



【编者按】想必大家对本刊2008年第一期老葛的“λ传感器的故事”印象颇深，小编读完后，一种耳目一新的感觉油然而生，也第一次感受到修车的“理论”原来可以这样来讲述，通俗易懂，意犹未尽。别走开，关于“λ的故事”，请大家接着听——

# 汽车尾气和λ的故事

●文 / 美国 葛洵 (本刊特约撰稿人)



## 葛洵

在中国,他没有一本与车有关的证书,连汽车驾驶执照都没有。

在美国,他是美国汽车工程学会会员,先后获得各种资格证书不胜枚举,包括 ASE 主技师证书、ASE L1 发动机高级技师、加州汽车尾气主技师证书……

他曾是国内一科研机构的科技工作者。为了继续深造,他自费赴美国留学。

因为勤工俭学,他走进了美国汽车维修行业,而且这一干就是20余年。先后工作过的汽车修理厂有10多家。目前他是美国北加州一家奔驰4S店的一线汽修技师,在这里他已经工作了3年多,因为每天都能学到新东西。

1975 年上高中,学工学农时,在北二汽当过学徒工。

1978 年上大学,1982 年大学物理系毕业。

1986 年自费赴美留学,读物理系研究生,勤工俭学,从事修车。通过博士资格考试后,虽成绩优异,但论文还没完成就弃学从工。为此把家人气得够呛。可能是嫌当工人“太小”?怎么着也应该混个师长、旅长什么的。

汽车尾气分析虽然具有很重要的环境保护意义,但绝不仅仅如此。尾气分析对发动机的燃油控制、燃烧是否完全、有没有失火等等也有很强的指导作用,我还是用故事给您慢慢讲起。

美国加州的Alameda 是一个美丽的小城市,在那里有一家高科技公司 Bridge Analyzers Inc,译成中文的话可以叫“大桥分析仪器”。您可别认为他们跟修桥有什么关系,虽然旧金山湾区以桥多而著名,但该公司的产品却以发动机尾气分析仪为主。该公司的老总叫Robert Schrader,是一位在本行业中被公认的智者,和他熟悉的人都叫他的昵称 Bob。我们曾经在论坛上就一些观念或技术问题争得面红耳赤,可事后没人记仇。您可能会问,提 Bridge Analyzer 公司和 Robert Schrader 先生干嘛?原因是他对美国汽修行业的尾气分析做出过很大贡献,起过桥梁的作用,是他让我们这些技师懂得了如何用尾气的测量来计算λ和燃烧效率(Combustion Efficiency)。

用四尾气或五尾气分析仪来分析发动机的燃烧情况由来已久。四尾气分析仪是指用来测量尾气中碳氢化合物(HC)、一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、氧气(O<sub>2</sub>)含量的仪器,如果该仪器还能够测量氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的含量,就变成了五尾气分析仪。图1是汽油机空燃比

A/F(或λ)与燃烧产物浓度关系图(测量位置在三元催化器前),咱们就来看看完全燃烧后排出的尾气中包含以上几种气体的情况。

碳氢化合物(HC)是尾气中不好的产物,生汽油(汽油机使用的燃油)就是它。它的生成有很多原因,失火就是一个典型的例子。机油中汽油的含量过高也会使它在尾气中的浓度变高。

一氧化碳(CO)是有毒气体,它是不完全燃烧的产物。油多气少时(λ < 1)

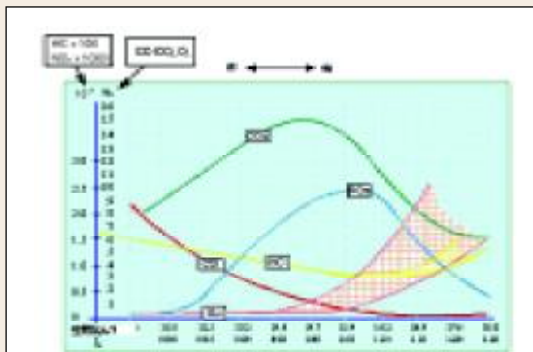


图1 汽油机空燃比 A/F (或 λ) 与燃烧产物浓度关系图

纵坐标左侧刻度是指 HC、NO<sub>x</sub> 的体积含量 (ppm); 纵坐标右侧刻度是指 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 的体积含量 (%)

时,发动机的机械故障及各个气缸不平衡等都会造成不完全燃烧。

二氧化碳(CO<sub>2</sub>)被认为是好的气体,但现在人们说它是能够使环境产生温室效应的气体,各个国家都在想办法尽可能减少它的排放。对发动机而言,它的含量高表明燃烧完全。如果燃烧完全,尾气在通过催化器前,CO<sub>2</sub>的含量可在13.2% ~ 14.2%,通过催化器后可能达



到15%，尾气中CO<sub>2</sub>的浓度高低与用什么燃油有关。

氧气(O<sub>2</sub>)在大气中含量约占21%，氮气(N<sub>2</sub>)约占78%。混合气较浓时，燃烧后，尾气中的O<sub>2</sub>浓度很低，约在0.1%~0.5%之间。过了平衡点(A/F=14.7或λ=1.00)后，尾气中O<sub>2</sub>的浓度逐渐上升。O<sub>2</sub>进入发动机有两条渠道，一是通过进气管，二是燃油中所含的氧，比如使用乙醇汽油等。

氮氧化物(NO<sub>x</sub>)是造成地表臭氧浓度高的元凶之一，为了减少它的排放，人们采用了许多新的技术，比如EGR、可变气门正时(Variable Valve Timing—VVT)、三元催化器等等，以后咱们再聊如何修理NO<sub>x</sub>排放高的车。

维修用的五尾气分析仪大都用非色散红外(NDIR)技术探测CO、CO<sub>2</sub>和HC，用电化学传感器测O<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>。值得一提的是对HC的校准通常用丙烷，测量有多少碳氢链，再换算成已烷(C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>)来代表汽油，这种测量对开环的碳氢化合物很准确，对闭环的及甲烷等等不很准确。

咱接着聊，在测量时，一定要注意排气系统不能漏气，封闭不好会影响测量的结果。如果排气系统有问题，哪怕只有一个，费功夫测了半天尾气，又有什么用呢？有了这些气体的测量结果后，我们就可以计算反映混合气浓度的λ值和反映燃烧是否完全的燃烧效率(CE)了。

以前人们用CO/CO<sub>2</sub>的比例来判断混合气浓度的高低，还有的人是根据氧气的含量来判断，这些都不准确。我前面提到的那位专家Robert Schrader花了大量的心血查到1979年德国科学家Johannes Bretschneider博士发表的一篇文章，并再三反复验证。根据其论文中的讲解，我们知道了如何通过尾气计算λ。Bretschneider博士还推导了一个简单的公式来计算燃烧效率(CE)，Robert

Schrader把这些方法用在他生产的仪器上，既方便又实用。很多尾气分析仪上λ值的计算大都是采用Bretschneider方程。

咱们来看一个实例怎么样？各种化合物的含量分别如下：HC为596ppm，CO为1.72%，CO<sub>2</sub>为12.74%，O<sub>2</sub>为1.65%，NO<sub>x</sub>为251ppm。您要是只看CO的含量，会觉得混合气比较浓；如果只看O<sub>2</sub>的含



量，又觉得混合气比较稀，到底混合气是浓还是稀呢？是油多还是气多？您猜猜看计算的λ值是多少？燃烧情况又如何？我先不说结果，最后再说，不着急，您慢慢想。

您可能会问：我有四尾气或五尾气分析仪，但是它并不显示刚才讲的λ值，怎么办？当然买新的最好(小玩笑)，实际上您只要能测量的各种气体都记录下来，自己就可以计算，这些计算公式在Bridge Analyzers的网站上有，网址是：<http://www.bridgeanalyzers.com>，进入主页后到Automotive Diagnostic Gas Analyzers，再点击Manuals/White Papers，所有的白皮书都在上面。您可以用上面所列的公式自己计算就可以了，或者写成计算程序。在美国的<http://www.iatn.net>网站上有编好的网页，填上测出的数据，很快就可以看到结果。

用尾气分析仪的时候有几个方面必须注意，前面讲了，排气系统不能漏气，

这很重要。如果有气泵向排气中灌气的话，那么，在正式测量前要将其解除，以免稀释尾气，造成氧气浓度太高。另外，尾气分析仪的响应时间是几秒钟，具体时间长短跟您的仪器品牌有关。它反映的是一种延迟后的效果，比车载氧传感器和车载电脑控制混合气的速度慢，尾气分析仪显示的只是发动机平均混合气的情况。

如果将尾气分析仪和解码器结合使用，将会是维修诊断过程中十分有利的武器。尾气分析仪还可以判断催化器的有效率，通过测量催化器前、后的尾气，进行对比，我们就可以定量地知道催化器到底多有效。比如在催化器前可以用打孔的方式(美国有一种专用工具)，打个孔，装一个有内螺纹的空心铆钉，将尾气分析仪的探头接上。测量结束后，再拧一个小螺栓封死，一点都不会漏气。这么有用的仪器，您还不快跟车厂说买一个(对不起，我老忍不住开小玩笑)？尾气分析仪的保养也不难，无非是定期校准，换过滤之类的小事。但千万记住：不能让液体进到尾气分析仪里面。我就见过有人用它测量缸盖是否漏气，结果吸进了冷却液使得仪器报废。我想大家都不至于这么傻。

您还记得前面讲的实例吗？算的结果是λ=1，混合气不浓也不稀。看来混合气浓还是稀不是主要问题，而燃烧率(CE)只有90.3%，究其原因是机械问题使各缸不平衡，我见过的车95%以上都是属于这类情况。好啦，本期的故事就讲完了。📌

(特别感谢李玉茂老师在本文编辑中给予的帮助)