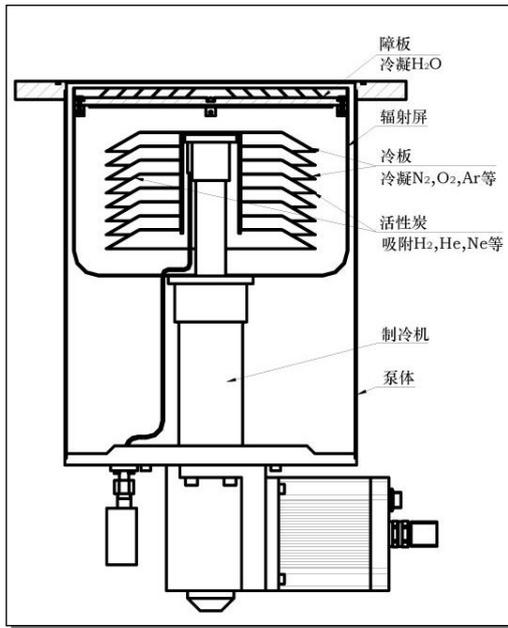


低温泵知识讲座

陈家富

一、低温真空泵结构与工作原理

1、低温泵的结构



低温泵又叫低温真空泵、冷泵、冷凝泵。低温泵的冷源可以是低温液体（液氮或液氦），也可以是低温制冷机。这里介绍制冷机型低温泵，这种低温泵的制冷机在两个温度级上产生制冷，分别冷却两个低温表面，被抽的气体就被冷却在低温表面上。

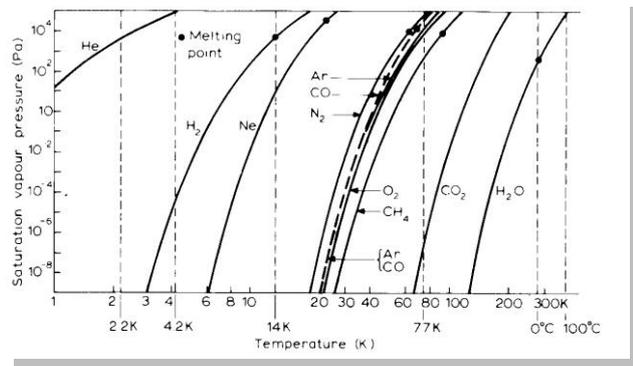
制冷机的一级通常工作在 50K—70K 范围，它用来冷却靠外的冷板，这个外部冷板既为更冷的冷板充当防辐射的屏蔽，同时又用来冷却挡在泵入口处的百叶窗（障板），当水蒸汽碰到障板上时就被冷冻在它上面，这极像液氮冷阱

冷冻水蒸气的情形。

制冷机的二级，即最冷的一级，通常工作在 10K—20K 之间，用来冷却靠内的冷板，它冷冻穿过百叶窗的 N₂、O₂、Ar 等气体。不能被这一温度冷冻的气体被位于冷板内部的活性炭吸附。

2、低温泵工作原理

1) 低温泵抽气机理之一：低温冷凝



上图表示低温泵把真空室内的压力降到极低水平的能力。它表示了低温沉积层上面平

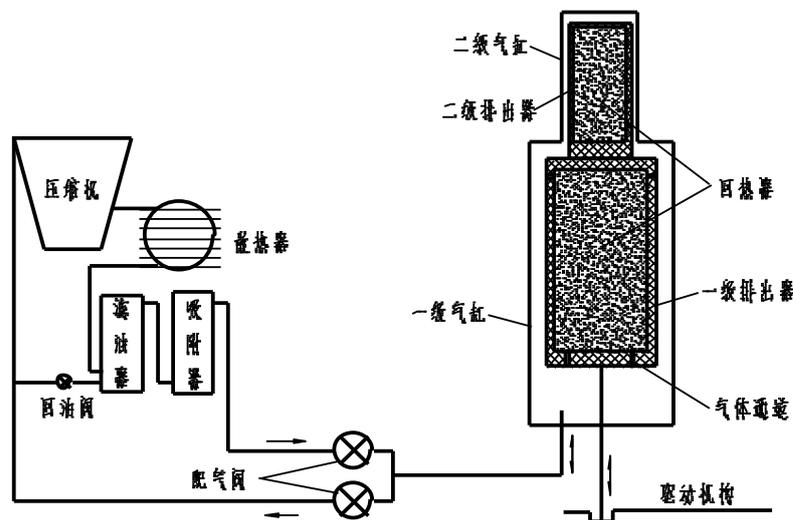
衡压力和低温沉积温度之间的关系。例如：水在 760Torr 压力下在 373K 沸腾。在 273K 的结冰温度上蒸汽压为 4Torr。如果冰层被进一步冷却到 150K，平衡蒸汽压将为 4×10^{-8} Torr。如果在制冷机一级温度上，压力将低于 10^{-10} 托数量级。从这个图上我们也可看出，对 N_2 来说，如果冷板温度小于等于 20K，压力将小于 10^{-10} 托。

2) 低温泵抽气机理之二：低温吸附

单用低温冷凝是不够的，Ne、 H_2 、He 等气体在 20K 的平衡蒸汽压力太高了，不能被低温冷凝在光的表面上，因而，用活性炭来吸附这些气体。用活性炭作吸附材料是因为它有大的表面面积，也因为再生过程中它在室温下气体能很容易地脱附。吸附在活性炭上的氢的平衡压力决定于活性炭温度和已吸附的氢的量。随着吸附的氢的增加，吸附就变为在活性炭表面的冷凝。但冷凝层厚度增加时压力不变。活性炭抽氢能力很大，如果制冷机把 1 克活性炭保持在 15K，它可以在 10^{-6} 托吸住 280SCC 的氢。低温泵能够吸住气体的最大量（抽气容量）是指对特定的气体种类的抽吸能力，也就是低温泵被再生前抽除的气体的体积。

3、低温制冷机工作原理

低温泵用小型低温制冷机采用的是吉福特-麦克马洪循环，利用西蒙膨胀原理（即绝热放气）来制冷的。主要由冷头单元、压缩机单元、控制单元、金属连接软管等组成。其中，控制单元一般安装在压缩机单元内，形成一个整体。其工质采用氦气在系统中循环工作，下图是其工作的主要原理图。



高纯氦气在压缩机中被压缩后产生高压氦气，经换热器冷却后，通过油气分离器与油蒸汽分离，并在吸附器中得到进一步纯化。开始时，驱动机构使一二级排出器均处于气缸底部，与此同时打开进气阀。高压气体进入一级排出器上方的热腔容积和一级回热器。一级回热器和与热腔容积的压力增高。当压力平衡后，一级排出器从气缸底部向上移动，把

进入到热腔中的气体推移出去，经一级回热器冷却后进入一级冷腔。当排出器移动到气缸顶部，进气阀关闭，排气阀打开，此时，处于一级冷腔中的高压气体向低压部分放气，产生一级冷量；一部分气体经一级回热器加热后进入压缩机低压腔，经过压缩后以变成高压气体，一部分经二级回热器进入二级冷腔，经冷头换热，产生二级冷量。当一二级排出器重新移动到气缸底部，排气阀关闭。这样，周而复始，整个系统就能连续工作，连续不断地制取冷量。制得的冷量经过冷头输出，形成冷源。

二、低温泵的特点和适用场合

1、低温泵的特点：

- 1) 低温泵是一种容积式真空泵，工作时无需前级泵；
- 2) 低温泵需要再生；
- 3) 低温泵对不同的气体具有不同的抽速和抽气容量。

2、低温泵的优点

1) 高极限真空度

一台标准型的低温泵，其极限真空度可达 10^{-7}Pa ，必要时，在不加其它辅助泵的情况下也可以做到 10^{-9}Pa ，而理论上，甚至于达到 10^{-11}Pa 以上极高真空。这些都是其它高真空无法比拟的。

2) 大抽速

大抽速是低温泵的一个重要特性。在同口径的情况下，对空气的抽速，分子泵差不多是低温泵的 $2/3$ 。尽管扩散泵与其相当，但增加冷板后，其能力大打折扣，也只能相当于低温泵的 $2/3$ 左右。

最为重要的一点：低温泵对水具有超高的抽速，其远高于其它真空泵。大多数情况下，水蒸气是真空系统的主要负荷，低温泵的高抽速使得建立真空的速度比其他真空泵快，可以大大提高产品产出量。

3) 真正洁净

低温泵是真正的**洁净无油、抽速高**的高真空泵，它是利用低温冷板来冷凝、吸附气体而获得和保持真空，在真空区域任何没有运动部件，没有油，所有清洁无污染。这一点是其它真空泵无法比拟的。

低温泵一般是不会发生这些问题的。因为他们不用流体，所以任何情况下的回流都是不可能的。

除扩散泵本身返油外，另一个常见的污染源是前级机械真空泵的油蒸气。使用低温泵时的切换压力是使用扩散泵时切换压力的 2~10 倍，预抽用的低真空管内是粘滞流，使低真空泵的油蒸气不会产生回流。

低温泵没有泵油被污染引起的问题。在许多薄膜（特别是由可以与泵油结合的化学方法生产的红外镀膜）的制造过程中，泵油会受到污染而变成泥状，这种情况会很快地降低泵的效率，造成生产时间的增加，甚至造成膜层的质量问题。为了防止这类问题出现，人们往往勤换油，但频繁的换油耗时又费力，增加了维修费用和停工期。您若使用了低温泵就没有这个问题。

低温泵的切换压力高。这有两大好处：（1）减少抽气时间；（2）不会产生返油情况

4) 运行成本低

不管是投资新设备还是升级现有设备，都期望能从减少成本（人力，材料，效用，折旧等）、提高产量和收益上获得投资回报。如果把扩散泵或其它泵改为低温泵，投资回报如何？例如，500mm 口径低温泵对水蒸气的抽速为 30000 升/秒，相当于 800mm 口径的扩散泵，而且不必使用冷阱。一套薄膜设备每年可节省因购买液氮而需的 4 万元~8 万元。同时还可以节省由于购买、储存、处理和运输液氮等带来的各种费用。另外，常规维修和液氮的液面控制系统的偶然损坏所用的费用也没有了。保持对水蒸气最大抽速的同时省略了冷阱还可以减少抽气阻力，因此可以增加腔体内的抽气速度。

与扩散泵比较，低温泵可以解决一些其他费用问题。扩散泵需要连续供应冷却水，如间断供水会造成管路损坏、再循环泵故障，甚至堵塞扩散泵本身的冷却管道，或者由于维修人员未能意识到而造成意外伤害。特别是，冷却水缺失会造成扩散泵产生“返流”，这会污染真空处理腔体，扩散泵流体会覆盖被镀制产品、靶、工具和腔体壁。一旦被污染，必须很费力地去清洗、重新组装和检漏真空腔体，再次启动之前所有这些处理过程必须是合格的。

扩散泵返流的其他常见原因有：真空泄漏、操作员失误、电源缺失、气流量过大、前级泵故障。在每种情况，都会使扩散泵排气嘴损坏，造成油蒸气回流。虽然一些有效的维护可以改善这些失误情况，但是每种办法都需要费用且没有一种是十分简单的。

低温泵节约电力。与扩散泵相比，低温泵可大大减少电能消耗，尤其是大口径泵。就抽速而言，低温泵仅需 1/3 的能耗就可以达到与扩散泵同等的效果。例如：使用两台 800mm 口径扩散泵/增压泵的镀膜系统，每年的电耗达 29 万度（按 300 个工作日计算），改用两台

500mm 口径的低温泵，抽速优于两台 800mm 扩散泵，并可节电 20 万度，计 12 万元。

低温泵工作，前级泵休息。扩散泵工作时需要前级真空泵一直连续稳定的运行（真空度 0.1—0.5 托），即扩散泵不能独力的工作。而低温泵工作时，前级泵提供初步真空后（仅几分钟）后就关掉。从抽气开始到腔体达到切换压力（通常为 0.2—0.5 托）这一段时间前级泵工作，以后的时间低温泵是独立工作的。前级真空泵开的时间短可以节约电能，也有减少维护和减少噪声等好处。

5) 安全可靠

真空腔内无运动部件，来自外界的干扰或来自真空系统的微粒不影响低温泵工作。另外，低温泵在真空突然失效时，大量气体进入低温泵的情况下，不受任何影响，因此在真空管的内爆等情况下，不至于损坏。同时，由于低温泵回温具有一定“惯性”，可在突然停电的情况下，有效地保护真空腔体内真空，不至于被镀工件受到影响。

6) 使用方便

低温泵对安装方位没要求：由于低温泵对方向性要求不高，因此它可以泵口超上、泵口朝下、水平位置安装或以腔体需要的任何角度安装。而扩散泵多数情况都需要泵口向上垂直安装。这种安装使得在工作室内垂直方向上能达到高真空，但腔体内水平方向上末端真空受到影响，有效抽速将从 70% 减小到 60%。泵抽速的降低造成循环时间的延长和产量的减少。

7) 低温泵寿命长。因为它运动部件少且低速运行。通过日常的保养维护，低温泵的正常的使用寿命可达 5~6 万小时，有的甚至超过 8 万小时。

3、低温泵的缺点

- 1) 需要降温时间（准备时间）；
- 2) 需要再生；
- 3) 购置成本高。

4、低温真空泵应用领域

低温泵适合用于希望获得 10^{-1}Pa 至 10^{-9}Pa 真空度的场合，尤其适合应用于要求洁净无油和/或快速抽气的场合，例如：

- ◆ 真空排气设备
- ◆ 溅射镀膜设备
- ◆ 蒸发镀膜设备

- ◆ 离子注入设备
- ◆ 分子束外延设备

使用以上设备的工业真空镀膜，例如：半导体与集成电路前工序、光学镀膜、太阳能电池板、光电子器件和真空电子器件制造、平板显示器件镀膜

- ◆ 电子束设备
- ◆ 空间模拟装置
- ◆ 高能物理研究装置
- ◆ 加速器束流管
- ◆ 表面分析装置

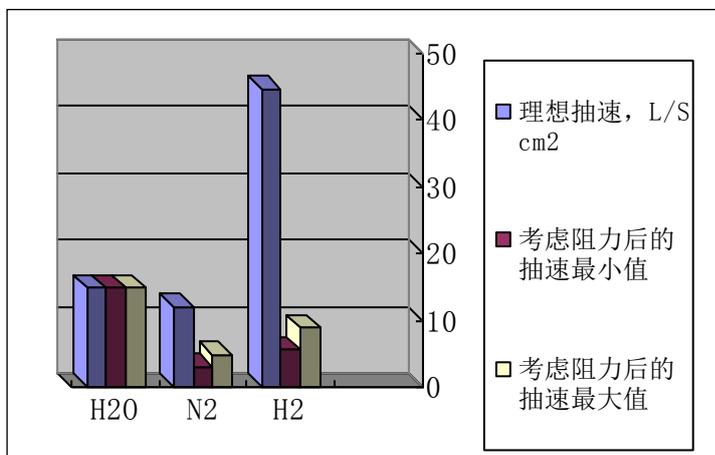
三、低温泵的选择型

低温泵生产厂家对低温泵型号的命名各不相当，没有统一的规定，但其规格基本上都是以口径来定。对低温泵的选择型，主要考虑：抽气速度、使用的真空范围、气体的最大通导、抽气容量、制冷机热负荷等。

1、抽气速度（抽速）

低温泵设计者一般对抽气速度最感兴趣，气体由于所具有的热能（等于动能）而流入真空泵，由此可得出如下关系式：气体进入泵开口的平均速度等于气体常数乘以温度，再除以 2π 乘气体分子量的平方根，这样低温泵的理想抽速就等于平均速度乘以气体可以流过的泵口面积。

$$v = \sqrt{\frac{KT}{2\pi m}}$$



由于多数真空系统工作在室温，我们设想理想速度基于室温。这样一种分子的速度仅仅由分子重量决定，较轻的气体具有较大的速度，氢的分子重量是 2，通过每平方厘米开口面积上的抽速为 44.6L/S。水分子量为 18，理想抽速为 14.9 L/S cm²，而氮为这组中最重的为 28，它的理想抽速

为 11.98 L/S cm^2 。

如果所有碰到泵口迎面上的气体分子都冷冻在百叶窗上的话，就实现了理想抽速。事实上，水就达到了这一点，几乎所有碰到泵表面的水分子都粘在了百叶窗表面而不反弹回去。象 N_2 这类气体必须穿过百叶窗冷冻在内部冷板上，一部分分子反弹回去，其余的部分穿过去冷冻在内部冷板上，为了有效阻挡辐射热到达内部冷板，低温泵有入口百叶窗，它允许大约 40%~25% 的空气分子 (O_2 和 N_2) 流过它冰冻结在冷板上。这样，对 N_2 的净抽速是理想抽速的 25%—40% 或 $3.0-4.8 \text{ L/S cm}^2$ ， Ne 、 H_2 、 He 要走过更曲折的道路才能到达活性炭部位，结果只有约 12%—20% 的到达泵口表面的 H_2 分子被低温吸附了，其余将弹回，所以 H_2 的净抽速约为理想抽速的 12%—20% 或 $5.6-8.9 \text{ L/S cm}^2$ 。

2、低温泵的工作真空度范围

低温泵典型的工作真空范围为 $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-9} \text{ Pa}$ 。这一范围内气体是自由分子流区，这意味着它们通常从一个壁面运动到另一壁面而相互之间不发生碰撞。在这一区域抽速是常数。随着抽气压力增加进入到大于 1×10^{-3} 托的转变区，抽速增加了，与扩散泵相比，低温泵具有在这一区域内抽速增大的特性，而扩散泵的抽速减少。

3、最大流量及抽氩问题

Throughput 或 Max. Throughput 意思低温泵的“最大流量”，指某低温泵对某种气体的最大质量抽速（容许放进真空泵的某气体的最大质量流量），超过这个量就会使低温泵的制冷机温度升高到超过 20K 而不能工作。

最大流量和“切换值”分别说明在低温泵工作过程中和刚打开主阀时低温泵能容忍的气体流量。它们的含意是一样的。因为溅射台工作时放氩气进工作室是常有的情况，而且有可能造成因氩流量太大使低温泵升温过大，所以我们常常规定出低温泵对氩的最大流量值。

最大流量经验值为： $(1.5-3)Q$ （托 升/秒）

Q 为制冷机 20K 时制冷量（瓦）

4、低温泵的抽气能力（抽气容量）

低温泵能够聚集大量的固态水、空气、氩、氮和氧，然后再蒸发除霜。在这些霜层形成时，泵的抽速很少降低，制冷温度变化也很少，随着霜层增加到一定程度，抽速和温度都会有明显变化。水被聚集在障板上直到堵掉一半的障板面积（例如：一个 $\varnothing 200$ 口径的低温泵可凝聚 300 克水蒸气成冰）。固体氮和氩聚集在低温板的外层达几个厘米，通常这个厚

度仅受到不能挨到辐射屏的限制。(例如: 一个 ϕ 200 口径的泵在低温板外凝聚 1 cm 厚的空气或氩, 其量为 1200 标准升。该泵专门用于溅射台, 其低温板较大。另一种同样口径的泵该值仅为 350 标准升)。能吸收氢的量为对氢抽速减少 50% 时所聚集的氢平衡压力 (一段选 1×10^{-6} 托) 决定, 当抽除其它气体使低温板温度升高时, 能吸附氢的量就减少。

抽气容量是指低温泵能抽除 (存留) 某种特定气体的最大量, 单位为托·升, mbar·L 或者 std·L。抽气容量由以下因素决定:

- 1) 障板抽水蒸气达到了覆盖一半流通面积;
- 2) 冷板外面凝聚的氮、氩等厚度太大;
- 3) 吸附层接近饱和。

在这三个因素中, 往往是吸附最先达到饱和, 因为与冷凝相比, 吸附的量要小于冷凝的量。所以抽气容量主要由吸附决定 (主要因素是吸附剂的性能和数量)。

通常抽气容量是指抽速降到初始抽速的一半时抽出的气体的量, 这时低温泵需要再生了, 实际中常常是真空度不够好和制冷温度超过 20K 时进行再生。

5、低温泵中制冷机的热负荷

用在低温泵上的制冷机在没有施加热负荷时, 二级最低温度约 10K, 一级最低温度 35K。随着施加的热负荷增加, 每一级上的温度增大。例如给某制冷机加 9W 的热负荷将使冷头温度达 20K, 一级上加 17W 的热负荷使其温度达 77K。我们把低温冷板标称温度定为在正常工作时二级温度约 12K, 一级温度约 60K—65K。这样就对未预先考虑到的来自真空室的热负荷或由于大的气体流速下增加的热负荷留有一定的余量。上述制冷机冷量分别为 5W/12K 和 12W/60K。

冷板的热负荷来自以下三个方面:

1. 从真空室来的热辐射;
2. 由于气体从室温下被冷却并被在低温下冷冻所放出的冷凝热;
3. 腔内残余气体的导热。

空气的导热系数 (大于 1 托压力时基本上是常数) 在压力减少到 1 托以下时减少得很快。在压力低于 1×10^{-3} 托 (这个区域气体处于分子流区), 由于导热引起的传热通常可以忽略。在低温领域中, 它被称为绝热真空。对比一下这时的导热性能与通用的热偶真空计, 它的工作原理是从 1×10^{-3} 托至 1 托范围内的热传导系数的变化为基础的。

辐射热是低温泵的主要热负荷, 对要承受辐射热的低温泵有两点要求: 第一, 尽可能多的反射来自真空室的辐射热; 第二, 低温泵应该能吸收难以反射掉的辐射热。一些很洁

净的电抛光真空室对低温泵辐射热极小，但多数情况是真空室壁面上吸附了水蒸汽后辐射热量几乎与黑体辐射相等。

由于辐射热是温度的 4 次方的函数。如果在真空室有对低温泵产生辐射的高温热源，就容易地使低温泵热负荷过大，因而，用水冷挡板来把真空室中的高温热源与低温泵屏蔽开。低温泵冷板应该抛光良好，在降温过程中就能反射辐射热，但是，一旦薄的水层凝结在低温表面，就会使表面变成吸收热辐射的热学黑体表面。

在低温泵中由于气体冷凝所产生的热负荷通常很小，但有一个例外的情况是当低温泵用于在溅射台中抽氩时。冷凝氩产生的热负荷大多数由制冷机二级承担。冷凝 1 托·升/秒的氩大约需 0.7W 冷量。制冷机二级温度随着氩流量的增大而上升。由于通常需要同时把氩保持在活性炭上，低温泵的流量设定应以低温板温度不大于 20K 为标准（这时的流量为最大流量）。一般在设定流量时的压力为 1×10^{-3} 托，如果在溅射镀膜工艺需要更高的氩气压力，那么就需要在低温泵前安装一个节流阀来把工作压力减少到使进入泵口时压力为 1×10^{-3} 托。

6、低温泵的选型步骤

低温泵选型时，主要遵循以下步骤：

- 1) 计算系统所要求的抽速，选择相对应抽速的低温泵；
- 2) 根据工作时某一气体流量，复核是否超过低温泵允许的通导；
- 3) 根据系统的放气量，计算低温泵的再生周期，看是否满足工艺的要求；
- 4) 查看系统工作时热源是否影响低温泵，必要时从结构上进行改进。

四、低温泵的使用

1. 什么时候可以打开主阀用低温泵抽气？

根据具体的低温泵中制冷机的容量，可以测量出这台低温泵的最大容许切换值，这是低温泵的性能参数。制冷机的二级制冷量越大，低温泵的切换值越大。切换值的经验值为：

$$(20-45) \times Q \quad (\text{托} \cdot \text{升})$$

Q 为制冷机在 20K 的制冷量（瓦）

除了与二级制冷量有关外，切换值还与以下因素有关：

- 1) 一级冷量大小
- 2) 二级冷板的大小
- 3) 障板的结构（是否屏蔽的好）

用户要决定什么时候开主阀？用低温泵标明的切换值除以被抽容器的体积就是切换压力，即可以打开主阀时的真空度。例如：用一个切换值为 150 托·升的低温泵抽 100 升的工作室时，切换压力为

$$150 \text{ 托} \cdot \text{升} / 100 \text{ 升} = 1.5 \text{ 托}$$

也就是说，真空室达到 1.5 托以上的真空度时就可以打开主阀用低温泵抽气了。

实际中，一般切换压力为：0.2-0.5 托，即 $(2 \times 10^{-1} - 5 \times 10^{-1})$ 托

切换压力高（主阀打开早），使真空室抽气时间缩短，但会使低温泵再生前的抽气时间变短。

2. 低温泵系统工作程序

1) 预抽真空

在启动低温泵之前，必须把低温泵泵腔内的真空度预抽到启动压力，一般生产商的低温泵的启动压强是 5Pa，如果客户为了节省时间在高于启动压力的时候启动低温泵，则低温泵降温的时间会比较长。

当系统中存在氦气和氢气时，启动压力需要 0.5Pa，如果你需要在真空室内产生低于 10^{-7} Pa 的极限压力，则启动时需要 10^{-2} Pa 的启动压力。

在超高真空应用中，低温泵和真空室必须进行烘烤，低温泵必须装备一只安全阀，（生产商已为每一台泵安装一只安全阀，**注意：**在拆卸或移动低温泵时一定要确保不碰到安全阀，否则会出现真空度上不去的现象，则需要重新安装安全阀。）

为了预抽真空，首先要关闭高真空阀门以及启动连在低温泵前级真空接口上的机械泵，当低温泵的内部压力下降到它的启动压力以下时，就关闭前级真空阀，并如上所述的那样启动低温泵，如果在高压下启动，则冷却时间就会变长，而且在压力比较高时会出现低温

泵表面结霜的现象。

由于低温泵的活性炭渗透了水蒸气，所以预抽一台新泵要耗费大约 12 个小时。

注意：如果你不在前级加管道冷井，则不允许前级压力降到 3Pa 以下，另外，前级泵出来的油蒸汽可以返流进入低温泵中并且被冷凝或吸附，如果活性炭被油污染，则吸附阵就无法再生。

当低温泵到达启动压力时，应即刻关闭前级真空阀以防止油返流，然后用前级泵去抽真空室使压力下降所要求的压强。

2) 烘烤

为了达到超高极限压力的要求有时需要烘烤，并用烘烤来减少达到低于 10^{-7} Pa 压力所需要的时间，为了烘烤希望有至少 10^{-2} Pa 的启动压力。

烘烤时间和温度取决于所要求的极限压力，通常真空室的烘烤温度为 200°C — 300°C ，烘烤时间为 24 小时，通常用加热带环绕泵体进行烘烤，其高真空法兰温度不应超过 100°C ，电机的温度不应超过 60°C 。

如果需要烘烤，则必须防止冷头内部组件过热，可以使用两套二极管之类的温度检测设备，如果使用二极管测量，则应该把其高温跳闸继电器和加热带的电源连接起来，以便在一级和二级冷头达到最大温度之前切断加热器，请务必把继电器的跳闸点设置在 70°C 以下，以考虑到继电器和温度检测仪的延迟和误差。

在第一次烘烤之间由于有大量的水蒸气释放出来，所以前级泵应一直开着，以免水蒸气凝结在吸附阵上，在操作前级泵时一定要把气镇阀打开着，以避免水蒸气凝结在泵内。

3) 启动和冷却

以如下程序来启动低温泵：

- ◆ 在确保低温泵和压缩机安装正确的情况下，低温泵预抽到启动压力，高真空阀门和前级管道阀门处于关闭状态。
- ◆ 接通压缩机供水，
- ◆ 把压缩机电源接通，确保此时压力为启动压力。
- ◆ 在你的运行记录上可以记录压缩机运转时高压和低压的值，然后在冷却期间的周期间隔时间记录低温泵温度计的指示，也要记录低温泵达到最低温度所花费的时间，各种低温泵的降温时间在指标和规格中都可以找到，这些信息可以帮助我们排除故障。

4) 运行监控

- ◆ 不要因为超过其切入压力而使低温泵过载，另外泵将因启动而发热并释放出吸附的气体，如果过载比较严重的话，低温泵可能不能恢复工作并要求你关闭高真空阀门，并重新预抽真空，
- ◆ 保持真空室的压力在 0.5Pa 以下以避免从低温泵外壁大其冷凝级的传导热。
- ◆ 在抽氮气、氧气、氮氢化合物和水时，低温泵的温度必须在 23⁰C--25⁰C，在主要抽氦气时，温度不能超过 18⁰C。
- ◆ 监测压缩机的压力表，在压缩机运行时，一般高压表在 1.7—2.0Mpa，低压表一般在 0.4—0.7 Mpa，有时会有一些偏差，一般压力差在 1.0—1.4 之间就没有问题，如果在不运转时的平衡压力不达标，则需要补气。
- ◆ 当二级温度开始增加和真空室的极限压力开始上升时，低温泵就必须进行再生，再生以后冷却可以运行多长时间。
- ◆ 在运行过程中应确保从压缩机到低温泵的高压金属软管的温度不能超过 35⁰C，如果金属软管温度比较高，请检查冷却水。

5) 抽危险气体

建议： 不要用低温泵或任何吸附型的泵去抽包括氧和氢在内的有毒气体。

低温泵是一种吸附型的泵，它储存过程气体而不是连续的清除或释放过程气体，因此危险气体将在泵中浓集，在再生或电源或压缩机发生故障时，泵就会发热，而危险气体会以很高的浓度释放出来。由于这个原因，我们建议不要把低温泵用来抽可燃、可爆气体，这些气体如以外点燃将导致严重后果。

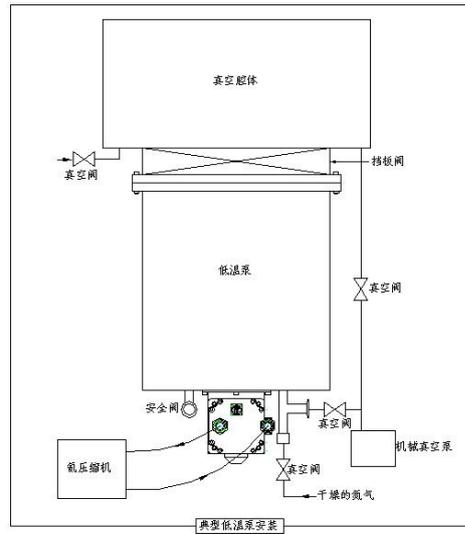
如果你的低温泵处在有毒、易燃、易爆腐蚀性气体中，应确保预抽和再生系统具有适当的密封的排气系统，安全阀必须连接在这个排气系统上，以便在再生期间避免前级泵和任何吸附井暴露在危险气体中。

如果气体是自燃或具有爆炸性的，那么就应该确保低温泵没有可能产生火花的装置，如电加热、电离或电导规或电子温度探测器，再生低温泵应该用排气法而不是用电再生法。

在再生以前和再生期间，低温泵应该用干燥的惰性气体冲洗大约 15 分钟以把危险气体的浓度淡化到一个安全的水平。

在运行期间和维护之前机械泵和任何过滤器或冷井也要用惰性气体冲洗以避免危险气体在泵客内积蓄起来。

必需时，抽氧气用低温泵不可以抽超过含量 21%的氧气的气体。在抽氢气时，低温泵的温度不能超过 18K。



4、低温泵的再生

低温泵在连续工作一定时间后，冷表面的沉积层变厚，抽速下降，需要再生使其恢复到原来的状态。再生在抽速下降一半时或制冷温度超过 20K 时进行。再生可以通过停机使其升温自动进行，也可以给低温泵腔内充入干燥氮气或对冷板加热使其加速进行。部分低温泵配有自动再生装置可以方便再生作业。

低温真空泵再生典型过程：首先让低温冷凝板回温到环境温度，接着抽真空到 $5 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-1}$ 托，最后重新启动低温泵冷却冷阵到合适的工作温度。

低温泵的再生不需要很频繁。一个有 48 英寸的真空腔体的镀膜设备，镀膜时两班轮换运转，且每班镀膜 12 次，仅需要大约每两周或在 120 次镀膜之后进行一次再生。

当然在极端条件下很频繁的再生也许是必要的。例如，在水蒸气负载高的情况下在塑料衬底上镀四层膜，30 分钟的循环一次，平均每天镀 32 次，产量超过 3.8 万件。

最好是有计划的进行再生，可以在用户方便的情况下定期进行，典型的就是在周末不需操作人员看护下进行。甚至用微处理器控制的自动再生系统在车间关门后没有生产运行干扰情况下完成再生。从泵被隔开、关机、纯化和加热，到粗抽和重新启动运行的整个再生循环是完全无需手动的。

许多低温泵用户把再生安排在周一早上较早的进行，以便于使系统准备好为第一班所用。在某些情况下，两台低温泵可以同时进行再生。

什么情况下需要再生？这很容易通过检测低温泵温度的上升来确定，可以观察氢蒸气压温度计；或检测系统工作压力是否有缓慢的升高。

使用低温泵后，薄膜质量更好收益更高，并且生产量更高。这已经吸引了大部分光学镀膜厂家和激光产品生产者几乎 100%地换成使用低温泵。可以预计，由于竞争压力和对高质量光学镀膜的需求，促使光学镀膜公司全部转为使用低温泵。

五、低温泵与维护

1、低温泵的日常维护

- ◆ 压缩机和低温泵泵头内充有 1.3-1.5MPa 的压力，所以在拆卸任何压力部件之前，首先必须把该部件内气体放至正常大气压。
- ◆ 压缩机和低温泵所使用的交流电压很危险，触电就可能致命，因此在进行维护时必须先断开电源。

低温泵系统一旦安装好运行，则几乎不需要什么日常维护，必须遵循的维护是约 18000 小时运行以后，更换压缩机中的油吸附器。预防维护规范：

- ◆ 记录低温泵温度。。。。（每天）
- ◆ 记录压缩机压力。。。。（每天）
- ◆ 更换压缩机吸附器。。。。（约 15000 小时）
- ◆ 更换冷头活塞。。。。（按需要）
- ◆ 向压缩机加氦气。。。。（按需要）

正常情况下不定期的维护程序：

- ◆ 根据需要对压缩机加氦气
- ◆ 低温泵的冷却容量出现明显下降时更换冷头活塞
- ◆ 当玷污物进入氦气回路时，用氦气吹洗压缩机和冷头。

2、低温泵故障判断及排除

1) 故障排除程序

在运行期间低温泵有时会出现一系列的问题，为了用户的方便，可以自己解决一些问题，但是由于低温泵系统中都充满着超过 1.3MPa 的压力，所以在拆卸任何部件时必须对它们放大气。

当你发现低温泵-压缩机系统有问题时，在没有确定问题的根源是低温泵还是压缩机故障之前，首先参看如下的简单问题的检查。

- ◆ 低温泵接通电源与否。
- ◆ 压缩机插好电源后没有反映，看看是否压缩机的热保护是否打开。
- ◆ 看压缩机是否放平，因为过大的斜度时压缩机运行时可能会造成压缩机过热而停

止。

- ◆ 在低温泵没达到切入压力时，不能打开高真空阀门。
- ◆ 低温泵是否要再生？
- ◆ 压缩机的吸附器经过约 15000 小时后更换没有？
- ◆ 真空系统是否确保漏气。
- ◆ 冷阵是否被油污染拉。
- ◆ 金属软管安装是否正确。
- ◆ 氦气是否被污染。
- ◆ 氦气是否充足。

2) 常见故障排除与措施

故障现象	故障范围	可能原因	建议措施
1. 低温泵最低温度太高或冷却时间太长	a. 低温泵已经抽气至饱和	低温泵需要再生	启动再生器进行低温泵再生
		系统负载太大	更换制冷量更大的低温泵
		开启压力过高	在启动低温泵之前至少预抽到 5Pa, 泵回温到室温前不要使泵暴露大气中
	b. 活塞与配气阀	活塞坏了	更换新的活塞和配气阀，如有此种现象请与生产商联系
		氦气被污染	按照 2a 的方法确定氦污染，用 5 级氦吹洗系统
	c. 氦气压力太低	氦气系统有漏。平衡压力低于正常值	要对压缩机的安全阀、自密封接头、软管、等所有接头进行检漏，由于压缩机管路磨损请检查所有管路
	d. 温度显示器	装气压表的由于氢压表功能不正常引起误差	室温下为 5Pa 左右，请与生产商联系安排维修
		装硅二极管的由于它功能不正常	更换新的二极管 确保二极管的连接正确，安装准确
		铱铁温度计出现问题	重新安装或更换新的
	e. 真空腔漏气（检漏时要在室温下）	由于安全阀的 O 圈漏气造成	检查 O 圈，清洗密封面并重新安装，还漏则更换安全阀
		信号输出接头漏气	拧紧或重新安装

		高真空阀门或连接管路有漏	检查并消除漏点
	f. 障板或辐射屏	障板或辐射屏与泵外壳相碰	拧紧螺钉确保他们的正确位置
		再生与烘烤时钢片过热损坏	安装新的钢片
		辐射屏被腐蚀或很脏没有光泽	拆下用酒精清洗,
	g. 吸附阵	吸附阵与辐射屏或障板接触	纠正使之不相接触
	h. 软管	软管接错拉	根据说明书接
	i 低温泵过热	有象真空炉的热源	在高阀与热源间安装水冷挡板
	j. 压缩机	氦压力过大	在压缩机的进气口放一些气体
	k. 油吸附器	油吸附器饱和	安装一只新的
	l. 低温泵和压缩机失配	氦泵的进气量大于压缩机的排气量	与生产商联系, 安排搭配
2. 低温泵的极限压力不达标	a. 温度太高	见故障 1	同故障 1 处理
	b. 真空室	有漏	对真空室和高阀进行捡漏
		放气过大	对真空室和低温泵壳进行烘烤
	c. 低温泵被油污染,(如吸附阵有油请更换吸附阵)	运行时前级泵返油蒸汽	在前级加冷井, 长更换过滤介质
		冷阱不起作用	检查冷阱
	d. 制冷机	制冷机运转不规律, 有噪音	见故障 2
e 低温泵	用了不合适的泵	与生产商联系更正	
3. 低温泵噪音大, 运转缓慢或不规则 (正常为 2. 4Hz)	a. 氦回路或配气阀污染	氦的供气系统中含有湿气或空气	用 5 级氦气吹洗, 确保没有湿气
		氦气中含有油蒸汽	安装一只新吸附器, 检查一下自密封接头是否有油, 有则需吹洗氦气系统
		油分离器不起作用或回油管被堵塞	与生产商联系
	b. 制冷机	活塞或配气阀损坏	与生产商联系
		配气阀与阀座之间有脏物	清洗, 如有划痕与生产商联系
c. 磁场	制冷机处于超过 300 高斯的磁场中	请增加磁场屏蔽	
4. 压缩机停止运转	a. 氦气温度太高	热保护起作用	检查水流量 (调节水温使之不超过 25°C)

		压缩机的转向错误	更改输入电源的相位使压缩机有压力差为止
		环境温度太高	环境温度不能超过 40°C
	b. 压缩机运行一段时间后空开突跳为OFF位置。	1) 电源缺失或降压 2) 电机绕组有缺陷	1) 检查线路所有相的电压 2) 检查线路上的运行电流
	c. 系统空开处于ON位置,但是压缩机在运行几分钟后停机且开关处于OFF位置。	过低的冷却水温造成压缩机启动后由注油孔进入的润滑油流量受到限制。	选择合适的冷却水温度,参考表1-1。重新启动压缩机直到可以连续正常运行。
	d. 氦气压力太低	压缩机有漏	对压缩机进行捡漏
	e. 交流电电压	它太低造成高马达电流和高温	检查 AC 线电压使符合要求
	f. 水保护启动	由于某时开机而没有通冷却水	把水保护的蓝色按钮按下去即可

六、真空设备使用低温泵的例子

1、真空排气设备与真空处理设备

阴极射线管、行波管、磁控管等电真空器件的排气封装,以往多用扩散泵、分子泵或离子泵,改用低温泵后带来的很多好处。其它真空处理装置、真空炉、真空脱气装置等,使用低温泵后效果很好。

例一: 阴极射线管常常用涡轮分子泵进行抽空,由于存在向内爆炸问题,就需要一个昂贵的高速阀门来把涡轮分子泵与真空室隔离开。还有油污染阴极射线管现象,因为分子泵很难做到全无油。换上一台通用压机驱动的两台 Φ150mm 口径的低温泵来代替分子泵后,从机械泵到低温泵的切换在真空度为 1 托时进行,循环时间明显减少。阴极射线管的性能有了很大的改进,这归功于消除了来自真空泵系统的污染。

有些企业使用溅射离子泵给磁控管或行波管排气,存在一个问题是当加热时(一般可高达 450°C),被抽管子大量放气,泵的抽速显得不足。换上带有水冷挡板的低温泵后,这一问题得到解决。

例二: 格兰仕是世界最大的微波炉生产商,该企业用 500 口径低温泵给磁控管排气后,排气时间大大缩短,成本降低明显。

2、溅射镀膜设备

溅射台已大量使用低温泵，从最早的 3 英寸到最新的 12 英寸生产线都是如此。

*例三：*在一个溅射装置上对 3 英寸的片子进行溅射钛、铂、金薄膜的工作，工作时被溅射的基片固定不动。产量是每循环 10 分钟生产 16 片。在抽速 1500L/S 分子泵和口径 200mm 低温泵之间进行了比较实验，在把片子引入溅射区之前，应把负载固定室抽到 5×10^{-6} 托。当低温泵和分子泵对空气的抽速都为 1500L/S 时，低温泵能以 4000L/S 的抽速抽除水蒸气，而分子泵对空气的抽速都为 1500L/S。这一水蒸气抽速的差别很明显地减少了 20% 的循环时间。

*例四：*一个大型光学镀膜机（2.2 米直径×2.3 米高）用三台口径 400mm 扩散泵抽空。几台这样的大型镀膜机安装在同一生产场地，操作者需要在靠近泵基座的地面上工作。为试图改善产品质量，用三台 250mm 口径低温泵来代替这三台扩散泵。循环时间大约相等。请注意低温泵的泵口面积仅为它们所代替的扩散泵的 40%。产品质量因消除了泵返油而大大改进了。低温泵的一个附带的好处是没有加热电炉，给机器操作者带来舒适的工作条件。电力的节约也是很大的。

*例五：*某公司的镀膜实验室用低温泵镀光学膜，感到用低温泵后，膜的重复性很好，即使不同的人来操作，也能达到高重复性的膜。低温泵的干净真空也使生产率增加。以前使用扩散泵时，由于附着力和硬度不合格，在八次镀膜中就有一次是废品，用了低温泵后废品率降为零。

3、离子注入设备

离子注入机对真空的质量要求很高，适合使用低温泵。

*例六：*在装载室和泄载室使用带液氮挡板的口径 200mm 扩散泵进行离子注入，该室尺寸为直径 $\Phi 600 \times 450$ mm，扩散泵能在 12 分钟内达到需要的 7×10^{-6} 托。安装低温泵后把这一时间减少到 1 分钟，全部循环时间从使用扩散泵的 27 分钟减少到使用低温泵的 15 分钟。也就是说，注入机的产量几乎增加了一倍。现在，每周进行 600 多次以上的循环，低温泵的再生在周末自动进行。每年还可以节约一大笔液氮费用。

4、蒸发镀膜设备

*例七：*一个有 $\Phi 460 \times 760$ mm 的玻璃钟罩的蒸发台，它装有一个水冷挡板的 200mm 口径的扩散泵。该系统用来沉积 16 到 50 层诸如硫化锌和氧化钽之类的材料。在开始沉积前系统压力应低于 2×10^{-5} 托，在最初阶段系统用扩散泵抽到此值约需要 34 分钟。用口径 200mm 的低温泵代替以后抽空时间减少到 20 分钟以下。低温泵在工作时能维持比扩散泵低一半的压力。低温泵对扩散泵的代替带来了产量明显的增加以及薄膜质量的显著提高。

七、浙江博开机电科技有限公司介绍

浙江博开机电科技有限公司位于浙江省金华市经济开发区内，是专业从事低温制冷产品、真空产品研发设计、制造、销售和售后服务为一体的新型高科技企业。博开公司的产品广泛应用于集成电路与半导体器件制造、平板显示器件制造、真空镀膜、真空排气台、科研设备和科学仪器（例如超导、新材料研究、凝聚态物理和表面物理研究）、产品环境试验、工业气体处理和供应等领域，是替代进口产品的首选。

公司将以核心技术和产品坚持不断的技术创新和改进，秉承“诚信为本、品质领先、不断创新”的理念，为广大顾客提供优质的产品和服务，与您和您的企业携手共同永续发展！

DZB 系列低温泵主要性能指标：

型号 Model		DZB200	DZB250	DZB300	DZB400	DZB500	DZB550
抽速 Pumping Speeds (l/s)	For H ₂ O	4200	6500	9000	16000	30,000	36,000
	For Air	1500	2300	3000	6000	10,500	12,000
	For H ₂	2500	2500	5000	5000	13,000	15,000
	For Ar	1200	1900	2500	5000	8,500	10,000
	For He	750	1100	2300	2500	3,500	4,200
通导 Throughput (scc/min)	for Ar	700	1200	1500	500	790	790
抽气容量 Capacity (Std.l)	For N ₂ /Ar	1000	2000	2000	2500	3,200	3,200
	For H ₂ /He	18	25	25	20	20	20
降温时间 Cool Down Time (min)		≤90	≤90	≤90	≤150	≤180	≤180
泵口法兰 Inlet Flange (可根据用户要求定制)		ANSI 6in	ANSI 10in	ANSI 12in	ANSI 16in	ANSI 20in	ANSI 22in
		CF 10in.	CF 12in	CF 14in			
		ISO 200mm	ISO 250mm	ISO 320mm	ISO 400mm	ISO 500mm	/