

# 电控空压机节油策略及测试方法研究

陈顺章<sup>1</sup>, 王芳<sup>2</sup>, 邓基峰<sup>3</sup>

(1. 东风汽车股份有限公司, 武汉 430056)

## Research on fuel-saving strategy and test method of electronically controlled air pump

CHEN Shunzhang<sup>1</sup>, WANG Fang<sup>1</sup>, DENG Jifeng<sup>1</sup>

(1. Dongfeng Motor Co., Ltd, Wuhan 430056, China)

**Abstract:** In order to meet the requirements of the Stage IV fuel consumption regulation (FE4), and tap the fuel saving potential of the engine's air pump; In this paper, the fuel consumption cycle test method of engine bench and the fuel consumption cycle test method of vehicle hub were used respectively to obtain the fuel-saving efficiency under different control strategies of electronically controlled air pump. It provides technical support for the development of electronically controlled air pump.

**摘要:**为满足第四阶段油耗法规（FE4）的要求，挖掘发动机的空压机电子化节油潜力；本论文分别采用发动机台架油耗循环工况测试方法和整车转毂油耗循环工况测试方法，获得了电控空压机不同控制策略下的节油效率；为空压机电子化的开发提供了技术支持。

**关键词:** 第四阶段油耗；节油效率；测试方法；电控空压机

**Key words:** FE4; fuel-saving efficiency; testing method; electronically controlled air pump

中图分类号: TK4

文献标识码: A

### 0 概述

整车油耗水平是整车的一项经济性技术指标，整车油耗在不牺牲动力学的前提下越低越好，较低的油耗，有利于环境保护、节约能源，同时也能更好地体现整车产品竞争力。2022年6月17日，工信部发布了《重型商用车燃料消耗量限值》（征求意见稿），第四阶段油耗法规加严了各类车辆的车型燃料消耗量限值，较第三阶段油耗限值[1]降低了12%~16%不等。电控空压机相对机械空压机可有效减少非工作时间的功耗，降低机械摩擦损失，因此电控空压机的开发是发动机节油研究的重要措施。电控空压机的开发涉及到不同控制策略下电控空压机相对传统机械空压机节油率在整车油耗法规循环试验中节油效率的对比测试；驾驶员在整车转毂台架上进行整车油耗法规试验时发动机工况状态、制动用气量都会存在不一致的问题，会导致无法在相

同的试验条件下准确获取不同控制策略的节油效率，试验效率低下，因此需要将整车油耗法规循环试验工况转换为发动机台架试验工况进行测试。同时还需要将测试结果再在整车转毂油耗循环工况上进行验证。

### 1 电控空压机节能控制策略

常规的电控空压机控制策略一般是通过监测制动系统储气罐压力及卸荷阀处压力进行策略控制，当储气罐压力低于设定压力值控制电控空压机的运行，当制动系统压力升高直到卸荷阀开始卸荷排气，控制系统感知到卸荷压力则控制电控空压机停止工作。但卸荷阀在卸荷时会导致制动系统储气罐压力下降，相当于电控空压机做了一部分无用功。因此

我们除了研究制动系统不同压力下限对节油的影响外还应该考虑卸荷阀开启次数对节油效率的影响。

### 1.1 节能控制策略方案介绍

以电控空压机节油研究项目搭载某车型为例，制动系统卸荷阀开启压力为 840kpa，卸荷后系统压力为 790kpa，系统压力损失 50kpa；如下表策略方案序号 4~7 所示，如果设定制动系统压力上限达到 830kpa 时电控空压机停止打气则会节约 40kpa 的能量，同时比较卸荷阀开启次数对节油效率的影响；通过下表策略序号 1~3 方案对比，比较电控空压机常规控制策略与机械空压机的节油效率；同时通过下表序号 9~10 方案的对比，比较空压机不工作时机械空压机与电控空压机在机械摩擦损失方面对节油效率的影响。压力下限的设定应该以制动系统的安全及用气部件的要求为基准，可设定不同的压力下限值进行节油效率的对比。

表 1 电控空压机控制策略

序号	策略	方案
1	空压机常闭合	模拟机械空压机
2	压力下限触发	压力下限 720kpa， 压力上限不控， 每次开启卸荷阀
3	压力下限触发	压力下限 650kpa， 压力上限不控， 每次开启卸荷阀
4	压力下限触发	压力下限 550kpa， 压力上限不控， 每次开启卸荷阀
5	压力上下限触发	压力下限 720kpa， 压力上限 830kpa， 第 3 次开启卸荷阀
6	压力上下限触发	压力下限 720kpa， 压力上限 830kpa， 第 6 次开启卸荷阀
7	压力上下限触发	下限 650kpa， 上限 830kpa， 第 3 次开启卸荷阀
8	压力上下限触发	下限 650kpa， 上限 830kpa， 第 6 次开启卸荷阀
9	空压机常闭合	气罐满气，空压机不打气
10	空压机常断开	气罐满气，空压机不打气

## 2 电控空压机台架节油测试方法

如表 1 所示电控空压机各控制策略的差异性不大，因此各控制策略的油耗差异如何精确测量是一

项技术挑战；以 C-WTVC[2]等整车油耗法规循环试验为例，不同司机或同一司机驾驶的一致性很难保证，电控空压机不同控制策略的节油效率研究不适合在整车转毂上进行。因此在发动机台架上进行 C-WTVC 等整车油耗法规循环试验成为快捷可行的方案。

### 2.1 整车 C-WTVC 油耗试验数据获取

在发动机台架上进行各电控空压机控制策略节油效率的研究，需要获取整车 C-WTVC 等油耗法规循环试验中发动机的工况信息及整车制动相关信息。

#### 2.1.1 整车试验准备

在整车上换装电控空压机 1、在整车制动气室 4 上安装压力传感器 6 用于采集制动信息，将控制器 8 与电控空压机 1、压力传感器 6、继电器 7、触发开关或继电器 10 用于与整车转毂油耗试验运行的同步信号触发、整车蓄电池 9 电性连接，如图 1 所示。确保控制器 8 工作正常，可以正常控制电控空压机的工作及读取压力传感器 6 的数值。控制器 8 控制继电器 7 常闭，让电控空压机 1 处于常规机械空压机的工作模式。试验前确保储气罐 2 为满气状态。

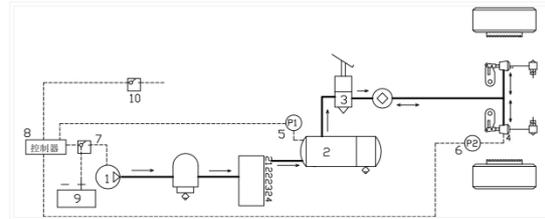


图 1 整车试验前准备

#### 2.1.2 整车油耗循环试验数据采集

整车 C-WTVC 油耗循环试验开始后，通过整车 OBD 终端接口按 1Hz 的频率读取记录整车 VCU 中的发动机转速（OBD\_EngineSpeed）、整车 VCU 中的发动机扭矩（OBD\_RealTorque）信号；同时制动气室上的压力传感器记录压力信号，制动气室压力上升即说明司机在驾驶整车过程中有踩踏制动踏板的动作。如下图 2 所示，通过监控整车 C-WTVC 循环工况时发动机的转速扭矩，可实现将整车 C-WTVC 循环工况移植到发动机台架上的目的；如下图 3 所示，通过监控整车制动气室的压力，可实现在发动机台架上模拟司机踩踏制动踏板的目的。

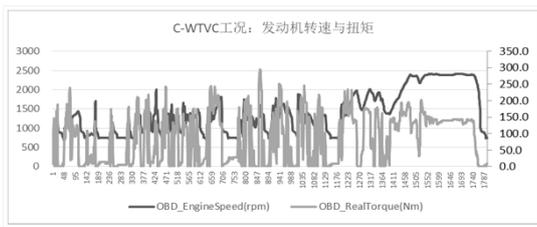


图2 发动机转速与扭矩关系

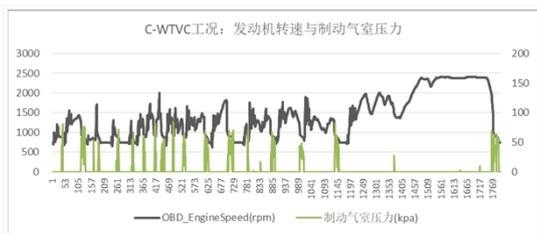


图3 发动机转速与制动气室压力关系

## 2.2 发动机台架 C-WTVC 试验准备

整车 C-WTVC 油耗试验中获取的发动机工况数据及制动气室压力数据后还无法直接在发动机台架上应用，还需将整车制动系统移植到发动机试验台架上，同时需要将制动踏板的制动信号与 C-WTVC 工况进行同步联动才能实现台架 C-WTVC 油耗测试试验。

### 2.2.1 发动机 C-WTVC 试验台架搭建

将电控空压机安装在发动机上，并将整车制动系统相关的部件（空气干燥器总成、四保阀、储气筒、制动踏板、快放阀总成、前/后桥总成等部件）布置在发动机试验室，按下图 4 气路连接；按图 4 所示将电控空压机 1、控制器 8、继电器 7、压力传感器 5、压力传感器 6、台架测控系统 9、制动踏板位移执行器 10 进行电性连接。制动踏板位移执行器与制动踏板机械连接。

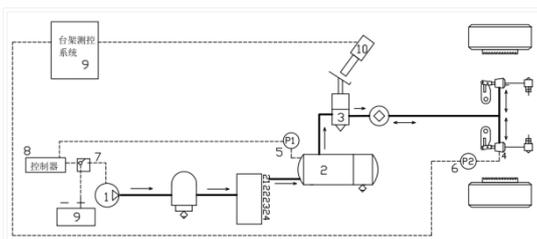


图4 发动机 C-WTVC 试验台架搭建

### 2.2.2 C-WTVC 工况与制动踏板联动

将图 2、图 3 获得的发动机转速、发动机扭矩和制动气室压力数据整合，可获得制动踏板位移与发动机 C-WTVC 工况的关系数据。将发动机转速、发动机扭矩和制动气室压力数据按 1Hz 的精度导入到发动机台架控制系统自动程序，发动机控制系统将控制发动机按照图 2 所示的转速及扭矩控制发动机工

况，同时发动机控制系统按照图 3 所示的发动机转速时点及制动气室压力需求控制制动踏板执行器的位移和速度，发动机控制系统获取制动气室实际压力对制动气室压力进行 PID 修正，模拟司机在整车 C-WTVC 油耗工况驾驶过程中的制动动作。

### 2.2.3 电控空压机控制系统开发

基于 Arduino Uno R3 开发板进行程序开发，具有 14 个数字 I/O 端口和 6 路模拟量输入端口，可满足控制系统开发需求。图 4 所示的储气罐压力传感器信号输入到开发板模拟量输入端口，开发板 I/O 输出端口接继电器，控制继电器的通/断，进而控制电控空压机离合器的吸合/断开。

使用其自带的 IDE 集成开发环境进行表 1 所示电控空压机不同控制策略的程序编写。当储气罐压力下降到压力下限，控制系统控制电控空压机离合器吸合对整车制动系统进行打气；当储气罐压力上升到压力上限，控制系统控制电控空压机离合器断开，电控空压机停止打气；同时控制系统可实现对卸荷阀开启次数的控制。

## 2.3 发动机台架 C-WTVC 试验

在进行表 1 所示的各控制策略下的 C-WTVC 循环油耗试验前，均应检查并确保发动机状态（功率、扭矩、油耗、水温、机油温度、...）一致性；检查油耗仪的零点及发动机外特性的油耗一致性；检查制动踏板位移执行器的工作状态是否正常；检查储气罐压力，确保试验开始前储气罐为满气状态。

各控制策略下的 C-WTVC 循环油耗试验连续进行 3 次或 3 次以上，获得每次 C-WTVC 循环油耗并求平均，即为该控制策略下的 C-WTVC 循环油耗量。

## 2.4 台架 C-WTVC 工况下的节油效率对比

下图 5 即为按照表 1 电控空压机各控制策略进行的台架 C-WTVC 试验获得的 C-WTVC 循环油耗量及各控制策略相对机械空压机的 C-WTVC 循环油耗节油量（单位：g/循环）和节油效率。

从试验结果看，当不控制放气阀开启次数时，制动系统压力下限设定越低，电控空压机相对机械空压机节油效率越高（见表 1 中策略 1~4），节油效率为 1.27%~1.96%。

当控制放气阀开启次数同时控制制动系统不同压力下限时，制动系统压力下限设定越低同时控制放气阀开启间隔次数越大，电控空压机相对机械空

压机节油效率越高（见表1中策略5~8），节油效率为1.31%~1.95%。

当控制空压机在C-WTVC试验过程中不进行打气时，电控空压机比机械空压机在机械摩擦损失方面（见表1中策略9~10）节油效率为1.28%。

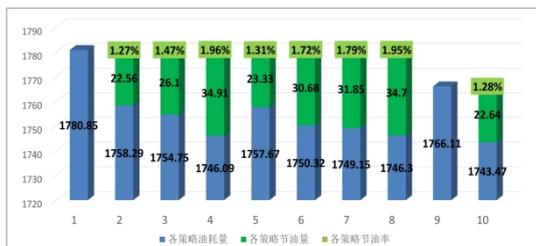


图5 各控制策略下的油耗数据

### 3 整车转毂 C-WTVC 油耗验证

电控空压机相比机械空压机，从台架C-WTVC试验结果来看节油效率在1%~2%范围内；整车转毂试验过程中司机的驾驶行为不可控因素太多，对油耗结果影响太大；因此基于以上两点我们在做电控空压机不同控制策略研究时选择了台架试验的方法。

但C-WTVC工况毕竟是整车油耗法规工况，因此有必要在整车转毂上对电控空压机节油效率进行验证。

#### 3.1 整车转毂 C-WTVC 油耗试验

按照图1所示对试验车辆进行准备，试验前检查整车、电控空压机及油耗仪工作状态的一致性。

整车转毂试验资源紧张，因此我们根据某车型制动系统的特点优化整车转毂C-WTVC油耗试验项目，仅选择表1中策略1、策略2、策略3、策略5及策略7进行整车转毂C-WTVC油耗试验。

每项策略的研究，整车转毂C-WTVC油耗试验均采用多次试验求平均的方式尽量消除司机驾驶习惯带来的油耗误差。

#### 3.2 整车转毂 C-WTVC 工况下的节油效率

下图6即为电控空压机各控制策略下整车C-WTVC试验获得的循环油耗量及各控制策略相对机械空压机的C-WTVC循环油耗节油量（单位：L/km）和节油效率。

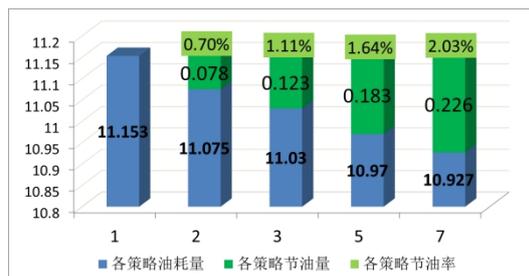


图6 整车转毂 C-WTVC 油耗

从试验结果看，采用整车转毂进行C-WTVC油耗试验获得的电控空压机各控制策略节油效率与在台架上进行C-WTVC油耗试验获得的各控制策略节油效率基本一致。

### 3.3 整车转毂 CHTC-LT 工况下的节油效率

第四阶段油耗将采用CHTC<sup>[3]</sup>中国工况法，因此有必要比较C-WTVC及CHTC的油耗差异。

如下图7为选择表1中策略1及策略7进行整车转毂CHTC-LT工况油耗试验的试验结果，控制制动系统压力下限650kpa及第3次开启卸荷阀的策略比机械空压机节能2.43%。与图6整车转毂C-WTVC工况油耗比较，发现采用CHTC-LT工况比C-WTVC工况测试循环油耗大。

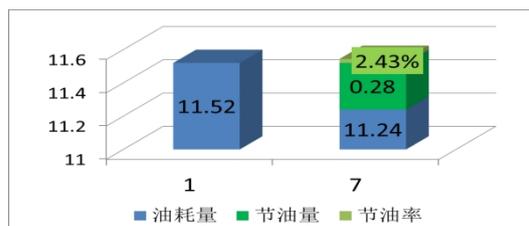


图7 整车转毂 CHTC-LT 油耗

## 4 结论

(1)对于电控空压机的节油策略研究，采用将整车转毂C-WTVC工况转化为发动机台架C-WTVC工况的方法可以实现对发动机工况及制动踏板的精确控制，确保油耗测试结果的准确性及重复性。

(2)在整车转毂上采用多次试验求平均的方法也可以获得与发动机台架C-WTVC工况方法基本一致的油耗测试结果。

(3)电控空压机相比机械空压机节油效率在1%~2%范围内，制动系统压力下限设定越低节油效果越明显，控制制动系统压力上限及减少卸荷阀开启次数的方法是更加节油的控制策略。

(4) 中国工况法 CHTC 相比 C-WTVC 工况测试循环油耗大, 电控空压机在 CHTC 工况法中节油效率明显。

#### 参考文献

- [1] GB/T 30510-2018 《重型商用车燃料消耗量限值》.
- [2] GB/T 27840-2011 《重型商用车燃料消耗量测量方法》.
- [3] GB/T 27840-2021 《重型商用车燃料消耗量测量方法》.