

高压脉动水力压裂切顶卸压技术原理及其应用

贾龚杰

陕西陕煤铜川矿业有限公司 陕西铜川 727000

摘要: 高压脉动水力压裂切顶卸压技术是对传统水力压裂技术的不断改进,传统的水力压裂技术难以有效地控制裂缝的方向与长度,为精确控制水力压裂裂纹,高压脉动水力压裂卸压技术结合了高压与脉动性的特点,精准控制流体的压力与流量,实现更高精度裂缝的控制,同时,利用切顶卸压原理,在压裂完成后形成人工构造弱化带,减小支撑压力集中产生的静载,并降低顶板破断产生的矿震动载强度。随着煤矿开采领域的不断发展,降本增效需求也不断增加,如何通过技术手段来解决传统水力压裂中存在的问题,并逐步发展出精度更高的高压脉动水力压裂切顶卸压技术,已成为现阶段亟需解决的关键科学问题。该项技术的应用将更好地控制裂缝的形成,提高煤矿开采效率,并且减少对地质环境的破坏。

关键词: 煤矿开采; 高压脉动; 水力压裂; 切顶卸压; 裂纹扩展

引言

高压脉动水力压裂切顶卸压技术在当今矿石资源开采领域备受关注,它代表了对传统水力压裂技术的一次革命性改进。基于此,本文将深入探讨这项技术的原理、应用及其在煤矿开发中的潜在价值。高压脉动水力压裂切顶卸压技术通过高压与脉动性的特点,实现了对裂缝的精准控制,同时利用切顶卸压原理形成的人工构造弱化带,切断应力传递路径,避免了地层破坏的风险。本文首先介绍高压脉动水力压裂切顶卸压技术的原理与工作机制,然后深入分析该技术在煤矿开采中的应用,探讨其在提高产能、降低成本以及减少环境影响方面的潜在价值。通过本文的研究,有助于更深入地了解高压脉动水力压裂切顶卸压技术的优势与局限性,为煤矿开采领域的技术进步与可持续发展提供参考与启示。

1 高压脉动水力压裂切顶卸压技术的原理

高压脉动水力压裂切顶卸压技术的原理相当精妙,该项技术结合了高压与脉动性的特点,精确控制了流体的压力与流量,实现了更精准的裂缝控制。具体来说,先将高压水或其他液体注入到压裂孔中,在高压的作用下压裂孔发生开裂,液体将流向地层中的裂缝中,将其逐渐扩大,称之为压裂阶段。接着引入脉动性,也就是在高压注入的同时施加周期性压力,脉动性压力变化能更加均匀地地扩展裂缝,并且减少流体的能量损失,能够更为精确的控制裂缝的形成和扩展。裂缝达到设计要求后,就进入了卸压阶段,在这个阶段迅速降低注入液体的压力,防止裂缝继续扩大,避免对地层造成过度损伤。

2 高压脉动水力压裂切顶卸压技术的特点

高压脉动水力压裂切顶卸压技术有几个显著的特点,其一是具有高度精准的裂缝控制能力,通过精确控制注入液体的压力与流量,引入脉动性压力,能实现对裂缝的精准控制,使其朝着预期的方向与长度扩展,准确切断顶板关键岩层,保证煤矿的回采安全,提高煤矿开采效率。相比传统的水力压裂技术,这项技术在注入液体后能迅速减压,避免了对地层产生过度损伤,减少了地质环境的破坏,符合可持续开发和保护环境的要求。此外,通过精确的压力控制与卸压操作,能降低地层因过度压裂而引发的地质灾害风险,保障了煤矿开采过程中的安全性。虽然高压脉动水力压裂技术本身要一定的投资,但由于其能提高开采效率,保证回采的安全性,减少后期的维护成本与环境修复成本,长远来看总体成本较低,经济

效益显著。该项技术还具有较强的适应性与灵活性,不同地质条件下的煤矿巷道,为降低煤矿冲击地压危险性,保护巷道长期的安全稳定,均可采用高压脉动水力压裂切顶卸压技术。

3 在各领域的应用前景及重要性

高压脉动水力压裂切顶卸压技术在各个领域的应用前景广泛,其重要性日益凸显,随着传统煤矿资源逐渐枯竭,对更高效、更环保的开采技术的需求日益增加,高压脉动水力压裂切顶卸压技术的出现正是为了满足这一需求,不仅提高了煤炭产能,降低了开采的成本,而且减少了对环境的影响,故受到了煤炭行业的广泛关注与应用。在地下水调控中,高压脉动水力压裂切顶卸压技术能更好地控制了地下水的流动路径与分布,实现了地下水资源的合理开发利用。此外,在水资源开发方面,该技术用于地下水的提取与输送,提高了水资源的利用效率。

4 高压脉动水力压裂切顶卸压技术应用分析

4.1 煤矿井下压裂的应用

在煤矿井下,运用高压脉动水力压裂切顶卸压技术来进行煤层压裂,先准备好高压水泵、脉动器、钻机等压裂设备,选择在煤层顶板等位置上进行钻孔,接下来将高压水泵与钻孔连接,把水注入钻孔中,经过脉动器施加高压脉动力,将水压送入煤层,形成高压水力压裂,使煤层产生微裂缝,便于后续采煤作业过程中,结合煤层的情况及要采取的措施来调整水压、脉动频率等压裂参数,同时,监测压裂的效果,配置地面监测设备或传感器来实时的监测压裂效果与顶板的变化情况,当达到预期的效果后,就可以停止压裂的操作,进行后续的煤层开采或其他工作整个压裂过程中要密切注意安全,使设备稳定运行,避免发生意外事故,还要做好环境保护的工作,防止因压裂操作造成地下水或煤层气等资源的浪费与污染。

4.2 在大采高沿空留巷中的应用

为了提高煤矿开采率,使煤炭资源得到充分利用,同时,避免出现巷道变形、底板变形等问题,增加煤矿开采的整体收益和安全性,沿空留巷技术的应用逐渐增多,在其中应用高压脉动水力压裂切顶卸压技术,可以进一步改善围岩应力状态,降低大采高沿空留巷中围岩变形问题。在大采高沿空留巷中使用高压脉动水力压裂切顶卸压技术,主要应用的机具和设备有横向切槽钻头、跨式膨胀型封孔器、水力压裂泵等,依次完成横向切槽、压裂段封孔,以

及裂缝扩展工作,具体实施方法为:在进行回采前,通过特殊的开槽钻头工具,在顶板预制横向切槽,再完成封孔工作,随后,利用高压水使切槽一端产生缝隙,沿着切槽进行延展,使护巷煤柱上覆岩层产生准破裂面;在开始进行工作面回采工作时,顶板的准破裂面会发生断裂,进而减少侧向的支撑面承受压力的时间,护巷煤柱承受的高应力也随之降低或者有效转移,能够改善沿空留巷的受力状态,提高巷道维护的安全性和便捷性。

4.3 降低排放有害气体浓度的应用

高压脉动水力压裂技术也能用于降低排放有害气体浓度的工作中,先要了解主要的有害气体种类及具体的浓度情况,然后配置合适的压裂参数及操作方式。将压裂液注入地下污染区域,依靠高压与脉动力的作用,将地下污染物挤压出来,有效地将污染物转移至地表,降低了地下水与土壤中的有害物质的浓度。压裂过程中,选择添加生物降解剂或氧化剂等一系列环保型添加剂,帮助分解与降解污染物,进一步减少有害气体的排放。同时地面监测设备实时的监测排放气体的浓度,保障压裂过程中的环境安全。依据某研究机构的数据显示,采用高压脉动水力压裂技术进行地下污染物治理后,排放的有害气体浓度平均下降了近 35%,显著的改善了周围环境质量。

4.4 煤层瓦斯抽采的应用

在煤层瓦斯抽采中,准备好高压水泵、脉动器等工具,明确适宜的位置,便可进行钻孔并注入压裂液。高压水泵将压裂液注入到煤层中,施加高压与脉动力,使煤层中的瓦斯释放出来,瓦斯一旦被抽采出来,便大幅减少了地下瓦斯积聚的危险,降低了煤矿爆炸的风险。压裂过程中综合分析煤层的地质特征与瓦斯分布情况,及时调整注入液体压力、流量及压裂液的组成等。依据煤层瓦斯抽采效果,实时的监测瓦斯抽采量与瓦斯浓度,及时的调整操作参数,使瓦斯抽采效率最大化。某煤矿的数据统计结果,高压脉动水力压裂技术进行的煤层瓦斯抽采,瓦斯抽采量平均增加了 25%以上,煤矿的安全生产指标因此而得到了明显的改善。

4.5 煤层顶板控制的应用

高压脉动水力压裂切顶卸压技术可以控制煤层顶板,准备工作主要还是两个方面,高压水泵、脉动器等工具准备,明确岩层位置后,在煤层顶板上钻孔并注入压裂液。然后高压水泵将压裂液注入到煤层顶板中,施加高压与脉动力,使顶板形成微裂缝,增加了顶板的稳定性,有效地防止了顶板塌方事故的发生,提高了矿井的安全性。在压裂过程中,参照煤层顶板的情况与厚度,调整压裂参数,如注入液体的压力、流量与压裂液的组成等,在利用地面监测设备实时的监测顶板的变化情况,使之达到压裂效果且顶板的稳定性。某煤矿采用高压脉动水力压裂切顶卸压技术进行煤层顶板控制后,顶板塌方事故率平均下降了 15-20%,有效提高了矿井的安全生产水平。

4.6 改善采矿环境的应用

高压脉动水力压裂切顶卸压技术在采矿环境中通过改善矿井地质条件与提高采煤效率来改善采矿环境。利用高压水泵与脉动器,在煤层顶部进行钻孔并注入压裂液,施加高压与脉动力,从而增加了煤层的透气性与渗透性。当煤层透气性提高时,煤矿内部的通风条件便有效得到改善,便于排除地下瓦斯与矿井粉尘,降低了矿井爆炸与火灾的风险,同时,也有助于提高煤层的排水能力,减少煤层涌水事故的发生。某煤矿的数据显示,采用高压脉动水力压裂切顶卸压技术后,矿井内部的瓦斯浓度平均下降了 12-15%,

粉尘浓度也减少了 15%左右,有效的改善了采矿环境,煤层渗透性的提高,矿井的排水效率也得到了显著的提升,大大的减少了涌水事故的发生。

4.7 井下支护的应用

在井下支护前,准备好高压水泵、脉动器等,然后在要进行支护的地方进行钻孔,并将压裂液注入到钻孔中。高压水泵会将压力与脉动力施加其中,将压裂液注入到地下岩层中,便会产生微裂缝,增加了岩层的稳定性,提高了巷道支护性能,有效的防止岩层塌方与地面坍塌的发生。在这过程中,严格按照地下岩层的特点与支护需求,调整好注入液体的压力、流量与压裂液的组成等,同时实时的监测岩层的变化情况,以便及时的调整操作参数,使之达到支护效果。采用高压脉动水力压裂切顶卸压技术进行井下支护后,岩层的稳定性将得到提高,支护效果更为显著,有效的防止了地下岩层的塌方与地面坍塌现象。

5 应用实例

在 A 煤矿的地下工作面,选用了高压脉动水力压裂切顶卸压技术,用于煤层顶板控制与瓦斯抽采。前期的准备工作包括工作面区域的选定,进行岩层地质勘探与测量,明确顶板厚度与瓦斯浓度情况。同时准备高压水泵、脉动器、钻机压裂设备,调试设备以正常的运行。接下来进行钻孔,在煤层顶板上进行钻孔,钻孔直径约为 100mm,钻孔深度要根据煤层厚度与岩层情况而定,在煤层顶板以下 20m 左右即可。压裂施工前的关键步骤是参数的配置,应采用清水或添加特定化学品的水,设定压裂泵的压力为 100 MPa,控制压裂泵的流量为每分钟 100m³ 立方米,调节脉动器的频率为每分钟 50 次即可。然后便可将压裂液注入到钻孔中,启动高压水泵与脉动器,施加压力、脉动力,实时的监测数据,调整压裂参数,使煤层顶板形成微裂缝,这时就可以监测煤层顶板的变化情况了,岩层位移、瓦斯浓度等,经过监测,评估压裂的效果,并及时的调整压裂的参数。经过压裂处理后,不仅煤层顶板稳定性得到了提高,岩层裂缝增加,瓦斯抽采量提高了近 20%,同时顶板塌方事故率降低了。

6 结语

综上所述,深入探讨了高压脉动水力压裂切顶卸压技术的应用,以及其在煤矿开采过程中的重要作用,对这项技术的研究与应用不仅能提高资源的开采效率,降低成本,还能减少对环境的影响,促进了煤矿的可持续发展。尽管高压脉动水力压裂切顶卸压技术在各个领域的应用都取得了一定的成果,但也面临着一些新的挑战与问题,因此,需要加强技术创新,通过进一步深入研究与推广应用,推动高压脉动水力压裂切顶卸压技术的进步与可持续发展。

参考文献:

- [1]鲍先凯,段东明,曹嘉星,等.电脉冲水力压裂煤体机理及裂缝效果评价[J].水利水电技术, 2018, 49 (08): 39-46.
- [2]贺培,熊继有,陆朝晖,等.基于高压脉动水力压裂的脉动波传播机理研究[J].水动力学研究与进展 (A 辑), 2017, 32 (01): 117-123.DOI: 10
- [3]张文青,李海涛.高压脉动水力压裂增透技术在长平公司的应用研究[J].煤矿现代化, 2014, (05): 4-6.
- [4]谢正红.高压脉动水力压裂增透技术及其应用[J].中国煤炭, 2014, 40 (09): 97-101.
- [5]林柏泉,李子文,翟成,等.高压脉动水力压裂卸压增透技术及应用[J].采矿与安全工程学报, 2011, 28 (03): 452-455.