

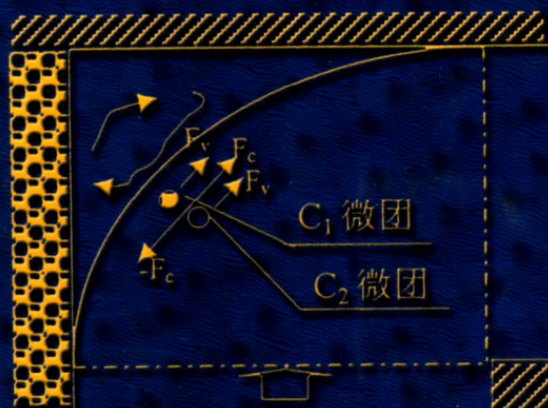
国家自然科学基金资助项目

50134040 59874027 50274066

教育部博士后基金资助

采场脉动通风理论及其 在采矿安全中的应用

杨胜强 俞启香 王 凯 著

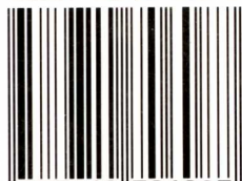


中国矿业大学出版社

caichang maidong tongfeng lilun jiqi zai caikuang anquanzhong de yingyong

责任编辑 马跃龙 封面设计 肖新生

ISBN 7-81070-608-X



9 787810 706087 >



ISBN 7-81070-608-X / TD-103 定价: 20.00 元

采场脉动通风理论 及其在采矿安全中的应用

杨胜强 俞启香 王 凯 著

国家自然科学基金资助

[50134040; 59874027; 50274066]

教育部博士后基金资助

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

采场脉动通风理论及其在采矿安全中的应用/杨胜强, 俞启香, 王凯著. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2002. 11
ISBN 7 - 81070 - 608 - X

I. 采... I. ①杨... ②俞... ③王... II. 矿山通风
N. TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 091699 号

- 书 名 采场脉动通风理论及其在采矿安全中的应用
著 者 杨胜强 俞启香 王 凯
责任编辑 马跃龙
责任校对 崔永春
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 中国矿业大学印刷厂
经 销 新华书店
开 本 850×1168 1/32 印张 5.5 字数 138 千字
版次印次 2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷
印 数 1~1000 册
定 价 20.00 元

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)



杨胜强 男,土家族,1964年生,贵州铜江人。中国矿业大学安全科学与消防工程系副教授、硕士生导师。1984年毕业于中国矿业学院留校任教,1989年中国矿业大学安全技术及工程硕士毕业,2000年中国矿业大学安全技术及工程博士毕业,现在工程力学学科博士后工作。1984年至今,长期致力于安全技术及工程教学与科研工作,发表“脉动通风消除工作面上隅角积聚瓦斯的理论分析”等论文40余篇,获省部级奖2项,国家发明专利2项。

俞启香 男,汉族,1935年生,江苏宜兴人。中国矿业大学教授、博导、“安全技术及工程”国家重点学科带头人。1957年毕业于北京矿业学院采矿系。1980—1982年加拿大蒙特利尔大学工学院访问学者。长期致力于安全技术及工程教学与科研工作。出版《矿井瓦斯防治》、《煤和瓦斯突出防治》等十余部著作和教材,发表“中国采煤工作面瓦斯涌出规律及其控制研究”等论文80余篇,获国家科技与教学成果奖3项、省部级奖17项、国家发明专利2项、培养硕士、博士研究生20余人。2001年被教育部与人事部授予“全国模范教师”称号。



王凯 男,汉族,1972年生,河南遂平人。中国矿业大学安全科学与消防工程系副教授、硕士生导师。1997年毕业于中国矿业大学,获安全技术及工程博士学位;1999年于中国矿业大学测绘科学与技术博士后科研流动站出站。从事安全技术及工程教学与科研工作,发表“环绕射流脉冲通风治理上隅角瓦斯积聚的研究”等论文30余篇,获省部级科技奖励3项,国家发明专利与实用新型专利2项。

2A090/7

前 言

为了冲淡并排除井下各种有毒有害气体,防止各种爆炸事故的发生,保证井下作业人员的生命安全,保护国家的资源和财产不受损失,必须进行通风。通风最重要的目的之一就是防治瓦斯积聚及瓦斯浓度超限。

随着煤层开采进入瓦斯含量较高的深部、回采工作面生产能力的提高及工作面推进速度的加快,必然导致瓦斯涌出量大幅度地增加。对于正常通风来说,在通风不良的地方就容易出现局部的瓦斯积聚,特别是我国绝大部分采煤工作面均采用“U”型通风方式,其上隅角作为整个工作面采空区的漏风汇,极易形成瓦斯积聚区,对于高瓦斯、高强度、大采高综采工作面则更为严重^[1]。

我国重点煤矿有 300 多对高瓦斯矿井,都不同程度地存在着局部瓦斯积聚和局部瓦斯超限问题^[35]。由于各种因素的影响,该问题仍没有得到根治,已成为威胁矿井安全生产的痼疾。特别是在近几年发生的瓦斯爆炸恶性事故中,由于回采工作面上隅角瓦斯超限所引起的事故占的比例在大幅度增加。因此,回采工作面上隅角瓦斯超限,是当前安全生产的重大隐患,是推广新技术、新装备的严重障碍。采取安全、经济、有效的措施把上隅角瓦斯浓度稳定地降到《煤矿安全规程》规定限值以下,是目前亟待解决的问题。

回采工作面“脉动通风”技术是利用风流的紊流扩散系数、风流脉动特性直接相关的理论,以及工作面在正常通风风流中产生脉动风流的脉动风流发生装置,大大地增加风流的紊流扩散系数,提高风流驱散局部积聚瓦斯的能力,从根本上解决回采工作面上隅角瓦斯积聚问题的一项新技术。

本书以粘性流体动力学、空气动力学和瓦斯空气传质学为理论基础,根据流体力学的相似理论、紊流脉动的传质理论,将模型实验、脉动传质理论分析和现场试验有机地结合起来,系统地开展了脉动通风治理回采工作面上隅角瓦斯积聚技术的理论、实验和工业性试验研究,既定性又定量地研究在脉动风流中瓦斯在回采工作面上隅角涡流区和主流区的运移传质规律和脉动风流的运动规律;建立了产生脉动风流的环形环绕射流有效射流场内射流方程和瓦斯传质方程;开展了不同条件下脉动通风治理上隅角积聚瓦斯的实验室实验和现场工业性试验研究;确定了利用环绕射流形成脉动通风治理上隅角瓦斯积聚的最佳技术方案和技术参数。根据以上研究得出:

1. 脉动通风治理回采工作面上隅角积聚瓦斯,理论依据充分、现场应用可行、实际效果可靠。

2. 以分子扩散或驱替运移为主的近壁底层区域,是瓦斯扩散的“瓶颈”。脉动通风使整个横断面的风流湍流度均得到大大提高,特别是“瓶颈”区域。同时使不同瓦斯浓度微团之间对流运移能力大大增强。

3. 在脉动风流的环形环绕射流有效射流场内,其卷吸掺混作用可有效地稀释并排出上隅角的积聚瓦斯,其周期性地环绕旋转对上隅角积聚瓦斯具有柔性排放效应,可避免因瓦斯排放使回风流瓦斯浓度骤然升高的现象发生。

4. 通过理论分析、实验室实验和现场试验,脉动通风治理上隅角瓦斯积聚的最佳技术方案为:① 以风机旋转方式产生脉动风流,不仅风机运转平稳,而且驱散上隅角积聚瓦斯的效果良好;② 脉动风机尽量安设在上隅角瓦斯积聚区的边界附近,减少穿越主风流的宽度,减低主风流的影响;③ 脉冲风机的旋转频率不宜过高,控制在 1 Hz 以内为佳;④ 脉冲风机的轮毂面积尽可能减少,提高风机的出射面积和动量;⑤ 脉冲风机的旋转方向与主风

流方向相同时,效果较好。

5. 通过实验室实验和现场试验的研究,脉冲风机可使上隅角瓦斯积聚区的平均横向扩散系数提高 3~5 倍。

6. 脉冲风机采用采煤工作面高压乳化液作为动力,同时采用具有双抗特性(阻燃、抗静电)的塑料叶轮,使所设计的风机具有本质安全特性。

7. 工业性试验表明,脉冲风机的风量为工作面风量的 5%~8%、旋转频率为 1 Hz 以内时,不仅有效地消除了上隅角瓦斯积聚现象,而且回风巷口 10 余米范围内的瓦斯浓度分布不均匀现象也消失了。脉动通风解决上隅角及局部瓦斯积聚问题,不仅具有重大的社会安全意义,而且具有显著的经济效益。

脉动通风理论和技术的研究为煤矿治理回采煤工作面上隅角及局部瓦斯积聚提供了一种新的理论和技术,必将为煤炭工业的发展带来巨大的社会效益和经济效益。

本书的主要内容反映了国家“九五”重点科技攻关项目子专题“脉动通风治理回采工作面上隅角瓦斯积聚技术及装备”(96—223—01—05—04)和国家自然科学基金项目“脉动风流传质机理及其在采场安全中的应用研究”(59874027)的主要研究成果。

在脉动通风理论和技术的研究过程中,特别应该感谢的是本课题组的张仁贵工程师、郭立稳教授,几年来与作者同舟共济、同甘共苦地进行学术研究工作。本书的编写得到了中国矿业大学安全工程教研室周世宁院士、林伯泉教授、蒋承林教授和流机教研室孙家骏教授的指点和无私帮助,以及安全工程实验室左树勋高工、彭担任高工、何书建工程师,在研究过程中给予的无私的帮助和支持。还要感谢平煤集团公司十矿在工业试验中给予的大力帮助与支持。

著 者

2002 年 9 月

目 录

1 定常通风综采面上隅角瓦斯积聚及处理措施分析	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 综采工作面瓦斯来源及其瓦斯浓度分布规律 的分析	(2)
1.2.1 单元法测定工作面瓦斯涌出源及测试 结果分析	(2)
1.2.2 综采工作面瓦斯浓度分布规律	(4)
1.3 “U”型回采工作面上隅角瓦斯积聚的原因	(8)
1.4 治理工作面上隅角瓦斯积聚的常用措施	(9)
1.4.1 高位水平钻孔和采空区瓦斯抽放	(9)
1.4.2 使用防爆无火花型矿用局部通风机抽排局部 积聚瓦斯.....	(11)
1.4.3 改变通风系统.....	(11)
1.4.4 采用下行通风和临时风障.....	(11)
1.4.5 脉动通风.....	(11)
2 矿内定常通风瓦斯运移的基本形式及运移过程.....	(14)
2.1 矿内定常通风瓦斯运移的基本形式分析.....	(14)
2.1.1 瓦斯在空气中的分子扩散.....	(14)
2.1.2 空气流动对瓦斯的对流运移作用.....	(15)
2.1.3 井巷空气无规则紊流脉动引起瓦斯的 紊流扩散.....	(17)

2.1.4	瓦斯在井巷风流中的弥散·····	(18)
2.1.5	瓦斯的驱替运移·····	(19)
2.2	定常通风条件下巷道瓦斯运移过程·····	(19)
2.3	定常通风条件下上隅角瓦斯积聚和瓦斯 运移过程·····	(21)
2.4	定常通风条件下井巷风流流动和瓦斯扩散方程 的形式·····	(23)
3	脉动风流的瓦斯传质机理·····	(27)
3.1	脉动风流在瓦斯积聚区的瓦斯传质机理和动力学 分析·····	(28)
3.1.1	脉动通风上隅角瓦斯传质动力学分析·····	(28)
3.1.2	脉动通风上隅角瓦斯积聚区一维极坐标瓦斯运 移扩散方程·····	(33)
3.1.3	脉动通风上隅角瓦斯积聚区瓦斯传质 机理分析·····	(33)
3.2	脉动通风主风流中瓦斯传质机理及动力学 分析·····	(38)
3.2.1	基本假设·····	(38)
3.2.2	基本守恒方程·····	(39)
3.2.3	脉动通风巷道断面主风流方向脉动速度分布规 律的分析·····	(43)
3.2.4	脉动通风巷道横断面上径向脉动速度分布规律 的分析·····	(44)
3.2.5	脉动通风在二元扩散系统的井巷主风流中瓦斯 扩散运移·····	(45)
3.2.6	脉动通风主风流中瓦斯传质机理分析·····	(48)
3.2.7	试用混合长度理论解释脉动通风瓦斯	

传质过程.....	(51)
3.3 脉动通风瓦斯传质机理结论.....	(52)
4 环形环绕射流对上隅角积聚瓦斯的驱散、卷吸、运移过程的理论分析	(54)
4.1 环形射流的基本特性及假设.....	(55)
4.2 环形射流完全发展区的速度分布及沿程平均瓦斯浓度分布	(56)
4.2.1 环形射流完全发展区的速度分布及轴线速度沿程变化规律	(56)
4.2.2 环形射流完全发展区沿程卷吸流量及其对周围高浓度瓦斯的稀释分析	(57)
4.3 环形环绕射流横穿巷道主流流时的弯曲变形.....	(58)
4.3.1 射流轴线轨迹方程.....	(59)
4.3.2 射流内外边界及中心线轨迹方程.....	(63)
4.4 旋转频率及环形与圆形出射面积比 ξ_0 对射流的影响.....	(64)
4.4.1 风机旋转频率对环绕射流弯曲变形的影响.....	(64)
4.4.2 风机旋转频率对射流射程和有效出射断面的影响.....	(65)
4.4.3 环形射流与圆形射流出射面积比 ξ_0 对环形环绕射流的影响分析	(66)
4.5 环形环绕射流对上隅角积聚区瓦斯的运移过程分析.....	(66)
4.6 环形环绕射流对上隅角积聚瓦斯的运移理论分析结论.....	(68)

5 脉动通风消除上隅角瓦斯积聚的实验研究	(70)
5.1 实验的理论依据.....	(71)
5.2 实验装置的研制.....	(74)
5.3 脉冲风机在主风流中,脉动射流与主风流同向旋转时 实验研究.....	(79)
5.3.1 释放烟雾,观察上隅角风流运动状况	(79)
5.3.2 上隅角风速分布.....	(84)
5.3.3 上隅角瓦斯浓度分布.....	(87)
5.3.4 脉动通风的有效作用距离及其瓦斯扩散系数的 实验计算关系式	(91)
5.4 脉冲风机在主风流中,脉动射流与主风流反向旋转时实 验研究.....	(98)
5.4.1 上隅角风流运动状况.....	(98)
5.4.2 上隅角等风速分布状况	(102)
5.4.3 上隅角瓦斯浓度分布	(102)
5.4.4 脉动风流的有效作用距离、瓦斯扩散系数的实验 计算关系式	(107)
5.5 脉冲风机设在上隅角边界,上隅角风流运动状况和瓦斯 浓度分布	(108)
5.5.1 上隅角风流运动状况	(108)
5.5.2 上隅角风速分布状况	(109)
5.5.3 上隅角瓦斯浓度分布	(111)
5.5.4 脉动风流的有效作用距离、瓦斯扩散系数的实验 计算关系式	(112)
5.6 脉冲风机放在涡流区内,上隅角风流运动状况和瓦斯浓 度分布	(114)
5.7 实验结果分析	(115)

6 矿用双旋转脉冲通风机的设计与研制	(117)
6.1 概述	(117)
6.2 矿用液压双旋转脉冲通风机的系统组成及工作原理	(119)
6.3 脉冲通风机及主要阀件的技术参数	(121)
6.3.1 矿用液压双旋转脉冲局部通风机主要技术参数	(121)
6.3.2 液压马达主要技术参数	(121)
6.3.3 主要液压阀件的主要技术参数	(122)
6.4 脉冲通风机的性能测试	(123)
6.4.1 测试项目	(123)
6.4.2 测试方法及测试仪表	(123)
6.4.3 测试数据及风机性能特性曲线	(124)
6.5 单液压马达脉冲通风机的系统组成及工作原理	(125)
6.6 脉冲通风机研制总结	(128)

7 环绕脉动通风治理工作面上隅角瓦斯积聚的工业性试验	(130)
7.1 戊 ₁₀ —20100 综采工作面的工业性试验	(130)
7.1.1 戊 ₁₀ —20100 试验综采工作面概况	(130)
7.1.2 戊 ₁₀ —20100 综采工作面瓦斯源、瓦斯浓度分布及采空区漏风量测定与分析	(130)
7.1.3 利用液压双旋转脉冲通风机治理上隅角瓦斯积聚的试验方案设计	(133)
7.1.4 脉动通风作用下上隅角瓦斯浓度变化的规律	(133)
7.1.5 脉动通风作用下回风巷中瓦斯浓度变化规律分析	(136)

7.1.6	脉动通风作用下上隅角内风速变化规律 分析	(137)
7.1.7	脉动通风的柔性排放瓦斯效应	(137)
7.1.8	戊 ₁₀ —20100 综采工作面脉动通风工业性试验结 果分析	(138)
7.2	己 ₁₅₋₁₇ —24030 综放工作面脉动通风的工业性 试验	(139)
7.2.1	己 ₁₅₋₁₇ —24030 综放试验工作面概 况	(139)
7.2.2	己 ₁₅₋₁₇ —24030 综放面瓦斯源、瓦斯浓度分布及 采空区漏风量测定	(140)
7.2.3	己 ₁₅₋₁₇ —24030 工作面脉动通风治理上隅角瓦斯 积聚试验方案设计	(141)
7.2.4	脉动通风作用下己 ₁₅₋₁₇ —24030 综放面上隅角瓦 斯浓度变化规律	(142)
7.2.5	己 ₁₅₋₁₇ —24030 综放工作面脉动通风工业性试验 结果分析	(143)
7.3	脉动通风治理工作面上隅角瓦斯积聚技术	(144)
7.3.1	脉冲通风机在工作面上隅角的安装位置、方式及 安装运行步骤	(144)
7.3.2	使用脉冲通风机消除工作面上隅角积聚瓦斯的 技术要求	(145)
7.4	脉冲通风机在工业性试验中的运行状况分析	(145)
7.5	社会经济效益	(146)
7.6	工业性试验分析	(147)
8	结论	(152)

参考文献.....	(155)
-----------	-------

1 定常通风综采面上隅角瓦斯积聚及处理措施分析

1.1 概述

为了冲淡并排除井下各种有毒有害气体和粉尘,防止各种爆炸事故的发生,为井下创造一个良好的工作环境,保证井下作业人员的身体健康和生命安全,保护国家的资源和财产不受损失,必须对井下各种巷道和工作面进行通风。通风最重要的目的之一就是防止瓦斯积聚及瓦斯事故的发生。

随着煤层开采进入瓦斯含量较高的深部、回采工作面生产能力的提高及工作面推进速度的加快,必然导致瓦斯涌出量相对地大幅度增加。对于正常通风来说,在通风不良的地方就容易出现局部的瓦斯积聚。特别是我国绝大部分采煤工作面均采用“U”型通风方式,其上隅角作为整个工作面采空区的漏风汇,极易形成瓦斯积聚区,对于高瓦斯、高强度、大采高综采工作面则更为严重^[1]。

我国重点煤矿有 300 多对高瓦斯矿井,都不同程度的存在着局部瓦斯积聚和局部瓦斯超限问题^[35]。由于矿井开拓、准备、生产的接替时间以及瓦斯治理技术仍存在许多不足,该问题目前仍没有得到根治,已成为威胁矿井安全生产的痼疾。另外,随着综合机械化开采技术的发展,回采工作面单产的提高,特别是开采厚煤层或开采具有几个邻近层的煤层群时,上隅角瓦斯超限则更加普遍,更加严重。特别是近几年发生的瓦斯爆炸恶性事故中,由于回

采工作面上隅角瓦斯超限所引起的事故所占比例有大幅度的增加。因此,回采工作面上隅角瓦斯超限,是当前安全生产的重大隐患,也是实现高产高效工作面推广新技术、新装备的严重障碍。采取安全、经济、有效的措施把上隅角瓦斯浓度稳定地降到《煤矿安全规程》规定限值以下,是目前亟待解决的问题。

1.2 综采工作面瓦斯来源及其瓦斯浓度分布规律的分析

为了掌握综采工作面瓦斯涌出源的状况,找出导致综采面上隅角瓦斯积聚的原因,制定技术可行、经济合理的瓦斯治理措施,必须进行工作面的不同瓦斯涌出源状况和瓦斯浓度分布规律的测定分析。测试工作面选择平顶山十矿丁₅₋₆—20170、戊—21130和己—22210三个综采工作面。

1.2.1 单元法测定工作面瓦斯涌出源及测试结果分析

(1) 测试步骤

① 将每个工作面沿倾斜长度划分为8~12个单元,使用目前煤矿常用的安全仪器进行瓦斯浓度和风速的测定。

② 测定每个单元的进风量和出风量大小。

③ 测定每个单元进风断面和回风断面由煤壁至采空区各测点的瓦斯浓度。

④ 根据瓦斯平衡方程、风量平衡方程:

$$\begin{cases} Q_{in} \pm Q_l - Q_{out} = 0 \\ q_{goaf} = Q_l \cdot c_l \\ q_{face} = Q_{out} \cdot c_{out} - Q_{in} \cdot c_{in} - q_{goaf} \end{cases}$$

式中 Q_{in}, Q_{out} ——分别为流入和流出单元的风量, m^3/min ;
 $\pm Q_l$ ——流入采空区或流出采空区的漏风量, m^3/min ;
 q_{goaf} ——流入或流出采空区的瓦斯量, m^3/min ;