

汽车发动机失火诊断标定及故障案例分析

张宏高 赖先涛 王毅

(上汽通用五菱汽车股份有限公司 广西 柳州 545007)

摘要: 发动机失火是汽车最常见的故障之一,在汽车前期的项目开发过程中合理的标定失火诊断,可以有效地识别失火故障,减少对失火误判、错判、漏判的发生。本文通过高原怠速冲洗失火案例,论述汽车发动机失火故障问题处理思路,为项目标定开发和问题解决提供参考。

关键词: 失火; 发动机; 怠速冲洗; 催化器; 排放

0 引言

汽车失火是指发动机油路(发动机喷油器短路、断路)、气路(气路压缩压力过低)、火路(点火线圈无点火、点火时间过短等)出现故障,及动力总成本体等原因,导致气缸内燃油和空气混合物不能正常燃烧的现象。出现失火时,由于气缸不能正常做功,会导致发动机工作时运行不平稳,使得发动机总成动力性能下降,动力输出减少,具体表现为发动机抖动、加速无力等。

整车出现失火故障时,汽油不能充分燃烧,进入排气系统后非甲烷碳氢和一氧化碳不能被三元催化器充分转化,促使尾气排放迅速恶化。同时,大量未燃烧的汽油进入三元催化器发生后燃剧烈放热,从而使三元催化器温度迅速升高,如不加以控制,将永久损坏催化器。为满足排放法规和保护整车零部件要求,快速有效识别出失火现象,及时采取措施降低失火危害,项目开发阶段合理的失火诊断标定显得尤为重要。一般情况下,失火诊断标定主要包括以下三大模块:失火检测、失火统计、坏路检测。

1 失火检测

失火检测的目的是将失火准确地检测识别出来,避免无失火时识别到失火导致误判和真实出现失火时未能识别而漏判^[1]。

1.1 失火监测范围

发动机运转时的失火监测范围主要由以下三个边界条件确定:

- (1) 发动机转速 4500r/min 和 WLTC 循环中的最高转速 + 1000r/min 相比较,两者取小。
- (2) 变速箱档位在全 N 档时的发动机转矩曲线。
- (3) 发动机在以下工况点相连线:(2) 中转矩曲线 3000r/min 工况点,与(1) 中发动机最高转速曲线上进气歧管总成真空度较(2) 中转矩曲线低 133bPa 的工况点。

发动机运转时的失火监测范围如图 1 所示。

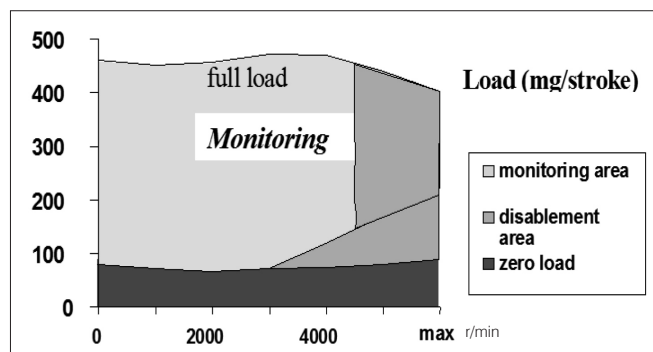


图 1 失火监测区域

1.2 失火检测判断方法

失火检测核心是计算失火诊断参考变量 $luts$ (失火信号),其原理是测量发动机各缸曲轴转动 180° 的时间,公式如下:

$$luts(k) = \frac{ts(k+1) - ts(k)}{ts^3(k)} \propto \frac{M}{\theta}$$

1.2.1 失火信号影响因素

失火信号的影响因素主要有:

(1) 惯量 θ 。影响发动机惯量的因素包括:车重、变速箱类型、变速箱速比、双质量飞轮等,标定过程中如发生变化,需重新匹配。

(2) 转矩 M 。与发动机转矩相关的参数对失火信号均有影响,比如转矩模型、驾驶性等,失火标定之前这些模块均需固化。

(3) 分段时间 ts 。影响分段时间的因素主要是转速传感器的安装位置,在飞轮端或在皮带轮端,与信号轮之间的距离,以及安装是否牢靠。

1.2.2 失火类型

失火类型主要分为以下四种:

(1) 单次失火,即一个缸发生单次失火,其他缸燃烧正常。

(2) 连续失火,即一个缸连续发生失火,其他缸燃烧正常。

(3) 对称多重失火, 即有两缸 (或两缸以上) 发生连续失火, 且从点火顺序来看, 两缸的点火位置是对称的。

(4) 非对称多重失火, 即有两缸 (或两缸以上) 发生连续失火, 且从点火顺序来看, 两缸的点火位置是不对称的。

1.2.3 失火检测方法

失火检测方法主要有 *luts* 法、*dluts* 法和 *fluts* 法三种。*luts* 法是失火检测功能模块中最基本的检测方法, 其余两个检测方法均是在处理 *luts* 信号基础上演变而来。*luts* 法可检测单次失火、连续失火和多重失火, 其计算公式如下:

$$luts(k) = \frac{ts(k+1) - ts(k) - tkomp(k)}{ts^3(k)}$$

1.3 自学习值修正

由于燃烧因素和各气缸进气量、压缩比及空燃比等的差异, 导致各气缸相应的 *luts* 信号也有差别, 需要齿偏差自学习和燃油偏差自学习对 *luts* 信号进行修正^[2]。

1.3.1 齿偏差自学习

齿偏差自学习需在发动机断油情况下进行, 得到稳定的齿偏差自学习值, 对分段时间进行修正, 从而消除其对 *luts* 信号的影响^[3]。其具体操作方法为: 手动挡车挂3档, 发动机转速开到2000~3000r/min, 松油门, 使车倒拖发动机, 直到转速降到2000r/min, 学习时达到标志位置位, 即可重复上述操作, 直至断油学习值等于0即完成。

1.3.2 燃烧偏差自学习

燃油偏差自学习是在发动机供油情况下进行, 目的是通过低通滤波得到各缸稳定的 *luts* 噪声, 作为供油自学习值, 直接对 *luts* 信号进行修正。由于发动机的燃烧与转速、负荷呈正相关, 因而燃油偏差自学习需要覆盖整个转速和负荷范围。其具体操作为: 自由驾驶, 当某个转速区间和某个负荷区间满足后, 对应负荷下的转速点就会变黑, 直到燃烧偏差自学习值等于0即完成。

2 失火统计

法规规定车辆制造商必须提供“导致污染物超过EOBD限值”和“一个或多个排气催化器因失火过热而造成不可逆损坏”的失火率数值, 并采取不同的故障灯MIL控制策略。因此失火统计MIL分为: 与排放相关的失火统计、与催化器损坏相关的失火统计和MIL灯控制。

2.1 失火统计标定的前提

(1) 常规匹配基本结束, 涉及充气模型、转矩模型等方面的数据冻结。

(2) 后氧控制、清氧控制、碳罐冲洗等匹配工作完成, 数据冻结。

(3) 带后氧控制的排放优化完成, 老化催化器的排放验证完成, 排放数据冻结。

(4) 失火检测功能匹配完成, 数据基本冻结。

2.2 与排放相关的失火统计

与排放相关的失火统计, 通过排放试验找到老化HC排放恶化随失火率 (失火次数/2000) 增加的关系, 一般将HC排放达到EOBD限值80%左右时的失火率水平定义为报失火故障的失火率阈值。以发动机运转1000转 (四缸机2000次燃烧) 为一个统计周期, 如果在一个驾驶循环中累计有4个统计周期 (连续/不连续均可) 检测到的失火次数超过指定阈值, 则判定系统出现了导致排放恶化的失火故障。当失火率达到某一限值 (四缸机2%~5%), “导致I型试验排放结果超过EOBD限值”时, 按照故障管理策略点亮MIL灯, 报失火最小故障。

2.3 与催化器损坏相关的失火统计

当发生失火时, 未燃烧的混合气在催化器中反应放热, 导致催化器温度上升, 因而催化器的转化能力越强, 相同条件下催化器温度上升越高。与催化器损坏相关的失火统计一般是以发动机运转200r/min为一个统计周期。当催化器损坏失火计数大于催化器损坏的失火率4000/5000时, 报最大失火故障。催化器损坏失火率标定图如图2所示。

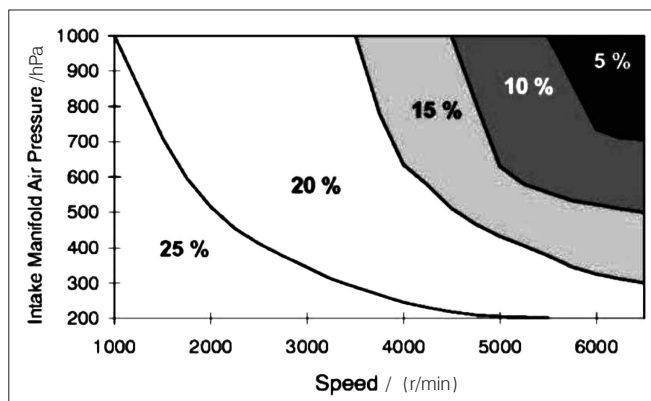


图2 催化器损坏失火率标定图

在不同的工况点, 失火对三元催化器的影响程度不同。当系统检测到能导致催化器损坏的失火时, MIL灯立即闪烁以警告驾驶员。当某缸与催化器损坏相关的失火统计值持续数个统计周期, 系统将会对该缸进行断缸以避免催化器的进一步损坏。虽然ECU控制逻辑已诊断为催化器损坏类型失火, 但是当车辆速度和转速下降到相对损坏催化器较小的程度时, MIL灯将停止闪烁, 只保持点亮状态, 提示车辆可以继续行驶。

2.4 MIL灯控制

无论是与排放相关的故障还是与催化器损坏相关的故障, 满足连续两次带失火故障的驾驶循环, 点亮MIL灯; 满足连续四个不带失火故障的驾驶循环相似工况要求, 熄灭MIL灯。

3 坏路诊断

失火检测是通过测量发动机各缸曲轴转动180°的

分段时间进行判定诊断的,而分段时间与发动机转速密切相关。当车辆在崎岖不平的路面行驶时,车辆的振动引起车轮受到的力矩产生变化,并通过传动轴传递至发动机,导致发动机转速上下来回振荡产生类似失火的信号,达到一定程度时 ECU 控制逻辑会误判为失火而点亮 MIL 灯。为避免出现这种诊断误判,标定开发时 ECU 控制逻辑需识别坏路工况,及时抑制失火诊断功能。对于匹配 ABS 配置的项目,一般通过 ABS 轮速传感器测得车轮转动加速度。其原理为在坏路上颠簸使轮速发生变化,利用 ABS 发出的轮速信号计算轮速变化率,超过相应阈值则判定为车辆行驶在坏路上,抑制失火检测。对于非 ABS 配置项目,一般采用软件法^[4]。

4 案例分析

4.1 问题背景

N 平台 N15A 动力某车型项目开发阶段进行高原道路试验时,验证高原怠速碳罐冲洗工况过程中整车出现失火的情况,主要表现为连续失火,失火主要集中在 3、4 两缸,该问题无法通过加浓减稀来调整喷油优化标定数据覆盖解决。

4.2 原因分析

发动机失火的原因多种多样,根据发动机工作原理,可以通过油、气、电三路进行排查,包含供油系统、进气系统、点火系统及 ECU 控制信号等相关的硬件和软件。本案例是在高原试验碳罐冲洗及造粗泄漏特殊工况下进行的,通过了解碳罐的原理和特性可知,碳罐冲洗过程中会有大量油气进入进气歧管,排查范围可以重点锁定在进气系统上。根据失火故障集中发生在 3、4 两缸这一现象,通过 INCA 采集进气歧管内部各缸空燃比发现:1、2 两缸空燃比偏浓,3、4 两缸空燃比偏稀。同步采集喷油器喷油量发现 4 个缸喷油量均正常。进一步排查进气歧管硬件时发现碳罐油气管路入口在歧管正中间,节气门在 4 缸附近。碳罐冲洗过程中,油气会被进气较多地吹到 1 缸和 2 缸附近,导致 1、2 两缸出现空燃比偏浓,3、4 两缸偏稀情况(与 INCA 采集到数据吻合),最终导致 4 缸失火。优化进气歧管结构后,碳罐油气管路入口更换至节气门后,使碳罐油气在进入进气歧管稳压腔前就开始混合,提升进入四个缸碳罐油气的均匀性。优化后,使用同版标定数据验证效果明显,碳罐油气能够

充分混合,同等碳罐负荷、开度下不再发生连续失火,不报 4 缸失火故障,失火问题得到改善。进气歧管优化后同版数据试验对比分析如图 3 所示。

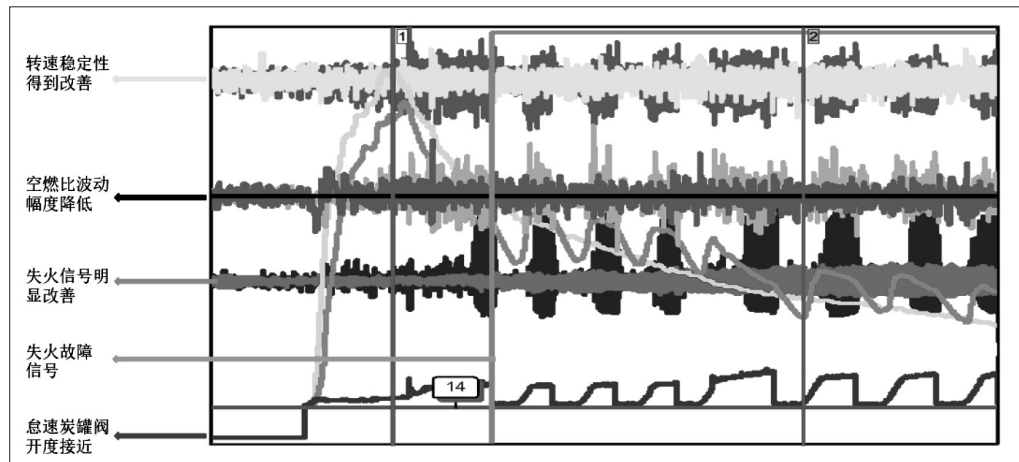


图3 进气歧管优化后同版数据试验对比分析

4.3 原因小结

本案例中失火问题是由于进气歧管碳罐管路结构设计不合理造成的,优化后在 N 平台多台车交叉对比进行充分验证。结果表明,优化进气歧管可以有效解决高原怠速冲洗过程中的失火问题,同时转速波动幅度、空燃比波动幅度均得到改善,提升了驾驶品质。

5 结语

综上所述,本文首先介绍了发动机失火的现象和危害,着重讲述了项目开发阶段失火诊断的整个标定流程,并结合案例分析了发动机失火问题查找原因排查过程。希望通过本文的总结及梳理能够给同行对失火诊断标定提供一定的借鉴,为解决各类失火故障提供一些思路。

参考文献:

- [1] 陈敏瑕,周峰雷. 车载诊断系统介绍[J]. 企业科技与发展,2011(19):24-26.
- [2] 何兴,何智渊,黄迎,等. 汽油机国五 OBD 标定及问题研究[J]. 现代车用动力,2017(03):49-54.
- [3] 冯永超,王博,张大伟. 汽油机失火故障排查方向研究[J]. 汽车实用技术,2021,46(13):141-143.
- [4] 任强,谢丽萍,谢双飞. 基于软件法识别坏路的介绍与分析[J]. 装备制造技术,2012(10):147-149.

作者简介: 张宏高(1987.10-),男,壮族,广西柳州人,本科,工程师,研究方向:汽车标定;赖先涛(1985.10-),男,汉族,广西柳州人,本科,工程师,研究方向:汽车标定;王毅(1989.04-),男,汉族,河南洛阳人,本科,工程师,研究方向:汽车标定。