

## ◆钻井与完井◆

## 磨料射流切割多层套管技术的试验研究

蒋慰兴 陈建兵 马认琦 谭峻松

(中海油能源发展股份有限公司 监督监理技术公司,天津 塘沽 300452)

**摘要:**在淹没条件下对旋转磨料射流切割套管的规律进行了试验研究,重点分析了射流压力、喷嘴转速、喷距、磨料质量分数和磨料粒径等因素对切割深度的影响规律,目的在于研制一套切割海洋废弃井口的磨料射流工具,并获得影响切割效率的各种参数规律、切割工艺,从而形成一套可靠的、新的海洋废弃井口处理方法,以便较好地解决海洋环境保护与废弃井口处理的问题。

**关键词:**磨料射流;套管;切割;现场试验**中图分类号:**TE248    **文献标识码:**A    **文章编号:**1001-0890(2009)02-0041-04

20世纪60年代世界上掀起了海上石油开采高潮。我国海上石油开发虽然起步较晚,但发展较快,仅用20 a左右的时间就在我国大陆架上树起了近百座采油平台。但是,随着油气开采时间的增长以及当地油气资源的枯竭,油气井以及采油平台也就完成了它们的使命,如何处置这些海上油气井以及采油平台,就成了摆在油田开发者面前的难题。其中最重要、也是首先要解决的一道工序就是对废弃井口的处理,废弃井口的处理不仅要考虑可供使用的技术、成本、安全性、可靠性以及必须遵守的法律法规等问题,更为重要的是必须考虑环境保护问题。因此,研究高效、优质、安全和环保型的废弃井口处理技术至关重要,它也是海上平台安全拆除的前提和保障。

## 1 试验设备与磨料射流切割原理

### 1.1 试验设备

主要设备包括:高压泵、磨料射流发生装置、模拟淹没条件的水箱、磨料射流切割工具以及φ244.5、φ339.7、φ508.0和φ762.0 mm等4层套管以及相应的井下切割工具。其中高压泵额定泵压为50 MPa,额定排量为530 L/min。

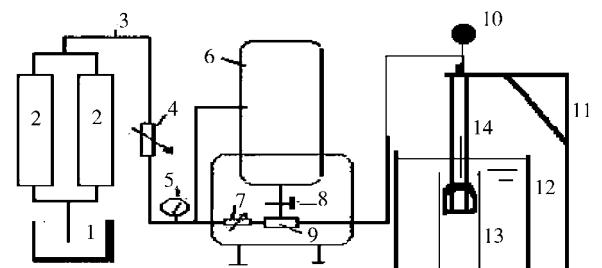
### 1.2 磨料射流切割原理<sup>[1-6]</sup>

磨料射流切割是直接利用加磨料水射流的动能对金属进行切削而达到切割目的,切割过程中无化学变化,具有对切割材材质理化性能无影响、无热变

形、清洁无污染等优点,因此该技术得到了广泛应用。

试验中,由高压泵提供的高压水在到达磨料罐底部时被分成两部分:一部分从磨料罐底部的支流口进入磨料罐,与罐内的磨料混合,使局部的磨料达到流态化,以便顺利加入到高压管线中;另一部分通过磨料罐底部的节流阀与流态化的磨料混合,形成磨料和水的混合物,该混合物由高压胶管输送到切割工具,最后通过磨料射流喷嘴高速喷射而出形成磨料射流。

磨料射流切割套管如图1所示。



1. 水池;
2. 高压泵;
3. 高压管线;
4. 调压阀;
5. 压力表;
6. 磨料罐;
7. 节流阀;
8. 磨料调节阀;
9. 混合腔;
10. 压力表;
11. 架子;
12. 水箱;
13. 套管;
14. 磨料切割工具

图1 磨料射流切割套管示意

收稿日期:2008-04-10;改回日期:2009-02-10

作者简介:蒋慰兴(1972—),男,上海崇明人,1997年毕业于江西财经大学会计学系,工程师,市场经营部经理,主要从事钻完井新技术的开发与研究。

联系电话:(022)25801271

## 2 室内试验结果及分析

影响磨料射流切割效率的因素很多,主要有<sup>[3-7]</sup>:水力参数(射流压力和排量等)、喷嘴参数(喷嘴直径和喷嘴形状等)、工作参数(喷嘴的旋转速度和喷距等)、磨料参数(磨料种类、粒径和圆度等)、切割材料性能(脆性或塑性材料)、磨料射流流体介质的性质(清水或含有高分子的浆体)以及切割环境(非淹没、淹没或有围压淹没)等。笔者通过试验重点研究了淹没条件下射流压力、喷嘴旋转速度、喷距、磨料质量分数、磨料粒径和切割时间等因素对磨料射流切割效率的影响规律。

### 2.1 泵对切割效率的影响

泵对切割效率的影响主要是从泵压和泵排量两方面进行研究的,试验条件及参数:压力 12~16 MPa,且每隔 1 MPa 试验一次;两喷嘴直径 2.4、3.0 mm;喷距 10 mm;喷嘴转速 3 r/min;磨料质量分数 17%(体积分数 6.54%);石英砂磨料粒径 0.3~0.6 mm;套管为 φ244.5 mm 钢级 N80 的油层套管,流体介质为清水。试验结果如图 2、3 所示。

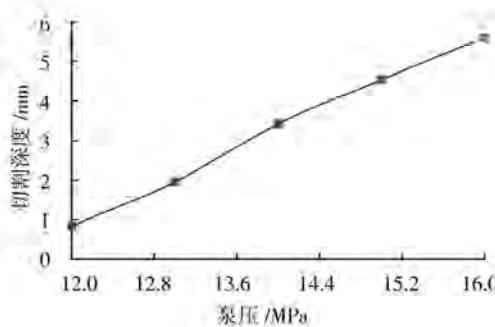


图 2 切割深度与泵压的关系

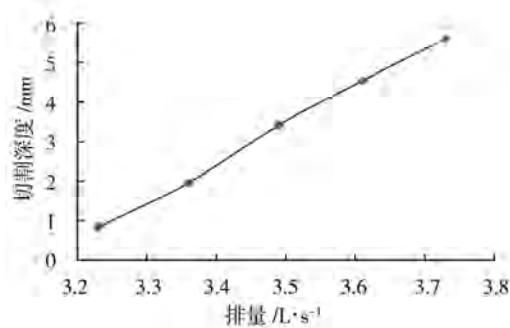


图 3 16 MPa 泵压下切割深度与泵排量的关系

从图 2、图 3 可看出,随着泵压和泵排量的增加,切割深度增加,且基本是以线性规律增加的。由

于泵压增加,流体对套管的冲击能增加,因此切割深度增加;泵排量的大小直接影响磨料射流直径的大小,泵排量越大,射流直径越大,因而射流效率越高,可见增大泵压和泵排量可以有效提高磨料射流的切割效率。

### 2.2 喷嘴因素对切割效率的影响

喷嘴因素对切割效率的影响主要是从割头旋转速度和喷距两方面进行研究的,试验条件及参数:压力 16 MPa;喷嘴直径 2.4、3.0 mm;磨料质量分数 17%(体积分数 6.54%);石英砂磨料粒径 0.3~0.6 mm;套管为 φ244.5 mm 钢级 N80 的油层套管;流体介质为清水。试验结果如图 4、5 所示。

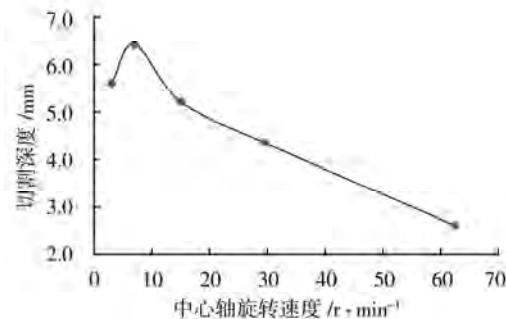


图 4 喷距 10 mm 时切割深度与转速的关系

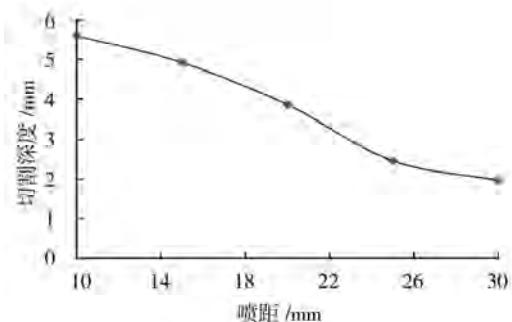


图 5 3 r/min 转速下切割深度与喷距的关系

由于切割头旋转速度不同,磨料射流作用于套管同一点上的时间及磨料颗粒的总数量也不同,套管壁接收冲击能不同,在一定泵压下,切割深度与转速会有一个峰值,由图 4 可看出,随着切割转速的增大,切割深度是先增大后减小,当转速为 7 r/min 时,切割深度最大(6.5 mm)。这就是说在一定试验条件下,并不是旋转速度越大,切割效率就越高,它有一个最优值。

从图 5 可看出,随着喷距的增加,切割深度逐渐减小,磨料射流的切割效率也逐渐降低。这是因为磨料射流形成以后,它会受到周围环境的影响,使磨

料射流的速度产生衰减,衰减的快慢与喷距有较大的关系,喷距越大,磨料射流冲击点所具有的能量就越小,因此它对套管的切割深度越小,切割效率也就越低。因此在实际应用中应尽可能使用短喷距,以充分利用射流的能量,尤其是在有外压条件下更应注意这个问题。

### 2.3 磨料参数对切割效率的影响

磨料参数对切割效率的影响主要是从磨料的质量分数、磨料的粒径以及磨料种类 3 方面进行研究的,试验条件及参数:压力 16 MPa;喷嘴直径 2.4、3.0 mm;喷距 10 mm;转速 3 r/min;套管为  $\varnothing 244.5$  mm 钢级 N80 的油层套管;流体介质为清水。试验结果如图 6、7、8 所示<sup>[8-10]</sup>。

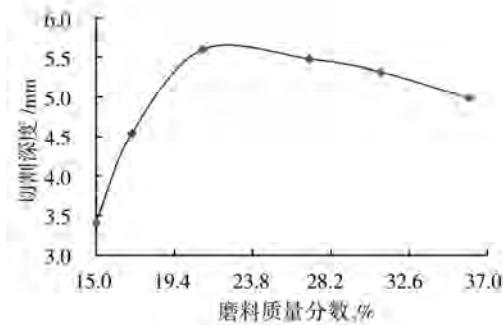


图 6 粒径为 0.3 mm 时切割深度与磨料质量分数的关系

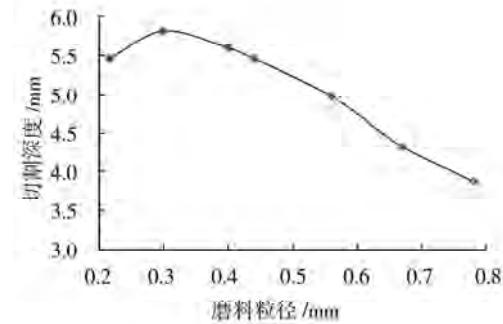


图 7 17% 磨料切割深度与磨料粒径的关系

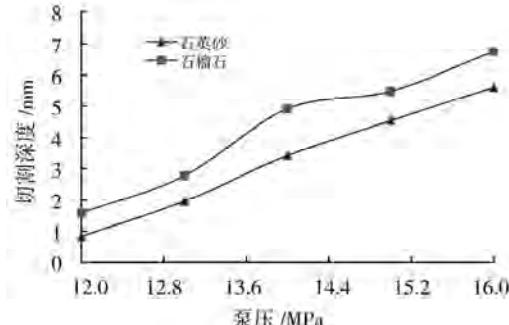


图 8 切割深度与磨料种类的关系

从图 6 可看出,随着磨料质量分数的增大,切割深度先增大后减小,但减小的幅度比较小。这是因为磨料质量分数增大,作用于套管同一点磨料数量增加,射流的动能会增加,但是在一定的泵压下,磨料质量分数无限制地增大,泵压就没有足够的能力使整体射流获得足够的能量,因此它存在一个峰值。

从图 7 可看出,随着磨料粒径的增大,切割深度先增大后减小,且减小的幅度很大。这是由于在给定的泵压下,磨料粒径的增大,导致射流晶粒数相应减少,但是作用在套管壁上的能量,受晶粒数和粒径影响,因此粒径不可能无限制增大,它也有一个最大值。

由以上分析可知,磨料射流切割套管效率,并不是随磨料质量分数和粒径的增大而无限制地增大,它与泵压有直接的关系,在一定泵压下,切割效率达到最大值时,磨料质量分数和粒径有一个最优值。

从图 8 可看出,在 16 MPa 泵压和 3 r/min 转速下,石榴石作磨料时的切割深度明显大于石英砂,且切割深度与泵压的关系基本是线性的,这种线性规律与磨料种类关系不大。

### 2.4 流体介质对切割效率的影响

试验用的浆体是在清水中添加了 0.1% PAM 所形成的高分子溶液,即浆体<sup>[11]</sup>。切割效率与流体介质的关系如图 9 所示。

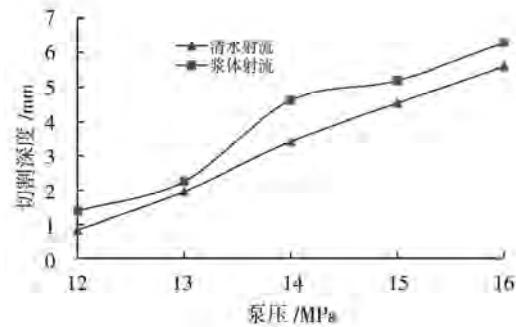


图 9 切割深度与流体介质的关系

从图 9 可看出,相同泵压条件下,磨料浆体射流切割深度明显优于磨料水射流的切割深度。这是由于流体介质不同,射流的性能、射流的扩散性以及等速核的长度就不同而导致的<sup>[12]</sup>。

## 3 现场试验

2007 年 7 月 20 日,胜利油田井下作业公司进行了磨料射流切割多层套管的地面试验,纯切割时

间约 6 h(压力 $\geq 45$  MPa)。试验对象:4 层套管,分别为  $\phi 244.5$ 、 $\phi 339.7$ 、 $\phi 508.0$  和  $\phi 762.0$  mm,壁厚分别为 11.99、12.19、12.70 和 25.40 mm,套管试件高度 2 000 mm。4 层套管一层套一层,中间两层采用固井水泥固结,固结过程中不同心,中心偏差约 50 mm,磨料射流喷嘴到最外层隔水管最近处约 235 mm,而最远处约 335 mm。

经过现场试验验证,设计的磨料射流切割套管装置完全可行,而且操作方便、设备结构简单,具有推广使用价值。图 10 为现场切割后的套管和隔水管断面。



图 10 割断的套管和隔水管

## 4 结 论

1)设计了一套海洋废井口磨料射流切割多层套管设备。经现场试验验证,该设备结构简单、使用可靠、操作方便,具有推广应用价值。

2)室内试验表明,随着切割头旋转速度、磨料质量分数和磨料粒径的增加,切割深度都是先增大后减小。

## Experimental Research on Multilayer Casing-Cutting with Abrasive Water Jet

Jiang Weixing Chen Jianbin Ma Renqi Tan Junsong

(Supervision and Technology Company, Energy Resources Development Co. Ltd., CNOOC, Tanggu, Tianjin, 300452, China)

**Abstract:** Casing cutting using abrasive water jet in submersed condition was conducted in laboratory. For the purpose of developing a set of abrasive cutting tool suitable for abandoned wellhead on offshore and acquiring the various parameters and cutting techniques, the impact of cutting variables on cutting depth was analyzed, including water jet pressure, jet rotation speed, jet distance, abrasive stuff mass fraction and diameter so that a set of reliable treatment method for abandoned wellhead was developed to solve the problems of marine environmental protection and abandoned wellhead treatment.

**Key words:** abrasive fluidics; casing; cutting; testing

3)磨料射流切割套管效率,并不是随旋转速度、磨料质量分数和磨料粒径的增大而无限制地增大,而是与泵压有直接关系,在一定泵压下,切割效率达到最大值时,旋转速度、磨料质量分数和粒径有一个最优值。

4)采用石榴石作为磨料时的切割深度明显大于采用石英砂作为磨料时的切割深度。

## 参 考 文 献

- [1] 刘大有.二相流体动力学[M].北京:高等教育出版社,1993.
- [2] 刘大有,路展民.竖置管流中液固两相脉动特性和颗粒浓度分布[J].力学学报,2000,32(5):552-558.
- [3] 周卫东,王瑞和,杨永印,等.水力参数和磨料参数对前混式磨料射流切割套管的影响研究[J].石油钻探技术,2001,29(2):10-12.
- [4] 夏震寰.现代水力学(三)——紊流力学[M].北京:高等教育出版社,1992.
- [5] 周卫东,王瑞和,杨永印,等.磨料射流切割套管过程中工作参数和流体介质影响的实验研究[J].石油钻探技术,2001,29(3):18-20.
- [6] 周卫东,王瑞和,刘银仓,等.磨料射流切割套管的实验研究[J].石油钻探技术,2003,31(1):7-9.
- [7] 曹砚峰,王瑞和,周卫东,等.旋转磨料射流冲蚀套管的实验研究[J].石油钻探技术,2001,29(4):17-18.
- [8] 傅旭东,王光谦.低浓度固液两相流中的粗颗粒浓度分布[J].清华大学学报(自然科学版),2002,42(10):1 361-1 364.
- [9] 王光谦,傅旭东.快速颗粒流本构关系在固液两相流中的适用条件初探[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(4):416-424.
- [10] 张永利,邹英楼,王来贵,等.水力喷砂割缝增产增注技术试验研究[J].石油钻采工艺,1997,19(6):100-101.
- [11] 章梓雄,董曾南.粘性流体力学[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [12] 谢象春.湍流射流理论与计算[M].北京:科学出版社,1975.

[审稿 李子丰]