

信息化与工业化

两化融合

研究与应用丛书

# 多源不确定信息融合 理论及应用

——故障诊断与可靠性评估

文成林 徐晓滨 著



科学出版社

信息化与工业化两化融合研究与应用丛书

# 多源不确定信息融合理论及应用

——故障诊断与可靠性评估

文成林 徐晓滨 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书第1章综述了各种动态系统故障诊断技术的发展现状及未来发展趋势。第2章介绍了随机集理论的基本概念、准则和基本原理。第3章介绍了在随机集理论框架下几类常见不确定性信息统一表示与建模方法。第4~14章主要介绍了基于各种不确定性信息或证据融合的故障诊断新方法。第15章介绍了随机集理论在电路性能可靠性评估中的应用。第16~18章以边坡为背景,主要介绍了基于证据理论可传递信度模型、基于多源不确定性信息随机集统一表示、基于模糊随机变量模型等内容的边坡稳定性评估方法。

本书可作为自动控制或信息科学等相关专业研究生的教学参考书,同时对从事自动系统研究、设计、开发和应用的广大工程技术人员也具有一定的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

多源不确定信息融合理论及应用:故障诊断与可靠性评估/文成林,徐晓滨著. —北京:科学出版社,2012

(信息化与工业化两化融合研究与应用丛书)

ISBN 978-7-03-033395-7

I. 多… II. ①文…②徐… III. 信息融合-研究 IV. G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 010372 号

责任编辑:姚庆爽/责任校对:张怡君

责任印制:赵 博/封面设计:黄华斌

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年2月第一次印刷 印张:17 1/4

字数:329 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》编委会

顾问委员会 戴汝为 孙优贤 李衍达 吴启迪 郑南宁 王天然  
吴宏鑫 席裕庚 郭雷 周康 王常力 王飞跃

编委会主任 吴澄 孙优贤

编委会副主任 柴天佑 吴宏鑫 席裕庚 褚健 王飞跃 王成红

编委会秘书 张纪峰 卢建刚 姚庆爽

### 编委会委员（按姓氏笔画排序）

于海斌（中国科学院沈阳自动化研究所） 陈杰（北京理工大学）  
王龙（北京大学） 陈虹（吉林大学）  
王化祥（天津大学） 范铠（上海工业自动化仪表研究院）  
王红卫（华中科技大学） 周东华（清华大学）  
王耀南（湖南大学） 荣冈（浙江大学）  
卢建刚（浙江大学） 段广仁（哈尔滨工业大学）  
朱群雄（北京化工大学） 俞立（浙江工业大学）  
乔非（同济大学） 胥布工（华南理工大学）  
刘飞（江南大学） 姚庆爽（科学出版社）  
刘德荣（中国科学院自动化研究所） 桂卫华（中南大学）  
关新平（上海交通大学） 贾磊（山东大学）  
许晓鸣（上海理工大学） 贾英民（北京航空航天大学）  
孙长银（东南大学） 钱锋（华东理工大学）  
孙彦广（冶金自动化研究设计院） 徐昕（国防科学技术大学）  
李少远（上海交通大学） 唐涛（北京交通大学）  
吴敏（中南大学） 曹建福（西安交通大学）  
邹云（南京理工大学） 彭瑜（上海工业自动化仪表研究院）  
张化光（东北大学） 薛安克（杭州电子科技大学）  
张纪峰（中科院数学与系统科学研究院）

## 《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》序

传统的工业化道路，在发展生产的同时付出了过量消耗资源的代价：产业革命 200 多年以来，占全球人口不到 15% 的英国、德国、美国等 40 多个国家相继完成了工业化，在此进程中消耗了全球已探明能源的 70% 和其他矿产资源的 60%。

发达国家是在完成工业化以后实行信息化的，而我国则是在工业化过程中就出现了信息化问题。回顾我国工业化和信息化的发展历程，从中国共产党的“十五大”提出“改造和提高传统产业，发展新兴产业和高技术产业，推进国民经济信息化”，到党的“十六大”提出“以信息化带动工业化，以工业化促进信息化”，再到党的“十七大”明确提出“坚持走中国特色新型工业化道路，大力推进信息化与工业化融合”。这充分体现了我国对信息化与工业化关系的认识不断深化。

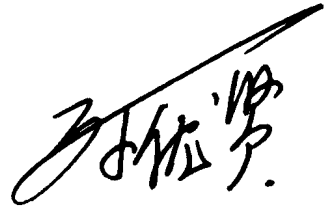
工业信息化是“两化融合”主要内容，它的主要内容包括生产设备、过程、装置、企业的信息化，产品的信息化和产品设计、制造、管理、销售等过程的信息化的，其目的是建立起资源节约型产业技术和生产体系，大幅度降低资源消耗；在保持经济高速增长和社会发展过程中，有效地解决发展与生态环境之间的矛盾，积极发展循环经济，这对我国科学技术的发展提出了十分迫切的战略需求，特别是对控制科学与工程学科提出了十分急需的殷切期望。

“两化融合”将是今后一个历史时期里，实现经济发展方式转变和产业结构优化升级的必由之路，也是中国特色新型工业化道路的一个基本特征。为此，中国自动化学会与科学出版社共同策划出版《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》，旨在展示两化融合领域的最新研究成果，促进多学科多领域的交叉融合，推动国际间的学术交流与合作，提升控制科学与工程学科的学术水平。丛书内容既可以是新的研究方向，也可以是至今仍然活跃的传统方向；既注意横向的共性技术的应用研究，又注意纵向的行业技术的应用研究；既重视“两化融合”的软件技术，也关注相关的硬件技术；特别强调那些有助于将科

学技术转化为生产力以及对国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信，有广大专家、学者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，本丛书将为繁荣我国“两化融合”的科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

最后，衷心感谢所有关心本丛书并为丛书出版尽力的专家，感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助，感谢广大读者对丛书的厚爱。

A large, stylized handwritten signature in black ink, reading '孙逸章' (Sun Yizhang).

中国自动化学会理事长

2010年11月

# 前 言

随着现代化大生产的快速发展和科学技术的不断进步，现代工程系统的结构日趋大型化和复杂化，功能逐渐完善、多样和强大。这些工程系统已在推国民经济快速发展、促进社会进步和提高人民生活水平中发挥了重要作用。但由于长时间高负荷的持续运转及随时间变化的内外部条件等因素的影响，各种类型故障时常发生，如在国内外发生了多起大型石油化工装置的爆炸、电力系统的大规模停电，以及溃坝、决堤、森林火灾、边坡失稳产生的滑坡等恶性事故，已造成了重大的人员伤亡和巨大的经济损失，产生了严重的社会影响，造成了诸多不安定因素。动态系统的故障诊断技术可以有效地提高系统的可靠性和安全性，降低事故风险，提高经济效益。故障检测与诊断技术已经发展了 40 余年，在诸多领域得到了广泛研究和成功应用，如航空、航天、石油化工、机械设备、供电系统、半导体制造等。

环境的复杂性、传感器或观测者本身的局限性、信息获取技术或方法的不完善性等因素，使得描述系统可靠性和系统故障的信息通常表现出随机、非精确、模糊、不完全等多种不确定性。研究者常常根据不同的情况和需要，在一定的假设或条件下采用相应的不确定性理论和方法，有针对性地分析某种类型的不确定性信息，所以各种理论处理信息的类型较为单一。并且，信息采集手段及途径的多样化，将进一步导致信息类型更多、形式更复杂。面对这种情况，已有理论及方法都逐步显示出其自身的局限性。现有研究表明，随机集理论是一种能够有效地统一概率论、模糊集理论、Dempster-Shafer (DS) 证据理论、可能性理论和粗糙集理论等多种不确定性理论的有效数学工具，已有的大多数类型的不确定性信息都能用随机集理论加以描述与分析。本书旨在利用随机集理论研究不确定性信息统一表示与建模等理论问题，基于此再以典型旋转机械系统的故障诊断、电路系统可靠性评估、边坡稳定性评估等为应用研究对象，将随机集理论和其他多种不确定性理论相结合生成新方法，解决对象系统可靠性评估与故障诊断中的不确定性信息处理问题，以期克服已有方法在处理相应问题时的不足。

本书第 1 章综述了动态系统故障诊断中各种技术的发展现状及未来发展趋势。第 2 章介绍了随机集理论的基本概念、准则和基本原理。第 3 章介绍了在随机集理论框架下几类常见不确定性信息统一表示与建模方法。第 4~14 章主要介绍了基于各种不确定性信息或证据融合的故障诊断新方法。第 15 章介绍了随机集理论在电路性能可靠性评估中的应用。第 16~18 章是以典型边坡为对象，主

要介绍了基于证据理论可传递信度模型、基于多源不确定性信息随机集统一表示、基于随机模糊变量模型等内容的边坡稳定性评估方法。

本书所涉及研究成果得到众多科研机构的支持。其中特别感谢国家自然科学基金委员会资助的重点项目“面向大型工程安全预测与评估的信息融合方法”(60934009)和“基于数据的复杂工程系统故障预测与健康管理”(61034006)、面上项目(60572051、60772006、60874105、60974062)和青年项目(61004070、60801048、60804064、60804026)、浙江省自然科学基金(Y1080422)、浙江省自然科学基金杰出青年团队项目(R106745)和信息科学与技术国家实验室学科交叉基金“复杂系统的故障特征分析与故障决策的随机集方法”。本书作者之一徐晓滨同志在清华大学做博士后研究期间,在周东华教授和吉吟东研究员等指导下进行了许多研究工作,受益匪浅。研究生李植良、蒋海娜、夏丙铎、王玉成等参加了本书部分章节的写作、文字录入和修改工作。在本书出版之际,谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者理论水平有限以及研究工作的局限性,特别是多源不确定信息融合理论本身正处在不断发展之中,书中难免存在一些不足,恳请广大读者批评指正。

作 者

2011年12月于杭州电子科技大学



# 目 录

《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.1.1 社会的巨大需求 .....	1
1.1.2 政府的高度重视与支持 .....	4
1.1.3 故障诊断与预报技术的重要作用 .....	4
1.1.4 多源信息融合技术的重要作用 .....	5
1.2 动态系统故障诊断技术概述 .....	6
1.2.1 定性分析的方法 .....	7
1.2.2 基于解析模型的方法 .....	9
1.2.3 数据驱动的故障诊断方法 .....	11
1.3 工程系统故障诊断中的不确定性信息处理方法 .....	14
1.3.1 不确定性信息的分类 .....	14
1.3.2 常用的不确定性信息处理方法评述 .....	16
1.3.3 多种不确定性理论在应用中存在的问题 .....	19
1.4 随机集理论与多源不确定性信息融合 .....	20
1.4.1 国外进展状况 .....	21
1.4.2 国内进展状况 .....	21
参考文献 .....	22
<b>第 2 章 随机集理论基础</b> .....	31
2.1 随机集理论的发展概况 .....	31
2.2 随机集的基本概念 .....	31
2.2.1 随机变量与随机集 .....	31
2.2.2 随机集的定义 .....	33
2.3 随机集的基本性质 .....	34
2.4 随机集的相关准则 .....	36
2.4.1 随机集的置信表示和随机关系 .....	36
2.4.2 扩展准则 .....	37
2.4.3 随机集的包含关系和单调性原理 .....	38

2.5	本章小结 .....	39
	参考文献 .....	40
<b>第3章</b>	<b>基于随机集理论的不确定性信息统一表示与建模 .....</b>	<b>41</b>
3.1	引言 .....	41
3.2	随机集理论与几种常用不确定性理论之间的关系 .....	41
3.2.1	随机集与DS证据理论 .....	42
3.2.2	随机集与模糊集 .....	50
3.2.3	随机集与可能性理论 .....	54
3.2.4	随机集与粗糙集 .....	57
3.2.5	随机集与条件事件代数 .....	60
3.2.6	随机集与贝叶斯理论 .....	63
3.3	随机集理论在不确定性信息处理中的应用前景 .....	65
3.3.1	应用基础研究方面 .....	65
3.3.2	工程应用研究方面 .....	66
3.4	本章小结 .....	72
	参考文献 .....	72
<b>第4章</b>	<b>证据组合规则的随机集统一表示及其在故障诊断中的应用 .....</b>	<b>76</b>
4.1	引言 .....	76
4.2	证据组合规则的随机集统一表示模型 .....	77
4.3	经典组合规则的随机集统一表示 .....	78
4.3.1	Dempster 证据组合规则的随机集表示 .....	79
4.3.2	Smets 证据组合规则的随机集表示 .....	79
4.3.3	Yager 证据组合规则的随机集表示 .....	80
4.3.4	Dubois & Prade 证据组合规则的随机集表示 .....	81
4.3.5	DSm 证据组合规则的随机集表示 .....	82
4.4	一种新的证据组合规则及其在故障诊断中的应用 .....	83
4.5	本章小结 .....	85
	参考文献 .....	85
<b>第5章</b>	<b>基于随机集的模糊证据获取及故障诊断的信息融合方法 .....</b>	<b>87</b>
5.1	引言 .....	87
5.2	基于证据理论的信息融合故障诊断框架 .....	88
5.3	基于随机集的模糊证据获取方法 .....	89
5.3.1	故障样板模式隶属度函数的确定 .....	89
5.3.2	待检模式隶属度函数的确定 .....	90
5.3.3	获取模糊证据的随机集方法 .....	90

5.4	决策准则	93
5.5	故障诊断实例	93
5.6	本章小结	97
	参考文献	97
	附录 A 本章故障样板模式的实验数据	98
	附录 B 本章中待检模式的实验数据	107
<b>第 6 章</b>	<b>相关证据下并发故障诊断的信息融合方法</b>	<b>109</b>
6.1	引言	109
6.2	并发故障诊断的 DS <sub>m</sub> T 融合模型	110
6.2.1	并发故障的表示	110
6.2.2	并发故障的融合模型	112
6.3	证据相关性及解相关方法	112
6.3.1	基于证据分解的解相关方法	112
6.3.2	基于参数的解相关方法	113
6.3.3	新的证据解相关方法	114
6.4	故障诊断实例	115
6.4.1	故障样板模式隶属度函数的确定	116
6.4.2	待检模式隶属度函数的确定	117
6.4.3	构造基于隶属度函数的基本概率赋值函数	117
6.4.4	决策规则	119
6.4.5	故障诊断结果	120
6.5	本章小结	121
	参考文献	121
<b>第 7 章</b>	<b>开放辨识框架下并发故障诊断的信息融合方法</b>	<b>123</b>
7.1	引言	123
7.2	开放辨识框架下的证据组合	124
7.3	DS 证据理论下证据间冲突程度的度量因子	124
7.4	DS <sub>m</sub> T 下基于 GPT 的冲突度量因子	127
7.5	故障诊断实例	128
7.5.1	诊断实例选取	128
7.5.2	故障诊断结果	129
7.6	本章小结	130
	参考文献	131
<b>第 8 章</b>	<b>条件化的 DS<sub>m</sub>T 证据组合方法及其在故障诊断中的应用</b>	<b>132</b>
8.1	引言	132

---

8.2	DSmT 动态组合方法	132
8.3	证据理论中的条件规则	134
8.4	条件化的 DSmT 证据组合方法	135
8.4.1	DSmT 框架下条件化的线性组合方法	135
8.4.2	线性组合的权重	136
8.5	故障诊断实例	137
8.5.1	诊断实例选取	137
8.5.2	故障诊断结果	138
8.6	本章小结	139
	参考文献	139
<b>第 9 章</b>	<b>基于条件证据理论的信息融合故障诊断方法</b>	<b>141</b>
9.1	引言	141
9.2	条件证据基本理论	142
9.3	基于条件证据的故障诊断方法	143
9.4	故障诊断实例	144
9.4.1	故障样板模式隶属度函数的确定	144
9.4.2	待检模式隶属度函数的确定	145
9.4.3	基本概率分配函数的确定	145
9.4.4	决策准则	147
9.4.5	实验	148
9.5	本章小结	149
	参考文献	149
<b>第 10 章</b>	<b>基于条件事件的证据更新方法及其在故障诊断中的应用</b>	<b>150</b>
10.1	引言	150
10.2	证据的随机集表示	151
10.3	基于条件事件的更新规则	152
10.3.1	条件置信及更新规则	152
10.3.2	条件置信函数	154
10.3.3	基于条件事件的更新策略	155
10.4	故障诊断实例	156
10.5	本章小结	158
	参考文献	159
<b>第 11 章</b>	<b>基于证据相似性度量的冲突证据融合故障诊断方法</b>	<b>160</b>
11.1	引言	160
11.2	经典的冲突证据度量方法	161

---

11.2.1 证据距离 .....	161
11.2.2 Pignistic 概率距离 .....	162
11.2.3 冲突的判定 .....	162
11.3 基于向量余弦相似性的冲突证据度量方法 .....	163
11.3.1 构造 Pignistic 证据相似度空间 .....	164
11.3.2 冲突证据的相似性度量及其融合 .....	165
11.4 融合决策及其准则 .....	165
11.5 故障诊断实例 .....	166
11.6 本章小结 .....	169
参考文献 .....	169
<b>第 12 章 基于诊断证据可靠性评估的信息融合故障诊断方法 .....</b>	<b>171</b>
12.1 引言 .....	171
12.2 基于诊断证据可靠性动静态折扣因子的信息融合故障诊断 .....	172
12.2.1 基于 Pignistic 概率的静态折扣因子计算 .....	172
12.2.2 基于证据相似度的动态折扣因子的计算 .....	174
12.3 融合决策及其准则 .....	175
12.4 故障诊断实例 .....	175
12.4.1 求静态折扣因子 .....	175
12.4.2 求动态折扣因子 .....	176
12.4.3 融合诊断结果 .....	178
12.5 本章小结 .....	178
参考文献 .....	179
<b>第 13 章 基于证据动态更新的信息融合故障诊断方法 .....</b>	<b>180</b>
13.1 引言 .....	180
13.2 诊断证据动态更新的一般规律 .....	181
13.3 基于证据动态更新的信息融合故障诊断方法 .....	182
13.3.1 基于类 Jeffery 的诊断证据更新规则 .....	182
13.3.2 基于条件化线性组合的诊断证据更新规则 .....	182
13.3.3 证据冲突因子 $N$ 的确定及更新规则的选取 .....	184
13.4 故障诊断实例 .....	184
13.5 本章小结 .....	192
参考文献 .....	192
<b>第 14 章 模糊规则推理和证据理论结合的故障诊断方法 .....</b>	<b>194</b>
14.1 引言 .....	194
14.2 故障诊断中的模糊规则库 .....	195

14.3	基于模糊规则推理与证据理论结合的诊断方法	196
14.3.1	证据的随机集表示及扩展准则	196
14.3.2	基本概率赋值的确定	197
14.4	融合决策及其准则	198
14.5	故障诊断实例	199
14.5.1	问题描述	199
14.5.2	模糊规则库的建立	199
14.5.3	诊断的输入	201
14.5.4	融合诊断结果的统计分析	203
14.6	本章小结	204
	参考文献	204
<b>第 15 章</b>	<b>基于随机集理论的电路性能可靠性评估方法</b>	<b>205</b>
15.1	引言	205
15.2	电路系统性能可靠性评估的概率模型	206
15.3	电路性能可靠性评估的随机集方法	207
15.3.1	方法的实施步骤	208
15.3.2	随机集方法误差及其和蒙特卡罗方法误差的比较	211
15.4	电路性能可靠性分析实例	212
15.4.1	TOVCV LFP 电路的性能可靠性分析	212
15.4.2	VCO 电路的性能可靠性分析	220
15.5	本章小结	221
	参考文献	221
<b>第 16 章</b>	<b>基于证据理论可传递信度模型的边坡稳定性评估方法</b>	<b>223</b>
16.1	引言	223
16.2	实数域上的可传递信度模型	224
16.3	基于实数域 TBM 和随机集的边坡稳定性评估	226
16.3.1	基于稳定性函数概率的边坡分析模型	226
16.3.2	利用 Pignistic 概率分析边坡稳定性	227
16.3.3	Pignistic 概率累积分布误差分析	229
16.4	边坡稳定性评估实例	230
16.4.1	受随机性影响的典型边坡结构	230
16.4.2	随机变量的随机集证据形式	232
16.4.3	稳定性函数输出的随机集证据形式	232
16.4.4	Pignistic 概率的决策方法和蒙特卡罗方法比较	233
16.5	本章小结	236

---

参考文献 .....	236
<b>第 17 章 基于多源不确定性信息随机集统一表示的边坡稳定性评估方法</b> ..	237
17.1 引言 .....	237
17.2 随机集上下概率 .....	238
17.3 基于多源不确定性信息随机集统一表示的边坡稳定性评估 .....	239
17.3.1 基于随机集上下概率的边坡稳定性分析模型 .....	239
17.3.2 方法实施步骤 .....	240
17.4 边坡稳定性评估实例 .....	241
17.4.1 分别受随机性和模糊性影响的典型边坡结构 .....	241
17.4.2 模糊参数信息的随机集表示与融合 .....	242
17.4.3 随机参数信息的随机集表示 .....	245
17.4.4 基于随机集上下概率的边坡稳定性评估 .....	245
17.5 本章小结 .....	246
参考文献 .....	246
<b>第 18 章 基于随机模糊变量模型的边坡稳定性评估方法</b> .....	247
18.1 引言 .....	247
18.2 随机模糊变量 .....	248
18.2.1 随机变量的模糊集变换 .....	248
18.2.2 随机模糊变量的定义 .....	248
18.2.3 随机模糊变量的运算 .....	249
18.3 基于随机模糊变量的边坡稳定性评估模型 .....	250
18.3.1 基于稳定性系数的边坡稳定性分析模型 .....	250
18.3.2 方法实施步骤 .....	251
18.4 边坡稳定性评估实例 .....	253
18.4.1 同时受随机性和模糊性影响的典型边坡结构 .....	253
18.4.2 参数的随机模糊变量表示 .....	254
18.4.3 随机模糊变量 TBM 变换 .....	256
18.4.4 进行蒙特卡罗仿真并用仿真结果评估边坡的稳定性 .....	257
18.5 本章小结 .....	258
参考文献 .....	259

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引 言

随着现代化大生产的快速发展和科学技术的不断进步,现代工程系统的结构日趋大型化和复杂化,功能逐渐完善、多样和强大。这些工程系统已在推动国民经济快速发展、促进社会进步和提高人民生活水平中发挥了重要作用。但由于长时间高负荷的持续运转及随时间变化的内外部条件等因素的影响,各种类型故障时常发生,如在国内外发生了多起大型石油化工装置的爆炸、电力系统的大规模停电,以及溃坝、决堤、森林火灾、边坡失稳产生的滑坡等恶性事故,已造成了重大的人员伤亡和巨大的经济损失,产生了严重的社会影响,造成了诸多不安定因素。为此,本书将以特定的工程系统(边坡结构/旋转机械系统等)为背景,以信息融合理论与技术为手段,针对典型工程系统的故障诊断及安全性,基于被观测对象获得的多源确定或不确定性信息,为减少或及时预报灾难性事故的发生,建立一系列相应的故障诊断及安全评估的信息融合方法。同时,将以随机集理论为主,结合模糊集理论和 Dempster-Shafer (DS) 证据理论等不确定性理论和方法,在解决面向现代故障诊断及安全预测与评估的方法的过程中,重点建立遇到的若干信息融合领域内前沿科学问题的解决方法,如多源不确定信息的统一表示、度量与融合,适用于相关和冲突型证据条件下的信息融合方法等。因此,开展这个具有创新性的研究领域,不仅具有广泛应用前景,而且有重要的科学意义<sup>[1~6]</sup>。

### 1.1.1 社会的巨大需求

近年来,由于在众多领域时常发生各种各样的灾难性事故,因此,对能有效地提高大型工程系统运行安全性和可靠性的先进技术和方法产生了巨大的社会需求。

#### 1. 公共安全

公共安全是国家安全和社会稳定的基石,而目前我国的公共安全面临严峻挑战,其中溃坝、决堤险情、滑坡、大桥坍塌及森林火灾等重大灾害已造成了巨大的损失。这里以边坡为例进行分析,边坡失稳产生的滑坡等灾害同地震、火山喷发被并列为全球三大地质灾害。边坡环境几乎遍布全国各地,与地震、火山喷发



相比,边坡险情的发生具有易发性、普遍性和频繁性等特点。边坡灾害发生后具有不可控性,因此对边坡状态进行全面、实时地监测,及时、准确地评估边坡安全性,预测险情并做好防范,是杜绝或减少这类灾害发生、保证人民生命和财产安全、维持社会稳定的最有力措施。而随着我国现代化建设事业的迅速发展,各类水利水电、矿山、港口、高速公路和铁路等大型工程项目纷纷开工建设。在建设过程中或建成后的运营期内,不可避免地产生了越来越多的大型人工边坡及高陡边坡等边坡结构。这些边坡也是基础设施的重要组成部分,它们的结构及其稳定性很大程度上决定了整个工程建设的可行性和安全性,并直接关系到工程项目的前期投资及建成后的经济效益。

近年来,由于恶劣气候、边坡本身的水文地质条件,以及各种人为因素等影响,在全国范围内,相继发生了湖北“盐池河”山崩、长江“鸡扒子”山体滑坡、甘肃“洒勒山”滑坡及三峡“新滩”滑坡等人造及天然边坡的灾害,共使500多人在灾害中丧生,直接经济财产损失达数千万元,同时国家花费上亿元资金用于灾民抚恤及灾后重建工作。2004年12月11日晚10时半,甬台温高速公路温州至台州56公里+300米处,突然发生大面积山体滑坡事故,一万多方土石将20多米宽的高速公路全部掩埋,形成了一个长65米、宽约40米的锥形堆积体,阻断交通几十小时,造成重大的经济损失。2008年9月8日,山西省临汾市襄汾县新塔矿业有限公司尾矿库发生特别重大溃坝事故,造成重大人员伤亡,遇难者人数达276人。

据统计全国有数十万个大坝,如长江三峡大坝、黄河小浪底大坝、葛洲坝、溪洛渡大坝等,而水库及边坡等更不计其数,大约20%存在或潜藏着程度不同的危险。如果这个问题得不到有效的解决,发生人们不愿意看到的事故,不仅在经济上会造成巨大损失,政治上也会产生不利影响,而且国家安全和人民的生命财产也将受到严重威胁。因此,研究该问题并最终解决或局部解决之,不仅具有重要的社会意义,同时也会有巨大的经济效益。

## 2. 大型系统装置

现代工业领域中的大型系统装置的持续有效运转虽然是确保国民经济快速高效发展的重要保证,但由于长时间高负荷的持续运转及随时间变化的内外部条件等因素的影响,各种类型故障时常发生,仅以石油化工系统装置为例进行分析。

石油是国家经济建设的“血液”,在保障人民正常的日常生活中起着极为重要的作用,而在进行“造血”的过程中,经常发生各种各样的事故。1997年,北京东方化工厂发生乙烯装置起火爆炸事故,直接经济损失达十亿元人民币,间接损失无法估量。2005年11月13日,吉林市的中国石油吉林石化公司双苯厂的产生装置连续发生爆炸,造成特大环境污染,数万人被警方疏散,哈尔滨400万