

带疲劳裂纹 T 型管节点 性能的试验研究*

杨勇新

(郑州工学院水利系)

摘 要: 本文通过T型管节点的模型试验,对带有穿透管壁厚度疲劳裂纹的T型管节点和未疲劳T型管节点的性能进行了测试。通过对比,讨论了这两种管节点各种性能的异同之处。

关键词: T型管节点, 疲劳裂纹。

中国图书分类号: TG115.57

海洋石油开发工程中最重要结构物之一是钻井平台,在钻井平台中管节点是一种基本的结构形式。随着我国海洋石油工业的迅速发展,国内有关部门成立了管节点研究专门委员会,对管节点的静力强度和疲劳强度开展了系列研究⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。由于管节点的几何形状复杂,焊接使其产生应力集中,在工程中受波浪荷载循环作用,使得管节点常处于带有疲劳裂纹的状态。这样,管节点的破坏就可能是由于疲劳裂纹的存在引起性能的变化而导致的。据此,本文进行了T型管节点静力性能试验和疲劳性能试验,并着重分析了未疲劳T型管节点与带有穿透管壁厚度疲劳裂纹T型管节点在各种性能上的差别。为原型试验和工程设计提供参考。

1 模型试验

T型管节点是管节点的基本形式。其模型图见图1。

其中: D 、 d 分别为主、支管直径;

L 、 l 分别为主、支管长度;

T 、 t 分别为主、支管壁厚。

本文试验所用管节点均由无缝钢管焊接而成。其参数分别见表1、表2。

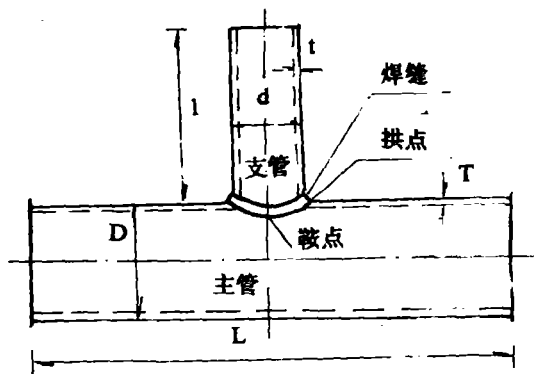


图1 T型管节点模型

* 收稿日期: 1990—10—18

表 1 T 型管节点模型几何参数

模 型	D(mm)	d(mm)	T(mm)	t(mm)	L(mm)	l(mm)	工况	备注
TP-1	219	159	7	5.5	1110	500	轴压	疲劳后静强度试验
TP-2	"	"	"	"	"	"	"	
TP-3	"	"	"	"	"	"	"	
TP-4	"	"	"	"	"	600	轴拉	"
T-3	"	"	"	6	"	"	"	未疲劳静强度试验
T-4	"	"	"	"	"	500	轴压	

表 2 T 型管节点模型物理参数

模 型	主 管		支 管		E (N/mm ²)	μ
	σ_s (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)		
TP-1	370	530	288	433	2.1×10^5	0.3
TP-2	"	"	"	"	"	"
TP-3	"	"	"	"	"	"
TP-4	"	"	"	"	"	"
T-3	"	"	"	"	"	"
T-4	"	"	"	"	"	"

1.1 疲劳试验

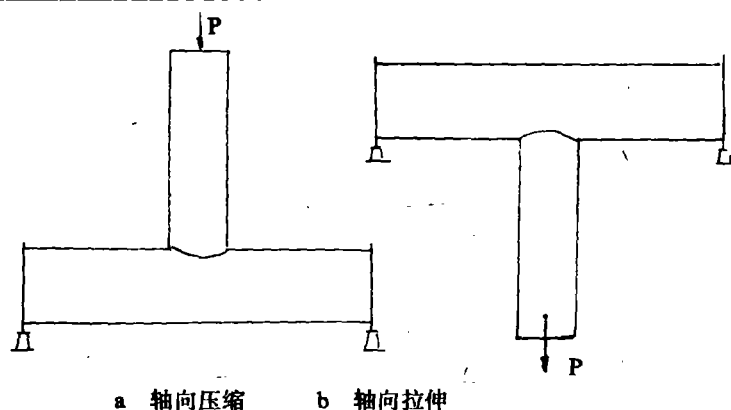
根据我国“海洋平台管节点疲劳试验规程(草案)”⁽⁴⁾, 选择疲劳试验荷载幅为 60~80KN, 循环荷载频率为 $5H_z$ 。主要观测内容有: 疲劳裂纹产生位置及扩展规律, 相应于疲劳寿命为 N_1 (应变下降 15% 时的寿命)、 N_2 (表面裂纹长度达到 15mm 时的寿命)、 N_3 (疲劳裂纹穿透管壁厚度时的寿命) 时的裂纹长度等。

试验在 (大连理工大学力学系结构实验室) 国产 50 吨油压疲劳试验机上进行。该机可调频率和最高、最低荷载, 并自动记录振动次数 (即寿命)。为观察、量测疲劳裂纹及疲劳寿命方便, 采用单向轴拉加载方式, 用气压法确定 N_3 。当疲劳寿命到 N_3 时停止疲劳试验。在上述装置上分别进行 TP-1~TP-4 四个 T 型管节点的疲劳试验, 得到结果如表 3。

表 3 疲劳试验结果

模 型	最大荷载(KN)	最小荷载(KN)	荷载幅(KN)	频率(Hz)	N_1 (万次)	N_2 (万次)	N_3 (万次)	裂纹位置及长度(mm)
TP-1	100	20	80	5	13.2	18.75	25.8	一侧鞍点 100
TP-2	80	"	60	"	21.3	42.3	179.34	二侧鞍点 135+40
TP-3	"	"	"	"	36.1	47.01	64.41	一侧鞍点 115
TP-4	"	"	"	"	21.5	36.6	48.6	一侧鞍点 110

1.2 静强度试验



a 轴向压缩 b 轴向拉伸

图2 静承载力试验受荷简图

及鞍点处荷载—位移关系曲线, 各测点的应变变化, 破坏形态和静承载能力值等。荷载—位移关系曲线通过 X—Y 记录仪来绘制, 应变变化用 UCAM—8BL 型应变自动表 4

未疲劳 T 型管节点静承载力及破坏形态

模 型	P_u (KN)	破坏形态	工况	$P_{u压} / P_{u拉}(\%)$
T-3	755.6	塑性变形过大*	轴拉	/
T-4	441	失稳	轴压	58.4

*: 塑性变形过大指变形达到了不适合继续承载的程度。

表5 带疲劳裂纹 T 型管节点静承载力及破坏形态

模 型	P_u' (KN)	破坏形态	工况	$P_{u压}' / P_{u拉}'(\%)$	裂纹总长(mm)
TP-1	405.4	失稳	轴压	71.2	100
TP-2	400.5	"	"	70.4	175
TP-3	380	"	"	66.8	115
TP-4	569	断裂	轴拉	/	110

测试仪记录, 该机具有测试速度快、操作简便、同时测量多点应变和自动打印测试结果等优点。试验为分级加载, 一次破坏。完成试验后得到六个 T 型管节点的破坏形态和静承载力值见表 4、表 5; 荷载—位移关系曲线如图 3、图 4 示。

2 试验结果分析

根据本文试验结果, 对比未疲劳 T 型管节点与带有穿透壁厚疲劳裂

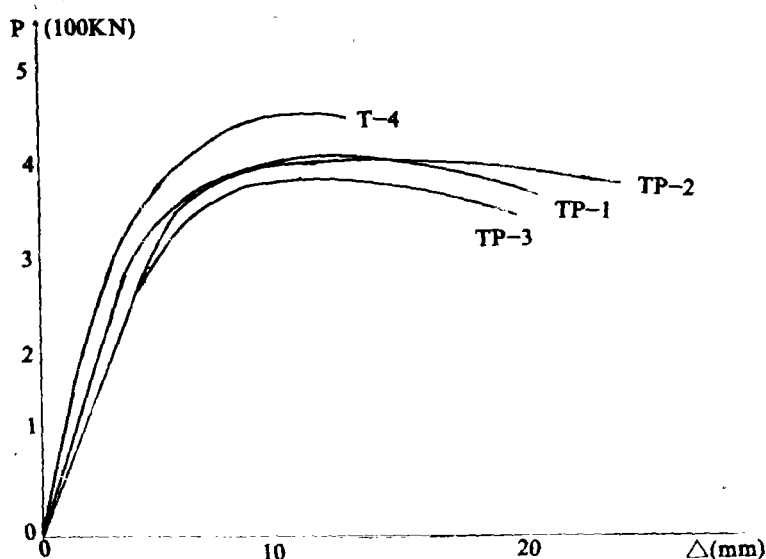


图3 轴压试验 P—Δ 曲线

静强度试验分两组, 一组为轴向拉伸, 一组为轴向压缩。如图 2 示。每组分别由未疲劳管节点和带有疲劳裂纹的管节点组成, 进行对比试验。

两组试验均在油压压力机上进行。主要观测内容有: 整体

纹 T 型管节点, 可以初步了解到疲劳裂纹的存在对 T 型管节点的性能有如下几方面的影响:

2.1 静承载力

从表 4、表 5 中可以看出, 不论是轴压还是轴拉状态, 疲劳裂纹穿透管壁厚度时, T 型管节点的静承载力都比未疲劳 T 型管节点的静承载力有所降低, 其中, 轴拉情况下, 降低的多一些, $P'_{u拉} / P_{u拉} = \frac{569}{755.6} = 75.3\%$, 约降低了 25%; 轴压情况下, 降低的少一些, $P'_{u压} / P_{u压} = (86.2 \sim 91.9)\%$, 约降低了 10%。

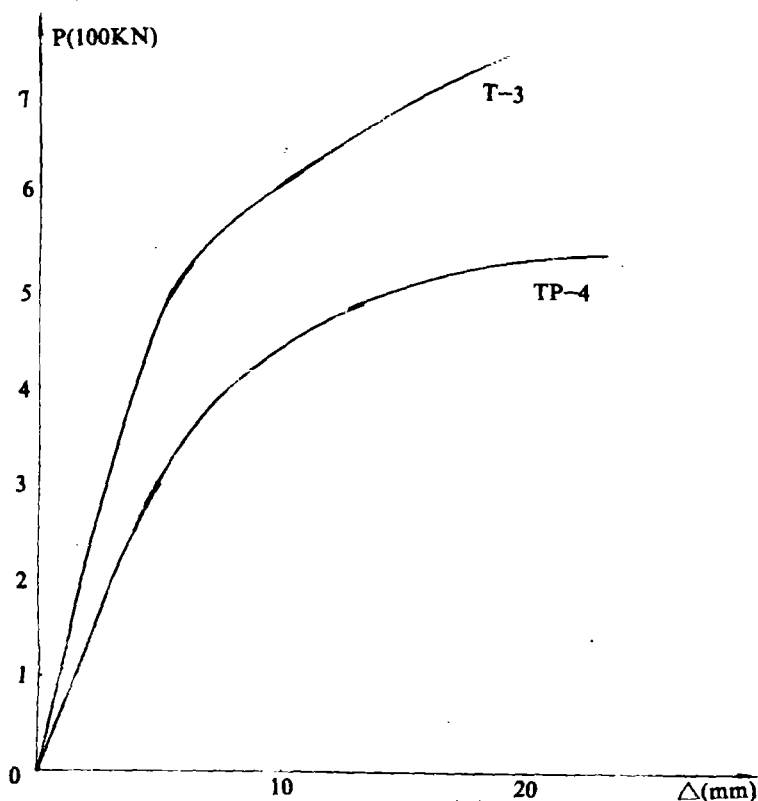
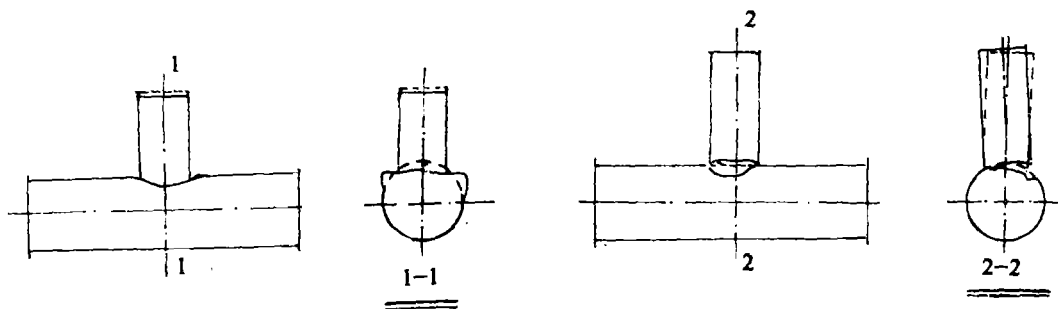


图 4 轴拉试验 P-Δ 曲线

未疲劳管节点轴压与轴拉承载力之比约为 60%, 设计时以轴压状态为极限状态; 而当疲劳裂纹穿透管壁厚度时, 轴压与轴拉承载力之比约为 70%, 比值上升了, 虽然这时仍然以轴压承载力为设计控制状态, 但从中我们可以预测: 随着疲劳裂纹的进一步开展, 达到某一疲劳寿命时, 轴压与轴拉承载力之比会大于 1, 这时应以轴拉承载力为设计控制状态。这个结果对设计具有十分重要的意义。

2.2 破坏形态



a、轴压破坏形态 b、轴拉破坏形态

图 5 带疲劳裂纹管节点破坏形态

对未疲劳管节点来说,轴压荷载作用下,一般产生屈曲失稳破坏;轴拉时,可能产生的破坏形态有冲剪破坏、塑性破坏和拉断破坏等多种形式^[5]。从本文试验结果图 3 中可以看出,带疲劳裂纹轴压管节点的破坏形态仍是屈曲失稳破坏,曲线上都存在 $dp/d\Delta=0$ 的极值点,而轴拉管节点因为已有疲劳裂纹存在,在轴向拉力作用下,将导致裂纹进一步扩展,最终只会产生断裂破坏,不会出现其它破坏形式如图 5。

从理论上讲^[5],无论是轴压还是轴拉状态,未疲劳 T 型管节点的塑性区都是从主管两侧鞍点附近开始,两侧同步扩展。带有疲劳裂纹后,T 型管节点塑性区的扩展则出现区别。对轴压管节点来说,施加轴向压力后,有疲劳裂纹一侧,首先是裂纹闭合,这时,无裂纹一侧直接承受压力,表现出不对称性质,但疲劳裂纹紧密闭合后,两侧的塑性区扩展基本是对称、同步扩展,与未疲劳节点相同。对轴拉管节点来说,因为已存在疲劳裂纹,故在轴向拉力作用下,首先是有裂纹一侧沿裂纹边缘区域先出现塑性区,随着应力的增加,当该侧塑性区已有较大扩展时,无裂纹一侧和其它部位才开始出现塑性区,两侧的塑性区域明显不对称、不同步,这与未疲劳管节点有极大差别。

3 结束语

根据本文试验研究结果及分析,我们知道当 T 型管节点带有穿透管壁厚度的疲劳裂纹时,它的静承载力较未疲劳节点的静承载力有所下降,且工况不同,下降的量也不同。它的破坏形态与未疲劳管节点相比,轴压时相同,都表现为屈曲失稳,轴拉时,因疲劳裂纹的影响只产生断裂破坏,与未疲劳管节点有区别。它的塑性区扩展规律,对轴压管节点来说,与未疲劳管节点相同,都保持了对称、同步扩展的规律,而对轴拉管节点来说,则与未疲劳管节点完全不同,首先在疲劳裂纹一侧屈服,塑性区扩展,另一侧塑性区很晚才出现,表现出明显的不对称,不同步扩展规律。从管节点实际工作条件出发,本文的工作对管节点的设计有十分重要的意义。

因本文试验的试件还不够多,还应进行多组、多参数的模型对比试验。

参考文献

- (1) 杨国贤,陈廷国,受拉 T 型管节点静承载力分析的实用计算方法,大连理工大学学报 Vol26,1987 年第二期。
- (2) 朱福根,束继兴,海洋钻井平台 T 型管状接头的有限元分析,上海交大学报,1984 年第二期。
- (3) 窦润福等,进口钢材 T 型管节点的疲劳分析,中国船舶科研中心技术报告,OTR-04-03,1986 年。
- (4) 中国船舶科研中心海洋平台管节点疲劳试验规程(草案),1986 年。
- (5) 孙纲廷,陆化普,钢管结构,大连理工大学出版社,1986 年 8 月。

The Research of performances of Tubular T—joints with Fatigue Crack

Yang yongxin

(Department of Hydraulic Eng.)

Abstract: In this paper, through model test, the performances of tubular T—joints with fatigue crack passing through tubular wall, have been measured. The differences between tubular T—joints and that with fatigue crack, through contrasting, have been discussed.

Keywords: tubular T—joints, fatigue crack.