

团 体 标 准

T/CSNAME 116—2024 T/CSICE 036—2024

船用辅锅炉能效基值与分级原则

Base value and classification principle for energy efficiency of Marine auxiliary
boilers

2024-12-28 发布

2025-03-28 实施

中国造船工程学会
中国内燃机学会

发 布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国造船工程学会和中国内燃机学会联合提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本标准起草单位：中远海运能源运输股份有限公司、武汉理工大学、中船九江锅炉有限公司。

本标准主要起草人：陈建荣、王献忠、余建章、凌志远、陈彬彬、秦攀峰、孙家平、陈超、李冬生、丁超、董早鹏、高星宇、黄为北。

本文件为首次发布。



引 言

本文件是为了对船用辅锅炉进行能效分级，衡量船用辅锅炉能效水平而制定的。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到6.1~6.3与“ZL202311318509.6 一种船舶辅机设备能效优化管控系统及设备”“ZL202211494860.6 一种船用智能能效管理系统”相关的专利使用。本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款或条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：中远海运能源运输股份有限公司。

地址：中国上海市虹口区东大名路670号。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。



船用辅锅炉能效基值与分级原则

1 范围

本文件规定了船用辅锅炉(以下简称辅锅炉)的能效基值与分级原则和能效计算。

本文件适用于额定工作压力不大于2.2 MPa,介质为水的液体燃料和气体燃料船用饱和蒸汽辅锅炉的能效评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉

GB/T 10180-2017 工业锅炉热工性能试验规程

3 术语和定义

GB/T 2900.48界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

辅锅炉能效基值 base value of energy efficiency of auxiliary boilers

船用辅锅炉在额定工作压力下100%负荷运行工况所允许的热效率最低值。

3.2

辅锅炉能效 energy efficiency of auxiliary boilers

船用辅锅炉在额定工作压力下100%负荷运行时的热效率值。

3.3

液体燃料 liquid fuel

船用辅锅炉使用的液态燃料,包括石油、燃料油、甲醇等。

3.4

气体燃料 gas fuel

船用辅锅炉使用的气态燃料,包括天然气、液化气等。

3.5

低位发热值 net calorific value

单位体积的气体燃料或单位质量的液体燃料在特定条件下完全燃烧所释放的热量中扣除烟气中水蒸气凝结成水的汽化潜热后所得的热量。

3.6

正平衡热效率 direct efficiency

通过直接测量输入热量和输出热量得到的船用辅锅炉热效率。

3.7

反平衡热效率 indirect efficiency

通过测量各种燃烧产物热损失和锅炉散热损失得到的船用辅锅炉热效率。

4 符号和定义

表1列出的符号和定义适用于本文件。

表 1 符号和定义

符号	定义	单位	符号	定义	单位
B	燃料消耗量	kg/h	q_2	排烟热损失	用百分比表示
$C_{r,ar}$	燃料的比热	kJ/(kg·°C) 或	q_3	气体不完全燃烧热损失	用百分比表示
D_{fw}	给水流量	kg/h	q_4	散热损失	用百分比表示
F	锅炉散热总表面	m ²	t_{ca}	入炉冷空气温度	°C
G_{Hum}	测饱和蒸汽湿度时锅水取样量	kg/h	t_{ds}	排烟温度	°C
h_{fw}	给水焓	kJ/kg	t_r	燃料温度	°C
$h_{sat,st1}$	饱和蒸汽焓	kJ/kg	α_{ds}	排烟处的过量空气系数	/
Q_{Dpu}	雾化蒸汽流量	kg/h	γ	汽化潜热	kJ/kg 或 kJ/m ³
Q_{ex}	加热燃料或外来热量	kJ/kg 或 kJ/m ³	η	辅锅炉热效率	用百分比表示
Q_f	燃料物理热	kJ/kg 或 kJ/m ³	η_1	正平衡效率	用百分比表示
Q_{in}	输入热量	kJ/kg 或 kJ/m ³	η_2	反平衡效率	用百分比表示
$Q_{net,v,ar}$	低位发热值	kJ/kg 或 kJ/m ³	ω	饱和蒸汽湿度	用百分比表示
Q_{pu}	自用蒸汽带入的热量	kJ/kg	—	—	—

5 能效基值与能效分级

辅锅炉能效等级分为三级，各等级辅锅炉热效率应不低于表2中的能效基值。

表 2 辅锅炉能效基值与能效等级

燃料品种	能效等级	能效基值
气体燃料	1 级	83%
	2 级	81%
	3 级	79%
液体燃料	1 级	82%
	2 级	80%
	3 级	78%

6 能效计算

6.1 正平衡热效率

输入热量 Q_{in} 按公式(1)计算:

$$Q_{in} = Q_{net,v,ar} + Q_{ex} + Q_f + Q_{pu} \quad \dots\dots\dots (1)$$

其中 Q_f 和 Q_{pu} 按公式(2)和公式(3)计算:

$$Q_f = C_{r,ar} t_r \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{pu} = \frac{Q_{Dpu} h_{sat,st1}}{B} \quad \dots\dots\dots (3)$$

正平衡热效率 η_1 计算按公式(4)进行:

$$\eta_1 = \frac{D_{fw}(h_{sat,st} - h_{fw} - \frac{\gamma\omega}{100}) - G_{Hum}\gamma}{BQ_{in}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

6.2 反平衡热效率

反平衡热效率 η_2 计算按公式(5)进行:

$$\eta_2 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4) \quad \dots\dots\dots (5)$$

排烟热损失 q_2 的计算按公式(6)进行:

$$q_2 = (0.5 + 3.45\alpha_{ds}) \left(\frac{t_{ds} - t_{ca}}{100} \right) \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

按照GB/T 10180-2017中对于气体不完全燃烧热损失 q_3 的规定, q_3 按表3选取。

表3 气体不完全燃烧热损失表

一氧化碳含量 (CO)	不完全燃烧热损失 q_3
CO≤0.05%	0.2%
0.05% < CO ≤ 0.1%	0.5%
0.1% < CO	1%
注: 根据GB/T 10180-2017, 不完全燃烧热损失与CO在排烟中的含量有关。	

散热损失 q_4 按公式(7)进行估算:

$$q_4 = \frac{1670F}{BQ_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

6.3 辅锅炉热效率

6.3.1 正平衡热效率和反平衡热效率之差均应不大于 1%。

6.3.2 辅锅炉热效率按公式(8)计算。

$$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

6.4 能效计算示例

船用辅锅炉能效计算示例见附录A。

附录 A
(资料性)

船用辅锅炉能效计算与能效分级示例

A.1 能效计算

以额定蒸发量35000 kg/h、工作压力1.6 MPa的燃油辅锅炉为例，其能效的详细计算过程见表A.1和表A.2。

表A.1 正平衡法热效率计算

计算值	输入变量	单位	取值	计算过程及结果
输入热量 Q_{in}	$Q_{net,v,ar}$ 低位发热值	kJ/kg	燃料化验值取 41940	$Q_{in} = Q_{net,v,ar} + Q_{ex} + Q_f + Q_{pu}$ $= 41940 + 0 + 202 + 175.4 = 42317.4$
	Q_{ex} 外来热量(取 0)	kJ/kg	0	
	$C_{r,ar}$ 燃料比热	kJ/(kg·℃)	按燃料种类查表选取，对于燃油近似取 2	
	t_r 燃油温度	℃	实测，101	
	Q_f 燃料物理热 $Q_f = C_{r,ar} t_r$	kJ/kg	计算得 202	
	Q_{Dpu} 雾化蒸汽流量	Kg/h	实测，160	
	$h_{sat,st1}$ 饱和蒸汽焓	kJ/kg	按雾化蒸汽压力查表选取，1.6MPa时为 2797.1	
	B 燃料消耗量	kg/h	实测，2481	
	Q_{pu} 自用蒸汽带入的热量 $Q_{pu} = \frac{Q_{Dpu} h_{sat,st1}}{B}$	kJ/kg	计算得 175.4	
输出热量 Q_{out}	D_{fw} 给水流量	kg/h	35000	$Q_{out} = D_{fw} (h_{sat,st} - h_{fw} - \frac{\gamma \omega}{100}) - G_{hum} \gamma =$ $35000 \times [2797.1 - 334.9 - (1926.5 \times 3) \div 100] - 0 = 8416817.5$
	$h_{sat,st1}$ 饱和蒸汽焓	kJ/kg	按锅炉蒸汽压力查表选取，1.6MPa时为 2797.1	
	h_{fw} 给水焓	kJ/kg	按实测给水温度查表选取，80℃给水焓为 334.9	
	γ 汽化潜热	kJ/kg	按锅炉蒸汽压力查表选取，1.6MPa时为 1926.5	
	ω 饱和蒸汽湿度	—	3%	
	G_{Hum} 锅水取样量	kg/h	0	
正平衡热效率				$\eta_1 = \frac{Q_{out}}{B Q_{in}} = 8416817.5 \div (2481 \times 42317.4) = 80.02\%$

表A.2 反平衡法热效率和平均热效率计算

计算值	输入变量		单位	取值	计算过程及结果
热损失	q_2	排烟热损失	—	—	$q_2 = (0.5 + 3.45\alpha_{ds})(\frac{t_{ds} - t_{ca}}{100})(1 - \frac{q_4}{100})$ $= (0.5 + 3.45 \times 1.17) \times [(465 - 42) \div 100]$ $= 19.19$
	α_{ds}	排烟处的过量空气系数	—	测量得 1.17	
	t_{ds}	排烟温度	℃	465	
	t_{ca}	入炉冷空气温度	℃	42	$q_4 = \frac{1670F}{BQ_{in}} \times 100\%$ $= (1670 \times 114.8) \div (2481 \times 42317.4)$ $= 0.18\%$
	q_3	气体不完全燃烧热损失	—	按表 3 取 0.2	
	q_4	散热损失	—	—	
	F	锅炉散热表面积	m ²	实测锅炉外表面积, 114.8	
反平衡热效率					$\eta_2 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4)$ $= 100 - (19.19 + 0.2 + 0.18) = 80.43\%$
平均热效率					$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} =$ $(80.02\% + 80.43\%) \div 2 = 80.23\%$

A.2 能效分级

根据表A.1和表A.2的计算结果，该燃油辅锅炉的能效为80.23%。根据表2的能效分级要求，本示例中的辅锅炉为2级能效。