

欧辉中混客车动力系统匹配分析

Application analysis of powertrain system of AUV mild-hybrid bus

付明勇 陈周欢

北汽福田汽车股份有限公司新能源技术中心

摘要: 本项目以欧辉 BJ6105 公交车为基准传统车型, 匹配 ISG+AMT (Integrated Starter Generator+ Automated Mechanical Transmission) 新能源动力系统。在发动机选型确定的情况下, 以达到最优经济性能为原则, 通过仿真分析结果对比匹配最优电机。仿真平台由 Matlab/simulink 搭建整车的能量管理策略, GT-SUITE 搭建整车以及动力系统模型, 通过 Matlab/Simulink 接口调用 GT-SUITE 模型, 实现联合仿真。

关键词: 能量管理策略 动力系统 仿真分析 对比 节油率

Abstract: This project is based on the traditional AUV BJ6105 bus which matchs a ISG +AMT(Integrated Starter Generator+ Automated Mechanical Transmission) new energy powertrain system. With the engine type determined, and achieving the optimal economical efficiency for the principle, the optimal motor is selected by the contrast of simulation analysis results. The simulation platform is co-simulation. The vehicle energy management strategy is build by the Matlab/simulink software ,while vehicle and power system model is build by GT-SUITE. Finally, Matlab/simulink can call the GT - SUITE model with interface function to realize co-simulation .

Key words: energy management strategy powertrain system simulation analysis contrast Oil-saving rate

1 仿真分析方法

仿真分析在新能源车型开发前期, 对于整车的结构分析, 动力系统匹配都十分重要。在开发目标提出之后, 对于匹配整车的动力系统显得十分重要, 仿真分析在这个环节的作用特别突出, 如根据现有的发动机和变速箱资源, 匹配不同的电机和电池, 使整个动力系统性能达到最优, 整车性能在满足既能满足设计目标, 还能不浪费资源。

仿真分析方法是通过利用整车性能仿真分析专业软件 GT-SUITE 与 Matlab 的联合仿真平台进行性能仿真分析。GT-SUITE 软件搭建整车动力系统模型, 并输入整车与各动力系统部件的技术参数;

Matlab/Simulink 搭建整车控制策略模型，并将整车控制策略模型通过 Interface 接口与 GT-SUITE 整车动力系统模型交互实现联合仿真。

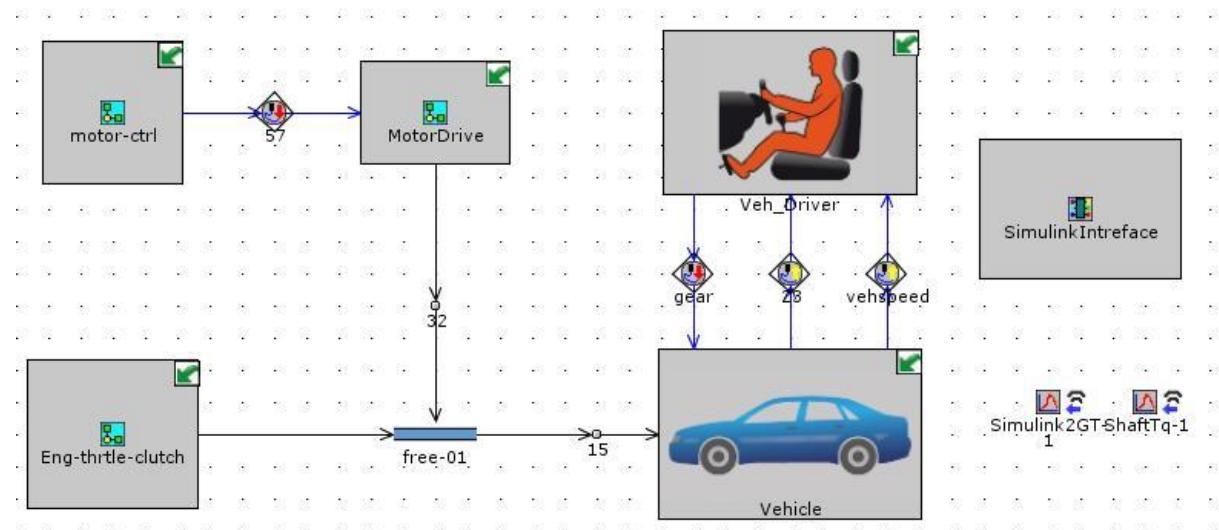


图 1 GT-SUITE Model 界面

2 整车及关键零部件参数

2.1 动力系统结构

整车动力系统采用 P2+AMT 结构，发动机输出轴与自动离合器、ISG 电机、AMT 自动变速器相连，ISG 电机集成在自动离合器与变速器中间，ISG 电机既可作为发电机又可作为电动机，驱动力矩通过自动变速器输出，经车桥主减速器差速器传递至车轮。动力系统架构如图 2 所示。

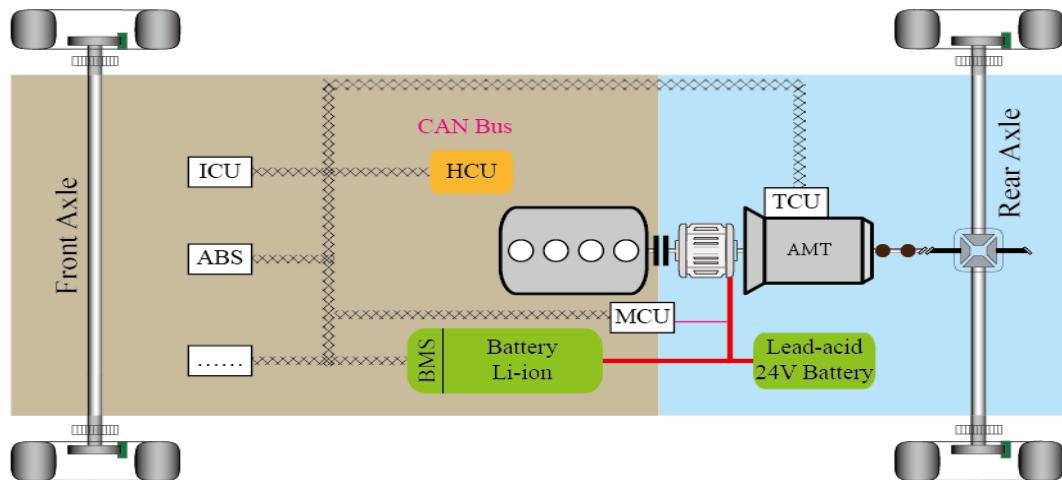


图 2 P2 结构图

通过控制发动机、电机、离合器、变速箱的工作状态，该混合动力系统可实现多种工作模式，如表1所示。

表1 并联式混合动力系统工作模式

工作模式	发动机	电机	离合器	AMT变速箱
停机	0	0	0	空档
纯电驱动	0	1	0	在档
发动机单独驱动	1	0	1	在档
行车充电	1	-1	1	在档
停车充电	1	-1	1	空档
联合驱动	1	1	1	在档
制动回馈	0	-1	0	在档

注：1代表工作或结合，0代表不工作或分离，-1代表发电。

2.2 传统部件参数和性能

本车原型车采用欧辉 BJ6105 公交车（10.5 米车型），传统车采用 6.7L 发动机，混合动力系统对发动机进行 Downsize，选用 3.8L 发动机。详细参数见下表

表 2 传统部件参数

参数项	单位	参数值	参数项	单位	参数值
整备质量	kg	9650	满载质量	kg	13800
迎风面积	m^2	6.93	风阻系数	---	0.65
轮胎型号	---	275/70 R22.5	滚动阻力系数	%	1.0~1.1
静态半径	mm	436	动态半径	mm	464
发动机排量	cm^3	3760	额定功率	kW@rpm	124@2500
额定扭矩	Nm@rpm	600@1300~1700	最高转速	rpm	2500
后桥速比	---	6.17	传动效率	%	95
电器负载	W	1200			

在原BJ6105车型基础上开发中度混合动力车型，其性能目标要求如下表：

表 3 性能要求

参数项	单位	参数值	参数项
城市工况油耗	L/100km	≤ 19	
节油率	%	≥ 30	传统车油耗28L/100km

2.3 新能源零部件参数

新能源动力系统部件主要包括电机、自动变速器(带自动离合器)，动力电池。本方案采用 P2+AMT 方案。其中 AMT 资源有限，电池可以根据实际需要串并联，所以电机的匹配显得十分重要，本方案选取两款不同参数的电机，参数如下：

表 4 新能源部件参数

部件	参数项	单位	参数值	参数项	单位	参数值
TM 电 机 1	类型	---	永磁同步	额定电压	VAC	250
	峰值功率	kW	80	持续时间	s	5
	峰值扭矩	Nm	500	持续时间	s	5
	额定功率	kW	45	额定扭矩	Nm	270
	最高转速	rpm	2500	额定转速	rpm	1600
TM 电 机 2	类型	---	永磁同步	额定电压	VAC	250
	峰值功率	kW	60	持续时间	s	5
	峰值扭矩	Nm	458	持续时间	s	5
	额定功率	kW	40	额定扭矩	Nm	3000
	最高转速	rpm	2500	额定转速	rpm	1250
电机 控制 器	额定容量	kVA	50	最大容量	kVA	80
	额定输入电压	VDC	336	额定输出电压	VAC	250
电池	额定电压	VDC	336	额定容量	Ah	54
	额定能量	kWh	18	放电深度	%	90
	峰值放电功率	kW	90	持续时间	s	30
	峰值充电功率	kW	90	持续时间	s	10
	额定放电功率	kW	54	额定充电功率	kW	3.3
变速 箱	换挡方式	---	手自一体	档位数	---	5
	传动比	---	4.13, 2.52, 1.59, 1, 0.78	传动效率	%	94
	最大输入扭矩	Nm	1200	最高输入转速	rpm	2500

3 仿真策略分析

3.1 驱动模式介绍

P2 结构有以下几种驱动工作模式 (如图 2)。

纯电动起步模式：离合器分离，动力电池放电，此时 ISG 电机作为电动机驱动。

启动发动机模式：离合器接合，动力电池发电，ISG 带动发动机启动。

并联充电模式：离合器接合，发动机驱动，ISG 电机作为发电机向动力电池充电。

纯发动机模式：离合器接合，动力电池不工作，ISG 电机关闭，仅发动机驱动。

混合驱动模式：离合器接合，动力电池放电，发动机与 ISG 电机共同驱动。

制动回馈模式：离合器分离，发动机关闭，ISG 电机作为发电机向动力电池充电。

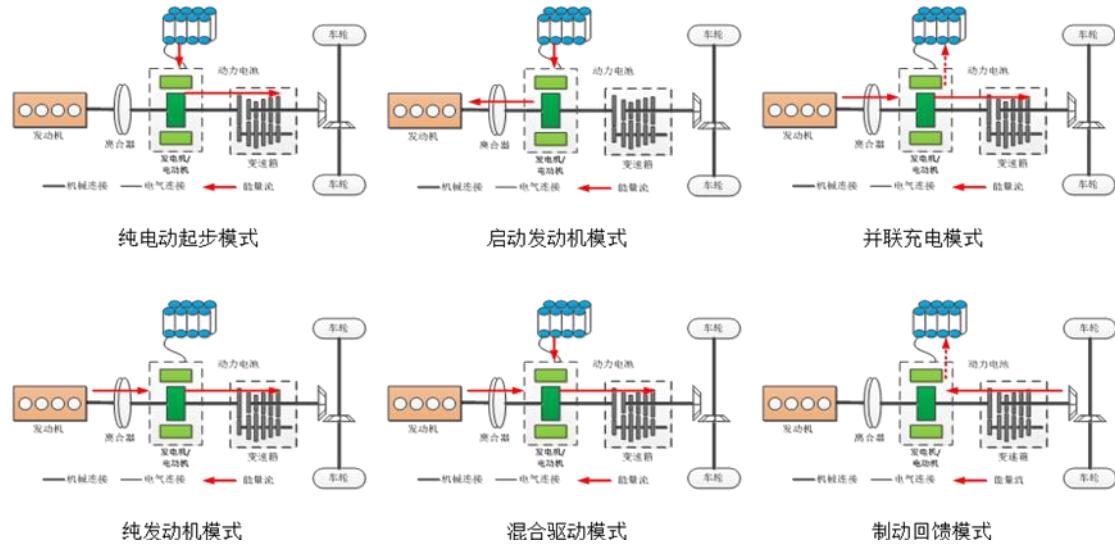


图 3 驱动模式介绍

3.2 策略解析

能量管理策略中扭矩解析和换挡策略相互独立，扭矩解析在 Matlab/Simulink 策略模型中实现，而换挡策略则通过 GT-SUITE 中的变速器换挡控制模块实现。在 Simulink 中根据驾驶员指令（加速踏板和制动踏板）以及当前车速计算系统对功率的要求，再进行扭矩解析，确定发动机与 ISG 电机的需求扭矩；在 GT-SUITE 中根据当前车速与加速踏板信号（油门开度）来控制换挡策略（如图 3），当车速及加速踏板信号达到曲线标定值时即实现升档或降档，通过调节换挡策略来使发动机尽量工作在经济区，从而降低油耗。

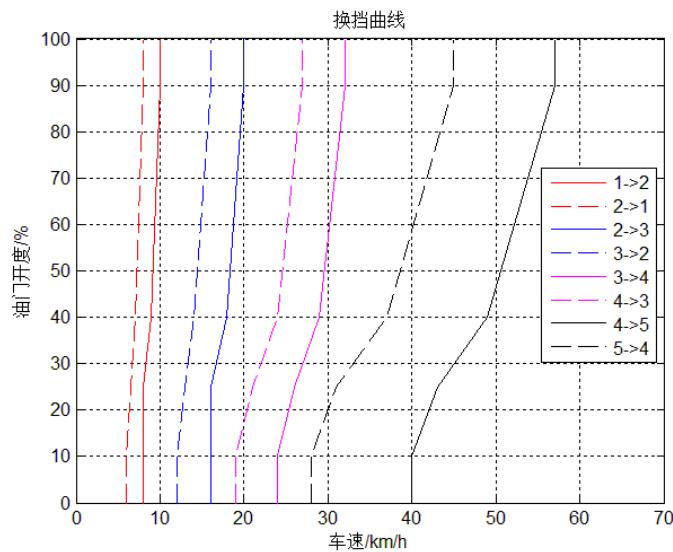


图 4 换挡策略

车辆在行驶过程中，根据当前驾驶需求并考虑动力系统各零部件的工作状态，整车控制器会切换到合适的工作模式。如图 5 所示，以当前 SOC 与需求转矩为判断依据，充分考虑电池供电能力及发动机电机驱动能力，进行模式划分，达到切换条件时，便进行模式切换。车辆启动时，首先进入纯电动模式，当 SOC 较高且需求扭矩超过限定值时，即切换到并联模式，ISG 与发动机共同驱动；当 SOC 较低时，便对电机进行卸载，需求扭矩较低时，发动机输出扭矩一部分用来满足驾驶需求，一部分经过 ISG 对电池进行充电，需求扭矩较高时，发动机单独驱动，不进行充电。

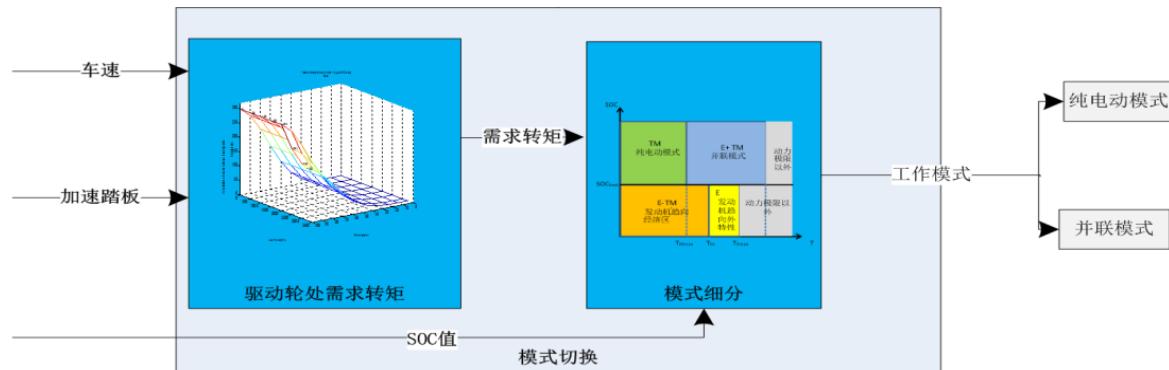


图 5 模式划分

图 6 为 Matlab/simulink 调用 GT-SUITE 的界面，其中 GT-SUITE 模块右边为输出，即需求信号从 GT-SUITE 引出，左边为输出，即 Simulink 计算的信号控制 GT-SUITE Model。其信号数量和下图 8 中的信号个数一致。

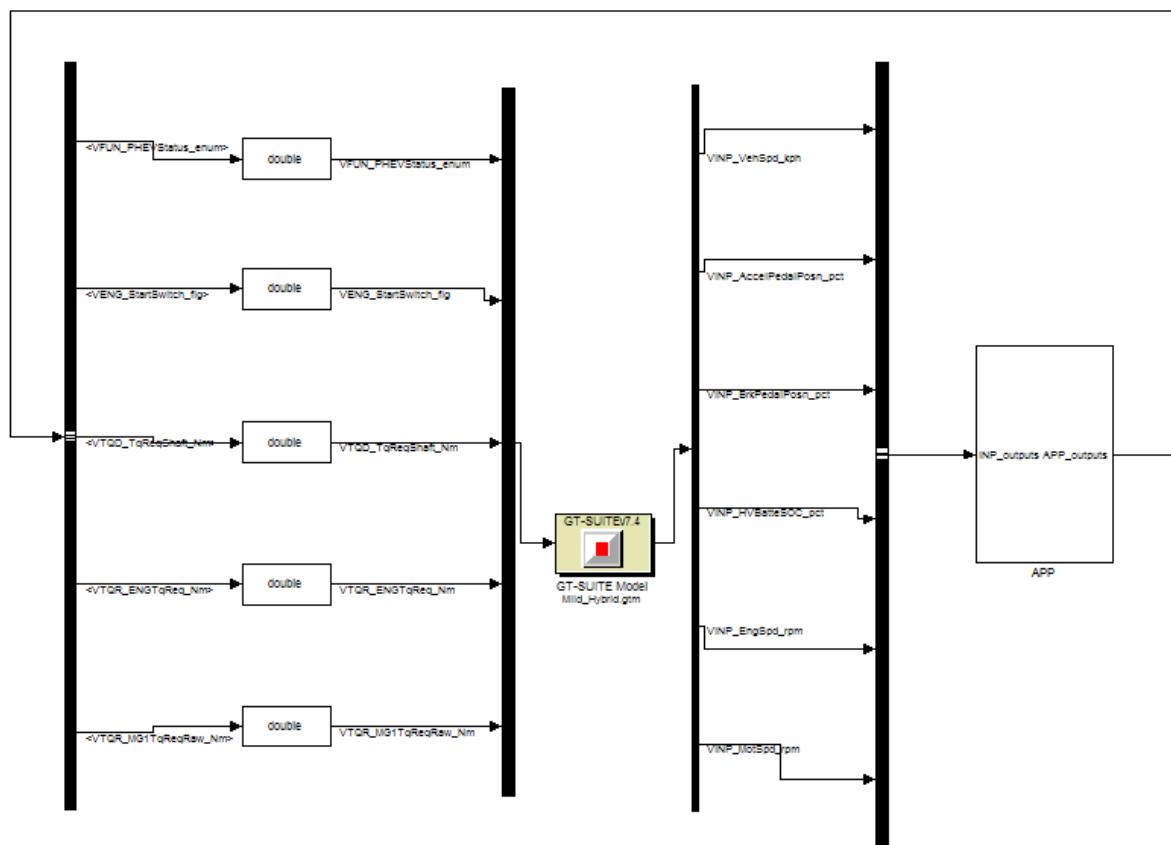


图 6 Simulink 接口界面

图 7 为 Matlab/Simulink 中能量管理策略外围框图。INP 输入模块为 GT-SUITE 输出信号，首先根据车速及踏板信号来计算车轮处的需求扭矩 Wheel_Tq_Req，再在 PHEV_Status 模块中依据需求扭矩、驾驶需求、SOC 切换到对应的工作模式，最后在 Eng 和 Tqx 模块中分别输出当前模式下的发动机启停信号及发动机与电机扭矩分配值，LookUp 为在仿真过程中用到的查表值。

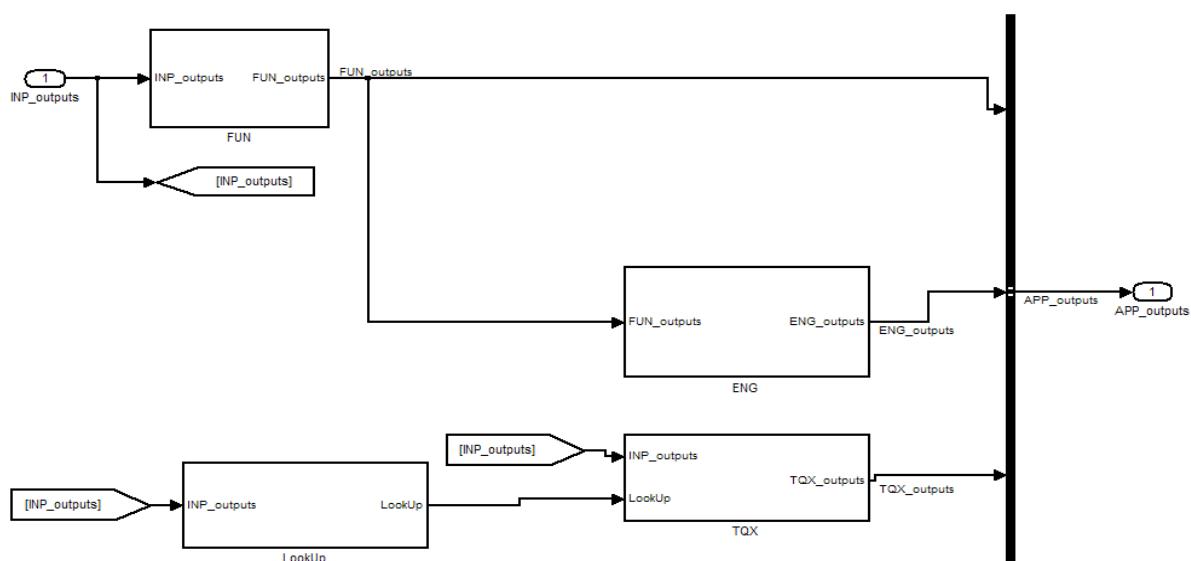


图 7 simulink 应用模型框图

图 8 为 GT-SUITE Model 中 SimulinkHarness 接口函数的输入和输出数据, 和图 6 中保持一致。

Signal Name or RLI Name	Signal Name (Transmitted Wirelessly)
1:CAR:44:44	1:Simulink2GI-1
1:Driver:264:264	22:Engine
2:Driver:264:264	1:ShaftIq-1
1:Engine:139:139	25:Engine:115:115
1:MotorGenerator-1:139:139	5:MotorGenerator-1:115:...

图 8 SimulinkHarness 输入和输出数据

4 匹配结果分析

仿真结果:

电机	油耗值	备注	节油率
60kW	20. 5L/100km	传统车油耗	29. 3
80kW	19. 3L/100km	29L/100km	33. 4

$$\text{相对节油率} = (20.5 - 19.3) / 20.5 = 5.8\%.$$

从仿真结果可以看出, 60kW 电机匹配 3.8L 发动机, 匹配到 10.5 米公交车上整体经济性不能达到最优化, 而 80kW 电机经济性要明显优于 60kW 电机。

3.8L 发动机的最大功率能达到 124kW, 发动机限定经济曲线的最大功率为 90kW(见图 9 和图 10 中的下面的红线), 在发电状态下, 60kW 电机和 80kW 电机能满足行车发电(基本上能把发动机的拉到最佳经济曲线附近); 在助力时, 60kW 电机助力有限, 综合考虑发动机和电机因素, 60kW 电机方案中发动机有一部分点工作在外特性曲线上, 而 80kW 电机助力能力大, 基本上能把发动机的工作点拉到靠近最佳经济曲线上, 所以经济性优于 60kW 电机。另外 80kW 电机能量回收能力也稍优于 60kW 电机。故整体经济性 80kW 电机优于 60kW 电机, 相对节油率为 5.8%。

图 9 60kW 电机发动机工作点

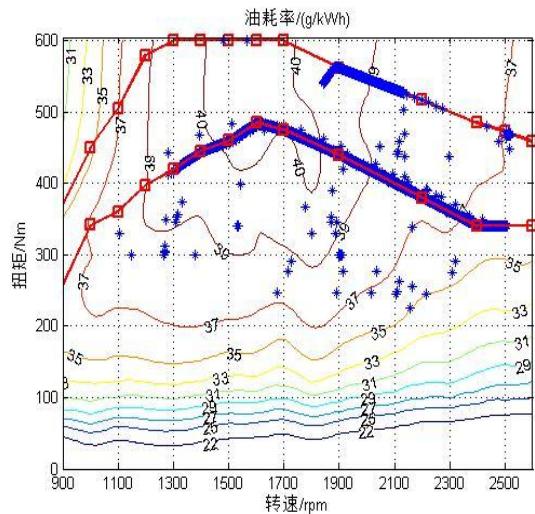
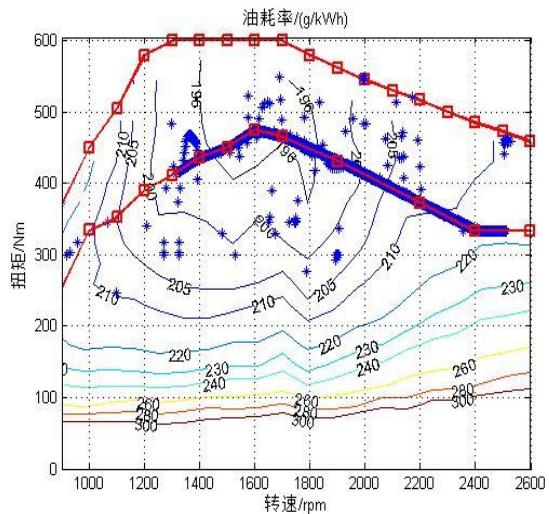


图 10 80kW 电机发动机工作点



5 结语

通过 GT-SUITE 中的指针变量，将不同电机做成不同的 case，在仿真时指定不同 case，便能计算出不同对照结果。仿真平台的搭建不仅能计算整车动力性能，而且通过结算结果来客观评价动力系统的匹配具有十分重大的参考价值。

6 参考文献

- [1]. 杜波, 秦大同, 段志辉, 等.《新型并联式混合动力汽车模式切换协调控制 [J]》. 机械工程学报, 2012, 23(6): 739-744.
- [2]. 童毅, 欧阳明高, 张俊智.《并联式混合动力汽车控制算法的实时仿真研究 [J]》. 机械工程学报, 2003, 39(10): 156-161.
- [3]. 古艳春, 殷承良, 张建武.《并联混合动力汽车扭矩协调控制策略仿真研究 [J]》. 系统仿真学报, 2007, 19(3): 170-175.
- [4]. 戴一凡, 罗禹贡, 边明远, 等.《单电机强混合动力车辆控制策略 [J]》. 中国机械工程, 2010, 21(7): 120-124.
- [5]. 王伟达, 项昌乐, 韩立金, 等.《基于电池SOC保持的混联式混合动力车辆能量管理策略的研究 [J]》. 汽车工程, 2011, 5(33): 373-377.
- [6]. 侯献军, 杜常清, 颜伏伍, 等.《混合动力系统状态切换技术研究 [J]》. 内燃机工程, 2009, 30(16): 72-76.