

基于 SCR 效率诊断防抖方法的鲁棒性控制研究

赵子行¹, 方晓鹏¹, 孟媛媛¹, 董秀云¹, 王文丽²

1. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061; 2. 盛瑞传动股份有限公司, 山东 潍坊 261061

摘要:基于车载诊断(on-board diagnostics, OBD)系统鲁棒性的概念和试验方法,研究平均值防抖、驾驶循环次数防抖、 m/n 防抖、事件上升/下降计数防抖、事件连续计数防抖等处理方法对 OBD 系统鲁棒性风险影响。研究发现:随着平均次数的增加,平均值防抖处理的可接受的最差性能(worst performances acceptable, WPA)有效件 4σ 限值逐渐升高并趋于稳定,不可接受的最好性能(best performances unacceptable, BPU)有效件 2σ 限值降低并趋于稳定;随循环次数的增加,驾驶循环次数防抖处理可降低 WPA 件的 I 型风险,但 BPU 件的 II 型风险呈线性小幅增加;随着 m 的增加, m/n 防抖处理方法 WPA 件的 I 型风险逐步降低并趋于稳定,但 BPU 件的 II 型风险由逐步升高变为陡增;针对不限定诊断事件次数的策略,使用事件上升/下降计数防抖处理或事件连续计数防抖处理均能控制 WPA 件的 I 型风险,随着诊断事件次数增加趋于稳定。不同的防抖处理方法对 WPA 件的 I 型风险和 BPU 件的 II 型风险影响不同,应根据诊断策略和产品问题选择合适的防抖处理方法,提高 OBD 系统鲁棒性。

关键词:SCR 效率诊断;防抖处理方法;OBD 系统鲁棒性

中图分类号:TK427;U467

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2022)02-0087-05

引用格式:赵子行,方晓鹏,孟媛媛,等.基于 SCR 效率诊断防抖方法的鲁棒性控制研究[J].内燃机与动力装置,2022,39(2):87-91.

ZHAO Zihang, FANG Xiaopeng, MENG Yuanyuan, et al. Analysis of the robustness of debouncing method based on SCR efficiency diagnosis[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022,39(2):87-91.

0 引言

欧洲已经实施欧 VI 排放标准,2018 年中国也发布重型车国六排放标准^[1]。与国五标准相比,重型车国六排放标准的氮氧化物(NO_x)和颗粒物(particulate matter, PM)排放限值分别下降 80% 和 50%,国六排放标准对车载诊断(on-board diagnostics, OBD)要求更严格^[2],对选择性催化还原(selective catalytic reduction SCR)效率监控诊断时效性和准确性的要求更高^[3-4]。为准确评估诊断监测的准确性和风险,应在产品开发阶段引入鲁棒性分析^[5],通过量化的数字指标来评价 OBD 故障的误报率和漏报率。

误报影响产品的正常工作和排放质保,降低误报概率将大大减小质保费用;漏报影响 OBD 认证,导致排放检查不合格,降低漏报概率将提高通过 OBD 系统认证的成功率。SCR 效率诊断的鲁棒性研究就是要通过各种方法降低误报和漏报的概率,平衡误报和漏报,设计满足在用监测频次要求的 OBD 诊断策略。鲁棒性涉及不可接受最好性能(best performance unacceptable, BPU)有效件和可接受的最差性能(worst performances acceptable, WPA)有效件 2 个重要概念,BPU 件一般是指老化到有效寿命的有效件,WPA 件一般指接近于 OBD 排放限值的失效件。基于统计学分析方法,SCR 效率诊断鲁棒性控制通常的指导原则为:诊断限值距 WPA 件采集数据中值的距离为 4σ ,距 BPU 件采集数据中值的距离为 2σ ,满足

收稿日期:2021-05-21

基金项目:山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2020CXGC011004)

第一作者简介:赵子行(1984—),男,河北衡水人,工学硕士,主要研究方向为 OBD、排放控制, E-mail: zhaozih@weichai.com。

这个指导原则时系统误报概率小于0.1%,漏报概率小于3%。

进行鲁棒性分析和数据处理前,SCR效率诊断的WPA件和BPU件多为重叠分布,很难根据上述的原则设置OBD诊断限值,需要使用各种防抖处理方法,国外有通过移动平均防抖处理(exponentially weighted moving average, EWMA)降低误报和漏报概率的相关研究^[6-7]。鲁棒性分析可以使用防抖处理方法,对参数敏感性进行统计学分析,研究使能条件的标定和OBD限值的设置,找到对OBD策略鲁棒性影响较大的因素^[8-9]。

本文中主要研究SCR效率诊断的不同防抖处理方法对OBD鲁棒性的影响。

1 试验条件

试验采用一台满足国六排放的直列、水冷、四冲程、电控共轨、增压中冷6缸柴油机,柴油机装有柴油氧化催化器(diesel oxidation catalyst, DOC)、柴油颗粒捕捉器(diesel particulate filter, DPF)、SCR、氨逃逸催化器(ammonia slip catalyst, ASC)等后处理系统。柴油机主要技术参数见表1;整车试验的车辆采用12挡12JSD180TA变速箱(各挡速比分别为12.10、9.41、7.31、5.71、4.46、3.48、2.71、2.11、1.64、1.28、1.00、0.78),整车试验参数见表2;整车试验工况及WPA和BPU件试验要求见表3(表中PEMS为便携式车载排放测试系统)。

表1 柴油机主要技术参数

缸径/mm	行程/mm	排量/L	额定转速/(r·min ⁻¹)	额定功率/kW	最大扭矩/(N·m)
116	150	9.5	1900	294	1900

表2 整车主要技术参数

后桥速比	车辆类型	整备质量/kg	最大总质量/kg
150	N3	8830	48 830

表3 整车试验工况及要求、WPA和BPU件试验要求

序号	试验工况	工况要求	WPA件试验要求	BPU件试验要求
1	市区工况	车辆平均车速为15~30 km/h	1000 km	1000 km
2	市郊工况	车辆平均车速为45~70 km/h, M1、N1类车辆平均车速为60~90 km/h	1500 km	1500 km
3	高速工况	车辆平均车速为70 km/h, M1、N1类车辆,平均车速为90 km/h	500 km	500 km
4	山区工况	坡度大于6%的路程占比大于50%	500 km	500 km
5	混合工况	用户自定义工况,将市区、市郊、高速、山区工况按比例组合运行	1000 km	1000 km
6	PEMS工况	按照文献[1]要求执行	3次PEMS循环	3次PEMS循环

2 试验结果与分析

2.1 SCR效率监测试验结果

将整车测试采集的SCR效率试验数据与报错限值进行差值并进行正态分布处理,得到图1所示的试验结果。

由图1可知,试验结果WPA件的4 σ 限值小于BPU件的2 σ 限值,不满足标准要求,针对试验结果进行防抖处理,研究是否通过防抖处理满足产品开发要求。

2.2 防抖处理方法分析

2.2.1 平均值法

平均值防抖处理方法是测量值进行平均,以

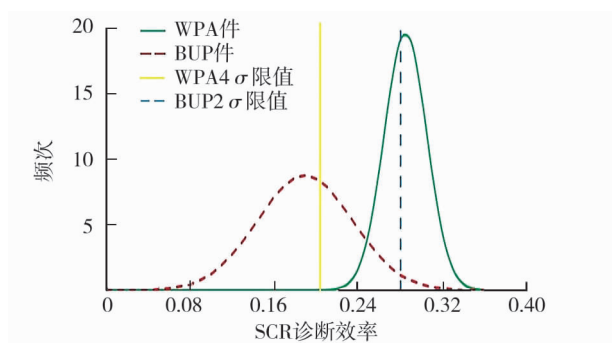


图1 某车基于SCR效率监测的鲁棒性试验结果

测量值的平均值与标准限值进行比较,判定是否存在故障。对WPA件的 4σ 限值和BPU件的 2σ 限值进行的平均值防抖分析如图2所示。

由图2可知:随着平均次数的增加,WPA件的 4σ 限值逐步上升并趋于稳定,BPU件的 2σ 限值逐步下降并趋于稳定,WPA件的 4σ 限值与BPU件的 2σ 限值差距逐步拉大并趋于稳定;当平均次数为2次时,WPA件的 4σ 限值大于BPU件的 2σ 限值,表明采用2次平均值方法时满足WPA件的 4σ 和BPU件的 2σ 距离要求;随着平均次数的增加,WPA件和BPU件的区分度越大但故障监测完成所用的时长越长则不满足在用监测频次(in-use performance ratio, IUPR)要求的风险越大,在确定平均次数时须全面考虑降低I型(误报错)和II型(漏报错)风险以及IUPR要求。

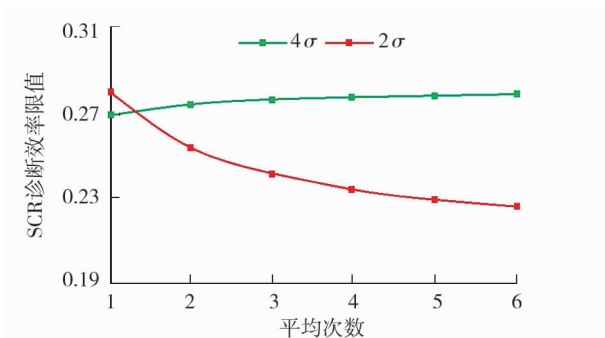


图2 平均值防抖分析

2.2.2 驾驶循环次数法

故障监测判定存在故障,通过若干驾驶循环最终确认故障存在的防抖处理方法即驾驶循环次数防抖处理法,文献[1]中允许2个驾驶循环确认故障,如故障监测超过2个驾驶循环须向检测部门备案。WPA件的I型风险和BPU件的II型风险的驾驶循环次数防抖分析如图3所示。

由图3可知:从1个循环增加到2个循环时,WPA件的I型风险降低较大,之后随着驾驶循环数的增多,WPA件的I型风险降低幅度很小并趋于稳定;随着驾驶循环数增加,BPU件的II型风险随驾驶循环数呈线性小幅增加。增加驾驶循环数可较大降低WPA件的I型风险且BPU件的II型风险增加较小。当采用2个驾驶循环确认故障时,WPA件的I型风险为0.000002,满足 4σ 要求;BPU件的II型风险为0.0027,满足 2σ 要求,BPU件的II型险增加幅度较小可接受。

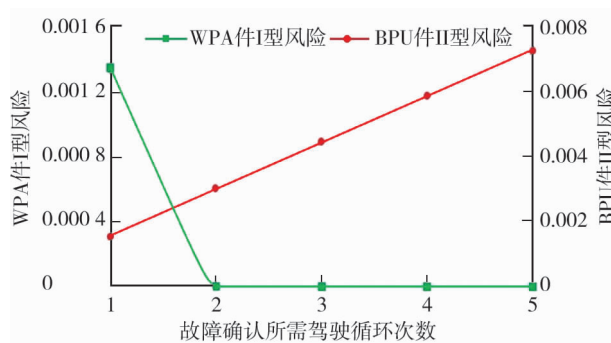


图3 驾驶循环次数防抖分析

2.2.3 m/n 法

m/n 防抖处理方法是测量值与监测限值进行 n 次测量比较,当测量值低于监测限值次数超过 m 次,则确认故障存在。本文中 $n=5$ (WPA件I型初始风险为 2σ ,BPU件II型初始风险为 1σ)为例对WPA件的I型风险和BPU件的II型风险进行 m/n 防抖处理方法分析, m/n 防抖分析结果如图4所示。

由图4可知:WPA件的I型风险随着 m 的增加逐步降低且逐步趋于稳定;BPU件的II型风险随着 m 的增加逐步升高,当 $m>3$ 后风险陡增;当 $m=2$ 时,WPA件的I型风险降低为0.005,满足 4σ 要求;BPU件的II型风险为0.003,满足 2σ 要求,BPU件的II型风险增加幅度较小可接受。

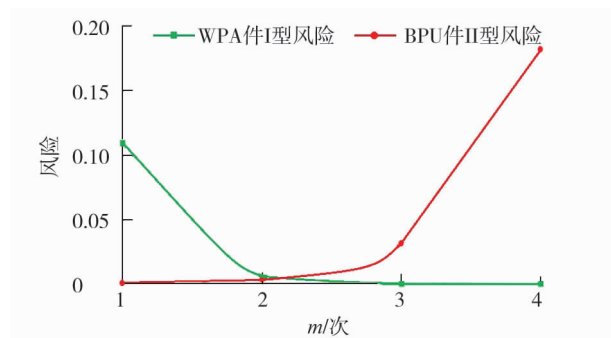


图4 m/n 防抖分析

2.2.4 基于事件上升/下降计数法

事件上升/下降计数防抖处理方法是测量值与监测限值比较结果作为1次诊断事件,当测量值低于监测限值时故障计数增加1次,测量值高于监测限值时计数降低1次,当计数大于计数限值后确认故障存在的防抖处理方法。本文中计数限值等3(WPA件I型初始风险为 2σ ,BPU件II型初始风险为 1σ)为例对WPA件的I型风险和BPU件的II型

风险进行分析,分析结果如图5所示。

由图5可知:WPA件的I型风险随着诊断事件数增加而增加并逐步趋于稳定,BPU件的II型风险随着诊断事件的增加逐步降低且逐步趋于稳定。诊断事件数受到驾驶循环的影响,针对不限定诊断事件次数的策略使用此防抖处理方法控制WPA件的I型风险。

2.2.5 基于事件连续计数法

事件连续计数防抖处理方法是以前测量值与监测限值比较结果作为1次诊断事件,当测量值低于监测限值时故障计数增加1次,测量值高于监测限值时计数重置清零,当计数大于计数限值后确认故障存在的防抖处理方法。本文中以前计数限值等2(WPA件I型初始风险为 2σ ,BPU件II型初始风险为 1σ)为例对WPA件的I型风险和BPU件的II型风险进行分析,分析结果如图6所示。

由图6可知:WPA件的I型风险随着诊断事件数增加而增加并逐步趋于稳定,BPU件的II型风险随着诊断事件的增加逐步降低且逐步趋于稳定。诊断事件数受到驾驶循环的影响,针对不限定诊断事件次数的策略使用此防抖处理方法可控制WPA件的I型风险。

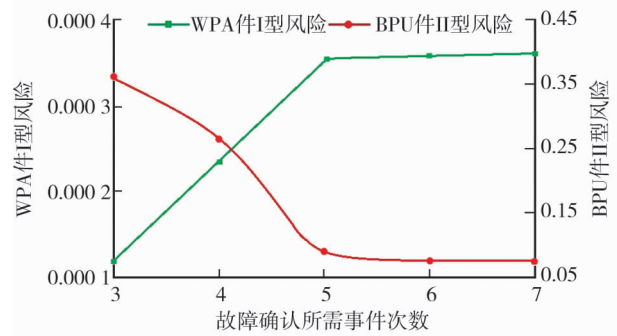


图5 事件上升/下降计数防抖分析

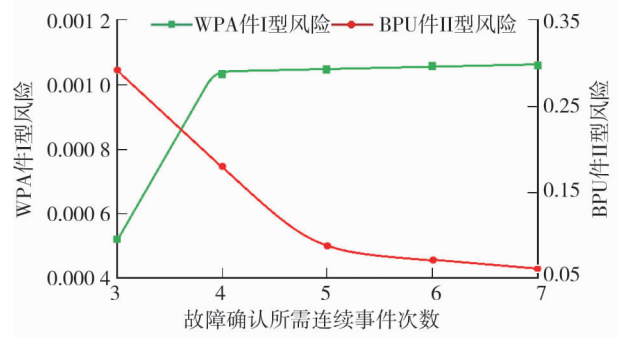


图6 事件连续计数防抖分析

3 结论

探讨不同防抖处理方法对OBD鲁棒性的影响,通过分析平均值防抖、驾驶循环次数防抖、 m/n 防抖、事件上升/下降计数防抖、事件连续计数防抖处理方法对OBD鲁棒性风险影响,得到以下结论。

1)平均值防抖处理方法随着平均次数的增加使WPA件的 4σ 限值升高,BPU件的 2σ 限值降低;本例采用2次平均即可满足开发要求。

2)驾驶循环次数防抖方法可将WPA件的I型风险降低较大,BPU件的II型风险基于驾驶循环数线性增加,考虑文献[1]要求,采用2个驾驶循环确认故障可降低WPA件的I型风险且BPU件的II型风险增加可接受。

3) m/n 防抖处理方法随着 m 增加WPA件的I型风险逐步降低并逐步趋于稳定;BPU件的II型风险随着 m 的增加初期缓慢增加,然后风险陡增;当 $n=5$ 时, $m=2$ 即可满足开发要求。

4)针对不限定诊断事件次数的策略,且风险使用事件上升/下降计数防抖处理或事件连续计数防抖处理均能控制WPA件的I型风险,且风险随着诊断事件次数增加趋于稳定。

5)不同的防抖处理方法对WPA件的I型风险和BPU件的II型风险影响不同,应根据诊断策略和产品问题选择合适的防抖处理方法来提高OBD系统鲁棒性。

参考文献:

- [1]生态环境部,国家市场监督管理总局. 重型柴油车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段):GB 17691—2018[S]. 北京:中国环境科学出版社,2018.
- [2]于津涛,周涛,张凡. 重型国六排放标准中OBD主要变化及验证[J]. 小型内燃机与车辆技术,2019,48(3):43-47.

- [3] 贾传德. 国六重型柴油机后处理技术路线分析[J]. 科技视界, 2018(16): 147-148.
- [4] 徐正飞, 李浩, 张伟, 等. 一种基于模型的柴油车 SCR 催化剂效率监测方法[C]//2011 International Conference on Agricultural and Natural Resources Engineering (ANRE 2011). Singapore: Intelligent Information Technology Application Association, 2011.
- [5] 黄琳. 稳定性与鲁棒性的理论基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [6] NIEUWSTADT M V. An analysis of OBD monitor algorithms with variable completion[C]//SAE 2019 OBD Symposium. Garden Grove, USA: SAE International, 2019.
- [7] GILDER J V. Overview of EWMA applied to OBD [C]//SAE 2010 OBD Symposium. Indianapolis, USA: SAE International, 2010.
- [8] HIJAWI M, BADIEI S, WATERS N M. Event based system reliability [C]//2018 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). Reno, USA: ASQ, 2018.
- [9] BARADWAJ N V. Uncertainty analysis of resistive soot sensors for on-board diagnostics of automotive particulate filters[D]. Columbus, USA: Ohio State University, 2013.

Analysis of the robustness of debouncing method based on SCR efficiency diagnosis

ZHAO Zihang¹, FANG Xiaopeng¹, MENG Yuanyuan¹, DONG Xiuyun¹, WANG Wenli²

1. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China; 2. Shengrui Transmission Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: Based on the concept and analysis method of OBD system robustness, the risk of the robustness of OBD system is analyzed impacted by different debouncing method of average, driving cycle, m/n , event by up and down, event in a row. It is concluded that, with the increasing number of averages, the 4σ limit of WPA increase and the 2σ limit of BPU decrease. With the increasing number of driving cycles, the risk of WPA type I decrease sharply, while the risk of BPU type II increase linearly and it remains acceptable. With the increasing number of m from m/n debouncing method, the risk of WPA type I decrease gradually and finally balanced, the risk of BPU type II increase sharply. For the strategy with unlimited number of diagnostic events, event by up and down and event in a row debouncing method can increase the risk of WPA type I gradually and finally balanced. Different debouncing methods have different effects on the risk of WPA type I and BPU type II. One should choose the suitable debouncing method according to the diagnose strategy and the problem to improve the robustness of OBD.

Keywords: SCR efficiency diagnosis; debouncing method; robustness of OBD system

(责任编辑:张啸虎)