

钻孔偏心时残余应力的数值逼近解

(兼答王家勇同志)

杨伯源

(合肥工业大学)

在文[1]中笔者通过引入偏心参数 α, β 导出了求钻孔偏心时残余应力的计算公式, 并指出用逼近法求残余应力的方法. 本文就数值逼近中的几个问题阐述如下.

1. 二次搜索逼近法

根据公式中 φ 的选定方向, 取搜索区域为 $90^\circ \sim -90^\circ$ 如图 1. 为提高搜索效率, 节省计算时间, 采用二次搜索法. 令

$$P_{mi} = \tau g 2\varphi_i$$

$$A_{mi} = \frac{B_1}{B_2} \left[\frac{A_2}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) - \varepsilon_i \right] \quad (1)$$

则二者之差 Q_{mi} 为

$$Q_{mi} = A_{mi} - P_{mi} \quad (2)$$

其中各参数的意义参看文 [1]. 第一次搜索间隔为 10° , 共搜索 18 次, 得 18 个 Q_{mi} 值, 取其中最小者, 它对应的 φ 值为第一次搜索结果 φ_1 . 第二次搜索区域选以 φ_1 值为对称的 10° 阴影区如图 1. 搜索次

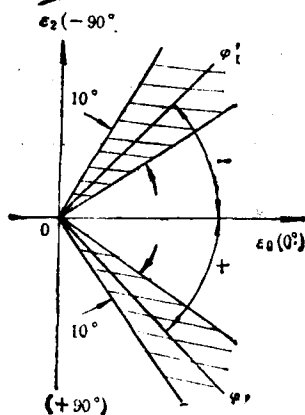


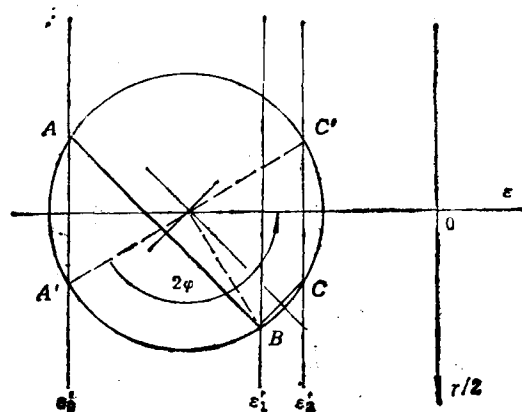
图 1 搜索区域

数 N , 决定于逼近精度, 如要求 0.5° , N 为 20—24, 0.1° 时的 N 为 100—120. 再按公式 (1)、(2) 标出相应的 Q_{mi} 值, 取其中的极小值, 它所对应的 φ 就是所求

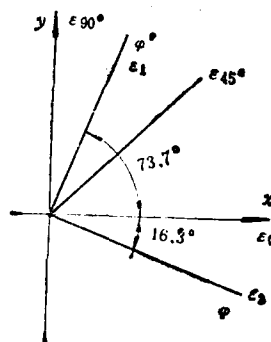
的 φ 值.

2. 逼近中应注意的问题

在搜索范围 $90^\circ \sim -90^\circ$ 区域中, 第二次搜索出的 φ 角可能是如下两个角的一个, 这两个角称为 φ_1 和 φ_2 . 它们是一正一负, 互相夹角 90° . 由应变分析



(a)



(b)

图 2 应变圆法求主应变及其方向

知[2], φ_1 和 φ_2 分别是 σ_1 和 σ_2 与 ε_0 的夹角。例如取 $\varepsilon'_0 = -314\mu$, $\varepsilon'_1 = -150\mu$, $\varepsilon'_2 = -114\mu$ 则由应变园图2(a)知,主应变 ε_1 与 ε'_0 的夹角为 73.7° , ε_2 与 ε'_0 的夹角为 16.3° 。至于哪个为正,哪个为负,规定不一致。若按图2(b)中规定的 x,y 方向,则 73.7° 为正值, 16.3° 为负值,这与由下式求得的结果相同。

$$\operatorname{tg}2\varphi = \frac{2\varepsilon'_1 - \varepsilon'_0 - \varepsilon'_2}{\varepsilon'_0 - \varepsilon'_2} \quad (3)$$

由于文[1]中规定的 φ 方向与上相反,故求得的 $\varphi_1 = 16.3^\circ$, φ_2 为 -73.7° 。应指出,无论采用 φ_1 或 φ_2 并不影响逼近结果,因为公式(1)、(2)中右边各参数仅与 $\operatorname{tg}2\varphi$ 有关,而 $\operatorname{tg}2\varphi_1$ 和 $\operatorname{tg}2\varphi_2$ 的值是相等的。

用选出的 φ 值求应力时,由于下公式

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 + \sigma_2 &= E \frac{B'_2\varepsilon'_0 + B'_0\varepsilon'_2}{A'_0B'_1 + B'_0A'_2} \\ \sigma_1 - \sigma_2 &= E \frac{A'_2\varepsilon'_0 - A'_0\varepsilon'_2}{(A'_0B'_2 + B'_0A'_2) \cos 2\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

中含有 $\cos 2\varphi$,因此(4)中的第二式在代入 φ_1 和 φ_2 时相差一个负号,结果会造成 σ_1 和 σ_2 的互换,然并影响其大小。

一般说来,增加搜索次数 N_2 可提高逼近精度。表1中列出了搜索次数不同的残余应力逼近解。可以看出,当 $N_2 = 52$ 时,逼近解与理论解之差仅为 0.03° ,因此用逼近法可以达到令人满意的精度。

3.在推导钻孔偏心时的残余应力公式时文[1]仅

表 1

N_2	c	β	ε'_0	ε'_1	ε'_2	σ_1^*	σ_2^*	φ	精确解 φ
18	0	0	-314	-150	-114	2560	3893	-73.9	-73.69
32	0	0	-314	-150	-114	2559	3894	-73.84	„
52	0	0	-314	-150	-114	2556	3896	-73.66	„
100	0	0	-314	-150	-114	2557	3895.5	-73.718	„

* 单位 kg/cm^2

表 2 偏心及不偏心公式计算结果比较***

测点号	应变测量值			按不偏心公式			偏心量		按偏心公式		
	ε_0	ε_{45}	ε_{90}	σ_1^*	σ_2	φ	c^{**}	β	σ_1	σ_2	φ°
1	-314	-150	-114	3803	2496	-73.69°	0.1	45°	3849	2454	-70.21
							0.25	„	4186	2423	-62.97
							0.4	„	4380	2588	-62.97
2	-291	-180	-267	4655	3557	+41.54°	0.1	45°	4831	3629	42.32
							0.25	„	5643	3316	43.47
							0.4	„	9940	4009	44.39
3	-242	-654	-30	4912	-908	+50.78°	0	0	5069	-968	50.71
							0.1	45°	4496	-2695	-40.44
							0.25	„	3301	-8273	-42.48
4	-191	-198	30	2073	297	-23.38°	0	0	2125	303	-23.43
							0.1	45°	1913	-108	-26.69
							0.25	„	1508	-1349	-33.2
5	-578	-104	243	4751	179	4.4°	0	0	4868	183	4.39
							0.1	45°	4744	243	5.65
							0.25	„	4927	454	9.1

* 应力单位为 kg/cm^2 。 ** 单位为 mm 。 *** $45^\circ-3-\phi 1.5\text{mm}$ 应变花

(下转第36页)

表3 方程(8)中使用的性能参数

材料性能	合 金			
	I PCrNi ₃ MoVA(ESR)	*II 10Ni 钢	**III 316 L 不锈钢	**IV Ae7075-T651
σ_s [MPa]	1168	1106	200	541
e_s	5.7×10^{-3}	5.3×10^{-3}	1.04×10^{-3}	7.9×10^{-3}
e_j	0.477	0.560	0.480	0.360
n'	0.100	0.109	0.300	0.040
c	-0.73	-0.65	-0.40	-0.83
ΔK_{th} [MPa \sqrt{m}]	6.9	7.6	4.6	2.5
x^* [m]	6.2×10^{-6}	4.6×10^{-6}	4.9×10^{-6}	4.5×10^{-7}

表中*来自文献[6], **来自文献[8].

量以期更完善地描述疲劳裂纹的扩展。

5. 结论

文中提出的估算方法,在中、低应力强度因子范围具有一定的合理性,它建立起了疲劳裂纹扩展速率与其他性能的关系,能够非常方便地估算疲劳裂纹扩展速率。

参 考 文 献

- [1] Bowles, C. Q. & Broek, D., *Int. J. of Fract. Mech.*, 1, 8 (1972), 75-85.
- [2] Tomkins, B., *Metal. Sci.*, 8-9, 14 (1980), 408-417.

- [3] Rice, J. R., & Rosen green, G. F., *J. Mech. & Phys. of Solids*, 1,16(1968), 1-12.
- [4] Hutchinson, J. W., *J. Mech. & Phys. of Solids* 1,16 (1968), 13-31.
- [5] Hahn G.T. Hongland R. G. & Rosenfield A.R., *Met. Trans.* 5,3(1972),1189-1202.
- [6] 赵宝荣,疲劳载荷下裂纹扩展模型,兵器材料科学与工程,5(1987),43-47.
- [7] Donahue, R. J., Clark, H. M., Atanmo, P., Kumble, R. & McEvily, A. J., *Int. J. of Fract. Mech.* 2,8 (1972), 209-219.
- [8] Jacques Lantaigne & Jean-Paul Bailon, *Met. Trans.* 3,12 (1981), 459-466.

(本文于1987年9月收到,
1990年2月收到修改稿)

(上接第73页)

考虑了应变片丝栅的纵向效应。当然要精确地计算偏心对残余应力的影响还应考虑丝栅的横向效应(该问题笔者将在已完成的另一篇文章中讨论)。因此该公式在仅考虑纵向效应下是精确的。讨论该公式的精度应以考虑偏心时丝栅的纵横向效应的更精确公式为标准。文献[3]的分析建立在钻孔不偏心的基础上,所以在求应变释放系数B和A中不含有偏心参数 c 、 β 和 ϕ ,由此得到的结论是否适用于偏心情况有待进一步研究。

由于在搜索逼近程序中一个变量的差错,致使文[1]中表1列出的数据有误,现将改正结果附后(见表2)。特向读者致歉,同时对王家勇同志给予指出错误

表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 杨伯源,钻孔偏心对松弛应变及残余应力的影响,力学与实践,10,3(1988),33-37.
- [2] 孙训芳,材料力学,人民教育出版社(1979)第一版第二册,27-31
- [3] Majid Rabiri, Toward more accurate residual-stress measurement by the hole-drilling method: analysis of relieved-strain coefficients, *Exp Mechanics*, 25, 1(1986), 14-21.