

文章编号:1005-0523(2015)04-0033-05

基于特性曲面的发动机稳定工作区域研究

邱 香¹,柯晶晶²

(1.江西科技学院汽车学院,江西 南昌 330098;2.广州丰田汽车有限公司,广东 广州 510000)

摘要:对发动机外特性曲线进行研究,发现速度特性曲线扭矩上升段为发动机不稳定工作区域,分析并指出了发动机在任意节气门开度下的稳定工作转速范围;结合某国产汽油机进行了台架试验,测试了若干组速度特性曲线数据,建立了该发动机特性曲面,描绘了该发动机的最大扭矩山脊线,特性曲面表明:山脊线左侧为发动机不稳定工作区域,山脊线右侧才是发动机稳定工作区域。

关键词:发动机;外特性;稳定转速;特性曲面

中图分类号:U464.11

文献标志码:A

相比于发动机速度特性曲线将节气门开度离散化和发动机负荷特性曲线将节气门开度离散化,发动机特性曲面能连续地反映出发动机转矩、功率、燃油消耗率等与节气门开度、发动机转速之间的关系,对发动机经济性和动力性预测以及变速器换挡规律研究有重要作用。

一般认为,发动机在任意节气门开度下,其稳定工作的转速范围为发动机最低转速至最高转速;然而,研究发现,发动机在不同节气门开度下,稳定工作转速范围存在差异,在节气门中等开度至全开区间,发动机的最低稳定转速不再是发动机的最低转速^[1]。这对研究经济换挡时机和动力换挡时机有重要意义^[2]。

1 发动机非稳定工作区域

发动机速度特性曲线是当发动机的节气门开度(柴油机是油量调节机构位置)一定时,其有效功率 P_e ,有效转矩 T_{iq} 和有效燃油消耗率 b_e 等性能指标随转速 n 的变化关系^[3-4]。当节气门开度为100%,对应的发动机速度特性曲线称为发动机外特性曲线。节气门开度部分开启式,对应的发动机速度特性曲线称为部分负荷特性曲线。图1为发动机速度特性转矩曲线,分别给出了100%开度和10%开度对应的转矩曲线。从100%开度转矩曲线可以发现,转矩曲线先随转速升高而增大,转速达到 $n_{T_{max}}$ 时,转矩达到最大值 T_{max} ,之后随转速升高而下降;而在10%开度下转矩曲线呈现全程下降。观察所有开度对应的转矩曲线,不难发现,在节气门中等开度及大、全开度时,转矩曲线均会呈现先上升后下降的状态,而节气门开度小时,转矩曲线则是单调下降。

根据汽车理论和汽车发动机原理知识,图1(a)中100%开度和10%开度对应的2条特性曲线转速工作范围分别是 $[n_{min}, n_{max2}]$ 和 $[n_{min}, n_{max1}]$;然而,研究发现,对于100%开度的转矩曲线,其上升段为不稳定区,发动机不能在扭矩上升段稳定工作。

如图1(a)所示,曲线 T_{iq2} 为发动机外特性输出转矩曲线,在曲线 T_{iq2} 下降区,分布有3个工作点,分别为点1、点2和点3。设点2为当前稳定工作点,对应的发动机转速为 n_2 ,发动机输出转矩为 T_2 ,外界阻力矩为 T_f ,显然有 $T_2 = T_f$ 。保持发动机节气门开度不变,当遇到下坡时,外界阻力矩 T_f 降低为 T'_f ,因 $T_2 > T'_f$,发动

收稿日期:2014-12-23

基金项目:江西科技学院校级自然科学基金重点项目(ZR12ZD02)

作者简介:邱香(1981—),女,讲师,硕士,研究方向为车辆现代设计方法与理论。

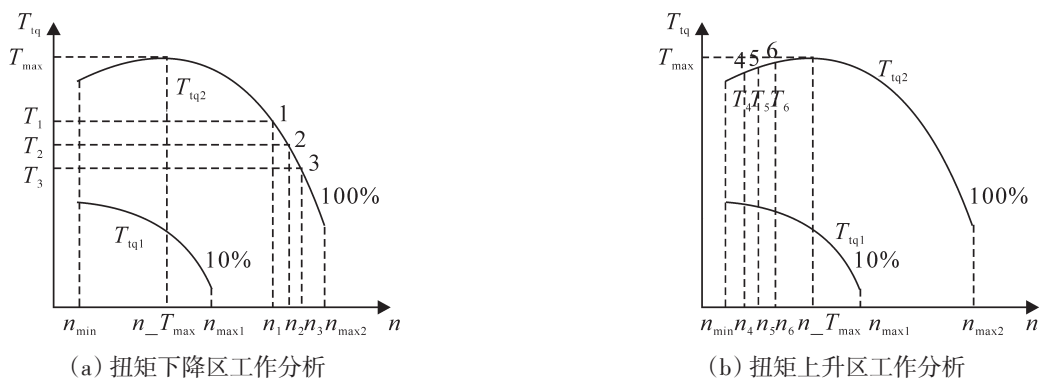


图1 输出与负载转矩特性分析图

Fig.1 Output and load torque characteristics analysis chart

机会加速直至与阻力矩达到平衡,设在点3重新稳定,即 $T_3 = T_f'$,从图1(a)可知,发动机从点2过渡到点3,转矩在下降的同时速度加快,这与下坡行驶工况相符。当在稳定工况点2遇到上坡时,由于坡道阻力的加入,总的阻力矩增大至 T_f'' ,此时 $T_2 < T_f''$,显然发动机需增大转矩以重新平衡,设在点1达到平衡状态,此时 $T_1 = T_f''$,从图1(a)可知,从点2到点1工况,转矩在增大的同时转速下降,这与上坡行驶工况相符。分析可知,发动机能稳定工作在转矩下降区。

在转矩曲线上升段,即最大转矩点左端,情况却是相反的。在图1(b)中,设发动机稳定工作在转矩上升段,点5为当前稳定工作点,对应的发动机转速为 n_5 ,发动机转矩为 T_5 ,外界阻力矩为 T_f ,则有 $T_5 = T_f$ 。保持节气门开度不变,当遇到下坡工况时,阻力矩下降,设下降至 T_f' ,如图1(b)所示,发动机则应该由当前工作点5左移到工作点4,而点4发动机转速为 $n_4 < n_5$,这说明下坡时发动机节气门不变,发动机的转速反而会减小,显然不合理;另一方面,由于原来的输出转矩 $T_{tq2} > T_f'$,发动机有多余动力要加速,转速会上升,工况点应该沿特性曲线右移,到达某一新平衡点,从图1(b)可知,若还停留在上升段,随着发动机转速的增大,负载转矩也将增大,即在汽车下坡时保持节气门开度不变,会出现转速升高但负载转矩增大的情况,这也不合理。

同理,当遇到上坡工况,阻力矩增大至 T_f'' ,如图1(b)所示,发动机则应该由当前工作点5右移到工作点6,而点6对应的发动机转速为 $n_6 < n_5$,这说明上坡时发动机节气门不变,发动机的转速反而会变快,显然不合理;另则,由于原来的输出转矩 $T_{tq2} < T_f''$,发动机动力不足会减速,工况点应沿特性曲线左移,到达某一新平衡点,从图1(b)可知,若发动机还工作在上升段,随着发动机转速的减小,负载转矩会减小,意即在汽车上坡时保持节气门开度不变,会出现转速减低而负载减小的情况,同样不合理。

综上,发动机只能稳定工作在转矩下降区。

2 发动机稳定工作区域

由以上分析可以得出,车辆在运行过程中,发动机转矩上升段为非稳定工作区域,不能在图中所示的最大转矩点的左端这一区间稳定工作,发动机稳定的转速工作范围不应该是 $[n_{\min}, n_{\max}]$,而是 $[n_{T_{\max}}, n_{\max}]$ 。

如图2所示,若当前发动机以10%的开度工作在 n_{s1} 的转速和 T_{s1} 的工况点 s_1 处,在道路阻力不变的情况下,突然把油门开度踩到100%的开度,忽略油门踏板作用时间,可视为踩下瞬间发动机转速仍为 n_{s1} ,发动机由工况点 s_1 变化到 s 点,由于 s 点位于非稳定工

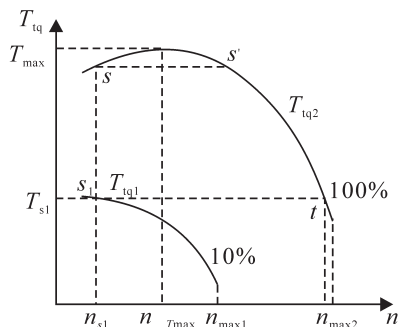


图2 输出与负载转矩特性分析图

Fig.2 Output and load torque characteristics analysis chart

作区域,发动机会快速跳至等扭矩稳定工作点 s' ,再加速至 t 点达到平衡。

若把各个节气门开度下的转矩特性曲线都画在同一张图中,每个开度下都对应一个最大转矩点,将这些最大转矩点连成一曲线,这条曲线形状类似一条“山脊线”。那么,对于发动机而言,“山脊线”的左端区域为非稳定工作区域,不可利用;“山脊线”的右端区域为合理工作区域,均能被利用。

3 基于发动机特性曲面的某发动机稳定工作区域

发动机特性曲面为发动机扭矩或者发动机功率、转速和节气门开度3参数之间的相互关系用曲面形式表示^[5-9]。通过发动机特性曲面,能直观反映出发动机的速度特性和发动机的负荷特性,掌握发动机特性的变化规律,在发动机与变速器匹配研究中有重要意义。将发动机最大转矩山脊线与发动机曲面同时绘出,可明显看出发动机曲面的不稳定工作区域和稳定工作区域。

对某国产汽油机进行了台架试验,图3为台架试验图,分别测试了节气门开度为12%,22%,38%,57%,80%和100%的速度特性曲线,每条曲线选取了10个测试点,测试数据如表1所示,表中,转矩单位为 $\text{N}\cdot\text{m}$,转速为 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

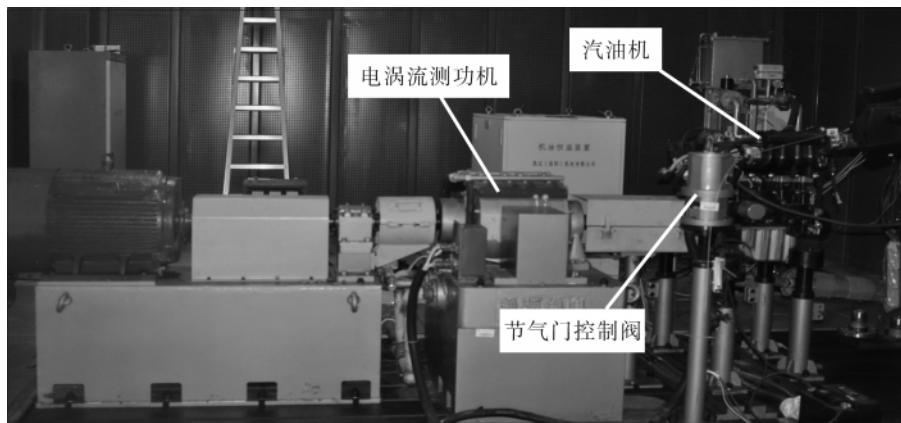


图3 某国产汽油机台架试验

Fig. 3 A domestic gasoline bench

表1 某汽油机发动机特性值

Tab.1 A gasoline engine characteristic values

节气门开度											
100%		80%		57%		38%		22%		12%	
转矩	转速	转矩	转速	转矩	转速	转矩	转速	转矩	转速	转矩	转速
128.9	1 200	124.1	1 200	119.3	1 200	105.3	1 200	77.6	1 200	49.9	1 200
137.2	1 600	130.1	1 600	119.1	1 600	100.3	1 600	74	1 360	49.8	1 280
143.2	2 000	133.7	2 000	118.1	2 000	93.4	2 080	69.2	1 520	47.3	1 360
147.7	2 400	136.4	2 400	117.6	2 400	87.7	2 400	63.4	1 680	42.8	1 440
151.1	3 200	137.2	3 200	112.1	3 200	84.3	2 640	56.8	1 840	36.9	1 520
150.5	3 600	135.6	3 600	105.6	3 600	78.4	2 880	49.7	2 000	30.2	1 600
147.7	4 000	133.1	4 000	96.6	4 000	61.7	3 280	37.8	2 240	23.1	1 680
143.2	4 400	127.6	4 400	86.5	4 400	51.65	3 520	27.6	2 400	15.9	1 760
135.7	4 800	117.6	4 800	71.5	4 800	36.62	3 840	15.1	2 560	9.38	1 840
121.1	5 200	99.6	5 200	50.4	5 200	8.64	4 240	3.78	2 720	3.91	1 920

运用4次拉格朗日插值法将表1中的干扰数据和可信数据进行初步甄别筛选,采用matlab样条插值法,建立该发动机“扭矩-转速-节气门开度”和“功率-转速-节气门开度”的三维特性曲面,计算每条速度特

性曲线中的最大扭矩点,获得最大扭矩山脊线,如图4所示^[10-11]。

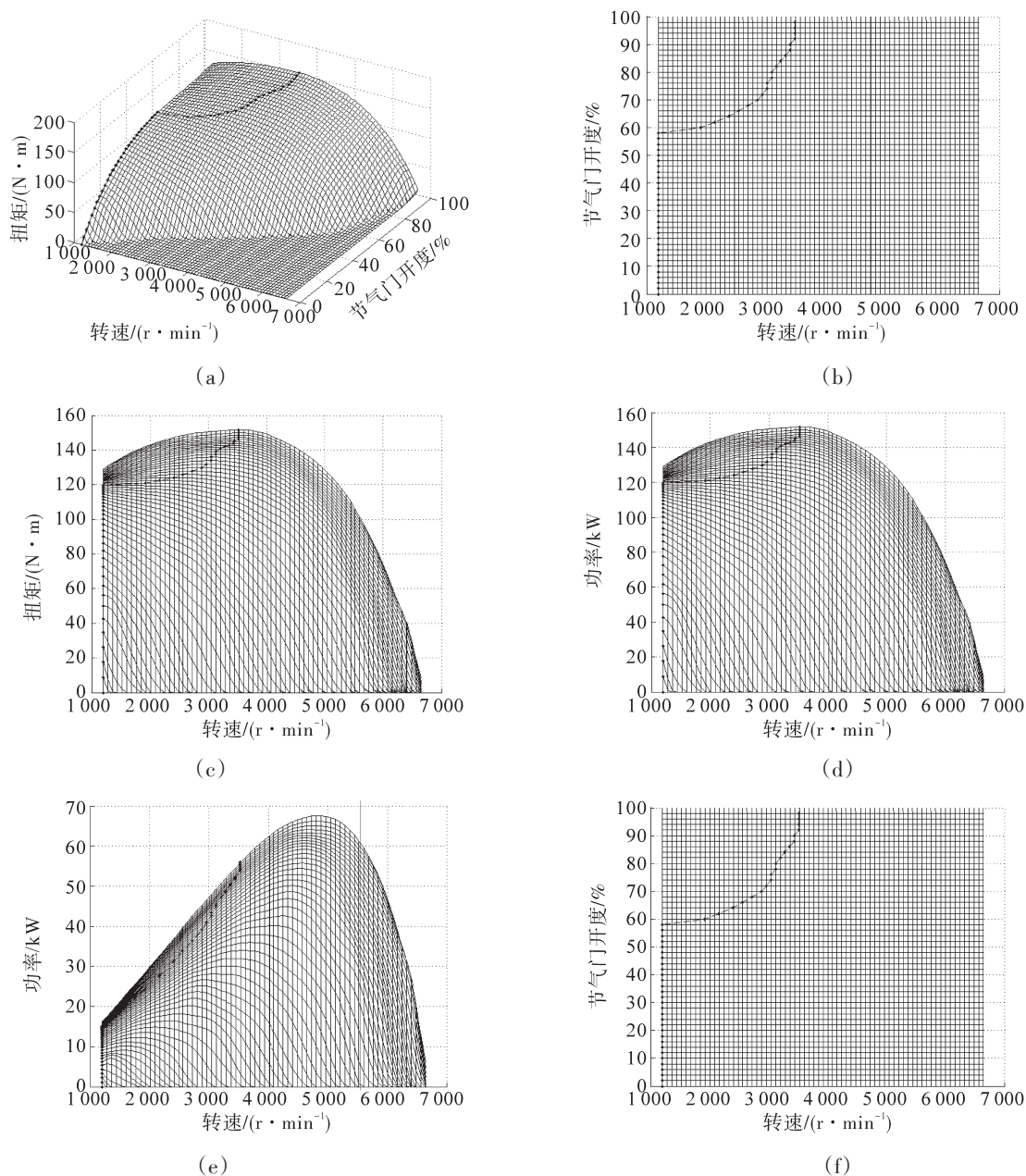


图4 转矩特性曲面、功率特性曲面及最大扭矩山脊线

Fig. 4 Torque characteristic curve & power characteristic curve and maximum torque ridgelines

图4显示该发动机转矩特性曲面及转矩山脊线,山脊线往左为非稳定工作区域,山脊线往右为发动机稳定工作区域,同时还发现,发动机节气门开度约在50%以下时,发动机的最低稳定转速为发动机的最低转速,而约在50%开度以上,最低稳定转速将不再是发动机的最低转速,随着节气门开度的增大,相应的最低稳定转速也将增大。

通过发动机试验台架还可以获得发动机的燃油消耗率,对燃油消耗率曲线进行分析可以得出最小燃油消耗率曲线,然而该最小燃油消耗率曲线应在发动机的稳定工作区域,即在最大扭矩山脊线的右侧才有意义,否则实际工况发动机将不可能实现最小燃油消耗率。发动机燃油经济性的分析可在本论文基础上深入开展。

4 结论

1) 对发动机扭矩曲线进行了研究,发现并论证了扭矩曲线上升段为非稳定工作区域,指出了发动机在不同节气门开度下的稳定转速范围;

2) 通过实测发动机运行数据,可根据其“扭矩-转速-节气门开度”、“功率-转速-节气门开度”特性曲面和本文所述最大扭矩山脊线,找到其稳定工作区域;

3) 节气门开度低于约50%,发动机各负荷的最低稳定转速为发动机的最低转速,超过约50%开度以后,发动机各负荷的最低稳定速度将增大。

参考文献:

- [1] 柯晶晶. 基于发动机特性曲面的变速器换挡策略研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2012.
- [2] 王伟,廖林清,柯晶晶,等. 基于发动机特性曲面的换挡策略研究[J]. 机械设计,2013,10:46-49.
- [3] 余志生,夏群生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2009:3-5.
- [4] 韩同群. 汽车发动机原理[M]. 北京:北京大学出版社,2012:292-294.
- [5] 朱伟伟. 发动机特性建模方法的选择[J]. 现代车用动力,2007(2):27-30.
- [6] 马向平,李春燕,骆清国,等. 一种发动机万有特性曲面拟合的新方法[J]. 装甲兵工程学院学报,2006(1):52-54.
- [7] 关志伟,杨玲,施继红,等. 基于 MATLAB 语言的发动机万有特性研究[J]. 吉林农业大学学报,2003(3):339-342.
- [8] 黄美美,赵志伟,靳华磊,等. 基于 MATLAB 语言的发动机万有特性曲线的绘制[J]. 现代制造技术与装备,2011(5):19-24.
- [9] 蔡隆玉,谢继鹏,杨敏. 万有特性曲线绘制软件实现方法研究[J]. 装备制造技术,2010(9):47-49.
- [10] 廖林清,柯晶晶,谢明,等. 发动机转矩特性分析及相关图形的修正[J]. 重庆理工大学学报:自然科学,2012(3):8-11.
- [11] 欧阳爱国,罗茶根,刘军,等. 可移动式汽车发动机功率测量仪设计[J]. 华东交通大学学报,2011,28(3):78-82.

Research on Engine Stable Working Area Based on Its Characteristics Curve

Qiu Xiang¹, Ke Jingjing²

(1. College of Automotive Engineering, Jiangxi University of Technology, Nanchang 330098, China; 2. Guangzhou Toyota Automobile Co., Ltd, Guangzhou 510000, China)

Abstract: This paper discusses the engine external characteristics curve and finds out that the engine torque raised segment in the speed characteristic curves is an unstable working area. Then it points out the stable working speed area at any opening of the throttle. Combined with a measured data of a domestic gasoline engine, it establishes a characteristics surface of the engine, working out the maximum torque ridge line and its steady working area. It concludes that the left area of the maximum torque ridge line is unstable working area, and the right area of the maximum torque ridge line is stable working area. This study helps to express the engine's working surface accurately, which is significant for engine characteristics theoretical and applied research.

Key words: engine; engine external characteristics; steady speed; characteristics surface

(责任编辑 刘棉玲)