

钻井泥浆侵入模拟

王海涛¹,

1.测井公司, 中石化胜利石油工程有限公司, 山东, 东营

简介: 泥浆滤液侵入渗透性地层会改变井周地层流体的原始分布状态,使得井周地层电阻率发生变化、储层电测井响应失真。基于油水两相渗流理论、对流扩散理论和电磁场理论,数值模拟研究泥浆侵入过程中井周地层流体矿化度、含水饱和度、电阻率和电阻率测井变化特征。

计算方法:

Porous media and subsurface flow模块中的Two-Phase Darcy's Law接口描述泥浆侵入:

$$\frac{\partial \phi_p \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0, \mathbf{u} = -\frac{k}{\mu} P$$

Chemical Species Transport模块中的Transport of diluted species in porous media计算流体浓度,对速度 \mathbf{u} 取决于达西模拟结果:

$$\nabla \cdot \Gamma_i + \mathbf{u} \cdot \nabla c_i = R_i + S_i$$

$$N_i = \Gamma_i + \mathbf{u} c_i = -(D_{D,j} + D_{e,j}) \nabla c_i + \mathbf{u} c_i$$

AC/DC模块中Electric Currents接口与径向几何因子计算测井电阻率曲线,地层水电阻率取决于流体浓度,岩石电阻率依据阿尔奇公式:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = Q_j, \mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{J}_e, \mathbf{E} = -\nabla V$$

模拟不同物性条件的水平地层(图1),表1给定模拟需要的流体与地层参数。

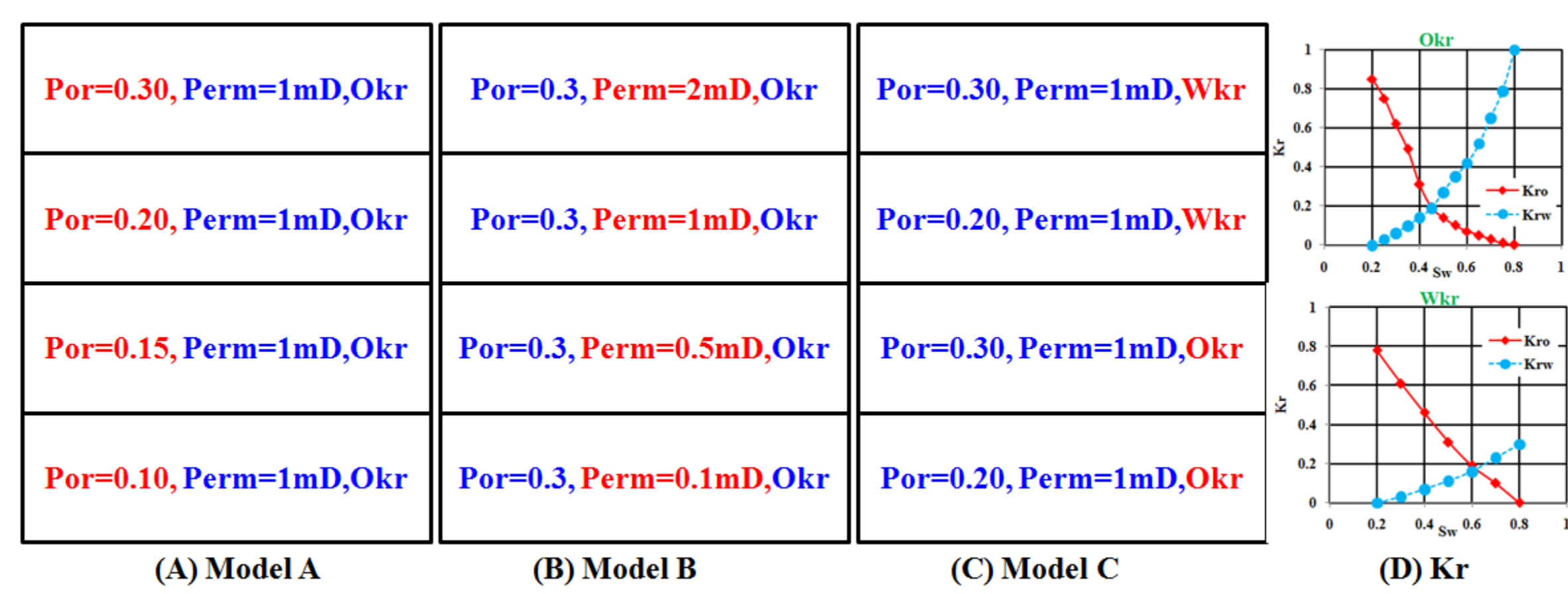


图 1. A-C三种不同物性条件的地层模型, D相对渗透率曲线。

变量	数值	单位
地层水密度	1000	Kg/m ³
原油密度	850	Kg/m ³
地层水黏度	0.001	Pa.s
原油黏度	0.003	Pa.s
地层水浓度	0.2	mol/m ³
泥浆滤液浓度	0.8	mol/m ³
井眼压力	15	Mpa
地层压力	12	Mpa
流体扩散系数	10 ⁻⁹	m ² /s
流体弥散系数	10 ⁻¹⁰	m ² /s
相对介电常数	10 ⁴	1
地层温度	105	°C
岩性系数,a	1.0	1
饱和度系数,b	1.0	1
孔隙度指数,m	2.0	1
饱和度指数,n	2.0	1

NO	Depth (m)	Por (%)	K(mD)	S _w (%)	Time (Day)
1	3130	11.50	5.15	60.18	24
2	3131	11.75	5.66	66.69	24
3	3132	11.23	4.65	68.35	24
4	3133	10.94	4.14	61.12	24
5	3134	11.29	4.75	54.69	24
6	3135	11.00	4.22	59.36	24
7	3136	10.24	3.09	80.86	24
8	3137	11.05	4.32	64.86	24
9	3138	10.70	3.76	70.88	24
10	3139	10.96	4.18	71.86	24
11	3140	10.70	3.76	71.90	24
12	3141	10.04	2.83	71.74	24
13	3142	10.16	2.99	71.12	24
14	3143	9.89	2.65	74.43	24
15	3144	10.36	3.26	80.02	24
16	3145	9.93	2.70	71.15	24
17	3146	8.59	1.43	81.57	24
18	3147	8.57	1.41	81.27	24
19	3148	9.06	1.81	65.61	24
20	3149	10.42	3.34	62.70	24
21	3150	9.80	2.55	70.18	24

变量	数值	单位
地层水密度	1000	Kg/m ³
原油密度	850	Kg/m ³
地层水黏度	0.001	Pa.s
原油黏度	0.007	Pa.s
地层水浓度	0.85	mol/m ³
泥浆滤液浓度	1.86	mol/m ³
井眼压力	21.3	Mpa
地层压力	19.3	Mpa
流体扩散系数	10 ⁻⁹	m ² /s
流体弥散系数	10 ⁻¹⁰	m ² /s
相对介电常数	10 ⁴	1
地层温度	125	°C
岩性系数,a	1.2	1
饱和度系数,b	1.2	1
孔隙度指数,m	2.0	1
饱和度指数,n	2.06	1

表1.数值模拟的参数. 表2.实际地层的孔、渗、侵入时间等参数. 表3.实际地层数值模拟参数.

结果:

图2显示不同物性条件地层在泥浆侵入不同时间(0h, 4h, 8h和12h)后的含油饱和度和、地层水浓度、岩石电阻率以及测井电阻率曲线的变化。

为了验证模型的正确性和可行性,表2和表3给出实际地层数据和流体参数,结合钻井泥饼形成后渗透率降低为原来的0.001,模拟泥浆侵入(图3),计算测井电阻率曲线并与测井数据对比(图4)。

结论:

- ✓相同侵入时间内,随地层渗透率增加,孔隙度降低,相对渗透率增大,泥浆侵入深度增大,含油饱和度降低;
- ✓随侵入时间增加,井周地层水矿化度、含水饱和度、地层电阻率的侵入剖面前缘、电阻率测井曲线均发生明显变化;
- ✓岩心和流体分析获取地层物性与流体参数建立实际地层模型,模拟泥浆侵入,计算的电阻率与测井曲线吻合,表明模拟方法的正确性与可行性,从而为下一步储层电阻率校正,提高测井地层评价的准确性奠定基础。

参考文献:

1. Archie G E. The Electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics[J]. Transactions of the AIME, 146(1):54-62 (1942).
2. Alpak F.O., Habashy T.M., Torres-Verdin C., Numerical simulation of mud-filtrate invasion in horizontal wells and sensitivity analysis of array induction tools[J]. Petrophysics, 44(6):396-411 (2003).
3. Wu J., Torres-Verdin C., Sephehoori K., et al., Numerical simulation of mud-filtrate invasion in deviated wells[J]. SPE reservoir Evaluation & Engineering, 7(2):143-154, (2004).
4. Jiang, Y.J, Sun, J.M. et al., Mud invasion and array laterolog responses in low permeability gas reservoir: a case study[J]. Journal of Geophysics and Engineering, 14(3): 456-465, (2017).

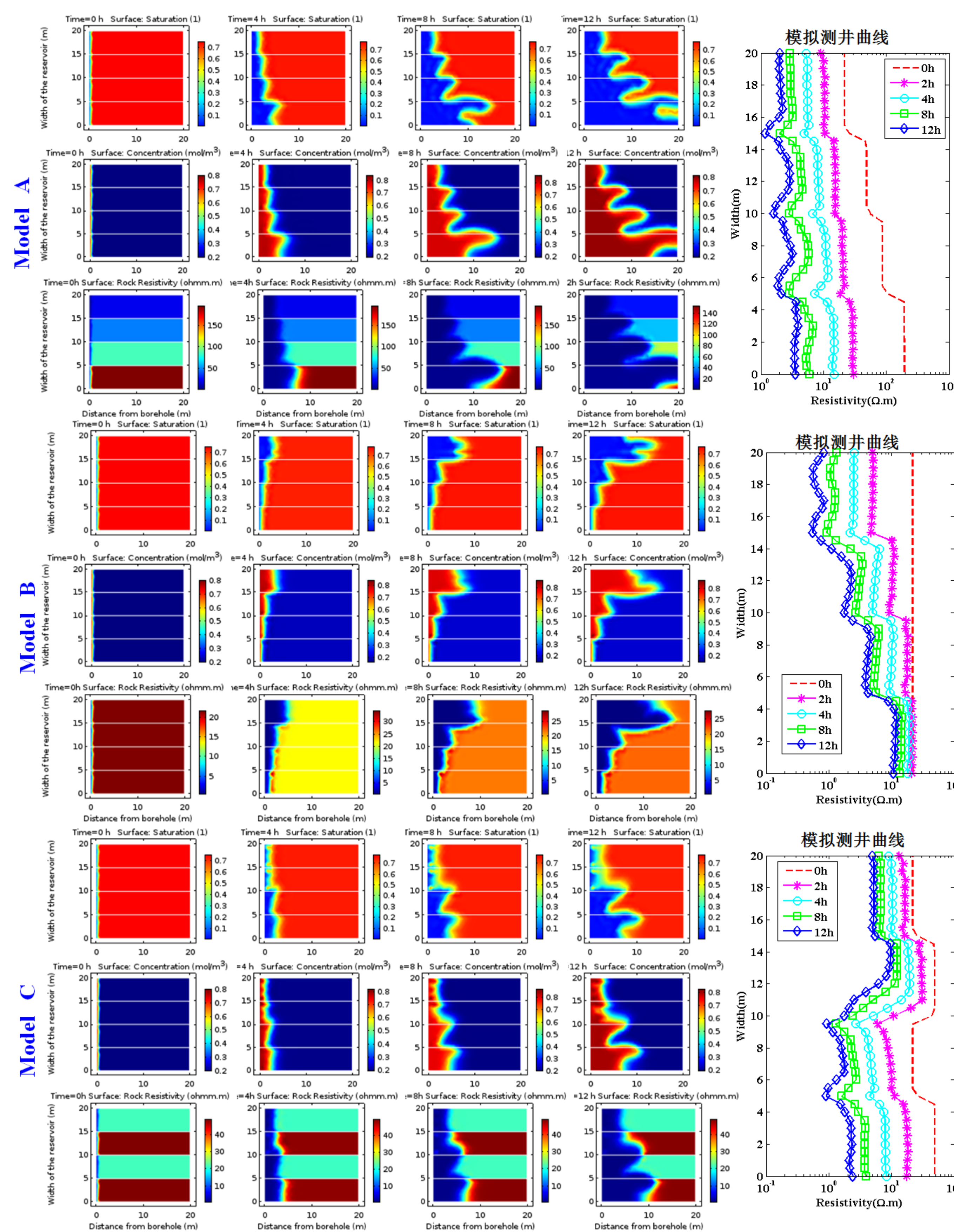


图 2.三种不同物性条件地层模型在泥浆侵入后的含油饱和度、地层水浓度、岩石电阻率与模拟测井曲线的分布。

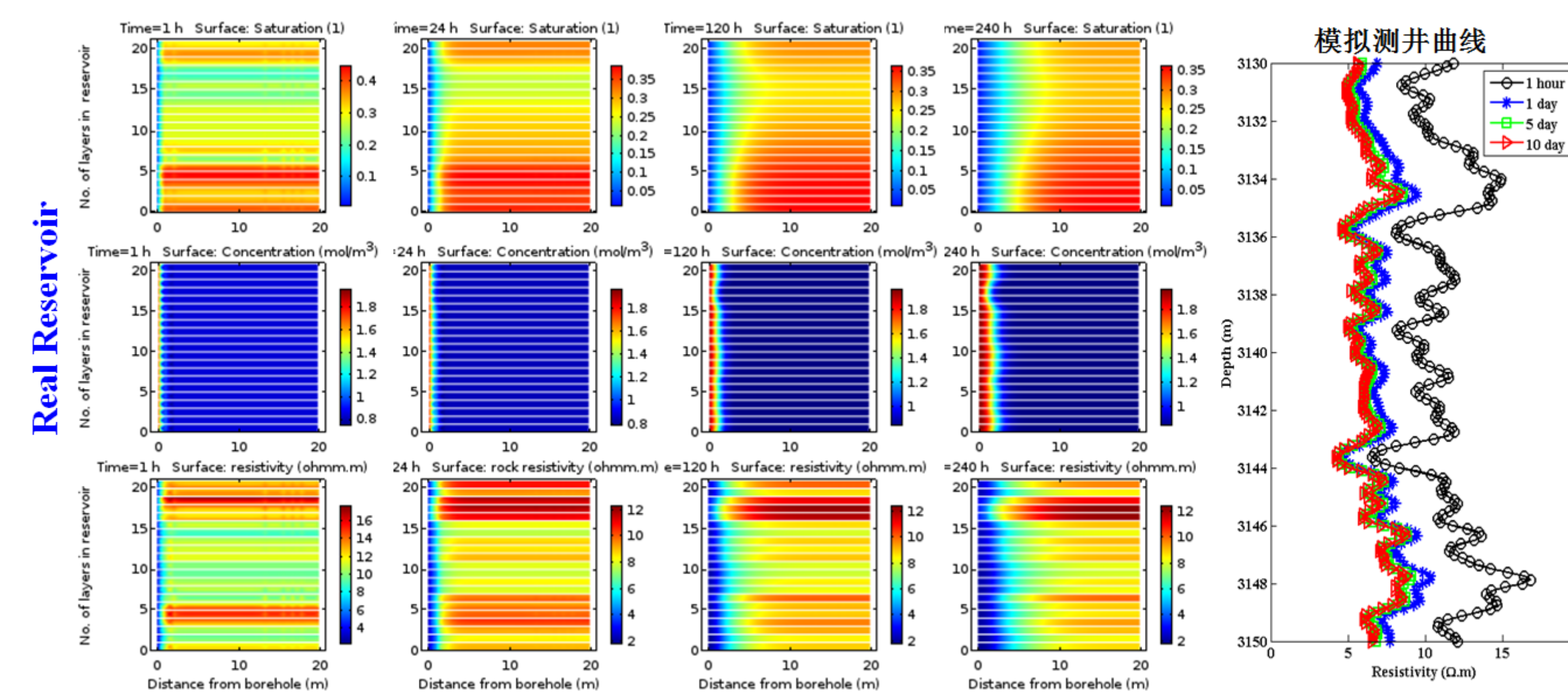


图 3.实际地层模型在泥浆侵入后岩石物理属性分布。

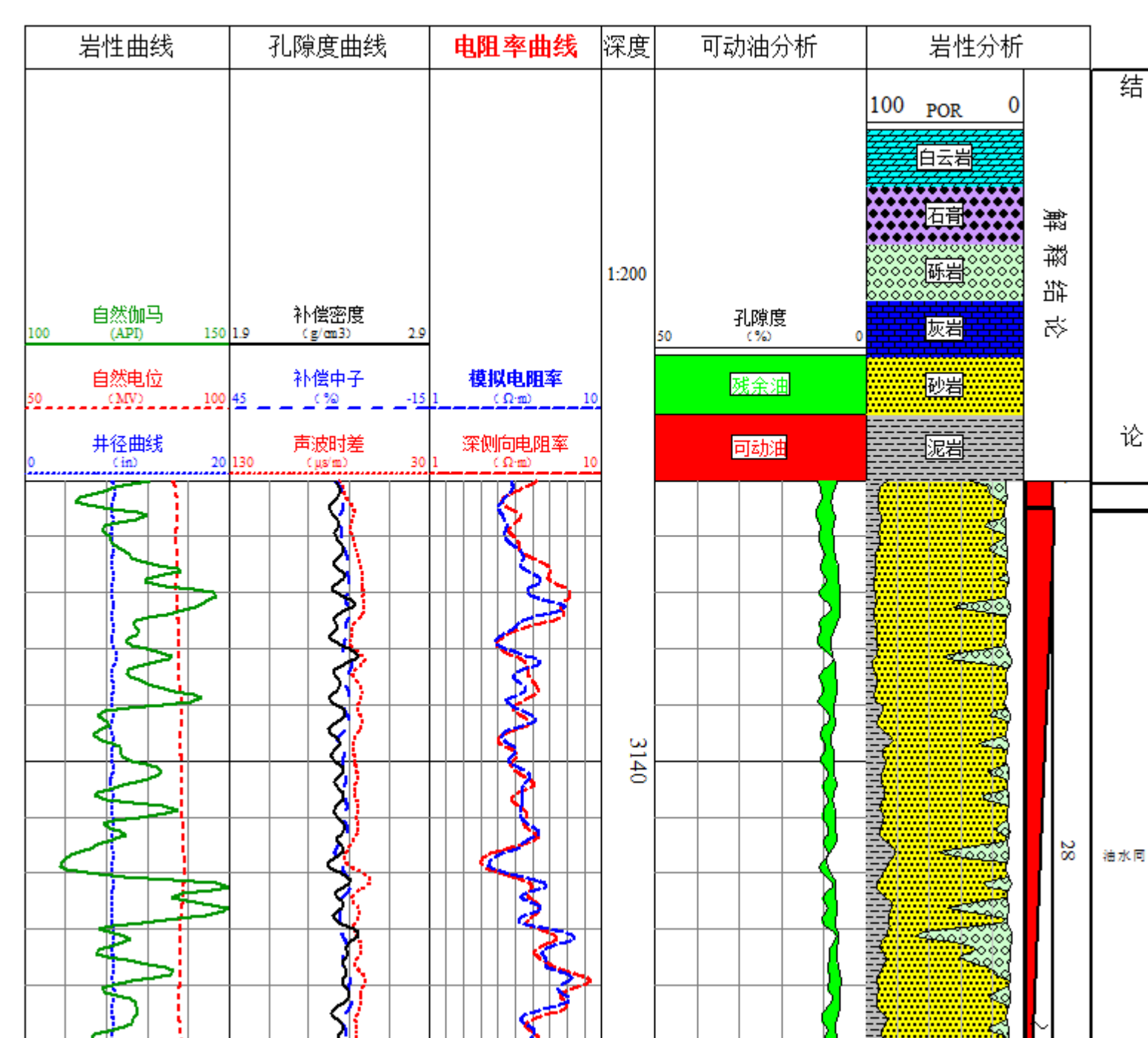


图 4.实际地层模拟电阻率与实际测井曲线对比。