



文章编号:1671-251X(2014)10-0001-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.10.001

胡良智,涂福泉,钱峰,等.溜井扫描探头升降速度控制研究[J].工矿自动化,2014,40(10):1-4.

溜井扫描探头升降速度控制研究

胡良智¹, 涂福泉², 钱峰³, 刘艳章⁴, 叶义成⁴

(1. 武汉千里马工程机械再制造有限公司, 湖北 武汉 430000;

2. 武汉科技大学 冶金装备及其控制省部共建教育部重点实验室, 湖北 武汉 430081;

3. 武汉钢铁集团矿业有限责任公司, 湖北 武汉 430080;

4. 武汉科技大学 资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081)

摘要:针对溜井全景扫描仪因扫描探头升降速度不稳定导致的图像模糊、变形和不连续等问题,在分析全景扫描仪升降装置结构的基础上,建立了扫描探头升降速度与转筒角速度之间的关系模型,以此作为设定转筒角速度曲线的理论依据,并采用防积分饱和的闭环PI控制方法实现扫描探头升降速度的恒定控制。实验及应用结果表明,该扫描探头升降速度控制方案实现了扫描探头恒速升降,所得图像清晰,无变形。

关键词:溜井; 全景扫描仪; 扫描探头; 探头升降; 恒速升降; 速度控制

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of movement speed control of scanning probe for draw shaft

HU Liangzhi¹, TU Fuquan², QIAN Feng³, LIU Yanzhang⁴, YE Yicheng⁴

(1. Wuhan Sevalo Construction Machinery Refabrication Co., Ltd., Wuhan 430000, China;

2. Key Laboratory of Metallurgical Equipment and Control Technology of Ministry of Education,

Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 3. Wuhan Iron and Steel

Group Minerals Co., Ltd., Wuhan 430080, China; 4. School of Resource and Environmental

Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: In order to solve image blurring, distortion and discontinuousness caused by unstable movement speed of scanning probe of panoramic scanner for draw shaft, structure of movement device of panoramic scanner was analyzed and relationship model between movement speed of scanning probe and angular speed of rotary drum was established, which was taken as theory evidence for setting angular speed of rotary drum. A closed-loop PI control method with anti-windup for integral was adopted to control movement speed of scanning probe. The experiment and application results show that the movement speed control strategy realizes movement with stable speed of scanning probe, and scanning images are clear and without distortion.

Key words: draw shaft; panoramic scanner; scanning probe; probe moving; movement with stable speed; speed control

收稿日期:2013-10-09;修回日期:2014-08-07;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175388)。

作者简介:胡良智(1989—),男,河南信阳人,工程师,硕士,主要从事机电控制系统的设计工作,E-mail:583172396@qq.com。

0 引言

溜井属于开拓系统工程,是矿石运输的重要通道^[1-3],其稳定性直接关系到矿山生产能力和采矿计划安排,因此,溜井的检查与维护是保障矿山安全生产的一个重要环节。

溜井处于地下,具有能见度低、湿度大、通风条件差、粉尘浓度高、场强复杂等环境特点。参考文献[4]研制了一款能适应该环境的全景扫描仪,其通过一种水平方向均匀分布4支CCD(Charge Coupled Device,电荷耦合元件)扫描探头的升降装置在溜井内上下移动获取井壁图像,技术人员通过获取的图像诊断溜井的运行状况。由于放矿过程中,溜井井壁易受到冲击载荷等因素影响出现浮石^[5],致使升降装置不能稳定运行,引起扫描探头抖动,导致图像相位变位或像元拉长、压缩、模糊^[6-7],影响检修工作的正常进行。实现扫描探头升降速度稳定是溜井全景扫描仪研制的关键技术之一。本文通过研究溜井全景扫描仪升降装置的结构,建立了扫描探头升降速度与转筒角速度之间的关系模型,以此为设定转筒角速度曲线的理论依据,并采用闭环PLC控制方法控制扫描探头升降速度,以实现扫描探头匀速升降。

1 溜井全景扫描仪升降装置结构

本文在参考文献[4]基础上对溜井全景扫描仪的升降装置进行改进,如图1所示。该升降装置由电缆收放单元、井深测量单元和控制器单元3个部分组成。



1—组合式卷筒扁平电缆;2—计数轴;3—数据采集系统;
4—探头保护板;5—固定脚轮;6—电气箱;7—卷线盘;
8—传动轴;9—绞盘;10—机架;11—带刹车活动脚轮

图1 溜井全景扫描仪升降装置

电缆收放单元由卷线盘、绞盘、电动机、变频器等构成,可实现手动和电动2种收放方式。

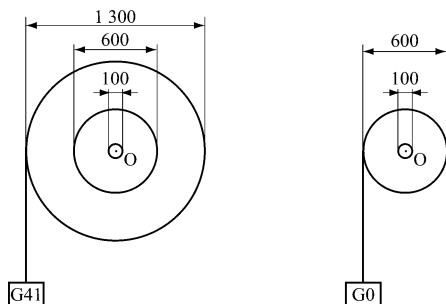
井深测量单元由计数轴和旋转编码器构成。计数轴安装在升降装置的横梁上,其一端通过弹性联轴器与旋转编码器轴连接。电缆安置在计数轴的环

形凹槽内,通过沿环形凹槽圆周方向转动产生的摩擦力带动计数轴转动。旋转编码器用于获得计数轴转数 $n(n \in N)$ 。电缆与计数轴之间无相对滑动,因此可计算出收放电缆的长度,即井深。

控制器单元由PLC和电控元件构成。PLC与变频器通信,实现扫描探头速度控制。

2 扫描探头升降速度控制分析

图2为扫描探头下放过程示意,G41表示电缆未下放时扫描探头所处的位置,G0表示电缆完全下放时扫描探头所处的位置。



(a) 电缆未下放时

(b) 电缆完全下放时

图2 扫描探头下放过程示意

2.1 扫描探头升降速度设定值

为保证扫描探头视频图像的清晰度及流畅性,要求连续2次扫描间距不大于扫描探头最小纵向扫描范围,且在最小纵向扫描范围内至少采样23帧图像。由参考文献[4]可知,当溜井截面积增大时,每台扫描探头的横向扫描范围随之增大。设可扫描 360° 圆周的扫描探头最小横向扫描范围为 $l_{\min}$,根据每张图像的长宽比可确定扫描探头的最小纵向扫描范围 $H_{\min}$:

$$H_{\min} = \frac{a}{b} l_{\min} = \frac{a}{b} \frac{2\pi R_{\min}}{4} \quad (1)$$

式中: $R_{\min}$ 为溜井最小截面半径; a, b 为扫描探头的分辨率,本文中 $a=1\,040, b=1\,392$ 。

设 $R_{\min}=0.5\text{ m}$,可得 $H_{\min}$ 约为 0.58 m 。

扫描探头采样速率为 15 帧/s 时扫描图像效果较好,则扫描探头的最大升降速度 $v_{\max}|_{(\text{m/s})} = 0.58 \times 15 / 23 = 0.38$ 。设定扫描探头升降速度 $v = 0.2\text{ m/s}$ 。

2.2 转筒角速度与扫描探头升降速度的关系

已知转筒半径为 300 mm ,电缆圆盘最大半径为 650 mm ,电缆厚度为 8.5 mm ,则 120 m 扁平电缆在转筒上的最大缠绕圈数 $n_{\max} = (650 - 300) / 8.5 = 41$ 。

假设图 2(a)为扫描探头下放的起始状态,并以速度 v 从井口匀速下降,这时卷线盘中的电缆圆盘逐渐减小,转筒角速度 $\omega(t)$ 逐渐增大。

t 时刻电缆圆盘半径 $r(t)$ 为

$$r(t) = 650 - (650 - 300) \int \omega(t) dt / (2\pi n_{\max}) \quad (2)$$

已知

$$v = r(t)\omega(t) \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)得

$$v = (650 - 350 \int \omega(t) dt) \omega(t) / (2\pi n_{\max}) \quad (4)$$

在扫描过程中, v 为常数, 设为 c , $n_{\max} = 41$, 则

$$82\pi c = 650\omega(t) - 350\omega(t) \int \omega(t) dt \quad (5)$$

由式(5)求解 $\omega(t)$ 非常困难, 本文采用圆的渐开线方法进行近似处理。假设: ① 转筒每旋转 1 周, 电缆圆盘的半径线性增大或减小 8.5 mm; ② 转筒角速度线性递减或递增; ③ 以扫描探头在井口开始下放为零点开始计时。则当转筒旋转 i ($0 \leq i \leq 41$) 圈时, 电缆圆盘半径 r_i 近似为等差数列, 即

$$2\pi(r_0 + r_1 + \dots + r_i) = \pi(r_0 + r_i)i = ct \quad (6)$$

$$r(t) = r_i = 650 - 8.5i \quad (7)$$

当转筒旋转整圈, 即 $i \in \mathbf{N}$ 时, $i = n$; 当转筒旋转不为整圈, 即 $i \in \mathbf{N}$ 时, $i = n + \frac{1}{2}$ 。

由式(6)、式(7)得

$$r(t) = 650 - 8.5ct / \pi(r_0 + r_i) \quad (8)$$

则式(2)可简化为

$$r(t) = 650 - 8.5ct / \pi(1\,300 + 8.5i) \quad (9)$$

由式(7)所表达的 $\omega(t)$ 可简化为

$$\omega(t) = \frac{c}{650 - 8.5ct / \pi(1\,300 + 8.5i)} \quad (10)$$

式(10)即为化简后的扫描探头升降速度模型。该模型计算量小, 适用于实际工程。

3 扫描探头升降速度控制策略

采用闭环控制方法控制扫描探头升降速度, 通过式(10)将扫描探头的升降速度设定转换为转筒的角速度设定, 控制结构如图 3 所示。

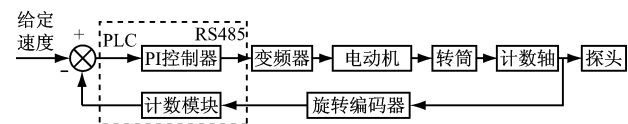


图 3 扫描探头升降速度控制结构

扫描探头升降速度控制系统由 PLC(带计数模块)、变频器(具有 RS485 通信功能)、电动机及旋转

编码器等组成。设定好的给定速度与 PLC 高速计数模块反馈回来的实际速度相减, 产生速度误差, 经 PLC 的比例积分(PI)控制器运算得到控制量, 再由 RS485 接口输出到变频器以驱动电动机, 通过调节电动机来控制卷线盘转动, 通过计数轴来控制扫描探头的升降速度。

采用离散化后递推增量形式的 PI 控制算法:

$$E_f = U_i - U_f \quad (11)$$

$$P = KE_f + Q \quad (12)$$

$$Q = P - K_p E_f \quad (13)$$

式中: E_f 为第 f 次采样信号的偏差; U_i 为给定输入信号; U_f 为第 f 次采样值; P 为 PI 控制器校正后的输出量; $K = K_p(1 + K_i)$, K_p 为比例系数, K_i 为积分系数; Q 为校正量中的积分部分, 初始值取为 0。

为了防止系统信号出现较大偏差时, PI 控制器的积分部分因消除偏差而过度积累饱和, 在控制算法中加入了积分饱和抑制算法, 流程如图 4 所示。

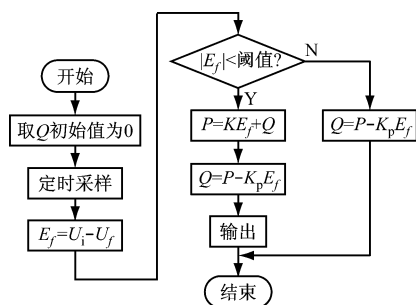


图 4 积分饱和抑制算法流程

4 实验及应用

4.1 实验分析

对溜井全景扫描仪的扫描探头速度控制系统进行模拟实验。输入信号为 20 mA(给定速度 0.2 m/s), 被控对象的传递函数为 $\frac{10.9937}{s+0.367}$, $K_p = 0.1$, $K_i = 0.03$ 。采用随机信号模拟现场的干扰信号, 干扰信号在 $t=0$ 时刻加入, $t \in [-0.03, +0.03]$ 。实验结果如图 5 所示。可看出约 5 s 后, 扫描探头的速度曲线几乎是一条稳定的直线, 说明提出的速度控制策略能够实现扫描探头恒速运行。

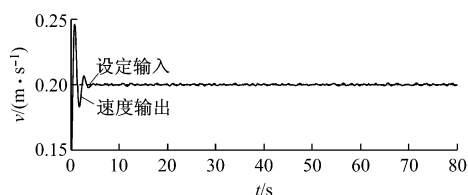


图 5 扫描探头速度曲线

4.2 工程应用

武汉钢铁集团矿业有限责任公司金山店铁矿在 2012 年应用溜井全景扫描仪对 $-410 \sim -480$ m 溜井进行检测,扫描探头运动速度为 0.2 m/s 。图 6 为随机抽取的扫描全景图像,可看出图像清晰,无扭曲变形,效果良好。

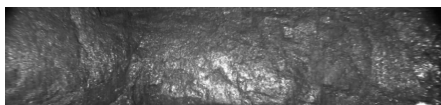


图 6 溜井扫描全景图像

5 结语

实际应用表明,以扫描探头的升降速度与转筒角速度之间的关系模型为理论依据,设定扫描探头的升降速度控制策略是合理、可行的,实现了扫描探头升降恒定速度控制。该速度控制策略可应用于船缆收放等系统中。

参考文献:

- [1] 李爱国,刘洪伟,张耀东.溜井管理方法与应用技术研究[J].现代矿业,2010(8):85-87.
- [2] 李瑞祥.平硐深溜井技术在紫金山金矿的应用[J].金属矿山,2011(8):45-48.
- [3] JAROSZ A, LANGDON J. Development of inspection and survey tool for vertical mining openings and shafts [J]. Strategic Integration of Surveying Services, 2007(13): 1-17.
- [4] 石志军,刘艳章,叶义成,等.矿山溜井全景扫描装置研制[J].工矿自动化,2013,39(12):8-12.
- [5] 宋卫东,王洪永,王欣,等.采区溜井卸矿冲击载荷作用的理论分析与验证[J].岩土力学,2011,32(2):326-332.
- [6] 徐鹏,黄长宁,王涌天,等.卫星振动对成像质量影响的仿真分析[J].宇航学报,2003,24(3):259-263.
- [7] 温昌礼.平台角振动对图像测量系统的影响[D].长沙:国防科学技术大学,2006.