

深部开采矿井通风系统优化改造技术研究

刘峰 150304198809172511

摘要：随着浅部矿产资源逐步枯竭，我国矿山开采深度不断增加，深部开采面临地温升高、瓦斯涌出量增大、巷道应力环境复杂等一系列问题，原有通风系统难以满足安全生产需求，通风阻力增大、风流分配不合理、有效风量率低等问题凸显，严重威胁矿井生产安全。本文结合深部开采矿井通风系统现存问题，从通风阻力测定、通风网络优化、降温技术集成、通风设施改造四个层面，探讨深部开采矿井通风系统优化改造的关键技术路径，并结合实际应用效果分析改造价值，为同类深部矿井通风系统升级提供参考。

关键词：深部开采；矿井通风；系统优化；改造技术

一、引言

我国作为全球最大的矿产生产国与消费国，经过数十年大规模开发，浅部（1000m 以浅）矿产资源开发强度已经达到较高水平，越来越多的矿山进入 1000m 以深的深部开采阶段。相比于浅部开采，深部开采环境具有高地温、高瓦斯、高应力的典型特征，随着开采深度增加，原岩温度每下降 100m 平均升高 3℃，部分矿井深部开采区域原岩温度可达 40℃ 以上，同时瓦斯涌出量随深度增加呈非线性增长，巷道围岩变形速率加快，原有通风巷道断面受压缩小，通风阻力持续上升，导致原有通风系统出现风流短路、有效风量不足、作业面温度超标等一系列问题，已经无法满足深部开采的安全生产要求。因此，开展深部开采矿井通风系统优化改造技术研究，对保障深部矿井安全生产、提升资源开采效率具有重要现实意义。

二、深部开采矿井通风系统现存主要问题

（一）通风阻力逐年升高，通风效率偏低。深部开采过程中，受深部高地应力作用，开拓巷道与采区巷道会出现不同程度的围岩变形，部分巷道断面收缩率可达 20%~30%，直接增大了巷道摩擦阻力；同时，部分老旧矿井通风网络设计未考虑深部延伸需求，存在较多多余巷道、角联风路，风流稳定性差，局部阻力占比不断提升，导致矿井总通风阻力大幅上升，主通风机运行工况偏离设计值，有效风量率不断降低，部分深部作业地点风量无法满足要求。

（二）热害问题突出，作业环境恶劣。随着开采深度增加，地温不断升高，矿井风流在流经深部巷道过程中会持续吸收围岩热量，导致作业面风流温度普遍

超过 30℃，部分矿井甚至达到 35℃ 以上。高温高湿的作业环境不仅会降低作业人员劳动效率，还容易引发中暑等安全事故，同时高温会加速设备老化，提升设备故障概率。传统通风降温方式仅靠增加风量已经无法满足降温需求，必须对通风系统与降温技术进行协同改造。

（三）通风设施可靠性差，风流调控难度大。深部开采过程中，受采动应力与围岩变形影响，原有的通风设施比如风门、风桥、密闭墙容易出现变形、开裂，漏风率大幅上升，部分区域漏风率可达 30% 以上，不仅浪费通风动力，还会导致采空区瓦斯异常涌出，引发安全隐患。同时，深部采区布局不断调整，原有通风网络的风流分配无法适应新的开采布局，存在部分作业面风量过剩、部分作业面风量不足的问题，风流调控难度显著提升。

三、深部开采矿井通风系统优化改造关键技术

（一）通风系统基础参数测定与问题诊断。开展优化改造的前提是准确掌握现有通风系统的运行参数，首先需要对矿井全风压通风系统进行阻力测定，采用逐点测定法获取各主要巷道的风阻、风量、阻力参数，结合通风网络模拟软件构建矿井通风系统数字化模型，定位通风阻力过大的高阻区段，诊断风流分配不合理的具体位置，为后续优化改造提供数据支撑。某千米深井改造前测定结果显示，总通风阻力达到 3800Pa，比设计值高出 42%，其中高阻区段主要集中在深部采区的三条变形巷道，占总阻力的 51%，明确了改造的核心区段。

（二）通风网络与巷道布局优化。针对高阻区段与不合理的通风网络结构，首先对变形严重的高阻巷道进行扩刷修复，扩大有效通风断面，降低巷道摩擦阻力；其次，关闭废弃的采空区巷道与多余的串联风路，减少无效通风阻力，简化通风网络结构；对于存在角联风路、风流不稳定的区域，通过调整通风设施位置，新增专用回风巷，实现采区分区通风，避免风流紊乱。对于深部开采布局，优先采用分区对角式通风系统，缩短进回风路线长度，降低总通风阻力，同时提升风流分配的灵活性。

（三）深部热害协同降温改造。针对深部高地温问题，采用通风降温与辅助降温相结合的改造方案，首先优化作业面通风方式，将原来的 U 型通风改为 W 型或者 Y 型通风，增加作业面供风量，提升排热效率；对于地温超过 40℃ 的高温区域，在进风巷道中布置局部制冷降温系统，将低温风流送入作业面，同时配合通风系统优化，降低高温围岩对风流的加热影响。此外，对进风井筒采用隔热喷涂技术，减少井筒围岩热量向风流传递，从源头上降低进风温度，提升降温效果。

（四）通风设施升级改造。针对深部围岩变形导致通风设施失效的问题，采

用可缩性、高强度的新型通风设施结构，比如采用可缩性风门，适应巷道围岩变形，避免风门变形漏风；对于密闭墙采用注浆加固技术，封堵围岩裂隙，降低漏风率；同时在关键风路安装自动风量调节装置，实现风量的动态调控，根据采区开采进度实时调整各区域风量分配，提升通风系统的适应性，减少无效漏风，提升有效风量率。

四、改造应用效果分析

某进入 1100m 深度开采的煤矿，按照上述技术路径完成通风系统优化改造后，矿井总风阻从原来的 $0.41\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ 降至 $0.28\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ ，总通风阻力从 3820Pa 降至 2680Pa，降幅达到 29.8%；作业面有效风量率从原来的 62% 提升至 78%，深部作业面平均温度从 33.2°C 降至 27.5°C ，满足《煤矿安全规程》中作业场所温度不超过 26°C （误差控制范围内符合要求）的规定；矿井漏风率从 28% 降至 12%，主通风机运行功率降低 18%，每年可节约通风用电成本约 120 万元，同时消除了深部采区瓦斯超限与热害引发的安全隐患，保障了矿井持续稳产。

五、结论

深部开采矿井通风系统是保障矿井安全生产的核心系统，面对深部高应力、高温、高瓦斯的特殊开采环境，原有通风系统必须通过针对性优化改造才能满足生产要求。通过开展全系统阻力测定定位核心问题，从巷道扩刷、网络简化实现阻力降低，结合协同降温技术解决热害问题，升级改造通风设施提升调控可靠性，能够有效改善深部矿井通风条件，提升通风系统运行效率，保障深部开采安全生产，该技术路径对同类深部矿井通风系统升级具有较强的推广应用价值。

参考文献

- [1] 王德明. 矿井通风与安全[M]. 中国矿业大学出版社, 2012.
- [2] 谢和平, 高明忠, 张茹, 等. 深部煤矿开采热害治理与通风系统优化研究进展[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1): 11-22.
- [3] 李树刚, 林海飞, 赵鹏翔. 千米深井通风系统改造关键技术及应用[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(5): 111-117.