

客车气密性及其测试研究

张忠东^{1,2}, 王建军¹, 黄显利¹, 吴洪亭¹, 陈恒彬^{1,2}, 位 华^{1,2}

(1. 中通客车股份有限公司, 山东 聊城 252000; 2. 山东省新能源客车安全与节能重点实验室, 山东 聊城 252000)

摘 要: 由于客车车身结构的特殊性, 客车气密性很少被提及。本文将整车气密性测试要求应用于客车领域, 介绍常用的气密性测试方法并阐述一种客车气密性测试设备及其操作流程。

关键词: 客车; 气密性; 测试方法; 测试设备

中图分类号: U469. 1; U467. 1 文献标志码: A DOI: 10. 15917/j. cnki. 1006-3331. 2025. 05. 010

Research on Bus Air Tightness and Its Testing

ZHANG Zhongdong^{1,2}, WANG Jianjun¹, HUANG Xianli¹, WU Hongting¹, CHEN Hengbin^{1,2}, WEI Hua^{1,2}

(1. Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Liaocheng 252000, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Safety and Energy Conservation of New Energy Buses, Liaocheng 252000, China)

Abstract: Due to the unique structure of the bus body, the air tightness is rarely mentioned in the bus industry. This paper applies the airtightness testing requirements for the whole vehicle in the buses field, introduces the common air tightness testing methods, and elaborates on a type of bus air tightness testing equipment with its operating process.

Key words: bus; air tightness; testing method; testing equipment

客车气密性是其 NVH 性能的重要影响因素。由于客车车身采用钣金加型钢的特殊结构形式^[1-3], 客车气密性很难像乘用车一样进行有效控制。本文从客车车身结构特点、气密性^[4]测试设备及测试方法等方面进行研究, 为客车气密性及 NVH 性能的提升提供一种方法。

1 客车气密性概况

当提及车辆的 NVH 性能时, 人们普遍认为其主要取决于车辆的声学包设计。实际上, 车辆的 NVH 性能是由车身、零部件、声学包、生产工艺等多方面共同决定的。在 NVH 的众多影响因素中, 尤其在客车领域, 整车的气密性控制往往易被忽略。

车辆气密性通常是指汽车在正常运行状态下, 其车身结构能够有效阻止外界空气、水分及其他污染物进入车内的能力。这种能力主要受到汽车的车身设计、材料选择以及制造工艺等多个因素的^[5]影响。

车身良好的气密性具有以下优点: ①可防止噪声与异味的侵入, 提高驾乘舒适性; ②可有效降低车辆漏雨、进尘土的风险, 进而提高车辆的使用寿命; ③可提高空调和暖风系统的效率, 从而降低能源消耗^[6]。但对车身气密性的要求过高也是不合理的。气密性要求过高, 会出现以下问题: ①对制造工艺要求更高; ②车辆的制造成本增加; ③无法保障车内空气流通; ④超出实际使用场景需求。鉴于气密性技术水平有限且使用需求处在合理范围, 气密性设计目标并未设定过高, 因此无需担心相关问题。

客车车身结构主要分为钣金冲压式车身、骨架式车身、钣金和骨架复合式车身。其中骨架式车身是最简单的一种, 也是大中型客车应用最广泛的结构形式。相对于乘用车的冲压钣金车身, 其在结构设计及生产工艺上均会对车身的密封性带来挑战。另外, 乘客门、安全门、推拉窗、天窗等开闭件的密封水平也会对车身的密封性产生很大影响。如今, 人们对乘车舒

收稿日期: 2025-06-18。

第一作者: 张忠东 (1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事客车 NVH 研究与性能提升工作。E-mail: zzdong1105@163.com。

适性要求越来越高,车身气密性作为影响客车舒适性的重要因素,必须引起足够重视。本文重点介绍其测试方法及所用设备。

2 客车气密性测试方法及应用

2.1 气密性常用测试方法

目前,国内外均无关于汽车气密性测试的正式标准或法规。2024 年 12 月中国汽车工业协会发布的团体标准 T/CAAMTB 247—2024《乘用车气密性试验方法》^[6]仅对乘用车的气密性测试方法及相应的试验条件进行了规范。因此,客车行业通常依据某类产品的开发经验,或参照同类型领先产品的性能指标,设定客车气密性目标值,并据此判断优劣。行业内整车的气密性测试通常采用压差法和烟雾法^[7-8]。

1) 压差法是用管路向车内输送压缩空气(或向车外抽取车内空气),使车内外形成一定稳定压差来测试车身在该压差下的气体泄漏量的方法。泄漏量是指在某一特定压差下,单位时间内通过车身泄漏点的气体体积。在乘用车气密性测试中,该压差普遍采用 125 Pa 作为标准值^[6],其常用单位为 L/s。

2) 烟雾法是在测试车辆内布置烟雾发生器,并用管路向车内输送空气(使车内外形成空气压差),利用烟雾使车身泄漏点的气流可视化的方法,主要用于泄漏点检查及泄漏点泄漏严重度的初步判断。用此方法测试时,车内外空气压差不宜过大或过小,压差过大则烟雾弥漫迅速,压差过小则会导致泄漏点不明显,均会影响泄漏点的排查。一般在 15~25 Pa 压差下进行测试较为合适。建议每次测试采用同一固定压差,以便于积累经验(同一固定压差下才可通过烟雾的泄漏程度进行气密性水平的初步判断)。

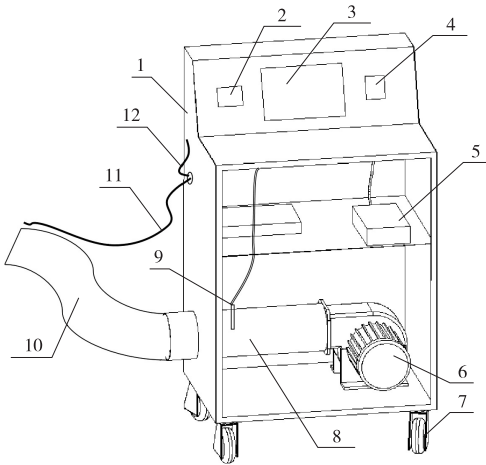
压差法与烟雾法是两种不同性质的气密性测试方法,其特点对比见表 1。客车气密性测试不合格时,通常需要两者结合使用以确定泄漏点。

表 1 烟雾法与压差法对比

方法	分类	判断方式	优点	缺点
压差法	定量测试	数值、客观判断	可定量评估车辆整体及部件的气密性水平	无法准确定位泄漏点
烟雾法	定性测试	观察、主观判断	泄漏点可视化,方便排查及优化泄漏点	无法准确评价气密性水平

2.2 一种基于压差法的客车气密性测试设备

本文介绍一种基于压差法测试原理自行设计制造的客车气密性测试设备^[9-10],其主要部件有:设备柜体、风机(建议送风能力不小于 400 L/s)、变频器、压差测试仪、流量传感器、流量测试仪、管道、线路等,如图 1 所示。



1—柜体; 2—风速显示器; 3—气压差表; 4—操作旋钮;
5—风机控制器; 6—风机; 7—风机; 8—PVC 管; 9—风速传感器管;
10—波纹管; 11—风速传感器外置管路; 12—风速传感器内置管路。

图 1 气密性测试设备结构示意图

图 1 中,设备柜体 1 为基础载体,分为上下两层,柜体内安装各个零部件;风速显示器 2、气压差表 3 及风机控制器 5 的操作旋钮 4 安装至柜体操作面板上,以便进行风速调整及数据读取;风机控制器 5 置于柜体上层内部;风机 6 置于柜体下层内部,并由螺栓固定于柜体底部;PVC 管 8 和内壁光滑的波纹管 10 组成气管管路,用于连接测试设备内风机出风口和车内空腔;风速传感器 9 安装在 PVC 管 8 上,并将传感器上的两根气管连接至风速显示器 2 配置的气管接口处;气压差表 3 上的两根气压管,一根(风速传感器外置管路 11)置于外部空气中,另一根(风速传感器内置管路 12)连接于车内空腔;柜体底部安装 4 个万向轮 7,以便于设备的移动和使用。

设备所用的气压压差表的量程上限应大于测试压差 125 Pa。本文选用的压差表量程为 0~500 Pa;设备所用风机的输风量为 2 100 m³/h。考虑风阻问题,工作状态输风能力按 70% 计算,即该风机最大功率状态可保证最大输风量约为 408 L/s;设备选用的

流量计量程为 400 L/s(测试量程应满足需求,并接近风机的最大输风能力 408 L/s)。

2.3 客车气密性测试操作流程

由于客车存在车身长、车内容积大、密封难点多等问题,其密封性比乘用车差,因此在 125 Pa 压差下的泄漏量会远大于乘用车,往往会超出测试设备的供风量范围。因此,对客车来说,仅测试 125 Pa 压差下的泄漏量显然是不合适的。为节省测试时间并保证测试数据的可用性,本文参考乘用车 125 Pa 压差的团标^[6]要求,以 125 Pa 压差为基准,以 25 Pa 压差为梯度,分别测试 125、100、75、50 Pa 压差下客车的气密性泄漏量。即以 125 Pa 为目标测试压差,若测试压差达到 125 Pa,则可不再测试其余压差下的泄漏量。若测试设备功率调到最大仍无法将车内外压差提升至 50 Pa,则判定该客车气密性差,不具备测试条件。

泄漏量测试完成后,根据泄漏量测试结果评估是否实现开发目标。若未实现,则需再进行烟雾试验,排查漏点并记录,以便对车辆泄漏点采取补救措施,也为后续同类型产品的气密性能提升提供参考。

客车气密性测试流程如图 2 所示,主要步骤如下:

1) 测试设备的输风管道、压差计软管通过车窗(一般选用驾驶员侧推拉窗)位置接入车内,并进行设备连接和密封,如图 3 所示。

2) 将车身上除设备连接位置外的开闭件正常关闭,并对可能的泄漏点进行临时密封。对客车来说,需要关闭并临时密封的位置如图 4 所示,一般为空调的出风口和回风口、天窗、可打开的侧窗(如推拉窗、外翻窗)、车门(如安全门、驾驶室门、乘客门等)、除霜器外进风口等周边区域。对开闭件进行关闭及临时密封后,所测得的泄漏量即可代表车身结构及工艺所决定的最佳整车气密性。

3) 利用测试设备提升车内外压差并判断其是否能达到 125 Pa。若能达到,则使其稳定在该压差(± 0.5 Pa 视为数据有效),记录稳定后的泄漏量数据(即输气管道内的空气流量数据),记录要求为连续读取并记录 5 个泄漏量数值。记录完成后依次进行 100、75、50 Pa 压差下的泄漏量测试。若无法达到

125 Pa,则将设备调至最大功率,再依次判断最大压差是否能达到 100、75、50 Pa。若能达到任一要求压差,即可按流程进行泄漏量测试,若达不到最低要求的 50 Pa 测试压差,说明气密性过差,可直接结束泄漏量测试并进行测试步骤 6)。

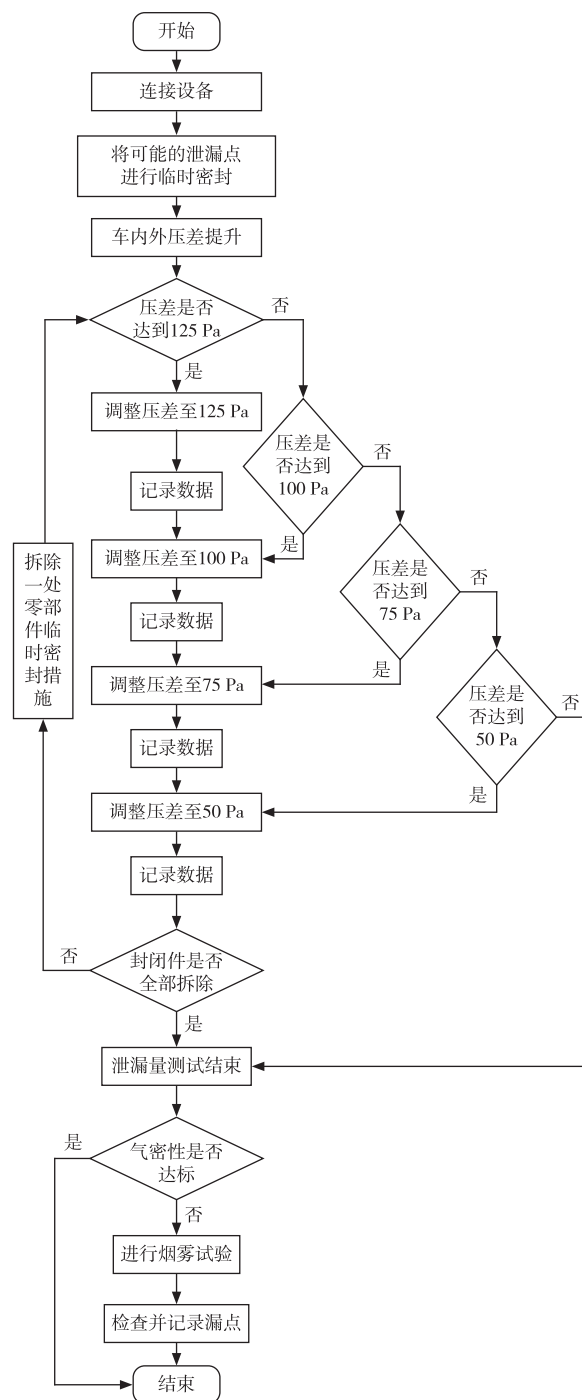


图2 客车气密性测试流程

4) 依次拆除对各开闭件位置所做的临时密封措施,重复测试步骤 3)。直至所有临时密封拆除完毕,

并完成相应的泄漏量测试。所有临时密封拆除后的泄漏情况即为客车正常使用状态的气密性。



图3 设备连接状态示意图

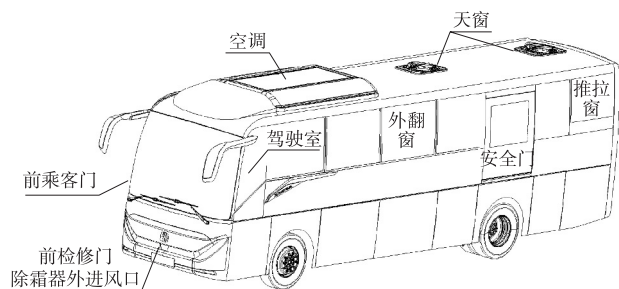


图4 客车主要临时密封位置示意图

5) 所有工况下的泄漏量测试完成后,判断测试车辆的气密性是否达到该产品的开发目标,若已达标则结束测试;若未达标则进行烟雾试验。

6) 将烟雾发生器(如图5所示,要求剩余烟油量不低于总容量的80%,以确保有足够烟油量完成测试)置于车内并启动,测试人员下车并确保车身上所有开闭件已正常关闭。

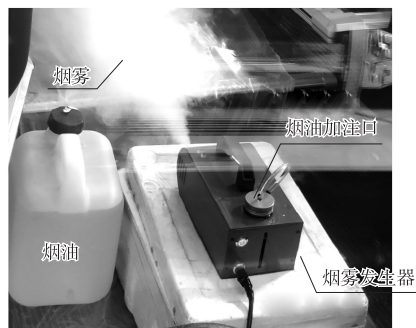


图5 烟雾发生器

7) 静待2~5 min,当车内烟雾充分弥漫后,启动测试设备,将内外压差提升至20 Pa。

8) 借助手电筒对车身漏烟位置进行排查,记录漏点位置并拍照留存。

9) 结束测试。

一般建议在总装阶段进行客车气密性测试,具体原因如下:①涂装阶段的钣金车身需要密封的位置过多,在玻璃窗口、地板型钢及侧围立柱等部位难以实现有效密封;②钣金阶段的许多泄漏点在总装后不存在泄漏问题;③总装阶段可分别测试由车身结构及工艺缺陷导致的整车气密性问题,以及由车身开闭件选型和调试导致的部件气密性问题。

2.4 实车应用效果

抽取不同订单批次的10辆某款11 m旅游客车,按照上述流程进行测试。在设备最大功率工作状态下,测试压差均无法达到125 Pa,但均不小于75 Pa;在75 Pa测试压差下的泄漏量均值为265 L/s。在泄漏量测试完成后,采用烟雾试验进行漏点排查,确定了主要泄漏位置为驾驶区管线过孔、侧围地板角钢背阳角、后围空调高低压管下管筒、通立柱。

通过对抽样车辆进行3轮优化,从设计、工艺及施工上完成53项改进,实现了该车型的气密性提升目标(在设备最大功率状态下,车内外气压压差均不小于125 Pa);车辆在75 Pa压差下的泄漏量降至163 L/s,降幅达38.49%。将53项优化措施在其他旅游客车上推广应用,经抽样测试验证,优化后的下线车辆泄漏量普遍下降30%以上。

优化后的该款11 m旅游客车车型的气密性水平相较冲压钣金车身的车型仍有较大差距。客车结构的缺陷决定了其气密性提升是一项需要持续进行的工作。除已完成的优化项目外,当前仍面临以下问题:①存在如通立柱、过管筒推拉窗等泄漏贡献大且难以根治的固有漏点;②开闭件的装配调试质量一致性不足;③部分外购件的质量有待提升。后续将针对上述难点进行优化。

3 结束语

本文提出了一种客车气密性测试方法并设计了配套设备。所设计的设备具有成本低、移动方便、可靠性高和操作简单等优点,为客车气密性的高效测试与准确评价提供了基础,并为整车气密性优化提供了

依据。

参考文献:

- [1] 刘永博, 王微, 詹国臣, 等. 客车车身结构精细化设计[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(4): 35-39.
- [2] 王俊楠. 新能源客车车身的结构优化[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2022.
- [3] 丁振森. 大客车车身结构轻量化及生命周期评价研究[D]. 西安: 长安大学, 2019.
- [4] 陈可胜. 整车气密性开发[J]. 内燃机与配件, 2019(17): 50-52.
- [5] 刁义宁. 重型商用车驾驶室密封性研究与应用[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2016.
- [6] 中国汽车工业协会. 乘用车气密性试验方法: T/CAAMTB 247—2024[S]. 2024: 12.
- [7] 李荣喜, 罗克体, 韦祖国, 等. 某型 SUV 白车身气密性分析及优化[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(2): 157-160.
- [8] 王志亮. 汽车 NVH 性能设计与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021: 107-110.
- [9] 易姣. 差压气密性检测仪的研制及其优化补偿方法研究[D]. 杭州: 中国计量学院, 2014.
- [10] 赵鑫. HWS15 型发动机缸盖气密性检测装置的研发[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.

《客车技术与研究》征稿启事

《客车技术与研究》创刊于 1979 年, 双月刊, 是国内外公开发行的学术期刊。本刊由重庆市交通局主管, 重庆交通科研设计院、重庆车辆检测研究院和中国公路学会客车分会主办, 现已被国内外多家检索机构收录, 包括中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据——数字化期刊群、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、中国学术期刊综合评价数据库、JST 日本科学技术振兴机构数据库(日)(2025)等, 是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

本刊主要刊登国家科技政策及国内外客(汽)车技术等方面的学术论文, 包括科研成果和实践经验, 标准, 新技术、新工艺及新材料, 客车市场, 客车检测, 使用和维修, 经营与管理等。欢迎相关领域的专家、学者赐稿。

本刊关注的方向:

- | | | |
|------------|-----------|----------|
| ◆智能网联客(汽)车 | ◆新能源客(汽)车 | ◆节能与排放 |
| ◆安全与碰撞 | ◆振动与噪声 | ◆新工艺与新材料 |
| ◆客(汽)车电子 | ◆设计与计算 | ◆标准解读 |

E-mail: btrcq@163.com

Q Q: 1711088150

微信公众号: 客车技术与研究

网址(在线投稿): <http://bus-in.cmvrr.com.cn/>(中交客车网)

地址、电话: 重庆市高新区新金大道 9 号 023-62653044

