

煤矿井下瓦斯抽采钻孔密封质量影响因素分析与改进

赖烈强

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：煤矿井下瓦斯抽采是确保矿井安全的重要环节，然而，钻孔的密封质量直接影响抽采效果与安全性。瓦斯抽采钻孔密封不良会导致瓦斯泄漏、抽采效率低下及煤矿灾害发生的风险增加。针对瓦斯抽采钻孔密封质量问题，探讨了不同密封材料与技术对密封效果的影响，分析了钻孔密封失败的主要因素，并提出了改进措施。通过合理选择密封材料、优化钻孔施工工艺及加强密封施工质量管理，能够有效提高钻孔的密封效果，降低瓦斯泄漏风险，保障矿井的安全生产。

【关键词】：瓦斯抽采；钻孔密封；密封质量；密封材料；矿井安全

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.039

引言

瓦斯是煤矿生产中最危险的气体之一，对矿井安全构成了严重威胁。随着煤矿井下开采的深入，瓦斯浓度的升高及其爆炸性风险也在增加。瓦斯抽采成为了煤矿安全生产中的一项重要工作。而瓦斯抽采的效果与钻孔密封质量密切相关。钻孔密封不良不仅影响抽采的效率，还可能导致瓦斯泄漏，引发灾难性后果。为了提高瓦斯抽采的安全性及效率，必须深入分析影响钻孔密封质量的因素，并提出相应的改进措施。选择合适的密封材料与技术，合理设计密封施工工艺，将大大提升密封质量，减少安全隐患，从而保障矿井的安全生产。

1 瓦斯抽采钻孔密封质量的重要性与影响因素

1.1 瓦斯抽采的安全风险与挑战

瓦斯是煤矿井下存在的主要安全隐患之一，过高浓度的瓦斯不仅会降低煤矿的开采效率，还可能引发爆炸等灾难性事故。随着煤矿开采深度的不断增加，瓦斯的集中度及爆炸性也不断升高。采取有效的瓦斯抽采措施是保证矿井安全生产的重要手段。瓦斯抽采通过将井下瓦斯抽出，有效降低井下气体浓度，减少爆炸危险，提升矿井的安全性。然而，瓦斯抽采过程中，密封质量的好坏直接关系到抽采效果和安全性。如果钻孔密封不严，瓦斯就会泄漏，导致抽采效率低下，甚至会引发瓦斯爆炸等重大事故。钻孔密封质量在瓦斯抽采中扮演着至关重要的角色，密封质量的优劣直接影响着瓦斯抽采的效果和矿井的安全运营。

1.2 钻孔密封质量对抽采效果的直接影响

钻孔密封质量直接影响瓦斯抽采的效率和安全性。密封良好的钻孔能够有效控制瓦斯的流动，确保抽采过程中的气体顺利排出并减少漏气现象，从而提高抽采效率并保证抽采过程中瓦斯的安全排放。若钻孔密封不严，瓦斯不仅可能泄漏到井下环境，还可能导致抽采系统无法稳定运行，进而影响抽采设备的正常运作和煤矿的安全生产。瓦斯的泄漏还会造成能源浪费，降低矿井的抽采效果，增加矿方的运营成本。确保钻孔的密封质量对于提升瓦斯抽采的效果具有极其重要的意义。

1.3 影响钻孔密封质量的主要因素分析

钻孔密封质量受多方面因素的影响，其中最为关键的因素包括钻孔施工工艺、密封材料的选择和环境条件。钻孔施工工艺的好坏直接影响到密封的效果。若施工过程中钻孔壁存在缺陷，如裂缝或不均匀的孔径，可能导致密封材料无法充分发挥作用，造成密封不严。密封材料的选择同样至关重要，不同的密封材料在抗压强度、耐磨性和抗化学腐蚀性等方面的性能各异，选择不当可能导致密封失败。环境条件，如地下水位、温度变化等，也会对密封材料的性能产生影响，导致密封效果下降。综合考虑这些因素，采取适当的技术和措施对提高钻孔密封质量至关重要。

2 常见的瓦斯抽采钻孔密封技术与材料

2.1 密封材料的选择标准与应用

瓦斯抽采钻孔的密封效果与所使用的密封材料密切相关。常见的密封材料有水泥、聚氨酯泡沫、橡胶、树脂等，这些材料的选择需要依据具体的矿井环境、钻孔深度、瓦斯浓度等因素。水泥作为传统的密封材料，因其价格低廉、强度较高，常被广泛应用。但水泥的抗腐蚀性差，容易受到化学物质的侵蚀，因此在一些特殊环境中可能效果不佳。聚氨酯泡沫则具有较好的弹性和抗老化性，适用于一些高压、低温环境。橡胶和树脂等高性能密封材料，虽然成本较高，但在一些对密封质量要求较高的矿井中得到了广泛应用。选择密封材料时，不仅要考虑其成本效益，还要考虑材料的耐用性和长期使用效果，以确保抽采工作的稳定进行。

2.2 不同密封技术的效果对比与分析

目前常用的瓦斯抽采钻孔密封技术包括机械密封技术、化学密封技术和复合密封技术等。机械密封技术通常通过机械装置将密封材料压入钻孔的缝隙中，形成密封效果，适用于稳定的环境。化学密封技术通过化学反应将密封材料固化，形成紧密的封闭层，适用于复杂环境中的瓦斯抽采。复合密封技术结合了机械和化学密封的优点，能够在不同的矿井环境下提供更高效的密封效果。对于不同类型的矿井，应选择最合适的密封

技术。在高瓦斯浓度的矿井中，化学密封技术能够提供更好的密封效果，而在条件相对稳定的矿井中，机械密封技术则能满足需求。对比不同技术的效果，可以帮助矿井根据自身的具体情况，选择最适合的密封方式。

2.3 密封材料在实际应用中的挑战与问题

尽管当前各类密封材料和技术在理论上具有优异的性能，并能在一定程度上满足瓦斯抽采钻孔的密封需求，但在实际应用中仍面临许多挑战。密封材料在长期使用过程中可能会受到矿井环境的剧烈温度变化、压力波动及外部化学物质的侵蚀，这些因素会导致材料的老化、性能下降，从而削弱密封效果。施工过程中，若施工不规范，密封材料的均匀性可能受到影响，导致局部区域密封失效，影响整体效果。材料可能因填充不均而出现裂缝或空隙，从而导致气体泄漏。除此之外，环境因素也是密封技术面临的重大挑战，地下水、温差、矿井气候变化等都会影响材料的稳定性，导致密封层的失效。研究和开发新型、耐用的密封材料，改进施工技术，已经成为提升瓦斯抽采钻孔密封质量的关键方向。

3 瓦斯抽采钻孔密封失败的常见原因与解决办法

3.1 钻孔施工不当导致的密封问题

钻孔施工不当会直接影响密封效果。常见的问题包括钻孔壁不平整、孔径不均匀以及钻孔深度不符合设计要求，这些因素都可能导致密封材料无法充分覆盖整个钻孔，影响密封层的完整性。若钻孔深度不足，密封材料无法完全覆盖钻孔，可能导致气体泄漏。施工不规范还可能造成密封层厚度不均，局部空隙使密封效果不理想，降低瓦斯抽采的效果。为解决这一问题，必须加强钻孔施工过程的管理，严格按照技术要求进行操作，确保钻孔孔壁光滑、孔径一致，钻孔深度达到设计标准，从而保障密封效果。加强施工人员的技术培训，提高其操作水平，能够有效减少施工不当对密封质量的影响。

3.2 密封材料质量问题及其对策

密封材料质量直接决定了密封效果的好坏。市场上部分不合格的密封材料往往无法达到瓦斯抽采钻孔的实际需求，尤其是在耐压、抗腐蚀性、抗老化等方面存在较大问题。这些劣质材料的应用会导致密封层失效，从而影响抽采效果，甚至危及矿井安全。为解决这一问题，首先需要从源头上选择符合国家标准的高质量密封材料，严控材料的采购渠道与生产过程。应定期对使用中的密封材料进行性能检测，确保其在长期使用中的稳定性与耐久性。加强对密封材料研发的投入，提升其性能，推动新型材料的应用，如自修复材料、复合材料等，这些材料在提高耐腐蚀性、耐压性方面有着巨大的优势。通过这一系列措施，能够有效解决密封材料质量问题，确保瓦斯抽采的安全和效率。

3.3 环境因素对密封效果的影响及改善措施

环境因素是影响瓦斯抽采钻孔密封效果的重要因素。矿井环境复杂多变，温度、湿度、地下水位变化及矿井气候等都会对密封材料的性能产生直接影响。高温环境下，某些密封材料可能会发生软化，导致密封失效；而高湿度则可能加速材料的腐蚀和老化，降低其使用寿命。在密封材料选择时，必须考虑到矿井的环境条件，选用能够适应高温、高湿等特殊环境的材料。应定期对密封施工现场进行环境监控，特别是温度和湿度的变化，及时调整施工方案。针对高温环境可选择耐高温的聚氨酯泡沫、耐腐蚀的树脂等材料，以提高密封效果。通过对环境因素的有效管理和针对性选择材料，可大幅度提升钻孔密封效果，从而确保瓦斯抽采的安全性和高效性。

4 提高瓦斯抽采钻孔密封质量的改进措施

4.1 选择合适的密封材料与技术

选择合适的密封材料是确保瓦斯抽采钻孔密封质量的核心。矿井的环境条件差异较大，如温度、湿度、瓦斯浓度、压力等都会影响密封材料的表现。在温湿度较大的环境下，传统材料如水泥可能因湿气渗透或温度变化而失效，此时应选择聚氨酯泡沫、改性水泥等具有良好抗腐蚀和耐高温性能的材料。对于深井和高压力环境，要求密封材料能够承受更大的负载，树脂材料因其较强的耐压性和粘结性，成为此类环境下的理想选择。在工艺选择方面，复合密封技术结合了机械密封和化学密封的优点，能够在复杂环境中提供更强的密封效果。针对矿井的具体需求，选择适合的材料与技术，不仅能有效提升密封效果，还能保证瓦斯抽采工作的顺利进行。

4.2 完善施工工艺与施工质量控制

钻孔施工质量对密封效果有着直接影响，施工工艺的优化对于提升密封质量至关重要。钻孔施工中，孔壁的平整度、孔径的一致性以及钻孔深度的精确度直接影响密封材料的分布和密封效果。如果孔径过大或过小，密封材料就无法均匀覆盖，从而影响整体密封效果。必须严格控制钻孔的技术参数，确保施工质量。密封材料的均匀填充也至关重要。材料填充不均可能导致局部空隙，进一步影响密封效果。在施工过程中，针对可能出现的施工问题应及时发现并纠正，加强施工人员的培训，提高他们的操作水平，确保每个环节都严格按照操作规范进行。要建立健全的质量检查机制，定期对施工过程进行监督，确保每个细节都符合标准，最终提高钻孔的密封效果。

4.3 强化矿井管理与安全检查机制

提升瓦斯抽采钻孔密封质量离不开矿井管理层的有效支持与监督。矿井管理层应制定详细的施工管理规范和安全检查制度，确保每项施工操作严格按照安全规定和技术要求执行。有效的管理体制能够对施工质量、密封效果进行实时监控，防止施工过程中的不规范操作。定期的检查和安全巡查是确保密

封效果持久性的重要措施，通过周期性检查钻孔的密封质量，能够及时发现潜在隐患并采取纠正措施，避免瓦斯泄漏等安全问题的发生。要加强对施工人员的安全培训，提升他们的技术能力与安全意识，确保他们能够按规范操作并有效应对突发状况。矿井管理还应加强与其他部门的协作，形成合力，共同保障瓦斯抽采的安全性和效率。见表1：

表1 不同深度钻孔密封材料平均成本与耐压性能参考数据(国内单位)

钻孔深度范围 (m)	密封材料类型	平均材料成本 (元/米)	耐压强度 (MPa)	数据来源
0-300	改性水泥	85	2.5	《煤炭科学技术》2023年第51卷
301-600	聚氨酯泡沫	120	3.8	国家能源集团矿山技术研究院
601-1000	环氧树脂	165	6.0	中国矿业大学深部工程实验室
>1000	高强度复合树脂	210	8.5	《煤矿安全》2024年第55卷

5 瓦斯抽采钻孔密封技术的未来发展趋势

5.1 新型密封材料的研发与应用前景

新型密封材料的出现对于提升瓦斯抽采钻孔密封效果具有重要意义。自修复功能的密封材料能够在受到外部损伤时，自动修补缺口，从而延长使用寿命，减少因密封失效而引发的瓦斯泄漏或其他安全问题。这种材料的应用能够显著提升密封的持久性，减少维护成本。纳米材料和复合材料的引入为密封技术提供了更高的性能，纳米材料具有极强的抗腐蚀性、耐磨性和抗压性，能够应对复杂的矿井环境。随着这些新型材料的推广应用，密封效果将在长期使用中得到保障，从而提升矿井安全和生产效率，为矿井运营提供更高效、更可靠的保障。

5.2 智能化技术在密封施工中的应用

智能化技术在瓦斯抽采钻孔密封施工中的应用，正逐步打

破传统施工方式的局限，带来显著的技术革新。利用传感器和数据分析技术，施工人员可以实时监控钻孔的各项关键指标，如孔径、深度、密封层厚度等，确保每个施工环节都在精确控制之中。这些技术能够根据实时反馈自动调整施工方案，优化施工流程，极大提高工作效率，并减少由于人为操作失误造成的风险。智能化技术还具备预测潜在密封失败的能力，及时发现可能出现的问题，并提前进行调整和干预，最大限度地保障施工质量与安全性。智能化施工还能实现数据的全面记录和分析，为后期的维护与管理提供重要依据。智能化技术不仅提升了施工过程的效率与精确度，也为矿井的安全运行提供了更为可靠的保障。

5.3 瓦斯抽采与密封技术的协同发展趋势

未来，瓦斯抽采技术与密封技术的紧密协同将是提升矿井安全性和抽采效率的关键。随着瓦斯抽采技术的不断进步，密封技术也需要与之相适应，以应对不同矿井环境和复杂开采条件的挑战。在高温、高湿和极端压力条件下，传统的密封技术可能无法满足要求，密封材料和技术必须进行改进和创新。新型密封材料和技术相结合，使得瓦斯抽采能够更加高效、稳定地进行，同时降低泄漏和爆炸等安全风险。未来，这种协同发展不仅将促进瓦斯抽采和密封技术的相互支持，还将推动矿井安全管理水平的提升，保障矿井生产的持续、安全运行。

6 结语

本文通过对瓦斯抽采钻孔密封技术及其关键因素的分析，明确了密封材料的选择、施工工艺的规范化以及矿井管理的重要性。选择合适的密封材料和技术对提高瓦斯抽采效率 and 安全性至关重要，尤其是在面对复杂的矿井环境时，适应性强、耐久性好的密封材料显得尤为重要。施工质量的控制和矿井管理机制的完善，也是提升密封质量的有效途径。随着新型密封技术和材料的不断研发与应用，未来瓦斯抽采钻孔密封技术将能够应对更多挑战，进一步保障矿井安全生产。持续关注密封技术的创新和优化，将对煤矿行业的安全性和经济性产生深远影响。

参考文献：

- [1] 刘强,周文杰.煤矿瓦斯抽采钻孔密封技术研究[J].煤炭工程,2022,44(3):72-76.
- [2] 王俊杰,韩小峰.瓦斯抽采钻孔密封材料及施工技术的研究现状[J].煤矿安全,2021,42(5):58-62.
- [3] 张磊,李梅.瓦斯抽采钻孔密封效果的影响因素分析[J].煤炭学报,2020,45(6):1539-1543.
- [4] 陈浩,魏欣.煤矿井下瓦斯抽采技术与密封施工的研究进展[J].煤矿安全技术,2023,43(2):119-123.
- [5] 高华,王晓宇.瓦斯抽采钻孔密封材料选择与施工质量控制实践[J].煤炭科技,2021,39(4):100-105.