

CN9000642

CNIC-00292

SINRE-0020

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

用声发射技术监测模拟压力管道的破裂

USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE
TO MONITOR FRACTURES ON THE
ANALOGOUS PRESSURE PIPES

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00292

SINRE-0020

用声发射技术监测模拟压力管道的破裂

USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE

TO MONITOR FRACTURES ON THE

ANALOGOUS PRESSURE PIPES

(In Chinese)

张立展

(西南反应堆工程研究设计院, 四川)

中国核情报中心

原子能出版社

北京·1989.1

摘 要

在力学试验研究中,采用声发射技术对已具有疲劳裂纹的核反应堆一回路模拟压力管进行加载爆破断裂的监测。利用声发射所具备的特征,研究试件在加载过程中裂纹从开裂直到断裂的动态过程。用声发射所表征的参数来解释在加载过程中各阶段的力学特征,弥补了常规力学测试方法的不足,从而观察了带有疲劳裂纹的试件其“开裂前兆-开裂-扩展-快速断裂”的全部过程,并给出各阶段的压力值。试验过程中采用微机进行实时数据处理,给出监测结果并确定出断裂位置。所得数据可用于反应堆承压构件的力学分析。

关键词 声发射 开裂前兆 开裂 扩展 快速破裂 实时监测

USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE TO MONITOR FRACTURES ON THE ANALOGOUS PRESSURE PIPES

Zhang Lichen

**(Southwest Institute of Nuclear Reactor
Engineering, Sichuan)**

ABSTRACT

By using the acoustic emission technique to monitor the fractures on analogous pressure pipes of the primary circuit, which has had cracks and was loaded with pressure, was investigated. The dynamical process, from cracking to fracturing, was recorded by the acoustic emission technique. Comparing with the conventional method, this method gives more informations, such as pre-cracking, cracking growing, fast fracturing and the pressure values at different phases. During testing time a microcomputer was used for real-time data processing and locating the fracturing position. These data are useful for the mechanical analysis of the reactor components.

前 言

工程上的安全运行是人们所关注的事情。断裂是属于灾难性破坏，因此断裂已成为工程上重要的研究课题之一。断裂直接关系到整个工程的安全。核工程中，高压管路安全分析更为重要。在核反应堆第一回路管道不管何种原因，一旦发生泄漏，特别是管道断裂，将导致反应堆的严重事故——LOCA。

断裂的原因是多种的，但在构件发生断裂之前，必有内在的或外界的不良因素，促使构件发生断裂。这点已成为众所周知的事实。譬如，材料本身的自然缺陷、运行中处于低周疲劳、应力腐蚀以及氢脆等诸状态，在应力作用下产生并形成应力集中，造成裂纹的扩展，导致断裂。

研究的目的是通过对工程中金属构件断裂原因的分析，研究各种断裂的微观机理，最后找出防止发生断裂的有效措施，以便工程安全运行。

本课题是为了配合力学试验，采用声发射(AE)技术对已具有疲劳裂纹的反应堆模拟高压管进行加载爆破断裂的研究。利用声发射具备的独有特性研究试件在加载过程中，预制裂纹的开裂和扩展直至断裂的动态过程。用声发射所表征的参数来解释在加载过程中各阶段的力学特征，弥补了通常用力学测试方法的不足，从中发现问题，找出规律，研究并找出解决的方法。

声发射技术是一种用来检测和分析材料或构件内应力波发射的方法。国外近年来在压力容器等结构完整性评价方面已进入了应用阶段^[1-3]，并已用来作为研究测试材料断裂的手段^[4-6]。随着声发射技术的发展和逐步完善，给力学试验提供了很多有用的数据和信息。我们在实验中使用的仪器是配有微处理机的四通道声发射信息分析仪。实验过程中所采集的原始数据可全部存储起来，以备事后分析，并能实时给出监测结果，确定出断裂位置。结果由打印机给出。同时还可直观地通过CRT显示器观察到声发射源的活动情况和具体的坐标位置。

一、实 验

反应堆高压管道的爆破试验是在模拟压力管上进行的，试件采用日本商业SUS321Tp不锈钢管，其化学成分如下表：

化学成分	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Ti
含量，%	<0.08	<1.00	<0.04	<0.03	9.00~13.00	17.00~19.00	75×C ₀

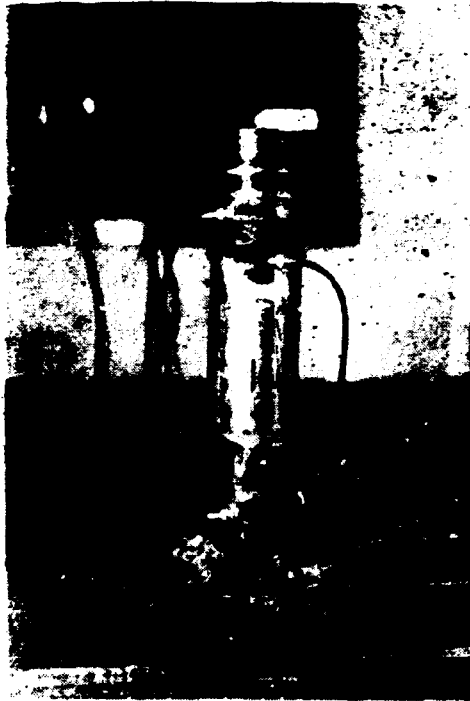
试件尺寸：外径 $\phi=68\text{mm}$ ；壁厚 $\delta=6.1\text{mm}$ ；长度 $L=300\text{mm}$ 。

力学参数：屈服强度230MPa；极限强度544MPa；杨氏模量： $1.94 \times 10^5 \text{MPa}$ 。

模拟压力管在爆破试验前进行人工电火花刻伤和低周疲劳，以便造成人工缺陷。参数列于下表：

试件号	人工割伤尺寸,长×宽(mm)	加载负荷 (MPa)	循环次数	缺陷状况	缺陷部位剩余壁厚 (mm)
4 ^号	21.49×3.28	0—11.8	4×10 ⁴	外壁割伤 疲劳贯穿	9
9 ^号	20.46×2.92	0—21.6	3×10 ⁴	内壁割伤	17.5

加载方式采用电动升压手工控制连续油压加载。加载前将声发射探头用凡士林油做耦合剂固定在试件的两端。其中0^号、1^号探头为主探头，2^号、3^号探头为从探头，组成“主从鉴别”方式，以排除来自监测区以外的噪声干扰。探头与试件的固定采用橡胶带拉紧，避免采用刚性连接，防止探头在试件断裂时的瞬间损坏（见照片1）。



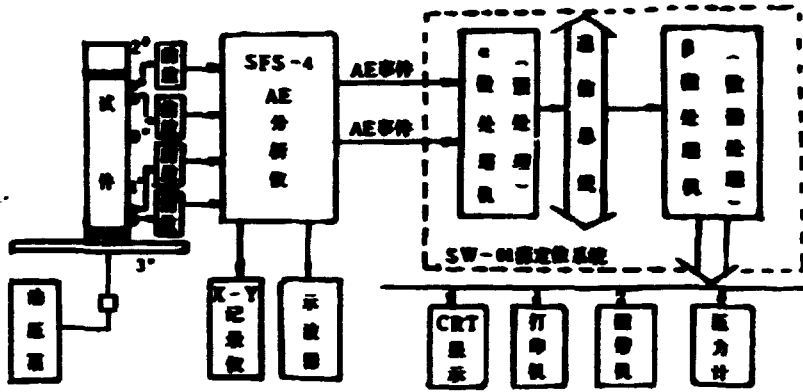
照片1 试件与探头连接

试验方框图如图一所示。

试验开始前先校准时差，以保证定位精确。监测范围设在0^号～1^号探头之间，2^号和3^号探头为从探头。凡2^号或3^号在时间上先于0^号或1^号探头接收到信号，声发射事件均不形成。其信号是来自噪声。试件加载后，来自探头的声发射信号经前置放大器进入四通道声发射信息分析仪。被放大的声发射信号，经声发射信息分析仪处理后，输出四种声发射参数，被函数记录仪记录，即振铃计数率、权铃计数率、事件计数率和事件总数。亦可通过数码显示器观察。

另外，声发射信息分析仪输出两组声发射事件信号送入微机。试验中，来自试件的信号，其数量是相当可观的。这些信号经A/D转换后，送入微机形成时差，进行预处理。通过通

信总线与8微机联接，完成所有数据的加工和处理并通过外设总线与CRT显示器连接，可直接观察到经处理后的声发射信号的产生和分布情况，并由快速打印机将结果或中间结果打印出来。磁带机作为记录试验过程中的原始数据及输送处理程序。



图：试验框图

试样在加压的过程中，一直连续加载直到试样破裂，试验结束。

试验直接给出如下数据提供分析、判断。

1. AE-压力-时间关系曲线：

- a. 振铃计数率，压力和时间关系曲线；
- b. 权铃计数率，压力和时间关系曲线；
- c. 事件计数率，压力和时间关系曲线；
- d. 事件总计数，压力和时间关系曲线。

2. 在被监测的范围内，每个声发射源总计数，按线坐标的分布。

3. 在被监测的范围内，微机每采集数据一次其每个声发射源总计数按线坐标的分布，即在不同的压力下，声发射计数率按线坐标的分布。

4. 在被监测的范围内，微机每采集数据一次，每个声发射源二次差按线坐标的分布，即

$$\frac{d^2N}{df^2}$$

5. 按声发射计数值的大小，依次进行筛选。

试验参数：

声发射探头：换能器压电晶体为PZT-5，其共振频率为120kHz，采样时间为1s，放大倍数82dB，门值0.5V，事件间隔0.3ms，微机扫描周期6s，程序类型为线定位重演程序。

二、试验结果与分析

数据经过微机的加工处理，得出声发射总计数、计数率、压力及加载时间的关系。（见图2）。

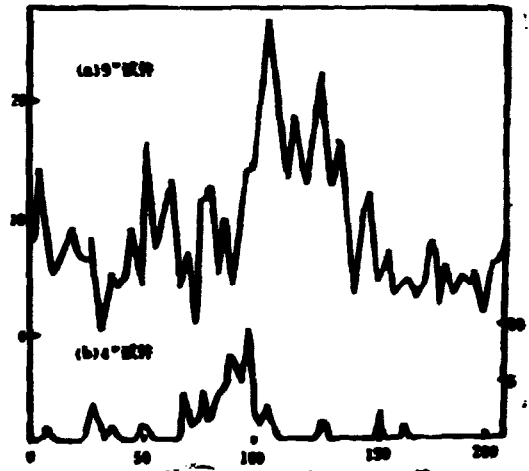


图2 声发射计数的分布

图2表明,9# 内表面刻伤事件和4# 贯穿试件在加载过程中声发射事件在监测区的分布。从曲线中可以看出9# 试件的开裂是从预制的人工裂纹开始,其长度约23mm的范围,与实测相符,并向两侧快速扩展,而且断裂的范围较大。从监测结果得出大约70mm。

4# 试件的开裂也是从预制的人工裂纹处开始,但由于该试样已疲劳贯穿,而且贯穿的长度较人工裂纹的长度短(见照片2),并在其外表面又粘接了0.2mm厚的不锈钢板,因此,其断裂形式与9# 试件截然不同。其开裂长度约在9mm的范围,向两侧以最快的速率扩展,瞬间断裂。断裂范围大约为37mm,与实测数据相符。



照片2 断口的宏观照片

图3为9# 试件在监测区内声发射计数率(即每6秒钟的计数)与压力,时间的关系。以坐标为40mm、102mm、112mm和125mm为例,这4个位置是声发射变化较为明显的几个点,其中102mm、112mm和125mm3点在图3上的曲线特征基本一致,属于两种类型,即声发射计数为最大值时并不是最大的加载值。其关系曲线与四通道声发射仪函数记录仪记录的结果一致(见图4)。因此,可以得出9# 试件爆破断裂试验开裂压力值为97.42MPa(970kgf/cm²),破裂压力值为110.74MPa(1130kgf/cm²)。

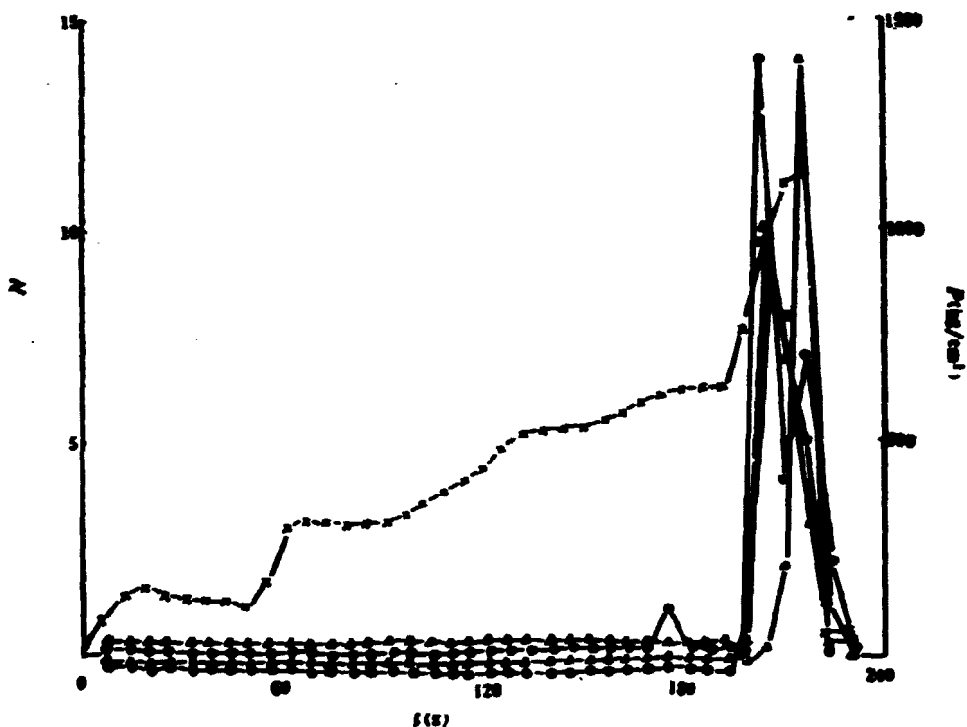


图3 9°试件加载过程中AE-P-T曲线

- △——试验过程中49mm处的AE计数
- ▲——试验过程中112mm处的AE计数
- 试验过程中125mm处的AE计数
- 试验过程中102mm处的AE计数
- x——在不同时间里的压力值

坐标为49mm的点,在试验过程中其声发射计数也是很明显的,但该坐标点的AE-P-T曲线表明,它是由于断裂时产生的强大冲击噪声所引起的,因此不能认为是开裂信号。

在试验过程中,出现的声发射信号也可由CRT直观地显示出来。

在监测区内,信号经微机处理后,按每个扫描周期给出的声发射计数,可更明显地看出在整个加载过程中的声发射变化,从中分析试件的破裂过程(见图5)。

从0到28个扫描周期(加载时间从0到168s)内,没有声发射事件形成。这一阶段为平静区。从29周期起,其加载压力升至50.29MPa(605kgf/cm²)时,才开始出现随机的声发射信号。这一阶段为随机区。当加载压力升到74.48MPa(760kgf/cm²)时,在坐标109mm~118mm处声发射计数增大,但不明显。说明此时在人工刻伤处塑性变形增大。这是开裂前的预兆。当压力增至95.06MPa(970kgf/cm²)时,声发射事件计数明显增高,尤其是在坐标102mm~125mm处更为突出。用扫描电镜进行观察此处为疲劳区。^[1]因此,可以断定这时在疲劳裂纹的前沿产生开裂。

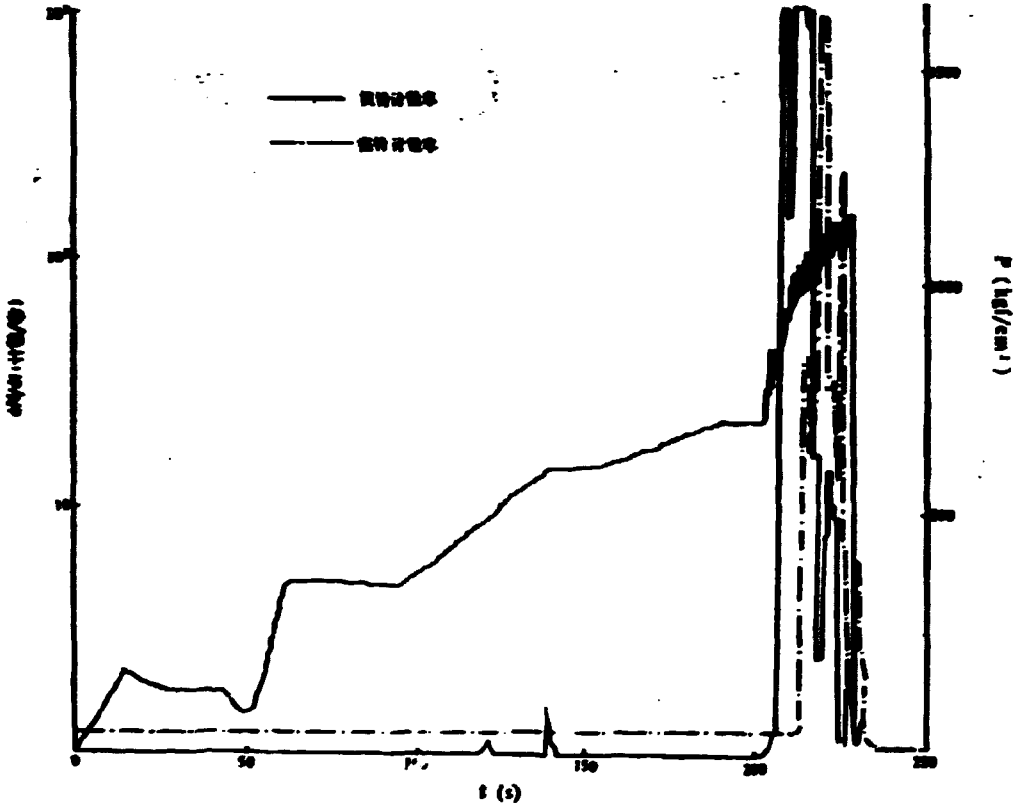


图4 9° 试件由函数记录仪所记录的AE-P-T关系曲线

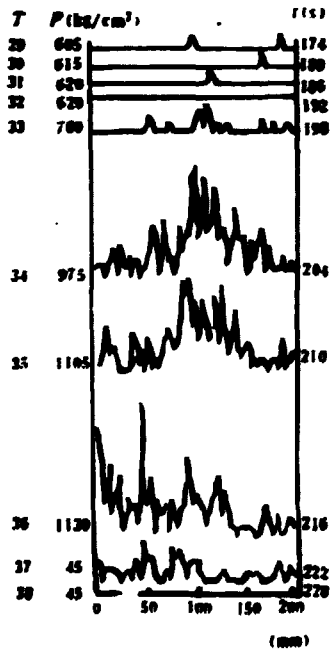


图5 9° 试件在不同扫描周期内的AE变化

当压力升到95.06MPa~108.29MPa (970~1105kgf/cm²) 的范围时,从图5的声发射事件计数的分布上可看出,此时裂纹急速扩展,一直到压力增到110.74MPa (1130kgf/cm²) 时,其亚临界裂纹已扩展到临界裂纹长度,造成破裂。

经过12s钟后,声发射信号逐渐平静,此时压力由110.74MPa (1130kgf/cm²) 降到零。

图6和图7表明了9# 试件在加载过程中,不同的压力和时间范围内,其声发射率、加载速率及压力增大值 (Δp) 之间的关系。

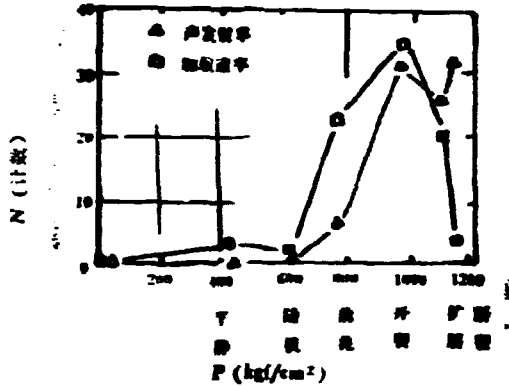


图6 在加载的不同阶段里声发射率、加载速率和压力关系

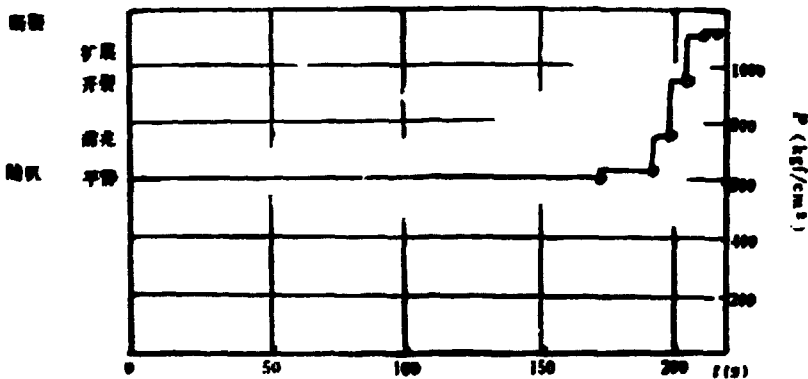


图7 试验时间、压力和力学特征关系

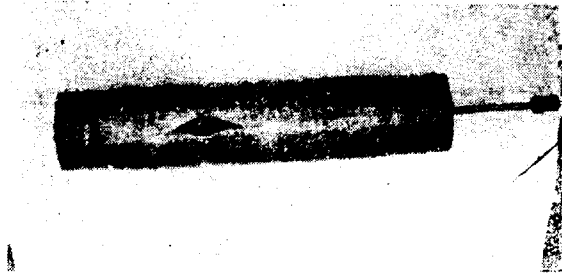
试件从出现开裂前兆到沿疲劳裂纹开裂,其加载时间为6s,这时压力增加了20.50MPa (210kgf/cm²), 加载速率增大,声发射率达到了最大值,但开裂后虽然加载速率降低,其压力值也只增加了12.64MPa (129kgf/cm²),但从声发射率看裂纹在迅速扩展,裂纹扩展后到试件破裂前,虽然其加载速率大幅度降低,压力值仅增加了2.45MPa (25kgf/cm²),但也无法控制裂纹的继续扩展,由此,可以看出裂纹一旦失稳后加载速率降得再低,破裂还是难免的。

引用9# 试件所测数据,归纳成下表,供运行中参考。

状态 参数	平静 - 随机 - 前兆 - 开裂 - 扩展 - 断裂					
采样周期	0	28	33	34	35	36
采样时间 (s)	174		198	204	210	216
加载值 (kgf/cm ²)	605		760	970	1105	1130
结论	允许运行		不许或停止运行 试验结果提供断裂力学分析数据 作为估算寿命的依据			

通过上述分析,可明显看出试件在断裂试验过程中的各种变化过程。即试件从开裂前兆-开裂-扩展-断裂的全部细节。同时也可得出这种试件在断裂试验过程中,其加载速率并不是均匀进行的。一旦开裂后如继续加载,则很快发生破裂。当然,这也与人工刻伤、疲劳状况等因素有关。

9# 试件破裂后的外观见照片3。



照片3 9# 试件断裂后的状况

4# 试件是属于破裂试件的特殊形式。这种类型的试件,声发射方法也难于观察到试件在加载过程中其力学特征的各种细节。它是由于压力达到一定值时,0.2mm的贴片和管壁承受不住这个压力,而发生突然破裂。但其破裂位置仍然是从贯穿裂纹的部位开始。因此,这种类型的试件,只能给出破裂值为77.42MPa (790kgf/cm²)。(参见图8)

以上结果表明,声发射技术监测压力管破裂试验是成功的,结果是可靠的。与通常的力学测试方法比较具有一定的优点。

结 束 语

通过采用声发射技术对压力管道模拟试件的断裂试验监测,取得了较满意的结果和经验,但还存在一些问题,待今后工作中改进。

1. 由于试件材料属于韧性材料,所以从加载起直到破裂,其声发射数不算太高,即声发射的频度不大,特别在塑性变形期间更不明显,这对试验结果的分析 and 判断带来一定的困难,但试验结果还是能很好地说明问题。

2. 4# 试件贴0.2mm不锈钢片后,应考虑对人工裂纹部位的拉伸、弯曲和剪切刚度的影

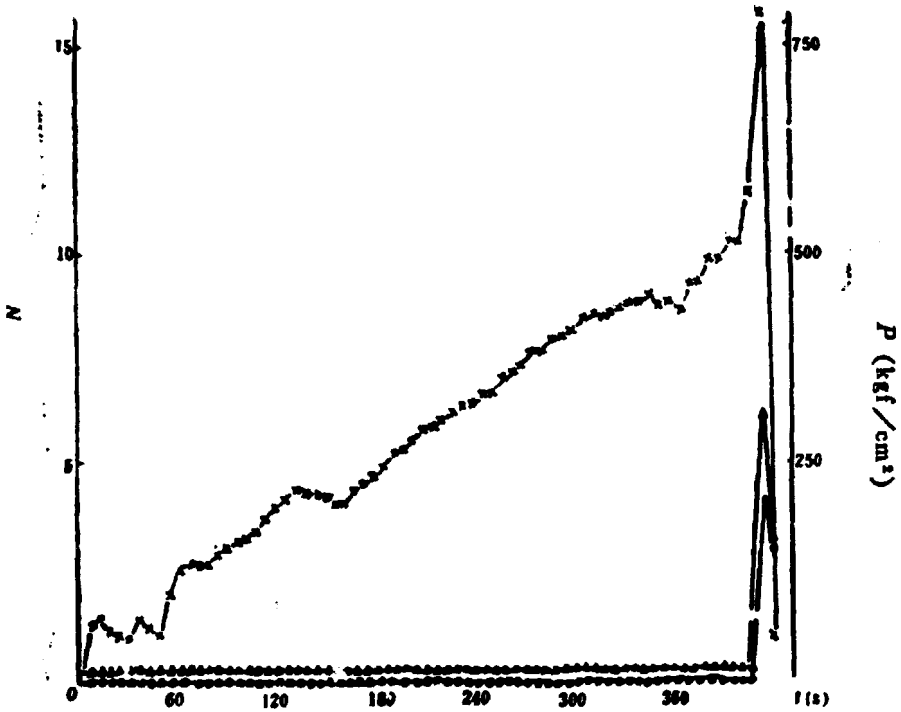


图6 4° 试件加载时AE-P-T曲线

- ▲——试验过程中83mm处的AE计数
- ⊙——试验过程中84mm处的AE计数
- ×——不同时间量的压力值

响。

3. 在试验过程中，加载速度不稳和过快，将影响对裂纹从开裂到破裂过程的观察，使各种细节转化过快，不利于对几个力学特征的描述。

4. 微机采样周期设置较长（本试验为6s）。因此，对瞬间变化的数据无法区分，也不利于对断裂细节的描述。

参加本试验工作的还有沈阳市电子所俞镇危、范永康、刘梅青、李康明和张小凡等同志及本院二所李士杰、黄孝生和李均调同志，在此一并感谢。

* 本所孙长城、冯英群同志参加了试验的准备工作。

参 考 文 献

- [1] T.Watanabe,S.Hashirizaki, H.Arita «Acoustic emission inspection during Water-pressure testing of pressure vessels», NDT international vol 9, Num 5, Oct (1976)
- [2] p.W.prine. «Inspection of nuclear power component Welds by in-process acoustic emission monitoring», NDT international Vol 9 Num 6 Dec.1976.
- [3] G.Clark «using acoustic emissio to monitoring ductile crack growth» ndt.4JDD-2, 9th, WCNDT (1978) .
- [4] H.L.Dunegan., D.O.Harris and A.S.Teitelman «Detection of fatigue crack growth by acoustic emission techniques.» Materials Evaluation, 28 (10) Oct.1970.
- [5] 赵文全、高峻华、吴正武 «不锈钢低周疲劳断口的扫描电镜观察», 西南反应堆工程研究设计院四所, 内部资料 (84科~12) .

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



书号: 15175-00292

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre