



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

管壳式热交换器能效分级及评价方法

Energy Efficiency Classification and Evaluation Method for Shell-and-Tube Heat Exchangers

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 符号和单位 4

5 测试和评价总则 6

 5.1 一般要求 6

 5.2 测试系统 6

 5.3 测量仪表 6

 5.4 测试方法 6

 5.5 评价方法 6

6 评价流程 7

 6.1 原始数据 7

 6.2 测试条件 7

 6.3 测试数据 7

 6.4 计算数据 7

 6.5 结果评判 8

7 能效测试要求 8

 7.1 测试系统 8

 7.2 测量项目 9

 7.3 测试方法 9

 7.4 热交换器传热性能 9

 7.5 热交换器流动阻力性能 10

 7.6 数据记录 10

8 能效评价方法 10

 8.1 能效指标计算 10

 8.2 能效等级划分 10

9 测试报告 11

 9.1 内容 11

 9.2 附图、表 11

附 录 A （规范性） 有关量的计算式 12

附 录 B （资料性） 管壳式热交换器能效测试与评价报告（供参考） 14

 B.1 测试产品技术数据 18

 B.2 测试介质和流程 18

 B.3 测试数据与结果 19

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、西安交通大学、清华大学、中国第一重型机械集团大连加氢反应器制造有限公司、北京广厦环能科技股份有限公司、沈阳化工大学、抚顺市特种设备监督检验所、中国船舶集团有限公司第七一一研究所、湖北特种设备检验检测研究院、兰州石油机械研究所有限公司、辽宁中科力勒检测技术服务有限公司、陕西省特种设备检验检测研究院、上海核工程研究设计院股份有限公司、沈阳鼓风机集团辅机成套工程有限公司、武汉东海石化重型装备有限公司、中国寰球工程有限公司北京分公司、中国石化工程建设有限公司、机械工业兰州石油化工设备检测所有限公司、湖北长江石化设备有限公司、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司、江苏中圣压力容器装备制造有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院有限公司、合肥通用机械研究院有限公司、东北电力大学。

本文件主要起草人：齐国利、笪耀东、蒋琛、屈治国、张剑飞、胥蕊娜、陈永东、王振川、屈英琳、王凯、冀小涛、张斯亮、周凤革、朱健、栾辉宝、苏斯君、张德俭、王林、梁延东、徐冉、严伟华、矫明、李群科、王尚峰、李明凯、杨桂春、高莉萍、张杰、刘丰、束宇轩、任彬、李煌。

本文件为首次发布。

管壳式热交换器能效分级及评价方法

1 范围

本文件规定了管壳式热交换器的术语和符号、测试和评价总则、评价流程、能效测试要求、能效等级评价方法和测试报告。

本文件规定了热交换器测试工质为水-水。

本文件适用于在液-液无相变工况状态下的弓形折流板热交换器产品的能效测试与评价。

其他管壳式热交换器的能效测试与评价方法参照本文件执行。

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 27698.1 热交换器及传热元件性能测试方法 第1部分：通用要求

GB/T 27698.2 热交换器及传热元件性能测试方法 第2部分：热交换器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

能效指标 energy efficiency index (EEI)

综合考量热交换器传热性能与流动功耗特性，基于传热过程机理分析及管壳式热交换器设计原理，结合测试数据数理统计方法所确定的、用于判定热交换器能效等级的特征参数。

3.2

能效等级 energy efficiency class

基于能效指标（EEI）划分的、用于量化评价热交换器能量利用效率水平的分级体系，共分为 1、2、3、4 三个等级（其中 1 级为最高能效等级，4 级为最低能效等级）。

3.3

能效指标目标值 target value of energy efficiency index

指判定热交换器达到能效等级 1 级（高效产品）的能效指标（EEI）最低限值，即产品实测 EEI 达到或优于该值时，可判定为 1 级高效热交换器。

3.4

能效指标限定值 limit value of energy efficiency index

指热交换器产品允许达到的最低能效指标（EEI）限值，低于该值时对应产品能效等级 4 级（最低能效等级）。

3.5

测试工况 operating condition

指管壳式热交换器开展能效测试时需遵循的特定工况，涵盖流体工质类型、温度、流量、压力等关键参数组合，是保障能效测试结果有效性的基础条件，包括标准工况及其他约定测试工况。

3.6

标准工况 standard operating condition

指管壳式热交换器能效指标计算的统一基准工况，具体参数规定为：管侧冷流体采用水作为工质，定性温度 30 °C，管内流动速度 0.5 m/s；壳侧热流体采用水作为工质，定性温度 50 °C，壳内流动速度 0.5 m/s。该工况为能效指标的量化计算、产品能效等级判定提供统一对比依据。

3.7

定性温度 reference temperature

指热交换器传热与流动特性计算中，用于确定工质热物理性质（如比热容、导热系数、粘度等）的基准参考温度。

3.8

热平衡条件 thermal equilibrium condition

指热交换器在稳定运行状态下，管侧冷流体吸热量与壳侧热流体放热量的绝对值相对偏差控制在 5% 以内的工况。

4 符号和单位

下列符号和单位适用于本文件。
本文件采用英文字母和希腊字母表示，下角标均采用英文缩写。
表1为本标准采用的符号和单位一览表。

表 1 符号和单位

符号	名称	单位
A	传热面积	m^2
c_p	定压比热容	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
C'	管距	mm（或 m）
D_s	外壳内径	mm（或 m）
d_i	管内径	mm（或 m）
d_o	管外径	mm（或 m）
EEI	能效指标	无因次量
h	对流换热系数	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
k	总传热系数	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
L_b	折流板跨距	mm（或 m）

符号	名称	单位
L_{pipe}	换热管单程有效长度	mm (或 m)
L_{tube}	管侧流体流动总有效长度	mm (或 m)
L_{shell}	壳侧流体流动总有效长度	mm (或 m)
m_i	$1/k - u_i^{0.8}$ 曲线的拟合斜率数值	无因次量
m_o	$1/k - u_o^{0.55}$ 曲线的拟合斜率数值	无因次量
n_{pipe}	管数	无因次量
N_{shell}	壳程数	无因次量
N_{tube}	管程数	无因次量
p	压力	kPa (Pa)
p_{in}	进口压力	kPa (Pa)
p_{out}	出口压力	kPa (Pa)
Δp	压降	kPa (Pa)
P_t	管中心间距	mm (m)
q_v	体积流量	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
q_m	质量流量	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
ρ	流体密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
S	流体流动截面积	m^2
t	温度	°C
t_m	定性温度	°C
t_{in}	进口温度	°C
t_{out}	出口温度	°C
Δt	温差	°C
Δt_{max}	大温差侧的流体温差	°C
Δt_{min}	小温差侧的流体温差	°C
Δt_m	对数平均温差	°C
u	流速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Φ	传热量	W
$\Delta \Phi$	热平衡相对误差	无因次量

符号	名称	单位
c（角标）	冷流体侧参数	/
h（角标）	热流体侧参数	/
i（角标）	管侧参数	/
o（角标）	壳侧参数	/

5 测试和评价总则

5.1 一般要求

能效指标应能反映换热器内两种参数的影响：第一部分反映管壳式热交换器结构特性对能效指标的影响，折流板数目、壳侧当量直径等核心结构参数的组合形式，既体现设备的设计与制造水平，也是结构层面调控能效的关键因素；第二部分体现流体热物性参数对能效指标的影响，具体表现为流体种类及温度的间接调控作用——不同流体的密度、动力粘度、普朗特数、导热系数等热物性存在固有差异，即便流体种类固定，温度变化也会导致上述热物性参数发生改变，进而影响能效指标。

能效测试与等级判定时，应充分考虑上述结构特性及流体热物性的影响，确保结果的准确性与可比性。

5.2 测试系统

a) 测试系统应配备满足要求的水、电、气等基础配套条件，及适配热交换器运行参数的热源与冷源。

b) 测试系统需具备覆盖热交换器热力性能参数测量范围的能力，测试工况应具备可调节性并能维持稳定运行状态；测试数据需准确可靠，系统应具备自动采集与存储功能。

5.3 测量仪表

a) 压力及压差相关测量仪表的精度等级应不低于 0.2 级，且需经检定/校准合格并在有效期内使用。

b) 流量相关测量仪表的精度等级应不低于 0.5 级，且需经检定/校准合格并在有效期内使用。

c) 流体温度相关测量仪表的允差值不超过±0.5℃，且需经检定/校准合格并在有效期内使用。

5.4 测试方法

a) 测试开始前系统应稳定运行30 min以上。

b) 测试应按照 GB/T 27698.1和 GB/T 27698.2规定的方法执行。

c) 每个测试工况应稳定运行 5 min 以上，工况稳定后进行两次热平衡计算，两次计算的热量相对偏差绝对值应控制在 5% 以内。

d) 每个测试工况应至少重复测量 3 次，每次测量间隔不小于 5 min；测量数据需剔除异常值后，取算术平均值作为该工况的最终测试结果。

5.5 评价方法

应以能效指标（EEI）为核心依据，结合测试获取的热交换器传热性能、流动功耗及热平衡数据，对管壳式热交换器的能量利用效率水平进行综合评价，并依据能效等级划分标准确定其最终能效等级。

6 评价流程

具体评价流程见图1。

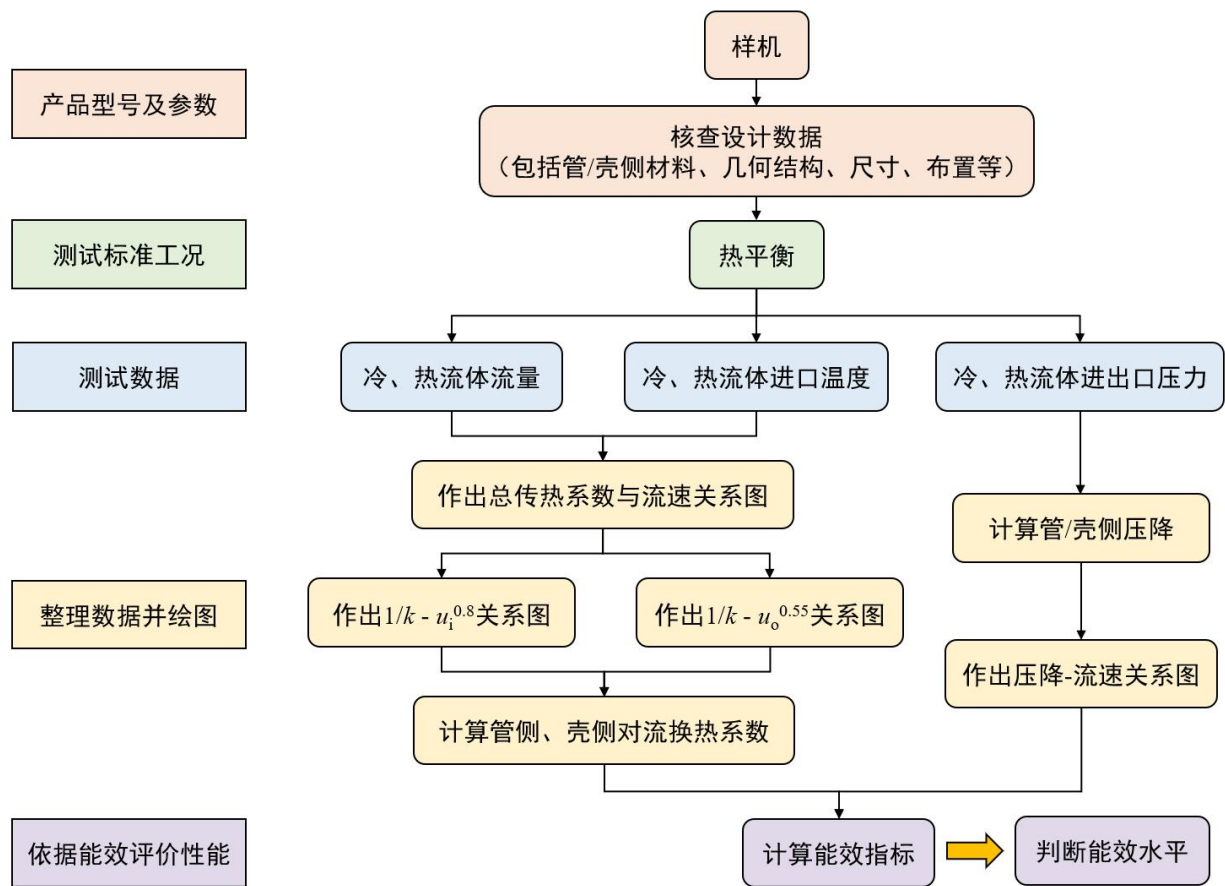


图 1 评价流程图

6.1 原始数据

原始数据应包含管壳式热交换器的核心设计参数，具体如下：传热管材质、壳程结构及几何尺寸、传热管型式及几何尺寸、管子排列方式、管中心间距、折流板（或其他折流元件）的型式、布置方式及关键尺寸、管程数与壳程数、壳侧/管侧当量直径、壳侧/管侧流通截面积、有效传热面积、设计温度、设计压力、最大允许压力降等，为能效指标计算、测试工况设计及能效评价提供基础依据。

6.2 测试条件

测试应在管壳式热交换器测试工况稳定运行5 min以上，且两次热平衡计算的热量相对偏差绝对值控制在5%以内的前提下启动，确保测量数据的有效性与准确性。

6.3 测试数据

管壳式热交换器的测试数据应包含以下核心参数：管侧/壳侧冷、热流体的质量流量（或体积流量），管侧/壳侧冷、热流体的进出口温度，管侧/壳侧冷、热流体的进出口压力。上述数据均为实时测量值，作为能效指标（EEI）计算、热平衡验证及能效等级判定的核心依据。

6.4 计算数据

基于测试数据开展以下核心计算与分析，为能效指标（EEI）计算提供基础参数：

- （1）分别计算管侧冷流体吸热量（ Φ_c ）与壳侧热流体放热量（ Φ_h ），并求解二者的相对偏差绝对值，用于热平衡验证及总传热系数（ k ）的精准计算；
- （2）绘制 $1/k$ （总传热系数倒数）与管侧流速 u_i 对应幂次方、壳侧流速 u_o 对应幂次方的关系曲线，通过线性拟合求解管侧、壳侧对流换热系数 h_i 、 h_o ；
- （3）分别绘制管侧压降 Δp_i 与管侧流速 u_i 、壳侧压降 Δp_o 与壳侧流速 u_o 的关系曲线，用于分析管/壳侧流动阻力特性。

6.5 结果评判

应基于本文计算数据中的总传热系数（ k ）、管侧/壳侧压降（ Δp_i 、 Δp_o ）及流体热物性参数，结合能效指标（EEI）的量化计算模型，求解管壳式热交换器的能效指标（EEI）具体数值；再按照本文定义的能效等级划分标准、能效指标目标值（1级阈值）与限定值（4级阈值），进行如下评判：

- （1）若能效指标（EEI） $\geq$ 目标值，判定为1级热交换器；
- （2）若限定值 $\leq$ 能效指标（EEI） $<$ 目标值，判定为2级或3级热交换器；
- （3）若能效指标（EEI） $<$ 限定值，判定为4级热交换器；

7 能效测试要求

7.1 测试系统

测试系统示意图见图 2。测试工质采用“壳侧热流体——管侧冷流体”双水体系，工况设置为液——液无相变逆流模式，具体操作流程如下：

- （1）先将管侧冷流体、壳侧热流体的流量分别调整至设定值，待流量稳定运行后；
- （2）通过加热器将壳侧热流体定性温度调控至（ 50 ± 1 ） $^{\circ}\text{C}$ ，通过冷却器将管侧冷流体定性温度调控至（ 30 ± 1 ） $^{\circ}\text{C}$ ，并维持温度稳定；
- （3）被测管壳式热交换器应经模化设计后，与原热交换器的结构型式完全一致，核心结构参数（如传热管排列方式、折流板布置及关键尺寸、管程数与壳程数、管中心间距等）需保持等效匹配。

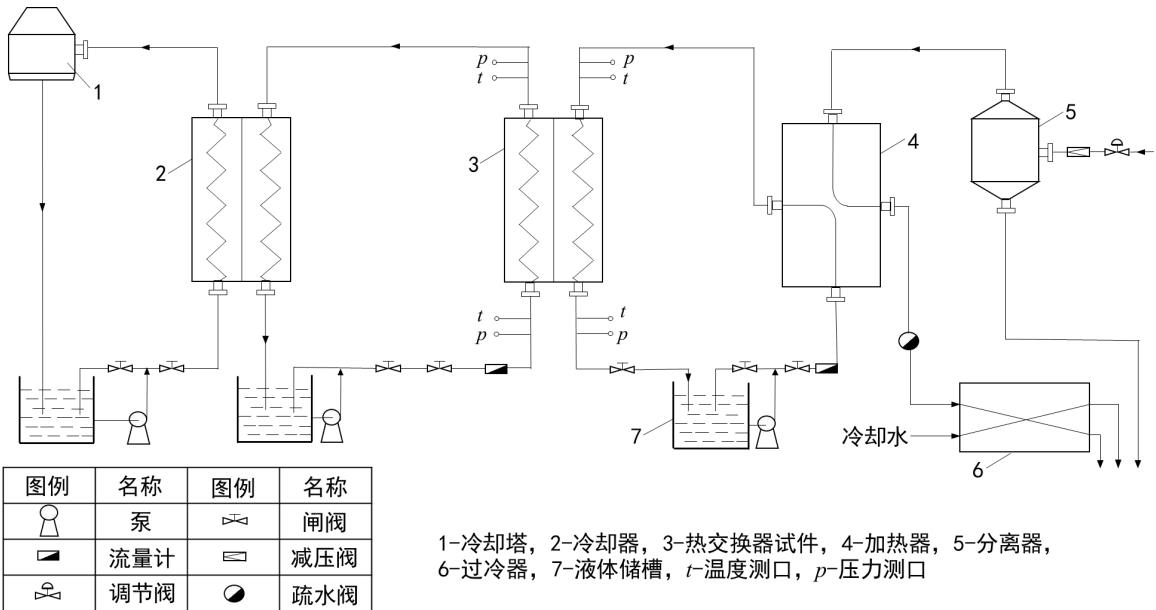


图 2 热交换器测试布置图

7.2 测量项目

冷、热流体的体积流量或质量流量；冷热流体的进、出口温度；冷、热流体的进口压力及进、出口之间的压力差。

测试过程中应重点测量以下核心参数（均需区分管侧/壳侧及流体流向），为热平衡验证、传热与流动特性计算及能效指标（EEI）求解提供基础数据：

（1）流量参数：管侧冷流体、壳侧热流体的体积流量（ $q_{v,c}$ 、 $q_{v,h}$ ）或质量流量（ $q_{m,c}$ 、 $q_{m,h}$ ），二者任选其一但需统一单位换算标准；

（2）温度参数：管侧冷流体进出口温度（ $t_{in,c}$ 、 $t_{out,c}$ ）、壳侧热流体进出口温度（ $t_{in,h}$ 、 $t_{out,h}$ ）；

（3）压力参数：管侧冷流体进出口压力（ $p_{in,c}$ 、 $p_{out,c}$ ）及管侧进出口压差（ Δp_i ）、壳侧热流体进出口压力（ $p_{in,h}$ 、 $p_{out,h}$ ）及壳侧进出口压差（ Δp_o ）。

7.3 测试方法

7.3.1 测试前要求

测试前，管壳式热交换器测试系统应在冷、热流体循环状态下空载（或低负荷）稳定运行 30 min，确保系统管路、加热器、冷却器及热交换器本体达到热平衡状态，消除启动初期的温度漂移、流体物性波动等干扰因素；待系统整体稳定后，再按照测试工况要求调整流量、温度等参数，且每个工况调整完成后，需继续稳定运行 5 min 以上，方可启动数据测量。

7.3.2 测试程序

7.3.2.1 一般要求

测试系统启动并进入冷、热流体循环状态后，应通过系统排气阀（或设备高点排气口）及时排净管壳式热交换器测试样机内部的残留气体，避免气堵导致传热效率下降、流动稳定性变差及测量数据失真；确保测试样机完全充满测试流体后，再按照预设参数调节至目标测试工况。测试全过程应严格遵循 5.4 条款规定的测试方法执行，工况调节完成后，需按要求稳定运行 5 min 以上（符合 5.4b 条款要求），待流量、温度、压力等参数稳定后，方可启动数据采集。

7.3.2.2 测试要求

a) 应通过调节管侧冷流体、壳侧热流体的体积流量（或质量流量，结合流通截面积换算），使两侧流体流速在 0.1 m/s（含）至 1.0 m/s（含）范围内均匀连续变化，流速变化间隔不大于 0.2 m/s（宜采用等间隔设置）；每个流速对应的测试工况调整完成后，需按 5.4b 条款要求稳定运行 5 min 以上，待参数稳定后再采集数据。

b) 应固定管侧冷流体或壳侧热流体中的一侧流速（固定点优先选取 0.5 m/s，需全程维持稳定，波动幅度不超过 $\pm 5\%$ ），另一侧流体流速在 0.1 m/s（含）至 1.0 m/s（含）范围内变化，流速变化间隔不大于 0.2 m/s（宜采用等间隔设置）；每个流速对应的测试工况调整完成后，需按 5.4b 条款要求稳定运行 5 min 以上，待参数稳定后再采集数据。

7.3.3 热平衡工况要求

测试过程中，管侧冷流体吸热量（ Φ_c ）与壳侧热流体放热量（ Φ_h ）的相对偏差绝对值应 $\leq 5\%$ ，方可判定为该测试工况达到热平衡状态。

7.4 热交换器传热性能

a) 应基于 7.3.2.2 条款的测试数据（固定壳侧热流体流速为 0.5 m/s），绘制 $1/k$ （总传热系数倒数）与管侧冷流体流速 u_i 的 0.8 次方 $u_i^{0.8}$ 的关系曲线；采用线性拟合方法获取该曲线的斜率 m_i ，并依据附录 A 规定的计算方式，通过 m_i 求解管内表面对流换热系数 h_i 。

b) 应基于 7.3.2.2 条款的测试数据（固定管侧热流体流速为 0.5 m/s），绘制 $1/k$ （总传热系数倒数）与壳测冷流体流速 u_o 的 0.55 次方 $u_o^{0.55}$ 的关系曲线；采用线性拟合方法获取该曲线的斜率 m_o ，并依据附录 A 规定的计算方式，通过 m_o 求解管内表面对流换热系数 h_o 。

7.5 热交换器流动阻力性能

a) 当壳侧流速固定为 0.5 m/s 时，计算管侧流体的进出口压差 Δp_i ，并绘制 Δp_i 与管侧流速 u_i 的关系曲线。

b) 当管侧流速固定为 0.5 m/s 时，计算壳侧流体的进出口压差 Δp_o ，并绘制 Δp_o 与壳测流速 u_o 的关系曲线。

c) 当壳侧、管侧流体流速均为 0.5 m/s（标准工况）时，计算管侧、壳侧流体的进出口压力差 Δp_i 和 Δp_o 。

7.6 数据记录

测试的所有数据记录及汇总内容，均应纳入对应的测试报告中完整呈现。

8 能效评价方法

8.1 能效指标计算

管壳式热交换器的能效指标（EEI），物理意义为“消耗单位折合流动压降时，所获得的管侧、壳侧传热系数之和”，按式（1）计算：

$$EEI = \frac{1}{2} \times \frac{h_i}{(\Delta p_i / L_{\text{tube}})^{0.457}} + \frac{1}{2} \times \frac{h_o}{(\Delta p_o / L_{\text{shell}})^{0.304}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

EEI ——管壳式热交换器能效指标；

h_i 、 h_o ——管侧、壳侧对流换热系数，采用 7.4 中计算的数据，单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ；

Δp_i 、 Δp_o ——管侧、壳侧进出口压差，采用标准工况下 7.5 中计算数据，单位为 Pa；

L_{tube} 、 L_{shell} ——为管侧、壳侧流体流动的总有效长度，单位为 m。

8.2 能效等级划分

管壳式热交换器的能效等级需依据计算所得的能效指标（EEI），按照表 2 的范围进行划分，共设 4 个等级；等级数值越小，热交换器的能效水平越高。

其能效等级对应的划分标准如下：

表 2 能效等级

产品能效等级	能效指标（EEI）范围
1级	>386
2级	346~386
3级	259~346
4级	<259

9 测试报告

9.1 内容

热交换器的测试与评价报告需参照附录 B 编制,需包含以下 7 项核心内容 —— 这些内容可保障报告的完整性、可追溯性及测试过程的规范性:

- a) 委托方: 明确测试需求的发起主体, 界定需求来源与责任边界;
- b) 测试和评价承担方: 明确测试工作的执行主体, 确保测试的专业性与责任可追溯;
- c) 测试产品技术数据: 提供被测热交换器的基础参数, 作为测试方案设计与结果分析的核心依据;
- d) 测试目的和要求: 明确测试的核心目标与验收标准, 指导测试工作的开展方向;
- e) 测试系统及方法: 说明测试所用的设备、流程与技术方法, 保障测试过程的可重复性与科学性;
- f) 测试说明: 补充测试过程中的特殊情况、注意事项等细节, 完善报告的信息完整性;
- g) 测试结果: 呈现测试数据、分析结论等核心内容, 是报告的最终输出。

9.2 附图、表

报告中应包括的附图与表如下:

- a) 测试系统流程图;
- b) 测试结果汇总表;
- c) 原始测试数据表;
- d) 关键测试曲线图。

附录 A
(规范性)
有关量的计算式

表A.1是管壳式热交换器能效测试与评价的核心计算依据，涵盖几何、流量、传热等多类关键参数的规范计算方法，为能效指标评定提供统一标准，具体内容如下：

表 A.1 有关量的计算式

序号	名称	计算公式	备注
1	定性温度	$t_m = \frac{t_{in} + t_{out}}{2}$	
2	管距	$C' = P_t - d_o$	
3	壳侧流体流动总有效长度	$L_{shell} = L_{pipe} N_{shell}$	
4	管侧流体流动总有效长度	$L_{tube} = L_{pipe} N_{tube}$	
5	管侧体积流量	$q_{v,i} = S_i u_i = \frac{\pi d_i^2 n_{pipe}}{4 N_{tube}} u_i$	
6	壳侧体积流量	$q_{v,o} = S_o u_o = \frac{C' L_b D_s}{P_t} u_o$	计算时折流板间距取中间跨距
7	质量流量	$q_m = q_v \cdot \rho$	
8	管侧总传热量	$\Phi_{c,i} = q_{m,c} c_{p,c} \Delta t_c$	
9	壳侧总传热量	$\Phi_{h,o} = q_{m,h} c_{p,h} \Delta t_h$	
10	热平衡相对误差	$\Delta \Phi = \frac{ \Phi_{h,o} - \Phi_{c,i} }{\Phi_{c,i}} \times 100\%$	
11	管侧对流换热系数	$h_i = \frac{1}{m_i} \frac{d_o}{d_i} u_i^{0.8}$	标准工况下 u_i 为 0.5 m/s

序号	名称	计算公式	备注
12	壳侧对流换热系数	$h_o = \frac{1}{m_o} u_o^{0.55}$	标准工况下 u_o 为 0.5 m/s
13	对数平均温差	$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln(\Delta t_{\max} / \Delta t_{\min})}$	
14	传热面积	$A = \pi d_o L_{\text{tube}}$	以管外侧面积为基准
15	总传热系数	$k = \frac{\Phi_{h,o} + \Phi_{c,i}}{2A\Delta t_m}$	

注1：表A.1中角标i、o、c、h表示管侧、壳侧、冷流体、热流体。

注2：图A.1（管距与管中心距示意图）用于辅助理解“管距”的几何定义，明确管中心距与管内径的差值关系。

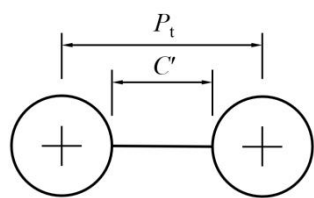


图 A. 1 管距 C' 和管中心距 P_t 的示意图

附 录 B
(资料性)

管壳式热交换器能效测试与评价报告（供参考）

报告编号：

能效测试与评价报告

产	品	名	称：	管壳式热交换器
型	号	规	格：	
委	托	单	位 名 称：	
制	造	单	位 名 称：	
测	试	地	点：	
测	试	评	价 日 期：	年 月 日

(能效测试评价机构名称、盖章)

注意事项

1. 本报告是根据《管壳式热交换器能效分级及评价方法》(GB/T XXXXX-XXXX)进行能效测试与评价，所出具的报告。
2. 本报告应当由计算机打印输出，或者用钢笔、签字笔填写，字迹要工整，内容缺少、摘录或者部分复制、涂改无效。
3. 结论报告无编制、审核、批准人员等签字，无测试评价机构的专用章或者公章无效。
4. 结果仅对被检测样品负责。
5. 本报告测试评价结论是在本报告所记载和描述的测试依据和测试条件下得出的。
6. 对本报告结论如有异议，请在收到报告书之日起 15 日内，向能效测试评价机构提出书面意见。

测试评价机构：

地 址：

电话：

传 真：

邮政编码：

能效测试与评价报告

报告编号：

制造单位名称					
制造单位地址					
测试地点					
产品名称				规格型号	
产品编号				样品编号	
制造日期				测试类别	(产品、在用设备测试)
技术 参数	管子根数		根	壳体内径	mm
	管外径		mm	折流板缺口比例	%
	管壁厚		mm	折流板间距	mm
	有效管长		mm	首块折流板间距	mm
	管心距		mm	尾部折流板间距	mm
	布管方式			总有效面积	m²
	壳程数/管程数			折流板数量	个
测试 依据					
测试 结果	标准工况：热/冷工质为水，热流体定温 50℃、冷流体定温 30℃，流速均 0.5 m/s。 1. 总传热系数为： $W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$ ； 2. 管侧表面换热系数为： $W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$ ； 3. 管侧压降为：kPa； 4. 壳侧表面换热系数为： $W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$ ； 5. 壳侧压降为：kPa.				
	测试人员(签字)：日期：				
	负责人(签字)：日期：				
评价 结果	能效指标值（EEI）		能效等级(相应级别)		
	评价人员(签字)：日期：				
	负责人(签字)：日期：				
编制：日期：			(测试评价机构专用章)		
审核：日期：					
批准：日期：					

报告编号：

B.1 测试产品技术数据

序号	名称	单位	技术参数
1	壳体内径	mm	
2	管子根数	根	
3	管子外径	mm	
4	管子壁厚	mm	
5	管长	mm	
6	管心距	mm	
7	布管方式	/	
8	折流板弓缺	%	
9	壳体当量直径	mm	
10	折流板间距	mm	
11	头部折流板间距	mm	
12	尾部折流板间距	mm	
13	折流板数量	个	
14	总传热面积	m ²	
15	换热管材料	/	
16	设备总尺寸（内径×长度）	m×m	

B.2 测试介质和流程

B.2.1 测试介质

壳侧介质为水，管侧介质为水。壳程为热流体，定性温度为 50 ℃；管程为冷流体，定性温度为 30 ℃。热流体和冷流体逆流运行。

B.2.2 测试系统

测试系统如图 B.1 所示。

B.2.3 测试流程

测试流程如图 B.2 和 B.3 所示。

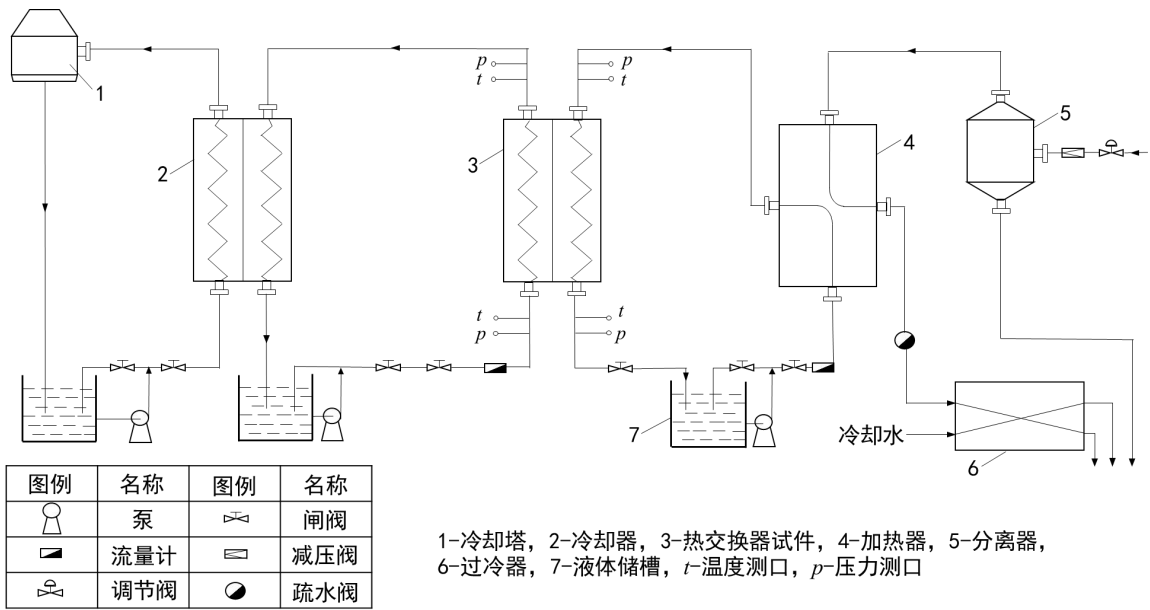


图 B. 1 管壳式换热器能效测试系统示意图

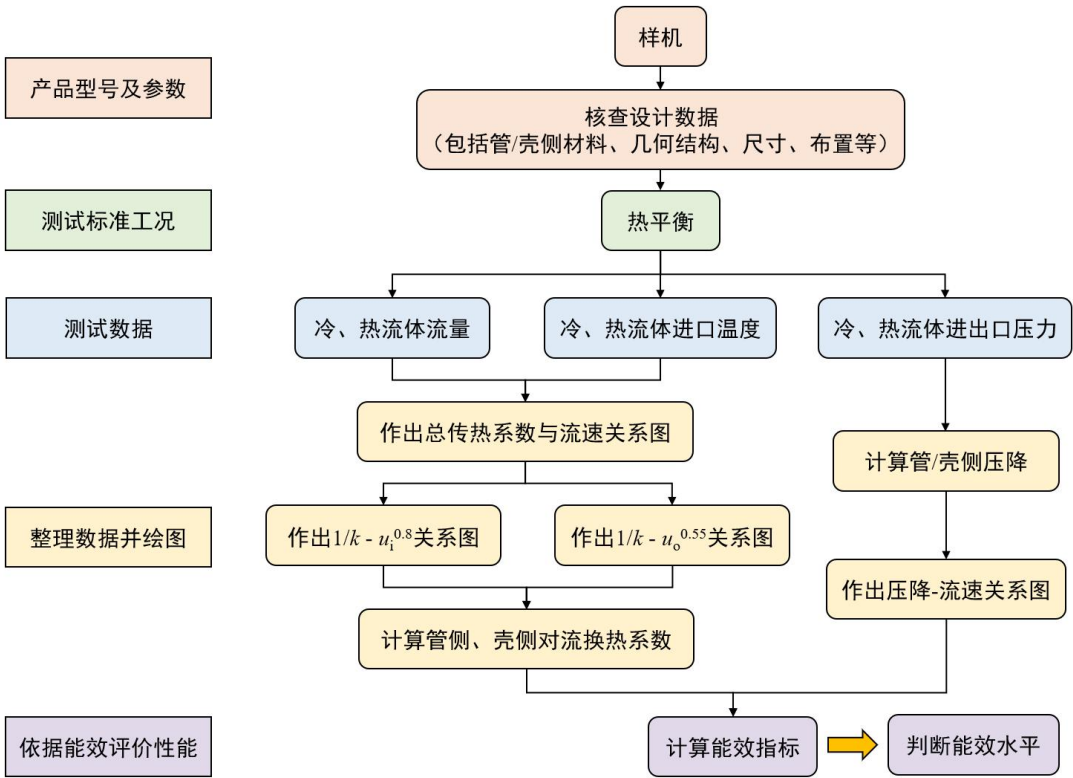


图 B. 2 管壳式换热器能效测试步骤流程图

B. 3 测试数据与结果

B. 3. 1 测试数据

测试数据见表 1。

报告编号：

表 B.1 管壳式热交换器测试数据（格式供参考）

序号	管侧	壳侧	管侧	壳侧	管侧	壳侧	管侧	壳侧	管侧	壳侧
	冷流体 流速	热流体 流速	体积 流量	体积 流量	进口 温度	出口 温度	进口 温度	出口 温度	压降	压降
	u_i	u_o	$q_{v,i}$	$q_{v,o}$	t_1'	t_1''	t_2'	t_2''	Δp_1	Δp_2
	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹	m ³ ·h ⁻¹	m ³ ·h ⁻¹	℃	℃	℃	℃	kPa	kPa
1	0.1	0.5								
2	0.2	0.5								
3	0.3	0.5								
4	0.4	0.5								
5	0.5	0.5								
6	0.6	0.5								
7	0.7	0.5								
8	0.8	0.5								
9	0.9	0.5								
10	1.0	0.5								
11	0.9	0.5								
12	0.8	0.5								
13	0.7	0.5								
14	0.6	0.5								
15	0.5	0.5								
16	0.4	0.5								
17	0.3	0.5								
18	0.2	0.5								
19	0.1	0.5								
20	0.5	0.1								
21	0.5	0.2								
22	0.5	0.3								
23	0.5	0.4								
24	0.5	0.5								
25	0.5	0.6								
26	0.5	0.7								
27	0.5	0.8								
28	0.5	0.9								

表 B.1 （续）

序号	管侧	壳侧	管侧	壳侧	管侧	壳侧	管侧	壳侧	管侧	壳侧
	冷流体 流速	热流体 流速	体积 流量	体积 流量	进口 温度	出口 温度	进口 温度	出口 温度	压降	压降
	u_i	u_o	q_{v1}	q_{v2}	t_1'	t_1''	t_2'	t_2''	Δp_1	Δp_2
	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kPa	kPa
29	0.5	1.0								
30	0.5	0.9								
31	0.5	0.8								
32	0.5	0.7								
33	0.5	0.6								
34	0.5	0.5								
35	0.5	0.4								
36	0.5	0.3								
37	0.5	0.2								
38	0.5	0.1								

B. 3. 2 测试曲线

B. 3. 2. 1 传热曲线

热交换器总传热系数的倒数（ $1/k$ ）与管侧流速项 $u_i^{0.8}$ 、壳测流速项 $u_o^{0.55}$ 的关系曲线，其测试数据及关联式拟合曲线分别对应图 B.3、图 B.4，这些曲线可直观反映该热交换器的换热特性变化规律。

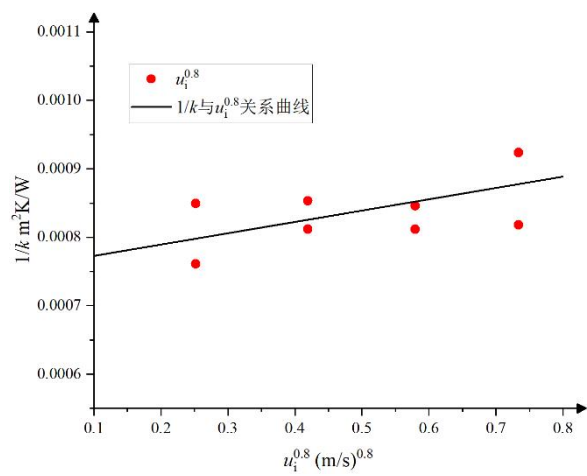


图 B. 3 $1/k$ 与 $u_i^{0.8}$ 的测试数据及关系曲线

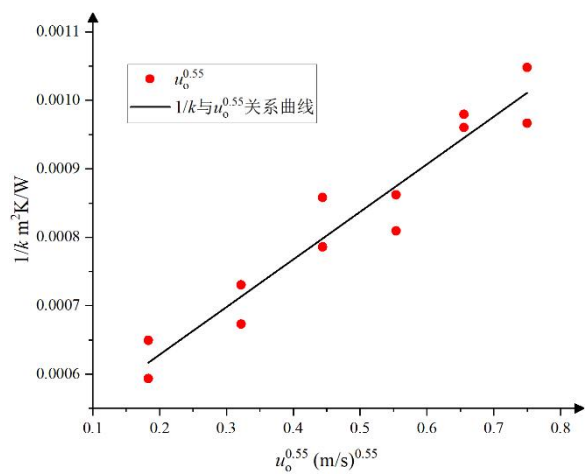


图 B. 4 $1/k$ 与 $u_o^{0.55}$ 的测试数据及关系曲线

B. 3. 2. 2 压降曲线

热交换器管侧进出口压差 Δp_i 与管侧流速 u_i 、壳测进出口压差 Δp_o 与壳测流速 u_o 的测试数据，分别对应图 B.5 和图 B.6；这些数据曲线用于反映热交换器管侧、壳测的流动压降特性，是评估热交换器流动阻力（关联运行能耗）的核心依据之一。

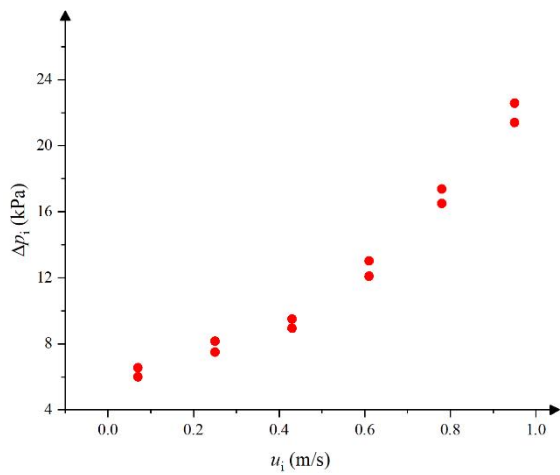


图 B. 5 Δp_i 与 u_i 的测试数据

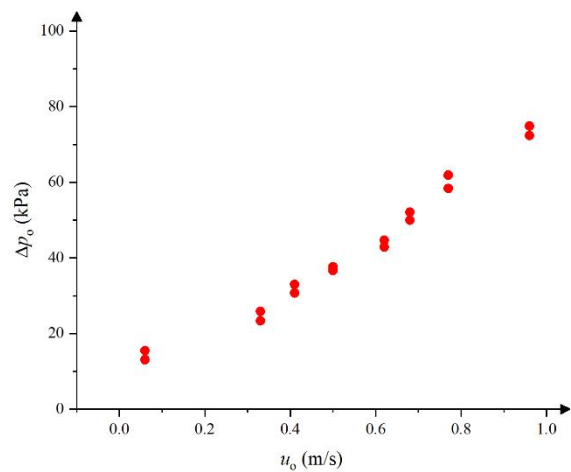


图 B. 6 Δp_o 与 u_o 的测试数据

B. 3. 2. 3 能效计算

确定冷流体定性温度为 30 °C，热流体定性温度为 50 °C，冷热流体流速均为 1.0 m/s 时管侧对流换热系数 h_i 和 Δp_i ，及壳侧对流换热系数 h_o 与压降 Δp_o 。

按下式计算能效：

$$EEI = \frac{1}{2} \times \frac{h_i}{(\Delta p_i / L_{\text{tube}})^{0.457}} + \frac{1}{2} \times \frac{h_o}{(\Delta p_o / L_{\text{shell}})^{0.304}}$$