

测井仪器在石油测井中的技术运用分析

和一鸣

胜利油田油藏动态监测中心 山东 东营 257000

摘要: 石油测井作为石油勘探开发的关键环节,对准确获取地下信息、指导生产决策起着不可替代的作用,而测井仪器则是这一环节的核心装备。本文首先阐述了其重要意义,包括提供基础数据、评估油气储量和质量、保障钻井和完井安全、监测生产状况等。接着介绍了常见测井仪器技术原理,如电法、声波、核、成像测井仪器。然后说明了具体技术运用,包括在地层评价、油气水层识别、工程监测、剩余油分布研究中的应用,通过综合多种测井仪器数据,为石油勘探开发各环节提供关键依据,助力高效开发。

关键词: 测井仪器;石油测井;技术原理;运用分析

引言:石油测井是石油勘探开发的关键环节,测井仪器在其中扮演核心角色。测井仪器深入井下获取岩石物理性质数据,为石油勘探开发提供基础信息,在评估油气储量与质量、保障钻井与完井安全、监测生产状况等方面意义重大。常见测井仪器有电法、声波、核、成像测井仪器,各有独特技术原理。本文将围绕测井仪器在石油测井中的重要意义、常见仪器技术原理,以及在地层评价等具体技术运用展开分析。

1 测井仪器在石油测井中的重要意义

石油测井时地下地质复杂多变,测井仪器深入井下直接测量岩石电阻率、声波速度、自然伽马射线强度等物理性质,这些性质与岩石成分、结构、孔隙度、渗透率等紧密相关,精确测量这些参数可绘制详细地质剖面图,呈现地下岩层分布、厚度、岩性变化等信息,为石油勘探开发提供基础数据,还能区分含油气层和含水层以识别潜在油气储层^[1]。测井仪器获取的数据对评估油气储量和质量至关重要,结合地质模型和数学算法可计算油气层孔隙度、含油饱和度等关键参数来估算油气储量,分析不同测井曲线能了解油气物理性质以评估质量,这有助于石油公司确定开发方案和投资规模,避免过度或开发不足,提高石油资源利用效率。在钻井过程中,测井仪器实时监测井壁稳定性、地层压力等情况,测量地层电阻率、声波时差等参数可及时发现压力异常层,为钻井液密度调整提供依据,防止井喷、井漏等事故发生;在完井阶段,测井仪器能确定合适完井方式,如选择套管射孔位置、确定筛管规格等,确保油气顺利流入井筒提高采收率,成像测井仪器可显示井壁裂缝和孔洞分布为完井设计提供参考。此外,测井仪器可实时监测油气井生产状况,及时发现井下设备故障、油气层异常变化等问题,通过监测温度、压力等参数判断油气井是否存

在水侵、气窜等情况并及时调整,保障石油生产稳定运行,还能监测油气泄漏情况,发现泄漏可迅速定位并采取封堵措施,减少对环境污染。

2 常见测井仪器的技术原理

2.1 电法测井仪器技术原理

普通电阻率测井仪器工作时向地层供入电流,在井轴不同深度测量电位差,依据测量数据计算地层电阻率,利用电阻率差异判断岩层特性。侧向测井仪器采用聚焦电极系,让电流侧向流入地层,这种方式能有效减少井眼和围岩对测量结果的影响,使测量数据更精准反映地层真实电阻率情况,提高测量精度,尤其适用于复杂地质条件下的测井作业。感应测井仪器依据电磁感应原理工作,先产生交变磁场,该磁场在地层中激发出感应电流,再测量感应电流产生的二次磁场,通过相关计算得出地层电导率,由于其对高阻地层和淡水泥浆井的测量效果较好,所以常用于这类地层的测井工作,能清晰地呈现高阻地层和淡水泥浆井的电阻率特征,为石油勘探开发提供重要的地层电阻率信息,帮助工作人员准确判断地层中是否存在油气水层以及各层的分布情况。

2.2 声波测井仪器技术原理

工作时,声波源向地层发射声波脉冲,声波在地层内传播,碰到不同岩性界面会出现反射、折射与透射现象。在井中接收声波信号后,测量声波传播时间、振幅等参数,进而计算地层的声波速度。地层的声波速度和岩石的密度、弹性模量等物理性质紧密相关,不同岩性地层具备不同的声波速度特征。声波速度能反映岩石的物理特性,通过分析其变化可了解地层结构和成分^[2]。利用声波速度能够计算地层的孔隙度,这是由于声波在孔隙流体与岩石骨架中的传播速度存在差异,声波在孔隙流体中传播速度和在岩石骨架中不同,结合已知的岩石

物理参数和声波速度数据,通过特定公式就能算出地层孔隙度。声波测井仪器提供的声波速度和孔隙度等信息,对于石油勘探开发意义重大,能帮助工作人员准确判断地层情况,识别潜在的油气储层,为后续的钻井、完井及采油等作业提供关键依据。

2.3 核测井仪器技术原理

(1)自然伽马测井仪器,工作原理是测量地层中天然放射性元素衰变时放射伽马射线的强度,因不同岩性地层天然放射性元素含量有差异,泥岩天然放射性强,砂岩、碳酸盐岩等天然放射性弱,所以依据自然伽马测井曲线能划分岩性。(2)中子测井仪器,向地层发射中子源,中子与地层原子核碰撞后,通过测量热中子密度或超热中子通量来反映地层含氢量,鉴于油气含氢量低、水含氢量高,该仪器可用于区分油气水层。(3)密度测井仪器,利用伽马射线与地层原子核的康普顿散射效应,测量散射伽马射线强度来计算地层电子密度,进而得出地层体积密度,地层体积密度和岩石孔隙度、矿物成分相关,利用此关系可计算地层孔隙度。核测井仪器通过测量不同物理参数,为石油勘探开发提供关键地层信息,帮助工作人员了解地下岩层特性、识别油气水层,对确定钻井位置、制定开发方案等决策具有重要指导作用,是石油测井中不可或缺的一类仪器。

2.4 成像测井仪器技术原理

微电阻率扫描成像测井仪器工作时,在井壁有序排列多个电极,测量每个电极与远电极间的电阻率,把测量所得数据转换为图像,能直观呈现井壁的岩性、裂缝、孔洞等特征,让工作人员清晰了解井壁微观结构。声波成像测井仪器借助声波换能器阵列,向井壁发射声波脉冲,随后接收井壁反射回来的声波信号,通过特定的信号处理方式和成像算法,生成井壁的声波图像,该图像可反映井壁的地质结构情况^[1]。成像测井仪器所提供的井壁图像具有高分辨率特点,相较于传统测井方法,能更细致、准确地展现井壁的各种细节信息,这些详细信息对于地质解释工作极为重要,能帮助地质人员更精准地分析地下地质情况,同时也为工程决策提供有力依据,在石油勘探开发中,有助于确定钻井方案、完井方式等,提高石油开采的效率和成功率。

3 测井仪器在石油测井中的具体技术运用

3.1 地层评价中的运用

综合用电法测井仪器、声波测井仪器、核测井仪器等多种测井仪器,能获取地层丰富的多参数信息。电法测井仪器可测得地层电阻率,其数值大小与岩石导电性相关,不同岩性和含流体情况的地层电阻率有差异;

声波测井仪器能测量地层声波速度,声波速度与岩石密度、弹性模量等物理性质有关;核测井仪器可获取地层密度、含氢量等参数,自然伽马测井能反映地层天然放射性,中子测井可体现地层含氢量进而关联到含水情况,密度测井能计算地层体积密度。利用这些获取的参数,结合地质模型和经验公式,可计算地层的孔隙度、渗透率、含油饱和度等关键参数。孔隙度反映岩石中孔隙空间占比,渗透率体现流体在岩石中渗透能力,含油饱和度表示孔隙中油气所占比例,这些参数是评价地层是否为优质油气储层的重要指标。同时,多种测井仪器获取的参数相互印证、补充,能更全面准确地刻画地层特征。自然伽马测井曲线依据不同岩性地层天然放射性差异辅助划分岩性,与电阻率、声波速度等参数结合,可提高地层评价准确性,清晰区分砂岩、泥岩等不同岩性地层,明确有效油气储层位置和范围,为石油勘探开发中钻井位置选择、开发方案制定等提供关键依据。

3.2 油气水层识别中的运用

由于不同测井仪器对油气水层有着不同的响应特征,综合分析多种测井曲线成为有效识别油气水层的重要途径。电阻率测井仪器基于地层导电性差异记录数据,油气层因含油气,导电性差,电阻率测井曲线呈现高阻特征;水层含水,水的导电性相对较好,该曲线表现为低阻。中子测井仪器依据地层含氢量测量原理工作,油气层含氢量低,中子测井曲线读数较低;水层含氢量高,曲线读数较高^[4]。密度测井仪器利用伽马射线与地层原子核的相互作用测量数据,油气层密度较低,密度测井曲线读数较低;水层密度相对较高,曲线读数较高。将电阻率、中子、密度等测井曲线综合起来分析,能全面掌握地层在不同方面的特性。不同油气水层在这些曲线上的特征组合各不相同,通过对比分析,可建立一套科学合理的油气水层识别模式。依据此模式,能更精准地判断地层是油气层还是水层,显著提高识别准确率,降低误判风险,为后续的石油开采提供可靠依据。此外,成像测井仪器在油气水层识别中也有独特作用。它能直观呈现井壁的实际情况,清晰地显示井壁的裂缝和孔洞分布。在裂缝性油气藏中,裂缝和孔洞是油气储存和运移的重要通道,通过成像测井仪器获取的图像信息,可准确识别裂缝性油气藏的存在及分布范围,进一步丰富油气水层识别的方法和手段,助力石油勘探开发工作高效开展。

3.3 工程监测中的运用

钻井过程中,随钻测井仪器发挥着实时监测的关键作用。它能同步测量地层参数与井眼轨迹,地层参数包

含岩石的电阻率、声波速度、密度等,这些参数可反映地层岩性、孔隙度等特征,为钻井提供地质依据;井眼轨迹数据能让钻井人员清晰地掌握钻头位置与走向。依据这些实时信息,可及时调整钻井参数,如钻压、转速、泥浆排量等。若未及时调整,钻头可能偏离目标层,导致无法准确钻达油气富集区域;遇到复杂地层如高压地层、易塌地层时,还可能引发井喷、井塌等严重事故,影响钻井进度与安全。固井作业时,测井仪器用于检查水泥环质量。水泥环在固井中起到封隔地层、支撑套管等重要作用,其质量直接影响固井效果。通过测量水泥环的声波速度、密度等参数,能判断水泥环与地层、套管的胶结状况。若声波速度和密度符合标准,说明水泥环胶结良好,能有效封隔地层流体;若出现异常,可能存在窜槽问题,即水泥浆未完全填充套管与地层间的环形空间,导致层间流体窜流,影响后续生产,此时可及时采取补救措施。套管损坏检测方面,电磁测井仪器是重要工具。它能检测套管的变形、腐蚀等情况,利用电磁感应原理,通过测量套管周围的电磁场变化,分析得出套管的物理状态。若套管变形,电磁场分布会改变;若套管腐蚀,其导电性等电磁特性也会变化。根据检测结果,可为套管修复提供准确依据,确定修复位置和方式,保障后续生产的顺利进行。

3.4 剩余油分布研究中的运用

在油田开发进程中,地层会因油气的持续开采而发生一系列物理和化学变化,这些变化会体现在测井资料所记录的地层参数上。通过细致对比开发前后的测井资料,深入分析地层参数如电阻率、声波速度等的改变,能够为推断剩余油分布区域提供重要线索。电阻率与地层中流体的导电性紧密相关,当剩余油含量发生变化时,地层的电阻率也会相应改变,通过监测这种变化可大致圈定剩余油可能存在的范围;声波速度受岩石孔隙度和流体性质影响,开发后孔隙中流体组成改变会导致声波速度变化,进而辅助确定剩余油位置。生产测井仪器则为剩余油分布研究提供了更直接的数据支持^[5]。流量测井

仪器能够精确测量井筒内流体的流量,不同层位的产液量存在差异,通过分析各层位的流量数据,可以了解不同层位的产液能力;持水率测井仪器可测量井筒内流体的持水率,持水率的高低反映了该层位产水或产油的比例情况。结合流量和持水率数据,能进一步明确剩余油在各层位的分布状况。此外,将测井仪器获取的数据与地质模型和数值模拟技术相结合,能够实现对剩余油分布更准确的预测。地质模型可呈现地下地质结构的真实情况,数值模拟技术能模拟开发过程中流体的运动和剩余油的变化趋势,依据测井数据对模型进行修正和优化,可提高预测的准确性。基于准确的剩余油分布预测,能够科学合理地调整开发方案,如优化布井方案、调整注采参数等,从而提高油田采收率,实现油田的高效开发。

结束语

综上所述,测井仪器在石油测井中意义重大,其技术原理涵盖电法、声波、核、成像等多方面。在实际运用中,于地层评价能精准获取关键参数,助力判断优质储层;油气水层识别中,综合多种测井曲线可建立科学识别模式;在工程监测环节,保障钻井、固井安全及套管完好;剩余油分布研究方面,结合多种手段实现准确预测。通过这些运用,为石油勘探开发各环节提供关键依据,有力推动石油工业高效、稳定发展。

参考文献:

- [1]郭永春.石油勘探中测井仪器测速自动控制技术分析[J].石化技术,2025,32(12):381-383.
- [2]张希龙,石红鑫,张希凤,刘晓敏,张凯.现代仪器分析技术在石油化工油品分析中的应用[J].化工管理,2025(28):46-49.
- [3]陈超,王鹏.声学测井技术在石油工程中的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(8):149-150+153.
- [4]雷鸣.水平井测井技术在油气勘探中的应用进展[J].内蒙古石油化工,2025,51(11):72-74+106.
- [5]陈继胜,赵创,刘士潮.声学测井技术在石油工程中的应用研究[J].石化技术,2024,31(8):141-143.