

维修线性流量阀时的内筒设计问题

油田采油用的油井都是先用钻机钻几千米深的孔后，再利用固井机向四周的孔壁喷射水泥砂浆得到水泥井管后形成的。固井机上用来控制砂浆流量的阀是影响水泥井管质量的关键部件，但也会因磨损而损坏。目前我国还不能生产完整的阀体，固井机仍依赖进口。由于损坏的内筒已经被磨损得面目全非，根本无法测绘出原来的形状，因此维修时只能根据工作原理并结合阀的结构进行设计。

根据仪表刻度可知控制流量的阀是一个线性阀，即阀体的旋转角度与砂浆流量成正比。在设计分析中假设砂浆的压力恒定，进而流量与“过流面积”（严格定义见下文）成正比，因此阀体的旋转角度应该与“过流面积”成正比。一般来讲，控制流量的阀体为两个同心圆柱筒（两筒直径大致相等）。外筒固定，它的侧面上有一个孔，形状为两个直径不等（相差至少 3、4 倍以上）的圆柱体的交线（见示意图，孔的形状可能由于输出水泥砂浆的管道是圆柱形的和磨损方面的考虑而取上述形状）。内筒和外筒轴向之间没有相对运动，内筒可以自由转动。内筒的侧面上也有一个孔，它原来的形状未知（维修的任务就是设计内筒孔的形状），砂浆可以从两个孔的相交部分即“过流面积”流过。显然“过流面积”不能超过外筒孔的面积。现在数控机床比较普及，只要知道曲线的形状就可以在维修所需要的内筒上加工出合适的孔。当然从实际加工角度考虑，内筒孔的形状也不宜太复杂。

可以把两个圆柱筒展开成平面，即为两个长方形，筒的转动转化为两个长方形的平动来思考，此时可将外筒孔近似看作圆孔。

- (1) 讨论在上述阀体结构下，在“过流面积”从零直到外筒孔面积的范围（简称“最大范围”）内，能否通过选择内筒孔形状实现“过流面积”与内筒旋转角度成严格的线性关系。如果不能，请设计内筒孔的形状，在“最大范围”内，使“过流面积”与内筒旋转角近似成线性关系，同时在“最大范围”内，实际情况与严格线性关系的误差在某种意义上最小。
- (2) 实际上，固井机向孔壁喷射水泥砂浆时经常采用的“过流面积”是在一个稍小的范围内，被称为主要工作区，它是“最大范围”中的一段。因此，在维修固井机内筒时，比较令人满意的内筒孔形状应该使主要工作区中所对应的旋转角度的线性区间尽量长（至少达“最大范围”区间长度的 75% 以上），而且主要工作区的最大“过流面积”尽量大（至少要达到外筒孔面积的 85% 以上），并且使“过流面积”和内筒的旋转角度之间的“线性关系”尽量地好。请按此要求设计内筒孔的形状。如果固井机的外筒孔也发生了程度较轻的磨损，怎么办？

示意图

