

THE DESIGN AND CALCULATION OF CONTROLLED DEMOLITION OF A TUBULAR WATER TOWER WITH REINFORCED CONCRETE

Tao Jinan Qin Mingwu

Abstract

This paper presents the design and calculations of controlled demolition of a tubular high-rise structure of reinforced concrete. The method is to open some windows on the wall and then to demolish it totally. The calculating method and its formulars may be useful for demolition of the tubular high-rise thin wall structures of reinforced concrete, for example, the water tower, chimney etc.

动态光测法研究冲击作用下 的应力分布问题

郭靖华 王祥林 孙晓明

本文介绍了微闪光系统,以及在动光弹、动态云纹和白光散斑等光学测量中的应用,得出冲击载荷作用下带孔长方板的应力分布。

一、前言

在防护工程、工程爆破、地震工程以及断裂力学各领域中,当结构承受冲击作用时,结构各点的应力变化是时间的函数,一般在 μs 到 ns 量级,利用动态光测法把这样高速变化的信息记录下来,进行分析研究。随着科学技术的发展,现代光学技术与实验力学结合推动了光测力学的发展。从早期的Frocht狭缝法,发展到闪频法,多火花法以及近代的多脉冲激光光弹法等。各种方法的共同特点是通过高速摄影技术把应力波变化过程记录下来,提供分析研究。

为了探索抗震、抗爆破结构的试验途径,我们研制了微闪光系统,并在动光弹、动云纹及白光散斑等光学测量中进行了应用,得出冲击载荷作用下带孔长方板的应力分布。该系统设备简单,使用方便,重复性好。

• 本文内容提要在全国第四届实验应力分析会议宣读过。
1986年8月28日收到原稿,1987年1月3日收到修改稿。

二、关于微闪光系统

动光测试的记录方法，都是把应力波在模型内传播的时间变化过程，转换为各不同时刻模型的光学条纹图的变化。通过微闪光系统调节延迟时间来控制曝光时间。获得动载荷作用下不同时刻的系列条纹图。由双

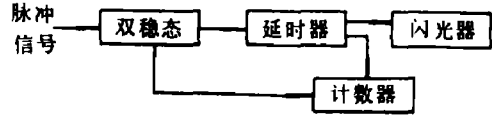


图1 微闪光系统示意图

稳态触发器、延时器、闪光光源和计数器四个部件组成系统，其工作原理如图1所示。

1. 双稳态触发器 为了只取第一个有意的脉冲信号，利用双稳态削去触发中的高频信号。双稳态触发器的电路如图2所示。

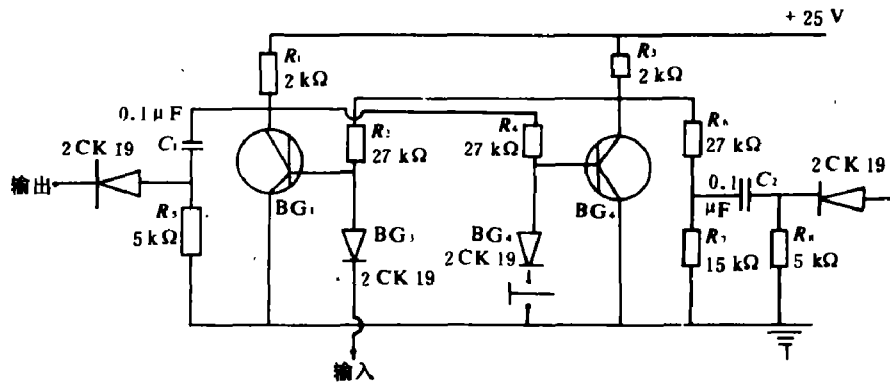


图2 双稳态触发电路

图2电路无外加信号时，晶体管BG1工作，BG2截止。当落锤刚一接触模型时电路反转，此时BG2导通，发出一个脉冲信号，分两路同时输出给延时器和计时器使其工作。

2. 延时器电路 由电子管组成的阴极耦合单稳态触发器，如图3所示。

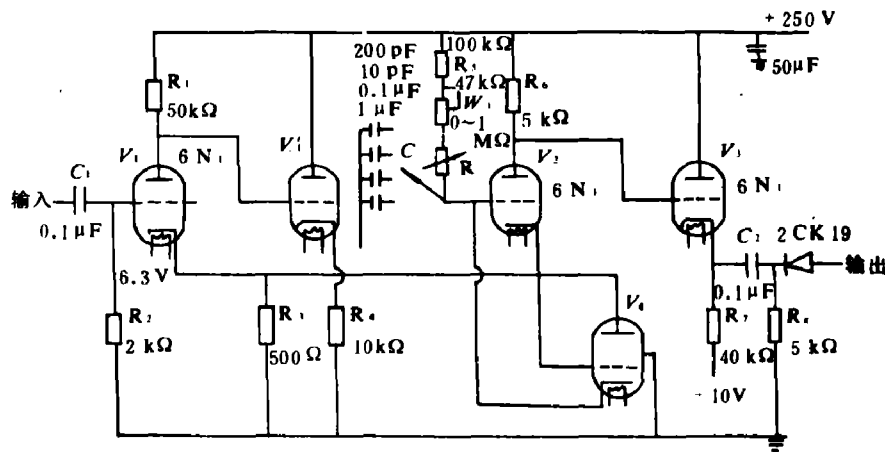


图3 延时电路

由双稳态触发器输入信号,经微分、削波后形成正脉冲输入到 V_1 管的栅极,使 V_1 饱和产生一个负方波再由 V_1 管的阴极输出,经可调电容 C 耦合负脉冲加到 V_2 管的栅极上,使 V_2 截止,形成正方波输出。而 V_2 的栅极是处于低电位,但 V_2 的栅极电压随着 RC 时间常数成指数升高。根据开关定理

$$I_R = \frac{E}{R} e^{-t/(RC)} \quad (1)$$

$$V_R = I_R R = E e^{-t/(RC)} \quad (2)$$

$$V_C = E - V_R = E(1 - e^{-t/(RC)}) \quad (3)$$

随着栅极电位升高, V_2 由截止变为导通,正方波经 V_2 组成的阴极输出器输出,阴极电阻 R 加一个负 10 伏电压提高脉冲幅度,再微分削波,方波前沿形成的正脉冲被阻断,后沿即延迟末了的信号去触发闪光灯闪光。此时计数器指示的时间就是加载后应力波在模型中传播的时间。计数器为 DIP-6 系列产品。延时器延迟时间从几微秒到 250 毫秒范围内连续可调。

3. 闪光光源 采用 FG-902 火花闪光灯作闪光源。电路如图 4 所示。用一个交直流变

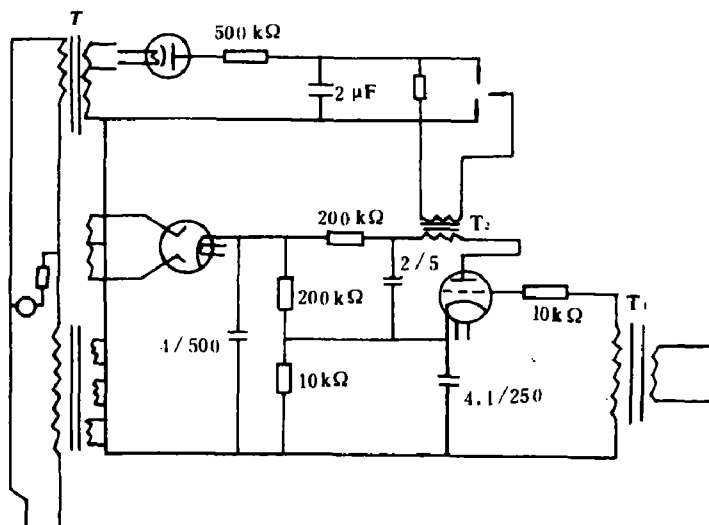


图 4 火花闪光灯电路

压器,给电容器充电到 6—12 kV 高压。两主极间加一辅助极,诱导主极放电,产生极强的电火花。其闪光功率为 90 V A,闪光脉冲半幅脉宽为 1.5 μs,光强为 1.5×10^6 HK。试验时不断调节延时器,预置约定时间重复试验过程,可获得落锤冲击后模型内应力波传播不同时刻的条纹图。

三、微闪光源系统在动光测中的应用

1. 动光弹法

光弹性是一种模型试验方法,其基本原理是利用受力时可产生暂时双折射现象的材料做模型,在偏振光场中测定表面和内部的各点的应力。光弹试验光路图 5 所示。模型尺寸如图 6 所示。材料为聚氨酯橡胶,弹性模量 $E = 80 \sim 92$,材料条纹值 $f_d = 0.222 \sim 0.262$,泊松比 $\mu =$

0.45。图7为轴对称模型受冲击载荷作用后,每幅时间间隔为 200 μs 拍摄的一组光弹条纹图。

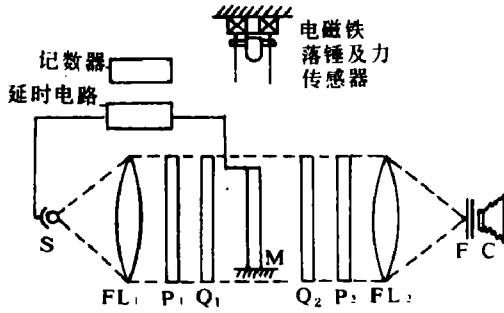


图5 动光弹试验光路

S: FG-902 火花闪光器; FL₁、FL₂: 视场透镜
P₁、P₂: 起、检偏振镜; Q₁、Q₂: 1/4波片;
M: 模型; F: 滤色镜; C: 相机

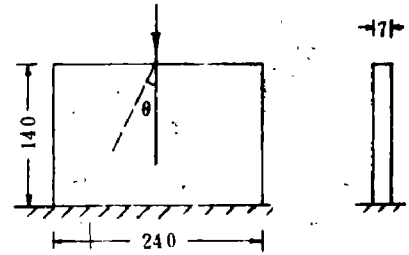


图6 试验模型

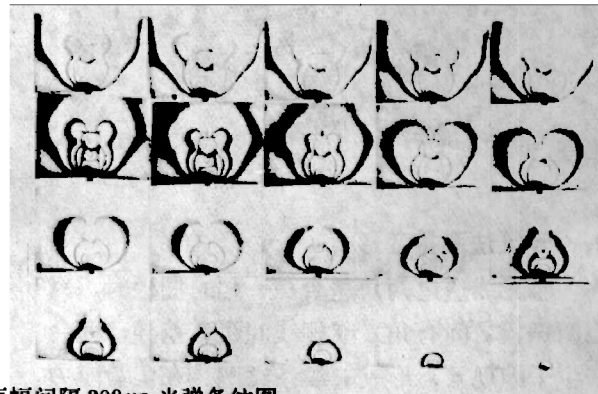
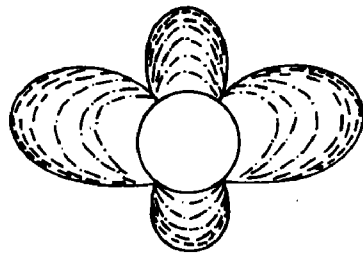


图7 每幅间隔 200 μs 光弹条纹图

在平面模型的自由边界上,任一点的法向应力为零,而切向应力可直接求得,即

$$\sigma_1 \text{ (或 } \sigma_2) = \frac{2nf_d}{t} \quad (4)$$

式中 n 为等差条纹级数, t 为模型厚度。

动光弹在二维问题中可以准确地确定边界的动态应力分布,分离模型内部各点的主应力,在重复加载的试验中拍摄等倾线,并利用变形协调方程导出有限差分方程求解主应力。也可以采用云纹法辅助求解模型内各点的主应力。在线弹性平面应力情况下,主应力的表达式为

$$\sigma_1 = \frac{E(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}{2(1-\mu)} + \frac{nf_d}{t} \quad (5)$$

$$\sigma_2 = \frac{E(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}{2(1-\mu)} - \frac{nf_d}{t} \quad (6)$$

$$\cos 2\theta_x = \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (7)$$

式中 $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \frac{1+\mu}{E}(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{2(1+\mu)nf_d}{Et}$, θ_x 为 σ_1 与 x 轴的夹角, ε_x 、 ε_y 为 x 和 y 方向的应变分量。

由动光弹试验求出条纹级数 n ，云纹法求出 ϵ_x 、 ϵ_y ，代入 (5)、(6) 式即可求出主应力。图 8 为圆孔附近的动态条纹图及动应力分布图。

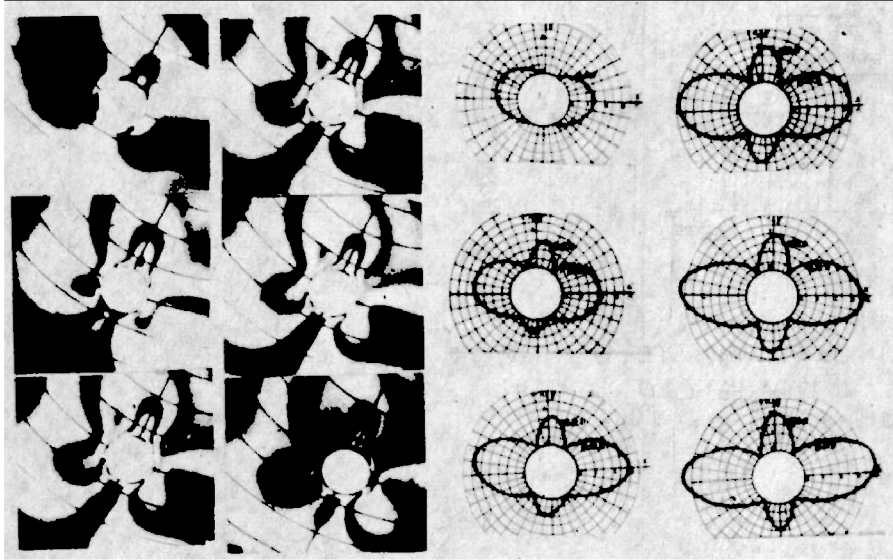


图 8 孔周边光弹条纹及应力分布

2. 云纹法测量变形

当光线透过两块迭合在一起的栅板时，只要两栅板之间有角差或栅线间距有差异，就会产生干涉现象，形成云纹条纹图。在实验应力分析中，把一块栅板复制在被测试件的表面，当试件受力变形时试件栅也随之变形。另一块不变形的标准栅与试件栅迭合，就得到云纹干涉条纹。试件变形与干涉条纹有确定的几何关系。平面云纹条纹与试件的变形关系图 9 所示。图中 p 为变形前栅线间距， p' 为变形后栅距， θ 为变形后试件栅与标准栅的夹角， S 为云纹间距， ϕ 为参考栅与云纹间的夹角。

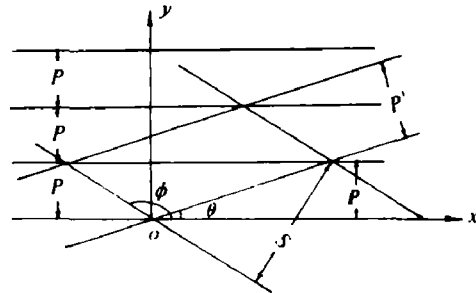


图 9 云纹与变形关系

$$\phi = \text{tg}^{-1} \frac{p \sin \theta}{p \cos \theta - 1} \tag{8}$$

$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{\sin \phi}{S/p + \cos \phi} \tag{9}$$

$$S = \frac{pp'}{\sqrt{p' \sin^2 \theta + (p \cos \theta - p')^2}} \tag{10}$$

$$p' = \frac{S}{\sqrt{1 + (S/p)^2 + 2(S/p) \cos \phi}} \tag{11}$$

当试件受均匀拉伸或压缩时，栅线平移，此时 $\theta = 0$ 。

$$S = \frac{pp'}{p-p'} \quad (12)$$

应变 $|e| = \frac{p-p'}{p} \quad (13)$

云纹试验光路如图10所示,图中S为光源, L_1 、 L_2 为透镜, C为相机, FW、EM为落锤与电磁铁, M为模型 EC为计数器, DTS为延时电路, G为标准栅(试验中所用栅板的栅线为每mm20线的正交栅,复制在试件的表面,标准栅为每mm20线的单向栅。只要把标准栅从

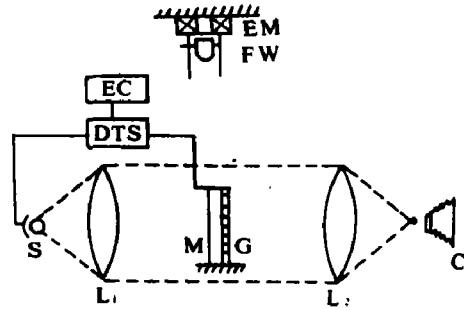


图10 云纹法试验光路

零度转动90度即可得到 x 、 y 方向的云纹图)。图11为冲击载荷作用后, 每幅间隔为 $200 \mu s$, x 、 y 方向的云纹条纹。

云纹法与动光弹配合求出带孔长方板的动应力分布。孔附近应力集中系数 a_d 定义为

$$a_d = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} \quad (14)$$

式中 σ_{max} 为局部最大应力值, σ_0 为没有孔洞的应力值。由图11可以绘制出 u 和 v 两个位移分量, 分别随 x 和 y 坐标位置变化的曲线, 并由图形微分法求出

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \epsilon_x, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \epsilon_y, \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \gamma_{xy} \quad (15)$$

由公式(14)、(15) 求出孔洞对称点各时刻的应力和孔洞动应力集中系数, 计算结果如下表所示。表中 β 为 σ_1 与 x 坐标轴夹角。

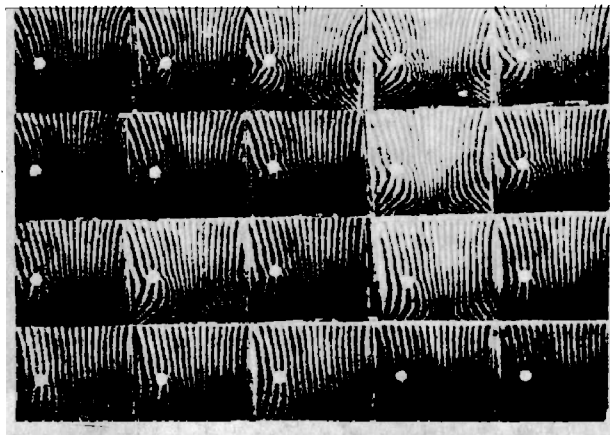
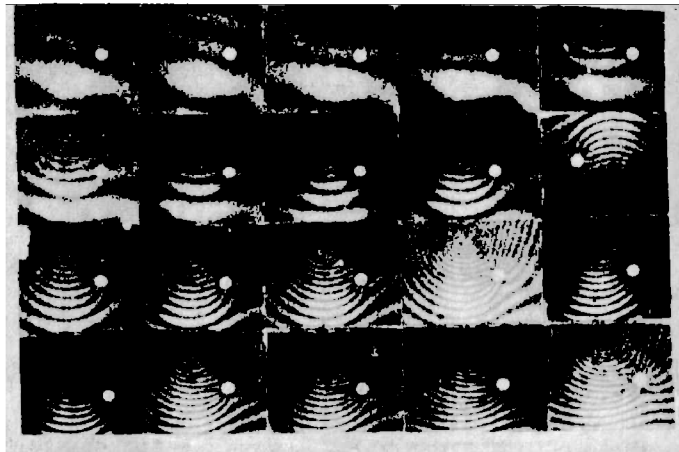


图11 每幅间隔 $200 \mu s$ 云纹条纹图

冲击后时间 (μs)	1251	1499	1745	2004	2251	2505
$\epsilon_x \times 10^{-6}$	-200	200	1200	2000	2650	3150
$\epsilon_y \times 10^{-6}$	-1650	-2650	-3350	-4000	4400	-4800
σ_1 (kg/cm^2)	0.032	0.066	0.183	0.246	0.305	0.343
σ_2 (kg/cm^2)	-0.243	-0.334	-0.417	-0.464	-0.496	0.523

β (度)	38.5	36.4	35.9	34.8	34.3	33.8
σ_{max} (kg/cm ²)	-0.578	-0.932	-1.288	-1.510	-1.688	-1.865
σ_0 (kg/cm ²)	-0.234	-0.334	-0.417	-0.464	-0.495	-0.523
a_d	2.47	2.79	3.09	3.26	3.41	3.57

3. 白光散斑法测量动态变形

在物体表面喷涂一层银粉，形成斑粒。一旦物体发生变形，散斑图将随之运动。如果在同一张底片上，对物体变形前后两种状态作两次曝光，底片上记录了物体变形前后两个散斑图的迭加。利用双孔干涉原理，可以确定加载后物体上各点的位移大小和方向。白光散斑法的光路布置如图12。

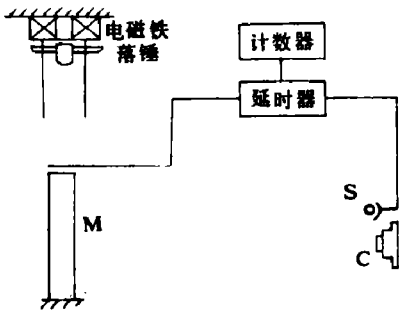


图12 测量瞬态位移的示意图

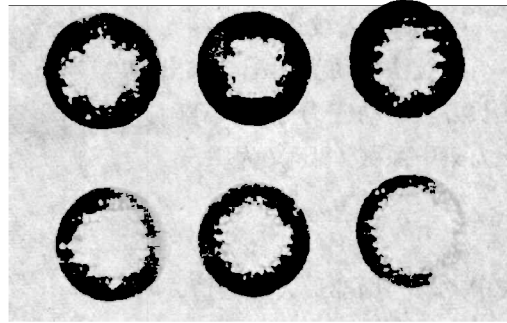


图13 逐点分析杨氏干涉条纹图

白光散斑法进行应力分析一般有两个过程，一是形成双曝光散斑图；另一个过程对散斑图进行信息处理。图13为双孔衍射原理获得的杨氏干涉条纹。当用点光源或氦氖激光照射散斑图的小面积上，位移 $|d|$ 的平均量由下式求出

$$|d| = \frac{\lambda L}{M \Delta} \quad (16)$$

式中 λ 为激光波长， L 为散斑图到屏幕的距离， M 为放大率， Δ 为杨氏条纹的间距，

位移方向与杨氏条纹垂直。图14为利用光学富氏变换方法，对散斑图全场信息处理，得到六个不同时刻位移等值线。等位移线满足下列方程

$$u = \frac{n \lambda L}{M \bar{r}_x} \quad v = \frac{n \lambda L}{M \bar{r}_y} \quad (\text{亮条纹}) \quad (17)$$

$$u = \frac{(n + (1/2)) \lambda L}{M \bar{r}_x} \quad v = \frac{(n + (1/2)) \lambda L}{M \bar{r}_y} \quad (\text{暗条纹}) \quad (18)$$

式中： $n=0, 1, 2, \dots$ ， u, v 分别为 x 和 y 方向的位移分量， \bar{r}_x, \bar{r}_y 是富氏变换谱平面上沿 x 和 y 方向，由原点到滤波孔中心的距离。



图14 全场等位移线

图15是模型受冲击载荷作用后几个特定时刻, 模型 $\theta = 0$ 截面上的位移分布。

结束语

我们采用重复性能较好的微闪光系统, 并结合云纹法, 光弹法及白光散斑法求解模型全场变形及动应力集中问题, 实验证明这种方法是比较成功的。

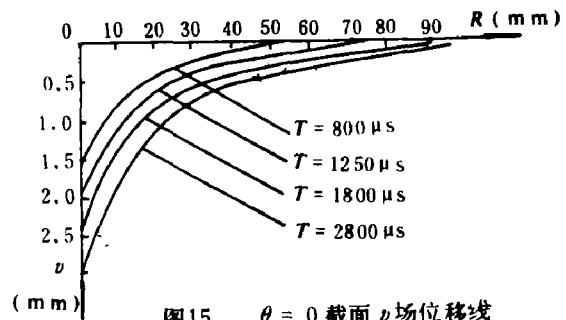


图15 $\theta = 0$ 截面 v 场位移线

参 考 文 献

- [1] Frocht, M. M., Flynn, P. D., *J. A. M.* 23(4) (1956).
- [2] Dally, J. W., *Exp. Mech.* 20(1980), 409.
- [3] Chaing, P. F., *Exp. Mech.* 19(1979).
- [4] 贾有权, 动光弹基本概念的探讨, 天津大学实验力学研究室研究报告集 (1984)
- [5] 伍小伍, 何世平, 李志超《物理学报》20 (1980)
- [6] 王祥林, 郭靖华《动光弹材料—聚氨脂橡胶》中国科学院工程力学研究所资料 (1979)
- [7] 郭靖华, 王祥林, 用云纹法测量瞬态变形, 全国第三届实验应力分析会议论文集 (1982) 成都。

DYNAMIC PHOTOGRAPHY FOR DETERMINING STRESS DISTRIBUTION UNDER IMPACT LOADING

Guo Jinghua wang Xianglin Sun Xiaomin

Abstract

A flash-glow System and its applications to the dynamic photoelastic, the dynamic moire, and the white-light speckle measurements are described in this paper. The results obtained on dynamic stress distribution patterns around a hole in rectangle plate under impact loading are also given.