

文章编号: 1001- 2486(2009) 04- 0134- 06

一种基于 QFD 与 ANP 的装备作战需求分析方法*

许永平, 杨 峰, 王维平

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对当前在装备论证过程中缺乏合适的方法和工具将模糊的军事需求科学合理地映射到量化的作战使用性能上去的问题, 提出一种基于质量功能部署(QFD)与网络分析法(ANP)的装备作战需求分析方法。该方法能够辅助论证人员深刻理解和合理判断论证中各种因素之间的相互影响关系, 通过结构化的装备作战需求分析过程得到能正确反映军事需求的作战使用性能重要度排序。通过实例验证了方法的有效性和实用性。

关键词: 作战需求分析; 质量功能部署; 网络分析法

中图分类号: **文献标识码:** A

An QFD and ANP Based Equipment Operational Requirements Analysis Approach

XU Yong-ping, YANG Feng, WANG Wei-ping

(College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In equipment demonstration, it is a difficult task to map vague operational requirements onto quantitative requirements of operational performances logically and reasonably. A requirements analysis approach based on the Quality Function Development (QFD) and Analytic Network Process (ANP) is proposed to solve this problem. It can help analysts to understand the causal relationship between factors and make reasonable judgments. Operational performance ratings can be obtained in the structured operational requirements analysis procedure. Finally, an example is presented to validate the proposed method.

Key words: operational requirements analysis; quality function deployment (QFD); analytic network process (ANP)

装备论证工作是装备研制全过程中极为重要的前期工作, 这一阶段决策质量的高低, 直接关系到最终研制目标能否实现, 装备将要承担的使命任务能否完成。而作战需求分析是装备论证前期的重要阶段, 其最主要的任务就是从军事战略所赋予的使命任务出发, 对论证的装备所承担的作战任务进行分析, 并以此为依据对作战使用性能与使命任务之间的关系进行分析。也就是说, 需要建立装备从军事需求到作战使用性能之间的映射。这需要一套合理的逻辑, 以保证二者之间具有因果上的一致性, 并且这种因果关系应该是可追溯的。

但是, 由于军事需求与作战使用性能之间的关系非常复杂, 如果没有合适的方法和工具则很难在二者之间建立起定量的追溯关系。文献[1]指出, 在武器装备论证中, 缺乏有效表示作战行动要求与作战使用性能之间的各种关系及转换关系的工具和手段, 战技指标的确定具有很高的随意性; 并且缺乏有效的、定量的分析结论; 许多分析是建立在定性分析的基础之上的, 一些重要的结论, 诸如对后续的研发过程有重要参考价值的各作战使用性能的相对重要程度等, 都是经过定性分析得出的。如此得出的结论既缺乏必要的说服力, 又容易导致错误的结论。比如, 在海军潜艇论证中往往通过现状调查类比等方法设定作战使用性能的目标值, 没有较好的方法从最好地满足军事需求的角度对各个作战使用性能进行权衡。这使得需求分析工作往往带有很浓厚的主观色彩, 也导致了从总体上看军事需求在论证中自顶向下的驱动作用体现不足。

针对这种情况, 本文提出了一种基于质量功能部署(QFD)与网络分析法(ANP)的装备作战需求分析

* 收稿日期: 2009- 04- 15

作者简介: 许永平(1979—), 男, 博士生。

方法,综合考虑军事需求、作战任务、作战使用性能、国内外同类装备和装备概念方案之间的复杂关系,实现从军事需求到作战使用性能的映射,准确把握决策者对于各个作战使用性能的偏好,为下一步的论证工作提供有力的支持。

1 质量功能部署与网络分析法

1.1 质量功能部署

质量功能部署(QFD)是一种用户驱动的产品设计方法,采用系统化的、规范化的方法调查和分析“软”而“模糊”的顾客需求,将其转变为工程设计人员能够理解的可以测度的工程指标,并且逐步地部署到产品设计开发、工艺设计和生产控制中去,使所设计和制造的产品能真正满足顾客需求^[2]。它是一种主动的预防式的设计方法,把注意力集中在问题的规划与预防上,而不是单纯地解决问题。质量屋(HOQ, House Of Quality)是驱动整个QFD过程的核心,如图1所示。

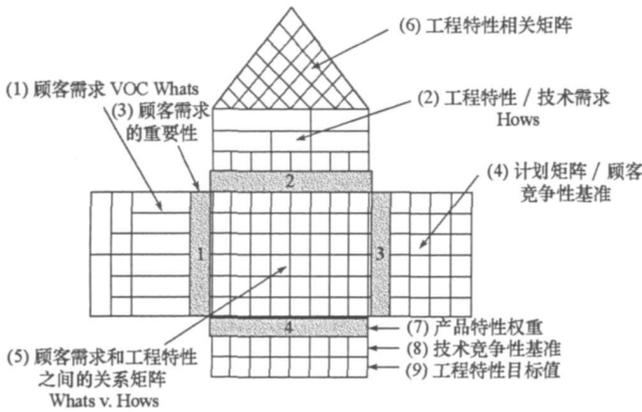


图1 质量屋示意图
Fig. 1 House of quality

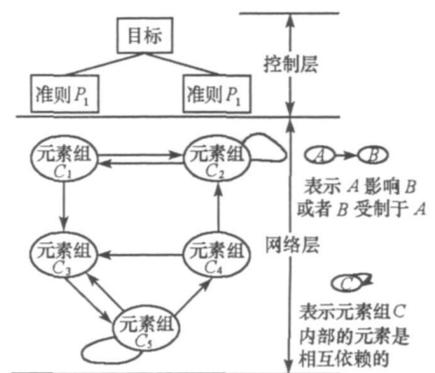


图2 ANP的典型结构
Fig. 2 ANP network structure

袁贵勇等^[3]根据空战武器装备规划从“顾客”需求出发的特点,结合QFD方法通过关系矩阵充分反映“顾客”需求的重要度,提出用QFD方法进行空战武器装备需求分析的方法。常天庆等^[1]通过对装甲装备作战需求分析,提出一种基于QFD的系统化、结构化的装备作战需求论证方法,为作战需求分析提供支持。以上这些研究中,所应用的都是传统的QFD过程,对于QFD的一些缺陷可能导致分析结果的失真这一问题考虑或体现不足。这些缺陷包括:

(1) 在传统QFD中,很难确定顾客需求和工程特性(即性能指标)之间的关系强度^[4]。因此,在QFD应用中关系强度的确定是比较主观和随意的,判断的一致性也是比较差的,因此影响了最终结果的可信性。

(2) 在传统QFD中,认为各个顾客需求是相互独立的。实际上,在各个需求之间也可能存在着相互依赖的关系,即一项需求对另外一项需求存在着支持或者抑制的作用。传统QFD是不能处理这一关系的。

(3) 在传统QFD中,虽然在质量屋的屋顶考虑了工程特性之间的自相关关系,但是在具体应用中一般都是将这一信息作为一种定性的参考,缺乏定量的手段将这些信息集成到质量屋的计算过程中去。

1.2 网络分析法

ANP^[5]方法是美国匹兹堡大学的T. L. Saaty教授在1996年提出的一种适应非独立的递阶层次结构的决策方法,是对AHP方法的推广而成的一种新的决策方法。应用AHP方法的一个重要前提就是指标体系是一个内部独立的递阶层次结构。但是在许多实际问题中往往要考虑层次内部元素的依赖关系和下层元素对上层元素的反馈影响。因此ANP方法将系统内各元素的关系用类似网络的结构进行表示,能够更加准确地刻画客观事物之间的联系,传统的AHP方法只是ANP方法的一个特例。Rozann W. Satty和William J. Adams在2003年推出了超级决策软件Super Decisions,成功地实现了ANP计算的程序化,为

ANP 的实用推广奠定了坚实的应用基础。

ANP 首先将系统元素划分为两大部分,第一部分称之为控制因素层,包括问题目标及决策准则^[6]。所有的决策准则都被认为是彼此独立的,且只受目标元素支配。控制因素中可以没有决策准则,但至少有一个目标。第二部分为网络层,它是由所有受控制层支配的元素组成的,其内部是互相影响的网络结构。图 2 就是一个典型的 ANP 结构。使用 ANP 模型的基本步骤如下:

(1) 对具体的决策问题进行分析,将决策问题进行系统地分析、组合,形成元素和元素组,主要分析判断元素层次是否内部独立,是否存在依赖和反馈关系。

(2) 根据上一步的分析结果,构造决策问题的 ANP 网络模型。

(3) 构造初始超级矩阵 W , 矩阵的元素 W_{ij} 表示第 i 个元素组的所有元素对第 j 个元素组的影响作用(由元素间的两两比较得到),即 W_{ij} 是一个权重矩阵。当两个元素组之间没有影响时, $W_{ij} = 0$ 。这样,超级矩阵 W 表示的就是 N 个元素组之间相互影响。

(4) 对初始超级矩阵进行加权,得到加权超矩阵。超矩阵的每一个子块只考虑了一个元素组内部的各个元素对某个元素的影响排序,并没有考虑其他元素组对这个元素的影响,所以超矩阵的每一列不是归一化的。为此,将每一个元素组作为评价对象,采用两两比较的方式给出其影响权值,这样加权超矩阵的任意一列都是归一化的,称为列随机矩阵。

(5) 对加权超矩阵进行极限计算,得到最终的权重。

2 基于 QFD 和 ANP 的装备作战需求分析方法

在装备论证中,作战需求可以划分为三个层次,即军事战略层次的需求、作战任务层次的需求和作战使用性能层次的需求。其中,军事战略层次的需求指的是,在论证中的某型装备在全军及其所属军兵种的军事战略中所承担的使命;作战任务层次的需求指的是,由该型装备所承担的使命出发,所需要完成的具体的作战任务,可以通过任务剖面等对其进行描述;作战使用性能层次的需求指的是,由该型装备的具体任务出发,所需要具备的作战使用性能。这三个层次的军事需求具有自顶向下的映射关系。其中,军事战略层次的需求,可以对应于 QFD 质量屋的总体目标,即产生最大的客户满意度;作战任务层次的需求,可以对应于 QFD 质量屋左侧具体的顾客需求;而作战使用性能层次的需求,可以对应于 QFD 质量屋上面的横梁,即产品的工程特性。因此,完全可以以 QFD 质量屋为框架对装备的作战需求进行分析。但是为了提高装备作战需求分析的准确性和有效性,还必须根据装备作战需求分析的具体问题对这一框架进行改进。

为了提高 QFD 中判断的准确性和一致性,很多研究者将 AHP 法和 QFD 集成起来,在这方面的研究已经相当普遍和深入^[7]。比如,刘鸿恩^[8]提出基于 AHP 的 QFD 分解模型,把传统的质量屋展开框架改成层次框架,通过 AHP 法的一致性检验保证判断的一致性。但是,在 QFD 中集成使用 AHP 法隐含的假设就是,同一层次上的所有准则都是相互独立的。但是在装备论证中,作战任务与作战使用性能往往会存在相互依赖的特性。以海军潜艇为例:在作战任务层次上,加强完成反潜任务的能力,可能会导致反舰任务完成能力的下降;在作战使用性能层次上,潜艇水下最大航速的提高,可能会造成潜艇噪声信号增大和武器装载能力下降。因此,在使用 QFD 质量屋框架进行装备作战需求分析时必须考虑这种相互依赖的特性,把这种特性对于最终决策的影响反映出来。

目前已经有一些研究提出在 QFD 框架中使用 ANP 方法^[9-12],这样不仅能够像使用 AHP 法一样保证判断的准确性和一致性,还能够定量地表示顾客需求或者工程特性之间的相互依赖关系。但是这些方法还存在着以下一些不足。首先,虽然 ANP 方法具有处理反馈关系的能力,在这些模型中没有反映出工程特性对于顾客需求的反馈关系对决策的影响。而在 QFD 质量屋模型中,顾客需求支配着工程特性,但是工程特性也会反过来影响人们对顾客需求的认识。其次,在目前的研究当中,还没有把竞争性基准这一因素考虑进 QFD 与 ANP 集成模型的统一框架内,而实际上竞争性基准对于客户需求以及工程特性的重要程度的影响是非常明显的。最后,产品开发都是在一定的时间、费用和技术条件的约束下进行的,所以一般人们只能部分地实现目标。而在可行空间内会有很多个可能的方案,这些可选择的方案

反过来也会对决策者关于工程特性的重要程度的判断造成影响,因此在QFD与ANP的集成模型中也要把可选方案的因素考虑进去。Hendry Raharjo等人^[13]提出的方法虽然考虑了反馈作用和竞争性分析,但是其模型过于复杂,需要分析的相互影响关系太多,使得其实际应用存在很大的障碍;而且没有考虑有代表性的可选方案集合与工程特性之间的相互作用。

如前所述,在装备作战需求分析中经常采用现状调查类比法来确定作战使用性能值。虽然这种方法主观性比较大,但是与国外同类装备进行对比,分析其中的差距,也是一种重要的参考信息,是在论证过程中必须加以考虑的。因此,使用QFD质量屋进行装备作战需求分析的时候,必须把竞争性分析作为一个重要的因素在统一的框架内予以考虑。还有,在海军潜艇论证过程中,往往会提出一组可行的方案,作为论证和权衡的基础。这组具有代表性的可行方案,代表了在目前的时间、资源和技术约束条件下国防工业的实际能力,不顾现实地主观地超越它是不可能的,反而会造成整个型号项目在后期经费增加、进度拖延和指标降低。因此,把这组具有代表性的可行方案与作战使用性能之间的相互作用反映到需求分析过程中是非常必要的。实际上就是把专家的权衡过程反映到了作战使用性能的重要性程度里面。以此经过权衡的作战使用性能重要性程度的决策为基础,下一步可以在更广泛的设计/可行空间内进行探索,找到满足约束条件的最优方案。因此,在综合考虑军事战略层次的需求、作战任务层次的需求、作战使用性能层次的需求、国外同类装备和有代表性的可选方案集合的基础上,深入理解它们之间的相互关系,以QFD质量屋为框架,以ANP方法为集成手段,本文提出一种新的装备作战需求分析模型,将QFD分析过程与ANP方法有机地结合在一起,能够得到更加合理可信的结果,并且具有适当的复杂度,如图3所示。

这一模型将QFD质量屋的各个部分通过ANP模型有机地结合在一起,能够以一种统一的和结构化的方式对其中所包含的信息进行处理,提高了判断的准确性和一致性。图3中的各个影响关系与QFD质量屋中的各个部分有着很好的对应关系,其中影响关系1和2对应于客户需求重要性分析;影响关系3、4和5对应着顾客竞争性分析;影响关系6和7对应着顾客需求和工程特性之间的关系矩阵;影响关系8代表着工程特性之间的自相关关系,即质量屋中的屋顶;影响关系9和10代表着技术竞争性分析;影响关系11和12对应着对工程特性目标值的分析。

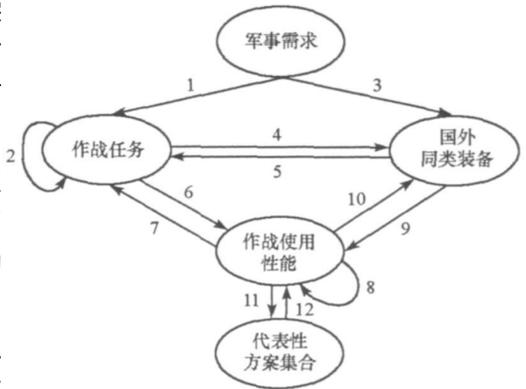


图3 基于QFD和ANP的装备作战需求分析模型
Fig.3 Equipment operational requirements analysis model

使用这一模型对某型潜艇装备进行作战需求分析的步骤如下:

(1) 根据海军的战略和承担的使命,分析论证中的某型潜艇的作战任务或者作战行动要求,这代表了军方的需求,也就是顾客需求。

(2) 根据潜艇的作战任务/行动,确定该型潜艇需要具备的作战使用性能,这对应着质量屋中的工程特性。

(3) 收集国外同类装备的信息,并且进行认真的分析和甄别,为竞争性分析做好情报工作。

(4) 在定性分析的基础上,提出有代表性的可能满足需求的装备概念设计方案集合。

到这一步为止,已经确定了QFD质量屋的基本要素,即确定了图3所示的基于QFD与ANP的装备作战需求分析模型的基本要素。下面的分析中将以ANP作为分析和综合方法,对各个影响关系进行分析。

(5) 对影响关系1和2进行分析,也就是根据军事战略层次的需求分析对作战任务的需求,并且分析各种作战任务之间的相互影响关系。

(6) 对影响关系3、4和5进行分析,也就是根据国外同类装备的信息,进行顾客竞争性分析。其中影响关系3表示国外同类装备对我们的军事战略层次的需求的满足程度的比较;影响关系4表示国外同类装备对作战任务层次需求的满足程度;影响关系5表示由于国外同类装备的竞争性所导致的对于

作战任务层次需求重要度的调整。

(7) 对影响关系 6 和 7 进行分析。其中, 影响关系 6 表示作战任务层次需求对于作战使用性能重要度的影响; 影响关系 7 表示作战使用性能层次需求对于作战任务层次需求的反馈影响。

(8) 对影响关系 8 进行分析, 这相当于 QFD 质量屋中的屋顶, 研究由于潜艇自身的物理约束等造成的作战使用性能之间的相互影响关系, 这种影响关系对于作战使用性能的重要度有着很大的影响。

(9) 对影响关系 9 和 10 进行分析, 这代表着技术竞争性分析。其中, 影响关系 9 表示国外同类装备的作战使用性能值对于作战使用性能重要度的反馈影响, 而影响关系 10 表示从作战使用性能的角度对国外同类装备进行分析。

(10) 对影响关系 11 和 12 进行分析。其中, 影响关系 11 表示根据作战使用性能需求对有代表性的方案集合进行评价, 而影响关系 12 表示有代表性的方案集合对作战使用性能的重要度造成的反馈影响。

(11) 综合(5)~(10)的工作, 构造出超级矩阵, 得到加权超矩阵后, 使用 Super Decisions 软件对超矩阵进行极限计算, 得到作战使用性能的综合权重值。

3 作战需求分析实例

以潜艇装备作战需求分析为例对本文方法进行验证。在能够清楚地说明问题的前提下, 主要目的是为了验证方法的可用性和有效性, 而且限于篇幅将略去详细的论述和分析。

(1) 在本例中假设论证的潜艇是一种多用途攻击型潜艇, 它可能承担的任务如表 1 所示。

表 1 某型潜艇承担的使命任务

Tab. 1 Submarine missions

编号	1	2	3	4
作战任务	反潜作战	反舰作战	对陆攻击	其他任务

(2) 根据作战任务对作战使用性能需求进行分析, 确定重点考虑的作战使用性能如表 2 所示。

表 2 某型潜艇作战使用性能列表

Tab. 2 Submarine operational performances

编号	1	2	3	4	5	6	7
指标	最大航速 (节)	最大潜深 (m)	声纳作用 距离(链)	噪声水平 (dB)	导弹弹量 (枚)	鱼雷弹量 (枚)	声诱饵弹量 (枚)

(3) 以“海狼”级攻击型核潜艇、“弗吉尼亚”级和“特拉法尔加”级攻击型核潜艇为竞争性分析的对象, 收集这几种潜艇的相关信息, 并进行甄别以提高数据的可靠性。

(4) 由专家提出一组具有代表性的可能满足需求的可行方案, 表 3 当中列出了这些方案的作战使用性能的归一化值。

表 3 某型潜艇多方案作战使用性能值

Tab. 3 Values of operational performances

方案	最大航速	最大潜深	声纳作用距离	噪声水平	导弹弹量	鱼雷弹量	声诱饵弹量
A1	0.6	0.4	0.5	0.6	0.8	0.6	0.5
A2	0.9	0.4	0.3	0.4	0.5	0.8	0.8
A3	0.95	0.6	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8
A4	0.2	0.8	0.6	0.6	0.9	0.4	0.5
A5	0.4	0.6	0.3	0.6	0.4	0.9	0.5
A6	0.2	0.8	0.9	0.9	0.9	0.4	0.8

(5) 依据如图 3 所示的装备作战需求分析模型, 对影响关系 1 和 2 进行分析。这里仅给出基于军事

需求进行作战任务分析的两两比较矩阵,即影响关系 1,使用 Super Decisions 软件对基于军事使命对作战任务进行两两比较,比较矩阵如图 4 所示,比较结果如图 5 所示,一致性指标为 0.0579,小于 0.1,表明专家判断具有满意的一致性。

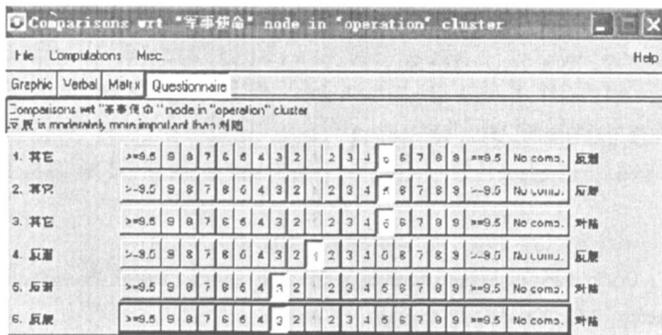


图 4 基于军事使命对潜艇作战任务进行两两比较
Fig. 4 Pairwise comparisons of submarine missions

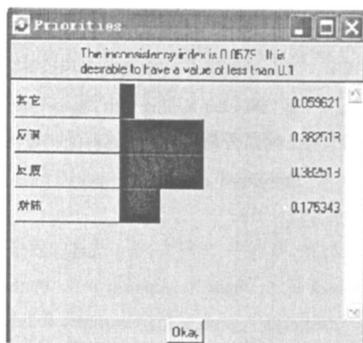


图 5 潜艇作战任务的重要性排序结果
Fig. 5 Submarine mission ratings

(6) 对影响关系 3 和 4 进行分析,这里仅给出基于反潜作战任务对国外同类装备进行对比分析的的两两比较矩阵,比较矩阵如图 6 所示,比较结果如图 7 所示,一致性指标为 0.0176,小于 0.1,表明专家判断具有满意的一致性。

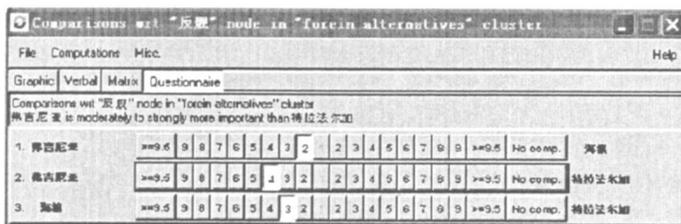


图 6 基于反潜任务对国外同类装备进行两两比较
Fig. 6 Pairwise comparisons of foreign submarines

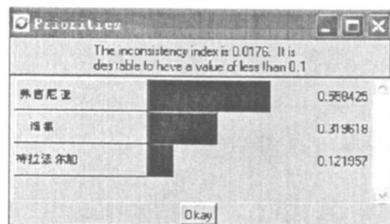


图 7 国外同类装备基于反潜任务的排序结果
Fig. 7 Foreign submarines ratings

(7) - (10) 的分析过程,限于篇幅,这里就不再赘述了。使用同样的两两比较的分析方法,可以对其他影响关系进行分析,最终建立超矩阵。

(11) 使用 Super Decisions 软件对超矩阵进行极限计算,得到作战使用性能的综合权重,结果如表 4 所示。

表 4 某型潜艇作战使用性能综合权重
Tab. 4 Submarine operational performance weights

指标	最大航速	最大潜深	声纳作用距离	噪声水平	导弹弹量	鱼雷弹量	声诱饵弹量
权重	0.111	0.10	0.182	0.2	0.173	0.144	0.09

4 结束语

在新型装备的论证阶段,作战需求分析是最重要的工作之一,其结果对武器装备论证部门、设计部门和使用部门的决策产生直接的影响。基于质量功能部署和网络分析法提出了一种新的装备作战需求分析模型,给出了相应的作战需求分析过程,最终得到能够合理反映军事需求并且充分考虑了竞争性和可行性的作战使用性能重要度排序,这一排序可以为下一阶段在更大范围内进行方案探索提供有力的支持,以实例对这一方法进行了验证。本文所提方法是对装备作战需求分析的有益探索,丰富了复杂武器装备作战需求分析的手段。

参考文献:

- [1] 常天庆, 刘晓斌. 一种基于 QFD 的结构化装备作战需求论证方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2003, 17(2): 17-20.
- [2] 林志航, 车阿大. 质量功能部署研究现状及进展[J]. 机械科学与技术, 1998, 17(1): 119-122.
- [3] 袁贵勇, 刘晓东. QFD 方法在空战武器装备需求分析中的应用[J]. 装备指挥技术学院学报, 2004, 15(4): 23-26.
- [4] 翟丽. 质量功能展开技术及其应用综述[J]. 管理工程学报, 2000, 14(1): 52-60.
- [5] Saaty T L. Decision Making with Dependence and Feedback [M]. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.
- [6] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论和算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, (3): 44-50.
- [7] Ho W. Integrated Analytic Hierarchy Process and Its Applications—A Literature Review[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 186: 211-218.
- [8] 刘鸿恩, 张列平, 车阿大, 等. 改进的质量功能展开——系统方法[J]. 系统工程理论与实践, 2000, (2): 58-62.
- [9] Karsak E E, Sozer S, Alptekin S E. Product Planning in Quality Function Deployment Using a Combined Analytic Network Process and Goal Programming Approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2002, 44: 171-190.
- [10] Partovi F Y, Corredoiro P A. Quality Function Deployment for the Good of Soccer[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 137: 642-656.
- [11] Yoon C H, Kim Y P. Redesigned Quality Function Deployment Process to Ensure Customer Satisfaction[J]. International Journal of Business Innovation and Research, 2006, 1(2): 149-169.
- [12] Tolga E, Alptekin S E. Product Development Process Using a Fuzzy Compromise-based Goal Programming Approach[R]. ICCSA, 2007.
- [13] Ralarjo H, Brombacher A C, Xie M. Dealing with Subjectivity in Early Product Design Phase: A Systematic Approach to Exploit Quality Function Deployment potentials[J]. Computers & Industrial Engineering, 2008, 55: 253-278.

(上接第 133 页)

参考文献:

- [1] Treacy M J, Ebbesen T W, Gibson J M. Exceptionally High Young's Modulus Observed for Individual Carbon Nanotubes[J]. Nature, 1996, 381: 678-680.
- [2] Salvat J P, Andrew G, Driggs D, et al. Elastic and Shear Moduli of Single-walled Carbon Nanotube Ropes [J]. Phys Rev Lett, 1999, 82: 944-947.
- [3] Slack G A. Nonmetallic Crystal with High Thermal Conductivity [J]. J Phys Chem Solids, 1973, 34: 321-335.
- [4] Hashimoto N, Yoden H, Deki S S. Sintering Behavior of Fine Aluminum Nitride Powder Synthesized from Aluminum Polynuclear Complexes[J]. J Am Ceram Soc, 1992, 75(8): 2098-2106.
- [5] Troczynski T B, Nicholson P S. Effect of Additives on the Pressureless Sintering of Aluminum Nitride between 1500° and 1800°C [J]. J Am Ceram Soc, 1989, 72(8): 1488-1491.
- [6] Watan K, Valecillos M C, Brito M E. Low-temperature Sintering and High Thermal Conductivity of YLiO₂-Doped AlN Ceramics [J]. J Am Ceram Soc, 1996, 79(12): 3103-3108.
- [7] Youngman R A, Harris J H. Luminescence Studies of Oxygen-related Defects in Aluminum Nitride [J]. J Am Ceram Soc, 2005, 73(11): 3238-3246.
- [8] Da Y Y, Hundere A M, Hoier R. Microstructural Characterization and Microstructural Effects on the Thermal conductivity of AlN(Y₂O₃) Ceramics [J]. J Eur Ceram Soc, 2002, 22: 247-252.
- [9] Masahko T, Hideaki M. Microstructures and Properties in Aluminum Nitride-titanium Nitride Composite Ceramics [J]. J Mater Sci, 1999, 41(3): 139-144.