

排水量试验装置研究与设计

边 坤, 边嘉宸, 焦鹏飞, 陈 凡

中汽零部件技术(天津)有限公司, 天津

收稿日期: 2024年11月4日; 录用日期: 2025年1月6日; 发布日期: 2025年1月17日

摘 要

基于排水量试验的试验方法等, 本文主要研制了排水量试验的相关装置, 并通过试验案例验证了装置的可靠性, 本文的研究成果将为排水量试验装置的研究提供有益的参考。

关键词

汽车空调, 排水量试验, 试验装置

Research and Design of Displacement Test Device

Kun Bian, Jiachen Bian, Pengfei Jiao, Fan Chen

CATARC Component Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin

Received: Nov. 4th, 2024; accepted: Jan. 6th, 2025; published: Jan. 17th, 2025

Abstract

Based on the experimental methods of displacement testing, this paper mainly develops the relevant devices for displacement testing, and verifies the reliability of the devices through experimental cases. The research results of this paper will provide useful references for the study of displacement test device.

Keywords

Automotive Air Conditioning, Displacement Test, Test Device



1. 引言

在汽车空调系统及零部件的性能验证与评估过程中,排水量试验作为一项基础且关键的测试方法,对于确保系统效能与部件可靠性具有不可忽视的作用。本文聚焦于排水量试验的试验设备研发,旨在通过设计构建一个能够执行排水量测试的自制试验装置。该装置不仅旨在提升测试的稳定性与准确性,还可探索其在汽车空调系统及零部件性能评估中的实际应用潜力。本文将详细阐述该试验设备的研究背景、设计原理、性能验证过程及其在实际中的可行性分析等,以期对相关领域的研究与应用提供新的思路与技术支持。

2. 试验背景

换热器、空调箱在汽车领域中都有广泛应用。然而在这些零部件的运行过程中,由于温度变化,会在其表面、管道和板材上产生冷凝水,这会导致两个问题,第一个,冷凝水的聚集会增加空气与换热器之间的换热热阻,降低换热器的传热性能。第二个,各类杂质与灰尘、细菌等在这些潮湿、阴暗的地方很容易堆积,细菌滋生释放排泄物,致使打开或者关闭空调时,车内会闻到霉味和腐臭味等,会影响车内用户的舒适度以及健康[1][2]。为了解决这一问题,研究者们认为进行排水量试验研究至关重要。这一试验的核心目标是评估和验证蒸发器芯体等空调零部件的排水性能,确保其在运行过程中能够有效排除冷凝水,从而维持产品的性能和效率。

3. 试验要求

排水量试验的标准、方法主要依赖于各企业的内部标准,这导致实际操作方法呈现多样性。通过我们对排水量试验方法的深入研究与综合比较,尽管各企业采用的试验步骤存在差异,但我们将核心流程归纳为一个系统化的流程。具体而言,试验首先要求严格密封试验样品的进、出口,确保内部不受外部水分干扰。随后,将样品以特定角度固定于测试台架上,并精确测量其初始总重量,作为基准数据。接下来,将样品完全浸入水中,并通过适当的水中晃动等策略,确保样品得到充分浸润。浸润完成后,需迅速将样品从水中取出,并立即放置于测量台架上,开始定时记录其重量的变化。这一过程将持续至样品重量趋于稳定,且不再有水分流出,或者达到预设的出水记录时间点。通过计算最终重量与初始重量的差值,即重量变化量。值得注意的是,部分企业为了提高数据的可靠性和重复性,要求对同一样品进行多次试验。为避免前次试验残留水分对后续试验的影响,样品在每次试验前需在 100℃ 高温环境中烘干,并自然冷却至室温。最终,通过对多次试验得到的重量变化量取平均值,并将该平均值除以冷凝器芯体翅片区域的表面积,即可得出表征样品排水性能的试验结果。对于仅进行一次测试的样品,该流程同样适用。重要的是,所有试验结果的数值均须低于或等于既定的标准要求值,方可视为合格。

4. 试验装置

目前进行此项试验,可依据动态浸渍法,刘晓蕾[3]等人 and Liu [4]等人制作的试验装置也是按照这种方法搭建的,她们的装置由一个大水箱和一个较小的浸没式空气箱,以及一个用于悬挂、称量试验样品的结构组成,其原理是利用压缩空气置换水来控制试验样品的浸没,将试件悬挂在水箱上方后,置换箱中装满水,水位上升并浸没试件。试件浸没后,关闭空气供应,突然完全打开排气口,使水位快速下降。

在设计汽车空调系统及零部件的排水量试验装置时,本文旨在通过精简冗余复杂的部件,降低故障

率，还极大地方便了后续的维护与保养工作。在确保全面满足试验要求的前提下，我们着重追求装置结构的轻量化和紧凑性，以期实现整体性能的优化与提升。通过回顾前人的研究与实践[1]-[6]，可以发现高压气源系统具有复杂性和不便移动性等缺点。鉴于此，我们采用更为简易、快捷的传统液压机械结构来控制水箱的升降操作。这一选择不仅显著简化了操作流程，还极大地提高了试验的灵活性和效率，为操作人员提供了更为便捷、高效的试验手段。同时，我们充分利用试验室现有的材料资源，设计了一款专门用于蒸发器等零部件的单体排水量试验装置。该试验装置的核心组成部分包括水箱、角度仪、电子天平以及升降台等关键部件，如图 1 所示。通过精确配置这些部件，我们能够实现对试验样品的有效固定、精确测量以及升降控制，从而确保试验数据的准确性和可靠性。在后续的内容中，本文将阐述该试验装置的具体设计细节、性能验证以及在实际应用中的表现等。

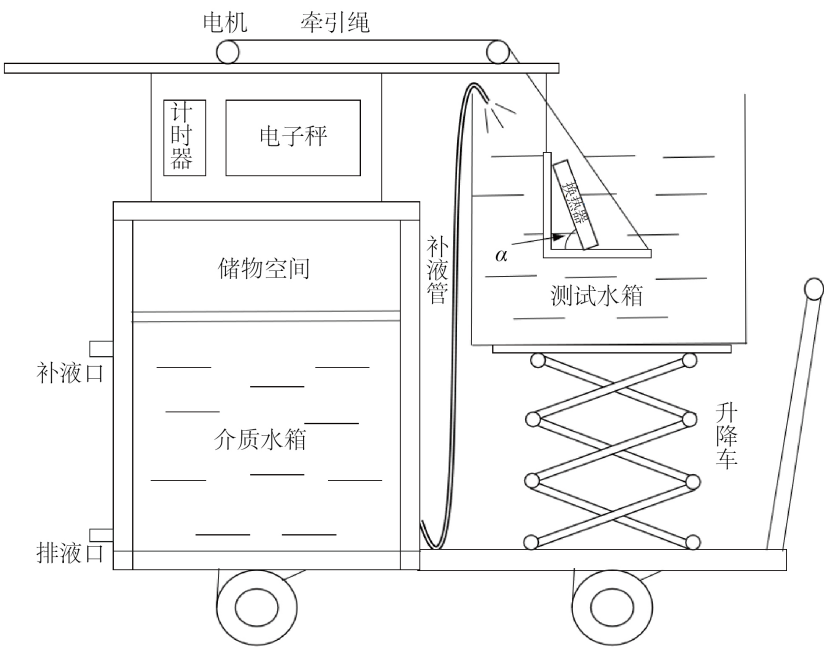


Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus
图 1. 试验装置示意图

试验开始时，记录试验前支架、支架及样品的原始重量，随后使用角度仪将样品按照要求角度摆放并固定，按压升降车的踏板，使水箱上升，逐渐浸没样品，一段时间后，按压升降车的下降踏板，水箱迅速下降，根据具体实验要求，记录电子秤读数，并取下样品，再次记录试验后支架的重量。

在实车系统台架上进行排水量测试时，由于不同厂家的产品，空调箱外形各不相同，如何将其安装在实车系统台架上，让其摆放在一个合适的角度和高度，方便其与其它零部件、管道、风洞等连接。再此之前，在实车系统台架进行试验，我们通过添加垫块及根据空调箱实际情况来制作对应工装，以对空调箱的放置角度等进行调整，操作麻烦且不稳定，大多靠试验人员的经验及手法，并且制作工装耗时费力，且工装可重复利用率不高，导致一定的成本浪费。我们所设计的新装置具体结构如图 2 空调箱实车台架放置装置所示，图中上方 A、B、C、D 四个支柱是为了给空调箱固定使用，不同空调箱的固定位置不同，支柱可根据实际情况变化位置，也可灵活安装与拆卸，增加或者减少支柱数量。该装置总体结构简单、功能多样、稳定性好并且承重能力强，在后续实际应用中表现出了良好的性能和适应性。

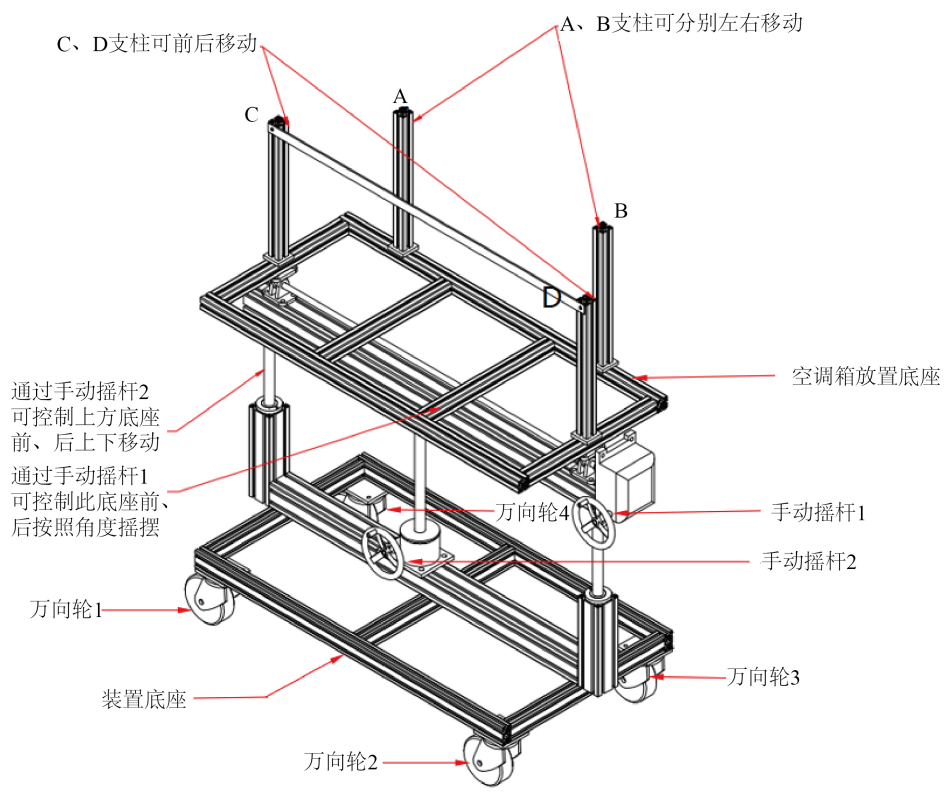


Figure 2. Air conditioning box rack placement device
图 2. 空调箱实车台架放置装置

5. 试验结果

使用我们的装置，对某公司蒸发器芯体进行排水量试验，如下图 3 所示。



Figure 3. Photo from the Displacement test
图 3. 排水量试验中照片

蒸发器在空调中是按照一定的角度进行安装的，为了深入研究蒸发器在空调系统中安装角度对其排水性能的具体影响，我们设计并实施了一项实验。实验中，我们选取了两件试验样品，并将它们分别置于不同的摆放角度(具体为 30°、45°、60°、75°和 90°)下进行测试。试验数据结果如图 4 所示，该曲线图描

绘了这两件试验样品在不同摆放角度下的残余水量变化情况。

通过分析，我们可以明确观察到以下趋势：随着摆放角度的逐步增加，两件样品的残余水量均呈现出一个先降低后升高的变化。具体而言，在摆放角度大约达到 65°时，两件样品的残余水量均达到了一个相对较低的谷值，这表明在此角度下，蒸发器的排水性能相对最优，能够更有效地排出积聚的水分。然而，当摆放角度继续增加至接近 90°时，两件样品的残余水量则显著上升，达到了一个相对较高的峰值，这表示着在此角度下，蒸发器的排水性能可能受到了一定程度的抑制，导致水分积聚增多。需要注意的是，蒸发器芯体的残余水量受到多种因素的影响，包括样品的物理结构、化学成分、表面性质以及试验条件等。因此，若要进一步准确理解这种下降趋势的原因，还需要进一步的研究和分析，这里我们仅就样品摆放角度对本样品排水量的影响进行研究。

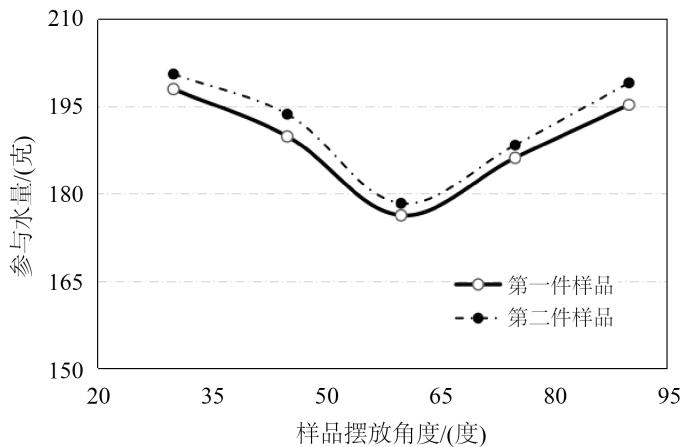


Figure 4. The effect of different placement angles of samples on residual water content
图 4. 样品不同放置角度对残余水量的影响

将样品按照 65°放置并进行试验测得 6 件样品试验数据如下表 1 蒸发器排水量数据统计表所示：

Table 1. Statistical table of evaporator drainage data
表 1. 蒸发器排水量数据统计表

样品编号	测量结果	试验前样品及 支架的重量 M ₁ /(g)	试验后样品及 支架的重量 M ₃ /(g)	试验前支架的 重量 M ₂ /(g)	试验后支架的 重量 M ₄ /(g)	M _{滞留水} /(g)
1		6813.5	7055.5	5548.0	5609.5	180.5
2		6868.0	7108.0	5600.0	5660.0	180.0
3		6924.5	7151.5	5659.5	5718.0	168.5
4		6984.5	7211.5	5720.0	5779.0	168.0
5		7046.0	7286.5	5786.0	5847.5	179.0
6		7110.0	7356.5	5854.5	5919.5	181.5

我们记录了 6 个样品试验前后的重量变化，以及支架的重量变化，用于计算每个样品中滞留的水量。试验前试验样品与支架的质量记作 M₁，试验支架的总重量 M₂，同理记录试验后各对应重量，分别对应记作 M₃，M₄。通过如下公式计算：

$$M_{\text{滞留水}} = (M_3 - M_1) - (M_4 - M_2)$$

采用这样的计算方式,这是因为在试验人员实际操作中,会对多个样品,连续用同一装置进行试验,每次进行新的试验,样品放置及悬挂支架等其表面也会留存有一定的水分,影响试验结果的准确性,为了解决此问题,在每次试验开始前,重新测量记录 M_1 、 M_2 。通过计算样品的平均滞留水重量为 176.3 g,通过计算试验前支架重量 M_2 变化可得,每次试验结束支架重量平均增加了 61.3 g,这是由于支架本身吸收了少量水分导致的。样品的滞留水量在 168.0 g 到 181.5 g 之间,变化范围不大,数据结果较为一致,这种数据的一致性表明在相同的试验条件下,装置对样品的处理结果是可重复的,也证明了装置的稳定性。

6. 结论

经过一系列试验和数据分析,我们对所制作的装置进行了深入的性能评估,并得出了以下更为详尽的结论:

首先,从数据的整体趋势来看,所有样品的试验前后重量变化均保持了高度的一致性。特别是在滞留水重量的测量上,尽管存在微小的波动,但整体而言,这些波动都在一个相对狭窄的范围内(标准差为 5.66 g),这表明装置在多次试验中能够维持非常稳定的测量结果。这种稳定性不仅反映了装置本身的高精度和可靠性,也为我们提供了更加准确和可靠的试验数据,从而增强了我们对试验结果的信心。

其次,装置在处理不同重量的样品时表现出了出色的适用性。从轻到重的样品,装置都能够准确地进行测量和记录,没有出现明显的偏差或异常。这种广泛的适用性使得装置能够在多种应用场景中发挥作用,包括但不限于汽车测试、材料科学、环境监测等领域。同时,这也证明了装置具有良好的通用性和可扩展性,为未来的研究和应用提供了更多的可能性。

在进一步分析数据时,我们还发现了一些有趣的现象。例如,尽管试验过程中支架的重量也有所增加,但增加的量相对较小,且对样品滞留水重量的测量影响有限。这进一步证明了装置在隔离和测量样品重量变化方面的有效性,同时也说明了我们在设计装置时充分考虑了支架对测量结果的影响,并采取了有效的措施来减小这种影响。此外,我们还对装置的稳定性和准确性进行了更深入的探讨。通过对比不同试验条件下的测量结果,我们发现装置在各种条件下都能够保持相对一致的测量结果,这表明装置具有很强的环境适应性和稳定性。同时,我们还通过计算置信区间和进行假设检验等方法,对测量结果的准确性进行了进一步的验证和评估,从而确保了数据的可靠性和科学性。

7. 展望

本文对所制作的装置进行了较为全面的评估,但仍然存在一些潜在的问题和挑战。例如,如何进一步提高装置的测量精度和稳定性,以适应更严格的应用需求;如何优化装置的设计和结构,以降低制造成本和提高效率等。这些问题将是未来研究的重要方向,也是我们继续努力的目标。

总之,本文所制作的装置在性能评估中表现出了良好的可靠性和适用性,为相关领域的研究和应用提供了有力的支持。在未来的研究和实践中,该装置将继续发挥其作用,为排水量试验测试研究做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 陆平,王丹瑜,周滋锋,等. 鼓风机延时开启功能对空调箱排水性能影响研究[J]. 上海汽车, 2017(5): 4.
- [2] Toftum, J. and Fanger, P.O. (1999) Air Humidity Requirements for Human Comfort. *ASHRAE Transactions*, **105**, 641.
- [3] 刘晓蕾,孟建军,蔡良烽,等. 空调器用翅片管式换热器排水性能试验研究[J]. 制冷与空调, 2022(12).

-
- [4] Liu, L. and Jacobi, A.M. (2008) Issues Affecting the Reliability of Dynamic Dip Testing as a Method to Assess the Condensate Drainage Behavior from the Air-Side Surface of Dehumidifying Heat Exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **32**, 1512-1522. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2008.04.006>
 - [5] 徐象国, 詹思成, 梁灏彬, 等. 空调换热器表面排水性能计算模型、整体影响及改进方法综述[J]. 机械工程学报, 2017, 53(4): 12.
 - [6] 赵永芹, 穆景阳. 汽车空调蒸发器排水方案设计与试验研究[J]. 制冷与空调, 2019, 19(4): 3.