

指导性文件  
GUIDANCE NOTES  
GD04-2016



中国船级社

# 选择性催化还原(SCR)系统 认可及检验指南

生效日期：2016年3月1日

北京

2016年01月

## 前言

中国船级社(CCS)是国家的船舶技术检验机构，中国唯一从事船舶入级检验业务的专业机构，国际船级社协会的正式会员。中国船级社依据国家有关法规和国际公约、规则，为船舶、海上设施及相关工业产品提供技术规范和标准，提供入级检验、鉴证检验、公证检验、认证认可服务，以及经中国政府、外国（地区）政府主管机关授权，开展法定检验和有关主管机关核准的其他业务。

本指南是CCS规范的组成部分，规定选择性催化还原（SCR）系统适用技术要求，检验和试验要求，是对CCS规范的补充。

本社指南由 CCS 编写和更新，通过网页 <http://www.ccs.org.cn> 发布，本指南使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 [ps@ccs.org.cn](mailto:ps@ccs.org.cn)。

# 目录

前言.....	2
第1章 通 则.....	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 规范性引用文件.....	1
1.3 目的.....	1
1.4 术语及定义.....	2
1.5 缩写和符号说明.....	4
第2章 图纸资料.....	5
2.1 送审图纸和资料.....	5
第3章 SCR 系统技术要求.....	8
3.1 一般要求.....	8
3.2 原材料及零部件.....	9
3.3 SCR 反应装置.....	9
3.4 电控系统.....	10
3.5 还原剂供给系统.....	10
3.6 辅助设备.....	11
3.7 冗余.....	12
第4章 控制、监测和安全保护.....	13
4.1 一般要求.....	13
4.2 控制.....	13
4.3 监测.....	14
4.4 安全系统.....	14
4.5 SCR 系统监视项目表.....	14

第 5 章 SCR 系统试验技术要求 .....	16
5.1 一般要求 .....	16
5.2 比例缩放原则 .....	16
5.3 典型样品的选择 .....	16
5.4 SCR 系统型式试验 .....	17
5.5 性能验证试验原则 .....	20
5.6 建模工具 .....	21
5.7 模型试验 .....	21
5.8 单件/单批检验 .....	22
5.9 原理认可（Approval in Principle） .....	22
5.10 证书 .....	23
6 SCR 系统技术案卷和参数核查法 .....	24
6.1 SCR 系统技术案卷 .....	24
6.2 SCR 系统的参数检查方法 .....	26
附录 1 SCR 系统认可检验和发证流程 .....	28
附录 2 验证试验数据记录表 .....	29
附录 3 SCR 系统工作边界参数表 .....	31

# 第 1 章 通 则

## 1.1 适用范围

1.1.1 本指南适用于申请中国船级社（以下简称 CCS）认可和检验的选择性催化还原（以下简称 SCR）系统。

1.1.2 本指南仅适用于使用尿素水溶液作为还原剂的 SCR 系统。直接使用氨水或液氨作为还原剂的 SCR 系统应经特殊考虑后另行批准。

## 1.2 规范性引用文件

1.2.1 MEPC.198（62）《2011 年关于装有选择性催化还原（SCR）系统船用柴油机特殊要求的 2008 年 NO<sub>x</sub> 技术规则补充指南》及其修正案

1.2.2 IMO《国际防止船舶造成污染公约》（MARPOL）附则 VI

1.2.3 经 251（66）修订的 MEPC.177(58)《NO<sub>x</sub> 技术规则》

1.2.4 中国船级社《钢质海船入级规范》

## 1.3 目的

1.3.1 SCR 系统型式认可的目的是为了证明产品设计符合本指南要求，使 SCR 设备能安全、持续地达到其声明的 NO<sub>x</sub> 处理能力。

1.3.2 SCR 系统型式认可的原则和意义：

（1）SCR 系统的型式认可是对系统安全性、功能和净化能力的认可。不包括配套柴油机的前期检验，装有 SCR 的柴油机还需按方案 A 或 B 进行配套后试验，以确认其满足前期发证的检验要求。

（2）SCR 系统的使用，可能带来未知风险，型式认可工作保证了新增设备的安全性。

（3）SCR 系统的型式认可，可作为柴油机排放测试的前期准备。在认可中确认了 SCR 反应器的特性、船上环境适应性、以及可能涉及的建模工具和模型试验后，有助于装有 SCR 系统的发动机族/组的划分和母型机的选择，以及系统布置及控制方案的确认，减少装有 SCR 系统的柴油机前期发证检验工作内容。

(4) 未经 CCS 型式认可的 SCR 系统，应视为柴油机的主要零部件，在进行柴油机前期发证检验过程中，应提交本指南第 2 章要求的审图资料供审批，以及按照本指南的型式认可要求对 SCR 系统进行检验，确认该系统满足本指南的技术要求。

## 1.4 术语及定义

### 1.4.1 术语及定义

(1) 选择性催化还原系统 (Selective catalytic reduction system): 系由 SCR 反应装置、还原剂喷射系统、控制装置、排气管 (如有设计要求时) 及其他必要设备组成的一个系统。

(2) SCR 反应装置 (SCR chamber): 也称催化转化器，系指装有催化剂块，废气中  $\text{NO}_x$  与还原剂发生催化还原反应，转化为  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  的完整装置，它是 SCR 系统的核心工作部件。

(3) 装有 SCR 系统的发动机 (Engine system fitted with SCR): 由船用柴油机、SCR 反应装置和还原剂喷射系统组成的一个系统。与降低  $\text{NO}_x$  相关的控制装置，也将其视为该系统的一部分。

(4) 催化剂块 (Catalyst block): 系指供废气通过的一定尺寸的块体，其内表面含有减少废气中  $\text{NO}_x$  的催化剂成分。

(5) 还原剂喷射系统 (Reductant injection system): 系指由向喷嘴供应还原剂的泵、向废气流喷射还原剂的喷嘴和喷射控制装置组成的系统。

(6) SCR 电控系统 (SCR electrical control system) 系指实现还原剂喷射量控制、系统状态监测和安全保护等功能的系统，主要由传感器、电子控制单元、执行机构以及对外接口组成。

(7) 空速 SV (Space velocity): 系指通过催化剂块的废气流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 与 SCR 反应装置中催化剂块的总体积的比值。因此，SV 值的单位是  $1/\text{h}$ 。废气流体积系指在  $0^\circ\text{C}$  和  $101.3\text{ kPa}$  定义的体积。

(8) 面速度 AV 值 (Area velocity): 系指通过催化剂块的废气流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 与 SCR 反应装置中催化剂块的总活性表面积 ( $\text{m}^2$ ) 的比值。AV 值的单位是  $\text{m}/\text{h}$ 。废气流量系指在  $0^\circ\text{C}$  和  $101.3\text{ kPa}$  条件下的体积流量。

(9) 线性速度 LV 值 (Linear velocity): 系指通过催化剂块的废气流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

与废气流垂直方向的催化剂块截面积（m<sup>2</sup>）的比值。LV 值的单位是 m/h。废气流量系指在 0℃和 101.3 kPa 条件下的体积流量。

（10）催化剂块总体积（Total volume of the catalyst block）：根据催化剂块的外形尺寸计算的体积（m<sup>3</sup>）。

（11）块截面积（Block section）：系指根据催化剂块的外形尺寸计算的横截面积（m<sup>2</sup>）。

（12）NO<sub>x</sub> 转化效率（NO<sub>x</sub> reduction rate）：系指按下式计算的值  $\eta$ （%）：

$$\eta = \frac{(C_{\text{inlet}} - C_{\text{outlet}})}{C_{\text{inlet}}} \times 100$$

式中：C<sub>inlet</sub> ——SCR 反应装置进口处测量的 NO<sub>x</sub> 浓度，ppm；

C<sub>outlet</sub> ——SCR 反应装置出口处测量的 NO<sub>x</sub> 浓度，ppm。

（13）总活性表面积（Total active surface area）：系指催化剂块采用选择性化学吸附法所测得的总表面积。

（14）还原剂（Reductant）：能水解产生 NH<sub>3</sub> 的尿素溶液。

（15）建模工具（Modelling tool）：利用柴油机排放参数和模型试验数据计算 NO<sub>x</sub> 转化效率的仿真计算工具。

（16）模型试验（Model test）：为建模工具提供数据，因此称为“模型试验”，为 MEPC198(62)第 6.1.1.3 条所指内容。可以是利用全尺寸或比例缩放的催化剂进行，其混合气可以是柴油机废气或合成气体。

（17）方案 A（Scheme A）：对装有 SCR 系统的柴油机，前期检验发证时，通过台架试验，证明其排放符合性的一种检验方法。

（18）方案 B（Scheme B）：由于试验条件限制，无法通过台架试验验证柴油机的排放符合性，通过建模计算和船上初次确认试验等，证明其排放符合性的一种检验方法（参照 MEPC.198(62)）。或者船上试验不能完全符合 NTC 2008 的第 5 章的要求，应使用本指南方案 B 的程序。

（19）开环控制（Open-loop control）：不将 SCR 反应装置出口参数（如出口 NO<sub>x</sub> 浓度）反馈回来影响还原剂供给量的系统。

(20) 闭环控制 (Close-loop control): 根据 SCR 反应装置出口参数 (如出口  $\text{NO}_x$  浓度) 对还原剂供给量进行校正的控制方式。

(21) 催化剂的材料安全数据表 MSDS (Material Safety Data Sheet): 是提供有关催化剂的理化参数和危害信息的文件, 供产品使用者参考, 有助于安全作业。

## 1.5 缩写和符号说明

### 1.5.1 缩写和符号说明

- (1) SCR (Selective Catalytic Reduction): 选择性催化还原;
- (2) SV (Space Velocity): 空速;
- (3) CPSI (Channels Per Square Inch): 催化剂横截面上每平方英寸的孔道数;
- (4) PLC (Programmable Logic Controller): 可编程式逻辑控制器;
- (5) CPU (Central Processing Unit): 中央处理器;
- (6)  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ : 尿素;
- (7)  $\text{NH}_3$ : 氨;
- (8) ANR (Ammonia to  $\text{NO}_x$  Ratio): 氨氮摩尔比。
- (9) NTC 2008 ( $\text{NO}_x$  Technical Code 2008): MEPC.177(58)决议通过的《氮氧化物技术规则》。

## 第 2 章 图纸资料

### 2.1 送审图纸和资料

2.1.1 应将下列图纸资料提交批准或备查：

(1) SCR 系统总布置图，包括 SCR 反应装置、旁通管路、吹灰装置、混合器、喷嘴、传感器（特别是控制相关的传感器）、还原剂供给泵等部件的安装布置。并且应能够体现 SCR 系统与柴油机的相对位置，如涡前或涡后布置、排气支管或集管布置等。

(2) SCR 系统原理图。

(3) 主要部件的材料及规格，包括反应装置壳体、吹灰装置、混合器、喷嘴、计量泵及管路。

(4) SCR 反应装置图

①SCR 反应装置结构图；

②SCR 反应装置壳体结构强度计算；（备查）

③内部催化剂块的安装布置图，包括催化剂块的数量及排列布置，以及催化剂块与 SCR 反应器壳体结构之间防止废气泄漏的密封布置；

④催化剂块的结构图，包括尺寸、目数（CPSI）等。

(5) 电控系统。包括系统说明书、软件质量控制计划等，具体依据中国船级社《钢质海船入级规范》第 7 篇第 1 章的图纸资料要求执行。控制软件的编号及版本号应在相关文件中明确表述。

(6) 还原剂供给系统

①还原剂供给系统原理图；

②喷嘴图，包括型号规格、喷嘴孔径、孔数及喷射锥角。（备查）

(7) 辅助设备图纸和文件：（备查）

①旁通系统结构图；（如适用）

②吹灰装置图及气体消耗量计算书；（如适用）

③混合器结构图；（如适用）

④废气加热装置图纸及功率计算书。（如适用）

（8）SCR 系统控制策略原理图及说明；

①控制策略流程图，并明确控制模式（如开环或闭环控制等）；

②控制相关的所有输入和反馈信号。

（9）产品主要性能规格书：

①性能参数表，即 SCR 反应装置适用的进出口边界条件及限制，至少包括催化剂比例缩放范围、废气流量范围、空速和线速范围、NO<sub>x</sub> 浓度范围、反应装置进口温度范围、压力损失，以及其他可能适用的参数范围，如 ANR、SO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 等；

②催化剂块的材料、成分/类型；

③还原剂类型/成分和浓度；

④适用的燃油品质、标准及允许最大硫含量；

⑤SCR 性能劣化率的相关因素，如催化剂块更换条件及建议更换时间等；

⑥催化剂最大转化效率（对应不同温度和空速，并说明氨氮比和氨泄漏量）；

⑦比例缩放方案的合理性说明。

（10）废气流场的均匀分布计算。应涉及还原剂与废气混合情况，流体通过反应装置截面时氨气（或 ANR）的均匀分布情况，均匀度不低于 85%。（备查）

（11）故障模式及影响分析（FMEA）。（备查）

（12）催化剂的材料安全数据表(MSDS)，以及催化剂块安装及更换时应具备的保护措施，以及废品回收措施。（备查）

（13）型式试验大纲（可在申请型式认可时提供）。

(14)SCR 技术案卷（参照本指南 6.1 的要求,可在申请型式认可时提供）。

2.1.2 系统拟用于方案 B 时，还应增加至少如下文件和资料供批准：

(1) 模型试验计划书。

(2) 建模工具说明书。

(3) 模型试验报告。

(4) 建模计算报告。

## 第 3 章 SCR 系统技术要求

### 3.1 一般要求

#### 3.1.1 工作条件

(1) 机械设备的设计工作条件应符合中国船级社《钢质海船入级规范》第 3 篇第 1 章第 2 节环境条件的要求。

(2) 电气设备的设计工作条件应符合中国船级社《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章第 2 节要求。

3.1.2 管系、阀门及管路附件应满足中国船级社《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章相关要求。

3.1.3 安装在涡轮增压器上游的 SCR 系统，其 SCR 反应装置的壳体，以及反应装置上游的所有设备（如混合装置）及排气管，其结构强度和设计压力均应按照所配套柴油机的排气集管的设计要求制造。且应有防止催化剂块破碎后进入增压器的措施。

3.1.4 SCR 系统在最大废气流量时所造成的背压升高值应满足柴油机生产厂的要求。必要时，应在 SCR 反应装置上游的废气管路上安装安全阀，以防止背压过高时，废气过度聚集影响柴油机正常工作。

3.1.5 SCR 系统应有足够的降 NO<sub>x</sub> 能力，且在柴油机稳态工况下，反应装置下游的废气中 NH<sub>3</sub> 浓度平均值不应超过 10ppm。如 IMO 对此限值有最新要求，则以 IMO 要求为准。

3.1.6 如果 SCR 系统拟用于 Tier III 柴油机（即柴油机按 MARPOL 附则 VI 第 13 条 5.1.1 予以核准），则在各模式点的排放量应不超过适用的 NO<sub>x</sub> 排放限值 50% 以上，但下列情况除外：

- (1) D2 试验循环的 10% 模式点。
- (2) C1 试验循环的 10% 模式点。
- (3) C1 试验循环的怠速模式点。

## 3.2 原材料及零部件

3.2.1 SCR 系统的重要部件，应持有本社船用产品证书或制造厂证明，具体参照中国船级社《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章附录 2B 的相关要求执行。催化剂块未经本社批准不得变更制造厂。

3.2.2 SCR 系统各设备部件所用的材料应适用于其预定的温度、压力以及介质。特别是与还原剂接触的结构部件，如 SCR 反应装置、混合器、吹灰装置、计量泵及供给管系等。

## 3.3 SCR 反应装置

3.3.1 SCR 反应装置壳体的设计制造应满足 3.1.3 和 3.2 的要求。

3.3.2 SCR 反应装置应设有防止催化剂块被蓄意拆除的措施，例如铅封，且该铅封上应有制造厂标识。

3.3.3 催化剂块在反应装置中的封装，应有防止废气泄漏的密封措施以保证废气与催化剂的充分接触。

3.3.4 SCR 反应装置应有足够的强度，能承受船上振动的影响。

3.3.5 SCR 系统应能适用一定的燃油硫（S）含量，并给予明确说明。

3.3.6 SCR 性能的劣化率，如催化剂块的更换条件或更换时间应予以考虑。

(1) 闭环控制的 SCR 系统，因为采用了 NO<sub>x</sub> 监测，可认为满足本条要求。

(2) 开环控制的 SCR 系统，应提供以下说明或安装 NO<sub>x</sub> 监测设备：

- ① 常用工况下的劣化曲线、催化剂寿命；
- ② 影响催化剂状态的参数；
- ③ 评价催化剂活性和状态的指导书；
- ④ 催化剂保养说明；
- ⑤ 定期检查与记录，以备营运检验核查。

3.3.7 SCR 反应装置适用的废气温度范围应予以明确，且能满足所匹配柴油

机采用的测试循环。

### 3.4 电控系统

3.4.1 电控系统电子设备的设计、制造、检验，包括软件设计，应满足本社《钢质海船入级规范》第7篇，以及《电气电子设备型式认可试验指南》的有关规定。

3.4.2 SCR 电控系统的控制方案应充分考虑船上发动机的实际运行工况，当发动机工况正常地偏离名义特性曲线（如推进特性线或恒转速运转线）时，SCR 系统不应停止还原剂的喷射。SCR 系统运行所覆盖的柴油机工况范围应为面状覆盖，根据柴油机实际营运中可能达到的工况区域进行设计，但覆盖范围不应小于名义特性曲线的 $\pm 10\%$ 。且这些区域的实测  $\text{NO}_x$  转化效率值加上 5% 应不低于设计运行工况（或曲线）的转化效率。

3.4.3 发动机名义特性曲线上的任一工况下的  $\text{NO}_x$  转化效率值加上 5% 应不低于该工况附近 2 个循环模式点的转化效率插值。

3.4.4 电控系统对 SCR 系统的监测功能及控制功能设计，应满足本指南第 4 章的相关要求。

### 3.5 还原剂供给系统

3.5.1 还原剂一般采用质量浓度为 32.5% 或者 40% 的尿素水溶液。

3.5.2 还原剂供给系统的设计，应能保证喷嘴出口处还原剂的雾化及喷射压力，且喷射压力应易于核查。

3.5.3 计量泵应有合适的流量范围，既要覆盖还原剂供给的流量范围，也要考虑使泵在该范围有足够的精度。

3.5.4，SCR 系统停止工作后还原剂会残留在喷嘴部分，由于还原剂的蒸发或变质等原因可能导致喷嘴堵塞。还原剂供给系统应设有压缩空气清扫功能或其他等效措施在系统工作停止后清除喷嘴内的残留以防止喷嘴堵塞。

3.5.5 供液管路，应明确计量泵与储存罐和喷嘴的最大允许相对高度及各段供液管路的最大允许长度及其他船上安装要求，以保证系统有效工作。

## 3.6 辅助设备

3.6.1 装有 SCR 系统的柴油机，排气管应设旁通管路及旁通状态指示器。并满足以下要求：

(1) 旁通管路上的阀应能就地手动开启和关闭，或者增加一套独立动力源控制其开启和关闭。

(2) 旁通结构的设计应能防止因为误操作导致 SCR 反应装置通道和旁通管路同时关闭情况。应能实现在其中一路打开后，另一路才能关闭。

(3) 旁通时，应有连锁功能使 SCR 系统保持停止工作状态，且不能启动。

(4) 单台柴油机用于主推进的情况，其 SCR 系统应设置旁通结构。多台柴油机用于主推进或其他用途的辅机，其 SCR 系统可不设置旁通结构。

3.6.2 SCR 系统应设有吹灰装置，以保证 SCR 反应装置持续有效工作，防止柴油机排气中的颗粒物（PM）聚集在催化剂表面，导致排气背压升高和系统催化效率降低。应满足以下要求：

(1) 吹灰装置应有足够的吹扫压力、吹扫频率，以保证装置实际有效；

(2) 吹灰装置的气体消耗量应列入技术规格书；

(3) 吹扫压力和工作状态应进行监控。

3.6.3 SCR 系统的设计应能保证还原剂与废气进入反应装置前已充分混合，并通过流体仿真计算验证结构设计的合理性。流体通过反应装置截面时氨气（或 ANR）应分布均匀，其均匀度不低于 85%。必要时可安装混合器，但应明确混合器前后的废气管路布置要求，包括与 SCR 反应装置的距离要求。

3.6.4 为保证 SCR 反应装置有足够的反应温度而安装的废气加热装置，应满足如下要求：

(1) 采用燃油加热废气时，系统设计应尽量避免可燃油气积聚，当燃油供应管路上设有截止阀时，其开闭状态应有明确指示。

(2) 烟道在喷油器开始点火前应进行定时的前扫气，扫气时间应足以保证

炉膛 4 次换气，扫气时应使空气调节门处于全开位置；

(3) 点火应在空气进入燃烧室并完成前扫气后方可进行，喷油器进油阀应在点火火花出现之后方可打开，如点火不着，点火装置和喷油器进油阀应自动关闭，进油阀从开启到关闭的时间不得大于 15s；

(4) 应设有火焰监测器，当发生故障熄火时能自动关闭喷油器的进油阀，关闭时间应不迟于熄火后 6s；

(5) 在排放控制区内，柴油机的启动应在扫气完成之后。

(6) 废气加热装置的燃油消耗量的应不超过其配套柴油机额定工况下燃油消耗量的 5% 。

### 3.7 冗余

3.7.1 控制系统中因功能故障可能影响 SCR 系统正常运转的机电设备，应具有双套系统或随船存放备件，如影响还原剂计量控制的输入信号传感器或机电设备等。

3.7.2 SCR 系统应设置至少 2 台还原剂供应泵。其配置应能实现：其中 1 台泵失效时，其余的泵仍能在 SCR 系统最大工作能力条件下供应足够的还原剂，所有泵应连接妥当随时可用或易于更换。

## 第 4 章 控制、监测和安全保护

### 4.1 一般要求

4.1.1 SCR 的电子控制系统，控制还原剂喷射量、SCR 系统运行状态、旁通状态、吹灰装置和废气加热装置（如有时）的工作状态等，能根据发动机状态调节 SCR 系统参数，对外进行数据交换。SCR 的电控系统由传感器、电子控制单元、执行机构以及对外接口组成。

4.1.2 SCR 系统的控制、监测及安全系统除满足本章要求外，还应满足本指南第 3 章有关要求。

4.1.3 SCR 系统应具有故障自诊断和安全保护功能，当出现故障时，系统应立即进行故障诊断，启动相应的安全保护功能。

4.1.5 电控系统应具有数据记录功能，自动记录 SCR 系统一定数量的最新运行数据，对运行过程中的报警及故障等异常状态进行存储，异常状态的存储记录只能被手动清除。数据应从记录之日起保留不少于 18 个月。

4.1.6 SCR 系统的数据记录与处理设备应能够将系统状态、数据及报警通过对外接口输出给船舶的监测系统。

4.1.7 传感器及监测设备应保证可靠性和准确性，且应进行定期校准，可接受设计方或设备方的校准程序。

### 4.2 控制

4.2.1 SCR 系统应能实现自动控制运行，其还原剂喷射量可根据柴油机工况的变化进行自动调整，以保证各工况下的预期转化效率和氨泄漏最低。

4.2.2 吹灰装置应能实现自动控制运行，当反应装置前后压差超过设定值时自动运行，或设置合理的开启频率和持续工作时间以保证压差合理。另外，还应设置手动控制功能，以便进行连续吹灰工作。

4.2.3 废气加热装置应能实现自动控制运行，运行和停止所对应的废气温度应与技术文件一致，且能根据 SCR 反应装置进口温度变化调整燃油供应量。

4.2.4 废气加热装置火焰熄灭，废气加热装置应停止喷射燃油。

### 4.3 监测

4.3.1 电控系统的监测功能，应能对系统的传感器、电子控制单元及执行机构的主要功能故障进行报警。

4.3.2 控制系统中因功能故障可能影响 SCR 系统正常运转的传感器，特别是影响还原剂计量控制的传感器，当发生故障或失效时，应能：

- (1) 发出报警信号；
- (2) 及时更换损坏的部件或投入备用设备后，能恢复正常的控制功能；

4.3.3 SCR 系统的控制单元应能有效监测反应装置、还原剂供给系统、吹扫装置、废气加热装置等关键部件的工作状态，具体项目参照本章第 4.5 条的监视项目表。

### 4.4 安全系统

4.4.1 如因安全系统的动作而导致机电设备停止运行，应发出报警并指示故障，且非经人工复位，该设备不应再自动投入运行。

4.4.2 应设置连锁机构，能防止因为误操作导致 SCR 反应装置通道和旁通管路同时关闭情况。且旁通的操作步骤应该是旁通阀完全打开后，再关闭 SCR 反应装置通道。

### 4.5 SCR 系统监视项目表

4.5.1 SCR 系统的监视项目应满足表 4.5.1 的要求。

4.5.2 本节表 4.5.1 所采用的符号及其含义如下：

- (1) ——：不要求设置；
- (2) X：适用；
- (3) \*：如有时；

4.5.3 采用不同的控制策略的 SCR 系统，其监测项目也应有所不同，应根据系统的特点增加监视项目。

SCR 系统监视项目表

表 4.5.1

项目	控制站（室）		安全系统动作类别		备注
	显示	极限报警	SCR 自动停止	*旁通	
<b>1 SCR 系统工作状态</b>					
SCR 系统工作	运行指示	---	---	---	
旁通	状态	开启失败	---	---	
<b>2 反应装置</b>					
SCR 反应装置进出口压差	压力差	高	---	---	吹灰装置工作
		过高	X	X	
<b>3 还原剂供给系统</b>					
还原剂喷射量	喷射量	---	---	---	
供给泵故障	---	故障	---	---	启动或更换备用泵
喷射压力	压力	低	---	---	
喷嘴	---	故障	---	---	
<b>4 *吹灰装置</b>					
吹灰系统工作	运行指示	---	---	---	
吹灰装置吹扫压力	压力	低	---	---	
<b>5 *废气加热装置</b>					
废气加热装置工作	运行指示	---	---	---	
加热装置火焰和点火	---	熄灭/失败	---	---	
加热装置燃油压力	压力	低	---	---	
燃烧器鼓风机电源故障	电压	故障	---	---	电压可由指示灯代替
<b>6 控制系统</b>					
控制单元电源故障	电压	故障	---	---	电压可由指示灯代替
控制系统通信故障	---	故障	X	X	
主要传感器故障(控制相关)	---	故障	X	X	

## 第 5 章 SCR 系统试验技术要求

### 5.1 一般要求

5.1.1 对于设计相同但规格不同的 SCR 系统，如果根据比例缩放原则设计，选择典型样品进行型式试验后，可对全系列给予认可。比例缩放的原则参照本章第 5.2 条。

5.1.2 SCR 系统的型式试验开展前，应确认其认可范围内的系列图纸资料（按本指南第 2 章要求）已经 CCS 批准。

### 5.2 比例缩放原则

5.2.1 采用比例缩放原则设计，适用于不同柴油机废气流量（额定工况）的 SCR 系统，应满足如下要求：

- (1) 各系统的 AV、SV 及 LV 值应一致或满足适用范围。
- (2) 各系统所用催化剂：成分/类型，催化剂块结构形式应一致。
- (3) 各系统所用还原剂：成分/类型和浓度，应一致。
- (4) 各系统控制策略制定规则应一致。

### 5.3 典型样品的选择

5.3.1 初次认可时，每一系列 SCR 系统应选一套设备进行型式试验。所选样机在技术参数、结构和制造工艺上具有代表性，体现工厂的加工能力和制造水平。

5.3.2 无论用于方案 A 或将同时用于方案 A 和方案 B 的 SCR 系统，其性能验证试验应采用柴油机+SCR 的方式按照方案 A 的台架方式进行验证试验，或选择结合柴油机方案 A 的前期发证检验进行。

5.3.3 验证试验的柴油机+SCR 选择，应满足以下要求：

(1) 试验用柴油机+SCR 的选择，应保证该柴油机机额定工况下 SCR 催化剂的空速 SV 不小于 SCR 系统适用的最大空速。试验用柴油机不必是拟配套的柴油机，SCR 系统也可以是设计开发用设备。

(2) 选择结合柴油机方案 A 的前期发证检验进行验证试验时，试验样机也必须符合第 (1) 条要求。但应该说明的是，柴油机方案 A 的前期发证检验，其母型机的选择原则上是柴油机+SCR 系统具备最高的 NOX 比排放值。如果所认可的 SCR 系统明确了配套的组或族，可以免除第 (1) 条的要求，结合母型机试验进行，SCR 系统所适用的参数范围为该组或族的参数范围。SCR 系统的认可应限定柴油机的组或族的信息，并在证书中予以明确。

(3) 如果确因催化剂块尺寸固定且条件所限无法选择相应柴油机作为样机，经过计算或模型计算能够证明 SCR 系统的设计能满足适用最大空速的要求且催化剂体积有余量，可降低本条要求。

## 5.4 SCR 系统型式试验

5.4.1 型式试验项目应能确认 SCR 系统及其零部件符合批准图纸和本指南第 4 章的技术要求。SCR 系统的型式试验包括以下内容和 5.4.2 的转化性能试验：

(1) SCR 反应装置内外结构应与批准图纸一致，确认 3.3 的技术要求；

(2) 检查催化剂块结构尺寸、单元数目及其在反应装置中的排列布置；

(3) 催化剂的耐硫性

① 制造厂应对其催化剂的耐硫性提供充分的理论依据或试验数据支持。

② 提供催化剂对于不同硫含量的燃油，所适用的最低和最高工作温度。

(4) 催化剂劣化率

① 通过试验获取常用工况下的劣化曲线以及催化剂的寿命；或

② 快速老化试验。快速老化后的 SCR 对 NO<sub>x</sub> 转化效率的劣化率不得高于 10%。快速老化试验在试验台架上进行，试验循环见表 5.4.1 (4)。

③ 试验用的反应装置可按照试验台架条件与发动机或燃烧器相连，并选择合适的尺寸。

催化剂快速老化试验条件

表 5.4.1 (4)

进口温度 (°C)	空速 (h <sup>-1</sup> )	老化持续时间 (h)
550	50000	200

(5) SCR 反应装置的振动试验

① 按照 GB/T 18377 中振动试验的有关方法进行。

② 振动试验参数按表 5.4.1 (5)。

振动试验参数

表 5.4.1 (5)

频率 (HZ)	加速度 (m/s <sup>2</sup> )
30	±4.0g

③ 催化剂块结构差异 (圆柱体或长方体) 会导致封装结构不同, 应定义为不同的封装方式, 并分别进行振动试验。

④ 试验用的反应装置样品可按照振动试验台架条件与发动机或燃烧器相连, 并选择合适的尺寸。

(6) 还原剂储存罐、泵、喷嘴及管路等经检查符合批准图纸和本指南第 4 章的技术要求;

(7) 辅助设备经检查符合批准图纸和本指南第 4 章的技术要求。

(8) 电控系统试验

① 电控系统的型式试验, 除满足本社《电气电子产品型式认可试验指南》的相关要求外, 还应满足本节的要求。

② 电控系统的功能试验可与转化性能验证试验同时进行。确认 SCR 系统工作过程中, 电控系统的反应与预计一致, 并对控制参数进行核查。

③ 安全保护和故障监测报警等功能试验, 根据第 4 章相关要求确定。也可结合性能验证试验进行。

(9) 辅助设备的功能试验

- ① 以下辅助设备的功能验证，均可结合转化性能验证试验进行。
- ② 旁通系统功能试验，验证旁通阀和指示器的控制和动作，互锁功能等。
- ③ 吹灰装置功能试验，验证吹灰系统的控制和动作，吹灰压力和频率等；
- ④ 废气加热装置（如有时）功能试验，验证装置有效性，保证低温工况时 SCR 系统的有效运行。

#### 5.4.2 SCR 系统性能验证试验

(1) 验证试验条件应满足本章 5.3.3 的要求。

(2) 验证试验模式点选择

- ① 柴油机 E3 或 D2 循环所规定的 4 个工况点。如果验证试验结合柴油机方案 A 的前期发证检验（EIAPP 发证检验）进行，其模式点应包括该柴油机组适用的所有循环。
- ② 抽查工况。柴油机推进特性曲线（E3 循环工况曲线）或 D2 循环工况曲线上（或附近，建议偏离 5%左右）另外任选一个工况（不包括 E3 或 D2 原有的模式点工况）。该工况下 NO<sub>x</sub> 转化效率值加上 5%转化效率应不低于循环中附近 2 个模式点的转化效率插值。如果验证试验结合柴油机方案 A 的前期发证检验（EIAPP 发证检验）进行，应在各试验循环的曲线上各抽查一个工况。
- ③ 验证催化剂最大转化效率。选择 2 个柴油机工况，对 SCR 系统进行手动控制或临时改变该工况下还原剂喷射量，此时还原剂的喷射量应根据该工况下的温度和空速值，参照 2.1.1（9）⑥对应的氨氮比来确定，并将测得的 NO<sub>x</sub> 转化效率和氨泄漏与 2.1.1（9）⑥进行对比，验证催化剂的最大转化效率。其中 1 个工况可与 5.4.2（2）②抽查工况相同。

(3) 试验结果

- ① 计算各工况点 NO<sub>x</sub> 转化效率和每个测试循环的 NO<sub>x</sub> 比排放值；
- ② 应对氨泄漏量进行测量并符合本指南 3.1.5 要求。

(4) 验证试验应至少记录附录 2 所列试验数据。

(5)性能验证试验应符合 NTC 2008 的第 5 章的试验台 NO<sub>x</sub> 排放测量程序。

5.4.3 拟用于方案 B 的 SCR 系统, 在进行性能验证试验前, 还应完成建模计算和模型试验, 具体要求见本章 5.6 和 5.7 节内容。并在验证试验前提交建模计算报告, 通过验证试验结果, 验证 5.4.2 (2) ①各模式点的计算值是否准确。

### 5.5 性能验证试验原则

5.5.1 拟用于方案 B 的 SCR 系统, 首先, 性能验证试验还应能验证建模工具的有效性; 其次, 由于方案 B 不在台架进行柴油机与 SCR 系统的匹配试验, 而且船上初次确认试验是一种简化的确认方式。因此, 拟用于方案 B 的 SCR 系统, 其转化性能验证试验须在上船前完成, 不可与船上初次确认试验等效。

5.5.2 拟用于方案 B 的 SCR 系统, 性能验证试验的流程见图 5.5.2, 具体步骤如下:

- (1) 获取柴油机原机 NO<sub>x</sub> 排放等参数;
- (2) 通过模型试验为建模计算提供数据;
- (3) 然后利用建模工具计算 SCR 系统转化效率;
- (4) 最后, 通过柴油机试验台进行 5.4.2 的性能验证试验。

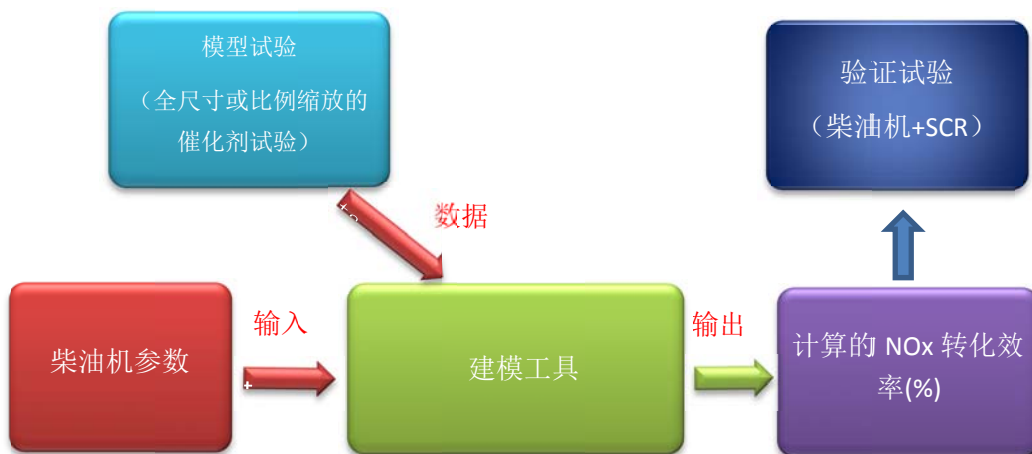


图 5.5.2: 性能验证试验流程 (用于方案 B 的 SCR 系统)

5.5.3 本指南第 5.4.2 条的性能验证试验应能验证 SCR 系统以下几方面的内容:

(1) SCR 系统硬件设计和控制方案的合理性;

(2) 反应装置比例缩放方案的合理性验证。(验证 SCR 系统适用的最大空速值);

(3) SCR 系统催化剂降 NO<sub>x</sub> 能力;

(4) SCR 系统使柴油机 NO<sub>x</sub> 符合排放限值的能力;

(5) 建模工具计算的准确性;

## 5.6 建模工具

5.6.1 建模工具应有足够的计算能力和计算精度,其设计原理、计算方法、输入输出和限制条件等应在建模工具说明书中予以详细说明,也应在计算报告中予以体现。

5.6.2 建模工具对 NO<sub>x</sub> 转化效率的计算方法,应采用考虑几何条件、化学反应机理和其他参数的建模计算方法,并经本社认可。

## 5.7 模型试验

5.7.1 模型试验用来确定不同反应条件下的催化剂性能和反应效率,为建模工具的计算过程提供必要的输入数据。利用全尺寸或比例缩放的催化剂进行,其混合气可以是柴油机废气或模拟气体。模型试验的试验条件:

(1) 废气流量。为考虑催化剂模型尺寸,应对用于试验的废气流量相应地进行比例换算。

(2) 废气成分

① 用于试验的废气应为柴油机废气或模拟气体。

② 如使用柴油废气,NO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和 SO<sub>2</sub> 浓度应对应于本指南 5.5.2 (1) 的废气浓度(对每一排放气体,所要求浓度的±废气)。

③ 如使用模拟气体,NO、NO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和 SO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub> 为平衡气) 浓度应对应于本指南 5.5.2 (1) 的废气浓度(对每一排放气体,所要求浓度的±废气)。

- ④ 如果申请方能证明以上某种或多种气体成分及浓度不影响建模计算过程，可同意免除相关气体成分的浓度要求。

(3) 废气温度。用于试验的废气温度应对应于本指南 5.5.2 (1) 所述试验获得的温度，以确保在每个负荷点下激活 SCR 反应装置（本指南 3.1.6 规定除外），并且不形成硫酸氢氨或造成还原剂的破坏。

(4) 催化剂块和 AV、SV 值。试验所用的催化剂块应能代表所用的 SCR 反应装置中的催化剂块。对于全尺度试验，AV、SV 或 LV 值应在本指南 5.5.2(1) 所述试验获得要求值的±20%范围内。比例试验的值应对应于上述值。

(5) 还原剂。原剂浓度应代表实际运行时废气中的还原剂浓度。对于模拟气体，还原剂可以用氨气代替。

## 5.8 单件/单批检验

5.8.1 取得 CCS 型式认可后，工厂按认可条件生产的 SCR 系统可申请 CCS 进行单件/单批检验。

5.8.2 认可后的单件/单批检验应按本指南 5.4.1 (1)、(2)、(6)、(7) 的试验项目进行。

5.8.3 认可后的单件/单批检验还应对 SCR 技术案卷进行审核，并初步确认产品是否适用于拟匹配的柴油机。

5.8.4 单件/单批检验完成后，CCS 签发船用产品证书或等效证明文件，并批准 SCR 技术案卷。

## 5.9 原理认可 (Approval in Principle)

5.9.1 SCR 系统原理认可 (AIP) 发证检验：这种检验为证明 SCR 系统的核心即催化剂的性能以及 SCR 系统设计和建模工具的合理性。即使系统处于概念设计阶段，尚未生产出完整的产品实物供试验或因没有合适的柴油机验证系统性能的情况下，可向我社申请原理认可发证检验。

5.9.2 申请本社原理认可时，应至少提供本指南第 2 章 2.1.1(8)、(9) 和 2.1.2 (1)、(2)、(3) 条所列内容供审批，审批合格后，即可获得本社原理认可。

5.9.3 原理认可不能替代型式认可，产品制造阶段应补充完成型式认可，提交本指南第 2 章要求的图纸资料供审批，以及按照本指南的型式认可要求对 SCR

系统进行检验，合格后获得型式认可。或者参照 1.3.2(4) 型式认可的原则处理。

## 5.10 证书

5.10.1 SCR 系统按本指南要求，经认可检验合格后，应签发相应的认可证书，并批准 SCR 技术案卷。

5.10.2 SCR 系统的认可证书和产品证书，应注明适用范围。

(1) 仅适用于方案 A 的 SCR 系统，应注明：“本次认可/检验的 SCR 系统仅适用于采用方案 A 申请前期发证检验的柴油机”；

(2) 方案 A 和方案 B 都适用的 SCR 系统，应注明：“本次认可/检验的 SCR 系统适用于采用方案 A 或方案 B 申请前期发证检验的柴油机”。

5.10.3 SCR 系统的认可证书和产品证书，应包含本指南附录 3 的“SCR 系统工作边界参数表”所列内容。

## 6 SCR 系统技术案卷和参数核查法

### 6.1 SCR 系统技术案卷

6.1.1 每台 SCR 系统应备一份技术案卷，技术案卷至少包含如下内容：

- (1) SCR 系统的制造厂及型号
- (2) 还原剂：成分/类型和浓度；
- (3) 还原剂喷射系统，包括关键尺寸、供应量、供应泵型号及规格。
- (4) 柴油机排气总管至 SCR 反应装置排气管内 SCR 特定部件的结构特点。
  - ① 申请方提出的与排气管结构设计相关的限制条件，包括弯道位置和数量、排气管方向和几何尺寸、管径的变化和布置等；
  - ② 还原剂喷射位置与 SCR 反应装置的距离；
  - ③ 喷嘴位置和喷射角度；
  - ④ 混合器的布置；
  - ⑤ 喷嘴及雾化布置；
  - ⑥ 废气进入 SCR 反应装置的方向；
  - ⑦ 旁通结构及阀件的布置；
- (5) 催化剂块的规格及其在 SCR 反应装置内的布置。至少包含：
  - ① 催化剂块的安装，包括催化剂块的数量、排列和防止废气泄漏的密封措施以保证废气与催化剂的充分接触；
  - ② 催化剂块的几何尺寸，包括 CPSI；
  - ③ 催化剂材料、成分/类型，可通过定义部件号或标识号；
  - ④ 吹灰装置的布置；

⑤ 检查口的布置；

⑥ 挡流板或类似装置的布置；

(6) 跨单元参数：SCR 反应装置进口和出口之间以及反应装置上游和下游所有属于 SCR 系统的部件所造成的允许压力损失 ( $\Delta p$ )。

(7) 使柴油机持续符合适用  $\text{NO}_x$  排放限值的燃油质量相关因素。

① 允许的最大燃油硫含量；

② 其他限制成分；

③ 工作过程中中可能导致活性材料中毒的燃油污染物；

(8) 影响 SCR 系统性能的相关因素，例如：SCR 催化剂块的更换条件及其建议的累计工作更换时间。对于开环控制的 SCR 系统，应提供以下说明或安装  $\text{NO}_x$  监测设备：

① 常用工况下的劣化曲线；

② 常用工况下的催化剂寿命；

③ 影响催化剂状态的参数；

④ 评价催化剂活性和状态的指导书，供营运检验过程中的定期检查与记录时使用。

⑤ 供船员使用的催化剂保养说明；

(9) SCR 系统的控制方式和设定，例如：控制设备的型号、规格。包括但不限于以下内容：

① 指导船员调整控制参数的文件；

② 分析仪零位和满量程的检查和周期性检查的程序；(如适用)

③ 分析仪校准气的船上配备；(如适用)

④ 还原剂喷射的控制策略（指明开环或闭环控制）；

- ⑤ SCR 控制相关的传感器及部件使用说明；（如适用）
- ⑥ PLC 和 CPU 系统配置程序和数据的限制非授权整改的说明；（如适用）
- ⑦ 气体分析仪至少应配备的资料，如类型/模式（标识号）、校准以及零位和满量程的检查程序、船上配备校准气、维护和/或更换设备
- ⑧ 控制软件的编号及版本号。
- ⑨ 如果 SCR 系统设计了不同的控制模式，以保证所匹配柴油机分别满足 Tier II 和 Tier III, 应提供选择不同模式的控制逻辑和并对运行模式进行记录。

(10) 减少还原剂泄漏的措施。指明控制氨泄漏的措施，并明确在营运过程中对氨泄漏的监测方法，采用氨泄漏监测设备或监测 NO<sub>x</sub> 并控制参考值。

(11) SCR 系统适用的边界参数，

- ① SCR 催化剂的比例缩放范围；
- ② SCR 反应装置进口处允许的废气温度（最高和最低）；
- ③ 适用的空速范围；
- ④ 适用的 NO<sub>x</sub> 排放浓度范围；
- ⑤ 其他适用的参数范围，如 ANR、SO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 等。

(12) SCR 系统适用的方案（方案 A 或/和方案 B）和柴油机工作循环。

(13) 建模工具计算书和模型试验报告（适用于方案 B 时）。

(14) SCR 系统的参数检查方法（参照本指南 6.2 节）。

## 6.2 SCR 系统的参数检查方法

6.2.1 SCR 系统的参数核查方法主要包含以下 4 个方面：

- (1) 排放相关部件的标识号核查（参照 6.2.2）；
- (2) 与负荷有关的还原剂质量流量核查（参照 6.2.3）；

(3) NO<sub>x</sub> 测量（定期检查，参照 6.2.4）。

(4) 参数记录簿，用于记录排放相关部件和设定值的变化。

6.2.2 所有排放相关部件应标明其构件标识号，且标识号在构件上的位置应在技术案卷中有明确说明。SCR 系统的排放相关零部件为：

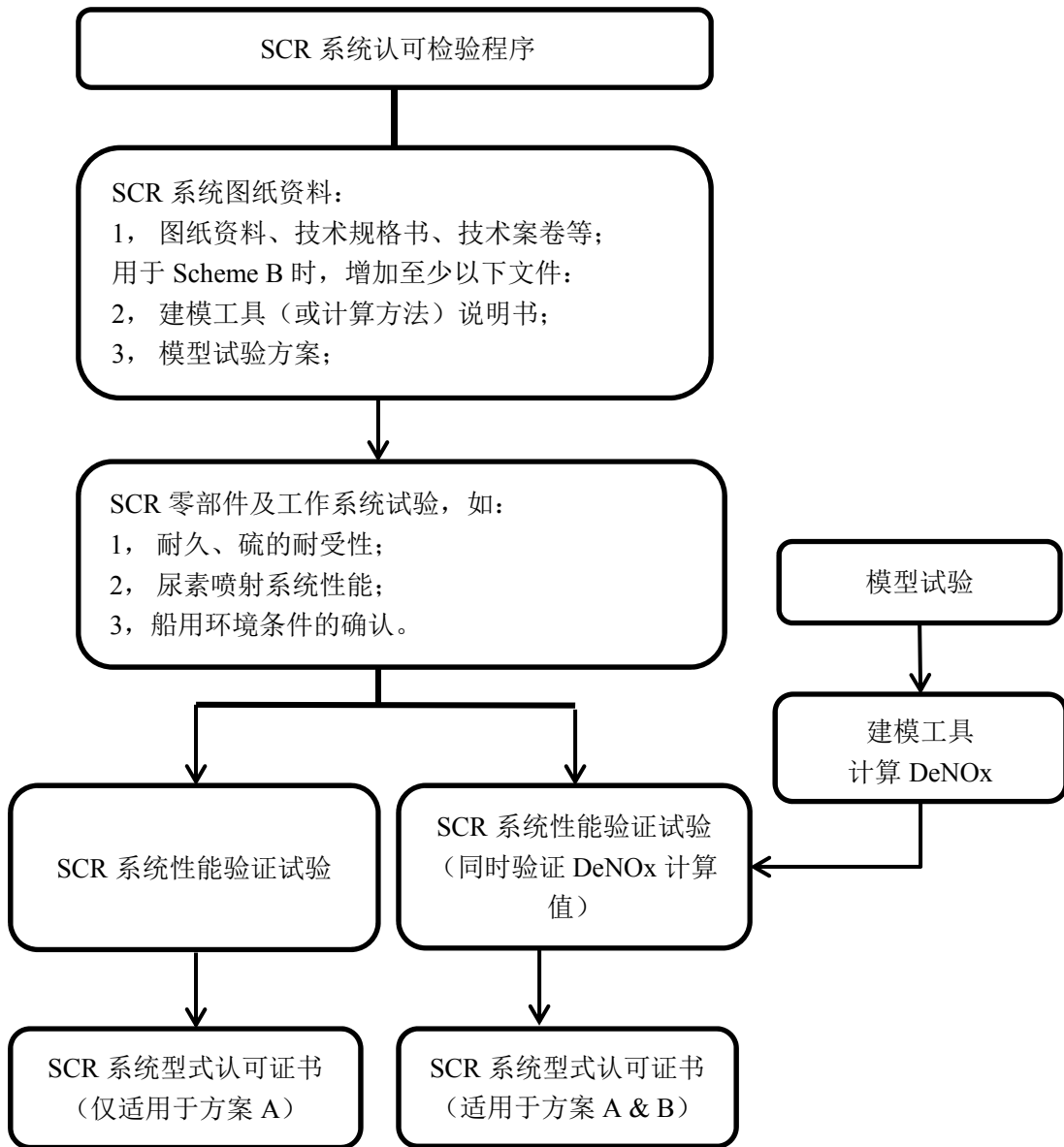
- (1) SCR 反应装置
- (2) 催化剂块
- (3) 混合装置
- (4) 还原剂喷嘴
- (5) SCR 控制系统的软件版本。

6.2.3 与负荷有关的还原剂质量流量的核查，主要有：

- (1) SCR 系统的还原剂质量流量应根据表 4.5.1 的要求进行实时监测。
- (2) 应定期记录各模式点下还原剂的喷射量，并与柴油机前期检验发证时各模式点的还原剂喷射量进行对比。
- (3) 记录船上每一次还原剂的充装量、成分和浓度
- (4) 记录船舶每一次进出 ECA-NO<sub>x</sub> 的时刻和位置；
- (5) 定期核算和记录 SCR 系统的还原剂消耗总量，并与还原剂充装量进行核对。
- (6) 提供评判标准，能够方便的评判还原剂的消耗与达到符合适用的 NO<sub>x</sub> 限值目的是否一致。

6.2.4 NO<sub>x</sub> 测量，对 SCR 下游的 NO<sub>x</sub> 浓度的定期检查或监测。记录各模式点的 NO<sub>x</sub> 检测结果并与柴油机初次检验发证时各模式点的 NO<sub>x</sub> 浓度进行对比。上述说明也同样适用于对 NH<sub>3</sub> 泄漏的检查或监测。

## 附录 1 SCR 系统认可检验和发证流程



附录 2 验证试验数据记录表

模式 Mode	1	2	3	4	5	6	7	8
功率/扭矩 Power/Torque %								
转速 Speed %								
开始时间 Time at beginning of mode								
<b>环境数据</b>								
相对湿度 % Relative humidity								
环境温度 °C Ambient temperature								
大气压力 kPa Atmospheric pressure								
试验条件参数 (fa) Test condition factor (fa)								
<b>发动机数据</b>								
燃油质量流量 kg/h Fuel mass flow								
排气质量流量(q <sub>mew</sub> ) kg/h Exhaust mass flow (q <sub>mew</sub> )								
增压空气冷却剂进口温度 °C Charge air coolant temperature in								
增压空气温度 °C Charge air temperature								
增压空气参考温度 °C Charge air reference temperature								
增压空气压力 kPa Charge air pressure								
<b>SCR 数据</b>								
SCR 进口废气温度 °C Exhaust gas temperature SCR inlet								
SCR 出口废气温度 °C Exhaust gas temperature SCR outlet								
SCR 进口废气压力 kPa Pressure SCR inlet								
SCR 出口废气压力 kPa Pressure SCR outlet								
SCR 进出口压差(ΔP) kPa pressure drop over SCR (ΔP)								

还原剂流量 L/h Reductant flow									
还原剂喷射压力 kPa Reductant inject pressure									
还原剂浓度 m/m % Reductant concentration									
吹灰压力 kPa Soot blow pressure									
<b>排放数据</b>									
SCR 进口 SCR inlet	NO <sub>x</sub> 浓度 干/湿 ppm NO <sub>x</sub> Concentration dry/wet								
SCR 出口 SCR outlet	NO <sub>x</sub> 浓度 干/湿 ppm NO <sub>x</sub> Concentration dry/wet								
	O <sub>2</sub> 浓度 干/湿 % O <sub>2</sub> Concentration dry/wet								
	CO 浓度 干/湿 ppm CO Concentration dry/wet								
	CO <sub>2</sub> 浓度 干/湿 % CO <sub>2</sub> Concentration dry/wet								
	HC 浓度 干/湿 ppm HC Concentration dry/wet								
	NH <sub>3</sub> 泄漏 ppm NH <sub>3</sub> slip Concentration								

### 附录 3 SCR 系统工作边界参数表

参数	数值
反应装置前后最大允许压差（100%工况） kPa	
适用的柴油机背压（100%工况） kPa	
适用的燃油品质和标准，以及最大燃油硫含量 %	
SCR 系统起喷温度 °C，或 起喷工况 %	
催化剂块更换周期	
还原剂浓度及规格 %	
吹灰装置最低吹扫压力 kPa	
还原剂最低喷射压力 kPa	
反应装置适用比例缩放范围	
适用的废气流量范围（100%工况） kg/h	
适用的空速范围 l/h	
面速度 m/h	
线速度 m/h	
ANR 适用范围	