

文章编号: 0253-2697(2008)01-0135-04

考虑岩样尺度效应时钻井液对岩石力学性质影响的试验评价

谢润成¹ 周文² 单钰铭² 王世泽³ 闫长辉² 郭新江³

(1 成都理工大学能源学院 四川成都 610059; 2 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 四川成都 610059;
3 中国石化西南分公司工程技术研究院 四川德阳 618000)

摘要: 在考虑试验岩样尺度效应的基础上, 进行的模拟地层条件下钻井液对岩石力学性质影响的试验研究结果表明: 经钻井液处理后的 $\phi 25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 岩样的抗张强度高于未经钻井液处理的 $\phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 岩样, 且处理后的岩样抗张强度均高于未处理的岩样。对于钻井液处理前后同尺寸的岩样, 由于试验岩样中泥质软颗粒含量高低不同, 在孔隙度小于2.5%时, 孔隙度越小, 处理前后的抗张强度相差越大, 且处理前的岩样抗张强度比处理后的岩样大4 MPa左右; 在孔隙度大于2.5%时, 钻井液处理前后的岩石抗张强度趋于一致。在模拟地层条件下, 钻井液处理后的岩样抗压强度和弹性模量显著下降, 泊松比增大。岩石矿物中的泥质黏土矿物遇到钻井液后产生软化效应, 致使岩样呈现: 经钻井液处理时间越长, 其抗压强度和弹性模量下降越多的趋势。

关键词: 岩石力学性质; 尺度效应; 钻井液; 试验评价; 抗张强度; 致密储层

中图分类号: TE254

文献标识码: A

Trial evaluation on drilling fluid and mechanical properties of rock while considering size of rock

XIE Runcheng¹ ZHOU Wen¹ SHAN Yuming¹ WANG Shize² YAN Changhui¹ GUO Xinjiang²

(1 College of Energy Resource, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2 State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3 Research Institute of Technology, Sinopec Southwest Company, Deyang 618000, China)

Abstract: On the basis of size effects of trial rock, the effects of drilling fluid on the mechanical properties of rocks were investigated experimentally under the simulated formation conditions. The results showed that rock tensile strength of sample with a diameter of 25 mm and a length of 25 mm treated by drilling fluid was higher than that of untreated rock samples with a diameter of 50 mm and a length of 50 mm. Because of different content of shale in trial samples, difference of tensile strengths of samples before and after treated by drilling fluid got greater and porosity of sample got smaller as the porosity was less than 2.5%. Difference of tensile strengths of treated and untreated samples was about 4 MPa. As porosity of rock sample was larger than 2.5%, tensile strength of treated sample was nearly consistent with that of the untreated samples. Under simulating rock formation conditions, the compressive strength and Young's modulus of the sample treated by drilling fluid decreased significantly, the Poisson's ratio increased. The longer treatment time of samples would result in the more reduction of compressive strength and Young's modulus, because the shale or clay in rock sample would get soft by the drilling fluid filling.

Key words: mechanical properties of rock; size effect; drilling fluid; trial evaluation; tensile strength; compact reservoir

岩石力学性质是制定钻井、完井与储层改造措施及油气开发方案的重要依据^[1,2], 目前主要通过实验室岩心测试和地球物理测井资料计算获得岩石力学参数来反映^[3]。对于泥页岩地层, 钻井液的滤失极易造成泥页岩的水化膨胀, 从而对岩石力学性质产生较大

的影响^[4]。路保平等进行的对泥页岩岩石力学性质影响的水化实验研究表明^[5,6]: 岩石水化后强度会大幅度降低。但这些研究主要是针对泥页岩地层, 几乎没有考虑试验岩样的尺度效应。刘宝琛认为^[7], 岩石强度随其尺寸增大而呈单调减小, 并趋于该种岩石的最小

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技项目“川西特低渗透深层砂岩气藏压裂技术研究与应用”(P02034-T01)部分成果。

作者简介: 谢润成, 男, 1979年8月生, 2006年获成都理工大学油气田开发工程专业工学硕士学位, 现为成都理工大学能源学院石油工程系讲师, 油气田开发工程专业在读博士研究生, 主要从事油气藏工程地质评价方面的教学与科研工作。E-mail: xxrc_1980@tom.com

强度值;尺寸再增大,其强度不变,此时岩石强度即为岩体强度。朱珍德等利用灰色系统理论得到了岩石的单轴抗压强度与岩样高径比的经验公式^[8]。笔者以实验室岩心试验为基础,研究了两种岩样尺度下钻井液对致密储层岩石力学性质的影响。

1 室内试验

试验岩心取自川西须家河组地层 A 井的 4 606 2~ 4 626 09 m 井段、B 井的 4 935 34~ 4 944 11 m 井段,以及 C 井的 4 444 13~ 4 445 81 m 和 4 484 36~ 4 484 99 m 井段,岩性均为细中粒岩屑(石英)砂岩,岩心表面未见裂缝,部分发育成板状斜层理或平行层理。岩样尺寸为 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 和 $\phi 25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 。处理岩样的钻井液来源于现场钻取心井段,使用的两性离子聚磺钻井液密度为 1.93~ 1.94 g/cm^3 ;钻井液配料有 SMP-1、FF-342、SMC、SMT、DHD、FA-367 和 KOH。将岩样放入压力容器内的钻井液中,施加压力为 50 MPa(实验室现有压力容器最高承压能力)。浸泡时间分别为 5 d 和 10 d,浸泡时适当模拟钻井液压力,再进行岩石抗张强度试验和模拟地层条件的三轴岩石力学试验。

2 试验结果分析

2.1 岩石抗张强度

从测试结果(图 1)来看,经钻井液处理 10 d 后的岩石抗张强度总体上高于未经钻井液处理的样品。

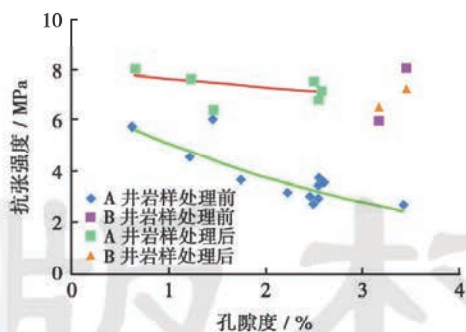


图 1 钻井液处理前后 2 口井的岩石抗张强度

Fig. 1 The tensile strength of treated and untreated rock samples from two wells

对于 A 井,将经钻井液处理的小尺度 $\phi 25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 岩样与未做处理的 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 岩样相对比,其岩石抗张强度均有不同程度的提高,这反映了岩样尺寸效应的影响,即小岩样经钻井液处理后的岩石抗张强度高于一经钻井液处理的大岩样。B 井的两种岩样处理前后尺寸规格一致,深度接近。由于这种样品的孔

隙度相对较大,岩石中泥质含量相对较少,所以钻井液对样品的“软化”效应相对较弱,其处理前后的岩石抗张强度相差不大。

对于 A 井,当岩样尺寸相同时(图 2),若钻井液处理前岩样的孔隙度小于 2.5%,则孔隙度越小,处理前后的抗张强度相差越大,而且处理前的抗张强度大于处理后,一般相差不超过 4 MPa;当孔隙度大于 2.5% 时,钻井液处理前后的岩石抗张强度趋于一致。这主要是因为低孔隙度样品中,泥质软颗粒含量相对较高,样品经钻井液浸泡后,泥质吸水“软化”,岩石塑性变强,抗张强度增大;而孔隙度相对高的样品,其泥质含量较低,这种影响程度相对较小。

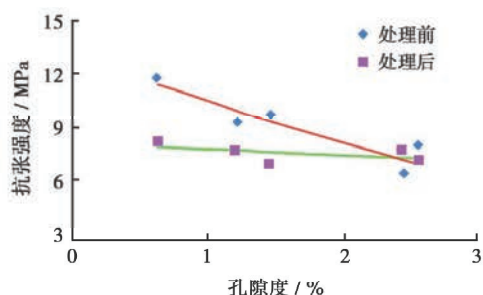


图 2 A 井相同尺寸岩样经钻井液处理前后的岩石抗张强度

Fig. 2 The tensile strength of treated and untreated rock samples with same size from A Well

2.2 钻井液对地层条件下岩石力学性质的影响

经不同时间钻井液处理后试验岩样在模拟地层条件下的岩石三轴力学试验测试结果见表 1,试验岩样方向均为水平方向。

由表 1 可知,在 50 MPa 压力下,岩样经过钻井液 5 d 和 10 d 的浸泡处理后,岩石力学参数均有不同程度的变化。A 井 4 组岩样经钻井液处理后岩石抗压强度和弹性模量都显著下降,而泊松比增大。B 井两组岩样钻井液处理后,4 937.34 m 井深的一组岩样的抗压强度、弹性模量和泊松比的变化与 A 井测试样品试验结果基本相似,且大致有钻井液浸泡处理时间越长,抗压强度和弹性模量下降越多的趋势;而井深为 4 941.19 m 的一组岩样,经钻井液处理后,其抗压强度、弹性模量下降趋势不明显,泊松比的变化也与前述规律不一致,这可能是由于试验岩样本身存在的非均质性所致。C 井两组岩样经钻井液处理后的泊松比呈现增大的趋势,其抗压强度、弹性模量也呈现增加的趋势。总之,岩样经钻井液浸泡后,其塑性有所增加(图 3 和图 4)。

经钻井液处理后的岩样,其岩石力学性质发生变化。这是由于试验岩石孔隙度较低,孔隙喉道小,钻井

表 1 在模拟地层条件下钻井液处理前后的岩石力学参数

Table 1 The mechanical parameters of treated and untreated rocks samples under the conditions of simulating formation

井号	岩样号	深度/m	温度/℃	围压/MPa	孔压/MPa	抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比	剪裂角/(°)	处理时间/d
A	2-40/56-1	4612.14	112	112	69	385.04	50.43	0.221	—	0
	2-40/56-2	4612.14	112	43	0	307.74	25.05	0.560	27	5
	3-11/92-1	4616.20	112	112	69	447.28	53.03	0.258	14	0
	3-11/92-2	4616.20	112	43	0	336.64	35.08	0.405	18	10
	3-17/92-1	4618.14	112	112	69	317.73	37.46	0.305	15	0
	3-17/92-2	4618.14	112	43	0	166.37	13.76	0.606	18	5
	3-19/92-1	4618.69	112	112	69	370.33	48.88	0.229	15	0
	3-19/92-2	4618.69	112	43	0	267.30	25.45	0.501	24	10
B	7-6/58-1	4937.34	132	36	0	464.09	53.46	0.369	25	0
	7-6/58-2	4937.34	132	36	0	417.43	44.10	0.330	28	5
	7-6/58-4	4937.34	132	36	0	348.90	34.64	0.428	15	10
	7-35/58-1	4941.19	132	36	0	362.07	37.16	0.520	26	0
	7-35/58-2	4941.19	132	36	0	417.94	37.33	0.364	20	5
	7-35/58-3	4941.19	132	36	0	376.78	32.08	0.376	28	10
C	9-14/69-1	4444.97	120	41	0	206.36	30.47	0.534	18	0
	9-14/69-2	4444.97	120	41	0	224.12	33.80	0.665	13	5
	10-51/65-2	4484.68	121	41	0	249.69	29.85	0.323	20	0
	10-51/65-3	4484.68	121	41	0	325.12	34.98	0.424	20	10

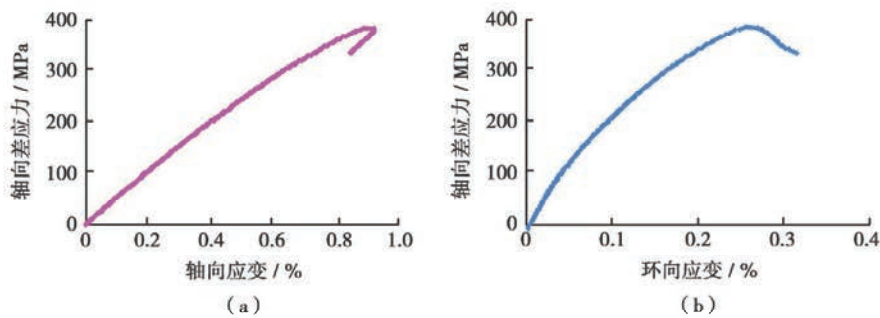


图 3 A 井 2-40/56-1 岩样未经钻井液处理的应力-应变曲线

Fig. 3 The stress-strain curves of untreated rock sample 2-40/56-1 from A Well

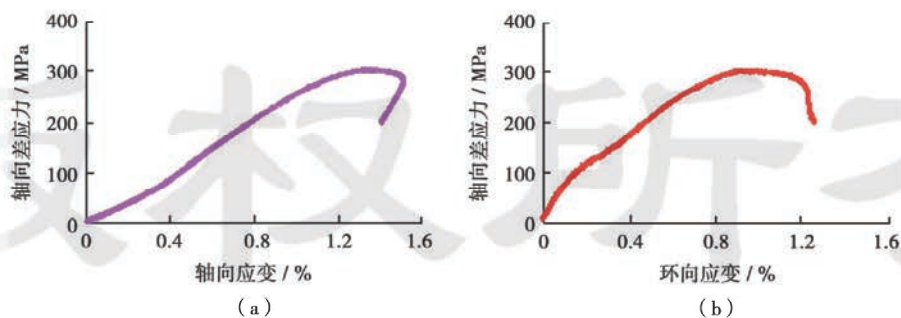


图 4 A 井 2-40/56-2 岩样经钻井液处理后的应力-应变曲线

Fig. 4 The stress-strain curves of treated rock sample 2-40/56-2 from A Well

液固相侵入岩石孔隙内的可能性不大, 钻井液滤液与岩石矿物中的泥质黏土矿物对岩石有一定程度的“软化”效应。对该地区须家河组矿物分析结果(表 2)表

明: 由于须家河组储层中黏土矿物含量(18.2%~26.5%)较高, 与钻井液滤液接触后将会使岩石出现不同程度的“软化”, 从而引起储层岩石力学性质的变化。

表2 须家河组矿物种类和含量

Table 2 The mineral types and content in T_{3x} Formation

井号	井深/m	层位	矿物种类和含量/%						黏土矿物 总量/%
			石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	
C	4 445 2	T _{3x} ²	55.9	—	8.6	5.8	11.5	—	18.2
D	4 810 5	T _{3x} ²	58.7	2.9	8.6	—	12.4	0.8	16.6
E	4 930 4	T _{3x} ²	50.4	1.0	8.6	0.9	14.9	1.5	22.7
E	3 608 6	T _{3x} ⁴	53.4	—	3.0	17.8	3.6	—	22.2
E	4 070 6	T _{3x} ⁴	65.7	—	4.5	4.2	1.7	—	23.9
D	3 516 3	T _{3x} ⁴	57.5	—	0.3	1.4	2.9	—	37.9
D	3 523 6	T _{3x} ⁴	67.4	—	0.3	4.3	1.5	—	26.5

3 结 论

(1) 由于岩样具有尺度效应,因而小岩样经钻井液处理后的岩石抗张强度高于相对大的岩样,并且经钻井液处理后的岩石抗张强度均高于未处理的岩样。

(2) 对于相同尺寸的样品,钻井液处理前后的岩石抗张强度与样品孔隙度关系较大。由于样品中泥质软颗粒含量不同,在孔隙度小于2.5%时,孔隙度越小,则处理前后的抗张强度相差越大,且处理前的抗张强度比处理后约大4 MPa;在孔隙度大于2.5%时,钻井液处理前后的岩样抗张强度趋于一致。

(3) 在模拟地层条件下,经钻井液处理后岩样的抗压强度和弹性模量显著下降,泊松比增大,且由于岩石矿物中的泥质遇钻井液滤液后具有软化效应,岩样被钻井液浸泡处理时间越长,其抗压强度和弹性模量下降越多。

参 考 文 献

- [1] 埃克诺米 M J. 油藏增产措施[M]. 3版. 张保平,译. 北京:石油工业出版社,2002:71-84.
Economides M J. Reservoir stimulation[M]. 3rd Edition Translated by Zhang Baoping. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 71-84.
- [2] 周文. 裂缝性油气储集层评价方法[M]. 成都:四川科学技术出版社,1998:22-38.
Zhou Wen. Evaluation methods of fracture reservoir in oil & gas pool[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1998: 22-38.
- [3] 路保平,鲍洪志. 岩石力学参数求取方法进展[J]. 石油钻探技术,

2005,33(5):44-47.

Lu Baoping, Bao Hongzhi. Advances in calculation methods for rock mechanics parameters[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005,33(5):44-47.

- [4] 林永学,于忠厚,张贞勇,等. 三轴应力状态下页岩水化破坏实验研究[J]. 石油钻探技术,1996,24(1):22-23,30.
Lin Yongxue, Yu Zhonghou, Zhang Zhenyong, et al. Experimental study of shale damage by hydration under triaxial stress state[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1996,24(1):22-23,30.
- [5] 路保平,林永学,张传进. 水化对泥页岩岩石力学性质影响的实验研究[J]. 地质力学学报,1999,5(1):65-70.
Lu Baoping, Lin Yongxue, Zhang Chuanjin. Laboratory study on effect of hydration to shale mechanics[J]. Journal of Geomechanics, 1999,5(1):65-70.
- [6] 刘向君,罗平亚,刘友家. 水化对泥页岩地层“安全”钻井的影响[J]. 西南石油学院学报,1999,21(2):49-52.
Liu Xiangjun, Luo Pingya, Liu Youjia. The effect of hydration to the formation of shale on “Safe” drilling[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1999,21(2):49-52.
- [7] 刘宝琛,张家生,杜奇中,等. 岩石抗压强度的尺寸效应[J]. 岩石力学与工程学报,1998,17(6):611-614.
Liu Baochen, Zhang Jiasheng, Du Qizhong, et al. A study of size effect for compression strength of rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1998,17(6):611-614.
- [8] 朱珍德,张爱军,邢福东,等. 岩石抗压强度与试件尺寸相关性试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(1):42-45.
Zhu Zhende, Zhang Aijun, Xing Fudong, et al. Experimental study on correlation between compressive strength of rocks and sample size[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004,32(1):42-45.

(收稿日期 2007-01-08 改回日期 2007-02-25 编辑 仇学艳)