

文章编号:1671-6833(2014)05-0096-04

汽车人机工程综合评价指标体系研究

李银霞, 刘曼曼, 高俊杰

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 通过对国内外有关汽车人机工程方面的资料进行较详细的分析和研究, 初步建立了含有 105 个指标的 5 层树状汽车人机工程评价指标体系. 利用德尔菲法对 15 名有多年驾驶经验的驾驶员进行两轮咨询, 通过对咨询结果进行统计和分析, 筛选出 86 个指标. 该指标体系的研究和建立, 为汽车人机工程综合评价奠定了基础, 也可汽车的设计和评价提供一定的指导.

关键词: 汽车; 人机工程; 评价

中图分类号: TB18 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.05.022

0 引言

目前, 国内外许多学者对汽车人机工程进行了研究, 依据研究范围可分为对汽车人机工程的部分研究和整体研究. 部分研究主要集中在座椅、操纵装置、驾驶姿势、操作环境和安全性等方面, 例如, 文献[1~2]把汽车座椅舒适性分为静态、动态和震动舒适性. 文献[3]建立了仿真系统, 可分析坐姿的舒适度、可及范围、姿势预测及静态受力等. 文献[4]把汽车安全性分为驾驶装置安全性、碰撞安全性、驾驶习惯安全性和驾驶信息系统对驾车的影响 4 个方面. 文献[5~8]在汽车人机工程总体评价方面做了不少研究. 相关研究中, 评价指标多为树状结构, 评价数学模型为综合模糊评价法或神经网络数学模型, 但其综合评价指标体系不全面, 很难对汽车人机工程设计做出完善的评价.

笔者针对如何建立一套全面的汽车人机工程学评价指标体系进行研究, 并建立其综合评价指标体系. 该指标体系的研究和建立可为汽车人机工程综合评价奠定基础, 也可汽车的设计和评价提供一定的指导.

1 初步建立的指标体系

本研究对国内外相关研究进行分析和研究, 并咨询有 10 年以上驾龄的相关驾驶员, 初步提出

了较全面的含有 105 个指标的 5 层次汽车人机工程综合评价指标体系, 如表 1 所示. 表 1 中,  $O$  为总目标,  $O_i (i = 1, 2, \cdots, 7)$  为子目标,  $O_{ij} (i = 1, 2, \cdots, 7; j = 1, 2, \cdots, 9)$  为子子目标,  $U_k$  为指标层.

表 1 汽车人机工程综合评价指标模型  
Tab.1 The index model of vehicle ergonomics comprehensive evaluation

总目标层	子目标层	子子目标层	三子目标层	指标层	
汽车人机工程系统人机工程综合评价指标	$O_1$ :座椅	$O_{11}$ :驾驶员座椅	$O_{111}$	$U_1$	
			$O_{112}$	$U_2$	
			$O_{113}$	$U_3$	
			$O_{114}$	$U_4$	
		$O_{12}$ :乘客座椅	$O_{121}$	$U_5$	
			$O_{122}$	$U_6$	
			$O_{123}$	$U_7$	
			$O_{211}$	$U_8$	
	$O_2$ :操纵装置	$O_{21}$ :方向盘	$O_{212}$	$U_9$	
			$O_{213}$	$U_{10}$	
			$O_{22}$ :变速杆	$U_{11}$	—
			$O_{23}$ :手刹杆	$U_{12}$	—
		$O_{24}$ :踏板	$U_{13}$	—	
			$O_{25}$ :按键	$U_{14}$	—
		$O_3$ :显示装置	$O_{31}$ :指针式仪表	$U_{15}$	—
				$O_{32}$ :指示灯	$U_{16}$
	$O_4$ :视野		$O_{41}$ :驾驶员视野	$U_{17}$	—
			$O_{42}$ :前排乘客视野	$U_{18}$	—
		$O_{43}$ :后排乘客视野	$U_{19}$	—	
		$O_{51}$ :驾驶员姿势	$U_{20}$	—	
	$O_5$ :乘车姿势	$O_{52}$ :乘客姿势	$U_{21}$	—	
			$O_{53}$ :驾驶员手伸及界面	$U_{22}$	—
		$O_6$ :操作环境	$U_{23}$	—	—
		$O_7$ :安全性	$U_{24}$	—	—

收稿日期:2014-05-06;修订日期:2014-07-22  
基金项目:河南省科技攻关计划资助项目(142102210493)  
作者简介:李银霞(1974-),女,河南扶沟人,郑州大学副教授,博士,主要从事人机系统设计与评价技术、人机系统数字化仿真与评价技术方面的研究,E-mail:liyxml@126.com.

在实际的综合评价活动中,建立评价指标的一般原则是:以尽量少的“主要”评价指标用于实际评价.这就需要针对初步建立的评价指标,按某种方法进行筛选,分清主次,合理组成评价指标集.常用的指标体系筛选的方法主要有:专家评价法、比较判定法和数据统计分析法.笔者采用基于专家判断和比较判定法为一体的方法——德尔菲法筛选评价指标,可以保证整个指标体系的全面性、有序性和科学性.

## 2 德尔菲法的实施

该方法的基本原理是:针对一定问题,函请相关领域的专家提出意见或看法,然后将专家的意见或新设想加以科学地整理、归纳,以匿名的方式将所归纳的结果反馈给各专家再次征询意见.经过多轮反复(经典德尔菲法为4轮,改进德尔菲法为2~3轮),直到意见趋于较集中,得到比较一致的、可靠性较高的意见.德尔菲法有几个主要特点:匿名性、重复、反馈和统计分析.德尔菲法是征求和提炼专家群体意见的一种相当有效方法<sup>[9]</sup>.

### 2.1 德尔菲法的实施过程

(1)编制调查表.第一轮调查问卷包括测试者基本信息和正式问卷两部分.问卷中首先介绍了研究目的和相关背景,要求各位驾驶员判断各个指标对汽车人机工程的影响程度.影响程度划分为5个等级,1~5分别表示影响程度等级为“不大”、“一般”、“大”、“很大”和“极大”.第二轮调查问卷比第一轮多了专家自信度一项.

(2)确定咨询专家.确定专家在德尔菲法中至关重要,应该选择具有一定专业知识和丰富实践经验而又愿意参加的专家.专家人数以10~30人为宜<sup>[10]</sup>.据查现在驾驶员男女比例约为3:1,本研究根据情况邀请15名有一定驾龄的驾驶员作为专家,其中男士11名,女士4名,接近3:1的比例;年龄25~45岁;身高范围156~180 cm;驾龄3~15年.

(3)进行咨询.根据确定出的评价指标集 $U_k$ 中包括的指标,拟定出第1轮专家咨询表.要求专家根据自身知识和经验给出各评价指标对汽车人机工程的影响等级.对回收的第1轮专家咨询表进行统计处理和分析,把咨询结果反馈给每位专家,进行第二轮咨询.

为了保证回收问卷的有效性和收集数据的精

确性,在咨询对象填写问卷之前对他们进行简短指导,并及时收回问卷.单次咨询发放问卷15份,回收15份,有效问卷14份,有效率达到了93.3%.问卷有效性主要遵循两个原则:①问卷中不得出现有规律的答案,如同一作答(全部选一个选项)或波形作答(如依次写12345);②整份问卷的漏答项目不大于3<sup>[11]</sup>.样本资料中本科7人,大专8人,学历水平较高,咨询有效性较高.

### (4)筛选出评价指标体系

笔者把专家的一致意见定义为:不少于2/3的专家判断等级为“大”以上的判断结果.一般通过两轮咨询,专家的意见已基本趋于一致<sup>[12]</sup>.因此,可以研究依据第2轮咨询结果选出评价指标体系.

### 2.2 咨询结果统计分析方法

根据咨询结果,笔者从以下几个参数进行分析:

(1)离散程度,即标准差 $\sigma_i$ ,其公式为

$$\sigma_i = \left[ \sum_{j=1}^5 m_{ij} (E_j - \bar{E}_i)^2 / (L - 1) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

该参数反映了影响汽车人机工程评价的分散程度大小,该值越大,表明专家评价结果的分散程度越大,反之亦然.

(2)集中程度,即均值 $\bar{E}_i$ ,其公式为

$$\bar{E}_i = \sum_{j=1}^5 E_j m_{ij} / L \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

式中: $E_j$ 为指标影响汽车人机工程程度的量值; $m_{ij}$ 为第*i*个评价指标评价等级为*j*的专家个数; $n$ 为指标数目; $L$ 为专家数.均值 $\bar{E}_i$ 即为*L*个专家的评价期望值,该值越小,表示该指标对汽车人机工程的影响程度越小,反之亦然.

(3)协调程度,变异系数

$$V_i = \sigma_i / \bar{E}_i, \quad (3)$$

$V_i$ 值越小越协调,其反映了第*i*个评价指标的协调程度.

## 3 结果及分析

### 3.1 专家咨询结果

对两轮咨询结果进行统计分析,得出各个指标的统计参数,限于篇幅,表2仅给出了一部分评价指标的参数统计.表中还给出了众数“Mode”,目的是为了更全面地对咨询结果进行比对.而P33则表示专家一致意见.GCR则表示专家在咨询给出评论时的自信程度.

表 2 咨询结果统计  
Tab.2 The statistics of survey results

	指标集	指标代号	均值	标准差	变异系数	众数	专家自信度	
第 1 轮	$U_1$	$u_{11}$	4.36	0.63	0.15	4.00	4.00	
		$u_{12}$	3.57	1.02	0.28	3.00	3.00	
		$u_{13}$	4.00	1.30	0.33	5.00	4.00	
	$U_2$	$u_{21}$	4.14	0.95	0.23	5.00	4.00	
		$u_{22}$	4.29	0.83	0.19	5.00	4.00	
		$u_{23}$	3.93	1.14	0.29	5.00	3.00	
		$u_{24}$	3.57	1.28	0.36	5.00	3.00	
		$u_{25}$	3.21	1.25	0.39	3.00	3.00	
		$u_{26}$	3.29	1.07	0.33	4.00	3.00	
指标集	指标代号	均值	标准差	变异系数	众数	专家一致性意见	专家自信度	
第 2 轮	$U_1$	$u_{11}$	4.13	0.33	0.08	4.00	4.00	4.29
		$u_{12}$	2.88	0.60	0.21	3.00	3.00	4.29
		$u_{13}$	4.00	0.87	0.22	4.00	4.00	4.14
	$U_2$	$u_{21}$	3.50	1.00	0.29	4.00	3.00	4.43
		$u_{22}$	3.75	0.83	0.22	4.00	4.00	4.29
		$u_{23}$	3.63	0.70	0.19	3.00	3.00	4.43
		$u_{24}$	3.13	0.93	0.30	3.00	3.00	4.29
		$u_{25}$	2.75	0.66	0.24	3.00	2.00	4.14
		$u_{26}$	2.75	0.43	0.16	3.00	3.00	4.00

从两轮咨询结果可以看出,第 2 轮指标咨询结果中的标准差  $\sigma$  和变异系数  $V$  大部分比第 1 轮咨询结果中的值要小,仅有 11 个指标(约占 10.4%)的标准差和 9 个指标(约占 8.6%)的变异系数比第一轮略大.表明第 2 轮咨询中,专家判断的协调程度低和分散程度较小.两轮咨询结果中的众数 (Mode) 有 23 个(约占 20.9%)略有不同,表明专家判断结果基本是一致的.而且参数 GCR 全部不小于 3,说明专家判断结果的可信度较高.

从咨询结果中,很容易得到在对汽车人机工程各个影响等级下指标的数目,按照影响等级为“不大”,“一般”,“大”,“很大”,“极大”排列,其数目分别为 0,21,71,36,7.分别占总体指标的 0%,20%,67.6%,34.3%和 6.7%.它们的分布情况如图 1,此 2 轮咨询可为汽车设计时关于人机工程方面提供重要的依据.

3.2 筛选出综合评价指标

笔者根据咨询结果中的均值  $\bar{E}_i$  和专家一致意见  $P_{33}$  进行筛选指标.如果评价指标的均值  $\bar{E}_i$  和专家一致意见  $P_{33}$  值都小于 3,则被筛选.咨询指标中共有 21 个指标的均值  $\bar{E}_i$  小于 3,但其中又有 2 个指标的专家一致意见  $P_{33}$  值大于 3,故共筛选 19 个指标.105 个指标中,最终留下 86 个评价指标,指标减少了 12.7%.经过重新分析和整合,指标体系结构由原来的 5 层变为 4 层.其中驾

驶员座椅、乘客座椅和方向盘不再另设子目标,原子目标的评价指标整合后作为其评价指标.一级子目标数目还是 7 个,三子目标  $U_i(i=1,2,\cdots,17)$  剩下 17 个,比原来的 24 个三子目标层减少了 7 个,减少了 29.2%,大大简化了原来繁冗的评价指标体系.筛选过后的评价指标体系结构模型见表 3.

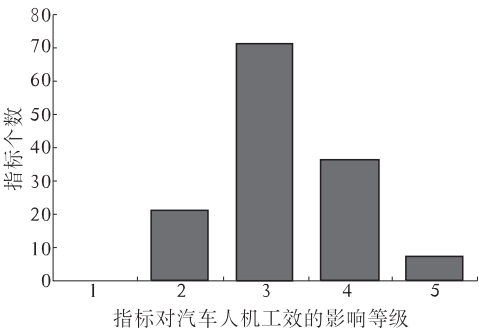


图 1 不同影响程度等级指标个数的分布情况  
Fig.1 The distribution of index numbers at different influence levels

4 结论

运用德尔菲法进行了两轮咨询分析,调查表的制作、发布和回收、调查的信度和效度等都做了控制,然后对咨询结果进行统计和分析,筛选出了含有 86 个评价指标的 4 层汽车人机工程综合评价指标体系模型.与以往研究相比,该研究能够比

表 3 筛选后的汽车综合评价指标体系结构模型

Tab.3 the structure model of vehicle ergonomics comprehensive evaluation after the screening

总目标层	子目标层	子子目标层	指标层
汽车 人 机 工 程 综 合 评 价 指 标	$O_1$ :座椅	$O_{11}$ 驾驶员座椅	$U_1$
		$O_{12}$ 乘客座椅	$U_2$
	$O_2$ :操纵装置	$O_{21}$ 方向盘	$U_3$
		$O_{22}$ 变速杆	$U_4$
		$O_{23}$ 手刹杆	$U_5$
		$O_{24}$ 踏板	$U_6$
		$O_{25}$ 按键	$U_7$
	$O_3$ :显示装置	$O_{31}$ 指针式仪表	$U_8$
		$O_{32}$ 指示灯	$U_9$
	$O_4$ :视野	$O_{41}$ 驾驶员视野	$U_{10}$
		$O_{42}$ 前排乘客视野	$U_{11}$
		$O_{43}$ 后排乘客视野	$U_{12}$
	$O_5$ :乘车姿势	$O_{51}$ 驾驶员姿势	$U_{13}$
		$O_{52}$ 乘客姿势	$U_{14}$
		$O_{53}$ 驾驶员手伸及界面	$U_{15}$
	$O_6$ :操作环境		$U_{16}$
	$O_7$ :安全性		$U_{17}$

较客观、全面、科学的对汽车人机工程进行定量的综合评价,为比较类似设计方案的优劣提供了理论基础和方法,并且在实际应用中具有足够的灵活性,评价者可以根据汽车设计的不同阶段动态的生成相应子评价体系,从而有利于对汽车(尤其是轿车)工程学进行评价和设计。

参考文献:

[1] 周全. 基于人机工程和虚拟样机的轿车舒适性研究 [D]. 武汉:武汉理工大学车辆工程学院:2011.

[2] 叶彪. 客车乘客座椅的乘坐舒适性[J]. 客车技术与研究,2003,25(4):21~23.

[3] 杨钟亮,孙守迁. 面向坐姿舒适性测试的人机工程仿真系统[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2010,22(12):2192~2196.

[4] JORN-HENRIK ,CHRISTIAN B L, MAX B. Feel free to feel comfortable-an empirical analysis of ergonomics in the German automotive industry [J]. Int. J. Production Economics, 2011,133 (02):551~561.

[5] 刘陇. 汽车驾驶舒适性的模糊评价[J]. 陕西理工学院学报,2009,25(1):85~89.

[6] 丛晓研. 挖掘机驾驶室舒适度评价[D]. 山东:山东大学设计艺术学院,2011.

[7] 杨德一,郭钢,彭新宇,等. 汽车设计人机工程综合评价的研究[J]. 机械设计与制造,2003(5):119~120.

[8] 冯菲. 基于人机工程学汽车驾驶室评价系统的研究 [D]. 沈阳:东北大学机械电子工程学院,2008.

[9] 李银霞,袁修干. 改进德尔菲法在驾驶舱显示系统工效学评价指标筛选中的应用研究[J]. 航天医学与医学工程,2006,19(05):368~372.

[10] WILLIAM W, COOPER, ARMANDO G, et al. A Delphi study of goals and evaluation criteria of state and privately owned latin american airlines [J]. Socio-Econ. Plann. Sci,1995,29(4):273~285.

[11] 高焕喜. 工作特征对员工沉默行为的实证研究 [D]. 郑州:郑州大学企业管理学院,2012.

[12] 李银霞,袁修干,杨春信,等. 歼击机座舱工效学综合评价指标的建立[J]. 航空学报,2005,26(2):148~152.

Research on the Comprehensive Evaluation Indexes System of Vehicle Ergonomics

LI Yin-xia, LIU Man-man, GAO Jun-jie

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** According to the in-depth analysis and study the correlated information such as standards and norms of vehicle human-machine both in domestic and abroad, a five stratification tree evaluation indexes system of vehicle ergonomics which contains 105 indexes is built, then 15 expert drivers are referred twice as the specialized consultants upon preliminary index system with the modified Delphi method. Based on statistic treatment of consulting results, 86 indexes are chosen. The research and building of the indexes system provides basis to the comprehensive evaluation of vehicle ergonomics, and provides some guidance to the vehicle design and evaluation.

**Key words:** vehicle; ergonomics; evaluation