

Discussion on hardness testing technology of large diameter pipe

Yan Sheng Liu Chengxi* Deng Shixin

Yunnan Institute of Measuring and Testing Technology, Kunming

Abstract: Hardness test is one of the main methods of material performance test. With the development of industry, there are more and more demands for in-situ hardness measurement of many pipe products. Conventional hardness measuring instruments cannot meet the in-situ measurement needs of pipe products. Therefore, new measurement methods need to be researched to realize non-destructive measurement of pipe fittings. The method of measuring the hardness of chrome coating on gun barrel by resistance hardness sensor technology and the design of measuring device are discussed.

Key words: Large diameter pipe; Hardness. The sensor; Automatic measurement

Received: 2019-07-14; Accepted: 2019-08-05; Published: 2019-08-10

大口径管硬度测试技术探讨

颜 晟 刘成奚* 邓时新

云南省计量检测技术研究院，昆明

邮箱: cxliu.09@gmail.com

摘 要: 硬度试验是材料性能试验的主要方法之一。随着工业的发展,许多管类产品的硬度现场测量需求越来越多,常规的硬度测量仪器不能满足管类产品的现场测量需求,需要研究新的测量手段,实现对管件的无损测量。论述了采用电阻硬度传感器技术实现炮管镀铬层硬度的测量方法以及对测量装置的设计。

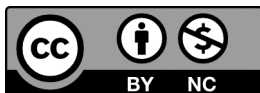
关键词: 大口径管; 硬度; 传感器; 自动测量

收稿日期: 2019-07-14; 录用日期: 2019-08-05; 发表日期: 2019-08-10

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

作为材料机械性能试验中最简单、最迅速的方法——硬度试验法，已经在机械制造业、精密仪表业和国防工业等各行各业得到了广泛应用。它不仅用于测定材料机械性能、检验产品质量，而且还是确定合理的热处理规范和机械加工工艺的主要方法之一。

硬度测试是保证产品质量不可缺少的重要手段。目前，广泛应用的硬度试验法主要有：布氏硬度、维氏硬度、洛氏硬度和表面洛氏硬度试验等。动态硬度试验法如里氏硬度、肖氏硬度和捶击布氏硬度试验法正在逐渐得到应用。

对应于不同的硬度试验法，各种不同原理的硬度计应运而生。兵器行业生产的许多管类产品，由于特殊用途，在管内壁电镀一层金属层，为确保产品质量，需要对内镀层材料硬度进行现场测量。应用传统的硬度计量测试仪器无法实现非破坏、现场测量。为满足这些产品的特殊需求，需要研制管类材料硬度的现场测量装置，实现炮管镀层硬度的无损、准确测量。本文研究利用电阻硬度传感器技术设计现场硬度自动测量装置。

2 硬度测量原理

2.1 硬度传感器的选型及其工作原理

本项目由于其测量对象的特殊性，测量空间非常狭小，故传统便携式硬度计不能满足测量需求，需选择尺寸小、非光学原理的传感器。本文选择瑞士生产的电阻硬度传感器，其测量原理是：利用导电膜技术，在维氏金刚石压头的表面生长上一层高电阻率的半导体导电膜，在压头刚接触到试样表面时，回路电阻导通，产生一个基准电阻值。

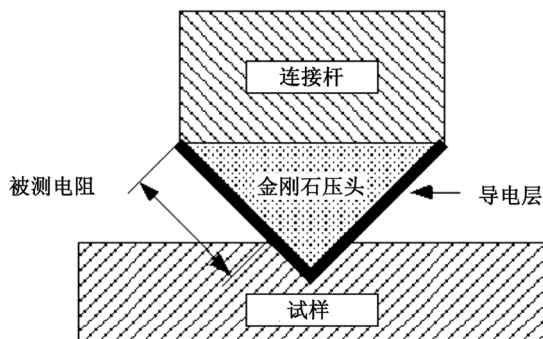


图1 测量原理图

将一定大小的试验力（本方案中选 9.8N）施加在维氏金刚石压头上，当维氏压头与被测试样接触并压入其中时，导电膜的一部分压入试样，导电膜的长度减小，回路电阻值相应地降低。通过电阻值的减小，就可以得到压痕深度值。而压痕深度与材料硬度之间又有对应关系。因此，测量材料硬度的问题就转化成测量电阻的变化问题。计算公式为

$$HV=f(d) \quad (1)$$

$$d=f(\Delta R) \quad (2)$$

式（1），（2）中：HV——维氏硬度；d——压痕深度， μm ； ΔR ——电阻的变化， Ψ 。

2.2 电阻硬度传感器的特点

与传统的硬度计相比，电阻硬度传感器具有其独特的优点。

2.2.1 测量过程快速，测量效率高

电阻硬度传感器是利用压头电阻的变化来测量压痕深度。由于压痕深度与压痕对角线之间具有一定的数学关系，因此可以得到维氏硬度值，而不需要借助光学显微镜直接完成硬度测量，测量准确度高，工作效率高。

2.2.2 对被测试样的要求低

光学法对于被测试样表面粗糙度指标要求非常苛刻，一般要求 $Ra \leq 0.05 \mu\text{m}$ ，几乎同镜面。而国防行业有些管类产品的表面粗糙度为 $Ra=1.6 \mu\text{m}$ ，远远不能满足传统维氏法测量的要求。而电阻硬度法所测量的参数是压头电阻的变

化, 被测试样的表面粗糙度对其没有影响。因此, 该方法对于试样的表面光洁度要求不高, 具有广泛的应用。

2.2.3 抗干扰能力强, 适于现场测量。

传统的维氏硬度计由于需要使用显微镜进行读数, 对工作环境要求非常严格, 需要在无任何冲击、震动的环境中进行工作。电阻硬度测量法抗干扰能力强, 受周围环境的影响小, 因而适合于现场测量。

3 硬度自动测量系统设计

3.1 管内镀层硬度自动测量仪的组成

装置由硬度传感器、自动爬行装置、传感器支承定位装置、计算机控制部分等组成。计算机控制系统由工控机、主控箱及计算机接口部分组成。系统的组成框图如图2所示。

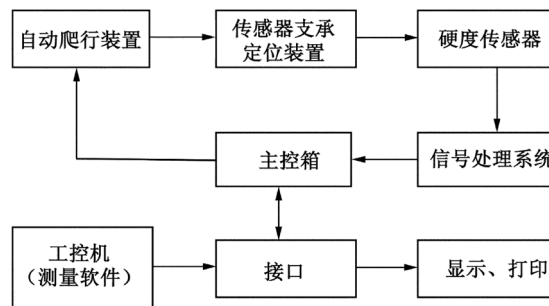


图2 管内镀层硬度自动测量仪的组成框图

工作过程是: 工控机通过计算机接口发出控制信号给主控箱中的信号调理系统, 调理系统将匹配好的信号传送给有关驱动器, 控制自动爬行机构和硬度传感器支承定位装置完成爬行、支撑、定位、施力和测量等动作; 硬度传感器的测量信号通过 RS232 接口传送到工控机; 测控软件综合设置参数、控制信息、测量信息进行综合处理, 以表格、曲线、报告的形式给以显示或打印。

3.2 系统设计

系统设计包括机械系统设计和测控计算机系统设计。

3.2.1 机械系统设计

主要进行自动爬行装置、传感器支承装置的设计。

3.2.1.1 自动爬行装置设计

自动爬行装置原理图如图3。

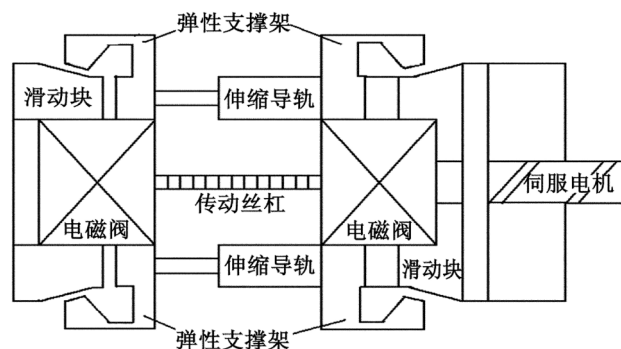


图3 自动爬行装置原理图

自动爬行装置采用伺服电机。初始时，自动行走装置处于收缩状态，放入管道后，后足电磁阀开，后足支撑管壁，前足收缩。此时，电机转动，驱动自动行走装置本体及前足伸展向前移动。然后，前足电磁阀开，使前足支撑管壁，后足收缩，自动行走装置本体伸展继续向前移动，依次类推。

自动行走装置前、后足之间制作3个导向轴套，轴套上分别设置有限位开关和机械限位，防止电机运行行程过大。爬行时，硬度传感器下有两个组合轴承支撑，组合轴承抬升离开管壁，电磁铁吸合后硬度传感器下降，压在管壁上，开始测量硬度值。

3.2.1.2 传感器支承定位装置设计

支承定位装置主要解决传感器测量系统在管内的支承定位问题。设计一个机械装置，其由支撑架、两个滚轮及一个电磁铁和弹簧装置组成。将传感器固定其上，支撑装置一端与自动行走装置牢固联接，两个滚轮支于管壁上。

测量时，电磁铁压紧弹簧，使传感器测头垂直于被测管壁。传感器装置通过自动行走装置拖动在管内行走，能够到达管内任意位置进行测量。

支承定位装置如图4所示。

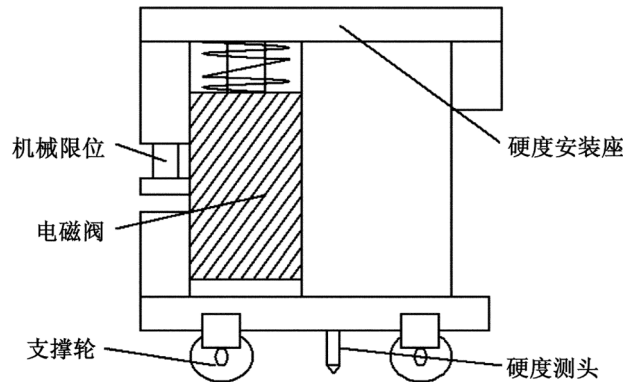


图4 传感器支撑定位装置原理图

3.2.2 测控计算机系统设计

测控计算机系统由工控机、主控箱及测控软件

等组成，工控机内插有电机控制卡、电磁铁控制卡等 DI/DO 机 RS232 等接口卡；主控箱内包含直流电源电路板、电机细分器、信号（模拟、数字及脉冲信号等）调理板卡等。传感器系统由传感器测量电路、维氏金刚石压头等组成。测量控制系统如图5所示。

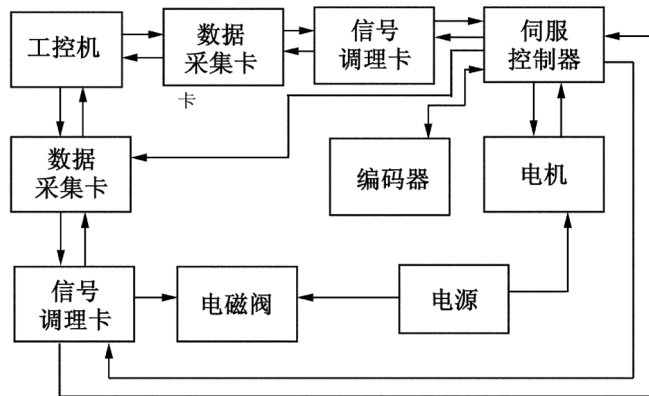


图5 测控计算机系统原理图

3.2.3 测量软件设计

测量软件主要实现对自动行走装置和硬度传感器支承定位装置的动作控制和测量数据的接受、处理、测量结果的显示等，由各种模块组成，见图6。

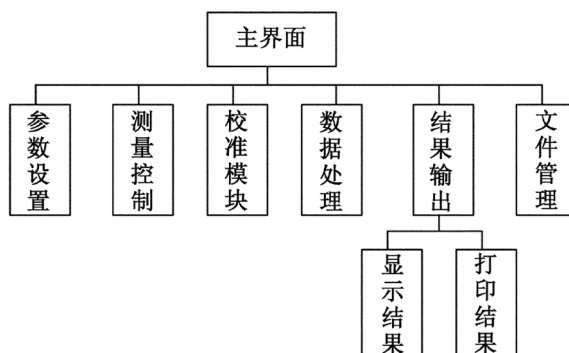


图6 软件组成图

测量软件流程图如图7所示。

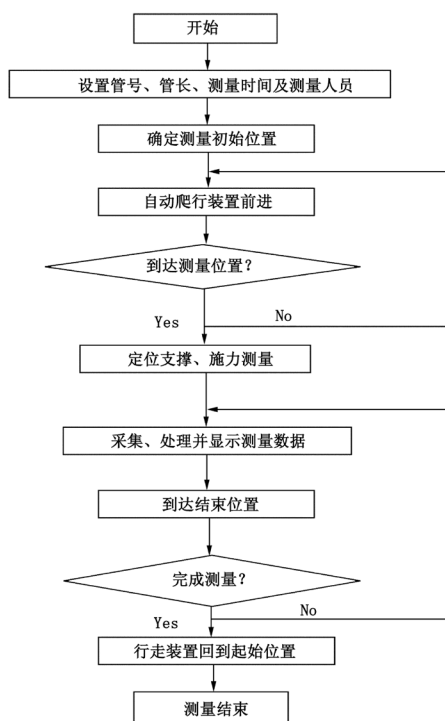


图7 测量软件流程图

4 试验结果

使用该套装置对一内径为 $\varnothing 125$ mm、长 8 m 的管子进行内镀铬层硬度测试，试验结果如下：

首先用一个 720 HV1 标准维氏硬度块对其标定。然后用该装置测试管子，测量 5 次，取平均值，测试结果如表 1 所示。

表 1 标定结果 HV1

次数	1	2	3	4	5
硬度值	750	749	753	765	762

平均值：756HV1

对管子进行截剖，取一片做成试样，用台式维氏硬度计进行测试，测试结果如表 2 所示。

表 2 测量结果 HV1

次数	1	2	3	4	5
硬度值	764	761	772	755	748

平均值：760 HV1

用该装置和台式显微硬度计的测试结果进行比对，两者间的差值为 4 HV1，在允许误差 $\pm 3\%$ 范围内。

5 结束语

大口径管内材料硬度现场自动测量仪应用于钢管内镀铬层硬度现场测量，装置性能稳定，测量结果准确。在应用过程中，该装置重量较重，如果机械部分选用高强铝合金制造，装置的重量能够减轻，将更适于现场使用。

参考文献

- [1] 国防科工委科技与质量司. 力学计量. 计量培训教材 [M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [2] 付际, 李法新. 基于定量机电阻抗法的无损检测和硬度测量 [C] //2015 中国力学大会. 2015.
- [2] 杨洁, 王波, 管跃峰, 等. 现代硬度测试设备的新功能拓展 [J]. 理化检验 - 物理分册, 2017 (6).