

隔膜泵运转中的过补液现象产生的原因*

穆 诗 唐
(科 研 处)

摘 要

本文从隔膜的运动学和动力学角度出发,详细分析了隔膜的运动过程以及过补液可能发生的各种情况及其原因,为防止过补液现象的发生提出了解决的办法。

关键词: 隔膜; 泵; 补液

On Excess of Liquid Replenishing in Pump Diaphragm's Operation*Mu Shitang*

(Scientific Research Section)

Abstract

In the paper, the moving process of diaphragm and courses of excess of liquid replenishing are analysed from aspects of kinematics and kinetics. Solutions have been put forward in order to prevent excess of liquid replenishing from occurring.

Keywords: diaphragm; pump; liquid replenishing

1 前 言

众所周知,陶瓷行业广泛用来与压滤机配套使用的隔膜泵是一种定量泵。定量泵不论在什么情况下总是供给一定的流量。然而,压滤机在工作后期,仅需要很小的流量,却要求有较高的恒定压力。为此,隔膜泵柱塞缸内的介质只能从安全阀流走,然后再从补液阀流回到柱塞缸。如果隔膜窝设计不当,就会出现过补液现象。该现象反映在隔膜上就是有明显的限制板孔印,严重的过补液现象还会使隔膜出现一个个的凸圆柱体,最后,隔膜就在这些地方出现孔洞,使隔膜失效,从而大大缩短隔膜的寿命。为了防止过补液现象的发生,有的加大隔膜窝的容积;有的把限制板上众多小孔改为一个大孔;也有的在补液阀上作文章等等。其中效果最为显著的是改进补液阀。但该方法存在另一个问题:从安全阀流出的多,而从补液阀流回的少,这样柱塞缸内就会出现脱流现象,即柱塞缸内出现真空。当真空度达到一定数值时,就会出现汽蚀现象,这样对柱塞和柱塞缸均不利。如果柱塞长时期工作在这种情况

* 收稿日期: 1991年9月18日。

下, 柱塞就会出现腐蚀。显然, 这种方法还有待改进。为了彻底弄清过补液现象, 需分析隔膜的运动学和动力学问题。而隔膜的运动是由柱塞的运动引起的, 所以必须从柱塞的运动谈起。

2 隔膜的运动学

为了方便起见, 我们把柱塞和传动系统看作是一个曲柄滑块机构, 如图 1 所示。活塞的运动规律为: $x = r(1 - \cos\alpha)$ (1)

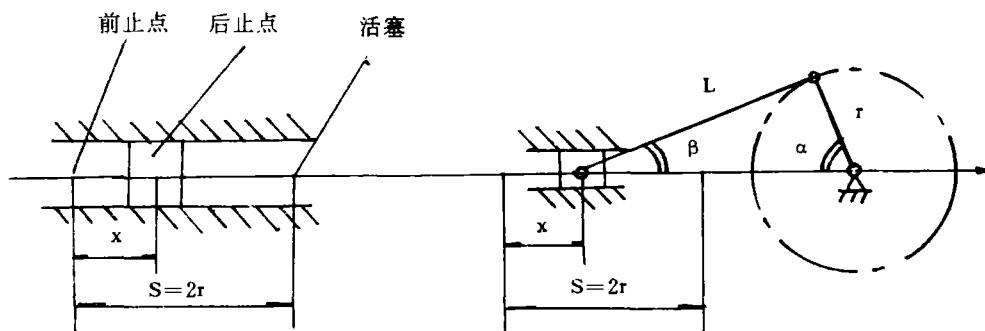


图 1 泵曲柄连杆机构

显然, 当 $0 < \alpha < 180^\circ$ 时, $\cos\alpha$ 是减函数, 所以 x 总是增函数, 即在前半周活塞位移 x 是按余弦规律运动的。按照这一规律柱塞缸中的液体进出量在不脱流的情况下, 就是柱塞体本身进出的体积, 所以有: $Q = rA(1 - \cos\alpha)$ (2)

式中: Q ——为流体介质的流量, m^3/s ; A ——为柱塞的横断面积, m^2 ; r ——曲柄半径, m ; α ——曲柄转过的角度, rad 。

由于隔膜的存在, 泵在正常运行情况下, 柱塞缸内并无液体进出, 仅是隔膜的变形运动使柱塞缸的容积发生变化, 其变化的原则是两者体积相等。为此, 在搞清楚隔膜运动规律之前, 需先弄清楚隔膜窝容积的计算方法。

图 2 半个隔膜窝可以看成是一个球缺。球缺的体积计算公式为:

$$V = \frac{1}{6}\pi h(h^2 + 3R^2)$$

式中: h ——球缺的高, m ; R ——为球缺底圆半径, m 。

由于隔膜窝的 R 远大于 h , 即 $3R^2 \gg h^2$, 为了简化计算, 略去 h^2 , 则

$$V = \frac{1}{2}\pi R^2 h \quad (3)$$

关于隔膜的运动规律, 现分别根据图 2 的两种不同位置, 计算如下。

图 2 (1) 中, 吸入流体的体积为: $V = \frac{\pi}{2} R^2 (h_o - h)$

根据体积相等原理, 所以有: $\frac{\pi}{2} R^2 (h_o - h) = rA(1 - \cos\alpha)$

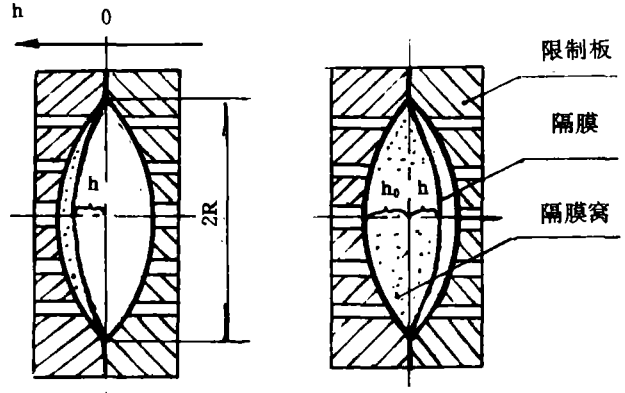
整理: $h = h_o - \frac{2rA}{\pi R^2} (1 - \cos\alpha)$

$$\begin{aligned}
 &= (h_o - \frac{2rA}{\pi R^2}) + \frac{2rA}{\pi R^2} \cos \alpha \\
 &= B_o + B_1 \cos \alpha \\
 &= B_o + B_1 \cos \omega t
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

式中: $B_o = h_o - \frac{2rA}{\pi R^2}$; $B_1 = \frac{2rA}{\pi R^2}$;

h_o —隔膜窝的总半高,m; ω —曲柄角速度,rad/s; t —为时间。

对于确定的隔膜泵,显然, B_o 和 B_1 均为定值,所以隔膜的运动规律也遵守余弦运动规律。



(1)半周前任一位置

(2)半周后任一位置

图 2 两种不同位置的隔膜窝

3 隔膜的动力学

根据膜理论,隔膜两边的压力差与最大挠度有如下的关系:

$$\frac{PR^4}{E\delta^4} = \left(\frac{h}{\delta}\right)^3 \left(\frac{3-\mu}{1-\mu} - \frac{2}{3}\right)$$

式中: P —隔膜两边的压力差,N/m²; R —隔膜半径,mm; δ —隔膜厚度,mm; 一般 $\delta = 10 \sim 20$ mm; h —隔膜中心的挠度,mm; E —材料弹性模量,N/m²; μ —材料的泊松系数。

如果用橡胶做隔膜,则 $E = 80 \times 10^5$ N/m², $\mu = 0.47$ 则上述公式可简化为: 1.当

$$P = 328.55 \frac{\delta}{R} \left(\frac{h}{R}\right)^4 \quad (5)$$

现把陶瓷行业应用的隔膜泵数据代入式 (5), 计算结果见表 1, 并可得出以下结论:

表 1 隔膜泵膜片计算数据表

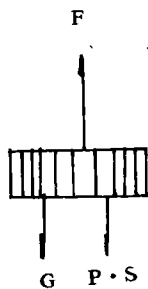
R (mm)	150			180			200		
h (mm)	20			15			12		
δ (mm)	10	12	15	10	12	15	10	12	15
$P(\times 10^5 \text{ N/m}^2)$	0.05	0.062	0.078	0.01	0.012	0.015	0.0035	0.0042	0.005

隔膜的直径为 300~400mm 时, 厚度 $\delta = 10 \sim 15$ mm 时, 其两边的压力差均小于 0.1×10^5 N/m²; 2.隔膜两边的压力差随着隔膜直径的增大而减小, 因此尺寸越大, 体积相同的情况下, 变形量就小, 当然需要的压力差也就小; 3.隔膜两边的压力差, 随着隔膜的厚度增大而增加。

以上分析可以得知, 当柱塞上下运动时, 隔膜同相位地做吸排运动; 当泵在正常工作时, 隔膜是在平衡位置附近做振动的。现假定排液受阻, 隔膜不能运动到最左 (现假定向左为排液, 向右为吸液过程), 此时柱塞还未运动到终点, 柱塞的继续运动, 迫使安全阀打开, 柱塞缸中的介质被排到了调压筒。当吸程时, 柱塞如往上提, 在正常情况下, 隔膜就向

右边运动,只有当隔膜运动到最右位置,柱塞继续上提,负压增大到某一值时,补液阀才打开进行补液,直到柱塞上升到最高点,负压消逝,补液阀关闭为止。由于压滤机工作后期基本不需要流量,隔膜仅向左移动一小段距离,则压力上升,当压力升到调定压力时,安全阀则打开,直到行程终了。而在吸程时,柱塞上提,产生负压,隔膜就开始运动,直至最右边位置。随着柱塞的继续上提,负压增大,那么补液阀开启,补液开始,直至行程终了。所以,如果隔膜窝的容积大于或等于柱塞体积,绝不会发生过补液现象,仅在隔膜窝的容积小于柱塞体积,当隔膜运动到最左位置,柱塞继续运动时,压力迅速上升,直至压力值达到调定压力时,安全阀才打开。在这个过程中,隔膜两边的压力差显然越来越大,以致把限制板上的孔印出来,严重的还会出现一个个凸圆柱体。

有一点必须注意,就是补液阀的开启压力值,取多大为宜呢?如果开启压力值比隔膜运动时两边的压力差还小时,柱塞上提产生负压,最先动作的不是隔膜而是补液阀,这样就导致上提过程全是补液,隔膜没有运动。当下一排液开始时,隔膜往左动一下,直至压力升至调定压力,安全阀开启,接着吸程又是全补液。这样隔膜一次又一次地向左运动,没有向右的运动,则不论隔膜窝的容积如何,隔膜终会到达最左边的限制板处。此时,如果再下压,隔膜就会出现有限制板的孔洞来,这就是过补液现象。显然,这是泵的不正常工作状态。要解决这一问题,关键是确定补液阀的开启值。笔者认为,这个开启压力值 $0.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 为好,理由如下:补液阀向下受到自重(可略去不计)和柱塞缸的负压产生的力,向上是弹



簧的预拉力。当 $P = 0.1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 时隔膜先运动,而补液阀后开启。此外还要考虑到,当隔膜在压力差为 $0.1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 运动时,它还有把液力端的进浆阀开启的任务。现隔膜泵进浆阀采用自重阀的多,其开启压力应在 $0.06 \sim 0.08 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之间。如果进浆阀的开启压力达到 $0.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,则会导致进浆阀还未开而补液阀却先开,从而发生过补液现象。

最后,还有一个情况必须注意:进浆阀的开启压力值在泵的工作过程中是变化的,操作时稍不注意,就有可能超出规定值。这是因为,根据流体力学原理,进浆阀的开启压力计算如

下式: $p_1 = -\gamma H$ (6)

式中: p_1 为阀的开启压力, N/m^2 ; γ 为泥浆重度, N/m^3 。其值一般控制在 $1.45 \sim 1.55 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ 之间,此处取 $\gamma = 1.50 \times 10^4 \text{ N/m}^3$; H 为液面至进浆阀的高度, m 。

根据上式,若 $H = 0.5 \text{ m}$,则 $p_1 = 0.74 \text{ kgf/cm}^2$ 。当浆池液面在工作后期降为 1.5 m ,则 $p_1 = 0.21 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,这样吸浆阀还未开启,补液阀却先开启进行补液了,这就难免会发生过补液现象。

参 考 文 献

[1] 《往复泵设计》编写组.往复泵设计.北京:机械工业出版社,1987.467

[2] 金元善,赵振铎编.油隔离泥浆泵.北京:冶金工业出版社,1983.9~19

[3] 轻工业部第一轻工业局.日用陶瓷工业手册.北京:轻工业出版社,1984.128

[4] 周谟仁主编.流体力学泵及风机.北京:建筑工业出版社,1979.60~63