

油井中后期出砂预测及防砂对策

王德新 吕从容

(石油大学(华东)石油工程系)

摘要 油井中后期出砂是老油田经常遇到的问题,这种出砂是较难处理的。出砂的原因是:油层孔隙压力降低,砂岩骨架被压碎;孔隙内介质变化使胶结物破坏;高流速下液体冲坏砂拱等。油井中后期出砂的预测是用岩石力学试验方法、测井及试井资料分析。防砂方法应采用大套管、高密度射孔完井,在出砂后宜用综合治理。

主题词 油井 出砂 预测 防砂 策略

作者简介 王德新,1944年生。1968年毕业于北京石油学院,1981年获硕士学位,现从事钻井完井的教学和科研工作,副教授。吕从容,1961年生。现从事钻井完井的科研试验工作。

在我国,除少数油田的油井是由于砂岩层胶结不好、砂粒疏松,在开采初期就有出砂现象之外,许多出砂现象是发生在油井生产的中后期。油井的中后期出砂特点是出砂量大、时间持久、防治较为困难。油井中后期出砂的原因与生产措施不当有相当大的关系。探讨这种出砂的原因、寻找出砂预测方法和研究防砂对策对油田的增产是十分必要的。

一、油井中后期出砂机理

油层出砂是由于射孔孔道附近或井底地带砂岩层的结构被破坏造成的。它与砂岩的胶结强度、应力状态和开采方式有关。油井出砂的原因有两个:一个是砂岩体中的游离砂随油、气流逸出;另一个是砂岩的骨架破碎,造成出砂。

骨架破碎出砂是在油井投产相当长的时间后才发生,在油田开发初期尚不一定表现有出砂。因此在制定一个油田的钻井完井和开发方案时,往往没有把防砂问题考虑在内。但出砂后,在采取防砂措施时,又受到井身条件的限制,以至使防砂的成功率较低。我国许多油田的油井中后期出砂问题困扰着稳产高产,其主要原因是采油生产中的措施不恰当造成的。分析其产生原因大体上可分为以下几种情况:

1. 地层压力降低 砂岩的骨架破碎引起出砂是老井出砂的特点。通常是开采时补充压力不及时,油层压力急剧降低,使砂岩骨架破碎而造成的。

地应力是决定岩石原始应力状态及其变形破坏的主要因素。砂岩在钻开前受到上覆岩石压力、侧向挤压力和孔隙压力,是处于平衡状态的。在钻开后平衡状态发生变化。在整个采油生产过程中井壁处的砂岩承受极大的侧向力和流体的冲刷力。在一定条件下,井壁岩石会变形以至破坏。

砂岩受到上覆岩石压力的作用,在油层未开采时砂粒骨架之间的接触应力与地层压力共同作用承载着上覆岩石压力

$$P_o = P_p + \sigma$$

式中 P_o ——上覆岩石压力；
 P_p ——地层压力或地层孔隙压力；
 σ ——骨架之间受到的接触应力。

当油层未打开时, P_p 保持不变, σ 不变, 岩层处于稳定状态。当产层刚打开不久, P_p 有所降低, σ 变大, 但由于尚在岩石的破碎应力之内, 因此岩石也不会破碎。只有当产层压力 P_p 降低较多, σ 大于骨架之间的承载能力时, 砂岩在上覆岩石的重压下会压碎, 造成大量出砂。

地层压力有时降得很低油井也不会出砂, 这主要是和砂岩的强度有关。岩体抗压强度越大, 地层也就越不容易出砂。

2. 介质变化 在采油时为保持地层压力, 一般要进行注水。油层中的流体介质变化是油井出砂的另一重要原因。在采油的中后期, 油层的含水率上升, 大量的注入水浸泡油层, 使砂岩层的某些胶结物降低强度, 粉化脱落而不能胶结住砂粒, 造成出砂。如粘土胶结物经水浸泡会使胶结强度降低很多。在较高的侧向应力或冲刷力下, 粘土胶结物不能有效联结砂粒, 就会形成出砂。这种出砂是不可逆的。在钻井过程中砂岩层受污染越严重, 水侵入后的出砂越严重。

对非粘土胶结的砂岩, 水的侵入对胶结强度的影响较小。如钙质、硅质胶结的砂岩很少引起出砂。

3. 流体冲刷造成砂拱破坏 在开采过程中由于注水使产层的出液量增加。当砂岩的骨架破坏后, 在较高液流的冲刷下, 使破碎的骨架砂大量逸出, 造成严重的出砂。在小流速、小压差下, 砂粒可能排列成稳定砂拱。稳定的砂拱只有有限的承载能力。当流速小、压差小时, 砂拱是稳定的, 可阻挡一些砂粒的运动, 防止或减少出砂。液流流速高、内外压差增大, 稳定砂拱被压坏, 不能阻挡砂粒。在高速流体的冲刷下, 射孔孔道或井壁处的砂拱破坏, 砂粒大量逸出。液流速度越高, 出砂越严重, 油的粘度越大出砂越严重。

后两种因素是油井中后期出砂的主要原因。

二、油井中后期出砂的预测

油井中后期出砂造成的危害是严重的, 必须制止。但防砂措施的效果又与井眼的结构有关。在油田开发初期如不能预测到油井的中后期出砂, 井身结构按常规方式设计, 一旦出砂, 势必使防砂措施难以实施。有的油田许多井的井身结构不适合防砂要求, 因油井中后期出砂而减产甚至报废。在油田开发方案制定时如能预计到井的出砂可能性, 则可在钻井、完井、采油、井下作业等工序中预先制定防砂措施, 这将使后续生产有更大的效益。找到一种预测油井中后期出砂可能性的方法, 是有必要的。

油井中后期出砂预测的原理是预测砂岩骨架破碎造成出砂的条件。可用室内岩石力学试验、测井资料、生产测试资料等进行预测。

1. 岩石力学试验 在室内模拟井下条件, 对油层砂岩岩心在三向受力下实测岩石抗压强度。根据砂岩的孔隙度可近似算出砂岩的承压面积, 依此可推算出砂岩骨架间可承受的最大接触应力 σ_{max} 。根据此数据可按前面的公式大体算出压力 P_p 。降低到何种程度时就会出砂。这种预测与实际情况相比会有较大的误差。

也可将岩心在三向受力的情况下, 在岩心中施加孔隙压力, 以模拟油层压力。在试验中逐渐降低孔隙压力, 模仿油层压力降低的情况。在试验中保持代表上覆岩层压力的轴向应力不变

和代表侧向挤压力的侧向应力不变,测试岩石的变形,直至砂岩发生破碎。砂岩岩心产生塑性变形时的孔隙压力就是油层开始出砂时的地层压力。据此压力就可预测油层出砂的条件。

为模拟油层内流体介质的变化,也可将岩心孔隙中的原油置换为符合长期生产条件的介质,如油水混合介质,在此情况下进行岩石强度测试,可测得介质变化后的砂岩承载能力,就可推断因介质变化而出砂的条件。

上述岩心室内力学测试仅是静态条件下的,与实际井下流动条件下的出砂尚有一定的差别。实际应用中可根据具体条件修正。依目前的技术水平,很难模拟岩石在三向应力下受流体冲刷的出砂条件。

2. 利用测井资料和生产测试资料预测 现代测井技术给出了丰富的井下地层信息,利用测井资料和生产测试资料预测井下的出砂是较好的方法。

一种方法是根据密度和声波测井资料来预测地层强度。它是以弹性岩石性质、岩石感生应力分析及岩石破碎理论为基础的。这种方法引入计算机处理技术,根据电阻率测井、中子测井、声波和密度测井的数据来计算岩石的剪切模量和体积模量、体积压缩系数、剪切模量与体积压缩系数之比。这些计算的结果称为岩石机械性能测井资料。剪切模量与体积压缩系数之比与出砂有一定的关系。国外曾提出一种较简单的预测方法,该比值大于 0.8×10^{12} psi 表明油层出砂的可能性低,比值小于 0.7×10^{12} psi 表明出砂可能性高。

生产测试中的许多资料对预测井的出砂是有用的。试采中求取的孔隙压力值、不同产量下的井底压力降、流速等可用于计算砂岩体内的压力分布、砂粒所受的拖曳力等。

在实际使用的出砂判断程序中,把生产测试中求得的油层孔隙压力值、不同产量和流速下的井底压力降值与机械测井资料中的地层感生应力相联系,然后再将以岩石能够承受的最大感生应力为根据的岩石破碎判断标准转换成破碎前可进行开采的最大压力降,就可预测在压力变化时的出砂倾向。

在另一种预测方法中,可用声波测井资料中的声传播速度 $\Delta T'$ 预测出砂。当声传播速度 $\Delta T' > 295 \mu\text{s}/\text{m}$ 时,井下可能出砂。这种用声传播速度预测出砂和用剪切模量与体积压缩系数之比预测出砂的简易预测技术应用较为普遍,常用在对同一油田的相同层位其它井的出砂预测中。

在有条件时建立模拟井下压力、温度及多种介质、多相流动条件的综合防砂试验装置,对预测出砂是有极大用途的。我国对出砂预测的研究尚少,应加强这方面的研究。

三、防砂方法

油井中后期出砂的防治,主要是防止砂岩的骨架破碎出砂。与其在出砂后采用各种方法制止出砂,不如加强预测,在勘探开发早期的钻井、完井、采油生产中采取各种措施避免砂岩骨架的破碎。

1. 早期的预防处理 对预测可能出砂的井,在同样条件下大直径油层套管可能不出砂或可延缓出砂,而小套管的井易出砂。在相同的产量下,大套管内的液流流速比小套管小,井底压差小,则出砂的可能性就小。在处理出砂时,大套管比小套管更有利。在大套管内可下入大直径的防砂工具,防砂效果较好。

现在普遍认为,出砂井的油层套管直径应在 178mm 以上为好。生产实践证明,小套管不

利于防砂,常见的 $\varnothing 139.7\text{mm}$ 及更小的套管对防砂不利。某油田出砂井中, $\varnothing 139.7\text{mm}$ 套管的井已基本报废完,而 $\varnothing 178\text{mm}$ 套管的井则有较好的防砂效果。

采用高密度射孔也是防止出砂的一种方法。孔密高,孔的数目多,在相同产液量下,孔内的液流速低,压降也低,可减少出砂。实践证明,采用20孔/m以上的射孔密度有利于防砂。如果结合用大直径孔道,防砂效果更好。油井中后期出砂,应补射孔,增加孔密。

对可能出砂的井,适当降低液流的流速,减少井底压差,控制产量,防止地层压力的剧减和流体介质的急剧变化是避免砂岩骨架破碎出砂应考虑采用的办法。从经济的角度来看,1口井控制在较低的低产产量,实现长期的稳产,可能要比在高产一段时间后处理出砂,效益要好。

对某些适合的井用裸眼砾石充填完成,要比下套管完井更有利于防砂。

采取这些措施的前提条件,就是对油井的出砂要有较准确的预测。

2. 综合防砂方法 油井中后期出砂的防治方法应是综合的工艺措施,靠单一的措施是难奏效的。一般应先用化学方法预处理,如用酚醛树脂等粘结剂挤入射孔孔道固砂,或用预涂塑砾石挤入孔道,再下单层绕丝筛管等机械滤砂工具,在筛管外进行砾石充填。这种方法对粒径在 0.1mm 以上的出砂使用效果较好。

在采取各项防砂措施之前,最好能在室内进行化学处理剂与砂岩层的配伍性试验,对工具的防砂能力、寿命、流阻等进行评价性试验和砾石充填的模拟试验,以求得到综合防砂措施的最佳配合。

四、几点建议

1. 为防止油井的中后期出砂,应在早期(钻井和完井阶段)进行预防,如采用大套管、高密度射孔完井,用较小的流速和压差采油。预防的基础是对油井出砂可能性的预测。

2. 预测油井出砂可用岩心的室内力学试验、测井等资料进行判断。

3. 油井中后期出砂的防砂宜用综合措施,将化学固砂、砾石充填、机械防砂等方法综合使用。

参 考 文 献

- 1 Z H Wang. The Prediction of Operation Conditions to Comstrain Sand Production from a Gas Well. SPE 21 681, 1990
- 2 P A Boyd. Typical Production Problems: Case Studies the Strategies of Sand Control. SPE 22 739, 1991
- 3 M J Castle. Extending Gas Well Velocity Limits, Problem and Solution. SPE 22 958, 1991
- 4 A P Kooijman. Large-Scale Laboratory and Production Test. SPE 24 798, 1992
- 5 F J Santarelli. Optimizing the Completion Procedure to Minimize Sand Production Risk. SPE 22 797, 1991

(修改稿收到日期 1997-02-21)

[编辑 郑秀娟]

Abstract This paper expounds the concept of critical flow rate in horizontal well, and makes evaluation and analysis on some calculation formulas of critical flow rate at home and abroad, and point out the problems in Chaperon formula, which is in common use at the moment. This paper makes a modification for Chaperon formula, and derives the generalized prediction formula of critical flow rate for horizontal well. Field applications show that the modified Chaperon formula and the generalized prediction formula can be used practically.

Subject heading horizontal well bottom water oil reservoir production threshold value production calculation

MEASURING FLUID CONTENT IN MULTIPHASE FLUID APPLYING 3 - PHASE PULSE CONDUCTANCE METHOD

by Li Mingzhong, Wang Weiyang, Han Guoqing, Zhang Qi

Abstract This paper introduces the basic principal of fluid content measure by conductance method and the construction of the relevant testing instrument. This method is evaluated by the testing results in two-phase flow of air-water and oil-water. The results show that the method is suitable for gas-water two-phase flow, but satisfied result is not obtained for oil-water two-phase flow.

Subject heading conductivity measuring multiphase fluid section gage media content

SAND PRODUCTION PREDICTION AND CONTROL IN THE MIDDLE OR LATER PERIOD OF OIL PRODUCING

by Wang Dexin, Lu Congrong

Abstract The sand production is a common problem in the middle or later period of oil well. The reasons for sand production include the decline of formation pressure, the clastic deformation of rock matrix, the breakdown of sand cementing matter and the washout of high speed fluid. The sand production in the middle or later period of oil well is predicted by the rock mechanics testing method and the well testing data analysis method, and is controlled by adopting large diameter casing and high density perforation well completion method. The oil well is brought under control by multiple measures after sand producing.

Subject heading oil well sand production prediction sand control strategy

DEVELOPMENT OF V-1 TYPE CORROSION INHIBITOR FOR ACIDIZING BY MUD ACID

by Zhang Junchuang, Hu Zhonghou, Sun Qinghong

Abstract The V-1 type corrosion inhibitor developed for controlling the corrosion of mud acid on equipment, tubing and casing in acidizing in Jilin oilfield. It is compounded by a kind of amine salt and Dodigen-95 agent. This paper introduces the indoor evaluation and field testing results of this corrosion inhibitor.

Subject heading Jilin Oil Field sandstone reservoir mud acid acidizing corrosion