航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
Jan. 25 2023 Vol. 34 No.01 61-68

基于需求的民用直升机驾驶舱MBSAP方法构建研究

牟晓伟，李治权，何振亚
中国航空研究院，北京，100029

摘　要：针对直升机驾驶舱在设计过程中存在的需求不明确、使用不便捷、操作不顺畅等问题，根据基于模型的系统工程（MBSE）的方法论，以飞行员、地勤维护人员、运营方的综合需求获取与分解为设计输入，考虑民航适航规章与标准规范等相关文件规定，结合已有型号的设计经验，研究总结出一套适用于直升机驾驶舱设计的正向设计方法，完成了从需求获取、需求分解、功能分解到详细设计、综合评价的正向设计流程，为直升机驾驶舱设计提供了方法和评价准则，形成了一套完整的设计方法和理论，并且对后续直升机驾驶舱设计提供了借鉴和参考。

关键词：民用直升机；驾驶舱设计；正向设计；基于模型的系统架构流程

中图分类号：V275+1　　**文献标识码：**A　　DOI：10.19452/j.issn1007-5453.2023.01.008

驾驶舱作为飞行员操纵直升机实现飞行和执行任务的平台，融合了多个复杂系统，在设计思想、设计理念、使用的技术、布局形式等多个方面反映了飞行器技术水平[1-3]。如何将这些系统有机结合起来，既能准确反映设计者的设计意图，同时又能让使用者操作起来得心应手，是需要我们探究的科学问题。驾驶舱设计学科包括认知科学、神经科学、人机交互、人因工程、人体工程学等，其中设备布局、设备操控、信息显示及告警等更是直接面向驾驶舱设计[4]。驾驶舱设计的最终目的是提高飞行安全性，提高任务完成率，同时不会造成飞行员工作负荷过重或驾驶舱信息过载。上述工作和研究内容需要通过科学的方法，从设计之初便贯彻并落实在设计过程之中，并能够应用于不同机型，以达到良好的设计效果。

最初的驾驶舱设计想法很简单，就是在安全飞行的基础上准确高效地完成飞行任务。早期驾驶舱通过仪表为飞行员提供空速、高度等基本飞行数据[5]。20世纪70年代以后，随着自动化技术和综合信息技术的发展，航空产品集成化程度不断提高，综合显示系统逐渐取代分立式仪表驾驶舱，先进且直观的综合化电子数据显示系统、数字式自动驾驶仪、先进的飞行管理系统等形成了现代化的玻璃座舱设计[6]。技术在进步的同时，给驾驶舱设计也带来了新的问题。现代直升机驾驶舱集成了直升机所有系统相关信息数据，这对系统集成、系统交联、信息显示、数据处理等都提出了更高的要求。处理越来越复杂的系统关系是航空业内一直关注并着力发展的方向。

系统工程起源于第二次世界大战后的“曼哈顿工程”[7]。20世纪90年代，以波音为主的航空企业开展了面向航空的系统工程技术应用研究[8]。随着航空产品构型越来越复杂，型号数量越来越多，跨学科、跨系统的交叉融合越来越多样化，导致原有的系统工程难以有效保证产品数据一致性和可追溯性，同时当下航空产品面向全生命周期的设计、维护与保障、管理等多个方面，需要用一种更科学、合理、高效的方法来解决系统工程难以解决的问题。基于上述困难和挑战，2000年年初，美国国家航空航天局（NASA）在原有系统工程研制模式基础上发展了国际系统工程组织（INCOSE）提出MBSE，并建立了自己的系统建模语言SysML，以满足复杂程度更高的航空产品研制需求[9]。我国在航空、航天、空间技术等方面也开展了MBSE技术研究，并成功地应用到具体型号研制中，取得了很好的成效。

直升机驾驶舱作为直升机的大脑，集成了直升机所有

收稿日期：2022-04-15；退修日期：2022-06-11；录用日期：2022-07-20
引用格式：Mu Xiaowei, Li Zhiquan, He Zhenya. Civil helicopter cockpit MBSAP method construct research based on requirement[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(01): 61-68. 牟晓伟，李治权，何振亚. 基于需求的民用直升机驾驶舱MBSAP方法构建研究[J]. 航空科学技术, 2023, 34(01): 61-68.

系统，具有态势感知、信息传递与处理、信息显示、操纵器件布置等多种功能，具有设计难度大、系统构成复杂、交联关系多变等特点，在以往的型号设计中，对驾驶舱设计进行更改时有发生，严重影响了项目进度和产品质量。

本文针对直升机驾驶舱设计所面临的问题，从用户需求入手，开展面向直升机驾驶舱设计的基于模型的系统架构流程（MBSAP）设计方法及评价策略研究，以建立一种普适的驾驶舱设计准则和评价准则，为直升机驾驶舱设计提供技术支持。

1 基于用户需求的驾驶舱 MBSAP 框架体系构建

驾驶舱设计的需求可能来自多个方面，包括直接使用者（飞行员、地勤维护人员）及直升机的运营人，甚至各个系统的设计员对驾驶舱设计也有各自的需求和建议，由此汇集起来的需求会有几千条甚至上万条。长期以来，设计人员对直接使用者的需求了解较少，没有引起足够的重视，大部分设计都是沿袭前人的设计成果，并没有更好地融入新的设计理念和设计需求，这阻碍了驾驶舱设计技术的发展。因此，我们在满足适航要求的基础上，从相关利益方的需求视角出发，将需求分解形成直升机驾驶舱的功能，最终落实到具体系统和详细设计中，从正向设计的角度，重新定义驾驶舱设计。

面向驾驶舱设计的MBSAP框架构建包括需求域、功能域和物理域三部分[10]，其中需求域包括利益相关方的需求获取与分析，形成相应的驾驶舱总体设计需求；功能域主要是基于需求的驾驶舱功能设计，将需求分解向功能转化，并体现在各个组成系统中，以系统集成来满足使用要求；物理域则是将功能落实到具体设计中，包括系统方案和详细设计等工作，其中涉及信息显示、操纵器件设计等，驾驶舱设计框架如图1所示。设计工作完成后，根据系统规范、总体设计要求、适航规章等对各个系统的符合性开展检验及验证工作，以建立的设计准则开展效能评估并进行优化，以评价结果满足需求为最终目标，形成设计闭环。

2 相关利益方需求的获取

驾驶舱是直升机的大脑，为飞行员提供信息、操作空间和手段，是直升机设计成功的关键。驾驶舱利益相关方主要涉及三个方面，分别是飞行员、地勤人员和运营公司，他们分别代表不同的需求属性。作为直升机的直接使用者，飞行员的需求是最有参考价值的，地勤人员作为日常维护

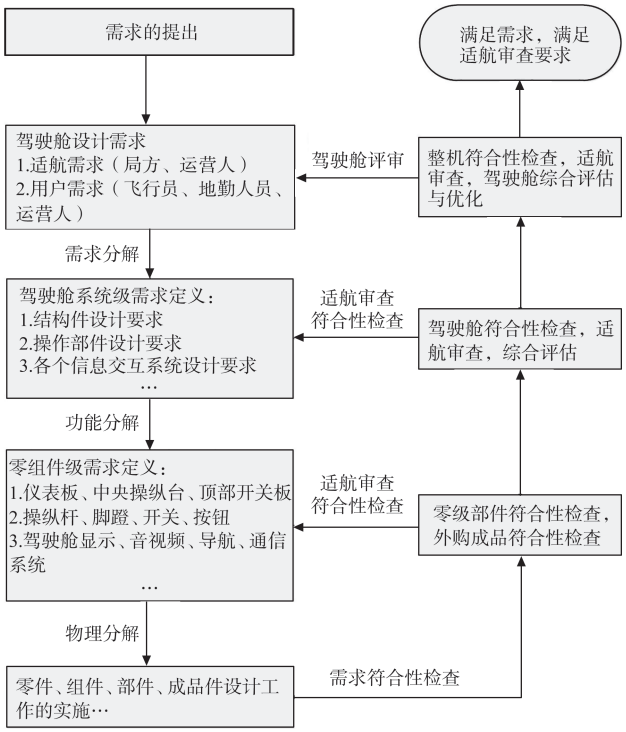

图1 基于MBSAP方法的驾驶舱设计框架

Fig.1 Cockpit design method based on MBSAP

者，其意见对驾驶舱使用和维护有着很大的借鉴意义，运营公司作为直升机的拥有者，在运营成本等方面对驾驶舱设计有着更深入的考量，驾驶舱设计需求组成如图2所示。

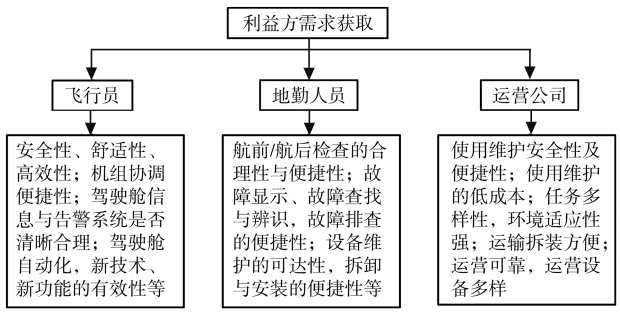

图2 驾驶舱设计需求获取

Fig.2 Cockpit design requirement

2.1 飞行员需求

驾驶舱设计在保证飞行安全和任务顺利执行的同时，还需要考虑飞行员心理和生理等多方面情况。驾驶舱设计是否合理、舒适、友好是考核驾驶舱设计理念及设计技术与水平是否先进的重要指标。对于具体设计工作，如设备的布局、信息显示模式、操作开关等，飞行员的意见最为直接也最为重要，而这也是航空器评审（AEG）审查中的一项重

要内容。根据型号设计及民航审查中形成的飞行员意见，总结飞行员具体需求如下[11]：(1) 安全、舒适、高效：驾驶舱设计在保证飞行安全的同时，尽量兼顾舒适性和高效率；(2) 驾驶舱信息与告警系统：对呈现给飞行员的信息在满足飞行安全的情况下尽量简化，告警信息要准确、简洁、清晰反映故障情况，不应造成飞行员误判；(3) 驾驶舱布置：驾驶舱设备布置不应妨碍正常飞行操作，且操作应顺畅；(4) 驾驶舱自动化：在常规飞行中，以自动化设计代替人工操作，减轻飞行员负担；(5) 新技术、新功能的应用：新技术、新功能的使用不应超出大部分飞行员能够接受的水平；(6) 飞行员的最终控制权：对直升机飞行控制的最终决策权始终掌握在飞行员手中；(7) 机组之间的协调：设备布置有利于飞行及任务执行，满足机组之间协调的需求；(8) 驾驶舱对飞行员的要求：在经过培训后，飞行员应对驾驶舱设计有准确的了解，不应产生误解；(9) 误动作影响：设备布置与按钮/开关设计要充分考虑误动作的影响。

2.2 地勤人员需求

在日常使用中，直升机的维护是保证安全、提高出勤率、提升任务执行率的关键，地勤维护人员的意见同样需要得到重视。在具体的设计工作中，设计人员为了规避自身设计经验和认知的局限性，必须征求有经验的地勤维护人员的意见，尤其是对同系列机型有着多年使用和维护经验的人员。这其中涉及日常维护、日历检查便捷，设备维护可达性好，设备更换操作简单，同时考虑相似或多于两套以上的系统设备要有防差错设计，对于地面维护故障信息的获得与可判读同样非常重要。此外，还需要考虑AEG审查内容之一的“航空器检查大纲”相关工作。

根据型号设计经验，征求地面维护人员的意见，形成地勤人员需求，包括故障显示清晰、准确，便于故障查找与排故；设备维护的可达性与时间间隔的合理性；运输与存放期间的维护、保养、封装合理性；拆卸与安装的便捷性；航前/航后检查合理、便捷性[12]。

2.3 运营人需求

按照《中国民用航空规章》CCAR–91/135部运营规章要求，对直升机应加装的设备有以下要求：飞行数据记录、舱音记录、通信设备数量等，在考虑飞行安全和任务执行的同时，航空器运营人作为运营方，有着不同于飞行员和地面维护人员的需求，具体的要求包括：安全可靠；操作便捷；适应多种任务；适应各种环境；拆装运输方便；使用维护成本低；满足包括海上运营等特殊运营类型。

3 需求分解

3.1 功能划分

在获取了相应的需求信息后，需要开展需求分析，将需求转化为驾驶舱对应的功能，进而分解到各个系统中。驾驶舱作为一个人机交互的平台，包括飞行操纵功能、设备布局与安装、信息显示与告警、环境控制、安全与逃生、使用与维护等[13]，现将其具体功能描述如下。

(1) 飞行操纵功能

能够满足直升机正常启动功能，直升机飞行中的基本操纵功能，以及故障及应急情况下具备应急处置功能。

(2) 设备布局与安装

设备的选择依据CCAR–27/29/91/135部要求进行，包括CCAR–91/135部对运营人需要安装的设备的要求；设备的布局满足直升机驾驶舱视野和仪表板视区的要求（人机功效）；考虑驾驶舱设备安装空间，以及使用、维护的要求。

(3) 信息显示与告警

直升机驾驶舱应将一切必要信息告知飞行员，包括任务系统信息显示、备用仪表的信息显示、音频/视频等告警及故障信息显示等，为地勤人员提供必要的设备故障信息以供检查和维修。

(4) 环境控制

环境控制系统为飞行员提供舒适的驾驶环境，并积极考虑为驾驶舱提供强迫通风系统，以满足悬停使用过程中的通风需求，适当考虑为驾驶舱提供具有制冷功能的环控系统。环境控制的功能要求中，涉及系统信息显示和设备安装。

(5) 安全与逃生

驾驶舱的座椅及安全带必须满足规章安全性要求，驾驶舱必须有满足适航要求的应急出口，有必要的防火设备，或者在发生火情时飞行员能够方便地使用灭火设备，对于跨水运营要满足水上运营要求。

(6) 使用与维护

驾驶舱的设计要充分考虑日常使用维护的要求，地勤操作应简便易懂，并在飞行员位置就可以完成相关机上检查工作，必要的设备故障信息显示可用于故障查找和设备维修，设备安装和拆卸要便捷，维护时间短，要有防差错设计，以保证维护的可靠性。

3.2 需求分解

需求向功能的分解是一个落实与贯彻的过程，一项需求可以对应多个功能，一个功能同样可以满足不一样的需求。直升机驾驶舱有着基数庞大且复杂的设备，种类多样，功能

覆盖面广，信息集中度高，因此将需求分解到具体功能是一项极其复杂的工作。将飞行员需求、地勤人员需求、运营人需求，对应6项驾驶舱功能，进而分解为23项具体功能，完成从需求到具体功能的分解，将具体功能落实到系统设计中[14]。通过建立需求与驾驶舱功能的联系，为进一步开展驾驶舱设计工作奠定了基础，功能分解框架如图3所示。

4 驾驶舱设计

基于上述从需求到功能再到系统要求的逐层分解，驾驶舱每个器件、机构、功能与需求构成了关联关系，将驾驶舱设计过程中涉及的内容梳理完整，并分解到具体的系统设计中。根据民用适航规章对于驾驶舱设计总的要求，结合各个系统的具体适航要求，以MBSE的方法论，建立基于模型的复杂系统设计流程，开展驾驶舱设计工作，同时完成系统级的符合性验证，并映射到功能及需求的上层要求，形成设计闭环。

对于操作功能中的直升机正常启动功能，发动机系统涉及的操作器件包括：发动机启动开关、模式开关、冷转开关、金属屑烧蚀开关、功率检查开关，有的发动机还有油门杆；对于信息显示，发动机参数和状态显示在综合显示器上，包括发动机转速、扭矩、发动机工作模式（熄火、慢车、飞行），与发动机相关的系统有燃油系统、滑油系统、电源系统、防火系统以及环控系统的发动机引气等。具体的设计逻辑梳理如图4所示。

针对由需求分解而形成的系统具体设计要求，需要通过详细设计落实在具体设计工作中，并完成对设计结果的验证。

4.1 驾驶舱设计要求

驾驶舱的设计工作虽然涵盖直升机的所有系统，但是就上述提到的6个功能来说，具体的设计工作聚焦在设备确定与安装要求、显示与告警要求、设备操纵要求上，并满足人机功效要求，这其中包括仪表板、中央操纵台、顶部开关板等结构设计，驾驶操纵杆、开关/按键、仪表板布局等方面，以及对适航条款的符合性[15-16]。

（1）设备清单的确定与安装要求

这其中设备的确定与安装在CCAR-27/29部以及CCAR-91/135部中有明确的规定，这些规章明确了应该安装在驾驶舱设备的类型以及需要具有的功能，以及设备安装的强度，保证了直升机飞行安全。

（2）显示与告警要求

在适航规章中对各个系统应该提供的显示与告警信息有较为详细的规定，但是缺少更为详细的能够指导具体设计的设计规范，中华人民共和国国家军用标准（GJB）1006—1990也同样如此，这需要通过研究与分析建立适用于型号设计的设计规范。从总体上分析，信息分为飞行任务信息、飞行安全信息和其他必要信息，其中与飞行紧密相关的飞行安全信息分为三个等级，分别定义为红色警告信息、琥珀色警戒信息和绿色一般信息，对于一些重要的信息还会增加警告灯指示和音响/语音告警提示。

（3）设备操纵要求

设备操纵也是驾驶舱设计的一个重要环节，尤其是操纵器件的设计需要符合飞行员操纵习惯和一般常识等要求，这在CCAR-27/29部第779条中有相应的规定，但是在具体的设计过程中，还需要进行综合评估，在适航AEG审

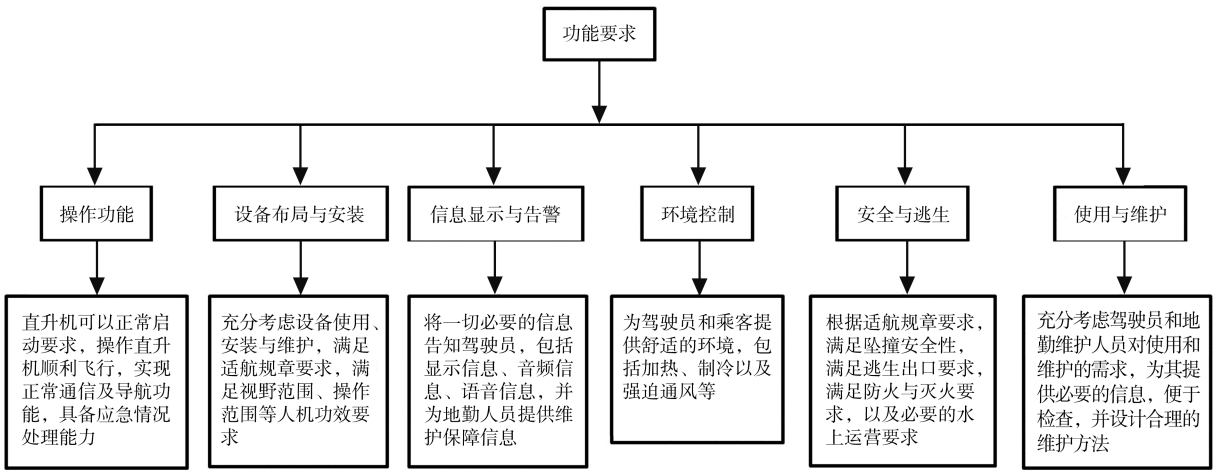

图3 功能系统分解示意图

Fig.3 Function and system breakdown drawing

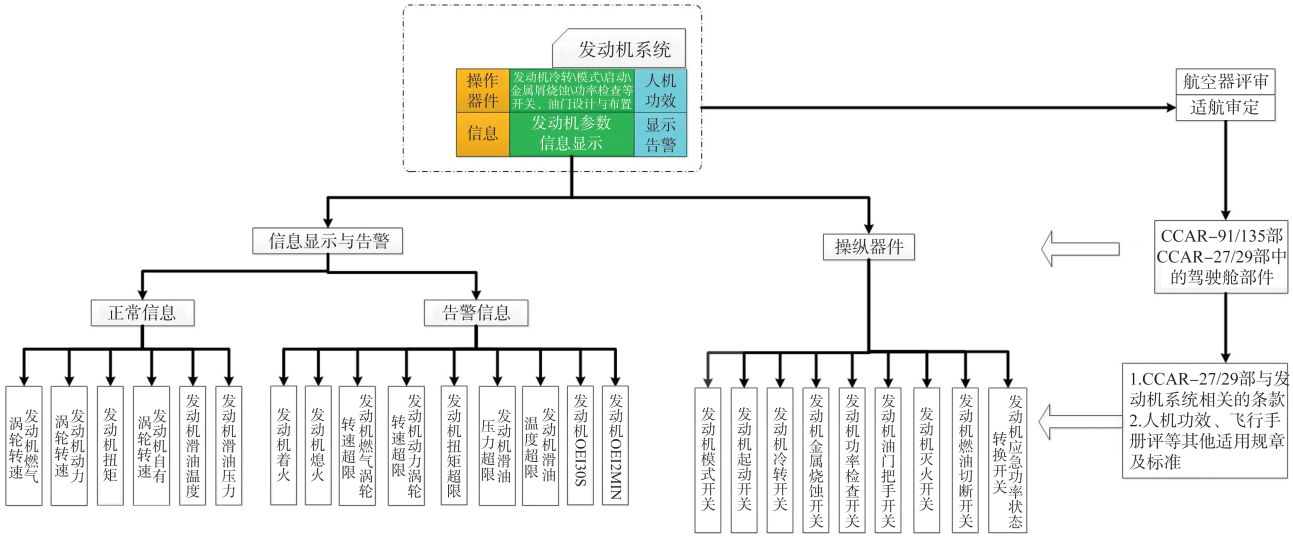

图4 发动机系统功能要求与操纵器件、信息显示、适航规章对应关系

Fig.4 The correspondence of function requirement control display,and airworthiness regulations of engine system

查中，对操纵器件设计的合理性也会进行有针对性的审查，并对不符合要求的设计给出评审意见。

（4）人机功效要求

对于驾驶舱设备布置需要通过人机功效分析进行综合评估，有较为详细的GJB 1471A—2012、GJB 1560、GJB 2526—1995等标准支撑设计与分析工作，需要针对具体机型开展具体分析。

4.2 适航规章及标准

在满足适航规章的同时，还需要满足AEG对驾驶舱的审查，具体涉及部分军用标准和民航相关规定见表1。这些标准规范涵盖驾驶舱尺寸要求、设备安装布局要求、信息显示与告警要求，以及使用维护要求等[17]。同时还包括AEG审查中所涉及的驾驶舱审查、飞行手册审查和飞行审查，具体标准规章见表2。

5 驾驶舱设计评估准则

尽管已经完成了从需求到具体设计工作，并验证设计满足需求，形成了一个闭环系统，但是信息显示与告警、按键/开关等操纵器件设计需要在上述分析基础上统筹考虑，驾驶舱设计结果需要一个综合评估方法和准则进行整体性评价，因此需要建立一个评估准则。由于驾驶舱包含多个系统，每个系统都有其特殊性，因此需要以系统为单位开展独立系统评估，并以此来判定驾驶舱整体设计水平。

5.1 系统综合评估方法

根据不同系统设计变量不同，参考表3进行系统评估，

表1 直升机驾驶舱设计中参考的其他标准规范

Table 1 Other standard specifications for reference in helicopter cockpit design

功能要求	标准号	名称
操作功能	GJB 1471A—2012	《军用直升机座舱几何尺寸》
	MD-FS-AEG006	《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》
设备与安装	GJB 1471A—2012	《军用直升机座舱几何尺寸》
	GJB 1560	《直升机仪表板布局》
	GJB 2526—1995	《直升机座舱视野和仪表板视区》
	GJB 4856—2003	《中国男性飞行员人体尺寸》
	MD-FS-AEG006	《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》
信息显示与告警	GJB 1006—1990	《飞机座舱告警基本要求》
	MD-FS-AEG006	《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》
使用与维护	MD-FS-AEG006	《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》

表2 航空器评审（AEG）涉及的标准规章

Table 2 Standard regulations related to AEG

标准/规章	名称
MD-FS-AEG006	《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》
MD-FS-AEG001	《驾驶员资格计划编制指南》
AC-91-11	《航空器的持续适航文件要求》
CCAR-25部第1523条	《最小飞行机组》
CCAR-25附录D	《确定最小飞行机组的准则》

并以表4的评分准则给出系统综合评价值。在表3中，b_{ij}为第i个设计变量的评价准则，ω_{ij}为第i个设计变量的权重系数，A_{ij}为单一变量的综合得分。系统评价分制为10分，得分的评判标准见表4，该系统一组变量对评价准则总的符合性评价原则是，单项得分A_i不低于6分，综合得分A不低于8分。

表3 系统综合评价表(以发动机系统为例)

Table 3 System comprehensive evaluation table (taking engine system as an example)

设计变量	评价准则	b_{i1}	b_{i2}	b_{ij}	$j=1\sim n$	综合
	权重系数	ω_{i1}	ω_{i2}	ω_{ij}		
发动机起动开关		A_{11}	A_{12}	A_{1j}	$A_{ij}=b_{ij}\times\omega_{ij}$ ($i=1\sim m, j=1\sim n$)	$A_i=\sum A_{ij}/n$ ($j=1\sim n$)
发动机模式开关		A_{21}	A_{22}	A_{2j}		
发动机冷转开关		A_{31}	A_{32}	A_{3j}		
第i个变量		A_{i1}	A_{i2}	A_{ij}		
综合估算		$A=\sum A_i/m(i=1\sim m)$				

表4 得分评判标准

Table 4 Scoring criteria

存在安全隐患	有缺陷	设计需要改进	信息显示不合理	布局不合理	合格	好	很好	非常好	优秀
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5.2 评估准则

对于系统评估准则,因每个系统都涉及信息显示和操纵器件两大部分,因此需要对显示信息和操纵器件分别进行评估。

(1)系统信息评价的内容包括:信息的完整性,满足使用要求;信息的准确性,文字信息容易理解;信息显示系统布置位置满足驾驶员视野要求;信息显示形式准确,不易误判;信息显示集中告警内容,准确反应故障情况;告警内容不易混淆;告警信息等级划分明确,音频/语音告警内容清晰;告警灯告警信息准确易读[18]。

(2)对系统开关/按键等评价内容包括:开关设计合理,与常规操作习惯一致;满足防误操作设计;开关布置与动作范围对其他设备没有干涉;按照功能区域进行布置;标牌设计不会产生歧义;满足GJB 1471A中4.5节第一区规定可以操作;驾驶员视野可达[19]。

6 结束语

驾驶舱设计以安全飞行为基础,以良好的人机功效为目标,搭建直升机驾驶舱平台,实现直升机安全飞行,并顺利完成任务。然而直升机驾驶舱设计一直以来都以满足总体技术要求、总体设计规范等顶层文件要求为目的,研究方向与内容多以某一具体设计为对象,缺少系统且全面的统筹计划。

本文以MBSE方法论为基础,结合以往型号设计经验,构建一种直升机驾驶舱正向设计的方法与评价准则,利用MBSAP方法将需求分解到各个系统中,并最终落实到设计细节上,很好地完成了一个正向设计的闭环过程。同时通过对系统符合性的验证表明对设计规范和民航规章及标准的符合性,并构建一套适用于直升机驾驶舱设计的评价准则和方法,对驾驶舱设计最终结果给出综合评价,用于指导后续设计优化工作。本文的创新与突破包括以下几个方面。

(1) 完成需求向功能的分解

本文在充分考虑前人研究的基础上,增加对现代直升机驾驶舱设计特点和未来发展趋势的分析,构建了驾驶舱功能体系,形成6项主要功能定义,用来承接相关利益方的需求分解。

(2) 完善功能向设计细节的转化

以型号研究为基础,通过总结提高,完成功能向设计细节转化。将功能逐层分解为系统功能要求,通过系统设计转化为设计细节并落实在方案中,从而满足功能的实现性、适航条款的符合性及规章标准的符合性等,并不断优化设计。

(3) 形成设计评价准则与方法

为了有效评价设计的优劣,规避因设计员水平造成的差异,建立了一套行之有效的评价方法和准则。直升机驾驶舱设计的评价准则,是在充分借鉴以往适航审定过程中民航专家所关心的问题,以及在型号设计中对所出现的设计缺陷的补救措施和办法总结而来,具有较为普遍的适用性。

(4) 构建驾驶舱正向设计方法

以相关利益方需求为输入,通过MBSAP建立了一种直升机驾驶舱正向设计的方法,完成了从需求到设计并最终完成验证和综合评价的设计流程。通过引入相关利益方需求,进行需求分解、功能分解、详细设计等步骤,形成一套完整的较为合理的正向驾驶舱设计方法,为后续直升机驾驶舱设计乃至直升机设计提供了支撑。

然而,本文的研究仍然存在不足,本文面向的是设计阶段的MBSAP方法与评价准则的研究,相对于直升机全寿命周期设计理念,缺少对于日后使用和维护过程中存在的需求获取,没有覆盖全寿命周期的寿命监控和健康监测等方面的内容。后续的研究内容和方向应将直升机日常维护、视情维护、状态监控、健康监测等方面的内容统一纳入直升机驾驶舱设计中,形成覆盖直升机全寿命周期的正向设计方法和理论,用于指导后续直升机驾驶舱设计。 AST

参考文献

[1] 张炯, 曾锐. 商用飞机单一飞行员驾驶模式设计及测试[J]. 航空科学技术, 2020, 31(6): 42-49.
Zhang Jiong, Zeng Rui. Mode design and test for commercial aircraft single-pilot operations [J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(6): 42-49. (in Chinese)

[2] 吴希明, 张广林, 牟晓伟. 中国直升机产业的现状及发展建议[J]. 航空科学技术, 2021,32(1):1-9.
Wu Ximing, Zhang Guanglin, Mu Xiaowei. China helicopter lndustry status and development proposal [J]. Aeronautical Science & Technology, 2021,32(1):1-9. (in Chinese)

[3] 邓景辉. 直升机技术发展与展望[J]. 航空科学技术, 2021,32(1):10-16.
Deng Jinghui. Development and prospect of helicopter technology[J]. Aeronautical Science &Technology, 2021,32(1):10-16. (in Chinese)

[4] 罗亮. 基于人因工程学的民用直升机驾驶舱布置[J]. 直升机技术, 2014(2):56-58,63.
Luo Liang. Cockpit layout of civil helicopter based on ergonomics[J]. Helicopter Technique，2014(2):56-58,63. (in Chinese)

[5] 冯志祥, 白昀. 民用飞机驾驶舱设计变革[J]. 民用飞机设计与研究, 2021(1):81-84.
Feng Zhixiang, Bai Yun. The cockpit design evolution of civil aircraft [J]. Civil Aircraft Design & Research，2021(1):81-84. (in Chinese)

[6] 陈丹昱. 关于直升机驾驶舱先进技术的人为因素研究[J]. 学术研究, 2020(3):242-244.
Chen Danyu. Research on human factors in advanced technologies of helicopter cockpit [J]. China Science & Technology Overview，2020(3):242-244. (in Chinese)

[7] 曹松, 郭宝柱. 系统工程-工程项目的总体技术与管理[J]. 导弹与航天运载技术, 2017(1):1-4.
Cao Song, Guo Baozhu. Systems engineering: system integration & technical management in engineering projects[J]. Missiles and Space Vehicles，2017(1):1-4. (in Chinese)

[8] 丁鼎. 基于模型的系统工程在民机领域的应用[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2012,29(4):47-50,54.
Ding Ding. Application of model-based system engineering in civil aircraft design [J]. Journal of Shenyang Aerospace University，2012,29(4):47-50,54. (in Chinese)

[9] 朱静, 杨晖, 高亚辉, 等. 基于模型的系统工程概述[J]. 航空发动机, 2016,42(4):12-16.
Zhu Jing, Yang Hui, Gao Yahui, et al. Summary of model based system engineering[J]. Aeroengine, 2016, 42(4): 12-16. (in Chinese)

[10] 张新国. 基于模型的系统工程有效方法[M]. 北京：北京航空航天大学出版社, 2020.
Zhang Xinguo. Effective model-based systems engineering [M]. Beijing: Beihang University Press，2020. (in Chinese)

[11] 陈丹昱. 直升机驾驶舱设计理念研究[J]. 中国科技纵横, 2020(4):41-43.
Chen Danyu. Research on helicopter cockpit design philosophy [J]. China Science & Technology Overview, 2020(4):41-43. (in Chinese)

[12] 马小骏, 彭焕春. 系统工程在大型客机运行支持系统研制中的应用综述[J]. 航空学报, 2019,40(1):217-230.
Ma Xiaojun, Peng Huanchun. Review on development of commercial aircraft operation support system based on system engineering approach[J]. Acta Aeronautia et Astronautica Sinica, 2019,40(1):217-230. (in Chinese)

[13] 邹炎彰, 李正, 文丽辉. 基于问卷调查的直升机驾驶舱设计理念初步研究[J]. 中国科技纵横, 2019(10):174-175.
Zhang Yanzhang, Li Zheng, Wen Lihui. Helicopter cockpit preliminary design research based on questionnaire survey [J]. China Science & Technology Overview, 2019(10):174-175. (in Chinese)

[14] 吴颖, 刘俊堂, 郑党党. 基于模型的系统工程技术探析[J]. 航空科学技术, 2022,19(12):55-57.
Wu Ying, Liu Juntang, Zheng Dangdang. Research on the technology of model based system engineering [J]. Aeronautical Science & Technology, 2022,19(12):55-57. (in Chinese)

[15] 黄平. 浅谈通用飞机驾驶舱人机工程设计基本原则[J]. 科技资讯, 2015,13(8):37.
Huang Ping. General airplane ergonomic design basic principle [J]. Science & Technology Information, 2015, 13(8): 37. (in Chinese)

[16] 占瑾信. 直升机驾驶舱人机功效设计[J]. 直升机技术, 2007(4):40-42.
Zhang Jinxin. The design of helicopter cockpit man-machine efficacy [J]. Helicopter Technique, 2007(4):40-42. (in Chinese)

[17] 孙世东, 张夏, 孙有朝, 等. 民机驾驶舱人为因素适航符合性验证与审定方法[J]. 航空计算技术, 2019,49(3):125-129.
Sun Shidong, Zhang Xia, Sun Youchao, et al. Airworthiness validation and certification method of human factors in civil aircraft cockpit[J]. Aeronautical Computing Technique, 2019,49(3):125-129. (in Chinese)

[18] 郭赞, 郭定, 杨俊超, 等. 直升机座舱显示界面人机工效指标体系评估研究[J]. 光电与控制, 2011,18(5):67-71,84.
Guo Zan, Guo Ding, Yang Junchao, et al. Study on evaluation index interface system of helicopter display interface ergonomics[J]. ElectroIlics Optics & Control, 2011,18(5):67-71,84. (in Chinese)

[19] 舒秀丽, 董文俊, 董大勇. 基于人机工效的民机驾驶舱设计原理[J]. 航空工程进展, 2015,6(2):222-227.
Shu Xiuli, Dong Wenjun, Dong Dayong. Ergonomics design principle of the civil flight deck [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2015,6(2):222-227. (in Chinese)

Civil Helicopter Cockpit MBSAP Method Construct Research Based on Requirement

Mu Xiaowei, Li Zhiquan, He Zhenya

Chinese Aeronautical Establishment, Beijing 100029, China

Abstract: Aiming at the problems in the design process of helicopter cockpit like unclear requirements, uneasy use and unsmooth operation, and based on the Model Based System Engineering (MBSE), this paper, combining the existing model design experience, summarizes a set of forward design methods for helicopter cockpit design, while taking the comprehensive requirements acquisition and decomposition of pilots, ground maintenance personnel and operators as design inputs and considering the civil aviation airworthiness regulations, standards and specifications as well as other relevant documents. The whole process from requirements acquisition, decomposition and function decomposition to detailed design and comprehensive evaluation is completed. And it provides a method and evaluation criterion for helicopter cockpit design, which forms a complete set of design methods and theories and provides reference for the subsequent design of helicopter cockpit.

Key Words: civil helicopter; cockpit design; toward design; model based system architecture process

Received: 2022-04-15; **Revised:** 2022-06-11; **Accepted:** 2022-07-20