

Application and Exploration of In-Situ Stress Test of Hydraulic Fracturing Method in Coal Mine Engineering

Yunqiang Bai¹ Wei Song² Jian Zhang¹

1. Guqiao Mine of Huaihe Energy Group Co., Ltd., Huainan, Anhui, 232000, China
2. China Coal Xi'an Design Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

Abstract

In mine safety production, especially in roadway support design, rock burst prevention and floor water prevention, the main influence factor of in-situ stress should be considered.

Keywords

coal mine engineering; mine safety; roadway support

水压致裂法地应力测试在煤矿工程中的应用探索

白运强¹ 宋伟² 张建¹

1. 淮河能源控股集团有限责任公司顾桥矿, 中国·安徽 淮南 232000
2. 中煤西安设计工程有限责任公司, 中国·陕西 西安 710054

摘 要

矿井安全生产中, 特别是在巷道支护设计、冲击地压防治和底板水防治工作中, 应考虑地应力的这一主要影响因素。

关键词

煤矿工程; 矿井安全; 巷道支护

1 工程概况

顾桥煤矿 -780m 水平南翼大巷是连接中央区和南区的主要运输大巷, 位于 11-2 层煤顶板和 13-1 层煤底板之间, 是煤矿运输的生命线。大巷位于南翼构造密集区, 过 F92 大断层, 受三条主要断层和该区域众多次生断层影响, 构造发育, 岩体异常破碎。中央区钻孔布置平面图如图 1 所示。

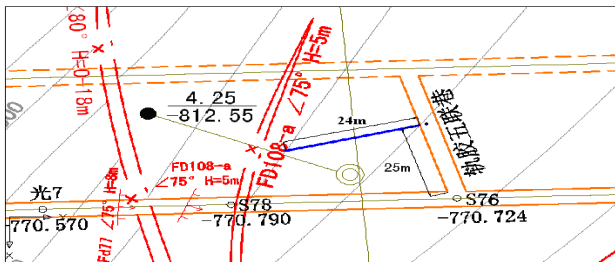


图 1 中央区钻孔布置平面图

根据围岩地质状况, 选定南翼轨胶五联巷作为测试地点。布置了两个测: 1# 测孔: 垂直孔, 垂直底板, 孔径 $\phi 91\text{mm}$, 孔深 20m; 2# 测孔: 水平孔, 孔径 $\phi 91\text{mm}$, 孔深

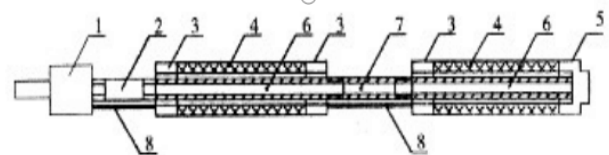
24m。现场打钻取芯情况为: 水平孔砂岩、砂质泥岩、泥岩为主, 岩石强度低, 成孔质量差, 且岩芯饼化现象严重, 属高地应力常见特征; 垂直孔岩芯主要为泥岩, 成孔差。

2 水压致裂法实验介绍

2.1 水压致裂法地应力测量的主要设备

水压致裂法地应力测量的主要设备由三个部分组成: 一是钻孔承压段的封隔系统; 二是加压系统; 三是测量和记录系统, 包括函数记录仪、压力传感器、流量传感器、压力表等。

如图 2 所示, 为本项目采用的轻型封隔器示意图, 总长约 3.4m, 胶筒长 1.2m, 座封后形成的液压段长度为 1m。



1、推拉阀 2、连接杆 3、接头 4、封隔器 5、下封隔器接头 6、中心拉杆 7、压裂段花杆 8、座封高压管

图 2 轻型封隔器示意图

2.2 水压致裂法测试步骤

水压致裂法地应力测量的压力管路系统分双管加压系统和单管加压系统。双管加压系统的管路是高压油管和钻杆，试验过程中，通过高压油管和钻杆对封隔器和钻孔压力段加压。单管加压系统的管路是钻杆，试验过程中，依靠安装在钻孔孔口的推拉阀控制压力液体的流向，分别对封隔器和钻孔压裂段加压。本次试验中采用单管系统。水压致裂法地应力测量的具体方框图如图3所示，相应的压裂过程曲线如图4所示。

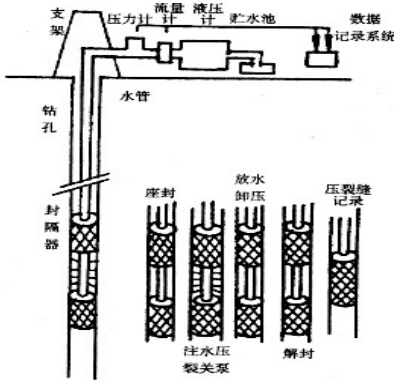


图3 水压致裂法地应力测量程序

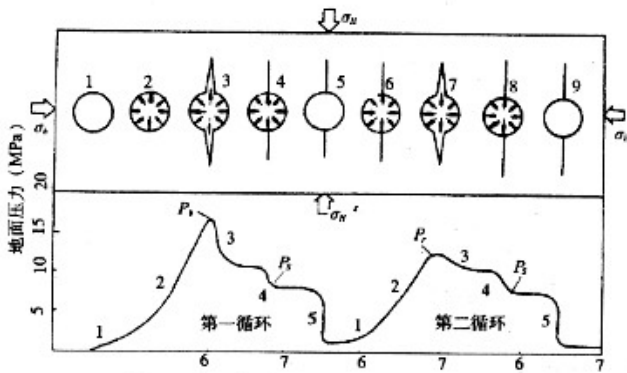


图4 水压致裂法地应力测量压裂过程曲线

在进行正式水压致裂测试之前，必须对钻孔的透水性、钻孔倾斜度等进行检查，同时根据工程的需要选择合适的压裂段，并对每根加压钻杆进行密封检验。水压致裂法测试步骤如下。

2.2.1 座封

通过钻杆将两个可膨胀的橡胶封隔器放置到选定的压裂段，加压使其膨胀、座封于孔壁上，形成承压段空间(本次试验中座封压力为4MPa)。

2.2.2 注水加压

通过钻杆推动转换阀后，液压泵对压裂段注水加压(此

时封隔器压力保持不变)，钻孔孔壁承受逐渐增强的液压作用。

2.2.3 岩壁致裂

在足够大的液压作用下，孔壁沿阻力最小的方向出现破裂，该破裂将在垂直于横截面上最小主应力的平面内延伸。

与之相应，当泵压上升到临界破裂压力 P_b 后，由于岩石破裂导致压力值急剧下降。

2.2.4 关系

关闭压力泵后，泵压迅速下降，然后随着压裂液渗入到岩层泵压下降缓慢。当压力降到使裂缝处于临界闭合状态时的压力，称为瞬时关闭压力 P_s 。

2.2.5 卸压

打开压力阀卸压，使裂缝完全闭合，泵压记录降为零。

2.2.6 重张

按2至5步骤连续进行多次加压循环，以便取得合理的压裂参数，以判断岩石破裂和裂缝延伸的过程。

2.2.7 解封

压裂完毕后，通过钻杆拉动转换阀，使封隔器内液体通过钻杆排出，此时封隔器收缩恢复原状，即封隔器解封。

2.2.8 破裂缝方向记录

采用定向印模器，通过扩张印模胶筒外层的生橡胶和能自动定向的定向器记录破裂缝的长度和方向。

2.3 结果分析

压力参数 P_b 、 P_s 、 P_r 、 P_0 是水压致裂法地应力测量计算地应力值得依据，通常根据压裂过程曲线特征的位置确定。一般地，破裂压力 P_b 取为第一次压裂循环增压曲线的峰值^[1]。重张压力 P_r 采用第二次及其以后压裂循环曲线压力上升部分拐点处的压力。由于压力上升部分曲线变化较陡，也可以把偏离直线(或近似直线)处的压力视为重张压力，

如图5所示。对于瞬时关闭压力 P_s 通常采用破裂压力和重张压力之后压裂循环曲线下降部分拐点处的压力。

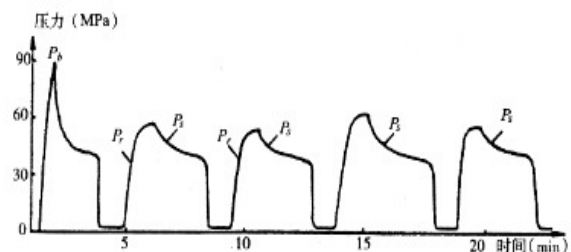


图5 依据压力循环曲线确定 P_s 、 P_r 示意图

3 顾桥矿中央区地应力测试结果

3.1 水平孔

初步设计孔深 35m, 因现场钻孔施工困难, 实际孔深 24m, 孔径为 $\Phi 91\text{mm}$, 在孔深 16m 和 21m 处获得了两段实测岩体水压致裂地应力试验曲线, 其测量结果见表 1。各测段压力—时间曲线如图 6 所示。

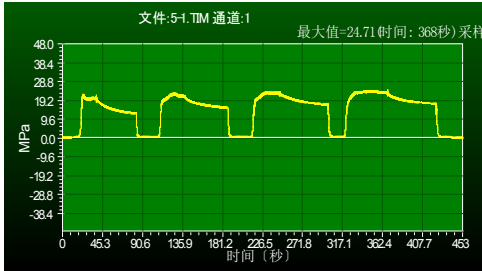


图 6 水平测试孔 16m 测试段压力—时间曲线

3.2 垂直孔

垂直孔深 20m, 孔径为 $\Phi 91\text{mm}$ 。在孔深 14m 和 16m 处获得了 2 段实测岩体水压致裂地应力试验曲线, 其测量结果见表 2。各测段压力—时间曲线见图 7。

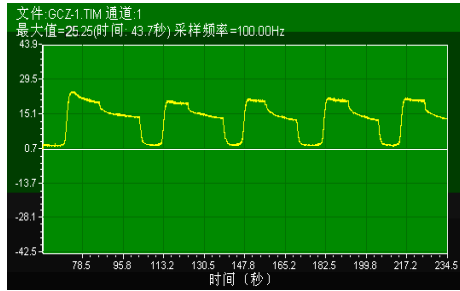


图 7 垂直孔 14m 压力~时间关系实测曲线

3.3 测试成果分析

3.3.1 试验结果的可靠性分析

本次现场试验各试验段的压力—时间关系曲线均符合理论曲线, 压裂过程中的规律性好, 无异常现象。因此, 本次试验数据具有较好的可靠性。

3.3.2 最大主应力及最小主应力的量级

由表 1 可知, 在测试深度范围内, 水平孔最大主应力实测值在 29.78~30.80MPa; 最小主应力实测值在 17.39~17.89MPa。

由表 2 可知, 在测试深度范围内, 垂直孔最大水平主应力值在 28.53~28.78MPa; 最小水平主应力值在 16.34~16.49MPa。

3.3.3 最大水平主应力的方向

在本次实测深度范围内地应力测试孔最大水平主应力的方向为 NE830 左右, 近东西向, 该测试区地应力场以构造应力为主导。

根据淮南矿区同一水平条件下的岩体抗压强度 (岩体的抗压强度 $R_c = 40\sim 50\text{MPa}$) 分析, $\sigma_{\max} = 30.80\text{MPa}$ (水平孔 16m 深测点的最大测量值), $R_c/\sigma_{\max} = 1.30\sim 1.62$, 顾桥矿南翼大巷地质异常带地应力测试区域为极高地应力区。

参考文献

[1] 赵善坤, 张广辉, 柴海涛, 等. 深孔顶板定向水压致裂防冲机理及多参量效果检验 [J]. 采矿与安全工程学报, 2019(06):1247-1255.

表 1 水平孔水压致裂成果表

测点深度 (m)	钻孔角度 (度)	破裂压力 P_b /MPa	重张压力 P_r /MPa	关闭压力 P_s /MPa	最大主应力 σ_H /MPa	最小主应力 σ_h /MPa	自重应力 σ_v /MPa	破裂缝方向
16	水平	21.30	21.37	17.39	30.80	17.39	17.82	840
21	水平	28.73	23.89	17.89	29.78	17.89	17.82	

表 2 垂直孔水压致裂成果表

测点深度 (m)	钻孔角度 (度)	破裂压力 P_b /MPa	重张压力 P_r /MPa	关闭压力 P_s /MPa	最大水平主应力 σ_H /MPa	最小水平主应力 σ_h /MPa	自重应力 σ_v /MPa	破裂缝方向
14	垂直孔	24.18	20.94	16.49	28.53	16.49	18.04	830
16	垂直	24.64	20.24	16.34	28.78	16.34	18.084	