

发动机配气机构常见故障诊断探析

郭培苗 魏 达 张 博 张康新 段仁慈 葛 强

山西柴油机工业有限责任公司 山西 大同 037036

摘 要: 发动机配气机构作为控制进排气过程的核心装置,其运行状态直接决定发动机动力性、经济性与可靠性。本文围绕发动机配气机构常见故障诊断展开研究,阐述了配气机构的工作原理与结构组成,分析了气门关闭不严、配气相位失准等五类常见故障的成因、典型表现及运行影响,进而对比传统(人工经验、简易工具检测)与现代(传感器监测、智能诊断)故障诊断方法与技术,最后提出日常基础维护、关键部件专项管理及维护流程规范化三类预防措施。研究旨在为发动机配气机构故障的精准诊断与高效预防提供实操参考,助力提升发动机运行稳定性与使用寿命。

关键词: 发动机配气机构; 常见故障; 诊断方法与技术;

引言: 当前发动机配气机构因长期高负荷运转、维护不当等因素,易出现气门密封失效、相位偏移等故障,不仅影响发动机正常工作,还可能引发连锁损坏。但现有维修场景中,传统诊断方法依赖经验易误判,现代技术应用需更贴合实操需求。基于此,本文从结构原理切入,剖析故障类型、优化诊断方法、完善预防措施,为解决配气机构故障诊断与维护难题提供系统方案。

1 发动机配气机构工作原理与结构

1.1 工作原理

发动机配气机构以“定时换气”为核心功能,依据发动机四冲程(进气、压缩、做功、排气)循环规律与各缸点火顺序,精准控制进、排气门的开启与关闭时机。工作时,曲轴通过正时齿轮、链条或皮带驱动凸轮轴旋转,二者传动比固定为2:1,即曲轴转两圈、凸轮轴转一圈,确保气门动作与活塞运动同步。当凸轮轴上的凸轮凸起部分接触挺柱、推杆等传动部件时,会克服气门弹簧的弹力推动气门下行开启,使可燃混合气(汽油机)或空气(柴油机)进入气缸,或让燃烧后的废气排出;当凸轮凸起部分离开传动部件后,气门弹簧恢复形变,拉动气门上行关闭,实现气缸密封,为下一次循环做好准备,其运行精度直接决定发动机的动力性与经济性。

1.2 结构组成

配气机构主要由气门组与气门传动组两大部分构成。气门组是实现气缸密封与气流控制的核心,包含气门、气门座圈、气门弹簧、气门导管及锁片等部件:气门直接控制进排气通道的通断,气门座圈与气门配合保证密封,气门弹簧提供气门关闭的复位力,气门导管则引导气门做直线运动。气门传动组负责传递动力并控制气门运动,由凸轮轴、挺柱、推杆、摇臂及摇臂轴组成:凸轮轴是动力分配核心,通过凸轮轮廓控制气门开启幅度与时长,挺

柱、推杆将凸轮轴的动力传递至摇臂,摇臂再通过杠杆作用推动气门运动,各部件协同确保气门动作精准可控^[1]。

2 发动机配气机构常见故障类型

2.1 气门关闭不严

气门关闭不严是配气机构高频故障,直接破坏气缸密封性,对动力输出与燃烧效率影响显著,具体分析如下:(1)故障成因:一是密封面损伤,气门与气门座圈密封面经高温燃气冲刷、杂质撞击,易出现磨损、沟槽或烧蚀,破坏密封贴合状态;二是气门间隙异常,间隙过小导致气门受热膨胀后无法完全落座,间隙过大则加剧气门落座冲击,加速密封面损耗;三是气门弹簧失效,弹簧长期承受交变载荷,疲劳变形或弹力衰减后无法提供足够关闭压力,致气门与座圈贴合不紧密。(2)典型表现:启动性能下降,冷机需多次尝试启动,热机启动亦有延迟;怠速不稳,转速波动大且排气管伴不规则“突突”声;动力减弱,加速迟缓、额定功率下降;排气异常,排气管冒黑烟、温度升高,部分情况出现排气带油。(3)运行影响:气缸压缩压力降低,燃油燃烧不充分,油耗增加且积碳加剧;未燃混合气进入排气管引发积碳堆积,严重时堵塞排气通道;长期密封不良加剧气门与座圈磨损,形成恶性循环,提高维修成本。

2.2 配气相位失准

配气相位失准打乱进排气时序,导致换气不充分,影响发动机整体性能,具体特征如下:(1)故障成因:一是传动部件损耗,正时齿轮、链条或皮带磨损、伸长或老化,使凸轮轴与曲轴传动比偏离2:1标准;二是凸轮轴变形,长期周期性载荷致其弯曲扭曲,凸轮轮廓偏移改变气门开闭时刻;三是装配误差,未对准正时标记或挺柱、推杆安装偏差,直接引发相位偏移。(2)典型表现:进气效率降低,进气歧管负压异常,加速易“回火”;排

气不畅,排气管温度、压力升高且噪声增大;动力下滑,额定功率下降5%-20%,满载转速难提升且油耗增加;怠速不稳,频繁波动甚至“游车”、熄火。(3)运行影响:进气不足致燃油燃烧不充分,污染物排放增加,加剧活塞、气门磨损;排气残留多,高温废气加速气门烧蚀;长期相位失准使发动机工作粗暴、振动加剧,影响机体稳定性。

2.3 气门异响

气门异响多由机械间隙异常或润滑不良引发,是配气机构常见异常信号,具体如下:(1)故障成因:一是气门间隙过大,冷态调整超0.25-0.45mm标准,热机后间隙仍存,气门落座撞击产生“嗒嗒”声;二是传动部件磨损,挺柱、推杆、摇臂轴等配合间隙增大,运动冲击产生噪声,摇臂轴磨损后异响更明显;三是润滑不足,油道堵塞或机油黏度不符,部件干摩擦产生刺耳金属声。(2)典型表现:异响具规律性,怠速清晰,随转速升高频率与强度同步增加;位置集中于气门室盖附近,拆盖可见传动部件运动异常;受负荷影响小,冷机启动时异响更突出,热机后部分间隙过大引发的异响略减弱。(3)运行影响:长期异响加剧部件磨损,缩短使用寿命,增加维修频次;冲击载荷易致气门头部裂纹、气门杆弯曲,引发严重故障;异响掩盖其他故障信号,干扰诊断易延误维修。

2.4 液压挺柱卡滞

液压挺柱卡滞失去气门间隙补偿功能,导致气门运动异常,影响配气机构稳定性,具体分析如下:(1)故障成因:一是机油品质问题,杂质混入或机油变质堵塞挺柱油道,致其无法伸缩;二是内部失效,柱塞与缸体磨损划伤、单向阀密封不良,无法建立稳定油压;三是导孔磨损,气门室盖导孔磨损使挺柱运动偏移,增加卡滞概率。(2)典型表现:异响特殊,初期为“嗒嗒”声,加剧后变为连续“嗡嗡”声,热机后异响增强;气门动作异常,对应气缸进排气不足致工作不良、动力下降;多缸卡滞时怠速剧烈波动,严重时熄火。(3)运行影响:单缸燃烧效率骤降,未燃燃油致排气升温、积碳;挺柱卡滞使气门关闭不严,气缸压力下降加剧动力损耗;内部损坏产生的金属碎屑进入机油循环,引发其他部件次生故障。

2.5 正时齿轮异常磨损

正时齿轮是动力传递核心,其异常磨损破坏传动稳定性,引发系列故障,具体如下:(1)故障成因:一是啮合间隙不当,间隙过小齿面压力过高,间隙过大运转冲击增大,均加速磨损;二是润滑不足,齿轮室润滑故障或机油喷射量不足,齿面无有效油膜致干摩擦;三是质量与安装问题,齿轮材质缺陷易剥落,安装时曲轴与

凸轮轴中心线不平行致齿轮偏载磨损。(2)典型表现:异响渐进出现,初期为齿轮室附近“沙沙”摩擦声,加剧后变为“咔嗒”冲击声,转速升高噪声增强;后期齿面剥落或断齿,异响变为杂乱撞击声,齿轮室振动明显;间接引发相位偏移,出现动力下降、排气异常等症状。(3)运行影响:轻度磨损致相位轻微偏移,影响动力与经济性;中度磨损引发持续异响,振动致齿轮室密封垫渗油;严重磨损(如断齿)使配气机构失效,齿轮碎片还可能损坏气缸、活塞等关键部件,大幅增加维修成本^[2]。

3 故障诊断方法与技术

3.1 传统故障诊断方法

传统诊断方法依托维修人员经验与简易工具,在基层维修场景中应用广泛,核心方式如下:(1)人工经验诊断法:通过“听、看、摸、查”四步判断故障。“听”即贴近发动机听运转声音,如气门异响多为规律“嗒嗒”声、正时齿轮磨损为杂乱摩擦声,依据声音频率、位置区分故障类型;“看”即观察排气状态(黑烟提示燃烧不良、蓝烟可能伴机油渗漏)、气门室盖密封情况(渗漏可能关联部件松动);“摸”即触摸气门室盖、排气管温度,异常高温可能指向气门关闭不严或配气相位失准;“查”即检查气门间隙、正时标记对齐情况,通过感官与基础检查初步锁定故障范围。(2)简易工具检测法:借助低成本工具量化关键参数辅助诊断。一是用塞尺测量气门间隙,对比标准值判断是否因间隙异常引发异响或密封问题;二用气缸压力表检测缸压,若某缸压低于标准值,结合进排气状态可推断气门关闭不严或配气相位偏差;三用正时灯检查配气正时,通过灯光照射正时标记,观察实际正时与标准值的偏差,判断传动部件是否磨损导致相位失准;四用机油压力表检测润滑系统压力,压力异常时可辅助排查液压挺柱卡滞的油道堵塞问题,该方法操作简便、成本低,适合现场快速初步诊断。

3.2 现代故障诊断技术

现代技术依托设备与数据分析,提升诊断精度与效率,核心技术如下:

(1)传感器监测技术:通过加装专用传感器采集实时数据。一是在气门室安装振动传感器,捕捉气门传动部件的振动频率与振幅,对比正常阈值,异常波动可定位异响或卡滞故障;二在进排气歧管安装压力传感器,监测进排气压力变化曲线,若进气压力异常低、排气压力异常高,可判断配气相位失准或气门关闭不严;三在凸轮轴、曲轴安装位置传感器,记录二者转速比与相位差,实时监测传动部件是否磨损导致的相位偏移,传感器数据可直观反映部件运行状态,减少人工判断误差。(2)智

能诊断技术：结合数据处理与算法实现故障识别。一是基于故障数据库的比对诊断，将实时采集的振动、压力、温度数据与数据库中典型故障特征匹配，快速输出故障类型与概率；二是利用机器学习算法，通过大量故障案例训练模型，可自主识别新型或复合故障，如同时区分气门异响与液压挺柱卡滞的混合信号；三是车载诊断系统（OBD）集成应用，部分发动机通过OBD实时监测配气机构关联参数，异常时触发故障码，维修人员通过解码器读取码值，直接定位故障部件，智能技术大幅提升复杂故障的诊断效率与准确性^[3]。

4 发动机配气机构故障预防与维护措施

4.1 日常基础维护要点

日常维护要围绕配气机构核心运行需求，落实高频次、低难度的基础检查与养护。（1）定期检查气门间隙，按发动机机型规定的周期，用塞尺逐缸测量进气门与排气门间隙，确保数值符合维修手册标准，偏差超限时及时调整，避免间隙异常引发异响或密封问题。（2）保障润滑系统正常，按规定周期更换机油，选择符合机型黏度等级的机油；定期检查机油量与油质，若机油出现乳化、变黑或杂质增多，及时更换并清洗油道，防止液压挺柱卡滞或传动部件磨损。（3）清洁进气系统，定期清理空气滤清器，避免杂质进入气缸磨损气门与气门座圈；同时检查进气歧管密封性，防止漏气影响配气效率。

4.2 关键部件专项管理

针对配气机构易损关键部件，需强化针对性检查与更换，提前规避故障风险。（1）气门与气门座圈维护，定期拆解检查气门密封面，若出现烧蚀、沟槽或磨损超限时，及时进行研磨修复或更换；同时检查气门导管磨损情况，若间隙超标准，更换导管并确保气门运动顺畅。（2）正时传动部件检查，定期查看正时皮带/链条的张紧度与磨损状态（皮带每6-10万公里、链条每15-20万公里检查），若皮带出现裂纹、老化或链条伸长，及时更换；同时检查正时齿轮啮合状态，啮合间隙超限时调整或更换，避免相位失准。（3）气门弹簧与液压挺柱养护，检查气门弹簧是

否存在变形、断裂或弹力衰减，发现异常立即更换；对液压挺柱，定期通过机油压力检测判断其工作状态，若出现卡滞前兆，及时拆解清洗或更换，防止失效引发气门动作异常。

4.3 维护流程规范化

通过标准化操作与记录管理，提升维护质量，减少人为失误导致的故障隐患。（1）严格按维修手册操作，维护时遵循机型规定的拆装顺序与力矩要求（如气门拆装时按对角线顺序拧螺栓，力矩误差控制在 $\pm 5\%$ 内），避免因操作不当导致部件变形或安装偏差。（2）建立维护档案，记录每次维护的时间、里程、检查项目及更换部件信息，通过数据追踪配气机构运行状态，提前预判部件寿命（如根据历史数据确定正时皮带更换周期），避免超期使用引发故障。（3）定期全面检测，结合发动机常规保养，对配气机构进行系统性检测，及时发现隐性问题的（如轻微气门密封不良），避免小故障发展为严重故障^[4]。

结束语：本文通过对发动机配气机构故障诊断与预防的系统性研究，明确了五类常见故障的核心特征，梳理出传统与现代诊断方法的适用场景，提出可落地的维护措施。研究成果可直接指导基层维修与日常养护工作，帮助减少故障发生率与维修成本。未来，可进一步探索智能诊断技术与不同机型的适配性，结合大数据构建更精准的故障预测模型，推动配气机构故障诊断从“事后维修”向“事前预判”升级。

参考文献：

- [1]孙胜军.发动机配气机构优化改进设计探析[J].中小企业管理与科技,2016(8):267-267.
- [2]辛泰.发动机机械系统故障诊断与维修[J].中国科技纵横,2023(21):126-129.
- [3]朱亚明.机械故障诊断技术在汽车发动机维护中的应用研究[J].汽车维修技师,2024(20):29-30.
- [4]朱亚明.机械故障诊断技术在汽车发动机维护中的应用研究[J].汽车维修技师,2024(20):29-30.