

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.01.003

民用飞机驾驶舱布置设计方法研究

Research on Design Method of Civil Aircraft Cockpit Layout

金浙峰 张垠博 刘海燕 袁 霄 孟 华 /

JIN Zhefeng ZHANG Yinbo LIU Haiyan YUAN Xiao MENG Hua

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

在当今民用飞机驾驶舱设计过程中,普遍公认的理念为“以人为中心”的驾驶舱设计理念,而驾驶舱布置设计要践行“以人为中心”的设计理念,就需要在国内民用飞机设计初期,探索一种能体现“以人为中心”的驾驶舱布置方法。主要以“设计眼位”为基准,以飞行员生理极限、认知特性和个体差异作为可达性、可视性设计参数的依据,探索出一种能用于设计初期指导驾驶舱布置过程中主要设计参数的制定方法。

关键词: 民用飞机; 驾驶舱; 布置

中图分类号: V223⁺.1

文献标识码: A

[Abstract] Human-Centered design philosophy has been accepted by Civil Transport Aircraft scopes. Flight deck layout can carry out the human-centered design philosophy. Now we need probe into one method of flight deck layout which can incarnate the human-centered design philosophy. This article provides one method which can be used for guiding flight deck layout by “design eye point” and according to accessibility and visibility of the pilots’ physiological limits, the cognitive characteristics and individual difference.

[Keywords] civil aircraft; flight deck; layout

0 引言

在当今民用飞机驾驶舱设计过程中,普遍公认的理念为“以人为中心”的驾驶舱设计理念,而驾驶舱布置则是“以人为中心”的驾驶舱设计理念的具体贯彻。在国内民用飞机设计初期,需要探索一种能体现“以人为中心”驾驶舱设计理念的驾驶舱布置设计方法。本文主要以“设计眼位”为基准,以飞行员生理极限、认知特性和个体差异作为可达性、可视性设计参数为依据,探索出一种能用于指导驾驶舱初期布置设计主要特征参数的确定方法。本文探索的驾驶舱布置设计方法是在遵循相关标准和适航规章的基础上,结合型号研制驾驶舱布置设计过程中遇到的具体问题以及针对具体问题所进行的方案调整与优化为背景提出的。阐述了驾驶舱布置设计

过程、总体参数及重要控制器件(以仪表板、侧杆、风挡作为典型为例)参数选取、确定与测试方法,经过飞机型号验证,按照本方法所述内容开展驾驶舱布置设计,可以有效避免驾驶舱方案设计初期和取证过程驾驶舱内关键设计参数不合理导致重大工程更改等问题,高效完成驾驶舱布置设计。

1 术语和定义

1.1 设计眼位(DEP)

单眼理论位置是基于第 50 百分位数的驾驶员在其座椅处于自然位置和处于 1g 的飞行条件下、允许内部和外部观察并位于驾驶员中心线的眼睛位置。

1.2 座椅参考点(SRP)

在座椅中心线上,由座椅背切线和座椅底切线的交点确定的一个点。

1.3 舒适坐姿

身体躯干后倾一定角度能使人体感受到放松的坐姿,如图1所示。

1.4 标准坐姿

身体躯干垂直于椅面的坐姿,如图2所示。

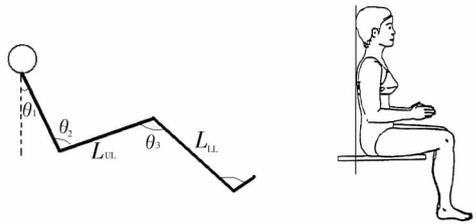


图1 舒适坐姿

图2 标准坐姿

2 驾驶舱布置设计流程

驾驶舱布置设计流程图详如图3所示。

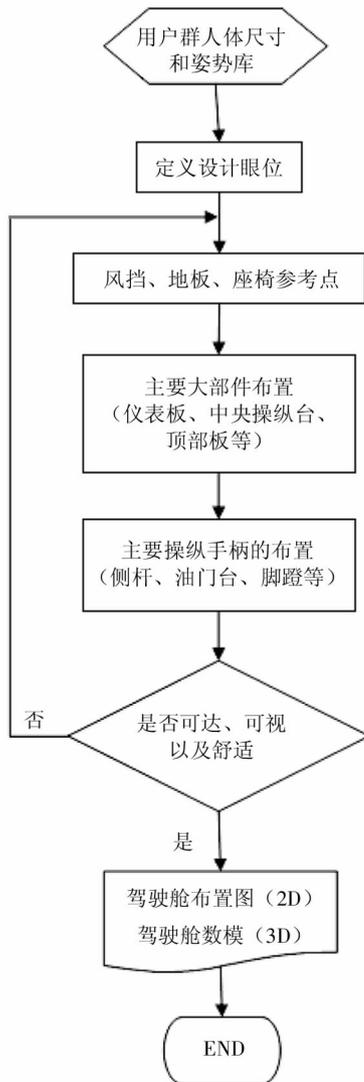


图3 驾驶舱布置设计流程图

3 驾驶舱布置设计参数制定方法

根据“以人为中心”的驾驶舱设计理念,驾驶舱布置时所有设备的布置都将以设计眼位为基准进行布置。在民用飞机驾驶舱设计初期,以“设计眼位”为基准,以飞行员生理极限、认知特性和个体差异为可达性、可视性设计参数依据,开展驾驶舱布置设计工作。本文主要对流程图中的设计眼位的定义方法以及驾驶舱内主要的特征对象(如风挡、地板、主要大部件、主要操纵手柄等)相对设计眼位的具体参数定义方法进行了描述。

3.1 设计眼位点(DEP)

驾驶舱布置时将以正驾驶员设计眼位点为参考点进行设计,在设计初期,可以假定一个点作为设计眼位点,此点将作为风挡、地板、座椅参考点等基本参考数据的依据,也将作为驾驶舱大部件以及主要控制器件位置确定的基础,舱内所有尺寸也以此作为参照。

正副驾驶员的设计眼位点横向距离与飞行员手臂的可达范围、中央操纵台的初步评估尺寸有关,间距需保证能对中央操纵台上的设备可达。

3.2 座椅参考点(SRP)距设计眼位点位置

根据第50百分位数驾驶员舒适坐姿来确定。

$$H_s = H_{e50} - H_{c50} + D_c \quad (1)$$

式中: H_s 为座椅SRP点距设计眼位点垂直距离; H_{e50} 为第50百分位数驾驶员坐姿眼高; H_{c50} 为第50百分位数驾驶员舒适坐姿设计眼位点与标准坐姿设计眼位点的垂直差距; D_c 为衣服厚度。

$$L_s = L_{e50} - L_{c50} + D_c \quad (2)$$

式中: L_s 为SRP点距设计眼位水平距离; L_{e50} 为第50百分位数驾驶员眼突枕突距; L_{c50} 为第50百分位数驾驶员舒适坐姿眼位点与标准坐姿眼位点的前后差距; D_c 为衣服厚度。

3.3 地板距设计眼位点位置

根据第50百分位数驾驶员舒适坐姿来确定,舒适坐姿小腿与身体基本平行。

$$H_f = H_s + H_{s50} \times \cos\alpha_1 + D_s \quad (3)$$

式中: H_f 为驾驶舱地板距设计眼位点高度; H_s 为座椅SRP点距设计眼位点垂直距离; H_{s50} 为第50百分位数驾驶员坐姿小腿加足高; α_1 为座椅后背倾角(椅背与垂直线的夹角); $H_{s50} \times \cos\alpha_1$ 为第50百分位数驾驶员舒适坐姿小腿加足高; D_s 为鞋跟厚度。

3.4 仪表板距设计眼位点位置

仪表板安装位置需要考虑驾驶员视觉特性,仪表板上控制部分还需考虑驾驶员可达要求。

$$L_p = L_{ua5} + D_{sh5} - L_{e5} \quad (4)$$

式中: L_p 为距设计眼位点水平位置; L_{ua5} 为第 5 百分位数驾驶员上肢长度; D_{sh5} 为第 5 百分位数驾驶员背肩峰距; L_{e5} 为第 5 百分位数驾驶员眼突枕突距。

考虑人体肩部的活动性,可以增加适当的修正量。

距设计眼位点垂直位置由外部视界要求决定,顶部边缘在各个方位应低于外视界中下视界要求,下边缘由膝部活动空间限制,宽度应与机头外形布局协调。

显示界面与驾驶员视线夹角至少为 45° ,如图 4 所示。

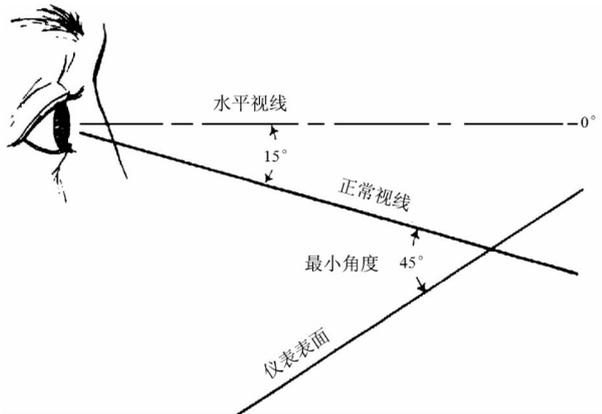


图 4 显示界面与驾驶员视线夹角

人体舒适坐姿时观察显示界面的视锥轴线低于水平视线约 $20^\circ \sim 25^\circ$,倾角为与地面成 $65^\circ \sim 70^\circ$ 夹角。

3.5 侧杆(手握处)距设计眼位点位置

根据第 5 百分位数驾驶员上肢长度和侧杆操纵姿势确定。操纵侧杆的示意图如图 5 所示。

侧杆距设计眼位点的 Z 方向的距离为:

$$W_{sp} = 0.5 \times W_{hw5} + L_{ua5} \times \cos\theta_6 + L_{La5} \times \cos(\theta_6 + (180 - \theta_7)) \quad (5)$$

式中:

W_{sp} 为侧杆距设计眼位点的 Z 方向的距离;

W_{hw5} 为第 5 百分位数驾驶员肩宽;

L_{ua5} 为第 5 百分位数驾驶员上臂长;

L_{La5} 为第 5 百分位数驾驶员前臂加手功能前伸长;

θ_6, θ_7 定义如图 6 所示。

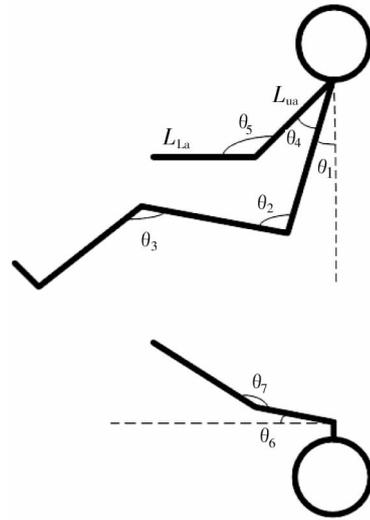


图 5 侧杆操纵示意图

侧杆距设计眼位点的 X 方向的距离为:

$$L_{sp} = L_{ua5} \times \sin\theta_6 + L_{La5} \times \sin(\theta_6 + (180 - \theta_7)) - L_{e5} \quad (6)$$

式中:

L_{sp} 为侧杆距设计眼位点 X 方向的距离;

L_{e5} 为第 5 百分位数驾驶员眼突枕突距;

或者为:

$$L_{sp} = L_{ua5} \times \sin(\theta_1 + \theta_4) + L_{La5} \times \sin(\theta_5 - \theta_1 - \theta_4) - L_{e5} \quad (7)$$

$\theta_1, \theta_4, \theta_5$ 定义如图 6 所示。

侧杆距设计眼位点 Y 方向的距离为:

$$H_{sp} = H_{e5} - H_{sh5} + L_{ua5} \times \cos(\theta_1 + \theta_4) - L_{La5} \times \cos(\theta_5 - \theta_1 - \theta_4) \quad (8)$$

式中:

H_{sp} 为侧杆距设计眼位点 Y 方向的距离;

H_{e5} 为第 5 百分位数驾驶员坐姿眼高;

H_{sh5} 为第 5 百分位数驾驶员坐姿肩高。

3.6 平视显示器(HUD)位置

根据第 50 百分位数驾驶员视野要求确定。平视显示器中心位置应位于驾驶员水平视线上,平显收起时不应遮挡外视野。

3.7 前风挡相对设计眼位的位置

前风挡与设计眼位点水平视线交点距离,平面风挡一般为 500mm ~ 600mm 左右,双曲面风挡较此数值略大。

3.8 风挡与驾驶员视线最小夹角

考虑到风挡玻璃的透光性和折光问题,风挡玻

璃与驾驶员下视线之间的夹角 γ (即掠射角或入射余角, γ 取其值的大小与风挡玻璃的透光、折光等光学性能有关) 应满足折光要求, 如果驾驶员下视角为 θ_{DV} , 则可以求出风挡玻璃的倾斜角 β 应满足如下关系:

$$\beta \geq \theta_{DV} + \gamma \quad (9)$$

在给定下视角 θ_{DV} 的情况下, 根据式(9) 获得风挡玻璃的设计倾斜角 β 。如图6所示。

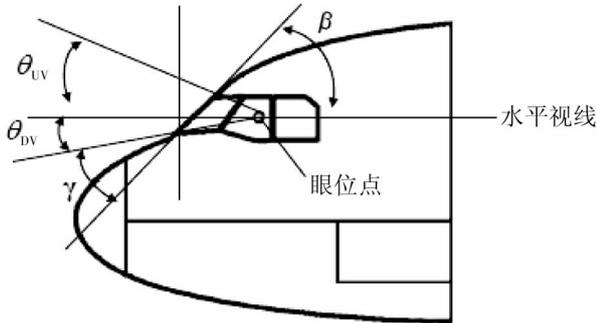


图6 风挡玻璃夹角和上下边界示图

3.9 内视界

必须使任一驾驶员在其工作位置沿飞行航迹向前观察时, 尽可能少偏移正常姿势和视线, 即可看清供他使用的每个飞行、导航和动力装置仪表。

考虑到仪表板不受外界光线干扰, 其上设有遮光罩, 自设计眼位至遮光罩顶部以上是前方向外视界, 从3.10节可知, 遮光罩顶部应至少位于水平标准视线以下 17° 。

主飞行显示区应该位于主视区范围内。

从飞机设计眼位观察仪表板时, 仪表板上任何仪表、控制装置和灯光装置都应是易于观察和辨认的。

重要的和使用频率高的仪表应不超过头转动的最大视区, 尽量位于最优视区。

飞行中需要操作但使用频率不太高的仪表(如侧显)不超过头眼转动的最大视区。

人眼最优视区与最佳视区参见 MIL-STD-1472G “FIGURE 25. Vertical and horizontal visual fields”。

3.10 外部视界

驾驶舱外视界必须保证飞机在各种状态具有足够的视野, 理论最小视界范围见表1和图7规定所示。

表1 驾驶员理论最小视界

		方位角	-120	-90	-80	-40	-30	0	10	20
AC 25.773-1	上视角	15	30	35	35	32.5	25	22.5	20	
	下视角	-15	-27	-27	-20	-17	-17	-17	-10	

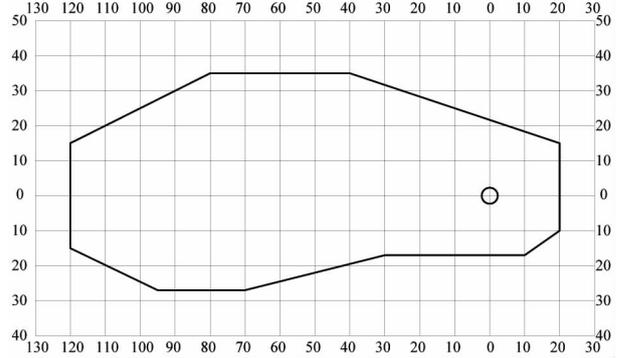


图7 理论最小视界范围

在实际设计工作中, 对于每个具体的飞机构型, 其实际需要的视界范围都是在标准视界的基础上, 进行适当地调整和修正, 主要考虑以下几个方面。

1) 进场速度和飞机姿态角

如图8所示, 驾驶员对零方位视界下视角为:

$$\theta_{DV} = \theta_{PA} + \arctan \frac{30 + C}{RVR - V} \quad (10)$$

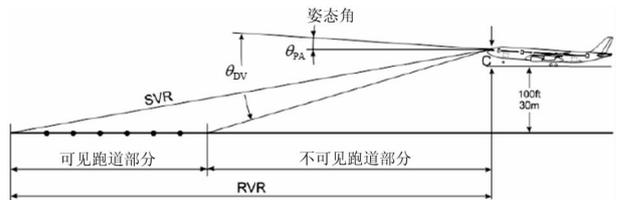


图8 驾驶员零方位视界

式中:

θ_{DV} 为驾驶员对零方位视界下视角 (Down Vision);

θ_{PA} 为飞机的姿态角 (Pitch Angle);

C 为飞机在姿态角为 θ_{PA} 时, 设计眼位和主起落架轮胎最低点之间的垂直距离, 此参数为飞机的固有特征;

RVR 为进近时跑道的可视距离 (Runway Visual Range), 此数值不得小于 366m ($1\ 200\text{ft}$);

V 为可见跑道部分, 此数值为按照飞机进近时的速度, 3s 时间内能飞过的水平距离。

2) 机翼翼尖位置

为了提高安全性,每侧驾驶员后视界应该能看到各自所在后侧面机翼翼尖,如图 9 所示。

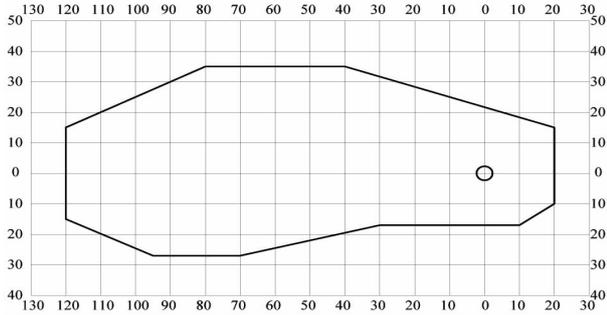


图 9 驾驶员后视角

驾驶员所需的后视角 θ_{BV} 的取值与以下几个设计参量有关:

- (1) 驾驶员设计眼位 (X_{DEP}, Z_{DEP});
- (2) 机翼相对于机身的安装位置 (X_{wing});
- (3) 机翼半展长 ($l/2$);
- (4) 机翼前缘后掠角 (χ)。

在以上设计参量确定后,就可根据几何关系得到所需的驾驶员后视界角 θ_{BV} ,其值大小可由式(11)计算得到:

$$\theta_{BV} = 180^\circ - \arctan \left[\frac{\frac{l}{2} - |Z_{DEP}|}{\frac{l}{2} \cdot \tan(\chi) + (X_{wing} - X_{DEP})} \right] \quad (11)$$

4 结语

本文主要以“设计眼位”为基准,以飞行员生理极限、认知特性和个体差异作为可达性、可视性设计参数的依据,探索出能用于设计初期指导驾驶舱

布置过程中主要设计参数制定的一种方法,可用于指导民用飞机设计初期驾驶舱布置设计工作。

本文提出的设计方法已经应用于大型客机和宽体飞机等型号的设计工作,证明本方法是可行的,应用的结果主要体现在型号的设计方案中,有效推进了型号研制工作。

参考文献:

- [1] Vicki Ahlstrom, Kelly Longo. Human Factors Design Standard (HFDS) For Acquisition of Commercial Off-The-Shelf Subsystems, Non-Developmental Items, and Developmental Systems[S]. DOT/FAA/CT-03/05. 2003.
- [2] U. S. Army Aviation and Missile Command[J]. Human Engineering, 1999.
- [3] Federal Aviation Administration. Pilot Compartment View Design Considerations[S]. ANM-110, 1993.
- [4] Society of Automotive Engineers[Z]. Pilot Visibility from the Flight Deck, 1989.
- [5] 程不时. 飞机设计手册第 5 册:民用飞机总体设计[M]. 北京:航空工业出版社, 2005.

作者简介

金浙峰 男, 硕士, 高工。主要研究方向: 航空驾驶舱集成技术; E-mail: jinzhefeng@comac.cc

张垠博 男, 硕士, 高工。主要研究方向: 航空驾驶舱集成技术; E-mail: zhangyinbo@comac.cc

刘海燕 女, 硕士, 高工。主要研究方向: 航空驾驶舱集成技术; E-mail: liuhaiyan@comac.cc

袁霄 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 航空人机环境; E-mail: yuanxiao@comac.cc

孟华 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 航空驾驶舱集成技术; E-mail: menghua@comac.cc