

定(减)径机工艺设计的软件实现

王仕杰¹, 张培庆², 双远华¹

(1.太原科技大学材料科学与工程学院, 山西 太原 030024; 2.山西创奇实业有限公司, 山西 太原 030001)

摘要: 推导了定(减)径机工艺参数设计解析公式, 介绍了工艺设计软件编制的思路和方法。以 Visual Basic 6.0 作为设计开发语言将其开发为一个软件设计系统, 完成了定(减)径机工艺参数的计算机设计, 为生产厂家提供了高效可靠的孔型设计、张力设定及自动化控制过程参数设定计算等。

关键词: 无缝钢管; 定(减)径机; 工艺参数; 软件; CAD

中图分类号: TG333.8; TP311.52 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2006)06-0031-05

The Software Procedure for Process of Slight-stretch Reducing Mill

Wang Shijie¹, Zhang Peiqing², Shuang Yuanhua¹

(1. Department of Material Science and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Shanxi Chuangqi Industrial Co.,Ltd., Taiyuan 030001, China)

Abstract: The analytic formula of the technological parameters for the slight-stretch reducing mill is deduced. And the design concept and method of the software procedure of the said process is described. Then using Visual Basic 6.0 as the development language code, a software for the design is made, resulting in the computerized design of the technological parameter, thus providing the steel pipe equipment makers with a high efficient and reliable design system for pass design, stretch setting, automation control procedure parameter setting and so on.

Key words: Seamless steel tube; Slight-stretch reducing mill; Technological parameter; Software; CAD

0 前言

定(减)径机是热轧无缝钢管生产中的关键设备之一, 它使毛管在微张力状态下实现减径, 以得到多种规格的成品钢管。现代定(减)径机的机架结构一般采用三辊形式, 它具有明显的优点^[1], 其工艺参数设计合理, 可提高管材的尺寸精度和表面光洁度, 保证产品的质量。但是, 定(减)径机工艺参数难以准确把握, 通常依据经验进行设计, 给生产带来诸多不便。

本系统综合并进一步开发已有各种工艺参数的设计思路和方法, 设计成一套方便快捷的计算机设计系统, 提高设计和生产效率, 缩短设计周期。

本设计系统主要包括孔型设计、张力设定与力能参数计算等模块。各个模块都以理论推导作为基础而后使用实验结果进行修正, 并且按照工艺设计的流程顺序进行编制, 其设计流程见图 1。

1 工艺参数设计

1.1 孔型设计

孔型设计不仅取决于变形量的大小, 而且与定(减)径机的过程控制参数有关, 如张力、速度等, 由于其影响因素复杂, 在设计时首先确定孔型然后再确定其他参数。

1.1.1 减径率分配思想

为了保证第 1 架顺利咬入和考虑到毛管直径的波动, 第 1 架压下量取平均相对压下量的 1/2, 为了保证获得圆形的成品管, 在成型前机架也取平均

王仕杰(1982-), 男, 在读硕士, 主要研究钢管生产及自动化。

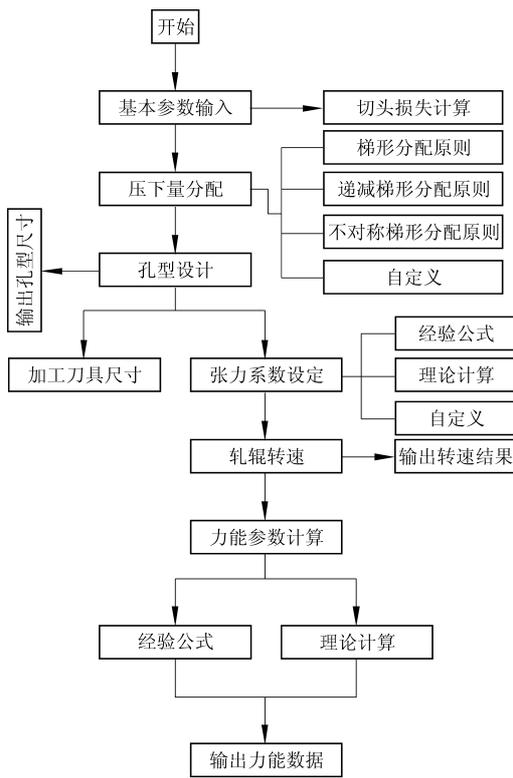
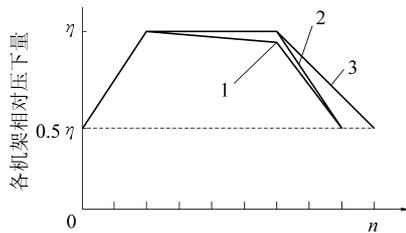


图1 程序设计流程

压下量的 1/2，而在成品机架(最后一架)一般不给压下量^[2]。

综合德国 KOCKS、美国 Blaw-Knox 公司、墨西哥 TAMSAT 和意大利 Inndcen 公司减径量的分配原则，可采用如图 2 所示的 3 种分配原则。令各机架的直径相对压下量为 $\eta_1\eta_2\cdots\eta_{n-1}\eta_n$ (n 为工作机架的数目)。



1—递减梯形分配原则 2—梯形分配原则
3—不对称梯形分配原则
图2 减径量分配原则

1.1.2 设计步骤

(1) 首先求得平均压下量 η

$\eta = 1 - \sqrt[n]{d_n/d_0}$ (d_n, d_0 ——成品管、毛管直径), 然后按照图 2 所示选择其中一种分配原则分配各机架的减径率 $\eta_1\eta_2\cdots\eta_{n-1}\eta_n$;

(2) 根据公式 $d_i = d_{i-1} (1-\eta_i)$ 求得各机架的孔型直径 d_i ;

(3) 根据各机架的 η 值由 $\xi = f(\eta)$ 曲线求出覆盖系数 ξ (图 3);

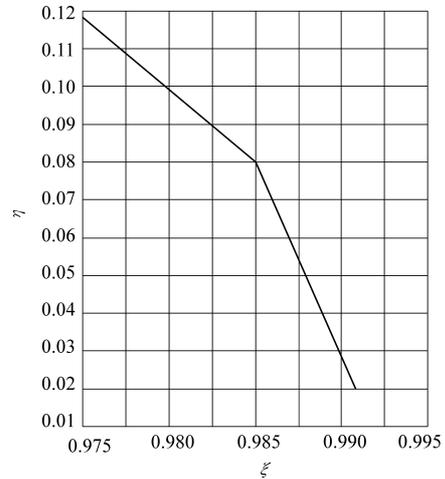


图3 ξ 与 η 的关系曲线

(4) 由 η, ξ 可以确定孔型的椭圆度 θ_i

$$\theta_i = \frac{1}{\xi_i(1-\eta_i)}$$

(5) 由 θ_i 求解 a_i, b_i (孔型的长半轴和短半轴)

$$a_i = \frac{d_i}{1+(1/\theta_i)}, \quad b_i = \frac{d_i}{1+\theta_i}$$

(6) 由 a_i, b_i 求解孔型半径 R_i 与偏心距 e_i

$$R_i = \frac{a_i^2 + b_i^2 - a_i b_i}{2b_i - a_i}, \quad e_i = \frac{a_i^2 - b_i^2}{2b_i - a_i}$$

(7) 最后确定轧辊辊缝 s_i 和圆角 r_i 。

1.2 孔型加工刀具直径及刀具距离的确定

由图 4 所示的孔型加工几何关系可得:

$$W_{Di} = b_i - b_i^2/D_w - a_i/2 + a_i^2/D_w + 0.75 [a_i^2/(b_i - b_i^2/D_w - a_i/2 + a_i^2/D_w)]$$

$$W_{Ai} = \sqrt{(R_{wi} - b_i)^2 - (R_{wi} - R_{Di})^2}$$

式中 D_w —— 轧辊理想直径, mm;

W_{Di} —— 各孔型加工刀具直径, mm;

W_{Ai} —— 各孔型加工刀具距离, mm;

R_{wi} —— 轧辊理想半径, $R_{wi} = D_w/2$, mm;

R_{Di} —— 孔型加工刀具半径, $R_{Di} = W_{Di}/2$, mm。

1.3 轧辊转速的确定

1.3.1 确定张力系数

(1) 根据经验计算分配张力系数

定(减)径机是利用定(减)径机中的张力对管子进行减壁的, 因此希望尽可能多的机架有大的张

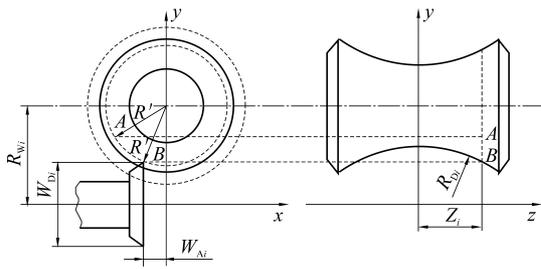


图 4 孔型加工几何关系

力。如图 5 所示，张力系数的分配与减径率的分配对应，张力建立机架和张力释放机架的单架减径率和张力系数是逐渐加大，逐渐减小的，中间的机架则有大的减径率和张力系数^[3]。即中间机架的张力系数达到该规格张力减径过程中的最大值 \bar{Z}_{max} 。

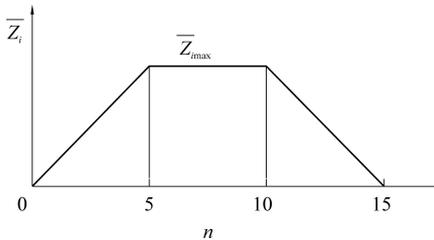


图 5 张力系数分配曲线

张力系数分配： $\bar{Z}_1=0.5\bar{Z}_{max}$ ， $\bar{Z}_2 \cdots \bar{Z}_{n-2}=\bar{Z}_{max}$ ， $\bar{Z}_{n-1}=0.5\bar{Z}_{max}$ ， $\bar{Z}_n=0$

(2) 理论计算

根据预期的各机架钢管壁厚 S_i ，得到各机架张力系数 \bar{Z}_i ：

$$\bar{Z}_i = \frac{\Phi_{ei}(2-V_{mi}) + \Phi_{ti}(1+V_{mi})}{\Phi_{ei}(1-V_{mi}) - \Phi_{ti}(1-V_{mi})}$$

$$\Phi_{ei} = \ln(F_{i-1}/F_i)$$

$$F_i = \pi(D_i - S_i)S_i$$

$$\Phi_{ti} = \ln \frac{D_i - S_i}{D_{i-1} - S_{i-1}}$$

$$V_{mi} = (V_i + V_{i-1})/2$$

$$V_i = S_i/D_i$$

式中 Φ_{ei} —— 轴向对数变形；

F_i —— 钢管横断面积；

Φ_{ti} —— 切向对数变形；

V_{mi} —— 钢管的平均壁厚系数；

V_i —— 各机架钢管的壁厚系数。

1.3.2 计算各机架钢管壁厚

已知来料荒管的壁厚 S_0 ，则可以求各机架钢管

壁厚 S_i ：

$$S_i = S_{i-1}(1 - \eta_i)^\varepsilon$$

$$\text{式中 } \varepsilon = \frac{2\bar{Z}_i(V_{i-1}-1) + (1-V_{i-1})}{\bar{Z}_i(1-V_{i-1}) - (2-V_{i-1})}$$

1.3.3 求解轧辊工作直径 D_k

$$D_k = D_w - d_i \cos \theta_k$$

$$\theta_k = \theta_{k0} + \Delta \theta_{k0}$$

$$\theta_{k0} = \frac{\pi}{6} \left(1 - \frac{L_0}{f D_w} \right)$$

$$\Delta \theta_{k0} = \frac{\pi}{6} \times \frac{d_i}{2 f \lambda_i L_0} (\bar{Z}_{i-1} - \bar{Z}_i)$$

$$L_0 = 1.25 \sqrt{R_d \Delta d_i}$$

$$\lambda_i = 1 + \frac{d_i}{2 L_0} \sqrt{S_i / d_i}$$

$$R_d = 0.5(D_w - 2b_i)$$

$$\Delta d_i = d_i - d_{i-1}$$

式中 θ_k —— 轧辊上某点圆周速度和管子出口速度相等的中心角，(°)；

θ_{k0} —— 无张力情况下轧辊工作直径对应的中心角，(°)；

$\Delta \theta_{k0}$ —— 带张力轧管时 θ_{k0} 的增量，(°)；

L_0 —— 孔型顶部咬入弧长，mm；

λ_i —— 考虑外区域和张力的影响系数；

R_d —— 轧辊孔型顶部半径，mm；

f —— 金属与轧辊之间的摩擦系数。

1.3.4 确定各机架轧辊转速 n_i

根据各机架金属秒流量相等的原则，可以推导出：

$$n_i = \frac{(d_n - S_n) S_n D_{kn} n_n}{(d_i - S_i) S_i D_{ki}}$$

式中 d_n —— 成品管直径，mm；

S_n —— 成品管(最后一架孔型)壁厚，mm；

n_n —— 最后一架轧辊转速，r/min；

D_{kn} —— 最后一架轧辊工作直径，mm。

1.4 力能参数计算

(1) 轧制力 P 的计算

根据力的平衡方程和 Hencky 金属流动定律，可以推导出各机架轧制力的计算公式^[4]如下：

$$P = 2.1 \times S_i \times K_f (1 - \bar{Z}_{max}) \sqrt{R_d \Delta d_i}$$

$$K_f = 1.15 \sigma_s$$

$$\sigma_s = \exp[0.126 - 1.750C + 0.594C^2 +$$

$$\frac{2851 + 2968C - 1120C^2}{T_k}] \times u^{0.13} \times r^{0.21}$$

$$u = \frac{2\pi n_i}{60\sqrt{\varepsilon}} \sqrt{R_i/d_i} \ln \frac{1}{1-\varepsilon}$$

$$r = \ln \frac{1}{1-\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{d_{i-1} - d_i}{d_{i-1}}$$

式中 K_f —— 金属塑性变形抗力, MPa;

C —— 碳含量(质量分数), %;

T_K —— 绝对温度, K;

u —— 变形速度, s^{-1} ;

r —— 变形程度, %;

ε —— 相对减径量。

(2) 各机架的轧制力矩 M

$$M = R_d K_f [\pi \Delta d_i S_i (1 - \bar{Z}_{\max}) + (F_{i-1} \bar{Z}_{i-1} - F_i \bar{Z}_i)]$$

(3) 轧制功率 N

$$N = nM/9450$$

1.5 切头损失计算

对于小延伸率, 利用谢夫钦科公式可得:

$$L_c = 2C_d \sqrt{u_\Sigma}$$

$$u_\Sigma = \frac{S_0 (d_0 - S_0)}{S_n (d_n - S_n)}$$

式中 C_d —— 机架间距, mm;

u_Σ —— 总的延伸率。

2 软件实现

本软件设计系统主要是针对无缝钢管定(减)径机设计生产单位的工艺参数设计和过程控制要求而进行的设计, 不仅可以实现对轧辊孔型的合理设计, 还可以对轧辊转速、轧制力等与设备设计有关的重要的工艺参数进行合理的优化设计。同时还可以完成孔型加工时的工艺参数设计以及对钢管切头损失进行预测。

本软件的特点如下。

(1) 系统设计功能的开放性

本系统在对重要的工艺参数进行设计时, 都是从用户自身的角度考虑, 给工程设计人员非常宽松的设计环境, 加入了人工参与设计的成分。在本系统给定的各种设计方案的情况下, 又增添了自定义的模块。工程设计人员可以根据自身的设计要求和多年积累的实践经验, 人为地给定一些初始限定条件, 使最后的设计结果更合理和可靠(见图 6 孔型设计界面)。

(2) 界面友好, 易用性强

用户界面采用 Visual Basic 6.0 语言设计, 利



图 6 孔型设计界面

用对话框、菜单、窗口等多种形式, 输入、修改与保存十分方便。系统具有良好的用户界面, 并且在系统的帮助文件中有关于本系统的具体使用说明, 供用户查阅。

(3) 系统具有较高的灵活性和通用性

本系统是针对定(减)径机设计的, 适用于机架数目在 12 架以内的任何机型的参数设计。同时, 可以在内部模块做相关的调整即可作为更多机架减径机的工艺设计。

3 软件应用及实测数据分析

(1) 工艺参数设计

已知机组采用单独传动的三辊式, 在材料为 45 钢, 轧制温度为 900 °C, 机架间距为 400 mm, 轧辊理想直径 $D_w=380$ mm, 机架数目为 7, 最后一架的轧辊转速为 53 r/min 的情况下, 采用梯形减径率分配原则将外径为 102 mm、壁厚为 6.0 mm 的荒管, 减径成外径为 89 mm、壁厚为 6.1 mm 的成品管, 设计工艺参数见表 1。

(2) 现场实测数据及分析

在国内某钢厂, 采用 $\Phi 114$ mm 定(减)径机组按照以上所述的工艺条件进行正常轧制, 随机选取 8 根成品管切头尾, 分别在两端采用垂直交叉法测得一组钢管外径值 d , 列于表 2。

通过分析表 2 中的实验数据得知, 钢管椭圆度最大值 $l_{\max}=1.006$, 最小值 $l_{\min}=1.000$, 平均椭圆度 $l_{\text{平均}}=1.0025$ 。钢管外径的平均尺寸最大值 $d_{\text{平均max}}=89.25$ mm, 最小值 $d_{\text{平均min}}=88.65$ mm, 所有测量外径的平均值 $d_{\text{平均}}=88.95$ mm, 其外径尺寸偏差及椭圆度都达到了企业要求的生产标准。

表 1 工艺设计参数

架次	孔型长半轴 a /mm	孔型短半轴 b /mm	孔型半径 R /mm	偏心距 e /mm	张力 系数	轧辊转速 /($r \cdot \min^{-1}$)	壁厚 /mm	轧制力 /kN	轧制力矩 /($kN \cdot m^{-1}$)	轧制功率 /kW	刀具直径 /mm	刀具距离 /mm
1	50.87	49.76	52.04	2.28	0.183 7	43.38	6.027 4	12.09	-6.74	-30.94	103.43	23.32
2	49.87	48.06	51.89	3.83	0.367 4	45.24	6.053 2	20.92	-7.44	-35.64	102.65	30.29
3	48.53	46.76	50.50	3.73	0.367 4	49.42	6.079 0	21.01	1.29	6.76	99.92	30.09
4	47.22	45.50	49.14	3.63	0.367 4	50.37	6.104 9	21.01	1.28	6.82	97.26	29.89
5	46.10	44.76	47.56	2.79	0.367 4	51.04	6.124 3	16.73	0.87	4.72	94.37	26.43
6	45.29	44.31	46.34	2.03	0.183 7	52.78	6.152 1	12.43	7.37	41.16	92.16	22.64
7	44.50	44.50	44.50	0	0	53.00	6.172 2	7.11	5.79	32.47	89.00	0

表 2 实验数据统计

钢管号	d_1 /mm	d_1' /mm	$d_{1\text{平均}}$ /mm	椭圆度 I_1	d_2 /mm	d_2' /mm	$d_{2\text{平均}}$ /mm	椭圆度 I_2
1	89.0	89.0	89.00	1.000	88.7	88.8	88.75	1.001
2	89.0	89.2	89.10	1.002	89.1	88.5	88.80	1.006
3	88.6	89.1	88.85	1.005	89.1	89.4	89.25	1.003
4	88.7	89.0	88.85	1.003	88.4	88.9	88.65	1.006
5	89.0	89.3	89.15	1.002	89.2	88.9	89.05	1.003
6	89.1	88.8	88.95	1.003	89.1	89.0	89.05	1.001
7	89.0	88.9	88.95	1.001	89.1	89.0	89.05	1.001
8	89.0	88.8	88.90	1.001	88.7	88.9	88.80	1.002

4 结 语

本文主要是针对无缝钢管定(减)径机开发的一套工艺参数设计系统,它可以对涉及设备设计所必需的各种工艺参数如孔型、轧辊转速、轧制力等进行快速合理的优化设计,有助于提高工程设计的效率,缩短设计周期,大大降低设备设计的成本。由此为钢管设备设计、制造厂家提供了一套张力减径工艺参数自动化设计系统。经实际生产应用验证,本系统效果良好。

5 参考文献

- 孙斌煜,张芳萍,薛忠明,等.张力减径机孔型设计系统[J].太原重型机械学院学报,2002,23(3):245-250.
- 李连诗.钢管塑性变形原理[M].北京:冶金工业出版社,1985.262-284.
- 太原重型机器厂设计科译.张力减径机[M].北京:机械工业出版社,1976.76-81.
- 马辉,韩明旭,司富国,等.微张力减径机孔型设计和轧制表计算方法[J].鞍钢技术,2004,(6):53-56.

(收稿日期:2006-03-28)

●信 息

2006年1~3季度俄罗斯钢管产量创出10多年来的新高

2006年以来俄罗斯钢管工业的生产经营保持了持续增长,1~3季度俄罗斯的钢管总产量已达到577.3万t,比上年同期增长了18.3%,创出了10多年来的同比产量新高。其中:无缝钢管的产量达到218.3万t,比上年同期增长了4.6%;电焊钢管的产量为341.7万t,比上年同期增长了29.4%;其他焊管的产量为17.27万t,比上年同期增长了12.5%。

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司 杜厚益)