

# 采煤工程中的压裂煤层开采技术研究

王东伟

安阳永安贺驼煤矿有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i4.7272

**[摘要]** 随着全球能源需求的不断增长, 高效、安全地开采煤炭资源成为能源行业的重要课题。压裂煤层开采技术作为一种提高低渗透率煤层开采效率的有效手段, 近年来得到了快速发展和广泛应用。本文综述了压裂煤层开采技术的基础理论、关键技术、实际应用案例及未来发展趋势, 旨在为采煤工程提供科学指导和技术支持。通过对压裂材料、工艺设计、效果监测与评价的深入探讨, 本研究揭示了该技术在提高煤炭回收率、降低开采成本方面的巨大潜力, 并对其环境影响进行了评估, 为实现煤炭行业的可持续发展提供了新的思路。

**[关键词]** 压裂煤层; 开采技术; 压裂设计; 效果监测; 可持续发展

## Research on Fracturing Coal Seam Mining Technology in Coal Mining Engineering

Wang Dongwei

Anyang Yong'an Hetuo Coal Mine Co., Ltd

**[Abstract]** With the continuous growth of global energy demand, efficient and safe mining of coal resources has become an important issue in the energy industry. Fracturing coal seam mining technology, as an effective means to improve the efficiency of low-permeability coal seam mining, has been rapidly developed and widely applied in recent years. This article reviews the basic theory, key technologies, practical application cases, and future development trends of fracturing coal seam mining technology, aiming to provide scientific guidance and technical support for coal mining engineering. Through in-depth exploration of fracturing materials, process design, effect monitoring and evaluation, this study reveals the enormous potential of this technology in improving coal recovery rate and reducing mining costs, and evaluates its environmental impact, providing new ideas for achieving sustainable development of the coal industry.

**[Key words]** Fracturing coal seams; Mining technology; Fracturing design; Effect monitoring; sustainable development

### 一、引言

煤炭, 作为传统能源领域的中坚力量, 其有效且可持续的开采直接关系到国家能源供应的安全与稳定。面临易于开采的煤层资源日益减少的现状, 开发利用那些渗透性低、开采难度大的深层煤层, 成为了新时代下的紧迫任务与挑战。在此背景下, 压裂煤层开采技术脱颖而出, 通过科技的力量在煤层内部精心构建人工裂缝网络, 从而大幅提升煤层的渗透能力与煤炭的开采潜力, 为高效利用这些“顽固”资源提供了可能。本篇文章旨在从理论探索到实际应用, 全方位剖析压裂煤层开采技术的最新发展动态与成就, 揭示这一技术

如何重塑煤炭开采的未来图景。

### 二、压裂煤层开采技术基础理论

#### 2.1 压裂煤层开采技术原理

压裂煤层开采技术的原理根植于水力压裂技术的应用, 该技术策略性地向煤层注入高压流体以人工诱导形成裂缝, 以此改善流体流动环境, 提升开采效率。具体实施步骤如下: 首先, 通过钻孔穿透至预定煤层深处, 接着注入特配制的压裂液——主要由水、化学添加剂及增强密度的沙子混合而成。随着压裂液的注入, 地下压力渐增, 当超出煤层承受极限时, 便诱发煤层裂开。在持续的压力作用下, 裂纹初现并逐步延

展，织成一个广泛的裂隙网络，这一过程极大地拓宽了煤层内部的渗透途径，为煤层气或地下水流动开辟了更加畅通的通路。

为了巩固裂缝开放，压裂液中掺入支撑剂，如石英砂、陶瓷粒或树脂球等，它们伴随液流沉降于裂缝壁，起到支撑作用，即使在压裂作业停止后也能维持裂缝的开启状态，确保煤层的高渗透性得以长期保存。作业终止后，部分压裂液被回抽返回地面，与此同时，因压裂产生的高压释放及流路路径的优化，煤层中的天然气或地下水得以大量释放，显著增强了开采产量，彰显了压裂技术在煤层开采中的关键效能。

## 2.2 压裂材料与工艺技术

在压裂材料与工艺技术创新领域，支撑剂、压裂液、交联剂等关键材料的选择与优化，配合精密的工艺技术应用，共同推动了煤层开采技术的飞跃。支撑剂作为维持裂缝开放的关键，不仅有广泛应用的经济型石英砂，还针对特殊需求采用了耐高温、化学稳定性更强的树脂球与陶瓷颗粒。压裂液经过精心配比，旨在平衡低滤失性与高效传输支撑剂的需求，同时，环保型压裂液的研发体现了对环境保护的重视。交联剂的使用强化了压裂液的胶凝特性，确保裂缝有效封闭与支撑剂精准定位。

工艺技术方面，多级压裂技术通过分段精确定位，提高了复杂地质条件下煤层的开采效率与覆盖面；定向压裂技术利用先进导向工具，使裂缝按需延伸，既适应复杂煤层结构，又保护了如地下水层等敏感区域。实时监测与优化系统则整合地面与井下数据，动态调整作业参数，确保压裂作业的高效性和准确性。

这些不断演进的材料与工艺技术，不仅为煤层气等非常规能源的高效开采铺设了坚实基础，也展现了对环境保护和资源高效利用并重的发展方向，标志着压裂技术正迈向更智能、更绿色的新时代。

## 三、压裂煤层开采关键技术研究

### 3.1 压裂设计与优化

压裂设计与优化构成了高效、经济开采煤层资源战略的核心，该过程深度融合地质学、工程学及经济学原理，力求在确保环境影响最小化的前提下，实现压裂效果的最大化。此过程细分为五大关键步骤：地质特性分析、材料与配方优化、数值模拟与实验验证、经济性分析，以及井网布置策略。

首先，地质特性分析深入研究煤层的物理属性，如厚度、渗透率及含气量，并通过应力场分析预测裂缝扩展趋势，为设计奠定基础。接着，材料与配方优化聚焦于个性化压裂液配方设计及支撑剂选型，确保携砂、滤失控制及环保标准，同时考虑经济成本。

通过数值模拟技术与实验室实验验证，科研人员能够模拟多种设计方案的可行性，微调泵注参数，并验证材料与煤层的相互作用效果，进一步指导实际操作。经济性分析阶段

则着重于不同方案的成本效益比对，以及风险评估，确保项目在多变市场与地质条件下的经济可行性和持续运营能力。

最后，合理的井网布置策略对提高资源回收率至关重要，通过科学布局生产井与注水井，减少井间干扰，扩大压裂作业的有效覆盖范围。整个压裂设计与优化流程体现了多学科交叉融合的特点，要求综合考量地质、材料、流体动力学及经济等多方面因素，旨在通过科技进步推动煤层气开发的绿色转型与效率升级。

### 3.2 压裂效果监测与评价概览

压裂作业作为提高油气井或煤层气井产能的关键技术，其效果的精准监测与科学评价至关重要。此过程深度融合了地质工程与信息技术的最新进展，旨在通过多维度、全方位的分析来确保开采作业的高效性和环境友好性。

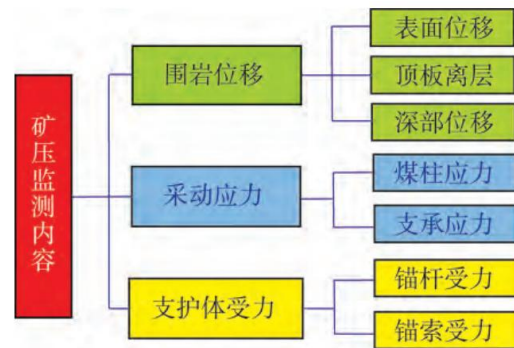


图1 巷道矿压监测内容

首先，采用如地震波监测与微地震检测等高科技手段，对地下裂缝的动态变

化进行实时追踪。地震波监测能捕捉压裂引起的介质变化，揭示裂缝网络的演化；而微地震检测则通过检测并分析微小地震事件，精确定位裂缝扩展路径。此外，井下摄像与光纤传感技术的植入，为直观监测裂缝形态及物理参数变化提供了可能，进一步丰富了监测数据的维度。

紧接着是严格的产量测试阶段，这包括初始的产量激增观测及后续的长期跟踪记录，旨在验证压裂作业对提升产量的直接影响。同时，通过对井底与井口压力变化的细致分析，即压力衰减测试，科学家们能够估算煤层渗透率的改善程度，为理解储层响应及预测未来生产趋势奠定基础。这些测试数据对于量化压裂效率、评估经济效益至关重要。

最后，构建一套全面的评价体系是确保压裂作业持续改进的基石。该体系围绕渗透率提升、产量增加等核心指标，对比分析压裂前后的各项参数，明确压裂作业的实际效益。同时，考虑环境影响评估，确保开采活动的绿色可持续。所有收集的数据被汇总至中央数据库，为未来类似地质条件下的开采计划提供数据支持，并驱动施工策略的迭代升级，实现压裂技术的精准施治与效益最大化。通过这一系列环环相扣的步骤，压裂效果的监测与评价不仅提升了开采效率，也促进了技术与实践的深度融合与发展。

#### 四、压裂煤层开采技术应用实例与分析

##### 4.1 案例一：中国山西晋城煤层气田

山西晋城位于中国山西省东南部，是中国重要的煤层气资源富集区。面对传统的开采技术难以有效开发低渗透率煤层的难题，当地企业采用了水力压裂技术来提升煤层气的开采效率。

2010年起，晋城煤层气田实施了一系列压裂工程，采用了多级压裂技术与智能井设计，通过精确控制压裂液的注入压力和速率，成功在低渗透煤层中形成了高效导流裂缝网络。所用压裂液配方经过优化，降低了对环境的潜在影响，同时引入了环保型支撑剂，减少对地下水的潜在污染。

据官方数据显示，压裂技术的应用使得晋城煤层气田的单井产气量提高了近3倍，大大缩短了投资回收周期。煤层气的商业化开采不仅缓解了当地的能源紧张状况，还促进了地区经济的发展，同时减少了煤炭直接开采对地表生态的破坏。

尽管取得了显著成效，晋城项目也面临地下水位下降和局部地质稳定性的问题。对此，项目团队加强了地下水位和水质的动态监测，并实施了地下水回灌和补给措施，同时采用地质力学模型预测和监测地质结构变化，确保了开采活动的安全与环境的可持续性。

##### 4.2 案例二：美国马塞勒斯页岩区煤层气开发

美国宾夕法尼亚州的马塞勒斯页岩区是全球知名的非常规天然气开发热点，其中包含了丰富的煤层气资源。面对复杂的地质结构和深层开采挑战，水力压裂技术在这里发挥了关键作用。

马塞勒斯页岩区的压裂作业采用了水平井钻探与多级压裂技术相结合的方式，通过长水平段钻井穿越多层煤层，配合精密的压裂设计，实现了对广阔煤层区域的高效开采。同时，采用了先进的实时监控系統，确保压裂过程的精准控制。

这些技术的应用显著提高了煤层气的采收率，单井产量大幅度提升，推动了美国本土能源生产的自给自足，降低了对外依赖。同时，与传统煤炭开采相比，减少了地表生态的破坏和温室气体排放。

压裂作业同样引起了对地下水污染和地质断层活动的担忧。美国政府和企业加强了监管，实行了严格的废水处理和回注标准，同时，通过地震监测系统提前预警地质活动风险，确保了开采活动在环境保护框架内的有序进行。

通过这两个案例的分析，我们可以看到，合理应用压裂煤层开采技术确实能显著提升开采效率，增加可采储量，同时减少对地表环境的影响。然而，技术应用的同时，也必须密切关注并有效管理其可能带来的环境风险，确保资源开发与环境保护的和谐共生。

#### 五、压裂煤层开采技术发展前景展望

##### 5.1 智能化与绿色化并行的未来趋势

随着人工智能、大数据分析技术的迅猛发展，压裂煤层开

采技术正迈向智能化的新纪元。通过集成高级算法与实时数据反馈，未来压裂设计将实现精准定制，不仅能有效预测地层反应，还能动态调整作业参数，以最大化开采效率。同时，绿色环保成为技术革新的核心理念，研发新型环保压裂液和推进可再生能源在压裂作业中的应用，力求在提高产能的同时，将对环境的影响降至最低，推动煤炭行业向低碳、可持续转型。

##### 5.2 技术创新与环境监管的深度融合

技术的突破亦体现在监测与风险管理领域。未来的开采作业将依托于高度集成的地面与地下一体化监测系统，利用微地震、光纤传感等高精度技术，实现对压裂过程的实时监控与环境影响的即时评估。在此基础上，构建智能化的风险预警平台，借助大数据分析预测潜在的环境风险，确保及时响应，有效控制地质灾害与环境污染，保障开采活动在严格环保标准下高效进行。

##### 5.3 促进煤炭行业转型升级与多能源协同发展

长远来看，压裂煤层开采技术的持续进步将加速煤炭行业由传统向现代化、清洁化的转变。煤层气的高效开采不仅是对传统煤炭资源的有效补充，更是能源结构调整的关键一环，与风能、太阳能等可再生能源形成互补，共同推动能源体系的多元化与清洁化。在实现经济效益最大化的同时，这一技术革新还将促进煤炭行业的可持续发展，为全球能源转型贡献重要力量。通过不断的技术创新与环境友好策略的实施，压裂煤层开采技术将在确保能源安全供给的同时，引领煤炭产业步入绿色、高效的新时代。

#### 结束语

煤层压裂开采技术，作为增强煤炭资源开发利用效率的关键途径，不仅在理论探索领域展现出广阔前景，亦在实际应用中凸显出非凡的成效与潜力。展望未来，我们应当坚持不懈地追求技术创新的边界，巧妙地在经济效益与环境保护之间寻求和谐共生，以期推动煤炭产业向更加绿色、高效、可持续的方向转型升级。如此，方能更好地服务于全球能源安全的宏伟蓝图，为世界能源供应的稳定与安全贡献力量，书写煤炭能源利用新篇章。

#### [参考文献]

- [1] 张毅. 开元矿厚煤层开采水力压裂卸压技术研究[J]. 矿业装备, 2021, (03): 14-15.
- [2] 史宏宝, 刘晓龙. 水力压裂技术在含多层夹研厚煤层开采中的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020, (19): 28-29.
- [3] 康红普, 徐刚, 王彪, 等. 我国煤炭开采与岩层控制技术发展40a及展望[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2019, 1(02): 7-39.
- [4] 李云鹏. 坚硬岩层结构失稳特征与水力压裂控制技术研究[D]. 辽宁工程技术大学, 2019.
- [5] 匡铁军. 特厚煤层覆岩结构及远近场顶板控制技术研究[D]. 中国矿业大学, 2021.