

利用电磁流量计监测井下溢流发展前景分析

徐 飞 (中石化华东石油工程有限公司六普钻井分公司, 江苏 镇江 212003)

摘要: “一带一路”沿线油气资源合作规模水平不断提高, 利用电磁流量计监控井下溢流是近期科研人员研制出的一种新型自动监测报警系统, 能够消减造成溢流迟报、误报的不利因素。该系统是通过流量计和电脑系统将钻井井循环系统进出口的流量差作比较和判断, 以实现在线实时、快速发现井漏、溢流。此系统在西北工区 TH10388X 井和 TH10441H 井成功进行现场应用试验, 溢流或漏失量在 0.5m^3 内能及时报警。相比传统人工监控, 该系统克服了人员失误、设备缺陷等因素, 能更准确、更及时发现溢流, 为钻井关井、压井赢得处理时间, 符合中国绿色环保产业发展规划, 在“一带一路”钻修井行业具有广阔发展前景。

关键词: 电磁流量计; 溢流; 自动监测; 发展前景

1 “一带一路”油气合作情况

面对油气资源禀赋的巨大吸引力, 我国石油石化企业普遍将共建“一带一路”作为境外油气勘探开发业务布局的战略指引与遵循, 并已逐渐形成了中东北非、俄罗斯中亚、南大西洋两岸等重要油气合作区, 在有力促进油气资源国及企业自身可持续发展的同时, 也为“一带一路”油气合作的健康发展及维护国家能源安全发挥了重要作用。

当前, “一带一路”油气合作正面临着百年变局加速演进带来的严峻挑战。一是大国博弈加剧、局部冲突频发、制裁事件增多、世界秩序规则受限失能、全球政经版图更趋集团化, 国际局势不稳定、不确定、难预料已成为常态。如地缘政治冲突延宕至今, 油气合作格局发生重大重构, 未来何时结束、以何种方式结束尚难以预料。

二是全球经济复苏乏力, 增长预期低迷, 下行压力加大, 金融风险上升, 国际化经营面临的宏观大势更加复杂。典型如油气价格宽幅波动。2020至2022年布伦特原油现货年均价格分别为42.0、70.9、100.9美元/桶, 显著超出了60-80美元/桶的OPEC+限产保价理性预期区间; 同期, 我国进口现货LNG到岸价格分别为3.88、14.80、35.31美元/百万英热单位, “一带一路”油气合作达成长期共识难度明显增大。

三是能源转型政策过激, 主要经济大国都致力于发展可再生能源, 以降低对传统化石能源的依赖。“一带一路”油气合作面临更为严格、复杂的监管环境, 政策不确定性增加, 社会舆情风险升高, 既要绿色低碳又要能源安全的矛盾亟待破解。

共同的国家能源安全诉求为今后的“一带一路”高质量油气合作创造了有利机遇。一方面, 油气资源

国需要稳定的市场空间、价格及运输来保障油气行业的长期经济支柱地位, 为后疫情时代的经济重振、民生改善及更长远经济多元化转型提供长期、稳定的资金来源。另一方面, 我国石油石化企业实现能源资源保障和高质量可持续发展目标, 同样离不开稳定的油气合作环境。

2 电磁流量计监测系统产业原理

电磁流量计监测系统以泥浆循环方向为流向方向, 在泥浆进口端和出口端分别安装磁流量计, 如图1所示。

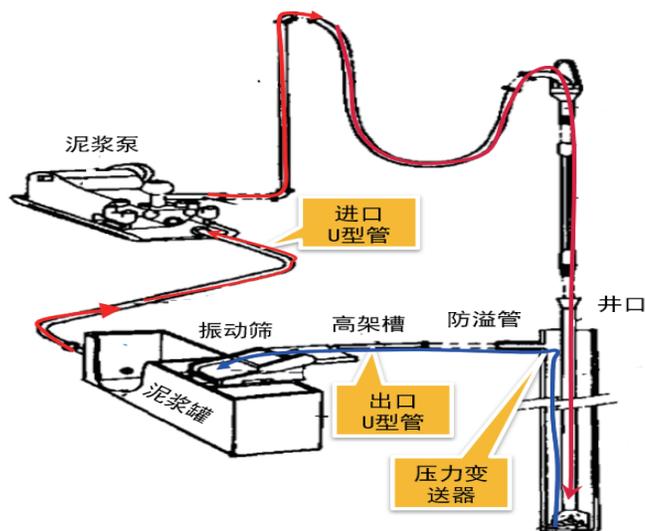


图1 电磁流量计监控系统核心部件安装示意图

2.1 电磁流量计原理

电磁流量计监控系统核心配件为进口流量计、出口流量计等计量元件。电磁流量计是根据法拉第电磁感应定律制定, 用于测量导电流体的体积流量。流量计的测量管是一内衬绝缘材料的非导磁合金短管。两只电极沿管径方向穿通管壁, 固定在测量管上。其电

极头与衬里内表面齐平。励磁线圈脉冲励磁时,产生磁通密度为 B 的工作磁场,方向与测量管轴线垂直。此时,具有一定电导率的流体流经测量管,将切割磁力线感应出电动势 E 。电动势 E 正比于磁通密度 B 、测量管内径 D 和平均流速 V 的乘积。电动势 E (流量信号) 由电极检出,并通过电缆送至转换器。转换器将流量信号放大处理后,可显示流体流量,并能输出脉冲,模拟电流等信号。

数学模型为: $E=K \times B \times D \times V$

式中: E 为电极间的信号电压(单位: V); B 为磁通密度(单位: T); D 为测量管内径(单位: m); V 为平均流速(单位 m/s)。

K , D 均为常数,由于励磁电流是恒流的,故 B 也是常数。则 E 与 V 正相关,折算成流量,即流速感应的信号电压 E 与流量 Q 成线性关系,只要测量出 E 就可确定流量 Q 。

2.2 报警原理

正常井下钻进、循环时泥浆进、出口流量相等。电磁流量计监测系统将进、出口流量计和压力传感器作数字对比,进口流量大于出口流量判断为漏失,进口流量小于出口流量判断为溢流,最终采集数据在电脑主机监控界面上实时显示,并实时快速发出报警。

3 电磁流量计监控系统现场应用

电磁流量计系统由硬件和软件两部分组成。软件部分为 LLT-3 井下漏失与溢流监控系统,硬件部分包括压力变送器、电磁流量计、进、出口“U”型管、除砂搅拌器、脱气器、LLT-3 井下漏失溢流采集机柜和电脑工控主机等。

3.1 现场安装

在泥浆泵进口处挖 $3.0m \times 1.8m \times 3.3m$ 的深坑,安装进口端设备。U 型管装置入口与出口保持 $800-1100mm$ 的落差,充分利用虹吸原理。传感器方向必须与实际流量方向一致。必须保证满管测量状态。流量计前后直管段要求 $L1 \geq 5D, L2 \geq 2D$ 。干扰安装单独良好接地,避免强磁场干扰。正确接地和铺设电缆、信号传输电缆。流量计前后端接地环有可靠的接地。

出口 U 型管进液口安装在高架槽处,出口和振动筛相连接,依靠高架槽上的挡板控制进出口 U 型管。顶部安装脱气器把钻井液中的气泡进行脱离,提高电磁流量计测量的精度。底部安装搅拌器作用防止岩屑沉淀堵塞 U 型管。在防溢管出口管位置下端安装一个压力变送器,根据压力与液面的对应关系,监测防溢

管的液位高度变化。

最后将各数据采集设备用信号传输电缆连接,正确接地,最终采集数据在电脑主机监控界面上实时显示。

3.2 现场试验结果

TH10388X 井: 该井于 2017 年 2 月 25 日三开钻进时开始运行电磁流量计监控系统,3 月 12 日结束,历时 16 天。试验通过改变泥浆泵排量 3 档次,开关 U 型管脱气器等模拟地层发生溢流,试验结果验证了系统能快速、提前发现溢流和漏失,并同步报警,能满足现场各作业工况的要求;验证了实时在线监控系统的稳定性;验证了该系统相比传统坐岗的优势,能为井控安全提供强有力保障;验证了在钻井液进出口分别安装高精度电磁流量计,实现满管测量,检验了系统中电磁流量计的适用性、准确性,以及钻井液中存在气泡时的适用性和准确性。

TH10441H 井: 该井于 2017 年 5 月 18 日开始运行电磁流量计监控系统,共运行 33 天。试验验证了电磁流量计系统的稳定性、监测数据的真实行、监测溢流的效果、沉砂助推器的防沉砂效果和使用电测流量计对岩屑录井的影响。

电磁流量计监测系统在 TH10441H 井两次井漏状态下都及时报警,第一次漏失 $0.2m^3$ 报警,第二次井漏为井口失返性漏失,在井口失返前 $11.7m$ 提前报送了出口流量降低,第一时间进行了报警。根据要求,总漏失量在 $0.5m^3$ 内,监控系统能启动报警。电磁流量计监测系统能在更小漏失量范围内报警,比预期更加灵敏,给井控处理争取了时间。

通过试验将人工坐岗和计算机响应时间进行了对比,流量监测响应时间远远提前于人工。

4 结论及前景展望

4.1 结论

①电磁流量计调试好后,录取数据与实际数值误差较小,录取数据准确。

②正常情况下,低固相聚磺钻井液体系中的气体对监测数据无较大影响;地层气体逸出造成的排量变化在数据终端响应灵敏,3S 发生变化,可清晰分辨。

③随钻启动电磁流量计监控系统,共平稳运行 2 井次,49 天,其中 2 次漏失报警与实际情况一致,报警可信度高。

④电子信息技术是高科技产业,结合目前国家的科技兴国战略,在“一带一路”油气产业国家具有推

广价值。

⑤具有经济性，符合国家油气产业转型，低碳环保政策，国家大力提倡和支持。

4.2 前景展望

我们要及时把握机遇，统筹谋划、深化参与“一带一路”油气合作，努力实现境外油气合作高质量发展。面对全球能源版图深刻变革的新形势、新挑战在“四个革命、一个合作”能源安全新战略的指引下，锚定境外上游投资与经营作业一体化的战略定位，以实现决定性扭亏脱困为牵引，聚焦海外油气业务高质量发展，不断深化价值创造与业财融合，着眼长远谋划资源接续，全力打造安全可靠的海外油气生产基地，稳步推动国际能源合作取得新突破。当前，国家正进一步拓展海外能源保障能力，紧紧围绕资源和效益，以管理体系现代化为目标，制定积极稳妥的海外项目投资策略，着力推进存量资产提质增效，不断优化资产结构，持续加强我方在国际合作中的话语权，奋力开创可持续、高质量发展的新局面。

①在能源安全新战略和人类命运共同体思想引领下，充分理解“一带一路”沿线油气资源国合作诉求，充分发挥国内市场、全产业链一体化等企业优势，努力拓展战略合作空间，做好资产结构布局优化，以发展带动提质增效。顺应绿色低碳发展大势，在天然气、LNG等清洁能源资产领域寻找机会，多元化激活资源盘子，并充分发挥一体化优势，利用中国石化的市场规模、贸易优势、下游业务优势，带动上游新项目开拓。

②利用好“一带一路”能源合作伙伴关系及中国—东盟、中国—东盟、中国—非盟、中国—中亚、中国—中东欧、亚太经合组织可持续能源中心等能源合作平台，深化沟通交流，形成服务国家战略、依靠国家战略的良好局面。以加快建设安全、可靠的海外油气生产基地为主线，聚焦中东、中亚、北非、南美等重点地区，主动出击扩大“朋友圈”，积极寻找有规模、有潜力、性价比高的优质资产，增强“造血”能力和发展后劲。聚焦有潜力的勘探项目和受油价影响小的规模开发项目，为未来增储上产夯实基础。

③聚焦非常规、深水、深层超深层油气资源，加强技术攻关和人才队伍建设，努力将技术能力转化为市场份额和经济效益，有力支撑“一带一路”油气高质量合作。勘探方面，持续加大油气勘探投入，集中技术优势深化地质综合研究，抓好重点项目勘探运行和潜力评价，锚定产量奋斗目标推动增储上产。开发

方面，围绕提产能、控递减、增可采、降成本，积极扩大效益建产规模，持续加大效益开发力度。扎实推进新区产能建设和老区综合治理工作，全力保障油气生产高效安全运行。提升重点项目采油气工艺，深挖老油田稳产上产潜力。科学论证安哥拉、巴西、加拿大等项目新区方案，开拓产建接替阵地。工程方面，推广应用地质工程一体化设计、钻井设备升级、先进工艺技术，提升钻完井工程技术和指标，加强地面（海洋）工程部署审查，切实提高了投资效率。成本方面，强化全员成本目标管理，推进成本分摊体系延伸，深化供应链等关键环节垂直管理，实现成本总额和桶油成本低位运行，进一步锻造成本竞争力。

④顺应绿色发展大势，探索天然气制蓝氢蓝氨、服务主业用能的光伏风电等油气与新能源融合发展模式，尽早形成试点项目。加强境外油气项目降碳技术攻关，加快CCUS技术突破和应用，为“一带一路”油气高质量合作提供技术支持。

⑤强化“一带一路”油气合作风险管控，做实增量合作项目的风险防控关口前置，对重大合作项目、首次合作领域，深入开展前期阶段的风险评估论证，切实筑牢重大颠覆性风险的“防控网”；同时做好存量合作项目的风险排查及监测预警，及时应对化解风险。抓好“防风险、促发展”两条主线，以国际化能力提升赋能国际化经营。开展国际化能力提升诊断评估、对标分析、路线设计，打造具有国际标准、国家元素、石化特色的HSSE管理、合规管理等“10+1”制度体系，为规范运营提供有力保障。

⑥注重企业间的合作交流，共享资料信息、软硬件和研究成果，共同开展“一带一路”油气资源战略选区及“卡脖子”技术与装备攻关，共同提升依法合规、ESG等方面的管理水平，不断提升参与“一带一路”油气合作的综合竞争力。

历经十年发展，我国共建“一带一路”倡议、人类命运共同体思想已深入人心、成为国际社会共识，形成了谁参与、谁受益的普遍合作预期；同时，我国的巨大市场优势，难以由第三国替代，油气资源国拓展我国市场意愿较为强烈，为通过高质量油气合作推动高质量共建“一带一路”行稳致远奠定了坚实基础。我国石油石化企业在“一带一路”油气领域所取得的新的合作成就，将为我国与共建国家加强全面合作、共谋全面发展提供强有力支撑。