

智能化注水技术在油田开发中的应用与管理优化研究

李彦明 刘景强

延长油田股份有限公司吴起采油厂 陕西 延安 717600

【摘要】：注水开发是油田保持产能、提高采收率的主要方式，在老油田高含水开发阶段，传统的注水技术存在调节精度不高、效率低、管理滞后等不足，不能满足油藏精细化开发的要求。智能化注水技术依靠物联网、大数据、人工智能这些前沿技术，达成注水参数的实时监测，精准调节以及智能决策，为油田高效开发赋予了新途径。本文以油田开发的实际为基础，对智能化注水技术核心组成及应用状况进行分析，并分析其在目前应用中出现的技术、管理问题，提出相应的管理改进措施，以期达到推进智能化注水技术规模化、规范化使用的目的，从而提高油田注水开发效益，为油田高质量发展提供技术支持。

【关键词】：智能化注水；油田开发；应用实践；管理优化；采收率

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.080

引言

伴随着电子、信息、人工智能等新技术的迅速发展，分层注水工艺进入了第四代智能测调的时代，智能化注水技术也随之产生。该技术把井下传感、数据传输、智能调控、油藏工程融合起来，实现了从人工控制到智能闭环的飞跃，可以精确地对接油藏动态变化，改善注水计划，缩减无效注水，削减开发能耗。目前智能化注水技术已经广泛应用于辽河、大庆、胜利等各大油田，取得了很好的增油降本效果，但是技术应用、系统运维、管理体系等还存在着诸多问题，需要依靠管理优化来突破发展瓶颈。因此对智能化注水技术在油田开发中应用和管理优化进行研究，对促进油田开发模式的转型升级、保证能源安全有十分重要的意义。

1 智能化注水技术在油田开发中的应用实践

1.1 分层智能注水应用

分层智能注水是智能化注水技术的重要应用领域，主要是为了解决油藏分层开发过程中，传统分层注水调控精度低、效率低的问题而设计的。目前，国内油田主要使用“桥式偏心+钢管电缆直读测调”为主干智能化分层注水技术，加装可充电式或者预置电缆式智能配水器来达到对各个层段注水量精确控制的目的。在辽河油田沈67块，因为油层数多、非均质性强，采用6级6层智能分注技术，用井下智能配水器实时获取各层段的流量和压力数据，在地面控制中心对水嘴进行远程调节来达到各个层次精准注水的效果。应用一年半左右的时间，对应油井的日增油量达到了2.7吨，累计增加的产量是923吨，油层的动用程度得到了明显提高。大庆杏南油田为适应特高含水期的开发特点，把层段细分调整同缆控智能分注技术融合起来，削减层间矛盾，砂岩动用厚度增至79.6%，日增注水量达1000立方米，成果十分明显。

1.2 注采联动智能调控应用

注采联动是智能化注水技术的应用拓展，把智能注水与智能采油的数据结合起来，从而达到协同调节注采参数的目的，

改善了以往由于注采脱节、调控滞后而造成的难题。该技术可以实时监测智能分层注水及智能分层采油状况，对各层系注水量、产液量、含水率、压力等数据实行动态比较分析，进而自行判定各层注采效率，从而达到注采参数的同步改良。注采联动技术的使用，很好地解决了注采参数不匹配的问题，实现了供给侧与采出侧的协同控制，从而提高了油藏开发的精细度，为老油田稳产增产打下了良好的基础。



图1 注采联动智能调控

1.3 设备故障智能预警与运维应用

智能化注水系统可以实时监测井下设备、地面设备的运行参数，用智能诊断算法对设备运行进行诊断，能及时发现设备故障，发出报警，引导运维人员做好维护工作，减少设备故障给注水开发造成的不良影响。在井下设备运维上，智能配水器带有状态监测模块，可以对电机、传动机构、密封机构等各个部分的运行状况实施持续的监控，一旦出现水嘴被堵、电机出故障、密封失效等状况，立刻发出警报，运维人员借助投捞工具迅速完成检修或者替换工作，从而防止问题发展。地面设备运维主要依靠地面控制系统来监测水泵、管道、阀门等设备的运行参数，对出现的管道漏点、水泵故障等情况及时采取措施加以解决，从而保证注水系统的正常运转。

1.4 智能决策与方案优化应用

依靠智能决策平台，把油田地质数据、注水数据、生产数据等融合起来，创建起油藏注水数值模型，使用人工智能算法对这些数据展开深入剖析，预估油藏动态变动情况，自动调整注水方案，给油田开发决策赋予科学支撑。科研团队依靠智能

决策平台对油藏动态数据展开分析,改进注水压力、注水量等参数,就不同类型的油藏制订差异化的注水方案,进而有效地改善了注水效果并提升了采收率,给油田的规模化开发给予了科学引领。

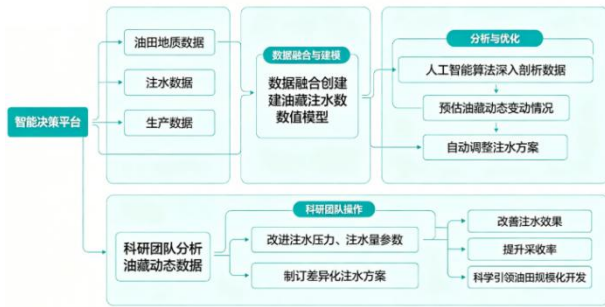


图2 智能决策平台

2 智能化注水技术应用与管理中存在的问题

2.1 技术层面存在的问题

油田井下环境多变、高温、高压、腐蚀性介质多,因此对于智能装备而言,其性能方面有较高的标准要求。目前部分智能配水器、传感器等设备的耐温耐压性较差,耐低温、耐高压能力差,在深层油藏、高腐蚀油藏中容易发生故障,使用寿命短。同时部分无缆智能注水技术存在着测调准确度不够的问题,不能满足高精度注水的要求。井下数据传输受到井身结构、地层条件、信号干扰等各方面的影响,在一些地方存在数据传输延时、丢包等状况,使地面控制系统的决策不能得到真实的井下数据支持,从而影响到控制效果的好坏。特别是对于海上油田、复杂的地形油田来说,数据传输的稳定问题更严重。

2.2 管理层面存在的问题

部分油田并没有建立起完备的智能化注水管理系统,缺少明确的管理责任、工作程序和考核标准,造成技术应用、设备运转、数据管理等工作没有系统的规范。各有关部门间缺少有效的协作与配合,造成数据共享延迟、职权交叉或者缺位情况的发生,从而影响到整体的管理工作。智能化注水系统运维要靠懂设备维修、数据解读、系统操控的技工来完成。目前大部分油田运维人员缺乏智能化设备、智能算法的全面了解,在处理设备故障、数据异常的时候不能迅速解决,造成系统无法正常运转。运维保障机制不健全,缺少完善的设备检修计划、备件储备,造成故障处理不及时。

2.3 人员层面存在的问题

智能化注水技术是把物联网、大数据、人工智能、油藏工程等多方面的知识综合在一起的技术,因此对于从业人的专业能力要求比较高。目前大部分油田缺少既懂油藏开发又懂智能化技术的复合型人才,造成技术应用及管理优化不能达到预期的效果。由于智能化注水技术培训体系的不完善,培训内容缺少针对性和实用性,培训方式比较单一,造成操作人员、运维

人员不能熟练地掌握系统的操作、数据解读、故障处理等技能,从而制约技术的应用。

3 智能化注水技术应用的管理优化策略

3.1 完善技术体系,提升技术适配性

3.1.1 加强矿井智能装备的研发和升级工作

根据油田井下环境特点加大智能配水器、传感器等核心设备的研发力度,提高设备耐温耐压、抗腐蚀能力,延长设备使用寿命。根据不同的油藏类型开发相应的智能装备,改进无缆智能注水技术的测调精度,提升技术适应性。在深部高压油藏中,设计出可以适应高温高压条件(150℃以上、80MPa以上)的智能注水装置。

3.1.2 改善数据传输系统

用先进的信号增强技术和抗干扰技术来改善数据传输路径,从而加强数据传输的稳定性以及及时性。根据油田实际情况合理选用有线传输和无线传输方式,海上油田、复杂地形油田可采用混合传输方式,保证数据高效传输。建立数据校验机制,对数据传输过程中出现的失真、丢失情况及时发现并加以纠正,保证数据的真实性、完整性。

3.1.3 优化智能算法和模型

根据不同的油田、不同的区块,对油藏地质条件及开发阶段进行分析,在此基础上改进智能决策算法,形成符合不同油藏特点的个性化的油藏注水模型,从而提高注水方案优化的针对性与科学性。研发轻量化智能算法,减少算力消耗,加快算法的应用。加强数据和物理两个方面的双重驱动智能调控新范式的创建,借助井筒与油藏多物理场耦合建模来改进智能决策。

3.2 健全管理体系,规范管理流程

3.2.1 创建起完善的智能化注水管理信息系统

明确各个部门、各个岗位所负有的管理职能,制定工作制度及考评标准,使技术应用、设备运行、数据控制等各项工作都被置于标准体系的制约之下。创建跨部门协同机制,加强地质、工程、运维等各方面的沟通合作,达到数据共享、信息互通的效果,提高管理效率。

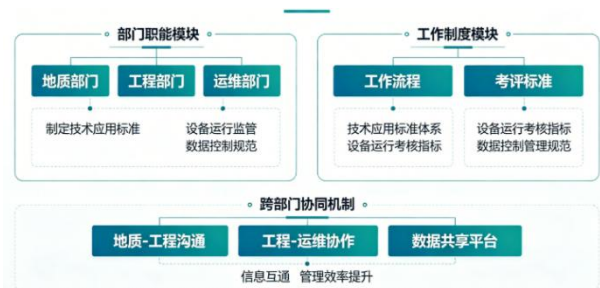


图3 智能化注水管理信息系统

3.2.2 对数据进行规范化管理

创建起完备的数据采集、保存、剖析、应用体系,确定数据采集的标准和规定,保证数据搜集的有序性以及精确性。强化数据安全防护力度,创建起数据备份以及加密系统,避免出现数据泄露或者丢失状况。从挖掘数据中价值的角度出发,用数据对比分析、趋势预测等方式给注水方案的优化、设备维护、决策制定提供依据,从而达到数据驱动的精化管理目的。

3.2.3 健全考核激励机制

把智能化注水技术的应用效果、管理水平纳入到绩效考核体系当中去,制定出合理的考核指标,包含配注合格率、设备运行稳定情况、注水效率、采收率提升幅度等各方面内容,从而激发工作人员的工作积极性与主动性。建立健全激励机制,在技术应用、管理改善、人才培育等各方面有突出表现的个人和团体给予表扬奖励,促使管理水平得以提高。

3.3 强化运维保障,提升运维水平

3.3.1 组建专业化运维队伍

整合运维资源,成立专业化的智能化注水运维组,确定运维职责,建立完善的运维管理制度及检修方案,定时进行设备巡视、保养及检修工作,对出现的设备隐患及时加以处置,以保证系统的正常运转。加强同设备研发企业之间的联系,创建起技术支持体系,及时解决运维过程中的技术难题。

3.3.2 创建完善的运行维保体系

建立完备的设备备件储备制度,按照设备运转状况、故障发生频次来决定常见备件的存储备份数量,从而保证出现故障的时候可以及时更换设备上的零部件,提高维修速度。改进运维流程,采取远程诊断,线上保养等手段来加强运维效率,并削减运维支出。利用远程监控系统对设备故障进行诊断,给出现场人员的维修建议,降低现场人员的工作强度。建立设备全生命周期管理档案,保存设备采购、安装、运转、维修、报废

全过程的信息,掌握设备运行情况,探究设备故障的规律,改进设备的维护计划,延长设备的寿命,削减设备的购置与运转费用。

3.4 加强人才培养,提升专业素养

按照油田发展需要,制订人才培养规划,重点培育具备油藏开发知识和智能化技术两项技能的复合型人才。加强同高校、科研院所的合作,采取定向培养、校企合作等方式引进或培养专业技术人才,充实队伍。实行分层分类的培训制度,就操作人员、运维人员、管理人员等各类人制订出有针对性的培训内容,着重培训系统的操作,数据的剖析,故障的处置,智能算法等方面的相关知识和才能。创建新的培养方式,线上培训、现场演练、案例剖析、技术交流等形式提高培训效果,使职工真正理解智能化注水及管理方法。完善人才评价体系,冲破身份、学历、职称等束缚,重视人才实际能力和工作成果,给人才留出宽广的发展天地。创建人才交流制度,在各个部门、各个区块之间推行人才流动机制,从而加强人才综合素质及业务水平。

4 结论

智能化注水技术是油田开发向转型升级的核心技术,把物联网、大数据、人工智能等先进技术结合起来,具有调控精度高、作业效率高、开发效益好的特点,在分层注水、注采联动、设备运维、智能决策等各方面的应用,可以有效地解决传统注水技术存在的痛点难点问题,提高了油田注水开发的精细化程度和采收率,为老油田稳产增产、降低成本提供了强有力的支撑。目前智能化注水技术在应用和管理过程中还存在着技术适应性不够、管理体系不健全、运维水平低、人才缺乏等问题,不能充分发挥技术的优势。经由改善技术体系,健全管理体系,加强运维保证,培养人才等管理改良手段的落实,可以有效地解决上述问题,使智能化注水技术得到规模化,规范化的应用,进而提高油田开发效益。

参考文献:

- [1] 张永庶,伍坤宇,王全宾,等.青海油田智能化分层精细注水高效稳产关键技术体系[J].石油勘探与开发,2026,53(02):398-407.
- [2] 方健.油田注水系统智能化关键技术研究进展[J].化工自动化及仪表,2025,52(01):1-9.
- [3] 陶宇龙.智能钻井技术研究现状及发展趋势探究[J].石油工程建设,2022,44(02):151-153.
- [4] 叶勤友,刘亚珍,孙伟,等.智能化多管分层注水技术研究与应[J].石油机械,2021,49(06):82-87.
- [5] 毛志高,刁海胜.油田“源—供—注—配”智能化注水技术的研究与应用[J].信息系统工程,2021,(02):147-148.