

DOI: 10.3724/SP.J.1187.2010.00848

# 星载高精度小型多圈绝对式编码器设计

卢新然 万秋华 杜颖财 赵长海

(中科院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130031)

**摘要:** 为了满足星载相机中调焦相机电机转动精度和圈数记忆要求, 设计了小型多圈绝对式光电编码器。根据星载相机的精度要求, 对1级绝对式光学码盘进行了小型化设计; 根据电机转动的计数要求, 设计了2级绝对式矩阵码盘计数系统; 最后, 对设计的小型多圈绝对式光电编码器进行了精度检测。小型多圈星载绝对式光电编码器外形尺寸为直径40 mm×50 mm、重量为200 g、分辨力为40"、精度 $<\pm 100''$ , 圈数16圈。本编码器能实现相机中电机转动圈数记忆功能, 且体积小、精度高, 可满足星载相机的要求。

**关键词:** 星载光电编码器; 绝对式多圈码盘; 小型化

中图分类号: TP212.12

文献标识码: A

国家标准学科分类代码: 510.8060

## Design of satellite mounting high precision minitype multi-turn absolute photoelectric encoder

Lu Xinran Wan Qiuhua Wang Shuqing Zhao Changhai

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China)

**Abstract:** In order to satisfy the requirement of satellite mounted focus camera electric motor's turn precision and cylinder memory, the design for mini-type multi-turn high precision absolute photoelectric encoder mounted satellite is proposed in this paper. Based on the requirements of the focus camera, the miniaturization design is applied to first level absolute matrix optical code disc. And based on the cylinder memory of electric motor, the second count system of absolute matrix code is designed. Finally the precision test is implemented on the mini-type multi-turn absolute photoelectric encoder. This mini-type multi-turn encoder outline dimension is  $\phi 40\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ , weight 200 g, resolution 40", precision  $< \pm 100''$ , cylinder number is 16. The encoder has the function of electric motor cylinder memory, light weight, high precision, which can meet the requirement of satellite mounting.

**Keywords:** satellite mounting photoelectric encoder; absolute multi encoder; miniaturization

## 1 引言

光电轴角编码器, 又称光电角位置传感器, 是一种集光、机、电为一体的精密数字测角装置, 它把轴角信息转换成数字代码, 与计算机和显示装置连接后可实现动态测量和实时控制。

通常情况下, 编码器在电机驱动下, 可以实现无限圈数360° 旋转运动。星载的光电跟踪、观测、瞄准设备, 对主体仪器电机转动圈数和相机镜头伸缩范围有严格的要求, 因此对所用的光电编码器的

旋转圈数要求有绝对记忆功能。

为了满足圈数记忆要求并有效地减小编码器的体积, 设计了1级错位排列10位密窄码盘, 保证1级码盘的测量精度; 设计了具有多圈记忆功能的2级错位排列金属码盘和多圈齿轮系; 在一台编码器上实现相机精度控制又实现了绝对式圈数记忆。与同样可以实现多圈记忆的编码器相比, 直径由 $\phi 80\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 减小为 $\phi 40\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ , 体积显著减小; 重量由500 g为小于200 g。实验证明, 多圈星载绝对式光电编码器具有绝对圈数记忆功

能、体积小、重量轻、且满足航天相机的要求。

## 2 星载多圈绝对式光电编码器的组成及工作原理

绝对式编码器的工做原理如图1所示。多圈绝对式光电编码器结构如图2所示；它包括：1级主发光管、1级码盘、1级狭缝盘、1级光电接收管、主轴、传动齿轮系、2级发光管、2级码盘、2级狭缝盘、2

级光电接收管。当编码器工作时，1级码盘随主轴旋转，1级发光管发出的光经1级码盘、1级狭缝盘照射到1级光电接收管上，传动齿轮系带动2级码盘旋转，2级发光管发出的光经2级码盘、2级狭缝盘照射到2级光电接收管上。1级接收管与2级接收管所产生的电信号经过电路处理，既显示主轴在360° 范围内旋转的位置，又显示了编码器主轴旋转的圈数。

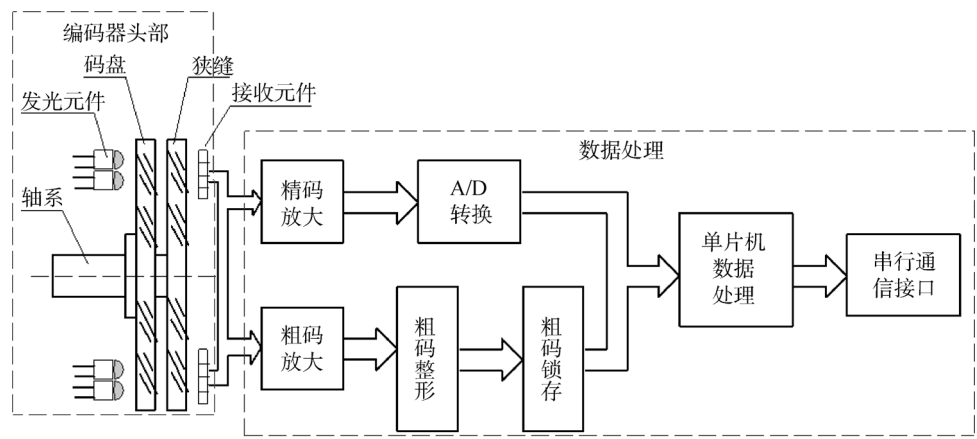


图1 编码器工作原理图  
Fig. 1 Schematic diagram of encoder

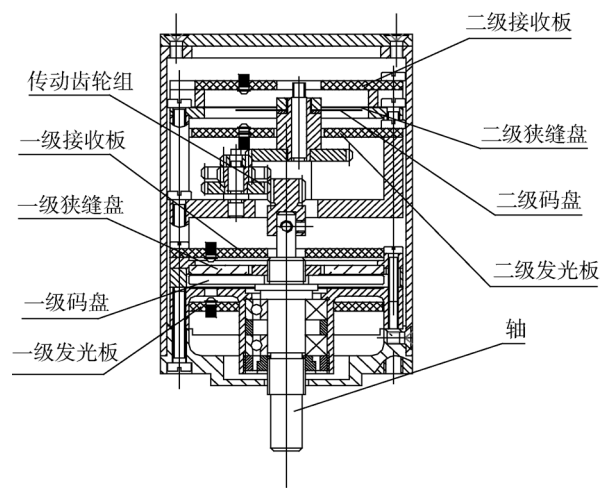


图2 多圈编码器结构图  
Fig. 2 Structure of multi-turn encoder

## 3 多圈编码器的设计

### 3.1 多圈编码器的一级码盘和狭缝设计

多圈绝对式光电编码器的一级码盘码道按矩阵式编码原理排列。由于编码器尺寸限制，因此在直径

为 $\phi 32$ 的码盘上采用错位排列码道设计，在设计中将码道及隔离圈的刻划中径减小；为避免各接收元件之间串光，其对应狭缝及光电接收管也错位排列。错位排列的矩阵式码盘如图3所示。码道共分5圈，从里到外依次为A、B、C、D、G圈。A圈在180°~360°区间内通光，为第1位和第2位，即 $A_1$ 和 $A_2$ 。B圈在0°~180°刻第3位 $A_3$ ，即在半周内有一条通光区；在180°~360°刻第4位 $A_4$ ，即在半周内有两条通光区。C

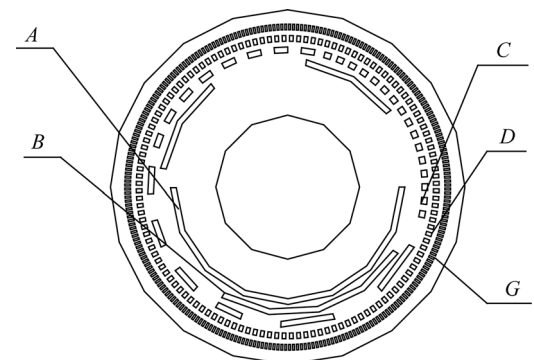


图3 错位排列1级矩阵码盘图  
Fig. 3 Diagram of the first level matrix code disc in dislocation array

圈刻有4位不同的码道,  $0^\circ\sim 90^\circ$ 刻第5位 $A_5$ , 在这一扇形区内刻2条通光区; 在 $90^\circ\sim 180^\circ$ 刻第6位 $A_6$ , 在这一扇形区内刻4条通光区; 在 $180^\circ\sim 270^\circ$ 刻第7位 $A_7$ , 在这一扇形区内刻8条通光区; 在 $270^\circ\sim 360^\circ$ 刻第8位 $A_8$ , 在这一扇形区内刻16条通光区;  $D$ 圈为精粗校正码道, 刻有128个通光区;  $G$ 圈为精码码道, 刻有256个通光区, 作为细分码道。

多圈编码器的一级狭缝设计如图4所示。

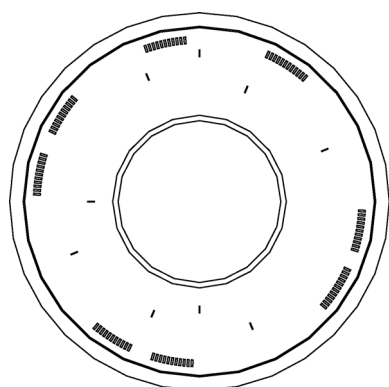


图4 1级狭缝图

Fig. 4 First level slit disc

在 $A$ 圈设置2个读数头 $a_1$ 及 $a_2$ , 当码盘顺时针转动时, 读数头 $a_1$ 及读数头 $a_2$ 取出2个光电信号 $A_1$ 和 $A_2$ , 这两路信号即作为第1位和第2位码道。

在 $B$ 圈设置两个读数头 $b_1$ 及 $b_2$ , 当码盘顺时针转动时, 读数头 $b_1$ 首先扫描 $A_3$ , 后扫描 $A_4$ ; 而读数头 $b_2$ 则首先扫描 $A_4$ , 后扫描 $A_3$ 。

在 $C$ 圈中设置4个读数头 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ 、 $c_4$ , 当码盘顺时针转动时, 读数头 $c_1$ 将先扫过 $A_8$ , 然后依次扫过 $A_7$ 、 $A_6$ 、 $A_5$ ; 与此同时 $c_2$ 将依次扫过 $A_7$ 、 $A_6$ 、 $A_5$ 、 $A_8$ ;  $c_3$ 将依次扫过 $A_6$ 、 $A_5$ 、 $A_8$ 、 $A_7$ ;  $c_4$ 依次扫过 $A_5$ 、 $A_8$ 、 $A_7$ 、 $A_6$ 。读数头在不同象限输出不同的信息, 矩阵码表如表1所示。

经过矩阵译码电路处理形成标准2进制周期码。

表1 矩阵码表

Table 1 Table of Matrix code

读数头	$0^\circ\sim 90^\circ$	$90^\circ\sim 180^\circ$	$180^\circ\sim 270^\circ$	$270^\circ\sim 360^\circ$
$a_1$			$A_1$	$A_2$
$a_2$		$A_2$	$A_1$	
$b_1$	$A_4$	$A_4$	$A_3$	$A_3$
$b_2$	$A_3$	$A_3$	$A_4$	$A_4$
$c_1$	$A_8$	$A_7$	$A_6$	$A_5$
$c_2$	$A_7$	$A_6$	$A_5$	$A_8$
$c_3$	$A_6$	$A_5$	$A_8$	$A_7$
$c_4$	$A_5$	$A_8$	$A_7$	$A_6$

### 3.2 多圈编码器的二级码盘和狭缝设计

多圈编码器的2级码盘码道设计采用矩阵式编码原理排列。为了减轻编码器重量采用金属码盘和狭缝, 2级金属码盘和狭缝盘的材料均采用厚度为0.15 mm的铝箔。为了减小码盘的直径和计数需要, 采用3圈矩阵码并错位排列; 考虑到码盘力学性能和抗振动性能, 创新性的将 $A$ 码设计在最外圈,  $B$ 码错位 $45^\circ$ 排列,  $C$ 码放在最内圈排列。同样经过矩阵译码电路处理形成标准2进制周期码。码盘设计如图5所示。错位排列狭缝设计如图6所示。

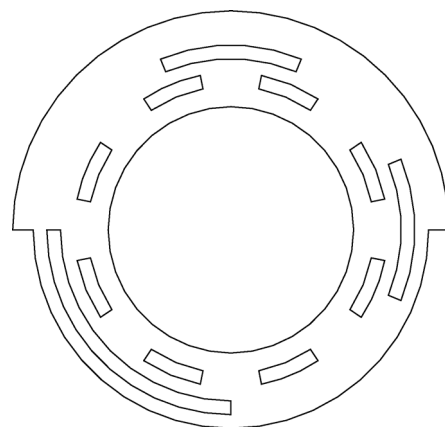


图5 2级码盘图

Fig. 5 Second Matrix code disc

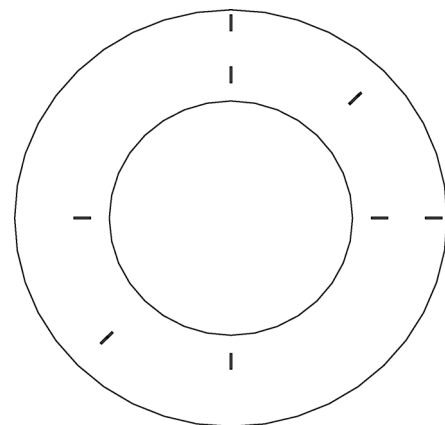


图6 2级狭缝图

Fig. 6 Second slit disc

### 3.3 多圈编码器齿轮结构设计

编码器的机械结构如图2所示由1级轴系, 1级码盘, 1级狭缝, 传动齿轮系, 2级码盘, 2级狭缝以及发光接收元件等组成。1级码盘与主轴连接, 当主轴旋转时带动1级码盘转动, 通过齿轮系带动固定

在齿轮组3上的2级码盘旋转。1级狭缝盘和2级狭缝盘通过机械件与编码器轴套固定，分别于1级码盘和2级码盘形成相对运动。1级码盘确定编码器的精度，2级码盘通过数据处理形成绝对记忆的圈数。为了保证2级码盘的顺利转动和圈数记忆，在结构设

计中采用10:20，10:20，8:32的3组齿轮作为齿轮系结构，形成1:2，1:2，1:4的3级齿轮传动，保证传动的精度，控制齿轮组的空回量以及一二级间角度的衔接和校正范围控制。齿轮系展开图如图7所示。

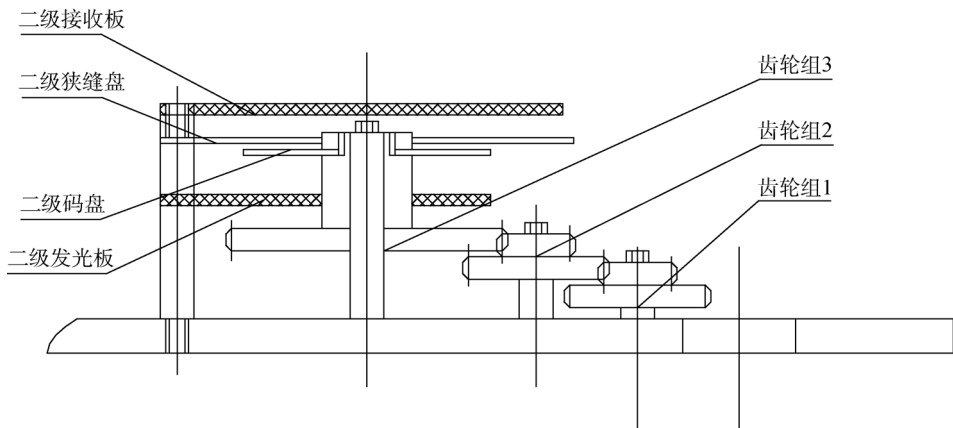


图7 齿轮系展开图  
Fig. 7 Expanded view of gear system

4 精度检测

多圈编码器的对电机控制的精度是由1级码盘决定的，2级码盘是用来记忆旋转圈数，因此在精度检测中只检测1级码盘的精度。本编码器采用比较法，即以24位编码器为基准，通过被测编码器与24位编码器相同位置的角度值进行比较的方法，求出两者的差值，计为该角度的误差值，检测装置如图8所示。

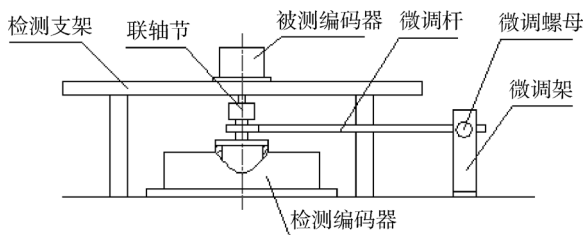


图8 编码器精度检测装置示意图  
Fig. 8 Principle diagram of precision test equipment for encoder

全周0°~360°范围内，每隔30°测1个点，共测量13点，测量结果如表2所示。  
编码器的精度最大值为+80″，最小值为-50″满足设计要求得<±100″。

表2 多圈编码器精度检测数据  
Table 2 Results of precision measurement of Multi-turn encoder

角度值	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
差 值	0″	80″	-45″	20″	70″	-50″	-15″
角度值	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
差 值	60″	-45″	-20″	60″	-25″	0	

5 结 论

星载多圈绝对式光电编码器具有体积小、重量轻、绝对记忆位置的特点。实验结果表明：星载多圈绝对式光电编码器外形尺寸为φ40×50 mm、重量为200 g、分辨力为40″、精度<±100″。该编码器既可实现对星载相机中电机旋转角度的精确测量又可同时实现对电机旋转圈数的控制和绝对位置的记忆，满足星载相机的要求。

参考文献:

[1] 董莉莉, 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. Delopment of photoelectric rotaryencoder[J]. Opt. Precision Eng, 2000, 8(2): 198-202.

[2] 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.
- [3] 邓文和. 高质量莫尔条纹信号的提取[J]. 光电工程, 1990, 17(3): 8-19.  
DENG W H. Abstract the signal from high quality moire[J]. Opto-Electric engineering, 1990, 17(3): 8-19.
- [4] 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.
- [5] 邓方, 陈杰, 陈文颀, 等. 一种高精度的光电编码器检测方法及其装置[J]. 北京理工大学学报: 自然科学版, 2007, 27(11): 977-980, 1008.  
DENG F, CHEN J, CHEN W J, et al. A high precision test method and apparatus for photoelectric encoder[J]. Journal of Beijing Institute of Technology: Natural Science Edition, 2007, 27(11): 977-980, 1008.
- [6] 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 method[J]. Opt. Precision Eng, 2008, 16(4): 598-604.
- [7] 熊文卓, 孔智勇, 张伟. 光电轴角编码器光电信号正交性偏差的相量校正方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(11): 1745-1748.  
XIONG W ZH, KONG ZH Y, ZHANG W. Phase correction of quartering deviation of photoelectric rotary encoder[J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(11): 1745-1748.
- [8] 刘丰文, 邓文和. 25 位绝对式编码器[J]. 光电工程, 2000, 27(6): 66-68.  
LIU F W, DENG W H. 25-Bit absolute type encoder[J]. Opto-Electronic Engineering, 2000, 27(6): 66-68.
- [9] 刘汉平, 冯长有, 丁林辉. Lissajous 曲线拟合法评估编码器细分误差[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(2): 70-72.
- LIU H P, FENG CH Y, DING L H. Evaluation of interpolation errors of optical-electric encoders based on the fitted curves of lissajous[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2006, 25(2): 70-72.
- [10] MANCINI D, CASCON E, SCHIPANI P. Galileo high-resolution encoder system[J]. SPIE 3112: 328-334.
- [11] LU X D, TRUMPER D L. Self-calibration of on-axis rotary encoders[J]. Annals of the CIRP, 2007, 56(1): 499-504.
- [12] KAO C F, LU M H. Optical encoder based on the fractional talbot effect[J]. Optics Communications, 2005, (250): 16-23.
- [13] KAO C F, HUANG H L, LU SH H. Optical encoder based on Fractional-Talbot effect using two-dimensional phase grating[J]. Optics Communications, 2010(283): 1950-1955.
- [14] ALEJANDRE I, ARTES M. Method for the evaluation of optical encoders performance under vibration[J]. Precision Engineering, 2007 (31): 114-121.
- [15] 叶盛祥. 光电位移精密测量技术[M]. 四川: 四川科学技术出版社, 2003.  
YE SH X. Photoelectric precision displacement measuring technique[M]. Sichuan: Science and Technology Press, 2003.
- [16] 毛英泰. 误差理论与精度分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.  
MAO Y T. Error theory and precision analysis [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1982.

### 作者简介:

卢新然:男, 1978 年出生, 2001 年于东北大学获得学士学位, 2007 年于中科院长春光机所获得硕士学位, 现为中科院长春光机所助理研究员, 主要研究方向为光电位移传感技术。

E-mail: luxinrancomp@yahoo.com.cn

Lu Xinran: male, born in 1978, earn BS at NEU in 2001, MS in CIOMP (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics), Chinese Academy of Sciences in 2007, Now he is an assistant researcher, His main research direction is technique of Photoelectric encoder.