■ 河北华北柴油机有限责任公司/赵　祎　黄立荣　马晓峰

柴油机高压油管故障分析

高压油管是柴油发动机供油系统中连接喷油泵与喷油器的重要零部件，它作为发动机工作时的“大动脉”，承担着给发动机输送高压燃油的任务。在发动机工作过程中，高压油管不仅要承受发动机自身的振动，还要承受高压燃油的高频脉冲，工作条件非常恶劣。因此它的寿命不仅影响整机的可靠性，而且其发生故障后，泄漏的燃油与排气管等高温部件接触后还可能引发火灾，其可靠性直接关系到人身和财产安全。本文针对高压油管故障分类进行分析，并提出解决措施，以减少维修判断时间及维修难度。

高压油管的典型故障形式为漏油，其主要表现形式为头部密封不严、管体裂纹、管体磨损、穿孔和管体锈蚀等。

头部密封不严

1.故障分析

头部密封不严是指高压油管与喷油器或喷油泵接口部位密封效果不好导致的漏油现象。造成该现象的主要原因有以下四个方面：

（1）高压油管上锁紧螺母的拧紧力矩偏小　高压油管上锁紧螺母的拧紧力矩与油管的直径、材料及其所承受的最大压力都有密切关系。如拧紧力矩偏小，在柴油机的高频振动下会造成锁紧螺母松动，无法压紧接合部位而导致漏油。

（2）高压油管头部密封带上有缺陷　高压油管头部密封面上如果有缺陷，将会直接导致漏油现象发生。

（3）高压油管重复装配　高压油管的密封是通过油管的头部在压紧力的作用下产生微变形，形成密封带而达到密封效果的。如果重复装配次数过多，密封带与首次装配的位置不完全一致，且由于头部前端没有了可塑性不能形成二次微变形，形成不了新的密封带，达不到原有的密封效果。

（4）高压油管装配误差　高压油管装配误差会导致头部密封带形成椭圆，从而不能有效密封。高压油管管形的制造误差、高压油管头部与喷油器接口部位的装配误差（见图1），以及高压油管带管夹装配时的非自由对正等因素，都是造成高压油管装配误差存在的直接原因。

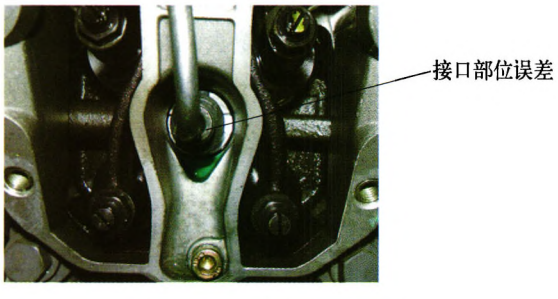

图1　油管头部与喷油器接口误差

2.头部密封不严故障的检查及排除

头部密封不严故障一般在发动机出厂试验阶段发现，起动发动机，发现有燃油自高压油管锁紧螺母内侧或下端顺着螺纹部位渗流，如图2所示。

1）检查锁紧螺母是否保持了出厂前的状态，若发现锁紧螺母变松，用扭矩扳手按要求的拧紧力矩进行拧紧。

2）拆下高压油管（包括松开锁紧螺母及固定管

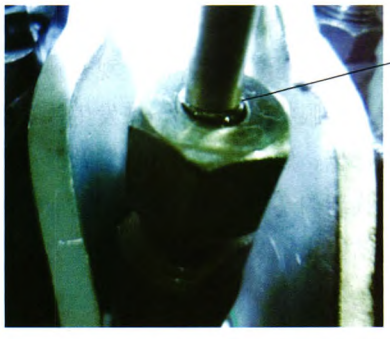

图2 拧紧力矩偏小造成漏油

夹），检查油管头部有无缺陷及不规则接触痕迹、高压油管与喷油器或喷油泵接口部位有无杂物或损伤，若发现上述情况，需清理接口部位，更换新油管，装好固定管夹，并将油管按要求力矩值进行预紧和紧固。

3）若故障发生在发动机运行一段时间之后，一般不是高压油管本身的问题，多是由于在发动机维修时松开或拆卸过高压油管，导致高压油管重复装配。发生该情况，需更换新的油管。

管体裂纹

高压油管管体裂纹有纵向开裂和横向断裂两种形式。

1.纵向开裂故障分析

纵向开裂是指管体某段有轴向裂纹向外喷射油雾。这类故障主要是由于高压油管选材不能满足工作压力或管材毛坯中局部有夹渣而在拉拔过程中形成纵向缺陷，并在内孔高压燃油高频脉冲作用下所致。

（1）高压油管选材不能满足工作压力　在选择高压油管材料时，需要考虑的是高压油管内部压力和高压油管振动而造成的压力和弯曲疲劳应力。依据JB/T 8120.1－2000标准中对钢管内压试验的专门计算公式 $P_{max}=\frac{K^2-1}{\sqrt{1+3K^4}}R_{eH}\times10^3$，最大理论试验压力$P_{max}$为应力系数$K$和上屈服强度$R_{eH}$的乘积，根据高压油管内部承压，按照安全系数1.5，推算出上屈服强度数值，依此选择高压油管材料。若材料选择不当，随着发动机的运行，在发动机振动和高压燃油反复冲击的作用下，材料所受应力超过它的极限强度，将造成材质开裂发生漏油。

（2）纵向缺陷　管材毛坯中因局部有夹渣而在拉拔过程中形成纵向缺陷，该问题属于原材料的原始缺陷。裂纹部位电镜扫描如图3所示。

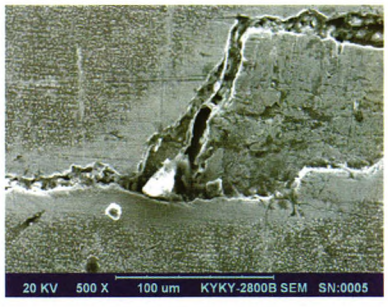

图3 裂纹部位电镜扫描

由图3可以看出，裂纹为韧性断裂的特征。该特征产生的原因是管体存在微裂纹或其他缺陷，在发动机运行过程中受振动和高压燃油的冲击作用，裂纹逐步扩大所致。

（3）其他情况　在高压油管运输或安装过程中的外伤，随着发动机运行过程中受振动和高压燃油的冲击作用，也会导致高压油管纵向裂纹的产生。

2.横向断裂故障分析

横向断裂是指在管体某部位发生的部分或完全断裂，油雾呈扇形喷射出来。发生这类故障的主要因素是由于装配时存在应力（包括固定管夹应力）或未将油管与机体适当固定，在发动机共振频率作用下，在应力集中点形成断裂。

（1）装配应力　高压油管管型存在误差，如果强行安装，应力过大会造成高压油管两端因应力集中而断裂。有些装配或维修人员在安装高压油管时，先将高压油管两端锁紧螺母拧紧了，再将高压油管固定管夹强行安装（实际装配时应在高压油管两端螺母未拧紧前，就将管夹安装到恰当位置，再调整高压油管的合适位置，然后固定管夹）。这样一来，会给高压油管额外加应力，造成高压油管两端头部因应力集中而断裂。

（2）油管与机体未固定　对于有些较长的高压油管，受发动机振动影响，必须为其增加固定措施（见图4），否则在发动机振动及高压燃油的高频脉冲作用

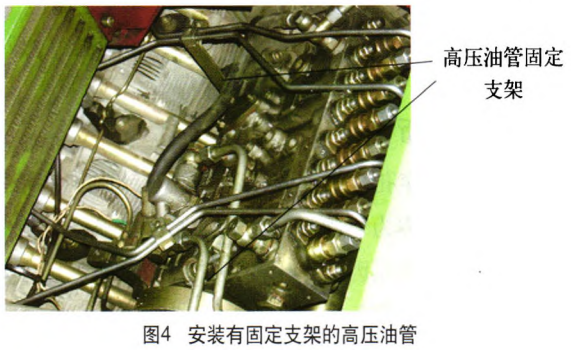

图4 安装有固定支架的高压油管

下，容易出现应力集中而断裂。

3.管体裂纹故障的检查及排除

管体裂纹故障一般发生在发动机运行一段时间后，随着发动机的振动和高压燃油的高频脉冲作用，高压油管发生裂纹或断裂。

（1）发生纵向开裂的高压油管　在发动机工作时有油雾自管体上某部位轴向条状缝隙中喷出。在发生该现象时，首先标记漏油部位；然后松开油管两端锁紧螺母和中间的管夹，更换新的高压油管，更换油管前需保证接口部位清洁，先安装管夹，再按推荐力矩拧紧油管两端；最后对故障高压油管进行相关检测，分析泄漏原因，避免再次发生漏油故障。

（2）发生横向断裂的高压油管　在发动机工作时有油雾自管体上某部位横向呈扇状喷出，有时已明显断开，发生部位多在高压油管弯曲部位或两端头部后跟部。该现象主要是由于振动疲劳断裂所致，多由外因引起。在发生该现象时，首先检查管夹是否松动，有没有起到应有的固定作用或是否安装了固定支架，然后考虑在维修喷油泵、喷油器或其他零件时是否扳动过油管致使其变形产生应力装配，最后更换新的高压油管。

管体磨损

1.故障分析

高压油管管体磨损是指高压油管管体与发动机上其他零部件干涉，随着发动机的高频振动，管体被磨穿而发生的漏油现象。造成该故障现象并不是高压油管本身的问题，而是由于与其他零件干涉引发，因此在安装高压油管时应避免干涉。

2.故障的检查及排除

发生高压油管管体磨损漏油故障时，应检查高压油管周围有无发生干涉的部位，解决干涉现象，同时更换新的油管。

穿孔

1.故障分析

高压油管穿孔是指在管体某部位有针眼状小孔往外喷雾，也被称为“砂眼”，属于原材料缺陷。造成这类故障的主要原因是由于高压油管原材料毛坯中局部有夹渣或气孔所致。

2.故障的检查及排除

发生高压油管穿孔漏油故障时，观察到有油雾自管体上某部位从针眼状小孔喷出。在发生该现象时，首先标记漏油部位；然后松开油管两端锁紧螺母和中间的管夹，更换新的高压油管，更换油管前需保证接口部位锥面清洁，先安装管夹，再按推荐力矩拧紧油管两端。

管体锈蚀

1.故障分析

高压油管管体锈蚀是指高压油管由于生锈原因而导致的漏油。发生高压油管管体锈蚀故障主要是由于发动机工作环境恶劣，高压油管长期受雨水浸蚀所致。

在发动机设计中，高压油管和气门室体间由橡胶块固定，橡胶块的作用主要是减振、防尘，并起一定密封作用，短时间可以防止少量的雨水进入。并且，高压油管表面进行了镀锌钝化处理，因此在正常情况下，高压油管不会发生锈蚀问题，但在拆检时发现有些故障机，气门室盖内部的高压油管有严重锈蚀现象。锈蚀情况直接导致材料强度下降。随着锈蚀情况的不断加剧，受柴油机振动和高压燃油的高频脉冲作用，导致出现漏油现象。

高压油管的锈蚀与车辆长期露天存放，进入大量雨水有关，大量雨水通过橡胶块沿高压油管进入并积聚在气门室体内。虽然该处在设计时留有排污孔，但仍会有一些聚积，雨水在高温情况下生成水汽，由于雨水具有一定的腐蚀性，长时间在此环境下高压油管严重锈蚀后，会因强度降低而造成漏油现象。

2.故障的检查及排除

拆开气门室盖，观察气门室体内的高压油管是否有锈蚀现象。如发现严重锈蚀导致漏油，需更换高压油管。

结语

在高压油管漏油故障维修过程中，应当依据故障现象进行充分的理论分析，然后进行有针对性地检查，再对损坏的油管进行更换，并且在复装过程中一定要严格按照要求进行装配。

关键词：
柴油机　高压油管　故障分析　密封
（收稿日期20121211）