

基于正负压循环试验的汽车燃油箱结构强度分析

郑忠辉, 刘晓东, 邓德军

中汽零部件技术天津有限公司, 天津

收稿日期: 2024年3月19日; 录用日期: 2024年4月23日; 发布日期: 2024年4月30日

摘要

燃油箱是汽车燃油供给系统中的关键零部件, 燃油箱的结构安全对整车安全的影响至关重要。基于两种正负压循环试验方法, 分别对两款塑料燃油箱进行正负压循环试验, 获得了燃油箱不同位置的实测形变量。结果表明, 燃油箱的隔热板和燃油泵上下安装面及其附近位置是燃油箱强度最危险点, 实测形变量接近最大允许形变量。燃油箱侧面普遍存在大形变量, 也是燃油箱强度的重要薄弱位置和危险点。在进行燃油箱的优化设计时须采取相应手段提高危险点位置的结构强度, 以防出现燃油箱形变量过大导致开裂漏油的情况发生。本研究通过正负压循环试验实测燃油箱多个位置的形变量, 为燃油箱结构强度的优化设计提供参考依据, 有效缩短开发周期。

关键词

燃油箱, 正负压循环, 形变量, 结构强度

Structural Strength Analysis of Automobile Fuel Tanks Based on Positive and Negative Pressure Cycle Tests

Zhonghui Zheng, Xiaodong Liu, Dejun Deng

CATARC Component Technology Tianjin Co., Ltd., Tianjin

Received: Mar. 19th, 2024; accepted: Apr. 23rd, 2024; published: Apr. 30th, 2024

Abstract

The fuel tank is a key component in the fuel supply system, and the structural safety of the fuel

tank is crucial for the vehicle safety. Based on two positive and negative pressure cycle test methods, positive and negative pressure cycle tests were conducted on two types of plastic fuel tanks, and measured deformation at different positions of fuel tank were obtained. The results show that the insulation panel of the fuel tank and the upper and lower installation surfaces of oil pump are the most dangerous points, and the measured deformation is close to the maximum allowable deformation. There is generally large deformation on the side of fuel tanks, which is also an important weak position and dangerous point of the fuel tank strength. When optimizing the design of the fuel tank, corresponding measures must be taken to improve the structural strength of dangerous points to prevent the fuel tank from cracking and leaking oil due to excessive deformation. This study measured the deformation at multiple positions of fuel tank through positive and negative pressure cycle tests, providing a reference for the optimal design of the structural strength of the fuel tank, and effectively shortening the development cycle.

Keywords

Fuel Tank, Positive and Negative Pressure Cycle, Deformation, Structural Strength

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

燃油箱作为储存和供应燃料的容器，是燃油供给系统的关键部件，也是汽车重要零部件之一[1]。燃油箱的结构安全对整车的安全性有重要的影响，世界各国均对燃油箱的结构安全性能进行了严格的要求。我国的汽车燃油箱必须满足 GB18296-2019《汽车燃油箱及其安装的安全性能要求和试验方法》。根据过去多年的燃油箱设计及检测结果来看，燃油箱的主要失效风险为燃油箱的振动耐久性和耐压性[2]。经过大量的试验测试和优化分析，燃油箱的振动耐久性已经得到了显著的提高[3]。耐压性反而没有得到足够的重视，李志敏基于 ABAQUS 软件对燃油箱系统进行了内压变形模拟研究，得到了燃油箱内的形变量分布，并采用试验的手段对模拟结果进行了验证[4]。徐靖同样是利用 ABAQUS 软件对燃油箱的结构强度进行了分析，计算了金属燃油箱的最大应力值和最大形变量[5]。Niiyama 采用有限元方法对卡车燃油箱进行了耐压性分析，并根据计算结果对燃油箱结构进行了优化[6]。杨过通过有限元分析模型和试验相结合对汽车塑料燃油箱的内部承受极限正压力时的最大形变量和应力进行了分析[7]。有限元软件能够高效地对燃油箱的结构强度进行研究，但与试验实测结果相比其准确性有限。本文基于正负压循环试验，对汽车燃油箱的形变量和结构强度进行研究，探讨燃油箱的耐压性危险位置，为燃油箱的优化设计和制造提供参考依据。

2. 燃油箱

试验燃油箱为塑料燃油箱，主要的材料为高密度聚乙烯(high density polyethylene, HDPE)，密度为 945 kg/m³，弹性模量为 340 MPa，泊松比为 0.4。选择同一公司两款不同的燃油箱进行正负压循环试验，分别记为燃油箱 A 和燃油箱 B，燃油箱 A 的额定容积为 52 L，燃油箱 B 的额定容积为 60 L。为了保证试验测量数据的科学性和有效性，每款燃油箱又分别采用三个完全一样的燃油箱进行正负压循环试验，分别命名为燃油箱 A1、燃油箱 A2、燃油箱 A3、燃油箱 B1、燃油箱 B2 和燃油箱 B3，即同样的试验重复三次，有效地消除了试验偶然性的影响。燃油箱结构及形变量测试点位置如图 1 和图 2 所示。

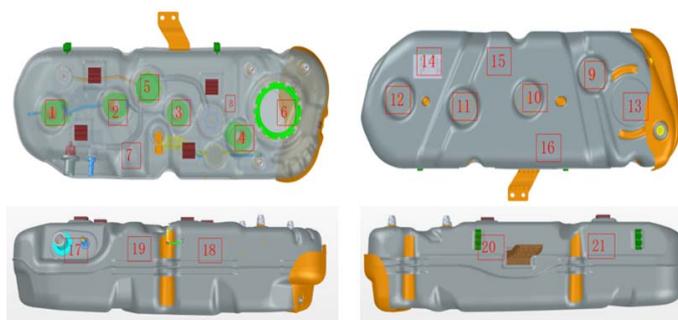


Figure 1. Fuel tank A and schematic diagram of deformation test point
图 1. 燃油箱 A 及形变量测试点位置示意图



Figure 2. Fuel tank B and schematic diagram of deformation test point
图 2. 燃油箱 B 及形变量测试点位置示意图

3. 正负压循环试验

在进行燃油箱正负压循环试验前须对燃油箱进行气密性检测，检测方法为将油箱全部没入水中，密封所有进出口，加油口与真空泵连接，向燃油箱内加压到 35 kPa 后停止，保压 60 s 无气泡产生，气密性无问题再进行燃油箱正负压循环试验。根据试验要求，向燃油箱内加注 100% 燃油箱额定容积的水，然后将燃油箱模拟装车形式固定在试验装置上，放入环境仓内，在燃油箱最高处打孔连接压力交变试验台，密封其他进出口，使用深度尺测量燃油箱不同测试点的深度基准。设置环境仓内温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，等待环境仓内温度达到目标温度并稳定后，对燃油箱进行正负压循环试验。为了更加准确地检测燃油箱耐压性能和燃油箱结构强度，采用两种不同正负压循环试验方法进行试验，正负压循环试验方法 1 步骤如下：

- a) 0 — 40 kPa — 0，每分钟 1 个循环，循环 10 次后停 5 分钟；
- b) 0 — -15 kPa — 0，每分钟 6 个循环，循环 60 次后停 5 分钟；
- c) 7.5 kPa — 12.5 kPa — 7.5 kPa，每分钟 6 个循环，循环 360 次后停 5 分钟；

重复上述循环试验步骤 80 次，使用深度尺分别在试验开始前、循环 25 次 40 kPa、循环 50 次 -15 kPa 和循环 75 次 40 kPa 条件下测量燃油箱不同测试点位的深度，试验前后该测试点位深度的差值即为该测试点位的形变量，测量燃油箱形变量时的环境温度为常温。

正负压循环试验方法 2 的步骤为：0 — 40 kPa — 0 — -15 kPa — 0，每分钟 4 个循环，共循环 10,000 次，分别在循环 5000 次常温 40 kPa、循环 5000 次常温 -15 kPa 和循环试验结束后常温常压条件下测量燃油箱不同测试点位的形变量。

4. 结果与分析

4.1. 燃油箱 A

燃油箱 A 在试验过程中无泄漏、开裂现象，有轻微的变形，燃油箱 A 的三个燃油箱正负压循环试验的形变量测试结果如图 3 所示，因为形变量测试点较多，为了便于查看和分析，图中省略了形变量较小的试验结果，只列出了形变量较大的测试点。形变量的正负号代表形变位移方向，向外变形为负数，向内变形为正数。从图中可以看出，在三个燃油箱的正负压循环试验中，测试点位 13、14、17、19、20 和 21 在两个油箱中均出现了较大的形变量，为燃油箱强度危险点。测试点位 13 是燃油泵的下安装面，测试点位 17 为加油管与燃油箱连接处，测试点位 19、20 和 21 均位于燃油箱的侧壁，表面弯曲度与燃油箱上下面相比较，耐压性也相对较差。此外，测试点位 6 和 18 在三个燃油箱的测试结果中均显示出较大的形变量，最大形变量分别为 3.66 mm 和 8.18 mm，分别对应燃油泵的上安装面和油箱侧面。从图中可以看出燃油泵上下安装面的最大形变量分别为 3.66 mm 和 4.34 mm。按照要求，燃油箱上燃油泵上下安装面和隔热板处的最大允许残留形变量为 5 mm，燃油箱上其他区域在各个方向上最大允许残留形变量为 10 mm。对比形变量测试结果可以发现测试燃油箱的形变量满足要求，但燃油泵上下安装面(测试点位 6 和 13)和燃油箱侧面(测试点位 18)的实际形变量接近最大允许形变量，为燃油箱强度最危险点，在燃油箱的优化设计时须采取相应优化手段提高这两个位置的强度，包括增加危险点位置壁面厚度和加强筋等，以防出现燃油箱形变量过大导致开裂漏油的情况发生。

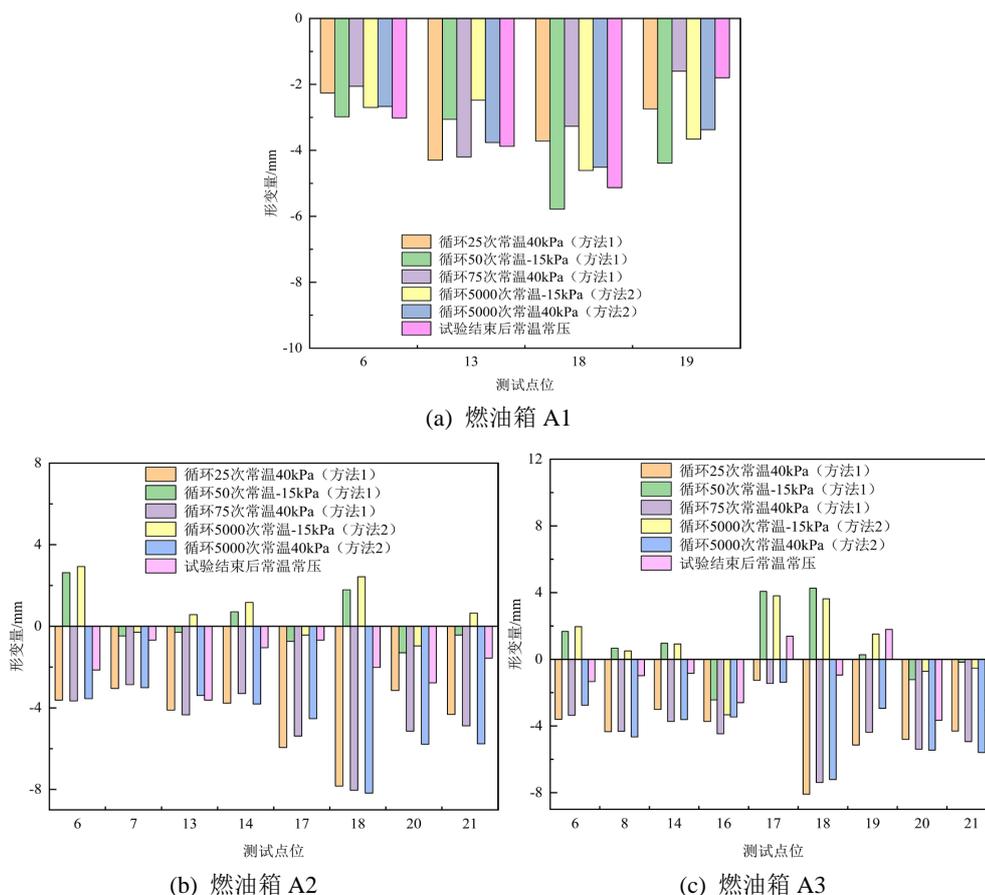


Figure 3. Deformation test results of fuel tank A
图 3. 燃油箱 A 的形变量测试结果

4.2. 燃油箱 B

燃油箱 B 在试验过程中无泄漏、开裂现象，有轻微的变形，燃油箱 B 的三个燃油箱正负压循环试验的形变量测试结果如图 4 所示。从图中可以看出，在三个燃油箱的正负压循环试验中，测试点位 8、9、10、11、12、16、19、20 和 22 等多个位置均显示出较大的形变量，为燃油箱强度最危险点。其中，测试点位 8 为燃油泵的上安装面，最大形变量达到了 4.35 mm，测试点位 20 为隔热板处，最大形变量为 4.38 mm，已经非常接近 5 mm 的最大允许残留形变量，存在潜在的强度失效风险，这要引起足够的重视，这两个位置可以通过增加壁面厚度来降低形变量，显著提高燃油箱结构强度。测试点位 9 为燃油泵的上安装面附近，最大形变量为 9.18 mm，测试点位 9、10、11、12、16、19 和 20 均为燃油箱侧面，也具有较高的形变量，最大形变量分别为 9.18 mm、9.05 mm、8.78 mm、7.16 mm、8.14 mm、7.96 mm 和 8.91 mm。另外，在三个燃油箱的正负压循环试验中，测试点 13、14 和 17 在两个燃油箱中均出现了较大的形变量，为燃油箱强度危险点，均分布在燃油箱侧面，最大形变量分别为 8.35 mm、8.45 mm 和 8.86 mm。可以看出燃油箱隔热板和燃油泵上安装面及其附近位置是燃油箱强度最危险点，燃油箱侧面普遍存在大形变量，也是燃油箱强度的重要薄弱位置，可以通过增加危险点位置壁面厚度和加强筋等手段提高燃油箱结构强度，显著提高燃油箱及整车安全性。

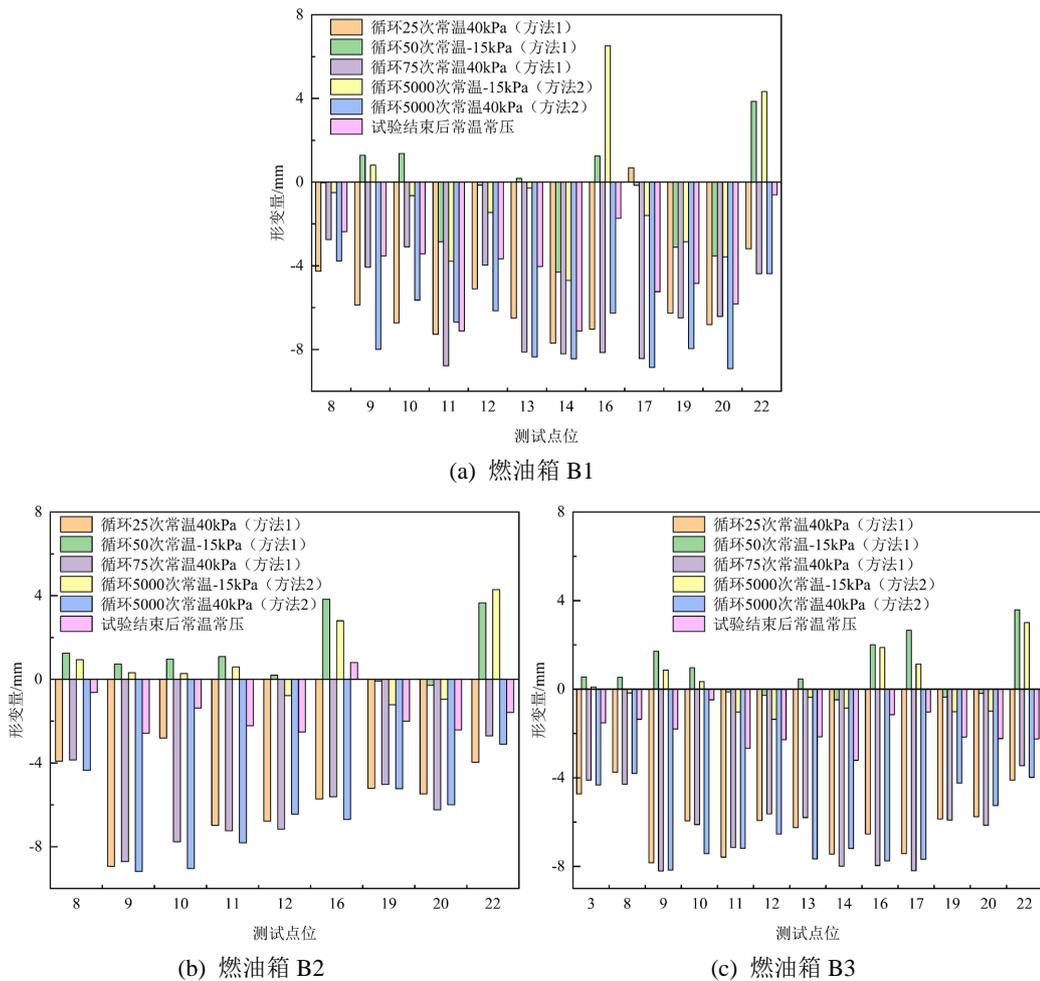


Figure 4. Deformation test results of fuel tank B
图 4. 燃油箱 B 的形变量测试结果

5. 结论

基于两种不同的正负压循环试验方法,对两种燃油箱的形变量和结构强度进行测量和分析。结果表明,燃油箱 A 和燃油箱 B 在试验过程中均无泄漏、开裂现象,有轻微的变形。燃油箱 A 在燃油泵上下安装面和燃油箱侧面具有较高的形变量,实测形变量接近最大允许形变量,为燃油箱强度危险点。燃油箱 B 的隔热板和燃油泵上安装面及其附近位置是燃油箱强度最危险点,最大形变量分别为 4.38 mm 和 9.18 mm。燃油箱 B 的侧面普遍存在大形变量,也是燃油箱强度的重要薄弱位置。可以看出,两款燃油箱在隔热板和燃油泵上下安装面处均存在最大的形变量,已经接近该位置的最大允许形变量,有潜在的强度失效风险,这要引起足够的重视,两款燃油箱侧面也均存在较大的形变量。在燃油箱的优化设计时须采取相应手段提高危险点位置的结构强度,可以通过增加危险点位置壁面厚度和加强筋等手段提高燃油箱结构强度,显著提高燃油箱及整车安全性。

参考文献

- [1] 孙钊, 吴子文. 基于有限元的汽车燃油箱结构设计及分析[J]. 巢湖学院学报, 2018, 20(3): 58-63.
- [2] 尹辉俊, 孙钊, 刘媛媛, 等. 某乘用车油箱的结构强度研究[J]. 机械设计与制造, 2015(1): 198-200.
- [3] 孙钊, 王玉勤, 尹辉俊, 等. 汽车燃油箱振动开裂原因分析及改进[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2018, 20(2): 90-94.
- [4] 李志敏, 陈学宏, 王帅, 等. 基于 ABAQUS 的燃油箱系统内压变形模拟研究[J]. 汽车零部件, 2022(4): 58-60.
- [5] 徐靖, 吕兆平, 唐基荣. 基于 ABAQUS 的汽车燃油箱的结构强度分析[J]. 装备制造技术, 2014(9): 76-77+80.
- [6] Niiyama, A. (2003) Cumulative Fatigue Damage Analysis of Fuel Tank of Light Truck and Structure Optimization. *SAE Paper*, 24, 53-57.
- [7] 杨过, 杨杰, 陈学宏, 等. 汽车塑料燃油箱耐压性试验及有限元分析[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2020, 23(2): 69-72.