

张力减径机孔型设计系统

孙斌煜, 张芳萍, 薛忠明, 李国祯, 杜晓钟
(太原重型机械学院, 太原 030024)

摘要:主要研究开发了钢管张力减径机减径过程的传统孔型、圆孔型、椭圆孔型的设计系统,研究了有关孔型设计过程的优化问题,成功地为钢管生产厂家提供一套张力减径机孔型自动设计系统,有效地提高了工作效率和设计的可靠性。

关键词:钢管;张力减径机;孔型设计

中图分类号:TG331 **文献标识码:**A

张力减径过程是钢管空心不带芯棒的减径和减壁连续轧制成形生产过程,是钢管生产中继连轧管机组(带芯棒连轧)后的高效生产中最关键的轧管机组之一。通常,张力减径机要求有较大的减径量和减壁量,以实现用大管径荒管生产小口径钢管和多规格、多品种的目的,因而工作机架数目之多,堪称轧钢设备之最,一般多达9~28架。而要在张力减径机上实现钢管的多规格生产,一个很重要的问题,就是必须按产品大纲的要求事先制订出一份科学的、合理的张力减径机生产计划编制表,轧制工艺编制表(包括变形量分配,张力分配,速度规范等)及孔型设计系列表,全面确定每一个规格的最佳生产方案,从而才有可能组织张减生产。目前,我国无缝钢管生产厂家对于张力减径机孔型仍然停留在人工设计阶段,效率低下,可靠性差。尤其在市场经济中,不同用户对钢管的品种和规格要求不同,一个规格的钢管就需要一套孔型系统,现用的设计方法已经无法满足市场频繁变换规格、频繁

增加规格的要求。急需有一套关于张力减径机孔型设计系统的出现,以满足现代生产快节奏的需要。

现代张力减径机的机架结构一般采用三辊形式(图1),它具有明显的优点。轧辊受力小,每机架

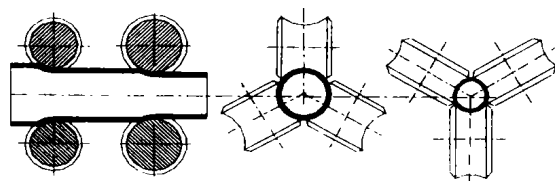


图1 三辊张力减径机

Fig. 1 The tension reducing mill with three rolls

的变形量大;孔型各点速度差减小,管子的横向壁厚不均减小;机架结构简单、换辊装卸方便,强度易保证;轧制间距小,切头损失少;轧机结构简化,改善了钢管表面质量;钢管的曳入性能好,可在较短的咬入长度上建立起足够的张力。

收稿日期:2001-12-29

基金项目:国家“九五”重点攻关项目(95-528-02-02-02);山西省自然科学基金项目(20001053)

作者简介:孙斌煜(1954-),男,教授,主要研究方向为多机架金属连续成形理论及板带铸轧理论及技术研究。

1 减径率的分配

各机架减径率的分配是有一定规则的,其分配的适当与否对钢管质量有很大影响。单机架减径量取得过大,将影响到管子轧制时的稳定性(振动、扭曲),孔型的充满性(过充满或欠充满),同时也容易产生内多边形;而单机架减径率过小,则所需机架数增多,合适的减径量既可保证成品管的种类与质量,又可保证孔型的利用率与轧机的效率。

在某一孔型系列中,从第 1 架开始到最终第 n 架成品机架为止,各架的单机架减径率 ρ_i 并不是相等的,通常采取的做法是将整个机架划分为三个区来分配各架的减径率,如图 2 张减曲线所示。

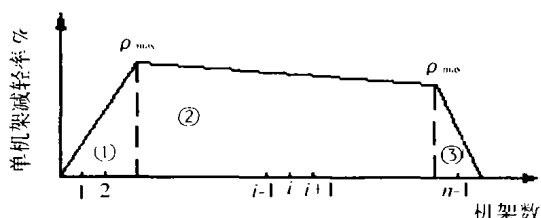


图 2 张力减径率分配曲线

Fig. 2 The distribution curve of tension reducing rate

①区:称为咬入区或张力形成区。该区所含的机架数根据 $\rho_{\max}$ 值的大小而定,一般为 3-5 架,各架的减径率从第 1 架起逐渐增大到最大减径率 $\rho_{\max}$,目的是使荒管易于咬入并逐步建立起张力,同时也有利于减少钢管端增厚及钢管的横向壁厚不均。

②区:称为中间区或张力轧制区。该区所含的机架数比较多,随着轧制温度的降低及轧制速度的提高,为保证轧制功率平衡,各架的减径率逐步缓慢减少,钢管在该区中得到强化轧制,钢管的减径变形绝大部分在该区完成。

③区:称为成品区或定径形成区。该区所含的机架数同样视 $\rho_{\max}$ 值的大小而为 3-5 架,该区各架的减径率逐步由 $\rho'_{\max}$ 减小到 0,目的是对钢管逐步定径,以保证成品钢管的尺寸公差及表面质量。

由此可知,张减机的总对数减径量由三部分组成:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_z + \gamma_a + \gamma_f \quad (1)$$

其中 γ_z ——张力升起机架总对数减径率;

γ_a ——工作机架总对数减径率;

γ_f ——张力降落机架总对数减径率。

各工作机架的减径率按下式计算:

$$\gamma_i = \gamma_{Am} + K \frac{d_{i0} - d_m}{d_{A0} - d_m} \quad \text{当 } d_{i0} > d_m \quad (2)$$

$$\gamma_i = \gamma_{Am} - K \frac{d_m - d_{i0}}{d_m - d_{Al}} \quad \text{当 } d_{i0} < d_m \quad (3)$$

其中 $d_m = \sqrt{d_{A0} \times d_{Al}}$ 假想平均直径

d_{A0} ——第一个工作机架钢管入口直径;

d_{Al} ——最后一个工作机架钢管出口直径;

K ——系数, $K = 0.007$ 。

2 机架数的确定

张力升起机架数根据 $\rho_{\max}$ 的大小而定,一般为 3 ~ 5 架, $\rho_{\max}$ 值大,则机架数就多,根据宝钢经验,对 A 系列选 5 架,对 B 系列选 3 架。

成品机架数根据进入第一个成品机架前的钢管直径 d_{iA} 和末架成品机架的热光管外径 d_{au} 之比值 d_{iA}/d_{au} 大小不同而定,如表 1 所示。

表 1 成品机架数的选取

Tab. 1 The selection of finished product stand number

d_{iA}/d_{au}	< 1.03	1.035-1.06	1.06-1.10
成品机架架数	2-3	4	5

工作机架上各架的减径率应逐步缓慢减少,并根据选定的平均减径率 γ_{Am} (一般 $\gamma_{Am} \leftarrow \gamma_{\max}$), 可求得工作机架数为:

$$\eta_A = \frac{\gamma_{\Sigma} - \gamma_z - \gamma_f}{\gamma_{Am}} \quad (4)$$

3 孔型设计

3.1 孔型的选用原则

对于厚壁钢管,产生内六方的倾向较大,但不易形成耳子,所以应采用圆孔型系生产,以减轻“内六方”的程度。

对于薄壁钢管,产生内六方倾向较小,但内表面易产生耳子或压折,所以应采用椭圆孔型系生产,以提高孔型的使用寿命。

一般情况:

当 S/D (壁厚/管径) ≥ 0.125 , 总减径率 $< 55\%$ 时,采用圆孔型系。

当 $S/D \leq 0.125$, 总减径率 $> 55\%$ 时,采用椭圆孔型系。

当 $S/D = 0.085-0.12$ 时,采用圆孔型系与椭圆孔型系相互代用的方法,以便减少备用机架数和孔型加工量,代用的原则是:当总减径量 $< 55\%$ 时,可用圆孔型系代替椭圆孔型系;当总减径率 $> 55\%$ 时,则用椭圆孔型系代替圆孔型系。由于圆孔型系存在孔型寿命短,所以对某套机组来说是否需要采用圆孔型,应由其产品大纲来定。当 $S/D \leq 0.125$,总减径量 $\leq 60\%$ 时,可不采用圆孔型,当 $S/D = 0.055-0.13$,总减径率为 $40\%-50\%$ 时,可采用介于椭圆孔型与圆孔型之间的“中间孔型”。

3.2 孔型设计的基本公式^[5]

$$\text{各架的孔型直径: } d_i = a_i + b_i \quad (10)$$

其中: a_i ——孔型的长半轴;

b_i ——孔型的短半轴;

总相对减径率:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{d_k - d_R}{d_k} \times 100\% \quad (11)$$

$$\text{总对数减径率: } \gamma_{\Sigma} = \ln \frac{d_k}{d_R} \quad (12)$$

各机架相对减径率:

$$\rho_i = \frac{d_{i-1} - d_i}{d_{i-1}} \times 100\% \quad (13)$$

其中 d_i ——孔型的平均直径;

$$d_i = \alpha_i + b_i$$

$$\text{各机架对数减径率: } \gamma_i = \ln \frac{d_i}{d_{i+1}} \quad (14)$$

$$\text{孔型椭圆度: } \alpha_i = \frac{a_i}{b_i} \quad (15)$$

$$\text{覆盖系数: } \zeta_i = \frac{b_{i-1}}{\alpha_i} \quad (16)$$

$$\alpha-\zeta-\rho \text{ 之间关系式: } \alpha_i = \frac{1}{\zeta_i(1-\rho_i)} \quad (17)$$

$$\text{孔型长半轴: } a_i = \frac{d_i}{1 + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (18)$$

$$\text{孔型短半轴: } b_i = \frac{d_i}{1 + \alpha_i} \quad (19)$$

$$\text{宽展: } c_i = a_i - b_{i-1} \quad (20)$$

$$\text{校核系数: } \lambda_i = \frac{a_{i-1} - b_i}{a_i - b_{i-1}} \quad (21)$$

3.3 传统孔型设计方法

设计步骤:

1) 由荒管直径 D_k , 壁厚 S_k 和成品管直径 D_R , 壁厚 S_R 计算总对数减径率;

2) 根据机架减径量的分配原则分配减径量 γ_{Σ} , 使之满足 $\gamma_{\Sigma} = \gamma_{iz} + \gamma_{ia} + \gamma_{if}$, 并确定机架数;

3) 由 d_k 出发, 根据 $\frac{d_i}{d_{i+1}} = e^{\gamma_i}$ 算出各机架的孔型直径 d_i ;

4) 根据各架的 ρ_i , 由 $\zeta = f(\rho)$ 曲线求出覆盖系数 ζ_i (图3);

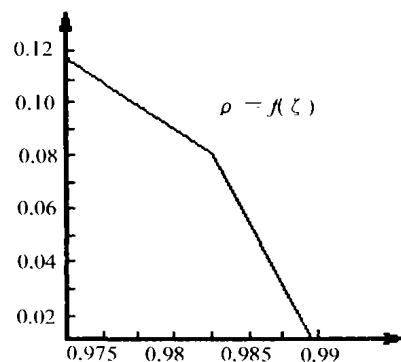


图3 ζ 和 ρ 的关系

Fig. 3 The relation of ζ and ρ

5) 在 ζ_i, ρ_i 已知条件下, 求出椭圆度系数 $\alpha_i = \frac{1}{\zeta_i(1-\rho_i)}$;

6) 由公式(18)、(19) 求出孔型长半轴 a_i 和短半轴 b_i ;

7) 算出校核系数 λ_i , 核对是否满足关系 $\rho = f(\lambda)$ (表2所示), 如不符合, 要重新设计, 直到满足为止。

由于传统孔型设计方法椭圆度曲线呈锯齿形分布, 不能满足工艺要求, 因此, 必须对椭圆度曲线进行调整, 从而提出椭圆孔型设计法^[3] 和圆孔型设计法^[4]。

表2 $\lambda_i - \rho_i$ 关系

Tab. 2 The relation of λ_i and ρ_i

$\rho\%$	$\lambda\%$
9	11-12
6	10-11
4	8-9

3.4 椭圆孔型设计方法

3.4.1 椭圆孔型设计的基本原则

1) 所有孔型的覆盖系数与减径率应符合标准的 $\zeta_i - \rho_i$ 关系曲线;

2) 所有设计的各架孔型的宽展值 c_i 应符 $c_i = K_1 + K_2 \rho_i d_i$ 关系式, 对于不同的 K_1, K_2 值, 可求得对应的长半轴 a_i , 短半轴 b_i 以及相应的 ζ_i 值, 将各孔型的 $\zeta_i - \rho_i$ 关系绘成曲线, 可得到不同的 $\zeta_i - \rho_i$ 关系曲线, 根据:

$$Q = \sum_{i=1}^n (\zeta_{\text{实}} - \zeta_{\text{标}})^2 \quad (22)$$

可求出不同的 $\zeta_i - \rho_i$ 关系曲线与标准 $\zeta_i - \rho_i$ 关系曲线的差值。其中最小 Q 值的那根曲线所对应的 K_1, K_2 值即为最优化值, 也就是所要求的宽展系数。

3) 调整椭圆度曲线

为使工作机架的椭圆度曲线呈均匀下降分布, 并使波动幅度尽可能小, 应根据式(23)计算孔型椭圆度曲线的总长度:

$$R = \sum_{i=4}^N (\sqrt{1 + (a_{i-1} - a_i)^2}) \quad (23)$$

从中找出 R 值最小的那根曲线, 也就可以得到椭圆度分布最佳的设计方案。

3.4.2 设计步骤

- 1) 分配减径率 ρ_i , 计算各机架孔型直 d_i ;
- 2) 设定 $K_1 = 0.01, K_2 = 0.01$ 为初始值;
- 3) 用宽展公式 $c_i = K_1 + K_2 \rho_i d_i$ 算出各机架孔型的宽展值 c_i ;
- 4) 确定第 3 机架孔型长半轴 a_3 在 $b_2 + 0.01 \sim 0.6d_3$ 范围内变化, 计算出各机架的长半轴 a_i , 短半轴 b_i 及椭圆度 α_i , 并根据(23)式求出椭圆度曲线长度值中最小值 R ;
- 5) 计算椭圆度曲线长度最小值所对应的各机架覆盖系数, 用(22)式求出 Q 值;
- 6) 使 K_1, K_2 值在一定范围内变化, 重复上面的 3) - 5) 步骤;
- 7) 在一组 Q 值中, 求出 $Q_{\min}$ 值, 则 $Q_{\min}$ 与 $R_{\min}$ 及对应的那组设计方案就是最佳设计方案;
- 8) 计算孔型的其它参数及孔型加工刀具参数。

3.5 圆孔型设计方法

3.5.1 圆孔型的设计思想

- 1) 在减径量一定的条件下, 所设计的孔型必须

使得变形区压缩面积最接近矩形。

- 2) 工作机架各架孔型的椭圆度值随着减径率的减小而逐渐减小, 并使相邻机架椭圆度值的波动幅度尽可能小。

3.5.2 设计原则

- 1) 沿孔型宽度方向钢管与轧辊接触弧长度差值 $\Delta L = L_{\max} - L_{\min}$ 为最小。

- 2) 使工作机架椭圆度值交替变化, 波动的幅度尽可能小, 并随着减径率的减小, 呈下降分布态势, 根据(23)式计算椭圆度曲线的总长度, 并从中找出 R 值最小的那根曲线, 则 $R_{\min}$ 所对应的孔型参数即为最佳参数。

3.5.3 设计步骤

- 1) 分配减径率, 计算各架孔型直径;
- 2) 设 $b_i = 0.5d_{i-1}, Z_{i-1}$ 在一定范围内变化 j 次, 求出接触弧长度最大差值 $\Delta L_{\max}$;
- 3) b_i 在一定范围内变化 k 次, 计算出 k 个 $\Delta L_{\max}$ 值, 从中找出最小值 $(\Delta L_{\max})_{\min}$;
- 4) 各架孔型按 2), 3) 两步进行设计, 并算出椭圆度值 α_i ;
- 5) 用式(23)计算椭圆度值分布曲线长度 R ;
- 6) d_3 在一定范围内变化, 调整椭圆度曲线, 找出最小值 $R_{\min}$;
- 7) 用 $R_{\min}$ 所对应的各架长半轴 a_i , 短半轴 b_i 及其它孔型参数。

4 系统特点

4.1 系统具有易用性

- 1) 用户界面设计采用 Windows 风格的 Visual Basic6.0 语言, 利用窗口、对话框、菜单等多种形式, 十分便于输入、修改、设计各种参数。利用开发环境提供的丰富的依附控件及插件, 输入/输出充分利用它们的良好可视特性, 使系统具有非常友好的用户界面。

- 2) 用户能从帮助菜单中获得系统说明, 该系统说明包括系统结构, 系统功能及其操作方法。

- 3) 系统可以判断数据错误及逻辑错误, 并加以提示。

4.2 系统中算法的多样性

比如, 孔型设计有传统方法、椭圆孔型设计法

与圆孔型设计法,接触弧长与接触面积计算采用一般公式、按坐标积分等计算方法,轧制力和轧制力矩也分别利用相同的计算方法。这样做的目的是为了对不同结果与实测数据进行对比、分析,从而获得最优的结果。

4.3 系统具有灵活性

本系统以包钢 $\phi 180$ 连轧管设备中的 24 架混合张减机组作为原型,但不受此特定设备的限制。只需将程序中的基本参数做相应修改,便可用于其它的张减机组。

系统内的各个模块独立性强,因此,便于对其进行修改、调整。

5 实例

下面以包钢 $\phi 250\text{MPM}$ 机组为例,该机组采用混合传动三辊式(名义辊径 D_0 为 360mm)张减机,

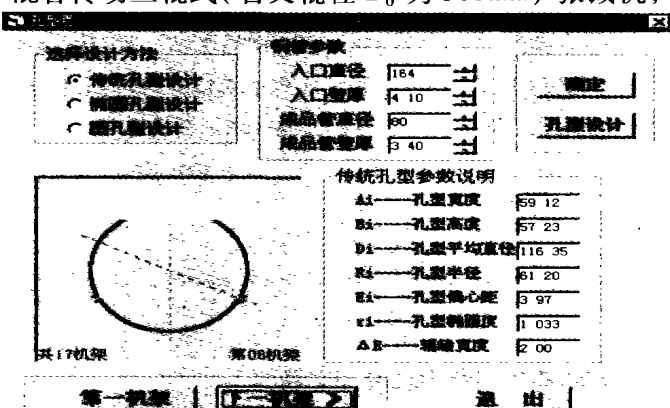


图4 第八机架的孔型图

Fig. 4 The pass graph of the eighth stand

将外径为 $\phi 164\text{mm}$,壁厚为 4.1 mm 的荒管减径为外径为 $\phi 80\text{mm}$,壁厚为 3.4 mm 的成品管时,采用传统孔型设计方法所设计的孔型,图4为第八机架的孔型图。

6 结论

本文主要针对钢管张力减径机的孔型设计研究开发出的一个设计系统。它可以对多种孔型

系统进行设计,在孔型设计的过程同时有关参数得到了优化。解决了多年困扰企业的一个问题,成功地钢管生产厂家提供一套张力减径机孔型自动设计系统,极大地提高了工作效率和设计的可靠性。

表3 孔型设计结果

Tab. 3 Results of pass design

机架号	平均孔型直径(mm)	孔型短半轴(mm)	孔型长半轴(mm)
1	161.39	79.69	81.7
2	155.4	76.38	79.02
3	148.39	72.87	75.52
4	141.2	69.35	71.85
5	134.4	66.02	68.38
6	127.98	62.88	65.1
7	121.9	59.9	62
8	116.15	57.09	59.06
9	110.72	54.43	56.29
10	105.58	51.91	53.67
11	100.7	49.52	51.18
12	96.09	47.26	48.83
13	91.72	45.12	46.6
14	87.58	43.09	44.49
15	83.66	41.17	42.49
16	79.95	39.35	40.6
17	76.42	37.62	38.8
18	73.07	35.98	37.09
19	69.9	34.42	35.48
20	66.89	32.95	33.94
21	64.11	31.63	32.48
22	62.15	30.87	31.28
23	61.02	30.43	30.57
24	60.6	30.3	30.3

参考文献:

- [1] 薛忠明. 张力减径机仿真系统[D]. 太原重型机械学院,硕士学位论文,1999.
- [2] 张芳萍. 张力减径过程的理论分析[D]. 太原重型机械学院,硕士学位论文,2002.
- [3] 王宁. 张减机椭圆孔型设计[J]. 宝钢技术,1990,(3):45-51.

- [4] 王宁. 张力减径机圆孔型设计及其应用[J]. 钢铁, 1994, (4): 24-28.
- [5] 王廷溥. 轧钢工艺学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981. 453-459.

System of Pass Design for Tension Reducing Mill

SUN Bin-yu, ZHANG Fang-ping, XUE Zhong-ming, LI Guo-zhen, DU Xiao-zhong

(Taiyuan Heavy Machinery Institute, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The design system of conventional pass, circular pass and elliptical pass for tension reducing process are studied. The optimal problem of pass design process is also studied. A system of pass design for tension reducing mill is triumphantly provided for the plant of tube production. The working efficiency and design reliability are efficiently raised.

Key words: steel pipe; tension reducing mill; pass design



孙斌煜(SUN Bin-yu),材料科学与工程分院教授,“钢铁冶金”学科首席学科带头人,院学科建设委员会委员,省青年骨干教师,中国机械工程学会高级会员,省机械工程学会理事,省科技进步奖和基金项目评审专家,省生产力促进中心和省国际招标公司专家。为本科生研究生主讲 15 门课程。承担和主研国家级、省部级等项目 2 项,鉴定成果 10 项,目前承担省级项目 3 项。获省部级科技进步奖 6 项,专利 3 项,参编《钢铁生产技术》著作 1 部,专著《板带铸轧理论和技术》即将出版,发表论文 60 余篇。主要研究方向:铸轧过程的理论及关键技术和金属连续成形理论及仿真。

[illegible]

(上接第 244 页, Continued from page 244)

A New Design Concept for Modern Rolling Mill

HUANG Qing-xue¹, SHEN Guang-xian², CHEN Zhan-fu², SHU Xue-dao²

(1. Taiyuan Heavy Machinery Institute, Taiyuan 030024, China; 2. Yanshan University, Hebei Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The theory and principle of heavy mechanism are presented in this paper. The studies focus on the effects of component distortion of mechanism resulted from external forces on the motion of mechanism. By analyzing distribution of heavy mechanism loading, a new mechanism of self-aligning uniformly distributed load for motive parts of mechanism is invented. According to the theory presented in the dissertation, a new design concept of rolling mill has been given and used in work roll at chock operating side of 2050CVC continuous hot mills. The test results indicate that the principle of the device is correct.

Key words: rolling mill structure; heavy mechanism; life of bearing