

基于 ADINA 流固耦合的隔膜行程实验数值模拟

张恩龙¹ 齐东杰¹ 李文明¹ 陈扬^{1,2}

(1. 中国有色(沈阳)泵业有限公司, 辽宁 沈阳 110144)

(2. 沈阳工业大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 本文以煤化工行业用大型高压煤浆泵为研究对象, 利用有限元分析专用前处理软件和大型流体与结构分析软件 ADINA, 对某台套隔膜泵进行了隔膜行程实验的数值模拟, 从而确定了补排油信号发生装置的合理距离, 研究结果为同类型产品的设计和研发提供了一定的理论依据和实践指导。

关键词: 高压隔膜泵; 行程实验; 数值模拟

1 实验条件

某台套高压煤浆隔膜泵液力端隔膜室部装的剖视图如图 1 所示, 图中的隔膜直径为 620mm, 对应的油缸直径 210mm, 活塞行程 350mm, 因此需要计算隔膜行程, 以设计补排油信号装置距离。以往通常采用的方法是进行隔膜行程实验, 利用工业实验验证的方式来确定油缸结构。隔膜行程实验的原理如下: 注水口高于隔膜腔, 依靠势能差不断注水使隔膜向外鼓出, 隔膜发生一定变形后, 橡胶内表面压力与水势能能达到平衡, 此时注水量为隔膜最大容积, 隔膜铁芯最大位移为隔膜最大行程。这一手段效率低且成本高, 因此亟待探索一种适用于该实验的有限元计算与模拟方案, 实现隔膜行程实验的数字化、规范化和流程化。

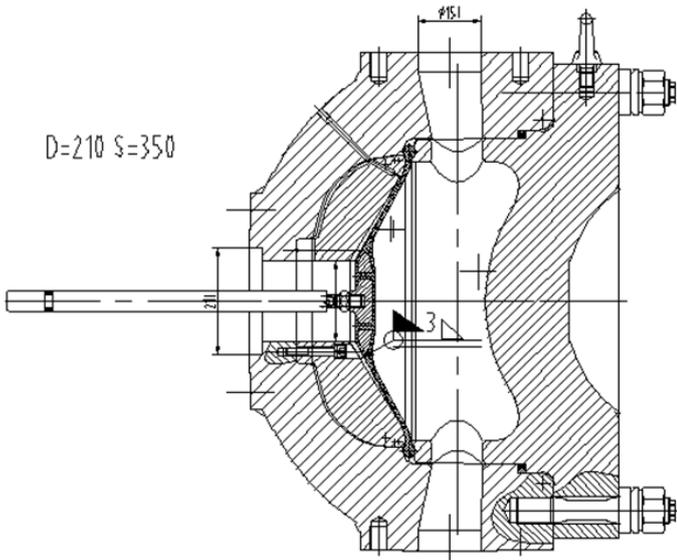


图 1 隔膜腔平面图

2 流固耦合分析



图 2 隔膜行程分析有限元模型

由于计算模型具有对称性, 因此建立隔膜及推进液油的 1/4 模型 (如图 2 所示)。具体边界条件的设定如下: 图 2 中的左侧端面为移动壁面边界条件, 对称面法向速度设定为零, 与隔膜接触面施加流固耦合边界条件, 图中其

余各个表面均设定为非滑移壁面边界条件; 隔膜和铁芯各节点, 对称面对称约束, 橡胶隔膜的头部全约束, 与推进油接触面施加 FSI 边界条件。

隔膜在工作中往复变形, 瞬态分析需要考虑冲次、料浆粘度等很多参数, 因此, 隔膜行程分析简化为准静态过程, 总的计算时间取 100 秒; 设计活塞行程 350mm, 分析中最大活塞行程约 1000mm。

分析结果如图 3 所示:

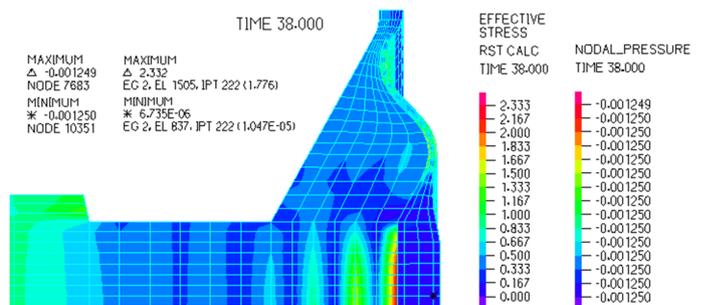


图 3 活塞推进 350mm 时隔膜行程分析结果

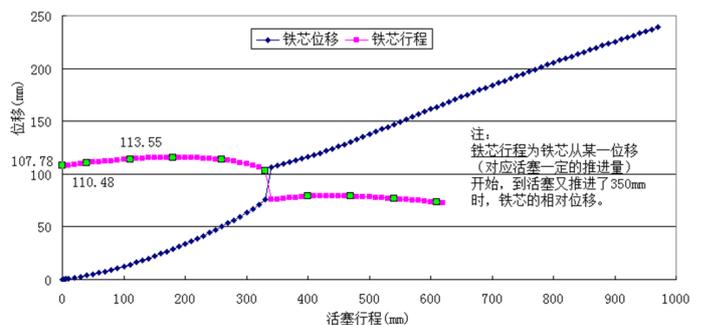


图 4 铁芯的位移曲线

下面是隔膜最大行程的仿真分析结果:

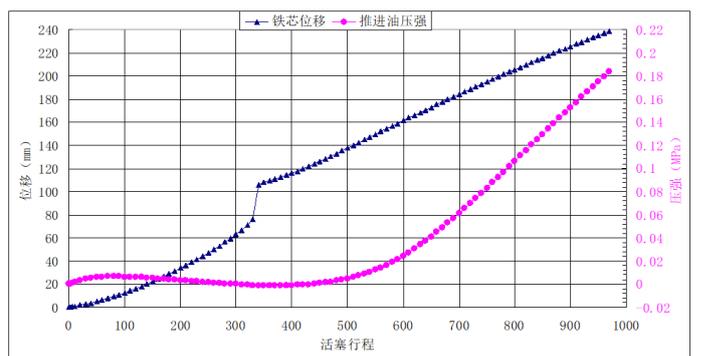


图 5 隔膜位移和油压分析结果

铁芯位移和铁芯行程如图4所示。由图可知，铁芯位移曲线在活塞行程330mm时发生跃变，这是因为隔膜正在翻转；活塞推进350mm时，隔膜铁芯位移为108mm。实际上，隔膜并不是从初始状态开始工作的，经验是隔膜向外移动15mm左右，从上图铁芯行程曲线可知，隔膜的准静态工作行程大概为110mm。

实验中，注水口与隔膜腔轴心高度差不超过1m，1m水压约为0.01MPa。分析中未考虑重力，将截止压强放大到0.02MPa，考察流场中颈部中心位置的节点压强。

从图中可知，活塞行程590mm时，油压达到0.02MPa，对应隔膜位移为159mm，取整为160mm。

根据经验，相同直径的隔膜行程实验最大行程约为210mm，仿真与实验存在很大的差异，除了方法不同，隔膜材料不同是主要的影响因素。

隔膜行程实验中，橡胶应力较小，而实际工作中，橡胶也可以承受一定的应力（应变），下面分析隔膜行程和应力关系。

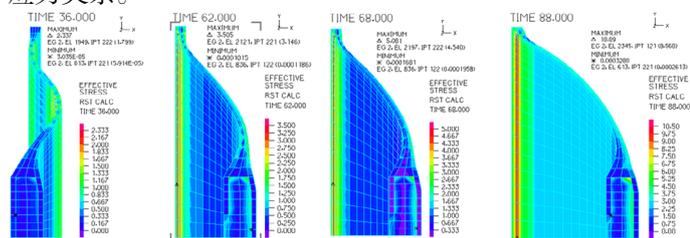


图6 隔膜应力分析结果

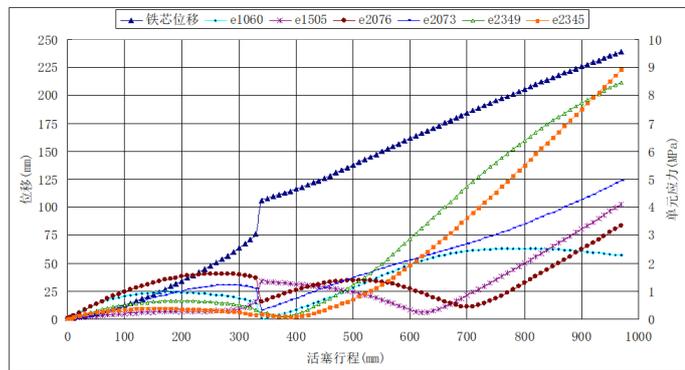


图7 隔膜位移和应力分析结果

(上接第113页)同，在工业实际应用中各有特点，具体比较情况见下表：

各类型结晶分盐技术工业应用对比表

比较领域	变温蒸发结晶	冷冻蒸发结晶	纳滤分盐结晶	电渗析分盐结晶
工业应用情况	已应用	已应用	已应用	未实际应用
投资情况	低	低	较高	高
占地面积情况	小	小	较大	大
原水水质	低	较低	较高	高
波动适应性	低	低	较高	高
系统控制要求	较高	较高	较低	较低
能耗	低	低	较高	高
分质盐纯度	低	中	较高	高

3 工业应用存在的问题

经过近几年在工业应用中的不断摸索，阻碍高盐废水分盐结晶技术在化工企业大规模推广的原因主要是以下两点：

①由于高盐废水分盐结晶技术刚刚兴起不久，因此

图7中取了几个有代表性的单元（覆盖了任意时刻最大应力位置），绘制出行程和应力曲线。

隔膜最大行程，理解成隔膜本身能够承受的最大变形更为贴切。补强硫化丁腈橡胶拉伸强度为15~30MPa（机械设计手册），借鉴金属材料静强度、疲劳强度标准，可以得到隔膜最大许用应力，查图7得到隔膜最大行程。

表1 列举隔膜行程和应力对应关系

行程 (mm)	油压强 (MPa)	最大应力 (MPa)	铁芯位移 (mm)
350	-0.001	1.33	108
590	0.022	2.68	159
660	0.045	4	175
715	0.068	5	187
775	0.095	6	200
843	0.126	7	214

(经过橡胶材料试验及计算)假设隔膜最大许用应力为4MPa，可以得出，隔膜最大行程为175mm。

注：隔膜翻转后铁芯位移为 $86.6 \times 2 = 173.2$ ，计算安全行程 $173.2 \times 0.8 = 138.6$ mm。

3 结论

根据上文对隔膜行程实验的数值模拟仿真结果可知，该套隔膜泵橡胶隔膜正常工作的行程约为110mm，模拟行程实验（注水）的行程约为160mm，隔膜可承受行程约为175mm。后经与实验结果对比可知，数值模拟结果真实可信。

参考文献：

- [1] 马野,袁志丹主编. ADINA有限元经典实例分析 [J]. 机械工业出版社, 2011.
- [2] Theory and Modeling Guide Volume III :ADINA CFD&FSI, 2010.

作者简介：

张恩龙(1980)，辽宁鞍山人，工程师，现任中国有色(沈阳)泵业有限公司设计研究所所长。

通讯作者：

陈扬(1986-)，辽宁沈阳人，高级工程师，研究方向为长距离管道输送设备的设计与研发。

无论“热法分盐”结晶技术还是“膜法分盐”结晶技术在工业实际应用中都存在技术难点，需要时间提高系统运行稳定性和分质盐品质；②由于化工废水水质复杂，分质后得到的结晶盐品质只能符合《精制工业盐》(GB/T5462-2015)二级标准和《工业无水硫酸钠》(GB/T6009-2014)Ⅱ类合格品要求，品质相对较低。

4 结语

随着生态文明建设的不断深化，高盐废水分质结晶工艺必然成为化工废水综合利用的发展趋势。华阳集团所属各化工企业应跟踪关注高盐废水分盐结晶工业应用进展，尤其是总结太化新材料公司在分盐结晶方面的经验和教训，在技术成熟且政府出台鼓励政策的情况下适时开展高盐废水分盐结晶处理，提高废水综合利用率，降低生产成本。