

小型绝对式矩阵编码器

曹 振 夫

摘要：绝对式编码器具有固定起始点、读数可靠等优点。但传统的绝对式编码器码道圈数多，结构尺寸大，给某些方面的应用带来不便，希望结构尺寸小。本文介绍一种小型绝对式编码器的设计方法，其中包括：绝对式矩阵编码盘的设计；工作原理；矩阵译码方法。

传统的14位绝对式编码器最小径向尺寸为 $\phi 130\text{mm}$ ，而采用矩阵式编码盘，同样位数的编码器径向尺寸可缩小到 $\phi 65\text{mm}$ 。

绝对式编码器在工业、科研、国防、航天等部门已得到广泛应用，由于它具有固定起始点、读数可靠、不易受干扰等特点，更加受到有关方面的崇信和偏爱。但是由于它体积大、重量较重，使其应用受到了限制。有些测量仪器，既要求绝对式又要求体积小、重量轻。传统的绝对式编码器，难于满足上述要求。随着编码技术的发展，为适应某些特殊的需要，一些技术先进的国家，如美国，于1982年生产出了体积轻巧、性能优良的、微型系列绝对式编码器。

本文介绍了一种小型绝对式编码器的矩阵码盘的设计方法、工作原理及矩阵译码电路。

一、矩阵编码盘的设计

传统的绝对式码盘的码道圈数一般是等于或稍多于对应输出的二进制码的位数。如一个十六位的编码器，在没有插值细分的情况下，码道的圈数至少要有十六圈。很明显，编码器的位数越高，码道的圈数就越多。结构尺寸就越大，按这种方法要制造出位数高，尺寸小的绝对式编码器，是难以办到的。如果采用新的设计方法，即矩阵组合编码形式，便可使结构尺寸大大缩小。

传统的码盘一圈只能输出一位，而矩阵码盘，一圈可输出若干位。如模型机中，第一圈（内圈）含2位，第二圈含2位，第三圈含4位，这就等于将传统的八圈缩编成三圈，成倍地减少了码道的圈数。

所谓矩阵编码就是将圆周周分成若干个扇形区间，每个区间刻有不同位数的码道，利用若干个读数头取出按矩阵编排的电信号，经过矩阵译码，处理成与传统码盘相同的周期二进制码（见图1）。

各圈码道的排列方法是这样的：

第一圈，也就是A圈，设置一条与传统码道相同的码道，在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 半周内为通光码道。

B圈刻划第3位和第4位两码道， $0^\circ \sim 180^\circ$ 刻传统的第4位码道，即在半周内刻二条通光码道，称做 A_4 ；在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 内刻传统的第3位码道，即在另半周内刻一条通光码道，称为 A_3 。C圈刻4位不同的码道。 $0 \sim 90^\circ$ 刻第8位码，在这一扇形区间内刻16条通光码道，称做 A_8 ；在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 内刻第7位码，在这一扇形区间刻8条通光码道，称做 A_7 ；在 $180^\circ \sim 270^\circ$ 内刻第6位码，在这一扇形内刻4条通光码道，称做 A_6 ；在 $270^\circ \sim 360^\circ$ 内刻5位，在

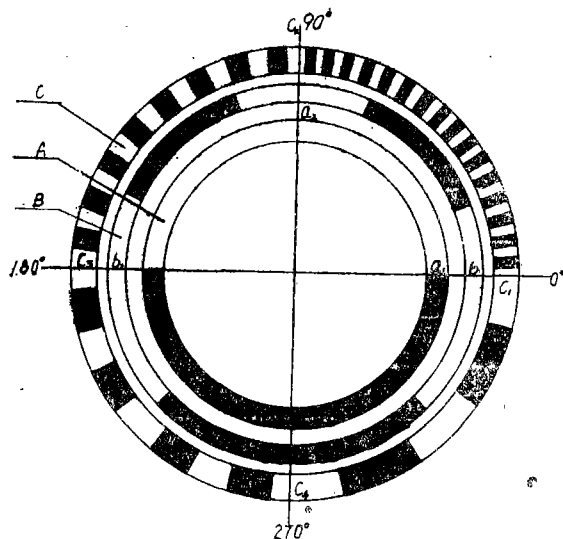


图 1

这扇形内刻 2 条通光码道，称做 A_5 。

由以上分析可以得出如下结论：

(1) 在每一扇形内各位码道的刻法与传统码道相同。

(2) 各个扇形中的各位码道刻线数与阵列区间数或读数头数成反比。也就是说扇形区间数越多，码道的刻线数越少。码道的刻线数与区间数的乘积恰好等于传统码道的刻线数。如 C 圈为 4 个扇形区， A_6 的刻线数为 4 条，它们的乘积为 16。传统码盘第 6 位码道刻线数也为 $16(2^{4-2} = 16)$ 。

由于矩阵码盘的若干位排列在同一圈上，因偏心而造成的圈间关系误差比传统码盘大得多，为弥补这一缺点，设计了全周刻划的精码道对粗码部分进行校正，提高编码器的读数精度。精码 G_1 、 G_2 设计成相位相差 90° 的两圈 8 位码。

为便于视图和刻划，画成与传统码道相同的码道展开图，如图 2 所示。在图的左边标明

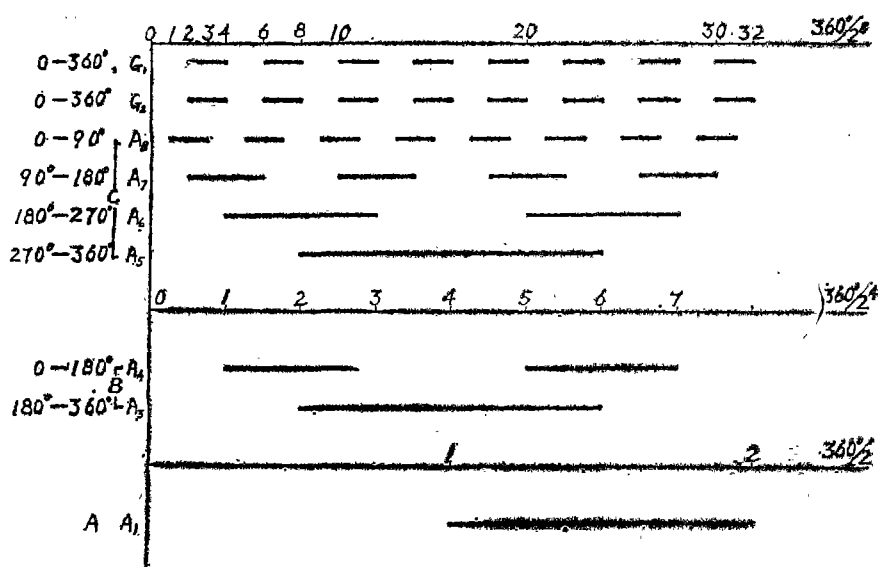


图 2

各位码道的所在扇形区间。

二、矩阵编码器工作原理

传统的二进制周期码译码原理，早为大家所熟悉，技术也比较成熟。但矩阵编码器各读数头所输出的光电信号，并非是单一的某位码道，而是按一定规律排列的若干码位的组合，与传统的输出信号有很大区别。

下面就看一下各路信号的输出情况。

1. 在A圈中只刻一条半圈码道，经 0° 处的读数头 a_1 及 90° 处的读数头 a_2 取出二个光电信号 A_1 和 A_2 ，它恰好与传统编码的 A_1 和 A_2 相同，这两路信号即作为第1位及第2位码道。

2. 在B圈中 0° 处设置读数头 b_1 ，在 180° 处设置读数头 b_2 ，它们输出的光电信号就不再是单一码位了。由图1可以看出， b_1 读数头首先扫描 A_4 ，后扫描 A_3 ，而 b_2 读数头则首先扫描 A_3 ，后扫描 A_4 ，则 b_1 、 b_2 的输出信息如图3。

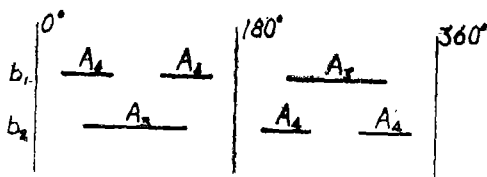


图3

3. 在C圈中，在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个位置设置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 。则4个读数头输出信息如图4。

三、矩阵译码电路

与常规编码一样，本仪器电路由放大、整形、暂存、译码、显示等部分组成，但在译码部分增加了矩阵译码。其传统电路部分在此不赘述，着重介绍矩阵译码。

所谓矩阵译码就是将按矩阵方式排列的码道、处理成与常规码道相同的码道。

由前面的图3及图4可以看出，各个读数头输出的信息差别很大，有的只输出一种码位，有的输出若干种码位，如C读数头输出4种码位。为便于分析问题，将各信息的输出状态综列成一个表，称做矩阵码表（见表1）。

表1 矩阵码表

	0—90°	90°—180°	180°—270°	270°—360°	
a_1			A_1	A_1	
a_2		A_2	A_2		
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	

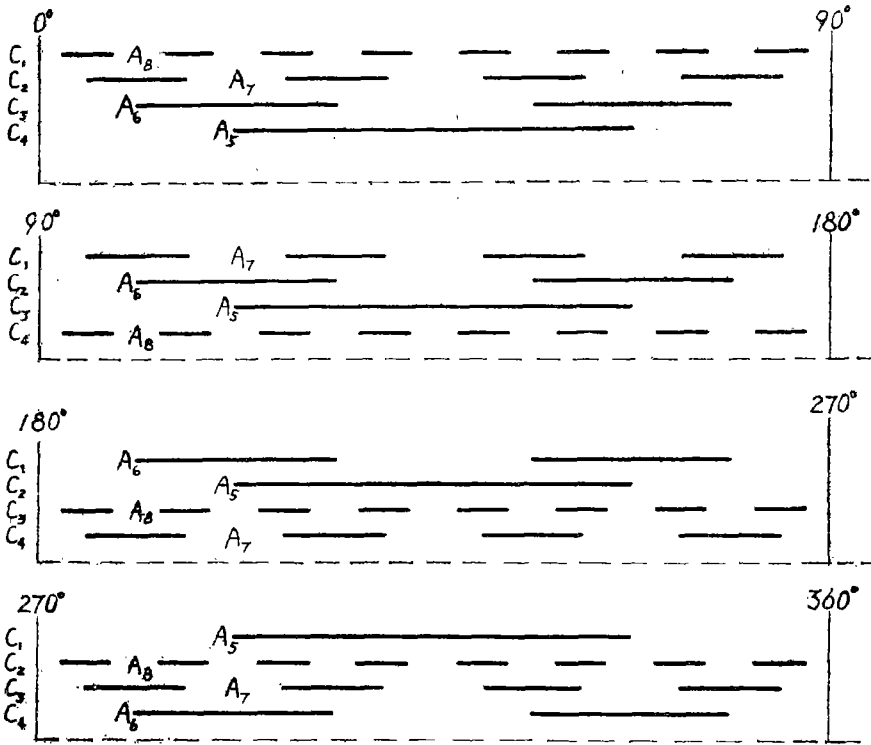


图 4

由表可以看出， a_1 和 a_2 各自输出了单一的 A_1 码及 A_2 码，无需经特殊处理即已成为传统的第 1 位和第 2 位码。

b_1 、 b_2 的输出就不是单一的码位了，它们都各自输出了两位 A_3 及 A_4 。由图 3 可以看出，这两路信息不符合二进制周期码，无法按常规异门电路译码，因此需整理成标准周期码。由图和矩阵表可以看出， b_1 在 $0-180^\circ$ 区间内输出了 A_4 ，而 b_2 在 $180^\circ-360^\circ$ 区间内输出了 A_4 ，籍助于 A_1 可得：标准的 A_4 码：

$$A_4 = B_1 \cdot \bar{A}_1 + B_2 \cdot A_1$$

同理可得：

$$A_3 = B_1 A_1 + B_2 \cdot \bar{A}_1$$

这里 B_1 、 B_2 是指 b_1 、 b_2 经放大、整形、暂存之后的输出状态码。

逻辑电路如图 5。

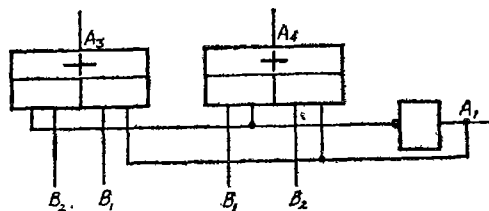


图 5

C 读数头输出则是 4 位码了，可籍助于 A_1 、 A_2 两码将其处理成标准二进制周期码。逻辑方程如下：

$$\begin{aligned}
 A_5 &= C_4 \bar{A}_1 \bar{A}_2 + C_3 \bar{A}_1 A_2 + C_2 A_1 A_2 + C_1 A_1 \bar{A}_2 \\
 A_6 &= C_3 \bar{A}_1 \bar{A}_2 + C_2 \bar{A}_1 A_2 + C_1 A_1 A_2 + C_4 A_1 \bar{A}_2 \\
 A_7 &= C_2 \bar{A}_1 \bar{A}_2 + C_1 \bar{A}_1 A_2 + C_4 A_1 A_2 + C_3 A_1 \bar{A}_2 \\
 A_8 &= C_1 \bar{A}_1 \bar{A}_2 + C_4 \bar{A}_1 A_2 + C_3 A_1 A_2 + C_2 A_1 \bar{A}_2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

实用逻辑电路中通常以自然二进制码 X_1 、 X_2 代替上述逻辑方程组(1)中的 A_1 、 A_2 ，故将方程组(1)等价变换为如下方程组(2)：

$$\begin{aligned}
 A_5 &= C_4 \bar{X}_1 \bar{X}_2 + C_3 \bar{X}_1 X_2 + C_2 X_1 \bar{X}_2 + C_1 X_1 X_2 \\
 A_6 &= C_3 \bar{X}_1 \bar{X}_2 + C_2 \bar{X}_1 X_2 + C_1 X_1 \bar{X}_2 + C_4 X_1 X_2 \\
 A_7 &= C_2 \bar{X}_1 \bar{X}_2 + C_1 \bar{X}_1 X_2 + C_4 X_1 \bar{X}_2 + C_3 X_1 X_2 \\
 A_8 &= C_1 \bar{X}_1 \bar{X}_2 + C_4 \bar{X}_1 X_2 + C_3 X_1 \bar{X}_2 + C_2 X_1 X_2
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

相应于方程组(2)的逻辑电路图如图6。

以上两种电路均有集成电路可选用。B码的处理可选用二选一数据选择器，C码的处理可选用四选一数据选择器。

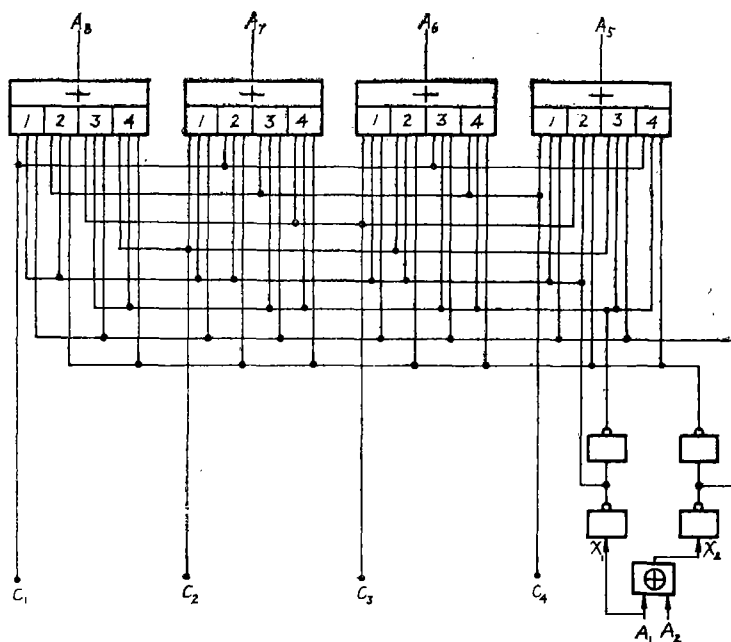


图6

从矩阵编码原理来说，在同样偏心的情况下，它的圈间关系误差要比传统的大得多，为克服这一缺点，较精码道仍采用传统编码方式，通过校正手段，将其粗大误差修正掉。我们设计的矩阵编码器，就是矩阵与常规混合编码。其粗码部分为矩阵码，共刻三圈，最高输出位为8位。精码采用整周刻划，刻成两圈相位差为 90° 的8位码，经电阻链细分16份可达

10位，电路逻辑方框图见图7。

矩阵编码器其优点是体积小，不足之处是光源多，结构比较复杂。

按上述原理，我们于1983年进行了模型试验，研制成的编码器外形尺寸为 $\phi 60 \times 60$ ，分辨率为 $21'$ ，室内试验表明其工作正常。

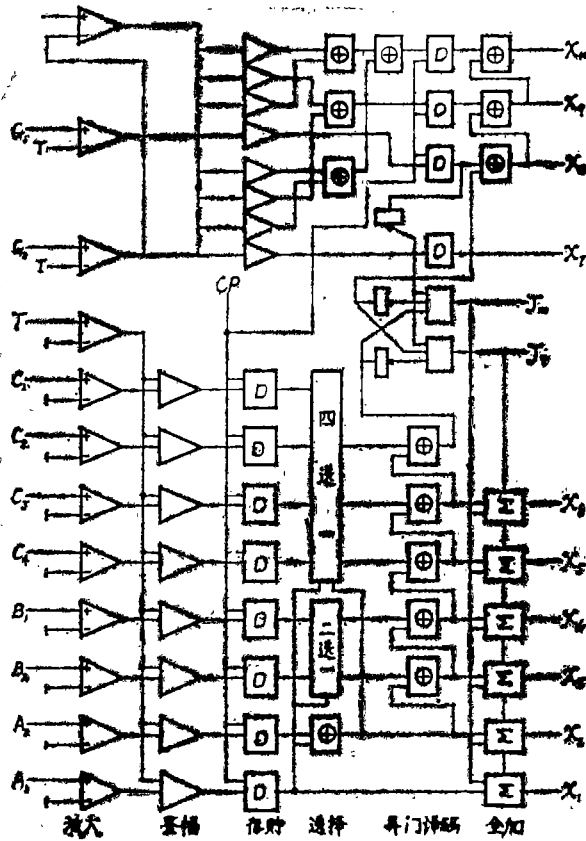


图7

参 考 文 献

[1] Р. А. Саркисян, В. В. Миракян; Приборы и Системы Управления, 1978, 10.

Micro Absolute Matrix Encoder

Cao Zhenfu

Abstract

The absolute encoder has such advantages as fixed starting-point, reliable reading, and so on. But traditional absolute encoder is limited in use, because of its large number of rings and large size. So micro encoder is desired. This paper introduces design procedures about a micro absolute matrix encoder, including the design of absolute matrix code disk, working principle, procedure of matrix decode.

The minimum radial size of traditional absolute encoder of 14 bits is $\phi 130\text{mm}$. While using matrix code disk, the radial size of same bit encoder can be reduced to $\phi 65\text{mm}$.