

城市公交燃油发动机关键零部件 机械制造工艺技术研究

刘连红

(东营市公共交通集团有限公司, 山东 东营 257091)

摘要 城市公交车辆长期处于高频启停与持续负载并存的运行环境中, 发动机工作稳定性与零部件可靠性直接关系到整车动力性能与运营效率。本文围绕公交燃油发动机曲轴、气缸体、连杆及气缸盖等关键零部件, 结合其结构特性与加工难点, 对机械制造过程中的工艺路线与精度控制问题进行系统分析; 在梳理典型加工流程的基础上, 进一步探讨尺寸精度、形位公差及表面质量的稳定控制方法, 并结合现代机械制造技术的发展趋势, 对制造工艺参数优化及质量控制方式进行研究。研究表明, 依托合理的工艺路线设计与精细化加工控制, 可有效提升关键零部件加工稳定性与一致性, 由此提高发动机运行可靠性与耐久水平, 对提升城市公交车辆动力系统制造质量具有积极意义。

关键词 城市公交; 燃油发动机; 关键零部件; 机械制造工艺; 加工精度控制

中图分类号: TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.025

0 引言

随着城市公共交通规模不断扩大, 公交车辆在城市交通体系中的基础作用愈发突出, 在频繁启停与长时间连续运行的双重条件下, 动力系统所承受的机械负荷与热负荷均显著增加, 由此对发动机结构可靠性提出更高要求。作为动力转换核心装置, 燃油发动机内部由多种精密机械零部件构成, 其加工质量不仅影响能量传递效率, 也关系到整机振动水平、燃油消耗与长期耐久性能。尤其在曲轴、气缸体与连杆等关键部件上, 尺寸精度、形位误差以及表面状态之间往往相互制约, 任何细微偏差都可能在长期运行中逐渐放大, 进而影响发动机稳定性。随着机械制造技术不断发展, 精密加工、数控技术以及工艺优化理念逐步融入发动机制造过程, 如何在复杂工况需求与制造效率之间取得平衡, 已成为机械制造领域持续关注的重要问题。

1 城市公交燃油发动机关键零部件结构特点与制造要求

1.1 关键零部件结构组成及功能特性

在城市公交燃油发动机结构体系中, 曲轴、气缸体、连杆与气缸盖等构件构成动力传递与燃烧控制的核心单元, 其结构形态往往复杂且空间关联紧密。曲

轴承担着往复运动与旋转运动之间的能量转换任务, 多曲拐与多轴颈结构使其在加工过程中既要保证轴颈同轴度, 又需兼顾整体动平衡性能^[1]; 气缸体则作为发动机的承载基础, 其内部布置气缸孔、冷却通道与润滑通道, 结构壁厚变化明显, 对加工稳定性与整体刚度提出较高要求。连杆在动力传递链中处于关键位置, 长期承受交变载荷与冲击应力, 其大头孔与小头孔之间的位置精度直接关系到发动机运转平顺性。气缸盖结构更为复杂, 燃烧室、气门座孔与喷油结构之间存在严格配合关系, 制造过程中既需保证密封性能, 又要维持良好的热稳定特性, 由此形成对机械加工精度与材料性能并重的制造特征。

1.2 公交运行工况对零部件制造精度的技术要求

相较于一般车辆动力系统, 城市公交发动机在运行环境上呈现出持续运行时间长、启停频率高以及负荷变化明显等特征, 这种工况条件使关键零部件在长期工作中承受更为复杂的机械应力与热应力。曲轴轴颈与连杆轴瓦之间的配合间隙需要保持稳定, 一旦加工误差偏大, 运转过程中易形成异常振动并加速磨损; 气缸孔的圆度与表面粗糙度则直接影响活塞运动状态及燃烧效率, 若加工质量不足, 燃油利用率与排放稳定性都会受到影响^[2]。依托精密加工技术与严格的工

作者简介: 刘连红 (1974-), 女, 专科, 助理工程师, 研究方向: 城市公交燃油发动机制造。

艺控制,使各关键零部件在尺寸精度、形位公差与表面质量方面保持较高一致性,由此保证发动机在复杂城市工况下仍能维持稳定动力输出与良好耐久性能。

2 城市公交燃油发动机关键零部件机械制造工艺流程

2.1 关键零部件毛坯成形与材料性能控制

在发动机关键零部件制造体系中,毛坯质量往往决定后续加工稳定性,因此材料选择与成形方式需要与零部件受力特征保持一致。曲轴毛坯多采用锻造成形结构,在高温塑性变形过程中形成连续纤维组织,使材料内部晶粒沿受力方向重新排列,由此增强抗疲劳能力与抗冲击性能;气缸体则常见铸造结构,依托高强度铸铁或合金材料形成整体框架结构,在保证刚度的同时兼顾减振特性。连杆毛坯同样多采用模锻工艺,组织致密度与纤维流线方向直接影响其承载能力。随着材料冶金技术不断发展,组织均匀化处理与热处理工艺逐渐融入毛坯制造阶段,使材料内部应力分布更加稳定,为后续精密加工提供可靠基础,也为发动机长期稳定运行创造良好条件。

2.2 粗加工与半精加工工艺体系构建

毛坯完成后进入机械加工阶段,合理的工艺路线安排对于提升加工效率与精度稳定性具有重要意义。粗加工阶段主要完成结构基准的建立与余量去除,借助数控车削、铣削及镗削设备,使零部件形成较为稳定的几何形态,同时保证主要加工基准面之间的相对关系。随着加工阶段逐步推进,半精加工开始承担尺寸精度控制任务,在保持结构稳定的前提下逐渐接近设计尺寸。对于曲轴等旋转类零件而言,轴颈加工与平衡结构调整需要保持较高一致性;气缸体孔系加工则更加关注孔间距与垂直度关系。借助合理的工艺分段安排,使加工应力逐步释放,既保证尺寸稳定性,也避免结构变形问题,为后续精加工奠定可靠基础。

2.3 精加工与表面质量控制技术

进入精加工阶段后,制造重点逐渐转向尺寸精度与表面状态的稳定控制。曲轴轴颈通常采用精密磨削工艺,在高精度砂轮与稳定切削参数配合下,使轴颈表面粗糙度保持在较低水平,同时保证圆度与同轴度精度;气缸孔加工则更多依托精镗与珩磨技术,形成交叉网纹结构,这种表面形态能够有效储存润滑油膜,使活塞运动更加平稳。连杆孔加工需要保证两孔之间的平行关系与尺寸一致性,因此在精加工过程中常结合专用夹具与高精度机床,以减少装夹误差带来的影响。随着精密加工设备不断升级,加工稳定性与重复

精度明显提升,关键零部件的表面质量与几何精度也随之得到有效保障。

2.4 装配匹配与制造质量检测控制

在关键零部件完成精加工后,装配匹配与质量检测成为确保制造效果的重要环节^[3]。曲轴与连杆组件之间需要保持稳定配合间隙,既要避免运转阻力过大,也需确保润滑油膜形成条件;气缸体与气缸盖之间的装配精度则直接影响燃烧室密封性能。借助三坐标测量设备与精密检测仪器,对零部件尺寸偏差与形位误差进行系统检测,可以及时发现加工过程中可能存在的问题。随着自动化检测技术逐渐融入制造体系,数据化质量管理模式逐步形成,使制造过程中的质量信息能够得到持续跟踪与分析,由此提高整体生产稳定性,也为发动机关键零部件制造质量的长期提升提供可靠技术支撑。

3 城市公交燃油发动机关键零部件先进制造工艺技术应用

3.1 高精度数控加工技术在关键零部件制造中的应用

随着数控技术不断成熟,高精度数控加工设备逐渐成为发动机关键零部件制造的重要支撑平台,在曲轴、连杆以及气缸体等结构复杂零件的加工过程中,数控系统能够依托多轴联动与程序化控制,使刀具轨迹保持稳定,从而保证关键尺寸与形位精度的统一。对于曲轴轴颈、连杆孔等关键部位而言,加工精度不仅关系到零部件装配质量,也影响发动机整体运转平顺性,因此在数控加工过程中需要综合考虑切削参数、刀具磨损状态以及机床刚度等多方面因素,在保持加工效率的同时维持稳定精度。

在工程实践中,一些制造企业在曲轴加工环节引入多轴联动数控车磨复合机床,使粗加工与精加工能够在同一平台上完成,由此减少重复装夹所带来的定位误差。某发动机制造企业在曲轴加工过程中,借助在线刀具补偿系统与自动测量装置,对轴颈直径与圆度进行实时修正,使加工过程始终处于稳定状态;设备运行数据反馈到数控系统后,可自动调整切削参数,从而保持加工质量的一致性。经过连续生产验证,该技术使曲轴轴颈尺寸波动明显减小,加工效率与稳定性同步提升,为城市公交发动机关键零部件制造提供了更加可靠的技术路径。

3.2 精密表面加工与强化技术

在发动机长期运行过程中,零部件表面状态对耐磨性能与润滑条件具有重要影响,因此精密表面加工

与强化技术逐渐成为制造工艺的重要组成部分^[4]。对于气缸孔、曲轴轴颈以及连杆孔等关键部位，常见的加工方式包括精密磨削、珩磨以及滚压强化等技术，这些工艺能够在保证尺寸精度的基础上改善表面微观结构，使零部件具备更好的耐磨性能与疲劳强度。

例如在气缸孔加工环节中，珩磨技术可在孔壁形成均匀交叉网纹结构，这种微观纹理既能够储存润滑油膜，也能够活塞运动过程中形成稳定润滑状态，从而减少摩擦损耗。某公交发动机制造单位在气缸孔加工过程中，将传统精镗工艺与精密珩磨技术结合，依托高精度珩磨设备对孔壁表面进行二次加工，使表面粗糙度显著降低，同时改善润滑条件。经过长期运行测试发现，该工艺能够有效降低气缸磨损速度，使发动机运转更加平稳，同时延长关键部件的使用寿命，这种表面强化技术在现代发动机制造中已逐渐形成成熟应用模式。

3.3 数字化检测与加工精度控制技术

随着精密制造水平不断提升，传统依赖人工经验的质量检测方式已难以满足高精度加工需求，因此数字化检测技术逐渐融入发动机零部件制造体系。三坐标测量设备、激光测量系统以及在线检测装置能够对零部件尺寸、形位公差以及表面状态进行高精度测量，在生产过程中形成完整的质量数据链，为工艺调整提供可靠依据^[5]。

在关键零部件加工阶段，检测数据往往能够反映加工状态变化趋势，由此为工艺控制提供重要参考。例如在曲轴加工过程中，三坐标检测系统能够对轴颈圆度、同轴度及位置度进行系统检测，当检测结果出现微小偏差时，可及时调整机床加工参数，使加工精度保持稳定。为更直观地体现关键零部件加工质量控制重点，可将典型检测指标进行整理，如表 1 所示。

表 1 城市公交燃油发动机关键零部件典型加工精度指标

零部件名称	关键加工部位	主要控制指标	技术要求
曲轴	轴颈	圆度、同轴度	高精度控制
气缸体	气缸孔	圆度、粗糙度	表面稳定
连杆	大头孔、小头孔	平行度、尺寸精度	配合稳定
气缸盖	气门座孔	位置精度	密封可靠

在实际生产实践中，一些制造企业在发动机生产线上建立数字化检测系统，使关键零部件加工完成后能够即时完成尺寸扫描与误差分析，检测结果自动反馈至制造管理系统，由此形成闭环质量控制模式。某

公交发动机生产企业依托数字检测平台建立质量数据库，对曲轴与气缸体加工数据进行持续跟踪分析，在数据积累基础上逐步优化工艺参数，使加工稳定性得到明显提升，这种数字化质量控制模式为发动机零部件制造带来了更加可靠的技术保障。

3.4 智能制造技术在发动机零部件生产中的应用

随着制造业数字化水平不断提升，智能制造技术逐渐融入发动机关键零部件生产环节，在生产组织与工艺执行层面发挥着越来越重要的作用。借助自动化加工单元、智能物流系统以及制造执行系统，零部件加工流程能够实现连续化与信息化管理，从而减少人为因素对加工质量的影响。

在现代发动机生产线上，数控机床、自动检测设备以及智能搬运系统之间形成协同运行关系，零部件从毛坯加工到精密加工再到质量检测，整个流程均在统一控制系统下运行。某动力系统制造企业在曲轴加工生产线中引入智能制造平台，将多台数控机床组成自动化加工单元，并配备机器人完成装夹与转运任务，使生产节奏保持稳定。与此同时，制造执行系统实时记录设备运行状态与加工数据，当设备运行状态出现波动时系统能够及时发出预警，由此保障生产过程持续稳定。

4 结束语

城市公交运行环境对动力系统可靠性提出更高的技术要求，关键零部件制造质量由此成为发动机性能稳定的重要基础。依托精密加工技术、数字化检测手段以及逐渐成熟的智能制造体系，机械制造工艺正不断向高精度与高稳定性方向发展；制造过程与技术应用之间形成良性协同，使关键零部件在长期复杂工况下仍能保持可靠性能，为城市公交动力装备的持续稳定运行提供坚实的技术支撑。

参考文献：

[1] 徐娟. 基于智能制造的汽车发动机零部件高效加工策略分析 [J]. 汽车维修技师, 2025(18):104-105.
 [2] 何辉. 基于机械加工技术的汽车零部件制造工艺优化 [J]. 汽车维修技师, 2025(16):117-118.
 [3] 罗达. 数控技术在汽车机械制造中的应用 [J]. 汽车测试报告, 2025(11):61-63.
 [4] 吴海彬, 黄玉婷. 数控技术在汽车零部件加工中的应用研究 [J]. 汽车维修技师, 2025(08):99-101.
 [5] 钱文广, 伊斯哈·阿布力米提. 汽车发动机关键零部件精密制造与检测研究 [J]. 汽车测试报告, 2024(21):80-82.