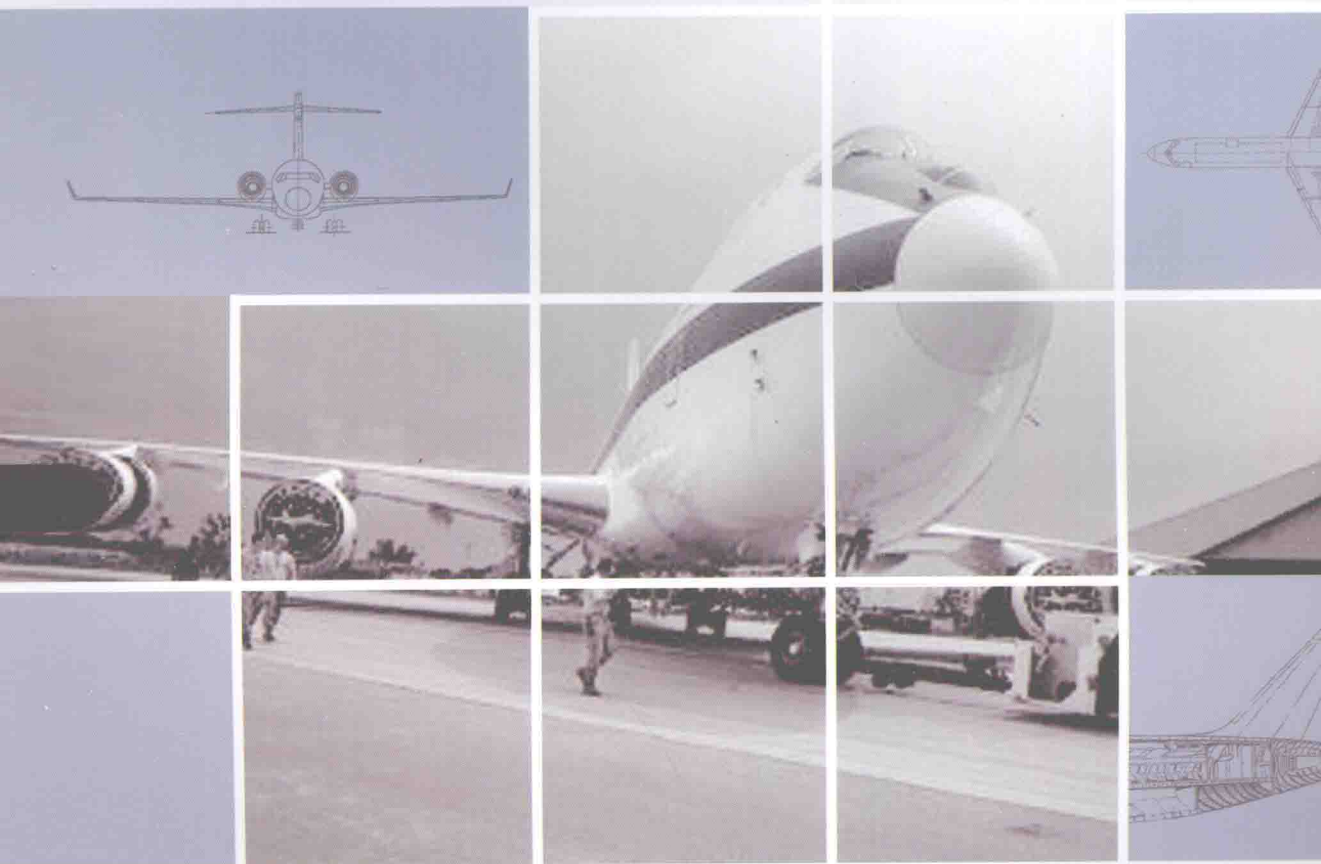


大型客机设计

DAXING KEJI SHEJI

乐卫松 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

大型客机设计

Airliners Design

乐卫松 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书总结了中国民用飞机的发展过程,从试航、系统工程、市场经济三个角度来论证大型客机设计的全过程以及上述客机的主要核心技术,并介绍从系统工程的技术要求的制定一直到虚拟样机投入市场。本书的读者对象为飞机设计专业的学生以及飞机研发单位的工程技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

大型客机设计 / 乐卫松编著. -- 上海: 同济大学出版社, 2014.7

ISBN 978-7-5608-5524-0

I. ①大… II. ①乐… III. ①大型—旅客机—设计
IV. ①V271.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 116436 号

大型客机设计

乐卫松 编著

责任编辑 季 慧 助理编辑 陆克丽霞 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787 mm×960 mm 1/16

印 张 13

字 数 324 000

版 次 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5524-0

定 价 42.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序

65年前(1947年)的春天,我坐在当年清华航空馆二楼教室的绘图桌前做毕业设计,设计一架时速200 km的小型客机。当时既无教材,又无资料,我连飞机也没有坐过,没有相关知识,怎能冥思苦想出一个客机方案来?

人类认知自然界和社会只能通过实践。要创造出新的人工自然物也只能通过实践。实践出真知,货真价实的知识就是真知。换个新术语表达就是信息,信息是客观存在的,是关乎事物存在方式和运动状态。人类获得信息才能与客观事物互动,才能演进。通过自己和别人的实践获得信息,运用信息改造客观世界,创造出新世界,这就是创新,设计就是要创新。

解放前,中国没有自己的客机。“文革”中期,在自力更生的大潮中,上海开始自行研制大型客机,很快造出了第一只地面“铁鸟”,第一架翱翔空中的大客机708——运十。研制进展极为顺利,样机曾飞到西藏。但由于种种原因,研制被冷冻,直至新世纪才又启动大客机项目。40多年来,客机研制任务虽有起有伏,然而研制经验没有中断,所以新的大型客机上马较快,上海已成为我国新崛起的大型客机研制中心。崛起就要发展,发展亟需人才,所以航空工程的各类专业人才的教育和培养也相继提上议事日程。《大型客机设计》一书也就应运而生。

新书编著者乐卫松教授是我50年前在北航共同研制无人驾驶飞机时的老搭档,飞机设计教研室的教师,回上海后长期从事航空教育和航空科技工作,是运十飞机研制的直接参与者,由他来总结客机研制经验,编著大客机设计教材真是最合适不过了。

过去我们找“飞机设计”教材,总是眼睛向外,看看美苏有什么好书。我国的航空工业一开始就是仿制苏联飞机,仿制对象当然都是军用飞机,民用飞机发展自然排不上队,这也是常理之事。没有飞机制造的实践经验,怎谈得上自主设计飞机?大跃进年代来了一个冲击,中国人竟敢自己设计制造飞机了!当时在北航一口气上马了包括民机、火箭、导弹、无人驾驶飞机、扑翼机等10个项目,全院一片火热。“北京一号”100天设计研制就飞上了天。这一运动大大打乱了高校正常的教学科研秩序,是问题,但同时它打破框框,证明中国人不是笨蛋,别人能干成的为什么我们不能干?到1960年春,为恢复学院秩序,所有的项目都陆续下马,研制实践过程中断,资料存档,少有人去总结经验教训。我国从1949年到2009年,正好60周年,对于一个人,到花甲之年应该有些经验了。这60年间我们在社会主义建设中进行了多少工程建设,其中成功的多,失败的也不少。究竟有多少经验教训总结成书,留给后人?这是人民劳动的精神结晶、国之瑰宝啊!不



去收获是很可惜的。我于十几年前,就提出要研究工程事理学,总结新中国建国以来工程发展方面的经验教训,上升为理论,以便今后做得更好。可是少有兴趣的。

作者当仁不让,勇敢承担起编著《大型客机设计》这一艰巨任务,使我大为振奋!我们终于有了中国人自己写出来的、以自己的实践经验为主要依据的、并能符合新形势下培养飞机设计与制造专业教学要求的客机设计的新型教科书了。

本书特色可用“实”、“新”和“全”三个字来概括。

“实”是指从实践中来,书中的内涵实实在在,不管是感性知识,还是理性知识,都是有根有据的,有中国人自己的经验作后盾。40多年的航空工程研制经验,两种大型客机的成功,其本身就是宝贵的财富。关于大型客机,我们终于有了自己的设计,自己的制造,自己的系统工程和自己的创新经验。

这个“实”有三层意思:第一层,40年的经验教训都明摆着,我们克服了重重困难前进了。也就是说,不管经验或教训,都经过实践考验了,被实践承认了的。第二层,民机研制比军机研制透明度大,受保密限制少,容易信息共享,大家可以分享实际的经验教训。如果换了军机,麻烦多了。第三层,实际知识理论再好,看谁来总结。作者亲自参与这个过程40年,很多是亲身经历,近水楼台先得月,这就是第三层的“实”。正如作者所说:“由于技术的发展,改善飞机设计是非常细微的、各方差距不大的激烈竞争。要能走到前沿,必须有独到之处。”这就是大实话,就是经验之谈。

“新”是指力求在教材中引入新的知识和技术。这在书中随处可见:系统工程是一门新学科,在钱学森先生等人的努力下,发展成整个一大科学部门,称为“系统科学”,与自然科学并立。系统工程是组织管理大项目的新技术,一般飞机设计中不讲,但它能让人建立系统概念和全局观点,是一种科学的办事方略,作为现代飞机总体设计人员,不可不知。我国航空航天工程研制部门,都推行系统工程式的组织管理,上海商飞公司也不例外。过去我们一直希望工程技术人员必须懂得工程管理,本书第2章就介绍客机系统工程,并与适航性保证相结合,这个安排很合理。

在客机设计中,计算流体力学已得到广泛的应用,用于设计超临界翼型,不仅能获得好的性能,还可以大量减少风洞试验工作量,介绍这项成果可观、节时省钱的技术创新,是教材内的一个技术亮点。现代飞机设计中已经广泛采用CAD(计算机辅助设计)和CAM(计算机辅助制造)技术,更新的进展是制作虚拟样机,虚拟的仿真样机。可通过远地联网组织异地无纸化设计、异地加工产品、把过去的“扩散”加工与网络技术结合起来,创造出新效益;经物流网运输、总装、试飞,大大改变了飞机生产体制,表明一种新模式的诞生。书中指出采用主动驾驶的侧杆操纵后,摆脱了驾驶盘或驾驶杆,改善了驾驶舱布局。这些都是新亮点。

“全”是指知识面的全面型和系统性。“客机系统工程”内容安排在本书第2章,使全书的开头就给读者介绍一个全面、系统的概念,同时把全局的科学管理突显出来,这对于培养一位客机总体设计人员无疑是成功的。作者特别重视客机的使用技术性能。



过去讲飞机设计时对使用技术要求只是一笔带过,本书详细介绍了美国三角航空公司对150座短程客机的使用技术要求,是一个创举!也是民用飞机设计教材的“全”的特点。本书第10章中提出大型客机应先分段再设计布局,从多学科角度展开结构布局,这体现了一种新视野。一般客机的气动布局都是正常式,本书为扩大读者的技术视野,除在第4章讲述无尾式、鸭式与正常式的区别外,在第14章还特地选出波音公司的无尾融合式和鸭式气动布局大型飞机,并在参考资料栏列出5架“我国拥有自己知识产权的民用飞机”,其中最早的已有54年历史。这又体现一个“全”字。

说到传力,机翼-机身主接头是典型不过了。它们把机翼气动载荷传到机身,以与机舱内的酬载平衡,起着关键作用。书中用图片解释了机翼传力路线和翼根4个大接头的受力分析,是别开生面的,集中了“实”、“新”和“全”三个特点,给人以一种踏实、清新和惊异的感觉。

有了“实”“新”和“全”三大特点,这本书就有了自己的特色,琳琅满目,别开生面。我很高兴,我国终于有了一本主要建筑在本国研制经验基础上,而且具有独特风格的飞机设计教科书!

可是,话要说回来,任何一本教科书都有其特定对象。量体裁衣,是单件生产的通则。但任何科学都有它自身的体系,如果对这门课程所提要求太多太杂,以至矛盾纠结,书的编撰者也将无所适从。作者长期从事飞机设计工作,设计就是协调矛盾、解决矛盾,以其设计经验解决教科书内容上的取舍矛盾,自无困难。所以这种基础与附加、一般与特殊、继承与创新的矛盾,在本书的内容组织上是处理得妥贴的。

设计一架飞机须有大量的知识、理论和经验垫底,这对于编写一本好书同样是不可或缺的。本序一开头所提到的65年前的尴尬处境是必然的,因为当时学生的认知系统没有建立。人的认知系统是靠各种信息组成的。各人的认知系统不同,其认知能力也各异。只要不痴呆,人的认知系统一直是在发展的。我们的学习、工作和生活,都在不断完善这套认知系统。一本好书不但告诉我们是什么,怎么做,还将告诉我们怎么去思维、去分析综合事物,学会正确思维,将帮助我们更好地构建我们的认知系统。

张锡纯

前言

全国人民、全世界都关注我国发展大型客机项目。这个项目对国家的作用可以概括为5点：

(1) 它是建设创新型国家的标志性工程，是振奋民族精神、增强民族凝聚力和自豪感的争气工程。

(2) 它是国家工业之花，对提高我国自主创新能力、增强国家核心竞争力，将发挥巨大的推动作用，是国家综合实力的反映。

(3) 它是国民经济新的经济增长点，国民经济建设的支柱产业。

(4) 它是人民“出行”不可缺少的行业。

(5) 航空-制空权是国家安全的保障。

通过观察国内外物流事业大发展的实际效果，通过分析两次用常规武器控制领空的海湾战争实例，可知航空在战争中、航空运输业在国民经济中起着重大作用。研究考察美国、俄罗斯等国的国民经济的组成、对外贸易结构，航空占了相当大的比重。特别是民用飞机具有独特的地位和作用。

20世纪60年代之后，随着欧洲空中客车公司的崛起，苏联的解体，美国波音系列和欧盟空客系列的涡扇动力大型客机有着快速发展、占据世界大客机市场的绝大部分份额。我国70年代同期研制的运十飞机在试飞后却被冻结了，致使中国的天空，没有自己的拥有知识产权的大客机，实乃国家的羞辱。

我国发展大客机的重要性已经离开知识界的争论，成为国家的意志。这个项目的发 展将对全世界民航客机工业布局、市场营销产生重大影响。

为适应这一形势，总结我几十年从事航空科研与航空教育的经验，为大客机撰写有关大客机设计的书就是我晚年想做的事。

在此，要感谢同济大学航空航天与力学学院提供了这样的机会，让我能为飞机设计和制造专业的学生写书。

感谢学院仲政院长的支持，感谢原上海飞机设计与研究所的同事们的帮助与支持，感谢原上海飞机制造厂厂长、上海航空学会理事长王文斌的关心与支持，感谢不久前去世的、原航办副主任、国家大飞机论证组成员薛德馨的重视与关怀。

本书的写作大纲承上海飞机研究所所长、大飞机顾问组秘书长吴兴世研究员的过目与补充。在此深表谢意。

我衷心感谢原航空工业部民机局副局长、运十工程组组长、现中国航空工业部科技



委顾问郑作棣研究员从大客机发展需要,对本书提出的建议,本书增补了市场分析的最新资料 and 第 10 章关于飞机气动弹性强度、破损安全损伤容限、复合材料应用等方面的讲述。

本书承北京航空航天大学飞行器总体设计和系统工程领域的张锡纯教授全面评阅,张教授着重提出应详述系统工程理论对飞机发展的深刻作用和实际操作使用。强调教科书为专业教学所用,强调教科书应开拓大学生眼界和引导发展创新思维,应告诉学生大客机的世界发展趋势。第 2 章客机系统工程、第 9 章的第 5 节、第 6 节及第 14 章是在张锡纯教授建议下编写的。在此我十分感谢我的老师在他 90 多岁高龄时对我的支持和指导。

书中关于虚拟样机图片与技术是由广东昌盛飞机设计有限公司提供的,在此我感谢昌盛公司的总经理兼总设计师周济生先生对我的帮助。感谢上海飞机设计研究所的施永毅先生,帮助我收集了众多资料。

本书依据国际民航组织公布的适航条例,汇集上海设计、制造、试飞大型旅客机——运十的实践经验、制造销售麦道公司 MD82 和 MD90 的工程经验以及上海东方航空公司和上海航空公司的运行经验,并参考美、俄、英等航空大国有有关民用飞机的书刊资料组织编写。在这里要感谢上海飞机设计研究所、上海飞机制造厂、上海东方航空公司和上海航空公司提供的宝贵经验和资料,感谢民用飞机行业中热心关注本书编写的在职的或退休的工程技术人员。

本书是为民用飞机设计和制造专业本科生的教学需要而编写,也是一本适用于航空工业、航空科技界人士阅读的参考书,对于有兴趣了解民用飞机工程的人士来说,又是一本入门的阅读书籍。

缩略语

ACN	Aircraft Classification Number	飞机等级号
ACN-PCN 法	Aircraft Classification Number-Pavement Classification Number	定义机场路面强度和飞机机轮真实载荷影响的标准方法
ACT	Active Control Technology	主动控制技术
ADAMS	Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System	机械系统自动动力分析
AFP	Automated Fiber Placement	自动化纤维铺放技术
AIMS	Airplane Information Management System	飞机信息管理系统
ASDA	Accelerate-Stop Distance Available	加速-停止距离(m)
ASM	Available Seat Mile	可用客座英里
ATL	Automated Tape Laying	自动条带铺设技术
BWBB	Bended Wing Body	翼身融合体飞机
CCAR	China Civil Aviation Regulations	中国民用航空规章
CDL	Configuration Deviation List	构形更改清单
CDU	Control Display Unit	控制显示器
CFD	Computational Fluid Dynamics	计算流体动力学
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer/Plastic	碳纤维增强复合材料
C. G	Center of Gravity	重心
DAPCA	Development and Procurement Costs of Aircraft	飞机发展与采购费用
DFA	Design for Assembly	面向装配的设计
DFM	Design for Manufacturing	面向制造的设计
DFT	Design for Test	面向测试的设计
DFC	Direct Force Control	直接力控制
DFW	Dead Fuel Weight	死油重量(kg)
DOC	Direct Operating Cost	直接使用成本
FAA	Federal Aviation Agency	联邦航空管理署



FAR	Federal Airworthiness Requirement	联邦适航要求
FMC	Flutter Mode Control	颤振模式控制
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System	增强型近地警告系统
GDP	Gross Domestic Product	国内生产总值
GLA	Gust Load Alleviation	突风载荷减缓
GLARE	Glass-Reinforced Aluminum Laminate	玻璃纤维增强铝合金层板
GMCS	Ground Maneuver Camera System	地面机动摄像系统
IOC	Indirect Operating Cost	间接使用成本
ICAO	International Civil Aviation Organization	国际民航组织
LCD	Liquid Crystal Display	液晶显示器
L/D	Lift/Drag ratio	升阻比
LDA	Landing Distance Available	可用着陆距离(m)
LDR	Landing Distance Required	需用着陆距离(m)
MDO	Multidisciplinary Design Optimization	多学科设计优化技术
MEL	Minimum Equipment List	最少限度设备清单
MLC	Maneuver Load Control	机动载荷控制
MRW	Maximum Ramp Weight	最大滑行重量(kg)
MTOW	Maximum Take off Weight	最大起飞重量(kg)
MLDW	Maximum Landing Weight	最大着陆重量(kg)
MFW	MAXIMUM FUEL Weight	最大燃油重量(kg)
MZFW	Maximum Zero Fuel Weight	最大无油重量(kg)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA)	国家航空航天局(美国)
OASPL	Overall Sound Pressure Level	总声压电平(dB)
OEW	Operational Empty Weight	运营空重(kg)
PCN	Pavement Classification Number	路面等级号
QEC	Quick Engine Change	发动机快速更换
RFW	Reserve Fuel Weight	最大商载备用油量(kg)
RC	Rate of Climb Indicator	爬升率($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
RD	Rate of Descent Indicator	下滑率($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
RQC	Ride Quality Control	乘坐品质控制
RSS	Relaxed Static Stability	放宽静稳定度



RTM	Resin Transfer Moulding	树脂转移法成型技术
RTO	Rejected Takeoff	发动机失效, 放弃起飞
SLI	Speech Interference Level	会话干扰级
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data	产品数据交换标准
TFW	Track Fuel Weight	最大商载航段用油(kg)
TOC	Total Operating Cost	总使用成本
TODA	Take-off Distance Available	可用起飞距离(m)
TODR	Take-off Distance Required	需用起飞距离(m)
TORA	Take-off Run Available	可用起飞滑跑距离(m)
TORD	Take-off Run Required	需用起飞滑跑距离(m)
TOSS	Take-off Safety Speed	起飞安全速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
TZ	Total Turnover Amount	总周转量($\text{t} \cdot \text{km}$)
VPT	Virtual Prototyping Technology	虚拟样机技术
XML	Extensible Markup Language	可扩展标记语言

符号表

a	音速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
a_H	高度 H 的音速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
$a_{\text{平均}}$	平均减加速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
a	前轮至飞机重心前限距离(m)
a_i	回归指数
A_{ai}	翼静力矩($\text{kg} \cdot \text{m}$)
A_f	机身最大横截面面积(m^2)
B	主轮距(m)
b_i	回归指数
b	前主轮距(m)
b_f	机身宽度(m)
$\overline{C}$	机翼平均气动力弦长(m)
$\overline{C_o}$	机翼平均相对厚度(m)
$\overline{C_{cp}}$	前视方向机翼平均相对厚度(m)
C	重量系数
C_{payl}	目标商载重量系数
C_{serv}	额定供应品及服务装备重量重量系数
C_{crew}	机组及乘务组重量系数
C_{const}	机体结构重量系数
C_{engin}	动力装置重量系数
C_{syst}	系统设备重量系数
$C_{\text{f\&-oil}}$	燃油油料重量系数
C_{regul}	可调节重量系数
$C_{\text{fuel max}}$	最大燃油重量系数
C_{empty}	空机重量系数
C_D	阻力系数
C_{D_i}	诱导阻力系数
C_{fuel}	发动机油耗(公斤燃油/h/公斤推力)
C_h	发动机小时耗油量($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
C_K	发动机公里耗油量($\text{kg} \cdot \text{km}^{-1}$)
C_e	巡航飞行的耗油率(公斤/推力公斤小时)
C_L	升力系数



$C_{L\max}$	最大升力系数
C_{Ls}	失速升力系数
$C_{L\text{着陆}}$	飞机着陆形态升力系数
$C_{L\max\text{着陆}}$	飞机着陆形态的最大升力系数
C_{Lw}^a	机翼升力线斜率
C_{Lh}^a	水平尾翼升力线斜率
C_{m0}	零升力矩系数
C_m^a	迎角静稳定性
$C_m^{\delta e}$	升降舵效能系数
δ_e	升降舵偏角度
C_L^β	横向静稳定性
C_n^β	方向静稳定性
C	总费用
C_i	分项目费用
$C_{\text{发展支援}}$	发展支援费用
$C_{\text{飞行试验}}$	飞行试验费用
$C_{\text{制造材料}}$	制造材料费用
$C_{\text{发动机}}$	发动机生产费用
$C_{\text{电子}}$	航空电子设备费用
D	阻力(kg)
d_{ai}	$\frac{1}{2} S_{ai}$ 面积质量中心之间的距离(m)
d_i	回归指数
D_f	机身最大直径(m)
DOC_{fuel}	巡航状态下的燃油费用(元 $\cdot$ h $^{-1}$)
d_a/d_N	裂纹扩展斜率
d_{ij}	城市 i 、 j 之间的航程,或航空票价,或其他社会经济变量
e	翼展效应系数
FTA	飞行试验机架数
F	每次航线飞行的座公里燃油费用(元)
$F_{\text{平均}}$	平均减速力(kg)
f	滚动摩擦系数,刹车摩擦系数
G_1	结构件裂纹应变能释放率
G_{1c}	材料的应变能释放率
H	起落架高度(m)
H	升限(m)
h_f	机身全高(m)
H_E	工程工时
H_T	工艺装备工时



H_M	制造工时
H_Q	质量控制工时
i	各项目序号
K	升阻比, 回归系数, 校准常数、引力系数, 起飞着陆滑行等因素的修正系数
$K_{\text{接地}}$	着陆形态的升阻比
K_{to}	起飞形态升阻比
K_b	燃油备份系数
$K'V$	燃油容积系数
K_f	机身形状系数
K_h	尾翼区气流阻滞系数
K_{door}	门窗开口结构系数
K_{lg}	主起落架舱结构系数
K_{ws}	机翼载荷引起的结构系数
K_l	结构件裂纹尖端应力强度因子
K_{lc}	材料的应力强度因子
L	升力(kg)
L_W	机翼升力(kg)
L_t	平尾配平力(kg)
L_f	前小翼配平力(kg)
L_r	后缘活动面配平力(kg)
L_f	机身全长(m)
L_{kc}	全经济舱的客舱长度(m)
L_{fc}	后机身收缩段长度(m)
$\text{LDR}=1.15 \times 1.57 \times l_R$	需用着陆距离(m)
l	翼展(m)
l_{ai}	副翼展长(m)
l_h	水平尾翼力臂(m)
l_v	垂直尾翼尾力臂(m)
$l_{\text{下滑}}$	下滑距离(m)
l_a	离地到 10.5 米高度场道段空中飞行距离、着陆进场距离(m)
l_R	着陆滑跑距离(m)
l_i	平衡场长(m)
L	航程公里
Ma	马赫数
M_{dd}	翼型阻力发散马赫数
M_{∞}	远方气流马赫数
M_l	垂直前缘马赫数
M^*	表示在设计状态得到超临界气流所应用的气动技术的完善程度



$Ma_{\max}$	发动机最大 Ma 数
$MK_{\max}$	最佳气动效率值
MN	兆牛
MPa	兆帕
m	米
m_Z^{CL}	飞机静稳定性指标 纵向静稳定性
$\Delta m_Z^{c_z}$	静稳定余度
$(dC_m/dC_L)_{n_z=1}$	速度静稳定性
N_{seat}	座级数
n	航班座位数
N_{crew}	客舱服务员人数
$N_{\text{发动机}}$	总产量乘以每架飞机的发动机台数
n_z	破坏过载系数
$p=W/S$	翼载荷($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
p_0	海平面的大气压
p_H	高度 H 的大气压
P_f	航空燃油单价(元/kg)
Δp	气密舱内外压差
$\Delta p_{\max}$	气密座舱承受的最大压差
P_i, P_j	城市 i, j 的国民生产总值或人口、或其他社会经济变量
P_i, P_j 和 d_{ij}	外生变量
$q_{\text{机翼}}$	机翼单位面积结构重量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
$q_{\text{水平尾翼}}$	水平尾翼单位面积结构重量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
$q_{\text{垂直尾翼}}$	垂直尾翼单位面积结构重量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
$q_{\text{短舱}}$	短舱单位面积重量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
q_{skin}	机身单位面积蒙皮重量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
q_f	机身单位外面积结构重量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
Q	总产量
R	机身蒙皮处的半径
R	小时劳务费
Re	雷诺数
$R_{\text{半径}}$	盘旋半径(m)
Range	航程(km)
R_E	工程工时小时费率
R_T	工艺装备小时费率
R_Q	质量控制小时费率
R_M	制造小时费率
S	机翼面积(m^2)
$S_{\text{前视}}$	机翼前视图最大截面面积(m^2)



$S_{\text{操纵面}}$	机翼上活动面总面积(m^2)
$S_{\text{副翼}}$	全副翼面积(m^2)
$S_{\text{副翼对应机翼}}$	全副翼对应的机翼面积(m^2)
$S_{\text{平尾}}$	平尾面积(m^2)
$S_{\text{垂尾}}$	垂直尾翼面积(m^2)
$S_{\text{机身}}$	机身浸湿面积(m^2)
$S_{\text{短舱}}$	短舱内外蒙皮表面面积之和(m^2)
$\overline{S_{\text{fc}}}$	单位燃油耗油率 $[\text{kg}/(\text{h} \cdot \text{daN})]$
T	发动机推力(kg)
$T_{\text{需用}}$	发动机需用推力(kg)
$\overline{T}$	单位进气量的推力($\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$)
t_0	发动机起飞推重比
t/c	机翼平均相对厚度
T_{max}	全机发动机最大推力(kg)
T	起飞发动机工作推力之和(kg)
T_i	剩余发动机的慢车推力(kg)
$t_{\text{涡轮进口}}$	涡轮进口温度
$t_{\text{盘旋}}$	盘旋一周时间(s)
Time	续航时间(h)
T_{ij}	城市 i 、 j 之间的航空运输量
V	机翼油箱内的燃油容积
$V_{\text{平尾}}$	平尾容量
$V_{\text{垂尾}}$	垂直尾翼容量
v_{EF}	临界发动机失效瞬间的校正空速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
v	飞行速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
v_1	决策速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
v_r	$v_r = 1.05v_s$ 抬前轮速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
v_{loF}	$v_{\text{loF}} = 1.15v_s$ 起飞离地速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
v_2 即起飞安全速度 TOSS	$v_2 = 1.2v_s$ 收起起落架($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
v_s	失速速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
$v_{\text{接地}}$	着陆接地速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
$v_{\text{上升}}$	爬升速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
$v_{\text{平飞}}$	平飞速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
$v_{\text{下滑}}$	下滑速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
$v_{\text{盘旋}}$	盘旋速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
$v_{\text{巡航}}$	平均巡航速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
$v_{\text{经济}}$	经济巡航速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
v_{maxr}	远航速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)



$v_{\min}$	最小平飞速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
$v_{\max}$	最大飞行速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
$v_{y\max}$	最大爬升率($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
C_e	航程因子
W	飞机总重(kg)
W_{payl}	目标商载(kg)
W_{serv}	额定供应品及服务装备(kg)
W_{crew}	机组、空勤人员及随身携带物品(kg)
W_{engin}	动力装置重(kg)
W_{syst}	各项系统设备重(kg)
$W_{\text{f\&-oil}}$	各项油料重(kg)
W_{psg}	旅客重(kg)
W_{bagg}	行李重(kg)
W_{post}	邮件重(kg)
W_{goods}	货物重(kg)
W_{TO}	起飞重(kg)
W_{bw}	基本重(kg)
W_{empty}	空机重(kg)
$W_{\text{slidefuel}}$	滑行燃油重(kg)
$W_{\text{机翼}}$	机翼结构重量(kg)
$W_{\text{机身}}$	机身结构重量(kg)
$W_{\text{水平尾翼}}$	水平尾翼结构重量(kg)
$W_{\text{垂直尾翼}}$	垂直尾翼结构重量(kg)
$W_{\text{起飞着陆}}$	起飞着陆装置重量(kg)
$W_{\text{主起}}$	主起落架重量(kg)
$W_{\text{主轮胎}}$	主起落架轮胎总重量(kg)
$W_{\text{前起}}$	前起落架重量(kg)
$W_{\text{前轮胎}}$	前起落架轮胎总重量(kg)
$W_{\text{操纵}}$	操纵系统重量(kg)
$W_{\text{动力}}$	动力装置总重量(kg)
$W_{\text{短舱}}$	短舱重量(kg)
W/δ_H	折算重量
$\overline{X}_{\text{cg}}$	全机重心位置
X_{cg}	飞机重心纵向位置(m)
Y_{cg}	飞机重心垂直位置(m)
$\overline{X}_f$	焦点位置
$\overline{X}_{\text{全机焦点}}$	全机焦点位置
$\Delta \overline{X}_f$	安装尾翼后翼身组合焦点后移量