

指导性文件

GUIDANCE NOTES



中国船级社

船舶应用余热回收发电系统（WHG）

指南

（2025）

## 简要编写说明

在国际海事组织（IMO）控制温室气体排放的全球大背景下，船舶的节能减排已成为航运业急需解决的重大问题。

国际海事组织控制温室气体新的排放法规的实施，迫使船舶采用新的节能技术来提高船舶能效，船舶余热回收发电技术是降低油耗、提升能效、减少排放、降低 EEDI 指数的有效技术措施之一。IMO 发布的 MEPC.1/Circ.896 通函《2021 年用于计算和验证 Attained EEDI 和 EEXI 的创新能效技术的处理导则》已将余热回收系统（发电类型）列为 C-1 类创新能效技术，为船舶余热回收发电技术的计算和验证方法提供了指导。

余热回收发电系统（WHG）作为船上节能、减排、增效设备，除了满足公约/法规的排放要求以外，还需要考虑系统运维安全有关的问题，即系统的运行和使用不会对环境、船舶、重要设备及人员造成不可接受的危害。为积极响应市场需求，推动余热回收发电系统在船上的推广应用，更好地为客户服务，中国船级社上海规范研究所制定了《船舶应用余热回收发电系统（WHG）指南》。本指南从船舶安全角度出发，规定了余热回收发电系统的设计、制造、船上布置、控制监测、安装试验、运行维护与检验等方面的技术要求，作为规范的补充，旨在为余热回收发电系统在船舶上的应用设计、建造/改造、检验、试验等提供指导。

# 目录

第 1 章 通则	1
1.1 一般规定	1
1.2 目标和功能要求	1
1.3 定义和缩写	1
1.4 附加标志	2
1.5 图纸和资料	3
1.6 风险评估	4
1.7 操作与维护手册	4
第 2 章 系统设计与布置	6
2.1 一般规定	6
2.2 船舶布置	6
2.3 强度与稳性	6
2.4 与燃烧装置匹配	6
2.5 旁通或等效措施	7
2.6 电气装置	7
2.7 防爆	9
第 3 章 有机朗肯循环动力系统	10
3.1 一般规定	10
3.2 膨胀机	10
3.3 工质循环管系	10
3.4 加热管系	11
3.5 冷却管系	11
3.6 特殊布置要求	11
第 4 章 蒸汽涡轮动力系统	13
4.1 一般规定	13
4.2 汽轮机	13
4.3 锅炉	13
4.4 锅炉给水、排污与凝水管系	13
4.5 蒸气管系	13
4.6 冷却水管系	13
4.7 滑油管系	13
第 5 章 废气涡轮动力系统	14
5.1 一般规定	14
5.2 废气涡轮	14
5.3 排气管路	14
第 6 章 机械设备	16
6.1 锅炉与压力容器	16
6.2 齿轮传动装置与离合器	16
6.3 轴系传动装置	16
6.4 磁力轴承	16
6.5 发电机	16

第 7 章	控制、监测报警与安全系统 .....	18
7.1	一般规定 .....	18
7.2	控制、监测和报警系统 .....	18
7.3	安全系统 .....	18
7.4	气体探测系统 .....	19
第 8 章	检验 .....	23
8.1	一般规定 .....	23
8.2	图纸审查 .....	23
8.3	产品检验 .....	23
8.4	建造中检验 .....	23
8.5	建造后检验 .....	24
第 9 章	船载余热回收发电系统预设技术要求 .....	25
9.1	一般规定 .....	25
9.2	预设要求 .....	25
9.3	图纸资料 .....	25
9.4	检验 .....	26

# 第 1 章 通则

## 1.1 一般规定

1.1.1 本指南适用于在船上安装的余热回收发电系统（以下简称 WHG）。

1.1.2 本指南规定了 WHG 的设计、船上安装与布置、控制与监测、检验与试验等方面的要求。与 WHG 共用的常规船舶系统和/或设备，应满足相关公约、法规和中国船级社（以下简称 CCS）规范相关要求。

1.1.3 本指南适用于采用有机朗肯循环动力、蒸汽涡轮动力和废气涡轮动力来实现船舶余热回收发电的 WHG。采取其他动力类型来实现余热回收发电的 WHG 可参照本指南执行，并应予以特殊考虑。

1.1.4 除本指南规定外，WHG 还应满足《钢质海船入级规范》（以下简称《钢规》）和/或其他适用规范的有关要求，以及主管机关的相应要求。

## 1.2 目标和功能要求

1.2.1 本指南旨在为 WHG 的设计、船上安装与布置、检验与试验、操作控制等提供标准，以尽可能地减少 WHG 的安装和运行对船舶、船员和环境产生的危害。

1.2.2 为实现上述目标，WHG 的设计、船上安装与布置等应能满足如下功能要求：

- (1) 适应船舶营运的环境和工作条件；
- (2) 能有效利用与其连接的热源供应系统的余热；
- (3) 尽可能地减少 WHG 安装和运行对燃烧装置、冷却系统和船舶电站的影响；
- (4) 所使用材料的力学性能、化学成分、制造和试验等应满足《材料与焊接规范》（以下简称《材规》）的相关要求，并应考虑采取防腐措施（如适用）；
- (5) 防止可燃、易爆、有毒气体的意外积聚和扩散；
- (6) 防止有机工质、润滑油等化学物质的泄露与扩散（如适用）；
- (7) 防止高温、高压、运转设备等对船员或其他系统设备造成伤害；
- (8) 针对潜在的火灾风险，采取合适的探火、防火和灭火措施；
- (9) 考虑 WHG 的安装、布置和运行对船体结构、船舶稳性和载重线的影响；
- (10) 采取合适的控制、监测及安全保护措施，以确保 WHG 安全可靠地运行；
- (11) 便于对相关系统及设备的检查、维护及内部零部件的更换。

## 1.3 定义和缩写

1.3.1 本指南适用的定义如下：

(1) 余热回收发电系统（WHG）：系指回收利用船上燃烧装置运行过程中产生的高温排气、锅炉产生的蒸汽/热水、热交换器的冷却介质（如冷却水/油）等所携带的余热资源，通过有机朗肯循环动力、蒸汽涡轮动力或废气涡轮动力来驱动发电机，将其转化为电能的装置系统。

(2) 燃烧装置：系指船上使用燃料的发动机、锅炉和/或其他燃烧设备。

(3) 废气锅炉：系指船上使用燃烧装置产生的废气余热来加热水，生成水蒸汽/热水的锅炉。

(4) 热交换器：系指由二种或二种以上介质进行热量交换的设备及其附件。

(5) 有机朗肯循环动力系统：系指有机工质循环进行吸热-膨胀-放热-压缩四个热力学过程，通过有机工质膨胀做功，驱动膨胀机旋转，将热能转化为旋转机械能的动力系统。

(6) 蒸汽涡轮动力系统：系指通过蒸汽驱动汽轮机（蒸汽透平）旋转，将热能和动能转化为旋转机械能的动力系统。

(7) 废气涡轮动力系统：系指通过高温废气直接驱动废气涡轮旋转，将热能和动能转化为旋转机械能的动力系统。

(8) 蒸发器：系指一种通过热交换让液态物质吸收热量、从而汽化为气态的设备。

(9) 冷凝器：系指一种通过热交换将气态物质冷却、使其凝结成液态的设备。

(10) 过热器：系指将饱和蒸汽（沸点温度下的蒸汽）进一步加热至沸点以上，使其成为“过热蒸汽”的设备。

#### 1.3.2 缩写与符号说明如下：

(1) WHG (Waste Heat Recovery for Power Generation System)：系指余热回收发电系统。

(2) ORC (Organic Rankine Cycle)：系指有机朗肯循环。

(3) EGCS (Exhaust Gas Cleaning System)：系指废气清洗系统。

(4) SCR (Selective Catalytic Reduction)：系指选择性催化还原系统。

(5) EGR (Exhaust Gas Recycle)：系指废气再循环系统。

(6) MSDS (Material Safety Data Sheet)：系指物质安全数据表，用于表明化学品物理化学特性、安全危害、防护措施、应急处理等信息的综合性技术文件。

(7) OEL (Occupational exposure limit)：系指职业接触限值，以 8 小时工作日，40 小时工作周为周期，可以多次接触而无不良反应的一个时间加权平均浓度值。

(8) WCF (Worst-case formulation)：最不利成分，系指因采用标称成分允差而造成配方的毒性最强或可燃性最大的成分。

(9) WCF (Worst-case fractionated formulation)：最不利分馏成分，系指在最不利成分分馏期间产生的导致成分毒性最强或可燃性最大的成分。

## 1.4 附加标志

1.4.1 对于安装了余热回收发电系统且满足本指南第 1 章至第 8 章相关要求的船舶，经申请并检验合格后可授予 WHG 附加标志。

1.4.2 对于 WHG 预设的船舶，确认其满足本指南第 7 章的相关要求后，可授予 WHG Ready 1、WHG Ready 2 或 WHG Ready 2 (X) 附加标志。具体含义如下：

(1) WHG Ready 1：针对预设 WHG 的船舶进行原则性图纸的设计和认可，确保船舶符合将来安装 WHG 的基本要求，船上未实际安装 WHG 相关的设备和系统。

(2) WHG Ready 2: 针对预设 WHG 的船舶进行详细图纸的设计和认可, 确保预设的 WHG 满足本指南相关要求, 船上未实际安装 WHG 相关的设备和系统。

(3) WHG Ready 2 (X): 在满足 WHG Ready 2 要求的基础上, 船舶已实际安装了 WHG 相关的设备和系统。符号 X 为一个或多个后缀附加标志, 具体含义如下:

- ① WHG 安装处所的船体结构和相关支撑结构已进行加强, 由大写字母 S 表示;
- ② 拟使用的热源管路和冷却管路 (如适用) 已安装, 由大写字母 P 表示。

## 1.5 图纸和资料

1.5.1 对于安装 WHG 的船舶, 除按 CCS 相关规范指南的要求提交图纸资料外, 还将下列图纸资料提交 CCS 批准:

(1) WHG 相关管系图 (如适用), 主要包括:

- ① 排气管系图;
- ② 蒸汽/高温热水管系图;
- ③ 热油循环管系图;
- ④ 缸套冷却水管系图;
- ⑤ WHG 冷却水管系图;
- ⑥ 有机工质循环管系图;
- ⑦ 有机工质加注/供应系统管系图。

(2) 危险区域划分图 (如适用);

(3) 危险区域电气设备布置图 (如适用);

(4) 电力负荷计算书;

(5) 通风布置图 (如适用);

(6) 监测报警和安全保护明细表;

(7) WHG 电气系统图;

(8) 气体探测系统图和布置图 (如适用);

(9) 完工装载手册 (含 WHG)。

1.5.2 对于安装 WHG 的船舶, 除按 CCS 相关规范指南的要求提交图纸资料外, 还将下列图纸资料提交 CCS 备查:

(1) WHG 设计说明书, 主要包括系统工作原理、设计参数、与热源换热的匹配、冷却水量 (如适用)、设备明细表、布置方案等;

(2) 风险评估报告;

(3) WHG 操作与维护手册;

(4) 蒸汽耗量计算书（如适用）；

(5) WHG 布置图；

1.5.3 如 CCS 认为必要，可要求增加提交图纸资料的范围。

## 1.6 风险评估

1.6.1 风险评估的目的是对安装 WHG 后可能涉及的风险进行必要评估，以消除或减轻其对船上人员、环境、结构强度或船舶电站造成的不利影响。

1.6.2 风险评估应采用可接受和公认的风险分析技术，并应考虑如下可能的风险：

- (1) 环境条件、工作条件的适应性；
- (2) 对燃烧装置及其冷却系统和船舶电站安全运行的影响；
- (3) 可燃、易爆、有毒气体的意外积聚或扩散；
- (4) 化学物质的泄漏和扩散；
- (5) 高/低温、高压、运转设备等对船员或其他设备可能造成的伤害；
- (6) 潜在的火灾风险。

1.6.3 风险评估报告一般应包含如下几个方面的内容：

- (1) 用于风险分析的标准和方法；
- (2) 分析时所做的各种假定和前提条件；
- (3) 分析对象，如系统、设备、操作等；
- (4) 可能存在的风险；
- (5) 产生风险的原因；
- (6) 风险可能造成的影响；
- (7) 防止或减轻风险危害所采取的措施及落实安排。

## 1.7 操作与维护手册

1.7.1 船上应备有经 CCS 审核的 WHG 操作与维护手册，涵盖操作、安全、维护要求以及与系统有关的职业健康风险等内容。

1.7.2 手册应至少包括以下内容：

- (1) WHG 的操作、检查、测试和维护有关的程序与计划；
- (2) 监测系统、安全系统的定期检测与维护有关的程序与计划；
- (3) 系统运行拟使用的危险和非危险化学物质加注、存储和使用有关的特别说明；
- (4) 系统运行有关的各种条件等；
- (5) 应急处理程序，如紧急停机、废气/蒸汽/高温热水/热油/冷却水的旁通与隔离、

有机工质泄漏(如适用)、通风和人员防护等方面的操作程序等;

(6) 培训及日常维护记录等。

## 第 2 章 系统设计与布置

### 2.1 一般规定

2.1.1 构成 WHG 的机械设备、电气设备及控制系统等，应分别按 CCS《钢规》第 3、4、7 篇规定的环境条件/工作环境进行设计、选型和布置。

2.1.2 WHG 的设计应保证在各种工作模式转换时船舶设备均可持续稳定运转。

2.1.3 WHG 应设有冗余的安全保护措施，具有预防及处理意外事件发生的能力。

2.1.4 WHG 运行时可能出现沉积、结垢等，应采取适当的处理措施。

2.1.5 如安装了其他废气后处理装置（如 EGCS、SCR、EGR 等），应考虑 WHG 与这些后处理系统之间的兼容性。

### 2.2 船舶布置

2.2.1 WHG 主要设备的所在处所应有良好通风，如可能积聚可燃、有毒气体或蒸汽的处所，应满足 CCS《钢规》第 3 篇第 1 章 1.3.4 的通风要求。

2.2.2 应按 CCS《钢规》第 3 篇第 1 章 1.3.6 的要求设有适当的防护措施，防止 WHG 工作和维护时可能对船上人员造成的伤害。

2.2.3 WHG 的结构设计、布置应便于安装、操作和维护。

### 2.3 强度与稳性

2.3.1 安装 WHG 的船舶应满足 CCS《钢规》中船舶总纵强度和局部强度的适用要求。

2.3.2 安装 WHG 的船舶应考虑空船重心、横倾和纵倾等对船舶稳性的影响，以及船舶吨位变化可能对船舶法定适用标准的影响。

### 2.4 与燃烧装置匹配

2.4.1 利用废气余热的 WHG，应满足下述要求：

(1) 适应与其相连燃烧装置的废气温度、背压、废气量等工作参数，相关的工作条件、限制条件等应在操作维护手册中予以明确；

(2) 在各种运行条件下排气背压应能始终维持在燃烧装置制造厂规定的范围内。如需安装风机以维持所需背压，应采取措​​施确保即使风机失效，所连接的燃烧装置仍能持续工作。对于连接多台燃烧装置的情况，风机的设置应考虑所有相连燃烧装置的背压要求，并应采取合适的措施减少风机（如设有）因腐蚀、脏堵而影响其正常工作的风险；

(3) 一般情况下，船上各个燃烧装置的排气管应相互独立，不允许相互连接。如设计者充分考虑了潜在风险，并采取有效隔离装置防止排气倒流或泄漏至停止工作的燃烧装置

或其他处所，经 CCS 同意，允许多个燃烧装置的排气管连接至同一 WHG 进行处理。

2.4.2 利用缸套冷却水余热的 WHG，应能适应与其相连发动机缸套冷却水的温度、压力、流量等工作参数，相关的工作条件、限制条件等应在操作手册中予以明确。

## 2.5 旁通或等效措施

2.5.1 利用废气余热的 WHG，其设计与布置应保证当 WHG 故障或正常停止工作时，燃烧装置仍能正常运行。

2.5.2 为实现上述 2.5.1 目标而设置的旁通装置，应满足如下要求：

- (1) 就地及遥控位置设有正确指示其工作状态的设施；
- (2) 工作可靠，任何情况下应保证燃烧装置能安全运行；
- (3) 旁通阀和对应的 WHG 进口阀之间应设有安全联锁装置，确保任何情况下燃烧装置的排气能顺利排出；
- (4) 按本指南第 7 章表 7.2.4 的规定自动触发动作。

2.5.3 如未设旁通装置，应确保通过 WHG 设备的高温排气能顺利排出，不会对 WHG 设备及其构件造成破坏，也不会影响燃烧装置持续安全运行。此外，WHG 的设计应充分考虑高温排气直接冲刷可能引起的火灾、烟灰积聚、结碳等风险，并采取有效措施予以控制。

## 2.6 电气装置

2.6.1 应提供措施使 WHG 在执行关闭操作或维护时能够恢复或保持在安全状态。

2.6.2 WHG 相关电气设备的外壳防护型式应与安装场所相适应，其最低防护等级应满足 CCS《钢规》第 4 篇第 1 章表 1.3.2.2 的适用要求。

2.6.3 WHG 中所有馈电线路应分别用能同时分断所有绝缘极的多极断路器或多极开关加熔断器作过载和短路保护，并应满足 CCS《钢规》第 4 篇第 2 章 2.5.9 的适用要求。

2.6.4 供电与配电应满足：

- (1) WHG 不应作为船舶唯一主电源；
- (2) WHG 向船舶电站提供的电能，其电压、频率和谐波等均应满足 CCS《钢规》第 4 篇 1.2.2、1.2.3 和 2.4.4 的相关适用要求；
- (3) 当发生单一故障时，WHG 的设计不能影响船舶电站的正常运行；
- (4) WHG 的输出线路上应设置断开装置以便于维修，不应使用接触器作为断开装置；
- (5) WHG 的电制应与船舶电站相匹配，并满足 CCS《钢规》第 4 篇 2.4.1.1 适用要求；

(6) 如 WHG 构成主电源的组成部分, 则驱动发电机的原动机的安全、控制和报警系统应由 2 个独立电源供电, 当发生单一故障时, 其供电电源和布线应能满足 CCS《钢规》第 4 篇 2.1.1.1(2)的适用要求。

2.6.5 WHG 发电机连同变流器(如设有)如满足下列要求, 则可作为船舶主电源的组成部分:

(1) 当船舶在各种气候条件下航行、操作和停泊时, 能进行正常运转并且其电压波动应满足 CCS《钢规》第 4 篇 3.2.7、3.2.8 的适用要求, 频率变化应满足 CCS《钢规》第 4 篇 1.2.2.2 的适用要求;

(2) WHG 发电机连同变流器(如设有)应具有和柴油发电机组相同的安全性、可靠性和独立性, 并应能在任一发电机发生故障时, 主电源的其余部分仍满足 CCS《钢规》第 4 篇 2.1.1.1(2)的适用要求;

(3) 考虑到配电系统保护电器的选择性保护, WHG 发电机连同变流器(如设有)的短路电流应足以使发电机断路器脱扣。当在主汇流排上发生短路时, 应设有保护措施以确保 WHG 发电机不会受到危害, 并在故障清除后再次使用;

(4) 备用发电机的自动起动应符合 CCS《钢规》第 4 篇 2.1.1.1(4)中②的适用要求;

(5) WHG 的单一故障不应导致船舶重要设备失电。

2.7.6 如满足下列要求, WHG 发电机连同变流器(如设有)可用来向船舶航行时正常操作和起居条件所需的电气设备供电, 但不作为主电源的组成部分:

(1) 电站应设有足够容量的备用电源(来自船舶主电源);

(2) 频率变化超过下述限值时, 应满足 CCS《钢规》第 4 篇 2.1.1.1(4)中②的适用要求, 自动起动至少一台发电机(船舶主电源):

稳态频率波动:  $\pm 5.5\%$

瞬态频率波动:  $\pm 11\%(5s)$ ;

(3) 电压波动应满足 CCS《钢规》第 4 篇 3.2.7、3.2.8 的适用要求, 频率变化应满足 CCS《钢规》第 4 篇 1.2.2.2 的适用要求;

(4) 考虑到配电系统保护电器的选择性动作, WHG 发电机连同变流器(如设有)的短路电流应足以使 WHG 发电机短路保护装置脱扣;

(5) 电站应设有满足 CCS《钢规》第 4 篇第 2 章 2.5.7 有关自动卸载功能的适用要求。

## 2.7 防爆

2.7.1 对于采用有机朗肯循环动力系统的 WHG，应提供有机工质的安全数据表（MSDS），如有机工质会散发易燃易爆气体，则应根据 IEC6007-10-1《爆炸性环境-区域分级-爆炸性气体环境》和 IEC60079-502《船舶上的电气装置-液货船-液货船特殊特征》的规定划分危险区域。

2.7.2 危险区域中安装的电气设备，应根据危险区域的级别来选取合适的合格防爆电气设备，防爆类别和温度组别应满足有机工质 MSDS 的适用要求。

## 第 3 章 有机朗肯循环动力系统

### 3.1 一般规定

3.1.1 本章适用于有机朗肯循环动力系统驱动发电的 WHG。

3.1.2 相关围蔽处所入口处应设有“进入前需要进行通风”的警告牌。

### 3.2 膨胀机

3.2.1 膨胀机的设计应保证膨胀机在工作转速范围内不致产生临界转速。

3.2.2 以下膨胀机零部件应按 CCS《材规》有关规定进行材料试验：

- (1) 轴、叶轮和叶片；
- (2) 壳体、底座和轴承座等固定件。

3.2.3 膨胀机旋转部件，包括转子轴、刚性和弹性联轴器、螺栓、叶片（抽样）及其他运动部件，应进行无损检测。检测方法和检测结果应经过 CCS 可接受的方法进行评估。

3.2.4 膨胀机静止部件，包括承受温度超过 230℃箱体的铸件、承受温度超过 370℃或压力大于 4MPa 箱体的板件，应进行无损检测。检测方法和检测结果应经过 CCS 可接受的方法进行评估。

3.2.5 膨胀机的支持轴承和推力轴承均采用滑动轴承或磁力轴承，并设有轴承温度监控措施，当轴承温度过度升高时报警。

3.2.6 膨胀机的设计和安装应尽可能地防止转子破裂时碎片飞出。

3.2.7 膨胀机应设有超速保护装置，防止发生超速的危险。

3.2.8 膨胀机的转子总成应同联轴节的主动部分装配在一起进行动平衡试验。

3.2.9 膨胀机的工质进出口应设有温度和压力监测报警。

3.2.10 膨胀机应设有紧急停机装置。

### 3.3 工质循环管系

3.3.1 工质循环管路应符合《钢规》第 3 篇第 2 章的有关规定。

3.3.2 工质循环管路不应通过起居处所、服务处所和控制站。

3.3.3 工质循环管路上应在适当位置设有工质泄放口，使其能满足在维护和修理时泄放循环管路内工质。

3.3.4 工质循环管路上应设有储液罐：

- (1) 应按 CCS《钢规》第 3 篇第 6 章的有关规定进行设计、制造、安装和试验；
- (2) 应能在维护和修理时容纳循环管系内的所有工质；

- (3) 应设有液位指示器，所有的液位指示器应能适应最大工作压力；
- (4) 应设有液位报警；
- (5) 应设有工质加注口；
- (6) 工质进出口处应设有有关断功能的阀。

3.3.5 任何情况下，工质循环管路的压力可能超过其设计压力时，应在适当位置设置压力释放装置。

3.3.6 工质压缩泵应满足系统额定发电功率所需的工质循环排量、压力和温度的适用要求，其进口处应设有温度报警，并避免出现气相工质。

3.3.7 热交换器（冷凝器、蒸发器、预热器等）的流量、压力和温度应满足系统额定发电功率所需。

3.3.8 如工质具有高毒性（OEL 小于 300 ppm）和/或具有可燃性（在 101 kPa 和 60℃ 大气中实验时，工质的 WCF 和 WCFF 表现出火焰传播），工质压缩泵、热交换器、膨胀机之间应设有有关断功能的阀。

### **3.4 加热管系**

3.4.1 用于工质加热的管路应符合《钢规》第 3 篇第 2 章、第 4 章的有关规定。

3.4.2 为蒸发器提供主要热源的加热管路上应设有流量调节阀。

3.4.3 如与其它系统共用热源，其加热管路应设有旁通措施，并确保 WHG 不影响其它系统的正常运行。

3.4.4 为 WHG 独立设置的废气锅炉，应符合《钢规》第 3 篇第 6 章的有关规定，并设有废气旁通或防干烧功能。

### **3.5 冷却管系**

3.5.1 用于工质冷却的管路应符合《钢规》第 3 篇第 2 章、第 4 章的有关规定。

3.5.2 冷却介质流量应满足系统额定发电功率所需。

3.5.3 从其它冷却系统接入的冷却管路，应设有旁通措施，并确保 WHG 的运行不影响其它系统的冷却要求。

3.5.4 进入冷凝器前的冷却管路上，应考虑设有过滤装置。

3.5.5 如为冷凝器独立设置冷却介质泵，应考虑冗余配置。

### **3.6 特殊布置要求**

3.6.1 对于具有高毒性和/或具有可燃性的工质，其工质循环管系的安装处所，应以气密的舱壁和甲板与居住舱室或其他工作处所分开，该舱室的通风和照明要求应满足：

- (1) 应设置有效的机械通风，风机的排量应使舱室的换气次数不少于 30 次/小时；
- (2) 通风系统的吸入管道，应以钢或其他等效材料制成，其排出口应位于船上不会造成危害的地方；
- (3) 机械通风机，应能在两个地点进行控制，其中之一应位于该舱室外适当的地点；
- (4) 如工质具有可燃性，还应满足如下要求：
  - ① 通风机应为无火花型，其材料与应满足 CCS《钢规》第 6 篇第 3 章 3.3.5 的适用要求。如通风机处于通风风道内，则电机应为合格防爆型；
  - ② 余热发电装置和工质泵电动机应采用合格防爆型，标识最低的防爆类别和温度组别。
- (5) 该舱室应有足够的照明。如工质具有可燃性，照明灯具应为合格防爆型；
- (6) 工质循环管路上的压力释放装置排出端应引至开敞甲板安全位置。

3.6.2 对于工质不具有高毒性和可燃性，工质循环管系的安装处所一般不受限制。

## 第 4 章 蒸汽涡轮动力系统

### 4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于蒸汽涡轮动力系统驱动发电的 WHG。

### 4.2 汽轮机

4.2.1 应按 CCS《钢规》第 3 篇第 7 章辅汽轮机的有关规定进行设计、制造、安装和试验。

4.2.2 如应急操作中需要蒸汽直接排向冷凝器，应设有合适的布置和控制措施来防止蒸汽压力和温度超过冷凝器所能安全承受的值。（钢规 7.4.8.1 转化）

### 4.3 锅炉

4.3.1 废气锅炉如无法承受干烧，应设有必要的防干烧措施（如废气旁通等）。

### 4.4 锅炉给水、排污与凝水管系

4.4.1 应符合 CCS《钢规》第 3 篇第 2、6、7 章的有关规定。

4.4.2 仅供 WHG 使用的锅炉，其给水泵及给水管系无需设置冗余。

4.4.3 应至少设有 2 台独立动力冷凝水泵，其中 1 台为备用。冗余设置的独立动力给水泵可作为备用冷凝水泵。

### 4.5 蒸气管系

4.5.1 应符合 CCS《钢规》第 3 篇第 2、4、6 章的有关规定。

### 4.6 冷却水管系

4.6.1 冷却水泵：

- (1) 排量应满足 WHG 系统额定工况下运行需求；
- (2) 仅供 WHG 使用的冷却水泵无需设置冗余。

4.6.2 管系及附件应符合 CCS《钢规》第 3 篇第 4 章的有关规定。

### 4.7 滑油管系

4.7.1 应符合 CCS《钢规》第 3 篇第 2、4、7 章的有关规定。

4.7.2 滑油泵应按 CCS《钢规》第 3 篇第 4 章重要用途的辅机及其齿轮传动装置有关规定设置。

## 第 5 章 废气涡轮动力系统

### 5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于废气涡轮动力系统驱动发电的 WHG。

### 5.2 废气涡轮

5.2.1 以下废气涡轮零部件应按 CCS《材规》有关要求材料试验：

- (1) 轴、废气涡轮的叶轮、导流叶片和叶片；
- (2) 壳体、底座和轴承座等固定件。

5.2.2 废气涡轮的旋转部件，包括转子轴、刚性和弹性联轴器、螺栓、叶片（抽样）及其他运动部件，应进行无损检测。检测方法和检测结果应经过 CCS 可接受的方法进行评估。

5.2.3 废气涡轮的静止部件，包括承受温度超过 230℃箱体的铸件、承受温度超过 370℃箱体的板件，应进行无损检测。检测方法和检测结果应经过 CCS 可接受的方法进行评估。

5.2.4 废气涡轮的支持轴承和推力轴承均采用滑动轴承或磁力轴承，并设有轴承温度监控措施，当轴承温度过度升高时报警。

5.2.5 废气涡轮的设计和安装应尽可能地防止转子破裂时碎片飞出。

5.2.6 废气涡轮应设有超速保护装置，防止发生超速的危险。

5.2.7 废气涡轮的转子总成应同联轴节的主动部分装配在一起进行动平衡试验。

5.2.8 废气涡轮应设有紧急停机装置，其停机应不影响主机的正常运行。

5.2.9 废气涡轮的润滑系统可以是独立的，也可以是与主机共用的。如采用非废气涡轮直接带动的独立循环系统，则应设有单独的备用泵；对设有应急重力油柜的滑油系统，其结构与布置应满足 CCS《钢规》第 3 篇 1.2.1.1 的适用要求。

5.2.10 报警与监测应按表 5.2.10 的规定设置报警和指示。

5.2.11 废气动力涡轮的废气进口应设有空气滤清、进气消声的措施。

5.2.12 应进行废气涡轮转子轴的临界转速计算。刚性转子轴的临界转速应不低于其额定转速的 1.3 倍。

### 5.3 排气管路

5.3.1 排气管路应符合 CCS《钢规》第 3 篇第 2、4、9 章的有关规定。

废气涡轮的报警和指示设置要求

表 5.2.10

序号	监控参数	废气涡轮				备注
		B <sup>(1)</sup>		C <sup>(2)</sup>		
		报警	指示	报警	指示	
1	转速	高	X	高	X	
2	废气涡轮进口处废气温度	高	X	高	X	
3	废气涡轮出口处滑油温度 <sup>(3)</sup>			高	X	如不是强制循环系统,则取轴承附近的滑油温度
4	废气涡轮进口处滑油压力 <sup>(3)</sup>	低	X	低	X	仅适用于强制循环系统

注: (1) 表格中“B”表示废气涡轮所连柴油机功率大于 1000kW 并小于等于 2500kW。

(2) 表格中“C”表示废气涡轮所连柴油机功率大于 2500kW。

(3) 不适用磁力轴承情形。

(4) 表格中“X”表示适用。

## 第 6 章 机械设备

### 6.1 锅炉与压力容器

6.2.1 锅炉与压力容器应按《钢规》第 3 篇第 6 章的有关规定进行设计、制造、安装和试验。

6.2.2 热交换器及其附件应按压力容器进行设计、制造和检验。

### 6.2 齿轮传动装置与离合器

6.2.1 齿轮传动装置应按 CCS《钢规》第 3 篇第 10 章发电机用辅机的齿轮传动装置进行设计、制造和试验。

6.2.2 离合器应按公认的标准进行设计、制造和检验。离合器所传递的最大扭矩，一般应不小于传递额定扭矩的 1.5 倍。

### 6.3 轴系传动装置

6.3.1 传动轴应满足传递额定扭矩有关强度的适用要求，可按公认的标准进行设计、制造。

6.3.2 轴系传动装置应按 CCS《钢规》第 3 篇第 11 章有关规定进行设计、制造。

### 6.4 磁力轴承

6.4.1 应设有轴承温度监测报警。

6.4.2 应设有轴承运行状态监测报警（如间隙/位移监测报警）和安全保护措施。

6.4.3 应为磁力轴承提供应急电力供应。

### 6.5 发电机

6.5.1 如可行，WHG 发电机的原动机及其调速器的性能应符合 CCS《钢规》第 3 篇第 7 章和第 8 章有关辅汽轮机的有关规定。

6.5.2 WHG 发电机在最高冷却空气温度情况下，应能在额定输出状态下长期连续工作，并满足不超过 CCS《钢规》第 4 篇第 3 章表 3.2.3.1 有关温升限制的适用要求。

6.5.3 WHG 发电机应能承受下列的过电流而不发生有害变形：

直流发电机 50%过电流 15s

交流发电机 50%过电流 2min

6.5.4 WHG 发电机如为交流且有励磁系统，则在稳态短路状态下，应能至少维持 3 倍额定电流并历时至少 2s，如掌握精确的数据，则其持续时间可为脱扣器所整定的延时脱扣时间。

6.5.5 WHG 发电机的电压、调速、负载突加突卸等性能应满足 CCS《钢规》第 4 篇第 3 章第 3.2.7 和 3.2.8 条的适用要求。

## 第 7 章 控制、监测报警与安全系统

### 7.1 一般规定

7.1.1 余热回收发电系统的控制、监测报警与安全系统除满足本章规定外，还应符合 CCS《钢规》第 7 篇第 1、2 章的有关规定。对于具有自动化附加标志的船舶，还应满足 CCS《钢规》第 7 篇第 3 章的有关规定。

7.1.2 用于作为主电源组成部分的余热回收发电系统控制、监测、报警和安全保护的计算机系统应满足 CCS《钢规》第 7 篇第 2 章第 6 节 II 类计算机系统的有关规定，不作为主电源组成部分的余热回收发电系统控制、监测、报警和安全保护的计算机系统可视为 I 类计算机系统并满足 CCS《钢规》第 7 篇第 2 章第 6 节的有关规定。

### 7.2 控制、监测和报警系统

7.2.1 为保证工作参数始终维持在规定范围内，余热回收发电系统应具备自动控制、监测、报警和安全保护功能，并设有手动操作的设施。

7.2.2 控制系统可设计为单独的系统，也可集成到船舶自动化系统中。系统设计应保证一个部件的单项故障不会导致船舶和人员安全陷入潜在的危险状况。如控制系统与船舶自动化系统集成，应进行风险分析，风险分析报告需提交 CCS 备查。

7.2.3 对于周期无人值班机器处所的船舶，余热回收发电系统的监测报警系统可以和船舶集中监测和报警系统集成。

7.2.4 应根据风险分析的结果确定余热回收发电系统的监测报警与安全保护项目，一般可按表 7.2.4 规定在余热回收发电系统遥控（如设有）和就地控制位置设置相关监测、报警及显示，同时所有报警应以单项报警或组合报警的形式延伸到连续有人值班的位置。

7.2.5 当遥控系统（如设有）发生故障或应急情况下，余热回收发电系统应能实现就地控制和监测，系统安全操作所需的重要参数及设备工作状态，应在就地控制位置设有指示。

### 7.3 安全系统

7.3.1 应在余热回收发电系统遥控（如设有）和就地控制站设置紧急停机装置，用来停止系统运行，并自动打开旁通装置（如设有）。余热回收发电系统停机不应影响主机和其它主发电机的可靠运行。

7.3.2 应设有安全系统，并满足下列要求：

(1) 安全停机保护动作触发时，应在遥控位置及就地控制站发出声光报警，并能指示导致停机的故障，且除非系统进行人工复位，否则系统不能自动重新启动；

(2) 应按表 7.2.4 规定的条件自动触发安全停机。

## 7.4 气体探测系统

7.4.1 依据循环工质的安全数据表，如工质会散发易燃易爆气体，则在 WHG 运行过程中有可能泄漏和积聚上述气体的处所（包括但不限于循环工质管路所在的处所、工质储存舱/罐所在处所、围蔽/半围蔽工质加注站等），应设置气体探测系统，在任何报警状况应至少在下列位置发出声光报警：

- .1 驾驶室；
- .2 记录连续监测气体水平的相关控制站；和
- .3 气体探测器的读数装置所在的位置。

7.4.2 气体探测系统应为连续探测型，并具备自检功能。当自检功能检测到气体探测系统故障时，应能自动切断探测系统输出信号，防止探测系统故障导致误停机。

7.4.3 气体探测器应按照 CCS 接受的标准进行设计和试验。

7.4.4 每个处所内气体探测器的数量应根据该处所的大小、布置和通风情况予以考虑，气体探测器宜安装在气体/蒸气可能积聚的位置和/或通风出口。可采用气体扩散分析或物理烟雾测试来确认最佳的布置位置。

7.4.5 气体探测设备应设计成易于试验和校准。

7.4.6 除固定式气体探测系统外，船上还应配备至少 1 套便携式气体探测设备。

**监测报警及安全保护项目表**

**表 7.2.4**

监测参数	显示	报警	自动停止及旁通 <sup>①</sup>	备注
主/辅机缸套水进口温度	温度	高/低	过高	
主/辅机缸套水出口温度	温度	高/低	--	
主/辅机缸套水进口管路压力	压力	低	--	
主/辅机缸套水出口管路压力	压力	低	--	
主机空冷器冷却水进口温度	温度	高/低	过高	
主机空冷器冷却水进口管	压力	低	--	

路压力				
热油进口温度	温度	高	过高	
热油进口管路压力	压力	低	--	
废气锅炉多余蒸汽进口温度	温度	高/低	过高	
废气锅炉多余蒸汽进口管路压力	压力	低	--	
循环工质管路压力	压力	低	过低	
预热器出口温度	温度	高/低	--	
循环工质温度	温度	高/低	过高/过低	
排舷外海水出口温度	温度	高	--	
海水进口温度	温度	高/低	--	
海水进口管路压力	压力	低	--	
原动机轴承温度	温度	高	--	
原动机转速	转速	--	超速	
原动机振动	振动	高	过高	
原动机转子轴向位移	--	大	过大	设有滚柱轴承时可不要求自动停车
WHG 发电机电压	电压	高/低	--	读取所有相
WHG 发电机频率	频率	高/低	--	仅对交流发电机
WHG 发电机电流	电流	--	--	读取所有相
WHG 发电机功率	功率	--	--	
WHG 发电机定子绕组温度	温度	高	--	读取所有相：发电机功率大于 500kW
WHG 发电机主开关断开/闭合	断开/闭合	--	--	
WHG 发电机运行	运行	--	--	
WHG 发电机故障	--	故障报警	--	
WHG 发电机冷却泵或风	--	故障报警	--	如适用

机故障				
WHG 发电机励磁电压和电流	电压/电流	--	--	如设有电励磁系统
WHG 发电机变流器电压(输出)	电压	--	--	
WHG 发电机变流器电流(输出)	电流	--	--	
WHG 发电机变流器过载(大电流)	--	大电流	--	在保护装置动作前报警
WHG 发电机变流器冷却介质温度	温度	高	--	如适用
WHG 发电机变流器冷却泵或风机故障	--	故障报警	--	如适用
相间电抗器温度	温度	高	--	
滤波电路保护脱扣	温度	高	--	
控制、监测报警及安全系统电源	电压	故障	--	电压可由指示灯代替
传感器状态	--	故障	故障	适用于触发自动停止及旁通功能的传感器
余热回收发电系统中的泵运行	运行	故障	--	
本指南第 3 章 3.6.1 条规定的风机	运行	故障	--	
余热回收发电系统紧急停止工作	--	执行时	执行时	
工质气体探测浓度	气体浓度	高	高	

表中符号及其含义如下：

--: 不要求设置; \* : 如有时; ①: 适用于按本指南 2.6.2 设置的旁通装置。

## 第 8 章 检验

### 8.1 一般规定

8.1.1 除本章规定外，WHG 检验还应符合本指南其他章节的有关规定。

8.1.2 WHG 检验种类包括产品检验、建造中检验和建造后检验。

### 8.2 图纸审查

8.2.1 开工前，申请单位应将本指南第 1 章 1.5 规定的图纸资料提交 CCS 审查。

### 8.3 产品检验

8.3.1 与 WHG 相关的主要设备零部件、管系和阀件等应满足 CCS《钢规》第 1 篇第 3 章附录 1A 有关持证的适用要求。管系和压力容器（如有时）的焊接、热处理和无损检测等，应按照 CCS 审批的相关文件执行。

### 8.4 建造中检验

8.4.1 WHG 在建造之前，申请方向 CCS 提交建造检验的书面申请或签订检验合同。

8.4.2 建造厂自制设备应按本指南 6.3 产品检验的规定进行设计审查和检验；当设备组装时，CCS 现场验船师应根据已批准的图纸和试验程序对设备装配、管路和电气装置进行检验并见证相应设备或管路的压力和功能试验。

8.4.3 开工前，CCS 现场验船师应对建造厂开工建造及其检验的有关准备情况进行检查和确认，如：建造准备工作计划、施工/焊接工艺、焊工/无损检测人员资质、船用产品持证要求清单、焊接规格表、无损检测图、密性试验图、检验/试验项目表、有关材料(钢板、焊接材料等)、建造公差标准、分包方情况(适用时)以及开工前必需的图纸文件等技术资料。对于个别不影响开工的项目，CCS 现场验船师可酌情在相应建造阶段之前予以检查和确认。

8.4.4 CCS 现场验船师应审批施工工艺、试验大纲，并按已批准的图纸资料、工艺和试验大纲进行检验。

8.4.5 完工资料应包括安装报告、试验报告和设备出厂证明文件。

8.4.6 对 WHG 的安装情况进行船图一致性核查，验证其性能和操作符合设计要求。

#### (1) 泵

- ① 外观检查；
- ② 安全装置报警及关断功能试验合格；
- ③ 起动和停止试验；
- ④ 对泵的参数进行核查。

- (2) 热交换器（蒸发器、冷凝器、预热器（如有时）等）
  - ① 外观检查；
  - ② 换热器进出口的压力和温度符合设计要求；
- (3) 压力容器（如有时）
  - ① 外观检查和内部检查；
  - ② 采用模拟试验的方法对压力、温度及液位报警和关断保护措施进行试验。
- (4) 气体探测系统
  - ① 确认气体探测系统的安装满足本指南 5.4 的相关要求；
  - ② 确认气体探测器经有资质的专业机构进行了标定和校准；
  - ③ 确认气体探测系统已进行了调试并符合要求。
- (5) 工质循环、加热、冷却管系
  - ① 外部检查
  - ② 检查法兰、阀和附件等连接处是否有泄漏和松动现象；
  - ③ 液压试验；
  - ④ 安全报警及关断功能试验合格。

8.4.7 船上应备有 WHG 操作维护手册。

8.4.8 WHG 船上安装后应进行效用试验，确认相关系统及设备功能正常且工作稳定，主要工作参数控制在设计范围内。试验时应考虑各种运行工况和负荷条件。试验项目应包含风险分析的落实措施，及与系统运行有关的控制、报警、安全保护等。

8.4.9 如废气系统除安装 WHG 以外，还安装了其他后处理装置（如 EGC、SCR、EGR 等），试验时应核查与这些系统之间的兼容性。

## 8.5 建造后检验

8.5.1 WHG 应进行年度检验、中间检验及特别检验。

- (1) 年度检验及中间检验的检验项目包括外观检查及运行记录核查。
- (2) 特别检验除满足(1)要求外，还应符合本指南 8.4.6 和 8.4.7 的有关规定。

8.5.2 当 WHG 发生可能影响系统和/或船舶安全的改造、更换、损坏及修复，应及时向 CCS 申请临时检验。

## 第 9 章 船载余热回收发电系统预设技术要求

### 9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于采用 WHG 预设方案，拟将来实施 WHG 安装改造的船舶。此类船舶尚应满足相关主管机关的适用要求。

9.1.2 本章规定了船舶采用 WHG 预设方案时，其设计、布置、空间预留、结构加强及检验等方面的要求。

9.1.3 本章的目的是明确 WHG 的预设要求，为船舶后续实施 WHG 的安装改造提供技术指导。

### 9.2 预设要求

9.2.1 WHG 的预设应满足如下功能要求：

(1) WHG 预设的布置和设计应考虑能将与 WHG 相关的风险所发生的概率和后果限制在最低水平；

(2) 如 WHG 设备已安装，应考虑其发生故障时能启动必要的安全措施，同时该安全措施不会导致船舶产生不可接受的损失；

(3) WHG 的预设布置应考虑尽量将其可能影响船舶、船上人员和设备安全的潜在风险降至最低。

9.2.2 申请 WHG Ready 1 附加标志的船舶应综合考虑船舶所需安装布置和维修的空间，以及可能对船舶布置、设备、电力负荷、结构强度、稳性、吨位和载重量等方面带来的影响。

9.2.3 申请 WHG Ready 2 附加标志的船舶，在满足本指南 7.2.2 的基础上，还应满足本指南授予 WHG 附加标志的相关要求，船上可不必安装 WHG 相关的设备和系统。

9.2.4 申请 WHG Ready 2(X)附加标志的船舶，在满足本指南 7.2.2 和 7.2.3 的基础上，还应满足后缀附加标志“X”所对应的相关检验要求。

### 9.3 图纸资料

9.3.1 申请 WHG Ready 1 附加标志的船舶，除按 CCS 相关规范指南的要求提交图纸资料外，还应：

(1) 至少提交下列图纸资料供批准：

- ① 总布置图，包含 WHG 预留布置；
- ② 电力负荷计算书。

(2) 至少提交下列图纸资料供备查：

- ① WHG 预设及布置说明书；
- ② WHG 蒸汽耗量计算书（如适用）；
- ③ 总纵强度计算书（考虑 WHG 对船舶重量分布的影响）。

9.3.2 申请 WHG Ready 2 或 WHG Ready 2 (X) 附加标志的船舶，应按本指南 1.5 的有关规定提交图纸资料。

## **9.4 检验**

9.4.1 对于申请 WHG Ready 2 (X) 附加标志的船舶，应按照本指南第 8 章的有关规定进行检验。