

◀ 学术争鸣 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2014.04.003

关于内外压力对油井管柱稳定性影响问题的再讨论

韩志勇

(中国石油大学(华东) 石油工程学院,山东青岛 266580)

摘要:文献[1](李子丰.内外压力对油井管柱等效轴向力及稳定性的影响[J].中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(1):65-67.)的结论可分为2部分:其一,否定传统理论,文献[2](韩志勇.关于内外压力对油井管柱轴向力和稳定性影响问题的讨论[J].石油钻探技术,2013,41(6):12-18.)已经对此进行了详细的分析和讨论;其二,给出了内外压力对油井管柱稳定性是否有影响的结论,认为“内外压力对悬挂油井管柱的稳定性没有影响;内外压力本身对两端固定油井管柱的稳定性没有影响;两端固定后内外压力的变化对油井管柱的稳定性有影响”。本文重点讨论第二部分结论。通过4个例题的计算,证明文献[1]关于悬挂管柱的结论仅仅适用于非梯度压力,而对液柱压力或液柱压力与非梯度压力的组合,则是不正确的。通过逻辑关系分析,认为文献[1]关于两端固定管柱的结论是自相矛盾的,“内外压力本身对固定管柱的稳定性没有影响”的结论是不正确的。研究发现,文献[1]在公式推导中有严重错误,认为两端固定管柱的下端仍然存在液压力,而且推导出的公式在应用中存在很大的局限性。文献[1]在公式推导中出现严重错误的根源在于不承认虚力的存在。

关键词:油井管柱 液压 稳定性 虚力 非梯度压力 梯度压力

中图分类号:TE21 文献标识码:A 文章编号:1001-0890(2014)04-00014-07

Re-Discussion on Effects of Internal and External Pressures on Stability of Pipe String in Oil Wells

Han Zhiyong

(School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580, China)

Abstract: Reference[1]’s conclusions could be divided into two parts. First, traditional theory was negated, which had been analyzed and discussed in Reference[2]. Second, conclusions were given as follows: “internal and external pressures have no effect on the stability of suspended pipe string; internal or external pressure itself has no effect, but its changes has effect on the stability of pipe string fixed at both ends”. Through four calculation examples, it was proved that Reference[1]’s conclusion regarding suspended pipe string was only applicable to non-gradient pressure, but not to fluid column pressure or the combination of fluid column pressure and non-gradient pressure. According to logical analysis, it was confirmed that the conclusion on the pipe string fixed at both ends was contradictory, and it was incorrect that “internal or external pressure itself has no effect on stability of pipe string fixed at both ends”. There was a serious mistake in the derivation of formula in Reference[1], namely, “hydraulic pressure exists at the lower end of the pipe string fixed at both ends”; the formula was very limited in use. Such mistake was attributed to non-recognition of the existence of fictitious force.

Key words: oil well; pipe string; hydraulic pressure; stability; fictitious force; non-gradient pressure; gradient pressure

李子丰教授在文献[1]中通过论证和推导,得出的结论可分为2部分:第一部分针对传统理论,认为Woods模型“与井下管柱情况不符”,“传统的油井管柱稳定拉力或虚力拉力的计算公式是错误的”;第二部分是关于内外压力对油井管柱的稳定性是否有影响,论文得出“内外压力对悬挂油井管柱的稳定性

没有影响;内外压力本身对两端固定油井管柱的稳

收稿日期:2014-04-15;改回日期:2014-05-21。

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方面的研究。系本刊顾问。

联系方式:hzy308@163.com。

定性没有影响;两端固定后内外压力的变化对油井管柱的稳定性有影响”。2013 年,文献[1]的主要内容和观点又发表在国外的一家网络杂志上^[3]。文献[1]的研究结论受到某些学者的高度评价并经过网络媒体的大力宣传^[4],在社会上产生较大的影响,但其结论是否正确学术界还有不同的看法,所以有必要对文献[1]的结论进行深入地分析和讨论。

文献[1]第一部分结论,对传统理论的否定,文献[2]已经进行了详细的分析和讨论,得出结论认为,文献[1]对虚力、Woods 模型、传统油井管柱稳定性的判别方法和判别公式的否定,都是不正确的,都是站不住脚的。

本文将对文献[1]的第二部分结论进行认真地分析和讨论。

1 关于自由悬挂管柱结论的讨论

文献[1]的结论说“内外压力对悬挂油井管柱的稳定性没有影响”。而且还强调说:“自由悬挂的管柱上,无论加多大的内压,只要材料不屈服,管柱就只会伸长和变粗,而不会屈曲。”;“同样,无论外压力如何变化,管柱也不会屈曲”。

这些结论是正确的吗?否!这是一个似是而非的结论。事实上,对于自由悬挂管柱来说,内外压力对其稳定性是有影响的。在不同的液压环境下,这种影响是有区别的。下面举例说明。

1.1 管外为液柱压力,管内为非梯度压力

所谓非梯度压力,是指各处的压力均相等。当管内充满气体时,气体的密度可以忽略,即可看作是非梯度压力。管外为液柱压力,管内为非梯度压力的情况在钻井中是可能遇到的。如在下套管的过程中,管内没有及时灌浆,管内即为非梯度压力。关于非梯度压力,文献[5]中有详细的论述。

图 1(a)所示是管外为液体压力,管内为非梯度压力的悬挂管柱;选定 x 坐标的原点和方向如图 1(b)所示。

管柱所受外力有管柱的重力、管柱下端面上的液压力和管内外壁上的液压力。这些外力在管柱的任意断面引起的轴向内力的计算公式分别为:

$$F_a = (D - x)Ag\rho_s \quad (1)$$

$$F_d = A_i p_i - DA_o g\rho_o \quad (2)$$

$$F_x = xA_o g\rho_o - A_i p_i \quad (3)$$

有效轴向力等于所有真实轴向力与虚力之和,

即 $F_e = F_a + F_d + F_x$,则:

$$F_e = (D - x)Ag\rho_s \left(1 - \frac{A_o \rho_o}{A \rho_s}\right) \quad (4)$$

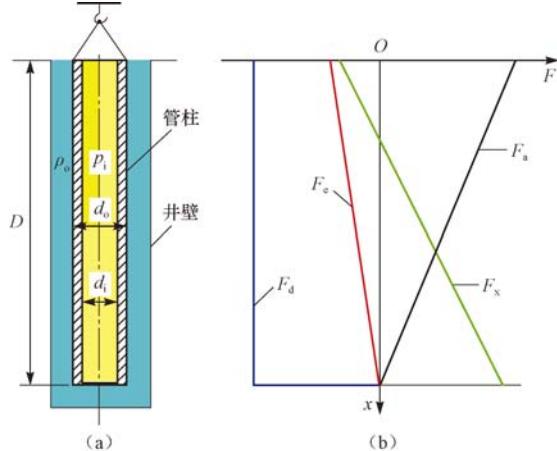


图 1 管外液柱压力管内非梯度压力

Fig. 1 Liquid column pressure outside the string and non-gradient pressure inside the string

式中: F_a 为管柱重力引起的真实轴向力, kN; F_d 为管柱下端面液压力引起的真实轴向力, kN; F_x 为管内外壁上液压力引起的虚力, kN; F_e 为有效轴向力, kN; A_i , A_o 和 A 分别为管柱截面的内圆面积、外圆面积和截面积, m^2 ; D 为管柱长度, m; ρ_s 和 ρ_o 分别为管柱钢材密度和管外液体密度, kg/L ; p_i 为管内充满气体时的压力, kPa ; g 为重力加速度, m/s^2 。

式(4)中的 $1 - \frac{A_o \rho_o}{A \rho_s}$ 为该液压环境下的浮力系数。关于浮力系数,文献[5-6]中有更详细的论述,在此不再赘述。若已知管外径为 0.177 8 m,内径为 0.154 8 m,管柱钢材密度为 7.85 kg/L,线质量为 47.62 kg/m,管外液体密度为 2.00 kg/L,则 $1 - \frac{A_o \rho_o}{A \rho_s} = -0.052\ 867\ 624$ 。该条件下的浮力系数小于零,显然,此时管柱的有效轴向力小于零。

各轴向内力沿管柱轴向的变化,如图 1(b)所示。整个管柱最下端的有效轴向力等于零(最大值),井口处轴向压力最大(最小值)。整个管柱都处在不稳定状态。而且,不管内压 p_i 多大,这个不稳定状态都不会变化。这种情况下,管柱的屈曲将从上端开始发生。鲁宾斯基在文献[7]中曾论述过这种情况,并给出了具体算例。

该算例充分证明,文献[1]关于“内外压力对悬挂油井管柱的稳定性没有影响”和“无论加多大内压”,“无论外压如何变化”,“都不会屈曲”的结论是不正确的。

1.2 管内外液体密度特别高

管内外液体密度特别高,甚至比管柱钢材的密度还要高的情况在实际钻井过程中是不存在的,但在实验室可以实现。例如,在实验室把水银(其密度可达到13.595 kg/L)注入管内外,就可以模拟这种液压环境。图2(a)所示为下端开口的悬挂管柱,管内外充满密度大于钢材密度的液体。该情况下,任意断面上有效轴向力的计算公式为:

$$F_e = (D - x) A g \rho_s (1 - \frac{\rho_y}{\rho_s}) \quad (5)$$

式中, ρ_y 为液体密度, kg/L。

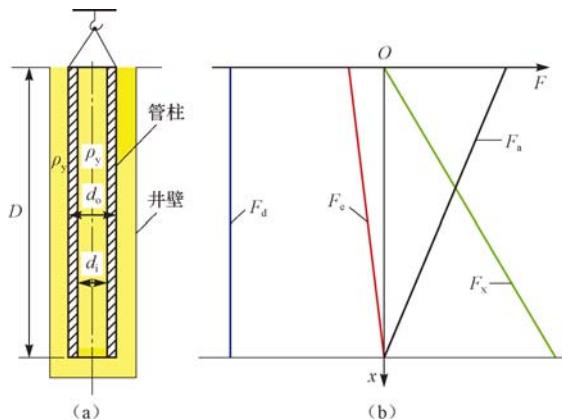


图2 液体密度特别大的情况

Fig. 2 Case with extremely high density of liquid

由于 $\rho_y > \rho_s$, 所以浮力系数 $1 - \frac{\rho_y}{\rho_s} < 0$, 即整个管柱上的有效轴向力(除最下端有效轴向力等于零以外)都小于零, 处于轴向受压状态。整个管柱都处在不稳定状态, 如图2(b)所示。管柱的屈曲也是从上端开始出现。对该问题的理论研究, 最早见于文献[8]。

该特例对于正常油井工程来说, 虽没有实际意义, 但具有重要的理论意义。对于悬挂管柱来说, 内外液压力对其稳定性的影响是始终存在的。从管柱的稳定状态到不稳定状态, 其间有个变化过程。随着液体密度的增大, 有效轴向力随之减小, 但只要还大于零, 管柱就仍然处在稳定状态。当液体密度继续增大, 有效轴向力继续减小, 直至有效轴向力等于零, 这就是临界点。如果液体密度再继续增大, 有效轴向力将会小于零, 整个管柱将处于不稳定状态。可见, 管柱的稳定性随液体密度(也就是液体压力)的变化, 是一个从量变到质变的过程。

所以, 文献[1]所说的“内外压力对悬挂油井管柱的稳定性没有影响”, 在理论上是不正确的。

1.3 正常钻井条件下

在正常钻井条件下, 管内外充满液体, 管外密度稍大于管内密度, 而且都小于钢材密度。这是最常见的自由悬挂管柱, 如图3(a)所示。

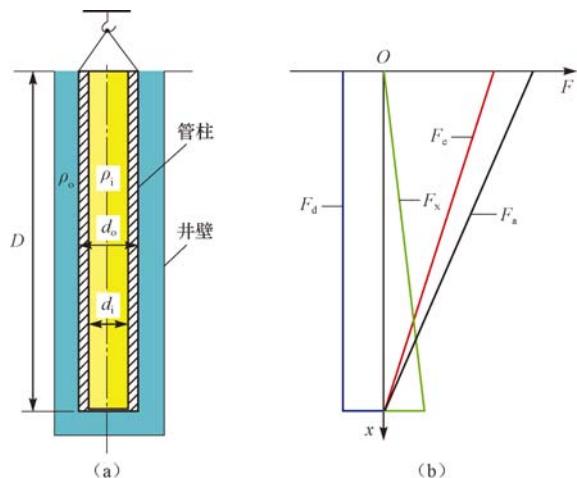


图3 正常钻井条件下的液柱压力

Fig. 3 Liquid column pressure in normal drilling conditions

管柱所受外力有管柱的重力、管柱下端面上的液压力和管内外壁上的液压力。这些外力在管柱任意断面引起的轴向内力的计算公式为:

$$F_a = (D - x) A g \rho_s \quad (6)$$

$$F_d = D(A_i g \rho_i - A_o g \rho_o) \quad (7)$$

$$F_x = x(A_o g \rho_o - A_i g \rho_i) \quad (8)$$

$$F_e = (D - x) A g \rho_s (1 - \frac{A_o \rho_o - A_i \rho_i}{A g \rho_s}) \quad (9)$$

式中, ρ_i 为管内液体密度, kg/L。

式(9)中的 $1 - \frac{A_o \rho_o - A_i \rho_i}{A g \rho_s}$ 实际上就是管内外液体密度不同时的浮力系数。上述4种轴向内力的变化, 如图3(b)所示。

在正常钻井条件下, ρ_o 和 ρ_i 总是远远小于 ρ_s 。所以这个浮力系数总是大于零的。也就是说, 管柱上任意断面的有效轴向力不会小于零。所以, 正常钻井条件下, 内外压力是不会导致自由悬挂管柱失稳的。但是, 这并不等于“内外压力对自由悬挂管柱的稳定性没有影响”。参看图3(b), 当存在内外液压力时, 管柱的有效轴向力等于 F_e ; 而当不存在内外液压力时, 管柱的有效轴向力则与 F_a 相等; 显然, $F_e < F_a$ 。在内外液压力作用下, 有效轴向力变小了, 就等于管柱的稳定性下降了。稳定性下降了, 就是受到影响了, 只不过还没有降至使管柱失稳的程度。“是否失稳”与“是否有影响”不是同一个概念。

所以,即使在正常钻井条件下,文献[1]的结论也是不正确的。

1.4 管内外都是非梯度压力

管内外都不存在液体压力,都是充满气体压力。这种情况在实际钻井中是很难遇到的,即使在气体钻井工况下,也很难看作是完全的非梯度压力。管内外都是非梯度压力情况下的轴向内力计算公式为:

$$F_a = (D - x) Ag \rho_s \quad (10)$$

$$F_d = A_i p_i - A_o p_o \quad (11)$$

$$F_x = A_o p_o - A_i p_i \quad (12)$$

$$F_e = F_a = (D - x) Ag \rho_s \quad (13)$$

由式(13)可见,有效轴向力不受内外压力的影响。所以,对于悬挂管柱来说,只有在管内外没有液体压力即非梯度压力的情况下(见图 4),才可以说“内外压力对悬挂油井管柱的稳定性没有影响”。

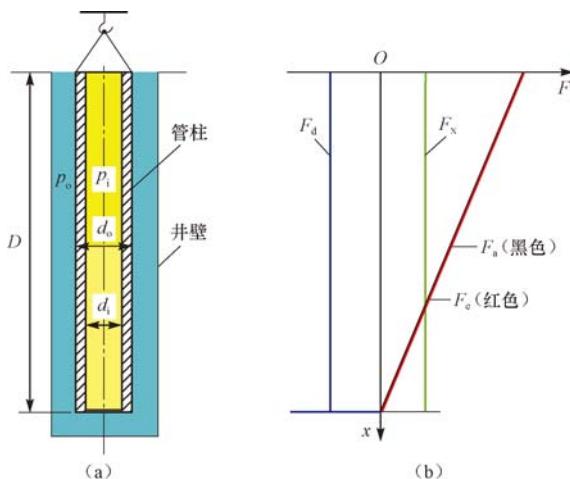


图 4 管内外都是非梯度压力

Fig. 4 Non-gradient pressure both inside and outside the string

在液体中的管柱也可能受到非梯度压力,但不是自由悬挂管柱,而是处于水平状态的管柱。如图 5 所示,两端开口的自由管柱以水平状态处在液体中。这种情况下,沿管柱轴向的液体压力是没有梯度的。管柱重力与轴向垂直,所以在轴向引起的真实轴向力 $F_a = 0$ 。由于沿管柱轴向的压力梯度为零,两端面液压力引起的真实轴向力 $F_d = -ADg\rho_y$ 。管柱内外壁上液压力引起的虚力 $F_x = ADg\rho_y$ 。则管柱任意断面上的有效轴向力 $F_e = F_a + F_d + F_x = 0$ 。所以,这种情况下,无论液体压力多大,管柱都不会发生失稳屈曲。

根据上述 4 种情况的分析可以得出如下认识:

1) 管内外压力可分为梯度压力和非梯度压力。梯度压力包括沿管柱轴向的液柱压力,循环流动压

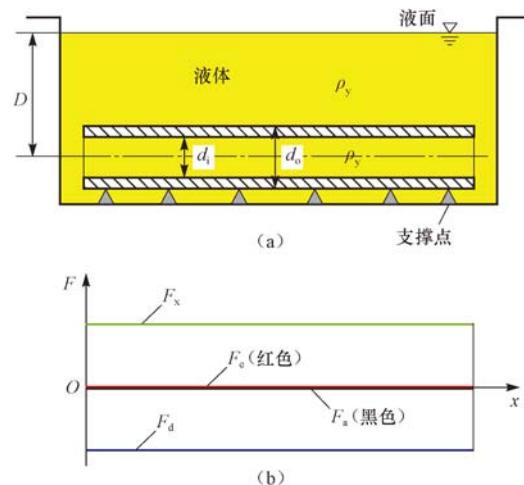


图 5 处于水平状态的管柱

Fig. 5 String in horizontal status

力等。气体压力可看作非梯度压力,水平状态管柱沿轴向的液体压力也属于非梯度压力。

2) 对于自由悬挂管柱来说,管内外液体压力(液柱压力)对其稳定性是有影响的。这种影响随着液体密度的变化而变化。当液体密度小于钢材密度时,管内外压力不可能引起管柱失稳。当液体密度大于钢材密度时,管柱将处于失稳状态。

3) 管外为液体压力、管内为非梯度压力的自由悬挂管柱,在管外液体密度达到一定程度(虽然远小于钢材密度)时,也会出现失稳屈曲。

4) 非梯度压力对自由悬挂管柱的稳定性没有影响。

5) 文献[1]关于自由悬挂管柱的结论,仅仅对非梯度压力是正确的。当管外或管内外为液体压力时,文献[1]的结论是错误的。

2 关于两端固定管柱结论的讨论

关于两端固定管柱,文献[1]说:“内外压力本身对两端固定油井管柱的稳定性没有影响;两端固定后内外压力的变化对油井管柱的稳定性有影响”。这是一个自相矛盾的结论,他把“内外压力本身”与“内外压力的变化”对立起来。

首先,从事物的一般关系来讲,如果说甲事物对乙事物有影响,那么甲事物的变量也必然对乙事物有影响;反过来说,甲事物的变量对乙事物有影响,就是承认甲事物本身对乙事物有影响。因为事物都是会变化的,事物的变化是事物本身的属性。

举例来说:核辐射对人体健康有影响,就是说核辐射的变化对人体健康有影响。或者说,核辐射的

变化对人体健康有影响,就是承认核辐射本身对人体健康有影响。我们不可能说“核辐射的变化对人体健康是有影响的,而核辐射本身对人体健康没有影响”。这样说在逻辑上是不通的。

其次,文献[1]所说的“压力本身”概念不清楚。如果“压力本身”指的是两端固定管柱内外压力变化前的 p_{i1} 和 p_{o1} ,那么,内外压力变化之后的 p_{i2} 和 p_{o2} 是不是也属于“压力本身”呢?因为当内外压力再次由 p_{i2} 和 p_{o2} 变为 p_{i3} 和 p_{o3} 时, p_{i2} 和 p_{o2} 显然就是变化前的内外压力了!变化前后的“压力本身”对管柱的稳定性都没有影响,那么前后“压力本身”之间的差值(即变化量)对稳定性的影响又是从哪里来的呢?这不是无本之木,无源之水吗?

再次,还可以这样来分析:如果说“内外压力本身对两端固定油井管柱的稳定性没有影响”,那就相当于说:“两端固定的油井管柱内,有液压力和没有液压力,管柱的稳定性都不会变化,因为液压力对管柱的稳定性没有影响”。这就恰恰否定了第二句话——“内外压力变化对两端固定管柱的稳定性有影响”。因为“没有液压力”与“有液压力”之间,就是“压力的变化”。先说这种“变化”没有影响,接着又说这种“变化”有影响,这不是自相矛盾吗?

所以,文献[1]的结论是自相矛盾的,是不正确的。

文献[1]为什么会得出这个错误结论呢?问题出在文献[1]中公式的推导过程。

对比文献[1]关于自由悬挂管柱(图 6(a))和两端固定管柱(图 6(b))稳定性的论述可见,自由悬挂管柱的管端有压力,而两端固定管柱的管端没有压力,但在计算“等效轴向力”时,都按没有压力来处理,都等于下端的“真实轴向拉力”。关于两端固定

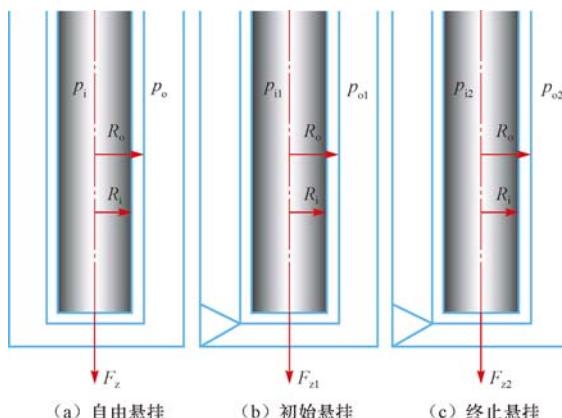


图 6 文献[1]推导公式用图

Fig. 6 Figure used in Reference[1] to derive the formula

管柱的稳定性,是从自由悬挂管柱的稳定性“类比”过来的。所以得出了与自由悬挂管柱相同的结论。

前述部分已经证明了文献[1]关于自由悬挂管柱稳定性的结论是错误的,所以,从该结论类比过来的结论也当然是错误的。可是,在计算两端固定管柱内外压力变化时的“等效轴向力”时,文献[1]又按照下端面上有液压力来计算,于是得出了自相矛盾的结论。

3 如何评价文献[1]推导的公式?

文献[1]在否定传统理论之后,根据自己的所谓“真实模型”,经过理论推导给出了一个判别管柱稳定性的公式(详见文献[1]中的式(6)):

$$F_{a2} = F_{zi} + (1 - 2\mu)[(p_{i1} - p_{i2})A_i - (p_{o1} - p_{o2})A_o] \quad (14)$$

根据该式,文献[1]得出管内外压力的变化对两端固定油井管柱稳定性的影响规律:“内压增加降低管柱的稳定性,外压增加提高管柱的稳定性。”应该说,这个规律是正确的,但这并非文献[1]的新发现,传统理论早就得出了相关规律^[7,9-10]。得出正确的规律,并不能证明文献[1]中公式的推导过程正确,也不能证明该公式就具有理论意义和实用价值。

3.1 公式推导有严重错误

文献[1]推导公式所用的模型见图 6。文献[2]曾指出,文献[1]的推导过程中有重大漏洞,在计算图 6(a)和图 6(b)2 个模型的等效轴向力时都没有考虑下端面上的液压力。可是,很奇怪,在推导两端固定管柱内外压力变化时的“等效轴向力”计算公式时,明明下端面上没有液压力,文献[1]却在下端面上无中生有地加上了液压力。

它先给出的图 6(a)自由悬挂管柱轴向应力计算公式为 $\sigma_z = \frac{F_z + p_i A_i - p_o A_o}{A}$ (见文献[1]中的式(3)),式中的 $p_i A_i - p_o A_o$ 正是下端面上的液压力的合力,这对于自由悬挂管柱来说是正确的。而它在计算图 6(b)和图 6(c)的两端固定管柱的轴向应力时,却使用了这个公式(参看文献[1]中的式(5)),从而推导出了他的判别式。

对于图 6(b)和图 6(c)的两端固定管柱,文献[1]使用与自由悬挂管柱轴向应力相同的计算公式,这显然是不正确的。因为两端固定管柱的下端已经被水泥石固死,管内外的液压力不可能作用上去。

文献[1]的做法表明,他认为管柱下端封固之后,仍然有管内外液压力的作用。这是无中生有的严重错误。

文献[1]理论推导中的严重错误表明,该文推导出的公式在理论上是站不住脚的。由于推导原理是不正确的,所以其推导的公式不具有理论意义。

3.2 文献[1]判别式的使用有很大局限性

首先,文献[1]判别式仅仅适用于判别管柱最下端的稳定性。

该公式计算的仅仅是管柱最下端的“等效轴向力”,不能用于计算管柱其他断面处的“等效轴向力”,所以只能判别管柱最下端处的稳定性,不能用于判别管柱其他断面处的稳定性。

人们常见的管柱失稳屈曲,多是从管柱下端开始。只要下端稳定,全段就一定稳定。但是在一定条件下,管柱的失稳屈曲也会从上端首先出现,上述的 1.1 和 1.2 就讲述了自由悬挂管柱从上端开始出现失稳的例子。鲁宾斯基先生早在 20 世纪 50 年代就论述过两端固定管柱从上端开始出现失稳屈曲的情况^[7],不仅给出了出现这种情况的条件,而且给出了详细的计算公式。

所以判别管柱的稳定性,不能仅仅判别管柱下端的稳定性,还应能判别管柱任意断面处的稳定性。要做到这一点,就需要计算管柱任意断面上的有效轴向力,但文献[1]中的公式计算不了。

其次,该判别式仅仅适用于管内外都是非梯度压力的情况。

如图 6 所示,文献[1]给出的油井管柱模型,管内外压力都是非梯度压力,即压力处处相等。但绝大多数油井管柱内外都是液柱压力,而液柱压力是梯度压力。梯度压力与非梯度压力对管柱稳定性的影响是有很大区别的。

传统理论可以方便地计算管柱任意断面上的有效轴向力,可以判别任意断面处的稳定性。传统理论既可用于梯度压力,也可用于非梯度压力,以及梯度压力与非梯度压力的组合。

文献[1]中公式的局限性表明,其实用价值有限,更不可能取代传统理论。

3.3 文献[1]严重错误的根源

文献[1]在公式推导中出现严重错误的根本原因在于文献[1]不承认虚力的存在。是否承认虚力,这是传统理论与文献[1]之间的根本分歧。为了说

明这点,对文献[1]中的式(6)(即本文中的式(14))进行分析和讨论。

令: $\Delta p_i = p_{i2} - p_{i1}$, $\Delta p_o = p_{o2} - p_{o1}$ 。并对式(14)做恒等变化,可得:

$$F_{a2} = F_{z1} + (\Delta p_o A_o - \Delta p_i A_i) - 2\mu(\Delta p_o A_o - \Delta p_i A_i) \quad (15)$$

式(15)等号右边的第 1 项是文献[1]施加在管柱下端的“真实轴向拉力”。文献[2]已经指出了该“真实轴向拉力”存在的问题。本文不再讨论。

等号右边第 3 项 $-2\mu(\Delta p_o A_o - \Delta p_i A_i)$ 可以这样来理解:管内外压力的增量 Δp_i 和 Δp_o 在管柱断面上引起径向应力和周向应力的增量 $\Delta \sigma_r$ 和 $\Delta \sigma_t$; $\Delta \sigma_r$ 和 $\Delta \sigma_t$ 具有引起管柱轴向应变(该应变与材料的泊松比有关)的趋势;但由于管柱两端固定不可能出现轴向应变,于是该轴向应变趋势转换为轴向力。这个轴向力姑且称为“应变转换的轴向力”。从“应变转换轴向力”的表达式可以得出:“内压增大将增大管柱稳定性,外压增大将降低管柱的稳定性”。

第 2 项 $\Delta p_o A_o - \Delta p_i A_i$ 乃是传统理论所说的虚力增量,即管内外压力增量在管柱断面上引起的虚力增量。从该虚力增量表达式可以得出:“内压增大将降低管柱的稳定性,外压增大将增大管柱的稳定性”。

由于第 2 项总是大于第 3 项,所以最后的规律仍然是:“内压增大将降低管柱的稳定性,外压增大将增大管柱的稳定性”。

显然,公式中如果没有第二项虚力增量,文献[1]将会得出完全相反的规律。既然文献[1]不承认虚力,为什么会在式(14)中出现虚力增量这一项呢?这里的秘密在于文献[1]有 3 点做法:其一,文献[1]在两端固定管柱的下端面上无中生有地加上内外压,并在公式推导中计算轴向力时计算了这个内外压力的增量;其二,文献[1]仅仅计算下端面处的“等效轴向力”,而下端面处的虚力增量正好与下端面上内外压力的增量大小相等、方向相反;其三,文献[1]定义的“等效轴向力”是外力,并非断面上的内力,在它给出平衡方程式(见文献[1]中的式(5))后,最后计算“等效轴向力”时需要移项,结果使这个液压力增量与虚力增量正好完全相等。正是这 3 点错误做法的巧合,才在公式中有了虚力增量这一项,才得出了“正确的变化规律”。

不承认虚力,就必然要用错误的做法推导公式。如果不采用错误的做法,就必然得出错误的结论。这就是文献[1]的处境。

在计算自由悬挂管柱的“等效轴向力”时,明明

管柱下端面上有液压力,文献[1]却故意视而不见,不予计算。在计算两端固定管柱的“等效轴向力”时,明明管柱下端面上没有液压力,文献[1]却故意无中生有地加上这个液压力。文献[1]这种不实事求是的态度是不可取的。

4 结 论

1) 非梯度压力对自由悬挂管柱的稳定性没有影响。液柱压力对自由悬挂管柱的稳定性是有影响的。当液体密度小于管材密度时,管柱不会出现失稳屈曲。当液体密度大于管材密度时,管柱处于失稳状态,屈曲将首先从上端开始。当管内为非梯度压力,管外为液体压力时,自由悬挂管柱也有可能失稳屈曲。文献[1]关于内外压力对自由悬挂管柱没有影响的结论,仅仅适用于非梯度压力条件,而对液体压力以及液体压力与非梯度压力组合的情况,都是不正确的。

2) 文献[1]关于“内外压力本身对两端固定管柱的稳定性没有影响,内外压力的变化对两端固定管柱的稳定性有影响”的结论,自相矛盾,不合逻辑。管内外压力及其增量都对两端固定管柱的稳定性有影响。

3) 文献[1]给出的判别管柱稳定性的公式,在推导过程中有严重错误,而且仅仅适用于非梯度压力条件,只能判别管柱最下端处的稳定性。所以该公式不具有理论意义和实用价值,更不能取代传统理论中管柱稳定性的判别公式。

4) 文献[1]对自由悬挂管柱下端面上的液压力视而不见,当作没有压力;而对两端固定管柱下端没有液压力,却无中生有地看作有压力。出现这些错误的根源在于它不承认虚力的存在。文献[1]如果不犯这些错误,就必然要承认虚力,否则就会得出完全相反的错误结论。

参 考 文 献

References

[1] 李子丰. 内外压力对油井管柱等效轴向力及稳定性的影响[J].

- 中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(1):65-67.
Li Zifeng. Influence of internal and external pressures on equivalent axis force and stability of pipe string in oil wells[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science,2011,35(1):65-67.
- [2] 韩志勇. 关于内外压力对油井管柱轴向力和稳定性影响问题的讨论[J]. 石油钻探技术,2013,41(6):12-18.
Han Zhiyong. Discussion on effects of internal and external pressure on axial force and stability of pipe string in oil wells [J]. Petroleum Drilling Techniques,2013,41(6):12-18.
- [3] Li Zifeng. Using the fictitious force to judge the stability of pipe string is wrong[J/OL]. The Open Petroleum Engineering Journal,2013, 6; 57 - 60. [2014 - 04 - 15]. <http://www.benthamscience/open/topej/articles/V006/57TOPEJ.pdf>.
- [4] 潘峰. 创新油气井杆管柱力学理论体系研究[N]. 中国科学报,2014-01-01(21).
Pan Feng. Research of innovative theoretical system of tubular string mechanics in oil and gas wells[N]. China Science,2014-01-01(21).
- [5] 韩志勇. 液压环境下的油井管柱力学[M]. 北京:石油工业出版社,2011:202-210.
Han Zhiyong. Mechanics of tubular string in oil wells subjected hydraulic pressure [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011:202-210.
- [6] 韩志勇. 垂直井眼内钻柱轴向力的计算及强度校核问题研究[J]. 石油钻探技术,1995,23(增刊1):8-13.
Han Zhiyong. Study on axial force calculation and strength check of drill string in vertical holes[J]. Petroleum Drilling Techniques,1995,23(supplement 1):8-13.
- [7] Lubinski A. Influence of tension and compression on straightness and buckling of tubular goods in oil wells [J]. Trans ASME,1951,31(4):31-56.
- [8] Handleman, M G. Buckling under locally hydrostatic pressure [J]. Journal of Applied Mechanics,1946,13(8):A198-A200.
- [9] Woods H B. Contribution to discussion of the paper by Klinkenberg A[J]// Klinkenberg A. The neutral zones in drill pipe and casing and their significance in relation to buckling and collapse. Drilling & Production Practice,1951:76-79.
- [10] Chesney A J, Jr, Garcia J. Load and stability analysis of tubular strings[C]// Paper No. 69-PET-15 presented at the ASME Petroleum Mechanical Engineering Conference. Tulsa, Okla,1969:21-25.

[编辑 刘文臣]