

# 纵置P2构型混合动力系统技术研究

胡志林 张昶 李坤远 付磊

(中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013)

【欢迎引用】胡志林, 张昶, 李坤远, 等. 纵置P2构型混合动力系统技术研究[J]. 汽车文摘, 2024(5): 1-5.

【Cite this paper】HU Z L, ZHANG C, LI K Y. et al. Research on Technologies of Longitudinal P2 Hybrid Power System [J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(5): 1-5.

【摘要】P2混合动力系统是传统纵置车型实现电气化的一个主流技术方案, 具有低油耗和续航里程长的优点。本文结合整车仿真分析和整车工况大数据统计, 对P2混合动力系统工作特点和不同驾驶工况下的节油效果进行对比, 为P2混合动力系统开发提供参考。P2混合动力汽车节油率与用户实际行驶路况密切相关, 在城市拥堵路况下具有明显节油优势, 但P2混合动力系统成本较高, 在用户使用成本层面并不占有优势。

关键词: 混合动力汽车; 纵置构型; P2构型

中图分类号: U464.12\*3 文献标志码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20220301

## Research on Technologies of Longitudinal P2 Hybrid Power System

Hu Zhilin, Zhang Chang, Li Kunyuan, Fu Lei

(Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【Abstract】The P2 hybrid system is a mainstream technical solution to realize electrification for traditional longitudinal vehicles, with the advantages of low fuel consumption and long driving range. This paper combines the vehicle simulation analysis and big data statistics of different vehicle working conditions to compare the working characteristics of the P2 hybrid system and the fuel saving effect under different driving conditions so as to provide some references for the development of P2 hybrid system. The fuel efficiency of P2 hybrid vehicles is closely related to the actual driving conditions of users compared to traditional fuel vehicles, and has obvious fuel saving advantages in urban congested road conditions. However, the P2 hybrid system has a higher cost and does not have an advantage in terms of user usage cost.

Key words: Hybrid power system, Longitudinal configuration, P2 Configuration

## 0 引言

近年来, 伴随着国家低碳节能技术路线的提出, 我国传统汽车产业面临着技术升级和转型的压力。大力发展新能源汽车是我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路, 也是应对气候变化、推动绿色发展的战略举措。但电动汽车存在冬季续航里程短、充电慢和成本高的限制条件, 短期内还不能完全取代传统燃油汽车。混合动力汽车是介于传统燃油汽车和电动汽车之间的技术路线, 可在传统燃油汽车的基础上, 不需要经过较大的改动, 实现整车节油的目的, 同时保留传统燃油汽车加油便利、续航里程长的优点<sup>[1]</sup>。在《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》中提到, 到2035年传统能源动力乘用车将全部转变为混合动力

汽车, 而新能源汽车将成为主流<sup>[2]</sup>。

本文将从P2构型混合动力系统原理方面, 阐述其相对于传统燃油汽车动力系统的优势, 结合整车大数据工况, 对不同城市驾驶工况下的P2动力系统节油效果进行仿真分析, 综合对比P2混合动力汽车与传统燃油汽车用户实际使用油耗, 为P2混合动力系统开发提供参考。

## 1 混合动力系统构型概述

混合动力系统构型基于电机的布置位置差异, 可分为P0、P1、P2、P3和P4方案, 如图1所示。

### 1.1 P0与P1构型方案

P0与P1构型方案主要应用于48 V动力系统, 在发动机前端或后端增加48 V电机, 实现发动机起停控

制和制动能量回收的功能。该方案成本较低,对传统燃油汽车改动较小,综合性价比较高<sup>[3]</sup>。P0电机通过传动带在发动机前端与发动机输入轴相连,受限于带传动的可靠性,P0电机的功率等级一般在10~15 kW。P1电机布置在发动机的输出轴端,一般通过齿轮连接,相对于P0电机的功率等级更高,一般可达到15~30 kW。

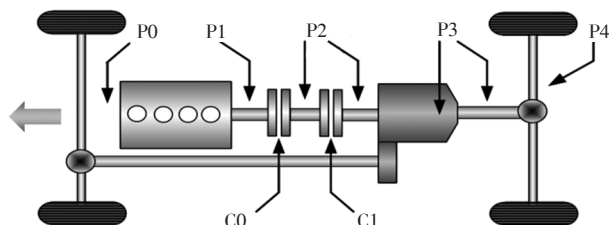


图1 混合动力系统构型分类

## 1.2 P2构型方案

P2构型方案电机布置于发动机与变速器之间,且在电机与发动机之间增加一个分离离合器C0,可实现P2电机与发动机脱开。相对于P0与P1构型,增加了纯电驱动功能,同时在制动或滑行能量回收过程中,脱开发动机,减少发动机反拖损失,提升系统能量回收效率。该构型方案发动机与电机同轴布置,动力系统轴向尺寸增加明显,常应用于纵置后驱车型中<sup>[4-6]</sup>。

## 1.3 P3构型方案

P3构型方案电机集成在变速器的输出轴上,可减少电机到车轮端的传递损失,提升电机纯电驱动、制动能量回收的效率。但由于电机不能与发动机相连,所以P3电机不具备起动发动机的功能,一般采用双电机构型,即P0/P1+P3方案。由于采用双电机系统,P3构型方案的成本相对较高,并且驱动电机集成在变速器输出轴上,对动力系统集成和变速器控制要求较高<sup>[3]</sup>。

## 1.4 P4构型方案

P4构型一般是在车辆后轴上增加一个电驱动桥,该方案一般也采用双电机构型,即P0/P1+P4方案。相对于P3构型,电机与轮端动力传递链更短,可进一步提升电机驱动和能量回收的效率。另外电机后驱系统可实现整车四驱功能。但P4电机集成在整车后驱动桥上,需要增加额外的减速器,导致系统成本较高<sup>[6-8]</sup>。

## 2 P2构型工作模式分析

P2混合动力系统主要工作模式可实现停车停机、纯电驱动、行车发电、发动机直驱、并联助力和制动能

量回收,下面针对于各工作模式进行分析。

### 2.1 停车停机模式

图2所示为P2混动系统停车停机模式示意。在城市路面行驶过程中停车时可对发动机进行停机,相对于传统燃油汽车减少怠速消耗和怠速排放。当驾驶员有起动发动机需求时,可通过P2电机拖动快速起动发动机,获得更好的驾乘体验。

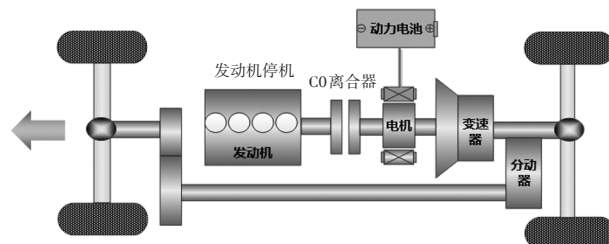


图2 停车停机模式示意

### 2.2 纯电驱动模式

由于P2混合动力系统的电机与发动机之间加装有分离离合器C0,可实现整车纯电驱动功能。尤其适用于城市低速、小负荷工况,避免发动机频繁起动,提升系统驱动效率,同时改善整车驾乘舒适性。工作模式示意图见图3。

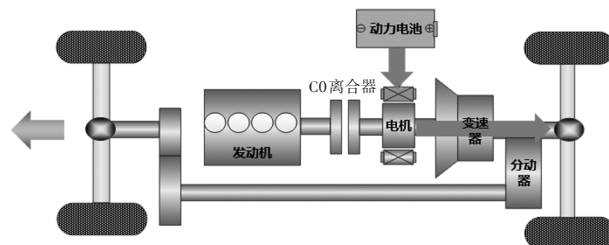


图3 纯电驱动模式示意

### 2.3 行车发电模式

当整车电池电量较低或车速较高,不能采用P2电机进行纯电驱动的情况下,动力系统采用发动机进行驱动,如果发动机需求扭矩较小,可通过P2电机发电来提升发动机的工作负荷,改善驱动系统效率。此时发动机能量同时用于驱动车轮和发电,工作模式示意图见图4。

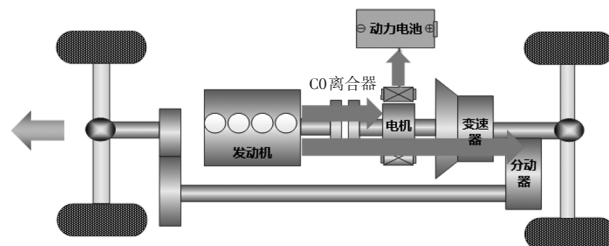


图4 行车发电模式示意

### 2.4 发动机直驱模式

当动力系统采用发动机进行驱动时,如果发动机

需求扭矩相对较高,发动机效率较高,此时发动机能量直接用于驱动车轮,以发挥系统最优的综合效率。该工作模式与传统燃油汽车驱动方式相同,常应用于整车中高速巡航或小负荷加速过程,工作模式示意图5。

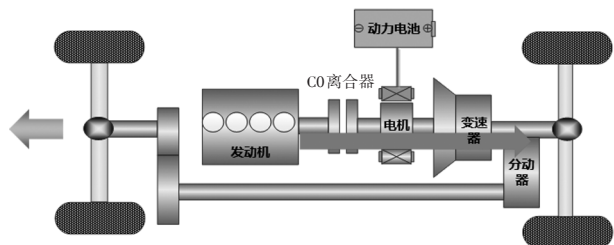


图5 发动机直驱模式示意

### 2.5 并联助力模式

当驾驶员有较大的动力需求时,如大负荷加速或中高速爬坡工况,常采用并联助力模式,此时利用动力电池的电能驱动P2电机,电机与发动机同时作为整车动力源驱动车轮,以获得强劲的整车动力性响应,工作模式示意图6。

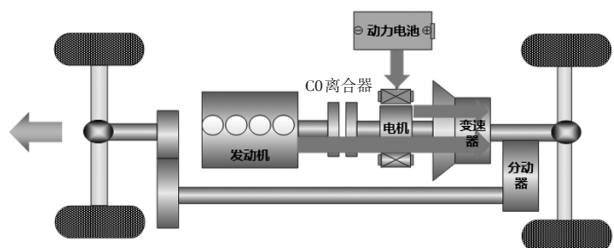


图6 并联助力模式示意

### 2.6 制动能量回收模式

当整车处于滑行和制动工况时,P2电机可作为发电机工作,将车轮端传递的制动能量转化为电能储存在动力电池中,实现能量回收的目的,提升系统能量利用效率,工作模式示意图7。

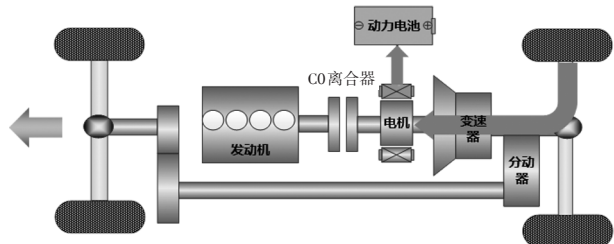


图7 制动能量回收模式示意

### 2.7 市场应用案例

P2混合动力系统由于对传统燃油汽车改动较小,节油效果显著,较早地被国内外汽车企业作为从燃油车向深度混合动力系统转化的主流技术方案进行研究。由于该混合动力系统电机与发动机同轴布置,增加动力系统轴向尺寸,主要应用于纵置车型

中。从图8可以看出,目前P2混合动力系统主要应用于大轴距豪华品牌车型,宝马、奔驰、奥迪、保时捷均采用P2混合动力系统作为旗下豪华纵置车型混合动力化的主流技术,突出强劲动力性能,根据厂家公布的数据显示,整车从0~100 km/h的加速时间分布在4~7 s之间。

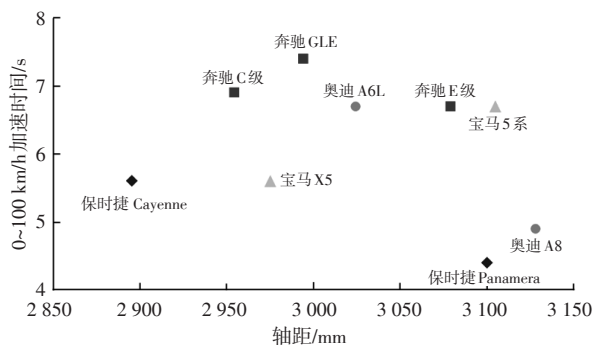


图8 P2混合动力系统应用车型统计

## 3 P2混合动力系统节油效果分析

### 3.1 发动机运行工况对比

针对于GB 18352.6—2016附件CA所述的世界轻型汽车测试循环(World Light Vehicle Test Cycle, WLTC),通过仿真软件对P2混合动力汽车与传统燃油汽车运行工况进行对比分析。

图9所示为P2混合动力系统车型与传统燃油汽车发动机运行工况对比,可以看出P2混合动力系统相对于传统燃油汽车增加了发动机运行工况点调节的功能。在发动机低负荷需求下,通过行车发电提升发动机运行负荷。在发动机高负荷需求下,通过并联助力降低发动机运行负荷,改善发动机运行燃油经济性。

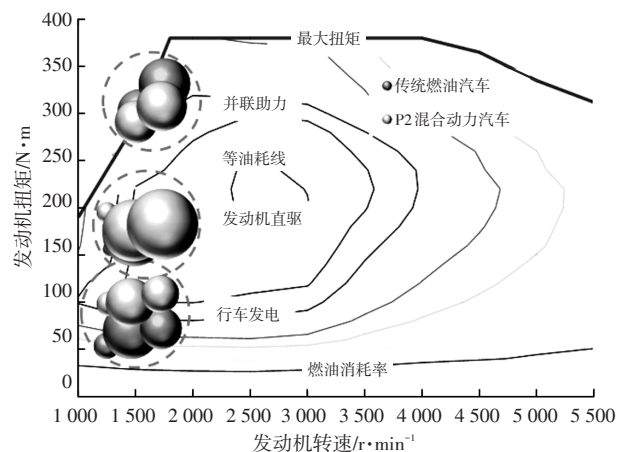
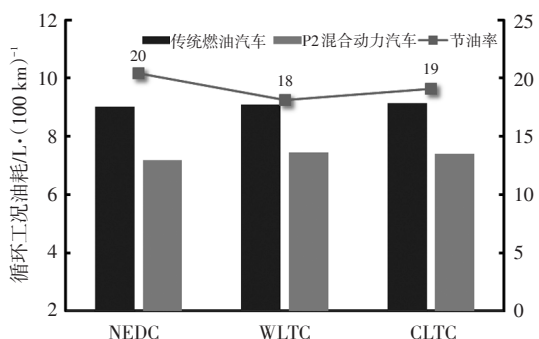


图9 传统燃油汽车发动机运行工况示意

仿真分析结果表明,P2混合动力系统相对于传统燃油汽车在法规工况下节油约20%,如图10所示。整

车节油主要通过发动机工况转移、制动能量回收和怠速停机技术实现。



注:新标欧洲循环测试(New European Driving Cycle, NEDC)  
世界轻型汽车测试循环(World Light Vehicle Test Cycle, WLTC)  
中国轻型汽车行驶工况(China Light Vehicle Test Cycle, CLTC)

图10 P2混合动力汽车法规工况节油率

### 3.2 循环工况油耗对比

根据大数据对全国城市路况进行采集,统计出用户实际驾驶工况特性参数,分别设定城市严重拥堵、城市一般拥堵、城市常规出行和城市高速综合工况,分析P2混动系统相对于传统燃油汽车在实际用户工况的节油效果。

不同用户驾驶工况特征参数如表1所示,分别代表着城市不同路况的典型特征。

表1 不同驾驶工况特征参数

参数	严重拥堵	一般拥堵	常规出行	高速综合
行驶里程/km	2.8	4.6	6.7	35.9
行驶时间/min	24.7	21.3	18.0	39.8
平均车速/km·h <sup>-1</sup>	6.8	12.9	22.2	54.1
最高车速/km·h <sup>-1</sup>	51.2	57.5	71.1	131.3
停车时间占比/%	48.9	31.2	20.1	12.8

针对于不同整车行驶工况,进行仿真分析。传统燃油汽车城市行驶工况与WLTC法规工况整车油耗对比如图11所示。从图11可以看出,传统燃油汽车在城市实际路况油耗受道路拥堵程度影响较大,在严重拥堵路况下,实际用户油耗较WLTC法规油耗高223%,在常规出行工况,实际路况油耗较WLTC法规油耗高30%,高速综合工况两者基本相当。

图12为P2混合动力汽车在不同整车运行工况下的油耗对比。从图12可以看出P2混合动力汽车在城市实际路况油耗受道路路况的影响程度相对于传统燃油汽车要小。在严重拥堵路况下,实际用户油耗较WLTC法规油耗高75%。在常规出行工况,实际路况油耗较WLTC法规油耗高10%,而高速综合工况两者基本相当。

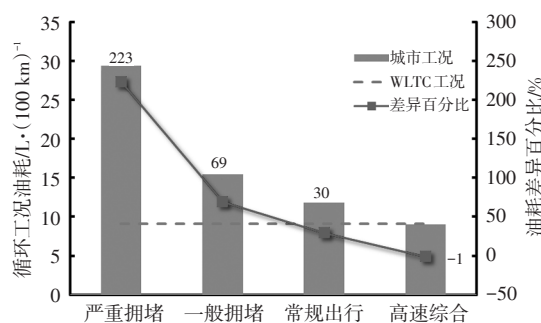


图11 传统燃油汽车不同工况油耗对比

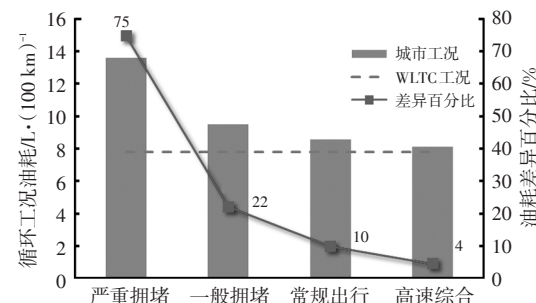


图12 P2混合动力汽车不同工况油耗对比

P2混合动力汽车相对于传统燃油汽车在不同城市实际道路路况下的节油率如图13所示。

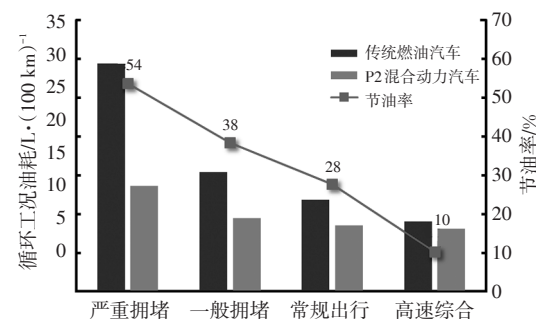


图13 P2混合动力汽车城市工况节油率

从图13可以看出,P2混合动力汽车相对于传统燃油汽车节油率与用户实际行驶路况密切相关,在高速综合工况节油率较小,但在拥堵工况下,节油比率大幅提升,尤其在严重拥堵工况下,P2混合动力汽车相对于传统燃油汽车可节油54%,对于日常行驶路况较为拥堵的用户,选择P2混合动力汽车出行可实现较为明显的节油效果。

## 4 P2混合动力系统成本分析

### 4.1 成本增加

由于P2混合动力系统相对于传统燃油车,增加了P2电机、动力电池、高压器件和高压线束,导致成本增加。根据估算,P2混合动力汽车相对于传统燃油车整车成本增加10%左右。

## 4.2 成本回收周期估算

以本文中采用的基础车型为例,假设采用P2混合动力系统,整车市场售价增加4万元,按照用户常规出行工况进行核算,P2混合动力汽车相较于传统燃油车节油28%,燃油价格按照9.0元/L计算,可推算出P2混合动力系统的成本回收周期,如图14所示。

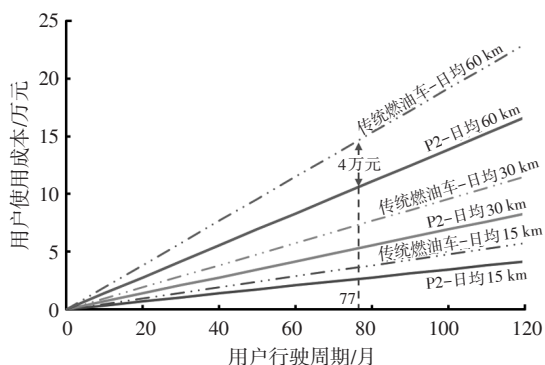


图14 P2混合动力系统成本回收周期估算

从图14可以看出,如果用户日均行驶里程在30 km以下,10年内无法实现P2混合动力系统的成本回收;如果用户日均行驶里程为60 km,对应的成本回收周期为77个月。可见对于一般用户来说,P2混合动力系统从用户使用成本上并不占有优势,但P2混合动力系统带来的动力性提升、电驱动体验以及电动附属件的加装等方面的优势是传统燃油汽车无法比拟的。

## 5 结束语

(1)P2混合动力系统作为传统纵置车型实现电气化的一个主流技术手段,结构布置改动较小,相对于传统燃油汽车增加了纯电驱动、制动能量回收和停车停机等工况,结合发动机运行工况点调节实现整车法规工况20%的节油效果。

(2)目前P2混合动力系统主要应用于大轴距豪华品牌车型,国际主流车企均采用P2混合动力系统对旗下豪华纵置车型进行技术升级,进一步突显豪华纵置车型高动力性能属性。

(3)P2混合动力汽车相对于传统燃油汽车节油率与用户实际行驶路况密切相关,其节油效果在拥堵路

况有较为明显的体现,在严重拥堵工况下,P2混合动力汽车相对于传统燃油汽车可节油54%。

(4)P2混合动力系统在用户使用成本层面并不占有优势,但P2混合动力系统能提升整车的动力性、P2电机快速响应性可增强整车驾驶体验,以及加装的电动附属件可进一步提升整车电气化属性。

## 参 考 文 献

- [1] 罗勇,陈国芳,韦永恒,等. P2构型PHEV的规则型能量管理策略[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2022, 36(3): 28-35.
- [2] 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图2.0[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [3] 张昶,付磊. 48V系统技术发展概述[J]. 汽车文摘, 2019(1): 10-15.
- [4] FIRSCHING P, RAUCH M. 48 Volt P2 Concept Car with High Tech Gasoline Engine[C]//27<sup>th</sup> Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, 2018.
- [5] LEE W, KIM T, JEONG J, et al. Control Analysis of a Real-World P2 Hybrid Electric Vehicle Based on Test Data[J]. Energies, 2020, 13(16): 4092.
- [6] FIRSCHING P, RAUCH M. 48 Volt P2 Concept Car with High Tech Gasoline Engine[C]//27<sup>th</sup> Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, 2018.
- [7] ROBINETTE, D. Coordinated Torque, Energy and Clutch Control Strategy for Downshifts in P2 Parallel xHEV Powertrains[J]. SAE International Journal Advance and Current Practices in Mobility, 2021, 3(4): 1841-1861.
- [8] GIARDIELLO G, DE NOLA F, PIPICELLI M, et al. Comparative Analysis on Fuel Consumption Between Two Online Strategies for P2 Hybrid Electric Vehicles: Adaptive-Rule Based (A-RB) vs Adaptive-Equivalent Consumption Minimization Strategy (A-ECMS)[J]. SAE Technical Paper, 2022: 2022-01-0740.

(责任编辑 明慧)

## 【作者简介】

胡志林(1986—),男,中国第一汽车股份有限公司研发总院,硕士,高级工程师,研究方向为新能源系统性能开发。

E-mail: huzhilin@faw.com.cn