

文章编号:1674-8190(2013)04-414-08

飞机驾驶舱视觉舒适性研究

李慧,张炜,马智

(西北工业大学 航空学院,西安 710072)

摘要: 驾驶舱视觉舒适性会直接对驾驶员产生影响,可能引起驾驶员视觉疲劳和操作失误,对飞机驾驶的安全性和驾驶员的身体健康非常不利。采用日光眩光概率(*DGP*)、亮度对比度(*LR*)和人眼垂直照度(*E_v*)指标,对不同的季节、日照时间和天气条件下的飞机驾驶舱进行视觉舒适性的仿真研究,形成数据库。结果表明:该方法可在飞机设计阶段对飞机驾驶舱的视觉舒适性进行有效地评估,研究结果可为飞机驾驶舱防眩布置及照明设计提供一定的指导。

关键词: 飞机驾驶舱;视觉舒适性;日光眩光概率;亮度对比度;人眼垂直照度

中图分类号: V223+.1; TB18

文献标识码: A

Study on Visual Comfort in Airplane Flight Deck

Li Hui, Zhang Wei, Ma Zhi

(School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The visual comfort property of airplane flight deck is of immediate impact on pilot. It could cause the pilot visual fatigue and misoperation, and be bad for the health of the pilot and safe driving. Three indicators, namely, daylight glare probability(*DGP*), luminance ratios(*LR*) and vertical illuminance at the eye level(*E_v*) are used to analyze the optical simulation result in flight deck and study on the visual comfort under the different seasons, times, sky conditions, and the database about comfort is established. The result shows that this method can estimate the visual comfort of flight deck effectively in the stage of airplane design. Research results can provide some guiding significance for antidazzle design of airplane flight deck.

Key words: airplane flight deck; visual comfort; daylight glare probability; luminance ratio; vertical illuminance

0 引言

随着飞机的广泛使用,驾驶员的健康和安全问题引起越来越多的关注,如何改善和完善驾驶舱的设计,以满足驾驶员的使用要求,已成为当今飞机设计的重要研究课题之一。现代飞机在各种复杂的飞行条件下都要飞行,都要作战,飞机驾驶舱处在时刻变化的光照条件下,且驾驶舱内空间狭小,

设备排列紧凑,在相同的光照下,舱内不同部位照度相差很大,舱内舱外的光照变化更大。驾驶员交替观察舱内外的周期是几秒或一秒之内,不合理的光照条件使眼睛适应如此宽范围的光照变化需更长时间^[1]。视觉不适感的不良影响,增加了飞行员对飞机状态和飞机位置判断的错误率。通过查询联邦运输安全委员会航空事故数据库1988年至1998年的数据,N. B. Van等^[2]发现有130个事故中眩光是相关因素。通过民航飞行员在夜间飞行时遭受亮光源时操作问题的调查,N. B. Van等^[3]发现视觉问题导致的灾祸共有58起。因此,保证飞行员视觉舒适是驾驶舱设计所不可缺少的,对飞机驾驶舱视觉舒适性的研究具有重要的意义。

收稿日期:2013-03-14; 修回日期:2013-05-06

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2010CB734106)

通信作者:李慧,lihuismling@163.com

本文运用日光眩光概率(DGP)、亮度对比度(LR)和人眼垂直照度(E_v)指标,对不同的季节、日照时间和天气条件下的飞机驾驶舱进行视觉光环境仿真,研究飞机驾驶舱内驾驶员视觉舒适性的问题;利用光学理论和视觉工效特别是眩光、亮度的研究方法,进行仿真设计及综合分析,得出上述自变量与因变量之间的变化关系,形成数据库,为飞机驾驶舱照明和防眩设计提供设计依据。

1 不同条件下飞机驾驶舱视光学仿真

1.1 仿真环境

仿真环境采用 SPEOS CAA V5 光学模拟和视觉仿真系统。该系统是目前唯一依照人眼视觉特征和亮度进行空间敏感度变化仿真模拟的专业软件,整合了 CATIA 系统的光学设计和人体真实模拟效果,依照人眼视觉特征和亮度进行空间敏感度变化仿真模拟。系统模型是基于生理效应,依照视网膜的空间响应处理眼睛对明亮等级、颜色、对比度和周围环境的发光度的响应,并依照有关的标准规范给出结果^[4]。

仿真的地理位置参数选取陕西西安,地理坐标参数为东经 $108^{\circ}57'$,北纬 $34^{\circ}16'$,飞行方向参数选取北方。考虑不同季节、不同天空和不同时刻日光的变化特性对驾驶舱人眼视觉舒适性的影响。

分析一年中每一时刻、每一种天空的日光变化是不现实且消耗大量时间的工作,因此本文选用以下具有代表性的日期:3月21日(春分)、6月21日(夏至)、9月21日(秋分)、12月21日(冬至),选用这4天中8:00、10:00、12:00、14:00、16:00五个时刻。CIE给出的3大类15种标准一般天空是基于实际天空测试数据的统计规律得到的结果,非常接近实际天空状态,因此进行实际的光的变化特性分析可以得到较为理想的结果^[5]。CIE三类天空有全晴天空、全阴天空、中间天空^[4],其中中间天空又包括均匀天空、部分存在晕的天空、白色晴天空等。由于中间天空的天空状态、天顶亮度的计算公式复杂,考虑的因素太多,本文选用全晴天空和全阴天空两种典型天空。

天顶亮度的确定选用 Nakamura、Oki 公式^[6],因 Nakamura、Oki 公式中只有 γ_s (太阳高度角)一个参数,计算、使用起来比较简单。

全晴天空天顶亮度:

$$L_{\text{zcl}}(\gamma_s) = 4.47 \tan^{1.18} \gamma_s + 0.14 \text{ (kcd/m}^2\text{)} \quad (1)$$

全阴天空天顶亮度:

$$L_{\text{zoc}}(\gamma_s) = 15.0 \sin^{1.68} \gamma_s + 0.07 \text{ (kcd/m}^2\text{)} \quad (2)$$

通过计算得出典型日期天顶亮度,如表1所示。

表1 典型日期的天顶亮度

Table 1 Zenithal luminance of representative days and times

| 日期 | 时刻 | 全晴天顶亮度/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) | 全阴天顶亮度/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) |
|--------|----------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 3. 21 | 8:00:00 | 1 448 | 2 275 |
| | 10:00:00 | 3 624 | 6 892 |
| | 12:00:00 | 5 564 | 9 268 |
| | 14:00:00 | 4 497 | 8 290 |
| | 16:00:00 | 2 181 | 3 948 |
| 6. 21 | 8:00:00 | 3 044 | 5 798 |
| | 10:00:00 | 7 414 | 11 227 |
| | 12:00:00 | 17 415 | 14 007 |
| | 14:00:00 | 9 542 | 12 356 |
| | 16:00:00 | 3 880 | 7 334 |
| 9. 21 | 8:00:00 | 1 729 | 2 914 |
| | 10:00:00 | 4 014 | 7 553 |
| | 12:00:00 | 5 798 | 9 874 |
| | 14:00:00 | 4 325 | 8 038 |
| | 16:00:00 | 1 981 | 3 493 |
| 12. 21 | 8:00:00 | 354 | 233 |
| | 10:00:00 | 1 533 | 2 468 |
| | 12:00:00 | 2 189 | 3 966 |
| | 14:00:00 | 1 736 | 2 931 |
| | 16:00:00 | 594 | 564 |

1.2 仿真结果

由于仿真结果太多,在此仅列出3月21日、晴天条件下8点和阴天条件下16点的驾驶舱主驾驶视角的仿真结果,如图1所示。



(a) 3月21日8:00 晴天



(b) 3月21日16:00 阴天

图1 仿真结果

Fig.1 Simulation results

2 视觉舒适性参数的选取

评价视觉舒适性的参数很多,但不统一,本文选用日光眩光概率(DGP)、亮度对比度(LR)和人眼垂直照度(E_v)三个参数来进行评价。

2.1 日光眩光概率(DGP)

眩光是由于在视场范围内亮度过高或光源数目增多,从而引起视觉不舒适,或视觉功能下降,或同时产生上述两种效应的现象。眩光的感觉强弱是由光源的尺寸、光源的位置、光源的数量、光源的亮度和眼睛适应的亮度所决定的^[7-11]。

按照视觉效应,眩光分为不舒适眩光和失能眩光。前者造成舒适程度方面的损失,后者造成视觉功能方面的损失,二者在生理上和心理上都不同,但没有严格的界限。在一般的照明工程中,不舒适眩光往往要比失能眩光出现更多,而且控制不舒适眩光的措施可以解决失能眩光问题,因此在本文中只研究不舒适眩光^[1]。

针对驾驶舱白天的光环境,评价眩光可以采用

日光眩光指数(DGI)^[12]、新日光眩光指数($DGIN$)^[9,11]、日光眩光概率(DGP)^[7]等来表示,我们采用最新的 DGP 来进行研究, DGP 是人眼垂直照度、眩光亮度、立体角和位置指数的函数。 DGP 计算公式^[7]如下:

$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} E_v +$$

$$9.18 \times 10^{-2} \log_{10} \left(1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} P_i^2} \right) + 0.16$$

(3)

式中: E_v 是人眼垂直照度(lx); L_s 是光源亮度(cd/m^2); ω_s 是光源的立体角; P 是位置指数。

该方程的有效性经过了一系列的测试,其值在0.2~0.8,表示20%到80%的人感觉到了不舒适。

2.2 亮度对比度(LR)

人们越来越意识到位于视觉区域内的亮度,它是一种对视觉舒适性起主要决定作用的因素。确保良好光照的最重要因素是驾驶舱内的亮度分布与对比度均匀。驾驶舱内,应该提供良好的目标可见度,避免造成直接或反射眩光的大的亮度变化。

北美照明协会指出,当整个视觉区域内的亮度对比度不超过一定范围时,人眼感觉最舒适以及视觉功能最有效^[12-13]。

涉及的区域、与视线的相对位置和相对目标的实际亮度的不同,可以对视觉能力产生不同的影响。作为一个设计指导,不同的应用推荐使用不同的亮度对比度。为了限制瞬间适应和不舒适眩光,北美照明协会推荐特定的亮度对比度如表2所示^[12]。

表2 北美照明协会推荐的亮度对比度

Table 2 Applied IESNA luminance ratios recommendation

| 亮度对比度 | 应用范围 |
|-------------|--------------------|
| 3:1 或 1:3 | 在目标和相邻区域之间(60°视角) |
| 10:1 或 1:10 | 在目标和周围区域之间(120°视角) |
| 40:1 或 1:40 | 目标和全部视野之间(180°视角) |

2.3 人眼垂直照度(E_v)

除了对目标提供一定的照度,为了让人们的生理周期最优,相关研究指出一定时间内人眼需要接受一定量的光强。人眼垂直照度是其中一个重要

的因素。

人眼垂直照度 (E_v) 是用来描述光照情况的一个参数。由 W. J. M. Van Bommel^[14] 和 A. Wirz-Justice^[15] 建议的人眼垂直照度推荐值如表 3 所示。

表 3 人眼垂直照度的建议值

Table 3 Recommended vertical illuminance at the eye level

| 人眼垂直照度 (E_v) | 照度值/lx |
|------------------|--------|
| 最小值 | 1 000 |
| 参考值 | 2 500 |

3 数据分析与讨论

3.1 评价数据

根据仿真结果得到的数据,应用公式(3)算出 DGP,得到对比度值和照度值。综合以上结果,可得晴天和阴天条件下的总体数据,如表 4 和表 5 所示(T/60 表示目标和 60°视角,T/120 表示目标和 120°视角,T/WF 表示目标和整个视野)。

表 4 晴天时总数据

Table 4 Results in clear sky

| 日期 | 时刻 | LR (T/60) | LR (T/120) | LR (T/WF) | E_v /lx | DGP |
|-------|-------|-----------|------------|-----------|-----------|---------|
| 3.21 | 8:00 | 2.00 | 1.99 | 2.37 | 828.29 | 0.221 7 |
| | 10:00 | 1.80 | 4.77 | 5.79 | 906.25 | 0.237 9 |
| | 12:00 | 1.88 | 7.22 | 8.66 | 1 008.69 | 0.250 2 |
| | 14:00 | 1.98 | 5.85 | 6.85 | 1 153.65 | 0.255 0 |
| | 16:00 | 2.17 | 4.10 | 4.34 | 984.89 | 0.233 2 |
| 6.21 | 8:00 | 2.11 | 3.14 | 3.36 | 811.58 | 0.220 9 |
| | 10:00 | 2.00 | 4.48 | 5.16 | 719.16 | 0.223 1 |
| | 12:00 | 2.04 | 5.75 | 6.67 | 1 103.94 | 0.249 4 |
| | 14:00 | 2.16 | 5.39 | 6.11 | 1 235.70 | 0.258 0 |
| | 16:00 | 2.31 | 4.62 | 4.97 | 1 013.90 | 0.239 6 |
| 9.21 | 8:00 | 1.98 | 2.17 | 2.61 | 873.20 | 0.224 9 |
| | 10:00 | 1.80 | 5.16 | 6.24 | 901.80 | 0.238 5 |
| | 12:00 | 1.89 | 7.17 | 8.57 | 1 029.03 | 0.251 3 |
| | 14:00 | 2.00 | 5.56 | 6.52 | 1 156.73 | 0.253 8 |
| | 16:00 | 2.20 | 4.05 | 4.18 | 936.02 | 0.229 4 |
| 12.21 | 8:00 | 2.00 | 2.41 | 3.05 | 356.31 | 0.210 4 |
| | 10:00 | 1.77 | 7.44 | 9.28 | 864.39 | 0.246 4 |
| | 12:00 | 2.03 | 10.67 | 13.15 | 1 025.56 | 0.263 3 |
| | 14:00 | 1.93 | 6.15 | 7.52 | 890.35 | 0.248 6 |
| | 16:00 | 2.16 | 3.89 | 4.43 | 404.33 | 0.208 0 |

表 5 阴天时总数据

Table 5 Results in overcast sky

| 日期 | 时刻 | LR (T/60) | LR (T/120) | LR (T/WF) | E_v /lx | DGP |
|-------|-------|-----------|------------|-----------|-----------|---------|
| 3.21 | 8:00 | 0.84 | 2.67 | 2.97 | 212.09 | 0.213 3 |
| | 10:00 | 0.91 | 3.03 | 3.50 | 436.80 | 0.208 8 |
| | 12:00 | 2.05 | 3.08 | 3.58 | 569.95 | 0.214 2 |
| | 14:00 | 0.92 | 3.06 | 3.55 | 504.92 | 0.211 2 |
| | 16:00 | 0.88 | 2.89 | 3.29 | 293.51 | 0.207 7 |
| 6.21 | 8:00 | 0.90 | 3.00 | 3.45 | 383.62 | 0.207 5 |
| | 10:00 | 0.93 | 3.10 | 3.61 | 647.82 | 0.218 1 |
| | 12:00 | 0.93 | 3.13 | 3.65 | 783.13 | 0.225 6 |
| | 14:00 | 0.93 | 3.11 | 3.63 | 702.74 | 0.221 1 |
| | 16:00 | 0.91 | 3.04 | 3.52 | 458.20 | 0.209 5 |
| 9.21 | 8:00 | 0.86 | 2.78 | 3.13 | 243.20 | 0.210 1 |
| | 10:00 | 0.91 | 3.04 | 3.52 | 468.98 | 0.209 8 |
| | 12:00 | 0.92 | 3.09 | 3.59 | 581.90 | 0.214 8 |
| | 14:00 | 0.92 | 3.06 | 3.54 | 492.64 | 0.210 7 |
| | 16:00 | 0.87 | 2.85 | 3.23 | 271.38 | 0.204 8 |
| 12.21 | 8:00 | 0.25 | 0.76 | 0.63 | 112.80 | 0.240 8 |
| | 10:00 | 0.85 | 2.71 | 3.03 | 221.48 | 0.212 2 |
| | 12:00 | 0.88 | 2.89 | 3.29 | 294.38 | 0.207 7 |
| | 14:00 | 0.86 | 2.78 | 3.14 | 244.01 | 0.210 0 |
| | 16:00 | 0.57 | 1.65 | 1.63 | 128.74 | 0.223 6 |

根据上述数据,可以绘出 DGP、LR 和 E_v 的变化曲线,由此可以得出季节、时间与天空状况对 DGP、LR、 E_v 的影响。

3.2 数据分析

3.2.1 季节的影响

在 CIE 标准全晴天空条件下,分析 3 月 21 日、6 月 21 日、9 月 21 日、12 月 21 日的 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00 五个时刻的仿真数据。

(1) 日光眩光概率

晴天时日光眩光概率如图 2 所示。

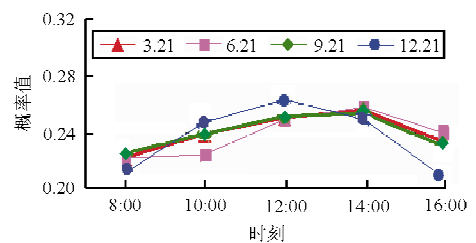


图 2 晴天时日光眩光概率

Fig. 2 DGP in clear sky

从图2可以看出:在全晴天空下,日光眩光概率整体在0.20~0.27波动;概率值在3月和9月相差不多,都呈现先逐渐上升然后快速下降的趋势,在14点到达最大值;6月时,概率值先非常缓慢上升,然后快速上升,在14点到达最大值(0.26左右),然后快速下降;12月时,概率值先快速上升,与3月、6月和9月不同,它在12点达到最大值,然后快速下降。但总体上均只有百分之二十几的人感到不舒适眩光,故飞机向北飞行时,驾驶舱内发生眩光的概率较小。

(2) 亮度对比度

晴天时目标与不同视角的亮度对比度,如图3所示。

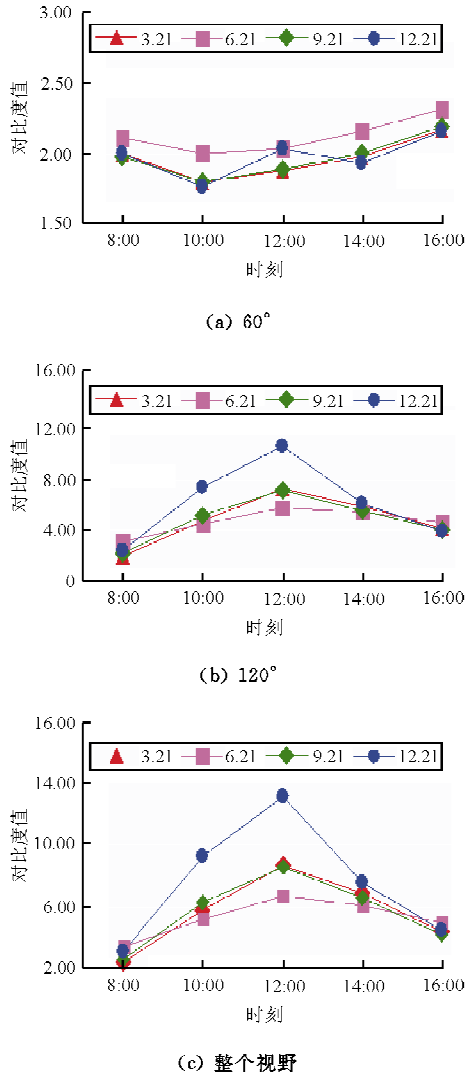


图3 晴天时目标与不同视角的亮度对比度
Fig. 3 Luminance ratio between the task and different view fields in clear sky

从图3可以看出:在全晴天空下,目标与60°视角的亮度对比度值都呈现先缓慢下降然后缓慢上升的趋势,且都在2.00左右波动,相差不大,在北美照明协会的规定值3之内;目标和120°视角的亮度对比度值在3月、6月和9月呈现先上升后下降的趋势,在6月较低,3月和9月相差不多,基本一致;在12月时,先快速上升然后快速下降,在12点时达到最大值,部分阶段超出了北美照明协会规定的值(10以内);而目标和整个视野亮度对比度整体趋势与目标和周围区域对比度类似,也是在12月最高,6月最低,3月和9月基本一致,都在北美照明协会的规定值40之内。当飞机向北飞行时,3月、6月和9月的驾驶舱内的亮度对比度都在规定值之内,不会引起视觉不舒适,12月时12点左右的亮度对比度值偏高,舱内可以打开人工照明设备,使对比度值下降到规定值之内。

(3) 人眼垂直照度

晴天时人眼垂直照度如图4所示。

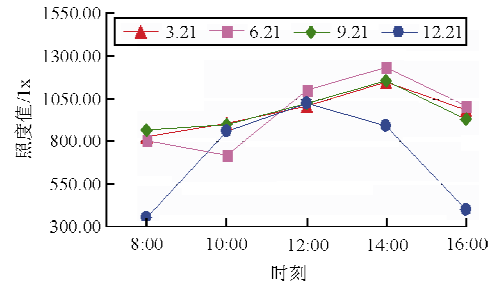


图4 晴天时人眼垂直照度
Fig. 4 Vertical illuminance in clear sky

从图4可以看出:在全晴天空条件下,照度值在3月和9月相差不多,都呈现先缓慢上升,在14点达到最大值后逐渐下降,在800.00~1200.00 lx波动;在6月波动较大,先缓慢下降,然后逐渐上升,最后再缓慢下降,部分超过1200.00 lx,部分低至600.00 lx;在12月波动也较大,先快速上升,达到最大值后再快速下降,部分达到1000.00 lx,部分低至300.00 lx。当飞机向北飞行时,驾驶舱内只有3月、6月和9月的12~15点的照度值在规定范围内,其他时候的照度值都偏小,尤其12月的早上和下午,需提高人工照明照度。

3.2.2 时间的影响

为了研究不同时间段天空状况对驾驶舱内驾驶员视觉的影响,分析9月21日的8:00、10:00、12:00、14:00、16:00五个时刻的仿真数据。

(1) 日光眩光概率

9月21日日光眩光概率如图5所示。

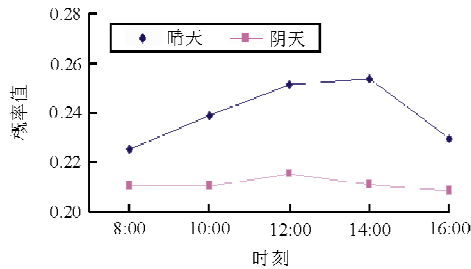


图5 9月21日日光眩光概率
Fig. 5 DGP on September 21

从图5可以看出:在全晴天空条件下,日光眩光概率值在0.22~0.26波动,从早上8点到12点,日光眩光概率先快速上升,从12点到14点缓慢上升,在14点到达最大值(0.2538),之后开始降低;在全阴天空条件下,日光眩光概率在0.20~0.22波动且波动较小,从早上8点到10点之间,日光眩光概率几乎没有变化,从10点到12点呈逐渐上升趋势,在12点达到顶峰(0.2148),12点过后到14点直至16点之间呈逐渐下降趋势。

但总体上均只有百分之二十几的人感到不适眩光。当飞机在9月21日整个时间段内向北飞行时,驾驶舱内发生眩光的概率较小,时间对日光眩光概率的影响较小。

(2) 亮度对比度

9月21日晴天时各亮度对比度如图6所示。

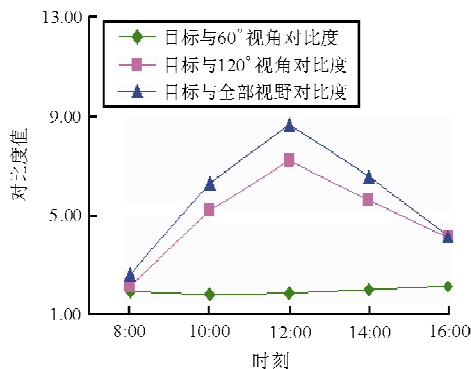


图6 9月21日晴天时各亮度对比度
Fig. 6 Luminance ratio on September 21 in clear sky

从图6可以看出:在全晴天空条件下,目标和60°视角亮度对比度值在整个时间段内基本没有变化,在2.00左右波动;目标和120°视角亮度对比度值,从8点至12点之间呈上升趋势,在12点达到最大,大约为7.00,从12点到16点之间亮度值呈下降趋势;目标和全部视野亮度对比度值也是从8点至12点之间呈快速上升趋势,在12点达到最大,大约为8.50,从12点到16点之间亮度对比度值呈快速下降趋势。

总的来说,在整个时间段内,目标和60°视角、目标和120°视角以及目标和全部视野亮度对比度值都在规定的范围之内。

当飞机在9月21日整个时间段内向北飞行时,驾驶舱内亮度对比度在规定的范围之内,不会引起视觉的不舒适感。

(3) 人眼垂直照度

9月21日人眼垂直照度如图7所示。

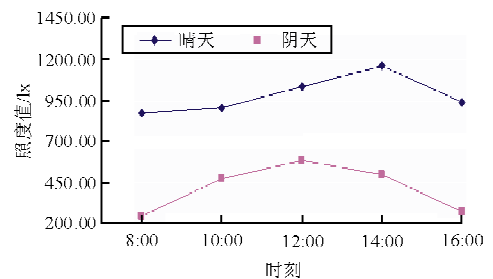


图7 9月21日人眼垂直照度
Fig. 7 Vertical illuminance on September 21

从图7可以看出:在全晴天空条件下,从早上8点到下午14点,人眼垂直照度值呈现一个逐渐上升的趋势,并在14点达到最大,约为1200.00 lx,之后开始降低;在全阴天空条件下,人眼垂直照度值从8点到10点再到12点呈逐渐上升趋势,在12点达到顶峰,约为600.00 lx,12点过后到14点直至16点呈下降趋势。

当飞机在9月21日向北飞行时,驾驶舱内只有14点左右的照度值在规定范围内,其他时间段的照度值都偏小,需打开人工照明设备,提高照度值。

3.2.3 天空状况的影响

为了研究CIE标准全晴和全阴两种不同天空状况对驾驶舱内驾驶员视觉的影响,分析6月21

日的8:00、10:00、12:00、14:00、16:00五个时刻的仿真结果。

(1) 日光眩光概率

6月21日日光眩光概率如图8所示。

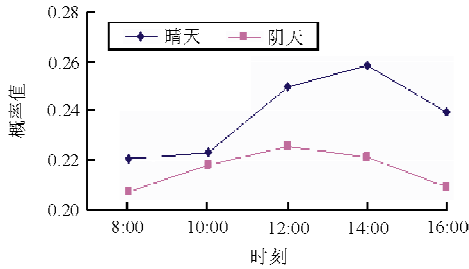
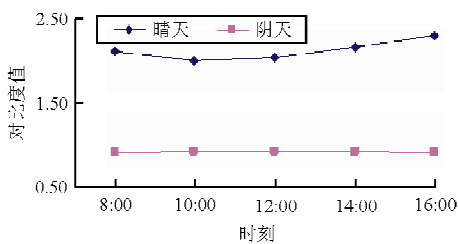


图8 6月21日日光眩光概率
Fig. 8 DGP on June 21

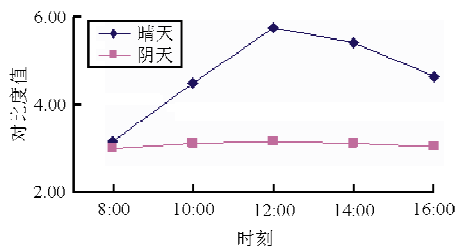
从图8可以看出:全晴天空条件下,日光眩光概率值比阴天的高;晴天时,日光眩光概率值在0.22~0.26波动,先缓慢上升,然后快速上升,在14点达到最大值后又快速下降;阴天时,日光眩光概率值在0.20~0.23波动,呈现先上升后下降的趋势,在12点达到最大,约为0.2256。总体上均只有百分之二十几的人感到不舒适眩光。但是晴天眩光发生的概率比阴天大,当飞机在晴天飞行时,可以采取适当的措施尽量降低眩光发生的概率。

(2) 亮度对比度

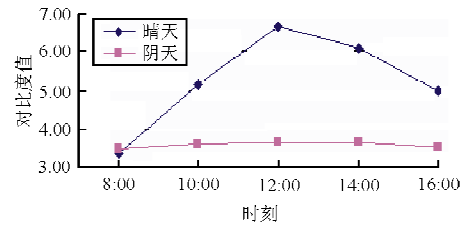
6月21日目标与不同视角的亮度对比度如图9所示。



(a) 60°



(b) 120°



(c) 整个视野

图9 6月21日目标与不同角度的亮度对比度
Fig. 9 Luminance ratio between the task and different view fields on June 21

从图9可以看出:全晴天空条件下,亮度对比度值比阴天的高;全阴天空亮度对比度值较低,且在整个时间段内无较大变化。同时可以看出:全晴天空时,目标和相邻区域的对比度值呈现先逐渐下降然后逐渐上升的趋势,但整体波动不是很大;目标和周围区域、全部视野的对比度值都呈现先上升然后下降的趋势,都在12点到达最大值。6月21日时无论是全晴天空条件,还是全阴天空条件,所有的亮度对比度值都处于北美照明协会的规定范围内。但是驾驶舱内,晴天的亮度对比度值普遍比阴天的高,当飞机在晴天飞行时更能引起亮度对比度的变化。

(3) 人眼垂直照度

6月21日的人眼垂直照度如图10所示。

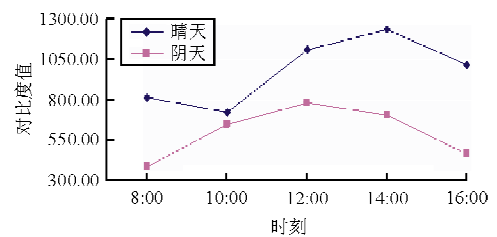


图10 6月21日的人眼垂直照度
Fig. 10 Vertical illuminance on June 21

从图10可以看出:全晴天空条件下,人眼垂直照度值比阴天的高;晴空时,人眼垂直照度先短暂下降,然后逐渐上升,在14点达到最大后又逐渐下降。但晴天时的人眼垂直照度值对于规定的1000.00 lx,还是有一部分达不到;阴天时,照度值呈先上升后下降趋势,在12点达到最大,但阴天时的人眼垂直照度值都较小;当飞机在6月21日向北飞行时,晴天时驾驶舱内的照度值普遍比阴天的

高,只有晴天 14 点左右的照度值在规定范围内,其他时间段的照度值都偏小,因此阴天时,需打开人工照明设备,提高照度值。

4 结 论

季节、时间和天空状况对日光眩光概率、亮度对比度和人眼垂直照度都有很大的影响。

(1) 季节对人眼垂直照度的影响更大,在不同的季节,其他条件相同的情况下,人眼垂直照度值相差很大,大部分都偏低;

(2) 时间的影响上,在早晚的各种不舒适值比较低,而在中午的比较高,但对大视角下的亮度对比度影响更大;

(3) 在不同天空状况下,晴天的各种不舒适值普遍高于阴天的值。

(4) 研究结果可以为驾驶舱照明和防眩设计提供设计依据,依据不同季节、时间和天气情况设置动态的照明策略,布置活动的防眩设备,如在午间可以自动打开的侧舷窗遮光板等。

参考文献

- [1] 航空标准化编辑部. 飞机座舱照明的工程心理分析与工程设计实践[J]. 航空标准化, 1980(专刊5): 1-36.
The Editorial Department of Hangkong Biaozhunhua. Psychological analysis and practice of design of lighting in airplane flight deck[J]. Hangkong Biaozhunhua, 1980(S5): 1-36. (in Chinese)
- [2] Van N B, Wood K J, Montgomery R W. Natural sunlight and its association to civil aviation accidents[J]. Optometry, 2004, 75(8): 517-522.
- [3] Van N B, Montgomery R W, Wood K J. Aircraft accidents and incidents associated with visual effects from bright light exposures during low-light flight operations[J]. Optometry, 2007, 78(8): 415-420.
- [4] 杨公侠. 视觉与视觉环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 1985.
Yang Gongxia. Vision and visual environment[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1985. (in Chinese)
- [5] 肖辉, 王金光, 张毅. 基于 CIE 标准一般天空的实际天空模型研究[J]. 照明工程学报, 2007, 19(1): 20-24.
Xiao Hui, Wang Jinguang, Zhang Yi. The research of real sky model based on CIE standard general sky[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2007, 19(1): 20-24. (in Chinese)
- [6] 张绍刚, 译. 天然光的空间分布——各种参考天空的亮度分布[J]. 照明工程学报, 1998, 8(4): 63-79.
Zhang Shaogang, translated. The distribution of natural light—luminance distribution of referenced skies[J]. Zhiming Gongcheng Xuebao, 1998, 8(4): 63-79. (in Chinese)
- [7] Wienold J, Christoffersen J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras[J]. Energy and Buildings, 2006, 38(7): 743-757.
- [8] Nazzari A A. A new evaluation method for daylight discomfort glare[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, 35(4): 295-306.
- [9] Kim W, Koga Y. Glare constant G_w for the evaluation of discomfort glare from windows[J]. Solar Energy, 2005, 78(1): 105-111.
- [10] Lowson J C. Practical application of the einhorn(CIE) glare index formula [J]. Lighting Research and Technology, 1981, 13(4): 169-191.
- [11] Nazzari A A. A new daylight glare evaluation method-introduction of the monitoring protocol and calculation method [J]. Energy and Buildings, 2001, 33(3): 257-265.
- [12] IESNA. The IESNA Lighting Handbook[M]. 9th ed. New York: IESNA, 2000.
- [13] Mohamad Tarek Araj. Balancing human visual comfort and psychological wellbeing in private offices[D]. USA: University of Arizona, 2004.
- [14] Van Bommel W J M, Van den Beld G J. Lighting for work; a review of visual and biological effects[J]. Lighting Research Technology, 2004, 36(4): 255-269.
- [15] Wirz-Justice A. Melatonin: New advances in sleep research and treatment [J]. European Neuropsychopharmacology 1998, 8(2): S92.

作者简介:

李 慧(1988—),女,硕士研究生。主要研究方向:人机与环境工程。

张 炜(1963—),男,博士,副教授。主要研究方向:飞行器总体设计与综合设计、人机与环境工程。

马 智(1982—),男,博士研究生。主要研究方向:人机与环境工程。

(编辑:赵毓梅)