

文章编号 1004-924X(2009)05-1039-07

大型光电设备基准平面自动调平系统

姜伟伟^{1,2},高云国¹,冯栋彦^{1,2},陈兆兵^{1,2},蒲继承³

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100039;3. 中国矿业大学,北京 100083)

摘要:研制了一种光电设备自动调平系统。选用了3条机械支腿支撑大型光电设备载车,由安装在光电设备基座上的倾角传感器测得基准平面的倾角大小及方向,将此角度根据调平算法换算为3个机械支腿的伸长量,驱动机械支腿伸长使基准平面达到水平。给出了支撑腿数量和机械式支腿的选择依据,设计了一种可以在小角度范围内自动矫正受力方向的机械支腿,设计了整个传动系统,并且给出了驱动电路和调平算法。实验测定其调平精度为 0.003° ,整个光电设备调平时间约为120 s。实验结果表明:与以往的调平系统相比,该系统缩短了光电设备开展工作的准备时间,提高了调平精度。

关键词:光电设备;机械支腿;限位;调平算法

中图分类号:TH741.14 **文献标识码:**A

Automatic-leveling system for base-plane of large-size photoelectric equipment

JIANG Wei-wei^{1,2}, GAO Yun-guo¹, FENG Dong-yan^{1,2}, CHEN Zhao-bing^{1,2}, PU Ji-cheng³

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*
3. *China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China*)

Abstract: An automatic-leveling system is developed. Three mechanical supportings are chosen to sustain a large-size photoelectric equipment, and an obliquity-sensor fixed on the pedestal of the photoelectric equipment is used to measure the size and direction of the obliquity angle from a baseplane. Based on a leveling algorithm, the obliquity angle is converted to elongations of the mechanical supporting to drive the mechanical supporting to level the baseplane. The reasons for choosing three supporting points and mechanical supporting are introduced, then mechanical supportings and the entire transmission system are designed. A driven circuit and automatic-leveling arithmetics are given also. Automatic-leveling experiment indicates that the leveling precision of the automatic-leveling system reach 0.003° , and the leveling time of photoelectric equipment is about 120 s, which shows that this system is better than formerly systems on prepared time and precision.

Key words: photoelectric equipment; mechanical supporting; limited-place; leveling algorithm

收稿日期:2008-07-15;修订日期:2008-09-11.

基金项目:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所三期创新工程资助项目(No. 061X20C060)

1 引言

车载大型光电设备在工作时的基准平面由载车低架、副车架、支撑支腿组成,要求基准平面在工作时达到要求的调平精度和稳定性^[1-3]。

随着科学技术水平的发展和不断提高,调平系统所能实现的调平精度越来越高,调平所用时间也越来越少,并且自动化程度也越来越高。

早期的调平系统基本采用手动的调平机构,基准平面的监测系统为单轴水平仪,调平的时候费时费力,这种调整方式目前还使用在一些早期光电设备上。随着电子技术的发展,调平系统逐渐由手动调平转变为半自动和自动调平。

目前的调平系统按照控制方式分类主要分为以下几种:主控计算机加下位机控制板、PLC 控制系统、单片机嵌入式系统。根据控制方式的特点,使用的场合不同。

2 基本原理

采用主控计算机加下位机驱动电路板的控制模式完成系统的调平,整个调平过程如图 1 所示。倾角传感器将测得的倾斜角度的大小及方向通过串口由 RS485 信号传递给主控计算机,主控计算机中使用 VC++6.0 编写串口通信软件^[4-5],通信软件将测得角度经过调平算法换算为 3 个支腿各自的伸长量对应的脉冲数,将脉冲数通过串口由 RS485 信号传递给驱动板上的微控制器 AT89S52^[6-7],微控制器驱动步进电机的驱

动器使步进电机旋转,步进电机转矩经过减速增加转矩,将力矩传递给机械支腿,实现机械支腿的伸长。

本文着重阐述机械支腿^[8-9]、步进电机驱动器的驱动电路板^[10]和调平软件,并且将此系统应用于某大型光电设备,实验结果表明本自动调平系统不仅能达到基准平面倾角指标,而且增强了设备由运输状态切换到工作状态的机动性能。

3 机械部分设计

3.1 支撑腿数量的选择

传统的工程车辆的支撑为了增加稳定度多选用 4 条或多于 4 条支腿,这对于一般无精密对准要求的工程车辆是完全可行的。但是使用 4 条及以上数量的支腿,对基准平面已经产生了超定位,车载光电设备由运输状态切换到工作状态时不可能保证每条支腿受力状态有很好的重复性,必然导致车低架及副车架的内应力发生变化而发生基准平面变形,导致车上的光电设备的对准方向变化^[11]。这样,车辆切换到工作状态就必须再进行光学调整。

根据三点确定一个平面的原理采用 3 条支腿的支撑方式不但可以确定一个平面,而且可以保证每条支腿的受力状态的重复性,并且保证仪器的对准方向有较好的一致性。

基于以上分析确定采用三点的支撑方式来实现设备运输状态和工作状态的切换。三支腿布局如图 2 所示。

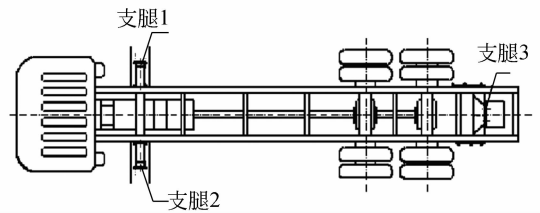


图 2 三支腿布局图

Fig. 2 Position of the three supportings

3.2 支腿类型的选择

现有支腿类型有液压式、机械式。液压支腿虽然单位体积内输出的力较大,但是它存在着一些缺点:液压油的压缩性、液压油的黏度系数随温度的变化特性、密封元器件的泄漏问题、液压油

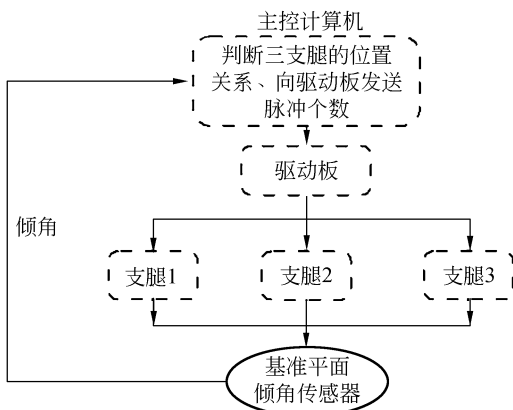


图 1 调平过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of automatic-leveling process

的可燃性、自身不能实现机械锁紧等。

机械支腿环境适应性较强、能够实现自锁。

本光电设备在较复杂的环境下使用,温度变化较大、环境比较恶劣。

综上所述,本系统选用机械支腿。

3.3 机械支腿设计

机械支腿的装配图如图3所示。

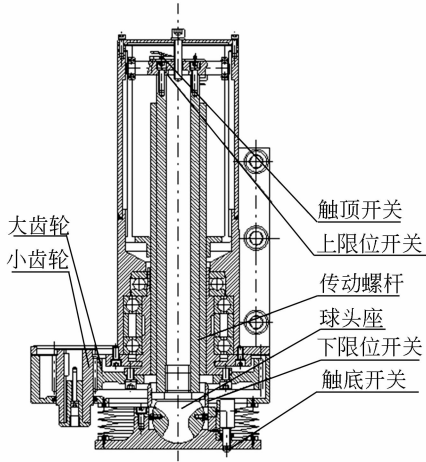


图3 机械支腿的装配图

Fig. 3 Assembly drawing of mechanical supporting

机械支腿上有4个常开开关,上、下限位开关位于为机械支腿上下行程的尽头,触底开关用于支腿伸长至垫块,触顶开关用于支腿收缩至顶盖,开关与电路驱动板相连。

球头座的作用是在小角度范围内矫正支腿的受力状态。

在机械支腿中最主要的承重构件是传动螺杆,对传动螺杆需要校核的方面有螺纹牙的耐磨性计算、螺纹牙的强度计算、螺杆的强度计算,限于篇幅不再论述。

螺杆螺纹副转动需要的扭矩为:

$$T = F \cdot \tan(\varphi + \phi_v) \cdot 0.5d_2, \quad (1)$$

式中: F 为支腿所受压力,整车总质量为20 t,后支腿承重8 t,故取 $F=80\,000\text{ N}$;

φ 为螺纹升角, $\varphi=2.51^\circ$;

ϕ_v 为当量摩擦角, $\phi_v=8.54^\circ$;

d_2 为螺纹中径, $d_2=72.5\text{ mm}$ 。

将参数值代入公式(1),可以得到螺纹转动所需的力矩为:

$$T = 570\text{ N} \cdot \text{m}.$$

3.4 支腿传动系统简介

传动结构设计遵循的原则是:充分利用车底

的有限空间,在满足要求前提下做到整个传动系统的体积尽量小。如图4所示。

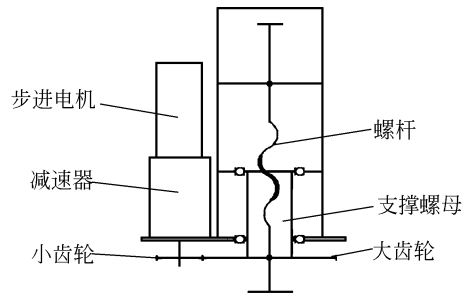


图4 支腿传动系统图

Fig. 4 Driving system of mechanical supporting

整个传动过程:由驱动板驱动步进电机产生旋转力矩,步进电机输出转矩经过16倍减速器增加力矩,然后又经过传动比为4的大小齿轮传动增加转矩,由大齿轮将力传递给支撑螺母,然后转化为螺杆的直线运动。

根据上节计算知道螺杆传动需要的扭矩为:

$$T = 570\text{ N} \cdot \text{m};$$

可以计算出所需步进电机输出力矩为:

$$T_1 = T/64 \approx 9\text{ N} \cdot \text{m};$$

根据 T_1 来选择步进电机的型号。

4 控制系统设计

4.1 调平算法

机械系统不可避免存在空回,所以采用逐高的调平办法,即高点不动低点向高点看齐的模式。根据倾角传感器测得的两路互相垂直的角度信号确定最高点,计算其余两点应该伸长的长度,然后调节其余两个支点伸长至最高点,调平过程如图5所示。

图5中A、B、C代表3个支腿。

经过倾角传感器测量得到3个支腿之间的位置关系如图5中左边所示,下一步编写算法,使B、C支腿共同升高且使B支腿与A支腿同高,最后一步升高C支腿至最高点。这种升高方式的目的在于使整个调平过程尽量平缓,减小车体变形及振动。

鉴于各种误差的存在,基准平面的最大倾角在一定的误差范围内的时候,就认为基准平面是水平的,并且记录下最大倾角及倾斜方向。

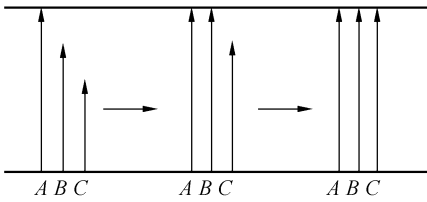


图 5 调平过程示意图

Fig. 5 Leveling diagram

4.2 主控计算机控制软件编写

调平软件安装在主控计算机上,主要完成的工作如下:

(1)接收倾角传感器的角度信号;

(2)根据角度信号判断出 3 个支点的高点及另外两个支点与高点的差距并将差距换算为脉冲个数发送给驱动板;

(3)发送支腿开始工作、支腿撤收命令给驱动板。

使用 VC++6.0 的 MFC 方式(交互式)编写调平软件,编写的时候调用 VC++6.0 提供的 MSCOMM32.OCX 控件。

控件 MSCOMM32.OCX 主要的设置如下:

```
m_Com. SetCommPort(1); //选择 COM1 口
```

```
m_Com. SetInBufferSize(1024); //设置输入缓冲区的大小,单位是 Byte
```

```
m_Com. SetOutBufferSize(1024); //设置输出缓冲区的大小,单位是 Byte
```

```
if(! m_Com_GetPortOpen())
```

```
m_Com. SetPortOpen(TRUE); //打开串口
```

```
m_Com. SetSettings("9600, n, 8, 1"); //设置数据传输速波特率为 9600 b/s、无校验位、8 位数据位、1 位停止位
```

```
m_Com. SetRThreshold(1); //表示一个字
```

符引发一个事件

主程序的流程如图 6 所示。

该软件显示基准平面的倾斜角度,并且可以选择使用串口号为 1~16 的任何一个串口。

该软件可以显示 3 个支腿应该调节的高度。

单击相应的按钮可以向驱动板发送支腿开始伸长、自动调平、撤收支腿、支腿伸长或缩短一定长度的命令。

考虑到数据传输在强电磁干扰下可能发生数据传输错误,所以还有单片机的复位命令按钮。

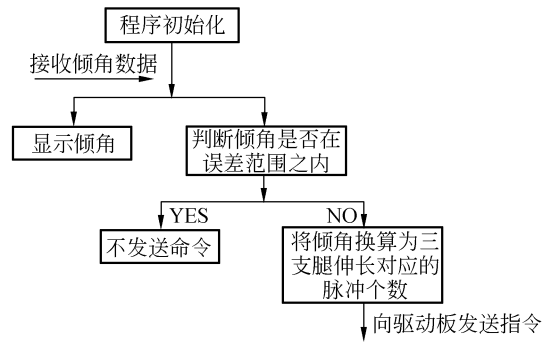


图 6 调平软件主程序流程图

Fig. 6 Flowchart of leveling software

采用专业软件制作工具 Set Factory 7.0 来发布调平软件,在编写软件的过程中用到控件 MSCOMM32.OCX,所以在制作发布程序的时候需要把此控件激活。

4.3 下位机控制板电路部分设计

步进电机与步进电机的驱动器是购买德国百格拉(Berger Lahr)公司的产品。

该步进电机的驱动器采用方向输入+脉冲输入的形式进行控制,其驱动器的输入信号为光耦信号,输入电阻为 150 Ω ,如图 7 所示,高电平对应电流大小为 7~25 mA,低电平对应电流大小为 -25~0.2 mA。由于 AT89S52 类型的单片机的驱动能力比较小。所以需要在单片机的输出引脚加一级驱动才能有这样的驱动能力,采用锁存器 74HC573 作为驱动器驱动输入信号。

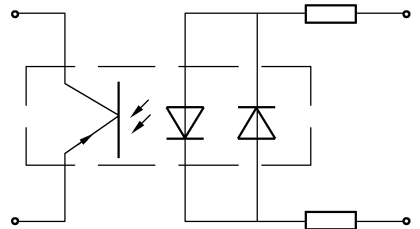


图 7 光耦电路

Fig. 7 Photoelectric circuit

下位机电路板的主要作用是接收来自主控计算机的脉冲控制信号,驱动步进电机的驱动器,控制机械支腿伸长使基准平面至水平。

电路板选用的微控制器为 AT89S52 型号的单片,此微控制器型号芯片支持 ISP(在系统编程)功能,调试方便。来自主控计算机的 RS485 电气特性与单片机的 TTL 电平转换芯片选用

MAX488epa,电路主要由以下几个部分组成:

- (1)单片机串口接收来自主控计算机 RS485 脉冲信号并将其转换为 TTL 电平的电路部分;
- (2)步进电机驱动器的驱动电路部分;
- (3)3 个机械支腿共 12 个开关的控制电路部分。

4.4 微控制器程序编写

采用可以使用 C 语言进行编程的软件 KEILC 作为 AT89S52 的程序编写软件。

此程序主要包括以下几个部分:

- (1)接收主控计算机发送的开始工作的信号,使支腿伸长至垫块(由于支腿最大行程仅 220 mm,所以,在支腿与地面之间放置一 480 mm 的铝合金垫块),并且再顶升一段距离使轮胎不再支撑车体;
- (2)接收主控计算机的各支腿伸长换算的脉冲个数信号,控制支腿伸长相应的距离;
- (3)接收主控计算机的支腿撤收信号,收缩直腿至触顶开关闭合时为止。

此外,除了设置串口通信协议的初始化程序,为增强程序的适应性,还增加了支腿开关信号的消抖动程序、微控制器的复位程序、以及防止干扰的看门狗程序。

5 调平精度定性分析及实验

5.1 调平精度定性分析

从总体来看调平系统的调平精度主要取决于车体本身(包括车底架和副车架)、机械支腿、基准平面的倾角检测精度和调平算法。此外,工作地点地基类型、风力的大小、经纬仪的工作状态等因素都影响最终所能实现的调平精度。

通过合理的结构设计及材料选择提高车体的刚度,可以减小车体的变形及在外力作用下的扰动。

支腿总伸长量为 0.22 m,由于车体跨距较长所以调整的角度范围大约是纵向 4° ,横向调整角度范围大约是 12° 。

机械支腿安装的竖直方向差距并不影响调平结果,只要保证 3 支腿为等腰三角形即可。

倾角传感器选用北京星网宇达科技开发有限公司的 XWQJ02-001 型号倾角传感器,精度为 0.001° 。在安装倾角传感器时须注意安装的位

置,因为安装的位置与调平算法有关系。

5.2 实验结果及分析

将该支撑调平系统应用于某型号的车载大型光电设备上,设备总质量为 20 t,在室内水泥地基的环境下进行试验,无外界干扰情况下获得的调平精度为 0.003° ,并且放置在水泥地面上静止 10 h 倾角显示无明显变化。此试验表明载车的调平精度较高,调平时间较短,并且可以长时间保持稳定。

在室外微风情况下在柏油路面上实验,打开光电设备自备的柴油发电机观测倾角读数的变化范围在 $20''$ 左右,其动载荷稳定性满足使用要求。

支腿的总伸长量为 0.22 m,所以每个支腿配备一个 0.48 m 的垫块,支腿回收后距离地面为 0.56 m。调整步进电机的驱动频率,实验测试表明,最佳的启动频率为 3 300 Hz,启动后能达到最大的脉冲频率为 5 000 Hz。经过多次测试顶升加调平整个过程大约在 120 s 左右。

调平后在基座上放置精度为 $0.2''$ 的自准直仪,反射十字光斑与分划板十字丝对准。然后将支腿撤收,再一次顶起,然后调平,经多次重复测量自准直仪的示数变化为 $0.4''$ 左右。此试验表明 3 点支撑可以使载车有较高的内部应力状态的重复性,从而使车上的光学仪器有较高的对准重复性,说明主车结构受力后的变形为弹性变形。

6 结 论

本文介绍了三点机电式调平系统的研制及试验测试方法,并且成功将此系统应用于某大型车载光电设备上。调平系统采用 3 个机械支腿、主控计算机加下位机电路形式的控制系统,能适应复杂恶劣的环境。尤其是采用三点支撑定位方式,可以保证大型光电仪器工作时有较高的光路对准重复性。实验结果表明:本调平系统的调平时间为 120 s 左右、室内调平精度为 0.003° ,这两项指标都较以往的此类系统有所提高,达到了方便灵活的车载运输和短时间内展开工作的要求,实现了快速切换,为仪器提供了稳固的工作基础,各支腿及控制系统经过较长时间的考验,性能稳定,操纵方便可靠,满足各项指标要求。本系统也可以使用在其他类似的光电设备上。

参考文献:

- [1] 高云国. 大型光电设备载车三点液压调平支撑的研究[J]. 光学精密工程, 1996, 4(3): 106-110.
GAO Y G. Research of three hydraulic leveling bearing points for carrying vehicle of large-size optical and electrical instrument [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1996, 4(3): 106-110. (in Chinese)
- [2] 杜俊峰. 楔铁式调平机构的设计[J]. 光学精密工程, 2003, 11(3): 302-304.
DU J F. Design of the wedge leveller[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(3): 302-304. (in Chinese)
- [3] 耿记波, 高云国, 吴延巽. 大型光电设备动基座自动支撑调平方法及结构[J]. 工程设计学报, 2007, 14(5): 383-387.
GENG J B, GAO Y G, WU Y X. Study on method and configuration for automatic supporting and leveling of big-scale photoelectric equipment's moved-ground work[J]. *Journal of Engineering Design*, 2007, 14(5): 383-387. (in Chinese)
- [4] 李现勇. Visual C++ 串口通信技术与工程实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
LI X Y. *COM port communication and project practice in Visual C++* [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2004. (in Chinese)
- [5] 黄维通. Visual C++ 面向对象与可视化程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
HUANG W T. *Face object and can be looked programmer* [M]. Beijing: Tsinghua Press, 2003. (in Chinese)
- [6] 万福君, 潘松峰. 单片微机原理系统设计与应用 [M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 2001.
WAN F J, PAN S F. *System Design and Practice of Singlechip* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001. (in Chinese)
- [7] 胡乾斌, 李光斌, 李玲, 等. 单片微型计算机原理与应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1996.
HU Q B, LI G B, LI L, et al. *Principle and Practice of Singlechip* [M]. Wuhan: Huazhong university of Science and Technology Press, 1996. (in Chinese)
- [8] 杨可桢, 程光蕴. 机械设计基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
YANG K ZH, CHENG G Y. *Base of Mechanical Design* [M]. Beijing: Higher education Press, 1998. (in Chinese)
- [9] 齿轮手册委员会. 齿轮手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
Editor Committee for Gear Enchiridion. *Gear Enchiridion* [M]. Beijing: China Machine Press, 1986. (in Chinese)
- [10] 梁恩主, 梁恩维. Protel 99SE 电路设计与仿真应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
LIANG E ZH, LIANG E W. *Design and Simulation of Circuit* [M]. Beijing: Tsinghua Press, 2000. (in Chinese)
- [11] 王乐锋, 荣伟彬, 孙立宁. 三支链六自由度并联柔性铰微动机器人的研究[J]. 光学精密工程, 2007, 15(4): 529-534.
WANG L F, RONG W B, SUN L N. Research on a three-link six-DOF micromanipulator with flexure hinges [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(4): 529-534. (in Chinese)

作者简介:



姜伟伟(1984—), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 主要从事光电仪器总体设计研究。E-mail: jdw094698@163.com



冯栋彦(1981—), 男, 山东菏泽人, 2004年于吉林大学获得学士学位, 现为中科院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生, 主要从事光机电仪器总体设计研究。E-mail: fdyra@163.com

高云国(1955—), 男, 山东乳山人, 研究员, 博士生导师, 主要从事光电仪器总体设计的研究。



陈兆兵(1981—),男,山东日照人,2006年于青岛大学获得学士学位,现为中科院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,主要从事光电对抗告警技术研究。E-mail: jdw094698@163.com



蒲继承(1981—),男,四川广安人,2006年于辽宁工程技术大学获得学士学位,现为中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院硕士研究生,主要从事采矿机械设计研究。E-mail: pujicheng2006@163.com

●下期预告

微机械振动环陀螺

陈 李,陈德勇,王军波

(中国科学院 电子学研究所 传感技术国家重点实验室,北京 100190)

为了减小振动环驱动模态和检测模态的频率差从而提高陀螺性能,提出了一种新颖的全对称振动环陀螺结构,采用电磁驱动、电磁检测。该微机械振动环陀螺结构在保持镜像对称的同时,还保持了中心对称,因此整个结构高度对称,有利于减小模态频率差。陀螺采用 MEMS 体硅工艺完成加工。为有效跟踪陀螺驱动模态的谐振频率并稳定驱动模态的幅值,设计了闭环驱动控制电路。该电路由低噪声前置放大器、相位调整环节以及自动增益放大器(VGA)组成。测试结果表明该陀螺两个模态频率差为 0.27 Hz,实现了较好的频率匹配。在 $\pm 200^\circ/\text{s}$,测得陀螺灵敏度为 $8.9 \text{ mV}/(^\circ/\text{s})$,分辨力为 $0.05^\circ/\text{s}$,非线性度为 0.23%。