

位置编码传感器在水表中应用

宁波水表股份有限公司（浙江省水表研究院） 姚灵

利用位置编码传感器在角度测量中的优点，可将其测量原理有效地应用于水表机械式字轮计数器的位置编码与数据读出装置上，并将与人眼读到的计数器指示值相一致。随着 M 系列码技术的出现和完善，在水表计数器上安装绝对位置编码器变得容易实现了。图 1 是位置编码器在水表字轮式机械计数器上应用的工作原理图。由于光电对射式传感结构和 M 系列码编码技术在无源直读式水表中应用最为广泛，因此本章节以光电对射结构编码器为重点进行介绍（光电反射结构编码器在工作原理上与光电对射结构是完全一致的，仅是读码形式有所不同）。

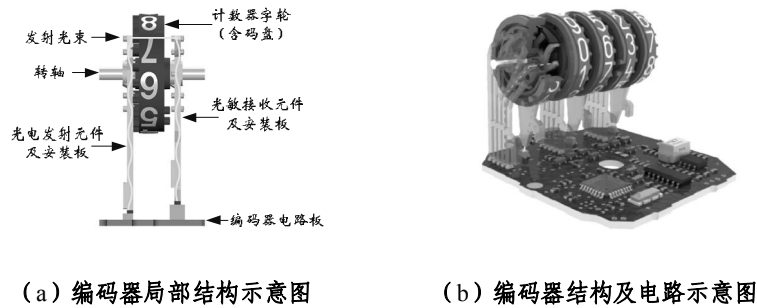


图 1 字轮式计数器光电对射结构编码器示意图

1. 编码与读码

在水表机械计数器上应用位置编码方法有多种，如：切向单道编码方式的 M 系列码和筒码（筒码是在格雷码和 M 系列码的基础上通过数理统计方式进行编码的一种码制）；有切向多道编码方式的准绝对码、伪随机码和多道 M 码等；有纵向编码方式的二进制码、二一十进制码和格雷码等等。但由于切向单道编码方式的简单与便利性，因此它目前是水表字轮式机械计数器位置编码的主流方式。

无论采用哪种编码方式，为了避免出现粗差，两个相邻码之间的码距（即海明距离）应尽量等于 1。

与编码方式相关联的读码方式也有多种形式，如非接触读码的光电对射式、光电反射式、电容式、电感感应式，接触读码的电阻式等等，但当前主流读码方式还是以光电对射式为主。

2. 单道编码

目前国内外常见的单道位置编码方式码盘主要有二孔和三孔码道之分，其中孔与孔之间的角度和每个孔角度的大小均随编码要求的不同而改变。表 1 和图 2 是几种单道码盘的数据

与图示。表 1 中开孔数为 3^* 的码道比较适合用于均匀分布的对射式光电读码方式（即光电对射元件以 72° 的安装夹角在整个圆周上均匀分布），其它开孔数的码道则是比较适合用于单侧紧凑分布的对射式光电读码方式。图 3 的右图是光电对射元件均匀分布安装示意图，左图是单侧紧凑分布安装示意图。

表 1 几种常用单道码盘的开孔角度与位置

开孔数	孔 1 角度 ($^\circ$)	孔 2 角度 ($^\circ$)	孔 3 角度 ($^\circ$)	圆周上角度分布 ($^\circ$)
2	63	99	/	63 - (18) - 99 - (180)
2	99	63	/	99 - (18) - 63 - (180)
3	24	96	60	24 - (60) - 96 - (24) - 60 - (96)
3^*	24	36	120	24 - (24) - 36 - (48) - 120 - (108)
3^*	36	36	108	36 - (48) - 36 - (48) - 108 - (84)

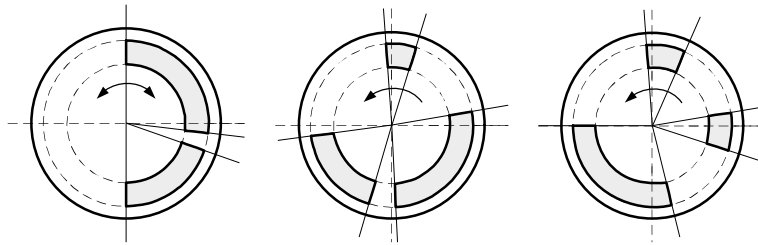


图 2 几种常用单道码盘开孔位置示意图

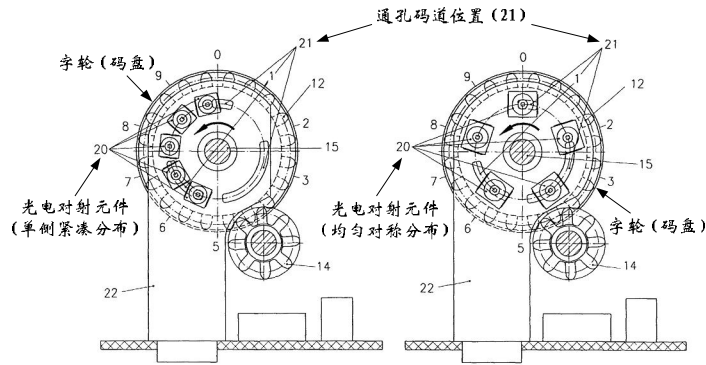


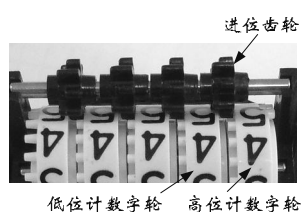
图 3 光电对射元件安装位置示意图

通常，字轮式机械计数器由多位计数字轮组成，每个字轮等分成 $0 \sim 9$ 十个数字位，即每个数字位在圆周上占有 36° 的位置。高位计数字轮在低位计数字轮转动最后十分之一圈时由进位齿轮带动其连续转动十分之一圈，见图 4。为了符合人们对字轮数字读数习惯，以及克服低位字轮向高位字轮进位时存在的机械游隙等误差影响，最有效的方法是将字轮上的每个数字位再细分成三等分，即每等分为 12° ，每个数字位由 3 个连续的码值来表示，每个字

轮旋转一圈共计输出 30 个不同状态的码值。（注：通常情况下，每个计数字轮旋转一圈至少应能输出 22 个不同状态码值，才能确保在小于 18° 的误差条件下测量各个字轮的角度，并以小于 36° 的误差来确定两相邻字轮的相对位置——摘自瑞士 GWF 公司专利说明书。）



(a)



(b)

图 4 机械计数器字轮及传动结构

图 5 为每转输出 30 个编码值的计数器字轮转动过程示意图，它形象地反映出某一数字位在计数器读数窗口连续转动（指示）时，数字位“2”从其最后一个编码状态转到数字位“3”的三个连续编码状态，然后再转到数字位“4”的第一个编码状态的过程。

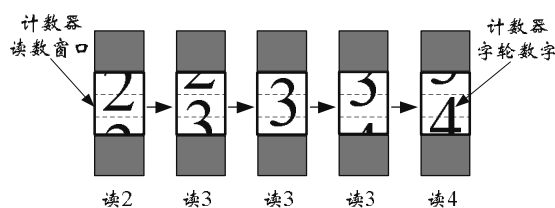


图 5 计数器某一位字轮数字“3”的转动与读数过程

下面分别介绍采用五对光电对射元件在单道式三孔码盘与二孔码盘的编码方法与输出数据。

1) 五元件单道三孔编码

五元件单道三孔编码方式按光电对射元件在字轮码道上的分布不同可以分为单侧紧凑分布和均匀分布两种形式。

单侧紧凑分布的光电对射元件，其与码道之间的安装关系见图 6，输出码值见表 2。这

种编码方式其最小计码角度为 12° ，因此字轮旋转一周可以有 30 个码值输出；图中与其相配套的三个通孔码道的角度分别为： 24° 、 96° 和 60° ，并按“ 24° （通） $\rightarrow 60^\circ$ （闭） $\rightarrow 96^\circ$ （通） $\rightarrow 24^\circ$ （闭） $\rightarrow 60^\circ$ （通） $\rightarrow 96^\circ$ （闭）”的次序排列。单侧分布的五对光电对射元件被分别安装在与码盘同心的半圆电路板上，每对光电元件之间的安装角度为 36° 。这种编码方式有 30 个码值输出，相邻码值的码距均为 1，完全符合绝对编码器的设计要求。

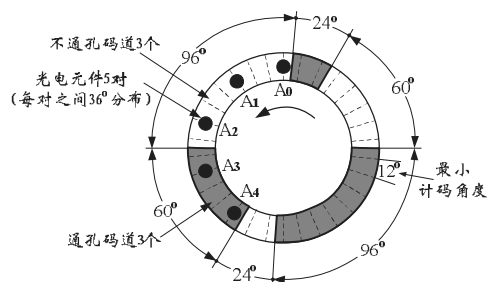


图 6 光电元件单侧分布的五元件单道三孔编码示意图

表 2 光电元件单侧分布的五元件单道三孔输出码值

序号	码值					码距 (汉明距离)	序号	码值					码距 (汉明距离)	
	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀			A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀		
1	1	1	0	0	0	1	16	0	0	1	1	1	1	1
2	1	1	0	0	1	1	17	0	0	1	1	0	1	1
3	1	0	0	0	1	1	18	0	1	1	1	0	1	1
4	1	0	0	0	0	1	19	0	1	1	1	1	1	1
5	1	0	0	1	0	1	20	0	1	1	0	1	1	1
6	0	0	0	1	0	1	21	1	1	1	0	1	1	1
7	0	0	0	0	0	1	22	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	0	0	1	23	1	1	0	1	1	1	1
9	0	0	1	0	1	1	24	1	1	0	1	0	1	1
10	0	0	0	0	1	1	25	1	1	1	1	0	1	1
11	0	1	0	0	1	1	26	1	0	1	1	0	1	1
12	0	1	0	1	1	1	27	1	0	1	0	0	1	1
13	0	0	0	1	1	1	28	1	1	1	0	0	1	1
14	1	0	0	1	1	1	29	0	1	1	0	0	1	1
15	1	0	1	1	1	1	30	0	1	0	0	0	1	1

均匀分布的光电对射元件，其与码道之间的安装关系见图 7，输出码值见表 3。这种编码方式同样输出 30 个码值，其相邻间的码距均为 1，也完全符合绝对编码器的设计要求。每对光电元件按 72° 等分，被安装在与码盘同心的电路板上。问题是均匀分布的光电对射元件在安装方面不如单侧紧凑型的方便。

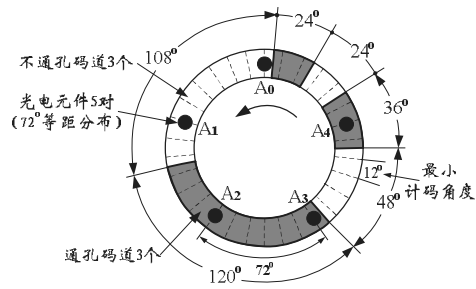


图 7 光电元件均匀分布的五元件单道三孔编码示意图

表 3 光电元件均匀分布的五元件单道三孔输出码值

序号	码值					码距 (海明距离)	序号	码值					码距 (海明距离)
	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀			A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	
1	1	1	1	0	0	1	16	1	0	0	0	1	1
2	1	1	1	0	1	1	17	0	0	0	0	1	1
3	0	1	1	0	1	1	18	0	0	1	0	1	1
4	0	1	1	0	0	1	19	0	0	1	1	1	1
5	0	1	0	0	0	1	20	0	1	1	1	1	1
6	0	1	0	0	1	1	21	0	1	0	1	1	1
7	1	1	0	0	1	1	22	0	0	0	1	1	1
8	1	1	0	1	1	1	23	0	0	0	1	0	1
9	1	1	0	1	0	1	24	0	1	0	1	0	1
10	1	1	0	0	0	1	25	0	1	1	1	0	1
11	1	0	0	0	0	1	26	1	1	1	1	0	1
12	1	0	0	1	0	1	27	1	0	1	1	0	1
13	1	0	0	1	1	1	28	0	0	1	1	0	1
14	1	0	1	1	1	1	29	0	0	1	0	0	1
15	1	0	1	0	1	1	30	1	0	1	0	0	1

2) 五元件单道二孔编码

五元件单道二孔编码方式与五元件三孔单侧紧凑型编码方式基本相同, 差异仅仅是编码盘的开孔数减少了一个, 见图 8 和表 4。该编码方式其最小计码角度为 9° , 码盘旋转一周的基本计码单位为 40 个码值, 而码距为 1 的有效编码数仅为 20 个。

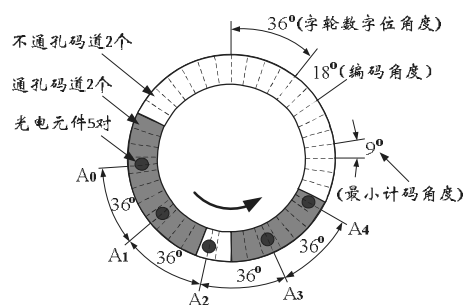


图 8 光电元件单侧分布的五元件单道二孔编码示意图

表 4 光电元件单侧分布的五元件单道二孔输出码值及相关数据

最小码值 序号	最小码值 (每隔 9° 读取的码值)					码距为 1 的码 值序号	码距为 0 的 码值个数	计数字轮上被读到 的数字位	每个数字位对应 的有效编码个数
	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀				
1	1	1	0	1	1	1	/		
2	1	1	1	1	1	2	2	9	3
3	1	1	1	1	1				
4	1	1	1	0	1	3	/		
5	0	1	1	0	1	4	/		
6	0	1	1	1	1	5	2	0	3
7	0	1	1	1	1				
8	0	1	1	1	0	6	/		
9	0	0	1	1	0	7	/		
10	0	0	1	1	1			1	2
11	0	0	1	1	1	8	3		
12	0	0	1	1	1				
13	0	0	0	1	1				
14	0	0	0	1	1	9	4	2	1
15	0	0	0	1	1				
16	0	0	0	1	1				
17	0	0	0	0	1				
18	0	0	0	0	1	10	4	3	1
19	0	0	0	0	1				
20	0	0	0	0	1				
21	0	0	0	1	0				
22	0	0	0	0	0	11	4	4	1
23	0	0	0	0	0				
24	0	0	0	0	0				
25	1	0	0	0	0				
26	1	0	0	0	0	12	4	5	1
27	1	0	0	0	0				
28	1	0	0	0	0				

29	1 1 0 0 0	13	3	6	2
30	1 1 0 0 0				
31	1 1 0 0 0				
32	0 1 0 0 0	14	/	7	3
33	0 1 1 0 0	15	/		
34	1 1 1 0 0	16	2		
35	1 1 1 0 0				
36	1 0 1 0 0	17	/	8	3
37	1 0 1 1 0	18	/		
38	1 1 1 1 0	19	2		
39	1 1 1 1 0				
40	1 1 0 1 0	20	/		

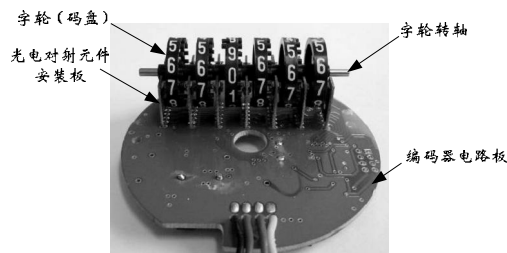
3. 编码器的加工与安装

计数器字轮（码盘）上的码道加工应符合一定的技术要求，如通孔码道的尺寸与角度公差、形位误差及表面粗糙度等必须符合设计要求，通孔码道的切向边缘不能出现加工毛刺等现象。图 9 是某种单道二孔码道字轮的加工成型图。

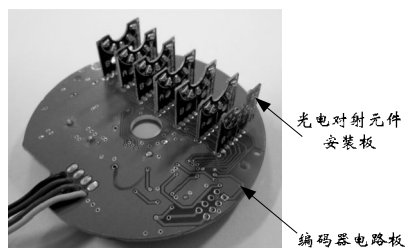
字轮绝对编码器的实物安装形式见图 10。要求光电对射元件的分布圆心与编码盘的圆心须同轴，其同轴度误差应在一定的要求范围内；光电对射元件及安装板应与编码盘平行，其平行度误差也应在一定的范围内；光电发射元件和光敏接收元件的安装角度和位置、以及编码盘开孔角度和位置也应符合设计的要求。



图 9 加工成型字轮（码盘）实物图



(a)



(b)

图 10 字轮绝对编码器安装实物图

2015.3