

大型工程装备可拓制造模型研究

Research on Extended Manufacturing Model of Large Engineering Equipment

解放军汽车管理学院装备技术系 李成学 吴文明 丁磊

[摘要] 在大型工程装备快速变批量生产需求环境下,基于可拓协同制造资源概念,提出了装备可拓制造“超网络”链制造模式,研究了可拓制造能力单元的RKCQ流模型,构建了可拓制造“超网络”链的参考模型与组建过程模型,并指出使能技术框架体系,可拓制造“超网络”链模式提出的目的在于为大型工程装备制造系统应对不确定性的需求提供制造能力储备。

关键词: 可拓制造 大批量定制 企业资源 “超网络”链

[ABSTRACT] Under the environment of rapid scalable batch production demand, the pattern of extended manufacturing “super-network” chain of large engineering equipment is put forward based on the concept of extended collaborative manufacturing resource. “RKCQ” flow model of extended manufacturing capability cell is given. The reference model system of extended manufacturing “super-network” chain is also constructed, as well as the constructing process model and the enable technology framework, whose purpose is to provide manufacturing capability reserve for large engineering equipment manufacturing system dealing with the uncertain demand.

Keywords: Extended manufacturing Mass customization Enterprise resource “Super-network” chain

可拓学的研究对象是客观世界中的矛盾问题,要解决这些问题,须对事物拓展的可能性——可拓性进行研究。从可拓学的观点来看,任何事物都具有可拓性,企业资源也不例外,因此,可以用形式化的方法找到解决企业资源矛盾问题的多种可能途径。依据可拓性,进行适当的可拓变换,可以得到解决问题的多种方案。

大型工程装备具有结构、原理和物理过程复杂,涉及学科领域多,协同人员和协作单位多,设计、制造过程复杂,开发周期长,项目管理复杂,经济成本和生态环境成本高等特点,其研制生产是多学科交叉、多约束、强耦合条件下的多目标优化问题^[1]。对于大型工程装备的制

造能力储备而言,急需时的可拓协同快速制造能力成为影响工程进展全局的决定因素,尤其是在多重约束(时间S、成本C、资源R)条件下,大型工程装备制造系统如何在紧急情况下实现制造资源的快速挖掘与整合、产品的快速生产与快速响应、制造系统的快速重组,以便能在短时间生产出符合工程需要的装备,是大型工程装备制造领域研究的前沿问题^[2]。

杨海成教授提出了面向大型工程装备快速变批量生产的快速扩散制造(Rapid Extended Manufacturing, REM)理论,但该理论没有充分考虑到制造的成本性,也没有给出其结构模型。本课题借鉴以上理论,从可拓协同制造资源概念出发,提出了大型工程装备可拓制造“超网络”链结构模型,给出了可拓制造能力单元的RKCQ模型,并就可拓制造“超网络”链的组建问题给出了过程模型与使能技术框架^[3-5]。

1 大型工程装备可拓制造“超网络”链结构模型

1.1 可拓协同制造资源观

(1) 可拓资源。

可拓资源是指将原本不属于系统内部的不可控资源或者系统内部暂时没有利用的显性资源通过适当变换,转换为可以为本系统使用的资源集合^[6]。在超竞争环境下,突破企业边界以寻求可利用的外部资源成为竞争的关键。可拓资源包括内部可拓资源和外部可拓资源,如图1所示。企业内部的实资源是企业的可控资源,大量的虚资源是不可控的,如员工的智力资源、技术资

	实资源	虚资源
内部	可控可拓资源	不可控可拓资源
外部	可拓非协同资源	可拓协同资源

图1 可拓协同资源矩阵

Fig.1 Extended collaborative resource matrix

源和关系资源等。企业内部可拓资源主要是对虚资源和软资源中潜资源的开拓,通过适当的变换,使潜资源显化,成为企业的可用资源。外部可拓资源是企业必须关注的资源。本课题所讲的可拓资源主要是指外部可拓资源,既有实资源,也有虚资源。

(2) 可拓协同资源。

由于企业外部可拓资源在企业间扩散、流动、移植从而共享而导致资源供给方和资源需求方协同增长的那部分制造资源,称为可拓协同资源^[7]。资源的流动不会或较少地影响资源所有者的占有量;相反,资源在交互和转移中可以有限地扩充,使得交互双方对该类资源的占有还可能因为交互而增加,例如知识的流动等。对于可拓协同资源而言,一方面要注意资源流动的成本性,一般而言,流动成本越高,资源的流动性就会越低;另一方面要注意资源流动的时间性,时间越短,其协同效应越好。将可拓协同资源概念引入大型工程装备制造领域,能够有效地促进企业之间资源的互动和边界特征,有利于实现资源的高效流动与集成,从而更好地处理资源的发展关系。

1.2 可拓制造能力单元

制造单元是敏捷制造环境下具有自治能力,并具有一定柔性、敏捷性和可重构性的逻辑或物理制造系统,泛指企业内的各个制造车间、动态联盟内的各个制造企业等。大型工程装备可拓制造能力单元是指在多重资源约束下针对不同的情况具有动态性、快速扩散性、快速复制性与快速重构性、系统协同性,并可完成某一可拓产品(例如工程装备可以划分为由若干个模块、子模块、组件、附件和零件构成的部分)加工制造任务的高能力制造系统。其最典型的特征就是制造单元的制造能力在其辐射范围内的快速扩散性。

1.3 可拓制造“超网络”链结构

工程装备可拓制造“超网络”链是指“面向工程装备应急快速变批量生产的超强需求,以某大型工程装备核心敏捷制造单元为轴心,通过其制造能力的快速扩散与流动,借助各种信息技术工具,在其可拓扩散域中与多个子制造单元模块建立协同合作关系^[8];子制造单元模块通过其制造能力的快速扩散与流动,与多个孙子制造资源模块建立协同关系,这样层层扩散、层层辐射,从而形成了以核心敏捷制造单元为核心,具有松散耦合关系的在短时间内完成某一产品加工生产的动态协同网络复杂系统,如图2所示。可拓制造“超网络”链具有以下特征:

(1) 快速扩散与快速复制性。

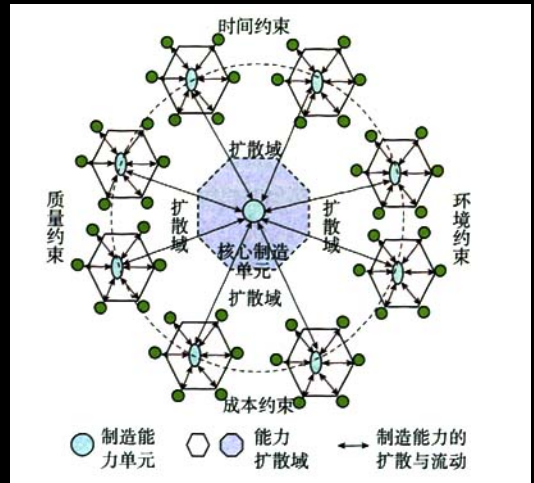


图2 大型工程装备可拓制造“超网络”链结构模型
Fig.2 Extended manufacturing “super-network” chain structure model of large engineering equipment

在非应急时期,制造单元隶属于各自所在的组织,参与原组织的日常生产经营活动,以企业利润最大化为目标;在应急预警期,就要暂时脱离原组织,并快速纳入“超网络”链制造体系,并组建自己的可拓制造网络体系,以快速可拓、快速生产,满足工程需要为首要目标。制造单元间基于验证和优化了的工艺规程与资源配比,固化与标准化了的管理模式和支撑工具,这样被无限地快速复制下去,必然会迅速聚合成强大的制造能力。

(2) 松散耦合性。

可拓制造“超网络”链的基本构成单位是一个个的敏捷可拓制造能力单元。这些能力单元由紧密耦合的关联解耦成为松散关联的临时协同网络中的一个节点,因此是一种高度动态组织,它们具有高度的柔性、可转换性、可重构性和应变能力,能快速地适应业务流程的变化,通过不同层次的结合与分解,进行模块的动态“移植”、“渐变”和“重构”,完成组织的快速自适应“演变”以适应不确定性需求^[9]。当核心制造单元接到订单后,能通过其内模块的释放与吸收,以及单元内各个动态关联单位或其相关网的快速移植、渐变和重构等传导变换,快速地做出反应来完成相应的自适应改变,从而达到迅速地“吸收”和“消化”有利或不利因素的目的。

(3) 超网络复杂性与高能力积聚性。

可拓制造“超网络”链不仅仅是指它巨大的规模,更重要的是它的技术、组织、功能、跨文化等关系价值的

复杂性。每一个节点都是具备完成某项制造服务的具有一定可拓制造能力的敏捷制造单元,即每个实体能够在短时间内具有快速拓展其制造能力的的能力,从而形成了一个错综复杂、交互密集的网络。该网络中核心制造单元与子制造单元以及孙子制造单元之间的关系有可能是纵向分工也可能是横向协作关系。当需求订单任务下达后,各制造节点能够在其可拓域中对所需制造资源进行快速的搜寻、挖掘、重组、分配、整合与决策,快速形成复杂关系网络。

(4)资源冲突消解。

可拓制造“超网络”链是一种基于有限生产能力和制造资源的社会化联合制造模式。其制造能力的拓展超越了单一企业制造领域,进一步延伸到国民经济领域,即每一个具有能力的组织都有可能加入到应急可拓制造“超网络”链中。资源冲突产生的根源是不同产品需求的相对独立和相互依赖的关系以及制造资源的有限性。针对不同的产品需求,可能会涉及到对同一资源的需求,而资源在一定时空条件下是有限的。因此必须通过一定的合作和协调才能完成所有生产任务的加工。

2 可拓制造“超网络”链模型体系

2.1 可拓制造能力单元的 RKCQ 流模型

可拓制造能力单元的快速组建、整合、重构与解散,以及制造能力的快速扩散、快速重塑与快速转换,决定了可拓制造能力单元的扩散过程存在 4 种流^[10-11](图 3 所示),即资源流(Resource flow, R)、知识流(Knowledge flow,K)、能力流(Capability flow, C)以及质量流(Quality flow, Q)。这 4 种流的共同作用使大型工程装备制造系统能够在短时间内涌现出制造能力的快速扩张性。

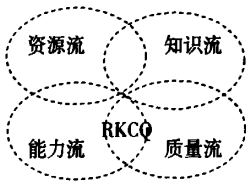


图 3 可拓制造能力单元的 RKCQ 流模型
Fig.3 RKCQ model of extended manufacturing capability cell

(1)资源流。

“流(flow)”的学术思想最初是用来揭示生态系统各组分间相互作用的方向、强度和速率的。成升魁^[12]认为资源流是指在人类活动的作用下,资源在产业、消费链条或不同区域之间所产生的运动、转移和转化。它既

包括资源在不同地理空间资源势的作用下发生的空间位移(所谓横向流动),也包括资源在原态、加工、消费、废弃这一链环运动过程中形态、功能、价值的转化过程(所谓纵向流动)。在可拓制造能力单元的组建与扩散中,存在着多种资源流(包括管理流、经营哲学流、物流、人流、信息流)的交互作用。

(2)知识流。

知识流通过知识载体的互动行为促成知识的流动,使知识处于不断增值的良性循环状态,包含知识的传播、共享、学习和集成等几个依次循环的过程。知识流在本质上蕴涵着不同创新个体及群体之间的社会互动。信息、知识等协同性资源在网络中交互的范围、频率、时效等将直接影响网络的协同性。

(3)能力流。

能力是由知识支撑和组成的,知识是能力组成要素的最小元素,能力是知识的外在表现形式。在可拓制造“超网络”链中,主要就是基于每一个核心制造单元的制造能力的快速传播与扩散,从而形成了一个基于某一共同目标的能力复合体。

(4)质量流。

“超网络”链制造模式打破了传统基于订单约束和验收约束的黑箱封闭质量关系,综合运用技术管理等多种手段,从观念方法过程体系等方面营造基于开放合作协同模式的新型企业质量关系,以整体的系统集成的观点看待并组织产品全寿命周期与全过程的管理,在可拓制造能力单元网络之间建立一条敏捷、畅通、受控、优化的广域质量链路^[11]。

2.2 可拓制造“超网络”链参考模型

可拓制造“超网络”是一个复杂的系统,需要从多个方面多个角度来描述各个方面之间的内在联系。本文基于多视图理论,从功能、信息、资源、组织与过程五维空间来描述和分析(见图 4)。

(1)组织模型。

纳入可拓制造“超网络”的组织单位是一个动态联盟组织。由紧密耦合的关联解耦成为松散关联的临时项目组织。可拓制造单元的多级组织模型是一个多级联邦结构。每一层组成一级联邦结构,下级联邦构成上级联邦的嵌套结构。在生产任务下达之前,各自处于分布自治的松耦合状态,当任务下达后,各自能够根据自己的状态、偏好,通过黑板或广播机向其他成员发布自己的意愿,按照一定的协调原则,围绕任务结成虚拟联邦,共同完成系统任务,当任务完成之后,虚拟联邦则及时退出,以释放资源。

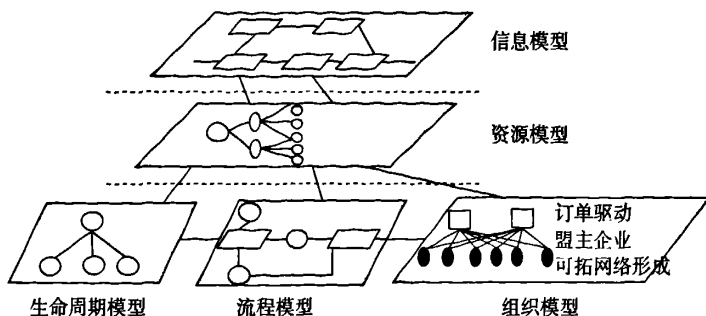


图4 大型工程装备可拓制造“超网络”链参考模型

Fig.4 Reference model of large engineering equipment extended manufacturing “super-network” chain

(2)资源模型。

资源模型主要包括以下内容：

- 概括信息。主要描述制造资源的大概情况，反映其能力和信誉度，如财务状况、人员构成、管理水平、质量体系、核心专长等。
- 产品信息。它是制造单元制造能力的直接体现，同时反映其历史状况。
- 设备信息。它是制造能力的基础，反映潜在生产能力。

· 工艺能力信息。成熟的制造工艺是与技术、设备、管理紧密联系的，将它们有机地结合起来是制造能力的综合体现。

(3)生命周期模型。

可拓制造“超网络”链具有生命周期性。主要包括以下几个阶段：

· 产品预案阶段。制造单元完成某种产品特定加工任务的工艺标准化、管理标准化、资源配置标准化、系统功能标准化的准备工作。

· 重配调试阶段。完成软件硬件人员的调配，实现系统功能等标准化指标，与可拓制造体系进行对接，实现信息控制物流的贯通，在可拓制造单元中试制产品，达到时间成本质量要求，重配调试阶段结束。

· 批量生产阶段。在可拓制造“超网络”中充当某个制造节点，接收分配的任务，生产大型工程装备的模块、部件或零件。

(4)信息模型。

一般来说，制造单元的信息建模要突出制造资源信息、制造能力信息、工艺能力信息和富余能力信息。在可拓制造“超网络”链中，核心可拓制造单元并不关心其他联盟制造单元的工艺能力，但是对制造单元的地理位置、所属企业性质等有一定要求，因此可以采用基本属性信息，制造能力信息，物理构成信息和实时状态信息来建立信息模型视图。

(5)流程模型。

可拓制造“超网络”链的流程共分为4个阶段：

- 资源组建期。核心单元接到订单后，发布招标信息，寻找合适的资源，然后通过合同网谈判，确定加盟单元。
- 网络形成期。盟主单元与同盟员单元协商后建立组织结构，运作规则以及技术标准。然后进入运作期。

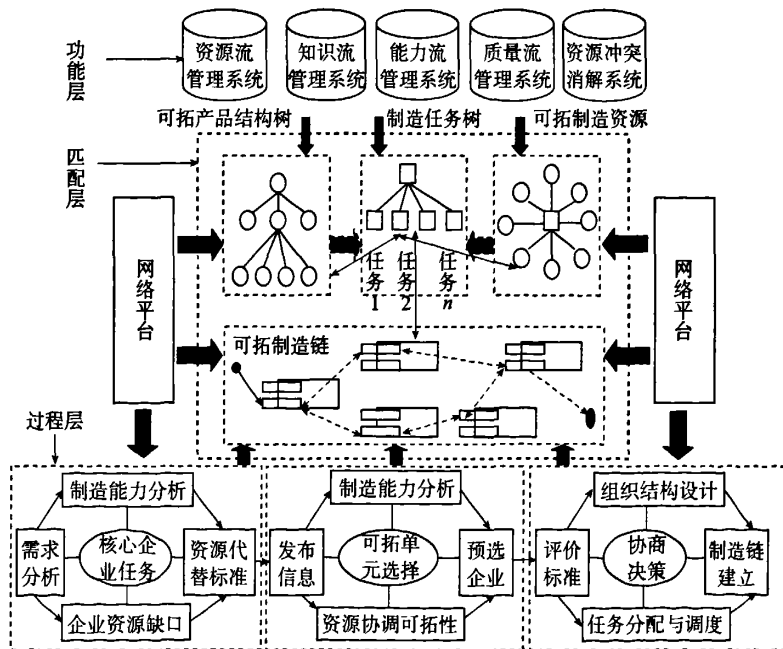


图5 大型工程装备可拓制造“超网络”链组建过程模型

Fig.5 Constructing process model of large engineering equipment extended manufacturing “super-network” chain

·任务执行期。盟主单元负责任务管理及任务分配、项目管理、宏观成本控制与核算,通过同盟员单元的协商,实现系统总目标。

·解体。任务完成后,盟主制造单元释放各单元之间的活动联系,解除之间的经济联系,网络解体。

3 大型工程装备可拓制造“超网络”链的组建过程模型

可拓制造“超网络”链的组建过程可以采用基于资源观的三段式序贯决策过程来描述。主要包括核心制造单元资源的描述与缺口分析、可拓制造企业资源分析和可拓企业选择等(见图5)。本模型主要由3部分构成,自上而下依次是功能层、匹配层和过程层。

3.1 功能层

功能层主要承担完成超网络链组建过程中的协调控制功能。包括资源流管理系统、知识流管理系统、能力流管理系统、质量流管理系统与资源冲突消解系统等。

3.2 匹配层

可拓制造“超网络”链是建立在可拓制造能力单元的基础上,根据制造任务之间的逻辑关系,相互紧密连接而成为制造链。为了满足大型工程装备快速变批量生产的需要,在可拓产品模块化分解的基础上,根据产品模块之间的装配和顺序等逻辑关系,形成包含顺序、分合等逻辑关联的制造任务流,通过在可拓制造单元信息库中选择符合时间成本约束的可拓制造资源,与制造任务进行关联匹配,将逻辑上的工作流实体化为物理上分布的、可拓制造单元为主体的、资源流/知识流/能力流和关系流无缝对接的制造链条。从进化的角度看,可拓制造链的形成过程是从概念模型到逻辑模型再到实体结构的衍生和演化过程,也是从产品配置结构树到制造任务分解树再到制造资源树三者关联,然后实体化的过程。

3.3 过程层

(1)核心制造单元的资源缺口。

核心制造单元在接受任务订单后,首先要对其自身的资源进行分析,列出资源清单,分析其瓶颈资源、关键资源,寻找资源缺口,可以从资源的时间维(获取资源的速度)、空间维(资源空间分布状况)、成本维(资源价格)、质量维(资源自身的资质)等方面进行考察,寻找出需要替代的资源最优排序,并在全社会范

围内挖掘、搜寻具有协同可拓性资源的合作伙伴,即子制造单元。

(2)可拓制造子单元的选择。

可拓制造子单元完成某一大型工程装备(包括系统、整机、零部件等)某一个模块、子模块、组件或者附件和零件部分,实际上是相互关联的子任务和资源需求的子模块的集成过程。核心制造单元通过网络平台发布招标信息,对可拓制造子单元的资源与制造能力进行评价。可拓制造单元的数字化程度物流能力、产品的可拓分解程度与模块化分解的粒度、制造单元的柔性程度、工艺的标准化程度都是影响核心制造单元选择的依据。

(3)可拓制造“超网络”链的建立。

可拓制造“超网络”的组建过程实际上是核心制造单元与可拓制造子单元之间的资源整合、资源优化与集成的过程。应急大型工程装备需求更加定制化,产品生命周期更短,学习和生产曲线更加重要,需求更加难以预测,这就增加了将解耦点转化到生产链起始的难度,来自于需求及物料流动态性的变化,需要可拓企业具有快速可重构性和合作伙伴之间的快速重新谈判能力。

4 可拓制造“超网络”链实现的使能技术集成框架

可拓制造“超网络”结构的使能层是实现快速反应所有使能技术和方法的集合体。可拓制造“超网络”要实现的目标主要包括时间、质量、成本、服务与环境等,但实际上这些目标之间是相互制约互相影响的关系。不同的目标所采用的使能技术也不相同,如图6所示。

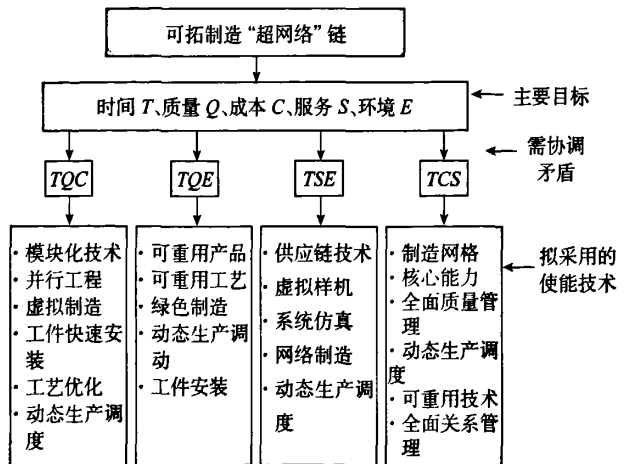


图6 主要采用的使能技术

Fig.6 Main enabling technologies

实现可拓制造“超网络”链所采取的使能技术中,有4项技术具有突出作用。

4.1 模块化技术

模块化通过对标准化的、基本的制造系统模块进行重构,快速得到面向定制产品的制造系统,是一种高生产率和柔性化的制造技术。可以有效地降低生产系统的复杂性、资本资产和组装成本,并加快创新步伐、提高产品质量。通过模块分解,复杂产品制造商将不同的子模块交给不同的模块供应商研发和制造,利用集成优势和快速创新的资源,适应日益复杂的技术需求;模块供应商则通过发展核心专长,进行模块研发和制造,找到充分发挥比较优势的市场空间;在模块集成的框架下,复杂产品制造商、模块供应商和使用者都获得了更大的灵活性。

4.2 制造网格技术

制造网格能够实现企业和社会资源共享和集成,支持企业群体协同运作和管理的集成支撑环境,它基于网格和相关的先进计算机与信息技术,通过网络将分散在不同企业和社会群体中的设计、制造、管理、信息、技术、智力和软件资源,通过封装和集成,屏蔽资源的异构性和地理分布性,以透明的方式为用户提供各类制造服务,使企业或者经营个体能够以请求服务的方式方便地获得所有与制造相关的服务,实现各类资源的集成和优化运行,并为构建面向企业协同制造特定需求的制造网格应用系统提供协同工作支持环境,从而实现企业间的商务协同、设计协同、制造协同和供应链协同,使基于制造网格支撑环境运行的制造企业群体能够以低的成本和短的开发周期,制造出符合市场需求的高质量产品。

4.3 快速协同关系构造技术

网络中成员的协调和集成是敏捷协同可拓制造的基础,取决于每一个成员相互之间能力的互补性和核心优势的集成能力,文化的一致性、经营理念的相容性,新技术情况,产品开发时间与成本、柔性等。

4.4 管理技术

主要包括项目管理技术,解决可拓制造的“超网络”链的风险预测、进度控制、共同管理等。供应链技术,解决可拓制造“超网络”链的运输管理、交易管理、库存管理和产品数据库管理技术等。

5 结束语

可拓制造“超网络”链是面向应急情况下大型工程装备快速变批量生产的先进制造模式,本文基于可拓协同制造资源概念,提出了面向应急情况下大型工程装备

快速变批量生产需求的可拓制造“超网络”链制造模式。在超网络链环境下,研究了其基本构成要素,即可拓制造单元的RKCQ流模型,并构建了可拓制造“超网络”链的模型体系,研究了可拓制造“超网络”链的组建过程模型,并给出了其组建的使能技术框架体系。下一步的研究方向主要是可拓制造“超网络”链的预案研究。

参 考 文 献

- [1] 马辉,谭建荣,张树有.一种面向大批量定制的产品可拓设计方法.中国机械工程,2005(18):1344.
- [2] 李扬,杨春燕,李立希.企业资源矛盾问题分析与求解系统设计及实现.哈尔滨工业大学学报,2006(7):90-96.
- [3] Kerstin Johansen, Mica Comstock, Mats Win Roth. Coordination in collaborative manufacturing mega-networks: A case study. *Manage. J. Eng. Technology*, 2005(22): 226-244.
- [4] 吉锋,何卫平,王东成,网络制造环境下面向复杂零件的协同制造链研究.计算机集成制造系统,2006(1):72-73.
- [5] 杨春燕,吴福芝.可拓集合在资源开拓研究中的应用.华南理工大学学报(自然科学版),2001(11):102-103.
- [6] 傅荣.协同性资源交互的神经网络模型与仿真.系统工程理论与实践,2003(7):24-28.
- [7] Florent Frederix. An extended enterprise planning methodology for the discrete manufacturing industry. *European Journal of Operational Research*, 2001(129):317-325.
- [8] Xue H, Kumar V, Sutherland J W. Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input-output models. *Journal of Cleaner Production*, 2007(15):1349-1358.
- [9] Tony Kinder. Go with the flow—a conceptual framework for supply relations in the era of the extended enterprise. *Research Policy*. 2003(32):503-523.
- [10] 沈镛,刘晓洁.资源流研究的理论与方法探析.资源科学,2006(3):9-10.
- [11] 范玉顺.制造网格的概念与系统体系结构.航空制造技术,2005(10):43.

(责编 凌蓝)

(上接第81页)

面内部为了保持平衡而存在的应力。一般情况下,当螺栓进行滚压时,会使表面层产生伸长的塑性变形,表面积趋于增大,加工结束后,表层在里层弹性恢复的作用下产生残余压应力,里层产生与其平衡的残余拉应力。螺栓表层产生的残余压应力抵消了一部分作用在螺栓上的疲劳载荷,特别对于前期疲劳裂纹的萌生来说,残余应力起到了一定的抵制作用,这些都直接提高了螺栓的抗疲劳性能。

试验表明,通过计算滚压过程中的残余应力而改进螺栓的滚压工艺以提高螺栓的抗疲劳性能是可行的。

(责编 傅正)