

门径系统在多功能工程车设计制造过程中的应用

Stage-Gate System for Multifunctional Engineering Vehicle Design

北京理工大学机械与车辆学院 张颖慷

[摘要] 本文研究了运用门径系统进行机械设计与生产管理的问题,运用创新多功能工程车的实例说明了阶段-关卡方法在机械设计、生产管理与产品数据管理集成环境中的应用实施。由实例看出,笔者把复杂新型机械产品的研制与生产重心落在了“设计”上,这与日本著名质量管理学家田口玄一“产品质量首先是设计出来的,其次才是制造出来的”的观点不谋而合。

关键词: 门径系统 多功能工程车 阶段 关卡 交付物 准则

[ABSTRACT] The application of Stage-gate system in complex mechanical products' development is researched. The Stage-gate system mentioned includes break down structures of deliveries, working, organizations, working packages in hierarchical stages and tollgate standard risk management. In addition, the multifunctional engineering vehicle is taken as the example to explain the using of stage-tollgate method in mechanical design, manufacturing management and products' data collection. In the example, design is regarded as the important part of the development of a new complex mechanical product which reaches the point of Genichi Taguchi, a famous Japanese scholar in quality management, the quality firstly depends on design, then on manufacturing. To sum up, the study offers a method by which quality and efficiency of mechanical products can improve.

Keywords: Stage-gate system Multifunctional engineering vehicle Stage Tollgate Delivery Guideline

门径系统(Stage-Gate System, SGS)于1988年由罗伯特·G·库伯(Robert G. Cooper)博士提出,把新产品项目流程划分成一系列预先设定的阶段,每一个阶段由一组预先规定的、跨职能的活动组成,并且设置交付物,交付物的提交表明阶段的结束;在阶段结束后的关卡设置预先定义的准则,符合关卡准则是项目进入下一阶段继续执行的必要条件,从而使关卡起到质量控制和决策检查点的作用^[1]。门径系统方法已被广泛应用于欧美、日本的企业指导新产品开发过程管理;近年来,随着由

“中国制造”向“中国创造”的发展,门径系统在我国企业新产品开发中也开始有越来越多的应用^[2]。

复杂机械产品研制以型号产品的成功研制为目标,分阶段实现,是具有组织整体性、创造性、风险性和具体技术上的不确定性的一次性活动,其特点突出体现在:产品结构层次本身复杂、产品研制过程经历多个阶段、计划安排需要经过多级分配、产品研制过程中需要进行跨企业多学科的异地协同、研制活动存在风险等。针对复杂机械产品研制项目应用门径系统的阶段-关卡方法,通过层次化的交付物分解结构、多级工作分解结构、跨企业组织分解结构、工作包分解结构以及关卡准则风险控制等手段,实现对复杂机械产品研制项目的阶段性、层次化、多级协同管理,并关注其阶段性的风险控制,实现复杂机械产品研制项目的集成管理与监控,如图1所示。

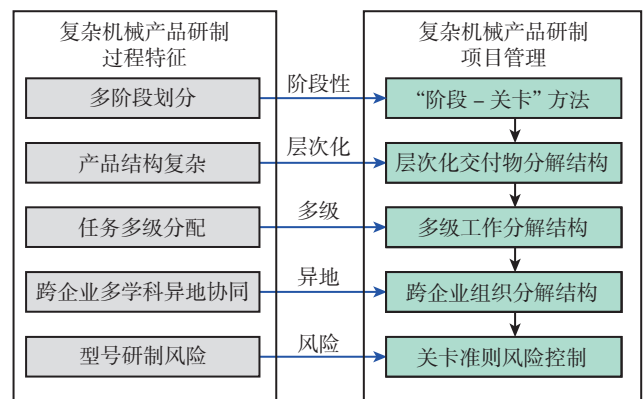


图1 复杂机械产品研制项目的门径系统方法
Fig.1 Stage-gate system in complex mechanical products' development

现代建筑工地一直存在挖掘机、铲车和装载机协同工作的现象。可是对于小型工地,同时使用3种工程车费时费力,并且由于场地限制,往往导致没有足够的空间允许3辆工程车同时使用。就现代工程来说,生产安全一直是工程的头等大事,可是很多的工程人员为了缩短工期使得装载机超载。这种违规操作往往会酿成大祸。而多功能工程车可以解决上述问题。多功能工程车是一种自动安全控制挖铲装一体工程车,如图2所示。

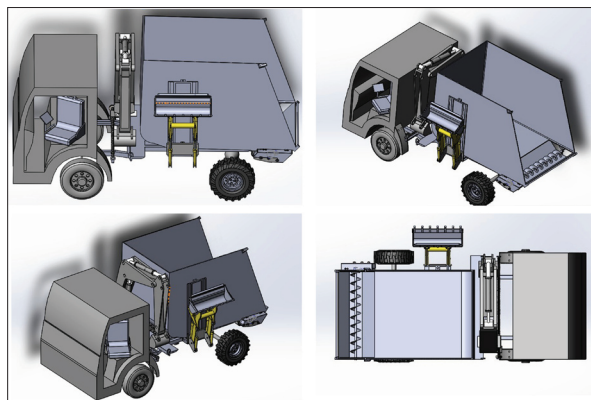


图2 多功能工程车草图

Fig.2 Diagram of multifunctional engineering vehicle

其主要设计以及创新点有：

(1) 挖铲装一体化。

车体将载物车车斗、挖掘机挖掘铲、铲车装卸铲进行一体化装配。并且按照工程中先挖、再铲、后装卸的工作顺序,再结合行车方向设计成侧向“前挖后铲”的工作铲装配顺序。从而有效地加大了工作效率并消除了小型工地的场地制约。

(2) 超载时自动蜗杆卸物。

为杜绝超载现象,本工程车在车斗的下后方安装一个自动卸货旋转蜗杆。一旦通过重量感应器发现超载现象,卸货蜗轮将自动启动进行卸货。此装置完全由自身实现自动控制,不能人为停止或改动,以此起到强制杜绝超载的作用。

(3) 旋转车门与旋转座椅。

可以起到方便操作以及保护驾驶员的作用。

(4) 车铲回收槽。

在行车时,将挖掘铲收进侧面,装卸铲收入车顶。提高了行车的安全系数。

为实现多、快、好、省的节约型社会,这样一体化的设计将成为未来的趋势。我们有理由相信这种自动安全控制挖铲装一体工程车将会在未来的小型工地上大有作为。

1 阶段性层次化交付物分解结构

在项目管理中,交付物可以定义为向项目成果的使用者和所有者交付的可衡量的、有形的、可证实的项目产出与结果。复杂机械产品研制过程的交付物具有以下特征:

(1) 阶段性。

复杂机械产品的研制过程一般包括项目论证、方案设计、工程研制与设计定型以及生产定型等不同阶段。随着阶段的深入,交付物会历经概念机、验证机、原型

机、批产成品等不同状态,是一个持续详尽的过程。在不同的阶段,从宏观上讲每个阶段完成一个“PDCA”的循环,并且每个循环都以A(处理、总结)为始终,大环套小环、小环保大环,通过戴明环的不断转动推动阶段的演化与前进。从微观上讲则为执行人员通过上一阶段的结论完成所分配的任务并输出不同的合格交付物以此推动下一阶段的进展,如立项报告、可行性报告、设计方案书、图纸、明细表等一系列文档以及试验结果、实际的产成品等。如图3所示(设计部分只以多功能工程车挖掘臂举例):多功能工程车车铲设计理念——设计方案书——各部分计算书(液压动力分析、机械臂受力分析、关键轴受力分析、车铲受力分析、螺栓受力分析等)——SolidWorks 三维造型——CAD 工程图——标准件与非标准件型号尺寸明细表——制造原型机——对原型机进行模拟工作试验——对试验数据进行分析——改进原型机(可就实际情况进行重复实验与改进)——小批量生产试运行——大批量生产。

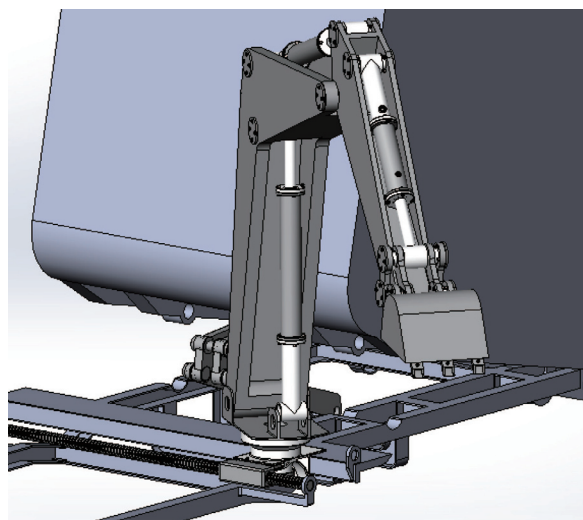


图3 多功能工程车挖掘臂

Fig.3 Digging arm of multifunctional engineering vehicle

(2) 层次化。

由于复杂机械产品本身的复杂性,与其产品结构相对应,一般采用产品-模块-部件-零件逐层分解的手段对于不同层次的交付物进行表达。各层交付物之间的关系为:上层描述下层交付物间的关联关系,下层对上层交付物的组成进行细化表达,应用结构化文档/零部件管理技术可以对这种层次化的交付物分解进行有效的管理。

(3) 齐套性。

交付物要在功能、数量与质量等方面满足项目合同中的具体要求,需要符合复杂机械产品研制项目的交付物齐套性规范。齐套性是在以往复杂机械产品型号研

制经验的基础上总结出的规范性要求,其中体现了产品全生命周期管理的思想,例如在早期的方案设计阶段就在质量、标准化、可靠性以及可维护性等方面提出具体要求,提供包括质量保证大纲、标准化综合要求、可靠性保证大纲以及维修性保证大纲等交付物。

执行人员提交的交付物经过评审确认后,表示该任务的完成。根据交付物的不同形式,如果是设计图纸或具体文档,需要有相关的审核流程,如校对、审核、工艺、标准化、批准等;如果是具体的产成品,则需要质量、入库等一系列的检验。

针对复杂机械产品研制项目交付物的以上特征,对其进行分解,形成的交付物分解结构应具有阶段性、层次化、齐套性的特性,每个阶段内按产品-模块-部件-零件逐层细化,符合相关的齐套性规范,并随着阶段的发展持续详尽,如图4所示。

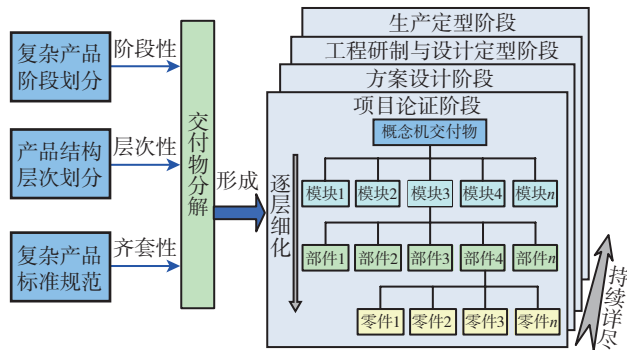


图4 复杂机械产品研制过程交付物分解结构
Fig.4 Breakdown structures of deliveries in developments of complex mechanical products

2 复杂机械产品研制项目多级工作分解结构

产品研制过程具有很明显的项目性,因此,项目管理中的工作分解结构(Work Breakdown Structure, WBS)适用于对产品开发过程进行分解与描述。项目工作分解结构WBS是把项目按照系统原理和要求分解成相互独立、相互影响、相互联系的项目单元,将它们作为项目的计划、实施、控制和信息传递等一系列项目管理对象,通过项目管理将所有的项目单元合并成一个工作整体,以达到综合的计划和控制要求。

与交付物分解结构相对应,复杂机械产品研制项目工作分解结构也具有阶段性层次化的特点,不同阶段的产品-模块-部件-零件多级交付物由相应的项目-

子项目-活动-任务完成并提交,通过阶段评审后,将产品研制过程推向下一阶段,如图5所示。

复杂机械产品研制项目工作分解结构是随着生命周期阶段的发展持续详尽的。以多功能工程车研制项目的WBS的建立过程为例,由于工程车结构相似,各参

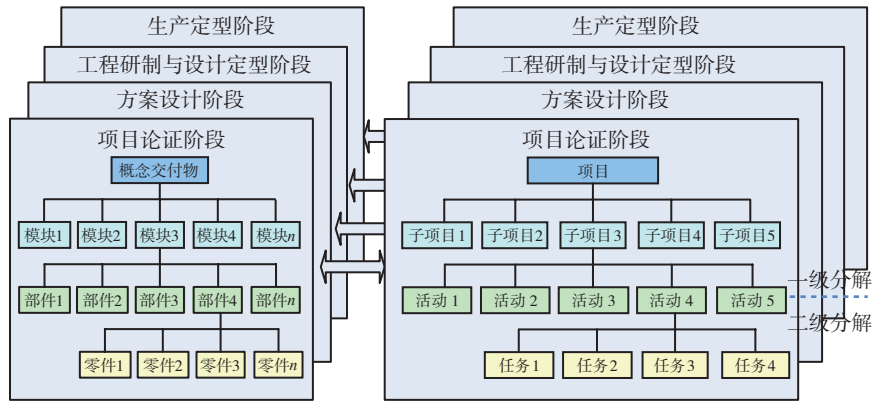


图5 复杂机械产品开发项目阶段性层次化工作分解结构模型
Fig.5 Model of breakdown structures of complex mechanical products' developments in different stages

研单位在研制周期内的分工相对固定,许多组织都形成了不同层次的工作分解结构模板,其WBS建立流程如图6所示。

在项目的论证阶段,总承制单位根据航空发动机研制总体要求,将需求细化,形成初步的项目纲要性WBS,并以此为依据,制定总体研制方案和论证报告,对纲要性WBS进行修订和审批,形成批准的项目纲要WBS。总承制单位根据相对固定的行业分工模式确定参研单位,并于参研单位一起制定研制任务书以及阶段研制合同。各参研单位根据研制任务书,从项目纲要WBS中衍生出初步的合同WBS,经过与总承制单位的谈判、修订形成正式合同WBS。由企业内部管理的需要,参研单位内部将合同WBS扩展至适当的级别,形成更为详细具体的扩延合同WBS,通过与项目纲要WBS的汇编,最终形成工程项目WBS,进入工程研制及后续阶段。

3 跨企业集成产品开发团队

项目组织中人员的创造性是产品研制活动的动力,要建立一个协同、并行的产品研制环境,应合理规划项目组织模式,建立与工作分解结构相对应的组织分解结构。组织分解结构(Organizational Breakdown Structure, OBS)由WBS演化而来,也是层次化逐级细分的,具体表现为集成产品开发团队(IPT)的矩阵化组织形式。集成产品开发团队(IPT)是由能力互补的(即拥有不同角色)人员组成的小组,有唯一的团队领导负责任务分派与小组任务的完成,所有成员被委托以共同的目的、

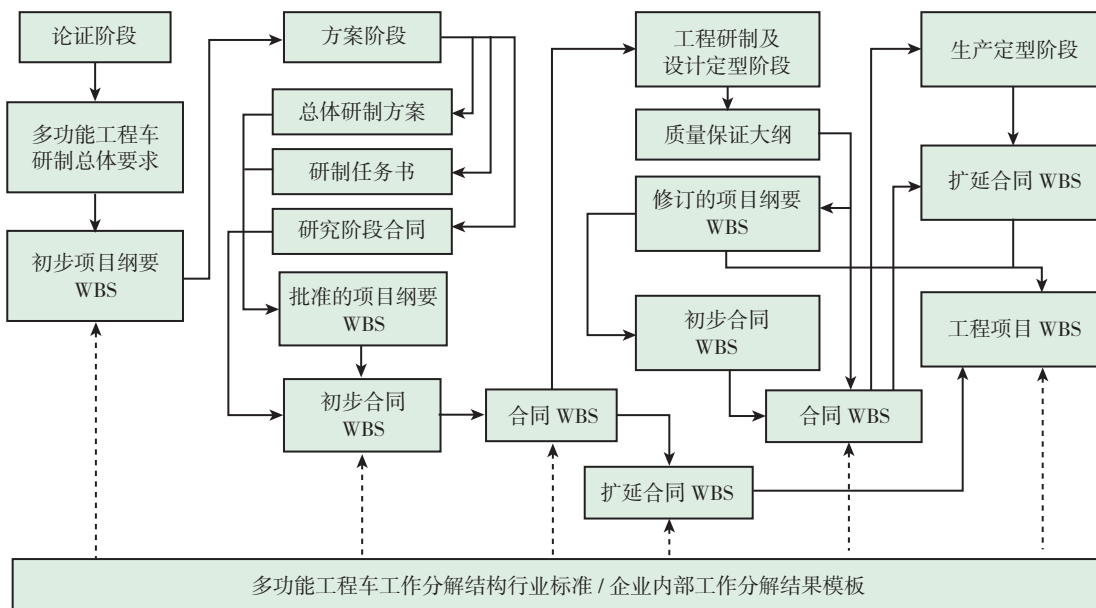


图6 多功能工程车工作分解结构建立流程图

Fig.6 Flow chart of breakdown working process of multifunctional engineering vehicle

行为目标和工作方法,并相互负责^[3]。

在即时协同技术的支持下,组织结构突破设计所、制造厂间的部门限制,形成集成开发团队。与复杂机械产品开发项目多层工作分解结构相应,为底层任务指派相应的人员,在活动级组成子IPT,并进一步组成子项目级的集成开发团队组织结构,由各个团队间的相互协同组成面向复杂机械产品开发项目的虚拟企业,从而形成了复杂机械产品开发项目阶段性、层次化、跨企业的组织分解结构,如图7所示。

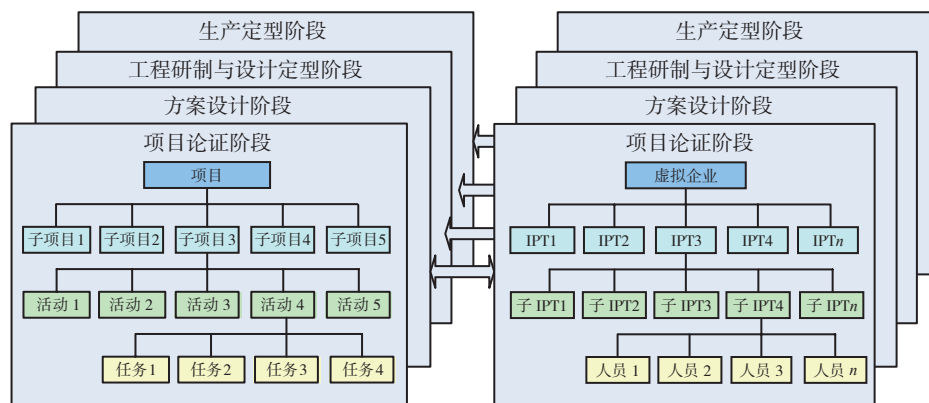


图7 复杂机械产品研制阶段性、层次化、跨企业的组织分解结构

Fig.7 Breakdown structures of development of complex mechanical products in different stages, levels and co-companies

4 工作包分解结构

交付物分解结构、工作分解结构、组织分解结构分别从信息、功能、组织方面描述产品开发项目活动的属性,在此基础上,使用项目进度安排来识别各项活动的相互关联与依存关系,并据此对项目任务的逻辑顺序进行安排和确定,形成复杂机械产品开发项目工作包。工作包以各级WBS为编制单位,继承了工作分解结构阶段性层次化的特点,如图8所示。

工作包作为特定的可独立交付的WBS工作

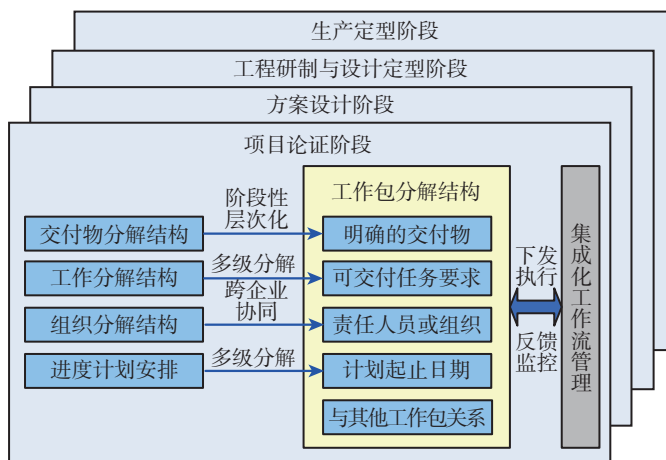


图8 阶段性层次化工作包分解结构

Fig.8 Breakdown structures of stage hierarchical working package

单元,需要明确定义可交付的任务要求;其工作责任落实到具体的人员或组织单位;定义确定的交付物形式,如报告、试验结果、软硬件产品、检验文件等;反映工作包任务的计划起止日期安排;定义与其他工作包之间的依存关系。以工作包为单位,通过集成化 workflow 管理技术的支持,实现任务的下发执行与实时反馈监控。

5 项目关卡准则风险控制

在门径系统中,关卡通过项目阶段中提交的交付物,根据预先定义的准则,由评审委员会进行项目是否可以进入下一阶段的决策,如图 9 所示。

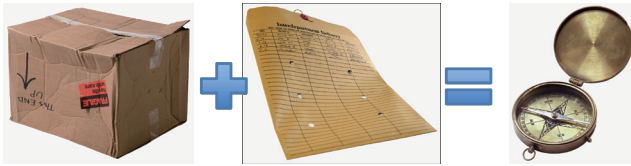


图9 基于项目关卡准则的决策
Fig.9 Decisions based on standards of projects

项目管理过程中,关卡的具体作用包括风险识别、风险评估与风险消除 3 个方面:

(1) 风险识别: 通过在审核阶段沟通一些关键和现有的问题识别风险,包括技术风险进度风险、财务风险、客户需求风险等。

(2) 风险评估: 从发生的可能性以及对产品开发项目的影 响程度的角度对风险进行评估,归类为不必消除的风险、应该消除的风险、以及必须消除的风险。

(3) 风险消除: 使问题发生可能性或影响最小化。

准则作为项目能否向下一阶段进行的决策依据,定义了 对阶段交付物的具体要求,是完成风险识别、风险评估以及 风险消除过程得关键。以多功能工程车开发项目关卡准则为 例,如表 1 所示。

6 应用示例

目前,我国复杂机械产品研制项目的典型管理方式

是由产品项目办公室与产品总体部组成综合评审委员会,进行项目顶层规划。产品项目办公室负责组织整个型号研制项目的管理评审委员会,产品总体部负责组织各主要设计所与制造厂的技术代表形成虚拟技术评审委员会,从管理与技术两方面协同决定型号研制项目的阶段与关键节点,进一步定义交付物分解结构、工作分解结构以及组织分解结构,明确活动间的关系进行项目总体进度安排,从而得到型号研制项目顶层计划,并据此向各设计所与制造厂分配项目任务,设置关键节点里程碑并控制整体项目预算。在以上要建立综合评审委员会的同时,还要加强机械产品本身的质量设计,在这里田口玄一的三次设计理论将发挥至关重要的作用。其理论基础为田口质量观、质量损失函数、信噪比、正交实验法。产品质量控制分为线内质量控制和线外质量控制。线外质量控制就是采用三次设计法(系统设计、参数设计、容差设计)对产品进行质量设计。线内质量控制侧重于制造过程中对产品质量进行控制,分为工序诊断与调整、预测与校正、检验与处理^[4]。

由产品项目办公室与总体部建立产品级项目计划阶段与控制节点,并将其分解形成模块级子计划分派给各相关设计所与制造厂进行进一步细化。在产品级项目计划与模块级子计划之间通过关键节点里程碑的链接建立关联,子计划中对关键节点的执行情况将自动反映到产品级项目计划中,便于产品项目办公室与总体部对整个项目的执行进度进行宏观协调与控制。在项目管理与产品数据管理集成应用环境中,通过父子项目工作区链接的方式形成层次化的项目阶段-关卡结构,如图 10 所示。

在定义阶段-关卡项目计划后,为阶段中需要协同执行的 任务定义交付物并映射相应的工作流程。工作流程中的活动 执行者根据任务资源的分配进行指派,交付物的审批发放流 程结束标志任务的完成,自动向项目管理更新任务完成状态; 为关卡定义准则并映射相应的工作流程,准则的审批结果决 定项目关卡是否通过,从而决定项目能否顺利进入下一阶 段的执行,如图 11 所示。

表1 多功能工程车开发项目关卡准则示例

规划阶段关卡准则	开发试制阶段关卡准则	投产与交付阶段关卡准则
(1) 新工程车是否有市场机会; (2) 是否有更好的替代方案; (3) 客户、业务、设计、制造等方面对目前方案是否有一致共识; (4) 是否有开发和交付详细计划; (5) 概念设计是否应该冻结后进入全面开发	(1) 工程车的设计是否满足客户和业务需求; (2) 工程车样车是否符合设计意图; (3) 工程车样车是否通过机构认证	(1) 工程车的生产是否符合经济性和质量要求; (2) 客户满意度如何

(下转第 87 页)

需求是可维护性好、使用寿命长、经济性好、能够承受高温高压、安全可靠性好、叶片重量轻,这些是该型号涡轮叶片在研制过程中需要改进和重点关注的需求。综合专家意见,此分析结果较为贴近该型号涡轮叶片的实际需求情况,与国外航空发动机涡轮叶片发展趋势一致。在航空发动机性能不断提高的大环境下,中国的发动机涡轮叶片行业必须跟国际接轨,运用现代化管理的方式,不仅要关注涡轮叶片基本质量,更要关注其可维护性和使用寿命,重视涡轮叶片的再制造,延长使用总寿命,减少一次性报废,从而带来更多的经济效益。

4 总结

本文在顾客需求分类中引入 SI, DI 和 Kano 模型,并在需求重要度的调整过程中引入新的改进系数,通过该方法不但可以加深研制人员对顾客需求本质的理解,而且可以平衡传统 QFD 方法中改进比例和满意度增加比例之间的非线性关系,优化了产品的资源配置。并将新方法应用于某型号高推重比航空发动机涡轮叶片的研制改进过程,为该型号涡轮叶片的研制人员提供新的研究思路与途径。

参考文献

- [1] Tan K C, Pawitra T A. Integrating SERVQUAL and Kano's model into QFD for service excellence development. *Management Service Quality*, 2001, 11(6): 418-430.
- [2] Kano N, Seraku K, Takahashi F, et al. Attractive quality and must be quality. *Japanese Social Quality Control*, 1984, 14(2):39-48.
- [3] Matzler K, Hinterhuber H H, Bailon F, et al. How to delight your customers. *Journal of Product&Brand Management*, 1996(2): 6-17.
- [4] Berger V, Blauth R, Boger D, et al. Kano's methods for understanding customer defined quality. *Center for Quality Management*, 1993, 2(4):2-36.
- [5] 段黎明,黄欢. QFD 和 Kano 模型的集成方法及应用. *重庆大学学报*, 2008, 31(5):515-519.
- [6] Tan K C, Shen X X. Integrating Kano's model in the planning matrix of quality function deployment. *Total Quality Management*, 2000, 11(8):1141-1151.
- [7] 侯智,陈世平. 基于 Kano 模型的用户需求重要度调整方法研究. *计算机集成制造系统*, 2005, 11(12):1785-1790.
- [8] Tontini G. Integrating the Kano model and QFD for designing new products. *Total Quality Management*, 2007, 18(6):599-612.
- [9] Tontini G. Development of customer needs in the QFD using a modified Kano model. *Journal of Academy of Business and Economics*, 2003, 2(1):103-115.
- [10] Jain R. Integration of Kano's model into quality function deployment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 53: 689-698.
- [11] 张美璐,白思俊,郭云涛. 基于熵的 QFD 在航空武器研制中的作用. *工业工程*, 2007, 10(4):96-99.

(责编 深蓝)

(上接第 82 页)

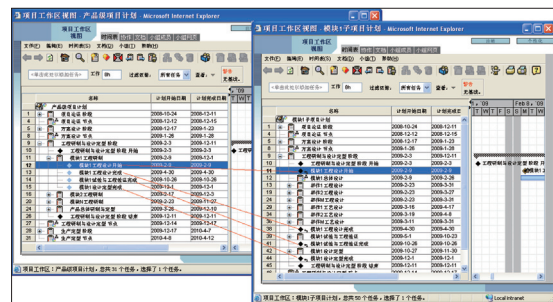


图10 层次化的项目阶段-关卡结构的实现

Fig.10 Achievement of hierarchical stages-toll-gate structures

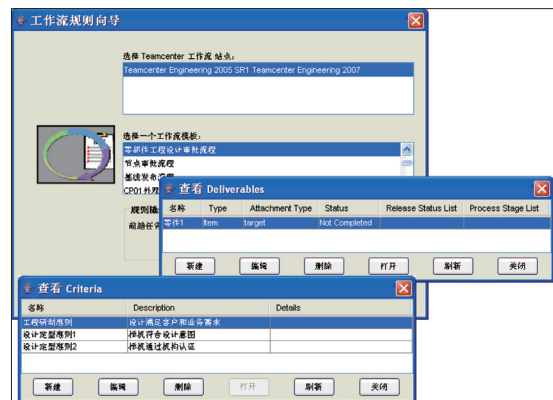


图11 定义工作流程、任务交付物及关卡准则映射的实现

Fig.11 Achievement of defining working process, deliveries and toll-gate structures

7 结论

本文提出了通过门径系统的阶段-关卡方法进行复杂机械产品研制项目管理的途径。复杂机械产品研制项目门径系统通过阶段关卡定义、交付物分解结构、工作分解结构、组织分解结构及项目进度安排,可以实现对复杂机械产品开发过程从信息、功能、组织及行为等多个方面进行阶段化的完整描述,并且通过关卡对项目风险进行有效控制。结合在项目管理与产品数据管理集成环境中的应用示例,为门径系统在复杂机械产品研制项目管理中的实施与应用提供了可供参考的方法和步骤。

参考文献

- [1] 罗伯特.G.库伯. 新产品开发流程管理. 3版. 刘崇献,刘延,译. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 蒲欣,李纪珍. 西方公司研发项目管理流程在中国的适应性研究. *科学学与科学技术管理*, 2008(8):29-35.
- [3] 李清,马宁宇,陈禹六,等. 航空产品集成开发团队运行模式研究. *计算机集成制造系统 CIMS*, 2001(11):64-65.
- [4] 张根保,刘英,刘佳,等. 现代质量工程. 2版. 北京:机械工业出版社,2007.

(责编 夏宛)