

◀教授专家专栏▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2010.06.001

“压不弯钻铤”究竟错在哪里？

韩志勇

(中国石油大学(华东) 石油工程学院,山东 东营 257061)

摘要:从理论上对文献[1-3]提出的关于“压不弯钻铤”的三种模型进行了详细分析,认为“柔索空心管模型”的原理是正确的,但“液压内管模型”和“带中心管的液压内管模型”在理论上都是不能成立的。同时对文献[3]中的“液压内管模型”室内试验数据进行了分析,认为该试验的最大轴向载荷没有超过承压外管的临界屈曲载荷,所以其室内试验结论是虚假的,不真实的。由于“液压内管模型”在理论上就是不正确的,因而文献[3]中5口井的现场应用结果无法证明“压不弯钻铤”的正确性。

关键词:压不弯钻铤;真实轴向力;有效轴向力;虚力;管柱力学

中图分类号:TE21 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2010)06-0001-04

“Unbending Drill Collar” What Went Wrong?

Han Zhiyong

(College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying, Shandong, 257061, China)

Abstract: The three models given by reference[1-3] were discussed in detail. The “soft-string and tube model” is right principally. While “the model of inside tube borne hydraulic pressure” and “the model of inside tube with a central tube borne hydraulic pressure” were wrong theoretically. The experimental data of “the model of inside tube borne hydraulic pressure” from reference[3] were analyzed. It shows that the maximum axial load is less than critical buckling load, therefore the conclusion from its laboratory tests is wrong. Because “the model of inside tube borne hydraulic pressure” is wrong theoretically, the 5 well field application mentioned in reference[3] can not prove the “unbending drill collar”.

Key words: unbending drill collar; actual axial force; effective axial force; virtual force; string mechanics

1996—1999年,国内期刊发表了3篇关于探讨“压不弯钻铤”的论文^[1-3],并提出了3种模型对“压不弯钻铤”的原理进行了分析。为了叙述方便,笔者将其分别命名为“柔索空心管模型”、“液压内管模型”和“带中心管的液压内管模型”。文献[1-3]还对前两种模型设计并完成了室内模拟试验,并根据第三种模型设计了用于井下试验的“压不弯钻铤”,并进行了5口井的现场试验。

文献[1-3]发表之后,文献[4]明确表示“压不弯钻铤缺乏理论基础”。但遗憾的是,文献[4]并没有讲出令人信服的道理。该文一方面说“液压办法使加压管承受拉力”,另一方面却说:“无论如何设计,……,作用在整个钻铤截面上的合力就不为零”,但却没有讲出“不为零”的原因。该文说“无论如何,从整体分析都不会消除钻压在钻铤内引起的弯矩”,但却没有给出任何具体的分析。

从20世纪90年代末至今的十几年间,再也没

有关于“压不弯钻铤”的论文发表,也没有看到有关的应用和推广情况。但是,“压不弯钻铤”究竟错在哪里?这个问题涉及到一个非常重要的理论问题:液压环境下的两种轴向力问题。所以还是有必要对“压不弯钻铤”的错误作一番研究和讨论。

1 柔索空心管模型的原理是正确的

文献[1-3]都讲到,压不弯钻铤是根据柔索空心管模型的原理提出来的。笔者首先要肯定,柔索空心管模型的原理是正确的。文献[4]把柔索空心管模型与“压不弯钻铤”等同起来,一开始就否定柔索

收稿日期:2010-09-24

作者简介:韩志勇(1937—),男,陕西蓝田人,1962年毕业于北京石油学院石油钻采系油井工程专业,教授,博士生导师,主要从事钻井力学、定向钻井理论与技术等方面的研究。系本刊顾问。

联系方式:(0546)8396262,hzy308@163.com

空心管模型,这是不正确的。

柔索空心管模型的原理并不复杂。图1所示,加载重锤的重量使柔索受到轴向拉力,同时使空心管受到轴向压力。空心管受到的压力与柔索受到的轴向拉力大小相等,方向相反。把柔索与空心管看作一个整体,则整体受到的轴向力等于零,所以整体不会发生弯曲,当然空心管也不会弯曲。

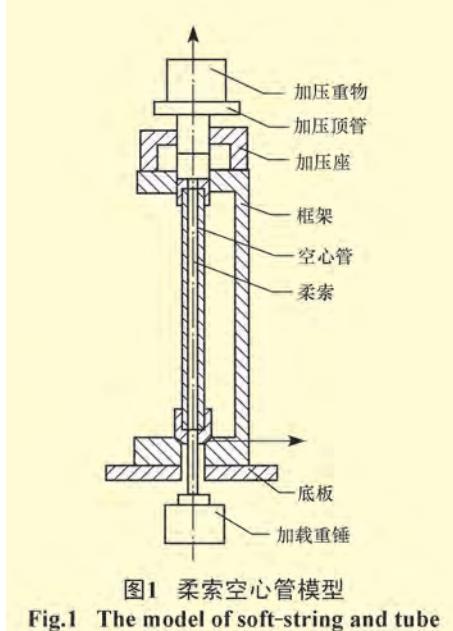


图1 柔索空心管模型

Fig.1 The model of soft-string and tube

文献[1-2]详细介绍了柔索空心管模型的室内试验数据。文献[4]也罗列了这些数据。文献[4]认为,空心管不失稳有三个条件:“1)柔索位于空心管内且外径与空心管内径相等;2)只有柔索施加的轴向载荷;3)任何横断面上,柔索与空心管的载荷大小相等、方向相反,合力为零”。柔索空心管模型完全符合这三个条件。

文献[4]说:模型“加载方式有二:一是通过下部重锤加载,二是通过顶部重物加载”。事实上,柔索空心管模型的正常加载方式只有一个,就是通过下部重锤加载。顶部重物加载方式,仅仅是在试验中为了与下部重锤加载进行对比而采用的。

文献[1-2]的试验数据表明,只要通过下部重锤加载,在材料的屈服极限之内,不管柔索拉力多大,空心管都不会失稳弯曲。但是如果采用顶部重物加载,则只要载荷达到空心管临界屈曲载荷,就会失稳弯曲。这就充分证明,柔索空心管模型的原理是正确的。

2 “液压内管模型”在原理上是错误的

文献[1-3]的作者设想,模仿柔索空心管模型

“通过下部重锤加载”的方式,可以设计出“压不弯的钻铤”。于是,提出了“液压内管模型”,如图2所示。

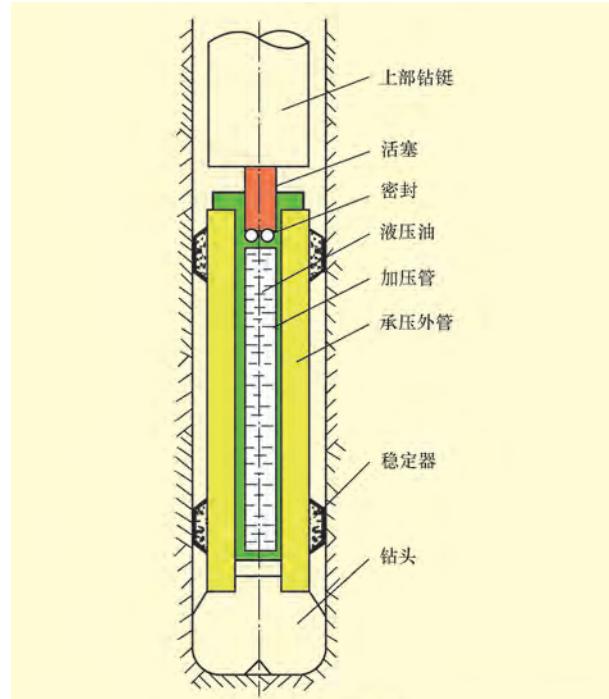


图2 液压内管模型

Fig.2 The model of inside tube borne hydraulic pressure

在液压内管模型中,用“承压外管”代替了空心管,用“加压管”代替了“柔索”。上部钻柱的重力并不是直接施加到“承压外管”的顶端上,而是通过活塞施加到加压管内的液体上。液体压力传到加压管的底端,在底端给加压管施加一个轴向力。这样,加压管就受到一个轴向拉力,这就似乎“模仿”了柔索受到的轴向拉力。然后,再通过加压管顶端的台肩,把加压管的轴向力传递到“承压外管”上,于是“承压外管”受到轴向压力。

这种方法是模仿柔索空心管模型从下端给柔索施加轴向拉力,似乎在原理上与柔索空心管模型是一样的。按照文献[1-3]的设想,加压管上的轴向拉力与承压外管上的轴向压力,大小相等,方向相反,合力为零,所以系统整体不会发生屈曲。但是,这里的关键在于:给加压管施加的轴向拉力是依靠液压油的液压力,也就是说,加压管是处在液压环境中。那么,这里有一个非常重要的理论问题:在液压环境下,有真实轴向力和有效轴向力两种轴向力。不搞明白这两种轴向力的概念,就会犯错误。

根据文献[5]的研究,判断管子的稳定性,只能根据有效轴向力。当有效轴向力大于零时,管子被拉直,不可能发生屈曲。当有效轴向力小于零时,管子可能发生屈曲。当有效轴向力等于零时,管子处

在“中性平衡(也称为随遇平衡)”状态,虽不会发生屈曲,也没有任何抵御屈曲的能力。

可以对液压内管模型的加压管上的有效轴向力进行计算。假设:上部钻铤的重力为 W_p ,加压管截面的内圆面积为 A_{ji} ,则液压油压力 $p=\frac{W_p}{A_{ji}}$,忽略加压管和液压油的重力,则加压管任意断面上的真实轴向拉力 $F_{ja}=A_{ji}p=W_p$,加压管任意断面上的虚力 $F_{jx}=-A_{ji}p=-W_p$,则加压管任意断面上的有效轴向力为 $F_{je}=F_{ja}+F_{jx}=0$ 。

加压管的确受到一个轴向拉力,但这个轴向拉力是“真实轴向力”,而加压管所受的“有效轴向力”却等于零。同时,承压外管上受到的轴向力正好等于 $-W_p$ 。这样,加压管与承压外管作为一个整体,断面上的轴向力为 $-W_p$,系统处于不稳定状态。

所以,液压内管模型不可能模仿柔索空心管模型的原理,其原理是错误的。

3 如何看待液压内管模型的室内试验结论?

文献[3]根据液压内管模型,设计了室内试验装置,如图3所示。

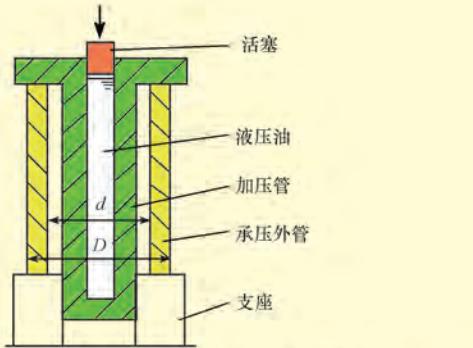


图3 液压内管模型的室内试验装置

Fig.3 The laboratory test device of the model of inside tube borne hydraulic pressure

文献[3]试图用室内试验结果来证明液压内管模型的“正确性”,而且确实做了室内试验,得出了该组合“确实能够大幅度提高轴向承压能力,从而提高了弹性稳定性”的结论。

笔者认为,这个结论是虚假的,不真实的。

首先,根据文献[3]的计算,“承压外管”的临界屈曲载荷为49.94 kN,约等于50 kN。如果考虑到理论计算与实际的差别,试验时施加的轴向压力载荷应该大于50 kN。可是,文献[3]在进行室内试验时,施加的最大载荷刚刚等于50 kN。如果考虑到

摩阻力的影响,实际加到承压外管上的载荷,是小于50 kN的,并没有达到临界屈曲载荷。为什么施加的最大载荷不更大一些呢?显然,如果载荷更大一些,例如55 kN,超过承压外管的临界屈曲载荷,承压外管就会被压弯。在柔索空心管模型试验中^[1],轴向力一直加到临界屈曲载荷的19倍还多,为什么这个试验的轴向载荷却刚刚达到(实际上可能就没有达到)临界屈曲载荷就停止了呢?

实际上,承压外管的最大承压能力就等于其临界屈曲载荷50 kN。根本不可能提高,更不可能“大幅度提高”。所以笔者认为,文献[3]的室内试验结论是虚假的,不真实的。

4 带中心管的液压内管模型效果更差

由图2、3可知,由于液压内管模型无法循环钻井液,所以不能用于井下试验。为了把液压内管模型用于井下,文献[2]给出了一个“带中心管的液压内管模型”,如图4所示。图4与图3的区别在于:图3中加压管的液压腔横截面是“圆面积”,而图4中加压管内多了一个中心管,使加压管的液压腔横截面成为“环形面积”。

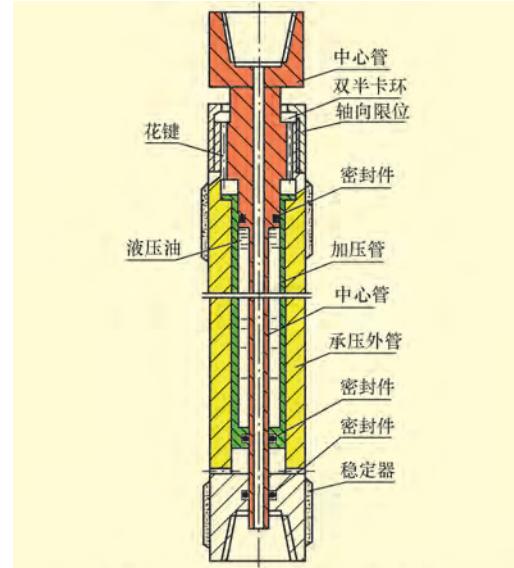


图4 带中心管的液压内管模型

Fig.4 The model of inside tube with a central tube borne hydraulic pressure

可以对图4中加压管的有效轴向力进行计算。假设:上部钻铤重力仍为 W_p ,中心管截面的外圆面积为 A_{zo} ,则环形活塞的面积为 $A_{zo}-A_{ji}$,液压油的压力 $p=\frac{W_p}{A_{ji}-A_{zo}}$,压力 p 施加到加压管底面上。加压管的环形底面积与活塞的环形面积相等,所以,加压管任

意断面上的真实轴向拉力 $F_{ja} = p(A_{ji} - A_{zo}) = W_p$, 加压管任意断面上的虚力 $F_{jx} = -pA_{ji}$, 则加压管的有效轴向力 $F_{je} = F_{ja} + F_{jx} = -pA_{zo}$ 。加压管上始终存在着轴向压力, 处在不稳定状态。加压管“自身难保”, 更没有能力“扶直”承压外管了。

同时, 承压外管上的轴向压力为 $-W_p$, 则加压管与承压外管作为一个整体的断面轴向力为 $-(W_p + pA_{zo})$ 。显然, 有了中心管以后, 模型中加压管的轴向压力更大了, 更容易失稳弯曲, 所以其效果比没有中心管时更差。因此, 可以得出结论: “压不弯钻铤”在理论上是错误的。

5 如何看待“压不弯钻铤”的现场试验?

文献[3]根据带中心管的液压内管模型, 设计了用于现场试验的“压不弯钻铤”(如图 5 所示), 并进行了 5 口井的现场试验, 得出了“不弯曲钻铤具有较好的防斜效果, 由它组成的各种防斜钻具组合的防斜效果比由普通钻铤组成的相应钻具组合的防斜效果要好得多, 同时机械钻速也高”的结论。

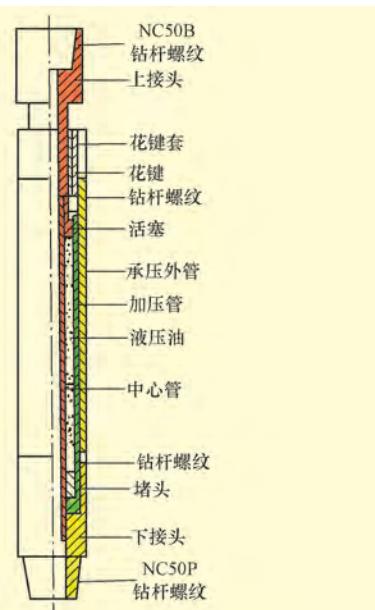


图5 文献[3]用于现场试验的“压不弯钻铤”

Fig.5 The unbending drill collar for field test reference [3]

对于这个结论, 笔者不想做过多的评论, 只是想谈谈 20 世纪六七十年代关于“二次弯曲防斜理论”的教训。当时, “二次弯曲防斜理论”风靡全国, 大学教材也把“二次弯曲防斜理论”作为正确的防斜理论进行宣传。国内油田有很多人把应用“二次弯曲防斜理论”作为打直井的经验进行介绍, 并且举出大量的现场实例和数据, 说明“二次弯曲防斜理论”的“正确

性”。当有人应用“二次弯曲防斜理论”钻井发生井斜时, 人们并不怀疑该理论的正确性, 却寻找其他原因来解释。直到 1984 年鲁宾斯基来华亲自否定“二次弯曲防斜理论”之后, 我国才不再有人相信该理论了。

实际上, 影响一口井或一个井段井斜的因素是多方面的。因而只能说, 文献[3]的 5 口井现场试验数据不可能说明“压不弯钻铤”就是正确的。因为它在理论上就是错误的。

6 结 论

1) 文献[4]把柔索空心管模型与“压不弯钻铤”等同起来, 是不正确的。对“压不弯钻铤”未做具体的分析, 只是简单地否定, 缺乏说服力。

2) 柔索空心管模型在理论上是正确的, 但是液压内管模型和带中心管的液压内管模型在理论上都是错误的, 而且后者效果更差。这就从理论上否定了“压不弯钻铤”。

3) 文献[3]中的“液压内管模型”的室内试验, 最大载荷没有超过甚至没达到加压管的临界屈曲载荷, 因而其试验结论是虚假的, 是不能令人信服的。

4) “压不弯钻铤”的问题, 涉及到一个重要的油井管柱力学理论, 即液压环境下存在两种轴向力, 弄清楚两种轴向力的概念和关系, 就可以清晰地分辨“压不弯钻铤”的错误根源。

参 考 文 献

- [1] 龚伟安. 压不弯杆件的室内模拟试验及其应用前景[J]. 力学与实践, 1996, 18(2): 43-46.
Gong Weian. Simulation test and application for unbending drill collar[J]. Mechanics and Practice, 1996, 18(2): 43-46.
- [2] 龚伟安. 压不弯钻铤装置的理论探索[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 115-118.
Gong Weian, Theoretical analysis and simulating test of unbending drill collar[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(3): 115-118.
- [3] 龚伟安, 拓佰民, 沈亚鹏, 等. 不弯曲钻铤的室内试验及现场试验的效果分析[J]. 石油钻采工艺, 1999, 21(3): 1-9, 27.
Gong Weian, Tuo Baimin, Shen Yapeng, et al. Analysis on lab and on-site testing results for unbending drill collar[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1999, 21(3): 1-9, 27.
- [4] 李子丰. “压不弯钻铤”缺乏理论基础[J]. 石油学报, 1999, 20(5): 82-83.
Li Zifeng. Unbending drill collar had no theoretical base[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(5): 82-83.
- [5] 韩志勇. 垂直井眼内钻柱的轴向力计算及强度校核[J]. 石油钻探技术, 1995, 23(增刊 1): 8-13.
Han Zhiyong. Study on axial force calculating and strength testing for drilling in vertical holes[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1995, 23(supplement 1): 8-13.