

## 美国一次地热井井喷的控制

Neal Adams, Joe D. Thompson

地热井与油气井不同,地热井的钻井液必须循环冷却,以防汽化。注水泥的方法也是特殊的。地热井发生井喷,压井技术与油井的控制技术也不同。如果井喷发生在浅水层,解决的难度更大。

1988年1月,在美国内华达州的Fallon附近,Ormat公司14—6号井发生了井喷。此井与其它生产井一样,使用相同的钻井方案施工。由于意外事故引起了循环液漏失,最后发生井喷。

Ormat能源系统公司立即请休斯顿的Neal Adams消防队承担压井作业。控制作业要求地表和地下控制相结合。重要的是时间,这口钻井要喷出温度350°F、每分钟出水量5000加仑(18.9m<sup>3</sup>)的地下热水。

### 井喷过程

14—6号钻井共钻进887英尺,在钻到大约882英尺时,发生泥浆漏失,约250桶。随后加注泥浆处理。漏失被止住,又继续钻进约4英尺,遇硬岩后停止钻进,认为这是热储层的顶部。

为解决井漏问题拟定了一项方案。在热储层顶板的顶点注砂塞,然后在下套管之前在裸眼中注水泥塞。

正当拉起钻杆准备点注砂塞和水泥时,发生井喷,此时,孔内下了1根钻铤立根,井架上悬挂着1根钻铤立根(2节钻铤和1节钻杆)。

井架工发现蒸汽上升到井口,自管线流出的液流中含有粘土块。关闭环心防喷器,液流开始流到钻机周围。1.5小时以后,产生了一个喷井口,淹没了钻机。

流体喷出量估计5000加仑/min,产生了蘑菇状蒸汽云,蒸汽云高出井口2000英尺左右。在水流进入排水沟的情况下,热水和蒸汽造成一个巨大的喷井口,其喷口尺寸为105英尺×115英尺。喷井口平均深度为100英尺。

### 井喷的控制方案

选择压井方法时需要特殊考虑。通常可用冷水抑制井喷,但冷水在井底受热变成蒸汽时,又将发生井喷。故钻井液需循环冷却,以抑制井喷。

由于地下水的压力引起井底压力变化,所以该井比其他地热井复杂。既需要冷水,又需要重泥浆。另外还要考虑在热储层顶部、砂质岩的裂隙、断裂间循环液的漏失问题。裂隙、断裂将使泥浆或水泥漏失。压井之后,热储层压力开始逐渐上升,将井内的部分泥浆或水泥柱推出井外。因此,还需要顶部压井。其时间应在井底压井的同时或紧接井底压井之后。顶部压井也不容易,因为井架底座和防喷器已经沉入100英尺的喷井井口中。总方案如下:

- 钻一口解救井,与喷发井在井底相交;
- 如果要控制钻井,应以大泵量泵送冷水或泥浆;

- 向喷发井的底部注水泥；
- 在井喷被处理之后，应清理喷井口；
- 切割掉或爆炸掉井架底座和其它设备，以让出装置防喷器的通路；
- 利用留在喷发井内的钻具向井底泵送钻井液；
- 根据井底注水泥情况，把小直径钻杆柱尽可能深地下到井底水泥塞的顶部，并注水泥至地表；
- 爆炸切断和打捞防喷器；
- 回填解救井。

### 解救井方案

解救井是控制井喷的特殊方法。这是一项复杂的作业，包括钻井、定向、专门的井喷压井方法和大的压井泵送系统。

解救井的目的是把压井液泵送到喷发井的井底。由于下列因素，故比较复杂：

- 喷发井的地表位置没有明确的标志，也没有其它井场位置作参考；
- 由于喷井口充满了沸水，不可能准确地定出井喷喷口的位置；
- 对钻井井底的位置不能进行测量。

然而，井喷又有下列有利条件：

- 井底位置浅，所以难于测量的锥形漏斗小；
- 原 $17\frac{1}{2}$ 英寸（444.5mm）的井径，由于井喷冲蚀而变大；
- 如果井喷已看不到，解救井就紧靠钻井，以便与高渗透性热储层的顶部或高传导性断层相交。

解救井的设计与施工，钻机应尽可能接近喷发井，使钻进的角度和水平移距减到最小限度。要求弯曲度为 $6\sim 7^\circ/100$ 英尺。该消防队在前一年曾用 $13^\circ/100$ 英尺的弯曲度施工一个解救井，控制了一次井喷。尽管大弯曲度不是很理想的，但对浅井是容易控制的。

解救井比典型的地热井多用一套附加套管柱。它是为解决浅部井喷时可能发生地下污染而配备的，这在其它作业中曾经用过。

主要靶区是热储层以上10英尺的井喷井身。即使解救井不与喷发井相交，解救井将在喷发井以西15英尺、以东6英尺共21英尺误差的范围内与热储层或断层相交。

为了热水的流散，从最坏的情况出发，按100桶/min的流量，设计建造了一个容积为7000桶（1112.9m<sup>3</sup>）的贮水池。此外，配制了1200桶、密度为11磅/加仑（1318kg/m<sup>3</sup>）的压井泥浆，并且用密度为30磅/桶（85.6kg/m<sup>3</sup>）堵漏材料配制了300桶的高粘度泥浆，必要时泵入裂隙。万一有井漏，现场备有压注柴油——水泥和硅酸钠球的堵漏材料。

压井液通过防喷器泵入钻孔的环状空间。在压井泵送系统与防喷器四通的2个出口连接，作为主要的流动通道，与钻杆柱连接，以便沿钻杆泵入压井液。对该系统作了最大流量为100桶/min的试验。

### 压井作业

该井是按无异常的情况下钻进设计的。 $9\frac{5}{8}$ 英寸套管下到800英尺深并注水泥。在钻出 $9\frac{5}{8}$ 英寸套管之前，对压井系统作了流量试验，对防喷器也进行了试压。全系统功能达到

设计要求。

套管内的水泥被钻到离套管鞋5英尺。然后，进行自导定向测量，测定确实的井位，以决定达到靶区的解救井轨迹是否可被压井作业所允许。设计表明解救井应当在3英尺半径范围内击中靶区。

钻进的终孔段与靶区相交。大约在925英尺发生井漏，按照设计方案继续钻到937英尺，漏失速度在允许的范围內。

关闭防喷器——首先关闭环心，然后关闭并锁紧闸板。卸去主动钻杆，接上泵送接头，使泵送系统的2英寸管线与钻杆连接。

通过3英寸压井管线开始向环状空间泵送压井循环介质。流量从5桶/min提高到25桶/min，共泵送925桶，井喷很快停止，喷井口液面慢慢下降。

假定压井系统所泵送的压井用水在喷发井内不再明显上升时，则可认为压井用水沿断层进入热储层，使井的周围地层压力上升。

压井结束之后，立即注水泥。由于钻井被抑制，不要期望热储层涌出热流而中断注水泥。水泥配制如下：

成 分	数 量(桶)
水	5
10%氯化钙	40
水	5
防护液	40
水	5
水泥〔G级+触变填充剂 (Thixofill) 〕	142
置换水	58

最后加注水泥到862英尺的深度。当考虑到排出液(气)体的数量和井眼冲蚀时，顶部的水泥应具有一定的深度。

在设备搬到喷井口位置后，对钻井观察36小时，如无问题，表明井喷已被压死。

### 喷井口评价和注水泥

压井作业的第二阶段是从地表注水泥。包括抽出喷井口的水和研究水泥注入地层的方法。

用2500加仑/min(9.5m<sup>3</sup>/min)的潜水泵排除喷井口的水。由于液面下降，喷井口的陡壁坍塌，对人员在喷井口边工作或行走时造成危险。为了安全，将喷井口边围起来，经过几天坍塌井口周围稳固下来。喷井口直径增加了约30英尺。

井架底座以35°角度下沉在喷井口中，转盘在最底下。钻铤在夹持器中。钻铤上部母扣已成卵形。喷井口处的许多设备，被土壤覆盖在井架底座之下。

从喷井口采集了水样，水温不高(80~90°F)，所以，是来自地下水，不是来自热储层。

喷井口作业的主要目的是尽可能深安置良好的水泥塞。

在离原井位3~5英尺处施工一个钻孔，钻头直径6<sup>1</sup>/<sub>2</sub>英寸，钻孔钻至300英尺，此深度应封孔止水，这涉及了当地居民区的用水问题。在此深度注入水泥。

深度超过250英尺钻井液开始汽化，该地区浅部地层温度比预想的要高得多。

(下转第7页)

**(上接14页)**

浅部地层7次分隔，用G级水泥共339桶（ $20\text{m}^3$ ）进行灌注，充填漏失带和堵塞浅部地下水层。

在完成注水泥作业之后，州和联邦政府机构表示满意。

摘译自：《World Oil》June, 1989, Vol. 208, No. 6

译者：张蛮庆

校者：张茂举