

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.01.006

运输机驾驶员座椅人机工效设计研究

Ergonomic Design of Driver Seat for Transport Aircraft

李朋 陈悦菲 李慧 武卫东 / LI Peng CHEN Yuefei LI Hui WU Weidong

(中航飞机研发中心, 汉中 723000)

(Research and development centre, AVIC Aircraft Co., Ltd, Shaanxi Hanzhong, China)

摘要:

运输机驾驶员座椅是运输机驾驶舱设计中一项重点内容,其主要包括驾驶员座椅参考点确定,座椅结构尺寸、调节行程和约束系统等人机工效设计参数。运输机驾驶员座椅人机工效设计首先定义了符合中国人体生理特征和人体尺寸的驾驶员舒适坐姿,并建立舒适坐姿二维简化模型,利用经验公式结合人体尺寸分析计算出座椅参考点、座椅调节行程、座椅约束系统参数范围等人机工效设计参数值,并进行了人机工效虚拟仿真。结果表明,运输机驾驶员座椅人机工效设计参数合理可行,对固定翼类运输机座椅设计具有一定的指导价值。

关键词:运输机;驾驶员座椅;人机工效;设计参数;虚拟仿真

中图分类号:V223⁺.1

文献标识码:A

[Abstract] Driver seats are a key content of cockpit design for transport aircraft, which mainly confirms the reference point of the driver seat, seat structure size, stroke and ergonomic design parameters, such as the constraint system. pilot seat on Transport aircraft first defines the ergonomic design in accordance with Chinese human physiological characteristics and the body size of the driver comfortable sitting posture. A comfortable sitting position simplified 2 d model was established, using the empirical formula combined with human body size analysis to calculate the seat reference point, seat adjustment stroke, seat restraint system parameters such as the ergonomic design parameter values. And a virtual ergonomic simulation was carried out. The results show that the driver seat ergonomic design parameters were reasonable, and the design has a strong guiding value for fixed wing aircraft seat design.

[Keywords] transport aircraft; the driver seat; ergonomic; design parameter; virtual simulation

0 引言

驾驶员座椅设计是飞机驾驶舱设计中的一项重点内容,是驾驶员进行安全、有效驾驶操纵飞机的物理载体,既要满足不同人体百分位驾驶员对外部视野的要求,又要满足对驾驶舱内所有显示控制装置的视觉可达和操作可达。同时,驾驶员座椅设计要考虑人体坐姿生理学和坐姿生物力学特点,使驾驶员脊柱结构、腰曲弧线处于正常的生理形态,使驾驶员体压分布、股骨受力均匀,在不同坐姿条件下符合中国人体尺寸数据,座椅设计应安全、舒适,座椅调节操作方便、快捷,约束系统安全、可靠。

运输机驾驶员座椅设计首先定义了运输机驾

驶员舒适坐姿,建立了人体舒适坐姿二维简化模型,利用简单的几何关系,结合人体尺寸数据,通过在多年的运输机驾驶舱设计中总结出的经验公式,可以计算出驾驶员座椅参考点、座椅调节行程以及约束系统等人机工效设计参数,并进行了基于人机工效仿真软件的生物力学仿真,且设计方法和设计成果在某型运输机设计中得到了应用,因此,对运输机驾驶员座椅设计具有实践价值和真实可靠的指导意义。

1 驾驶员舒适坐姿分析

运输机驾驶员在执行飞行任务时,长时间保持坐姿形态,驾驶员座椅设计应根据人体坐姿生理形态进

行设计,应保证人体脊柱结构、腰曲弧形等处于正常生理形态,股骨及椎间盘受力均匀,腰背肌肉承受均匀的静载荷,人体体压分布均匀,避免大腿的血管受压迫、血液循环受阻,而产生麻木、疼痛等不适感觉。

目前,由于我国尚未建立运输机驾驶员舒适坐姿关节角度设计标准,本文根据中国人体生理特点并结合中国人体尺寸,定义了运输机驾驶员舒适坐姿人体关节角度活动范围,并进行了基于 Catia safe-work 的生物力学及舒适度仿真,确保了各关节角度取值范围的可信度。人体关节舒适角度活动范围应为:髋关节 $95^\circ < \alpha_1 < 120^\circ$ 、膝关节 $110^\circ < \alpha_2 < 150^\circ$ 、踝关节 $85^\circ < \alpha_3 < 120^\circ$ 、肩关节 $15^\circ < \alpha_4 < 60^\circ$ 、肘关节 $70^\circ < \alpha_5 < 160^\circ$ 、颈关节 $10^\circ < \alpha_6 < -12^\circ$,人体坐姿舒适关节角度见图 1,舒适坐姿关节角度人机工效仿真见图 2,舒适坐姿关节角度具体见表 1。

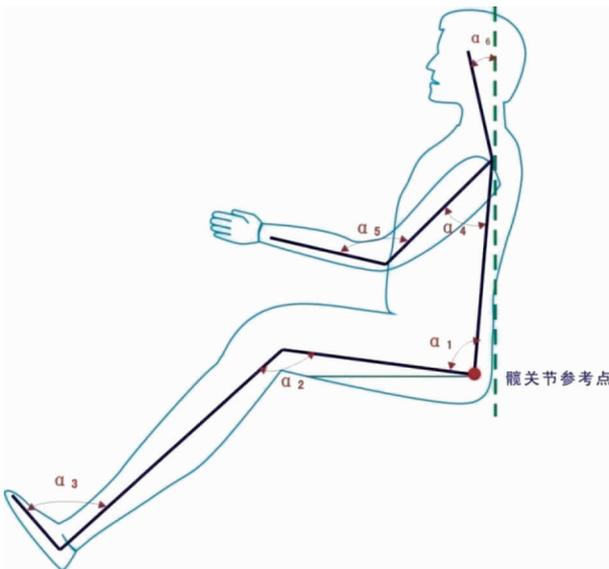


图 1 舒适坐姿关节角度

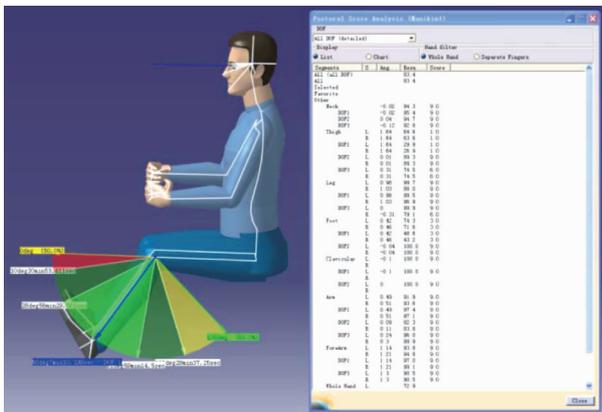


图 2 舒适坐姿关节角度人机工效仿真

表 1 运输机驾驶员舒适关节角度及最佳舒适值

关节序号	关节	舒适角度范围	最佳舒适值
α_1	髋关节	$95^\circ \sim 120^\circ$	105°
α_2	膝关节	$110^\circ \sim 150^\circ$	130°
α_3	踝关节	$85^\circ \sim 120^\circ$	95°
α_4	肩关节	$15^\circ \sim 60^\circ$	20°
α_5	肘关节	$70^\circ \sim 160^\circ$	130°
α_6	颈关节	$10^\circ \sim -12^\circ$	6°

2 座椅参考点确定

根据人体舒适坐姿对人体坐姿形态进行数学模型简化,如图 3 所示。通过图 3 可得出在舒适坐姿状态下座椅参考点与设计眼位水平间距 X_1 为:

$$X_1 = L_6 \times \cos(180^\circ - \theta_4) - L_1 \quad (1)$$

座椅中立位置参考点与设计眼位垂直距离 Y_1 为:

$$Y_1 = L_2 + L_6 \times \sin(180^\circ - \theta_4) \quad (2)$$

其中 L_1 为颈关节水平距离; L_2 为眼位在颈关节垂直距离; L_6 为颈关节到髋关节的距离; θ_4 为躯干与座椅的水平夹角,即座椅椅背倾角。

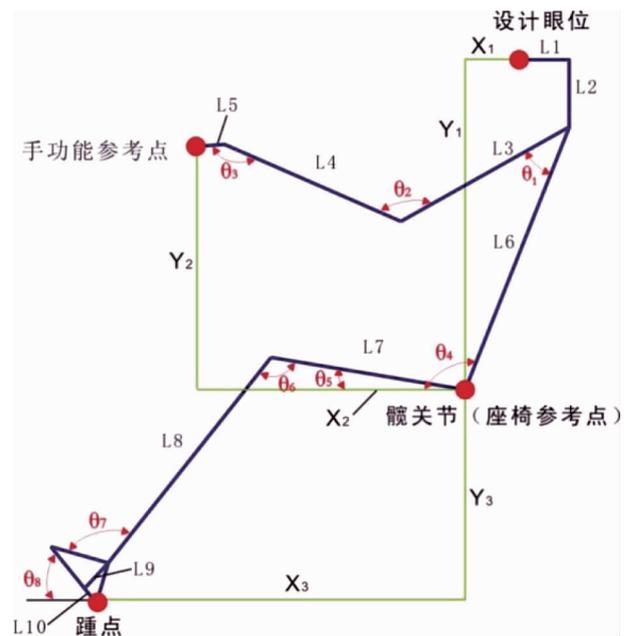


图 3 舒适坐姿人体数字简化模型

根据人体舒适坐姿角度分析,坐姿时座椅椅背倾角最佳角度为 110° 。图中 L_1 在人体测量数据中取最接近的眼突枕突距; L_2 为可通过坐姿眼高减去坐姿颈椎点高得出; L_6 在人体测量数据中为坐姿颈

椎点高。将 50% 人体坐姿人体测量尺寸中坐姿眼高 819 mm, 坐姿颈椎点高 684 mm, 座椅椅背倾角 $100^{\circ} \sim 115^{\circ}$, 代入计算 X_1 中, 得出 X_1 的取值范围为: $-11 \text{ mm} \sim 153 \text{ mm}$ 。将以上参数代入计算 Y_1 中, 得出 Y_1 的取值范围为: $727 \text{ mm} \sim 795 \text{ mm}$ 。通过计算得出, 座椅中立位置参考点的取值范围为: 与设计眼位的水平距离为 $-11 \text{ mm} \sim 153 \text{ mm}$, 垂直距离为 $727 \text{ mm} \sim 795 \text{ mm}$ 。

3 座椅调节行程分析

驾驶员座椅调节首先应满足 5% ~ 95% 人体百分位驾驶员在驾驶时能方便快捷的将座椅调节至设计眼位位置, 同时必须满足驾驶员不同百分位驾驶员上肢、下肢的可达性要求, 如图 4 所示。

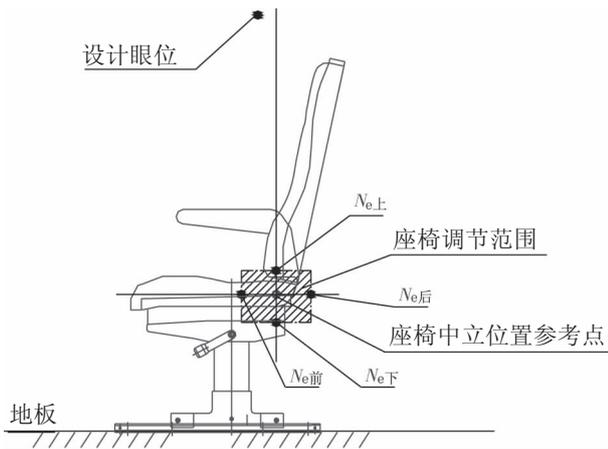


图 4 座椅调节形成示意图

驾驶员座椅上下调节量上限最小值应满足 95% 百分位驾驶员设计眼位调节需求, 即座椅最小下测量 $N_{e上}$ 为:

$$N_{e上} = Z_{p95} - Y_1 \quad (3)$$

驾驶员座椅上下调节量下限最小值应满足 5% 百分位驾驶员设计眼位调节要求, 座椅最小上调量 $N_{e下}$ 为:

$$N_{e下} = Y_1 - Z_{p5} \quad (4)$$

座椅上下调节行程 $N_e \geq N_{e上} + N_{e下} + \Delta = Z_{p95} - Y_1 + Y_1 - Z_{p5} + \Delta = Z_{p95} - Z_{p5} + \Delta$

其中 Z_{p95} 为 95% 驾驶员坐姿眼高, Z_{p5} 为 5% 驾驶员坐姿眼高, Y_1 为座椅中立位置参考点与设计眼位垂直距离, Δ 为上肢可达性修正值, 在运输机驾驶员座椅设计值不小于 3 in。

驾驶员座椅前后调节量前极限最小值应满足

5% 百分位驾驶员下肢可达性要求, 即座椅前极限最小调节量 $N_{e前}$ 为:

$$N_{e前} = X_3 - R_{p5} \quad (5)$$

驾驶员座椅前后调节量后极限最小值应满足 95% 百分位驾驶员下肢可达性要求, 即座椅后极限最小调节量 $N_{e后}$ 为:

$$N_{e后} = R_{p95} - X_3 \quad (6)$$

座椅前后调节行程 $N_e \geq N_{e前} + N_{e后} + \Delta = X_3 - R_{p5} + R_{p95} - X_3 + \Delta = R_{p95} - R_{p5} + \Delta$

其中, R_{p5} 为 5% 百分位驾驶员坐姿下肢长, R_{p95} 为 95% 百分位驾驶员坐姿下肢长, X_3 为座椅中立位置参考点至踵点之间距离, Δ 为下肢可达性修正值, 在运输机驾驶员座椅设计值不小于 5 in。

4 座椅设计一般准则

座椅设计的一般准则为:

- 1) 座椅的形式应符合相应的应急撤离程序;
- 2) 满足 CCAR-25-R4 第 25.561 条应急着陆相关要求;
- 3) 座椅的结构尺度必须符合人体尺寸;
- 4) 座椅中立位置必须满足 50% 百分位驾驶员所在的设计眼位位置;
- 5) 座椅坐垫、座椅靠背及靠背调节量等符合人体生理特征;
- 6) 座椅设计应使驾驶员在设计眼位时能全程操控驾驶杆等而不受腿或身体的干涉;
- 7) 座椅上下调节量、座椅滑轨行程调节量与上肢下肢可达性结合;
- 8) 座椅扶手中应至少有一个是可折叠的, 以使驾驶员方便地出入座椅;
- 9) 座椅结构前缘设计时应考虑和驾驶杆的运动空间范围相协调的缺口;
- 10) 座椅可调部分的结构构造, 必须易于调节, 必须保证在椅子使用过程中不会改变调节好的位置不松动;
- 11) 座椅应使机组人员在使用过称中保持身体舒适、稳定并能进行准确的控制和操作;
- 12) 座椅各零部件外露部分不得有易伤人的尖角锐边, 各部件结构不得存在可能造成挤压、剪钳伤人部位;
- 13) 座椅的结构材料和装饰材料应耐用、阻燃、

无毒。坐垫、腰靠、扶手的覆盖层应使用柔软、防滑、透气性好、吸汗的不导电的材料;

14)座椅设计应满足在飞机整个飞行包线内的安全性、舒适性、可操纵性要求。

5 座椅设计人机工效要求

运输机驾驶员座椅人机工效设计参数主要包括座椅结构尺寸设计、座椅调节参数设计、座椅约束系统设计,座椅人机工效设计参数需符合中国人体生理结构特点和中国人尺寸,并满足驾驶员可达性要求,驾驶员座椅人机工效具体要求见图 5、表 2。

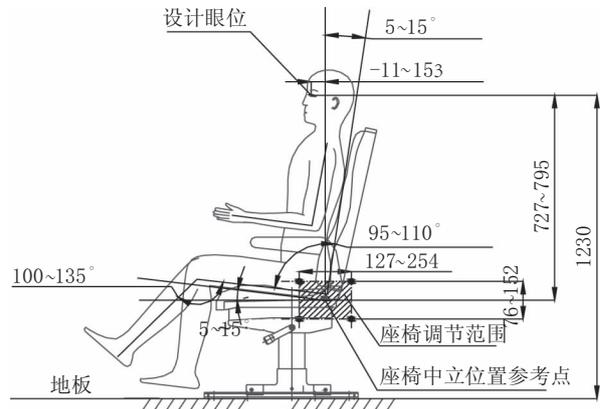


图 5 座椅人机工效设计参数

表 2 座椅人机工效设计要求

部位	人机工效设计要求	推荐值
座高	座椅高度的调节范围必须大于 GJB 4856 中“小腿加足高”5% ~95% 人体百分位驾驶员范围	350 mm ~ 420 mm
座宽	座宽必须适合于 95% 人体百分位驾驶员乘坐,其相对应的人体测量值是臀宽	420 mm ~ 460 mm
座深	满足 5% ~95% 人体百分位驾驶员使用要求	419 mm ~ 495 mm
椅面倾角	因作业空间一般在身体前侧,如坐面过份后倾,脊椎因身体前倾作业而会被拉直,破坏正常的腰椎曲线,形成一种费力的姿势,因此,为消除驾驶员乘坐时的疲劳感,座椅表面设计为前高后底,并与水平面成一定夹角	5° ~ 15°
靠背倾角	靠背由肩靠和腰靠两组成,大部分工作场合,腰靠最主要。腰靠一般设在由坐面往上的第二节腰椎骨处	95° ~ 110°
座椅靠背高度调节	座椅靠背应具可调节支撑,以满足 5% ~95% 人体百分位驾驶员舒适性要求	25 mm ~ 76 mm
靠背角度调节操纵力	在操纵座椅靠背角度调节锁时,操纵力不应过大	不大于 50N
扶手	扶手的高度是指扶手上缘到坐高的距离,其主要作用是支持手臂的重量,以减轻肩部负担,增加舒适感,扶手的高度应满足 50% 人体百分位驾驶员使用要求,扶手应具有水平抽拉、垂直平面内的角度调节和上折后收藏于靠背部部的功能,扶手垂直平面内角度调节不小于 30°	取坐垫有效厚度以上 200 mm ~ 300mm
座椅前后调节量	满足 5% ~95% 人体百分位驾驶员设计眼位及可达性要求,座椅前后调节量为 5 in ~ 10 in(调节增量不大于 1 in)	127 mm ~ 254 mm
座椅上下调节量	满足 5% ~95% 人体百分位驾驶员设计眼位及可达性要求,座椅椅面上下调节量为 3 in ~ 6 in(调节增量不大于 0.5 in)	76 mm ~ 152 mm
座椅参考点距地板距离	满足 5% ~95% 人体百分位驾驶员乘坐的舒适性要求,座椅参考点距驾驶舱地板 11 in ~ 16 in 之间	280 mm ~ 406 mm
坐垫	坐垫应该软硬适度,可使臀部压力值大为降低;坐垫材料要适当选择,必须透气,且不易打滑,同时要有一定的柔韧性,以增加舒适感,第 95% 人体百分位驾驶员乘坐时,坐垫的压缩厚度不应大于坐垫总厚度的三分之二	
头靠	驾驶员座椅头靠应便于拆卸,且有角度调节功能,满足 5% ~95% 人体百分位驾驶员使用,头靠应有足够的厚度以防止飞机应急着陆时驾驶员头部受到座椅头靠结构构件的接触	- 15° ~ 15°

6 驾驶员座椅人机工效仿真

为了验证理论计算的驾驶员座椅人机工效设计参数是否合理可行,构建了 CATIA 驾驶舱数字化模型,见图 6。以 GJB 4856 - 2003 中国男性驾驶员人体尺寸数据为依据,创建了 5%、50%、95% 人体百分位驾驶员人体模型,见图 7。通过对驾驶员座椅参考点、上下调节行程、前后调节行程等进行了上肢及下肢可达性虚拟仿真评估。

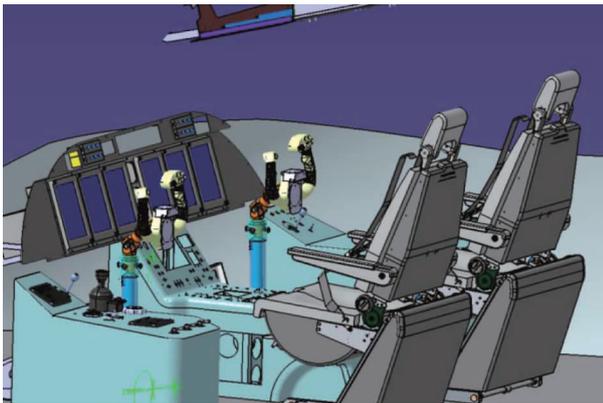


图 6 驾驶舱模型构建

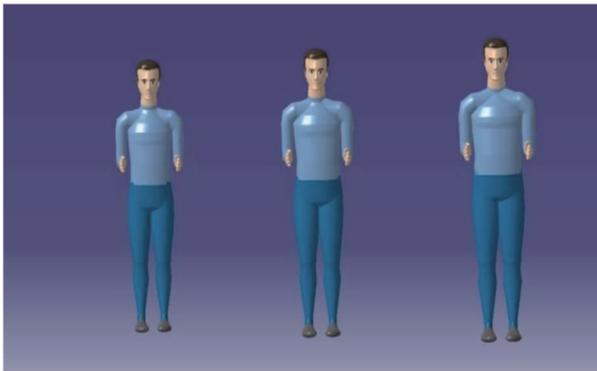


图 7 5%、50%、95% 人体百分位驾驶员模型构建

上肢可达性分析是通过在起飞、巡航、着陆等不同的飞行姿态下,5%、50%、95% 百分位驾驶员对驾驶杆、油门杆,以及对仪表盘,左、中、右操纵台,顶部操纵台等面板上布置的控制装置进行模拟操纵,来进行驾驶员上肢可达性分析,以验证座椅的调节行程范围是否满足不同百分位驾驶员上肢的可达性设计要求。下肢可达性设计为通过分别对 5%、50%、95% 百分位驾驶员人体模型在座椅调节至前极限、中立位置、后极限位置,驾驶员下肢对脚踏板运动行程及前后极限位置进行了可达性仿真

分析,以验证座椅的调节范围是否满足不同百分位驾驶员下肢的可达性设计要求。具体如图 8 ~ 图 11 所示。

根据驾驶员座椅人机工效虚拟仿真分析,结果表明,运输机驾驶员座椅参考点、调节行程计算方法合理可行,人机工效设计参数满足 5%、50%、95% 人体百分位驾驶员可达性要求。



图 8 5% 百分位驾驶员座椅前极限上肢可达性仿真分析



图 9 95% 百分位驾驶员座椅下极限上肢可达性仿真分析

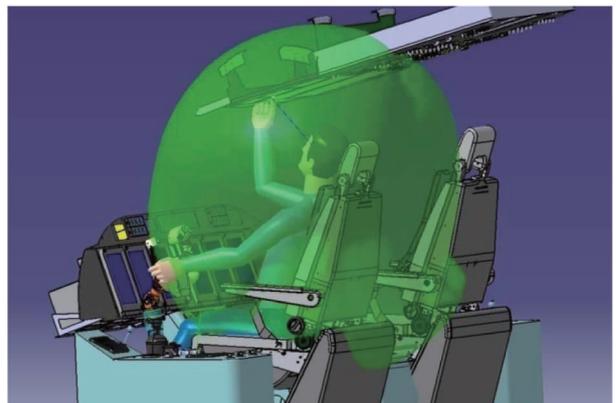


图 10 5% 百分位驾驶员座椅前极限位置下肢可达性仿真分析



图 11 95%百分位驾驶员座椅后极限位置下肢可达性仿真分析

7 结论

1) 本文根据中国人体生理特点及人体尺寸,并通过人机工效仿真软件进行人体生物力学仿真,定义了运输机驾驶员舒适坐姿关节角度范围和最佳舒适角度;

2) 根据驾驶员舒适坐姿对驾驶员坐姿形态进行二维模型简化,利用简单几何关系,结合人体舒适坐姿关节角度和人体尺寸,总结出驾驶员座椅人机工效设计经验公式,得到了运输机驾驶员座椅人机工效设计参数的理论计算方法;

3) 通过人机工效仿真软件对运输架驾驶员座椅人机工效设计指标参数进行虚拟仿真,对各设计参数进行验证和修正完善,本文研究的成果在某型运输机驾驶舱设计中得到了应用,结果表明,设计方法合理可行,各设计参数可信、可用。

参考文献:

- [1] 张炜,马智,俞金海. 民机驾驶舱人机一体化设计[M]. 西安:西北工业大学出版社. 2015:91-93.
- [2] 苏润娥,薛红军,宋笔锋. 民机驾驶舱工效布局虚拟评价[J]. 系统工程理论与实践. 2009:188-189.
- [3] 丁玉兰,程国萍. 人因工程学[M]. 北京:北京理工大学出版社. 2013:161-164.

作者简介

李朋 男,本科,工程师,主要研究方向:飞机总体设计、驾驶舱人机工效;E-mail:254047310@qq.com

陈悦菲 女,硕士,工程师,主要研究方向:飞机总体设计,驾驶舱人机工效;E-mail:chengyuefei@163.com

李慧 女,硕士,工程师,主要研究方向,飞机总体设计、驾驶舱人机工效;E-mail:lihui1011@yeah.net

武卫东 男,本科,研究员级高级工程师,主要研究方向:飞机总体设计;E-mail:13709167219@139.com