参数化和模块化设计在空调产品中的应用

撰文／英格索兰亚太研发中心　刘文华　张晶

一、问题的提出

随着市场竞争越来越白热化，如何全方位地满足客户需求受到越来越多卖方的关注。他们比过去更关注客户的真实需求，千方百计地去满足这些需求，以期占领更多的市场。在空调制造行业，特别是商用机领域，降低成本、缩短交货周期是客户非常关注的需求。而在空调箱领域的市场，由于门槛低，技术优势不明显，越来越多的中小企业加入到这一产品的竞争中。标准的空调产品主要实现的是通风、温度控制和湿度控制这三大功能。随着大气环境污染的日益严重，如何提供清洁的优质空气变得越来越重要了。所以标准的产品已经无法满足客户的全部需求，客户时常会提出特殊需求，或者是增加一些标准产品不提供的功能。根据过去几年的数据统计，空调箱市场的特殊需求大约在 40% 以上，这对于一家空调制造企业来说是非常大的挑战。因而如何设计出特殊的功能并在要求的周期提交产品，对制造企业来说是一个急需解决的问题。

空调箱产品在实际销售过程中经常会遇到客户要求改变面板的保温层厚度的情况，根据客户现场的有限空间调整空调箱箱体的高宽比，减少占地面积。但是空调箱内的所有部件都是根据箱体预先设计的高宽比来设计的，所以一旦高宽比发生变化，空调箱内的自制零部件基本上全部要进行重新设计。仅依靠工程师临时进行特殊设计，将耗费较多的人力物力，同时也延长了交货期。因此提供一种能够快速进行设计变更的方法显得尤为重要。本文介绍了一种模块化、参数化设计和计算机辅助制造相结合的方法，以期满足这一市场需求。

二、解决方案

理想的解决方案包括了加工和设计两个方面：当销售接下一个特殊的订单时，工厂的技术人员只要根据客户的要求计算出所需机组的长、宽和高尺寸，然后将这些外形尺寸输入到系统中，所有相关的参数化子零件加工文件就自动产生；同时还可以利用标准模块像搭积木一样迅速地创建产品的整机模型。通过模块化和参数化缩短产品的设计周期，另一方面有了这些参数化设计生成图样，工厂就可以立即进行生产，从而最大化地缩短设计周期。这样的一套解决方案不仅需要参数化的设计，同时也需要一套高度自动化的生产加工设备。自动化钣金加工设备可以实现预编程的自动钣金下料、冲孔以及折弯。所有参数化设计的零件都已经预置了编好的加工程序，一个特殊订单产生时，该设备会自动读取相应的文件进行加工，从而大大提高生产效率。图 1 展示了参数化设计的思路。

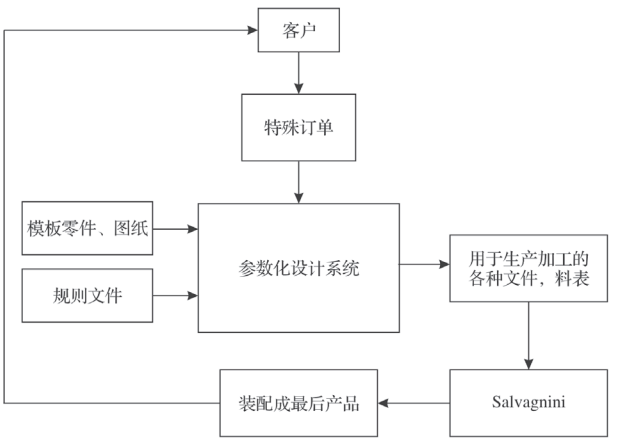

图 1　参数化设计思路

1. 参数化设计

参数化设计就是把零件尺寸定义成变量，用 x、y、z 等来代替，当然这些变量和机组的长宽高是有一定线性关系的。

根据标准的空调箱产品，用 Pro/ENGINEER 软件设计一系列的模板零件，每个模板零件的外形尺寸都是可变

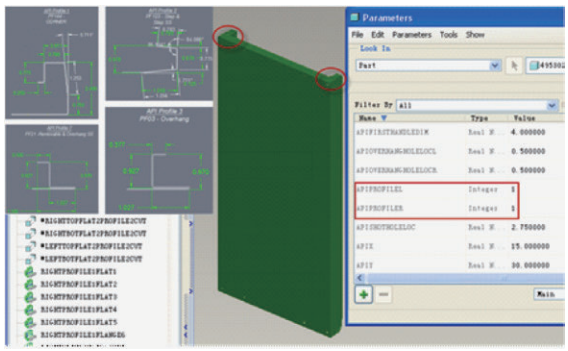

图 2 参数设置

的（例如：APIX，APIY），模板零件上的安装孔的阵列也可参数化，使之随着外形尺寸的大小而变化个数和间距。甚至还能通过参数化控制零件的外形，不同的输入可以展现不一样的设计，例如：APIPROFILEL，APIPROFILER可控制左右法兰边形式，如图 2 所示。

对于模板零件的图样也有别于传统的图样，是参数化的图样。每一个变量都不会标注具体数值，而是显示 Pro/ENGINEER 里定义的参数（图 3），并在参数表中给出每个参数的公式，即与输入的外形尺寸的关系（图 4）。同样外形尺寸的最大值和最小值也会列在图样的表格中，最大最小值是根据原材料极限或者加工机器的限制来定义的（图 5）。

同时，通过 Excel 软件来编写逻辑规则和参数设置，即编写在各种不同情况下，各个参数需要被赋予的数值，或者需要显示或隐藏的特征，并设置限制条件（例如加工设备极限，原材料最大尺寸等）。定义所有的模板零件参数和客户输入之间的关系式，最后输出 xml 文件，即规则文件（图 6）。对于不同功能，都各自有一个规则文件。例如：控制特征显示或隐藏的规则文件，控制零件装配关系的规则文件，控制中间参数的规则文件等。一个产品的所有规则文件可放在同一个数据库中（例如 Microsoft Visual SourceSafe），对其进行权限和版本控制。

最后参数化设计系统读取模板零件和规则文件，根据订单需求自动运行并生成生产加工所需要的所有文件及料表。

为了方便零件在 Pro/ENGINEER 中定位组装并确定各零件之间的关系，会优先生成一些虚拟框架组合在一起，用来定义空调箱的总体外形尺寸以及各个功能段的位置大小。这些虚拟零件只是过程零件，不需要图样，更不会输出到工厂生产。

2. 模块化设计

在空调箱的设计中并不是所有的零部件都可以简单地利用参数化设计方法，很多时候一些关键的零部件，特别是

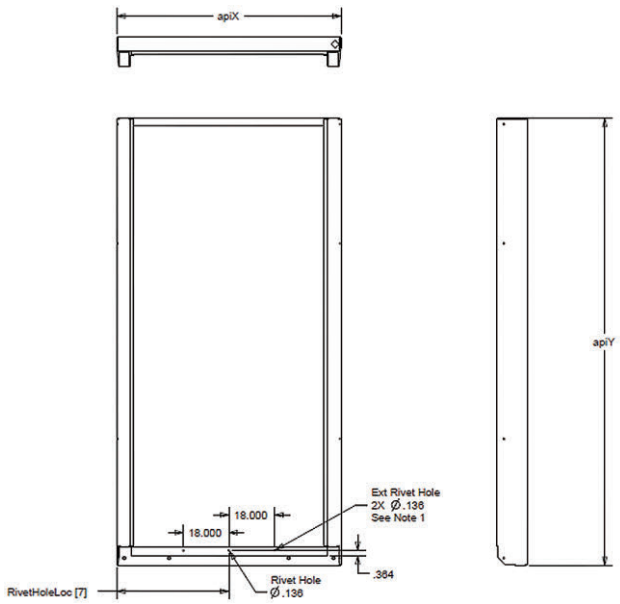

图 3 参数化图样视图及标注

Parameter	Limit	Expression	Comment
apiX	Max	vWallPanelMax22RawMatWidah—(2*3.667)	Material Limitation
apiX	Min	cMinWallPanelLength	Forming Limitation
apiY	Max	vWallPanellMax22RawMatheight—1.470—3.007	Material Limitation
apiY	Min	22	Arbitrary

图 4 参数与总体尺寸关系式表

ID	Expression	Comment
1	apiX—2'3.500	
2	CEIL (BotHoleSpan/8) +1	
3	TopHoleSpan/ (TopHoleQty—1)	
4	apiX—2'3.500	
5	CEIL (BotHoleSpan/8) +1	
6	BotHoleSpan/ (BotHoleQty—1)	
7	(apiX+RivetHoleRight[8]+RivetHoleLeft[9]) /2—RivetHoleRight[8]	
8	—1.193	
9	—1.193	

图 5 总体尺寸参数极限值表

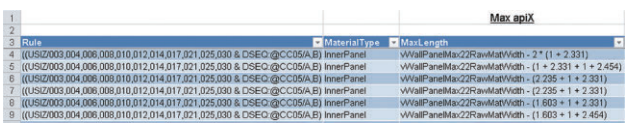

图 6 Excel 规则文件

外购件可能与产品的外形尺寸没有直接的关系。因而如何快速地设计出需要的产品，模块化设计方法应运而生了。

模块化设计是指在对一定范围内的不同功能或相同功能不同规格的产品进行功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能模块，通过模块的选择和组合可以构成不同的产品，以满足市场的不同需求的设计方法。

（1）模块化设计的主要原则。

a. 尽可能少的原则：在实际定义模块的过程中力求以尽可能少的模块组成尽可能多的产品，同时尽量使各模

块结构简单，模块间的接口尽可能简单、清晰。

b．模块系列化原则：主要用来满足产品的系列化要求，在系列化时最好结合参数化的设计方法。

（2）模块化设计的主要特点。

a．相对独立性：各模块之间相对独立，通过接口进行信息的传递，从而使协同工作模式（并行模式）成为可能。这也是很多的国际化公司在全球进行并行工作的主要方式。

b．互换性：模块接口部位的结构、尺寸和参数标准化，从而很容易实现模块间的互换，以期满足更大数量的不同产品的需要。

（3）模块的定义。

通常模块的定义是根据产品开发设计需求、市场、加工制造、采购、质量和售后服务的需要来进行分类定义的。表 1 给出了模块定义的过程中主要驱动力。

表 1

需求	定义模块的驱动力
产品开发和设计	借用或者延续老产品
	新技术驱动
市场	技术要求驱动
	新的外观、风格
加工制造	通用模块
	加工工艺要求
质量	独立测试需求
采购	战略合作供应商
售后	服务或维护需求
	升级需求
	循环使用

图 7 展示了把一台空调产品分成天花板模块、墙板模块、地板模块和内部立柱支撑模块等。

（4）接口类型的定义。

所谓接口 (interface) 就是用于定义模块之间的相互关系以及信息传递的方法。接口的定义非常重要，如何保证模块之间的信息正确、及时地相互传递，需要定义正确有效的模块接口。接口有多种类型。

a．物理连接接口 (Attach)：模块之间存在物理接触或者连接。

b．体积或区域内有接口 (Spatial)：模块之间存在空间或者面上的参考关系。

c．质量或能量传递接口 (Transfer)：模块之间存在质量或能量的传递。

d．传递操控信号接口 (Control)：模块之间存在控制

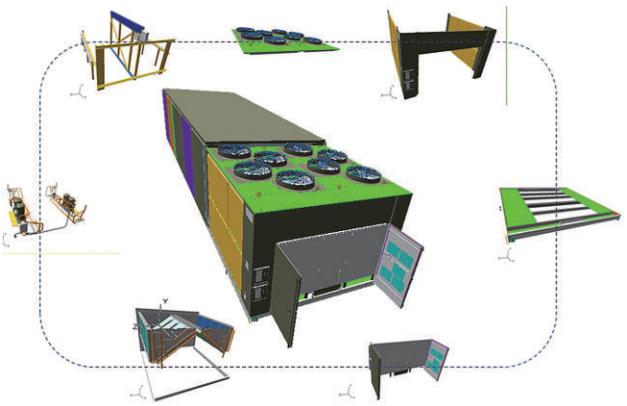

图 7 模块定义

关系。

e．现场或者环境接口 (Field/Environmental)：现场或环境通过接口影响模块。

两个模块之间可能同时存在多个接口。用户在定义模块的时候还需要同时定义模块与模块之间的接口关系，一旦接口关系定义清楚，在后续的设计中这些接口是不能轻易改变的。图 8 的矩阵清晰的罗列了一个产品的模块关系。

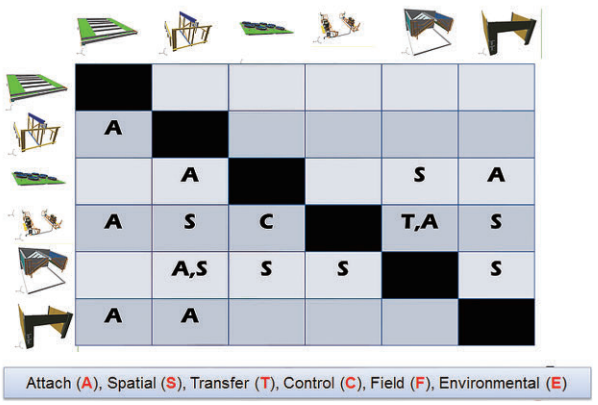

图 8 接口类型

3. 参数化与模块化设计实例

对于整个空调箱产品，首先按照功能不同，分成多个功能段：水盘管段、蒸汽盘管段、过滤段和混风段，如图 9 所示。每个功能段会拆分成多个零件，对于每个段中的相似的零件也可能因为功能的不同定义成不同模块：水盘模块、天花板模块、墙板模块、地板模块和风口连接模块。在定义好模块以后，我们还要根据上面所提到的规则定义模块与模块之间的接口。因为每一个模块都需要涵盖整个产品系列，所以运用参数化设计是解决系列化设计最有效的手段，通过参数化设计把该模块涵盖的所有不同的零部件快速、全面地表达出来，从而减少建模和出图样的时间。

模块化设计的方法让团队成员多人协同合作变成了现实，而参数化设计则减少了重复建模和出图样的工作，从而真正减少工作量，缩短设计周期。图 10 展示了应用参数化和模块化设计的方法，从一个设计概念到最终产品的过程。

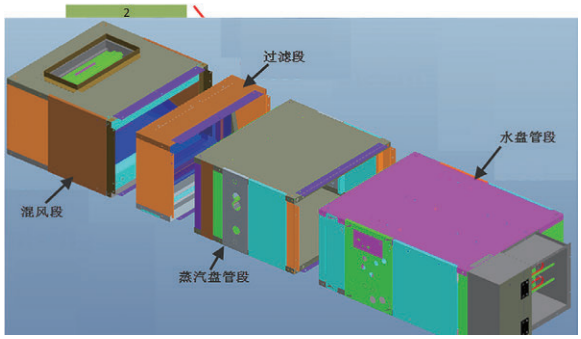

图 9 空调箱产品分段

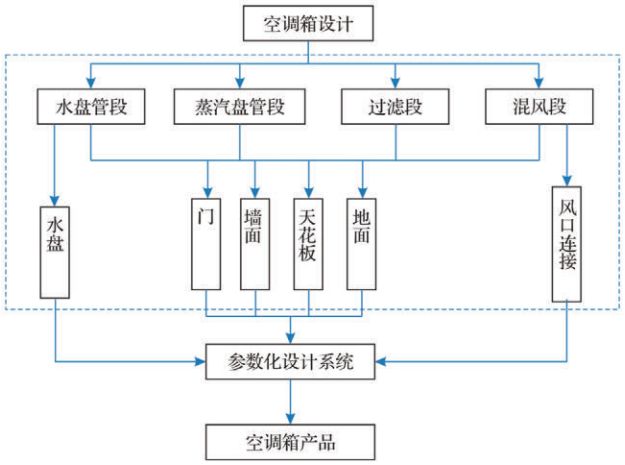

图 10 参数化与模块化结合

三、优势分析

1. 效率的提高

空调箱多由钣金件组成，各个钣金件的差别大多在于外形尺寸，参数化设计能够减少重复建模和出图样，降低设计者的枯燥感，用设计软件代替人工，设计者只需要提供设计意图并编写规则和模板零件，结合设计软件和生产设备，能够缩短设计时间，从而加速产品设计及交付。

表 2 是对于现有一个标准空调箱产品，是否用模块化、参数化设计的零件和图样量的比较。由此可见，参数化设计可以大幅减少工作量，若在非标产品上，其优势会更显著。

图 11 是对于建造一个新的备选方案，是否用模块化、参数化设计的工作时间的比较。由此可见，对于一个新的方案，使用模块化与参数化结合的方法设计只需要半天时间就能完成传统方法设计一周的工作量，工作效率提高了近 90%。

表 2

机组规格尺寸	建模零件（个）		图样（张）	
	传统方法	模块 / 参数化	传统方法	模块 / 参数化
13 个小风量机组	182	3	182	14
5 个大风量机组	100	5	100	20

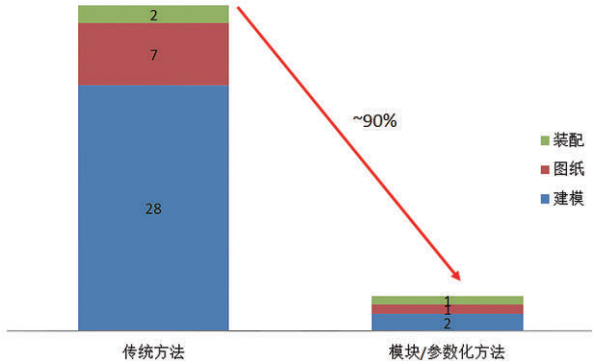

图 11 两种不同方法的时间比较

2. 多种备选方案

使用模块化、参数化设计不仅能够帮助小组产品开发人员提高工作效率，减少重复性的工作；同时它还能帮助研发人员在现有的基本设计上快速改变设计，生成多个空调箱产品方案，从而选择最优方案以满足客户的需求。变更设计的灵活性不仅能应用在产品的研发设计阶段，在非标准订单的生产过程中发挥着更重要的作用，本文篇幅有限在此不再赘述。

3. 方便设计维护

使用模块化、参数化设计方法能够分散设计，实现针对同一产品的多人或多部门同时工作，并且能保证一项变更发生时，所有涉及的零件都能通过接口得到相应更新，保证参数的传递，有效防止漏改零件、错改零件，从而大大降低了返工的风险，为后期设计维护带来了方便。

四、结语

本文主要阐述了模块化、参数化设计在空调产品开发设计中的应用，通过设计软件、模块化方法、参数化设计系统和加工设备的集成，实施快速设计并变更设计，以满足日趋复杂的市场需求。