

◀ 管理与发展 ▶

# 国外连续循环系统的研制及现场试验

邱亚玲 杨德胜 刘清友 韩传军 莫丽

(西南石油大学 机电工程学院, 四川 成都 610500)

**摘要:** 连续循环系统可以在钻井过程中保持钻井液不间断循环, 从而能够解决钻井过程中中断钻井液循环带来的一系列问题, 如压力波动、井涌等。该系统适用于任何带有顶驱钻井装置的井架, 对于提高钻井作业能力, 减少钻井成本和减少事故都具有重要意义。该系统可以应用于大斜度井/水平井、深水井、欠平衡井、窄密度窗口井、压力敏感井和尾管循环钻井, 具有很好的发展前景, 值得进一步研究和推广应用。详细阐述了该系统的组成、工作原理、技术优势以及国外的应用情况, 为下一步研究该系统的防喷器组、液压控制部分等工作奠定了基础。

**关键词:** 连续循环系统; 钻井液; 钻井

**中图分类号:** TE92    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-0890(2009)02-0100-03

连续循环系统(continuous circulation system, 简称 CCS), 是一种可以在钻井过程中接单根时维持钻井液循环的系统。CCS 将几个关键功能整合到了一个系统中, 包括铁钻工、防喷器、自动卡瓦、钻井液管汇和不压井起下作业装置, 可以安装在任何带有顶部驱动的井架设备上。该系统对于稳定井底压力, 防止井涌、井壁坍塌和卡钻等都具有重要作用, 有利于进一步提高钻井作业能力和效果。该系统是由 Maris 国际公司管理的联合工业项目组开发的, 得到了 6 家国际大型石油公司(Shell, BP, Statoil, BG, Total 和 Eni)的资助和英国石油技术研究院的支持<sup>[1]</sup>。2003 年 7 月 29 日—8 月 2 日在美国俄克拉荷马州陆上一口井进行了现场试验<sup>[2]</sup>, 结果表明, 使用该系统接单根能维持钻井液循环, 对钻杆无损伤, 电液控制系统的工作情况稳定, 其操作也可以很方便地通过司钻触摸屏来完成。笔者在理解国外文献的基础上, 详细介绍了该系统的组成及工作原理, 应用范围及益处, 为下一步的研究工作奠定了基础, 如整个结构的设计、防喷器的研制、液压控制部分的研究等工作。

## 1 组成及工作原理

CCS 的主要组成如图 1 所示。连接器是连续循环系统的核心, 包括上端密封防喷器、中间全密封防喷器和下端密封防喷器等 3 个闸板防喷器(如图 2 所示)。当上部和下部闸板封闭时, 形成压力腔,

下部闸板则反向安装。当上扣或者卸扣时, 可通过液压起升装置保证工具接头在连接器内精确定位。顶驱连接工具夹持着接头附于顶驱下部, 与新立根连接, 并将立根下部接头精确定位在接箍体中, 以便于上卸扣操作, 借助于顶驱可以使立根旋转。钻井液分流单元可以用来控制钻井液在顶驱和接箍体之间的流动。利用高压水龙带将此分流管汇连接在接箍体的侧边入口处。分流管汇的阀门由液压控制, 并且与主控系统相连。钻井人员可以通过控制装置来控制整个钻井系统的操作。触摸屏软件系统与控制单元之间采用内部网络进行通讯, 以实现快速反应。液压动力系统能够以一定的压力提供相应流量的动力液, 且与主控系统相连。

CCS 接单根时, 连接器上下两个闸板密封钻杆, 工具接头位于全封闸板和下部闸板之间, 钻井液在压力作用下进入连接器腔内, 以平衡钻柱内外压力。上提钻杆时, 关闭全封闸板, 上部卸压后将钻杆公扣连接部分提出接箍体, 此时, 钻井液通过接箍下部不间断地进入钻柱中。接新的单根时, 闸板密封钻杆, 循环系统注入钻井液以恢复上部压力。当连

**收稿日期:** 2008-07-10; **改回日期:** 2009-01-10

**基金项目:** 中国石油化工股份有限公司科技开发先导性项目“钻柱连续循环系统技术研究”(编号:P07044)部分研究成果

**作者简介:** 邱亚玲(1963—), 女, 四川营山人, 1982 年毕业于成都科技大学机械制造工艺及设备专业, 2001 年获西南石油学院硕士学位, 教授, 主要从事机械 CAD/CAE/CAM 的研究工作。

**联系电话:** (028)83032927

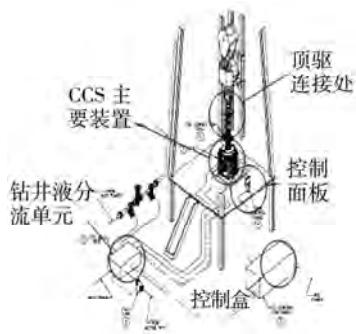


图 1 CCS 系统组成

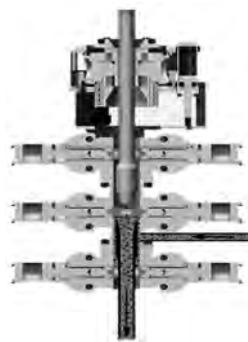


图 2 连接器结构

接器腔内上下两部分压力平衡时,打开全封闸板,新的单根下放,如此不间断循环接单根。

## 2 应用范围及主要技术优势

### 2.1 大斜度井/水平井

当钻长井段的大斜度定向井时,一旦循环发生中断,岩屑将落入井眼底侧并且不断增加。应用 CCS 不仅可以促进岩屑连续排出,而且也可以防止岩屑在底侧沉积,全面改善了井眼条件并且连接钻杆时也尽可能地减小了卡钻的概率。由于净化了环空,从而可以降低旋转扭矩并提高钻柱的定向控制能力,可以减少甚至不用划眼起下钻。

### 2.2 深水井

在钻深水井不稳定地层时,可以通过应用 CCS 保持钻井液的连续循环,这样可以消除接单根而需要停止或开始循环钻井液时的压力波动,保持井眼压力稳定,降低井眼坍塌和卡钻事故的概率,减少由于盐水侵入碎石区导致的卡钻事故。

### 2.3 欠平衡井

欠平衡钻井时,停止循环接单根会浪费大量时间。循环重新开始后,钻柱卸压和重新加压的过程,

会使系统重新达到平衡所需的时间耗费太长。当循环中断时,悬浮在环空钻井液中的岩屑会重新堆积,很可能会造成卡钻事故或损害油层。使用 CCS 进行欠平衡钻井不仅能够加快连接时间,而且可以达到稳定的循环压力;可以避免环空压力突变,大大降低损害裸露油层的概率。为了保持欠平衡的钻井状态,封闭上部钻杆的阀件必须尽量靠近套管的尾部。为了保护油层,在 CCS 起出底部钻具组合之前,远离封闭上部钻杆的阀件要尽可能长时间地保持连续循环。

### 2.4 孔隙/破裂压力窗口狭窄的井

使用 CCS 能够保持在整个井段连续循环,并且通过调节循环速率和钻井液密度来控制当量循环密度(ECD),从而提高孔隙压力窗口狭窄和地层破裂压力窗口狭窄井段的钻井效率。不使用 CCS,每接完一次单根重新启动泵时,井底的压力会产生波动,导致循环停止或者钻井液的间歇溢喷。为了控制该情况,将浪费大量的钻井时间。

### 2.5 压力敏感井

在停止循环接单根时,当量循环密度(ECD)的失控会造成地层压力敏感变化(例如页岩和盐岩地层),会使地层松弛、坍塌或者挤入井眼,导致卡钻或井壁坍塌。使用 CCS 钻井,可以消除停钻或起钻时的压力突变,从而降低井眼压力变化的概率,保持地层的稳定性。

### 2.6 尾管循环钻井

要利用尾管循环在部分或整个井段完成钻井时,使用 CCS 可以保持环空清洁以及避免出现循环间断时卡住衬管的情况,可以清除堆积的岩屑,从而确定水泥固结的有效位置。当衬管与井眼间隙较小时,使用 CCS 可以降低卡钻的概率,消除可能发生的井涌并且可以代替人工去接单根,从而改善钻台周围的安全情况。

## 3 现场应用

### 3.1 Monte Enoc 10 井

在美国俄克拉荷马州陆上一口井进行试验应用之后,2005 年在意大利南部 Agri 油田的 Monte Enoc 10 井,第一次在 70 钻机上使用了 CCS,其目的是评价 CCS 并使操作人员和井队人员掌握和了解连续循环系统,这也是该系统在无危险的钻井环

境中进行的现场试验,以便于发现在室内试验中没有发现的问题。

Monte Enoc 10 井在钻进 660~1 866 m 井段时应用了 CCS,井眼直径 311.1 mm,采用 φ339.7 mm 套管鞋,井斜角变化为 0°~35°,完成了 82 根 φ127.0 mm 钻杆的连接,其中钻进中连接了 20 根,起下钻时连接了其余的 62 根,循环泵压为 13.8~20.7 MPa,流量为 40~47 L/s。总的连接时间为 18~20 min(总的连接时间为机械连接时间、钻杆提升时间以及停止循环与重新形成循环所损失的时间之和)。采用 CCS 接单根所消耗的时间比常规接单根的时间长,其原因是采取多个步骤来关闭压力腔内的液流通道,但是总的连接时间缩短了,因为钻井泵照常运转),在整个过程中,CCS 使用的钻井闸板更换了 4 次,但都没有停钻或减慢钻井的速度。

### 3.2 PFMD-1 井

PFMD-1 井位于 Port Fouad 油田具有 24 m 水深的海岸上,该井 2004 年 3 月开钻,在钻至井深 4 244 m 时,提前固井。该井工况很复杂,在 4 000 m 以深存在当量钻井液密度大于 2.0 kg/L 的孔隙压力和破裂压力带<sup>[3]</sup>。在钻井过程中,动态静液压力在当量钻井液相对密度和钻井液相对密度之间变化,波动量为 0.07。该井在使用 CCS 重新开钻的作业过程中,CCS 的可靠性非常好,在 5 个多月的运转期内,进行了 522 次的连接作业,平均每次连接用时 21 min,只有出现一次由操作者误操作所致的意外中断情况。

现场应用证实了 CCS 的优势,但作为一项新的装备,也有许多需要完善的地方,如:目前的接箍还不能操作钻铤和下部钻具组合,只有当所有钻铤都已下入井内,才能为卡瓦提供足够的反扭矩,CCS

才能够在井口装配运行;使用 CCS 能够补充井内压力以实现平稳操作,但是在一些极端情况(大多数发生在钻头上提到套管鞋的位置时)下,仍然需要向井内注入一定量高密度钻井液来保持井底的压力;有效运行 CCS,需要足够的起重能力;要求闸板密封胶心更加耐磨,有较长的寿命,能够快速地更换<sup>[4]</sup>。

## 4 结束语

国外应用表明,CCS 可以在钻井过程中保持钻井液不间断循环,能够解决中断循环带来的一系列问题,如压力波动、井涌等,增强了钻井的安全性,节省了钻井时间,降低了发生事故的概率,节约了钻井作业成本,对提高钻井作业和井场安全具有重要的作用。CCS 主要应用于大斜度井/水平井、深水井、欠平衡井、孔隙压力/破裂压力窗口狭窄的井、压力敏感井和尾管循环钻井,是一项具有发展前景、值得进一步研究和推广应用的钻井新装备。目前,国内的西南石油大学、中国石油大学和大庆石油学院等机构都开始了这方面的研究,相信在不久的将来中国在 CCS 的研究应用方面会取得重大进展。

## 参 考 文 献

- [1] Jenner J W, Elkins H L, Lurie P G, et al. The continuous circulation system: an advance in constant-pressure drilling [R]. SPE 90702, 2004.
- [2] Vogel R. Continuous circulation system debuts with commercial successes offshore Egypt, Norway [J]. Drilling Contractor, 2006, 62(6): 50~52.
- [3] Calderoni A, Chiura A, Valente P, et al. Balanced-pressure drilling with continuous circulation using jointed drillpipe [J]. JPT, 2007, 59(4): 62~65.
- [4] 杨刚,陈平,郭昭学,等.连续循环钻井系统的发展与应用[J].钻采工艺,2008,31(2):46~47,54.

〔审稿 张绍槐〕

## Development and Field Tests of Foreign Continuous Circulation System

Qiu Yaling Yang Desheng Liu Qingyou Han Chuanjun Mo Li

(College of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China)

**Abstract:** Continuous circulation system allows continuous drilling fluid circulation during drilling, and thus can resolve a series of drilling problems caused by circulation break, such as pressure surge, well kick, etc. This system is based on drill floor and suitable for all derricks with top drive equipment which is significant to improve drilling capacity, reduce drilling costs and accidents. The system is suitable for drilling ERD/horizontal wells, deepwater wells, underbalanced wells, wells with narrow pressure margin, pressure sensitive wells, and wells circulated through liner strings. The system has great prospect and should be widely used. This paper introduced the system in detail, including its composition, working principle, technological superiority, and applications abroad which lays foundation to investigate the blow out preventer stack and hydraulic control, etc. of this system in the future.

**Key words:** continuous circulation system;drilling fluid;drilling