

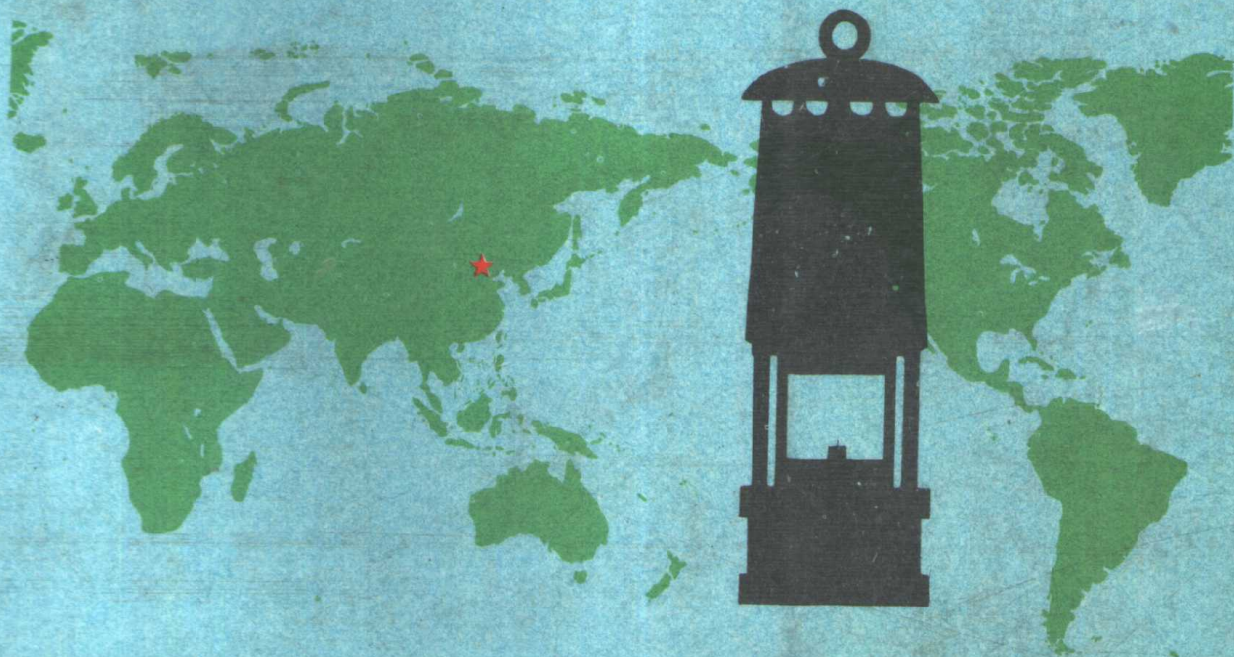
第二十二届国际采矿 安全会议论文集

PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE
OF SAFETY IN MINES RESEARCH INSTITUTES

1987年11月2日至6日

• 中国北京

88



煤炭工业出版社

第二十二届国际采矿安全会议 论文集

PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL
CONFERENCE OF SAFETY IN MINES
RESEARCH INSTITUTES

1987年11月2日至6日

中国 北京

煤炭工业出版社

前 言

第22届国际采矿安全会议论文集含有 20 个国家的 102 篇论文，按照论文的性质分成10个部分。这次会议论文反映了近二年来20个国家在采矿安全工作方面的新技术、新装备、新材料和科学管理方法。编者相信这些论文将为提高矿井安全程度作出应有的贡献。由于各国专家、教授和学者们的努力以及这次会议的各国协调人的紧密合作，使这本论文集及时付印成册，编者深表感谢。但少数论文不符合编著要求，字图不清，论文过期提交，没有足够的时间返回修改而随即付印，恳请会议代表们见谅。

编 者 戴 国 权

1987. 5. 20

目 录

第一部分 通风与瓦斯

I 通 风

- 用电子计算机模拟火灾时期矿井通风系统的风流状态……………〔中国〕李湖生。(3)
- 煤与沼气突出对矿井通风的影响……………〔联邦德国〕K. Noack and R. Pollak (18)
- 提高复杂矿井通风效率的可能性
……………〔罗马尼亚〕Florica Băltărețu and Ioan Matei (26)
- 矿井离心式扇风机的特性曲线及其方程的分析……………〔日本〕T. Isobe (30)
- 示踪气体技术用于准确的矿井通风测量
……………〔加拿大〕A. W. Stokes and D. Kennedy (41)
- 在有瓦斯突出危险的巷道内安全生产的通风技术原理
……………〔波兰〕Henryk. Bystroń (50)
- 矿井风流方向的稳定性……………〔中-美〕李新东 E. Topuz (61)
- 远距离控制区域性反风系统的研究……………〔中国〕邱志乾 李建明 王省身 (68)
- 用稀释管控制巷道的瓦斯排放
……………〔法国〕C. Tauziède, J-P. Josien and J-F. Raffoux (75)
- 矿井通风状态与风流携带瓦斯量的关系……………〔中国〕叶汝陵 (83)
- 矿井通风网路中的非稳定态瓦斯流动
……………〔保加利亚〕T. P. Stefanov, E. D. Vlasseva and E. E. Arsenyan (93)
- 波兰铜矿防止井下使用柴油车引起的危险所采取的通风方法
……………〔波兰〕J. Malara, A. Frycz and J. Drenda (100)

II 瓦 斯

- 井下采煤作业引起的AE活动与瓦斯涌出的关系
……………〔中-日〕张 武 马方太 屠锡根 中岛巖 氏平增之 大贺光太郎 (108)
- 煤层瓦斯流动的计算机模拟及其在预测瓦斯涌出和抽放瓦斯的应用
……………〔法-澳〕A. Saghafi, C. Jeger, C. Tauziède and R. J. Williams (120)
- 在低透气煤层中快速掘进采取的缓解突出的瓦斯抽放措施
……………〔苏联〕Smorchkov Yu. P., Airuni A. T. and Bobin V. A. (131)
- 阳泉低透性煤层瓦斯抽放参数计算……………〔中国〕屠锡根 马丕梁 (138)
- 开采对煤层透气性的影响……………〔联邦德国〕G. Mücke and H. Meiners (147)
- 沼气含量的现场测定方法
……………〔美国〕R. Plaizier, J. H. Tu and V. J. Hucka (164)
- 阿平煤矿长壁工作面上覆岩层瓦斯涌出的控制……………〔澳大利亚〕S. Battino (171)

III 突 出

- 研究“煤-瓦斯-天然湿度”系统内的转换过程的综合方法,以解决煤和瓦斯突出的
缓解问题
.....〔苏联〕Airuni A. T., Zverev I. V. and Dolgova M. O. (181)
- 地质条件和采矿要素对突出倾向煤层的瓦斯预抽和采后抽放的影响
.....〔澳大利亚〕R. D. Lama (188)
- 捷克俄斯特拉发-卡尔维纳煤田岩石突出危险条件下微震法的应用及近期发展
.....〔捷克斯洛伐克〕Holub K., Kořinek J., Kalenda P.,
Slavík J. and Schreiber P. (200)
- 突出危险煤层瓦斯中氢浓度变化的考察
.....〔波兰〕J. Lebecka, K. Lebecki, Z. Kobiela and K. Mnich (210)
- 深孔松动爆破在突出煤层煤巷掘进中的应用.....〔中国〕陈 锐 (216)
- 泰莫尔矿防突出的连续采煤机保护系统的研究〔澳大利亚〕Brian Nicholls (222)
- 防止瓦斯突出的应力释放法
.....〔日本〕Atsushi Fukushima, Nihei Oda and Koichi Nishimura (232)
- 大地构造应力对易发生矿震和岩石突出岩层的自然特性的影响
.....〔波兰〕A. Goszcz (242)
- 开采突出倾向煤——预抽CO₂方法的进一步发展
.....〔澳大利亚〕D. A. Clark, S. Battino and T. Sharkey (251)
- 煤和瓦斯突出危险性预测.....〔中国〕王佑安 杨其奎 (261)
- 民主德国维拉钾盐矿区盐岩气体突出现象的研究
.....〔民主德国〕G. Duchrow, K. Thoma, P. Marggraf and K. Salzer (270)

第二部分 防止爆炸与抑制爆炸

- 部分断面掘进机的自动灭火防爆炸系统及其对生产的影响
.....〔联邦德国〕Michael Faber (287)
- 氮气惰化防止煤尘爆炸的危险
.....〔法国〕J. Winter, J. P. Pineau and J. Dangreaux (294)
- 井下灭火时爆炸危险的预防与处理.....〔波兰〕B. Ćwiek and J. Jaworski (304)
- 在大气中甲烷共存的情况下煤尘的爆炸特性
.....〔中-日〕Toshio Tominaga, Shigeo Matsuura,
Takeshi Komai, Takehiro Isei, 卢鉴章 田仁曲 周光强 迟兴都 (312)
- 波斯尼亚-黑塞哥维那矿井煤尘的爆炸特性
.....〔南-波〕X. Танович, П. Крзистолики, К. Лебецки (327)
- 测量煤尘爆炸传播的小型实验
.....〔西班牙〕J. Garcia Torrent and R. Alcántara Pedreira (335)
- 煤尘、沼气混爆的最近试验.....〔英国〕G. A. Lunn and A. F. Roberts (340)

分布在煤尘-岩粉层上悬浮煤尘的爆炸性

.....〔美国〕M. J. Sapko, E. S. Weiss and R. W. Watson (349)

水槽安设方式对隔爆效果的影响.....〔中国〕卢鉴章 周莫邦 (359)

顶板岩层超前深孔爆破时巷道爆炸的预防

.....〔苏联〕O. A. Колесов, В. И. Стикачев (366)

在大断面巷道中用隔爆水槽棚隔爆

.....〔联邦德国〕J. Michelis and D. Fischer (371)

煤尘-空气混合物引燃源的特性问题

.....〔波兰〕P. A. Krzystolik and J. Sliz (382)

第三部分 矿 井 防 灭 火

对早期检测井下皮带输送机巷道火灾的火灾检测系统的试验

.....〔联邦德国〕W. Heyn and K. Holke (393)

井下自动灭火装置的现状与发展前景

.....〔苏联〕A. C. Чумак, А. И. Козлюк (399)

液氮快速汽化扑灭井下明火的研究

.....〔日本〕Takeshi Komai, Takehiro Isei, Shigeo Matsuura and Ken Goto (404)

矿井火灾时期风网动态过程的研究.....〔中国〕赵以蕙 杨戈眉 王省身 (413)

开采厚煤层时的火灾危险性及其防治.....〔匈牙利〕Ференц Ковач (423)

绝热量热器测量氧化空气中的湿煤的计算机模拟以及用2m绝热容器所作的试验

.....〔新西兰〕J. B. Stott, B. J. Harris, P. J. Hansen and A. R. van Gameren (429)

区域性惰气设备的建立.....〔澳大利亚〕R. J. Kininmonth (435)

开采厚煤层时内因火灾的预防

.....〔保加利亚〕M. Михайлов, Д. Александров, М. Минчев (442)

链烷比、烯烃和六枝矿区煤的自然发火.....〔中国〕黄之聪 (451)

火灾气体自动分析系统在矿井火灾和灭火过程监测中的应用

.....〔联邦德国〕Günter Fauth and Norbert Hein (462)

用过程计算机对大型井巷工程的通风监测和矿井火灾的早期识别

.....〔联邦德国〕F. J. Lappe (473)

防止和扑灭井下火灾用的气体发生器技术设备

.....〔苏联〕M. H. Суднловский (485)

第四部分 环境保护与环境监测仪器仪表

远距离沼气光测仪.....〔美国〕Charles D. Litton and Louis J. Denes (493)

氧化氮固态传感器的新发展.....〔英国〕T. A. Jones and B. Bott (501)

煤矿井下柴油机车的新型安全测量系统

.....〔印度〕D. K. Mittra, A. Chattopadhyay and R. Seshadri (508)

煤矿计算机集中监测系统的发展

.....〔日本〕K. Shiota, C. Inaba, H. Nabeya, M. Sagisaka and K. Higuchi (514)

- 浮游粉尘的标准、监测和控制……………〔澳大利亚〕 Alfred Hewitt (526)
- 斯瓦巴德群岛永冻层煤矿的环境和安全问题
……………〔挪威〕 Tom Myran and Arne Rafdal (538)
- 小型矿井安全监测系统……………〔中国〕 武绍祖 何振杰 (547)
- 呼吸性粉尘光散射瞬时测示系统的实验室和井下的试验
……………〔英国〕 D. J. Lowe and B. Roebuck (561)
- 近年来长壁采煤煤尘控制进展情况
……………〔美国〕 R. A. Jankowski, J. H. Daniel, F. N. Kissell (571)
- 在井下水压及压风波动的条件下能可靠工作的自调式消尘喷雾器
……………〔罗马尼亚〕 Ladislau Kovacs and Pavel Bitir (583)
- 分段崩落采煤法的环境监测系统……………〔西班牙〕 J. L. Fuentes, G. Fernández,
A. Rodriguez, A. Fuente and V. Luque (587)
- 预测突出的地面微震监测技术
……………〔英国〕 P. Styles, T. Jowitt, and E. Browning (594)
- 对监测煤矿安全性能的国际性比较系统之探讨……………〔澳大利亚〕 R. C. Williams (609)

第五部分 顶板与冲击地压的控制

- 大同云岗矿二号煤层坚硬顶板(砾岩)的控制……………〔中国〕 马荫模 白希军 (619)
- 预防冲击地压的理论与实践……………〔苏联〕 И. М. Петухов (627)
- 利用数学模拟法预测岩层移动和所需的支护
……………〔英国〕 J. W. Cassie, D. J. Buchanan and C. J. Morris (631)
- 坚硬难冒顶板条件下长壁工作面支架的设计……………〔印度〕 A. K. Ghose (641)
- 根据对煤柱应力的测定评价煤的原始强度
……………〔挪威〕 Arne Myrvang and John Utsi (652)
- 采场矿山压力和顶板运动的预测预报
……………〔中国〕 宋振骥 邓铁六 宋 杨 翁小华 (658)
- 冲击地压机理、预报及防治……………〔中国〕 章梦涛 赵本钧 徐曾和 (667)

第六部分 矿 井 防 治 水

- 中国煤矿水害防治技术……………〔中国〕 李德安 王梦玉 (677)
- 峰峰矿务局四矿太原组底部灰岩水补给通道的勘查和堵截
……………〔中国〕 王友瑜 陈尚平 周维生 (686)
- 预防采掘工作面底板突水的理论与实践
……………〔中国〕 李白英 沈光寒 荆自刚 高 航 (695)

第七部分 提 升 与 运 输

- 大型矿井多绳提升绞车新型过卷保护装置和钢丝绳联结装置的新型结构和试验
以及承受高应力的矿井设备无损检验装置的当前发展动向
……………〔联邦德国〕 D. Fuchs and E. Ulrich (711)

- 用计算机控制的数据变化和分析来测量和监视竖井多绳提升设备的钢丝绳能力
〔联邦德国〕F. Langebrake (723) \
- 井下机动车辆的安全性能的设计〔美国〕涂继正 (729)
- 文丘利式废气水涤系统的试验〔加拿大〕J. P. Mogan and E. D. Dainty (736)
- 大型露天开采设备中的最新式钢绳结构, 其使用寿命及损伤状况以及对其观测
 的结论
〔民主德国〕G. Jehmlich, M. Wohlrab, L. Nickau and W. Lieder (742)

第八部分 爆 破 安 全

- 井工煤矿中的毫秒延期爆破
〔美国〕Richard J. Mainiero and Michael S. Wieland (757)
- 炮烟中氧化氮和一氧化碳的危害以及在烟雾中采用中和剂对有毒气体的影响
〔波兰〕J. Sobala (764)
- 保加利亚矿用“П”级电雷管发爆器
〔保加利亚〕С. Лазаров и П. Кляшев (771)
- 预测爆破振动的有效公式
〔印度〕R. N. Gupta, P. Pal Roy and B. Singh (776)

第九部分 电气设备的安全技术

- 防爆电缆——用快速断电开关保护电缆〔联邦德国〕Heinrich Groh (787)
- 美国矿业局在井下电气设备安全上的最新成果
〔美国〕James C. Cawley and Frank T. Duda (796)
- 苏联煤炭工业在电气设备防爆方面的研究〔苏联〕В. И. Серов (808)
- 采用数字式高灵敏度保护法, 防止煤矿中感应电动机的超荷、短路和接地故障
〔英国〕H. Lord and F. K. Pearson (816)
- 强电流电源电路的本质安全性
〔法国〕S. Halama, J. Cerri and J. Bigourd (823)
- 自动复电选择性漏电保护系统的研究
〔中国〕崔景丘 岳庆来 邹有明 丁邦发 (834)
- 本质安全电路的瞬态保护〔匈牙利〕J. Hanko (839)
- 获取本质安全电容电路的点燃曲线
〔西班牙〕C. Fernández, J.M. Varona, C. Correa and M.I. Hernández (844)
- 按IEC文献79-4所介绍的方法测定点燃温度对防爆电气设备的适用性
〔民主德国〕H. -J. Linström und S. Büttner (853)
- 煤矿中的单独通风和加压控制〔南斯拉夫〕Nenad Marinović (861)

第十部分 矿井安全系统工程的应用及其它

- 在煤矿设计阶段中考虑瓦斯与煤尘灾害的预防〔波兰〕J. Małoszewski (871)
- 使用微型计算机改善煤矿安全状况〔法国〕C. Froger and P. Y. Saint (877)

- 气候恶劣矿井中的采矿安全问题……〔民主德国〕 M. Goedecke and D. Lembke (885)
- 对煤矿中存在的爆炸大气的危险性的定量评定
..... 〔西班牙〕 F. Silva and K. Abdelaziz (893)
- 司机驾驶室的计算机模型
..... 〔美国〕 Richard L. Unger and James P. Rider (899)
- 露天矿开采时防水对环境的影响 〔匈牙利〕 Розалия Ямбрик (910)

第一部分 通风与瓦斯

目 录

I 通 风

- 用电子计算机模拟火灾时期矿井通风系统的风流状态……………〔中国〕李湖生 (3)
- 煤与沼气突出对矿井通风的影响 ……………〔联邦德国〕K. Noack and R. Pollak (18)
- 提高复杂矿井通风效率的可能性
……………〔罗马尼亚〕Florica Băltărețu and Ioan Matei (26)
- 矿井离心式扇风机的特性曲线及其方程的分析 ……………〔日本〕T. Isobe (30)
- 示踪气体技术用于准确的矿井通风测量
……………〔加拿大〕A. W. Stokes and D. Kennedy (41)
- 在有瓦斯突出危险的巷道内安全生产的通风技术原理
……………〔波兰〕Henryk. Bystroń (50)
- 矿井风流方向的稳定性……………〔中-美〕李新东 E. Topuz (61)
- 远距离控制区域性反风系统的研究……………〔中国〕邱志乾 李建明 王省身 (68)
- 用稀释管控制巷道的瓦斯排放
……………〔法国〕C. Tauziède, J-P. Josien and J-F. Raffoux (75)
- 矿井通风状态与风流携带瓦斯量的关系……………〔中国〕叶汝陵 (83)
- 矿井通风网路中的非稳定态瓦斯流动
……………〔保加利亚〕T. P. Stefanov, E. D. Vlasseva and E. E. Arsenyan (93)
- 波兰铜矿防止井下使用柴油车引起的危险所采取的通风方法
……………〔波兰〕J. Malara, A. Frycz and J. Drenda (100)

II 瓦 斯

- 井下采煤作业引起的AE活动与瓦斯涌出的关系
……………〔中-日〕张 武 马方太 屠锡根 中岛 巖 氏平增之 大贺光太郎 (108)

煤层瓦斯流动的计算机模拟及其在预测瓦斯涌出和抽放瓦斯的应用

……〔法-澳〕A. Saghafi, C. Jeger, C. Tauziède and R. J. Williams (120)

在低透气煤层中快速掘进采取的缓解突出的瓦斯抽放措施

……〔苏联〕Smorchkov Yu. P., Airuni A. T. and Bobin V. A. (131)

阳泉低透性煤层瓦斯抽放参数计算……〔中国〕屠锡根 马丕梁 (138)

开采对煤层透气性的影响……〔联邦德国〕G. Mücke and H. Meiners (147)

沼气含量的现场测定方法

……〔美国〕R. Plaizier, J. H. Tu and V. J. Hucka (164)

阿平煤矿长壁工作面上覆岩层瓦斯涌出的控制……〔澳大利亚〕S. Battino (171)

III 突 出

研究“煤-瓦斯-天然湿度”系统内的转换过程的综合方法,以解决煤和瓦斯突出的缓解问题

……〔苏联〕Airuni A. T., Zverev I. V. and Dolgova M. O. (181)

地质条件和采矿要素对突出倾向煤层的瓦斯预抽和采后抽放的影响

……〔澳大利亚〕R. D. Lama (188)

捷克俄斯特拉发-卡尔维纳煤田岩石突出危险条件下微震法的应用及近期发展

……〔捷克斯洛伐克〕Holub K., Kořinek J., Kalenda P.,
Slavík J. and Schreiber P. (200)

突出危险煤层瓦斯中氢浓度变化的考察

……〔波兰〕J. Lebecka, K. Lebecki, Z. Kobiela and K. Mnich (210)

深孔松动爆破在突出煤层煤巷掘进中的应用……〔中国〕陈 锐 (216)

泰莫尔矿防突出的连续采煤机保护系统的研究……〔澳大利亚〕Brian Nicholls (222)

防止瓦斯突出的应力释放法

……〔日本〕Atsushi Fukushima, Niheiiji Oda and Koichi Nishimura (232)

大地构造应力对易发生矿震和岩石突出岩层的自然特性的影响

……〔波兰〕A. Goszcz (242)

开采突出倾向煤——预抽CO₂方法的进一步发展

……〔澳大利亚〕D. A. Clark, S. Battino and T. Sharkey (251)

煤和瓦斯突出危险性预测……〔中国〕王佑安 杨其奎 (261)

民主德国维拉钾盐矿区盐岩气体突出现象的研究

……〔民主德国〕G. Duchrow, K. Thoma, P. Marggraf and K. Salzer (270)

用电子计算机模拟火灾时期矿井 通风系统的风流状态

(Computer Simulation of Air Flow State in Mine
Ventilation System under Fire Condition)

〔中国〕 李 湖 生

摘 要

本文提出了计算矿井火灾时期火源下风侧烟流温度分布的一种新方法。在此基础上,编写了计算火灾时期热风压及解算矿井通风网络的 True BASIC 语言计算机程序。并以一个包含19条分支、13个节点和1台风机的简单网络为例,说明了本程序的适用性。

引 言

矿井发生火灾时,若不能及时扑灭,火势会迅速发展。流过火源的风流被加热,并与燃烧生成物相混合形成高温烟流。由于风流与围岩之间的热交换,使得烟流向前流动过程中逐渐被冷却。烟流温度的变化必然引起其密度发生变化,而密度的变化会导致:(1)在垂直和倾斜巷道中出现火风压;(2)巷道的通风阻力发生变化。这两者的综合作用将引起通风系统的风流重新分配,造成某些巷道的风量大大降低、停滞、甚至导致风流的反向。从而可能使火灾烟流的弥漫范围扩大,更多的井下矿工发生中毒、窒息而死亡。同时,由于风量的变化,将可能增加瓦斯和煤尘的爆炸性。因此,在发生火灾时,迅速、准确地掌握系统风流的变化,快速、有效地控制通风系统的风流状态,对于火灾时期人员的救护和灭火工作将具有重要的意义。

本世纪七十年代以来,许多学者在应用数字电子计算机模拟井下火灾方面进行了大量的研究,并编制了许多计算机程序。在计算模拟井下火灾中,关键问题之一就是计算由于火灾而引起的热风压。而要计算热风压就必须知道火源下风侧的温度分布规律。本文提出了计算矿井通风系统中温度和压力分布以及热风压的一种方法。

矿井通风网路中风流温度的分布

由传热学理论, 我们可以得到一维稳定流动的能量方程式:

$$MV \frac{dv}{dl} + Mg \frac{dZ}{dl} + MC_p \frac{dT}{dl} = KU (T_0 - T) \quad (1)$$

式中 M ——质量流量, kg/m;
 V ——风流速度, m/s;
 g ——重力加速度, m/s²;
 l ——巷道长度, m;
 Z ——节点标高, m;
 C_p ——风流比热, J/kg·K;
 T ——风流温度, K;
 K ——不稳定传热系数, W/m²·K;
 U ——巷道周长, m;
 T_0 ——围岩原始温度, K。

当巷道中有局部热源 q (J/s) 存在时, 可把它换算成为每米巷道传给每公斤风流的热量 $q/M \cdot L$, 加到上式的右边。

由于空气的动能项与其它项相比很小, 即使风速变化较大, 也完全可以将它略去, 这样 (1) 式可变换成:

$$\frac{dT}{dl} + \frac{KU}{MC_p} T = \frac{KU}{MC_p} T_0 - \frac{g}{C_p} \frac{dZ}{dl} + \frac{q}{MC_p L} \quad (2)$$

取一段巷道, 设其围岩原始温度为常数, $T_0 = \text{const}$; 且巷道的倾斜度不变, 即 $J = \frac{dZ}{dl} = \text{const}$; 若巷道初始点 $l = 0$ 处, $T = T_1$, 解方程式 (2) 得末端 $l = L$ 处风温 T_2 :

$$T_2 = T_0 - \frac{Mg}{KU} J + \frac{q}{KUL} + \exp\left(-\frac{KU}{MC_p} L\right) \left(T_1 - T_0 + \frac{Mg}{KU} J - \frac{q}{KUL}\right) \quad (3)$$

由于上式中 K 值的大小与风流的平均温度有关, 所以计算 T_2 要采用迭代法。先假设一个 T'_2 , 根据 T_1 和 T'_2 计算巷道中风流的对数平均温度:

$$T_m = \frac{T_1 - T'_2}{\ln \frac{T_1}{T'_2}} \quad (4)$$

然后根据 T_m 计算不稳定传热系数 K , 再计算出一个新的 T_2 。若 T_2 与 T'_2 之差没有达到所需要的精度, 则重复上述过程, 直至满足精度要求。

不稳定传热系数的计算

由于从烟流向围岩的传热量随时间而减小, 故巷道中某定点处的风流温度随时间而升高。假设各点温度的升高是遵照对数规律, 那么可由下述公式计算不稳定传热系数:

1. 当 $F_0 < 10$, 即矿井总通风时间小于一年时

$$K = h \left\{ 1 - \frac{B_i}{B_i' - \frac{x^2}{B_i' F_0}} \left[1 - \frac{x}{B_i' \sqrt{F_0}} \frac{\operatorname{erf}(x) - \exp(-x^2 + z^2) \operatorname{erfc}(z)}{z} \right] \right\} \quad (5)$$

式中 K ——不稳定传热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$;

$$x = \sqrt{\ln \frac{dt}{dt_i}};$$

$$dt = T - T_0;$$

$$dt_i = T_i - T_0;$$

T_0 ——原始岩石温度, K ;

T ——风流温度, K ;

T_i ——初始风流温度, K ;

$$Z = B_i' \sqrt{F_0};$$

$$B_i = \frac{h \cdot r}{c}, \text{ 毕欧准则};$$

$$B_i' = B_i + 0.375;$$

$$F_0 = \frac{at}{r^2}, \text{ 付立叶准则};$$

h ——壁面放热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$;

a ——围岩导温系数, m^2/s ;

c ——围岩导热系数, $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$;

r ——巷道半径, m ;

t ——巷道通风时间, s ;

$\operatorname{erf}(x)$ —— x 的误差函数;

$\operatorname{erfc}(z)$ —— z 的误差余函数。

2. 当 $F_0 > 10$ 时

1) 当 $B_i < 0.5$ 时, 同 (5) 式;

2) 当 $B_i \geq 0.5$ 时:

$$K = K' + dK \quad (6)$$

A. K' 的计算:

a. 当 $B_i = 0.5 \sim 25$ 时:

$$K' = 0.5 h F_0^{-0.1} B_i^{-0.85} \quad (7)$$

b. 当 $B_i = 25 \sim \infty$ 时:

$$K' = 0.8 h F_0^{-0.21} B_i^{-1} \quad (8)$$

B. dK 的计算:

$$dK = \frac{B_i}{B_i' \sqrt{F_0}} u(x) \quad (9)$$

式中 $u(x) = x \operatorname{erf}(x) - 0.5642[1 - \exp(-x^2)]$;

其它符号意义同前。

巷道壁面的复合换热系数

在火灾情况下, 烟热中含有大量的二氧化碳 (CO_2) 和水蒸汽 (H_2O), 它们具有较大的辐射能力和吸收能力, 所以除了对流换热外, 还必须考虑辐射换热。衡量这三种热交换进行强弱的指标是复合换热系数:

$$h = h_c + h_r \quad (10)$$

式中 h ——复合换热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$;

h_c ——对流换热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$;

h_r ——辐射换热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 。

1. 对流换热系数 h_c 的计算

对流换热系数 h_c 是空气的质量流量、温度和巷道特性的函数:

$$h_c = 0.3838 E \frac{M^{0.5} U^{0.2}}{S} T_g^{0.25} \quad (11)$$

式中 E ——粗糙度系数;

M ——质量流量, kg/s ;

U ——巷道周长, m ;

S ——巷道断面积, m^2 ;

T_g ——烟流温度, K 。

2. 辐射换热系数 h_r 的计算

由传热学理论, 可得到下式:

$$h_r = E_w' C_b \frac{E_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - A_g \left(\frac{T_w}{100} \right)^4}{T_g - T_w} \quad (12)$$

式中 $E_w' = \frac{E_w + 1}{2}$, 巷道壁有效黑度;

E_w ——巷道壁黑度;

C_b ——黑体辐射系数, $C_b = 5.67 \text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$;

T_g ——烟流温度, K ;

T_w ——巷道壁面温度, K ;

E_g ——烟流的黑度;

A_g ——烟流的吸收率。

E_g 和 A_g 可用下述两式计算:

$$E_g = 7.14 \frac{(P_{\text{CO}_2} L)^{\frac{1}{3}}}{T_g^{0.5}} + 711 \frac{(P_{\text{H}_2\text{O}}^{0.5} L^{0.4})}{T_g} \quad (13)$$

$$A_g = 7.14 \frac{(P_{\text{CO}_2} L)^{\frac{1}{3}} T_g^{0.11}}{T_w^{0.82}} + 711 \frac{(P_{\text{H}_2\text{O}}^{0.5} L^{0.4})}{T_g^{0.45} T_w^{0.75}} \quad (14)$$

式中 P_{CO_2} —— CO_2 的分压力, bar ;

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ ——水蒸汽 (H_2O) 的分压力, bar ;

L ——射线平均行程, m ; 对井下巷道可取 $L = 1.8r$;

r ——巷道半径, m 。

节点压力的计算

已知某一支巷道前节点压力为 P_1 (Pa), 求后节点压力 P_2 , 有:

$$P_2 = P_1 + h_e - h + \frac{V_1^2}{2} \rho_1 - \frac{V_2^2}{2} \rho_2 \quad (15)$$

式中 h_e ——分支巷道的位能差, Pa;

h ——分支巷道的通风阻力, Pa;

V_1, V_2 ——节点 1、2 处的平均风速, m/s;

ρ_1, ρ_2 ——节点 1、2 处的空气密度, kg/m³。

由于空气密度和位能差都与压力有关, 所以要采用迭代法计算 P_2 , 先假设一个 P'_2 , 根据 P'_2 和 T_2 计算空气密度和位能差, 由 (15) 式可得到一个新的 P_2 。重复上述步骤, 直至达到满意的精度要求。

热风压的计算

分别计算各巷道的位能差, 在网路解算时加到网孔的各分支上, 自动得到各网孔的热风压。分支巷道的位能差可由下式计算:

$$h_e = \rho_m g (Z_1 - Z_2) \quad (16)$$

式中 Z_1, Z_2 ——节点 1、2 的标高, m;

$$\rho_m \text{——对数平均密度, kg/m}^3, \rho_m = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\ln \frac{\rho_1}{\rho_2}}。$$

空气密度 ρ 可由下式计算:

$$\rho = 0.00347 \frac{P}{T} \quad (17)$$

式中 P ——节点绝对静压, Pa;

T ——节点绝对温度, K。

网络解算数学模型

网络解算所使用的数学模型是被广泛应用的 Scott-Hinsley 网孔风量平衡法。但根据火灾时期风流变化的特点作了适当的变化。

在火灾情况下, 空气密度变化很大, 风流的体积流量沿程变化也很大。在网络节点处风流的体积流量之和可能不等于零。而风流的质量流量不随空气密度而变化, 所以分析质量流量比分析体积流量更加方便。

1. 节点风量平衡定律

对于网络中的任一节点, 都有下式成立:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad (18)$$

式中 M_i ——与该节点相关的分支 i 的质量流量。

2. 巷道通风阻力定律

在矿井通风学中, 通风阻力定律为:

$$h = RQ^2 \quad (19)$$

式中 h ——通风阻力, Pa;

R ——巷道风阻, kg/m^7 ;

Q ——风流体积流量, m^3/s 。

巷道风阻 R 与空气密度成正比, 在矿井通风工作中, 一般都将 R 换算成标准状况 ($\rho = 1.2 \text{kg/m}^3$) 时的风阻 R_0 , 因此,

$$R = R_0 \frac{\rho}{1.2} \quad (20)$$

$$Q = \frac{M}{\rho} \quad (21)$$

将 (20)、(21) 式代入 (19) 式, 得到:

$$h = R_0 \frac{\rho}{1.2} \cdot \frac{M^2}{\rho^2} = \frac{R_0}{1.2\rho} M^2$$

$$\text{令} \quad R' = \frac{R_0}{1.2\rho} \quad (22)$$

$$\text{则} \quad h = R'M^2 \quad (23)$$

式 (23) 中, R' 是一个新的巷道风阻, 单位为: $1/\text{kg} \cdot \text{m}$, 它随空气密度而变化, 在每次网络解算之前, 都用密度对 R' 进行修正。

3. 风机特性

无论是厂家给的还是实际测出的扇风机特性, 一般都是标准状况时的风机压力与风机体积流量之间的关系曲线。在用计算机处理时, 可拟合成一个多项式:

$$H_f = a_1 + a_2 Q_f + a_3 Q_f^2 + \dots \quad (24)$$

式中 H_f ——风机压力, Pa;

Q_f ——风机体积流量, m^3/s 。

在计算各风机风压 H_f 之前, 用空气密度除以质量流量得到体积流量 Q_f , 根据 (24) 式计算出 H_f 后, 将其换算成实际空气的风压,

$$H'_f = H_f \frac{\rho}{1.2} \quad (25)$$

4. 风流质量流量的修正值

各网孔中风流质量流量的修正值 dM 由下式计算:

$$dM = - \frac{\sum_{i=1}^n (R'_i M_i^2 - H'_{ei}) - H'_f}{2 \sum_{i=1}^n R'_i M_i - dH'_f/dM} \quad (26)$$