

神木区块致密砂岩气藏储层保护钻井液优选

张洁¹,王双威¹,徐俊杰²,朱金智³,赵志良¹,张蝶¹

(1.中国石油钻井工程技术研究院,北京 102206; 2.中石油北京天然气管道有限公司,北京 100012;

3.中国石油塔里木油田分公司 油气工程院,新疆 库尔勒 841000)

摘要:储层保护是致密砂岩气藏能否经济高效开发的重要条件之一。目前,渗透率恢复值实验是评价钻井液储层保护效果的主要方法,但其技术手段较单一,并且钻井液对致密砂岩气藏储层伤害是一个长期的、涉及到气、液两相流相互干扰的过程。现用的渗透率恢复值实验无法评价气藏产能受钻井液伤害的长期性影响,而岩心受到钻井液污染前、后的相对渗透率实验可以较好地弥补这一缺陷。结合塔里木油田神木区块储层特征,利用综合分析法,通过对比分析被钾聚磺钻井液和油基钻井液污染前、后岩心的渗透率恢复值、相对渗透率曲线线型的变化及CMG数值模拟软件砂岩模块的含水饱和度、含气饱和度等变化,对现场使用的钾聚磺钻井液、油基钻井液的储层保护效果进行模拟研究,并拟合出不同钻井液对气藏井产能的影响,以产能作为储层伤害程度的评价指标。综合评价结果表明,油基钻井液的储层保护效果优于钾聚磺钻井液,累积产气量提高约为15%。

关键词:致密砂岩气藏 储层特征 储层保护 数值模拟 渗透率恢复值 相对渗透率曲线 钻井液优化

中图分类号:TE258

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)02-0111-05

Drilling fluids optimization for reservoir protection in tight sandstone gas reservoirs of the Shenmu block

Zhang Jie¹, Wang Shuangwei¹, Xu Junjie², Zhu Jinzhi³, Zhao Zhiliang¹, Zhang Die²

(1.CNPC Drilling Research Institute, Beijing City, 102206, China; 2.PetroChina Beijing Gas Pipeline Co., Ltd., Beijing City, 100012,

China; 3.Oil and Gas Engineering Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Kolla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: Reservoir protection is an essential condition for economical and efficient exploration of the tight sandstone gas reservoirs. Now, the main method to evaluate the reservoir protection effect of the drilling fluid is permeability recovery, but it is so simple that cannot evaluate the long-term impact of drilling fluid on the gas reservoir productivity, which is a process of long-term interaction between two phases of gas and fluid. While the relative permeability experiment of the core before and after being polluted by the drilling fluid can be a good remedy for the problem. According to the reservoir characteristics of the Shenmu block in Tarim oilfield, comprehensive analysis and comparison were done on the variation of core permeability recovery value, relative permeability curves and oil and water saturation used in sandstone module of CMG numerical simulation software before and after pollution of core by polysulfonated potassium drilling fluid and oil-based drilling fluid. Reservoir protection effect of the polysulfonated potassium drilling fluid and oil-based drilling fluid was simulated. The impact of various drilling fluids on the gas reservoir productivity was matched and the productivity can be an evaluation index of formation damage degree. The comprehensive evaluation results show that the oil-based drilling fluid has a better effect of reservoir protection than the polysulfonated potassium drilling fluid. The cumulative gas production will be increased by 15%.

Key words: tight sandstone gas reservoirs; reservoir characteristics; reservoir protection; numerical simulation; permeability recovery value; relative permeability curves; drilling fluid optimization

收稿日期:2016-12-12。

作者简介:张洁(1985—),女,北京人,工程师,硕士,从事钻井液与储层保护研究。联系电话:18612249788, E-mail: zhangjiedri@cnpc.com.cn。

致密砂岩气藏具有岩性致密、物性差、孔喉细小、局部含水饱和度超低、地层压力异常及高损害潜力等工程地质特征^[1-2]。目前,针对致密砂岩气藏的储层伤害评价研究还不成熟,中国还是沿用常规储层的评价方法^[3-4],国外多采用油藏数值模拟软件研究该类储层伤害机理以及钻井参数、压裂效果、酸化效果等对气藏产能的影响。非常规数值模拟模型包括双重介质模型、多重介质模型和等效介质模型等,其中双重介质模型应用较为广泛,模型假设页岩由基岩和裂缝2种孔隙介质构成^[5]。中国对于数值模拟在储层保护研究中的应用还处于初始阶段。为此,笔者通过数值模拟技术,结合渗透率恢复值、相对渗透率法分别评价典型的钾聚磺钻井液和油基钻井液对塔里木油田神木区块致密砂岩气藏的储层保护效果,以期科学系统地优选致密砂岩气藏储层保护钻井液提供依据。

1 致密砂岩气藏概况

1.1 储层特征

神木区块储层属于低孔、中低渗透,孔隙度为4.24%~10.586%,渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,裂缝较发育,以中高角度、近东西走向为主。储层岩性主要为泥岩、细砂岩和含砾砂岩,粘土矿物含量平均为13.3%,以伊/蒙混层、伊利石和高岭石为主。原生粒间孔对储集空间的贡献值最大(61%),其次为微孔隙(11.7%)、粒内溶孔(9.1%)和裂缝(6.6%)。孔喉细小,渗透率贡献率最高的孔喉主要为微米级孔喉,毛管半径为0~20 μm 。

1.2 现场用钻井液体系

神木区块所用钻井液为钾聚磺和聚磺防塌钻井液。分析神木区块各井的钻井液井史(表1)可

表1 神木区块钻井液现场配方性能参数
Table1 Performance of the drilling fluid in the Shenmu block

井号	取样 井深/ m	层位	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	漏斗 粘度/ s	表观 粘度/ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	塑性 粘度/ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	屈服 值/ Pa	初切/ 终切 ($\text{Pa} \cdot \text{Pa}^{-1}$)	API 滤失 量/mL	HTHP 滤失 量/mL	pH值	泥饼 厚度/ mm
神木1	4 950~5 270	K	1.94~2.05	48~71	44.5~66	36~58	6~11.5	(1~2.5)/(6~22)	1~1.6	6~6.4	9~10	0.5
神木2	5 900~6 071	$K_{1b下}-K_{1b上}$	1.79~2.25	47~75	37~73	29~67	5~20	(1.5~9)/(8~16)	1.6~5	5.2~11	9~9.5	0.5~1
神木3	6 639~6 789	$K_{1b下}-K_{1b上}$	2.15~2.18	94~135	133~151	112~128	17.5~29	(2~5.5)/(10~25)	1.2~1.4	6~6.4	9~9.5	0.5
神木4	6 322~6 556	$K_{1b下}-K_{1b上}$	1.99~2.20	64~168	62.5~144	55~122	6~25	(2~5)/(6~14)	1~3.4	8~16	9~10	0.5
神木201	6 039~6 112	$K_{1b上}$	1.87~2.15	75~87	72.5~83	57~78	12.5~19	(2~3.5)/(13~18)	2~3	9~10	0	0.5

知,钻井液的流变性、抗污染性、滤失量等参数都符合储层钻井要求,可选择神木2井的钾聚磺钻井液体系进行储层保护效果评价。由于神木区块未使用油基钻井液,为了探索油基钻井液对神木区块的保护效果,选用临近神木区块的克深205井所用油基钻井液作为对比,油基钻井液的密度为 2.0 g/cm^3 ,破乳电压为655 mV/m,高温高压滤失量为6.4 mL,150 $^{\circ}\text{C}$ 下热滚16 h前后钻井液的各项性能较稳定。

2 储层保护钻井液优选与评价

目前,钻井液的储层保护效果多采用渗透率恢复值实验评价^[6],部分学者应用相对渗透率实验对钻井液储层保护效果进行评价^[7-8]。笔者采用渗透率恢复值法、相对渗透率法和数值模拟法,分别从“点”、“线”和“面”3个角度评价钾聚磺钻井液和油基钻井液的储层保护效果。

2.1 渗透率恢复值法

采用渗透率恢复值法从“点”的角度对比分析2

种钻井液的储层保护效果。“点”是指岩心受到污染后渗透率能够恢复到最大程度。实验所用岩心为取自现场的被钾聚磺钻井液和油基钻井液所污染的岩心,测定该岩心的渗透率恢复值。实验结果表明:钾聚磺钻井液的平均渗透率恢复值为52.49%,油基钻井液的渗透率恢复值为64.33%,油基钻井液表现出较好的储层保护效果。

2.2 相对渗透率法

在油气藏开发过程中,多相流体中各相态的相对渗透率是影响开发效率的关键因素之一,是油气藏数值模拟、油气藏工程、生产规划以及储层保护不可缺少的参数^[9-13]。采用相对渗透率法,从“线”的角度对比分析了2种钻井液的储层保护效果。“线”是指岩心受到钻井液污染后,在通过生产压差将污染物从污染带返排出储层过程中,从开始产气到产气量达到最大所经历的时间阶段。

通常,采用相对渗透率来分析钻井液的储层保护效果时,都是利用钻井液污染前、后,气驱终止时、束缚水状态下的气体渗透率来计算岩心的伤害

程度。但是在气藏实际开采过程中,侵入储层钻井液返排结束后的最终采气速率并不是影响气藏产能的唯一因素。比如A和B气藏最终气体渗透率恢复值相同,2个气藏从开始产气到产气量达到最大分别需要10和30 d,显然A气藏更有利于开采。因此,在分析相对渗透率时还应考虑钻井液被污染前、后气相相对渗透率曲线的斜率。由图1和表2可知,油基钻井液对气相渗透率影响相对较小,气体相对渗透率的伤害率为40.52%;钾聚磺钻井液对气相渗透率影响较大,气体相对渗透率的伤害率为84.23%。另外,将气相相对渗透率进行线性回归得到岩心被钾聚磺钻井液和油基钻井液污染前、后的气体相对渗透率曲线的斜率,被钾聚磺钻井液和油基钻井液污染后的斜率降低率分别为68.54%和39.42%,说明油基钻井液污染岩心后渗透率的恢复速度高于钾聚磺钻井液。

2.3 数值模拟法

钻井液对储层的伤害是一个长期的过程,并且会影响气井产能。常规的流动实验难以测定不同钻井液对储层的长期影响,Hassan等建立数值模拟

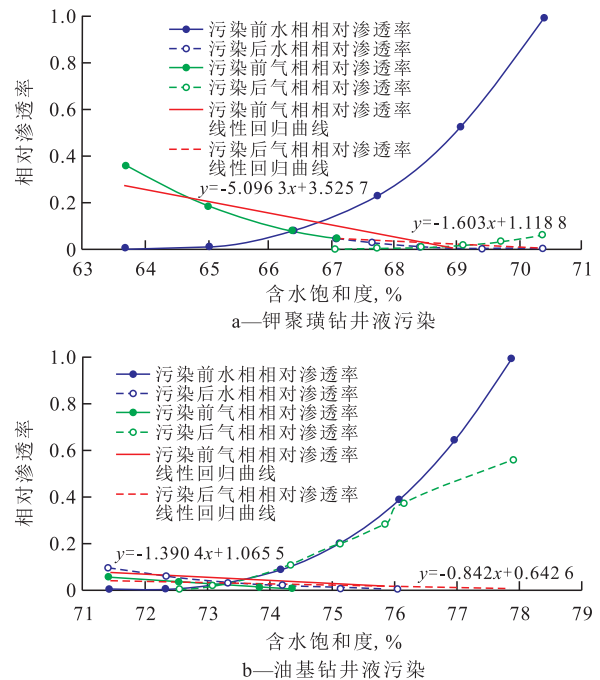


图1 钾聚磺钻井液和油基钻井液污染前、后的相对渗透率
Fig.1 Relative permeability curves before and after the pollution of core by polysulfonated potassium drilling fluid and oil-based drilling fluid

表2 钻井液伤害前、后渗透率及渗透率恢复值相关参数对比
Table2 Core parameters before and after being damaged by drilling fluids

样品编号	钻 井 液 污 染 前			钻 井 液 污 染 后			气体相对渗透率伤害率,%	斜率降低率,%	钻井液类型
	束缚水饱和度	气测渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	气相相对渗透率曲线斜率	束缚水饱和度	气测渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	气相相对渗透率曲线斜率			
神木3-7	0.637	0.048 5	-5.096 3	0.670 5	0.007 7	-1.603	84.23	68.54	钾聚磺
神木3-5	0.714	0.128 8	-1.390 4	0.714 0	0.076 6	-0.842	40.52	39.42	油基

模型^[14-17],实现了钻井液对气井产能长期影响的模拟研究。针对神木区块的储层特征,使用CMG油藏数值模拟软件,建立致密砂岩气藏储层伤害数值模型,从“面”的角度评价神木区块钾聚磺钻井液和油基钻井液对气井产能的伤害程度。“面”是指将钻井液对1块岩心的影响拓展到对一定深度气井产能的影响。为了定量评价钻井液基液中钾聚磺和油的侵入对气井产能的伤害程度,用CMG数值模拟软件建立了23×23×10个非均匀网格油藏模型,中心网格间距为1 m,边缘网格间距为2 m,每个网格厚度为1.6 m。数值模拟过程中,通过将室内实验得到的相对渗透率代入建立的数值模型中,计算钻井液污染前、后气井产能的变化。模拟参数包括:气藏顶深为6 002 m,气藏厚度为16 m,温度为135 ℃,原始压力为100.35 MPa,初始含水饱和度为3%,气藏渗透率为 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度为8%。

钻井过程中,在井底正压差和岩石毛管压力的

共同作用下,钻井液滤液和部分固相颗粒会进入储层(图2),造成近井地带含水饱和度上升,含气饱和度下降,进入储层的钻井液滤液在毛管压力的作用下会被长期驻留,形成液膜或液柱阻碍气流通道,导致气相相对渗透率降低。

气井含水饱和度的模拟结果表明:①气井被钾聚磺钻井液污染后,由于钾聚磺钻井液的侵入,井筒周围含水饱和度大幅提高;侵入到井筒周围的钾聚磺钻井液会在毛管压力作用下,沿地层深处扩散,使得近井地带的含水饱和度均有不同程度的增加,并在投产之前趋于最大,投产后,气井会携带部分水至地面,降低近井筒周围含水饱和度,但最终含水饱和度依然大于气井初始含水饱和度,从而对气井造成长期的伤害。②气井被油基钻井液污染后,油基钻井液对井筒周围的含气饱和度影响不大,离污染带越远,含气饱和度较大;投产后井筒周围整个气井的含气饱和度均会下降。

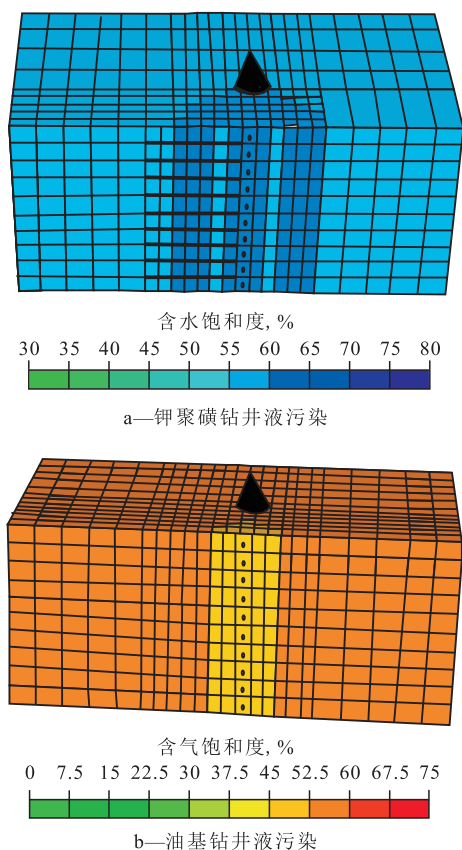


图2 产气20 d后气井的含水饱和度和含气饱和度分布
Fig.2 Water saturation distribution and gas saturation distribution after gas production for 20 d

在建立的气井数值模型上,分别测定气井未被污染、被钾聚磺钻井液污染和被油基钻井液污染3种情况下的90 d累积产气量,用以评价钻井液对气井的长期伤害。不同污染情况下储层累积产能模拟结果(图3)表明:气井未被污染、被钾聚磺钻井液污染和被油基钻井液污染3种情况下90 d的累积产气量分别为 1.38×10^7 、 0.897×10^7 和 1.03×10^7 m³,被钾聚磺钻井液污染和被油基钻井液污染90 d的累积产气量比未被污染的气井降低35%和25.37%;油基钻井液的储层保护效果优于钾聚磺钻井液,累积产气量提高约为15%。实际矿场中神木2井同层位放

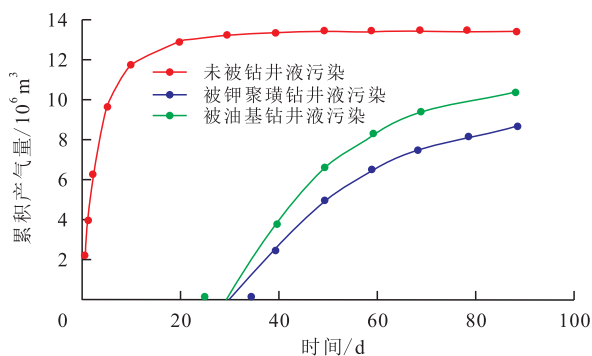


图3 气井在不同污染条件下的累积产气量对比
Fig.3 Curves of cumulative gas production in gas wells polluted under different conditions

喷29 d,累积产气量为 0.33×10^7 m³,累积产油量为2 778.87 m³,所计算的90 d的累积产气量与模拟结果基本吻合。

3 结论

采用渗透率恢复值法、相对渗透率法和数值模拟法3种储层保护效果评价结果说明钾聚磺钻井液和油基钻井液都会对致密气井储层造成伤害。相比较而言,油基钻井液的储层保护效果优于钾聚磺钻井液。相对渗透率法实验结果不仅可以看出岩心被钻井液污染后的渗透率恢复值,还可以估算气井产能恢复到最佳状态的时间,可以更加全面地了解钻井液的储层保护效果。将室内相对渗透率实验与数值模型相结合,可以将钻井液对储层的伤害以产能的形式表达,且模拟结果与现场生产情况基本吻合,可以作为储层保护效果评价的新方法。

参考文献:

- [1] 李忠兴,王永康,万晓龙,等.复杂致密油藏开发的关键技术[J].低渗透油气田,2006,(3):60-64.
Li Zhongxing, Wang Yongkang, Wan Xiaolong, et al. Key technology of complex tight reservoir development [J]. Low Permeability Oil & Gas Fields, 2006, (3): 60-64.
- [2] 游利军,田键,王娟娟,等.致密砂岩气藏负压差水相圈闭损害过程模拟[J].油气地质与采收率,2016,23(2):87-92.
You Lijun, Tian Jian, Wang Juanjuan, et al. Experimental simulation of water phase trapping damage in tight sandstone gas reservoirs under conditions of negative pressure difference [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 87-92.
- [3] 李俊乾,卢双舫,薛海涛,等.煤岩气相渗透率变化类型及判别模式[J].石油实验地质,2015,37(6):802-808.
Li Junqian, Lu Shuangfang, Xue Haitao, et al. Change types of coal permeability to gas and its identification pattern [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(6): 802-808.
- [4] 任晓霞,李爱芬,王永政,等.致密砂岩储层孔隙结构及其对渗流的影响——以鄂尔多斯盆地马岭油田长8储层为例[J].石油与天然气地质,2015,36(5):774-779.
Ren Xiaoxia, Li Aifen, Wang Yongzheng, et al. Pore structure of tight sand reservoir and its influence on percolation—Taking the Chang 8 reservoir in Maling oilfield in Ordos Basin as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(5): 774-779.
- [5] 王硕,戴俊生,付晓龙,等.渤南油田五区沙三段现今地应力场数值模拟及影响因素分析[J].油气地质与采收率,2016,23(3):26-32.
Wang Shuo, Dai Junsheng, Fu Xiaolong, et al. Numerical simulation research on current stress of E₃ of the 5th block of Bonan oilfield and analysis of its influence factors [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(3): 26-32.

- [6] 王双威,张洁,周世英,等.尼日尔油田储层保护钻井液技术研究[J].科学技术与工程,2015,15(3):204-207.
Wang Shuangwei, Zhang Jie, Zhou Shiyong, et al. Study on reservoir protection drilling fluid technology in the Niger oil fields [J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(3): 204-207.
- [7] 左美玲,郭立辉,何金宝,等.沿着水平井钻井液侵入对储层污染评价[J].当代化工,2015,44(8):1 851-1 854.
Zuo Meiling, Guo Lihui, He Jinbao, et al. Evaluation of pollution of the reservoir caused by drilling fluid invasion along the horizontal well [J]. Contemporary Chemical Industry, 2015, 44(8): 1 851-1 854.
- [8] 汪伟英,胡荣,高振龙.确定钻井液侵入油层伤害的数值模拟计算方法[J].钻井液与完井液,2002,19(5):10-12.
Wang Weiyong, Hu Rong, Gao Zhenlong. Numerical simulating model for determining formation damage because of drilling fluid invasion [J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2002, 19(5): 10-12.
- [9] Hawkins J T. Comparison of three methods of relative permeability measurement [J]. Log Analyst, 1989, 30(5): 352-360.
- [10] Xiao B, Fan J, Ding F. Prediction of relative permeability of unsaturated porous media based on fractal theory and Monte Carlo simulation [J]. Energy Fuels, 2012, 26(11): 6 971-6 978.
- [11] Ibrahim M N M, Koederitz L F. Two-phase relative permeability prediction using a linear regression model [C]. SPE 65631-MS, 2000.
- [12] 高旺来.绝对渗透率对相对渗透率及其应用的影响[J].特种油气藏,2016,23(3):126-128.
Gao Wanglai. The effects of reference permeability on relative permeability and its application [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3): 126-128.
- [13] 马东,吴华,曾鸣.从电阻率数据中得到相对渗透率的新方法[J].石油与天然气地质,2015,36(4):695-700.
Ma Dong, Wu Hua, Zeng Ming. A new method for estimating relative permeability with resistivity data [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(4): 695-700.
- [14] Bahrami Hassan, Rezaee M Reza, Nazhat Delair, et al. Effect of water blocking damage on flow efficiency and productivity in tight gas reservoirs [C]. SPE 142283, 2011.
- [15] Bahrami H, Rezaee R, Nazhat D, et al. Evaluation of damage mechanisms and skin factor in tight gas reservoirs [C]. SPE 142284-MS, 2011.
- [16] Murickan G, Bahrami H, Rezaee R, et al. Using relative permeability curves to evaluate phase trapping damage caused by water-based and oil-based drilling fluids in tight gas reservoirs [J]. APPEA Journal, 2012, (52): 595-602.
- [17] 纪天亮,卢双舫,唐明明,等.致密油藏水平井压裂后产能预测方法[J].大庆石油地质与开发,2016,35(2):165-169.
Ji Tianliang, Lu Shuangfang, Tang Mingming, et al. Productivity predicting method of the fractured horizontal wells in the tight oil reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(2): 165-169.

编辑 王星

欢迎订阅2017年《石油实验地质》期刊

《石油实验地质》是一份报道我国油气普查、勘探及开发成果,反映我国石油地质研究水平的学术性、技术性刊物。本刊紧密结合我国石油工业的发展战略,以石油工业上游所涉及的油气勘探的热点、难点问题为重点进行报道和分析,同时重点报道国内外油气实验测试的最新技术和方法。本刊为中文核心期刊,2016年版中国科技期刊引证报告(扩刊版)统计的影响因子达2.419,已被美国“化学文摘(CA)”、“石油文摘(PA)”、俄罗斯“文摘杂志(AJ)”和“中国石油文摘”、“中国地质文摘”、“中国学术期刊文摘”等收录,是“中国科学引文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“中国科技论文统计源”来源期刊,并全文收录于“中国期刊网”、“中国知网”、“万方数据”及“维普中文科技期刊数据库”中。

《石油实验地质》为双月刊,逢单月28日出版。每本定价20元,全年120元。在校学生半价优惠。

通信地址:江苏无锡市蠡湖大道2060号《石油实验地质》编辑部

邮编:214126 电话:(0510)68787203

电子邮箱:sydz.syky@sinopec.com

网址: <http://www.sydz.net>

开户行:中国建设银行股份有限公司无锡分行营业部

帐号:32001618636052516631