

# 用幂函数建立张力减径机工作机组减径率分配通式

孙澄澜

(钢研所)

TG333 8

**摘要** 有关张力减径机减径率分配目前尚没有一种统一的方法,提出的用幂函数建立的张力减径机减径率分配通式及其计算方法可适用于各种张力减径机。只要选择不同的幂指数值,即可获得不同分配规律的减径率计算公式。其中幂指数  $n > 1$  的非线性分配规律,适用于多机架大减径量的张力减径机。

**关键词** 张力减径机 减径率

幂函数, 分配通式

## An All-purpose Formula to Calculate the Reducing Rate Distribution in the Stretch-reducing Mill on the Basis of Power Function

Sun Chenglan

(Iron and Steel Research Institute)

**ABSTRACT** There has been no unified means of calculating the reducing rate distribution in stretch-reducing mill yet. An all-purpose formula and its calculation method for the reducing rate distribution expressed by power function is applicable for various stretch-reducing mills. The calculation formulas for the reducing rate of different distributive rules can be obtained, provided different values of exponent of the power function are assigned, of which the nonlinear distributive rule with the exponent  $n > 1$  of the power function can be applied to the stretch-reducing mill with large reducing quantity in the multi-stand mills.

**Key Words** Stretch-reducing mill Reduction in diameter

### 1 前言

在建立张力减径机孔型系列时,首先需要解决的是减径率分配问题。事实上,无论孔型设计或是张力减径机轧辊转速系列的确定,都与减径率在各机架上的分配有关。

从经济的观点出发,一般总希望增加机架减径率,以减少达到一定总减径量所需的总减径机架数,换言之,以一定的机架数达到更大的总减径量。但是,机架减径率的增加是受多种因素限制的,只有权衡利弊、综合考虑才能得出一个既合理、又经济的减径率分配方案。

有关张力减径机减径率分配目前尚没有统一的方法,本文就已有的一些方法作一简单的归纳之后,着重讨论笔者提出的用幂函数建立张力减径机工作机架减径率的分配通式及其计算方法。

### 2 本文使用符号的说明

#### 2.1 有关钢管外径的符号

(1)  $d_0$ ——供减径用荒管外径,mm

(2)  $d_i$ ——第  $i$  架出口侧钢管外径,mm

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$n$  为最末一机架的序号,  $d_n$  为张减机最末一架出口侧钢管外径,即成品管热状态下之外径。

#### 2.2 有关减径量与减径率的符号

(1)  $\delta_i$ ——第  $i$  机架绝对减径量,mm

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

孙澄澜 教授级高级工程师 1937年生 1965年毕业于东北工学院(研究生院) 现从事金属压力加工专业  
电话 56648143 邮编 201900

(2)  $\rho_i$ ——第  $i$  机架相对减径量

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

(3)  $\gamma_i$ ——第  $i$  机架对数减径率

$$\gamma_i = \ln \left( \frac{d_{i-1}}{d_i} \right)$$

(4)  $\Delta_i$ ——对数减径率  $\gamma_i$  的真数

$$\Delta = \exp \gamma_i$$

### 3 张减机机列的组成

张减机机列可以划分成三个机组,位于最前面的是张力递升机组,紧接着的是工作机组,最后是成品机组。现分别说明如下:

#### 3.1 张力递升机组 A

张力减径很重要的一个问题是建立张力,而张力的建立有一个过程。通常要经过几个机架后才能达到预定的最大张力系数,这些用于建立张力的机架统称为张力递升机组(或称建张机组)。构成该机组的机架数视预定最大张力系数的大小而定,该值愈高,则所需机架数愈多。

#### 3.2 工作机组 B

钢管的大部分减径量是在工作机组上完成的,该机组不仅机架数多,而且每个机架的减径量亦较其它两个机组为高。为了在减径的同时,确保足够的减壁能力,该机组将在预定的最大张力系数下工作。

#### 3.3 成品机组 C

成品机组又称精轧机组,一般为 3~5 架。该机组各机架的张力系数随机架序号呈递减关系,至成品架出口处张力系数降为零。为确保成品管有精确的尺寸和形状,该机组各架的减径量都很小,其中成品架的减径量除少数例外,一般为零。

### 4 常见的减径量分配方法概述

对于张减机列各机架减径量的分配可按前述三个机组分别考虑,其中大部分的减径量都发生在工作机组上,此工作机组减径量的分配是否合适具有重要的作用,本文将着重讨论工作机组减径量的分配方法。

工作机组减径量的分配方法大致有 4 种:

(1) 以单架绝对减径量  $\delta_i$  为常数的分配方法  
据有关文章介绍,英国曾采用以单架绝对减

径量  $\delta_i$  为常数的分配方法。

绝对减径量不能真实地反映减径程度的大小,由此在使用此法时必须谨慎考虑实际管子外径的影响。如果把一个看来不大的绝对减径量错误地加在一个小直径管子上,就有可能引出一个很大的相对减径量(或对数减径率),这显然是不合理的。由此可见,使用绝对减径量  $\delta_i$  为常数的分配方法有必要事先提供一条最大绝对减径量的限制曲线,该曲线可用下述数学公式给出

a) 对机架  $i$  来说,前一架管子的外径  $d_{i-1} > 3 \text{ in}(76.2 \text{ mm})$  时:

$$\delta_i = 0.12 \text{ in}(3.05 \text{ mm})$$

b) 对机架  $i$  来说,前一架管子的外径  $d_{i-1} \leq 3 \text{ in}(76.2 \text{ mm})$  时:

$$\delta_i = \frac{1}{100} [12 - 2(3 - d_{i-1})^2]$$

上述数学关系可用图 1 中的曲线表示:

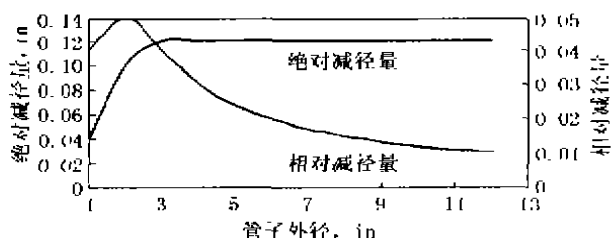


图 1 绝对减径量限制曲线

注: 1 in = 25.4 mm

由图 1 可以看出,上述限制对于大直径管子来说,其实际选用的相对减径量  $\rho$  是明显偏小的,对充分发挥张减机的减径能力不利,对于现代张减机已不适用。笔者认为绝对减径量为常数的分配方法是一种不太理想的方法,今后也许不会有什么发展。

(2) 绝对减径量为递减,但相对减径量(或对数减径率)为递增的分配方法

表 1 给出了格罗森堡工厂关于荒管  $\phi 76 \text{ mm}$  张力减径至  $\phi 16.75 \text{ mm}$  所用的减径量分配。表中相对减径量的数值是笔者计算后加入的。

由表 1 可看出,绝对减径量递减速度不大,故相应之相对减径量仍为递增,只是这种方法比起绝对减径量为常数的分配规律已有了一定改进。

(3) 相对减径量为常数的分配方法

当相对减径量为常数时对数减径率亦为常

表 1 格罗森堡工厂张减机减径量分配表

| 机架序号 $i$  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 钢管外径, mm  | 73.53  | 69.84  | 66.64  | 63.54  | 60.54  | 57.40  | 54.34  | 51.25  |
| 绝对减径量, mm | 2.47   | 3.69   | 3.20   | 3.10   | 3.00   | 3.14   | 3.06   | 3.09   |
| 相对减径量     | 0.0325 | 0.0502 | 0.0458 | 0.0465 | 0.0472 | 0.0519 | 0.0533 | 0.0569 |
| 机架序号 $i$  | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     |
| 钢管外径, mm  | 48.22  | 45.25  | 42.37  | 39.65  | 36.99  | 34.45  | 31.98  | 29.61  |
| 绝对减径量, mm | 3.03   | 2.97   | 2.88   | 2.72   | 2.66   | 2.54   | 2.47   | 2.37   |
| 相对减径量     | 0.0591 | 0.0616 | 0.0636 | 0.0642 | 0.0671 | 0.0687 | 0.0717 | 0.0741 |
| 机架序号 $i$  | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     |
| 钢管外径, mm  | 27.36  | 25.27  | 23.27  | 21.42  | 19.71  | 18.13  | 16.75  | 16.75  |
| 绝对减径量, mm | 2.25   | 2.09   | 2.00   | 1.85   | 1.71   | 1.58   | 1.38   | 0.00   |
| 相对减径量     | 0.0760 | 0.0764 | 0.0791 | 0.0795 | 0.0798 | 0.0802 | 0.0761 | 0.0000 |

数,其证明如下:

$$\rho_i = \frac{d_{i-1} - d_i}{d_{i-1}} = K \quad (K \text{ 为常数})$$

$$\text{则 } \frac{d_{i-1}}{d_i} = \frac{1}{1-K}$$

$$\text{故 } \gamma_i = \ln \frac{d_{i-1}}{d_i} = \ln \frac{1}{(K-1)} = K'$$

显然  $K'$  亦为常数

相对减径量为常数的分配方法使用较普遍。

仅以美国 Blaw-Knox 公司关于荒管  $\phi 95.20$  mm 张力减径至  $\phi 21.34$  mm 的减径量分配数据为例,详见表 2。

比起前述两种方法,相对减径量为常数的分配已有了明显的进步,但对于工作机组机架数较多的张减机来说,这一方法仍有改进的必要。

表 2 美国 Blaw-Knox 公司张减机减径量分配表

| 机架序号 $i$  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 钢管外径, mm  | 90.50 | 79.63 | 70.08 | 61.67 | 54.28 | 47.78 | 42.04 |
| 绝对减径量, mm | 4.70  | 10.87 | 9.55  | 8.41  | 7.39  | 6.50  | 5.74  |
| 相对减径量     | 0.049 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 |
| 机架序号 $i$  | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| 钢管外径, mm  | 36.98 | 32.54 | 28.63 | 25.20 | 22.17 | 21.34 | 21.34 |
| 绝对减径量, mm | 5.06  | 4.44  | 3.91  | 3.43  | 3.03  | 0.83  | 0.00  |
| 相对减径量     | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.037 | 0.000 |

(4) 相对减径量(或对数减径率)为递减的分配方法

表 3 是宝钢 119 孔型系张力减径机减径量分配表,其中 4~23 为工作机组,由表 3 不难看出自第 5 架起至 23 架的相对减径量及对数减径率呈递减分布。需要说明的是第 4 架在减径量分配计算时,其相对减径量大于第 5 机架,只是由于在此处的设计程序上对第 3 机架的孔型直径进行优化处理时,由于  $d_3$  值的下降,而使最终的  $\rho_4$  小于  $\rho_{5c}$ 。

## 5 工作机组机架减径量合理分配的讨论

### 5.1 从成品管表面质量、尺寸精度及壁厚均匀性

诸因素看工作机组机架减径量的合理分配

一般控制成品管质量总是强调成品机组的减

径量分配,这一点无疑是正确的。但是,不能认为有了成品机组就可以不考虑工作机组对成品管质量的影响。众所周知,减径管的温度随着机架序号的增加而下降,随之,材料的变形抗力  $K_f$  明显提高,同时亦由于温度的下降,轧件与轧辊间的摩擦因数  $\mu$  增大。除此之外,由连轧秒体积不变定理可知,轧辊的线速度是随机架序号而增加的,如果各机架的塑性变形量相等,则变形速度必然随机架序号而递增,这将从另一个角度导致变形抗力的增加。由于变形抗力与摩擦因数的增加有可能带来以下影响:

(1) 当减径量一定时,  $K_f$  与  $\mu$  的增加会使管子与轧辊表面的摩擦力及由此引起的接触表面切应力增大,从而加剧管子与轧辊孔槽间的刮擦作用,既加速了轧辊孔槽磨损,又损坏了管子的表面

表 3 宝钢 119 孔型系张力减径机减径量分配表<sup>\*</sup>

|           |        |        |        |        |       |       |       |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 机架序号 $i$  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5     | 6     | 7     |
| 钢管外径, mm  | 116.67 | 113.27 | 108.11 | 100.14 | 92.18 | 84.92 | 78.30 |
| 绝对减径量, mm | 2.33   | 3.40   | 5.16   | 7.97   | 7.96  | 7.26  | 6.62  |
| 相对减径量, %  | 2.00   | 3.00   | 4.77   | 7.96   | 8.64  | 8.55  | 8.45  |
| 对数减径率, %  | 1.98   | 2.96   | 4.66   | 7.66   | 8.28  | 8.20  | 8.12  |
| 机架序号 $i$  | 8      | 9      | 10     | 11     | 12    | 13    | 14    |
| 钢管外径, mm  | 72.26  | 66.73  | 61.66  | 57.02  | 52.75 | 48.83 | 45.22 |
| 绝对减径量, mm | 6.04   | 5.53   | 5.07   | 4.64   | 4.27  | 3.92  | 3.61  |
| 相对减径量, %  | 8.36   | 8.29   | 8.22   | 8.14   | 8.09  | 8.03  | 7.98  |
| 对数减径率, %  | 8.03   | 7.96   | 7.90   | 7.82   | 7.78  | 7.72  | 7.68  |
| 机架序号 $i$  | 15     | 16     | 17     | 18     | 19    | 20    | 21    |
| 钢管外径, mm  | 41.94  | 38.91  | 36.14  | 33.58  | 31.23 | 29.06 | 27.04 |
| 绝对减径量, mm | 3.28   | 3.03   | 2.77   | 2.56   | 2.35  | 2.17  | 2.02  |
| 相对减径量, %  | 7.82   | 7.79   | 7.66   | 7.62   | 7.52  | 7.47  | 7.47  |
| 对数减径率, %  | 7.53   | 7.50   | 7.39   | 7.35   | 7.26  | 7.20  | 7.20  |
| 机架序号 $i$  | 22     | 23     | 24     | 25     | 26    | 27    | 28    |
| 钢管外径, mm  | 25.20  | 23.49  | 22.38  | 21.89  | 21.60 | 21.51 | 21.51 |
| 绝对减径量, mm | 1.84   | 1.71   | 1.11   | 0.49   | 0.29  | 0.09  | 0.00  |
| 相对减径量, %  | 7.30   | 7.28   | 4.96   | 2.24   | 1.34  | 0.42  | 0.00  |
| 对数减径率, %  | 7.05   | 7.03   | 4.84   | 2.21   | 1.33  | 0.42  | 0.00  |

\* : 荒管外径 119.0 mm

质量。

(2) 当减径量一定时,  $\rho$  的增加不利于管子的延伸, 而有利于横向变形, 导致管壁不均匀减薄, 在这种条件下变形对管子壁厚均匀性是不利的。

(3) 当减径量一定时,  $K_f$  与  $\mu$  的增加会导致机架稳定轧制力与尖峰轧制力的增加, 从而加大了轧机的弹跳, 这对于获得稳定而精确的管子中间尺寸不利, 用这样的管子进行精轧将很难得到精确的成品尺寸。

由以上分析可看出, 为了给成品机组提供良好的中间管子, 以确保成品管的质量, 工作机组的机架相对减径量(或对数减径率)应随着机架序号

的递增而呈递降分布, 其中尤以工作机组末几架更为重要, 只有这样才能减轻  $K_f$  与  $\mu$  随机架序号递增而带来的影响。原苏联 В. П. Анисифоров 的研究表明, 被减径管子的质量与相对减径量在工作机组上的分配有关, 此时机架相对减径量(或对数减径率)逐渐降低的孔型设计, 可使管子外表面或横向壁厚的不均得到改善。

## 5.2 从工作机组各机架轧制功率的均衡分布来看机架减径量的合理分配

表 4 给出了墨西哥 TAMSAG 工厂有关外径  $\phi 190$  mm 荒管张力减径时各机架电动机电流的实测值。

表 4 墨西哥 TAMSAG 工厂张减机各机架电动机电流实测值

|          |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 机架序号 $i$ | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| 钢管外径, mm | 185.25 | 176.91 | 167.18 | 157.99 | 149.30 | 141.09 | 133.33 | 126.00 |
| 相对减径量, % | 2.50   | 4.50   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 5.50   |
| 电动机电流, A | -40.00 | -70.00 | -70.00 | -50.00 | 70.00  | 60.00  | 100.00 | 80.00  |
| 机架序号 $i$ | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     |
| 钢管外径, mm | 119.07 | 112.52 | 106.33 | 100.48 | 94.95  | 91.63  | 90.25  | 89.99  |
| 相对减径量, % | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 3.50   | 1.50   | 0.29   |
| 电动机电流, A | 70.00  | 90.00  | 100.00 | 200.00 | 250.00 | 340.00 | 250.00 | 180.00 |

表中 3 ~ 13 机架相当工作机组所处位置, 其相对减径量为常数。由表 4 可知, 工作机组靠尾部的机架电动机电流有明显增高的现象, 其原因

可分析如下:

(1) 由于管子的温降随机架序号的增大而增加, 从而导致  $K_f$  与  $\mu$  值亦随机架序号而增加。如

果各机架的相对减径量(或对数减径率)不变,则容易导致轧制力、轧制转矩及轧制功率随机架序号而递增,而这种现象尤以工作机组的后几架更为明显。

(2)由于轧辊线速度随机架序号而增加,如果各机架采用相同的减径量,则变形速度将随机架序号而增加,这将引起  $K_f$  值也随机架序号而增加,换言之,与  $K_f$  值相关的轧制力、轧制转矩及轧制功率亦将随机架序号而递增。

通过以上的分析不难看出,从均衡各机架轧制功率观点出发,工作机组减径量的分配宜采用相对减径量(或对数减径率)递减的分配方法,其中特别应强调的是对于多机架张减机来说工作机组后部机架的温降更明显,对于这些机架,相对减径量的递减量应高于前部机架。

### 5.3 从充分发挥工作机组减径能力来看减径量的合理分配

限制机架减径量的因素有多种,其中包括:咬入条件、薄壁管在孔型中的稳定性,这两种限制一般情况下并不突出,因为工作机组前有建张机组,由此对工作机组来说其咬入过程已非完全的自然咬入条件,而带有强制咬入的成分在内。至于薄壁管失稳问题,对多数管子来说,只要使用的减径量合适,一般并不突出。

需要真正强调的限制机架减径量的因素应推以下几种:轧制能力(机架及轧辊强度、轧机弹跳及传动电机的容量等)的限制、轧辊孔槽磨损的限制及管子不均匀变形的限制。其中最后一点除对机架减径量产生限制外,还对工作机组总减径量产生限制。

通过前面有关变形抗力  $K_f$ 、摩擦因数  $\mu$  及变形速度随机架序号而递增的讨论不难明白上述的限制因素亦是随机架序号的上升而变得突出,因此一旦采用相对减径量为常数的分配方法,那么机架减径量的取值将受限于后部机架,致使前部机架的减径能力不能得到充分发挥,换言之,就工作机组的总体来说,其减径能力亦无法充分发挥。所以从充分发挥工作机组减径能力的角度出发,亦应采用相对减径量随机架序号递减的分配方法,而且希望这种递减量愈到后面愈大,这样处理对多机架的工作机组来说是合理的。

## 6 牟尔海姆厂张减机工作机组减径量分配方法简介

德国曼内斯曼公司牟尔海姆厂采用对数减径率随机架序号递减的分配方法,其具体计算步骤如下。

### 6.1 已知参数

连轧管外径  $d_{ak}$ ; 最小张减成品管外径  $d_{aRmin}$ ; 第一至三机架入口管外径与出口管外径的比值

$$\Delta_1 = \exp\left(\ln \frac{d_{ak}}{d_1}\right) = 1.02$$

$$\Delta_2 = \exp\left(\ln \frac{d_1}{d_2}\right) = 1.03$$

$$\Delta_3 = \exp\left(\ln \frac{d_2}{d_3}\right) = 1.04$$

成品机组入口管外径与出口管外径的比值

$$\Delta_{成品机组} = \exp\left(\ln \frac{d_{23}}{d_{27}}\right) = 1.10$$

### 6.2 计算公式

工作机组总减径率

$$\gamma_{iam} = \ln\left(\frac{d_{ak}}{d_{aRmin}}\right) - \ln(\Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3 \cdot \Delta_{成品机组})$$

理论中间直径

$$d_{im} = \sqrt{\frac{d_{ak}}{\Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3} \cdot d_{aRmin} \cdot \Delta_{成品机组}}$$

当  $d_{i0} \geq d_{im}$  时: ( $d_{i0}$ ——机架  $i$  入口侧管子外径)

$$\gamma_i = \gamma_{iam} + 0.007 \cdot \frac{d_{i0} - d_{im}}{\frac{d_{ak}}{\Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3} - d_{im}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

当  $d_{i0} < d_{im}$  时:

$$\gamma_i = \gamma_{iam} - 0.007 \cdot \frac{d_{im} - d_{i0}}{d_{im} - \frac{d_{ak}}{\Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3} \cdot \Delta_{成品机组}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

由(1)、(2)两式可求出工作机组各机架的对数减径率,因  $d_3$  为已知值,故可以顺序算出第4~23机架的孔型直径值,这样便完成了减径量的分配工作。

宝钢  $\phi 140$  轧管机组采用的是与牟尔海姆厂相同的对数减径率随机架序号呈近似线性递减的分配方法,图2给出了宝钢 152.5B 孔型系工作机组对数减径率分布曲线,其减径率即用上述(1)、(2)两式求得。

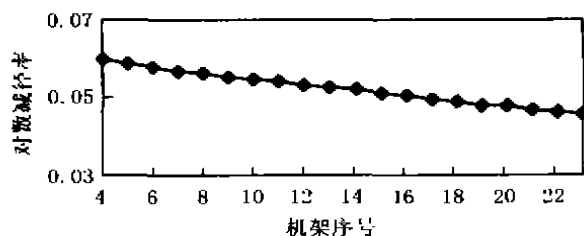


图 2 宝钢 152.5B 孔型系工作机组  
对数减径率分布曲线

## 7 用幂函数建立张力减径机工作机组减径率分配通式

幂函数形式的减径率分配通式如下:

$$\gamma_i = \frac{1 - \eta(1 - M_0)^n}{\sum_{i=M_0}^{M_1} [1 - \eta(i - M_0)^n]} \times \ln\left(\frac{d_{M_0-1}}{d_{M_1}}\right) \dots\dots (3)$$

式中:  $\gamma_i$ ——第  $i$  架机架的对数减径率;

$i$ ——张减机机架序号, 取  $i = M_0, M_0 + 1, M_0 + 2, \dots, M_1$ ;

$M_0$ ——减径工作机组第一架的机架序号;

$M_1$ ——减径工作机组最末架的机架序号;

$\eta$ ——待确定的系数;

$n$ ——函数的幂指数。

上述通式经变换后, 可形成  $n = 0, 1, 2, 3$  各种不同指数条件下的减径率分配计算式, 分别对应于减径率按常数分配、减径率按线性递减分配及减径率按非线性递减分配等不同计算式。这些计算式适用于不同的张减机生产情况, 其中  $n = 0$  的计算式适用于机架数不多, 轧制温降小, 减径率小的情况, 目前许多微张力减径机常采用这种分配方法。对于多机架张力减径机来说, 轧制温降及变形速度的影响已不可忽略, 这时宜采用  $n \geq 1$  的分配计算式, 上述影响愈大, 则  $n$  取值愈大, 通常可取  $n = 1 \sim 3$ 。

为了说明通式(3)的使用方法, 下面举出一个  $n = 3$  的例子。

今设计一个 28 机架张减机的工作机组, 首先要解决各机架的减径率分配问题。由于多机架张减机的温降、变形速度及摩擦因数随机架序号递增, 致使轧件的变形抗力亦随机架序号而递增, 这就容易引起后部机架的轧制负荷趋高及横向不均

匀性变形加剧。为了平衡前后机架的轧制负荷, 减少后部机架的变形量, 改善变形均匀性, 以及充分发挥前部机架的减径能力, 取(3)式中的  $n = 3$ 。今假设工作机组的机架序号为  $i = 4 \sim 23$ , 即(3)式中  $M_0 = 4, M_1 = 23$ , 则

$$d_{M_0-1} = d_3$$

$$d_{M_1} = d_{23}$$

$d_3, d_{23}$  分别为建张机组最末架孔型直径及工作机组最末架直径。这两个直径值可根据建张机组总减径率及成品机组总减径率(按最小规格成品计算)求得。

假设经计算后求得:

$$d_3 = 108.91 \text{ mm}$$

$$d_{23} = 23.66 \text{ mm}$$

将  $M_0, M_1, n, d_3, d_{23}$  各值代入(3)式:

$$\gamma_i = \frac{1 - \eta(i - 4)^3}{\sum_{i=4}^{23} [1 - \eta(i - 4)^3]} \times \ln\left(\frac{108.91}{23.66}\right) \dots\dots (4)$$

为了求得(4)式中的  $\eta$  值, 我们引出两个概念, 一是工作机组机架平均减径率  $\gamma_m$ , 显然

$$\gamma_m = \frac{\ln\left(\frac{d_3}{d_{23}}\right)}{(23 - 3)} \dots\dots (5)$$

将  $d_3, d_{23}$  代入(5), 得

$$\gamma_m = 0.0763368 \dots\dots (5)'$$

另一是工作机组最大机架减径率  $\gamma_{\max}$ , 显然该最大减径率应出现在工作机组的第 1 机架上, 即张减机的第 4 机架上。该值可用下式计算, 即

$$\gamma_{\max} = \gamma_m + (0.006 \sim 0.008) \dots\dots (6)$$

$$\text{今取 } \gamma_4 = \gamma_{\max} = \gamma_m + 0.007$$

$$\text{则 } \gamma_4 = 0.0833368 \dots\dots (6)'$$

将(5)'、(6)'式代入(4)式可求得  $\eta$  值, 将求出的  $\eta$  值再次代入(4)式, 经整理可得(7)式。

$$\gamma_i = 0.083584996 - 0.000186147i + 0.000046536i^2 - 0.000003878i^3 \dots\dots (7)$$

用(7)式可以算出工作机组各机架( $i = 4 \sim 23$ )的对数减径率  $\gamma_i$ , 然后以  $d_3$  为已知值, 从第 4 机架开始逐架按(8)式计算出孔型直径。

$$d_i = \frac{d_{i-1}}{\exp(\gamma_i)} \dots\dots (8)$$

表 5 给出了计算所得之工作机组各机架的对数减径率与孔型直径。

表5 根据  $n=3$  所计算的对数减径率分配结果

| 机架序号 | 孔型直径<br>mm | 对数<br>减径率 | 机架序号 | 孔型直径<br>mm | 对数<br>减径率 |
|------|------------|-----------|------|------------|-----------|
| 4    | 100.20     | 0.08334   | 14   | 44.06      | 0.07946   |
| 5    | 92.19      | 0.08333   | 15   | 40.75      | 0.07818   |
| 6    | 84.82      | 0.08331   | 16   | 37.74      | 0.07664   |
| 7    | 78.05      | 0.08323   | 17   | 35.02      | 0.07482   |
| 8    | 71.82      | 0.08309   | 18   | 32.56      | 0.07270   |
| 9    | 66.11      | 0.08285   | 19   | 30.36      | 0.07025   |
| 10   | 60.88      | 0.08250   | 20   | 28.38      | 0.06745   |
| 11   | 56.08      | 0.08201   | 21   | 26.61      | 0.06428   |
| 12   | 51.70      | 0.08135   | 22   | 25.04      | 0.06072   |
| 13   | 47.70      | 0.08051   | 23   | 23.66      | 0.05674   |

由表5可以看出,当  $n=3$  时对数减径率  $\gamma_i$  随机架序号  $i$  呈非线性递降。从图中还不难看出用机架序号  $i$  为自变量的三次方程所求得之对数减径率从15机架起递降量速度明显增加,这一点与28机架张减机机架负荷从第15架起明显增高的现象互为对应,起到一定的补偿作用。

## 8 结论

通过本文的讨论,张力减径机减径量分配方法可归纳以下几点结论。

(1)就现有的张减机减径量分配方法来说可分类如下:

- 相对减径量按常数分配
- 相对减径量呈递降分配
  - 线性递降
  - 非线性递降

其中非线性递降分配又可分作高于二次的和

小于二次的递降分配曲线。

(2)随着现代张力减径机机架数的增多,递降分配有明显优于常数分配的趋势,而递降分配中的高次递降分配亦将显出其优于线性递降分配的优势。

(3)对于不同减径量及不同机架数的张力减径机(包括微张力减径机)来说,其适用的减径量分配方法可以不同,例如对于减径量不大的微张力减径机来说,即使选用常数分配的方法,也是完全可以的。结论(2)主要针对大减径量、多机架的张减机而言的。

(4)本文根据以上情况提出了一种有关张力减径机减径量分配计算的通式,该公式由幂函数构成,当其采用不同的幂指数  $n$  时,则构成不同的分配方法。计算通式的形式如下:

$$\gamma_i = \frac{1 - \eta(1 - M_0)^n}{\sum_{i=M_0}^{M_1} [1 - \eta(i - M_0)^n]} \times \ln\left(\frac{d_{M_0-1}}{d_{M_1}}\right)$$

显然,当:

$n=0$  时,减径量呈常数分配;

$n=1$  时,减径量呈线性递降分配;

$1 < n \leq 3$  时,减径量呈非线性递降分配。

注:  $n > 3$  本通式亦可解,但实际生产中  $n=3$  已足够大了,至于  $0 < n < 1$  的情况一般不予采用。

编辑 龚根生

(收稿日期 1999年1月5日)

(上接第52页)

示值;这两方面的影响严重时有可能导致铸坯质量的恶化和漏钢事故的发生。

(3)减少保护渣对 Cs137 液面检测精度的影响,在工艺方面可采取保护渣勤推少加、勤查多看、定期点检自动加渣状况等措施。此外,提高结晶器内钢水液位的设定目标也是防止钢水实际液

位过低的有效措施之一。

本研究得到了炼钢厂电炉分厂和电炉工艺组的周雅明、葛亮、顾文兵、杨宝权等同志的指导和帮助,特此鸣谢!

编辑 刘宏娟

(改稿日期 1999年4月15日)