

# PDC 钻头在天津地热井中的应用

马忠平<sup>1</sup>, 杜 槟<sup>1</sup>, 李振杰<sup>1</sup>, 杨忠彦<sup>1</sup>, 庞 海<sup>2</sup>

(1. 天津地热勘查开发设计院, 天津 300250; 2. 天津市地质工程勘察院, 天津 300191)

**摘要:**天津地热钻井, 一般采用传统的三牙轮钻头进行施工, 近年来随着钻井工艺水平的进步, 为了提高钻井效率, 在部分井段中采用 PDC 钻头钻进, 相比三牙轮钻头取得了更高的机械钻速, 且泥岩地层造浆得到很好的控制, 钻井液性能稳定, 降低了维护成本。实践证明, PDC 钻头使用寿命长, 在提高钻进效率的同时经济效益显著。

**关键词:**地热井; PDC 钻头; 机械钻速; 天津

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)07-0012-03

**Application of PDC Bit in Geothermal Well in Tianjin/MA Zhong-ping<sup>1</sup>, DU Bin<sup>1</sup>, LI Zhen-jie<sup>1</sup>, YANG Zhong-yan<sup>1</sup>, PANG Hai<sup>2</sup>** (1. Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, Tianjin 300250, China; 2. Tianjin Geo-engineering Investigation Institute, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Geothermal well in Tianjin used to be constructed by traditional three-cone bit. With the development of drilling technology in recent years, PDC bit was adopted in some well sections to improve the drilling efficiency and mud making in mudstone formation was well controlled with steady performance of drilling fluid and lowered maintenance cost. PDC bit has long service life, which can improve drilling efficiency with obvious economical benefit.

**Key words:** geothermal well; PDC bit; penetration rate; Tianjin

## 0 引言

早在 20 世纪 80 年代中期, 我国就开始使用 PDC 钻头应用到钻探中, 在软至中硬的地层中钻进显示出高效率、长寿命和低成本, 在煤田、石油、核工业等领域取得了令人瞩目的成绩。多年的使用积累了丰富的 PDC 钻头设计和使用经验。

PDC 钻头实质上就是具有负切削角度的微型切削片刮刀钻头, 其工作原理与刮刀钻头基本相同。在钻压和扭矩的作用下, PDC 复合片“吃入”地层, 充分利用复合片极硬、耐磨(磨耗比是碳化钨的 100 多倍)、自锐的特点, 犁削和剪切地层, 破碎岩石。PDC 钻头主要由钻头体(胎体)、切削齿、喷嘴、保径材料等组成, 如图 1 所示。复合片磨削剪切和碎岩过程如图 2 所示。

随着近年来地热开发和利用的市场逐步扩大, PDC 钻头作为一项成熟钻进工艺逐步应用到地热行业的开发上。本文以实例介绍 PDC 钻头在天津地热井中的应用。

## 1 DR100 井基本数据

DR100 井位于天津市塘沽区, 是我院 RPS3000 井队施工完成的地热勘探井。该井设计完井目的层

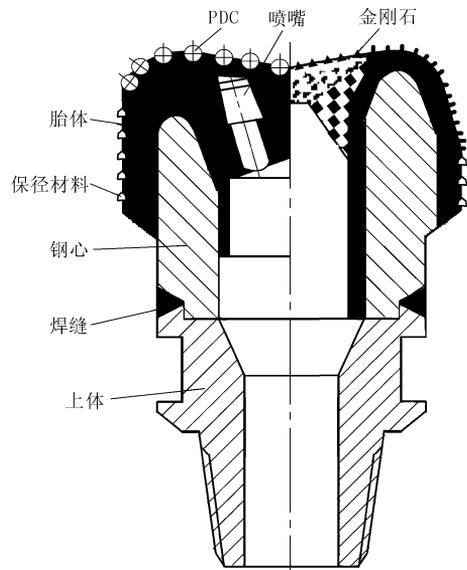


图 1 PDC 钻头结构示意图

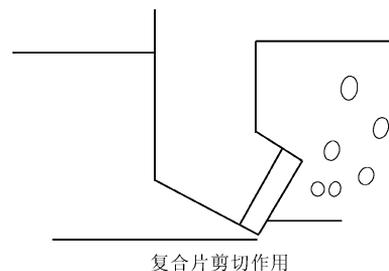


图 2 复合片磨削剪切作用

收稿日期: 2009-11-25; 修回日期: 2010-03-12

作者简介: 马忠平(1970-), 男(满族), 辽宁人, 天津地热勘查开发设计院副院长、高级工程师, 探矿工程专业, 从事地热钻井技术工作, 天津市河东区卫国道 189 号, ma\_zhongping@sina.com。

位为古近系东营组,设计井深 2580 m,完钻井深 2362.98 m。

井身结构:Ø339.7 mm 套管,J55 钢级,下入深度 398.37 m;Ø177.8 mm 套管,J55 钢级,下入深度 367.98 ~ 2316.84 m。

## 2 PDC 钻头的使用

### 2.1 地层情况

该井预计在二开 400 ~ 1800 m 井段采用 PDC 钻头施工,该段地层划分及岩性描述见表 1。

表 1 地层划分及岩性描述

地层划分	岩性描述
新近系明化镇组 I 段 (325 ~ 970 m)	浅灰、灰黄、灰绿、灰白色粉细砂岩、中细砂岩和棕黄、棕红、灰绿色泥岩呈不等厚互层,其中上部主要为粉细砂岩,普遍含有海生贝壳残骸,胶结较差,松散。下部砂岩颗粒渐粗,变为中细砂岩,分选磨圆较差,矿物成分为石英、长石和亮色云母片。上部样中普遍见有木化炭屑
II 段 (970 ~ 1570 m)	大段棕红、棕黄、灰绿色泥岩与灰白、浅灰、灰绿色粉细砂岩互层,泥岩厚度总体上大于砂岩,砂岩以粉细砂为主,大部分泥质胶结严重
新近系馆陶组 I 段 (1570 ~ 1754 m)	以浅灰、灰黄色中粗砂岩和少量灰绿、灰白色粉细砂岩为主,夹有多层薄层棕红、灰绿色泥岩,砂岩颗粒相对较粗,局部含有含砾的粉细砂岩,砂岩胶结较致密
II 段 (1754 ~ 1806 m)	灰绿、灰色粉砂岩与灰绿、棕黄色泥岩互层,颗粒相对较细,泥岩性软,造浆

### 2.2 PDC 钻头的选型

根据地层可钻性极值选择金刚石钻头类型,一般情况下,地层可钻性极值小于 5,即软到中硬地层选用 PDC 钻头。

根据 DR100 井地层情况,选用 T3544 型 Ø241.3 mm PDC 钻头,刀翼数 4 个,主齿尺寸 Ø19 mm,喷嘴数 4 个。

应用范围及特点:软到中硬地层,泥岩、砂岩和夹层灰岩,马达和旋转钻均可。特殊的设计使其钻井的工具面稳定性表现卓越,抑制了操作或地层带来的对钻头震动损害;高度光滑的切削齿可以减小切削时的摩擦阻力,快速排除岩屑,显著提高切削效率。

### 2.3 PDC 钻头水力参数选择

PDC 钻头水力参数选择应本着清洗井底、井眼和保护钻头这一原则进行。由于 PDC 钻头机械钻速高,岩屑量大,因此需要有足够的排量清洗井底和井眼,一般 Ø215.9 mm 井眼需要 28 ~ 32 L/s 的排量,Ø311 mm 井眼需要 55 ~ 60 L/s 排量,为了有效清洗钻头和井底,泵压要适当,过低的泵压会导致钻

头泥包,过高的泵压会导致钻头胎体冲蚀。

DR100 井由于是 Ø241.3 mm 井眼,T3544 型 PDC 钻头选用的排量为 41 L/s,泵压为 10 ~ 14 MPa。

### 2.4 PDC 钻头喷嘴的选择

PDC 钻头喷嘴有 2 种形式,一种为固定式,另一种为可拆装式。对于固定式,可通过选择钻头来选择喷嘴,对于可拆装式,钻头压降设计在 5 ~ 7 MPa 之间为宜,选择喷嘴时,应考虑所选择喷嘴直径由内向外,喷嘴直径由大到小,但直径相差不可太大,这样有利清洗井底。

DR100 井 T3544 型 PDC 钻头选用喷嘴直径为:9、9、11、11 mm。

### 2.5 PDC 钻头的使用

#### 2.5.1 设备准备

首先要保证安装质量。转盘、钻机、泵要固定牢靠,做到不刺不漏;天车、转盘、井口校正误差不超过 10 mm;要有性能良好的固控设备,保证有效除砂。

DR100 井选用固控设备见表 2。

表 2 固控设备表

名称	型号	数量	处理能力 /(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	运转情况
振动筛	2DS-1	2	200	良好
除砂器	2QJ300×2	1	120	良好
除泥器	ZCNQ120×10	1	160	良好
离心机	LW450-842N	1	40	良好

#### 2.5.2 井眼准备

下井前,要保证井眼通畅无阻;井底干净无金属落物;钻井液要符合设计要求,固控设备运转良好;选择合适的地层,避开砾石及其它火成岩。

#### 2.5.3 钻头入井

钻头螺纹要涂好标准的润滑脂,装卸钻头时要

用钻头装卸器。钻头入井要扶正、慢放,安全通过井眼中不规则的台阶、缩径段,防止碰坏 PDC 切削齿。穿过砾石层时,注意控制下放速度。

下钻遇阻划眼时,划眼钻压控制在 10 ~ 20 kN,转速低于 50 r/min,严禁大段划眼和不循环钻井液划眼。

下钻接近井底时应提前开泵。钻头离井底 0.5 m 以上,应缓慢上下活动钻具和转动钻具,充分循环钻井液。待井底清洁后,校正指重表。待泵压正常后方可井底造型。

#### 2.5.4 井底造型钻进

确认钻头接触井底后,采用 50 r/min 左右的转速和 5 ~ 20 kN 的钻压磨合并底。进尺 0.5 ~ 1.0 m,完成新井底造型。

### 2.5.5 钻进

钻速试验:可先在推荐的钻压、转速下钻进,然后采用不同的钻压转速试钻,直到找到最优的钻速为止,正常钻进时,若地层变化,可再做钻速试验;

钻进时要均匀送钻,钻进中要保证排量,每钻进 300 ~ 400 m 井段,要进行一次短起下钻,以防止起钻“拔活塞”;

钻头使用到后期,切削齿磨损平面加大,降低了切削齿“吃入”地层的深度,因此适当的提高钻压,以维持较高的机械钻速。

### 2.5.6 起钻时间的确定

钻遇下列情况之一的时候应考虑起钻:

- (1) 有连续憋钻现象,且没有进尺;
- (2) 立管压力明显上升,进尺较慢;
- (3) 岩性变化不大,机械钻速和转盘扭矩明显降低。

### 2.5.7 注意事项

- (1) 钻头搬运要小心轻放,防止切削齿损坏;
- (2) 钻头不允许采用堵喷嘴的办法钻进,以防止降低对切削齿的冷却效果;
- (3) T3544 型 PDC 钻头不适合钻砾岩地层;
- (4) 避免加压启动转盘;
- (5) 必须达到推荐排量,以保证有效携带岩屑和钻头冷却;
- (6) 钻遇大段疏松砂岩地层时要降低钻压和转速,以巩固裸眼井壁,防止下套管遇阻。

## 3 钻具组合及钻进参数

钻具组合:  $\varnothing 241.3$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 159$  mm 钻铤 56.1 m +  $\varnothing 127$  mm 钻杆。

钻进参数:钻压 30 ~ 40 kN,转数 100 r/min,排量为 41 L/s,泵压为 10 ~ 14 MPa。钻进时根据实钻情况调整钻压及转数,同时应特别注意转盘扭矩变化:扭矩大,降转速、减钻压;扭矩小,提转速、加钻压。送钻要均匀,严防蹩、溜钻。

## 4 应用效果

DR100 井 PDC 钻头钻进情况与邻井牙轮钻头

钻进情况对比见表 3。统计数据显示,400 ~ 1800 m PDC 钻头泥岩地层平均机械钻速是牙轮钻头的 2.07 倍;砂岩地层平均机械钻速是牙轮钻头的 1.64 倍,最高钻速达 23.76 m/h。

表 3 PDC 钻头与牙轮钻头钻速对比表

钻头类型	泥岩地层平均机械钻速	砂岩地层平均机械钻速
	$/(m \cdot h^{-1})$	$/(m \cdot h^{-1})$
牙轮钻头	5.1	12.5
PDC 钻头	10.6	20.5

使用 PDC 钻头施工,井口返屑颗粒大,钻井液易于维护,特别是钻进泥岩地层,很好地解决了造浆问题,钻井液性能稳定,易维护,钻井液材料和处理剂消耗仅占平时的 1/3,降低了钻井液费用。同时 PDC 钻头耐磨性强,可多次重复使用,相比较牙轮钻头,钻头费用也降低很多。

## 5 结语

DR100 井在新近系明化镇组和馆陶组首次采用 PDC 钻头钻进工艺,经使用 PDC 钻头,最高机械钻速高达 23.76 m/h,远高于普通三牙轮钻头,PDC 钻头平均机械钻速是牙轮钻头的 1.76 倍,缩短了施工工期,且 PDC 钻头钻进钻井液性能稳定、易维护,泥浆材料费用大幅下降,钻头费用亦有所降低,取得了可观的经济效益。但 PDC 钻头在含砾石泥层中钻进效率较低,且易崩切削齿,影响 PDC 钻头使用寿命,故不建议在该种地层中使用。

PDC 钻头在天津地区地热井使用取得了较好的效果,它作为一项成熟工艺值得在地热井施工中广泛推广。

## 参考文献:

- [1] 陈庭根,等. 钻井工程理论与技术[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2005.
- [2] 编写组. 钻井手册(甲方)[M]. 北京:石油工业出版社,1990.
- [3] 王新纯,等. 钻井施工工艺技术[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [4] 马忠平,庞海,王艳宏,等. 天津地区地热钻井及成井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):9-11.
- [5] 李天明,李大佛,雷艳,等. 自激振荡脉冲射流提高 PDC 钻头机械钻速实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):74-77.
- [6] 高明亮. 鄂北工区 PDC 钻头泥包特征分析及预防措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):21-23,27.