

机油盘工艺孔螺塞漏油故障分析与解决办法

胡志勇

哈尔滨东安汽车动力股份有限公司 黑龙江 哈尔滨 150066

【摘要】：文章通过对发动机机油盘高压油路工艺孔螺塞漏油故障进行分析，排查机油盘装配工艺、结构设计等环节存在的问题和风险，找出问题的根本原因，提出改进的理论依据和有效的解决办法。

【关键词】：工艺孔螺塞；密封管螺纹；扭矩；螺纹锁固剂；管路螺纹密封胶；

目前市场主流的国六 b 发动机，为了达成较高的排放标准，在对国 V 发动机燃烧过程进行优化的同时，对润滑冷却系统进行相应的改造，满足活塞冷却、机油冷却等功能，使得机油冷却效果更加明显。为减少缸体制造成本和互换性，将缸体部分高压主油路逐步集成到机油盘上，使得机油盘的油路也越来越复杂，为加工油路而产生的工艺孔也随之增加。此结构的机油盘多为压铸铝合金产品，机油盘上有 1-3 个工艺孔螺塞不等。工艺孔螺塞密封不好导致漏油故障也持续增多，如何有效的解决工艺孔螺塞漏油故障，成了急需解决的质量问题。本文针对机油盘工艺孔螺塞漏油故障，通过结构分析、工艺排查、行业对标等工作，找出工艺孔螺塞漏油的主要原因，给出解决方案。

1 机油盘的典型结构

下图是一个典型的机油盘，为了实现机油泵、缸体主油路、机油滤等油路的加工，需要加工 3 个工艺孔，安装 3 个工艺螺堵。



图 1 机油盘典型油路结构

如图 2 所示，机油盘工艺孔螺纹规格为 NPT 3/8，查询《GB/T 12716-2011 60°密封管螺纹》可知，NPT 3/8 螺纹为牙型角为 60°、螺纹副本身具有密封性的圆锥管螺纹。NPT 螺纹主要用于管子、阀门管接头、旋塞及其他管路附件的密封螺纹连接。

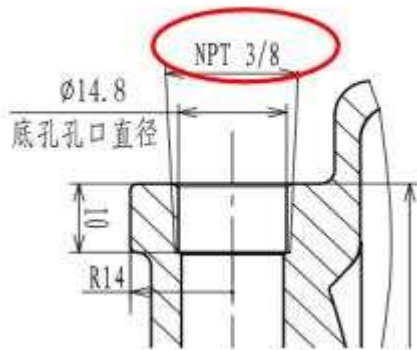


图 2 机油盘工艺孔

机油盘采用的圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成“锥/锥”配合结构。标准中提到“为确保螺纹连接密封的可靠性，应在螺纹副内添加合适的密封介质。例如在螺纹表面上缠胶带，涂密封胶等。”

2 工艺排查

根据机油盘图纸技术要求，（1）拧入内六角锥形螺塞时，在螺纹处涂乐泰 263 厌氧胶，拧紧力矩 20~25Nm；（2）机油盘总成应进行气密性试验，主油路（工艺孔）部分在 500kPa 压力下保持 1 分钟，不得漏气。

根据技术要求，排查工艺过程如下：

（1）螺塞为 NPT 3/8 内六角锥形螺塞，经检测，螺纹综合位置偏差、牙侧角偏差均符合 GB/T 12716-2011 相关要求；

（2）机油盘螺纹孔螺塞规检测螺纹孔，螺纹孔综合位置偏差、表面加工质量、铸造质量（X-ray 检查）均未见异常。

（3）操作者按照作业指导书要求，安装前在螺塞及螺纹孔内涂乐泰 263 厌氧胶，拧紧后使用扭矩扳手 100%校核力矩使之满足 20~25Nm。

（4）安装后的产品经湿式气密性检测，主油路高压部分充气压力 500kPa，保压 1min 无泄漏。

排除了生产过程的异常，问题出在哪里呢？

3 行业对标及原因分析

3.1 力矩对标分析

产品	螺纹规格	安装力矩 (Nm)
油压传感器	R 1/8	12~15
缸盖	RC 1/8	10~12
缸体	PT 1/8	15~22

通过截面积（去除螺塞中间的内六角）对比，NPT 3/8 锥螺纹拧紧力矩约为 1/8 锥螺纹的 2.1 倍，机油盘工艺孔螺塞设计力矩无问题。将通过台架耐久的机油盘与漏油的机油盘对比测量，发现由于螺塞涂锁固胶，拆卸力矩均大于设计值，但漏油的螺塞力矩有明显衰减，说明螺塞密封胶受到漏油的影响，厌氧胶在有氧或富氧环境下失效。

3.2 热膨胀分析

对发动机机油盘工艺堵位置进行温度测量（热电偶试验），在发动机工作时，机油温度为 110.3~120.7℃，机油盘螺塞处温度为 101.6~118.5℃，

材料	铝合金	铸铁	钢
热膨胀系数δ (mm/℃)	23.8×10 ⁻⁶	10.5×10 ⁻⁶	12×10 ⁻⁶

金属热膨胀引起的尺寸变化量 $L = \text{热膨胀系数} \delta \times \text{全长} \times \text{温度变化量}$ （设室温 20℃）

假设温度变化为 150℃，以 NPT 3/8 锥螺纹基准平面直径 15.926 为准，计算铝合金、铸铁以及螺堵的径向变化量如下：

铝合金的变化量 $L_1 = 23.8 \times 10^{-6} \times 15.926 \times (150 - 20) = 0.049 \text{mm}$

铸铁变化量 $L_2 = 10.5 \times 10^{-6} \times 15.926 \times (150 - 20) = 0.021 \text{mm}$

螺堵变化量 $L_3 = 12 \times 10^{-6} \times 15.926 \times (150 - 20) = 0.024 \text{mm}$

ΔL 铝合金=L1-L3=0.049-0.024=0.025mm

ΔL 铸铁=L2-L3=0.021-0.024=-0.003mm

由于铝合金的热膨胀系数大于铸铁和钢的热膨胀系数，在发动机耐久过程中，由于受到热应力的影响，工作一段时间后，工艺孔的直径会膨胀，微观的热膨胀差值导致铝合金与螺堵的间隙比铸铁与螺堵的间隙大。

3.3 螺纹结构对标

我们再将《GB/T 12716-2011 60°密封管螺纹》的部分内容进行解读^[1]，60°密封管螺纹虽然属于“密封管螺纹”，但其内外螺纹的牙顶/牙底仍然是过渡配合，如图3(a)所示。NPT 3/8 螺纹牙数为18，牙顶高和牙底公差为0.079mm，常温下涂厌氧胶短时间工作后密封性能可能不会有影响；但由于主油路工作油压较高，发动机长期运行受机械震动影响，加上铝合金产品不可避免的铸造缺陷和加工缺陷，通过牙顶-牙底密封就显得脆弱了^[2]。

而与其相似的螺纹且自身具有可靠密封性能的螺纹，应为《GB/T 27944-2011 60°干密封管螺纹》，其“适用于对螺纹密封性能有较高要求的管子、阀门管接头及其他管路附件的螺纹连接”。从其公差带分布（图3(b)）可知，外螺纹牙顶与内螺纹牙底、外螺纹牙底与内螺纹牙顶均为过盈配合，螺旋旋紧后螺纹副实现了真正的“无缝”联结，有效地保证了螺纹密封^[3]。



图3 管螺纹牙顶高和牙底高的公差带分布位置对比图

3.4 胶品对标

通过查询乐泰技术数据表可知，乐泰 263 为厌氧型甲基丙烯酸酯，粘度低，主要应用于高强度螺纹锁固。而工艺孔螺塞的主要作用为在发动机运转过程中保证高压油路的有效密封，通过 X-ray 检查，工艺孔螺塞与孔结合的螺纹副在螺纹牙侧、顶径、底径处均有不同程度的间隙，而 263 厌氧胶在这种间隙中难以起到有效的密封作用。因此，选用乐泰 263 厌氧胶是不恰当的。

3.5 小结

通过以上对标分析，机油盘工艺孔螺塞漏油的主要原因有2点：螺纹规格选用不当。NPT 3/8 螺纹虽属于 60°密封管螺纹，但不是 60°干密封管螺纹，作用于高压油路管路密封，在发动机长期工作时，螺塞孔锥螺纹副受机械震动、金属受热膨胀等因素的影响，存在密封不良的风险。

胶品牌号选用不当。乐泰 263 厌氧胶主要用于高强度螺纹锁固，而不是作用于螺纹副的填充与密封。

4 解决办法

通过以上分析，我们找到了工艺孔螺塞漏油的故障原因。为了保证售后产品和已制品的互换性、降低刀具成本和产品制造难度，我们决定选取一种具有螺纹填充能力的密封胶来解决故障。

参考文献

- [1] 龚伟安，略论套管螺纹密封性能与螺纹公差带的关系，石油机械，1996，第24卷第4期
- [2] 靳宝宏，发动机缸体和缸盖工艺孔螺塞的密封机理及设计，柴油机设计与制造，2019，第1期
- [3] 彭羽，李连进，油井管特殊螺纹接头的密封性能对比分析，机械工程与技术，2016，5(1)，31-37

我们借鉴了油压传感器螺纹表面涂覆的乐泰 516 密封胶。通过查询乐泰技术数据表可知，乐泰 516 是一种高触变性的亚克力螺纹密封剂，适用于自动点胶应用。干燥后，它成为弹性的、紧贴的、非固化的密封剂，其螺纹填充能力和主要扭矩特性可有效用于锥形或直螺纹密封，可以提供可靠的密封性和抗振性。例如后桥加油电塞，轴承调节螺母，压力表和传感器，制动器配件，管件以及压缩机管塞。因此，可以选用乐泰 516 作为代替。

4.1 选用乐泰 516 的技术依据

通过查询《JB/T 7311-2016 工程机械 厌氧胶、硅橡胶及预涂干膜胶 应用技术规范》，该标准适用于工程机械金属螺纹紧固件密封与锁固、零件的平面密封、轴与孔金属零件的固持与密封以及金属管路螺纹密封，并对不同应用的密封给出了详细的分类，机油盘工艺孔螺塞密封属于金属管路螺纹密封而不是单纯的螺纹锁固。

螺纹锁固剂只能针对金属跟金属相粘接，而且需要在缺氧环境下才能实现完全固化，用来锁固和密封螺纹部分，以提高锁固强度；而螺纹密封剂用来密封螺纹部分，不仅可以实现金属和金属的粘接，还可以使其承受更高流体压力，它可以填充配套螺纹间的所有间隙并固化形成坚硬的热固性塑料，从而实现完全密封防止泄漏，这就是两者之间最大的区别，其次密封胶的性能是密封不透水、不透气，有一定的粘着力以及体积伸缩能力，紧固剂的性能是强大的粘着力和强度，这也是两者之间不同的地方。

乐泰 263 和乐泰 516 的主要特性对比如下：

牌号	涂胶代号	颜色	黏度 Pa·s	适用范围
乐泰 263	ANL4	红色	1.2~3.0	需要拆卸紧固件的 M10~M20 螺纹锁固

牌号	涂胶代号	颜色	黏度 Pa·s	固化后气压密封压力 MPa	工作温度 °C	适用范围
乐泰 516	PAS1	铁红	20~80	≥0.8	-60~150	用于锥螺纹、直螺纹等密封，具有很强的填充螺纹密封能力

乐泰 516 是一种预涂干膜胶，其密封机理是：它被预先涂布在螺纹表面上，烘干后形成一层有一定附着力的胶膜；与螺母旋合时胶膜和挤碎，释放出胶液，促使厌氧胶聚合，填满螺纹旋合部位的全部间隙，形成有一定强度和韧性的热固性塑料，可靠地锁固和密封螺纹旋合部位。因此，用乐泰 516 代替乐泰 263 是完全符合使用条件的。通过用自动点胶机在螺塞预涂乐泰 516 进行试验，选用涂胶厚度与牙高比在 36~40%时，螺纹表面涂覆均匀，用轮廊仪检测螺纹涂胶前后牙型，螺纹由于有预涂胶涂覆堆积，牙型角有所增大，经过涂胶改进验证，螺塞密封效果良好，可以实现可靠的密封。

5 结束语

本文从机油盘的结构入手，分析了工艺孔螺塞的功能和失效模式，对装配工艺进行排查，并从设计理论上对相关因素进行对标分析，找到了机油盘工艺孔螺塞漏油故障的原因，提出了机油盘工艺孔螺塞漏油故障解决办法，从而为发动机管路密封的设计和 optimization 提供了依据。