

性能与排放

E85 乙醇汽油对发动机排放及燃烧影响研究

汪 斌¹, 刘子强¹, 李 全², 张泽豹¹

(1. 联合汽车电子有限公司, 上海 201206; 2. 七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 从试验及匹配角度出发, 对燃烧 E85 与 E0 的发动机的排放及燃烧相关参数进行对比研究。结果表明: E85 的 HC、CO 排放各种工况下都优于 E0; NO_x 排放中小转速、中小充气效率下好于 E0, 其他转速、充气效率下 NO_x 排放显著增加; E85 燃烧放热速度快于 E0; E85 发动机全工况无爆震, 实际点火角可以做到最优点火角。所得到的结果可作为 E85 发动机设计及发动机标定的依据。

关键词: 发动机; E85; 排放; 燃烧

中图分类号: TK421⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)05-0023-05

Research on the Influence of E85 Ethanol Gasoline on Engines' Emission and Combustion

Wang Bin¹, Liu Ziqiang¹, Li Quan², Zhang Zebao¹

(1. United Automotive Electronic Systems Company, Shanghai 201206;

2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: Comparative analysis of the emission and combustion parameters of engines using E85 and E0 were carried out based on tests and calibrations. The results show that the HC and CO emissions of E85 are better than E0 under various working conditons; NO_x emissions of E85 at medium and low speeds and volumetric efficiency are better than E0, but increase significantly at other speeds and volumetric efficiency; the combustion and heat release speed of E85 is faster than E0; no knocking occurred on E85 under all working conditions, and the ignition angle can be calibrated to be the same as the optimal angle. The research results can be used as the guidance for E85 engine design and engine calibration.

Key words: engine; E85; emission; combustion

0 引 言

乙醇是一种可再生的生物能源, 可按一定比例加入汽油中实现汽油的部分替代, 具有无毒、与汽油相溶性好、辛烷值高且燃烧速度快的优点; 而且乙醇的物理性质与汽油较接近, 发动机掺烧少量的乙醇燃料, 机械结构不须做太大改动。乙醇作为一种部分替代汽油的理想能源, 近年来在国内外已得到广泛应用, 并取得了良好的经济效益和环保效果。泰国能源部为了缓解汽油进口对财政造成的压

力, 在 2012 年采取多种形式, 积极推广 E85 乙醇汽油 (85% 乙醇体积比), 燃料中的乙醇原料来自于糖蜜 (蔗糖)、木薯等。某整车厂为满足出口泰国市场的需要, 车辆须满足使用 E85 乙醇汽油的要求。本文从发动机台架试验出发, 对发动机燃用 E85 与 E0 的 HC、CO、 NO_x 排放特性及放热率速度、点火角等燃烧参数做对比研究, 总结出 E85 对发动机排放物及燃烧的影响规律, 进而指导 E85 发动机设计及 ECU 数据标定。

收稿日期: 2017-01-04; 修回日期: 2017-08-25

作者简介: 汪斌 (1975-), 男, 工程师, 主要研究方向为汽车动力总成标定, 灵活燃料开发技术, E-mail: bin.wang2@uaes.com。

1 试验测试设备

试验台架设备包括: AVL APA 202 交流异步测功机、AVL FULEEXACT740 油耗仪、AVL 冷热冲击、AVL 553 发动机冷却液温度控制装置, 以及 Horiba MEXA-ONE、MEXA-2100SPCS 排放测试相关设备。

测试用发动机主要参数如表 1 所示。

试验用油: E0 油 (乙醇体积比为 0%, 汽油体积比为 100%), 中国石化市售 93# 汽油; E85 油 (乙醇体积比为 85%, 汽油体积比为 15%), 来自泰国市场, 油轮进口到中国。

表 1 试验用发动机主要参数

主要参数	试验用 1 号 电喷发动机	试验用 2 号 电喷发动机 (废气增压)
缸径/mm	75	80
行程/mm	84.8	89.3
排量/L	1.498	1.795 5
最大功率/ kW@ (r · min ⁻¹)	78@ 6 000	118@ 5 500
最大扭矩/ (N · m)@ (r · min ⁻¹)	135@ 4 500	215@ (2 000 ~ 4 500)

2 E85 理化特性

泰国进口的 E85 呈淡绿色, 易挥发, 具有强烈的酒精气味。为了更好地说明 E85 的性质, 将 E85 与 E0 的理化特性进行对比, 如表 2 所示。

表 2 E85 与 E0 的主要理化特性比较

项目	E85	E0
化学分子式	C ₂ H ₅ OH/ C ₈ H ₁₈	C ₈ H ₁₈ (以辛烷为例)
φ (O ₂) /%	30.12	0
理论空燃比	9.82	14.2
热值/ (MJ · kg ⁻¹)	33.06	43.5
气化潜热/ (MJ · kg ⁻¹)	789	297
着火极限/%	4.3 ~ 19 (E100)	1.4 ~ 7.6
辛烷值 (RON)	106	90 ~ 97
火焰传播速度/ (cm · s ⁻¹)	50 (E100)	39 ~ 47

可以看出, E85 与 E0 相比, 具有以下特点:

(1) E85 含有更多的氧。乙醇自身携带一个氧原子, 使发动机燃油燃烧更为充分, 在一定程度上可以提高发动机的功率, 改善其动力性。同时过量的氧元素, 相当于加大了空燃比, 有利于改善 HC 及 CO 的排放特性。

(2) E85 气化潜热值大。乙醇分子之间由氢键缔合, 并以缔合分子的形式存在, 乙醇气化时须

要足够多的热量来破坏氢键, 因此乙醇的气化潜热值偏大。较大的气化潜热会使进气温度降低, 提高了充气系数, 进而降低了 NO_x 和碳烟排放, 有利于改善发动机的排放。

(3) E85 热值小, 理论空燃比小于 E0。为了使混合气的热值与 E0 一样, 可通过加大燃料的供应量。实际在发动机标定过程中, 为了达到与 E0 相同功率扭矩, E85 的喷油量基本是汽油的 1.43 倍左右。

(4) E85 辛烧值高。E85 辛烧值远高于 E0, 因此发动机燃烧的抗爆性能优于 E0, 可以避免由于爆震导致的扭矩及功率下降。

(5) E85 火焰传播速度快。火焰传播速度快意味着: E85 在发动机中燃烧时具有较好的及时性和限时性, 使用 E85 的车辆其动力响应更快。

3 发动机排放与燃烧测试结果对比分析

试验用电喷发动机分别燃烧 E85、E0 燃油, 经 ECU 数据标定, 使发动机的动力性、经济性和排放特性都达到最优后, 采集发动机排放物 (HC、CO、NO_x) 及燃烧相关参数 (燃烧放热速度、点火角) 进行对比分析。

3.1 HC 及 CO 排放物

发动机排放物中的 HC 来源于缸内未参加燃烧或未完全燃烧的碳氢燃料。HC 排放浓度与过量空气系数有关, 根据经验: 在混合气略稀 ($\lambda = 1.1 \sim 1.2$) 状态下, HC 排放浓度最低; 混合气过浓和过稀均会使 HC 的排放浓度增大。CO 是碳氢燃料在燃烧过程中生成的主要中间产物, 可燃混合气的过量空气系数对 CO 排放的影响与对 HC 排放的影响趋势基本一致。

发动机试验台架测试的 E85 及 E0 的 HC 排放结果对比如图 1 所示。横坐标为发动机转速, 纵坐标为发动机充气效率 (进气时所吸入的空气质量与活塞行程容积的标准状态下空气质量比)。

根据排放浓度, 将 E85 与 E0 的 HC 排放浓度划分为三个区域: 怠速附近区域、外特性区域、其他转速、充气效率区域, 具体如下:

(1) 怠速附近区域 (转速 800 ~ 1 000 (r · min⁻¹), 充气效率在 25% 以下)

在此区域 E85 的 HC 排放略好一些。由于这一区域混合气空燃比基本维持在 1 左右, 发动机转速在怠速附近, 充气效率也是仅能维持发动机内部阻力, 在充气量上, E85 和 E0 差别不大, 因此,

E85 中多余的氧含量优势对过量空气系数的影响并不十分明显。

(2) 外特性区域(各转速、外特性充气效率率点)

该区域内发动机充气效率与转速都最高,因此发动机的排温也最高,为了保护零部件,标定数据混合气都是加浓的, λ 甚至会在 0.82 左右。对于 E0 来讲,过浓的空燃比造成大量的 HC 排放,从试验数据来看基本都在 $2\,000 \times 10^{-6}$ 左右。对于 E85 来讲,由于 E85 汽化潜热大,在参与蒸发燃烧时会降低缸内温度,同样,在保证零部件不受损坏的前提下, λ 值不会过浓,HC 排放就远低于 E0;另一方面,高速、大充气效率时,E85 中多余的氧含量对未燃烧的 HC 进行快速氧化,因此,该区域内相较 E0,E85 降低 HC 排放的效果十分明显。

(3) 其他转速、充气效率区域

这一区域 E85 的 HC 排放好于 E0,基本是 E0 的一半。主要原因在于 E85 的理化特性。E85 燃料自携氧要比空气中的氧更有助于充分燃烧,加之乙醇化学结构,其燃烧速度和火焰传播速度高于汽油,后燃的现象较少。

综上所述,E85 在发动机各转速与充气效率下,其 HC、CO 排放均优于 E0。CO 排放测试结果的对比趋势与此类似,在此不再赘述。

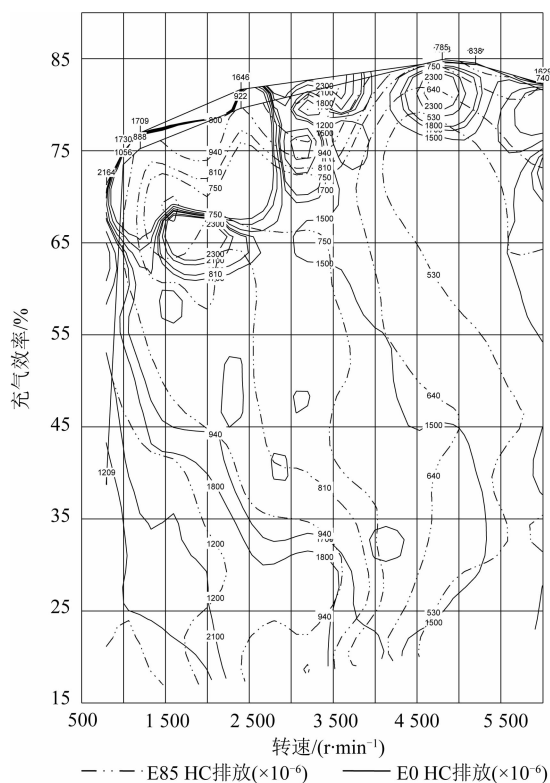


图1 E85 及 E0 台架试验 HC 排放结果对比

3.2 NO_x 排放物

发动机燃烧排放中的 NO、NO₂ 等通常被统称为 NO_x,其中 NO 占比较大。目前的研究表明:NO 的生成途径主要有三种形式:高温 NO、激发 NO 和燃料 NO。

(1) 高温 NO。发动机在燃烧过程中,燃烧室会形成一个温度很高的环境。在高温的作用下,氧分子 O₂ 裂解成氧原子 O,并与 N₂ 或 N 发生化学反应生成 NO。在 $\lambda > 1.0$ 的偏稀混合气中,高温更利于 NO 的产生。

(2) 激发 NO。当混合气处于过浓状态时,在火焰前锋面上也会有大量的 NO 生成,这种现象称为快速 NO 激发。

(3) 燃料 NO。指的是在发动机燃烧过程中,燃料中的氮化合物发生相应化学反应生成的 NO。燃料 NO 的生成量随着 λ 的降低而显著减少;随着燃料中含氮量的上升,NO 的生成几乎呈线性增长。

发动机试验台架测试的 E85 及 E0 的 NO_x 排放结果对比如图 2 所示。

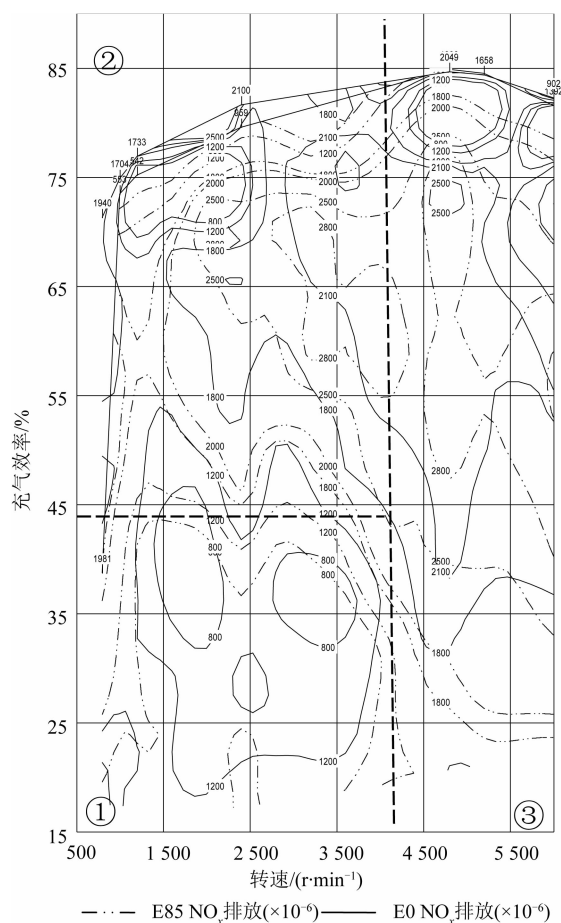


图2 E85 及 E0 台架试验 NO_x 排放结果对比

根据 NO_x 的排放浓度,将 E85 及 E0 台架 NO_x 排放分为三个区域,如图 2 中虚线分割,分别为:

中小转速、中小充气效率区域①、中小转速、大充气效率区域②、高转速区域③。具体对比分析如下：

(1) 中小转速、中小充气效率区域

该区域 E85 的 NO_x 排放物低于 E0。虽然乙醇汽油燃料自携氧要比汽油多，但是乙醇的热值低，汽化潜热约为汽油的 2.9 倍，在参与蒸发与燃烧时可以降低进气温度，降低混合气燃烧温度，从而降低 NO_x 排放。

(2) 中小转速、大充气效率区域

该区域 E85 的 NO_x 排放略高于 E0。由于充气效率加大，缸内燃烧温度升高，燃烧放热也比较集中。表 3 是相同转速、相同充气效率下两种燃料的燃烧放热率对比，可以看出：E85 的放热快于 E0，使得 E85 的 NO_x 排放高于汽油。

表 3 E85 与 E0 相同转速、相同充气效率下
燃烧放热率与曲轴转角关系

单位： $^{\circ}\text{CA}$

燃油类型	5% 放热率	10% 放热率	50% 放热率	90% 放热率
E85	-5.2	-4.75	3.67	11.56
E0	-2.4	-0.13	8.02	18.44

(3) 高转速区域

该区域 E85 的 NO_x 排放明显高于 E0。这是由于随着转速的升高，缸内气流扰动加强，火焰传播速度加快，热效率提高，缸内温度升高， NO_x 的生成量随温度升高成倍增长；另外 E85 混合燃料因为自身携氧，导致 NO_x 的生成速率迅速提高， NO_x 排放高于 E0。

综上所述，乙醇燃料在进气道和燃烧室吸热蒸发，降低了进气温度和缸内最高燃烧温度，使得 NO_x 排放有减小的趋势；另一方面，由于乙醇又是一种含氧燃料，燃烧速度比汽油快，当乙醇混合气被引燃后，燃烧混合气中含氧量增加，又促进 NO_x 排放，最终 NO_x 排放量的多少取决于二者的综合作用。

3.3 燃烧放热率速度

E85、E0 燃油 50% 燃烧放热率如图 3 所示。在相同转速和充气效率下，由于乙醇火焰传播速度快于汽油，这意味着乙醇在发动机中的燃烧具有很好的及时性和限时性，所以 E85 的 50% 放热率比 E0 有所提前。

3.4 点火角

E85、E0 燃油点火角对比如图 4 所示。

根据 E85 及 E0 点火角差异的大小可分为两个区域。

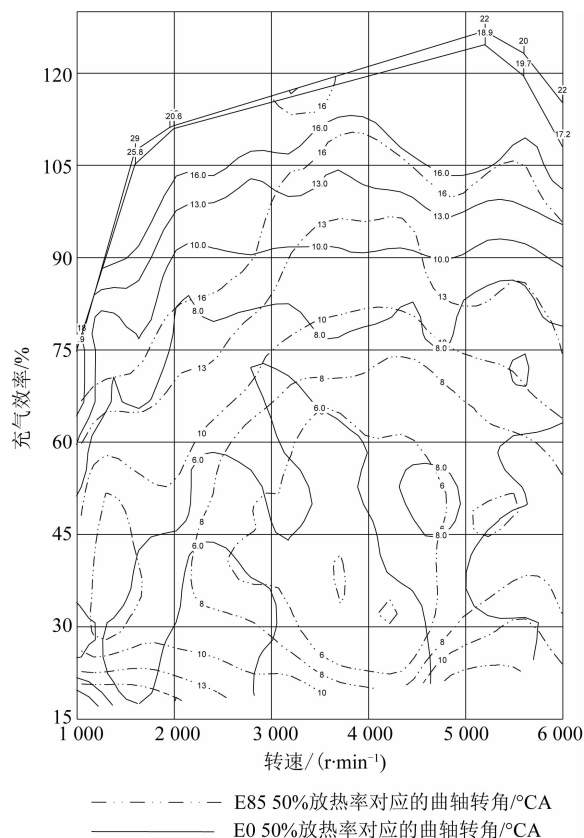


图 3 E85 及 E0 50% 燃烧放热率对比

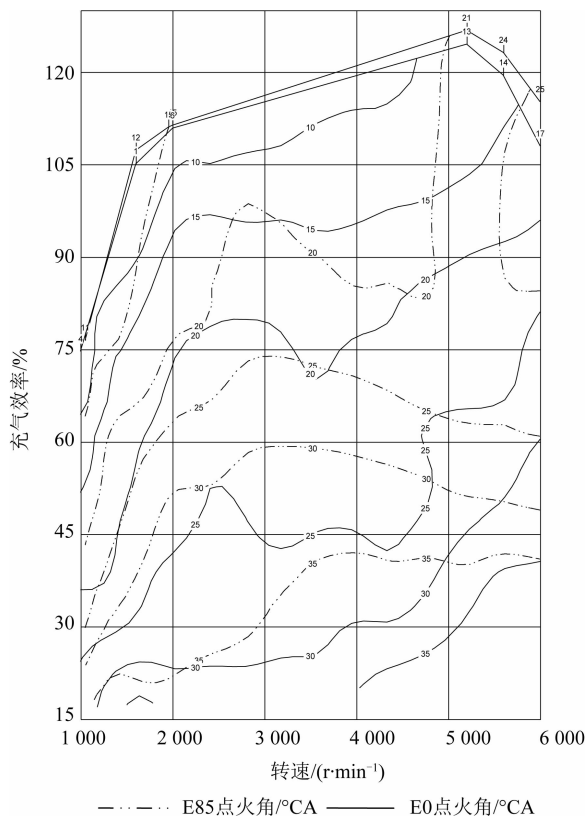


图 4 E85 及 E0 点火角对比

(1) 外特性区域（各转速下，外特性充气效率点）

E85 点火角远大于 E0, 尤其在高转速外特性附近, 相差 10°CA 左右。这一区域为了达到最大功率, E0 点火角在爆震限值的边缘, 从保护发动机出发, 点火角不能标定过大。E85 辛烷值远高 E0, 具有更强的抗爆性。在实际标定过程中, E85 全部工况没有检测到爆震信号, 外特性区域, E85 为了达到更高的功率及扭矩, 点火角可以标定成最优点火角。

(2) 其他区域

E85 点火角与 E0 相比, 要提前 5°CA 左右, 这主要是乙醇辛烷值高于汽油。在数据标定时, 不考虑爆震, 实际点火基本都在最优点火角区域, 可以达到最低油耗。

4 结论及建议

对 E85 和 E0 发动机台架试验得到的 HC、CO、 NO_x 排放数据及放热速度、点火角等燃烧参数的对比分析表明:

(1) 对于 HC、CO 排放, 各转速、充气效率下 E85 明显优于 E0, 尤其在高转速、高充气效率区域。因此, 对于满足 E0 排放法规的车辆, 在标定时, 只须要考虑 E85NEDC (新欧洲行驶工况) 循环第一阶段, 特别是冷机起动阶段, 在确保起动安全的前提下, 做好进气、喷油与点火角的配合。

(2) 对于 NO_x 排放, 中小转速、中小充气效率区域 E85 好于 E0, 其他充气效率点 NO_x 排放增加显著。发动机设计时要更多的考虑内部 EGR, 尤其在高速、高充气效率区域, 应选择合适的配气

正时来加大废气回流, 从而降低 NO_x 排放。对于车辆排放循环, 要特别关注高速、高充气效率工况。

(3) E85 放热速度快于 E0, 在车辆驾驶性标定时, 不须过多地进行扭矩干预, 其燃烧及时性及快速性可以使车辆动力更加平顺, 无顿挫感。

(4) E85 发动机全工况无爆震, 可以做到最优点火角。标定时, 可以做到实际点火角等于最优点火角, 避免由于爆震带来的扭矩及功率下降。在设计发动机时可以考虑适当加大压缩比, 来提高发动机的动力性。

参考文献

- [1] 霍瑾杰. 车用乙醇汽油与无铅汽油排放污染物检测结果的比较分析 [J]. 环境保护与循环经济, 2009, 29 (1): 40-41.
- [2] 王文强, 何志武, 黄超艳. 普通车用汽油和 E10 乙醇汽油的尾气排放研究 [J]. 广西轻工业, 2008, 24 (12): 112.
- [3] 朱振明, 王长生, 闫学军. 普通车用汽油和 E10 乙醇汽油对汽车尾气排放的影响调查 [J]. 预防医学论坛, 2006, 12 (5): 561-562
- [4] MARRIOTT C D, WILES M A, PARRISH S E, et al. Development of a naturally aspirated spark ignition direct injection flex-fuel engine [J]. Sae International of Engines, 2008, 1 (1): 267-295.
- [5] CAO Y. Operation and cold start mechanisms of internal combustion engines with alternative fuels [C]. 14th Asia Pacific Automotive Engineering Conference, 2007, (01): 3609.

《柴油机》征订启事

《柴油机》杂志系由国家科委批准, 中国船舶重工集团公司主管, 中国船舶重工集团公司第七一一研究所主办的工程技术类期刊, 办刊宗旨是“面向科研、生产第一线, 以实用、应用技术为主, 为全国柴油机界服务”。

本刊辟有机型与综述、性能与排放、智能化与控制、结构与可靠性、系统与附件、减振与降噪、工艺与材料、相关技术、使用维修、信息动态、文献题录等栏目。读者对象为柴油机及相关行业的管理人员、专业技术人员、高等院校师生、使用维修人员等。

《柴油机》为中国核心期刊(遴选)数据库、CNKI 中国期刊全文数据库、中国学术期刊综合评价数据库以及中文科技期刊数据库收录期刊。

《柴油机》为双月刊, 单月 28 日出版; 大 16K, 64 页; 单期订价 8 元, 全年订价 48 元; 邮发代号: 4-407。

如有漏订可与编辑部联系。

电话: 021-31310201; 31310202 传真: 021-51711700 (注明编辑部收)

电子信箱: dieselengine@sina.com