

巨龙穿孔机组设计特点浅析

王鹏飞¹, 王爱国¹, 陈志发²

(1. 太原重型机械(集团)有限公司设计研究院, 山西 太原 030024;

2. 江苏诚德钢管股份有限公司, 江苏 江都 225200)

摘要: 巨龙穿孔机组是我国目前最大规格的穿孔机组, 产品规格范围为 $\Phi 210 \sim 2\,000\text{mm} \times 150\text{mm}$ (最大壁厚) $\times 3\,000 \sim 12\,000\text{mm}$ 。概要介绍了该机组的工艺设计参数, 设备主要结构, 工艺流程, 设备结构特点等。

关键词: 大型穿孔机组; 设计; 参数

中图分类号: TG333.8 文献标识码: B 文章编号: 1001-2311(2000)05-0038-04

A Brief Discussion on Design Characteristics of Julong Pipe Piercing Plant

WANG Peng-fei¹, WANG Ai-guo¹, CHEN Zhi-fa²

(1. Research and Design Institute, Taiyuan Heavy Machinery(Group)Co., Ltd., Taiyuan 030024, China;

2. Jiangsu Chengde Steel Tube Co., Ltd., Jiangdu 225200, China)

Abstract: Having a size range as O. D. 210 ~ 2,000 mm \times W. T. 150 mm(max.) \times L 3,000 ~ 12,000mm, the Julong (Giant Dragon) Piercing Mill is regarded the biggest one in the country in terms of product size range. Briefly introduced in the article are all the major aspects of the said plant, namely, technological design parameters, main composition of the equipment, manufacturing process flow and the equipment structural characteristics, etc.

Key words: Large-scale piercing plant; Design; Parameter

0 前言

近些年来,我国新建(含引进)或改造的无缝钢管生产线基本覆盖了 $\Phi 100 \sim 400\text{mm}$ 的规格范围,但 $\Phi 400\text{mm}$ 以上的大直径无缝钢管机组(除热扩管机)目前仍是缺口。“九五”期间乃至 21 世纪,我国把能源及原材料工业作为国民经济发展的战略重点,因而对大直径无缝钢管的需求量将增加。巨龙穿孔机组的建设将为缓解我国对大直径无缝钢管的供需矛盾作出贡献。

本文从工艺设计和设备结构方面对巨龙穿孔机

组的合理性进行分析。

1 工艺参数

1.1 主要技术参数

巨龙穿孔机组不仅能穿轧 $\Phi 210\text{mm}$ 以上规格的无缝管,而且还可扩展生产最大直径达 $2\,000\text{mm}$ 的特大直径无缝管,其主要技术参数如下:

管坯规格

实心坯 $\Phi 210 \sim 1\,000\text{mm}$, $l_{\max} 4\,000\text{mm}$

空心坯 $\Phi 210 \sim 2\,000\text{mm}$, $l_{\max} 8\,000\text{mm}$

材 质 普碳钢、合金钢

最大坯重 45t

毛管规格 $\Phi 210 \sim 2\,000\text{mm} \times 150\text{mm}(\text{max})$
 $\times 3\,000 \sim 12\,000\text{mm}$

轧辊尺寸

中 径 $1\,800 \sim 2\,200\text{mm}$

辊身长度 $2\,050\text{mm}$

王鹏飞(1967-),男,山西忻州人,高级工程师,硕士,设计员,主要从事轧制工艺理论研究、轧钢设备的设计开发工作。参与了国内多项大型轧管机组、穿孔机组的设计,主持了国家“九五”攻关重点项目《连铸机成套设备及关键技术的研究》中子课题的研究工作,主持设计了巨龙穿孔机组。

送进角 7°(固定)
 辗轧角 8°(固定)
 轧辊转速 10 ~ 30 r/min
 最大轧制力 10MN
 最大轧制力矩 2.8MN · m
 主电机功率 2.2MW × 2
 最大顶头轴向力 3MN
 最大导板力 2MN
 入口台最大后推力 2MN
 出口台最大拖出力 650kN
 设计年生产能力 2万t

轧辊出口锥长度 l_2'

$$l_2' = l_2 + R_2$$

式中 R_2 —— 安全余量。

由上述分析可知，建立正常轧制过程的必要条件为：

轧辊中径 2 850 ~ 2 950 mm

入口锥长度 $l_1' > 1 072.5$ mm

出口锥长度 $l_2' > 1 226.2$ mm

上述条件允许的最大轧制直径约为 750mm，轧 $\Phi 750$ mm 以上规格毛管的变形区长度及轧辊直径均超出了正常范围。

1.2 变形原理

穿孔工艺采用世界上先进的锥形辊穿孔工艺。该工艺较传统的曼式穿孔工艺具有许多优点，主要表现在：锥形轧辊以一定的送进角和辗轧角布置后，轧辊转速以及其沿轧制线的分量朝出口侧方向有规律地增加，与穿孔毛管的速度相匹配，轧辊对管坯有拉曳的作用，从而有效地抑制了管坯的回转锻造效应、表面扭曲变形及圆周剪切变形，使管坯金属流动更加合理。锥形辊穿孔工艺有利于轧制连铸坯及难变形的合金坯。

根据生产经验，轧辊中径 D 为

$$D = 2.5 D_u + (350 \sim 450)$$

式中 D_u —— 穿制的最大毛管外径。

对于实心坯， D_u 取 1 000mm，则 $D = 2 850 \sim 2 950$ mm。

根据穿孔变形过程中的运动学原理，实现二次咬入所需的变形区长度 l_1 为

$$l_1 = \Delta D_e / (2 \operatorname{tg} \beta_e)$$

$$\Delta D_e = D_r \% \times D_e$$

式中 D_e —— 管坯最大直径，取 1 000mm；

$D_r \%$ —— 管坯直径最大压下率，取 15%；

β_e —— 轧辊的实际入口锥角，取 4°。

计算结果， l_1 为 1 072.5mm。

轧辊入口锥长度 l_1'

$$l_1' = l_1 + R_1$$

式中 R_1 —— 安全余量。

毛管最大外径所要求的出口变形区长度 l_2

$$l_2 = [\Delta D_e + (D_u - D_e)] / (2 \operatorname{tg} \beta_u)$$

式中 β_u —— 轧辊实际的出口锥角。

假设穿孔过程为等径轧制，即毛管外径等于管坯外径，取轧辊实际工作锥角 $\beta_u = 3.5^\circ$ ，则

$$l_2 = \Delta D_e / (2 \operatorname{tg} \beta_u) = 1 226.2 (\text{mm})$$

针对这种情况，可采用减少变形区压下量的办法来缩短变形区及轧辊入口锥长度，从而减小轧辊长度。但由此而引起的管坯咬入困难的问题，可以用在入口台施加后推力的办法（即实现强制咬入）加以解决。关于轧辊中径的问题，有的认为随着管坯尺寸的增大，达到某一范围后，金属的变形抗力及轧制压力并非与管坯规格尺寸同步增长，轧辊直径与管坯规格尺寸不一定遵守上述经验公式。因此只要变形程度及变形力减小，轧辊直径是可以进一步减小的，从而达到减小设备尺寸及降低驱动轧辊的动力消耗的目的。

轧制空心坯（即二次延伸）时，变形区的长度及轧辊直径较轧实心坯时小得多，此时若采用较小的压缩量，完全可以实现正常轧制。

该机组的主要特点为产品规格大，组距大，追求品种而不追求产量，所以可实现实心坯及空心坯的反复加热与反复轧制。对于中小规格的毛管，穿孔完毕后进入下一道出成品工序（即冷拔工序）。对于大直径或超大直径的毛管，穿孔完毕后，采用机械加工的方式（内镗外剥）出成品。

2 工艺流程

管坯采用台车炉加热，设计时预留了连续加热炉的位置，待今后批量生产中小规格毛管时使用。上料及出料暂为行车吊运，并预留中小规格管坯的机械上料位置及拨料装置。

根据管坯穿孔工艺的差异，选择 3 种推料方式：① 轧 $\Phi 600$ mm 以下的薄壁管，管坯推至咬入，扣瓦工作直至穿孔结束；② 轧大直径钢管时，轧前及轧制过程中管坯一直处于推坯状态（即施加后推力轧制）；③ 轧制其余规格，推坯到位后停止，自动进行咬入、轧制，此时扣瓦不工作。

由于管坯尺寸较大,故采用卧式锥形辊结构,以避免采用较高的厂房。采用一般的等径轧制时,送进角、辗角不宜太大。根据规格的差别,采用不同的工艺方案。轧制 $\Phi 600\text{mm}$ 以下规格的钢管时,穿孔过程中采用三辊定心装置,定心辊合拢抱紧顶杆以减轻顶杆振动,保证顶头准确地处于工作位置。毛管运行至定心辊前时,定心辊依次打开,保护毛管顺利通过。轧制结束后,定心辊上辊打开,为毛管拨出创造条件。轧制 $\Phi 600\text{mm}$ 以上规格的钢管时,拆除三辊定心装置,采用特殊工艺轧制。毛管输送辊道有两种: $\Phi 800\text{mm}$ 以下的毛管使用一种辊道; $\Phi 800\text{mm}$ 以上的毛管使用另一种辊道。因毛管运行速度较慢($200 \sim 300\text{mm/s}$),故采取第一架辊道传动,其余 4 架辊道为惰辊。毛管出料的方式暂为行车吊运,但设计中预留了拨料装置。该机组目前主要考虑轧制规格范围的要求,即小批量生产,因此自动化程度不高,但在工艺和结构上为今后大批量生产作了准备。

3 设备结构

机组由入口台、主机、主传动、出口台 I 段、出口台 II 段组成。现分述如下。

3.1 入口台

入口台为 V 型升降受料槽,由液压缸推送管坯。V 型受料槽行程能满足 $\Phi 200 \sim 2\,000\text{mm}$ 管径的工作要求,根据不同规格的毛管选择推头。液压推料缸的高度可根据工艺要求调整,以保证轧制时推头始终位于轧制线和满足各种规格管坯的穿孔要求。

3.2 主机座

主机座的结构为卧式,该设备的主要参数为:

轧辊间距	180 ~ 2 080mm
轧辊箱工作行程	785mm
导板间距	180 ~ 2 050mm
上导板架工作行程	890mm
上导板架极限行程	960mm
下导板架工作行程	160mm
下导板架极限行程	600mm
机架最大开口	7 200mm

3.2.1 左右轧辊箱

为尽量减小设备尺寸,充分挖掘设备潜力,在轧辊箱的实际行程之外附加了一个辅助行程。第一,在轧辊箱与轧辊轴承装配之间,设置了一组调

整垫,小开口度时,调整垫位于轴承座外侧;大开口度时,调整垫位于轴承座内侧。第二,根据工艺要求,轧超大直径的空心坯时,轧辊中径最大选用 $2\,000\text{mm}$ 。通过这两种途径,可以在最大范围内调整轧辊的开口度,满足上述轧辊距的要求。

3.2.2 上下导板装置

生产中,下导板的调整没有上导板频繁,故下导板采用液压缸及调整垫的方式调整,这样可使其结构更简单。上导板采用电机,通过蜗轮减速机构驱动的调整方式,但其调整的行程有限,不能满足全部规格范围的轧制要求。为此,采用调换的方式,即设 $\Phi 210, 400, 600, 1\,000, 2\,000\text{mm}$ 5 个系列的导板座调换件,这样就可以满足工艺要求。

3.2.3 侧压装置

该设备结构较庞大,轧辊箱重达 154t ,对驱动其运动的动力机构——侧压装置要求较高,即 2 个侧压丝杆要同步压进。采用液压装置连锁驱动的方式可以达到上述要求,并且液压装置具有良好的柔性,还能对设备起保护作用。

3.2.4 机架装配

该设备的机架(重 300t)和轧辊箱(重 154t)都是大型部件,采用铸造结构有困难,换辊也比较困难,这里采用锻焊复合的结构,重要承载部位采用锻件,并采用开式机架,既保证了机架的整体刚度,又方便了换辊。

3.3 出口台 I 段

出口台 I 段主要满足轧制 $\Phi 600\text{mm}$ 以下毛管的工艺,并兼顾轧制 $\Phi 800\text{mm}$ 以下规格毛管的运输要求,即三辊导向装置能满足轧 $\Phi 600\text{mm}$ 以下规格的毛管时所需抱紧最小规格顶杆及导向最大规格毛管的开口度要求。同时设备底座预留了大规格穿孔毛管出料时的操作空间。出口台 I 段第一架辊道为电机驱动,第二至第四架辊道为游动惰辊,取消了夹送辊道,由此大大降低了设备成本,考虑到一期工程上料及出料均为行车吊运,所以拨料装置暂不制造,为二期工程批量生产做准备。辊道装置由传统的悬臂摆动式改为双支点垂直升降式,不仅节约了设备空间,而且提高了结构强度,减小了设备重量。

3.4 出口台 II 段

出口台 II 段的操作原理及工艺流程与普通机组相似,只是需考虑顶杆小车及相关设备能实现 $\Phi 150 \sim 1\,200\text{mm}$ 顶杆穿孔的工艺要求。同时,闭

锁装置应具有 3 000kN 轴向力的承载能力，卷筒装置及传动装置能实现拖出力 650kN 的动力要求。

3.5 主传动

虽然该穿孔机的轧制规格及设备体积较大，轧制力、轧制力矩也较大，但轧辊转速较小，所以主电机功率并非同步增大，其功率为 $2\ 200\text{kW} \times 2$ 。该穿孔机的万向接轴的结构尺寸较大，回转直径为 1 000mm，单重 28t，工作过程中及换辊操作时均要求有支撑装置托架。对托架的要求是：换辊时具有对万向接轴支撑及伸缩功能。其操作为：①平移摆动架到操作位；②摆动架上的托槽摆动、升起到托轴位；③摆动架回退，使万向轴缩回。换辊完成后反方向操作，使万向接轴及摆动架复位。在工作过程中，托架始终托住回转状态下的万向接轴。由于轧制规格不同，轧辊的开口度也不同，因而万向接轴的摆动角度也不同，且其变化幅度很大，并且长度有一定的伸

缩。托架工作的运动轨迹为平面曲线。

托架要同时满足上述要求有一定难度，我们在设计中采用以弦代弧的方法，将支点的运动轨迹限定在一定宽度的平面区域内，由此满足了支点运动轨迹的要求。为适应万向接轴处于旋转振动的工作状态，浮动支撑缸的控制系统采用恒压力工作制。

4 结 语

巨龙穿孔机组要满足大范围大规格的轧制要求，在工艺、设备上还存在一些问题，但在非大批量生产的情况下，可以轧制全部规格范围的毛管。由于这种大规格穿孔机在我国还是第一套，所以存在一定风险，这个风险是规格及组距范围的差别，但基本的轧制工艺是合理可行的，设备结构是成熟可靠的。

(收稿日期：1999 - 10 - 26)