

国产 $\phi 280$ mm 十一辊 高钢级精密钢管矫直机组

陈峰¹, 杨博¹, 梅德林², 王忠书³, 张超¹, 黄维勇¹

(1.中国重型机械研究院股份公司,西安 710032;)

2.江苏恒立高压油缸股份有限公司,江苏 常州 213619;)

3.中铝西北铝加工分公司,甘肃 陇西 748111)

摘要:我国自行开发的精密管材矫直机适用管材规格范围不断扩大($\phi 3\sim\phi 220$ mm),但被矫管材的屈服强度均小于 650 MPa,难以适应新近市场急需的高钢级精密管材高效矫直的要求。针对这一问题,开发了 $\phi 280$ mm 十一辊高钢级精密钢管矫直机。该矫直机组为离线设备,用于退火之后或者不经退火的冷轧、冷拔钢管的矫直,被矫管材屈服强度达到 850 MPa,矫后管材直线度小于 0.25 mm/m,矫直盲区控制在 400 mm 以内。近两年生产实践表明,针对高钢级、大直径精密矫直工艺中的敏感因素,采用辊式多环节矫直的设备方案是可行的。同时对机组传动系统、前台 C 形套内衬材料、换辊机构及矫直辊喷淋系统存在的问题提出了改进方向。

关键词: 钢管; 矫直机; 斜辊

中图分类号: TG333.23 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-3938(2013)08-0005-36

$\phi 280$ mm Eleven-roller High Grade Precision Steel Tube Straightening Machine in China Domestic

CHEN Feng¹, YANG Bo¹, MEI Delin², WANG Zhongshu³, ZHANG Chao¹, HUANG Weiyong¹

(1.China National Heavy Machinery Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710032, China;

(2.Jiangsu Hengli High Pressure Oil Cylinder Co., Ltd., Changzhou 213167, Jiangsu, China;

3.China Aluminum Northwest Aluminum Process Company, Longxi 748111, Gansu, China)

Abstract: The applicable specifications scope of precision steel tube straightening machine continuously extends (from $\phi 3$ mm to $\phi 220$ mm), but the yield strength of straightened tube is less than 650 MPa, so the straightening machine is difficult to adapt to the requirements of currently good market needs in the high grade precision steel tube. Based on this reason, the $\phi 280$ mm eleven-roller high grade precision steel tube straightening machine was developed. The straightening machine is offline facility, which is used for annealing or cold rolling without annealing, and cold drawn steel tube straightening, the yield strength of straightened tube reaches 850 MPa, the straightness is less than 0.25 mm/m after straightening, and straightening blind area is controlled within 400 mm. The recent two years production practice proved that aiming at the sensitivity factors of high grade large diameter precision straightening process, adopting the roll mode and many links straightening proposal is feasible. Simultaneously, it put forward improvement direction for the existed problems, such as the drive system, the lining materials for the front desk C shape set, roll changing mechanism, and the straightening roller spray system.

Key words: steel pipe; straightening machine; oblique roller

0 前言

目前, 精密管材已经在高档轿车的减震器、抽油泵、核电站热交换器、工程机械液压缸、非 API 标准的石油管、爆发力强的自动式连发枪械用管、细长的航空器材用油气传输管和高档气瓶管等领域广泛应用。由于此类管材的屈服极限偏低, 直径偏小, 通过多个环节的矫直可实现 0.3 mm/m 的精度, 因此常用于普通的减震器和抽油泵用管。但是对于爆发力强的自动式连发枪械用管和高档气瓶用管而言, 其材质较硬, 屈服极限在 850 MPa 左右, 通过多环节且降低速度的矫直手段获得好的直线度时, 会存在管材断面尺寸超差、生产效率偏低的问题, 因此实现高精度矫直就存在一定难度。所以开发适合高钢级钢管高效精密矫直设备成为精密管材生产中较为迫切的问题。

2011 年为江苏某厂工程机械用液压缸和气瓶管生产线项目配套的 $\phi 280$ mm 十一辊矫直机的研制就要求解决高效精密矫直高钢级管材的工艺问题。在有效解决工艺问题的前提下, 研发人员开始尝试抑制钢管扩径的微张力矫直工艺, 同时验证了有关经典计算矫直力的公式。其短辊距的设计也为大直径钢管头尾矫直盲区的缩小提出了解决办法。

1 国内精密矫直机的研究现状

普通管材矫直机的矫后直线度为 1 mm/m , 精密矫直机的矫后直线度为 0.5 mm/m , 高精度矫直机的矫后直线度为 0.3 mm/m , 矫后直线度 0.2 mm/m 的矫直机也划分到高精度矫直机之列。精密矫直设备的矫直环节多, 矫直速度低, 而且其矫直辊和矫直机工艺调整机构的精度普遍较高, 同时要求矫直机生产现场环境优良。

目前, 中国重型机械研究院股份公司是国内对精密矫直机研究最深入、最系统、业绩最多的企业, 其对精密矫直机的矫直环节数量与精度的关系、矫直机矫直辊子参数、矫直辊初始倾斜角度、矫直速度、矫直工艺调整量、整机加工工艺以及使用情况作了详细的研究, 形成了大量的文献资料。其试验数据和理论研究是在一台设备上多个环节矫直环境下研究, 而其他学者是在一台

设备上通过两次以上矫直过程来模拟多环节矫直, 两者的研究在矫直环节数量和矫直速度上得到了相同的认识, 即要想获得高的矫直精度, 矫直环节要多, 矫直速度要降低。但后者对于各个矫直环节之间相互影响和每个环节所要达到的矫直效果的研究显得力不从心, 而前者已经得到了经实践验证的结论, 例如前者对辊身长度、矫直过程中的负作用原理、矫直辊初始角度等都有深入的研究^[1-2]。

国内目前使用精密矫直机较多的行业为小直径焊管、液压缸制造、核电站用管等行业。矫直管材直径范围在 $3\sim 220 \text{ mm}$ 之间, 钢管 D/t 值大于 16, 属于中厚壁钢管, 生产线年产量在 3 万 t 以下。除小直径焊管利润略低之外, 其他行业目前产出的附加值较高, 因此设备的管理和技术支持到位, 能够及时发现和排除矫直过程中出现的问题, 对于推广和发展精密矫直技术有着相当积极的作用^[3]。

2 $\phi 280$ mm 十一辊矫直机的主要技术要求 and 方案设定

2.1 被矫管材参数

管材外径范围: $80\sim 280 \text{ mm}$;
 管材壁厚范围: $10\sim 30 \text{ mm}$;
 管材长度范围: $7\sim 14 \text{ m}$;
 管材屈服强度: $\leq 850 \text{ MPa}$;
 矫直机生产节奏: 8 t/h ;

被矫管材特性: 未经退火的冷轧、冷拔钢管, 表面粘附有轧制和拔制润滑油; 退火后的轧制、冷拔钢管。

2.2 矫直后产品质量要求

矫直后管体直线度: $\leq 0.25 \text{ mm/m}$;
 钢管端部直线度: 管端 400 mm 以内直线度 $\leq 0.75 \text{ mm/m}$;
 钢管断面尺寸要求: $18 \leq D/t \leq 28$ 时, 扩径量 $\leq 0.28 \text{ mm}$;
 钢管表面状态: 不得产生任何新的缺陷;
 钢管内部状态: 沿端部用光源通长照射钢管内部, 不得有竹节状光圈。

2.3 设备方案的初步拟定

方案的初步拟定内容包括: 矫直环节、设备

结构形式、矫直机关键辊距以及矫直辊参数等的确定。

2.3.1 主要技术参数的确定

根据 $\phi 280$ mm 矫直机矫后直线度的要求, 矫直环节必须在 3.5 个环节以上, 即矫直辊数在 10 辊以上, 管材屈服强度较以往精密矫直机最大屈服强度提高 1.3 倍, 又有端部直线度和扩径量的较高要求, 从力能参数上计算, 矫直机辊距变大, 和端部盲区的要求发生矛盾, 若采用组合式辊距的辊系排列方式才有可能保证钢管端部矫直效果^[4]。依据来料钢管的机械特性, 结合文献[5]和文献[6]以及实际生产经验确定矫直机的辊数为 11 辊, 组合辊系, 关键辊距定为 960 mm, 关键辊距的提出是解决缩小矫直盲区的重要手段, 关键辊距 960 mm 和端部盲区长度之间的差值需在矫直辊参数设计时予以考虑和保证, 矫直辊直径定为 480 mm, 据此展开详细设计。

2.3.2 设备结构形式的确定

据文献[4]的研究成果, 采用十辊对置的方案可以使矫直精度达到 0.3 mm/m, 文献[7]描述了大直径十辊滑架式的矫直设备。对于可否采用文献[4]和文献[7]的成果将主机设备设计为对置辊系滑架式结构, 以通过降低矫直速度来实现高矫直精度的问题, 经过分析认为: ①若采用上述方案存在矫直精度不易保证的缺点, 文献[7]中的 $\phi 920$ mm 钢管矫后实际直线度仅为 1.5 mm/m; ②存在成本增加的不利因素, 用于 $\phi 500$ mm 以下钢管的多辊矫直机, 采用滑架式的结构质量远大于转轂式结构, 制造成本不易接受, 但大直径的滑架式结构(如图 1 所示)具有制造工艺方便的优势, 这也是文献[7]采用滑架式结构的原因;



图 1 滑架型矫直机

③滑架式结构强调整机立柱布局对称, 限制了矫直辊的初始角度, 降低了管材和矫直辊的实际等效接触长度, 不利于矫直精度的提高, 或者是对管材的对压作用过于明显, 造成矫后管材端面尺寸偏差较大, 且对于 $\phi 280$ mm 矫直机提出的端部 400 mm 以内的矫直精度无法通过辊距和矫直辊参数的优化得到补偿, 达不到 $\phi 280$ mm 矫直机的技术要求。因此, 主机的结构形式应优先选用转轂式组合辊系(如图 2 所示)。



图 2 转轂式组合辊系矫直机

3 机组设备组成及功能描述

$\phi 280$ mm 十一辊矫直机组为离线设备, 用于退火之后或者不经退火的冷轧、冷拔钢管的矫直。机组设备由前台、主机、后台、矫直辊在线清洁机构以及相应的电气和液压装置组成。除主机满足相关矫直直线度的技术要求外, 前台设备需要考虑成捆钢管的存储散料问题, 主机需要考虑高速喂料和矫直辊面清洁问题, 后台考虑在线直线度的简易测量问题, 以提高生产效率, 尽可能地降低操作工人的劳动强度。

3.1 前台

前台由散料台架、拨料机构以及 C 形扣瓦等经典工艺装置组成, 但在设计上对机构做了很大改进与创新, 解决了长期以来困扰弯曲钢管的散料和喂料劳动强度大的问题。

3.1.1 散料机构

由于被矫钢管单重较大, 若采用人工散料, 劳动强度过大, 且存在不安全因素。设置新型散料机构的目的是为了将成捆的钢管散开, 方便单根拨入矫直机前台 C 形扣瓦。散料台架由兜料机构、抖动机构、平铺台架、运输链以及过渡篦条组成, 其结构如图 3 所示, 它是专门为大直径钢管散料开发

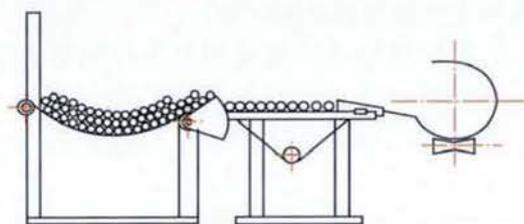


图3 散料机构示意图

的机构，降低了操作工人的劳动强度。其工艺过程为：成捆的钢管落入兜料机构的布袋上，在布袋缠绕机构的收缩过程中，钢管呈层状滚落到运输链条上，随着链条将钢管运往C形扣瓦。运输的过程中，钢管与钢管之间的距离拉开，最终散布于运输链条之上，达到了自动散料的目的。

3.1.2 便于更换内衬的C形扣瓦

C形扣瓦内部衬有软材料保护层，防止钢管在甩动过程中被划伤，为了节省软材料内衬的更换时间，设置为内胆式机构，即软材料黏附在薄壁钢筒之上，钢筒固定在外部C形扣瓦的焊接架上。不仅使磨损后的内衬更换方便，而且使内衬的备件制作更为容易。

3.1.3 方便钢管导入的喂料机构

喂料导入机构位于前台和主机之间，设置导入机构的目的是为了保证钢管顺利准确地进入主机1#矫直辊，且不发生卡阻及管头跑偏现象。精密矫直机一直使用圆筒型导卫，这种导卫具有结构简单、成本低廉、易于更换等优势，但是这种导卫和钢管外圆之间的间隙过大，在高速喂料时，极易发生钢管跑偏和顶撞导卫事故，因此开发了一种强迫钢管对中的导卫装置，具有机构质量轻、导向准确等优势，用于该机的钢管喂入导向。

喂料导入机构可简单描述为：喂料辊呈上下对置布置，下辊为驱动辊，上辊为被动辊，下辊的V形角为 100° （如图4所示），上辊为平辊，便于钢管准确和矫直中心线对中。上、下两辊均

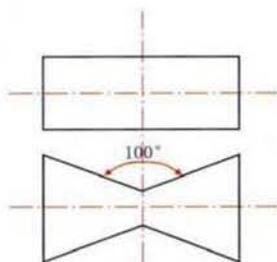


图4 喂料导入机构示意图

能升降，便于喂料时接触钢管，矫直时迅速和钢管脱离。

该喂料导入机构的特点是：在喂料过程中给钢管以前进的动力，并能严格限制钢管前进的方向，实现准确喂料导入的功能。

3.2 主机

主机是实现钢管矫直的关键设备，主机辊系如图5所示，经过3.5个矫直环节的矫直和3对辊的对压实现被矫钢管直线度的提高以及椭圆度的归圆。主机由主机本体以及相应的矫直辊传动机构组成，并设置了矫直辊换辊机构和矫直辊在线修磨、清洁系统。

主机本体主要特点：

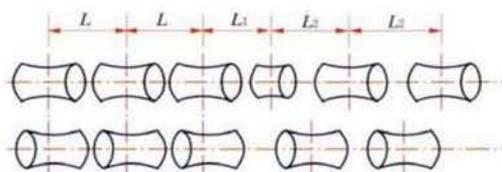


图5 矫直机主机辊系图

(1) 运用组合式辊系布置方式回避了多环节矫直过程中出现的负作用因素。

(2) 组合式辊系中出现的短辊距（图5中的 L_2 ），一方面减小了管头和管尾的矫直盲区，同时使短辊上管子和辊子实现了全接触，有利于被矫钢管圆度的提高。

(3) 矫直辊的转角系统（角度调节系统）采用液压比例系统控制，提高了矫直辊的角度精度及矫直辊锁紧的可靠性。

(4) 独特的压下丝杠消除螺母间隙，实现间隙调节的数字化显示，极大地抑制了矫直过程中矫直辊弹跳的可能性；1#下辊可实现快开，以方便头部弯曲的钢管咬入。

(5) 简化上矫直辊和下中间矫直辊的压下及压上传动链以及其数值检测系统的检测链，提高传动精度，检测元件设置在压上、压下丝杠头部，便于直接检测压上、压下数据。

(6) 矫直机上、下横梁的定位依靠立柱，矫直机矫直辊的初始角度也以立柱定位，定位基准统一，并在矫直辊辊盘上加工定位面，精确矫直辊的初始角度，较以往通过样棒检查矫直辊和样棒切合程度标定矫直辊初始角度的方法，在精度上有很大提高，并且降低了大规格矫直机初始角

度定位时的人工劳动强度。

(7) 分区甘油润滑机制, 减少了甘油配管交错, 设备检修维护方便, 设备外观整齐, 在主机上设置2个集中甘油润滑区, 上横梁的矫直辊压下、矫直辊转角以及矫直辊轴承润滑设置在矫直机顶部, 下横梁的矫直辊压上、转角以及矫直辊轴承的润滑设置在下横梁侧边的地坑。

主机矫直辊传动系统主要特点: ①多环节矫直过程中的扩径现象一直是困扰精密矫直机的难题, 英国 BONX 和意大利麦尔公司采用增大矫直辊初始角度来减小扩径量, 虽然能减小扩径量, 但矫直精度降低约 30%; ②采用小角度的组合辊系方案, 一方面辊系的优势使得扩径量不大, 但是材质偏软的钢管仍然会表现出扩径, 虽然可以通过对这部分钢管的扩径量进行统计, 以此来调节上游加工工序的尺寸偏差, 保证最终成品钢管的尺寸精度, 但是这种方法存在工作量偏大、人工干预因素过多、得到的扩径量数值不能在不同的企业中通用等缺点。

由于目前该设备是国内精密矫直机中直径最大的矫直机, 矫直辊间距较大, 空间上具备实现单独传动的可能性, 能否通过矫直辊的单独传动使各个矫直辊之间的被矫钢管建立起微小的张力而达到限制扩径的目的成为研究的焦点。在该矫直辊单独传动矫直机上实际的矫直过程表明: 单个矫直辊扭矩分布情况和目前的经典公式计算情况趋于一致; 对于 $D/t < 18$ 时, 不用调节各矫直辊的速度差; $D/t > 24$ 时, 有必要实现微张力, 张力系数 1.05 左右, 并且不用各辊之间递增, 但是辊子的基准速度不能太高。由于单独传动矫直机是国产首套设备, 且其工艺过程类似于斜轧微张力, 和我们目前基本掌握的纵轧方式下的微张力存在一定的区别, 认识和使用上还存在一定难度, 因此期望在该设备实际使用经验的铺垫下, 进一步加大微张力矫直过程中的基本理论研究。

3.3 后台

精密矫直机所矫钢管为经冷轧、冷拔钢管, 表面不允许有二次损伤, 严禁在矫直过程中发生磕碰。在矫直过程中, 后台是易于和钢管发生碰撞的部位, 特别是在矫直速度提高之后, 后台既要抑制钢管甩动(钢管头部甩动严重影响矫直质量), 又要防止磕碰, 为此开发了被动交错运输

辊道和夹送辊相配合的方案。

方案的优势在于夹送辊只有在钢管矫直完毕需要彻底从主机中抛出时才和钢管接触, 矫直过程中与钢管脱离, 排除了与送料机构磕碰的可能性。

交错辊道呈 V 形并沿钢管前进方向间隔布置, 达到导向和抑制钢管甩动的目的, 辊道内部采用尼龙芯, 外部为纤维低弹性布套, 既耐磨又避免了钢管和辊道的磕碰。

在线简易测量直线度对于精密矫直过程非常重要, 精密矫直对于辊缝、角度等工艺调整因素非常敏感, 根据矫直钢管的情况, 经常要对设备进行工艺调整, 通过简易的方法在线对钢管直线度进行测量, 迅速回馈给工艺调整者, 不仅提高了生产效率, 而且降低了操作工人的劳动强度。测量基本原理为: 在后台和料架之间有一个过渡工位, 钢管落入过渡工位并静止之后, 在过渡工位上有两个升降支架将钢管轻轻托起, 随后在两支架之间有一滚轮滚过, 通过测定滚轮的弹跳, 简易测量钢管的直线度。

4 使用情况及存在问题

(1) 矫直辊传动系统。从理论和实际使用情况表明, 单独传动存在优势, 但设备造价偏高, 需要进一步从使用经验上判断性价比的问题。

(2) 前台 C 形套内衬材料问题。目前该设备的内衬材料仍采用精密矫直机前台内衬的普遍材料—尼龙。使用时发现随着钢管直径增大, 钢管在前台的甩动冲击力增大, 尼龙的消耗量明显增大。通过在尼龙和 C 形钢结构之间增加吸收震动冲击性能好的橡胶, 尼龙衬的消耗明显下降。

(3) 换辊机构存在问题。辊系布置的特殊性, 导致立柱布置不对称, 采用传统的扁担梁式的换辊机构使得换辊过程困难, 改为 C 形换辊机构, C 形钩勾住矫直传动端的法兰将矫直辊从主机中吊出。新设计时, 必须考虑传动端法兰与 C 形钩结合面的强度, 以免发生事故。

(4) 矫直辊喷淋系统存在问题。原设计为一套喷淋润滑油箱, 即喷淋在矫直辊上的煤油落在下横梁面上经过过滤回到油箱, 在使用过程中发

(下转第 45 页)

4 结 论

(1) 采用埋弧自动焊焊接 9%Ni 钢, 可获得性能良好的焊接接头。

(2) 埋弧自动焊焊接效率高, 焊缝成形美观, 可用于 LNG 低温储罐的焊接。

(3) 由于大型 LNG 低温储罐焊接工作量大, 因此尽可能选用埋弧自动焊焊接, 可很大程度上缩短焊接施工周期。

参考文献:

- [1] 郑立娟, 刘增峰, 王振, 等. 9%Ni 钢焊接接头低温韧性研究[J]. 金属加工, 2009(08):33-35.
- [2] 王智慧, 王月琴. 用奥氏体焊条焊接 9%Ni 钢马氏体层组织及接头的断裂韧性[J]. 北京工业大学学报, 1992(03):49-54.
- [3] 严春妍, 李午申, 刘欢, 等. 9%Ni 钢焊接粗晶区的初化

因素[J]. 机械工程学报, 2010(18):97-100.

- [4] 宋立群. 9%Ni 钢乙烯低温贮罐的焊接[J]. 江苏机械制造与自动化, 1997(03):19-23.
- [5] 邱正华, 张桂红, 吴忠宪. 低温钢及其应用[J]. 石油化工设备技术, 2004, 25(02):50-53.
- [6] 吴立斌, 周勇. 9Ni 钢的手工焊焊接技术[J]. 现代焊接, 2006(10):45-46.
- [7] 中国机械工程师学会焊接学会. 焊选手册 2—材料的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [8] 李亚江, 工娟, 刘鹏. 低合金钢焊接及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [9] 宋立群. 9Ni 钢 1 万 m³ 乙烯低温储罐的焊接[J]. 石油工程建设, 1996(05):29-36.
- [10] 郭怀东. TZCF-100 m³ 型储罐的研制[J]. 广东燃气, 2000, 8(04):22-24.

作者简介: 吴建英(1985—), 女, 硕士研究生, 主要从事焊接工艺的研究工作。

收稿日期: 2013-04-15

编辑: 刘志军

(上接第 40 页)

现, 回收的油品杂质太多, 导致油品变坏, 因此增加一套回油箱, 待回油积满后, 在过滤机上过滤后再使用。由于煤油的挥发性较强, 在矫直非退火状态的钢管时, 采用低负荷齿轮润滑油, 该润滑油也具有清洁辊面的作用。

(5) 钢管简易测量装置两支架间的距离不能过长, 不能适应长尺钢管的测量。在后台设置 2.5 m 宽的简易平台目测钢管矫直情况, 较为方便。

5 结 论

近两年的生产实践表明, 通过合理的参数设计, 大直径高钢级精密钢管可以通过辊式多环节矫直的方法获得高精度矫直。对于 D/t 值较大的精密钢管, 通过矫直辊单独传动建立微张力的矫直, 获得了满意的钢管端面尺寸偏差。应特别注意的是, 在大直径精密管材矫直过程中, 前后台的设计要充分考虑到管径增大带来的甩动冲击的因素。该机组可以作为国内新上高钢级大直径钢管精密矫直机的参考。

参考文献:

- [1] 张培庆. 高精度管材矫直原理及应用[J]. 钢管, 2002, 31(02):28-30.
- [2] 曲洪德, 徐素文, 汪恩辉, 等. 多环节组合辊列不等辊距布置提高管材矫直精度[J]. 焊管, 2001, 24(04):35-37.
- [3] 陈峰. 国产 $\phi 220$ mm 精密管材矫直机[J]. 焊管, 2008, 31(01):50-52.
- [4] 陈峰, 张超, 汪恩辉, 等. 管材热处理生产线辊式矫直设备的选型[J]. 山西冶金, 2011, 34(01):19-21.
- [5] 崔甫. 矫直原理与矫直机械[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [6] 马基斯列逊 A M. 管材矫直机[M]. 西安重型机械研究所一室, 译. 北京: 机械工业出版社, 1979.
- [7] 郑小海, 王孟德. $\phi 920$ mm 十辊管材矫直机的研制[J]. 钢管, 2011, 40(01):29-31.

作者简介: 陈峰(1981—), 男, 工程师, 主要从事管材精密矫直设备的研究和设计工作。



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注