

# 螺杆泵定子用丁腈橡胶溶胀性能的研究

陈勇<sup>1</sup>, 李萍<sup>2</sup>

(1. 大庆采油工程研究院, 黑龙江 大庆 163453; 2. 大庆建材公司机械加工厂, 黑龙江 大庆 163453)

**摘要:** 介绍了螺杆泵在大庆油田的应用状况以及存在的问题。通过测试体积膨胀率和线性膨胀率, 研究了定子丁腈橡胶的溶胀性能, 并通过扫描电镜对溶胀后的丁腈橡胶进行了形貌分析。

**关键词:** 螺杆泵; 丁腈橡胶; 溶胀性能; 定子橡胶

由于有较好的耐热、耐油性能, 作为制作螺杆泵定子用的丁腈橡胶在油田领域得到较为广泛的应用。近几年, 随着螺杆泵举升工艺技术的不断完善, 定子橡胶在配方调整、原材料质量保障及压铸工艺控制等方面有了长足进步。截止 2007 年 9 月, 大庆油田在用螺杆泵井累计达到 3 200 多口。

随着采油进入后期, 井况日趋复杂, 在某些油田区块采油技术暴露出了新的不适应性, 从而对定子橡胶也提出了更高的要求。螺杆泵在举升某些特殊产出液介质(如三元产出液、高盐度溶液等)以及在特殊井况(深井、高含气和高含砂井)的开采过程中, 因为定子橡胶的老化严重和高温下溶胀过度, 导致检泵周期明显缩短, 限制了螺杆泵的应用以及进一步推广。油田每年在换泵和检泵上都投入了大量的人力、物力和财力。表 1 是大庆油田 2007 年 1~9 月, 直接或间接因为定子橡胶质量问题而检泵的原因统计。

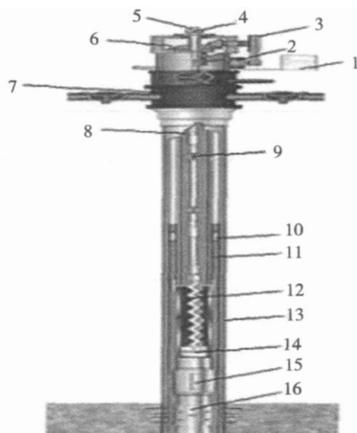
表 1 2007 年 1~9 月螺杆泵部分检泵原因统计

项目	漏失	定子橡胶脱	转子抱死	转子断	合计
井次	67	20	12	8	107
比例/%	62.61	19.69	11.21	7.48	

## 1 单螺杆泵采油系统简介

地面驱动单螺杆泵采油系统可分为地面和井下两大部分。地面部分包括: 驱动头和控制柜; 井下部分包括: 井下泵、抽油杆、油管、配套工具(如锚定工具、扶正器)等(见图 1)。螺杆泵又叫渐近容积式泵, 由定子和转子组成, 两者的螺旋状过盈配合形成连续密封的腔体, 通过转子的旋转运动

实现对介质的传输。图 2 是螺杆泵剖开的截面图, 从中可以看到定子橡胶的形貌。



1—电控箱; 2—电机; 3—皮带; 4—方卡子; 5—光杆; 6—减速箱;  
7—专用井口; 8—抽油杆; 9—抽油杆扶正器; 10—油管扶正器;  
1—油管; 12—螺杆泵; 13—套管; 14—定位销;  
15—防脱装置; 16—筛管。

图 1 地面驱动单螺杆泵采油系统

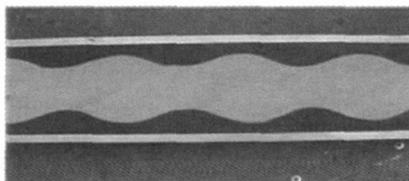


图 2 定子橡胶的形貌

## 2 试验模拟介质的选取

为了更能体现实际井况中介质对定子橡胶的影响, 我们优选了柴油作为试验介质。因为螺杆

泵定子橡胶的溶胀性能是直接影响螺杆泵功能实现的主要性能,所以找到适合实际井况的模拟介质非常重要。从图3来看,柴油介质导致的橡胶膨胀率要比原油介质高些,考虑各种原油取出试验前已经脱气,而气体对橡胶的老化影响很大,会促进橡胶的溶胀,经过多种丁腈橡胶对于油、化学品等液体的体积变化率的试验比较,最后选择柴油作为试验介质。

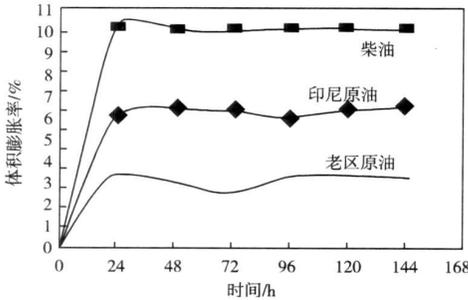


图3 不同油品对定子橡胶体积膨胀率的影响

### 3 定子橡胶的体积膨胀率和质量变化率

#### 3.1 试验设备及条件

试验仪器是改制的线性膨胀仪(试验在密封缸体中进行)和测量质量的电子天平。试验介质采用0#柴油。试验温度分别为50, 80和120℃。试样在各试验条件下浸泡120h后测量其质量及体积变化。

#### 3.2 试样体积变化率和质量变化率

试样体积变化率( $\Delta V$ )和质量变化率( $\Delta m$ )的计算公式如下,取3个试样的试验数据平均值作为试验结果。

$$\Delta m = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

$$\Delta V = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} \times 100\%$$

式中  $m_1$  —— 浸泡前试样在空气中的质量;  
 $m_2$  —— 浸泡前试样在水中的质量;  
 $m_3$  —— 浸泡后试样在空气中的质量;  
 $m_4$  —— 浸泡后试样在水中的质量。

#### 3.3 结果与讨论

从图4和图5可以看出,在50℃条件下,在最初的24h内,橡胶体积膨胀率和质量变化率上升很快,这是因为开始的时候橡胶主要受到温度的影响,温度促进了橡胶溶胀;从24h到72h体积膨胀率下降,但是质量仍然在上升;72h后体

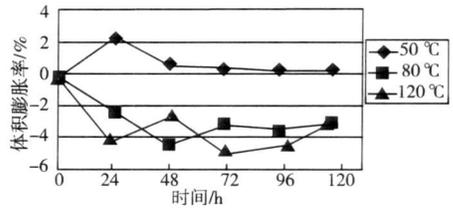


图4 定子橡胶在不同温度下的体积膨胀率

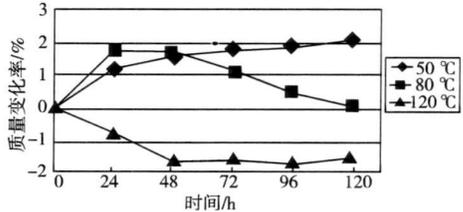


图5 定子橡胶在不同温度下的质量变化率

积膨胀率和质量变化率趋于平稳。在80℃条件下,质量变化率是先升后降,最后接近零值,但是体积膨胀率为负值。120℃条件下,质量变化率、体积变化率都为负值。说明高温条件下,橡胶的稳定性能变差,有可能是大量物质从橡胶中被抽提出来,并且高温造成了分子过度交联,从而造成体积膨胀率成为负值。需要解释的是,从以往的试验得知,大部分橡胶在试验开始的短时间内都是溶胀的,只不过测试是按照标准24h测试一次,从而显示不出溶胀的部分来。

### 4 定子橡胶的线性膨胀率

#### 4.1 试验设备及条件

试验采用改制的线性膨胀仪,试样采用圆柱形并放置在内有凹槽的钢座里,试验温度为80℃,压力为12MPa,介质是柴油。相对于前面的试验,后者的优点在于更接近地反映工况。我们试图测试更有意义的参数——线性膨胀量。

#### 4.2 结果与讨论

在试验最初1h内,橡胶膨胀速度快,近似线性膨胀,膨胀量达到1mm(橡胶厚度12.5mm),膨胀速率达到 $0.016 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,此时温度起主要作用;试验1h后,橡胶膨胀速度变慢,温度和介质共同对橡胶的溶胀起作用;膨胀量在前2h后呈现近似线性增长,如图6所示。

试验14d后(图6仅为近1d的变化)将橡胶恢复到常温状态,高温导致的溶胀逐渐消除,橡胶膨胀率降到1.2%。试验到第14d仍然没有达到平衡。

## 5 微观形态分析

图7和图8分别为胶料在丙酮和0#柴油中浸泡后配合剂溶出后的微观形貌。在介质中,配合剂是逐渐被溶蚀掉的,溶蚀后胶料中就出现了空洞,宏观上体现为质量减小;如发生塌陷,体积也会小,宏观上体现为发生了溶缩现象。因此,在一定温度下的耐介质试验,实际过程是一个动态过程,即介质对橡胶的溶胀作用以及因为介质的作用使配合剂溶出而产生的溶缩作用。从高温0#柴油浸泡来看,在130℃下胶料配合剂溶蚀很严重,给我们的启示是:定子橡胶使用环境恶劣,因此在选择原材料时应优选耐介质性能好的配合剂。

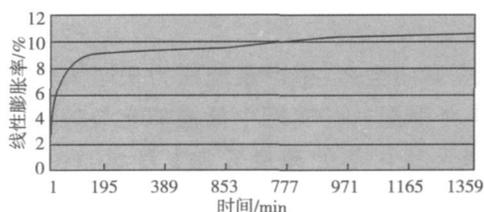


图6 定子橡胶的线性膨胀率

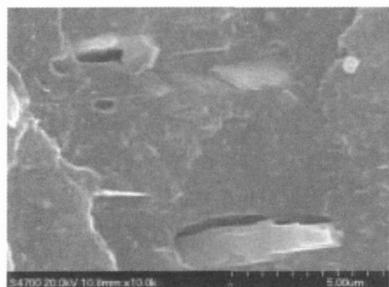


图7 胶料在常温丙酮中浸泡后电镜图(10 d)

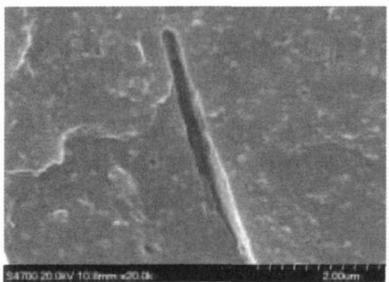


图8 胶料在0#柴油中浸泡后电镜图(130℃×168 h)

## 6 结论

1. 螺杆泵定子使用的丁腈橡胶在柴油介质中不仅有溶胀现象,也有溶缩现象。

2. 在柴油介质中,定子橡胶质量增加了,体积未必就会膨胀,也有可能产生溶缩现象。

3. 螺杆泵定子橡胶应该优选耐介质、耐抽出的配合剂。

4. 线性膨胀率比体积膨胀率更符合实际的使用条件,但是约束条件有待于进一步研究。

## “神七”宇航员舱外航天服 橡胶系列产品获突破

继嫦娥奔月之后,将实现太空行走的“神舟七号”(简称“神七”)的成功飞行成为国人的共同期盼。与“神五”、“神六”不同,由于“神七”宇航员要出舱行走,因此舱外航天服成为“神七”飞船在研制中的关键点。国家级重点科研项目——“神七”出舱航天服的关键技术已经获得突破,五大系列组成的舱外航天服已全部通过权威部门初步鉴定。

据了解,“神七”舱外航天服使用条件苛刻,技术要求极高,所有产品必须保证在-120~120℃温度范围内正常使用。既要求耐太空辐射和太空垃圾等的侵害,又要求宇航员出舱后在太空超低温(-120℃)条件下能够进行各种太空科研活动。此外,航天服还必须有足够的柔韧性,确保宇航员出舱后行动自如,甚至能够轻而易举地拾起一枚硬币大小的物体。航天服根据不同部位的使用性能共分为五大系列12种规格,因其要确保宇航员生命安全,被列为“神七”的关键技术。国外宇航员舱外航天服所用的橡胶系列产品一般需要二三十年才能完成研制,而我国仅用了不到3年的时间。

沈阳橡胶研究设计院自2005年承接“神七”宇航员舱外航天服橡胶系列产品研制任务之后,成立了航天专题项目组,并专门组建了航天产品试验室。科研人员从特殊原材料的筛选,胶料性能突破以及生产工艺创新,进行了无数次的试验,攻克了一道又一道技术难关,终于成功研制出“神七”五大系列12种规格的近500种宇航员舱外航天服橡胶系列产品,并通过了国内权威检测机构及需方进行的全项性能检测。检测结果表明,该系列产品的各项性能均达到国外同行业领先水平。

钱进