

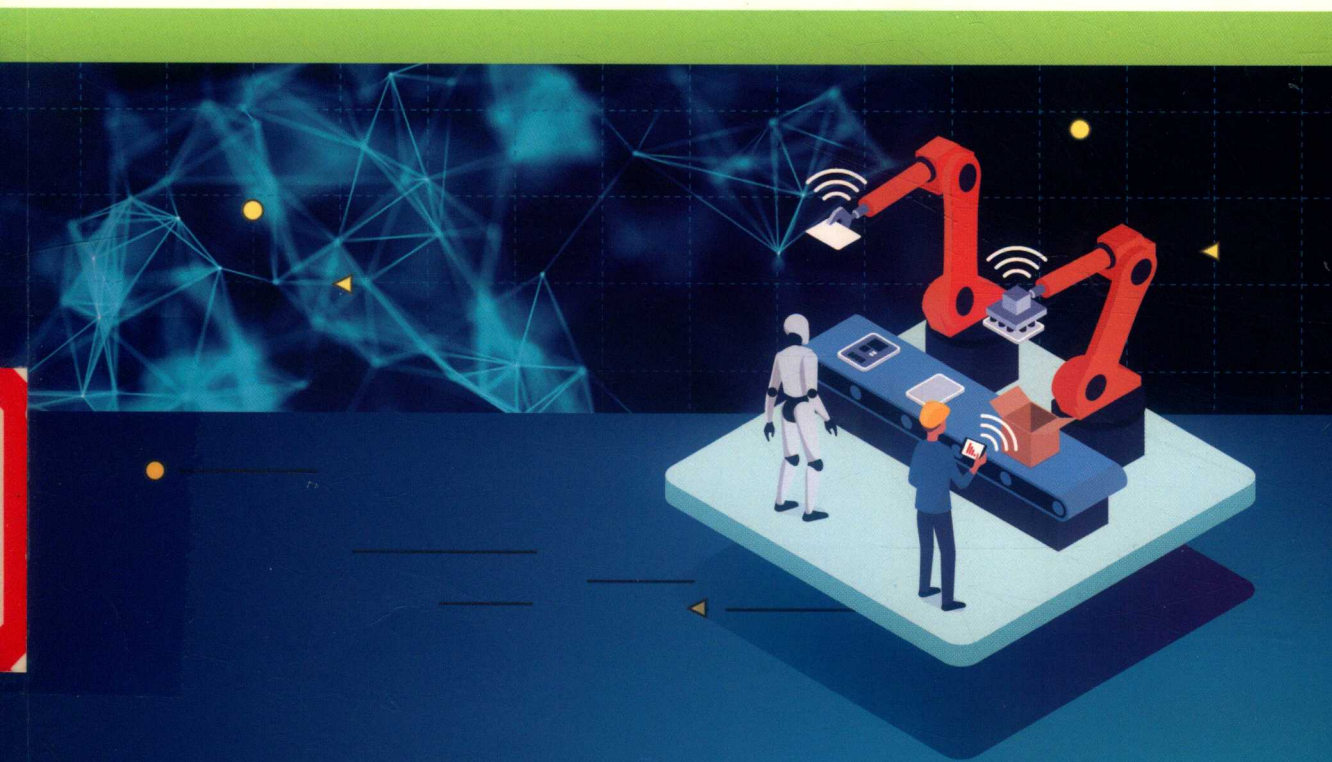


电子制造技术丛书
Electronic
Manufacturing

电子信息 · EII 精品

高可靠性电子产品 工艺设计及案例分析

◆ 王 威 张 伟 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子制造技术丛书

高可靠性电子产品 工艺设计及案例分析

王 威 张 伟 编著

贵州师范学院内部使用

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以提高电子产品可靠性为主线,从工艺角度系统介绍了包括设计、制造和使用维护在内的产品全寿命周期过程中各个环节和不同阶段的相关设计要求、设计方法和注意事项,内容涉及可制造性、可装配性、可测试性、可维护性等诸多方面。全书按照材料、零部件、单机、整机的层次进行叙述,分为元器件与材料工艺选型、可制造性设计、结构与防护设计。与国内同类书籍相比,本书具有内容更全面、角度更新颖、案例更典型、实用性更强等特点。

本书可作为电子产品结构设计师、电路设计师的参考手册,也可作为电装工艺师、产品质量工程师和检测工程师及电装操作人员的工作指导手册和培训教材,还可作为相关院校电子产品设计和工艺制造专业师生的参考和教学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高可靠性电子产品工艺设计及案例分析/王威,张伟编著. —北京:

电子工业出版社, 2019.12

ISBN 978-7-121-37663-4

I. ①高… II. ①王… ②张… III. ①电子产品—产品设计—案例

IV. ①TN602

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第242944号

责任编辑:张京

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:442千字

版 次:2019年12月第1版

印 次:2019年12月第1次印刷

定 价:69.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: mariams@phei.com.cn。

前 言

电子产品先进制造技术（简称电子制造技术），是当今社会影响最广泛、关联性最强、最具代表性的新技术之一，既是电子制造产业与电子信息产业的支撑技术和共性技术，又是衡量一个国家综合实力和科技水平的重要标志之一。随着电子技术、材料技术和信息技术的高速发展，以及生产日趋规模化和自动化，元器件技术与生产技术相互渗透，电子技术与计算机应用技术结合日益紧密，设计/制造一体化已成为普遍趋势，面向产品全寿命周期（DFX）的并行设计理念已被广泛接受。

新工艺和新材料应用，超小型化元器件和中大规模、超大规模集成电路的研制和推广，使电子产品在电路上和结构上发生了巨大变化，多功能、高精度、小型化、高集成、智能化、高可靠成为电子产品的普遍要求。随着产品性能的不断增强、复杂程度的不断提高和应用领域的不断拓展，对可靠性的要求日益提高，特别是在军工、通信、生命医疗和航空/航天等领域，电子产品的可靠性已成为衡量电子产品使用性能的重要指标。

产品的质量和可靠性是设计和制造出来的。在生产实践中，由于设计不良而导致的焊接缺陷层出不穷，特别是在批量和自动化生产过程中，一旦出现设计缺陷，往往会造成极大的损失。针对此类缺陷，仅凭改善操作方法和革新工艺技术往往是难以奏效的，必须在产品设计源头加以控制，即在设计之初考虑产品的可制造性。可制造性设计（DFM）是全寿命周期（DFX）的核心内容，它强调质量控制始于设计阶段，并贯穿于交货包装前的整个过程，是解决产品设计不良而造成焊接缺陷的最佳途径。

工艺设计是企业进行计划管理、技术装备、生产调度、原材料供应、劳动力调配及经济核算的技术指导，决定着企业采用什么加工方法、使用何种生产材料、怎样去制造产品等。工艺设计的目的是高效率、低成本、高可靠地制造产品，这与面向产品全寿命周期设计的核心思想是一致的，即“通过在设计阶段对产品的结构/工艺进行优化，对产品的性能进行预测，缩短产品开发周期，提高产品质量，降低产品成本”。

本书从产品全寿命周期的角度，系统地叙述了设计、制造和使用维护各阶段工艺设计的相关内容，包括可制造性、可装配性、可测试性、可维护性等。全书分为4篇，共10章，具体介绍如下。

基本概念篇：包括第1章和第2章，其中，第1章介绍了现代电子产品的特点和对可靠性的要求，指出了电子产品进行可靠性设计的意义；第2章介绍了电子产品工艺设计的概念、内涵和内容。该篇内容阐明了本书的根本目的，即通过工艺设计手段实现电子产品的高可靠性。

元器件与材料工艺选型篇：包括第3~5章，主要介绍了构成电子产品的几种主要材料的性能和选用要求等内容。其中，第3章介绍了电子元器件的工艺选型，第4章介绍了印制板（PCB）的工艺选型，第5章介绍了导线/电缆线与电连接器的工艺选型。由于焊料、助焊剂等辅助材料通常划归于组装工艺环节，而非工艺设计环节，故本书未做相关介绍。

可制造性设计篇：包括第6~8章，主要是对电子产品中几种典型的组件产品进行了分类介绍。其中，第6章介绍了PCB可制造性设计，第7章介绍了印制电路板组装件（PCBA）可制造性设计，第8章介绍了低频电缆组装件工艺设计。需要强调的是，PCB可制造性设计主要侧重于介绍可制作性设计的内容；PCBA可制造性设计则主要侧重于介绍可装配性设计的内容。另外，低频电缆组装件工艺设计中制作工艺的内容做了一些补充介绍，以提高内容的实用性。

结构与防护设计篇：包括第9章和第10章，其中，第9章重点介绍的是电子产品整机结构设计，包括设计原则、顺序和要求等，对结构设计的详细方法未做深入介绍。此外，书中还以案例形式对几种典型结构设计进行了介绍，但内容仍然立足于工艺设计；第10章重点介绍了影响电子产品可靠性诸多环境因素中的4种典型环境因素的防护设计，即热设计、抗振/缓冲设计、电磁兼容性设计和“三防”设计。与结构设计类似，防护设计的概念十分广泛且内容较复杂，限于篇幅，本书仍主要以工艺性内容为主，包括设计原则、流程和要求，对防护设计的详细方法未做深入介绍。

严格来讲，电子产品工艺设计还包括组装工艺的设计，但本书对此方面的内容未做过多介绍，其原因有二：一是组装工艺技术相对成熟，国内外很多相关书籍都有系统的介绍，进一步介绍的必要性不大；二是组装工艺技术在习惯上归为“生产类”技术，为了突出“设计”概念而与“组装技术类”书籍相区别，本书将此方面的内容省略。出于知识的系统性和全面性考虑，读者可另行选读相关书籍。

工艺设计是一门涉及门类极广、多学科交叉的经验类学科。工艺设计贯穿了产品从设计到材料、加工、装配、检验、试验、使用、维护的全寿命周期，涵盖了材料科学、工艺技术、制造工程、工业经济等诸多学科和领域，综合性和复杂性较强。

本书由王威和张伟编著。在本书编写过程中得到了王玉龙、刘剑、石宝松、孙慧、张兴亮、张艳鹏、田景玉、聂磊、付柯楠等同事的协助，王羚薇同志完成了全书的校稿工作，在此一并表示衷心的感谢！

由于时间仓促，加上作者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请业界专家批评指正！

编著者

目 录

基本概念篇

第 1 章 电子产品可靠性概述	3
1.1 现代电子产品的特点	3
1.2 电子产品的可靠性要求	4
1.3 电子产品可靠性简介	5
1.3.1 可靠性的概念	5
1.3.2 可靠性的分类	5
1.4 影响电子产品可靠性的主要因素	6
1.5 提高电子产品可靠性的主要措施	7
1.5.1 可靠性设计	7
1.5.2 可靠性试验验证	9
1.6 电子产品可靠性试验介绍	10
1.6.1 可靠性试验的目的	10
1.6.2 可靠性试验的分类	11
1.7 小结	13
第 2 章 电子产品工艺设计简介	14
2.1 工艺的基本概念	14
2.2 工艺设计的概念和内涵	15
2.3 工艺设计的方法和原则	16
2.4 工艺设计概念的拓展	17
2.4.1 并行工程的概念和内涵	17
2.4.2 DFX 的概念和内涵	19
2.4.3 DFX 是工艺设计概念的拓展	21
2.5 电子产品工艺设计内容	21

元器件与材料工艺选型篇

第 3 章 电子元器件的工艺选型	25
3.1 电子元器件工艺选型目的	25

3.2	电子元器件工艺选型原则	25
3.3	电子元器件工艺选型要求	27
3.3.1	尺寸要求	27
3.3.2	可焊性镀层要求	30
3.3.3	耐热性能要求	34
3.3.4	耐潮湿性能要求	37
3.3.5	防静电性能要求	41
3.3.6	元器件包装要求	43
3.3.7	其他工艺选型要求	44
3.4	常用电子元器件选用指南	44
3.4.1	电阻器选用	44
3.4.2	电容器选用	45
3.4.3	继电器选用	45
3.4.4	IC 等半导体器件选用	46
3.4.5	其他元器件选用	46
3.5	电子元器件选用工艺性检查	47
3.5.1	可获得性	47
3.5.2	经济性	47
3.5.3	可靠性	47
3.5.4	可制造性	48
3.5.5	可装配性	48
第 4 章	印制板 (PCB) 的工艺选型	49
4.1	PCB 的由来	49
4.2	PCB 工艺选型的目的	50
4.3	电子装联常用 PCB 分类及简介	50
4.3.1	按结构形式分类	50
4.3.2	按性能等级分类	53
4.3.3	按材料分类	53
4.3.4	按用途分类	55
4.4	PCB 生产工艺简介	56
4.4.1	生产工序	56
4.4.2	生产工艺	58
4.5	PCB 表面处理工艺简介	60
4.6	PCB 工艺选型要求	62

4.6.1	基材选择	62
4.6.2	厚度选择	63
4.6.3	镀层选择	64
4.6.4	结构/层数选择	64
4.6.5	外形及尺寸选择	64
4.6.6	平整度要求	65
4.6.7	尺寸公差要求	66
4.7	PCB 验收要求	67
4.7.1	验收标准	67
4.7.2	检验内容和可接受条件	69
第 5 章	导线/电缆线与电连接器的工艺选型	73
5.1	导线/电缆线的概念及简介	73
5.1.1	导线/电缆线的定义	73
5.1.2	导线分类及简介	73
5.1.3	电缆线分类及简介	75
5.2	导线/电缆线选用要求	76
5.2.1	一般要求	76
5.2.2	额定电压与额定电流要求	76
5.2.3	线径及安装强度要求	76
5.2.4	材料性能要求	77
5.2.5	射频电缆线选用要求	77
5.3	电子产品导线/电缆线选用指南	77
5.3.1	裸线的选用	77
5.3.2	电磁线的选用	78
5.3.3	绝缘电线的选用	78
5.4	电连接器的概念及简介	80
5.4.1	电连接器的定义	80
5.4.2	电连接器的分类及简介	81
5.4.3	电连接器的命名(标志)	83
5.4.4	电连接器适用标准	84
5.5	电连接器工艺选型要求	85
5.5.1	选用原则	85
5.5.2	功能选择	86
5.5.3	参数及结构形式选择	86

5.5.4	质量等级选择	90
5.5.5	型号、品种、规格选择	90
5.5.6	供货单位选择	91
5.6	电连接器选用案例	91

可制造性设计篇

第 6 章	PCB 可制造性设计	95
6.1	PCB 设计的概念及简介	95
6.2	PCB 可制造性设计要素	96
6.3	PCB 可制造性设计要求	96
6.3.1	加工文件要求	96
6.3.2	基材选用要求	97
6.3.3	厚度设计要求	99
6.3.4	结构设计要求	100
6.3.5	外形尺寸设计要求	101
6.3.6	拼板设计	101
6.3.7	PCB 拼板布局设计	106
6.3.8	PCB 拼板连接方式设计	108
6.3.9	线宽/线距设计	110
6.3.10	孔盘设计	112
6.3.11	阻焊设计	114
6.3.12	表面镀层选用要求	116
第 7 章	PCBA 可制造性设计	117
7.1	可制造性设计的基本概念	117
7.2	可制造性设计对生产的意义	118
7.3	PCBA 可制造性设计简介	119
7.4	PCBA 可制造性设计相关要素	120
7.5	PCBA 可制造性设计流程及原则	121
7.6	PCBA 可制造性设计要求	123
7.6.1	自动化生产传送和定位要素设计要求	123
7.6.2	组装工艺路径设计	129
7.6.3	元器件布局设计	132
7.6.4	表面贴装元器件焊盘设计	139
7.6.5	与焊盘连接的导通孔设计	155

7.6.6	盘中孔设计	157
7.6.7	插装元器件孔盘设计	159
第 8 章	低频电缆组装件工艺设计	162
8.1	低频电缆组装件简介	162
8.1.1	电缆组装件的概念	162
8.1.2	装备用低频电缆组装件分类	162
8.1.3	装备用电缆组装件制作材料介绍	164
8.2	装备用低频电缆组装件设计原则	170
8.3	装备用低频电缆组装件设计要求	171
8.3.1	电连接器的选用	171
8.3.2	导线/电缆线的选用	173
8.3.3	电连接器的接点分配	175
8.3.4	导线/电缆线与电连接器的匹配性要求	176
8.3.5	分支设计	178
8.3.6	电缆组装件的防护/保护设计	183
8.4	某星用低频电缆网设计案例	184
8.4.1	电连接器的选择	185
8.4.2	导线/电缆线的选择	188
8.4.3	接线表设计	189
8.4.4	电缆的分支设计	190
8.4.5	电缆网结构搭接设计	190
8.4.6	电缆组装件制作工艺要求	191

结构设计及防护设计篇

第 9 章	电子产品整机结构设计	195
9.1	电子产品整机结构设计简介	195
9.2	电子产品整机结构设计的内容	196
9.3	电子产品整机结构设计的基本原则	197
9.4	电子产品整机结构设计的顺序及要求	199
9.5	电子产品整机结构设计的工艺性要求	202
9.5.1	机电连接接口设计	202
9.5.2	布局设计	202
9.5.3	尺寸设计	203
9.5.4	组装结构设计	203

9.6	典型机械结构件设计及工艺性要求	204
9.6.1	机箱(柜)	204
9.6.2	底座	210
9.6.3	面板	212
9.6.4	其他常见零件	214
第 10 章	电子产品整机防护设计	216
10.1	电子产品整机防护设计简介	216
10.2	电子产品热设计	217
10.2.1	电子产品热设计的目的	217
10.2.2	电子产品散热系统简介	217
10.2.3	电子产品热设计的基本问题及要求	219
10.2.4	电子产品热设计原则	220
10.2.5	自然冷却系统设计	221
10.2.6	强迫风冷散热系统设计	222
10.2.7	液冷式冷板散热系统设计	224
10.2.8	其他冷却系统设计介绍	225
10.3	电子产品抗振/缓冲设计	226
10.3.1	电子产品抗振/缓冲设计简介	226
10.3.2	加固设计	227
10.3.3	隔振缓冲设计	230
10.4	电子产品电磁兼容性设计	232
10.4.1	电磁兼容性设计简介	232
10.4.2	电磁干扰的概念及简介	233
10.4.3	电磁干扰分类	234
10.4.4	电磁干扰抑制技术	235
10.4.5	电磁兼容性设计原则	236
10.4.6	接地设计	237
10.4.7	屏蔽设计	242
10.4.8	滤波设计	245
10.4.9	布线设计	247
10.4.10	电路抗干扰设计	248
10.5	某星载应答机电磁兼容性设计案例	249
10.5.1	整机的电磁兼容结构形式	250
10.5.2	机箱的电磁屏蔽设计	251

10.5.3 滤波设计	252
10.5.4 接地设计	253
10.6 电子设备“三防”设计	254
10.6.1 “三防”技术简介	254
10.6.2 “三防”技术的内容及其对电子产品的影响	254
10.6.3 “三防”设计内容	256
10.6.4 “三防”设计措施	257
附录 A 参考及引用标准	259
A.1 中华人民共和国国家标准 (GB)	259
A.2 中华人民共和国国家军用标准 (GJB)	259
A.3 中华人民共和国航天行业标准 (QJ)	259
A.4 中华人民共和国航空行业标准 (HB)	260
A.5 中华人民共和国电子行业标准 (SJ)	260
A.6 美国连接电子业协会标准 (IPC)	260
参考文献	262

基本概念篇

- 第1章 电子产品可靠性概述
- 第2章 电子产品工艺设计简介

常州师范学院内部使用

第1章 电子产品可靠性概述

1.1 现代电子产品的特点

电子产品是指利用电子技术制造出来的以电能为工作基础的相关产品，包括电力/电气设备和微电子仪器、设备和系统等。电子产品广泛应用于国防、国民经济各部门及人民生活的各个领域。

早期的电子产品主要以电子管为基础元件进行制造，功能比较简单，电路和结构也不复杂，制造难度不大。伴随着生产和科学技术的发展、新工艺和新材料的应用，以及超小型化元器件和中大规模、超大规模集成电路的研制和推广，电子产品在电路和结构上发生了巨大的变化，小型化、超小型化、微型化结构的出现，使得一些传统的设计方法逐渐被机电结合、光电结合等新技术所取代。

随着产品性能的不断增强、复杂程度的不断提高和应用领域的不断拓展，电子产品的可靠性要求日益提高，特别是在军用、通信、生命医疗和航空/航天等领域，电子产品的可靠性已成为衡量电子产品使用性能的重要指标。

与早期的电子产品相比，现代电子产品具有以下特点。

(1) 产品组成更复杂，组装密度更大

早期的电子产品通常由少量电子管及分立元件通过简单连接搭建而成，功能单一。现代电子产品通常具有多种功能，产品组成更复杂，元器件、零部件数量更多，同时产品的体积和质量更小，因此组装密度更大。尤其是超大规模集成电路及其衍生的各种功能模块的出现，使电子产品的组装密度较过去大幅提高。

(2) 设备使用范围广，所处工作环境复杂

随着应用场合的不断拓展，电子产品需要适应的工作环境的范围不断扩大。现代电子产品往往要在恶劣而苛刻的环境下工作，如地质钻探、海上作业、南极科考、深空探测等。此时产品需要承受高温、低温和巨大温差变化，高湿度和低气压，强烈的冲击和振动，外界的电磁干扰与宇宙射线辐射等。这些都会对电子产品的正常工作产生影响。

(3) 设备可靠性要求高、寿命长

早期电子产品由于结构简单、功能单一、所用元器件数量少，往往不容易出现

使用问题，而且即使偶尔出现故障，维修起来也相对容易。而现代电子产品复杂程度、精密性更高，元器件数量更多，如果出现故障，维修的难度和代价将大幅提升，因此要求具有更高的可靠性和足够长的工作寿命，而可靠性低的电子产品将失去使用价值。为获得高可靠性电子产品，不仅要求所使用的元器件质量等级更高，在电路设计和结构设计中也要做出更大的努力。

(4) 产品要求高精度、多功能和自动化

现代电子产品往往要求高精度、多功能和自动化，有的还引入了智能控制单元，因而其控制系统更为复杂。精密机械广泛地应用于电子产品是现代电子设备的另一大特点。自控技术、遥控遥测技术、计算机数据处理技术和精密机械的紧密结合，智能化的人机交互，使电子产品的精度和自动化程度达到了相当高的水平。

上述电子产品的特点，只是对整体而言，具体到某种产品又各具特点。当代电子产品具有上述特点，对电路设计和结构设计的要求更高，设计、生产人员只有充分了解这些特点，才能研制出满足使用要求的现代电子产品。

1.2 电子产品的可靠性要求

可靠性是产品质量的一个重要方面，通常所说的产品质量好包含两层意思：一是达到预期的技术指标，二是在使用中很可靠。可靠性直接关乎产品的使用性能，影响着客户体验和满意度，在军工、导航、通信及航空/航天等领域，可靠性是用户最为关注的核心指标之一。

评价一个电子产品，一是看功能是否先进、外观是否美观，这属于产品的电路及结构设计问题；二是看能否以高效率、低成本的方式制造出来，这属于产品的可制造性问题；三是看质量是否稳定、产品是否可靠，这属于产品的使用性问题。其中，电路和结构决定了电子产品的功能、外观和性能指标，是设计师关注的核心问题；产品的可制造性决定了设计方案能否以高效率、低成本的方式转化为实际产品，是制造厂家关注的重点；而产品的可靠性决定了产品能否在各种条件下经久耐用，是用户关注的问题，代表了产品设计水平，也是企业核心竞争力的重要体现。

随着材料技术、元器件技术和电子学设计技术的不断发展，电子产品的功能越来越复杂、集成度越来越高，对电子产品的可靠性也提出了更高的要求。提高产品的可靠性，使其发挥最佳性能，是提升一个电子产品品质的关键因素，也直接影响着最终用户的评价。电子产品的可靠性提升是一个极其重要且具备极大挑战的工作，从某种意义上说，提高了产品的可靠性也就提高了产品的核心竞争力，科技进步的体现就是产品质量的升级及可靠性的提高。