

底与钻头上游之间的压力关系,避免声速流的发生。2011年,王海柱、沈忠厚等人以 Span - Wagner 气体状态计算方法为基础,建立了井筒流动和传热数学模型<sup>[3]</sup>,从而对超临界 CO<sub>2</sub> 钻井井筒压力温度进行耦合计算,并对超临界 CO<sub>2</sub> 连续管钻井进行实例分析,同时还研究了超临界 CO<sub>2</sub> 连续管钻井过程中地层水侵入对井筒温度和压力的影响。2010年,王在明、邱正松等人建立了考虑井筒流体与地层换热对井筒流体温度影响的井筒传热模型,根据能量守恒推导出了井筒流体温度计算模型<sup>[8]</sup>,利用有限元推导出了井筒内 CO<sub>2</sub> 钻井流体的压力计算公式。

#### 4.3 射流及破岩规律研究

美国 Tempress 公司的 J. J. Koue 等人在 2000 年时,利用 55 ~ 193 MPa 的不同射流压力对泥岩、大理岩、花岗岩等坚硬岩石进行超临界 CO<sub>2</sub> 射流破岩室内研究,证实超临界 CO<sub>2</sub> 射流破岩的门限压力比水射流要低很多,能够显著提高机械钻速<sup>[12]</sup>。2009年,王瑞和、倪红坚等人建立了国内首套超临界 CO<sub>2</sub> 射流高效破岩试验装置,有效模拟了井下实际工况,已获得超临界 CO<sub>2</sub> 直射流、旋转射流、脉冲射流的破岩规律。

#### 4.4 携岩规律研究

沈忠厚等人建立了临界 CO<sub>2</sub> 流体携岩的数学模型和物理模型<sup>[4]</sup>,研究了超临界 CO<sub>2</sub> 流体在水平井段的携岩规律,研究表明超临界 CO<sub>2</sub> 流体的携岩能力随着其密度和粘度的增加而增强,当小于某一临界密度时其携岩能力明显降低。2006年,中国石油大学(华东)的邱正松教授和王在明博士等人研制了超临界 CO<sub>2</sub> 钻井液循环模拟实验装置<sup>[9]</sup>,在此基础上实验研究了温度、压力以及井斜角对超临界 CO<sub>2</sub> 携岩的影响,并对 CO<sub>2</sub> 水合物形成和溶解特性进行了实验研究。

### 5 结语

(1) 超临界 CO<sub>2</sub> 钻井作为一项新兴的钻井技

术,具有诸多的优势,较大的应用范围,特别是对压力枯竭型地层以及非常规油气藏开发方面具有非常独特的优势,显示出良好的应用前景。

(2) 目前国内外对于超临界 CO<sub>2</sub> 钻井技术的研究更多处于理论研究和室内研究阶段,真正的现场应用屈指可数,超临界 CO<sub>2</sub> 钻井也还存在着一些亟待解决的问题,如出水地层 CO<sub>2</sub> 腐蚀问题、井口高精度压力控制问题、CO<sub>2</sub> 增加粘度技术的问题、钻头压降和温度控制问题以及连续管配套设备的问题。

#### 参考文献:

- [1] 王海柱,沈忠厚,李根生. 超临界 CO<sub>2</sub> 开发页岩气技术[J]. 石油钻探技术,2011,29(3):30-35.
- [2] 段飞飞,夏宏南,文涛,等. 超临界 CO<sub>2</sub> 钻井技术浅析[J]. 长江大学学报(自然科学版),2010,7(3):230-231.
- [3] 王海柱,沈忠厚,李根生. 超临界 CO<sub>2</sub> 钻井井筒压力温度耦合计算[J]. 石油勘探与开发,2011,38(1):97-102.
- [4] 沈忠厚,王海柱,李根生. 超临界 CO<sub>2</sub> 钻井水平井段携岩能力数值模拟[J]. 石油勘探与开发,2011,38(2):233-236.
- [5] 李孟涛,单文文,刘先贵,等. 超临界二氧化碳混相驱油机理实验研究[J]. 石油学报,2006,27(3):80-83.
- [6] 邱正松,谢彬强,王在明,等. 超临界二氧化碳钻井流体关键技术研究[J]. 石油钻探技术,2012,40(2):1-7.
- [7] 袁平,李培武,施太和,等. 超临界二氧化碳流体引发井喷探讨[J]. 天然气工业,2006,26(3):68-70.
- [8] 王在明,邱正松,朱宽亮. 超临界二氧化碳钻井流体井筒温度传递特性[J]. 钻井液与完井液,2010,27(6):1-3.
- [9] 李良川,王在明,邱正松,等. 超临界二氧化碳钻井流体携岩特性实验[J]. 石油学报,2011,32(2):355-359.
- [10] Gupta A P, Gupta A, Langlinais J. Feasibility of supercritical carbon dioxide as a drilling fluid for deep underbalanced drilling operation[J]. SPE 96992,2005.
- [11] 沈忠厚,王海柱,李根生. 超临界 CO<sub>2</sub> 连续油管钻井可行性分析[J]. 石油勘探与开发,2010,37(6):743-747.
- [12] Kelle J J. Coiled-tubing drilling with supercritical carbon dioxide[J]. SPE 65534,2000.
- [13] 王海柱,沈忠厚,李根生. 地层水侵入对超临界 CO<sub>2</sub> 钻井井筒温度和压力的影响[J]. 石油勘探与开发,2011,(6):362-367.
- [14] 张智,施太和,吴优,等. 高酸性气井超临界态二氧化碳硫化氢的相态变化诱发钻采事故探讨[J]. 钻采工艺,2007,30(1):94-95,104.

## 《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》推荐性行业标准发布实施

国土资源部科技与国际合作司消息 国土资源部 2014 年 4 月 17 日发布“国土资源部关于发布《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》推荐性行业标准的公告【2014 年第 6 号】”。公告说:《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》推

荐性行业标准已通过全国国土资源标准化技术委员会审查,现予批准、发布,于 2014 年 6 月 1 日起实施。该行业标准编号为:DZ/T0254-2014《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》。