

文章编号:1000-582X(2010)12-047-07

## 面向项目制造的复杂装配过程资源建模

郭 钢<sup>1</sup>,徐建萍<sup>1,2</sup>,罗 好<sup>1,3</sup>

(1. 重庆大学 机械工程学院,重庆 400044;2. 贵州大学 管理学院,贵州 贵阳 550025;  
3. 重庆科技学院 电子信息学院,重庆 400050)

**摘 要:**面向订单设计(engineering-to-order, ETO)制造企业由于其产品结构复杂,对制造过程的组织管理不同于一般产品的装配制造。在单件小批生产模式的基础上,采用项目管理方法满足复杂产品制造过程特征要求,建立面向产品最终装配的项目制造(project-based manufacturing, PM)计划管理模式。面向项目制造的分层网络计划方法将生产计划的对象从零部件转换为具有一定缓冲空间的装配单元,建立整个装配过程的资源-任务矩阵,实现资源与任务的关联以及资源负荷的追溯,为实现以项目产品为对象的计划与资源的匹配提供数据支持。

**关键词:**面向订单设计;项目制造;装配单元;资源-任务矩阵

**中图分类号:**TH181

**文献标志码:**A

## Manufacturing resource modeling of complex assembly process under project-based manufacturing

GUO Gang<sup>1</sup>, XU Jian-ping<sup>1,2</sup>, LUO Yu<sup>1,3</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;  
2. School of Management, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, P. R. China; 3. School of Electronic & Information Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 400050, P. R. China)

**Abstract:** In an engineering-to-order (ETO) company, organization and management of manufacturing process is differ from common products because of the complexity of product. A project-based manufacturing (PM) planning model for product final assembly is proposed based on single-piece and small-batch production model so that the characteristics of complexity, specificity and high complex product manufacturing process can be met by means of projected-based manufacturing. The method of layered network planning under project-based manufacturing can transform the objects of planning from parts to assembly cell in the course of final assembly that has some time-based buffer for planning; simultaneously a resource-task matrix is build for the whole assembly process. The matrix can achieve the relatedness between manufacturing resources and assembly task, and follow the resources loads in order to realize the matching of planning and resource against project product.

**Key words:** engineering to order (ETO); project-based manufacturing (PM); assembly cell; resource-task matrix

**收稿日期:**2010-06-30

**基金项目:**国家 863/CIMS 主题资助项目(2007AA04Z1B1)

**作者简介:**郭 钢(1960-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事制造业信息化、产品数字设计与制造研究,(E-mail) cquguogang@163.com。

面向订单设计(engineering-to-order, ETO)的大型复杂产品生产企业,为了实现客户个性化产品的交付需要面向整个产品生命周期<sup>[1,2]</sup>。ETO 环境下单件小批生产模式多采用 MRP/MRPII、JIT 等理论的混合管理模式和计划方法<sup>[3-7]</sup>,随着项目管理的理论和方法在 ETO 制造企业的应用,面向大型复杂产品的项目制造模式逐步形成。项目制造是由一系列紧密相联的任务组成的,尽管项目制造的结果是某种产品,但项目制造并不是产品本身,项目制造包括项目投标、产品开发设计、工艺装备设计与制造、产品生产、产品安装调试、产品生命期内的服务与支持等整个项目生命周期过程<sup>[8]</sup>。面向离散制造的项目制造管理模式是对单件小批生产方式的发展,针对单件小批生产复杂产品结构、生产周期长、产品组件/零部件之间存在约束关系等特征,以产品项目计划为主线,将生产计划管理的重点从以 MRPII/ERP 为核心的零部件生产计划向面向供应链集成/装配的产品项目延伸。项目制造模式下的生产计划与控制方法以网络计划方法为主,同时还结合了 MRP/JIT/SCM 等方法 and 思想的应用<sup>[9-11]</sup>。这些方法主要是面向复杂产品的零部件加工制造过程,围绕物料清单(BOM)进行计划和控制;制造资源的建模主要考虑的是针对制造工艺的资源能力建模<sup>[12-14]</sup>。目前针对复杂产品最终装配过程的计划和资源可用性的描述相对较少。笔者从项目管理方法出发,建立了面向复杂产品最终装配的项目制造计划管理模式,创建资源-任务矩阵,分析项目任务资源配置的齐套情况,提高装配网络计划与装配资源的匹配性。

## 1 复杂产品面向订单设计(ETO)环境的特征描述

复杂产品 ETO 制造企业具有不同的需求:按照客户的规格要求设计和制造复杂产品,通常涉及较长的提前期和繁重的工程设计内容。ETO 制造环境的特征主要体现在<sup>[7,11]</sup>:1)按照订单驱动方式进行生产组织,以保证交货期为目标;2)产品客户化定制程度高,客户参与产品开发和配置;3)产品生产的重复性较低,通常为单件或小批量;4)产品结构复杂,生产周期长,在产品结构不完整的情况下,生产准备和零件加工过程就开始执行,与产品设计过程并行;5)复杂的产品结构(BOM)引起多层次的装配过程,生产过程是分级、分阶段进行的;6)产品装配过程不仅要解决装配资源的分配和利用问题,还要考虑到产品各组件/零部件之间

的装配时序约束关系和成套性要求,影响生产进度的不确定性因素较多;7)最终产品采用单件小批生产,而具有一定通用性零部件可能采用批量生产,两种混合生产环境增加计划管理的难度。高度的客户化导致产品成本增加、更高的风险和更长的提前期,同时由于零部件和子系统的规格需求是在开发过程完成后才能确定,外购/外包受到交货期的约束也变得更加困难。

大型复杂产品设计和生产过程复杂,生产准备和制造过程周期长,产品各部件之间的时序约束关系和成套性要求严,零部件的制造或采购提前期满足产品最终装配计划的时间要求是保证产品按时交付客户的关键,传统生产计划模式 ERP/MRP、JIT 等不能很好的解决大型复杂产品的单件小批生产计划与管理问题。相对于工程建设项目,面向订单设计的大型装备制造也具有独特性、临时性和惟一性等项目的一般特征;不同的是,机械制造企业是以零部件制造和产品装配过程作为关键业务过程,基于一定的制造策略通过生产系统来进行管理,因而项目管理技术向 ETO 制造企业的延伸需要针对制造过程的实际问题建立适合的管理模型。

## 2 基于网络计划的项目制造计划管理模式

项目制造模式下的生产计划与控制要实现项目管理与传统生产计划与控制系统的整合<sup>[2,13]</sup>,即基于项目的计划、控制和执行与面向物料、制造资源的生产计划两大功能模块的整合。复杂机械产品的制造包含 2 个主要阶段:零部件制造/外购和产品最终装配。随着供应链上企业间合作伙伴关系的良性发展,ETO 企业外购/外包业务不断增加。因此,复杂产品装配阶段可以认为是 1 个仅承担产品设计、装配、安装和试运行等任务的企业,装配阶段的生产计划与控制的有效性是保证产品按期交付的重要保证。

### 2.1 项目制造环境下的生产计划与控制框架

在 ETO 环境下产品的交付时间和数量是确定的,但是详细准确的产品规格和工艺路线是不确定、不完全的,需要通过工程开发过程来决定产品的系统配置。如何根据部分定义的 BOM 制订产品项目计划和物料计划是项目制造管理模式的关键,以实现计划、设计、采购和生产准备活动的同步实施。

基于项目的制造的计划、控制和执行涉及物料的计划 and 活动、资源的计划,需要在传统的生产计划与控制(manufacturing planning and control, MPC)系统的基础上实现与项目管理功能连接<sup>[2]</sup>。

传统 MPC 系统中主生产计划的对象是加工制造中没有关联关系的独立需求(产成品、备品备件等),这种前提并不适合项目型产品:项目型产品虽然也是由相互没有加工关联的零部件组合装配而成,但这些零部件在装配过程中具有一定的装配约束关系。这些在制造过程上无关联的零部件是通过项目产品的工作分解结构(work breakdown structure, WBS)来描述单个零部件之间的装配关联关系。目前的 MPC 系统中不能从项目产品角度出发来计划和控制其组成构件,以满足装配序列所要求的优先关系,同时根据装配序列来考虑最终项目产品所需构件的齐套。

如图 1 所示,基于项目的生产计划控制(project-based MPC)模式是在 MPC 框架基础上考虑项目制造环境下的不确定性和产品结构的不完整性等因素的影响。在项目产品层,主要是以产品项目为对象,构建以装配单元的网络计划,在产品结构不能完整获得的时候,通过装配单元能反映产品构成的基本框架,随着产品设计工作的完成,得到完整的产品结构,则可以扩展装配单元内部的装配序列,形成二级装配网络图,实现复杂产品的分层管理。零部件层主要针对项目产品所需要零部件的加工制造或采购。从供应链出发这些零部件之间在制造上是相互独立的,在项目制造环境下可以通过基于装配单元的网络图来识别它们之间的装配关联关系。对于仅完成项目产品最终装配的企业来说,装配单元物料需求计划就直接产生零部件的采购需求。

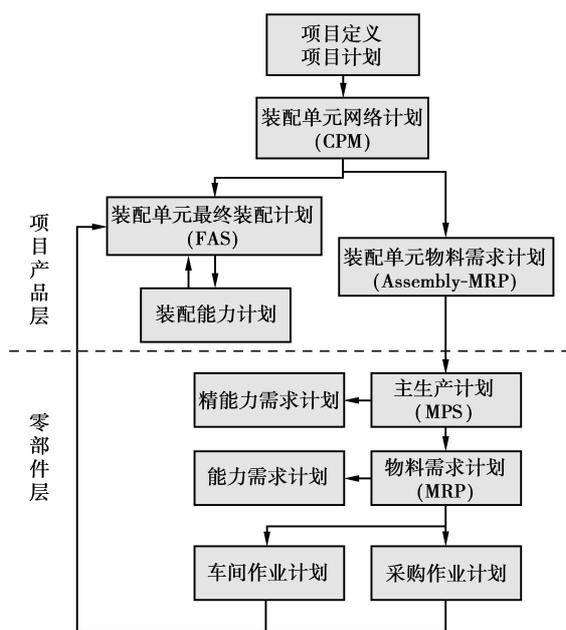


图 1 基于项目的制造的二级计划管理模式

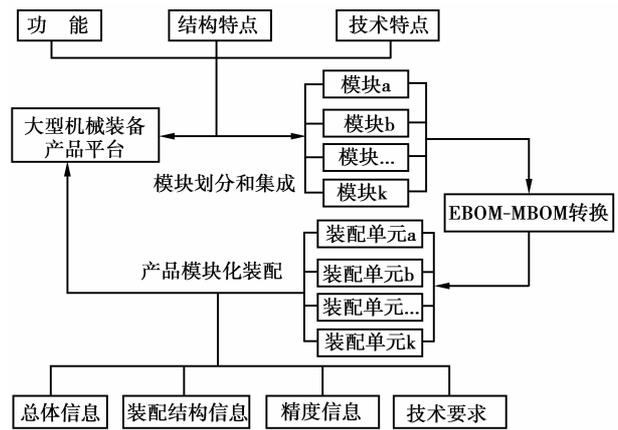


图 2 基于产品平台的装配单元构建示意图

### 2.2 基于装配单元的装配网络图

大型装备产品涉及的零部件种类可能数以万计,但从结构或功能上则可以划分为较少的组件和部件,因此可以基于产品平台<sup>[15]</sup>,结合某类产品的典型装配工艺进行新签订产品的装配工艺设计。对于产品结构复杂,开发和制造周期都较长的大型复杂装备产品而言,产品平台可以为客户化产品提供基本的功能结构框架,结构的明细则是在详细设计完成后确定。图 2 描述了基于产品平台的装配单元构建过程,结合典型装配工艺综合考虑产品结构中组件/零部件之间的定位关系、位置关系、配合关系以及装配精度等要求,形成可装配的模块——装配单元,并以网络图的形式反映产品的装配过程。由于复杂产品的装配 BOM 需要在工程设计工作完成后才能得到,通过传统装配 BOM 中增加 1 个装配单元层次,将生产计划的对象从零部件转换为具有一定时间缓冲的装配单元,适应复杂产品制造过程产品结构不确定性的特征。

装配单元是指在产品功能和结构基础上,以 1 个或多个装配主件为核心,反映产品装配结构和装配顺序,实现产品局部功能的装配构件及其装配序列的集合。装配单元总体上可以表达为 1 个 5 元组:  $AssemblyCell = [ProjectID, T, A, D, R]$ 。其中 ProjectID 为该产品项目的唯一标识;  $T$  为以装配单元为对象的任务项集合,有  $T = \{task_i, | i=0, 1, 2, \dots, n\}$ , 装配单元  $task_i$  所包含的装配序列集合  $T_i = \{task_{ij}, | j=0, 1, 2, \dots, m\}$ ;  $A$  为任务项之间的依赖关系集合,  $A = \{a_{ik}, | i, k=0, 1, 2, \dots, n\}$ ,  $a_{ik}$  表示任务  $task_i$  为  $task_k$  的紧前任务,  $D$  为任务的工期集合,  $D = \{D_i | i=1, 2, \dots, n\}$ ;  $R$  为装配单元所需装配资源集合,  $R = \{ResRequest_i | i=0, 1, 2, \dots, n\}$ 。

大型复杂产品的装配过程是由装配活动和零部

件共同构成,零部件等物料项是装配过程的一项关键要素,因此用于大型装备装配过程的网络图需要在通过工序直观描述复杂产品装配过程的基础上,实现零部件等物料项与装配工序的关联。基于装配单元的网络图首先需要反映产品总装配过程工序之间的流转,其次还需要确定每一装配工序的装配对象(物料)。图 3 描述了大型装备产品总装过程的装配网络图与装配序列和装配 BOM 之间的关联关系,根据装配单元的划分,在装配 BOM 的基础上增加装配单元,将装配 BOM 中的组件、虚拟件等物料项目与对应的装配单元关联。转换后的产品装配 BOM 纵向在装配单元内部是针对某个或多个装配主件所形成的零部件明细集合,横向则通过装配单

元之间的装配关联关系构成网络图反映产品的总装配过程。基于装配单元的网络图一方面形成归属于不同组件的零部件在装配上的依赖性和约束性,从项目的角度为可能出现的设计变更、制造不确定性等相关零部件变更提供追溯;另一方面加强了对装配工序所需零部件成套性的管理。在产品完成之前采用装配单元创建产品的总装配网络计划,能够将总装提前期在装配单元之间进行初分配,指导产品设计和生产准备;一旦产品设计完成,通过在装配单元内部的装配序列扩展,形成面向装配作业的二级网络图,装配作业计划中各装配工序所需的零部件成套供应时间仍然服从装配单元的计划时间约束,从而降低了总装配计划的波动性。

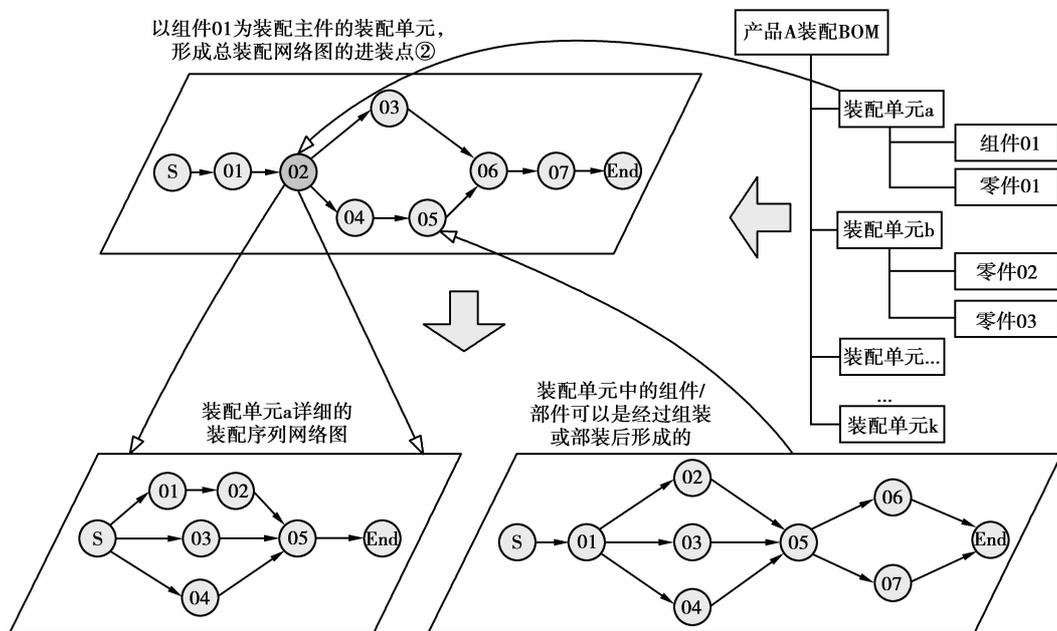


图 3 基于装配单元的装配网络图

采用关键路径法编制基于装配单元的网络计划需要结合机械生产的特点将项目任务计划与物料计划进行整合,基于装配单元的网络计划处理逻辑如图 4 所示。项目制造模式下的网络计划作了以下改进:1)采用倒排计划为主、顺排计划为辅的计划方式,以保证交货期为目标;2)以装配单元作为网络计划的节点,参照经验数据估计装配单元任务项的工期,并为二级装配序列计划的设置一定时间缓冲。3)针对装配网络计划进行面向总装配过程的粗能力需求分析。

装配单元是装配序列的集合,这些装配序列所需要的各种资源就构成了装配单元的资源集合。面向装配单元的资源配置需要按照装配单元的计划时

间安排保证所需资源的能力齐套,要实现面向产品项目的装配过程资源的一体化管理。

### 3 复杂装配过程的资源建模

资源是支持企业活动的实现过程的实体(人或设备)<sup>[17]</sup>。机械制造过程的资源约束主要包括两个方面:一方面是从机械制造特征的工艺设计出发形成的制造约束,以实现产品设计的可制造性(manufacturability)<sup>[12-14]</sup>;另一方面是在机械制造过程中从制造资源的生产能力出发形成的能力负荷约束。零部件的机械加工工序涉及的物料和设备相对比较单一,加工过程中主要表现为所需设备/人员等资源的可用能力是否满足工序作业的计划时间安

排,这种冲突可按照目标通过一定的调度算法进行优化。复杂产品的装配过程对制造资源的管理不同于零件机械加工过程的资源管理。

### 3.1 复杂装配过程的资源描述

普通产品装配生产线强调装配过程的专业化、简单化和标准化,生产过程中通过节拍保证能力与负荷相对均衡。复杂产品由于体积庞大,通常采用地坑等进行固定装配,装配工序较复杂,涉及的物料、设备、工装夹具等种类繁多;对装配人员的技能要求较高。因此复杂装配过程的资源描述要解决的主要问题是:1)从装配资源的可用性出发,描述资源状态与负荷;2)建立资源与项目的关联,为资源的分配提供依据,同时又能以项目为对象评价其资源配置的齐套性,避免项目执行过程中由于瓶颈资源短缺造成的工期延误。

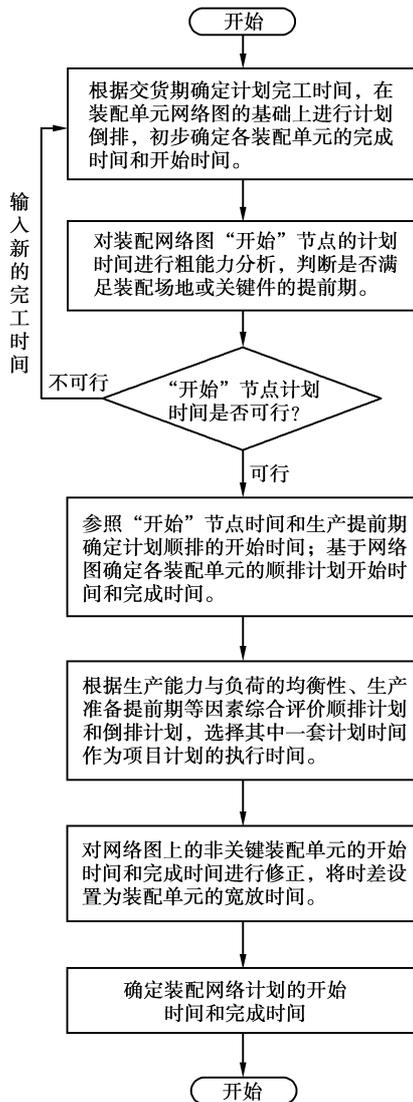


图 4 装配单元网络计划处理逻辑

复杂产品装配过程的制造资源可以表示为一个四元组:  $Res = [ResID, BasicInfo, ResPara, ResCapa]$ ,其中,  $ResID$  为资源标识,用于唯一标识一个制造资源;  $BasicInfo$  为资源基本属性,记录资源名称、类型、生产厂家等基本信息;  $ResPara$  表示资源的技术参数,反映资源的工艺属性;  $ReaCapa$  为资源的能力状态属性,反映该资源的负荷情况、可用资源数量等信息。

制造资源的能力状态信息是装配过程资源管理的重点,  $ReaCapa$  描述了装配过程资源的生产能力状态及资源分配(负荷)状态。某项资源的  $ReaCapa = [ResTotal, Capa]$ ,  $ResTotal$  为资源总量,  $Capa$  为该项资源的可用数量。根据项目任务所需资源的标识  $ResID$ ,在制造资源库中逐一进行识别和资源可用性的分析评价。

### 3.2 基于项目的资源-任务矩阵

装配单元对应任务  $task_i$  的计划安排为  $task_i = (T_i^S, T_i^F)$ ,其中,  $T_i^S$  为任务开始时间,  $T_i^F$  为任务完成时间。任务  $task_i$  执行需要配备的资源需求为  $ResRequest_i = [ResID_j, Request_{ij}, ResA_{ij}]$ ,  $ResID_j$  为任务  $task_i$  所需第  $j$  种资源的资源标识,  $Request_{ij}$  为对  $ResID_j$  的需求数量,  $ResA_{ij}$  为对该资源分配的数量。项目制造下复杂产品装配过程通过装配单元构成网络图,根据装配工艺以装配单元为对象关联制造资源,任务的时间属性结合资源需求与对于资源的状态产生关联,如图 5 所示。根据任务时间和需求数量向资源提出分配请求;资源经过分配后,资源的可用数量相应减少,同时得到对应任务资源需求的实际满足数量 ( $ResA_{ik}$ )。

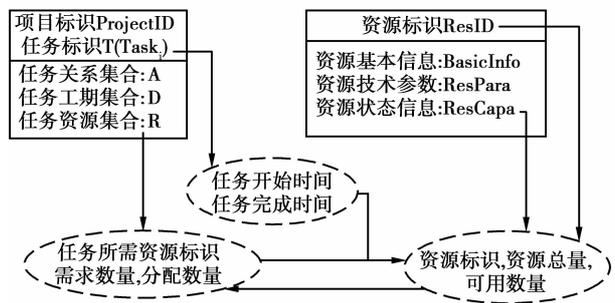


图 5 资源-任务关联示意图

制造资源的状态是随时间变化的动态信息,根据资源与任务的关联关系,建立资源-任务矩阵(图 6)。在资源-任务矩阵中,  $ResA_{ij}$  为不小于零的整数,若  $ResA_{ij} = 0$  表示任务  $task_i$  对资源  $ResID_j$  没有需求

或是还没有获得相应的资源分配;若  $ResA_{ij} \geq 1$ , 表示该任务占用资源  $ResID_j$  的数量为  $ResA_{ij}$ 。资源-任务矩阵建立了任务与所需制造资源的关联纽带, 由此可以分析资源负荷在时间上的分布。横向反映了某一任务所需资源的满足程度;纵向反映了与某项资源关联的所有任务集合。通过关联任务相应的时间参数  $T_i^S$  和  $T_i^F$ , 可以将对应资源占用确定在某个时间区间上, 对比该任务的  $Request_{ij}$  和  $ResA_{ij}$  两个参数, 确定资源的满足程度, 保证装配资源的整体配套。

task <sub>i</sub>	ResID <sub>j</sub>					
	ResID <sub>1</sub>	ResID <sub>2</sub>	...	ResID <sub>j</sub>	...	ResID <sub>m</sub>
task <sub>1</sub>	ResA <sub>11</sub>	ResA <sub>12</sub>	...	ResA <sub>1j</sub>	...	ResA <sub>1m</sub>
task <sub>2</sub>	ResA <sub>21</sub>	ResA <sub>22</sub>	...	ResA <sub>2j</sub>	...	ResA <sub>2m</sub>
...	...	...	...	...	...	...
task <sub>i</sub>	ResA <sub>i1</sub>	ResA <sub>i2</sub>	...	ResA <sub>ij</sub>	...	ResA <sub>im</sub>
...	...	...	...	...	...	...
task <sub>n</sub>	ResA <sub>n1</sub>	ResA <sub>n2</sub>	...	ResA <sub>nj</sub>	...	ResA <sub>nm</sub>

图 6 基于项目制造的资源-任务矩阵

### 3.3 重庆海装风电公司项目制造管理系统

重庆海装风电公司是大型风电装备制造企业, 属于 ETO 型单件小批生产。风力发电机组由于风场地理、气候环境各不相同, 每台风机需要根据客户招标书所提供的风场指标进行结构、工艺改型设计, 生产过程包括多个阶段, 适合采用项目制造方法对其生产组织管理模式进行优化, 为从产品设计到最终装配多个阶段的计划衔接奠定基础, 保证项目交货期, 实现大型复杂产品装配生产计划的统筹性。以该企业 2 000 kW 风力发电机组的装配生产为例, 项目订单 049 号 2 000 kW 风力发电机组的最终装配过程由 10 个装配单元构成如表 1 所示, 基于装配单元形成的网络计划为产品开发过程的进度控制提供时间节点参照。一个装配单元中可能包含一个或多个组件及其子装配件, 装配单元之间通过装配约束关系确定装配的先后顺序。

根据表 1 中装配单元明细和紧前紧后关系, 按照图 4 网络计划处理逻辑得到该产品网络计划如图 7 所示, 基于装配单元的装配网络图简化了对复杂装配过程的描述, 为装配主计划的编制奠定基础。

表 1 2 000 kW 风电机组装配单元明细

标识号	装配单元名称	紧前装配单元	紧后装配单元	工期/天
Task <sub>1</sub>	机架清丝	—	Task <sub>2</sub> 、Task <sub>3</sub>	1
Task <sub>2</sub>	偏航系统安装	Task <sub>1</sub>	Task <sub>4</sub>	3
Task <sub>3</sub>	主轴与主轴箱装配	Task <sub>1</sub>	Task <sub>5</sub>	2
Task <sub>4</sub>	机架安装	Task <sub>2</sub>	Task <sub>5</sub> 、Task <sub>6</sub>	2
Task <sub>5</sub>	传动链安装	Task <sub>3</sub> 、Task <sub>4</sub>	Task <sub>7</sub> 、Task <sub>8</sub>	3
Task <sub>6</sub>	放线、接线	Task <sub>4</sub>	Task <sub>9</sub>	3
Task <sub>7</sub>	发电机安装	Task <sub>5</sub>	Task <sub>9</sub>	3
Task <sub>8</sub>	液压系统安装	Task <sub>5</sub>	Task <sub>9</sub>	2
Task <sub>9</sub>	控制柜、变频器安装	Task <sub>6</sub> 、Task <sub>7</sub> 、Task <sub>8</sub>	Task <sub>10</sub>	2
Task <sub>10</sub>	机舱罩安装	Task <sub>9</sub>	—	3

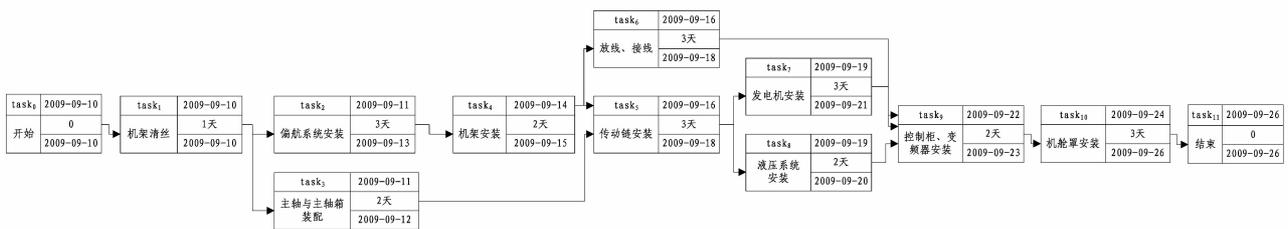


图 7 基于装配单元的 2 000 kW 风机产品装配网络计划

面向装配单元的最终装配计划确定后,就可以进行根据任务时间针对进行资源分配,得到各装配单元任务的资源-任务矩阵。 $\text{task}_2$  的计划安排为时间  $\text{task}_2 = (T_2^S, T_2^F)$ , 其中,  $T_2^S = (2009-09-11)$ ,  $T_2^F = (2009-09-13)$ 。资源需求描述  $\text{ResRequest}_2 = [\text{ResID}_{2j}, \text{Request}_{2j}, \text{ResA}_{2j}]$  中要求的资源为钳工 3 名, 液压扳手 1 个。根据计划时间分配资源的结果构成该项目产品的资源任务矩阵如图 8 所示, 结果显示该任务时间段只分配了 2 名钳工, 由于该任务对钳工的需求  $\text{Request}_{21}$  为 3 名, 故还缺 1 名。由此对该任务执行前所有资源的配置进行全面分析, 判断该装配单元在紧前装配单元完成后在资源配置方面是否具备开工的条件, 避免任务在执行过程中才发现资源短缺, 影响后续工作的开展。

	ResID <sub>1</sub> (钳工)	ResID <sub>2</sub> (电工)	…	ResID <sub>j</sub> (液压扳手)	…	ResID <sub>m</sub> (运输支架)
task <sub>1</sub>	2	0	…	1	…	0
task <sub>2</sub>	2	1	…	2	…	0
task <sub>3</sub>	3	1	…	0	…	1
…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…
task <sub>10</sub>	5	0	…	0	…	1

图 8 2 000 kW 风力发电机组装配的资源-任务矩阵

根据以上分析, 在面向装配单元的网络计划的基础上, 资源-任务的主要作用是:

1) 从项目产品出发, 面向装配单元构成资源需求和配置。

2) 将资源需求与实际分配数量进行对比, 有利于整体把握任务开工所需资源配置的齐套程度。

3) 实现资源已分配数量的动态追溯, 并根据任务时间安排预测资源可用数量的变化。

## 4 结 论

项目制造模式在 ETO 制造企业的应用需要在传统生产计划与控制模式的基础上整合项目管理方法。笔者针对大型复杂产品装配生产过程中的项目产品层和零部件层, 利用网络计划方法扩展 MRPII 系统, 建立二级项目制造计划管理模式, 对项目产品采用一系列具有装配约束关系的装配单元构建产品装配网络图, 并在此基础上形成项目装配网络计划。复杂产品装配过程涉及资源种类多, 占用时间将长, 对制造资源的计划和管理关键是要保证齐套。通过建立项目的资源-任务矩阵, 围绕项目资源配置的

整体齐套性来分析资源的能力和分配状态, 较好地实现计划与资源的匹配。

## 参考文献:

- [1] SAMARANYAKE P, TONCICH D. Integration of production planning, project management and logistics systems for supply chain management[J]. International Journal of Production Research, 2007, 45, (22): 5417-5447.
- [2] ANTT I, TENHIAL A. Research agenda: solutions for project-based manufacturing[C]// Boston: 17th Annual Conference of Production and Operations Management Society (POMS), 2006.
- [3] 彭祖成, 陈一君, 李晖. 基于 ERP 单件小批环境下的生产计划研究[J]. 中国管理信息化, 2009, 12(11): 98-101.  
PENG ZU-CHENG, CHEN YI-JUN, LI HUI. Research on the production planning under the single-piece & small-batch environment based on ERP [J]. China Management Informationization, 2009, 12(11): 98-101.
- [4] 王笃侠, 冷晟, 周燕飞. 单件小批生产模式下的 MRP 算法改进[J]. 现代制造工程, 2009(2): 85-88.  
WANG DU-XIA, LENG SHENG, ZHOU YAN-FEI. Improved method for material requirement planning in little batch manufacturing mode [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009, (2): 85-88.
- [5] 王时龙, 韦云东, 蔡斌, 等. 基于 JIT 思想的关重件工序计划生成算法研究[J]. 中国制造业信息化, 2009, 38(3): 74-77.  
WANG SHI-LONG, WEI YUN-DONG, CAI BIN, et al. Research on JIT-based procedure plans generation algorithm for the key parts [J]. Manufacture Information Engineering of China, 2009, 38(3): 74-77.
- [6] 唐立新, 常加忠, 王梦光, 等. 基于准时制的主生产计划方法[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(6): 70-73.  
TANG LI-XIN, CHANG JIA-ZHONG, WANG MENG-GUANG, et al. Master production scheduling method JIT-based [J]. Systems Engineering and Electronics, 1999, 21(6): 70-73.
- [7] JIN G, THOMSON V. A new framework for MRP systems to be effective in engineered-to-order environments [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2003, 19(6): 533-541.
- [8] 吴炎太. 项目制造成本管理研究[D]. 南京: 南京理工大学博士论文, 2003.