

KJ-AHP-QFD 结合的两用清扫车外观设计提案研究

吴俭涛, 李婷

(燕山大学, 秦皇岛 066004)

摘要: **目的** 探讨工业设计人员如何综合应用科学方法进行产品设计定位的合理性论证与初步设计提案。**方法** 通过数学建模对基本设计定位进行效益水平论证, 结合 QFD 理论、KJ 法和 AHP 法的运用进行约束条件分析和可替换式结构选择, 得出有形设计提案。**结果** 获得了 4 种扫雪条件的成本公式和效益公式, 两用车的 4 个二次水平, 23 个三次水平, 6 对冲突需求与技术解决方案, 14 项可采用技术措施, 1 个用户需求—技术方案关系矩阵和 1 套外观设计提案。**结论** 此方法可以有效减少设计人员对设计定位的主观性和先验性, 减少发散思维和感性逻辑所引起的造型提案随意性, 可以提高设计定位和设计方案的科学合理性和实际应用性。

关键词: KJ-AHP-QFD 组合; 设计定位; 技术方案; 外观设计提案

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)16-0077-06

The Appearance Draft Design of Dual-sweeper Based on the Combined KJ-AHP-QFD

WU Jian-tao, LI Ting

(Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

ABSTRACT: To discuss the industrial designers how to use the multiple methods for the product marketing and draft design. First, through the basic design positioning of mathematical modeling, we can set the argument of benefit level. Second, in combination with the theory of QFD, KJ and AHP, we can get the constraint. Finally, we can draw a proposal. The research got 4 cost formula, 4 benefit formula for 4 kinds of snowcleaning condition, 4 secondary levels, 23 three levels, 6 conflict requirements and technical solutions, 14 technical measures, 1 relation matrix between user demand & technology solutions and 1 appearance draft design. This method can reduce the subjectivity and apriority of design positioning effectively. At the same time, it can reduce the randomness of modeling design causing by divergent thinking and emotional logic. It will greatly improve the rationality of design positioning.

KEY WORDS: combined KJ-AHP-QFD; design positioning; technology plan; appearance draft design

产品设计定位是产品的内部因素及外部因素对产品使用功能的限定性描述^[1]。了解设计的各种约束, 是认识设计自由度的需要, 也是准确的设计定位的需要^[2]。

工业设计人员, 尤其是工业设计专业的学生在提出创意构想时一般不做详细充分的设计定位评估和技术方案推敲, 对各种设计约束条件只有一个模糊的、定性化的认知, 这往往造成后续的外观设计

草案改进更多地依靠技术人员建议、个人经验和审美习惯等条件, 设计方案优化度和综合考量性不高。

伴随多学科交叉融合发展的趋势要求, 各学科方法的综合应用成为提升和完善各自学科体系内涵, 推动自身学科发展的重要手段和途径^[3]。Zhang 等人^[4]将模糊 AHP 法应用于家电产品设计评估, Desa 等人^[5]将 AHP 法应用于产品设计材料与工艺选择的决策过程, Bin 等人^[6]将 AHP 法应用于汽车设计信息评估

收稿日期: 2016-04-09

基金项目: 河北省高等教育教学改革研究项目(2015GJJG032); 燕山大学青年教师自主研究计划课题社科 A 类项目(13SKA009)

作者简介: 吴俭涛(1976—), 女, 吉林人, 硕士, 燕山大学副教授, 主要研究方向为产品设计规划与设计管理。

的专家系统开发, Kowalska 等人^[7]应用 QFD 法分析糖果类产品质量问题, Tu 等人^[8]将 AHP 与 QFD 结合运用进行新型运动耳机的开发。此外, Kunifuji 等人^[9]提出的 KJ Ho 法, Liu 等人^[10]分析了工程扫雪车的矛盾需求因素与创新的关系, Sun 等人^[11]从品牌识别的角度谈产品外观设计。这些研究大多基于单一方法或主要因素对产品设计进行评估或创新开发。这里尝试利用数学建模、QFD 理论、KJ 法和 AHP 法对两用型清扫车设计定位和技术方案进行评估和分析, 进而引导有形设计方案的提出与改进。

1 实验

1.1 两用型清扫车的设计定位与可行性评估

准确评估两用车市场经济效益和应用前景, 首先需建立数学模型来进行两用车成本剖析。参考常用清扫车的工作参数与清扫效率^[12-13], 设定模型目标函数为“维护固定面积 $X(\text{m}^2)$ 干净卫生时间 $Y(\text{年})$ 所需要的总成本 Z 最少”, 模型虚拟条件为“面积 X 必须每天清扫一次”、“路面清扫车的使用寿命为 Y , 一年以 365 天计算”、“一年内不下雪的时间比例为 $a(\%)$, 下雪下雪的时间比例为 $b(\%)$, 则 $b=1-a$ ”、“人工清理, 每人工资每天 70 元, 每人一次性清理范围为 1.2 m, 行进速度为 0.2 m/s, 每天工作 8 h, 每 10 天更换 6 元钱扫把一次”、“所需垃圾清扫车数量 Q_1 , 每辆电动清洁车维护成本为 $K_1(\text{元})$, 一次性清扫范围为 2 m, 最高行进速度 20 km/h (5.56 m/s), 百公里耗电量为 20 kWh(包含风机使用电), 每米 0.0002 kWh, 电费为 1.5 元/kWh, 单人操作”、“需要扫雪车数量 Q_2 , 扫雪车一次性投入为 $K_2(\text{元})$, 该车一次性扫雪范围为 2 m, 最高行进速度 15 km/h (4 m/s)”。

条件 1: 人力清扫 X 面积的垃圾 Y 年, 每年工作时间为 a , 总成本 Z_1 的计算公式为 $Z_1=(Y \times 365 \times a \times 70 + Y \times 6 \times a \times 365 / 10) \times X / (1.2 \times 0.2 \times 8 \times 60 \times 60) = 3.728 \cdot XYa$; 条件 2: 人力扫雪 X 面积垃圾 Y 年, 每年工作时间为 b , 总成本 Z_2 的计算公式为 $Z_2=(Y \times 365 \times b \times 70 + Y \times 6 \times b \times 365 / 10) \times X / (0.5 \times 0.1 \times 8 \times 60 \times 60) = 17.775XYb$; 条件 3: 路面清扫车清洁 X 面积 Y 年, 每年工作时间为 a , 总成本 Z_3 的计算公式为 $Z_3=Q_1K_1+365 \times 70 \times YaX / (2 \times 5.56 \times 8 \times 3600) + 0.0002 \times 1.5 \times 365 \times aXY / (2 \times 5.56) = Q_1K_1 + 0.09XYa$; 条件 4: 扫雪车清扫 X 面积 Y 年, 每年工作时间为 b , 总成本 Z_4 的计算公式为 $Z_4=Q_2K_2+b \times 365 \times 70 \times YX / (2 \times 4 \times 8 \times 3600) + 0.000546$

$\times 365 \times bXY / (2 \times 4) = Q_2K_2 + 0.136XYb$ 。根据以上条件分析, 设置的 4 种叠加成本比较方案见表 1。

表 1 4 种叠加成本比较方案
Tab.1 4 overlay cost comparison projects

序号	方案	叠加成本
P_1	人扫雪+人扫垃圾	$P_1=Z_1+Z_2=3.728XYa+17.775XYb$
P_2	人扫雪+车扫垃圾	$P_2=Z_2+Z_3=17.775XYb+Q_1K_1+0.09XYa$
P_3	车扫雪+人扫垃圾	$P_3=Z_4+Z_1=3.728XYa+Q_2 \times K_2+0.136XYb$
P_4	车扫雪+车扫垃圾	$P_4=Z_3+Z_4=Q_1K_1+Q_2K_2+0.09XYa+0.136XYb$

假设 B_1 为车扫垃圾代替人扫垃圾所产生的效益, 则可以得到 $B_1=P_1-P_2=3.638XYa-Q_1K_1$; 假设 B_2 为扫雪车代替人扫雪所产生的效益, 则可以得到 $B_2=P_1-P_3=17.639XYb-Q_2K_2$; 当用户分别购置清扫垃圾和扫雪两辆车时, 效益 $B_3=P_1-P_4=(17.639-14a)XY-Q_1K_1-Q_2K_2$; 而将垃圾清扫车与扫雪车合并为一车, 则 $B_3=P_1-P_4=(17.639-14a)XY-Q_2K_2$ 。

1.2 KJ-AHP-QFD 组合运用的约束条件分析与结构方案选择

1.2.1 运用 KJ 法与 AHP 法进行用户需求层次分类

利用问卷调查法和 KJ 法获得初步用户需求声音并对客户需求进行层次化分析。首先, 确定总需求“满意的两用清扫车”为一次水平; 其次, 结合专家小组意见, 将总需求进行分解, 获得二次水平; 最后, 将问卷调查统计得到的用户多种具体要求作为三次水平, 并按二次水平项要求对三次水平各项进行归类。

明确了 3 个层次水平的各类需求后, 针对二次水平和三次水平, 设置 AHP 调查问卷表, 以社区工作者、保洁人员及汽车设计资深人士为调查对象, 并请其对各项需求进行赋值, 根据 AHP 理论, 从中选取各类人员的 8 份数据进行群体决策数据处理, 得到一致性数据, 符合一致性检验。

根据调查数据, 两两比较同一层次的各个因素, 得到相对于上一层次需求的各自权重数。使用 AHP 法对需求优先级排序, 对第二层次顾客需求进行 AHP 问卷排序。最后, 使用 AHP 分析方法对问卷数据进行分析, 得出所有第三层次顾客需求重要度排序见图 1。

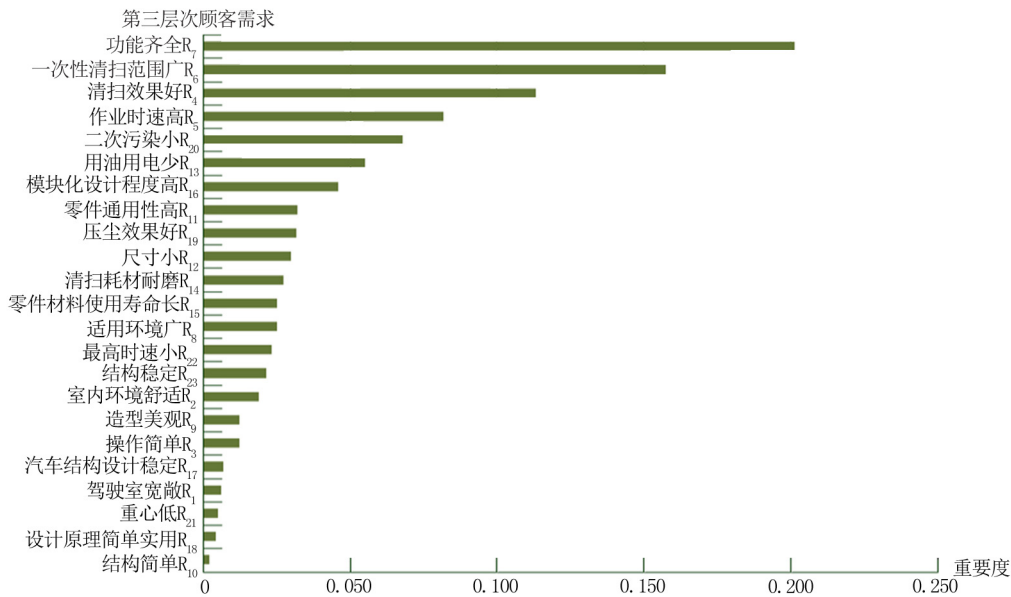


图 1 第三层次顾客需求重要度排序
Fig.1 Importance of the third level of customer requirements

1.2.2 用户需求自相关矩阵分析

根据经验用户评分，建立用户需求自相关矩阵，查找矛盾对立的冲突需求。冲突需求的技术解决方案见表 2，其基本原则为：优先选择同时满足两个需求的技术方案，不能则根据需求重要度选择重要度高对应的方案。

表 2 冲突需求的技术解决方案
Tab.2 Technical solution to the contradiction

	冲突需求	技术解决方案
驾驶室宽敞	汽车尺寸小	较小转弯半径
清扫效果好	压尘效果好	喷雾压尘土设计
作业时速高	最高时速小	最高 30 km/h
清扫范围广	汽车尺寸小	清扫部件可伸缩
功能齐全	用油用电少	混合动力设计
清扫效果好	二次污染小	循环气流设计

1.2.3 技术方案展开

技术方案展开是将顾客需求转换成技术特性语言来表达，也是将文字化的顾客需求形象化和产品化的必需过程。归纳技术特性时需依据 3 项原则，即针对用户需求提取技术方案，技术方案必须具备可行性，不能有损其他用户需求。依据客户需求层次分析结果，将客户需求转化成符合以上 3 项原则的技术措施。

1.2.4 QFD 法进行用户需求与技术方案关系矩阵分析

用户需求和技术方案的关系矩阵是评价技术方案是否符合用户需求的重要方法，是 QFD 方法的核

心。用户需求—技术方案关系矩阵见表 3，评判过程中，强相关用符号 $\oplus$ 表示，计分为 5；一般相关用符号 $\circ$ 表示，计分为 3；弱相关用符号 Δ 表示，计分为 1，不相关计分为 0。

根据用户需求—技术方案关系矩阵，对某套初步设计方案进行评分，并得到该套设计方案的评分表。根据所具备技术条件，可以对实这套技术方案进行优化，并重新评分，从而确定改良后的设计方案。根据设计技术方案要求，进行各部件的有形化设计，最终得到外观设计提案。

2 结果

2.1 两用车的效益优势条件

通过分析 B_1 , B_2 , B_3 的模型曲线图，可得出两用车清扫车方案的优势条件：(1)两车合并后整体效应提升 Q_1K_1 ；(2)当 $X=320256$ 附近时，以人力扫雪为主，作业面积远超时，车扫雪效益更高；(3)扫雪车和清扫车两者结合， b 值将不受影响。

根据以上结论可以得出：将垃圾清理车与扫雪车结合的两用车清扫车，经济效益显著、适用范围更广，因此，两用车清扫车的设计定位具有可行性和实际生产意义。

2.2 KJ 法与 AHP 法获得的水平层次与排序

总需求“满意的两用车”为一次水平，“功能性好、经济性好、环境污染小、安全度高”为 4 个二次水平；

表 3 用户需求—技术方案关系矩阵
Tab.3 Relationship matrix between user needs and technical solutions

三次水平	权重	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}
R_1	0.006														
R_2	0.019	⊕													
R_3	0.013												⊕		
R_4	0.113		⊕	⊕		⊕	⊕								
R_5	0.082				Δ										
R_6	0.158					⊕	⊕								
R_7	0.202	Δ	O					⊕				⊕		O	
R_8	0.025							O			⊕	⊕	O		
R_9	0.013														
R_{10}	0.002								⊕	O					
R_{11}	0.032		O	O		O				⊕		⊕	O		
R_{12}	0.030						O			⊕	O				
R_{13}	0.055											⊕			
R_{14}	0.028		O	O		O				Δ					
R_{15}	0.025		O	O		O				Δ		Δ			
R_{16}	0.046		Δ	Δ		Δ	Δ	O					⊕		
R_{17}	0.007							Δ	⊕	Δ					
R_{18}	0.005						Δ		⊕				Δ		
R_{19}	0.032													⊕	
R_{20}	0.068													O	⊕
R_{21}	0.005														
R_{22}	0.024				Δ										
R_{23}	0.022		Δ	Δ		Δ			⊕				Δ		
评分	--	0.30	1.50	0.89	0.11	1.68	1.50	1.23	0.18	0.38	0.22	1.60	0.50	0.97	0.34

问卷调查统计得到的用户多种具体要求汇总为 23 个三次水平。

2.3 用户需求自相关矩阵获得的矛盾需求与技术解决方案

通过用户需求自相关矩阵得到的两用车的 6 对功能矛盾需求与技术解决方案有以下 6 个：(1)驾驶室宽敞 VS 车体尺寸小，技术解决方案是减小转弯半径；(2)清扫效果好 VS 压尘效果好，技术解决方案是喷雾式压尘装置；(3)作业时速高 VS 最高时速小，技术解决方案是时速限定 30 km/h；(4)清扫范围广 VS 车体尺寸小，技

术解决方案是伸缩式清扫部件；(5)功能齐全 VS 节油节电，技术解决方案是混合动力；(6)清扫效果好 VS 二次污染小，技术解决方案是气流循环控制。

2.4 技术方案展开结果

依据客户需求层次分析结果和矛盾需求与技术解决方案，得到了技术方案展开结果，不同层次水平与对应技术措施见表 4。

2.5 QFD 法获得的用户需求与技术方案关系矩阵

根据技术方案展开结果，获得了两用清扫车的

用户需求—技术方案关系矩阵。

表 4 不同层次水平与对应技术措施
Tab.4 Levels and technical solutions

一次水平	二次水平	三次水平	技术措施
满意的 两用车	功能性好 Q_1	驾驶室宽敞 R_1	恒温环境设计 L_1
		室内环境舒适 R_2	
		操作简单 R_3	
		清扫效果好 R_4	滚刷 L_2 、风机 L_3
		作业时速高 R_5	最高时速限定 L_4
		一次性清扫范围广 R_6	盘刷中置 L_5 可伸缩 L_6
		功能齐全 R_7	扫雪扫垃圾二合一 L_7
		适用环境广 R_8	承载式车身设计 L_8
		造型美观 R_9	
	经济性好 Q_2	结构简单 R_{10}	
		零件通用性高 R_{11}	采用标准零部件 L_9
		尺寸小 R_{12}	较小转弯半径设计 L_{10}
		用油用电少 R_{13}	混合动力设计 L_{11}
		清扫耗材耐磨 R_{14}	可拆卸设计 L_{12}
		零件材料使用寿命长 R_{15}	
		模块化设计程度高 R_{16}	
		汽车结构设计稳定 R_{17}	承载式车身设计
		设计原理简单实用 R_{18}	承载式车身设计
	环境污染小 Q_3	压尘效果好 R_{19}	喷雾压尘设计 L_{13}
		二次污染小 R_{20}	气流循环布置设计 L_{14}
	安全度高 Q_4	重心低 R_{21}	最高时速限定 L_4
		最高时速 R_{22}	
		结构稳定 R_{23}	

2.6 外观设计提案

比较用户需求—技术方案关系矩阵评分结果，确定改良后的设计方案。参考常见清扫车清扫装置的主体结构形式^[14]，结合研究结果将各部件进行有形化设计，最后整合得到两用车整体外观设计提案，见图 2。

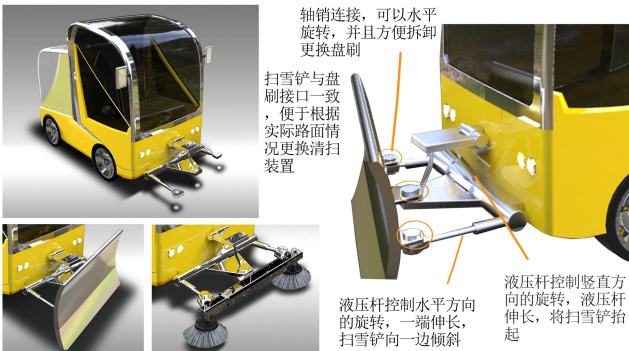


图 2 两用清扫车外观设计提案
Fig.2 Dual-sweeper appearance draft design

3 结语

KJ 法，AHP 法与 QFD 法的组合运用，客观清楚、系统完整地体现了从产品定位评判到产品外观设计有形方案提出的全部过程，充分证明了兼具清理道路垃圾和路面积雪两种功用的清扫车能有效节约人力和使用成本，适合北方地区，具有很强的市场推广价值的观点。此外，该方案不仅可以提升工业设计学生对理性设计思维的认识，开拓他们理性设计方法的视野，而且还可评价竞争对手的设计方案与客户需求的贴合度，为竞品调研提供数据支持^[15]，对工业设计人员有直接的引导和借鉴作用。

参考文献：

[1] 魏梦蝶. 基于产品属性分析的产品设计策划研究[D]. 青岛: 山东大学, 2014.
WEI Meng-die. The Planning Research of Product Design Based on the Product Attributes Analysis[D]. Qingdao: Shandong University, 2014.

[2] 韩晓露. 家具设计课程中设计调研的优化探讨[J]. 文教资料, 2014(8): 183—185.
HAN Xiao-lu. Optimization Study on the Teaching Researches in Furniture Design Course[J]. Cultural and Educational Information, 2014(8): 183—185.

[3] 杜卫, 陈恒. 学科交叉: 应用型本科院校学科建设的战略选择[J]. 高等工程教育研究, 2012(1): 127—131.
DU Wei, CHEN Heng. Interdisciplinary Study: the Strategic Selection of the Discipline Construction in Application-oriented Institutions[J]. Higher Engineering Education Research, 2012(1): 127—131.

[4] ZHANG Wan-yu. Product Design Evaluation of Home Appliances Based on Fuzzy-AHP[J]. Advanced Materials Research, 2014(10): 185—188.

[5] DESAI S. Material and Process Selection in Product Design Using Decision-making Technique (AHP)[J]. European Journal of Industrial Engineering, 2012, 6(3): 322—326.

[6] BIN W. An Expert System for Automobile Design Knowledge Evaluation Based on AHP[J]. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 2013, 12(1): 69—84.

[7] KOWALS K. Implementation of QFD Method in Quality Analysis of Confectionery Products[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2015(5): 1—9.

[8] TU Nan. Applying Combined AHP-QFD Method in New Product Development: a Case Study in Developing New Sports Earphone[J]. 2011 International Conference on Management Science and Industrial Engineering, 2011(10): 80—85.

[9] KUNIFUJI S. A Japanese Problem-solving Approach: the KJH Method[J]. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016, 34: 165—170.

- [10] LIU Jiang-nan, LIU Qiu-ping. Study of the Contradiction and Innovation of the Road Snowplow of Engineering Vehicles[J]. Journal of Hunan University(Natural Sciences), 2011, 38(6): 33—37.
- [11] SUN Q. Study on Product Appearance Design Based on Brand Identification[J]. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, 2015, 38(2): 91—96.
- [12] 赵小峰, 杨建辉, 张志峰. 清扫车工作参数对清扫效率的影响[J]. 建筑机械化, 2011(7): 44—45.
ZHAO Xiao-feng, YANG Jian-hui, ZHANG Zhi-feng. The Effect of Sweeper's Working Parameters to the Working Efficiency[J]. Construction Mechanization, 2011(7): 44—45.
- [13] 徐会敢, 任国涛, 赵金鹏. 清扫车盘刷工作参数试验研究[J]. 建设机械技术与管理, 2013(4): 107—111.
- XU Hui-gan, REN Guo-tao, ZHAO Jin-peng. Experimental and Research on Parameters of the Side Brush for the Sweeper[J]. Construction Machinery Technology & Management, 2013(4): 107—111.
- [14] 陈顺. 城市道路吸扫车清扫装置的设计与运动仿真[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
CHEN Shun. Design and Dynamic Simulation for the Cleaning Device of Sweeper Truck[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013.
- [15] 花景勇, 马超群, 何人可. 企业产品设计战略的基本内容与方法工具[J]. 包装工程, 2015, 36(10): 72—74.
HUA Jing-yong, MA Chao-qun, HE Ren-ke. Basic Contents, Methods and Tools of Enterprise Product Design Strategies[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(10): 72—74.