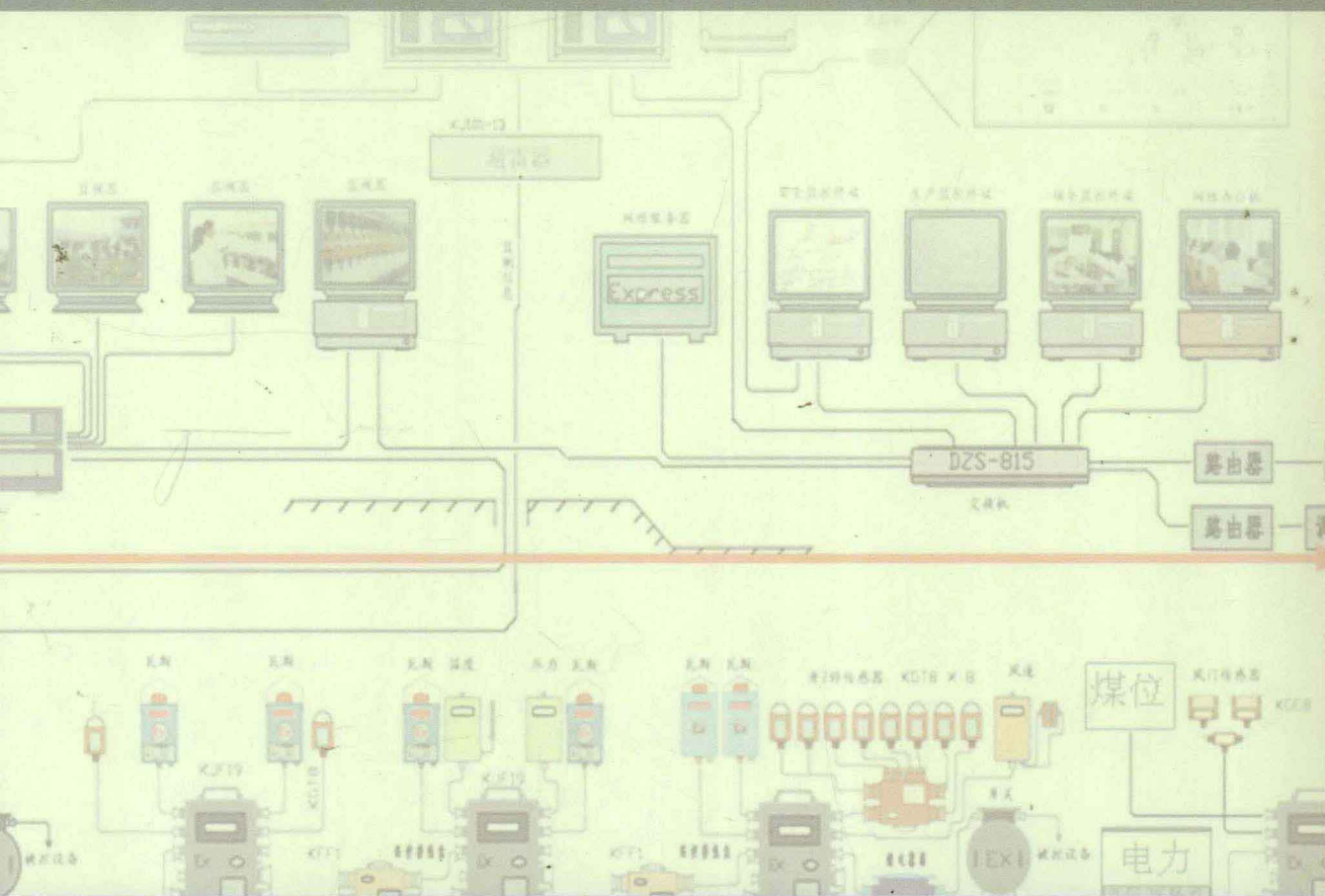




煤矿安全生产 监控系统可靠性研究

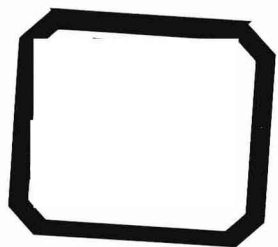
**Meikuang Anquan
Shengchan**

Jiankong Xitong
Kekaoxing Yanjiu

郭继坤 张宏炜 著

国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



uan Shengchan

ong Kekaoxing Yanjiu



煤矿安全生产 监控系统可靠性研究

郭继坤 张宏炜 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

煤矿安全生产监控系统可靠性研究/郭继坤,张宏伟著. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.6

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0855 - 2

I. ①煤… II. ①郭…②张… III. ①煤矿—矿山安全—监视控制—系统可靠性—研究 IV. ①TD76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 209323 号

书 名 煤矿安全生产监控系统可靠性研究

著 者 郭继坤 张宏伟

责任编辑 周 丽 王江涛

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> **E-mail:** cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 **印张** 9.25 **字数** 220 千字

版次印次 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤矿安全生产监控系统是保障煤矿安全生产的重要组成部分,监控系统网络、监控系统设备及软件的可靠性高低,直接影响到煤矿安全监控系统运行的稳定性和数据的可靠性,因此,有必要针对煤矿井下的特点,对煤矿安全生产监控系统网络、监控系统设备及软件的可靠性进行研究,这对完善煤矿安全生产监控系统理论,指导相关标准的制定,提高系统及设备的寿命,发挥系统的安全保障作用具有十分重要的理论意义和实用价值。

本书系统地介绍了煤矿安全生产监控系统的可靠性研究方法。全书共分为9章:第1章简述了可靠性工程,国内外可靠性研究的历史和现状,以及煤矿安全生产监控系统可靠性研究的现状和存在的问题。第2章研究适合煤矿井下监控的网络结构,构建矿井开放互连的监控系统网络平台,研究控制网络安全管理和信息系统安全访问的策略及实现访法。第3章研究了CAN总线的特点及协议,设计了矿井CAN总线分支节硬件电路和软件电路,设计了CAN-Ethernet智能通信节点。第4章介绍了可靠性的概念特征、可靠性模型的建立和可靠性预计方法。根据中华人民共和国国家军事标准GJB/Z 299B—98,结合矿井下的应用环境,确定了环境类别分别为 G_{F2} 级和 G_B 级,然后用该标准的预计方法,对煤矿安全生产监控系统的开关直流电源、分站、断电控制器和信息传输接口进行了可靠性预计。第5章采用了定数结尾样本的统计分析和定时结尾样本的统计分析方法,恒加速应力分别采用电压和温度两个参量,通过实验数据的分析,为矿井监控系统可靠性提供了科学的数据。第6章分析了贝叶斯统计推断理论,用贝叶斯方法进行程序正确性估计,计算矿井监控软件的可靠性。第7章建立了适合煤矿安全生产网络系统的隶属云函数模型,应用该模型通过仿真,找到适用于矿井的网络结构。第8章研究了CAN总线优先权的仲裁规则,对动态优先权和静态优先权及节点地址分配进行了分析和研究,给出了三种适合不同环境的网络通信协议。第9章对CAN总线网络结构进行修改,加大了CAN总线的传输距离,能更好地适应矿井通信的需要。通过最可能故障路径法的可靠性分析,得出CAN总线通过智能节点建立分支结构层次不宜过多的结论。

本书是作者多年来学习和研究煤矿安全生产监控系统可靠性成果的一个总结。在将多年来研究心得进行系统归纳、总结、整理和编写的过程中,参阅了大量的专家、学者的学术成果,在此本人深表谢意;同时,特别要感谢中国矿业大学(北京)副校长孙继平教授、田子健老师、刘晓阳老师及各位师兄弟的帮助,感谢黑龙江科技学院的大力支持,感谢通信工程系所有老师的支持和帮助。由于作者水平有限,不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2011年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 可靠性工程研究现状	1
1.3 可靠性试验方法	4
1.4 试验数据的统计分析方法	5
1.5 煤矿安全监控系统可靠性研究	6
1.6 本节的主要内容	7
2 矿井安全监控网络系统	9
2.1 矿井监控系统的网络模型	9
2.1.1 矿井监控系统的网络结构	9
2.1.2 MISDN 网络平台	10
2.1.3 路由器系统结构	11
2.1.4 智能检测分站的系统结构	11
2.2 煤矿矿井瓦斯事故综合预防系统体系结构	12
2.2.1 网络设计	12
2.2.2 数据库设计	14
2.2.3 煤矿矿井瓦斯事故综合预防系统的内部接口	15
2.3.4 煤矿矿井瓦斯事故综合预防系统的外部接口	17
3 矿井安全监控系统总线网络结构的研究	18
3.1 CAN 总线系统的研究意义	18
3.2 国内外相关行业现状和发展趋势	19
3.3 CAN 总线的特点及协议介绍	20
3.3.1 CAN 总线的特点	20
3.3.2 CAN 的分层结构	21
3.3.3 基于“多主竞争总线仲裁”的通信方式	26
3.3.4 CAN 总线控制系统的网络构建原理	26
3.4 矿井 CAN 总线分支节点的设计	27
3.4.1 设计目标	27
3.4.2 总体设计	28

3.4.3	硬件电路设计	30
3.4.4	软件设计	37
3.4.5	产品的技术参数	39
3.5	CAN-Ethernet 智能通信节点的设计	40
3.5.1	智能通信节点模型	40
3.5.2	智能通信节点的系统结构	40
3.5.3	智能通信节点的硬件设计	41
3.5.4	智能通信节点的软件设计	42
4	煤矿安全生产监控系统设备的可靠性预计	45
4.1	可靠性的基本概念及其特征量	45
4.1.1	产品的可靠性定义	45
4.1.2	可靠性的特征量	45
4.2	可靠性模型的建立	46
4.2.1	串联系统可靠性模型	46
4.2.2	并联系统可靠性模型	46
4.2.3	串—并联系统可靠性模型	47
4.2.4	并—串联系统可靠性模型	47
4.3	可靠性预计方法	47
4.3.1	可靠性预计的术语	47
4.3.2	通用元器件计数法	48
4.3.3	微电子器件失效率模型	49
4.4	矿用开关直流电源的可靠性预计分析	49
4.4.1	矿用开关直流电源的防爆设计依据	49
4.4.2	矿用开关直流电源的电路组成	51
4.4.3	矿用开关电源的可靠性框图	51
4.4.4	矿用开关电源的可靠性预计	52
4.5	煤炭安全生产监控系统分站可靠性预计	58
4.6	矿用断电控制器的可靠性预计	58
4.7	矿用信息传输接口的可靠性预计	59
4.8	小结	60
5	煤矿安全生产监控设备恒加速寿命试验的研究	62
5.1	指数分布下恒加速试验的研究	62
5.1.1	定数截尾样本的统计分析	63
5.1.2	定时截尾样本的统计分析	65
5.2	矿用分站的恒加速寿命试验分析	68

5.3	矿用开关电源的恒加速寿命试验分析	70
5.4	矿用断电控制器的恒加速寿命试验分析	73
5.5	矿用信息传输接口的恒加速寿命试验分析	75
5.6	小结	76
6	煤矿安全生产监控系统软件的可靠性研究	78
6.1	软件可靠性测试	78
6.1.1	软件可靠性测试的概念	78
6.1.2	软件测试方法	78
6.2	贝叶斯理论	79
6.3	贝叶斯理论在软件可靠性评估中的应用	79
6.4	基于贝叶斯统计推断的可靠性评估方法	80
6.4.1	随机测试过程	80
6.4.2	用贝叶斯方法进行程序正确性估计	81
6.5	贝叶斯理论在矿井监控软件可靠性评估中的应用	83
6.5.1	煤矿安全生产监控系统软件的组成	84
6.5.2	煤矿安全生产监控系统软件可靠性评估	84
6.6	小结	86
7	煤矿安全生产监控系统网络的可靠性研究	87
7.1	模糊数学评估模型	87
7.2	隶属云评估模型	89
7.2.1	隶属云的定义	89
7.2.2	隶属云的数字特征	89
7.3	隶属云发生器	90
7.4	煤矿安全监控系统网络可靠性模型	91
7.5	隶属云评估法在矿井监控网络中的应用	92
7.5.1	环型煤矿安全监控系统网络评估模型	93
7.5.2	树型煤矿安全监控系统网络评估模型	95
7.5.3	星型煤矿安全监控系统网络评估模型	100
7.6	小结	104
8	煤矿安全生产监控系统网络的延时与拥塞的研究	105
8.1	现场总线信息调度	105
8.1.1	静态和动态优先级任务调度算法	105
8.1.2	任务可调度性分析	106
8.2	矿井监控网络系统的延时与拥塞的分析	109

8.2.1	延时的构成	109
8.2.2	CAN 总线的优先权仲裁规则	110
8.2.3	静态优先权地址的分配	112
8.2.4	排队系统的一般表达形式及基本概念	112
8.2.5	动态优先权及优先权队列	115
8.2.6	CSMA/DDPQ 与其他协议吞吐量的比较	116
8.2.7	帧的平均延迟时间和最大延迟时间的分析	118
8.3	小结	120
9	矿井安全监控系统总线网络结构可靠性研究	121
9.1	新型 CAN 总线结构	121
9.2	基于最可能故障路径法的 CAN 总线可靠模型	126
9.3	小结	128
参考文献		129
附录 A		139
附录 B		140

1 绪 论

本章首先介绍了本书的选题背景及意义,其次简述了可靠性工程,国内、国外可靠性研究的发展历史、现状和趋势,可靠性试验方法,加速试验方法和模型,可靠性统计分析方法和存在的问题,以及煤矿安全生产监控系统可靠性研究的现状和存在的问题。

1.1 研究意义

煤炭是我国的主要能源,目前占整个能源系统的 70% 以上。煤炭开采主要以井下开采为主。很多矿井自然环境恶劣,有甲烷等爆炸性气体,矿尘非常大,有淋水、潮湿、顶板垮落、空间窄小、工作场所分散等诸多问题,且巷距长,还有硫化氢等腐蚀性气体。特别是瓦斯爆炸、煤尘爆炸、水灾、火灾、顶板垮落等事故时有发生,严重威胁着矿工的身心健康和煤矿生产安全。尤其是近些年,随着能源需求量的加大,在利益的驱动下,在没有安全监控系统的保障下盲目地生产,造成了大量的人员伤亡。2004 年,全国煤矿共发生死亡事故 3 641 起,死亡人数为 5 286 人;2005 年,全国煤矿共发生死亡事故 3 341 起,死亡人数为 5 986 人。2006 年,我国煤矿死亡人数居世界首位。因此,近几年我国把煤矿安全作为一项十分重要的工作来抓。

煤矿安全生产监控系统是保障煤矿安全生产的重要组成部分。监控系统网络、监控系统设备及软件的可靠性高低,直接影响到煤矿安全监控系统运行的稳定性和数据的可靠性。因此,有必要针对煤矿井下的特点,对煤矿安全生产监控系统网络、设备及软件的可靠性进行研究,这对完善煤矿安全生产监控系统理论,指导相关标准制定,提高系统及设备寿命,发挥系统的安全保障作用,具有十分重要的理论意义和实用价值。

1.2 可靠性工程研究现状

可靠性工程(Reliability Engineering)是一门新兴的涉及面十分广泛的综合性工程学科。可靠性问题的提出,首先是从军用航空电子设备开始的。在第二次世界大战中,科学技术得到了进一步发展,使用了雷达、飞航式导弹、弹道式导弹等较复杂的新式武器,而这些武器的核心——电子设备屡出故障,严重影响部队的战斗力,引起了军方和学术界对武器装备可靠性的重视。从 20 世纪 50 年代起至 60 年代初,一些工程技术人员和数学家运用概率论和数理统计知识对产品的可靠性问题进行了定量研究。60 年代以后,可靠性工程技术逐步在各个工业领域得到了迅猛发展和应用;重视提高产品的可靠性,给企业带来了巨大的社会效益。产品的可靠性,不仅得到了工业部门的重视,也得到了广大用户的关注。可靠性工程也就发展成为系统工程的重要分支,成为一门比较完善的学科。可靠性工程主要研究系统或设备在设计、生产和使用的各个阶段,以及如何定性和定量地分析、控制、评估和改

善系统或设备的可靠性,并在设计中达到可靠性和经济性的综合平衡。

什么是可靠性呢?国家标准《可靠性基本名词及定义》(GB 3187—1982)中对可靠性的描述是:可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力,也就是指系统、元件、设备的功能在时间上的稳定性。可靠性研究在当今世界科技中是仅次于计算机和环境科学的一门非常活跃的学科,其发展经历了四个时期。

(1) 摇篮期(20 世纪 40 年代)

与使用耐久性、寿命、安全性和维修性一样,“可靠性”一词用来表示产品质量标准虽然已有相当长的历史,但作为一门可靠性工程学,大量地、有组织地进行研究工作是在第二次世界大战后才兴起的。当时美国空军由于飞行事故而损失的飞机比被击落的飞机多 1.5 倍;运往远东的设备在运输和保管过程中,有 50% 以上由于存在可靠性方面的缺陷而失效,其中以电子装备(通信装备)的失效最为严重。这种一投入使用就遭受重大损失的情况,促使美国于 1943 年集中了军事、学术和企业界的技术力量,开始系统地研究军事装备的可靠性问题。同时,德国在开发 V_1 、 V_2 火箭时也意识到了可靠性的问题,开始了旨在提高火箭制导系统可靠性的技术研究和开发。可以说,可靠性问题的研究源于军工的电子设备,始于美国 and 德国。

(2) 奠基期(20 世纪 50 年代)

1950 年前后,很多人提出了各种各样的观点,可以说可靠性的研究处于一个混乱的时期。R. Lusser 在这个时期的一次专题讨论会上,提出了对可靠性问题采用定量的、用统计方法处理的基本原理。R. R. Carhart 对此观点做了进一步完善,提出了更通用的可靠性定义。1952 年美国国防部成立了“电子设备可靠性咨询小组 AGREE”(Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment),对军用设备的可靠性问题予以系统的调查研究,于 1957 年 6 月发表了著名的“AGREE 报告(军用电子设备可靠性报告)”。报告全面总结了电子设备的失效现象及原因,提出了一套比较完整的评价产品可靠性的理论和方法,明确了在研制及生产过程中对产品的可靠性进行试验、验证和鉴定的方法,以及电子产品在生产、包装、储存及运输等方面需要注意的问题和要求等,从而确定了美国可靠性研究的方向,构筑了可靠性工程学的总体框架。这个报告被公认为是可靠性研究领域中一个划时代的、奠基性的文件。从此,可靠性发展成为一门独立的工程学科。

战后的日本受到来自美国的推动,于 1958 年由学术界和企业界联合建立了可靠性研究的专门委员会。前苏联也从 19 世纪 50 年代初期起从另一个独立的角度在可靠性基础理论及其在电子工程、自动控制、人造卫星等领域内的应用研究上取得了令人瞩目的成就。

(3) 扩展期(20 世纪 60 年代)

进入 20 世纪 60 年代,工业发达国家由于产品的复杂化和恶劣的工作环境,对产品的可靠性要求越来越高,于是除了航天、航空、尖端武器和电子工业之外,可靠性工程技术和管理逐步推广应用到许多工业部门,包括原子能、机械、电气、冶金、化工、铁道、船舶、电站设备、土木建筑、食品加工、通信、医药等行业,并取得了巨大成就。同时,由于产品可靠性差而造成的巨大损失则进一步推动了可靠性研究的发展。1968 年,美国航空兵飞机每飞行 1 000 h,就有 1.46 次事故,共发生 514 次重大事故,毁机 275 架,死亡飞行员 222 人,经济损失 2.8 亿美元。1967 年 7 月,美国探索宇宙的“阿波罗计划”登月火箭成功,关键是采用了 FMEA 等可靠性技术,美国宇航局(NASA)将其列入取得登月成功的三大技术成就之一。这一事

件在国际学术界引起了巨大的反响,出现了“可靠性研究热”,可靠性技术很快在世界各国普及。日本 1968 年第七届质量管理研讨会的主题为“质量保证和可靠”,使日本开始将可靠性与质量保证融为一体。

(4) 成熟期(20 世纪 70 年代以后)

进入 20 世纪 70 年代以后,可靠性研究进入了相对成熟的阶段。可靠性研究的开展带来了巨大的经济效益。例如,日本的汽车、工程机械、发电设备、彩电、照相机等工业和民用产品畅销全世界,获得了巨额利润。但是,1971 年苏联 3 名宇航员在“礼炮”号飞船中由于一个部件失灵而丧命;1979 年美国三里岛和 1986 年 4 月切尔诺贝利的核电站发生事故;1986 年 1 月美国“挑战者”号航天飞机因一密封圈失效而爆炸;以及美国向火星发射的“水手一号”火箭因计算机程序漏掉一个字符而失败,所有这些因可靠性原因而导致的巨大损失,促使可靠性研究向更深更广的方向发展,涉及的领域越来越广,学科越来越多,发展成为一门综合性的工程技术学科。作为该学科成熟的标志是各国专家出版了大量的学术论文和专著。例如,美国 B. L. 阿姆斯塔特所著的《可靠性数学》,苏联 B. B. 格涅钦科所著的《可靠性数学理论问题》,日本盐见弘所著的《可靠性工程基础》和美国 W. Nelson 所著的《Accelerated Testing—Statistical Model, Test plans, and Data Analyses》等。在概率论和数理统计的基础上,可靠性研究引入了模糊数学,产生了更能刻画产品可靠性特征的模糊可靠性理论。

总之,可靠性研究已由军事工业进入民用工业,由电子产品进入非电子产品(尤其是机械产品),由简单系统进入机电、人机等复杂的物理和非物理系统的可靠性分析,由图表、手算进入计算机辅助、模拟仿真、专家系统及软件商品化的研究。早在 20 世纪 60 年代初,美国就有人预言,只有那些具有高可靠性指标的产品及企业才能在激烈的市场竞争中生存下来。到了 80 年代,日本把可靠性列为企业的主要奋斗目标,并预测今后产品竞争的焦点是可靠性。我国的可靠性研究工作起步于 20 世纪 50 年代末,当时的四机部(即电子工业部)成立了专门的可靠性研究机构,调查电子产品的失效情况,开展了电子产品的可靠性和环境适应性试验研究工作,对电子设备及系统的可靠性设计和试验进行了试探性的研究工作。60 年代中期,我国的航空航天部门也开始了可靠性研究。到了 70 年代,我国电子产品的可靠性研究工作取得了显著的成效,保证了人造卫星的发射成功,但发展较慢,与国际先进水平相比仍有较大差距,并且非电产品的可靠性研究还处于摇篮期。

到了 20 世纪 80 年代,随着我国改革开放和国民经济发展的需要,各部委质量管理部门认识到可靠性的重要意义,把可靠性研究工作提到了议事日程,相继成立了可靠性研究机构和学术团体,使我国的可靠性研究工作进入了一个新时期。电子行业除了原有的可靠性与质量管理学会外,1980 年 12 月还建立了中国电子产品可靠性数据交换网,经可靠性摸底试验和数据收集,编写出版了《电子元器件的失效率手册》、《电子元器件失效率预计手册》和《电子设备可靠性预计手册》;1982 年成立了全国可靠性与维修性标准化技术委员会,领导完成了可靠性名词术语、可靠性试验方法、可靠性管理、失效分析等方面部标、国军标和国标的编写。原机械部陆续颁布加强机电产品可靠性管理的多个文件并制定了机械产品可靠性指标的考核评定管理方法,以及部分产品的考核评定规范或标准;在此期间还成立了可靠性工程专业学会和现代设计方法学会等学术机构,专门从事机电产品可靠性研究和设计。

同时,从 20 世纪 80 年代起,我国从事可靠性研究的学者、专家开始编著、翻译出版有关可靠性技术的学术专著,高等院校和科研机构也开始招收可靠性学科的研究生,开始广泛地进行可靠性技术的研究,研究领域也从电子产品的可靠性扩展到机电产品的可靠性。可靠性技术在我国越来越受到重视,应用范围越来越广。但与国际先进水平相比,由于可靠性工程研究与试验投资大、耗时长,从总体上讲尚处于初级阶段,尤其是在可靠性工程的实际应用方面存在着很大的差距。可靠性研究基础相对薄弱,可靠性观念在一部分企业里相当淡薄。因此,我国的可靠性研究要赶超世界先进水平,尚需付出艰苦努力。

1.3 可靠性试验方法

可靠性试验是对产品的可靠性进行调查、分析和评价的一种手段。从广义上讲,凡是与可靠性有关的试验均属于可靠性试验,其目的是:

- (1) 发现产品在设计、材料和工艺方面的各种缺陷。
- (2) 为改善产品的完好性、提高任务成功率、减少维修费用及保障费用提供信息。
- (3) 获得可靠性指标,以便鉴定是否符合可靠性定量要求。

近 30 年来,产品的可靠性试验得到很大的发展,至少有 100 种以上的试验方法,其中常用的有 20~30 种,具体可按下述方法进行分类:

- (1) 按可靠性试验的目的可分为:可靠性增长试验、可靠性鉴定试验、可靠性验收试验、可靠性测定试验、可靠性筛选试验、失效物理分析试验和延寿试验。
- (2) 按试验场所可分为:现场可靠性试验和模拟可靠性试验。
- (3) 按可靠性试验的性质可分为:环境试验、寿命试验和性能试验。
- (4) 按施加应力的时间特征可分为:恒定应力试验、步进应力试验、序进应力试验和变应力试验。
- (5) 按试验时的应力强度可分为:正常工作试验、超负荷试验、极限试验和加速试验。
- (6) 按试验样品的破坏情况可分为:破坏性试验和非破坏性试验。
- (7) 按试验的规模可分为:全数试验和抽样试验。
- (8) 按试验终止的方式可分为:完全寿命试验和截尾寿命试验。对于截尾寿命试验,按截尾方式的不同,又可分为定时(I型)截尾试验和定数(II型)截尾试验;截尾试验还可分为有替换和无替换两种,对于器件常采用无替换的截尾方式,而系统则采用有替换的截尾方式。

由于出发点的不同,上述各类可靠性试验之间有相应的交错或包含关系,如恒定应力定时截尾无替换加速寿命试验等。其中,寿命试验是可靠性试验中最重要、最基本的内容之一,通常所说的可靠性试验就是指寿命试验。因为只有通过寿命试验才能确定产品寿命的分布规律,计算产品的失效率和平均寿命等可靠性指标。但进行寿命试验需要投入大量的试验样品、昂贵的试验设备并耗费大量的时间,尤其是在正常工作条件下那些寿命特别长的产品,使得可靠性试验成为制约我国及世界可靠性工程发展的“瓶颈”。人们为了解决这个问题以提高产品的可靠性进而推动可靠性工程学科的发展,一方面致力于发展小样本条件下可靠性参数的估计方法,以减少试验样品的数量、降低试验的费用和时间;另一方面,采用加速寿命试验,通过加大应力而加速产品失效,以期大大缩短试验时间,再根据加速寿命试

验的统计模型和试验数据估计出产品在正常工作条件下的寿命特征。目前有四种类型的加速寿命试验方法：

(1) 恒定应力加速寿命试验：在高于正常工作应力的几个应力水平下，将一定数量的样品分成相应组数，每组固定一个应力水平进行试验，一直试验到每组试样有一定数量的样品失效为止，然后根据失效数进行统计。其应力 S 与时间 t 的关系如图 1-1 所示。

(2) 步进应力加速寿命试验：将一定数量的样品分成几组，每组固定一个时间间隔逐级增加应力水平，直到有一定数量的样品失效为止。其应力 S 与时间 t 的关系如图 1-2 所示。

(3) 序进应力加速寿命试验：将样品分成几组，每组试验应力按不同的速度线性增加，直到有一定数量的样品失效为止。其应力 S 与时间 t 的关系如图 1-3 所示。

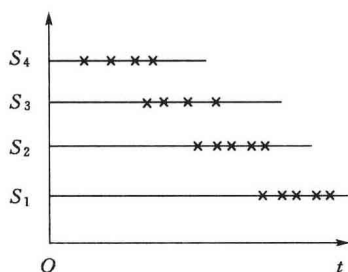


图 1-1 恒定应力加速
寿命试验示意图
(×表示失效)

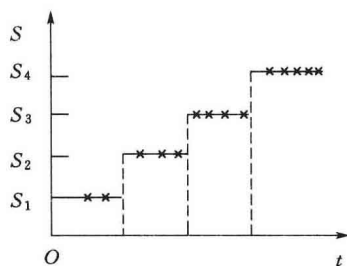


图 1-2 步进应力加速
寿命试验示意图
(×表示失效)

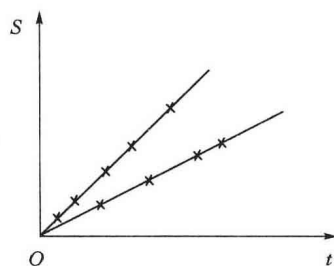


图 1-3 序进应力加速
寿命试验示意图
(×表示失效)

(4) 变应力加速寿命试验^[80]：将一定数量的试件在任意变动的应力载荷下进行加速寿命试验。

上述四种加速寿命试验方法中，以恒定应力加速寿命试验方法较为成熟，精度也相对高一些，其缺点是需要大量的试验样本和试验时间。但由于其试验方法简单，对试验设备要求不高，理论较为成熟，试验容易取得成功，得到的信息最多，结果较为精确，因而被称为“标准加速寿命试验”，在可靠性研究中得到了广泛的应用。步进应力加速寿命试验和序进应力加速寿命试验虽然可以有效地减少试验时间，但在精度上较差，试验也较复杂。变应力加速寿命试验直接采用实际应力—时间载荷进行试验，并且可以利用其他试验的有效数据共同进行参数评估，因此既可以减少试验样本量，也可以提高估计精度，是加速寿命试验今后的发展方向。

1.4 试验数据的统计分析方法

为了定量地评价产品的可靠性水平，需要对试验数据进行统计分析，以求得所关心的各种可靠性特征量的估计值。试验数据的统计分析方法很多，按照思想方法和理论基础的不同，可分为经典统计分析方法和 Bayes 统计分析方法。

经典统计分析方法，例如各种线性估计方法、极大似然估计方法等，它们是建立在概率

的频率意义上的,反映了大量试验结果的统计规律性,在一般的可靠性标准、教材和手册中均有介绍,已在工程实际中广泛应用。但它存在不少缺陷,其中最大的缺陷是在做统计推断和结论时过于着眼于当前的数据,忽视历史经验、人们已有的认识和知识以及人们的主观能动性。其统计推断的模式为:首先假定研究对象的观察值的分布属于某种类型的总体分布,然后选择一个被认为最好的统计方法,并取得一批观察数据 $(t_1, t_2, t_3 \cdots t_n)$,也就是样本,根据样本所提供的信息与所选择的统计方法做出统计推断和估计。事实上,经典统计分析方法做出统计推断的依据只有观察数值和分布模型假定,人们的主观能动作用只局限于对分布模型和统计方法的选择,人们的历史经验及认识是不大起作用的,并认为分布模型中所含的参数是客观存在的,在未得到全部数据前,它是未知的,只能通过抽样的结果进行估计,统计推断精度的高低主要靠数据的多少来决定,这对于特小子样往往难以做出准确的统计推断。

Bayes 统计推断方法是建立在概率的主观意义上的。在进行统计推断时除了利用产品的模型信息和数据信息外,还利用另外一种信息,即总体分布中分布参数的信息。Bayes 方法认为,分布参数既然是未知的,在试验中,即使能对其进行观察,也只能得到它的表现值,因此可以将它视为随机变量。此外,在试验之前,人们对分布参数总会有某种认识,也就是说它具有先验信息,这种信息能以一个概率分布来表示,称为先验分布。其统计推断的模式为:先验分布+样本信息+模型假设=后验分布。按照 Bayes 学派的研究,先验分布反映了试验之前我们关于未知参数的知识。有了样本带来的信息后,这个知识有了改变,其结果就反映在后验分布中。找到后验分布就达到了统计推断的目标,只要根据后验分布进行统计分析,即可求出可靠性特征量的估计值。可以看出,相对于经典方法而言,Bayes 方法考虑了人的主观能动作用和历史知识,在统计推断中引入了更多的信息,并且有可能解决小样本条件下试验数据的统计分析问题。但由于 Bayes 方法从主观概率的立场出发引进先验分布,而不是基于在某种框架内将分布参数解释为随机变量,尽管提出了不少确定先验分布的方法,例如 Bootstrap 方法、经验 Bayes 方法等,并在工程实际中得到了应用,然而至今未能提出一种放之四海而皆准的确定先验分布的方法,并且在今后也不可能得出一个被广泛接受的完满结论。

采用蒙特卡洛方法模拟计算所构造的统计量分布的分位数,转而求出寿命分布参数的置信区间。但是这种方法不但计算量大,随着寿命分布和试验数据类型的不同,必须另行重复模拟,使用极为不便,而且对于定时测试寿命试验和加速寿命试验等数据类型,往往难以构造出一个令人满意的统计量来估计分布参数的置信区间;对于所关心的可靠性指标的置信区间的估计而言,目前则更缺少较为理想的求置信区间的方法。而 B. Efron 于 1979 年提出的 Bootstrap 方法则有可能成为在各种情况下求取可靠性参数和指标的置信区间的一种比较有效的估计方法,某些文献对此做了一些有益的尝试,并取得了进展。

1.5 煤矿安全监控系统可靠性研究

可靠性在煤矿应用中研究较少,国内外的研究资料还很少。在 20 世纪 90 年代,中国矿业大学的郭余庆教授研究了基于马尔科夫过程的矿山供电可靠性模型,对矿用电器产品的合理开发及其使用安全性的可靠性进行了分析,指出了增安型和隔爆型电器设备是下一步

的发展方向,验证了绝缘电阻变化非线性,发生概率呈正态分布的特性;利用不交型布尔代数的方法,对矿井下电机的老化、矿山供电和矿用电工产品的可靠性进行了研究。太原理工大学的崔东亮结合现代化高产高效矿井特点和发展趋势,从系统可靠性观点出发,应用可靠性的马尔可夫可修系统理论,分析了煤矿柔性运输系统的单部件设备可靠性与系统可靠性;探讨了运输系统主要部件煤仓的可靠性,给出了其有效度的表达式,对提高系统的有效度提出了一些有益的参考意见,还给出了煤矿井下连续运输系统可靠性分析及计算机仿真研究。辽宁工程技术大学的马云东教授及其博士对锚杆支护设计的可靠性、通风系统的可靠性和矿井支护系统的可靠性进行了研究。

煤矿安全生产监控系统主要由分站、电源、传输接口、断电控制器、传感器及软件等组成。对该系统进行可靠性研究,首先需要对组成系统的网络结构、设备和软件进行可靠性分析和可靠性验证,然后给出整个系统的可靠性。对煤矿安全生产监控系统进行寿命试验时,如果采用正常应力水平下的寿命试验方式,这需要很长的试验时间,且耗费大量的人力、物力,等试验结果出来了,该型号设备可能已经被淘汰了。因此,对煤矿安全生产监控系统寿命试验时,必须采用提高试验应力的加速寿命试验方法。加速寿命试验的研究内容有:加速应力水平或应力函数如何确定,分配到各组的样品比例如何确定,截尾时间或个数如何确定。我们知道传统的恒定应力加速寿命试验,加速应力水平一般是等间距的,各应力水平的样品数量一般是等分配的,这样安排的试验有时效果较差。因此在给定条件(如应力范围、样品数量等)下,如何选取应力水平的大小,如何分配各应力水平下样品的数量,以获得对各种可靠性指标更准确的估计,节省试验时间和费用,这既是实际中需要解决的问题,也是加速寿命试验的最优设计问题。

对于加速寿命试验最优设计,除了指数分布场合外,其他分布场合还属于起步阶段。从电器设备的老化过程来看,稳定过程的失效率是呈指数分布的形式。因此,本书对煤矿安全生产监控系统及设备的可靠性分析研究以指数分布的方法进行。

1.6 本书的主要内容

第1章简述可靠性工程,国内外可靠性研究的发展历史和现状,可靠性试验的方法和发展趋势,加速试验的方法和模型,可靠性统计分析的方法和存在的问题,以及煤矿安全生产监控系统可靠性研究的现状和存在的问题,并简要介绍了本书研究内容。

第2章主要研究适合煤矿井下监控的网络结构,构建矿井开放互连的监控系统网络平台;研究控制网络安全管理和信息系统安全访问的策略及实现访法。在此基础上,实现矿井下网络监控系统。

第3章主要研究了CAN总线的特点及协议;设计了矿井CAN总线分支节硬件电路和软件电路;设计了CAN-Ethernet智能通信节点。

第4章首先介绍软件测试概念和测试方法,分析贝叶斯统计推断理论,然后给出贝叶斯统计推断理论在软件可靠性评估中的应用情况;在贝叶斯统计推断的可靠性评估方法中,完成随机测试过程的形式化表示;用贝叶斯方法进行程序正确性估计;基于运行剖面的可靠性估计;最后对矿井监控软件进行500次和1000次的测试,根据前面的分析公式,计算出矿井监控软件的可靠性。

第5章介绍隶属云函数及隶属云发生器,建立适合煤矿安全生产网络系统的隶属云函数模型。应用该模型通过仿真,对煤矿安全生产监控系统的环形网结构、树形网结构和星形网结构进行可靠性分析。通过分析,可以得出,虽然环形网络结构可靠性最高,但抗故障能力差,不可能所有链路和节点都使用双路,成本过高,又不适合矿井下巷道结构。树形网络结构和星形网络结构的可靠性虽没有双环形网络高,但其网络结构非常适合矿井下的巷道走向,性价比高,树形网络结构尤其突出。因此,更适合在矿井下的应用。

第8章讨论静态优先级和动态优先级任务调度算法和基于任务最坏情况下响应时间的可调度性和基于利用率的可调度性分析。对造成煤矿安全生产监控系统的延时和拥堵的原因进行分析,给出延时的组成结构;研究CAN总线优先权的仲裁规则;对动态优先权和静态优先权及节点地址分配进行分析和研究,建立以分布式动态优先权队列的通信协议,并和其他通信协议做比较,通过仿真可以得出最优协议。最后给出三种适合不同环境的网络通信协议。

第9章主要针对CAN总线传输距离的不足,提出了使用CAN总线智能节点的方法,给出了CAN总线节点结构图。给出了地址分配的方法,通过基于最可能故障路径法的CAN总线可靠模型分析可以看出,智能节点虽然可以延长传输距离,但它的可靠性也随之降低。而且节点的地址位数有限,不可能拿出更多的位给节点地址。因此,在能满足矿井下通信的同时,提出了CAN总线通过智能节点建立分支结构层次越少越好,最好不要超过两层的观点。

2 矿井安全监控网络系统

从矿井安全监控系统的技术方面分析,提升生产安全、提高生产效率、降低生产成本是目前矿井监控系统的重中之重。煤矿生产具有现场环境复杂,条件恶劣,地面、井下地域覆盖面积大,生产系统多且互相制约等特点。因此需要选择合适的现场总线构成监控网络系统,并且和光纤工业网络相结合,构成全矿计算机集成生产网络系统。根据煤矿井下的具体条件,现场总线控制系统(FCS)是控制系统尤其是过程控制系统的发展方向,是构成计算机集成生产系统的基础,或者说只有基于现场总线控制系统、控制网络与数字网络的“无缝”链接,才能构成计算机网络系统的平台。本章主要研究适合煤矿井下监控的网络结构,构建矿井开放互联的监控系统网络平台;研究控制网络安全管理和信息系统安全访问的策略及实现方法。在此基础上,实现煤矿井下网络监控系统。

2.1 矿井监控系统的网络模型

根据煤矿安全生产的特点,我们提出一种由 CAN 总线和光纤工业网络构成的矿井监控网络。实现控制网络内总线网络和光纤工业网络的互联,在这一网络结构下,可以完成对矿井生产的安全保障全面监控,并实现数字通信的实时传输。

2.1.1 矿井监控系统的网络结构

矿井监控系统要完成对实时在线采集生产数据、工艺质量数据、设备状态数据等的传输和监控,并且还要处理大量的动态数据,因此对计算机网络实时性提出了较高的要求。对此,我们提出了现场总线控制网络和数据光纤工业网络集成的网络结构,如图 2-1 所示。从图中我们可以看到,整个网络由地面和井下两部分组成,CAN 总线和光纤环网连接高速计算机网络可以通过路由器与井下智能分站连接,并将矿领导指挥部和其他子系统的功能连在一起,以实现交互式多媒体网络,矿领导指挥部和调度室不仅可以看到 MISDN(Mobile Integrated Service Digital Network,移动综合业务数据网)上传的各种参数、图表和图形等,还可以交互式地任意观察相应的数字工业电视视频画面,宽带工业以太网作为井下监测、监控的主体网络,井下各类监测数据、语音、视频图像信息和上位机下达的控制信号都通过这样一个网络传输。

(1) 网络拓扑结构的设计和实现。网络拓扑结构由环形网(具有自愈能力,在路由器上以路由信息协议的方式实现自愈)、以太网(冲突监测连路访问协议)、屏蔽双绞线及光纤介质组成。主干网络速度为 155 Mbit/s 或 100 Mbit/s;网络采用环路结构,若线路出现故障,路由器可以通过路由协议切换到反向路径传输;采集的数据使用数据库存储,定时备用到网络服务器及备用机上。

(2) 网络层次结构。分两层结构(传感器层不予考虑,只包括分站层、路由层,工控机上