|  |  |
| --- | --- |
| ICS  | 77.160 |
| CCS  | H 16 |

|  |
| --- |
| YS |

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T XXXXX—XXXX

铜及铜合金管传热系数及阻力特性试验方法

Experimental method for the thermal-hydraulic performance of copper and copper alloys tube

（本草案完成时间：2022.6.23）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中华人民共和国工业和信息化部  发布

1. 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。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

**铜及铜合金管传热系数及阻力特性试验方法**

**1范围**

本文件规定了铜及铜合金无缝内螺纹铜管和翅片管表面传热系数和阻力特性的试验方法，包括测试系统、测量方法、样品、测试条件及试验步骤、试验数据处理、测试结果和试验报告内容。

本文件适用于各种型式热交换器用铜及铜合金无缝内螺纹铜管和翅片管的表面传热系数和阻力特性的检测。铝管、不锈钢管、钛管等其他金属材料管材的表面传热系数和阻力特性的检测，可参照本文件进行。

**2规范性引用文件**

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。 凡是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 20928-2020《无缝内螺纹铜管》

GB/T 23130-2008《房间空调器用热交换器》

GB/T 4132 绝热材料及相关术语

GB 151 管壳式换热器

**3术语和定义**

下列术语和定义适用于本文件。

**3.1**

**换热量 heat transfer**

一定长度被测管的管内外存在温差时，单位时间内由导热、对流方式通过该管所传递的热量。

**3.2**

**压降 pressure drop**

制冷剂在被测管中流动时，由于能量损失而引起的[压力](https://baike.baidu.com/item/%E5%8E%8B%E5%8A%9B)降低。

**3.3**

**热流密度 heat flux**

垂直于热流方向的单位面积热流量。

**3.4**

**传热系数 heat transfer coefficient**

稳定状态下的热流密度除以被测物体两侧环境的温度差。

**4测试系统**

**4.1原理及测试装置和试剂**

**4.1.1内螺纹单管测试原理及测试装置**

内螺纹单管采用蒸汽压缩式制冷系统，包含压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器，用管道将它们连接成一个密封系统。试验部分由套管式换热器构成，待测试管为其内管。内管为制冷剂，外套管内为水介质，两者逆向流动。通过测量水侧和制冷剂侧进出口相关参数（流量、温度、压力等）。可确定试验段部分总的传热系数，通过热阻分析，可获得测试条件下，待测试管管内表面传热系数。试验系统见图1所示。

通过测量制冷剂流过待测试管的进出口压力降可获得测试条件下的流体流动阻力特性。



说明：

1. --温度；
2. --压力；

DP---压力；

G ---流量。

图1 蒸汽压缩式制冷试验系统示意图

**4.1.2翅片管测试原理及测试装置**

翅片管的测试采用池沸腾传热试验系统。在热平衡允许的范围内，流经翅片管内的流体换热量等于翅片管外的换热量。通过测量流经翅片管内的液体流量与进出口温度，计算得到流体换热量，即得出翅片管对外的传热量。与此同时，保持特定的饱和温度不变，测得翅片管外制冷剂的饱和温度，就可以计算出对数温差，于是求得总传热系数；当流体流经翅片管内时，需要克服阻力，造成流体的压力损失，不同型号的翅片管内阻力不同，通过测量制冷剂流过待测试管的进出口压力降可获得测试工况下的流体流动阻力特性。

试验系统装置由试验腔体、被测翅片管、热源系统、冷源系统、测量仪器仪表、信号采集系统等组成，见图2所示。



标引序号说明：

1. ----测试腔体；
2. ----排液阀；
3. ----恒温热水箱；
4. ----恒温冷却水箱；
5. ----热水循环泵；
6. ----冷却水循环泵；
7. ----充注制冷剂入口；
8. ----流量计；
9. ----温度计；
10. ----压力表。

T1-----制冷剂液相温度计

T2-----制冷剂气相温度计

T3-----蒸发管进口温度计

T4-----蒸发管出口温度计

T5-----冷凝管出口温度计

T6-----冷凝管进口温度计

T7-----热水箱温度计

T8-----冷却水温度计

F1-----蒸发管流量计

F2-----冷凝管流量计

P1-----压力表

图2 池沸腾传热试验系统示意图

**4.1.3试剂**

**4.1.3.1**制冷剂：R22，R32，R134a，R123，R410a和R407C等；纯净水。

**4.1.3.2**本文件推荐内螺纹管采用R22制冷剂，翅片管采用R134a 制冷剂。

**4.2测量仪表**

4.2.1测量仪表及准确度等级应符合表1规定。

表1 测量仪表及准确度等级

|  |  |
| --- | --- |
| 测量仪表 | 准确度等级（或分辨率） |
| 制冷剂温度计 | ±0.1℃ |
| 制冷剂压力计 | ±0.04% |
| 制冷剂流量计 | ±0.5% |
| 被测管差压计 | ±0.065% |
| 水温度计 | ±0.1℃ |
| 水流量计 | ±0.5% |
| 注：表中所列仪表是最低限度的要求，并不限制使用其他同等或更髙准确度等级(或精度)的测量仪表。 |

4.2.2仪表检定：流量、温度、压力测量仪表，均应按有关规定送法定计量部门检定，并限定在有效期内使用。

**5 测量仪表的**安装

**5.1流量测量**计

5.1.1制冷剂流量计和水流量计应按其使用说明书的规定进行安装，如果流量是波动的，应采用积分式流量计。

5.1.2测定制冷剂流量时如果使用体积流量计， 制冷剂应充分过冷， 防止产生任何散发气体而导致测量的不准确。因此， 流量计的前后均应安装一个视镜。

5.1.3推荐采用液体流量计测量。

**5.2温度测量**计

5.2.1测量元件的感温点应位于管道中心， 其保护管的插入温度应满足温度计使用说明书的规定。

5.2.2测温元件应设置在被测管入口和出口处，膨胀阀前，且流量计后， 测温点的上游（ 进口） 、下游（ 出口）各600 mm 范围内应保温。

5.2.3管路中液体流动出现层流时，温度测量探头安装处的上游应安装混合装置。

**5.3压力测量**计

制冷剂压力计的测压接口应设置在管路中以下各处：

a) 被测管入口管接头的上游5 倍～10 倍管内径距离处；

b) 被测管出口管接头的下游5 倍～10 倍管内径距离处；

c) 膨胀阀前6 倍～15 倍管内径距离处， 同时距其上游管接头至少10 倍的管内径距离。

**5.4**被测管差压计

被测管差压计按如下安装：

a )压力测量应设置在扰动件（弯径、弯头、阀门等）下游5倍管内径、上游2倍管内径处；

b )测压孔应与管内壁面垂直；

c ) 压力测量处至测试管之间不应有任何扰动件。

**6样品**

待测试管应符合如下要求：

a ) 待测试管表面和管内都应洁净，不应有针孔、裂纹、起皮、气泡、夹杂物、绿锈和粗拉道等；

b ) 待测试管不应有变形、划伤、凹坑、压痕和斑点等缺陷；

c ) 允许待测试管有轻微的矫直和车削痕迹、环状痕迹、细划纹、氧化色、发暗、水迹等存在；

d ) 待测试管端部应锯切平整，允许有轻微的毛刺。

e ) 待测试管应包括规格、基本参数、检验项目、送检日期及送检人、制造日期和制造商名称。

**7测试条件及试验步骤**

**7.1内螺纹管**

7.1.1测量套管换热器内径，单位为米。

7.1.2测量待测试管外径D和长度L，单位为米，计算测试铜管的外表面积，计算公式为：A外=πDＬ。

7.1.3将待测试管安装在指定位置，冷凝管在压缩机出口和膨胀阀进口处；蒸发管在膨胀阀出口和压缩机进口处。

7.1.4待测试管安装为水平状态。

7.1.5水和制冷剂管路系统及试件（管）全长范围内均应保温。

7.1.6向待测试管注入制冷剂，外套管内注入纯净水，使两者逆向流动。

7.1.7每个流量点至少采集5组数据。

7.1.8试验参数及试验条件见表2。

7.1.9试验条件各参数的读数允许差应符合表3的规定。

表2 内螺纹管的试验参数及试验条件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 试验参数 | 单位 | 试验条件 |
| 蒸发管 | 制冷剂侧 | 入口干度 | — | 0.15～0.25 |
| 出口压力对应的饱和温度 | ℃ | 6 |
| 出口过热度 | ℃ | 8 |
| 被测段差压 | KPa | 0～100 |
| 制冷剂质量流速 | kg/m2·s | 50～600 |
| 冷凝管 | 制冷剂侧 | 入口过热度 | ℃ | 20 |
| 入口压力对应的饱和温度 | ℃ | 45 |
| 出口过冷度 | ℃ | 5 |
| 被测段差压 | KPa | 0～100 |
| 制冷剂质量流速 | kg/m2·s | 50～600 |

表3 内螺纹管的试验参数的读数允许差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 试验参数 | 单位 | 蒸发管 | 冷凝管 |
| 进口水温 | ℃ | ±0.1 | ±0.1 |
| 出口水温 | ℃ | ±0.1 | ±0.1 |
| 水流量 | % | ±0.5~~%~~ | ±0.5~~%~~ |
| 入口制冷剂温度 | ℃ | — | ±0.1 |
| 出口制冷剂温度 | ℃ | ±0.1 | ±0.1 |
| 蒸发压力 | KPa | ±10 | — |
| 冷凝压力 | KPa | — | ±10 |
| 入口干度 | — | ±0.005 | — |
| 制冷剂流量 | % | ±0.5~~%~~ | ±0.5~~%~~ |
| 被测段差压 | % | ±0.065~~%~~ | ±0.065~~%~~ |

**7.2外翅片管**

7.2.1待测试管的安装按如下进行：

a )待测试管应保证水平放置，蒸发管管外应完全浸入制冷剂液面以下，不应裸露。冷凝管应保证在液面以上，在试验过程中，不应有制冷剂飞溅到冷凝管上。

b )保证试验腔体密封，先对试验腔体抽真空处理，保证试验腔体没有其它液体或气体存在，然后再充注试验所需制冷剂液体，使试验腔和管路设备在完全充满制冷剂液体和蒸汽的条件下运行，不应混有不凝气体。

7.2.2 试验的进行

试验的每个参数，应等待系统稳定以后方可记录数据。每组数据记录应不低于5个，求其平均值。

7.2.3 试验参数及试验条件见表4。

7.2.4试验条件各参数的读数允许差应符合表5的规定。

表4 外翅片管的试验参数及试验条件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 试验参数 | 单位 | 试验条件 |
| 蒸发管 | 制冷剂饱和温度 | ℃ | 6 |
| 水侧出口温度 | ℃ | 7 |
| 水侧流速 | m/s | 1～3.5 |
| 压降 | KPa | -- |
| 冷凝管 | 制冷剂饱和温度 | ℃ | 36 |
| 水侧出口温度 | ℃ | 35 |
| 水侧流速 | m/s | 1～3.5 |
| 压降 | KPa | -- |

表5 外翅片管的试验参数的读数允许差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 试验参数 | 单位 | 蒸发管 | 冷凝管 |
| 出口水温 | ℃ | ±0.1 | ±0.1 |
| 水流速 | m/s | — | — |
| 制冷剂温度 | ℃ | ±0.1 | ±0.1 |
| 被测段差压 | % | ±0.065% | ±0.065% |

**8试验数据处理**

**8.1内螺纹管**

**8.1.1测定数据计算过程所用公式**

8.1.1.1总传热系数的计算：

 ----------------(8.1)

式中：

K－测试管的总传热系数，单位为瓦每平方米开尔文(W/(㎡.K));

A－测试管外表面积，单位平方米（m2）;

∆t－对数平均温差，单位为开尔文(K);

Q－总换热量，单位为瓦(W); 当热平衡误差在5%以内时， ，

 ,其中cp为水的定压比热，当水温在0～230℃时，

cp=4.179×103+7.9×10-5×（t-10）2.9；，其中，mr为冷媒的流量，∆h为冷媒的进出口焓差。

注：可从NIST物性表查询。

8.1.1.2水侧传热系数的计算：

 ----------------(8.2)

式中:

hw－水侧的传热系数，单位为瓦每平方米开尔文(W/(㎡.K));

d－当量直径，单位为米(m)；

λw－某温度下水的导热系数，单位为瓦每米开尔文(W/(m.K))，可从NIST物性表查询；

Re－雷诺数，无纲量数；

Pr－普朗特数，无纲量数；

n－冷凝时n=0.4,蒸发时n=0.3，试验时需保证Re≥10000。

注：Re、Pr可从高等教育出版社出版《传热学》（第四版，作者：杨世铭 陶文铨）查询。

8.1.1.3管内表面传热系数的计算：

-----------(8.3)

式中：

h－测试管的管内表面传热系数，单位为瓦每平方米开尔文(W/(㎡.K));

d1－换热器内径，单位为米(m);

d0－测试管的外径，单位为米 (m);

λcu－铜的导热系数，取值为398，单位为瓦每米开尔文(W/(m.K))。

8.1.1.4制冷剂单位长度压降计算：

 ---------------(8.4)

式中：

∆Pl－被测管单位长度压降，单位为千帕每米（KPa/m）；

∆P－被测管总压降，单位为，单位为千帕（KPa）。

L－被测管管长，单位为米(m)。

8.1.1.5制冷剂质量流速计算：

 ---------------(8.5)

式中：

Gr－制冷剂质量流速，单位为千克每平方米小时（kg/m2·s）；

d－测试管的外径，单位为米 (m)；

Mr－制冷剂质量流量，单位为千克每小时（Kg/h）；

M－米克重，单位为克每米（g/m）；

－测试管的密度，单位为克每立方厘米(g/cm³)；

**8.2翅片管**

翅片管的测定数据计算过程所用公式见表6。

表6 翅片管测定数据的计算公式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 试验参数 | 计算公式 |
| 1 | 管内流速（v） | v=G/Ai |
| 2 | 换热量（Q） | Q=CP · G •ρ ( tin - tout ) |
| 3 | 热平衡误差（ΔQ） | ΔQ = ( Qe- QC ) / Qe× 100% |
| 4 | 对数平均温差（ΔTm） | ΔTm = ( tin - tout ) / ln [( ts– tout) / ( ts- tin )] |
| 5 | 热流密度（q） | q = Q / A |
| 6 | 总传热系数（k） | k = Qe / ( A •Δtm ) |
| 7 | 摩擦阻力系数（f） | f = - (ΔPdi ) / (L •ρv2 / 2) |

表7 计算公式中的符号和单位

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 符号 | 物理量 | 单位 |
| 1 | v | 管内流速 | 米每秒（m/s） |
| 2 | G | 体积流量 | 立方米每秒（m3**/**s） |
| 3 | Ai | 翅片管内标称管径下横截面积 | 平方米（m2） |
| 4 | Q | 换热量 | 瓦（W） |
| 5 | CP | 定压比热 | 焦每千克开尔（J/(kg·K） |
| 6 | ρ | 密度 | 千克每立方米（kg/m3） |
| 7 | tin  | 测试管进口温度 | 摄氏度（℃） |
| 8 | tout | 测试管出口温度 | 摄氏度（℃） |
| 9 | ΔQ | 热平衡偏差 | 无量纲 |
| 10 | Qe | 蒸发换热量 | 瓦（W） |
| 11 | Qc | 冷凝换热量 | 瓦（W） |
| 12 | ΔTm | 对数平均温差 | 摄氏度（℃） |
| 13 | ts | 制冷剂饱和温度 | 摄氏度（℃） |
| 14 | q | 热流密度 | 瓦每平方米（W/m2） |
| 15 | A | 测试管未加工翅片前坯管表面积 | 平方米（m2） |
| 16 | k | 总传热系数 | 瓦每平方米开尔文W/( m2·K) |
| 17 | f | 摩擦阻力系数 | - |
| 18 | ΔP | 水侧压降 | Pa |
| 19 | di | 传热管内径 | m |
| 20 | L | 测试传热管强化段长度 | m |

**9测试结果**

**9.1内螺纹管**

9.1.1绘出管内表面传热系数h与制冷剂质量流速Gr之间的关系曲线。

9.1.2绘出制冷剂单位长度压降与制冷剂质量流速Gr的关系曲线。

**9.2外翅片管**

9.2.1热工性能

确定被测管在特定饱和温度下总传热系数k与流速v之间的关系。

9.2.2流动阻力特性

a)确定被测管压力差Δp与管内流速v之间的关系。

b)可根据a)推算出被测管内流动摩擦阻力系数f与雷诺数Re的关系式。建议整理成f=CfRe-n的形式。

**10检测报告**

**10.1内螺纹管**

检测报告应包括以下内容：

a)委托单位、地址；

b)样品规格和制冷剂种类；

c)检测依据、检测设备、检测项目、检测时间、测试工况，以及报告日期；

d)检测结果：管内表面传热系数和压降曲线、测试数据的处理和计算方法；

e)结论及分析；

f)检测人、审核人、批准人签名；

g)检测单位名称。

**10.2 外翅片管**

10.2.1委托单位、地址；

10.2.2 测试单位

10.2.3 被测管的技术数据

10.2.3.1被测管材质和制作方法以及测试管的管型和几何尺寸，包括内径、外径、长度。

10.2.3.2 测定仪器、仪表、传感器及其精度。

10.2.3.3环境条件

10.2.4测定时间及人员

10.2.5测定数据的处理

10.2.5.1 原始数据

a ) 管内、外流体的名称及管内流体的流速；

b ) 管内流体的进、出口温度和管外流体的温度；

c ) 管内流体的进、出口压力或压差；

d ) 试验腔体压力；

10.2.5.2计算方法见表6，符号和说明见表7。

10.2.6 结果及分析

10.2.6.1 热工性能确定。

10.2.6.2流体阻力特性确定。

10.2.6.3 对测定结果进行误差分析，结果分析及必要说明。

10.2.7 附录

附录宜包括以下内容：

a ) 测试数据表；

b ) 测试结果表；

c ) 测试系统表；

d ) 测试曲线。

**参考文献**

1. 陶文铨.传热学(第五版).北京：高等教育出版社，2019.7
2. 高等教育出版社出版《传热学》（第四版，作者：杨世铭 陶文铨）
3. NIST物性表

