

# 钢管淬火机组改造及应用

马辉<sup>1</sup>, 袁建军<sup>2</sup>, 王华<sup>2</sup>, 高尚晖<sup>1</sup>, 高国杰<sup>1</sup>, 贾祥<sup>1</sup>, 秦伟超<sup>1</sup>

(1. 中国重型机械研究院股份公司, 陕西 西安 710018; 2. 靖江特殊钢有限公司, 江苏 靖江 214500)

**摘要:** 分析了“槽内淬火”和“外淋淬火”工艺设备的发展及其局限性, 介绍了“外淋+内喷+半浸+旋转”的创新工艺和多功能设备及其优点。针对“槽内淬火”和“外淋淬火”案例, 详细描述了改造的“外淋+内喷+半浸+旋转”方案及其应用效果。改造后的设备扩大了生产大纲范围, 提高了产品质量和生产效率, 节省了生产资源和人工成本。

**关键词:** 钢管; 淬火; 半浸; 工业应用

DOI:10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2022.1.51.55

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Modification and Application of Steel Tube Quenching Line

MA Hui<sup>1</sup>, YUAN Jianjun<sup>2</sup>, WANG Hua<sup>2</sup>, GAO Shanghui<sup>1</sup>, GAO Guojie<sup>1</sup>, JIA Xiang<sup>1</sup>, QIN Weichao<sup>1</sup>

(1. China National Heavy Machinery Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710018, China;

2. Jingjiang Special Steel Co., Ltd., Jingjiang 214500, China)

**Abstract:** Analyzed in the paper are the development and limitation of the process and the equipment of “bath quenching” and “external spraying quenching”. Also elaborated are the innovative process of “external spraying + internal spraying + semi-immersion + rotation”, as well as the multi-functional equipment and the advantages. Compared with the operation cases of the “bath quenching” process and “external spraying quenching” process, the modification scheme of the “external spraying + internal spraying + semi-immersion + rotation” process and the actual application result are described in details. Thanks to the modified quenching line, the product mix is expanded, the product quality and the production efficiency are enhanced, and both the production resource consumption and manpower cost are reduced.

**Key words:** steel tube; quenching; semi-immersion; industrial application

目前我国钢管热处理以“槽内淬火”和“外淋淬火”为主。钢管淬火后, 要求其马氏体组织转化量最大化, 钢管周向和轴向硬度差最小化, 同时椭圆度和弯曲度最小<sup>[1-5]</sup>。“槽内淬火”设备结构复杂、生产节拍慢, 易造成钢管弯曲度和椭圆度增大; “外淋淬火”工艺方式广泛应用于壁厚 $< 35$  mm的钢管, 很难淬透壁厚更大的钢管, 且容易因压紧轮遮挡而造成局部马氏体转化量偏低。

中国重型机械研究院股份公司创新研发的多功能淬火工艺和设备, 除了能进行“外淋淬火”外, 也能实现“外淋+内喷+半浸+旋转”淬火。“外淋+内喷+

半浸+旋转”的核心工艺是: 压紧轮夹持钢管, 旋转支撑轮带动钢管高速旋转, 外淋水挡水板打开层流喷淋, 内喷水三通阀打开轴流喷淋, 外淋内喷水冲入浴槽, 浴槽水位上升漫溢自动调节使钢管下部或全部浸入水槽中, 从而完成“外淋+内喷+槽浴+旋转”淬火工艺。现重点介绍改造的“外淋+内喷+半浸+旋转”方案及其应用效果<sup>[6-8]</sup>。

### 1 槽内淬火机组改造

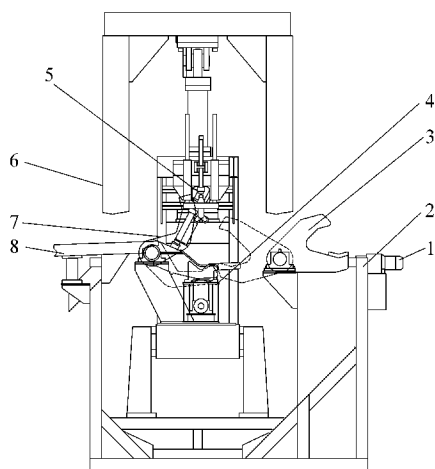
#### 1.1 “槽内淬火”设备和工艺流程

2006年, 某钢管公司建成投产的钢管热处理生产线以“槽内淬火+回火”的方式进行调质。“槽内淬火”设备的主要参数如下: 钢管规格 $\Phi 133 \sim 370$  mm $\times 7 \sim 40$  mm $\times 6.0 \sim 13.5$  m, 搅拌水流量 $1\ 500$  m<sup>3</sup>/h,

马辉(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事钢管热处理装备和冶金重型设备的设计和研发。

搅拌水压力 $\geq 0.6$  MPa, 内喷水流量 3 000 m<sup>3</sup>/h, 内喷水压力 $\geq 0.6$  MPa, 生产节拍内机械动作最大合计时间 22 s, 淬后管端直度 $\leq 3$  mm/m, 淬后管体直度 $\leq 2$  mm/m, 沿钢管全长、内外、圆周等任意部位硬度差 $< 3$  HRC。

“槽内淬火”的机械设备主要由进出料辊道、上料钩和出料装置、淬火槽、旋转升降装置(含压紧装置和旋转装置等)、下料台架及空水等组成。水系统由供水系统、搅拌水系统和内喷水系统组成, 设备配备润滑系统、液压系统和电气控制系统等<sup>[9-13]</sup>。原“槽内淬火”设备断面如图 1 所示。



1— 辊道 2— 淬火槽 3— 上料钩 4— 旋转装置支撑轮  
5— 压紧装置压紧轮 6— 支撑架 7— 出料装置 8— 下料装置

图 1 原“槽内淬火”设备断面示意

“槽内淬火”的核心工艺流程为: 淬火炉出料辊道上的加热钢管在上料钩的驱动下转动, 然后将其放置于旋转升降装置的支撑轮上, 钢管慢速旋转并压紧, 支撑轮快速带动钢管快速旋转。旋转升降装置带动钢管并将其浸入水槽, 此时靠近钢管端部的内喷嘴向钢管内部进行喷射, 槽内水在搅拌系统的作用下循环进行淬火。钢管完成淬火后, 压紧装置松开钢管, 旋转升降装置升起, 出料翻板将钢管输送到斜台架上进行空水运输, 最终将钢管逐根输送到回火炉入炉辊道上, 完成全部的淬火工艺。

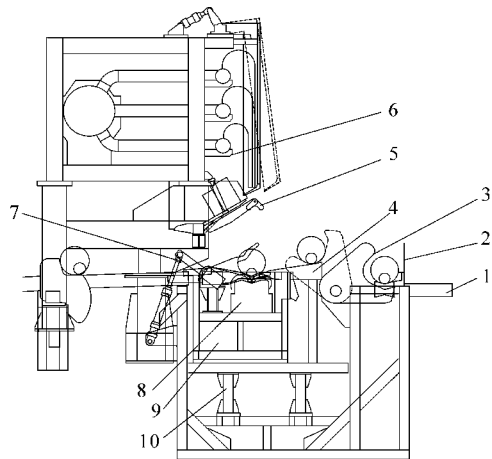
### 1.2 改造方案

原“槽内淬火”设备结构复杂, 维护成本高; 非淬火时间动作长, 生产效率低; 淬后性能尤其是直线度差, 影响后续车丝成材率。因此, 在“槽内淬火”设备的基础上, 将“槽内淬火”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”淬火方式时, 尽量利用原有设计,

减小停工时间, 改善设备的生产缺陷。

“外淋+内喷+半浸+旋转”工艺设备的主要参数如下: 钢管规格  $\Phi 200 \sim 368$  mm $\times 7 \sim 40$  mm $\times 6.0 \sim 13.5$  m, 外淋水流量 3 000 m<sup>3</sup>/h, 外淋水压力 $\geq 0.3$  MPa, 内喷水流量 3 000 m<sup>3</sup>/h, 内喷水压力 $\geq 0.6$  MPa, 生产节拍内机械动作最大合计时间 16 s, 淬后全长直度 $\leq 2$  mm/m, 淬后椭圆度 $\leq 2$  mm, 沿钢管全长、内外、圆周等任意部位硬度差 $< 2$  HRC。

原“槽内淬火”设备进出料辊道中心距和标高不变, 设备改造工作主要有两点, 即新增外淋和半浸工艺设备, 改造原有旋转和内喷机构。将“槽内淬火”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”, 改造后的设备断面如图 2 所示。



1— 辊道 2— 挡水板 3— 上料钩 4— 接料台架  
5— 压紧轮 6— 外淋装置 7— 接出料钩  
8— 旋转装置支撑轮 9— 浴槽 10— 浴槽支撑架

图 2 “槽内淬火”设备改造后的断面示意

(1) 利旧设备。从淬火炉出炉辊道到回火炉入炉辊道之间的钢管淬火设备, 根据工艺要求进行改造。外淋内喷淬火中心工位偏移, 主要利旧设备: 进出料辊道、淬火槽和下料台架等出料空水设备。

(2) 改造上料钩。上料钩的驱动机构利旧, 根据外淋内喷淬火中心工位重新设计上料钩形状, 保证顺利地将淬火炉辊道上的钢管翻滚入接料台架。

(3) 改造淬火槽。原淬火槽和设备基础焊接灌浆为一体, 拆除难度大, 为了节约时间和项目投资, 对淬火槽进行改造。拆除原淬火槽内的旋转升降装置(含支撑轮和压紧轮等)及导向支架, 切除原搅拌水管并封堵, 切除原随动内喷管并封堵。

(4) 改造支撑架。原支撑架用于提升旋转升降装置, 拆除油缸和支架, 保留支撑架立柱底部与基

础相连接灌浆部分。

(5) 新增浴槽支撑架。以改造后的淬火槽为基础,利用原淬火槽的骨架,焊接新增浴槽支撑架,用于安装新增浴槽、接料台架和内喷嘴支架等。

(6) 新增浴槽。浴槽作为改造工艺和设备的核心,以型钢和钢板焊接而成,焊接安装在淬火槽内的浴槽支撑架上,浴槽具有液位和液温自调整动态平衡功能。

(7) 新增接料台架。接料台架焊接安装在淬火槽内的浴槽支撑架上,用于连接上料钩和支撑轮,保证钢管顺利进入旋转淬火工位。

(8) 新增旋转装置。旋转装置安装在浴槽内,采用直连传动支撑轮的结构形式,电机和“一拖二”减速器安装在尾端的淬火槽外。接料台架焊接安装在浴槽支撑架上,用于连接上料钩和支撑轮,保证钢管顺利进入旋转淬火工位。

(9) 新增接出料钩。接出料钩由带位移传感器的油缸驱动,安装在浴槽内和淬火槽侧壁,用于接料、放料和出料。

(10) 新增外淋装置(含压紧轮)。外淋装置是“外淋淬火”和“外淋+内喷+半浸+旋转”淬火的关键设备,焊接安装在原支撑架的立柱上。外淋装置采用3排喷淋管交叉密布的方式进行喷淋,由不锈钢挡水板开启和关闭,布置在喷淋管下方的压紧轮用于夹持旋转钢管。

(11) 改造水系统。将“槽内淬火”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”设备后,内喷供水流量和压力不变,搅拌改为外淋,相应的流量和压力进行调整。内喷水泵参数不变,改为变频控制,新增浴槽冲渣控制管路。拆除搅拌水泵,新增外淋水泵“三用一备”,变频控制。外淋水泵(单台)流量为1 200 m<sup>3</sup>/h,压力为0.42 MPa。淬火总水量增大,重新核算原水处理系统,提升水处理量。

(12) 改造润滑、液压和电气控制系统。拆除原润滑系统,重新对支撑轮轴承进行润滑设计。液压系统泵站和部分阀台利旧,拆除原旋转升降装置提升缸的伺服控制阀台,新增压紧和接出料阀台。改造设计电气控制系统,增加水泵的变频控制。

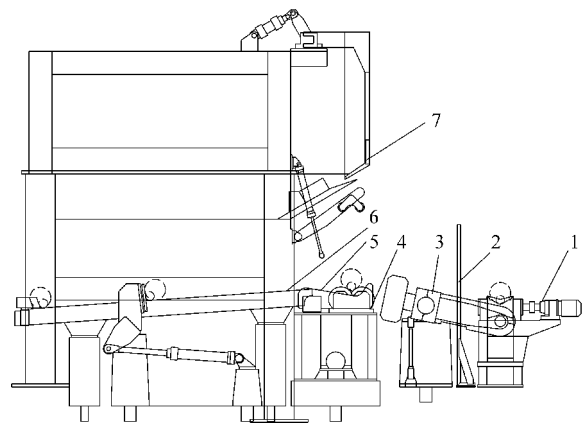
## 2 外淋淬火机组改造

### 2.1 外淋淬火设备和工艺流程

2010年,某钢管公司建成投产的钢管热处理生产线以“外淋淬火+回火”的方式进行调质。“外淋

淬火”设备的主要参数如下:钢管规格 $\Phi 114\sim 298.5$  mm $\times 4\sim 45$  mm $\times 6\sim 14.63$  m,外淋水流量3 200 m<sup>3</sup>/h,外淋水压力 $\geq 0.3$  MPa,内喷水流量2 800 m<sup>3</sup>/h,内喷水压力 $\geq 0.6$  MPa,生产节拍内机械动作最大合计时间16 s。

“外淋淬火”的机械设备主要由进出料辊道、上料装置、旋转装置、翻料钩、外淋装置(含压紧轮等)、内喷装置、下料台架及步进空水装置等组成。设备配备润滑系统、液压系统、电气控制系统和供水及水处理系统<sup>[14-15]</sup>。原“外淋淬火”设备断面如图3所示。



1—辊道 2—挡水板 3—上料装置 4—旋转装置  
5—翻料钩 6—下料装置 7—外淋装置

图3 原“外淋淬火”设备断面示意

“外淋淬火”的核心工艺流程为:上料装置将出料辊道上对齐的待淬火钢管翻转到旋转装置的支撑轮上,压紧轮夹紧待淬火钢管,支撑轮带动钢管快速旋转,挡水板打开进行外淋的同时钢管端头的喷嘴向钢管内部进行喷水,这样就使得钢管内外表面均得到了淬火处理。淬火后的钢管通过翻料钩翻出,再经过下料台架及步进运输并进行空水,最终将钢管运送到回火炉进料辊道上,完成全部的淬火工艺。

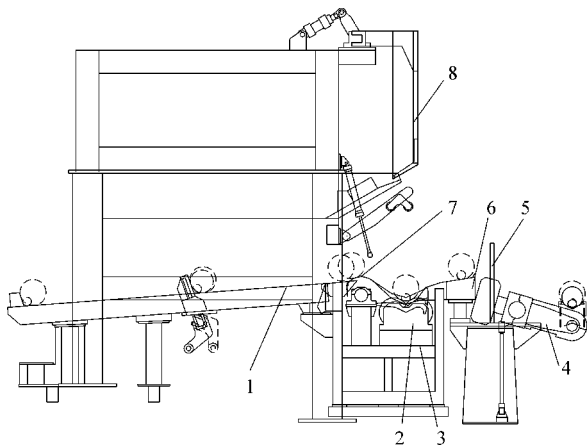
### 2.2 改造方案

原“外淋淬火”设备生产的钢管的直线度和椭圆度较差,合格率约87%;壁厚超过30 mm的钢管,其淬后壁厚方向硬度差大,这是由压紧轮处的侧喷冷却控制难度大造成的。外淋内喷供水主管路锈蚀漏水严重,内喷水系统震动大,内喷嘴喷淋效果差。旋转压紧设计不合理,甚至出现跳管现象。“外淋淬火”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”淬火,

并对原内喷外淋供水主管路进行更换,在“外淋淬火”设备的基础上,进行方案设计和施工,尽量利用旧设计,减小停工时间,改善设备的生产缺陷。

“外淋+内喷+半浸+旋转”工艺设备的主要参数如下:钢管规格  $\Phi 114 \sim 339.72 \text{ mm} \times 4 \sim 45 \text{ mm} \times 6 \sim 14.63 \text{ m}$ ,外淋水流量  $3\ 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ,外淋水压力  $\geq 0.3 \text{ MPa}$ ,内喷水流量  $3\ 600 \text{ m}^3/\text{h}$ ,内喷水压力  $\geq 0.6 \text{ MPa}$ ,机械动作最大合计时间  $16 \text{ s}$ ,淬后全长直度  $\leq 2 \text{ mm/m}$ ,淬后椭圆度  $\leq 2 \text{ mm}$ ,沿钢管全长、内外、圆周等任意部位的硬度差  $< 2 \text{ HRC}$ 。

原“外淋淬火”设备进出料辊道中心距和标高不变,由于改造设备的产品大纲里钢管外径扩大至  $339.72 \text{ mm}$ ,设备改造工作主要有 4 点,即新增半浸淬火核心设备(含旋转支撑轮),抬升原有外淋装置(含压紧轮),更换外淋内喷主管路,改造内喷控制系统。将“外淋”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”淬火,改造后的断面如图 4 所示。



1—下料装置 2—旋转装置支撑轮 3—浴槽 4—上料装置  
5—挡水板 6—接料台架 7—接出料钩 8—外淋装置

图 4 “外淋淬火”设备改造后的断面示意

(1) 利旧设备。从淬火炉出炉辊道到回火炉入炉辊道之间的钢管淬火设备,根据工艺要求进行改造。外淋内喷淬火中心工位不变,主要利旧设备:进出料辊道、步进机和空水等出料设备。

(2) 拆除设备。新增工艺设备以浴槽为主,需要拆除原斯惠顿上料支架轴及摆臂、旋转装置、翻料钩、压紧装置和挡水板等。

(3) 核心部件基础。拆除设备(上料支架、旋转装置和翻料钩)以地脚螺栓连接设备底板,设备底板、抗剪筋和基础灌浆为一体。开挖再浇筑土建将严重影响工期和原基础完整性,将新设备的安装

基础平台作为改造的关键点。拆除设备以不破坏基础为原则,保留地脚螺栓和设备底板,尽可能较低地切割设备支架。设计型钢制作设备大底座,用斜铁和平铁在原设备底板上找平焊接,定位焊接型钢大底座,再进行二次灌浆,用以安装新增设备。

(4) 新增浴槽、接料台架、旋转装置和接出料钩。根据改造后的产品大纲重新设计浴槽、接料台架、旋转装置及支撑轮和接出料钩,结构形式和“槽内淬火”改造一样。浴槽安装在制作的大底座上,节约了设计施工周期。浴槽收集的外淋内喷淬火水对钢管全长周向均匀冷却,改善了压紧轮处侧喷水的冷却效果。

(5) 改造外淋装置(含压紧轮)。因为产品大纲范围的扩大,原外淋装置淬火后不能正常出料。拆除压紧装置和挡水板,做好防护措施,割断液压和水管路,拆离电缆,将外淋装置的 4 个支腿割断并整体抬升  $200 \text{ mm}$ 。重新设计压紧轮装置和不锈钢挡水板,并将新装置安装在原位置。

(6) 改造斯惠顿上料机构。原斯惠顿电机减速机驱动利旧,拆除上料支架、转轴和摆臂,根据新布局轴中心向进料辊道方向偏移。新增支架整体偏移焊接底座平台上,转轴和电机减速机通过万向联轴器连接,重新设计减短摆臂长度。

(7) 改造斜台架及挡料装置。拆除原斜台架淬火端的翻料钩及支架,原台架倾角较小( $2.5^\circ$ ),不利于淬后钢管的自然滚动,在原斜台架支架上重新设计安装倾角为  $4^\circ$  的台架。改造挡料装置的挡料板,满足大规格钢管滚动时的挡料要求。

(8) 改造水系统。更换原外淋内喷主管路,外淋供水流量和压力不变,内喷新增 1 台水泵。新增内喷水泵流量为  $720 \text{ m}^3/\text{h}$ ,压力为  $0.98 \text{ MPa}$ 。内喷控制系统设计对中可调式的内喷嘴,优化原内喷效果,以扩大产品范围。三通阀前管路增加水锤吸纳器,三通阀后回水管路增加电动闸阀,减小三通阀切换造成的水锤和振动。内喷喷嘴管路上增加流量计,根据实测流量参数优化工艺。外淋内喷水泵改为变频电机,根据工艺变频控制。淬火总水量瞬时增大,重新核算原水处理系统。

(9) 改造润滑、液压和电气控制系统。拆除原润滑系统,重新对支撑轮轴承进行润滑设计。液压系统泵站和阀台利旧,新增接出料钩和浴槽水位调整机构的控制阀台。电气控制系统改造设计,增加水泵的变频控制,增加视频监控系統。

### 3 改造后设备的特点及其工业应用情况

将“槽内淬火”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”后,对 $\Phi 292.1\text{ mm}\times 28.19\text{ mm}$ 规格27CrMo7钢管半浸水淬后取样,分析其全截面金相组织和全壁厚淬火硬度。发现,该钢管内表面、中间位置、外表面的马氏体组织含量都大于95%,硬度差 $<2\text{ HRC}$ ,直线度 $\leq 1.2\text{ mm/m}$ ,椭圆度 $0.8\sim 2.0\text{ mm}$ ,为后续钢管车丝成材率达到95.8%奠定了基础。

将“外淋淬火”改造为“外淋+内喷+半浸+旋转”后,对 $\Phi 114.3\text{ mm}\times 6.5\text{ mm}$ 规格20Mn2钢管半浸水淬后取样,管端直线度和管体直线度 $\leq 1\text{ mm/m}$ ,椭圆度 $\leq 1.36\text{ mm}$ ;对 $\Phi 273\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 规格L415Q钢管水淬后取样并检测,发现其屈服强度达到535 MPa,抗拉强度达到720 MPa,硬度差最大为1.8 HRC。

以“外淋+内喷+半浸+旋转”工艺为核心的多功能淬火设备已经成功应用。升级改造“槽内淬火”和“外淋淬火”设备后,改造后的“外淋+内喷+半浸+旋转”工艺设备具有以下优点:

(1) 钢管淬火钢种和壁厚规格覆盖范围更广,淬火工艺灵活。通过浴槽的控制,可实现“外淋淬火”工艺,也可进行“外淋+内喷+半浸+旋转”工艺。在一条生产线实现多种规格和钢种的不同淬火工艺方式,节约了生产线的投资成本。

(2) 产品质量高且稳定。改造后,钢管与淬热水接触冷却更均匀,产品合格率和马氏体组织含量提高,全壁厚和头尾最大硬度差变小。直连式旋转支撑轮带动钢管各点高速同步转动,均匀快速冷却提高了钢管的直线度。钢管转动的同时,压紧轮高压快速压下接近钢管,慢速接触钢管并低压保持,减小了钢管的椭圆度。

(3) 钢管淬火热冷却水冲入浴槽,浴槽自动调整平衡水位,实现半浸淬火工艺。外淋内喷水浴槽收集的冷却水同时参与热交换,提高了淬热水的有效热交换。同时,在马氏体转变终了温度后,关闭外淋内喷水,利用浴槽收集的淬热水继续冷却至常温。精简了淬热水处理的配置,节约了淬火工艺用水量,减小了水处理量和电量能耗,实现节能和绿色生产。

### 4 结 语

半浸设备和工艺提高了淬火产品的马氏体含

量,减小了硬度差,同时提高了钢管直线度,减小了椭圆度。改造后的设备能进行“外淋淬火”和“外淋+内喷+半浸+旋转”等多种淬火工艺,将原本单一的设备 and 工艺有机结合,使得原本需要多台不同淬火设备才能完成的生产任务在一台设备上就可以完成,节省了生产资源和人工成本,降低了生产成本,提高了生产效率。

### 5 参考文献

- [1] 万荣春. 淬火温度对25Mn2V钢组织与性能的影响[J]. 钢管, 2015, 44(2): 18-21.
- [2] 高展, 郭金宝. 热轧无缝钢管淬火裂纹的识别与预防[J]. 钢管, 2015, 44(5): 49-52.
- [3] 田研, 彭先明, 左国锋, 等. 大直径P91钢管淬火裂纹分析[J]. 钢管, 2020, 49(3): 34-37.
- [4] 王锦永, 曹洪波, 齐希伦, 等. 淬火冷却速度对L80-13Cr厚壁钢管组织性能的影响[J]. 钢管, 2020, 49(1): 61-64.
- [5] 黄蓓蓓, 侯强, 扈立. 无缝钢管淬火裂纹产生原因及预防措施[J]. 钢管, 2020, 49(4): 56-59.
- [6] 任明杰, 徐能惠. 钢管喷淋淬火生产线的结构设计[J]. 中国重型装备, 2010(1): 3-5, 9.
- [7] 邵国栋, 杜学斌, 徐能惠, 等. 石油钢管水淬设备的现状及展望[J]. 热处理技术与装备, 2015, 36(1): 25-29.
- [8] 王建国, 杜学斌, 徐能惠, 等. 高强度油井管淬火装备的研发与应用[J]. 金属热处理, 2018, 43(4): 245-248.
- [9] 杜学斌, 徐能惠, 韩炳涛. 钢管整体淬火研究[J]. 热处理技术与装备, 2013, 34(6): 54-57.
- [10] 王建立. 无缝钢管淬火机组的合理选型[J]. 天津冶金, 2013(2): 42-45.
- [11] 王洪春, 穆东, 荆长安. 喷淋式钢管淬火装置水循环优化设计探讨[J]. 钢管, 2011, 40(增刊): 25-28.
- [12] 邵国栋, 王社丽, 杜学斌, 等. 大型石油钢管外淋内喷淬火装置的研制[J]. 中国重型装备, 2016(1): 20-21, 24.
- [13] 杜学斌, 徐能惠, 毛成斌, 等. 浸淬式钢管淬火装置的研制[J]. 热处理技术与装备, 2007(3): 39-42.
- [14] 郭宏伟, 徐能惠, 雷刚, 等. 油井管淬火处理设备及工艺[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(14): 152-153.
- [15] 徐向红, 杨立坤, 祖家乐. 无缝钢管水淬设备的设计及应用[J]. 冶金设备, 2010(2): 50-53, 68.

(收稿日期: 2021-07-14; 修定日期: 2021-08-30)