

钻杆探伤法中裂纹临界尺寸的计算法

[苏]Л.А.拉奇尼扬

正确地选定钻杆报废的疲劳裂纹尺寸大小是影响探伤法检验钻杆效果的最重要因素之一。当裂纹达到这个尺寸大小时，钻杆应停止使用、予以报废。如这个尺寸规定得不恰当，就会出现两种情况：一是会错误的将钻杆报废，二是不能完全防止钻杆柱折断。

由于对裂纹扩展速度与作用载荷和钻杆接近断裂时的裂纹临界尺寸之间的关系不清楚，因而目前还没有一个用来计算钻杆报废的疲劳裂纹尺寸的方法。

现在提出的计算疲劳裂纹临界尺寸（即裂纹的深度和长度）方法的实质如下所述。

首先，对不同材料和结构的各种类型钻杆确定它们的应力强度因子（ K_{IH} ）值，该值说明了裂纹迅速扩展的特征。以后，利用已知的钻杆尺寸、裂纹尺寸与应力强度因子值之间的关系计算各种安全系数下的裂纹临界尺寸。裂纹临界尺寸就是裂纹结束其缓慢扩展过程而开始迅速扩展时和另件断裂时的裂纹尺寸。

计算所得的临界尺寸值只有在已知钻杆截面上裂纹扩展的特征时才能应用它。为了弄清

楚裂纹扩展的特征,就对某一种类型和规格的钻杆进行专门的台架试验,确定各种安全系数下疲劳断口的标准图形。根据台架试验结果,同时确定各种载荷(安全系数)下裂纹扩展至临界尺寸的速度。

根据这些数据,就各种具体情况规定出报废钻杆的裂纹尺寸大小和检验的间隔周期。首先根据断口特征计算并规定安全系数;然后根据裂纹临界尺寸和裂纹的扩展速度确定钻杆报废的裂纹尺寸,计算出报废裂纹尺寸至钻杆断裂间的钻杆寿命。为了防止钻杆折断,检验间隔周期应小于计算得出的寿命时间。

现以直径为 50 毫米的 36Г2С 钢制造的钻杆为例对该方法加以说明。

在台架和生产条件下对这种钻杆标准锥螺纹上的疲劳断口进行的研究表明:当安全系数 $V \geq 0.9$ 的情况下,疲劳裂纹的疲劳区和断裂区与钻杆轴线几乎是成同心圆状分布的,因而可以把它看成是闭合的环状条带(图 1),这样就可以利用文献中所引用的应力强度因子计算公式。

交变弯曲时的安全系数可由下式确定

$$V = \frac{M_{\text{пред}}}{M_{\text{н}}} \quad (1)$$

式中: $M_{\text{пред}}$ ——循环基数为 10^7 次时的临界交变弯矩(钻杆疲劳强度指标), 牛顿·米;

$M_{\text{н}}$ ——工作弯矩, 牛顿·米;

安全系数在 0.9~1.6 范围内,应力强度因子的计算公式为

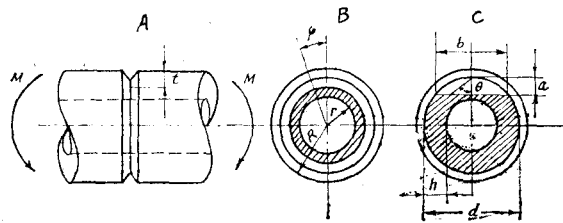


图 1 外丝扣锥螺纹钻杆疲劳裂纹极限尺寸计算图
A: 有裂纹的钻杆部分; 裂纹带破坏形状; B—同心圆形的, C—半椭圆形的

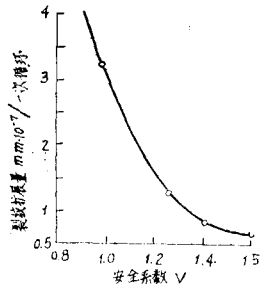


图 2 在钻杆丝扣部分疲劳裂纹发展速度在交变弯矩作用下与安全系数的关系图 (d=50 毫米钻杆为例)

$$K = \frac{128 M_{\text{пред}} A B}{V \pi C \sqrt{0.8 + D}} \quad (2)$$

式中: $A = R - t$;

R —钻杆外半径, 毫米;

t —断口平面上包括螺纹在内的裂纹深度, 毫米;

$B = \cos \varphi \sqrt{\pi t}$

φ —圆柱体垂直剖面内, 由弯曲平面量出的圆心角, 度;

$C = (R - t)^4 - r$;

r —钻杆内半径, 毫米;

$D = \frac{1}{A} (7.1 + 1.08 \frac{\gamma}{A - \gamma})$;

当安全系数低于 0.9 时, 裂纹扩展部份是半椭圆形(见图 1), 建议用下列应力强度因子计算公式:

$$K = \left(\frac{2\theta}{\pi} \right)^2 217.6 \frac{M_{\text{пред}} E F}{\pi \nu} \quad (3)$$

式中: θ —从裂纹面量出的极坐标参数, 弧度;

$$E = \frac{a}{dbh\sqrt{a}}$$

a —裂纹深度, 毫米;

d —钻杆螺纹内径, 毫米;

b —裂纹长度, 毫米;

h —钻杆螺纹处壁厚, 毫米;

$$F = \left(\frac{a}{h} + 0.6 \frac{a}{b} - 0.4 \right).$$

折断处的同心圆直径我们是这样取的, 即使它的圆面积等于各种安全系数 ($v \geq 0.9$) 下的断裂区实际面积。

应力强度因子和钻杆寿命的计算结果列于表 1。

由表 1 可见, 当改变安全系数时, 应力强度因子值的变化幅度不大; 因此对于该种钻杆结构和材料的应力强度因子值乃是常数。这样一来, 利用已求得的应力强度因子值和知道了另一种尺寸规格的钻杆的 r 、 R 和 h 值; 就能计算出这种钻杆的疲劳裂纹的临界尺寸。

表 1

安全系数	裂纹的临界深度 (毫米)	应力强度因子值 (兆帕斯卡·米 ^{1/2})	钻杆寿命 (循环次数)	
			有裂纹的 (从出现裂纹到断裂)	周期的 (新钻杆开始使用到断裂)
1.6	3.3	5.98	45×10^6	1000×10^6
1.4	2.6	5.90	30×10^6	250×10^6
1.2	1.4	5.65	9.5×10^6	50×10^6
0.9	0.6	5.91	1.6×10^6	13×10^6
0.8	7.2	5.89	0.75×10^6	3.3×10^6

注: 仅确定了安全系数为 0.8 的裂纹临界长度, 其值为 34 毫米。

取应力强度因子的平均值为 5.9 代入式 (2) 和式 (3), 就得到用于计算具有外锥形螺纹的 36Г2С 钢制钻杆的公式

$$\frac{M_{\text{пред}}}{0.145\nu} = \frac{C\sqrt{0.8+D}}{AB} \quad (4)$$

$$\frac{0.0848V}{M_{\text{пред}}} = \left(\frac{2\theta}{\pi} \right)^2 EF \quad (5)$$

其它规格钻杆的计算结果列于表 2。

在试验台试验基础上, 我们查明了疲劳裂纹扩展速度与安全系数之间的极为重要的依赖关系 (图 2)。由于选定临界弯矩时已经考虑了尺寸效应的影响而在截面上有相同的交变弯曲应力; 因此建立起来的裂纹扩展速度的规律完全可以用于 36Г2С 钢制造的其它尺寸的类似的钻杆。在这种情况下, 利用计算得出的裂纹临界深度, 就可以估算出各种安全系数下的钻杆 ($d = 42$ 毫米和 $d = 63.5$ 毫米) 的寿命。计算结果见表 3。

表 2

安全系数	裂纹的临界深度 (毫米)	
	$d = 42$ 毫米	$d = 63.5$ 毫米
0.8	7.2	8.0
1.0	1.1	2.8
1.2	2.1	4.0
1.4	2.9	4.8
1.6	3.2	5.0

注: 仅确定了安全系数为 0.8 的裂纹临界长度, 其值分别为 30 毫米和 39.3 毫米。

表 3

安全系数	有裂纹钻杆的寿命 (循环次数)	
	$d = 42$ 毫米	$d = 63.5$ 毫米
0.8	7.5×10^5	8.6×10^5
1.0	3.5×10^6	9.0×10^6
1.2	1.4×10^7	2.6×10^7
1.4	3.6×10^7	6.0×10^7
1.6	4.5×10^7	8.0×10^7

由此可见, 在钻进过程中用探伤法检验钻杆时用以计算疲劳裂纹临界深度的方法是以应力强度因子的利用为基础同时考虑了试验台和生产条件下研究成果中的断口特征和疲劳裂纹的扩展速度。从而求得直径为 50 毫米、具有外锥螺纹的 36Г2С 钢制钻杆的应力强度因子值; 确定了裂纹临界尺寸和裂纹扩展速度与安全系数之间的关系。最后确定直径为 42、50 和 63.5 毫米有裂纹的 36Г2С 钢钻杆的裂纹临界尺寸及其寿命 (即由出现疲劳裂纹到折断时的寿命)。

(参考文献 3 则从略)

周家骏译自“探矿与护矿” 1981, №8 杨惠民校