

### 压缩机用换热设备能耗评价

Energy consumption evaluation of heat exchange equipment for compressor

(报批稿)

(本草案完成时间: 2025-04-02)

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



# 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和单位 .....	1
5 综合能耗指标的组成和计算方法 .....	2
5.1 综合能耗指标的组成 .....	2
5.2 传热与流动功耗当量的计算方法 .....	3
5.3 生命周期碳排放当量计算 .....	4
5.4 材料成本当量 .....	4
5.5 综合能耗计算方法 .....	5
6 综合能耗等级划分 .....	5
附 录 A（规范性） 传热与流动功耗当量有关量计算式 .....	6
附 录 B（规范性） 生命周期碳排放当量计算方法 .....	7

## 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。

本文件由辽宁省市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：沈阳化工大学、沈阳鼓风机集团辅机成套工程有限公司、辽宁省生态环境监测中心、沈阳中聚特种设备检验有限公司。

本文件主要起草人：金志浩、杜宝春、王尚峰、陈东初、车帅、龚斌、高跃、穆林、许洪娟、王林、李雅侠、宋延丽、刘鹏、赵柄冀、王雨、张玉辉、毛荐、袁铭泽、孙岩、左纪泽、杨明静、戴正霄、任永灿、周尊阔、苏明兴、张子扬、田志强、李雨宸、刘心源、方明星、林星宇、王馨怡、王立超、刘佳铭、孙超。

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可通过来电、来函等方式进行反馈，有关单位将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

归口管理部门和联系电话：辽宁省市场监督管理局（沈阳市皇姑区崇山中路55号），024-96315-1-3215。

文件起草单位和联系电话：沈阳化工大学（沈阳市经济技术开发区十一号街），024-89388436。

# 压缩机用换热设备能耗评价

## 1 范围

本文件规定了压缩机用换热设备的能耗评价的基本方法和能耗分级。

本文件适用于设计压力不超过35MPa的，换热介质为气和水的压缩机用热交换设备。其他换热介质的换热设备能耗评价方法和能耗分级可参照本文件。

## 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 24040 环境管理 生命周期评价 原则与框架

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

GB/T 24040和GB/T 27698.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**传热与流动功耗当量** heat transfer and flow power consumption equivalent

考虑换热设备传热与流动功耗的关系，定义为流动压差的0.304次幂与能效评价计算工况总传热系数的比值。

### 3.2

**生命周期碳排放当量** life cycle carbon emissions equivalent

在现有生产条件下，按照能耗清单数据计算的单位重量换热设备排放的二氧化碳总量。

### 3.3

**材料成本当量** material cost equivalent

换热设备材料成本总值与同等重量的该设备敏感材料价格的比值。

## 4 符号和单位

下列符号和单位适用于本文件。

表1 符号和单位

符号	名称	单位
<i>A</i>	传热面积	m <sup>2</sup>
<i>B</i>	干预矩阵（排放矩阵）	/
CECI	综合能耗指标	/
<i>D</i>	技术矩阵（资源消耗矩阵）	/
ECI	传热与流动功耗当量	/
Eu	欧拉数	无因次量

表 1 (续)

符号	名称	单位
$H_{CO_2}$	生命周期碳足迹当量	/
Nu	努塞尔数	无因次量
$P$	过程矩阵 (每个单元过程组成的矩阵)	/
$P_H$	材料成本当量	/
Re	雷诺数	无因次量
$S_c$	冷流体流通面积	$m^2$
$S_h$	热流体流通面积	$m^2$
$c_i$	换热设备中第 $i$ 个的价格	元/千克
$c_{pc}$	冷流体定压比热容	$J/(kg \cdot ^\circ C)$
$c_{ph}$	热流体定压比热容	$J/(kg \cdot ^\circ C)$
$c_{Q345R}$	材料为 Q345R 的单价	元/千克
$e$	比例因子 (技术矩阵与最终结果的需求系数)	/
$f$	最终需求向量 (LCA 的功能单位)	/
$k_{cal}$	能效评价计算工况总传热系数	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$k_{exp}$	测试总传热系数	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$q_{vc}$	冷流体体积流量	$m^3/s$
$q_{vh}$	热流体体积流量	$m^3/s$
$q_{mc}$	冷流体质量流量	kg/s
$q_{mh}$	热流体质量流量	kg/s
$t_{c1}$	冷流体入口温度	$^\circ C$
$t_{c2}$	冷流体出口温度	$^\circ C$
$t_{h1}$	热流体入口温度	$^\circ C$
$t_{h2}$	热流体出口温度	$^\circ C$
$u_c$	冷流体速度	m/s
$u_h$	热流体速度	m/s
$w_i$	换热设备中第 $i$ 个组件的重量	kg
$\Delta t_1$	大温差端的流体温差	$^\circ C$
$\Delta t_2$	小温差端的流体温差	$^\circ C$
$\Delta t_m$	对数平均温差	$^\circ C$
$\Delta \Phi$	热平衡相对误差	%
$\Delta p$	压降	kPa
$\Delta p_{h,cal}$	能效评价计算工况热流体压降	kPa
$\Phi_c$	冷流体热流量	W
$\Phi_h$	热流体热流量	W

## 5 综合能耗指标的组成和计算方法

### 5.1 综合能耗指标的组成

压缩机用换热设备综合能耗指标由传热与流动功耗当量、生命周期碳排放当量和材料成本当量三部分组成。

## 5.2 传热与流动功耗当量的计算方法

### 5.2.1 测量过程和仪表要求

传热与流动功耗采用测量的方式，对于测量过程与参数有如下规定：

a) 测量所用仪器仪表需检定合格且在有效期范围内，压力测量的仪器、仪表精度不得低于0.2级，温度测量仪表的允差值不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，流量测量的仪器、仪表精度等级不得低于1.0级；

b) 冷热流体的流速范围按照GB/T 27698.2中液-液无相变性能测试的相关要求进行，也可根据用户需求和设备特征协商确定测试流速与压力；

c) 测量项目包括冷、热流体流量，冷、热流体进出口温度，冷、热流体进出口压力。

### 5.2.2 测量系统

测量系统介质采用气-水系统测量，其中壳程为水（热流体），管程为空气（冷流体）。如图1所示。

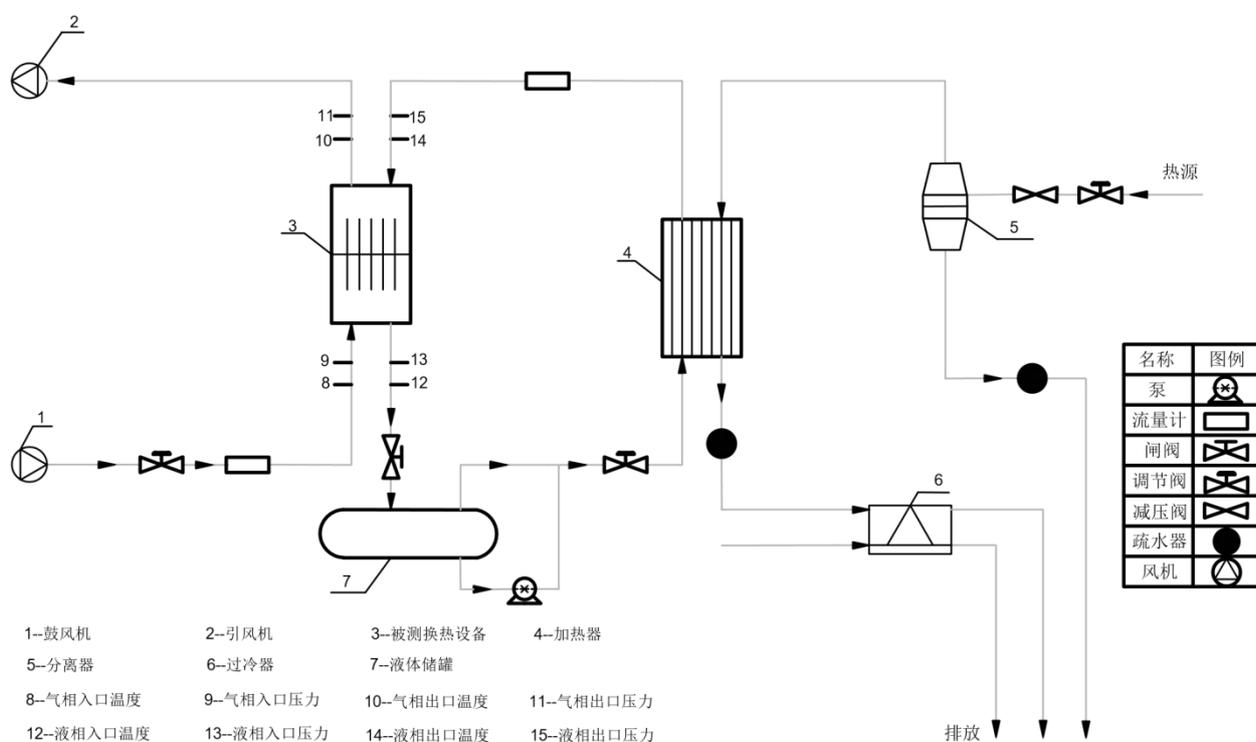


图 1 测量系统图

### 5.2.3 测量方法

5.2.3.1 测量前应检查测被测换热设备、管线以及测量仪表的可靠性；

5.2.3.2 测量开始前运行后，应及时排净测试样机壳程内的气体，使测试样机在完全充满测试流体的条件下，并保证测试流体的雷诺数达到 1000；

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

a) 两侧流体雷诺数保持相同，在为 10-3000 范围内等雷诺数间隔变化，测量工况点不少于 6 个；

b) 固定一侧（热侧或冷侧）流体的雷诺数为 1000，另一侧流体的雷诺数在 10-3000 等间隔变化，测试工况点不少于 6 个；

c) 每个测试工况需稳定 5min 以上，且热平衡相对误差不大于 5%时采集数据；

d) 每个测试工况至少重复测量3次，两次测量间隔应不少于5min并记录测量数据，每个测试工况的测量结果取测量数据的平均值。

#### 5.2.4 传热与流动功耗的计算方法

按照附录A有关量计算式，计算热交换器传热性能，并确定如下内容：

- a) 不同流速  $u$  下总传热系数  $k_{exp}$  的测试曲线；
- b) 在同一坐标系中，作出不同温度下，总传热系数  $k_{exp}$  与流速  $u$  的关系曲线。

#### 5.2.5 热交换器流动阻力计算

根据热交换器压降测试数据，确定如下内容：

- a) 不同流速  $u$  下压力降  $\Delta p$  的测试曲线；
- b) 在同一坐标系下，作出不同定性温度下，压力降  $\Delta p$  与流速  $u$  的关系曲线。

#### 5.2.6 总传热系数和压降的计算

根据5.2.3、5.2.4和5.2.5得出的测试数据和测试曲线，确定热流体的定性温度为20℃，热流体流速为1m/s时根据所建立的  $Nu$  的准则关联式、流动通道的水力直径及其热导率，通过获得的  $Re$  计算出总传热系数  $k_{cal}$ ，通过获得的  $Re$  和  $Eu$  的准则关联式计算冷、热侧压力降  $\Delta p_{h,cal}$ 。

#### 5.2.7 传热与流动功耗当量计算公式

压缩机用热交换设备的能效值的物理意义是消耗一定流动压降下所获得的传热能力，按式（1）计算：

$$E_{ECI} = \frac{\Delta p_{h,cal}^{0.304}}{k_{cal}} \dots\dots\dots (1)$$

### 5.3 生命周期碳排放当量计算

5.3.1 压缩机用换热器的清单分析。压缩机用换热设备生命周期的碳足迹当量计算按照 GB/T 24040 的要求进行，以压缩机用换热设备为研究的系统边界，分析系统边界上的输入和输出，对系统边界确定的各个过程，即从原材料生产、加工、零部件生产制造、运输、运行使用、维修直至报废回收等数据清单进行收集和整理，主要包括材料清单、质量占比、能耗清单等数据。同时需要不断对数据进行收集、确认、合并、修改，从而确定与单元进程、功能单位、系统边界相关联的数据。

5.3.2 压缩机用换热器的环境影响分析。对清单分析过程中各个阶段的数据进行统一的量化计算过程，即计算出产品系统边界内的资源和能源消耗值、环境影响值，其中主要包括：分类、特征化、标准化、归一化、量化和加权。

5.3.3 压缩机用换热设备生命周期碳足迹当量计算方法见附录 B。

#### 5.4 材料成本当量

压缩机用换热设备的材料成本当量按式（2）计算：

$$P_H = \frac{\sum_{i=1}^k w_i C_i}{C_{Q345R} \sum_{i=1}^k w_i} \dots\dots\dots (2)$$

### 5.5 综合能耗计算方法

压缩机用换热设备的综合能耗按式（3）计算：

$$E_{CECI} = \frac{43.2}{E_{ECI}} + 0.0015 \times H_{CO_2} + 0.022 \times P_H \dots\dots\dots (3)$$

### 6 综合能耗等级划分

根据压缩机用换热设备能耗水平分布，能耗等级分为3级，见表2。

表 2 能耗等级

综合能耗等级	能耗指标
高能耗	$\geq 1$
中能耗	1~0.31
低能耗	$< 0.31$

## 附录 A

(规范性)

## 传热与流动功耗当量有关量计算式

表A.1给出传热与流动功耗当量计算有关量的计算式。

表 A.1 有关量计算式

序号	名称	计算公式
1	冷流体流速	$u_c = q_{vc} / S_c$
2	热流体流速	$u_h = q_{vh} / S_h$
3	冷流体热流量	$\Phi_c = q_{mc} c_{pc} (t_{c2} - t_{c1})$
4	热流体热流量	$\Phi_h = q_{mh} c_{ph} (t_{h1} - t_{h2})$
5	热平衡相对误差	$\Delta\Phi = (\Phi_h - \Phi_c) / \Phi_c \times 100$
6	对数平均温差	$\Delta t_m = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$
7	测试总传热系数	$k_{exp} = (\Phi_h + \Phi_c) / (2A\Delta t_m)$

## 附录 B

(规范性)

## 生命周期碳排放当量计算方法

建立过程矩阵分 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_i$ ，代表建立 $i$ 个单元过程的矩阵（可根据实际情况界定 $P$ 的过程范围并确定 $i$ 的数值，此处以 $i=4$ 为例说明）。

$D$ 为技术矩阵，代表资源消耗情况，矩阵中的每一个元素代表单元过程输出量（输入为负数）。其中 $d_{11}$ 、 $d_{21}$ 、 $d_{31}$ 、 $d_{41}$ 代表 $P_1$ 过程全部的输出量， $d_{12}$ 、 $d_{22}$ 、 $d_{32}$ 、 $d_{42}$ 代表 $P_2$ 过程全部的输出量， $d_{13}$ 、 $d_{23}$ 、 $d_{33}$ 、 $d_{43}$ 代表 $P_3$ 过程全部的输出量， $d_{14}$ 、 $d_{24}$ 、 $d_{34}$ 、 $d_{44}$ 代表 $P_4$ 过程全部的输出量。 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 过程的碳排放为 $CO_{2(1)}$ 、 $CO_{2(2)}$ 、 $CO_{2(3)}$ 、 $CO_{2(4)}$ 。

$B$ 为干预矩阵，代表过程中的碳排放， $f$ 为最终需求向量代表LCA的功能单位 $S$ 为比例因子，代表技术矩阵与最终结果的需求系数， $P_i$ 可表示为：

$$P_i = \begin{pmatrix} d_{1i} \\ d_{2i} \\ d_{3i} \\ d_{4i} \\ CO_{2(i)} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (B.1)$$

对于生产过程 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 可建立如下分析矩阵：

$$P = (P_1 | P_2 | P_3 | P_4) = \left( \frac{D}{B} \right) = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} \\ CO_{2(1)} & CO_{2(2)} & CO_{2(3)} & CO_{2(4)} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (B.2)$$

生产1台换热器的需求向量为：

$$f = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 1)^T \dots\dots\dots (B.3)$$

则通过线性变换可将技术矩阵 $D$ 中的单元过程得到最终需求向量 $f$ ，设 $e_i$ 为其组成向量的度量因子，上述各量满足如下关系：

$$\begin{cases} d_{11} \times e_1 + d_{12} \times e_2 + d_{13} \times e_3 + d_{14} \times e_4 = f_1 \\ d_{21} \times e_1 + d_{22} \times e_2 + d_{23} \times e_3 + d_{24} \times e_4 = f_2 \\ d_{31} \times e_1 + d_{32} \times e_2 + d_{33} \times e_3 + d_{34} \times e_4 = f_3 \\ d_{41} \times e_1 + d_{42} \times e_2 + d_{43} \times e_3 + d_{44} \times e_4 = f_4 \end{cases} \dots\dots\dots (B.4)$$

可将B.4简化为：

$$Ds = f \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{24} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & e_{34} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & e_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$s = D^{-1}f \dots\dots\dots (B.7)$$

可以算得碳排放当量为：

$$H_{CO_2} = Bs = BD^{-1}f \dots\dots\dots (B.8)$$

