

# 波纹管堵漏技术及其在地质钻探领域的应用研究

张德龙<sup>1</sup>, 翁 炜<sup>1</sup>, 黄玉文<sup>1</sup>, 史新慧<sup>1</sup>, 杨 鹏<sup>1</sup>, 杨文勇<sup>2</sup>, 李光宏<sup>3</sup>

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 内蒙古第四地质矿产勘察开发院, 内蒙古 乌兰察布 012000; 3. 河北省地矿局第十一地质大队, 河北 邢台 054000)

**摘要:**波纹管技术在石油钻井中已经成功应用于封堵漏失等复杂地层工作,此外还可以应用于减少套管层数、修复损坏套管等钻井作业过程,被认为是21世纪石油钻采行业的核心技术之一。结合地质钻探及波纹管堵漏现场试验情况,在介绍波纹管技术基础上着重分析了该技术在地质钻探领域应用可行性和存在的关键问题。

**关键词:**波纹管;堵漏;地质钻探;应用分析

**中图分类号:**P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)05-0028-03

**Research on Bellows Sealing Technology and the Application in Geological Drilling Field/ZHANG De-long<sup>1</sup>, WENG Wei<sup>1</sup>, HUANG Yu-wen<sup>1</sup>, SHI Xin-hui<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>1</sup>, YANG Wen-yong<sup>2</sup>, LI Guang-hong<sup>3</sup>** (1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 2. Fourth Institute of Geological and Mineral Exploration of Inner Mongolia, Ulanqab Inner Mongolia 012000, China; 3. No. 11 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Xingtai Hebei 054000, China)

**Abstract:** The bellows technology has been successfully used for sealing in drilling engineering and also can be used to deal with many complicated down-hole conditions. It is considered to be one of the core technologies in drilling industry. According to the geological drilling and field test conditions of bellows sealing, and based on the introduction of bellows technology, the paper analyzed its application feasibility in geological drilling industry and the key technical issues.

**Key words:** bellows; sealing; geological drilling; application analysis

## 1 波纹管技术简介

### 1.1 基本原理

波纹管技术的基本原理是将具有良好的塑性变形能力和较高的机械强度的无缝钢管压制小于井眼直径的波纹状截面管柱(见图1),将管柱下入预定井段利用水力或机械力使其产生永久塑性变形而将其内径扩大到需要的尺寸,从而达到增大套管,实现节省井眼尺寸、封堵复杂地层的一种技术方法。



图1 可膨胀波纹管原理图

目前,国内外都在进行波纹管技术相关研究工作,国外以俄罗斯鞑斯坦石油科学研究院为代表,国内主要是中国石化石油勘探开发研究院、中国石油勘探开发研究院和中国石油大学(北京)为代表。国内自行研制的膨胀波纹管技术已在国内油田进行

了堵漏试验并获得了成功<sup>[1]</sup>。

### 1.2 技术特点

波纹管技术与常规的膨胀管技术膨胀机理不同,其特点是:

- (1)可快速、有效地封隔复杂地层,解决漏失以及井壁稳定问题;
- (2)减少套管层数,尽可能保证大尺寸井眼完井;
- (3)能够对损坏套管或废弃射孔段进行补贴修复;
- (4)具有更大的完井灵活性;
- (5)与常规膨胀管相比,膨胀工艺相对简单,作业周期短;
- (6)可降低钻井成本。

## 2 波纹管堵漏技术的施工程序

膨胀波纹管技术施工程序<sup>[2]</sup>:

- (1)钻穿漏失地层,确定封隔井段以及井眼尺寸;
- (2)根据封隔井段确定扩眼井段,用扩眼器扩

收稿日期:2011-08-30;修回日期:2012-02-09

作者简介:张德龙(1984-),男(汉族),辽宁朝阳人,北京探矿工程研究所工程师,油气井工程专业,硕士,从事地质、石油钻探及岩土工程方面的研究工作,北京市海淀区学院路29号探工楼103室,newzdl@126.com。

眼;

- (3)将波纹管下入指定位置;
- (4)先进行水力膨胀;
- (5)倒开膨胀波纹管上端扣,并提出钻具;
- (6)下入胀管器进行机械膨胀,修整波纹管;
- (7)继续钻进。

### 3 波纹管堵漏技术的应用

目前,在波纹管技术研究方面,国内外都已经取得了一定的成绩。在波纹管结构形式方面国内外差别不大,虽然都普遍采用8字形的结构形式,但在波纹管材质、膨胀技术及工艺方面存在较大差距。

#### 3.1 国外波纹管技术在国内油田的应用情况

在波纹管技术研究方面,国外以俄罗斯鞑斯坦石油科学研究院为代表。国内吐哈油田和胜利油田引进了俄罗斯波纹管技术,在胜利油田 T2-5-283 井、T3-8 斜 216 井和吐哈油田 L7-71 井进行了现场堵漏应用,并取得了成功。下面介绍吐哈油田 L7-71 井波纹管试验情况。

L7-71 井设计井深 2810 m。钻至井深 2492 m 处钻速加快,钻进 2492~2495 m 的 3 m 段钻速为 3~4 m/min,钻至 2495 m 钻井液失返。确定发生井漏井段为 2450~2515 m 井段。

先后共进行 6 次堵漏,包括静止堵漏、凝胶堵漏、综合堵漏,其中 2 次打水水泥堵漏,共漏失钻井液 1007 m<sup>3</sup>。在堵漏过程中,通过降低钻井液密度和打水泥塞堵漏,漏失情况得到了缓解,但是当钻井液密度提高到 1.45 g/cm<sup>3</sup> 以上时又发生严重漏失,而钻井液密度设计值为 1.65 g/cm<sup>3</sup>,无法进行进一步钻进。通过研究讨论,决定采用波纹管堵漏技术进行堵漏。

通过井眼状况调查,确定波纹管封固段为 2450~2515 m,扩眼井段为 2445~2520 m。用扩眼器将 2445~2525 m 井段 215.9 mm 井径扩至 234.0 mm。扩眼后进行井径测井,发现除 2488~2491 m 井段井径稍小于 232 mm,其它井段井径基本满足下入波纹管的要求。最终确定波纹管封固井段为 2451.0~2513.5 m,段长为 62.5 m。

波纹管采用焊接的连接方式,每一焊口需用时约 3.5 h,为节约时间,首先将 8 根波纹管焊成双根,并将上下封隔器焊至波纹管上。波纹管下入预定井段后,先进行液压胀管,打压 3~8 MPa,共注入钻井液 7 m<sup>3</sup>。再用钻井泵打压至 14 MPa,下压 150 kN,波纹管不上下移动,说明波纹管已胀开,倒扣,起钻。

通过  $\varnothing 196$ 、208、216 mm 球形胀管器、 $\varnothing 217$  mm 滚子胀管器反复膨胀修整。下入  $\varnothing 216$  mm 钻头通过 2453~2458 和 2483~2488 m 井段有卡阻现象,划眼通过。用  $\varnothing 216$  mm 球形胀管器胀开波纹管上封隔器后,井漏现象完全消失。钻至 2532 m,钻井液密度加至 1.51 g/cm<sup>3</sup> 无漏失现象,钻头、钻具均能顺利通过,波纹管堵漏技术试验成功<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 国内波纹管技术的应用情况

中国石化石油勘探开发研究院研制的波纹管在江苏油田韦 15-19 井、新疆油田 T6182 井进行了现场堵漏试验,并获得了成功。以下介绍新疆油田 T6182 井波纹管堵漏情况。

T6182 井设计井深 800 m,在钻至井深 443 m 处发生井漏,5 h 共漏失钻井液 72 m<sup>3</sup>。边堵漏边钻进至井深 521 m,共漏失钻井液 120 m<sup>3</sup>。现场分析认为,发生井漏的井段为 443~500 m,由于采用钻井液堵漏材料进行堵漏无法达到预期效果,决定采用波纹管进行堵漏。

根据计算确定拟用波纹管封固井段为 410~510 m 井段,扩眼井段为 405~516 m。扩眼后进行测井,发现 405~527 m 井段井径为 235 mm 左右。其中 427~432、449~451 和 451~456 m 井段井径明显小于 235 mm;470~497 m 井段井径在 235 mm 左右,较为合适;497~516 m 井段井径大于 250 mm。再次对 427~432 m 井段及 449~456 m 井段进行扩眼,补贴点从 497 m 往上至 405 m 以下。

波纹管(图 2)下至预定位置,用水泥车加压强管,压力升至 7 MPa 后,压力不再上升;后改用钻井泵加压至 20 MPa(压力稳不住),上提 350 kN,表明波纹管已悬挂成功。丢手投球剪销,加压 5 MPa,剪钉剪断,起钻。



图 2 可膨胀波纹管现场实物图

下入  $\varnothing 210.0$  mm 平底磨鞋磨铣波纹管上端口;起出后再分别下入  $\varnothing 206.0$ 、216.0 mm 球形胀管器

进行机械膨胀,修整波纹管。膨胀过程中发现216.0 mm球形胀管器球体落入井下,经过分析认为是由于球形胀管器在撞击过程中,工艺孔卡块掉出,导致球体脱落,估计球体位置在井深420.5 m处。随后下入4只磨鞋,3次下入胀管器整形,3次下入磁铁打捞器,共起下钻12次,施工结束,无漏失现象,钻头及其它工具可以顺利起下,后续施工完全可以正常进行<sup>[4]</sup>。

#### 4 地质勘探领域对波纹管堵漏技术的需求

井漏是指在钻井等井下作业过程中,各种工作液在压差作用下漏入地层的一种常见的复杂现象。不论是石油钻井还是地质钻探,都会时常发生井漏现象。井漏影响钻探安全作业,给钻井工程带来不便和损失(如耗费钻井时间,损失钻井液,引起卡钻、井塌埋钻等一系列后果,甚至导致井眼报废,造成重大经济损失),给矿产勘探开发带来极大困难。

随着地质勘探工作量逐年增加,钻孔深度也越来越深,钻遇地层愈加复杂、多样。与石油钻井不同的是,地质勘探通常是在地质资料不全,对地层分布不了解的情况下进行钻进施工的。井漏发生时,可采取常规堵漏、针对性的钻井液体系及其维护处理、制订针对性的钻井施工措施、以至下套管封固等方法处理。一旦发生产裸眼复杂井段严重井漏,除下套管封固外,尚无好的解决办法,这种办法势必增加套管层次,使钻孔结构复杂,工程成本增加。

在深部复杂地层钻进,由于对下部地层分布不了解,为了确保钻孔深度,通常在钻井设计时预留足够多套管层次,加大开孔直径,这给钻井施工带来了巨大的风险,同时造成钻进费用的急剧增加。

波纹管技术主要用于解决钻井过程中出现的井下复杂情况,即封隔复杂井段,处理井漏、井涌、水侵或坍塌等事故,可保证复杂地区深井钻井的顺利进行。应用波纹管技术,在钻遇井漏地层时,下入波纹管,进行快速高效堵漏,可以保持钻孔直径,简化井眼结构,减少套管层次,大大的降低钻井综合成本。研究认为,采用波纹管技术,单一井径油井可减少44%的钻井液用量,42%的水泥用量,42%的套用量和59%的钻屑生成量,在海上钻井和建井中可节省33%~48%的建井费用<sup>[5]</sup>。

#### 5 地质钻探领域应用波纹管堵漏技术关键问题

我国自行研制的产品现场应用的成功,标志着我国已经基本上掌握了波纹管堵漏技术。但是目前

国内能够成型的产品规格有限,中国石油勘探开发研究院拥有 $\varnothing 8\frac{1}{2}$ 和 $12\frac{1}{4}$  in两种井眼尺寸的波纹管堵漏现场施工能力,中国石化石油勘探开发研究院目前已形成 $\varnothing 8\frac{1}{2}$ 、 $9\frac{1}{2}$ 、 $12\frac{1}{4}$  in井眼尺寸的波纹管堵漏现场施工能力。

地质钻探钻孔直径相对石油钻井较小,现有规格无法满足地质钻探堵漏作业使用,因此需要进一步进行波纹管的系列化研究,开发适合地质钻探用小口径波纹管。

此外,由于现场实践较少,在波纹管堵漏施工工艺技术以及配套作业设备方面还存在较大的空间,需要进一步的研究和摸索。

##### 5.1 波纹管材料研究

由于波纹管是先将管材在车间压制成型,再到现场焊接,下井膨胀,因此要求管材必须具有较好的塑性变形能力、较高的机械强度、良好的形变加工适应性和焊接性。这就需要对管材的抗拉、抗挤、抗冲击韧性、延展性、抗破裂性等性能进行试验研究,优选适合作为波纹管生产的材料。

##### 5.2 小口径波纹管施工工艺研究

###### 5.2.1 连接方式研究

受波纹管截面形状以及施工工艺限制,当前波纹管间的连接方式主要采用现场焊接的方式。焊接质量的好坏对波纹管的性能以及膨胀施工有重要的影响,是波纹管的关键技术之一。国外个别厂家采用在波纹管两端添加变径接头的方法将截面形状变为圆形截面,然后进行螺纹连接。有必要进一步研究波纹管的连接形式,采取更安全、可靠的办法。

###### 5.2.2 扩眼直径控制

扩眼直径直接影响波纹管膨胀后与井壁的结合强度,在裸眼井段,扩眼直径过大波纹管与井壁结合力不够,扩眼直径太小将影响波纹管膨胀施工,给后续的钻井作业留下隐患。

###### 5.2.3 施工工艺

由于口径不同,不同波纹管的力学性能也不尽相同,需要进一步研究小口径波纹管的性能参数以及在施工作业过程中应该注意的问题,对施工工艺进行简化和优化。

##### 5.3 小口径波纹管配套设备

在波纹管堵漏施工过程中需要用到很多专用设备及工具,如果在地质钻探中应用小口径波纹管进行堵漏作业,必须研发相应的小口径专用设备,如扩眼器、球形胀管器、滚子胀管器、磨鞋等都要进行进

(下转第52页)

表1 我国不同地区风压

序号	包括的地区	高度	
		<20 m	>100 m
1	广东沿海、海南岛、南海诸岛、台湾最南部	>1	>2
2	东部沿海、松辽平原、甘肃、新疆	1.0~0.7	2.0~1.5
3	华北平原,东北、西北大陆	0.7~0.4	1.5~1.0
4	东南及西南的大陆地区	0.4~0.25	1.0~0.75
5	川南及云贵高原	0.25	0.75

较高的钻塔,风载对其的影响在总载荷中占有相当的比重。计算方法可以参照上述公式,挡风面积 $A$ 需要根据钻塔及部件的侧表面积来确定。

(3)钻塔因受载荷而在绷绳中产生的拉力,它的大小因结构尺寸、绷绳数量和固定位置不同而异。一般来讲,绷绳基本对称布置,此水平载荷相互平衡可以忽略不计。

## 5 钻塔的校核

由于各钻塔结构不同,截面尺寸和形状也不一定相同,因此强度的校核要因塔而异。校核的内容包括强度和稳定性2个方面。钻塔的强度校核,包括:钻塔工作时不同工况下的载荷组合;钻塔受外载后各杆件内力的计算;根据各杆件受力的大小,进行强度校核。钻塔承载情况依其类型及工作条件的差异而不同。应根据使用要求和工作条件合理确定其计算载荷。显然,以各种载荷可能同时出现最大值

(上接第30页)

一步的优化设计,甚至有些工具需要重新进行设计。

### 5.4 波纹管施工过程中复杂事故的处理

波纹管堵漏技术尚属起步阶段,在施工作业过程中还会遇到一些复杂问题,需要进一步针对波纹管施工作业可能发生的事故进行深入研究,探索解决办法。如:

(1)波纹管下井遇阻、卡,无法起下钻时如何处理;

(2)对溶洞、空洞地层以及破碎坍塌井段进行施工时,钻井液大量漏失可能遇到的复杂情况;

(3)地层缩径波纹管受挤变形,或者发生剪切、拉伸变形导致钻具无法下井如何解决。

## 6 结论与展望

(1)波纹管堵漏技术是最直接有效的堵漏方法之一,现场堵漏试验成功表明我国已经基本掌握该项技术。

的组合,作为计算载荷是不合理的。因此,设计计算中应对钻塔的载荷作充分的分析,合理地确定其计算载荷。

## 6 结语

多年的钻塔研制及配套工作实践证明,只有对钻塔的主要问题和核心问题进行认真研究,并尽量做到标准化和规范化,才能保证交付给用户满足使用要求的产品。钻塔的设计制造涉及的问题很多也较复杂,需要在科学的理论指导下,紧密结合生产施工实践,不断总结经验,完善设计、制造和配套,更好地为钻探施工服务。希望本文能够对钻塔的研制及日后的配套工作提供一定的参考。

## 参考文献:

- [1] 侯依甫. 钻井和修井井架、底座设计指南[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 张西坤,靳益民. 关于钻塔的几个问题的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7).
- [3] 屠厚泽. 钻探工程学(中册)[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,1988.
- [4] 胡辰光. 钻探工程技术[M]. 安徽合肥:安徽文化音像出版社,2003.
- [5] 张西坤,宋小娟. 关于钻塔的几个问题的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(12).

(2)地质岩心钻探领域采用波纹管堵漏技术能够降低钻井工程风险和成本,具有较好的前景。

(3)波纹管堵漏技术目前尚不成熟,需要进一步开展系列化研究,在施工工艺以及复杂情况处理方面还需要大量的现场实践和探索。

(4)波纹管在补贴损坏套管、减少套管层次方面尚无成功案例,需要在这方面进一步开展理论及试验研究。

## 参考文献:

- [1] 李娟. 可膨胀波纹管技术在钻井工程中的应用[J]. 西部探矿工程,2006,(11):175-177.
- [2] 胡彦峰,涂玉林,汪胜武,等. 可膨胀波纹管技术在钻井工程中的应用[J]. 西部探矿工程,2011,(2):91-97.
- [3] 张彦平,田军,赵志强,等. 波纹管堵漏技术在吐哈油田L7-71井的应用[J]. 石油钻采工艺,2005,27(1):20-22.
- [4] 陶兴华,马开华,吴波,等. 膨胀波纹管技术现场试验综述及存在问题分析[J]. 石油钻探技术,2007,35(4):63-66.
- [5] 姚彤宝,于好善,夏柏如,等. 膨胀管技术在地质勘探领域应用初探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):8-11.