

第十八章 辅机的主要制造工艺

编写单位 上海电站辅机厂

编写人 顾溥锦

主 审 曹晨光

常用符号表

D_0 ——管板上管孔直径(mm)

d ——超声波检验时缺陷离管内壁(或外壁)的深度(mm)

d_0 ——胀管前的管子外径(mm)

d_i ——胀管前的管子内径(mm)

d_t ——胀管后的管子内径(mm)

H ——管子胀紧率(%)

h ——管板上管孔的环形槽深

l ——超声波检验时实测指示长度

l' ——超声波检验时修正指示长度

p ——橡胶胀管的胀管压力

p_0 ——橡胶胀管时管内壁材料产生屈服的压力

R ——被超声波检查的接管外径(mm)

R_z ——橡胶胀管计算用系数

r ——被超声波检查的接管内径(mm)

t ——被胀接的管子壁厚(mm)

ε ——被胀接的管子减薄率(%)

第一节 概 论

属电站辅机的设备品种繁多，其制造特点和技术也各不相同。本章主要阐述给水加热器、除氧器、除氧器水箱、凝汽器和电站阀门等制造工艺。

给水加热器、除氧器及除氧器水箱都为压力容器，受国家劳动部《压力容器安全技术监察规程》的监察，其中高压给水加热器为三类压力容器，低压给水加热器为二类压力容器，除氧器及除氧器水箱为一类压力容器，它们又分别按 JB/T3343—83《高压加热器制造技术条件》和 JB2932—93《水处理设备制造技术条件》制造。凝汽器系大型结构件类型的低压换热器，按 ZBK54034—90《汽轮机凝汽器技术条件》和 ZBK54015—88《凝汽器加工装配技术条件》

制造。电站阀门是按 JB/T3595—93《电站阀门制造技术条件》制造和检验的。

本章仅介绍上述设备的主要零部件加工工艺，对于通用的加工技术，可以参阅其他有关制造工艺资料。

下面以 300MW 机组辅机为例，选择高压给水加热器、除氧器、凝汽器和安全阀作为典型产品，用示意图方式将它们的制造程序简要地列于图 4-18-1、图 4-18-2、图 4-18-3 和图 4-18-4。

本章将电站辅机制造中管板和隔板孔加工、U 形管制造、管子与管板的胀管、切割与焊接、衬胶与涂装以及质量检验作重点阐述于以后各节。

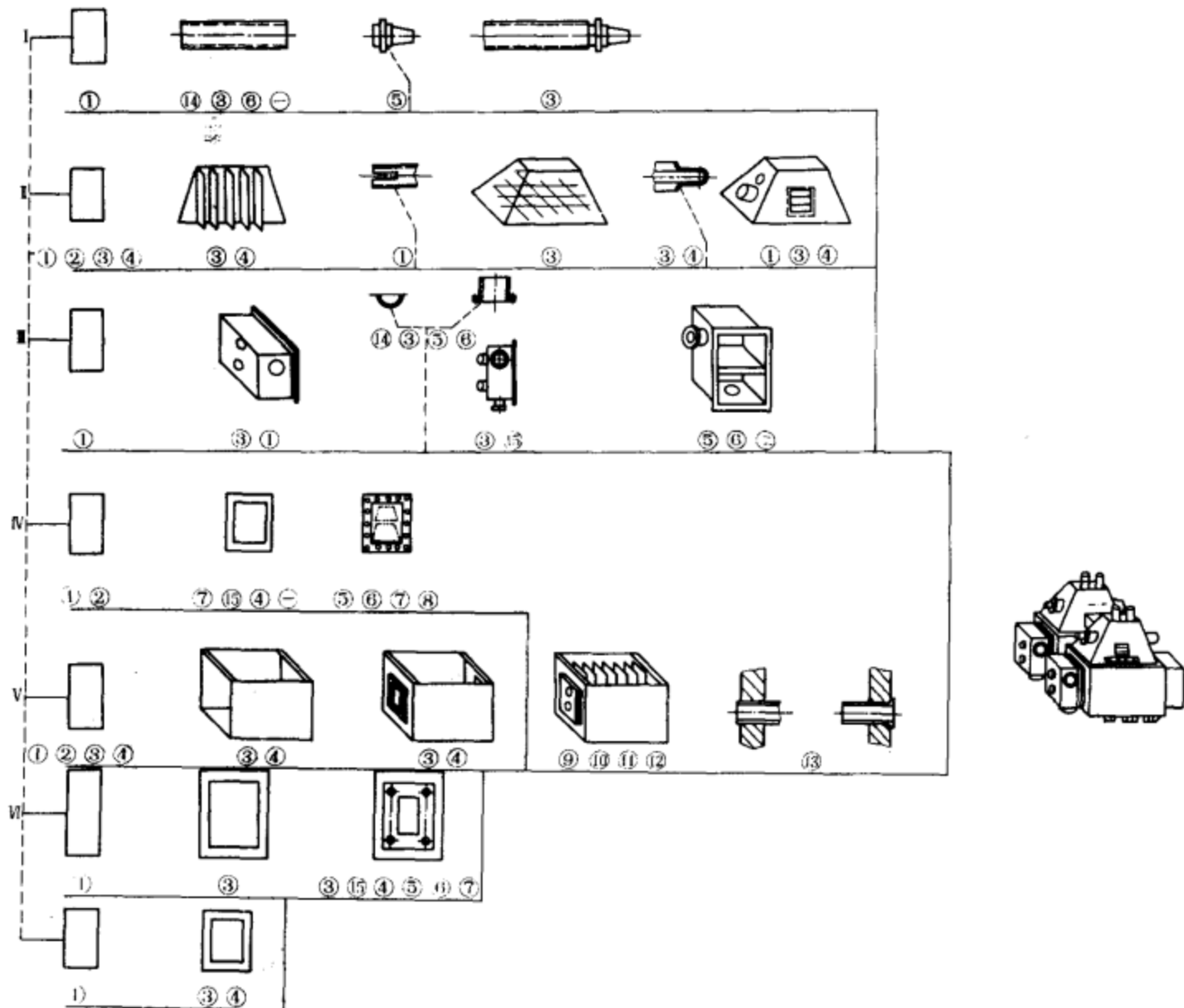
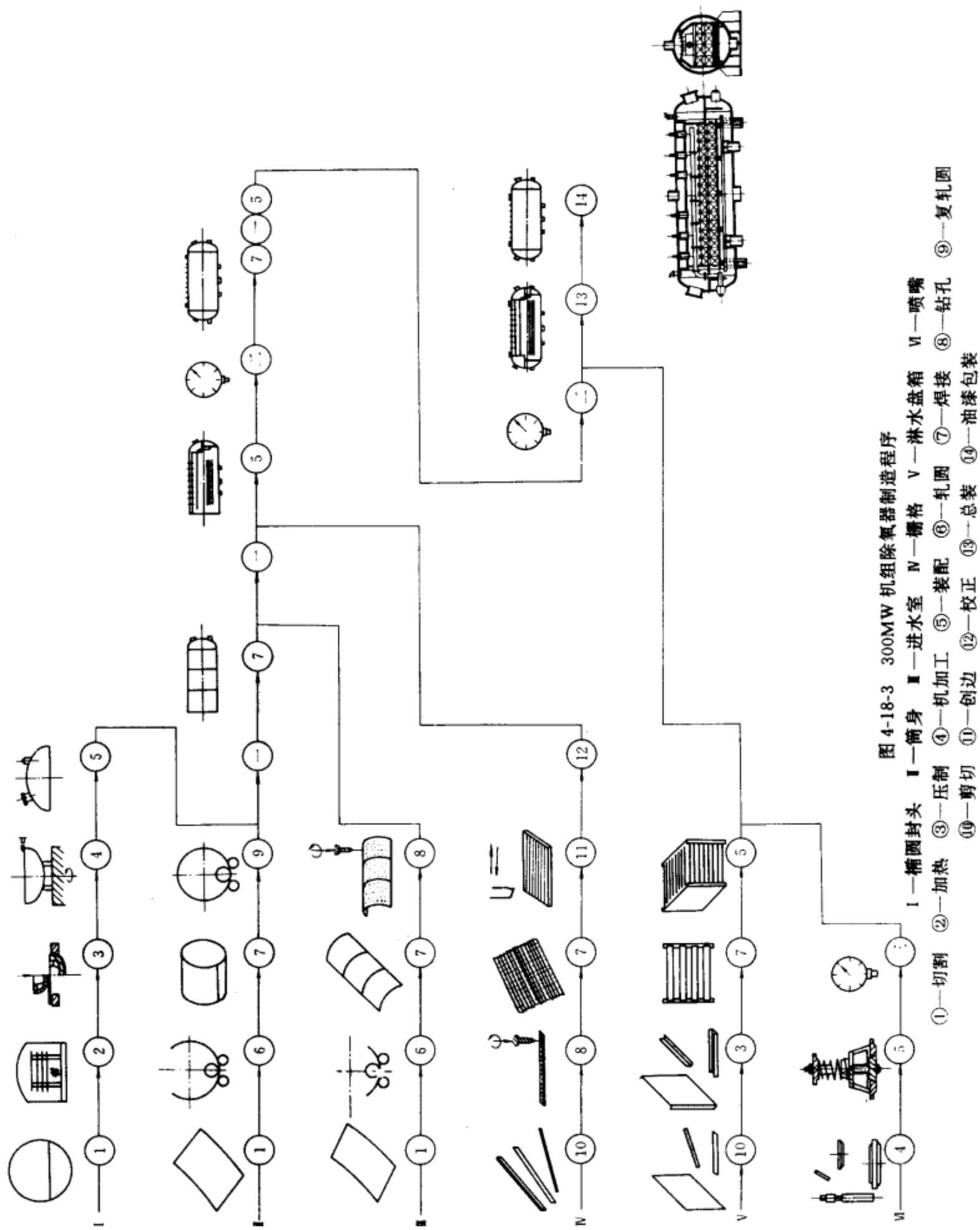


图 4-18-1 300MW 机组凝汽器制造程序

I—紧凑式冷却器 II—接颈 III—水室 IV—管板 V—壳体 VI—壳体法兰

- ①—气割 ②—加工坡口 ③—装焊 ④—校平 ⑤—车铣法兰平面 ⑥—钻孔 ⑦—攻螺孔 ⑧—铰孔
⑨—装管隔板 ⑩—隔板抬高量调整 ⑪—穿管 ⑫—清洗 ⑬—胀管 ⑭—热成形 ⑮—热处理 ⑯—总装
⊖—射线探伤 ⊕—水压试验



第二节 电站换热器主要零件的制造

一、薄管板及隔板的孔加工

凝汽器和高、低压给水加热器中有众多的厚度较薄的管板和隔板,这些管板、隔板需要加工大量的管孔,表 4-18-1 列出不同容量机组典型的凝汽器管板和隔板情况。

表 4-18-1 典型的凝汽器管板和隔板

机组容量 (MW)	每台管板数 (块)	每台隔板数 (块)	每块管板孔数 (只)	孔径 (管板/隔板) (mm)	厚度 (mm)		粗糙度 (μm)	
					管板	隔板	管板	隔板
50	4	8~12	约 3000	25.2/ 25.4	30	16	6.3	12.5
125	4	8	约 6000	25.2/ 25.4	30	20		
300	4	16~24	约 9000	25.2/ 25.4	30~50	18		
600	8	48	约 10000	25.6/ 25.9	钛复合 5+35	14		

管板和隔板的典型工艺流程为:

管板:落料→拼接→焊后热处理→数控切割→校平→铣密封面→钻周边法兰孔→钻管孔→扩铰管孔→倒角→钻攻螺孔→涂装包装。

隔板:落料→拼接→焊后热处理→数控切割→校平→叠合定位焊→钻扩管孔→涂装包装。管板和隔板的管孔加工是电站辅机中热交换器类,尤其是凝汽器制造中工作量最大、加工要求又很高的一项工序。

根据不同介质,凝汽器管板材料可采用碳钢板、海军黄铜板、钝钛板及钛-钢复合板等,低压加热器管板采用碳钢板或低合金钢板,凝汽器和高、低压给水加热器壳体中的隔板大多数为碳钢板制成。

铜管板钻孔加工较容易,切削参数选择的原理是低转速,大进给量。由于铜材弹性模量小,伸长率高,铰孔时孔的扩张量比较碳钢时小得多,故设计铰刀时应适当加大主、副刀的后角。

纯钛管板的钻孔加工,由于钛材料热导率低,易氧化等因素,在切削过程中应保持有良好的冷却条件,同时选择最佳的刀具材料、几何角度和切削参数,以尽量减少切削热的产生。宜选用大进给量、低转速的切削参数。另外,纯钛板钻孔时,其扩张量几乎等于零,因此铰刀设计时还应考虑退刀中避免在

孔壁上产生拉痕。

钛-钢复合管板的钻孔一般采用两块复合板钛面对面叠合、夹紧的方法,对钛面的平整度要求较高,保证叠合后达到最小的间隙,以免切屑夹入而划伤钛面;钻孔前先均布钻数个夹紧孔,用螺栓夹紧。由于复合板的基层与覆层两种材料的弹性模量相差甚大,故要先行试钻,确定合适的切削参数,使钻出的孔的圆柱度误差最小。加工钛-钢复合板时应适当增加铰孔余量,以保证能消除钻孔后圆柱度误差和达到相应的粗糙度要求。铰孔刀具采用大螺旋的3~5齿硬质合金刀具,也可用高速钢直齿铰刀。

(一) 摇臂钻床加工

1. 管板管孔加工

管孔钻孔工艺是选用钻模板定位,打出全部系列管孔的引钻孔,然后根据引钻孔钻孔,直径留0.3~1.0mm余量再进行扩铰孔,最后孔口倒角。

2. 隔板管孔加工

凝汽器和高、低压给水加热器壳体中的隔板大多数为碳钢材料,典型孔加工工艺是将数块隔板叠合,用模板打出全部引钻孔后再钻孔。为消除或尽量减少隔板之间空隙,对尺寸较大的凝汽器隔板,先均布钻10~20只管孔,穿螺栓将隔板夹紧。对尺寸较小的高、低压给水加热器隔板,则可将数块隔板用液压装置压紧,在侧面进行定位焊固定。要求不高的管孔一次钻成,有较高粗糙度要求的管孔要进行二次加工——扩孔。

隔板孔口倒角一般采用风钻,但由于管孔众多而十分费时,在专用的去毛机上进行去毛加工代替倒角是非常合适的。

(二) 数控多轴钻加工管板隔板管孔

为适应批量生产凝汽器,采用在数控多轴(20~40根钻轴)钻床上进行管板、隔板管孔加工是最合适的。此工艺效率高、定位准、劳动强度低,但操作、管理和维修的技术要求高,钻孔过程中工件不得进行重复装夹。一般采用对切削区域进行良好冷却的内冷式麻花钻。扩孔加工大多采用5或7齿硬质合金螺旋铰刀,扩铰孔直径余量在0.8~1.5mm之间。钻、铰切削参数须根据不同材料进行最佳调整选择,一般比摇臂钻低一些,装夹刚性、扩铰切削处理、孔

的质量控制等和摇臂钻加工相比皆有一定提高。以美国 MOLINE HF175 35 轴钻床为例,其钻孔范围 6705mm×4725mm, X 轴向位移 6705mm, Y 轴向位移 152mm, Z 轴向位移 610mm, 钻孔直径(最大) 38mm, 钻孔深度(最大)178mm, 钻轴间中心距 96~

135mm, 转速 40~700r/min, Z 轴向进给速度 25~305mm/min, 定位精度 0.20mm/全长(X 方向)和 0.05mm/全长(Y 方向)。多轴钻孔如图 4-18-5 所示。在 MOLINE 35 轴钻床上对 300MW 机组凝汽器管板进行管孔加工的参数见表 4-18-2。

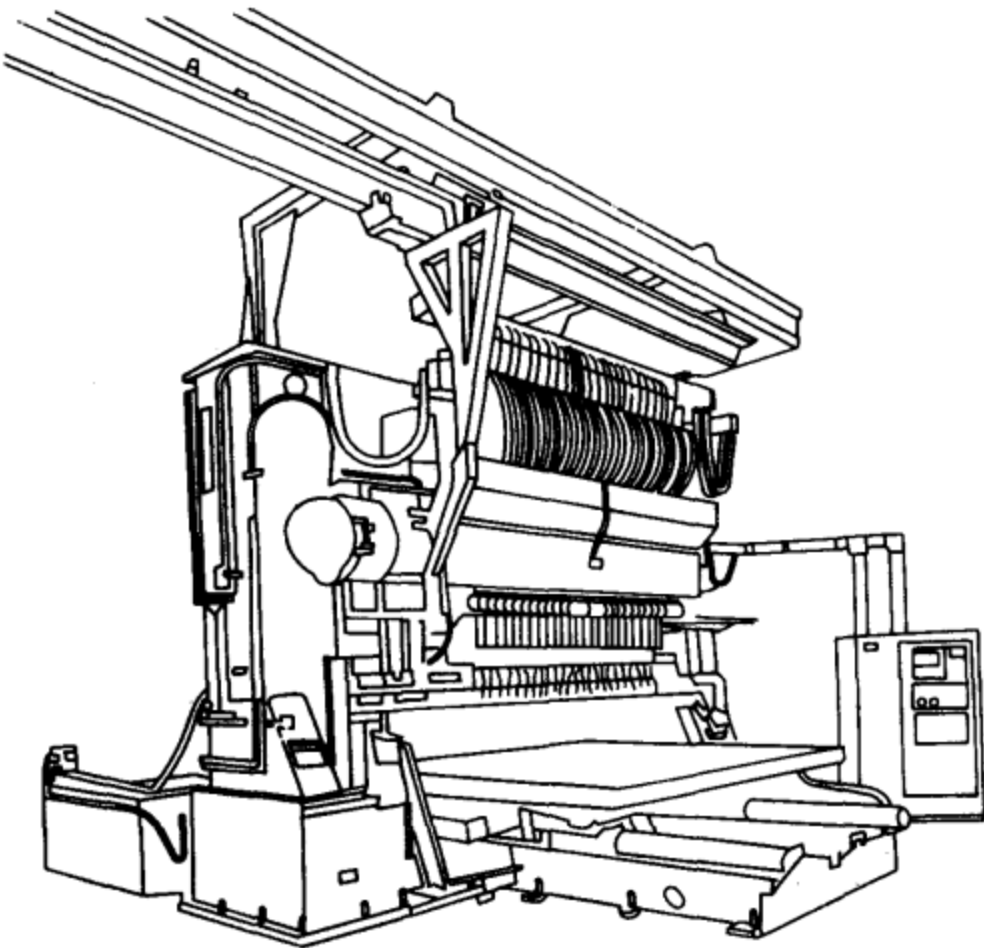


图 4-18-5 多轴钻孔示意

表 4-18-2 35 轴数控钻切削参数

工件	材料	厚度(mm)	孔径(mm)	钻 孔		扩 孔		铰 孔	
				转速 n (r/min)	进给量 F (mm/min)	进给量 F (mm/min)	转速 n (r/min)	转速 n (r/min)	进给量 F (mm/min)
管板	碳钢 Q235-A	46	$25.2^{+0.2}$	300	70	120	250	—	—
隔板	碳钢 Q235-A	20	$28.4^{+0.15}_{-0.05}$	270	60	120	220	—	—
管板	钛 TA3	30	25.3 ± 0.1	250	80	—	—	120	85
管板	钛/钢复合板	5+35	25.3 ± 0.1	250	70	—	—	120	60
管板	海军黄铜	50	30.3 ± 0.05	380	110	—	—	100	80

二、厚管板深孔加工

高压给水加热器中的厚管板是产品的最主要元件之一,它由大型锻件制成,其制造工艺流程如下:

粗车各部→划吊耳线→预热→各吊耳定位焊→焊妥→整体预热→带极堆焊→焊后热处理→精车各部→超声波及磁粉检查→钻孔→车环缝坡口。

这种管板的钻孔,由于厚度大、孔径小、数量多,加上钻孔的孔径、垂直度及孔间距公差小、精度要求高,所以技术难度较大。图 4-18-6 为管板的示意图。典型的 300MW 和 600MW 机组高压加热器管板的情况列于表 4-18-3。

(一) 在摇臂钻床上加工

表 4-18-3 典型的高压给水加热器管板

产 品	每台管板		外径 D (mm)	厚度(mm)		孔 数 n	孔 径 (mm)	孔的节距公差(mm)	
	数量	型号		H	h			钻头	钻头
600MW 机组高 压给水 加热器	3	I	2440	655	570	5812	16.2 ± 0.05	± 0.10	± 0.25
		II				5576			
		III				5346			
300MW 机组高 压给水 加热器	3	I	1574	375	330	2644	16.2 ± 0.05	± 0.10	± 0.25
		II				2534			
		III				2440			

注: H —管板总厚度, h —管板钻孔位置厚度。

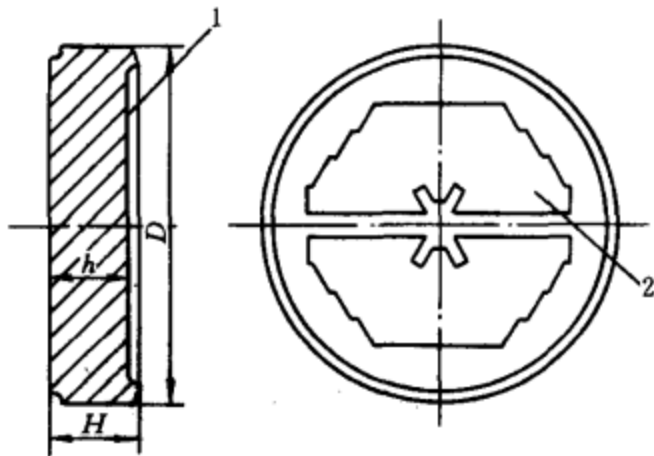


图 4-18-6 管板示意

1—堆焊层 2—孔区

1. 用麻花钻加工深孔

为保证管孔与管板平面的垂直度, 钻孔前将管板放在横臂钻床的工作台上, 在其上平面外圆四点, 用百分表校正到同一平面端面圆跳动在 0.05mm 范围内, 管孔的节距公差用钻模板的精度来保证。

加工步骤:

1) 放上模板对准钻孔十字线压牢, 钻铰定位孔深 $7 \sim 10\text{mm}$ (图 4-18-7a);

2) 用阶梯钻钻孔至 $80 \sim 100\text{mm}$ 深度, 再采用接长钻钻穿 (图 4-18-7b);

3) 用带导向的三刃扩孔钻扩各孔 (图 4-18-7c)。

由于一般摇臂钻床的最大轴向行程不超过 400mm , 同时随着管板厚度的增加, 孔的节距公差也难以保证。故摇臂钻一般仅用于 $\leq 300\text{MW}$ 机组的管板加工。这种加工方法还存在加工周期长、劳动强度高和精度较差等缺点。

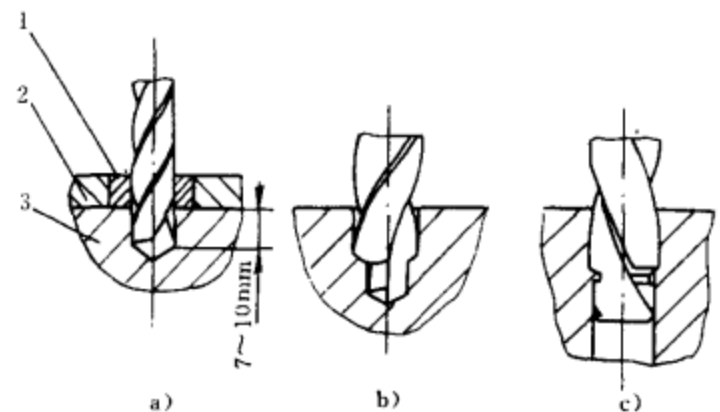


图 4-18-7 摇臂钻钻孔过程

1—钻套 2—模板 3—管板

2. 用枪钻加工深孔

在摇臂钻床上用枪钻加工深孔的特点是孔径的精度高 (可达 3~5 级), 粗糙度低 (可达 $R_{\text{a}} 6.3 \sim 1.6\mu\text{m}$), 孔的直线性也较好, 同时能减少更换刀具次数, 减轻操作者劳动强度。图 4-18-8 为枪钻定位

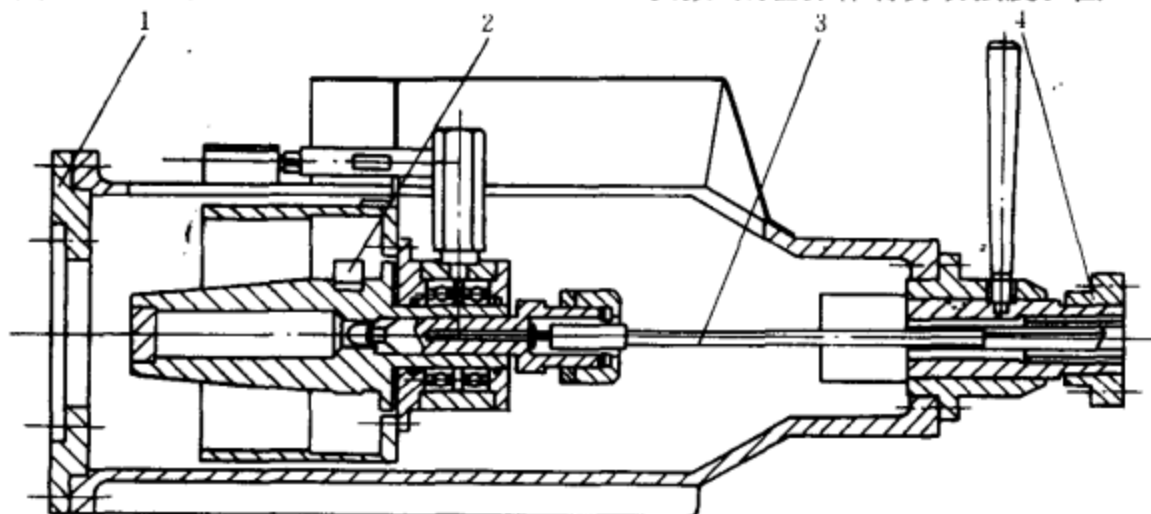


图 4-18-8 枪钻定位密封装置

1—连接部分 2—传动部分 3—枪钻 4—定位部分

密封装置。

摇臂钻床加工深孔的程序：

(1) 将管板穿管进口面朝上放在工作台上并垫平；

(2) 用百分表校正外档平面，使四周跳动量在 0.05mm 以内；

(3) 放钻模板，对准钻孔十字线压牢；

(4) 钻和铰所有管孔的定位孔；

(5) 卸下模板，检查管孔数；

(6) 将枪钻定位密封装置及枪钻与钻床装妥，进行空车运转，使装置垂直、灵活；

(7) 接装冷却系统，试运转。应使冷却液畅通，压力正常，回油顺利；

(8) 将钻孔装置的三定位销在管板的预钻和铰的孔中定位后(图 4-18-9)，固定住机床位置，使主轴在垂直自由状态下进行钻削。

枪钻加工的典型参数列于表 4-18-4。

表 4-18-4 典型的枪钻参数

管板材料	孔径 (mm)	转速 n (r/min)	进刀量 S (mm/r)	油压 p (MPa)
20MnMo	16.2	≈ 1800	0.025~0.032	3.4

钻削中应控制切削液压力 p 的波动量在 ± 0.5 MPa 之间，钻床主轴温升不超过 60°C ，切削液温升不超过 40°C ，钻套磨损超过 0.02mm 应更换。

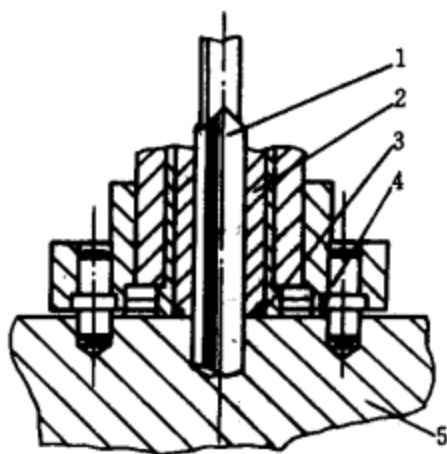


图 4-18-9 钻孔定位

1—枪钻 2—钻套 3—密封圈 4—定位销 5—管板

(二) 在数控深孔钻床上加工

1. 概况

随着高压给水加热器管板厚度及管孔数的增加，采用常规的摇臂钻床用麻花钻进行钻孔，已无法满足要求。国内外开展了深孔加工的研究，并取得了很大进展。国外 50 年代末开始采用数控卧式钻床加

工，机床由一轴发展到五轴；使用的刀具由外排屑的枪钻发展到 BTA 内排屑钻头。由于钻孔技术的改进，新型机床的出现和发展，使生产效率获得了突破。

目前我国上海第一机床厂和武汉重型机床厂已先后研制出单轴数控卧式钻床，可用枪钻和 BTA 钻头，国内的一些企业也进口了一些三轴和单轴数控卧式钻床，在管板钻孔的实际生产中得到应用，以 20MnMo 低合金钢管板，直径 1574mm，管板厚度 330mm，管孔直径 $16.2^{+0.1}_{-0.1}$ mm，孔位公差进口面 ± 0.10 mm，出口面 ± 0.25 mm，孔数 2600 个为例，在改进的摇臂钻床上使用枪钻加工所需 4 周左右，而在三轴数控卧式钻床上使用 BTA 钻头只需 7~10 天，明显提高了效率，质量稳定。图 4-18-10 为三轴深孔钻床示意图。

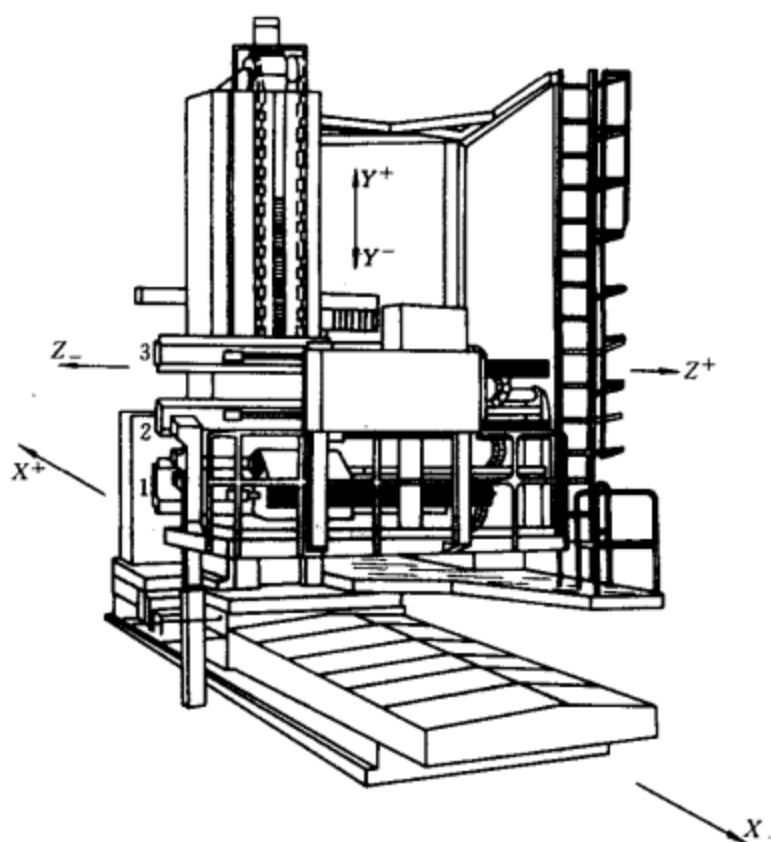


图 4-18-10 三轴数控钻床示意图

2. 管板孔的加工程序

在加工前首先要根据被加工零件图样中管孔的排列及布置来确定三根 Z 轴之间的间距块尺寸(三根 Z 轴的距离调节范围为 250~400mm，即间距块可在 20~170mm 之间)，以便三根 Z 轴同时钻削次数最多，即利用率最高。然后，根据已确定的三根 Z 轴间的尺寸及施工图来编制数控程序及数控程序纸带。

管板管孔的加工程序如下：

(1) 划十字中心线、零线及起始孔线(第一个加工孔为起始孔线)；

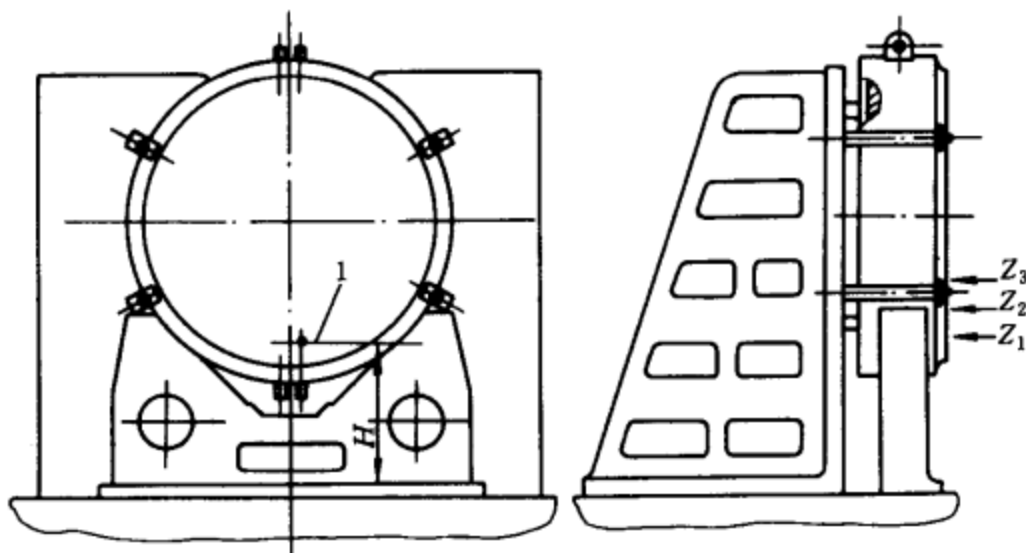


图 4-18-11 管板装夹示意

1—最低孔中心 H —主轴最低位置高度 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 —主轴钻孔方向

- (2) 管板在机床平台上进行装夹(图 4-18-11);
- (3) 校正管板钻孔进口面的水平线及垂直线;
- (4) 用百分表校正十字线外档平面,压板压紧后四周圆跳动应在 0.05mm 以内;
- (5) 配装三根 Z 轴之间的间距块;
- (6) 输入被加工零件的数控程序;
- (7) 安装所用的深孔钻头;
- (8) 安装 X 、 Y 两轴的定位复验孔板;
- (9) 用 Z 轴主轴对管板钻孔十字线中心作零位,以确定的起始孔中心作为起始点,对编制的程序进行调试验证;

(10) 根据管板孔的深度(加工深度)调整 Z 轴挡块;

(11) 在管板钻孔出口面上安装遮油罩;

(12) 根据被加工材料及孔径,合理地确定切削参数;

(13) 合理地确定电流保护参数;

(14) 合理地确定切削液的流量 Q 及压力 p ;

(15) 以十字中心线 O 点作原点(即零位),从起始点开始进行钻孔。

3. 外排屑深孔钻(枪钻)

枪钻采用内冷外排冷却方式,即高压冷却液从钻杆尾部中间内孔喷入到头部,冷却并润滑刀具,带走热量,同时通过 V 形排屑槽排出铁屑,其结构示意图见图 4-18-12。

枪钻很早已获得应用,由于它结

构简单,可多次刃磨,使用寿命长,成本较低,所以至今还广泛使用,并不断地发展。枪钻也有其不足之处,由于本身的结构关系,它的钻杆强度和刚性较差,随着管板厚度的增加,其精度受到影响,同时降低进给量,使生产率的提高受到限制。表 4-18-5 为典型的枪钻切削参数。

4. 内排屑深孔钻(BTA)

内排屑深孔钻(BTA)是采用高压、大流量可循环使用的切削液,迫使在钻削过程中的铁屑冲入刀头的孔中,使铁屑能顺利地随着切削液通过钻杆内

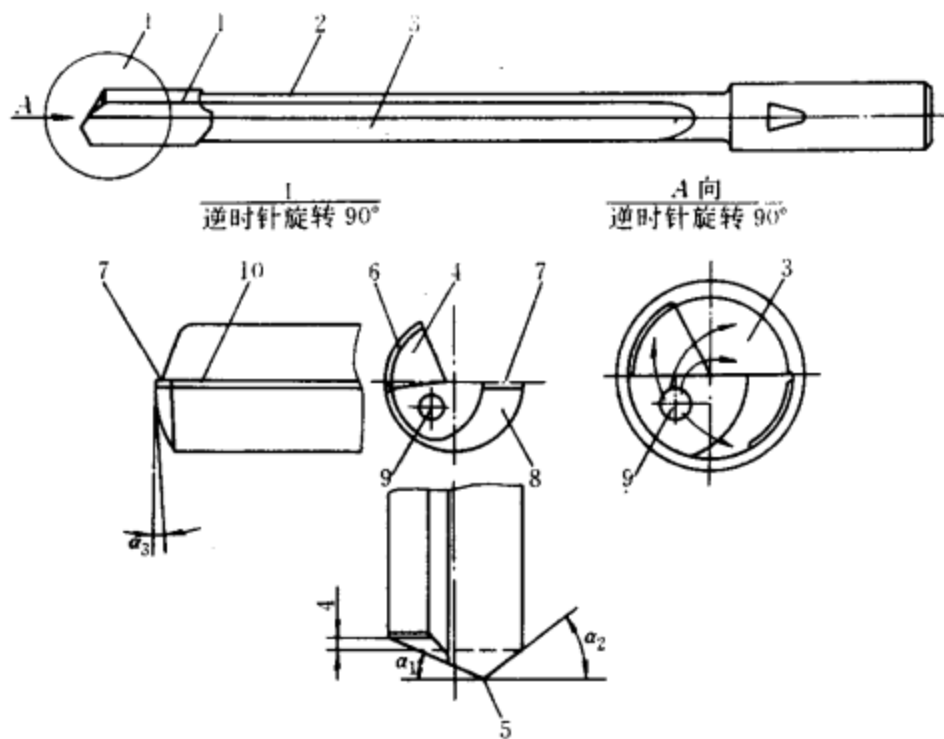


图 4-18-12 枪钻示意图

1—切削头 2—钻杆 3—出屑槽 4—油隙 5—尖顶 6—倒角
7—平缘 8—副后角 9—油孔 10—外切削刃
 α_1 —内切削角 α_2 —外切削角 α_3 —主后角

表 4-18-5 典型的枪钻切削参数

枪钻直径 (mm)	切削液压力 (MPa)	碳钢 HBS≤200			合金钢 HBS≤240			奥氏体不锈钢 HBS≤200			青 铜		
		转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	最大厚度 (mm)	转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	最大厚度 (mm)	转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	最大厚度 (mm)	转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	最大厚度 (mm)
15	3.3	2895	0.058	612	1930	0.046	749	1290	0.023	820	2995	0.071	457
16	3.1	2750	0.058	643	1835	0.046	787	1220	0.023	861	2750	0.069	483
19	2.8	2290	0.055	772	1590	0.043	945	1020	0.020	1034	2290	0.066	579

孔排出，同时起到刀具润滑和把切削过程中产生的热量排放掉的作用，图 4-18-13 为 BTA 深孔钻头的示意。

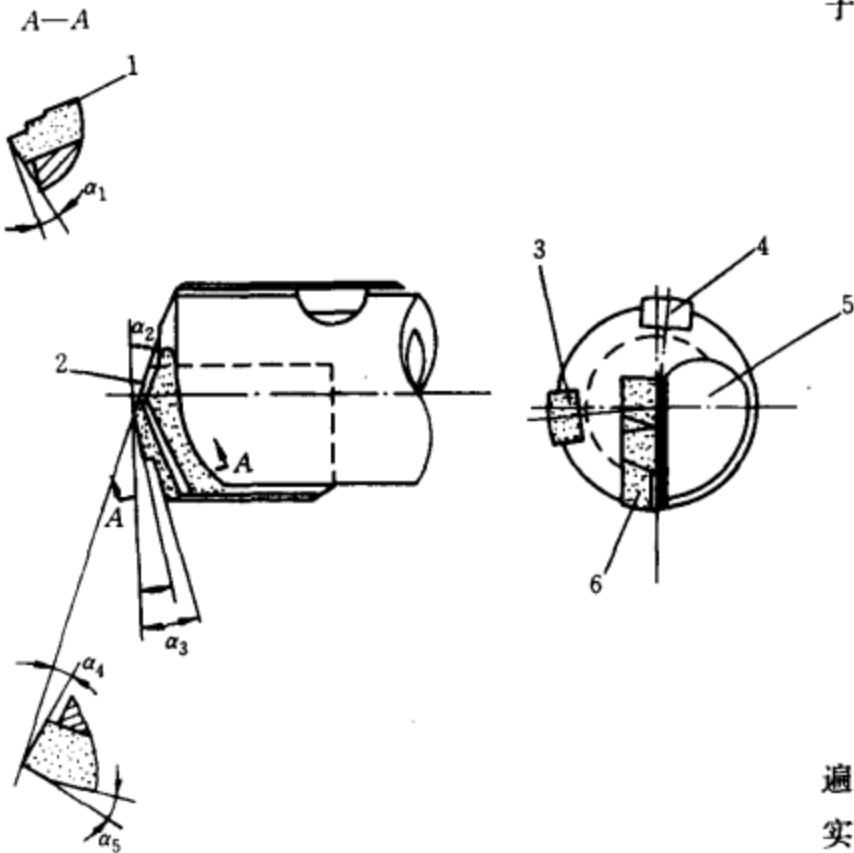


图 4-18-13 BTA 深孔钻头示意图

- 1—断屑台平面 2—内切削刃 3—副导条
4—主导条 5—排屑孔 6—刀片
 α_1 —后角 α_2 —内切削角 α_3 —切削角
 α_4 —内后角 α_5 —内前角

BTA 刀具系统是目前深孔加工中最先进的方法，此法加工深孔精度高，切削速度快。图 4-18-14 为钻孔始钻示意图。BTA 典型的深孔钻切削参数列于表 4-18-6。

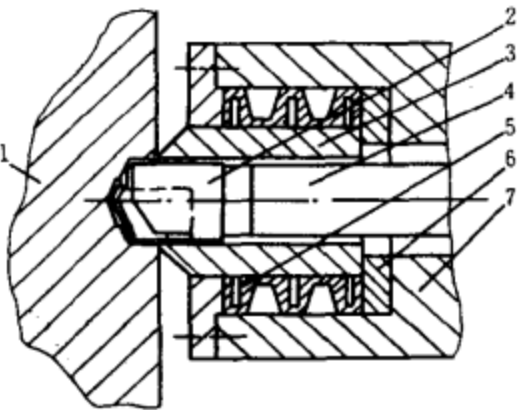


图 4-18-14 始钻示意

- 1—管板 2—BTA 钻头 3—导向套
4—钻杆 5—弹性套 6—垫片 7—顶紧套杆
5. 使用枪钻和 BTA 钻的比较

在数控深孔钻床上使用枪钻和 BTA 钻均较普遍，由于这两种钻具有各自的优缺点，应根据工件的实际条件和加工技术要求选定。

枪钻使用时，可以多次刃磨，且刃磨方便，仅修磨其后角即可；由于枪钻是采用外排屑，在钻削中排出的铁屑不断与管孔壁摩擦，易擦伤其表面；枪钻带有钻杆，更换钻具时要严格校准中心；枪钻钻具较细长，刚性较小。基于上述特点，采用枪钻钻孔，钻具

表 4-18-6 BTA 典型的钻削参数

BTA 钻直径 (mm)	碳钢 HBS≤200		合金钢 HBS≤240		奥氏体不锈钢 HBS≤200	
	转 速 (r/min)	切削速度 (m/min)	转 速 (r/min)	切削速度 (m/min)	转 速 (r/min)	切削速度 (m/min)
15	1900	90	1700	80	1350	65
16	1800		1600		1250	
19	1500		1300		1000	

消耗少,成本低,冷却条件较差,孔壁的粗糙度高,一般为 $R_{a}6.3\sim3.2\mu\text{m}$,钻具更换较费时,转速和切削速度较低,加工周期较长,钻孔的深度较浅。BTA钻使用时,钻头刃磨次数少,且刃磨难度高;铁屑在高压油作用下,从钻具内部排出,不接触管壁;磨损后仅需更换很短的钻头部分;钻具刚性较大,冷却条件较好。故采用BTA钻钻孔,钻头消耗较大,成本较高,孔壁粗糙度低,一般为 $R_{a}3.2\sim0.2\mu\text{m}$,钻头更换方便,转速和切削速度较高,加工周期较短,钻孔的深度较深。

以300MW和600MW机组高压给水加热器管板为例,两种方法的钻孔生产周期和刀具消耗费用比较列于表4-18-7。

三、U形管的制造

表 4-18-7 用枪钻和BTA钻对每块高压给水加热器管板钻孔加工比较

内 容	300MW 机组		600MW 机组	
	枪钻	BTA	枪钻	BTA
生产周期(工作班)	24	14	72	42
刀具消耗费用(元)	1500	4300	5600	15600

表 4-18-8 碳钢和低合金钢无缝U形管制造程序

程 序	质 检 点	程 序	质 检 点
熔 炼	熔炼温度 化学成分	酸 洗	酸浓度 酸洗时间、温度
铸 锭	浇注条件 (温度,时间)	母管检查	钢号 表面缺陷 尺寸 重量 磁粉检查
钢锭整修	表面缺陷	削 尖	
轧 制	轧制和终轧温度, 尺寸,表面状况	软 化	炉温 加热时间
切 割	切割成标准坯料 (内部缺陷)	润 滑	溶解条件 浸渍时间 溶液温度
坯料剥皮	尺寸	(重复) 冷 拔	尺寸 缩径率 表面状况
坯料检查	钢号,尺寸,表面缺陷 (磁粉检查)	软 化	炉温 加热温度
加 热	炉温	润 滑	溶解条件 浸渍时间 溶液温度
轧 管	穿孔和终轧温度 工具 延伸长度		
校 直 切 检	尺寸 表面缺陷 钢号		

U形管是管板式高压给水加热器的主要零件。加热器一般在温度为 $200\sim300^{\circ}\text{C}$ 和压力为 $10\sim20\text{MPa}$ 的条件下使用。按照不同的工况条件,U形管材料可以选用低碳钢管(20A,ASTM A210A1、A556C₂、A209T1、A213T12等),低合金钢管(C-Mo钢)、无缝不锈钢管(0Cr18Ni9Ti,ASTM A213 TP304)、焊接不锈钢管(ASTM A688 TP304),在特殊工况条件下也采用镍铜合金(蒙乃尔)和铁镍基合金(Incoloy 800)材料的管子。

U形管的内在和外表质量直接影响加热器的安全运行和寿命,因此应严格控制整个制造全过程,以符合规定的要求。对于外购的直管或弯管,加热器制造厂必须制订严密的采购技术条件,并以此进行入厂验收。

对于高压给水加热器的U形管,要求其材料内部及内外表面必须不存在有害的或超标的缺陷;内外表面必须光滑,管子所有部位的性能和尺寸必须均匀;无锈蚀及其他有害的残留物存在。

(一) 制造程序

碳钢和低合金钢无缝U形管的制造和质量控制点列于表4-18-8。

(续)

程 序	质 检 点	程 序	质 检 点
冷 拔	尺寸 缩径率 表面状况	直管检查	尺寸 表面状况 (包括锈蚀) 钢号
脱 脂		弯管	表面状况 弯管部分尺寸
光亮热处理	气氛 炉温 加热时间	弯管部分 热处理	根据用户要求
校 直	弯曲度 尺寸 表面状况 (初步防锈)	切割去毛	
涡流检查	表面和内部缺陷	水压处理	规定压力 保持时间 普通清洁 剩磁测量
粗 割	切割长度	检 查	肉眼检查(包括锈蚀) 钢号尺寸(直管和弯管部分) 装箱规程
试样	按法规,规范和钢厂标准 试验 (化验,拉伸,压扁, 扩口 试验)	装 箱	检查的试验综合结果
超声波检查	表面和内部缺陷	出 厂	

采用纯氧吹顶转炉或电弧炉方法炼钢，浇注成钢锭，将钢锭开坯加工成管坯，然后加工到规定的外径，再进行加热穿孔，轧制成冷拔前的母管，然后将母管伴随反复软化进行冷拔至要求的尺寸，以连续加热形式，在保护气氛下光亮退火炉内进行热处理，以保持管子表面光洁，热处理后对直管进行校直，涡流和超声波检查并切割成要求的长度。合格的直管进行弯管加工，此后将弯管切割成规定的长度并对管端去毛刺，接着对弯管内外表面进行清理和进入装箱工序。根据用户需要采取防锈措施和按规定排列进行装箱，图 4-18-15 为装箱实例。

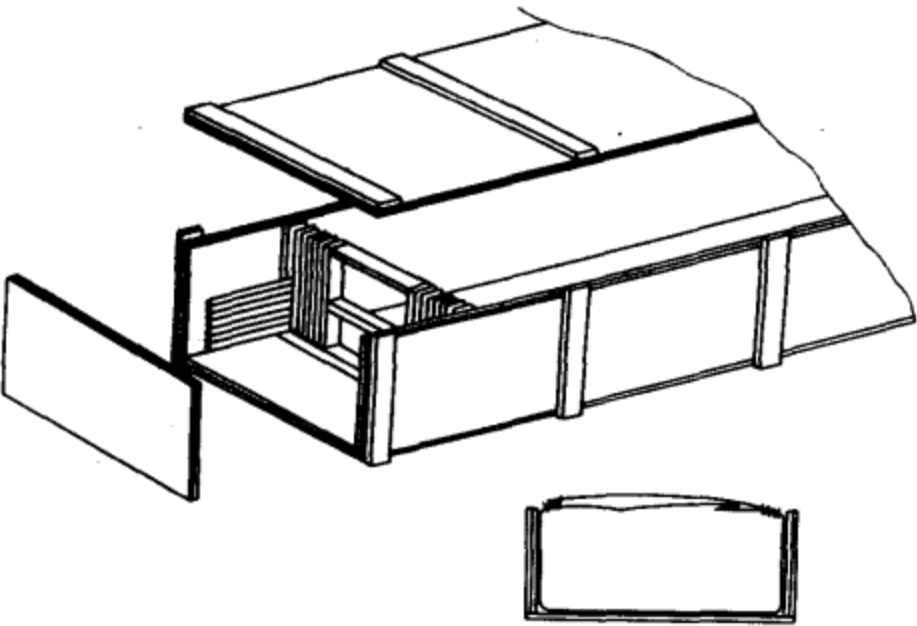


图 4-18-15 U 形管组装箱

此外，对铁素体钢管，为了以后管子与管板焊接质量的稳定，应进行剩磁测量，如果剩磁高，则在出厂前应进行去磁处理。对弯曲半径小的部分管子，对其弯曲部分进行热处理，热处理采用通过管子本身电阻直接通电加热的方法，处理时内壁通氢气保护，外侧也吹氢气。

对于无缝不锈钢 U 形管的制造与上述相似，只是不采用磁粉作表面检查，热处理采用固溶处理 (1010~1120℃) 的方法。对于加热器使用的小直径薄壁 U 形管，采用焊接不锈钢管比无缝管经济得多，无缝及焊接不锈钢 U 形管的制造程序分别见

图 4-18-16 和图 4-18-17。

(二) U 形管的试验和检查要求

(1) U 形管“脚”部的尺寸。测量直管部分的直径和壁厚，应符合标准规定。

(2) U 形管弯管部分的尺寸。测量弯管部分直径和壁厚，其椭圆度与壁厚减薄量应符合标准规定。

(3) 力学性能。包括屈服点、抗拉强度、伸长率和硬度。

(4) 金相组织。

(5) 高温强度，从室温至 600℃。

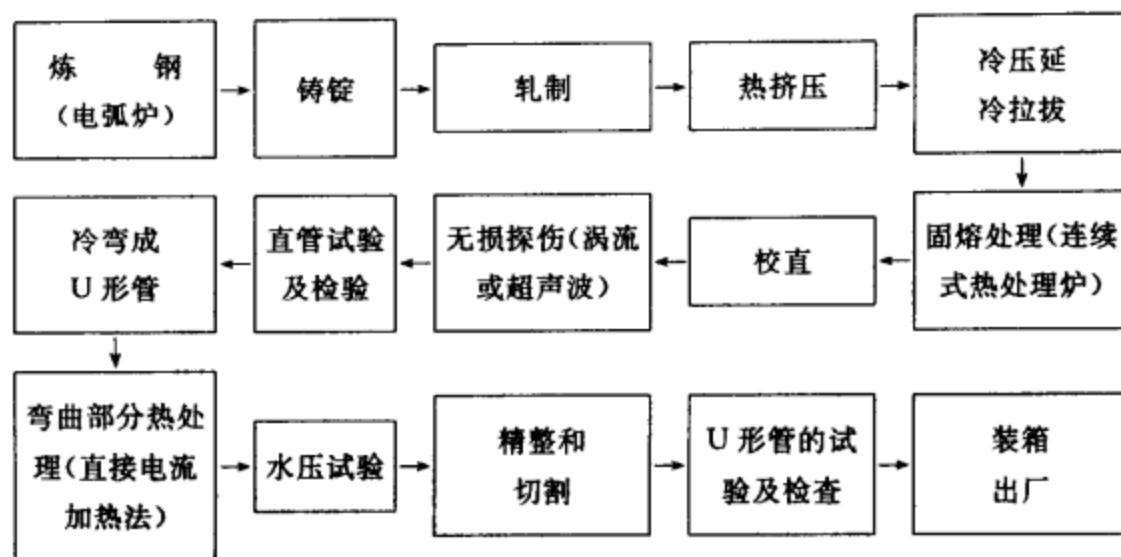


图 4-18-16 无缝不锈钢 U 形管制造程序

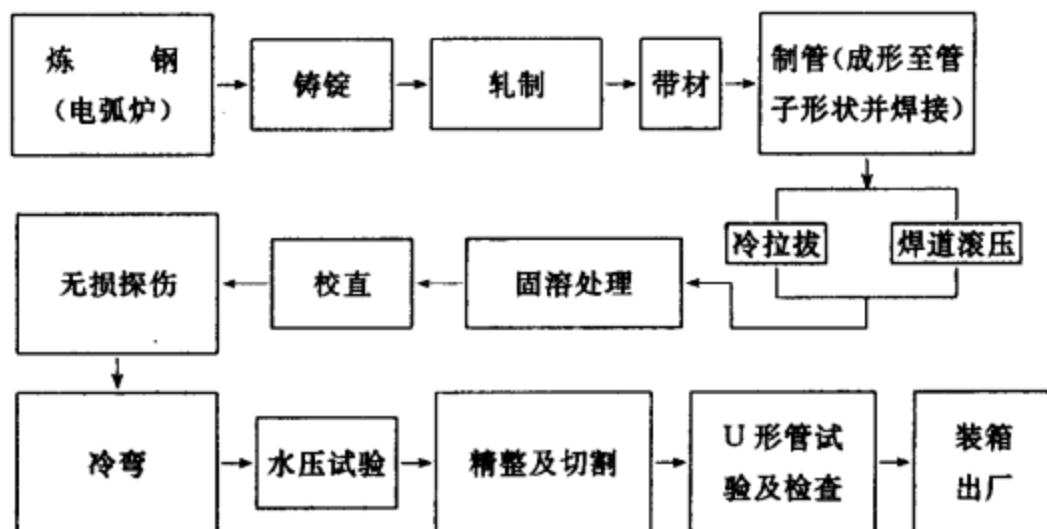


图 4-18-17 焊接不锈钢 U 形管制造程序

第三节 管子与管板的胀接

一、概述

管子与管板胀接是靠管子管板间的不同变形方式来达到密封和紧固的一种连接方法。胀接可用不同的方法(如机械、爆炸、液压橡胶等)扩张管子直径,使管子产生塑性变形,而管板孔壁仅产生弹性变形,利用管板孔壁的回弹对管子施加径向压力,使管接头满足下面两个质量指标;

- (1) 胀接强度。将管子从管板中拉脱时的载荷(kN);
- (2) 密封强度(耐压力)。开始泄漏时的介质压力(MPa)。

当用胀接法使管子胀入管板后达到某种致密程度,其效果取决于管子管板间的接触压力。在承受中压情况下,采用管板孔中开环形槽,管口制成喇叭形即可达到使用要求。为了保证换热管与管板连接的密封性能及抗拉脱强度的胀管称为强度胀管,强度胀管的一般适用范围为:设计压力 $\leq 9\text{MPa}$,设计温

度 $\leq 300^{\circ}\text{C}$ (不同材料间胀接连接的最高使用温度列于表 4-18-9),运行中无剧烈的振动,无过大的温度变化及无严重的应力腐蚀;对在高温高压情况下,这个接触压力将会消失,接头就会泄漏,因而在这种工

表 4-18-9 不同材料间胀接
连接的最高使用温度

管 子	管板	最高使用温度($^{\circ}\text{C}$)
铝	碳	93
铜		177
海军黄铜		177
90/10CuNi(B10)		204
80/20CuNi(B20)		232
70/30CuNi(B30)	钢	268
70/30NiCu(蒙乃尔)		288
奥氏体不锈钢		260

况下运行的换热器，例如高压给水加热器，一般采用胀焊结合的接头型式，由焊缝实现密封，或同时承受强度，此时胀接的作用是：

- (1) 若接头采用先胀后焊，此时胀管能消除管子和管板孔间的空隙，使管子和管板孔贴合在一起，便于焊接；
- (2) 达到管子和管板孔间的接合要求，防止间隙腐蚀；
- (3) 承受换热器工作温度波动或由于其他原因引起的反复载荷，从而减轻接头焊缝的疲劳应力。

采用胀焊结合的接头型式时，有两种胀焊顺序，即先焊后胀和先胀后焊。采用先胀后焊顺序时，在焊接过程的高温作用下，所产生的气体无法逸出而冲击熔池，在焊缝中产生气孔，尤其在收弧处更是如此。因此，应尽可能采用先焊后胀的顺序，但在焊后的胀接中应设法避免损伤焊缝。在采用先焊后胀顺序时，焊前应用机械或端部微胀方法将管子定位于管孔内。当不得不采用先胀后焊的顺序时，为提高接头的焊接质量，全部胀接工作应在清洁条件下进行，接头在胀前应作充分的清洁工作，尽量避免润滑剂渗入接头缝隙，胀后焊前接头还应再仔细进行清洁。

各种胀接方法均具有各自的特点，表 4-18-10 列出了不同胀接方法的比较，可以根据产品和制造厂的条件选择胀接方法。

二、机械胀管

机械胀管是以机械力将管子胀紧在管板上的一

表 4-18-10 不同胀接方法的比较

内 容	机械胀	爆炸胀	液压胀	橡胶胀
工艺参数的控制	精确	较差	精确	精确
适用材料范围	较窄	较广	极广	极广
胀接长度	有限制	有限制	基本上无限制	有限制
生产效率	较高	最高	较高	较高
胀口残余应力	较大	—	最小	较小
管内表面冷作硬化	较大	较小	最小	最小
胀口清洁度	差	较差	最好	较好
小口径胀管	困难	容易	容易	较容易
润滑剂	要	不要	不要	不要
远离管端的胀接	不可	不可	可	可

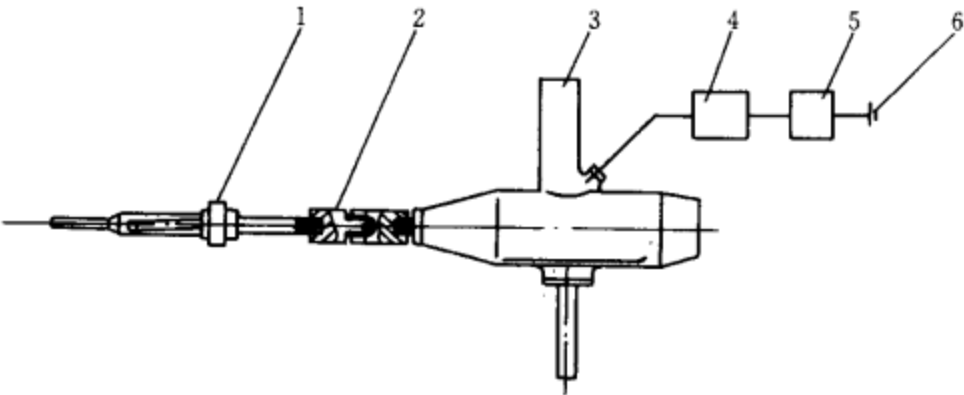


图 4-18-18 电动机械胀接装置

- 1—胀管器 2—万向接头 3—胀管机
4—控制仪 5—稳压器 6—电源

种胀管方法。以控制方法分，机械胀管法分为经验法、测量法和自动控制法三种；以动力类型分，机械胀接又分为手动胀接、风动胀接、液压驱动(油压马达)胀接和电动胀接四种，其中以风动胀接和电动胀接最为常用。图 4-18-18 是电动机械胀接装置示意图。

(一) 胀管机

为了高质量地完成胀管工作，应选用合适的可控自动胀管系统，其中包括胀管器、联轴器、胀管机、稳压器、自动控制仪及电源。胀管机是胀管器的驱动机构，表 4-18-11 为国产电动胀管机系列。电动胀管机的优点是可控、轻便和效率高。

表 4-18-11 电动胀管机系列

型 号	胀管外径 (mm)	主轴额定转 (力)矩(N·m)	主轴转速 (r/min)
P3Z ₁ -13	6~19	4	600
P3Z ₁ -19	13~25	9	250
P3Z ₁ -25	19~38	18	130
P3Z ₁ -38	25~51	35	145
P3Z ₁ -51	38~76	137	72
P3Z ₁ -76	51~102	196	42

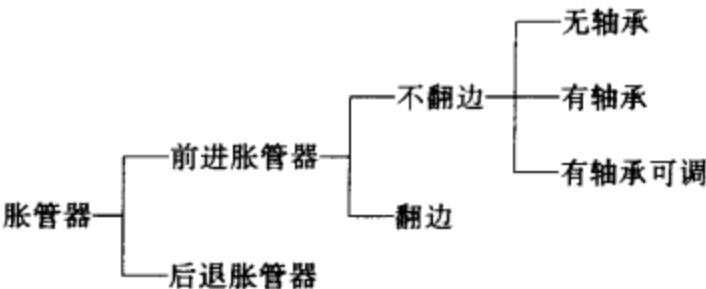
风动胀管与电动胀管相比较，效率较高，但胀紧率控制不够精确，而法国 E^m TROUAY & CAUVIN 公司生产的风动胀管机可带有型号为 MP15 的力矩测量仪，精确度可达±1%。国外风动胀管已形成系列，扭矩从 0.3N·m 到 200N·m 以上，相应的空转速度可从 2800r/min 降到 175r/min；较大扭矩的胀管机的空转速度较慢，即随着被胀管子的直径和壁厚增加，选用大扭矩低转速的风动胀管机。

国内尚无系列的风动胀管机的生产厂家。机械胀管的共同缺点是管子内壁受胀子双向力而易出现硬化或损伤。为克服上述不足,国外已研制成一种机械/液压电子控制的胀管装置,该装置由可变速电动机带动胀管器旋转,由液压系统使管子向外扩胀。这种装置能精密控制扭矩和胀紧长度,可根据不同材料控制不同的转速和胀紧长度,这种装置除能防止或减少管子硬化和损伤外,还能使胀管时管子位移减少90%。德国KOTTAAUS+BUSCH公司生产的TCM-H机械/液压电子控制的胀管装置就是典型的一种,它可胀的管子外径范围为6至150mm。

(二) 胀管器

1. 分类

胀管器的分类如下:



2. 选用

表4-18-12为电站辅机设备胀接的典型结构型式。

根据选定的胀接接头型式,可参照表4-18-13选择合适的胀管器。

3. 胀接过程

表 4-18-12 机械胀接典型结构型式

型 式	简 图		应用场合
	胀 前	胀 后	
凝汽器、低压给水加热器			管内 $p \leq 4.5\text{MPa}$ $t \leq 220^{\circ}\text{C}$
			传热管材料为不锈钢 $p > 0.58\text{MPa}$
凝汽器			火电用管子管板的连接
			核电用管子管板连接
高压给水加热器			水侧 $p \leq 32\text{MPa}$ $t \leq 300^{\circ}\text{C}$

使用胀器胀管过程有定位式、前进式、翻边式和后退式4种。图4-18-19、图4-18-20和图4-18-21分

别表示前进式、翻边式和后退式胀管器胀管过程。

4. 特点