

复杂系统潜在问题分析 理论与应用

Theory and Application of
Sneak Circuit Analysis for Complex System

胡昌华 陈斌文 刘丙杰 著



科学出版社

www.sciencep.com

N941.4/6

2008

复杂系统潜在问题分析理论与应用

胡昌华 陈斌文 刘丙杰 著

国家自然科学基金重点课题资助（项目编号：60736026）

国家教育部新世纪优秀人才计划资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在系统总结作者近 10 年对潜在问题理论与应用研究成果的基础上形成的一部专著。全书共 7 章,系统地论述了作者在潜在问题理论与应用方面的创新成果,提出网络拓扑模式划分与识别和定性仿真相结合的潜在问题分析方法,基于定量仿真的自动潜在问题分析方法,基于电路结构的神经网络集成和学习算法以及基于神经网络集成的潜在问题分析方法、半定量仿真分析原理和基于半定量仿真的潜在问题分析方法等几种智能化潜在问题分析方法,研制出图形化定量仿真设计与分析平台以及基于该平台的潜在问题分析系统,还系统地介绍了国际商用潜在问题分析软件 CAPFAST/SCAT 国产化二次开发和应用方法。

本书可作为高等学校可靠性工程、电子信息、自动控制等相关专业师生的参考书,也可供从事复杂电路、气路、液路系统设计的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂系统潜在问题分析理论与应用/胡昌华,陈斌文,刘丙杰著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020799-9

I. 复… II. ①胡…②陈…③刘… III. 复杂性理论 IV. TP301.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 206415 号

责任编辑: 鞠丽娜 / 责任校对: 赵 燕

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 三画设计

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

*

2008 年 2 月 第 一 版

开本: B5 (720×1000)

2008 年 2 月第一次印刷

印张: 13 1/2

印数: 1—2 800

字数: 270 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62135763-8002

序 言

19 世纪 50 年代末美国红石火箭发射的一次失败,使人们认识了大型复杂系统中的潜在问题及其危害,并由此派生了可靠性工程领域的一个新的分支——复杂系统潜在问题分析。随着汽车、飞机、导弹等越来越多的行业中发现潜在问题及其带来的灾难性的后果,人们进一步认识到潜在问题存在的普遍性、危害的灾难性、发现的困难性、消除的必要性。由于潜在问题分析在系统地发现和消除这类问题方面所发挥的独特而不可替代的作用,越来越多的行业感到有必要进行系统潜在问题的分析,也由于潜在问题分析在复杂系统可靠性保障方面的高效益,各国和各研究机构所提出的潜在问题分析方法一直被作为核心技术秘密对外封锁而少有公开报道,使得相关领域的研究不仅具有相当的难度而且缺少借鉴的成果和文献。我欣喜地看到第二炮兵工程学院的年轻教授胡昌华同志率领课题组在该领域坚持了近 10 年的研究,在基于定性/定量仿真的智能化潜在问题分析方面取得了一些突破性进展:提出网络拓扑模式划分与识别和定性仿真相结合的潜在问题分析方法;提出基于定量仿真的自动潜在问题分析方法和基于神经网络集成的潜在问题分析方法;研制出图形化定量仿真设计与分析平台以及基于该平台的潜在问题分析系统,并在国内多型新研导弹研制过程中得到成功应用,从而为保证这些新研导弹的成功研制发挥了重要的作用。这些研究工作具有相当的难度,是该领域前沿性、开拓性的研究,取得的研究成果富有创见,对推动国内复杂系统潜在问题分析理论和应用研究的发展有着重要的推进作用,对促进可靠性工程、复杂系统的系统分析与故障诊断、系统仿真等相关科技领域的发展也有重要的借鉴意义,对从事复杂电路、气路、液路系统设计的科技人员,从事可靠性设计、分析、管理的人员,从事系统仿真、虚拟测试系统研制和设计的科技人员,从事复杂系统故障诊断理论与应用研究的科技人员具有重要的参考价值。因此,欣然成序,以期更多的同志关注和参与这方面的研究。

中国科学院院士

杨叔子

2007 年 9 月 16 日于武汉华中科技大学

前 言

潜在问题是一类在大型复杂系统中普遍存在、与器件失效无关、在特定条件下会导致系统期望功能被非预期地抑制或非期望功能被非预期地激发的问题。这类问题用常规的检测方法和可靠性分析方法难以发现,具有很深的隐蔽性和潜伏性,而这类问题一旦被激发,造成的后果往往又是灾难性的。从 20 世纪 50 年代末美国红石火箭发射失败人们开始认识这一问题至今,已有近 50 年的历史,潜在问题及其危害已经在越来越多的领域被发现。潜在问题分析方法作为目前唯一能够比较系统地分析和发现这类问题的一种方法,在越来越多的领域得到应用,也得到了越来越多的研究。但国内外关于潜在问题分析理论与应用的报道却是零星的,目前国内外还没有一本著作系统地论述这一问题。笔者及其所领导的课题组在潜在问题分析理论与应用方面已经坚持了近 10 年的理论研究和应用研究,取得了一些成果,由此也得到一些心得体会,为了让更多的人了解、运用这一技术,推动潜在问题分析理论与应用的发展,我们系统地总结了我们近 10 年的研究成果,写成此书,以期达到抛砖引玉的作用。

全书共七章。第一章对潜在问题的基本概念、潜在问题的特点、潜在问题产生的根源、潜在问题分析方法及发展趋势做了概要性的述评。第二章论述了作者所提出的一种网络拓扑模式划分与识别和定性仿真相结合的潜在问题分析方法,重点探讨了功能网络树及功能网络树的自动生成算法、五种电路拓扑结构及自动生成算法、网络拓扑模式与线索表相结合的人工潜在问题分析方法、定性仿真的概念和原理、网络拓扑模式与定性仿真相结合的潜在问题分析方法。第三章论述了作者所提出的一种基于定量仿真的自动潜在问题分析方法,介绍了电路系统定量分析模型构建方法,模拟电路的定量仿真分析算法,基于定量仿真的潜在问题分析方法。第四章介绍了我们自主研发的定性与定量仿真相结合的潜在问题分析系统,重点介绍了我们自主研发的电路系统图形化处理平台及其功能、结构、简要原理,以及定性与定量仿真相结合的潜在问题分析系统。第五章论述了我们所提出的几种智能化潜在问题分析方法,重点介绍了一种基于电路结构的神经网络集成及学习算法以及一种基于神经网络集成的潜在问题分析方法、半定量仿真分析原理及基于半定量仿真的潜在问题分析方法。第六章系统地总结了国内外出现的一些典型潜在问题案例及分析思路和结果。第七章论述了 CAPFAST/SCAT 分析软件的安装、使用方法,为适应国内所采用的元器件类型、特点,如何建立元器件图形库、仿真模型库,实现 CAPFAST/SCAT 的国产化二次开发和应用。附录给出了一些分析潜在问题的规则。

本书是胡昌华教授及其所领导的课题组在该领域近 10 年研究成果的总结,在研究和出版过程中得到了国家自然科学基金重点课题(60736026)、国家教育部新

世纪优秀人才计划资助,同时还得到第二炮兵工程学院各级领导和许多专家的支持与帮助,在此一并表示感谢!

第二炮兵装备研究院李国华同志参与了本书第二章和第七章的撰写,为本书第二章和第七章的成稿提供了重要的帮助,在此表示感谢!

中国科学院院士、华中科技大学杨叔子教授对本书的出版给予了热情的帮助和支持,并亲自为该书作序,杨院士提携后学,乐于鼓励、支持与帮助青年学者的人梯精神,令我们为之感动,在此深表谢意!

由于作者水平所限,书中难免有一些差错和疏漏,恳请广大读者批评指正。

胡昌华

2007年8月28日于西安

目 录

第一章 概述.....	1
1.1 问题的缘起.....	1
1.2 潜在问题的基本概念.....	2
1.3 潜在问题的特点.....	3
1.4 潜在问题产生的根源.....	3
1.5 潜在问题分析的原理和方法.....	4
1.6 潜在问题分析方法的发展趋势.....	5
1.7 本书的结构安排.....	5
第二章 网络拓扑模式划分和识别与定性仿真相结合的潜在问题分析.....	7
2.1 功能网络树及功能网络树的自动生成算法.....	7
2.1.1 功能网络树的概念.....	7
2.1.2 网表及其自动生成算法.....	7
2.1.3 功能网络树的自动生成算法.....	9
2.1.4 五种网络拓扑模式及自动生成算法.....	10
2.2 定性仿真的原理.....	13
2.2.1 定性仿真的原理.....	13
2.2.2 定性仿真算法.....	18
2.3 网络拓扑模式划分与线索表结合的潜在问题分析方法.....	21
2.3.1 线索表的概念.....	21
2.3.2 网络拓扑模式与线索表结合的潜在问题分析方法.....	21
2.3.3 设计最初阶段应遵循的电路设计规则与自动分析算法.....	21
2.3.4 功能设计时减少潜在电路的设计指导规则与自动分析算法.....	22
2.3.5 基于系统拓扑模式识别的潜在问题分析规则与自动分析算法.....	28
2.3.6 其他一些针对系统的设计规则.....	28
2.4 网络拓扑模式划分和识别与功能推理相结合的潜在问题分析.....	28
2.4.1 功能推理的概念.....	28
2.4.2 网络拓扑模式划分和识别与功能推理相结合的潜在问题分析方法.....	28
第三章 基于定量仿真的自动潜在问题分析.....	31
3.1 元件模型.....	31
3.1.1 元件图形模型.....	31
3.1.2 连接关系.....	32
3.1.3 元件仿真分析模型.....	37

3.2 电路系统定量分析模型	40
3.2.1 支路	40
3.2.2 节点	41
3.2.3 网孔	41
3.3 模拟电路的定量仿真分析	43
3.3.1 仿真源程序生成	44
3.3.2 仿真模型流程	46
3.3.3 仿真方程组及其求解	47
3.3.4 电路仿真形式	48
3.3.5 静态电路直流分析	49
3.3.6 静态电路交流分析	50
3.3.7 动态电路分析	52
3.4 基于定量仿真的自动潜在问题分析	66
3.4.1 功能元件与指示元件	66
3.4.2 基于定量仿真的自动潜在问题分析	68
3.4.3 与常见线索表的对应	80
第四章 图形化定量仿真设计与分析平台	82
4.1 概述	82
4.2 图形化定量仿真设计与分析平台的功能特点	83
4.3 图元类库设计	84
4.3.1 简要需求分析	84
4.3.2 图元类库设计	85
4.3.3 组合/分解功能	86
4.4 面向对象编译技术	86
4.4.1 面向对象词法分析	86
4.4.2 面向对象文法	87
4.4.3 面向对象语法分析	89
4.4.4 面向对象语义分析	91
4.5 用户编程支持	93
4.5.1 属性小字典	93
4.5.2 变量	94
4.5.3 语句	95
4.5.4 函数	97
4.6 代码调试	100
4.6.1 进入调试窗口	100
4.6.2 单步调试	101

4.6.3 变量查看	101
4.7 防误操作处理	102
4.7.1 维护元件间的操作顺序	102
4.7.2 录制操作顺序	103
4.7.3 设置防误模板	104
4.8 图形文件间的映射关系	106
4.8.1 创建实物示意图	106
4.8.2 维护映射模板	108
4.8.3 创建副本视图	110
4.8.4 创建模板符号	111
4.8.5 虚拟面板操作	111
第五章 智能潜在问题分析方法	114
5.1 潜在问题分析的神经网络模型	114
5.2 神经网络用于潜在问题分析的可行性	116
5.3 一种基于电路结构的神经网络集成及学习算法	121
5.3.1 基于电路结构的神经网络新模型	122
5.3.2 CArNN 鲁棒性分析	125
5.3.3 基于 CSA 的神经网络集成	127
5.3.4 样本生成	129
5.4 神经网络集成的潜在问题分析方法	130
5.5 实例分析	131
5.5.1 实例 1	131
5.5.2 实例 2	133
5.5.3 实例分析	136
5.6 基于半定量仿真的潜在问题分析	137
5.6.1 半定量仿真	137
5.6.2 Q2 算法	138
5.6.3 Q3 算法	138
5.6.4 Nsim 半定量仿真	139
5.6.5 自解释半定量仿真	140
5.6.6 模糊定性仿真	140
5.6.7 其他算法	141
5.7 Q3 算法的改进及其在潜在问题分析中的应用	143
5.7.1 Q3 算法	143
5.7.2 Q3 算法分析	144
5.7.3 Q3 算法的改进——ImQ3 算法	145

5.7.4	ImQ3 算法精度分析	147
5.7.5	电路的半定量模型	148
5.7.6	基于 ImQ3 算法的潜在通路分析	149
5.7.7	仿真实例	150
第六章	典型潜在问题案例分析	152
6.1	汽车电动车窗控制电路潜在问题案例	152
6.2	红石火箭发射电路潜在问题案例	153
6.3	汽车照明电子线路潜在问题案例	153
6.4	飞机起落架控制电路潜在问题案例	154
6.5	汽车刹车收音机电路潜在问题案例	155
第七章	CapFast/SCAT 软件及基于 CapFast/SCAT 软件的潜在问题分析	156
7.1	CapFast/SCAT 系统概述	156
7.1.1	CapFast/SCAT 的系统结构	156
7.1.2	CapFast/SCAT 的分析流程	157
7.1.3	CapFast/SCAT 系统的特点	159
7.1.4	CapFast/SCAT 的二次开发工作	159
7.2	CapFast/SCAT 的安装	159
7.2.1	CapFast/SCAT V4.1.7 对系统配置的要求	159
7.2.2	CapFast/SCAT 的安装	160
7.3	基于 Schedit 子系统的 CapFast/SCAT 仿真分析模型建模	165
7.3.1	Schedit 系统介绍	165
7.3.2	Schedit 仿真分析建模	173
7.4	基于 Symed 子系统的 CapFast/SCAT 元件库图元模型建模	174
7.4.1	Symed 系统	174
7.4.2	Symed 系统图元元件仿真模型建模	177
7.5	基于 SCAT 子系统的潜在路径分析	179
7.5.1	SCAT 系统	179
7.5.2	分析前的准备工作	183
7.5.3	双向路径分析	184
7.5.4	电源到电源的路径分析	187
7.5.5	分析后的处理	190
7.6	基于 SCAT 子系统的设计缺陷分析	190
附录	潜在问题分析检查规则	193
	主要参考文献	201

第一章 概述

1.1 问题的缘起

潜在问题研究始于 20 世纪 60 年代,美国的红石火箭在经历 58 次成功发射后,在第 59 次发射时出现一个莫名其妙的事故:火箭刚正常点火起飞又意外地被关机。事后美国投入巨资研究事故的原因,发现造成事故的原因是存在于系统中的一个潜在通路在特定条件下被沟通。在红石火箭的这次发射中出现了一个意外的特定情况:控制插头比尾插头晚 29ms 脱落。正是这一特定的情况导致关机线圈形成一个意外的电路通路,关机电路被非期望地激发引起系统意外关机。红石事件及其后的研究,使美国认识到大型复杂系统中普遍存在潜在通路问题,这类问题用常规的检测技术和可靠性分析方法难以发现,具有较高的潜伏性、危害性。美国在深入研究这类问题的基础上,形成了一套行之有效的潜在问题分析方法。因为潜在通路分析技术在可靠性与安全性分析与保障中不可替代的作用和由此带来的巨大的效益,美国一直没有停止过对潜在通路分析技术的研究、改进与应用。20 世纪 60 年代中期,美国国家宇航局在阿波罗登月计划中为提高系统的安全性与可靠性开始投资研究潜在问题分析技术,旨在开发出一套事先识别存在于系统设计中的潜在问题的分析方法。此项研究首先针对开关继电器控制电路取得成功。20 世纪 70 年代,波音公司将所有开发的潜在电路分析技术用于 F-4C 飞机飞行控制系统、B-52G/FB-111A 飞机监控系统及核反应堆设备和控制电路。应用表明,潜在问题分析技术能够解决用其他试验和分析方法所不能够识别出来的且长期存在的问题。波音公司利用已有的潜在问题分析技术,开发出采用电路模拟方法识别软件中潜在问题的分析技术。20 世纪 80 年代末期,SoHaR 公司为非专业人员推出了 SCAT 系统(一种计算机辅助潜在问题分析系统),它能够帮助设计人员在系统设计阶段检查出系统存在的潜在问题与设计缺陷。20 世纪 90 年代初期,波音公司又开发出用于专用集成电路的潜在问题分析技术,Rome 航空开发中心、美国国防部在 SoHaR 公司的帮助下提出了一种自动潜在电路分析技术,针对数字与模拟电路,提出了一种在设计阶段分析识别潜在问题的方法。20 世纪 80 年代,欧洲空间局也认识到发现和消除潜在通路问题的重要性,开始研究潜在通路分析技术,提出了一套简化的潜在通路分析方法。

随着人们对通过潜在问题分析技术发现和消除潜在问题的重要性的认识,以及潜在分析技术在保障复杂系统可靠性与安全性方面产生的高效益,潜在问题分

析技术由局限用于航天系统的“黑色技术”发展成一门特殊的可靠性分析与保障工具,大量应用于工业、民用等各类关键系统。对于军用或航空航天领域,潜在问题分析技术也已由原来的开发研究转变为硬性的使用规定,1980年颁发的美军标 MIL-STD-785B 的 B205 号工作项目规定在一定的使用范围内必须进行或者建议进行潜在分析;1997年10月 European Cooperation 发布了 ECSS-Q-40-04A Part1-Part2 标准,对潜在问题的分析方法、程序和线索表进行了规范,为航天产品的安全性与可靠性保障提供了一种保障方法。由于人们认识到应将发现和改正潜在问题做在事前,以避免出现由于潜在问题引起的事故与故障,从而提高系统的安全性和可靠性,并促使一些先进国家的潜在分析技术的研究与应用变得相当普遍,发展也十分迅速。

国内在近50年的导弹及运载火箭发射、试验中,控制系统也出现过一些由潜在问题引起的事故。随着我国航天技术的发展,航天控制系统潜在问题分析技术的研究和应用越来越受到人们的重视,潜在问题分析也作为保障重要系统可靠性应做的工作列入国军标 GJB-450-88 第205号工作项目。我国从1987年前后开始引进消化潜在通路分析技术有关的资料,1990年潜在问题分析技术研究被列为航天“九五”规划重点预研攻关课题,航天科技集团一院12所对国内导弹与航天曾经发生过的潜在通路分析方法进行了系统的调研、分析与总结,对人工潜在通路分析方法进行了系统的研究,1996年前后逐步形成了一套适合我国国情的人工潜在通路分析方法,但工作量非常大,对分析人员要求高,限制了这一技术的广泛推广使用。开发智能化自动化的潜在问题分析技术已成为国内航空航天事业的迫切需要。二炮工程学院结合国内智能潜在通路分析技术的需要,1998年提出“计算机辅助潜在通路分析研究”课题并得到二炮科研计划的支持,2000年提出“基于定性仿真的智能潜在分析技术”课题并被国家教育部确定为高等院校骨干教师资助计划项目,潜在通路分析技术研究开始得到国家有关部门的重视与支持。

1.2 潜在问题的基本概念

1. 潜在问题的定义及分类

潜在问题是与元器件失效无关、在特定条件下会导致系统期望功能被非预期地抑制或非期望功能被非预期地激发的一类问题。潜在问题有五种形式:①潜在通路,引起电流沿着非期望的路径流动或抑制电流沿着期望的路径流动的非设计预期希望实现的通路,这类通路在特定条件下一旦被沟通,会导致系统出现非期望的功能或抑制系统期望功能的实现;②潜在时序,在非期望的时候使电流流动,或在期望的时候抑制了电流的流动,导致设备或系统在非设计预期的时间(超前于设计规定的工作时间或滞后于设计规定的工作时间)意外工作的一类问题;③潜

在标识, 虚假地标识了某种控制或设备, 或遗漏了对必要的控制或设备的标识, 导致使用人员产生非设计预期含义理解的标识, 按照这种非设计预期含义的理解可能导致非设计预期操作的一类问题; ④潜在指示, 引起指示器做虚假的指示, 或抑制了指示器的真实指示, 导致使用人员产生非设计预期含义理解的指示现象, 按照这种非设计预期含义的理解可能导致非设计预期的系统工作状态的判断进而产生对系统进行非设计预期处置的一类问题; ⑤设计缺陷, 违背一些成功的设计准则、经验的设计问题。

2. 功能元件与指示元件

所谓功能是指具有明显特征的行为, 如火箭系统中的点火、关机等行为。指示是对某种功能或现象的直观表示, 如不同颜色的灯亮与灭等。

(1) 功能元件

一旦处于工作状态将导致系统实现某一或某些功能的元件称为功能元件。

(2) 指示元件

标识系统中实现的某种功能或现象的元件称为指示元件。指示元件将电路内部的各种信息以一种直观的、更易于理解的形式展现给相关人员, 使得相关人员能更好地了解电路的相关特性。

1.3 潜在问题的特点

潜在问题有三个特点: ①普遍存在性, 国内外研究表明大型复杂系统之中不可避免地普遍存在潜在问题; ②不易检测性和高隐蔽性, 潜在问题是非设计预期的特定条件下激发的一类问题, 用常规的检测方法和可靠性分析方法很难发现这类问题, 具有很高的隐蔽性; ③高危害性, 潜在问题一旦被激发, 其产生的后果往往是灾难性的, 对系统造成很高的危害。潜在问题分析技术是目前国际上能够比较系统地发现这类问题的一种比较有效的途径。

1.4 潜在问题产生的根源

潜在问题是系统的复杂性和设计人员有限把握能力之间矛盾斗争的必然结果。这是因为: 第一, 大型复杂系统常常是由很多人分工协作共同完成的, 将不同的设计人员各自完成的局部设计综合到一起形成整体系统时, 相互之间关联接口的地方会存在一些双双都不曾预想到或注意的盲区; 第二, 对于大型复杂系统而言, 系统中存在的可能出现的各种条件组合的数量是极其巨大的, 而设计人员对复杂系统的把握能力常常是有限的, 希望设计人员在设计时就能清楚地考虑到所有这些可能出现的条件组合及其产生的后果几乎是不现实的; 第三, 对于大型

复杂系统,设计人员很难通过穷尽系统可能存在的条件组合及其后果的分析来消除系统中可能存在的一些潜在隐患。

1.5 潜在问题分析的原理和方法

潜在问题分析主要基于三个基本原理和两个独特的工具。

原理一:划分原理。潜在问题出现的最主要的原因就是系统的规模庞大导致系统过于复杂而难以直观地把握。划分是一种分割系统的方法,它将一个要进行全面认识和深入分析时显得太大的系统分割成更容易进行分析的较小部分,然后再按一定方法将之重新合并起来。

原理二:拓扑结构类似的系统的功能行为类似。例如,对于电路系统,研究表明,无论如何复杂的电路系统,都可以划分为 I, Y、倒 Y, X, H 型等五种简单的电路拓扑模式。换言之,任何复杂的电路系统都可以 I, Y、倒 Y, X, H 型等五种简单的电路拓扑模式组合而成。由于 I, Y, 倒 Y, X, H 型电路的行为人们已经有了很清楚的认识并且很容易就能确定,基于组成系统 I, Y、倒 Y, X, H 型电路行为的认识,就可以把握系统全部可能的行为。

原理三:仿真原理。按照某种形式抽象得到的系统的模型与实际系统在一定意义上具有等价性,对模型系统仿真所获得的关于系统在某些条件下所实现的功能,与实际系统具有一致性。

工具一:带注释的网络树。描述系统元件及元件之间连接关系的网络结构图,图形上标注有各元件的名称、蕴涵的功能等含义。

工具二:线索表。识别导致系统发生非期望行为或抑制期望行为的一些规则,这些规则通常以一些标准的问题的形式出现,分析人员通过回答这些问题,识别是否存在导致潜在问题出现的情况。线索表包括两类问题:第一类是关于一个电路模式一般特性的问题;第二类是其适用性方面所特有的问题。

在上述原理与工具的基础上,目前主要有三种潜在问题分析方法:一是人工的潜在问题分析方法。人工的潜在问题分析方法利用设计人员对简单的系统有比较准确的设计把握能力这一特点,将复杂的系统划分为设计人员通过直观地分析就可以比较容易也比较准确地把握其行为和功能的一些特定模式的简单子系统,通过对照设计经验对特定模式的简单子系统进行甄别分析,确认系统中是否存在潜在问题,如果存在潜在问题,针对特定的问题提出切实可行的纠正措施。如何将大系统划分为功能相对独立的子系统,如何将子系统划分为特定模式的简单子系统,能否找到可以确认特定模式的简单子系统中是否存在潜在问题的方法准则,如何提高分析的效率,减少分析人员的工作量,是进一步拓宽人工潜在问题分析方法应用范围的关键;二是半自动的(或计算机辅助的)潜在问题分析方法,美国研制的潜在问题分析系统 CapFast/SCAT 是目前国际上比较有代表性的计算机

辅助潜在问题分析系统,这类系统把人工潜在问题分析方法中的一些可以由计算机完成的工作交给计算机来做,使得潜在问题分析的效率有了较大的提高;三是智能化、自动化的潜在问题分析方法,目前国际上存在四种智能化、自动化的潜在问题分析方法:①基于定性仿真的自动潜在问题分析方法;②拓扑模式划分与识别和定性仿真相结合的自动潜在问题分析方法;③基于定量仿真的潜在问题分析方法;④基于人工神经网络等学习机制的智能潜在问题分析方法。

1.6 潜在问题分析方法的发展趋势

随着计算机技术、图论与图形处理技术、数值优化与迭代学习计算技术、人工智能与机器学习技术、定性与定量仿真技术的快速发展,为研究开发智能化、自动化的潜在问题分析技术提供了新的技术途径,潜在问题分析技术得到了快速的发展,潜在问题技术的应用范围也在不断地拓展。从潜在问题分析的应用范围来看,潜在问题除在航天系统继续得到应用并发挥可观的效益之外,汽车、飞机、核工业等领域也相继发现潜在问题,潜在问题分析技术在汽车、飞机、核工业等其他行业也得到越来越广泛的应用并发挥着越来越重要的作用。从潜在问题分析方法的发展趋势来看,潜在问题分析方法正朝着完全自动化、智能化的方向发展,图形拓扑模式划分与自动识别的潜在问题分析技术、定性仿真与定量仿真相结合的自动潜在问题分析技术、基于人工神经网络等学习机制的智能自动化潜在问题分析技术成为解决智能化、自动化潜在问题分析的重要发展方向。

1.7 本书的结构安排

全书共七章。第一章概述,对潜在问题的由来和历史发展过程,潜在问题的基本概念、特点、产生根源、目前存在的主要方法,以及潜在问题分析方法的发展趋势进行了概要性的论述。第二章网络拓扑模式划分和识别与定性仿真相结合的潜在问题分析,论述了功能网络树和五种电路拓扑结构的概念,功能网络树和五种电路拓扑结构的自动生成算法,定性仿真的概念和原理,网络拓扑模式划分和识别与定性仿真相结合的潜在问题分析方法。第三章基于定量仿真的自动潜在问题分析,论述了电路系统定量分析模型及建模方法,模拟电路的定量仿真分析算法,以及基于定量仿真的潜在问题分析方法。第四章定性与定量仿真相结合的潜在问题分析系统,简要地介绍了作者在潜在问题分析技术方面的研究成果——电路系统图形化处理平台和定性与定量仿真相结合的潜在问题分析系统。第五章智能潜在问题分析方法,论述了一种基于电路结构的神经网络集成及学习算法、一种基于神经网络集成的潜在问题分析方法、半定量仿真分析原理、基于半定量仿真的潜在问题分析方法。第六章典型潜在问题案例分析,结合红石火箭发射电

路、飞机起落架控制电路、汽车电子控制电路等典型潜在问题案例，对潜在问题分析方法进行了应用举例说明。第七章 CapFast/SCAT 软件及基于 CapFast/SCAT 软件的潜在问题分析，介绍了 CapFast/SCAT 软件及其使用方法，重点探讨了图形库图元模型建模方法、仿真分析模型建模方法及仿真分析库建模等该软件二次开发所涉及的一些关键问题。

第二章 网络拓扑模式划分和识别与定性仿真相结合的潜在问题分析

系统某一功能是否会被意外地激发或被非期望地屏蔽，取决于是否存在引起完成该功能的功能执行元件或控制元件被激发或屏蔽的路径，取决于该功能执行元件或控制元件相关联的元部件是否被激活、路径的通与断、路径上信号的有和无等定性行为。网络拓扑模式划分和识别与定性仿真相结合的潜在问题分析方法包括三个步骤：①系统功能网络树的划分；②由定性仿真确定构成系统的各元部件是处于工作状态还是非工作状态；③与设计意图期望的状态进行对照分析，确定系统是否激发了非期望激活的元部件或屏蔽了期望激活的元部件，从而确定出系统中非期望实现的功能及其路径，确定发生的潜在问题。

2.1 功能网络树及功能网络树的自动生成算法

2.1.1 功能网络树的概念

任何一个完整的系统都包含实现系统功能或目的的元件，称之为功能元件。比如：一个照明电路，其照明功能是依靠灯泡之类的元件来实现的，灯泡就是电路系统的功能元件。所谓功能网络树，是指由功能元件和与其有连接关系的其他元件组成的树状网络结构关系。

潜在通路是指在特定的条件下，导致系统出现非期望的功能或抑制系统期望功能实现的路径。因此，潜在通路分析的注意力应集中在功能元件上，通过对功能网络树的分析，找出导致系统出现非期望的功能或抑制系统期望功能的电路情况及电路。

2.1.2 网表及其自动生成算法

1. 网表的概念

网表是指构成系统的元件及其相互连接关系的网络关系表。网络拓扑模式划分和识别与定性仿真相结合的潜在问题分析方法的步骤1就是从系统网表中提取系统的功能网络树，而在生成系统的功能网络树之前，首先要生成网表。

2. 网表的自动生成算法

由于电路系统结构中，任意两个元件之间都可能相关，因此网表自动生成采