

# 基于模糊层次分析法的汽车造型设计开发风险评价

李彦龙<sup>1,2</sup>, 盘昌星<sup>1,2</sup>, 蔡 谦<sup>3</sup>

(1. 同济大学 汽车学院, 上海 201804; 2. 同济大学 新能源汽车及动力系统国家工程研究中心, 上海 201804;

3. 上汽大众 设计部, 上海 201804)

**摘要:** 对影响汽车造型设计开发的风险指标进行研究, 全面系统识别出各项风险指标, 应用模糊层次分析法(FAHP)建立层次结构模型, 对指标的权重和评价指标隶属度矩阵进行计算和综合评判, 为汽车设计公司承接的造型设计开发项目风险应对和风险控制提供量化依据。

**关键词:** 工业设计; 汽车造型; 风险评价; 模糊层次分析法

中图分类号: TB472

文献标志码: A

## A Risk Evaluation Study of Car Design Development Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

LI Yanlong<sup>1,2</sup>, PAN Changxing<sup>1,2</sup>, CAI Qian<sup>3</sup>

(1. School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. National Engineering Research Center of New Energy Vehicles and Power Systems, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. SAIC VOLKSWAGEN, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** After studying the risk indicators that affect the design development, the risk indicators are identified comprehensively and systematically, and the hierarchical structure model is established by applying fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) to calculate and comprehensively evaluate the weight of the indicators and the membership matrix of the evaluation indicators, so as to provide a quantitative basis for the risk response of car styling design projects. The method can effectively and accurately evaluate and control the risk of the styling project contracted for the car design company.

**Key words:** industrial design; car styling design; risk management; fuzzy analytic hierarchy process(FAHP)

汽车造型设计有很强的评价主观性和不确定

性, 一款车型的造型设计需要数十家相关企业协同, 设计和决策体系非常复杂。在流程中, 设计与工程开发并行开展, 互相影响, 设计变更风险高。随着汽车新科技、新技术涌现, 竞争对手不断推出新产品, 为提高产品的竞争力, 在设计过程中主动优化的需求增强。因此, 汽车造型设计公司在承接甲方企业(主机厂)外包的设计项目时, 需要实时开展风险评价, 避免项目出现范围、进度、质量、成本与原合同发生偏离。在过往项目中, 汽车造型设计公司通常依赖管理人员根据过往的工作经验进行直觉判断, 不能精准制定风险防范与控制策略。

因此, 建立一套系统、科学的风险评价方法, 提高造型开发项目的效率和成功率是当前汽车造型设计公司面临的重要问题。

## 1 项目风险管理

### 1.1 项目风险管理理论

项目风险管理包括风险规划、风险识别、风险分析、风险应对和风险控制, 目标是提高项目中积极事件的概率和影响, 降低消极事件的概率和影响, 实现项目目标<sup>[1]</sup>。在项目实施过程中, 一般通过归纳和演绎对风险进行分析, 对各风险指标的风险概率或者风险影响大小通过文字语言的描述进行定性研究。然后采用专家调研及评估法、模糊层次分析法等风险评价方法对各指标的数量关系进行量化研究, 以便采取更精确的对策和措施<sup>[2-6]</sup>。

### 1.2 模糊层次分析法理论

模糊层次分析法, 将问题分解为多层次指标, 按

收稿日期: 2022-02-28

第一作者: 李彦龙(1974—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为汽车造型设计, 汽车造型策略和汽车造型与空气动力学。E-mail: mail\_dragon@tongji.edu.cn

通信作者: 蔡 谦(1972—), 男, 高级工程师, 工学硕士, 主要研究方向为汽车造型及管理。E-mail: caiqian@csvw.com



论文  
拓展  
介绍

照层次间的隶属关系和优先级关系建立评价指标集,根据指标权重建立权重集,根据评价结果等级建立评语集,根据指标对各个评语的隶属度模糊子集建立模糊判断矩阵,最后进行综合评判<sup>[7-11]</sup>。

## 2 项目风险的识别与结构模型建立

### 2.1 识别风险影响指标

对汽车造型设计公司承接的项目进行全生命周期研究后,按时间先后顺序将项目分为投标阶段、创意设计阶段、设计开发阶段。设计开发阶段投入时间最长,参与方最多,协同最复杂,也是项目风险最难控制的阶段,对项目的成败至关重要。

创意设计阶段提交的外观造型、内饰造型、色彩、材质面料等设计概念方案经过评审选定后,在设计开发阶段通过计算机辅助曲面(CAS)、油泥模型进一步完善,结合工程可行性研究和评审反馈对外观设计、内饰设计、色彩、材质面料进一步修改。

结合案例分析法和头脑风暴法,识别出设计开发阶段4类主要风险指标:甲方企业风险、项目管理风险、设计质量风险、工程可行性风险<sup>[12-18]</sup>。

在设计开发过程中设计公司对项目付款风险进行实时评估,对甲方企业相关负责人的期望进行管理,并对由于甲方原因导致的项目变更进行实时监测<sup>[19]</sup>。

创意设计阶段选定比例姿态、设计主题后,在设计开发阶段,通过数字模型、油泥模型、硬质模型反复推敲<sup>[20-22]</sup>,设计公司需要实时管控项目成本、项目团队和项目进度。

设计开发阶段是项目最重要的交付阶段,除了对日常工作进行监管,还需要按照交付节点对造型设计质量风险、数字模型质量风险、物理模型质量风险进行审查和验收。

造型与造型工程的工作同时开展,逻辑关系与时序关系上平行交叉,需要实时管控总布置可行性风险、结构可行性风险、工程方案经济性风险。

### 2.2 建立风险指标层次结构模型

根据对风险的识别建立风险指标层次结构模型,包括目标层、一级指标层、二级指标层。目标层用Z表示,一级指标层用A1到A4表示,二级指标层用B1到B12表示,如表1所示。

### 2.3 计算风险指标权重

建立评价专家小组,利用风险指标评分表调查问卷进行评价,建立目标层判断矩阵如下:

表1 设计开发阶段风险指标层次结构模型  
Tab. 1 Hierarchical structure model of risk assessment

目标层	一级指标	二级指标
设计开发阶段 风险Z	甲方企业风险 A1	项目付款风险 B1
		甲方关键干系人管理风险 B2
		甲方决策变更风险 B3
	项目管理风险 A2	项目成本管理风险 B4
		项目团队管理风险 B5
		项目进度管理风险 B6
	设计质量风险 A3	项目造型方案质量风险 B7
		项目数字模型质量风险 B8
		项目物理模型质量风险 B9
	工程可行性风险 A4	总布置可行性风险 B10
		结构可行性风险 B11
		工程方案经济性风险 B12

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 & 4 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

根据以下公式计算:

$$\bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\bar{w}_i = \sum_{k=1}^n \bar{a}_{kj}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$w_i = \bar{w}_i / n \quad (3)$$

式(1)~(3)中: $a_{ij}$ 为指标*i*与*j*重要性比较结果; $\bar{w}_i$ 为*n*维向量; $w_i$ 为权重向量。

建立目标层指标权重矩阵  $W_z = (0.5791, 0.2326, 0.1213, 0.0670)$ ,随后,进行一致性比例的计算如下:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} = 4.0284 \quad (4)$$

$$C_1 = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = 0.0095 \quad (5)$$

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} = 0.0106 \quad (6)$$

式(4)~(6)中: $A$ 为判断矩阵; $C_1$ 为一致性指标; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值; $R_1$ 为随机一致性指标; $C_R$ 为一致性比例。

一致性比例  $C_R = 0.0106 < 0.1$ ,判断矩阵  $A$  满足一致性要求。

根据以上计算方法分别计算一级指标层风险影响指标权重矩阵:

$$W_{A1} = (0.6999, 0.1935, 0.1066)$$

$$W_{A2} = (0.6333, 0.2605, 0.1062)$$

$$W_{A3} = (0.6333, 0.2395, 0.1373)$$

$$W_{A4} = (0.5571, 0.3202, 0.1226)$$

### 3 项目风险评价与应对

#### 3.1 项目风险的评价

项目风险的评价按时间先后顺序分别为数字模型第一版(CAS1)、油泥模型第一轮(Clay1)、数字模型第二版(CAS2)、油泥模型第二轮(Clay2)、数字模型第三版(CAS3)、A级曲面第一版(Class1)、A级曲面第二版(Class2)等。其中数字模型第三版(CAS3)是设计开发阶段一个重要的节点,体现了汽车造型的主题、型面、特征的完成状态。CAS3通过验收后启动A级曲面设计,进行工程数据的设计。本文以某项目CAS3交付节点为例进行研究,该节点数据状态如图1所示。

根据风险指标评价等级建立评语集  $V = \{v_1(\text{高}$

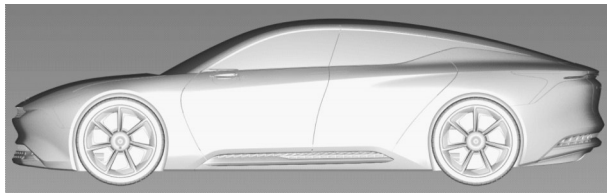


图 1 某项目 CAS3 交付节点数据状态  
Fig. 1 CAS3 milestone data status

风险),  $v_2(\text{较高风险}), v_3(\text{一般风险}), v_4(\text{较低风险}), v_5(\text{低风险})$ , 取区间中位值作为评语集赋值的列向量  $C = (90, 70, 50, 30, 10)^T$ 。

由评价专家小组利用风险等级评价表调查问卷,建立评价指标隶属度矩阵,计算模糊综合评价值。

$$B_z = W_z R_z = \tag{7}$$

$$(0.579\ 1, 0.232\ 6, 0.121\ 3, 0.067\ 0) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.317\ 1 & 0.482\ 9 & 0.100\ 0 & 0.100\ 0 & 0 \\ 0.075\ 8 & 0.361\ 0 & 0.398\ 2 & 0.1277 & 0.037\ 2 \\ 0.392\ 4 & 0.429\ 6 & 0.089\ 0 & 0.890\ 0 & 0.0000 \\ 0.081\ 6 & 0.449\ 0 & 0.265\ 3 & 0.163\ 3 & 0.040\ 8 \end{bmatrix}$$

$$(0.254\ 3, 0.445\ 8, 0.179\ 1, 0.109\ 3, 0.011\ 4)$$

$$S_z = \sum_{j=1}^5 B_j V_j = 0.254\ 3 \times 90 + 0.445\ 8 \times 70 +$$

$$0.179\ 1 \times 50 + 0.109\ 3 \times 30 + 0.011\ 4 \times 10 = 70.029\ 3 \tag{8}$$

式(7)~(8)中:  $R_z$ 为单因素评判矩阵;  $B_z$ 为综合评判矩阵,;  $S_z$ 为模糊综合评价值。

同理,分别计算CAS3交付节点各级指标层风险模糊综合评价值,如表2所示。

表 2 CAS3 交付节点风险模糊综合评价值

Tab. 2 Summary of fuzzy comprehensive valuation

目标层	总得分 S	一级指标层	一级指标得分	等级
CAS3交付节点 风险评价	70.029 3	甲方企业风险 $S_{A1}$	72.342 8	较高风险
		项目管理风险 $S_{A2}$	67.795 1	一般风险
		设计质量风险 $S_{A3}$	74.286 1	较高风险
		工程可行性风险 $S_{A4}$	62.652 3	一般风险

#### 3.2 评价结果分析

经过检验,各指标一致性比例都小于0.1,符合一致性标准。参加评价的专家小组人员对风险评价结果排序较为统一,评价结果有效。目标层模糊向量参数化后风险评价值为70.0293,隶属于较高风险等级。一级指标层中风险评价值最高的是设计质量风险,其次由高到低是甲方企业风险、项目管理风险、工程可行性风险。

#### 3.3 风险应对与风险控制

设计质量处于较高风险等级,调查发现是甲方企业的设计输入频繁变更,导致数字模型的工作量超过原合同,项目出现延期且无法达到合同中约定的设计质量验收标准。甲方企业风险也处于较高风险等级,调查发现甲方企业的经营负债率过高,现金流紧张引起付款延迟。经过项目组提议,公司管理层决定启用损失控制策略暂停项目,由商务团队与甲方企业采购

部门进行商务谈判。后经双方协商,按照合同约定的中止条款终止项目,避免了后期由甲方企业付款失信可能带来的1000余万元经济损失。

### 4 结语

本研究利用模糊层次分析法,识别出汽车造型设计开发项目中4类主要风险指标:甲方企业风险、项目管理风险、设计质量风险、工程可行性风险。建立层次结构模型,对各指标权重进行计算和综合评判,构建基于模糊层次分析法的风险管理框架。项目实践表明,该方法能够有效地把各风险影响指标的感性判断转化为理性数据,为企业精确把握项目风险状态提供量化基础和决策依据,为汽车造型设计公司在设计开发阶段的风险管理提供了一种有效、准确的工具。



### 作者贡献声明:

李彦龙:担任指导老师,对论文的研究方向进行评估、把控和管理,对论文撰写进行指导。

盘昌星:研究并设计数学模型、调查问卷,进行数据计算、处理及论文的撰写。

蔡 谦:对数学模型进行修正,担任评价专家小组负责人并负责数据计算的审核。

### 参考文献:

- [1] 沈建明.项目风险管理[M].北京:机械工业出版社,2016.  
SHEN Jianming. Project risk management [M]. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [2] KAUR P, VERMA R, MAHANTI N C. Selection of vendor using analytical hierarchy process based on fuzzy preference programming[J]. Opsearch, 2010, 47(1):16.
- [3] SATYENDRA K S, ANIL B. Risk mitigation in automotive supply chain: an empirical exploration of enablers to implement supply chain risk management [J]. Global Business Review, 2016, 17(4):790.
- [4] SANCHEZ F, MONICOLO D, BONJOUR E, *et al.* Use of bayesian network characteristics to link project management maturity and risk of project overcost [R]. Ithaca: Cornell University Library, 2020.
- [5] KOVALENKO V, SHELUDKO S, KRETOV D, *et al.* Risk management concepts in project finance: theoretical framework [R]. Varazdin: Varazdin Development and Entrepreneurship Agency, 2020.
- [6] FERREIRA DE ARAÚJO L P, MARCELINO-SADABA S, VERBANO C. Successful implementation of project risk management in small and medium enterprises: a cross-case analysis [J]. International Journal of Managing Projects in Business. DOI 10.1108/IJMPB-06-2020-0203.
- [7] AFZAL F, YUNFEI S, NAZIR M, *et al.* A review of artificial intelligence based risk assessment methods for capturing complexity-risk interdependencies: cost overrun in construction projects [J]. International Journal of Managing Projects in Business, 2019. DOI: 10.1108/IJMPB-02-2019-0047.
- [8] 温静雅. X公司研发外委项目业务流程风险与内控机制研究[D].北京:华北电力大学,2014.  
WEN Jingya. Research on business process risk and internal control mechanism of X company r&d outsourcing project [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [9] 刘磊. WF公司汽车零部件开发项目风险管理研究[D].青岛:青岛大学,2020.  
LIU Lei. Research on risk management of auto parts development project [D]. Qingdao: Qingdao University, 2020.
- [10] 薛忠真. 基于AHP和CIM的项目造价风险评价[J]. 项目管理技术, 2021, 19(3):155.  
XUE Zhongzhen. Project cost risk assessment based on AHP and CIM [J]. Project Management Technology, 2021, 19(3):155.
- [11] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M].北京:电子工业出版社,2014.  
ZHANG Bingjiang. AHP and its application cases [M]. Beijing: Publishing House of Electronics industry, 2014.
- [12] 林丽,李智美. 基于原型理论的产品造型风格创新设计方法研究[J]. 包装工程, 2022, 43(8):9.  
LIN Li, LI Zhimei. Research on innovative design method of product styling based on prototype theory [J]. Packaging Engineering, 2022, 43(8):9.
- [13] MONSAINGEON N, CAROUX L, MOUGINE A, *et al.* Impact of interface design on drivers' behavior in partially automated cars: an on-road study[J]. Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour. DOI 10.1016/j.trf.2021.06.019.
- [14] 吴浩聪,宋健,姚亚凤. Subdivision建模在汽车造型数字化设计中的应用研究[J]. 智能制造, 2022(1):5.  
WU Haocong, SONG Jian, YAO Yafeng. Research on the application of subdivision modeling in the digital design of automobile modeling [J]. Intelligent Manufacturing, 2022(1):5.
- [15] KOUVELIS P, TURCIC D. Supporting operations with financial hedging: cash hedging vs cost hedging in an automotive industry [J]. Production & Operations Management. DOI 10.1111/poms.13314.
- [16] 靳勇. 浅析变更管理在汽车研发中的应用[J]. 科技展望, 2017(8):180.  
JIN Yong. Application of change management in automotive r&d [J]. Science & Technology Outlook, 2017(8):180.
- [17] 白思俊. 现代项目管理概论[M].北京:电子工业出版社,2013.  
BAI Sijun. Introduction to modern project management [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.
- [18] 韩跃灿,郭凯凯. 油泥模型在汽车造型设计中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(21):4825.  
HAN Yuecan, GUO Kaikai. Application of sludge model in automobile modeling design [J]. Building Engineering Technology and Equipment, 2017(21):4825.
- [19] EVANS Z, EDDY T. An examination of sponsor outcomes at different tiers of indycar sponsorship [J]. Sport Marketing Quarterly, 2022, 31(2):113.
- [20] GAO Xun, LI Yong, LIU Fuyong, *et al.* Research on the importance of passenger car design elements based on user evaluation [C]//ICID. [S.l.]:ICID, 2021:178-183.
- [21] MOON S E, KIM J H, KIM S W, *et al.* Prediction of car design perception using EEG and gaze patterns [J]. IEEE Transactions on Affective Computing, 2019:1. DOI: 10.1109/TAFFC.2019.2901733.
- [22] LAI X, ZHANG S, MAO N, *et al.* Redesigning urban elements and structures considering autonomous vehicles: preparing design strategies for wide implementation in cities [J]. Cities, 2022, 165:107913. DOI:10.1016/j.cie.2021.107913.