

混动发动机增压器隔热罩装配工艺改善

边玖玖 王建平 黄霄龙 张亮

中国第一汽车股份有限公司动力总成工厂

摘要：我公司某款新型混动发动机的增压器隔热罩是一种由螺栓固定的薄壁金属件。在早期生产过程中，存在隔热罩易与增压器贴合、隔热罩螺栓力矩衰减等问题。本文结合生产过程中总结积累的经验，分析了该类问题的成因，并提供了一种解决该类装配难题的通用方法。

关键词：混动发动机；增压器隔热罩；装配工艺

增压器隔热罩（图 1）装配在增压器进气管外侧（图 2），通过对称布置的 2 颗螺栓实现隔热罩角向固定，避免发动机工作过程中增压器进气管处热量向 EGR 系统扩散的问题，以提升 EGR 系统性能。设计上考虑利用隔热罩外形尺寸（图 1 红色虚线处）与缸盖排气面实现硬限位，以限制隔热罩角度，但由于钣金件制造公差较大，实际生产过程中仍然普遍存在隔热罩上沿（图 1 黑色虚线处）与增压器进气管贴合的情况（图 3）；偶发隔热罩与增压器不贴合，但却伴随着右侧螺栓复检力矩偏低的情况。以上问题，制约着产品质量，影响总成性能，所以解决上述问题具有重要意义。

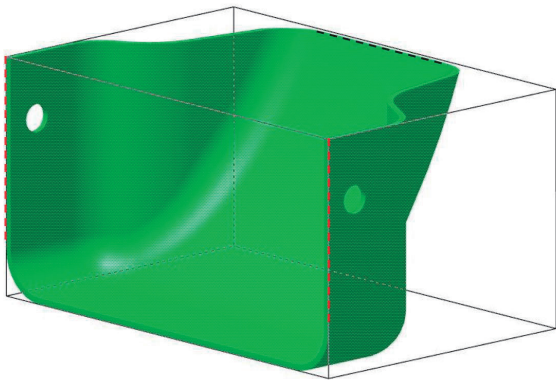


图 1 增压器隔热罩仿真模型

1 工艺过程分析

隔热罩装配的工艺文件要求使用手持拧紧枪，8 ~ 12 N·m 的力矩拧紧螺栓，当前拧紧枪参数配置为目标力矩 10 N·m；未要求拧紧顺序，由于右侧安装空间大，操作者按照从右至左的顺序拧紧；要求使用拧紧法复检螺栓力矩，复检力矩范围 7 ~ 15 N·m。

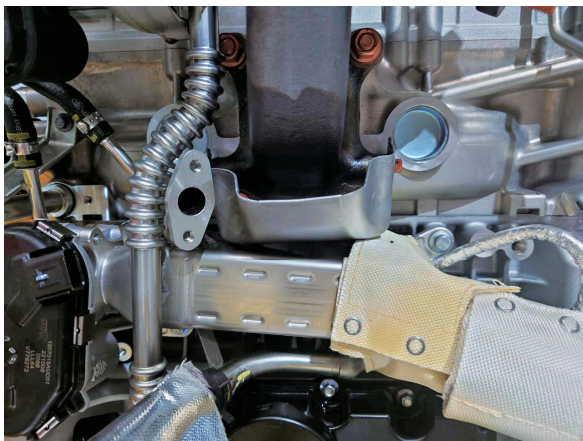


图 2 装配关系示意

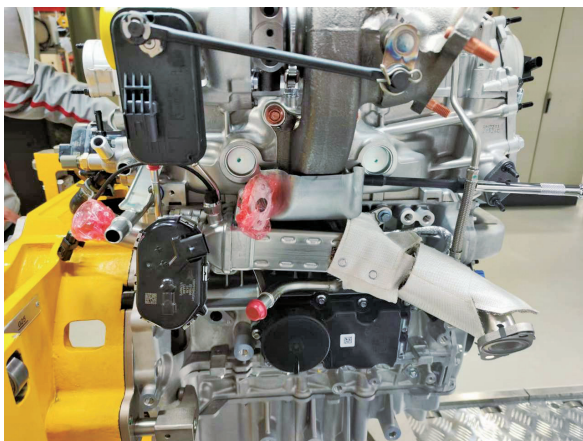


图 3 装配不良示意

先拧紧右侧螺栓，当该螺栓承载面接触挤压隔热罩时，隔热罩受螺栓承载面摩擦带动旋转，隔热罩上沿向靠近增压器方向运动，拧紧后姿态见图 3；后拧紧左侧螺栓，当该螺栓承载面接触挤压隔热罩时，隔热罩继续受螺栓承载面摩擦，理论上隔热罩上沿存在向远离增压

器方向运动的趋势，但实际此时隔热罩角度通常保持不变，只有个别情况下才会产生远离增压器方向的运动。

对隔热罩拧紧过程进行受力分析：当第1颗螺栓拧紧完成，螺栓与隔热罩间为静摩擦力 $f_1 > \mu_1 F_1$ ；当第2颗螺栓拧紧时，螺栓与隔热罩间为滑动摩擦力，随着力矩提升，摩擦力最大可达到 $f_2 = \mu_2 F_2$ 。由于两颗螺栓采用同样的力矩，最终承载面对隔热罩产生的压力 F_1 、 F_2 也基本接近；由于零件状态基本一致，摩擦系数 μ_1 、 μ_2 也基本接近；因此 $\mu_1 F_1 = \mu_2 F_2$ ，即 $f_1 > f_2$ ，所以第2颗螺栓拧紧过程中摩擦力不足以使隔热罩发生窜动，从而继续保持图3的姿态。

特殊情况下，在拧紧左侧螺栓过程中隔热罩产生随动，最终保持图2的姿态，且右侧螺栓复检力矩记录显示，此类情况复检力矩分布在 $7.2 \sim 10.4 \text{ N} \cdot \text{m}$ 区间，存在力矩衰减的风险，说明右侧螺栓在左侧螺栓拧紧过程中被带动。经拆解检查，发现左侧螺栓承载面拧紧后破损程度更大，导致 $\mu_1 < \mu_2$ ，且当 μ_1 与 μ_2 差异足够大时， $f_1 < f_2$ ，隔热罩窜动，右侧螺栓力矩衰减。

2 问题的解决

为解决隔热罩角度问题，我们首先提出制作隔热罩限位辅具（图4），以解决隔热罩首次拧紧过程中随动并与增压器贴合的问题。

如图5所示，将辅具以图4姿态安装至发动机，将辅具下端插板（即绿色框线处）插入EGR系统与增压器隔热罩之间，通过配合尺寸实现限位辅具的初步固定；再将辅具上侧卡板（即红色框线处）与增压器隔热罩上沿（即图1黑色虚线处）卡住。辅具安装完成后，操作者按照原标准作业继续完成2颗隔热罩螺栓拧紧，即可保证增压器与隔热罩间隙合格。

拆卸限位辅具时，手感轻松畅快，证明拆卸辅具过

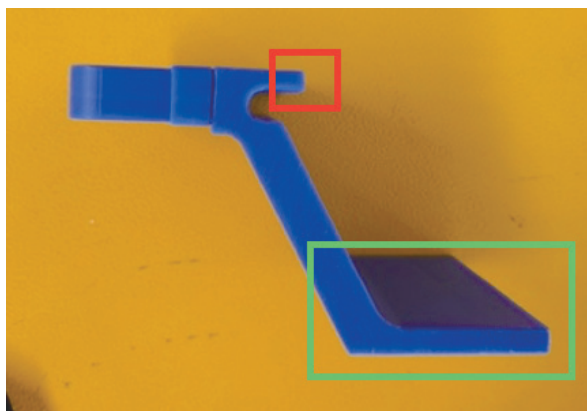


图4 隔热罩限位辅具

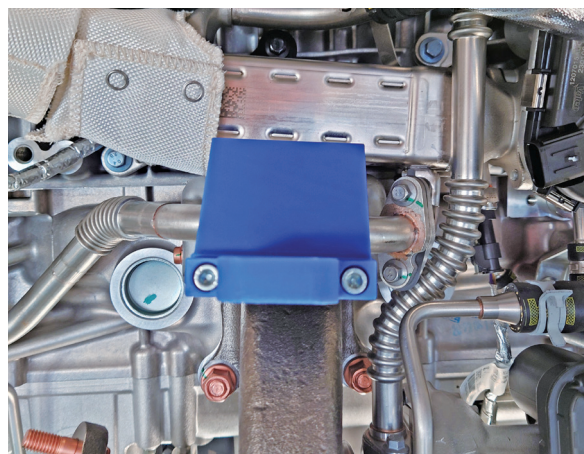


图5 隔热罩限位辅具

程中不存在改变隔热罩角度的风险，但是该辅具操作占用工位节拍，导致该工位节拍超时；并且由于同样原因未能规避右侧螺栓拧紧力矩衰减的问题，方案失败。

再次寻找解决方案的过程中，首先需要解决的是拧紧两侧螺栓后隔热罩贴合的问题。根据过程分析，如果调整拧紧顺序，先拧紧左侧螺栓，则可保证多数情况下隔热罩上沿远离增压器。其次需要避免右侧螺栓拧紧后，特殊情况下对隔热罩造成随动旋转的问题。如果仍然采用两侧螺栓相同拧紧力矩的装配工艺，则在压力 $F_1 = F_2$ 的情况下，如果 $\mu_1 < \mu_2$ ，仍可能产生 $f_1 < f_2$ 的情况，致使隔热罩窜动。为此，我们团队提出使用不同的目标力矩来拧紧2颗螺栓，即在不超出 $8 \sim 12 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的条件下，分别选择2个目标力矩来拧紧2颗螺栓，并且左侧螺栓力矩需远高于右侧，使 $F_1 > F_2$ ，以规避 $f_1 < f_2$ ，即滑动摩擦力更大的情况。

因此，我们将原拧紧程序复制为2个。第1个程序中，将最终步目标函数由力矩 $10 \text{ N} \cdot \text{m}$ 调整至 $11.7 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，用于第1颗即左侧螺栓拧紧；第2个程序中，将最终步目标函数由力矩 $10 \text{ N} \cdot \text{m}$ 调整至 $8.1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，用于第2颗即右侧螺栓拧紧。

拧紧参数更改完成后，按照从左至右的顺序拧紧，进行工艺验证，确认隔热罩最终装配姿态均为图2状态，且2颗螺栓复检力矩稳定（图6），消除了隔热罩贴合、力矩衰减等问题。

3 FMEA 分析

改善措施实施后，PFMEA分析小组认为后续仍有可能出现第2颗螺栓拧紧过程中隔热罩滑转的问题。现已在第2颗螺栓的拧紧程序中增加 $5 \sim 8.1 \text{ N} \cdot \text{m}$ 过程

（下转第17页）

出现碳坑，造成加工表面可以观测到雾状现象及表面粗糙度超差。

1.2 抛光带的影响

抛光带颗粒度单位用 MIC 表示，是指镶嵌在抛光带上磨粒的大小（40 MIC 表示砂纸粒度最大为 40 μm）。曲轴轴颈表面粗糙度值随着抛光带颗粒度的减小而减小，但抛光带的颗粒度越小，抛光带的成本越高，且抛光时间越长。所以选择抛光带颗粒度时，需要综合考虑，我公司粗抛站选用的是 40 MIC，精抛站选用的是 20 MIC。

1.3 抛光压力的影响

抛光压力是指液压缸通过抛光臂施加到工件表面的压力，通常抛光压力越大，在相同条件下曲轴的去除量会越大。但是对于曲轴表面粗糙度而言，并不是抛光压力越大，表面粗糙度越好，按照我公司曲轴表面粗糙度 < 0.15 μm 的控制要求，建议将抛光压力控制在 12 ~ 20 bar（1 bar=0.1 MPa）。

1.4 抛光时间的影响

抛光时间是指抛光带与曲轴接触之后，曲轴在正转与反转过程中的有效持续时间总和。正转与反转的时间和转速需保持一致，抛光时间与转速配套使用，抛光最后阶段的旋转方向必须和曲轴在发动机内工作时的旋转方向保持一致。通常，抛光时间控制在 12 ~ 20 s，我公司的抛光工艺分为粗抛光和精抛光，精抛光的正转和反转时间均为 3 s、转速均为 100 r/min，精抛的正转和反转时间均为 5 s、转速为 100 r/min。

1.5 抛光靴的影响

抛光靴（图 5）用于压紧抛光带，使抛光带与曲轴轴颈表面贴紧，在 1 号粗抛站和 2 号精抛站，上下抛光靴工具有坚固的精确研磨衬垫，用于支撑磨料抛光带，抛

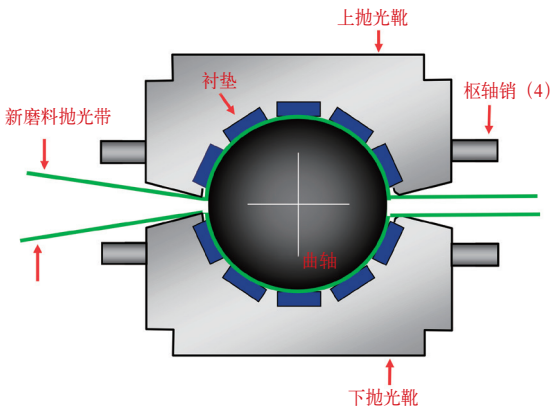


图 5 抛光靴示意

光靴衬垫的加工半径符合曲轴的平均加工直径和微抛光带厚度之和。如果抛光靴衬垫发生磨损，将会导致抛光带不能贴紧曲轴，抛光能力将变差，最终导致曲轴轴颈粗糙度超差，严重时抛光带将发生褶皱并且断带。因此，我们需要控制抛光靴寿命，我公司抛光靴寿命为 80000 件。

2 结论

曲轴的旋转是整个机械系统的源动力，其加工表面质量与发动机的功能和使用寿命息息相关，表面粗糙度作为加工质量的重要评价特征，研究其影响因子具有重要意义。曲轴轴颈表面粗糙度直接影响发动机的寿命、效率和油耗，毛坯金相和抛光带颗粒度对表面粗糙度的影响尤为明显，我们需对每一个可能影响粗糙度的因子都加严控制。本文从人、机、料、法和环进行分析，重点介绍了曲轴的毛坯金相、抛光工艺及抛光机等因素对曲轴表面粗糙度的影响，通过分析其失效机理并对相关过程加以控制，实现了表面粗糙度的改善。

（上接第 15 页）

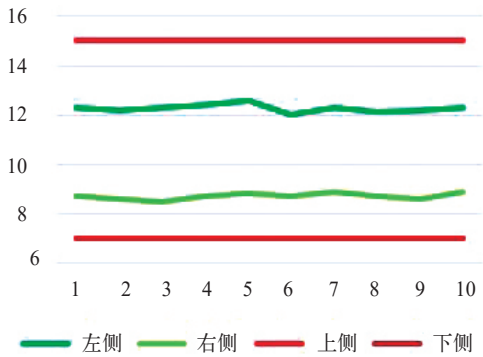


图 6 调整后复检力矩

的转角监控，并计划在未来发生此类问题后，重新启用隔热罩限位辅具，按照从右到左的拧紧顺序，依次采用 11.7 N·m、8.1 N·m 的目标力矩进行拧紧，以彻底解决该问题。

4 结论

针对被拧紧部件一端缺少角向限位且螺栓对称、角向布置的情况，该方案可作为通用方案，通过调整拧紧顺序、分别设定 2 次拧紧力矩，即可保证装配后角度一致性，并避免拧紧过程中由于零件随动对其他螺栓造成力矩衰减等问题。