

固井新技术进展研究

张新果*

(大庆钻探工程公司钻井二公司, 黑龙江 大庆 163413)

摘要:固井是油气井建设的重要工序之一。固井的主要目标是保护井筒的完整性和为套管提供支撑。固井技术的发展对推动油气勘探开发具有重要的作用。从固井质量评价技术和固井外加剂等方面介绍了固井技术目前的进展情况。

关键词:固井;新技术;外加剂;质量评价

中图分类号:TE2 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2024)01-0031-03

固井是油气井施工阶段进行的重要工序之一。固井作业的历史可以追溯到1859年,Hardison&Stewart Oil Company于1883年执行了第一次水泥作业。固井作业有两个主要目标。第一个目标是通过井筒中不同区域之间的水力隔离来控制井筒中的流量,从而保护井筒的完整性。因此,成功的固井可以防止地层中的流体流入其他地质区域或地表。第二个目标是为套管提供支撑。

为了满足日益复杂的固井需求,世界各国的从业人员从固井质量评价技术和固井外加剂等方面开展了大量研究。本文综述了相关固井新技术的研究进展。

1 固井质量评价取得进展

为了确保固井工作的成功,我们必须对固井质量进行测试。迄今为止,确定区域隔离情况最有效的方法是压力测试。然而,压力测试在经济上是不可行的,现场经验表明,在某些情况下,它们可能会对水泥造成损坏。因此,服务公司通常通过测井来评估水泥,将测井工具下放到套管中,用以检查水泥的质量。

自从Grosmankin等人和Anderson和Walker发表了第一个基于声波的水泥评估方法以来,进一步的工具开发较为缓慢。根据Allouche等人的研究成果,在现有方法中,声学测井技术是最常见和最有效的。声学测井技术主要包括声波和超声波技术。声学工具记录的数据通过软件处理后,就可以获得套管和水泥等油井组件的参数估值,然后可以从这些结果中解释油井的水力隔离情况^[1-2]。

这种解释是一项具有风险的复杂任务,必须由训练有素的专业人员进行。他们利用自己的理解来整合各种测井结果,用以评估水泥状态。此外,这项任务还需要在限定时间内完成,因为进一步的油井开发需要参考这些评估结果。Belozarov等人也指出,测井解释的过程是复杂,耗时的,而且也相当主观,不同的解释者可能会从相同的数据中得出不同的结论。

以往的固井质量评价高度依赖技术人员的人工评价^[3]。而固井智能评价可以实现对固井质量更为客观、准确和快速的评价。固井质量智能评价主要基于声波振幅和变密度测井曲线,利用深度算法学习进行训练模型,达到准确评价固井质量的目的。固井质量智能预测主要基于测井资料,通过智能算法修正测井信息,预测固井质量。

美国阿布扎比公司的Deepak Kumar Voleti基于声幅、变密度测井数据和超声成像数据建立了一种神经网络算法,利用机器学习(ML)的方法来解释来自不同承包商的固井质量数据。因为,目前的固井质量评估主要依赖声学参数的测量,如振幅、折射波的波形、阻抗和衰减等。通常由固井工程师或承包商负责评估水泥胶结质量,但这种评价方法是非常主观的,其准确性取决于工作时间、工作压力和评估人员的经验。作者测试了不同的机器学习技术(随机森林分类和神经网络)和智能数据训练方式。最后使用嵌套模型,将测量数据和所需的解决方案分为不同的类,并为每个类构建一个单独的机器学习模型,并组合所有模型以获得

* 收稿日期:2022-12-11

作者简介:张新果(1981-),女(汉族),河南邓州人,工程师,现从事钻井技术服务工作。

最终的固井质量评估和建议。最终的结果包括固井质量、水泥胶结质量、异常情况和建议等。这种基于机器学习的固井质量评估被证明是非常有效的,可以节省相关工作人员75%的工作量。此外,这种评价模型经济效益好,人为误差小,一致性高,可独立应用于油井或储层。

宾夕法尼亚州立大学的Santos和Dahi开发了一种基于高斯过程回归(GPR)的机器学习方法,它可以通过估计误差和置信区间来评估水泥胶结质量的不确定性。与传统机器学习技术相比,GPR只需要少量的模拟用数据。在这项工作中,使用水泥胶结测井数据用于训练,并通过与同一油田不同井的数据进行比较来验证模型。结果表明,预测情况与基本情况的相关性非常好。方差函数给出的初始假设不仅有助于捕获总体趋势关系,还有助于捕获局部变化。此外,该框架提供的不确定性评估可以通过确定水泥环中最差的情况和潜在的流体迁移路径来帮助降低固井风险。

Reolon等开发了基于多分辨率图聚类(MRGC)的算法,该算法首先识别声学 and 超声测井/图表中的数据,然后通过熵将MRGC集成到贝叶斯框架中,以计算获得胶结相的概率和相关的不确定性。该方法可以实时解释和分析固井质量。该方法的使用效果已经通过实际应用得以证明。在实际应用过程中,首先采用概率法预测水泥胶结情况及不确定性;然后对结果进行无偏评估,统计代表性和高质量的数据集,该数据分析方法可以有效模仿专家的工作。并且这种数据算法只需要几秒钟就可以提供详尽的固井解释,而传统方法至少需要一天时间。

维根等开发了一个可以自动解释固井质量的系统。该系统基于深度神经网络,使用600份测井数据对其进行训练。该系统的任务是根据周围井的测井数据,对每米井段的粘结质量(6个有序类)和水力隔离(2类)进行分类,最终可以获得6类井的固井质量,准确率为86.7%。

IA Merciu等开发了基于机器学习(ML)的自动解释评估系统。该系统可以提供即时简单的固井质量报告,用作后期人工解释的基础。该系统比较了两种解释系统的性能,一种是以前发布的,另一种是最新发布的。以前的方法基于深度卷积神经网络(CNN),它可以自主从测井数据中提取数据,而新方法使用特征算

法,可以使用系统自己的储备知识来提取特征。结果表明,使用特征工程的评估系统表现更好,其准确率可达88.9%。

T Eltsov等开发了一种可以检测井筒形状以及套管中水泥缺陷的感应测井工具。该测井工具可用于测试非导电外壳后面弱磁性水泥的完整性。长度为0.25~0.6m的工具对磁性水泥特性最敏感。最适合磁性水泥检测的频率在0.1~10kHz范围内,这是磁化率测井的典型特征。振幅可用于推断套管后磁性水泥的完整性,但要获得有关水泥流变学的信息,必须进行高频电阻率测量。在200MHz下将固体水泥与液体区分开来,并量化了水泥凝固状态。高频下的信号相位对水泥凝固更敏感。在测井记录上可以看到充满磁性水泥的空洞和裂缝。该工具可用于确定水泥脱粘区域。可以使用径向分布传感器检测外壳偏心率和径向不均匀性。水泥的缺失会导致二次磁场的急剧下降。该磁测井技术可用于中温井水泥质量检测(<150℃)。

2 固井外加剂取得进展

作为钻井作业的一部分,水泥浆是由水泥、水和其他添加剂混合制备的,然后沿着套管一直流到环形空间。与建筑行业使用的水泥相比,油井水泥需要暴露在不同的地层条件下。固井工作的目的之一是确保在套管外具有设计量的水泥,确保窜槽不会发生。油井水泥的强度通常取决于固化时间、环境条件、配方设计和添加剂的使用等因素。水泥中需要添加许多添加剂,以增强水泥的各种性能。水泥凝结时间的减少可以通过使用促进剂来实现,水泥的增稠时间可以通过添加缓凝剂等来实现。此外,我们还可以使用不同的添加剂来提高水泥的抗压强度,减少水泥内的流体损失并增加水泥的密度。氯化钠和氯化钙可作为水泥浆中的促进剂,减少水泥的凝结时间。重晶石或赤铁矿等加重剂广泛用于增加水泥浆的密度。除了这些常用的添加剂外,许多特殊添加剂,如稀释剂、填充剂、密度减轻剂、缓蚀剂、膨胀添加剂、硫化氢清除剂、除氧剂等,都是根据固井要求添加到水泥中的。

近年来,纳米技术正以惊人的速度发展,纳米技术已经在纺织、国防、航空航天和能源等各种行业开展了广泛应用。在石油和天然气工业中,纳米材料已在勘探、储层保护、钻井、精炼和加工中得到应用。纳米二氧化硅在石油工业中有多种用途,例如减少多孔介质

中的阻力、提高石油采收率(EOR)、提高泡沫和乳液稳定性、减少页岩中的水相侵入、流体中的过滤控制和流体中的流变控制。固井相关从业者也做出了许多努力,通过在水泥浆中添加纳米材料来改善水泥的性能。

纳米技术引起广泛关注的主要原因是物体在纳米尺度上形成时所显示的特性。其中自我感应、自我修复、自我清洁和强度增强是现在业界经常讨论的方向。二氧化硅以石英或砂子的形式存在于自然界中。在纳米尺度上对二氧化硅结构进行控制,即可生成二氧化硅纳米颗粒。在波特兰水泥浆、砂浆或混凝土中加入纳米级颗粒可以赋予水泥浆不同的功能。金属氧化物的纳米颗粒,例如纳米二氧化硅、纳米二氧化钛、纳米氧化铁、纳米氧化铝、纳米氧化铜、纳米过氧化锌和许多其他磁性纳米颗粒已经被用作与水泥浆添加剂,用以最大限度地减少现场施工问题。目前,已经被报道的有关纳米材料的特殊性能有:①早强;②增加抗拉强度;③增加粘度;④增加早期抗压强度;⑤降低水泥稠化时间^[4]。

大量研究已经确定,通过使用纳米材料可以改善水泥浆性能。纳米材料,如纳米二氧化钛、纳米氧化锌、富勒烯、碳纳米管、纳米二氧化硅、纳米氧化铝可以提高混凝土材料的强度、刚度和延展性特性。

G. Quercia 等的研究表明,碳纳米管具有较大的比表面积和电子特性,并有高达 2TPa 高杨氏模量。碳原子之间存在非常强的化学键,这大大增加了其强度。并有助于提高水泥石的抗拉强度值。碳纳米管具有很高的弯曲强度和良好的导热性和导电性。纳米管的直径通常在 1~100nm 之间,长度在 2~10nm 之间。部分研究证实碳纳米管可以显著改善水泥浆的微观力学参数。但成本因素是碳纳米管应用的主要障碍,此外碳纳米管对凝固水泥的附着力差,掺混过程中它们会结块并且很难均匀地分布在水泥浆中。

M. Rupasinghe 等研究了石墨烯对水泥浆进行改性的方法。石墨烯是一种具有高机械强度的、成本更低的材料。与纳米管相比,它不会呈现单个结构的聚集,

从而消除了浆料中排列不均匀的问题。氧化石墨烯是一种石墨烯衍生物,具有平行的机械性能可以使水泥浆中的材料均匀化。0.01%~0.05%的氧化石墨烯浓度即可以降低浆料孔隙率,加速水化过程,并增加机械性能。最近的研究描述了氧化石墨烯对水泥浆力学性能的积极影响。这是由于氧化石墨烯纳米片边缘有-COOH 基团,水泥浆中的钙离子可以与之发生反应,该反应可产生由水泥颗粒和氧化石墨烯的水化产物组成的强化空间结构。

3 结论

(1)固井是油气井施工阶段进行的重要工序之一。为了满足日益复杂的固井需求,世界各国的相关从业人员在固井质量评价技术和固井外加剂等方面开展了大量研究。

(2)以往的固井质量评价高度依赖技术人员的人工评价。固井智能评价可以实现对固井质量更为客观、准确和快速的评价。固井质量智能评价主要基于声波振幅和变密度测井曲线,利用深度算法学习训练模型,达到准确评价固井质量的目的。固井质量智能预测主要基于测井资料,通过智能算法修正测井信息,预测固井质量。

(3)大量研究表明,使用纳米材料可以改善水泥浆和水泥石的强度、刚度和延展性,水泥浆的力学性能有积极的影响。

参考文献:

- [1] 刘硕琼,齐奉忠.中国石油固井面临的挑战及攻关方向[J].石油钻探技术,2013,41(6):6-11.
- [2] 齐奉忠,刘硕琼,沈吉云,等.中国石油固井技术进展及面临的问题[J].石油科技论坛,2013,32(4):5-8.
- [3] 丁士东.国内外固井技术现状及发展趋势[J].钻井液与完井液,2002,19(5):35-39.
- [4] Kasirvalad,E.The Great Potential of Nanomaterials in Drilling & Drilling Fluid Applications[J].International Journal of Nano Dimension.2014,4(5):463-471.