

童氏含水率预测方法的改进

叶 锋¹ 刘 勇¹ 王 琦¹ 郭 洋²

1. 中国石油辽河油田公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010;

2. 中国石油辽河油田公司特种油开发公司, 辽宁 盘锦 124010

摘 要:童宪章标准图版关系曲线是通过国内外中高渗透水驱油藏统计出的规律,并不能客观反映具体油藏的实际特征。针对利用童宪章标准图版关系曲线评价油藏含水率与采出程度关系出现实际值与理论值存在较大偏差的情况,根据水驱油藏静态特征参数、渗流规律及动态含水率变化,运用水驱特征曲线对童宪章标准图版关系曲线公式中常数 7.5 进行了推理,推导出替代常数 7.5 的关系式。通过实例验证,改进的图版评价含水率变化更符合油藏实际,具有较强推广应用价值。

关键词:童宪章图版;水驱曲线;含水率;采出程度

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2014.03.011

0 前言

童宪章院士通过国内外 25 个中高渗透水驱油藏统计,得出甲型水驱曲线斜率与水驱地质储量成反比,比例常数为 7.5^[1]。但是童宪章标准图版关系曲线(简称童氏曲线)公式中常数 7.5 不能完全真实反映各个水驱油藏的具体开发特征,只能看作一个近似的、符合统计规律的大概数值。本文从甲型水驱曲线及水驱油藏的渗流规律出发,对常数 7.5 进行了推理,得出了替代常数 7.5 的关系式,进而对童氏曲线公式进行了改进,推导出了更能适合油藏实际特点的含水率与采出程度评价公式。

1 童氏曲线的改进

由苏联学者马克西莫夫提出的累积产水量与累积产油量的半对数直线关系^[2],后于 1978 年被童宪章院士命名为甲型水驱曲线,甲型水驱曲线的表达式为:

$$\lg W_p = A_1 + B_1 N_p \quad (1)$$

式中: W_p 为累积产水量, 10^4 t; N_p 为累积产油量, 10^4 t; A_1 , B_1 为甲型水驱曲线的截距与斜率。

1985 年,陈元千先生曾就甲型水驱曲线在理论上进行了完整的推导^[3],甲型水驱曲线的斜率表达式为:

$$B_1 = \frac{3 m S_{oi}}{4.060 N} \quad (2)$$

式中: m 为油水相对渗透率比与出口端含水饱和度常数; S_{oi} 为原始含油饱和度; N 为原始地质储量, 10^4 t。

在油水两相渗流的条件下,油水两相相对渗透率比随出口端含水饱和度的变化,可以由式(3)表示^[4]:

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = ne^{-mS_{wo}} \quad (3)$$

式中: K_{ro} 为油相相对渗透率; K_{rw} 为水相相对渗透率; S_{wo} 为出口端含水饱和度; m, n 为常数。

由于相渗规律是来源岩心的一维线性驱替,因此式(2)是基于完全线性驱替的结果,注水后油藏完全水淹,波及系数 100%,但是在实际井网开发油藏中无法达到,因而在实际注水开发井网引入注水波及系数^[5]对上述值进行校正。

$$E_v = 1 - \sqrt{a_1(1-f_w)} \quad (4)$$

式中: E_v 为含水率为 f_w 时的体积波及系数; a_1 为丙型水驱曲线直线段截距; f_w 为含水率。

那么式(2)变为:

收稿日期:2014-02-26

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大科技项目“辽河油田原油千万吨持续稳产关键技术研究”资助(2012E-3004)

作者简介:叶 锋(1982-),男,湖北黄冈人,工程师,硕士,现从事油田开发研究工作。

$$B_1 = \frac{3 m S_{oi}}{4.060 N} \times E_v = \frac{3 m S_{oi}}{4.060 N} \times [1 - \sqrt{a_1(1-f_w)}] \quad (5)$$

童宪章通过大量的注水开发油田实际资料的统计,得到水驱油田的地质储量与甲型水驱曲线直线斜率 B_1 的倒数成正比,比例系数约为 7.5,即

$$B_1 = \frac{7.5}{N} \quad (6)$$

将式(5)与式(6)比较不难发现,对于不同注水开发的油藏,童宪章统计的常数 7.5 是可以跟据油藏的具体情况计算得到的,若以 X 代替常数 7.5,那么根据各油藏之间的物性不同, X 值也将发生变化:

$$X = \frac{3 m S_{oi}}{4.060} \times E_v = \frac{3 m S_{oi}}{4.060} \times [1 - \sqrt{a_1(1-f_w)}] \quad (7)$$

从式(7)可以看出, X 的大小由油藏的原始含油饱和度和相渗曲线的回归常数 m 及波及系数共同决定。

既然常数 7.5 不能无条件地应用于具体的水驱油藏,那么在对具体水驱油藏进行评价时需要童氏曲线进行改进,改进后的表达式为:

$$\lg \frac{f_w}{1-f_w} = \frac{3 m S_{oi}}{4.060} \times [1 - \sqrt{a_1(1-f_w)}] \times (R - E_r) + 1.69 \quad (8)$$

式中: f_w 为含水率; R 为采出程度; E_r 为采收率。

2 应用实例

海南 3 断块为岩性构造油藏,1998 年投入开发,开发初期依靠天然能量,2000 年 6 月开始采用七点法面积注水方式转入注水开发,标定采收率为 20.3%,原始含油饱和度 0.65,目前采出程度为 12.8%,综合含水率 84%。

经统计甲型水驱曲线关系式为:

$$\lg W_{pr} = 0.828711 + 0.088230 N_p \text{ (相关性为: } R^2 = 0.999465 \text{)} \quad (9)$$

丙型水驱曲线关系式为:

$$\frac{L_p}{N_p} = 0.003369 + 0.963671 L_p \text{ (相关性为: } R^2 = 0.999777 \text{)} \quad (10)$$

相渗曲线统计关系式为:

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = 2899213 e^{-26.92095 S_{wo}} \text{ (相关性为: } R^2 = 0.9961704 \text{)} \quad (11)$$

当含水率取极限值 $f_{wmax} = 98\%$ 时,根据式(7)、(9)、(10)、(11)计算出 X 为 12.4。

将海南 3 断块的实际采出程度与含水率曲线放在改进后的童氏曲线中(见图 1),将实际采出程度与含水率曲线在采收率 20%附近的曲线变化与标准曲线对比,改进后的方法能够更好地预测油藏实际含水率变化(见图 2)。

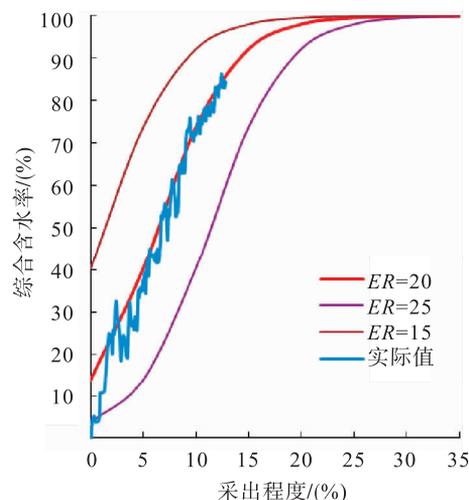


图 1 改进含水与采出程度关系图版

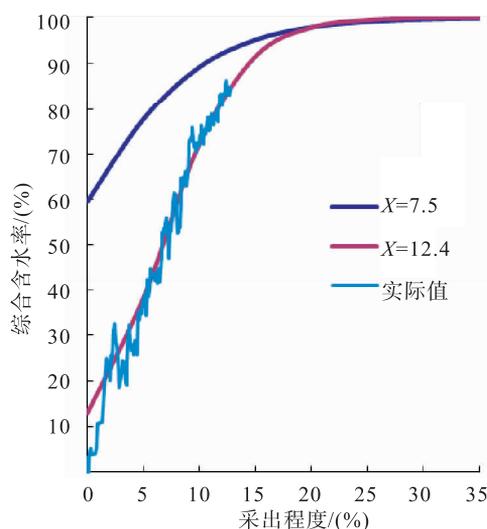


图 2 改进图版与标准图版对比曲线

3 结论

a) 将童氏含水率预测公式中常数 7.5 以关系式 $\frac{3 m S_{oi}}{4.060} \times [1 - \sqrt{a_1(1-f_w)}]$ 替代,更能完全、客观、真实反映具体单个油藏的开发特征。

b) 通过海南 3 断块实例验证,改进后的童氏曲线预测油藏含水率变化更加符合油藏开发实际。

参考文献:

[1] 童宪章. 天然水驱和人工注水油藏的统计规律探讨[J]. 石油勘探与开发, 1978, 5(6): 38-49.

Tong Xianzhang. Explore the Statistical Regularities of Natural

- and Artificial Water Drive Reservoir[J]. Petroleum Exploration & Development, 1978, 5(6):38-49.
- [2] 俞启泰. 使用水驱特征曲线应重视的几个问题[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1):58-61.
- Yu Qitai. Several Issues Should be Paid Attention to the Application of Waterflooding Characteristic Curve[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(1):58-61.
- [3] 陈元千. 水驱关系式的推导[J]. 石油学报, 1985, 6(2):69-78.
- Chen Yuanqian. Derivation of Waterflooding Relationship [J]. Acta Petrolei Sinica, 1985, 6(2):69-78.
- [4] 何更生. 油层物理[M]. 北京:石油工业出版社, 1994. 249-255.
- He Gengsheng. Petrophysics [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 249-255.
- [5] 陈元千. 现代油藏工程[M]. 北京:石油工业出版社, 2000. 148-149.
- Chen Yuanqian. Modern Reservoir Engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.148-149.

华北苏桥储气库群注气规模突破 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$

2014年5月12日, 华北油田苏桥储气库群累计注气超过 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 大关, 具备规模采气能力。这也预示着今冬北京地区城市供暖和生活用气, 可以用上来自距天安门不到 100 km 的华北油田的清洁能源。

苏桥储气库群是国家发改委确立、中国石油天然气集团公司专项投资的重点工程项目, 也是华北油田自主建设的首个储气库群。这一库群由苏 1、苏 20、苏 4、苏 49 和顾辛庄 5 个储气库构成, 总有效库容 $67 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2011 年 4 月开始全面建设, 2013 年 6 月开始一期工程注气试投运。待库群全部建成后, 可实现每天 $1300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 注气和 $2100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 采气规模, 能够满足北京及周边地区的供气调峰需求。

苏桥储气库群是目前国内最深的储气库, 生产建设面对的都是世界级建库难题。为确保注采系统高质量投运, 华北油田储气库建设部门牢固树立“一口井就是一项工程”的思想, 以固井质量为“红线”, 严格执行承压堵漏和固井技术标准, 钻完井工程质量明显提高, 已完成的注采井、老井复查和老井封堵合格率均达到 100%。

气库早一天注气采气, 就早一天见到效益。为确保今年全面投入注采生产, 华北油田储气库管理处想方设法加快施工建设节奏。该管理处主动与地方政府沟通协调, 保障建设用地; 现场踏勘突出“早”、队伍调动突出“抢”、协调问题突出“快”, 加快地面工程建设进度; 物资供应与地面建设有效衔接, 确保物资及时到位。今年前 4 个月, 这个库群一期工程的集注站、注采井场、管道工程和电力工程等, 已完成 90% 以上的工作量, 并实现试采气。

安全生产是储气库建设的百年大计。华北油田储气库管理处从物资源头入手, 成立物资设备联合验收小组, 严把物资设备入场质量检验关, 对重要物资设备派驻人员到厂家进行监造。同时, 加大安全管控力度, 开展岗位风险识别活动, 坚持“日检、周查、月通报”制度, 并坚持安全走动式管理, 随时检查随时整改。储气库工程建设以来, 没有发生一起安全事故。

(兰 洁 摘自中国石油新闻网)