

特厚煤层顶板变化带满水压力尖峰水力压裂多维控冲减损技术研究

高亮 王守印 郭书全 廉博翔 王勇 刘浪
陕西省煤层气开发利用有限公司 陕西 榆林 719000

摘要：针对柠条塔煤矿S1214顶板工作面顶板变化带的施工工作相当复杂，因为施工中要面临满水压力尖峰影响，严重时导致大水力压裂病害发生。所以，必须预先弱化坚硬顶板，然后控制顶板破碎带可能带来的巨量冲击地压，减少施工中损失。换言之，必须配合切眼板水力压裂技术创新，将原有的普钻施工升级为增加长距离的切眼定向钻施工模式。本文以柠条塔煤矿S1214顶板工作面为例，专门探讨其变化带满水尖峰压力状况下的水力压裂状况，深入研究多维控冲减损技术的应用目标以及应用方法。

关键词：顶板；顶板变化带；满水压力尖峰；水力压裂多维控冲减损技术

前言：

顶板的顶板变化带通常比较坚硬，这是为了有效防止强矿压以及冲击地压影响，在工作面推进施工过程中，经常受到采动影响而发生顶板应力状态与结果剧烈变化情况，发生局部被满水压力尖峰压裂。结合柠条塔煤矿S1214顶板工作面实际状况，展开一系列水力压裂施工工程技术分析很有必要。

1 柠条塔煤矿S1214顶板工作面施工的基本概况

柠条塔煤矿S1214顶板工作面煤厚4m左右，有些阶段顶板的总体厚度可以达到数十米甚至百米。顶板的储量巨大、开采效率较高，但是顶板工作面控制难度较大，常会受到矿山水力影响，如顶板变化带满水尖峰压力，往往导致工作面被严重压裂。因此，强调顶板顶板工作面岩板管理与控制是技术实践关键。顶板顶板工作面施工必须面临矿压剧烈、顶板控制难度大、开采方法与工艺特殊、火灾隐患突出等问题。

柠条塔煤矿S1214顶板工作面施工工程拥有面积较大的工作面，但是在开采施工过程中面临水压力影响，因此必须采用水力压裂放顶施工技术，有效应对满水压力尖峰，发挥尖峰水力压裂多维控冲减损技术应用价值。该项目的施工地点工作面切眼长度为342m，工作面呈现东西走向。它的水力压力弱化顶板岩层主要表现为压裂与软化两个层面，大幅度削弱了顶板整体强度以及整体性，它导致采空区顶板分层垮落，对工作面回采过程造成了不同程度伤害^[1]。

2 柠条塔煤矿S1214顶板工作面施工的基本条件与压裂施工方案

2.1 基本施工条件

柠条塔煤矿S1214顶板工作面属于开采煤层（2-2煤层），在切眼区域的煤层厚度为4.00m左右。在工作面切

眼附近则存在冲刷带，煤层埋藏深度121m ~ 152m，煤层普氏硬度系数 $f = 1.22$ 。从整体来看，工作面切眼区域的直接顶岩性为粉砂岩，同时拥有灰色水平层，厚度大约为4.00m。局部存在夹粉砂岩薄层，厚度大约为13.20m。

2.2 压裂施工方案

柠条塔煤矿S1214顶板工作面采用压裂施工方案，其核心技术为水力压裂多维控冲减损技术，该技术主要基于压裂施工技术要求对顶板顶板变化带满水压力进行分析。同时，分析压裂局部节点，例如封孔、注水压裂监测等工序。其中所采用的施工工具还包括储能器、手动泵、高压封孔器、压力流量监测仪等。

2.3 压裂施工工艺

针对柠条塔煤矿S1214顶板工作面顶板变化带的采动影响进行分析，主要对顶板应力状态以及结构剧烈变化区域影响进行分析，体现压裂施工工艺应用可行性。而针对满水压力尖峰，施工中则利用额定压力在64MPa以上的高压水泵直接将水注入岩层，确保压力达到并超过岩体的整体抗压强度，有效解决目标岩层中所产生的大量裂隙。

2.3.1 顶板变化带施工

柠条塔煤矿S1214顶板工作面顶板变化带采用压裂施工，通过水力压裂控制顶板最为坚硬且难垮的顶板部分，具体参考图1^[2]。

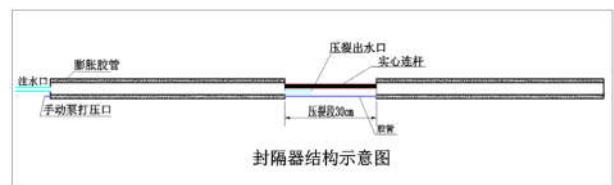


图1 柠条塔煤矿S1214顶板工作面顶板变化带压裂工艺中使用封隔器结构示意图

参考图1, 顶板工作面的顶板变化带压裂工艺专门使用封隔器械, 配合规格为 Φ false75mm的普通金刚石钻头进行水力压裂钻孔施工, 满足压裂施工工艺要求。然后, 在施工中充分利用注水钢管将封隔器逐步送入孔底位置, 施工中所采用的注水管长度为1m/根, 采用丝扣进行连接, 利用手动打压泵为封隔器加压前后进行胶筒膨胀处理, 确保封隔段形成密闭空间, 达到封孔目标, 确保封孔压力大约在12MPa~16MPa。

顶板工作面为有效解决顶板初次垮落问题, 深度分析顶板以及地质条件变化, 专门从传统的普通钻孔施工过渡到顶板上方的长距离定向钻孔施工, 施工完工后效果比较理想。以传统常规钻孔施工为例, 顶板工作面所布置的是常规钻孔3类, 参考工作面初采期间的顶板垮落情况, 避免对老顶有效压裂, 专门进行串孔施工, 但确保孔口剩余6m位置不进行压裂。此后, 顶板工作面采用定向钻孔施工方式, 定向钻孔施工布置3个定向钻孔, 工程量达到1098m, 根据顶板工作面的初采期间顶板跨落情况展开施工。施工中对工作面推采0~40m范围的顶板, 专门进行压裂施工。定向钻孔施工从钻孔到孔底实施倒退式压裂施工方式, 压裂间距控制在6m, 且保证每个钻孔剩余2组不进行压裂。施工中, 钻孔孔位允许偏差在 ± 0.5 m以内, 施工效果比较理想。

2.3.2 满水压力尖峰施工

柠条塔煤矿S1214顶板工作面的满水压力尖峰施工利用高压水泵进行岩层压裂施工, 确保压力达到并超过岩体抗拉强度, 在目标岩层中产生并扩展出大量裂隙。施工中采用钻孔施工工艺, 满足高压注水要求。施工中, 主要结合封隔器与中心管所形成空间进行施工, 通过连杆将两支封隔器连接, 进行满水压力尖峰压裂施工。压裂施工中采用钻孔施工方法, 通过注水钻杆逐步封孔, 将封孔器送入孔底。注水钻杆每根控制在1.5m~6m长, 采用丝扣连接, 并进行压裂弱化施工处理。施工中, 压力最高达到5MPa以上, 且孔口无出水后可以继续进行满水压力尖峰施工。需要注意一点, 压裂段所承受的压力是不断增大的, 且压力增加到一定程度后, 岩石会破裂, 具体参考图2^[3]。

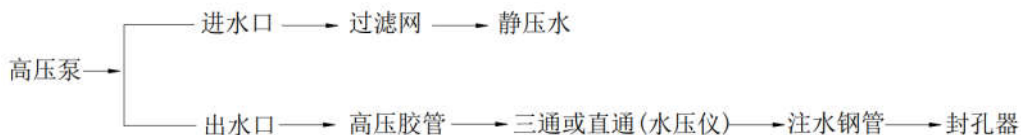


图3 柠条塔煤矿S1214工作面空间压裂模型工艺流程图

2.3.4 多维控冲施工

柠条塔煤矿S1214顶板工作面采用多维控冲施工技术

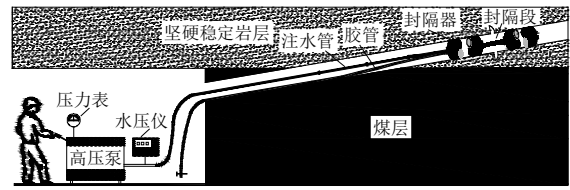


图2 柠条塔煤矿S1214顶板工作面水力压裂控制坚硬顶板岩层示意图

参考图2, 在施工中施工人员要活用压力表、水压仪以及高压泵, 针对顶板的精准设计主要围绕水力技术参数如注水压力、钻孔布置等展开, 满足满水压力尖峰施工技术要求。同时满足过程控制施工要求, 对注水压力与时间进行控制, 密切关注煤岩体响应状况, 避免出现压力失控情况。在施工中, 要制定突水以及冲击地压专项应急施工技术预案。

满水压力尖峰施工的预裂缝在起裂以后会出现水压下降情况, 确保进入保压注水施工阶段。在全新施工阶段中, 对于裂纹的扩展施工需要谨慎, 避免新裂纹产生。施工中, 需要保证顶板岩层被充分处理, 根据周围顶板出水状况决定是否继续进行注水施工, 且保持每次压裂施工时间控制在10~30分钟范围内。在完成第一段压裂施工后, 通过注水管展开每相隔2~3m一次的压裂施工, 定向钻孔压裂间隔, 保证设计6m压裂一次, 根据压裂情况调整压裂施工位置, 调整压裂施工次数。

2.3.3 水力压裂施工

柠条塔煤矿S1214工作面煤层厚度为4m左右, 在实际回采过程中, 出现部顶板未及时垮落情况, 导致极大程度影响矿上回采, 造成一系列的经济以及安全负面影响问题。究其原因, 主要是局部冲刷带连通顶板、局部位置冲刷带硬度过高。因此, 必须在切眼位置增补定向钻孔对未垮落区域进行压裂调整, 解决上述施工问题。后续, 再针对井下所有的工作面深切眼顶板水力压裂状况进行有效预防, 避免类似问题发生, 提高回采垮落速度以及安全回采水平, 充分分析地质资料, 科学布置长距离定向钻孔水力压裂情况, 建立空间压裂模型, 以期待达到预期施工效果。后续相邻S1216工作面的水力压裂效果明显转好, 它的空间压裂模型工艺流程图参考下图3。

方法, 实现施工过程全面减损。例如, 在施工中采用定向长度钻孔, 主要用于覆盖范围极广的高位岩层, 满足

卸压施工技术要求。在常规浅孔施工中,则专门处理中位、低位的局部坚硬顶板,确保施工技术可以妥善应用于煤层上方到高位关键层,采用多维控冲避免施工技术被弱化。

为此,施工中还采用全过程动态监测以及效果检验技术,配合微震在线监测系统,实时监测压裂裂隙发育范围以及影响区域,对压裂前后的工作面支架阻力、微震大小以及施工风险发生频率等指标进行综合分析,科学评估施工技术的卸压效果。总体来讲,要在柠条塔煤矿S1214顶板工作面施工中合理采用多维控冲技术,对复杂地质条件下的安全高效施工过程进行优化,从传统的被动防范施工转变为主动治理施工,利用相对精确、多维度的水力压裂干预施工技术,从根本上降低强矿压风险问题。在顶板工作面开采中活用“多维控冲”施工技术,从空间到时间、最后到技术手段上多维度控制冲击地压风险,建立工作面联合协同的综合性防控技术体系。在施工中,柠条塔煤矿S1214顶板工作面专门建立了一套核心技术体系,建立了基于整体认知的地面水平井分段压裂施工体系,基于突破性区域防治技术从地面满足施工水平井建设需要,直接在煤层上建立坚硬复合顶板,并进行分段压裂施工,最大限度弱化顶板。

最后,采用多参量综合监测预警施工中所出现的损益问题,精准控制减损,配合SOS微震技术进行应力在

线监测,满足矿压大数据分析系统技术应用要求,构建监测预警平台,做好数据融合工作,实时研判施工风险,提高施工应急处置水平。例如,围绕柠条塔煤矿S1214顶板工作面的微震事件进行能量与频次分析,设定1~3级的预警指标机制,相应触发不同阶段的压裂风险问题,并提出施工防治措施。

总结:

综上所述,面向柠条塔煤矿S1214顶板工作面展开顶板变化带满水压力尖峰水力压裂多维控冲施工,有效解决压裂减损问题,形成一套成熟的施工技术体系。本文中深入讨论了该套施工技术体系中诸多节点结束内容,希望做到有针对性优化施工处理措施,从区域预控制直接转向局部卸压,实时监测并系统管理多个层面的水力压裂问题,构成顶板的纵深化防御施工技术体系。

参考文献:

- [1]张文龙,梁子晨,龙思晨.三软大倾角顶板留小煤柱巷道支护研究[J].煤矿支护,2024(4):20-24.
- [2]霍丙杰,张松涛,黄宇轩,等.坚硬顶板顶板采场瓦斯运移规律及抽采参数研究[J].采矿与安全工程学报,2024,41(5):1091-1102.
- [3]章俊,刘盛东,杨彩,etal.薄基岩工作面覆岩破坏电性响应特征及动态监测技术[J].煤炭学报,2025,50(11):1-14.