

Research on Adjustment of Civil Aircraft Rudder Pedal and Stick

Rune Su, HongJun Xue, YuGang Zhang, YiChun Luan, XiaoYan Zhang

College of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, S.R.E., Xi'an, China

Email: sre100@nwpu.edu.cn, xuehj@nwpu.edu.cn, zhang_yu9999@163.com, zylyc@nwpu.edu.cn, zxyliuyan@163.com

Abstract: Rudder pedal and stick are important control devices of civil aircraft, different position was required to different stature pilot, unreachable or uncomfortable control posture were caused by unreasonable position, and then fatigue was caused, flight safety was affected directly or indirectly. 13 Chinese civil pilot simple human models were positioned to same Design Eye Position and most comfort pilot posture such as 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 50%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% and 95%, by regression analyzing to their position of hand and foot, optimization adjust route of rudder pedal and stick to pilots different in stature were gained. The methods and conclusions here can be used to instruct the ergonomics design of rudder pedal and stick, what is good for the pilot to drive comfortably, safely, and effectively.

Keywords: adjustment; rudder pedal; stick

民机驾驶舱方向舵踏板与驾驶杆调整性研究

苏润娥, 薛红军, 张玉刚, 栾义春, 张晓燕

西北工业大学航空学院, 西安, 中国, 710072

Email: sre100@nwpu.edu.cn, xuehj@nwpu.edu.cn, zhang_yu9999@163.com, zylyc@nwpu.edu.cn, zxyliuyan@163.com

摘要: 方向舵踏板和驾驶杆是民机驾驶舱中重要的操纵设备, 不同身材的飞行员对其位置有不同的要求, 位置不合理会引起不可达或者不适的操纵姿势, 从而造成飞行员疲劳, 直接或间接影响飞行安全。本文通过处于相同眼位点 5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%、70%、75%、80%、85%、90%、95% 共 13 个我国民机飞行员简化人体模型, 以最舒适驾驶姿势对手和足的位置轨迹进行回归分析, 提出了针对不同身材飞行员的方向舵踏板和驾驶杆的最优调整路径。本文的方法和结论可指导民机驾驶舱内方向舵踏板和驾驶杆的人性化设计, 使飞行员能够舒适、安全、高效的操纵飞机。

关键词: 调整性; 方向舵踏板; 驾驶杆

1. 引言

民机飞行员安全驾驶不仅要求驾驶舱内操纵设备可达, 而且还要满足舒适性要求, 舒适驾驶不仅可以减少失误, 对飞行员的健康也有利, 减少肌肉骨骼失调风险。民机驾驶舱内设备众多, 不可能使所有设备均处于舒适操作域内, 使用频率最高且重要的操纵器件应满足舒适性要求。方向舵踏板、驾驶杆(盘)是民机驾驶舱中重要的操纵设备, 应满

资助信息: 国家重点基础研究发展计划资助, 2010CB734101

足舒适性要求。尽管飞行员是经过严格筛选的, 但身材依然存在差异, 不同的飞行员应有相应地踏板和驾驶杆的最舒适驾驶位置。本文通过处于相同眼位点 5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%、70%、75%、80%、85%、90%、95% 共 13 个我国民机飞行员简化人体模型, 以最舒适驾驶姿势对手和足的位置轨迹进行回归分析, 提出了针对不同身材飞行员的方向舵踏板和驾驶杆的最优调整路径。本文的方法和结论可指导民机驾驶舱内方向舵踏板

和驾驶杆的人性化设计，使飞行员能够舒适、安全、高效的操纵飞机。

2. 最舒适驾驶姿势

目前国外已开展了许多关于操纵姿势的研究，但对于民机驾驶任务而言，大都参照汽车驾驶姿势，并无统一的标准姿势。

我们通过对 5 名飞波音飞机的民机飞行员进行访谈，按照图 1 和表 1 填写了访谈表，取均值确定了最舒适值（表 1），最大均方差为 0.21。最舒适值是针对驾驶杆（盘）与方向舵踏板处于中立位的最佳姿势，同时考虑了驾驶杆与踏板的行程问题而言的。

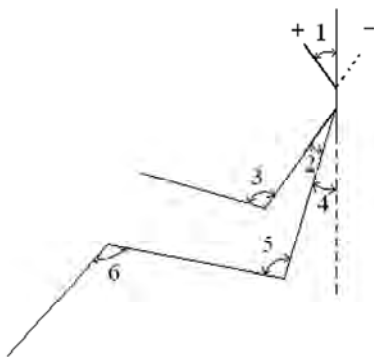


图 1. 关节角定义

表 1. 关节舒适范围和最舒适值

关节序号	1	2	3	4	5	6
最舒适值/°	5	10	100	12	100	140

3. 踏板调整性研究

为满足不同身材飞行员的操作舒适性，方向舵踏板位置可调，50% 飞行员操纵时应处于中立位，5% 飞行员操纵时应处于最后面位置，95% 飞行员操纵时应处于最前位置。

将人的坐姿眼高、臀膝距和坐姿膝高对应的三个部位简化为三条线段，按照同一眼位点下最舒适驾驶姿势绘制不同百分位人体模型的足轨迹如图 2，靠背角取 12°，体腿夹角取 100°，膝角取 140°。包括的百分位为 5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%、70%、75%、80%、85%、90%、95% 共 13 个。

其中 5%，50%，95% 坐姿眼高、臀膝距和坐姿膝高来自 GJB4856-2003^[1] 中表 4 和表 8，其它百分位数按照文献^[2] 中 2-6 计算得到。

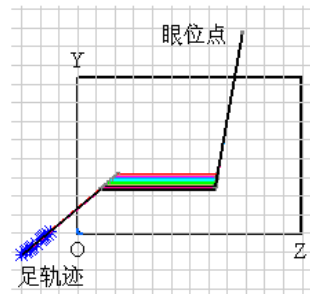


图 2. 各百分位人体的足轨迹

从图 2 可见，足轨迹近似为一条直线。Z 向最大间距为 149.568mm，Y 向最大间距为 128.02mm，如此距离在脚作业域操作中是不可忽略的，所以一定要设置适宜的调整机构，使飞行员操作舒适。

将数据进行一元线性回归，回归方程如下：

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}z = 137.268 + 0.861z \quad (1)$$

对 $\alpha=0.05$, $n-2=11$, 查表得

$$t_{0.025}(11) = 2.2010$$

构造统计量 t

$$t = \frac{\hat{\beta}}{\hat{\sigma}} \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}} \quad (2)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}z_i)^2}{n-2}} \quad (3)$$

求得 $t=130.496$, $|t|=130.496 \gg 2.2010 = t_{0.025}(11)$

说明 Y 与 Z 的线性回归是显著的。

目前方向舵踏板的调整路径大多是水平前后方向，本研究表明调整路径为一条斜向直线，此线与水平线的夹角为 $\arctg 0.861 = 40.7^\circ$ 。

4. 操纵杆

目前设计中驾驶杆（盘）的位置不可调，其布局应使 50% 飞行员操纵最舒适，其它身材的飞行员操纵舒适。驾驶杆（盘）布局不恰当，会阻碍舱内视野，引起人体活动量增大、挤压腹部、操纵时上臂不舒适等问题。

按照 3 中的方法，将眼-颈椎点、颈椎点-肩峰点、上臂长、前臂加手功能前伸长对应的部位简化

为四条线段，按照同一眼位点下最舒适驾驶姿势绘制不同百分位人体模型的手轨迹如图 3，眼-颈椎点前倾角取 5° ，颈椎点-肩峰点垂直，上臂前弯角取 23° ，肘角取 100° 。包括的百分位为 5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%、70%、75%、80%、85%、90%、95% 共 13 个。其中 5%，50%，95% 上臂长和前臂加手前伸长，及用于计算眼-颈椎点和颈椎点-肩峰点的 50% 坐姿眼高、坐姿颈椎点高及坐姿肩高来自 GJB4856-2003 中表 4 和表 8，50% 眼-颈椎点近似为坐姿眼高与坐姿颈椎点高之差，50% 颈椎点-肩峰点近似为坐姿颈椎点高与坐姿肩高之差，其它百分位数按照文献^[2]中 2-6 计算得到。因 GJB 中未给出相关性系数，按照两个变量相互独立时，样本之和/差的方差为两个样本方差之和，将眼-颈椎点方差近似为坐姿眼高与坐姿颈椎点高的方差之和，颈椎点-肩峰点方差近似为坐姿颈椎点高与坐姿肩高方差之和，开方后得到其标准差的近似值。

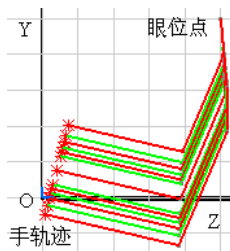


图 3. 手轨迹

可见，手轨迹近似为一条直线，Z 向最大间距为 66.018mm，此距离可忽略，但牺牲部分舒适性；Y 向最大间距为 249.312mm，此距离在手作业域操作中是不可忽略的，所以最好设置适宜的调整机构，使飞行员操作舒适。如忽略 Z 向差距，调整机构可

直接设置为 Y 向，即垂直方向。如考虑 Z 向差距，调整路径如下。

将数据进行一元线性回归，回归方程如下：

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}z = -75.124 + 3.759z \quad (4)$$

代入式(2)和(3)，求得

$$t = 262.213, |t| = 262.213 \gg 2.2010 = t_{0.025}(11)$$

说明 Y 与 Z 的线性回归是显著的。

目前驾驶杆不可调，本研究表明驾驶杆至少在竖直方向可调，建议最优调整路径为一条斜向直线，此线与水平线的夹角为 $\arctg 3.759 = 75.1^\circ$ ；如果牺牲部分舒适性，也可为竖直线。

5. 结论

用简化的各百分位人体模型，均为最舒适驾驶姿势，处于相同的眼位点，通过对其手和足的位置轨迹进行回归分析，得出了针对不同身材民机飞行员的方向舵踏板、操纵杆（盘）的最优调整路径。本文的方法和结论可指导民机驾驶舱内方向舵踏板和驾驶杆的人性化设计，使飞行员能够舒适、安全、高效的操纵飞机。

Reference (参考文献)

- [1] General Armaments Department of the Chinese People's Liberation Army. GJB4856-2003, Human dimensions of Chinese male pilot population [S]. GJB, 2003(Ch). 中国人民解放军总装备部. GJB4856-2003, 中国男性飞行员人体尺寸[S]. 中华人民共和国国家军用标准, 2003.
- [2] DING Yulan. Human machine engineering[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2005, 1(Ch). 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005, 1.