

CPE 顶管机的孔型计算

陈俊杰, 郝润元

(太原科技大学, 山西 太原 030024)

摘要: 简要介绍了 CPE 顶管工艺及设备, 分析了 CPE 顶管工艺的主要优势, 重点说明了 CPE 顶管机孔型及缩口钳孔型的计算方法, 提出了一种新的缩口钳设计方法, 并对缩口工艺进行优化。研究认为: 与传统的缩口钳及缩口工艺相比, 改进后的缩口钳及缩口工艺可减少切头损失, 提高金属收得率, 保证生产顺利进行。

关键词: CPE 工艺; 顶管机; 缩口钳; 孔型设计; 芯棒头部结构; 优化

中图分类号: TG332*.21; TG334.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2013)02-0032-05

Calculation of Groove of CPE Push Bench

CHEN Junjie, HAO Runyuan

(Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The CPE push bench process and the equipment are briefed. The main superiorities of this pipe-making process are analyzed. And the calculation methods for the groove of the CPE mill proper and the groove of the pointing tongs detailed. A new design method for the pointing tongs is put forward, and furthermore, the pointing process is optimized. The study reveals that compared with the convenient pointing tongs and the pointing process, the modified ones will bring about such advantages as reduction of the crop loss, increase of the yield, and assurance of smooth operation, etc.

Key words: CPE process; push bench; pointing tongs; design of groove; mandrel head structure; optimization

1 CPE 顶管工艺

CPE(Cross-roll Piercing and Elongating)即斜轧穿孔后顶管延伸, 该工艺是由德国曼内斯曼-德马克钢管公司开发的。目前全世界共有 11 套 CPE 机组, 分别分布在印度、西班牙、德国、澳大利亚、意大利、中国。

CPE 工艺是将传统的穿孔工艺与顶管延伸工艺以新的方式结合起来, 采用圆坯斜轧穿孔成毛管, 在其一端缩口后再进行顶管轧制。其工艺流程为: 三辊斜轧穿孔→穿孔毛管缩口→顶管延伸→张力减径机轧制。齿条推杆式顶管机结构如图 1 所示, 空心坯进入顶管机, 借助于芯棒在装有十几个辊模的床身上进行顶管。辊模通常由 3 个不传动的轧辊组成, 按辊模配制方案, 将这些辊模安装在按固定节

距加工成键槽的铸钢导板上。当空心坯进入顶管机前台受料台架时就已经进入顶管过程。首先, 芯棒以较低的速度穿入, 在贴紧穿孔坯杯底后, 进行缩口然后进入顶管工位, 同时启动顶杆传动电机带动芯棒和毛管加速至最大顶管速度, 将空心坯顶入孔型尺寸依次减小的辊模, 使毛管外径逐渐减小, 壁厚不断减薄, 延伸成荒管。钢管一旦离开最后一个辊模, 齿条推杆就从出口位置返回, 开始下一个工作周期。

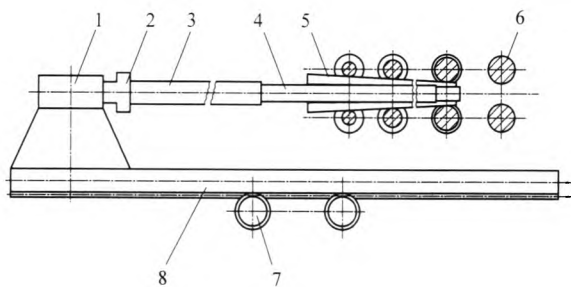
在产能相同的情况下, CPE 顶管机组投资少。研究^[1-4]表明: 生产相同直径的钢管, CPE 顶管机组的投资费用是连轧管机组的 1/2, 产能可以达到连轧管机组的 2/3。

2 CPE 顶管机孔型计算

2.1 辊模介绍

CPE 顶管机的辊模由 3 个互呈 120°分布的非

陈俊杰(1988-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为无缝钢管生产工艺及设备。



1—支座 2—推头 3—推杆 4—芯棒
5—管坯 6—辊模 7—齿轮传动 8—大齿条

图1 齿条推杆式顶管机结构示意图

传动轧辊构成(图2),由顶管变形的摩擦力带动轧辊旋转,是惰辊轧制。为了辗轧辊缝处的金属,辊模在床身上互相交替相差 60° 配置。大多数辊模的轧辊不可调,称为固定辊模,作为延伸或工作机架。在一个孔型系列中最后3~4个机架是定径机架,其3个轧辊可作径向调整,称为可调辊模;目的是在出口端进行调整,以控制成品管的壁厚。

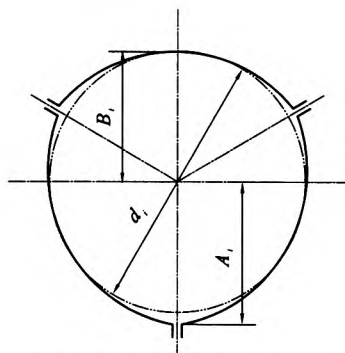


图2 CPE顶管机的辊模

2.2 孔型计算

顶管机的孔型系列包含两个方面内容:①毛管在每个机架中的断面收缩率;②机架在床身上的配置方案,即机架间距。机架间距需要根据参加变形的机架数、荒管断面的总收缩率、顶管机的顶推力以及空心坯杯底的最大承载能力等因素来确定。一般在生产中,同时参与轧制的机架数不得超过7架,否则会造成设备过载,发生轧卡事故。CPE顶管机的孔型是椭圆形(图3),可防止金属因宽展而进入辊缝形成飞翅。

CPE顶管机的孔型有不同系列,孔型计算要根据顶轧荒管的规格进行。一般先根据顶轧荒管的最小壁厚进行设计,因为此时需要的机架数最多,当



d_i —第*i*机架孔型平均直径 A_i —第*i*机架孔型长半轴
 B_i —第*i*机架孔型短半轴

图3 CPE顶管机的孔型示意

顶轧厚壁管时,只需调整中间几个机架即可。下面重点介绍CPE顶管机的孔型计算步骤。

2.2.1 初定变形所需机架数

变形所需机架数 n 的计算公式为:

$$n = \ln \mu_z / \ln \mu_p \quad (1)$$

式中 μ_z ——总延伸系数;

μ_p ——平均延伸系数,一般为1.15~1.42。

其中,平均延伸系数 μ_p 需要根据荒管断面的总收缩率以及顶管机的床身系数来选定,不是定值;平均延伸系数 μ_p 越大,机架数 n 越小。而总延伸系数 μ_z 可由式(2)求得:

$$\mu_z = [(D_0 - S_0)S_0] / [(D_n - S_n)S_n] \quad (2)$$

式中 D_0 ——毛管外径,mm;

S_0 ——毛管壁厚,mm;

D_n ——荒管外径,mm;

S_n ——荒管壁厚,mm。

2.2.2 分配变形量并确定金属截面积

在变形所需机架数 n 确定后,就需要分配每个机架的减面量,即确定第*i*机架的断面收缩率 ε_i ,从而求得第*i*机架钢管的截面积 F_i 。

$$F_1 = F_0 \times (1 - \varepsilon_1) \quad (3)$$

$$F_i = F_{i-1} \times (1 - \varepsilon_i) \quad (4)$$

式中 F_0 ——顶管机入口处金属的截面积(毛管截面积), $F_0 = \pi(D_0 - S_0)S_0$, mm^2 。

文献[5]指出:滚针轴承三辊式新型顶管机的单机架最大断面收缩率可设计在25%左右,但实际通常控制在20%左右。

断面收缩率的分配:第1机架的主要作用是定径、形成初始抱紧力,同时减小来料外径公差,故断面收缩率应较小,一般为3%~5%;第2~4机架

的主要作用是进一步强化变形、增加抱紧力,以承受顶管机的顶推力,其断面收缩率需稳定地增加到最大值;中间机架采用最大断面收缩率;尾部机架主要起消除毛管椭圆度和逐步减弱变形的作用。为方便调整钢管壁厚规格,最后3~4机架采用可调机架,采用较小的孔型椭圆度和断面收缩率,避免毛管表面产生“耳子”,使毛管壁厚更加均匀;最后1个机架的断面收缩率应控制在最大断面收缩率的20%左右;倒数2~3机架的断面收缩率宜控制在最大断面收缩率的25%左右。应从最大断面收缩率以2~3机架均匀地过渡到最后3~4机架的较小的断面收缩率。CPE机组不同机架的断面收缩率曲线如图4所示。

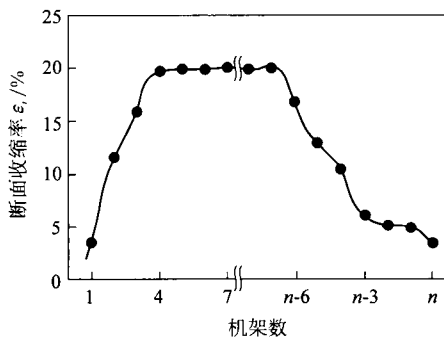


图4 CPE机组不同机架的断面收缩率曲线

2.2.3 计算孔型平均直径

第*i*机架孔型平均直径 d_i 为:

$$d_i = [(4F_i/\pi) + d_x^2]^{1/2} \quad (5)$$

式中 d_x ——芯棒热状态时的工作直径,mm。

2.2.4 计算孔型的椭圆度

第*i*机架孔型的椭圆度 ρ_i 有两种计算方法,具体如下:

$$\rho_i = 1/(1-\lambda_i)^q \quad (6)$$

式中 λ_i ——减径率, $\lambda_i = (d_{i-1} - d_i)/d_{i-1}$, %;

q ——宽展幂指数。

宽展幂指数 q 的大小取决于机架中轧辊的个数和轧制钢材的塑性,一般为1.3~2.4;三辊式顶管机顶轧碳钢和低合金钢时,取 $q=1.23$ 。

$$\rho_i = 1/[(1-\lambda_i)\xi] \quad (7)$$

式中 ξ ——宽展对椭圆度的影响指数,根据 $\lambda-\xi$ 曲线(图5)求得^[6]。

计算求得的孔型椭圆度应稍加校验与调整,第1机架因考虑来料公差、变形特点及电机的负载启动等因素,椭圆度应稍大;第2~4机架因考虑抱紧

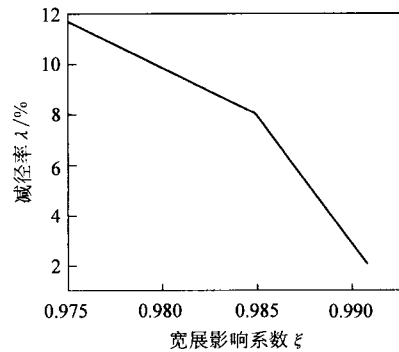


图5 CPE顶管机孔型的 $\lambda-\xi$ 曲线

力的需要,椭圆度应逐渐增大;为了得到表面质量更好的钢管,尾部3~4机架的椭圆度应逐渐变小直至接近圆形;中间机架的椭圆度不能有太大的波动,防止辊缝处的金属承受交变弯曲应力,使钢管外表面产生折痕和裂纹。

2.2.5 计算孔型的修正系数

第*i*机架孔型的修正系数 f_{di} 由式(8)求得^[7-8]:

$$f_{di} = \frac{2+\rho_i-\rho_i^2}{\rho_i^2-\rho_i+1} \cdot \frac{0.673\ 387}{\sqrt{0.866(\beta_i-\sin\beta_i)+\sin^2(\beta_i/2)}} \quad (8)$$

其中, $\beta_i = 2\pi/3 - 2\arcsin[0.866(\rho_i^2-1)/(\rho_i^2-\rho_i+1)]$ 。

2.2.6 确定孔型的长、短半轴及半径

第*i*机架孔型的长半轴 A_i 、短半轴 B_i 及半径 R_i 的计算公式如下:

$$A_i = f_{di} \cdot d_i \cdot \rho_i / (1+\rho_i) \quad (9)$$

$$B_i = f_{di} \cdot d_i / (1+\rho_i) \quad (10)$$

$$R_i = d_i \cdot f_{di} \cdot (\rho_i^2 - \rho_i + 1) / (2 + \rho_i - \rho_i^2) \quad (11)$$

2.2.7 校验金属截面积

第*i*机架钢管截面积的校核公式为:

$$F_i = 3R_i^2 \left(\frac{\beta_i - \sin\beta_i}{2} + \frac{\sqrt{3}}{3} \sin^2 \frac{\beta_i}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_x^2 \quad (12)$$

2.3 孔型加工

孔型的加工有单独加工和集中加工两种,其中集中加工法需要配置专门的孔型加工机床^[6]。

若采用单独加工法,需给出轧槽圆弧半径 R_{ki} 及偏心距 e_i :

$$R_{ki} = (B_i^2 + A_i^2 - A_i B_i) / (2B_i - A_i) \quad (13)$$

$$e_i = R_{ki} - B_i = (A_i^2 - B_i^2) / (2B_i - A_i) \quad (14)$$

若采用专门的孔型加工机床加工,需给出刀具设置参数,即刀具直径 W_{Di} 与刀具偏移量 W_{Ai} :

$$W_{Di} = (B_i - B_i^2/D_{id} - A_i/2 + A_i^2/D_{id}) + 0.75A_i^2(B_i - B_i^2/D_{id} - A_i/2 + A_i^2/D_{id})^{-1} \quad (15)$$

$$W_{Ai} = [(D_{id}/2 - B_i)^2 - (D_{id}/2 - W_{Di}/2)^2]^{1/2} \quad (16)$$

式中 D_{id} —— 轧辊理想直径, mm。

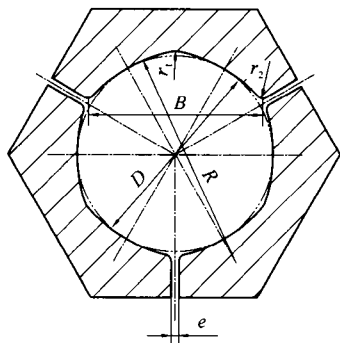
3 缩口钳孔型计算及优化

3.1 缩口工艺介绍

缩口机是 CPE 机组的必备设备, 穿孔毛管在进入顶管机之前需要在缩口机上进行缩口形成杯底, 用来承受顶管的顶推力以完成轧制过程。实践证明: 缩口端只承受顶管机前 3~4 机架的顶推力, 因为经过前几架轧制以后, 管坯断面发生收缩与芯棒抱紧形成抱紧力, 在后续机架的轧制过程中承受顶推力。缩口工艺是影响成材率的关键因素, 因为缩口完成后的毛管既要保证切头损失小, 还要保证杯底能承受足够大的顶推力, 确保空心坯不被芯棒顶穿、溜棒。而缩口钳的孔型设计关系到空心毛管的缩口质量。因此, 有必要对其孔型进行计算优化, 尽可能减少切头损失, 并保证生产顺利进行。

3.2 缩口钳孔型计算

缩口钳的孔型由 3 个钳口组成, 缩口时 3 个钳口同时径向移动, 3 个圆弧形孔腔将毛管夹紧, 形成缩口杯底。缩口钳孔型如图 6 所示。



D — 孔型平均直径 R — 孔腔圆弧半径 B — 孔型宽度
 r_1 — 孔腔底部圆角 r_2 — 连接圆角 e — 钳口间隙

图 6 缩口钳孔型示意

3.2.1 计算缩口钳孔型平均直径

缩口钳孔型平均直径 D 的计算公式为:

$$D = k [4(D_0 - S_0)S_0 / \pi + d_s^2]^{1/2} \quad (17)$$

式中 k —— 孔型修正系数, 为 1.03~1.06, 芯棒头部直径 d_s 较大时取上限, 反之取下限。

3.2.2 计算缩口钳孔腔圆弧半径

缩口钳孔腔圆弧半径 R 为:

$$R = \omega \cdot d_1 \quad (18)$$

式中 ω —— 修正系数, 取 0.98~1.01;

d_1 —— 第 1 机架辊模的平均直径, mm。

3.2.3 计算缩口钳孔型宽度

由缩口区的变形关系可计算出缩口钳孔型宽度 B :

$$B = D_0 \cos 30^\circ + \delta \quad (19)$$

式中 δ —— 毛管壁厚偏差, 取 0~3 mm。

3.2.4 其余参数

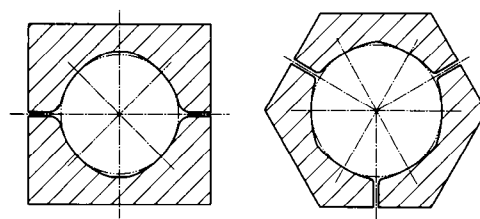
由文献[9]可知: r_1 为 15~20 mm, r_2 为 8~10 mm, e 为 2~3 mm。

4 缩口工艺优化

4.1 缩口钳优化新思路

传统的缩口钳由上下两个钳口组成(图 7a)。缩口时上下钳口径向移动, 将毛管抱在芯棒头部。传统缩口钳钳口与毛管的接触点是 4 个, 缩口时由于金属塑性流动, 金属在孔腔空隙处堆积, 造成缩口端壁厚不均, 易引起顶穿事故。

改进后的缩口钳由 3 个钳口组成(图 7b), 3 个钳口组成圆弧形孔腔, 钳口外部近似正六边形。优化后的缩口钳由于钳口与毛管的接触点变为 6 个, 因此缩口时毛管端部承受的夹紧力更加均匀, 导向性更好, 承载能力加大, 不易引起顶穿、溜棒生产事故, 能更好地保证顶管顺利进行。但与两个钳口组成的传统缩口钳相比, 操作相对不便, 设备造价也有所增加。



(a) 改进前

(b) 改进后

图 7 改进前后的缩口钳孔型示意

4.2 顶管时内衬芯棒头部结构改进

由于顶管时内衬芯棒头部结构决定着缩口后毛管的端部杯底形状, 直接决定金属的成材率, 因此有必要对芯棒头部结构进行改造。改进前后的芯棒头部结构如图 8 所示。实践证明: 改进后的芯棒头部结构可明显减少切头损失, 提高金属收得率^[10-11]。

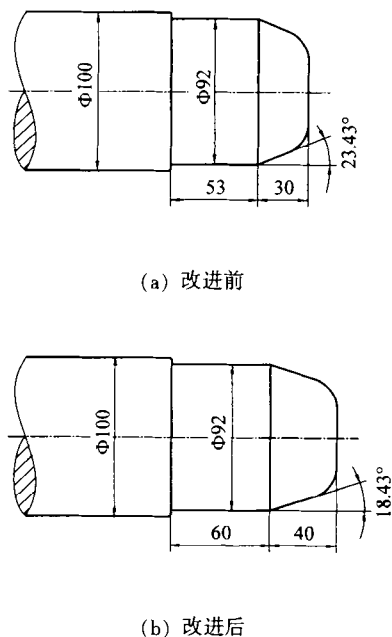
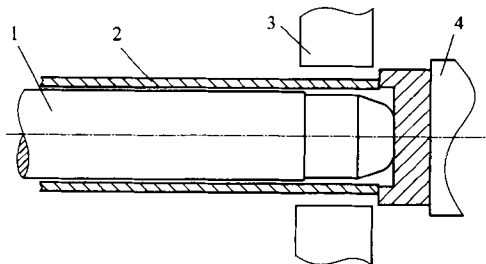


图8 改进前后的芯棒头部结构示意图

4.3 缩口工艺的改进

改进后的缩口工艺如图9所示。由于推头采用内凹结构，可以使芯棒头部伸进去一小段距离，避免顶管时流动金属在芯棒头部端面形成杯底；芯棒头部锥角变小，可有效减少管端增厚；锥形部分加长可以保证抱紧力不变，保证顶管过程顺利完成。



1—芯棒 2—毛管 3—缩口钳 4—推头

图9 改进后的缩口工艺示意

5 结 语

目前国内CPE顶管机组较少，但由于其投资相对较少，而生产的钢管质量较好，因此CPE顶管机组有很大的市场前景。这就需要科研工作者不断地研究和完善CPE顶管工艺及设备，其中最重要的就是要更精确的计算孔型、力能参数，并对其进行优化。

6 参考文献

- [1] 金如崧. CPE 轧管工艺——改良的顶管工艺[J]. 钢管, 2002, 31(3): 52-56.
- [2] 刘成平, 陈本伦, 李广军. CPE 机组的发展与应用[J]. 钢管, 1997, 26(4): 15-19.
- [3] 丁大宇, 郑治平. CPE 工艺生产小直径薄壁无缝钢管的优势[J]. 钢管, 1996, 25(6): 60-62.
- [4] 佟允平. 第三讲 顶管机组[J]. 钢管技术, 1981, 10(1): 66-69.
- [5] 罗涛, 李银. 顶管机孔型设计与机架排列优化及实践[J]. 钢管, 1993, 22(4): 6-11.
- [6] 李国祯. 现代钢管轧制与工具设计原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [7] 杨尔文. 顶管过程数字模拟[J]. 钢管, 1988, 17(4): 50-54.
- [8] 高秀华. 钢管生产知识问答[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [9] 张纪明. CPE 机组缩口钳孔型设计[J]. 钢管, 2005, 34(2): 23-25.
- [10] 杭乃勤, 陈鼎勋, 王伯文, 等. 提高 CPE 机组无缝钢管成材率的研究[J]. 武汉科技大学学报, 2009, 32(5): 453-457.
- [11] 张纪明. CPE 机组缩口工艺的改进及效果[J]. 钢管, 2010, 39(2): 37-40.

(收稿日期: 2012-09-14; 修定日期: 2013-02-21)

● 信 息

2013 年 1—2 月俄罗斯油井管产量

2013 年 1—2 月, 俄罗斯的石油套管产量为 13.8 万 t, 同比下降 5.2%; 石油油管产量为 7.2 万 t, 同比增长 4.6%; 钻杆的产量为 0.5 万 t, 同比下降 9.6%。

(攀钢集团成都钢铁有限公司 杜厚益)