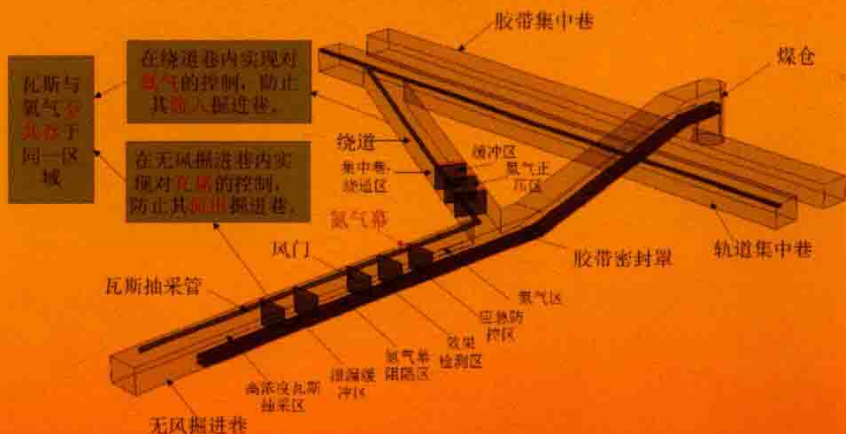


基于煤与瓦斯共采的无风掘进 瓦斯与氧气阻隔机理研究

付明明 张英华 李甲亮 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

基于煤与瓦斯共采的无风掘进 瓦斯与氧气阻隔机理研究

付明明 张英华 李甲亮 著

北京
冶金工业出版社
2017

内 容 提 要

本书主要论述了在无风环境中进行瓦斯煤层作业的新型掘进系统,阐述了在无风掘进巷道通过氮气幕和抽采系统对瓦斯进行控制,在绕道巷内通过风门及氮气幕协同作用对氧气进行控制,达到两者不共存于同一个区域的目的,实现根除瓦斯爆炸的目标。

本书可供矿山安全设计人员、工程技术人员以及矿山安全管理人员阅读,也可供高等学校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于煤与瓦斯共采的无风掘进瓦斯与氧气阻隔机理研究 /付明明,张英华,李甲亮著. —北京:冶金工业出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-5024-7566-6

I. ①基… II. ①付… ②张… ③李… III. ①瓦斯煤层—巷道掘进—研究 IV. ①TD263.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第173119号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjpbs@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7566-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2017年10月第1版,2017年10月第1次印刷

169mm×239mm;7.5印张;144千字;110页

35.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)



前 言

煤矿生产中瓦斯灾害现象严重，目前的防治理论与技术尚无法完全根除瓦斯事故，瓦斯超限及爆炸现象时有发生。本书基于周世宁院士提出的高瓦斯煤层密闭空间煤与瓦斯共采的理论，构建了集中巷通风、掘进巷不通风的新型无风掘进系统模型，分析了无风掘进的巷道布置、煤料运输、人员安全及舒适性保障、瓦斯抽采、瓦斯与氧气阻隔等子系统，研究了无风掘进的优缺点及可行性。实现无风掘进，关键在于将瓦斯与氧气有效阻隔，为此分别对瓦斯和氧气的阻隔机理进行研究。

瓦斯控制主要在于明确瓦斯空间浓度分布与涌出量、抽采量、泄漏量、氮气幕阻隔速度之间的关系。考虑到工作面推进过程中煤壁及煤块瓦斯放散总时间不同这一因素，通过微元积分再求和的方式，推导出了一个作业循环中瓦斯涌出总量的表达式；建立了泄漏瓦斯输运动力学模型，得出了在涌出量、抽采量、浮力及黏性阻力等多因素影响下的瓦斯连续输运规律、动量及能量控制方程；通过菲克定律及高斯烟团模型经傅里叶变换推导出了瓦斯浓度的时空分布规律；根据射流卷吸作用，得出了氮气幕阻隔速度与瓦斯浓度的关系式。针对瓦斯输运规律，提出了风门硬阻挡-抽采动态调压-氮气幕软阻隔三者联动控制瓦斯的方法。通过相似模拟和数值分析，研究了上述四种变量对瓦斯运移规律的影响；验证了风门开启与关闭状态下，瓦斯阻隔装置与控制方法的有效性。

氧气阻隔分为风门开启与关闭两种状态进行研究。风门开启状态下氧气控制方法与瓦斯相似，预先启动氮气幕，等量驱替风门开启所扰动范围内的氧气，保证风门开启过程中涡流场内的气体为氮气；同时启动正压区内的氮气幕，利用正压法阻隔氧气进入掘进巷。风门关闭时，根据伯努利方程，推导出阻隔氧气时各区间的气体压力关系，利用压差作用，保证只存在由氮气正压区向集中巷的单向流动，以此实现对氧气的阻隔。建立了相似模拟和数值分析模型，验证了绕道巷

氧阻隔机制的有效性。

在无风掘进模型中，采用风门、抽采、氮气幕动态调节的方法，可以实现瓦斯和氧气的有效阻隔，为无风掘进工艺的实施提供了理论与实验依据。

本书在编写过程中，得到了北京科技大学张英华教授的悉心指导；黄志安副教授、高玉坤老师、贺帅博士、严屹然博士、周佩玲博士、肖善林硕士给予了热情帮助，在理论推导、实验室实验和数值模拟过程中，他们都做了有益的工作。本书的出版，得到了滨洲学院的资助。在此一并致谢！

限于作者的水平，书中若有不当之处，诚请读者批评指正！

作 者
2017年5月

目 录

1 引言	1
2 无风掘进系统结构模型的建立	2
2.1 无风掘进系统模型	3
2.2 无风掘进各子系统分析	4
2.2.1 无风掘进巷道布置及煤料运输	4
2.2.2 无风掘进人员呼吸供给	4
2.2.3 无风掘进环境舒适性保障	5
2.2.4 无风掘进瓦斯抽采	6
2.2.5 无风掘进气体监测监控	6
2.2.6 无风掘进气体阻隔系统	6
2.3 无风掘进优缺点分析	10
2.4 无风掘进与传统掘进的经济比较	11
2.5 本章小结	13
3 无风掘进瓦斯与氧气阻隔机理研究	14
3.1 无风掘进巷瓦斯涌出模型	14
3.1.1 壁面瓦斯涌出量积分解算	15
3.1.2 散落煤块瓦斯涌出量积分解算	17
3.2 无风掘进巷瓦斯流动运移规律研究	18
3.2.1 无风掘进巷瓦斯连续输运规律	19
3.2.2 无风掘进巷瓦斯输运动量规律	22
3.2.3 无风掘进巷瓦斯输运的伯努利控制方程	26
3.2.4 无风巷内混合场的组分方程	31
3.3 无风掘进巷瓦斯扩散运移规律研究	32
3.3.1 基于菲克定律及高斯烟团模型的缝隙线源扩散规律	32
3.3.2 基于菲克定律及高斯烟团模型的胶带口面源扩散规律	34
3.4 煤块空隙、衰减放散及胶带引流对瓦斯运输的影响	36
3.4.1 煤块空隙瓦斯泄漏规律	36

3.4.2	煤块衰减放散瓦斯泄漏规律	37
3.4.3	胶带引流瓦斯泄漏规律	37
3.5	无风掘进巷瓦斯阻隔调控	38
3.5.1	联动调控阻隔瓦斯	38
3.5.2	氮气幕射流卷吸阻隔瓦斯	39
3.6	绕道巷氧气阻隔机理研究	40
3.6.1	风门开启状态下氧气阻隔模型	40
3.6.2	风门关闭状态下氧气阻隔模型	42
3.7	本章小结	44
4	无风掘进抽采-氮气幕联动控制气体相似模拟研究	45
4.1	相似性验证	45
4.1.1	几何相似	45
4.1.2	运动相似	46
4.1.3	动力相似	46
4.2	实验设计	50
4.2.1	模型搭建	50
4.2.2	实验设备	51
4.2.3	实验步骤	52
4.3	无风掘进巷瓦斯阻隔规律研究	54
4.3.1	实验台气密性验证	54
4.3.2	涌出量对瓦斯运移的影响研究	54
4.3.3	抽采量对瓦斯运移的影响研究	61
4.3.4	氮气幕阻隔效果研究	63
4.4	绕道巷阻隔氧气的实验研究	66
4.5	本章小结	68
5	无风掘进抽采-氮气幕联动控制瓦斯与氧气数值分析	69
5.1	无风掘进巷气体运移控制方程	69
5.2	模型构建及边界条件设置	70
5.2.1	模型构建	70
5.2.2	边界条件设置	71
5.3	流动及扩散模型数值分析	72
5.3.1	高浓度瓦斯区形成过程分析	72
5.3.2	压力失衡瞬间气体流动规律	73

5.3.3	氮气与瓦斯自由扩散规律	75
5.4	瓦斯运移规律的多因素耦合研究	75
5.4.1	涌出量对瓦斯运移规律的影响研究	75
5.4.2	抽采量对瓦斯运移规律的影响研究	83
5.4.3	氮气幕阻隔瓦斯运移规律的研究	91
5.4.4	风门开启过程中瓦斯流场的变化规律	94
5.5	氧气阻隔数值分析	97
5.5.1	风门开启过程氧气阻隔	98
5.5.2	风门关闭状态氧气阻隔	98
5.6	本章小结	101
6	结论及展望	103
6.1	主要结论	103
6.2	展望	104
附录	105
附录 A	相似模拟涌出量为 3L/min 时的动态监测部分数据表	105
附录 B	氮气幕阻隔的调节命令	107
参考文献	109

1 引 言

周世宁院士 2001 年在《高瓦斯煤层开采的新思路及待研究的主要问题》^[1]一文中提出了在密闭空间中实现煤与瓦斯共采的新思路；2000 年于《创新思维在工程中的应用》^[2]中提出了在工程中应大力提倡创新，指出了创新思维的重要意义以及创新者应该具备的创新素质；2006 年于《煤与瓦斯共采理论及在乌兰矿的应用》^[3]中，指出煤与瓦斯共采的基本理论并分析了其必要性及可行性。这些研究为高瓦斯煤层新形势下的创新型作业指明了方向。

我国属于能源依赖型国家，煤炭在能源消费结构中所占的比重一直较大，2016 年煤炭占 58% 左右，预计到 2050 年仍将占 50% 以上。在煤矿生产过程中，伴随着诸多灾害事故，其中瓦斯灾害事故居于首位，掘进过程中经常发生瓦斯超限及瓦斯爆炸等事故。根据国家安全生产监督管理总局事故查询网站的数据显示，自 2000 年 1 月 1 日至 2016 年 7 月，共计发生瓦斯爆炸 970 起，死亡 8873 人。随着国家监管力度的加大和各项保障措施的进一步完善，在 2010 年 1 月~2016 年 12 月，共计发生瓦斯爆炸 100 起，死亡 829 人^[4]。瓦斯爆炸事故虽然大量减少，但仍然有人员伤亡。这说明，煤矿瓦斯的治理依然存在多种问题，现有的“四位一体”措施没有完全消除瓦斯隐患。

因此，应该结合周世宁院士的创新思维，沿着周世宁院士提出的煤与瓦斯共采的新思路，研究新型生产方式和工艺，从根本上解决瓦斯超限和爆炸的问题，实现安全高效快速掘进作业。

本书所述的无风掘进就是基于周院士煤与瓦斯共采的新思路提出的。无风掘进是在集中巷内通风、掘进巷内不通风的新型作业方式。这种作业方式彻底消除了掘进巷内需氧灾害发生的必要条件，既可以杜绝瓦斯燃烧和爆炸等灾害事故的发生，又可以将瓦斯充分利用。

2 无风掘进系统结构模型的建立

周世宁院士、林柏泉教授、李增华教授在 2001 年《高瓦斯煤层开采的新思路及待研究的主要问题》^[1]中提出了高瓦斯煤层开采的新思路，即在一个既能密闭又可以开放的空间中，实现煤与瓦斯的同采。采煤作业时瓦斯涌出量很大，回采工作面上下顺槽密闭，形成密闭环境，保持瓦斯浓度在 30% 以上，使其完全处于不能产生爆炸的范围，通过抽采管将大量瓦斯抽采利用。当工作面出现事故必须停采处理时，打开工作面上下巷道的风门，恢复通风。通过这种方式，达到高瓦斯煤层安全、高效、经济的回采目的。

提出这一理念后，周院士又提出了实现该项新型密闭环境无风作业需要研究的问题^[1]：(1) 进行理论分析，理论验证密闭环境作业的可行性，以及分析比较密闭环境作业系统和现有采掘系统的经济成本。(2) 重新设计采掘系统的巷道布置。(3) 在工作面的上下顺槽中增添柔性气动快速密闭装置以及气幕形式的软阻隔密封装置。(4) 密闭空间内的气体压力要合理，能实现密闭环境中瓦斯涌出和抽采的动态平衡。(5) 解决好密闭空间内人员新陈代谢所需要吸入的新鲜氧气以及呼出气中氧的回收问题。(6) 做好安全保障，有可靠的应急救援系统。(7) 要有灵敏准确的瓦斯浓度指标监测、传输系统，便于随时掌握一线情况，及时有效地处理突发状况。

在周院士提出的煤与瓦斯共采新思路的基础上，本书提出了更为具体的掘进构想——无风掘进。该项技术在掘进巷内形成无氧环境，从根源上消除需氧灾害的发生，杜绝瓦斯燃烧、爆炸等事故。

无风掘进若能很好地解决掘进过程中瓦斯超限和爆炸问题，将彻底改变高瓦斯煤层的掘进工艺，高瓦斯矿井都将应用这种新型掘进工艺，实现本安、高效、绿色的掘进作业，从而取得较大的经济和社会效益：

(1) 经济效益。减少因瓦斯浓度超限停产所耗费的时间，可大大提高掘进速度，使得回采面早日贯通，为煤矿企业增加效益。

(2) 社会效益。该项技术如应用成功，不仅会改变某一煤矿的效益，还能够推进高瓦斯矿井掘进技术的新发展。

(3) 环境效益。减少向大气中的乏风排放，减轻对大气的污染。在周世宁院士提出的密闭空间煤与瓦斯共采新思路的基础上，针对高瓦斯煤层，本书构建了无风掘进系统模型，并对该模型的各子系统进行了新型设计，分析了其优缺点及可行性。

2.1 无风掘进系统模型

无风掘进是指在集中轨道巷内正常通风，在掘进巷内不通风的新型作业方式。无风掘进巷采用绕道联通轨道集中巷，实现辅助运输；通过溜煤眼联通运输集中巷，实现煤炭运输；采用压风管和沿程设置的空气加压泵向工作人员自身携带的正压式空气呼吸器供氧，实现无风环境中的人员呼吸；采用抽采管路将掘进作业过程中涌出的瓦斯抽采利用；通过风门、抽采、氮气幕实现对无风掘进巷内气体的控制。模型示意图如图 2-1、图 2-2 所示。

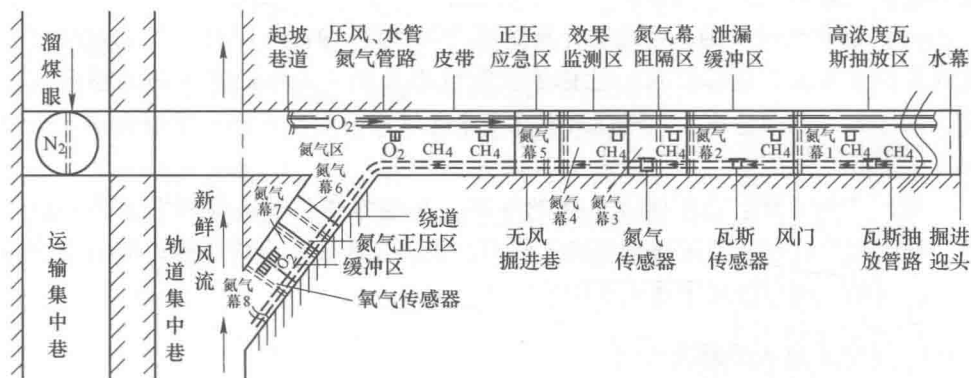


图 2-1 无风掘进系统平面示意图

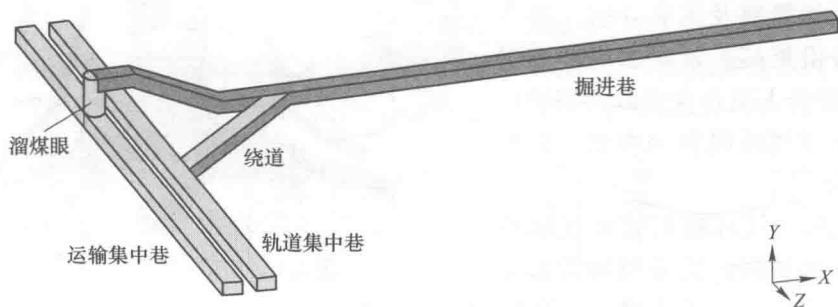


图 2-2 无风掘进系统空间示意图

无风掘进模型中氮气幕按照用途分为两类，第一类氮气幕在生产过程中长时间小流量开启，保证所在区域处于正压状态，例如图 2-1 中第 3、5、6 道氮气幕；第二类氮气幕在风门开启或瓦斯涌出异常增大时启动，用于阻隔气体运移，例如图 2-1 中第 1、2、4、6、7、8 道氮气幕。

在溜煤眼上方设置密封盖（运煤时开启）、水幕及氮气幕，防止氧气在溜煤过程中进入掘进巷。

2.2 无风掘进各子系统分析

2.2.1 无风掘进巷道布置及煤料运输

(1) 巷道布置: 无风掘进巷道布置方式与传统巷道布置略有不同, 传统的掘进工艺中, 掘进巷与两条集中巷在同一水平高度直接相通, 而无风掘进巷通过一段水平绕道巷与轨道集中巷相连, 通过溜煤眼与运输集中巷相连。在无风掘进巷道口处起坡, 抬高巷口标高, 掘进至运输集中巷正上方后, 开掘溜煤眼与运输集中巷垂联通。

(2) 掘进系统: 掘进系统结合葛世荣^[5-7]教授“973”项目“深部危险煤层无人采掘装备关键基础研究”的相关研究成果及无人工作面成熟的远程操作经验, 采用先进的掘进技术, 确保人员在安全区域进行遥控操作, 实现掘锚一体快速高效成巷。

(3) 运输系统: 由于阻隔气体的需要, 在绕道巷及掘进巷内设置了多组风门。物料经由这些风门运送至掘进工作面, 掘进工作面产出的煤经由胶带连续运送至溜煤眼, 通过溜煤眼溜入运输集中巷。

2.2.2 无风掘进人员呼吸供给

无风掘进巷内作业人员新陈代谢所需的氧气, 由沿掘进巷布设的压风管路及供氧分站 (其中一部分供氧站布置在临时避难硐室), 配合人员自身佩戴的便携长时正压空气呼吸器来提供, 如图 2-3 所示^[8]。

正压空气呼吸器技术成熟且应用较为普遍。其采用的新型安全减压阀, 供气压力稳定, 背带防静电、阻燃、反光材料, 柔软耐磨, 使用安全; 吸入气体与呼出气体通路分离, 呼出气体进行回收处理, 完全适用无风掘进作业。

根据国家颁布的《体力劳动分级》标准, 无风掘进巷内的工人劳动强度属于重体力劳动, 所需耗氧量最大值一般是 $1.8 \sim 2.4 \text{ L/min}$ 。该呼吸器在满足最大耗氧量要求的前提下, 一次可使用 3 小时。当供氧装置内的氧气浓度低于安全阈值时, 便发出低限报警, 提醒作业人员到邻近供氧站充氧。

在掘进巷内布设有压风管路, 该管路随着掘进作业的推进不断延长。掘进过

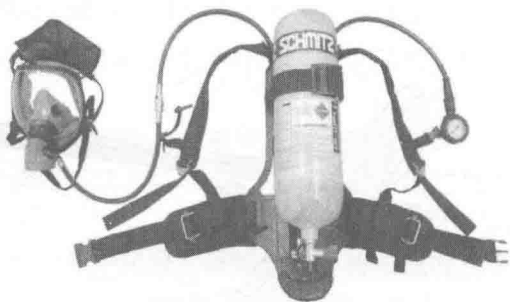


图 2-3 正压空气呼吸器

程中始终保持压风管端头位置与掘进工作面的距离小于 15m。沿着压风管路，每间隔 30m 设置一处供氧站，压风管路在供氧站位置联通加压泵，其可以与人体正压呼吸器供氧装置进行密闭对接，为其补充氧气。另外，在供氧站设有人员急救呼吸器，保障意外发生时，能够向人员及时供给氧气。

2.2.3 无风掘进环境舒适性保障

2.2.3.1 人体舒适性保障

人体工作的舒适温度为 24~26℃。在无风掘进巷内没有风流清洗工作面的情况下，由于地热、掘进作业及人体代谢的影响，掘进巷内温度会升高。倘若掘进工作面温度超过 26℃，则需要采取降温措施。在无风条件下，可以采用制冷系统或者穿戴降温背心的方式，保证人员有较好的舒适性。

对于局部区域存在地热灾害的矿井，可以采用穿戴降温背心的方式解决。降温背心主要应用于高温、高湿环境下的防暑降温。其有多种类型适用于矿井作业：第一种是通过冷凝胶或者相变材料作为冷源，第二种是采用半导体冷片作为冷源，第三种是通过冷却水循环降温。单次冷却时间 5~72 小时不等，并且可以重复使用，使用寿命约为 2.5 年（如图 2-4 所示^[9]），可以根据矿井的具体条件适当选择。



图 2-4 降温背心

若矿井煤层埋深较大、地热严重，则整个矿井需要配备制冷系统，采用地面制冷车间-井下制冷硐室-空冷器的方式，利用冷冻进水、热流回水进行循环制冷。在无风掘进巷内可以直接铺设两道管路来降低工作面的温度。制冷系统如图 2-5 所示。

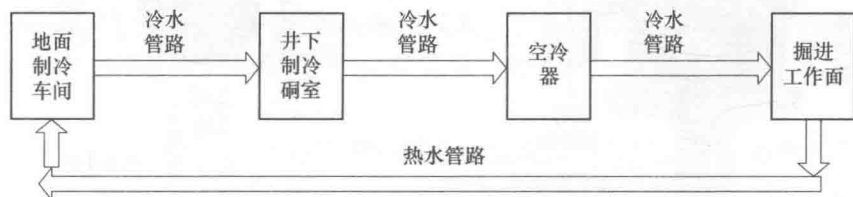


图 2-5 制冷系统示意图

2.2.3.2 降尘保障

在掘进迎头附近和距离迎头 10m 的位置设有两道水幕，水幕随着掘进面的推进不断前移。水幕主要用于掘进过程中的降尘，减小作业人员煤尘吸入量，降低粉尘对作业人员视线的干扰，防止煤尘附着于人体表面，损害皮肤。

2.2.3.3 氮气环境分析

由于氮气是惰性气体，无色无味无毒，没有腐蚀性，对作业人员不存在其他副作用。

2.2.4 无风掘进瓦斯抽采

与传统的瓦斯抽采不同，无风掘进巷内涌出的瓦斯量较大，这部分瓦斯直接由布置在掘进迎头附近的抽采管抽走，转入瓦斯专用管路，传送至地面瓦斯储蓄罐中。抽采管管口始终与掘进面保持 5m 的距离，抽采管上檐距离顶板 5cm，侧檐距离帮壁面 10cm，抽采管管径视具体情况而定。抽采量随着涌出量动态调节，保持抽采量与瓦斯涌出量动态平衡，实现各区域内的气体压力平衡，减少瓦斯向后部区域的泄漏。

2.2.5 无风掘进气体监测监控

在无风掘进系统中配备灵敏监测、精准信号传输、高频动态调控等辅助设施。通过瓦斯及氮气的监测监控及联动传输是无风掘进巷内调节抽采、氮气幕参数的重要依据和手段。在绕道巷的缓冲区以及正压氮气区安设氮气及氧气监测仪，实现对氮气的在线实时监测，通过信号传输及报警装置，控制气幕机的变频元件，调节氮气幕的出口速度，实现对氧气的阻隔。在掘进巷各个区域内的特征点处，安设瓦斯及氮气在线监测仪，同样根据指标气体的浓度变化动态调节抽采量与氮气幕的出口速度，实现对掘进巷内瓦斯的有效阻隔。监测设备如图 2-6、图 2-7 所示。

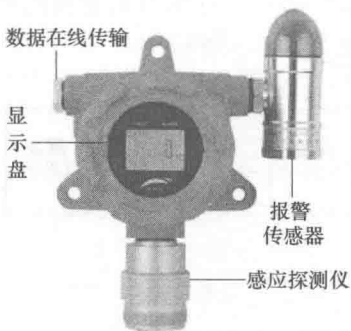


图 2-6 氧气在线监测仪



图 2-7 氮气在线监测仪

2.2.6 无风掘进气体阻隔系统

无风掘进工艺不涉及全矿井范围，仅限于掘进巷区域。因此在无风掘进巷以外的区域内，仍然有空气流动，要想实施无风掘进，既需要控制绕道处的氧气不

流入掘进巷，又要控制掘进巷内的瓦斯不流出掘进巷，阻隔瓦斯与氧气相遇，防止两者共存，消除瓦斯燃烧或爆炸隐患。基于无风掘进系统模型，分两部分对该模型中的气体进行控制，一是在绕道处布置阻隔装置控制氧气，二是在掘进巷内布置阻隔装置控制瓦斯。气体控制机理如图 2-8 所示。

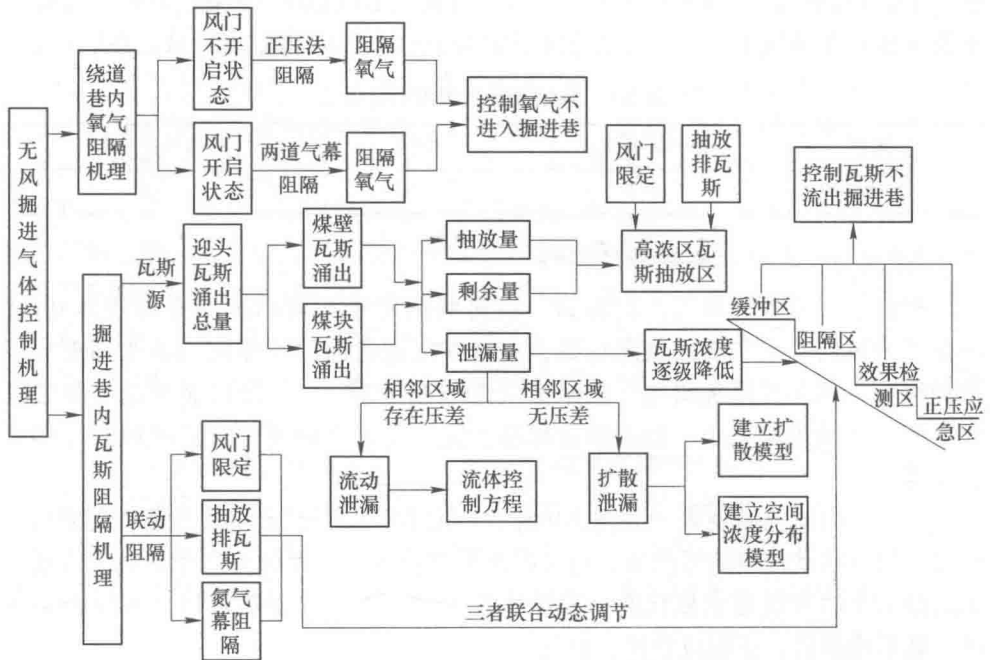


图 2-8 无风掘进气体控制机理

2.2.6.1 绕道巷内氧气的阻隔

在绕道巷内布置一套阻隔装置，用于阻隔轨道集中巷内的氧气进入掘进巷。该阻隔装置由三道风门、三道氮气幕以及氮气和氧气监测设备构成。三道风门将绕道巷分为四个区域：集中轨道巷-绕道区、缓冲区、氮气正压区、氮气区。在前三个区内布置三道氮气幕。

对于氧气的阻隔分为两种情况，第一种是在风门开启状态下对氧气的阻隔；第二种是在风门常闭状态下对氧气的阻隔。对于第一种情况而言，风门开启前预先启动风门前方的氮气气幕机，清洗风门前方的空气，清洗风门开启过程中所扰动的绕道范围，在此范围内形成氮气环境。在开启风门的过程中，同时开启后方缓冲区内的氮气幕，加大正压阻隔区内的氮气注入量，防止集中巷内的氧气在风门开启过程中进入绕道巷。

对于第二种情况而言，风门常闭时，根据压差导致气体流动的作用，采用正压法阻隔氧气进入绕道巷。即在正压氮气区内设置常开的氮气气幕机，保证该区

内的气体压力>缓冲区>轨道集中巷-绕道区的气体压力，允许少量的氮气由正压阻隔区流向缓冲区。通过这种方式，配合氧气监测仪的示数，实时动态调节正压阻隔区的氮气喷射量，阻隔集中巷内氧气进入绕道巷。

集中巷-绕道区中井巷温湿度及风速条件下的氧气，一般与空气中氧含量相近，取为 20.9%；缓冲区为过渡区，其内的氧气浓度低于 5%时，燃烧与爆炸均不能发生；在氮气正压区，将氧浓度设定为 1%以下（见表 2-1）。

表 2-1 各区域氧气浓度阈值设定

区域	集中巷-绕道区	缓冲区	氮气正压区
氧气浓度/%	20.9	<5	<1

2.2.6.2 掘进巷内瓦斯的阻隔

相比于绕道处的氧气控制而言，掘进巷内对于瓦斯的控制相对较为复杂。不仅要分风门开启与否的情况讨论，而且在掘进巷内的气体流场还受到更多因素的影响，例如瓦斯涌出量、抽采量（即管口速度）、胶带口泄漏量，胶带运转速度及运输煤块大小，掘进作业扰动，氮气幕开启后氮气对各区域内流场的扰动等。

掘进巷内的阻隔装置（如图 2-9 所示）由五道风门、五道氮气幕、瓦斯与氮气监测仪及联动传输信号构成，这套阻隔装置将掘进巷划分为六个区域，由前方掘进迎头至后方绕道巷依次为：高浓度瓦斯抽采区、泄漏缓冲区、氮气幕阻隔区、效果检测区、正压应急区、氮气区。

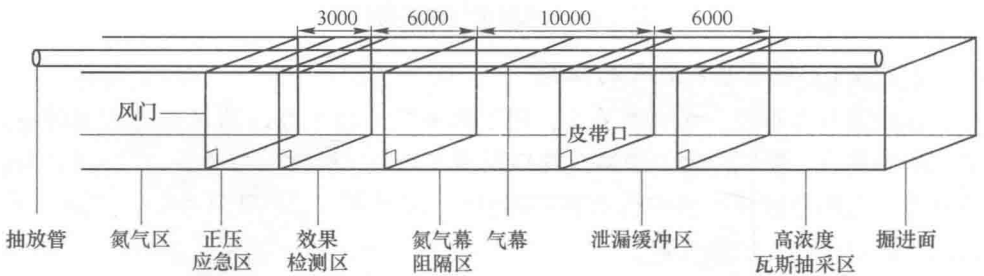


图 2-9 风门-抽采-氮气幕联动阻隔装置示意图

(1) 高浓度瓦斯抽采区：该区域在掘进迎头至第一道风门间。由于掘进作业，该区内瓦斯由迎头壁面和两帮壁面大量涌出，在没有新鲜风流清洗掘进面的情况下，瓦斯浓度非常高，利用抽采管将瓦斯直接抽排进入瓦斯专用管路，传送到地面净化提纯罐，既可以减少瓦斯存在的危险又可以增加经济效益。抽采管管口始终与掘进面保持 5m 的距离，贴于顶板和一侧帮壁面的位置。

(2) 泄漏缓冲区：该区域在第一道风门与第二道风门之间。由于实际中煤

体并非完全均质,造成瓦斯涌出量出现波动,抽采量与涌出量之间失衡,导致瓦斯从高浓度区通过第一道风门处的胶带口向后方泄漏。在风门开启过程中各区域内压力均不稳定,速度及瓦斯浓度变化较为剧烈,因此,需要设置该泄漏缓冲区。在掘进面推进的过程中,当涌出量大于抽采量时,小部分瓦斯会向后部空间泄漏。由于第一道风门的阻挡及抽采管的抽采作用,泄漏缓冲区的瓦斯浓度比高浓度瓦斯抽采区浓度显著降低。

(3) 氮气幕阻隔区:该区域在第二道风门和第三道风门之间。该区域内的瓦斯从缓冲区经第二道风门处的胶带口泄漏而来,这部分瓦斯量较小,流动趋势较弱。在阻隔区内预先设置氮气幕及瓦斯浓度监测点,正常情况下,氮气幕以小速度常开形式,保证在阻隔区内形成正压环境,阻止前方缓冲区瓦斯向阻隔区泄漏。在异常情况下,监测点瓦斯浓度超过既定的安全阈值时,加大氮气幕出口速度进行瓦斯阻隔。氮气幕开启的同时,加大抽采量,将前方区域内的瓦斯抽走。氮气幕开启过程中,既通过射流卷吸阻隔了瓦斯,又因为注入氮气形成了相对于前后邻近区域的正压区。通过氮气幕的阻隔作用,使得氮气幕后方区域内的瓦斯浓度较前方缓冲区更低。

(4) 效果检测区:该区域在第三道风门和第四道风门之间。在该区域内设置瓦斯浓度监测点,若能监测到瓦斯,则说明氮气幕阻隔效果不理想,仍有瓦斯向后方泄漏,需要调节阻隔区和应急响应区氮气幕的参数,增加对瓦斯的阻隔力度;若所有测点显示的瓦斯浓度在安全阈值以下,则说明氮气幕成功阻隔了泄漏瓦斯。

(5) 正压应急区:该区域在第四道风门和第五道风门之间。该区域范围相对较小,设置了常开氮气幕,用来保证该区域内的气体压力始终略大于邻近的前后方区域,防止瓦斯扩散到效果检测区以后的区域;同时可以在瓦斯涌出量异常增大时,阻隔区氮气幕没有成功阻隔瓦斯的情况下,作为阻隔瓦斯的应急措施。

(6) 氮气区:该区域是指第五道风门后方至绕道处的范围。区域内无瓦斯无氧,气体全部为氮气。

2.2.6.3 掘进巷内各区域瓦斯的安全阈值设定

通过瓦斯浓度逐区递减的方式,实现对瓦斯的有效控制,各区域内的瓦斯浓度见表 2-2。

表 2-2 各区域瓦斯浓度阈值设定

区域	高浓度瓦斯抽采区	泄漏缓冲区	阻隔区气幕后方	效果检测区	正压应急区	氮气区
瓦斯浓度/%	>95	<40	<5	<1	<0.5	0

高浓度瓦斯抽采区的瓦斯需要抽采利用,应维持瓦斯浓度大于 95%,否则会降低瓦斯利用价值。