

《管壳式热交换器换热效率评价方法》

编制说明

（征求意见稿二稿）

二〇一七年十二月

目录

一、	工作简况.....	1
1	任务来源.....	1
2	协作单位.....	1
3	主要工作过程.....	1
4	标准主要起草人及其所做的工作.....	3
二、	国内产品发展情况.....	3
1	产品结构.....	3
2	细分市场.....	4
3	分行业状况.....	5
三、	标准编制原则和确定标准主要内容.....	8
1	标准编制原则.....	8
2	标准主要内容.....	8
四、	标准的研究分析情况.....	10
1	效率指标的论证.....	10
2	评价方法的技术验证和试验验证.....	10
五、	标准的先进性.....	10
1	国际标准.....	11
2	国内标准.....	12
3	本标准先进性.....	12
六、	与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系.....	13
七、	重大分歧意见的处理经过和依据.....	13
八、	标准作为强制性标准或推荐性标准的建议.....	13
九、	贯彻标准的要求和措施建议.....	13
十、	废止现行有关标准的建议.....	13
十一、	其他应予说明的事项.....	13
	附录.....	15
	参考文献.....	29

《管壳式热交换器换热效率评价方法》

编制说明

一、工作简况

1 任务来源

为深入贯彻科学发展观,全面落实节约资源的基本国策,进一步开展针对板式热交换器的节能工作,国家标准化管理委员会于 2008 年正式下达了国家标准《管壳式热交换器换热效率评价方法》的制定计划(项目编号:20083204-T-469),并将以此标准作为评价我国管壳式热交换器性能的依据。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会节能技术与信息分会归口

2 协作单位

本标准为首次提出,负责此次标准的起草单位为珠海格力电器有限公司,参加单位包括北京工业大学、清华大学、北京建筑大学、西安交通大学、烟台冰轮(集团)股份有限公司、华南理工大学、山东京博石油化工有限公司、广州捷玛换热设备有限公司、上海汉钟精机股份有限公司。

3 主要工作过程

(1) 启动阶段

2014 年 6 月本标准制定工作开始启动,确定了由珠海格力电器有限公司负责、北京工业大学、清华大学参加的标准草稿执笔单位,就《管壳式热交换器换热效率评价方法》国家标准制定的原则、草案编制的初步框架、工作计划及任务分工等进行了充分讨论并达成一致意见。

(2) 信息收集及技术研究、论证阶段

换热器作为不同行业重要的换热器件,主要根据客户要求进行设计与选型,目前没有能够涵盖各种介质、各种工况的测试方法和试验装置。而换热器的用户主要是进行整机测试,没有单独对换热器热效率进行评价的统一、有效的方法,这在一定程度上为标准的制定工作带来了困难。因而需要较长的时间开展广泛的信息收集、技术分析与研究以及技术论证。

本阶段工作的主要目标是了解和掌握标准制定所需的技术背景信息并确定管壳式热交换器换热效率评价的技术指标,主要开展了以下几个方面的工作:

- 1) 换热器评价方法研究的相关技术状况;
- 2) 国内外相关标准状况;
- 3) 国内管壳式热交换器行业状况;
- 4) 确定管壳式热交换器换热效率评价的技术指标。

在本阶段信息收集和技术分析、论证的基础上，确定了采用焓效率作为管壳式热交换器换热效率评价的技术指标。

(3) 成立起草组、形成标准讨论稿和征求意见稿

2016 年 3 月成立了标准起草组，邀请相关大专院校、行业企业共同参与本标准的制定。

在前期信息收集、预研和技术论证的基础上，起草组围绕管壳式热交换器焓效率评价完成了标准的讨论稿。

2016 年 12 月起草组召开了标准草稿的第一次讨论会，就标准技术指标、检测及测试工况等问题进行了讨论，并在同期召开的由数十家行业单位参加的行业会议上通报、介绍了标准的草稿，广泛征集了参会企业的意见和建议。

会后起草组根据讨论会和征集意见情况完成了标准的征求意见稿。

(4) 征求意见阶段

2016 年 6 月启动了标准征求意见阶段，广泛征集有关各方面对标准征求意见稿的意见和建议。征求意见通过两种方式进行：

- 1) 标准化技术委员会网站公示；
- 2) 针对相关单位点对点发出征求意见邀请。

通过第二种方式向数十家行业企业、检测机构和大专院校发出了邀请。在征求意见阶段共收到来自 17 家单位的 101 意见和建议（详见意见汇总处理表）。

由于本标准针对换热器的焓效率评价，涉及较高技术难度，企业界仅开利空调冷冻研发管理(上海)有限公司 1 家单位反馈了意见，其余意见均来自检测机构和大专院校。

标准起草单位针对所收集到的意见对标准文本进行了初步修改和完善。

(5) 技术验证阶段

在上述工作的基础上，2017 年 2 月起启动了标准评价方法的技术验证工作，通过实际测试、计算论证确认评价方法的科学性和合理性。

技术验证工作包括实际测试和技术分析两个方面，分别由烟台冰轮（集团）股份有限公司和西安交通大学负责进行。

2017 年 7 月起草组召开了技术研讨会，针对标准征求意见情况和技术验证情况进行了讨论，确认了换热器效率评价方法的合理性，并制定了后续的工作计划。

(6) 送审稿阶段

根据标准征求意见情况和技术验证情况，起草组对标准进行了必要的修改和完善，形成了标准送审稿的初稿。

2017 年 10 月标准起草组召开了最后一次技术研讨会，对标准送审稿的初稿进行了讨论，会后根据讨论情况对标准文本进行了最后一次修改和完善，于 2017 年 12 月完成了标准的送审稿和编制说明最终稿。

4 标准主要起草人及其所做的工作

本标准由珠海格力电器有限公司负责，北京工业大学、清华大学和北京建筑大学承担标准的技术研究、评价方法研究、论证和确定，西安交通大学承担了标准评价方法的技术验证、烟台冰轮（集团）股份有限公司承担了标准评价方法的实验验证工作。标准起草组的其他单位均利用自己的技术经验和制造经验对于标准的制定做出了自己的贡献。

二、国内产品发展情况

1 产品结构

按照是否属于压力容器分类，换热器可以分为换热压力容器和非压力容器换热器两大类。按照产值计算，换热压力容器约占换热器行业的 60%，非压力容器换热器约占 40% 的产值（表 1）。其中，在压力换热器中，管壳式换热器又占 90% 左右的产值；在非压换热器中，板式换热器占据了 70% 左右产值，空冷式换热器和板翅式换热器分别占 15% 左右的产值（图 1）

表 1 换热器产品产值结构

产品分类	比例	具体类型	细分比例	行业产品结构
压力容器换热器	60%	管壳式换热器	90%	54%
		螺旋板式、板壳式及其它换热压力容器	10%	6%
非压力容器换热器	40%	板式换热器	70%	28%
		空冷式换热器	15%	6%
		板翅式换热器	15%	6%

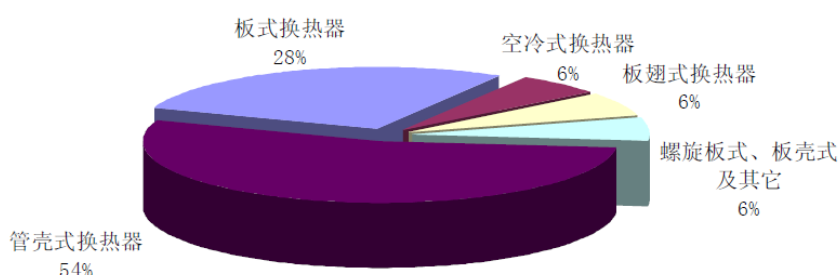


图 1 换热器行业产品产值结构

2 细分市场

2015 年，中国换热器产业市场规模在 769 亿元左右，主要集中于石油、化工、冶金、电力、船舶、集中供暖、制冷空调、机械、食品、制药等领域。如图 2 所示。

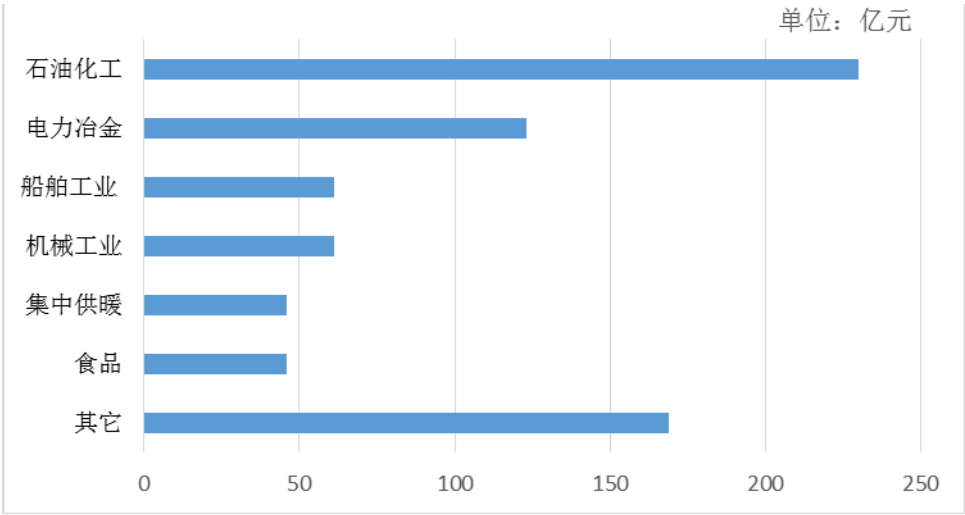


图 2 换热器细分市场规模

其中石油化工领域仍然是换热器产业最大的市场，其市场规模在 230 亿元；电力冶金领域换热器市场规模在 123 亿元左右；船舶工业换热器市场规模在 61 亿元以上；机械工业换热器市场规模约为 61 亿元；集中供暖行业换热器市场规模超过 46 亿元，食品工业也有近 46 亿元的市场。另外，航天飞行器、半导体器件、核电常规岛核岛、风力发电机组、太阳能光伏发电多晶硅生产等领域都需要大量的专业换热器，这些市场约有 169 亿元的规模。

如图 3 所示，石油、化工行业是换热器最主要的应用领域，约占换热器 30% 的市场份额。石油、化工生产中几乎所有的工艺过程都有加热、冷却或冷凝过程，都需要用到换热器。

电力和冶金两大行业所需的换热器约占换热器市场 16% 的份额。由于城市集中供热中心二次热交换器、制冷空调蒸发器冷凝器的大量应用，集中供暖和制冷空调行业约占换热器行业 8% 的市场份额。船舶行业应用大量的中央冷却器等换热设备，约占换热器行业 8% 的市场份额；机械行业在汽车、工程机械、农业机械中应用大量的机油冷却器、中冷器等换热器，约占换热器行业 8% 的市场份额。此外，在食品、医药等领域，换热器用量也较大。

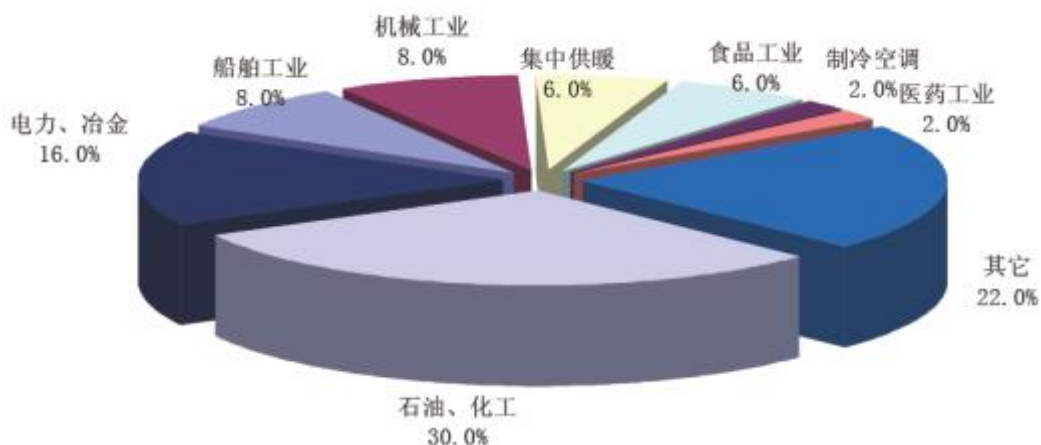


图3 换热器市场需求行业分布

2015 年我国换热器行业销售规模较大的是管壳式换热器和板式换热器，分别销售金额达到了 386 亿元和 214.6 亿元。2015 年我国换热器行业产品销售结构，如图 4 所示。

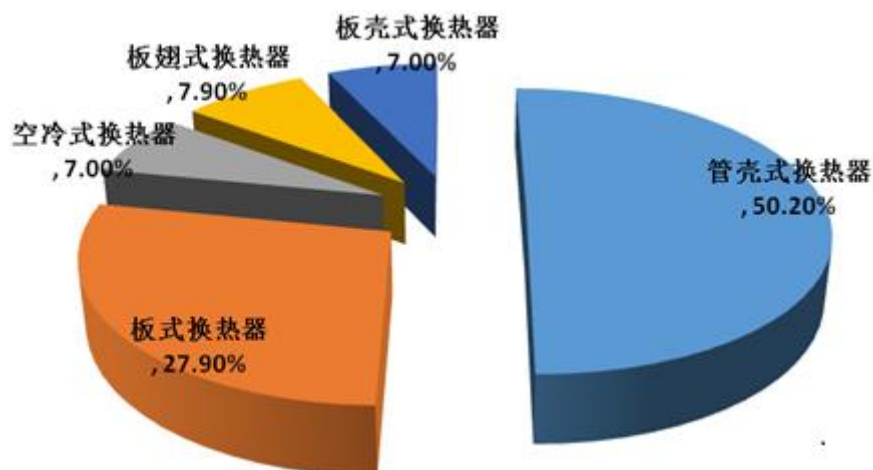


图4 换热器行业产品销售结构

值得一提的是，现在板式换热器产品达到了一个成熟阶段，凭借其高效、节能、环保的优势，在各行业领域中被频繁使用，并被用以替换原有管壳式和翅片管式换热器。据此推测，管壳式换热器在换热器市场的产值占比，将逐年下降，未来市场份额可能降低至 50% 以下。

3 分行业状况

(1) 石油工业

根据中国工程院“中国可持续发展油气资源战略研究”课题对石油和油品需求总量的预测，结合未来我国能源发展目标和汽车、石化发展的要求，预计未来 15 年我国石油、石化产品消费将保持快速增长势头。

增长的主要原因是交通运输燃料和化工轻油需求大幅度增加，两者占石油消费总量的比例将从 2000 年的 50%左右上升到 2020 年的 67%左右。预计 2020 年我国石油需求总量分别约 4.5 亿吨，其中交通运输用油为 2.27 亿吨，化工用油为 0.78 亿吨。

随着主要石化改造项目的开始以及石油炼油能力的提升，应用在石油工业的换热器市场规模将会进一步增加。

表 2 换热器在石油工业行业的应用

应用行业	主要用途
石油工业	1) 各种油品的加热及冷却、乙烯冷箱 2) 塔顶气体的冷凝、冷却 3) 工厂冷却水、循环水系统 4) 天然气净化、工厂气体净化 5) 工作酸性水处理 6) 余热回收 7) 海洋钻井平台用海水冷却、循环淡水冷却、脱盐装置、淡水蒸馏、三甘醇脱水时进行热回收

(2) 化工

换热器的性能对石化产品质量、热量利用率以及系统的经济性和可靠性起着重要作用。目前，在化工中应用的换热器正朝着大型化、高效率、高合金化、低温差、低压力损失方向发展。

表 3 换热器在化工行业的应用

应用行业	主要用途
化学工业	1) 各种浓度的碱液及电解液的加热与冷却 2) 硫酸、氢氧化钠、氢气、氧气的加热、冷却、蒸发和冷凝 3) 甲醛、甲醇、乙醇的冷却 4) 脱盐工业、热回收装置 5) 人造纤维工业、丙烯腈纤维等各种聚合物的加热和冷却 6) 农药、染料、涂料 7) 生物制剂、化妆品的生产

根据中国工程院“中国可持续发展油气资源战略研究”课题对石化产品需求总量的预测，预计 2020 年我国乙烯当量需求量将达到 3700~4100 万吨。预计到 2020 年我国乙烯能力将达到每年 2300 万吨，

满足国内乙烯当量需求的 60%左右。根据我国已有的炼油、石化及化纤装置生产规模，要达到 2020 年我国炼油和石化产业发展目标，需要新增千万吨级炼油及配套装置，因而化工行业的换热器市场规模将进一步增加。

(3) 冶金

2015 年，全国粗钢产量 8.04 亿吨，同比下降 2.3%，近 30 年来首次出现下降。国内粗钢表观消费 7 亿吨，同比下降 5.4%，连续两年出现下降，降幅扩大 1.4 个百分点。钢材（含重复材）产量 11.2 亿吨，同比增长 0.6%，增幅下降 3.9 个百分点。目前中国钢铁的产能已经大大超过需求，钢铁企业利润微薄。中国房地产市场受政策影响，也必将限制钢铁产量的增长速度。综合以上原因，钢铁产量的增速变为负增长，因而冶金行业换热器市场将不会有太大的变化。

表 4 换热器在冶金行业的应用

应用行业	主要用途
冶金工业	1) 炼焦炉直接或间接一次冷却器 2) 电弧炉的炉体、水冷盖板、铁合金炉的炉体、电板支座、连铸机的冷却 3) 薄钢带轧机的润滑油和齿轮油的冷却 4) 液压油、焦化厂水、浮液、氨浴液、炉水冷却 5) 进料水、机器冷却剂冷却 6) 农药、染料、涂料 7) 电镀锡、锌生产线的电解液的冷却

(4) 造船

2015 年，全国造船完工量 4184 万载重吨，同比增长 7.1%，其中海船为 1477 万修正总吨；新承接船舶订单量 3126 万载重吨，同比下降 47.9%，其中海船为 1209 万修正总吨。截至 12 月底，手持船舶订单量 12304 万载重吨，比 2014 年底手持订单量下降 12.3%，其中海船为 4640 万修正总吨，出口船舶占总量的 95.7%。2015 年，中国造船三大指标市场份额保持世界领先，造船完工量、新接订单量、手持订单量以修正总吨计分别占世界市场份额的 38.3%、34.0%和 36.2%。随着国际国内经济复苏向好，船舶市场在总体底位徘徊中仍然存在增长性需求和结构调整带来的需求，随着手持订单中的船舶不断投放市场，航运市场运力过剩将加剧。但由于存在战略需求和投机需求，国际船舶市场将有所恢复，船价也将在低位徘徊。因而船舶行业换热器市场还会有小幅的增长。

表 5 换热器在造船行业的应用

应用行业	主要用途
造船工业	1) 中央冷却期、淡水冷却器、柴油机冷却器、缸套水冷却器 2) 润滑油、传动油冷却 3) 重燃料油预热、柴油预热

三、标准编制原则和确定标准主要内容

1 标准编制原则

本标准在编写、制定过程中遵循了以下几个原则：

- 1) 本标准要与国家的节能政策、环境保护政策等相一致；
- 2) 本标准应立足于国内，结合行业发展现状和特点；
- 3) 本标准要尽量与国际上相关的标准、法规接轨；
- 4) 本标准要充分考虑我国产业的发展水平和市场消费水平；
- 5) 本标准要与已颁布实施的相关标准进行衔接。

技术指标确定的原则

标准技术指标体系的建立应采用以下原则：

- 1) 基于但并不局限于仅反映能效的指标；
- 2) 能够综合反映产品的能效、质量与品质；
- 3) 考虑各技术指标的联动性；
- 4) 指标应具有实验室测试的可操作性；
- 5) 指标选取结合我国市场的能效现状和技术发展潜力。

2 标准主要内容

本标准主要包括以下几个方面的内容。

(1) 范围

本标准规定了管壳式热交换器换热效率的评定指标、试验方法与要求、测试工况、标注等，适用于设计压力不大于 5.0MPa 的管壳式热交换器，类似冷、热流体特征的其它结构形式热交换器（如套管式换热器）可参照执行。

但本标准不适用于热交换过程存在化学反应的换热器。这类换热器在热交换过程中存在着能量形式的转换，与一般仅有热能传递的换热器完全不同，效率评价也不同。

(2) 规范性引用文件

本标准引用了如下几个现有标准，作为

GB/T 150 压力容器

GB/T 151 热交换器

JB/T 10379 换热器热工性能和流体阻力特性通用测定方法

GB/T 10870 蒸气压缩循环冷水（热泵）机组性能试验方法

GB/T 27698.1-2011 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：管壳式热交换器

GB/T 29044-2012 采暖空调系统水质

GB/T 30261-2013 制冷空调用板式换热器焓效率评价方法

NB/T 47012 制冷装置用压力容器

(3) 术语

本标准引用了 GB/T 150、GB/T 151 以及 GB/T 30261-2013 确立术语和定义，并对本标准特需的一些术语进行了规定，包括管壳式换热器管、换热量、焓效率、有效输出焓、输入焓

(4) 评价指标

本标准采用焓效率评价换热器的换热效率。焓效率的计算是本标准技术研究的重点和标准的核心内容。

根据大量的研究，分析管壳式换热器各种换热情况，标准确定了焓效率根据工作范围不同分为以下两种情况进行计算。

- 1) 当输出侧入口、出口流体温度均高于环境温度（加热）或者均低于环境温度（冷却）时

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\Delta E_{\text{out}}}{-\Delta E_{\text{in}} + E_p} \times 100\% \\ &= \frac{q_{m,\text{out}}(h_{\text{out},2} - h_{\text{out},1}) - q_{m,\text{out}}T_0(s_{\text{out},2} - s_{\text{out},1})}{-\left[q_{m,\text{in}}(h_{\text{in},2} - h_{\text{in},1}) - q_{m,\text{in}}T_0(s_{\text{in},2} - s_{\text{in},1})\right]} \times 100\%\end{aligned}$$

- 2) 当输出侧入口流体温度低于环境温度，出口流体温度高于环境温度（加热）或者输出侧入口流体温度高于环境温度，出口流体温度低于环境温度（冷却）时：

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\Delta E_{\text{out}}}{-\Delta E_{\text{in}} + E_p} \times 100\% \\ &= \frac{q_{m,\text{out}}(h_{\text{out},2} - h_0) - q_{m,\text{out}}T_0(s_{\text{out},2} - s_0)}{-\left[q_{m,\text{in}}(h_{\text{in},2} - h_{\text{in},1}) - q_{m,\text{in}}T_0(s_{\text{in},2} - s_{\text{in},1})\right] - \left[q_{m,\text{out}}(h_{\text{out},1} - h_0) - q_{m,\text{out}}T_0(s_{\text{out},1} - s_0)\right]} \times 100\%\end{aligned}$$

式中

$T_{\text{out},1}, T_{\text{out},2}$ — 分别为输出侧流体入口、出口的温度，单位为开尔文（K）；

T_0 —标准环境温度，取为 293.15，单位为开尔文（K）。

$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$ —分别为输入烟侧流体和输出烟侧流体的烟变化量，单位为焦耳（J）；

$q_{m,in}, q_{m,out}$ —分别为输入烟侧流体和输出烟侧流体的质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

$h_{in,1}, h_{in,2}$ —分别为输入烟侧流体入口、出口的比焓，单位为焦耳每千克（J/kg）；

$h_{out,1}, h_{out,2}$ —分别为输出烟侧流体入口、出口的比焓，单位为焦耳每千克（J/kg）；

$s_{in,1}, s_{in,2}$ —分别为输入烟侧流体入口、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（J/（kg·K））；

$s_{out,1}, s_{out,2}$ —分别为输出烟侧流体入口、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（J/（kg·K））；

(5) 试验方法与要求

本标准规定了烟效率的试验方法与要求，包括一般要求、实验装置、测量仪器与测试要求、试验工况等。为了简化标准文本，有关这方面的内容在可能得情况下尽量引用现有标准。

此外，由于涉及效率指标的明示问题，本标准还规定了烟效率的标注。

四、 标准的研究分析情况

本标准在编制过程开展的研究分析包括效率指标的论证、评价方法的技术验证和实验验证三个方面。

1 效率指标的论证

在换热器效率评价指标方面的技术与论证中，收集、分析了各种现有的换热效率评价方法，包括基于热力学第一定律的热效率、效能以及基于热力学第二定律的温度烟效率、压力烟效率等，详见本编制说明中附件部分。

在充分论证的基础上，确定了本标准所采用的换热器效率评价指标，即温度烟效率。但对现有的温度烟效率计算方法进行了改进，将换热介质工作温度跨越环境温度的问题纳入了烟效率的计算方法，使评价指标更为全面和完善。

2 评价方法的技术验证和试验验证

评价方法的验证通过理论计算和实验测试进行，验证的目的主要是评估标准所确定的换热器效率评价方法的合理性和可行性。分别由西安交通大学和烟台冰轮（集团）股份有限公司完成。

验证结果表明（详见附录部分），烟效率能够综合评价换热器的性能，在评估换热器热能量和质两方面损失方面具有独有的作用，相比热效率而言更加适合评价换热器的换热效率。

五、 标准的先进性

在本标准编制过程中，起草组收集、分析了大量的国内外相关标准。

1 国际标准

在国际标准方面，起草组查询了相关的 ISO、EN、ASHARE、ASME、SAE 等国际标准，与本标准密切相关的国际标准包括如下 21 项：

- 1) 3600 -- Efficiency of Odd-Tube-Pass Heat Exchangers, 1992
- 2) DIN EN 305, 01-Jul-1997, Heat exchangers - Definitions of performance of heat exchangers and the general test procedure for establishing performance of all heat exchangers; German version EN 305:1997
- 3) DIN EN 308, 01-Jun-1997, Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices; German version EN 308:1997
- 4) DIN EN 327 Heat exchangers - Forced convection air cooled refrigerant condensers - Test procedure for establishing performance (includes amendment A1:2002); German version EN 327:2000 + A1:2002
- 5) DIN EN 328 Heat exchangers - Test procedure for establishing the performance of forced convection unit air coolers for refrigeration (includes amendment A1:2002); German version EN 328:1999 + A1:2002
- 6) SAE J1542_201602 Laboratory Testing of Vehicle and Industrial Heat Exchangers for Thermal Cycle Durability
- 7) SAE J1597_201603 Laboratory Testing of Vehicle and Industrial Heat Exchangers for Pressure-Cycle Durability
- 8) SAE J1994_201509 Laboratory Testing of Vehicle and Industrial Heat Exchangers for Heat Transfer Performance and Pressure Drop Performance
- 9) ANSI/ASHRAE 143-2015 Standard 143-2015 -- Method of Test for Rating Indirect Evaporative Coolers (ANSI Approved)
- 10) DIN EN 1048 Heat exchangers - Air cooled liquid coolers "dry coolers" - Test procedure for establishing the performance; German version EN 1048:1998
- 11) BS EN 1118:1999 Heat exchangers. Refrigerant cooled liquid coolers. Test methods for establishing the performance
- 12) BS EN 328:2014 Heat exchangers. Forced convection unit air coolers for refrigeration. Test procedures for establishing the performance
- 13) BS EN 327:2014 Heat exchangers. Forced convection air cooled refrigerant condensers. Test

procedure for establishing performance

- 14) BS EN 306:1997 Heat exchangers. Methods of measuring the parameters necessary for establishing the performance
- 15) BS EN 305:1997 Heat exchangers. Definitions of performance of heat exchangers and the general test procedure for establishing performance of all heat exchangers
- 16) BS EN 1216:1999 Heat exchangers. Forced circulation air-cooling and air-heating coils. Test procedures for establishing the performance
- 17) ASME PTC 30-1991(R2016) Air Cooled Heat Exchangers
- 18) ISO 13706:2011 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Air-cooled heat exchangers
- 19) DIN EN ISO 12211-DRAFT Draft Document - petroleum, petrochemical and natural gas industries - Spiral plate heat exchangers (ISO/DIS 12211:2010); English version prEN ISO 12211:2010
- 20) ISO 15547-1:2005 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Plate-type heat exchangers - Part 1: Plate-and-frame heat exchangers
- 21) ISO 15547-2:2005 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Plate-type heat exchangers - Part 2: Brazed aluminum plate-fin heat exchangers

2 国内标准

在国内方面，与本标准相关的国内标准（含国家标准和行业标准）主要包括 61 项，详见本编制说明附录部分。

3 本标准先进性

在相关标准分析对比过程中，起草组发现无论是国际标准还是国内标准，在换热器标准方面均主要集中于换热器的技术要求、测试方法、零部件与元器件等，有关换热器效率评价方法的极少。

在国内外涉及换热器效率评价方法、与本标准密切相关的标准仅有两项国家标准：

- 1) GB/T 30261-2013 板式热交换器焓效率评价方法
- 2) GB/T 30262-2013 空冷式热交换器焓效率评价方法

这两项国家标准均采用焓效率评价换热器的效率。

与这两项标准相比，本标准对其焓效率计算方法进行了改进，进一步考虑了换热介质工作温度跨越环境温度的问题，这与评价焓效率密切相关。本标准将此因素纳入了焓效率的计算方法并经过长时间的论证和分析提出了相关的计算公式，使评价指标更为全面和完善。而现有的两项标准并未考虑到这一问题。

因此，无论是从国际上还是国内比较，本项标准均具有明显的先进性。

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准参考和引用了如下几项国家和行业标准，作为本标准试验方法、实验装置和测试工况的技术支撑。

GB/T 150 压力容器

GB/T 151 热交换器

JB/T 10379 换热器热工性能和流体阻力特性通用测定方法

GB/T 10870 蒸气压缩循环冷水（热泵）机组性能试验方法

GB/T 27698.1-2011 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：管壳式热交换器

GB/T 29044-2012 采暖空调系统水质

GB/T 30261-2013 制冷空调用板式换热器焓效率评价方法

NB/T 47012 制冷装置用压力容器

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无

八、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性国家标准。

九、贯彻标准的要求和措施建议

标准起草单位将积极在相关行业各关联机构、企业内进行标准的宣贯工作。

建议本标准从发布到实施以半年时间作为过渡，便于组织相关企业或工程商、用户及维护单位进行理解、消化和吸收。

此外，鉴于本标准采用焓效率来评价换热器的效率，与评价传热过程热能的量的损失的评价指标不同，本标准在传热过程涉及热能品质损失的场合尤其独有的优势，可以弥补现有换热器效率评价指标如换热系数、热效率等的不足，因此建议在此类场合适用本标准规定的方法，并建议其它相关标准或法规在涉及此类问题时引用本标准。

十、废止现行有关标准的建议

无

十一、其他应予说明的事项

本标准不涉及其它专利及著作权等知识产权内容。

附录

Annex 1 换热器效率评价方法分析报告

通常所说的换热器性能，是指其热工性能，除此以外，还包括经济性、可行性、可靠性、安全性等指标，但由于这些因素很难量化，因此在实际工程应用中，通常将换热器的热工性能作为评价换热器的性能指标。

换热器热工性能评价经历了一个从“量”到“质”的过程，起初对换热器性能的评价是基于热力学第一定律，主要考虑了热量传递的数量而没有考虑热量传递过程中质量的变化，因此又逐渐发展了基于热力学第二定律的不同的换热器性能评价方法，下述为常见的换热器热工性能评价方法，利用相关文献中的实验数据，根据不同的热工性能评价方法对换热器效率进行了计算，并对计算结果进行了对比分析。

1 基于热力学第一定律的性能评价

(1) 热效率 η_t

换热器的热效率是最为常见的评价方法，为冷流体的吸热量与热流体的放热量之比。由于能量守恒，热效率主要反映的是换热器的保温性能。

$$\eta_t = \frac{Q_2}{Q_1}$$

式中：

Q_1 —热流体的放热量，W；

Q_2 —冷流体的吸热量，W

提高换热器性能，其中一个主要手段是减少换热流体向环境中的散热或从环境中的吸热。目前大多数换热器的热效率在 0.9 以上，因此，将热效率作为性能评价指标，并不能较好地反映各换热器的换热能力，也很难对不同换热器的实际热工性能做出比较。此外，热效率仅仅考虑了热量的变化，不能反映在热交换过程中热的品质所发生的变化，也未提及热交换所要付出的代价，所以不适合作为换热器性能的综合评价指标。

(2) 效能 ε

换热器的效能（effectiveness of heat exchanger） ε 定义为

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{(t' - t'')_{\max}}{t'_1 - t'_2}$$

式中：

Q —冷热流体在换热器中的实际换热量，W；

$Q_{\max}$ —流体在换热器中可能发生的最大换热量，W；

$(t' - t'')_{\max}$ —冷流体或热流体在换热器中的实际温度差值中的大者， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_1' - t_2'$ —流体在换热器中可能发生的最大温差值， $^{\circ}\text{C}$ ；

效能 ε 表示换热器的实际效果与最大可能的换热效果之比[传热学，第四版，杨世铭，陶文铨]。

换热器的效能将实际性能与理想条件下换热器所能实现的性能相联系，具有明晰的物理意义，在换热器设计优化中被经常采用。在换热器运行过程中，也可以根据效能值来评价换热器的工作状况，判断换热器内部结垢情况。但需要注意的是，效能依然没有计入换热所需代价，也不能反映所交换热量的品质，更重要的是，效能值与换热器的结构，如顺流、逆流具有较大关系。

2 基于热力学第二定律的性能评价

之前介绍的两种性能指标仅考虑了换热量，而未考虑热的品质，但实际应用中，当换热流体的温度低于一定值时，几乎就失去了热应用价值，因此，出现了基于热力学第二定律的性能评价方法，将换热的“量”与“质”都纳入到换热器的效率中，以做出更全面的评价。

(1) 换热器的总熵增率 Y_s

换热器的总熵增率即为换热器每传过单位热量时所消耗的可用能。

$$Y_s = \frac{T_0 \Delta S_{\text{Tot}}}{Q} = \frac{T_0 (\Delta S_{\Delta t} + n \Delta S_{\Delta p})}{Q}$$

式中：

Y_s —换热器的总熵增率；

T_0 —环境温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

ΔS_{Tot} —总熵增， J/K ；

$\Delta S_{\Delta t}$ —由温差传热引起的熵增， J/K ；

$\Delta S_{\Delta p}$ —由压差流动引起的熵增， J/K ；

n ——折算系数。

由温差传热引起的熵增： $\Delta S_{\Delta t} = \Delta S_{\Delta t1} + \Delta S_{\Delta t2}$

式中：

$\Delta S_{\Delta t1}$ —热流体放热引起的熵减， J/K ；

$\Delta S_{\Delta t2}$ —冷流体吸热引起的熵增， J/K

$\Delta S_{\Delta t1}$ ， $\Delta S_{\Delta t2}$ 的计算公式为：

$$-\Delta S_{\Delta t1} = Q / 2T_1' (3 - T_1'' / T_1')$$

$$\Delta s_{\Delta t2} = Q / 2T_2'(3 - T_2'' / T_2')$$

式中：

T' 、 T'' —换热器进出口温度， $^{\circ}\text{C}$

同理， $\Delta s_{\Delta p} = \Delta s_{\Delta p1} + \Delta s_{\Delta p2}$

$\Delta s_{\Delta p1}$ ， $\Delta s_{\Delta p2}$ 为冷热流体流动引起的熵增， J/K

$$\Delta s_{\Delta p1} = V_1 \Delta p_1 / T_1 = 2V_1(p_1' - p_1'') / (T_1' + T_1'')$$

$$\Delta s_{\Delta p2} = V_2 \Delta p_2 / T_2 = 2V_2(p_2' - p_2'') / (T_2' + T_2'')$$

式中：

V —单位时间内的体积流量， m^3/s ；

Δp —换热器进出口压降， Pa ；

p' 、 p'' —换热器进出口压力， Pa ；

T' 、 T'' —换热器进出口温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

$T_0 \Delta s_{\Delta t}$ ， $T_0 \Delta s_{\Delta p}$ 虽然都是换热所要付出的代价，但二者并不等价。因此，存在“可用能”与“机械能”之间的折算系数，其值可取 5.5~7。

换热器的总熵增率，通过考虑温差传热以及流体流动所造成的系统熵增，来评价换热器的性能，但该指标不同于换热器热效率等其他指标，换热器总熵增率越小，说明换热器经济性越高，而且不难发现，计算换热器的总熵增率的过程较为繁杂，且公式中的折算系数并非确定值，有较大浮动范围，不宜应用。

(2) 温度熵效率

换热器的熵效率定义如下：

$$\eta_{e,T} = \frac{1 - \frac{T_0}{T_2}}{1 - \frac{T_0}{T_1}}$$

式中：

T_0 —环境温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_1 —热流体平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_2 —冷流体平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

温度熵效率将冷热流体平均温度与环境温度相结合，用其组成的无量纲温度来建立其评价换热器效率的指标， $(1 - \eta_{e,T})$ 表示因冷流体吸热平均温度与热流体放热平均温度不同引起的熵耗损。不难发现，该值能较好地体现换热流体所得或所放热量的品质，但并未反映实际换热量，不宜单独作为评价换热器性能的指标。

(3) 压力炯效率

换热器的压力炯效率定义如下：

$$\eta_{e,p} = \frac{1 - \varepsilon_2}{1 - \varepsilon_1}$$

式中：

ε_1 —由于流动阻力引起的热流体炯损与它放出的热流炯的比值。

ε_2 —由于流动阻力引起的冷流体炯损与它吸收的热流炯的比值。

$$\varepsilon_1 = \frac{I_{r1}}{E_{Q1}} = \frac{T_0 \frac{N_1}{T_1}}{\int_{Q_1} \frac{T_1 - T_0}{T_1} \delta Q_1} = \frac{T_0 \frac{N_1}{T_1}}{(1 - \frac{T_0}{T_1}) Q_1}$$
$$\varepsilon_2 = \frac{I_{r2}}{E_{Q2}} = \frac{T_0 \frac{N_2}{T_2}}{\int_{Q_2} \frac{T_2 - T_0}{T_2} \delta Q_2} = \frac{T_0 \frac{N_2}{T_2}}{(1 - \frac{T_0}{T_2}) Q_2}$$

式中，

N_1 —为克服热流体流动阻力所做的功；

N_2 —为克服冷流体流动阻力所做的功；

Q_1 —热流体放出的热量；

Q_2 —冷流体吸收的热量。

$$N_1 = V_1 \cdot \Delta P_1$$

$$N_2 = V_2 \cdot \Delta P_2$$

式中， V_1 —热流体体积流量；

V_2 —冷流体体积流量；

ΔP_1 —热流体压降；

ΔP_2 —冷流体压降。

$(1 - \eta_{e,p})$ 可用来反映了因冷热流体流动阻力引起的炯耗损。

只有动力设备（如水泵）不断供以动力，冷热流体才能通过流动纵横复杂的换热器进行换热。因此，在进行换热器性能评价时，也有必要将克服换热器阻力所作的功作为换热所需代价进行考虑。但是与温度炯效率相同，压力炯效率单独不能作为换热器性能评价指标。

(4) 炯效率应用案例

1) 文献[1]炯效率

文献【换热器的实验研究及性能评价】^[1]从能源合理利用的角度出发，定义换热器炯效率：

$$\eta_e = \frac{E_2'' - E_2'}{E_1' - E_1''}$$

式中：

η_e ——炯效率；

E_1', E_1'' ——分别为热流体流入、流出的总炯， kJ/kg ；

E_2', E_2'' ——分别为冷流体流入、流出的总炯， kJ/kg ；

作者通过演算，发现此炯效率可表达为换热器热效率、温度炯效率、压力炯效率的乘积：

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_{e,T} \cdot \eta_{e,P}$$

炯将热的“量”与“质”结合起来，从可用能的角度对换热器性能进行评价。如前所述，换热器热效率、温度炯效率以及压力炯效率分别反映了换热量、换热品质以及在换热过程中需要付出的代价，可以全面地评价换热器性能，且物理意义较为清晰。

2) 文献[2]炯效率

文献【换热器的综合炯效率分析】^[2]根据换热过程中是否发生相变，将换热设备的效率分为两种情况考虑，其中，单相流体换热器的炯效率的定义为：

$$\eta = \frac{\Delta E_2}{-\Delta E_1} \times 100\% = \frac{G_2 C_{p2}}{-G_1 C_{p1}} \cdot \frac{(T_{2,o} - T_{2,i} - T_0 \ln \frac{T_{2,o}}{T_{2,i}})}{(T_{1,o} - T_{1,i} - T_0 \ln \frac{T_{1,o}}{T_{1,i}})} \times 100\%$$

式中：

$\Delta E_1, \Delta E_2$ ——分别为热流体和冷流体的炯变化量， W ；

G_1, G_2 ——分别为热流体和冷流体的质量流量， kJ/kg ；

C_{p1}, C_{p2} ——分别为热流体和冷流体的定压比热容， kJ/kg ；

$T_{1,i}, T_{1,o}$ ——分别为热流体进出口的温度， K ；

$T_{2,i}, T_{2,o}$ ——分别为冷流体进出口的温度， K 。

T_0 ——环境温度， K ；

该文献中所提换热器炯效率也是根据冷热流体经过换热器后炯的变化定义的，但不同于文献 1，文献 2 中直接根据定义对炯效率进行了计算，考虑了冷热流体温度变化对其可用能的影响，但不足之处是，公式中并未提及换热所需代价，即未考虑冷热流体经过换热器克服阻力所需功耗。

3) GBT 30261-2013炯效率

GBT 30261-2013 标准规定了制冷空调用板式热交换器火用效率评价方法，该标准采用焓效率评价换热器的换热效率，焓效率定义为：

$$\eta = \frac{\Delta E_{out}}{-\Delta E_{in}} \times 100\% = \frac{q_{m,out}}{q_{m,in}} \cdot \frac{(h_{out,2} - h_{out,1}) - T_0(s_{out,2} - s_{out,1})}{(h_{in,1} - h_{in,2}) - T_0(s_{in,1} - s_{in,2})} \times 100\%$$

式中：

η —焓效率；

$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$ —分别为输入焓侧流体和输出焓侧流体的焓变化量，单位为 J ；

$q_{m,in}, q_{m,out}$ —分别为输入焓侧流体和输出焓侧流体的质量流量，单位为 kg/s ；

$h_{in,1}, h_{in,2}$ —分别为输入焓侧流体入口、出口的比焓， J/kg ；

$h_{out,1}, h_{out,2}$ —分别为输出焓侧流体入口、出口的比焓， J/kg ；

$s_{in,1}, s_{in,2}$ —分别为输入焓侧流体入口、出口的比熵， $J/(kg \cdot K)$ ；

$s_{out,1}, s_{out,2}$ —分别为输出焓侧流体入口、出口的比熵， $J/(kg \cdot K)$ 。

T_0 —标准环境温度，取 273.15K。

同文献[1][2],该标准也根据经过换热器的冷热流体的焓变化量，定义焓效率为评价换热器性能的指标，主要区别在于，在计算焓时，采用焓值和熵，而不是再仅将焓作为温度的函数，因此，其应用范围可能会更广，物理意义也很明晰，但其不足之处在于没有将换热所需水泵能耗加以考虑。

(5) 本标准换热器焓效率

本标准规定的焓效率按下式计算：

- 1) 当输出侧入口、出口流体温度均高于环境温度（加热）或者均低于环境温度（冷却）时

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\Delta E_{out}}{-\Delta E_{in} + E_p} \times 100\% \\ &= \frac{q_{m,out}(h_{out,2} - h_{out,1}) - q_{m,out}T_0(s_{out,2} - s_{out,1})}{-[q_{m,in}(h_{in,2} - h_{in,1}) - q_{m,in}T_0(s_{in,2} - s_{in,1})]} \times 100\% \end{aligned}$$

- 2) 当输出侧入口流体温度低于环境温度，出口流体温度高于环境温度（加热）或者输出侧入口流体温度高于环境温度，出口流体温度低于环境温度（冷却）时：

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\Delta E_{out}}{-\Delta E_{in} + E_p} \times 100\% \\ &= \frac{q_{m,out}(h_{out,2} - h_0) - q_{m,out}T_0(s_{out,2} - s_0)}{-[q_{m,in}(h_{in,2} - h_{in,1}) - q_{m,in}T_0(s_{in,2} - s_{in,1})] - [q_{m,out}(h_{out,1} - h_0) - q_{m,out}T_0(s_{out,1} - s_0)]} \times 100\% \end{aligned}$$

式中

$T_{out,1}, T_{out,2}$ —分别为输出焓侧流体入口、出口的温度，单位为开尔文（K）；

T_0 —标准环境温度，取为 293.15，单位为开尔文（K）。

$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$ —分别为输入烟侧流体和输出烟侧流体的烟变化量，单位为焦耳（J）；

$q_{m,in}, q_{m,out}$ —分别为输入烟侧流体和输出烟侧流体的质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

$h_{in,1}, h_{in,2}$ —分别为输入烟侧流体入口、出口的比焓，单位为焦耳每千克（J/kg）；

$h_{out,1}, h_{out,2}$ —分别为输出烟侧流体入口、出口的比焓，单位为焦耳每千克（J/kg）；

$s_{in,1}, s_{in,2}$ —分别为输入烟侧流体入口、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（J/（kg·K））；

$s_{out,1}, s_{out,2}$ —分别为输出烟侧流体入口、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（J/（kg·K））；

当前烟效率计算公式则是对 GBT 30261-2013 中烟效率的改进，考虑到了换热介质工作温度跨越环境温度温度的问题，能更全面地反映换热器性能。

Annex 2 烟效率评价方法验证

1 理论验证

为了更直观地认识上述不同的换热器效率定义，根据各效率计算公式所需参数，选取参数较为完整的文献实验数据，代入各公式进行计算，并对计算结果进行比较。熵、焓、密度、热容等计算所需参数根据已知条件在 REFROP 软件中查得。

选取典型圆管及扁管两种管壳式换热器进行计算（图 5）。两种换热器壳体材质与壳体尺寸相同，但内部采用不同形式的换热管，两种换热器介质均为空气。表 6 和表 7 所示分别为其结构参数。

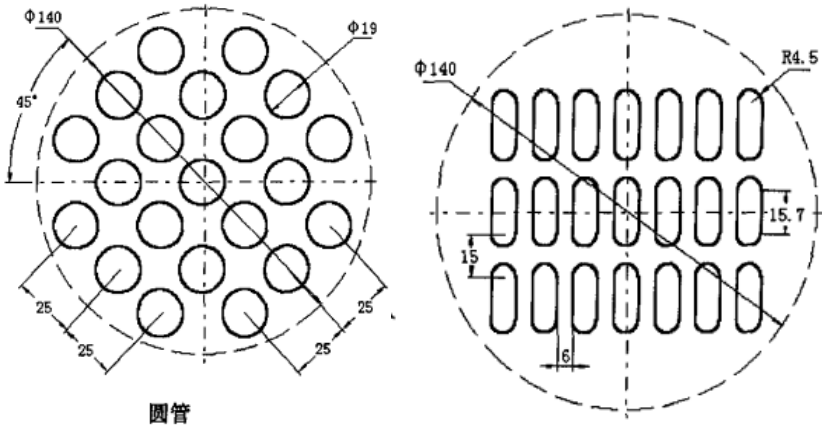


图 5 管壳式换热器结构

表 6 圆管管壳式换热器结构参数

壳体材质	不锈钢钢管	壳体尺寸	$\Phi 160 \times 4mm$
换热管根数	21	换热管尺寸	25mm
圆管相邻两管中心距	25mm	管子排列方式:	旋转 45°

表 7 扁管管壳式换热器结构参数

壳体材质	不锈钢钢管	壳体尺寸	$\Phi 160 \times 4mm$
换热管根数	21	换热管尺寸	$9 \times 15.7 \times 1mm$
扁管相邻两管中心距	15、6 mm		

表 8 是管壳式换热器效率计算结果汇总和文献中获取的计算参数。表 8 所示为换热器效率计算结果汇总表，所示为计算过程中的中间参数与工况参数。

表 8 管壳式换热器效率计算结果汇总

管壳式换热器编号	η_t	ε	$\eta_{e,T}$	$\eta_{e,P}$	η	η	η
	热效率	效能	温度焓效率	压力焓效率	文献 1 焓效率	文献 2 焓效率	当前焓效率
管壳式换热器 1-1	0.854	0.584	0.751	0.986	0.632	0.346	0.235
管壳式换热器 1-2	0.552	0.770	0.661	0.964	0.352	0.180	0.077
管壳式换热器 2-1	0.836	0.678	0.774	0.992	0.641	0.371	0.275
管壳式换热器 2-2	0.763	0.814	0.728	0.987	0.548	0.306	0.231

表 9 管壳式换热器效率计算参数

参数 序号	板式换热器 型号	G_s	G_h	h_1	h_2	h_3	h_4	η_t
		一次侧流体 质量流量	二次侧流体 质量流量	一次侧进口 比焓	一次侧出口 比焓	二次侧进口 比焓	二次侧出口 比焓	热效率
		kg/s	kg/s	J/kg	J/kg	J/kg	J/kg	W/W
1	管壳式换热器1	0.047	0.083	424810	357920	310430	342780	0.85407
2	管壳式换热器1	0.028	0.077	424810	334510	307610	325740	0.55213
3	管壳式换热器2	0.047	0.083	424810	346820	310020	346920	0.83554
4	管壳式换热器2	0.028	0.077	424810	330380	308920	335120	0.763

管壳式换热器 型号	热侧					冷侧				
	流量	进口温度	出口温度	进口压力	压降	流量	进口温度	出口温度	进口压力	压降
	m ³ /h	°C	°C	Pa	Pa	m ³ /h	°C	°C	Pa	Pa
管壳式换热器1-1	200	150.0	84.0	1230	1190	260	36.9	69.0	1300	1120
管壳式换热器1-2	120	150.0	60.8	510	500	240	34.1	52.1	1020	900
管壳式换热器2-1	200	150.0	73.0	1740	1700	260	36.5	73.1	1130	1000
管壳式换热器2-2	120	150.0	56.7	770	750	240	35.4	31.4	780	640

为较全面地评价换热器的热工性能，有必要对换热器的换热数量、换热质量以及换热所需代价进行综合考量，本标准所采用的评价指标具备以下优点：物理意义明晰、能全面及客观地反映换热器的换热性能和易于计算。

从上述换热效率计算方法分析可知，焓效率以环境变量为参考值，合理地评价了有效能。从两大类换热算例的结果可以看出，由于各种方法中焓的计算方法不同，导致焓效率数值上有一定差异，但所有采用焓效率方法计算的换热器性能均正确反映了样品的优劣。焓作为一种评价能量价值的参数，从量和质两个方面规定了能量的品质，更适合于表征换热器的换热效率及节能的综合性能。

在焓效率计算方法分析和算例对比中，特别注意到，换热器工作过程与环境条件紧密相关。焓的计算是在给定环境条件下，以理论上最大可能的转换能力作为量度能量品质高低的尺度。因此，当换热器冷热流体温度高于、低于环境温度，或与环境温度关系较复杂时，应视情况分别考虑。

2 实验验证

实验验证由烟台冰轮（集团）股份有限公司完成，选取了蒸发器和冷凝器两种用途的换热器，每种换热器选择相同结构但换热工况或换热方式的两种情况，分别进行实验测试并利用本标准规定的计算方法计算换热器的焓效率。

表 10 和

表 11 分别是两种换热器的测试和计算结果。

表 10 冷凝器测试和计算结果

B	C	D	E	F	G
管壳式换热器焓效率计算					
换热器焓效率公式					
$\eta = \frac{\Delta E_{out}}{-\Delta E_{in}} \times 100\% = \frac{q_{m,out}}{q_{m,in}} \cdot \frac{(h_{out,2} - h_{out,1}) - T_0(s_{out,2} - s_{out,1})}{(h_{in,1} - h_{in,2}) - T_0(s_{in,1} - s_{in,2})} \times 100\%$					
$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$	—输入焓侧流体和输出焓侧流体的焓变化量，单位（J）				
$q_{m,in}, q_{m,out}$	—输入焓侧流体和输出焓侧流体的质量流量，单位（kg/s）				
$h_{in,1}, h_{in,2}$	—分别为输入焓侧流体入口、出口的比焓，单位（J/kg）				
$h_{out,1}, h_{out,2}$	—分别为输出焓侧流体入口、出口的比焓，单位（J/kg）				
$s_{in,1}, s_{in,2}$	—输入焓侧流体入口、出口的比熵，单位（J/(kgK)）				
$s_{out,1}, s_{out,2}$	—输出焓侧流体入口、出口的比熵，单位（J/(kgK)）				
T_0	—标准环境温度，取为293.15，单位（K）				
冷凝器 (Tc=29.2)			冷凝器 (Tc=49.4)		
换热量	120	kW	换热量	120	kW
管侧工质	water	mks	管侧工质	water	mks
管侧入压	500	kPa	管侧入压	500	kPa
管侧出压	483	kPa	管侧出压	483	kPa
管侧入温	20	℃	管侧入温	40	℃
管侧出温	25	℃	管侧出温	45	℃
壳侧工质	R507A. MIX	mks	壳侧工质	R507A. MIX	mks
壳侧入压	1465	kPa	壳侧入压	2382	kPa
壳侧出压	1462	kPa	壳侧出压	2379	kPa
壳侧入温	50.0	℃	壳侧入温	70.0	℃
壳侧出温	29.2	℃	壳侧出温	49.4	℃
大气压力	3	kPa	大气压力	3	kPa
计算结果数值			计算结果数值		
η	0.22	—	η	0.71	—
$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$	4.58	-1.02	$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$	11.99	-8.56
$q_{m,in}, q_{m,out}$	0.77	5.74	$q_{m,in}, q_{m,out}$	0.92	5.74
$h_{in,1}, h_{in,2}$	396.31	240.89	$h_{in,1}, h_{in,2}$	404.60	274.74
$h_{out,1}, h_{out,2}$	83.91	104.83	$h_{out,1}, h_{out,2}$	167.53	188.43
$s_{in,1}, s_{in,2}$	1.71	1.20	$s_{in,1}, s_{in,2}$	1.70	1.30
$s_{out,1}, s_{out,2}$	0.30	0.37	$s_{out,1}, s_{out,2}$	0.57	0.64
T_0	293.15		T_0	293.15	

作者：烟台冰轮研发设计部 韩献军

当前时间： 2017/6/26 15:51

表 11 蒸发器测试和计算结果

管壳式换热器焓效率计算					
换热器焓效率公式					
$\eta = \frac{\Delta E_{out}}{-\Delta E_{in}} \times 100\% = \frac{q_{m,out}}{q_{m,in}} \cdot \frac{(h_{out,2} - h_{out,1}) - T_0(s_{out,2} - s_{out,1})}{(h_{in,1} - h_{in,2}) - T_0(s_{in,1} - s_{in,2})} \times 100\%$					
$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$	—输入烟侧流体和输出烟侧流体的焓变化量，单位（J）				
$q_{m,in}, q_{m,out}$	—输入烟侧流体和输出烟侧流体的质量流量，单位（kg/s）				
$h_{in,1}, h_{in,2}$	—分别为输入烟侧流体入口、出口的比焓，单位（J/kg）				
$h_{out,1}, h_{out,2}$	—分别为输出烟侧流体入口、出口的比焓，单位（J/kg）				
$s_{in,1}, s_{in,2}$	—输入烟侧流体入口、出口的比熵，单位（J/(kgK)）				
$s_{out,1}, s_{out,2}$	—输出烟侧流体入口、出口的比熵，单位（J/(kgK)）				
T_0	—标准环境温度，取为293.15，单位（K）				
满液式蒸发器			干式蒸发器		
换热里	1000	kW	换热里	1000	kW
管侧工质	water	mks	管侧工质	water	mks
管侧入压	400	kPa	管侧入压	400	kPa
管侧出压	300	kPa	管侧出压	300	kPa
管侧入温	12	℃	管侧入温	12	℃
管侧出温	7	℃	管侧出温	7	℃
壳侧工质	R22	mks	壳侧工质	R22	mks
供液干度	0.25	—	供液干度	0.25	—
壳侧入压	534	kPa	壳侧入压	534	kPa
壳侧出压	531	kPa	壳侧出压	531	kPa
壳侧入温	2.2	℃	壳侧入温	2.2	℃
壳侧出温	2.0	℃	壳侧出温	5.0	℃
大气压力	3	kPa	大气压力	3	kPa
计算结果数值			计算结果数值		
η	0.58	—	η	0.43	—
$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$	64.53	-37.16	$\Delta E_{in}, \Delta E_{out}$	87.06	-37.16
$q_{m,in}, q_{m,out}$	6.55	47.66	$q_{m,in}, q_{m,out}$	6.60	47.66
$h_{in,1}, h_{in,2}$	253.21	405.79	$h_{in,1}, h_{in,2}$	256.43	408.02
$h_{out,1}, h_{out,2}$	50.41	29.43	$h_{out,1}, h_{out,2}$	50.41	29.43
$s_{in,1}, s_{in,2}$	1.19	1.75	$s_{in,1}, s_{in,2}$	1.19	1.76
$s_{out,1}, s_{out,2}$	0.18	0.11	$s_{out,1}, s_{out,2}$	0.18	0.11
T_0	293.15		T_0	293.15	

作者：烟台冰轮研发设计部 韩献军

当前时间： 2017/6/16 15:41

Annex 3 国内换热器相关标准

1 国家标准

- 1) GB/T 151-2014 热交换器

- 2) GB/T 3625-2007 换热器及冷凝器用钛及钛合金管
- 3) GB/T 14845-2007 板式换热器用钛板
- 4) GB/T 17791-2007 空调与制冷设备用无缝铜管
- 5) GB/T 18816-2014 船用热交换器通用技术条件
- 6) GB/T 24590-2009 高效换热器用特型管
- 7) GB/T 25862-2010 制冷空调用同轴套管式换热器
- 8) GB/T 27698.1-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第1部分：通用要求
- 9) GB/T 27698.2-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第2部分：管壳式热交换器
- 10) GB/T 27698.3-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第3部分：板式热交换器
- 11) GB/T 27698.4-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第4部分：螺旋板式热交换器
- 12) GB/T 27698.5-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第5部分：管壳式热交换器用换热管
- 13) GB/T 27698.6-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第6部分：空冷器用翅片管
- 14) GB/T 27698.7-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第7部分：空冷器噪声测定
- 15) GB/T 27698.8-2011 热交换器及传热元件性能测试方法 第8部分：热交换器工业标定
- 16) GB/T 28712.1-2012 热交换器型式与基本参数 第1部分：浮头式热交换器
- 17) GB/T 28712.2-2012 热交换器型式与基本参数 第2部分：固定管板换热器
- 18) GB/T 28712.3-2012 热交换器型式与基本参数 第3部分：U形管式热交换器
- 19) GB/T 28712.4-2012 热交换器型式与基本参数 第4部分：立式热虹吸式重沸器
- 20) GB/T 28712.5-2012 热交换器型式与基本参数 第5部分：螺旋板式热交换器
- 21) GB/T 28712.6-2012 热交换器形式与基本参数 第6部分：空冷式热交换器
- 22) GB/T 29464-2012 两相流喷射式热交换器
- 23) GB/T 30261-2013 板式热交换器焓效率评价方法
- 24) GB/T 30262-2013 空冷式热交换器焓效率评价方法

2 城镇建设行业标准

- 25) CJ/T 467-2014 半即热式换热器

3 化工行业标准

- 26) HG/T 2376-2011 搪玻璃套筒式换热器
- 27) HG/T 2650-2011 水冷管式换热器
- 28) HG/T 3112-2011 浮头列管式石墨换热器
- 29) HG/T 3113-1998 YKA 型圆块孔式石墨换热器

- 30) HG/T 3187-2012 矩型块孔式石墨换热器
- 31) HG/T 4172-2011 管壳式聚四氟乙烯换热器
- 32) HG/T 4174-2011 超纯 PFA 列管加强式换热器
- 33) HG/T 21503-1992 钢制固定式薄管板列管换热器
- 34) HG/T 20537.2-1992 管壳式换热器用奥氏体不锈钢焊接钢管技术要求
- 35) HG/T 20701.5-2000 容器、换热器专业工程设计文件校审细则
- 36) HG/T 20701.6-2000 容器、换热器专业制造厂图纸审查要点
- 37) HG/T 20701.7-2000 容器、换热器专业设备数据表的格式与编制说明
- 38) HG/T 20701.10-2000 容器、换热器和特殊设备专业设备通用技术规定编制说明
- 39) HG/T 20701.1-2000 容器、换热器专业职责范围与设计各阶段的任务
- 40) HG/T 20701.12-2000 容器、换热器和特殊设备专业厂商协调会工作程序及说明
- 41) HG/T 20701.2-2000 容器、换热器专业工程设计阶段与各专业的关系
- 42) HG/T 20701.3-2000 容器、换热器专业工程设计阶段工作程序
- 43) HG/T 20701.4-2000 容器、换热器专业工程设计质量保证程序
- 44) HG/T 20701.8-2000 容器、换热器专用设备简图(设备工程图)设计规定
- 45) HG/T 20701.9-2000 容器、换热器和特殊设备专业工程设计规定编制说明

4 机械行业标准

- 46) JB/T 6919-1993 螺旋板式换热器 性能试验方法
- 47) JB/T 7659.4-2013 氟代烃类制冷装置用辅助设备 第 4 部分：翅片式换热器
- 48) JB/T 8701-1998 制冷用板式换热器
- 49) JB/T 10379-2002 换热器热工性能和流体阻力特性通用测定方法
- 50) JB/T 10408-2014 内燃机 换热器 可靠性试验方法
- 51) JB/T 10523-2005 管壳式换热器用横槽换热管
- 52) JB/T 10990-2010 湿法烟气脱硫装置专用设备 回转式烟气换热器
- 53) JB/T 11132-2011 制冷与空调用套管换热器
- 54) JB/T 11249-2012 翅片管式换热设备技术规范

5 建筑工业行业标准

- 55) JG/T 409-2013 供冷供暖用辐射板换热器

6 能源局标准

56) NB/T 47006-2009(JB/T 4757) 铝制板翅式热交换器

57) NB/T 47007-2010(JB/T 4758) 空冷式换热器

58) NB/T 47045-2015 钎焊板式热交换器

59) NB/T 47048-2015 螺旋板式热交换器

7 轻工行业标准

60) QB/T 2072.3-1994 制糖机械压力容器通用零部件换热器用奥氏体不锈钢焊接钢管

8 企业标准-中国石油天然气集团公司

61) Q/NPC 101-2004 管壳式换热器用高效换热管

9 航天工业行业标准

62) QJ 2969-1997 液体火箭发动机换热器通用规范

10 石油化工行业标准

63) SH/T 3418-2007 石油化工换热器钢制鞍式支座技术条件

64) SH/T 3540-2007 钢制换热设备管束复合涂层施工及验收规范

65) SHS 01009-2004 管壳式换热器维护检修规程

11 电子行业标准

66) SJ/T 31411-1994 换热器完好要求和检查评定方法

参考文献

- [1] 刘研. 板式换热器的实验研究及性能评价[D]. 吉林大学, 2002: 34-36
- [2] 张丹, 李菊香, 陶汉中. 换热器的综合焓效率分析[J]. 低温与超导, 2009, 37(5):72-75.