

火花塞装配过程失效分析

□ 上海大众动力总成有限公司 / 袁顺 邢韬

火花塞装配为发动机装配过程中的一大难点，根据客户抱怨率排名，火花塞功能失效位于抱怨TOP5内。因此，针对火花塞的质量监控必须重点关注与专项分析。本文就火花塞装配问题点，运用质量工具进行分析，并提供建议措施，提高装配过程稳定性的同时提高生产效率。

火花塞装配定义

汽车火花塞的功能是将点火线圈的高压电在自身的金属电极上，以火花放电的形式释放，从而点燃气缸内压缩的可燃混合气。火花塞直接决定发动机的动力性、经济性以及排放性，故可谓发动机的“心脏”。

装配是把各零部件形成一个整体的过程，各零部件必须按照工艺、标准在一定的位置上完成安装。装配过程必须要求一定的安装顺序、安装方法、安装位置以及安装后的尺寸标准，按技术装配完成后，经过调试、检验使之成为合格产品的过程。对于火花塞装配而言，预紧、拧紧以及密封测试、冷试为最主要工序，为达到可追溯性，过程曲线与参数需系统记录保存。

火花塞失效模式

现代生产，为追求生产效率，在装配过程中，会出现生产节拍快、人员操作不规范等情况，另

外，又可能由于拧紧枪结构或者装配工装，导致火花塞绝缘陶瓷体断裂、点火间隙较小等失效模式。其中火花塞断裂失效形式可分为完全断裂和不完全断裂（陶瓷体自由转动）。

问题分析与优化措施

火花塞缺陷分析，可以先从断裂截面做出判断，如图1所示，电镜扫描未发现软胚，因此判断陶瓷体先断裂，再产生电弧痕迹，故排除电弧击穿火花塞，确定断裂原因为受外力所致。

以初步判断结果为方向，运用质量工具鱼刺图进行系统的分析，分别对“人机料法环测”六大因素

层层思考，依次排除，确定影响因素。根据优先级，对各影响因素进行换装实验与缺陷模拟实验，最终确定根本原因。

1. 陶瓷体断裂分析

对于火花塞陶瓷体不完全断裂（陶瓷体可自由转动），员工装配时往往目视检查难度较大，通过缺陷模拟实验，发动机密封测试可识别完全自由转动的火花塞，但对于陶瓷体内部裂纹，未完全转动的火花塞而言，装机的风险很大，往往造成客户抱怨缺缸。通过鱼刺图，发现主要由于“机”、“法”、“人”三大因素造成陶瓷体断裂。

分析“机”的影响时，必须避

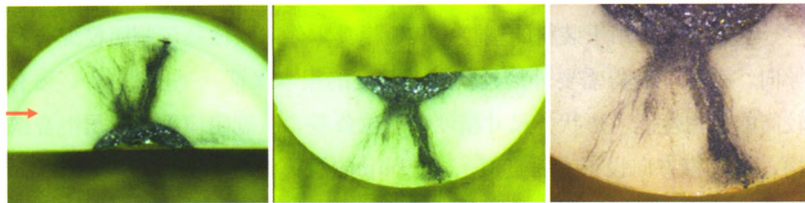


图 1

免拧紧套筒对火花塞陶瓷体的干涉。陶瓷体较长，无法直接观察套筒与其干涉情况，通过三种验证方法可以判定：

(1) 套筒与火花塞三维图形导入CATIA，模拟运动情况，并计算最小间隙。

(2) 若顾虑套筒磨损性，可通过CT观察是否干涉（见图2）。

(3) 将套筒中涂入易附着颗粒（例如红丹粉），再将同批次火花塞套入拧紧，操作完成后，若陶瓷体上附有红丹粉，则拧紧过程中存在套筒对陶瓷体磕碰的风险，需建立优化措施，比如：优化拧紧套筒尺寸；改变拧紧方式，采用增加半自动或自动设备（见图3），拧紧前首先定位，再同时拧紧。

分析“法”的影响时，首先需排除预装造成断裂的可能性，若有风险使火花塞陶瓷体敲击发动机，可增加橡胶导向棒工装（见图4）。

其次排除拧紧工艺，比较拧紧转矩与工艺转矩后，考虑拧紧程序参数的风险，例如：拧紧转速，监控角度等。

若火花塞工艺转矩为23N·m，

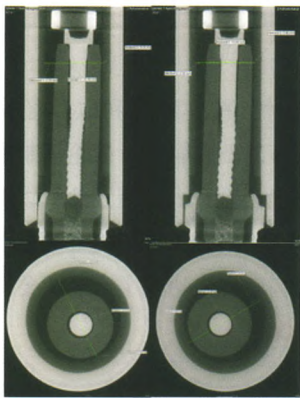


图2 CT分析与工装间隙

参考的拧紧程序见附表。

Mna1值（复测扭矩）也是判断拧紧工艺的重要因素，一般情况下，Mna1变化范围为拧紧扭矩的±20%。

判断“人”的因素时，首先比较火花塞陶瓷体理论的可承受最大抗折力与实际试验值。选取博世某款火花塞，通过理论计算工人将火花塞从地上摔落的冲量，利用以下公式，从而得出落地所受的冲击力：

$$\begin{cases} mgh + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 \\ (F - mg)t = mv_2 \end{cases}$$

式中， m 为火花塞质量， h 为落地高度， v_1 为落地的初速度， v_2 为落地的末速度， t 为碰撞地面时间， F 为落地时冲击力。 $m=0.04\text{kg}$ ， $v_1=2\text{m/s}$ ， $h=1.8\text{m}$ ， $t=0.1\text{s}$ ，代

入公式（1），得 $F=164\text{N}$ ， $M_1=FL=164 \times 24=3936\text{N}\cdot\text{m}$ 。

通过模拟实验，模拟测试工人火花塞掉落至电子秤的冲击力大小约为85N。

测试火花塞陶瓷体抗折力，将火花塞固定在特定工装上，使用压力机施加力，并实时记录大小，对于该款火花塞而言，生产测试值约为700~1 200N，工厂内部控制最低抗折力为600N。但由于工厂内部为保证测试值的精确，故测试时，定位点为火花塞1/3处（端点较难固定），所以断裂力矩 $M_2=FL=600 \times 8=4 800\text{N}\cdot\text{m}$ 。

综上可得， M_1 与 M_2 相近，故员工若掉落火花塞，存在风险造成火花塞内部断裂，所以培训员工，并制作质量警示牌不可使用摔落火花塞，必不可少。

火花塞拧紧程序

步骤	目标值	转速/ r·min ⁻¹	扭矩阈值/ N	角度下限 (°)	角度上限 (°)	力矩下限/ N	力矩上限/ N	时间/ s
1A	A=30	20	0	—	—	—	2	10
2A	A=360	60	0	300	400	—0.5	4	10
3A	T=1.5	350	0	100	4 500	0	15	10
4A	t=0.1	0	—	—	—	—	—	10
5A	T=23	20	15	1	160	21	25	10

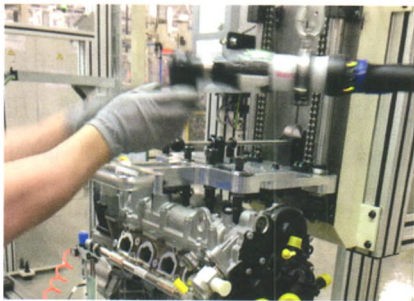


图3 半自动拧紧工装

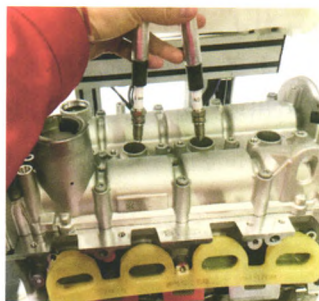


图4 预装橡胶棒

2. 火花塞点火间隙小分析

对于火花塞点火间隙较小，虽然后续能通过冷试测试最大程度杜绝该缺陷流出，但冷试参数需根据其他变化点随时修改优化，参数范围的一味缩小只会增加伪缺陷，降低生产效率，故在本因上就采取避免缺陷产生的措施。火花塞安装在发动机内部，人工拧紧时，无法目视并定位，故会产生火花塞头部预紧时磕碰缸盖的现象，造成火花塞头部变形，“人”的风险较大，增加图3的半自动设备可降低该风险。

对于火花塞供应商，可通过增加照相防错设备（见图5），100%

检测间隙大小，排除供应商内部“料”的风险。图5的合格范围为1.04～1.05mm。

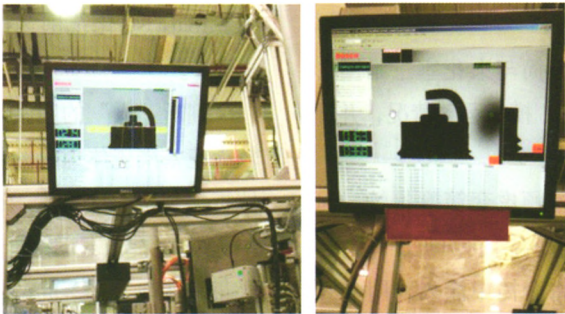
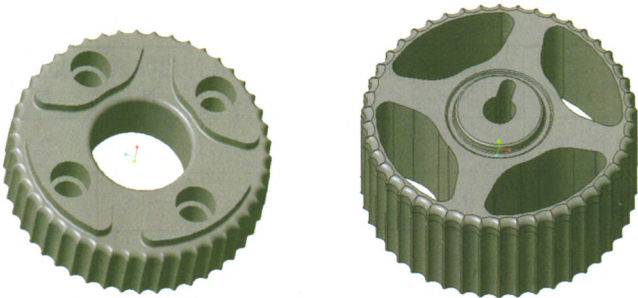


图5 Bosch照相防错系统

结语

火花塞是发动机内部最重要的零件之一，发动机装配过程中，正确的分析火花塞失效模式，有助于有效的避免问题复现，从而提高生产线效率并改善过程质量。**AUTO1950**

（上接第45页）



(a) 压制下二冲模具 (b) 压制上二冲模具
图3 粉末冶金凸轮轴正时齿轮模具



图4 生产出的实际产品

生产试制

本套模具经过批量的生产验证，完全达到了设计时的预期。压制毛坯没有出现外齿表面裂纹，压坯密度达到图样要求，压坯产品顺利脱模，压坯尺寸和形状精度完全合格（见图4）。模具的使用寿命也达到了预期的时间。

结语

本文通过对粉末冶金凸轮轴正时齿轮的生产工艺过程的分析，从模具

的选材、模具结构和以往经验等方面，对凸轮轴正时齿轮压制模具进行优化设计，使模具具有较高使用寿命；同时，生产出来的凸轮轴正时齿轮完全达到了产品图要求。

AUTO1950