



航天科技图书出版基金资助出版

航天电子互联技术

潘江桥 周德祥 等 编著



中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

航天电子互联技术

潘江桥 周德祥 等 编著



中国宇航出版社

·北京·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天电子互联技术/潘江桥等编著. -- 北京:

中国宇航出版社, 2015. 12

ISBN 978 - 7 - 5159 - 1078 - 9

I. ①航… II. ①潘… III. ①航天器-电子技术

IV. ①V4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 322391 号

责任编辑 彭晨光

责任校对 祝延萍 封面设计 宇星文化

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com

经销 新华书店

发行部 (010)60286880 (010)68371900(传真)
(010)60286887 (010)60286804(传真)

零售店 读者服务部
(010)68371105

承印 北京画中国印刷有限公司

版次 2015 年 12 月第 1 版
2015 年 12 月第 1 次印刷

规格 787 × 1092

开本 1/16

印张 23.75

字数 534 千字

书号 ISBN 978 - 7 - 5159 - 1078 - 9

定价 168.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

航天科技图书出版基金简介

航天科技图书出版基金是由中国航天科技集团公司于2007年设立的，旨在鼓励航天科技人员著书立说，不断积累和传承航天科技知识，为航天事业提供知识储备和技术支持，繁荣航天科技图书出版工作，促进航天事业又好又快的发展。基金资助项目由航天科技图书出版基金评审委员会审定，由中国宇航出版社出版。

申请出版基金资助的项目包括航天基础理论著作，航天工程技术著作，航天科技工具书，航天型号管理经验与管理思想集萃，世界航天各学科前沿技术发展译著以及有代表性的科研生产、经营管理译著，向社会公众普及航天知识、宣传航天文化的优秀读物等。出版基金每年评审1~2次，资助10~20项。

欢迎广大作者积极申请航天科技图书出版基金。可以登录中国宇航出版社网站，点击“出版基金”专栏查询详情并下载基金申请表；也可以通过电话、信函索取申报指南和基金申请表。

网址：<http://www.caphbook.com>

电话：(010) 68767205, 68768904

《航天电子互联技术》 编委会

主任 王燕林
成员 林荣 周德祥 姚全斌 赵凡志 史进朝
 暴杰 何伟 张东明 王冲 薛强
 王丽娜 王轶

编写人员

主编 潘江桥
副主编 周德祥 赵元富 赵凡志
编者 (按姓氏笔画排列)
王冲 王茉 王强 史进朝 冯小成
华苇 孙磊 苏艳玲 李冬梅 李国丛
李春辉 何伟 林玉婕 林建京 练滨浩
赵钺 赵志勇 贺晋春 高庆 曹玉生
曾令迪 廖声冲 暴杰 薛强

自序

中国航天历经近 60 年的发展，取得了载人航天、月球探测、北斗卫星导航、高分辨率对地观测等一系列举世瞩目的成就。航天技术作为高新技术的重要组成部分发挥了不可替代的作用，通过航天人的奋力拼搏、集智攻关，实现了一次次重大的技术跨越。

航天电子互联技术是航天技术的重要一环，为实现航天电子产品的高性能、小型化、轻量化发挥着巨大作用。纵观国内外发展，电子互联技术一直得到各国政府的高度重视，德国提出的工业 4.0，预示工业将进入以信息物理融合系统为基础，以生产高度数字化、网络化、机器自组织为标志的第四次工业革命，以电子互联技术为基础的集成电路必将是此次变革的重要支撑；我国也发布了《中国制造 2025》，强化核心基础零（部）件、先进基础工艺、关键基础材料和产业技术基础等工业基础能力被列为战略任务和重点，以集成电路及专业装备为代表的“新一代信息技术产业”被列入了大力推动的 10 个重点领域，要求重点掌握高密度封装及三维（3D）微组装技术，提升封装产业和测试的自主发展能力。

从航天型号研制和生产的角度看，随着载人航天工程、月球探测工程、第二代卫星导航系统、高分辨率对地观测系统、大推力运载火箭等国家重大科技专项和重大航天工程任务逐渐走向深入，对航天电子产品在性能、小型化、环境适应性等方面提出了更高的要求，迫切需要提升航天电子互联技术水平。

本书充分总结了近年来航天电子互联技术发展所取得的成果，体现了航天特色，紧密跟踪电子互联技术深度融合的发展趋势，将微观封装与宏观电装有机地结合在一起。本书既是一本理论教材，也是一本工具参考书，必将为航天电子互联技术的继承与发展发挥极大的促进作用。

电子互联技术领域十分活跃，技术更新换代飞快，我希望，更多的科技工作者能投身到航天电子互联技术的研究中来，不断开拓创新，为航天电子互联技术取得更大发展做出贡献！

作者
2015.12

前 言

当前，随着国内外电子产品朝着高性能、微型化方向发展，微组装技术、SiP技术等新技术不断涌现，宏观电子产品与微观电子产品表现出日趋融合的发展趋势，原本较为分明的一级和二级互联的界限也随着技术的应用逐渐模糊。同时，由于电子产品的小型化，各级互联间的相互影响日趋显著，尤其是一、二级互联间表现得更为明显，元器件封装、印制板制造不合理导致的后续电子产品组装失效的案例屡见不鲜，迫切需要系统地研究分析电子互联的全过程，以达到提升电子产品质量的目的。

从航天工程自身而言，由于其具有系统性、高风险等特点，航天器在发射及太空运行期间将面临恶劣的环境考验，包括高真空、强辐射、高量级振动、极端温度等，因此，航天电子互联技术作为航天技术的重要支撑，有其自身显著的特点，以适应航天产品高可靠的要求。

为此，中国航天电子技术研究院组织编写了本书，以适应宏观电子产品与微观电子产品进一步融合的发展趋势，固化航天电子互联技术自身的经验与成果，进一步明确后续的发展思路。

本书共9章，主要包括单片集成电路封装技术、混合集成电路互联技术、微波组件组装技术、印制电路板制造技术、印制电路板组装件互联技术、整机装联技术、电子互联可靠性分析与验证、航天电子产品数字化制造技术等内容。

本书系统总结、提炼了航天电子互联技术的内涵、发展现状、主要技术及取得的成果，可作为相关型号科研生产的工具参考书，具有很好的实用价值，对航天电子互联技术水平的整体提升具有很好的促进作用；同时，本书分析了航天电子互联技术的发展趋势，明确了后续的发展方向。其具体特点如下：

1) 突出电子互联技术融合的发展趋势。对微组装、SiP等体现融合发展的新技术进行了系统的阐述，对各级互联技术之间的相互关系及影响进行了系统分析并提出了应对措施。

2) 突出航天特色。全书围绕航天特色的电子互联技术进行论述，以流程为牵引，以

方法为重点。同时，系统梳理了航天电子产品研制过程中的典型故障，分析了原因，并提出了改进措施；针对航天电子互联技术的各项分技术分别梳理了航天特殊要求及禁忌，并分析了禁用相关技术的原因。

本书主要面向从事航天电子互联技术的工程技术人员及管理人员，也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

在本书的编写过程中，潘江桥、周德祥、赵元富、赵凡志、史进朝、华菁、王冲等参与了全书策划，林建京、练滨浩参与了第1章编写，冯小成、曹玉生、贺晋春参与了第2章编写，李冬梅、练滨浩、王某参与了第3章编写，林玉婕、何伟参与了第4章编写，苏艳玲、王强、暴杰参与了第5章编写，李春辉、赵钺参与了第6章编写，赵志勇、曾令迪、何伟参与了第7章编写，李国丛、廖声冲、何伟参与了第8章编写，高庆、孙磊、薛强参与了第9章编写。周德祥、林建京、华菁、暴杰参与了全书的统稿，王轶参与了全书的审校。

在此，衷心感谢为本书编著付出努力的各级技术人员及管理人员，感谢给予指导的有关专家及领导！

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见！

作者
2015.12

目 录

| | |
|-------------------------------------|----|
| 第 1 章 概 述 | 1 |
| 1.1 航天电子互联的概念 | 1 |
| 1.2 航天电子互联技术在航天制造技术领域的地位和作用 | 2 |
| 1.3 航天电子互联的发展简史 | 3 |
| 1.4 航天电子互联的技术展望 | 4 |
| 第 2 章 单片集成电路封装技术 | 7 |
| 2.1 概述 | 7 |
| 2.2 单片集成电路封装原材料 | 9 |
| 2.2.1 引线键合封装工艺原材料 | 10 |
| 2.2.2 CBGA/CCGA 封装工艺原材料 | 12 |
| 2.2.3 倒装焊芯片封装工艺原材料 | 13 |
| 2.3 单芯片封装技术 | 14 |
| 2.3.1 内部互联 | 15 |
| 2.3.2 外部互联 | 23 |
| 2.4 集成电路封装设计 | 27 |
| 2.4.1 封装设计概述 | 27 |
| 2.4.2 封装设计内容 | 28 |
| 2.5 单片集成电路试验与检测 | 33 |
| 2.5.1 单片集成电路封装工艺过程检测 | 33 |
| 2.5.2 单片集成电路成品检验试验 | 38 |
| 2.5.3 单片集成电路可靠性验证 | 40 |
| 2.6 单片集成电路对电子产品装联的影响 | 45 |
| 2.6.1 集成电路内部互联材料对电装过程中焊接温度的要求 | 45 |
| 2.6.2 各种封装形式对电子产品装联的影响 | 46 |
| 2.7 典型故障 | 48 |
| 2.7.1 芯片粘接系统失效 | 48 |
| 2.7.2 互联系统失效 | 49 |
| 2.7.3 内部多余物引起的失效 | 53 |

| | |
|--|-----------|
| 2.7.4 电路封装的典型缺陷分析 | 54 |
| 2.8 航天特殊要求及禁忌 | 57 |
| 2.9 展望 | 57 |
| 2.9.1 面向高密度发展 | 57 |
| 2.9.2 面向系统级封装 (SiP) 技术的发展 | 57 |
| 2.9.3 从单芯片封装 (Single Chip Package, SCP) 向多芯片组件 (MCM) 发展 | 58 |
| 2.9.4 面向三维 (Three Dimension, 3D) 微组装技术的发展 | 58 |
| 参考文献 | 59 |
| 第3章 混合集成电路互联技术 | 60 |
| 3.1 概述 | 60 |
| 3.2 混合集成电路封装原材料 | 60 |
| 3.2.1 基板材料 | 60 |
| 3.2.2 导体材料 | 62 |
| 3.2.3 介质材料 | 62 |
| 3.2.4 封装材料 | 63 |
| 3.3 混合集成电路基板制备技术 | 63 |
| 3.3.1 低/高温共烧陶瓷基板制备工艺 | 63 |
| 3.3.2 混合集成电路薄/厚膜制备工艺 | 65 |
| 3.4 混合集成电路的组装 | 69 |
| 3.4.1 混合集成电路的组装工艺流程 | 69 |
| 3.4.2 混合集成电路的组装工艺技术 | 69 |
| 3.4.3 多余物控制技术 | 71 |
| 3.4.4 混合集成电路水汽控制与检测 | 72 |
| 3.5 混合集成电路试验与检测 | 73 |
| 3.5.1 混合集成电路封装工艺在线检测 | 73 |
| 3.5.2 混合集成电路试验 | 74 |
| 3.6 典型故障 | 77 |
| 3.6.1 大腔体外壳平行缝焊漏气问题 | 77 |
| 3.6.2 电容立碑失效 | 78 |
| 3.7 混合集成电路对电子产品装联的影响 | 79 |
| 3.8 航天特殊要求及禁忌 | 79 |
| 3.9 展望 | 79 |
| 参考文献 | 81 |
| 第4章 微波组件组装技术 | 82 |
| 4.1 概述 | 82 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 4.2 微波组件主要材料 | 84 |
| 4.2.1 微波电路板 | 84 |
| 4.2.2 微波组件壳体 | 87 |
| 4.2.3 微波组件载体基片 | 87 |
| 4.3 T/R 组件组装技术 | 88 |
| 4.3.1 不含裸芯片的 T/R 组件组装技术 | 88 |
| 4.3.2 含裸芯片的 T/R 组件组装技术 | 91 |
| 4.4 T/R 组件密封技术 | 97 |
| 4.4.1 胶粘剂密封 | 97 |
| 4.4.2 衬垫密封 | 98 |
| 4.4.3 玻璃金属封接 | 98 |
| 4.4.4 脉冲激光熔焊密封 | 100 |
| 4.5 T/R 组件检测与测试 | 101 |
| 4.5.1 T/R 组件发射电性能测试 | 101 |
| 4.5.2 T/R 组件接收电性能测试 | 104 |
| 4.5.3 T/R 组件自动测试系统 | 105 |
| 4.6 典型故障 | 106 |
| 4.6.1 案例 1: 耦合微带粘连 | 107 |
| 4.6.2 案例 2: 电容焊点断裂 | 107 |
| 4.6.3 案例 3: 尾丝不一致 | 108 |
| 4.7 航天特殊要求及禁忌 | 109 |
| 4.8 展望 | 109 |
| 参考文献 | 112 |
| 第 5 章 印制电路板制造技术 | 113 |
| 5.1 概述 | 113 |
| 5.2 基材 | 114 |
| 5.2.1 基材的选用 | 114 |
| 5.2.2 基材的分类 | 115 |
| 5.3 印制电路板制造工艺 | 118 |
| 5.3.1 典型工艺流程 | 118 |
| 5.3.2 主要工艺技术 | 119 |
| 5.4 印制电路板的检测 | 125 |
| 5.4.1 印制电路板的检测 | 125 |
| 5.4.2 印制电路板的试验 | 137 |
| 5.5 典型故障 | 143 |
| 5.5.1 案例 1: 印制电路板焊接后翘曲问题 | 143 |

| | | |
|-------|---------------------------------|-----|
| 5.5.2 | 案例 2: 印制电路板焊接后白斑问题 | 145 |
| 5.5.3 | 案例 3: 印制电路板过孔开路问题 | 146 |
| 5.6 | 印制电路板对电子产品装联的影响 | 147 |
| 5.6.1 | 设计工艺性对电装的影响 | 147 |
| 5.6.2 | 物理性能对电装的影响 | 148 |
| 5.6.3 | 化学性能对电装的影响 | 149 |
| 5.6.4 | 电气性能对电装的影响 | 149 |
| 5.6.5 | 玻璃化转变温度 (T_g) 对电装的影响 | 149 |
| 5.6.6 | 热膨胀系数 (CTE) 对电装的影响 | 150 |
| 5.7 | 航天特殊要求及禁忌 | 151 |
| 5.8 | 展望 | 152 |
| | 参考文献 | 154 |
| | 第 6 章 印制电路板组装件互联技术 | 155 |
| 6.1 | 概述 | 155 |
| 6.2 | 印制电路板组装件互联的通用要求 | 156 |
| 6.2.1 | 印制电路板 | 156 |
| 6.2.2 | 元器件要求 | 156 |
| 6.2.3 | 焊接材料 | 159 |
| 6.2.4 | 喷涂材料 | 161 |
| 6.2.5 | 粘固和灌封材料 | 161 |
| 6.2.6 | 环境要求 | 162 |
| 6.2.7 | 工具和设备要求 | 162 |
| 6.3 | PCA 组装前的预处理 | 162 |
| 6.3.1 | 镀金引线 (焊端) 除金 | 163 |
| 6.3.2 | 元器件搪锡 | 164 |
| 6.3.3 | 元器件引线成形 | 164 |
| 6.3.4 | 印制板预处理 | 165 |
| 6.3.5 | 元器件预烘 | 167 |
| 6.4 | 元器件安装 | 168 |
| 6.4.1 | 通孔插装技术 (THT) | 168 |
| 6.4.2 | 表面贴装技术 (SMT) | 169 |
| 6.4.3 | 混合安装技术 (MMT) | 172 |
| 6.5 | 焊接 | 172 |
| 6.5.1 | 软钎焊机理 | 172 |
| 6.5.2 | 焊接方法 | 175 |
| 6.5.3 | 典型元器件焊接 | 190 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 6.5.4 有铅无铅元器件混合焊接 | 192 |
| 6.6 清洗技术 | 195 |
| 6.6.1 印制电路板组装件污染物 | 195 |
| 6.6.2 清洗方法 | 196 |
| 6.6.3 清洗的质量控制 | 199 |
| 6.7 防护与加固 | 200 |
| 6.7.1 印制电路板组装件的防护涂覆 | 201 |
| 6.7.2 印制电路板组装件的加固 | 204 |
| 6.8 检测 | 211 |
| 6.8.1 元器件引线镀层检测 | 211 |
| 6.8.2 焊膏印刷质量检查 | 212 |
| 6.8.3 焊点缺陷检查 | 212 |
| 6.9 典型故障 | 215 |
| 6.9.1 案例 1: 焊点开裂 | 215 |
| 6.9.2 案例 2: 引线成形不足造成引线从本体处开裂 | 215 |
| 6.9.3 案例 3: 焊点虚焊 | 216 |
| 6.9.4 案例 4: 焊点桥连 | 217 |
| 6.9.5 案例 5: 印制板阻焊膜脱落 | 218 |
| 6.9.6 案例 6: 焊盘脱落 | 219 |
| 6.9.7 案例 7: 器件粘固不到位造成器件引线断裂 | 219 |
| 6.9.8 案例 8: CBGA 封装器件焊球与本体开裂 | 220 |
| 6.10 航天特殊要求及禁忌 | 221 |
| 6.10.1 焊接材料选用 | 221 |
| 6.10.2 端头处理工艺 | 222 |
| 6.10.3 引线成形工艺 | 222 |
| 6.10.4 元器件安装工艺 | 222 |
| 6.10.5 印制板组装件焊接工艺 | 223 |
| 6.10.6 清洗工艺 | 223 |
| 6.10.7 粘固工艺 | 223 |
| 6.10.8 印制板组装件修复与改装工艺 | 224 |
| 6.10.9 静电防护工艺 | 224 |
| 6.11 展望 | 224 |
| 6.11.1 导电胶互联技术 | 224 |
| 6.11.2 光电互联技术 | 225 |
| 6.11.3 微焊接技术 | 226 |
| 6.11.4 3D 立体组装技术 | 226 |

| | |
|---|------------|
| 参考文献 | 227 |
| 第 7 章 整机装联技术 | 228 |
| 7.1 概述 | 228 |
| 7.2 整机电气互联 | 228 |
| 7.2.1 星、箭载整机典型结构 | 229 |
| 7.2.2 地面整机结构 | 230 |
| 7.2.3 连接工艺 | 231 |
| 7.3 机械装配 | 253 |
| 7.3.1 星、箭载整机机械装配 | 253 |
| 7.3.2 地面机箱(柜)的机械装配 | 258 |
| 7.3.3 常用的安装紧固方式 | 261 |
| 7.4 整机防护与加固技术 | 271 |
| 7.4.1 产品的防护技术 | 271 |
| 7.4.2 整机产品的加固 | 273 |
| 7.5 检测 | 276 |
| 7.5.1 检测内容 | 277 |
| 7.5.2 检测环节 | 278 |
| 7.5.3 检测方法 | 278 |
| 7.5.4 重点检测项目 | 279 |
| 7.6 典型故障 | 279 |
| 7.6.1 案例 1: 减振器减振垫脱落问题 | 280 |
| 7.6.2 案例 2: J7A 型插座壳体锈蚀问题 | 280 |
| 7.6.3 案例 3: 某配电器印制板外引线压线导致绝缘下降问题 | 281 |
| 7.6.4 案例 4: 平台定位螺钉弯曲问题 | 281 |
| 7.6.5 案例 5: 灌胶工艺不细化造成三通接插件胶液不密实问题 | 282 |
| 7.6.6 案例 6: 某压力开关插座常开接触对不导通质量问题 | 283 |
| 7.7 航天特殊要求及禁忌 | 284 |
| 7.8 展望 | 284 |
| 参考文献 | 286 |
| 第 8 章 电子互联可靠性分析与验证 | 287 |
| 8.1 概述 | 287 |
| 8.2 电子产品工艺失效分析技术 | 288 |
| 8.2.1 失效分析的基本程序和方法 | 289 |
| 8.2.2 失效分析检测技术 | 292 |
| 8.3 电子产品筛选试验 | 294 |
| 8.3.1 振动试验 | 294 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 8.3.2 温度循环试验 | 300 |
| 8.3.3 老炼试验 | 305 |
| 8.4 可靠性验证试验 | 306 |
| 8.4.1 寿命试验 | 306 |
| 8.4.2 加速试验 | 311 |
| 8.4.3 环境试验 | 323 |
| 8.5 展望 | 333 |
| 参考文献 | 335 |
| 第9章 航天电子产品数字化制造技术 | 337 |
| 9.1 概述 | 337 |
| 9.2 航天电子产品数字化制造的主体构架 | 338 |
| 9.2.1 软件系统层 | 338 |
| 9.2.2 数据层 | 339 |
| 9.2.3 产品层 | 340 |
| 9.3 基于模型的数字化工艺 | 342 |
| 9.3.1 设计模型的转换 | 342 |
| 9.3.2 印制板模拟装配 | 343 |
| 9.3.3 整机模拟装配 | 344 |
| 9.3.4 线束模拟装配 | 346 |
| 9.4 数字化工艺仿真 | 346 |
| 9.4.1 SMT 贴片仿真 | 346 |
| 9.4.2 集成电路焊接应力仿真 | 347 |
| 9.5 数字化制造模式 | 348 |
| 9.5.1 基于单元制造的车间制造执行系统 | 349 |
| 9.5.2 基于单元制造的 MES 作业执行管理 | 351 |
| 9.5.3 基于单元制造的 MES 质量管理 | 352 |
| 9.5.4 数据统计分析 | 353 |
| 9.6 展望 | 353 |
| 9.6.1 建立数字化协同模式 | 353 |
| 9.6.2 建立工艺知识专家系统 | 354 |
| 参考文献 | 355 |
| 附录 缩略语 | 356 |

第 1 章 概 述

1.1 航天电子互联的概念

电子技术是 20 世纪发展最迅速的新兴技术，其应用最广泛，已成为近代科学技术发展的一个重要标志。进入 21 世纪，人们面临的是以半导体和集成电路为代表，微电子技术、电子计算机和因特网为标志的信息社会，高科技的广泛应用使社会生产力和经济获得了空前的发展。电子互联作为电子技术的重要组成部分，在国防、科学、工业、医学、通信及文化生活等各个领域中都起着巨大的作用。

电子互联是电子产品制造的核心技术。在电子产品制造中，任何两个分立电气接点之间的连接称为互联；将数量众多的电子元器件、金属或非金属零部件、紧固件及各种规格的导线，按设计文件规定的技术要求，装配连接成整件或整机的技术称为电子互联技术，主要内容包含了芯片内部工艺互联、集成电路封装互联、印制电路板组装件互联和整机互联等 4 个等级的互联，互联级别如图 1-1 所示。

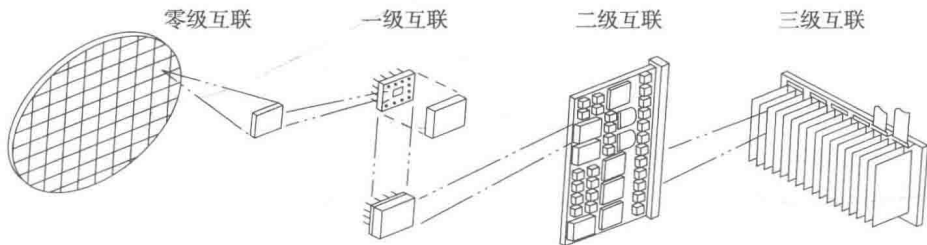


图 1-1 电子互联级别

电子互联级别按不同的连接对象可以分为如下 4 种。

1) 零级互联：芯片内部工艺互联，如利用金属布线、通孔等结构将芯片内部的晶体管之间按设计需要进行连接。零级互联属于微观工艺互联技术，本书中不做重点介绍。

2) 一级互联：集成电路封装互联，包括采用粘接材料将芯片与外壳粘接区连接，或者利用引线键合、载带焊接或倒装焊接等连接方式将芯片与外壳进行连接。

3) 二级互联：印制电路板组装件互联，是一种将多芯片和多元件组装到印制电路板的互联，采用焊料将元器件引出端与印制电路板焊盘进行连接。

4) 三级互联：整机互联，包括整机电气互联和整机装配互联。整机电气互联指的是印制电路板与印制电路板的互联，如用电连接器连接，将分别位于两块印制电路板组装件上的电连接器对插连接；整机装配互联指的是分系统到分系统、系统到系统的互联，如采用线束、线缆或无线方式将两个分系统或系统之间进行连接。

由于航天电子产品的特殊性，如在生产、运输、长期贮存、发射、飞行、太空运行、返回过程中或在战斗环境下要经受各种极为复杂和恶劣环境条件的严酷考验，为适应航天电子产品这种高可靠、高质量和小型化的要求，我国航天电子互联技术历经数十年努力得到了较大的发展。

本书中的航天电子互联主要介绍一级、二级和三级互联。

1.2 航天电子互联技术在航天制造技术领域的地位和作用

航天工程是天地一体化工程，需要对空间目标进行探测、跟踪、识别，如对卫星、飞船等空间飞行器进行测量、控制与信息传输，或实现空间通信、广播、遥感、导航定位等功能。航天电子技术研究是航天工程技术发展和产品现代化的基础，航天电子产品在航天工程领域有着广泛的应用，其性能是决定航天装备技术指标的重要因素。随着我国航天电子产品的设计水平和制造技术的发展，过去的一个线路单元、一个模块甚至一部单机，现在仅采用四边引线扁平封装或球栅阵列封装等封装形式的集成电路再加上少量外围线路即可取代。航天电子产品功能大幅度发展的同时，产品体积大幅度缩小，可靠性随之提高，实现方法是采用了支撑高密度、窄间距的电子互联技术。该技术也是电子产品实现模块化、智能化、复合化、高频率和在有限空间内组装功能更加复杂、高度综合集成的根本途径。

近年来为了适应航天电子产品集成化、高密度和质量小的要求，电子产品的组装密度急剧提高，组装难度明显加大，其中任何一个电子互联部分出现问题都将直接导致电子产品失效，并最终影响整个装备的质量和可靠性。目前，由工艺控制不当导致的工艺缺陷、设计缺陷等因素引发的印制电路板绝缘性失效和焊点疲劳失效等电子互联问题，已成为影响航天电子产品可靠性的主要原因。

在航天电子产品制造过程中，电子互联的作用分别如下：

1) 一级互联的主要作用是为芯片提供机械支撑和环境保护，接通芯片的电流通路，提供信号的输入和输出通路，提供散逸芯片产生热的热通路。一级互联质量直接影响着半导体器件的电、热、光和机械性能，还影响其可靠性，并且对电子产品的小型化起着十分重要的作用。一级互联技术在元器件领域通常称为封装技术。

2) 二级互联是实现印制电路板组装件的重要基础。随着航天型号对电子产品的要求不断提高，电子产品的性能也飞速发展，印制电路板也迅速更新换代，随之而来的是元器件和印制板使用的多元化，如表面贴装元器件的使用、多层印制电路板的使用等。新材料、新技术的不断应用，对印制电路板加工技术和组装工艺技术也提出了更高的要求。二级互联技术是电子产品装联工艺中的核心技术之一。

3) 三级互联是航天制造技术的重要组成部分，是航天电子产品从理论变成实物、成果转化为生产力的重要桥梁，是航天制造业的基础技术，是国家航天实力和技术水平的重要标志。为了适应航天市场竞争激烈和产品更新速度快、生产批量小、品种多的特点，提