

双离合变速器总成柔性化 装配技术研究

□ 上海汽车变速器有限公司/姚智勇

本文以实现某双离合变速器（DCT）系列产品柔性化制造为前提，将模块化制造的思想应用于DCT产品装配工艺开发，实现DCT装配要素的分解与重构，同时结合先进的柔性化装配技术，使得装配系统能够快速适应新产品的装配需求，最终制定了该平台产品柔性化制造方案。

迎合市场经济是变速器行业执行共线柔性生产的内在发展动力，也是其势必发展的根本因素，低投入、高效率的生产运行模式在变速器制造过程中以多柔性体系形式充分展现。并且，随着国内外高端制造技术的整合，以及“降本增效”要求的不断提升，如何实现单一固有化模式生产转向多样化柔性模式生产，如何将现有的生产条件变更为更加具备拓展性的生产条件是各大变速器制造企业进一步研究的课题。

在这种背景下，就要求装配线具备良好的扩容、适应能力，可以根据客户的需求，在同一条生产线上，生产功能不同的机型。

本文以公司某DCT变速器产品作为研究对象，对产品结构进行分

析，按照工艺需求对产品装配进行模块划分，并且结合先进的柔性化装配技术，制定了DCT系列产品柔性化的制造方案。

变速器装配工艺模块化

当前的装配工艺开发模式主要有两种：

一是针对特定变速器总成制定工艺，对不同零件重新制定不同的工艺路线，甚至同类零件由不同的工艺人员制定，相互之间缺乏借鉴，工艺路线的制定没有继承性，已有的工艺经验和知识没有得到有效利用，忽视了零件间工艺的相似性。

二是利用“成组工艺”，对相似变速器总成借鉴已有的工艺知识，实现工艺重用。该方式实现了

零件间工艺知识的积累和重用，通过积累的工艺知识，实现工艺的制定。但是这种重用限制了成组工艺的利用程度。因为变速器总成机构相似度不高，但某些局部是相似甚至是相同的，有着相似或者相同的工艺路线，所以成组工艺对这种情况显然不能充分地实现工艺知识重用。

针对以上情况，本文提出了变速器装配工艺模块化的概念，通过与设计端进行产品深度沟通，对DCT系列总成的结构进行研究。通过分析DCT变速器系列产品的结构，根据装配工艺需求，同时结合工件的装配姿态，将变速器总成工艺分解成两大主要块：分总成装配工艺模块和总成装配工艺模块，如图1所示。

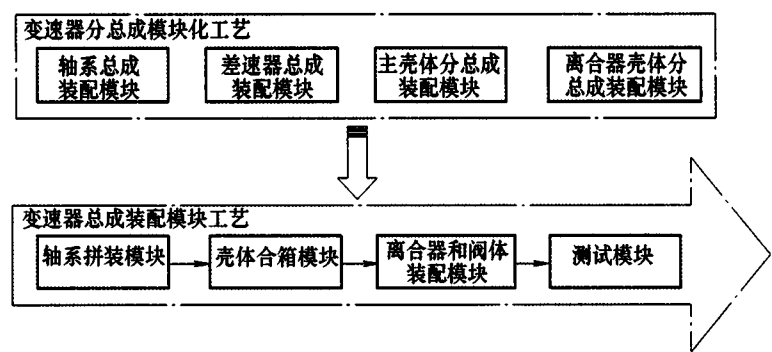


图1 DCT模块化工艺结构

1.分总成装配工艺模块

分总成装配工艺模块包含4个子模块：

- (1) 轴系总成模块——完成输入、输出轴系小总成的装配。
- (2) 差速器总成装配模块——完成差速器小总成的装配。
- (3) 主壳体分总成装配模块——完成主壳体分总成的装配。
- (4) 离合器壳体分总成装配模块——完成离合器壳体分总成的装配。

分总成装配的4个模块，属于独立的4个模块，各模块之间没有结构上的必然联系，4个模块可以独立工作。正常工作时，生产计划通过MES下达到各个模块的对应工位，各个模块根据MES下达的装配配方进行正常生产。如果正常生产中出现一定量的分总成需要消耗，可以通过对各个模块生产任务的增减实现分总成消耗。各个子模块和总装模块间设有工件自动缓存区。缓存区的作用有两点：一是主模块和分模块节拍出现不同步时，缓存区可以存放多余的分总成，不会造成停线；二是主模块和分模块出现机型不匹配时，自动将不匹配的分总成存放在缓存区。

分总成模块的配方管理采用基于“虚拟小总成号”的管理方式。各分装线根据小总成零件的区别，生成不同虚拟小总成号，通过虚拟小总成号管理再制品总成。小总成中每一个装配的零件都有对应的虚拟小总成号，该方式可以很好地解决一品多点零件防错、缓存区机型防错、返修小总成上线防错的问题，大大增加装配线柔性化程度，提高装配线工作效率，利于装配线的后期拓展，降低改造成本。

2.总成装配工艺模块

总成装配工艺模块根据零件在装配时的不同功能和姿态分成4个子模块：

- (1) 轴系拼装模块——将轴系、差速器和拨叉等按照一定的位置关系进行装配。
- (2) 壳体合箱模块——将壳体和轴系拼合，最终完成两个壳体的拼合。
- (3) 离合器和阀体装配模块——完成两个重要的零件装配。
- (4) 测试模块——完成总成气密、加油、校验和总成下线。

如图1所示，总成装配工艺模块中的4个子模块和分总成工艺不同，4个子模块根据功能不同，各子模块之间有严格先后顺序关系。只有完成第一个模块才能进行后续的模块。所以总成装配工艺模块中，对应的是某一个具体的变速器总成，总成装配工艺模块中的4个子模块生产配方管理可以采用总成零件号进行管理。总成装配工艺模块根据配方中的“虚拟总成号”从各个分装线抓取对应的分总成，实现柔性化生产的目的。

3.模块化装配工艺优势

工艺的模块化，是实现柔性化装配的前提。4个分总成子模块是DCT变速器的4个组成部分，是独立的不互相依赖的系统。

工艺模块化具有以下几个优势：

- (1) 降低工艺的复杂性，可以实现和其他高精端技术的融合。
- (2) 工艺模块化具有可调整性，可以根据产品内部结构和生产需求的不同进行重新匹配。使装配线具备混线生产能力，并且装配具有高可拓展性。
- (3) 总成拆解件回线使用率高，过程件拆解可用性高。

柔性化装配技术

根据已经锁定的DCT产品系列，该装配线需要实现两种不同中心距的产品混线生产。各个子模块需要利用柔性化的装配技术，以满足不同中心距，不同产品构成的分总成压装需求。

1.DCT柔性化压装技术

DCT在两个壳体分装线利用柔

性化压装单元，实现不同中心距、不同零件的压装。如图2所示，作业者将被压装件置于转台，转台回转180°，小机器人抓取转台上的零件，并将零件安装至压机上对应的压头。大机器人抓取辊道上的壳体，并将壳体置于压机下方。压装过程中，机器人开启“浮动”模式，壳体落到反向支撑底座后，进行零件压装。压装完成后，压头切换下一个零件的压装位置，重复前面的流程，完成剩余零件的压装。

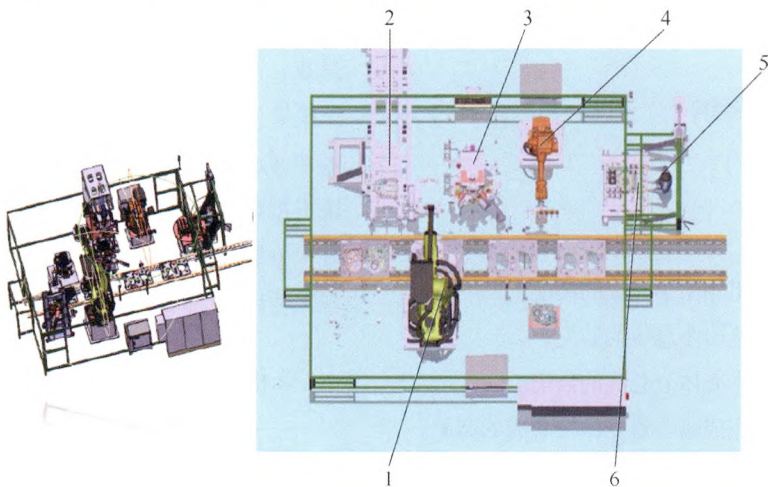


图2 壳体柔性化压装单元

1.大机器人 2.壳体上料辊道 3.压机 4.小机器人 5.作业者 6.压装件上料转台

如图3所示，大机器人安装可快速切换的夹爪，当出现机型切换，夹爪无法共用时，机器人会自动切换壳体夹爪以满足新壳体的需求。同样，小机器人具备不同的夹爪，以满足抓取不同零件的需求。压机的压头和底部的反力支撑成对使用，以满足不同零件的压装需求。利用伺服电动机带动压头更换装置旋转，将要用到的压头转到伺服压机下方。工作时，只有伺服压机正下方的压头向下压装，其他压头停留在原地不动，这样，上料机器人就可给进离正在压装压头位置的压头上料，就可压装和上料同时进行，充分节省节拍。每个反靠头在工作时，都是靠在床身的一个坚固的构件上，由固定的、结实的床身结构承受压装反力，而反靠转塔旋转用的轴承不承受压装反力；反靠装置都是尽可能地去支撑壳体被压装位置实体的下方，而不是反靠在壳体空心结构的下方，防止壳体变形。

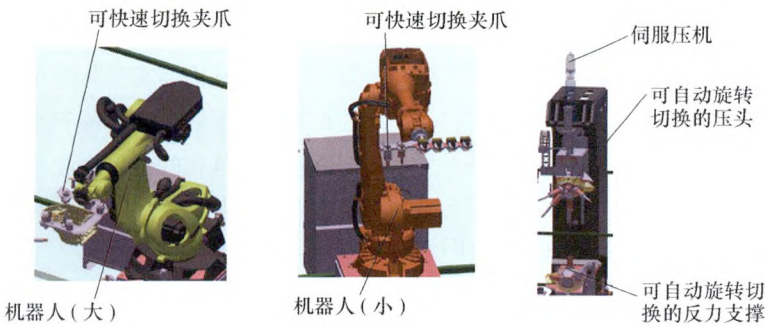


图3 柔性单元

2. DCT柔性化拧紧技术

为了满足DCT系列变速器总成不同拧紧位置技术要求——例如，主壳体和离合器壳体之间固定螺栓，不同产品的螺栓数量和螺栓分布无法保持一致——该项目采用机器人+多轴变位拧紧技术实现柔性化拧紧。与传统的多轴自动拧紧技术相比，机器人多轴拧紧技术具有成本低、精度高、柔性高和可拓展性高等的优势。

如图4所示，拧紧系统由三轴联动智能伺服拧紧轴、高精度定位悬挂平衡系统和高精度机器人组成。伺服拧紧轴可精确控制转矩、角度和圈数等参数。可利用转矩控制法、转矩控制+角度控制法、屈服控制法对产品进行精确拧紧。同时具备总线通讯机能和I/O控制模式，可同步与主控系统配合，全程监控每个螺栓的拧紧过程，上传数据曲线至装配线MES。

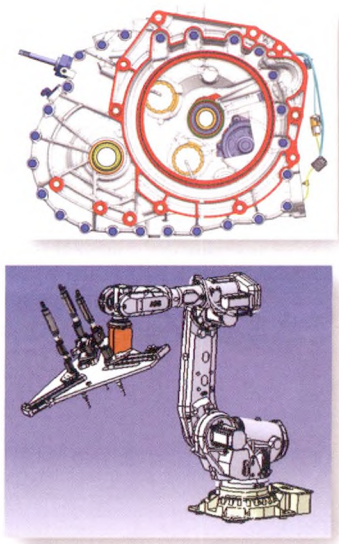


图4 柔性拧紧单元示意

DCT变速器总成装配线还将智能协作机器人引入到变速器装配中，智能协作机器人是当前工业机

机器人领域一个非常热门的研究方向。智能协作机器人和传统的机器人相比，具备简单易用、灵活部署、安全可靠和降低成本等特点。考虑到智能协作机器人对大转矩螺栓反力的承受能力和设备的稳定性，DCT项目对转矩小于某一数值的螺栓，采用智能协作机器人+拧紧轴方案，完成部分螺栓拧紧。

如图5所示，轴承挡板1、轴承挡板2、导油槽和主减速齿轮导油板通过8个螺栓固定在离合器壳体上。在60s的工艺节拍下，正常的装配工艺是设计两个手动工位，两个作业者分别使用气动拧紧枪预装零件后，再使用带位置臂的拧紧枪完成装配；NDCT的装配工艺采用协作机器人+拧紧轴后，仅仅一个作业者通过人机协作就可以完成。轴承挡板1、轴承挡板2、导油槽和主减速齿轮导油板的预装由人完成，机器人根据预设的程序完成剩余的拧紧工序。

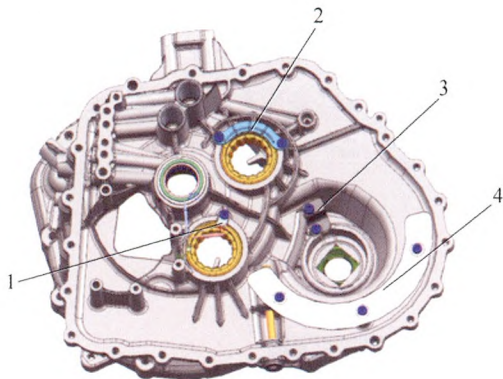


图5 壳体柔性化压装单元

1、2.轴承挡板 3.导油槽 4.主减速齿轮导油板

从附表中可以看出，采用人机协作的工艺方式，可以减低设备投资，减少人力成本，提高工艺质量。若螺栓分布和数量不统一，装配线系统通过PLC读取托盘RFID中调用预设的不同的拧紧程序即可完成应对，大大提供拧紧系统的柔性化程度。

工艺对比

项目	传统工艺	NDCT工艺
硬件投入	2把拧紧枪 2套位置臂	1把拧紧轴 1个智能协作机器人
作业者人数	2人	1人
可靠性	低	高
拧紧质量	较低	高
成本	高	低

3. DCT柔性化托盘

DCT系列产品考虑到后期拓展，总成和零部件定位基准的变化，导致装配线托盘无法共用。托盘设计采用双层设计，下层托盘和辊道配合，起到工件传输和粗定位的作用；上层用于固定工件姿态。产品端如果定位基准发生变化，更换上层托盘可以实现工件定位。

变速器测试线托盘一般都是设计成专用形式，这导致托盘只能对应某一款特定的变速器。托盘柔性化需要解决两大难题：一是不同变速器总成信号如何和台架对接；二是加抽油机如何实现对加抽油口不同位置的变速器完成加抽油。

DCT采用对接板设计，如图6所示。对接板的母端安装在测试线托盘上，通过工艺线束和变速器的信号输出端连接。对接板的公端安装在测试台架上，公端上设计导向机构用于对接时，两块板之间的粗定位。NDCT的电路和油路不直接与台架和装配线油路系统连接，而是通过工艺线束与托盘上的对接板连接，变速器流转到台架端后，先对托盘进行粗定位，对接板的公端和母端自动对接，完成总成

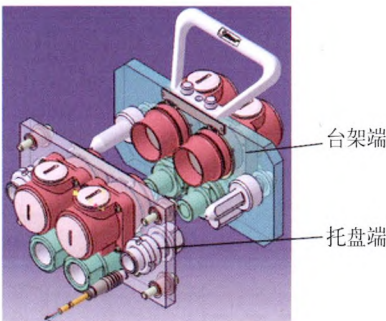
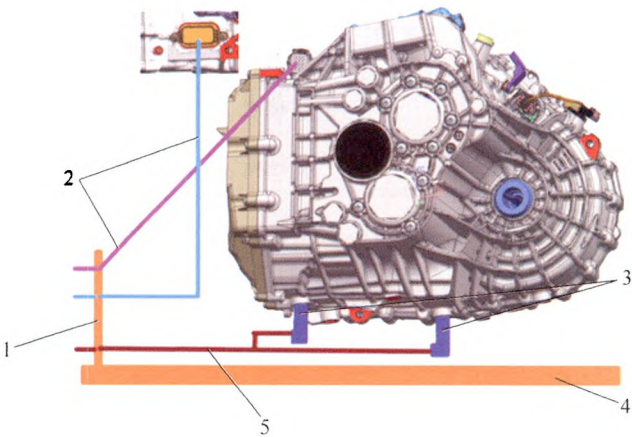


图6 测试线托盘的公端和母端

1.对接板 2.电路工艺管 3.排油快换接头 4.托盘 5.油路工艺管

和台架的信号对接。同样，在装配线加抽油工位，加抽油机不与变速器直接连接，而是通过对接板完成连接。

DCT测试线托盘采用对接板设计，使测试线托盘具备高柔性化的特点，可以解决混线生产时不同的变速器总成信号接插件的数量和PIN角数量无法统一，测试台需要专人在测试台进行线束接插的问题；同时可以解决多机型混线生产时，加抽油口位置不一致，设备无法兼容的问题。另外，相对传统托盘设计，该方案后期的可拓展性很高。

装配线设计实例

通过模块化的装配工艺及柔性化装配技术研究，制定了DCT柔性化装配线流程，如图7所示。如前所述，DCT柔性化装配线系统分总成模块包含4条线：齿轴分装线、主壳体分装线、离合器壳体分装线和差速器分装线，这4条柔性化分装线完成DCT系列产品4个小总成的装配。

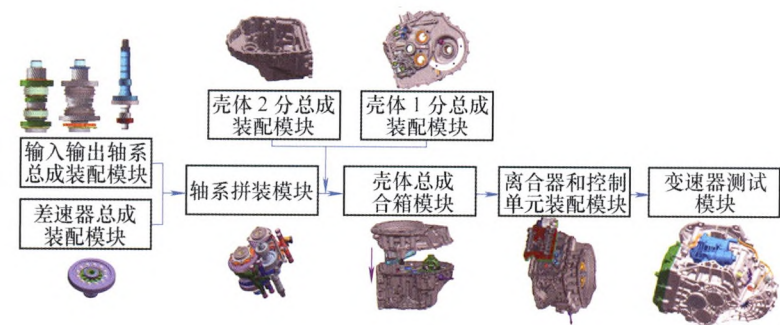


图7 NDCT装配工艺流程

结语

模块化工艺是个动态的过程，通过模块工艺，配合柔性化的装配技术，可以很好完成当前状态下的多中心距，不同系列的DCT产品装配。但是，产品的系列化是实现工艺模块化的有利条件，实现DCT产品各个功能模块系列化，更能满足多样性混线制造的要求，发挥工艺模块化的最大优势。（本文为2019第二届汽车工艺师论文大赛参赛作品）

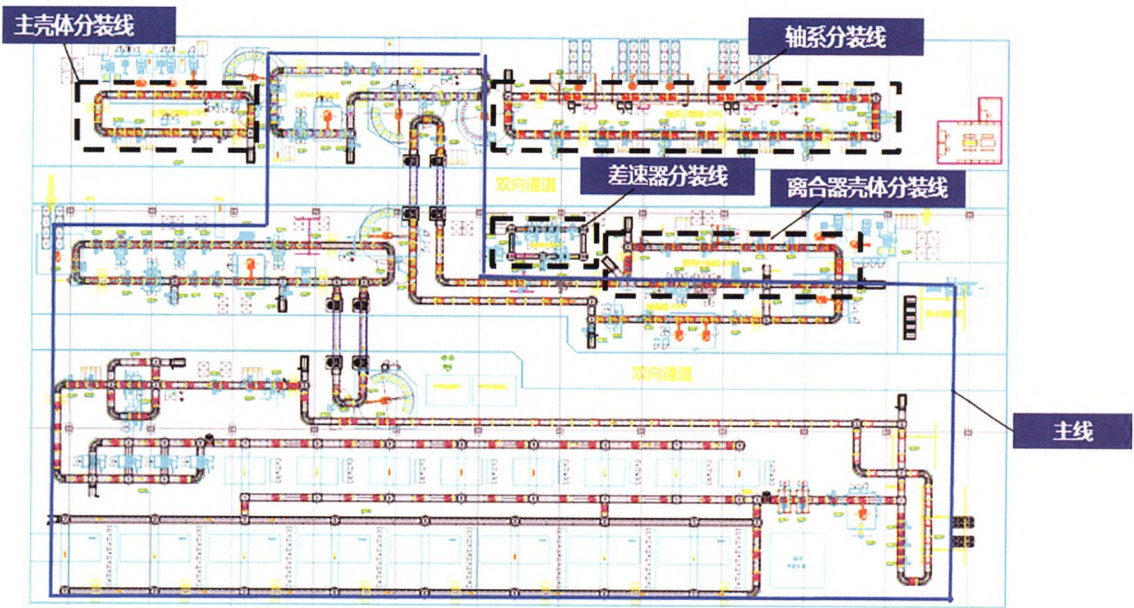


图8 NDCT装配线布局