基于用户需求的车载疲劳预警产品交互设计

王朝侠，廖小菊
（天津科技大学，天津 300222）

摘要：目的 针对疲劳驾驶问题，以用户需求为导向开展疲劳预警产品交互设计研究与评估，提出改进相关产品用户体验的设计方法。**方法** 首先，构建车载疲劳预警产品交互设计体系框架，通过用户访谈、问卷调研等方式归纳用户对车载疲劳预警产品的需求，并建立用户需求层次分析模型。其次，运用 AHP 采集专家和用户的评分并计算指标权重，分析各需求优先级，在此基础上进行车载疲劳预警产品交互设计。最后，运用 FCA 对设计方案进行评估与优化。**结论** 通过设计实例，验证了 AHP-FCA 设计策略的有效性。该方法能够帮助设计人员探索车载疲劳预警产品的交互设计方向，提升用户体验，为相关产品交互设计提供新的思路。

关键词：车载疲劳预警；用户需求；交互设计；用户体验
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2022)14-0090-10
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.010

Interaction Design of In-vehicle Fatigue Early Warning Products Based on User Demand

WANG Zhao-xia, *LIAO Xiao-ju*
(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: Aiming at the problem of fatigue driving, this paper conducts research and evaluation on the interactive design of fatigue early warning products according to the demand of users, and proposes design methods to improve the user experience of related products. First of all, the framework of the interactive design system for in-vehicle fatigue early warning products is established. Through user interviews, questionnaire surveys, etc., the user's demand for in-vehicle fatigue early warning products is summarized, and a hierarchical analysis model of user demand is established. Secondly, the AHP is used to collect the scores of experts and users, and then calculate the weight of the indexes to obtain the priority of each demand. Based on the demand priority, the interactive design of the in-vehicle fatigue early warning product is carried out. Finally, FCA is used to evaluate and optimize the design. The design example verifies the effectiveness of the AHP-FCA design strategy. At the same time, this method can help designers explore the interactive design direction of in-vehicle fatigue early warning products, improve users' experience, and expand the ideas for the interactive design of related products.

KEY WORDS: in-vehicle fatigue early warning; user demand; interaction design; user experience

我国汽车保有量与交通事故数量逐年增加，其中疲劳驾驶事故约占交通事故总数的 20%~40%，疲劳驾驶造成事故的概率是正常驾驶的 4~6 倍[1]。长时间单调的驾驶行为会造成驾驶员心理和生理的疲劳，车载疲劳预警系统以保障驾驶员安全为目的诞生。针对当前的车载疲劳预警系统，多位学者开展了相关研究。文献[2-5]从技术和功能的角度，提出了对车载疲劳预警系统的优化方法；文献[6]通过研究驾驶员对预警的行为响应特征，来获取合适的提示时机；文献[7]基于情景感知，提出了各种驾驶情景下的车载警示系统交互设计建议；文献[8]通过实验研究了热刺激对驾驶员在疲劳驾驶期间生理和心理的影响；文献[9-11]

收稿日期：2022–02–10
作者简介：王朝侠（1972—），女，教授，主要研究方向为产品设计。

探究了音乐和提示音对疲劳驾驶的影响与疲劳唤醒的作用。

综合上述文献可知，车载疲劳预警系统的研究主要集中于疲劳信息的采集与转化、疲劳干预的时机与形式，对车载疲劳预警系统用户需求和交互反馈等方面的研究较少。在以创新性体验和服务为目的的设计背景下，在探索车载疲劳预警系统技术、结构和功能的同时，还需挖掘驾驶员对疲劳预警产品的用户需求，提升疲劳预警人机交互系统的用户体验。本研究以驾驶员需求为导向，提出一种车载疲劳预警产品交互设计研究方法，挖掘驾驶员的心理需求和无意识习惯，运用层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）对需求进行权重分析，以疲劳唤醒为目的，考虑疲劳信号传输，提出用户需求转化建议和设计实例。运用模糊综合评价法（Fuzzy Comprehensive Appraisal，FCA）评估设计方案，并对筛选的方案进行优化，为相关产品交互设计提供参考。

1　疲劳预警用户需求研究

1.1　车载疲劳预警产品交互设计体系构建

随着生产技术的发展，人们对产品的需求也上升到了更加感性的阶段。用户体验是衡量用户满意度与设计方案优劣的重要指标[12]。用户需求可以帮助设计人员从本质上探索优化用户体验的可能性。车载疲劳预警产品需要符合安全、科学、舒适的人机要求，同时也需要提升用户自然的交互体验和友好的疲劳唤醒体验。

层次分析法（AHP）是一个能够解决多标准决策问题、评估备选方案以及推导最终优先级的方便且通用的框架[13]。AHP 能够将非结构化问题转化为单一的、易于理解的、灵活的模型[14]。引入 AHP 方法，结合语言量表对需求进行评估，计算需求要素优先级并检查其判断的逻辑一致性，从而深化对用户需求的理解。

模糊综合评价法（FCA）指运用隶属度向量将模糊的指标定量化、清晰化，并在多种因素的作用下进行综合评价[15]。FCA 可以确定多个设计方案对应的权重值评价等级，并对方案的可用性做出判断和评价。

车载疲劳预警产品交互设计体系框架，见图 1。首先，以用户需求为核心，关注用户疲劳驾驶时的身体状态、交互行为、预警期望和产品形态意象，搜集用户对车载疲劳预警产品的建议；运用 AHP 对用户需求进行处理，得到用户需求权重排序；通过货车疲劳预警产品交互设计案例进行用户需求转化；结合 FCA 对方案进行评价，审核方案的合理性并输出优化方案。

1.2　用户需求层次结构模型构建

车载疲劳预警系统包含信号输入及处理系统、人机交互系统 2 个部分，见图 2。本文主要研究人机交互系统。以安全性为首的车载疲劳预警产品，需要用户参与到设计流程中。

通过典型用户访谈和用户问卷调查来收集用户需求。对 30 名长途驾驶员进行访谈，访谈内容涉及以下 4 个方面：在长时间驾驶下，身体状况的变化；驾驶员与车辆的各种交互需求和交互方式；驾驶员的疲劳经历以及自我唤醒方式；驾驶员对车载疲劳预警产品的期望和产品形态意象。设计并评估问卷调研内容，对通过专家审核的问卷进行发放，收到有效问卷 233 份。根据数据结果整理出车载疲劳预警产品交互设计的用户需求，用户需求层次结构模型，见图 3。准则层指标以 H_1、H_2、H_3、H_4 表示，H_1 包含的子准则层指标以 H_{11}、H_{12}、H_{13} 表示，其余指标同理。

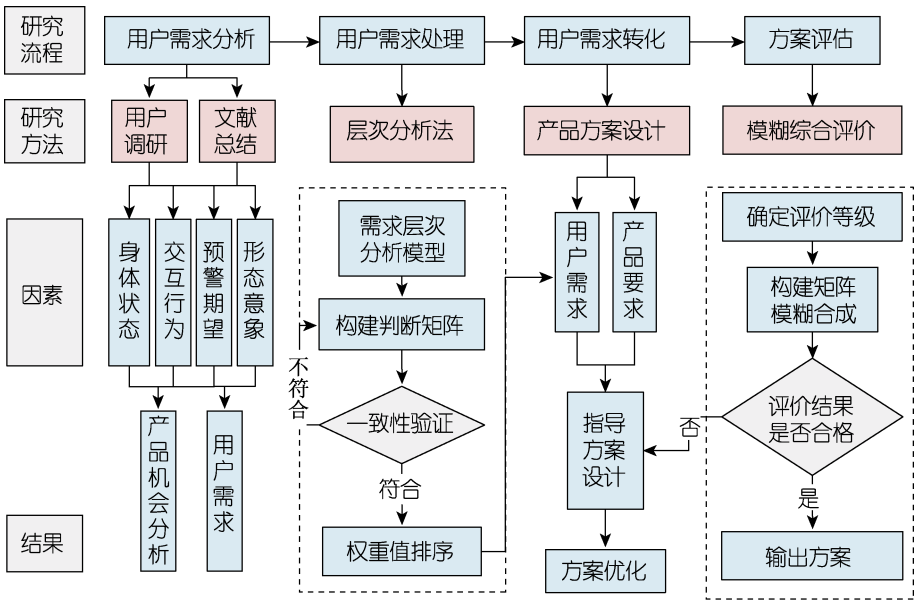

图 1　车载疲劳预警产品交互设计体系

Fig.1 Interaction design system of in-vehicle fatigue early warning product

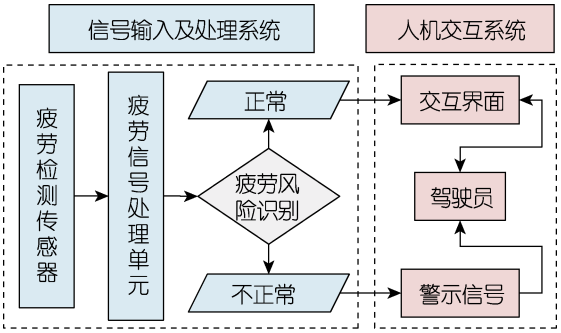

图 2 车载疲劳预警系统

Fig.2 In-vehicle fatigue early warning system

对模型中的需求进行简要分析可知：单纯的二维视觉屏幕交互方式带给用户更多的驾驶考验，多通道交互[16]（H_1）更受驾驶员的青睐；驾驶员有通过饮食和气味缓解疲劳的习惯，音效唤醒[9-10]、机械按摩[17]对缓解疲劳具有一定的效果，在疲劳缓解和唤醒（H_2）指标中，针对不同的用户和驾驶环境，需要选择适应的方式；在外观造型（H_3）指标中，用户对车载疲劳预警产品的需求主要映射在驾驶中能直接接触和轻易观察的区域，把握好产品的造型、质感和色彩给用户心理带来的认知与情感是提升用户体验的关键一环[18]；用户期望在疲劳预警后，能够享受更多的拓展服务（H_4），数据记录（H_{41}）有助于驾驶员分析健康问题和疲劳习惯，数据分享（H_{42}）满足驾驶员将数据传递给任何人的需要，管理人员也鼓励驾驶员汇报疲劳问题，以提供方便的管理服务，并创造开放的文化[19]，定位导航（H_{43}）和视频娱乐（H_{44}）可以辅助驾驶并丰富驾驶体验。

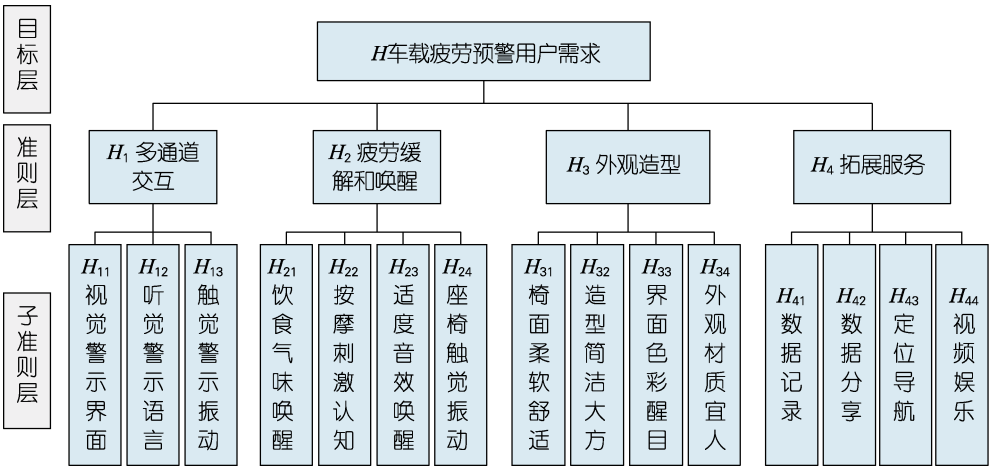

图 3 车载疲劳预警用户需求层次结构模型

Fig.3 Hierarchical structure model of user demand for in-vehicle fatigue early warning

2 基于 AHP 的疲劳预警需求重要性分析

车载疲劳预警需求重要性分析是运用 AHP 计算需求层次结构模型指标权重的过程，对权重进行一致性验证，可得到车载疲劳预警需求重要性。

2.1 构建判断矩阵并确定权重

邀请 30 名长途驾驶员、设计人员、专家，依据标度量表（见表 1）对准则层和子准则层指标进行评定，得出判断矩阵和指标权重。在此以指标层 H_1、H_2、H_3 和 H_4 为例，解释指标权重的计算过程。

判断矩阵 $\boldsymbol{H}$ 由各个标度值构成，元素 h_{ij} 为指标 H_i 相对于指标 H_j 的重要标度值，n 为矩阵中指标的数量。

$$\boldsymbol{H}=(h_{ij})_{n\times n}=\begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} & \cdots & h_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

不同的专家评价得到不同的标度值，利用几何平均法对 30 名专家的意见进行整合，即 30 个 h_{ij} 聚合为 h'_{ij}，并形成聚合判断矩阵 $\boldsymbol{H'}$，见表 2。

$$h'_{ij}=\sqrt[30]{\prod_{m=1}^{30} h_{ij}^{m}} \tag{2}$$

式中：h_{ij}^{m} 为第 m 名专家评价得到的标度值。

表 1 标度量表

Tab.1 Scaling table

两两比较标度值	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9
相对重要性含义	非常重要	重要	较重要	一般重要	同等重要	一般次要	较次要	次要	非常次要
备注	2、4、6、8、1/2、1/4、1/6、1/8 作为以上标度相邻中间值								

表 2　聚合判断矩阵 H'

Tab.2 Aggregate judgment matrix H'

H	H_1	H_2	H_3	H_4
H_1	1.00	0.82	2.03	1.05
H_2	1.21	1.00	1.83	2.30
H_3	0.49	0.54	1.00	0.41
H_4	0.95	0.43	2.43	1.00

对专家评价进行处理后，根据判断矩阵计算指标对应的权重。采用方根法对聚合判断矩阵 H'进行归一化处理，得到矩阵行向量，即各指标权重值，用 W_i 表示。

$$W_i = \overline{W}_i \Big/ \sum_{i=1}^{4} \overline{W}_i \tag{3}$$

$$\overline{W}_i = \sqrt[4]{\prod_{j=1}^{4} h'_{ij}} \tag{4}$$

由式（3）—（4）得出指标权重为：W_1=0.275 2、W_2=0.355 6、W_3=0.149 7、W_4=0.226 2。

2.2　一致性验证与层次排序

以矩阵是否通过一致性验证来评估指标权重的合理性。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^{4} \frac{\sum_{j=1}^{4} h'_{ij} \times W_i}{4W_i} \tag{5}$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1) \tag{6}$$

$$CR = CI/RI \tag{7}$$

式中：$\lambda_{\max}$ 为最大特征根；CI 为一致性验证指标；CR 为一致性比率，当 $CR \leqslant 0.1$，权重一致性验证通过。

由式（5）计算可得聚合判断矩阵 H'的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 为 4.09。根据表 3 可知，当 n=4 时，对应的 RI 为 0.89。由式（6）—（7）计算可得一致性验证比率 CR 为 0.037，小于 0.1，表明一致性验证通过，计算所得指标权重数值合理，各个指标权重见图 4。同理，子准则层指标权重也根据上述步骤进行计算，最终得到各个指标综合权重，见表 4。

表 3　平均随机一致性指标 RI（部分）

Tab.3 Average stochastic consistency index RI (partial)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

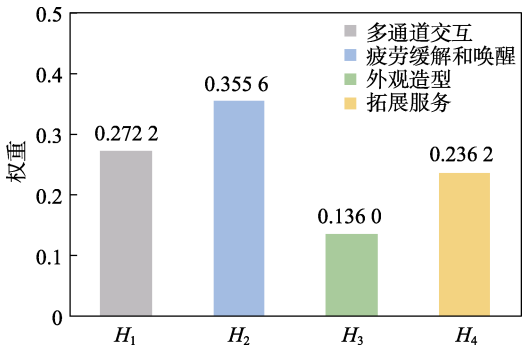

图 4　准则层各指标权重相对重要性

Fig.4 Relative importance of each index weight in the criterion layer

表 4　车载疲劳预警设计需求指标综合权重

Tab.4 Comprehensive weight of in-vehicle fatigue early warning design demand indexes

	准则层	权重	子准则层	局部权重	综合权重	排序
车载疲劳预警用户需求	H_1 多通道交互	0.272 2	H_{11} 视觉警示界面	0.187 8	0.051 2	8
			H_{12} 听觉警示语言	0.270 3	0.073 6	6
			H_{13} 触觉警示震动	0.541 8	0.147 5	2
	H_2 疲劳缓解和唤醒	0.355 6	H_{21} 饮食气味唤醒	0.055 6	0.019 8	13
			H_{22} 按摩刺激认知	0.265 9	0.094 6	4
			H_{23} 适度音效唤醒	0.248 9	0.088 5	5
			H_{24} 座椅触觉震动	0.429 4	0.152 7	1
	H_3 外观造型	0.136 0	H_{31} 椅面柔软舒适	0.511 9	0.069 6	7
			H_{32} 造型简洁大方	0.224 0	0.030 5	11
			H_{33} 界面色彩醒目	0.204 5	0.027 7	12
			H_{34} 外观材质宜人	0.059 4	0.008 0	15
	H_4 拓展服务	0.236 2	H_{41} 数据记录	0.525 2	0.124 1	3
			H_{42} 数据分享	0.192 3	0.045 5	10
			H_{43} 定位导航	0.201 0	0.047 5	9
			H_{44} 视频娱乐	0.081 3	0.019 2	14

2.3 需求重要性结果分析

指标权重有助于设计人员抓住用户的核心需求，下面将结合数据进一步对车载疲劳预警需求重要性结果进行分析。

1）疲劳缓解和唤醒是用户期望满足的首要需求。表 4 中疲劳缓解和唤醒（H_2）权重为 0.355 6，其子指标座椅触觉振动（H_{24}）和按摩刺激认知（H_{22}）的权重较高，表明用户更倾向于通过触觉来接收信号。

2）多通道交互方式是疲劳预警和提升用户体验的基点。多通道交互（H_1）权重仅次于疲劳缓解和唤醒（H_2）权重。在疲劳感知、缓解和唤醒的整个流程中，多通道信号传输贯穿于用户心理需求和生理需求的各个方面。在其子指标中，触觉警示振动（H_{13}）权重较高。

3）智能化的服务和宜人的视觉效果是用户的主要心理需求，是增加产品附加价值和用户愉悦感的关键。拓展服务（H_4）权重高于外观造型（H_3）权重，同时数据记录（H_{41}）在综合指标权重中位于第 3 位，高于其余的 12 项子指标。

3 车载疲劳预警产品交互设计实例

首先，根据前期的用户需求分析提出人机交互范式建议以及综合性的用户需求实现路径。其次，以货车为例展开交互设计，将重要度较高的用户需求作为设计方案的主要参考，并结合其他要求进行方案设计。最后，根据用户需求对方案进行评估和优化。

3.1 人机交互范式选择

作为传统 WIMP 范式[20]的升级，“多通道交互”比虚实结合的交互范式的接受度更高[7]，同时作为综合指标权重中排在第 2 的需求，对其合理的反馈可以使人机交互更加多元化、立体化。针对车载疲劳预警用户需求，可以利用视觉、听觉、嗅觉和触觉等渠道，结合显示屏、语音提醒等自然输出方式，达到预警效果并实现风险响应，保证信号传输的友好性与及时性。用户需求实现路径见图 5。

通过用户调研可知，长途驾驶员习惯利用听觉来判断车辆的工作状态，因此利用嗅觉和触觉来满足“缓解和唤醒疲劳”这一首要需求比较合理。基于集体记忆理论[21]，振动可以使用户联想起手机震动提醒，因此振动座椅不仅能传递疲劳信号，也能够自然地唤醒疲劳，同时由用户主观采取气味干预措施，进一步加强疲劳唤醒效果。本研究建议将疲劳风险分为轻度、中度和重度 3 个等级，车载疲劳预警系统结构见图 6。如图 6 所示，在轻度疲劳下，以视觉和听觉

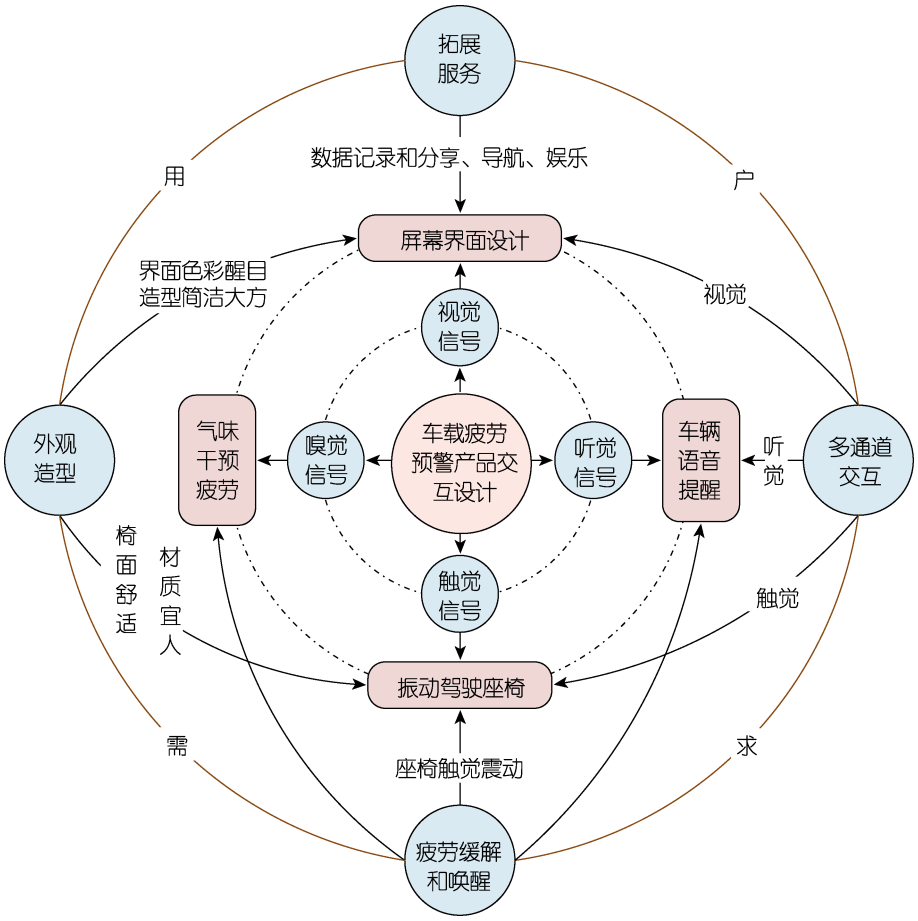

图 5 用户需求实现路径

Fig.5 Realization path of user demand

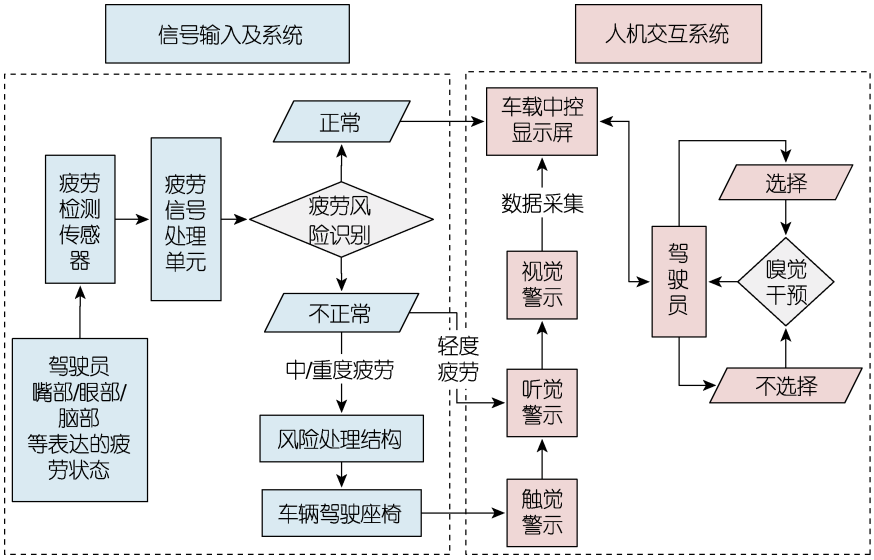

图 6　车载疲劳预警系统结构

Fig.6 Structure of in-vehicle fatigue early warning system

信号的输入为主；在中度和重度疲劳下，听觉和视觉的感知能力明显下降，因此以触觉信号的输入为主，其他信号为辅。

3.2　疲劳预警人机交互设计

疲劳预警人机交互设计以用户需求及其优先级结果为基础来实现用户体验的升级。基于图 5 与图 6 提出的建议，以货车为例，将重要度较高的用户需求“听觉警示语言（H_{12}）、数据记录（H_{41}）、座椅触觉震动（H_{24}）”作为设计的主要参考，并结合其他需求进行方案设计。为此，提出交互警示界面设计，包括语音提醒设计、车载中控与手机 APP 界面设计、振动驾驶座椅设计。

在疲劳驾驶状态下，3 种警示交互界面的相互配合可以让用户快速建立感知与认知。如图 7 展现了用户需求与设计的关联性，为了节约成本，权重极低的需求在设计实例中不予考虑。

1）语法性提示音提醒设计。在用户与信号的交互过程中，语言是达成理解的基础。如表 5 为疲劳风险语法性提醒，语言设计简短，以防止认知超载。将有特色的听觉信号形成一定的品牌效应，可提升用户对产品的依赖感。非语法性声音在车辆听觉警示信号中有较为完善的体系，因此，不再对其进行设计。

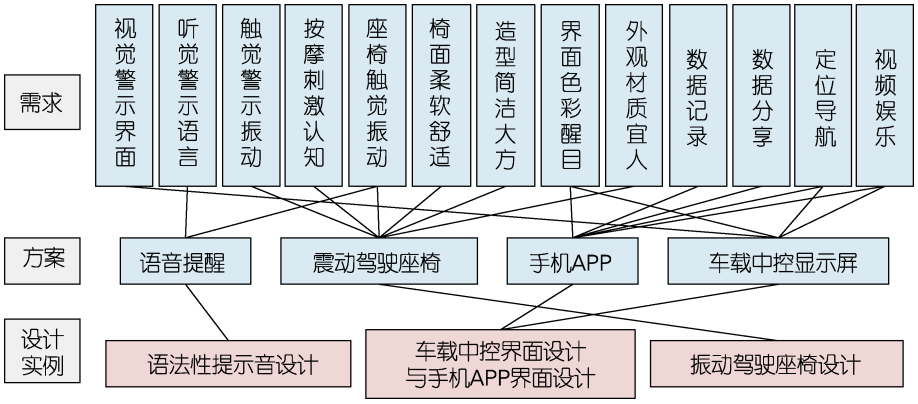

图 7　需求与设计的关系

Fig.7 Relationship between demand and design

表 5　听觉信号的语法性提示音特征

Tab.5 Features of grammatical prompt tone of auditory signals

风险等级	等级	警示信号的语法描述	分贝/dB
轻度疲劳风险	中	嘿朋友，轻度疲劳驾驶，请慢行	60
中度疲劳风险	高	嘿朋友，中度疲劳驾驶，请休息	70
重度疲劳风险	高	嘿朋友，严重疲劳驾驶，请停车	80

2）车载中控与手机 APP 界面设计。视觉信号传递直接高效，但需要识别并理解其含义，因此，视觉信号的输出应尽量简洁醒目，不仅要避免驾驶员分心，而且要契合用户的需求。视觉警示信号包含警示图标和警示图像。车载中控界面设计方案见图 8，移动端疲劳预警 APP 界面设计方案原型图（部分）见图 9。

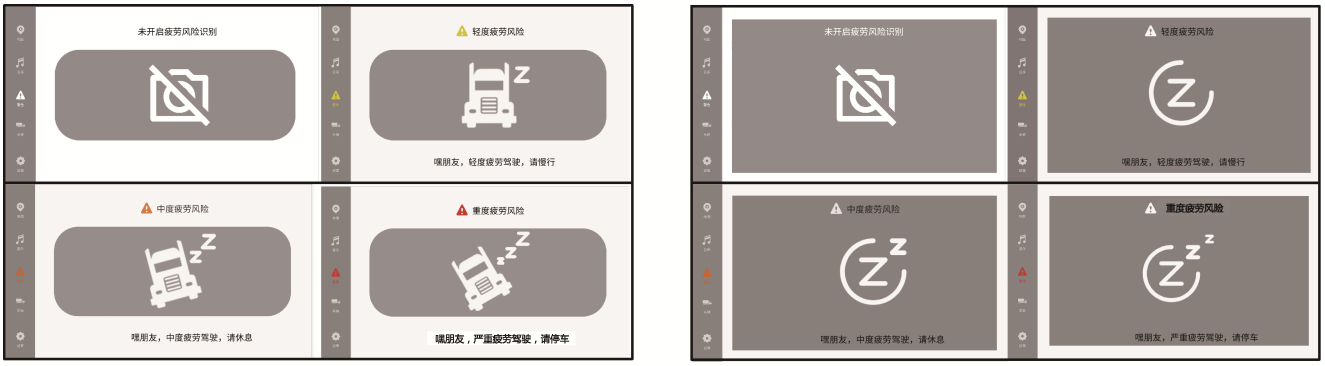

图 8 车载中控显示屏界面设计（部分）
Fig.8 Interface design of in-vehicle central control display (partial)

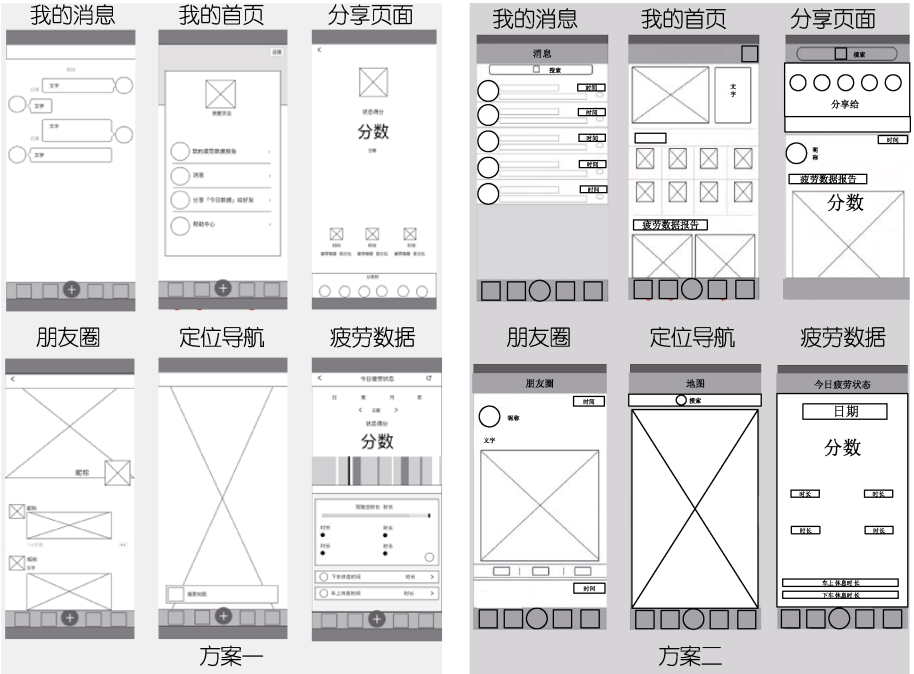

图 9 手机 APP 界面设计（部分）
Fig.9 Interface design of mobile APP (partial)

3）振动驾驶座椅设计。触觉通道信号交互设计以座椅为载体，通过椅面传来的振动传输疲劳信号，能够在驾驶员听觉和视觉能力严重下降时，快速有效打断疲劳的驾驶状态。椅面通过振动刺激驾驶员臀部产生触觉感知，并以此促进用户产生联想记忆来唤醒疲劳。座椅是与长途驾驶员接触最多的部分，靠背需要更加直立以保证驾驶员长期感到舒适。驾驶座椅外观造型设计方案，见图 10。

3.3 基于 FCA 的设计方案评价

邀请 20 名长途驾驶员，以用户需求为衡量标准，利用 FCA 对上述方案进行评价。设计方案的评价指标是指可以通过驾驶员经验赋予数值的变量，可以考虑使用 FCA 方法予以评价。在此以方案一为例来解释方案评价的计算过程。

图 10 驾驶员座椅外观造型设计
Fig.10 Apperance design of driver's seat

1）设置因素集 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_{16}\}$，根据图 3 将 16 个因素划分为 4 组作为一个因素集，每组包括 4 个因素作为二级因素集，得到一级因素集 $U=\{U_1,U_2,U_3,U_4\}$，其中 U_1、U_2、U_3、U_4 为二级因素集。

2）设评语集 V={好 v_1,较好 v_2,一般 v_3,较差 v_4,差 v_5}；设对应的评分准则 $\boldsymbol{\alpha}=(90,80,60,50,40)^{\mathrm{T}}$。

3）确定各因素权重。设一级因素对应的权重为 A，由准则层指标权重值构成；二级因素对应的权重为 A_1、A_2、A_3、A_4，由子准则层指标权重值构成。因此，由表 4 可得：A=（0.272 2，0.355 6，0.135 8，0.236 3）、A_1=（0.187 8，0.270 3，0.541 8）、A_2=（0.055 6，0.265 9，0.248 9，0.429 4）、A_3=（0.511 9，0.224，0.204 5，0.059 4）、A_4=（0.525 2，0.192 3，0.201，0.081 3）。

4）设一级模糊综合评价矩阵为 $\boldsymbol{R}$，二级模糊综合评价矩阵为 $\boldsymbol{R}_1$、$\boldsymbol{R}_2$、$\boldsymbol{R}_3$、$\boldsymbol{R}_4$。

建立二级模糊综合评价矩阵：按照评语集 V 对子准则层指标在方案一中的表现进行评价。对评价结果进行归一化处理，得到 R_1、R_2、R_3、R_4，如下所示：

$$\boldsymbol{R}_1=\begin{bmatrix}0.25 & 0.45 & 0.30 & 0 & 0\\ 0.15 & 0.30 & 0.40 & 0.15 & 0\\ 0.40 & 0.30 & 0.25 & 0.05 & 0\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{R}_2=\begin{bmatrix}0.20 & 0.40 & 0.20 & 0.20 & 0\\ 0.35 & 0.20 & 0.30 & 0.15 & 0\\ 0.25 & 0.30 & 0.25 & 0.20 & 0\\ 0.40 & 0.10 & 0.20 & 0.30 & 0\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{R}_3=\begin{bmatrix}0.40 & 0.30 & 0.25 & 0.05 & 0\\ 0.35 & 0.30 & 0.30 & 0.05 & 0\\ 0.25 & 0.35 & 0.40 & 0 & 0\\ 0.20 & 0.35 & 0.25 & 0.20 & 0\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{R}_4=\begin{bmatrix}0.40 & 0.30 & 0.25 & 0.05 & 0\\ 0.35 & 0.30 & 0.30 & 0.05 & 0\\ 0.25 & 0.35 & 0.40 & 0 & 0\\ 0.20 & 0.35 & 0.25 & 0.20 & 0\end{bmatrix}$$

5）模糊综合评判。设置二级因素模糊综合评价集为 B_i，一级模糊综合评价集为 B。

$$B_i = A_i\boldsymbol{R}_i(i=1,2,3,4) \tag{8}$$

$$\boldsymbol{R}=[B_1,B_2,B_3,B_4]^{\mathrm{T}} \tag{9}$$

$$B = A*\boldsymbol{R}(10)$$

6）百分制评分换算，即

$$\beta = B\boldsymbol{\alpha} \tag{10}$$

由式（10）计算可得方案一的评分为 74.66，按相同步骤计算可得方案二的评分为 71.36。2 个方案的综合评分均合格，方案一为较优选择。

3.4　方案优化

基于 FCA 的评价结果，对方案一进行色彩、造型与结构方面的优化。

图 11 为车载中控显示屏界面设计，界面风格扁平化，摒弃了复杂的肌理，保留了关键的文字和图标，减少了驾驶员的认知载荷。用自然递增的黄色、橙色和红色来表示风险的递增，图标中传递的风险性也随疲劳程度的加重而增加。这种自然映射原则使用户凭借潜意识也能理解信号的含义。

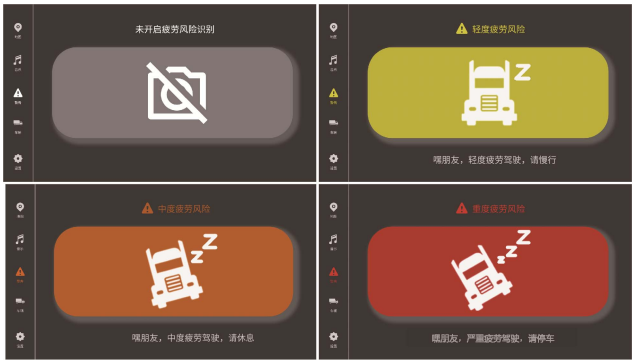

图 11　车载中控疲劳风险界面（部分）
Fig.11 Fatigue risk interface of in-vehicle central control display (partial)

图 12 为手机疲劳预警类 APP 界面设计风格，以橙色为主基调，适当的白色色调用以平衡，界面布局简洁大方，整体符合疲劳预警理念。布局采用底部导航式，内容包含消息与主页、朋友圈与导航服务、疲劳数据与数据分享。用户可以享受路线规划和导航服务，尤其是查看日常驾驶状态、休息时长，以及跨平台分享疲劳数据等功能有助于提升用户体验。

图 12　手机 APP 界面（部分）
Fig.12 Mobile APP interface (partial)

驾驶员座椅材质建议采用环保型 PVC 人造革，在控制成本的同时能够满足舒适、柔软、宜人的外观需求。针对座椅结构，建议在坐垫两侧内置振动电机，

安装于距离发泡部分表面 20 mm 处，振动频率为 60 Hz 与 80 Hz 两个等级，垂直方向的振动强度为 60 m/s^2、80 m/s^2。座椅外观造型、三视图和振动部分剖面细节，见图 13—14。

图 13 驾驶员座椅外观造型
Fig.13 Appearance of driver's seat

图 14 椅面振动结构剖面细节
Fig.14 Sectional details of seat vibration structure

4 结语

为帮助设计人员在车载疲劳预警产品交互设计中确定用户需求重要性权重，提出了层次分析法和模糊综合评价法相结合的设计模型，以货车疲劳预警产品交互设计为例进行了验证，结果表明该方法能够确定设计因素的重要性，并适用于车载疲劳产品的交互设计。主要结论如下：

1）文中基于用户需求提出一种车载疲劳预警产品交互设计方法，将 AHP 与 FCA 方法相结合，对用户需求进行定量分析和权重计算，获取关键的设计因素以指导方案设计，从而完成方案的排序和优化。

2）该方法以挖掘用户需求和提升用户体验为目的，填补了以往研究局限于功能和技术的不足，充分挖掘了货车驾驶员的心理和生理需求，考虑了人机交互过程中的多元性和立体性，以用户需求为支撑提炼了影响货车驾驶员的设计因素，为车载疲劳预警产品交互设计提供了新的思路和理论支持。

目前，文中仅对有限的调研样本进行了设计分析，后续将扩大调研样本数量来完善设计内容，进一步结合市场调研对方案进行调整，并采用仿真测试软件对设计实例进行测试，从而更加契合用户的需求。

参考文献：

[1] WANG Qing-jun, MU Zhen-dong. Application of Music in Relief of Driving Fatigue Based on EEG Signals[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2021, 2021(1): 89.

[2] LI Xiao-feng, XIA Jia-hao, CAO Li-bo, et al. Driver Fatigue Detection Based on Convolutional Neural Network and Face Alignment for Edge Computing Device[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2021, 235(10-11): 2699-2711.

[3] 林丽，刘新，朱俊臻，等. 基于 CNN 的金属疲劳裂纹超声红外热像检测与识别方法研究[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(3): 475-483.
LIU Li, LIU Xin, ZHU Jun-zhen, et al. Research on Ultrasonic Infrared Thermal Image Detection and Identification Method of Metal Fatigue Crack Based on CNN[J]. Infrared and Laser Engineering, 2022, 51(3): 475-483.

[4] 郭梦竹. 基于反应时间的驾驶员疲劳状态监测与预警技术研究[D]. 长春：吉林大学, 2017.
GUO Meng-zhu. Research on Driving Fatigue Monitoring and Early-Warning Technology Based on the Reaction Time[D]. Changchun: Jilin University, 2017.

[5] TU Wei, WEI Lei, HU Wen-yan, et al. A Survey on Mobile Sensing Based Mood-Fatigue Detection for Drivers[M]//Smart City 360°. Cham: Springer International Publishing, 2016: 3-15.

[6] 胥川，郭启明，王雪松. 疲劳预警分级提示下的驾驶行为响应特征[J]. 西南交通大学学报, 2019, 54(1): 189-195.
XU Chuan, GUO Qi-ming, WANG Xue-song. Driver Behavior Response to Drowsiness Alarming at Different Levels[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2019, 54(1): 189-195.

[7] 刘玉磊，马艳阳，徐伯初，等. 车载智能预警系统中的人机交互[J]. 包装工程, 2020, 41(18): 78-89.
LIU Yu-lei, MA Yan-yang, XU Bo-chu, et al. Human-Computer Interaction in Vehicle-Borne Intelligent Early Warning System[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(18): 78-89.

[8] SCHMIDT E. Driver Vitalization through Fatigue-Based

Climate Control[M]// Gestaltung Hybrider Mensch-Maschine-Systeme/Designing Hybrid Societies. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019: 135-154.

[9] 乔现玲, 杨子婧, 胡志刚, 等. 驾驶疲劳唤醒辅助产品的人机交互研究[J]. 包装工程, 2016, 37(22): 102-107.
QIAO Xian-ling, YANG Zi-jing, HU Zhi-gang, et al. Human-Computer Interaction of Ancillary Products to Driving Fatigue Arousal[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(22): 102-107.

[10] 钟韬, 方海, 郭嘉跃, 等. 提示音警示性效果对驾驶反应的影响研究[J]. 包装工程, 2021, 42(18): 144-150.
ZHONG Tao, FANG Hai, GUO Jia-yue, et al. The Warning Effectiveness of Notification Sound on Driving Response[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(18): 144-150.

[11] WANG Fu-wang, LU Bin, KANG Xiao-gang, et al. Research on Driving Fatigue Alleviation Using Interesting Auditory Stimulation Based on VMD-MMSE[J]. Entropy, 2021, 23(9): 1209.

[12] 陈梦月, 陈东萍, 褚学宁. 基于用户体验的产品服务系统再设计模块识别[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(11): 2522-2529.
CHEN Meng-yue, CHEN Dong-ping, CHU Xue-ning. Identification for Product Service System Redesign Modules Based on User Experience[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(11): 2522-2529.

[13] KUŁAKOWSKI K. Understanding the analytic hierarchy process[M].

[14] SINGH A, BEG I, KUMAR S. Analytic Hierarchy Process for Hesitant Probabilistic Fuzzy Linguistic Set with Applications to Multi-Criteria Group Decision-Making Method[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2020, 22(5): 1596-1606.

[15] 王化中, 强凤娇, 陈晓暾. 模糊综合评价中权重与评价原则的重新确定[J]. 统计与决策, 2015(8): 24-27.
WANG Hua-zhong, QIANG Feng-jiao, CHEN X. Redefinition of Weight and Evaluation Principle in Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Statistics & Decision, 2015(8): 24-27.

[16] HSIAO S W, LEE C H, YANG Meng-hua, et al. User Interface Based on Natural Interaction Design for Seniors[J]. Computers in Human Behavior, 2017, 75: 147-159.

[17] 于娜, 张畅. 面向个性化需求的背部按摩装置设计[J]. 机械设计, 2017, 34(1): 122-125.
YU Na, ZHANG Chang. Design of the Back-Massage Appliance Oriented to the Individual Requirement[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(1): 122-125.

[18] 吴天宇, 赵祎乾, 李亚军, 等. 基于混合感性工学模型的产品色彩设计方法[J]. 机械设计, 2021, 38(7): 140-144.
WU Tian-yu, ZHAO Yi-qian, LI Ya-jun, et al. Design Method of Product Color Based on Hybrid Kansei Engineering Model[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(7): 140-144.

[19] MAYNARD S, FILTNESS A, MILLER K, et al. Bus Driver Fatigue: A Qualitative Study of Drivers in London[J]. Applied Ergonomics, 2021, 92: 103309.

[20] GREEN M, JACOB R. SIGGRAPH '90 Workshop Report: Software Architectures and Metaphors for Non-WIMP User Interfaces[J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1991, 25(3): 229-235.

[21] VD C. The Phenomenon of Memory from a Sociological Standpoint: An Ontological Approach in the Light of Maurice Halbwachs' Work[J]. Italian Sociological Review, 2021, 11(3): 761-779.

责任编辑：马梦遥