

高真空多层绝热超低温容器漏热分析

冯海岭

中科美菱低温科技股份有限公司 安徽 合肥 230000

【摘要】高真空多层绝热超低温容器是各个行业中的重要组件，包括生物医药研究、航天探索和能源储存等领域。这些容器的设计旨在存储和运输材料，在极低温条件下保持其稳定性和质量。随着科学技术的进步和人类对超低温应用的需求增加，对高真空多层绝热超低温容器的漏热情况进行分析和优化变得至关重要。容器的漏热不仅会导致能量的损失，还可能影响容器所存储物质的稳定性和性能。因此，深入研究容器的漏热机制以及相应的分析方法和优化策略具有重要的科学意义和工程实践价值。

【关键词】高真空；多层绝热；超低温容器；漏热；分析

高真空多层绝热超低温容器是一种关键的超低温设备，在许多实验和应用中发挥着重要作用。然而，容器漏热现象经常会对容器性能产生重要的影响。因此，深入研究容器漏热现象及其影响因素，对改进容器性能、降低能源消耗具有重要意义。本文旨在对高真空多层绝热超低温容器漏热进行全面分析，探讨容器漏热对容器性能的影响，并提出相应的改进措施。

1 高真空多层绝热超低温容器漏热的机理

高真空多层绝热超低温容器漏热的机理是一个复杂的过程。其中，导热传递、热辐射和热对流是主要的漏热途径。在多层绝热结构中，绝热层内部的材料具有一定的导热性，这会导致温度的梯度形成。通过绝热层内部材料的导热作用，热量会从热区传导到冷区，从而导致容器的漏热。另外，在高真空条件下，热辐射成为主要的热传递方式。容器内的高温区域向低温区域辐射能量，产生辐射传热。绝热材料和外壳表面的辐射特性会直接影响容器的热辐射量。辐射损失的主要因素是绝热材料和外壳的表面特性以及温度差^[1]。

2 高真空多层绝热超低温容器漏热的影响因素

2.1. 结构设计

容器的结构设计会直接影响漏热量。所选用的绝热层厚度、包覆率和材料导热系数等都是提高容器绝热性的重要因素。一般来说，多层绝热结构，对绝热材料的选择、厚度、外壳离心率等因素的优化都将对漏热量产生重要的影响。

2.2. 材料性能

材料的导热性直接关系到容器的漏热量。因此，合适的选择绝缘材料、外层材料、制冷剂的热传导系数、抗氧化等性能因素的调整都是影响漏热量的因素。

2.3. 传热特性

绕组导体的材料、截面积、直径、绕组结构对温度

场和漏热量的产生都有影响。传热特性是由材料导热系数、热容、热扩散等参数决定的。

2.4. 运行条件

容器的运行条件，如环境温度、湿度、压力和制冷剂温度等，都会影响容器的温度变化和漏热量。特别是在高温或高湿度环境下，容器需要更好的绝热和密封结构才能克服不利因素。

3 高真空多层绝热超低温容器漏热现象对容器性能的影响

首先，漏热现象会影响容器的低温保持性能。在超低温环境下，任何热量的进入都可能导致低温环境的破坏。当容器发生漏热现象时，外部热量将热量进入容器内部，导致低温环境失效。因此，容器的漏热现象直接影响容器低温保持能力的强弱。其次，漏热现象会影响容器的能耗和使用成本。容器的漏热现象会让容器内部受到外部热量的导入，因此需要更多的制冷能力来保持低温环境。由于制冷用电量与能力成正比，因此漏热现象会增加制冷设备的用电量和使用寿命，降低了容器的经济性能。再次，漏热现象会影响容器的使用寿命和可靠性。容器的漏热现象会增加容器的负荷和寿命，并在一定程度上降低容器的使用寿命和可靠性。因此容器的漏热现象对容器的使用寿命和可靠性也产生了重要的影响。

4 降低高真空多层绝热超低温容器漏热的方法和策略

4.1. 材料选择与优化

在高真空多层绝热超低温容器的设计中，材料选择是至关重要的一步。首先，需要选择具有低热导率的材料，以减少热传导和热辐射。常用的材料有气凝胶、多层膜、铝箔等。其次，需要考虑材料的耐高温性能，以确保在低温条件下材料不会变形或破裂。此外，材料的

成本和可获取性也需要考虑在内。通过优化材料的选择,可以降低容器的漏热^[2]。

4.2. 多层绝热结构的改进与优化

多层绝热结构是降低高真空多层绝热超低温容器漏热的关键。通过增加绝热层的数量和厚度,可以减少热传导。同时,可以采用交错排列的绝热层结构,以阻止热流的传导。此外,还可以在绝热层之间加入真空层,进一步降低热传导。通过对多层绝热结构的改进和优化,可以有效地减少漏热。

4.3. 密封件和连接的改进与优化

在设计和制造容器连接部分时,需要采用可靠的连接方式,并对连接进行适当的优化。例如,可以采用焊接、密封接头或金属卡箍等方式来确保连接的强度和密封性。为了减小连接处的漏热,具体措施包括减少连接处的热传导、提高连接部分的密封性能等。此外,为了进一步优化密封件和连接的性能,也可以考虑采用新的材料和技术。例如,引入新型的高温高真空密封材料和连接技术,如金属加工密封、高性能聚合物材料等。这些新材料和技术能够提高密封件和连接的耐高温、耐高真空性能和密封性能,从而降低容器的漏热。

4.4. 热辐射屏蔽

热辐射屏蔽方法可以采用多种形式。一种常见的方法是采用反射涂层或膜层以反射热辐射,减少热量的传递。与此类似的还有多层膜结构,可以屏蔽大部分热辐射。此外,也可以采用辐射屏蔽隔板等结构来降低热辐射,保证容器内温度的稳定性。另外,在设计和制造高真空多层绝热超低温容器时,需要考虑在不同的屏蔽方式之间做出选择,以便提高容器的绝热性能。对于不同的应用,也需要选用不同的屏蔽材料来提高绝热性能,如 SiO₂ 等高温高真空材料, TiO₂、MgF₂ 等抗氧化涂层材料,或者采用金属反射膜等形式进行屏蔽。在屏蔽方式的选择上,需要考虑到屏蔽效果、材料成本、制作工艺等多方面的因素。

4.5. 环境控制

通过精确控制容器周围的环境温度和湿度,可以有效减少外部环境对容器的影响,从而降低容器的漏热。首先,温度控制是环境控制的关键。高真空多层绝热超低温容器的漏热量与其周围环境的温度差密切相关。因此,在设计和运行容器时,需要采取措施来维持周围环境的稳定温度。这可以通过将容器放置在恒温室内、使用温度控制设备如恒温柜、温度传感器和温度反馈控制系统等来实现。其次,湿度控制也对降低容器漏热起到一定作用。在高湿环境中,容器的绝热材料会受到湿气的吸附和渗透,导致其绝热性能下降,从而增加了漏热的可能性。因此,在容器周围需要控制湿度,通过采用除湿剂、湿度控制设备和湿度监测系统等手段,保持容器周围环境的适宜湿度。此外,还可以采取其他方法来进一步控制容器周围环境,减少其对容器的影响。例如,可以在容器周围设置隔热罩或屏蔽结构,以形成一个相对稳定的热环境,减少外界温度对容器的影响。同时,需要控制容器所处位置的通风情况,避免外界大气对容器进行冷却或加热,影响容器的绝热性能^[3]。

5 结语

通过对高真空多层绝热超低温容器漏热现象的分析,我们可以深入了解容器漏热对容器性能的影响,并探讨相应的改进措施。从材料选择与优化、多层绝热结构的改进与优化、密封件和连接的改进与优化、环境控制等方面入手,可以有效降低容器漏热,提升容器的性能。这些研究将有助于提高高真空多层绝热超低温容器的性能,并为相关领域的应用提供更可靠和高效的设备。

【参考文献】

- [1]仇放,郭超.高真空多层绝热超低温容器漏热分析[J].压力容器,2023,40(08):53-59.
- [2]石顺宝.高真空多层绝热低温容器真空失效下压升率实验研究[D].兰州理工大学,2022.
- [3]黄欢明,冯慧华,苏晨光等.高真空多层绝热低温容器整体热分析及试验验证[J].低温工程,2011,(01):57-60.