

# 一种新型陀螺经纬仪平稳快速锁放方法

闫少石, 郭晓松, 王振业

(第二炮兵工程大学 兵器发射理论与技术国家重点学科实验室, 陕西 西安 710025)

**摘要:**锁放环节是影响摆式陀螺寻北速度及陀螺灵敏部下放后限幅难度的关键环节。为解决现有摆式陀螺寻北仪锁放时间较长且陀螺灵敏部下放后摆幅较大的问题,以—种能够进行匀速运动的锁放装置为例,通过对原有控制电路进行 I2C 总线扩展,针对锁放过程中各阶段特点合理控制锁放电机转速,实现平稳快速锁放要求。经实验验证,新的锁放控制方法完全可行,锁放时间控制到 25 s 内,下方后摆幅不超过  $1^{\circ}30'$ ,具有可行性和实用价值。

**关键词:**摆式陀螺寻北仪;锁放;I2C 总线;半脱位置

**中图分类号:**TH761

**文献标识码:**A

## A New Method of Steady and Rapid Lock-Release of Pendulous Gyroscope

YAN Shaoshi, GUO Xiaosong, WANG Zhenye

(State Key Discipline Lab. of Armament Launch Theory and Technology, the Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** The lock-release is the key factor which influences the north-finding accuracy of the pendulous gyroscope. In order to solve the problem of long-time lock-release and wide swing range of the pendulous gyroscope, by using a new lock-release system with uniform motion as a study case and using I2C bus expansion of the pre-existing control circuit to control lock-release electrical machine accurately and reasonably, the steady and rapid lock-release has been realized. The experiment verification show that the new control method is feasible, and both the lock-release time and swing range have been limited to 25 s and  $1^{\circ}30'$  respectively, thus it has feasibility and practical value.

**Key words:** pendulous gyroscope; lock-release; I2C bus; half-away position

### 0 引言

摆式陀螺寻北是利用陀螺原理敏感地球自转角速度的北向分量来获得北向信息的一种寻北方法,它具有精度高、可靠性好、适用范围广等优点,广泛应用于航空、航天、军事、煤矿行业等定位定向与测量之中<sup>[1-3]</sup>。

目前,制约陀螺经纬仪发展的主要因素在于寻北时间较长,文献[4-7]中提出了多种快速限幅方法进行缩时,而锁放作为寻北过程中的一个关键环节,研究却相对较少。锁放过程的关键性主要体现在:锁放用时越短,寻北工作的时间也越短,而锁放越平稳,下放越平稳,陀螺灵敏部摆幅就越小,摆幅检测和限幅的难度就会越小,限幅时间就越短,同样有利

于缩短寻北时间。高精度快速摆式陀螺仪( $7'12''$ ( $1\sigma$ ))要求锁放时间不超过 30 s,锁放精度能控制在  $1.5^{\circ}$  范围内,我国现有的锁放方法较难满足这一指标要求。因此,本文以现有的一种可以匀速运动的锁放装置为例,对原有控制电路进行 I2C 总线扩展<sup>[8-10]</sup>,结合锁放过程中各阶段特点合理控制电机转速,实现平稳快速锁放的技术要求。

### 1 现有锁放装置简介

早期的锁放装置为手动操作,近年来,手动式锁放装置已逐渐被凸轮式的自动锁放装置所取代<sup>[11-13]</sup>。文献[13]提出了一种基于凸轮式锁放机构的自动锁放控制方案,但因凸轮在平衡位置时抗侧向冲击的能力较弱且易被磨损,需要进行多次锁放操

收稿日期:2015-07-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41174162)

作者简介:闫少石(1991-),男,河北辛集人,硕士生,主要从事事定位定向技术的研究。郭晓松(1957-),男,河南镇平人,教授,博士生导师,主要从事事定位定向与基准传递、故障检测等研究。

作才能使陀螺灵敏部稳定在适当范围内摆动。

鉴于凸轮式锁放装置由其自身结构上的不足造成的缺陷,文献[14]提出了基于楔块式结构的新型锁放装置,对凸轮式装置存在的两大不足进行了改进。其运动传递过程可简化为图 1 所示的运动模型。

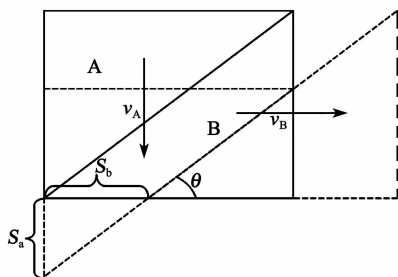


图 1 升降螺母与上楔形块之间的运动简化模型

图 1 中,物体 A 代表上楔形块,物体 B 代表升降螺母, $v_A$  和  $v_B$  分别为上楔形块和升降螺母的运动速度,虚线框表示经过  $\Delta t$  时间后物体 A 和 B 所处的位置, $S_a$  和  $S_b$  分别为物体 A 和 B 在  $\Delta t$  时间内运动的距离。经运动学分析可得

$$S_a = S_b \tan \theta \quad (1)$$

由于

$$S_a = v_A \Delta t \quad (2)$$

$$S_b = v_B \Delta t \quad (3)$$

因此

$$v_A = v_B \tan \theta \quad (4)$$

由式(4)可看出,基于楔块式结构的锁放机构,其运动速度由锁放电机直接调节,因此,本文将基于此种装置,通过调节锁放电机转速实现对锁放过程的精确控制。

## 2 新型锁放方法设计

### 2.1 锁放控制方案

锁放的具体过程中,首先启动陀螺电机使陀螺灵敏部开始转动,之后进行下放,在下放初期陀螺灵敏部与锁放杯之间保持接触,可较快地速度下放;在接近陀螺灵敏部与锁放杯的半脱位置时降低下放速度,使两者间的脱离平稳;在两者完全脱离后,锁放杯再下放一段距离后关闭锁放电机,完成锁放过程。

此种控制方案既通过下放初期的锁放电机的快速转动缩短了锁放时间,又通过对半脱位置时的控制限制了灵敏部下方后摆幅,实现了平稳、快速锁放要求,其控制方案示意图如图 2 所示。由图可看出,初期给锁放电机高电压达到快速额定转速  $r_1$ ,在  $t_2$

时间接近半脱位置时将给电机接通低电压,经降速后转换为慢速额定转速  $r_2$ ,运行至灵敏部与锁放杯完全脱开后电机关机。

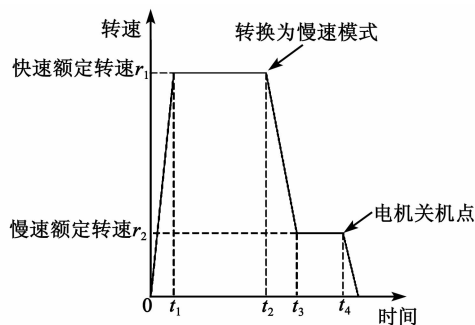


图 2 锁放控制方案示意图

### 2.2 I2C 总线扩展

因为原有样机中央控制芯片外接接口有限,采用 I2C 总线扩展的方法<sup>[8-10]</sup>串接一个 PCF8574 芯片搭建控制电路。

其中,I2C 总线是由 Philips 公司开发的两线式串行总线,用于连接微控制器及其外围设备,是微电子通信控制领域广泛采用的一种总线标准。它是同步通信的一种特殊形式,具有接口线少,控制方式简单,器件封装形式小,通信速率较高等优点。其总线连接图如图 3 所示。

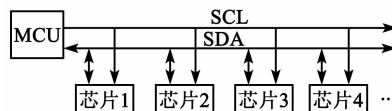


图 3 I2C 总线系统连接图

### 2.3 控制电路搭建

控制电路采用经中央控制芯片、I2C 总线扩展串接一个 PCF8574 芯片,再经光电耦合隔离器件隔离后,控制 2 个继电器。根据控制方案对锁放电机接通不同的电压,控制电机转速及关机点,实现对锁放过程控制的目的,其电路原理图如图 4 所示。

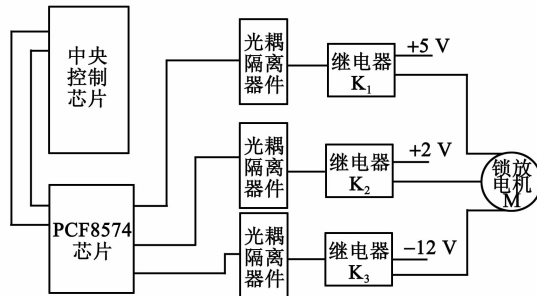


图 4 控制电路原理图

对应图 4、2 可见,下放初始时接通继电器  $K_1$ ,

锁放电机在高速额定转速下转动;当陀螺灵敏部接近半脱位置时,断开继电器  $K_1$ ,接通继电器  $K_2$ ,使锁放电机在慢速额定转速下转动,至灵敏部与锁放杯完全脱开后电机关机,下放过程完成。在上锁时,接通继电器  $K_3$ ,对锁放电机施以反相高电压,完成上锁,此电路的实物图如图 5 所示。

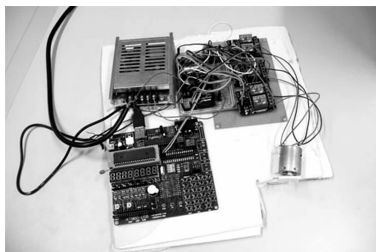


图 5 控制电路实物图

## 2.4 下放保护系统

在下放过程中,若陀螺灵敏部摆幅过大,需进行重新上锁,此过程中陀螺灵敏部的运动信息由光电传感系统实时采集,摆幅监测光路系统原理如图 6 所示。

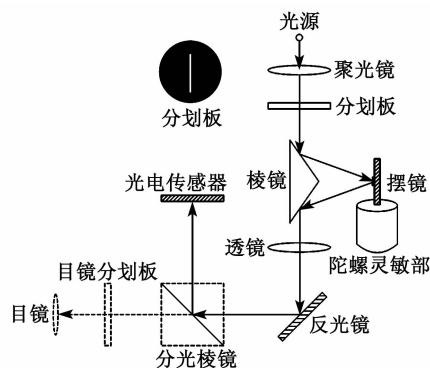


图 6 摆幅监测系统原理图

通过分光棱镜将陀螺灵敏部摆动成像反射到光电传感器件上转换为电信号,经 A/D 转换模块得到数字信号传输至中央控制芯片,当光标晃动过大时,中央处理器发出信号进行上锁,重新下放。控制流程如图 7 所示。

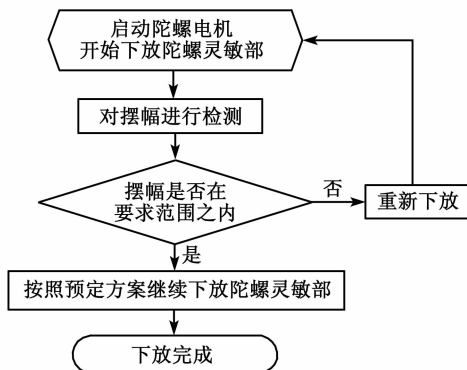


图 7 系统整体控制方案流程图

## 3 锁放控制方案考核试验

### 3.1 试验设备及组成

试验设备组成如图 8 所示,共由寻北试验平台、寻北仪三脚架、稳压电源、频率数显器、调试控制板和秒表 6 部分组成。



图 8 考核试验设备及组成

### 3.2 试验过程与步骤

考核试验包括验证控制方案的可行性及检验下放的稳定性和快速性两部分组成,具体试验步骤如下:

- 1) 架设仪器并调平,然后利用试验室的北向基准将寻北仪架设至真北方向,以消除初始架设偏北角对摆幅的影响。
- 2) 启动陀螺电机至同步。
- 3) 按下调试控制板上的锁放开始按钮并开始计时。
- 4) 观察调试控制板上的下放指示灯,灯灭立即停止计时,记录下放时间。
- 5) 观察频率数显器上频率的变化,记录下光标像通过两个逆转点的频率。
- 6) 按下调试控制板上的上锁按钮,锁紧陀螺灵敏部并开始重新计时。
- 7) 观察调试控制板上的上锁指示灯,灯灭立即停止计时,记录上锁时间。
- 8) 停止陀螺电机,等待 15 min 后,重复步骤 2)~步骤 7)9 次。
- 9) 仪器断电并整理试验数据。

### 3.3 试验结果分析

为更清楚的展示新型锁放控制方法的稳定性和快速性,已将频率数据换算成角度值。数据经整理如表 1 所示。

表 1 陀螺灵敏部锁放精度和锁放时间考核试验结果

| 试验次数 | 下放时间/s | 上锁时间/s | 总时间/s | 摆幅       |
|------|--------|--------|-------|----------|
| 1    | 16.03  | 7.05   | 23.08 | 1°25'22" |
| 2    | 16.02  | 7.01   | 23.03 | 1°24'17" |
| 3    | 15.96  | 7.02   | 22.98 | 1°24'23" |

续表

| 试验次数    | 下放<br>时间/s | 上锁<br>时间/s | 总时间/<br>s | 摆幅       |
|---------|------------|------------|-----------|----------|
| 4       | 15.88      | 6.94       | 22.82     | 1°24'18" |
| 5       | 16.05      | 6.96       | 23.01     | 1°25'20" |
| 6       | 15.97      | 6.93       | 22.90     | 1°26'03" |
| 7       | 15.89      | 7.00       | 22.89     | 1°24'19" |
| 8       | 16.11      | 7.02       | 23.13     | 1°25'42" |
| 9       | 15.85      | 6.95       | 22.80     | 1°24'12" |
| 10      | 16.04      | 7.02       | 23.06     | 1°24'24" |
| 平均值     | 15.98      | 6.99       | 22.97     | 1°24'50" |
| 标准差(1σ) | ——         | ——         | ——        | 43"      |

结合表 1 中的数据和试验现象可得出以下两个重要结论:

1) 此种新型锁放控制方案完全可行。

2) 锁放总时间平均值为 22.97 s, 最大值为 23.13 s, 满足高精度、快速摆式陀螺寻北仪对锁放时间的要求。下放后的摆幅均值为 1°24'50", 标准差为 43", 最大摆幅为 1°26'03", 满足高精度快速摆式陀螺寻北仪对锁放精度的要求。

#### 4 结束语

本文从传统型锁放装置的不足入手, 利用新型锁放机构匀速运动的特点, 通过 I2C 总线扩展后控制锁放电机转速和关机点完成了新型锁放方法的方案设计和电路搭建。通过试验的方法对其可行性和效果进行了验证, 实现了平稳快速锁放的要求, 具有可行性和实用性。

(上接第 478 页)

#### 参考文献:

- [1] HE S, MRAD R B. Design, modeling, and demonstration of a mems repulsive-force out-of-plane electrostatic micro actuator[J]. J Microelectromech Syst, 2008, 17(3): 532-547.
- [2] ZHANG Y H, DING F, SUN X F, et al. Preparing of a high speed bistable electromagnetic RF MEMS switch[J]. Sens Actuators A, 2007, 134(2): 532-537.
- [3] 贾孟军. 硅微机械加速度开关技术研究[D]. 上海: 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2007.
- [4] 吴义伯, 丁桂甫, 张小波, 等. 一种金属基聚合物电热微驱动器设计与仿真[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(7): 1752-1756.
- [5] 吕湘连. 面向器件行为的 MEMS 宏建模方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [6] 冯雨周. MEMS 器件建模与仿真优化设计研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2013.

#### 参考文献:

- [1] 煤炭科学研究院唐山分院陀螺经纬仪组. 陀螺经纬仪基本原理、结构与定向[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1982.
- [2] 于来法. 陀螺定向测量[M]. 北京: 解放军出版社, 1988.
- [3] 洪绍明, 杨永平, 段德磊. 常用定向方法综述及其比较[J]. 勘察科学技术, 2008(1): 52-57.
- [4] 王缙, 申功勋. 摆式陀螺寻北仪的积分测量方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(5): 746-752.
- [5] 白云超, 刘思伟, 田育民. 自动化陀螺经纬仪中阻尼力矩器的设计[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(6): 752-755.
- [6] 范俊智. 陀螺经纬仪阻尼法的稳定观测[J]. 矿山测量, 1995(2): 8-10.
- [7] 戴宇佳. 摆式陀螺仪全方位快速寻北方法研究[D]. 西安: 第二炮兵工程大学, 2014.
- [8] 朱明荣, 汪立森. I2C 总线 I/O 器件 PCF8574 的原理与应用[J]. 电子技术应用, 1994(12): 30-33.
- [9] 吕艳. I2C 总线技术在并行口扩展方面的应用[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2009, 19(2): 28-60.
- [10] 邱永华. 一种 I2C 接口扩展器的设计[J]. 计算机科学与技术, 2012, 30(6): 61-63.
- [11] 董桂梅, 林玉池, 冯莉, 等. 陀螺经纬仪自适应智能下放系统[J]. 机械工程学报, 2010, 46(6): 77-81.
- [12] 冯莉, 董桂梅, 林玉池, 等. 陀螺灵敏部的精密升降定位控制[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(4): 114-119.
- [13] 夏桂锁, 周晶晶, 林玉池, 等. 陀螺仪灵敏部自动升降的控制[J]. 光学精密工程, 2007, 15(7): 1064-1068.
- [14] 王振业. 全方位高精度快速陀螺寻北技术研究[D]. 西安: 第二炮兵工程大学, 2013.
- [7] 贾孟军. 硅微机械加速度开关技术研究[D]. 上海: 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2007.
- [8] 张小波, 吴义伯, 王亚攀, 等. 一种非硅微加工技术制作的电热微驱动器[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(8): 118-120.
- [9] 李梅. 极化聚合物的光电特性研究及其应用[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [10] 饶青. 横向热驱动 RF MEMS 开关研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- [11] MANKAME N D, ANANTHASURESH G K. Comprehensive thermal modelling and Characterization of an electro-thermal-compliant microactuator[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2001, 11(5): 452-462.
- [12] 郝永平, 王永杰, 张嘉易, 等. 面向视觉测量的像素当量标定方法[J]. 纳米技术与精密工程, 2014, 12(5): 373-380.
- [13] 涂杨志. 模态分析在工程结构中的应用[J]. 铁道勘测与设计, 2004, 6(138): 13-15.