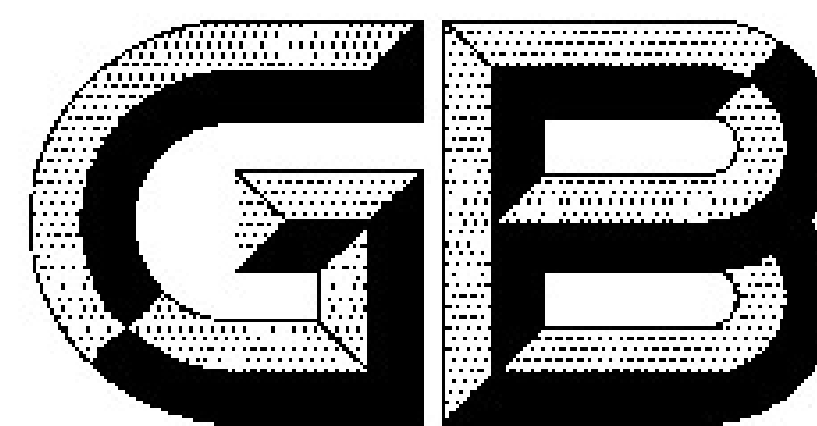




中华人民共和国国家标准

GB/T 27698.2—2023

代替 GB/T 27698.2—2011, GB/T 27698.3—2011, GB/T 27698.4—2011

热交换器及传热元件性能测试方法 第2部分：热交换器

Test methods for the performance of heat exchangers and
heat exchange elements—Part 2: Heat exchangers

2023-08-06 发布

2023-08-06 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 产品型号及试样参数 1

 4.1 管壳式热交换器 1

 4.2 板式热交换器 2

 4.3 螺旋板式热交换器 2

5 测试程序 3

 5.1 液-液无相变湍流性能测试 3

 5.2 液-液无相变低流速性能测试 3

 5.3 汽-液冷凝性能测试 4

 5.4 汽-液流动沸腾与蒸发性能测试 4

 5.5 池沸腾传热性能测试 4

6 测试数据处理 5

 6.1 液-液无相变性能测试 5

 6.2 汽-液冷凝性能测试 5

 6.3 汽-液流动沸腾与蒸发性能测试 5

 6.4 池沸腾传热性能测试 5

7 误差与不确定度 5

8 测试报告 6

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。

本文件是 GB/T 27698《热交换器及传热元件性能测试方法》的第 2 部分。GB/T 27698 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：热交换器；
- 第 3 部分：传热元件；
- 第 4 部分：空冷器噪声测定。

本文件代替 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》、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》与 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》。与 GB/T 27698.2—2011、GB/T 27698.3—2011 和 GB/T 27698.4—2011 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“标准工况”与“定性温度”的术语定义(见第 3 章)；
- b) 更改了管壳式热交换器产品型号与样机参数的规定(见 4.1.1, GB/T 27698.2—2011 的 3.1)；
- c) 增加了管壳式热交换器性能测试有效代表范围的规定(见 4.1.2)；
- d) 更改了板式热交换器装机片数要求(见 4.2.1, GB/T 27698.3—2011 的第 1 章)；
- e) 更改了板式热交换器产品型号与样机参数的规定(见 4.2.2, GB/T 27698.3—2011 的 3.1)；
- f) 增加了板式热交换器性能测试有效代表范围的规定(见 4.2.3)；
- g) 更改了螺旋板式热交换器产品型号与样机参数的规定(见 4.3.1, GB/T 27698.4—2011 的 3.1)；
- h) 增加了螺旋板式热交换器性能测试有效代表范围的规定(见 4.3.2)；
- i) 增加了液-液无相变湍流性能测试工况点数据采集时间间隔要求(见 5.1.3)；
- j) 增加了液-液无相变低流速性能测试程序(见 5.2)；
- k) 增加了汽-液冷凝性能测试工况点数据采集时间间隔要求(见 5.3.3)；
- l) 增加了汽-液流动沸腾与蒸发性能测试工况点数据采集时间间隔要求(见 5.4.3)；
- m) 删除了汽-液流动沸腾与蒸发性能测试工况点数据采集热平衡相对误差要求(见 GB/T 27698.2—2011 的 3.2.3.3, GB/T 27698.3—2011 的 3.2.3.3, GB/T 27698.4—2011 的 3.2.3.3)；
- n) 增加了池沸腾传热性能测试程序(见 5.5)；
- o) 更改了汽-液冷凝性能测试数据处理的规定(见 6.2, GB/T 27698.2—2011 的 4.2, GB/T 27698.3—2011 的 4.2, GB/T 27698.4—2011 的 4.2)；
- p) 更改了汽-液流动沸腾与蒸发性能测试数据处理的规定(见 6.3, GB/T 27698.2—2011 的 4.3, GB/T 27698.3—2011 的 4.3, GB/T 27698.4—2011 的 4.3)；
- q) 增加了池沸腾传热性能测试数据处理的规定(见 6.4)；
- r) 增加了不确定度的规定(见 7.3)；
- s) 增加了测试报告的规定(见第 8 章)。

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：甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、上海蓝滨石化设备有限责任公司、西安交通大学、清华大学、中国石化工程建设有限公司、中石化广州工程有限公司、睿能太宇(沈阳)能源技术有限公司、上海板换机械设备有限公司、杭州弘泽新能源有限公司、湖北长江石化设备有限公司、上海蓝海科创检测有限公司、中国特种设备检测研究院。

本文件主要起草人：蒋琛、周文学、白博峰、姜培学、张迎恺、高莉萍、邓方义、陈枫、张永德、赵天波、周洪达、陈志伟、陈战杨、马一鸣、张延丰。

本文件于 2011 年首次发布，本次为第一次修订，修订时并入了 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》与 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》的内容(GB/T 27698.3—2011 与 GB/T 27698.4—2011 均为 2011 年首次发布)。

引 言

性能测试是确定热交换器及传热元件流动与传热特性的最准确的方法。为了保证性能测试有序开展,GB/T 27698 旨在确立普遍适用于热交换器及传热元件性能测试的测试系统、测试条件、数据处理方法及测试报告要求,拟由四个部分组成。

- 第 1 部分:通用要求。目的在于确立适用于各类热交换器及传热元件性能测试的测试系统、测量仪表、测量方法、数据处理方法及测试报告的通用要求。
- 第 2 部分:热交换器。目的在于确立各类典型热交换器性能测试时产品参数信息、测试程序、数据处理结果及测试报告要求。
- 第 3 部分:传热元件。目的在于确立各类典型传热元件性能测试的汽-气冷凝测试方法及产品参数信息、测试程序、数据处理结果与测试报告要求。
- 第 4 部分:空冷器噪声测定。目的在于确立空冷器噪声测定的测量参数、测试环境、测试仪表、测试方法及测定报告的要求。

由于 GB/T 27698 不可能、也没有必要囊括热交换器及传热元件性能测试的所有技术细节,因此,在满足准确性要求的前提下,不限制本文件中没有特别提及的技术内容。

GB/T 27698 不限制性能测试时采用先进的测试技术和测试方法,但工程技术人员采用先进的技术方法时,宜对其科学性与准确性做出可靠的判断。

热交换器及传热元件性能测试方法

第 2 部分：热交换器

1 范围

本文件描述了热交换器性能测试程序、测试数据处理及测试报告要求。

本文件适用于管壳式热交换器(含套管式热交换器)、板式热交换器(含焊接板式热交换器、钎焊板式热交换器)、螺旋板式热交换器的性能测试。

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 151 热交换器
- 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
- NB/T 47004.1 板式热交换器 第 1 部分:可拆卸板式热交换器
- NB/T 47004.2 板式热交换器 第 2 部分:焊接板式热交换器
- NB/T 47045 钎焊板式热交换器
- NB/T 47048 螺旋板式热交换器

3 术语和定义

GB/T 27698.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

标准工况 **standard condition**
设定的用于表征热交换器性能的工况条件。

3.2

定性温度 **reference temperature**
计算时选取工质物性的参考温度。
注：通常选取工质进口、出口温度的算术平均值。

4 产品型号及试样参数

4.1 管壳式热交换器

4.1.1 管壳式热交换器测试时应明确产品型号及以下参数：

- a) 壳程结构与几何尺寸；
- b) 换热管形式与几何尺寸；
- c) 换热管排列方式；
- d) 管间距；

- e) 折流元件的形式与布置；
- f) 流程；
- g) 管侧、壳侧的当量直径；
- h) 管侧、壳侧的流通截面积；
- i) 换热管材质；
- j) 传热面积；
- k) 设计温度；
- l) 设计压力。

以上结构与设计数据的确定应按照 GB/T 151 和 GB/T 27698.1 的要求进行。

4.1.2 当产品型号或者 4.1.1 中 a)~g)任一参数发生变化时,应重新进行性能测试。

4.2 板式热交换器

4.2.1 板式热交换器样机板片数量的确定宜考虑在测量流速范围内流体分布的均匀性,且装机片数不少于 9 片。

4.2.2 板式热交换器测试时应明确产品型号及以下参数：

- a) 板片波纹形式(波纹角度、波纹深度、波纹间距、混合角度)；
- b) 板片几何尺寸(长度、宽度、角孔直径、纵向与横向中心距)；
- c) 单板传热面积；
- d) 板间距；
- e) 流道截面积；
- f) 板片厚度；
- g) 板片材质；
- h) 板片数；
- i) 夹紧尺寸；
- j) 流程组合；
- k) 设计温度；
- l) 设计压力。

以上结构与设计数据的确定应按照 GB/T 27698.1 和 NB/T 47004.1、NB/T 47004.2、NB/T 47045 的要求进行。

4.2.3 当产品型号或者 4.2.2 中 a)~e)任一参数发生变化时,应重新进行性能测试。

4.3 螺旋板式热交换器

4.3.1 螺旋板式热交换器测试时应明确产品型号及以下参数：

- a) 定距柱布置与几何尺寸；
- b) 板间距；
- c) 当量直径；
- d) 流通截面积；
- e) 流道长度；
- f) 传热板材质；
- g) 传热板厚度；
- h) 传热面积(以传热板中性面为基准)；
- i) 设计温度；
- j) 设计压力。

以上结构与设计数据的确定应按照 GB/T 27698.1 和 NB/T 47048 的要求进行。

4.3.2 当产品型号或者 4.3.1 中 a)～d)任一参数发生变化时,应重新进行性能测试。

5 测试程序

5.1 液-液无相变湍流性能测试

5.1.1 测试前,应检查测试样机、管线以及测量仪表的可靠性。

5.1.2 开始运行后,应及时排净测试样机内的气体,使测试样机在完全充满测试流体的条件下运行并按表 1 调节至标准工况。

5.1.3 在标准工况下稳定运行 30 min 后,宜按以下测试要求进行测试:

- a) 两侧流体流速保持相同,流速在表 1 范围内变化,变化间隔满足表 1 要求;
- b) 固定一侧(热侧或冷侧)流体为标准工况流速,另一侧流体的流速在表 1 范围内变化,变化间隔满足表 1 要求;
- c) 每个测试工况稳定 5 min 及以上,且热平衡相对误差不大于 5%时,进行数据采集;
- d) 每个测试工况至少重复测量 3 次,每次间隔 5 min 以上,测量结果取平均值。

表 1 湍流性能测试推荐液相流速范围

单位为米每秒

试样	液相流速范围	标准工况液相流速	最大变化间隔
管壳式热交换器	0.5～1.5	1.0	0.2
板式热交换器	0.1～1.0	0.5	0.1
螺旋板式热交换器	0.5～1.5	1.0	0.2

5.1.4 可根据用户需求和设备特征协商确定测试流速与压力。

5.2 液-液无相变低流速性能测试

5.2.1 测试前,应检查测试样机、管线以及测量仪表的可靠性。

5.2.2 开始运行后,应及时排净测试样机内的气体,使测试样机在完全充满测试流体的条件下运行并按表 1 调节至标准工况。

5.2.3 在标准工况下稳定运行 30 min 后,宜按以下测试要求进行测试:

- a) 两侧流体雷诺数保持相同,在表 2 范围内等雷诺数间隔变化,测试工况点不少于 6 个;
- b) 固定一侧(热侧或冷侧)流体为标准工况雷诺数,另一侧流体的流速在表 2 范围内等雷诺数间隔变化,测试工况点不少于 6 个;
- c) 每个测试工况稳定 5 min 以上,且热平衡相对误差不大于 5%时,进行数据采集;
- d) 每个测试工况至少重复测量 3 次,每次间隔 5 min 以上,测量结果取平均值。

表 2 低流速性能测试推荐液相雷诺数范围

试样	液相雷诺数范围	标准工况液相雷诺数
管壳式热交换器	10～3 000	1 000
板式热交换器	10～500	100

表 2 低流速性能测试推荐液相雷诺数范围（续）

试样	液相雷诺数范围	标准工况液相雷诺数
螺旋板式热交换器	10~3 000	1 000

5.2.4 热交换器应用于低流速工况时,宜对其进行低流速性能测试。可根据用户需求和设备特征协商确定测试工况。

5.3 汽-液冷凝性能测试

5.3.1 测试前,应检查测试样机、管线以及测量仪表的可靠性。

5.3.2 开始运行后,应及时排净测试样机内的不凝气并调节至标准工况。

5.3.3 在标准工况下稳定运行 30 min 后,宜按以下测试要求进行测试:

- a) 保持进入测试样机进口的蒸汽温度有 1℃~3℃过热度,冷凝液温度比出口压力对应的饱和温度略低,但在 2℃范围内,蒸汽流量通过计量冷凝液得到;
- b) 冷流体的流速在表 1 范围内变化,变化间隔满足表 1 要求;
- c) 每个测试工况稳定 5 min 以上,且热平衡相对误差不大于 5%时,同步进行数据采集,在冷凝液计量过程中其工况保持相对稳定;
- d) 每个测试点至少重复测量 3 次,每次间隔 5 min 以上,测量结果取平均值。

5.3.4 可根据用户需求和设备特征协商确定测试工况。

5.4 汽-液流动沸腾与蒸发性能测试

5.4.1 测试前,应检查测试样机、管线以及测量仪表的可靠性。

5.4.2 开始运行后,应及时排净测试样机内的不凝气并调节至标准工况。

5.4.3 在标准工况下稳定运行 30 min 后,宜按以下测试要求进行测试:

- a) 保持进入预加热器和测试样机进口的蒸汽温度有 1℃~3℃过热度,冷凝液温度比出口蒸汽压力所对应的饱和温度略低,但在 2℃范围内,蒸汽流量通过计量冷凝液得到;
- b) 冷流体的流速在表 1 范围内变化,变化间隔满足表 1 的要求;
- c) 测试样机冷流体的进口干度由预加热器调节,最小进口干度为 0;
- d) 测试样机冷流体的平均干度根据使用范围进行变化,变化间隔随干度增加而增加;
- e) 每个测试工况稳定 5 min 以上,同步进行数据采集,在冷凝液计量过程中其工况保持相对稳定;
- f) 每个测试点至少重复测量 3 次,每次间隔 5 min 以上,测量结果取平均值。

5.4.4 可根据用户需求和设备特征协商确定测试工况。

5.5 池沸腾传热性能测试

5.5.1 测试前,应检查测试样机、管线以及测量仪表的可靠性。

5.5.2 稳定运行 30 min 后,宜按以下测试要求进行测试:

- a) 保证冷流体的液位高于测试样机;
- b) 每个测试工况稳定 5 min 以上,且热平衡相对误差不大于 5%时,同步进行数据采集,在冷凝液计量过程中其工况保持相对稳定;
- c) 测试过程中至少改变 5 次热负荷,每个测试点最少同步采集 3 组数据。

5.5.3 可根据用户需求和设备特征协商确定测试工况。

6 测试数据处理

6.1 液-液无相变性能测试

- 6.1.1 给出总传热系数(k)与流速(u)的测试曲线。
- 6.1.2 归纳出努塞尔数(Nu)与雷诺数(Re)、普朗特数(Pr)之间的准则关系式。
- 6.1.3 在同一坐标系中,计算出冷/热流体的定性温度分别为 20 °C/40 °C、30 °C/50 °C、40 °C/60 °C 时,总传热系数(k)与流速(u)的关系曲线。
- 6.1.4 给出压力降(Δp)与流速(u)的测试曲线。
- 6.1.5 归纳出欧拉数(Eu)与雷诺数(Re)之间的准则关系式。
- 6.1.6 在同一坐标系中,计算出定性温度分别为 20 °C, 30 °C, 40 °C 时,冷流体压力降(Δp)与流速(u)的关系曲线。
- 6.1.7 在同一坐标系中,计算出定性温度分别为 40 °C, 50 °C, 60 °C 时,热流体压力降(Δp)与流速(u)的关系曲线。
- 6.1.8 给出标准工况流速下,热流体定性温度 50 °C、冷流体定性温度 30 °C 时的总传热系数(k)与压力降(Δp)的值。

6.2 汽-液冷凝性能测试

- 6.2.1 给出总传热系数(k)与液侧流速(u)或雷诺数(Re)的测试曲线。
- 6.2.2 归纳出冷凝对流传热系数(α)与流速(u)或雷诺数(Re)之间的关系式。
- 6.2.3 给出两侧压力降(Δp)与流速(u)或雷诺数(Re)的测试曲线。
- 6.2.4 归纳出两侧压力降(Δp)与流速(u)或雷诺数(Re)之间的关系式。
- 6.2.5 给出传热面两侧汽-液逆流运行,液侧在标准工况流速(见表 1)时的总传热系数(k)的值。

6.3 汽-液流动沸腾与蒸发性能测试

- 6.3.1 给出总传热系数(k)与流速(u)或雷诺数(Re)的测试曲线。
- 6.3.2 给出总传热系数(k)与冷侧平均干度(x)的测试曲线。
- 6.3.3 归纳出流动沸腾传热系数(α)与流速(u)或雷诺数(Re)、冷侧平均干度(x)之间的关系式。
- 6.3.4 给出两侧压力降(Δp)与流速(u)的测试曲线。
- 6.3.5 给出两侧压力降(Δp)与平均干度(x)的测试曲线。
- 6.3.6 归纳出两侧压力降(Δp)与流速(u)或雷诺数(Re)、冷侧平均干度(x)之间的关系式。

6.4 池沸腾传热性能测试

- 6.4.1 给出池沸腾表面传热系数(α_b)与壁面过热度(Δt)的测试曲线。
- 6.4.2 给出热流密度(q)与壁面过热度(Δt)的测试曲线。
- 6.4.3 归纳出池沸腾表面传热系数(α_b)与壁面过热度(Δt)之间的关系式。

7 误差与不确定度

- 7.1 总传热系数(k)的测试值与关系式计算值的拟合误差,宜用均方根误差表示,不应超过 5%。
- 7.2 压力降(Δp)的测试值与关系式计算值的拟合误差,宜用均方根误差表示,不应超过 5%。
- 7.3 按本文件规定的测试方法确定的液-液无相变总传热系数(k)值,其相对标准不确定度不应超

过 10%。

7.4 按照 GB/T 27698.1 的规定,宜给出标准工况下热交换器性能测试结果的不确定度。不确定度的计算方法参照 GB/T 27698.1 的规定。

8 测试报告

测试报告应满足 GB/T 27698.1 的要求。
