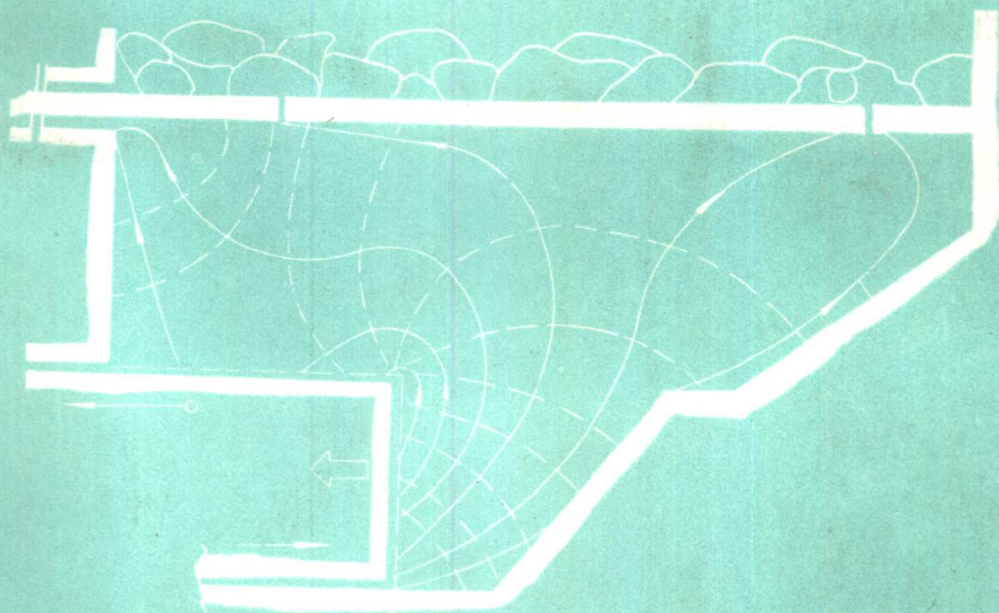


采场通风与防火

黄伯轩 编著



煤炭工业出版社

采 场 通 风 与 防 火

黄 伯 轩 编著

煤 炭 工 业 出 版 社

(京) 新登字042号

内 容 提 要

本书根据达西定律和连续性方程建立了采场通风数学模型,并以相似模型为实验基础,结合大量生产实例,对各种类型采场的采空区瓦斯流动规律、气体浓度分布、自然发火位置分布、火灾气体流动规律及相应的防治方法做了系统介绍。

本书可供煤矿生产、设计部门和科研单位的工程技术人员阅读,也可作为矿业院校开采专业师生的参考书。

采 场 通 风 与 防 火

黄 伯 轩 编 著

责任编辑:辛广龙

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm¹/16 印张13

字数303千字 印数1—2,230

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

ISBN 7-5020-0632-X/TD·582

书号 3401

定价 5.60元

前 言

采场是矿井瓦斯涌出最集中、自然发火最频繁的地方，因而关系到采场安全状况的瓦斯和煤炭自燃就成了煤矿生产中最为关切的问题之一。

由于采空区瓦斯涌出和自然发火与采空区漏风有密切的联系，且用传统的管流理论很难确切解释复杂的瓦斯涌出、自然发火与蔓延现象，因此，我们引用孔隙介质流体力学的理论成就，建立了包括采空区在内的采场空气流动数学模型。通过工业试验和实验室的相似模拟试验，对该数学模型的适用性进行了反复检验，并不断地进行了修正和完善。实践表明，该模型在研究采场通风、瓦斯治理、煤自燃的防治等问题时都具有指导作用。

十几年来，在原煤炭工业部科技局、技术咨询委员会、安全局、生产司的关怀支持下，我们先后与六枝、义马、淮北、丰城、鹤岗、鸡西、大同、西山、铁法、阜新、双鸭山、芙蓉等矿务局，围绕采场通风、防火、瓦斯抽放等问题开展了科学研究或技术合作，得到局、矿领导和工程技术人员的大力支持，本书的大量素材就是取自于我院近十年与上述各局技术合作的科研成果。

在本书编著过程中，曾得到阜新矿业学院通风、数学、力学、电学、计算机等学科的一些老师的许多帮助，韦涌清、白福臣、刘剑、齐庆杰、冯圣红、李舒伶等同志也给予了大力支持，在此一并表示感谢。

编著者

1991年6月

目 录

前 言

第一章 采场通风	1
第一节 采场空气成份的变化和采场风量的计算	1
一、采场气体成份的变化规律	1
二、采场瓦斯涌出量与供风量的计算	2
第二节 采场通风系统与漏风系统	4
一、采场通风系统与漏风系统的概念	4
二、采场通风系统的基本要求	4
三、采场通风系统的分类	5
四、采场通风系统浅析	5
第二章 采场通风理论基础	8
第一节 概述	8
一、采场通风的研究范围	8
二、气体在采空区陷落岩石孔隙和裂隙中的渗流	8
三、渗流运动的基本概念	9
四、流场边界风压测定	12
五、流场内的气体运动	13
第二节 采空区气体流动微分方程	14
一、采空区的气体流动状态	14
二、渗透定律	15
三、连续性微分方程	16
四、采空区气体流动微分方程	19
五、采空区气体流动微分方程的定解条件	20
第三节 采空区气体流动微分方程的解法	21
一、解析法	21
二、图解法	29
三、变分有限元法	34
第三章 采场通风模型与模拟	43
第一节 概述	43
第二节 相似原理	43
一、几何相似	44
二、运动相似	44
三、动力相似	44
四、相似准则	45
第三节 采场均压通风气流相似模型	49
一、采场均压通风模型试验的目的	49
二、模型主要参数的确定	50

三、模型设计及测试仪表	50
四、实测数据的分析	52
五、模型的烟雾试验	54
第四节 模拟孔隙介质气体流的缝隙模型	58
一、缝隙模型装置	58
二、缝隙模型与原型之间的相似性	59
三、用缝隙模型模拟采空区气体流动的实例	62
第五节 电模拟	65
一、电模拟的原理	65
二、电解槽——连续导电介质模拟装置	66
三、电阻网络电模拟	69
第四章 采场瓦斯涌出与浓度分布	75
第一节 采场瓦斯的涌出规律	75
一、采场进风流瓦斯的来源	75
二、回采工作面瓦斯涌入风流中的规律	75
三、采空区瓦斯涌入风流中的规律	76
第二节 采空区瓦斯浓度分布	78
一、瓦斯的弥散现象和机理	78
二、瓦斯弥散方程	79
三、定解条件	82
四、瓦斯弥散方程的数值解法	82
五、计算步骤与程序框图	86
第三节 采空区瓦斯浓度分布的实测与计算	86
一、采空区瓦斯浓度分布的测定	86
二、用二维弥散方程预计采空区瓦斯浓度分布	87
第五章 留煤柱开采时的采场瓦斯管理	89
第一节 采场局部瓦斯积聚与处理	89
一、瓦斯局部积聚的原因	89
二、上隅角瓦斯的处理	90
第二节 利用尾巷排放法预防采场风流瓦斯超限	92
一、走向长壁工作面瓦斯的尾巷排放	92
二、仰斜长壁工作面瓦斯的尾巷排放	94
三、俯斜工作面瓦斯的尾巷排放	95
第三节 采场瓦斯抽放	96
一、未卸压煤层中瓦斯流动的基本规律	96
二、未卸压煤层瓦斯抽放实例	98
三、卸压区域的瓦斯流动规律	99
四、卸压空间的气体流动对抽放效果的影响	100
五、卸压空间内瓦斯源的位置对抽放效果的影响	102
六、上邻近层卸压后的瓦斯抽放方法简介	102
第六章 无煤柱开采时的采场瓦斯管理	106
第一节 沿空掘巷时的瓦斯涌出及其对通风的影响	106
一、采空区瓦斯对沿空掘进巷瓦斯涌出量的影响	106

二、沿空掘巷时巷壁瓦斯涌出量的变化及其对通风的影响	107
第二节 沿空掘巷无煤柱开采的采场瓦斯管理	109
一、无煤柱开采采场的回风流瓦斯在采空区边界无漏风的条件下会逐步增加	109
二、利用采空区边界漏风汇排放瓦斯	112
三、采空区有漏风源的采场的瓦斯涌出特点及治理	114
第三节 取消采区隔离煤柱的无煤柱开采采场中的瓦斯涌出	114
第四节 沿空留巷无煤柱开采采场的瓦斯管理	115
一、在高瓦斯煤层中试验沿空留巷无煤柱开采方法的认识	115
二、预留沿空巷为盲巷的无煤柱开采采场的瓦斯流动情况及通风效果	116
三、预留沿空巷为辅助进风巷的无煤柱开采采场内的瓦斯流动情况及通风效果	118
四、采用“Y”型通风系统的无煤柱开采采场的通风效果	119
第五节 无煤柱开采采场的瓦斯抽放	120
一、用迎向钻孔抽放无煤柱开采工作面的邻近层瓦斯	120
二、用固定钻场集中抽放相邻采场的瓦斯	121
第七章 留煤柱开采自然发火的预防	128
第一节 概述	128
第二节 留煤柱采场自然发火的原因	129
一、分层分采时自然发火的原因	130
二、分层同采时自然发火的原因	135
第三节 留煤柱采场的自然发火的预防	138
一、加强停采线管理防止停采线煤自燃	139
二、加强注浆防止采空区浮煤自燃	140
三、改革采场巷道布置方式预防自然发火	142
四、调整巷内通风参数,改变采空区气体流动状况抑制自燃	144
第四节 水砂充填采煤法的自然发火的预防	147
一、走向长壁水砂充填采煤法自然发火位置的分布	147
二、走向长壁水砂充填采煤法自然发火的预防	149
第五节 开采急倾斜煤层时自然发火的预防	149
一、走向长壁工作面采空区的自然及预防	149
二、水平分层开采的自然发火及预防	150
三、采用伪斜柔性掩护支架开采煤层时的自然发火及预防	152
四、地表漏风引起的自燃及预防	153
第八章 易自燃煤层无煤柱开采时自然发火的预防	154
第一节 无煤柱开采工作面自然发火的调查与分析	154
第二节 易自燃煤层无煤柱开采预防自然发火的实例	156
一、沿空掘巷无煤柱开采自然发火的预防	156
二、沿空留巷无煤柱开采自然发火的预防	164
三、厚煤层分层无煤柱开采的自然发火的预防	168
第九章 采场调风	174
第一节 调风的数学模型与调风方法的分类	174
一、网路调风与采场调风的数学模型对比	174
二、采场调风方法的分类	175
第二节 采场调风方法及其作用	176

一、采场形状对上隅角瓦斯积聚的影响	176
二、改变采场气体流动状况的采场风阻调节法	177
三、改变采场气体流动状态的采场风压调节法	179
四、改变采场气体流动状况的风量调整法	183
第三节 采场调风实例	185
一、用采场调风原理处理瓦斯问题	185
二、用采场调风原理处理采空区自燃问题	190

第一章 采 场 通 风

当回采工作面实施通风时，与其相邻的采空区中的气体会产生相应的流动，同时气体的成份、状态也会有明显的变化。采场的通风系统与漏风系统对工作面的安全生产有着重要影响。

第一节 采场空气成份的变化和采场风量的计算

一、采场气体成份的变化规律

在生产过程中，工作面煤壁会散放瓦斯，与其相邻的采空区也会涌出各种有害气体。空气流经采场后，不仅气体组份会产生变化，而且温度、湿度、压力也会发生变化，并会混入矿尘。

地面空气是干空气和水蒸气的混和物。其中水蒸气的含量占 0.1%~3%(体积比)。干空气的组成见表1-1。

表 1-1 干 空 气 的 组 成

气 体 名 称	体 积 比 (%)	重 量 比 (%)
氮	78.09	75.53
氧	20.95	23.14
二氧化碳	0.03	0.046
氩及其它稀有气体	0.93	1.28

新鲜风流流经工作面后，其成份会发生明显的变化，这种变化可分为物理变化和化学变化。

(一) 物理变化

1. 气体混入。生产过程中由开采煤层和邻近煤层散发出的瓦斯、二氧化碳、一氧化碳都将引起采场风流组份的变化。

2. 固体混入。采场风流中往往会混入由某些工艺环节所产生的煤尘和岩尘。

3. 热力参数变化。由于地热、电气设备散热、人体散热、氧化热等的影响，新鲜气流在经过采场时，其温度会增高，同时，风流的湿度也会发生变化。在水砂充填、黄泥灌浆的工作面，回风流湿度的变化更明显。

(二) 化学变化

在采场内，由于煤炭、坑木和其它有机物的缓慢氧化，爆破工作，煤炭自燃，润滑油的高温分解、碳化，人员呼吸等，采场回风流中的氧的含量就会较之进风流减少，而二氧化碳和其它气体的含量就会增加。由化学变化所产生的有害气体主要有 CO、NO₂、SO₂、H₂S、NH₃，其含量超过一定数值后，将对人体产生危害。因此，上述气体在巷道风流中的最高容许浓度，在《煤矿安全规程》第104条中均有严格的规定。

二、采场瓦斯涌出量与供风量的计算

瓦斯是煤矿生产过程中，由煤、岩内涌出的各种气体的统称。其中沼气 CH_4 是煤矿井下普遍存在的气体，与其它有害气体相比，在高沼矿井中， CH_4 的涌出量大而持续时间长；在低沼矿井中，却以二氧化碳的涌出为主。瓦斯在一定的浓度范围内具有爆炸性。矿井瓦斯通常就是指沼气。

瓦斯涌出量的大小有两种表示方法，即绝对涌出量和相对涌出量。

单位时间内涌出的瓦斯量称为瓦斯绝对涌出量，其单位为 m^3/d 或 m^3/min 。根据瓦斯来源的区域和测定的位置不同，又可分为全矿绝对瓦斯涌出量、采区绝对瓦斯涌出量及回采工作面绝对瓦斯涌出量等。

相对瓦斯涌出量是指平均日产 1 吨煤所涌出的瓦斯量，单位是 m^3/t ，故又称“吨煤瓦斯量”。

为了便于统一管理和执行相应的技术对策，根据相对瓦斯涌出量的大小及瓦斯涌出方式，将矿井沼气等级划分为以下三级：

高沼气矿井： 10m^3 以上；

低沼气矿井： 10m^3 及其以下；

煤与沼气突出矿井。

采场相对瓦斯涌出量大小，也是评价采场通风难易程度的标志。

生产矿井需要的风量是根据各用风地点实际需要风量来进行计算的。采场供风量的大小应满足表 1-2 的要求。因此，采场供风量的大小应按表 1-2 的要求分项进行计算，并取其中最大值。

表 1-2 采场供风量的基本要求

检 验 项 目	规 定 指 标	检 验 地 点
CH_4	$<1.0\%$ $<0.5\%$ $<2.0\%$	工作面风流与回风流 进风流 体积小于 0.5m^3 的地域
CO_2	$<1.5\%$ $<0.5\%$	工作面、回风流 进风流
其它气体	《煤矿安全规程》第 104 条的表 1	采场风流
风 速 v (m^3/s)	$0.25 \sim 4.0$ >1.0 $0.26 \sim 6.0$	工作面 工作面倾角 $>12^\circ$ ，下行风 进、回风顺槽
温度 t ($^\circ\text{C}$)	<26	工作面
人 员 数	每人每分钟供给 风量 $>4\text{m}^3$	采场内

1. 按瓦斯涌出量计算。

$$Q = 100 \times q_{\text{CH}_4} \times k \quad (1-1)$$

式中 Q ——采场实际需要风量， m^3/min ；

q_{CH_4} ——采场绝对沼气涌出量， m^3/min ；

k ——风量备用系数，一般可取1.2~2.1。

按二氧化碳 CO_2 计算风量时，可参照按沼气涌出量计算风量的方法进行。

2. 按工作面温度计算。

为了保证工作面有良好的气候条件，工作面的温度与风速应符合表1-3的要求。

长壁式工作面风量可按下式计算：

$$Q = 60 \times v \times S \quad (1-2)$$

式中 v ——工作面风速。根据工作面温度由表1-3选取；

S ——回采工作面断面。按最大控顶距断面积计算。

3. 按炸药量计算。

$$Q = 25 \times A \quad (1-3)$$

式中 A ——回采工作面一次爆破的最大炸药量，kg；

式中的25是每千克炸药爆破后每分钟需要供给的风量值。

4. 按人数计算。

$$Q = 4 \times N \quad (1-4)$$

式中 N ——工作面同时工作的最多人数。

5. 按风速验算。

根据上述四种方法求出的结果，取其中最大值 Q_w ，并进行风速验算。

按最低风速验算： $Q_w \geq 15 \times S$

按最高风速验算： $Q_w \leq 240 \times S$

实践表明，按上述方法计算出的采场需用风量，通常是按瓦斯涌出量计算所得的风量为最大。风量备用系数 k 必须根据《规程》的要求，结合采场的实际情况来选取，做到既经济合理又安全可靠。

当采场绝对瓦斯涌出量大于 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ 而暂时不能按照《规程》第146条的要求设置抽放系统时，一些矿井常采用尾巷排放瓦斯的方法（图1-1）来解决通风的实际困难。

表 1-3 回采工作面温度要求对应的风速值

回采工作面空气温度 ($^{\circ}\text{C}$)	工作面风速 (m/s)
<15	0.3~0.5
15~18	0.5~0.8
18~20	0.8~1.0
20~23	1.0~1.5
23~26	1.2~1.8

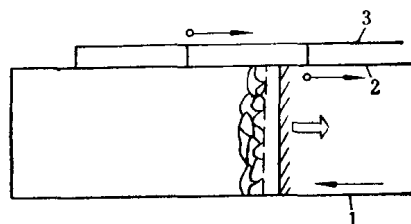


图 1-1 利用尾巷排瓦斯的通风系统

1—进风顺槽；2—回风顺槽；3—尾巷

利用尾巷排放瓦斯的采场通风系统，采场供风量 Q_w 应等于回风顺槽风量 Q' 与尾巷风量 Q'' 之和，即

$$Q_w = Q' + Q'' \quad (1-5)$$

其中

$$Q' = 100 q'_{\text{CH}_4} \cdot k \quad (1-6)$$

$$Q'' = 100 q''_{\text{CH}_4} \cdot k / c \quad (1-7)$$

式中 q'_{CH_4} ——回风顺槽绝对瓦斯涌出量， m^3/min ；

k ——风量备用系数， $k = 1.2 \sim 2.1$ ；

q'_{CH_4} ——尾巷绝对瓦斯涌出量, m^3/min ;

c ——尾巷瓦斯浓度放限系数, $c = 2 \sim 3$ 。

也就是说, 按 (1~5)~(1~7) 式计算采场风量时, 承担运料、行人的回风顺槽是按《煤矿安全规程》的要求计算风量, 而不行人的排瓦斯专用巷——尾巷的风量则是根据尾巷的瓦斯浓度应控制在 2 % 以内的要求进行计算的。

第二节 采场通风系统与漏风系统

一、采场通风系统与漏风系统的概念

采场通风系统包括采场通风方法 (抽出式、压入式), 采场进、回风顺槽的数目及布置方式, 风流流经路线的全部内容。

采场内的生产巷道是采场的用风地点, 当供给的风量不能全部送达巷内, 或巷内的风量超出所供给的风量时, 这种风量流失与增加的现象称为采场漏风。所谓采场漏风系统是指漏风方式 (压入式、抽出式)、漏风来源、流失去向、流经路线的全体。显然, 漏风是相对于通风而存在的。因此, 当采场通风系统确定之后, 漏风系统也就相应被确定下来。

众所周知, 矿井通风系统对全矿安全生产有重要影响。同样, 采场通风系统与漏风系统对采场的安全生产也有着重要的影响。

二、采场通风系统的基本要求

1. 采场与掘进工作面都应采用独立通风。当厚煤层分层分采并采用集中布置 (有集中进风岩巷和回风岩巷) 时, 为了加速底分层的准备, 促进生产集中, 可将进风岩巷与回风岩巷在采区边界连通, 如图 1-2 所示, 这样可以在同一区段内同时进行回采与掘进。进风岩巷除做为顶分工作面的集中进风巷之外, 又作为底分层掘进工作面的进风巷。掘进回风由联络眼返回后, 由边界岩石上山流入区段回风岩巷, 构成采、掘独立通风系统。枣庄柴里煤矿采用的就是这种布置方式。

当厚煤层分层同采时, 为了保证采、掘独立通风, 可在工作面上、下两端采用双岩巷集中布置的方式。同标高的两条岩巷中的一条与采区进风上山相联, 另一条与采区回风上山相联, 如图 1-3 所示。

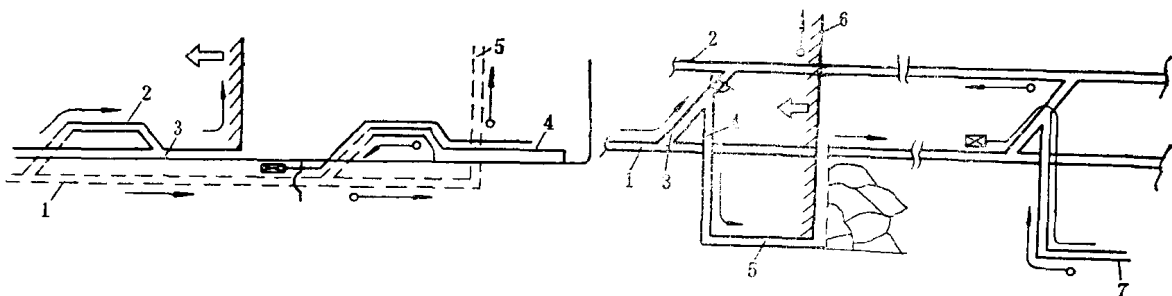


图 1-2 分层分采时采、掘独立通风系统
1—进风岩巷; 2—联络眼; 3—顶层顺槽; 4—底层顺槽; 5—边界岩石上山

图 1-3 利用双岩巷布置实现分层同采时的采、掘工作面独立通风
1—区段下端进风岩巷; 2—区段下端回风岩巷; 3—进、回风岩巷的联络石门; 4—进风溜眼; 5—顶分层进风顺槽; 6—顶分层工作面; 7—次分层顺槽掘进工作面

下端进风岩巷1是多分层同时回采时的共用进风巷。回采工作面的新鲜风流经石门3、进风溜眼4、分层顺槽5、工作面6流入回风溜眼和所对应的联络石门,最后进入回采区段上部的集中回风岩巷。另外,下端进风岩巷1又是各分层进风顺槽掘进时的共用进风岩巷。掘进用风是用联络石门的风门外侧(上风侧)的风机将新鲜风流直接送入的,掘进头的回风从联络石门的另一端流入回风岩巷2。淮北芦岭煤矿的经验表明,区段上下同时采用双岩巷布置,可以保证多区段、多分层的采、掘工作面实现独立通风系统。

2. 风流稳定。在矿井通风系统中,采场分支应尽量避免处在角联分支或复杂通风网络的内联分支上。当无法避免时,要有保证风流稳定的措施。

3. 漏风要少。采场通风系统应尽量减少采场的内部漏风和采场的外部漏风,特别要避免从外部向采场的漏风。

4. 采场调风设施可靠。在矿井通风系统内,对采场采取局部升压措施时,位于升压区域的进、回风两侧都应设置双重风门,并不得同时开启。升压风机应保证稳定运转,一旦停止运转,原升压区域内的人员应迅速转移到工作面进风顺槽或进风顺槽风门以外的采区基本巷道内。特别是当相邻老空区(或火区)风压明显大于采场风压时,一旦增压风机停止运转,老空区的瓦斯或火灾气体很容易流入采场空间,造成采场作业人员中毒,甚至窒息,所以更应制定安全措施。

5. 防止采空区有害气体突然涌出。在压入式通风矿井中,当采场的进、回风顺槽与相邻的老空区有良好的漏风联系时,应严防老空区的漏风流向采场的生产巷道或正在掘进的巷道,防止主扇一旦停风,老空区气体突然膨胀,而使老空区高浓度的有害气体流入采场的作业场所。

6. 保证风流畅通。采场内的生产巷道,应保证风流畅通。巷道断面不宜太小。要及时清理巷内的闲置杂物,防止局部冒顶,降低巷内局部风阻。

三、采场通风系统的分类

采场通风系统是由采场通风方法,进、回风顺槽数目和布置方式,风流流经路线等多种因素来确定的。上述因素中,由于每一种因素又有各自不同的技术方案,因此,采场通风系统是多种多样的。

根据进、回风巷的数目,进、回风巷和漏风源、汇^①的位置的不同,即可对采场通风系统进行分类并对其变化进行分析。现将国内外曾采用过的采场通风系统分类归纳列于表1-4中。

采场通风系统的进、回风巷的数目和相互的位置是以采区上、下山或盘区主要进、回风巷为中心来安排的。因此,在对采场通风系统进行分类命名时,凡采场乏风全部流回本采区总排风巷者称为折返式通风系统。凡采场乏风全部或部分流出本采区者称为分列式采场通风系统。这种以采场进、回风巷数目和相互位置为基础,冠以“折返式”或“分列式”的命名方法,不仅充分地阐明了采场通风系统的特点,而且与矿井通风系统的分类方法保持了一致。

四、采场通风系统浅析

(一) 后退式开采上行折返式通风系统

后退式开采的上行折返式通风系统如表1-4中的图1所示。这是我国使用最广泛的采场通风系统,采空区没有漏风源、汇,只是沿工作面切顶线产生折返式连续漏风,采空区瓦斯

^① 流入采空区风流的漏风通道称为漏风源;从采空区流出风流的漏风通道称为漏风汇。

表1-4 采场通风系统分类表

进回风巷数目	漏风方式	留煤柱开采		无煤柱开采	
		后退式	前进式	后退式	前进式
一进、一回	切顶线、沿空巷连续漏风	图1	图2	图3	图4
	切顶线、沿空巷连续漏风	图5	图6	图7	图8
	切顶线、沿空巷连续漏风，采空区含漏风源、汇	图9	图10		
一进、二回	切顶线、沿空巷连续漏风	图11	图12	图13	图14
	切顶线、沿空巷连续漏风	图15		图16	
二进、一回	切顶线、沿空巷连续漏风	图17	图18	图19	图20

注：图中⊕表示采空区漏风源，⊖表示采空区漏风汇。

集中于工作面上隅角涌出,容易产生局部瓦斯超限。这种通风系统适用于开采煤壁瓦斯涌出量大,采空区瓦斯涌出量小的煤层。但当采空区瓦斯绝对涌出量大于 $3\text{m}^3/\text{min}$ 时,应采取邻近抽放或尾排通风措施。

(二) 前进式上行折返式通风系统

如表1-4中的图2所示,由于采用前进式上行折返通风的工作面的进、回风顺槽均是沿采空区维护的,采空区漏风不易管理。这种通风系统适用于推进距离短、自燃倾向弱的煤层,它对缓和采、掘紧张关系可发挥有效作用。鸡西穆棱煤矿就多次采用过这种系统。

(三) 后退式无煤柱开采上行折返式通风系统

如表1-4中的图3所示,这种通风系统可以通过上部相邻老空区释放回采工作面的采空区瓦斯,与留煤柱开采时采用这种通风系统相比,回风流绝对瓦斯涌出量可减少30%以上,上隅角瓦斯浓度有明显地降低。

(四) 一进二回的分列式通风系统

当折返式通风系统不能有效的解决采场瓦斯问题时,可以采用一进两回的分列式通风系统,如表1-4中的图11所示。分列布置的沿空回风巷可以改变采空区瓦斯的流动方向,杜绝上隅角瓦斯超限现象。在不采用抽放措施的情况下,采场瓦斯绝对涌出量达 $6\sim 7\text{m}^3/\text{min}$ 时,采用一进二回的分列式通风系统,也可以得到满意的通风效果。

(五) 二进一回的分列式通风系统

在许多采场中,由于采空区的瓦斯占有较大的比重,工作面煤壁的瓦斯却较少,因此,为了减少工作面的通过风量,而又保证回风流瓦斯(含采空区瓦斯)不超限,可以采用两进一回在回风侧直接参入新风的通风系统,如表1-4中的图15所示。采用这种通风系统将有助于防止工作面煤尘飞扬,改善工作面的气候条件,减少采空区漏风,促进采空区隋性化。

(六) 上、下行混合式通风系统

表1-4中的图17、图14分别表示上、下行混合式通风系统及两进一回、一进两回的上、下行混合式通风系统。上、下行混合式通风系统可以使工作面风量的通过量有所提高,对煤壁瓦斯涌出量大的工作面尤为适用。

(七) 前进式开采二进一回、中巷回风的折返式通风系统

采用这种通风系统(如表1-4中的图20所示),利用采空区瓦斯已被充分卸压的有利条件,在采空区维护的回风中巷布置抽放钻孔,不仅可保证稀释工作面煤壁瓦斯所需要的风量,而且还可为抽放采空区邻近层瓦斯创造良好的条件。德国依华特矿两个工作面的实验结果证明,煤层厚度为 $1.6\sim 1.7\text{m}$,工作面长为 $222\sim 258\text{m}$,工作面推进速度为 $2.2\sim 3.1\text{m/d}$,风量为 $2400\sim 2500\text{m}^3/\text{min}$ (中间沿空巷的风量),瓦斯的抽出率达 $71\%\sim 74\%$,回风流瓦斯从未超过1%。

第二章 采场通风理论基础

第一节 概 述

一、采场通风的研究范围

回采工作工作面无论采用哪种顶板管理方式，与其相邻的采空区内都存在着气体流动现象。“与回采工作面相邻的采空区”有两层含意：一是指随回采工作面推进而对应形成的采空区(图2-1a)；另一是指当采用无煤柱开采或留小煤柱开采的煤柱不能有效地阻止漏风时，与回采区段相邻的老空区(图2-1b)。这就是说，与回采工作面存在漏风联系的采空区都属于采场通风所应讨论的范围。

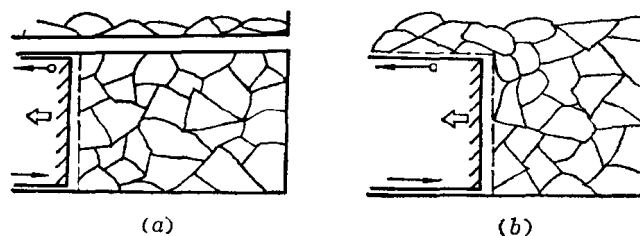


图 2-1 采场的区域

当区段煤柱或采区隔离煤柱大于10~12m，在研究采场通风的漏风联系时往往可以忽略不计。这就是说，采场通风要把影响回采工作面安全生产的采空区漏风现象作为其中的一部分来研究。

采场是充满流动气体的复杂空间。这个空间由两部分组成：一部分是进行生产活动的空间——通风空间；另一部分是充满了充填物或陷落岩石的采空区空间——漏风空间。由于采场的生产巷道——回采工作面、进风顺槽、回风顺槽部分或全部与采空区相邻，故采场生产巷道与采空区之间不可避免的存在着漏风联系。采区生产巷道的断面愈小，采空区的漏风现象就愈明显。如六枝四角田煤矿，采高为2m，工作面采用“见四回一”的支护方式，当其处于最小控顶距时，流入采空区的漏风量达工作面入风量的40%；在最大控顶距时亦达19%。因此，采场通风同样要研究通风空间与漏风空间的关系。

采空区漏风是引起采空区瓦斯涌出，形成采空区煤炭自燃的重要原因，因此，研究相应的调风措施，减少采空区瓦斯涌出，预防采空区自然发火，促进安全生产是采场通风研究的重要内容。

二、气体在采空区陷落岩石孔隙和裂隙中的渗流

当回采工作面有风流通过时，相邻的采空区陷落岩石的孔隙与裂隙中的气体就必然处于流动状态。采空区的陷落岩石是形成孔隙与裂隙的骨架，在研究采空区气体流动规律时，把陷落岩石及其孔隙与裂隙视为孔隙介质。

孔隙介质的特点是流体与固体共同占有空间。其中固体部分称为固体骨架，而在孔隙

介质范围内没有固体骨架的那一部分称为孔隙空间。对单位体积的孔隙介质来说,其应含有足够多的固体颗粒,颗粒的总表面积要比较大,而孔隙部分比较狭窄,且构成孔隙空间的孔洞、裂隙是相互连通的。

如图2-2所示,陷落岩石的孔隙和裂隙的形状、大小、连通性等都是各不相同的,它是由外型很不规则的岩块形成的一些形状复杂、大小不一、弯弯曲曲的通道,因而在不同的孔隙中或同一孔隙的不同部位上,气体的流动状态也就各不相同。显然,研究个别孔隙或个别裂隙中的气体的流动特征,不仅是十分困难的,而且也没有实际价值。在研究采空区气体流动规律时,并不去研究个别气体质点的运动规律,而是研究孔隙介质内的平均运动,即研究具有平均性质的渗流规律^①。通过对这一假想流体的研究,达到了解真实气体平均渗流规律。这种假想的流动应具有下列性质:它通过任一断面的流量应与真实气体通过同一断面的流量相等;它在某断面上的全风压应和真实气体的全风压相等;渗流运动的阻力应等于气体在孔隙中流动的实际阻力。满足上述条件的这种假想气流称为渗透气体或简称渗流,而假想气体所占有的空间区域称为渗流区或渗流场,简称流场。据此可知,渗流可以被当成连续流来研究。这样不仅可以避免研究个别孔隙中气体质点运动规律的困难,而且还可以利用水力学、流体力学中的理论来研究渗流问题。

为了描述渗流特征,表明气体在采空区内的流动状况,采用的一些物理量如流量、速度、全风压等都是坐标 x , y , z 的函数,且在非稳定运动中还是时间 t 的连续函数。

三、渗流运动的基本概念

(一) 渗流速度

垂直于渗流方向的陷落岩石截面称为过风断面。过风断面既包括孔隙的面积,也包括岩石块粒所占据的面积;过风断面既可以是平面的,如图2-3(a)所示;也可以是曲面的,如图2-3(b)所示。

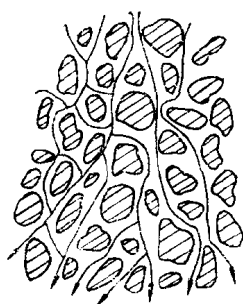
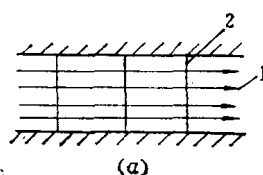
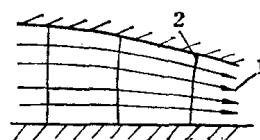


图 2-2 陷落岩块孔隙中的渗漏



(a)



(b)

图 2-3 过风断面

1—渗流方向; 2—过风断面

渗流在过风断面上的平均流速称为渗流速度,即:

$$v = \frac{Q}{\omega} \quad (2-1)$$

^① 平均性质的渗流就是把流经陷落岩石的孔隙与裂隙中的气体运动假想成充满整个孔隙介质的气体运动。