

指导性文件
GD003-2026



中国船级社

船舶空气润滑减阻系统检验指南

2026

2026年4月1日生效

北京

目 录

第1章 通 则	1
1.1 一般规定.....	1
1.2 定义.....	1
1.3 附加标志.....	2
1.4 图纸资料.....	2
1.5 产品检验.....	4
1.6 检验.....	5
第2章 构造与系统	8
2.1 一般规定.....	8
2.2 气源装置.....	9
2.3 管系.....	10
2.4 气层/气泡发生装置.....	10
2.5 空气防逸装置.....	11
2.6 供电与电气系统.....	11
2.7 监测与控制.....	12
第3章 EEDI/EEI 计算和验证	13
3.1 一般规定.....	13
3.2 适用船型.....	13
3.3 空气润滑减阻系统船舶 EEDI/EEI 计算方法.....	13
3.4 空气润滑减阻系统对 EEDI/EEI 贡献度验证方法.....	15

第 1 章 通 则

1.1 一般规定

1.1.1 本指南适用于安装了空气润滑减阻系统的海上航行船舶。

1.1.2 本指南规定了空气润滑减阻系统的系统设计、气源装置、管路系统、气层/气泡发生装置、空气防逸装置、供电和电气系统、控制和监测系统等的技术要求，明确了相关设备的检验要求，并提出了安装空气润滑减阻系统的船舶的 EEDI/EEXI 的计算方法和验证要求。

1.1.3 本指南的规定适用于目前应用的空气润滑减阻系统型式。考虑到该技术尚处于发展阶段，如有其他型式的系统，其计算方法、评定标准、检验和试验方法，应提供相应的试验、理论依据、使用经验或有效的公认标准，经 CCS 同意，可接受作为代替和等效方法。

1.1.4 安装本指南所规定的空气润滑减阻系统的海上航行船舶，除应满足本指南的要求外，还应依据其船舶特性和航行区域，符合相应法定要求，以及 CCS《钢质海船入级规范》和《材料与焊接规范》的适用要求。

1.2 定义

1.2.1 本指南适用的定义如下：

(1) 空气润滑减阻技术：系指利用空气与水在密度和黏度上的差异，向船体底部注入适量空气，在船舶底部形成并保持气液混合层或气层，减小船舶摩擦阻力，降低燃料消耗的一项新型节能技术。依据其减阻机理及实现方式，可分为气层减阻技术、微气泡减阻技术和气腔减阻技术等。

(2) 气层减阻技术：系指通过气层减阻装置，向船底喷入适量空气，在船舶底部形成并保持薄气层，使船底与水有效分离，减小船底湿表面积，降低船舶阻力的一项新型节能技术。气层减阻技术，又可称为气膜减阻。

(3) 微气泡减阻技术：系指通过气泡发生装置，在船底外表面附近产生直径为微米/毫米级的小气泡，在船底外表面形成一层薄的气液两相混合流，降低船底外表面附近的流体

密度及黏度、改变湍流边界层内流动结构，降低船舶阻力的一项新型节能技术。

(4) 气腔减阻技术：系指在船底开一个较深的空腔，通过气腔减阻装置，使空气驻留在空腔内，减少船舶浸湿面积，降低船舶阻力的一项新型节能技术。

(5) 气源装置：系指供气设备单元，为空气润滑减阻系统提供所需具有一定压力和流量的空气。

(6) 空气供给管系：系指输送空气的管路系统，将空气由气源装置输送至气层/气泡发生装置；可根据需要采用压缩空气管系或通风管系。

(7) 气层/气泡发生装置：系指能够产生覆盖船体外板的减阻气层/气泡的装置或能产生填充船底减阻气腔的气体的装置。

(8) 空气防逸装置：系指安装在船底、防止空气逃逸、维持减阻效果的装置。

(9) 监测与控制系统：系指空气润滑减阻系统中的子系统，具备监测和控制功能，由监测及控制仪器组成，监测船舶及空气润滑系统的各性能参数，控制关键部件，保障整个系统的有效运作。

1.3 附加标志

1.3.1 应用空气润滑减阻技术的船舶应满足本指南第 1、2 章的要求，经申请，可授予 ALDR（空气润滑减阻系统）附加标志。

1.3.2 对满足 1.3.1 要求的船舶，如同时按照本指南第 3 章要求开展空气润滑减阻系统节能效果计算与验证，经申请，可授予 ALDR(E)附加标志，如该船适用 EEDI 和/或 EEXI 要求，可将该系统的节能效果计入该船的 Attained EEDI 和/或 Attained EEXI。

1.4 图纸资料

1.4.1 应将下列图纸资料提交批准，如已包含在该船舶要求提交的图纸资料中，则可不必重复提交：

(1) 空气润滑减阻系统布置图；

(2) 气层/气泡发生装置结构图；

- (3) 空气防逸装置结构图（如适用）；
- (4) 管路系统布置图；
- (5) 气源装置布置图；
- (6) 气源装置/气体冷却水系统图（如适用）；
- (7) 气源装置处所通风系统图；
- (8) 空气润滑减阻系统的电力系统图，应包含如下信息：
 - a. 通风系统电路；
 - b. 电气系统的电缆型号、导体截面积、电流定额；
如采用专用的电动机，
 - c. 电动机电路及电动机保护；
 - d. 电动机控制器的切断装置。

1.4.2 对于现有船加装空气润滑减阻系统，还应补充提交下列图纸资料供批准：

- (1) 稳性手册、破舱稳性计算书、装载仪（如适用）；
- (2) 空气润滑减阻系统区域总纵强度计算书（如适用）；
- (3) 水下检验标志及布置图或手册（如适用）；
- (4) 空气润滑减阻系统的电力负荷估算书。

1.4.3 应将下列图纸资料提交备查：

- (1) 系统说明书，应至少包含系统概述、各主要部件功能、系统原理、系统控制功能以及系统外部接口描述；
- (2) 系统设备规格表；
- (3) 空气润滑减阻系统区域结构强度直接计算书（如适用）；
- (4) 供气管路阻力估算书；
- (5) 气源装置功率估算书；
- (6) 气源装置功率试验报告（如适用）；

- (7) EEDI/EEXI 计算书和技术案卷（如适用）；
- (8) 空船重量和重心变化估算及稳性影响评估(适用于现有船加装空气润滑减阻系统)；
- (9) 风险评估报告；
- (10) 操作手册。

1.5 产品检验

1.5.1 空气润滑减阻系统的各种设备应能在设计工况范围内正常工作，其性能应能满足系统设计工况的使用要求。

1.5.2 空气润滑减阻系统的电源装置应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章适用要求。

1.5.3 空气润滑减阻系统的变频器应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章的适用要求。

1.5.4 空气润滑减阻系统的控制系统应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章的适用要求。

1.5.5 空气润滑减阻系统主要设备持证清单见表 1.5.5。

设备持证清单

表 1.5.5

序号	产品名称	证件类别		认可模式				审图	备注
		C/E	W	DA	TA-B	TA-A	WA	PA	
1	泵	X	-	-	X	O	-	X	
2	鼓风机	X	-	X	O	O	-	X	
3	空压机	X	-	X	O	O	-	X	
4	I、II 级压力容器	X	-	-	-	-	X	X	
5	III 级压力容器	X	-	-	-	-	O	X	
6	电动机（50kW 及以上）	X	-	-	X	O	-	X	
7	电动机（50kW 以下）	-	X	-	X	-	-	X	
8	电气控制箱	X	-	-	-	-	-	X	
9	变频器	X	-	-	X	O	-	X	功率 50kW 及以上的变频器
10	用于 I、II 级管	X	-	-	-	-	X	-	

	系的通径大于50mm管及附件（法兰，弯头，三通等）								
11	用于Ⅰ、Ⅱ级管系的通径小于50mm管及附件（法兰，弯头，三通等）	-	X	-	-	-	X	-	
12	用于Ⅲ级管系的管及附件（法兰，弯头，三通等）	-	X	-	-	-	X	-	
13	用于Ⅰ、Ⅱ级管系的通径50mm及以上阀，Ⅲ级管系通径为300mm及以上的阀；通海阀	X	-	-	X	O	-	X	
14	用于Ⅰ、Ⅱ级管系的通径50mm以下阀	-	X	-	X	-	-	X	

符号说明：

- 1) C—船用产品证书；E—等效证明文件；W—制造厂证明；X—适用；O—可选。
- 2) DA—设计认可；TA-B—型式认可 B；TA-A—型式认可 A；WA—工厂认可；PA—图纸审查。
- 3) Xi：应按照审批的整体产品/系统（船舶，产品）图纸进行检验。

1.6 检验

1.6.1 一般要求

1.6.1.1 空气润滑减阻系统的安装应满足本指南及审批图纸要求，系统各设备应满足本章 1.5 节的持证要求。

1.6.1.2 空气润滑减阻系统的安装后检验结合船舶年度检验、中间检验、特别检验/换证检验及船底外部检查进行，检验要求见本指南 1.6.3。

1.6.2 安装检验

1.6.2.1 检查系统相关船体开口，并按《钢质海船入级规范》第 1 篇第 4 章第 3 节的要

求进行密性试验。

1.6.2.2 管路装船后应做密性试验。

1.6.2.3 空气润滑减阻系统的阀门，如符合舷旁阀的定义，应满足《钢质海船入级规范》第3篇第2节有关“舷旁阀和附件”的要求。

1.6.2.4 对空气润滑减阻系统各设备和管路进行安装后检查，确认其布置、安装和工艺等各方面符合批准图纸的要求，并进行效用试验。

1.6.2.5 如果 CCS 认为必要，可进行航行试验以确认船舶不受气层/气泡及其分布所带来的不利影响（例如对海底阀箱和水润滑轴承）。

1.6.2.6 对于需要将空气润滑减阻系统的节能效果计入该船的 EEDI/EEEXI，航行试验应根据第3章的要求进行。

1.6.3 安装后检验

1.6.3.1 年度检验

(1) 对空气润滑减阻系统及其所属设备和管路进行总体检查，确认其处于良好工作状态。

(2) 抽查控制和监测系统所具备的控制、监测和报警功能试验。

(3) 确认对空气润滑减阻系统所属工作压力 0.7MPa 及以上的压力容器的安全保护装置处于良好工作状态。

(4) 检查气层/气泡发生装置通海口的止回装置（或空气管接至气层/气泡发生装置之间的止回阀），确认其处于良好工作状态。

(5) 检查气层/气泡发生装置所在处所的浸水报警装置（如设有）。

1.6.3.2 船底外部检查

(1) 对空气润滑减阻系统相关的船体开口应予以检查，确认状态良好。

(2) 对空气润滑减阻系统相关的船体外部附件应予以检查，确认状态良好。

1.6.3.3 中间检验

同 1.6.3.1 中年度检验项目。

1.6.3.4 特别检验/换证检验

- (1) 1.6.3.1 中所有年度检验项目。
- (2) 空气润滑减阻系统所属空气压缩机及安全装置应进行检验。
- (3) 空气润滑减阻系统所属工作压力 0.7MPa 及以上的压力容器，以及其附件、阀应打开进行检查，如发现腐蚀或损坏时应进行压力试验以确定其工作压力。对于 0.7MPa 及以上的压力容器打开检查有困难时，可采用 1.25 倍的工作压力的液压试验来代替。
- (4) 对气源装置、气层/气泡发生装置所在处所(如设有)进行内部检查。

第 2 章 构造与系统

2.1 一般规定

2.1.1 空气润滑减阻系统一般包括气源装置、空气供给管系、气层/气泡发生装置、空气防逸装置及监测和控制系统，如图 2.1.1 所示。气源装置可采用空气压缩机或风机、空气瓶等。

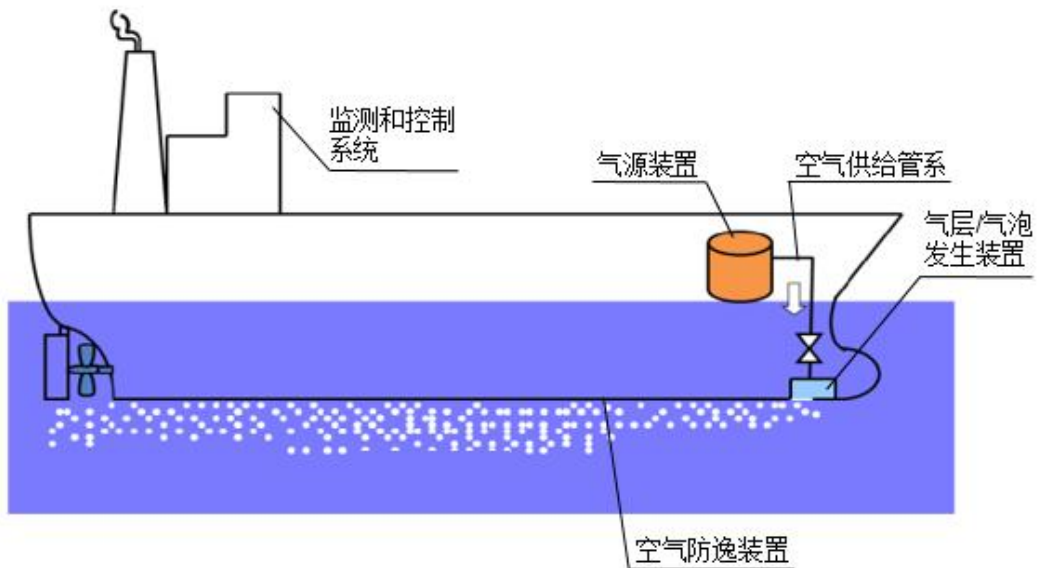


图 2.1.1 空气润滑减阻系统组成示意图

2.1.2 空气润滑减阻系统应能在设计环境条件下持续正常工作。

2.1.3 气层/气泡发生装置的安装位置不应影响计程仪或测深仪的换能器的正常工作。

2.1.4 应尽量减少用于舷外减阻的气层/气泡中的油份，并至少满足 ISO 8573-1 中的 4 级要求。

2.1.5 作为授予 ALDR 附加标志的特定设备，一般不需要冗余配置。

2.1.6 总纵强度

2.1.6.1 对于加装了空气润滑减阻系统的船舶，应评估空气润滑减阻系统安装后对总纵强度的影响。

2.1.6.2 如在船体外板设置额外的开口时，船体梁剖面特性的计算应符合 CCS《钢质海

船入级规范》对开口的规定。且开口的布置应尽量减小对总纵强度的影响，尽可能避免布置在同一横剖面处。

2.1.7 分舱与稳性

2.1.7.1 安装空气润滑减阻系统的船舶，其完整稳性和破损稳性应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章的相关要求。

2.1.7.2 对于加装了空气润滑减阻系统的营运船舶，应评估该系统安装后对空船重量重心和稳性资料的影响。根据评估结果确定是否重做倾斜试验及送审稳性手册、破舱稳性计算书、装载仪。

2.2 气源装置

2.2.1 气源装置如设于围蔽处所，且从该处所进气，则该处所的通风布置应充分考虑空气润滑减阻系统的用气量需求以及机械设备的冷却需求。

2.2.2 如气源装置设于专用围蔽处所，该处所的通风系统一般应安装一个安全装置，使气源装置运行的同时，通风系统工作。

2.2.3 空气润滑减阻系统一般应设有专用空气压缩机或风机。如利用其他气源装置，设计时应充分考虑用气量的实际损耗，尤其不能影响推进及其辅助机械的起动系统和控制系统的用气。

2.2.4 鼓风机应符合行业公认标准，且应能在规定的船用环境条件下正常工作。

2.2.5 空气压缩机和空气瓶

2.2.5.1 专用空气压缩机的排出管若连接至空气瓶，则专用空气压缩机和空气瓶之间应设有气、水分离器，用以分离并泄放压缩机排气中所含的水份。

2.2.5.2 专用空气压缩机应设有压力表和安全阀，安全阀的开启压力应不大于工作压力的 1.1 倍。在压缩空气冷却器的水套壁上应设有安全阀或安全膜片。

2.2.5.3 专用空气压缩机的曲轴箱容积超过 0.6m^3 时，应设置安全阀。

2.2.5.4 专用空气瓶的设计和制造应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章中第

2 节、第 4 节和附录 4 的有关规定。空气瓶的安装，应使泄放接管在船舶正常倾斜的情况下仍为有效。

2.3 管系

2.3.1 空气供给管系应设有流量监测和调节的措施。

2.3.2 气层/气泡发生装置的通海口应设有防止海水浸入的止回装置；如不可行，也可在空气管接至气层/气泡发生装置之前尽可能靠近通海口设有止回阀，且气层/气泡发生装置应有防海水腐蚀的措施。

2.3.3 压缩空气或通风用管系应满足 CCS《钢质海船入级规范》中有关泵与管系的通用要求。

2.3.4 如专用空气压缩机或鼓风机采用水冷，其冷却水管系也应满足 CCS《钢质海船入级规范》中的适用要求。如上述冷却系统作为服务于重要设备（参见《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章 1.1.2.1（1））的中央冷却系统的一部分，应采用合理的热平衡计算和有效的流量/温度控制设计，以避免对重要设备正常运行产生不利影响。

2.3.5 用于阀门遥控的液压管系，应满足 CCS《钢质海船入级规范》中有关液压传动管系的要求。

2.3.6 船上用于引入舷外海水至冷却、消防、压载等系统的海水箱应适当布置，尽量避免吸入大量空气润滑减阻系统产生的空气；如无法避免，应考虑适当优化海水箱的设计，如增加进水格栅的有效流通面积、增设阻气挡板和空气管等措施。

2.4 气层/气泡发生装置

2.4.1 除特殊形式外，气层/气泡发生装置的水密构件应满足船体外板的强度要求。

2.4.2 气层/气泡发生装置及其附连船体结构应能承受空气喷气管设计压力。

2.4.3 用于安装气层/气泡发生装置的船体外板开口应满足以下要求：

2.4.3.1 开口应尽量避免开应力集中区域，如无法避开时应作相应的补偿。由于开口所引起的局部应力集中应根据实际情况进行控制。

2.4.3.2 开口的角隅应有足够大的圆角，若需在船体外板处设置通海的水密构件，板厚和钢级应不低于相邻的外板。

2.4.3.3 位于船中部 $0.5L$ 或首部砰击范围内船体外板上的较大开口，即长度(首尾方向)超过 2.5m ，或者宽度超过 1.2m 或 $0.04B$ (取其小者)，应完全补偿。补偿可用加厚板，在船长方向应有足够长度。应对开口及邻近区域的支撑板架（如实肋板、强肋骨和纵桁）进行加强。补偿或加强方案可采用直接计算法予以确定。结构强度直接计算应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 5 节的要求，也可采用其他经认可的等效直接计算方法。

2.5 空气防逸装置

2.5.1 如在船体外板设置纵向防逸结构时，防逸结构不可直接焊接在外板上，应设置不连续的垫板。垫板的厚度应不小于其所连接的外板的厚度或 14mm 之间的小值，且材质通常应与该处的船体外板相同。

2.5.2 防逸结构和垫板不能突然中断，应逐渐减小，且在端点处的船体内应有适当的内部支持。

2.5.3 防逸结构上的端接缝与垫板上的端接缝，垫板的端接缝与外板上的端接缝应相互错开。

2.6 供电与电气系统

2.6.1 空气润滑减阻系统的电气系统及电气装置应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章的适用要求。

2.6.2 电力负荷分析

2.6.2.1 对于适用本指南第 3 章的船舶，其发电机组的台数和容量配置应充分考虑空气润滑减阻系统的电力需求。

2.6.2.2 空气润滑减阻系统的电力负荷估算应提交批准，应包含在 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章 1.1.3.1 要求提交批准的“主电源和应急电源电力负荷估算书”中。

2.7 监测与控制

2.7.1 空气润滑减阻系统应具有监测和控制功能，以便在不同的操作条件下，使系统运行保持在预定的参数范围内。

2.7.2 空气润滑减阻系统运行的以下参数应能在就地和控制室显示(如适用)：

- (1) 空气压缩机或鼓风机运行状态；
- (2) 供气阀门的启闭或开度；
- (3) 供气流量；
- (4) 空气瓶的压力；
- (5) 气层/气泡发生装置前的供气压力；
- (6) 系统报警；
- (7) 系统停止运行和应急关停。

2.7.3 用于空气润滑减阻的计算机控制系统作为 I 类系统，应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章第 6 节的相关要求。

2.7.4 如气层/气泡发生装置安装在管弄中，应考虑在该处所内安装浸水报警装置。

第 3 章 EEDI/EEXI 计算和验证

3.1 一般规定

3.1.1 本章旨在为申请将空气润滑减阻系统产生的节能效果计入 Attained EEDI/EEXI 计算值的船舶提供计算和验证方法。

3.1.2 本章是在 CCS《绿色生态船舶规范》及《国际航行海船能效设计指数(EEDI)计算与验证指南》、《国内航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》和《现有船舶能效指数 (EEXI) 计算与验证指南》(以下统称“EEDI/EEXI 指南”)的基础上,对安装了空气润滑减阻系统船舶的补充。

3.1.3 根据船舶航行期间创新型能效技术使用的受限条件,空气润滑减阻系统可被视为持续可用^①。

3.2 适用船型

3.2.1 就国际航行海船而言,适用的船型及定义见 CCS《绿色生态船舶规范》第一部分第 2 章规定。

3.2.2 就国内航行海船而言,适用的船型及定义见 CCS《绿色生态船舶规范》第二部分第 4 章规定。

3.3 空气润滑减阻系统船舶 EEDI/EEXI 计算方法

3.3.1 Attained EEDI/EEXI 计算公式

3.3.1.1 安装了空气润滑减阻系统的船舶,采用通用的 Attained EEDI/EEXI 计算公式,即:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nAE} P_{AE(i)} \cdot C_{FAE(i)} \cdot SFC_{AE(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTO} P_{PTO(i)} - \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{AEoff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{off(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_1 \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

(式 3-1)

* 如果正常最大海上负荷部分由轴带发电机提供,则对该部分功率可使用 SFC_{ME} 和 C_{FME} 替代 SFC_{AE} 和 C_{FAE} 。

0.75 * $\sum_{i=1}^{nPTO} P_{PTO(i)} \leq P_{AE}$ 时, $P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$ 可由下式替代:

^① 见 MEPC.1/Circ.896 通函《用于创新型能效技术 Attained EEDI 和 EEXI 计算和验证的处理指南 2021》。

$$(P_{AE} - 0.75 * \sum_{i=1}^{nPTO} P_{PTO(i)}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} + 0.75 * \sum_{i=1}^{nPTO} P_{PTO(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}$$

0.75 * $\sum_{i=1}^{nPTO} P_{PTO(i)} > P_{AE}$ 时, $P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$ 可由下式替代:

$$P_{AE} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}$$

** 如果 $P_{PTI(i)} > 0$, 则 $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ 和 $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$ 的加权平均值应用于 P_{eff} 的计算。

3.3.2 Attained EEDI/EEXI 公式中参数含义和选取方法

3.3.2.1 安装了空气润滑减阻系统的船舶, 除该系统对 EEDI/EEXI 贡献度计算以外, 其它计算应按适用的 EEDI/EEXI 指南进行。

3.3.2.2 主机推进功率 ($P_{ME(i)}$)、主机碳转换系数 ($C_{FME(i)}$)、主机单位燃油消耗 ($SFC_{ME(i)}$)、辅机功率 (P_{AE})、辅机碳转换系数 (C_{FAE})、辅机单位燃油消耗 (SFC_{AE})、载运能力 ($Capacity$)、特殊设计补偿修正系数 (f_j)、载运能力修正系数 (f_i)、舱容量修正系数 (f_c)、波浪失速修正系数 (f_w)、轴马达功率 ($P_{PTI(i)}$), 应按照适用的 EEDI/EEXI 指南进行选取。

3.3.2.3 航速 (V_{ref})是指假定无风无浪的气象条件下, 在 3.3.2.2 所选取的主机推进功率 ($P_{ME(i)}$) 和载运能力 ($Capacity$)下空气润滑减阻系统关闭时的深水航速, 单位为节。

3.3.2.4 空气润滑减阻系统导致的推进功率降低以 P_{eff} 表示, 乘以该技术的可用系数 f_{eff} , 再乘以 C_{FME} 和 SFC_{ME} (如果 $P_{PTI(i)} > 0$, 则取 $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ 和 $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$ 的加权平均值)后, 从 EEDI/EEXI 公式中扣除。

3.3.2.5 其中, P_{eff} 按式 3-2 进行计算:

$$P_{eff} = P_{PeffAL} - P_{AEeffAL} \times \frac{C_{FAE}}{C_{FME}} \times \frac{SFC_{AE}}{SFC_{ME}} \quad (\text{式 3-2})$$

式中,

(1) P_{PeffAL} 表示在适用的 EEDI/EEXI 指南中所定义的载运能力 ($Capacity$)对应工况 (以下简称“满载工况”)下运行空气润滑减阻系统导致的推进功率降低值, 单位为 kW。

(2) $P_{AEeffAL}$ 表示满载工况下运行空气润滑减阻系统所需要的附加辅助功率, 单位为 kW。 $P_{AEeffAL}$ 应根据系统测试报告, 以鼓风机或空气压缩机 75%额定输出功率计算。如申请方能向验证方提交 $P_{AEeffAL}$ 的详细计算过程或试验报告, 也可按照无风无浪气象条件下深水中满载工况下的实际操作中稳定运行时实测所得鼓风机或空气压缩机消耗功率的平均值进行计算。

(3) SFC_{ME} 表示主机 75%额定功率下的单位燃油消耗值, 如船上安装两台及两台以上

主机，取各主机 75%额定功率和单位燃油消耗值的加权平均数。

(4) SFC_{AE} 表示辅机 50%额定功率下的单位燃油消耗值，如船上安装两台及两台以上辅机，取各辅机 50%额定功率和单位燃油消耗值的加权平均数。

3.4 空气润滑减阻系统对 EEDI/EEXI 贡献度验证方法

3.4.1 验证程序

3.4.1.1 采用空气润滑减阻系统的船舶，首先应按照适用的 EEDI/EEXI 指南进行 EEDI/EEXI 验证。

3.4.1.2 对空气润滑减阻系统的验证，按照 3.4.2、3.4.3 的附加要求进行。

3.4.1.3 用于最终确定空气润滑减阻系统对 EEDI/EEXI 贡献度的推进功率减少值 P_{PeffAL} 必须经验证方验证。

3.4.1.4 如运行空气润滑减阻系统所需要的附加辅助功率 P_{AEffAL} 采用模拟计算或试验值，该值也必须经验证方验证。

3.4.2 设计阶段的前期验证

3.4.2.1 除适用的 EEDI/EEXI 指南要求外，申请方提交的 EEDI/EEXI 技术案卷还应包括：

(1) 空气润滑减阻系统原理图；

(2) 满载工况和试航工况下航速 V_{ref} 时，空气润滑减阻系统分别导致的推进功率降低值 P_{PeffAL} 、 P'_{PeffAL} ；

(3) 满载工况下空气润滑减阻系统导致的推进功率降低率 EDR_{full} 。 EDR_{full} 通过 P_{PeffAL} 除以适用的 EEDI/EEXI 指南中满载工况下的 P_{ME} 来计算（见图 3.4.2）；

(4) 试航工况下空气润滑减阻系统导致的推进功率降低率 EDR_{trial} 。 EDR_{trial} 通过 P'_{PeffAL} 除以适用的 EEDI/EEXI 指南中试航工况下的推进功率来预报（见图 3.4.2）；

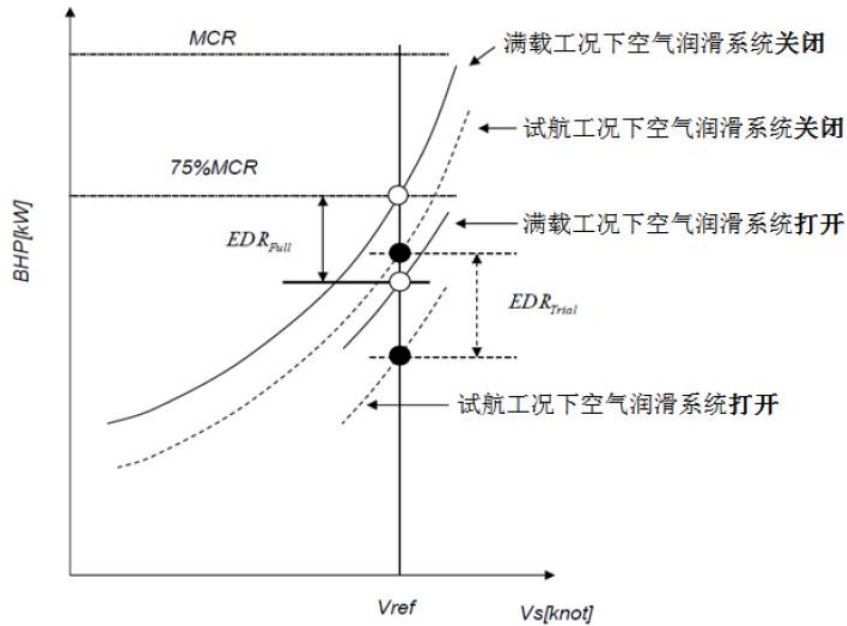


图 3.4.2 空气润滑减阻系统导致的推进功率降低率预报

(5) 运行空气润滑减阻系统所需要的附加辅助功率 P_{AEffAL} ;

(6) 安装空气润滑减阻系统船舶的 Attained EEDI/EEXI 计算过程及初步结果。

3.4.2.2 除适用的 EEDI/EEXI 指南要求外，验证方还可能要求申请方提供的附加资料包括：

(1) 空气润滑减阻系统导致的推进功率降低值 P_{PeffAL} 的详细计算过程；

(2) 运行空气润滑减阻系统所需要的附加辅助功率 P_{AEffAL} 的详细计算过程。

3.4.2.3 应用空气润滑减阻系统的船舶，首先应按照常规船舶进行快速性水池试验。

3.4.2.4 设计阶段，为获得空气润滑减阻系统导致的推进功率降低值 P_{PeffAL} ，应采用模型试验对该系统导致的推进功率降低进行测量或计算。

3.4.2.5 如船舶将以满载工况进行试航试验，经船东和船厂同意，并报 CCS，则可免除 3.4.2.4 条的模型试验。

3.4.2.6 数值计算可等同于模型试验予以接受。在完成空气润滑减阻系统关闭状态下的船型的模型试验后，开展数值计算，以评估附加了空气润滑减阻系统后的阻力和自航状态下的螺旋桨收到功率，并提交相应的计算评估报告。数值计算可包括参考航速(V_{ref})时阻力和自航的 CFD 计算，以及船体阻力变化和自航因子变化。

3.4.2.7 设计阶段，为获得空气润滑减阻系统运行所必需的附加辅助功率 P_{AEffAL} ，应对

系统运行所必需的附加辅助功率进行计算。

3.4.2.8 模型试验

(1) 空气润滑减阻模型试验组织的试验程序和质量控制体系应获得验证。如表明以往的经验不充分，验证方应审核模型试验组织的质量管理体系。

(2) 如空气润滑减阻模型试验组织的质量控制体系未得到有效文件（如 ISO 9001）的认证，应向验证方提交有关模型试验室组织的以下附加信息：

a. 空气润滑减阻模型试验室的设施与设备的描述，这包括设施名称、设备的细节以及每个监测设备的校准记录；

b. 空气润滑减阻模型试验的主要设施与设备包括但不限于：鼓气装置、阻力仪、流量计、压力传感器、水下摄像系统等。

(3) 空气润滑减阻模型试验应遵循几何相似、静水力相似（排水量、重量与重心位置）、运动相似及部分动力相似准则。模型试验中，模型与实船的傅汝德数相等，模型桨和实桨的进速系数相等，试验雷诺数应超过临界雷诺数。

(4) 在同时满足上述相似准则的基础上，应尽量设定合理的试验模型缩尺比，试验模型的加工精度应满足试验规程要求。

(5) 试验条件及测量要求

a. 模型试验装载工况：至少应在满载装载工况下进行。如实船将无法在装载工况下试航，则需要额外增加与实船试航工况相对应的模型试验工况；

b. 试验内容至少应包括：空气润滑减阻系统关闭状态的船模试验阻力及自航试验（满载工况、试航工况）。空气润滑减阻系统运行状态的阻力及自航试验（满载工况、试航工况），试验应选择不同的喷气量进行。

c. 测量参数至少应包括：阻力、空气流量、电功率、底部压力、底部气层观测。

(6) 试验数据处理

a. 通过推进功率的相对值和绝对值比较，确定空气润滑减阻系统对 EEDI/EEXI 的贡献度。

b. 根据模型试验结果估算空气润滑减阻系统对 EEDI/EEXI 的贡献值，但估算结果只能作为参考，最终的 EEDI/EEXI 由实船试验后获得。

3.4.3 试航阶段的最终验证

3.4.3.1 试航阶段的最终验证，除适用的 EEDI/EEXI 指南要求外，申请方提交的 EEDI/EEXI 技术案卷还应包括：

- (1) 空气润滑减阻系统布置图（完工）；
- (2) 空气润滑减阻系统相关设备配置规格书（完工）；
- (3) 空气润滑减阻系统控制策略/操作计划（如有）；

(4) 试航工况下空气润滑减阻系统运行和关闭的实船试航测量数据、满载工况下空气润滑减阻系统关闭的实船数据修正过程和结果，满载工况下空气润滑减阻系统运行的实船数据修正过程和结果；

(5) 经修订的安装了空气润滑减阻系统的船舶的 Attained EEDI/EEXI 计算过程及最终结果。

3.4.3.2 安装有空气润滑减阻系统的船舶，EEDI/EEXI 的验证以试航阶段的最终验证为准。试航阶段，应对设计阶段获得的空气润滑减阻系统导致的推进功率下降比例进行实船试航验证。

3.4.3.3 试航开始前，试航小组应制定合理可行的试航方案（包括测量方法），提交验船师审核，通过审核方可开展空气润滑减阻系统的试航验证试验。

3.4.3.4 试航要求

(1) 试航应按照 ISO15016: 2025 测速试验要求开展。试验时尽可能选择理想的海况，使船舶处于横摇角小于 0.5° 的状态下。

(2) 首先，开展 EEDI/EEXI 常规测速试航。常规测速时，空气润滑减阻系统处于关闭状态，即不降低船舶推进功率的状态。

(3) 然后，在保持船舶装载和浮态不变，海况尽可能相同的前提下，运行空气润滑减阻系统，开展测速试航。

3.4.3.5 现场检验单位应参加试航，并对 3.4.3.4 的试验和测量数据进行确认。

3.4.3.6 试航数据修正

(1) 应按照 ISO15016: 2025 对数据进行分析，分别制定试航工况下空气润滑减阻系统分别处于关闭和运行状态下的速度-功率曲线。

(2) 如空气润滑减阻系统处于关闭状态下, 试航得到的航速(V_{ref})不同于设计阶段的预报值, 主机的功率降低率应在满载工况和试航工况条件下以试航得到的航速(V_{ref})所对应的功率值重新计算。

(3) 应根据试航时测量得到的数据来进行分析, 制定空气润滑减阻系统处于运行状态下的速度-功率曲线。

(4) 计算试航时航速(V_{ref})下的推进功率实际降低率 ADR_{trial} 。

(5) 如试航未在满载工况下进行, 此工况下的推进功率降低率应按式 3-3 进行计算:

$$1 - ADR_{Full} = (1 - EDR_{Full}) \times \frac{1 - ADR_{Trial}}{1 - EDR_{Trial}}$$

即:

$$ADR_{Full} = 1 - (1 - EDR_{Full}) \times \frac{1 - ADR_{Trial}}{1 - EDR_{Trial}}$$

(式 3-3)

(6) 满载工况和试航工况下运行空气润滑减阻系统分别导致的推进功率降低值 P_{PeffAL} 、 P'_{PeffAL} 应按式 3-4、式 3-5 计算:

$$P_{PeffAL} = ADR_{Full} \times P_{ME}$$

(式 3-4)

$$P'_{PeffAL} = ADR_{Trial} \times P_P$$

(式 3-5)

式中,

$$P_{ME} = \sum P_{ME(i)};$$

$P_P = \sum P_{p(i)}$, $P_{p(i)}$ 表示试航工况下空气润滑系统关闭时航速为 V_{ref} 时每台主机的推进功率。

如图 3.4.3 所示。

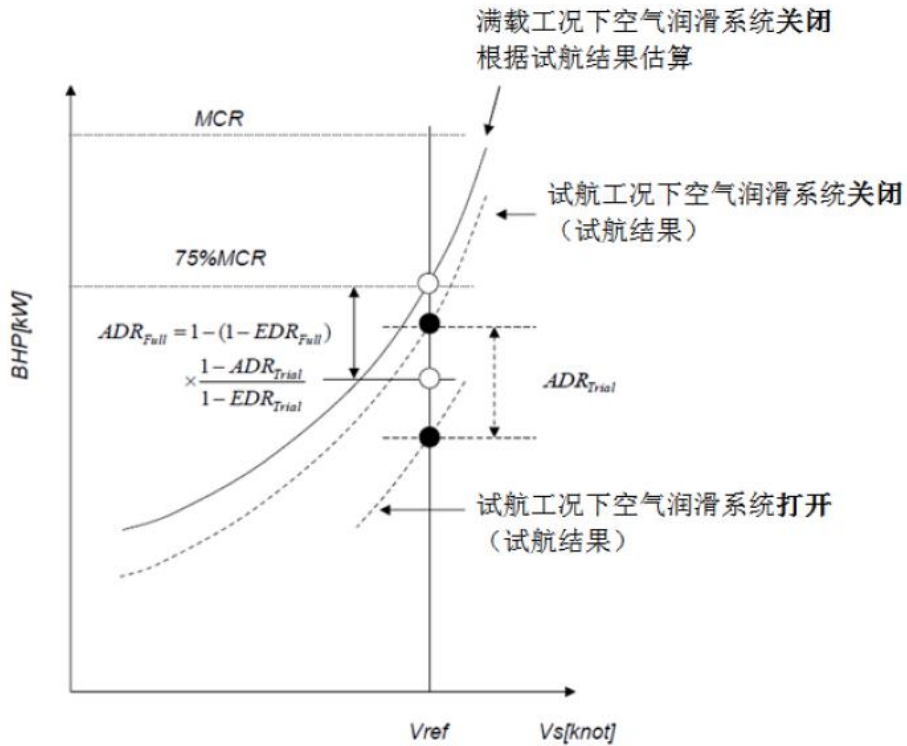


图 3.4.3 运行空气润滑减阻系统导致的推进功率实际降低率计算

3.4.3.7 必要时，应按照试航的结果修改 EEDI/EEXI 技术案卷。修改应包括下列内容：

- (1) 航速 (V_{ref})，如与设计阶段的预报值有差异；
- (2) 满载工况和试航工况下运行空气润滑减阻系统且航速为 V_{ref} 时，推进功率的降低值 (P_{PeffAL} 、 P'_{PeffAL})；
- (3) 满载工况和试航工况下运行空气润滑减阻系统导致的推进功率降低率 (ADR_{full} 和 ADR_{trial})；
- (4) 满载工况下空气润滑减阻系统运行时的 EEDI/EEXI 计算值。