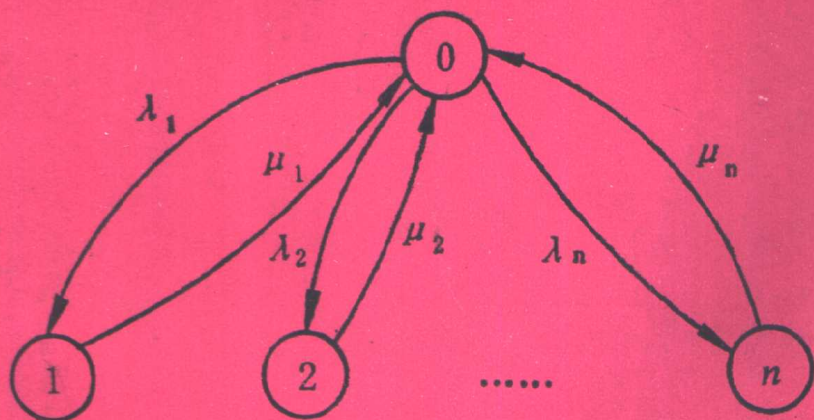


矿井系统 可靠性分析

朱川曲 王卫军 王海桥 著



煤炭工业出版社

矿井系统可靠性分析

朱川曲 王卫军 王海桥 著

煤炭工业出版社

871417

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井系统可靠性分析/朱川曲等著. -北京: 煤炭工业出版社, 1998

ISBN 7-5020-1580-9

I. 矿… II. 朱… III. 矿井-可靠性工程 IV. TD214

中国版本图书馆CIP数据核字 (98) 第04083号

矿井系统可靠性分析

朱川曲 王卫军 王海桥 著

责任编辑: 王敏根

煤炭工业出版社出版

(北京朝阳区阳光里8号 100013)

北京房山宏伟印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787 × 1092 mm^{1/32} 印张 7.2 插页 1

字数 100 千字 印数 1—1,205

1998年10月第1版 1998年10月第1次印刷

书号 4349 定价 7.50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 提 要

本书介绍了矿井设备、采运提系统、放顶煤开采系统、采区巷道布置系统、备用工作面设置、综采工作面人一机一环境系统、通风系统的可靠性分析方法及矿井生产系统故障树分析方法，建立了相应的可靠性数学模型，给出了可靠性指标的计算公式，并介绍了矿井系统可靠性分析方法及模型在矿井设计及生产管理决策中的应用实例。

本书可供煤炭科研和设计院所的研究人员及煤矿工程技术人员学习参考，也可作为高等院校有关专业研究生及高年级本科生的学习参考书。

前 言

可靠性问题的研究起源于20世纪30年代，但对设备或系统的可靠性进行深入研究则是从40年代开始的。随着科学技术的发展，它已在国民经济的许多领域得到推广和应用，并在实践中得到不断完善和充实。矿井是一个受多种随机因素影响的复杂系统，从设计、生产及管理都要求较高的可靠性，尤其随着煤炭科学技术的不断提高，综采设备的大量使用，高科技、大设备集中的高度集约化生产，使得矿井系统的可靠性显得更为重要。

可靠性问题在矿井设计和生产过程中具有重要的影响。在设计阶段，需对不同的开拓方式、采区巷道布置方案、采煤方法、通风系统等进行可靠性分析，给出其可靠性指标，以便为设计方案的选择提供依据；在生产阶段，需对现有矿井系统进行可靠性分析与评价，找出系统的薄弱环节并提出改进措施，从而为矿井技术改造和科学决策提供依据。本书正是为满足这些需要而撰写的。

本书以系统工程的观点，从整体性、相关性、综合性和实践性出发，应用系统可靠性理论，结合作者的科研课题，对矿井系统可靠性进行了比较深入的研究。

由于作者水平有限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

1997年10月

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 矿井系统可靠性研究的任务	2
2 矿井设备的可靠性	8
2.1 矿井设备可靠性的数量指标	8
2.2 矿井设备的故障密度函数和故障率函数	14
2.3 矿井设备的检修周期	16
3 矿井系统可靠性模型	22
3.1 可修系统的一般模型	22
3.2 单一系统	23
3.3 串联系统	25
3.4 并联系统	29
3.5 一般系统	31
4 矿井采运提系统的可靠性	35
4.1 煤仓的可靠性	35
4.2 采区采运系统的可用度及生产能力	38
4.3 大巷运输系统的可用度及运输能力	45
4.4 井筒提升系统的可用度及提升能力	49
4.5 采运提系统的相对利用率	49
4.6 实例	51
5 放顶煤采运系统可靠性	59
5.1 综采放顶煤采运系统可靠性	59
5.2 巷道放顶煤采运系统可靠性	63
6 采区巷道布置系统可靠性	73
6.1 可靠性分析方法及可靠性指标	73
6.2 单一煤层走向长壁采区巷道布置系统可靠性	74

6.3	煤层群走向长壁采区巷道布置系统可靠性	77
6.4	倾斜长壁巷道布置系统可靠性	80
6.5	实例	82
7	综采矿井设置备用工作面时的可靠性	86
7.1	矿井采运系统的可用度	86
7.2	矿井设置备用工作面时采运系统的可用度	88
7.3	综采系统的生产能力	95
7.4	矿井设置备用工作面时的效能分析	95
7.5	实例	96
8	综采工作面人一机—环境系统可靠性	100
8.1	综采工作面人一机—环境系统结构分析	100
8.2	综采工作面人一机—环境系统可靠性分析	100
8.3	实例	108
9	矿井通风系统可靠性	112
9.1	通风控制设施的可用度	112
9.2	矿井主要通风机的可用度	113
9.3	矿井通风网络的可用度	113
10	矿井生产系统故障树分析	121
10.1	故障树的建立	121
10.2	故障树与故障开关电路	123
10.3	采区生产系统故障树分析	125
	主要参考文献	136

1 绪 论

1.1 概 述

矿井系统可靠性是指矿井系统在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。其中包含系统、规定的条件、规定的时间及规定的功能四个要素,并指明可靠性的特点是系统的一种能力,而不是一种性能。

各要素的含义如下:

(1) 系统是指作为单独研究的对象。因为不同系统的可靠性不同,为了进行比较应明确指出是哪种系统的可靠性,这种系统包括哪些组成部分。本文中所谓系统是指矿井各种系统(如采煤系统)、环节(如上山运输环节)、设备(如采煤机)等。矿井系统由采煤、掘进、运输、提升、通风、排水、供电等子系统组成。有些子系统又是一个复杂的系统,如运输系统,包括工作面运输、采区运输、大巷运输、地面运输等子系统。因此系统与子系统是相对的。

(2) 规定的条件是指:①环境条件(如气候);②动力、负荷条件(如供电电压);③工作方式(如连续工作、间断工作);④使用和维护条件。矿井系统可靠性受规定的条件制约,不同条件下矿井系统可靠性可能截然不同。例如,矿井机电设备在地面条件下的可靠性可能要高于在井下条件下的可靠性,我们所研究的是井下条件下的系统可靠性。

(3) 规定的时间是指系统完成规定功能的时间。在不

同的规定时间内，系统的可靠性将不同。时间的单位可以是年、月、日、小时、分、秒；也可以是广义的时间单位（如次数）。本书所指的时间为前一类。

（4）规定的功能是指表征系统能完成任务的各种技术指标。不同的系统完成的功能是不同的。例如，矿井运输系统的功能是保证将工作面的煤顺利运出，其指标可用运输能力表示；通风系统的功能是保证矿井能正常通风，其指标可用风量、风速等表示。

矿井系统可靠性的高低直接影响到矿井产量的大小及经济效益的好坏。纵观我国矿井生产的现状，经过几十年的发展，已取得了长足的进步，但是，与国外先进水平相比，还存在很大的差距。例如，美国综采工作面的年产量大都在300万t以上，而我国平均只有100万t左右；国外采煤机开机率一般在60%以上，而我国平均只有25%左右。究其原因，很重要的一个影响因素是矿井系统可靠性低。因此，应用系统可靠性理论对矿井系统进行分析，建立其可靠性模型，探讨提高矿井系统可靠性的措施，具有十分重要的意义。

1.2 矿井系统可靠性研究的任务

矿井系统可靠性研究的主要任务有：可靠性数据的收集与分析，可靠性模型的建立，可靠性设计与评价。

1.2.1 可靠性数据的收集与分析

在进行矿井系统可靠性研究时，除了需要应用系统可靠性理论及有关计算方法外，必须通过调查研究收集各种有关的实际数据。精确而完整的可靠性数据，对于矿井系统可靠性研究，是必不可少的。

1.2.1.1 可靠性数据的来源

矿井系统可靠性数据的来源主要有：（1）各种统计报表；（2）对一些专题作专门调查；（3）现场观测。

统计报表是收集统计资料的主要手段，是矿井系统可靠性数据的主要来源。统计报表的数据多而广，但对于某些具体问题的研究，其数据则往往显得不够。因此，必须对一些专题（如采煤机、采区采运系统）作专门的调查，以补充从统计报表中得到的数据。

统计报表及专题调查得到的数据，往往由于统计手段的局限性，以及现场没有将设备或系统的短时故障记录下来，从而使得统计数据的精度不够，而解决某些问题要求数据的精度较高。为此，可采取现场观测手段获取所需的可靠性数据。

1.2.1.2 可靠性数据的收集

矿井系统为可修系统。对于可修系统，其最重要的可靠性数据为系统或设备无故障（正常）工作时间和故障时间。为收集这些数据，首先必须明确系统或设备正常和故障状态的含义。表 1.1 为本书所涉及到的系统或设备正常和故障状态的含义。

根据可修系统正常和故障状态的含义，考察系统随时间的运行情况，如图 1.1 所示。其中 x_i 和 y_i 分别表示第 i 个周期系统的正常工作时间和故障时间，从而可得正常工作时间序列为 x_1, x_2, \dots, x_n ；系统故障时间序列为 y_1, y_2, \dots

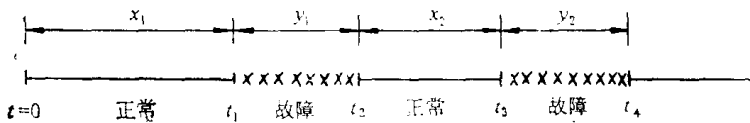


图 1.1 可修系统随时间的运行情况

表 1.1 正常和故障状态的含义

项 目	正 常 状 态	故 障 状 态
采煤机	运 行	故障停机
工作面输送机	运 行	①本身故障；②被煤压死
支 架	①完好；②虽有故障但未造成采煤机停机	因故障造成采煤机停机
放煤口	正常放煤	①堵塞；②无煤放出
顶 板	①正常；②虽有顶板破碎或局部冒落，但未造成采煤机停机	①冒顶；②顶板破碎造成采煤机停机
瓦 斯	正 常	因超限而造成采煤机停机或放煤口停止放煤
转载机	运 行	①本身故障；②被煤堵死
顺槽输送机	运 行	故障停运
上山输送机	运 行	故障停运
大巷列车	运 行	①本身故障；②在相互干扰路段等车
大巷带式输送机	运 行	故障停运
井筒提升设备	运 行	故障停提
煤 仓	①可以装煤；②有煤放出	①堵塞；②满仓；③空仓(相对煤仓下口子系统为故障)
采区采运系统	正常采煤	因故障停采
大巷运输系统	正常运煤	因故障或采区煤仓空仓而停运
井筒提升系统	正常提煤	因故障或井底煤仓空仓而停提
地面运输系统	正常运煤	因故障停运
通风系统	风量、风速满足要求	①风机故障；②瓦斯超限； ③设施故障；④漏风；⑤短路

..., y_n 。

1.2.1.3 可靠性数据的分析

在收集到可靠性数据 x_1, x_2, \dots, x_n 和 y_1, y_2, \dots, y_n 后, 应用概率论与数理统计知识对其进行分析, 找出其分布规律, 从而为建立可靠性模型提供依据。

可靠性数据分析的步骤如图1.2所示。

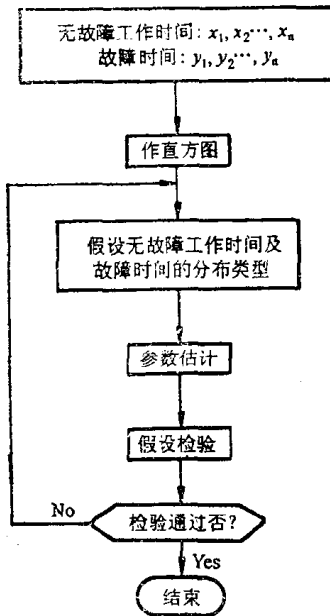


图 1.2 可靠性数据分析框图

1.2.2 可靠性模型的建立

在对矿井系统进行可靠性分析与评价时, 定性的泛泛之谈往往说明不了问题, 需要用具体的可靠性指标进行定量分析。可靠性指标是通过各种可靠性模型计算获得的, 因此, 建立正确、实用的可靠性模型, 对于矿井系统可靠性研究至

关重要。

建立系统可靠性模型的步骤如下：

(1) 系统分析。

根据系统分析的思路、准则及步骤，对所研究的系统进行分析，明确系统的功能，弄清系统的结构，将系统分为若干环节（单元）。

(2) 建立可靠性框图。

根据系统各环节之间的相互依赖关系，建立可靠性框图。一般情况下，框图的每一方框代表系统的一个环节，但有时为简化分析，将几个环节组成的串联系统用一个方框表示。例如，采区采运系统由采煤机①、工作面输送机②、支架③、顶板④、转载机⑤、顺槽输送机⑥、上山输送机⑦、采区煤仓⑧8个环节组成，其可靠性框图如图1.3a所示。如将采运系统的前4个环节看成1个单元（即工作面子系统），用1个方框表示，则系统等效可靠性框图如图1.3b所示。

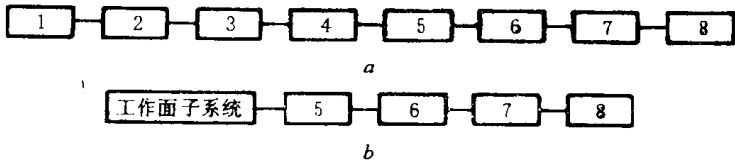


图 1.3 采区采运系统
a—可靠性框图；b—等效可靠性框图

(3) 建立可靠性数学模型。

系统可靠性模型要表示出系统及其环节(单元)之间的可靠性数量关系，这就需要根据可靠性框图及可靠性数据的分析结果，建立相应的数学模型。用数学式表达各环节(单元)的

可靠性与系统可靠性之间的函数关系，以此求解系统的可靠性指标值。

1.2.3 可靠性设计与评价

1.2.3.1 可靠性设计

一个新建矿井、新投产采区或工作面，采用不同的开拓方式、采区巷道布置方案及采煤方法，会使矿井系统的可靠性出现差异。矿井系统可靠性设计的主要任务就是要对提出的矿井开拓方式、采区巷道布置方案、采煤方法等进行可靠性分析，给出其可靠性指标，作为设计方案优选的依据之一。另外，将系统预期达到的可靠性分配到各子系统，也是矿井系统可靠性设计的内容。

1.2.3.2 可靠性评价

根据生产矿井、采区、工作面的可靠性数据，应用系统可靠性模型，对现有系统进行分析与评价，找出系统的薄弱环节并提出改进措施，从而为矿井技术改造提供依据，这就是矿井系统可靠性评价的主要任务。

2 矿井设备的可靠性

矿井采运系统是由机电设备群为主体所组成的，设备的可靠与否直接影响到矿井系统可靠性的高低。本章对矿井设备的可靠性及维修方式进行探讨。

2.1 矿井设备可靠性的数量指标

从可靠性角度看，矿井设备可分为不可修设备或元件（如照明灯管、控制设备的晶体管、电容、电阻等）和可修设备（如采煤机、输送机、支架等）。对于不可修设备，可用可靠度和平均寿命来描述其可靠性特征。

通常用一个非负随机变量 X 来描述设备的寿命， X 相应的分布函数为：

$$F(t) = P\{X \leq t\}, t \geq 0.$$

有了寿命分布函数 $F(t)$ ，就知道设备在时刻 t 以前都正常的概率为：

$$R(t) = P\{X > t\} = 1 - F(t) \quad (2.1)$$

式中 $R(t)$ 称为设备的可靠度函数或可靠度，是指设备在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率。

随机变量 X 的均值 $E(X)$ ，就是设备的平均寿命：

$$E(X) = \int_0^{\infty} t dF(t) \quad (2.2)$$

寿命分布函数 $F(t)$ 的具体形式可根据经验推断，或

用数理统计知识进行假设检验。由于矿井设备中不可修的较少，所以这里不作详细讨论。

矿井设备中大部分都是可修的。对于可修设备，其可靠性数量指标主要有：可靠度、维修度和可用度。

2.1.1 可靠度

设备无故障工作时间 X 的分布函数为：

$$F(t) = P\{X \leq t\} = \int_0^t f(t) dt, \quad t \geq 0$$

式中 $f(t)$ —— 故障密度函数。

设备的可靠度为：

$$R(t) = P\{X > t\} = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (2.3)$$

国内外大量统计资料表明，大部分矿井设备的故障密度函数服从负指数分布，即：

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

式中 λ —— 故障率，即单位时间内设备发生故障的次数。

$$\lambda = \frac{1}{T_1} \quad (2.5)$$

式中 T_1 —— 设备的平均无故障工作时间。

将(2.4)式代入(2.3)式得

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

2.1.2 维修度

维修度表征设备维修难易的程度，是指：设备在规定的条件下和规定的时间内完成维修的概率。维修度用 $M(t)$ 表

示, 设备维修时间用随机变量 Y 表示, 则有:

$$M(t) = P\{Y \leq t\} = \int_0^t m(t) dt \quad (2.7)$$

式中 $m(t)$ —— 维修密度函数。

大部分矿井设备的维修密度函数服从负指数分布, 即:

$$m(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (2.8)$$

式中 μ —— 修复率, 即单位时间内设备被修复的次数。

$$\mu = \frac{1}{T_2} \quad (2.9)$$

式中 T_2 —— 设备的平均维修时间。

将(2.8)式代入(2.7)式得:

$$M(t) = \int_0^t \mu e^{-\mu t} dt = 1 - e^{-\mu t} \quad (2.10)$$

2.1.3 可用度

对于绝大多数矿井可修设备来说, 只有正常和故障两种状态, 这样就可以用一个二值函数 $X(t)$ 来描述它, 对 $t \geq 0$, 令:

$$X(t) = \begin{cases} 0 & \text{时刻 } t \text{ 设备正常} \\ 1 & \text{时刻 } t \text{ 设备故障} \end{cases}$$

设备在时刻 t 的瞬时可用度定义为:

$$A(t) = P\{X(t) = 0\} \quad (2.11)$$

即时刻 t 设备处于正常状态的概率。

若:
$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) \quad (2.12)$$

则称其为稳态可用度。

稳态可用度(下称可用度)是可修设备重要的可靠性指标之一, 它表示设备经长期运行大约有 A 的时间比例处在正