

# 怎样为混合搅拌设备选择合适的轴封

## How to select shaft seals for your horizontal agitating mixer

李建勇 青岛博锐密封技术

轴封的性能是决定搅拌、混料设备可靠性的关键。

本文通过分析搅拌设备轴端密封所面临的各种挑战，解释了如何选择合适的密封才能克服这些挑战，并实现在安装设备上稳定、可靠运行。文章最后提出了如何在密封安装运行后，通过正确检修维护，以实现长期有效轴端密封。

散体颗粒处理设备通过采用水平轴混合搅拌器，以实现对于散物料、糊剂及泥浆状物料提供低剪切力的混合。尽管搅拌混合器有不同的结构、形式，但他们的轴封都面临着相似的工况和挑战。

近距离观察一下混合搅拌器的部件和工作原理，就能清楚了解其中的缘由。

典型的水平轴混合搅拌设备都有U型的或圆柱形的腔体结构，水平驱动轴穿过端壁，如图1所示，驱动轴连接驱动设备。多种搅拌设备都采用这样的结构，例如桨式，螺旋式，犁式或者复合式。这些混合设备可以在常温环境下工作，也可用循环的流体或蒸汽加热腔体内密封的介质。搅拌器的顶部可以是和外界联通的，也可以是密闭的，取决于腔体内部的压力，真空或易挥发的介质特性。

搅拌式混合器需要在轴和端盖位置安装一个密封装置，以防止腔体内的物料外泄，在某些情况下，也可以阻止外界空气进入密封腔。

### 轴封面临的挑战

水平轴混合搅拌器的结构特点，决定它的轴封将面临一些会影响其密封性能的不利因素，以下是几种常见因素：

#### 1. 轴跳动

轴跳动是混合搅拌器最常遇到的问题之一。

Figure 1

双螺带混合机



轴跳动一般由搅拌过程中产生的阻力或由于轴长度较大且在腔体内缺少足够支撑导致。轴跳动破坏密封表面结构，在密封面产生间隙，最后导致密封物料泄漏。轴跳动还可能造成密封变形，使密封和轴产生磨损，引发更多的后续问题。

## 2. 密封物料特性

密封物料自身特性也会对密封的性能造成影响。具有研磨性的硬质颗粒一旦进入密封端面，会对密封和轴产生磨损。一些对温度敏感的介质，如糖，淀粉等会被密封面和轴之间摩擦产生的高温碳化。有些产品在设备停机时会粘结，重启设备时，这些硬化的团块就会进入对密封造成损害。如果是食品类，尤其是奶粉，糖，盐等，如果被困在密封腔体内，搅拌混合器在清洗时，被困在密封里的产品会重新湿化。当他们重新接触到新装载的产品时，会有结块生成。同时湿化的产品会滋生细菌，带来食品污染隐患。

## 3. 设备运行

密封的使用性能也取决于设备的运行情况。过载运行会对密封带来严重影响。例如，大多数的螺旋混合机在装载容量的70%时达到最高的工作效率。但有的操作人员试图在每个批次都装载尽可能多的物料，这种过载会导致设备的硬启动。这种情况下，设备启动力增加，结果物料没有被混合，而是被压成块儿。这种块儿状物料很容易被挤进密封内部。硬启动和过载还会导致结块儿的物料挤压端盖，引起端盖形变，产生轴向位移，并加重轴跳动情况。这些外力也容易把物料挤进密封内部，对密封和轴造成磨损。

如果混合的物料为大密度粉状颗粒，即使没有过载装填，启动时产生的内部作用力也容易对密封产生影响。当混合搅拌设备停机取样结束后重启时，静态的设备无法使混合的物料立即流体化，造成硬启动。在物料流动以前，后端盖的部位，物料都有可能被挤入密封，导致密封、轴、甚至是物料自身的磨损。在混合搅拌设备将结块儿的物料打碎并使其流动以前，在反作用力下，轴会产生和物料流动方向相反的轴向运动。这种轴向运动会导致在设计初始没有考虑轴向位移的密封面临诸多风险。

混合搅拌设备的硬启动对密封的影响巨大，尤其是当轴的定位支撑不足时，严重的可引起设备腔体变形，

尤其是在设备启动阶段，且物料结块儿，坚硬不易破碎的情况下，对密封带来很大的影响。

---

不管是什么原因产生的轴向力，轴向运动对很多类型的密封，都极具破坏力。

---

## 4. 温度和压力

温度和压力也可导致轴向位移。在有些类型的混合设备中，高温会导致腔体膨胀程度超过轴，从而改变它们的相对位置。有一种蒸汽加热的中空轴混合器，轴的热膨胀要比未加热的腔体快，同样密封相对位置产生变化。有一种真空混合干燥设备，在每个批次物料混合的不同阶段，温度和压力都在变化中。压力的变化同样可以引起轴的前后移动。不管是什么原因引起，轴向位移对很多类型的密封，都具有破坏力。

## 5. 震动

不管是装配不对中，或是轴定位不精确，或者是由于轴承损坏导致的震动，都可以导致物料的泄漏。

## 6. 冲洗

当冲洗喷嘴沿轴对准密封位置时，物料残留很容易在水压的作用下进入密封内部。况且这种湿的残留物不但可以污染新批次的物料，还可以作为一种研磨剂，在设备重新启动时，磨损密封面。

## 密封选型

如何选择最适合的密封形式，最科学的方法是认真考虑设备的工况，包括要处理的物料特性，设备结构和工艺流程。然后同设备制造商一同找到最适合设备的密封装置。每个制造商都会要求用户提供详细的物料信息运行工况等参数。

以下我们将介绍常见的几种混合搅拌器轴封形式。每种密封的性能在特定的工况下都区别于其他形式的密封。请注意，这些差异不仅源于每个密封的设计和结构的不同，更和物料、设备和以及工艺的差别密切相关。

## 盘根密封

最常见，也是最普通的轴密封是盘根密封，也叫填料密封。这种密封形式在很多种混合搅拌器上成为标准配置。盘根密封价格便宜，能够密封多种干粉物料，糊剂和泥浆等。

示例见图二。

盘根要想有效密封，就需要盘根被紧紧压缩在填料函里，因此，在静止的盘根和转动的轴之间会有摩擦热产生。这种热量可以破坏对温度敏感物料，有磨损性的物料颗粒会嵌入盘根，磨损轴和盘根自身。

盘根密封只有在充分润滑的情况下，才能避免对轴和自身产生磨损。但多数情况下，润滑剂，比如水，润滑油等，往往和被处理的物料不兼容。

盘根密封如需正常工作，轴的跳动量必须精确控制，由于种种原因，混合搅拌器的轴往往都存在偏心和跳动，要想精确控制轴的跳动会变得十分困难。任何轴跳动导致的密封部位轴不对中，都会加重盘根材料的磨损，在轴和密封之间产生间隙。物料会被不平稳的轴运动带进密封内部，加速轴和密封的磨损。从而导致更多的物料泄漏。

同时，盘根密封磨损的残渣颗粒，也会给物料带来一定程度的污染。这将导致大量的物料被清理，遗弃，给生产带来不必要的损失。

Figure 2

螺旋搅拌机盘根密封



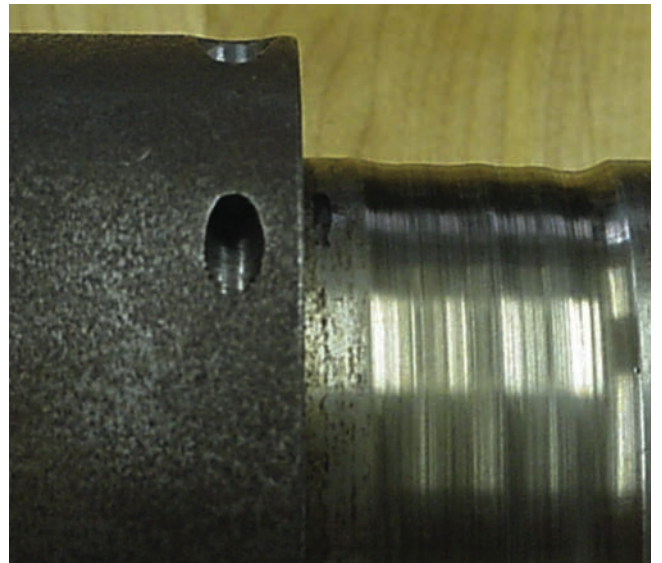
图三显示的轴磨损，是由盘根和轴接触引起。可以通过在密封位置安装轴套的方式避免轴的磨损，但需要定期更换轴套，增加了维护成本。

盘根密封不能够被清洁。密封本身也很难清洁，将密封从填料函里取出清洗、干燥后再放回，几乎不可能完成。定期的冲洗也会使陷在密封内部的物料浸湿，尤其当物料为奶粉，糖或盐类时，容易污染或硬化新装载的物料。潮湿的被困在密封内部的物料还会滋生细菌，给生产带来安全威胁。

许多用户在设备初始采购时，会选择安装盘根密封的搅拌设备，因为其价格低廉且被操作人员所熟悉。如果盘根密封效果很差，他们就会被更复杂、效果更好的密封替换。

Figure 3

轴磨损情况



## 唇型密封，O型圈，矩形圈

唇封，O型圈，矩形密封都属于接触密封，价格相对低廉，在混合搅拌设备上的密封性能表现也不相同。

### 唇封

唇封由橡胶或其他弹性体制成，密封有U型截面，和轴接触的一端为窄的、弹性的密封面，由弹簧提供预紧力，紧紧包裹在轴上。通常唇封用来密封轴承箱内润滑油。唇形密封由于由弹簧提供预紧力，可以适应一定程度的轴跳动。

唇形密封能比盘根适应更大的轴跳动量，但轴的跳动量也必须被控制在一定范围之内，使密封唇能够始终抱轴。密封唇和轴的接触部分集中在一圈很窄部位，摩擦热量集中在这个部位产生，物料也容易从这里外泄，并导致密封唇和轴的磨损。

基于这个原因，唇型密封主要用于密封对热不敏感或研磨性不强的物料。几个唇形密封排列，组成一个接触型迷宫密封，可以更好的防止物料进入密封。

和盘根密封一样，唇形密封对轴也存在磨损，加装轴套可以避免轴磨损，但会增加设备维护成本。同盘根密封一样，唇形密封也不能被清洗，不适合食品，医药等对卫生标准要求较高的行业。

### O型圈，矩型圈

O型圈和类似的矩形密封，都是由较软的材料制成，O型圈和矩形圈有着和唇形密封类似的密封性能，但能适应轴跳动量的范围更小。

同唇形密封一样，O型圈和矩形圈主要用于密封对温度不敏感或研磨性不强的物料。同样，也不能被清洗，不适用于食品、医药等对卫生标准要求极高的行业。许多类型的O型圈可以提供剖分结构，现场用胶水粘结，或者通过硫化的方式重新连接，可以简化安装，并大幅提高维护效率。

矩形圈见图片4

## 机械密封

机械密封的摩擦副一般选用硬质合金或陶瓷材料，机械密封的价格远远高于盘根、唇形密封和矩形密封，有些机封比其他密封更适合搅拌器密封。

窄端面的机械密封不适合大的轴跳动量，需要用油或水作为密封端面的润滑剂，因此很多处理干粉物料的混合搅拌器不适合选用机械密封。多数的窄端面机械密封不能够做剖分设计，因此在装卸密封时需要拆除轴承和驱动组件。

宽端面的机械密封可以适应较大的轴跳动量和干运行，因此可以用于干粉物料的密封。宽端面的机械密封也可以做成剖分设计，价格也更昂贵。

无论是窄端面还是宽端面机封，其硬质的摩擦副材料都很容易损坏。因此要严格按照制造商的产品手册操作。有些机械密封的弹簧位置可能残留物料，容易带来卫生安全风险。因此要特别注意机械密封的结构设计，适用于设备频繁冲洗的需要。

传统的机械密封设计，其密封性能取决于动环抱轴并随轴一起旋转。但混合搅拌器运行中常见的轴向运动会引发轴相对于动环和轴之间的弹性体发生相对位移。对轴和弹性体产生磨损，可能导致动环不能随轴一起旋转，最终密封性能迅速降低。

Figure 4



## 软端面机械密封

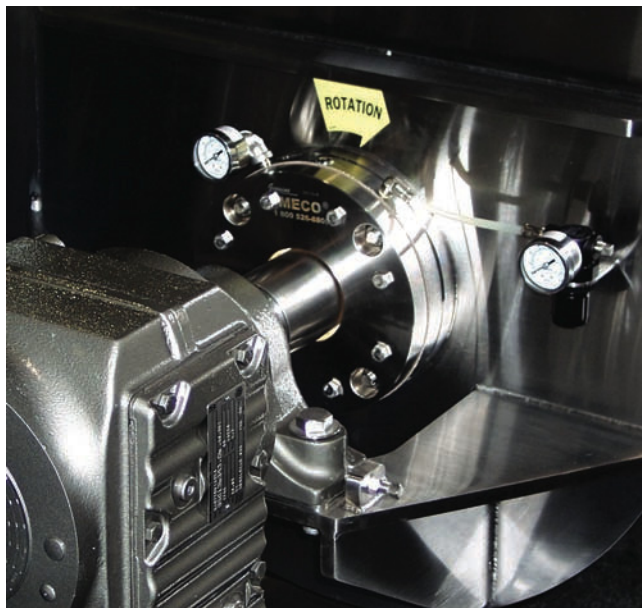
一种宽端面机封的改进型是软端面机封，见图5所示。这种密封工作原理和传统机封相似，但密封端面由材质较软的工程塑料制成，以适应混合搅拌器设备中常见的轴跳动和偏心。这种密封根据客户需要定制生产，所以很适合处理干粉物料的混合搅拌设备。一般不需要额外的润滑，而且，密封材料根据处理物料的化学相容性选定。软端面机封也可采用特殊动环驱动机制，允许一定量的轴向位移。

软端面机封很容易被在设备冲洗时进入密封端面的物料磨损。有些设计的软端面机封预留在冲洗孔，允许密封在设备重新开机前冲洗干净。这种冲洗辅助设计，不仅有助于清洁卫生，还可除去被困在密封内部的物料残余。

软端面机械密封设计成易拆装和易清洁的结构，使得此密封很适合食品和医药加工行业的混合搅拌器，许多类型还可提供剖分设计，实现快速拆装，清洗和改进，而不需要拆卸轴承等附件。

Figure 5

安装软端面机封的食品搅拌器



## 迷宫式充气密封

迷宫式充气密封，也叫充气密封，是一种非接触式密封。它不同于其他密封依靠和轴或动、静环之间的接触对腔体进行密封。它利用少量空气，惰性气体或水的压力，沿轴杆形成的正向密封压力，将污染物阻挡在腔体之外，同时避免腔体内物料泄漏。

因为充气式迷宫密封的动环和轴没有接触，所以没有磨损轴的情况。动环和轴之间因为气体的压力，物料不能积留，解决了清洗和物料污染的问题。

特殊的迷宫式充气密封，动、静环采用弧面配合，即使轴有大的偏心，动、静环之间也没有磨损。同时静环和密封腔体之间通过特殊的结构设计，可以适应大范围的轴向跳动。因为动环和轴之间有间隙，或动环通过弹性体与轴固定，因此即使有大范围的轴向窜动，也不会影响密封的性能。

迷宫式充气密封耗气量要比盘根、机封大，迷宫式密封允许一定量的气流进入腔体，这可能影响某些和空气有化学反应的物料加工，必要时可改用惰性气体。

迷宫式充气密封也可以提供剖分设计，方便拆装和维护。一般来讲，迷宫式充气密封是免维护的。

Figure 6

迷宫式充气密封



## 如何保护轴密封

### 1. 不要过载运行

过载运行可能导致物料受挤压并进入密封内部，导致密封和轴的磨损。过载运行还可能导致设备硬启动，使设备腔体承受超限的压力并产生形变，轴跳动量增加，增加泄漏风险。

### 2. 留意设备启动

留意设备启动时由于腔体形变导致的轴运动。这种形变有时肉眼就可观察到，有时候需要安装数字监测仪表来测量轴的运动情况。

### 3. 选择合适的搅拌器，消除重启阶段轴向运动

当混合搅拌设备满载了大密度物料，开机启动时，轴在巨大反作用力下，会产生轴向移动。尤其是在设计阶段没有考虑轴向位移的设备。因此在设备选型阶段，提前考虑轴向位移量并改进结构设计，可以有效控制轴的轴向运动。

### 4. 控制过度震动

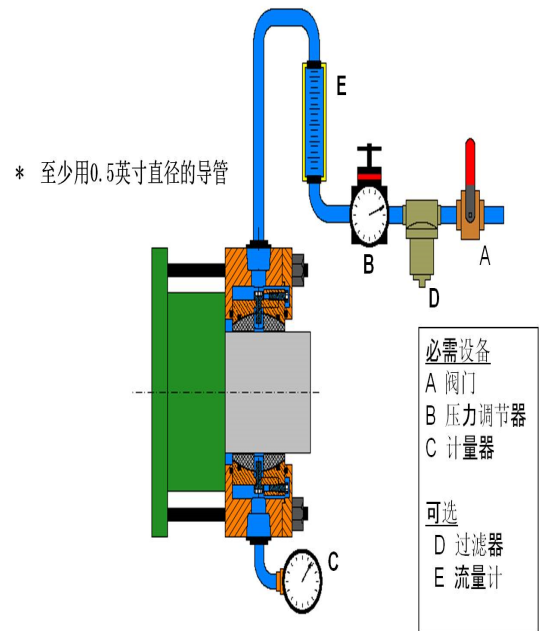
过度震动可以导致物料泄漏并加重轴的磨损。调整同驱动设备的轴对中，及时找出原因并改进，可以有效控制设备的震动。

### 5. 留意上下游工艺流程

有时设备密封失效跟设备上下游的工艺特点有密切关系。在查找密封泄漏原因时，不要仅仅盯着搅拌设备，同时要留意设备的上、下游设备状况。

### 6. 正确清洗设备

对准密封部位冲洗时，水压可能把残留的物料带进密封内部并导致密封的磨损。如果设备需要经常冲洗，选择那些易清洗的型号。设备重启前要检查确认设备已清洗干净且干燥。



充气式迷宫密封及附件