

发动机连杆优化升级和工艺创新（二）

□ 上海市金属切削技术协会/张书桥 束长坤

本文对连杆线改造后存在的问题如平面磨床、加工中心、激光涨断设备、端面磨床以及精加工专机出现的设备问题和工艺问题进行分析，并针对存在的设备问题进行系统优化，详细地阐述了优化过程，多年的实践证明，设备优化后取得了惊喜的效果。

本文是一个汽车工艺专家多年的技术总结，是我国汽车发动机连杆制造技术不断升级的见证，对推动我国汽车制造技术的进步具有重大意义。

因文章较长，本刊采用连载的形式发表。



针对存在的设备问题进行系统优化

连杆线于2006年新型连杆改造结束后，尽管是一条各项条件都严重不足的生产线，但上级领导依然与全新生产线的要求一样，否则无法满足发动机装配生产的要求。根

据连杆线设备实际存在的情况，按照动力总成厂新型连杆产能的统一需求，要求连杆线的OEE目标必须从75%提升到80%以上，而每天的产能要从844套提升到1 150套，工废率要从6%降低至2%。

俗话说：工欲善其事，必先利其器。针对较高的工作目标，我们

成立了连杆线设备改进小组。

为了系统改进设备问题，连杆线设备改进小组对连杆线的设备问题进行梳理，编制了连杆线设备主要问题分布图（见图20），并制定了工作计划，主要为：第一步，对OP210转台故障进行分析检修，力争基本消除因转台故障导致的连续

5天的重大停机事故，并且对该设备进行其他如机械手、上下料架、测量系统等系统的检修，提高钻头的使用寿命和稳定性，提高该设备的加工能力。第二步，对OP250各工位的设备故障进行分析检修，系统消除存在的设备问题，打破该设备的故障瓶颈问题。第三步，对连杆线因长期运行和投资不足导致老化和精度差的问题进行系统检测，提升连杆线设备的稳定性和准确性。

为了全面提升连杆线的生产能力和管理水平，打造一条全新理念的生产线，连杆线管理人员在上级的统一部署下，充分落实《零缺陷管理》，从人、机、料、法、环出发，系统落实零缺陷管理，零缺陷过程控制就是对整个生产过程进行优化，使整个生产过程实现零缺陷，最终实现产品的零缺陷。零缺陷过程控制需要建立的是一种预防性的企业文化，通过员工的共同参与和努力，达到第一次就正确无误的目的，实现“产品零缺陷，用户零抱怨”的双赢目标。以往，在工作过程中，经常发生的是：做了——再想——再改，这样做的后果不能避免缺陷的发生。零缺陷过程控制提出的要求是：想对——预防——再做的预防为主的思想，实现从不断纠正缺陷向预防缺陷发生的转变。

通过贯彻零缺陷的理念：第一次就做正确，就在充分准备好各种条件的基础上，第一次就能够达到目标的行动。要做到第一次就做正确，就必须有：预防为主、以人为本、用户至上、持续改进的思想观念。TPM是全员设备管理，是一种

预防性设备维修思想，是通过全体员工的共同参与和努力，最终实现“设备故障为零”的目标。Poka-Yoke是一个日本名词，意思是“防止差错”，也常被戏译为“傻瓜不犯错”。Poka-Yoke的目的是从设备的设计和优化出发，从根源上防止人为缺陷的产生。为了系统梳理设备问题，我们通过头脑风暴和合理化建议的形式，将员工的价值、智慧体现出来，将全体员工纳入到设备缺陷的收集、改进与优化的工作中来，即解决了设备问题，同时提高了员工的技能和实现了他们的价值体现。KVP2持续改进方法的运用，不断改善了设备的运行状态和精度，实现了动态提升的效果。

针对连杆线设备存在的主要问题改进内容如下。

1.提高OP200上动力头进给精度

针对OP200老设备精度降低的问题，通过分析，发现主要问题在上动力头进给系统磨损后精度降低而导致一系列问题的产生。通过对该机构的解体检修，分析机构的工作原理，发现该机构采用纯机械的进给变化方式，通过棘轮、蜗轮蜗杆机构和分配机构，实现了4种进给方式，是较为巧妙的机械结构，在现在大多采用电主轴控制的年代难以理解。

进给原理：在机床正常加工时，砂轮上下进给是由砂轮加工进给液压缸，通过连接杆将蜗杆直线移动，带动蜗轮转动后实现砂轮主轴的直线进给。砂轮磨削的最终位置是通过液压缸的限位块实现（见图21）。

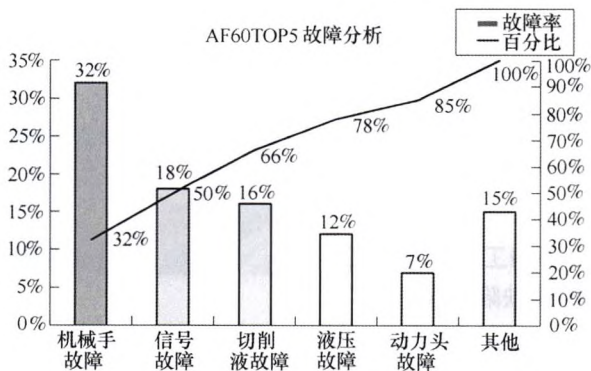


图 20

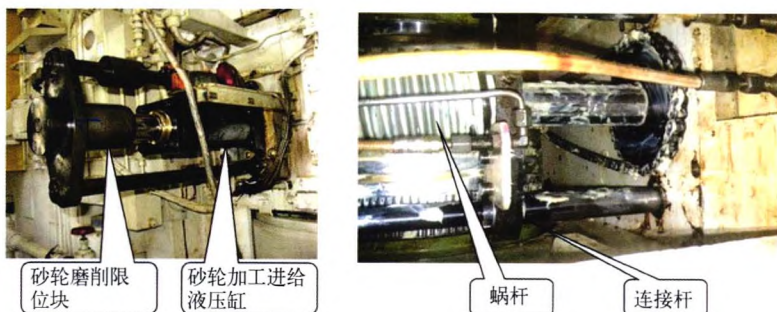


图 21

补偿进给说明：自动进给补偿时，通过液压缸的进给，带动棘爪和棘爪盘旋转规定的角度，通过棘爪与棘轮的啮合，使进给轴旋转，带动齿轮传动机构将进给量传递给涡轮蜗杆，达到砂轮进给的目的（见图22）。

当测量机构测量出工件尺寸超过补偿控制尺寸时，测量机构会发出补偿的需求，补偿的量由事先进行设定（下一步介绍）。自动执行机构首先通过补偿进给液压缸，通过棘轮机构将棘轮旋转规定的节距，然后通过涡轮蜗杆机构将进给量传递到砂轮上。其中花键轴带动蜗杆旋转后使涡轮旋转（见图23）。

通过对机械进给机构的分析检修，稳定了进给机构驱动部分的精度，同时根据实际运行状态，发现进给执行机构——砂轮主轴上的螺母螺杆机构存在较大的磨损和间隙，通过对其拆卸检修，重新制作了带涡轮的螺母，校准了全程的运行间隙，恢复了主轴的运行精度（见图24）。

2. OP210加工中心机床工件转台机构故障缺陷的根治

OP210设备因加工内容多，加工工序多，加工工件多，因此采用工件转台的封闭方式进行加工，造成当转台出现故障时，需将外围防护门和安装在转台上的4个夹具体吊离，维修工作量巨大，需24h连续修理5天时间（见图25）。因此生产线为了彻底消除该重大设备隐患，与维修部门共同分析，从设备结构、产生故障问题的根本原因和如何彻底有效地预防该缺陷的再次发生入手，通过对转台传动机构的

解体分析，驱动电动机通过蜗轮蜗杆驱动小齿轮后带动大齿轮旋转。故障的现象主要是大小齿轮出现点

蚀后导致转动副咬死。主要从三个方面解决：首先转台在转动时，转台转动面有均分的

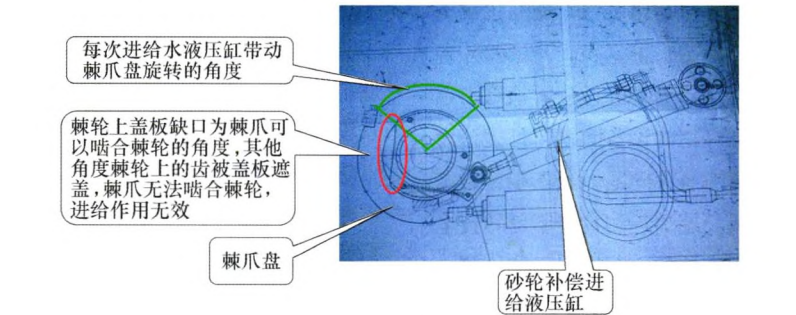


图 22

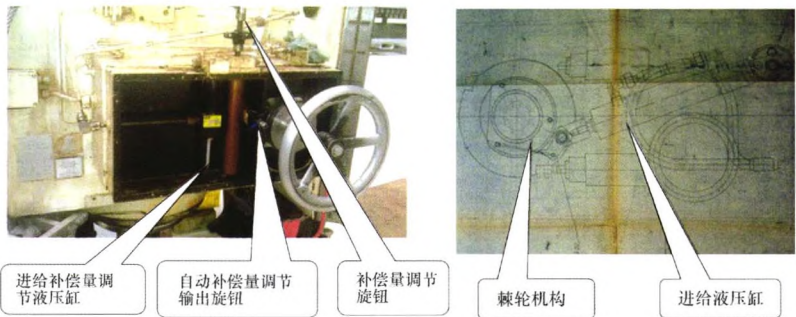


图 23

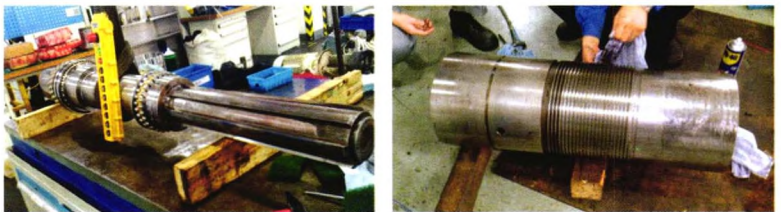


图 24

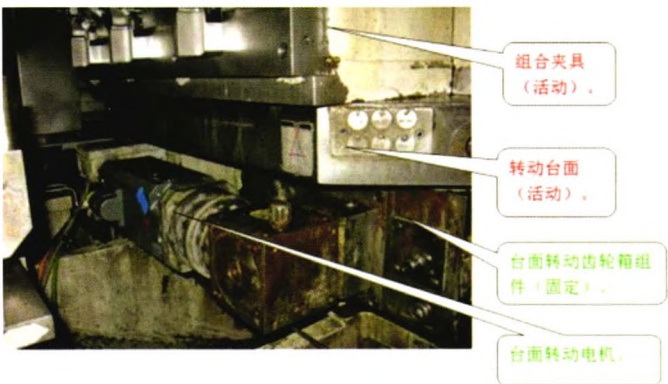


图 25

4个润滑油空，在转台的转动面与固定面间产生一个润滑膜，降低转台运行时的阻力；通过疏通和更换润滑油管，确保润滑油膜的有效建立，转台转动时无停阻现象（见图26）。

其次是安装蜗杆和小齿轮的轴，在轴上的轴承外圈与箱体外套因长期磨损产生间隙，导致蜗杆轴的安装定位产生间隙，小齿轮与大齿轮的啮合面不在要求的齿轮副啮合点上，导致大小齿轮出现异常损坏（见图27）；在轴承的箱体外圈上镶套过渡环，使得轴承安装时外圈过渡配合，确保蜗杆轴轴心定位准确（见图28）。

第三是转台在旋转时因节拍关系，需提高转台的加速度，直接导致齿轮冲击力过大，因此大齿轮出现均匀的四个等分点的损坏（见图29）。通过合理分配速度，降低了转台的加速度和冲击力。

通过对转台故障的系统分析，从根本上解决了问题，因此该设备重大缺陷再也没有出现过。但为了有效监控转台转动部位各零件的磨损情况，对转台的润滑油每月进行更换和检查，分析金属颗粒以判断磨损情况，目前一切正常。

3.OP210加工中心断钻头的预防及使用寿命的提升

通过分析，OP210-3工位需钻阶梯孔、螺纹孔和反向螺纹倒角，每根钻头加工2个孔，共有3个主轴加工三根工件（见图30）。因连杆是36MnV4的锻钢，材料的强度大，塑形好，导致加工困难，尤其是 $\phi 7\text{mm}$ 钻头，因受各种因素如排屑困难、钻头磨损Artis控制不合

理、切削参数的不合理及钻头的适应性等，导致使用寿命较低。理论上400根/刃，实际仅为260根/刃，且每个班均有断钻头，平均每天断7根。不仅成本较高（钻头断后无法修磨重复使用），且导致换刀时间居高不下。生产线为了确保全线的产能，提出该工序缺损外协进行补充，每年的外协费用达480

万元。生产线在会同刀具专业人士进行优化改进的同时，对设备和刀具的改善进行优化，在分析了加工参数后，发现钻头切削时进给方式是预钻慢正常加工快，在钻头出口处有一个斜度，导致钻头在出口处出现歪斜，导致折断的概率高。因此将进给方式改为预钻快出口处慢的方式，较好地改善了该类型钻头

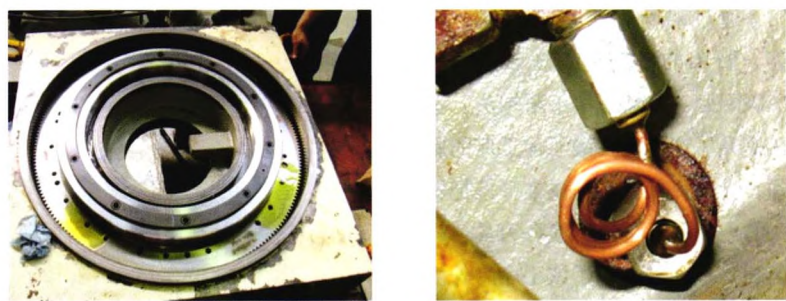


图 26

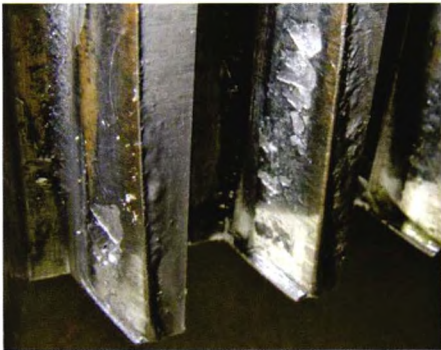


图 27



图 28

的使用情况。

因为我们的设备只有一个电动机，只能安装一个ARTIS监控三个钻头主轴，因此有局限性，无法精确对每根钻头的磨损情况用ARTIS单独进行精确监控，因此提高了监控数据，并规定三把钻头同步更换，尽量提高三把钻头磨损情况的一致，提高Artis监控的准确性（见图31）。

通过对断钻头缺陷的综合改善，目前的钻头耐用度已提高到650根/刃，并且基本不断钻头。不仅提升了产能，打破了该工序的瓶颈，大大降低了刀具成本（该把钻头的刀具单耗是生产线各刀具单耗最高），同时取消了该工序的外协费用。通过该钻头的改善，将该方式推广到其他三把钻头和其他型号的钻头寿命改善中，均取得较好的效果。

4.降低OP220涨断爆口比例

为了降低OP220涨断爆口比例，我们分析了根据PV6260标准，涨断面上材料爆口，长度在3mm以下，宽度在2.5mm以下的涨断连杆可以使用。但在实际加工中因各类因素导致爆口的实际情况大于该标准导致工废（见图32），且该工废数量一直占据生产线的首位工废，造成大量的浪费和产能损失。为了优化该缺陷，生产线维修人员、设备供应商和毛坯供应商对设备的参数、精度、夹具、工件定位稳定性、员工操作、保养等全方位进行分析和持续优化，不断改善，取得了较好的效果。

（1）首先根据设备的使用情况，分析涨断的夹具精度因素是否

导致割槽垂直度的不准确。通过对涨断方式的分析，发现切割槽垂直度精度对涨断面的平整度有较大的

影响，而涨断面的平整度又影响爆口的质量，因此必须确保激光切割槽的垂直度和平行度。在修正夹具

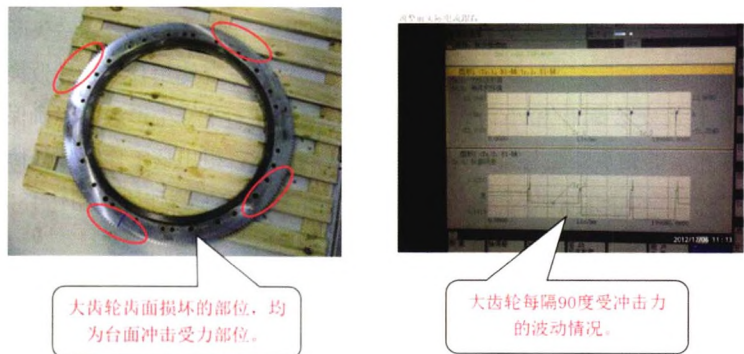


图 29

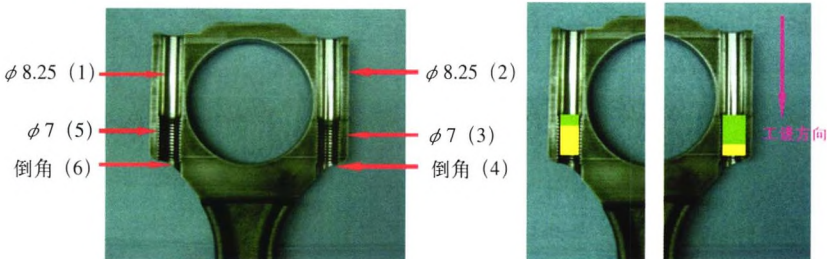


图 30

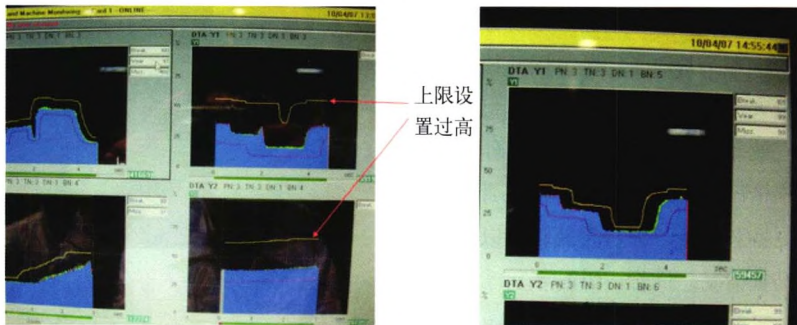


图 31

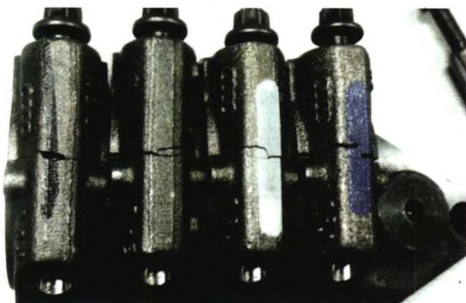


图 32

支架和机床导轨精度的基础上,对夹具的纵横两个方向的水平度进行校准,确保了激光切割槽位置的准确性(见图33)。

(2) 其次为了确保割槽位置的准确性,对割槽时工件的夹紧方式进行优化。根据工艺要求激光割槽的位置,沿杆身方向偏离中心小于0.3mm,沿杆盖方向偏离中心小于0.7mm。但实际情况,因工件定位不准确,导致在加工时两边的切割槽出现偏差,影响涨断时的对称性(见图34)。

通过对连杆在2号激光割槽工位内的定位方式进行分析,发现连杆的底面通过大孔端面的2个定位面和小孔端面的定位面1点确保工件的水平位置,通过小孔端面气缸将大孔内壁与2个定位销接触确定大孔的位置。通过小孔的楔形定位销确定工件的周向位置。因此连杆在2号工位的加工定位是完全定位方式。

实际加工时工件在杆身由从上往下的气缸压块压紧工件,然后小孔端面气缸顶紧工件后开始往上运动切割搭子面,完成后工件下降,然后水平移位,再往上切割非搭子侧。为了确保小孔端面气缸顶紧连杆时,连杆的打孔内侧与定位销准确接触实现完全准确的定位,首先在安装夹具托架时,必须保证安装面距离的准确,避免小孔气缸顶紧时出现小孔菱形旋转定位销干涉小孔,而大孔定位销未定位,导致该状态下切割槽的位置不准确;其次改进了杆身压板方式,采用压板上安装弹簧,用弹簧的力对杆身压紧,避免了因压板在气缸的作用下压力过大,导致小孔气缸无法将工

件顶紧大孔进行定位。经过上述改进,激光割槽的位置可以精确控制和调整,得到装配用户的好评(见图35)。

(3) 激光割槽的深度工艺要求是 (0.4 ± 0.1) mm,而没有两侧深度一致性的具体要求。在实际生产中,发现两侧激光割槽深度不一



图 33

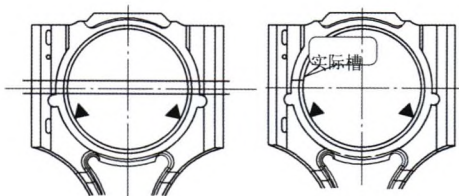


图 34

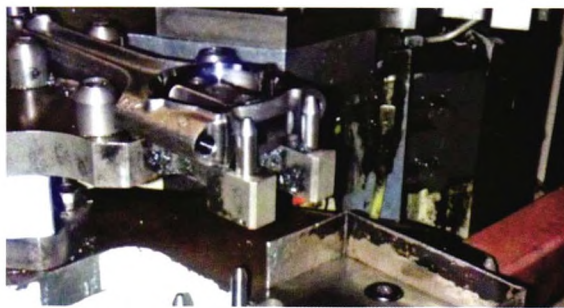


图 35

致同样会影响涨断的质量,但设备上调整激光深度的调整参数采用同样一套程序,无法单独调整,加工中通过调整其他内容如激光焦距、激光喷口距离等无法动态实现,因此由维修人员对该参数进行优化,采用2套程序,每套程序单独控制一侧的加工参数,便于操作工在生产中及时调整。通过该方法的改

进,目前激光割槽两侧的深度误差精度提高了30%以上。

(4) 结合通过其他一些列的改进,如涨断工位精度的校准、毛坯材料的优化、激光光缆能量的稳定等,大大降低了连杆涨断爆口工废的数量,工废率从开始的6%下降至目前的0.8%以下,极大地提升了生产能力。AUTO1950 (待续)