发电机的集成化为船东和船厂带来了显著优势：

- a) **提高效率：**
提升了发电效率，从而降低了燃料消耗，并减少了相关的及监管合规成本（欧盟碳排放权交易体系、欧盟海运燃料倡议、国际海事组织净零框架规则）。
- b) **双燃料应用中的成本与排放节约**
对于采用双燃料技术的新建船而言，避免了额外的成本支出以及与双燃料四冲程发电机相关的潜在排放泄漏问题。
- c) **提高冗余能力：**
增加发电冗余度，增强运行可靠性。
- d) **扩展电力容量：**
为在新造阶段及改造过程中，提供额外的电力容量，以满足温室气体减排技术（如碳捕获与封存、可再生能源辅助推进系统、空气润滑等）所需的新负载。
- e) **法规执行：**
有助于提升船舶能效设计指数（EDDI），并促进船舶营运碳排放强度规则(CII)的合规性。
- f) **安全性：**
启用可选的电源输入（PTI）功能。

5.3 燃料节约潜力

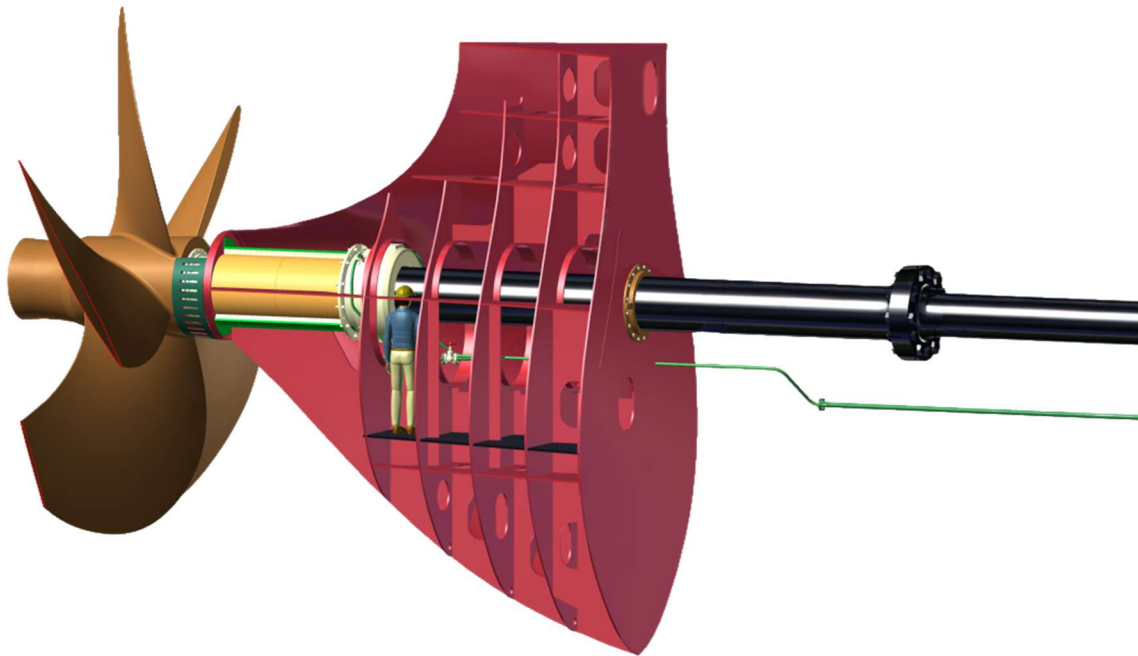
T-BOSS®无艉管设计相比传统油润滑艉管系统具有显著优势。通过计算润滑油摩擦阻力导致的能量损耗与海水润滑轴承相比产生的差异，表明该设计有显著的燃油节省潜力。可实现约5100美元/年的年度燃油节约。根据任国军博士（Gary Ren）的论文《具有可变形表面的滚动轴承的低弹流体动力润滑》（*Hypoelastohydrodynamic lubrication of journal bearings with deformable surface*, 2022）（发表于《摩擦学国际杂质》2022年第175期）中的公式计算得出，对于本案例研究中采用海水润滑的COMPAC螺旋桨轴轴承的船舶，年燃油节省约为5100美元。

5.4 加强检查、维护和更换

T-BOSS®无艉管设计在密封和轴承的检查、维护及更换方面，相较于传统油润滑尾管系统具有显著优势。

主要获益包括：

- a) 干燥室布置：
用干舱代替传统的船用冷却舱，可从船内对单轴承和密封进行检查、维修或更换。
- b) 浮式轴承更换
根据船舶类型，轴承更换可在船舶浮浮状态下进行，通过前部压载使螺旋桨抬升至水线以上。
- c) 无需拔轴或移除螺旋桨：
更换后轴承时无需拔轴或移除螺旋桨。
- d) 消除干船坞作业
轴系维护作业可以在水上进行，避免了昂贵且耗时的干船坞作业。
- e) 实时监测：
轴承磨损状态监测装置（BCM）可提供持续实时的间隙数据，使操作人员能及时发现并解决潜在问题，防止问题恶化。



T-BOSS®设计在原型船上的应用

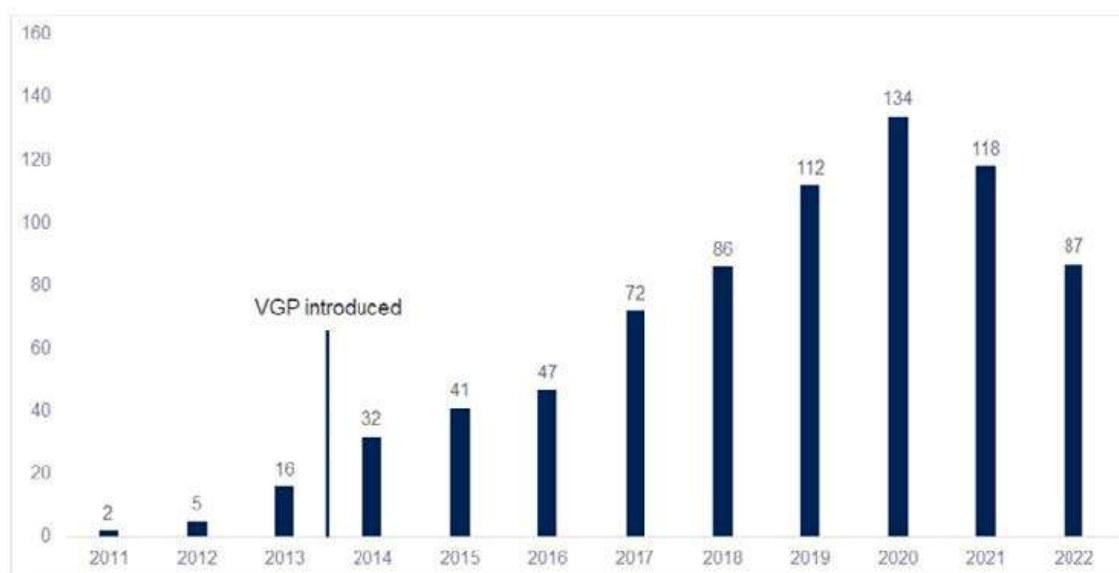
传统系统的成本影响

指示性干船坞费用：

船东表示，通常耗时两周的轴重新对中作业，原本在干船坞需花费约50万美元，现在可以在浮船状态下仅需一天时间即可完成，完全无需干船坞作业。

指示性潜水维修团队费用：

斯堪的纳维亚地区领先的保险公司**Gard**报告称，近年来艮管损坏索赔的案件显著增加，其中许多涉及昂贵的水下密封修复。为了说明成本影响，赛龙（Thordon）估计：一个六小时的潜水团队干预作业的成本约为18,000美元——而采用润滑的T-BOSS®无艮管设计后，该成本将大幅降低。



Gard公司报告中显示，与艮管相关的索赔总额超过5000美元



潜水队在维修中

结束语

综上所述，本研究证实了采用T-BOSS®无艮管解决方案替代传统艮管系统的技术可行性及经济意义。关键发现与要点总结如下：

- T-BOSS®无艮管解决方案在技术和经济方面与传统油润滑艮管系统进行了对比验证，研究对象为一艘直径670毫米轴径的苏伊士原型船。
- 各专业领域成本对比（密封、管道、结构、轴系、装备、涂料、电气、测试和监管）表明，总体建造成本差异并不显著，主要差异在于T-BOSS®设备的成本支出。
- 从传统油润滑艮管系统改为无艮管设计，预计需耗时40工时（以原型船为参照）。
- T-BOSS®具有明显的操作性和经济性优势，其主要体现在能够减少润滑油的使用，初期可为每艘船舶节省约33,000美元成本，每年还可节省约11,500美元的润滑油消耗费用。
- 本案例研究中所引入的空间灵活性，为设计提供了多种可能性：要么实现主发动机位置的重新布局，从而潜在增加约660立方米的载货量；要么便于安装轴带发电机，该装置有助于减少温室气体排放、降低燃料成本，并开启未来的低碳发展路径。
- 干船坞检查舱简化了检查、维护及轴承更换（如需）等作业，所有操作均可在浮船状态下完成，无需拔轴或螺旋桨，从而避免了昂贵的干船坞作业成本和潜水员介入成本。
- T-BOSS®设计通过取消艮管中润滑油的使用，消除了润滑油泄漏至海洋环境的风险。
- 在实现流体动力学操作时，与油润滑的金属轴承相比，海水润滑的弹性体聚合物轴承由于具有较低的粘度/摩擦系数，可节省1%的燃料。
- 行业数据显示，艮管密封损坏频次持续攀升，暴露出传统油润滑系统的运行隐患，而T-BOSS®技术则能有效规避此类问题。

总之，T-BOSS®解决方案提供更高的设计灵活性、长期的运营成本节约、更强的环保合规性以及更高的运营可靠性，使其成为船东和造船厂极具吸引力且具有前瞻性的替代方案。

本文件所载信息基于中国某知名新建造船厂的行业调研，并辅以希腊 Hydrus Engineering、新加坡 JBL 技术服务有限公司及加拿大赛龙轴承公司（Thordon Bearings Including）提供的数据。



汤姆森-戈登集团——创立于1911年

明威大道3225号，伯灵顿，安大略省

L7M1A6加拿大

+1.905.335.1440

info@ThordonBearings.com

www.ThordonBearings.com

零 污 染 | 高 性 能 | 轴 承 和 密 封 系 统