

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.01.002

# 基于 Jeep 指南者的高效空调节能效果试验研究

彭作, 汪俊彪, 胡渊博

(广汽菲亚特克莱斯勒汽车有限公司, 湖南 长沙 410100)

**摘要:** 国家对乘用车的节能要求日益严格,传统燃料乘用车平均油耗下降趋势放缓,循环外的节能技术成为乘用车节能技术的重要发展方向,《乘用车循环外技术/装置节能效果评价方法》系列标准也已在 2021 年实施。汽车高效空调技术是循环外节能技术的重要分支。为研究乘用车高效空调法规的适应性,文中以 Jeep 指南者车型为研究对象,通过试验测试不同自动空调温度设置下中国轻型车测试循环节能值。试验结果表明,自动空调温度设置越低,车辆油耗越高;21℃是指南者车型高效空调试验最佳空调设置温度;指南者车型具有良好的空调节能效果,其节能值为 0.14 L/(100 km);试验中空调内外循环风门切换会影响试验结果,空调风门策略也是高效空调油耗试验的重要影响因素。

**关键词:** 汽车;油耗试验;节能效果;高效空调;轻型汽车

**中图分类号:** U461.851

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2023)01-0005-03

至 2021 年底,中国汽车保有量达 3.95 亿辆,其中乘用车保有量 3.02 亿辆,占 76.5%,2022 年乘用车终端预测销量将达到 2 254 万辆,乘用车的节能减排是汽车节能减排的重中之重。2021 年国产传统能源乘用车在新标欧洲循环测试(NEDC)工况下油耗从 2020 年的 6.39 L/(100 km)小幅增长至 6.41 L/(100 km),合资车企传统能源乘用车油耗与 2020 年的 6.20 L/(100 km)持平,传统能源汽车企业油耗优化研发难度逐步增加。按照《汽车产业中长期规划》,中国乘用车终端销售量预计 2025 年将达到 3 500 万辆左右,要求乘用车新车平均燃料消耗量降到 4.0 L/(100 km),传统燃料乘用车油耗法规要求日趋严苛。

在节能减排的发展方向上,国家除鼓励发展新能源汽车和混合动力汽车外,循环外技术(OCT)是目前汽车燃油经济性技术发展路径,其包括汽车起停装置、汽车空调、能量回收装置等技术或装置等。高效空调技术是循环外技术的重要组成部分,世界各国的高效空调燃料经济性评价体系在近 10 年逐步建立和完善。美国汽车空调燃料消耗量试验规程(AC17)于 2012 年正式发布,自 2015 年起逐步导入用于汽车空调燃料经济性评价和循环外技术鼓励措施;美国环境保护署和高速公路安全管理局发布的 MY2021-2016GHG 排放限值中,率先对节能空调技术进行碳排放奖励<sup>[1]</sup>。欧洲汽车空调燃料消耗量

试验规程于 2017 年起在欧洲新车型中实施<sup>[2]</sup>。结合中国实际情况,对比研究美国和欧洲相关标准及法规,同时依据可量化评价原则,2014 年中国汽车技术研究中心有限公司牵头组织国内外主要汽车生产企业、汽车空调生产企业、检测机构等近 70 家单位共同开展汽车空调节能技术相关标准制定,并于 2021 年 10 月发布 GB/T 40711.3-2021《乘用车循环外技术/装置节能效果评价方法 第 3 部分:汽车空调》,该标准将于 2022 年 5 月 1 日开始实施<sup>[3]</sup>。

循环外技术的应用与企业的燃油积分核算直接关联,2021 年 12 月工信部发布的第 339 号文件中指出,为鼓励先进节能减排技术应用,助力实现碳达峰、碳中和目标,在 2021-2023 年度企业平均燃料消耗量积分核算中,对配置高效空调的车型,其燃料消耗量可减免一定额度。据中国汽车技术研究中心有限公司的统计数据,考虑循环外技术的政策优惠,预计国产传统车的油耗将下降约 0.72%,合资企业传统车的油耗将下降约 1.04%<sup>[4]</sup>。汽车空调是整车第二大能耗源,其最大燃油消耗量占整车燃油消耗量的 37%<sup>[5]</sup>,研究高效空调法规的适应性可为燃油车企业带来巨大的积分收益和经济效益。

国内诸多汽车企业仍停留在基于全球轻型车测试循环(WLTC)的高效空调油耗试验研究阶段,基于中国轻型汽车行驶工况(CLT-C-P)的中国汽车行驶测试循环工况(CATC)的试验研究鲜有文献披

露<sup>[6-7]</sup>。针对新的循环工况,本文以装备高效空调的 Jeep 指南者车型为研究对象,通过试验确定该车型高效空调试验的最佳空调设置及节能值。

## 1 高效空调试验要求

汽车高效空调技术是指应用在车辆上的变排压缩机、高效冷凝器、同轴管等技术及智能通风策略<sup>[8]</sup>。高效空调试验针对装备高效空调的车辆进行,试验参照的法规主要有 GB/T 40711.3—2021《乘用车循环外技术/装置节能效果评价方法 第 3 部分:汽车空调》<sup>[3]</sup>、GB/T 38146.1—2019《中国汽车行驶工况 第 1 部分:轻型汽车》<sup>[7]</sup>、GB/T 19233—2020《轻型汽车燃料消耗量试验方法》<sup>[9]</sup>。

### 1.1 试验条件

进行高效空调试验的试验室和试验设备的技术特性应符合 GB/T 19233—2020 中 B.2.1 的规定;试验燃料应符合 GB/T 19233—2020 中 5.3 条的要求;试验车辆应满足 GB/T 40711.3—2021 的相关要求。

(1) 车辆准备。按照油耗试验申报规则,结合企业车型实际销量,选取一台装备变排压缩机、同轴管、高效冷凝器的空调系统试验车进行试验,车辆的基本参数见表 1。

表 1 试验样车的基本参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
轴距/mm	2 636	最大扭矩/(N·m)	250
压缩比	10.5	最大净功率/kW	127
整备质量/kg	1 500	发动机排量/mL	1 332
进气方式	涡轮增压	最大总质量/kg	1 875
变速器类型	7DDCT	轮胎规格	225/60 R17

(2) 温度测点布置。温度测点位置以主驾驶和副驾驶座椅为参考,位于座椅行程的中间,座椅靠背角度调节至从铅锤面向后倾斜 25°的位置(见图 1)。油耗试验过程中使用 K 型热电偶进行温度测量,并使用 IPTRONIC 数据采集仪以 1 Hz 的采样频率对数据进行记录。在正式试验之前检查温度测点的数据一致性,确认数据相对误差在±1%以内。

(3) 预处理。打开全部车窗,汽车空调空气循环开关处于外循环位置,风量调节开关置于中间位置,车辆以 90 km/h 等速行驶 20 min,使车辆和底盘充分预热。

(4) 浸车。关闭发动机及全部车窗,设置阳光

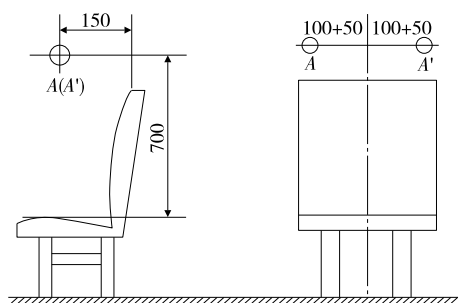


图 1 空调温度测点布置示意图(单位:mm)

模拟辐射强度( $850 \pm 45$ ) W/m<sup>2</sup>,车辆静置 30 min。

(5) 开启空调试验。保持所有车窗关闭,设置自动空调温度,采用最大风量吹面模式,空气循环开关置于内循环,关闭中后排出风口,进行 CLTC-P 循环试验。

(6) 关闭空调试验。关闭阳光模拟和空调,关闭所有车窗,进行 3 次 CLTC-P 循环试验。

### 1.2 试验方案

根据 GB/T 40711.3—2021,油耗试验全程需要对车内温度进行数据采集,采集的温度数据需满足温度判据才能认定为有效油耗值。为获取 Jeep 指南者车型的最优节能值及对应的空调设置温度,在 20~22 °C 空调温度设置区间,按照自动空调设定温度从低到高的顺序进行试验,试验工况见表 2。为校验试验结果的准确性,对每一工况开展 3 组试验,采用重复性检验的方法校验油耗结果的准确性。

表 2 高效空调试验工况

工况号	空调状态	空调设定温度/°C
A	开启	20.0
B	开启	21.0
C	开启	21.5
D	开启	22.0
E	关闭	—

## 2 试验结果分析

### 2.1 高效空调油耗结果有效性校验

高效空调油耗试验按 GB/T 19233—2020 进行,使用 AVL 尾气采集仪采集试验中尾气数据,采用碳平衡法计算试验油耗值,分别计算各工况下 3 组试验结果 95 百分位分布的标准差  $\sigma$  及最大值和最小值之差  $\Delta Q_{\max}$ 。每种工况油耗数据重复性检验判据为  $\Delta Q_{\max} < \sigma$ 。15 组试验油耗结果见表 3,表中结果均满足重复性检验判据,试验结果有效。取同一工况 3 次油耗结果的平均值作为对应工况的油耗值<sup>[3]</sup>。

表 3 试验油耗结果与重复性检验

单位:L/(100 km)

工况号	各组试验油耗			$\sigma$	$\Delta Q_{\max}$	油耗值
	组 1	组 2	组 3			
A	8.68	8.55	8.62	0.54	0.13	8.62
B	8.24	8.40	8.23	0.52	0.17	8.29
C	8.02	7.95	7.70	0.50	0.32	7.89
D	7.53	7.57	7.38	0.47	0.20	7.49
E	6.73	7.06	6.83	0.43	0.33	6.87

2.2 高效空调性能试验结果

空调性能试验判据为:1) 高效空调的温度设定应使试验循环开始至试验第 15 min 温度测点平均温度不超过 23 ℃;2) 试验第 15 min 至试验结束所有测点平均温度超过 23 ℃的累计时间不超过 10 s。

图 2 为不同空调工况下空调温度的时域数据,表 4 为平均温度测试结果。试验前 15 min 为空调快速制冷阶段,主要考核自动空调的制冷能力,A、B、C、D 工况第 15 min 测点最高温度分别为 18.7 ℃、20.7 ℃、22.9 ℃、23.3 ℃,A、B、C 工况满足判据要求;试验第 15 min 至试验结束时的温度保持阶段,考核汽车空调车内温度保持能力,空调开启的各种工况中温度测点温度超过 23 ℃的时间分别为 0、0、507 s、895 s,A、B 工况满足判据要求。综上,自动空调温度设置为 20 ℃、21 ℃,满足高效空调性能试验要求。

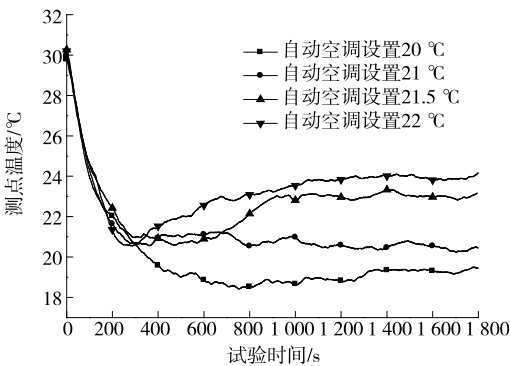


图 2 空调测点温度

表 4 平均温度测试结果

工况号	试验第 15 min 温度/℃	试验第 15 min 至试验结束超过 23 ℃的累计时间/s
A	18.7	0
B	20.7	0
C	22.9	507
D	23.3	895

分析试验数据,该车型各开启空调工况均能保证 300 s 内将测点温度降至 21 ℃左右,说明空调系统具有足够的制冷能力保证快速降温;之后 A、B 工况空调温度趋于稳定,但 C、D 工况空调温度逐渐升高,分别为 23 ℃和 24 ℃。分析空调系统数据,发现:1) 在 C 工况下,在空调的温度保持阶段,空调风门由内循环切换至外循环,此时如仍然保持原有空调制冷量,空调出风温度将上升,同时测点温度会出现较大上升(见图 2);2) 在 D 工况下,当乘员舱内温度降到阈值时,空调制冷策略调整为节能模式,系统降低空调制冷能力,乘员舱内温度升高。试验结果表明,目前该车型空调性能满足高效空调试验基本要求,但针对高效空调法规的要求,在自动空调温度保持、智能内外风门策略方面均可进一步优化。

进一步分析表 3 中试验油耗数据,A、B、C、D 工况的平均油耗值分别为 8.62 L/(100 km)、8.29 L/(100 km)、7.89 L/(100 km)、7.49 L/(100 km),表明自动空调设定的温度越高,试验油耗越低,试验油耗与空调设定温度成反比。因此,高效空调油耗测试工况的选择原则为:在满足空调性能试验判据的条件下,选择油耗低的空调设置工况。根据以上原则,21 ℃为该车型高效空调试验的最佳空调设置温度。

2.3 高效空调节能效果值计算

高效空调节能效果值选取车辆开启空调 B 工况和关闭空调 E 工况试验数据进行计算,其中车辆开启空调条件下燃料消耗量为 8.29 L/(100 km),车辆关闭空调条件下燃油消耗量为 6.87 L/(100 km)。汽车空调燃料消耗量、汽车空调燃料消耗量目标值、汽车空调节能效果试验结果、汽车空调节能效果值分别按式(1)~(4)计算。空调节能效果值为 0.14,计算结果见表 5。

$$F_{C,AC} = F_{C,ON} - F_{C,OFF} \tag{1}$$

式中: $F_{C,AC}$ 为汽车空调燃料消耗量[L/(100 km)]; $F_{C,ON}$ 为车辆开启空调条件下燃料消耗量[L/(100 km)]; $F_{C,OFF}$ 为车辆关闭空调条件下燃料消耗量[L/(100 km)]。

$$T_{AC} = 0.000\ 772M + 0.725 \tag{2}$$

式中: $T_{AC}$ 为汽车空调的燃料消耗量目标值[L/(100 km)]; $M$ 为整车整备质量(kg)。

$$F_{C,T} = (T_{AC} - F_{C,AC})K \tag{3}$$

式中: $F_{C,T}$ 为汽车空调节能效果试验结果[L/(100 km)]; $K$ 为使用比例系数,取 0.3。

(下转第 21 页)

- [7] DARBHA S, KONDURI S, PAGILLA P R. Benefits of V2V communication for autonomous and connected vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 20(5): 1954—1963.
- [8] MILANÉS V, SHLADOVER S E. Modeling cooperative and autonomous adaptive cruise control dynamic responses using experimental data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014, 48: 285—300.
- [9] 钱国敏, 凡俊生, 何春光, 等. 智能网联混行环境下交叉口时空资源配置优化[J]. 浙江大学学报(工学版), 2021, 55(6): 1019—1026.
- [10] 秦严严, 唐鸿辉, 杨金滢, 等. 混有网联车队的道路通行能力分析[J]. 北京交通大学学报, 2022, 46(1): 79—87.
- [11] 常鑫, 李海舰, 荣建, 等. 混有网联车队的高速公路通

- 行能力分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2020, 48(4): 142—148.
- [12] 杨晓光, 赵靖, 马万经, 等. 信号控制交叉口通行能力计算方法研究综述[J]. 中国公路学报, 2014, 27(5): 148—157.
- [13] WEBSTER F V. Traffic signal settings[R]. Road Research Technical Paper No. 39, Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory, 1958.
- [14] SHLADOVER S E, SU D Y, LU X Y. Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2324(1): 63—70.

收稿日期: 2022—03—11

(上接第 7 页)

$$F_{C,J} = \min[F_{C,T}, 0.2] \quad (4)$$

式中:  $F_{C,J}$  为汽车空调节能效果值[L/(100 km)]。

表 5 汽车高效空调节能效果 单位: L/(100 km)

项目	燃料消耗量	项目	燃料消耗量
$F_{C,ON}$	8.29	$T_{AC}$	1.88
$F_{C,OFF}$	6.87	$F_{C,T}$	0.14
$F_{C,AC}$	1.42	$F_{C,J}$	0.14

### 3 结论

以 Jeep 指南者车型为研究对象, 对其高效空调性能进行试验研究, 得出以下结论:

(1) 指南者车型配备了高效空调, 自动空调温度设置越低, 车辆油耗越高。21℃是高效空调试验的最佳空调设置温度。

(2) 空调设置温度影响燃料消耗量, 最佳的空调温度设置能保证车辆在燃料消耗量试验中取得理想的结果。该车型的空调燃料消耗量为 1.42 L/(100 km), 空调节能效果值为 0.14 L/(100 km)。

配备高效空调的指南者车型的节能效果明显。但试验中发现自动空调节能策略、智能内外风门策略与循环外法规的匹配性仍有提升空间, 下一步的研究将针对高效空调的智能风门策略优化展开。

### 参考文献:

- [1] 覃峰, 黄国强. 乘用车的高效空调技术及其效果评估

- [J]. 制冷与空调, 2018, 18(5): 62—68.
- [2] 曹磊, 解难, 钱国刚. MACTP 车用空调油耗测试评价研究[C]//中国内燃机学会燃烧节能净化分会. 中国内燃机学会燃烧节能净化分会学术年会暨先进发动机节能及测试技术论坛. 中国内燃机学会燃烧节能净化分会, 2014: 37—43.
- [3] 中国汽车技术研究中心有限公司, 重庆长安汽车股份有限公司, 中国第一汽车集团有限公司, 等. 乘用车循环外技术/装置节能效果评价方法 第 3 部分: 汽车空调: GB/T 40711.3—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [4] 彭海丽. 2021 年行业燃料消耗量与新能源汽车积分情况分析[R]. 天津: 中汽数据有限公司, 2022.
- [5] 钱国刚, 赵伟. 高效空调及怠速起停的循环外油耗测试评价[J]. 制冷与空调, 2015, 15(5): 68—73+78.
- [6] 郭超. 基于 CLTC-P 的高效空调循环外油耗测试分析[J]. 制冷与空调, 2021, 21(10): 21—25.
- [7] 中国汽车技术研究中心有限公司. 中国汽车行驶工况 第 1 部分: 轻型汽车: GB/T 38146.1—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [8] 黄国强. 新能源汽车高效空调的研究开发思路初探[J]. 制冷与空调, 2016, 16(5): 69—78.
- [9] 中国汽车技术研究中心有限公司, 北汽福田汽车股份有限公司, 中国第一汽车集团有限公司, 等. 轻型汽车燃料消耗量试验方法: GB/T 19233—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

收稿日期: 2022—04—19