

用于防腐层下缺陷检测的电容成像装置

李振¹, 李晨¹, 毛冬麟¹, 韩建庆²

1. 中国石油大学(华东), 机电工程学院, 黄岛区长江西路66号, 青岛市, 山东省, 266580

2. 燕山大学, 机械工程学院, 河北大街西段438号, 秦皇岛市, 河北省, 066004

引言: 带有防腐层的金属管道被广泛应用到油气输送, 金属管道表面缺陷的存在会对管道运行产生安全隐患, 如何检测防腐层下金属表面缺陷一直是无损检测领域的难题; 本文设计了一种基于电容成像技术的新型电容成像探头(图1), 利用该探头对不同深度的表面缺陷进行线扫描研究, 并搭建电容成像实验装置(图2)进行实验研究, 最后对比分析仿真结果与实验结果。

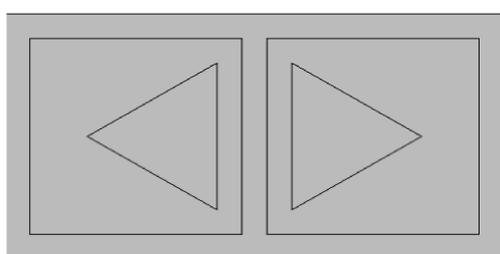


图 1. 背对背三角形电容成像探头结构示意图

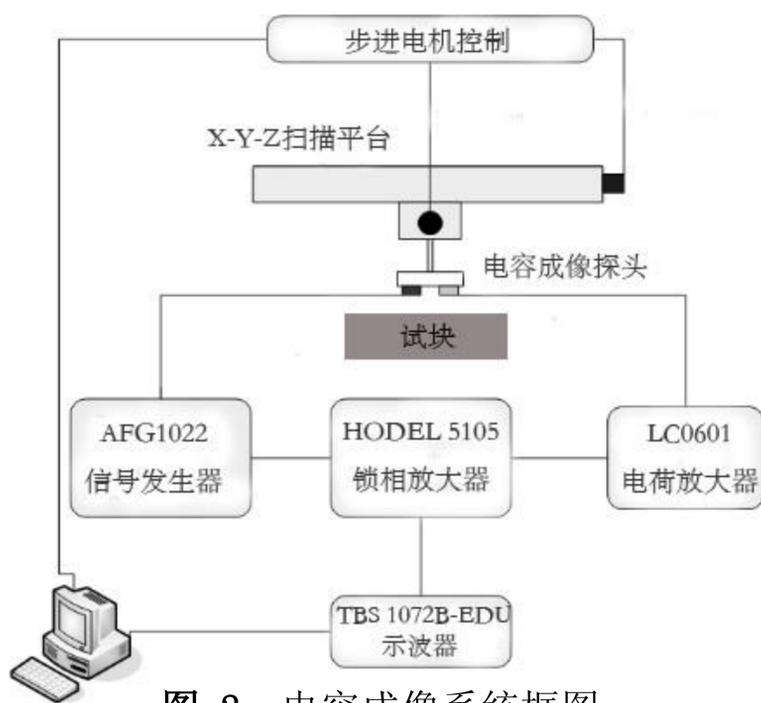


图 2. 电容成像系统框图

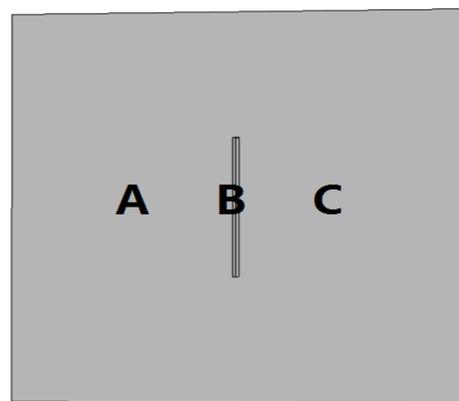
计算方法: 通过 COMSOL Multiphysics® 软件的 AC/DC 模块利用背对背三角形电容成像探头对不同深度的表面缺陷进行线扫描求电容值。仿真中用到了“静电(es)”接口, 涉及到的电磁学方程为:

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

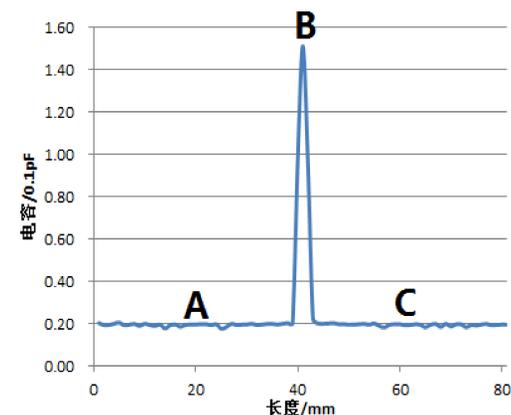
$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}) = \rho_v$$

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{D} = 0$$

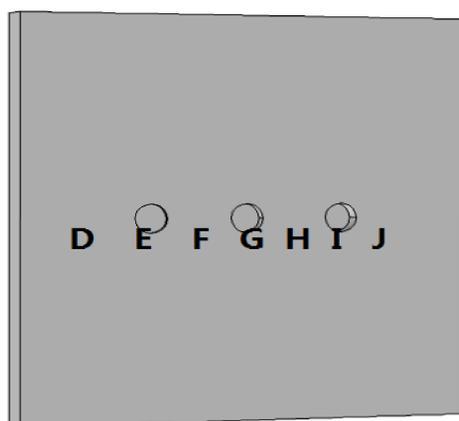
结果: 仿真得到了对不同深度表面缺陷线扫描的电容值图, 实验得到了对不同深度表面缺陷线扫描的电压值图。



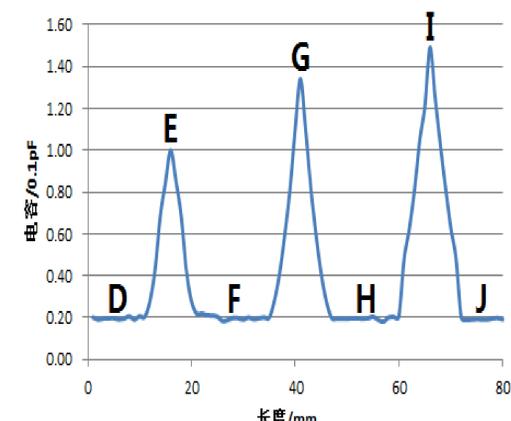
(a) 试块1结构图



(b) 对试块1线扫描电容图



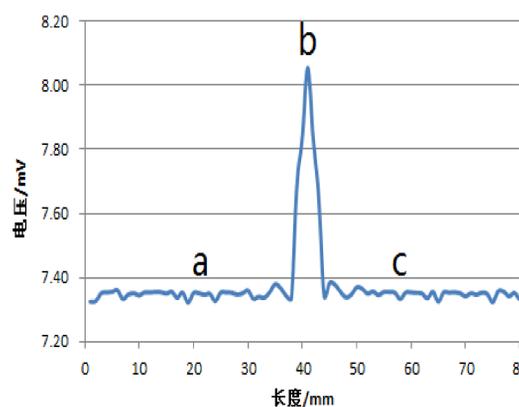
(c) 试块2结构图



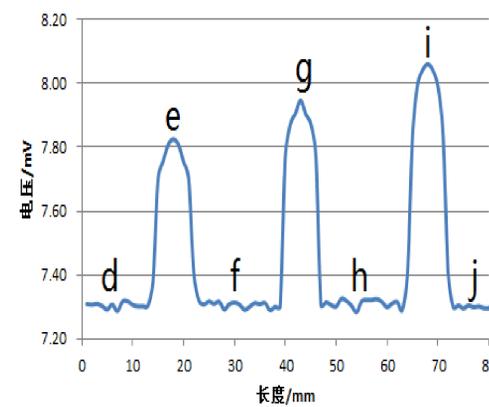
(d) 对试块2线扫描电容图

图 3. 仿真结果图

(2) 实验结果



(a) 对试块1线扫描电压图



(b) 对试块2线扫描电压图

图 4. 实验结果图

结论:

- (1) 电容成像技术能穿透绝缘防腐层对缺陷宽为 2mm 的金属表面进行成像检测。
- (2) 电容成像技术能对防腐层下金属表面不同缺陷深度进行定量分析, 当金属表面缺陷增加时, 测得的电容值也会增加, 而且随着深度的增加, 电容值的增加幅度会减小。

参考文献:

1. Yin X, Hutchins D A, Diamond G G, Further investigations into capacitive imaging for NDE[J]. Bindt Insight, 2009, 51: 484-490.