

对接水平井及其井间导航轨道控制技术^{*}

李子丰 戴江
(燕山大学石油工程研究所)

李子丰等.对接水平井及其井间导航轨道控制技术.天然气工业,2008,28(2):70-72.

摘 要 对接水平井是一口水平井与其他井在地下相交并连通的井组,主要用于盐矿开采、煤层地下气化开采、石油和天然气开采、煤层气开采、地热开采、管道和隧道河底穿越等领域,潜在的应用领域为天然气水合物和铀矿的开发等。用对接水平井可以提高矿藏的开采速度、提高采收率并降低成本;用对接水平井开采稠油效果会更好;对接水平井可能成为开发天然气水合物的重要手段。针对对接水平井对接精度很低的问题,提出井间导航轨道控制技术的思路,即从已钻井内接收在钻井的信息或从在钻井接收已钻井的信息,确定两井间的相对位置,引导在钻井井眼轨道与已钻井轨道精确对接的技术。主要包括:对接水平井的井眼轨道设计技术、井下雷达钻头定位技术、待钻井眼轨道设计技术、井眼轨道的预测与控制技术和井底误差分析技术;其中,井下雷达钻头定位技术是关键。

主题词 对接 水平井 井眼轨道 井下定位 导航

一、对接水平井及其井间导航轨道控制的定义

水平井是最大井斜角大于或等于 86°,并保持这种角度钻完一定长度的水平段的定向井。水平延伸的长度要大于矿层厚度的 6 倍^[1]。在本文中,水平井除包含上述严格意义下的水平井外,还扩展到大斜度井。

对接水平井是一口水平井与其他井在地下相交并连通的井组。井间导航轨道控制是指通过从已钻井内接收在钻井的信息或从在钻井接收已钻井的信息,确定两井间的相对位置,引导在钻井轨道与已钻井轨道精确对接的技术。

二、对接水平井的应用现状与应用前景

目前对接水平井主要用于盐矿开采^[2]、煤层地下气化开采^[3,4]、石油和天然气开采、煤层气开采^[5]、地热开采^[6]、管道和隧道河底穿越等领域,潜在的应用领域为天然气水合物^[7]和铀矿的开发等。实践证明,用对接水平井开采盐矿、煤层气、地热以及煤层地下气化等可以提高矿藏的开采速度、提高采收率

和降低成本;用对接水平井开采稠油效果可能会更好;对接水平井可能成为开发天然气水合物的重要手段;管道和隧道的河底穿越则必须采用对接水平井技术或类似技术。

三、对接水平井的对接形式

地下对接水平井按井眼轨道形式可以分为 3 种:相交、相切和井底相切(图 1)。

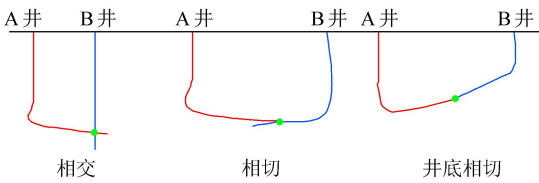


图 1 对接水平井对接方式图

- (1)相交。两口井在井下简单相交。井眼轨道在相交处连续,但不光滑,相交处不一定是井底。
- (2)相切。一口井的井眼轨道与另一口井的井眼轨道钻进方向相对,井眼轨道相切。井眼轨道在相交处连续、光滑,相交处不一定是井底。
- (3)井底相切。一口井的井眼轨道与另一口井

^{*} 本文受到河北省优秀专家出国培训项目的资助。

作者简介 李子丰,1962 年生,教授,博士生导师;1983 年毕业于大庆石油学院钻井工程专业,1992 年获原石油大学(北京)博士学位,1992~1994 年在哈尔滨工业大学力学博士后工作站工作。现为燕山大学石油工程研究所所长。地址:(066004)河北省秦皇岛市。电话:(0335)8079211,13930359622。E-mail:zflf@ysu.edu.cn

的井眼轨道在井底对顶相切。井眼轨道在相交处连续、光滑,相交处一定是井底。

从井眼轨道控制来讲,相交容易、相切居中、井底相切最难。

四、现有对接水平井的对接方法与有效性

到目前为止,还没有稳定的水平井轨道对接方法,即使有的井偶尔实现比较精确的对接,也是撞上的。为此,当前的对接指的是两口井在井下的流道

的贯通。不同的应用领域对贯通方式有不同的要求,同一个应用领域采用不同的贯通方式的效果不同、成本也不同。例如,开拓气化通道的费用,在整个气化工艺的总成本中,约占 20%~30% (包括打钻费用)。因此,在技术上可能的、在经济上合理的各种通道的开拓方法就成为最重要的工程研究项目之一。各种贯通方法的经济指标比较见表 1。在煤层气化的工业试验中发现,仅有反向燃烧(火力渗透法的一种)和定向钻井两种方法是有效的^[3]。

表 1 贯通方法的技术经济指标比较表

贯通方法	贯通速度 (m/d)	电耗量 (kW/m)	鼓风耗量 (m ³ /m)	适用项目	优 点	存 在 问 题
火力渗透	0.6~0.8	1500	1400	煤层气化、稠油等	方法简单,容易掌握,设备不复杂	贯通速度慢,电耗大,不适用于烟煤层,方向性较差
高压火力渗透	2.0~3.0	600~900	5000	煤层气化、稠油等	贯通速度较快,电耗较小	设备较复杂,容易损耗围岩,钻孔底部容易自燃,方向性较差
电力贯通	2.0~5.0	800	—	煤层气化、稠油等	贯通速度较快,电耗较小,由于电热作用,采收率高	设备较复杂,操作不够简单,方向性差
水力压裂	4~10	500	—	煤层气化、油气藏、盐矿等	贯通速度快,电耗小	设备复杂,操作不简单,液流不易控制
定向钻井	10	83	—	全部	贯通速度快,电耗小,通道面规整,采收率高,方向性强	操作复杂,成本高,单独应用精度不够,一般与其他方法联合应用,但有发展前景

五、对接水平井的关键技术

从表 1 中可以看出,采用定向钻井贯通方法具有速度快、成本低、适用面广、采收率高等一系列优点。从纯理论上讲,应用现有的钻井技术,就应该能够实现井下的精确对接;但由于轨道测量仪器具有误差、轨道计算方法具有误差,使得实钻的井底是在一误差椭球内的一个不确定的点,且这个误差椭球的半径远远大于井筒直径。例如,中国地质科学院勘探技术研究所^[2]完成的十几口地面距离 200 m 左右、井深 1000 m 左右的对接井的绝对误差为 0.45~1.37 m。这样,应用现有的定向钻井技术实现井下的精确对接的概率是很小的。所以,要想实现井眼轨道的精确对接,必须发展精确定位的导航对接钻井技术。

我国水平井钻井技术自 20 世纪 90 年代以来取得了很大的发展^[8,9]。形成了配套的水平井轨道设计、待钻轨道设计、井眼轨道预测与控制 and 轨道误差分析等技术。胜利油田现已能完成 16 种类型水平

井的钻井设计与施工,包括水平探井、巷道式水平井、稠油砾石层水平井、丛式水平井、三维绕障及阶梯式水平井、海油陆采水平井、双井连通式水平井、短半径水平井、薄油层水平井、拱型水平井、蒸汽驱重力辅助泄油水平井、套管开窗侧钻水平井、古潜山低渗透穿漏水平井、复合大井眼水平井及分支井等。

国外钻井技术在过去 10 a 中取得了飞速发展,其中某些前沿技术(如地质导向钻井技术、自动化钻井技术等)的研究取得了重大突破和一批实质性的成果。虽然定向井、水平井及大位移井钻井技术日趋成熟,但有关“U”型井钻井报道甚少^[10]。

水平井技术的发展为对接水平井技术奠定了良好的基础。要实现水平井在井下的精确对接,必须发展井间导航井眼轨道控制技术,将两井底的对接误差减到最小,趋近于零。

对接水平井的关键是井眼轨道控制技术。要实现井眼轨道的精确对接,必须发展井眼轨道的导航技术。为此,笔者主要探讨对接水平井井间导航井眼轨道控制技术。

六、对接水平井井间导航井眼轨道控制技术

主要研究内容应包括对接水平井的井眼轨道设计技术、井下雷达钻头定位技术、待钻井眼轨道设计技术、井眼轨道的预测与控制技术和井底误差分析技术。对接水平井的施工是一口在钻井与一口已钻井相交两口井中必有一口是水平井。为了表达方便,称在钻井为主动相交井,已钻井为被动相交井。

1. 对接水平井的井眼轨道设计技术

在现有的水平井井眼轨道设计理论和技术的基础上,考虑对接水平井各单井之间的相互关系和对接方式,建立对接水平井的井眼轨道设计理论与技术。

2. 井下雷达钻头定位技术

在已钻的被动相交井内,沿井眼轴线布置一系列声波(振动波)接收器,接收在钻的主动相交井内的钻头等产生的声波和振动波,将信号传至地面,通过建模计算,算出钻头相对已钻井眼的空间位置。此系统可以称为井下雷达钻头定位系统。将不同时刻的钻头位置连接起来,就成为在钻井的相对井眼轨道。也可以采用井下雷达钻头定位系统测得的某一时刻的钻头位置,对在钻井的井眼轨道进行修正。井下雷达钻头定位技术仅用于在钻井的井底接近于已钻井的条件下。

3. 对接水平井的待钻井眼轨道设计技术

在现有的待钻井眼轨道设计理论和技术的基础上,考虑对接水平井各单井之间的相互关系和对接方式,建立对接水平井的待钻井眼轨道设计理论与技术。对于被动相交井,可以利用现有的待钻井眼轨道设计理论和技术进行施工。对于主动相交井,在其当前井底与交点的距离比较远时,用现有的待钻井眼轨道设计理论和技术进行施工;在其当前井底与交点的距离比较近时,必须采用井下雷达钻头定位技术,修正两井之间的相对位置,以便精确对接。

4. 对接水平井的井眼轨道预测与控制

在现有的井眼轨道预测与控制理论和技术的基础

上,结合对接的特点,建立对接水平井的井眼轨道预测与控制理论和技术。

5. 对接水平井的井底误差分析与校正

分析在钻井井底误差产生的原因和误差范围,并用井下雷达钻头定位技术进行校正。

七、结束语

对接水平井在盐矿开采、煤层地下气化开采、石油和天然气开采、煤层气开采、地热开采、管道和隧道河底穿越等领域具有广阔的应用前景。制约对接水平井应用的关键问题是对接精度不高。发展对接水平井井间导航井眼轨道控制技术可以实现两井的精确对接。

参考文献

- [1] 陈庭根,管志川.钻井工程理论与技术[M].东营:石油大学出版社,2000.
- [2] 向军文,陈晓霖.定向对接连通井技术的发展及其展望[J].探矿工程,2003(1):20-22.
- [3] 中国石油勘探开发研究院,中国矿业大学,中国石油勘探开发研究院廊坊分院,长庆石油勘探局.煤炭地下气化技术调研及陕甘宁地区煤炭地下气化可行性分析[R].北京,2004.
- [4] 王庆一.国外煤炭地下气化调查[J].中国煤炭,2002,28(4):57-61.
- [5] 李士伦.天然气工程[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [6] 杨建新,田敏.地热井井管对接事故的预防与处理[J].地热能,2005(2):27-28.
- [7] 蒋国胜,王达,汤凤林,等.天然气水合物的勘探与开发[M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [8] 苏义脑.地质导向钻井技术概况及其在我国的研究进展[J].石油勘探与开发,2005,32(1):92-95.
- [9] 张绍槐,张洁.21世纪中国钻井技术发展与创新[J].石油学报,2001,22(6):63-68.
- [10] DEAN LEE, RICHARD HAY. U-Tube wells-connecting horizontal wells end to end case study: installation and well construction of the world's first U-Tube Well[J].SPE,2005:1051-1062.

(收稿日期 2007-11-21 编辑 钟水清)