



## 来自专家的提示和建议

### 使用涡轮分子泵时的常见错误以及如何避免

以最合理的价格实现最完美的真空解决方案通常是决策的主要标准。但这就会存在一种风险，即为了降低成本，人们很可能会选择一个不太理想的真空解决方案，这一决定将最终导致客户设备的正常运行时间降低，甚至会为此花费更多的维修成本。从长远来看，选择值得信赖的真空泵和相应的配件以及合理的监控和运行模式能够为您带来更多的效益。

在选择和操作涡轮分子泵时，犯下许多错误并不鲜见。只需考虑到各个泵型号的有效特定参数，便可避免犯下错误。下文中，您将会看到关于常用涡轮分子泵的运行、选择以及维护等方面的重要信息的概述。

#### 涡轮分子泵 – 强大而可靠

涡轮分子泵是高真空或超高真空泵，主要由转子和定子两部分组成。一个旋转的转子盘和一个静止的定子盘组成了一个泵级，泵级产生一个特定的压缩比。

通过连续开启增加压缩效果的多个泵级，可以获得高达  $10^{13}$  的压缩比。现代真空泵在后侧使用 Holweck 级，减少了涡轮级的数量而不影响压缩效果。同时，允许的前级管道压力增加至 30 hPa 以上。这样便极大减小了前级泵的尺寸，并可首次将隔膜泵作为前级泵使用。

无额外压缩级的涡轮分子泵应用于易凝结、升华以及形成颗粒的过程，这样可以防止狭窄的缝隙导致的沉积、机械损伤及堵塞。



图 1：涡轮分子泵的正确安装确保安全运行

### 前级真空压力 – 监测泵的安全运行

对于带有额外压缩级的涡轮分子泵，其前真空压力可以上升至 30 hPa 以上。对于带有纯涡轮级的分子泵，最大前真空压力为 2-3 hPa，且这取决于抽送气体的种类，如氮气为 2 hPa，氢气为 0.5 hPa。

超过生产商指定的最大压力会导致轴承受损，情况严重的甚至会由于泵过热导致彻底失效。在这些情况下，气体摩擦上升过高，且额外产生的压缩热无法消散。对于轴承和转子温度不受监测的泵，这尤其重要，而且在很多情况下是不可避免的。在使用最终压力为 2-5 hPa 的隔膜泵时，设备可在这一边缘压力附近运行。

除了隔膜泵以外，干式泵没有出口阀。如果前级泵出现故障，则处理室从后侧排气。由于外壳中所谓的直升飞机效应，大型处理室的突然排气会导致涡轮分子泵转子受损。为保护涡轮分子泵不受损伤，普发真空还提供了一个安全阀，在前级泵或前真空失效的情况下，安全阀就会立即关闭处理室的排气管道。

关闭时间必须相对较短。如可进行前级压力测量，可利用压力上升或前级泵故障信号来对安全阀进行控制和操作。

### 标注排气管道的尺寸

建议至少按照泵的标称尺寸安装排气管道和阀门，因为不良流导值会导致抽速显著下降。

以下是稍加夸大的案例，以说明在直径为 25 mm、长度为 100 mm 的进气管内流导值损失所造成的影响。

涡轮分子泵有效抽速与标称抽速：

60 l/s:10 l/s

5000 l/s:14 l/s

由此可以看出，80 倍大的涡轮分子泵仅能产生 40 % 以上的抽速。

## 高真空和前真空连接

如果分子泵的高真空法兰连接至接受器，则有必要让前级管道更为灵活。如果前级管道为固定连接，则泵壳受热后无法膨胀。这会导致不当的材料应力。在固定连接时，转子无法自由移动，且遗留下来的细微不平衡随着时间的推移会造成轴承故障或转子受损。

保持涡轮分子泵平衡性可以确保低振动运行和最佳的轴承耐用性。在正常启动过程中，根据转子动力学，它们以特定的共振频率运转。

如果这些共振频率激发真空室、框架或整个系统的固有频率，就可以促进频率振幅的显著提升。在这种频率下，泵开始剧烈振动并发出非常大的声音。在这些共振频率区域运行会导致转子受损，且可能会导致设备或内置振动敏感元件损坏。即便是带有磁轴承的涡轮分子泵也不例外。

因此，最好确定系统的固有频率，并向制造商进行咨询相关数值。通过加固、增加额外重量或变更设计方案等可以避免振动的发生。

## 安全连接高真空法兰和真空室

涡轮分子泵，尤其是抽速在 1000 l/s 以上、带有磁轴承和钟形转子的较大涡轮分子泵，在额定转速下具有较高的扭矩。在转子碰撞时，速度会以毫秒为单位降级。如果真空室布局不当且涡轮分子泵直接安装在上面，则会发生真空室变形的情况。情况最严重时还会造成涡轮分子泵扭曲，甚至会与真空室法兰脱离。

近年来，已经通过碰撞实验和控制分析对泵壳和入口法兰上的力矩和受力进行了确定和测试。实验发现，连接到真空室的法兰原则上应该为 ISO-F 或 CF-F 法兰。通过长圆孔及使用 ISO-CF 与固定螺钉，可以防止带 ISO-F 法兰的泵发生转动。普发真空会提供所谓的安装套件，其中包含所需材料等级足够数量的夹子和固定螺钉以及合适的定心环。只有这样才能确保在碰撞时连接保持完好、密封。必须严格遵守操作手册上的生产商说明。

## 碎片保护

建议在涡轮分子泵的高真空法兰上插入防护罩，以避免坠落碎片损坏转子。由于传导损耗，抽速降低达 30%，具体视气体类型而定。如可能，涡轮分子泵应该在真空室内倒置放置，因为异物会因重力而掉落下来。因此，须确保泵可用于高空作业。

## 烘烤泵

当烘烤泵时，务必遵守生产商规定的最大高真空法兰温度为 120 °C 的要求。超过允许的温度会导致泵过热，并会造成轴承或转子受损。烘烤时要求对泵进行水冷。烘烤过程至少需要 6 个小时。

## 为涡轮分子泵放气

如果旋片泵用作前级泵，当前真空至高真空之间压力已经平衡时，没有经过放气的涡轮分子泵在停止转动后会受到碳氢化合物的污染。如果高真空侧尚未安装阀门，那么污染物将会扩散到接收器或设备中。

使用干燥的气体、氮气或无油空气对泵进行排气，既可以防止污染，还可以恰当地对前级泵进行充气。以一定的速度使用排气阀、利用涡轮分子泵电子驱动器，可对泵进行安全的放气。

由于涡轮分子泵的压缩比还取决于速度，因此最优初始排气速度应该为额定速度的 50%，且应该以至少 20% 的速度开始。除了出厂设置以外，现代电子技术允许放气速度具有一定的灵活性。适当的放气可保护接受器不受污染。

有些过程中与泵无关的放气要优先于控制系统。这将导致与泵速有关的重要连接受损。当用泵的电子驱动器进行排气时，无需对泵速进行额外监控。排气时，泵的内表面覆盖有干氮气。它可以显著缩短疏散时间，因为难以移除的气体或水分无法聚集在表面上。排气气体不可从前级侧进入，因为凝结物、颗粒甚至是油可能会被带入到高真空侧。

在频繁出现停电现象的不稳定电网中，特别是在夏天因使用空调而出现超负荷时，最好使用所谓的断电排气阀，它在停电时可自动对泵进行排气，并恰当地将其关闭。频繁的排气，尤其是在高真空侧，将会导致泵过热，造成机械压力，且由于大量气体摩擦还会缩短轴承的使用寿命。

## 磁场与辐射

磁场在运行中的涡轮分子泵转子上产生涡电流，这会加热转子并使其迅速过热。所需能量来自电子设备，并导致电机中电流的显著上升。这代表了转子的直接加热值。

真空泵生产商操作说明书中规定了以 mT (毫特斯拉) 为单位的最大允许磁场值。如果超过这些值，则必须对泵进行屏蔽；如果已知磁场的分布情况，则必须对其进行重新部署。

在粒子加速器附近存在着不同强度和持续时间的中子和伽马辐射。这种辐射破坏安装在泵上的电子驱动器和变频器，两者都具有非常敏感的功率晶体管和二极管。在这种情况下，必须使用连接电缆将电子驱动器安装在远离辐射的安全距离之外。这同样适用于测量设备。必须避免有源传感器，因为传感器电子元件同样会受到射线的破坏。

## 工艺适应性

确保涡轮分子泵与特定工艺过程相适应，这很重要。来自我们专家的详细建议和有关工艺过程与其特点的准确信息可以确保最佳解决方案。对于腐蚀过程，特别是在半导体行业中，有必要使用密封气体操作泵，针对滚珠轴承泵使用合成的 PFPE 油，以及使用抗腐蚀材料（如镍或陶瓷涂料）制作转子。

密封的气体，如干氮，能够在这些与迷宫密封相连接的滚珠轴承外部形成一层非常好的防腐蚀和防尘保护膜。在估量前级泵大小时，该额外的气体负载必须考虑在内。提供的密封气阀能够调节最优密封气流。必须遵守操作说明书中规定的密封气体压力。

当泵出的氧气浓度高于大气中的氧气含量时，务必要确保矿物油不被氧化，从而失去其润滑性能。这可通过使用氮气作为密封气体和/或 PFPE 油来避免。

对于有形成沉积物趋向的工艺，如在化学气相沉积 (CVD) 中，镀膜工艺将在转子和面向处理室的外壳部件上持续进行。这将会引发不平衡和震动，致使转子破碎。在此类工艺中，甚至在设计处理室时就要将这些预防措施和附加的监控方案考虑在内，这一点很重要。如有可能，应将涡轮分子泵倒置安装，受重力影响，这些灰尘会自然掉落且不易在泵内沉积。建议安装一个挡板，防止灰尘直接落到正在运转的泵上。如果架空安装无法实现，可以将其以 90 度角安装在 T 型架的侧面。前级端口应该朝下。

我们非常乐于帮助您针对某些特定的应用来优化您的真空解决方案—请随时向我们提问：

<http://www.pfeiffer-vacuum.com/contact>



图 2 : 普发真空复合轴承的 HiPace 涡轮分子泵横截面图

## 我们提供一站式真空解决方案

普发真空代表着为客户在世界范围内提供创新的、定制化的真空解决方案，完美的技术，全方位的支持和可靠的服务。

## 完整的产品线

从一个配件到复杂的真空系统：  
我们是唯一能提供完整的产品线和技术服务的供应商。

## 理论与实践的完美结合

得益于我们的专业技术和完善 的培训体系！  
我们提供给您完整的生产技术提升方案和全球统一的一流的现场服务。

您是否正在寻找  
完美的真空解决方案？  
请联系我们：

普发真空技术 ( 上海 ) 有限公司  
Pfeiffer Vacuum  
(Shanghai) Co., Ltd.  
T +86 (21) 3393 3940  
info@pfeiffer-vacuum.cn

Pfeiffer Vacuum GmbH  
德国总部  
T +49 6441 802-0  
info@pfeiffer-vacuum.de

[www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com)

**PFEIFFER**  **VACUUM**