



装备科技译著出版基金

可靠性工程

Reliability Engineering

[美] 凯拉什·卡布尔(Kailash C. Kapur)
迈克尔·佩希特(Michael Pecht)

著

苏 艳

戴顺安

译

钱仲焱 审校



国防工业出版社

National Defense Industry Press

可靠性工程

Reliability Engineering

[美] 凯拉什·卡布尔 (Kailash C. Kapur) 著
迈克尔·佩希特 (Michael Pecht)
苏 艳 戴顺安 译
钱仲焱 审校

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2018-007 号

图书在版编目(CIP)数据

可靠性工程/(美)凯拉什·卡布尔
(Kailash C. Kapur),(美)迈克尔·佩希特
(Michael Pecht)著;苏艳,戴顺安译. —北京:国防
工业出版社,2018.9

书名原文:Reliability Engineering

ISBN 978-7-118-11662-5

I. ①可… II. ①凯… ②迈… ③苏… ④戴… III.
①可靠性工程 IV. ①TB114.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第183720号

Reliability engineering by Kailash C.Kapur, Michael Pecht

ISBN 978-1-118-14067-3

All rights reserved. This translation published under John Wiley & Sons license. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版。

版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 30 字数 546 千字

2018年9月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价108.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

译者序

可靠性是产品质量的一项重要指标。近年来,世界各发达国家已把可靠性和全面质量管理紧密地结合起来,有力地提高了产品的可靠性水平。可靠性问题不仅仅对一个产品的质量、企业的生产发展有关键的影响作用,还与我们每个人的的人身安全、企业经济效益乃至国家安全等都密切相关。重要关键产品的可靠性问题显得尤为突出,比如航空航天产品,任何一个零部件的失效都有可能导致耗资数亿元的航天项目失败;可靠性与经济性更为密切相关,只有把产品的可靠性作为发展准绳的企业,才具有较强的市场竞争力。可靠性是一门涉及多种科学技术的交叉学科,比如数学、失效物理学、设计方法学、实验技术、人机工程、环境工程、维修技术、生产管理、计算机技术等。因此,研究产品、项目乃至工程的可靠性问题,都是具有非常重大的意义。

本书从“可靠性工程是产品寿命周期中一系列技术与管理活动的集成”这一视角,整合了国外最新的可靠性技术与管理方法,提供了贯穿产品寿命周期的更加系统全面的可靠性理论方法与技术。全书内容共分 20 章(其中第 19 章为应原作者要求新增的内容),主要介绍了国外近几年在确定产品可靠性要求需考虑的原则和因素,产品设计、开发、生产、装配以及维修中的可靠性工程活动及其所用的技术方法,产品寿命周期中的可靠性试验设计及计划制定,可靠性工作程序和过程设计与管理等方面的可靠性理论研究与应用新发展、新成果,可更好地引导读者掌握近些年的可靠性思想理论。

本书所涉及可靠性工程内容已广泛应用于航空航天、电子、化工、机电等许多工程领域,可供从事产品设计、开发、生产与使用维护的工程技术及管理人员阅读参考,也可作为相关专业人员科学研究与教学参考书。

该书的翻译出版,得到了中国商用飞机有限责任公司钱仲焱部长的帮助,以及南京航空航天大学左洪福教授、廖文和教授、孙有朝教授、陈果教授等的关心与支持;国防工业出版社对于本书出版也给予了大力支持。在本书的翻译过程中,南京航空航天大学的李龙彪老师对部分章节专业术语进行了校核,课题组王辉与顾晨轩两位研究生对翻译与录入工作给予了帮助。在此一并致以诚挚的谢意。

将这本高水平且涵盖面甚广的、贯穿产品生命周期的可靠性工程专著译成中文,是一项艰巨的工作。尽管经过多次修改,已尽了最大努力,力求译文准确,但难免出现差错。此外,由于译者水平有限,译文中的不当之处在所难免,敬请读者批评、指正。

译者

2018年5月

前 言

人类已经开始依赖工程系统来执行他们的日常工作。从家庭和办公室到使用汽车和手机,我们所生活的环境在很大程度上是由这些设计系统的工程师们建设,他们将自己的想法带到了这个市场。

虽然工程系统有很多好处,但也存在风险。我们怎么知道一个建筑是安全可靠的?我们怎么知道在火车上的传感器会奏效?我们怎么知道安全气囊和刹车会在紧急情况下发挥其功效?不管有多少专家参与设计系统,失败的概率总是存在。因此,所有工程学科都需要可靠性。

如今可靠性工程已是一个复杂的跨学科领域。所有工程师不仅必须确保他们的设计和产品的可靠性,还必须能够分析和评估系统的哪部分产品可能容易失效。这需要工程师们在基础科学上拥有包括物理、化学、生物在内的广泛知识,并同时考虑成本和时间,对系统集成与系统工程这类更广泛的问题有深刻的了解。

这本书的目的是为贯穿整个产品生命周期的设计、工程以及可靠性管理活动提供一种集成方法。这本书适用于这些具备可靠性设计、制造并进行测试来保障产品可靠性实践方面的基础知识且感兴趣的人。同样,也适用于那些从事可靠性、维护性、安全性、保障性方面工作的团队。编写此书的目的是为使学生和从业人员全面了解可靠性工程。

本书分为 20 章(其中第 19 章是应原作者要求,由译者新增章节,第 20 章为原著第 19 章)。每章都由若干例子和问题组成,所涉及的引用话题是帮助读者深入研究更多细节。

第 1 章对 21 世纪可靠性工程进行了相关的概述和讨论。本章给出了可靠性的定义,并描述了可靠性、质量和性能之间的相互关系;拥有一件不可靠的产品后果,即给出一件失效产品事例;本章最后总结讨论了客户—供应商的可靠性目标和责任。它还讨论了产品可靠性的各种利益相关者,提出了 21 世纪可靠性程序管理和设计原则。

第 2 章介绍了可靠性的基本数学理论,在沟通可靠性方面提出了有用的可靠性措施(主要包括可靠性和不可靠性函数、概率密度函数、风险率、条件可靠性函数),关键失效到达时间指标(如平均无故障时间、平均故障时间、寿命百分数、各种随机变化的时刻),以及量化和评估可靠性的实用性。此外,也讨论了

浴盆曲线的特点以及在可靠性方面的应用。

第3章涵盖了可靠性相关概率的基本概念,包括统计分布及其在可靠性分析中的应用。给出了可靠性建模和风险评估常用的两个离散分布(二项式分布和泊松分布)和五个连续分布(指数分布、正态分布、对数正态分布、伽马分布和威布尔分布)、概率图和可靠性估计的图解法的概念及其应用实例。

第4章全面介绍了六西格玛以及六西格玛设计方法。解决包括设计和制造可靠性在内的复杂技术问题,需要集中技术突破的方法,六西格玛提供了一组工具。介绍了六西格玛,解释了过程转变的长期和短期的影响力以及工艺出品率。提供了六西格玛的历史概述,包括质量改进的深入讨论阶段和六西格玛实施的过程,提出了六西格玛质量改进优化问题、传递函数、方差传播和公差设计,并讨论了六西格玛设计的实现。

第5章讨论了可靠性工程在产品开发中的作用。产品开发是一个过程,这个过程认为需要一个产品会导致需求的定义,然后转变成设计。这一章引入了一个广泛的基本主题,包括产品生命周期概念、组织可靠性能力评估、零部件和材料选择、产品合格方法,并通过如故障模式影响、危害性分析、故障树分析以及物理失效方法的根本原因分析方法改进设计。

第6章涵盖了准备和记录实现可靠性目标的产品要求和相关约束的方法。需求定义直接来自于市场的需求和对产品生产的可能限制。讨论了需求、规范和风险跟踪,主要包括开发合格零部件的供应商,有效的供应链方法,产品的需求规格以及实现可靠性目标的需求跟踪。

第7章讨论了寿命周期环境的特点、寿命周期环境剖面(LCEP)的定义,LCEP开发步骤、寿命周期阶段、环境载荷及其影响,LCEP开发的考虑与建议,以及发展产品生命周期配置文件的方法,考虑可能事件、环境条件、产品寿命周期不同类型载荷等方面的产品寿命周期剖面开发方法。本章还给出了寿命周期载荷及其产品性能影响的评估方法。

第8章讨论了组织机构的可靠性能力。给出了能力成熟度模型和八项主要可靠性实践,即可靠性要求和规划、培训和开发、可靠性分析、可靠性测试、供应链管理、故障数据的跟踪和分析、验证和确认以及可靠性改进。

第9章讨论了零部件的选择和管理。首先,阐述了在实际选择过程中的关键要素,如功能性部件的性能分析、通过过程能力的生产过程质量分析以及平均出厂质量评价。然后,讨论了确保产品寿命周期持续接受能力的必要实践环节,如供应链、零部件改变、行业变化以及控制策略和风险管理概念。

第10章提出了一种新的方法——失效模式、机理和影响分析(FMMEA),用来识别所有潜在故障模式的潜在失效机制和模型以及优先失效机制。导致产品失效的失效机制知识建立,对于在可靠产品开发设计中实施恰当设计是至

关重要的。FMMEA 提升了故障模式及影响分析(FMEA)和失效模式、影响以及危害性分析(FMECA)的价值,它通过“高优先级失效机制”来帮助创建一个行动计划来减轻其影响。通过对 FMMEA 发现的原因和后果机制的认识有助于提高产品开发效率和成本效益。本章通过一个简单的电子电路板装配案例研究描述了 FMMEA 过程。还对失效机理识别方法、优先次序改进和风险分析以及进程文件进行了讨论,并通过一个案例研究说明 FMMEA 进程。

第 11 章涵盖了在设计阶段量化评估可靠性的基本模型和基本原则。基于物理失效模型,设计师可以理解底层的应力和强度变量,这些变量都是随机变量。这使得我们考虑越来越受欢迎的概率设计方法。因此,我们可以开发出可靠性和不同类型安全因素之间的关系。本章概述了统计公差,提出了零件公差和特点与可靠性之间的关系。

第 12 章讨论了降额和升额的概念,论证了一种零件使用方式(即零件应力水平)对各零件性能和可靠性的直接影响。本章介绍了用户如何修改基于从制造商评级、升额、降额的使用环境,包括确定升级的因素、降级方法与限性以及应力平衡。

第 13 章涵盖了可靠性评估技术。可靠性验证和测试的目的是确定产品的可靠性水平,必须采用以最少的测试获得最大的信息量的方式设计测试,为此,使用了各种统计技术。设计大量测试的主要问题是模拟真实的环境,产品在其寿命周期中容易受到许多环境因素影响,如温度、振动和冲击以及粗鲁的搬运,这些压力可能会遇到个别的、同时的或先后的因素,甚至其他随机因素。为此,本章给出了确定测试所需的样本量及其置信水平的相互关系,讨论了可靠性估计和成败测试的置信区间,以及当时间呈指数分布时候的故障,并通过案例研究提出了可靠性测试资格。

第 14 章描述了统计过程控制和过程能力。生产过程中的质量是衡量一个产品是否满足设计规范和生产工艺标准的能力。通过举例介绍了过程控制系统、变异的来源和用于工业过程控制的属性定义控制图表。

第 15 章讨论了产品筛选和老炼策略方法。如果制造或装配过程不能得到改善,通常采用筛查和老炼策略消除薄弱项。论证分析了老炼数据并探讨了实施老炼测试的利弊。案例研究表明,有一个更好的生产流程和质量控制系统比 100%老炼产品更有用。

第 16 章讨论了根本原因分析和产品故障机制,提出了一种根本原因分析方法,并为决策提供指导。根本原因是最基本的因果因素(或因素),如果更正或删除根本原因,将会防止问题的再次发生。一般可以理解为问题识别和校正需要确定问题的根源。提出了什么是根本原因分析,意味着什么,以及在什么时候应该停止调查。还分析了可能的原因和影响,无故障观察和间歇性故障,

并总结成因果图。同时还涵盖了几种故障识别技术之间的关系,如石川图、故障树分析、失效模式、机制及影响分析。

第 17 章描述了如何结合可靠性信息系统架构来计算系统级可靠性。可靠性方框图是首选作为一种手段来表示逻辑系统架构和开发系统的可靠性模型。简要介绍了系统可靠性及其应用的静态和动态模型,讨论了串联、并联、旁联、 (k, n) 和复杂的可靠性方框图模型,并提出了枚举方法、条件概率和相干结构的概念。

第 18 章强调了健康监测和故障预测的重要性。对于许多产品和系统,尤其那些长寿命周期可靠性要求、高服务可靠性的产品和系统,健康监测和故障预测可能为确保客户满意度和保持竞争力的一种手段。实现更高的可靠性和可操作性要求具有对实际使用和寿命周期操作环境条件的认识。特别是,许多数据采集和可靠性预测方案在系统工作和系统环境完全了解之前就已经被设计了。讨论了预测概念模型,可靠性和预测之间的关系,以及电子产品故障预测与健康管理(PHM)框架,故障前兆监测和推理、熔断器和电阻丝的应用、监测损伤模型的配置文件、估计剩余使用寿命、PHM 相关的不确定性,以及这些概念在复杂系统中的实现。

第 19 章介绍了以可靠性为中心的维修分析(RCMA),涵盖了 RCM 的定义与作用,RCM 维修思想。讨论了以可靠性为中心的维修分析实施流程、分析方法、分析要点,给出了重要功能产品逻辑决断图方法,以及上述方法的应用实例。

第 20 章讨论了保修分析以及与可靠性的关系。保修是由制造商对所提供的产品或服务定义的一种担保。当产品或服务不能在市场上满足一定的标准,保修致力于修复或更换产品或重新执行在商业上可接受的服务方式。客户将一个好的保修珍视为一种经济担保。但是一个产品如果在产品的使用寿命周期期间失效(由顾客感知),无论是否保修,通常不会认为是好的产品。本章涵盖了保修返回信息、不同类型的保修政策以及成本分析、老化保修的影响、简化的系统特性和保修管理问题。

本书作者深深感谢对编写这本书提供大力帮助的人。马里兰大学研究员 Diganta Das 博士对本书各个方面的改进提供了很多见解。来自于印度理工学院 Kharagpur 的可靠性工程教授 Vallayil N. A. Naikan 博士和印度巴巴原子研究中心的 P. V. Varde 博士严格审阅几个章节,为此书的出版起到了推动作用。还要感谢 Sanborn 教授和 Yan Ning 对保修相关内容的见解。同时感谢 Abhijit Dasgupta 教授、Carlos Morillo 博士与 Elviz George 对加速试验、筛选和老炼相关内容提供的观点。

Kailash C. Kapur

Michael Pecht

目 录

前言

第 1 章 21 世纪的可靠性工程	1
1.1 质量	1
1.2 可靠性	3
1.2.1 执行预期功能的能力	3
1.2.2 指定的时间段	4
1.2.3 寿命周期条件	4
1.2.4 可靠性相关度量	5
1.3 质量和用户满意度/系统效能	5
1.4 性能、质量及可靠性	6
1.5 可靠性与系统寿命周期	8
1.6 故障后果	11
1.6.1 经济损失	12
1.6.2 违背公众信任	13
1.6.3 法律责任	14
1.6.4 无形损失	15
1.7 供应商与用户	15
1.8 小结	16
习题	16
参考文献	17
第 2 章 可靠性概念	19
2.1 可靠度	19
2.1.1 概率密度函数	23
2.2 风险率	25
2.2.1 风险率激励与发展	26
2.2.2 风险率函数的一些特性	27
2.2.3 条件可靠度	30
2.3 产品寿命百分数	31
2.4 失效时间	32

2.4.1 关于原点和均值的矩	32
2.4.2 预期寿命/平均失效前时间(MTTF)	33
2.4.3 方差/二阶矩	33
2.2.4 偏度系数	34
2.4.5 峰度系数	34
2.5 小结	36
习题	36
第3章 可靠性分析中的常用概率和寿命分布	40
3.1 离散分布	40
3.1.1 二项式分布	40
3.1.2 泊松分布	44
3.1.3 其他离散分布	44
3.2 连续分布	45
3.2.1 威布尔分布	48
3.2.2 指数分布	53
3.2.3 指数分布可靠性估算	56
3.2.4 正态(高斯)分布	59
3.2.5 对数正态分布	63
3.2.6 伽马分布	66
3.3 概率图	68
3.4 小结	73
习题	73
参考文献	75
第4章 六西格玛设计	76
4.1 什么是六西格玛	76
4.2 为什么采用六西格玛方法?	77
4.3 六西格玛如何施行	78
4.3.1 六西格玛过程的步骤	79
4.3.2 六西格玛步骤	83
4.4 六西格玛过程的优化问题	85
4.4.1 系统传递函数	85
4.4.2 方差传播方程	86
4.4.3 经济优化和质量改进	87
4.4.4 容差设计问题	88
4.5 六西格玛设计	88

4.5.1 (I)确定需求	90
4.5.2 (C)表征设计	91
4.5.3 (O)优化设计	91
4.5.4 (V)验证设计	92
4.6 小结	93
习题	93
参考文献	94
第5章 产品开发	96
5.1 产品需求和约束	96
5.2 产品寿命周期条件	97
5.3 可靠性能力	98
5.4 零部件和材料选择	99
5.5 人为因素与可靠性	100
5.6 演绎与归纳方法	101
5.7 失效模式、影响及危害性分析	102
5.8 故障树分析	103
5.8.1 FTA 在决策中的作用	106
5.8.2 故障树分析步骤	106
5.8.3 构建故障树的基本样式	106
5.8.4 顶事件的定义	106
5.8.5 故障树的表征符号和运算规则	107
5.8.6 最小割集	111
5.9 失效物理	112
5.9.1 应力界限	112
5.9.2 失效机理的模型分析	113
5.9.3 降额设计	113
5.9.4 防护体系	113
5.9.5 冗余	114
5.9.6 预测	114
5.10 设计审查	115
5.11 鉴定	116
5.12 制造和装配	118
5.12.1 产品工艺性	118
5.12.2 工艺过程验证试验	119
5.13 产品失效及根本原因分析	120

5.14 小结	121
习题	121
参考文献	122
第6章 产品需求与约束	124
6.1 需求的定义	124
6.2 供应链的责任	125
6.2.1 多用户产品	125
6.2.2 单用户产品	126
6.2.3 定制产品	126
6.3 需求文档	127
6.4 规范	129
6.5 需求跟踪	129
6.6 小结	130
习题	130
参考文献	130
第7章 寿命周期条件	131
7.1 定义寿命周期剖面	131
7.2 寿命周期事件	132
7.2.1 制造和装配	132
7.2.2 验收和测试	132
7.2.3 存储	133
7.2.4 运输	133
7.2.5 安装	133
7.2.6 操作	133
7.2.7 维修	133
7.3 应力及其影响	133
7.3.1 温度	136
7.3.2 湿度	136
7.3.3 振动与冲击	137
7.3.4 太阳辐射	138
7.3.5 电磁辐射	139
7.3.6 压强	139
7.3.7 化学物质	140
7.3.8 沙尘	140
7.3.9 电压	141

7.3.10	电流	141
7.3.11	人为因素	142
7.4	关于 LCP 开展的思考和建议	142
7.4.1	基于特殊极限的设计(全局环境和局部环境)	142
7.4.2	基于标准的文档资料	143
7.4.3	组合载荷条件	143
7.4.4	变化量值和变化率量值	146
7.5	估计寿命周期载荷的方法	146
7.5.1	市场调研和基于标准的剖面数据源	147
7.5.2	载荷条件的实地监测	147
7.5.3	现场测试记录、服务记录和失效记录	147
7.5.4	关于相似零件、装配体或产品的载荷历史的数据	147
7.6	小结	148
	习题	148
	参考文献	149
第 8 章	可靠性能力	150
8.1	能力成熟度模型	150
8.2	可靠性关键方法	150
8.2.1	可靠性要求和规划	151
8.2.2	培训和开发	152
8.2.3	可靠性分析	152
8.2.4	可靠性试验	153
8.2.5	供应链管理	153
8.2.6	失效数据跟踪分析	154
8.2.7	确认与验证	154
8.2.8	可靠性增长	155
8.3	小结	155
	习题	156
	参考文献	156
第 9 章	零部件的选择与管理	158
9.1	零部件的评估过程	158
9.1.1	性能评估	159
9.1.2	质量评估	160
9.1.3	工序能力指数	160
9.1.4	平均检出质量	162

9.1.5 可靠性评估	163
9.1.6 装配评估	165
9.2 零部件管理	165
9.2.1 供应链管理	165
9.2.2 零部件变更管理	166
9.2.3 工业变更控制政策	168
9.3 风险管理	169
9.4 小结	170
习题	170
参考文献	171
第 10 章 失效模式、机理和影响分析	172
10.1 FMMEA 的发展	172
10.2 失效模式、机理和影响分析方法	174
10.2.1 系统定义、单元和功能	174
10.2.2 潜在失效模式	175
10.2.3 潜在失效原因	175
10.2.4 潜在失效机理	176
10.2.5 失效模型	176
10.2.6 寿命周期剖面	176
10.2.7 失效机理优先级处理	177
10.2.8 文档	179
10.3 案例分析	180
10.4 结论	182
习题	183
参考文献	184
第 11 章 可靠性和安全性系数概率设计	186
11.1 可靠性设计	186
11.2 张力元件设计	186
11.3 可靠性模型的概率设计	188
11.4 概率设计以及可靠性指标设计示例	189
11.5 可靠性、安全系数和可变性之间的关系	190
11.6 函数随机变量	192
11.7 概率设计的步骤	195
11.8 小结	196
习题	196

参考文献	198
第 12 章 降额与升额	200
12.1 元器件额定值	200
12.1.1 绝对最大额定值	200
12.1.2 推荐工作条件	201
12.1.3 确定额定值的因素	201
12.2 降额	202
12.2.1 如何进行降额	203
12.2.2 降额方法的局限	207
12.2.3 如何确定极限	214
12.3 升额	214
12.3.1 元器件的选择和管理过程	216
12.3.2 升额能力的评估	216
12.3.3 升额方法	217
12.3.4 持续的保证	219
12.4 小结	220
习题	220
参考文献	221
第 13 章 可靠性评估技术	224
13.1 产品寿命周期内试验	224
13.1.1 概念设计和原型产品	225
13.1.2 设计规范性能验证	225
13.1.3 设计成熟度验证	225
13.1.4 设计和制造过程验收	225
13.1.5 小批量预生产	225
13.1.6 大批量生产	225
13.1.7 现场数据反馈	226
13.2 可靠性评估	226
13.3 产品质量鉴定与试验	226
13.3.1 PoF 限制条件输入方式	228
13.3.2 加速应力试验的规划和开展	231
13.3.3 样本性能测试	233
13.3.4 加速寿命试验	235
13.3.5 虚拟试验	236
13.3.6 虚拟鉴定	237

13.3.7 输出	238
13.4 案例研究:封装系统坠落试验鉴定	238
13.4.1 步骤一:加速试验规划和开展	240
13.4.2 步骤二:样本性能测试	241
13.4.3 步骤三:加速寿命试验	243
13.4.4 步骤四:虚拟试验	246
13.4.5 全局 FEA	247
13.4.6 模态贡献应变分布	248
13.4.7 加速曲线	248
13.4.8 局部 FEA	249
13.4.9 步骤五:虚拟鉴定	250
13.4.10 PoF 加速曲线	251
13.4.11 鉴定方法总结	251
13.5 统计基本概念	252
13.5.1 置信区间	252
13.5.2 置信水平的含义	253
13.5.3 置信区间与样本大小之间的关系	254
13.6 正态分布的置信区间	254
13.6.1 方差已知均值未知的正态分布	254
13.6.2 方差和均值均未知的正态分布	255
13.6.3 已知方差下的两总体均值之差	256
13.7 置信区间的比例	257
13.8 成功—失效测试的可靠性估计和置信区间	258
13.8.1 成功测试	260
13.9 指数分布的可靠性估计和置信区间	261
13.10 小结	265
习题	265
参考文献	266
第 14 章 过程控制与过程能力	267
14.1 过程控制系统	267
14.1.1 控制图:识别变异来源	268
14.1.2 变异来源	269
14.1.3 使用控制图进行问题识别	269
14.2 控制图	271
14.2.1 变量控制图	277