

ICS 27.200

J 73

备案号: 15665—2005



中华人民共和国机械行业标准

JB/T 10503—2005

空调与制冷用高效换热管

Specification for high performance tubes for air conditioning
and refrigeration field service

2005-03-19 发布

2005-09-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 型式与基本参数	2
5 技术要求	5
5.1 一般要求	5
5.2 传热强化系数 C	5
5.3 材料	5
5.4 化学成分	5
5.5 许用应力	5
5.6 高效管供货状态	5
5.7 退火状态下的晶粒度要求	5
5.8 力学性能要求	5
5.9 工艺性要求	6
5.10 涡流探伤要求	6
5.11 气密性要求	6
5.12 耐压要求	6
5.13 尺寸公差要求	6
5.14 清洁度要求	7
5.15 外观	7
6 试验方法	7
6.1 仪器仪表	7
6.2 传热性能试验	7
6.3 化学成分分析	7
6.4 晶粒度测定	7
6.5 内应力试验	7
6.6 力学性能试验	7
6.7 工艺性能试验	7
6.8 涡流探伤试验	7
6.9 气密性试验	7
6.10 耐压试验	7
6.11 尺寸检验	7
6.12 清洁度检验	8
6.13 外观检验	8
7 检验规则	8
7.1 一般要求	8
7.2 检验分类	8

7.3 检验项目	8
7.4 检验合格判定	9
8 标志、包装、运输和贮存、质量合格证明书	9
8.1 标志	9
8.2 包装	9
8.3 运输和贮存	9
8.4 质量合格证明书	9
附录 A (资料性附录) 高效管型号编制 (一)	10
A.1 高效管型号编制方法	10
A.2 高效管的类型代号	10
A.3 主参数规定	10
附录 B (资料性附录) 高效管型号编制 (二)	11
B.1 高效管的型号组成	11
B.2 高效管的代号	11
B.3 管内壁型式	11
B.4 材料编号	12
B.5 型号示例	12
附录 C (规范性附录) 单管传热性能试验方法	12
C.1 适用范围	12
C.2 一般规定	12
C.3 试验装置	12
C.4 试验	13
C.5 传热系数的计算	14
C.6 符号及单位	15
图 1 内表面强化型高效管示意图	2
图 2 外表面强化型高效管示意图	2
图 3 内外表面强化型高效管示意图	3
图 4 高效管外表面示意图	3
图 5 花形管示意图	3
图 6 螺形管示意图	3
图 C.1 管外蒸发试验原理图	12
图 C.2 管外冷凝试验原理图	13
图 C.3 管内蒸发试验原理图	13
图 C.4 管内冷凝试验原理图	13
表 1 高效管基本参数	4
表 2 高效管单管传热性能试验名义工况	4
表 3 高效管坯管材料牌号和状态	5
表 4 力学性能要求	5
表 5 钻孔直径	6
表 6 外径允许偏差	6
表 7 长度允许偏差	6
表 8 弯曲度允许偏差	7
表 9 检验项目	8

表 B.1	高效管管型识别代号.....	11
表 B.2	高效管管内壁型式代号.....	11
表 B.3	材料编号对照表.....	12
表 C.1	仪器仪表的型式及精度或准确度.....	14
表 C.2	试验工况参数的允差.....	14
表 C.3	公式中符号的意义及单位.....	16

前 言

本标准是首次制定。

本标准的主要技术要求非等效采用了美国 ASTM B359M—2002《带整体翅片的铜和铜合金无缝冷凝器及热交换器用管的标准规范》。

本标准的附录 A、附录 B 是资料性附录，附录 C 是规范性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国冷冻空调设备标准化委员会（SAC/TC238）归口。

本标准由全国冷冻空调设备标准化技术委员会解释。

本标准负责起草单位：高克联管件（上海）有限公司、合肥通用机械研究所、石家庄昌达高效管件有限公司。

本标准主要起草人：罗忠、徐学军、李云福、张国海、李波。

空调与制冷用高效换热管

1 范围

本标准规定了空调与制冷用铜和铜合金高效换热管（以下简称“高效管”）的术语和定义、型式与基本参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、质量合格证明书等。

本标准适用于制冷空调行业蒸发器、冷凝器以及其他换热器（如发生器、吸收器、油冷却器等）用高效管。材料为钛、不锈钢的高效管可参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 151—1999 管壳式换热器
- GB/T 228—2002 金属材料拉伸试验方法
- GB/T 241—1990 金属管 液压试验方法
- GB/T 242—1997 金属管 扩口试验方法
- GB/T 246—1997 金属管 压扁试验方法
- GB/T 5121.1~5121.23—1996 铜及铜合金化学分析方法
- GB/T 5231—2001 加工铜—化学成分和产品形状
- GB/T 5248—1998 铜和铜合金无缝管涡流探伤方法
- GB/T 8000—2001 热交换器用黄铜管残余应力检验方法 氨熏试验法
- GB/T 8888—2003 重有色金属加工产品的包装、标志、运输和贮存
- GB/T 8890—1998 热交换器用铜合金管
- GB/T 17791—1999 空调与制冷用无缝铜管
- JB/T 7249—1994 制冷设备术语
- YS/T 347—1994 单相铜合金晶粒度

3 术语和定义

JB/T 7249 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

高效换热管 high performance tube

高效换热管是指在普通光滑管基础上利用专用设备进行加工，并使光滑管内/外表面或内外表面同时形成各种整体翅或其他复杂表面，从而使表面积扩大和传热效果得以强化的换热管。本标准所指高效管一般两端都应带有光管段。

3.2

基本尺寸 main dimension

3.2.1

外径 outside diameter

高效管两端光管段的外壁名义直径 D_0 ，单位为 mm。

3.2.2

光管段壁厚 plain end wall

高效管的光管段的平均壁厚 T_0 ，单位为 mm。

3.2.3

成翅段壁厚 nominal wall

高效管的翅根部的平均壁厚 t_0 ，单位为 mm。

3.2.4

最小壁厚 min. wall thickness

高效管翅根部任一点壁厚所允许的最小值 $t_{\min}$ ，单位为 mm。

3.3

坯管 raw stock

各种高效管加工采用的原材料管。

3.4

成翅状态 as finned temper

坯管通过加工形成高效管未经热处理对应的状态。

3.5

传热强化系数, heat transfer enhancement coefficient

在名义工况下，高效管的传热系数除以加工前坯管的传热系数的商，无量纲，用 C 表示。

4 型式与基本参数

4.1 高效管按结构型式分为：

a) 内表面强化型高效管（见图 1）；

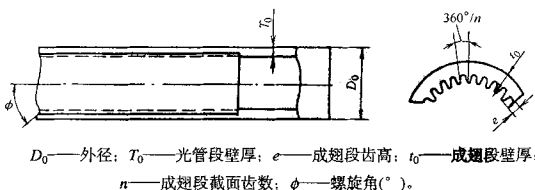


图 1 内表面强化型高效管示意图

b) 外表面强化型高效管（见图 2、图 4）；

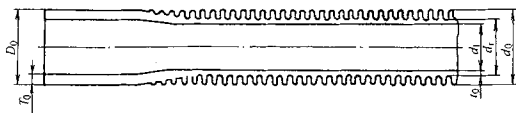
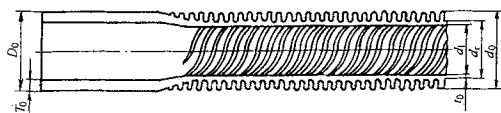


图 2 外表面强化型高效管示意图

c) 内外表面强化型高效管 (见图 3、图 4);



D_0 ——外径; T_0 ——光管段壁厚; d_0 ——成翅段翅顶外径; t_0 ——成翅段壁厚;
 d_r ——翅根直径; d_1 ——成翅段内径。

图 3 内外表面强化型高效管示意图

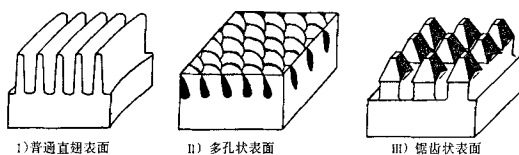
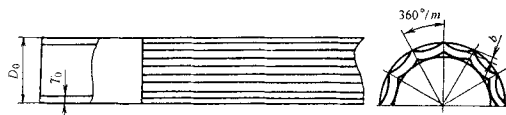


图 4 高效管外表面示意图

d) 其他类高效管 (见图 5、图 6)。



D_0 ——外径; T_0 ——光管段壁厚; m ——成翅段截面槽数; b ——弧高。

图 5 花形管示意图



D_0 ——外径; T_0 ——光管段壁厚; d_1 ——成翅段截面内径;
 d_0 ——螺旋形顶部外径; s ——节距。

图 6 螺旋管示意图

4.2 基本参数

4.2.1 高效管基本参数按表 1 的规定。

表 1 高效管基本参数

项 目		单位	基 本 参 数			
			内表面强化型	外表面强化型	内外表面强化型	其他类型
光管段	外径 D_0	mm	7~19	10~26	10~26	7~26
	壁厚 T_0		0.3~1.2	0.8~2.5	1.0~2.0	0.4~0.8
成翅段	外径 d_0		7~19	10~26	10~26	7~26
	壁厚 t_0		0.25~0.75	0.4~2.0	0.4~2.0	0.4~0.8
内齿头数 n			30~75	—	0~50	—
内齿高 e		mm	0.15~0.5		0.2~0.6	
翅片数 ($n/25.4\text{mm}$)			—	12~65	12~65	
外翅片高度 h		mm		0.9~4.0	0.9~4.0	
节距 s		mm	无 ^a 6~16	无 ^a 8~20	无 ^a 8~20	无 ^a 4~28
干扰环头数 k			0~3	0~3	—	—
截面槽数 m			—	—	—	3~15

^a 指无节距的换热管类型。

^a 指无节距的换热管类型。

4.2.2 换热面积的计算:

每米高效管的换热面积 F_0 为每米坯管的外表面积, 即:

$$F_0 = \pi \cdot D_0 \quad (1)$$

式中:

F_0 —— 每米换热面积, 单位为 m^2/m ;

D_0 —— 换热管外径, 单位为 m 。

4.3 单管传热性能试验名义工况

高效管单管传热性能试验名义工况按表 2 的规定。

表 2 高效管单管传热性能试验名义工况

类 别	制冷剂侧					水 侧			几何形状 有效长度 mm
	介质	蒸发温度 ℃	冷凝温度 ℃	入口参数 ℃	出口参数 ℃	入口温度 ℃	水流速 m/s	进出口温差 ℃	
管内 蒸发	R22 ^{a,b}	5	—	阀前过冷度 2	过热度 2	12	1.0	≥2	1500
管内 冷凝		—	40	过热度 2	过冷度 2	30			
管外 蒸发		5	—	过冷度 2	过热度 0	12	1.5	≥2	
管外 冷凝		—	40	过热度 2	过冷度 0	30			
^a 制冷剂润滑油含量≤1%； ^b 其他制冷剂介质参照本工况执行。									

^a 制冷剂润滑油含量 $\leq 1\%$;

^b 其他制冷剂介质参照本工况执行。

4.4 型号

高效管型号编制方法按附录 A 或 B 的规定。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 高效管应符合本标准的要求，并应按规定程序批准的图样和技术文件制造。

5.1.2 高效管加工完成后，应进行清洗或钝化处理；不进行清洗、钝化处理的，应确保高效管加工过程中采用的切削液与制冷系统的制冷剂、润滑油相兼容。

5.2 传热强化系数 C

按 6.2 试验，高效管传热强化系数 C 应不小于 1.3。

5.3 材料

高效管坯管材料牌号、状态应符合表 3 的规定。

表 3 高效管坯管材料牌号和状态

材料牌号	状态代号	标准号
TU1、TU2、TP1、TP2、T2	M、Y2	GB/T 17791
H85A、HSn70-1、HA177-2	M	GB/T 8890
BFe10-1-1、BFe30-1-1		
注：M 为软态、Y2 为半硬态。		

5.4 化学成分

铜和铜合金换热管化学成分应符合 GB/T 5231 中相应牌号合金的规定，其中 TU2 的化学成分做如下规定：Cu+Ag $\geq$ 99.95%、O $\leq$ 0.0030%，其他元素不作要求。

5.5 许用应力

高效管的许用应力按 GB151—1999 中 3.15.2 来确定。

5.6 高效管供货状态

5.6.1 高效管应为退火或成翘状态供货。

5.6.2 以成翘状态供货的高效管两端光管段状态应为加工前的状态，即退火或半硬状态。

5.6.3 材质牌号为 H85A、HSn70-1 和 HA177-2 的高效管，应进行消除应力的退火热处理。

5.7 退火状态下的晶粒度要求

按 6.4 试验，整体退火的高效管其晶粒度应符合 GB/T17791 及 GB 8890 的规定。

5.8 力学性能要求

按 6.6 试验，铜和铜合金高效管坯管的力学性能应符合表 4 的规定。

表 4 力学性能要求

牌号	状态	外径 mm	抗拉强度 MPa	屈服强度 ^{a,b} MPa	伸长率 δ_5 %
TU1、TU2、TP1、TP2、T2	M	7~26	≥205	≥62	≥40
TU1、TU2、TP1、TP2、T2	Y2		245~325	≥205	—
H85A	M		≥245	≥85	≥25
HSn70-1			≥295	≥105	≥38
HA177-2			≥345	≥125	≥45
BFe-10-1-1			≥300	≥105	≥25
BFe-30-1-1			≥370	≥125	≥25

^a 载荷下伸长 0.5% 的屈服强度。

^b 屈服强度试验为可选项。

5.9 工艺性要求

5.9.1 扩口

按 6.7.1 试验, 高效管坯管或其光管段扩口要求应符合 GB/T 17791 及 GB/T 8890 的规定。

5.9.2 压扁

按 6.7.2 试验, 软态高效管坯管或其光管段压扁要求应符合 GB/T 17791 及 GB/T 8890 的规定。

5.10 涡流探伤要求

5.10.1 高效管应逐根进行涡流探伤检测, 按 6.8 试验, 检验装置的灵敏度按表 5 规定的孔径校准, 通过检验装置并未发生报警信号的, 为符合涡流探伤要求的管材。

表 5 钻孔直径

mm			
外径	7~12	12~16.0	16.0~26.0
钻孔直径	0.4	1.05	1.15

5.10.2 如果管材由于可看到和可辨认的压痕产生不相关信号, 可按 5.11 再进行气密性试验。

5.11 气密性要求

每根高效管均应进行气密性试验。按 6.9 试验, 高效管不得有渗漏。

5.12 耐压要求

高效管在室温下应能承受按式 (2) 计算出的静水内压, 且不得有变形、渗漏或其他缺陷。

$$P = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot t_0}{d_r - 0.8t_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

P ——最小试验静水压力, 单位为 MPa;

$[\sigma]$ ——材料许用应力, 按 5.5 确定, 单位为 MPa;

t_0 ——成翅段壁厚, 单位为 mm;

d_r ——翅根直径, 单位为 mm。

5.13 尺寸公差要求

5.13.1 外径: 坯管及高效管光管段外径偏差应符合表 6 的规定。一般情况, 成翅段外径不应超过光管段外径。

表 6 外径允许偏差

mm			
外径 D_0	≤ 12.0	12.0~18.0	18.0~26.0
允许偏差	-0.10	-0.12	-0.16

5.13.2 壁厚: 高效管两端光管段壁厚应符合 GB/T17791 和 GB/T8890 的规定。

5.13.3 长度: 加工成型的高效管在常温下测得的长度不得小于规定长度, 其偏差应符合表 7 规定。

表 7 长度允许偏差

mm			
长度 L_0	≤ 6000	$> 6000 \sim \leq 10000$	> 10000
允许偏差	+3	+4	+6

5.13.4 弯曲度: 高效管最大弯曲度应不大于表 8 的规定。

表 8 弯曲度允许偏差

				mm
长度 L_0	≤ 1800	$> 1800 \sim \leq 2500$	$> 2500 \sim \leq 3000$	> 3000
弯曲度	4	5	7	3

5.13.5 切割垂直度：高效管两端切割后的垂直度偏差应小于 1.0mm。

5.14 清洁度要求

按 6.12 检验，高效管的内外表面残留物总量应不大于 0.32g/m^2 。

5.15 外观

高效管内外表面应进行除油、去氧化物和去毛刺处理。按 6.13 检验，高效管内外表面应清洁、干燥、无杂质，无影响使用的缺陷。

6 试验方法

6.1 仪器仪表

试验用仪器仪表应经法定计量检验部门检定合格，并在有效期内。

6.2 传热性能试验

高效管单管传热性能试验应按附录 C 的方法进行。

6.3 化学成分分析

高效管的化学成分的仲裁分析按 GB/T 5121.1~5121.23 的规定，应符合本标准 5.4 的要求。

6.4 晶粒度测定

高效管的晶粒度测定应按 YS/T347 的规定，应符合本标准 5.7 的要求。

6.5 内应力试验

牌号为 H85A、HSn70-1 和 HA177-2 的铜合金高效管内应力试验按 GB/T 8000 的规定，应符合本标准 5.6.3 的要求。

6.6 力学性能试验

高效管坯管的力学性能试验按 GB/T228 规定，应符合本标准 5.8 的要求。

6.7 工艺性能试验

6.7.1 高效管坯管或其光管段的扩口试验方法按 GB/T 242 的规定，应符合本标准 5.9.1 的要求。

6.7.2 高效管坯管的压扁试验可以任选以下一种方法，应符合 5.9.2 的要求：

a) 按 GB/T 246 的规定；

b) 将试样在两个不同部位用压扁机来沿着长度方向压扁，每个新部位均应从最后压扁区域开始绕轴约 $1/2$ 圈，每个压扁区域约 50mm。压扁试样应允许按 3 倍壁厚距离调好的千分卡尺自由通过压扁部位，并应检测试样的压扁区域，查看是否有表面缺陷。

6.8 涡流探伤试验

高效管涡流探伤试验方法按 GB/T 5248 的规定，将高效管穿过专门用来检验管材横截面的环形线圈来检测，应符合本标准 5.10 的要求。

6.9 气密性试验

6.9.1 在管内用气体加压，可以采用压差装置或将高效管置于水下来观察是否泄漏，试验时间应不少于 5s，试验压力应不小于 1.75MPa，试验结果应符合 5.11 的要求。

6.9.2 试验所用的气体应是干燥的洁净空气或氮气；试验时气体温度应不低于 5°C 。如采用水下气压方式时，其水温应不低于 20°C 。

6.10 耐压试验

高效管耐压试验方法按 GB/T 241 的规定，应符合本标准 5.12 的要求。

6.11 尺寸检验

高效管尺寸应采用相应精度的测量工具检验，应符合 5.13 的要求。

6.12 清洁度检验

高效管的清洁度的检验方法按 GB/T 17791—1999 附录 B 的规定。内、外壁均要求清洗，清洗剂也可采用 R123、R113 或 R141b，应符合本标准 5.14 的要求。

6.13 外观检验

高效管用目测法检验外表面质量，应符合 5.15 的要求。

7 检验规则

7.1 一般要求

高效管应由制造厂的质量检验部门按本标准和技术文件进行检验，合格后方可出厂。

7.2 检验分类

高效管的检验分为出厂检验、抽样检验和型式检验。

7.3 检验项目

7.3.1 出厂检验

每根高效管都应做出厂检验，检验项目应按表 9 的规定。

7.3.2 抽样检验

7.3.2.1 高效管每一批应由同一牌号、状态、规格和加工方法的产品组成，数量不大于 600 根或重量不大于 5000kg。

7.3.2.2 应从每批高效管坯管和成品中抽样，检验项目应按表 9 规定。

7.3.2.3 产品抽样方法按合同确定，逐批检验的抽样方案由制造厂质检部门决定。

7.3.3 型式检验

7.3.3.1 高效管在下列情况之一，应进行型式检验。

- 新产品定型；
- 产品材料，管型，制造工艺作重大改进；
- 国家质量监督机构提出型式检验要求；
- 发生重大质量事故或出厂检验与定型检验有重大差异时。

7.3.3.2 高效管的型式检验项目按表 9 的规定。

表 9 检验项目

序 号	项 目	出厂检验	抽样检验	型式检验	技术要求	试验方法		
1	外观	△	△	△	5.15	6.13		
2	涡流探伤 ^a				5.10	6.8		
3	气密性				5.11	6.9		
4	化学成分	—			5.4	6.3		
5	去应力退火				5.6.3	6.5		
6	晶粒度				5.7	6.4		
7	力学性能				5.8	6.6		
8	扩口				5.9.1	6.7.1		
9	压扁 ^a				5.9.2	6.7.2		
10	尺寸				5.13	6.11		
11	清洁度				5.14	6.12		
12	耐压试验	—			5.12	6.10		
13	传热性能试验				5.2	6.2		

注：“△”为需检项目，“—”为不检项目。

^a 涡流探伤和压扁为根据客户要求选择项目。

7.4 检验合格判定

7.4.1 各项检验结果符合本标准要求时判为合格。

7.4.2 传热性能、化学成分、晶粒度、内应力、力学性能、扩口、压扁、清洁度检验不合格时，应从该批中再抽取双倍试样进行复验，仍有试样不合格时则判定该批不合格。其中清洁度检验不合格时允许返修后重新检验。

7.4.3 尺寸及外观检验不合格的批次，允许逐根分检，合格者单独组批。

7.4.4 涡流探伤、气密性检验不合格时，按根判为不合格。

8 标志、包装、运输和贮存、质量合格证明书

8.1 标志

8.1.1 包装箱上应标明：

- a) 供应商名称；
- b) 批号；
- c) 材料牌号；
- d) 规格；
- e) 数量；
- f) 质量（毛质量或净质量）。

8.1.2 包装箱标志应符合 GB/T8888 的规定。

8.2 包装

高效管应按合金成分、尺寸和状态各自分开包装。具体包装方式由制造厂确定，但应符合下列要求：

- a) 应能防潮、防振、防尘；
- b) 应确保高效管表面不被碰坏、且不变形。

8.3 运输和贮存

产品应按照 GB/T 8888 的规定运输和贮存。

8.4 质量合格证明书

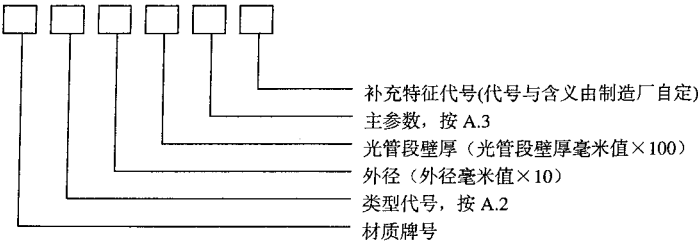
高效管经检验合格后，制造单位应填写产品质量合格证明书，并提供给用户单位，证明书应至少包括下列内容：

- a) 客户订单号；
- b) 批号；
- c) 高效管的型号、基本参数及名称；
- d) 高效管材质牌号、状态及材质报告；
- e) 制造厂名称；
- f) 出厂日期。

附 录 A
(资料性附录)
高效管型号编制 (一)

A.1 高效管型号编制方法

A.1.1 高效管的型号组成



A.1.2 型号示例

TP2 IE 160 100 75

表示: 材质为 TP2、光管段外径 16mm、光管段壁厚 1.0mm、内螺纹头数为 75 的高效管。

A.2 高效管的类型代号

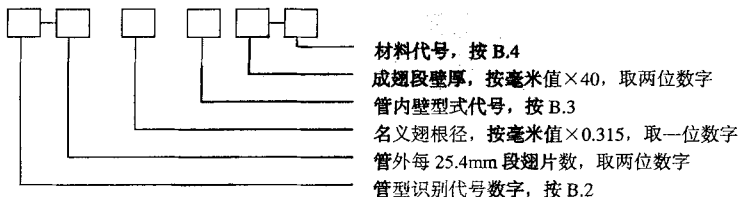
按高效管不同的结构型式及形状, 其代号分别为:

内肋管	IE
波形内肋管	HE
普通直翅管	ND
锯齿形翅片管	TC
表面多孔管	TE
螺旋管	ST
花形管	FT

A.3 主参数规定

- A.3.1 内肋管: 以横截面上沿圆周方向排布的内齿头数为主参数。
- A.3.2 翅片管、锯齿形翅片管、表面多孔管: 以沿高效管轴向上每 25.4mm 长度上所拥有的翅片数为主参数。
- A.3.3 螺旋管、花形管: 以横截面上的截面槽数为主参数。
- A.3.4 高效管主参数从表 1 中选取。

附录 B
(资料性附录)
高效管型号编制 (二)

B.1 高效管的型号组成**B.2 高效管的代号**

高效管管型规定的识别数字代号按表 B.1 的规定。

表 B.1 高效管管型识别代号

管 型	识 别 代 号
表面多孔管 Turbo-BII	55
表面多孔管 Turbo-BIII	75
表面多孔管 Turbo-EHP	100
表面多孔管 Turbo-ELP	106
锯齿形翅片管 Turbo-CII	52
锯齿形翅片管 Turbo-CDI	30
锯齿形翅片管 Turbo-CSL	112
普通直翅管 S/T Trufin	60
带内螺纹普通直翅管 Turbo-Chi	56
内肋管 Turbo-DX	53

B.3 管内壁型式

高效管内壁型式规定的识别代号按表 B.2 的规定。

表 B.2 高效管管内壁型式代号

内 壁 型 式	识 别 代 号
标准内壁型式	00
低压冷媒用	01
低水侧压降型式	04
待定标号	05-98
光滑内壁	99

B.4 材料编号

材料编号按表 B.3 的规定。

表 B.3 材料编号对照表

材料编号	101	102	110	120	122	230	443	687	706	715
UNS 合金 牌号	C10100	C10200	C11000	C12000	C12200	C23000	C44300	C68700	C70600	C71500

B.5 型号示例

55-5050028-122: 用美国合金牌号 C12200 材料制造, 管型代号 55, 管外每 25.4mm 翅片数 50 的高效管, 翅根直径为 5/0.315, 即 15.88mm, 管内螺纹型式为标准型式, 成翅段壁厚为 28/40, 即 0.70mm。

附 录 C
(规范性附录)
单管传热性能试验方法

C.1 适用范围

本附录仅适用于高效管或其接管传热性能的确定。

C.2 一般规定

- C.2.1 换热管试验装置采用套管结构形式。
- C.2.2 换热管换热量的测量以水侧和制冷剂侧换热量的算术平均值为准。
- C.2.3 确定换热管单管传热系数的试验原理和计算方法。
- C.2.4 制冷剂侧压力测点位置为:
 - C.2.4.1 管内蒸发和冷凝试验的压力测点位于换热管有效出口端 300mm 处;
 - C.2.4.2 管外蒸发和冷凝试验的压力测点位于套管中上部。

C.3 试验装置

分别按管内（外）蒸发及管内（外）冷凝四种情况布置试验装置。

C.3.1 换热管管外蒸发（满液式蒸发）试验原理图见图 C.1。

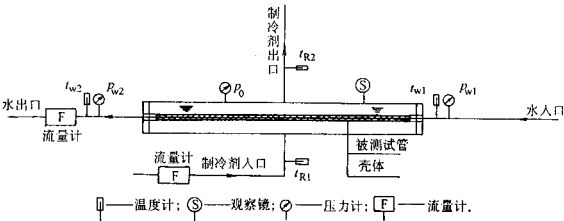


图 C.1 管外蒸发试验原理图

C.3.2 换热管管外冷凝试验原理图见图 C.2。

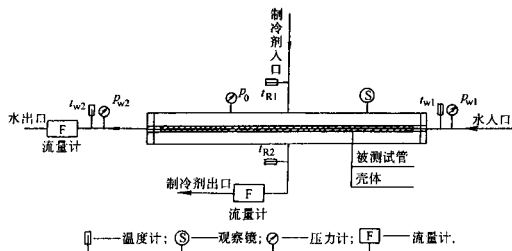


图 C.2 管外冷凝试验原理图

C.3.3 换热管管内蒸发（干式蒸发）试验原理图见图 C.3。

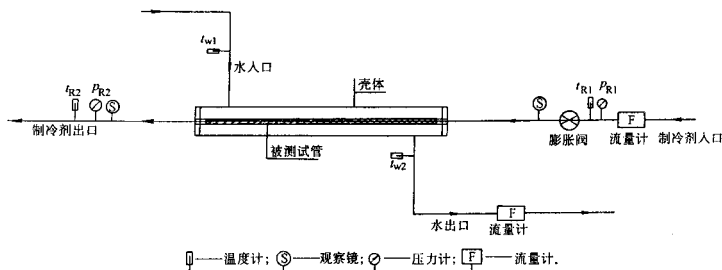


图 C.3 管内蒸发试验原理图

C.3.4 换热管管内冷凝试验原理图见图 C.4。

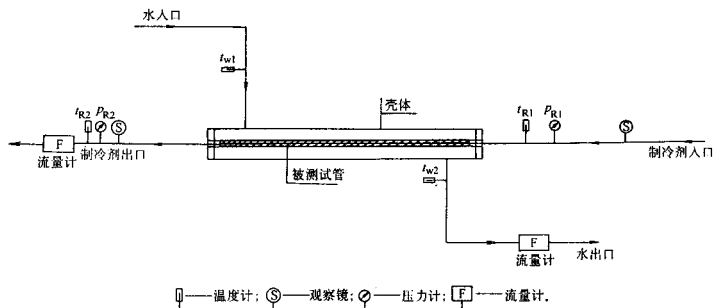


图 C.4 管内冷凝试验原理图

C.4 试验

C.4.1 试验要求

C.4.1.1 被测换热管安装完毕后应进行密封性检查，并进行抽真空等准备工作。

C.4.1.2 测量段范围(含仪器仪表)内应采取保温措施,以避免漏热影响试验结果。

C.4.1.3 试验用仪器仪表的型式及精度或准确度应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 仪器仪表的型式及精度或准确度

类 型	型 式	精度或准确度
温度测量仪表	水银温度计、铂电阻温度计、热电偶、 温度传感器	水温准确度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 制冷剂温度准确度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
制冷剂压力测量仪表	压力表、压力变送器	测量压力精度 $\pm 0.4\%$
气压测量仪表		
质量测量仪表	秒表	准确度:测定气体质量的 $\pm 2.0\%$ 准确度:测定液体质量的 $\pm 1.0\%$
时间测量仪表		准确度:测定经过时间的 $\pm 0.1\%$

C.4.1.4 单管传热性能试验名义工况按 4.3 规定。

C.4.1.5 换热管进行传热性能试验时,调试时试验工况参数的允差应符合表 C.2 的规定。

表 C.2 试验工况参数的允差

试验类别	制 冷 剂 侧				水 侧		换热管 有效长度 mm
	蒸发温度 ℃	冷凝温度 ℃	入口参数 ℃	出口参数 ℃	入口温度 ℃	水流速 m/s	
管内蒸发	±0.5	—	阀前过冷度 ±1.0	过热度 ±1.0	±0.5	±0.1	±10
管内冷凝	—	±0.5	过热度 ±1.0	过冷度 ±1.0			
管外蒸发	±0.5	—	过冷度 ±1.0	—			
管外冷凝	—	±0.5	过热度 ±1.0				

C.4.1.6 制冷剂蒸发温度为实测蒸发压力对应的饱和温度。

C.4.1.7 制冷剂冷凝温度为实测冷凝压力对应的饱和温度。

C.4.2 试验参数测定方法

C.4.2.1 试验参数测定时应根据 4.3 测定换热管的传热性能,试验工况参数的允差应满足表 C.2 的规定。

C.4.2.2 在试验工况下,待换热管换热过程稳定运行 30min 后,每隔 10min~15min 进行三次数据采集,取三次采集数据的算术平均值作为该工况的试验数据。

C.4.2.3 由试验数据分别计算换热管内外两侧热量,只有当热平衡偏差不大于 6% 的数据才可用于传热系数的计算。

C.4.2.4 试验测定数据计算出的传热系数值作为该换热管在名义工况下的传热系数。

C.5 传热系数的计算

C.5.1 换热量计算:

C.5.1.1 水侧换热量 (Q_W) 按式(C.1)计算。

$$Q_W = C_{WP} \cdot m_W \cdot |t_{w1} - t_{w2}| \quad \text{..... (C.1)}$$

C.5.1.2 制冷剂侧换热量 (Q_R) 按式(C.2)计算。

$$Q_R = m_R \cdot |i_{R1} - i_{R2}| \quad \text{..... (C.2)}$$

C.5.2 换热管的换热量 (Q) 按式(C.3)计算。

$$Q = \frac{(Q_R + Q_W)}{2} \quad \text{..... (C.3)}$$

C.5.3 热平衡偏差 (E) 按式(C.4)计算。

$$E = \frac{|Q_R - Q_W|}{Q} \times 100\% \quad \text{..... (C.4)}$$

C.5.4 对数平均温差 (Δt_m) 的计算:

C.5.4.1 换热管蒸发性能试验时按式(C.5)计算。

$$\Delta t_m = \frac{(t_{w1} - t_c) - (t_{w2} - t_c)}{\ln \left[\frac{(t_{w1} - t_c)}{(t_{w2} - t_c)} \right]} \quad \text{..... (C.5)}$$

C.5.4.2 换热管冷凝性能试验时按式(C.6)计算。

$$\Delta t_m = \frac{(t_c - t_{w1}) - (t_c - t_{w2})}{\ln \left[\frac{(t_c - t_{w1})}{(t_c - t_{w2})} \right]} \quad \text{..... (C.6)}$$

C.5.5 传热系数 (K) 按式(C.7)计算。

$$K = \frac{Q}{F_0 \cdot \Delta t_m \cdot L} \cdot 1000 \quad \text{..... (C.7)}$$

C.5.6 水流速 (v) 的计算:

C.5.6.1 水流截面积 F_1 计算。

C.5.6.1.1 管内蒸发或冷凝试验时水流截面积 F_1 按式(C.8)计算。

$$F_1 = \frac{\pi(d_2^2 - d_0^2)}{4 \times 10^6} \quad \text{..... (C.8)}$$

C.5.6.1.2 管外蒸发或冷凝试验时水流截面积 F_1 按式(C.9)计算。

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4 \times 10^6} \quad \text{..... (C.9)}$$

C.5.6.2 水流速 v 按式(C.10)计算。

$$v = \frac{m_w}{\rho \cdot F_1} \quad \text{..... (C.10)}$$

C.6 符号及单位

本附录中公式符号意义及单位见表 C.3。

表 C.3 公式中符号的意义及单位

符 号	意 义	单 位
Q_W	水侧换热量	kW
C_{WP}	对应进出口水平均温度下水的比热容	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
m_W	入口水流量	kg/s
t_{W1}	入口水温	$^{\circ}\text{C}$
t_{W2}	出口水温	$^{\circ}\text{C}$
Q_R	制冷剂侧换热量	kW
m_R	制冷剂流量	kg/s
i_{R1}	制冷剂入口焓值	kJ/kg
i_{R2}	制冷剂出口焓值	kJ/kg
Q	换热管的换热量	kW
E	热平衡偏差	%
Δt_m	对数平均温差	$^{\circ}\text{C}$
t_e	制冷剂蒸发温度	$^{\circ}\text{C}$
t_c	制冷剂冷凝温度	$^{\circ}\text{C}$
K	传热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
F_0	换热管每米长换热面积	m^2/m
L	换热管有效长度	m
F_1	水流截面积	m^2
d_1	成翅段内径	mm
d_0	成翅段翅顶外径	mm
d_2	套管内径	mm
ρ	进出口平均温度下的水密度	kg/m^3
v	水流速	m/s