翼身融合布局客机的客舱设计

廖慧君 张曙光

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院，北京 100191) (北京航空航天大学 交通科学与工程学院，北京 100191)

摘 要：翼身融合作为一种新型民机布局，其客舱设计较常规布局有很大不同. 以翼身融合布局客机客舱为研究对象，结合其自身特性，确定了与客舱设计相关的适航条例和舒适性要求；确定基本布局方案和客舱参数化设计方法；以 250 座三级布置为例，对客舱区座椅和设施等进行了详细布置. 结果表明，翼身融合布局客舱的参数化方法是可行的，能够满足飞机系列化发展对客舱灵活布置的需要. 但应急撤离设计方案是否满足 90 s 撤离适航要求的应急疏散问题还有待进一步的实验验证.

关 键 词：翼身融合体；民机；适航性；系列化；客舱布置

中图分类号：V 223.2

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)08-0986-04

Design of cabin layout for blended wing body passenger transports

Liao Huijun

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Zhang Shuguang

(School of Transportation Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The blended wing body (BWB) commercial aircraft configuration has become a hot topic and has been widely studied around the world. As a new configuration, its cabin design is very different from the conventional, so it's necessary to study the new problems with the BWB cabin design. Focused on the marked traits, some basic cabin-relative issues were studied. The cabin layout must meet the CCAR-25 criteria, as well as the passengers' comfort need, so the cabin related airworthiness and comfort items were firstly abstracted. A cabin layout solution and the accompanying parameterization method were followed. The 250 seating BWB transport was then taken as example for the details of layout design. The results show that the parameterization method of the cabin layout is feasible for the need of a BWB family. However, such requirements as emergent evacuation within 90 seconds must be further highlighted and verified by experiments.

Key words: blended wing body (BWB); commercial aircraft; airworthiness; family development; cabin layout

传统布局运输机在增大载运量、提高升阻比、降低油耗等方面的提升空间有限，人们开始寻求新的气动布局方案以提高载运量和经济性. 国外航空业较为发达的国家经过多年的摸索，基本确定翼身融合体布局为引领未来航空工业“文艺复兴”的新布局[1]，被认为是最有可能取代现有传统布局的大型客机设计方案. 翼身融合体(BWB, Blended Wing Body)概念最早由 NASA 的 Langley 研究中心于 20 世纪 90 年代提出，其最初的设计着眼点在于大幅度的减小浸润面积，减小阻力，提高升阻比[1]. 其在安全性、舒适性和环境噪声等方面也具潜在优势.

收稿日期：2008-07-11

基金项目：国家 863 资助项目(2006AA11Z219)

作者简介：廖慧君(1984—)，男，浙江丽水人，硕士生，lhjnbdx@126.com.

BWB 布局飞机改变了传统的机身载重方式,装载区由传统布局的桶状机身变为宽敞的大堂式中央机身机翼融合体.BWB 布局客舱设计的最初着眼点在于装载空间的大幅度提高,可装载体积增大 20%～30%[2],可布置客舱、货舱和各种设备,并且装载区的宽度更大,对货物的尺寸要求更为宽松,特别是为一些特种设备的空中运输提供了可能.同时作为一种全新的布局,也对客舱设计提出了新的课题和挑战,如传统布局客机,乘客分布于桶状机身的纵向两侧,其应急逃生出口可在机身两侧设置,直接将乘客疏散到机体外;而 BWB 布局客机,乘客集中在广场式的机身中部,其人群疏散更加复杂,必须合理设计应急撤离系统.另外客舱设计还需要关注安全性、舒适性以及经济性之间的对立统一问题、客舱参数化设计方法问题、系列化发展问题等.

1　适航性与舒适性要求

适航规范以安全性为出发点,其中与客舱布置密切相关的条款包括出口、通道和服务设施等.在满足乘客"安全第一"物理需求基础上,要尽可能地满足乘客对舒服、豪华等的价值需求.与舒适性密切相关要素包括乘坐品质和活动空间、内饰和环境、生活设施和服务质量等,舒适性更加注重于客舱内部细节设计.

1.1　基本适航规范要求[3]

1) 应急出口类型和大小准则,见表 1.

表 1　应急出口类型

应急出口类型	最低高度/mm	最小宽度/mm
A 型	1 830	1 067
Ⅰ型	1 220	610
Ⅱ型	1 120	510
Ⅲ型	910	510
Ⅳ型	660	480

2) 应急出口最小数目准则,见表 2 和表 3.

表 2　最小应急出口数(机身每侧)

客座数/座(大于 80)	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅳ型
80～109	1	—	1	—
110～139	2	—	1	—
140～179	2	—	2	—

表 3　应急出口允许增加的客座数

型号	允许增加的客座数/座
A 型	110
Ⅰ型	45
Ⅱ型	40
Ⅲ型	35

3) "60 英尺"准则:任何两个应急出口之间的距离不超过 18.29 m.

4) "90 s"准则:所有乘员撤离飞机的时间不超过 90 s.

5) 出口通道准则:A 型出口必须有无障碍通道,通道宽度至少 914 mm.其他类型出口,通道宽度至少 508 mm.

6) 舱内过道准则:必须满足"在地板以上参考高度 635 mm 以下和以上,过道最小宽度分别为 381 mm 和 508 mm"的要求.

7) 洗手间设计准则:应能容纳一个最高身长为 1.91 m 的成年人正常使用;不小于典型尺寸 914 mm×914 mm(长×宽),面积不小于 1.5 m^2;门一侧的宽度不小于 1 m,内部从地板到天花板高度在 1.92～1.94 m 之间.

8) 厨房设计准则:不小于典型尺寸 762 mm×914 mm(长×宽);对于旅行级,常规的服务为每位乘客 251 cm^2;对于头等舱,常规的服务为每位乘客 929 cm^2.

1.2　相关舒适性要求[4]

1) 舒适性与票价的关系.不同座位等级可享受的舒适度不同,等级高的可享受更佳的舒适度.

2) 舒适性与旅行时间的关系.旅行时间越长,乘客感到舒适所需的空间越大,同时还要求更多的消遣娱乐设施和公共空间.

3) 舒适感与排距和每个座椅单元的联体座椅数目直接相关,还与座椅宽度和过道宽度息息相关.

4) 座椅的设计与安排,强调座椅的可调性与腿部空间.

2　设计方案

2.1　基本设计方案

根据第 1 节的基本适航性和舒适性要求,确定 BWB 布局客机客舱基本设计方案.

决定客舱剖面形状和尺寸是首要的设计,机身剖面形状由实现增压的结构设计要求所支配.这对于 BWB 布局结构设计一直是一个挑战,目前比较成熟的方案是"多泡机身"[5]结构.

一个航空产品能够存活的关键,是能够进行较快速灵活的改装,得以系列化发展.常规布局的机身与机翼的独立化程度高,可以方便地进行改型.与常规布局飞机相比,BWB 的高度一体化特性给其系列化发展带来了挑战.通过借鉴常规布

局的独立模块化思路，将整机分成驾驶舱、内外翼以及中央体3个相对独立的部分. 将中央客舱区独立出来，当座数小于350时进行单层展向扩展，通过展向增加中间隔舱进行系列化扩展，在扩展中尽量保证外弦长不变，以便于在不影响其它性能的情况下采用相同的外翼和驾驶舱，实现经济高效的系列化发展. 而当座数大于350时，采用双层上下扩展方式.

BWB客机系列化发展方案(相同机翼、相同驾驶舱、相似化客舱)如图1如示[1].

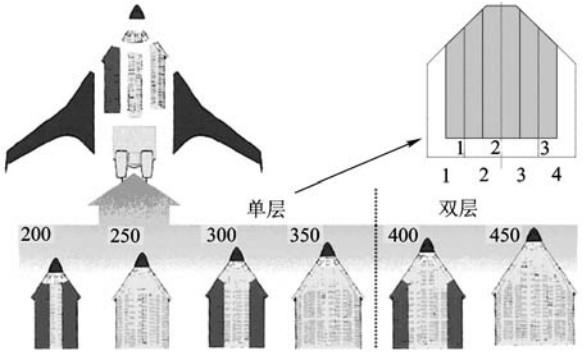


图1 BWB客机系列化发展方案

2.2 客舱参数化尺寸设计

参数化客舱平面，如图2所示. B767的乘客人均客舱面积为0.7 m^2，本文以更具竞争力的人均面积1 m^2为设计基础，由总座数 N 确定相应座级的客舱区面积 S，并由 S 根据隔舱宽度 w 确定座舱总长：

$$L = S/w \tag{1}$$

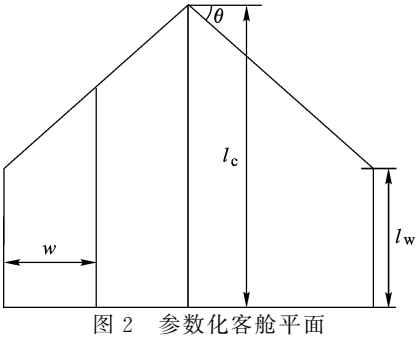


图2 参数化客舱平面

应用“等效隔舱法”[6]求外隔舱长 l_w，见式(2)；再求中隔舱长 l_c，见式(3).

$$l_w = \frac{L - \left(\frac{w}{2}\tan\theta\right)\sum_{i=1}^{n}(i-1)}{n} \tag{2}$$

$$l_c = l_w + \frac{n}{2} \times w \times \tan\theta \tag{3}$$

式中，n 为隔舱数；θ 为中央体后掠角.

3 250座BWB客舱典型三级布置

为了确定初步布局，需要估计各级座舱的乘客比例，通常在远程航班上采用三座级布局，其典型数据为头等舱8%、公务舱13%、经济舱79%[4]. 对于本例250座级：头等舱20座、公务舱32座、经济舱198座.

根据第2节参数化方法确定250座BWB客舱区尺寸，然后进一步对客舱进行舱内布置. 客舱布置的两个主要方向为横向内舱剖面和纵向客舱长度，主要决策是选择横跨飞机的座位数和由此而来的过道安排. 在等宽隔舱中最经济布置是单通道3-3布置，对现有常规椅宽475 mm和常规过道510 mm适当增加，w 取为3 660 mm. 在三级布置中该隔舱宽度可以在头等舱布置4座，公务舱5座，经济舱6座. 考虑到布置灵活性，在此公务舱和头等舱一样横向4座2-2排布，两舱差别只体现在纵向椅距. 本机客舱剖面如图3所示.

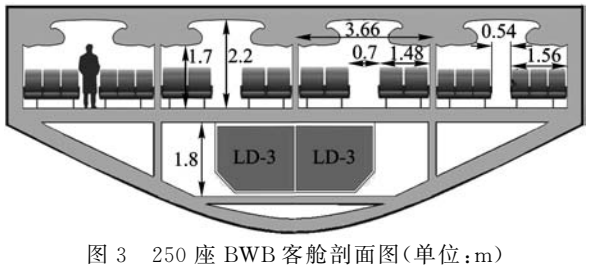


图3 250座BWB客舱剖面图(单位：m)

本机在适航要求基础上为航空公司提供了更具竞争力的乘客个人空间，主要体现在座椅和通道的布置，详细参数和排布情况如表4及图4所示.

表4 不同座级座椅宽度、排距以及通道宽 mm

座级	椅宽	椅距	通道
头等	740	1575	700
公务	740	1016	700
经济	520	914	540

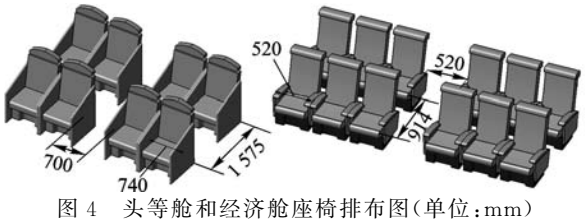
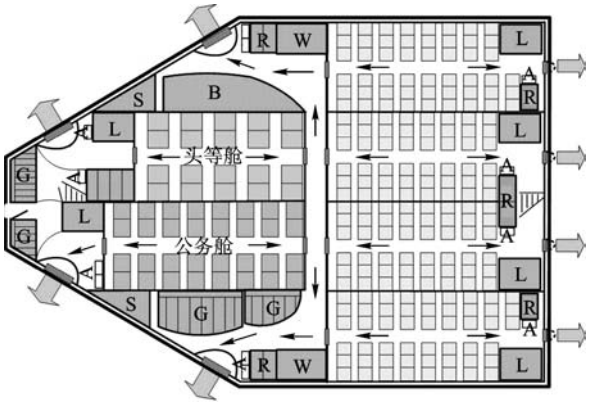


图4 头等舱和经济舱座椅排布图(单位：mm)

为体现乘客的实际市场价值，考虑到发动机和横向扰动的影响，头等舱和公务舱位于前部客舱区，经济舱位于后部. 另外，根据应急出口的相关适航规定，本机在客舱三角区前缘每侧两个登机门，舱尾每侧两个机腹型出口. 所有出口展向对

称分布,每个出口与通道对应,同时在座舱中部设有贯穿通道.根据服务设施的相关适航规定,为保证有充足的服务资源,洗手间、厨房、衣帽间面积至少分别需要 10 m^2 左右.同时将其布置在客舱的前后部或登机门的两侧,以便客舱各种方案的灵活布置.详细客舱布置,见图 5.



L—洗手间;S—储藏室;A—乘务员折椅;
R—乘务员休息室;G—厨房;B—酒吧;W—衣柜.

图 5　250 座 BWB 客舱布置及应急撤离系统平面图

本文在布置方案的基础上对 250 座客舱进行了仿真虚拟装配,其三维效果如图 6 所示.可见由参数化方法确定的客舱能够满足舒适度和灵活度更佳的内部布置需要,同时也直观体现了其装载空间大的特性.

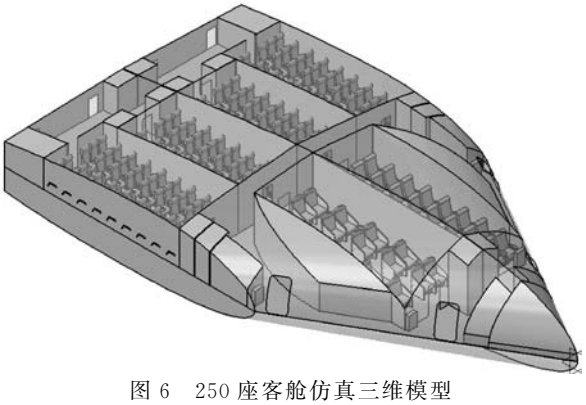


图 6　250 座客舱仿真三维模型

对于下货舱布置,由于 BWB 布局货舱的装载空间大且限制少,因此其载货方式可以有多种可选方案.本文采用容积为 4.5 m^3 的 LD-3 标准集装箱,参考现有同座级飞机,前货舱布置 16 个 LD-3,后货舱布置 12 个 LD-3,散装货舱 14m^3,见图 7.

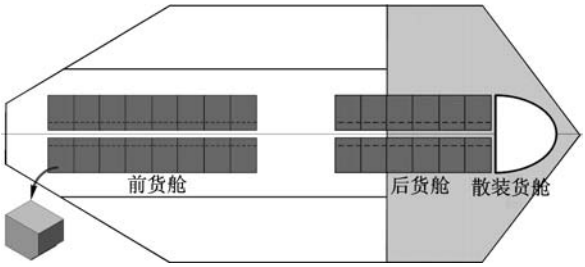


图 7　250 座 BWB 货舱布置

4　结 束 语

自 BWB 布局概念提出后,国内外相关研究很广泛,这是缘于该布局经济性和环保性等方面的潜在优势.本文在现有 BWB 相关研究的基础上,对 BWB 布局客舱设计相关问题进行了研究和探讨,并通过 250 座算例对客舱进行了详细布置.客舱布置以安全性和舒适性为主要依据;构成舒适性的要素比较复杂,本文还处于概念研究阶段,因此本文所强调的舒适性主要体现在座椅空间、活动空间及服务设施等方面,暂不考虑内饰和环境等细节.配合上述研究,开发了客舱模型自动化工具,并对其它如 350 座、450 座等载客要求进行了设计,证明了设计思路和设计工具的有效性.

参考文献(References)

[1] Liebeck R H. Design of the blended wing body subsonic transport[R]. AIAA-2002-0002, 2002

[2] Reuther J, Jameson A. Aerodynamic shape optimization of wing and wing-body configuration using control theory[R]. AIAA-95-0123, 1995

[3] 中国民用航空局.中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准 CCAR-25[S]
Civil Aviation Administration of China. Transport airplane airworthiness criterion CCAR-25[S](in Chinese)

[4] Jenkinson L R, Simpkin P, Rhodes D. Civil jet aircraft design [M]. London: Arnold, 1999: 80－104

[5] Mukhopadhyay V. Blended-wing-body fuselage structural design for weight reduction[R]. AIAA-2005-2349, 2005

[6] Bradley K R. A sizing methodology for the conceptual design of blended-wing-body transports [R]. NASA/CR-2004-213016, 2004

(责任编辑:赵海容)