

发动机连杆盖脱落原因分析

发动机作为汽车的“心脏”，在使用过程中，更容易引起用户的关注，其质量缺陷也就会更多地被感知和抱怨。这就要求汽车企业在发动机生产过程中，更加严格地控制过程质量，防止将有缺陷的发动机传递到用户手上。

故障现象

某汽车制造企业的一整台车在进行下线路试时，出现发动机异响，随即发动机抱死，无法再次启动。

将发动机拆下进行外观检查，发现飞轮侧进气面缸体打破。进一步拆检发动机发现，第1缸连杆盖脱落，其连杆螺栓一侧断裂，断裂部位在螺纹第1扣处，另一侧脱落（见图1）。目视其他3缸，螺栓均未脱出。

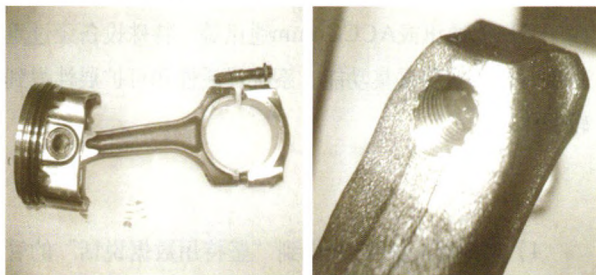


图1 第1缸活塞连杆组件

经过分析可以看出，第1缸连杆盖脱落是产生后续故障的直接原因。

第1缸连杆盖脱落原因初步分析

为找到造成第1缸连杆盖脱落的原因，继续对故障发动机相关部位进行拆解分析，具体信息如下：

1) 对第1缸故障件进行检查，发现断裂的连杆螺栓在断裂前已经松动脱出，第1缸活塞顶面和对应的缸盖燃烧室部位有相互撞击的痕迹，其他3个缸的连杆、活塞未见类似撞击痕迹。

2) 用表盘扳手检查第2缸和第4缸连杆螺栓力矩为 $0\text{N}\cdot\text{m}$ ，第3缸连杆螺栓力矩正常。其他相关零件力矩正

常。

3) 检查配气相位正常，机油状况正常，连杆螺栓及螺纹孔未见异常，曲轴及活塞未见异常。

通过初步分析可以看出，该发动机除第3缸两个连杆螺栓正常拧紧外，第1、2、4缸连杆螺栓均未拧紧。又因为第1缸最靠近飞轮侧，发动机运转后连杆受力最大，所以第1缸连杆螺栓最先松脱，从而造成连杆盖脱落，将缸体打破。

连杆螺栓未拧紧原因分析

1. 连杆螺栓拧紧工艺简介

连杆螺栓拧紧由双轴自动拧紧机完成（见图2）。托盘从上一工序过来后，PLC先读取托盘信息卡中记录的上一工序进行，并进行判断，符合条件后再进行本工序的拧紧。



图2 连杆螺栓装配及拧紧示意

扳手按照“第3缸—第2缸—第1缸—第4缸”的顺序依次进行拧紧，连杆螺栓最终拧紧角度 $45^{\circ} \pm 3^{\circ}$ ，监控力矩 $35 \sim 80 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。在放行前，各缸最终拧紧力矩和角度被写入托盘随行记忆卡，最后发动机在下线前，记忆卡中的信息被存入线尾终端数据管理AMS系统，以便于后续的查询和追溯。

2. 连杆螺栓拧紧PLC动作控制过程

为了能尽快找到问题的原因所在，有必要对连杆拧紧PLC控制动作过程进行了解：

- 1) 两个电动扳手拧紧轴在电动机带动下，先沿Y方向导轨同时运行到PLC程序设定的第1个连杆螺栓位置（实际第3缸）。
- 2) 到位后，Z轴气缸沿Z方向向下运行到工作位，此时SQ1033传感器亮，扳手调用指定拧紧程序，并开始拧紧。
- 3) 拧紧结束后，扳手发出拧紧合格信号给PLC，PLC收到信号后Z轴气缸沿Z方向向上运行，扳手合格信号消失。
- 4) 当Z轴气缸沿Z方向到达原位后，SQ1034传感器亮，PLC重复上述动作再分别对第2缸、第1缸和第4缸进行拧紧。

3. AMS终端数据管理系统查询情况

(1) 故障件拧紧结果查询 因连杆螺栓拧紧工序扳手控制器存储结果数量有限，故障发动机的拧紧信息在扳手控制器中已被后续拧紧信息覆盖，无法查询。所以只能在AMS终端数据管理系统中查看故障发动机连杆螺栓拧紧结果。通过查询发现，4个缸1#轴最终拧紧力矩和角度都是一样的，2#轴拧紧结果第2缸与第3缸相同，第4缸与第1缸相同，具体数值见附表。

故障发动机连杆螺栓最终拧紧结果

轴号	结果	第3缸	第2缸	第1缸	第4缸
1#轴	力矩 /N·m	49.6	49.6	49.6	49.6
	角度 (°)	44.3	44.3	44.3	44.3
2#轴	力矩 /N·m	47.5	47.5	49.2	49.2
	角度 (°)	44.3	44.3	44.3	44.3

(2) AMS系统数据记录真实性核查 对于螺栓拧紧结果，工位扳手控制器记录的是真实的结果，但

因连杆螺栓拧紧工序扳手控制器中可存储的拧紧结果数量有限，故障发动机拧紧结果已被最新拧紧数据覆盖，所以无法确定从AMS系统中查询的拧紧结果是否真实。为验证AMS系统数据记录的真实性，现场连续跟踪30台发动机，将连杆螺栓拧紧扳手控制器中的结果与AMS系统记录拧紧结果进行对比，结果发现，AMS系统中只有第四缸2根轴记录的所有拧紧结果是真实的，其他3个缸只有部分结果是真实的，部分数据为上台发动机值。

通过对比其他工序拧紧结果在AMS系统中记录的真实性，发现只有连杆螺栓拧紧工序结果失真。再通过排查连杆螺栓拧紧结果信息传递流，发现问题主要出现在PLC将连杆螺栓拧紧结果从临时存放区往正式存放区读取的过程：正常PLC在每缸拧紧完成后，扳手控制器会将2根轴共四个拧紧结果依次放到临时存放区的1#~4#位置，然后PLC再将这些结果放入正式存放区的对应位置；因程序读取错误，PLC依次读取了临时存放区的前1个、前2个、前3个和前4个结果放入正式存放区的4个缸对应位置。

所以，最终导致扳手控制器拧紧结果和传入AMS系统信息不一致。

4. 故障再现及原因确认

通过以上分析可以看出，如果没有PLC对拧紧结果的读取错误，故障发动机实际4个缸每根轴拧紧对应的力矩和角度应分别相同。再结合4个缸连杆螺栓的拧紧状态，可以初步推断出故障发生时的状态：在第3缸最先完成拧紧后，后续3个缸并未拧紧就直接把第3缸的合格信号重复采集了3次，然后设备自动放行。

(1) 故障再现 连杆螺栓在前道手动工序安装时，为防止发动机在托盘运输过程中连杆盖松脱，连杆螺栓会先用气动扳手带到底，但没有力矩，所以如果后续自动拧紧机未拧紧，下道工序操作工无法通过目视识别。

在真正原因找到之前，为防止连杆螺栓未拧紧的情况再次发生，现场紧急采取临时措施：在自动拧紧机后，增加100%使用定扭扳手抽查连杆螺栓拧紧力矩的办法加强监控。

在跟踪一天后，负责抽查的操作工发现一台发动机出现与故障件类似的现象：第1、2、4缸连杆螺栓没有力矩，只有第3缸螺栓拧紧。接到故障重现信息后，

发动机曲轴静态性能和模态分析

在发动机高速运转中,曲轴固有频率容易与外在的激振力发生共振,使得曲轴振幅变大,引起曲轴与发动机其他部位的碰撞,导致发动机工作极不稳定。要设计一款曲轴,必须考虑其固有频率与发动机激振频率的匹配,使曲轴能避免共振现象的产生,因此对曲轴的模态分析必不可少。

本文以EQ6102柴油机为研究对象,采用有限元分析方法对曲轴整体模型进行了应力和变形分析,从而确定了曲轴的最大受力部位和最大变形部位。然后又对单拐模型进行了应力应变分析。最后,对曲轴进行

了模态分析。

曲轴有限元分析模型的建立

1.曲轴整体模型建立

根据经验,曲轴受力最大处在连杆轴颈和主轴颈过渡圆角处。考虑到这些因素,在对曲轴实体建模时忽略曲轴结构中的小圆角、油孔和螺栓孔,以及加工时的退刀槽。如果在曲轴模型建造时考虑这些因素,则会使有限元的网格非常密,大大增加了节点方程的个数,继而增加了数据准备的工作量和计算机求解时

车间、工艺、维修等部分相关人员迅速赶到现场,对连杆拧紧设备进行在线跟踪、观察。发现拧紧机确实出现了我们之前分析的情况:正常完成第一个位置(第3缸)的拧紧后,扳手依次沿Y轴方向运行到第2、第1和第4缸,并下降到对应拧紧位置,但未进行拧紧就沿Z轴直接上升到原位,Z轴原位传感器灯亮。同时观察扳手控制器屏幕,其力矩和角度一直显示为第3缸拧紧后结果,同时右上角一直显示“0/0”。

(2)原因确认 通过以上故障再现的模式,初步分析为电器硬件故障造成。通过更换控制器I/O模板、整体更换控制器、更换通讯电缆等,最终确认为电柜端扳手通讯卡接线松动。该通讯卡松动后,造成PLC与扳手控制器通讯出现故障,在完成第一个位置(3缸)拧紧后,扳手控制器一直显示拧紧完成状态,所以PLC不再通知扳手进行拧紧就直接采集已有的拧紧结果,并将拧紧结果写入托盘信息卡,正常放行发动机,最终导致故障的发生。

采取的措施

针对已发现的PLC拧紧结果读取错误及扳手通讯卡

接线松动的问题,分别采取如下措施:

1)完善连杆拧紧机PLC程序,使AMS系统保存的拧紧结果与扳手控制器一致。通过再次对30台发动机扳手控制器拧紧结果与AMS系统记录结果进行对比跟踪,确认两者结果一致。

2)重新紧固、安装电柜端扳手通信卡接线,恢复设备正常拧紧功能。

为防止再次出现此类漏拧紧的发动机被放行,在PLC程序中增加如果4个缸同一拧紧轴最终拧紧力矩相同,设备报警且不放行的功能。

结语

通过本次质量问题的处理,使我们深刻地意识到:质量是企业的生命,只有严格控制生产过程质量,才能防患于未然。

在很多时候,我们所能看到的可能只是问题的表象,隐藏在背后的真相需要我们从表象中层层剖析,才能发掘出产生问题的根本原因。

关键词:

连杆盖 未拧紧 脱落

(收稿日期20140611)