水表常用编码技术

宁波水表股份有限公司（浙江省水表研究院） 姚灵

1. 二进制码

二进制码是用的最普遍、也是最紧凑的一种编码方式，与其它编码方式相比，二进制码所使用的码数最小，所用的逻辑电路也最为简单，最容易被人们所理解。表 1 是 4 位二进制码与十进制数的对照表。

表 1 二进制码与十进制数对照表

十进制数	二进制码	十进制数	二进制码	十进制数	二进制码	十进制数	二进制码
0	0000	4	0100	8	1000	12	1100
1	0001	5	0101	9	1001	13	1101
2	0010	6	0110	10	1010	14	1110
3	0011	7	0111	11	1011	15	1111

二进制码是“逢二进位”，其“基数”为二。二进制码也可采用“位置记数法”，它的每位“权”是 2 的幂，见表 2。二进制码的一般形式可表为

$$\begin{aligned}(N)_2 &= (b_{n-1}\,b_{n-2}\cdots b_1\,b_0\cdot b_{-1}\,b_{-2}\cdots b_{-m})_2 \\ &= (b_{n-1}\times 2^{n-1}+b_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+b_1\times 2^1+b_0\times 2^0+b_{-1}\times 2^{-1} \\ &\quad +b_{-2}\times 2^{-2}+\cdots+b_{-m}\times 2^{-m})_{10}\end{aligned} \tag{1}$$

例如：$(11010.11)_2=(1\times 2^4+1\times 3^3+0\times 2^2+1\times 2^1+0\times 2^0$

$+1\times 2^{-1}+1\times 2^{-2})_{10}=(26.75)_{10}$

表 2 二进制码的各位“权”

二进制位数	14	13	12	11	10	9	8
权	2^{13}	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7
（十进制数表示）	8192	4096	2048	1024	512	256	128
二进制位数	7	6	5	4	3	2	1
权	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
（十进制数表示）	64	32	16	8	4	2	1

二进制码用于位置编码器的主要缺点是，当某一较高位二进制数码值改变时，即使比它低的各位数码值均不变，其十进制值也会发生很大的变化，产生所谓的粗大误差。例如，从 7（0111）变到 8（1000）时，正常情况下四个光敏接收元件应同时改变状态。但实际情况是，在改变过程中如果高位光敏接收元件首先感受到发射光而改变输出状态，其它三位光敏接收元件尚未感受到发射光还停留在原有状态，这样四位光敏接收元件的输出状态就会由 7

（0111）→15（1111）→08（1000）。而这中间值 15（1111）就是所谓的“错码”。因此在绝对位置编码器中通常会使用误差比较少的格雷码等编码方式。

2. 格雷码（Gray code）

格雷码是变“权”码，其码盘具有轴对称特性。格雷码从某个位置转到相邻两个位置时，编码器 n 位中只有一位发生变化，即汉明距离（码距）等于 1，见表 3。因此只要适当控制各条码道的制作和安装误差，编码器可以避免产生粗大误差。与二进制码相似，随着显示分辨力要求的提高，格雷码需要的码道位数就会增多，若需要有 n 位格雷码，则就要有 n 个码道。码道数越多，制造和装配的难度就越大，出现读数误差的概率也变大。

表 3 格雷码与二进制码、十进制数关系对照表

十进制数	二进制码	格雷码	十进制数	二进制码	格雷码
	C_4 C_3 C_2 C_1	R_4 R_3 R_2 R_1		C_4 C_3 C_2 C_1	R_4 R_3 R_2 R_1
0	0 0 0 0	0 0 0 0	8	1 0 0 0	1 1 0 0
1	0 0 0 1	0 0 0 1	9	1 0 0 1	1 1 0 1
2	0 0 1 0	0 0 1 1	10	1 0 1 0	1 1 1 1
3	0 0 1 1	0 0 1 0	11	1 0 1 1	1 1 1 0
4	0 1 0 0	0 1 1 0	12	1 1 0 0	1 0 1 0
5	0 1 0 1	0 1 1 1	13	1 1 0 1	1 0 1 1
6	0 1 1 0	0 1 0 1	14	1 1 1 0	1 0 0 1
7	0 1 1 1	0 1 0 0	15	1 1 1 1	1 0 0 0

如上所述，各种格雷码的共同特点就是任意两个相邻码之间只有一位不同。在典型的 n 位格雷码中，0 和最大数（2^n-1）之间也只有一位不同，故它是一种“循环码”。格雷码的这个特点使它在代码形成与传输时引起的误差比较小。例如，在格雷码中，如误将“0100”变成“1100”，这时只不过是 7 变成 8，但在二进制码中就是将 4 变成了 12。由于格雷码是无权码，不易直接进行计算，但它很容易转换成二进制码。由表 3 可知，

$$\begin{aligned} C_4 &= R_4 \\ C_3 &= C_4 \oplus R_3 \\ C_2 &= C_3 \oplus R_2 \\ C_1 &= C_2 \oplus R_1 \end{aligned} \tag{2}$$

同样由表 3，二进制码也很容易转换成格雷码，

$$\begin{aligned} R_4 &= C_4 \\ R_3 &= C_4 \oplus C_3 \\ R_2 &= C_3 \oplus C_2 \\ R_1 &= C_2 \oplus C_1 \end{aligned} \tag{3}$$

转化后的格雷码可以用二进制码处理电路进行数据处理。

3. M 系列码

M 系列码是将径向获得的位置编码方式改变成切向方式，为编码器的小型化、简易化开创了新思路。这种编码器的特点是码盘采用一条码道即可用光电检测器检测出码盘的绝对位置，其结构原理见图 1。图中，M 系列码只含有 1 条绝对码道，用切向并列的 3 个光电元件检测码盘的 2^3 个绝对位置，表 4 是采用 3 位光电检测元件时输出的编码读数值。增加光电检测元件数量和码道开孔数，就可提高编码的分辨力（如采用 5 位检测元件，并配以一定码盘开孔数，就可在码盘旋转一周时输出 2^5=32 个有效位置编码值）。M 系列码与二进制码一样也会产生粗大误差，但可通过改进码道编码设计或增加辅助增量码道来消除粗差。

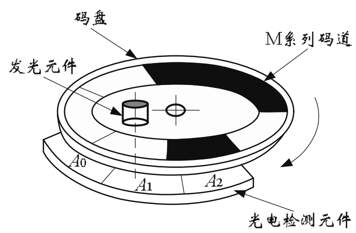

图 1 M系列码结构原理图

表 4 M系列码 3 位编码表

光电元件读数 (A_0 A_1 A_2)	0 0 0	0 0 1	0 1 0	1 0 1	0 1 1	1 1 1	1 1 0	1 0 0
码盘 绝对位置	0	1	2	3	4	5	6	7

2015.3