**分类号**  **学号**

**学校代码10488 密级**



**硕士学位论文**

**基于信息熵模型的矿井火灾逃生路径规划**

|  |  |
| --- | --- |
| **学位申请人：** | **刘怡** |
| **学科专业：** | **矿业工程** |
| **指导教师：** | **李雯静** |
| **答辩日期：** | **2020年5月** |

**A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master in Engineering**

**Escape route planning of mine fire based on information entropy model**

|  |  |
| --- | --- |
| **Master Candidate：** | **Liu Yi** |
| **Major：** | **Mining Engineering** |
| **Supervisor ：** | **Li Wenjing** |

**Wuhan University of Science and Technology**

**Wuhan, Hubei 430081, P.R. China**

**May, 2020**

**武汉科技大学**

**研究生学位论文创新性声明**

本人郑重声明：所呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立进行研究所取得的成果。除了文中已经注明引用的内容或属合作研究共同完成的工作外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

**论文作者签名： 日期：**

---------------------------------------------------------------------------------------

**研究生学位论文版权使用授权声明**

本论文的研究成果归武汉科技大学所有，其研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解武汉科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门(按照《武汉科技大学关于研究生学位论文收录工作的规定》执行)送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，同意学校将本论文的全部或部分内容编入学校认可的国家相关数据库进行检索和对外服务。

**论文作者签名：**

**指导教师签名：**

**日 期：**

# 摘 要

为保证数据质量，提高矿井火灾逃生路径规划效率，提出了一种基于信息熵的矿井火灾逃生路线规划方法。首先，确定矿井火灾发生时，矿井人员逃生的影响因素；其次，建立巷道网络的三维模型，利用Pyrosim软件对巷道火灾进行模拟，解算不同火灾情况下，巷道中风速、温度以及烟气质量等因素的变化；然后，根据火灾的模拟结果，利用信息熵模型，确定矿井火灾时期巷道的当量长度，并利用Dijkstra算法求解矿井人员的最优逃生路径；最后，以国内某矿山为例，分别用该方法和传统方法对该矿山进行逃生路径规划，结果表明：在进行矿井火灾最优逃生路径规划时，该方法具有更高的效率和更优的路径规划结果。

**关键词**：信息熵；影响因素；当量长度；矿井火灾；路径规划

**Abstract**

.

**Keywords**: Information entropy; Influence factor; Equivalent length; Mine fire; Route planning

**目 录**

[摘 要 I](#_Toc27407411)

[**Abstract** II](#_Toc27407412)

[第1章 绪论 1](#_Toc27407413)

[1.1 研究背景及意义 1](#_Toc27407414)

[1.1.1 研究背景 1](#_Toc27407415)

[1.1.2 研究意义 1](#_Toc27407416)

[1.2 国内外研究现状 2](#_Toc27407417)

[1.2.1 矿井火灾通风及烟气流动规律研究现状 2](#_Toc27407418)

[1.2.2 巷道网络最佳逃生路线研究现状 3](#_Toc27407419)

[1.3 研究内容 3](#_Toc27407420)

[1.4 技术路线 3](#_Toc27407421)

[1.5 本文结构 3](#_Toc27407422)

[第2章 矿井火灾燃烧特性及烟气蔓延规律 4](#_Toc27407423)

[2.1 矿井火灾的燃烧特性 4](#_Toc27407424)

[附录1攻读硕士学位期间发表的论文 5](#_Toc27407425)

[附录2攻读硕士学位期间参加的科研项目 6](#_Toc27407426)

# 第1章 绪论

## 1.1 研究背景及意义

### 1.1.1 研究背景

矿山是复杂且充满多重危险的生产环境，其生产过程中难免会受到火灾、粉尘、水灾、围岩失稳等灾害的威胁。火灾是矿井重大灾害之一，随着井下开采机械化、自动化程度的提高，井下电气设备和机械不断增多，矿井发生火灾的概率也随之增加，以下是近来发生的几起重大的矿井火灾事故。

2010年1月5日12时20分，湖南省湘潭市湘潭县立胜煤矿发生一起重大火灾事故，造成25人死亡、3人下落不明，初步调查分析，事故原因是该矿中间井通往-240m水平暗立井中的电缆超负荷工作起火，引燃巷道木支架，产生大量一氧化碳气体，致使作业人员中毒窒息死亡；2010年1月8日17时左右，江西新余庙上煤矿发生一起重大火灾事故，造成12人死亡，初步调查分析，事故原因是该矿井下一水平空气压缩机起火引燃巷道木支架，产生大量一氧化碳气体，致使井下作业人员中毒窒息死亡；2010年3月15日20点30左右，新密市东兴煤业有限公司主井西大巷第一绕巷发生电缆着火事故，25人遇难；2009年10月9日22时30分，阜新市中兴煤矿有限公司东部井发生一起重大火灾事故，造成13人死亡，直接经济损失790万元，经调查，这起事故的主要原因是，西轨道下山在102面上川岔口以下10m处，顶板煤层产生裂隙，漏风氧化、煤层自燃引起火灾；2003年12月11日15时10分，乌鲁木齐市东山区鑫明煤矿井下发生一起重大火灾事故，造成9人死亡、1人受伤。此后，该煤矿又发生多起瓦斯爆炸，火灾面积迅速扩大，救护人员无法进入事故发生现场，被迫于13日封井，井下5名遇难者尚无法救出

由于井下环境恶劣，地质条件又极为复杂，空间受限且封闭，发生火灾后，烟气和热气很难散出，且会迅速蔓延至整个空间。井下可燃物燃烧将生成大量有毒有害气体，有毒有害气体随着风流沿巷道流动，其高温、毒性及窒息性都给井下工作人员的生命安全造成了严重的威胁。尤其是高温烟流，可能产生火风压，造成风流逆转及紊乱，使灾害不断发生变化难以控制，同时，烟气的浓度会降低井下空间的能见度，使工作人员难以及时的选择正确的逃生路线，造成人员的伤亡，通过分析井下火灾的特点及其发生条件，预测井下火灾的影响范围，为人员逃生及救灾人员应急救援提供参考。

火灾发生后，影响救灾行动成败的关键在于救援人员能否迅速、准确的做出决策并实施。在不太了解井下火势具体情况、且无法正确估计救灾措施效果的情况下，救灾人员却必须迅速做出决策，这对于现场应急指挥人员来说是一个巨大的挑战。作为决策人员，应了解并掌握矿井火灾的治理技术，了解在矿山易着火区域着火时的影响及其应急措施［２］。因此，掌握矿井火灾时期巷道中烟气的温度分布规律及蔓延规律具有重大的意义。从而进－步提高矿井火灾防治技术，促进安全生产技术发展，降低生产成本，提高管理水平和事故预防效率，减少事故伤亡和损失，产生较好的经济效益。同时对火灾事故原因调查、火灾事故再现、火灾事故应急救援及安全教育培训工作有重大意义

### 1.1.2 研究意义

矿井火灾具有发展速度快，变化性复杂，治理难度大的特点。火灾事故大多由于矿井发生火灾时，产生高温、烟尘及大量有毒有害气体，而矿井通常巷道纵横交错、拓扑结构复杂，对井下人员的避灾逃生构成了很大挑战。因此，如何在最短时间内找到最优避灾路线，帮助被困人员迅速逃离险境是应急逃生的重要问题[[[1]](#endnote-2)][[[2]](#endnote-3)]。

巷道网络是一个复杂的网络系统，在这个系统中，除了巷道的自身属性外，如巷道的长度、高度、坡度等因素，还包含巷道间的拓扑连接关系以及火灾发生后的其他附属信息，如火灾发生后巷道内的温度、通风程度、可见度等信息。通过对巷道网络复杂特性的研究，有助于在矿井火灾中，更快速的找到最佳逃生路径。

1948年，香农用信息熵的概念来描述信源的不确定度，解决了对信息的量化度量问题。随后，学者们将信息熵这一概念引入地图学领域，来反映地图要素的多样性和差异性。较为常见的就是利用信息熵来度量道路的信息量，并根据信息量对道路网中的道路进行重要性排序，然后根据其重要性和选取比例对道路进行选取[[[3]](#endnote-4)][[[4]](#endnote-5)][[[5]](#endnote-6)][[[6]](#endnote-7)]。同样地，在进行巷道避灾路线选取时，我们需要在巷道火灾发生时，对巷道的通行情况（重要性）进行排序，从而选取出最为合适的逃生路线。

快速、准确的选取避灾路线，可以有效的减少事故伤亡和损失，提高管理水平和事故预防率，产生较好的经济效益。同时对火灾事故应急逃生以及安全教育培训工作有重大意义。

一旦井下火灾发生，救援就变得至关重要，传统的矿井火灾救援是通过经验和井下一步步的探索开展的，不但效率低而且极易造成救援人员的伤亡，无形中增大了井下火灾矿难救援行动的难度。而井下的矿工因为缺乏科学有效的应急逃生理念，致使矿难发生时不能够实施有效的自救行动，使得井上救援人员与井下被困矿工之间很难形成协调互动的救援行动，往往相互牵制降低了救援的成功率。若将矿井火灾与虚拟现实技术结合在一起，将井下火灾情况在计算机中模拟显示出来，模拟分析火灾发生后矿工逃生避难路线，并且尽可能准确的制定火灾救援路线。这样就可以在火灾发生之前有效的制定应急救援行动，在火灾发生时及时准确的采取相应的救援行动，大幅度的降低矿井火灾造成的危害[3]。因此，将虚拟现实技术应用在矿井火灾逃生路线的制定上，使得火灾矿难救援行动更有效、更直观、更安全，从而有效指导矿山安全生产

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 矿井火灾通风及烟气流动规律研究现状

随着矿井火灾防治技术和信息化水平的提高，火灾发生频次总体呈下降趋势，但仍时有发生[]。近些年来，对于矿井火灾的研究，越来越多的专家学者，通过理论研究、数值模拟等方式研究了火灾蔓延理论，包括通风网络解算模型和烟流蔓延参数模型等。目前，火灾蔓延理论的研究不仅涵盖了小范围空间( 如胶带巷) ，还包括大尺度区域( 如整个矿区地下巷道) 。例如: 齐庆杰等［3］研究了胶带巷火灾蔓延及烟气流动的规律，并利用数值模拟技术，结合输送带燃烧特性，建立了火焰在输送带上传播的数值模型; 李宗翔等［4－5］开发了 TF1M( 3D) 仿真平台，用于模拟整个巷道系统的瓦斯突出过程，以及火灾时期的风流、火灾蔓延时的烟气浓度与温度分布等; 李翠平等［6］探讨了矿井火灾的场量建模及其可视化仿真技术，通过火灾场量的模型类与时序流程，建立了整个矿区地下巷道的火灾烟流发展变化三维可视化仿真系统。

张兴凯[7]运用实验模拟的方法，对井下巷道的燃烧过程进行深入研究，分别对井下巷道内易燃物如、煤、坑木进行火灾实验，分析了火区阻力与风流流动速度、火灾烟流温度之间的关系，得出了巷道内火灾烟流的温度分布计算以及影响燃烧折算速率大小的因素。在对水平巷道火灾、下行巷道火灾和上行巷道火灾条件下的风流状态变化进行研究后，朱海刚[]等人发现，由于火灾产生的浮升力以及节流效应的作用，火灾对于不同类型巷道风流状态的影响各不相同。蒋军成[]用 SIMPLE 算法对以矿井火灾时期巷道内烟流流动过程以及热交换过程的数学模型进行计算，通过对不同火区温度、不同巷道倾角、不同风流速度下的巷道火灾进行研究，验证了不同火源强度以及巷道坡度对火灾烟流流动规律以及通风网络系统的影响。

### 1.2.2 巷道网络最佳逃生路线研究现状

## 1.3 研究内容

。

## 1.4 技术路线

**图1-1 技术路线**

## 1.5 本文结构

。

# 第2章 矿井火灾燃烧特性及烟气蔓延规律

。

## 2.1 矿井火灾的燃烧特性

。

# 第3章 基于信息熵模型的巷道当量长度计算

# 第4章 基于FDS的矿井虚拟火灾动态模拟

# 第5章 矿井火灾逃生路径算法研究

# 第6章 结论与展望

# 致 谢

# 参考文献

# 附录1攻读硕士学位期间发表的论文

1. 第二作者. 李雯静, 刘怡, 胡丹. 一种改进的道路网信息层次度量方法[J]. 测绘科学, 2019, 44(9):176-184.
2. 第一作者. Yi Liu, Wenjing Li. A New Algorithms of Stroke Generation Considering Geometric and Structural Properties of Road Network[J]. International Journal of Geo-Information, 2019, 8(7): 304-327.

# 附录2攻读硕士学位期间参加的科研项目

1. [] Wang L, Wang Y, Cao Q, et al. A framework for human error risk analysis of coal mine emergency evacuation in China[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2014, 30(1):113-123 [↑](#endnote-ref-2)
2. [] 马晋钰,吴建松,原帅琪. 基于Multi-Agent的矿井人员疏散数值模拟[J]. 科学技术与工程, 2017,17（36）:152-157 [↑](#endnote-ref-3)
3. [] Jianchen Z , Yanhui W , Wenji Z . An Improved Hybrid Method for Enhanced Road Feature Selection in Map Generalization[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2017, 6(7):196-217 [↑](#endnote-ref-4)
4. [] Rosić M, Pešić D, Kukić D, et al. Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method[J]. Accid Anal Prev, 2017, 98:277-286 [↑](#endnote-ref-5)
5. [] 田晶, 罗云, 林镠鹏, 等. 两种道路选取策略的比较研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2019, 44(2): 310-316. [↑](#endnote-ref-6)
6. [] 马超, 孙群, 陈换新,等. 加权网页排序算法在道路网自动选取中的应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(8): 1159-1165 [↑](#endnote-ref-7)