

影响真空室极限真空的因素都有哪些？

真空聚焦 2024年12月09日 10:00 辽宁



一 容器内原有的气体的余压力

极高真空系统开始抽气以前，容器及管道、冷阱等部件内预先贮存有一定量的气体。若用一定抽速的泵来排除容器内原有的气体，其压力随抽气时间呈指数递减。

系统如果没有其他气源，仅有原存的气体，一个对该种气体具有小的抽速可以很快地抽走容器内的这种气体分子。随着抽气时间的增加，容器内压力不断降低，可以达到很低的压力，因而它不是限制系统极限压力的因素。重要的是在选配真空机组时要注意到对每一种原有气体的成分都保持有一定的抽速。

极高真空的抽气泵对气体具有强的选择性，因此，对气源必须进行个别的分析，即不仅要知道放气量，而且要知道放气成分。同时，泵的选择也要根据放气量及放气成分来选配，这是极高真空系统选择主泵应特别注意的问题。选择单一抽气手段是不行的，必须综合考虑，全面地搭配，才能达到这个目的。为了解决这个问题，也可以使用冲洗系统中原有气体的方法，即用一种容易被机组排除的气体反复地冲洗系统以置换掉机组难以排除的气体，也有助于降低极限压力。但由于系统本身的泄漏、渗透、放气以及化学反应等，还有可能继续产生这种气体时，用冲洗系统的方法只能在系统开始启动时使用。如果机组对这种气体没有一定的抽速，也会因这种气体余压力影响系统的极限压力。

二 系统漏气

漏气是限制极限压力的重要因素，系统一旦出现相当量的泄漏，系统内的极限压力就会受到限制。当系统抽速一定时，降低漏率才能降低系统的极限压力。

漏孔主要来自原材料的气孔及缺陷、焊缝焊接不良或由于焊缝设计不当使焊缝受力过大而被拉裂、密封不良及“冷漏”等。在极高真空系统材料选择上，真空冶炼的材料含气量少，冷轧材料比热轧材料气孔少，缺陷也少。在工艺上应一律采用熔化焊，避免使用银焊、铜焊等工艺。银

焊、铜焊属于钎焊，即母体金属不熔化，用焊剂将两种金属粘在一起，在受到冷、热冲击和应力后，容易在粘接强度小的地方脱开产生漏孔，故极高真空系统在工艺上不采用这种焊接方法。目前极高真空系统多选用 1Cr18Ni9Ti 或 0Cr18Ni9Ti 不锈钢材料，因为它具有优良的高低温性能、真空性能、焊接性能、抗腐蚀性能以及机械加工性能等。不过不锈钢在氩弧焊的工艺中应特别注意以下几点：

① 在氩弧焊过程中，尽量减少起弧、灭弧次数。第二次起弧时一定要把灭弧处烧熔后再向前移动。实践证明，漏孔经常发生在灭弧或起弧处，往往是起弧后和前次灭弧处搭接不够或没有烧熔即向前移动造成的。

② 尽量避免用大电流长时间的烧熔，否则在焊接过程中合金元素烧损过大。例如镍在焊后由于挥发而减少，金相结构不再是稳定的奥氏体结构，而转变为马氏体。同时，焊接电流过大、持续时间过长也会使熔池区晶粒粗大，造成了热影响区大、应力大、机械强度差、抗腐蚀能力差。在使用过程中受力以后，这些焊缝容易被拉裂。对不得不采用大电流规范焊接的零部件，焊后最好进行 900~1000℃ 的真空退火处理，使熔池区晶粒细化，消除焊缝内应力。采用小电流规范焊接，熔池区小、热影响区小、合金元素挥发少，焊后焊缝仍处于稳定的奥氏体结构，经过室温到低温（约100K）的反复冲击，不容易漏气。因此，不锈钢在焊接过程中，不宜反复地多次焊接。焊缝漏了以后的补焊也要注意，焊的次数越多，金相结构、合金元素的成分变化越大，反而有害。极高真空密封连接一般采用金丝圈密封结构，金属接触面的表面粗糙度小于 0.2μm，凹凸法兰的配合间隙 $\delta \leq 0.05\text{mm}$ ，只要仔细装配，密封后不会漏气。检漏时要用高灵敏度的检漏仪对零部件进行认真仔细地检漏。为了稳妥可靠，在结构上可采用双层保护真空的结构。

三 放气

真空装置的放气源有：表面吸附气体的脱附，溶解在材料内部的气体通过扩散面放出，材料的蒸发、分解、解离，气体和固体表面化学反应而生成气体等。在极高真空系统中，材料的选择是十分重要的。一般用不锈钢、铜、无氧铜、钨、钼、钽、金、银、硼硅氧玻璃等。它们有一定的强度，化学性质稳定，蒸气压和分解气压低。而橡胶、油脂、普通塑料、黄铜（含有蒸气压高的锌）、低温合金（含锡、铅合金）等都不宜采用。

下面分析讨论上述各种放气源和材料的关系，影响放气的因素，影响极限压力的程度以及如何减小放气率。

● 表面吸附气体的脱附

在极高真空系统中，表面脱附的气体量、气体成分以及脱附的实验方法是非常重要的。去除表面吸附气体，适当地烘烤是最有效的办法。由于烘烤温度及均匀性合理与否可使气体脱附的量差几个数量级，因此，烘烤温度的选择和烘烤温度均匀性的保证是非常重要的。固体表面吸附的气体

还可以用在 1~10 Pa 下惰性气体的辉光放电来清除，也可以用电子、离子轰击材料而使吸附气体放出。也有用光辐照、超声波振动使固体表面吸附的气体脱附。经过烘烤、放电或轰击以后，表面放出的水蒸气显著减少。不锈钢系统，烘烤前放出的气体中水蒸气占90%。而烘烤去气彻底以后，氢气是放气的主要成分，剩余的气体尚有 N_2 、 O_2 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 等。氢气是金属在冶炼过程中溶解的氢向壁的真空侧扩散而放出的。 CO 、 CO_2 、 CH_4 是固体表面和气体间复杂的化学反应生成的。在高温下，金属中溶解的碳扩散到固体表面与金属表面的氧、氢以及水蒸气发生反应可以生成 CO 、 CO_2 、 CH_4 。

除了烘烤，冷冻也是减少水蒸气的主要手段。它不仅可以把表面要解吸的水蒸气冻住，减小放气量，也可以对水蒸气产生一定的抽速，减少空间的水蒸气气体分子。同时在较低温度下的固体表面，碳与氢、氧的化学吸附概率也将变小。如果系统长期暴露大气，为了避免水蒸气的吸附，在打开容器前，引入干燥氮气比较好。这样做了以后，在室温排气装置中，排气时间可缩短到几分之一。系统打开前，充入干燥氮气至数百帕压力，维持数分钟，使表面充分吸附干燥氮气至饱和状态之后，即可充入大气。此时，由于容器壁已经充分吸附了干燥氮气，空气中的水蒸气就很少被吸附到器壁表面上。即使吸附，结合也是很弱的，比较容易脱附。

● 溶解气体的解吸

固体材料在冶炼或浇铸过程中，往往要溶解一些气体。长期放置在大气中的固体材料由于扩散作用，也会再溶解一部分大气。这些气体作为固体中的杂质原子在固体中进行扩散。如果系统在 450°C 下烘烤 10h 后再降到室温时，系统内氢的分压变为 1×10^{-10} Pa。而在 1000°C 下仅需要烘烤 4h。由于解吸要放出气体，主要是氢，所以要想在不锈钢装置内得到非常低的压力，是比较困难的。为解决氢分压的问题，采取冷冻是一个可取的办法。因为在低温下氢的扩散系统比室温大大地减小了。

另外，材料的选择也是非常重要的。有人建议用铝合金制造真空容器。由于铝合金是非铁磁合金，放气率也小，适合于制造加速器等装置，作为真空容器和管道材料，在国外，特别是在日本使用的较多。但是用不锈钢作真空系统的材料是很普遍的。这是由于不锈钢表面覆盖了一层很结实的氧化铬薄层，是稳定剂，表面放气比较少。

不锈钢的加工性能及焊接性能也很好，具有作为真空材料的优良的性能。烘烤后放气的主要成分是氢。加工前，不锈钢原材料要放在真空退火炉中，在 700°C 下进行 10h 的真空脱气处理，可大大减低氢的放气，这对极高真空容器的制造来说，是非常必要的。为使系统的总放气量减小 1000 倍，整个系统未烘烤的表面积不应超过系统总面积的 1/1000。烘烤的温度不需要太高，低温烘烤完全可以去掉表面吸附的气体。

● 材料的蒸发和分解

极高真空系统对材料的选择首先要考虑选材的蒸气压低，否则会造成大的气载。例如，黄铜含有蒸气压高的锌，低熔合金含有锡、铅等。油脂、塑料、橡胶等更不宜采用。

其次，要考虑材料的热稳定性。高分子化合物热稳定性差，易氧化。如油脂在高温下热解，放出氢及碳氢化合物。极高真空系统用的金属材料最好选用不锈钢，尽量不用铜及铜合金，因为暴露在大气中的铜和铜合金，在高温下氧化得很快。当真空系统内必须使用铜时，最好用真空冶炼的无氧铜，避免用电解铜。当用铜管作水冷管或作传输低温液体管时，因反复烘烤而产生氧化容易引起故障。钨、钼、钽最好也用真空冶炼的，放气量小。

其他材料使用前也应进行真空预出气处理。由于同一理由，焊接时最好不采用铜焊、银焊，因这些焊接工艺中要使用一些蒸气压较高的焊药。

有没有比不锈钢更适宜的极高真空系统的材料呢？铝合金已被用来制造加速器等大型真空装置。但铝合金材由于其多孔性含有较多的气体、高温强度较低、比较难以焊接等缺点，使得用铝合金制作真空容器的局限性很大。然而，铝合金在室温下对氢的渗透率约为300系不锈钢的 10^{-7} 倍，因次在不锈钢上蒸镀 $10\mu\text{m}$ 厚的铝膜，能使氢的放气量减小 10^5 倍。铝复合在不锈钢上用做电子管电极材料。只要充分注意冶炼和锻造，铝合金有希望成为极高真空系统用的材料。

● 气体和固体表面进行化学反应面生成的气体

在极高真空系统里，气体和固体表面相互作用以及固体内部溶解的气体和固体表面相互作用而发生化学反应产生的气体是一个重要的气源。

不锈钢中的碳扩散到金属表面和氧发生化学反应而生成一氧化碳。在真空系统中，加热金属灯丝后，水蒸气、一氧化碳及甲烷的分压增加了。这些气体的增加与氢的存在有关。降低氢的分压以后，这些气体的分压随着也降低。由于氢是分解成原子态扩散到金属内部的，化学性又活泼，在金属内部和表面容易起化学反应。

真空系统内，在金属壁和玻璃壁上能同时进行多种化学反应。各种材料的历史和使用条件不同，化学反应生成的气体也不同。在极高真空情况下， H_2 以外的气体和 H_2 的存在有一定关系，因此，减小 H_2 的分压仍然是主要的。

四 渗 漏

当固体材料放在气体中时，周围的气体分子就会溶解在固体表面层。它和固体内部原来溶解的气体不同。真空容器器壁两侧气体压力不同，其溶解的气体分子浓度也不同。当器壁两侧的浓度不同时，气体分子就由浓度大的一侧向浓度小的一侧扩散，最后扩散到真空容器内壁放出，这个过程，称之为气体的渗透。

真空系统用的非金属材料如玻璃和有机材料，其溶解度 $n=1$ ，溶解气体分子的渗透速率和压差成正比。氦气通过玻璃有较大的渗透率，它直接影响极高真空的获得，因而极高真空系统不宜用玻璃或有机材料做器壁。在金属材料中不溶解稀有气体，如氦、氖等，这对获得极高真空是有利的。双原子气体分子是在解离成原子后才溶解的。由不锈钢中放出的气体中，主要成分是氢。特别是经很好地去气以后，99% 的残余气体为氢。因此，氢的渗透是获得极高真空的困难之一。

五 返流

真空泵体内的气体或蒸气流返回到真空室里的现象叫做返流。在极高真空系统中，由于真空室的压力低于抽气泵的极限压力，返流对极限压力的影响尤为显著。

对极高真空系统来说，所有的真空泵都是气源。为了减少泵对真空室的返流，利用真空泵的抽气能力，在真空泵和真空室之间需连接一个阱以阻挡气体的返流。

由于目前真空泵的极限压力较高，因此，在极高真空系统中，阱的设计是极为重要的。设计的重点在提高阱的捕获系数。在使用扩散泵的真空系统中，还有一个反扩散的问题。在扩散泵中气流不仅发生在抽气方向上，而且有少量的气体分子沿蒸气流的反方向流动，发生由低真空端向高真空端的扩散，这种现象叫做反扩散。反扩散的程度与扩散泵的压缩比有关，压缩比越大，反扩散越小，而压缩比又与气体质量有关，轻的气体压缩比要比重的气体小得多。

对高真空系统来说，反扩散的影响并不重要，但对超高真空系统就必须考虑反扩散对极限真空的限制。如果采用扩散泵获得极高真空，就需要将两个扩散泵串联起来，使前级扩散泵降低主扩散泵的出口压力，因而降低了主泵的反扩散，实验证明，用这种方法可以改善极高真空系统的极限真空。

版权声明：本文来源于网络，除无法溯源的文章，我们均在文末备注了来源；如文章视频、图片、文字涉及版权问题，请第一时间联系我们，我们将根据您提供的证明材料确认版权并按国家标准支付稿酬或立即删除内容！

- [| 2024半导体展览会真空企业产品汇总](#)
- [| 时速1000公里的真空管道列车试验线](#)
- [| 浅析光伏产业链中的真空技术应用](#)
- [| 原来3D打印运用了这么多真空技术](#)
- [| 新型冷原子真空标准的原理及应用](#)
- [| 干式真空泵在半导体与新能源领域应用](#)
- [| 半导体真空系统应用及维护的重要性](#)
- [| 半导体薄膜 CVD 工艺及其真空系统](#)
- [| 半导体光刻工艺中的真空系统应用](#)
- [| 大体积核聚变装置真空室的泄漏检测](#)
- [| NANO-X 中高精尖真空设备全览](#)
- [| 干式螺杆真空泵的理论研究进展](#)
- [| 真空冷坩埚感应凝壳炉的发展趋势](#)
- [| 液态金属冷却定向凝固的现状和展望](#)
- [| 真空熔炼在高纯金属材料制备中的应用](#)
- [| CERN 对真空等离子体及薄膜的应用](#)
- [| 盘点 NASA 的那些巨型真空模拟室](#)
- [| 磁控溅射镀膜在 \(Cr,Ti,Al\) N涂层应用](#)
- [| ITER 完成首段真空腔体的部件制造](#)
- [| 航空领域真空热处理的现状和发展趋势](#)
- [| HEPS 高能同步辐射光源及其真空系统](#)

实用操作 31

实用操作 · 目录

上一篇 · 一文了解什么是泄漏以及真空系统漏率的测量