

文章编号: 1002-0446(1999)05-0352-05

油田抽油泵泵筒内表面激光改性机器人的研制

王 杨 邓宗全 宋月娥

(哈尔滨工业大学机械工程系 150001)

摘 要: 本文介绍了油田泵筒内表面激光改性机器人系统的结构及工作原理. 该技术将激光表面改性技术和管道机器人技术相结合, 具有功能完善、可靠性高、可控制性好、成本低等优点. 实验证明, 是进行管材内表面激光淬火的一种新的有效方法, 在工程应用中具有推广价值.

关键词: 管道机器人; 激光表面改性; 运动分析

中图分类号: TP24 文献标识码: B

1 引言

目前, 整体抽油泵在油田的使用越来越广泛, 大有取代组合泵的趋势. 但是整体抽油泵泵筒内表面的改性处理是比较困难的. 传统的处理方法是: 渗硼、离子氮化、碳氮共渗和镀铬等. 这些方法都需要在一定的温度下进行, 不仅会使整体抽油泵泵筒产生变形, 影响泵筒的质量, 而且处理的成本也较高. 近年来, 随着激光技术的不断发展, 激光对金属材料的表面改性技术也日趋成熟. 然而, 目前国内外对细长管材内表面激光改性处理均采用 CO₂ 激光器, 需制造一个很大的机床装夹细长管. 一般的机床长度为被处理管件长度的 2 倍多. 如果抽油泵泵筒长 12 米, 则处理泵筒的机床的长度要在 25 米以上. 这种处理设备整套系统造价要在几百万元, 而且设备的使用、调试和维护均很困难, 对管材的长度还有一定的限制.

本文作者在管道机器人领域多年研究工作的基础上, 提出取代制造庞大的机床设备, 而采用管道机器人技术, 进行抽油泵泵筒内表面激光改性处理的新方法, 并用所研制的系统对抽油泵泵筒进行了激光淬火实验, 取得了良好的效果.

2 系统组成

管道内表面激光淬火装置要求解决的问题是激光导入和光束控制. 激光淬火系统如图 1 所示, 该系统由四部分组成: 激光发生器、导光系统、管内机器人和控制系统. 工作时, 激光器 1 产生激光, 通过光纤 2 将激光导入管内, 整体泵筒水平放置不动, 机器人 3 在管内直行走, 同时激光反射镜转动, 完成整个管道内壁的淬火. 机器人

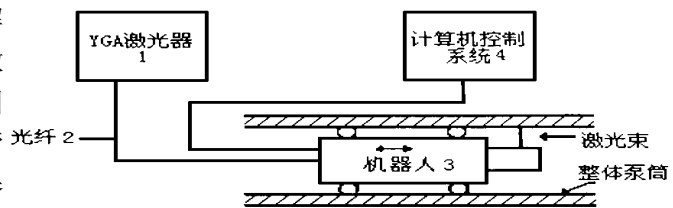


图 1 激光淬火系统原理图

基金项目: 国家“863”计划资助项目 863-512-9803-03

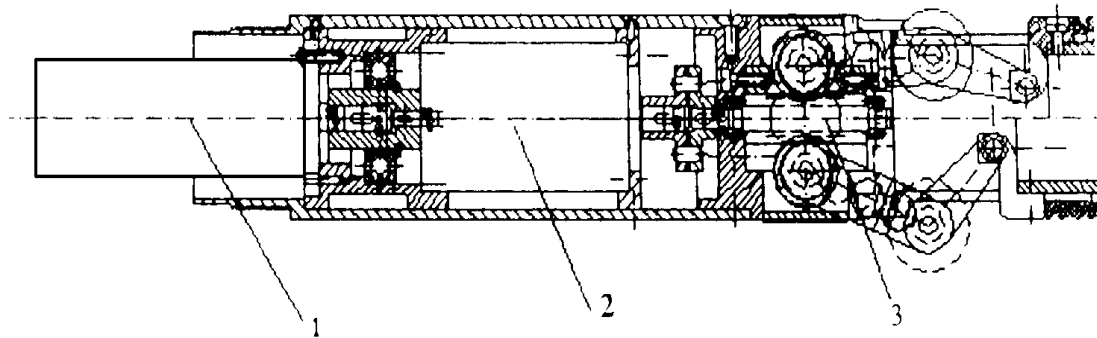
收稿日期: 1999-01-05

的运动和激光反射镜的转动两方面的协调控制由计算机控制系统 4 完成。

3 机器人机构设计

3.1 移动载体

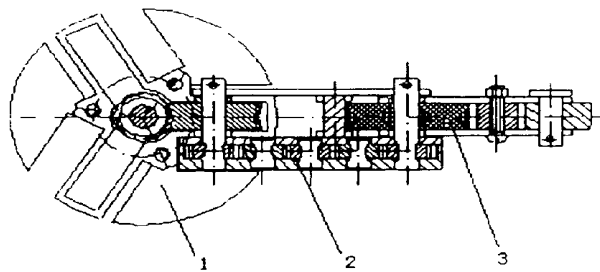
作为移动载体系统组成如图 2 所示. 该系统选用直流伺服电机加谐波减速器动力源, 蜗轮-蜗杆加平行轮系传动机构. 为了使结构紧凑, 采用电机-减速器一体化结构. 这样解决了细轴的微联接问题, 同时保证了电机与减速器的同心性。



1. 交流伺服电机 2. 谐波减速器 3. 蜗轮-蜗杆机构

图 2 移动载体系统组成

蜗轮-蜗杆减速机构的外壳设计有十分突出的优点. 如图 3 所示, 巧妙地根据空间分布特征, 将减速器外壳设计成瓣形. 该结构可保证蜗轮蜗杆的中心距准确、定位可靠, 并解决了以往多次试装的装配困难问题和减速箱的密封问题. 同时, 均布的齿轮传动系统设计成镶嵌式密封齿轮箱, 从技术上解决了传动机构的密封性和润滑性的要求。



1. 减速器外壳 2. 密封式齿轮箱 3. 行走轮

图 3 整体式蜗轮-蜗杆减速机构

3.2 作业装置

作业装置系统组成如图 4 所示. 该系统由步进电机带动齿轮系传动, 采用中间层转动、内外层固定的机构, 将转动传到反射镜座上. 从而完成随机器人载体直进的同时, 激光反射镜回转的工艺要求, 从技术上解决了机器人运行系统与激光导光系统的协调运动问题。

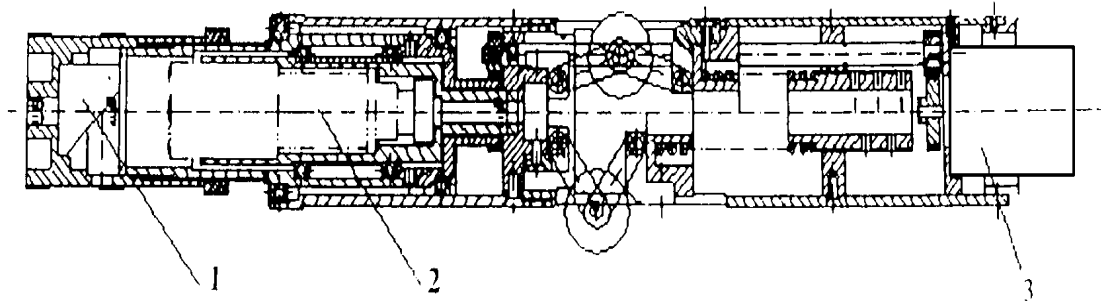
作业装置设计结构上有如下特点:

(1) 激光反射镜与激光聚焦器距离可调, 通过锁紧螺母锁定位置。

(2) 巧妙地采用轴承组合, 实现灵活、可靠的夹层转动、内外层固定的功能, 将转动传给激光反射镜。

4 运动控制分析

激光扫描速度是对表面改性质量影响的主要因素之一. 扫描速度过高或过低都将影响表面改性质量. 根据工艺要求, 设 v_{min} 为扫描速度允许的最小值, v_{max} 为扫描速度允许的最大值,



1. 激光反射镜 2. 激光聚焦器 3. 步进电机

图4 作业装置系统组成

则激光扫描速度 v_l 应满足范围:

$$v_{min} \leq v_l \leq v_{max} \tag{1}$$

由图5可知, 机器人载体的直进速度 v_x 与激光束在管道内壁上的回转速度 v_y 确定激光扫描速度 v_l .

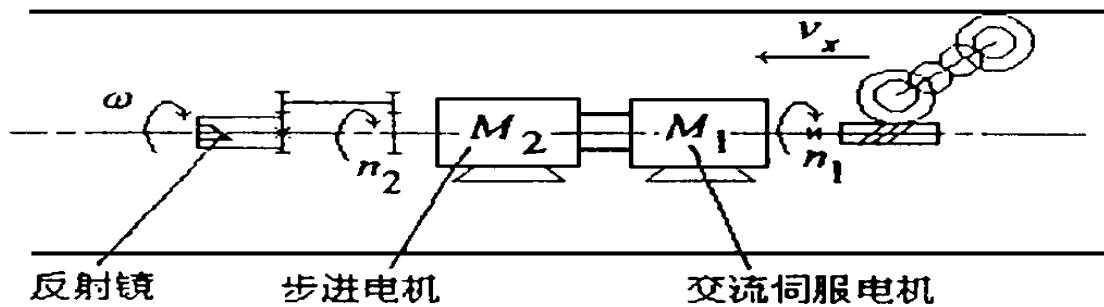


图5 机器人载体运动原理图

若交流伺服电机转速记为 n_1 , 步进电机转速记为 n_2 , r_0 为行走轮半径, r 为处理管材的内半径, i_1 、 i_2 分别为行走载体处和作业装置处总传动比. 则有:

$$v_x = \frac{2\pi r_0 i_1 n_1}{60} \quad v_y = \frac{2\pi r i_2 n_2}{60}$$

根据速度合成法则, 如图6所示, 显然有

$$v_l = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \frac{2\pi}{60} \times \sqrt{(r_0 i_1 n_1)^2 + (r i_2 n_2)^2} \tag{2}$$

另外, 由激光扫描轨迹为螺旋线, 决定了表面改性硬化带也为螺旋线. 因此, 扫描螺距将决定硬化带的覆盖率. 从提高管材内表面耐磨性角度来看, 有一定的扫描螺距对耐磨性没有影响. 因此, 为了提高效率, 一般扫描螺距 S 由试验或经验给定, 则有

$$S = 2\pi r \frac{v_x}{v_y} = 2\pi r_0 \frac{i_1 n_1}{i_2 n_2} \tag{3}$$

显然, 在机械设计参数 i_1 、 i_2 及 r_0 确定的情况

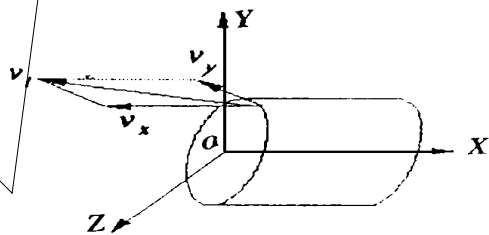


图6 速度合成示意图

下, 控制两部电机的转速可以调节激光扫描螺距.

综合式(1)、(2)、(3)可以得到:

$$v_{\min} \leq \frac{2\pi r_0 i_1 n_1}{60S} \times \sqrt{S^2 + (2\pi r)^2} \leq v_{\max}$$

令 k 为与系统有关的常数, 即:

$$k = \frac{2\pi r_0 i_1}{60S} \times \sqrt{S^2 + (2\pi r)^2}$$

则

$$\frac{v_{\min}}{k} \leq n_1 \leq \frac{v_{\max}}{k} \tag{4}$$

因此, 通过式(4)得到交流伺服电机转速 n_1 控制范围, 并根据式(3)得到相应的步进电机转速 n_2 .

5 实验及结论

制造样机后, 对规格为 $\Phi 83\text{mm}$ 的整体泵筒进行激光淬火试验. 从试验的结果看, 采用该激光淬火系统, 有效地提高了泵筒内表面的硬度(见图 7 所示), 可满足其耐磨性的要求. 试验证明, 该系统和方法具有良好的工艺性和可靠性.

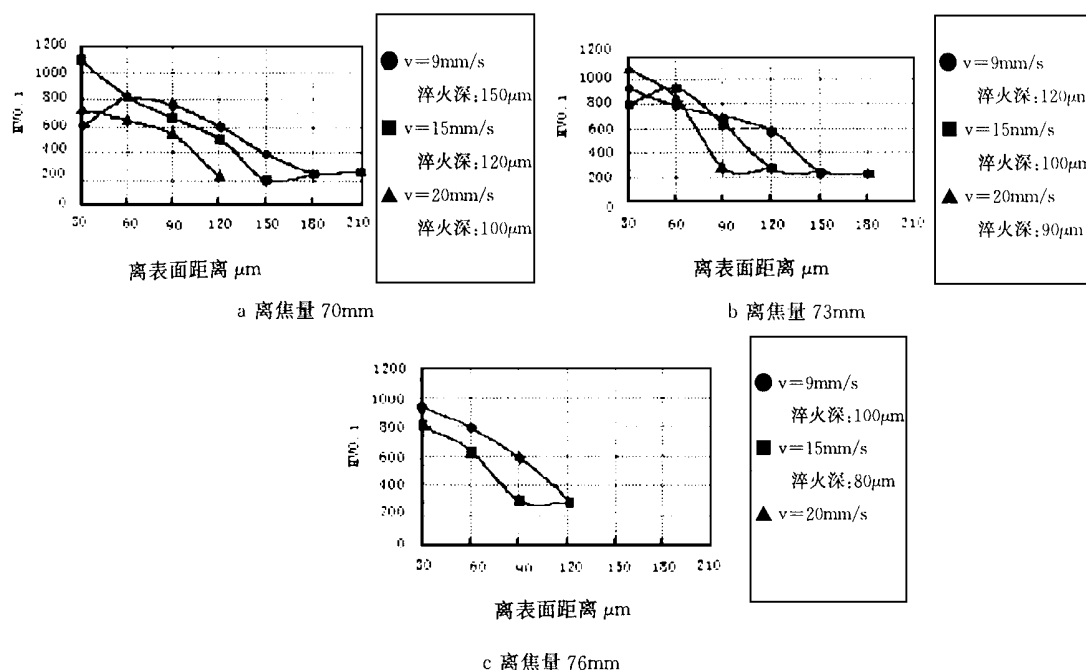


图 7 距表面层硬度曲线

参 考 文 献

- 1 邓宗全, 陈明. 直进轮式全驱动管内行走机构的研究, 1995, 17(2): 121- 122
- 2 邓宗全等. 管内机器人研究中的几项新技术. 高技术通讯, 1994, (5): 12- 14
- 3 全伟东. 浅谈抽油泵的热处理及耐磨性. 石油机械, 1996, 24(11): 56- 59
- 4 姜骥凤, 王征祥. 抽油泵缸套的激光热处理. 金属热处理, 1989, (6): 43- 44

DEVELOPMENT OF AN IN-PIPE ROBOT USED FOR CYLINDER OF SUCKER PUMP LASER INNER SURFACE MODIFICATION

WANG yang DENG Zong-quan SONG Yuee

(Dept. Mechanical Engineering, Harbin Institute of Technology 150001)

Abstract: The systematic structure and operation principle of an in-pipe robot used for cylinder of sucker pump laser inner surface modification are developed. The system combines laser surface modification with in-pipe robot technologies, and it performs with good function, high reliability, good controllability and low cost. The experimental results shows that it is a new and effective method.

Key words: In-pipe robot; laser surface modification; kinematics analysis

作者简介:

王 杨 研究领域: 管道机器人、运动分析等.

(上接第 339 页)

and transitions between them. The possible erroneous configurations of the robot are simulated and the corresponded force/torque characteristic can be obtained. The motion direction that can guide contacting part from the erroneous contact state to the desired or correct one is solved through analyzing primitive contact states' maintaining, gaining or losing, and is mapped to the corresponded force information. This association of force information with corrective motion information provides the compliance needed in robotic assembly. An experimental setup is established and experimental results of a simple assembly task are presented to testify the validity of the proposed methods.

Key words: Robotic assembly; compliance synthesis; force control; contact state transition

作者简介

张卫平 (1970-), 男, 博士研究生. 研究领域: 机器人规划、装配规划、几何推理.