

文章编号:1671-8879(2005)06-0073-05

电喷发动机转速传感器信号波形试验

王平福, 毕李格, 哈里德, 边耀璋

(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘要:对 VOLVO B230F 型电喷发动机的电控燃油喷射装置各传感器信号进行了发动机台架试验研究。应用示波器采集发电机的转速传感器输出信号波形, 并进行处理分析, 研究转速传感器波形变化与发动机故障特征的内在联系, 并将转速传感器正常波形与异常波形进行对比分析。结果表明:当传感器模拟信号波形的物理参数变化量超过一定范围时, 发动机控制系统(ECU)接收到传感器输入的异常信号;当模拟信号特征值变化量超出 ECU 设置的正常调整范围时, 发动机就会出现怠速不稳、自动熄火或起动困难等故障。

关键词:汽车工程; 发动机; 转速传感器; 波形分析; 故障

中图分类号:U464 **文献标识码:**A

Engine speed sensor signal waveforms experiment

WANG Ping-fu, ODBILEG N, HALIDE, BIAN Yao-zhang

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The VOLVO B230F engine speed sensor signal waveforms acquired by the oscilloscope are analyzed. Also the relationship between signal parameters and engine failure characteristics is studied. When engine speed signal amplitude deviation exceeds a ECU adjusting rate, engine begins to surge, self switch off, ignition failure and other failures. 3 tabs, 3 figs, 7 refs.

Key words: automotive engineering; engine; speed sensor; waveforms analysis; failure

0 引言

转速传感器是电控发动机控制系统中主要传感器之一, 它向发动机控制系统(ECU)提供发动机曲轴转速和位置变化信息, 是 ECU 实施发动机喷油量等参数优化控制的重要依据。转速传感器既在发动机优化控制过程中承担主要角色, 同时也是发动机新的故障源之一。转速传感器一旦工作不正常, 便不能够向电脑提供正确的转速信息, 发动机的工作性能即会恶化甚至不能工作。由于受传统化油器式发动机故障诊断惯性思维的影响, 通常文献中都将前几种可能的原因首先列出, 却将转速传感器异

常这一个重要的原因忽略了。试验发现, 当发动机转速传感器工作不正常时, 发动机典型故障特征表现的最为明显。

有鉴于此, 有必要对转速传感器的故障现象、故障特征、故障机理进行试验、分析和研究。目前虽然拥有解码器和发动机综合检测仪等检测手段, 但是仍然不同程度地存在仪器价格比较昂贵、故障定义型式较少、故障范围较大、具体故障原因针对性不强、诊断不够快速准确等缺陷。本文旨在利用 TDS3014B 数字存储示波器采集传感器的信号波形, 运用 WaveStar™ 软件分析研究传感器异常波形与正常波形之间的差别和特征值, 探讨怎样运用波

收稿日期:2004-09-25

作者简介:王平福(1951-), 男, 陕西西安人, 长安大学工程师。

形对比分析方法,实现对电控发动机故障进行快速准确诊断^[1~4]。

1 研究对象和试验方法

1.1 磁电式转速传感器

试验用发动机安装的转速传感器是瑞典 VOLVO 9445 型磁电式发动机转速(转角)传感器。该传感器安装在发动机飞轮壳上方。在飞轮圆周上按 6° 间隔,共设有 60 个信号孔的位置,实际连续设置了 58 个孔,空出 2 个孔的位置,作为一缸工作上止点判别记号。当飞轮上的每个信号孔通过转速传感器磁头时,磁场发生变化,产生磁脉冲信号,电控单元根据磁脉冲计算出发动机转速。脉冲信号波形的频率和幅值随发动机转速变化而变化。

转速传感器接插口定义列于表 1。在转速传感器接口 1#~2# 针脚测量传感器静态电阻值为 183Ω (转速传感器静态电阻值标准为 170~194Ω)。

表 1 转速传感器接插口

传感器接口	ECU	接口引脚定义
1# 蓝/黄	10# 蓝/黄	传感器信号接地
2# 黄/红	23# 黄/红	传感器信号
3# 黑	11# 红	传感器信号屏蔽
	17# 棕	发动机转速信号
	8# 棕/黄	发动机负荷信号
	1# 棕	发动机转速信号
	25# 棕/黄	发动机负荷信号

1.2 试验程序

在分析转速传感器工作性能与发动机故障特征时,为了使研究结果具有代表性和可比性,须设置典型的发动机试验工况。本试验以发动机怠速工况和中速常用工况(节气门开度为 50%、转速为 2 000 r·min⁻¹)作为典型试验工况。

转速传感器试验程序如图 1 所示。在试验控制过程中,每个试验工况点均由电涡流测功机等仪器检测和显示发动机的扭矩、功率和转速,由燃油流量计或电子秤测量燃油消耗量,由发动机废气分析仪检测发动机废气排放中 CO、CH、NO_x 等有害物质浓度,以获得发动机具体故障特征值。使用故障模拟试验台分别模拟各个传感器减效、失效,使发动机产生故障,然后用数字存储示波器采集和分析传感器输出信号的正常波形和异常波形。在 PC 机上应用 WaveStar™ 软件进行处理,对比分析传感器波形,并且编辑、打印有关数据文件等^[4]。

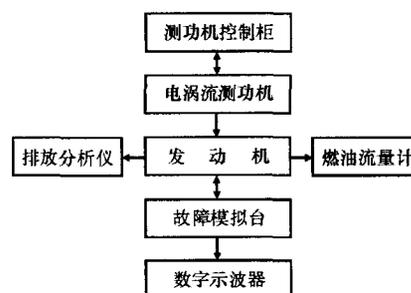


图 1 发动机传感器试验程序图

2 转速传感器信号的采集与处理

在选定的发动机试验工况下,运用 TDS3014B 型数字存储示波器采集转速传感器输出信号。首先将示波器探头与转速传感器输出信号按表 1 的定义进行联接,或者在 ECU 1# 针脚采集燃油控制系统的转速信号,也可以在 ECU 17# 针脚采集点火控制系统的转速信号。然后选择示波器采集通道序号,设置示波器有关采集程序,设置定义测量电参数阈值等。用示波器采集传感器波形,可以设置为自动采集,也可以设置手动采集。为快速显示起见,本研究设置为自动采集。示波器将采集的转速传感器模拟信号经放大器处理后,通过模数转换器转换成数字信号,经波形成像处理器 DPX 转换成波形信号,并且进行存储,最后由数字荧光屏显示波形。

通常传感器的波形分为正常波形和异常波形两种。正常波形可以作为标准模型存储在示波器内;异常波形是指发动机有明显故障特征和传感器有故障时用示波器采集传感器输出信号所得到的波形。当发动机出现故障时,把实际采集的传感器异常波形与正常波形进行对比,由示波器内选用安装的 TDS3AAM 高级分析模块和 TDS3LIM 极限测试模块进行处理分析,进而运用 WaveStar™ 软件在 PC 机上进行数据编辑、文件打印等^[4]。

3 转速传感器波形研究

3.1 转速传感器输出信号减弱

发动机在实际运行中,由于传感器可靠性降低,工作性能减效,输出信号减弱,导致发动机工作性能下降是电控发动机的常见典型故障。模拟传感器输出信号减弱的方法是采用调整转速传感器磁头与飞轮信号孔之间的间隙。该方法与因振动或安装错位等而使转速传感器磁头与飞轮信号孔之间的间隙变化相吻合。电源电压为正常值,在不同的典型发动机试验工况下,每个工况均由转速传感器磁头从标准间隙开始,逐渐增大磁头间隙,分别测出每个试验

点的发动机转速、发动机有关性能参数、传感器的信号模拟电压、波形频率和波形幅值等。试验中应提取传感器尽可能多的参数,以便分析、寻找出对发动机故障最敏感的参数。表2列出了怠速和中速试验工况的部分试验结果。

表2 转速传感器信号减弱试验数据

工况	间隙/mm	转速 $n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	扭矩 $T_{\text{q}}/(\text{N} \cdot \text{m})$	功率 P_e/kW	幅值 A/V	频率/kHz	电压/V
怠速试验工况	0.9	790	2.7	0.22	3.5	0.825	1.98
	2.3	788	2.0	0.17	1.6	0.795	0.60
	2.8	0	0	0	0	0	0
中速试验工况	0.9	2 513	161.5	42.50	9.6	2.500	5.35
	2.3	2 507	161.3	42.40	2.5	2.498	1.62
	2.8	0	0	0	0	0	0

改变转速传感器磁头间隙时,示波器采集的波形参数发生如下变化:在怠速工况,当磁头间隙等于0.9 mm时,波形幅值为3.5 V,波形频率为0.825 kHz,信号电压为1.98 V;当磁头间隙增大时,传感器的信号电压、波形幅值、波形频率都下降。当磁头间隙增加到2.3 mm时,信号电压下降到0.6 V,波形频率下降到0.795 kHz,波形幅值降到1.6 V;当磁头间隙进一步增大时,传感器输出信号电参数也进一步降低。当磁头间隙增加到等于或大于2.8 mm时,示波器几乎接收不到传感器的输出信号。在发动机中速试验工况下,当磁头间隙在标准范围时,波形幅值为9.6 V,波形频率为2.5 kHz,信号电压为5.35 V;当磁头间隙增加到2.3 mm时,信号电压下降到1.62 V,波形频率下降到2.498 kHz,波形幅值降到2.5 V;当磁头间隙增加到等于或大于2.8 mm时,示波器几乎接收不到传感器的信号。这里需要说明一点,在试验过程中,发动机测功机检测的发动机转速与转速传感器输出的信号频率值不一致,主要是由于测功机转速传感器的标定误差造成的试验测量误差。

试验发现,当磁头间隙等于0.9~1.0 mm时,发动机工作性能良好,故将0.9~1.0 mm定义为传感器磁头标准间隙(当磁头间隙小于0.9 mm时,传感器电信号增强,但磁头工作的可靠性变坏,故不予考虑)。由试验得知,对于怠速工况,当磁头间隙从1.0 mm起增大时,发动机的性能开始下降,间隙越大,发动机性能下降越多。当磁头间隙增大到等于2.3 mm时,发动机性能明显下降,并且出现运转不平稳和抖动现象。图2是怠速工况下用示波器采集

到的传感器信号正常波形和异常波形对比分析。图2上面的波形是磁头间隙等于0.9 mm时的正常波形,下面的波形是磁头间隙增大到2.3 mm时的异常波形。当

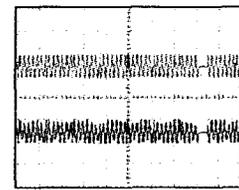


图2 信号减弱的波形

磁头间隙从2.3 mm进一步增大时,发动机工作性能进一步恶化,发动机抖动加剧;当间隙 ≥ 2.8 mm时,发动机自动熄火,并且不能再次起动。通过试验还发现,当传感器信号减弱时发动机故障灯不亮,发动机故障自诊断系统并无故障码出现^[6]。分析上述故障的机理:当转速传感器磁头间隙增大时,磁场强度减小,转速传感器输出信号减弱,当输出信号减弱到一定程度时,ECU接收不到转速传感器的输出信号,就会出现信号缺失现象。另外输出信号的频率减小,使电控单元得到比实际转速低的虚假转速模拟信号,从而使ECU向执行机构发出减少供油的指令,使发动机偏离优化控制范围,转速下降,导致发动机工作性能全面下降。当转速传感器磁头间隙在标准范围内变化时,磁场强度变化微小,转速传感器输出信号减弱程度也很小,电控发动机LH系统相对于优化控制点的偏离很小,发动机的工作性能变化不大,用仪器检测几乎显示分辨不出来;当转速传感器磁头间隙大于标准值但小于2.3 mm时,由于输出信号减弱而导致的发动机性能下降,但尚不很严重,试验过程可用仪器监测显示;当磁头间隙增大到2.3 mm时,传感器信号参数下降程度较大,信号减弱而缺失明显,使发动机相对于优化控制点发生较大的偏离,工作性能明显恶化;当磁头间隙增大到2.8 mm时,监测显示ECU接口1#针脚无转速信号输入,电脑接收不到转速信号,不发出执行命令,所以喷油器不喷油,火花塞不点火,导致发动机在运转过程中自动熄火。

由试验还可得知,转速越低时,转速传感器磁头间隙越增大,对发动机工作性能影响越敏感。例如,怠速试验工况下,输出信号电压下降69.7%,频率下降3.63%,与此同时,发动机扭矩降低25.9%,功率降低22.7%。而在典型中速工况,转速传感器磁头间隙由0.9 mm增大到2.3 mm时,输出信号电压下降幅度基本一致,频率下降0.08%,与此同时,发动机的动力性下降的幅度也很小。这是由于在怠速工况时,转速传感器输出信号原本就相当弱(当传感器磁头间隙等于0.9 mm的标准间隙时,输出信号电压只有1.98 V),而中速试验工况的传感器输出

信号电压为 5.35 V, 所以增大磁头间隙使输出信号进一步减弱很容易导致信号缺失。需要说明的是: 转速传感器输出信号的幅值大小不仅与磁头的间隙有关, 而且与发动机的实际转速有关。在试验过程中, 首先测定发动机正常怠速工况下和正常中速工况下, 转速传感器的信号参数, 然后逐渐改变磁头间隙, 检测传感器的信号变化, 试验发现磁头间隙变大, 信号幅值减小。由于传感器信号幅值的减小, ECU 认为发动机在低转速工况下工作, 从而减少喷油量导致了发动机转速不稳定, 发动机转速进一步的波动下降对传感器信号幅值降低有一定的影响, 从此发生恶性循环。由试验得知, 因发动机转速变化而导致传感器信号幅值变化是正常控制变化。因转速传感器磁头间隙变化而导致传感器信号幅值变化是不正常变化。试验还得出传感器信号电压值与波形幅值成线性比例关系。

3.2 转速传感器动态丢失信号

汽车在行驶中, 由于传感器接插口松动、接触不良, 造成转速传感器输出信号动态随机丢失, 进而导致发动机性能下降, 是电控发动机的常见故障之一。本研究模拟转速传感器输出信号动态丢失的方法是: 在转速传感器电路中串入一个脉冲信号控制集成开关电路, 当开关闭合时传感器信号接通, 当开关断开时传感器信号中断。通过改变转速信号的通断次数、断开时间和断开率(即信号丢失率), 模拟汽车在行驶过程中, 由于转速传感器动态丢失输出信号而对发动机工作性能的影响, 分析研究发动机产生的故障机理, 捕捉发动机产生的故障特征^[5,6]。

传感器输出信号通断试验数据列于表 3。表中异常信号是指信号丢失率等于 16.5% 时的试验状况。试验表明, 当转速传感器输出信号动态丢失率大于或等于 16.5% 时, 发动机的扭矩和功率均下降, 转速传感器模拟信号电压及波形频率也随着降低, 发动机出现的故障特征比较明显。

通过试验得出, 因为信号丢失与波形频率下降成正比关系, 故可以用传感器波形频率变化量 Δf 来

来表征转速传感器输出信号的变化, 于是得出信号丢失率计算公式

$$X = (1 - f_2/f_1) \times 100\%$$

式中: X 为信号丢失率(%); f_1 为传感器信号正常波形频率(Hz); f_2 为传感器信号异常波形频率(Hz); $\Delta f = f_2/f_1$ 为波形频率变化量(Hz)。

当转速传感器输出信号正常无丢失时, 图 3 上面的信号波形是一个连续不断的正常波形, 其频率值为 783 Hz, 信号模拟电压是 1.92 V; 当转速传感器输出信号丢失时, 图 3 下面的信号波形是一个断开不连续的异常波形, 其频率值由 783 Hz 降低到 654 Hz, 信号模拟电压由 1.92 V 降低到 1.52 V; 同时发动机转速由 779 $r \cdot \min^{-1}$ 降低为 650 $r \cdot \min^{-1}$ 。试验表明, 转

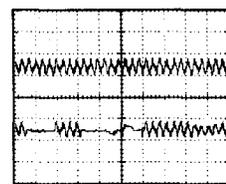


图 3 信号丢失的波形

速传感输出信号丢失必然导致发动机工作性能下降, 信号丢失率越大, 发动机工作性能下降越大, 并且出现发动机运转不平稳等故障特征现象; 当转速传感器输出信号丢失率等于或大于 16.5% 时, 发动机工作性能严重恶化, 发动机运转不平稳, 机体抖动加剧, 严重时发动机自动熄火, 而且发动机再次起动困难。

4 结 语

(1) 在分析发动机故障时, 由于受传统思维的影响, 一般将转速传感器故障忽略^[7]。电控发动机自诊断系统对转速传感器信号减弱等故障也不显示(故障灯不亮, 发动机故障自诊断系统无故障码出现), 转速传感器是目前发动机故障诊断技术上的盲区, 而转速传感器减效又是电控发动机工作运行中的常见故障源, 因此有认真研究分析的必要。

(2) 试验表明, 用波形分析法诊断转速传感器故障是行之有效的办法。本研究仅以转速传感器为例, 探讨如何运用波形分析方法研究电控发动机的故障机理, 此研究分析方法也适用于其他传感器的减效、失效机理分析。

(3) 与其他试验工况相比, 转速传感器失效、减效对发动机怠速工况更为敏感, 故可用发动机怠速工况作为检测转速传感器故障的实际检测工况。

(4) 在发动机怠速工况下, 通过检测和分析转速传感器输出信号减弱的程度, 可以判断传感器磁头间隙是否正常, 可快速排除其他可能导致发动机性能下降的原因。

表 3 转速传感器信号丢失试验数据

发动机 工况	传感器 信号	转速 $n/$ ($r \cdot \min^{-1}$)	扭矩 $T_m/$ ($N \cdot m$)	功率 P_e/kW	频率/ Hz	信号电 压/V
怠速	正常	779	0	0	783	1.92
	异常	650	0	0	654	1.52
中速	正常	2 004	164.6	34.54	2 005	4.51
	异常	1 686	117.1	20.68	1 690	3.32

(5)通过检测和分析转速传感器输出信号的波形,可以得知信号丢失的程度,从而也可以判断传感器接口是否有松动、接触不良等情况,可以快速排除其他可能导致发动机性能下降的原因。

(6)转速传感器输出信号减弱和输出信号丢失,导致发动机工作性能全面下降。因输出信号频率减小,致使电控单元得到比实际转速低的虚假转速信号,便向执行机构发出减少供油指令,发动机控制偏离ECU优化控制的调整范围,从而使发动机工作性能进一步恶化。

参考文献:

References:

- [1] 吴克刚,钟益斌. 发动机综合性能仿真系统[J]. 长安大学学报(自然科学版),2004,24(5):111-114.
WU Ke-gang, ZHONG Yi-bin. Simulation system for engine performance[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(5): 111-114.
- [2] 张红光,何洪,刘兴华,等. 车用大功率柴油机电控喷油系统的开发研究[J]. 中国公路学报, 2003, 16(2): 103-107.
ZHANG Hong-guang, HE Hong, LIU Xing-hua, et al. Study of development of the electronically controlled fuel injection system of heavy duty diesel engine for vehicle[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(2): 103-107.
- [3] 郭孔辉. 汽车技术的变革[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(3): 1-6.
GUO Kong-hui. Development of automotive technique[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(3): 1-6.
- [4] 王平福. 发动机空气流量传感器工作特性分析[J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18(增B): 178-181.
WANG Ping-fu. Analysis of working features of air flow sensors for engines[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1998, 18(Sup. B): 178-181.
- [5] 蔡伟义. 汽车微机控制系统的检测方法[J]. 汽车电器, 2002, (6): 36-38.
CAI Wei-yi. Inspection ways of auto computer control system[J]. Auto Electric Parts, 2002, (6): 36-38.
- [6] 曾志斌. 谈谈汽车发动机电控系统典型故障的监测顺序[J]. 汽车电器, 2005, (1): 81-83.
ZENG Zhi-bin. Inspection sequence of the typical faults of electronic control system on automobile engine[J]. Auto Electric Parts, 2005, (1): 81-83.
- [7] 张云龙,袁大宏,王国戟,等. 电控汽车故障诊断技术的现状与发展趋势[J]. 汽车技术, 2000, (7): 36-39.
ZHANG Yun-long, YUAN Da-hong, WANG Guo-ji, et al. The current situation and development trend of failure diagnosis technology of EC vehicles[J]. Automobile Technology, 2000, (7): 36-39.

《长安大学学报》(自然科学版)2006年征订通知

《长安大学学报》(自然科学版)系中华人民共和国教育部主管,长安大学主办的学术性双月刊,她在中国乃至世界范围内的公路交通科技领域具有广泛的影响,她是中国期刊方阵“双效”期刊,国务院学位委员会、国家教育部学位与研究生教育中文重要期刊,《中文核心期刊要目总览》(第四版)鉴定的中国公路运输类核心期刊,中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),Ei 固定刊源,国际道路科研信息(IRRD)书目文献数据库固定刊源,中国道路文献服务中心(CRDS)核心报道期刊,自1981年创刊以来多次获国家交通部和陕西省奖励。

《长安大学学报》(自然科学版)以繁荣公路交通科技为己任,促进公路交通科技交流和转化。她主要刊载道路工程、桥梁工程、交通工程、隧道工程、汽车工程、筑路机械、交通控制、交通运输管理、基础学科等具有国内先进水平的论文,同时刊载公路交通科技动态方面的简要评述和通讯。

《长安大学学报》(自然科学版)的主要读者对象为大中专院校师生、公路交通科研人员、公路交通管理决策人员、公路交通领域的勘测、设计和施工单位的技术人员。

《长安大学学报》(自然科学版)全年6期,大16开本,112页,欢迎订阅,各地读者可在当地邮局订阅,每期定价10.00元,全年定价60.00元。

地址:西安市南二环路中段,《长安大学学报》(自然科学版)编辑部

电话:(029)82334383

邮政编码:710064

国内邮发代号:52-137

国外发行代号:BM5720

E-mail:xuebao@chd.edu.cn