

· 冶金设备 ·

## Φ159 mm 微张力减径机传动装置

颜 飞

(中冶赛迪公司冶金设备室, 重庆 400013)

**[摘要]**针对Φ159 mm 14 机架三辊式微张力减径机项目中的传动装置, 研究了各级齿轮速比的配置、速度曲线、强度校核、行星齿轮传动、叠加传动、主传动等关键技术。

**[关键词]**微张力减径机 传动装置 速度曲线 无缝钢管车间

### 1 概述

微张力减径机是无缝钢管车间热区最后的轧制设备。由轧管机出来的荒管经电感应加热、高压水除鳞之后, 由微张力减径机进行精轧。微张力减径机性能的好坏、传动装置速比配置和速度曲线的合理性, 直接影响到整个轧制过程, 并最终决定成品管的质量。微张力减径机对简化生产流程、增加产品规格、减少切头损失、提高产量、减少车间主轧机备品备件、节省经营费用、降低生产成本、提高钢管的尺寸精度及钢管的表面质量和成品质量都起着至关重要的作用, 是钢管车间的关键设备之一。

微张力减径机适合于张力较小, 机架数量较少, 钢管长度较短, 产量较低的中小型机组。对于产量较高的大型机组, 一般采用张力减径, 其使用的张力系数较大, 可以在微张力减径机的基础上延伸为张力减径机。微张力减径机的设备组成主要有 C 型机座、传动装置、机架更换装置、吊架装置、运输机架和空转机架、液压系统、稀油润滑系统、机架等组成。本文主要对传动装置作一介绍。

微张力减径机传动装置不是简单的为微张力减径机提供动力, 更主要的是要保证微张力减径机按照工艺需要的速度曲线进行生产, 通过直流电机调速, 调整出不同的速度系列, 以满足工艺对轧制速度曲线的要求, 以生产不同规格的产品。由于微张力减径机在轧制过程中是无芯棒轧制, 钢管壁厚公差和外径公差只能通过控制机架之间

形成的钢管断面单位张力的大小来控制, 即通过相邻机架轧辊的速度差来实现。因此各机架轧辊转速的设定和调节, 叠加速比配置的合理性及速度曲线的合理性, 是微张力减径机能否正常生产并轧制出高质量成品钢管的关键。在保证各级传动强度足够的前提下, 叠加减速比配置的合理性显得尤为重要。

### 2 主要技术参数

Φ159 mm 微张力减径机为 14 机架三辊式轧机, 主要技术参数如下:

机架数量	14;
单机架最大减径率	3.5%;
入口速度	0.4 m/s~0.7 m/s;
轧制压力	200 kN;
轧制力矩	23 kN/m;
荒管外径	Φ100、135、170 mm;
荒管壁厚	4.37 mm~29.8 mm;
荒管温度	950℃~1050℃;
荒管长度	8000 mm~13000 mm;
生产能力	1.5~2.5 根/min;
成品钢管直径	Φ60 mm~159 mm;
成品钢管壁厚	4.5 mm~30 mm;
成品管外径公差	外径<100 mm 时, ±0.35 mm; 外径>100 mm 时, ±0.50 mm。

轧制品种有: 碳素结构钢, 合金结构钢 (12~

40Cr、12~35CrMo、30CrMnSiA 等)、轴承钢(GCr15 等)、不锈钢(1Cr18Ni9Ti 等)。

微张力减径机轧制工艺过程如下:管坯准备→管坯加热→穿孔→轧管→荒管电感应加热→高压水除鳞→微张力减径机轧制→冷床→成品管输出。

### 3 设备特点

钢管在轧制过程中其壁厚的变化跟壁厚  $S$  与直径  $D$  的比值有关,当  $S/D < 0.1$  (薄壁管) 时,钢管在轧制过程中为增壁轧制,减径量越大,增厚量越大;当  $S/D > 0.35$  (厚壁管) 时,钢管在轧制过程中为减壁轧制。当  $S/D$  的比值在  $0.1 \sim 0.35$  之间,钢管壁厚的变化与平均张力系数密切相关。微张力减径机是在各机架轧辊之间施加张力,增加前滑移,促进钢管的纵向变形,抑制径向变形,减少壁厚变化。传动装置的作用是通过直流电机调速,调整出不同的速度系列,控制平均张力系数。钢管在轧制过程中,会出现管端增厚现象,钢管管端增厚与张力值大小有关,张力值越大,管端增厚越大,切头损失越大,而微张力减径机平均张力比较小,钢管管端增厚小,因而切头损失小。

传动装置的结构形式采用集中差动传动,由主传动、叠加传动和行星齿轮传动组成,主传动和叠加传动各由一台直流电机驱动,可以各自独立工作和进行速度调节,主传动为各机架给定一个基本转速,叠加传动为各机架提供一个大小不相同的叠加转速。在行星齿轮传动中,主传动通过内齿轮输入,叠加传动通过太阳轮输入,整个传动通过行星架输出,带动轧机工作。行星齿轮用来实现速度合成和功率分流,为轧机提供动力和合理的轧制速度。

微张力减径机传动装置采用集中差动传动有下列优点:1)电机数量少,电机总功率比单独传动的总功率小,耗电量少,整个传动装置只有主电机和叠加电机各一台;2)调速灵活方便,速度刚性好,调速范围宽,可以克服单独传动的速度降,可以保证作用于钢管上张力的稳定性,并可以根据轧制情况,通过主电机和叠加电机调速,从而灵活快速地调节各机架间的转速,从而调整各机架之间的张力,并可以在电机调速范围内实

现无级调速;3)根据轧制产品规格的需要,通过主电机、叠加电机分别调速;4)电气调整和控制系统比单独传动简单,电气设备投资省。

传动装置采用集中差动传动的缺点是设备结构特别复杂,叠加传动速比配备困难,设备投资高,设备要求加工精度和装配精度高,不能单独调节其中的一个或几个机架的转速,各个机架的转速只能按速度曲线同时调节。

微张力减径机的各级传动齿轮均为硬齿面齿轮,加工精度高,需要磨齿,特别是模数比较大的齿轮,一般制造厂很少有大模数的磨齿机,必须在大型的专业齿轮制造厂家制造。行星齿轮传动中,行星架的同心度要求很高,刚性很大,必须采用钻床加工。整个减速器箱体分为四层,箱体结构复杂,长度达到  $6\text{ m}$  多,轴线之间的公差及平行度要求高,需要数控镗床镗孔,制造难度大,一般的制造厂达不到要求。稀油润滑系统在减速器内布管,操作空间狭小。整个传动装置的主减速器有  $100$  多个齿轮,  $200$  多个轴承、 $14$  根鼓形齿联轴器器和  $30$  多根轴,减速器重量达到  $42\text{ t}$ ,整个设备装配要求精度高,调试难度大,组装时间长,装配困难,需要具有制造类似产品经验的专业厂家制造。

## 4 关键技术

### 4.1 速度曲线

如前所述,速度曲线在整个设备设计中起着至关重要的作用,影响到下一步详细设计工作的全面开展,对整个轧制过程产生直接影响,并最终影响钢管成品质量。

由于整个传动装置采用齿轮传动,齿轮传动的速比一经确定,在设备制造完之后就无法调整,各轧辊之间的主传动速比和叠加速比就固定死了,不能实现无级变速,在直流电机无级调速时,速度曲线只能按配置好的速比变化,在正常生产的时候各齿轮之间的速比不能调整。因此,在设计传动装置的时候,要做到既满足轧制工艺速度曲线的要求,又要满足设备制造的要求,而这一点很难做到。要确定出合适的速度曲线,需要在考虑各级传动强度足够的前提下,进行大量繁琐的速比配置计算。只有各级齿轮强度足够、速比配置合理,才能满足设备的正常运转和得出合适

的速度曲线,这正是微张力减径机传动装置设计的关键和核心之所在。

在详细的计算过程中,通过与以前设计的微张力减径机和其它厂的微张力减径机进行了反复的比较,并考虑各级齿轮的强度之后,确定出了各级齿轮的速比,得出了图1所示的最终的速度曲线。此外经计算表明,当 $n_{主}=1580\text{ r/min}$ , $n_{叠}=1580\text{ r/min}$ 时的实际速度曲线,与工艺需要的 $n_{主}=1600\text{ r/min}$ , $n_{叠}=1600\text{ r/min}$ 时的速度曲线是吻合的。

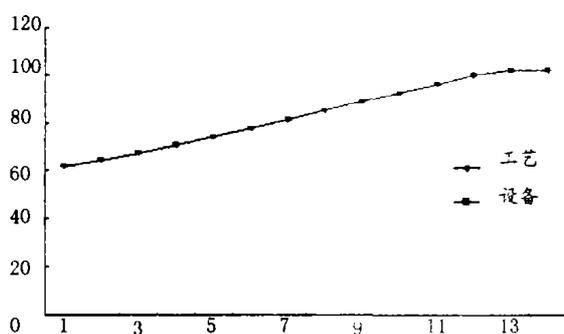


图1 最终速度曲线

由于主传动和叠加传动可以分别进行调速,因此可以根据轧制钢管的规格,选择合理的速度曲线,通过改变各机架的转速,从而改变平均张力系数。

各输出轴的转速是由主传动和叠加传动通过行星齿轮进行速度合成的,因此各输出轴的速度计算公式为:

$$\begin{aligned} n_{输出} &= n_{主输出} + n_{叠加输出} \\ n_{主输出} &= n_{主} \times P / (i_{主} \times (1+P)) \\ n_{叠加输出} &= n_{叠加} / (i_{叠加} \times (1+P)) \\ P &= Z_B / Z_A \end{aligned}$$

$$n_{输出} = n_{主} \times P / (i_{主} \times (1+P) + n_{叠加} / (i_{叠加} \times (1+P)))$$

式中, $Z_B$ 为行星传动内齿轮齿数; $Z_A$ 为行星传动太阳轮齿数; $i_{主}$ 为主传动的速比,对每根输出轴而言其值是一样的; $i_{叠加}$ 为叠加传动的速比。

除了轧机出口处的第14和第13根输出轴是一样的之外,其余每根输出轴各不相同,从第13根输出轴到第1根输出轴的 $i_{叠加}$ 逐渐增大,轧机入口处的第1根输出轴的 $i_{叠加}$ 最大,相应的第1

根输出轴输出的叠加转速最低,第14和第13根输出轴输出的叠加转速最高。

从上面的计算公式可以看出,主传动的作用是给每个机架一个大小相等的基本转速,叠加传动的作用是给每个机架一个大小不相同的叠加转速(第14、13机架叠加转速相同)。经过计算得出一组速度曲线(见图2)。从这一组速度曲线可以看出,在保证入口速度变化不大的情况下,通过调整叠加传动的电机转速,可以实现平均张力系数的调整。当需要较大的平均张力系数时,可以提高叠加电机的转速,当需要较小的平均张力系数时,可以降低叠加电机的转速。如果叠加电机转速为零,此时各机架的转速均相同,这种情况下减径机就变成定径机使用。

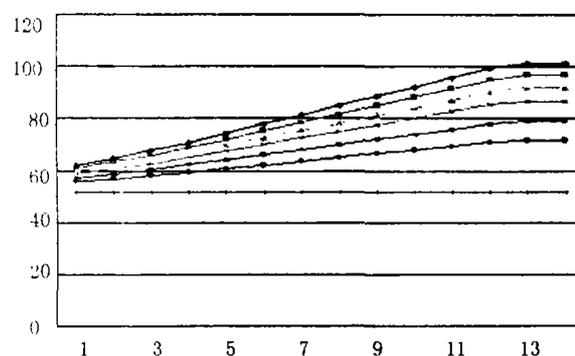


图2 通过计算得出的速度曲线

## 4.2 强度校核

微张力减径机传动装置采用集中差动传动,主传动和叠加传动都安装在同一个减速器箱体内部,箱体内管线密布,零件众多,操作空间狭小,设备重量重,一旦设备安装就位后,在使用过程中出现问题,更换相当麻烦和困难,而且在开箱过程中,如果吊装方法不正确,各层箱体发生变形。为保证设备的可靠运转和正常使用,减少开箱时间,保证和延长正常的使用寿命,有必要对传动装置内重要的零件进行强度校核。

### 4.2.1 齿轮强度校核

在整个传动装置中,由于受到各种条件的限制,如机架间距、轧辊直径等,各齿轮均采用硬齿面。齿轮材料选用20CrMnMo,进行渗碳淬火处理,以提高齿面的硬度和耐磨性。

实际计算中,为保证整个传动装置在使用过程中安全可靠,以电机在 800 r/min (800 r/min 以下恒力矩调速,800 r/min 以上恒功率调速)时输出的扭矩进行计算,即按电机输出的最大扭矩计算。计算结果表明,齿轮材料质量和热处理质量达到中等要求 MQ 时,即  $\sigma_{Hlim}=1500$  MPa,  $\sigma_{Flim}=500$  MPa,按 20 年使用年限考虑,接触强度安全系数  $S_H$  最小值为 1.054,齿根弯曲强度安全系数  $S_F$  最小值为 1.263,为一般安全系数;齿轮材料质量和热处理质量达到很高要求 ME 时,即  $\sigma_{Hlim}=1650$  MPa,  $\sigma_{Flim}=550$  MPa,接触强度安全系数  $S_H$  最小值为 1.16,齿根弯曲强度安全系数  $S_F$  最小值为 1.39,为一般安全系数。 $S_H$  和  $S_F$  的最小值均出现在主传动中的第三级,叠加传动的接触强度安全系数  $S_H$  和齿根弯曲强度安全系数  $S_F$  均可以达到较高安全系数。但在实际生产过程中,主传动电机转速一般在 1000 r/min 以上,只有叠加电机转速有可能低于 800 r/min,如果考虑到在传动过程中的功率损耗、使用条件、制造水平、热处理水平,安全系数一般可以高于一般可靠度,接近较高可靠度。因此,主传动和叠加传动的齿轮强度是可以满足使用要求的。

#### 4.2.2 行星齿轮强度校核

每一种行星齿轮传动可分解为相互啮合的几对齿轮副,NGW 型行星齿轮传动(本设计即为 NGW 型),其承载能力主要取决于外啮合,因而首先要计算外啮合的齿轮强度。行星传动的内齿轮由于尺寸受到限制,不能进行磨齿加工,齿轮材料选用 38CrMoAl,进行渗氮处理,太阳轮和行星轮采用 20CrMnMo,进行渗碳淬火处理。

按单机架最大轧制力矩 23000 N/m (工艺任务书所提数据)进行强度校核。

行星轮数量  $C_s=3$ ,载荷不均匀系数  $K_{ch}=1.1$ ,  $K_{\alpha}=1.15$ 。按有关资料建议,  $2 < Z_B/Z_C < 4$  时,齿面接触强度降低 8%,对于 NGW 型传动,其行星轮齿根承受交变载荷,齿根弯曲强度按对称循环考虑,  $\sigma_{Flim}$  乘以 0.7。计算表明,齿轮材料质量和热处理质量达到中等要求 MQ 时,行星轮的齿面接触安全系数最低,为  $S_H=1.22$ ,基本达到较高可靠度,行星轮的齿根弯曲强度按交变载荷考虑,  $S_F$  为 1.65,达到较高可靠度。如果齿轮材料质量和热处理质量达到很高要求 ME 时,齿轮

接触强度和齿根弯曲强度的安全系数可以更大,使用更安全可靠。

## 5 主要结构

### 5.1 主传动

主传动的作用是给每个机架给定一个基本速度。其结构如图 3 所示。主传动通过三级减速后,到达中间轴,中间轴通过两对齿轮分别带动输出端 1 和输出端 2,输出端 1 上的齿轮与输出轴 11 上的大齿轮啮合,传动 14~10 机架,输出端上的齿轮与输出轴 9 上的大齿轮啮合,传动 9~1 机架。中间轴与主传动的第 4 根轴之间采用花键联接。整个主传动安装在减速器箱体 (3) 上。

### 5.2 叠加传动

叠加传动的作用是给每个轧机机架一个大小不相同的叠加转速(第 14、13 机架叠加转速相同),使轧机各机架轧辊之间产生速度差,形成张力,并最终决定最后的速度曲线。其结构如图 4 所示。各级叠加齿轮通过均载机构传动行星齿轮的太阳轮。叠加传动前面的两根轴和序号为偶数的均载机构安装在减速器箱体 (1) 上,序号为奇数的均载机构安装在减速器箱体 (2) 上。

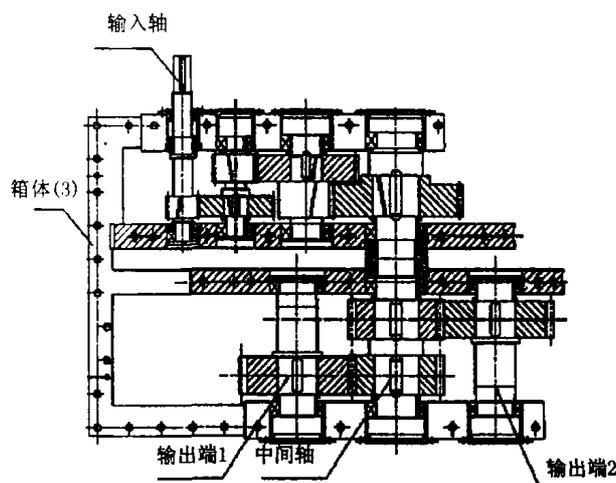


图 3 主传动结构图

### 5.3 行星传动

行星传动的结构如图 5 所示。行星传动的作用是把主传动和叠加传动输入的转速进行合成。主传动的大齿轮与内齿轮通过螺栓联接,均载机构与叠加传动通过鼓形齿联轴器相连,行星架作

为动力输出轴，通过轴上的花键与轧机机架相连。

本行星齿轮传动采用 3 个行星轮分担载荷，体积小和质量小、承载能力高。为补偿不可避免的制造误差，以均衡各行星轮传递的载荷，采用太阳轮浮动的均载机构。采用均载机构不仅可以均衡载荷，提高齿轮的承载能力，降低运转噪声，提高平稳性和可靠性，同时还可降低对齿轮的精度要求，从而降低制造成本。

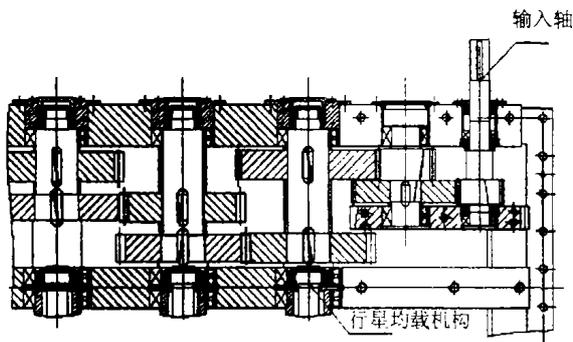


图 4 叠加传动结构图

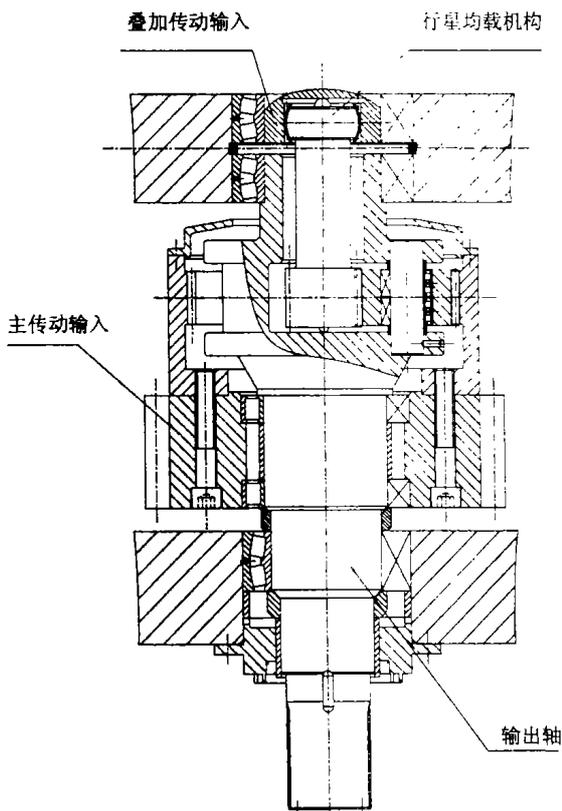


图 5 行星传动结构图

太阳轮重量小，惯性小，浮动灵敏，机构简单容易制造，通用性强，因此采用太阳轮浮动的均载机构。鼓形齿允许联轴器轴线偏斜的角度较大，具有载荷分配均匀和承载能力高、便于在内齿套中转动等优点，应用广泛，但加工较复杂。

另外，为了提高润滑效果和冷却效果，在整个减速器内采用了稀油强制润滑，在箱体(1)的回油口附近增加一块隔板，使箱体(1)内的齿轮和行星传动直接浸在油池内，以增加润滑和冷却效果。在主要的啮合点上，特别是稀油不容易到达的地方，采用喷嘴喷油，在轴承不容易润滑的地方开有润滑油槽和回油口，以便于润滑并把热量带走。

## 6 结论

$\Phi 159$  mm 14 机架微张力减径机即将投入使用，与此类似的  $\Phi 133$  mm 12 机架微张力减径机在安阳已经投产快 2 年，江阴微张力减径机投产快 1 年，大冶特钢和东方钢铁微张力减径机正在安装。由于三辊式微张力减径机的使用，使钢管径向变形更为均匀，钢管的圆周壁厚变化小，变形更为合理，钢管成品的外径与壁厚公差更为精确。微张力减径机对提高钢管成品质量、钢管的尺寸精度、简化生产流程、增加产品规格、提高产量、减少车间主轧机备品备件、节省经营费用、降低生产成本都大有好处，同时可以减少切头损失，提高材料的收得率，做到了投资省，效益高。由此说明微张力减径机在无缝钢管热轧车间的使用是成功的。

由此可见，微张力减径机系统中，对传动装置的设备设计来说，各级齿轮速比的配置、速度曲线、强度校核、行星齿轮传动、叠加传动、主传动等都是应该重点研究的关键技术，以便于尽快消化和吸收，积累更多的经验，进行技术移植，为今后其它类型微张力减径机的研究、设计和开发打下坚实的基础。通过生产实践证明了本文的设计思路、计算理论与方法的可行性与正确性。

## 参考文献

- 1 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2002年9月

(收稿日期: 2004-01-05)