

基于活动的产品研发过程技术风险识别建模

陈明¹, 毛燕芬¹, 林桂娟²

(1. 同济大学 中德工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学 机械工程学院, 上海 200092)

摘要: 以研发过程的基本单元——研发活动作为分析对象, 将复杂产品研发过程技术风险分解成活动内的技术风险和活动间的技术风险; 通过活动的分解和活动内技术风险因素的识别, 采用层次分析法计算出活动内的技术风险; 从风险分析的角度, 将活动间各种关系的技术风险归结为串联关系和独立关系的技术风险, 建立活动间技术风险识别模型. 目前该方法已运用于微电子装备的研发过程的技术风险识别中.

关键词: 产品; 研发过程; 技术风险; 活动

中图分类号: TH 166; F 204

文献标识码: A

Activity-based Technical Risk Identification Modeling for Complex Products Developing Process

CHEN Ming¹, MAO Yanfen¹, LIN Guijuan²

(1. Sino-German College of Applied Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The technical risk of complex products developing is classified as the inner technical risk of activities and the technical risk among activities. Then, based on the decomposition of activities and the risk identification of inner activities, the technical risk of inner activities is obtained with the analytic hierarchy process (AHP). Finally, from the view of risk analysis, the technical risks of the various relations among activities are categorized as the sequential relations and the dependent relations, and the identification model of technical risk among activities is constructed. The method is successfully applied to the risk identification in developing the micro-electronics equipments.

Key words: product; research and developing process; technical risk; activity

复杂产品的研发存在着很高的技术风险. 技术风险是指在产品研发过程中由于技术因素导致的风险. 它所产生的风险事件是产品性能水平不能满足研发要求、产品研发周期延长或产品研发成本增加, 直至导致产品研发的失败^[1].

产品和研发过程是产品研发涉及的两大系统. 而影响产品研发风险的技术因素来自于产品和研发过程, 导致产品和研发过程风险事件的产生. 前者称为产品技术风险, 后者定义为过程技术风险^[1]. 作者已在论文^[2]中对产品技术风险进行了分析. 本文仅对研发过程技术风险进行分析.

Yassine 采用设计结构矩阵 (design structure matrix, DSM) 方法通过项目管理工具将任务分解, 并采用有向图网络表达设计任务之间的依赖关系, 从而简化设计过程并控制其复杂性^[3]. Smith 从设计的角度评价现有的 5 类产品开发过程 (管理) 模型^[4]. Zeng 采用基本的数学表达式定义设计过程涉及的对象, 然后借助设计控制方程遍历整个设计过程, 建立设计需求、设计过程以及产品描述的形式化模型^[5-6]. Krause 提出将质量功能配置方法 (quality function development, QFD) 和失效模式分析 (failure mode and effect analysis, FMEA) 作为计算机辅助产品开发的反馈模式, 在产品、过程和信息集成的基础上进行过程集成^[7]. 李冰等提出了一种数据驱动的过程模型, 在产品数据模型和过程模型之间建立了紧密的联系, 将全面设计和评价设计流程分解为具有可操作性的微循环任务单元, 作为实现数据驱动的过程模型方法^[8]. 谢列卫等引入了片断描述方法, 提出面向对象的产品和过程集成方法^[9]. 韩晓建采用局部设计代理 (local agent design, LAD) 来完成设计过程推理工作, 对设计过程决策采用全局设计代理 (global management agent, GMA), 依据层次分析

收稿日期: 2010-01-26

基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划 (08DZ1120900); 上海市网络化制造与企业信息化重点实验室开放基金 (KF200911)

第一作者: 陈明 (1964—), 男, 教授, 工学博士, 主要研究方向为产品数字化开发技术. E-mail: chen.ming@tongji.edu.cn

通讯作者: 毛燕芬 (1975—), 女, 讲师, 工学博士, 主要研究方向为智能系统与信息处理. E-mail: maoyanfen@tongji.edu.cn

法(analytic hierarchy process, AHP)完成^[10]. 潘军的虚拟产品开发(virtual product development, VPD)建立全数字化虚拟产品建模^[11]. 倪炎榕提出了网络化快速产品开发过程模型, 将开发过程分成异步执行的产品任务过程和多个个体间的协作过程, 体现了产品开发的整体性^[12]. 曹守启定义了复杂产品开发过程并建立了面向过程规划的复杂产品开发过程模型^[13]. 王新敏等针对航天器研制的特点, 探讨航天器研制技术风险分析模型和实施风险评估的步骤^[14]. 徐哲等建立了基于图示评审技术的多反馈分支仿真模型, 对仿真输出结果进行统计分析, 分别建立了项目级和子系统级的技术风险量化评估模型^[15]. 王江涛等建立了基于灰色关联度分析的灰色综合评价法的商业银行技术风险评价模型^[16]. 以上过程模型的建立分别是面向过程集成、面向快速产品设计、面向过程规划等, 而不是针对产品研发过程的技术风险分析.

美国国防部细则 DoD4245.7-M《从研制向生产过渡求解风险方程》中, 提供每一标准活动许多风险分析模板, 并估算出该活动风险的高低^[17], NAVSOP-6071 示例了最佳实践, 但是它缺乏对活动之间的风险影响的分析.

Yassine 从并行工程过程规划角度对串联、部分重叠和并行活动时间风险进行了分析, 但它缺乏对活动间的耦合关系、条件关系的分析; 从管理角度, 它缺乏对过程技术风险全面的分析与评估^[18].

Browning 从产品研发过程规划的角度对过程的成本和进度进行了分析, 并从过程成本和进度不确定性角度对项目风险进行了分析. 它缺乏对各个研发活动执行质量的分析, 和活动间的信息需求对产品研发的影响分析^[19].

为了使复杂产品研发朝着预期目标有序地进行, 必须合理地规划和设计研发过程. 分析研发过程存在的风险因素, 从而控制研发过程风险, 以达到产品研发的预期目标. 本文以产品研发活动为基础, 将产品研发的风险分解为产品研发活动内的风险、产品研发活动间的风险, 进而建立产品研发过程风险分析模型.

1 活动的概念和分类

产品研发过程是将产品市场需求映射成产品功能要求, 并将功能要求转化成能实现该功能要求的产品工程结构的过程. 活动是产品研发过程的基本

单元, 它是指在人员的参与下, 利用一定的资源, 按一定的规则完成工作项, 使得物质、能量或信息状态发生变化.

1.1 标准活动

无论是硬件、软件或是软硬件产品, 其研发过程都具有一定的共性. 通过对研发过程进行分析, 可将研发活动抽取成一系列标准活动. 如将概念设计阶段的活动抽取成子系统用户需求分析、初步设计规划、确定工程技术要求、确定关键技术及措施计划、开发成本评估、系统安全项目计划等标准活动, 特定产品的研发活动可根据标准活动进行一定增减. 标准活动的抽取将有效地促进研发过程的标准化和项目管理的规范化.

1.2 活动的分类

根据活动是否控制研发活动流向的不同, 将其分为两类: 功能活动和控制活动. 功能活动指活动执行者为完成自身功能而进行的行为动作. 控制活动指活动执行者以某种判断规则而产生的一种控制活动流向的动作, 如项目评审活动等. 在产品研发过程中, 功能活动专注于活动本身, 而控制活动决定活动的走向.

根据活动的执行者的不同进行分类, 将活动分为单元活动和协作活动. 单元活动指执行者以某种任务为目的而进行的独立的行为动作. 协作活动指活动执行者由于某种需要和其他活动执行者进行协作而产生的动作. 在分布式环境下, 为了有效地利用资源, 提高效率, 需要更多的协作活动. 图 1 为活动分类示意图.

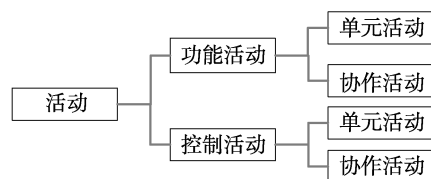


图 1 活动的分类

Fig.1 Classification of activities

2 活动内的技术风险分析

研发活动内的风险分析包括如下 5 个步骤, 其关键是识别每个标准活动的风险因素.

(1) 将标准活动分解成子活动;

(2) 识别子活动内的风险因素;

(3) 根据因果关系, 建立活动内的风险层次分析模型;

- (4)求出风险因子的权重;
- (5)计算活动内的风险大小.

2.1 活动的分解

对于复杂产品研发过程的分解,针对不同开发阶段、不同目标对象,往往采用不同的分解准则,并且多类分解互补使用.分解不是惟一的,也不是随意进行的,为了保证分解结果的有益,一般按如下原则进行:①活动分解结构要根据阶段和待处理的问题而异;②弱耦合原则;③独立分解原则;④层次分解原则;⑤均匀分解原则;⑥粒度适中原则;⑦客户分解原则.根据这些准则,将产品研发过程分解为需求设计阶段、概念设计阶段、详细设计阶段、试验验证阶段,并列出每一研发阶段的单元活动,以及各个相关部门进行的协作活动.

2.2 风险识别及层次分析模型建立

活动内的技术风险因素包括:研发需求,实现该活动的技术方法和实现该活动的资源.这些因素都会导致技术风险的产生.识别风险的主要方法^[20]有:核对清单,访谈,会议,评审,调查,工作小组等.活动内技术风险识别的准则是通过该活动得到满意的交付件.而不论采用何种方法,都必须建立在对标准活动的分解上,分析完成该标准活动的子活动.凡是子活动对得到高质量的交付件有潜在问题的,就是该活动的风险因素.

通过以上的分析推理,得到了该活动的风险分析因子.图2是产品研发标准活动“关键需求 CTQ (critical to quality)”的风险因素.

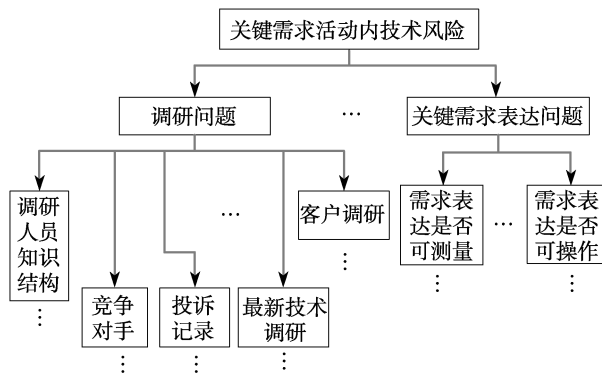


图2 关键需求活动内风险因素

Fig.2 Risk factors of key requirement activities

2.3 风险因子权重及风险计算

由图2通过层次分析法,即构造判断矩阵、层次单排序和层次总排序确定权重,并进行一致性的检验.

若最底层的影响因子为 f_1, \dots, f_n ,则该活动内

的风险为

$$R_i = \left(\sum_{j=1}^n w_j f_j \right) / \left(\sum_{j=1}^n w_j \right) \quad (1)$$

式中: R_i 为活动内的风险; f_j 为第 j 个风险因素; w_j 为第 j 个风险因素的权重.

3 活动间的技术风险分析

产品研发过程在宏观上有串行、并行和迭代关系.研发活动之间可以有独立、串联、耦合关系,控制活动最终均可变成条件关系.

3.1 活动的时序关系

活动间的时序关系主要有独立关系、串联关系、并发关系、耦合关系、条件关系,如图3所示.

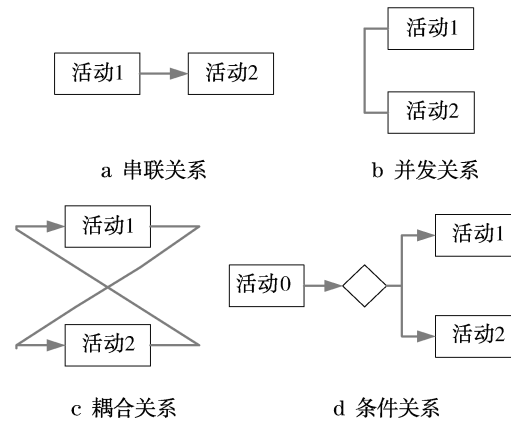


图3 活动间的关系

Fig.3 Relations among activities

独立关系指两活动之间没有直接的输入输出关系.串联关系指前一活动结束才能进行后一活动的关系.并发关系指两活动必须同时开始.耦合关系指两活动互为输入输出,也即两活动的输出均为另一活动的输入.条件关系指上游活动结束后,必须根据一定的条件确定下游活动.

两活动若是独立关系,也即它们之间没有信息的依赖关系,则只要资源允许可以表现为串联、同时等关系.

并行活动可分解成串联和耦合关系,如图4a中的活动A和活动B.根据活动A和活动B对信息的要求,可以将活动A进一步分解成活动1、活动2;活动B进一步分解成活动3和活动4.其中,活动2和活动3是信息需求高度关联的2个子活动.它们是耦合关系.这样,活动A和活动B就转化成4个子活动,它们构成了串联、耦合、再串联关系,如图4b所示.

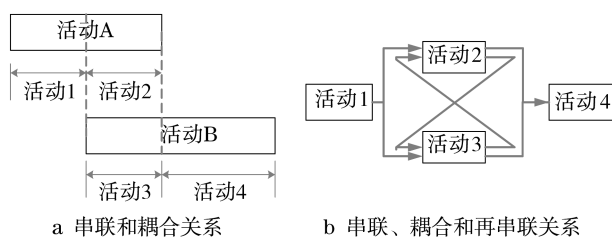


图 4 并行活动的分解

Fig. 4 Decomposition of concurrent activities

控制活动主要是迭代活动或评审活动.

评审活动是对前一阶段的活动所产生的交付件,如对研发方案、文档、零部件等进行技术审核,以决定是否已达到该阶段的研发要求.如达到要求,即可进行下一阶段活动,若未达到,则根据具体情况,决定从哪一活动重新开始,直至达到研发要求.所以评审活动最终可以分解成条件活动.决定研发活动路径的条件是评审要求,判别条件后的路径可以有多种选择,如图 5 所示.

迭代活动是在研发的某个阶段,对某些方案或参数进行假设.当研发活动进行到一定阶段时,重新审视当初的假设是否合理,若合理,则研发活动继续进行,若不合理,则重新假设,调整参数.所以,迭代活动是评审活动的个例,它的判别条件是初值是否合理,判别后的路径只有 2 个,要么从假设的活动重新开始,要么继续完成后继活动.

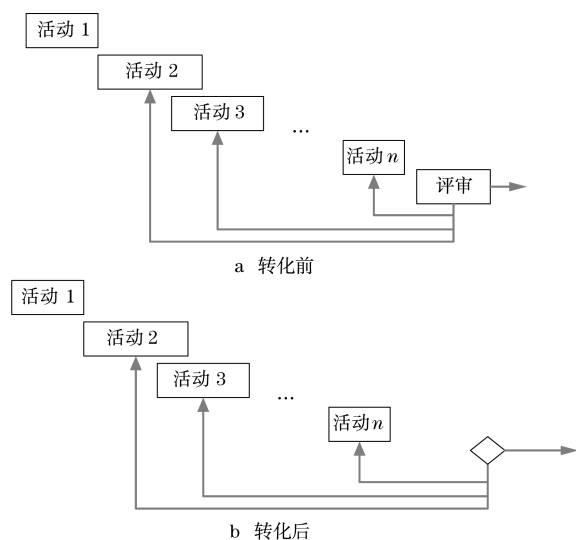


图 5 评审活动

Fig. 5 Review activities

3.2 活动间的风险识别

3.2.1 独立关系

活动之间是独立关系,没有交付件的输入输出关系,活动间则没有风险关系.

3.2.2 并发关系

如图 6a 或 6b 所示,由于活动 1 至活动 n 没有交付件的输入输出关系,所以它们也是独立关系,活动间没有风险关系.

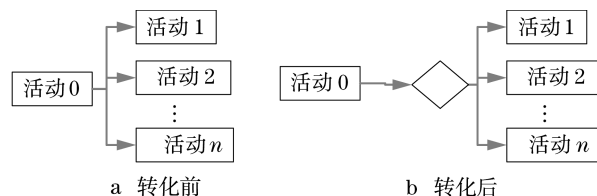


图 6 并发关系

Fig. 6 Concurrent relations

3.2.3 耦合关系

活动间的关系极其紧密,比较简便的做法是将该 2 个活动作为 1 个活动来处理.这样,活动间的耦合关系所产生的风险就可归结为活动内的风险来处理.

3.2.4 条件关系

2 个或多个活动是条件关系,条件判断后,后续活动路径就确定了,因此从风险角度来看,条件关系可以归结为串联关系.

3.2.5 串联关系

2 个活动是串联关系,前一活动的风险会影响后一活动,如图 7 所示.活动 2 的风险除了活动 2 本身的风险外,还包括活动 1 的风险对活动 2 的影响.

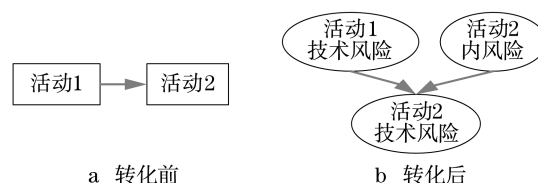


图 7 串联关系的风险

Fig. 7 Risk of sequential relations

若假设活动 1 的风险为 A ,活动 2 的风险为 B ,活动 2 内部的风险为 C ,则 $P(B/A)$ 反映了活动 1 风险对活动 2 风险的影响度; $P(A/C)$ 是活动内的风险对活动 2 的风险的影响度.

4 研发过程风险分析模型

为了便于进行过程风险分析建模,将相互耦合的 2 个活动作为 1 个活动处理,如图 8 所示.活动 2 和活动 3 是相互耦合关系,将其简化成 1 个活动,称为活动 2-3.产品研发过程的风险是动态变化的,它的大小与产品研发所经历的活动有关.若产品研发

经历到第 5 个活动,此时的过程风险应是这 5 个活动风险的综合.由以上分析可知,所有的活动内的风险均为分析模型中的根节点,然后分析其他活动之间是串联还是独立关系.如活动 1 和活动 2、活动 1 和活动 3 是串联关系,活动 2 和活动 3 合成一个活动后,活动 1 和活动 2-3 是串联关系,活动 2-3 与活动 4、活动 2-3 与活动 5 是串联关系,活动 4 和活动 5 是独立关系.由此得到过程风险识别模型,如图 9 所示.

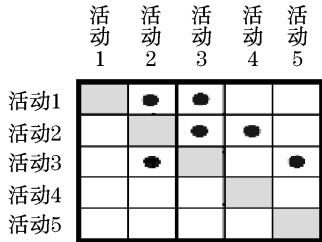


图 8 结构矩阵
Fig.8 Structure matrix

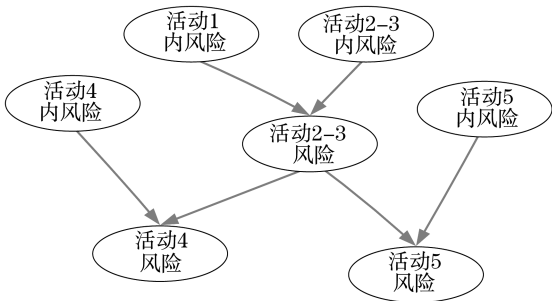


图 9 研发过程风险识别模型
Fig.9 Risk identification model of developing process

将研发过程风险识别模型转化成基于 BBN 网络的评估模型,通过赋予根节点先验概率和子节点条件概率表,可进行过程风险评估.

5 应用案例

本文以实现 100 nm 设计规则集成电路的光刻设备研制为例,分析研究复杂产品研发过程的技术风险,为风险控制提供决策依据.

由于高精度光刻设备涉及领域广泛,如机、电、光、控制和软件等领域,结构系统多样复杂,功能多且性能指标高,而且各子系统之间高度关联,使得光刻设备的研制显示出高度的复杂性,在研发时间短,而研发该产品的经验缺乏,核心技术尚不成熟的条件下,必须对研发过程的技术风险进行分析研究.

项目实施标准研发流程,并将研发流程固化在 Teamcenter Project 软件中,如图 10 所示.

由于公司采用的是标准的研发流程,所以任何子系统、零部件研发流程相类似,都由需求设计阶段(定义阶段)、概念设计阶段(初步设计阶段)、详细设计阶段(技术设计阶段)、工艺设计阶段和制造与验收阶段组成,如图 10 所示.每个阶段均有相同的活动,再根据子系统或专业的需要,进行各自不同的活动分解.

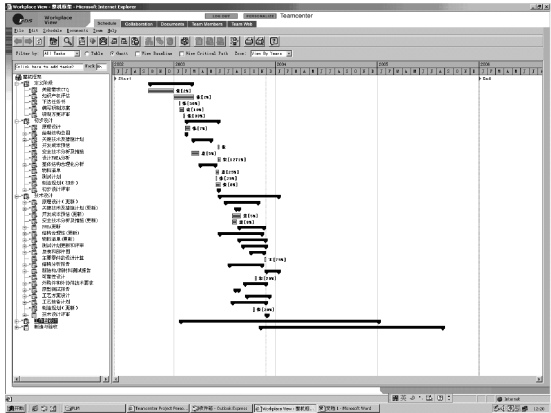


图 10 产品研发过程
Fig.10 Products' developing process

以整机框架的需求设计阶段为例,说明光刻设备研发过程技术风险分析.需求设计阶段的第一个标准活动 A₁(关键需求 CTQ)内的技术风险因素识别可通过该活动的分解,找出活动内风险影响因素,建立研发过程技术风险识别模型,通过求解风险因素权重和对风险因素赋值,如图 11 所示,可以算出该活动技术风险与理想活动的偏差为 10%.

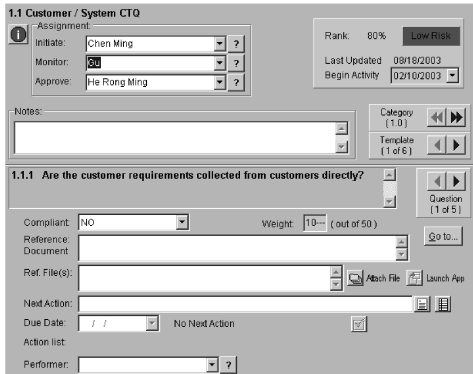


图 11 活动内的技术风险
Fig.11 Technical risk of inner activities

基于技术风险分析的计算机辅助系统可用不同颜色自动显示所在研发小组每一活动的风险的高低.图 12 是整机框架研发小组的活动内技术风险情

况.通过此图,就可以方便地找到高风险的活动,采取措施,降低或控制风险.

Summary	Category	1.0 Identify	2.0 Concept Design	3.0 Detail Design	4.0 Process Design	5.0 Test & Validate
Frame	Frame	Customer / System CTS	Concept Design Plan	Engineering Requirement Spec.	Preliminary Manufacture Process Design	Operating Foundation Design Document
Frame	Frame	Intellectual Property Assessment	R&D Cost Estimation	System Safety Program Plan	Tooling / Jig & Fixture Plan	SW Installation & Acceptance (7月31日)
Frame	Frame	Design Contract	Initial FMEA Report	Architecture Analysis Report	SW System Design	Design Standardization
Frame	Frame	Development & Mfg Contract	Initial Bill of Material	Test Plan	SW Programming	Rough Usage of Material
Frame	Frame	Functional Part Req. Spec	Assembly/Part Drawing	Part Documents	Key Part Standard Process Drawing	
Frame	Frame	SW Plan	Mechanism Drawing	New architecture / Material Test Report	Packaging Design	
Frame	Frame	Prototype Test Report	Manufacturing Plan		Acceptance Criteria & Operation Manual	
Frame	Frame	Product	SW functional Plan		Finish All	

图 12 整机框架子系统研发过程活动内技术风险

Fig. 12 Technical risk of sub-system developing activities in whole system framework

活动 A_1 完成后,进行 A_2 (知识产权评估) 活动.以同样的方法算出活动 2 内的技术风险状态.接着进行活动间的技术风险识别与评估. A_1 和 A_2 是串联活动,活动 2 的技术风险除了与自身活动 A_2 有关外,还与活动 1 A_1 有关.当产品研发进行到活动 2 时,研发过程技术风险评估可按图 13 所示的评估模型进行.

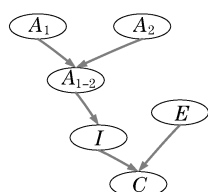


图 13 过程技术风险评估模型

Fig. 13 Evaluating model of process technical risk

研发过程技术风险评估模型中的变量 A_1 和 A_2 代表了活动 1 和活动 2 内风险状况变量,可根据上面活动内技术风险分析时得到的与理想活动的偏差,赋以先验概率.风险后果 C 是其父节点——过程无序变量 I 和环境变量 E 的条件概率,用条件概率表 CCT(conditional consequence table)表示.根据研发环境赋予 E 变量先验概率.

通过 BBN(bayesian belief network)计算,最后,将风险发生的概率和风险后果标注在风险矩阵上,如图 14 所示.从风险矩阵可知,当光刻设备研发进行到活动 2 时,研发过程技术风险处于中风险级别,需要采取措施降低活动内部影响活动无序性的因素.

将所有子系统研发活动的技术风险汇总在 1 张图上(图 15),总设计师和风险管理协调员可根据此图掌握整个研发活动的技术风险情况.

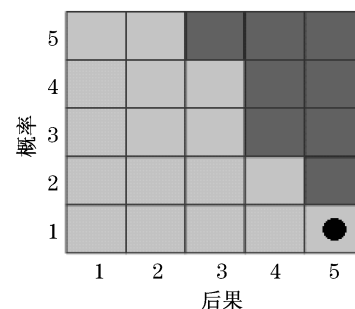


图 14 光刻设备研发过程技术风险矩阵

Fig. 14 Technical risk matrix of lithography equipment developing process

Summary	Category	1.0 Identify	2.0 Concept Design	3.0 Detail Design	4.0 Process Design	5.0 Test & Validate
Frame	Frame	Customer / System CTS	Concept Design Plan	Engineering Requirement Spec.	Preliminary Manufacture Process Design	Operating Foundation Design Document
Wafer & Reticle Stages (*)	Wafer & Reticle Stages (*)					
Optical (*)	Optical (*)					
Wafer & Reticle Handling (*)	Wafer & Reticle Handling (*)					
Software (*)	Software (*)					

图 15 光刻设备研发活动技术风险汇总

Fig. 15 Technical risk gathering of lithography equipment developing activities

6 结论

(1) 只进行活动内的风险分析,只能说明活动自身的风险,活动间的技术风险不仅反映了活动时序关系对整个风险的影响,还反映了风险的连续性和积累性.

(2) 通过过程基本元素——活动进行分解,找出影响活动内的风险因素.

(3) 从风险分析的角度,将活动间各种关系最终归结为串联关系和独立关系,建立过程风险识别模型.

(4) 贝叶斯概率能体现网络模型分析风险评估的连续性和积累性这两个重要特征.所以将过程风险识别模型转化为 BBN 网络模型,通过赋予根节点先验概率和子节点条件概率表,进行风险评估.

(5) 本文提出的基于活动的产品研发过程风险分析模型已运用到光刻设备的研发项目中,取得了良好的效果.

参考文献:

- [1] 陈明,林桂娟.复杂产品研发技术风险管理研究与应用[J].同济大学学报:自然科学版,2009,37(8):1090.
CHEN Ming, LIN Guijun. Technical risk management and

- application of complex product development[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(8): 1090.
- [2] CHEN Ming. Analysis on product technical risk with Bayesian Belief Networks.
- [3] Yassine A. Engineering data management: an information structure approach[J]. Int J Prod Res, 1999, 37(13): 2957.
- [4] Smith, R P, Morrow J A. A Product development process modeling[J]. Design Studies, 1999, 20(3): 137.
- [5] Zeng Y. A science-based approach to product design theory. Part I: formulation of design process[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 1999, 15(4): 331.
- [6] Zeng Y. A science-based approach to product design theory. Part II: formulation of design process[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 1999, 15(4): 341.
- [7] Krause F L, Ulbrich A, Woll R. Methods for quality-drive product development[J]. Annals of the CIRP, 1993, 42(1): 151.
- [8] 李冰, 宁汝新. 数据驱动的过程模型[J]. 机械科学与技术, 1999, 18(2): 324.
- LI Bing, NING Ruxin. Integrated product model in PDM[J]. Mechanical Science and Technology, 1999, 18(2): 324.
- [9] 谢列卫, 潘松柏, 祁国宁. 面向对象的产品和过程集成研究[J]. 高技术通讯, 1999, 9(10): 6.
- XIE Liewei, PAN Songbo, QI Guoning. An object oriented research for integrated product and process [J]. High Technology Letters, 1999, 9(10): 6.
- [10] 韩晓建, 邓家提. 产品概念设计过程的研究[J]. 计算机集成制造系统- CIMS, 2000, 6(1): 14.
- HAN Xiaojian, DENG Jiati. Research on process of product conceptual design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2000, 6(1): 14.
- [11] 潘军, 马登哲, 蒋祖华. 虚拟产品开发及其仿真模型的研究与应用[J]. 计算机集成制造系统- CIMS, 2002, 8(9): 684.
- PAN Jun, MA Dengzhe, JIANG Zuhua. Research on virtual product development and its simulation model [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2002, 8(9): 684.
- [12] 倪炎榕. 网络化快速产品开发过程模型及其支撑技术的研究与实现[D]. 上海: 上海交通大学机械工程学院, 2003.
- NI Yanrong. Research and implementation of the product rapid development process model and support techniques in network [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University. School of Mechanical Engineering, 2003.
- [13] 曹守启. 复杂产品开发过程规划及其支撑技术研究[D]. 上海: 上海大学机电工程与自动化学院, 2005.
- CAO Shouqi. Research on development process planning and support technology for complicated product [D]. Shanghai: Shanghai University. School of Mechatronics Engineering and Automation, 2005.
- [14] 王新敏, 陈勇. 航天器研制技术风险分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2010, 21(1): 6.
- WANG Xinmin, CHEN Yong. Technology risk analysis on developing aircraft and space vehicles [J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2010, 21(1): 61.
- [15] 徐哲, 贾子君. 基于图示评审技术多反馈仿真的武器装备技术风险评估[J]. 计算机集成制造技术, 2010, 16(3): 636.
- XU Zhe, JIA Zijun. Assessment of technical risk for weapon system development project based on GERT simulation including multi-branch feedback [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, Vol. 16(3): 636.
- [16] 王江涛, 周泓. 基于灰色理论的商业银行技术风险评价[J]. 北京航空航天大学学报: 社会科学版, 2010, 23(3): 59.
- WANG Jiangtao, ZHOU Hong. Evaluation of technological risk for commercial banks based on the grey theory [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics: Social Sciences Edition, 2010, 23(3): 59.
- [17] 沈建明. 项目风险管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- SHEN Jianming. Project risk management [M]. Beijing: China Machine Press, 2004.
- [18] Yassine A A, Chelst K R, Falkenburg D R. A decision analytic framework for evaluating concurrent engineering [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 1999, 46(2): 144.
- [19] Browning T R, Eppinger S D. Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2002, 49(4): 428.
- [20] Hall E M. Managing risk: methods for software systems development[M]. [s. l.]: Addison Wesley, 1998.