

# 团体标准

T/CSAE xx—20xx

## 越野汽车板翅式换热器技术条件

Technical requirements for plate fin-heat exchangers for off-road vehicles

(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

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会发布

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

目次

目次..... I

前言..... 错误！未定义书签。

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 要求..... 2

4.1 性能..... 2

4.2 选材要求..... 3

4.3 设计要求..... 3

4.4 制造要求..... 3

5 试验项目及方法..... 4

6 验收..... 4

6.1 一般要求..... 4

6.2 外观与尺寸..... 5

6.3 清洁度..... 5

7 包装、运输、储存、标志..... 5

7.1 包装..... 5

7.2 运输..... 5

7.3 贮存..... 5

7.4 标志..... 5

附录 A（资料性）换热器设计流程、参数计算及设计方法..... 6

A.1 设计流程..... 6

A.2 参数计算..... 6

A.3 设计方法..... 9

附录 B（规范性）换热器试验方法..... 10

B.1 室温密封性试验..... 10

B.2 低温密封性试验..... 10

B.3 换热性能试验..... 10

B.4 振动性能试验..... 11

B.5 冲击性能试验..... 11

B.6 砂尘试验..... 11

B.7 耐高温性能试验..... 12

B.8 低气压（高度）试验..... 12

B.9 腐蚀性能试验..... 12

B.10 腔内压力脉冲试验..... 12

B.11 高低温冲击试验..... 13

B.12 耐碎石冲击性能试验..... 13

参考文献..... 14

## 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。

本文件由中国汽车工程学会越野车技术分会提出。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：内蒙古第一机械集团股份有限公司、北京理工大学、潍柴动力股份有限公司、吉林大学、华北理工大学、北京丰凯换热器有限责任公司、青岛汽车散热器有限公司、聊城市德通交通器材制造有限公司、南京依维柯汽车有限公司、东风马勒热系统有限公司、浙江银轮机械股份有限公司。

本文件主要起草人：夏迎秋、谢鹏、杨军、孟祥晨、王国华、刘佳鑫、陈佳炜、陈忠有、李大钧、李克峰、徐芙蓉、崔起成、夏立峰。

# 越野汽车板翅式换热器技术条件

## 1 范围

本文件规定了越野车辆板翅式换热器的要求、试验项目及方法、验收、包装、运输、储存及标志。本文件适用于越野车辆板翅式换热器，其他结构形式的换热器可以参考执行。

## 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 150.4—2011 压力容器 第4部分：制造、检验和验收  
GB/T 151—2014 热交换器  
GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差  
GB/T 2423.22—2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化  
GB/T 3198 铝和铝合金箔  
GB/T 3880.2 一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能  
GB/T 9286—2021 色漆和清漆划格试验  
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 39557 家用电冰箱换热器  
JB/T 4734—2002 铝制焊接容器  
NB/T 47006—2019 铝制板翅式热交换器  
QC/T 468 汽车散热器  
QC/T 484 汽车油漆涂层  
TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术 监察规程

## 3 术语和定义

GB/T27698.1、GB/T39557、NB/T 47006—2019界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**板翅式换热器** plate fin-heat exchangers

一种换热器，由板束、封头、接管、侧板、导流片及支座等附件组成，流体的每一层通道由翅片、隔板、封条组成，每层通道在特定方位上都设有流体的进出口，并用该流体的进出口封头分别包容该流体的每层进出口、焊上各自的接管而组成的换热器。

### 3.2

### 传热系数 overall conductance for heat transfer

在稳态传热条件下，维护结构两侧空气温差为 1K（或℃）时，单位时间内通过单位面积传递的热量。

### 3.3

#### 标准环境工况 standard environmental conditions

在正常使用条件下，换热器设计、性能测试及验收所依据的基准环境参数，包括但不限于以下内容：

——温度范围：-25℃ ~ +50℃；

——相对湿度：不大于 90%（非凝结）；

——大气压力：86 kPa~106 kPa；

冷却介质流量与压力：按设计任务书规定的额定值；

环境洁净度：空气中悬浮颗粒物浓度 不大于 0.15 mg/m<sup>3</sup>。

### 3.4

#### 极限环境工况 extreme environmental conditions

换热器在极端或异常条件下需耐受的环境参数，包括但不限于以下内容：

——温度极限：低温：-50℃（储存及短时运行）；高温：+125℃（持续运行）；

——砂尘极限：砂尘浓度 大于等于 10 g/m<sup>3</sup>；

——海拔极限：工作海拔 大于等于 4000m（对应大气压力 不大于 62kPa）。

## 4 要求

### 4.1 性能

#### 4.1.1 密封性

密封性要求如下：

- a) 室温密封性：湿检时，不应出现肉眼可见的气泡；干检时，渗漏量值不应大于用户规定值；
- b) 低温密封性：不应出现肉眼可见的气泡。

#### 4.1.2 换热性能

进出口水温、进出风温度应满足最高允许温度值，压降应满足最高允许压降。

#### 4.1.3 环境适应性

标准环境工况和极限环境工况下的环境适应性要求：

- a) 工作温度应满足-50℃~+125℃；储运温度应满足-50℃~+150℃；
- b) 振动性能：振动试验后不应出现裂纹、开焊、串腔等现象，同时应满足 4.3.1 密封性要求；
- c) 冲击性能：冲击试验后不应出现裂纹、开焊、串腔等现象，同时应满足 4.3.1 密封性要求；
- d) 防尘性能：防尘性能试验后应满足 4.3.1 密封性要求。此外，未清理状态下换热性能下降较未试验前不应超过 20%；
- e) 耐高温性能：耐高温试验后应满足 4.3.1 密封性要求；
- f) 低气压（高原）：低气压（高原）试验后应满足 4.3.1 密封性要求；
- g) 腐蚀性能：腐蚀性能试验后应满足 4.3.1 密封性要求。

#### 4.1.4 耐久性

耐久性要求如下：

- a) 腔内压力脉冲试验后不应出现裂纹、开焊、串腔等现象，性能衰减不超过初始值的 10%，同时应满足 4.3.1 密封性要求；
- b) 在-43℃~+120℃瞬时温度冲击下，应保持结构完整性和密封性，无破裂或泄露。短时超压（设计压力的 1.5 倍，持续 30s）后，性能恢复率应不小于 95%；
- c) 完成耐碎石冲击试验后不应出现裂纹、开焊、串腔等现象，应满足 4.3.1 密封性要求。

## 4.2 选材要求

### 4.2.1 一般要求

4.2.1.1 换热器用材料应考虑使用条件（如设计温度、设计压力、介质特性及操作特点等）、工艺、检验及经济合理性等因素，应具有良好的耐腐蚀性能、力学性能、焊接性能、成型性能及其他工艺性能和物理性能。

4.2.1.2 焊缝强度应大于母材强度的 90%。

4.2.1.3 首次用于换热器芯体的材料，应按 GB/T 150.4—2011 附录 C 进行验证性爆破试验。

### 4.2.2 换热器零部件

4.2.2.1 换热器采用材料一般可按照 GB/T3880.1、GB/T6893、GB/T4437.1 及 YS/T 69 的相关规定执行。

4.2.2.2 换热器用封头、封条、盖板等受压元件用材料的许用应力值应按照 NB/T 47006—2019 附录 C 选取。超出附录 C 的设计温度范围的许用应力值按 JB/T 4734—2002 中的 3.6 规定选取。

4.2.2.3 换热器用翅片、隔板等受压元件的许用应力，按 GB/T 3198、GB/T 3880.2 和 YS/T 69 规定的抗拉强度值除以 TSG21—2016 中 3.2.1 中规定的安全系数计算确定。

## 4.3 设计要求

4.3.1 在标准环境工况下，换热器平均无故障时间（MTBF）应不小于 10000 小时。

4.3.2 在标准环境工况下，换热器的设计寿命应不低于 10 年或行驶里程 30 万公里。

4.3.3 极限环境工况或频繁高负荷工况下，换热器核心功能部件（如翅片、密封件）的寿命应不低于 5 年或行驶里程 15 万公里。

4.3.4 在典型越野路况（砂石、泥泞、高海拔等）下随整车累计行驶 5 万公里，换热效率下降不超过 15%，且无泄露、变形或结构性失效。

4.3.5 换热器维修性要求如下：

- a) 预防性维护：宜每 2 年或 5 万公里检查一次表面清洁度（重点关注翅片堵塞砂石情况）；
- b) 强制更换：当换热效率低于设计值 70%时，或关键部件（如焊缝、翅片）出现不可修复的腐蚀、裂纹时，应立即更换。

4.3.6 换热器设计流程、参数计算及设计方法参见附录 A。

## 4.4 制造要求

### 4.4.1 公差要求

4.4.1.1 单元体接管的轴线位置和法兰面位置均以各形面的几何轴线为基准，应在法兰平面和管端面进行检测。

4.4.1.2 管口或法兰面应垂直于接管或单元的主轴中心线，安装接管法兰应保证法兰面的水平或垂直（有特殊要求时应按图样规定）。

4.4.1.3 法兰螺栓孔应与接管轴线对中布置，有特殊要求时，应在图样上注明。

#### 4.4.2 制造及装配

4.4.2.1 热侧/冷侧翅片制造要求如下：

a) 热侧/冷侧翅片冲制之前应先测量与其配合组装的封条高度  $a$ ，冲制后的翅片高度差应在  $a \pm 0.01\text{mm}$  范围内；

b) 随时监视及测量冲（滚）翅片的情况，发现毛刺严重或冲制异常时应及时停机、换模，并对模具进行维护。

4.4.2.2 隔板及封条制造要求如下：

a) 隔板及封条生产应对首件进行自检和专检，应符合工艺图要求；

b) 隔板及封条生产时，长度尺寸应符合产品图纸尺寸及公差的要求。

4.4.2.3 芯部装配后测量芯部的对角线尺寸，差值不大于  $\pm 1.5\text{mm}$ ，校正时翅片和封条不应突出隔板，观察装配后的芯部应横平竖直。相邻上下层封条间的内凹、外弹量不得超过  $2\text{mm}$ 。

### 5 试验项目及方法

试验项目及要求见表1，试验方法按附录B的规定。

表1 试验项目、要求及方法

序号	试验项目		试验方法	要求章条号
1	密封性	室温密封性	B.1	4.3.1a)
2		低温密封性	B.2	4.3.1b)
3	换热性能		B.3	4.3.2
4	环境适应性	振动性能	B.4	4.3.3 b)
5		冲击性能	B.5	4.3.3 c)
6		防尘性能	B.6	4.3.3 d)
7		耐高温性能	B.7	4.3.3 e)
8		低气压（高原）	B.8	4.3.3 f)
9		腐蚀性能	B.9	4.3.3 g)
10	耐久性	腔内压力脉冲	B.10	4.3.4 a)
11		高低温冲击	B.11	4.3.4 b)
12		耐碎石冲击	B.12	4.3.4 c)

### 6 验收

#### 6.1 一般要求

6.1.1 换热器检查和试验一般应在制造厂内进行，每台换热器须经制造厂（或第三方）技术检验部门检验合格，并附有产品合格证方可出厂。

6.1.2 换热器应完成设计文件规定的全部试验，并提供完整的检测报告。

6.1.3 零件表面应呈铝材本色，颜色一致（可表面有亮光）。

6.1.4 零件表面不应有过腐蚀现象。

6.1.5 零件表面不应有残留的油迹、碱迹等。

## 6.2 外观与尺寸

6.2.1 表面应无划痕、凹陷、氧化皮残留，目视检查焊缝均匀无气孔。

6.2.2 涂层或阳极氧化膜无剥落，色差应符合 GB/T 9286—2021 色牢度 4 级以上。

6.2.3 芯体尺寸偏差应不大于±1.5%（长度、宽度、高度、对角线）。

6.2.4 接口法兰孔径偏差应符合 GB/T 1804 中等精度要求。

6.2.5 换热器护板及换热器的涂漆层检验应符合 QC/T 484 的规定进行。

## 6.3 清洁度

6.3.1 水膜观察法：除油清洗后垂直放置 30s，观察工件表面的水膜，应无分裂或挂水珠现象。

6.3.2 荧光检验：采用波长为 3200A~4000A 紫外线对换热器表面、封头及接管的内侧进行检验，无碳氢化合物引起的荧光迹象。

## 7 包装、运输、储存、标志

### 7.1 包装

7.1.1 产品包装前应将换热器清理干净，内部不应有异物。

7.1.2 包装箱应牢固可靠，并有防水措施，在正常运输中不得损坏。经供需双方协商，可以采用简易包装或无包装。

7.1.3 包装箱内应包含产品合格证和使用说明书。

7.1.4 包装箱上应标明：

- a) 制造单位名称或厂标；
- b) 产品名称、型号；
- c) 产品数量；
- d) 产品质量、外形尺寸；
- e) 执行的标准号；
- f) 其他特殊需求的标记。

### 7.2 运输

产品在运输途中应防磕碰、变形，在长途运输中应有防锈措施。

### 7.3 贮存

产品应存放在通风干燥的仓库内，自出厂后，保证产品在 18 个月内不致锈蚀。

### 7.4 标志

每个产品上应有下列标识：

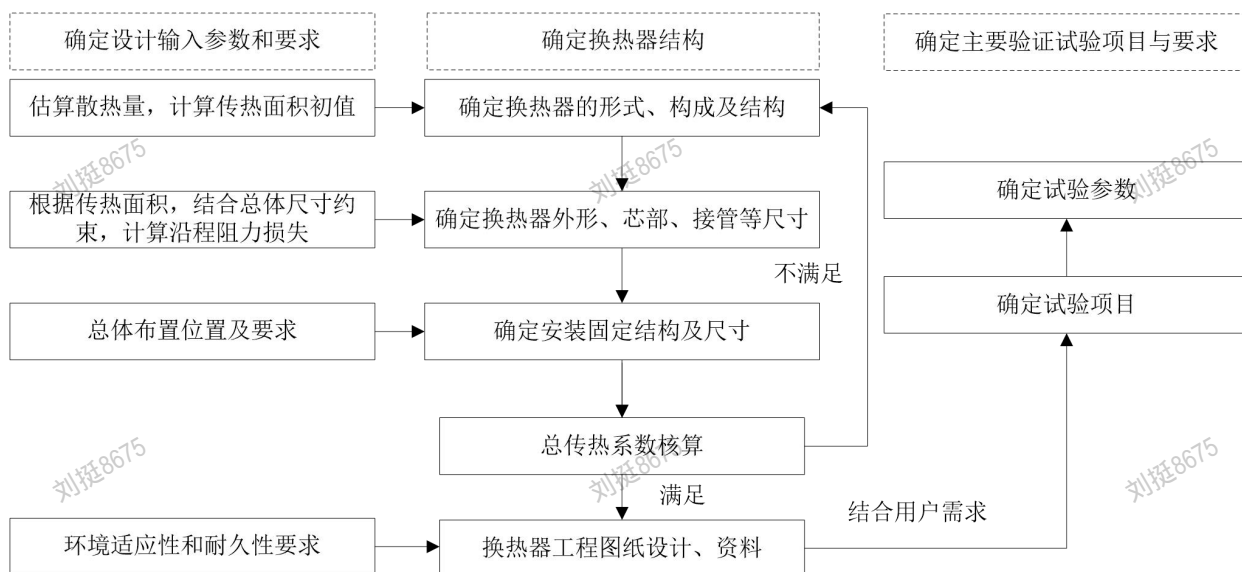
- a) 制造单位名称或厂标；
- b) 产品名称、型号；
- c) 出厂编号或出厂信息。

## 附录 A (资料性)

### 换热器设计流程、参数计算及设计方法

#### A.1 设计流程

换热器设计流程见图 1。



图A.1 换热器设计流程

#### A.2 参数计算

##### A.2.1 水力直径

按公式 (A.1) 进行水力直径计算。

$$D_h = \frac{4l(h-t)(s-t)}{2(h-t)(l+t) + 2l(s-t) + t(s-t)} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$D_h$ —水力直径, 单位为毫米 (mm);

$l$ —翅片长度, 单位为毫米 (mm);

$h$ —翅片高度, 单位为毫米 (mm);

$t$ —翅片厚度, 单位为毫米 (mm);

$s$ —翅片间距, 单位为毫米 (mm);

##### A.2.2 冷侧介质出口温度

按公式 (A.2) 进行冷侧介质出口温度计算。

$$t_{l2} = t_{l1} + \frac{Q}{C_{pl}V_l\gamma_l} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $t_{l2}$ —冷侧介质出口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $t_{l1}$ —冷侧介质进口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $Q$ —换热器总散热量, 单位为千卡每小时 (kcal/h);  
 $C_{pl}$ —冷侧介质定压比热, 单位为千卡每千克摄氏度 (kcal/kg°C), 空气一般取  $C_{pl}=0.24\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ ,  
 冷却水一般取  $C_{pl}=1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ , 机油、传动油、液压油一般取  $C_{pl}=0.5\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ ;  
 $V_l$ —冷侧介质流量, 单位为立方米每小时 (m³/h);  
 $\gamma_l$ —冷侧介质比重, 单位为千克每立方米 (kg/m³)。

### A. 2. 3 热侧介质出口温度

按公式 (A.3) 进行热侧介质出口温度计算。

$$t_{h2} = t_{h1} - \frac{Q}{C_{ph}V_h\gamma_h} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- $t_{h2}$ —热侧介质出口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $t_{h1}$ —热侧介质进口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $Q$ —换热器总散热量, 单位为千卡每小时 (kcal/h);  
 $C_{ph}$ —热侧介质定压比热, 单位为千卡每千克摄氏度 (kcal/kg°C);  
 $V_h$ —热侧介质流量, 单位为立方米每小时 (m³/h);  
 $\gamma_h$ —热侧介质比重, 单位为千克每立方米 (kg/m³)。

### A. 2. 4 对数平均温差

#### a) 顺流和逆流方式

在顺流和逆流方式中按公式 (A.4) 进行对数平均温差计算。

$$\Delta t = \frac{(t_{h1} - t_{l2}) - (t_{h2} - t_{l1})}{\ln \frac{t_{h1} - t_{l2}}{t_{h2} - t_{l1}}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- $\Delta t$ —对数平均温差, 单位为摄氏度 (°C);  
 $t_{h1}$ —热侧介质进口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $t_{l2}$ —冷侧介质出口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $t_{h2}$ —热侧介质出口温度, 单位为摄氏度 (°C);  
 $t_{l1}$ —冷侧介质进口温度, 单位为摄氏度 (°C)。

#### b) 其他流动方式

在其他流动方式中按公式 (A.5) 进行对数平均温差计算。

$$\Delta t = F \times \Delta t_{m \cdot ctf} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$\Delta t$ —对数平均温差, 单位为摄氏度 (°C);

$F$ —温差校正系数;

$\Delta t_{m \cdot ctf}$ —顺流方式的对数平均温差, 单位为摄氏度 (°C)。

#### A. 2. 5 芯部冷侧介质流速

按公式 (A.6) 进行芯部冷侧介质流速计算。

$$u_l = \frac{V_l}{f_l} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$u_l$ —芯部冷侧介质流速, 单位为米每秒 (m/s);

$V_l$ —冷侧介质流量, 单位为立方米每秒 (m³/s);

$f_l$ —换热器芯部冷侧介质有效流通面积, 单位为平方米 (m²)。

#### A. 2. 6 芯部热侧介质流速

按公式 (A.7) 进行芯部热侧介质流速计算。

$$u_h = \frac{V_h}{f_h} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$u_h$ —芯部热侧介质流速, 单位为米每秒 (m/s);

$V_h$ —热侧介质流量, 单位为立方米每秒 (m³/s);

$f_h$ —换热器芯部热侧介质有效流通面积, 单位为平方米 (m²)。

注: 为保证散热器具有较高的传热性能, 冷却水的流速一般控制在 0.8 m/s~1.2 m/s; 润滑油、传动油、液压油的流速一般控制在 0.3 m/s~0.5 m/s。

#### A. 2. 7 传热系数

影响换热器传热系数  $k$  的因素很多, 如换热器芯部结构及制造质量、冷介质的流速、热介质的流速、芯部材料等。因此精确计算  $k$  值很困难, 一般是在专用试验台上用试验方法测定。

#### A. 2. 8 传热面积

按公式 (A.8) 进行传热面积计算。

$$F = \frac{Q}{K \Delta t} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

$F$ —传热面积, 单位为平方米 (m²);

$Q$ —换热器总散热量, 单位为千卡每小时 (kcal/h);

$K$ —传热系数;

$\Delta t$ —对数平均温差, 单位为摄氏度 (°C)。

### A.3 设计方法

#### A.3.1 换热器设计

针对机械传动、液力机械综合传动、混合动力越野车辆，一般包括水和空气换热器、润滑油和水换热器、空气和空气换热器等的设计计算，计算过程中常见流体物理性质数据应按 GB/T 151—2014 附录 D 选取，设计要求如下：

a) 水-空换热器：

换热量偏差应不大于设计值的 $\pm 5\%$ 。台架试验中，实际换热量与计算值偏差超过 $\pm 5\%$ 时，应重新优化翅片参数或流道布局。

b) 油-水换热器设计要求如下：

1) 换热量偏差应不大于设计值的 $\pm 5\%$ 。台架试验中，实际换热量与计算值偏差超过 $\pm 5\%$ 时，需重新优化翅片参数或流道布局；

2) 油侧污垢热阻按 GB/T 151—2014 附录 E 选取，并预留 20%传热面积裕度（考虑长期运行污垢积累及热效率衰减）；

3) 水侧流速应大于等于 1.5 m/s，若流速不足，需增设湍流促进结构（如波纹板）。

c) 空-空换热器设计要求如下：

1) 换热量偏差应不大于设计值的 $\pm 5\%$ 。台架试验中，实际换热量与计算值偏差超过 $\pm 5\%$ 时，需重新优化翅片参数或流道布局；

2) 流道设计避免气流短路，采用导流片或多孔板优化气流分布，确保各通道风速均匀性偏差不大于 15%；

3) 翅片参数设计：翅片高度 H 与间距 S 比应不大于 8，以平衡传热效率与压降；

4) 空气侧压降应不大于设计值的 120%。

#### A.3.2 接管设计

应根据进、出换热器冷却介质的流量、流速要求确定接管内径，根据换热器工作压力确定接管壁厚，根据空间位置尺寸以及输入、输出装置的接口要求，确定接管的连接结构形式。

## 附录 B (规范性) 换热器试验方法

### B.1 室温密封性试验

室温下密封性试验的检测方法分为湿检和干检：

- a) 湿检：在湿式密封性试验台上，向沉没在水槽内的换热器内部通以压缩空气，换热器通以工作压力1.3倍的压缩空气，保压时间为60s；
- b) 干检：在干式密封性试验台上，向换热器内部通以工作压力1.3倍的压缩空气，保压时间为120s。按式B.1换算为渗漏量，渗漏量值应不大于用户规定值。

$$F = 0.0006 \times V \times (\Delta P / \Delta T) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$F$ —渗漏量，单位为立方厘米每分钟（ $\text{cm}^3/\text{min}$ ）；

$V$ —换热器和测量回路总容积，单位为立方厘米（ $\text{cm}^3$ ）；

$\Delta P / \Delta T$ —压力损失，单位为帕斯卡每秒（ $\text{Pa/s}$ ）。

注：当上述两种方式检测结论不一致时，优先采用湿检。

### B.2 低温密封性试验

低温密封性试验步骤如下：

- a) 换热器内部注入冰点为 $-45^\circ\text{C}$ 的防冻液，将换热器按实车状态放置于 $-40^\circ\text{C}$ 的低温箱内，12h后取出；
- b) 10min内放空冷却液，在湿式密封性试验台上，向水槽中的换热器内部通入0.4倍工作压力的压缩空气，保压60s；
- c) 检查换热器内部是否出现肉眼可见的气泡。

注：此试验适用于带有塑料或橡胶制品的换热器。

### B.3 换热性能试验

#### B.3.1 试验条件

B.3.1.1 试验在室温环境下进行。

B.3.1.2 试验前先测出风筒的速度场系数，试验时只测中心风速。

B.3.1.3 试验前开启加温装置、水泵、风机，并调节风速、水流量，当进水温度达到规定值时，排出水路中的气体后进行试验测试。

B.3.1.4 试验时上下水室、循环水路及换热器前后风筒接口位置不得泄露。

B.3.1.5 测试数据包括：冷却介质进出口温度、冷却介质流量、热侧介质进出口温度、热侧介质流量、冷却介质阻力、热侧介质阻力、大气压力、湿度及室温。

#### B.3.2 换热性能试验

换热性能试验步骤如下：

- a) 冷热介质总温差定位 $60^\circ\text{C}$ ，总温差可在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内变动。试验过程中各试验点的热介质进口温度波动不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- b) 确定最大热介质流量为额定流量的120%，在此范围内选取5个流量作为工况点；
- c) 确定最大冷介质流量为额定流量的120%，在此范围内选取5个流量作为工况点；

d) 按照B.3.2 b) 规定的一个稳定流量工况点, 根据B.3.2 c) 要求逐点变更流量, 待热工况稳定后测定各参数, 然后在更换至另一热介质工况点, 按顺序变更流量, 待热工况稳定后测定各参数;

e) 每个工况点必须至少测定三次, 其中三次测出的热侧进出口温差不能大于0.1℃, 否则重新进行试验。

### B.3.3 阻力性能试验

阻力性能试验步骤如下:

a) 热介质阻力试验测试: 按B.3.2 a) 项规定控制冷介质进口温度, 冷介质流量为额定值。

按B.3.2 b) 项规定依次变更热介质流量, 测取各工况点的热介质阻力值;

b) 冷介质阻力试验测试: 按B.3.2 a) 项规定控制热介质进口温度, 热介质流量为额定值。

按B.3.2 c) 项规定依次变更冷介质流量, 测取各工况点的冷介质阻力值。

### B.4 振动性能试验

B.4.1 振动性能试验在振动试验台上进行, 该振动试验台应能实现正弦波振动。

B.4.2 将换热器内部注满常温工作介质后密封, 按使用时的安装方式将换热器固定。加速度传感器固定在振动台的底盘上面。

B.4.3 按照表B.1规定的频率、加速度、振动方向和次数进行振动, 对试件进行冲击后的功能检查。

表B.1 振动性能试验条件

适用车型	频率, Hz	加速度, $\text{m/s}^2$	振动方向	次数
商用越野车	23	$\pm 30$	垂直, 前后, 左右	每个方向 $1.5 \times 10^6$
军用越野车	26	$\pm 35$	垂直, 前后, 左右	

### B.5 冲击性能试验

#### B.5.1 试验条件

冲击性能试验条件如下:

a) 冲击性能试验在冲击试验台上进行;

b) 试验在室温环境下进行;

b) 将换热器内部注满常温工作介质后密封, 按使用时的安装方式将换热器固定。加速度传感器固定在振动台的底盘上面;

c) 对试件进行冲击前的功能检查。

#### B.5.2 试验步骤

冲击性能试验步骤如下:

a) 对试件施加最小峰值为20Hz的冲击激励, 冲击持续时间11ms;

b) 在每一正交轴上重复a) 10次;

c) 对试件进行冲击后的功能检查。

### B.6 沙尘试验

#### B.6.1 试验条件

B.6.1.1 砂尘试验的环境温度为  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （室内温度），试验箱的相对湿度不超过 30%。除换热器在现场使用中更大的风速外，砂尘试验的风速应为  $18\text{m/s} \sim 29\text{m/s}$ 。

注：保证沙粒以  $18\text{m/s} \sim 29\text{m/s}$  的速度碰撞试件，沙注入口到试件需保持约 3m 的距离。能保证沙粒可以获得必需的碰撞速度，则采用更短的距离。

B.6.1.2 砂尘试验采用石英砂（至少 95% 的重量为  $\text{SiO}_2$ ）。砂粒尺寸一般分布在  $150\mu\text{m} \sim 850\mu\text{m}$  之间，有  $90\% \pm 5\%$  重量的砂粒尺寸大于  $149\mu\text{m}$  小于  $600\mu\text{m}$ ，至少有 5% 重量的砂粒尺寸不小于  $600\mu\text{m}$ ，砂尘浓度为  $0.18^{+0.2}_0 \text{g} / \text{m}^3$ 。

## B.6.2 试验步骤

砂尘试验步骤如下：

- a) 将试件内充满额定工作温度的水；
- b) 试件安装在距砂注入点要求的距离处，按技术文件调节风速；
- c) 调节供砂器，以得到规定的砂浓度或由试验前校准所确定的砂的重量流量；
- d) 试验持续时间为 90min，在试验期间应保持 a) ~ c) 的条件。

## B.7 耐高温性能试验

B.7.1 耐高温性能试验在专用试验装置上进行。

B.7.2 将换热器内部通入 1.2 倍最大设计温度的水，并施加 1.2 倍的工作压力，在  $90^{\circ}\text{C}$  的环境温度下进行 100h 耐高温试验。

## B.8 低气压（高度）试验

B.8.1 低气压（高度）试验在专用实验装置上进行。

B.8.2 将换热器内部通入 1.2 倍最大设计温度的工作介质，并施加 1.2 倍的工作压力，外部环境压力值按最大高度 4570m 来确定（对应的大气压力为 57kpa），在此环境压力下进行 100h 低气压（高度）试验。

## B.9 腐蚀性能试验

### B.9.1 内部腐蚀性能试验

B.9.1.1 试验在室温环境下进行。

B.9.1.2 内部腐蚀性能试验在专用实验装置上进行。

B.9.1.3 试验用混合溶液要求如下：

- a) 试验用混合溶液由 40% 的防冻液和 60% ASTM 溶液组成（体积比）；

注1：防冻液：45% 的乙二醇防冻液，凝点  $-12^{\circ}\text{C}$ 。

注2：ASTM 溶液：由 1L 蒸馏水与 148mg 的硫酸钠、165mg 的氯化钠和 138mg 的碳酸氢钠配置。

- b) 混合溶液温度为  $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；

- c) 混合溶液流量按最大设计流量的 0.3~0.5 倍。

B.9.1.4 按照 B.9.1.2 规定的温度和流量运行 72h，停机静置 8h 为一个循环，共计进行 14 个循环。

注：停机期间进行溶液 pH 值检查和补液，溶液检查分为 pH 值检查和外观检查，试验过程中不应出现  $\pm 1$  以上的 pH 值变化。

### B.9.2 外部腐蚀性能试验

按 QC/T 468 中的规定执行。

## B.10 腔内压力脉冲试验

- B. 10. 1 将换热器置于常温环境中，内部通以50%乙二醇和50%水的混合液，混合液温度为 $120^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- B. 10. 2 将混合液的压力从30kpa 上升到1.3 倍工作压力，保压3s~5s 后再回到30kPa 为一个压力循环，循环时间为6s~10s，循环次数为 $5 \times 10^4$ 。

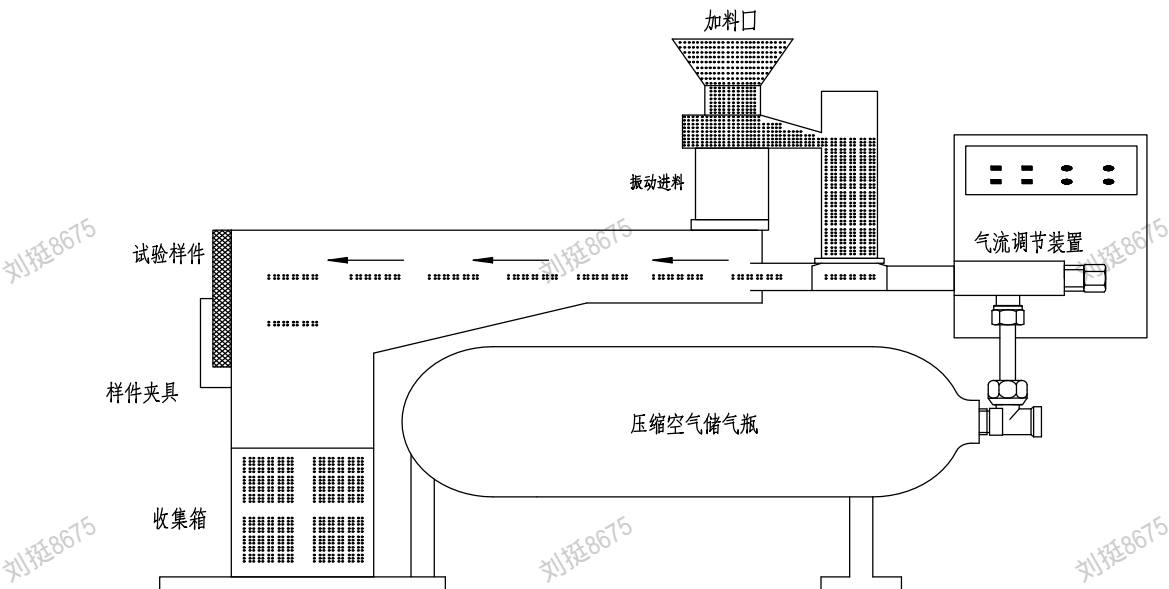
B. 11 高低温冲击试验

按GB/T 2423. 22—2012中第7章的规定执行。

B. 12 耐碎石冲击性能试验

B. 12. 1 试验条件

- B. 12. 1. 1 试验在室温环境下进行。
- B. 12. 1. 2 耐碎石冲击性能检测在专用试验装置上进行,试验装置示意图见图 B. 1。
- B. 12. 1. 3 试验对象为换热器芯体部分，喷射钢丸硬度61HRC~65HRC，直径3.55mm~5mm。
- B. 12. 1. 4 喷丸重量、喷射时间、喷射角度、喷射压力及喷射距离见图表 B. 2。



图B. 1 耐碎石冲击性能试验专用装置示意图

表B. 2 耐碎石冲击性能试验条件

喷丸方式	喷射角度 (度)	喷丸重量 (g)	喷射时间 (S)	喷射压力 (kPa)	喷射距离 (mm)
单次冲击	90 (或根据装车使用工况)	$500 \pm 1$	$10 \pm 1$	$100 \pm 5$	100

B. 12. 2 试验步骤

耐碎石冲击性能试验步骤如下：

- 按照表 B. 2 规定的试验参数对换热器芯体部分进行钢丸冲击；
- 重复 a) 3 次；
- 对试件进行耐碎石冲击试验后的功能检查。

#### 参考文献

- [1] GB/T 3880.1 一般工业用铝及铝合金板、带材 第1部分：一般要求. 北京：中国标准出版社，2012；
- [2] GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管 第1部分：无缝圆管. 北京：中国标准出版社，2015；
- [3] GB/T 6893 铝及铝合金拉（轧）制管材. 北京：中国标准出版社，2010；
- [4] YS/T 69—2005 钎焊用铝合金复合板. 北京：中国标准出版社，2005。