

# 分段水力压裂技术在煤层坚硬顶板治理中的应用

刘洋

国能榆林能源有限责任公司郭家湾煤矿

DOI:10.12238/gmsm.v7i5.1827

**[摘要]** 煤矿坚硬顶板在我国分布广泛,坚硬顶板型煤层占已查明赋存煤层30%以上。随着我国煤矿开采的规模化,坚硬顶板不易随采随落,导致在工作面采空区出现大面积的悬顶现象,大面积的悬顶能够导致顶板应力的集中,随着坚硬顶板的突然破碎可能引发应力波动,从而增加动力灾害的风险,如冲击地压和煤与瓦斯突出等灾害。分段水力压裂技术在处理坚硬煤层顶板方面具有很好的适应性。这种技术利用跨式膨胀性封孔器密封压裂区域,通过高压水对封闭区域进行压裂,形成多条裂缝网络,有效地处理顶板坚硬岩体,防止煤层顶板突然破断。在保德煤矿开展了煤层顶板分段压裂工程应用,结果表明:压裂后顶板来压步距、动载系数、来压均值分别降低35.02%、14.29%、13.87%,巷道及围岩的变形同比变小,说明井下分段水力压裂能够在煤层顶板中形成裂缝系统,达到坚硬顶板动力灾害的治理的目的。研究成果能够为相似地质条件的坚硬顶板强矿压灾害防治提供理论支撑。

**[关键词]** 坚硬顶板; 分段水力压裂; 煤矿; 灾害治理

中图分类号: X752 文献标识码: A

## Application of segmented hydraulic fracturing technology in hard roof treatment of coal seam

Yang Liu

Guojiawan Coal Mine, Guoneng Yulin Energy Co., Ltd

**[Abstract]** The hard roof of coal mines is widely distributed in China, and the hard roof type coal seams account for more than 30% of the identified coal seams. With the scale of coal mining in China, the hard roof is not easy to fall with the mining, which leads to a large area of hanging roof in the goaf of the working face. The large area of hanging roof can lead to the concentration of roof stress, and the sudden breakage of hard roof may lead to stress fluctuation, thus increasing the risk of dynamic disasters, such as rockburst and coal and gas outburst. Segmented hydraulic fracturing technology has good adaptability in dealing with hard coal seam roof. This technology uses a straddle-type expandable hole sealer to seal the fractured area, and high-pressure water is used to fracture the closed area, forming a plurality of fracture networks, effectively treating the hard rock mass of the roof and preventing the sudden fracture of the coal seam roof. The application of staged fracturing of coal seam roof in Baode Coal Mine shows that the weighting step, dynamic load coefficient and average weighting of roof are reduced by 35.02%, 14.29% and 13.87% respectively after fracturing, and the deformation of roadway and surrounding rock is reduced year-on-year, which shows that underground staged hydraulic fracturing can form a fracture system in coal seam roof and achieve the purpose of controlling dynamic disasters of hard roof. The research results can provide theoretical support for the prevention and control of strong ground pressure disasters in hard roof with similar geological conditions.

**[Key words]** hard roof; Segmented hydraulic fracturing; Coal mine; Disaster management

我国坚硬顶板赋存煤层占30%以上。煤矿中的坚硬顶板是指位于煤层上方的坚硬岩层(一般在煤层上方100m以内),其特点包括硬度高、延展性及整体性良好、岩层较厚等特点(一般为10m以上)。随着我国煤矿产量规模的不断增大,坚硬顶板垮落具有

延时性,因此产生了大面积坚硬顶板悬顶现象。坚硬顶板造成的悬顶如果发生突然断裂易产生支架压架、冲击地压、岩爆等动力灾害<sup>[1-6]</sup>。最普遍处理坚硬顶板的方式是爆破强制放顶,但是爆破预裂的工程量较大,且涉及使用炸药,安全风险高,申请手

续繁琐,对于高瓦斯煤矿具有一定的安全隐患,同时爆破会产生相关的有毒有害气体,如一氧化碳气体超标等问题。对坚硬顶板注水软化的处理方式也开展了相关试验,但其目前仍处于软化岩层强度的层次,不能直接达到解危的目的。综上所述,急需研究适用于大规模开采的坚硬顶板治理模式,分段水力压裂处理坚硬顶板是其发展方向<sup>[7-9]</sup>,该技术通过水力压裂使顶板产生裂缝,随着工作面的推进,实现顶板有序垮落,达到安全高效开采的目的。

### 1 煤层坚硬顶板的特征及分布

煤层坚硬顶板一般是指:(1)顶部强度指标(D)大于120;(2)初次跨落步距超过25米的煤层直接顶。依据煤层顶板的岩石力学性质、岩层结构及构造特征等因素,坚硬顶板又可分为:较坚硬、坚硬及特别坚硬顶板。我国坚硬顶板煤矿有着广泛的分布范围,煤炭储量也极丰富,在陕西省、山西省、内蒙古自治区以及新疆等地均有坚硬顶板型煤矿。

### 2 坚硬顶板导致的问题

#### 2.1 采煤工作面端头悬顶

采煤工作面的端头坚硬顶板如果突然发生破断,会造成严重的压架现象,同时把采空区的有毒有害气体突然抛入煤层采空区,造成工作面安全问题<sup>[10]</sup>,发生瓦斯超限事故,严重影响煤矿工人的生命安全。

#### 2.2 采煤工作面切眼悬顶

具有坚硬顶板的工作面初采时,由于切眼悬顶范围小,扰动应力弱,支护强度大,坚硬顶板垮落滞后。当采煤工作面的继续推进到一定程度时,坚硬顶板悬顶范围扩大。由于煤矿坚硬顶板岩性塑性较低,在重力的作用下就会发生突然破裂。大面积的悬顶及其突然断裂易产生冲击荷载、顶板大面积挤压、岩爆等动力灾害。

#### 2.3 冲击地压

因为采面临近采空区的巷道同时受到受侧向支承压力和超前支承压力的双重影响,当坚硬顶板发生突然断裂时,叠加老顶的周期来压,临近采空区的巷道超前支护段周期性的出现了冲击性变形和冲击地压的现象,对煤矿安全产生重大的危害。

#### 2.4 临空巷道大变形

在矿井采用长壁采煤法时,可能出现采掘接替困难以及双巷布置等情况的出现,导致临近工作面的顺槽在本工作面尚未完全采出前就已经掘进,或者在回采过程中进行掘进工作。当坚硬顶板发生破断,以及发生大尺度形变并产生集中应力时,围岩变形剧烈,导致临近采空区的巷道难以继续工作。

### 3 井下分段水力压裂技术治理坚硬顶板技术

#### 3.1 分段水力压裂技术

井下分段水力压裂技术是一种安全且高效的方法,用于控制坚硬且难以垮塌的煤层厚层顶板。通过钻孔柱状图和地层岩性的分析,确定压裂位置。首先使用切槽钻头横向切割岩体,然后利用膨胀式封孔器封闭切割位置。通过封隔器之间的套管注

入高压水,一般压力在20~60MPa之间,使裂纹从切割部位开始扩展,裂缝体系的方向和长度受水压、流量、地应力、岩石弹性和断裂韧度影响。依次在同一钻孔中选择不同位置进行压裂,形成多条裂缝网络,改变顶板力学环境,破坏坚硬顶板的整体完整性,将采空区顶板初次承载能力预先破坏,避免坚硬顶板瞬间垮落产生的应力集中释放对人员和设备的危害<sup>[11]</sup>。

#### 3.2 井下分段水力压裂的工程应用

井下分段水力压裂在保德煤矿的工程应用井下,分段水力压裂过程:

(1)使用普通 $\phi 56\text{mm}$ 钻头沿着工作面走向施工定向长钻孔(图1),钻孔之间的间隔按照应力互不影响范围确定(图2)。

(2)替换普通钻头为可预制横向切槽的专用钻头,在设计的第一段位置进行切槽工作,为水力压裂提供起裂准备。

(3)在孔内设计第一段位置下入油管和膨胀式封隔器。对其进行加压,使其胶筒膨胀,达到封闭孔隙的目的。通常需要施加15~20MPa的压力。

(4)高压泵至注水管连至油管管口,启动高压泵注入压裂液,直至第一段完成压裂工作。

(5)停止高压泵,封隔器卸压,回收油管至第二压裂段,将以此类推,完成其他压裂段的压裂工作。

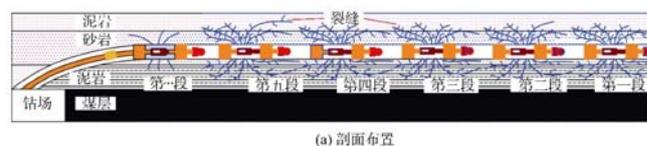


图1 水力压裂系统剖面布置示意图

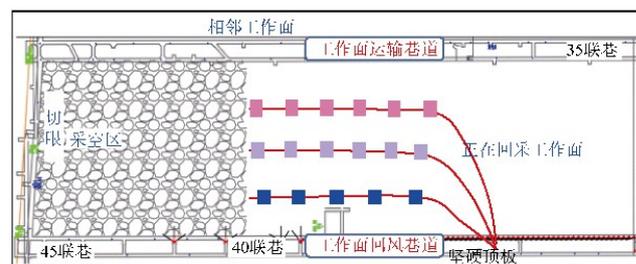


图2 水力压裂系统平面布置示意图

#### 3.3 水力压裂工程效果

根据井下现场跟踪的数据分析结果显示,工作面呈现较为广泛的来压范围,在进入压裂区域之前(未施工水力压裂部位),来压范围从平均110架左右,进入压裂区域后(施工分段水力压裂部位),缩小至25~50架<sup>[12]</sup>。

该工作面支架来压的压力在44.6~46.5MPa之间,平均为45.7MPa;进入压裂区域后(施工分段水力压裂部位),来压时的压力降低至38.6~40.7MPa,平均值降低至39.02MPa;来压均值减少了约13.87%。

在进入压裂区域之前,来压步距一般在24~30m之间,平均25m,进入压裂区域后(施工分段水力压裂部位),来压步距降低至17~21m,平均19m,顶板来压步距大幅降低了约35.02%。

在进入压裂区域之前,正常推进时支架的平均稳定压力为31.4MPa,动载系数在1.40~1.52之间,平均为1.47;进入压裂区域后(施工分段水力压裂部位),正常推进时支架的稳定压力降低至31.20MPa,动载系数降至1.22~1.29之间。动载系数降低了约14.29%<sup>[12]</sup>。

#### 4 结论

(1)针对坚硬顶板引起的强矿压工程,提出了井下分段水力压裂治理强矿压的技术思路,创新并丰富了煤矿强矿压治理理论。

(2)井下分段水力压裂预裂煤层坚硬顶板后,破坏坚硬顶板的整体完整性,顶板来压步距降低了35.02%、动载系数降低了14.29%、来压均值降低了13.87%,保证工作面安全推采,说明井下分段水力压裂能够在煤层顶板中形成裂缝系统,达到坚硬顶板动力灾害的治理的目的。

#### [参考文献]

[1]靳钟铭,徐林生.煤矿坚硬顶板控制[M].北京:煤炭工业出版社,1994:30-35.

[2]窦林名,何学秋.冲击矿压防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001:1-10.

[3]宋选民,连清旺,邢平伟,等.采空区顶板大面积垮落的空气冲击灾害研究[J].煤炭科学技术,2009,37(4):1-4.

[4]熊仁钦.顶板大面积来压破坏的机理研究[J].煤炭学报,1995,20(增1):38-42.

[5]息金波.采场顶板大面积垮落的飓风灾害的理论研究[D].山西:太原理工大学,2006.

[6]周宏伟,石平五.监测顶板运动预报煤和瓦斯突出[J].矿山压力与顶板管理,1991,(3):21-28.

[7]王博,陈崇枫,贾立龙,等.彬长矿区南部诱发冲击地压覆岩关键层探讨[J].科学技术与工程,2023,23(20):8614-8620.

[8]王博,姜在炳,杜天林,等.煤层顶板水平井分段压裂瓦斯治理模式研究[J].中国煤炭地质,2023,35(01):25-31.

[9]郑凯歌,王林涛,王永福.坚硬顶板强矿压动力灾害超前区域控制技术研究[J].中国煤炭,2024,50(04):36-45.

[10]李任.顶板深孔爆破卸压技术在岳城煤矿的应用[J].山西冶金,2021,44(05):258-259+289.

[11]宋选民,连清旺,邢平伟,等.采空区顶板大面积垮落的空气冲击灾害研究[J].煤炭科学技术,2009,37(04):1-4+81.

[12]杨俊哲,郑凯歌.厚煤层综放开采覆岩动力灾害原理及防治技术[J].采矿与安全工程学报,2020,37(04):750-758.

#### 作者简介:

刘洋(1993--),男,汉族,陕西省榆林市人,本科,研究方向:煤炭地质保障工作。