

发动机连杆优化升级和工艺创新（一）

□ 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。



连杆线规划及改造情况介绍

某汽车发动机厂连杆线是一条始建于20世纪80年代末的生产线，连杆线开始用于原始型号发动机连杆的生产。在1996年通过对部分设

备的改造和更新后，实现了改进型发动机连杆的生产；在2002年继续对部分设备改造和更新，实现了新型高功率型号连杆的加工；2013年又通过新型高功率连杆的改装，增加了滚压机，实现了目前最新状态具有小孔巴厘线的新型连杆高功率

加工线。

连杆线目前具备改进型、新型高功率等连杆型号的生产，可生产7个品种的连杆。

连杆线设备及加工工艺如图1所示。

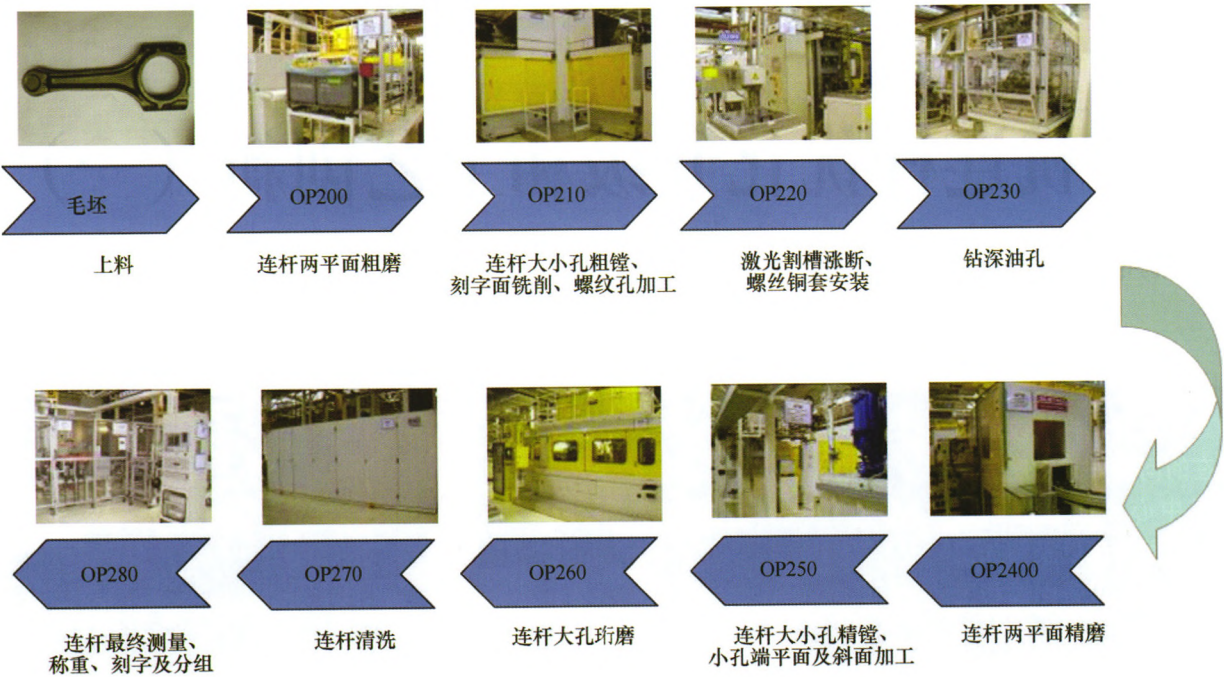


图 1

连杆线改造后存在的设备问题分析

因历史原因，连杆线在原来生产原始型号连杆的基础上，利用原来设备经过多次改造勉强具备了生产新型连杆的能力，但因为前期的投资不足，造成在选用设备和工序布局上存在许多不合理的地方和先天缺陷，对后期的生产和产能提升留下了较大的问题。并且投资额比正常生产线的投资少200万欧元，少了近30%（见图2），造成各类工艺和机构的稳定性差，如OP210

用转台将多个加工内容整合在一起的结构、OP250-5加工小孔椭圆

差导致大小孔中心距误差达公差

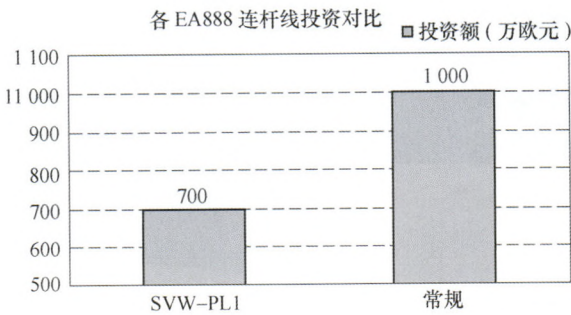


图 2

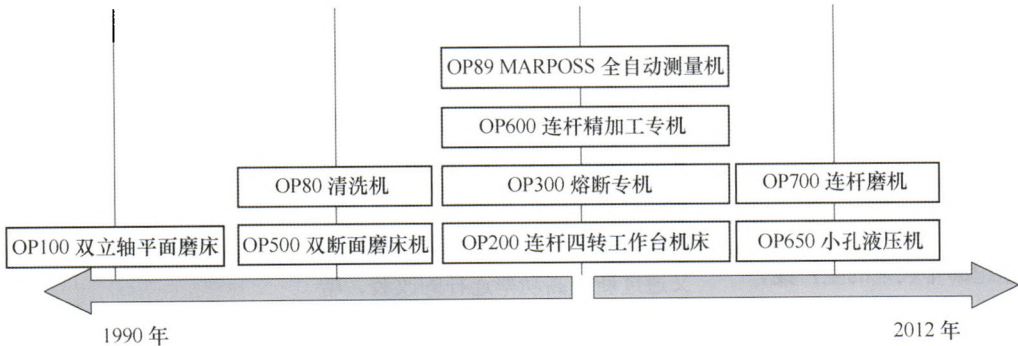


图 3

条将其他设备临时拼凑改造的生产线，验收时的设备开动率仅为75%，无法与目前最新正规设计的新型连杆生产线相比。

因此在2003年，为了首先在发动机厂拥有制造新型连杆的能力，尽管存在诸多先天不足，但采用东拼西凑的方法，在原来的基础上进行改造，此生产线勉强具备了新型连杆的生产能力，但存在的问题也显而易见。

通过对连杆线设备问题进行系统分析，确定了设备存在的主要问题，如图4所示。

1. 平面磨床

双立轴平面磨床（见图5）是一台20世纪80年代的产品，投产于90年代，运行至今已有近30年，同期运行的设备已全部报废，而该台设备因为随连杆线产品的不断改造更新一直沿用至今。各类部件已严重磨损老化，重大故障经常发生，如上磨头主轴出现故障，停机时间

长达1个月，并且加工精度低，无法满足工艺的要求，同时因跑冒滴漏严重，影响生产车间的环境。

2. 加工中心

OP210加工中心是生产新型连杆改造时新增加的设备，主要用于连杆的大小孔粗精镗、钻螺栓孔和攻螺纹、铣螺栓支撑面和标刻面。为了降低投资成本和满足生产场地的实际状态，采用12个工件安装在转台上的方式，转台采用4个加工工位，每个工位有三个工件同时在加工、测量或上下料。在同一工位安排测量大小孔和用机械手在夹具内上下工件，而工件的安装是通过夹具安装在一个钻台上的，每个工位安装3根连杆并同时加工，4个加工面共安装12根工件，在规定的42s内完成一个加工循环。布局图如图6所示。

OP210设备4个工位的工作内容如下：

1工位：机械手上下料、测量

大小孔的孔径。

2工位：粗钻小孔盲孔、粗镗大孔及倒角、铣螺栓支撑面和刻字面。

3工位：钻螺栓阶梯空、钻螺纹底孔和反向倒角。

4工位：精镗大小孔、攻螺纹。

OP210加工中心的工件采用安装在转台上进行加工的方式，12根工件连同夹具等相关设施全部集中在上面，因此总体质量较大。而为了满足机床设备加工的节拍，导致该转台的转动速度和加速度均较大，对各旋转部件产生较大的冲击力，产生了无法克服的如大小齿轮的异常磨损等先天设备缺陷，每次故障需停机5天、每天24h连夜进行抢修。工件转台的重大故障是严重制约正常加工的一个瓶颈。

OP210加工中心在钻削螺纹孔时，首先采用 $\phi 8.25\text{mm}$ 的阶梯钻钻阶梯孔，然后用 $\phi 7\text{mm}$ 钻头钻螺

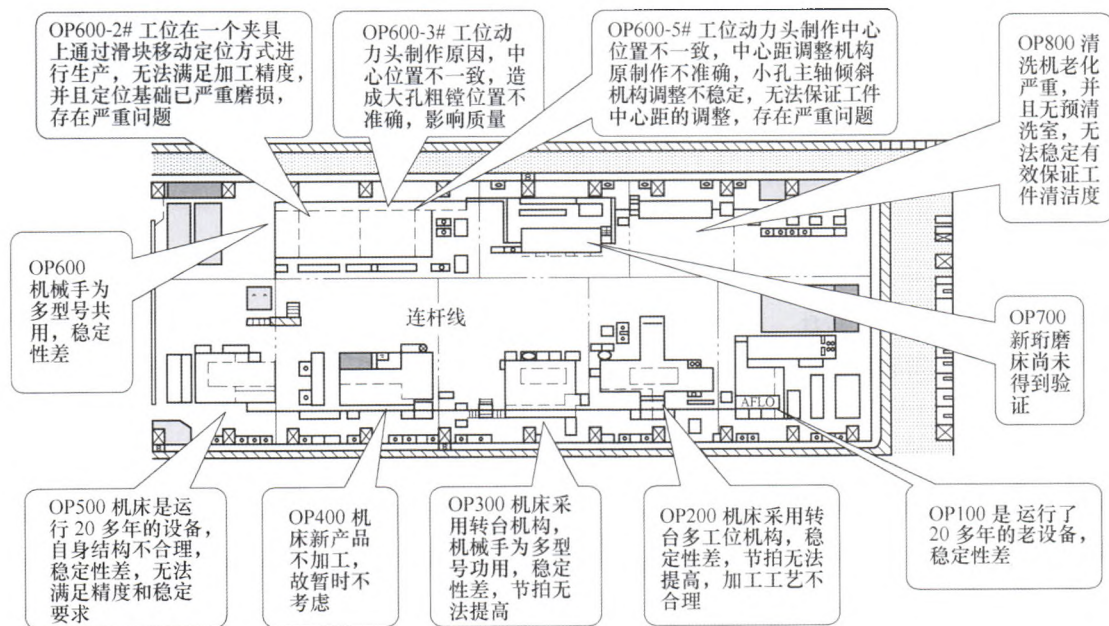


图 4

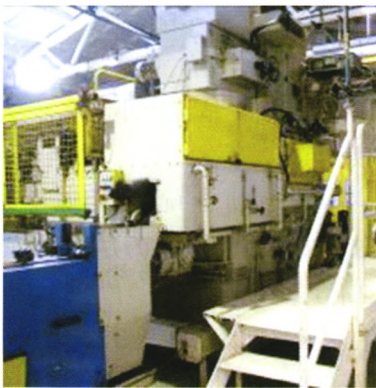


图 5

纹底孔。当时在购买该机床时为了节省资金，采用一个电动机通过变速箱带动三把钻头旋转加工工件，而一个电动机只能采用一个Artis监控钻削时的平均扭矩，因此该设计带来一个先天缺陷，无法单独监控每个钻头的磨损和受力情况。当三把钻头中有一把出现异常磨损，Artis监控的三根钻头的平均值未超差而无法及时报警，就会导致钻头折断和工件报废等情况发生（见图7）。

OP210加工中心故障状态帕累托图分析如图8所示。

3.激光涨断设备

连杆线OP220加工中心连杆激光涨断设备有6个工位，通过转盘将6个工位串联起来，并用机械手上下工件（见图9）。

1工位：机械手上下料、测量大孔杆盖在涨断面位置的端面错位和孔径错位。

2工位：激光割应力槽。

3工位：连杆涨断。

4工位：螺栓预拧紧。

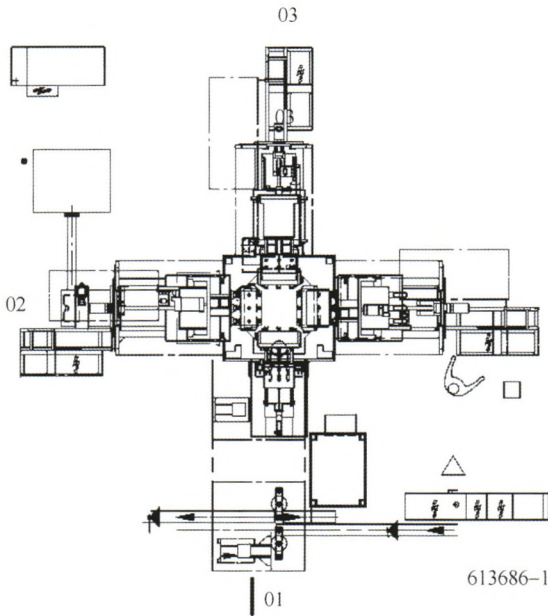


图 6

5工位：螺栓终拧紧和涨断面震动。（用于改进型连杆、新型连杆高功率型号）。

6工位：铜套压紧装配工位 连杆的激光涨断工艺，采用

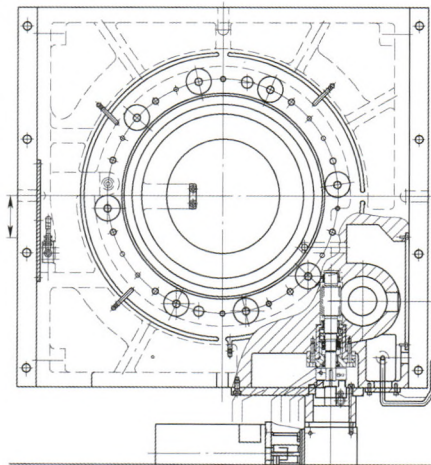


图 7

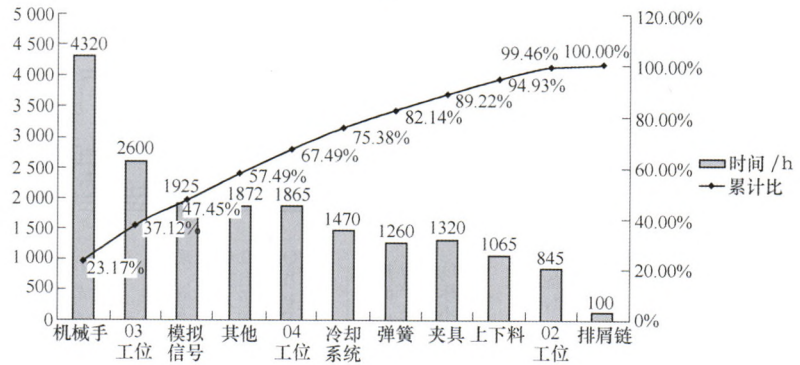


图 8

激光加工连杆大头孔的两条涨断应力槽，然后通过涨断机构将连杆杆身与杆盖分离，这种工艺可保持应力槽形状的一致性，从而保证连杆大头孔涨断变形，同时连杆杆身和杆盖的分离面能最完全的啮合，改善了连杆杆身与杆盖的啮合质量，并且分离面不需要进行机械加工，节省了分离面的加工工序。由于分离面是最完全的啮合，杆身和杆盖装配在一起时不需要采用螺栓孔定位，就可以省掉螺栓孔的精加工。由于涨断连杆应力槽子深度和连杆的大头变形有很大关系，因此必须对其深度进行有效的控制。传统的

加工方式采用拉削方法加工连杆大头孔的两条应力槽（见图10）。连杆线在改造初期加工连杆涨断时，因对设备、材料和调整控制方法未有效掌握，导致涨断爆口工费一度高达8%，且占生产线的工件报废的第一位，严重制约连杆生产线产能的提升。

激光割槽涨断与传统拉床对比如表1所示。

4.端面磨床

OP240卧式双端面磨床是一台运行20年的老设备，加工方式是采用双砂轮卧式端面磨削的方式，工件采用转盘进给的形式（见图

11）。因机构磨损和老化，主轴无法确保磨削时的准确性，造成加工后工件两端面平面度较差，无法满足连杆两面平面度0.02mm的工艺要求，造成后道工序的定位无法满足要求。

其次该机床过滤机构严重老化，并且采用重复使用的过滤布。因过滤布堵塞和破损，导致过滤效果差，对各个管道、阀门和喷口等均有严重堵塞，造成切削液流量下降、杂质多，降低磨削的精度，严重影响该工序正常的生产（见图12）。虽然经过定期安排大量人工疏通清洁保养，但无法彻底消除根

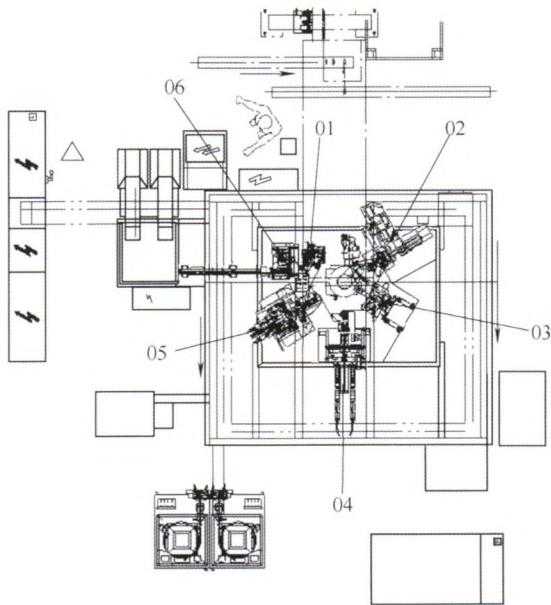


图 9

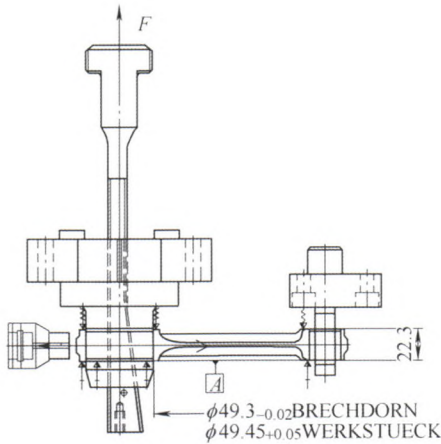


图 10

表 1

	激光割槽涨断	传统拉床拉削
加工工艺	激光割槽部位应力集中后涨断	需要多种刀具及铣、锯、拉工艺
加工任务	一台机床可实现涨断、拧紧螺栓、压铜套等任务，涨断面定位准确	需要多台机床实现，并需要采用定位销螺栓对杆盖和本体进行定位
加工质量	相互啮合涨断分离在杆身杆盖分装时定位准确，错位率低，生产效率高	拉断连杆体/盖的装配定位靠两个螺栓孔中的定位孔和螺栓的定位部分配合来完成，所以对螺栓孔的螺栓的精度要求都很高，生产效率低。
加工成本	设备集成率高，减少了设备操作人员，省去了切断及结合面的加工，节省了大量相关费用	刀辅具投资高30%-40%，生产线运行费用高，设备维护保养能源高40%，刀具没消耗量大40%，机床占地面积大30%

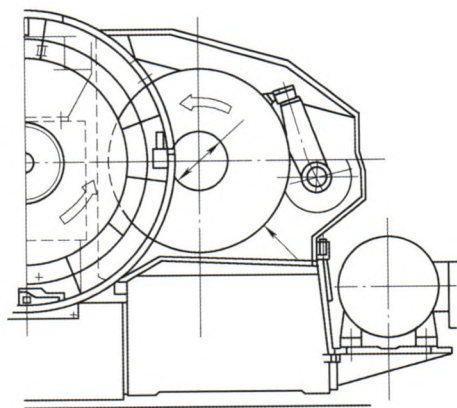


图 11

本问题。

5.精加工专机

OP2503#连杆精加工专机（图13）是连杆线的精加工设备，工位多、加工内容多，并且加工精度高。在小孔加工中，采用刀片精镗小孔是发动机零件在同样工艺条件下加工精度最高的方式，可达 $\pm 0.003\text{mm}$ 的精度，并且还有巴厘线，因此难度非常大。

1工位：机械手上料。

2工位：铣削小孔端面（用于

新型连杆高功率型号和改进型连杆）。

3工位：粗镗大孔和铣小孔斜面。

4工位：大孔端深油孔倒角和小孔毛刷清洁（新型连杆停用）。

5工位：大孔精镗和小孔精镗。

6工位：大小孔直径测量、机械手下料。

2工位是铣削连杆小孔两个端面，加工要求是在前道小孔端面21.885mm的厚度下，铣削小孔两端

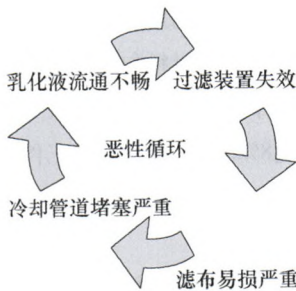


图 12

面至 $(20\pm 0.1)\text{mm}$ ，但是因为设备因素无法保证该尺寸的稳定性，且该尺寸影响5工位加工时工件的定位，导致加工后工件的弯扭曲度严重变化（见图14）。

机械手旋转抓脚抓取工件精度低。OP250机械手的主要内容是负责工件的上下料，因为连杆线多次改造的原因，造成同一个机械抓手的抓脚要满足4种型号的零件，而各自零件的外形尺寸存在较大的差异，在实际加工中经常出现因机械手抓取工件不准确导致机械手撞夹具的事故，撞击后又经一步增加了误差，严重影响了正常生产。该缺陷主要在2号和5号机械手较为频繁。该机床因为主要加工大孔粗镗和小孔两个端面的斜面铣削，工件需要由机械手旋转180°进行二次装夹，产生了工件轴心定位的误差变化，导致大孔粗镗加工的两个孔径不同轴；其次因机械手的精度误差导致工件在装夹时产生工件小孔的顶伤缺陷（见图15）。

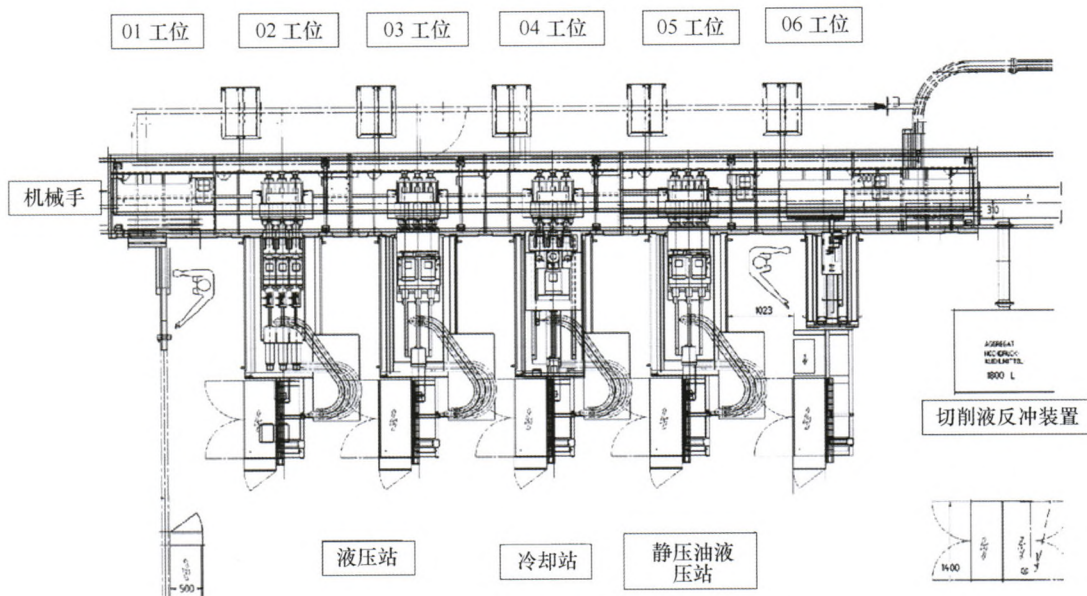


图 13

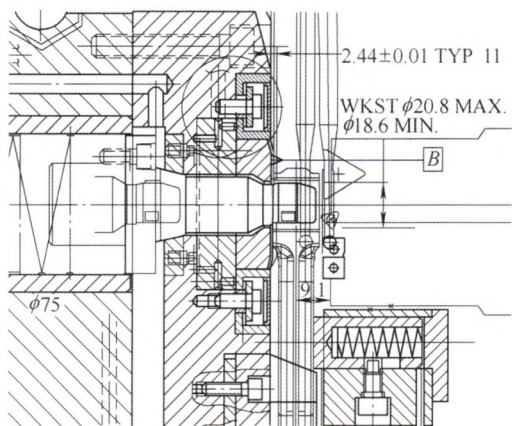


图 14

OP250-3在加工大孔时，因工艺要求大孔需2次旋转180°后再加工，所以工件二次定位时大孔的轴心线可能不重合，而偏差过大就导致大孔的2个孔径加工痕迹在后期无法加工去除，出现异常工废情况（见图16）。

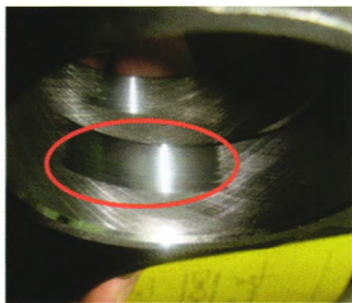


图 16

OP250-5工位主要问题。该工位是高精加工的工序，加工难度大，要求高，同时存在设备问题的先天不足，导致该工位一度严重影响连杆线的正常生产。OP250-5工



图 15

位有六根静压主轴，三根加工大孔，三根加工小孔，大小孔主轴分别安装在两个箱体上，小孔箱体固定，大孔箱体上下移动，调整大小孔的中心距。因为供应商制作箱体出现误差，导致箱体中心距出现误差。当A、C中心距一致时，B轴的中心距仍有0.02mm的误差，占公差±0.025的近40%，即影响生产线的调整，又造成异常工废（见图17）。

根据工艺要求，连杆的小孔并非是一个标准的圆，而是一个椭圆，短轴E= (23.01±0.003) mm，长轴=E+ (0.015±0.004) mm，因椭圆公差为0.008mm，为发动机机加工零件在同类加工方式上，加工精度最高的。OP250-5小孔椭圆度误差过大，是生产线的主要工废（见图18）。

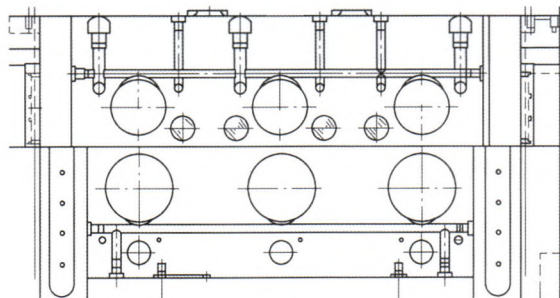


图 17



图 18

OP260珩磨工序是连杆线的产能瓶颈，原来加工原始型号连杆采用的是老连杆珩磨机（见图19）。



图 19

加工节拍慢，达21s，且只能单根加工，无法满足新型连杆产能提升的要求。（待续） **AUTO1950**



张书桥

上海市金属切削技术协会副理事长，上海大众汽车有限公司高级经理，汽车制造专家，《汽车工艺师》编委。