

螺旋埋弧焊管两步法生产工艺技术的应用探讨

程绍忠, 陈其卫, 陈英莲

(华北石油钢管厂, 河北 青县 062650)

摘要: 传统的螺旋埋弧焊管制造工艺采用成型、焊接一步完成, 既不经济且焊接质量也不太理想。在借鉴直缝埋弧焊管预精焊工艺技术的基础上, 国外早已开发并成功地应用了螺旋埋弧焊管两步法生产工艺技术。介绍了该生产工艺技术的发展历程及其特点、工艺流程、主要设备性能等。分析认为, 螺旋埋弧焊管两步法生产工艺技术是根除螺旋埋弧焊管传统工艺的固有缺陷、大幅度提高产品质量及生产效率的有效途径之一, 建议在国内相关机组上尽早推广应用。

关键词: 螺旋埋弧焊管; 生产工艺技术; 两步法; 预焊; 精焊; 工艺流程

中图分类号: TG333.75 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2007)05-0036-05

An Approach to Using Two-step Process to Produce SAW Spiral Weld Pipe

Cheng Shaozhong, Chen Qiwei, Chen Yinglian

(Huabei Petroleum Steel Pipe Plant, Qingxian 062650, China)

Abstract: With the conventional manufacturing process for SAW spiral weld pipes, both formation and welding are completed in one operational step, which is not so good in terms of cost-effectiveness and welding quality. Taking advantages of the pre-finish welding process for SAW straight weld pipe, the two-step process for SAW spiral weld pipe has been developed and successfully used for a long time abroad. Described in the article are the main aspects of this process, including the development history, the characteristics, the process flow and the main equipment characteristics. Based on the analysis by the co-authors, it is concluded that the said two-step process is an effective solution to eliminate the inherent defects of the foresaid conventional process, and thus get both the product quality and production efficiency increased significantly. It is recommended to spread out this advanced process and use it for relevant domestic mills as soon as possible.

Key words: SAW spiral weld pipe; Manufacturing technology; Two-step process; Pre-welding; Finish welding; Process flow

0 前言

虽然目前国内拥有 300 多套螺旋焊管机组^[1], 但只有 20 多套机组从工艺布置、设备配置、制造经验技术上讲能够真正达到生产油气输送管的要求, 且大部分机组集中在中石油、中石化系统所属的 6 家钢管厂。其中有多套机组主要是为满足西气东输工程项目需要而新建或经过技改的机组, 工艺

布置、设备配置很不均衡, 其先进性与国外螺旋焊管制造技术比较发达的国家相比还有很大的差距。

在国外, 螺旋埋弧焊管采用预精焊两步法生产工艺技术已有较长时间而且应用较普遍, 相比之下国内目前尚无一条真正意义上的两步法螺旋埋弧焊管机组。因此, 本文将重点探讨螺旋埋弧焊管采用预精焊两步法生产工艺技术的必要性。

1 两步法的发展及其特点

1968 年 MEG 公司创始人产生了用预焊+精焊

程绍忠(1971-), 男, 工程师, 主要从事焊管机组开发等工作。

制造螺旋埋弧焊管的想法。传统的螺旋埋弧焊管制造工艺采用的是成型、焊接一步完成，既不经济且焊接质量也不太理想。受到直缝埋弧焊管制造工艺的启发，认为用预焊的方法，把焊接和成型分开，即先成型，而后再下线精焊(内、外焊)，用这种方法制造的螺旋焊管既比较经济且焊接质量也比较稳定。由此开发出两步法螺旋埋弧焊管机组。该工艺技术经过近 40 年的发展创新，逐步得到完善，并随着科学技术的进步而不断发展。

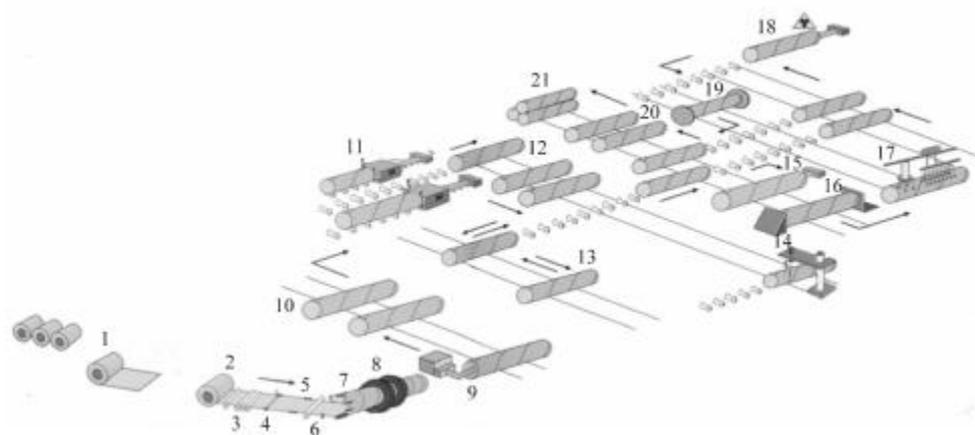
直缝埋弧焊管一般是先成型，打底焊(预焊)，然后再离线精焊，焊接比较稳定，故成型、焊接质量比较好；而螺旋焊管是边成型边焊接，为动态焊接，焊出的焊缝有很多地方会出现比头发丝还细的微裂纹，用 X 射线探伤不能探出，只能用超声波探伤才能发现。为解决传统螺旋焊管制造技术出现的这种缺陷，参照直缝埋弧焊管的制造工艺，采用预精焊形式，先用 CO₂ 气体保护焊预焊，离线后同时进行内、外精焊，这样螺旋埋弧焊管和直缝埋

弧焊管的区别只在于焊缝的长短，而焊接质量一致。由于离线后焊接不再受成型条件的限制，内焊更容易实现多丝焊接和自动跟踪，从而提高产品质量和生产效率。由于焊速恒定更容易实现热输入量参数化，使焊缝余高及焊缝外观得到有效控制。钢管成型不再受焊接的制约，可使成型速度大幅度提高，并容易实现成型质量控制的智能化。

2 两步法工艺流程

螺旋埋弧焊管两步法的工艺流程为：备料拆头→拆卷→矫平→剪切对焊→带钢铣边→递送预弯→成型→CO₂ 气体保护焊预焊→定尺切管→焊缝清理→焊引(息)弧板→精焊→清理内焊缝→去除引(息)弧板→预检→取样→自动补焊→清洗→扩径→清洗→水压试验→离线焊缝超声波检测→离线母材超声波检测→X 射线拍片检测→平头→成品检查→称重和测长→喷标→交库。

螺旋埋弧焊管两步法的工艺布置如图 1 所示。



1—备卷 2—拆卷 3—矫平 4—剪切对焊 5—铣边开坡口 6—递送 7—成型、预焊
8—定尺切管 9—焊缝清理 10—焊引(息)弧板 11—精焊 12—内焊缝清理、去除引(息)弧板
13—取样 14—自动补焊 15—扩径 16—水压试验 17—焊缝、母材超声波自动探伤
18—X 射线、荧光及拍片检测 19—管端倒棱 20—成品检查 21—成品交库

图 1 螺旋埋弧焊管两步法工艺流程布置示意

3 主要设备构成

3.1 成型预焊机组

成型预焊机组由备卷拆头装置、拆卷机、矫平机、移动式剪切对焊机、双铣边机、递送机、板边预弯机、成型器、CO₂ 气体保护焊焊机、扶正器、定尺切管小车构成，如图 2 所示。该机组以中心为轴线对中设计，严格按照重型机床设计制造标准加

工制造，刚性好精度高。钢卷由行车吊放到备卷拆头装置上后，从拆头、拆卷、矫平、剪切对焊、铣边、递送、板边预弯、成型、预焊到定尺切管全过程均实现计算机自动化控制。

拆卷机将拆头、拆卷功能分化，拆头由备卷装置完成，在拆卷机拉完上一个卷料后，备卷拆头装置将拆好头的钢卷送入拆卷机后可直接送料，工位



图2 成型预焊机组

衔接合理紧凑,明显减少停车对头时间。在拆卷机两侧的旋转锥头钢板挡盘上镶有耐磨钢板,用来将钢卷两边靠紧,以防止带钢在回转中左右摆动,甚至散卷,从而造成板边偏移。为防止钢卷在拆卷过程中出现松弛并造成带钢表面相互划伤,在拆卷机一侧的锥头轴上装有电液制动器,使钢卷在拆卷过程中承受反向张力,从而有效地防止了钢卷的松弛及带钢表面的划伤。

剪切对焊机由剪切、对焊、移动这三部分组成,实现自动剪切、自动定位、自动焊接。带钢对接以带尾中心为基准,采用螺旋丝杠分别将带头与带尾对正,其中带头对中具有平移功能。剪切对焊机通过床身导轨可横向移动,焊缝自动调整定位,即带头与带尾按照工艺要求留出焊缝,并使焊枪能够找准焊缝,自动焊接。焊机采用 CO_2 混合惰性气体保护焊,单面焊接,双面成型,带钢厚度 $>12\text{ mm}$ 时需打坡口,焊枪沿焊接方向布置,最高焊接速度为 3 m/min 。在生产过程中,当带尾进入剪切对焊机的剪切系统、递送机停车后,剪切对焊机的对中机构夹紧带钢定位,剪刀落下,完成带尾剪切。然后行车移动,调出焊缝。当另一卷的带头进入该设备的剪切系统时,对中机构夹紧带钢,将带头与前卷的带尾对齐,剪切带头。同时分别将切下的带尾和带头的废边自动移出设备。随后行车移动至焊枪对正焊缝处,左右压板压紧带尾和带头,调好焊枪的位置,开始焊接。自动焊接完毕,整个系统复位,等待下一个工作循环。递送机启动,投入后续生产。

螺旋埋弧焊管机组中使用2台铣边机:1台作为大铣削量的粗铣,因该台铣边机刀盘上安装的刀较少,又能承受较大的铣削量,简称粗铣边机;另一台以铣坡口为主,称为精铣边机。铣边机的入口和出口侧都安装有带钢对中导向立辊装置及夹送辊装置。在铣边机工作区,带钢两侧分别装有从上下

左右4个方向夹持带钢的导辊装置,下托辊的高度固定不变,上压辊的高度可调,左右导辊随刀盘座的移动而夹紧带钢,保证不同厚度的带钢的顺利进入以及带钢与铣削刀头之间的精确定位,同时减少带钢的上下窜动及左右摆动,延长刀具使用寿命。铣刀盘安装在刀盘座上,可上下浮动并可整体更换。铣刀盘上装有调角机构,可以变换铣削角;铣刀盘通过电机减速装置传动,并有不同方式的配置。刀具采用硬质合金材料,安装在刀盘上。铣边机入口侧装有带钢宽度检测装置,以控制带钢两侧的铣削量。铣边机铣削时板边控制采用CPC控制,即中心位置控制,通过检测元件检测带钢宽度,随时调整带钢中心线,使其与铣边机的中心线保持一致。带钢在进入成型、焊接工序之前,带钢的边缘形状、表面粗糙度对焊管的成型以及焊接质量有着重要的影响。当厚度 $>10\text{ mm}$ 时,带钢焊接较困难,且焊接质量不易保证,因此必须将带钢边缘加工出坡口^[2]。由于铣边机加工能力强,铣削速度快,生产效率高,可完成大铣削量,同时铣边机铣出的坡口角度准确,从始至终不变,可避免成型缝出现“内紧外松”或“外紧内松”等缺陷^[2];可消除带钢的部分月牙弯;铣出的带钢边缘及坡口的表面粗糙度好,减少了错边、烧穿等缺陷以及电流、电压的波动;通过不同形状的铣刀配置,可铣削出I形、V形、Y形和X形焊接坡口;铣刀盘上装有调角机构,可方便调整铣削角;铣边机采用了倾斜及顺铣的铣削方法,使刀具寿命长,更换次数少,有利于保持连续生产。

板边预弯机对板边进行预弯,能有效减小“撅嘴”程度^[3],一般为二辊式。其辊型设计对弯边质量有重要影响。同时预弯边辊与带钢边缘的相对位置应保持恒定,不受带钢位置变化的影响,否则预弯边量就会变化而产生新的翘曲。

成型器采用上卷全辊式成型,由成型辊、外控

辊和内定径盘构成。成型辊和外控辊全部由支撑座、辊座、轴承构成。整个成型过程实行计算机自动控制,在成型过程中自动测量管径偏差及自动检测焊缝间隙,并根据管子周长或管径的变化以及成型辊压力的变化情况随时自动进行调整,不仅确保了产品质量(焊管周长偏差可以控制在 ± 2 mm以内,焊缝间隙偏差可以控制在 ± 0.3 mm以内)^[4],而且大幅度提高了管体的几何尺寸精度和成型速度(可达12 m/min)。

3.2 精焊机组

精焊机组由引(息)弧板焊接装置、运管小车、输送辊道、精焊工作站、引(息)弧板去除装置、内焊缝清理装置构成。

精焊工作站由输送辊道、支撑辊道、传动机构、内焊系统、外焊系统、操作系统等构成,如图3所示。由于不同规格螺旋焊管的螺距不同,则其内外焊点的位置也就不同。若内焊位置固定,则安装有外焊机构的立柱应能沿钢管轴线移动。由于不同的螺距,存在着支撑辊易被灼热的焊缝灼伤的可能性,因此支撑辊也应可以沿钢管轴线移动。内焊装置由内焊臂、送丝系统、焊接电源等构成。内焊臂为一焊接钢结构,由悬臂、带平衡物的支撑块和带长度补偿系统的可倾斜的内焊臂固定块构成。埋弧内焊三丝焊机由焊丝进给机构(含焊丝矫直机)、焊丝导向机构、焊丝转盘、带旋转夹紧装置的导电嘴、紧定套装置构成。外焊装置由立柱支架、外焊头支架、送丝系统、焊接电源构成。埋弧外焊双丝焊机由焊丝进给机构(含焊丝矫直机)、焊丝导向机构、焊丝转盘、带旋转夹紧装置的导电嘴、紧定套装置构成。外焊头支架由带桥架的支撑和外焊头调节装置构成。

预焊后的钢管由运管小车送入精焊工作站,进行内外精焊焊接。内焊在时钟6点位置施焊,外焊在与内焊错开半个螺距的时钟12点位置施焊,并随着钢管从内焊臂的逐步退出的同时进行焊接。钢管由2个驱动装置驱动,依靠这2个驱动装置不同的旋转角度实现钢管的螺旋运动。整个焊接过程实行计算机自动控制,通过对接缝的激光跟踪和已焊焊缝的轮廓扫查,根据焊点位置和焊缝余高的变化情况随时调整焊点及热输入量等,以确保焊缝质量的美观可靠。焊接过程结束后由运管小车将钢管送入输出辊道。

精焊的管子从加载到完成焊接的自动生产程序



图3 精焊工作站

都是在稳定和恒定的生产条件下进行的,并最多可采用内焊3丝、外焊2丝埋弧自动焊接及焊缝自动跟踪系统、高性能焊接电源和高速焊剂,在焊接条件改善的情况下大幅度提高焊接速度和质量。

4 精整及检测设备

精整及检测设备主要有扩径机、水压机、母材及焊缝超声波自动检测设备、X射线检测设备、倒棱机等。

螺旋焊管扩径的目的是为了消除成型、焊接造成的残余应力,提高钢管尺寸精度,同时还可消除“包申格”效应。扩径量一般控制在1.0%~1.5%^[5]。可采用机械式扩径机,亦可采用液压式扩径机。为了减少扩径模具的费用,需要扩径的同一种直径的钢管应选用同一种合理的工作板宽。

由于生产速度大幅度提高,为满足生产节拍的需要应合理设置水压机工位,加快其充水、增压速度,大幅度减少辅助时间。同时改进冲液阀、单向阀的设计及制造质量,减少不必要的内卸压次数,以确保钢管质量,同时提高工作效率。

钢管水压试验后须对焊缝进行100%的超声波探伤;对于母材,要求对卷板的端部及边缘25 mm范围内的区域进行100%在线自动超声波检测,对卷板的中部或相当于管体面积不小于25%的区域进行在线自动超声波检测。焊缝探伤由6个探头完成,6个探头沿焊缝对称垂直布置并呈“K”形分布。其中,1对探头用于检测焊缝的纵向缺陷,根据钢管不同的壁厚/直径比,探头的入射角度可

以在 $40^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 范围内进行调整；1 对探头用于检测焊缝的横向缺陷，在平行于焊管的轴线方向上，2 个探头以 45° 入射角沿相反的方向入射到焊缝中；1 对直探头用于检测焊缝两侧 50 mm 内的分层缺陷。母材检测系统用于检测钢管全管体母材的分层情况，探头按“V”形两排骑跨在钢管上表面的 1 个螺距内，交错分布，探头间距满足扫查面积要求。为保证在检测过程中探头系统始终处于良好的检测状态，该设备配置了焊缝自动跟踪装置和耦合自动监测；发现缺陷会自动声光报警，自动喷标，同时每根钢管检测结果以数字扫描图形格式存储，便于回溯复核。

虽然 API Spec 5L (第 43 版)对焊管全焊缝 X 射线检查不作要求，但购方与制造厂家可协商采用 X 射线检查。对每根钢管管端至少 203.2 mm (8 in) 范围内的焊缝应进行 X 射线检测，而且检查结果可采用胶片或其他成像介质记录。采用 X 射线检测应达到标准要求的灵敏度和清晰度，同时满足管端检测的生产节奏需要。

倒棱机采用合理的工艺布置和合理的切削浮动方式，从入管、夹紧、进刀、切削、退刀、松开到出管实行全过程自动控制，满足生产节奏和产品质量的要求。

5 结 语

目前在国外大口径油气输送管制造上均采用了预精焊技术，这使得国外生产的焊管尤其是高强度

大壁厚焊管在技术、质量和生产效率等方面远远走在我国的前面。我国所生产的螺旋埋弧焊管还未能很好地消除成型及焊接所造成的残余应力以及动态焊接所带来的不利影响，这也恰恰是国产螺旋埋弧焊管在西气东输工程中只用在 I 类地区的直接原因。随着我国综合国力的增强，能源需求的急剧上升，油气输送用管也必然向着大口径厚壁高强度的方向发展，质量标准要求越来越高。采用预精焊两步法工艺和管体扩径是根除螺旋埋弧焊管传统工艺的固有缺陷、大幅度提高产品质量及生产效率的有效途径。因此，研制大口径高强度厚壁螺旋焊管预精焊机组将成为生产高质量油气输送用螺旋焊管的必然选择。

6 参考文献

- [1] 孙永喜. 我国油气输送用焊管工业发展的前沿问题[J]. 焊管, 2005, 28(5): 1-5.
- [2] 常铁锤, 陈文豪. 铣边机及不剪边工艺研究[J]. 焊管, 2004, 27(1): 31-33.
- [3] 江兴荣, 王晓香译. 螺旋缝和直焊缝钢管的性能和特性: 对比评价报告[J]. 焊管, 1996, 19(1): 52-60.
- [4] 陈宏弟译. 螺旋焊管成型技术及其控制[J]. 重型机械, 1983(5): 58-60.
- [5] 丁晓军. 螺旋埋弧焊管技术发展和技术改造设想[J]. 焊管, 2000, 23(3): 62-83.

(收稿日期: 2007-01-29)

●信 息

攀钢集团成都钢铁有限责任公司 $\Phi 159$ mm 连轧管机组成功轧制出第 1 根钢管

2007 年 9 月 26 日, 历经一年多建设的攀钢集团成都钢铁有限责任公司二期迁建工程重点项目、目前国内具有世界先进水平的第 2 条连轧管生产线—— $\Phi 159$ mm 连轧管机组工程主轧线全线热负荷联动试车成功, 顺利轧制出第 1 根高质量的无缝钢管。这标志着该公司朝着建设具有世界一流水平的无缝钢管精品基地的目标又迈出了重要一步, 并使该公司跻身国内钢管行业装备水平先进的现代化无缝钢管生产企业行列。

$\Phi 159$ mm 连轧管机组工程, 是攀钢集团成都钢铁有限责任公司继 $\Phi 340$ mm 连轧管机组项目建成投产后启动的又一个重要项目, 对公司做大做强钢管主业、实现可持续发展意义重大。该项目设计年产量为 35 万 t, 设计管径为 48.3~177.8 mm, 主体设备除穿孔机为利旧设备外, 其余均从国外引进(连轧管机从意大利进口, 张力减径机从德国进口)。

在 $\Phi 159$ mm 连轧管机组建成投产后, 将与先期建成的 $\Phi 340$ mm 连轧管机组、 $\Phi 508$ mm 周期轧管机组共同构成该公司生产无缝钢管的主力机组, 由此全面改善无缝钢管的产品结构, 显著提高品种配套能力, 为用户提供高质量、低成本的无缝钢管精品, 增强产品市场竞争能力。

(本 刊)