

文章编号 1004-924X(2010)02-0326-08

八矩阵超小型绝对式光电编码器

刘长顺^{1,2}, 王显军¹, 韩旭东¹, 盖竹秋¹, 王增发¹

(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)

摘要:为了实现高精度、高可靠性、绝对式光电编码器的小型化,研究了编码器的编码方式和读数头的结构。介绍了编码器码盘所采用的八象限矩阵编码(即八矩阵码)原理,对比传统四象限矩阵码,八矩阵编码的优点在于它仅需两圈就可以实现 10 位自然二进制编码;码盘第一圈四路信号实现格雷编码的高三位,第二圈八路信号实现格雷编码的低七位;再经格雷编码与自然二进制的译码关系,得到 10 位自然二进制码。运用错位移相的方法设计了狭缝的精码窗口,获得了圆光栅莫尔条纹;同时,采用单头读数,减少了发光元器件(光源)的数量。最后,介绍了信号提取方法。实验结果表明,设计的八矩阵编码器实现了超小体积为 $\Phi 25\text{ mm} \times 16\text{ mm}$,重量 $< 28\text{ g}$,分辨率经过电子细分达到了 16 位,精度(1σ)优于 $30''$ 。极高的可靠性可保证该编码器在极其苛刻条件下长期正常工作,适于在航空航天和军事领域应用。

关键词:光电编码器;绝对式编码器;小型化;八矩阵;错位移相

中图分类号:TP212.14 **文献标识码:**A

Ultra miniature absolute optical encoders based on eight-matrix coding

LIU Chang-shun^{1,2}, WANG Xian-jun¹, HAN Xu-dong¹, GAI Zhu-qiu¹, WANG Zeng-fa¹

(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*)

Abstract: With the aim to realize the miniaturization of absolute optical encoders with the characteristics of greater accuracy and more reliability, the new coding mode and structure of a reading head are investigated. Firstly, this paper describes the principle of eight-matrix coding used in absolute optical encoders. Different from traditional four-matrix coding, the eight-matrix coding only needs two grating tracks to realize a 10-bit binary. The first grating track realizes the 3-bit coding of Gray code; and the second one realizes the 7-bit coding of Gray code. Then it can achieve the 10-bit binary coding through the relation between Gray code and binary. The Moiré fringe obtained by using phase compensation of incremental slit is another new technique in this paper. The single reading-head is also good for reducing the number of LEDs, therefore the dimension of encoder is smaller. Finally, the method of signal pick-up is discussed as well. Experimental results indicate that the proposed eight-matrix encoder has a smaller size of $\Phi 25\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ and a lighter weight of 28 g, while his resolution

收稿日期:2008-12-08;修订日期:2009-01-16.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2007AA703427)

is 16-bit and accuracy is $30''$. It is concluded that the encoder can normally work in very hard conditions with more reliability for long time and can be widely applied to the field of modern military and aerospace.

Key words: optical encoder; absolute encoder; miniaturization; eight-matrix; phase compensation

1 引言

光电轴角编码器是一种具有代表性的角位移传感器,是集光、机、电于一体的一种数字测角装置,依据编码方式可分为增量式、绝对式和准绝对式3种类型。绝对式编码器可在工作的任意时刻进行位置测量,获得的测量结果为绝对位置数据,且测量结果不易丢失,两次上电测量同一位置的测量结果绝对相同,若某次测量结果出现差错,那么这一差错不会影响后续位置的测量,测量有较强的可靠性。增量式和准绝对式编码器,则在上电后不能立刻获得初始化位置,而需要经过一个自引导过程,经过一定的角度,在这个角度范围内是增量式和准绝对式的盲区,因此,增量式和准绝对式编码器相比于绝对式编码器在应用上受到很大的限制^[1-6]。

正是由于绝对式编码器具有固定起始点,读数可靠,不易受干扰这些优点,在工业、国防、航天等部门已得到广泛应用。但是由于它体积大、质量较重,使其应用也受到了一定限制。特别是在某些特殊环境中的应用,例如导弹导引头上需要的测角测速传感器,要求重量轻、体积小、可靠性高、便携性好等特点,传统绝对式光电编码器不能满足要求。

本文在为国内某导引公司设计生产的某型号超小型绝对式编码器的基础上,介绍了绝对式编码超小型化研制的相关方法,创新地提出了八矩阵绝对式的编码和空间错位移相的狭缝裂相方法,通过反复实验和不断地改进,已获得良好的正交性和正弦性的高质量信号。经过电子细分该绝对式编码器的分辨率达16位,精度为 $30''$,超小体积达 $\Phi 25\text{ mm} \times 16\text{ mm}$,从而解决了传统绝对式光电编码器的分辨率与结构尺寸之间的矛盾。

2 技术原理

一般来说,绝对式光电编码器的结构由轴系、光源、光电接收器、光栅副(主光栅和指示光栅)和电路5部分组成,如图1所示。通常,码盘尺寸、光源和接收器的数量及后处理电路的集成度,对编码器的体积影响都比较大,以下将从上述各方面进行讨论。

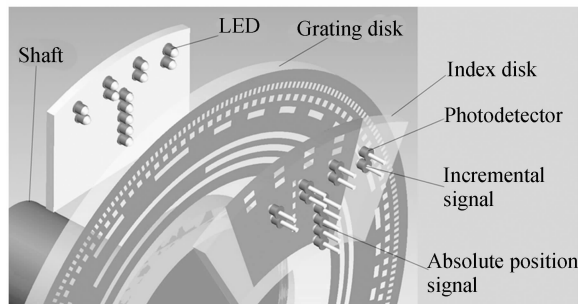


图1 绝对式光电编码器结构

Fig. 1 Structure of absolute optical encoder

2.1 码盘图案

码盘是编码器重要的基准元件,为编码器提供角度测量基准。码盘采用八象限矩阵码和增量编码相结合的方式编排,在缩小了绝对编码的结构尺寸的同时提高了编码器的分辨率。通过两圈码道实现10位格雷码,而传统四象限矩阵码需要4圈码道,相比之下,在码道数量上减少了很多,有利于码道径向尺寸的减小。同时,为了提高系统的分辨率,在码盘的外圈增加一条增量式编码,用于电子学细分。增量编码为1 024 lp/circle,经电子学细分为64份,使分辨率达到了16位。如图2所示:八矩阵编码是以 45° 区间进行编排使用的。第一圈与传统的格雷编码一致,只包含一种周期的编码 A_1 ,即半圈为通光区,另一半

圈为不通光区。第二圈在一周内包含了 7 种不同周期的编码:在 $270^\circ\sim 360^\circ$ 内为编码 A_4 有 1 个周期,周期为 $360^\circ/2^2$;在 $0^\circ\sim 45^\circ$ 区间为编码 A_5 有 1 个周期,周期为 $360^\circ/2^3$;在 $45^\circ\sim 90^\circ$ 区间为编码 A_6 有 2 个周期,周期为 $360^\circ/2^4$;在 $90^\circ\sim 135^\circ$ 区间为编码 A_7 有 4 个周期,周期为 $360^\circ/2^5$;在 $135^\circ\sim 180^\circ$ 区间为编码 A_8 有 8 个周期,周期为 $360^\circ/2^6$;在 $180^\circ\sim 225^\circ$ 区间为编码 A_9 有 16 个周期,周期为 $360^\circ/2^7$;在 $225^\circ\sim 270^\circ$ 区间为编码 A_{10} 有 32 个周期,周期为 $360^\circ/2^8$ 。

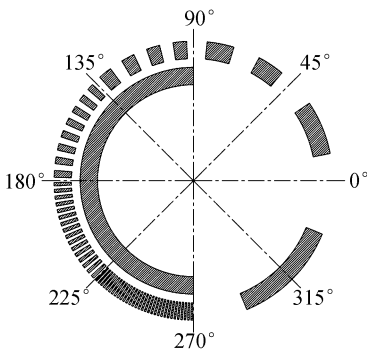


图 2 八象限码盘图案

Fig. 2 Pattern of grating using eight-matrix

2.2 狭缝图案

狭缝与码盘配合,形成光栅副,用来读取码盘上的位置信息。这里,狭缝的图案是由 12 个粗码和 4 组精码窗口组成的,如图 3 和图 4 所示。粗码采用单缝窗口形式,负责提取码盘上的对应位置的两圈粗码信息。其中狭缝上的第一圈有 4 个单缝窗口,依次放置在相差 45° 的位置上,即对应码盘第一圈的 270° 、 315° 、 0° 、 45° 4 个位置。从而可以得到相同周期的 4 路信号 a_1 、 a_2 、 a_3 和 a_4 ,其相互关系如表 1 所示。经过译码可以得到两个信息:自然二进制的第一位到第三位编码;通过逻辑运算可将码盘圆周分成 8 个等区间,用于第二圈编码的译码。狭缝的第二圈有 8 个单缝窗口,依次放置在相差 45° 的位置上,即对应码盘的第二圈 270° 、 225° 、 180° 、 135° 、 90° 、 45° 、 0° 、 315° 等 8 个位置,从而得到 8 路电信号 b_1, b_2, \dots, b_8 ,且每路均包含 7 种不同周期的信号,如表 2 所示。

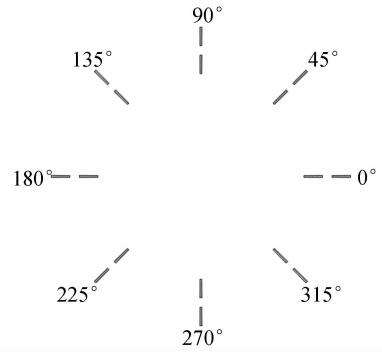


图 3 狭缝粗码图案

Fig. 3 Slit pattern of absolute position coding

狭缝上的增量编码窗口采用紧凑型的“田”字裂相法,即 0° 、 90° 、 180° 和 270° 四相位窗口的排列方式如图 4 所示。其目的是为了在一个光源照射下,充分利用光源的有效范围。从 4 个窗口依次可得相位相差 90° 的 4 路正弦信号,经差分放大后用于电子细分,以保证编码器有较高的分辨率。

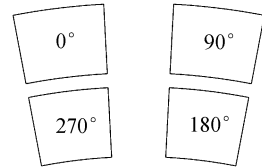


图 4 狭缝增量编码裂相窗口

Fig. 4 Slit window of incremental grating

2.3 译码原理

通过狭缝窗口得到的 12 路粗码信号中,有 8 路包含了不同周期的信号,因此不可以直接使用,须将原始信号经过译码,转成格雷码后,再处理成自然二进制码。其中第一圈 4 路信号关系表 1 所示:

表 1 第一圈编码信号关系

Tab. 1 Measuring data of encoder

	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim
	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
a_1					A_1	A_1	A_1	A_1
a_2				A_1	A_1	A_1	A_1	
a_3			A_1	A_1	A_1	A_1		
a_4		A_1	A_1	A_1	A_1			

第一圈的4个信号与格雷编码的关系为:

$$\begin{cases} A_1 = a_1 \\ A_2 = a_3 \\ A_3 = \overline{a_2} \cdot \overline{a_4} \end{cases}, \quad (1)$$

可见,由第一圈译码将得到传统格雷编码的前三位: A_1, A_2, A_3 。接下来第二圈的8路信号,其关

系如表2所示:

$$\begin{cases} A_4 = b_1 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_3} + b_2 \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{a_4} + b_3 \cdot a_1 \cdot \overline{a_3} + b_4 \cdot a_2 \cdot \overline{a_4} + b_5 \cdot a_1 \cdot a_3 + b_6 \cdot a_2 \cdot a_4 + b_7 \cdot \overline{a_1} \cdot a_3 + b_8 \cdot \overline{a_2} \cdot a_4 \\ A_5 = b_1 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 + b_2 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 + b_3 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_4} + b_4 \cdot a_1 \cdot \overline{a_2} + b_5 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} + b_6 \cdot a_3 \cdot \overline{a_4} + b_7 \cdot a_1 \cdot a_4 + b_8 \cdot \overline{a_1} \cdot a_2 \\ A_6 = b_1 \cdot \overline{a_1} \cdot a_2 + b_2 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 + b_3 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 + b_4 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_4} + b_5 \cdot a_1 \cdot \overline{a_2} + b_6 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} + b_7 \cdot a_3 \cdot \overline{a_4} + b_8 \cdot a_1 \cdot a_4 \\ A_7 = b_1 \cdot a_1 \cdot a_4 + b_2 \cdot \overline{a_1} \cdot a_2 + b_3 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 + b_4 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 + b_5 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_4} + b_6 \cdot a_1 \cdot \overline{a_2} + b_7 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} + b_8 \cdot a_3 \cdot \overline{a_4} \\ A_8 = b_1 \cdot a_3 \cdot \overline{a_4} + b_2 \cdot a_1 \cdot a_4 + b_3 \cdot \overline{a_1} \cdot a_2 + b_4 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 + b_5 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 + b_6 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_4} + b_7 \cdot a_1 \cdot \overline{a_2} + b_8 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} \\ A_9 = b_1 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} + b_2 \cdot a_3 \cdot \overline{a_4} + b_3 \cdot a_1 \cdot a_4 + b_4 \cdot \overline{a_1} \cdot a_2 + b_5 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 + b_6 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 + b_7 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_4} + b_8 \cdot a_1 \cdot \overline{a_2} \\ A_{10} = b_1 \cdot a_1 \cdot \overline{a_2} + b_2 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} + b_3 \cdot a_3 \cdot \overline{a_4} + b_4 \cdot a_1 \cdot a_4 + b_5 \cdot \overline{a_1} \cdot a_2 + b_6 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 + b_7 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 + b_8 \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_4} \end{cases}, \quad (2)$$

则第二圈译码后将得到传统格雷编码的后七位: $A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}$ 。这样,通过式(1)和式(2)的八矩阵译码,就产生了传统10位的格雷编码。然后,再按照格雷编码的译码原理,将其译成自然二进制编码。那么,设10位自然二进制码从高位至低位依次为 X_1, X_2, \dots, X_{10} ,则有:

$$\begin{cases} X_1 = A_1 \\ X_2 = X_1 + A_2 \\ X_3 = X_2 + A_3 \\ \dots \\ X_{10} = X_9 + A_{10} \end{cases}, \quad (3)$$

至此,完成粗码的八矩阵译码,得到10位自然二进制编码。再将增量编码的4路信号经电子细分与粗码连接,就可得到16位分辨率绝对式编码。

2.4 移相设计

狭缝增量编码(即精码)窗口采用移相设计,与一般的增量式编码的窗口不同:正常情况下,4个窗口应该是依次相差1/4个精码周期,即 90° (1个信号周期为 360°),而本方案中的4个窗口并不

表2 第二圈编码信号关系

Tab. 1 Measuring data of encoder

	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim	\sim
	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
b_1	A_4	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
b_2	A_{10}	A_4	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
b_3	A_9	A_{10}	A_4	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
b_4	A_8	A_9	A_{10}	A_4	A_4	A_5	A_6	A_7
b_5	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_4	A_4	A_5	A_6
b_6	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_4	A_4	A_5
b_7	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_4	A_4
b_8	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_4

第二圈编码的8路信号与格雷编码的关系为:

是严格 90° 的关系。因编码器的结构过小,发光元器件不能太多,过多会增大体积,因而发光与接收不采用一对一的关系,而是用一只红外发光二极管同时照射4个精码窗口。但是,发光管本身具有光发散性,在一个发光元器件照射多个狭缝窗口时,会引起窗口之间的关系在空间位置上产生偏差,此偏差反应到信号中,就是沿圆周方向的两个信号间的关系有误差,从而对所提取的4路增量信号产生相位上的影响。因此,在考虑空间结构尺寸的情况下,狭缝精码窗口的设计与传统的裂相关系不同,它要将光源发散角的因素考虑进去。以精码的 0° 相位信号为例,如图5所示,点光源以不同的发散角通过码盘照在狭缝上,投影坐标依次为 X_1, X_2, \dots, X_n ,这些坐标就是狭缝依光源发散角而需要做的相位补偿,即错位移相法。码盘精码中径设计为14 mm,全周刻线数为1 024 lp,则精码的光栅节距:

$$p = \frac{14\pi}{1\,024} \approx 0.042\,95 \text{ mm}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} X_1 = t + \Delta h \cdot \frac{t}{h} \\ X_2 = t + \frac{p}{2} + \Delta h \cdot \frac{t + p/2}{h} \\ \dots\dots \\ X_n = t + p \cdot n/2 + \Delta h \cdot \frac{t + p \cdot n/2}{h} \end{cases}, \quad (5)$$

式中： Δh 为码盘与狭缝的间隙； t 为点光源中心距狭缝窗口的水平距离； h 为点光源中心距码盘的垂直距离； n 为精码窗口光栅线数。

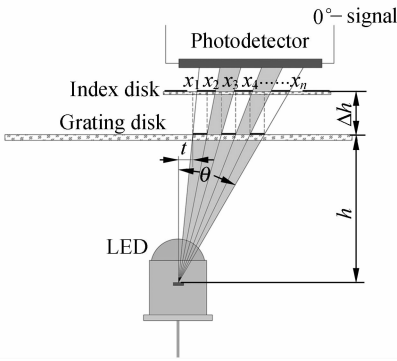


图 5 光源发散角

Fig. 5 Radiation angular of LED

其中,光源选用的是 honeywell 的红外发光二极管,因光源强度因素,发散角不能取得过大,这里发散角选用 24° 是指达到发光强度 50% 以上的区域,如图 6 所示。因此, n 在数值上的选择应该满足:

$$n \leq \frac{2(h \cdot \tan 12^\circ - t)}{p}, \quad (6)$$

来保证光电接收器接收的光强信号有效。

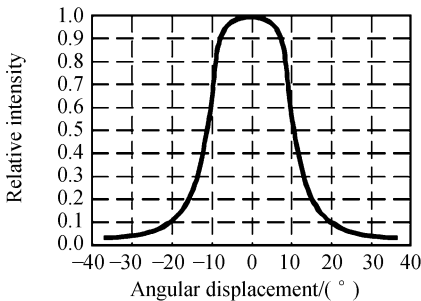


图 6 发光强度与发散角度关系曲线

Fig. 6 Radiant intensity vs. angular displacement

2.5 信号提取

光电轴角编码器的信号提取方法一般使用莫

尔条纹,因为光源波长 $\lambda = 880 \text{ nm}$ 远远小于精码的光栅节距 $p \approx 0.04295 \text{ mm}$,狭缝错位相法设计中的 Δh 按经验公式得:

$$\Delta h = 0.1 \frac{p^2}{\lambda}, \quad (7)$$

根据莫尔条纹的工作原理有如下近似计算公式:

$$B = \frac{p}{2 \sin(\theta/2)} \approx \frac{p}{\theta}, \quad (8)$$

式中: B 为莫尔条纹宽度; p 为光栅常数; θ 为动静光栅夹角。

公式表明莫尔条纹是一个光学放大器。莫尔条纹宽度 B ,实际上光栅刻线周期 p 被放大 $1/\theta$ 倍。当光栅常数 p 确定以后,选取的莫尔条纹宽度 B 越宽(θ 越小)则放大倍数越高, θ 角的微小变化对莫尔条纹的宽度 B 的影响就越敏感,对光机结构(轴系)的要求也越苛刻。因此,使采用较窄的莫尔条纹宽度有利于减小轴系晃动的影响,降低信号正交性的变化,改善信号的正弦性^[7-13]。在实际应用中莫尔条纹的公式为:

$$B = \frac{RW}{\Delta R \pm e}, \quad (9)$$

式中: ΔR 为动静光栅偏置量; R 为精码刻划半径; e 为码盘安装偏心。

根据以上分析可知,选取莫尔条纹宽度 $B = 0.5 \text{ mm}$;装调时保证偏心 $e \leq 0.001 \text{ mm}$,就可以获得较高质量的光栅信号。同时为了消除信号中的直流分量,将 4 路信号进行差分处理: 0° 与 180° 差分后得到正弦, 90° 与 270° 差分后得到余弦。如图 7 所示为正弦与余弦的李沙育图。

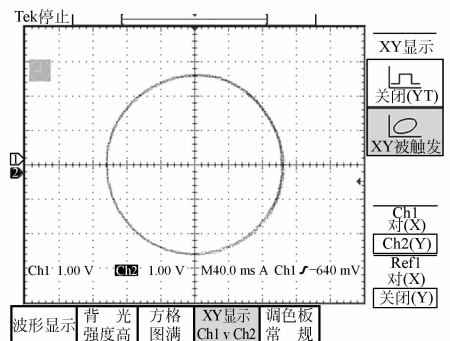


图 7 光电信号李沙育图

Fig. 7 Lissajous graph of Moiré signal

3 实验结果

编码器经64倍电子细分可以达到16位的分辨率(19.8'').系统经过后期算法优化,并对信号的修正和误差补偿,最终实现的编码器精度(1 σ)可达到30''.表3是用24面棱体分别正转和反转检测所得的两组数据,以编码器读数为基准,读光管数值。检测数据证明此编码器设计合理,满足使用要求。研制的八矩阵绝对式光电编码器如图8,详细的技术参数见表4。



图8 实物照片

Fig. 8 Photographs of eight-matrix encoder

表3 编码器的检测数据

Tab. 3 Measuring data of the encoder

angle /(°)	Measuring error		Amendment value/(")	Error after amendment	
	prograde/(")	reversal/(")		prograde/(")	reversal/(")
0	0	0	0	0	0
15	18.6	20.7	0	18	20.1
30	22.3	25.4	0.6	22.8	25.9
45	-11.6	-12.5	-0.5	-10.4	-11.3
60	-25.2	-19.6	-1.2	-26.3	-20.7
75	2.3	-2.5	1.1	3.2	-1.6
90	-16.8	-19.3	-0.9	-16.8	-19.3
105	46.9	47.2	0	46	46.3
120	10.6	10.6	0.9	11.2	11.2
135	65.2	58.9	-0.6	65.8	59.5
150	35.1	32.3	-0.6	35.3	32.5
165	-2.3	-5.5	-0.2	-2	-5.2
180	-1.3	9.7	-0.3	-0.9	10.1
195	-16.2	-25.8	-0.4	-16.8	-26.4
210	39.2	45.4	0.6	38.2	44.4
225	-34.6	-43.9	1	-34.3	-43.6
240	-15.4	-19.6	-0.3	-15.4	-19.6
255	-22.9	-20.2	0	-23.1	-20.4
270	19.8	27.4	0.2	18.8	26.4
285	55.7	46.8	1	54.8	45.9
300	-15	-5.8	0.9	-15.5	-6.3
315	-36.3	-41.2	0.5	-37.1	-42
330	-37.1	-39.6	0.8	-35.6	-38.1
345	20.5	22.4	-1.5	20.1	22
0	-5.3	-7.6	0.4	-5.3	-7.6

表4 编码器技术参数

Tab. 4 Specifications of encoder

Items		Specifications
1	Positions per revolution	65 536(16 bit)
2	System accuracy	30''
3	Overall dimensions	$\Phi 25 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$
4	Weight	28 g
5	Operating temperature	-40~+60 °C
6	Shock	120 g(6 ms)

4 结论

按照上述的原理和方法研制的八矩阵绝对式光电编码器,开辟了一种新的绝对式编码器的实现途径,是对绝对式光电编码器小型化的一种突破,并且该编码器的样机已经顺利通过高达0.088 g^2/Hz 的功率谱密度和120 g(6 ms)的冲击试验,可保证在极其苛刻条件下长期正常工作,在国防、科技等领域,极具应用前景和实用价值。实验结果证明:编码器的精度在30''以内,体积为 $\Phi 25 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$,已经满足使用要求。

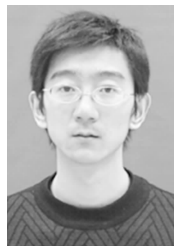
参考文献:

- [1] 曹振夫. 小型绝对式矩阵编码器[J]. 光学机械, 1985,(5):65-70.

- CAO ZH F. Miniature absolute matrix encoder[J]. *Optics and machine*, 1985,(5):65-70. (in Chinese)

- [2] 董丽丽,熊经武.光电轴角编码器的发展动态[J]. 光学精密工程,2000,8(2):198-202.
DONG L L, XIONG J W. Development of photoelectric rotary encoder [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000,8(2):198-202. (in Chinese)
- [3] 曹振夫. 260M 光电轴角编码器结构与原理[J]. 光学精密工程,1995,3(5):126-130.
CAO ZH F. 260M photoelectrical angle encoder's structure and principle[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1995,3(5):126-130. (in Chinese)
- [4] 孔智勇,赵红颖,熊文卓,等.采用衍射、干涉技术提高光电轴角编码器的测角精度和分辨率[J]. 光学精密工程,2001,9(3):260-265.
KONG ZH Y, ZHAO H Y, XIONG W ZH, *et al.*. Improving angle-measuring precision and resolution of photoelectric rotary encoders using diffraction interference technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001,9(3):260-265. (in Chinese)
- [5] 洪喜,续志军,杨宁.基于径向基函数网络的光电编码器误差补偿法[J]. 光学精密工程. 2008,16(4):598-604.
HONG X, XU ZH J, YANG N. Error compensation of optical encoder based on RBF network[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(4):589-604. (in Chinese)
- [6] 余琳,冯长有,丁林辉.两步法测量编码器测角误差[J]. 光学精密工程,2004,12(1):66-70.
SHE L, FENG CH Y, DING L H. Measurement of encoder errors with two-step method[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004,12(1):66-70. (in Chinese)
- [7] 罗长洲,陈良益,孙岩,等.一种新型光学编码器[J]. 光学精密工程,2003,11(1):104-108.
LUO CH ZH, CHEN L Y, SUN Y, *et al.*. A new optical encoder [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003,11(1):104-108. (in Chinese)
- [8] 熊文卓,吴江洪,孔智勇,等.细光栅自成像光电轴角编码器[J]. 光电工程,2004,31(1):46-48.
XIONG W ZH, WU J H, KONG ZH Y, *et al.*. Self-imaging photoelectric shaft encoder with fine grating [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004,31(1):46-48. (in Chinese)
- [9] 熊文卓,孔智勇,张炜,等.光电轴角编码器光电信号正交性偏差的相量校正法[J]. 光学精密工程,2007,15(11):1745-1748.
XIONG W ZH, KONG ZH Y, ZHANG W, *et al.*. Phase correction of quartering deviation of photoelectric rotary encoder [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004,31(1):1745-1748. (in Chinese)
- [10] MATSUZOE Y, KOIZUMI K, SAITOH T. Optimizing design of high-resolution optical encoder using a point-source light-emitting diode with slits [J]. *Opt. Eng.*, 2005,44(1):013609-1-013609-6.
- [11] MATSUZOE Y, YOSHIZAWA T. High-performance absolute rotary encoder using multitrack and M-code [J]. *Opt. Eng.*, 2003,42(1):124-130.

作者简介:



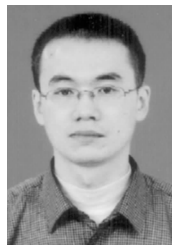
刘长顺 (1982—),男,辽宁丹东人,研究实习员,2004年于南京航空航天大学获得学士学位,主要从事光电传感技术研究。E-mail: lcsnuaa@163.com



韩旭东 (1975—),男,山东博兴人,副研究员,1998年于长春理工大学获得学士学位,2001年、2007年于中科院研究生院分别获得硕士和博士学位,主要从事光电传感技术研究。E-mail: hanxd@ciomp.ac.cn



盖竹秋 (1973—), 男, 山东莱阳人, 硕士, 副研究员, 1998年于吉林大学获得学士学位, 2005年于中科院研究生院获得硕士学位, 主要从事光电传感技术和电子学技术研究。E-mail: gaizhuqi-uemail@yahoo.com.cn



王增发 (1980—), 男, 吉林辉南人, 硕士, 助理研究员, 2004年、2006年于哈尔滨工业大学分别获得学士、硕士学位, 主要从事光电传感技术研究。E-mail: erwin1023@163.com

通讯作者:



王显军 (1965—), 男, 吉林长春人, 研究员, 硕士生导师, 1988年于天津大学获得学士学位, 主要从事光电传感技术和电子学研究。E-mail: yh8875@yahoo.cn

● 下期预告

半导体激光器列阵的 smile 效应与封装技术

王祥鹏^{1,2}, 李再金^{1,2}, 刘云¹, 王立军¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

为了减小由于半导体激光器列阵在封装过程中引入的热应力而引起的 smile 效应, 提高半导体激光器列阵光束质量。利用对半导体激光器列阵发光点成像放大的方法, 准确测量了半导体激光器列阵的 smile 效应, 测量误差为 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 。smile 效应的准确测量能客观地比较减小 smile 效应的各种技术与方法, 以达到减小 smile 效应的目的。根据分析测量结果, 提出了通过优化封装半导体激光器列阵焊接回流曲线的方法, 使 smile 效应值控制在 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 内。结果表明, 本文提出的方法减小了半导体激光器列阵 smile 效应值, 显著提高了激光器列阵光束质量, 为下一步研制小芯径、高光束质量半导体激光器列阵光纤耦合模块提供了基础条件。