

钢管材质计算机在线分检系统及其核心算法

蒋式勤, 胡国四, 萧蕴诗, 吴启迪

(同济大学 信息与控制工程系, 上海 200092)

摘要: 介绍了钢管材质计算机在线分检系统的总体结构, 提出了一种基于经验值的统计递推分检算法. 当同规格不同批的钢管检测数据严重离散, 且在检测前不用样管先调试的情况下, 这种方法很好地解决了生产线上钢管材质的检测问题. 文中给出了现场测试的结果.

关键词: 钢管材质计算机分检; 统计递推算法; 模式识别

中图分类号: O235; TP139.4 **文献标识码:** A

On-line computer sorting system of steel tube material and its core algorithm

JIANG Shi-qin, HU Guo-si, XIAO Yun-shi, WU Qi-di

(Department of Information and Control Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The architecture of the on-line computer sorting system of steel tube material and a kind of statistical recursive algorithm based on experience data is proposed in this paper. Under the conditions that the testing data differ significantly from the same standard tubes not in the same batch, or that the sample tubes are not used to debug the system parameters before testing, the steel tube on-line sorting can be improved dramatically by employing this method. The testing results are discussed in detail.

Key words: computer sorting system of steel tube material; statistical recursive algorithm; pattern recognize

1 引言 (Introduction)

不同金属材料的电磁特性不同. 钢管材质计算机在线分检系统根据这个原理, 在钢管通过生产线上的电磁线圈时, 采集钢管的检测信号, 然后根据信号的幅值、相位(或实部, 虚部)或谐波成分之间的差异进行材质分检.

由于影响检测信号的因素很多, 例如, 钢管化学成分含量(含碳量、含合金元素量)不确定、热处理状态不同、加工产生的变形或几何尺寸发生变化, 以及振动引起钢管在检测线圈中位置的变化等, 都会使检测数据具有随机性和不同程度的离散性. 生产厂方要求对多种不同材质和规格的钢管进行自动分检, 目标是要达到误判小于 0.5%, 几乎没有漏判. 无疑, 要实现这样一个高精度自动分检系统的难度很大. 国外 20 世纪 80 年代制造的一批与钢管生产线配套的 I3.615 钢管半自动分检仪已经不能胜任. 近年来, 国外的一些新产品, 如 MAGNEST I3.625, 不仅价格昂贵, 而且不是专门为钢管生产线设计的, 实际使用也不方便.

本文介绍了计算机自动分检系统的设计和实施方案, 并提出了一种基于经验值的统计递推分检算法. 现场工业运行证明, 当检测工作点确定以后, 在不用样管先调试的情况下, 该系统就能够对钢管进行准确地在线分检, 而且较好地解决了生产现场堆放和搬运各种规格标准样管的问题.

2 系统结构与功能 (System architecture and function)

钢管检验生产线及其配套检验装置如图 1 所示.

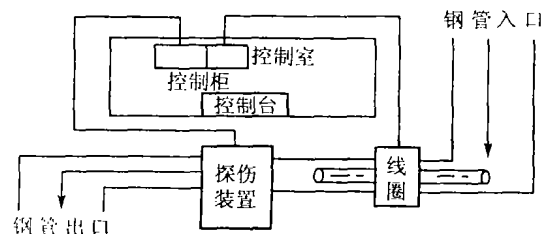


图 1 钢管计算机在线分检系统简图

Fig.1 Sketch of the on-line computer sorting system

待检测的钢管(6~12m长)以每秒3~6m的速度通过检测线圈.如图2所示,计算机通过光栅定位,在线采集每根钢管的检测信号,并将处理后的动态检测数据传送到工控机的数据库中,供系统实时分析.同时,计算机根据计算得到的阈值,确定该钢管的材质是否属于生产钢.如果不是生产钢,分检仪通过控制装置将混入钢剔出.

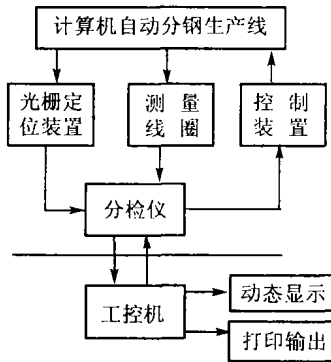


图2 系统设备模型

Fig. 2 The system components model

钢管材质计算机自动分检系统软件采用模块化结构,如图3所示.主要功能可归纳如下:

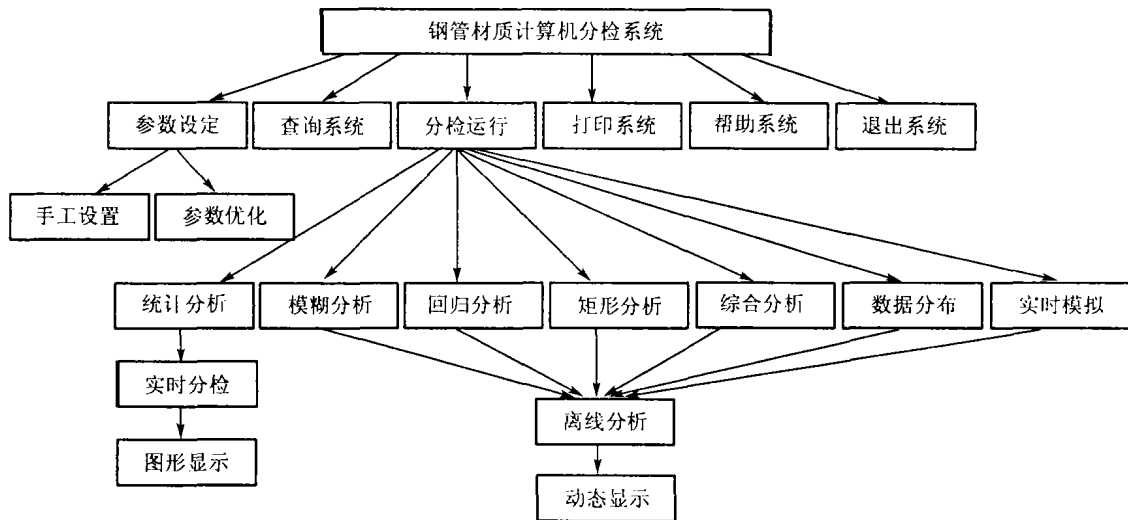


图3 系统功能结构图

Fig. 3 Architecture of the system function

经过现场测试和与原 I3.615 产品的比较,该系统的使用效果十分明显.不仅自动化程度大大提高,而且有了多种直观的计算机辅助分析手段,便于深入进行这方面的研究工作.与德国的最新产品 MAGNEST I3.625 相比,用计算机开发的在线分检系统界面友好,便于操作,开发成本低.计算机分检系统还采用了一些新的算法,例如,一种基于经验值的递推计算方法,一种基于智能控制理论的模糊诊断离线分析算法.限于篇幅,本文仅讨论一种在线分

- 1) 可以完成钢管的在线分检;
- 2) 可以用4种方法进行检测数据的离线分析;
- 3) 可以用数据库中的历史数据进行在线分检模拟;
- 4) 可以比较8种不同材质钢管的数据分布;
- 5) 自动记录每次分检钢管的参数设定值;
- 6) 可以通过查询系统浏览数据库中的历史分检记录;
- 7) 自动生成和管理分检记录和数据库;
- 8) 有良好的用户界面和图形功能,操作简便;
- 9) 可以自动打印各种生产报表和分析曲线;
- 10) 系统有安全保护机制,有操作权限设置.

总之,采用钢管材质计算机自动分检系统以后,不仅可以进行钢管在线分检,提供混钢信息,而且给现场的操作、过程监视和数据管理带来诸多方便,提供了进行数据分析和总结经验的手段.用户可根据需要选择不同的分析方法,绘制各种图形曲线,如,数据的统计分布直方图,检测数据曲线,判域边界曲线和不同材质的统计特性分布图等.

检算法.

3 分检算法(Sorting algorithm)

计算机分检系统首次采用了基于经验值的统计递推计算方法,只要确认第一根是生产钢管,就可以对同一批所有同规格的钢管进行在线检测.算法的基本原理如下:

假设一批钢管的检测数据为 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, 服从正态分布, 则二维正态随机变量 x, y 的联合分布概率密度函数为:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{ \frac{-1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - 2\rho \frac{(x-\mu_x)(x-\mu_y)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(x-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \quad (1)$$

式中 $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ 分别为 x, y 的均值和均方差, ρ 是 x, y 的相关系数. 其空间分布为一铃形曲面. 如果给定样本的分布概率密度为 Z_0 , 以平面 $Z = Z_0$ 截取铃形曲面可以得到一椭圆区域, 如图 4 中阴影所示.

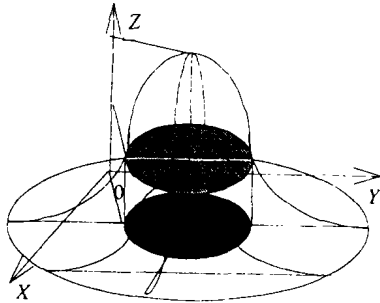


图 4 椭圆区域的示意图

Fig. 4 A more detailed view of the ellipse region

解方程 $Z = f(x, y)$ 得到该椭圆的有关参数:

$$A = \sigma_x \sqrt{-2(1+\rho)\ln(1-V) \frac{(1-\rho)\sigma_y^2}{\sigma_y^2 - \rho\sigma_y\sigma_x\text{tg}\theta}},$$

$$B = \sigma_y \sqrt{-2(1-\rho)\ln(1-V) \frac{(1+\rho)\sigma_x^2}{\sigma_x^2 + \rho\sigma_y\sigma_x\text{tg}\theta}}. \quad (2)$$

其中: A, B 分别为椭圆长、短半轴. 且

$$\begin{cases} V = 1 - 2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}Z_0, \\ 0 \leq Z_0 \leq 1/2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}, \\ \theta = -\frac{1}{2}\arctg \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{\sigma_y^2 - \sigma_x^2}. \end{cases} \quad (3)$$

给定二维随机变量的分布概率 V , 即要保证误判率小于 0.5%, 由式(2), (3) 计算出一个以样本统计均值为中心的椭圆区域. 将该区域作为容许的样本分布区域, 即检测信号落在该椭圆区域内的钢管被认为是同一种材质的钢管, 检测信号落在该椭圆区域之外的钢管则认为是混入的其它材质的钢管. 实际检测情况如图 5 所示.

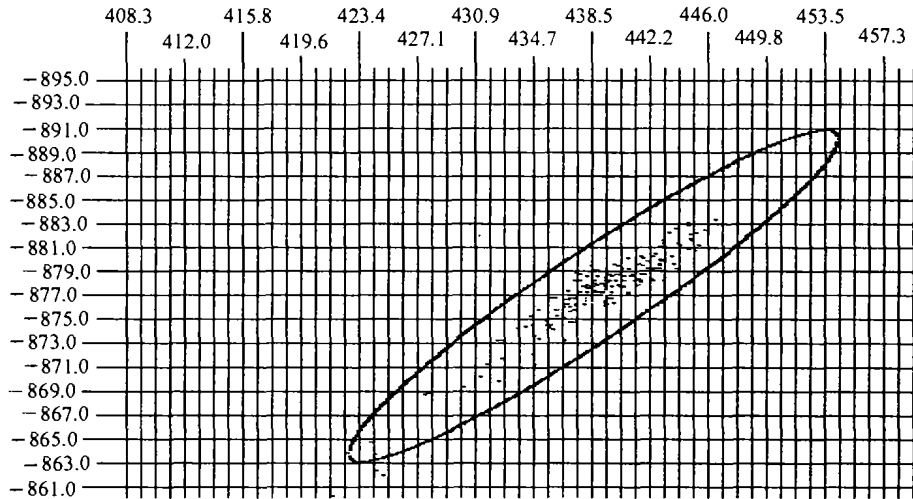


图 5 椭圆区域

Fig. 5 Ellipse area

事实上, 由于不同批次同种规格的钢管检测数据具有严重的离散性, 不能完全根据前一次的数据来确定下一批钢管的判域, 况且, 前几根被检测的钢管没有统计规律可循. 进口生产线通常采用现场堆放的标准样管, 在开始检测之前, 先放在生产线上传送几次, 取得一个检测范围以后, 再开始批量检测. 每更换一种规格的钢管, 就要耗费大量的时间和人力.

而我们的方法是, 取第一根样管的 x_1, y_1 值作为 μ_x, μ_y 的经验值, 并以上一批保存在计算机数据库中的同材质同规格钢管数据的 σ_x, σ_y, ρ 值作为本

次 σ_x, σ_y, ρ 的经验值.

用参数 $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y, \rho$ 构造一虚拟的椭圆判域, 可以求出与此椭圆相关的各统计参数: $E(x), E(y), D(x), D(y), E(x^2), E(y^2), E(xy)$.

假设第一点采样值为 (x_1, y_1) , 利用第一点采样值修正各参数:

$$E(x)_1 = \alpha_1 \cdot E(x) + \beta_1 \cdot x_1,$$

$$E(y)_1 = \alpha_1 \cdot E(y) + \beta_1 \cdot y_1,$$

$$E(x^2)_1 = \alpha_1 \cdot E(x^2) + \beta_1 \cdot x_1^2,$$

$$E(y^2)_1 = \alpha_1 \cdot E(y^2) + \beta_1 \cdot y_1^2,$$

$$E(xy)_1 = \alpha_1 \cdot E(xy) + \beta_1 \cdot x_1 y_1.$$

其中, α_1, β_1 为加权系数, 且 $\alpha_1 + \beta_1 = 1$.

由

$$\mu_{x1} = E(x)_1, \mu_{y1} = E(y)_1,$$

$$\sigma_{x1} = D(x)_1 = \sqrt{E(x^2)_1 - E(x)_1^2},$$

$$\sigma_{y1} = D(y)_1 = \sqrt{E(y^2)_1 - E(y)_1^2},$$

$$\rho_1 = [E(xy)_1 - E(x)_1 \cdot E(y)_1] / D(x)_1 D(y)_1,$$

可以计算出利用第一个采样值修正后的椭圆判域。

假设利用第 n 个采样值 (x_n, y_n) 修正后的椭圆判域各参数为 $E(x)_n, E(y)_n, E(x^2)_n, E(y^2)_n, E(xy)_n$, 则利用第 $n+1$ 个采样值 (x_{n+1}, y_{n+1}) 修正后的椭圆判域各参数为:

$$E(x)_{n+1} = \alpha_{n+1} \cdot E(x)_n + \beta_{n+1} \cdot x_{n+1},$$

$$E(y)_{n+1} = \alpha_{n+1} \cdot E(y)_n + \beta_{n+1} \cdot y_{n+1},$$

$$E(x^2)_{n+1} = \alpha_{n+1} \cdot E(x^2)_n + \beta_{n+1} \cdot x_{n+1}^2,$$

$$E(y^2)_{n+1} = \alpha_{n+1} \cdot E(y^2)_n + \beta_{n+1} \cdot y_{n+1}^2,$$

$$E(xy)_{n+1} = \alpha_{n+1} \cdot E(xy)_n + \beta_{n+1} \cdot x_{n+1} y_{n+1}.$$

其中, $\alpha_{n+1}, \beta_{n+1}$ 为加权系数, 且 $\alpha_{n+1} + \beta_{n+1} = 1$.

同理, 可以算出第 $n+1$ 个采样值时的椭圆判域. 可以证明, 如果共采了 n 个数据, 则第 i 个数据对椭圆参数的加权系数为:

$$\omega_i = \beta_i^* \alpha_{i+1}^* \alpha_{i+2}^* \cdots \alpha_n.$$

表 1 现场测试条件

Table 1 The condition of the locale test

| 材质 | 规格 (管径×壁厚×长度) | 炉号 | 速度 /m·s ⁻¹ | 激励电流 /dB | 激励频率 /Hz | 增益 1 | 增益 2 | 线圈 直径 |
|------|------------------|--------|--------------------------|-------------|-------------|------|------|----------|
| 2421 | 51.0×7.1×6 | 100143 | 3 | 0 | 67 | 6 | 0 | 100 |

表 2 不同材质的钢管混合分检的结果

Table 2 The test results of tubes with different material

| 钢管材质 | 统计分析(3种钢) | 模糊诊断(3种钢) | 统计分析(4种钢) | 模糊诊断(4种钢) |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 12Cr1Mov | 无漏判 | 无漏判 | 无漏判 | 无漏判 |
| St45.8 | —— | —— | 生产钢 | 生产钢 |
| 15Mo3 | 生产钢 | 生产钢 | 无漏判 | 无漏判 |
| SA-210C | 无漏判 | 无漏判 | 有漏判 | 有漏判 |

从表 2 可知, 用 15Mo3 作为生产钢, 混入 2 根 12Cr1Mov 和 1 根 SA-210C 时, 系统能将混入钢种全部分出, 没有漏判。

从表 2 还可知, 在生产钢 St45.8 中混入 3 种其它钢种时, 由于碳钢(St45.8 和 SA-210C)检测信号不易分辨, 有漏判情况出现. 而合金成分高的钢种容易分辨, 故无漏判. 也就是说, 在调整检测线圈工作

其中: $i < n, \omega_n = \beta_n$.

随着数据量的增加, 以前数据的加权系数会越来越小, 因而可以实现遗忘功能。

在给定的检测精度下, 先对第一根标准钢管按上式计算, 求出椭圆边界, 按此边界判别下一根钢管的检测数据是否在判域内, 并进行相应的分检控制. 同时把检测到的数据发送到上位机. 上位机将生产钢样本信息(即落入椭圆内的点)加入到标准样本集中, 在线计算二维随机变量的分布特征参数, 动态修正分选钢管的椭圆界限, 然后用新的判域替代旧的判域. 下位机每检测一个数据向上传送一次, 重复上述过程。

不同材料的钢管通过检测线圈时, 所产生的电磁感应特性不同. 调整检测线圈工作点可以使检测信号的差异足够大。

4 现场实验结果(Test results on locale)

用计算机分检系统进行了工业实验. 表 1 列出了生产钢 St45.8(材质代号为 2421)的规格及现场测试条件. 有白、黄、绿色标记的混入钢分别为 12Cr1Mov, 15Mo3, SA-210C.

表 2 给出了两组实验的结果: 1) 三种不同材质同样规格的钢管, 与生产钢 St45.8 混在一起; 2) 两种不同材质同样规格的钢管, 与生产钢 15Mo3 混在一起, 表中是分别用统计递推法在线分检和用模糊诊断法离线计算的结果。

点时, 要使两种材质钢管的信号尽量分开, 否则不管采用什么方法都很难避免漏判。

5 结论(Conclusion)

由现场实验可见, 计算机钢管在线分检系统已经达到误判 0.0% ~ 1.5%, 几乎没有漏判这样一个指标. 在不计入弯管的前提下, 误判率可以达到要求。

统计分析递推算法的优点是计算速度快. 在采

样刚开始和数据量较小时,本算法可以利用数据库中的经验值,使椭圆参数的变化趋于稳定,最大限度的减少漏判和误判.并且可以实现对老数据的遗忘功能.

实践证明,当检测工作点确定以后,采用该方法不需要用若干标准样管进行预测,就能够保证快速批量检测的精度,并较好地解决了现场标准样管堆放和搬运的问题.

参考文献(References)

- [1] Lin Shaogong. Basic Probability and Statistics [M]. Beijing: People Education Publishing House, 1978 (in Chinese)
- [2] Sheng Ju, Xie Shiqian. Probability and Statistics [M]. Hangzhou: Zhejiang University Publishing House, 1989 (in Chinese)

- [3] Hu Guosi, Jiang Shiqin, Han Shenglian. Fuzzy inference of less sample data statistic [D]. Shanghai: Tongji University, 1999 (in Chinese)

本文作者简介

蒋式勤 女.1951年生.1982年获西安交通大学硕士学位,现任上海同济大学信息与控制工程系教授.主要研究方向为过程控制与计算机控制,智能控制与自适应控制. Email:sqjiang@mail.tongji.edu.cn

胡国四 1971年生.1999年获同济大学硕士学位.现任烟台大学教师.主要研究方向为过程控制与计算机控制,遗传算法.

萧蕴诗 1946年生.1981年获清华大学硕士学位.现任上海同济大学信息与控制工程系教授,博士生导师.主要研究方向为过程控制与计算机控制,智能控制,复杂系统理论与应用等.

吴启迪 女.1947年生.1981年获清华大学硕士学位,1987年获瑞士苏黎士高工博士学位.现任上海同济大学校长,信息与控制工程系教授,博士生导师.主要研究方向为智能控制和 CIMS 等.

第 22 届中国控制会议

征文通知

2003 年 7 月 湖北 宜昌

中国控制会议由中国自动化学会控制理论专业委员会每年举办一次.其宗旨是为系统控制领域的专家、学者、研究生及控制系统设计人员提供一个学术交流的机会,以便推动我国控制科学的发展.第 22 届中国控制会议将于 2003 年 7 月下旬在中国美丽的水电旅游城市宜昌举行.借此机会,我们欢迎世界各地的同仁参加本届大会.

主办单位

中国自动化学会控制理论专业委员会;中国科学院系统科学研究所;三峡大学;湖北省自动化学会

征文范围

线性系统;非线性系统;变结构控制;最优控制;优化方法;鲁棒控制;H_∞控制;预测控制;过程控制;随机控制;自适应控制;系统建模与辨识;稳定性与镇定;复杂系统与复杂性科学;分布参数系统;DEDS 与 HDS;模糊系统与控制;神经网络;机器人控制;专家智能控制;故障诊断与检测;交通系统控制;电力系统控制;通讯、网络系统;计算机综合制造系统;社会经济系统与控制;其他

投稿事项

·稿件内容包括:

①首页:论文所属方向(选自征文范围)、论文题目、摘要、3~5 个关键词,联系人的姓名、职称、地址、邮编、电话、Email

②论文题目、摘要、3~5 个关键词、正文(中、英文均可)

③凡邀请组论文,请将①中的首页和论文的详细摘要交组织者,由组织者统一投稿.

·可以网上投稿,也可以通过 Email 投稿,但不接受邮局邮局邮寄投稿.网页网址为: <http://ccc.iss.ac.cn/>, Email 地址为:

ccc@control.iss.ac.cn 请注意不要重复投稿.

·有关网上投稿的说明及注意事项请查看程序委员会的网页: <http://ccc.iss.ac.cn/>

·拟组织邀请组的组织者,需提供 1000 字的组织建议书及该组全部拟邀请论文的首页和详细摘要.同一邀请组的论文的主题应鲜明、集中,邀请组一般有 6 篇论文.

重要日期

投稿截止日期:2003-3-15; 论文录取通知:2003-4-15

程序委员会秘书处

刘智敏 教授 北京中关村,中国科学院系统科学所 100080

电话:(86)10-62532161 传真:(86)10-62587343 Email:ccc@control.iss.ac.cn

组织委员会秘书处

陈晓辉 湖北省宜昌市云林路 32 号 三峡大学电气信息学院 443002

电话:(86)717-6052670 Email:chui@ctgu.edu.cn