

# 煤矿通风系统中瓦斯浓度精准控制研究

罗昊喆

河南平禹煤电股份有限公司一矿 河南 许昌 461670

**摘要:** 煤矿通风系统中瓦斯浓度的精准控制对煤矿安全生产意义重大。瓦斯浓度检测技术是精准控制的基础,光学瓦斯检测技术利用光的特性检测,传感器检测技术包含多种类型且各有优劣,超声波检测技术基于超声波传播特性。在精准控制策略方面,优化通风系统设计,合理规划巷道布局、选择通风方式及优化网络结构;应用智能通风控制技术,借助传感器网络、数据分析等实现自动化调控;瓦斯抽采与通风协同控制,从源头减少瓦斯量并合理调整通风参数。这些技术和策略助力煤矿安全生产。

**关键词:** 煤矿通风系统; 瓦斯浓度; 精准控制

引言: 煤矿作为我国重要的能源供应基地,其安全生产至关重要。瓦斯作为煤矿开采中的伴生气体,浓度过高易引发爆炸、窒息等严重事故,严重威胁着煤矿工人的生命安全和煤矿的正常生产运营。随着煤矿开采深度的增加和强度的加大,瓦斯涌出量不断增多,通风系统中瓦斯浓度的控制难度也日益增大。精准控制瓦斯浓度成为保障煤矿安全生产的关键环节。因此,深入研究煤矿通风系统中瓦斯浓度精准控制技术,对提高煤矿安全水平、促进煤炭行业可持续发展具有重要的现实意义。

## 1 瓦斯浓度精准控制在煤矿通风系统中的必要性

在煤矿生产中,瓦斯浓度精准控制在煤矿通风系统中具有至关重要的必要性,这关乎着煤矿的安全生产、人员生命安全以及可持续发展。从安全生产角度来看,煤矿井下环境复杂,瓦斯作为一种易燃易爆气体,其浓度的波动直接影响着煤矿的安全状况。当瓦斯浓度处于爆炸极限范围内时,一旦遇到火源,就可能引发剧烈的爆炸事故,摧毁巷道、设备,严重破坏煤矿的生产系统。精准控制瓦斯浓度,能有效避免瓦斯积聚达到危险浓度,维持煤矿生产的稳定有序,减少因瓦斯事故导致的生产中断和经济损失。煤矿工人在井下作业,时刻面临着瓦斯带来的威胁。瓦斯浓度过高不仅会导致爆炸,还会造成人员窒息。瓦斯中含有的某些有害成分,长期暴露在一定浓度下也会对工人的身体健康造成损害。通过精准控制瓦斯浓度,为工人创造一个安全的作业环境,保障他们的生命健康,是煤矿企业应尽的责任和义务。从环境保护方面考虑,合理控制瓦斯浓度有助于减少瓦斯排放对大气环境的污染。瓦斯的主要成分是甲烷,其温室效应远高于二氧化碳<sup>[1]</sup>。如果煤矿通风系统不能有效控制瓦斯浓度,大量瓦斯排放到大气中,将加剧温室效应,对周边生态环境产生负面影响。精准控制瓦

斯浓度,实现瓦斯的有效治理和利用,有助于煤矿企业实现绿色发展。随着社会对能源需求的增加和对安全生产要求的提高,煤矿企业必须不断提升自身的安全管理水平。精准控制瓦斯浓度是煤矿安全管理的关键环节,只有做好这一点,才能增强煤矿企业的抗风险能力,提升企业的社会形象,实现可持续发展。

## 2 煤矿通风系统中瓦斯浓度检测技术分析

### 2.1 光学瓦斯检测技术

#### 2.1.1 红外吸收式检测原理及应用

红外吸收式检测技术利用甲烷对特定红外光的吸收效应,当红外光穿过含有瓦斯的空气样本时,其中的甲烷分子会吸收对应波长的红外光线。仪器通过精确测量红外光在吸收前后的强度差异,再依据光吸收定律,便能准确计算出瓦斯的浓度。在煤矿通风系统中,这种技术常用于对井下重点区域进行实时监测。例如在采煤工作面和巷道连接处,安装基于该原理的检测设备,可及时捕捉瓦斯浓度变化,为安全生产提供可靠数据,有效预防瓦斯积聚引发的危险。

#### 2.1.2 激光吸收式检测技术特点

激光吸收式检测技术在煤矿瓦斯浓度检测中优势显著。其借助激光独特属性,当特定波长的激光束射向瓦斯气体,仅与瓦斯分子吸收峰匹配的激光才会被吸收。高灵敏度光学探测器可精准捕捉激光吸收量的细微变化,进而实现对瓦斯浓度的高精度测量。于煤矿井下复杂环境中,该技术抗干扰能力极强,能有效抵御其他气体成分干扰,保证检测结果准确可靠。并且,其响应速度极快,一旦瓦斯浓度发生变化,能够迅速反馈,及时为工作人员提供准确信息,满足煤矿对瓦斯浓度实时监测的严苛需求,为安全生产保驾护航。

#### 2.1.3 光干涉式检测方法及其优势

光干涉式检测方法基于光的干涉原理来检测瓦斯浓度，仪器产生两束相干光，一束通过含有瓦斯的待测气体，另一束通过纯净气体作为参考。由于瓦斯的的存在会改变光的传播特性，使得两束光在相遇时产生干涉条纹的移动。通过精确测量干涉条纹的移动距离，就能确定瓦斯的浓度。这种检测方法结构简单，无需复杂的电子电路，不依赖电源，适合在电气设备受限的环境中使用。并且其检测精度稳定，能够满足煤矿对瓦斯浓度检测的基本要求。

## 2.2 传感器检测技术

在煤矿通风系统的瓦斯浓度检测工作中，传感器检测技术是关键手段，常见类型各有特点。催化燃烧式传感器应用广泛，其基于甲烷在催化元件表面无焰燃烧使电阻变化的原理。当瓦斯中的甲烷与催化元件接触燃烧，元件温度上升、电阻改变，通过测量电阻变化就能得出瓦斯浓度。该传感器对甲烷灵敏度高、响应迅速，常被用于便携式检测设备，方便工人随时检查。但它易受硫化氢等气体影响而中毒，降低检测精度<sup>[2]</sup>。电化学传感器利用电化学反应来测定瓦斯浓度，瓦斯在电极上发生反应产生电流，电流大小与瓦斯浓度相关。这种传感器选择性好，能精准检测特定成分，对低浓度瓦斯检测精度高且稳定性佳，受环境温湿度影响小，多用于固定监测点的连续监测。半导体式传感器依靠半导体材料电导率随瓦斯浓度改变的特性工作，瓦斯吸附于半导体表面改变其电子状态，进而使电导率变化。该传感器成本低、响应快，不过精度有限，环境因素对其检测结果干扰较大。

## 2.3 超声波检测技术

在煤矿通风系统瓦斯浓度检测中，超声波检测技术凭借其独特的设备与操作特点发挥着一定作用。（1）设备组成结构：超声波检测设备主要由超声波发射探头、接收探头、信号处理模块以及数据显示终端构成。发射探头负责发射超声波信号，接收探头捕捉经瓦斯气体传播后的反射信号，信号处理模块对接收信号进行分析运算，数据显示终端则直观呈现瓦斯浓度数值。（2）安装位置考量：在煤矿井下，其安装位置需精心选择。一般安装于通风良好且瓦斯易积聚的区域，如巷道拐角、采煤工作面附近。同时，要确保探头与瓦斯气体充分接触，且避免设备受机械损伤和强电磁干扰。（3）检测实施步骤：检测时，发射探头按设定频率发射超声波，超声波在瓦斯气体中传播并遇界面反射。接收探头接收反射波，信号处理模块依据接收到信号的时间差、强度等信息，计算出瓦斯浓度数据，完成一次检测流程。（4）

数据校准方法：为保证检测数据准确，需定期校准。通过使用标准浓度的瓦斯气体样本对设备进行标定，调整设备参数。同时，结合井下环境参数如温度、湿度等对检测结果进行修正，提高数据可靠性。（5）与其他系统配合：该技术可与煤矿安全监测系统有效配合。将检测到的瓦斯浓度数据实时传输至监测系统中心，与其他监测数据综合分析，为煤矿安全生产管理提供全面信息，助力及时决策与预警。

## 3 煤矿通风系统中瓦斯浓度精准控制策略

### 3.1 优化通风系统设计

#### 3.1.1 合理规划通风巷道布局

合理规划通风巷道布局对优化煤矿通风系统起着关键作用。在煤矿开采前期，煤层赋存条件、地质构造及开采计划是科学设计通风巷道的重要依据。比如在瓦斯含量高的区域，增加通风巷道数量，能构建更合理的通风网络，让风流均匀、顺畅地流经各作业面，高效稀释并排出瓦斯。而避免通风巷道出现直角拐弯和过长独头巷道，可显著降低通风阻力，大幅提升通风效率，从根本上降低瓦斯积聚的风险，为煤矿安全生产提供坚实保障，有效减少瓦斯事故发生的可能性。

#### 3.1.2 选择合适的通风方式

选择合适的通风方式对精准控制瓦斯浓度至关重要。煤矿常用的通风方式有抽出式、压入式和混合式。抽出式通风能有效排出瓦斯，适用于瓦斯涌出量较大的矿井；压入式通风可提高井下的空气压力，防止瓦斯从采空区等区域涌出；混合式通风则结合了两者的优点，在一些复杂条件下能发挥更好的效果。在实际应用中，应根据煤矿的具体情况，如矿井的规模、瓦斯涌出特征、地质条件等，综合考虑后选择最适宜的通风方式，从而实现对瓦斯浓度的有效控制。

#### 3.1.3 优化通风网络结构

优化通风网络结构可以提升通风系统的稳定性和可靠性。要对现有的通风网络进行评估和分析，找出其中的薄弱环节，如通风阻力过大的区域、风流不稳定的节点等。通过调整巷道的支护方式、清理巷道内的堆积物等措施，降低通风阻力；合理设置调节风窗、风桥等通风构筑物，调节风流的分配，使风流能够按照设计要求流动。此外，还可以采用分区通风等先进的通风网络结构，将不同的作业区域分开通风，减少风流之间的干扰，提高瓦斯浓度控制的精准度。

### 3.2 智能通风控制技术应用

在当今煤矿安全生产的严峻形势下，智能通风控制技术成为实现瓦斯浓度精准控制的重要手段，以下

从多个方面阐述其具体应用：（1）构建全方位感知体系：在煤矿井下的各个关键区域，如采掘面、巷道交叉口、回风巷等，密集部署高精度的瓦斯浓度传感器、风速风向传感器、温度湿度传感器等设备。这些传感器如同敏锐的“触角”，实时感知环境参数的细微变化，并将数据快速传输至中央控制平台，为智能通风控制提供全面且准确的基础信息。（2）数据分析驱动决策：利用先进的数据挖掘和机器学习算法，对海量的传感器数据进行深度分析。通过建立精准的数学模型，剖析瓦斯浓度的变化规律、通风量与瓦斯浓度之间的内在关联。智能系统依据分析结果，能够迅速且科学地做出通风策略调整决策，实现对瓦斯浓度的精准调控。（3）设备自动化智能调控：智能通风系统能够根据决策指令，自动对通风设备进行精细化调控。当检测到瓦斯浓度上升时，系统自动增大风机转速或开启备用风机，增加通风量，快速稀释瓦斯；当瓦斯浓度降低至安全范围时，自动降低设备运行功率，节省能源，确保通风系统始终处于高效运行状态。（4）远程实时监控管理：借助高速通信网络，实现对通风系统的远程实时监控。管理人员无论身处何地，都能通过电脑终端或移动设备，随时查看井下通风设备的运行状态、瓦斯浓度数据等关键信息。一旦发现异常情况，可即时远程下达指令，调整通风参数，极大地提高了管理的便捷性和响应速度。（5）多系统融合协同作业：将智能通风控制技术与煤矿的安全监测、生产调度、人员定位等系统深度融合。实现各系统之间的数据共享与交互，形成协同作业的强大合力。例如，当瓦斯浓度超标时，安全监测系统自动报警，同时智能通风系统迅速调整通风量，生产调度系统合理安排人员撤离，人员定位系统精准掌握人员位置，全方位保障煤矿安全生产。

### 3.3 瓦斯抽采与通风协同控制

在煤矿通风系统中，瓦斯抽采与通风协同控制是实现瓦斯浓度精准控制、保障安全生产的关键策略。从瓦

斯抽采角度而言，合理的抽采工作能够从源头上降低煤层的瓦斯含量，进而减少瓦斯涌出量。通过灵活布置顺层钻孔、穿层钻孔等不同类型的抽采钻孔，开展预抽、边采边抽和采后抽采等多种方式的作业。开采前的预抽可有效降低煤层原始瓦斯含量，显著减少开采过程中的瓦斯涌出。而通风系统与瓦斯抽采系统紧密配合也至关重要，通风系统肩负着将抽采后剩余瓦斯以及新涌出瓦斯稀释并排出矿井的重任。依据瓦斯抽采的实际情况，实时对通风参数，如通风量、通风方式等进行动态调整。举例来说，当瓦斯抽采效果理想，瓦斯涌出量减少时，适当降低通风量，实现能源的有效节约；若瓦斯抽采出现异常，瓦斯涌出量增加，及时加大通风量，保证瓦斯浓度始终处于安全可控的范围。通过两者的协同作业，为煤矿安全生产筑牢坚实防线。

### 结语

在煤矿安全生产的征程中，未来深化相关技术研究迫在眉睫。一方面，应加强检测技术的融合创新，打破光学、传感器、超声波等检测技术间的壁垒，发挥各自优势，实现更精准、全面的瓦斯浓度检测，减少检测误差与盲区。另一方面，提升控制策略的智能化水平，借助大数据、人工智能等先进技术，实现通风系统的智能决策与自动调控，提高应对复杂工况的能力。通过持续努力，构建更为完善的瓦斯浓度精准控制体系，让其成为煤矿安全生产的坚固防线，有效预防瓦斯事故，为矿工生命安全与煤炭行业可持续发展筑牢根基。

### 参考文献

- [1]赵志军.煤矿通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J].矿业装备,2022(1):125-127.
- [2]程龙.煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J].矿业装备,2021(1):84-85.
- [3]蔡旭.煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J].数码设计(上),2021,10(6):220-221.