

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47007—XXXX
代替 NB/T 47007-2010 (JB/T 4758)

空冷式热交换器

Air-cooled heat exchangers

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家能源局

发布

目 次

前言III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 3

4 总则 5

5 型式与结构 7

6 材料 15

7 设计 17

8 制造 42

9 检验与验收 47

10 铭牌、油漆、包装运输 50

11 补充要求 52

12 空冷器能效评价方法 53

附录 A（资料性附录） 可卸盖板式及可卸帽盖式管箱计算 55

附录 B（资料性附录） 报价书及资料 58

附录 C（资料性附录） 推荐做法 60

附录 D（资料性附录） 清单和数据表 64

前 言

空冷式热交换器

1 范围

本标准规定了鼓风和引风空冷式热交换器（以下简称“空冷器”）设计、材料、制造、检验和验收要求。

1.1 本标准适用于设计压力不大于 35MPa 的空冷器。

1.2 本标准适用的设计温度范围按材料允许的使用温度确定。

1.3 下列各类空冷器不属于本标准的范围：

- a) 用铝或其他有色金属制受压元件的空冷器；
- b) 已有专用行业标准的空冷器。

1.4 对不能用本标准来确定结构尺寸的空冷器受压元件，允许用以下方法设计，但需经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评定认可：

- a) 分析设计（已取得分析设计资格的单位除外）；
- b) 验证性液压试验；
- c) 用可比的已投入使用的结构进行对比经验设计。

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 150-2011	压力容器
GB/T 151-2014	热交换器
GB/T 16507.4-2013	水管锅炉受压原件强度计算
GB/T 196	普通螺纹 基本尺寸 (ISO 724:1993, MOD)
GB/T 197	普通螺纹 公差 (ISO 965-1:1998, MOD)
GB/T 230.1	金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法 (A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺) (ISO 6508-1:2005, MOD)
GB/T 231.1	金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法 (ISO 6506-1:2005, MOD)
GB/T 699	优质碳素结构钢
GB/T 700	碳素结构钢 (ISO 630:1995, NEQ)
GB/T 985.1	气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
GB/T 985.2	埋弧焊的推荐坡口
GB/T 1171	一般传动用普通 V 带
GB/T 1231	钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
GB/T 1566	薄型平键 键槽的剖面尺寸 (ASME B18.25.1M:1996, NEQ)
GB/T 1567	薄型平键 (ASME B18.25.1M:1996, NEQ)
GB/T 3077	合金结构钢
GB/T 3190—2008	变形铝及铝合金化学成分

NB/T 47007—201X (JB/T 4758)

GB/T 3767	声学 声压法测定噪声源声功率级 反射面上方近似自由场的工程法 (ISO 3744:2010, IDT)
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
GB/T 4437.1	铝及铝合金热挤压管 第1部分: 无缝圆管
GB/T 4437.2	铝及铝合金热挤压管 第2部分: 有缝圆管
GB/T 4662	滚动轴承 额定静载荷 (ISO 76:2006, IDT)
GB/T 5777	无缝钢管超声波探伤检验方法 (ISO 9303:1989 (E), MOD)
GB/T 6391	滚动轴承 额定动载荷和额定寿命 (ISO 281:2007, IDT)
GB 6479	高压化肥设备用无缝钢管
GB 5310	高压锅炉用无缝钢管
GB/T 6893	铝及铝合金拉(轧)制无缝管
GB/T 7735	钢管涡流探伤检验方法 (ISO 9304:1989, MOD)
GB/T 8733	铸造铝合金锭
GB 9948	石油裂化用无缝钢管
GB/T 10412	普通和窄V带轮(基准宽度制) (ISO 4183:1995, MOD)
GB/T 10413	窄V带轮(有效宽度制) (ISO 5290:2001, MOD)
GB/T 10715	带传动 多楔带、联组V带及包括宽V带、六角带在内的单根V带 抗静电带的导电性: 要求和试验方法 (ISO 1813:1998, MOD)
JB/T 10562	一般用途轴流风机技术条件
GB 19761	通风机能效限定值及能效等级
DB31/850	挤拉截工艺成型轴流风机能效限定值及能效等级
GB 13296	锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
GB/T 13306	标牌
GB/T 13487	一般传动用同步带 (JIS K6372:1995, NEQ)
GB/T 13912	金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法 (ISO 1461:1999, MOD)
GB 50009	建筑结构荷载规范
GB 50011	建筑抗震设计规范 (附条文说明)
GB 50017	钢结构设计规范
GB 50018	冷弯薄壁型钢结构技术规范
GB 50205	钢结构工程施工质量验收规范
NB/T 47014	承压设备焊接工艺评定
NB/T 47015—5711	压力容器焊接规程
JB 4711	压力容器涂敷与运输包装
NB/T 47013.1—2015	承压设备无损检测 第1部分: 通用要求
NB/T 47013.2—2015	承压设备无损检测 第2部分: 射线检测
NB/T 47013.3—2015	承压设备无损检测 第3部分: 超声检测
NB/T 47013.4—2015	承压设备无损检测 第4部分: 磁粉检测
NB/T 47013.5—2015	承压设备无损检测 第5部分: 渗透检测

NB/T 47013.6—2015承压设备无损检测 第6部分：涡流检测

YB/T 050 冶金设备用 YNK 齿轮减速器
TSG Z6002 特种设备焊接操作人员考核细则
TSG Z8001 特种设备无损检测人员考核细则
TSG R0004 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本标准。

3.1

压力 pressure

除注明者外，均指表压力。

3.2

工作压力 working pressure

指正常工作情况下，空冷器管束内可能达到的最高压力。

3.3

设计压力 design pressure

设定的空冷器管束内的最高压力与相应的设计温度一起作为设计载荷条件，其值不低于工作压力。

3.4

计算压力 calculating pressure

在相应的设计温度下，用以确定空冷器管束受压元件计算厚度的压力，其中包括液柱静压力。

3.5

试验压力 test pressure

耐压试验时，管箱上部的压力。

3.6

设计温度 design temperature

在正常工作情况下，设定的管束受压元件的金属温度。

3.7

最小空气设计温度 minimum design air temperature

规定用于冬季防冻的进口空气温度。

3.8

金属温度 metal temperature

空冷器管束受压元件沿截面厚度的平均温度。

3.9

最小设计金属温度 minimum design metal temperature

能够承受设计压力的承压元件的最低金属温度。

3.10

临界工艺温度 critical process temperature

与工艺流体重要的物理性质相关的温度。

3.11

规定的最低管壁温度 specified minimum tube-wall temprature
临界工艺温度加安全系数。

3.12

试验温度 test temperature
耐压试验时，空冷器管箱的金属温度。

3.13

基管外表面积 bare tube surface
以两管板之间的管长为基准的基管外表面积。

3.14

翅片管表面积 finned surface
以两管板之间的管长为基准的与空气接触的翅片管外表面积。

3.15

计算厚度 calculating thickness
按本标准各章公式计算得到的厚度，不包括厚度附加量。

3.16

设计厚度 design thickness
计算厚度与腐蚀裕量之和。

3.17

名义厚度 nominal thickness
将设计厚度加上钢材厚度负偏差后向上圆整到钢材标准规格的厚度，即图样上标注的厚度。

3.18

有效厚度 available thickness
名义厚度减去腐蚀裕量和材料厚度负偏差。

3.9

密封焊 seal-welded
仅保证换热管与管板连接不泄露的焊接。

3.10

强度焊 strength-welded
换热管与管板的焊接连接强度满足换热管轴向（拉或压）机械和温差载荷设计要求并保证密封性能的焊接。

3.11

强度胀 strength-expansion
换热管与管板的焊接连接强度满足换热管轴向（拉或压）机械和温差载荷设计要求并保证密封性能的焊接。

3.12

贴胀 light-expansion
为消除换热管与管板管孔之间缝隙的轻度胀接。

3.13

组 unit

在一个连续构架上布置的一个或多个单元。

3.14

跨 bay

一片或多片管束，配备有一台或多台风机，同时还包括构架、风箱和其他附属设备。

注：图 1 表示的是典型的跨的布置。

3.15

鼓风式空冷器 forced-draught air-cooled exchanger

管束置于风机排风侧的空冷器（见图 1）。

3.16

引风式空冷器 induced-draught air-cooled exchanger

管束置于风机吸风侧的空冷器（见图 2）。

3.17

单元 item

用于一个单独用途的一片或多片管束。

3.18

单元号 item number

用于一个单元的需方的识别编号。

3.19

含氢工况 hydrogen service

工艺介质中氢分压超过 700kPa（绝压）的工况。

4 总则

4.1 空冷器的设计、制造、检验和验收除符合本标准规定外，还应遵守国家颁布的有关法律、法规和规章的要求。

4.2 资格

4.2.1 空冷器的设计、制造单位应具备健全的质量管理体系。

4.2.2 空冷器产品的制造单位应具有“空冷器安全注册证”，具备生产空冷器产品的基本条件。空冷器用翅片管的制造单位应具有“翅片管安全注册证”；空冷器用风机的制造单位应具有“风机安全注册证”。

4.3 空冷器的范围

4.3.1 管束

- a) 管箱与外管道连接的第一个法兰密封面；
- b) 管箱与外管道连接的第一个螺纹接头。

4.3.2 构架

构架立柱底板以上的钢结构。

4.3.3 风机

电动机接线盒及风机气动控制气源的第一个接头。

4.3.4 百叶窗

百叶窗气动控制气源的第一个接头。

4.4 载荷

4.4.1 设计空冷器受压元件时应考虑以下载荷：

- a) 设计压力；
- b) 液体静压力。

4.4.2 设计空冷器钢结构时应考虑以下载荷：

- a) 物料的重力载荷；
- b) 设备的重力载荷；
- c) 平台、梯子动载荷；
- d) 动力载荷；
- e) 热推力；
- f) 地震载荷；
- g) 风载荷；
- h) 试验载荷。

4.5 受压元件的许用应力

钢材和螺柱材料在不同温度下的许用应力，按 GB 150 选取。

4.6 焊接接头系数

空冷器管箱焊缝采用双面焊或单面焊（沿焊缝根部全长具有紧贴基体金属的垫板或内角缝焊接接头）时，角接接头对接焊缝的焊接接头系数按下列规定选取：

a) 单面焊

100%无损检测： $\phi=0.9$ ；
局部无损检测： $\phi=0.8$ ；
无法进行无损检测： $\phi=0.6$ 。

b) 双面焊

100%无损检测： $\phi=1.0$ ；
局部无损检测： $\phi=0.85$ ；
无法进行无损检测： $\phi=0.6$ 。

4.7 设计温度的确定

设计温度不得低于元件可能达到的最高金属温度。在需方没有给定的情况下，其最大设计温度应至少等于给定的工艺介质进口温度加上 25℃。标志在铭牌上的设计温度应是管束设计温度的最高值。需方应单独规定最高操作温度（翅片管设计温度）以便用于翅片管类型选择。受压部件的设计温度不是用来决定翅片类型或确定机械元件及仪表元件的暴露温度。各元件的暴露温度可参照附录 C 选取。元件金属的表面温度不得超过钢材的允许使用温度。

4.8 厚度附加量

厚度附加量按式（1）确定：

$$C = C_1 + C_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C ——厚度附加量，mm；

C_1 ——钢板或钢管的厚度负偏差,按 4.8.1 确定, mm;

C_2 —— 腐蚀裕量,按 4.8.2 确定, mm。

4.8.1 钢材厚度负偏差

钢板或钢管的厚度负偏差,按钢材标准的规定。当钢材的厚度负偏差不大于 0.25mm,且不超过名义厚度的 6%时,负偏差可忽略不计。

4.8.2 腐蚀裕量

为防止管箱(含接管、法兰)由于腐蚀、机械磨损而导致厚度削弱、减薄,应考虑腐蚀裕量。与工作介质接触的受压元件的腐蚀裕量应由需方给定,如未给定,碳素钢和低合金钢一般取 $C_2 \geq 3\text{mm}$,腐蚀裕量的确定还应符合下列要求:

- a) 换热管、垫片及与垫片接触的密封面均不取腐蚀裕量;
- b) 管程隔板和加强板两侧应分别取腐蚀裕量;
- c) 管板及盖板上开有隔板槽时,可把高出隔板槽底面的金属作为腐蚀裕量;当腐蚀裕量大于槽深时,应加上两者的差值。

4.8.3 制造厂应根据制造工艺及钢材的实际厚度自行增加加工余量。

4.9 耐压试验

管束组装后必须进行耐压试验,耐压试验的项目和要求应符合图样及 GB 150 的规定。

4.10 气密性试验

当管内介质的毒性程度为极度或高度危害时,应在耐压试验合格后进行气密性试验,需做气密性试验时,试验压力、试验介质、检验要求应在图样上注明。

注:介质毒性程度的分级按《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定。

4.11 资料保存

空冷器设计、投标、制造过程的资料保存要求参照附录 B。

5 型式与结构

5.1 空冷器的型式

空冷器的型式分为鼓风式空冷器(见图 1)和引风式空冷器(见图 2)。空冷器型式选择可参照附录 C。

5.2 空冷器部件及零、部件名称

5.2.1 部件:

- a) 管束:管箱、换热管及管束侧梁、支持梁等的组装件(见图 3);
- b) 风机:轮毂、叶片、风筒、支架及驱动机构的组装件(见图 4);
- c) 百叶窗:窗叶、调节机构及百叶窗侧梁等的组装件(见图 5);
- d) 构架:用于支撑管束、风机、百叶窗及其附属件的钢结构(见图 1、图 2);
- e) 风箱:用于导流空气的组装件[对图 1 a)风箱是构架的一部分]。

5.2.2 零、部件名称:

空冷器零、部件名称见表 1 及图 1~图 5。

表 1 空冷器零、部件名称

序号	名 称	序号	名 称	序号	名 称
1	构架 (部件)	22	上横梁 (部件)	43	管箱支架 (部件)
2	风机 (部件)	23	翅片管 (部件)	44	L 形弯管
3	风筒 (部件)	24	支持梁 (部件)	45	集合管箱 (部件)
4	平台 (部件)	25	管束侧梁	46	半圆管箱
5	风箱 (部件)	26	管子支撑件	47	叶片
6	百叶窗 (部件)	27	挡风梁	48	轮毂 (部件)
7	管束 (部件)	28	管箱挡风板	49	轴承 (部件)
8	梯子 (部件)	29	排气口 (部件)	50	风机轴
9	管箱座 (部件)	30	加强板	51	风机支架 (部件)
10	丝堵	31	底板	52	传动带
11	丝堵垫片	32	排液口 (部件)	53	带轮 (部件)
12	端板	33	盖板垫片	54	电动机 (部件)
13	丝堵板	34	盖板	55	减速器 (部件)
14	法兰	35	螺柱	56	联轴器 (部件)
15	接管	36	螺母	57	轴承套
16	仪表接头 (部件)	37	帽盖 (部件)	58	销轴
17	顶板	38	管程隔板	59	百叶窗侧梁
18	管板	39	U 型弯管	60	窗叶
19	吊耳	40	支撑板	61	操纵器 (部件)
20	挡风板	41	连接板	62	定位器 (部件)
21	斜撑 (部件)	42	加强接头	63	手柄

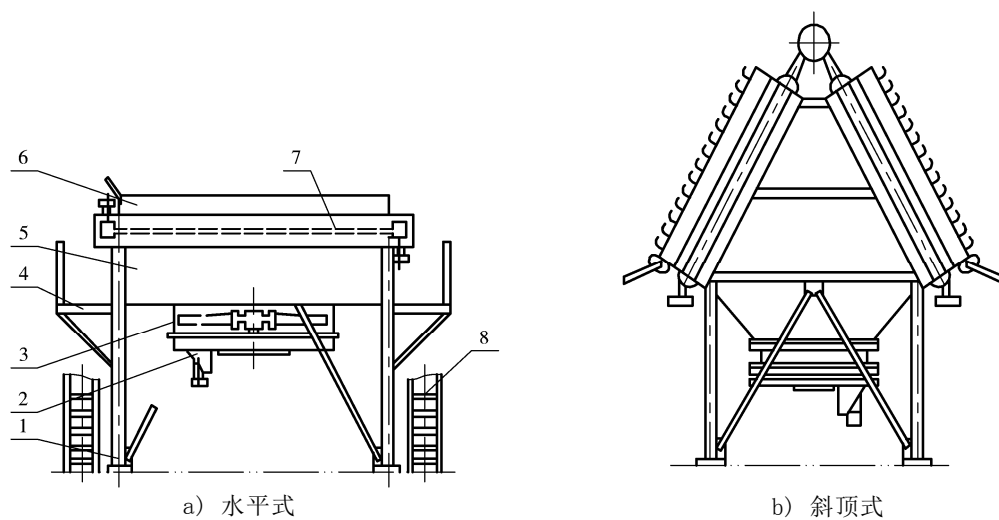


图 1 鼓风式空冷器

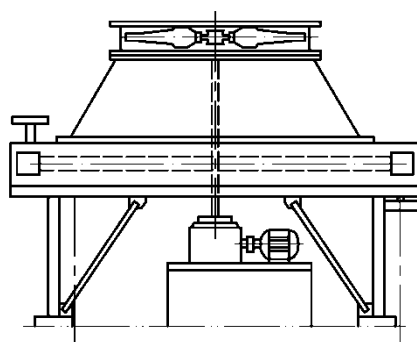
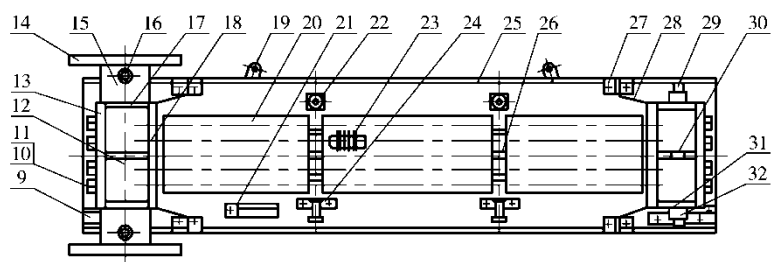
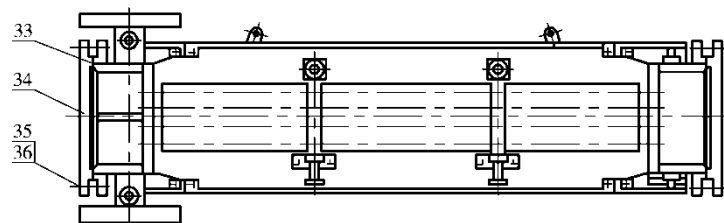


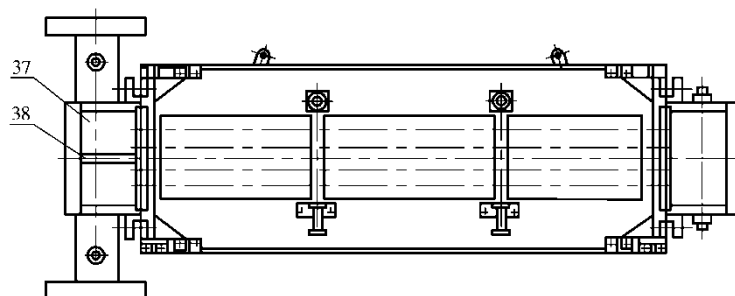
图 2 引风式空冷器



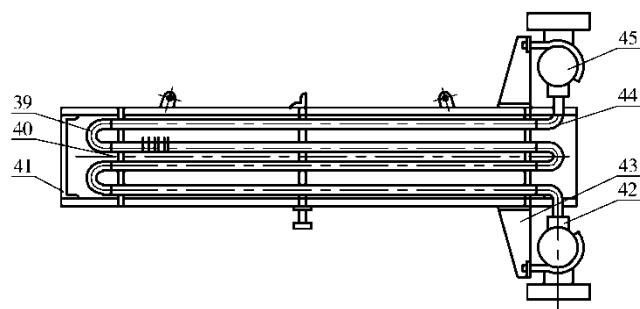
a) 丝堵式管箱的管束



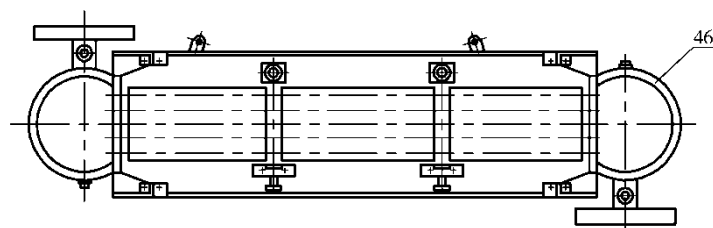
b) 可卸盖板式管箱的管束



c) 可卸帽盖式管箱的管束

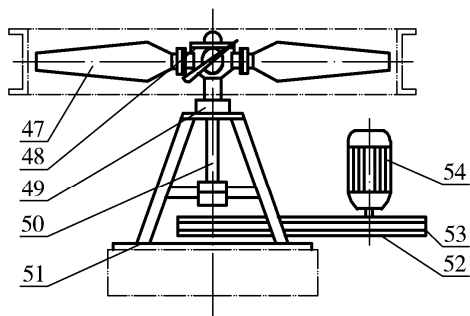


d) 集合管式管箱的管束

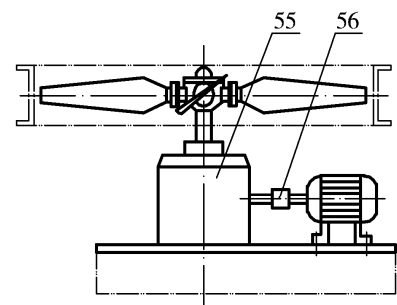


e) 半圆管式管箱的管束

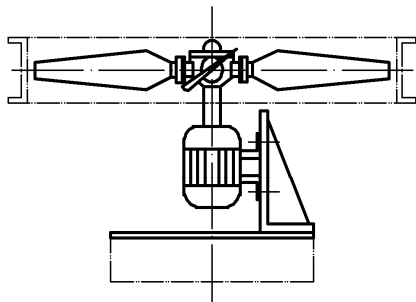
图 3 管束及管箱的典型结构



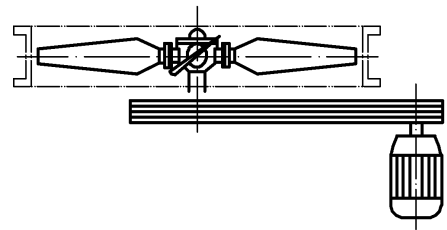
a) 带传动



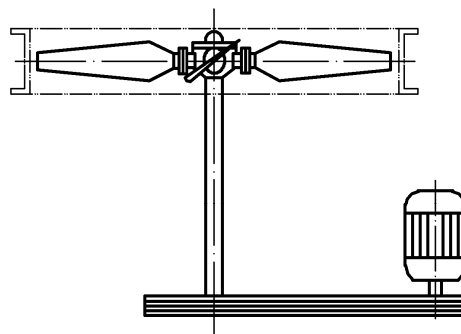
b) 齿轮减速器传动



c) 电动机直接传动



d) 悬挂式带传动电机轴朝上



(e) 悬挂式带传动电动机轴朝下

图 4 典型的驱动机构

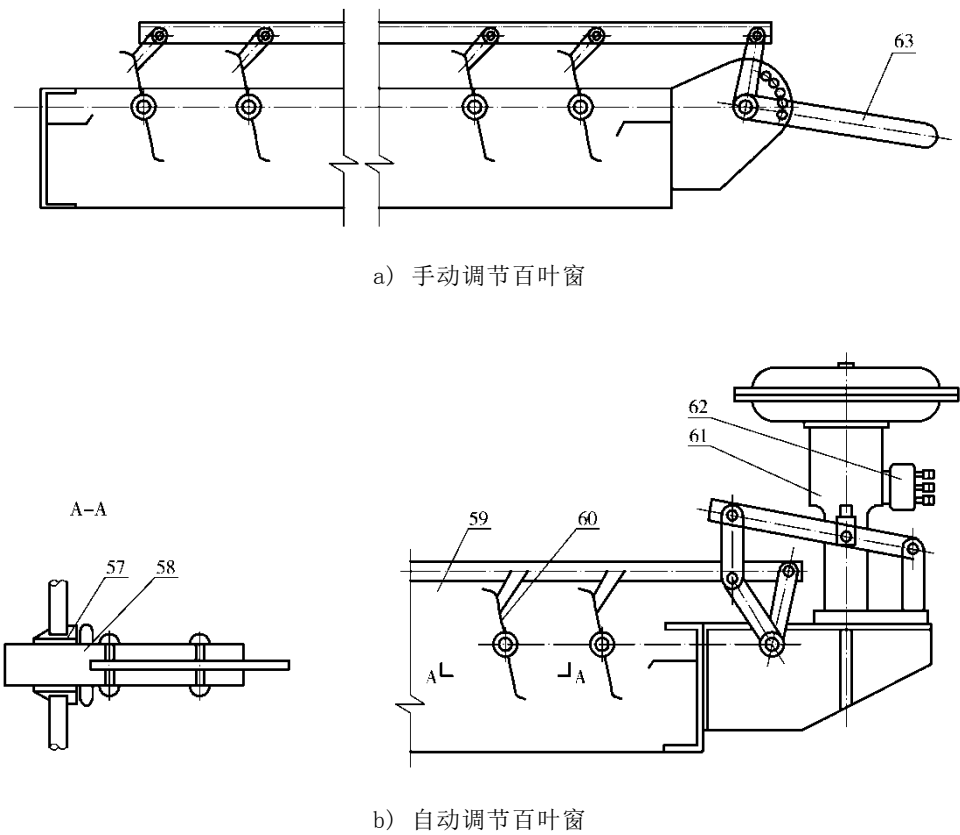


图 5 百叶窗的典型结构

5.3 空冷器型号表示方法

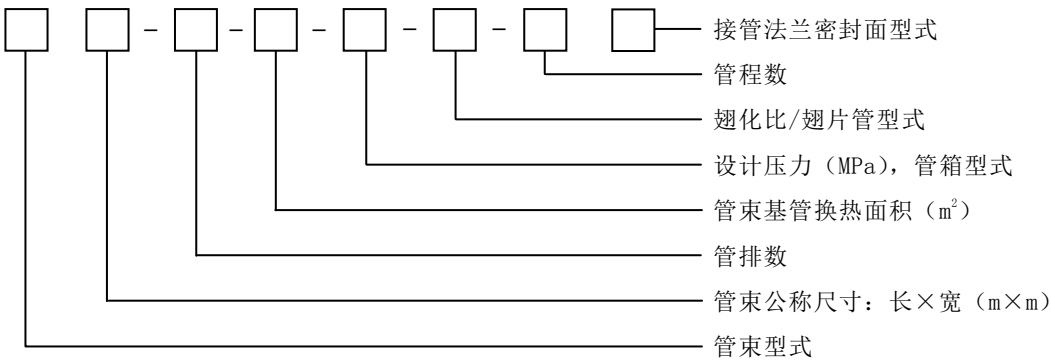
5.3.1 管束

5.3.1.1 型式与代号见表 2。

表 2 空冷器型式与代号

管束型式 (见图 1、图 2)	代号	管箱型式 (见图 3)	代号	翅片管型式 (见图 13)	代号	接管法兰密封面型式	代号
鼓风机式水平管束	GP	丝堵式管箱	S	L 型翅片管	L	突面	a
斜顶管束	X	可卸盖板式管箱	K1	LL 型翅片管	LL	凹凸面	b
引风式水平管束	YP	可卸帽盖式管箱	K2	滚花型翅片管	KL	榫槽面	c
—	—	集管式管箱	J	双金属轧制翅片管	DR	环连接面	d
—	—	半圆管式管箱	D	镶嵌型翅片管	G	—	—

5.3.1.2 管束型号表示方法：



5.3.1.3 示例:

- a) 鼓风式水平管束: 长 9m、宽 3m; 6 排管; 基管换热面积 193m²; 设计压力为 1.6MPa; 可卸盖板式管箱; 镶嵌型翅片管, 翅化比 23.1; 6 管程, 接管法兰密封面为凸面的管束型号为:
GP 9×3-6-193-1.6K1-23.1/G-VIa
- b) 斜顶管束: 长 4.5m、宽 3m; 4 排管; 基管换热面积 63.6m²; 设计压力为 4.0MPa; 丝堵式管箱; 双 L 型翅片管, 翅化比 23.1; 1 管程, 接管法兰密封面为凹凸面的管束型号为:
X 4.5×3-4-63.6-4S-23.1/LL-I b

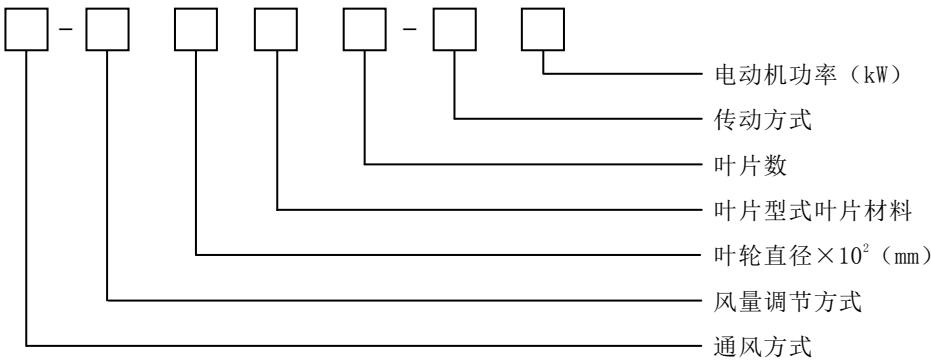
5.3.2 风机

5.3.2.1 型式与代号见表 3。

表 3 风机型式与代号

通风方式	代号	风量调节方式	代号	叶片型式	代号	叶片材料	代号	风机传动方式(见图 4)	代号
鼓风式	G	停机手动调角风机	TF	R 型叶片	R	玻璃钢	b	V 带传动	V
引风式	Y	不停机手动调角风机	BF	B 型叶片	B	铝合金	L	齿轮减速器传动	C
—	—	自动调角风机	ZFJ	—	—	—	—	电动机直接传动	Z
—	—	自动调速风机	ZFS	—	—	—	—	悬挂式带传动, 电动机轴朝上	Vs
—	—	—	—	—	—	—	—	悬挂式带传动, 电动机轴朝下	Vx

5.3.2.2 风机型号表示方法:



5.3.2.3 示例:

- a) 鼓风式; 停机手动调角风机、直径 2400mm、R 型铝合金叶片、叶片数 4 个; 悬挂式电动机轴朝上 V 带传动、电动机功率 18.5kw 的风机型号为:

G-TF24RL4-Vs18.5

b) 引风式；自动调角风机、直径 3 000mm、B 型玻璃钢叶片、叶片数 6 个；带支架的直角齿轮传动、电动机功率 15kw 的风机型号为：

Y-ZFJ30Bb6-C15

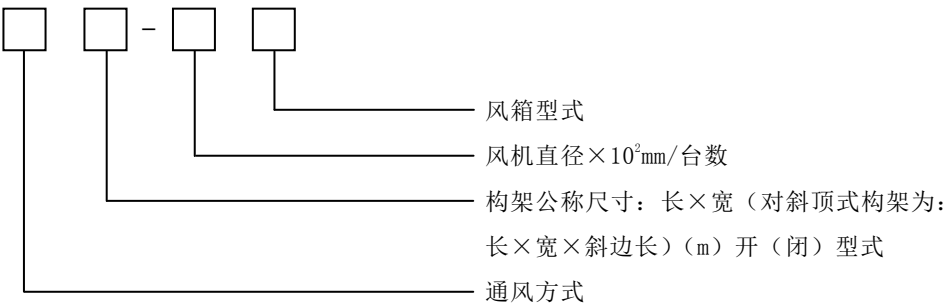
5.3.3 构架

5.3.3.1 型式与代号见表 4。

表 4 构架型式与代号

构 架 型 式	代号	构架开(闭)型式	代号	风箱型式	代号
鼓风式水平构架	GJP	开式构架	K	方箱型	F
斜顶构架	JX	闭式构架	B	过渡锥型	Z
引风式水平构架	YJP	—	—	斜坡型	P
注：开式构架只能与闭式构架配合使用。					

5.3.3.2 构架型号表示方法：



5.3.3.3 示例：

a) 鼓风式空冷器水平构架、长 9m、宽 4m；风机直径 3 300mm、2 台、方箱型风箱；闭式构架，型号为：

GJP9×4B-33/2F

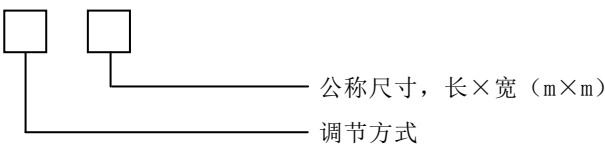
b) 鼓风式空冷器斜顶构架、长 5m、宽 6m；斜顶边长 4.5m；风机直径 4 200mm、1 台、过渡锥型风箱；闭式构架，型号为：

JX5×6×4.5B-42/1Z

5.3.4 百叶窗

5.3.4.1 型式与代号：手动调节代号 SC；自动调节代号 ZC（见图 5）。

5.3.4.2 百叶窗型号表示方法：



5.3.4.3 示例：

a) 手动调节百叶窗、长 9m、宽 3m 其型号为：

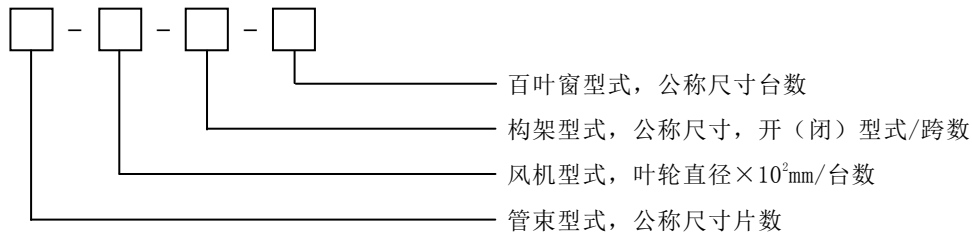
SC9×3

b) 自动调节百叶窗、长 6m、宽 2m 其型号为:

ZC6×2

5.3.5 空冷器

5.3.5.1 空冷器型号的表示方法:



5.3.5.2 示例:

a) 鼓风式空冷器

鼓风式空冷器、水平式管束、长×宽为 9m×3m、4 片; 停机手动调角风机、直径 3 600mm、4 台; 水平式构架、长×宽为 9m×6m; 一跨闭式构架, 一跨开式构架; 手动调节百叶窗、4 台、长×宽为 9m×3m 的空冷器型号为:

GP9×3/4-TF36/4- $\frac{G J P 9 \times 6 B / 1}{G J P 9 \times 6 K / 1}$ -SC9×3/4

b) 引风式空冷器

引风式空冷器、水平管束、长×宽为 9m×3m、2 片; 自动调角风机、直径 3 600 mm、1 台, 停机手动调角风机、直径 3 600 mm、1 台; 水平式构架、长×宽为 9m×6m; 一跨闭式构架; 自动调节百叶窗、长×宽为 9m×3m 的空冷器型号为:

YP9×3/2- $\frac{Z F J}{T F} \frac{3 6 / 1}{3 6 / 1}$ -YJP9×6B/1-ZC9×3/2

6 材料

受压元件所用材料的选用原则、钢材标准、热处理状态及许用应力值应按 GB 150 的规定。易燃、致命或有毒操作工况中的受压元件不应采用铸铁。

6.1 管箱

6.1.1 管程隔板(或加强板)的材料应与管板、丝堵板相同。

6.1.2 管箱元件采用锻件时, 锻件的级别由设计者确定, 并应在图样中注明。

6.1.3 应采取措施避免丝堵和丝堵板咬合。

6.1.4 与管箱焊接的外部承载部件材料应符合 GB 150.2-2011 的规定。

6.1.5 镀锌材料或含锌油漆等不宜用于或直接用于外露的奥氏体不锈钢或高镍合金钢受压部件上。

6.2 翅片管

6.2.1 基管用钢管应选用下列标准中的较高级(或高级): GB 13296、GB 6479、GB 9948, GB 5310 但钢管性能及使用条件应符合 GB 150.2-2011 的规定。常用换热管特性参见 GB 151 附录 G。

6.2.2 设计压力大于或等于 10MPa 的基管用钢管需逐根进行超声检测及磁粉(或涡流)检测。

a) 对磁性材料的超声检测应符合 GB/T 5777 的规定;

b) 磁粉检测应符合 NB/T 47013.4 的规定;

c) 非磁性材料的无损检测应符合 GB/T 7735 的规定。

NB/T 47007—201X (JB/T 4758)

6.2.3 翅片用铝带应为工业纯铝、并应符合 GB/T 3880.1 的规定。

6.2.4 双金属轧制翅片管用铝管应符合 GB/T 4437.1、GB/T 6893 的规定。如果采用 GB/T 4437.2 规定的有缝圆管，需对该铝管作相关试验（如：扩口试验、压扁试验、拉伸试验等）并采取相应措施以确保在轧制过程中不会出现翅片开裂现象。

6.2.5 翅片管管端防止翅片松动所用的固定件应采用不锈钢或镀锌处理的碳素钢。

6.3 螺柱、螺母、丝堵

6.3.1 螺柱及丝堵用钢材的使用状态及许用应力按 GB 150.2-2011 的规定。

6.3.2 螺柱和螺母材料组合可按表 5 选取，也可选用有使用经验的其他材料组合。螺柱的硬度宜比螺母稍高。

6.3.3 丝堵材料应和丝堵板材料相适应，丝堵的硬度应比丝堵板稍低。不应使用铸件做丝堵。

6.3.4 丝堵或螺纹连接材料的合金含量应至少等于结合件的合金含量。

6.3.5 设计压力大于或等于 10MPa 的螺柱和丝堵的无损检测应由设计者在图样上确定。

表 5 螺柱和螺母材料组合

螺柱用钢	螺 母 用 钢			
	钢号	钢材标准	使用状态	使用温度范围，℃
20	10, 15	GB/T 699	正火	—20~350
35	20, 25	GB/T 699	正火	0~350
40MnB, 40MnVB, 40Cr	45, 40Mn	GB/T 699	正火	0~400
30CrMoA	30CrMoA	GB/T 3077	调质	—100~500
	40Mn、45	GB/T 699	正火	—10~400
35CrMoA	30CrMoA, 35CrMoA	GB/T 3077	调质	—70~500
	40Mn、45	GB/T 699	正火	—10~400

6.4 垫片

6.4.1 丝堵垫片应为金属垫片，垫片硬度应低于丝堵板上接触面的硬度。金属垫片的布氏硬度对于碳钢应不大于 120HB，奥氏体不锈钢或双相钢应不大于 160HB。

6.4.2 可卸盖板式及可卸帽盖式管箱的垫片可参照附录 C 的要求。

6.5 钢结构

钢结构件用材应按 GB 50017 的规定。

6.5.1 作为管束部分的结构支撑件，如侧梁、横梁应采用镀锌、涂漆等防腐措施。

6.5.2 结构钢的镀锌应符合 GB/T 13912 的规定。

6.5.3 结构材料的组合应协调一致以便将电解电池作用减到最小。

6.6 风机

6.6.1 风机叶片材料宜选用铝合金或玻璃纤维增强复合材料（以下简称玻璃钢），并应符合下列规定：

a) 玻璃钢叶片的性能应符合表 6 的规定；

b) 铝叶片材料应符合 GB/T 3190 和 GB/T 8733 的规定，铝合金叶片 6005 的性能应符合表 7 的规定。

表 6 玻璃钢叶片的性能

弯曲强度	层间剪切强度	弹性模量	允许使用温度范围
$\geq 180\text{MPa}$	$\geq 20\text{MPa}$	$\geq 15\,000\text{MPa}$	$-40^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$

表 7 铝合金叶片 6005 的性能

抗拉强度	屈服强度	弹性模量	伸长率, %	允许使用温度
$\geq 260\text{MPa}$	$\geq 240\text{MPa}$	$\geq 70\,000\text{MPa}$	≥ 8	$-70^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$

6.6.2 风箱、风机圈、风机底板、隔板和平台材料宜为碳钢。

6.7 百叶窗

6.7.1 窗叶或框架宜采用镀锌钢板或铝合金。如采用轧制镀锌材料，所有切口和冲边应采用富锌涂层保护。

6.7.2 窗叶销轴宜采用奥氏体不锈钢或回火状态铝合金。

6.7.3 百叶窗轴承宜采用适合于百叶窗外露设计温度的聚四氟乙烯 (PTFE) 基复合材料。

7 设计

7.1 管束

7.1.1 一般规定

7.1.1.1 管束应为独立的，且便于整体装卸的组装件。

7.1.1.2 管束应有适应翅片管热膨胀的措施。

7.1.1.3 管束在构架上的横向位置，至少在两边各有 6mm 或一边有 13mm 的移动量。

7.1.1.4 最低一排翅片管下面应设支持梁；支持梁间距应不大于 1.8m，且与管束侧梁用螺栓（或焊接）固定；支持梁部位上的所有翅片管均应设支撑，以防翅片啮合、压坏和变形。

7.1.1.5 用于冷凝的单管程管束的翅片管应向流体出口方向倾斜，倾斜度最少为 10mm/m；用于冷凝的多管程管束的最后一管程的翅片管应向流体出口方向倾斜，倾斜度最少为 10mm/m。

7.1.1.6 管束中凡产生空气旁流的部位，当间隙大于 10mm 时，均应设置密封件。密封件的厚度宜不小于：管束侧梁内 3mm，管束侧梁外 2.5mm，且须固定在管束上。

7.1.1.7 用于固定密封件的螺栓的公称直径至少应为 10mm。

7.1.1.8 管束应设计成能在需方规定的温度和压力下进行蒸汽吹扫。

7.1.2 管箱

7.1.2.1 一般要求

7.1.2.1.1 各种管箱的允许工作压力见表 8。

7.1.2.1.2 多管程管束流体进、出口之间温差大于表 9 的规定时，应采用分解管箱（见图 6）、U 型管结构或其他可以消除约束的措施。

表 8 各种管箱的允许工作压力

管 箱 型 式	允许工作压力, MPa
可卸盖板式 可卸帽盖式 半圆管式	≤6.4
丝堵式	≤20
集管式	≤35
注 1: 对污垢热阻大于 0.000 34m ² ·K/W 的介质或不能用化学方法除掉污垢的工况, 宜采用可机械清理的管箱结构, 如可卸盖板式、可卸帽盖式。 注 2: 在起冷凝作用的空冷器中, 冷凝流程宜分布到管束的全宽度。在全部冷凝工况下, 出口接管的尺寸应避免底排换热管发生倒流。 注 3: 含氢工况不宜采用可卸盖板式、可卸帽盖式管箱结构。	

表 9 多管程管束流体进、出口温差

钢 材	进、出口温差, °C
碳素钢	>110
奥氏体钢	>80

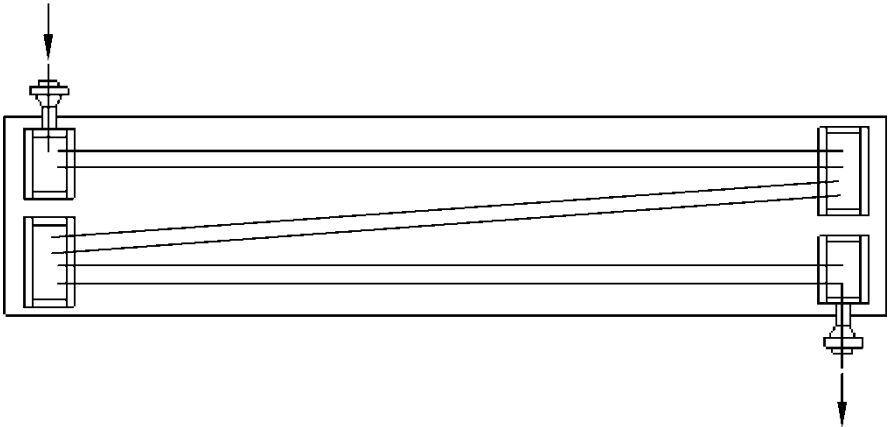


图 6 分解管箱管束

7.1.2.1.3 不管单管程或多管程管束流体进、出口之间温差大小如何，是否需要约束消除应经过计算。设计者应提供计算书以证明设计是恰当的。计算书应考虑以下应力组合：

- a) 对换热管应力和/或管子与管板连接接头应力：
 - 1) 由压力引起的应力；
 - 2) 由接管受力和力矩引起的应力；
 - 3) 由盘管管束中管排/管程之间换热管的不均匀热膨胀引起的应力；
 - 4) 由管箱横向位移引起的应力。
- b) 对管箱和接管应力：

- 1) 由压力和温度引起的应力;
- 2) 由接管受力和力矩引起的应力 (能够产生管箱位移的力和力矩);
- 3) 由加热盘管中管排/管程之间换热管的不均匀热膨胀引起的应力;
- c) 对管箱附件和支撑件:
 - 1) 由充满水的管箱质量引起的应力;
 - 2) 由接管受力和力矩引起的应力 (能够产生管箱位移的力和力矩);
 - 3) 由换热管膨胀引起的应力。

7.1.2.1.4 板焊式空冷器管箱各板的最小厚度应不小于表 10 的规定; 管箱各板不允许拼接。

表 10 板焊式空冷器管箱各板的最小厚度

名 称	碳素钢及低合金钢	高合金钢或其他材料
	厚 度, mm	
管板	20	16
丝堵板	20	16
可卸盖板	25	22
顶板、底板、端板	12	10
管程隔板、加强板	12	6

注: 表中所列厚度, 对碳素钢和低合金钢已包括 3mm 的腐蚀裕量 (对管程隔板和加强板已包括 6mm 的腐蚀裕量)。高合金钢或其他材料不包括腐蚀裕量。以上厚度是以开一个槽的胀接管子与管板接头为依据的。

7.1.2.1.5 管箱各管程中流体的流通横截面积应大于或等于相应管程换热管中流体的流通面积。

7.1.2.1.6 管箱进口区域中流体的横向流速应不超过进口接管中流体的流速。

7.1.2.1.7 管箱各板间的焊接结构及接管与管箱焊接结构可参考 GB 150.3-2011 附录 D 的规定; 其尺寸应符合 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的规定。

7.1.2.2 接管和接头

7.1.2.2.1 接管法兰的密封面应水平布置, 除非需方另有规定; 应根据需要设置化学清洗口。

7.1.2.2.2 符合下述要求的接管和接头应采用法兰连接:

- a) 大于或等于 DN40 的接管和接头;
- b) 在含氢工况操作条件下的接管和接头, 不应采用平焊法兰和松套法兰;
- c) 设计条件要求法兰等级大于或等于 PN150 时的所有接头。

7.1.2.2.3 碳钢和低合金钢法兰颈部的最小厚度应符合表 11 的规定。

表 11 法兰颈部及接管最小厚度

单位为 mm

接管规格 DN	法兰颈部最小厚度	接管最小厚度 (接管外直径×壁厚)
20	5.56	—
25	6.35	—
40	7.14	—
50	8.74	57×9
80	11.13	89×12
100	13.49	108×14
150	10.97	159×11
200	12.70	219×13
250	15.09	273×16
300	17.48	325×18
注 1: 表中接管壁厚是以 10 钢为基准计算的。		
注 2: 表中接管壁厚已包括 3mm 腐蚀裕量。		

7.1.2.2.4 与法兰连接的接管应为下列型式之一:

- a) 锻造或离心浇铸的整体法兰焊接管颈;
- b) 与锻造或离心浇铸带颈法兰焊接的管子;
- c) 与锻造或离心浇铸带颈法兰连接的无缝过渡短节;
- d) 如果买方允许, 制造加工的过渡短节 (例如: 通过对板进行卷制和焊接制造的接管管颈);
- e) 如果买方允许, 可使用铸造件。
- f) 如果买方允许, 可使用搭接焊接管颈 (碳钢和低合金钢除外)。

7.1.2.2.5 如果采用过渡短节, 可采用加拉撑杆、较大厚度的管箱或较大厚度的接管, 以提供足够的机械强度。

7.1.2.2.6 除在有氢操作条件下 [参见 7.1.2.2.2 b)] 以外, 锻造碳钢平焊法兰可用于管箱上, 但须符合以下条件:

- a) 最大设计压力 2.1MPa;
- b) 最大设计温度 450℃;
- c) 最大操作腐蚀余量 3mm。

7.1.2.2.7 除压力表接头不应小于 DN20mm 外, 其余螺纹接头不应小于 DN25mm。这包括一些附属接口, 如: 阀门、排液口、仪表接口和化学清洗口等。

7.1.2.2.8 螺纹连接接头应为下列形式之一, 并应符合 GB 150 的规定:

- a) 仅一端带有螺纹的锻造钢制管接头, 并具有相适应的压力等级;
- b) 整体补强的锻钢件;
- c) 当管箱板厚允许时, 排气和排液接头的螺孔可直接在管箱上加工;
- d) 合适的凸台接头。

- 7.1.2.2.9 当要求带温度计接头时,此接头应设在接管上。除非接管小于 DN100mm 时,接头应位于邻近接管的管箱上。
- 7.1.2.2.10 当要求带压力表接头时,此接头应设在接管上。除非接管小于 DN80mm 时,接头应位于邻近接管的管箱上。
- 7.1.2.2.11 管螺纹应为锥形管螺纹,并应符合 GB 151 的规定。
- 7.1.2.2.12 除要求重叠式管束的中间接管不设仪表接头外,仪表接头应位于每一管束的至少一个进口和出口接管处。
- 7.1.2.2.13 所有螺纹连接的管接头应采用实心堵头封闭。法兰接管应采用盲板封闭,垫片及螺栓材料应适于规定的操作条件。
- 7.1.2.2.14 应在每一管箱的最高点和最低点分别设置排气和排液接头。安装在最高点和最低点的管箱接管可用作排气和排液。用作排气和排液管的接头不应伸出管箱的内表面。如果管箱板厚度不满足排气或排液管塞螺纹的最小啮合长度,应设置管接头或加凸台。
- 7.1.2.2.15 在重叠式管束接管之间的螺栓应在不移动管束的情况下可进行拆卸。
- 7.1.2.2.16 碳钢和低合金钢接管的最小壁厚见表 11。
- 7.1.2.2.17 管箱接管扣除腐蚀裕量后允许承受的弯矩和力见图 7 及表 12。
- 7.1.2.2.18 每个固定管箱或浮动管箱的设计、固定管箱与侧梁的连接件设计以及其他支撑构件的设计,均要确保所有接管载荷之和同时作用于单个管箱上时不会引起任何破坏,作用于单个管箱上的所有接管载荷之和不应超过表 13 的规定。
- 7.1.2.2.19 在一台多管束空冷器上,所有接管总载荷不应超过单个管箱上接管载荷允许值的 3 倍。

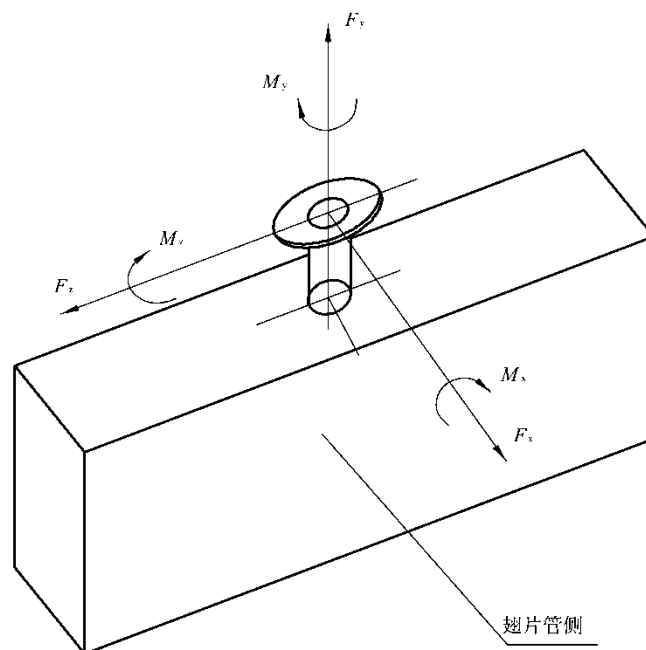


图 7 接管受弯矩和力

表 12 接管允许承受的弯矩和力

接管公称直径, mm	弯矩, N·m			力, N		
	M_x	M_y	M_z	F_x	F_y	F_z
50	150	240	150	1 020	1 330	1 020
80	410	610	410	2 000	1 690	2 000
100	810	1 220	810	3 340	2 670	3 340
150	2 140	3 050	1 630	4 000	5 030	5 030
200	3 050	6 100	2 240	5 690	13 340	8 010
250	4 070	6 100	2 550	6 670	13 340	10 010
300	5 080	6 100	3 050	8 360	13 340	13 340
350	6 100	7 120	3 570	10 010	16 680	16 680

表 13 作用于单个管箱上的所有接管载荷之和的最大值

力矩, N·m			力, N		
M_x	M_y	M_z	F_x	F_y	F_z
6 100	8 130	4 070	10 010	20 020	16 680

7.1.2.3 丝堵式管箱

7.1.2.3.1 丝堵式管箱计算按 GB 150.3-2011 附录 A “非圆形截面容器” 的规定。其应力校核中的焊接接头系数 ϕ 应取焊接接头系数（按 4.6 的规定）与开孔削弱系数 ν 中的较小值。端板按 GB 150.3-2011 平盖计算, 其公式中系数 $K=0.33$ 。开孔削弱系数按式 (2) 计算:

$$\nu = (S - d) / S \dots\dots\dots (2)$$

式中:

S ——等直径等节距错列布置开孔的间距, S 取 S_1 与 S_2 中的较小值, mm;

S_1 ——横向（垂直于空气流动方向）孔间距（见图 8）, mm;

S_2 ——斜向孔间距（见图 8）, mm;

d ——开孔直径, 当开孔如图 9 所示, d 按式 (3) 计算, mm。

$$d = d_1 + \frac{t}{\delta_e} (d_2 - d_1) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

d_1 ——不等径开孔的小孔直径, mm;

t ——凹座的深度, mm;

δ_e ——开孔板有效厚度, mm;

d_2 ——凹座的直径（见图 9）, mm。

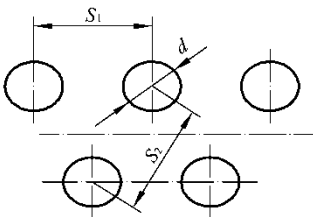


图 8 错列布置孔

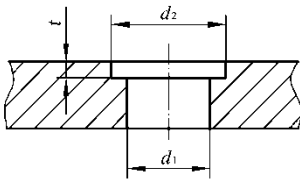


图 9 具有凹座的孔

- 7.1.2.3.2 丝堵孔和管孔应在同一中心线上。丝堵孔的螺纹加工应贯穿丝堵板厚度。
- 7.1.2.3.3 丝堵孔的垫片接触面应铰窝。铰窝边缘应无毛刺。
- 7.1.2.3.4 丝堵孔螺纹名义内直径应不小于翅片管基管外径加 3mm。
- 7.1.2.3.5 丝堵六角头部的尺寸 δ 应不小于翅片管基管外径的 50%，其对边的尺寸应不小于丝堵的凸肩直径。丝堵结构（如自对中锥体）应能保证垫片准确地处于丝堵铰窝平面内（见图 10）。
- 7.1.2.3.6 不应使用空心丝堵。
- 7.1.2.3.7 丝堵螺纹应是连续的。丝堵应足够长以致能填满丝堵板螺纹。长度偏差为 $\pm 1.5\text{mm}$ （见图 10）。

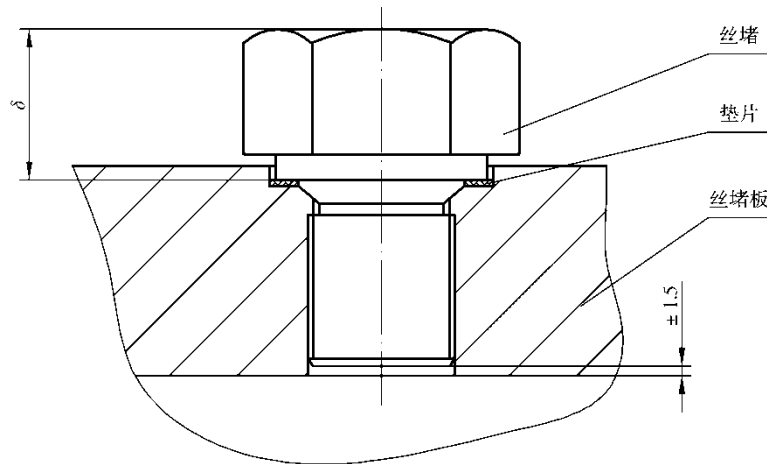


图 10 丝堵结构示例

- 7.1.2.3.8 公称直径小于或等于 30mm 的丝堵的螺纹应为 GB/T 196 规定的普通细牙螺纹。其精度等级应符合表 14 的要求，公差与配合应符合 GB/T 197 的规定。
- 7.1.2.3.9 在丝堵和丝堵板之间应采用垫片进行压力密封。丝堵垫片应扁平并无毛刺。
- 7.1.2.3.10 丝堵垫片应是实心金属。丝堵垫片材料应与丝堵材料为相同类型。丝堵垫片的硬度应比丝堵板及丝堵的材料硬度低。实心金属丝堵垫片的厚度应不小于 1.5mm。

表 14 丝堵螺纹精度等级

螺纹公称直径, mm	精度等级
≤ 40	中等
> 40	精密级

7.1.2.4 集管式管箱

- 7.1.2.4.1 集管式管箱计算按 GB/T 16507.4-2013 “水管锅炉受压原件强度计算”的规定。
- 7.1.2.4.2 集管式管箱适合于压力较高及介质较干净的工况。

7.1.2.5 可卸盖板式及可卸帽盖式管箱

- 7.1.2.5.1 可卸盖板式管箱应能在不拆卸管线的情况下打开盖板；可卸帽盖式管箱应在尽可能少拆卸管线的情况下卸下帽盖。
- 7.1.2.5.2 可卸盖板及可卸帽盖与管箱或管板法兰连接的密封结构见图 11。

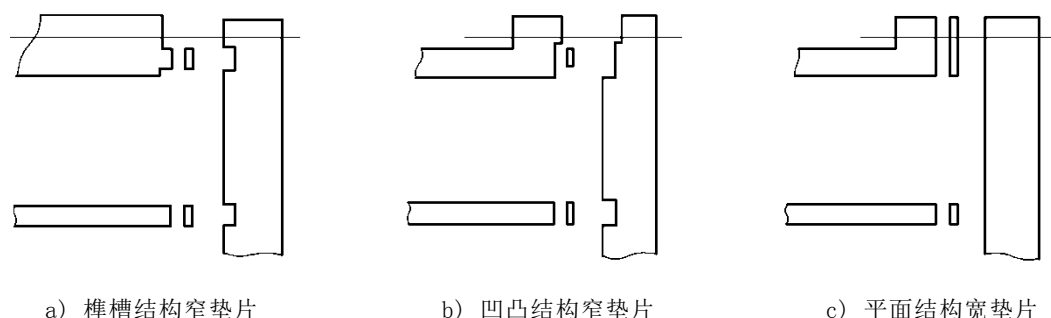


图 11 垫片连接密封结构示例

- a) 对图 11 a) 所示的密封面形式, 盖板及帽盖垫片应为填充型金属包覆垫或具有软垫片密封面的实心金属垫。填充物材料应为非石棉, 并适合于密封、耐光照及耐火性;
- b) 对图 11 b) 所示的密封面形式, 盖板及帽盖垫片应为填充型金属包覆垫或在设计压力不大于 2.1MPa 时, 应采用适合于操作工况的压缩板组合垫片。垫片应为非石棉, 并适合于密封、耐光照及耐火性。
- c) 对图 11 c) 所示的密封面形式, 在设计压力不大于 2.1MPa 时, 盖板及帽盖垫片应采用适合于操作工况的压缩板组合垫片。垫片应为非石棉, 并适合于密封、耐光照及耐火性。

7.1.2.5.3 垫片及法兰密封面的加工要求可参考附录 C.6。垫片应是一片整体的。在有焊缝的部位应满足下列要求:

- a) 在垫片周边部分的焊缝应是连续的, 全焊透的, 这些焊缝区域的横截面、光洁度和平整度应与周边垫片的其余部分相一致;
- b) 焊缝应不能影响周边垫片或加筋部分的密封或压缩。

7.1.2.5.4 对于含氢、含硫或湿硫化氢工况, 只能使用窄垫片结构见图 11 a) 或图 11 b)。

7.1.2.5.5 采用榫槽结构时, 槽深应不小于 5mm。

7.1.2.5.6 可卸盖板和可卸帽盖管箱的垫片宽度宜不小于 10mm。

7.1.2.5.7 在可卸盖板式管箱及可卸帽盖式管箱上应设置顶丝或在盖板(或管板)与箱体法兰之间至少留 5mm 的间隙, 以便拆卸。

7.1.2.5.8 管箱上的紧固件应采用通丝螺柱或双头螺柱。双头螺柱的公称直径应不小于 M20。通丝螺柱的公称直径应不小于 M16。不应采用拉杆螺栓。

7.1.2.5.9 相邻两螺柱孔中心最大间距按式(4)确定。

$$e_{\max} = 2d_B + 6\delta_e / (m + 0.5) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$e_{\max}$ ——螺孔中心最大间距, mm;

d_B ——螺柱公称直径, mm;

δ_e ——法兰有效厚度, mm;

m ——垫片系数, 按 GB 150 选取。

7.1.2.5.10 相邻两螺柱孔间距与螺柱公称直径之比应不大于 5。

7.1.2.5.11 相邻两螺柱孔中心最小间距 $e_{\min}$ 见表 15。

表 15 相邻两螺柱孔中心最小间距

单位为 mm

d_b	16	20	22	24	27	30	36	42	48	56
$e_{\min}$	38	46	52	56	62	70	80	90	102	116

7.1.2.5.12 相邻跨角螺柱孔中心距 e 、 e' 、 e'' (见图 12) 应符合式 (5) 的规定:

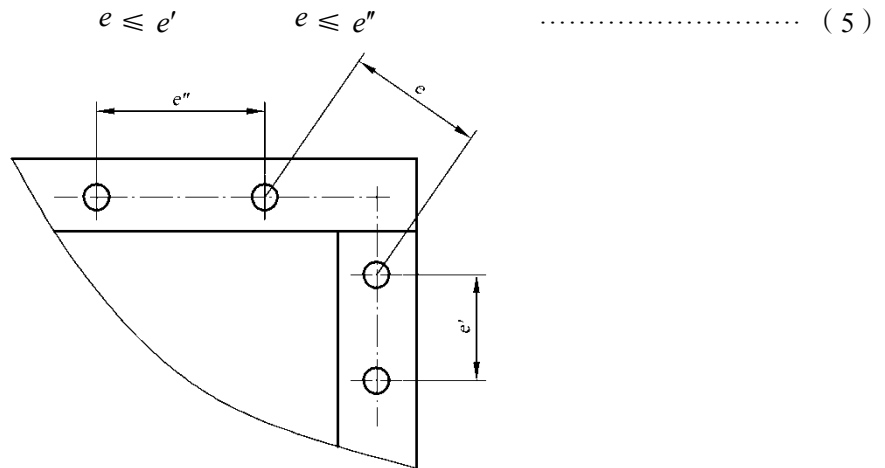


图 12 法兰上螺柱孔布置

7.1.2.5.13 可卸盖板式及可卸帽盖式管箱计算可参照附录 A 的规定。

7.1.2.6 半圆式管箱

7.1.2.6.1 半圆式管箱适合于压力较低, 且介质较干净的情况。

7.1.2.6.2 半圆式管箱的管板计算参照附录 A, 半圆管的计算按 7.1.2.4.1。

7.1.3 换热管

换热管可为翅片管和非翅片管; 换热管基管应以最小壁厚或平均壁厚供货。

7.1.3.1 翅片管型式

7.1.3.1.1 L 型翅片管: L 型铝带在张力下, 缠绕在基管的外表面上, 基管部分被翅片间的弯脚所覆盖。(见图 13 a)。

7.1.3.1.2 LL 型翅片管: L 型铝带在张力下, 缠绕在基管的外表面上, 基管全部被翅片及翅片之间的搭接重叠弯脚所覆盖。(见图 13 b)。

7.1.3.1.3 KL 型翅片管: L 型铝带在张力下, 缠绕并在压力下弯脚部分被嵌入带轴向槽的基管外表面上, 基管部分被翅片间的弯脚所覆盖。(见图 13 c)。

7.1.3.1.4 DR 型翅片管: 翅片由铝质外套管用挤压的方法成形, 外套管用机械方法与基管结合或套入。管子全部严密地被翅片覆盖。(见图 13 d)。

7.1.3.1.5 G 型翅片管: 将矩形截面的铝带用张力缠绕并以机械的方法嵌入基管外表面的螺旋槽内。(见图 13 e)。

7.1.3.1.6 H 型翅片管: 翅片通过热浸锌、钎焊或高频焊连接到管子外表面。

7.1.3.2 圆形翅片管常用基管外径为 25mm、32mm、38mm。常用翅片管的型式见图 13。

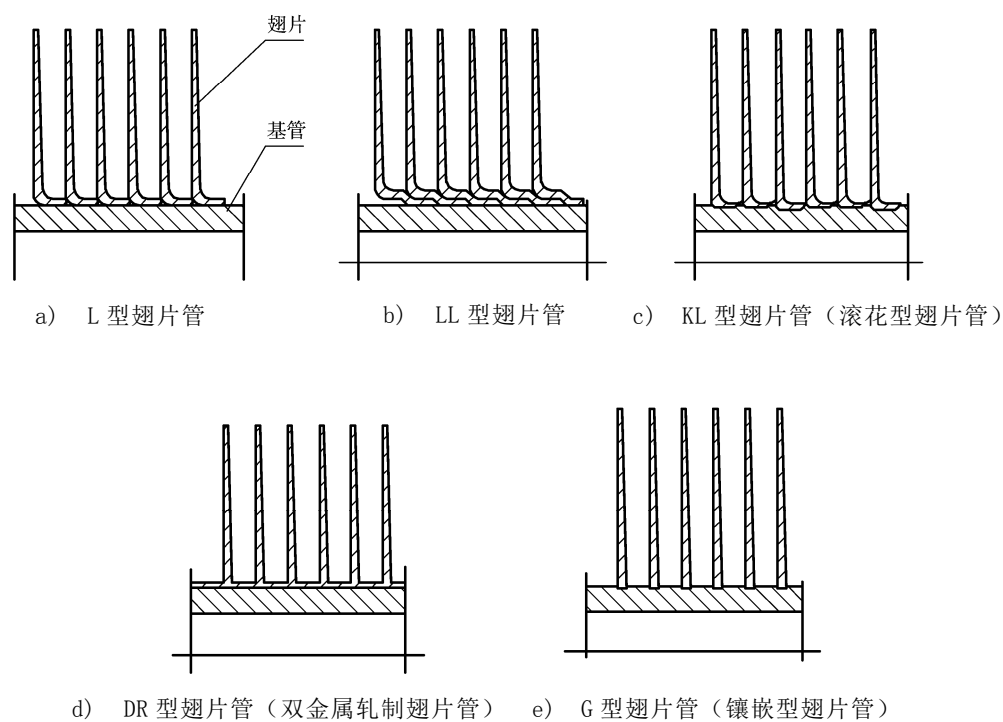


图 13 典型的翅片管

7.1.3.3 各种翅片连接型式的最高允许使用温度宜按照表 16。翅片的选择温度是指在正常工作条件下基管和翅片界面处的温度。最高允许使用温度相当于翅片选择温度。

表 16 各种翅片连接形式的最高允许使用温度

翅 片 连 接 形 式	最高允许使用温度，℃
镶嵌式翅片 G	400
穿片式(热浸镀锌钢翅片)	360
双金属轧制翅片 DR	300
缠绕式翅片，单 L 及双 L	130
滚花型/铝翅片、单 L 或双 L	200
焊接式（焊接或钎焊）翅片	>400℃（最大值宜经需方同意）
注：除另有规定外，以上限制以碳钢基管和铝翅片为依据。基管和翅片的材料不同，会有不同的温度限制。	

7.1.3.4 基管的常用长度宜为 3m、4.5m、6m、9m、12m、15m。

7.1.3.5 外径为 25mm、32mm、38mm 基管的最小厚度应不小于表 17 的规定（对 G 型翅片管，壁厚应从开槽的底部测量起）。

表 17 外径为 25mm、32mm、38mm 基管的最小厚度

材 料	最小厚度, mm
碳素钢及铁素体低合金钢	2
高合金 (奥氏体、铁素体、奥氏体/铁素体双相) 钢	1.6
非钢铁材料	1.6
钛	1.2

7.1.3.6 在张力下缠绕或镶嵌型翅片, 其顶端最小厚度为:

- a) 翅片高度小于或等于 12mm 时: 0.35mm;
- b) 翅片高度大于 12mm 时: 0.40mm。

7.1.3.7 L、LL、KL、G 型缠绕翅片管管端应设防止翅片松动的固定件。

7.1.3.8 可以采用椭圆形换热管。有关椭圆形换热管的要求见附录 C。

7.1.3.9 翅片管带 U 型弯管时, 弯管内径应与基管内径相同; U 型管弯曲处管子的最小壁厚按式(6)计算:

$$\delta_b = \delta / [1 + (\frac{d_o}{4R_m})] \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

δ_b ——弯曲处管子的最小壁厚, mm; 计算壁厚 δ_b 不应小于表 17 中规定的最小壁厚。

δ ——弯曲前管子壁厚, mm;

d_o ——管子的名义外径, mm;

R_m —— U 型弯曲处的平均半径, mm。

7.1.3.10 管束组装以后, 两管板之间每根翅片管上无翅片部分的总长度 L 不应超过下列值:

- a) 管长大于或等于 4.5m 时, $L \leq 1.5$ 倍的管板厚度;
- b) 管长小于 4.5m 时, $L \leq 2$ 倍的管板厚度。

7.1.4 换热管与管板的连接

换热管与管板的连接方法有胀接、焊接、胀焊并用等形式。

7.1.4.1 管板管孔直径及允许偏差见表 18。当换热管材质为奥氏体不锈钢、双相钢、钛、铜、铜镍合金或高镍合金时, 管板管孔直径及允许偏差见表 19。

表 18 管孔直径及允许偏差

单位为 mm

基管外径	25	32	38
管孔直径	25.25	32.4	38.45
允许偏差	+0.10 -0.10	+0.10 -0.15	+0.10 -0.20

表 19 管孔直径及允许偏差 单位为 mm

基管外径	25	32	38
管孔直径	25.25	32.32	38.35
允许偏差	+0.10 -0.05	+0.10 -0.08	+0.10 -0.10

7.1.4.2 强度胀接

7.1.4.2.1 适用于设计压力不大于 4MPa，设计温度不高于 300℃，操作中无振动，无过大温度波动及明显的应力腐蚀倾向的场合。

7.1.4.2.2 结构型式及尺寸按图 14 的规定，图中的伸出长度及槽深应符合表 20 的规定。最小胀接长度应取管板的名义厚度减去 3mm 和 50mm 中的较小值。

7.1.4.2.3 管孔槽的位置距离管板介质侧表面应至少为 3mm 加上腐蚀裕量，且距离管板空气侧表面不应小于 6mm。

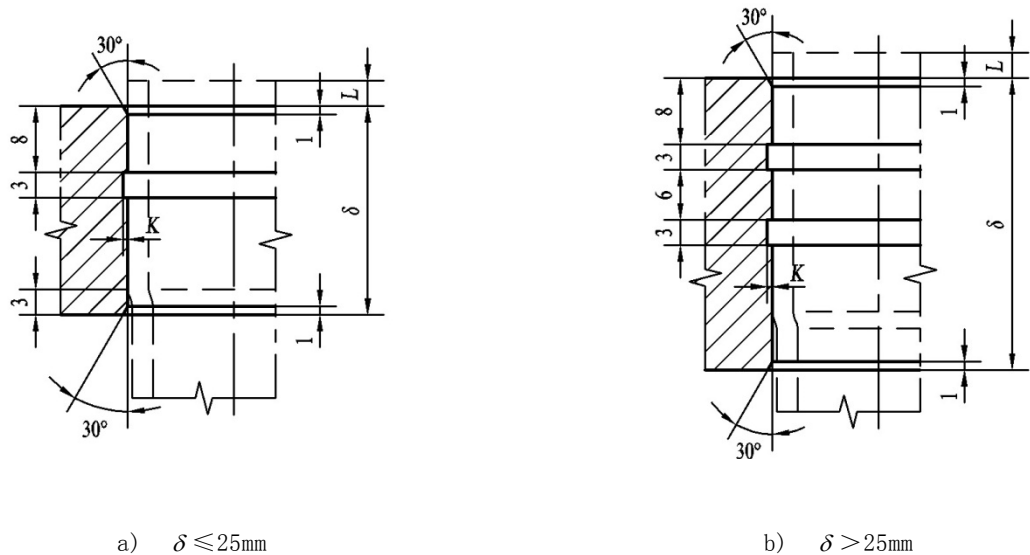


图 14 强度胀

表 20 伸出长度及槽深 单位为 mm

基管外径	25	32	38
伸出长度 L	3_0^{+1}	4_0^{+1}	
槽深 K	0.5	0.6	

7.1.4.3 强度焊接

7.1.4.3.1 适用于本标准规定的设计压力，但不适用于有较大振动的场合。

7.1.4.3.2 强度焊接的结构型式及尺寸按图 15 的规定，图中的焊脚高度 L 应满足换热管与管板连接拉脱力的要求，且不小于基管壁厚 δ_t 。

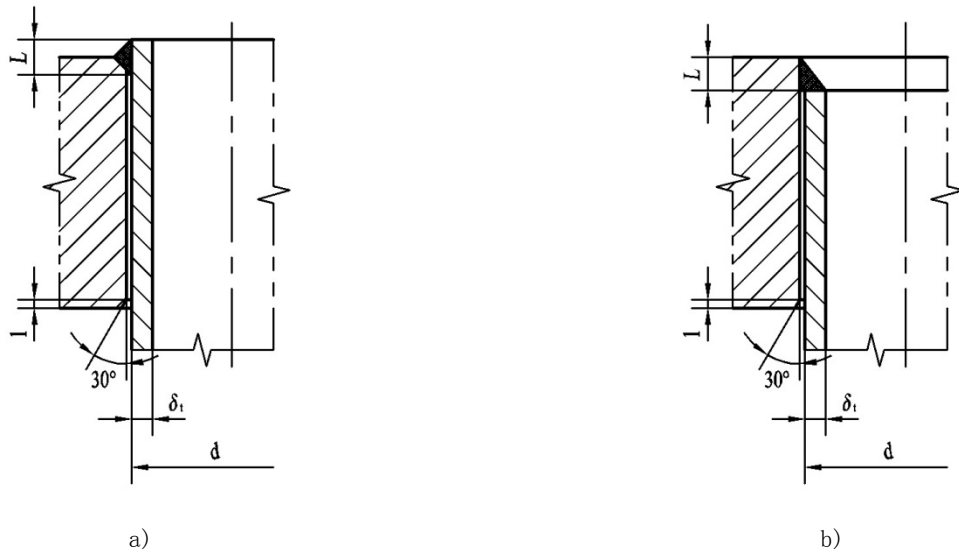


图 15 强度焊

换热管与管板连接拉脱力 q 按式 (7) 计算。

$$q = \frac{\sigma_t a}{\pi d L} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

σ_t ——换热管轴向应力按式 (8) 计算：

$$\sigma_t = P_N \left(\frac{\pi d^2}{4a} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$a = \pi \delta_t (d - \delta_t) \quad \dots\dots\dots (9)$$

d ——换热管外径，mm；

P_N ——管束设计压力，MPa；

δ_t ——换热管管壁厚度，mm。

计算结果应满足 $q \leq [q]$ 。

$[q]$ 应为设计温度下管板与换热管材料许用应力较小值的 0.5 倍。

7.1.4.4 胀焊并用

7.1.4.4.1 适用于密封性能要求较高且有振动的场合。

7.1.4.4.2 结构型式及尺寸按图 16 和图 17 的规定，强度胀加密封焊，强度焊加贴胀，还应分别符合 7.1.4.2（其中当管板厚度 δ 大于或等于 32mm 时开二道槽）和 7.1.4.3 的规定。

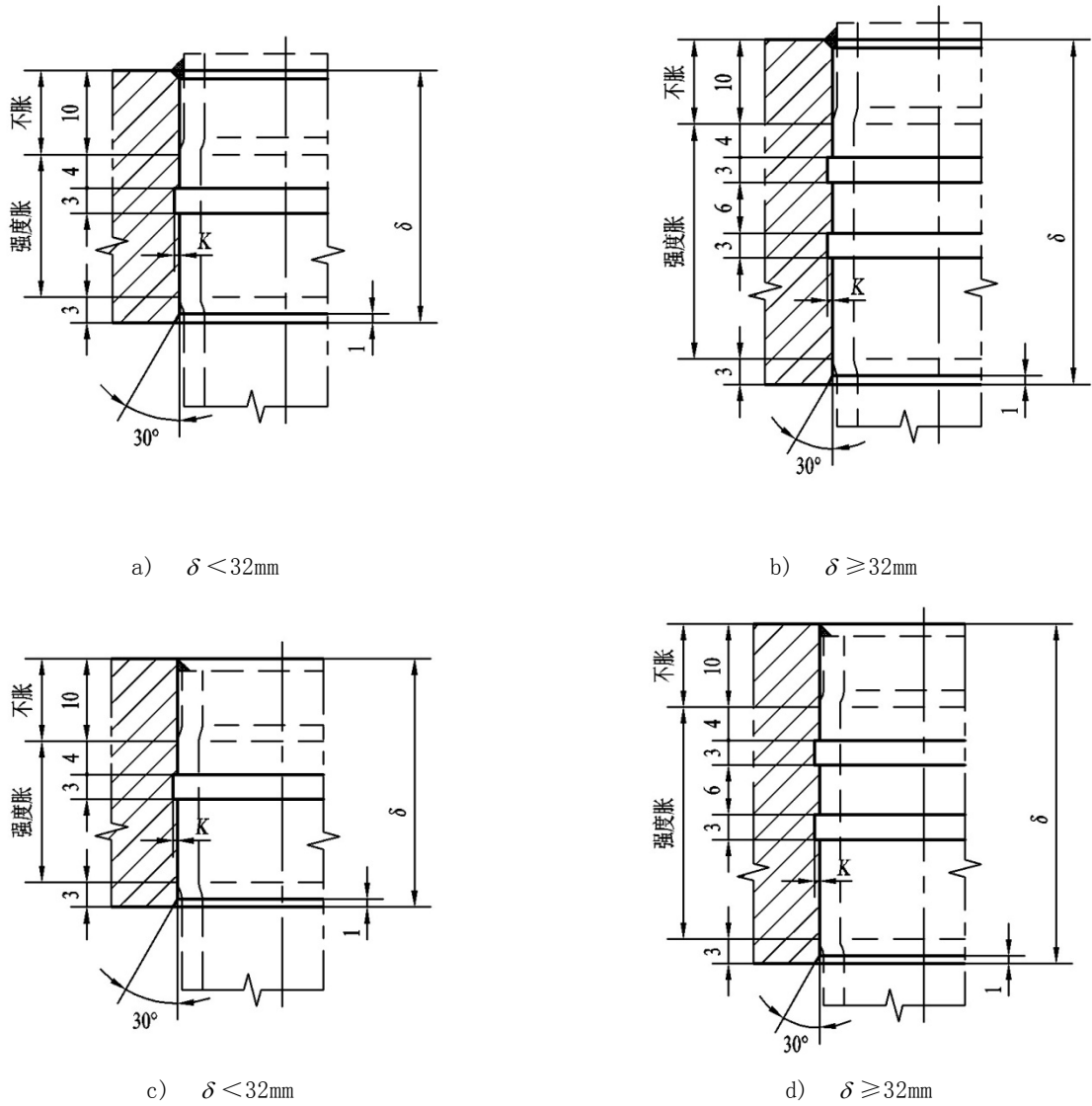


图 16 强度胀加密封焊

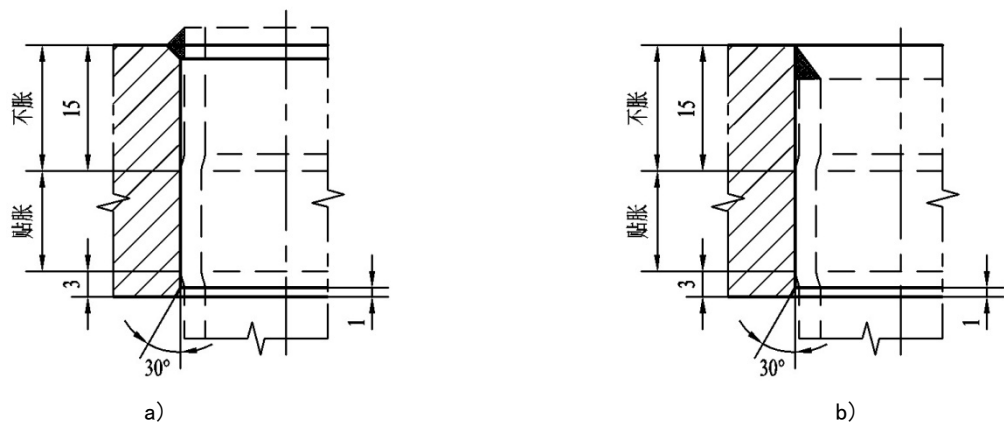


图 17 强度焊加贴胀

7.2 加热管束

防冻用的加热管束一般应作为一个独立的管束，其设计应符合 7.1 的有关规定及下列要求：

- a) 加热管束应覆盖整个工艺管束宽度；
- b) 加热管束的管间距不应超过工艺管束管间距的 2 倍或加热管束管子名义直径的 4.75 倍的较小值；
- c) 如果采用蒸气作为加热流体，加热管束应为单管程，加热管应向冷凝液排放口方向倾斜 10mm /m 的斜度；
- d) 集合管式管箱适用于蒸气加热的加热管束。

7.3 空气侧设计

7.3.1 一般规定

7.3.1.1 在设计条件下选择的风机应确保风机在额定转速下，通过增大叶片角增加风压可增加 10% 的空气流量。由于该要求是为了防止风机失速和无效操作，所以驱动器的额定功率不必为此而增加。

7.3.1.2 为避免可能产生热空气再循环，鼓风式空冷器与引风式空冷器彼此之间不应相邻安装。

7.3.1.3 供方可利用常规的传热分析估算机械部件的设计暴露温度，并应将估算值提交需方认可。该温度可通过下列方法估算：

- a) 安装在管束上方的机械部件和仪表元件的设计暴露温度应大于或等于下列值：
 - 1) 最大工艺介质进口温度减 60℃；
 - 2) 加热管束的进口温度减 60℃；
 - 3) 对于装有空气出口百叶窗、自动调角风机、或双速电动机的空冷器，按上述的进口温度减 30℃。

任何情况下，最小设计暴露温度都不应小于设计干球温度。

- b) 安装在管束下方的机械部件和仪表元件的设计暴露温度应大于或等于下列值：
 - 1) 最大工艺介质进口温度减 120℃；
 - 2) 加热管束的进口温度减 120℃；
 - 3) 对于装有空气出口百叶窗、自动调角风机、或双速电动机的空冷器，按上述的进口温度减 60℃。

对于采用空气再循环系统的装置，应分析其每种操作方式（开启、正常运转、关闭、停电、空气流动停滞、一台风机停转等）的设计暴露温度。任何情况下，最小设计暴露温度都不应小于设计干球温度。

7.3.2 噪声控制

7.3.2.1 对于在规定工况下操作的空冷器，当其风机在设计转速和设计叶片角下操作时，需方应规定下列噪声限制：

- a) 在需方指定的位置，每台风机的声压级数值（SPL）；
- b) 每台风机的声功率级数值（PWL）；
- c) 如有要求，供需双方应填写空冷器噪声数据表，见附录 D 表 D.3。

供方应提交空冷器的声功率级和声压级，并且要考虑相关的因素，例如：进风口的形状（喇叭口或锥型口的型式和尺寸）、障碍物等。涉及到风机的部件包括驱动器、减速机等。

7.3.2.2 获得所需噪声数据的方法的顺序如下：

- a) 实际测试应在一个有代表性的跨上进行，该跨可安装在一个远离其他噪声源（车间或试验现场）的环境中，也可安装在一个正在操作的装置中；
 - b) 通过测试一个类似的空冷器并调整数据适合于实际的空冷器尺寸和操作条件，从而推导出实测空冷器的噪声数据。测试数据和修正方法都应作记录。
- 7.3.2.3 确定噪声级的方法应按照 GB/T 3767 进行，并使用半球形的方法来确定声功率级。
- 7.3.2.4 如需方没有规定噪声限制，单台风机的总声功率级噪声值应不超过 110dB，每台空冷器的总声功率级噪声值应不超过 116dB。
- 7.3.3 风机与风机轮毂
- 7.3.3.1 在每一跨中，沿管长方向应配置两台或两台以上的风机。如果需方同意，也可以采用单台风机的布置。
- 7.3.3.2 风机应为轴流式。
- 7.3.3.3 每台风机的回转面积至少应占该风机所对应管束迎风面积的 40%(管束迎风面积为管束的名义宽度乘以管子的名义长度)。风机直径应不小于 1m。
- 7.3.3.4 如图 18 所示，每台风机应位于使风机对其在管束中心线处的扩散角不超过 45°。

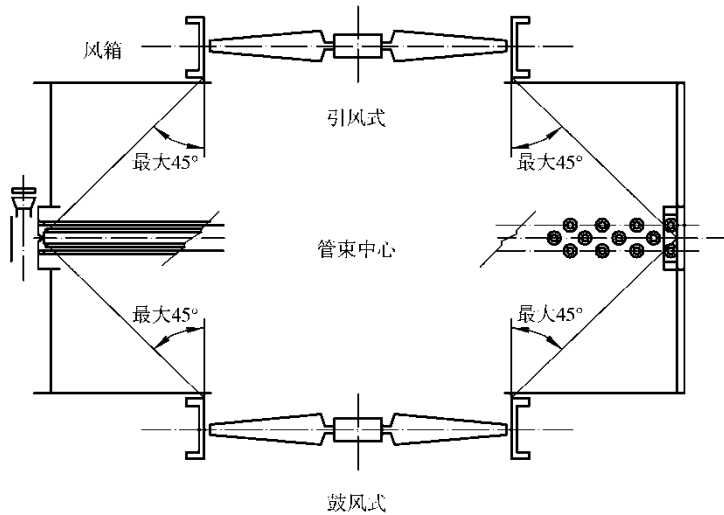


图 18 扩散角

- 7.3.3.5 风机叶尖速度不应超过风机制造商对所选择的风机类型规定的最大值。除非需方同意，否则风机叶尖速度不应超过 60m/s。任何情况下，风机叶尖速度不应超过 80m/s。
- 7.3.3.6 风机叶尖与风机圈之间的径向间隙如表 21 中所示。

表 21 径向间隙

风 机 直 径，m	径 向 间 隙，mm	
	最小值	最大值
≥1.0 且 ≤3.0	6	13
>3.0 且 ≤3.5	6	16
>3.5	6	19

7.3.3.7 可拆卸风机叶片应对照标准叶片作力矩平衡。

7.3.3.8 每台风机组件都应按下列方法之一作平衡：

- a) 整机作动平衡；
- b) 轮毂作动平衡，叶片作静力矩平衡。

7.3.3.9 风机组件应被设计成能使轮毂处空气的倒流量最小。

7.3.3.10 对于直径大于 1.5m 的风机，单台风机的叶片应能手动调节以便改变叶片角。采用自动控制调节叶片角应按需方规定进行。

7.3.3.11 装有气动、自控调角机构的风机应遵守以下规定：

- a) 如果单个控制器控制多个执行机构，需方应在每个执行机构的控制信号管线上安装一个隔离阀以便于维修；
- b) 气动执行机构应装有定位器或偏压继电器；
- c) 如果安装了定位器或偏压继电器，它们应被设计成能够在表压为 20kPa~100kPa 的气动控制信号下操作。控制信号的每一个变化应引起风机叶片角的相应变化。应调节定位器的操作范围，以使所获得的最大叶片角等于所选定的设计叶片安装角。风机制造商应设置最大叶片角和最小叶片角的限位挡块。除非另有规定，否则风机最小叶片角的极限位置应使空气流量基本上为零；
- d) 应提供一条长约 300mm 的挠性管用于连接需方的气控线路。该软管应与一端伸出风机壳外侧的一个刚性钢管或合金管连接。与需方的气控线路连接的终端接头应为 DN8 ($R_p/4$)。管端螺纹应为锥管螺纹；
- e) 需方应给定风机叶片角随着气控压力的减小而改变的方向。

7.3.3.12 自动调角机构的轮毂和风机组件的润滑，应设计成采用不需要周期性润滑的轴承，从而使润滑维护工作减到最少。

7.3.3.13 风机的特性曲线应当表示出静压头或总压头、流量、叶片角以及风机输入轴功率的关系，该特性曲线适用于如表 22 所示的干空气标准条件。风机的特性曲线应能显示出规定的设计条件下的操作点和功率。

表 22 干空气标准状态

干 球 温 度	21.1℃
压 力	101.3 kPa
密 度	1.2 kg/m ³

7.3.3.14 风机或风机部件的固有频率不应在叶片运转频率的 10%以内。叶片运转频率（每秒钟叶片的通过次数）等于叶片数乘以风机转速（每秒钟的转数）。传动皮带打滑、低压供电或可变速风机的控制操作都将使风机转速低于设计值；如果叶片的运转频率超过风机或风机部件的固有频率，应估算这种操作的影响。

7.3.3.15 无论风机运转与否，风机的叶片、轮毂和叶片定位器的暴露温度不应超过制造厂推荐的操作极限值。

7.3.3.16 风机的设计应考虑由于空气流过防虫网和纤维网的附加压力降，加上网上的污垢产生的

附加阻力降。估计污垢产生的附加压力降为干净网的压力降的 2 倍。尽管由于防雹网的自身位置不需要额外增加污垢产生的附加压力降，但是空气通过防雹网引起的压力降也应考虑。

7.3.4 风机轴与轴承

7.3.4.1 在最大载荷和转速下，抗磨轴承应当有一个 50 000h 的计算额定寿命值 L_{10} 。 L_{10} 是指在额定轴承载荷和转速下一组相同的轴承中，90%的轴承在出现第一次失效之前的时间值。

7.3.4.2 轴承的设计应包括为防止润滑剂流失和外部介质进入的密封件。轴承载荷应符合 GB/T 4662、GB/T 6391 的规定。

7.3.4.3 风机轴的直径应与轴承匹配。键及键槽应符合 GB/T 1566、GB/T 1567 的规定。

7.3.4.4 暴露温度高于 130℃的风机轴承需要一个或多个特殊元件，比如：高温密封件、热稳定器、保持器或内部间隙调节器。润滑剂应适用于设计暴露温度加上由于摩擦和载荷引起的温升。

7.3.5 润滑设施

7.3.5.1 润滑接头应设在风机防护罩的外侧，以便在设备不停机的情况下给风机轴承加润滑剂。

7.3.5.2 加润滑剂的管线应使用外径至少为 6mm 的不锈钢管。应从梯子或工作平台上很容易接近加润滑剂接头。

7.3.5.3 在确保方便操作情况下，加润滑剂的管线长度应尽量短。

7.3.6 风机防护罩

7.3.6.1 在鼓风式空冷器上应装备可拆卸的钢制风机防护罩。

7.3.6.2 风机叶片和风机防护罩的材料应为不起火花的组合件。

7.3.6.3 用于风机防护罩的多孔拉制金属网，其网孔的名义尺寸不应超过 50mm。

7.3.6.4 拉制多孔金属网所用板材的最小厚度不应小于表 23 中列出的值。

表 23 拉制多孔金属网护罩板材的最小厚度 单位为 mm

网孔公称尺寸	最小厚度
40	2
50	3

7.3.6.5 用于风机防护罩的编织的或焊接的金属网，如果其网丝间距在两个方向上都超过 25mm，则其开孔的平均面积不应超过 2 600mm²。

7.3.6.6 焊接的或编织的金属网的网丝厚度至少应为 2.8mm。

7.3.6.7 风机防护罩应设有加强件，以保证在 0.1m²的面积上作用 1 000 N 的集中载荷时不会引起紧固件失效或加强件的挠度大于 $L/90$ ，这里 L 指两支撑点间的跨距。

7.3.6.8 风机在其最大操作叶片角时，风机防护罩与风机叶片边缘之间的最小距离应为 150mm 或 6 倍网孔尺寸二者中的较小值。

7.3.6.9 风机防护罩与设备之间的间隙或风机护罩的元件之间的间隙不应超过 12mm。

7.3.7 驱动装置

7.3.7.1 一般规定

7.3.7.1.1 需方应规定驱动系统的类型及供方的供货范围。

7.3.7.1.2 对于电动机驱动装置，在电动机轴处获得的额定轴功率应取式（10）、式（11）中的较大值：

$$N_E \geq \frac{1.05 N_{f1}}{\eta} \dots\dots\dots (10)$$

$$N_E \geq 1.1 N_{f2} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

N_E —— 电动机的轴功率，kW；

N_{f1} —— 在允许使用最低温度下，风机以设计选定的叶片安装角运转时的轴功率，kW；

η —— 传动装置机械效率；

N_{f2} —— 在设计干球温度下风机以设计选定的叶片安装角运转时的轴功率，kW。

这些要求适用于固定叶片角风机、调角风机和调速风机。

7.3.7.2 电动机驱动

7.3.7.2.1 电动机应为三相异步电动机，其封闭型式及绝缘等级按使用工况的要求选用。电动机应能够满电压启动、全相变流、连续工作。而且在铭牌上的额定值下能适合于在 40℃ 的环境温度下有 80℃ 的温升。需方应规定电动机使用环境的危险区域级别、温度级别及绝缘级别。

7.3.7.2.2 应通知电动机制造商，该电动机用于空冷器、户外操作、无气候防护。如果电动机竖直操作时，电动机制造商应书面证实该电动机适用于竖直操作，电动机轴或朝上或朝下。

7.3.7.2.3 除非另有规定，电动机座应由铸钢或耐腐蚀的铸铁制成，并具有整体铸造的支脚。

7.3.7.2.4 电动机设计载荷应不包括工况系数的容差。

7.3.7.2.5 电动机应具有润滑脂润滑的轴承，该轴承在额定载荷和转速下连续工作时其 L_{10} 寿命应至少为 40 000h（见 7.3.4.1 关于 L_{10} 的定义）。如果电动机要被竖直安装，则轴承润滑系统和密封件应适用于竖直安装的电动机。

7.3.7.2.6 如果电动机轴朝上安装，皮带轮的设计应兼有防护屏的作用，以防止当电动机停转或运行时积水并且防止积水沿电动机轴渗入。也可在电动机轴上安装一个外圆锥形甩水环以防止水沿电动机轴进入电动机内。

7.3.7.2.7 电动机安装在空冷器上时，电动机座的最低点应设有排水口。

7.3.7.2.8 标准电动机适用于 40℃ 的环境温度和不超过 1 000m 的海拔高度。较高的环境温度和（或）海拔高度（导致空气密度减小）会要求改进绝缘体或增大电动机机座尺寸。如果电动机需要适应的工况超出标准条件，应通知电动机制造商。

7.3.7.2.9 如果需方有规定，应安装一个自启动的制动装置，以防止由于工作风机产生的向下气流引起未工作的风机转动。

7.3.7.3 变速驱动系统

对于变速驱动系统的要求应由供需双方协商决定，其应包括所需的速度范围。

7.3.8 联轴器及动力传送

7.3.8.1 一般规定

7.3.8.1.1 轴套和联轴器应是开槽的圆锥配合或圆柱配合，并应用键固定。

7.3.8.1.2 动力传动部件应有一个连续工作的额定功率，该额定功率应至少等于实际驱动机的额定功率乘以该部件的工作系数。

7.3.8.1.3 风机轴与齿轮轴的联轴器应采用无润滑型，且其最小工作系数为 1.5。

7.3.8.1.4 外露的运动部件应按照 7.3.8.4 设置防护罩。

7.3.8.1.5 典型的驱动装置的布置如图 4 所示。

7.3.8.2 皮带传动

7.3.8.2.1 皮带传动装置应采用普通 V 型带,或采用同步带。V 带应符合 GB/T 1171 和 GB/T 10715 的规定。同步带应符合 GB/T 13487 的规定。带轮应符合 GB/T 10412、GB/T 10413 的规定。

7.3.8.2.2 皮带传动装置不能处于热的空气流中(比如传动装置安装在空冷器顶部)。如果需方同意,确定皮带设计温度时,应考虑在所有条件下皮带附近的最高空气温度(或由于辐射可能产生的皮带的最高温度),也应考虑风机效率降低时的温度。供方应说明驱动装置是如何悬挂的,驱动机不能位于热空气流中(见 7.3.7.2.8 和 7.3.8.2.12)。

7.3.8.2.3 按照 7.3.8.4 的规定,皮带传动装置应配有防护罩。

7.3.8.2.4 皮带传动装置应配有顶丝或采用一种等效的方法以便使皮带初始张紧或再张紧。

7.3.8.2.5 V 带应由匹配的几根单根皮带组成或是连接在一起的单根皮带而形成的组合结构。

7.3.8.2.6 同步带可以是一根皮带,也可以是一对匹配的皮带。

7.3.8.2.7 V 带的最小工作系数应为 1.4,该工作系数是以驱动机的额定功率为基准的。

7.3.8.2.8 同步传动带的最小工作系数应为 1.8,该工作系数是以驱动机的额定功率为基准的。

7.3.8.2.9 悬挂式安装在构架上的 V 带传动装置,其电动机的额定功率应不大于 30kW。

7.3.8.2.10 悬挂式安装在构架上的同步带传动装置,其电动机的额定功率应不大于 45kW。

7.3.8.2.11 传动皮带的外层应耐油。

7.3.8.2.12 标准传动皮带材料的暴露温度应被限制在 60℃ 以内。

7.3.8.3 齿轮传动

7.3.8.3.1 额定功率大于 45kW 的电动机应采用齿轮传动,额定功率不大于 45kW 的电动机也可采用齿轮传动。

7.3.8.3.2 对于额定功率不大于 45kW 的电动机,其齿轮传动装置可以悬挂于构架上。

7.3.8.3.3 齿轮应为螺旋伞齿型,其最小工作系数应为 2.0。

7.3.8.3.4 不应采用顶置安装的齿轮传动装置。

7.3.8.3.5 齿轮箱应配备一个从维护平台上可观察的外部油位指示计。

7.3.8.4 传动装置的防护

7.3.8.4.1 转动部件应设置防护罩。

7.3.8.4.2 防护罩应被制成易于接近的结构以便设备的维护。

7.3.8.4.3 防护罩与设备之间的间隙不应超过 12mm。

7.3.9 振动切断开关

7.3.9.1 如果需方要求,应为每台风机的驱动装置提供一个易接近的、双推动手柄的、两个触点的振动切断开关。

7.3.9.2 振动切断开关应为手动的外部复位型,不需要为了复位而拆除开关,并且应设有灵敏度调整器。

7.3.10 百叶窗

除另有规定外,下列要求适用于平行操作的百叶窗和相对操作的百叶窗。

7.3.10.1 用平板制造的百叶窗叶片的厚度对碳钢至少应为 1.5mm,对铝至少应为 2.3mm。挤压成形的空心铝叶片的厚度至少应为 1.5mm。

7.3.10.2 碳钢框架的厚度至少应为 3mm;铝框架的厚度至少应为 4mm。

7.3.10.3 百叶窗无支撑的叶片长度不应超过 2.1m。

7.3.10.4 百叶窗叶片和侧梁的挠度不应超过表 24 中给出的值。

表 24 百叶窗的最大允许挠度

百叶窗叶片	最大挠度
具有 2 000 N/m ² 设计载荷, 且处于关闭位置的百叶窗叶片	$L/180$
具有 1 000 N/m ² 均匀设计载荷的百叶窗侧梁	$L/360$
注: L 为两支撑点之间的跨距。	

7.3.10.5 百叶窗叶片和侧梁的挠度应以等于下列较高值的金属温度进行计算:

- a) 最大工艺进口温度减去 30℃;
- b) 规定的空气进口干球温度。

7.3.10.6 在管箱端, 百叶窗叶片与框架之间的间隙不应超过 6mm。

7.3.10.7 在百叶窗侧面, 百叶窗叶片与框架之间的间隙不应超过 3mm。

7.3.10.8 百叶窗叶片的支点销轴应按其载荷设计, 但是在任何情况下, 其直径至少应为 10mm。

7.3.10.9 在包括控制臂、扭转杆和叶片支点销轴的所有支点上都应设置轴承, 该轴承的设计暴露温度应符合 7.3.1.2 的规定。轴承应不需要润滑。对于符合 6.7.3 规定的聚四氟乙烯 (PTFE) 基复合轴承材料, 其暴露温度不能超过 150℃。只有在需方同意的情况下才可采用适合于更高温度的轴承材料。

7.3.10.10 百叶窗的连动装置应被设计成能通过操作机构位置的改变可使所有叶片作相同的位移。百叶窗的操作机构在全关闭位置时, 任意一组叶片间的间隙不超过 3mm。百叶窗的操作机构与叶片之间的传力机构应能够承受操作机构在任何叶片位置和任何方向可能施加的最大的力而不会损坏。

7.3.10.11 在每平方米的迎风面上施加一个不大于 7N·m 的转矩就能使百叶窗进行全行程操作。操作百叶窗的控制力不应超过 250N。

7.3.10.12 百叶窗叶片从全关到全开的行程至少应为 70°。

7.3.10.13 应用键、花键或等效的方法把所有的联轴节连接在可调节的联动点处。不应采用定位螺钉连接。

7.3.10.14 如果使用自动控制, 百叶窗的操作机构应设计成能用表压为 20kPa~100kPa 的气动控制信号进行操作。提供给执行机构的驱动空气压力的设计值至少应为百叶窗叶片转动全行程所需力的 150%。除另有规定外, 驱动空气压力的设计值应为 410kPa 表压。

7.3.10.15 除非另有规定, 否则在每个执行机构上都应设置定位器。

7.3.10.16 如果一个信号控制器操作多个执行机构, 则需方应在每个执行机构的信号线路上提供一个隔离阀以便维修。

7.3.10.17 执行机构与定位器组件的安装位置应不妨碍接近管箱, 而且它们应便于从操作平台 (如果有的话) 上即可进行维修。如果在任何情况下空气的出口温度都超过 70℃, 则执行机构与定位器组件不应处于热空气流中。对于更高的暴露温度, 应选择耐高温材料。

7.3.10.18 当控制空气压力消失时百叶窗的位置应由需方给定。

7.3.10.19 所有非自动操作的或用其他方法远程操作的百叶窗都应设置长柄或链条, 以便能从梯子或平台上手动操作。如果长柄或链条的长度超过 6m, 则不能使用长柄或链条。在任何操作位置, 手动操作器的手柄都不应伸进走道或通道内。

7.3.10.20 对手动操作机构应配置一个锁紧装置以便保持百叶窗位置。不能使用定位螺钉或蝶形螺钉锁紧装置。应设有一个指示百叶窗是“开”或“关”的指示器。

7.3.10.21 百叶窗的性能曲线应表示出空气流量的百分比与百叶窗叶片角之间的关系。

7.3.10.22 由于百叶窗的设计特点,百叶窗在操作时易被损坏。应采用支撑杆或抗挤压的措施。在百叶窗装配图中应包括对具体的操作说明。应在百叶窗的一个起吊点上标出一个适合的操作步骤。

7.3.10.23 应当采用销形定位器将百叶窗的手动控制杆固定在一个设定位置,禁止使用蝶形锁紧螺母。

7.3.10.24 所有联动机构的接头都应用双头螺栓或销轴来固定,禁止使用摩擦形接头。在联动机构作了最终调节后,应用螺栓和销轴进行固定。

7.3.11 护网

护网型式(防冰雹网、防昆虫网和/或纤维布网)和数量由供需双方协商确定。

7.3.11.1 防昆虫纤维丝网罩

7.3.11.1.1 网罩一般应设置在管束或风箱下面空气流速较低位置,且应得到需方确认。

7.3.11.1.2 网罩应该是可拆卸的,以便清洗、维护和淡季保存。其尺寸大小也应该是容易搬运的。

7.3.11.1.3 丝网应是非自燃的丝织物。网丝厚度应是0.43mm。镀锌丝网网眼尺寸应是每米开315个孔,不锈钢丝网网眼尺寸应是每米开630个孔。

7.3.11.2 防雹丝网罩

7.3.11.2.1 如有要求,鼓风式空冷器的防雹丝网罩应设在管束的管子上方,并且至少覆盖管子的翅片部分。引风式空冷器的防雹丝网罩应设在风机圈内的风机上。

7.3.11.2.2 丝网应是重量轻的镀锌格栅或镀锌的金属丝网。网眼尺寸应是每米开315个孔。金属丝厚度应是0.43mm。

7.4 钢结构

7.4.1 总则

7.4.1.1 钢结构(包括:构架、管束侧梁、上横梁、支持梁;百叶窗侧、横梁;风箱;梯子平台等)的设计应符合本标准和GB 50009、GB 50011、GB 50017、GB 50018的规定。

7.4.1.2 钢结构各部件间宜采用GB/T 1231所列的高强度螺栓连接。

7.4.1.3 焊接金属的设计应力和连接螺栓的设计应力应符合GB 50017的规定。

7.4.1.4 钢结构各部件间宜设计成无需在用户现场焊接。

7.4.1.5 除非另有规定,对于引风式空冷器,更换管束时应不需要拆除平台;对于鼓风式空冷器,更换管束时应不需单独支撑或拆除风机、风箱或平台,而且不会影响构架或相邻的跨。

7.4.1.6 悬挂式驱动装置应采用双头螺柱连接到构架上以便拆卸。

7.4.2 振动试验

7.4.2.1 结构件应设计成能使振动最小。在风机设计转速下,当从主要结构件和机械设备支座上测量时,波峰到波峰之间的最大振幅应不超过0.15mm。

7.4.2.2 需方应规定是否需要用车间试验来验证与振动限制的符合性。

7.4.2.3 试验环境的风速不应超过5m/s。

7.4.3 结构设计载荷

7.4.3.1 总则

结构设计应考虑7.4.3.1.1~7.4.3.1.12中定义的载荷与作用力。

7.4.3.1.1 静载荷

静载荷应包括由供方提供的设备材料总质量加上消防设施的质量。如果采用防火材料,需方应说明其尺寸和质量。

7.4.3.1.2 动载荷

动载荷由移动载荷(包括人员、便携式机械、工具和设备)以及在设备和管线上的操作载荷组成。在平台、立柱和通道上的设计动载荷(来自已经就位的设备和管线的载荷除外)应按照表 25 中的规定。

表 25 平台、立柱和通道上的动载荷

项 目	平均载荷	集中载荷
平台铺板	4 900 N /m ²	—
平台铺板框架	2 450 N /m ²	2 250N
立柱和托架	1 200 N /m ²	2 250N
梯子和踏板	—	2 250N

7.4.3.1.3 冲击载荷

对于由供方提供的起吊设备,其垂直方向的设计冲击载荷应等于要被起吊的设备中最重一件质量的 2 倍。侧向冲击载荷应是要被起吊的质量的 0.35 倍。

7.4.3.1.4 热推力

热推力应包括由于管线或设备的局部固定或完全固定引起的力、由于设备的滑动摩擦或滚动摩擦引起的力以及由于结构的膨胀与收缩而引起的力。供需双方应商定允许的热推力。

7.4.3.1.5 试验载荷

试验载荷是由于设备充满试验用水而产生的载荷。

7.4.3.1.6 风载荷

设计风载荷应按 GB 50009 计算。

7.4.3.1.7 地震作用力

地震作用力按 GB 50011 计算。

7.4.3.1.8 接管载荷

接管载荷应包括作用于接管法兰面的所有力和力矩,比如管线的自重、热推力、管线内流体的质量等。除非另有规定,否则这些力和力矩的大小和方向都应符合 7.1.2.2.17 的规定。

7.4.3.1.9 风机动力载荷

悬挂在构架上的风机及驱动机构的转动部件重力载荷及由于风机叶片排风引起的气动反压力。

a) 单台风机水平方向的动力载荷按表 26 查取。

表 26 单台风机水平方向的动力载荷

风机型号	F18-4	F24-4	F30-4	F36-4	F45-4
水平力, kN	1.5	3.0	4.0	5.5	7.5

多台风机水平方向的动力载荷按以下要求计算:

1) 当风机台数等于 2 台时, 为其单台数值之和。

2) 当风机台数大于 2 台时, 按式 (12) 计算。

$$\sum F_x = (F_{x1}^2 + F_{x2}^2 + \dots + F_{xn}^2)^{0.5} \dots\dots\dots (12)$$

$F_{x1}, F_{x2}, \dots, F_{xn}$ ——第 1, 2, ..., n 台风机水平方向的动力载荷。

当 $\sum F_x$ 的数值小于 2 台风机之和时, 取 2 台风机之和。

b) 垂直方向的动力载荷按式 (13) 计算。

$$F = 0.3Qg + qnD_f^2\pi/4 \dots\dots\dots (13)$$

式中:

F —— 垂直方向的动力载荷, N;

Q —— 悬挂在构架上的风机总质量, kg;

g —— 重力加速度, m/s^2 ;

q —— 单位面积上的气动反压力, 取 $q=250N/m^2$;

D_f —— 风筒内直径, m;

n —— 计算构架内风机的台数。

风机推力应以最大推力为基础。如果不包括动压, 则风机的推力应以数据表中所示的静压的 1.25 倍来考虑。

7.4.3.1.10 雪载荷

需方应规定雪载荷, 如果有的话, 雪载荷应被施加到空冷器全部占地面积上。

7.4.3.1.11 其他载荷

对于除了在 7.4.3.1.2~7.4.3.1.10 中所描述的那些载荷、力和力矩以外的并由空冷器承受的或作用在空冷器上的载荷、力和力矩, 需方应规定其确切的类型、位置、大小和方向。这些载荷诸如: 专用输送装置的载荷、由其他方提供的附属管线支架、梯子、通道以及临时脚手架。对于由于空冷器所在的结构或装置的移动 (例如浮动生产系统) 而施加的结构载荷和接管载荷, 需方应规定其确切的类型、位置、大小和方向 (例如倾斜、滚动、偏转、起伏、波动和摇摆)。

7.4.3.1.12 载荷组合

所有结构件都应设计成能够承受它们在设备安装、试验、冲洗或正常操作期间所承受的载荷与作用力的联合作用。在设计立柱、斜撑、地脚螺栓、基础以及校核抗倾倒的稳定性时, 应考虑下列载荷与力的组合。自始至终应考虑具有特定性质的载荷工况。(所有的载荷和力都是可叠加的。)

7.4.3.1.12.1 安装:

a) 除消防设施外结构的静载荷;

b) 下列载荷中的较大者:

1) 除管线外设备的静载荷;

2) 由设备支撑的平台除外的设备的静载荷;

c) 全部风载荷和地震载荷, 取较大者。

7.4.3.1.12.2 试验或冲洗设备:

a) 包括消防设施在内的结构静载荷;

- b) 包括由设备支撑的平台在内的设备静载荷;
- c) 接管载荷;
- d) 试验载荷;
- e) 500 N/m^2 的风载荷;
- f) 由 7.4.3.1.2 规定的来自平台和通道的适当的动载荷。在地脚螺栓的设计中或在校核抗风载荷或抗地震载荷的稳定性时, 这些载荷不必考虑。

7.4.3.1.12.3 正常操作:

- a) 结构的静载荷;
- b) 包括由设备支撑的平台及设备静载荷;
- c) 接管载荷;
- d) 设备中流体的操作质量;
- e) 冲击引起的不平衡作用力;
- f) 由 7.4.3.1.2 规定的适当的动载荷。在地脚螺栓的设计中或在校核抗风载荷或抗地震载荷的稳定性时, 这些载荷不必考虑;
- g) 全部风载荷和地震载荷, 取较大者。

7.4.4 风箱

7.4.4.1 典型的风箱布置如图 1、图 2 所示。

7.4.4.2 采用板结构的方箱式风箱应设计成构架的一个组成部分。

7.4.4.3 同一跨上配有多台风机时, 在相邻风箱之间的隔板应可共用。

7.4.4.4 同一管束上配有多台风机时, 风机与管束之间的风箱应采用隔板隔开, 以防止空气从操作风机流过不操作风机形成的空气再循环。

7.4.4.5 再循环系统的风箱分隔要求应由需方确认。

7.4.4.6 用于制造风箱的钢板材料的厚度, 平板至少为 1.9mm , 加筋板至少为 1.5mm 。

7.4.4.7 风箱的最小高度应根据 7.3.3.4 和图 18 确定。

7.4.4.8 钢制风机平台应设计成能承受 2500N/m^2 的动载荷, 但在任何情况下, 其金属厚度至少应为 2.7mm 。

7.4.5 机械检修设施

7.4.5.1 管箱检修平台、相互连接的通道和梯子的数量与位置应由需方确认。

7.4.5.2 在紧靠驱动装置的下方应设置检修平台。

7.4.5.3 平台的净宽至少应为 0.75m 。

7.4.5.4 走道、平台等的铺板应采用带有排水孔的有凸起花纹的实心板、拉制钢板网或格栅。如果使用凸起花纹钢板, 其最小厚度应为 6mm 。采用玻璃钢应征得需方的同意。

7.4.5.5 梯子、护栏、踏脚板、安全笼等应当采用钢结构。采用玻璃钢应征得需方的同意。并应符合以下要求:

- a) 对于高度超过 3m 的梯子应设置安全笼;
- b) 在平台上梯子的开口处应设置带有安全钩的链条或安全门;
- c) 除非另有规定, 否则高度超过 2m 的梯子应提供通向平台的侧梯。

7.4.5.6 在紧挨空冷器管箱侧, 应设置带护脚板的平台。如果该平台与空冷器之间的间隙大于 150mm , 应设扶手。

7.4.5.7 如果护栏钢管没有镀锌,则应将钢管端部密封以防内部腐蚀。

7.4.5.8 需方应对在较高的空气出口温度和热辐射情况下的人员提出保护要求。

7.4.6 吊耳

7.4.6.1 在管束和百叶窗的每个侧梁上,应至少设置 2 个吊耳。吊耳的位置应不影响相邻管束的安装。

7.4.6.2 可卸盖板式管箱的盖板上及可卸帽盖式管箱的帽盖上应设有 2 个吊耳。

7.4.6.3 吊耳应采用实心锻造或钢板制造,吊耳孔径不得小于 40mm。

7.4.6.4 在每台驱动机和齿轮箱上应设置足够的吊孔,以便于安装和拆卸。

7.4.6.5 吊耳或吊环应按起吊重力载荷的 2 倍设计。

7.4.7 风量调节

应根据工艺介质要求控制的精度及经济性选择风量调节方式。常用风量调节方式有:

- a) 单纯开——闭式控制;
- b) 分级开——闭式控制 (具有 2 台以上风机时);
- c) 双速马达控制;
- d) 变频调速控制;
- e) 调节风机叶片角控制;
- f) 采用百叶窗控制;
- g) 热空气再循环控制。

8 制造

8.1 焊接

8.1.1 一般要求

8.1.1.1 施焊受压元件的焊工,必须按照《特种设备焊接操作人员考核细则》进行考试,取得焊工合格证书后才能在合格证的有效期限内担任合格项目范围内的焊接工作。施焊非受压元件的焊工也应是施焊单位评定合格的焊工。

8.1.1.2 管箱焊接应按照 GB 150 的有关规定和图样的技术要求进行。

8.1.1.3 管箱施焊前的焊接工艺评定应按 NB/T47014 的规定进行。

8.1.1.4 焊接工艺可参照 NB/T47015 和图样要求制定。

8.1.1.5 管箱的所有受压焊缝和接管的所有受压焊缝都应是全焊透和全熔合。

8.1.1.6 对于不带垫板的单面焊接接头,应采用熔化极气体保护电弧焊 (GMAW)、气体保护钨极电弧焊 (GTAW) 或低氢保护手工电弧焊 (SMAW) 来形成根部焊道。

8.1.1.7 在任何被焊接的元件与管箱之间若有封闭的空间,则应钻一个直径为 3mm 的孔来排气。

8.1.2 丝堵式管箱

8.1.2.1 隔板与相邻的管板和丝堵板的焊接应从两侧采用密封焊;也可以采用全焊透焊接。

8.1.2.2 如果分程隔板也用作加强板,应采用全焊透焊接。

8.1.3 可卸盖板式管箱与可卸帽盖式管箱

8.1.3.1 可卸盖板法兰与可卸帽盖管箱法兰应采用全焊透焊接。

8.1.3.2 分程隔板与加强板应沿着三条边缘的全长从双面焊接。

8.2 焊后热处理

8.2.1 所有碳素钢和低合金钢管箱均应作焊后热处理。焊后热处理不包括管子与管板的焊接接头。

8.2.2 焊接制成的铁素体金属垫片需在焊接后作退火热处理。

8.3 管箱

8.3.1 矩形管箱平面纵向直线度每米为 2mm，全长为其长度的 1.5/1000。

8.3.2 奥氏体不锈钢管箱有防腐要求时，管箱内表面应进行钝化处理。

8.3.3 奥氏体不锈钢管箱有防腐要求时，管箱材料表面如有局部伤痕、刻槽等影响耐腐蚀性能的缺陷时，应予以修磨。修磨深度不应超过材料厚度负偏差。

8.3.4 丝堵式管箱上丝堵孔与管孔的同轴度为 0.5mm。

8.3.5 管箱上相邻两孔的中心距允差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，任意两孔中心距允差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

8.3.6 允许有不超过总管孔数量 4% 的管孔直径上偏差超出表 18 和表 19 中的相应值，但不能超出相应上偏差的 50%。

8.3.7 丝堵孔的有效螺纹不允许有多于两扣的缺陷，否则须进行修补。累计缺陷孔数不应超过总丝堵孔数的 5%。

8.3.8 管箱上所有密封面不允许有表面斑痕和贯通的刻痕。

8.3.9 丝堵式管箱的丝堵螺纹及可卸盖板式和可卸帽盖式管箱法兰的螺柱螺纹应涂以适合于操作温度的润滑剂，以防咬死。

8.3.10 可卸盖板式管箱的垫片接触面的最终加工应在焊接热处理后进行。

8.3.11 可卸帽盖式管箱与可卸盖板式管箱的垫片接触面的平面度应在 0.8mm 以内。管板上的垫片接触面的平面度应在管板与管子胀接或焊接后测量。

8.3.12 丝堵垫片接触面加工后其表面粗糙度的平均值应在 $0.8\mu\text{m}\sim 1.6\mu\text{m}$ 之间。

8.4 翅片管

8.4.1 一般规定

8.4.1.1 基管外表面须除锈至露出金属光泽，不得有锈痕。除锈后的管端圆度为 0.1mm。管端外径最小尺寸见表 27。

表 27 管端外径最小尺寸

单位为 mm

基管公称直径	25	32	38
最小管端外径	24.75	31.65	37.65

8.4.1.2 基管应逐根以 2 倍的设计压力进行水压试验，但最大试验压力应符合所选用钢管标准的规定，在不少于 10s 的保压时间内，不得有漏水和渗漏现象。

8.4.1.3 基管直管段不允许拼接。

8.4.1.4 翅片与基管的连接应紧密、无松弛。如需方要求，在翅片管生产过程中，制造厂应对翅片管的传热性能进行抽查。

8.4.1.5 U 型管弯管弯曲部分的圆度偏差不应大于管子外径的 10%，弯管段的壁厚减薄量不应超过原壁厚的 17%。

8.4.1.6 U 型管弯管表面不允许有裂纹、波浪形皱折和压痕等缺陷。

8.4.1.7 U 型管弯管壁厚大于基管壁厚 1mm 以上时，其弯管应按图 19 所示的结构削薄。

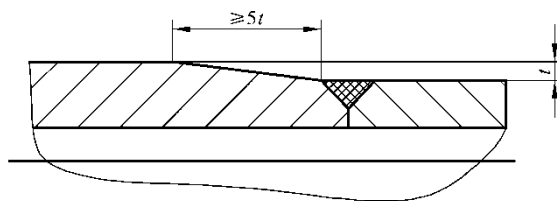


图 19 基管壁厚削薄示意

8.4.1.8 有抗晶间腐蚀要求的弯管应作消除应力的热处理；奥氏体不锈钢弯管按图样要求进行热处理。

8.4.2 缠绕式翅片管

8.4.2.1 翅片管的翅片上不得有裂纹、磕碰和倒塌等缺陷。

8.4.2.2 翅片管每米管长的片数允差为 ${}^{+0.5}_{0}\%$ 。翅片厚度不小于 0.4mm，翅片管外径的允差为 ${}^{+0.5}_{0}$ mm。

8.4.2.3 每根翅片管的翅片接头数当管长大于 6m 时，不应超过 2 个，当管长小于或等于 6m 时，不应超过 1 个，但管束的总接头数不应超过翅片管的根数。翅片接头至管端的距离及翅片接头间的距离不应小于 1.5m。接头处连接应牢固。

8.4.3 轧制式翅片管

8.4.3.1 翅片根部应完全包覆基管，且应紧密，不得有开裂现象。

8.4.3.2 翅片表面应清洁，翅片不得有磕碰、倒塌等缺陷。

8.4.3.3 翅片管两端剥去翅片后不得损伤基管。

8.4.3.4 翅片顶部不得有开裂现象。

8.4.3.5 翅片管每米管长的片数偏差为 ${}^{+2}_{0}\%$ 。翅尖下 1/4 处的翅片厚度不小于 0.35mm，翅根厚度不小于 0.8mm，翅片管外径公差为 ${}^{+0.5}_{0}$ mm，根径公差为 ± 0.2 mm。

8.4.4 镶嵌式翅片管

8.4.4.1 翅片管的翅片应整齐、平直、间距均匀，不得有裂纹、磕碰、松动和倒塌等缺陷。

8.4.4.2 翅片管基管应笔直，不得有划痕、凹陷、扭结等缺陷。基管上的开槽深度应为 0.25 ± 0.05 mm，保证翅片嵌入槽内并在槽内牢固连接。

8.4.4.3 翅片管每米管长的片数偏差为 ${}^{+0.5}_{0}\%$ 。翅片厚度不小于 0.4mm，翅片管外径的偏差为 ${}^{+0.5}_{0}$ mm。

8.4.4.4 每根翅片管的翅片接头数当管长大于 6m 时，不应超过 2 个，当管长小于或等于 6m 时，不应超过 1 个，但管束的总接头数不应超过翅片管的根数。翅片接头至管端的距离及翅片接头间的距离不应小于 1.5m。接头处连接应牢固。

8.5 换热管与管板的连接

8.5.1 连接部位的基管和管板孔表面应清理干净，不得有影响连接质量的毛刺、铁屑、锈蚀、油污等。

8.5.2 翅片管应均匀地位于管束中，不得有弯曲现象。

8.5.3 翅片管之间间隙应均匀，翅片管两端与管板间无翅片部分的长度应基本相同。

8.5.4 胀接连接时，管板孔表面不得有影响胀接紧密性的缺陷，如贯通的纵向或螺旋状刻痕。

8.5.5 胀接连接时，胀接长度不得伸出管板空气侧表面。翅片管的胀接部分与非胀接部分应圆滑过渡，不得有急剧的棱角。

8.5.6 耐压试验时，胀接口如有渗漏，允许补胀，但补胀次数超过 2 次（含 2 次）时，应经本单

位技术负责人签字批准。

8.5.7 焊接连接时，焊渣及凸出于翅片管内壁的焊瘤均应清除。焊缝缺陷的返修应先清除缺陷后补焊。管端焊后不允许有塌陷。

8.5.8 强度焊连接时，翅片管与管板的焊接接头，施焊前应按 NB/T47014 进行焊接工艺评定。

8.6 钢结构

8.6.1 钢结构的制造除应符合本标准外，还应符合 GB 50205 的规定。

8.6.2 钢结构的零部件应按部件装配图标明代号。

8.6.3 钢结构螺柱孔中心距允差为：相邻两孔 $\pm 1.0\text{mm}$ ；任意两孔 $\pm 2.0\text{mm}$ 。

8.6.4 管束和百叶窗的侧、横梁的直线度为 2mm/m ，全长为 5mm ，且不得下挠。

8.6.5 百叶窗叶片应开、闭灵活。

8.6.6 风筒各部位的允差不应超过表 28 的规定。

表 28 风筒各部位的允差

单位为 mm

叶轮直径	1 200~2 000	> 2 000~3 000	> 3 000~5 000
风筒内直径	$\begin{smallmatrix} +4.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +5.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$
风筒两端法兰面平行度	3.5	4	4.5
风筒圆柱度	2.25	2.5	2.75

8.7 风机

风机的制造除应符合本标准规定外，还应符合 JB/T 10562 的规定。

8.7.1 风机各转动部件允许的不平衡力矩按式 (14) 计算：

$$M = gGL \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

M —— 允许的不平衡力矩， $\text{N} \cdot \text{m}$ ；

G —— 转动部件的质量， kg ；

L —— 允许偏心距，按表 29 的规定选取， μm ；

g —— 重力加速度， m/s^2 。

表 29 偏心距

转速， r/min	≤ 100	$> 100 \sim 300$	$> 300 \sim 500$	$> 500 \sim 600$	$> 600 \sim 800$	$> 800 \sim 1000$	$> 1000 \sim 1500$
允许偏心距， μm	150	115	93	76	58	47	25

8.7.2 风机叶片应对照标准叶片作力矩平衡。力矩平衡校正应在叶片纵轴（长度）方向进行。校正后允许的不平衡力矩应符合 8.7.1 的规定。

8.7.3 叶片叶型截面的前缘应为圆弧状，不得有尖角凸起、分模面错位等缺陷。叶片型线的允差见表 30。

8.7.4 风机叶轮的跳动公差不得超过表 31 的规定。

表 30 叶片型线的允差

单位为 mm

	允 差
弦 长	± 2.0
弦 高	± 1.0
扭 转 角	$\pm 0.5^\circ$
沿纵轴方向的长度	0 -1.5

表 31 风机叶轮的跳动公差

单位为 mm

叶轮直径	1 200~2 000	> 2 000~3 000	> 3 000~5 000
叶轮外径径向圆跳动公差	3.0	3.5	4.0
叶轮外径端面圆跳动公差	5.0	6.0	10.0

8.7.5 任意三个相邻叶片于外圆处两个相应端点节距(弦长)之差不得超过表 32 的规定。

表 32 叶片节距差值

单位为 mm

叶轮直径	1 200~2 000	> 2 000~3 000	> 3 000~5 000
叶片节距差值	8	10	12

8.7.6 叶尖部位叶型截面的旋转中心, 相对于叶片根部轴线的跳动半径不得大于 2mm。

8.7.7 叶片表面必须光滑, 不得有裂纹、气泡、缩孔和分层等缺陷。

8.7.8 叶根与轮毂的连接面应平整, 不得有任何影响连接强度的缺陷。

8.7.9 玻璃钢叶片的玻璃纤维层间的涂胶层应薄而均匀, 不得有起皱及树脂堆积现象。叶片的质量偏差不应超过设计质量的 10%。

8.7.10 铝合金叶片应进行消除应力的热处理。叶片非加工表面允许打磨和补焊, 补焊后应消除焊接应力。

8.7.11 自动调角轮毂上各个叶片座应同步转动, 任意两个叶片座的转角偏差不应超过 0.25° 。

8.7.12 齿轮减速器应符合 YB/T 050 的规定。

8.8 组装

8.8.1 空冷器零、部件制造完毕后, 每批(同一规格、同一批下料)中必须组装 1 台, 其尺寸允差应符合图 20 的规定。

8.8.2 组装后, 管束、构架、百叶窗各自的平面对角线之差应不大于 10mm。管箱接管及法兰面的允差见图 21 及表 33。

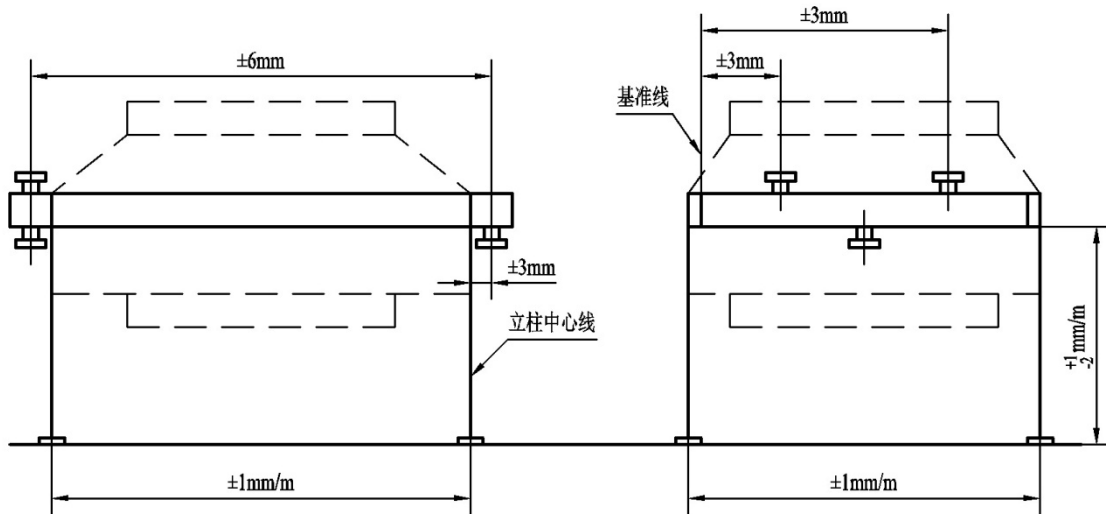


图 20 尺寸公差

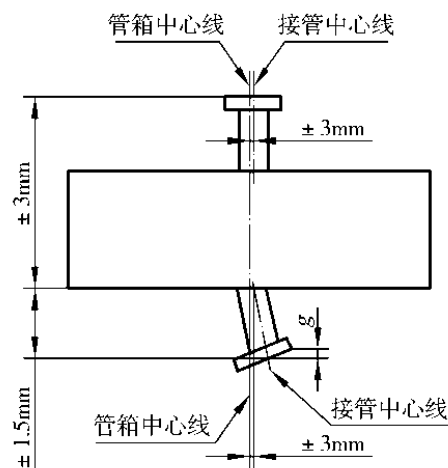


图 21 管箱接管的公差

表 33 法兰面的公差

单位为 mm

接管公称直径	50~100	150~300	>300	重叠式各种直径
g 最大值	1.6	2.4	4.8	0.8

8.8.3 需重叠放置的管束应在制造厂进行重叠预组装。

8.8.4 名义尺寸和形状相同的零部件的制造偏差应控制在可互换的范围内。

8.8.5 风机叶片与轮毂须按 7.3.3.8 校验平衡。其不平衡力矩应符合 8.7.1 的规定。

8.8.6 如有要求，制造厂应给出百叶窗的性能曲线。

8.8.7 预组装后的各零部件应有明显可靠的标记，以利于现场安装。

9 检验与验收

9.1 一般规定

9.1.1 空冷器须经制造厂质量管理部门或与需方检查人员(或其代表)共同检查合格后方可出厂。

9.1.2 应允许需方代表进入制造空冷器的车间。制造厂应向该代表提供合理的资料以使其确信正在按照标准规定进行制造。

9.1.3 应允许需方代表查看所有的材料合格证书、车间试验数据等用来验证标准要求是否得到满足的资料。

9.1.4 空冷器管箱无损检测人员应按照《特种设备无损检测人员考核细则》进行考核,取得资格证书方能承担与资格证书的种类和技术等级相应的无损检测工作。

9.2 焊接接头检查

9.2.1 焊缝表面的形状尺寸及外观按 GB 150 的规定检查。

9.2.2 在需进行 100%射线照相的部件上,按照 GB 150 不能用射线照相来检查的接管与管箱连接焊缝,则应在将其焊缝背部铲平或刨削(如适用)后,用磁粉或液体渗透的方法对其根部焊道和最终焊道进行全面检查。

9.2.3 在不要求进行 100%射线或超声检查的部件上,则至少应对每个管箱的纵向受压焊缝和端部焊缝作局部射线照相检查或超声检查。应采用磁粉或液体渗透的方法来检查工艺接管与管箱的连接焊缝,对于其根部焊道,应将焊缝背部铲平或火焰切割(如适用)后进行检查,并对其最后完工的焊缝进行检查。

9.2.4 局部射线照相检查或超声检查应包括用自动埋弧焊工艺所焊成的焊缝的起弧点、停弧点以及返修部位。

9.2.5 局部射线照相检查或超声检查覆盖的长度至少应为 250mm,如果焊缝长度小于 250mm,则应覆盖焊缝的全长。

9.2.6 对于不锈钢或铬含量大于 0.5%的铁素体合金钢,其没有受到 100%射线照相的焊缝的根部焊道和最终焊道,应用磁粉或液体渗透的方法进行检查。

9.2.7 如果没有用超声检查的方法充分检查板的分层情况,且采用了安放式接管,则应采用磁粉或液体渗透的方法检查与接头连接的板上开孔的边缘的分层情况。发现的缺陷应被清除到无缺陷的金属,然后补焊。

9.2.8 无损检测要求及其验收标准应符合 GB 150 的规定。

9.2.9 管箱焊缝采用射线或超声检测应在图样上规定。

9.2.10 焊缝硬度检查应按以下要求进行:

- a) 对于由碳钢、Cr-Mo 钢、含铬量为 11%、13%、17%的铬钢和双相钢制成的部件,其承压焊缝应作硬度检查;
- b) 应使用便携式布氏硬度计或洛氏硬度计的检查方法进行检查,如果可行,应在焊缝与介质流体接触侧进行检查;
- c) 焊缝硬度检查应在各种规定的热处理后进行;
- d) 对于碳钢和含铬量不超过 3%的 Cr-Mo 钢,硬度不应超过 225HBW (20HRC);对于含铬量为 5%~17%的 Cr-Mo 钢,硬度不应超过 241HBW (22HRC);
- e) 应检查有代表性的焊缝,包括接管与管箱的焊缝。检查应在一条纵向焊缝、端板的一条焊缝及每个公称直径大于或等于 DN 50mm 的接管与管箱的焊缝上进行。同一炉热处理的管箱,每 10 个管箱至少应检查 1 个管箱;
- f) 检查方法应符合 GB/T 230.1、GB/T 231.1 的规定。

9.2.11 对于具有环焊缝的换热管,制造厂应通过合格的工装和方法来保证在管子内壁上焊缝根部的增厚不会超过 1.5mm,不应使用永久性的衬环。

9.2.12 应按下列要求检查具有环焊缝的换热管:

- a) 应任选至少 10%的焊接接头进行射线照相检查。对于每个接头,应采用一个双壁椭圆形曝光来获得双壁成像;
- b) 在整个制造过程中,应随机作抽样检查。

9.2.13 应采用超声或射线照相的方法沿径向检查用于制造丝堵的棒料。不应有超过 10mm 的线性缺陷存在。

9.2.14 对于单件锻制的管箱丝堵,无论是热锻或是冷锻,均不需要按照 9.2.13 进行检查。

9.2.15 对于由板材制成的接管及其过渡件,应在其最终成型后或热处理后对其焊缝进行 100%射线检查。

9.2.16 钢结构的焊缝质量应符合 GB 50205 的规定。

9.2.17 未注明尺寸焊缝的焊脚长度,在图样无规定时,取焊件中较薄者之厚度。

9.3 耐压试验

9.3.1 管束组装完毕后,应作耐压试验。耐压试验的方法和要求按 GB 150 的规定。

9.3.2 耐压试验的种类,要求和试验压力值应在图样上注明。

9.3.3 液压试验的保压时间应不少于 1h。液压试验一般采用水,试验合格后应立即将水排净吹干。

9.3.4 对于奥氏体不锈钢或 Ni-Cu 合金材料制作的管束设备,其水压试验用水的氯离子含量应不超过 25mg/L。

9.3.5 如无特殊要求,油漆或涂料可以在最终的压力试验之前被涂在焊缝上。

9.3.6 压力试验后被拆除的接头应被重新装配有新垫片。

9.3.7 其他类型的试验,如卤素试验,或用于设备干燥或防护的附加要求,应由需方规定。

9.3.8 气动执行机构与叶轮装配后,应以 0.4MPa 的压缩空气检查其气密性。在持续 5min 的时间内不得有渗漏现象。

9.3.9 齿轮减速器壳体须作煤油渗漏检查。在持续 45min 时间内不得有渗漏现象。

9.4 运转试验

9.4.1 风机的运转试验应符合下列要求:

- a) 风机应作空载运转试验。在轴承温升稳定后连续运转时间不少于 1h;运转时应无不正常现象;轴承部位的温度和振幅(无消振措施时)不应超过表 34 的规定;
- b) 风机叶轮须按 1.1 倍最大工作转速作空载超速试验。连续运转时间应不少于 10min。试验后,应检查叶轮各部位,不得有裂纹、变形和损伤。

表 34 轴承部位的温度和振幅

主轴转速, r/min	≤500	> 500~600	> 600~750	> 750
允许最大径向振幅(双向), mm	0.15	0.14	0.12	0.10
滚动轴承表面温度, °C	70			

9.4.2 齿轮减速器装配后须做空载跑合试验,并应符合下列要求:

- a) 注入规定的润滑油,按设计的旋转方向连续运转时间不应少于 4h;

- b) 试验后, 减速器各部位不得有渗漏现象, 轴承、循环油温升不应超过 40℃, 最高温度不应超过 80℃。

9.4.3 如有要求, 制造厂应按 GB/T 3767 规定的方法对空冷器进行噪声试验并填写噪声数据表 (见表 E.3)。

9.4.4 应按图样要求对空冷器做空气动力性能试验。

9.5 气密性试验

9.5.1 应按图样要求进行气密性试验。

9.5.2 气密性试验的试验压力等于设计压力, 保压时间不少于 20min。

9.5.3 气密性试验应在最终耐压试验后进行, 用肥皂溶液或整体潜入水槽中作渗漏检查, 所有焊缝、管子与管板连接处、丝堵与丝堵板连接处及所有垫片连接处不得有渗漏现象。

10 铭牌、油漆、包装运输

10.1 铭牌

10.1.1 每片管束的固定管箱、每台风机的风筒及百叶窗上应用托架各固定一块奥氏体不锈钢铭牌。

10.1.2 铭牌的规格可按 GB/T 13306 的规定。

10.1.3 管束铭牌应标明下列内容:

- a) 名称及位号;
- b) 图号及型号;
- c) 设计温度, °C;
- d) 设计压力, MPa;
- e) 换热面积 (翅片管/基管), m^2 ;
- f) 外型尺寸 (长×宽), $m \times m$;
- g) 管程数;
- h) 试验压力, MPa;
- i) 管束质量, kg;
- j) 安全注册证书编号;
- k) 制造单位出厂编号;
- l) 制造日期;
- m) 制造单位名称。

10.1.4 风机铭牌应标明下列内容:

- a) 风机名称及型号;
- b) 叶轮直径, m;
- c) 设计风量, $N \cdot m^3/h$;
- d) 设计风压, Pa;
- e) 转速, r/min;
- f) 叶片安装角, (°);
- g) 电动机额定功率, kW;
- h) 风机质量, kg;
- i) 制造单位出厂编号;

- j) 制造日期;
- k) 制造单位名称。

10.1.5 百叶窗铭牌应标明下列内容:

- a) 百叶窗名称及型号;
- b) 外型尺寸 (长×宽), m^2 ;
- c) 驱动压力, MPa;
- d) 百叶窗质量, kg;
- e) 制造单位出厂编号;
- f) 制造日期;
- g) 制造单位名称。

10.1.6 下列部件应打上供方的序列号标记:

- a) 管箱;
- b) 盖板式管箱的盖板法兰;
- c) 帽盖式管箱的管板法兰。

10.2 油漆

10.2.1 需要油漆的表面应彻底除锈、除氧化皮、除油、除污并干燥。

10.2.2 在装运和随后的储存中裸露在大气中的机加工表面, 应使用易于清除的防锈剂加以保护。

10.2.3 除非另有规定, 否则碳钢管箱和低合金钢管箱应进行喷砂处理, 然后涂上无机富锌底漆, 涂层的干膜厚度至少应为 $50\ \mu\text{m}$ 。

10.2.4 除翅片管、接管法兰和管箱法兰的密封面及不锈钢管箱外, 空冷器所有钢制零部件的外表面必须涂防锈漆, 不锈钢管箱及接管表面应进行酸洗。

10.2.5 管束侧梁内表面应涂黑色面漆。

10.2.6 管束 (除翅片管外) 百叶窗 (除窗叶外) 的外表面、构架、风机的钢结构表面应涂一层防锈漆, 一层银灰色面漆。

10.2.7 涂漆方法及要求应按 JB/T 4711 及所用油漆的涂刷要求进行。

10.3 包装运输

空冷器的运输应按部件进行, 管束、百叶窗应整体发运, 构架、风机应组装成最大的部件后分体发运。所有单独发运的零部件均应标志识别号。

10.3.1 包装运输应符合 JB/T 4711 及下列要求:

- a) 包装前应将管束内的液体排放干净, 暴露在大气中的机械加工表面应涂以易除去的防锈剂;
- b) 管束应设有防止翅片磕碰和雨水漏入的保护措施;
- c) 设备铭牌应有专门保护。

10.3.2 外露的法兰连接面应用下列方法之一进行保护:

- a) 带有垫片的钢制盖板, 固定盖板的螺栓数量取下列二者中的较大值:
 - 1) 所需法兰螺栓总数的 50%;
 - 2) 4 个螺栓。
- b) 专门用于法兰保护的塑料盖板。

10.3.3 发运时, 制造厂应随机提供下列技术文件:

- a) 安装图, 空冷器数据表 (见表 E. 2, 如由订货单位提供图纸时可不提供此表) 及有关修改

记录;

- b) 翅片管管束及构架组装尺寸的检查记录;
- c) 产品质量证明书,内容包括产品合格证,主要受压零部件的材料合格证;热处理检验报告,无损检测及压力试验检验报告;受压焊缝返修的部位、次数及检查报告;管孔胀接超过两次的报告;
- d) 联轴器和带轮的轴孔、键槽尺寸;
- e) 安装、操作、维护说明书(包括自控线路图、润滑油牌号);
- f) 空冷器及风机的噪声数据;
- g) 零部件装箱清单。

10.4 制造过程技术文件保存

制造单位对其制造的每片空冷器管束至少应具有下列技术文件备查,技术文件保存要求见附录 B:

- a) 制造工艺图或制造工艺卡;
- b) 主要受压元件的材料证明文件及材料表;
- c) 管箱的焊接工艺和除碳素钢之外的管箱的热处理记录;
- d) 标准中允许制造单位选择的项目的记录;
- e) 管箱制造过程中及完工后的检查记录;
- f) 空冷器的竣工总图及管束的竣工图。

11 补充要求

11.1 总则

本章规定了空冷器的设计、制造和检查的补充要求,如需方要求,或设计压力超过 14MPa,或方箱式管箱的板厚超过 50mm,或介质为极度危害的空冷器,则应满足 11.2~11.4 的补充要求。

11.2 设计

11.2.1 管箱焊接接头的无损检测应提出明确要求。供方的报价书中应包括所推荐的焊接接头的设计详图。

11.2.2 所有换热管与管板的连接型式应采用强度焊。不允许使用含铬低合金钢管。

11.3 检查

11.3.1 除了用螺栓连接的平盖板和标准法兰以外,如厚度超过 100mm,应选用 III 级及以上的锻件。

11.3.2 对所有的接管连接焊缝均应做超声检测。

11.3.3 在对板材、锻件和焊缝进行超声检测后,应向需方提供一份检测报告,该报告应包括查出的缺陷、返修的范围、返修缺陷的性质和所采用的返修工艺。

11.3.4 根部焊道和最终焊道应进行磁粉检测或渗透检测。管子与管板的焊缝除外。

11.3.5 管箱热处理后,所有返修焊缝应进行射线或超声检测。

11.3.6 焊接前,所有坡口和开孔部位都应进行磁粉或渗透检测,对发现的缺陷应清除。

11.3.7 所有与管箱本体连接的焊缝(如支架)都应进行磁粉或渗透检测。

11.3.8 去除临时吊耳的区域应进行磁粉或渗透检测。

11.3.9 水压试验后,所有外部承压焊缝和接管内部焊缝应进行渗透检测。

11.3.10 对集合管式管箱结构,所有加强短节与换热管焊缝及换热管与 U 型管焊缝应进行 100%射

线或超声检测。加强短节与管箱焊缝应用磁粉或渗透法进行外部检测。

11.3.11 无损检测方法验收标准应符合 GB 150 的规定。

11.4 试验

11.4.1 在管子与管板焊接之后并在管子胀接之前，应以 0.1MPa~0.17MPa 的压力进行车间气压试验。用涂抹肥皂液的方法来检查管子与管板的接头是否泄漏。

11.4.2 在最终压力试验后，应用 0.1MPa~0.17MPa 的压力对所有的丝堵接头和所有带垫片的接头进行气压试验。用涂抹肥皂液的方法或者用整体浸入水槽的方法来检查接头是否泄漏。

12 空冷器能效评价方法

12.1 总则

本章规定了对于空冷器能效评价方法，应分别对空冷器的管束及空冷器的风机进行能效评价。

12.2 空冷器管束的能效评价

12.2.1 空冷器管束的能效评价应以其所采用翅片管的总传热系数的能效级别进行评价。

12.2.2 翅片管的总传热系数的测定按照标准 GB/T27698.6-2011 进行。

12.2.3 翅片管总传热系数的能效级别分为 3 级，其中 1 级为最高。各种规格型式的翅片管在标准规定测试条件下的能效级别见表 35 的规定。

12.2.4 翅片管总传热系数的能效限定值应不低于表 35 中 3 级的数值。

12.2.5 翅片管总传热系数的节能评价价值应不低于表 35 中 2 级的数值。

表 35 翅片管总传热系数的能效级别

翅片形式	翅片外径 D mm	翅片管总传热系数 ($W/m^2 \cdot K$)		
DR	57	735	779	820
	50	650	—	—
L	57	710	—	—
	50	600	—	—
LL	57	720	—	—
	50	610	—	—
KL	57	730	—	—
	50	640	—	—
G	57	750	—	—
	50	680	—	—
能效级别		3 级	2 级	1 级
注：标准测试条件为管内介质 110℃ 的饱和水蒸气，空气入口温度为室温，最窄截面质量风速为 $6kg/m^2 \cdot s$ ，翅片管（基管 $\phi 25 \times 2.5$ ，材料：碳素钢；翅片间距 2.3mm，材料：铝）。				

12.3 空冷器风机的能效评价

12.3.1 空冷器风机的能效评价应以风机效率的能效级别进行评价。

12.3.2 风机效率的测定按照标准 GB19761-2009 进行。

12.3.3 风机效率的能效级别分为 3 级，其中 1 级为最高。各种规格型式的轴流风机在标准规定测试条件下的能效级别见表 36 的规定。

12.3.4 风机的能效限定值应不低于表 36 中 3 级的数值。

12.3.5 风机的节能评价应不低于表 36 中 2 级的数值。

表 36 空冷器风机能效级别

叶轮直径（mm）	1200≤D<1800			1800≤D<3800			3800≤D≤4500		
轮毂比	风机效率（%）								
$\gamma < 0.3$	70	74	77	72	75	78	74	77	80
$0.3 \leq \gamma < 0.4$	72	76	79	74	77	80	76	79	82
能效级别	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级
注 1： $\gamma = d/D$ ， γ — 风机轮毂比； d—叶轮的轮毂外径； D—叶轮的叶片外径。									
注 2： 风机出口面积按圆面积计算。									
注 3： 风机效率—风机在使用区内的最高风机效率。									

附 录 A

(资料性附录)

可卸盖板式及可卸帽盖式管箱计算

A.1 可卸盖板式管箱（见图 A.1）的盖板和法兰按表 A.1 计算，其他板的计算按 7.1.2.3 计算。

A.2 可卸帽盖式管箱（见图 A.2）的圆筒和管板按表 A.2 计算，法兰按表 A.1 计算。端板按 7.1.2.3 计算。

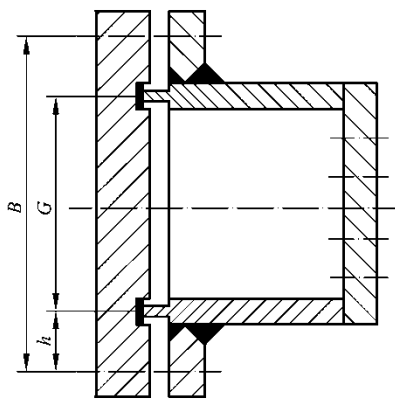


图 A.1 可卸盖板式管箱

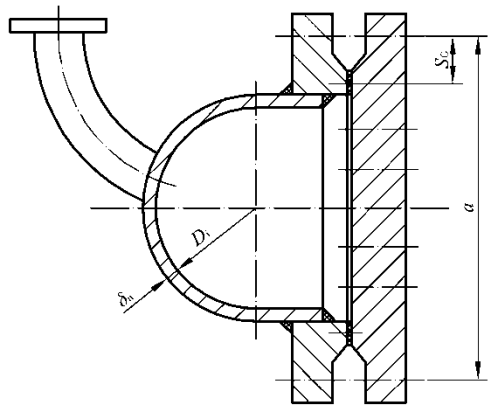


图 A.2 可卸帽盖式管箱

表 A.1 可卸盖板式管箱计算表

符号	单位	意 义	符号	单位	意 义
A_b	mm ²	单个螺柱的有效横截面积	m	—	垫片系数
b	mm	垫片的有效宽度	M	N	作用在盖板上的垫片力
B	mm	横跨管箱的螺柱间距	N	—	管箱内隔板个数
C_2	mm	腐蚀裕量	P	MPa	设计压力
d_n	mm	螺柱螺纹小径	$[\sigma]_b$	MPa	常温下螺柱材料的许用应力
e_1	mm	螺柱计算间距	$[\sigma]_b^t$	MPa	设计温度下螺柱材料的许用应力
$[\sigma]$	MPa	常温下材料的许用应力	δ_1, δ_2	mm	盖板及法兰的设计厚度
$[\sigma]^t$	MPa	设计温度下材料的许用应力	ϕ	—	焊接接头系数，取 $\phi=0.8$
$g_1, g_2, \dots, g_n$	mm	隔板间距	y	MPa	垫片比压力
G	mm	横跨管箱的垫片间距	T	℃	设计温度
h	mm	螺柱中心线到垫片反力作用点间的距离	$\mathbb{N}$	N/mm	垫片螺柱载荷
i	mm	$(B-G)/2$	δ_n	mm	盖板法兰的名义厚度
C_3	mm	加工余量	e	mm	螺柱名义间距

表 A. 1 (续)

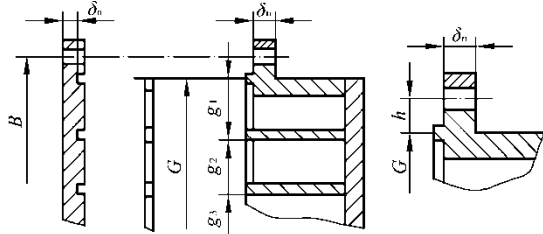
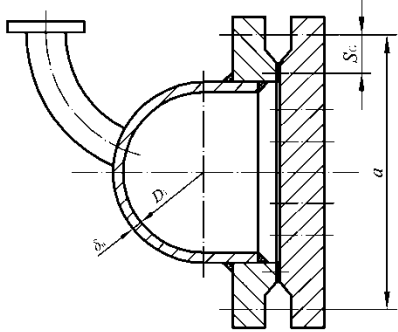
设计数据														
				$P=$		$T=$		$C_2=$						
				本表中已列出而未给出计算公式的参数按本标准及 GB 150.3-2011 的有关规定计算和查取。										
载荷计算				h	b	y	B	N	g_1	g_2	g_3	g_4	...	g_n
$W_G = by(1 + \frac{N}{6}) - \frac{by}{6B} [N(g_1 + h) + (N - 1)g_2 + (N - 2)g_3 + \cdots]$														
$M_G = W_G(h + g_1) - byg_1$														
方法兰厚度（材料： ）				$[\sigma]$	$[\sigma]^t$	m	b	G	i	ϕ	C_3			
$\delta_1 = \sqrt{\frac{6W_G i}{[\sigma] \cdot \phi}} + C_3$														
$\delta_2 = \sqrt{\frac{6p_c(2mb + G/2)i}{[\sigma]^t \cdot \phi}} + C_3$														
法兰厚度 δ_n 取 δ_1 、 δ_2 之大值												取 $\delta_n =$		
盖板厚度（材料： ）				$[\sigma]$	$[\sigma]^t$	m	b	G	h	C_a				
$\delta_1 = \sqrt{\frac{6M_G}{[\sigma]}} + C_a \text{ (} C_a \text{ 取 } C_2、C_3 \text{ 中的较大值)}$														
$\delta_2 = \sqrt{\frac{6p\{G^2/8 + [(G/2 + 2mb)h]\}}{[\sigma]^t}} + C_a$														
盖板厚度 δ_n 取 δ_1 、 δ_2 之大值												取 $\delta_n =$		
螺栓间距（材料： ）						m	b	G	d_b	$[\sigma]_b^t$				
$A_b = \frac{\pi}{4} d_n^2 \qquad e_1 = \frac{A_b[\sigma]_b^t}{P(G/2 + 2mb)}$														
螺栓间距 $e \leq e_1$ ，且应满足 7.1.2.5.8~11 条的要求。												取 $e=$		

表 A.2 可卸帽盖式管箱计算表

符号	单位	意 义	符号	单位	意 义
a	mm	螺柱中心线短轴长度	W	N	操作或预紧时的螺柱载荷
b	mm	螺柱中心线长轴长度	Z		矩形平板形状系数
C	mm	厚度附加量	δ	mm	半圆筒计算厚度
D_i	mm	半圆筒内径	δ_g	mm	管板计算厚度
K		结构特征系数	δ_{gn}	mm	管板名义厚度
L	mm	螺柱中心线总周长	δ_n	mm	半圆筒名义厚度
p	MPa	计算压力	ν		开孔削弱系数
S	mm	螺柱中心线到垫片反力作用点间的距离	ϕ		焊接接头系数取 $\phi=0.8$
T	℃	设计温度	$[\sigma]_t$	MPa	材料在设计温度下的许用应力
设计数据					
			$p=$	$T=$	$C_2=$
			本表中已列出而未给出计算公式的参数按本标准及 GB 150.3-2011 的有关规定计算和查取。		
系数计算			a	b	W
$Z = 3.4 - 2.4 \frac{a}{b} \quad \text{且 } Z \leq 2.5 \quad K = 0.3Z + \frac{6WS_G}{p_c La^2}$ W按 GB 150.3-2011 的规定取预紧或操作中的较大值。					
半圆筒厚度（材料：_____）			$[\sigma]^t$	D_i	
$\delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \phi - p_c}$			$\delta_n \geq \delta + C$		
			取 $\delta_n =$		
管板厚度（材料：_____）			$[\sigma]^t$	a	K
$\delta_g = a \sqrt{\frac{K p_c}{[\sigma]^t \nu}}$			$\delta_{gn} \geq \delta_g + C$		
			取 $\delta_{gn} =$		

附 录 B
(资料性附录)
报价书及资料

B.1 报价书

- B.1.1 报价书应包括每台空冷器的完整数据表 (见附录 C 表 C.2)。
- B.1.2 报价书应包括一份标明平面和高度方向的主要尺寸、接管规格及其方位的图纸。
- B.1.3 报价书应说明垂直安装的电动机轴是朝上还是朝下。
- B.1.4 报价书应充分说明车间组装的程度及需要在现场组装部件的说明。
- B.1.5 未在本标准中充分说明的设计,应在报价书中给出详细说明 (包括详细的结构附图)。
- B.1.6 报价书应给出与标准规定不一致情况的详细说明。
- B.1.7 如需方规定,报价书应包括一份噪声数据表 (见附录 C 表 C.3)。
- B.1.8 报价书应包括风机的性能特征曲线,并把设计点标注在曲线上。
- B.1.9 报价书应包括翅片管端部翅片固定方法的详细说明 (见 7.1.3.7)。
- B.1.10 如果供方考虑到需方所规定的要求与该设备的操作或预计达到的目的有矛盾或不适合时,应通知需方。

B.2 资料

B.2.1 资料的确认

B.2.1.1 对于每一设备位号,供方应完成以下资料。需方应规定以下哪些资料应提供及哪些资料应经过确认:

- a) 需方的位号、项目名称、装置名称和地点,需方的定货单编号和供方的生产计划单编号;
- b) 设计压力、最大允许工作压力、试验压力、最大和最小设计温度和腐蚀裕量;
- c) 所有采用的规范及需方的采购技术资料;
- d) 所有受压部件的材料明细表;
- e) 总体尺寸;
- f) 立柱的尺寸、位置及地脚螺栓的规格;
- g) 接管法兰尺寸、压力等级、密封面形式、位置、伸出管箱表面的长度、许用载荷 (力和力矩) 及用途;
- h) 驱动装置详图;
- i) 管束的质量,空冷器的空重和充水重及最重部件的质量或整体搬运的一个起吊组合的质量;
- j) 7.4.3 中所列载荷的大小;
- k) 焊后热处理要求;
- l) 射线照相及其他无损检测要求;
- m) 表面处理和油漆要求;
- n) 机械部件和仪表部件的设计暴露温度;

- o) 铭牌及其位置;
- p) 管子与管板连接及管板坡口加工的详图。

B.2.1.2 供方应提供垫片详图、现场组装图及所有附属设备和控制系统图。图纸应表示出电气系统和控制系统的接线,包括气动百叶窗或风机的驱动和信号气的线路图。垫片详图应包括垫片的类型和材料,并应以单独的图纸表示。

B.2.1.3 对于受压件,包括管箱、接管、法兰的设计,应按照压力设计规范的要求进行计算。此外,对于非标准的受压部件,如锻造异型过渡接管,计算书应足够详细。如需方规定,计算书应提交需方确认。

B.2.1.4 如需方规定,焊缝布置图、所有推荐的焊接工艺(如适用,包括冲击试验结果)应在制造前提交需方确认。

B.2.1.5 对于由供方提供的有关安装、操作、维修或检查所要求的更详细的工程资料,应由供需双方协商解决。

B.2.2 资料保存

B.2.2.1 供方应将所用材料的记录及制造检验记录至少保存 10 年。

B.2.2.2 需方应规定以下资料中的哪些项应以电子版形式提供:

- a) 一份竣工数据表,包括所有受压件的材料明细表;
- b) 符合压力设计规范的制造厂数据报告;
- c) 所有受压件材料的复检试验报告;
- d) 风机和轮毂数据,包括轴孔和键槽尺寸及联轴器和皮带轮数据;
- e) 如果供方提供控制器,则应提供风机叶片角和百叶窗叶片的自动控制调节简图;
- f) 安装、使用和维护说明书,包括齿轮和轴承的润滑类型;
- g) 零部件清单;
- h) 风机在额定转速和设计工况下工作时空冷器的噪声数据表;
- i) 标明操作点和轴功率消耗的风机性能曲线;
- j) 百叶窗性能曲线;
- k) 管箱焊后热处理的温度记录曲线;
- l) 非破坏性试验记录。

附 录 C
(资料性附录)
推 荐 做 法

C.1 基管和翅片

C.1.1 锯齿形、扇形和开有窗口形翅片及带有间隔板的翅片，具有较高的空气侧膜系数。但对空气侧结垢比较敏感，且由于不连续处的锐边导致清洗较困难，因此这些翅片仅适用于低垢阻情况。

C.1.2 在由于空气尘埃使翅片管的空气侧易于结垢的地区，所选用翅片管的最大翅片密度不能超过 394 片/m，同时为便于有效清洁翅片，相邻翅片管翅片的最小间隙应为 6.4mm。

C.1.3 换热管支撑件应设计成能将机械载荷传递到基管上。

C.1.4 椭圆形换热管

椭圆形换热管的最小厚度应符合 7.1.3.5 的规定。椭圆形换热管的最小尺寸应为：短轴 14mm，长轴 36mm。各种翅片连接型式的最高允许温度应符合 7.1.3.3 和表 16 的规定。

C.2 风机和驱动机

C.2.1 变频调速 (SFC) 风机或自动调角风机 (DVP) 可用于工艺控制。

C.2.2 如果在夜间有严格的噪声限制或夜间空气进口温度较低时，可采用变速风机。

C.3 走道和平台

为降低空气侧压降，应用敞开式格栅作风机进口下侧的维修底板。如果采用实体板，应考虑空气侧压降的影响。为尽可能减小该影响，可要求维修底板与风机进风口之间有一定的距离。

C.4 空气设计温度

C.4.1 对非苛刻工况，空气设计温度应取下列温度中的较高者：

- a) 每年中超过 400h 的最高空气温度；
- b) 每年中超过 40h 的最高空气温度减 4℃。

C.4.2 对苛刻工况，空气设计温度应为每年中超过 40h 的最高空气温度。

C.4.3 优化设计时，应规定下列温度：

- a) 最低设计金属温度；
- b) 设计金属温度；
- c) 最低环境温度；
- d) 设计环境温度；
- e) 翅片选择温度。

C.5 轴承润滑

为了提供适当的润滑，应配备一个装置以确保最大限度地用新的润滑脂代替旧的润滑脂并且将多余部分自动排出。

C.6 可卸帽盖式或可卸盖板式管箱的垫片

表 C.1 给出了垫片形式，表 C.2 给出了要求的垫片接触表面粗糙度。垫片应不含石棉。

表 C.3 列出了操作条件，应根据表 C.4 选择垫片。

表 C.1 垫片型式

单位为 mm

型式	说 明	最小宽度	最小厚度
1	耐油和酸的 aramid 纤维填充 NBR	9.5	2
2	耐油或酸的压制薄板	9.5	1.6
3	软钢包覆平金属垫	12.5	3.2
4	不锈钢包覆平金属垫	12.5	3.2
5	金属增强 PTFE 层	9.5	1.6
6	金属增强膨胀石墨	9.5	1.6
7	具有石墨层的波齿垫片	12	6 或 3.2
注：具有石墨层的波齿垫片的宽度—厚度之比为 4：1 时，其最小厚度为 3.2mm。			

表 C.2 垫片接触表面的粗糙度

垫片型式	Ra 值 (μm)
1、2、5、6、7	3.2~6.3
3、4	0.8~1.6

表 C.3 操作条件

操作条件	说 明
I	无腐蚀和轻度腐蚀
II	含有硫化物且酸值超过 300mg/kg KOH 的环氧酸的烃蒸气。最高操作温度超过 230℃
III	含有硫化物且酸值超过 300mg/kg KOH 的环氧酸的烃蒸气。最高操作温度超过 330℃
IV	含氢的烃
V	低于 50℃ 的无腐蚀冷却水
VI	低于 50℃ 的轻度腐蚀冷却水
VII	低于 50℃ 的腐蚀性冷却水
VIII	温度和压力经常变化（例如热冲洗、脱蜡、急冷）及频繁清扫（例如 I~VII 工况下每年清扫多于 2 次）

表 C.4 垫片选择

操作工况	设计温度, °C	最大设计压力, kPa(g)	推荐型式	替代型式
I	—200~0	3 000	6	4
	0~150	2 000	1	2, 5, 6
	0~240	3 000	6	3
	240~450	3 000	6	3
II	0~150	2 000	1	2, 5, 6
	0~240	3 000	6	3
	240~450	3 000	6	4
III	330~450	3 000	6	
IV	0~450	3 000	6	
V, VI, VII	0~450		1 [3.2mm 厚]	2, 5, 6
VIII	0~450	6 000	4	

C.7 引风式或鼓风式的选择

除下列情况可考虑用引风式风机外, 其余应采用鼓风式风机:

- 要求严格控制工艺介质温度, 且突然降雨 (即过度冷却) 会导致操作不正常;
- 为降低热风再循环危险, 特别是对大的生产装置及工艺介质出口温度和空气进口温度比较接近的工况;
- 在空气侧结垢对传热有较大影响的地方;
- 在风机故障的情况下, 须保持较高传热性能的工况 (由于烟囱效应);
- 炎热天气下, 需要风箱为管束遮住太阳的工况;
- 对于介质出口温度与空气入口温度之差小于等于 11°C 的工况。

C.8 多管程冷凝器

具有下列情况的多管程冷凝器, 每管程的管子 (包括任何过冷管程) 应当沿工艺介质流动方向倾斜 10mm/m。

- 真空操作工况;
- 工艺介质中含游离水相且最低环境温度低于 0°C 的工况。

C.9 材料

C.9.1 焊接式管头

当换热管与管板采用焊接连接时, 换热管与管板应选择能够避免管端焊缝焊后热处理的材料。不推荐采用含 Cr 低合金钢材料 (1%Cr~9%Cr)。

C.9.2 换热管与管板的连接接头

- 对于含氢工况, 换热管与管板的连接应采用焊接加胀接。
- 为了消除异种材料焊接的影响, 如果规定管板为堆焊或复合板时, 其堆焊层或复合层最小

厚度为 4.8mm，堆焊层或复合层应与换热管具有相同的金相组织。

C.10 运输保护

C.10.1 如果管束内不允许有水残留物，应采用下列方法之一进行干燥：

- a) 采用相对湿度低于 15%的干空气或氮气进行吹扫，经过管束后检查其出口空气的相对湿度低于 30%。
- b) 用真空泵对管束抽真空达到 0.4kPa~0.5kPa 的绝压。

C.10.2 管束进行排液和干燥后，应采用下列方法之一对其内表面进行防腐保护：

- a) 采用干燥剂（例如硅胶干燥剂）；
- b) 采用挥发性防腐剂；
- c) 采用一种惰性气体（表压为 35kPa~100kPa 的氮气）。

附 录 D
(资料性附录)
清单和数据表

本附录的空冷器清单(表 D.1)和空冷器数据表(表 D.2)为空冷器的描述和设计提供必要的
数据。清单用以说明需方根据标准章节提出的特殊要求及对标准章节可选择内容必须做明确的选择。
填写清单是需方的职责。填写数据表是供需双方的共同职责。需方负责数据表中的工艺参数。如果
这些组分为均匀相的组分, 传送参数应以每种相(水、蒸气、空气和氢气或其他惰性气体)的全部
组分为依据。如果液体具有不溶相, 应单独并全部规定出每种相的液体性能。如果传送的参数不包
括提到的组分(如果存在), 应说明它们在工艺流程蒸气中的浓度。在一种确实无相变化的简单操
作工况下, 需方可采用数据表作为唯一的数据传送文件。需方也可以采用其他方式向供方提交清单
和数据。空冷器制造完毕后, 供方应做一份含有填写完整的数据表及设备准确说明的“竣工”记录。

表 D.1 空冷器清单

空 冷 器 清 单		工程号:	单元号:	
		页 数: 第 1 页, 共 2 页	填表人:	
		日 期:	修 订:	
		投标号:	合同号:	
		查询号:	定单号:	
章、条号				
3.3	管束的设计压力:			
3.6	最高设计温度:			
	用于选择翅片型式的最大操作温度:			
3.8.5.2	腐蚀裕量:			
4.1	压力设计规范:			
	可适用的地方法规:			
7.1.1.8	装置内部蒸气吹扫介质的温度、压力和操作条件:			
7.1.2.5.7	盖板螺柱类型:	全螺纹螺柱	双头螺柱	
7.1.2.2.1	工艺法兰面是否水平设置?	是	否	
	化学清洗接头的尺寸、类型和位置:			
7.1.3.3	翅片管结构型式:			
7.1.3.4	最大管长:			
7.3.2.1	噪声测定值的位置:			
7.3.3.1	每跨允许布置一台风机吗?	允许	不允许	

表 D.1 (续)

7.3.3.5	允许风机叶尖速度在 60 m/s 至 80 m/s 之间吗？ 允许速度：	允许	不允许
7.3.3.10	是否采用自动控制叶片角？	是	否
7.3.3.11c)	叶片角限位挡块的调节：		
7.3.7.2.1	驱动装置的供应：	需方	供方
	电动机的结构； 电源及类别：		
	需要屏蔽吗？ 类型：	需要	不需要
7.3.7.3	变速驱动系统的要求：		
7.3.9	是否需要振动切断开关？	是	否
7.3.10.18	当控制气源压力消失时百叶窗的位置：		
7.4.2.2	需要在车间作振动测试的试验吗？	需要	不需要
7.4.3.1.1	消防设施的重量及尺寸：		
7.4.3.1.10	雪载荷：		
7.4.3.1.11	其他设计载荷的类型、位置、大小及方向：		
7.4.4.5	再循环系统风箱分隔的要求：		
7.4.5.1	可接近管箱的平台、内部连接通道和梯子的数量及位置：		
7.4.5.8	空气出口温度较高时，是否有特殊的防护要求？如果有， 请说明：	有	无
8.3.11	垫片接触表面是否需要特殊加工？ 如果有，请说明精度：	要	不要
9.3.7	对于干燥或防护是否需要特殊试验？ 详细内容：	要	不要
9.4	是否需要作车间运转试验？ 详细内容：	要	不要
10.2.3	防护涂层的厚度：		
11.1	补充要求：		
B.1.7	是否需要噪声数据表？	要	不要
B.1.8	是否需要风机性能特性曲线？	要	不要
B.2.1.1	需要提交哪些文件？ 哪些文件要得到需方的确认？		
B.2.1.3	计算书需要得到需方确认吗？	要	不要
B.2.1.4	焊接工艺需要得到需方确认吗？	要	不要
B.2.1.5	所需的附加工程资料：		
B.2.2.2	要完成的记录以及这些记录是否以电子表格的形式：	要	不要

表 D.2 空冷器数据表

空冷器数据表		工程号:	单元号:
		页 数: 第 1 页, 共 2 页	填表人:
		日 期:	修 订:
		投标号:	合同号:
		查询号:	定单号:
制造商		换热量, kW	
型号		翅片管表面积/单元, m ²	
用户		光管面积, m ²	
厂址		有效平均温差, °C	
用途		翅片管传热系数, W/(m ² ·K)	
通风型式 ☐ 引风式 ☐ 鼓风式		光管操作时, W/(m ² ·K)	
		清洁时, W/(m ² ·K)	
跨尺寸 (宽×长)	跨数/单元		
设计基础数据			
压力设计规范		结构规范	
管束规范的钢印 ☐ 要 ☐ 不		易燃工况 ☐ 有 ☐ 无	
加热管束规范的钢印 ☐ 要 ☐ 不		致命的/有毒性的工况 ☐ 有 ☐ 无	
管侧——性能数据			
流体名称		温度, °C 进口 出口	
流量, kg/s		总流量 (液/气), kg/s	
露点/泡点, °C: ☐ 凝固点 ☐ 冰点, °C		水/蒸气, kg/s	
潜热, kJ/kg		不凝气, kg/s	
进口压力: ☐ MPa (表) ☐ MPa (绝)		分子量 (气体/不凝气),	
压降 (允许/计算), MPa		密度 (液/气), kg/m ³	
流速 (允许/计算), m/s		比热 (液/气), kJ/(kg·K)	
管内污垢热阻, m ² K/W		导热系数 (液/气), W/(m·K)	
		粘度 (液/气), MPa·s	
空气侧——性能数据			
空气进口温度 (设计干球温度), °C		迎面风速, m/s	
空气流量/单元 (kg/s) (m ³ /s)		最小设计环境温度, °C	
质量流速 (净通风面积), kg/(s·m ²)		海拔高度, m	
空气出口温度, °C		静压, kPa	
空气流量/每台风机, m ³ /s			
设计、材料和结构			
设计压力, MPa (表压)		加热管束	
试验压力, MPa (表压)		管子数 外径, mm	
设计温度, °C		管子材料	
最小设计金属温度, °C		翅片材料及型式	
		厚度, mm	

表 D.2 (续)

管束 尺寸 (宽×长), m 片数/每跨 管排数 并联管束数 串联管束数 构架安装 ☐ 基础 ☐ 管架 ☐ 其他 管架横梁 (中心距) 梯子、通道及平台 ☐ 有 ☐ 无 构架表面预处理/涂漆 管箱表面预处理/涂漆 百叶窗 材料 动作控制: ☐ 自动 ☐ 手动 动作型式: ☐ 相对 ☐ 平行	压力设计规范 是否打钢印? ☐ 要 ☐ 不 加热介质 流量, kg/s 温度 (进口/出口), °C 进口压力 (允许/计算), MPa 压降 (允许/计算), MPa 设计温度, °C, 设计压力, MPa (表压) 进/出口接管尺寸, DN 管箱 型式 材料 腐蚀裕量, mm 管程数*
* 当不规则时, 应给出每管程的管子数。	
管箱 倾斜度, mm/ m 丝堵材料 垫片材料 接管数量/尺寸, DN 压力级别和密封面形式, PN 进口 出口 排气口 排液口 其他接头: 温度计 TI 压力计 PI 化学清洗 最小壁厚, mm 管子 材料 外径, mm 最小壁厚, mm	管子数量/每片管束 长度, m 管间距, mm 布管型式 翅片 型式 材料 根部厚度, mm 选择温度, °C 外径, mm 翅片数量/ m 需方技术要求
机械设备	
风机 制造商与型号 台数/跨 转速, 转/分 直径, m 叶片数 角度 调角方法: ☐ 手调 ☐ 自调 叶片材料 轮毂材料 功率/每台风机 设计温度, °C 最低环境温度, °C 最大 (允许/计算) 叶尖速度, m/s	转速, 转/分 工作系数 附件 电压 相数 频率 风机噪声级 (允许/计算), dB(A) 减速器 型式 制造厂与型号 台数/跨 工作系数 速度比 支架: ☐ 钢结构 ☐ 支座

表 D.2 (续)

电动机 型式 制造商与型号 台数/每跨 电动机功率 kW	振动开关: ☐ 要 ☐ 不要 附件
空气侧控制	
空气再循环: ☐ 无 ☐ 内部 ☐ 外部 上方: ☐ 侧面 ☐ 端面 工艺介质出口温度的控制精度 (最大冷却), $\pm$ °C 当控制信号失败时的动作 风机角度: ☐ 最小 ☐ 最大 ☐ 锁住 百叶窗: ☐ 开 ☐ 关 ☐ 锁住 执行机构空气气源 风机: ☐ 无 ☐ 定位器 ☐ 偏压继电器	百叶窗: ☐ 进口 ☐ 出口 ☐ 旁路 定位器: ☐ 要 ☐ 不要 信号气压, MPa (表压) 从 到 从 到 气源气压, MPa (表压) 最大 最小 最大 最小
装运	
占地面积 (宽 $\times$ 长), m 管束重量, kg 跨数	总计装运重量, kg

表 D.3 空冷器噪声数据表

空 冷 器 噪 声 数 据 表				工程号:	单元号:
				页 数: 第 1 页, 共 1 页	填表人:
				日 期:	修 订:
				投标号:	合同号:
				查询号:	定单号:
1	噪声数据	需方的要求	需方的要求	供方的保证	供方的保证
2	倍频程频带 中心	在设计位置的声 压级, SPL	每台风机的声功率 级, PWL	在设计位置的声 压级, SPL	每台风机的声功率级 PWL
3	63				
4	125				
5	250				
6	500				
7	1 000				
8	2 000				
9	4 000				

表 D.3 (续)

10	8 000				
11	dB(A)				
12	整个单元 声功率级				
13	dB(A)				
14	注：除非另有规定外： SPL 是指以 dB 为单位测得的声压级，以 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ 为基准； PWL 是指以 dB 为单位测得的声功率级，以 $1 \times 10^{-12} \text{ W}$ 为基准； 对于鼓风式风机，SPL 是在位于风机进口下方 1m 的风机中心线处测量的； 对于引风式风机，SPL 是在位于管束下方 1m 处测量的； 设备的噪声应包括来自减速器和电动机的噪声； 噪声级的上偏差为 +0 dB(A)； 如果存在音频噪声，则规定的总噪声级应认为是比 5 dB(A) 更严。				
15	有关设计位置的说明：				
16	特殊要求的详细内容（有/无 消声措施，专用低噪声风机）				