

动液面的油井优化控制方法研究

王亚鹏 延长油田股份有限公司吴起采油厂

【摘要】基于现代信息化技术水平的不断提升，为我国采油产业发展带来了可靠支持。油井在长期采油过程中会出现动液面下降等问题，对采油效率和质量都带来严重的负面影响。为此，文本针对动液面影响因素和控制方法理论进行分析，提出了自适应模糊控制系统，对动液面的油井进行优化控制，保证油井动液面的有效调节和控制，同时特提高参数调节的准确性和高效性。在自适应模糊控制系统的应用中，满足油井动液面动态控制需求，也提高了动液面控制的智能化水平，为石油开采产业的发展提供可靠支持，满足新时期石油产业的健康发展目标。

【关键词】动液面；油井；优化控制；方法研究

【DOI】10.12316/j.issn.1674-0831.2022.05.030

一、动液面的油井优化控制内涵

在井中的动液面高度，通常指的是从井口到环空水平液面之间的整体深度，而且动液面高度也是井的泵采水量与析出相量平衡结果。但对有杆泵的沉没度而言，它通常指的是有杆泵位于井的动液面以下的深值，也可认为是动液面高程和井下泵水深的比值。在井动液面达到相应的高程以后，液压泵的沉没压力就是对抽油机工作状况判断的最主要表现，良好的设置动液面高度能够有效提升油井的抽油泵采储量，从实际情况来看主要体现在以下几个层面：首先，在井下抽油泵的运行，必须具备良好的油层液面柱体压力，通过这个压力来缓解石油引入泵孔时出现的阻力现象。而且通过数据表明，在沉没压力达到一定标准后，井下抽油泵的沉没压力与采出效率有着直接关系，所以，为了确保抽油泵采油效率的提升，必须重视合理把控抽油泵的沉没压力。其次，在井下抽油泵沉没压力大于地层供液阻碍时，油田的石油采出量也会有所降低。当井下抽油泵沉没度超出标准值后，一般会造成抽油杆与油管的弹性增大，并且结合处孔隙变大，导致泵流出口也增加，使泵采效率下降，对油井正常生产带来较大的负面影响。通过以上对动液面对油井开采带来的影响可以看出，在油井下采油作业时，如果采油泵达到一定深度后，必须合理地控制动液面高度，保证动液面处于适当的范围内，起到良好动液面测量和控制效果，对油井产量的提升具有重要意义。

二、油井动液面优化控制理论

1.油井SCADA系统结构

基于我国当前的石油开采分析，在实际井下开采作业中，十分看重现场数据的监管与控制，通过这一环节能够实现油田经济的有效维护，同时也有助于石油开采工作的顺利进行，是一种油田智慧型管理的重要途径。

随着国际石油开采领域的不断发展，西方发达国家很早便提出了SCADA系统的运用，并且在实际应用中取得了良好的管理效果。但是在我国油田开采产业中，SCADA系统的应用仍然处于初级阶段，其中仍然有许多问题有待解决。为了满足油田发展需求，在油田开采活动中广泛运用了SCADA系统，同时也对油井动态液面进行优化控制，对油田生产状态进行有效改善。

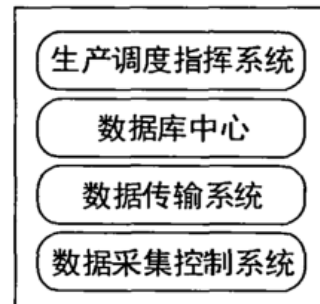


图1 SCADA系统组成

为了进一步研究SCADA系统在油田开中的应用，首先要掌握油田管理层级，以某油田企业为例，该油田总公司在全国共有下属一百余个采油厂，同时每一个采油厂中都包括多个采油队，以每一个采油队为管理单元，通常个情况下包括百口油井与站厂，也包括许多计量站、注水站辅助体系。通过四级SCADA系统的设计，除了总部以外还设置了三个层级中部署，但该系统需要对油田总部提供数据库支持（具体组成如图1所示）。

在SCADA系统的结构中，数据采集控制系统作为底层系统，其中除了现场油井以外，也包括注水站和计量站等辅助结构。而数据采集控制系统的主要作用是对采油现场的数据进行收集，并将采集回来的数据汇总到数据传输系统内，同时也可以接受生产调度指令，对现场命令参数进行分析。在进行现场采油作业中，对油井采油泵运行的参数进行有效监测十分重要，这些参数直接关系到油井能否可靠运行。具体参数包括荷载位移、井

口参数、故障报警信号以及泵冲次等，此外，为了提高油井现场作业的稳定运行，也要对变频器调节参数、远程校对参数和油井启停等可调参数进行监测。另外，辅助泵站中注水站的主要作用是通过处理后的注水要求内注入低压水，在油层注水环节中，对注水压力、注水流量、注水温度以及注水阀门的大小等参数进行有效监控，保障注水站的可靠运行，为油井开采作业提供支持。另外也包括一些关于油井的可调参数监控，通过这些参数的监控，基于RTU与数据传输系统相连，达到良好的监测效果，数据采集控制系统（如图2所示）。

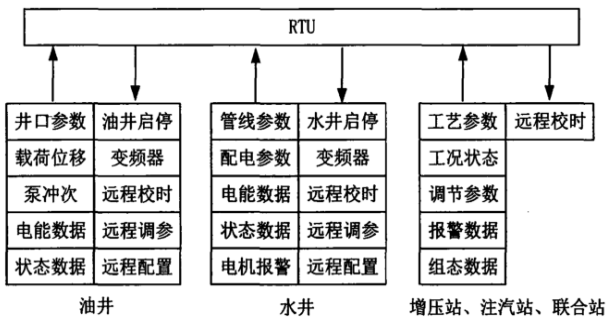


图2 数据采集控制系统

2.油井动液面优化控制目标

油井动液面测量值是检定油层供应能力的重要标准，在现代油田开采领域中，动液面大部分都是通过人为根据经验来实现调节，而这种人为调节的方式不但会产生较大的误差问题，同时也会耗费大量的人力成本，工作效率低，自动化水平不足等，无法满足新时期的油田产业发展趋势。所以，人们必须重视油井动液面优化控制方法的研究，构建全新的优化控制系统，保证油井抽油机的稳定运行，提高动液面测量与控制的可靠性。

（1）动液面影响因素。基于动液面产生原理来看，动液面的变化主要受到油层供油量以及抽油机采油量的影响。在油井现场开采初期，一般油层都会具备较强的供液能力，同时动液面也比较高，在实际开采中油田企业为了提高油井采油效率，极大采油产量，一般会将抽油机采油量设置比较大，并且也要保持动液面处在一个标准高度范围。当采油阶段达到末期时，油层就已经缺少了原本的供液能力，这时如果抽油机的采油量不变，那么油井动液面也会逐渐下降，从而影响油井采油产量和效率。

当油井达到了采油后期，油层供液能力严重下降，油田开采一般会开展注水的方式来补充油层的供液能力，通过注水驱油法，在油井附近设置供水泵，并且在油层的生成与下层分别注入高压水，提高油层本身的压力，从而强化油井供液能力，对动液面也产生一定的改

变，如图3所示。此外，检泵、堵水和洗净的环节中也会对油井动液面产生一定影响。

由于油井附近的地层也比较复杂，除了上述人为对动液面产生的影响以外，动液面的改变也会受到自然因素的影响，比如地层压力带来的影响，导致动液面变化异常，常见的自然因素包括地质结构变化、孔隙流体温度改变、地震等因素，都会引发地层压力异常，从而改变动液面高度。结合以上对动液面影响因素分析来看，大体可以分为自然因素和人为因素，而人为因素中主要为注水驱油方法所影响，对动液面都会产生较大的影响，并直接影响油井的采油率和采油效率。

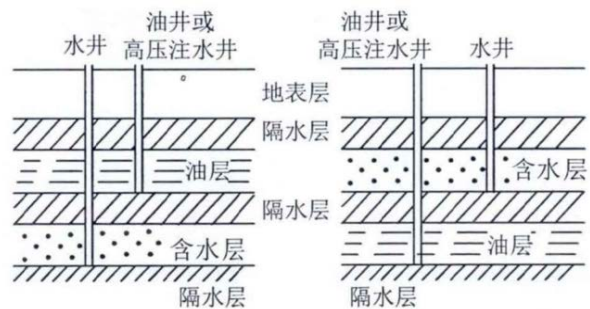


图3 理想水平分层含油层

（2）动液面对杆柱和井下环境带来的影响。如果油井沉没度过低，那么还会对井下作业环境造成较大的影响，尤其是对于高产的油井中，经常会出现油管有石蜡析出，堵塞管道的现象，同时也会导致有关受到腐蚀发生渗漏的现象。在油井开采初期极短，采油量比较大，因此采油泵的沉淀度一般设置较低，然而从原油中析出的气体也会随之进入采油泵的泵筒内，从而导致泵机无法举升，油液静置于油管内。当油筒内油液高度不发生改变，也会进一步促进石蜡的析出，使堵塞现象更加严重。有些重析出的气体堵塞油管，导致压力不断增大，从而很容易引发漏油等问题。另外，油液中还包含了丰富的污垢和杂质，当沉没度较低时也会产生析出现象，同时黏附在有关与抽油杆缝隙内，使污垢与杂质含量增加，阻碍抽油泵正常运行，从而产生油杆弯曲或变形的状态。如果沉没度过低还会出现油杆断落等现象，在井筒内的液面较低时，油管中原油不足，还有部分气体会留在柱塞底部。在抽油杆的运行过程中，气体段没受到浮力影响，油杆也会受到重力影响边长，当柱塞基础液面时还会受到浮力的影响，导致油杆迅速收缩，造成油杆磨损，这种现象又称之为液击，如果严重的液击现象还会发生抽油杆断落等问题。

三、油井动液面优化控制系统设计

1.动液面优化控制系统结构

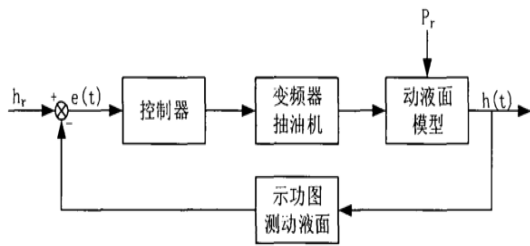


图4 动液面控制系统结构图

通过动液面控制系统结构图（如图4）可看出，该控制系统的结构主要由动液面控制器、变频器、抽油机、动液面模型、示功图测动液面所构成，其中变频器与抽油机是采油的关键设备，通过变频器频率的调节，可以有效控制抽油机的转速，转速的变化也能够保证抽油机持续动作，改变运动速度，冲次的变化也能够影响抽油机的工作效率，通过对动液面的控制来提高采油量。

2.油井动液面优化控制方法

（1）模糊控制法。随着智能化理念的全面推进，在油井动液面的控制中也引入了智能控制技术，而模糊控制方法就是其中应用较为广泛的技术，模糊控制法主要是通过以计算机技术为基础，运用数字控制的基本原理，利用模糊规则、模糊模型和模糊推理等李理论基础，不仅能够对油井动液面体实现高效的管理，形成简单的管理系统，同时还可以提高控制不确定控制系统，因此不仅具有系统性理论支撑，同时也具有大量的实际应用背景。模糊控制并不需要对被控制模型获得良好的准确度，因此通常采用模糊推理或者模糊规则对整个控制流程加以说明，但作为一个可以模拟人思考的复杂系统，在实际使用中需要先对设定值和实际数值之间的误差做出模糊评价，然后再使用计算机进行处理分析，然后再输出反应精度。

模糊控制系统的核心为模糊控制器，通过计算机控制系统构建一个闭环控制体系，能表现出智能化控制效果。模糊控制系统能满足一般闭环控制系统的特点，同时也由于自身的特性，模糊控制系统组成如图5所示。

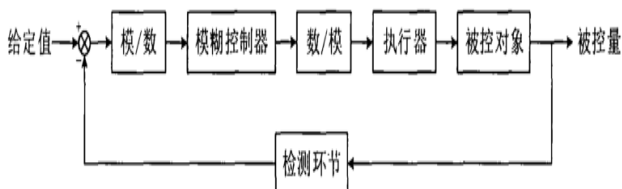


图5 模糊控制系统组成

（2）自适应模糊控制法。模糊控制一般应用在被控目标模型较为复杂，又或者无法准确地建立和干扰较大的系统中，但由于模糊控制系统在设计过程中需要依靠人为经验来实现，从而导致模糊控制器还可以处理人为经验以内的过程，对于持续变化的过程一般很大达到良

好的控制效果，以往的模糊控制就无法满足实际需求。为此，人们又提出了自适应模糊控制方式，相比于传统的模糊控制系统，这种全新的自适应模糊控制系统增加了三个作用，自适应模糊控制系统结构如图6所示：

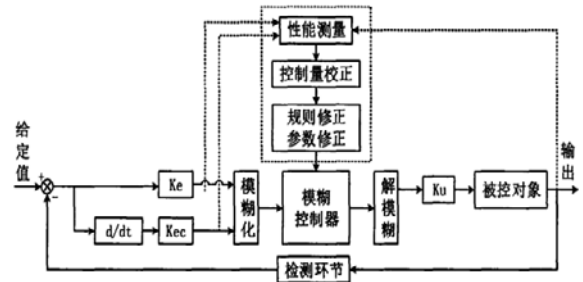


图6 自适应模糊控制系统结构

通过自适应模糊控制系统结构来看，性能测量能够以期望值与测量值之间的偏差为基础，对规则修正与参数修正提供可靠支持。而控制校正模块也能够实现控制校正量的有效转化，并且规则矫正也可以基于校正量计算控制，对参数进行修订。结合当前的应用分析，自适应模糊控制系统在实际应用中应该分别存在直接控制和间接控制两种方式。其中直接控制方式主要是利用系统实测功能与理想性能的差距，利用正确的校正措施，对控制参数进行直接调整，再次环节中不需要获取控制目标模型。间接控制主要通过识别获取控制目标模型，对控制参数进行在线调节。

四、结束语

综上所述，随着我国石油产业的大力发展，也推动了石油开采企业的发展，在企业的油井开采作业中，油井的动液面对整个开采活动具有重要影响，良好的控制动液面也是维持油井开采作业的重要参数。但是由于地层压力等因素的干扰，经常导致油井动液面发生异常变化，从而影响油井采油量与采油效率。为此，人们必须重视油井动液面优化控制方法设计，采取模糊控制和自适应模糊控制方法对地层压力干扰的影响进行自适应，获得一个最佳的控制效果。

参考文献：

- [1]张立婷,李世超,郑东梁,石硕,曾鹏.基于多源信息融合的油井态势感知系统[J].自动化仪表,2019.
- [2]陈伟时.有杆泵井供排协调生产优化控制技术研究[D].西南石油大学,2017.
- [3]阮晓越.智慧油田中油井动液面优化控制系统的研究[D].大连理工大学,2016.
- [4]官照天.基于动液面的油井优化控制方法研究[D].大连理工大学,2015.
- [5]郝瑞娜.油井经济运行优化控制及数字化评价[D].大连理工大学,2014.