



中华人民共和国国家标准

GB/T 28713—2023

代替 GB/T 28713.1~28713.3—2012

热交换器用强化传热管

Enhanced heat transfer tubes used in heat exchanger

2023-09-07 发布

2023-09-07 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

引言 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 制造..... 13

6 检验与验收..... 15

7 检验规则..... 16

8 质量证明文件、包装和标志 18

附录 A（资料性） 强化传热管质量及换热面积 19

附录 B（规范性） 波纹管最高允许工作压力 24

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。

本文件代替 GB/T 28713.1—2012《管壳式热交换器用强化传热元件 第 1 部分：螺纹管》、GB/T 28713.2—2012《管壳式热交换器用强化传热元件 第 2 部分：不锈钢波纹管》、GB/T 28713.3—2012《管壳式热交换器用强化传热元件 第 3 部分：波节管》，与 GB/T 28713.1～28713.3—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了烧结型表面多孔管、T 型管、螺旋扁管、纵槽管(见第 1 章)；
- b) 增加了强化传热管的适用范围(见第 1 章)；
- c) 增加了螺纹管 DN16 和 DN32 两档螺纹管规格(见 4.2.2)；
- d) 增加了强化传热管标记示例(见 4.10)；
- e) 增加了螺纹管钛、铜、镍材料的种类(见 5.1)；
- f) 增加了螺纹管管端允许偏差的要求(见 5.2)；
- g) 修改了波纹管接头允许偏差的要求(见 5.2.6, GB/T 28713.2—2012 的 4.2)；
- h) 修改了螺纹管检验要求(见第 6 章, GB/T 28713.1—2012 的第 6 章)；
- i) 修改了波节管检验要求(见第 6 章, GB/T 28713.3—2012 的第 7 章)；
- j) 修改了波纹管检验规则(见第 7 章, GB/T 28713.2—2012 的 5.8)。

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：上海蓝滨石化设备有限责任公司、中国石化工程建设有限公司、中石化广州工程有限公司、沈阳仪表科学研究院有限公司、抚顺化工机械设备制造有限公司、浙江中达新材料股份有限公司、中国特种设备检测研究院、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、上海蓝海科创检测有限公司。

本文件主要起草人：解德甲、高莉萍、姚丽、马金伟、王玉、高磊、吴利阳、张迎恺、张国信、侯岩、陈满、张富、陈志伟、张延丰、刘福录、周文学、蒋琛。

本文件代替文件的历次版本发布情况为：

- GB/T 28713.1—2012；
- GB/T 28713.2—2012；
- GB/T 28713.3—2012。

引 言

随着装置节能降耗及大型化的发展需求,通过改变管子形状或表面性质的强化传热管种类和应用场合随之拓展。强化传热元件的应用可以降低设备体积,减少金属耗量,提高过程传热效率,节约能耗。

近年来,制造技术的进步和强化传热元件的持续开发,使得新型高效管壳式换热器研究有了较大的发展,根据不同的工艺条件与换热工况设计开发了不同结构型式的强化传热管,并已在各工业装置得到推广与应用。

本次修订根据热交换器用强化传热管的实际工程应用情况,将《管壳式热交换器用强化传热元件 第1部分:螺纹管》(GB/T 28713.1—2012)、《管壳式热交换器用强化传热元件 第2部分:不锈钢波纹管》(GB/T 28713.2—2012)、《管壳式热交换器用强化传热元件 第3部分:波节管》(GB/T 28713.3—2012)3个部分合并成《热交换器用强化传热管》1个文件,标准名称由《管壳式热交换器用强化传热元件》改为《热交换器用强化传热管》。在原标准螺纹管、不锈钢波纹管、波节管的基础上,扩充了烧结型表面多孔管、T型管、螺旋扁管、纵槽管,更改了强化传热管的适用范围,增加了所有强化传热管适用的介质场合的描述。本次修订引领和规范了行业的发展,对促进行业的技术进步具有积极作用。

热交换器用强化传热管

1 范围

本文件规定了热交换器用强化传热管的型式与基本参数、制造、检验与验收、质量证明文件、包装和标志的要求。

本文件适用于烧结型表面多孔管、螺纹管、T 型管、螺旋扁管、纵槽管、波纹管、波节管等强化传热管的订货。

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 241 金属管 液压试验方法
- GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 4436 铝及铝合金管材外形尺寸及允许偏差
- GB/T 6893 铝及铝合金拉（轧）制管材
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47019（所有部分） 锅炉、热交换器用管订货技术条件

3 术语和定义

GB/T 151 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

烧结型表面多孔管 sintered surface porous tubes

采用粉末烧结的方法在金属表面制备具有大量孔隙多孔层的换热管。

3.2

孔隙率 void content

多孔层孔隙体积与材料在自然状态下总体积的百分比。

3.3

螺纹管 threaded tubes

在无缝钢管的外表面，环向螺旋滚压制成的整体低翅片管。

3.4

翅化比 fin ratio

强化传热管加工后总外表面积与加工前基管外表面积的比值。

3.5

T 型管 T-shaped tubes

基管外壁冷加工成螺旋状 T 型凹槽的特型管。

3.6

螺旋扁管 twisted tubes

基管冷加工成螺旋扁圆截面的特型管。

3.7

纵槽管 longitudinal grooved tubes

基管内壁、外壁或内外壁冷加工成轴向凹槽形状的特型管。

3.8

波纹管 corrugated tubes

沿管子轴向冷加工成多个环向波纹的波纹段和接头组焊而成的传热管。

3.9

波节管 wavy tubes

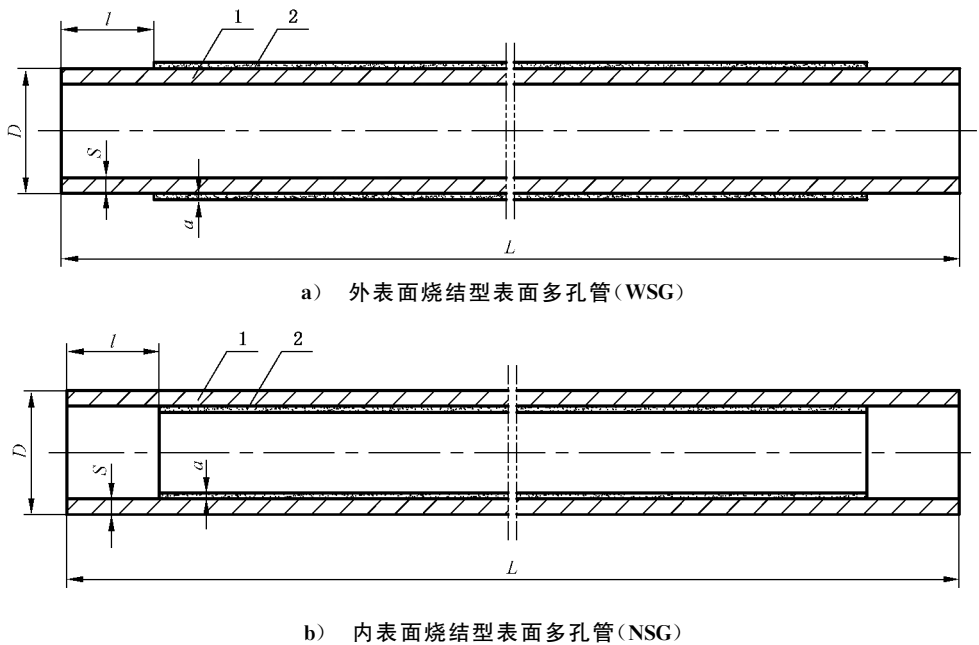
无缝钢管经环向挤压成依次交替的收缩段和扩张段的异型管。

4 型式与基本参数

4.1 烧结型表面多孔管

4.1.1 管外烧结型表面多孔管适用于强化管外沸腾传热,可用于洁净介质管外沸腾的场合,其结构型式见图 1a)。不适用于强化重质烃类沸腾传热。

4.1.2 管内烧结型表面多孔管适用于强化管内沸腾传热,可用于洁净介质管内沸腾的场合,其结构型式见图 1b)。不适用于强化重质烃类沸腾传热。



标引序号说明:

1 —— 基管;

2 —— 多孔层;

a —— 烧结层厚度;

D —— 基管公称外径;

L —— 烧结型表面多孔管总长;

l —— 光管长度;

S —— 基管公称壁厚。

图 1 烧结型表面多孔管

4.1.3 烧结型表面多孔管基本参数见表 1。

表 1 烧结型表面多孔管基本参数

基管公称外径(<i>D</i>) mm	基管公称壁厚(<i>S</i>) mm	烧结层厚度(<i>a</i>) mm	当量孔径 ^a (<i>St</i>) μm	孔隙率(<i>θ</i>)
19	2.0	0.2~0.5	60~90	≥50%
25	2.5			
^a 表面多孔管表面金属层孔隙通道大小的当量直径。				

4.1.4 烧结型表面多孔管的孔隙率(*θ*)应采用质量—体积计算法按公式(1)计算。

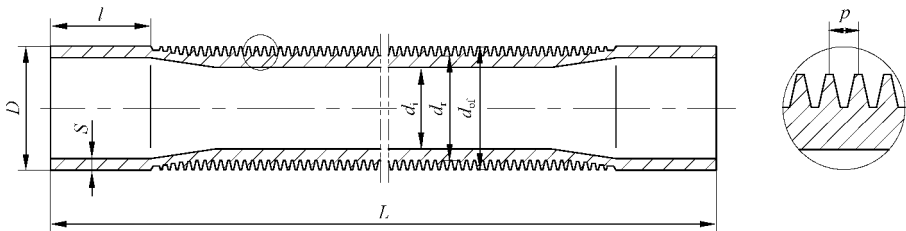
$$\theta = \left(1 - \frac{M}{V\rho_s}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- M* —— 试样质量,单位为千克(kg)；
- V* —— 试样表观体积,单位为立方米(m³)；
- θ* —— 孔隙率；
- ρ_s* —— 多孔体对应金属材料的真实密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

4.2 螺纹管

4.2.1 螺纹管适用于总热阻(包括介质膜热阻和污垢热阻)为控制热阻的场合,可用于管外介质无相变及冷凝的场合,其结构型式见图 2。不适用于管外固体粉尘含量较高或易于结焦的介质。



标引符号说明：

- D* —— 基管公称外径；
- d_i* —— 螺纹管内径；
- d_{of}* —— 螺纹管齿顶圆直径；
- d_r* —— 螺纹管根径；
- L* —— 螺纹管总长；
- l* —— 光管长度；
- p* —— 螺距；
- S* —— 基管公称壁厚。

图 2 螺纹管

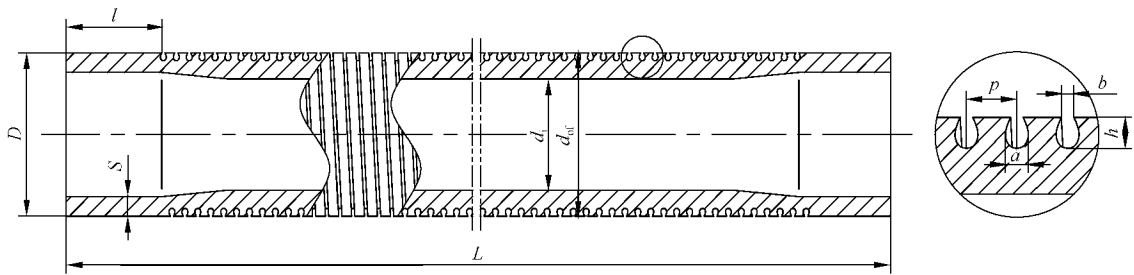
4.2.2 螺纹管基本参数见表 2。

表 2 螺纹管基本参数

基管尺寸($D\times S$) mm	螺纹管内径(d_i) mm	螺纹管根径(d_r) mm	螺纹管齿顶圆直径(d_{of}) mm	螺距(p) mm	翅化比(η)
16×1.5	12.3	13.5	15.8	2.0	≥1.81
16×1.5	12.6	13.8	15.8	1.5	≥1.97
16×1.5	13.0	13.8	15.8	1.25	≥2.20
16×1.5	13.4	14.2	15.8	1.0	≥2.19
16×1.5	13.4	14.2	15.8	0.8	≥2.52
19×2.0	13.0	16.4	18.8	2.0	≥1.70
19×2.0	13.0	16.6	18.8	1.5	≥2.0
19×2.0	13.0	16.6	18.8	1.25	≥2.20
19×2.0	13.4	16.8	18.8	1.0	≥2.50
19×2.0	13.4	17.0	18.8	0.8	≥2.80
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.5	≥1.60
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.0	≥1.80
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.5	≥2.20
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.25	≥2.50
25×2.5	18.8	22.6	24.8	1.0	≥2.75
25×2.5	18.8	23.0	24.8	0.8	≥2.80
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.5	≥1.60
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.0	≥1.80
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.5	≥2.20
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.25	≥2.50
25×2.5	18.8	22.6	24.8	1.0	≥2.75
25×2.5	18.8	23.0	24.8	0.8	≥2.80
32×2.0	28.5	29.5	31.8	2.5	≥1.72
32×2.0	28.5	29.5	31.8	2.0	≥1.92
32×2.0	29.1	29.8	31.8	1.5	≥2.07
32×2.0	29.1	29.8	31.8	1.25	≥2.30
32×2.0	29.0	30.2	31.8	1.0	≥2.27
32×2.0	29.4	30.2	31.8	0.8	≥2.60
32×3.0	28.5	29.5	31.8	2.5	≥1.72
32×3.0	28.5	29.5	31.8	2.0	≥1.92
32×3.0	29.1	29.8	31.8	1.5	≥2.07
32×3.0	29.1	29.8	31.8	1.25	≥2.30
32×3.0	29.0	30.2	31.8	1.0	≥2.27
32×3.0	29.4	30.2	31.8	0.8	≥2.60

4.3 T 型管

4.3.1 T 型管适用于强化卧式再沸器或蒸汽发生器的管外沸腾传热,其结构型式见图 3。不适用于壳程介质含固体颗粒、易结焦、易聚合等场合。



标引符号说明:

- a —— 槽道宽度;
- b —— 开口宽度;
- D —— 基管公称外径;
- d_i —— T 型管内径;
- d_{of} —— T 型管外径;
- h —— T 槽深度;
- L —— T 型管总长;
- l —— 光管长度;
- p —— 槽距;
- S —— 基管公称壁厚。

图 3 T 型管

4.3.2 T 型管基本参数见表 3。

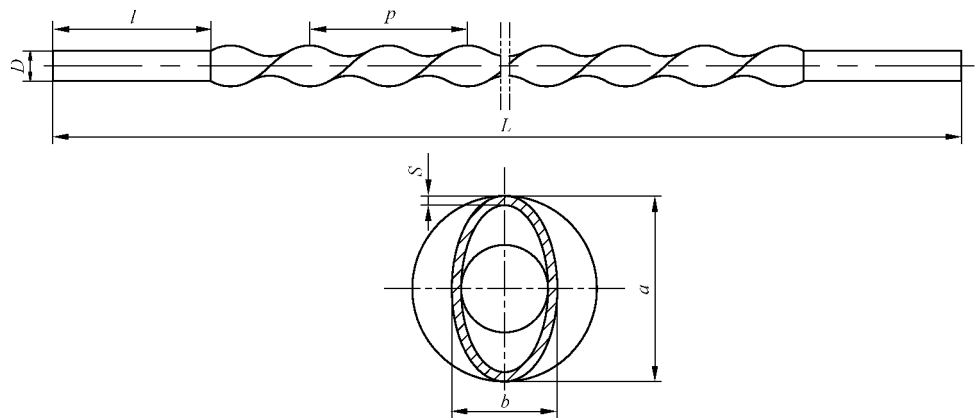
表 3 T 型管基本参数

单位为毫米

基管公称 外径(D)	基管公称 壁厚(S)	T 型管 外径(d_{of})	T 型管 内径(d_i)	槽距(p)	T 槽深度 (h)	槽道宽度 (a)	开口宽度 (b)
19	2.0	18.2	13.0	1.6	0.9	0.5	0.2
19	2.0	18.2	13.0	1.6	1.0	0.5	0.3
19	2.5	18.6	12.5	1.6	1.1	0.5	0.3
19	2.5	18.6	12.8	1.6	1.1	0.5	0.4
25	2.5	24.2	18.0	1.6	1.0	0.7	0.3
25	2.5	24.2	18.0	1.6	1.2	0.7	0.4
25.4	2.5	24.2	19.0	1.6	1.1	0.7	0.3
25.4	2.5	24.2	19.0	1.6	1.1	0.7	0.4

4.4 螺旋扁管

4.4.1 螺旋扁管适用于强化管内为控制热阻的传热,可用于无相变、沸腾及冷凝的场合,其结构型式见图 4。



- 标引符号说明:
- a ——长轴长度;
 - b ——短轴长度;
 - D ——基管公称外径;
 - L ——螺旋扁管总长;
 - l ——光管长度;
 - S ——基管公称壁厚;
 - p ——螺距。

图 4 螺旋扁管

4.4.2 螺旋扁管基本参数见表 4。

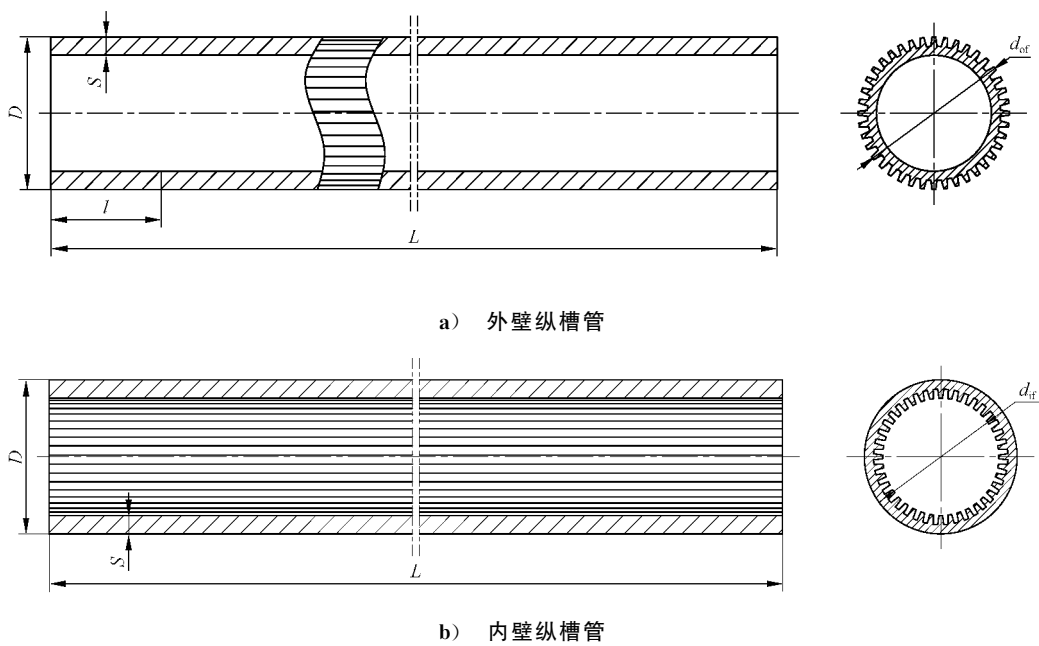
表 4 螺旋扁管基本参数

单位为毫米

基管公称外径(D)	基管公称壁厚(S)	长轴长度(a)	短轴长度(b)	螺距(p)
19	1.5	23	12	200~400
19	2.0	23	12	200~400
25	2.0	30.5	15.5	200~400
25	2.5	30.5	15.5	200~400

4.5 纵槽管

4.5.1 纵槽管适用于强化垂直向下流动介质的冷凝传热,可用于管内、管外介质冷凝冷却的场合,其结构型式见图 5,常用齿形见图 6。



标引符号说明：

D —— 基管公称外径；

d_i —— 内壁纵槽管内径；

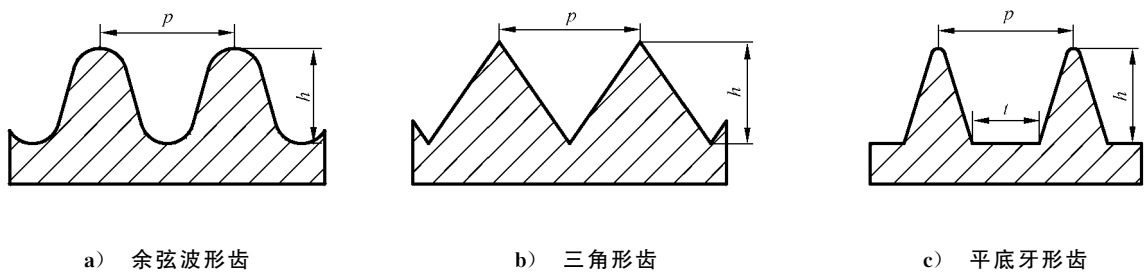
d_{of} —— 外壁纵槽管外径；

L —— 纵槽管总长；

l —— 光管长度；

S —— 基管公称壁厚。

图 5 纵槽管



标引符号说明：

h —— 槽深；

p —— 槽距；

t —— 齿根宽度。

图 6 纵槽管的常用齿形

4.5.2 内壁纵槽管基本参数见表 5，外壁纵槽管基本参数见表 6。槽道齿形可为余弦波形齿、三角形齿或平底牙形齿。

表 5 内壁纵槽管基本参数

单位为毫米

基管公称外径(D)	基管公称壁厚(S)	内壁纵槽管内径(d_{if})	槽距(p)	槽深(h)	齿根宽度(t)
19	2.0	14.8	1.5	0.2	0.3
19	2.5	13.8	2.0	0.2	0.3
25	2.0	20.8	1.5	0.2	0.3
25	2.5	19.8	2.0	0.2	0.3
32	2.5	26.8	1.5	0.2	0.3
32	3.0	25.8	2.0	0.2	0.3
38	2.5	32.8	1.5	0.2	0.3
38	3.0	31.8	2.0	0.2	0.3

表 6 外壁纵槽管基本参数

单位为毫米

基管公称外径(D)	基管公称壁厚(S)	外壁纵槽管外径(d_{of})	槽距(p)	槽深(h)	齿根宽度(t)
19	2.0	18.8	1.5	1.5	0.3
19	2.5	18.8	2.0	1.5	0.3
25	2.0	24.8	1.5	1.5	0.3
25	2.5	24.8	2.0	1.5	0.3
32	2.5	31.8	1.5	1.5	0.3
32	3.0	31.8	2.0	1.5	0.3
38	2.5	37.8	1.5	1.5	0.3

4.6 波纹管

4.6.1 波纹管适用于强化管内、管外低雷诺数介质的传热,可用于管内、管外介质无相变的场合。其结构型式见图 7,波纹段和接头的结构型式见图 8。

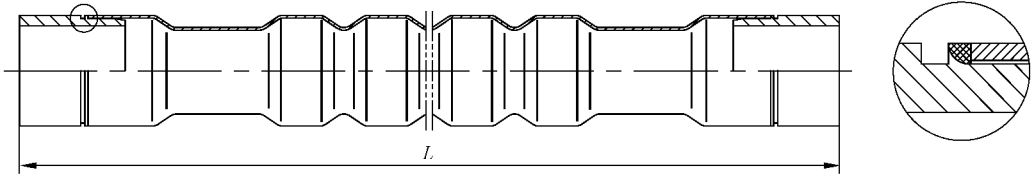
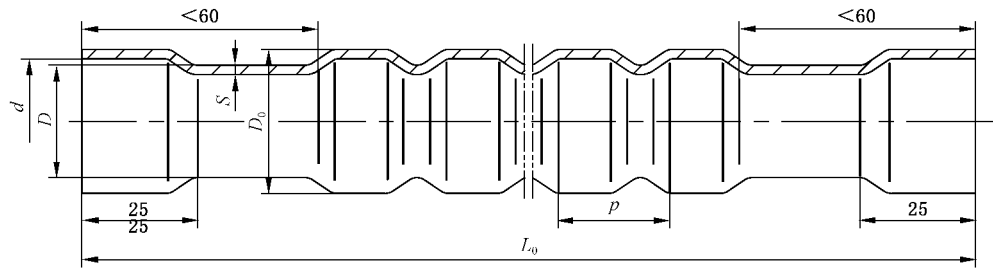
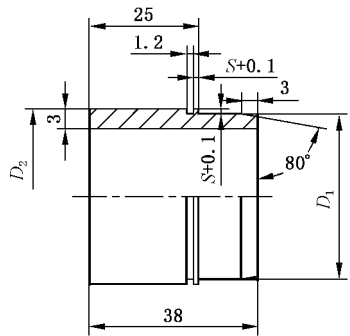


图 7 波纹管结构型式

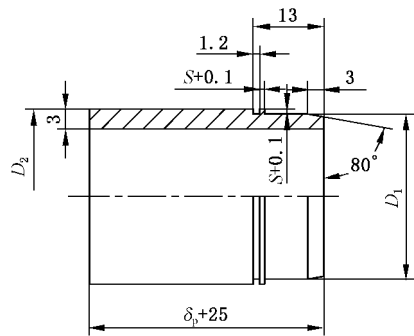
单位为毫米



a) 波纹段



b) 接头结构 A 型(适合焊接)



c) 接头结构 B 型(适合胀接和胀焊并用)

标引符号说明：

- D ——基管公称外径；
- D_0 ——波纹管波峰外径；
- D_1 ——波纹管接头与本体配合处外径；
- D_2 ——波纹管接头外径；
- d ——波纹管接头与本体配合内径；
- L ——波纹管总长；
- L_0 ——波纹管波纹段长；
- p ——波纹段波距；
- S ——基管公称壁厚；
- δ_p ——管板厚度。

图 8 波纹管段和接头的结构型式

4.6.2 波纹管波纹段基本参数见表 7。

表 7 波纹管波纹段基本参数

单位为毫米

基管公称壁厚(S)	基管公称外径(D)	波纹段波峰外径(D_0) 波纹管接头外径(D_2)	波纹段波距(p)
0.6~1.0	24	30	20/25
		32	20/25
	25	30	20/25
		32	20/25
	26	32	20/25
		34	20/25

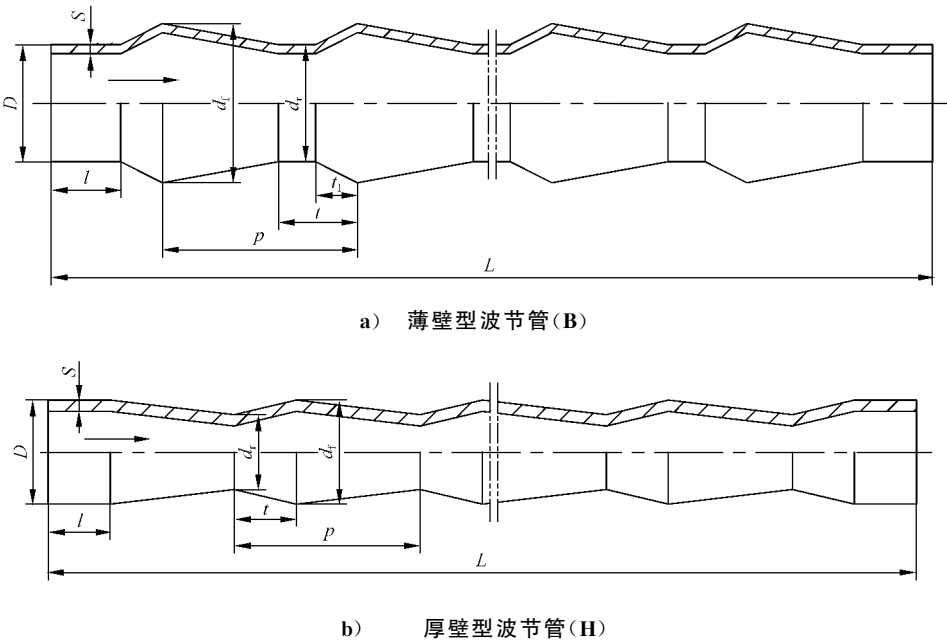
表 7 波纹管波纹段基本参数（续）

单位为毫米

基管公称壁厚(S)	基管公称外径(D)	波纹段波峰外径(D_0) 波纹管接头外径(D_2)	波纹段波距(p)
0.6~1.2	32	40	25/30
		42	25/30
	33	42	25/30
		44	25/30
	34	44	25/30
		46	25/30

4.7 波节管

4.7.1 波节管适用于强化管内、管外低雷诺数介质的传热,可用于管内、外介质无相变的场合。按壁厚分为薄壁型(代号 B)和厚壁型(代号 H),其结构型式见图 9。



标引符号说明：
 D —— 基管公称外径；
 d_t —— 波节管外壁波峰的直径；
 d_r —— 波节管外壁波谷的直径；
 L —— 波节管总长；
 l —— 光管长度；
 p —— 波距；
 S —— 基管公称壁厚；
 t —— 短斜边加直边长度；
 t_1 —— 短斜边长度。

图 9 波节管结构型式

4.7.2 波节管基本参数见表 8。

表 8 波节管基本参数

单位为毫米

类型	基管公称外径 (D)	基管公称壁厚 (S)	波距(p)	短斜边加直边 长度(t)	短斜边长度 (t_1)	波节管外壁波 谷的直径(d_r)	波节管外壁波峰的 直径(d_f)
B	25	0.5~1.0	51	17	9	25	34
	27		51	17	9	27	36
	30		60	20	10	30	42
	32		60	20	10	32	44
H	19	>1.0~3.5	45	15	—	15	19
	22		45	15	—	18	22
	25		45	15	—	21	25
	32		51	17	—	26	32
	38		51	17	—	32	38
	45		51	17	—	39	45
	51		57	19	—	45	51
	57		57	19	—	51	57

4.8 强化传热管两端光管长度

除波纹管 and 内壁纵槽管外,强化传热管两端应各留出一段不加工(烧结)的基管段,其长度(l)应不小于 2 倍管板厚度加 30 mm,订货合同有规定时按订货合同执行。订货合同未作规定时,长度(l)可按 120 mm 供货。

4.9 质量及换热面积

4.9.1 螺纹管螺纹段每米长度的质量及换热面积见附录 A 的表 A.1;波纹管波纹段每米长度的质量及换热面积见表 A.2;波节管波节段每米长度的质量及换热面积见表 A.3。

4.9.2 烧结型表面多孔管、T 型管、螺旋扁管、纵槽管的质量按基管理论质量计算。

4.10 标记示例

4.10.1 强化传热管种类与代号见表 9。

表 9 强化传热管种类与代号

种类	代号	种类	代号
外表面烧结型表面多孔管	WSG	A 型接头波纹管	ABW
内表面烧结型表面多孔管	NSG	B 型接头波纹管	BBW
外壁纵槽管	WZC	螺纹管	LW
内壁纵槽管	NZC	T 型管	TC
薄壁型波节管	BBJ	螺旋扁管	LXB
厚壁型波节管	HBJ	—	—

4.10.2 强化传热管的标记见下列示例。

示例 1:

产品:用公称外径 19 mm,壁厚 2 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的外表面烧结型表面多孔管 U 形换热管。

标记:

WSG 19×2×6000U-S30408-GB/T 28713—2023

示例 2:

产品:用公称外径 25 mm,壁厚 2.5 mm 的基管制造的长度 9 000 mm,材料为 10 钢的内表面烧结型表面多孔管换热管。

标记:

NSG 25×2.5×9000/10-GB/T 28713—2023

示例 3:

产品:用公称外径 19 mm,壁厚 2 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,齿顶圆直径 18.8 mm,根径 16.8 mm,螺距 1.0 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的螺纹管。

标记:

LW 19×2-18.8/16.8-1.0-6000-S30408-GB/T 28713—2023

示例 4:

产品:用公称外径 19 mm,壁厚 2.5 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,槽距 1.6 mm,槽深 1.1 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的 T 型管。

标记:

TC 19×2.5-1.6/1.1-6000-S30408-GB/T 28713—2023

示例 5:

产品:用公称外径 25 mm,壁厚 2.5 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,螺距 300 mm,长轴 30.5 mm,短轴 15.5 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的螺旋扁管。

标记:

LXB 25×2.5-300/30.5/15.5-6000-S30408-GB/T 28713—2023

示例 6:

产品:用公称外径 19 mm,壁厚 2 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,外齿径 18.8 mm,槽距 2 mm,槽深 1.5 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的外壁纵槽管。

标记:

WZC 19×2-18.8-2/1.5-6000-S30408-GB/T 28713—2023

示例 7:

产品:用公称外径 25 mm,壁厚 2 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,内齿径 20.8 mm,槽距 1.5 mm,槽深 0.2 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的内壁纵槽管。

标记:

NZC 25×2-20.8-1.5/0.2-6000-S30408-GB/T 28713—2023

示例 8:

产品:用公称外径 25 mm,壁厚 1 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,波峰外径 30 mm,波距 25 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的波纹段,与同材质 A 型接头组焊的波纹管。

标记:

ABW 25×1-30-25-6000-S30408-GB/T 28713—2023

示例 9:

产品:用公称外径 25 mm,壁厚 2 mm 的基管制造的长度 6 000 mm,波峰外径 25 mm,波距 45 mm,材料为 S30408(06Cr19Ni10)的厚壁型波节管。

标记:

HBJ 25×2-25-45-6000-S30408-GB/T 28713—2023

5 制造

5.1 材料

- 5.1.1 加工强化传热管的基管化学成分、力学性能应符合 NB/T 47019(所有部分)的规定,铝及铝合金基管应符合 GB/T 6893 的规定,基管应采用整根管子,不准许拼接。
- 5.1.2 碳素钢和低合金钢、不锈钢、镍及镍合金基管允许尺寸偏差应满足 NB/T 47019.1 中Ⅱ级及以上的规定。
- 5.1.3 铜及铜合金、钛及钛合金基管允许尺寸偏差应满足 NB/T 47019.7 和 NB/T 47019.8 中Ⅱ级及以上的规定。
- 5.1.4 铝及铝合金基管应符合 GB/T 6893 的规定,其尺寸允许偏差应符合 GB/T 4436 高精度的规定。
- 5.1.5 波纹管基管(含波纹段和接头)材料按附录 B 选用。
- 5.1.6 烧结型表面多孔管在烧结后的基管力学性能应不低于 NB/T 47019.1 中的要求。
- 5.1.7 强化传热管用材料应有制造单位的产品质量证明书。

5.2 尺寸允许偏差

- 5.2.1 烧结型表面多孔管换热管两端光管外径允许偏差为 ± 0.10 mm。
- 5.2.2 螺纹管的螺纹管齿顶圆直径(d_{of})和螺纹管根径(d_r)尺寸的允许偏差为 ± 0.2 mm,每米最少螺纹数应见表 10。

表 10 螺纹管每米最少螺纹数

螺距(p)/mm	0.8	1.25	1.5	2.0	2.5
每米最少螺纹数	990	794	662	497	398

- 5.2.3 T 型管的尺寸允许偏差见表 11。

表 11 T 型管的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸	T 型管外径(d_{of})	槽距(p)	T 槽深度(h)	槽道宽度(a)	开口宽度(b)
允许偏差	± 0.20	± 0.10	± 0.10	± 0.10	± 0.10

- 5.2.4 螺旋扁管的尺寸允许偏差见表 12。

表 12 螺旋扁管的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸	允许偏差
螺旋扁管螺距(p)	± 5
螺旋扁管长轴(a)	± 0.5
螺旋扁管长轴(b)	± 0.5

5.2.5 纵槽管的尺寸允许偏差见表 13。

表 13 纵槽管的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸	外壁纵槽管外径(d_{ot})	槽距(p)	槽深(h)	齿根宽度(t)
允许偏差	± 0.2	± 0.1	± 0.1	± 0.1

5.2.6 波纹管波纹段的尺寸允许偏差见表 14；波纹管的尺寸允许偏差见表 15；接头机加工表面的线性尺寸的极限偏差按 GB/T 1804 中 m 级的规定。

表 14 波纹管波纹段的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸	允许偏差
波谷外径(D)	按钢管外径规定
波峰外径(D_0)	$\begin{matrix} 0 \\ -1.0 \end{matrix}$
波纹管波纹段与接头配合内径(d)	$\begin{matrix} +0.04 \\ 0 \end{matrix}$
波纹段波距(p)	± 1.0

表 15 波纹管的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸		允许偏差
接头与波纹管波纹段配合处外径(D_1)		$\begin{matrix} +0.08 \\ +0.04 \end{matrix}$
接头与管板配合处外径(D_2)	≤ 34	$\begin{matrix} \pm 0.10 \\ \pm 0.15 \end{matrix}$
	> 34	

5.2.7 波节管允许偏差见表 16。

表 16 波节管允许偏差

单位为毫米

尺寸	波距(p)	波节管外壁波谷的直径(d_r)	波节管外壁波峰的直径(d_t)
允许偏差	± 1.0	$\begin{matrix} 0 \\ -0.20 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ -0.20 \end{matrix}$

5.2.8 强化传热管的弯曲度应不大于 3 mm/m，且全长不大于 10 mm。

5.2.9 强化传热管的长度允许偏差见表 17。

表 17 强化传热管的长度允许偏差

强化传热管长度(L)	允许偏差
$L \leq 6\,000\text{ mm}$	0 mm~4 mm
$6\,000\text{ mm} < L \leq 9\,000\text{ mm}$	0 mm~6 mm
$L > 9\,000\text{ mm}$	每增加 3 000 mm 其偏差允许增加 3 mm 且不大于 13 mm

5.3 壁厚减薄量

螺旋扁管、波纹管波纹段、波节管的壁厚减薄量应不大于其名义厚度 15%。

5.4 表面质量

- 5.4.1 强化传热管表面不应有裂纹、折叠、起皮、剥层、划伤、结疤及镶入物等缺陷。
- 5.4.2 强化传热管两端端面应平整光滑，试压密封面不应有裂纹、划痕等影响密封可靠性的缺陷。
- 5.4.3 碳素钢和低合金钢强化传热管应有防锈措施，不锈钢强化传热管应经酸洗钝化交货。
- 5.4.4 烧结型表面多孔管烧结表面允许出现由于生产工艺制造等因素影响而导致的无多孔层的点、线或面，但面积之和不应超过整体面积的 5%。
- 5.4.5 波纹管的焊接接头（波纹管波纹段与接头的对接接头）不应存在裂纹，焊接接头不应出现过烧现象。

5.5 焊接接头

波纹管波纹段与接头的对接接头，按照 NB/T 47014 规定作焊接工艺评定。

6 检验与验收

6.1 尺寸与表面质量

6.1.1 尺寸允许偏差

尺寸允许偏差应符合第 5 章的规定，采用符合精度要求的量具进行测量。

6.1.2 壁厚

- 6.1.2.1 除波纹管、波节管外，强化传热管厚度测量应在产品上取一段完整的槽道，切割长度为 150 mm，沿轴向剖开后测量，纵槽管垂直轴向剖开后测量。
- 6.1.2.2 波纹管、波节管用误差不大于所测壁厚 5% 的测厚仪测量最小壁厚，每米长度最少测 3 个波纹，每个波纹至少测 3 个点。必要时剖开波纹段采用千分尺测量。
- 6.1.2.3 烧结型表面多孔管的壁厚不均应不超过基管壁厚公差 的 80%，U 形烧结型表面多孔管弯管段除外。

6.1.3 表面质量

- 6.1.3.1 强化传热管加工后应进行目视检查。当目视判断不清时，可用放大镜检查。
- 6.1.3.2 烧结型表面多孔管多孔层的结合强度检测方法为，将换热管纵向拉伸至断裂，表面多孔层无脱落视为合格。外表面多孔管可以弯曲代替拉伸，弯曲半径不大于 2 倍的换热管外径，经 180°弯曲后弯管段内外表面无脱落视为合格。

6.1.4 通球试验

U 形烧结型表面多孔管应进行通球检测,检测用钢球直径应符合表 18 的规定。

表 18 通球检测用钢球直径

单位为毫米

基管外径(D)	$D \leq 25$
外表面烧结型表面多孔管	$0.75d_i$
内表面烧结型表面多孔管	$0.7d_i$
注: d_i 为基管内径,单位为毫米(mm)。	

6.2 无损检测

6.2.1 波纹管外表面及接头按 NB/T 47013.5 规定进行 100% 渗透检测,合格级别为 I 级或按供需双方商定的方法进行。

6.2.2 对铬钼钢和有色金属等材料强化传热管订货合同另有规定时,可按 NB/T 47013.5 规定进行 100% 渗透检测,合格级别为 I 级。

6.3 液压试验

6.3.1 强化传热管液压试验方法应符合 GB/T 241 的规定,逐根进行液压试验。

6.3.2 试验压力不低于 2 倍设计压力(水压),保压 10 s,应无渗漏、变形现象。

6.3.3 试验液体通常为洁净水,氯离子含量应不高于 25 mg/L,液压试验完毕后,应将液体排尽吹干。

6.3.4 U 形烧结型表面多孔管应按本文件逐根进行液压试验,试压过程中不应与腐蚀介质接触,液压试验后应立即烘干并去掉油污。

6.4 水下气密试验

6.4.1 按供需双方协议,可进行水下气密试验。

6.4.2 水下气密试验应在液压试验合格后进行。试验压力不小于 1.0 MPa,保压 10 s,应无泄漏。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验分出厂检验和型式试验。

7.2 出厂检验

7.2.1 组批规则

强化传热管应按批进行检验和验收。每批应由同一尺寸规格、同一材料、同一厚度的强化传热管组成,每批强化传热管的数量应不超过 300 根且不超过 NB/T 47019.1 的相关规定。

7.2.2 取样数量

每批应随机抽样 3 根进行尺寸允许偏差、厚度检查,其检验项目及结果应符合第 5 章的规定。当任何 1 根不合格时,应另抽 6 根进行检验。如仍有 2 根不合格时,则该批应进行逐根检验,不合格者应

去除。

7.2.3 检验项目

检验项目见表 19。经质检部门检查合格,并附产品合格证、说明书方可出厂。

表 19 检验项目

序号	检验项目	制造要求章条号	检测方法章条号	出厂检验	取样数量
1	尺寸允许偏差	5.2	6.1	√	3 根/批
2	壁厚	5.3	6.1	△	3 根/批
3	表面质量	5.4	6.1	√	逐根
4	无损检测	6.2	6.2	△	3 根/批
5	液压试验	6.3	6.3	√	逐根
6	水下气密试验	6.4	6.4	△	逐根
注:“√”表示应检项目;“△”按合同规定。					

7.3 型式试验

7.3.1 型式试验要求

波纹管符合下列情况之一,应进行型式试验:

- a) 新产品定型;
- b) 正式生产的产品,如结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能时;
- c) 停产超过半年后,恢复生产时;
- d) 国家市场监督管理总局有要求时。

7.3.2 型式试验项目与方法

7.3.2.1 应力测定

波纹管强化传热管的常温应力采用电阻应变计测量技术进行检测。试验时压力加压至最高允许工作压力(按附录 B 选取)的 2 倍,最大应力值应不大于该管材的许用应力。

7.3.2.2 外压试验

在常温下,用 1 m 长的波纹管做外压试验,管内不加压,管外加压值为最高允许工作压力(按附录 B 选取)的 2 倍,保压 30 min 无失稳现象为合格。

7.3.2.3 疲劳试验

在常温下,用 1 m 长的波纹管做疲劳试验,管外加导向筒,管内加压至最高允许工作压力(按附录 B 选取),按 $0.1(n+1)m$ 位移量做纵向疲劳试验,应保证 1 500 次循环无泄漏。

7.3.2.4 爆破试验

波纹管的常温爆破压力应在有防护措施的条件下进行,缓慢加压直至波纹管破坏,爆破试验压力不低于常温设计压力值的 8 倍。若试验压力超过设计压力值的 8 倍仍未破坏,允许不做到破坏。爆破试验应记录试样的破坏压力和破坏情况。

8 质量证明文件、包装和标志

8.1 质量证明文件

经检验合格的强化传热管,制造单位应提供产品质量证明文件,并同钢管的质量证明书一起装箱发运。产品合格证至少应包括下列各项:

- a) 钢管规格;
- b) 基本参数;
- c) 检验项目及其检验结果;
- d) 检验日期及检验者签署;
- e) 制造日期;
- f) 制造单位名称。

8.2 包装和标志

8.2.1 强化传热管的包装应符合 NB/T 47019.1 的规定,烧结型表面多孔管还应逐根采用塑料网套保护。

8.2.2 强化传热管包装箱应注明:

- a) 产品名称、型号规格;
- b) 产品批号;
- c) 包装日期;
- d) 装箱员代号。

8.3 贮存

产品应存放在干燥、通风、无腐蚀性气体的库房内。

附 录 A

(资料性)

强化传热管质量及换热面积

A.1 螺旋管螺旋段每米长的质量及换热面积见表 A.1。

表 A.1 螺旋管螺旋段每米长的质量及换热面积

基管尺寸($D\times S$)	螺旋管内径(d_i)	螺旋管根径(d_r)	螺旋管齿顶圆直径(d_{of})	螺距(p)	翅化比(η)	质量 kg/m	面积 m ² /m
mm	mm	mm	mm	mm			
16×1.5	12.3	13.5	15.8	2.0	≥1.81	0.40	0.099
16×1.5	12.6	13.8	15.8	1.5	≥1.97	0.38	0.108
16×1.5	13	13.8	15.8	1.25	≥2.20	0.32	0.121
16×1.5	13.4	14.2	15.8	1.0	≥2.19	0.29	0.123
16×1.5	13.4	14.2	15.8	0.8	≥2.52	0.29	0.141
19×2.0	13.0	16.4	18.8	2.0	≥1.70	0.89	0.122
19×2.0	13.0	16.6	18.8	1.5	≥2.0	0.91	0.137
19×2.0	13.0	16.6	18.8	1.25	≥2.20	0.91	0.153
19×2.0	13.4	16.8	18.8	1.0	≥2.50	0.86	0.168
19×2.0	13.4	17.0	18.8	0.8	≥2.80	0.88	0.183
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.5	≥1.60	1.40	0.156
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.0	≥1.80	1.40	0.176
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.5	≥2.20	1.45	0.197
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.25	≥2.50	1.45	0.222
25×2.5	18.8	22.6	24.8	1.0	≥2.75	1.30	0.238
25×2.5	18.8	23.0	24.8	0.8	≥2.80	1.36	0.244
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.5	≥1.60	1.4	0.156
25×2.5	18.0	22.0	24.8	2.0	≥1.80	1.40	0.176
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.5	≥2.20	1.45	0.197
25×2.5	18.0	22.3	24.8	1.25	≥2.50	1.45	0.222
25×2.5	18.8	22.6	24.8	1.0	≥2.75	1.30	0.238
25×2.5	18.8	23.0	24.8	0.8	≥2.80	1.36	0.244
32×2.0	28.5	29.5	31.8	2.5	≥1.72	0.80	0.185
32×2.0	28.5	29.5	31.8	2.0	≥1.92	0.80	0.207
32×2.0	29.1	29.8	31.8	1.5	≥2.07	0.64	0.226
32×2.0	29.1	29.8	31.8	1.25	≥2.30	0.64	0.252
32×2.0	29	30.2	31.8	1.0	≥2.27	0.75	0.253
32×2.0	29.4	30.2	31.8	0.8	≥2.60	0.61	0.292

表 A.1 螺旋管螺旋段每米长的质量及换热面积（续）

基管尺寸($D\times S$) mm	螺旋管内径(d_i) mm	螺旋管根径(d_r) mm	螺旋管齿顶圆直径(d_{of}) mm	螺距(p) mm	翅化比(η)	质量 kg/m	面积 m ² /m
32×3.0	28.5	29.5	31.8	2.5	≥1.72	0.80	0.185
32×3.0	28.5	29.5	31.8	2.0	≥1.92	0.80	0.207
32×3.0	29.1	29.8	31.8	1.5	≥2.07	0.64	0.226
32×3.0	29.1	29.8	31.8	1.25	≥2.30	0.64	0.252
32×3.0	29.0	30.2	31.8	1.0	≥2.27	0.75	0.253
32×3.0	29.4	30.2	31.8	0.8	≥2.60	0.61	0.292
注：表中的材料密度按 $8.00\times 10^3\text{ kg/m}^3$ 计算。							

A.2 波纹管波纹段每米长度的质量及换热面积见表 A.2。

表 A.2 波纹管波纹段每米长度的质量及换热面积

波峰外径(D_0) mm	波谷外径(D) mm	壁厚(S) mm	波距(p) mm	质量 kg/m	换热面积 m ² /m
30	24	0.6	20/25	0.40/0.39	0.094 2/0.092 0
		0.7		0.46/0.45	
		0.8		0.53/0.52	
		0.9		0.60/0.59	
		1.0		0.66/0.65	
32	24	0.6	20/25	0.42/0.41	0.103 8/0.100 1
		0.7		0.49/0.48	
		0.8		0.56/0.55	
		0.9		0.63/0.61	
		1.0		0.70/0.68	
30	25	0.6	20/25	0.40/0.39	0.093 4/0.091 7
		0.7		0.47/0.46	
		0.8		0.54/0.53	
		0.9		0.61/0.60	
		1.0		0.67/0.66	
32	25	0.6	20/25	0.43/0.42	0.102 4/0.099 4
		0.7		0.50/0.49	
		0.8		0.57/0.56	
		0.9		0.64/0.63	
		1.0		0.71/0.69	
32	26	0.6	20/25	0.43/0.42	0.101 2/0.098 8
		0.7		0.50/0.49	
		0.8		0.57/0.56	
		0.9		0.65/0.64	
		1.0		0.72/0.71	

表 A.2 波纹管波纹段每米长度的质量及换热面积（续）

波峰外径(D_0) mm	波谷外径(D) mm	壁厚(S) mm	波距(p) mm	质量 kg/m	换热面积 m ² /m
34	26	0.6	20/25	0.46/0.44	0.111 1/0.107 2
		0.7		0.53/0.52	
		0.8		0.61/0.59	
		0.9		0.69/0.67	
		1.0		0.76/0.74	
40	32	0.6	20/25	0.54/0.53	0.128 3/0.123 7
		0.7		0.63/0.62	
		0.8		0.72/0.70	
		0.9		0.80/0.79	
		1.0		0.89/0.88	
		1.1		0.98/0.97	
42	32	1.2	1.07/1.05	0.137 0/0.131 4	
		0.6	25/30		0.56/0.55
		0.7			0.66/0.64
		0.8			0.75/0.73
		0.9			0.84/0.82
		1.0			0.94/0.91
42	33	1.1		1.03/1.00	0.136 9/0.132 3
		1.2	1.12/1.10		
		0.6	25/30	0.57/0.55	
		0.7		0.66/0.65	
		0.8		0.75/0.74	
		0.9		0.85/0.83	
44	33	1.0		0.94/0.92	0.147 9/0.140 6
		1.1		1.04/1.02	
		1.2	1.13/1.11		
		0.6	25/30	0.59/0.58	
		0.7		0.69/0.67	
		0.8		0.79/0.77	
44	34	0.9		0.89/0.87	0.146 0/0.139 4
		1.0		0.99/0.96	
		1.1		1.09/1.06	
		1.2	1.19/1.16		
		0.6	25/30	0.60/0.58	
		0.7		0.70/0.68	
0.8	0.80/0.78				
0.9	0.90/0.87				
1.0	1.00/0.97				
1.1	1.10/1.07				
44	34	1.2	1.19/1.17	0.146 0/0.139 4	

表 A.2 波纹管波纹段每米长度的质量及换热面积（续）

波峰外径(D_0) mm	波谷外径(D) mm	壁厚(S) mm	波距(p) mm	质量 kg/m	换热面积 m ² /m
46	34	0.6	25/30	0.63/0.61	0.157 7/0.149 2
		0.7		0.73/0.71	
		0.8		0.84/0.81	
		0.9		0.94/0.91	
		1.0		1.05/1.01	
		1.1		1.15/1.12	
		1.2		1.26/1.22	
注 1：表中的材料密度按 $8.00\times 10^3\text{ kg/m}^3$ 计算。					
注 2：波纹管的总质量不含两端接头的质量。					

A.3 波节管波节段每米长度的质量及换热面积见表 A.3。

表 A.3 波节管波节段每米长度的质量及换热面积

类型	波节管外壁 波谷的直径(d_r) mm	波节管外壁 波峰的直径(d_f) mm	壁厚(S) mm	波距(p) mm	质量 kg/m	换热面积 m ² /m
B	32	44	0.5	60	0.40	0.116 2
			0.6		0.47	
			0.7		0.55	
			0.8		0.63	
			0.9		0.70	
			1.0		0.78	
	30	42	0.5	60	0.52	0.109 9
			0.6		0.62	
			0.7		0.73	
			0.8		0.83	
			0.9		0.93	
			1.0		1.03	
	27	36	0.5	51	0.45	0.094 8
			0.6		0.53	
			0.7		0.62	
			0.8		0.71	
			0.9		0.79	
			1.0		0.88	
	25	34	0.5	51	0.42	0.088 6
			0.6		0.50	
			0.7		0.59	
			0.8		0.67	
			0.9		0.75	
			1.0		0.83	

表 A.3 波节管波节段每米长度的质量及换热面积（续）

类型	波节管外壁 波谷的直径(d_r) mm	波节管外壁 波峰的直径(d_f) mm	壁厚(S) mm	波距(p) mm	质量 kg/m	换热面积 m ² /m
H	15	19	1.5	45	0.66	0.053 4
			2.0		0.85	
			2.5		1.04	
			3.0		1.21	
			3.5		1.36	
	18	22	1.5	45	0.77	0.062 8
			2.0		1.00	
			2.5		1.22	
			3.0		1.43	
			3.5		1.63	
	21	25	1.5	45	0.89	0.072 2
			2.0		1.16	
			2.5		1.41	
			3.0		1.66	
			3.5		1.89	
	26	32	1.5	51	1.15	0.091 1
			2.0		1.51	
			2.5		1.85	
			3.0		2.19	
			3.5		2.51	
	32	38	1.5	51	1.38	0.109 9
			2.0		1.81	
			2.5		2.23	
			3.0		2.64	
			3.5		3.03	
	39	45	1.5	51	1.64	0.131 9
			2.0		2.16	
			2.5		2.67	
			3.0		3.17	
			3.5		3.65	
	45	51	1.5	57	1.87	0.150 7
			2.0		2.46	
			2.5		3.05	
			3.0		3.62	
			3.5		4.18	
	51	57	1.5	57	2.09	0.169 6
			2.0		2.76	
			2.5		3.42	
			3.0		4.07	
			3.5		4.70	
注：表中的材料密度按 $8.00\times10^3\text{ kg/m}^3$ 计算。						

附 录 B

(规范性)

波纹管最高允许工作压力

波纹管最高允许工作压力见表 B.1。

表 B.1 波纹管最高允许工作压力

材料	波峰 外径 (D_0) mm	基管 壁厚 (S) mm	温度 ℃								
			≤20	100	150	200	250	300	350	400	450
			最高允许工作压力 MPa								
06Cr19Ni10 (S30408)、 06Cr18Ni11Ti (S32168)、 06Cr17Ni12Mo2 (S31708)、 06Cr19Ni13Mo3 (S31608)	32/42	0.6	2.6/1.9		2.4/1.8	2.3/1.7	2.1/1.6	2.1/1.6	2.0/1.5	2.0/1.5	
		0.7	3.0/2.3		2.9/2.1	2.7/2.0	2.5/1.8	2.4/1.8	2.4/1.8	2.3/1.7	
		0.8	3.4/2.6		3.3/2.5	3.1/2.3	2.9/2.2	2.8/2.1	2.7/2.0	2.6/2.0	
		0.9	3.9/2.9		3.7/2.8	3.5/2.6	3.2/2.4	3.2/2.4	3.1/2.3	3.0/2.2	
		1.0	4.3/3.3		4.1/3.1	3.9/2.9	3.6/2.7	3.5/2.6	3.4/2.6	3.3/2.5	
		1.1	—/3.6		—/3.4	—/3.2	—/3.0	—/2.9	—/2.8	—/2.8	
		1.2	—/3.9		—/3.7	—/3.5	—/3.3	—/3.2	—/3.1	—/3.0	
022Cr19Ni10 (S30403)、 022Cr17Ni12Mo2 (S31603)、 022Cr19Ni13Mo3 (S31703)		0.6	2.4/1.8		2.2/1.6	2.0/1.5	1.9/1.4	1.8/1.4	1.7/1.3	1.7/1.3	
		0.7	2.8/2.1		2.5/1.9	2.4/1.8	2.2/1.7	2.1/1.6	2.0/1.5	2.0/1.5	
		0.8	3.2/2.4		2.9/2.2	2.7/2.0	2.6/1.9	2.4/1.8	2.3/1.7	2.3/1.7	
		0.9	3.6/2.7		3.3/2.5	3.0/2.3	2.9/2.2	2.7/2.1	2.6/2.0	2.6/1.9	
		1.0	4.0/3.0		3.7/2.8	3.4/2.5	3.2/2.4	3.1/2.3	2.9/2.2	2.9/2.1	
		1.1	—/3.3		—/3.0	—/2.8	—/2.7	—/2.5	—/2.4	—/2.4	
		1.2	—/3.6		—/3.3	—/3.1	—/2.9	—/2.8	—/2.6	—/2.6	
注 1：爆破压力安全系数为 8。											
注 2：中间温度的最高允许工作压力，可按本表的压力值用内插法求得。											
注 3：“/”前为 32 系列(包括波峰外径为 30 mm、32 mm、34 mm)最高允许工作压力值，“/”后为 42 系列(包括波峰外径为 40 mm、42 mm、44 mm、46 mm)最高允许工作压力值。											

