柴油机曲轴轴径油孔的工艺研究和提升

包文韬[1] 刘德岭[2] 姚 洋[2]
1. 中国铁路上海局集团有限公司 江苏 常州 213011
2. 中车戚墅堰机车有限公司 江苏 常州 213011

摘 要：曲轴作为柴油机核心大型零部件，是柴油机中制造难度最大的部件之一，具有复杂的孔系结构。各油孔相接组成了柴油机润滑系统的核心通道，承担着将润滑油精准输送至曲轴关键摩擦副的重任。曲轴轴颈油孔在新造时完成加工，大修过程中，由于孔口倒角缩小、表面拉伤等问题均需要修整，恢复尺寸和要求。目前主要的修复手段以钳修为主。本文通过典型案例的方案设计和实施，阐述修整工艺的研究和应用。

关键词：曲轴；油孔口；修整；工艺研究

引言：柴油机大修，曲轴的检测、修复是关键。以A型曲轴为例，以往的检修重点是测量轴径、探伤检查后，根据数据和表面状态，制定相应的检修方案，进行同等级或降等级磨修[1]。但对轴径油孔的检修，以抛光为主。由于修理曲轴，来源于多个厂家，油孔的加工不管是新造，还是修理，均存在一定的差异。以往的检修手段，孔口打磨抛光，进一步的研究和轴径油孔的检修没有形成规范。

本文以A型柴油机台架试验后拆检，发现连杆瓦中间位置存在蹭亮痕迹的现象，进行分析、判断；对A型曲轴轴径油孔进行研究和提升。

1 轴瓦及关联件的检测

查看试验台转速、功率、温度和油压等相关参数，无异常。柴油机大解体，解体过程中查看第 1、9 缸连杆螺栓刻线对齐情况，无异常。用 745N.m 力矩复测第 1、9 缸连杆的4个螺栓，均无松动。

柴油机第 1、9、16 缸连杆瓦存在异常，其它缸的连杆瓦中间存在异常磨损；主轴瓦正常；主轴瓦以及连杆瓦的合金层未见明显拉伤痕、机油系统清洁度良好。再查看第 1、9、16 缸连杆，连杆大头孔边缘以及齿形面无磕碰伤高点，连杆盖定位销安装良好、无挤出的铁屑。查看第 1、9、16 缸以及 10、14 缸连杆瓦的瓦背痕迹，瓦背接触痕无明显异常。本次柴油机装用的A型曲轴，本次检修 0 级同等级磨修。

接下来将第 10、13、16 缸的连杆紧固后进行三坐标测量，检测结果无异常、符合要求。随机抽查了柴油机制造中心现场的1副连杆瓦的内孔表面粗糙度，下瓦 Ra0.605、上瓦 Ra0.538，符合要求（Ra0.8）。最终确定柴油机油取样化验，无异常。

2 关联要素的分析

第一步：连杆螺栓刻线对齐、无松动，复测螺栓力矩无异常，排除连杆组装因素。

第二步：柴油机主轴瓦以及连杆瓦合金层无明显拉伤痕，机油系统清洁度良好，排除清洁度因素。

第三步：连杆瓦的瓦背接触痕良好、无异常，连杆三坐标测量合格，连杆大头孔无磕碰伤高点。排除连杆检修因素以及连杆组装过程中的瓦背异物高点因素。

第四步，该摩擦位置在轴瓦中间、轴瓦未偏磨，表明曲轴连杆颈、活塞连杆组的几何尺寸无异常。 最后根据柴油机拆检后发现的连杆瓦中间的摩擦痕，该问题的关联因素需要排查曲轴连杆颈油孔倒角。

3 曲轴轴径油孔现状、检测情况

3.1 油孔周边存在的2条边界

一条是油孔R与轴径过渡边界（见图1中的序号1），另一条是轴径与轴径之间过渡边界（见图1中的序号2）。之所以会产生2条边界，主要是因为曲轴新造时，油孔周边轴径已经低于正常轴径外圆，本次同等级磨削单边仅有0.02mm左右，无法将原有低点消除，故轴径上还是会存在2条过渡边界，同时也说明2条边界并非检修产生，如图1。



图1 Ø20油孔实物图

3.2 曲轴同等级磨削

曲轴进行了同等级磨削，轴径外圆单边磨削余量

0.02mm，不足以消除图1中的边界2，对边界1根本没有影响。后续按工艺流程流转，使用150目砂皮对轴径外圆进行了机抛光，使用金相砂皮对圆角R进行了抛光。不管是边界1还是边界2，均已圆滑过渡。轴径外圆粗糙度满足 ≤ Ra0.4的要求，圆角R粗糙度满足 ≤ Ra0.8的要求。不存在检修不当的情况。连杆颈根据要求进行了同等级磨修，外圆进行了机抛光，油孔周边过渡区域圆滑过渡，检查记录齐全，检修质量符合要求。检修不存在油孔倒角不到位的情况。现场对曲轴油孔周边高点进行了检查，无异常。

4 本次轴瓦蹭亮痕迹的原因聚焦

本次轴瓦擦亮痕迹均位于第9-16连杆上瓦。而曲轴上油孔位置分布在轴线上下位置，油孔状态是一样的，检修工艺和实物状态一致。而轴瓦现象并不一样。从擦亮的宽度来看，以第10连杆瓦为例，该瓦擦亮痕迹宽度约37mm，检查了对应的连杆颈油孔，油孔R宽度约28mm，擦亮痕迹远远大于油孔宽度。

对比查看以前B型曲轴主轴瓦批量出现异常擦亮痕，查看擦亮痕迹，甚至有比这更严重的擦亮痕迹，柴油机也顺利运行了一个大修期，说明擦亮痕迹也并非导致柴油机故障的必要因素。

综合分析：从柴油机自身性能分析，曲轴两端属于低载荷区域，在整根曲轴油孔R加工质量一致的情况下，最先发生问题的档位应该是位于曲轴中间的档位。而此根曲轴发生在第9连杆上，此位置属于整根曲轴供油最充分，载荷最小的档位，由此判断，主要因素可能来自端部连接件或组装质量，主轴油孔R并非主因，或为“受害者”。

5 曲轴轴径油孔的提升工艺研究和实施

本次台架试验后拆检发现的异常，非曲轴轴径油孔检修问题，曲轴轴径油孔符合要求。但从检修曲轴的状态来看，新造和修理存在不同厂家，实物会存在差异，标准化、规范化作业的角度，现对油孔检修进行工艺提升，统一标准。

首先，边界长度要求：A型曲轴连杆颈油孔最长边界要求 ≥ 23，实测边界长度已经达到27mm，满足要求。

其次，圆滑过渡：油孔倒角R与轴径过渡圆角进行抹边过渡，打磨抛光。实际状况已抹边处理过，使用金相砂纸进行了抛光，手摸检查圆滑过渡，专用量具检测无高点，检修油孔R符合工艺要求。

第三步，粗糙度要求：粗糙度≦Ra0.8，实物比对测量符合要求。

6 打磨、抛光油孔R

6.1首先打磨油孔R边界的短边

以φ20油孔和φ18油孔为例，将橡胶砂轮装夹在气动打磨工具上，参照图2的打磨区域及尺寸要求进行打磨。打磨完毕后测量φ20油孔R边界短边长度 ≥ 25mm，φ18油孔R边界短边长度 ≥ 23mm，打磨交接部位需圆滑过渡。

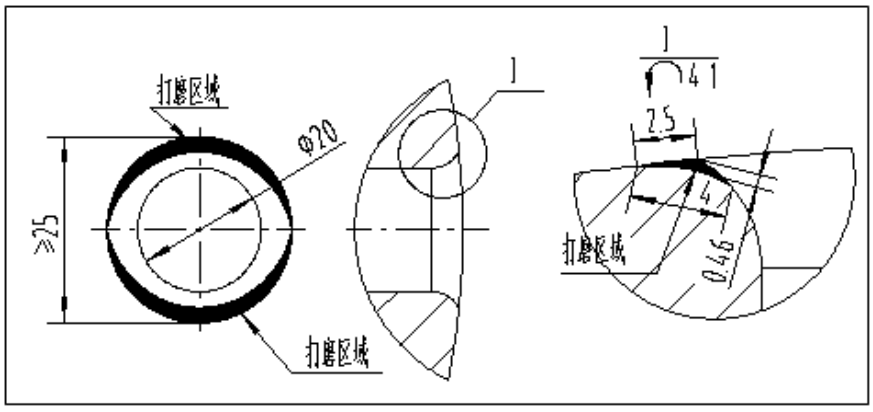


图2 φ20油孔R边界短边打磨参考

6.2 抛光油孔R

粗抛光：将专用橡胶压头固定在气动抛光工具上，将约25cm² 见方的80目砂皮纸放置在油孔孔口，把橡胶压头压在砂纸上，开动抛光工具进行抛光。首先在垂直于孔口的方位进行抛光，然后将气动工具沿圆周方向在20°至-20°范围内摆动抛光短边的R。要求打磨掉机加工刀痕和橡胶砂轮打磨痕迹，粗糙度控制在Ra1.6。

精抛光：参照粗抛光的方法，使用25cm²见方的240目或以上的砂皮纸对R进行抛光，要求轴径与R交接部位圆滑过渡，粗糙度控制在Ra0.8以内。

7 工艺固化和推广应用

目前在A型曲轴的检修上，进行了工艺优化和员工培养、检修标准的制定，能够按照执行。

针对机抛光、同等级、降等级不需要氮化的检修曲轴，对照“表1：修理曲轴油孔R标准[2]”中要求，对曲轴油孔R做好自检。凡是不符合要求的油孔R，使用橡胶

打磨头对油孔R交接部位进行抹边过渡，增大过渡范围，然后视R粗糙度情况，选择240目或以上的砂皮纸进行抛光。符合要求的油孔R则直接抛光。确保交接部位圆滑过渡，R粗糙度符合要求。

表1 修理曲轴油孔R标准

序号	油孔直径	R边界短边长度b	倒角R粗糙度	备注
1	Φ22	≥ 27	Ra0.8	1.要求轴径与油孔R交接部位圆滑过渡。
2	Φ20	≥ 25	Ra0.8	
3	Φ18	≥ 23	Ra0.8	
4	Φ16	≥ 21	Ra0.8	
5	Φ15	≥ 20	Ra0.8	
6	Φ14	≥ 19	Ra0.8	

针对降等级需要氮化的检修曲轴，氮化前对油孔R和轴径外圆交接部位进行抹边过渡打磨，使用240目砂皮纸进行抛光处理。氮化后，重复氮化前的抛光动作。精磨后，对照“表1：修理曲轴油孔R标准”中要求，重复上述的打磨过程。

8 结语

本次结合A型柴油机连杆瓦异常磨损故障开展排查分析，最终锁定曲轴连杆颈油孔口倒角状态为关键影响因素。通过对曲轴油孔口缺陷成因、现有检修工艺短板进行梳理，针对性制定油孔口修整工艺方案并落地实施，有效解决了因油孔口倒角不达标造成的轴瓦局部异常蹭磨问题。实践表明，在柴油机大修曲轴检修流程中，不能仅关注轴径尺寸与探伤结果，还应将轴颈油孔口状态纳入必检项目，规范油孔口修整流程与验收标准。该工艺方案可为同类型柴油机曲轴大修、故障排查以及检修工艺标准化建设提供工程参考，有利于提升曲轴大修质量，降低整机试车故障概率，保障柴油机运行可靠性。

参考文献

[1]卢秉恒. 机械制造技术基础. 北京：机械工业出版社， 2007.12.

[2]梁卓. 世界制造技术与装备市场. 北京：中国机械工业联合会， 2020.06.