

汽车燃油蒸发排放控制系统检测方法研究

张郁森¹, 吴明², 张耀轩³

(1. 开平市恒量汽车检测站, 广东 江门 529328; 2. 中山市道路运输车辆综合性能小机检测站, 广东 中山 528415;

3. 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 为实施汽车燃油蒸气泄漏检测, 推导相同时间内压力差与单位体积泄漏量的关系式, 采用国家标准规定的流量法确定油箱加油口和油箱盖在标准状态下每分钟每升体积的泄漏速率 δ 限值, 设定取样终止点的燃油蒸气气压 P_2 , 测量该点温度 t_2 , 用 δ 限值换算得到终止点状态的泄漏量和对应的气压差, 得到取样起始点的气压 P_1 。检测时, 从 P_1 点开始取样, 以取样终止点的检测气压 P_j 与 P_2 比较判断泄漏合格与否, 统一国家标准压力法与流量法的检测, 从而消除燃油蒸气不同温度和体积对检测的影响。

关键词: 汽车; 燃油蒸气; 燃油蒸发排放控制系统; 检测方法

中图分类号: U467.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0008-03

为防止油箱燃油蒸气外溢污染大气, 汽油车安装有油箱燃油蒸发排放控制系统, 油箱上通常有蒸气阀和活性碳罐贮存装置等, 油箱盖上有空气阀。若阀体密封性下降, 将产生较大燃油蒸气泄漏。而大多数车辆维护和保养容易忽略这种泄漏, 有必要实施燃油蒸发检测。

GB 18285—2018《汽油车污染物排放限值及测量方法(双怠速法及简易工况法)》附录 E 规定油箱加油口检测采用压力法, 油箱盖检测采用压力法或流量法。正如 GB 18285—2018 第 E.3.1.2 条所述, 燃油蒸气温度变化会影响压力测量结果, 燃油蒸气的体积会影响压力损失测量。为消除这些检测误差, 在统一标准状态下进行等效检测和评价, 分析和探讨燃油蒸气泄漏检测方法。

1 相同时间内压力差与泄漏速率的关系

汽车油箱燃油蒸气的气压不大、温度不高, 在泄漏过程中气压和温度变化较小, 可设定燃油蒸气压缩系数为 1, 其状态变化近似为理想气体状态变化, 在较短取样时间内的燃油蒸气温度变化很小, 可把燃油蒸气状态变化近似作为等温气体状态变化。

测量检测环境状态的温度 t_0 、气压 P_0 。在加压后燃油蒸气泄漏的气压下降过程中, 按 GB 18285—2018 规定取样时间为 10 s, 取样起始点时刻状态的燃油蒸气体积为 V_1 、气压为 P_1 、温度为 t_1 , 取样终止点时刻状态的体积为 V_2 、气压为 P_2 、温度为 t_2 , 泄漏体积 $\Delta V = V_2 - V_1$ 。设定 $t_1 = t_2$, 对于取样起

始点和终止点的燃油蒸气状态, 按等温气体状态方程, 有 $V_1 P_1 = V_2 P_2$, 可得气压差 $\Delta P = P_1 - P_2 = P_2 V_2 / V_1 - P_2 = [(V_1 + \Delta V) / V_1 - 1] P_2 = P_2 \Delta V / V_1$ 。由此可知, 当 ΔP 和 P_2 为定值时, ΔV 与 V_1 成正比, 即绝对泄漏量 ΔV 与燃油蒸气 V_1 成正比, ΔV 受 V_1 的影响, 难以测量 V_1 , 加上泄漏量与时间成正比, 无法用 ΔV 来评价。 $\Delta V / V_1$ 是单位体积燃油蒸气的相对泄漏量, 可用检测规定时间内标准状态每升体积的泄漏速率来评价, 这样可无需测量 V_1 。当 P_2 为已知值时, $\Delta V / V_1$ 与 ΔP 成正比, ΔP 与 P_2 都是相同的气压单位, $\Delta V / V_1$ 为无量纲系数, 在计算时 ΔV 与 V_1 单位相同。

为消除不同燃油蒸气温度对检测的影响, 评价限值应是标准状态下泄漏速率, 将在规定时间内检测的不同压力和温度下泄漏量校正到标准状态下泄漏量才能准确评价。按 GB 18285—2018 规定取样时间区间为 10 s, 标准状态下燃油蒸气每升体积泄漏速率限值 $\delta = V_b / 10$ s。设定 P_2 为已知值, 标准状态气压为 P_b 、温度为 t_b , 所检测燃油蒸气取样终止点状态的每升体积的泄漏量为 V_{2b} , 按气体状态方程, 有:

$$V_b P_b / (273 + t_b) = V_{2b} P_2 / (273 + t_2) \quad (1)$$

式(1)中除 V_{2b} 为未知量外, 其他参数均为测量值和已知值, 可计算得到 V_{2b} 。 δ 限值对应的气压差 $\Delta P = P_2 V_{2b}$, $P_1 = P_2 + P_2 V_{2b}$, 在统一标准状态下 δ 限值对应的 ΔP 随燃油蒸气温度的不同而变化, 从而消除燃油蒸气温度的影响。

2 实施国家标准限值的检测方法

油箱盖泄漏通常是直接排入大气造成污染。油箱泄漏通常是进入活性碳罐被活性炭吸附,发动机工作时燃油分子会被吸回发动机气缸,只是发动机不工作时,如果蒸气阀泄漏过大,容易造成活性炭过早失效或当活性炭吸附饱和后,剩余的泄漏量排入大气造成污染。

根据污染程度不同,通常可对加油口和油箱盖检测规定不同的 δ 限值,按GB 18285—2018的规定,油箱盖的 δ 限值偏小,加油口的 δ 限值偏大。由于 $\Delta V/V_1$ 与 ΔP 成正比,油箱盖的气压差偏小,加油口的气压差偏大。

2.1 油箱盖限值的等效压力差

按GB 18285—2018第E.3.4.2条,燃油蒸气体积 $V_1=1\ 000\text{ mL}$ 时的标准状态泄漏速率在压力差为 $7\ 500\text{ Pa}$ 条件下不应超过 $60\text{ mL}/(1\ 000\text{ mL}\cdot\text{min})=0.01\text{ mL}/(\text{mL}\cdot 10\text{ s})$,即每分钟标准状态泄漏量不大于 6% 。按 $\Delta P=P_2\Delta V/V_1$,设 $P_2=P_b+(7.5-1.1)=101.35+6.4=107.75\text{ kPa}$,对应气压差 $\Delta P=107.75\times 0.01=1.078\text{ kPa}=1\ 078\text{ Pa}$, $P_1=P_2+\Delta P=107.75+1.078=108.828\text{ kPa}$ 。

假设GB 18285—2018规定的“初始压力差为 $7\ 000\text{ Pa}$,在接下来的 10 s 内,压力损失不应超过 $1\ 500\text{ Pa}$ ”是在标准状态下的要求, $\Delta P=P_2\Delta V/V_1$, $P_2=P_b+(7.0-1.5)=101.35+5.5=106.85\text{ kPa}$, $\delta=\Delta V/V_1=1.5/106.85=0.014\ 04\text{ mL}/(\text{mL}\cdot 10\text{ s})=84.24\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$,即每分钟标准状态下泄漏量不大于 8.42% 。相对流量法要求的误差为 $(84.24-60)/60=40.4\%$,压力法的泄漏速率限值过大,宜采用流量法检测的泄漏速率来评价。

2.2 油箱加油口压力差的等效 δ 限值

按GB 18285—2018第E.3.3.3条进行稳定性检测,假设也是在标准状态下要求的压力差, $\Delta P=1\ 250\text{ Pa}$, $P_1=101.35+3.5=104.85\text{ kPa}$, $P_2=104.85-1.25=103.6\text{ kPa}$, $\delta=\Delta V/V_1=1.25/103.6=0.012\ 066\text{ mL}/(\text{mL}\cdot 10\text{ s})=72.4\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})\approx 72\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$ 。

根据不同的污染程度要求,按国家标准,标准状态下油箱盖的 δ 限值为 $60\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$,加油口的 δ 限值允许增大 20% ,为 $1.2\times 60=72\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$ 。以每分钟标准状态燃油蒸气每升体积泄漏速率限值 δ 来检测和评价,定量且直观。

3 以国家标准泄漏速率限值 δ 来检测评价

3.1 检测评价方法

测量检测环境状态的温度 t_0 、气压 P_0 ,取样时间为 10 s ,标准状态气压 $P_b=101.35\text{ kPa}$,温度 $t_b=23\text{ }^\circ\text{C}$ 。检测时以 P_1 点作为取样起始点时刻,设取样终止点时刻状态的气压为 P_j 、每升体积的泄漏量为 V_{jb} ,气压差 $\Delta P_j=P_jV_{jb}$, $V_{jb}=\Delta P_j/P_j$,限值的气压差 $\Delta P=P_2V_{2b}$, $V_{2b}=\Delta P/P_2$ 。当 $P_j\geq P_2$ 时, $\Delta P_j/P_j\leq \Delta P/P_2$,则 $V_{jb}\leq V_{2b}$,检测标准状态下燃油蒸气每升体积泄漏速率 $\delta_j\leq \delta_{\text{限值}}$,检测合格;反之,当 $P_j<P_2$ 时, $\delta_j>\delta_{\text{限值}}$,检测不合格。

当所检油箱或油箱盖的气压差 $\Delta P_j=P_jV_{jb}$ 时,得到 $V_{jb}=\Delta P_j/P_j$,按气体状态方程, $V_bP_b/(273+t_b)=V_jP_{jb}/(273+t_j)$ (P_j 、 t_j 分别为检测所得取样终止点时刻状态的燃油蒸气气压、温度),从而得到检测标准状态下燃油蒸气每升体积泄漏量 V_b 和泄漏速率 δ_j 。

3.2 油箱加油口泄漏检测举例

$\delta_{\text{限值}}=72\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$ 。检测环境气压 $P_0=101.1\text{ kPa}$,燃油蒸气温度 $t_2=t_1=45\text{ }^\circ\text{C}$,取样终止点时刻气压 $P_2=P_0+(3.5-1.2)=101.1+2.3=103.4\text{ kPa}$,根据式(1), $0.012\times 101.35/(273+23)=V_{2b}\times 103.4/(273+45)$,得 $V_{2b}=0.012\ 636$ 。 $\delta_{\text{限值}}$ 对应检测气压差 $\Delta P=P_2V_{2b}=103.4\times 0.012\ 636=1.307\text{ kPa}$, $P_1=103.4+1.307=104.707\text{ kPa}$,得到该燃油蒸气温度和气压下等效 δ 对应的 P_1 、 P_2 。

以所检油箱的燃油蒸气气压 $P_1=104.707\text{ kPa}$ 点作为取样起始点时刻,取样终止点时刻的燃油蒸气气压 $P_j=103.5\text{ kPa}>P_2=103.4\text{ kPa}$,检测合格。

$V_{jb}=\Delta P_j/P_j=(104.707-103.5)/103.5=0.011\ 662$,根据式(1), $V_b\times 101.35/(273+23)=0.011\ 662\times 103.5/(273+45)$,得 $V_b=0.011\ 085\text{ mL}/(\text{mL}\cdot 10\text{ s})=66.54\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})<\delta_{\text{限值}}=72\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$,检测合格。

3.3 油箱盖泄漏检测举例

$\delta_{\text{限值}}=60\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{min})$ 。检测环境气压 $P_0=101.8\text{ kPa}$,燃油蒸气温度 $t_2=15\text{ }^\circ\text{C}$,取样终止点时刻气压 $P_2=P_0+(7.0-1.0)=101.8+6.0=107.8\text{ kPa}$,根据式(1), $0.01\times 101.35/(273+23)=V_{2b}\times 107.8/(273+15)$,得 $V_{2b}=0.009\ 148$ 。 $\delta_{\text{限值}}$ 对应气压差 $\Delta P=P_2V_{2b}=107.8\times 0.009\ 148=0.986\ 1\text{ kPa}$, $P_1=107.8+0.986=108.79\text{ kPa}$ 。从 P_1 开始测

量, $P_j = 107.7 \text{ kPa} < P_2 = 107.8 \text{ kPa}$, 检测不合格。

$V_{jb} = \Delta P_j / P_j = (108.79 - 107.7) / 107.7 = 0.010121$, 根据式(1), $V_{jb} \times 101.35 / (273 + 23) = 0.010121 \times 107.7 / (273 + 15)$, 得 $V_{jb} = 0.011054 \text{ mL} / (\text{mL} \cdot 10 \text{ s}) = 66.32 \text{ mL} / (\text{L} \cdot \text{min}) > \delta_{\text{限值}} = 60 \text{ mL} / (\text{L} \cdot \text{min})$, 检测不合格。

4 检测操作步骤

检测气压小于蒸气阀的设计开启气压、大于空气阀的设计开启气压, 测量检测环境气压 P_0 , 从油箱口对油箱的燃油蒸气加压, 对油箱盖和附加试验油箱的燃油蒸气加压, 达到一定气压后断开加压源, 使油箱或油箱盖形成密闭的空间, 加压后燃油蒸气温度为 t_1 。可设 $t_2 = t_1$ 、 P_2 为已知值, 先计算所检燃油蒸气限值 δ 等效的对应气压差 ΔP , 计算得到 P_1 , 记录气压下降检测过程中燃油蒸气同一时刻的时间、气压、温度。当 t_2 与 t_1 相差较大时, 可按 t_2 重新计算 δ 等效的对应气压差 ΔP 和 P_1 , 从气压等于 P_1 点开始取样计时, 记录 10 s 后的气压值 P_j 。若 $P_j \geq P_2$, 则检测合格; 若 $P_j < P_2$, 则检测不合格。该检测方法准确、简单、快捷, 监管只需录像取样时间区间的气压表、温度表及计算机记录的过程数据, 辅以现场加压连接管路录像即可。

5 结语

采用每分钟标准状态燃油蒸气每升体积泄漏速

率限值 δ 来检测和评价, 标准状态消除了燃油蒸气温度变化对检测的影响, 每升体积泄漏消除了燃油蒸气体积对检测的影响。不考虑燃油蒸气状态采用统一的气压差测量, 会造成有差异的不同检测和评价结果。而采用统一的标准状态限值, 随燃油蒸气状态不同计算不同的气压差, 可大幅提高检测和评价的准确性。

参考文献:

- [1] 袁银南, 刘士华, 何仁, 等. 汽油车燃油蒸发污染物活性碳脱附吸附性能试验台选型研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(4): 99-102+107.
- [2] 朱正德. 泄漏检测中的流量法及其适用性分析[J]. 上海计量测试, 2010, 37(1): 26-29.
- [3] 中国环境科学研究院. 汽油车污染物排放限值及测量方法(双怠速法及简易工况法): GB 18285—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [4] 冯彧, 钟建伟, 邹洪波. 车辆燃油蒸发系统泄漏诊断试验研究[J]. 公路与汽运, 2018(2): 13-16.
- [5] 郭承毅. 车用乙醇汽油的蒸发排放试验研究[J]. 客车技术与研究, 2009(3): 45-46+60.
- [6] 张伦. 燃油蒸发排放控制系统脱附性检测研究与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [7] 周虎军. 汽车燃油系统的气密性和通气性检测[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.

收稿日期: 2021-02-09

(上接第7页)

成了改进目标。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国公安部. 机动车运行安全技术条件: GB 7258—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [2] 公安部道路交通安全管理标准化技术委员会. 机动车运行安全技术条件: GB 7258—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [3] The Automotive Research Association of India. Automotive vehicles-safety belt anchorages-specification: IS 15139:2002[S]. The Automotive Research Association of India, 2002.
- [4] 王晓杰, 张慧卿, 安刚. 基于整车布置的安全带舒适性分析[J]. 公路与汽运, 2018(2): 5-7.
- [5] 覃国周. 汽车座椅及座椅安全带固定点出口认证测试

[J]. 客车技术与研究, 2010(2): 19-22.

- [6] 王力, 杨蔓, 郑颢, 等. 基于 ABAQUS 的汽车座椅安全带固定点强度分析[J]. 客车技术与研究, 2013(2): 52-54.
- [7] 魏瑞, 袁海龙. 某车型安全带固定点分析及优化[J]. 汽车实用技术, 2018(23): 213-215.
- [8] 郭晶晶, 钟利萍, 郭鹏程, 等. 汽车座椅抖动及安全带固定点强度改善研究[J]. 现代制造工程, 2019(8): 50-55.
- [9] 杜子学, 文孝霞. 汽车安全带固定点强度分析与优化[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2004, 23(5): 99-101+127.
- [10] 付景顺, 路家傲. 汽车安全带固定点强度分析与改进[J]. 机电产品开发与创新, 2015, 28(6): 61-63.

收稿日期: 2021-02-25