

# 基于 AHP 的塔式起重机智能驾驶室设计研究

罗晓庆<sup>1</sup>, 张玉萍<sup>1</sup>, 杨一<sup>2</sup>, 杨熾<sup>1</sup>, 黄丹<sup>1</sup>

(1.西华大学, 成都 610039; 2.四川建设机械(集团)股份有限公司, 成都 610039)

**摘要:** **目的** 解决塔式起重机驾驶员在工作中的痛点和需求, 如驾驶员需长时间待在空间狭小的塔机驾驶室内, 而驾驶室内存在无法上厕所、布局不合理、操作不便等问题。基于用户需求和智能性发展趋势为未来塔机驾驶室设计提供有效的指导。**方法** 通过相关文献研究, 运用访谈法调研用户需求, 并将其转化为设计点和智能技术结合点, 建立塔机智能驾驶室设计需求层次分析模型, 通过层次分析法得出各需求要素的权重值, 并完成一致性检验, 最终得到一个优质的设计方案。**结论** 总结了塔机驾驶员的痛点及需求, 并将其转化为设计点和智能技术结合点, 以此提出了塔机智能驾驶室的设计需求层次分析模型, 其中一级指标的重要排序为安全性、舒适性、智能性和便捷性。最后基于用户需求和塔机未来发展趋势设计了一款塔机智能驾驶室方案, 从智能监控系统、智能交互系统、智能卫生系统、智能玻璃界面等方面进行了设计和应用。

**关键词:** 层次分析法; 塔式起重机; 智能技术; 驾驶室设计; 用户需求

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)16-0144-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.16.016

## Design and Research of Tower Crane Intelligent Cab Based on AHP

LUO Xiao-qing<sup>1</sup>, ZHANG Yu-ping<sup>1</sup>, YANG Yi<sup>2</sup>, YANG Xi<sup>1</sup>, HUANG Dan<sup>1</sup>

(1.Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. Sichuan Construction Machinery (Group) Co., Ltd., Chengdu 610039, China)

**ABSTRACT:** It is committed to solving the pain points and demands of tower crane drivers at work: the driver needs to stay in the tower crane cab with a narrow space for a long time; the cab makes it difficult for drivers to go to the toilet; the cab is designed with an unreasonable layout, which is inconvenient for operation, etc.. Based on user demands and intelligent development trend, this paper aims to provide effective guidance for the design of tower crane cab. Through literature study, interview method is used to research user requirements and translate them into the design point and smart technology combining site, and set up the level of the tower crane intelligent cab design demand analysis model. The analytic hierarchy process (AHP) is used to calculate the weights of every demand indexes, and complete the consistency check, then end up with a design scheme of high quality. This paper summarizes the pain points and demands of tower crane drivers and transforms them into design points and intelligent technology combination points. Based on this, a hierarchical analysis model of design requirements for tower crane intelligent cab is proposed, in which the important order of the first level indexes is safety, comfort, intelligence and convenience. Finally, based on user demands and the future development trend of tower crane, a tower crane intelligent cab scheme is designed and applied from intelligent monitoring system, intelligent interaction system, intelligent health system, intelligent glass interface and other aspects.

**KEY WORDS:** analytic hierarchy process; tower crane; intellectual technology; design of cab; user demand

收稿日期: 2022-03-26

基金项目: 四川省哲学社会科学重点研究基地现代设计与文化研究中心资助项目(MD21E019); 西华大学2018年研究生创新基金项目(ycjj2020095)

作者简介: 罗晓庆(1998—), 女, 硕士生, 主攻工业设计。

通信作者: 张玉萍(1972—), 女, 硕士, 教授, 主要研究方向为工业设计及理论研究、信息交互与体验设计研究。

随着互联网、大数据和人工智能等技术的不断发展和应用,可以发现,智能技术已经逐渐进入重型机械领域。塔机是建筑施工中最为重要的垂直运输设备<sup>[1]</sup>,塔机驾驶员越来越关注塔机驾驶室的人性化设计,即对塔机驾驶室设计的舒适性、安全性和智能化等方面提出了更高的要求<sup>[2]</sup>。韩泽光等<sup>[3]</sup>在《塔机起升机构空间布局方案的设计研究》中针对塔式起重机起升机构,通过构建设计方案的数学模型以及编制相应的计算程序,设计了一系列起升机构的布局方案。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 于 20 世纪 70 年代首次被提出后逐渐应用到各个行业。金久富<sup>[4]</sup>在《基于 AHP 的塔机安拆工程综合评价分析》中运用层次分析法,全面评价了各个安拆班组对公司的贡献程度,并通过灵敏度分析,挖掘了各个班组的优势和不足之处。杨昕妍等<sup>[5]</sup>在《一款基于 AHP 层次分析法的卫浴产品设计》中为解决小户型卫浴空间的多水龙头同时使用问题,运用 AHP 层次分析法得出一款集查询水量、换挡水量、过滤水质、一头两用等功能于一体的水龙头设计方案。侯建军等<sup>[6]</sup>在《基于 AHP 的智能婴儿手推车设计研究》中采用 KJ 亲和图法,建立了关于智能手推车设计的层次分析模型,并计算了各功能需求的权重值,最后依据结论设计了一款智能婴儿手推车。

综合文献研究发现,目前 AHP 层次分析法的研究范围越来越广。已有的塔机研究多集中在塔机起升机构和人机工程学应用上,对塔机驾驶室的造型、用户需求下的内部空间布局及智能交互等方面的研究应用较少。本文将运用 AHP 层次分析法,通过计算产品因素占比权重进行更优质的产品方案设计,从而很好地解决上述问题。

## 1 塔式起重机及驾驶员行为痛点分析

### 1.1 塔式起重机现状

塔式起重机(简称塔机),起源于西欧,是一种在房屋建筑施工中负责物料的垂直和水平输送以及建筑构件安装的机械设备。塔机具有起重量大、起升高度高、作业范围广等特点,在工程建设中被广泛应用<sup>[7]</sup>。塔机由塔身、前臂(起重臂)、后臂(平衡臂)、驾驶室和顶升系统等构成。其中,驾驶室是操控整个塔机运行的地方,是塔机的“心脏”<sup>[8]</sup>。塔机驾驶员在驾驶室中,根据对讲机传来的指挥人员的语音指令和监测设备显示的信息,操作机械式手柄,并控制前后臂的旋转、钢丝绳的收放,从而完成构件的吊装任务<sup>[9]</sup>。

国内塔机驾驶室外部造型多为方形或梯形,少数带有弧形,并且窗户多采用分段式玻璃结构。外部配色主要以品牌色为设计来源,室内配色多为米色、白色、黑色等。室内护栏与整体设计的衔接较为生硬,且各功能部件布局较为散乱,不便于用户使用。国外

塔机驾驶室造型多采用大面积的整面玻璃设计,极具现代感。室内布局依据部件的功能特点进行集成设计,具有整体性。在配色上,国外塔机驾驶室内多采用黑色或其他深色系设计,在一定程度上会给驾驶员带来压抑感和视觉疲劳感。当前塔机以高空作业形式为主,驾驶室内主要有配电箱、空调、灯具、安全监测显示器、工作座椅及储物箱等,见图 1。安全监测显示器主要通过摄像头对塔吊吊钩进行实时视频显示,信息较为单一且交互形式传统。从目前智能技术的发展情况来看,未来塔机将实现更深层次的智能化交互和人性化操作,在驾驶室内的布局上将依据部件的功能特点进行集成设计,从而体现出整体性。

### 1.2 塔机驾驶员行为痛点分析

行为是塔机驾驶员与驾驶室产生联系的“媒介”<sup>[10]</sup>,根据调研对塔机驾驶员工作所涉及的内容进行归纳,主要分为工作前、工作中、休息中和工作后 4 个阶段,通过绘制塔机驾驶员工作旅程图解析驾驶员行为与情绪,得出具体痛点与设计机会点,见图 2。如在工作前,驾驶员需一步一步爬上塔机固定的专用爬梯,几十、几百米的爬梯给驾驶员带来了不便和安全隐患,驾驶员易产生恐惧紧张的情绪。此外,驾驶室没有提供换鞋时的坐具及存放鞋子的区域,室内布局不合理,储物空间小,易给驾驶员带来烦躁的情绪。在工作中,驾驶员依靠眼睛和经验判断塔机工作状态及地面情况,易产生紧张情绪,并且地面监控人员无法及时感知驾驶员的身体状态变化,具有一定的危险性;在休息中,驾驶室内没有卫生间,且座椅无法调节靠背,驾驶员无法实现生理需求,容易产生愤怒情绪;在工作后,驾驶员需完成带走垃圾、关门窗、依据天气情况决定是否关闭风标等事宜,容易产生焦躁情绪,并需要通过爬梯从高空爬到地面,容易产生恐惧紧张的情绪。

## 2 AHP 层次分析法与智能技术

层次分析法(AHP)是一种定性和定量研究相结合的评价方法,由美国匹兹堡大学运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出。在产品的创新研发中,AHP 通过分解问题,运用数据分析获得用户需求的权重,进而确定最终的设计方向及具体的设计内容<sup>[11]</sup>。作为一种反映人主观判断的评估方法,AHP 以数据化的形式处理和表达用户的需求,以更严谨、客观的数据来辅助产品的设计决策及开发<sup>[12]</sup>。

随着移动互联网技术、交互技术、显示技术等各种智能技术的发展,基于智能技术优化的产品与人的互动将更加高效、舒适和安全<sup>[13]</sup>。目前智能技术在重型机械领域的引入,如控制系统、无线通信系统,以及负责数据采集的各类传感器设备等的应用,使其能准确感知运行状态、快速分析实时数据、精准执行决

地区	品牌	样本	内部空间设计	主要功能部件	人机交互	产品特点	
国内	中联重科 ZOOMLION			7		13	以方形、梯形为主，部分前窗带弧形。采用分段式玻璃结构。室内配色多以米色、白色为主。智能技术的应用较少。
	徐工 XCMG 徐工集团			8		14	
	大汉 DAXIAN			9		15	
国外	科曼萨 COMASA			10		16	采用方形、梯形设计，部分前窗带弧形。多采用大面积的整面玻璃结构。室内配色统一，以深色系颜色为主。在驾驶室内引入智能技术，并注重室内功能部件的集成设计。
	特雷克斯 TEREX			11		17	
	利勃海尔 LIEBHERR			12		18	

图1 国内外塔机驾驶室对比分析

Fig.1 Comparative analysis of tower crane cabs at home and abroad

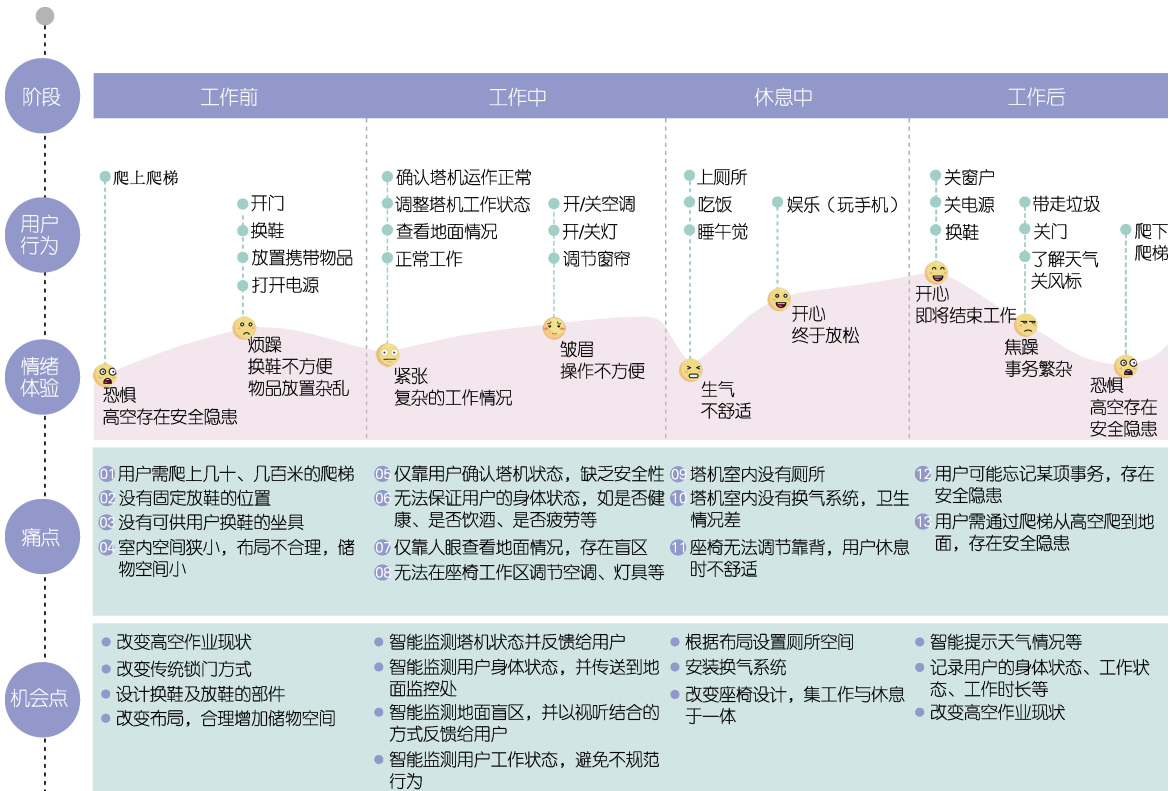


图2 塔机驾驶员工作旅程

Fig.2 Tower crane driver's working journey

策<sup>[14]</sup>, 并起到作业人员管理、作业精度控制、作业环境监测、作业安全管理、设备质量管理等方面的作用。

1) 从近期发展来看, 未来塔机驾驶室将引入智能技术, 如摄像头及各类传感器在塔机上的应用, 可以监测塔机作业实景, 从而提升驾驶员工作的准确性; 无线通信技术、计算视觉技术、远程监控报警系统等的应用, 可以将监测实景传达给驾驶员及监控中心, 从而提升驾驶员作业的安全性; 触摸屏与塔机窗户的结合, 可以提升驾驶员操控的效率及便捷性。因此, 通过引入现有的智能技术可以有效改善塔机现存的问题。

2) 从远期发展来看, 5G 和大数据分析等技术的发展将改变塔机高空作业的现状, 从而实现地面操控, 甚至无人驾驶。地面操控需多个驾驶员在一个地面空间内对多个塔吊进行操控, 或一个驾驶员同时操控多个塔吊, 其中还需其他人员进行辅助操控。

### 3 AHP 层次分析法在塔机智能驾驶室设计中的应用

智能技术适用于产品的结构、功能、交互设计等各个方面, 本文基于用户需求和现有智能技术, 以近期发展为目标, 主要考虑塔机驾驶室的外观造型和室内功能布局, 并将智能技术应用于塔机驾驶室的操控和人机交互等方面。在基于 AHP 的塔机智能驾驶室设计实践中, 应首先对设计要素进行层次划分, 计算每个层次中的元素权重值, 并完成层次排序及一致性检验, 从而获得符合用户需求的塔机智能驾驶室设计方案。

### 3.1 构建层次分析模型

对塔机驾驶室进行设计调研, 随机邀请 150 名用户进行访谈并统计结果, 其中塔机驾驶员 50 名、设计师 40 名、工程师 30 名、销售人员 30 名。主要对工作状态、休息状态及智能技术等方面的需求进行访谈调研。在基于用户需求及智能化发展趋势的设计背景下, 重型机械类设计应在产品设计前端时关注用户的需求, 改变长期将用户置于售后服务末端的现状<sup>[15]</sup>。因此, 依据塔机驾驶员工作旅程图整理出的痛点、设计机会点及访谈结果, 对当前塔机进行设计点和智能技术结合点的分析, 使设计更具人性化且符合塔机未来的发展趋势, 见图 3。在构建塔机智能驾驶室设计需求的层次分析模型时, 对访谈结果进行补充、筛选及归类整理, 访谈者对塔机的需求主要集中在以下几点: 安全性, 操作过程中是否容易误触、视线是否开阔等问题; 便捷性, 随身物品如何放置, 工作中如何上厕所、如何休息等问题; 舒适性, 驾驶员在工作 and 休息不同状态下座椅是否符合人机尺寸, 室内配色是否容易使人视觉疲劳或产生压抑感等问题; 智能性, 是否能监测塔机驾驶员的身体状态、工作状态以及塔机状态, 并实时传送到监管处等问题。因此, 将塔机智能驾驶室的目标层分为安全性、便捷性、舒适性、智能性 4 项准则层, 再将这 4 项准则层分为视线开阔、操作准确、身体监测、工作监测、光线适宜、操作方便、布局合理、可上厕所、室内休息、随身物品储放、人机比例合理、干净卫生、设计美观、材料适宜、实时监测传送、操作方式创新、触屏玻璃、集成调控、智能马桶 19 项子准则层, 见图 4。

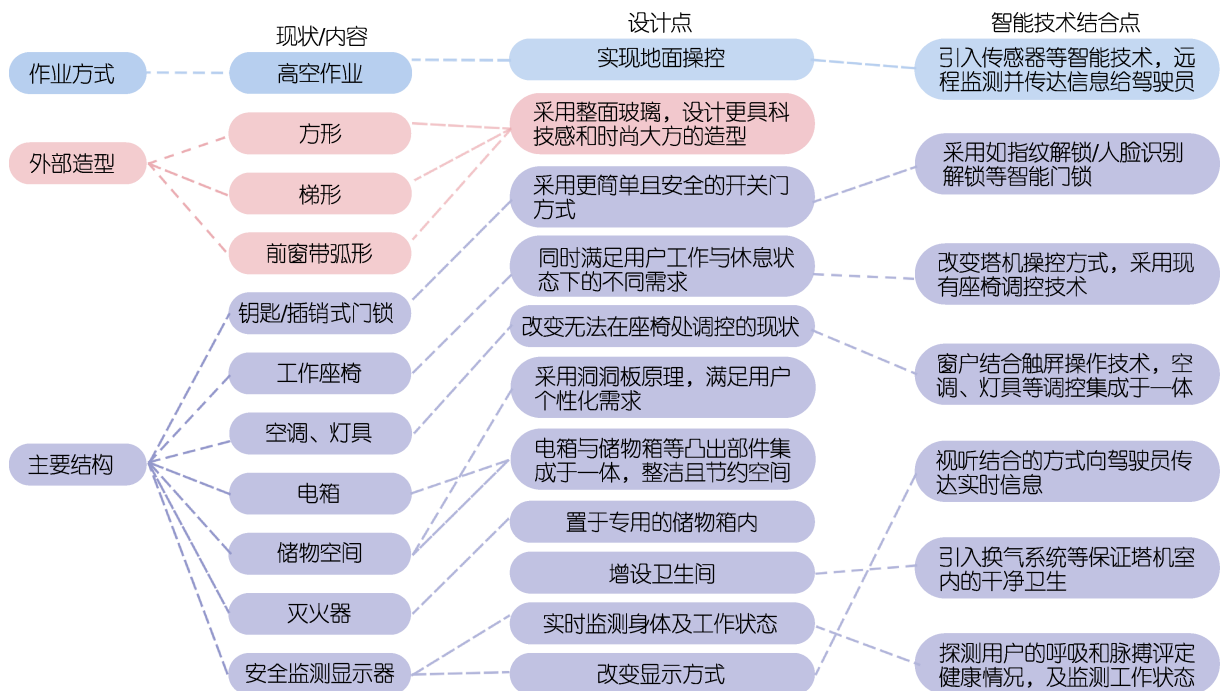


图 3 塔机智能驾驶室设计点  
Fig.3 Design points of tower crane intelligent cab

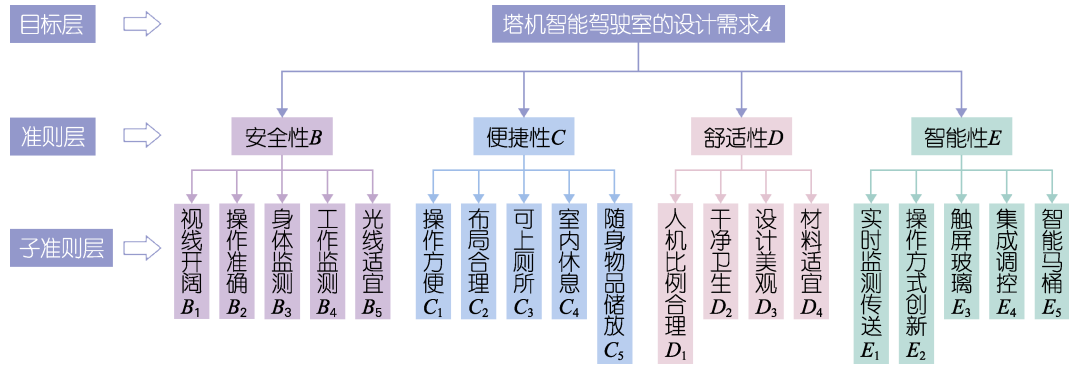


图4 关于塔机智能驾驶室设计需求的层次分析模型

Fig.4 Hierarchical analysis model for design requirements of tower crane intelligent cab

通过构建塔机智能驾驶室设计需求的层次分析模型，明确了塔机智能驾驶室设计的具体方向，确定了以上层次之间的关联性。进一步运用层次分析法对子准则层的设计需求进行权重计算和排序，以明确设计方案。

3.2 AHP 层次分析各设计需求要素权重

本文采用 1—9 标度法对决策判断进行量化，见表 1。

表 1 判断矩阵标度<sup>[11]</sup>  
Tab.1 Scale of judgment matrix<sup>[11]</sup>

量化值	含义
1	要素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 同等重要
3	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 稍微重要
5	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 较强重要
7	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 强烈重要
9	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 极端重要
2, 4, 6, 8	两相邻判断的中间值

层次分析模型中的目标层为塔机智能驾驶室的设计需求，用*A*表示；准则层的评价指标分别为安全性、便捷性、舒适性、智能性，用*B*、*C*、*D*、*E*表示；随机选取 150 名用户对目标层及准则层各指标进行评定，得出判断矩阵及权重，见表 2—6。

表 2 目标判断矩阵及权重  
Tab.2 Target judgment matrix and weight

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	权重
<i>B</i>	1	3	1	2	0.356 4
<i>C</i>	1/3	1	1/2	1/2	0.124 3
<i>D</i>	1	2	1	2	0.325 7
<i>E</i>	1/2	2	1/2	1	0.193 6

3.3 层次排序及一致性检验

为了保证数据的可信性，对上述数据进行一致性检验，检验过程如下：

各因素归一后的特征向量为 *W*，最大特征根为  $\lambda_{max}$

表 3 安全性准则判断矩阵及权重

Tab.3 Safety criterion judgment matrix and weight

<i>B</i>	<i>B</i> <sub>1</sub>	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>B</i> <sub>3</sub>	<i>B</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>5</sub>	权重
<i>B</i> <sub>1</sub>	1	1	2	1	4	0.272 5
<i>B</i> <sub>2</sub>	1	1	2	1	3	0.257 2
<i>B</i> <sub>3</sub>	1/2	1/2	1	1/2	2	0.136 3
<i>B</i> <sub>4</sub>	1	1	2	1	3	0.257 2
<i>B</i> <sub>5</sub>	1/4	1/3	1/2	1/3	1	0.076 7

表 4 便捷性准则判断矩阵及权重

Tab.4 Convenience criterion judgment matrix and weight

<i>C</i>	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>3</sub>	<i>C</i> <sub>4</sub>	<i>C</i> <sub>5</sub>	权重
<i>C</i> <sub>1</sub>	1	5	1	2	3	0.334 8
<i>C</i> <sub>2</sub>	1/5	1	1/4	1/2	1/2	0.070 6
<i>C</i> <sub>3</sub>	1	4	1	2	3	0.320 7
<i>C</i> <sub>4</sub>	1/2	2	1/2	1	1	0.147 8
<i>C</i> <sub>5</sub>	1/3	2	1/3	1	1	0.126 1

表 5 舒适性准则判断矩阵及权重

Tab.5 Comfort criterion judgment matrix and weight

<i>D</i>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>4</sub>	权重
<i>D</i> <sub>1</sub>	1	1	7	5	0.462 0
<i>D</i> <sub>2</sub>	1	1	4	3	0.354 3
<i>D</i> <sub>3</sub>	1/7	1/4	1	1/2	0.069 3
<i>D</i> <sub>4</sub>	1/5	1/3	2	1	0.114 3

表 6 智能性准则判断矩阵及权重

Tab.6 Intelligence criterion judgment matrix and weight

<i>E</i>	<i>E</i> <sub>1</sub>	<i>E</i> <sub>2</sub>	<i>E</i> <sub>3</sub>	<i>E</i> <sub>4</sub>	<i>E</i> <sub>5</sub>	权重
<i>E</i> <sub>1</sub>	1	1	3	5	2	0.331 5
<i>E</i> <sub>2</sub>	1	1	3	4	2	0.317 9
<i>E</i> <sub>3</sub>	1/2	1/3	1	2	1	0.135 3
<i>E</i> <sub>4</sub>	1/5	1/4	1/2	1	1/2	0.069 6
<i>E</i> <sub>5</sub>	1/2	1/2	1	2	1	0.145 7

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T \tag{1}$$

$$AW = \lambda_{max} W \tag{2}$$



将  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  代入公式 (1) 和 (2) 得到目标层的最大特征值  $\lambda_{\max}$ , 阶数为  $n$ 。

一致性检验指标为  $C_I$ :

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

为了判断  $C_I$  的数值是否符合一致性检验要求,  $R_I$  可依据平均随机一致性指标进行判断, 见表 7。一致性比率  $C_R$  为:

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad (4)$$

表 7 平均随机一致性指标  
Tab.7 Average random consistency index

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_I$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

当  $C_R \leq 0.1$ , 表示判断矩阵的一致性检验符合要求。对目标层  $A$ 、准则层  $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  进行一致性检验, 检验结果见表 8。

表 8 一致性检验结果  
Tab.8 Consistency test results

	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$
$n$	4	5	5	4	5
$\lambda_{\max}$	4.045 8	5.013 3	5.025 1	4.054 4	5.112 8
$C_I$	0.015 3	0.003 3	0.006 3	0.018 1	0.028 2
$R_I$	0.890 0	1.120 0	1.120 0	0.890 0	1.120 0
$C_R$	0.017 2	0.003 0	0.005 6	0.020 4	0.025 2

经一致性检验后发现目标层  $A$ 、准则层  $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  所对应的一致性比率  $C_R$  值均小于等于 0.1。同理, 子准则层判断矩阵的  $C_R$  值均小于等于 0.1, 可确定此检验结果具有令人满意的一致性, 符合要求。

一致性检验后进行层级排序, 作为设计方案的重要标准, 见表 9。

通过层次分析法对塔机智能驾驶室设计要素的深入分析, 可得出安全性对其设计的影响最大, 所属权重值为 0.356 4, 舒适性、智能性、便捷性的权重值依次排列。在子准则层指标评价中人机比例合理 ( $D_1$ ) 影响着驾驶员工作的安全性与舒适性, 所属权重值为 0.462 0, 排序第 1, 整体排序为  $D_1 > D_2 > B_1 > B_2 = B_4 > E_1 > E_2 > B_3 > C_1 > C_3 > D_4 > E_5 > B_5 > E_3 > D_3 > C_4 > C_5 > E_4 > C_2$ , 从中可以看出, 影响驾驶员工作环境及工作安全性的设计要素更为重要, 如干净卫生 ( $D_2$ )、视线开阔 ( $B_1$ )、操作准确 ( $B_2$ )、工作监测 ( $B_4$ )、实时监测传送 ( $E_1$ )、操作方式创新 ( $E_1$ )、身体监测 ( $B_3$ )、操作方便 ( $C_1$ ) 等排序较前。其中, 智能性是未来塔机设计和研发的必然发展方向。智能性中实时监测传送、操作方式创新、智能马桶、触屏玻璃、集成调控的权重值依次排

表 9 目标权重排序结果  
Tab.9 Target weight sorting results

	$B$	$C$	$D$	$E$	目标权重	排序
$B_1$	0.272 5	-	-	-	0.097 1	3
$B_2$	0.257 2	-	-	-	0.091 7	4
$B_3$	0.136 3	-	-	-	0.048 6	7
$B_4$	0.257 2	-	-	-	0.091 7	4
$B_5$	0.076 7	-	-	-	0.027 3	12
$C_1$	-	0.334 8	-	-	0.041 6	8
$C_2$	-	0.070 6	-	-	0.008 8	18
$C_3$	-	0.320 7	-	-	0.039 9	9
$C_4$	-	0.147 8	-	-	0.018 4	15
$C_5$	-	0.126 1	-	-	0.015 7	16
$D_1$	-	-	0.462 0	-	0.150 5	1
$D_2$	-	-	0.354 3	-	0.115 4	2
$D_3$	-	-	0.069 3	-	0.022 6	14
$D_4$	-	-	0.114 3	-	0.037 2	10
$E_1$	-	-	-	0.331 5	0.064 2	5
$E_2$	-	-	-	0.317 9	0.061 5	6
$E_3$	-	-	-	0.135 3	0.026 2	13
$E_4$	-	-	-	0.069 6	0.013 5	17
$E_5$	-	-	-	0.145 7	0.028 2	11

列。传统的塔机安全监控系统普遍采用的是机械式设备, 在塔机的运行过程中, 主要依靠驾驶员的经验和指挥人员的指令, 存在安全隐患<sup>[16]</sup>。引入智能技术, 实时监测用户的工作状态及身体健康情况, 并传送到地面监控管理处, 通过摄像头和传感器远程监测吊钩工作实景, 以视听结合的方式传达给驾驶员, 可以有效提升工作的安全性、舒适性、便捷性, 同时也将提高驾驶员的工作效率。

## 4 塔机智能驾驶室设计方案

通过调研分析了塔机驾驶员工作中的需求及痛点, 并以此转化为塔机智能驾驶室的设计点和智能技术结合点。为更严谨和科学地实施具体设计, 将用户需求整理为安全性、舒适性、便捷性和智能性 4 个方面并计算其各需求要素的权重。在数据指导和智能性发展的趋势下, 运用产品设计的流程及方法, 在现有塔机驾驶室的基础上运用智能技术进行创新设计。

### 4.1 塔机智能驾驶室设计效果及功能点

塔机智能驾驶室设计效果, 见图 5。在造型上以六边形为元素变形, 并采用了大面积的整面玻璃结构设计。进门处结合造型设计了换鞋处和鞋柜, 便于驾驶员换上干净的鞋子进入室内工作。在室内布局上采用集成设计, 将卫生间、电箱和储物柜集成在左侧, 右侧为挂物件的滑轨设计, 驾驶员可根据个人需求增减挂钩。座椅设计也更智能化和人性化, 操作区兼具

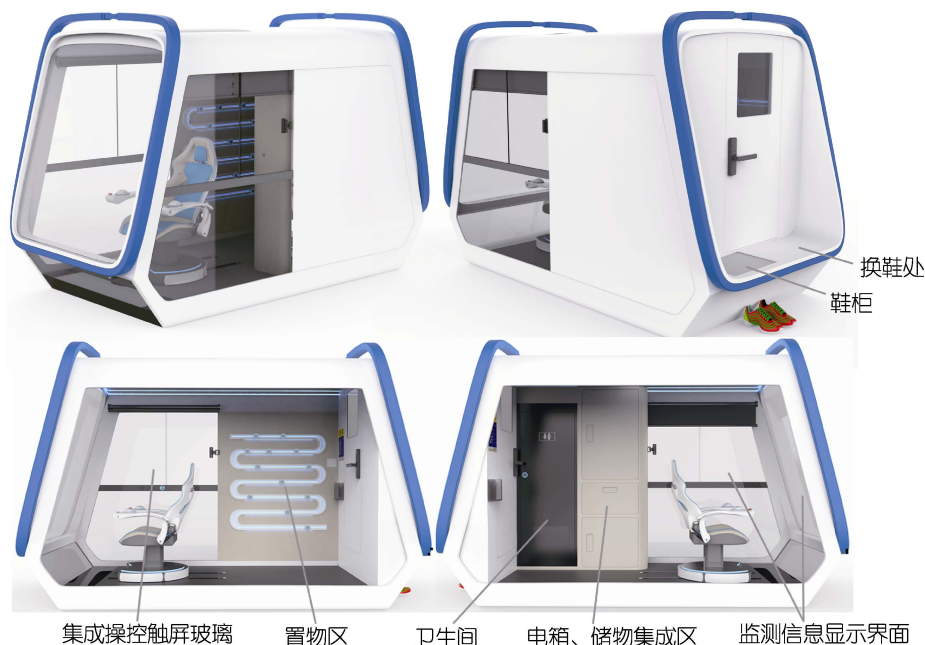


图5 塔机智能驾驶室设计效果图  
Fig.5 Design rendering of tower crane intelligent cab

舒适性、便捷性和设计感。该方案的主要创新点是引入智能技术在窗户上实现触屏操控与信息显示，塔机实时监测驾驶员的身体状况、工作状态和塔机状态并实时传输到监控处，同时监测吊钩工作实景并以视听结合的方式传达给驾驶员，提升工作的安全性和便捷性。

#### 4.2 智能技术在塔机智能驾驶室设计中的应用

从塔机驾驶员的痛点和需求出发，并基于现有的智能技术，结合塔机驾驶室的设计机会点和智能技术结合点，主要从智能监测系统、智能交互系统、智能卫生系统3个方面进行塔机智能驾驶室设计。

1) 智能监测系统：对应  $E_1$ 。左窗信息界面显示，驾驶员将双手放置在塔机运行控制器上，左侧窗户即可显示驾驶员的身体健康情况、工作状态以及塔机设备状态，并实时传输到地面监控处，同时通过记录驾驶员的出勤、工作状态等形成驾驶员个人档案，从而达到在线监管的目的。工作时，前窗界面实时显示塔

吊状态和吊钩工作实景，并在疑似有危险时语音告知用户，通过视听结合的方式确保工作的安全性，见图6。

2) 智能交互系统：对应  $E_2-E_4$ 。右侧窗沿上设计了调控“窗户、灯具、空调”的按钮，驾驶员按下按钮即可在窗户上显示相应的界面，此时便可以在窗户界面上对其进行相应的调控。此外，操作柄的设计改变了原有的手柄造型和操作方式，将其设计为与手掌贴合的半球形操作器，手搭在操控器上前后左右移动就可实现相应的驾驶操作，提高了驾驶员操作的舒适性和智能化。座椅位置及靠背的倾斜角度可前后调节，有利于提高驾驶员休息的舒适性，见图7。

3) 智能卫生系统：对应  $E_5$ 。用户只需按一下按钮，卫生间的门即可向右侧打开。卫生间采用智能可焚烧式马桶，可以将用户的排泄物焚烧为粉末状，方便且干净；卫生间顶部设计了换气系统，可保证塔机驾驶室内部的环境干净清新；卫生间右侧壁面设有一个可拉出的储物盒，可存放物品，如放置马桶焚烧排泄物所需的蜡纸，见图8。

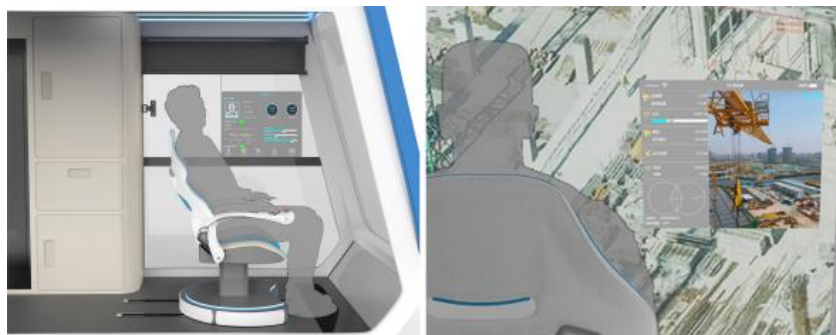


图6 智能监测系统图  
Fig.6 Intelligent monitoring system diagram

### 4.3 智能玻璃界面设计

结合塔机驾驶室各项功能, 设计智能玻璃界面, 右侧玻璃为触屏玻璃, 主要负责调控驾驶室内窗户、

灯光、空调; 左窗显示驾驶员身体状态、工作状态以及塔机设备状态; 前窗在驾驶员工作时实时显示塔吊状态以及吊钩工作实景, 确保工作的安全性, 见图 9。

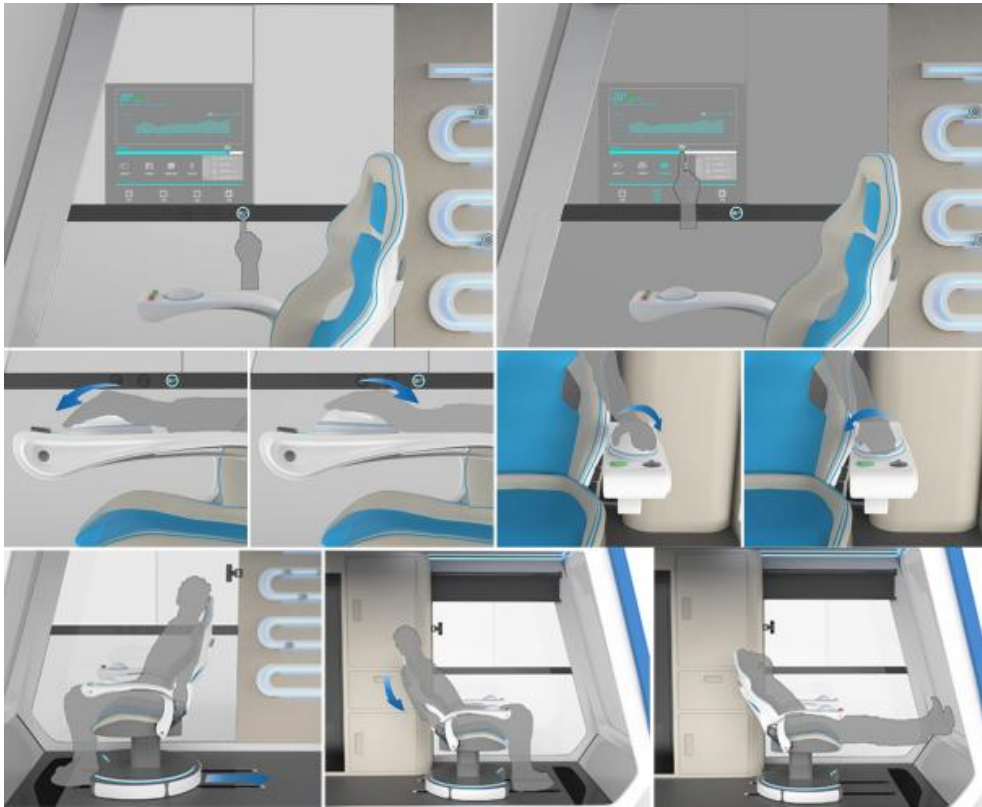


图 7 智能操作系统图  
Fig.7 Intelligent control system diagram



图 8 智能卫生系统图  
Fig.8 Smart health system diagram



图 9 智能玻璃界面设计  
Fig.9 Smart glass interface design

## 5 结语

本文基于用户需求和现有智能技术, 探索塔机作业未来的发展趋势, 并对近期的塔机驾驶室发展趋势

进行设计研究。对大量的塔机相关文献、市场调研和用户调研等进行归类整理, 并对评价指标要素进行补充、筛选, 确定塔机智能驾驶室层次化设计需求指标。通过层次分析法快速抓取设计核心, 得出安全性、舒



适性原则在设计方案中的占比较重,同时要注重其智能性和便捷性,以此结合层次分析的指标结论及智能性的发展趋势,设计了一款塔机智能驾驶室。希望此研究思路和方法可以为未来的塔机驾驶室设计提供参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 陈蕾,车轅,鲍喜臣,等.塔式起重机选型与布置影响因素分析[J].施工技术,2020,49(16):117-120.  
CHEN Lei, CHE Yuan, BAO Xi-chen, et al. Analysis of Influencing Factors of Tower Crane Selection and Layout[J]. Construction Technology, 2020, 49(16): 117-120.
- [2] 刘森海,李松涛,曹树魏,等.重型商用车驾驶室人机工程优化分析[J].图学学报,2017,38(4):509-515.  
LIU Sen-hai, LI Song-tao, CAO Shu-wei, et al. Ergonomic Optimization of Heavy-Duty Commercial Vehicle Cab[J]. Journal of Graphics, 2017, 38(4): 509-515.
- [3] 韩泽光,张磊,郝瑞琴.塔机起升机构空间布局方案的设计研究[J].建筑机械化,2016,37(9):25-28.  
HAN Ze-guang, ZHANG Lei, HAO Rui-qin. Design and Research of Tower Crane Hoisting Mechanism Space Distribution Plan[J]. Construction Mechanization, 2016, 37(9): 25-28.
- [4] 金久富.基于AHP的塔机安拆工程综合评价分析[J].建筑机械化,2019,40(8):35-38.  
JIN Jiu-fu. Comprehensive Evaluation and Analysis of Tower Crane Demolition Project Based on AHP[J]. Construction Mechanization, 2019, 40(8): 35-38.
- [5] 杨昕妍,张仲凤.一款基于AHP层次分析法的卫浴产品设计[J].包装工程,2021,42(4):144-147,153.  
YANG Xin-yan, ZHANG Zhong-feng. Design of a Bathroom Product Based on AHP Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(4): 144-147, 153.
- [6] 侯建军,张玉春,吴丽.基于AHP层次分析法的智能婴儿手推车设计研究[J].包装工程,2022,43(2):50-55.  
HOU Jian-jun, ZHANG Yu-chun, WU Li. The Research and Design of Smart Baby Stroller Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(2): 50-55.
- [7] 郑霞忠,郭雅薇,石法起,等.塔机作业模糊认知可靠性与失误分析方法研究[J].中国安全科学学报,2016,26(6):98-103.  
ZHENG Xia-zhong, GUO Ya-wei, SHI Fa-qi, et al. Research on Fuzzy CREAM of Crane Operation[J]. China Safety Science Journal, 2016, 26(6): 98-103.
- [8] 林萍萍.基于驾驶空间的塔机安全监控装置的界面设计研究[D].济南:山东建筑大学,2015.  
LIN Ping-ping. Tower Crane Safety Monitoring Device Based on Driving Space Interface Research[D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2015.
- [9] 尚立强,张均.塔机智能化发展之路[J].建筑机械,2020(5):22-25.  
SHANG Li-qiang, ZHANG Jun. The Intelligent Development Road of Tower Crane[J]. Construction Machinery, 2020(5): 22-25.
- [10] 欧静,郑云爽,赵江洪,等.基于行为分析的叉车驾驶室造型设计研究[J].包装工程,2019,40(14):128-134.  
OU Jing, ZHENG Yun-shuang, ZHAO Jiang-hong, et al. Driving Behavior Analytics-Based Forklift Cab Appearance Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 128-134.
- [11] 任英丽,常虹.基于F-AHP在坐躺两用办公椅设计中的应用研究[J].包装工程,2022,43(10):145-151.  
REN Ying-li, CHANG Hong. Application of F-AHP in the Design of Sitting and Lying Office Chairs[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(10): 145-151.
- [12] 宋端树,辜俊丽,侯宏平,等.基于感性工学与AHP的老年人电动自行车造型设计[J].包装工程,2019,40(8):130-135.  
SONG Duan-shu, GU Jun-li, HOU Hong-ping, et al. Design of Electric Bicycle for Seniors Based on Perceptual Engineering and AHP[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 130-135.
- [13] 杨随先,刘行,康慧,等.互联网+智能设计背景下的交互设计与体验[J].包装工程,2019,40(16):1-13.  
YANG Sui-xian, LIU Xing, KANG Hui, et al. Interactive Design and Experience under the Background of Internet + and Intelligent Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(16): 1-13.
- [14] 马超民,赵丹华,辛灏.基于用户体验的智能装备人机交互界面设计[J].计算机集成制造系统,2020,26(10):2650-2660.  
MA Chao-min, ZHAO Dan-hua, XIN Hao. Human-Machine Interaction Interface Design of Intelligent Equipment Based on User Experience[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(10): 2650-2660.
- [15] 刘键,严扬.以用户为中心的工程机械驾驶室设计方法研究[J].包装工程,2016,37(2):108-112.  
LIU Jian, YAN Yang. Construction Machinery Cab Design Method Based on Users[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(2): 108-112.
- [16] 赵延明,陈建勋,孙昌跃.基于无线通信的集群作业塔机安全监控系统研究[J].仪表技术与传感器,2013(4):47-49.  
ZHAO Yan-ming, CHEN Jian-xun, SUN Chang-yue. Study on Security Monitoring System of Tower Crane Fleet Based on Wireless Communications[J]. Instrument Technique and Sensor, 2013(4): 47-49.

责任编辑:马梦遥