

爆炸法修复变形石油套管的研究

杨 荣^a 赵福兴^b 周正茂^a

(a 同济大学 上海 200092)

(b 西安交通大学 西安 710049)

摘要 针对油田生产中大量石油套管发生变形的现状,提出用爆炸胀形法来修复变形的石油套管,建立了该方法的理论计算模型,推导了炸药量的计算公式,并用工程实例验证了公式的正确性。

关键词 爆炸胀形 动力效应 药量

中图法分类号 O 389⁽²⁰⁾

1 前 言

在油田开发过程中,随着开发时间的延长,会发生大量的油水井套管损坏,其中石油套管的变形是套管损坏的主要形式。以大庆油田为例,1981年到1990年9月,已累计发现套管损坏井3127口,其中套管变形井1410口,占套损井总数的45.1%。这种状况给井下作业带来了很大的困难,甚至使得正常工作无法进行下去,严重影响了油田生产。目前,变形套管的修复工作已成为井下作业的一项重要任务,在1993年第五届石油大会上被列为石油开采中的六大难题之一。

传统的变形套管修复方法有两种。一种是机械胀管修复法,即对一些整形器施加机械力,如顿击、旋转、震荡等,通过整形器对套管壁的挤压,使扩张变形部位的内径得到恢复;另一种是磨铣整形法,即用磨鞋将变形凸出的部位磨掉,再灌入水泥浆封固。但这两种方法有很多缺点,主要有:(1)常用的整形器或磨鞋结构复杂,成本昂贵,有些甚至只能从国外进口;(2)安装各种整形器或磨鞋的地面装置不统一,并且十分笨重、复杂,安装、拆卸都不方便,大大增加了具体施工的难度;(3)两种方法的工艺过程均比较长,并且安全工作量大,操作人员不容易掌握。

我们提出了用爆炸法修复变形石油套管的新思路。爆炸法基于金属爆炸成型工艺,将合乎要求的一定数量炸药放在特制的爆炸筒内,放在套管变形位置后引爆,炸药爆炸时的冲击作用使套管变形部分向外鼓胀,从而使套管变形得到修复。这种方法简便、有效、省时、省钱。

2 计算模型

用爆炸法修复变形石油套管,关键是建立爆炸过程中套管变形的计算模型。

2.1 基本假设

炸药爆炸所产生的冲击波的压力、冲量和能量取决于炸药的品种、几何尺寸、形状和密度;

⁽²⁰⁾ 杨 荣:女,1971年9月生,博士。
1997-07-23收到原稿,1997-12-08收到修改稿。

冲击波的传播和衰减规律则与传播介质、传播距离、药包入水深度等有关;变形套管的直径、厚度、材料特性、变形形状及变形部位距地平面的距离等也会影响修复效果。

为了简化分析,提供一个尽量简单而又可靠的计算模型,以解析式来表达炸药量的计算公式,我们作如下假设。

(1)在进行一个实际的变形管修复工作时,炸药的品种是确定的,炸药一般采取放在管轴线上的柱状装药结构,故炸药的几何尺寸、形状也是确定的;传播介质为水;传播距离由变形状况来确定;管子的直径、厚度、材料是一定的。

(2)对于变形套管变形形状的简化,套管变形的形状主要有三种:套管径缩、套管挤扁和套管弯曲。当套管受到的轴向拉伸应力超过其材料的屈服强度,而其四周的围压均匀时,套管会发生径缩现象,造成局部内径缩小,这就是套管径缩,如图 1(a)所示;套管挤扁是指由于圆形套管截面四周受到不均匀的挤压力从而使截面变成不规则的椭圆形,归纳起来套管挤扁又可分为单侧压和双侧压两种形式,如图 1(b)、(c)所示,从现场统计资料来看,这类变形是油水井套管变形最常见的一种形式;套管弯曲是指由于地下受力不均匀所造成的套管沿轴线弯曲。爆炸整形法对于前两种变形最为有效。变形管的实际变形形状是多种多样的,而且不规则。为了提供一个普遍适用的药量计算公式,将变形管的变形由不规则简化为规则变形,如图 1(d)所示。在进行爆炸整形时,根据实际变形情况,可通过调整药包的位置及形状更好地达到整形要求。

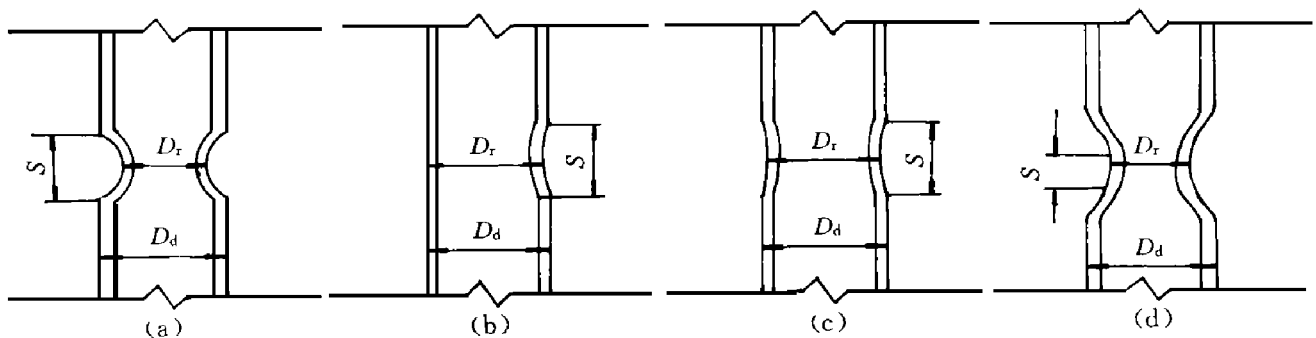


图 1 变形套管变形形状的简化

Fig. 1 Simplified form of the deformed oil pipe

(3)对于套管围压计算的简化,套管的变形部位一般在地下水位以下,沿套管的深度,周围土体或岩体是不断变化的,围压随深度的增加而增加,因而在变形的上部与下部围压是不相等的。为简化计算,并认为周围土体或岩体密度相同,认为围压是均匀的,并将变形中部的围压作为计算围压值。在变形恢复过程中,套管胀形挤压土体,土体的密度是增大的,但由于变形量比较小,在计算过程中,认为土体密度不变。

2.2 模型的建立

根据以上假设,我们建立了爆炸法修复变形石油套管的计算模型,如图 2 所示。图 H 为套管变形的中心位置距水平面的高度; t 为管壁厚度; S 为套管变形长度的一半; L 为沿轴线柱状装药长度的一半; D_0 为套管正常的内径; D_d 为套管正常的外径; D 为套管变形后的内径; D_r 为套管变形后的外径。

2.3 药量计算

根据能量守恒定律及炸药爆炸时的能量传递规律

$$E_T = U_T + W_p + W_z \quad (1)$$

式中： E_T 为炸药释放的总能量； U_T 为套管胀形所需的变形功； W_p 为挤压套管外围介质使之向外位移所作的功； W_z 为消耗于克服水介质阻力所作的功及声、热等。由于 W_z 在全部的能量中只占很小的一部分，故忽略不计。于是得到

$$E_T = U_T + W_p \quad (2)$$

2.3.1 炸药释放的总能量

集中药包水下爆炸冲击波的能量密度 E_d 为^[1]

$$E_d = \frac{CW^{(G+1)/3}}{R^G} \quad (3)$$

式中： W 为炸药重量； R 为距炸药中心的距离； C 、 G 为炸药的能量常数。各种炸药的 G 值差别很小，其数值都接近 2。在实际工程中，取 $G=2$

由上式，经过计算，可得到模型中炸药释放的总能量^[2]

$$E_T = 2^2 CQ \left[\sqrt{4(L+S)^2 + D^2} - \sqrt{4(L-S)^2 + D^2} \right] \quad (4)$$

式中： Q 为炸药线密度。

2.3.2 套管胀形所需的变形功

薄壁圆环受到均匀内压时，单位体积应变能为

$$U = \int_0^{X_{max}} e_d X \quad (5)$$

当 $e = K X^n$ ，则

$$U = \frac{K X_{max}^{n+1}}{n+1} \quad (6)$$

式中： n 为材料的形变硬化指数。

若圆环外径为 D_r ，壁厚为 t ，沿轴向长度为 $2S$ ，将它胀形到外径 D_d ，则所需的总应变能^[2]

$$U_T = \frac{2K S}{n+1} (D_r - t) t \left[\ln \frac{D_d}{D_r} \right]^{n+1} \quad (7)$$

式中： K 为材料的弹度系数。

考虑爆炸的动力效应，引入动力强度提高系数 K_d ，用 $K_d K$ 来代替 K ，得到套管胀形所需的变形功为

$$U_T = \frac{2K_d K S}{n+1} (D_r - t) t \left[\ln \frac{D_d}{D_r} \right]^{n+1} \quad (8)$$

2.3.3 周围土体向外移动时所需的功

r 为周围土体的平均容量，周围土压力取为 $p = rH$ ，则

$$W_p = 2D_r S r H (D_d - D_r) \quad (9)$$

2.3.4 炸药重量

将 E_T 、 U_T 、 W_p 的表达式代入 (2) 式，可得

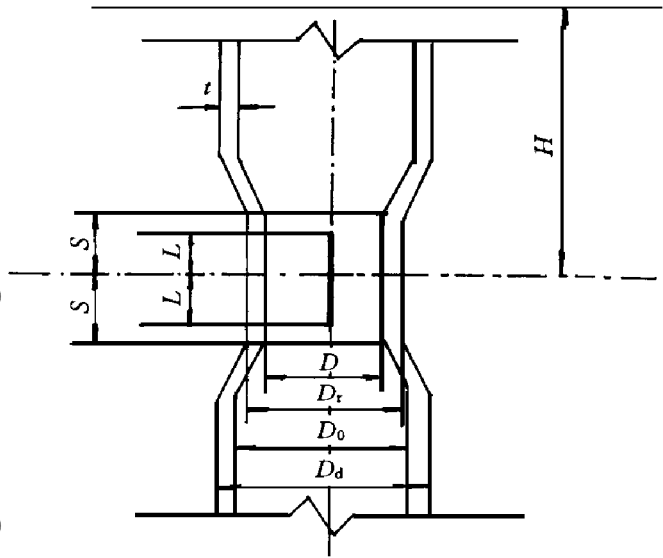


图 2 计算模型

Fig. 2 Calculating model

$$Q = \frac{\frac{K \cdot K S}{n+1} (D_r - t) t \left[\ln \frac{D_d}{D_r} \right]^{n+1} + D_s r H (D_d - D_r)}{C [\sqrt{4(L+S)^2 + D^2} - \sqrt{4(L-S)^2 + D^2}]} \quad (10)$$

在实际进行设计时, 往往炸药的长度与变形段长度一样, 即 $L = S$

D_0 为变形套管的原内径, u 为变形套管的变形量, 则有 $D = D_0 - u$, $D_d - D_r = u$, $D_d = D_0 + t$, $D_r = D_0 - u + t$, 代入 (10) 式则有

$$Q = \frac{\frac{K \cdot K S}{n+1} (D_0 - u) t \left[\ln \frac{D_0 + t}{D_0 - u + t} \right]^{n+1} + (D_0 - u + t) S r H u}{C [\sqrt{16S^2 + (D_0 - u)^2} - (D_0 - u)]} \quad (11)$$

$$W = 2SQ \quad (12)$$

3 实例验证

为了验证以上药量计算公式的正确性, 我们用大庆油田一个实际工程对该公式进行了检验, 结果发现理论和实践符合得很好。下面给出其中的一个例子: 石油套管周围土体为砂岩, $r = 18 \text{ kN/m}^3$, 在深度为 1861.28m 处发生变形, 变形段长度为 2m, 变形后最小内径为 110.5mm, 要求将其恢复至 116mm。设计时装药长度 $L = 1\text{m}$, 炸药主要成份为 TNT, 取其爆炸常数为 TNT 爆炸常数的 1 倍, 动力系数为 1.23 管材的材料形变硬化指数 n 为 0.10 强度系数为 1570 MPa 计算所得 $Q = 0.8687 \text{ kg/m}$, 而实际的工程采用 $Q = 0.840 \text{ kg/m}$ 。由此可见, 通过我们提出的计算模型推导出的药量计算公式在实践上是完全可行的, 在用爆炸法修复变形石油套管的实践中, 它必将发挥重要作用!

参 考 文 献

- 1 埃拉兹 A. A. 金属爆炸加工的原理与实践. 张铁生, 梁宜强, 谭 渤, 译. 北京: 国防工业出版社, 1981. 45~51; 135~140
- 2 杨 荣. 爆炸法修复变形石油套管的研究: [硕士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 1996

STUDY ON RENOVATING DEFORMED OIL PIPE WITH EXPLODING METHOD

Yang Rong^a, Zhao Fuxing^b, Zhou Zhengmao^a

(a Tongji University, Shanghai, 200092)

(b Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049)

ABSTRACT There are many deformed oil pipes in the production of oil fields. In this paper, exploding method of renovating deformed oil pipes is proposed to solve the problem. Then, its mathematical model is built up. The calculation formula of powder weight is deduced from the model above. Finally, a practical example is given to show that the formula is completely feasible.

KEY WORDS explosive forming; dynamic effect; powder weight