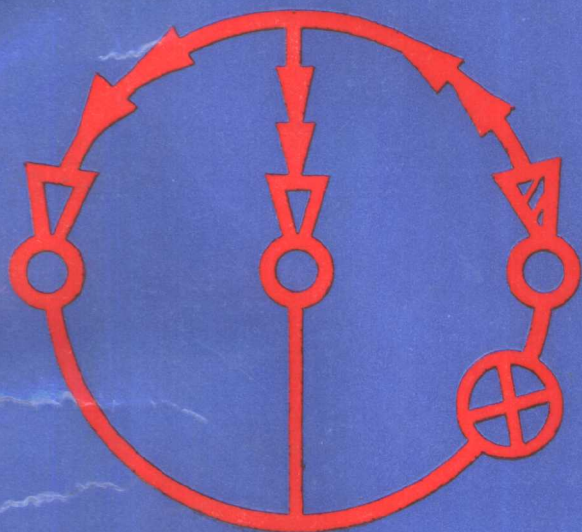




矿井火灾救灾 决策支持系统

王德明 李永生 著

煤炭工业出版社

矿井火灾救灾决策支持系统

王德明 李永生 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井火灾救灾决策支持系统/王德明等著. —北京: 煤炭工业出版社, 1996

ISBN 7-5020-1357-1

I. 矿… II. 王… III. 矿井-井下火灾-救灾-决策支持系统 IV. TD75

中国版本图书馆CIP数据核字 (96) 第11972号

矿井火灾救灾决策支持系统

王德明 李永生

责任编辑: 李永生

煤炭工业出版社

(北京安定门外和平里北街2号)

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 4^{1/8}

字数 81 千字 印数 1—610

1996年10月第1版 1996年10月第1次印刷

书号 4126 定价 8.60元

前 言

矿井火灾是煤矿生产中的重大自然灾害之一。事故一旦发生，会造成煤炭资源、设备的重大损失和人员的重大伤亡，处理不及时或处理不当又会诱发更为严重的事故，如瓦斯、煤尘的燃烧与爆炸，使灾害进一步扩大。

对严重威胁矿井安全生产的重大自然灾害，应事先加强对策的研究，即对问题的发生及时采取切实可行的防范措施，防止事件向恶性发展；或一旦恶性事件发生时，及时采取事先准备的应急措施。处理重大突发性事故，如果对灾变中出现的各种可能情况缺乏预想，就难以临场胸有成竹地迅速制定出有效、可行的救灾措施；对灾情的发展缺乏分析，不了解矿井灾害事故的发展规律、不掌握灾变带来的威胁与变化，就难以有针对性地作出正确的救灾决策。由于矿井火灾具有突发性和严重灾难性的特点，救灾指挥人员在重大事故的冲击下容易造成指挥失常，难以冷静、理智的考虑问题；加之煤矿井下网络结构及生产环境十分复杂，尤其是发生灾变以后的环境更是变幻莫测，即使有丰富实际经验、良好心理素质的领导者，也难于迅速作出正确全面的指挥决策，以致贻误战机，造成灾害的扩大和带来不应有的损失。

决策支持系统 (Decision Support System, 简称DSS) 为救灾决策提供了有力的工具。DSS是以计算机为工具，应用决策科学及其有关的各种理论和方法，为决策者提供各种信息，辅助指挥员进行决策。由于救灾决策所面临

的问题的不确定性、复杂性和动态性，想用计算机来完全代替人作出决策是不现实的，也是不可能的。然而计算机能帮助人们进行决策，可以充分利用计算机所存储的资源（如风网结构、巷道特性、消防设施布置、以往救灾的经验教训和处理方法、已经制定过的灾变应急处理方案和措施等）和有价值的分析工具（矿井火灾模拟计算、控风措施选择、选择最佳救灾与避灾路线等），以及计算机的高速运算与推理功能，组成救灾决策支持系统。通过人-机交互方式，增强决策者思维的能动性和科学性，扩大指挥员处理问题的能力和范围，有效地提高指挥员决策的质量和速度。因此研制、开发和使用矿井火灾救灾DSS是矿井现代化建设的需要，也是救灾工作走向科学化的必由之路。

作者以决策支持系统理论为指导，通过建立反映矿井开拓、开采、通风、安全等客观条件的数据库、图形库、反映专家救灾经验的知识库、具有一定的辅助救灾决策功能的模型库，以及为各种模型求解提供算法的方法库，并建立各库的相应管理系统，组成了矿井火灾救灾决策支持系统。该系统能为矿井火灾救灾指挥人员提供各种信息、模拟火灾动态发展趋势，提出救灾可行方案，能有效地辅助救灾指挥员进行决策。

针对煤矿井下作业的特点，为了帮助救灾指挥员对灾情发展的趋势有清晰和形象化的认识，作者开发出了一个交互式图形系统。该系统不仅具有矿井通风图形绘制与编辑、单线图交叉点处理、单线图自动转换双线图等多项功能，而且能将救灾决策支持系统对灾情的发展预测、选择出的最佳救灾与避灾路线等在矿井通风系统平面图上通过动画与声音方式进行显示。本项研究较之当前国内外提出的矿井火灾计算

机模拟软件在用户界面和图形显示方面的现状是一项很大的进步。

本书通过对当前矿井火灾计算机模拟研究成果的分析, 对其研究方法进行了分类, 并评述了各种方法的优缺点。由于火灾燃烧过程的复杂性, 现有的计算机火灾模拟程序中, 均将火源处理成固定的点火源, 这与矿井可燃物分布特征及矿井火灾的实际燃烧过程是不相符的。书中提出了可移动的线火源概念, 并依据对国内外大量火灾试验结果的统计与分析, 分别对点火源和线火源的特性进行了研究, 提出了移动火源热分解率、移动火源蔓延速率、火灾灾变烟流及温度分布带的数学模型。模型计算与试验结果比较接近, 表明模型基本上是正确的。这些研究成果使矿井火灾计算机模拟的结果更接近实际, 是矿井火灾计算机模拟研究创造性进展。

本书在对国内外现有计算机选择最佳的矿井火灾救灾与避灾路线的研究成果进行总结的基础上, 结合我国实际生产矿井条件, 对火灾时期井巷可通行性、通行的难易度、 k 最短路算法的求解、最佳救灾与避灾路线的图形显示等方面进行了研究; 提出了依据灾情变化而确定的选择救灾与避灾路线的原则; 并将避灾路线分为三种类型: 理想的避灾路线(未受灾变烟流影响的通路)、可行的避灾路线(满足一定的安全条件)及逃生的避灾路线(以人的最大耐受能力为限制条件)。这为救灾决策科学化奠定了重要的基础。作者提出的以 k 最短路基本定理为基础的求解 k 最短路的新算法简便、速度快, 计算结果简明、适用, 是计算机选择最佳救灾与避灾路线求解 k 最短路的理想算法。在程序的编制中, 作者充分利用了作为 C 语言精华的指针变量的特性, 编制出了高效的求解 k 条最佳救灾与避灾路线的计算机程序。

作者在开发矿井火灾救灾决策支持系统的研究工作中紧密结合现场实际,以矿井火灾为主要自然灾害的平顶山一矿、柴里煤矿、南屯煤矿为该软件系统的应用样板矿井;采用以“问题导向”的方法,根据现场救灾实际需要来确定主攻方向。为了使该系统建立在更扎实的基础上,作者精心组织了样板矿井的通风阻力、主扇性能、矿井漏风等矿井通风安全技术参数的测定工作。这些测定工作为该系统提供了可靠的基础数据并为该系统的实用性和可靠性奠定了坚实的基础。在研究中还充分利用当代迅速发展的计算机技术,采用当前国际最先进和流行的软件开发环境C++编程,该语言及环境是矿井火灾救灾决策支持系统建立良好的用户界面、丰富的图形显示功能和高速的运算能力的强有力工具。

矿井火灾救灾决策支持系统的研制对我国煤矿通风安全技术管理水平的发展是一个大的变革;对促进矿井火灾救灾工作由过去的经验型向科学型转化,对安全技术及工程学科的建设均具有重要意义。

本书在编写过程中得到了中国矿业大学王省身教授、赵以蕙教授、戚宜欣博士,枣庄矿务局庄玉伦总工程师,平顶山矿务局黄国纲总工程师、平顶山一矿赵延绍副矿长、张付成总工程师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。因写作时间仓促,书中难免有不当之处,敬请读者指正。

符 号 表

- a ——岩石热扩散率, m^2/s ;
 c ——从火源流出风流的氧气浓度, %;
 c_c ——流进火源风流的氧气浓度, %;
 c_p ——空气的定压比热, $\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$;
 c_{pd} ——可燃物的定压比热, $\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$;
 d_{sj} ——节点 s 到节点 j 的最短路距离, m ;
 E_f ——火源燃烧释放热量的速率, J/s ;
 F ——可燃物的燃烧面积, m^2 ;
 F ——燃烧带岩壁的面积, m^2 ;
 k_{ft} ——火源类型参数;
 $k_{0.2}$ ——单位质量的可燃物燃烧时所需的氧气量,
 kg/kg ;
 k_t ——取决于巷道类型的通行难易度系数;
 k_v ——取决于巷道中风速的通行难易度系数;
 k_z ——取决于巷道坡度的通行难易度系数;
 l ——火源的燃烧带长度, m ;
 l_{ri} ——第 i 条巷道的实际长度, m ;
 l_{ij} ——第 i 条巷道第 j 个局部障碍当量长度值, m ;
 L ——可燃物分布长度, m ;
 m_0 ——可燃物初始总质量, kg ;
 m_f ——可燃物质剩余质量, kg ;
 $\dot{m}_f$ —— m_f 对时间的导数, 其绝对值为热分解速率,

kg/s ;

m_{f1} ——可燃物单位长度的热分解速率, $\text{kg/m}\cdot\text{s}$;

$m_{f\max}$ ——点火源可燃物最大热分解速率, kg/s ;

m_F —— m_f 的修正值, kg/s ;

m_i ——第 i 种燃料的质量, kg ;

m_{O_2} ——单位长度内氧气的消耗速率, $\text{kg/m}\cdot\text{s}$;

m ——从火源处流出的风流质量流量, kg/s ;

m_o ——流进火源处的风流质量流量, kg/s ;

$\dot{M}_f$ ——线火源的热分解速率, kg/s ;

$\dot{M}_{f\max}$ ——线火源的最大热分解速率, kg/s ;

NB ——风网的分支总数;

NJ ——风网的节点总数;

q_0 ——单位质量的木材充分燃烧的发热量, J/kg ;

q_f ——单位质量可燃物充分燃烧的发热量, J/kg ;

q_{fi} ——第 i 种燃料单位质量充分燃烧的发热量, J/kg ;

q_{fv} ——燃料表面单位表面积燃烧热速率, $\text{J/m}^2\text{s}$;

q_r ——单位长度巷道岩壁的吸热或放热量, J/kg ;

q_R ——燃烧反应强度, J/m^2 ;

q_p ——火焰传播热通量, W/m^2 ;

q^* ——无因次不稳定换热系数;

Q ——巷道中的风量, m^3/s ;

Q_g ——点燃单位质量可燃物所需的热量, J/kg ;

r ——柱面坐标系中的半径, m ;

r ——巷道水力半径, m ;

s ——巷道沿轴向的坐标值, m ;

t ——巷道的空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_r ——原岩温度, $^{\circ}\text{C}$;
 t_{r0} ——岩石表面初始温度, $^{\circ}\text{C}$;
 Δt ——火源处空气温升值, $^{\circ}\text{C}$;
 T' ——稳定燃烧持续时间, min ;
 T ——火灾模拟总时间, min ;
 T_i ——可燃物的着火温度, K ;
 T_0 ——可燃物的原始温度, K ;
 $T_{\max}$ ——人在高温环境中最大耐受时间, min ;
 v_f ——火源的蔓延速度, m/s ;
 v_{per} ——人的行走速度, m/s ;
 v_{vel} ——井下运输工具(人行车、罐笼)的速度, m/s ;
 w_f ——可燃物燃烧宽度, m ;
 w_{jk} ——节点 j 到节点 k 的路径值;
 w ——巷道宽度, m ;
 x ——岩体内某点距巷道壁的距离, m ;
 α ——岩石与空气的对流换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;
 τ ——时间, s ;
 τ ——燃烧持续时间, s ;
 τ ——穿越高温巷道允许的通行时间, min ;
 τ_a ——火源达到稳定燃烧阶段的时刻, s ;
 τ_b ——火源开始衰减时刻, s ;
 ρ ——空气的密度, kg/m^3 ;
 ρ ——巷道中的风流烟流平均密度, m^3/kg ;
 ρ_f ——可燃物的密度, kg/m^3 ;
 ε ——热通量比;
 ψ ——柱面坐标系中的方向角度, rad ;
 λ_r ——岩石的热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

- Φ ——线段方向与横坐标轴之间的夹角, rad;
- $\Phi(x)$ ——误差函数;
- η ——燃烧效率;
- ξ ——巷道坡度影响通行系数。

内 容 提 要

本书介绍了以决策支持系统理论为指导开发的矿井火灾救灾决策支持系统。内容包括矿井通风系统图计算机辅助绘制、矿井火灾计算机模拟、最佳救灾与避灾路线的选择、火灾时期风流控制的决策等。

本书可供矿井通风安全管理、工程技术人员及高等院校相关专业师生参考。

目 录

符号表

1 绪论	1
1.1 矿井火灾概述	1
1.2 决策支持系统简介	3
1.2.1 决策与决策支持系统的基本概念	3
1.2.2 DSS的构成	6
1.2.3 DSS的特征	8
1.3 矿井火灾救灾决策支持系统概述	10
1.3.1 矿井火灾救灾处理技术的发展与沿革	10
1.3.2 矿井火灾救灾决策支持系统的研制	11
2 计算机辅助绘图系统设计	14
2.1 CAD技术的发展及其在矿业中的应用概况	14
2.2 MineCAD的编程思想及特点	15
2.3 MineCAD的用户界面	17
2.3.1 输入方式选择	17
2.3.2 绘图坐标系	17
2.3.3 用户界面的屏幕设计	18
2.3.4 MineCAD的用户界面及功能模块结构	18
2.3.5 标象及标象编辑器	18
2.4 MineCAD的功能	21
2.4.1 交互式图形系统的基本功能	21
2.4.2 矿井通风图形处理高级功能	26
2.5 救灾决策功能模块的图形显示技术	37
2.5.1 救灾决策采用的矿井通风系统图形	37

2.5.2	救灾决策图形显示基本内容	39
2.5.3	救灾决策图形显示的基本技术	41
2.6	MineCAD与AutoCAD的数据交换	43
3	矿井火灾计算机模拟	48
3.1	当前研究成果评述	48
3.1.1	国内外研究概况	48
3.1.2	矿井火灾模拟方法及分类	50
3.1.3	对现有模拟方法的评价	58
3.2	矿井火灾火源燃烧特性	61
3.2.1	矿井火灾燃烧试验概述	61
3.2.2	点火源及其特性	63
3.2.3	线火源及其特性	69
3.3	火灾模拟程序结构及框图	76
4	计算机选择最佳救灾与避灾路线	80
4.1	井巷可通行性判别	80
4.1.1	避灾路线	81
4.1.2	救灾路线	83
4.2	井巷通行难易度的确定	83
4.3	k 条最佳救灾与避灾路线的求解	86
4.3.1	最短路方程及算法	86
4.3.2	最短路求解	89
4.3.3	求解 k 条最佳救灾与避灾路线的程序结构及框图	92
4.4	实例	93
5	火灾时期的风流控制	98
5.1	防治风流紊乱的基本准则	98
5.1.1	上行风流发生火灾时旁侧支路风流逆转条件	98
5.1.2	下行风流发生火灾时风流逆转条件	100
5.1.3	基本控风原则	100
5.2	基于知识的风流控制专家系统	103

5.2.1 专家系统的基本概念	103
5.2.2 风流控制的专家知识库	104
5.2.3 控风推理机设计	107
6 结论	109
参考文献	111

1 绪 论

1.1 矿井火灾概述

矿井火灾与矿井瓦斯、矿尘、矿井水灾和顶板冒落事故一起被通称为煤矿五大自然灾害。矿井火灾按引火热源不同可分为外因火灾与内因火灾。矿井内因火灾占矿井火灾总次数的85%~90%，外因火灾占10%~15%。随着煤矿机械化程度的提高，外因火灾比重增大。1985年前，外因火灾低于矿井火灾总次数的10%，到“七五”期间上升到15%。

矿井地下井巷火灾是在一个受限的空间内，并在一个十分复杂的风流网络中燃烧的。它的发生、蔓延和扑救都有其独特的规律。它不像地面火灾有明显的可见目标，而是空间狭小、扑救困难。每一次矿井火灾事故给矿井造成的损失少则以数十万元计，一般也要以百万元计，严重时可达数千万元。煤矿井下火灾发生时，危害最为严重的是其燃烧生成的大量高温有毒有害气体。高温烟流的热力作用可造成通风系统紊乱，有毒有害气体可侵袭到井下的每个区域，从而对矿工生命造成重大威胁和伤害。据国内外资料统计，在矿井火灾事故中有95%以上的遇难人员是在烟雾中中毒死亡的。矿井火灾还往往与煤尘瓦斯爆炸相互作用，扩大灾害的程度和范围，这是酿成煤矿重大恶性事故的原因之一。

矿井火灾具有突发性和严重灾难性，事故一旦发生，会造成煤矿资源、设备的重大损失和人员的重大伤亡。处理不

及时或处理不当往往又会诱发更为严重的事故，如瓦斯、煤尘燃烧与爆炸，使灾害进一步扩大。因此救灾指挥人员在重大事故的冲击下和面临事故灾难性的重大压力下容易造成指挥失常，难以冷静、理智的思考问题；加之煤矿井下生产环境十分复杂，即使具有丰富实际经验、良好心理素质的领导者也难于迅速作出正确全面的指挥决策，以致贻误战机造成灾害的扩大和带来不应有的损失。例如1990年5月8日，鸡西矿务局小恒山煤矿进风斜井胶带输送机发生火灾事故，死亡80人，其中救护队员12人，矿总工程师和机电副总工程师也同时遇难。据不完全统计，我国自建国以来到1993年，在矿井灾变事故的处理中，因救灾指挥员决策失误或指挥不当造成救护指战员的死亡人数占救护队救灾自身牺牲人员总数的26.13%。此外，还有不少因指挥不当虽未造成救护队自身伤亡，但导致事故扩大，使事故处理复杂化的案例。

由于我国煤矿开采条件复杂、安全技术管理还有漏洞等多种原因，致使我国每年都有多起矿井火灾恶性事故的发生；同时，又由于重大灾害事故的突发性，往往使得抢险救灾工作措手不及，以至贻误战机、事态扩大，给国家财产和矿工生命带来巨大的损失。矿井火灾重大恶性事故的发生不仅对矿井和矿工生命造成重大的直接伤害，而且对社会也产生严重的影响。随着矿井现代化建设的发展，生产规模日益扩大，大型与特大型矿井日益增多，机电设施与设备也逐渐增多，不仅风网结构复杂，而且可燃物种类、数量繁多。显然，在这种情况下，以救灾指挥者靠经验为基础的传统救灾方法就远远不能满足日益复杂的救灾决策需要。因此如何进行矿井火灾的抢险与救灾工作，以便尽快扑灭火灾并将灾情控制在尽可能小的范围与程度，这是煤矿安全生产