国家出版基金项目

大飞机出版工程 总主编/顾诵芬
民机先进航电系统及应用系列
主编/冯培德 执行主编/金德琨

民用飞机机载总线与网络

陈长胜 范祥辉 邱征/编著
牛文生 金德琨/审校

Airborne Databus and Network for Civil Aircrafts



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

大飞机出版工程　总主编／顾诵芬
民机先进航电系统及应用系列
主编／冯培德　执行主编／金德琨

民用飞机机载总线与网络

Airborne Databus and Network for Civil Aircrafts

陈长胜　范祥辉　邱征／编著
牛文生　金德琨／审校

上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是大飞机出版工程“民机先进航电系统及应用系列”丛书之一。机载总线和网络是机载系统中的重要组成部分，用来实现设备之间的数据通信。本书介绍了民用飞机机载总线和网络的基本概念、技术特点及其发展过程，阐述了机载总线和网络开发以及评估的方法和准则。结合目前民用飞机上常用的机载总线和网络总结了其技术特点和典型应用，论述了机载总线和网络研制过程中的确定性、安保性、网络管理等关键技术，并简单介绍了时间触发以太网、无线网络等近年来出现的一些新型的机载网络技术。

本书适合从事航空电子系统设计以及机载总线和网络设计的技术人员阅读和参考，也可供大学本科与研究生相关专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

民用飞机机载总线与网络/陈长胜，范祥辉，邱征编著. —上海：
上海交通大学出版社，2019
大飞机出版工程
ISBN 978-7-313-21656-4

Ⅰ. ①民… Ⅱ. ①陈…②范…③邱… Ⅲ. ①民用飞机—机载计算机—总线②民用飞机—机载计算机—计算机网络 Ⅳ. ①V247.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 150052 号

民用飞机机载总线与网络
MINYONG FEIJI JIZAI ZONGXIAN YU WANGLUO

编 著 者：陈长胜 范祥辉 邱 征
出版发行：上海交通大学出版社　　地　　址：上海市番禺路 951 号
邮政编码：200030　　电　　话：021-64071208
印　　制：上海盛通时代印刷有限公司　　经　　销：全国新华书店
开　　本：710mm×1000mm 1/16　　印　　张：25
字　　数：337 千字
版　　次：2019 年 12 月第 1 版　　印　　次：2019 年 12 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 978-7-313-21656-4
定　　价：248.00 元

版权所有 侵权必究
告读者：如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话：021-37910000

大飞机出版工程
丛书编委会

总 主 编　顾诵芬（航空工业集团公司科技委原副主任、中国科学院和中国工程院院士）

副总主编　贺东风（中国商用飞机有限责任公司董事长）

林忠钦（上海交通大学校长、中国工程院院士）

编 委 会　王礼恒（中国航天科技集团公司科技委主任、中国工程院院士）

王宗光（上海交通大学原党委书记、教授）

刘　洪（上海交通大学航空航天学院原副院长、教授）

任　和（中国商飞上海飞机客户服务公司副总工程师、教授）

李　明（航空工业集团沈阳飞机设计研究所科技委委员、中国工程院院士）

吴光辉（中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、中国工程院院士）

汪　海（上海交通大学航空航天学院研究员）

张卫红（西北工业大学副校长、教授）

张新国（中国航空工业集团原副总经理、研究员）

陈迎春（中国商用飞机有限责任公司 CR929 飞机总设计师、研究员）

陈宗基（北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授）

陈　勇（中国商用飞机有限责任公司工程总师、ARJ21 飞机总设计师、研究员）

陈懋章（北京航空航天大学能源与动力工程学院教授、中国工程院院士）

金德琨（航空工业集团公司原科技委委员、研究员）

赵越让（中国商用飞机有限责任公司总经理、研究员）

姜丽萍（中国商用飞机有限责任公司制造总师、研究员）

曹春晓（航空工业集团北京航空材料研究院研究员、中国工程院院士）

敬忠良（上海交通大学航空航天学院原常务副院长、教授）

傅　山（上海交通大学电子信息与电气工程学院研究员）

民机先进航电系统及应用系列

编委会

主　　编　冯培德（中国航空工业集团公司科技委副主任、中国工程院院士）
执行主编　金德琨（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）
编　　委　（按姓氏笔画排序）
王国庆（中国航空工业无线电电子研究所原所长、研究员，上海交通大学教授）
王金岩（中国航空工业无线电电子研究所所长、研究员）
牛文生（中国航空工业西安航空计算技术研究所党委书记、研究员）
成　伟（民航东北地区管理局审定处原副处长、研究员）
肖　刚（上海交通大学航空航天学院副院长、教授）
吴建民（中国航空工业无线电电子研究所副总工程师、研究员）
陈骊醒（中国航空工业西安飞机工业（集团）有限责任公司副总经理）
周贵荣（中国商用飞机有限责任公司副总设计师、研究员）
赵清洲（陕西千山航空电子有限责任公司党委书记、董事长、研究员）
徐　明（中国航空综合技术研究所总工程师、研究员）
敬忠良（上海交通大学航空航天学院原常务副院长、教授）
蒋　欣（中国商飞北京民用飞机技术研究中心副主任、研究员）
程宇峰（中国航空工业集团公司雷华电子技术研究所所长、研究员）
曾　利（中国电子科技集团副总工程师、研究员）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

总序

国务院在2007年2月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项，得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者，这是历史赋予的使命和挑战。

1903年12月17日，美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功，标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为20世纪最重大的科技成果之一，是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物，也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展，应用和体现了当代科学技术的最新成果；而航空领域的持续探索和不断创新，为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一，直至立项通过，不仅使全国上下重视起我国自主航空事业，而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过50多年的风雨历程，当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强，在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用，我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想，在2016年造出与波音737和空客A320改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而，大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类，集成了数

学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科，是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战，迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料，总结、巩固我们的经验和成果，编著一套以“大飞机”为主题的丛书，借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点，同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养，具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008年5月，中国商用飞机有限责任公司成立之初，上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”，这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教1时，亲自撰写了《飞机性能捷算法》，及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》，翻译出版了《飞机构造学》《飞机强度学》，从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展50年的见证人，欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编，希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目，承担翻译、审校等工作，以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值，为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书，一是总结整理50多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验；二是优化航空专业技术教材体系，为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书，满足人才培养对教材的迫切需求；三是为大飞机研制提供有力的技术保障；四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来，旨在从系统性、

完整性和实用性角度出发，把丰富的实践经验进一步理论化、科学化，形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向，知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、工具书等几个模块；其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果，也包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如：2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的Aerodynamic Design of Transport Aircraft(《运输类飞机的空气动力设计》)，由美国堪萨斯大学2008年出版的 Aircraft Propulsion(《飞机推进》)等国外最新科技的结晶；国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》《民用飞机气动设计》等专业细分的著作；也有《民机设计1000问》《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助，体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命，凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果，具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性，既可作为实际工作指导用书，亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养，有益于航空工业的发展，有益于大飞机的成功研制。同时，希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空，并投身于中国航空事业做出一点贡献。

2009年12月15日

系列序

20世纪后半叶特别是21世纪初，信息技术的高速发展带动了其他学科的发展，航空信息化、智能化加速了航空的发展。航空电子已成为现代飞机控制和运行的基础，越来越多的重要功能有赖于先进的航空电子系统来实现。先进的航空电子系统已成为飞机先进性的重要标志之一。

如果将发动机比作飞机的“心脏”，航空电子系统则称得上是飞机的“大脑”和“中枢神经系统”，其性能直接影响飞机的自动化和智能化水平，对飞机的安全性、经济性、舒适性、可用性等有重要的作用。由于航空电子系统地位特殊，因此当今主流飞机制造商都将航空电子系统集成与验证的相关技术列为关键技术，这也是我国亟待突破的大飞机研制关键技术。目前，国家正筹备航电专项以提升航空电子系统的自主研发和系统集成能力。

随着国家对航空产业的重视，在“十二五”“十三五”民机科研项目的支持下，在国产大飞机研制的实践中，我国航空电子系统在综合化、模块化方面取得了很大的进步。本系列图书旨在将我国广大工程技术人员在航空电子技术方面多年研究成果和实践加以梳理、总结，为我国自主研制大型民用飞机助一臂之力。

本系列图书以“民机先进航电系统及应用”为主题，内容主要涵盖航空电子系统综合技术、飞行管理系统、显示与控制系统、机载总线与网络、飞机环境综合监视、通信导航监视、航空电子系统软件/硬件开发及适航审定、客舱与机载信息系统、民机健康管理系统、飞行记录系统、驾驶舱集成设计与适航验证、系统安全性设计与分析和航空电子适航性管理等关键性技术，既有理论又有设计方法；既有正在运营的各种大型飞机航空电子系统的介绍，也有航空电子发展趋势的展望，具有明显的工程实用性，对大飞机在研型号的优化和新机研制具有参考和借鉴价值。本系列图书适用于民用飞机航空电子

研究、开发、生产及管理人员和高等学校相关专业师生，也可供从事军用航空电子工作的相关人员参考。

本系列图书的作者主要来自航空工业无线电电子研究所、航空工业西安航空计算技术研究所、航空工业雷华电子技术研究所、航空工业综合技术研究所、中国电子科技集团航空电子公司、航空工业陕西千山航空电子有限责任公司、上海交通大学以及大飞机研制的主体单位——中国商用飞机有限责任公司等专业的研究所、高校以及公司。他们都是从事大飞机航空电子系统研制的专家和学者，在航空电子领域有着突出的贡献、渊博的知识和丰富的实践经验。

大型民用飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想，制造出先进的国产大飞机已经成为每个航空人奋斗的目标。本系列图书得到2019年国家出版基金的资助，充分体现了国家对“大飞机工程”的高度重视，希望该套图书的出版能够为国产大飞机的研制服务。衷心感谢每一位参与编著本系列图书的人员，以及所有直接或间接参与本丛书审校工作的专家学者和上海交通大学出版社的“大飞机出版工程”项目组，在大家的共同努力下，这套丛书终于面世。衷心希望本系列图书能切实有利于我国航空电子系统研发能力的提升，为国产大飞机的研制尽一份绵薄之力。

由于本系列图书是国内第一套航空电子系列图书，规模大、专业面广，作者的水平和实践经验有限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正！

民机先进航电系统及应用系列编委会

前言

飞机主体、发动机、机载系统是构成现代民用飞机的三大组成部分。作为飞机机载系统的核心部件，机载总线和网络的主要功能是可靠、及时、安全地实现不同设备之间和机载系统之间的信息交换，是机载系统的“神经中枢”。

机载总线和网络的需求来自机载系统，发展过程也是随机载系统功能以及架构的发展而不断发展的。以航空电子系统为例，其系统架构发展经历了从分立式、联合式到综合化等多个阶段，相应的机载网络拓扑结构也从最早期的点到点结构、点到多点结构发展到后来的总线型结构，以及当前普遍采用的星型交换式网络结构，形成了 ARINC 429、ARINC 629 和 ARINC 664P7 等众多的机载总线和网络标准，具有不同的传输速率、拓扑结构、帧格式等技术特点。为方便叙述，本书将用于设备互连和信息交换的机载总线、网络统称为机载网络。

随着科学技术的进步和社会生产力的不断提升，以及人类社会融合程度的不断提升，航空运输系统也获得了快速的发展。机载系统的功能不断增强，功能类型和数量不断增长，在现代民用飞机中扮演着越来越重要的角色。计算机、信息处理、通信导航等相关技术的快速发展，为提升机载系统的功能、性能和现代民用飞机的功能、性能提供了重要的支撑。机载系统对机载总线与网络的数据传输性能和传输质量也提出了越来越高的要求，在保证安全性、可靠性等指标的前提下不断提升传输速率、通信带宽等性能指标，同时还要满足安保性等一些新的要求。

因此，研究机载网络的技术特点、发展过程、关键技术以及未来发展趋势，对于促进我国航空工业的自主发展，提升航空装备自主可控能力是非常必要的。

本书首先介绍了机载总线和网络的基本概念、技术特点以及发展过程，结合民机机载网络研制中应当遵循的标准、指南和手册，分析了机载网络的开发过程，以及机载网络各个层次协议的评估准则和方法。本书还对目前民用飞机中常用的各种机载网络的通信协议、典型应用等做了简单的介绍，并对这些机载网络进行了对比分析。此外，本

需要全本请访问 www.ertongbook.com

书从确定性、安保性、网络管理等几个方面总结了机载网络设计过程中的关键技术，并简单介绍了时间触发以太网、无线网络等近年来出现的一些新型的机载网络技术。由于本书中涉及的标准，更多地是关注标准的内涵，而不是对特定版本标准的解读，因此除非特殊需要（如说明标准的发展过程）外，不特别标注标准的版本信息。

中国航空工业集团有限公司西安航空计算技术研究所范祥辉、邱征、张双、冯源、闫海明、张旭、刘智武、王建宇、李雯、朱志强、周耿，以及中国航空无线电技术研究所的徐晓飞等同志参加了本书的编写，牛文生等同志对本书进行了审阅。由于作者知识有限，本书存在的不足之处，欢迎各位读者批评指正。

目录

1 机载总线与网络概论 / 1

1.1 基本概念 / 3

1.1.1 计算机网络 / 3

1.1.2 机载网络及标准 / 5

1.1.3 机载网络域 / 6

1.1.4 机载网络特点 / 10

1.2 机载网络基础知识 / 16

1.2.1 网络参考模型 / 16

1.2.2 网络拓扑结构 / 18

1.2.3 网络传输介质 / 21

1.2.4 网络数据编码 / 23

1.2.5 数据校验 / 25

1.2.6 流量控制 / 28

参考文献 / 29

2 机载网络发展过程 / 31

2.1 航空电子系统发展过程 / 33

2.2 机载网络发展过程 / 38

2.2.1 军用飞机机载网络发展过程 / 39

2.2.2 民用飞机机载网络发展过程 / 41

参考文献 / 49

3 机载网络开发与评估 / 51

3.1 机载网络开发 / 53

3.1.1 机载网络的研制工作内容 / 55
3.1.2 机载网络开发方法 / 56
3.1.3 机载网络开发过程 / 59
3.2 机载网络评估 / 69
3.2.1 物理层 / 69
3.2.2 数据链路层 / 77
3.2.3 网络层、传输层和网络管理 / 84
3.2.4 应用服务 / 101
3.2.5 容错机制 / 108
3.2.6 设计保证 / 118
参考文献 / 123

4 典型机载网络介绍 / 125

4.1 MIL-STD-1553B 总线 / 127
4.1.1 概述 / 127
4.1.2 协议介绍 / 129
4.1.3 物理特性 / 135
4.1.4 典型应用 / 137
4.2 ARINC 429 总线 / 138
4.2.1 概述 / 138
4.2.2 协议介绍 / 138
4.2.3 物理特性 / 141
4.2.4 典型应用 / 143
4.3 ARINC 629 总线 / 143
4.3.1 概述 / 143
4.3.2 协议介绍 / 145
4.3.3 物理特性 / 152
4.3.4 典型应用 / 153
4.4 ARINC 659 总线 / 154
4.4.1 概述 / 154

4.4.2 协议介绍 / 156
4.4.3 物理特性 / 160
4.4.4 典型应用 / 162
4.5 ARINC 825 总线 / 163
4.5.1 概述 / 163
4.5.2 协议介绍 / 165
4.5.3 物理特性 / 181
4.5.4 典型应用 / 183
4.6 TTP 总线 / 184
4.6.1 概述 / 184
4.6.2 协议介绍 / 185
4.6.3 物理特性 / 197
4.6.4 典型应用 / 198
4.7 航空电子标准通信总线 / 200
4.7.1 概述 / 200
4.7.2 协议介绍 / 202
4.7.3 物理特性 / 207
4.7.4 典型应用 / 207
4.8 商业标准数字总线 / 208
4.8.1 概述 / 208
4.8.2 协议介绍 / 209
4.8.3 物理特性 / 212
4.8.4 典型应用 / 214
4.9 ARINC 664P7 网络 / 215
4.9.1 概述 / 215
4.9.2 协议介绍 / 216
4.9.3 物理特性 / 226
4.9.4 典型应用 / 227
4.10 ARINC 818 网络 / 230
4.10.1 概述 / 230
4.10.2 协议介绍 / 231
4.10.3 物理特性 / 236
4.10.4 典型应用 / 238

4.11 机载网络对比 / 239
参考文献 / 246

5 机载网络关键技术 / 249

5.1 网络确定性分析技术 / 251
5.1.1 网络仿真 / 254
5.1.2 网络演算 / 260
5.1.3 轨迹法 / 266
5.2 网络安保技术 / 270
5.2.1 网络安保方法 / 270
5.2.2 网络安保与应用安保 / 271
5.2.3 密码与非密码安保机制 / 272
5.2.4 深度安全防御 / 279
5.2.5 安保框架的示例 / 280
5.2.6 日志审计 / 284
5.3 网络管理技术 / 285
5.3.1 系统架构 / 285
5.3.2 网络管理协议 / 286
5.4 网络加卸载技术 / 298
5.4.1 ARINC 615 协议 / 298
5.4.2 ARINC 615A 协议 / 302
5.5 网络配置技术 / 309
5.5.1 配置输入 / 310
5.5.2 网络配置设计 / 313
5.5.3 配置示例 / 315
5.6 网络验证技术 / 318
5.6.1 指导性文件 / 319
5.6.2 验证要求 / 319
5.6.3 验证模型和方法 / 321
5.6.4 典型验证过程 / 323

参考文献 / 328

6 机载网络新发展 / 331

6.1 时间触发以太网 / 333

6.1.1 概述 / 333

6.1.2 技术特点 / 334

6.1.3 典型应用 / 337

6.2 无线网络 / 340

6.2.1 ARINC 822 网络 / 341

6.2.2 WAIC 网络 / 344

参考文献 / 349

缩略语 / 350

索引 / 364

需要全本请访问 www.ertongbook.com