

未来智能钻井系统

刘清友

(西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500)

摘 要: 展望了未来智能钻井技术的系统组成、功能及其运行方式. 智能钻井新技术是钻井技术、新材料技术、检测控制、微电子技术、通信和计算机、机器人和超微加工技术等集成. 未来的智能钻井将采用轻便车载连续油管全自动钻机, 钻井作业中, 安置在钻头上的智能机器人将观测和检测到的所有井下参数上传到地面, 在钻井的同时完成测井工作; 地面人员通过控制钻头运动轨迹和转速, 实现遥控智能钻井; 起下钻等钻井作业均由地面机器人按指令自动完成; 通过通信网络技术, 实现全球钻井协同工作. 因此, 智能钻井将大幅度降低钻井成本, 大大提高钻井速度, 减少钻井事故的发生, 实现井眼轨迹的精确控制, 进一步提高石油天然气勘探开发技术水平.

关键词: 智能钻井; 钻井技术; 智能机器人

中图分类号: TE21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785 (2009) 01-0016-05

Future intelligent drilling technology

L IU Qing-you

(State Key Laboratory for Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: System composition as well as functional and operational modes of an intelligent drilling technology for the future were analyzed in this paper. It is an integration of a series of technologies, including drilling, use of new materials, new testing controls, microelectronics, telecommunications, computers, robots and ultramicro machining, etc. A portable, truck-mounted, flexible and fully automatic drilling rig with coiled tubing was envisioned for this system. In this future drilling process, intelligent mini-robots mounted on the drill bit observe and detect all down-hole parameters and send data back so as to simultaneously finish the logging operation while conducting the drilling process; intelligent drilling under remote control will be completed automatically with robotic instructions: robots control the drilling speed and trajectory of the bit. All drilling operations, such as tripping operations and cooperation among global drilling operations, are organized through communication network technology. It is anticipated this technology will significantly increase drilling speed while greatly reducing drilling accidents and costs. Owing to the precise control of well trajectory, intelligent drilling technology will improve the technical level of exploration and development of petroleum and natural gas.

Keywords: intelligent drilling; drilling technology; intelligent robot

世界新技术革命推动了石油科学技术的大发展, 在过去十年中, 国内外钻井技术也取得了长足进步, 大大提高了钻井技术水平, 降低了钻井成本^[1]. 但钻井仍然是油气田勘探开采中花费最大的作业.

进入新世纪的世界石油工业, 无疑使石油科技日益走向信息化、智能化、可视化. 由于高新技术在石油勘探开发中的应用, 未来的钻井技术将向更加精确、高效、低成本、智能化和环保的方向发展^[2]. 随着钻井技术、新材料技术、检测控制、微电子技术、通信和计算机、机器人和超微加工技术等进一步发展, 智能钻井新技术必将应运而生, 并将会成为 21 世纪钻

收稿日期: 2008-11-07.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50674078, 50874096).

通信作者: 刘清友. E-mail: liuqy66@yahoo.com.cn

井技术的主要发展方向.

1 智能钻井系统

智能钻井新技术是信息技术、微电子技术、机器人技术和通信网络技术与钻井工程紧密结合的一种集成化技术.

未来的智能钻井系统如图 1 所示. 井下钻具非常简化, 主要由高寿命智能钻头、高智能微型机器人、轴承组、机械密封、变速箱、电机、润滑油补充系统、断开接头、CT (coiled tubing) 接头及复合材料连续油管 (composite coiled tubing, CCT) 构成. 地面设备将全部集中安装在一台标准的货运汽车车厢中, 主要有 CT 全自动钻机、数据采集及显示系统、工艺控制系统、井控系统、钻井液循环及固控系统等. 在每个钻井现场, 通过植入 CCT 内的纳米电缆可形成井下与地面的闭环信息流程, 实现遥控智能钻井; 全球集中控制中心通过通信网络技术对全世界各个油田的钻井操作进行控制, 实现全球钻井协同工作.

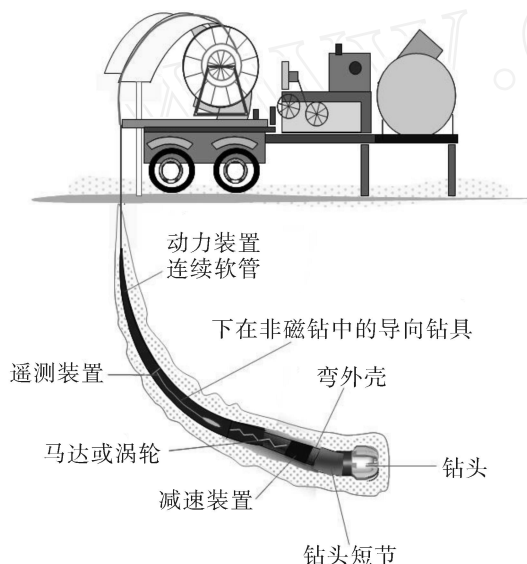


图 1 智能钻井系统

Fig 1 Intelligent drilling system

在钻井过程中, 井下电动机直接驱动高寿命智能钻头进行钻井作业, 高性能泥浆由小型高压泵通过 CT 送入井下. 安置在井下钻头上的高智能微型机器人直接观察和检测井下钻压、钻速、扭矩、泥浆性能、岩石性能、地层孔隙压力、井眼轨迹、井壁稳定、钻头磨损、力学特性等所有井下参数, 并通过植入 CCT 内的纳米电缆传输到地面控制中心, 在钻井的同时完成测井工作. 地面控制中心的 1~2 名技术人员负责监控, 并根据井下工况及钻井工艺要求, 通

过调整井下钻头喷嘴方向和泥浆流速、流量来控制钻头运动轨迹, 实现对轨迹的实时控制, 通过调节井下变速箱实现对钻速的控制. 同时, 起下钻等钻井作业均由地面机器人按指令自动完成.

当遇到特殊钻井问题时, 可以通过高速可视化智能网将信息传输到全球集中控制中心, 集中控制中心的世界知名专家根据现场的实况及时分析、处理, 并将处理结果反馈到现场地面控制中心, 解决钻井中的各种问题.

由此可见, 智能钻井将大幅度降低钻井成本, 大大提高钻井速度, 减少钻井事故的发生, 实现井眼轨迹的精确控制^[3], 对推广各种特殊钻井工艺, 如小井眼钻井、大位移井、水平井钻井、定向钻井和丛式钻井等提供了可能, 并能实现对复杂地层和恶劣自然环境下的石油天然气勘探开发.

显然, 未来智能钻井新技术是多种高新技术的综合运用. 它将对微机电技术、机器人技术、检测控制、通讯和计算机、新材料技术及钻井工艺等提出更高的要求.

2 微机电技术与机器人技术

为降低钻井成本, 未来智能钻井技术将主要用于小井眼钻井、微钻井等. 其钻井设备必然是小型的, 甚至是微型的, 这就要求井下机器人和钻井设备体积小、性能高. 所以未来智能钻井新技术的实现与微电子技术、微加工技术、新材料技术、纳米技术及机器人技术等的发展密切相关.

2.1 微机电技术

未来智能钻井中的地面机器人、井下高智能微型机器人、便携式计算机、小型高寿命钻头及钻井装备等的出现和发展都离不开微电子技术和微加工技术.

微电子技术发展至今, 其芯片控制元件最小的尺寸是 180 nm, 是目前微电子材料技术工艺可以达到的极限^[4]. 纳米技术将极大地提高人类存储、处理信息的能力, 其发展将使微电子技术进入一个崭新阶段. 其运用将使得微电子芯片不仅具有更小的尺寸, 而且具有更复杂的功能、更快的处理速度、更低的功耗和更高的集成度, 不断地满足数字信息技术发展的需要^[5]. 纳米技术将用于下一代的微电子器件即纳电子器件, 使未来智能钻井中所用的便携式计算机、机器人等的体积变得越来越小, 功能越来越强大.

微加工技术在微型机电系统的发展中起着举足轻重的作用.随着技术的进步,各种微加工技术在不断完善,其发展出现了超微细加工,并向纳米加工方向发展^[6].纳米技术是当前先进制造技术发展的热点和重点,也是微型制造技术大显身手、大有用武之地的新领域.这些技术为制造微型高性能机器人、小型高寿命钻头及钻井装备奠定了基础.

现阶段,电器微型化已进入分子时代.纳米级新型电路、DNA连接纳米电子器件、纳米电缆^[4]和超微电机^[7]等的研究与发明已有相关报道.纳米级新型电路能够显著减少导线之间的干扰,大大提高电路运行效率,并且降低了电路制作成本. DNA连接纳米电子器件是采用DNA分子将所制造的纳米电子器件连接起来构成电路.纳米电缆则是只有头发丝五万分之一细的纳米级同轴电缆.纳米电缆中电子的传输不同于普遍的导体,其传输速度快,能耗更小.而超微电机的转子直径只有 $30\text{ }\mu\text{m}$,转速却高达 $2\text{ }000\text{ r/min}$.这些微型电器的诞生为未来的智能钻井中形成地面与井下的双向信息通道和整个钻井作业奠定了基础.地面要通过电缆向井下电动机提供动力,以驱动钻头旋转钻进;井下高智能微型机器人观察和检测到井下的所有参数后,也需要通过电缆将信息上传到地面.同时,由于纳米电缆结构尺寸微小,将其植入CCT中对CCT的强度也不会产生影响.显然,这些微型电器的出现和发展未来智能钻井提供了技术保证.

2.2 机器人技术

微型机器人是一种微型机电系统,它是集微型机构、微型传感器、微型执行器、信号处理、控制电路、接口、通讯、电源等于一体的微型机电器件或综合体.未来智能钻井对高智能微型机器人要求更高,不仅体积小,而且能在高温高压的井下准确地观察和检测出所有的井下参数,并及时上传到地面控制中心.

电池是机器人的动力源,其尺寸严重影响着机器人的尺寸.美国能源部正投资开发同位素微型电池,法国巴黎的国立超微技术研究所研制出一种超微型电池^[7],这些都可看出随着电池技术的不断发展及微型电动机机械功耗的变小,将来为微型,甚至纳米智能机器人提供动力电池不是一项困难的技术.

电脑是机器人的“大脑”,因此机器人的“成长”与电脑的进展有直接关系.目前,电脑的发展正蕴藏

着新的质的飞跃.现在科学家们正在研制具有形象思维能力的计算机,称作神经计算机,而且已有所突破.当机器人用上了具有逻辑思维能力的诺曼计算机和具有形象思维能力的神经计算机相结合的“大脑”,那么它就会成为更高级的智能机器人^[7].它能够充分利用它的各种灵敏的感觉器官去观察和检测所有井下参数,并实时地将井下信息上传到地面.

机器人光有躯体、四肢和大脑是不够用的,还得有眼、耳、鼻、舌、身等各种感觉器官,才能灵活地从事各种工作.2003年国际电子器件大会一篇有关电子皮肤的论文表明这种电子皮肤能够让机器人的手臂产生触觉.会上还介绍了超灵敏化学传感器和生物传感器^[8].由此可见,随着纳米技术和各种微型传感器的发展,未来的微型或纳米机器人将具有眼、耳、鼻、舌、身等各种灵敏的感觉器官,可用于测量井下各种参数.

随着各高新技术的发展和交叉融合,有人预言:纳米机器人在油藏漫步、直接探测油藏奥秘将不再是天方夜谭.那么,安置在井下钻头上,用于直接观察和检测所有井下参数,并通过置于CCT内的纳米电缆传输到地面控制中心,在钻井的同时完成测井工作的高智能微型机器人也不再是虚无缥缈的想象.

3 通信网络技术的发展

在传统行业中,石油行业是应用计算机最早、对信息技术依赖程度最高的行业.其发展与信息技术已是休戚相关,密不可分.未来的石油天然气工业将处在“被编织的世界”里,即由强大的计算机网络、智能化的人机控制信息技术以及对组织行为严格管理的模式所组成^[2].

未来的智能钻井新技术通过将实时数据传输到网络系统中来实现对钻井过程的远程控制.这种双向通信可以安全地传递油井信息,既可将钻井数据传递给全球集中控制中心的专家,也可将专家们的信息传回钻井现场.这将对通信网络技术的发展提出了新的、更高的要求.它将十分强调数据的“集成”,要求通信网络在传输数据时具有大容量、高速传输、交互便捷、低时延和极为稳定的性能等特点,在数据的管理方面要能处理好数据(信息)共享与专有的关系.同时,它还要求未来的信息技术包含有分析和决策功能,并且能支持本地和与世界各地其他用户的远程协同工作.

事实上,下一代网络是为多媒体通信而设计的,能提供高效传输效率,能传送和处理包括话音、数据和多媒体等的多种业务。下一代网络的特征是智能建网。通信网络技术在钻井行业的应用越来越多且越普及,在应用方向上出现了网络化、有形化、可视化、集成化、智能化等趋势^[9]。并且大屏幕可视化或“虚拟现实”技术近年来的发展已经在石油工业中创造出了一种全新的工作模式,三维可视化技术与虚拟现实技术在石油领域的应用已有一些成功案例^[12]。这些技术使专家们可通过网络和多媒体在遥远的全球控制中心实时看到作业现场的图像,听到机器的声音。而信息技术从信息高速公路到数字油田的飞速发展,足以证明随着通信网络技术的不断发展,它必定能很好地为未来的智能钻井新技术服务。

4 钻井设备的发展

未来智能钻井技术采用电动 CT 钻井,其钻井工艺基本上与 CT 钻井相同,只是它更加智能化。地面钻井作业均由机器人按指令自动完成,现场只需要 1~2 名工作人员来维护钻井现场的设备以及操作 CT 钻机控制室内的便携式计算机,根据钻井现场的情况和钻井工艺要求发出指令或请求,以实现钻井作业快速、正常地进行。由此可见,智能钻井技术对其设备方面的要求更高。

4.1 地面设备

地面设备将会向着小型化方向发展。电动 CT 钻井技术具有占地面积小、具有所需工作人员少、钻井成本低、适宜在特殊环境及特殊勘探开发中应用、更加环保、更加适合用于自动化智能化钻井等优点^[10-12]。最近几年,国外不少公司投入巨资研究和开发 CT 钻井技术及其装备,并取得了巨大的成就,注入头、数据采集系统、工艺控制系统、CCT 及钻机^[13]等已取得了重大技术改进^[10]。

目前已针对许多不同情况和不同要求研制出了相应功能的 CT 钻机,比如具有独特设计的 Trans-ocean Ensign Drilling CT 钻机,贝克休斯公司研制的 3 种具有不同功能的混合型钻机等^[10]。随着钻井技术的不断提高及钻井设备的不断发展,自动化、智能化钻井技术作为 21 世纪的前沿钻井技术,不久必将会有许多公司投入大量人力物力开发 CT 全自动钻机并取得成功。

现在 CT 材料已从普通碳钢发展到包括复合材

料在内的多种优质钢材和复合材料,从多条焊缝发展到无缝管,其强度、韧性、寿命有了很大提高,直径也在不断增大。目前,已有将电缆、铜线或光纤植入 CCT 管壁内的技术。那么随着新材料技术的发展,将纳米电缆植入 CCT 管壁内,就可以在向井下电动机输送电力的同时,还能为井下和地面提供信息的双向通道,使井下和地面都能同时发送和接收数据。

4.2 井下钻具组合

未来智能钻井与电动 CT 钻井用井下钻具^[14]相比要简单。其中变速箱、电动机、润滑油补充系统、断开接头及 CT 接头的功能与电动 CT 钻井中相应钻具的功能相同。目前,已有几家公司研制出了井下闭环自动控制系统,已初具智能钻井井下钻具的雏形。CT 钻井中常用的钻头有 TSP (thermal stable polycrystalline)、天然金刚石钻头和 PDC (polycrystalline diamond composite) 钻头^[12]。国外有些公司正在着手研制智能钻头,估计在今后几年中,智能钻头就可能问世^[11]。由于新材料的应用,钻头的寿命会大幅度增加。并且钻头的喷嘴可以由控制中心遥控,以调节其射流方向。钻进中可通过调整井下钻头喷嘴方向和泥浆流速、流量控制钻头运动轨迹,实现对轨迹的实时控制,通过调节井下变速箱实现对钻速的控制。

5 结束语

智能钻井技术是一项集成化技术,是高智能机器人、智能控制及智能网络等高新技术的综合运用。它可以减少或消除对环境的污染,大幅度降低钻井成本,大大提高钻井质量和效率,节省时间,并可对井眼轨迹精确控制。同时还可以根据地面的指令自动在三维空间内改变井眼轨迹,优化钻井过程,快速优质地固井、完井提供井眼保证,从而获得更好的经济效益。同时,智能钻井新技术对推广各种特殊钻井工艺,如小井眼钻井,大位移井,水平井钻井,定向钻井和丛式钻井等提供了可能,并能实现对复杂地层和恶劣自然环境下的石油天然气勘探开发。连续管钻井技术、自动化钻井技术、通信网络技术、新型材料、超微技术、自动控制技术、计算机技术及机器人技术等为未来的智能钻井新技术提供了技术保证。随着这些技术的不断发展、交叉融合和综合运用,必将实现未来的智能钻井新技术。

参考文献:

- [1] 岳登进,冯 明. 过去 10 年国外钻井技术的重要进步 [J]. 钻采工艺, 2001, 24(4): 5-7.
YUE Dengjin, FENG Ming. The major advances in drilling technology abroad over the last decade [J]. Drilling & Production Technology, 2001, 24(4): 5-7.
- [2] 刘振武,方朝亮,王同良. 高新技术在石油工业中的应用展望 [M]. 北京:石油工业出版社, 2003.
- [3] 祝效华,刘清友,李红岩,等. 井眼轨迹预测理论及方法研究 [J]. 天然气工业, 2004, 24(4): 38-40.
ZHU Xiaohua, LI Qingyou, LI Hongyan, et al. Study on theory and method of bore-hole trajectory prediction [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(4): 38-40.
- [4] 范 莉,王东升. 纳米技术在电子技术中的应用 [J]. 内蒙古科技与经济, 2004, 3: 58.
- [5] 张宝红,刘蕴哲. 电子技术的发展 [J]. 同煤科技, 2002, 6(2): 13-40.
ZHANG Baohong, LI Yunzhe. On development of electronic technology [J]. Science Technology of Datong Coal Mining Administration, 2002, 6(2): 13-40.
- [6] 贾宝贤,王振龙,赵万生. 基于特种加工的微细制造技术 [J]. 电加工与模具, 2003(4): 1-4.
JIA Baoxian, WANG Zhenlong, ZHAO Wansheng. Micro fabrication technology based on non-traditional machining [J]. Electromachining & Mould, 2003(4): 1-4.
- [7] 杨家军. 机械系统创新设计 [M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2000.
- [8] 蒋 明. IEDM 大会展现微米/纳米电子技术方面的进步 [J]. 今日电子, 2004(2): 121-126.
JIANG Ming. The achievements on micron/nanometer electronic technology shown in IEDM [J]. Electronic Products China, 2004(2): 121-126.
- [9] GOLEN IEW SKIL. 电信技术基础 [M]. 唐宝民,江凌云,王文鼎,等译. 北京:人民邮电出版社, 2003.
- [10] 大港油田集团钻采工艺研究院. 国内外钻井与采油工程新技术 [M]. 北京:中国石化出版社, 2002.
- [11] 刘海浪,柯仲华,赵振峰. 小井眼和连续油管技术的进展与应用 [M]. 北京:石油工业出版社, 1998.
- [12] 陈会年,张国龙,胡清富. 连续油管钻井技术的发展及应用 [J]. 石油钻探技术, 2000, 28(2): 19-21.
CHEN Huinian, ZHANG Guolong, HU Qingfu. Developments and applications of coiled tubing drilling techniques [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2000, 28(2): 19-21.
- [13] 朱才朝,谢永春,伍 奎,等. 钻机系统故障智能诊断方法 [J]. 重庆大学学报, 2003, 26(10): 97-100.
ZHU Caichao, XIE Yongchun, WU Kui, et al. Study on the method of intelligence fault diagnosis system for drill [J]. Journal of Chongqing University, 2003, 26(10): 97-100.
- [14] HE Yufa, LI Qingyou. Microhole technology probing and prospects [C] // The First International Forum on Petroleum Sustainable Development for Ph D Candidates Beijing, 2007, 8: 2442-2445.

作者简介:



刘清友,男,1965年生,教授,博士生导师,世界石油工程学会会员、中国计算机仿真学会理事、四川省石油学会理事、四川省机械工程学会副秘书长兼学术委员会委员、四川省机械振动工程学会常务副理事长等. 主要研究方向为机械工程、油气井工程和计算机仿真技术. 承担国家、省部级研究课题 30 余项,先后获得省部级科技进步奖 7 项、国家专利 26 项. 发表学术论文 150 余篇,出版专著 3 部.