

深孔水压致裂地应力测量

马秀敏^{1,2)}, 彭华^{1,2)}, 李振^{1,2)}, 姜景捷^{1,2)}, 彭立国²⁾, 白金朋²⁾

1) 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京, 100081; 2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北, 100081

地应力是存在于地层中的天然应力, 它是引起岩体变形和破坏的根本作用力^[1]。近年来, 由于技术进步, 对于深部资源的开采、大型水电和埋深大隧道的开挖和修建已变得现实。目前, 国内水压致裂法地应力测量设备测量极限深度不超过 1200m, 且设备笨重, 精度不高, 不能满足深部资源开采、深埋隧道开挖等人工采动的要求, 研制深孔水压致裂地应力测量系统已成所大势所趋^[2]。

水压致裂法地应力测量是 20 世纪 50 年代发展起来的能够测量地壳深部应力可靠而有效的方法^[3-4]。该方法是 1987 年国际岩石力学学会试验方法委员会颁布的确定岩石应力建议方法中所推荐的方法之一, 是目前国际上能较好地直接进行深孔地应力测量的先进方法^[5-6]。因其具有操作简便、可在任意深度进行连续或重复测试、测量速度快、测值稳定可靠、测试周期短等特点, 在国内外水电、矿山、高速公路(铁路)隧道等领域得到广泛应用^[7-24], 同时, 测试理论也得以较大的发展^[25-34]。

地质力学研究所在中国地质调查局的支持下, 于 2007-2009 年期间承担了“深孔水压致裂地应力测量系统的研究”工作, 并在测试系统、封隔器回收、测量深度、裂缝扫描等技术方面有所突破与创新。利用本测试技术在新疆达坂城地区柴参 1 井中开展深达 2800m 的地应力测试, 并获得成功。

1 测试背景及测试目的

柴参 1 井是上世纪 80 年代的一口油田参数井(孔深 3702m), 主要目的为取得准噶尔盆地地层序、厚度、岩性、生储盖组合条件, 为地表提供有关参数, 并探白杨河背斜 J₁b 及其以下层系的含油性。

该井作为新技术的试验井, 在井中裸孔段选择

4 个试验段(2750-2800m)进行地应力测量, 其目的是测试新研制的 2500m 深孔水压致裂地应力测量系统性能和测试结果的可靠性。

2 测量技术与设备

2.1 传统水压致裂法存在的问题

传统水压致裂法若应用到深部岩体中, 还存在以下问题:

(1) 采用双管回路, 下放时容易旋转、打结, 严重时不但造成试验失败, 还可能使试验设备卡在井下, 测试系统优化程度较低。

(2) 随着钻孔深度的增大, 封隔器内外泥浆压力增大, 将严重影响封隔器在测试过程中的自动收放, 从而造成设备下放(移位)及提升困难。

(3) 封隔器受设备尺寸限制, 强度低, 不能承受深孔(超过 1200m)时的高压力。

(4) 印模器在深孔中抗热效果差, 易老化, 测试结果易丢失。

2.2 测试方法和设备的改进

针对现存问题, 对测试方法和设备进行了改进和创新。主要包括:

(1) 钢缆式水压致裂地应力测量系统, 它是一种在无钻机支持下可以通过绞车系统来完成地应力测试过程的测井仪器。最高耐压达 70MPa; 耐温范围为-20℃-100℃。

(2) 防泥浆-可调式低压释放阀, 它具有在浓泥浆条件下可以彻底释放封隔器内残余压力, 使其充分收缩恢复原状, 以防封隔器卡孔的能力。

(3) 裸孔串列式专用封隔器将两对以上的单体封隔器串联起来, 通过安全阀调节单体封隔器的压力差使其共同承担高压, 以提高其抗压能力, 适应 2500m 以内的地应力测试。

(4) 井壁裂缝扫描仪是一种电机驱动带力传感器的探针在井壁上进行螺旋扫描的仪器。通过探针扫描可形成井壁扫描图像, 确定测试段裂缝的形态和方位, 从而可替代老一代印模器。

3 测量结果分析

根据钻孔地质资料、岩性情况, 考虑到工程和系统测试的实际需要, 项目组在裸眼孔段进行 4 段测试, 测试段最深达 2800.50m, 深度已超过测试设备设计范围 (设计测深能力 2500m)。通过压裂曲线分析, 得出测试段的应力状态 (表 1)。

由表 1 可知, 钻孔中最大水平主应力值最高达 69.73~74.29MPa, 最小水平主应力值为 49.82~51.69MPa。测区地应力值与中国大陆地应力测试统计结果比较, 属一般应力水平。实测最大水平主应力方向 (即破裂方位) 为 NE30°、NE21°、NE10° 和 NW12°, 平均为 NE12.25°, 表明工程区最大主应力方向为 NNE 向。

4 结论

5.1 地应力测试结论

根据地应力测量结果, 对测试区地质构造和测段岩性进行了初步分析, 结论如下:

(1) 柴参 1 井的地应力大小明显受岩石完整程度、局部构造的影响而差异较大。同一孔内, 在完整孔段, 地应力值较高; 节理、裂隙发育孔段地应力值较低。钻孔中最大水平主应力值最高达 69.73~74.29MPa, 最小水平主应力值为 49.82~51.69MPa。测区地应力值与中国大陆地应力测试统计结果比较, 属一般应力水平。

(2) 实测最大水平主应力方向 (即破裂方位) 为 NE30°、NE21°、NE10° 和 NW12°, 平均为 NE12.25°, 表明工程区最大主应力方向为 NNE 向。测区最大水平地应力方向与柴窝堡凹陷相同部位的方位大体相当。

(3) 由测试结果可知: 孔深 2750~2800m 范围内, $S_H > S_h > S_v$, 工程区应力场以水平应力为主导。表明应力状态均属平移断层状态, 与本地区的相应部位应力状态相比, 基本相符。

5.2 地应力测试技术

通过柴参 1 井 2800m 深孔水压致裂地应力测量, 成功获取了目标层段的应力状态, 测试顺利, 结果可信, 表明所研制的测试系统已达到了研制目标。

表1 柴参1井水压致裂原地应力测量结果

测段深度 (m)	压裂参数 (MPa)					主应力值 (MPa)			破裂方位 (°)
	P_b	P_r	P_s	P_o	T_{hf}	S_H	S_h	S_v	
2750.50	55.10	52.07	50.92	27.00	3.02	73.70	50.92	68.75	NE30
2765.50	56.52	52.08	49.82	27.65	4.44	69.73	49.82	69.13	NE21
2785.50	58.97	53.72	51.41	27.85	5.25	72.66	51.41	69.63	NE10
2800.50	59.26	52.78	51.69	28.00	6.48	74.29	51.69	70.00	NW12