

基于UG的汽车变速器Top-Down设计方法

□ 长城汽车股份有限公司技术中心、河北省汽车工程技术研究中心/龚正伟 周广 刑明星

结合实例，分析了采用Top-Down设计方法进行汽车变速器结构设计的过程，实践证明Top-Down设计方法有利于多人、异地、协同设计与同步工程的开展，同时能够显著提高产品设计质量和效率，缩短产品开发周期。

Top-Down设计

1. 常用设计方法比较

Bottom-Up（自底向上）是一种传统设计方法，是先零件后总成的逆向、装配设计思路（见图1）。零件设计工程师不明确总体的设计意图，仅仅从零件初步功能

定义出发，或逆向工程开发，设计工程师各自独立设计零件，零件的匹配依靠设计工程师间沟通，设计信息可能表达不完整，完成设计后进行装配，发现不能匹配的界面问题，如：装配干涉，间隙不满足要求等，需要组织评审，确定变更方案，进行零件模型修改或重新设计，然后再装配，如此反复多次，直到设计满足要求为止。Bottom-Up设计方法的缺陷就是所开发的产品不仅缺乏总成设计要求的继承性，而且在整个设计阶段，一些重要的产品设计信息、零部件信息没有得到很好的建立和控制，如果在设计之初没有做到很好的规划，没有全局考虑，详细设计后期一旦发现问题，修改起来将十分困难，设计过程中重复工作很多，造成时间和人员的浪费，工作效率降低。自底向上设计方法也不利于以网络为平台的多人、异地、协同设计与同

步工程开展。

Top-Down（自顶向下）设计方法是一种先进的产品设计方法，是先总成后零件的正向开发设计思路，是自上而下、逐步分解、细化和求解的过程（见图2）。这种设计方法既符合产品设计从抽象到具

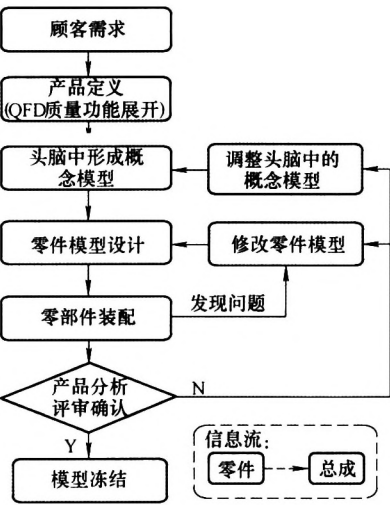


图1 产品Bottom-Up设计思路

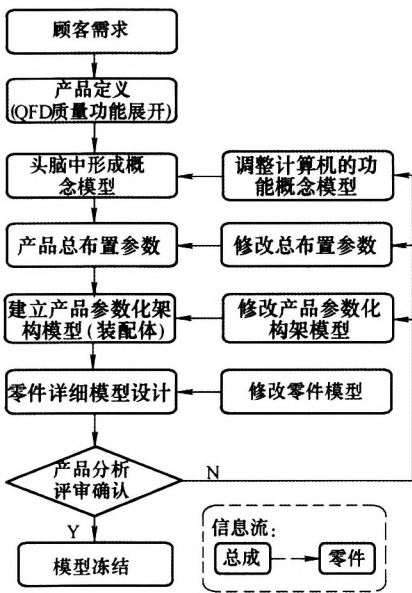


图2 产品 Top-Down设计思路

体实现的过程，又符合设计工程师的思维习惯。在产品设计之初，将产品作为一个部件考虑，在产品系统构成的顶层考虑产品的总体设计，定义总成级别的功能要求、性能目标、接口、边界等设计参数，预先规划产品架构并考虑总成与子总成、子总成与组件、组件与零件、零件与零件之间的约束和定位关系，完成产品方案设计后，再进行零件详细设计。这个过程实现了数据从顶层模型到底层模型的传递，最大限度地减少了设计阶段不必要的重复工作，有利于提高工作效率，缩短产品设计开发周期。

2.基于PDM的自顶向下实现过程

产品设计开发过程在PDM系统下的工作模式（见图3），通过网络可实现异地协同开发，客户端按

规定的访问权限和规则操作，数据进行统一管理 & 共享，有利于企业技术信息的保密。

自顶向下设计在PDM系统内的实现过程（见图4），总布置设计工程师在PDM系统内，通过CAD设计环境建立产品布局、产品主控参数、控制结构等，并在系统内发布，给下游设计工程师提出设计要求及任务，下游零件设计工程师接收设计任务，直接打开连接部件。此时，PDM系统内的数据自动签出至本地并处于编辑状态，零件设计工程师在本地CAD环境下依据连接部件内的设计参数、设计边界、设计基准等信息进行零件细节特征建模设计，保存时，模型数据会自动签入PDM系统。总布置工程师可以随时查看设计过程模型数据，并可对控制结构及主控参数进行调整。

这样，顶层设计信息，通过关联参数传递至底层零件模型，零件模型自动更新，细节特征得到重用，不必再重复设计细节特征，大大提高了设计效率。

综上所述，应用自顶向下设计方法，总布置设计工程师发布设计意图，同时，可以对各子装配进行动态监控，发现问题能及时方便地修改，零件设计工程师明确总体设计意图，利用连接部件提供的初始参数信息进行零件详细结构设计。这样各子系统能很好地配合，避免发生界面问题，便于实现多个子系统的协同，实现并行设计。

自顶向下设计方法在汽车变速器设计中的应用

变速器是汽车传动系重要的组成部分之一，其主要用来传递和改变汽车发动机转矩和转速，以使汽车适应各种路况要求。手动变速器（MT）因传动效率高，寿命长，工作可靠，工艺成熟，成本低等优点应用仍然比较广泛。汽车变速器设计是汽车设计的重要组成部分，下面以某城市型SUV车FF用六挡手动变速器设计为例，采用UG NX8.0三维设计环境，按Top-Down设计方法进行变速器结构设计。

1. 产品定义

首先收集内外部顾客需求，并进行需求分析，开展产品总体策划，完成产品定义，形成变速器总体布局和设计规划的产品雏形。如：依据整车机舱空间尺寸、搭载发动机类型（汽油/柴油）、最大扭矩、布置形式（FF/FR）来确定变速器的结构形式、外形尺寸等；根

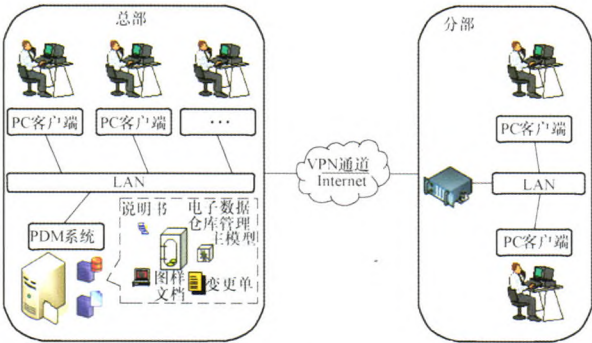


图3 基于PDM的产品开发模式

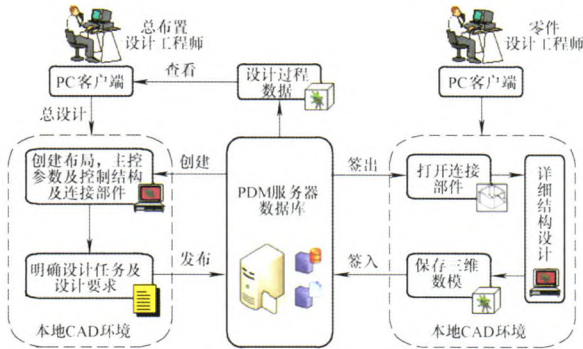


图4 基于PDM的Top-Down设计过程

据整车动力性及经济性要求，确定变速器的挡位数及速比范围，进行设计计算分析，确定中心距、轴系布置、挡位布置等。

2. 创建总成主控参数和规划控制结构

应用PDM系统，按规则创建数据，ID: 1700000CMD1_CS, 版本001，名称为变速器控制结构，在集成环境内采用NX建立主装配控制模型，建立WAVE控制结构，WAVE控制结构类似于产品装配结构，产品控制结构和产品装配结构是独立的（见图5）。WAVE控制结构是表达产品和装配子系统关系的层次，是产品顶层的设计准则，是产品设计和分析的神经中枢。在保证关联性的条件下，使用控制结构方法，可以将产品总布置设计和子系统分离出来，形成各自独立的装配结构，以满足总体控制和结构细

节设计的不同需要。控制结构有三个重要特性：

- (1) 控制结构由关键产品参数驱动。
- (2) 体现了设计规则。
- (3) 为产品设计传递约束条件。控制结构由总布置设计工程师拥有与维护，负责定义顶级设计准则。

控制结构开发前需要规划好控制层级，控制结构开发的最后阶段是建立起始部件。而连接部件不属于控制结构，连接部件调入装配模型中，即形成产品装配结构。变速器WAVE结构创建过程（见图6）。

在主装配体模型1700000CMD1_CS.prt中用表达式建立关键参数（见图7）。子装配控制参数的创建方法相同，根据要求建立设计可变性，创建公式使子装配参数与主装配参数关联，实现参数驱动

设计，如：某一腔体类零件，壁厚 $S=3\text{mm}$ 是满足强度要求的关键参数，外轮廓参数 A 因设计空间的要求可能会变化，该参数是变量参数，是需要修改或调整的。内轮廓参数 B 必须与外轮廓参数 A 建立起关联，即 $B=A-S$ ，实现参数驱动设计更改，只要后期设计参数 A 变化，参数 B 会自动变化。

3. 控制结构模型设计

控制结构模型（Control Structure Model）也有文献称为骨架模型（Skeleton Model），控制结构模型按一级控制模型（产品级）、二级控制模型（子系统级）的顺序依次建立。首先，按变速器在整车初始搭载的位置坐标，确立坐标原点及XYZ坐标系，绘制一级控制模型（见图8）。然后按控制结构设计过程，使用WAVE→Create New Level功能，选择一级控制模

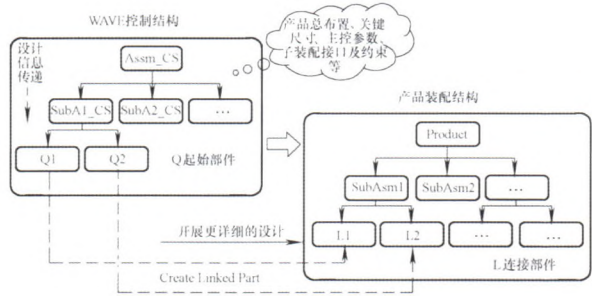


图5 WAVE控制结构示意图

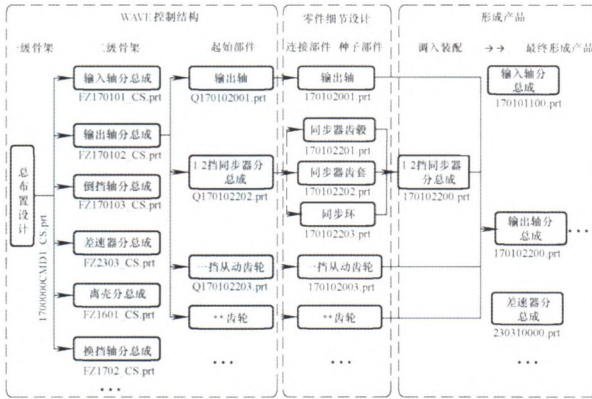


图6 变速器WAVE结构创建过程



图7 一级主控参数

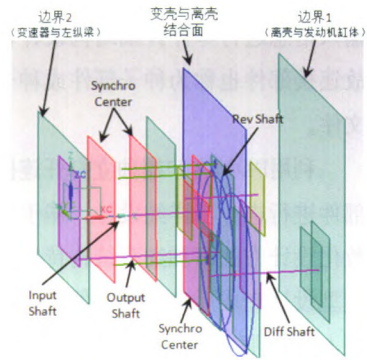


图8 一级控制结构模型

型中的几何信息（点、线、面、体、基准等）创建二级控制模型，并建立二级控制参数和设计二级控制模型，二级控制模型包含一级控制模型链接特征、关联参数以及基于链接特征创建的二级控制参数和模型，必要时创建三级控制模型，依次类推。最后，创建起始部件模型。

特别注意：下一级控制模型继承上一级模型设计信息，参数由一级控制模型一直链接到零件模型，实现产品控制结构模型控制零件模型，参数传递是单向的，即数据只能从产品级传给零件级，不能反向。

4. 连接部件的创建与详细结构设计

依据起始部件利用WAVE功能Create Linked Part创建连接部件，如输出轴170101001.prt，连接部件不在控制结构模型树中，它是一个单独的文件。连接部件是零件结构设计的开始模型，包含有零件设计输入信息的链接特征，也就是从系统或上级装配向子系统或下级装配传递数据所形成的点、线、面、体等几何特征，这些几何特征一般包括空间要求、界面和装配信息等。由于连接部件没有零件细节结构，零件设计工程师基于这些链接特征输入信息进行零件详细结构设计，故连接部件也称为种子部件或种子文件。

利用PDM客户端独立打开连接部件进行进一步详细设计，基于参数化设计方法添加细节结构特征，模型设计完成后直接保存便可自动签入PDM服务器。如果起始部件或

上一级控制模型有参数变化时，需要将控制结构模型或起始部件与连接部件一起调入内存，触发更新，连接部件关联参数才会更新，否则控制结构模型的变化，不会更新至连接部件。

5. 产品自动装配

在PDM系统内创建产品总成装配体数模，ID：1700000CMD1，名称：变速器总成，如1700000CMD1.prt，在NX装配模块，将连接部件调入该装配，全部通过“绝对原点”定位方式装配。由于变速器各分总成、组件及零件都是继承了其各级控制结构模型，故无需定义各分总成、组件及各零件之间的装配约束关系，就能自动完成装配。如果想改变某一分总成的装配位置，必须到一级控制模型中改变相关的几何特征和位置尺寸参数。此外，零件设计工程师设计过程模型，可直接在变速器总成装配模型中看到，当所有零部件设计完成最终模型时，产品装配就自动形成了（见图9）。

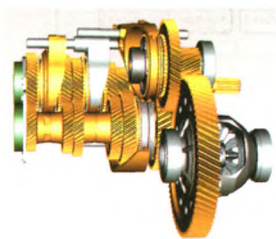


图9 自动装配完成模型

零件详细设计过程中，总布置工程师可以打开产品装配模型，查看各零件设计进度，发现并纠正前期考虑不足的设计问题。

从上可以看出，整个设计过程实现了自顶向下的全参数化设计。此外，为保证产品设计模型具

有较好的可修改性和较高的设计准确性，并实现设计过程中的同步工程和协同设计，以及能有效传递控制设计意图和后期快速产品变型设计，在使用该设计流程时，还需要遵循以下原则。

（1）一级控制模型特征不参照任何其他模型，一级控制模型及参数是产品总成及子系统零部件所有控制参数引用的起点。

（2）起始部件或连接部件通过WAVE链接特征进行设计，设计基准数据不能链接非控制结构模型。

（3）零件与零件之间不得互相链接特征，都只链接本装配内的控制模型或上级装配。

结语

通过自顶向下设计方法在汽车变速器开发中的实践，可以看出，整个设计过程中信息的传递、共享、继承及更改方便可控，控制结构的建立实现了变速器全参数化三维设计，为设计团队统一了设计思路和明确了总体目标，同时，这种创新的设计理念和方法不仅支持团队间的协同设计和并行设计，减少了工程师间沟通问题造成设计信息丢失而发生的界面失效，显著提高了产品设计质量和效率。AME



龚正伟

工程师，研究方向：汽车传动系统设计及开发。