工程机械飞轮壳工艺开发

东风（十堰）发动机部件有限公司　（湖北　442049）　陈前胜

我公司是一家专门从事发动机零部件加工的企业，主要产品为飞轮齿环总成、离合器及从动盘总成、飞轮壳、前端面板等零部件。近年来，为逐步扩大套配市场，先后寻求与东风康明斯发动机有限公司、神龙汽车有限公司、玉柴机器股份有限公司、韩国斗山工程机械、北京福田康明斯、徐工斗山发动机、上汽菲亚特等国内外知名企业配套。与我公司现生产零件相比，产品精度要求高，代表了当今世界同类产品的最高制造要求。

我公司原有工艺、装备已不能适应产品制造的要求。同时，由于新车型的开发速度越来越快，产品将以多品种，中小批量的生产规模为主。而且随着中国进入WTO，中国的零部件加工企业将面临着严峻的“全球采购”竞争压力。对于像我公司这样历史较老的零部件企业要想在新形势下生存、参与市场竞争，必须应用数控技术提高现有的工艺制造水平。因此，在新产品加工工艺的选择上，我们决定放弃由传统的专用组合机、通用设备组成生产线的方案，采用了先进的数控加工技术。在生产线的策划上，我们成功完成了单线生产25个品种的能力，节省了生产线的投入条数，保证了顾客产品的顺利交付。本文通过开发25款飞轮壳的例子介绍了柔性生产线工艺设计和工装设计的一些特点和经验。

一、韩国斗山飞轮壳的特点

图1飞轮壳为韩国斗山工程机械发动机用零件。目前最好的工艺就是采用立式加工中心：①加工若采用普通铣床、大直径铣刀（ϕ400mm）加工。无法稳定保证其平面度及表面粗糙度值要求，只能铣后再磨削加工。②孔系加工，要批量稳定保证产品中心距要求（+0.02mm），传统钻床加钻模板或组合机都不能达到要求。

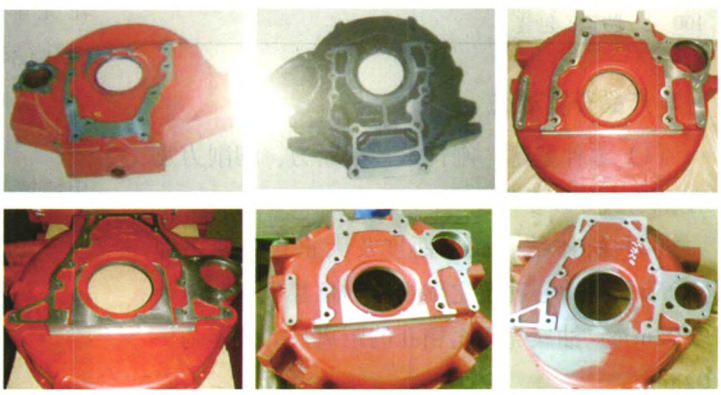


图1　韩国斗山飞轮壳

斗山25款飞轮壳有以下几个特点：

（1）产品的加工精度要求高，代表了当今同类产品的最高精度要求，传统的加工方式将无法满足产品的品质要求；为满足产品的加工要求，我们必须采购相等精度或更高精度的加工中心。

（2）除了购置高精度的加工设备外，为保证产品加工质量，我们必须购置精度较高的刀具来保证过程控制。

（3）因产品的品种多，要及时消化客户的订单，为减少产品换线带来的损失，我们必须合理设计夹具，尽可能保证夹具的通用性。

（4）以上条件都具备后，为保证现场控制的有效性及产品的及时验证，我们配备了三坐标和各种专用的量检具。

二、加工工艺分析

加工工艺如附表所示（以0293A为例）。

加工工艺表

工序号	工序名	设备名
10	粗铣大平面	立式铣床 X53K
20	粗车端面及大止口	立式车床 C9350B
30	精铣大平面、钻孔、镗孔、攻螺纹	立式加工中心 VM-40S (A)、GX1000PLUS
40	铣周边平面、周边钻孔、攻螺纹	卧式加工中心 XH755C/1、TH6350
50	精车端面、大止口	立式数控车床 VTC6070
60	反锪凸台（部分产品需要）	摇臂钻床 Z3040X16
70	止口面钻孔、攻螺纹，锪平面	立式加工中心 DNM650
80	磨缸体结合面（部分产品需要）	卧式平台磨床 MM73100
80	终检	—
90	清洗	清洗机 FDO2O58
100	防锈、包装	—

1. 产品开发难点

（1）零件壁薄，刚性差，夹紧力、切削力及切削热均会导致零件变形。

（2）缸体结合面平面度及大止止口面平面度0.05mm，中心孔及定位销孔的位置坐标公差为±0.02mm；油底壳面至销孔的距离尺寸公差为±0.02mm。

2. 加工工艺的设计

（1）为及时去除加工过程中产生的切削应力，采用粗、精加工分开的原则。

（2）根据产品精度要求，结构特点，充分发挥数控设备（数控车及加工中心）加工的灵活性，尽可能减少工件的装夹次数，消除因多次装夹带来的定位误差，既有利于保证各加工部位的位置精度要求，同时可减少装卸工件的辅助时间，节省大量的专用和通用工艺装备，降低生产成本。

（3）同一台设备上，不同加工方式的合理选择。例如在加工中心上加工内孔，是采用插补铣削还是镗削？孔的精加工是铰还是镗？在数控车上是采用组合刀具一次加工还是多刀分开加工？

3. 数控加工程序设计

发动机零部件的加工与模具加工不同，大部分加工只需两轴联动即可，编程主要是手动完成。但是编制时要考虑如何方便现场工人操作？如何方便现场加工尺寸的调整？同时着重考虑零件的加工特点及应遵循的加工工艺原则。

三、关键工序加工刀具的选择

1. 孔加工刀具的选择

（1）韩国斗山系列飞轮壳销孔孔距尺寸公差为±0.02mm，且孔径公差为H7级，为保证位置用孔径精度，精镗是必须采用的。现在精镗刀的调整精度可以达到很高，图2是我公司使用的日本大昭和公司的精镗刀，该刀具的微调机构，一格是0.01mm（直径），最小刻度0.002 5mm。



图2 大昭和精镗刀

（2）韩国斗山系列飞轮壳中心孔及马达孔，由于孔径较大，镗刀结构可做成“径向调整式”（见图3），此时镗刀的刚性增加，“让刀”减小，加工稳定性得到改善，可以采用精镗刀作为最终加工刀具。同时该刀具还具备反镗功能，只需将刀片座反装即可使用。

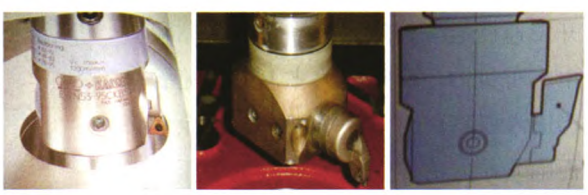


图 3

（3）为提高钻孔工效，同时保证加工后孔径及孔位置精度，我们采购了整体硬质合金麻花钻。

2.面加工刀具的选择

（1）油底壳面至销孔的距离尺寸公差为±0.02mm，为减少刀具的摆差，我们采用了德国雄克的液压刀柄。由于整体硬质合金立铣刀刀具摆差小，加工负荷、振动小，切削平稳，工件表面质量好，具备重磨条件，加工成本较低。因此我们选用了整体硬质合金立铣刀（即株洲钻石整体硬质合金立铣刀），如图4所示。

（2）缸体结合面平面度不大于0.05mm。在加工时，我们采用的是粗、精加工分开，即采用两把

不同的刀具分别来加工，目的是避免刀具磨损较快带来的加工尺寸超差。山高的这一款刀具无论是使用寿命还是加工质量，都具备良好的切削性能，在无需磨削的情况下均能满足产品要求（见图5）。

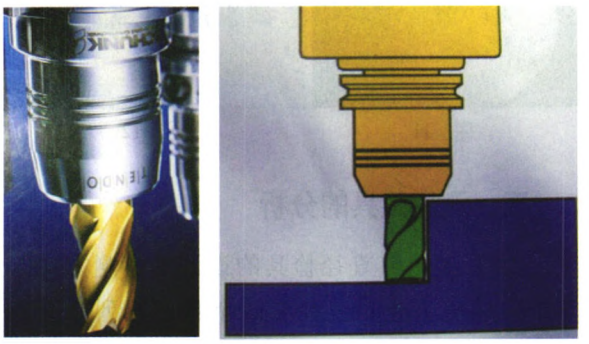


图4　整体硬质合金立铣刀



图 5

3.反镗刀具的设计及应用

斗山系列飞轮壳反镗刀具的设计及应用，解决了反镗工序难加工的问题（图6所示加工部位刀具不能直上直下，大止口干涉）。利用摇臂钻床，工人手动装刀来实现反镗加工。

4. 超长刀具的设计与应用

超长刀具的设计与应用，解决了局部空间狭小难加工的问题。同时要求刀杆在高速旋转时摆差要小，不与工件产生干涉。图7为加工油底壳结合面4－M8螺纹孔，我们使用的日本大昭公司的超长刀杆。

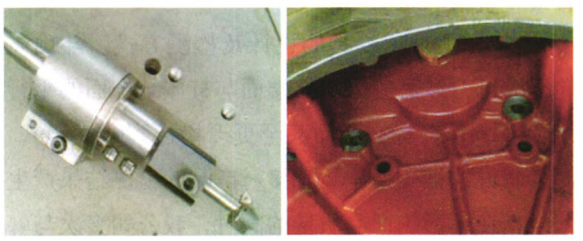


图 6

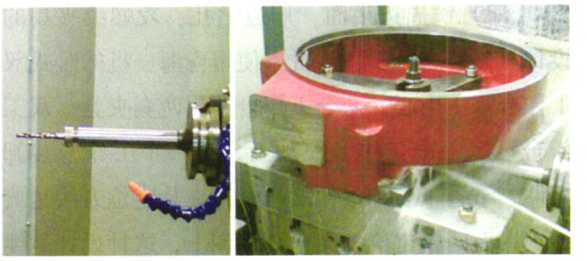


图 7

四、夹具的设计

因产品的品种多，要及时消化客户的订单，为减少产品换线带来的损失，我们必须合理设计夹具，尽可能保证夹具的通用性。

（1）粗铣大平面夹具的设计（49J3－1076）。该夹具的设计是在产品的内腔选取了三个定位点（见图8），三点支承的目的是为了保证飞轮壳内腔相对处于产品的理论设计平面，防止产品在装配过程中出现飞轮与飞轮壳内腔产生干涉，从而减少飞轮在装配时有卡死现象产生。

（2）精铣大平面、钻孔、镗孔、攻螺纹夹具的设计（49J3－1084）。本工序大止口孔径有四个尺寸系列分别为505mm、508.5mm、407mm、445.5mm，夹具的定位采用的是大止口孔及止口端面，为保证夹具的通用性，我们根据产品大止口尺寸的不同做了四个尺寸系列的定心块，加工不同产品时只需更换不同规格的定心块和压板位置即可（见图9）。夹具的优点是：通用性好，更换产品时调整方便，夹具的制作成本低。

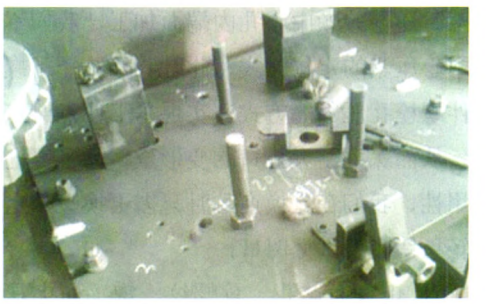


图 8

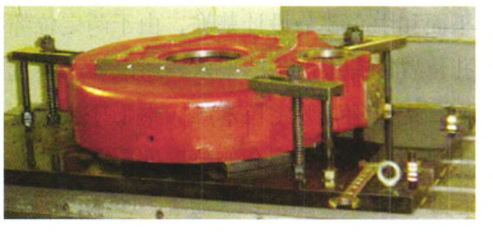


图 9

（3）铣周边平面、周边钻孔、攻螺纹夹具的设计（49J1－1125）。机床使用青海一机的卧式双工作台加工中心。两个工作台使用两套夹具，双工作台可以一个工作台在加工，另一个工作台装卸零件，节省了装卸零件的时间。夹具定位方法是典型的一面两销定位，大止口面朝上。这种设计是便于夹具的通用性。由于产品图中周边孔位置的设计基准是大平面和定位环孔，所以按照基准统一的原则，这道工序的两个工位的定位基准应该选大平面和定位销（见图10）。

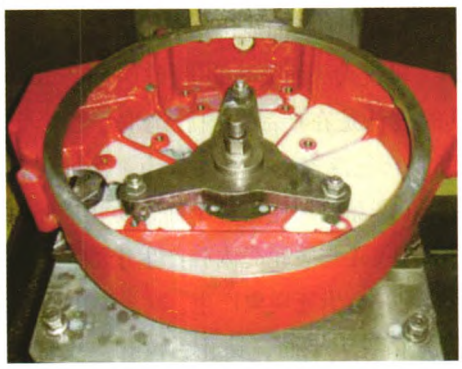


图 10

（4）精车端面、大止口夹具的设计（49J1－535）。夹具以飞轮壳大平面和大平面上的定位环孔定位（即一面两销定位）。本工序加工内容为：精车端面、大止口。夹具除了保证工件加工过程中的两平面平行度外，还要防止大止口变形，若大止口产生变形将直接影响大止口的跳动误差。为了保证产品加工过程产生变形，压紧必须牢固可靠，同时加工时还要兼顾中心孔内端面加工，我们不能够采用中心压紧的定位方式，此时我们选择了螺钉通过工件螺栓孔压紧的方式，实现了工件点对点牢固压紧，从而保证了大止口的变形量。为了保证夹具的通用性，我们在更换产品时只需更换夹具定位销即可轻松切换型（见图11）。

（5）止口面钻孔、攻螺纹，锪平面夹具设计（49J1－1129）。斗山系列飞轮壳大部分产品图都以大平面和中心孔为设计基准，由于两定位环孔与中心孔位置度有很严格的要求，所以本工序选择以大平面和定位销孔为定位基准。本工序主要要求的是大止口端面的12个螺孔的位置度要求，即各孔相对中心孔的极半径公差要求为±0.1mm，夹具为一面两销定位。中心孔螺杆加三爪压板夹紧。压板压紧点要在支撑面之内，否则零件会有压紧变形（见图12）。



图 11

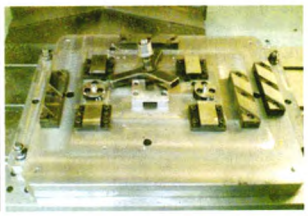


图 12

五、测量工具的分析

（1）大止口直径检具的设计及检测方式。斗山飞轮壳大止口孔径有四个尺寸系列分别为511.18mm、508mm、447.7mm、409.6mm；斗山系列飞轮壳大止口检具的设计，解决了品种多，量检具多，造成管理不便的矛盾（49Y－1357）。测量不同直径范围的孔径尺寸，可随时调整调节螺钉，通过安装A、B、C、D、E不同的测块来改变不同的标准量程（见图13）。

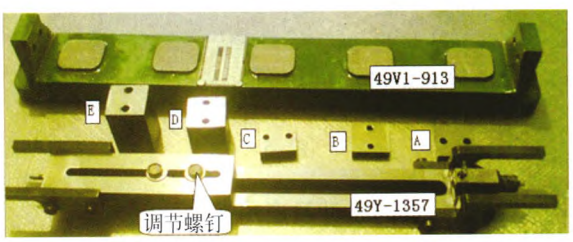


图 13

（2）大止口跳动检具的设计及检测方式（49Y－1336）。斗山飞轮壳大部分产品的大止口相对中心孔的跳动为0.1mm，有的产品甚至更严格达到0.05mm，测量基准的细微误差将直接对产品的检测结果产生公歧，在不影响产品质量的同时，我公司多次与韩国斗山公司磋商，双方最终同意了我方如图14所示的检测方案。即将工件挂在一对滚动轴承上，工人手扶工件将工件轻轻转动一周，百分表上反映的读数差值不大于产品要求的跳动值为合格，否则产品超差。

（3）平行度检具的设计及检测方式。斗山飞轮壳大部分产品的大止口端面与缸体结合面的平行度为0.1mm，有的产品甚至更严格达到0.05mm，测量基准的细微误差将直接对产品的检测结果产生公歧，在不影响产品质量的同时，我公司多次与韩国斗山公司磋商，双方最终同意了我方如图15所示

的检测方案，即将工件平放在检测平台上，工人用手拔动百分表沿大平面端面转动一周，百分表上反映的读数差值不大于产品要求的平行度值为合格，否则产品超差。

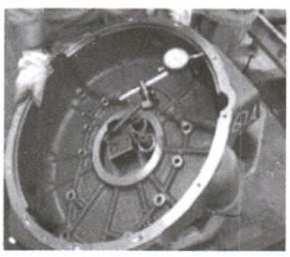


图 14

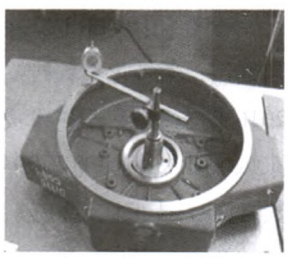


图 15

（4）孔位置度的测量及三坐标的应用。斗山飞轮壳产品要求所有未注公差尺寸的公差均要求控制在±0.2mm，传统的万能检测方式将不能满足产品的需求，同时专用的位置度检具制作周期长、且制作费用高，由于产品的种类繁多，产品换型快，不得不采用先进的检测方式即三坐标测量（见图16）。

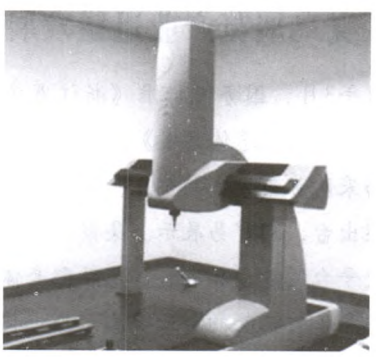
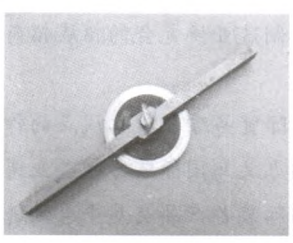


图 16

（5）内腔防干涉检具的设计及推广。该检具是模拟飞轮的装配要求来制作，目的是防止产品在装配时与飞轮产生干涉现象。该检具操作如下：将定心轴放入工件中心孔，再将检测板套入定心轴小端，用手轻轻拔动检测板，若检测板转动无干涉，则此零件合格，否则需打磨内腔干涉区，至检测板转动无干涉为止，要求100%检测（见图17）。



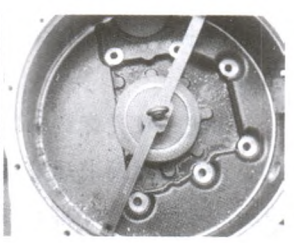


图 17

六、加工程式的设计

1. 加工顺序的设计

应遵循先粗后精、先面后孔的加工原则。因为铣削时切削力较大，工件易发生变形，先铣面后镗孔可使变形有一段时间的恢复，减少变形对孔精度的影响。同时若先镗孔后铣面，则铣削时会在孔口产生飞边、毛刺。

用同一把刀具能加工完的内容，应集中一次完成，然后再调用第二、三等其他刀具完成它们可以完成的其他部位。这样可以减少换刀次数、压缩非切削时间，减少不必要的定位误差。

尽量减少精加工刀具的加工内容，减少其磨损、稳定加工精度，减少不必要的调整。

加工螺纹孔时，底孔加工完后应先倒角然后再攻螺纹。因为攻螺纹后再倒角，倒角时的切削力会引起螺纹孔口变形，造成螺钉拧入困难或检测塞规拧不进去。对于盲孔，先倒角然后再攻螺纹比较好实现。

2. 加工（走刀）路径的设计

走刀路线是指数控加工过程中刀具相对于被加工工件的运动轨迹和方向。加工路线的合理选择是非常重要的，因为它与零件的加工精度和表面质量密切相关。在确定加工路线时，主要考虑下列几点：①寻求最短加工路线，减少空刀时间以提高加工效率。②为保证工件轮廓表面加工的表面粗糙度要求，最终轮廓应安排最后一次走刀连续加工出来。③刀具的进退刀（切入和切出）路线要认真考虑，尽量避免沿零件轮廓法向切入；减少在轮廓处停刀（切削力突然变化造成弹性变形）而留下刀痕，也要避免在工件轮廓面上垂直下刀而划伤工件。进、退刀位置应选在不太重要的位置或空位置。

（1）铣削大面时，铣刀路径的设计。一般BT40柄的立式加工中心，最大铣刀直径应不超过ϕ100mm。进行大面铣削加工时，走刀路径除了注意上述情况，还要特别注意不要出现“拐角”。因为在“拐角”处，工作台会出现短暂的“滞留”，切削力突然降低，导致刀具“振颤”，会在工件表面留下较深的刀痕，影响工件的平面度及表面粗糙度。在工作台变换方向时，应采用圆弧过渡，以保持连续进给。

（2）用圆弧插补方式铣削外圆轮廓时，要安排刀具从切向进入圆周铣削加工，当整个圆加工完毕后，不要在切点处直接退刀，而让刀具多运动一段距离，最好沿切线方向，以免取消刀具补偿时，刀具与工件表面相碰撞，造成工件报废。

（3）铣削内圆弧时，也要遵守从切向切入的原则，安排切入、切出过渡圆弧。例如用整体硬质合金立铣刀加工飞轮壳ϕ160mm内孔时的加工程序应为（局部）：

```
N10 G40 G80;
 N20 G90 G54 G00 X0.0 Y-43.3 ;
 N30 G43 Z0.0 H10 M13 S2274;
 N40 Z-33.5;
 N50 G40 G00 Y-43.81;
N60 G41 G00 X-40.0 D25;
N70 G03 X0.0 Y-80.03 R40.0 F650;  圆弧切入
 N80 G03 J80.0;                   加工内孔
 N90 G03 X40.0 Y-43.81 R40.0;     圆弧切出
N100 G00 G40 Z10.0
```

另外要注意：①刀具径向补正指令G41、G42的正确使用。这两个指令非常容易混淆。在程序调试时，一定要将Z轴升高单节空运行一下确认刀补指令是否正确。②铣削整圆时，程序应如上例N80语句格式采用向量（*I*或*J*）而不应用N70语句格式。

（4）反镗加工程式的设计，必须要使用M19主轴定向指令，加工前必须是刀具未启动前偏心进入加工孔底，然后自动走到孔理论中心再启动主轴进行切削。下面是斗山飞轮壳0119系列产品中心孔反镗的一段程式设计：

```
T3 M06 ;
M01（JT135）；（精镗$\phi$135mm孔）
G90 G54 G00 X10. Y10.；（刀具偏理论中心位置X10. Y10）
Z100.H13 M19；（机床主轴定向）
G00 Z-40.；（刀具快速移动至基准面Z-40）
X0 Y0；（$\phi$135mm孔偏理论中心位置）
M13 S250；（机床主轴启动）
G01 Z-16.4 F20；（后镗至 Z-16.4）
Z-17.；
M05 ；（主轴停转）
M19；（机床主轴定向）
G00 X10. Y10.；（刀具偏理论中心位置X10. Y10 准备上升）
Z120.；
G91 G30 Z0 ；
M01；
```

七、结语

韩国斗山系列飞轮开发投资少、成本低、实施周期短、柔性化过程较高。该项目被东风公司评为2010年度优秀科学技术成果二等奖，同时该项目被东风实业公司评为2009年度“实业杯”特等功。数控加工技术向着高效、高精度的方向发展得越来越快。与之相关联的刀具、夹具等工具技术的发展也日新月异，新材料、新结构不断推出。为了适应市场竞争，必须不断研究、应用新工艺、新技术。同时加强管理，例如刀具系统的管理；设备的维护、保养等。通过管理与技术的有机结合保证产品质量与生产，主动融入到“全球采购”的竞争中去。**MW**

（收稿日期：20130914）

义乌展览产业迅猛发展

2011年3月，国务院批准《浙江省义乌市国际贸易综合改革试点总体方案》。两年来，浙江省政府从市场采购贸易方式的确立、多项贸易便利化政策的相继出台，到贸易展示、集聚产业发展和交通物流三大平台的建设和完善，以及配套体制改革的同步推进和工作机制的全面建立，力争把义乌打造成省内审批环节最少、办事效率最高、行政成本最低、投资环境最优的区域。

改革试点后，良好的贸易环境为义乌发展展会产业注入了活力，带动了外贸出口呈现“井喷”式增长。2013年1～6月，义乌市进出口总额96亿美元，同比增长375.8%；累计出口额94.3亿美元，同比增长408.2%。8月17日，义乌市政府与国内14个中心城市签约成立“中国会展城市联盟”，携手发展会展产业，有力地推动了将于11月19～22日举办的2013中国义乌国际装备制造业博览会的招展招商工作。

为进一步发挥义乌国际贸易综合改革试点的作用，浙江省政府将通过举办义乌国际装备制造业博览会，吹响打造和培育国际装备产品交易平台的进军号。