

# 膨胀管技术在地质勘探领域应用初探

姚彤宝<sup>1</sup>, 于好善<sup>1,2</sup>, 夏柏如<sup>1</sup>, 杨甘生<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**膨胀管技术可应用于钻井、完井及修井等作业过程,被认为是当前石油钻井行业的核心技术之一。结合生产实际情况,在介绍膨胀管技术和地质勘探应用该技术的基本要求的基础上,着重分析了地质勘探领域应用该技术的关键问题及其可行性,探讨性地提出膨胀管技术将在地质勘探领域得到推广应用。

**关键词:**膨胀管技术;地质勘探;套管

**中图分类号:**P634.5;TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)02-0008-04

**Research on Application of Expandable Tubular Technology in Geological Exploration Field/YAO Tong-bao<sup>1</sup>, YU Hao-shan<sup>2</sup>, XIA Bai-ru<sup>1</sup>, YANG Gan-sheng<sup>1</sup>**(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Expandable tubular technology can be applied to drilling, well-completion and restoration, and is considered to be one of the core technologies in the current oil drilling industry. Combined with the field situation, the paper introduced the expandable tubular technology and the basic requirements for its application in geological exploration, emphatically analyzed key technical issues and the feasibility of its application in geological exploration field and discussed the future popularization.

**Key words:** expandable tubular technology; geological exploration; casing

## 1 膨胀管技术(Expandable Tubular Technology)

膨胀管技术,又称膨胀套管技术,20世纪80年代初由苏联专家用93号钢制成的异型管膨胀后作为套管而提出。当钻遇水层或破碎带而无法正常钻进时,将其下入井内,用扩管器将异型管扩成圆形并使其靠在井壁上,借以封堵水层和破碎带。到90年代末,壳牌公司在异型管的基础上开发出膨胀管技术,膨胀管主要有割缝膨胀管和实体膨胀管两大类。

其中割缝膨胀管比异型管更容易扩径,是一种经济可行的隔离复杂层段的工艺,用其代替常规衬管既节约成本又能保证油井质量,在割缝膨胀管的基础上开发出的膨胀防砂网,其防砂效果优于砾石充填完井。

实体膨胀管的优点<sup>[1-3]</sup>包括:利用膨胀管修复损坏的套管,可降低修井成本;利用膨胀管完井,可降低10%的井径损失;建立单一直径的油井,不但省去了复杂的套管系列,而且可以通过减少岩石的切削量提高钻速和建井速度。实体膨胀管主要可分为3种类型<sup>[4]</sup>:(1)裸眼井膨胀尾管系统,主要解决漏失、高压等复杂地层的封隔问题;(2)套管井膨胀衬管系统,主要用于修补作业;(3)膨胀尾管悬挂器系统,用膨胀管柱制作尾管悬挂器,保证尾管和上层

套管密封。

常规钻井中是将固定尺寸的套管下入井中,从井口到油层的尺寸是逐渐缩小的。因此,有可能因为井眼尺寸而限制某一深度以下的井下作业,甚至不能钻达目的层。膨胀套管技术就是将膨胀套管柱下入井底相应井段,驱动头以液压或机械的方式使膨胀套管发生永久性机械变形,以达到预期目的的一种技术方法。经过近10余年的研发,膨胀管技术在近年来取得了一些实质性进展,已在石油行业得到大量应用,并取得了显著的经济效益。它可应用于钻井、完井及修井等作业过程,被认为是当前石油钻井行业的核心技术之一。

总的来说,膨胀管技术具有以下优点:(1)可有效地解决复杂地层的井壁稳定问题;(2)减小井眼锥度、增加套管下入深度,保证尽可能大尺寸井眼完井;(3)可以减少上部井眼的尺寸和套管层数;(4)能够修复套损井;(5)具有更大的完井灵活性;(6)能改善尾管悬挂器的密封效果;(7)可取代砾石充填;(8)可大大降低钻井、完井成本。

在我国,对膨胀套管的研究相对较少。国内目前研究重点集中在膨胀套管金属形变行为和油(套)管的修复,深孔膨胀套管护壁技术国内还未见

收稿日期:2007-12-13

作者简介:姚彤宝(1980-),男(汉族),河南南阳人,中国地质大学(北京)博士在读,地质工程专业,从事钻探机械和工艺的研究工作,北京市海淀区学院路29号,ytblog@163.com。

有研究的报道。总体而言,国内对膨胀管技术的研究还比较薄弱,对膨胀管技术中的几个关键技术还在理论分析和试验当中,与国外还存在较大的差距。

## 2 地质勘探对膨胀管技术的要求

当前,地质勘探工作量逐年增加,而且钻探所遇地层也逐渐复杂、多样,且有纵深发展的方向。在深部复杂地层进行矿产勘探钻进时,通常对下部地层的复杂程度了解甚少,为了确保钻孔能钻进到预定深度,在进行套管层次和钻孔结构设计时,常规的做法是预留足够多套管层次,因而开孔直径就得加大,孔内事故发生几率增大,这样势必造成钻进费用的急剧增加。如使用膨胀管技术,钻遇不稳定地层时,在钻穿该层位后,下入膨胀套管,既能稳定孔壁,又不缩小后续的钻进口径,而且钻孔结构可大大简化,套管层次也可大大减少。即使等尺寸的膨胀套管比常规套管的造价要贵很多,但考虑钻进速度和施工周期等因素,采用膨胀管技术的综合钻进成本也会大大降低。壳牌公司研究认为,采用膨胀管技术后,单一井径油井可减少 44% 的钻井液用量、42% 的水泥用量、42% 的套管用量和 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>。

在钻探成孔过程中,套管起着保护井眼,加固孔壁,隔绝孔内油、气、水等及封固各种复杂地层的作用,它是后续施工作业的基本保证,也可以作为采取油、气和水等资源的通道,其使用情况的好坏将直接影响施工的进度和成本。膨胀管技术应用于地质勘探领域,除要首先满足常规套管在钻探过程中的作用外,又要满足以下几点:(1)尽可能小地降低井眼直径,为起下钻具等作业提供顺畅的通道;(2)膨胀后,套管仍具有足够的抗外压强度;(3)膨胀套管的联接可靠;(4)膨胀作业成本低。

## 3 膨胀管技术在地勘领域应用的关键技术及其可行性研究

### 3.1 膨胀管技术在地勘领域应用的关键技术

膨胀管的整个膨胀过程是非常复杂的,它牵涉到复杂的金属变形机理及金属力学问题。通常意义来讲,就是利用液力或机械力推动心轴(铤)沿套管轴线移动,使管子膨胀至塑性变形区域。地质钻探与石油钻井的很大差别在于:地质钻探孔径较小且往往有取心要求,这就增加了膨胀管技术在地质钻探中的应用难度。因此,如何保证膨胀管满足地质勘探作业的需要,就相应地成了其应用的关键技术。结合地质勘探对膨胀管的要求,可将膨胀管作业的关键技术划分为以下 5 个方面。

#### 3.1.1 膨胀管材的确定

膨胀管技术对管材的基本要求是:管材具有一定的塑性变形能力;膨胀后具有足够的抗外压强度;能够满足地层的密封性要求。

膨胀套管管材的研究过程中,曾使用过低碳不锈钢、低碳合金钢、高压锅炉钢等,目前采用常规套管材料,如 L-80、K-55。国外针对 L-80、K-55 做了大量研究,试验表明,膨胀后管材的性能仍能满足 API 标准的要求<sup>[6]</sup>(如表 1)。由表 1 可知,经 20% 膨胀后,由于加工硬化的作用,L-80、K-55 的抗拉强度都有所提高,伸长率都有所降低,由于膨胀残余应力的影响,屈服强度数据较分散,但所有数据均满足 API5CT 的要求。膨胀后的管材冲击韧性有所降低,同时由于包辛格(Bauschinger)效应的影响,膨胀后的套管抗挤强度降低约 30% 左右,如 L-80 的抗挤强度在膨胀后会比 API Bulletin 5CT 稍有降低,但通过一种特殊的工艺可使其得到部分恢复。有文献报道,K-55、L-80、N-80、S-95 和 P-110 套管都适用于膨胀管技术。

表 1 L-80 和 K-55 膨胀前后的力学性能

材料性能	L-80					K-55				
	硬度 HRB	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 $\sigma_0/\text{MPa}$	屈强比	伸长率 /%	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 $\sigma_0/\text{MPa}$	屈强比	伸长率 /%	
API 5CT 未膨胀	241(最大)	551.6(最小)	655.0(最小)	0.84	14.0(最小)	379.2(最小)	655.0(最小)	0.58	9.5(最小)	
膨胀	200~205	567.4	668.1	0.85	27.1	484.0	761.9	0.64	26	
膨胀	217	568.1	722.6	0.79	19.4	547.4	799.8	0.68	22	

国内胜利油田曾有报道称已研制出拥有自主知识产权的膨胀管材质配方,这就为该技术在我国的研究提供了宝贵的经验和该技术在地质勘探领域的应用提供了有力的保障。

#### 3.1.2 膨胀管力学性能研究

膨胀管的力学性能与管材成分紧密相关,管材不同得到的性能参数也将不同。国外对该技术做了较为深入的研究,但由于技术保密等原因,仍无法确

知其主要进展。国内也有多家同行从事膨胀管技术的研究,但仅限于理论及实验的研究。西南石油学院为主的学者通过应用弹塑性有限元方法建立了可膨胀套管膨胀过程的力学模型,进行了膨胀过程详细的计算机模拟研究,对膨胀套管内的等效应力与残余应力进行了分析,为膨胀管技术的研究和应用打下了良好基础。

### 3.1.3 膨胀机构的设计

膨胀机构大致经历了 2 个阶段<sup>[7]</sup>:2005 年之前的第一代膨胀机构(图 1a)和第二代膨胀机构(图 1b)。第一代膨胀工具主要是通过液压或机械的方式驱动膨胀锥在管材内沿其轴线方向产生移动,使管材发生塑性变形,膨胀到预定的内径和外径。膨

胀作业中,主要靠膨胀锥的锥面区域给管子内壁施加压力使其发生塑性变形。在管材一定的情况下,膨胀力的大小主要靠锥角  $\alpha$  来确定。锥角  $\alpha$  实际设计中又需考虑以下几个因素:(1)变形区的金属流动尽量流畅;(2)有利于使润滑剂在膨胀变形区域建立流体润滑条件;(3)保证管子轴线与膨胀工具轴线重合;(4)使膨胀力尽可能小。第二代膨胀工具膨胀作业过程中是膨胀工具沿管材轴线运动的同时,还作回转运动,并可通过调节转速来控制管子的膨胀行为(包括轴向、径向的膨胀速度等)。这种膨胀工具所需的膨胀力只有第一代膨胀工具所需膨胀力的 10% 左右,膨胀效果也明显优于前者。目前,已成为膨胀工具设计的主流。

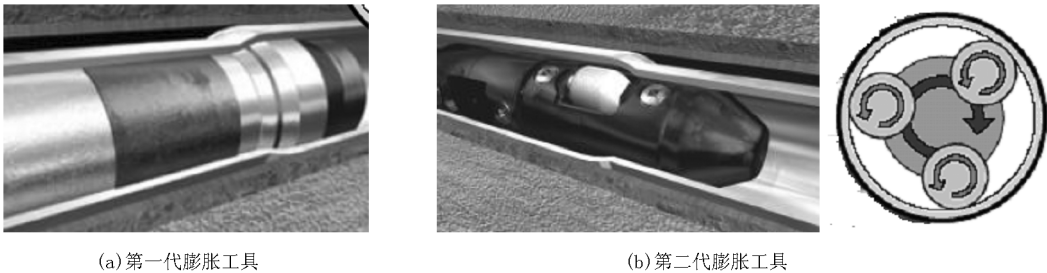


图 1 膨胀机构

### 3.1.4 膨胀管的联接方案确定

如何保证膨胀管材联接的力学性能和密封完整性,是管柱膨胀过程的关键技术之一。对于普通螺纹联接而言,不能满足膨胀管的性能要求。若当它的联接部分内径小于管体部分,膨胀机构的通路会受到阻碍或者完全被堵;而当联接部分的外径大于管体部分时,膨胀管有可能和它的上层套管内径不匹配,就严重影响膨胀后的密封完整性。而且,不同壁厚的管子需要不同的膨胀力,联接部位的厚管壁所需的膨胀压力有可能大于管体部分的抗内压强度,致使膨胀管体损坏。

国外在研究膨胀联接的过程中,最初采用焊接的方法将管子连接起来在地面进行膨胀试验,以检验联接的性能,并且取得了成功。后来,发明了专用于膨胀管的特殊螺纹联接<sup>[8]</sup>(见图 2)。这 3 种“平齐式”膨胀管联接形式不仅能够保证联接部分和管体部分具有相同的外径和内径,而且能克服普通螺纹联接在膨胀过程中可能遇到的一系列难题。但这 3 种联接方式被国外石油公司以专利方式拥有。怎样避开国外公司的专利而开发出拥有自主知识产权的膨胀管联接方式一直是国内膨胀管技术研究的一个难点。

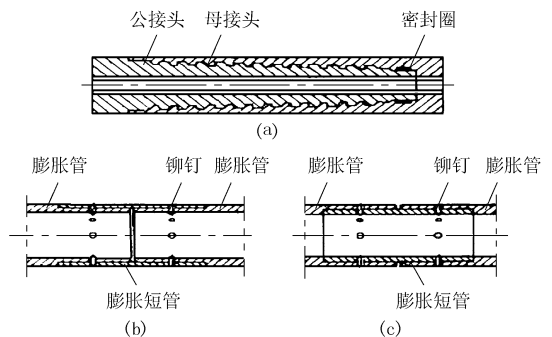


图 2 膨胀管联接方案示意图

### 3.1.5 膨胀管“尺寸”效应分析

如前所述,地质钻探的孔径较小(一般终孔直径为 75 mm)且有取心要求,所遇地层复杂、多样,往往采用金刚石钻进方法。这种“小尺寸”的膨胀管的作业难度相应加大,主要表现在:(1)关于膨胀机构的设计方面,受到孔内空间尺寸的约束,膨胀机构的强度及其可靠性有待于进一步验证;(2)关于管材的选择或确定,由于钻遇地层地质应力条件更加复杂,常规的地质或石油管材将不能直接作为膨胀管材被使用,而且膨胀管材膨胀前后径厚比变化范围加大,对管材的性能要求更加苛刻;(3)关于膨胀管的安放,由于金刚石钻进工艺成孔的扩径系数较低(75 mm 的钻头所成孔径一般在 76 mm),孔内径

向空间相对狭小,不利于膨胀管的安放,即使采用扩孔钻进,也同样会加大作业难度。

综上,笔者认为膨胀管应用于地质勘探领域的难点在于如何解决其“尺寸”效应影响,而解决问题的关键就是对管材的膨胀过程力学性能研究。

### 3.2 地勘领域应用膨胀管技术的可行性分析

近几年来,我国的基础工业技术水平得到了迅速的提高,冶金工业提供的金属材料品种越来越多、材料性能越来越优越。随着加工水平和制造水平的不断提高,国内将很快会有一批厂家能够生产满足地质勘探力学性能要求的膨胀管材。

国内外部分学者已对膨胀管材的膨胀力学性能作了较为深入研究,取得了一定的成果,为该技术的应用提供了一定的理论基础。当前,膨胀管技术以其成井速度快、建井综合成本低等显著优点日渐成为国内外钻井行业的技术热点。鉴于国内外石油领域大量的膨胀管技术成功案例,该技术应用于地质勘探领域已具有充分的现实和理论基础。

## 4 结论与展望

膨胀套管技术是当前世界钻井领域重大先进技术之一。无论隔缝膨胀管或者实体膨胀管,都可以可降低井径损失,有利于建立单一直径的油井,能够省去复杂的套管系列,而且可以通过减少岩石的切削量提高钻速和建井速度。除了可用于石油开采时

的油(套)管修复和尾管悬挂外,它在钻井时可起到临时隔离漏失、涌水,防止遇水膨胀缩径、破碎、掉块、坍塌等护壁作用。同时,该技术将可为深部地球资源勘探和大陆科学钻探等施工项目提供革新性技术。另外,在地下水、煤层气、盐岩和深部地热等资源的勘探、开发和城市管网的修复、铺设中也有巨大的应用前景。随着技术的进步,膨胀管技术以其显著的技术优势,将会在地勘领域得到推广应用。

### 参考文献:

- [1] Noel. G. The development and applications of solid expandable tubular technology[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2005, 44(12).
- [2] Filippov Andrei, Mack Robert, Cook Lance, et al. Expandable-tubular solutions[J]. Journal of Petroleum Technology, 2000, 52(5).
- [3] 张建兵,施太和,练章华. 钻井实体膨胀管技术[J]. 石油机械, 2003, 3, (S1).
- [4] 马洪涛,纪常杰. 国外膨胀管技术的发展与应用[J]. 国外油田工程, 2006, (2).
- [5] Anon. Unocal discovers the value of planned installation vs. Contingency using solid expandable tubular technology [J]. World Oil, 2006, 227 (2).
- [6] 裴勇毅,李宵. 可膨胀管技术及其管材性能优化的探讨[J]. 焊管, 2004, (6).
- [7] 杨传勇. 国外可膨胀套管技术的发展及应用[J]. 石油机械, 2006, (10).
- [8] 张建兵. 油气井膨胀管技术机理研究[D]. 成都:西南石油学院, 2003.