

STUDY ON RELIABILITY THEORY FOR MINE VENTILATION
SYSTEM AND ITS APPLICATION

矿井通风系统可靠性理论 与应用研究

■ 王洪德 马云东 著

煤炭工业出版社

矿井通风系统可靠性理论 与应用研究

STUDY ON RELIABILITY THEORY FOR MINE
VENTILATION SYSTEM AND ITS APPLICATION

王洪德 马云东 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风系统可靠性理论与应用研究/王洪德, 马云东著.
北京: 煤炭工业出版社, 2004
ISBN 7-5020-2385-2

I. 矿… I. ①王…②马… III. 矿山通风—通风系统—
可靠性—研究 IV. TD724

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第 077443 号

煤炭工业出版社 出版发行
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷

*

开本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 8^{3/8} 插页 1
字数 201 千字 印数 1—1,200
2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷
社内编号 5156 定价 25.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 简 介

本书针对目前国内外矿井通风与安全理论及工程应用方面存在的现实问题,从知识提取和知识处理角度,将网络流理论、人工神经网络技术和粗集理论与系统可靠性工程理论相结合,提出了矿井通风系统可靠性理论,并结合工程实际进行了系统介绍。

全书共分七章,内容包括:矿井通风系统可靠性理论的研究现状及存在的问题;基于网络流理论的矿井通风系统可靠性评价;基于Markov过程模型的矿用主要通风机系统可靠性分析;基于人工神经网络技术的矿井通风系统可靠性仿真研究;基于粗集-神经网络的矿井通风系统可靠性预警研究;基于单元特性的矿井通风系统可靠性设计;研究结论和展望。

本书适用于矿业工程、安全工程、系统工程、网络工程、机械和电子工程等专业的研究生以及从事系统可靠性研究的相关领域科研工作者和工程技术人员阅读参考。

前 言

煤炭工业的现代化发展对矿井通风系统可靠性要求越来越高,为保障煤矿生产的可持续发展,降低各类事故发生,减少生命财产损失,迫切要求我们进一步完善矿井通风系统可靠性评价理论和方法,建立起更加贴近矿井生产实际的通风系统可靠性理论。

所谓矿井通风系统可靠性理论与应用研究,主要是针对该领域存在的一些问题而提出的,其目的是提高矿井通风系统可靠性水平,降低通风系统的建设和维护成本,防止和减少灾害事故发生,保障矿井高产高效的实现。因此,进一步完善和改进现有矿井通风系统可靠性理论机制,更新技术和管理手段,是增强通风系统可靠性研究的实效性、可行性和推广应用性的关键,也是优化矿井通风设计、促进安全生产的一项重要任务。

本书融入了作者多年来从事系统可靠性研究积累的科研成果,具有强调理论更新、重视新技术、贴近实际应用、适宜读者自学等特点。希望本书能在系统可靠性工程理论研究及应用研究领域发挥一定的作用。

主要研究内容如下:

(1) 基于网络流理论的矿井通风系统可靠性研究

根据矿井通风系统的自身特点,将其看成是由通风网络系统和主要通风机系统两个子系统构成的可修系统。应用网络流理论,针对通风网络拓扑结构及通风构筑物特性,建立了功能型通风网络可靠性评价模型,并给出了求解网络可靠性指标的不变化最小路集算法;针对矿井主要通风机子系统的可修特性,应用Markov过程理论,建立了基于冷储备可修理论的矿用主要通风机子系统可靠性模型。

(2) 基于人工神经网络理论的矿井通风系统可靠性研究

矿井通风系统是一个多环节、动态、随机、时变的大系统,影响该系统可靠性运转的因素十分复杂和繁多,各影响因素之间往往又相互关联,具有很强的耦合特性,本书在对影响通风系统可靠性的因素进行全面分析的基础上,建立了基于BP神经网络的矿井通风系统可靠性评价仿真模型;采用Weibull过程模型和自适应神经网络技术对通风系统的故障过程进行了分析,给出了基于影响因素属性的通风系统故障过程改善和劣化的定量描述;论证了通风系统故障过程的改善(劣化)与故障强度、累积故障强度之间的关系;推导出了平均故障间隔时间和首次故障时间等特征参数的计算模型。

(3) 基于粗集-神经网络的矿井通风系统可靠性预警研究

通过采用神经网络技术对矿井通风系统进行可靠性预警仿真时发现,由于该仿真系统的特征参数过多,造成了网络规模过大、训练时间过长、系统规则库存在冗余等现象,导致了可靠性预警仿真模型实用性能的降低。为此,作者将粗集方法作为BP神经网络的前置系统,通过对矿井通风系统属性特征的提取和影响因素的约简,优化了神经网络中的输入节点个数,降低了神经网络结构的复杂性,从而形成了一个精确度更高、解算速度更快的基于粗集-神经网络的通风系统可靠性预警仿真模型。在此基础上,书中还介绍了分层发掘基于粗集-神经网络的通风系统可靠性仿真的概念,使得用户可以根据对所研究系统的不同需要,在不同的层次对矿井通风系统进行可靠性评价。

(4) 基于单元特性的矿井通风系统可靠性设计

在已知矿井通风系统可靠性综合指标基础上,建立了基于单元相对易损度、单元重要度和复杂度以及单元相对故障频度的矿井通风系统可靠性分配模型,并用于主要通风机子系统研究中。通过对主要通风机风量变化规律及故障类型的统计分析,建立了基于效率可靠度的主要通风机子系统可靠性设计模型,并运用该模型求解出矿用主要通风机运行各阶段的可靠度指标值,及其对主

要通风机合理工况范围的影响。

以上解析模型和仿真模型的建立和特征参数的求取均编制了具体实现的计算机源程序,并在VC++6.0和Matlab6.0环境下运行通过。

本书所介绍的研究成果是在辽宁省自然科学基金和辽宁省教育厅科技基金的资助下完成的,本书的出版得到了辽宁工程技术大学出版基金的资助,在此一并表示衷心感谢!

由于我们学识和水平有限,本书作为在矿井通风系统可靠性理论研究与应用研究方面的探索和尝试,缺点和错误在所难免,欢迎读者批评赐教。

电子信箱: mayundo@mail.fxptt.ln.cn
hongde1688@yahoo.com.cn

作 者

2004年5月

Synopsis

With the development of coal industry in China, there are more and more strict demands on the reliability of mine ventilation system. In order to lower the occurrence of various accidents and reduce the loss of the life property, it is urgently requested that we should perfect the reliability evaluation theories and technique system of mine ventilation system further more, and should establish the evaluation model of ventilation system which is much more coming close the actual of mine production.

The purpose of research concerning theory and technique in mine ventilation system is to increase the reliability level of mine ventilation system and decrease the building and maintenance costs, and prevent and reduce the happening of the disaster and accident in the system, and ensure the fulfilling high yield and high efficiency of mine. So it is the key of boosting up the actual effect quality, feasibility, expanding and applying quality that more perfecting and improving reliability theory mechanism of mine ventilation system in existence, renovating the technical and administrant means. And it also is one of the important tasks to optimize mine ventilation design and to improve safe production.

This book covers parts of the author's scientific research production during engaging in the study on system reliability in recent years. We hope that this book can develop the certain function in the system the theories of system reliability

engineering theories and application study realm.

Fundamental research work as follows:

a. Mine ventilation system reliability research based on network stream theory

Basing on the characteristics of mine ventilation system oneself, it can be considered as a repairable system made up of two subsystem of the ventilated network system and main fanner system. Making use of the network stream theory, aiming at the topological structure of the mine ventilated network and the speciality of ventilated buildings, the author sets up the ventilated network reliability evaluation model with functional style, and brings forward the minimizing path sets arithmetic to solve network reliability indexes. In allusion to the repairable speciality of the main fanner subsystem, applying Markov process theory, basing on the repairable theory of cold reserve, the author sets up reliability model of the main fanner subsystem used in mine.

b. Research on mine ventilation system reliability based on artificial neuron network theory

Mine ventilation system is a much sectors, dynamical, random, and time-changing large system, the factors affecting the system reliability are very complicated and numerous. After completely analyzing factors that influence the reliability of mine ventilated system, the author sets up an evaluating imitated model about ventilation system reliability based on BP neuron network technique; The Weibull process model is adopted to analyze the process of the ventilated system's failures. The fixed amount describe of the mine ventilated system failures' improvement and worsen basing on the influence factors' attributes is brought up; Demonstrating the relations about the

improvement or worsen with the failures intensity and the cumulated failures intensity during the ventilated system failures' process; The characteristic parameter model about the mean time between failures and the first failures time was deduced.

c. Research on ventilation system reliability early-warning based on rough set and artificial neuron network theory

Form the reliability early-warning imitating to mine ventilated system with artificial neuron network technique, we have found that with the much more characteristic parameters, the ANN scale too is large, train time is too long. And it makes the practicability function of the imitated model lower. So the author puts rough sets method as the former system of BP nerve network, and by means of characters pick-up as well as influent factors reduction, optimizes the number of the importation nodes in traditional nerve network, lowers the structural complexity of it. Consequently the reliability early-warning imitate model of mine ventilated system based on Rough Sets and artificial neuron network comes into being, which is more accurate of the precision, more fast of the speed of calculation then other before. Basing on the foundation, the book also brings up the conception of excavating reliability simulated system of the mine ventilated system by layers based on rough sets and ANN. It makes users according to the different demands to their researched system evaluate the reliability of the ventilated system in the different levels.

d. Mine ventilation system reliability design based on the cell' s characteristic

In foundation of the known reliability integrated index of the system, the author sets up a reliability distribute model about

mine ventilation system, which is based on the cell' s relative easy-losing degree, the cell' s importance degree and the complex degree, and the cell' s relative failures frequency. It is used in main fanner subsystem investigating. By analyzing to the variational rule about the air quantity of the main fanner, the author sets up a reliability design model of main fanner based on the efficiency reliability. According to this model, the author calculates the reliability degree indexes of it in every running phases and its influence to the reasonable work-status ranges.

The computer source programs about the analytic models and simulated models which have set up above and about the calculation of characteristic parameters hereinbefore had been compiled and have run through in VC++ 6.0 and Matlab6.0 triumphantly.

Author

May, 2004

目 录

1 绪 论	1
1.1 研究目的及意义	1
1.1.1 研究目的	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 国内外研究现状及存在问题	3
1.2.1 可靠性在国外的研究现状	3
1.2.2 可靠性在国内的研究现状	5
1.2.3 主要支持理论的研究及应用现状	10
1.2.4 目前矿井通风系统可靠性研究中存在的问题	15
1.3 研究的内容与技术路线	18
1.3.1 研究的内容	18
1.3.2 本书研究的技术路线	20
本章要点	21
2 基于网络流理论的矿井通风系统可靠性评价	22
2.1 通风系统可靠性评价方法概述	22
2.1.1 解析法	22
2.1.2 统计模拟算法	23
2.2 网络系统可靠性综述	24
2.2.1 网络流理论基本概念	24
2.2.2 网络系统的可靠性	27
2.2.3 网络系统可靠性指标的解析算法简介	28
2.3 基于网络流理论的矿井通风系统可靠性 评价模型	28

2.3.1	矿井通风系统可靠性评价任务框图	28
2.3.2	风路风量分布密度函数的估计	29
2.3.3	基于网络流理论的风路可靠性指标及其计算方法	41
2.3.4	通风网络可靠度计算	45
2.3.5	通风网络系统可靠度理论分析	46
2.3.6	矿井通风系统可靠性评价模型	46
2.4	基于网络流理论的风网系统可靠性不变化	
	最小路集算法	48
2.4.1	采用通风网络系统不变化最小路集算法的 必要性	48
2.4.2	通风网络系统的不变化最小路集算法	49
2.4.3	通风网络系统可靠性数值计算程序概述	52
	本章要点	54
3	基于 Markov 过程的主要通风机系统可靠性分析	55
3.1	可修系统的 Markov 过程模型	56
3.1.1	Markov 过程的基本假设	56
3.1.2	基于 Markov 过程的可修并联系统	57
3.2	基于 Markov 过程的主要通风机系统可靠性分析	58
3.2.1	主要通风机系统假设	59
3.2.2	主要通风机系统分析	59
3.3	实例分析	61
3.4	主要通风机系统影响因素分析	63
3.4.1	机电设备固有的质量因素	63
3.4.2	设备安装质量因素	64
3.4.3	使用质量因素	64
3.4.4	主要通风机效率因素	65
3.4.5	日常维护管理因素	65
3.4.6	主要通风机司机技术素质因素	66

3.4.7	环境因素	66
3.4.8	矿井外部漏风因素	66
3.5	提高主要通风机安全可靠性的措施	66
3.5.1	更新、改造旧设备	66
3.5.2	加强设备的维修管理	67
3.5.3	提高主要通风机司机的技术水平	67
3.5.4	完善安全保护装置	68
	本章要点	68
4	基于神经网络的矿井通风系统可靠性仿真研究	69
4.1	矿井通风系统可靠性模型选择方法概述	69
4.2	基于BP网络的系统可靠性模型选择	72
4.2.1	多层BP网络算法原理	72
4.2.2	基于Matlab环境下的BP神经网络开发	73
4.2.3	基于BP网络的系统可靠性模型识别系统	77
4.3	基于自适应神经网络的可靠性参数估计	81
4.3.1	自适应神经网络模型结构	82
4.3.2	W-H学习规则	83
4.3.3	数值模拟	86
4.4	矿井通风系统的可靠性、维修性、有效性	87
4.4.1	矿井通风系统可靠性及其特征量	87
4.4.2	通风系统的维修性及其特征量	94
4.4.3	通风系统有效性及其特征量	99
4.5	基于影响因素角度的矿井通风系统可靠性解析	101
4.5.1	矿井通风系统可靠性主要影响因素分析	101
4.5.2	基于影响因素角度的风网子系统功能型定义	105
4.5.3	运用解析法对通风系统可靠性进行实例分析	107
4.6	矿井通风系统运行期间使用可靠性的研究	109
4.6.1	概述	109

4.6.2	矿井通风系统的随机故障过程分析	110
4.6.3	矿井通风系统故障过程的改善和劣化	113
4.6.4	基于自适应神经网络的矿井通风系统故障率 研究	115
4.7	主要通风机子系统首次故障时间的统计与 分析	121
4.7.1	主要通风机首次故障的统计分析	121
4.7.2	基于BP神经网络的主要通风机首次故障 时间模型识别	122
4.7.3	基于自适应神经网络的主要通风机首次故障 分布参数估计	122
	本章要点	124
5	基于粗集-神经网络的通风系统可靠性预警研究	125
5.1	矿井通风系统可靠性预警的作用及研究 手段	125
5.1.1	矿井通风系统可靠性预警的作用	126
5.1.2	矿井通风系统可靠性预警的主要研究手段	127
5.2	粗集理论的特点	128
5.3	粗集理论的基本原理	129
5.3.1	粗集理论的基本概念	129
5.3.2	粗集理论的决策原理	135
5.3.3	基于粗集理论的系统可靠性数据约简	138
5.4	数据的预处理	142
5.4.1	数据投影	142
5.4.2	缺失值的处理	142
5.4.3	数据的离散化处理	143
5.5	基于粗集-神经网络的矿井通风系统可靠性 预警系统建立	145
5.5.1	粗集理论与神经网络相结合的基础分析	146

5.5.2	基于粗集-神经网络的通风系统可靠性 预警实现原理	148
5.5.3	基于粗集-神经网络的通风系统可靠性 预警算法	151
5.5.4	基于粗集-神经网络的矿井通风系统可靠性 预警过程	152
5.6	基于粗集-神经网络的矿井通风系统可靠性 预警实现	156
5.6.1	基于ANN的矿井通风系统可靠性预警 方法的实现	156
5.6.2	基于粗集-神经网络的通风系统可靠性预警 方法的实现	160
5.6.3	神经网络与粗集-神经网络预警方法结果 比较分析	169
5.7	分层发掘粗集可靠性评价网络	171
5.7.1	网络模型及算法	171
5.7.2	分层发掘评价网络的应用	172
	本章要点	175
6	基于单元特性的矿井通风系统可靠性设计	176
6.1	矿井通风系统可靠性设计的目的及意义	176
6.2	矿井通风系统可靠性分配方法研究	177
6.2.1	基于单元相对易损性的通风系统可靠性分配	178
6.2.2	基于单元重要度和复杂度的通风系统可靠性 分配	178
6.2.3	基于单元相对故障频率的通风系统可靠性 分配	182
6.3	矿用主要通风机可靠性分配实例分析	184
6.4	基于分配可靠度的主要通风机工况点研究	189
6.4.1	主要通风机的工况指标与其可靠性的关系	189

6.4.2	主要通风机风量分布规律的研究	191
6.4.3	基于分配可靠度的主要通风机合理工况确定	195
6.5	主要通风机性能曲线的自动绘制	198
6.5.1	主要通风机性能曲线绘制原理	198
6.5.2	合理工作区的实现方法	199
6.5.3	性能曲线绘制手段	200
6.5.4	曲线拟合原理	201
6.5.5	主要通风机性能曲线的自动生成	201
6.5.6	主要通风机工况调节方法分析	206
	本章要点	208
7	结论与展望	209
7.1	结论	209
7.2	展望	210
	参考文献	212
	附 录	219