

# 连续弯管制造工艺及其装备

张友康 陈全

(南通锅炉厂)

## 摘 要

结合管子连续弯头的应用和对曲线夹块法制造工艺的分析、比较,介绍了平面四连弯一次成形工艺的工作原理,并以 $\phi 60 \times 5$ 连续弯头的制造实践为例,阐述了一种平面四连弯一次成形的新工艺——压弯法制造连续弯头。

### 1. 前言

在锅炉制造的生产实践中,常常会遇到管排在同一平面内相交,或者在管排中间让出炉门、观火门等孔位,或者密排管子无法满足在同一集箱母线上开孔等情况,为了保持管子的连续性,必须让一个方向上的管屏或者是部分管子绕道通行,这样就形成了平面四连弯或者是双连弯,如图1所示。其中“b”型通过两两组合可变成“a”型,“c”型通过两两组合亦可变成如图2所示的平面对称图形,其形式与“a”型相似,“d”型可通过将“a”型的中间直段变为零转换而来。由上分析可得:绝大部分连续弯头均可通过分割或合并转换成图1“a”平面四连弯的形式或者是其近似形式。

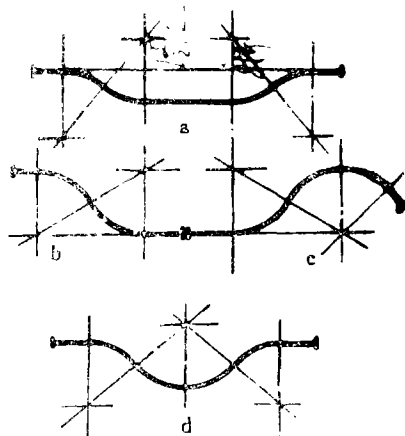


图1 连续弯头基本形式

a. 平面四连弯 b. 双连弯 c. 鼻子弯 d.  $\Omega$ 弯头

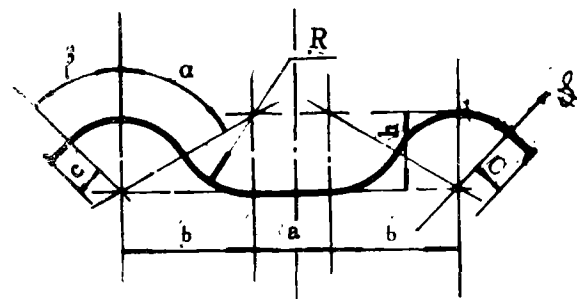


图2 鼻子弯的对称组合形式

从实践中看,情况亦是如此。例如在17t/h锅炉的膜式壁制造中就存在如图3所示的各种连续弯管子,本文以此来作一分析,(有关参数见附表)。

在各工件参数中,自变量为 $R$ 、 $h$ 和材料规格 $D_w \times S$ ,其余均为应变变量。本例 $R$ 为200,原材料为管子 $\phi 60 \times 5$ ,钢号为20,应变量为弯曲角 $\alpha$ ,圆弧在轴线上的投影长度 $b$ ,可通

过三角函数来换算,其弯曲的稳定性参数——相对曲率半径 $R_x$ 及相对厚度 $S_x$ 为

$$R_x = \frac{R_w}{D_o} = \frac{200}{60} = 3.3 > 2.5, \text{属中等}$$

曲率,  $S_x = \frac{\delta}{D_w} = \frac{5}{60} = 0.083$ , 属中厚壁管。

如果采用普通单弯头弯管,或是两弯头之间具有一定长度的直段 $l$ ,其工艺性是相当好的。但由于图3所示的两弯头之间没有直段,在普通拉拔式回弯弯曲机上弯曲时,夹紧与定位就比较困难。本文以 $\phi 60 \times 5$ 连续弯头为例,阐述其制造工艺及常见问题,提出合理解决办法。

## 2. 曲线夹块法弯管工艺试验

用曲线夹块法弯曲平面连续弯头,是通常采用的基本方法。本厂现在只有滚轮式回弯弯管机,为此,我们设计了如图4所示的弯管模。该装置的动夹紧块3制造难度大,只可在整模上线切割锯下,定夹紧块2具有定圆环槽,加工工艺复杂。用该结构的弯管模在W27A-60型弯管机上弯制管子 $D_w \times S = \phi 42 \times 5$ ,弯曲半径 $R80$ 的平面连续弯头。因其夹紧滚轮具有一定的直径,所以两弯头间存着不大于管子直径的直段 $e$ 。由于夹紧不可靠,弯制时存在移位现象,工件弯制结果不理想,存在着各弯曲角度不一致、过弯、欠弯、扭曲和直段不平行等诸多缺陷,须经人工热矫正后方可达到图纸要求。生产效率低,劳动强度大,质量亦不尽人意。

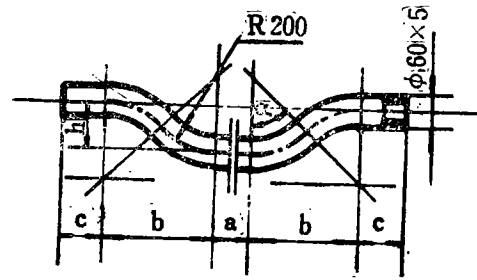


图3 平面四连弯

附表 平面四连弯工件参数

序号	a	h	$\alpha$	b
1	0~1512	20	18°12'	125
2	200	24	19°57'	136.5
3	312~862	65	33°07'	219
4	单侧	84	37°44'	245
5	0~344	90	39°12'	253
6	0	110	43°32'	275.5
7	单侧	180	56°38'	334
8	单侧	200	60°	346
9	鼻子弯	277.4	72°09'	381

注:  $C \geq 250$ , 不足加工艺余量

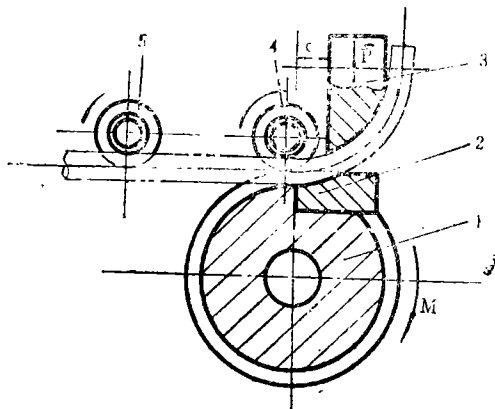


图4 在滚轮式弯管机上弯制连续弯头的模具结构

1.主模 2.定夹紧块 3.动夹紧块 4.夹紧轮 5.导向轮

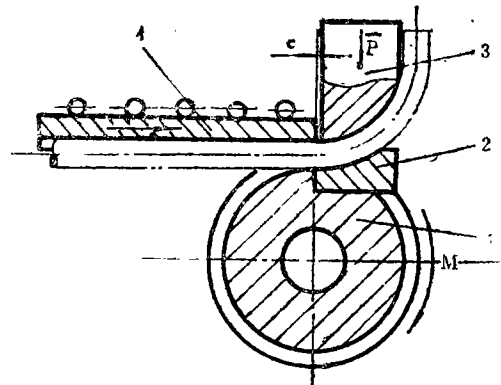


图5 在滑板式弯管机上弯制连续弯头的模具结构

1.主模 2.定夹紧块 3.动夹紧块 4.导板

为了消除压紧滚轮直径对连续弯头间直段的影响,设计了如图5所示结构的弯管模,但须具有滑板式回弯弯管机,其投资大,设计制造弯管机的周期无法适应本厂生产进度的要求。我们放弃了该设计思路,但对有相应条件的厂家,不失为一有效的方法。

为了增加夹紧的可靠性,降低模具制造难度,消除滚轮直径的影响,又设计了如图6所示的弯管模。该模具适用于滚轮式回弯弯管机。以偏心轴机构代替了具有内圆环槽的定夹紧块,动夹紧块则作为定位的靠模使用,件3、件4均刚性固定在主模5上,随主模一起旋转完成连续弯头的弯制工作。通过生产实践,该结构比图4所示的结构有较大的进步,两连续弯头间的直段基本消除,但欠弯、过弯、扭曲、直边段不平行等缺陷仍旧存在,矫正的工作量较大,仍不适应批量生产的要求。

为了摆脱困境,我们跳出了回弯弯管机的设计思路,寻求一种高效的平面连续弯弯制工艺,从而探索出利用压弯法制造连续弯头的一种新工艺。

### 3. 平面四连弯一次成形工艺

根据第一部分的分析,各种形式的平面连续弯头都可归结为平面轴对称图形。我们以图3所示的工件为对象加以研究。其相对曲率半径 $R_x$ 为:

$$R_x = \frac{R_0}{D_w} = \frac{200}{60} = 3.3 > 3$$

相对壁厚 $S_x$ 为:  $S_x = \frac{\delta}{D_w} = \frac{5}{60} = 0.083 > 0.06$

两参数值较大,弯管工艺性较好。根据本厂多年来压弯工艺生产膜式壁管排的经验,大胆地提出了用压弯法使平面四连弯一次成形的设计构想。

#### (1) 压力机的选择

工件是一个平面轴对称图形,其压制时压弯力的外力是一个平面平行力系,力系的一侧如图7所示。

设 $C' = C = R$ ,则侧压轮压力为

$$P_{1max} = K \times W \times \sigma_s / R \quad (1)$$

式中  $K$ ——考虑摩擦力等因素在内的安全系数

$W$ ——钢管的截面刚度

$$W = \frac{\pi}{32} [D_w^4 - (D_w - 2S)^4]$$

$$= \frac{\pi}{32} [6^4 - (6 - 2 \times 0.5)^4]$$

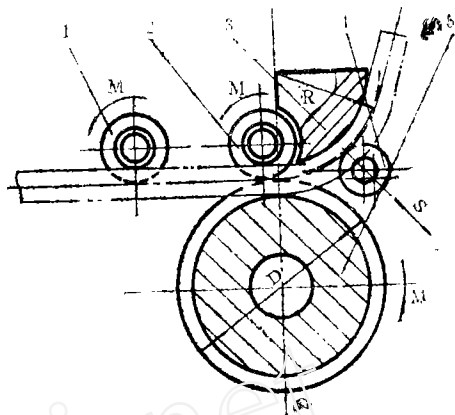


图6 悬浮式偏心夹紧管子连续弯曲模  
1.导向滚轮 2.夹紧滚轮 3.扇形定位块 4.偏心夹紧轴 5.弯管主模

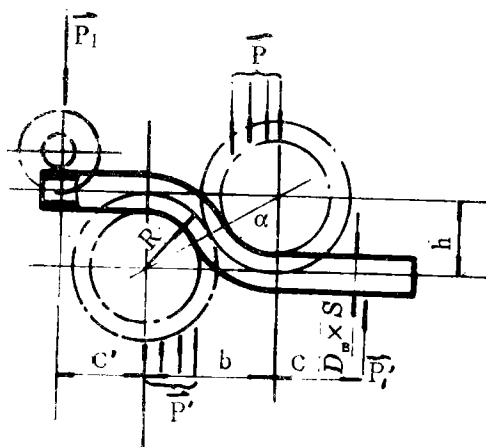


图7 压弯力系

$$= 8.934 \text{cm}^3 = 8.934 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

$\sigma_s$ ——钢管的屈服极限,  $\sigma_s \leq 343 \text{MPa}$

代入(1)式可得:  $P_1 = 23 \text{kN}$

从图中可看出  $\vec{P}$  与  $\vec{P}'$  产生力矩使钢管弯曲。当两轮互相靠近并接触完成工件的最终成形时, 最小力臂为

$$l_{\text{min臂}} = \frac{D_w}{2 \cos \alpha}$$

式中  $l_{\text{min臂}}$  ——为  $P$  作用线间距之半,  $\alpha$  ——弯曲角,

当  $\alpha = 90^\circ$  时,  $\cos \alpha = 1$ , 则  $l_{\text{min臂}} = 0.5 D_w$ 。代入(1)式后改写得,  $P_{\text{max}} = K \times W \times \sigma_s / 0.5 D_w$   
 $= 1.5 \times 8.934 \times 10^{-6} \times 343 \times 10^6 / 0.5 \times 60 \times 10^{-3} = 153.2 \times 10^3 \text{N} = 153.2 \text{kN}$ 。

因  $P_1 = P_1'$ ,  $P = P'$ , 所以系统双侧外力平行力系的力的合力为  $P_{\text{max}} = 2(P_1 + P_1' + P)$   
 $= 2(23 + 23 + 153.2) \times 10^3 = 398 \times 10^3 \text{N} \approx 400 \text{kN}$

因为受设备闭合高度、行程和工作台尺寸的限制, 我们选用在陕压生产的 Y315t 油压机上加工。弯制时压力表上的指针在  $3.5 \text{MPa} \sim 4 \text{MPa}$  的刻度间摆动, 相当于  $55 \text{t} \sim 63 \text{t}$  的压力, 这是由于大压机在低负荷下工作时内阻较大之故。

#### (2) 模具结构

因为模具要完成的工件是平面对称图形, 所以模具的结构也必然为对称的。它具有与平面四连弯的四个弯头两两对应的四个成形模块。模具结构示意图如图 8 所示。

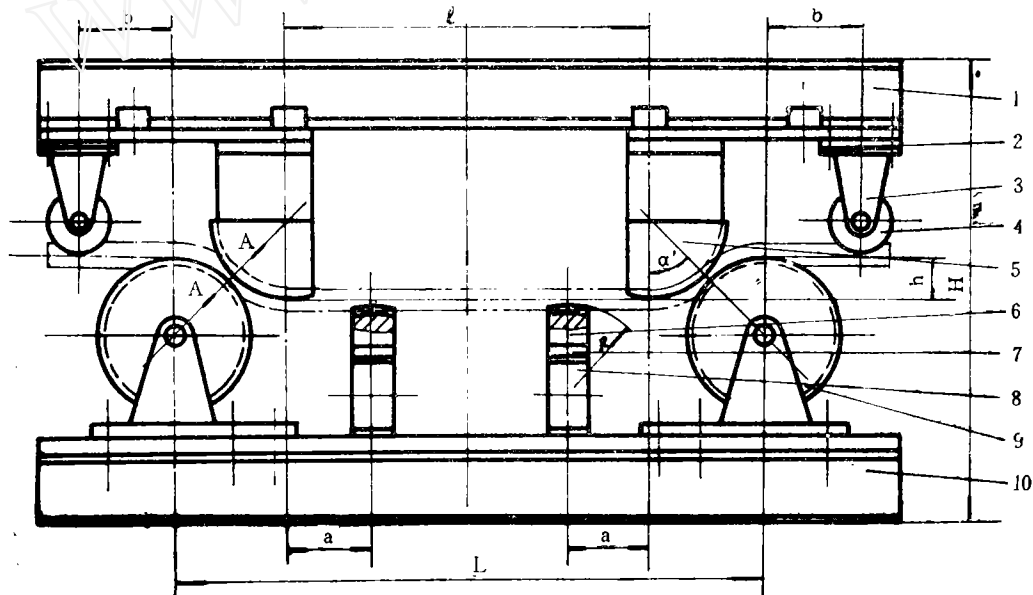


图 8 平面四连弯一次成形模

- |          |            |            |         |         |
|----------|------------|------------|---------|---------|
| 1. 上模座   | 2. 上调节垫片   | 3. 压轮支架    | 4. 压轮   | 5. 上型轮  |
| 6. 矫正支承块 | 7. 矫正支承调节垫 | 8. 矫正支承块支架 | 9. 下型轮组 | 10. 下模座 |

该结构中件 5 与件 9 即为对应的四个成形模块。为了限制弯曲角  $\alpha$  的大小, 对应地设置了四个支承点。所有与工件接触的型槽中心位于同一垂直面内。件 3、件 4 可相对于件 1 移动, 保持  $b \approx R$ 。件 5 可带件 3、件 4 一起在横梁上作无级移动, 以保证  $l$  的要求。本设计

中 $l \leq 1500\text{mm}$ 。件6、件7、件8、件9均可在件10下模座上相对移动,保证 $L$ 与 $b$ 的要求。一般来说 $L$ 、 $l$ 是工件规定的尺寸, $a = b = R$ ,均不小于三倍工件的外径。 $h$ 和 $\alpha$ 相对于工件的要求作回弹计算后控制, $h$ 的大小可通过件2和件8来调节。因两相邻弯曲角 $\alpha$ 的回弹相反,所以当工件在压制时两端直段和中间直段保持平行,卸下后的工件仍旧是平行的,只是 $\alpha' = \alpha + \Delta\alpha$ ,  $R' = R - \Delta R$ 而已。

$$\alpha' = \alpha + \Delta\alpha$$

式中  $\alpha'$ ——工件弯曲时对模具的包角

$\alpha$ ——工件原设计的弯曲角

$\Delta\alpha$ ——工件的回弹角

$$R' = R - \Delta R$$

式中  $R'$ ——弯曲模具的弯曲半径,

$R$ ——工件的设计弯曲半径,

$\Delta R$ ——由于回弹引起的曲率增大值,

且 $R \times \alpha = R' \times \alpha'$ ,即弯曲前后弯曲段的弧长相等。

$$\text{式中 } R' = \frac{R}{1 + 2m \times \frac{\sigma_s}{E} \times R_x}, \quad m = K_1 + \frac{K_0}{2R_x}$$

$K_1$ ——管子的截面形状系数,与工件相对壁厚 $S_x = \frac{S}{D_w}$ 有关

$K_0$ ——相对强化系数,与工件的材质有关

$R_x$ ——相对曲率半径, $R_x = \frac{R}{D_w}$

$\sigma_s$ ——工件材质的屈服极限

$E$ ——材料的弹性极限

只要在试模时作一次性调整合格,调好定位挡铁和模具的各部分相对尺寸,就可批量生产。各工件的形状完全一致,一次压制成形,无需任何矫正就可合格。

为了保证工件椭圆度在合格的范围内,件5和件9的型槽应尽可能深,以增加模具对工件的约束力。两轮对合的最终间隙不小于零即可。如图8的A—A剖视,即为图9所示。

经实践证明:当 $h \leq R$ 时,即 $\alpha \leq 60^\circ$ 时,对于规格为 $R200$ 、 $\phi 60 \times 5$ 的工件在弯曲处的椭圆度能满足标准要求,即:

$$e = \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{D_w} \times 100 \leq 10$$

本工件 $e \leq 6$ ,实测时最大达4.8。若超过这一数据,就会出现不合格,影响质量。

本工艺的适用范围应是较大弯曲半径( $R_x \geq 3$ )的中厚壁管( $S_x \geq 0.06$ ),弯曲角 $\alpha \leq 60^\circ$ 的电站锅炉膜式壁用平面连续弯头的生产。它具有效率高,质量好,劳动强度小的特点,特别适用于批量生产的要求。

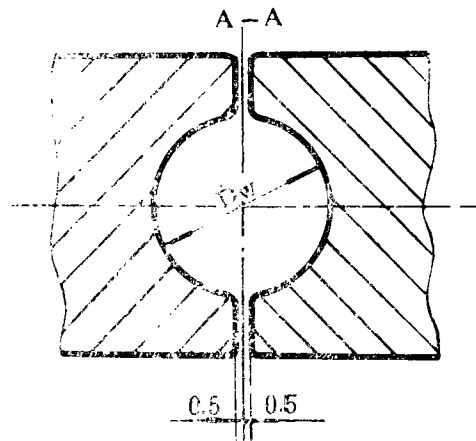


图9 接触处的间隙要求

# 磁弧焊接技术在克雷登锅炉上应用的探讨

刘兴家

(江西省锅炉压力容器检验所)

## 摘 要

叙述了磁弧焊的原理及克雷登锅炉盘管磁弧焊的工艺参数及焊接过程。

关键词 焊接 强度 旋转电弧 应用

江西九江船用机械厂引进的克雷登锅炉是一种新型的高效节能直流锅炉,它的先进性在1991年《工业锅炉》第1期、第2期已作了详细的介绍。该锅炉在制造过程中有一关键工序——盘管的最后拼接,由于其空间位置受到限制,要采用手工气焊,但此工序的焊接质量的所有检验项目都达不到我国现行有关技术标准的要求。为了解决这一问题,采用了磁弧焊接工艺,以下介绍有关磁弧焊的工艺参数、方法等。

### 1. 我国磁弧焊的应用

七十年代初,自从大庆油田建设指挥部自制了我国第一台实用型磁弧压力焊机之后,这一焊接方法在许多生产单位得到了广泛的应用。在长管焊接、管子与法兰的对接、管子与管板的焊接以及大直径管的对接等都取得了可喜的成绩。

表1列出了几种不同焊接方法的比较,从中可以看出磁弧焊的优点。

### 4. 结论

通过以上对平面四连弯的形式、弯曲工艺及其装备的分析、使用与研究,大量的浅型平面连续弯头可用高效率的压弯工艺法来完成,而少量的不规则的深型平面连续弯头或立体连续弯头可通过如图6所示的弯曲装置在普通弯管机上进行。两者的有机配合是平面连续弯头弯曲的最佳工艺。

在模具上配以标尺、调节装置和动力,完全可生产一种新型的弯管机——平面四连弯压弯管机。

### 参 考 文 献

- 1 冷作工艺学.北京:机械工业出版社,1986.
- 2 机械设计手册.北京:化学工业出版社,1987.

(收稿日期:1993年11月)