

万吨水压机活动横梁三维光弹性试验研究

陆骥良 陈梦成 胡宗陵

(建筑工程系)

摘 要

本文采用三维光弹性试验方法对新设计制造的万吨水压机活动横梁的工作应力进行了分析与研究。试验结果表明最大应力发生在纵向筋板上和液压活塞柱的缸套处。这一结论与用有限元计算出的结果相一致,且两者的应力值误差在10%范围内。因此,我们认为本试验结果是可信的,为活动横梁设计的可靠性提供了试验依据。
关键词:水压机活动横梁;三维光弹性;应力分析

0 引言

上海重型机器厂万吨水压机问世于六十年代初,至今已使用三十年。为适应生产发展需要和提高机器的工作效率,有必要对该设备的主要部件——活动横梁,重新进行结构设计和制造。对新制造出的活动横梁,为验证其设计的合理性和工作的可靠性而进行实验应力分析是完全必要的。我们采用具有全场直观性的三维光弹性试验方法,试验结果与上海重型机器厂CAD所、华东交通大学力学研究室分别用有限元法进行的理论计算的结果是一致的,因此,试验是成功的,结果是满意的。本文仅就试验方面的成果作一介绍。

1 模型制作

光弹性模型的制作,是进行光弹性应力分析的基础。

由于活动横梁是采用整体浇注箱形部件,其内部结构复杂,不仅有26个大小形状不同的内孔,且形状较复杂,难以加工。因此,模型的制作采用腊芯型与铁皮框相结合的方法,以避免内孔的加工。

腊芯的制作是将腊料直接浇固在尼龙棒上,外形和尺寸则按要求精工修正。为使腊料牢固粘挂在尼龙棒上,事先在棒上车有螺旋槽和钻些小孔,即便是在浇注环氧树脂混合液时,腊芯也不浮起。

本文于1992年6月23日收到

尼龙棒底部车有螺纹,以便可以固定在一块特制的钢板上,保证腊芯有准确的定位。这种制作型模方法,具有操作简便,模型尺寸准确之特点,能大大地缩短模型制作周期,

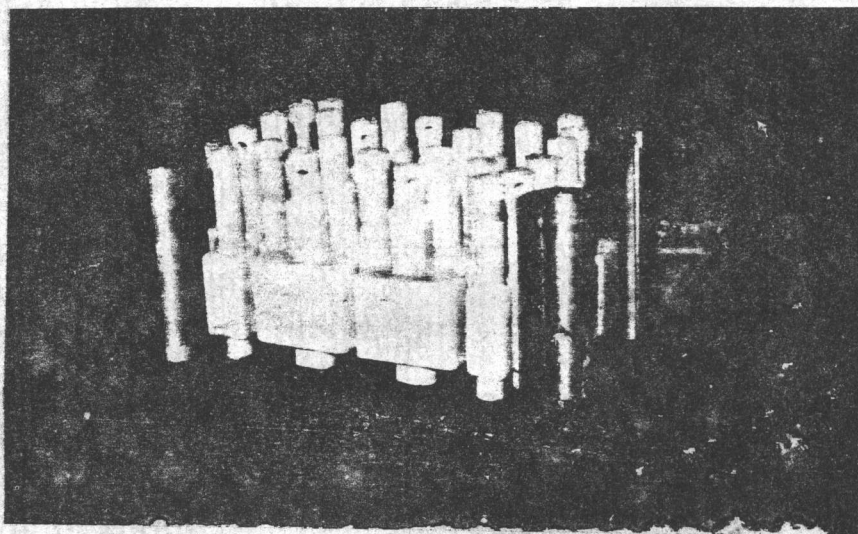


图1 型模

型模见图1。

腊芯材料配方:石蜡:硬酯酸=1:1

在组装好的型模周围,用一铁皮框围住,并在铁皮、尼龙棒与钢板接触处注满腊,以防环氧树脂泄漏。在浇注环氧树脂混合液前,对型模、铁皮框、钢板内壁涂上硅橡胶脱模剂。由于模型尺寸较大(约为600mm×250mm×380mm),因此,在浇注时,用两个特制漏斗,对称的从两侧中间位置同时由底部逐渐浇注环氧树脂混合液,使整个模型内气泡全部排出,也避免了云雾产生。

环氧树脂混合液的配方:618[#]环氧树脂:固化剂=100:35

将浇好后的模型放入恒温干燥箱内,进行两次固化。第一次固化温度应控制在40℃。当环氧树脂成胶凝状后,立即脱模。第二次固化时,为防止胶凝状模型在自重力作用下变形,应将整个模型浸没在甘油内,第二次固化温度控制曲线见图2。经二次固化后的模型见图3。

最后,经机械加工后的光弹性模型,见图4。

2 试验研究

2.1 模型应力冻结

1、模型加载值 进行模型应力冻结,需确定模型加载值。考虑到模型内要产生足够的条纹及其允许的最大应变,预估模拟载荷相似常数 K_p ,按下式计算:

$$K_p = K_e \times \frac{(\sigma_1 - \sigma) \cdot H \cdot K_I^2}{nF_e}$$

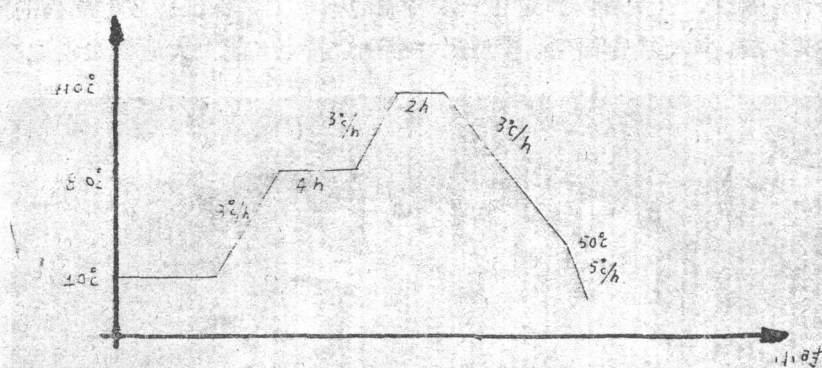


图2 二次固化温度控制曲线

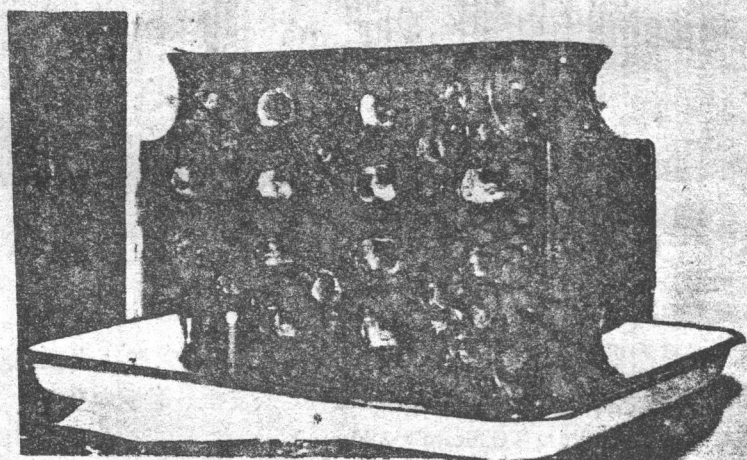


图3 固化后模型

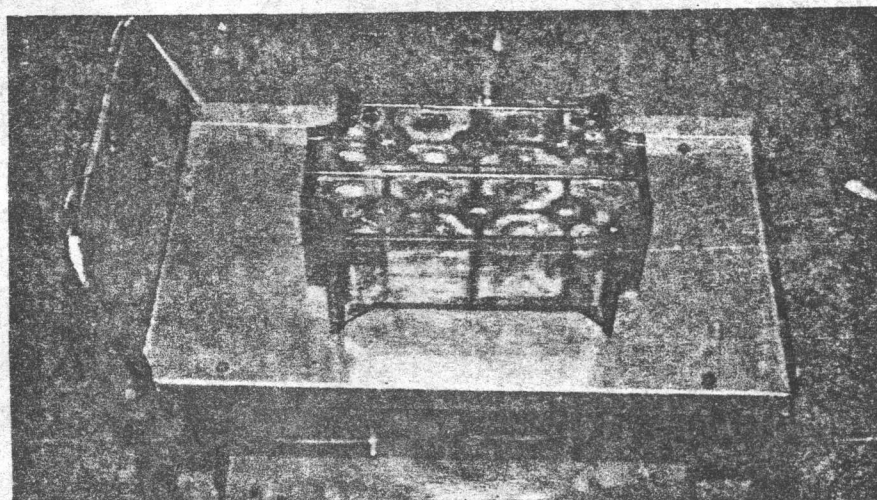


图4 加工后模型

式中：

K_ϵ ——应变相似数

$\sigma_1 - \sigma$ ——预估最大主应力差

K_l ——模型几何尺寸相似数。

n ——预估最大条纹级数

F_σ ——应力条纹常数

由此可确定施加在模型载荷值为 1500N。

2、模型加载方式 由于模型承受偏心载荷，为保证模型在应力冻结过程中平稳，采用倒立式加载，即工件在模型上方，六个液压活塞柱搁置在下方，工件与横梁间放置用环氧树脂制成的工作台。载荷偏心距 $e=1.25\text{cm}$ （相当于实际工况偏心距 $e=25\text{cm}$ ），见图 5。

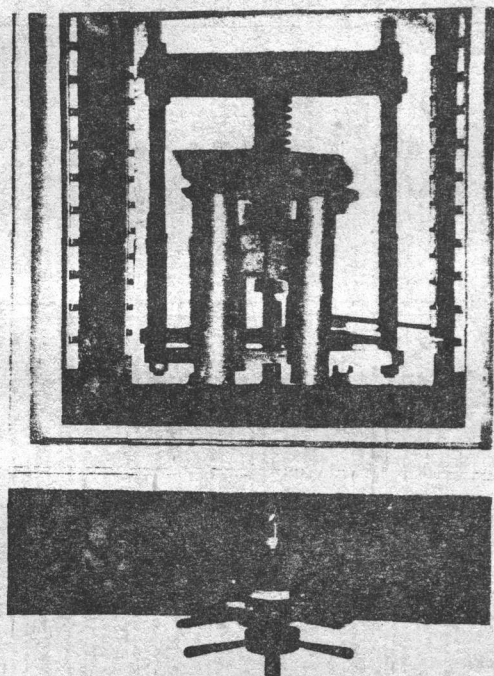


图 5 加载装置

3、应力冻结温度控制曲线，见图 6。

2. 2 模型切片

由于模型结构对称，偏心载荷作用线又通过模型的纵向对称筋面，因此将模型从纵、横对称的两筋面切开，取偏载的那个四分之一框体，再沿高度连续切片。取下盖板一片（简称 1# 切片），中间三片（2#、3#、4# 切片），上盖板一片（5# 切片）。为比较偏压与非偏压两种情况应力差异，另取一片非偏压部分的下盖板（6# 切片），见图 7。

2. 3 观测与计算

1、坐标系选择 采用右旋、机动坐标系，Y 轴沿边界切线方向。

2、观测方法 在试验中，采用一次正射、两次斜射的观测方法，斜射角 $\varphi_1 = -\varphi_2 = 20^\circ$ 。

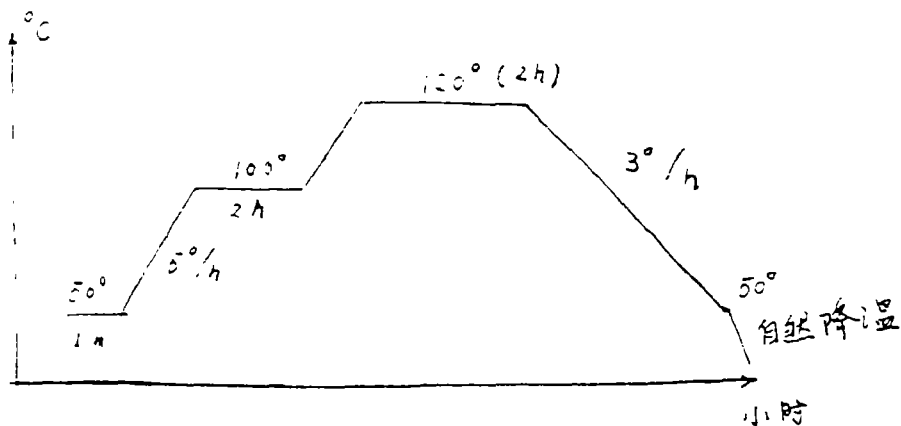


图6 应力冻结温度控制曲线

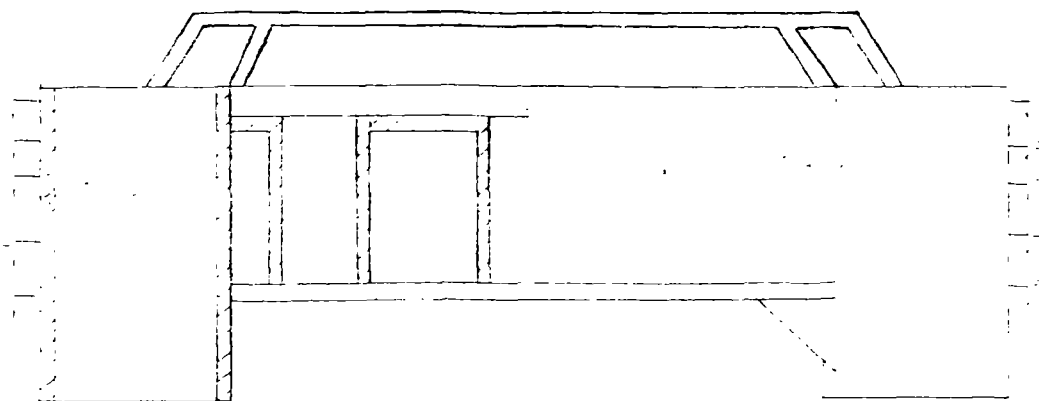


图7 切片方案

3、计算公式 根据要求和实际结构受力分布情况,我们只对边界应力进行计算,其公式为:

$$\sigma_{xm} = P \quad (\text{在此 } P = 0)$$

$$\sigma_{ym} = \sigma_{xm} + \frac{NF_s}{H}$$

$$\sigma_{xm} = \sigma_{xm} + \frac{F_s}{H} \left[\frac{(N_{z_1} + N_{z_2}) - 2N_z \cos^2 \varphi}{1 - \cos 2\varphi} \right]$$

$$\tau_{ym} = \frac{F_s}{H} \left[\frac{N_{z_2} - N_{z_1}}{4 \sin \varphi} \right]$$

式中: σ_m ——模型应力

N_z ——沿 Z 轴正射时等差线级数

N_{z_1}, N_{z_2} ——沿 Z_1, Z_2 轴斜射时的等差线级数。

φ ——斜射角

模型应力 σ_m 计算出后,实物工作应力 σ_{ip} ,则可由下式得到

$$\sigma_{ip} = \beta \sigma_m$$

这里 $\beta = \frac{K_p}{K_f}$, 取值 $\beta = 200$ 。

2. 4 试验结果与分析

1. 此次试验提供的技术资料与结果有:

(1) 1"~6"切片等差线图(正射)。见图 8。

(2) 与 1"~6"切片相应的横梁上边界应力分布图。见图 9~图 14。

2. 应力分布从试验知

$$\sigma_{xx} = \tau_{xx} = \tau_{xy} = 0$$

σ_{xx} :沿活动横梁高度方向应力值均较小,大部分在 8MPa 左右;

τ_{xx} :以负值为主,应力值均很小,绝大部分不超过 1MPa;

σ_{yy} :沿边界切向应力,见图 9~14。

3 结果讨论

1. 各方孔倒角处均相应发生程度不同的应力集中,且都为压应力。发生较大压应力的倒角处均靠近 2"、4"筋纵向一侧,倒角处的最大压应力为 64.8MPa。

2. 从整体结构而言,最大应力常发生在加载的液压柱套筒上,其次是 4"筋上,这些均在偏压部分。最大拉应力(111MPa)和最大压应力(103.6MPa)均发生在 4"筋和加载液压柱套筒连接处 A 点。

A 点处应力是由拉应力沿梁高度方向过渡到压应力再到拉应力,其变化曲线见图 15。

3. 本试验结果得出的应力分布规律与有限元计算得到应力分布规律基本相符。但与华东交大力学研究室用有限元算出结果比较偏大些,尤其是在上、下盖板圆孔处,这主要是在计算时没有考虑上、下盖板上的部分圆孔。然而我们与上海重型机器厂 CAD 所用有限元计算结果则较为接近。多数应力差值在 5MPa~10MPa 之内,相对误差未超过 10%,这主要是由于采用相近似力学模型。考虑到有限元和光弹性试验本身均存在误差,故我们认为,本试验结果是可信的。

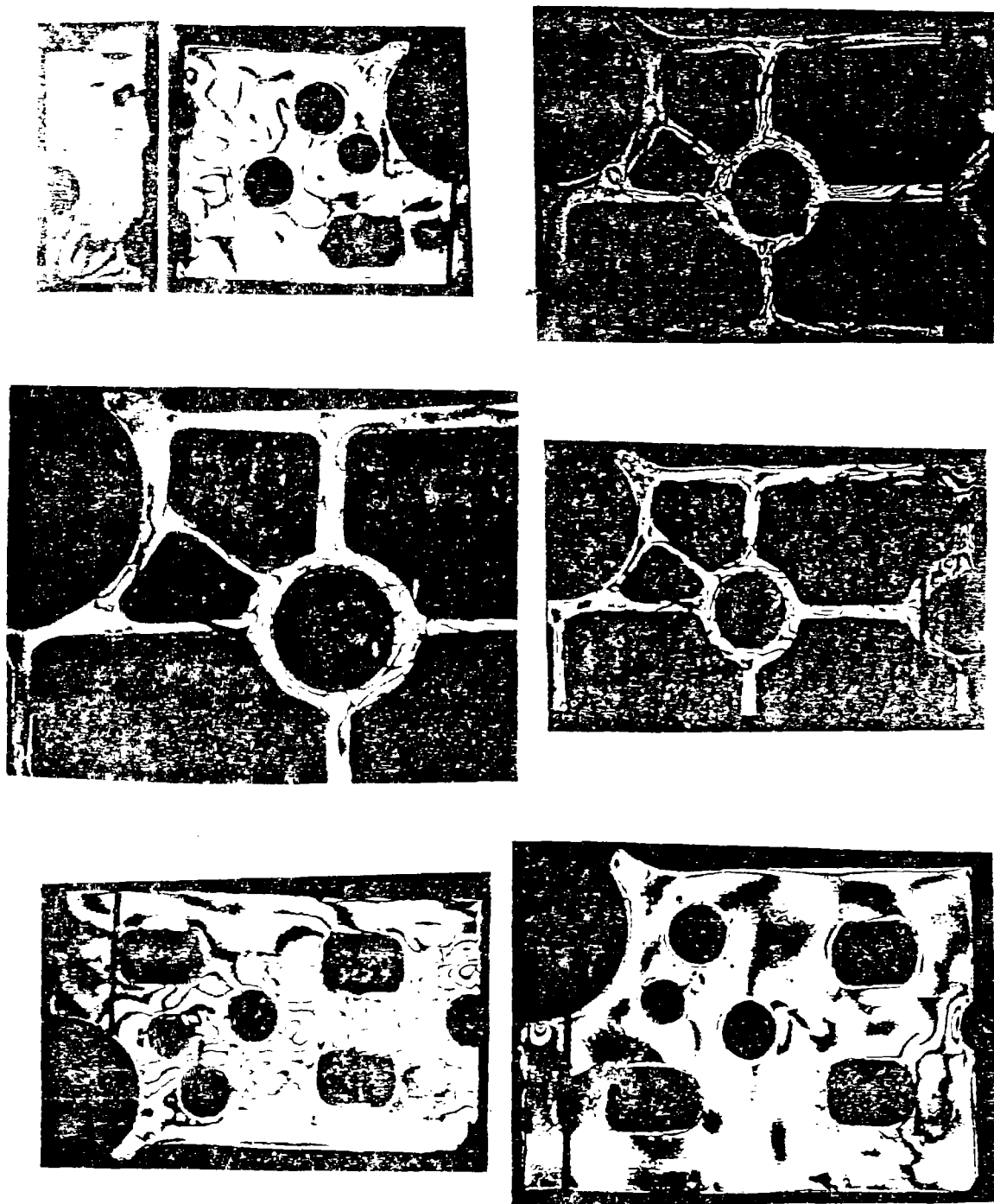
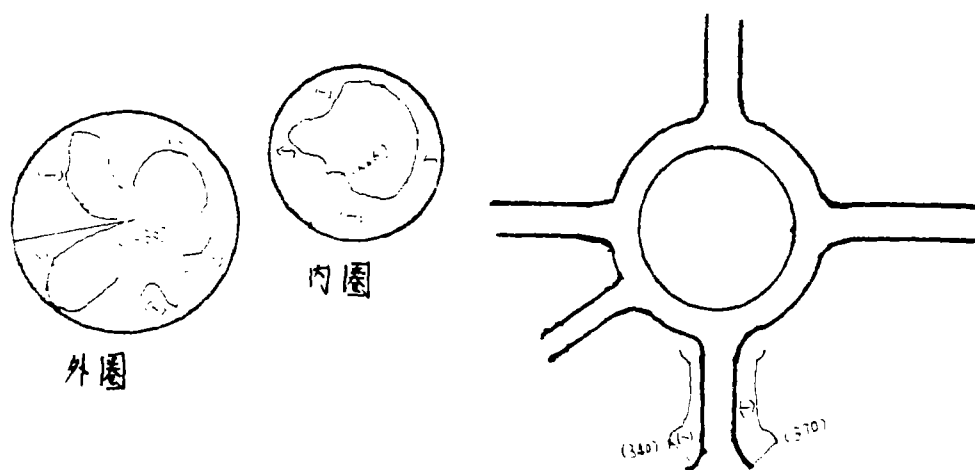
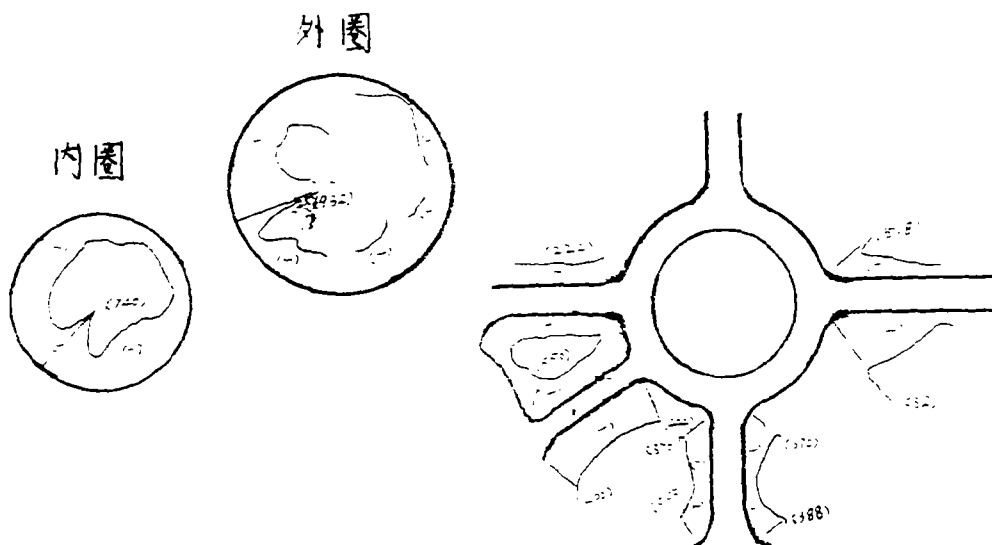
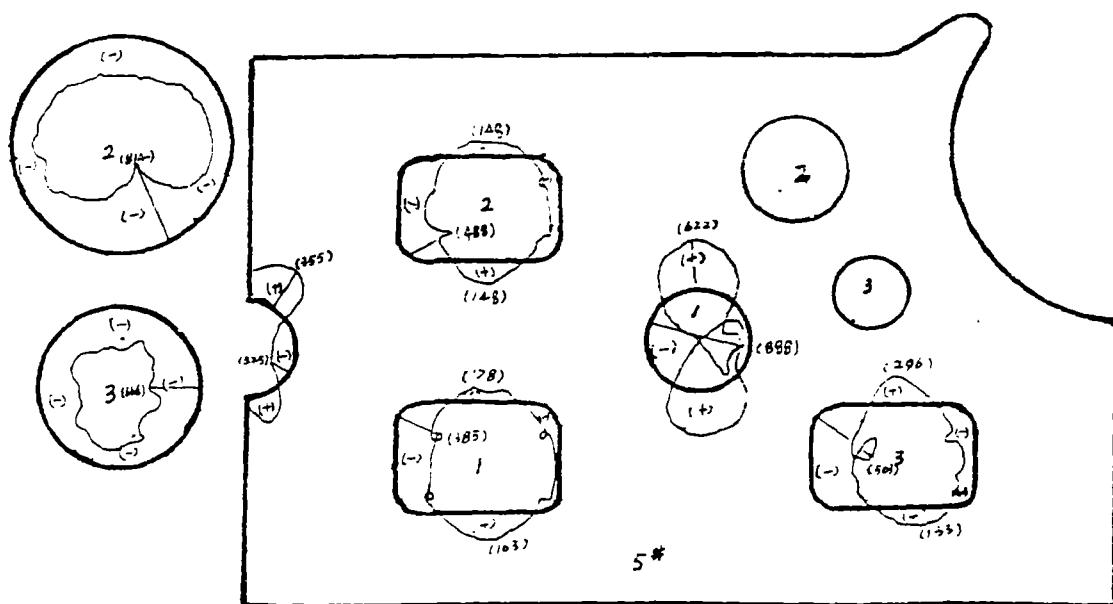
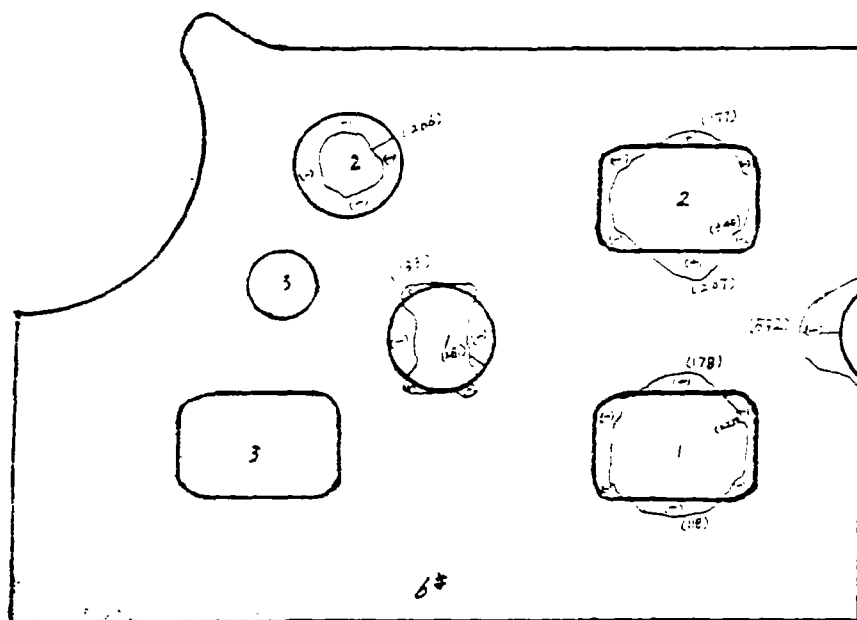


图8 1#~6#切片等差线

图 11 σ_{rr} 分布曲线 (3rd 片)图 12 σ_{rr} 分布曲线 (4th 片)

图 13 σ_{xx} 分布曲线 (5# 片)图 14 σ_{xx} 分布曲线 (6# 切片)

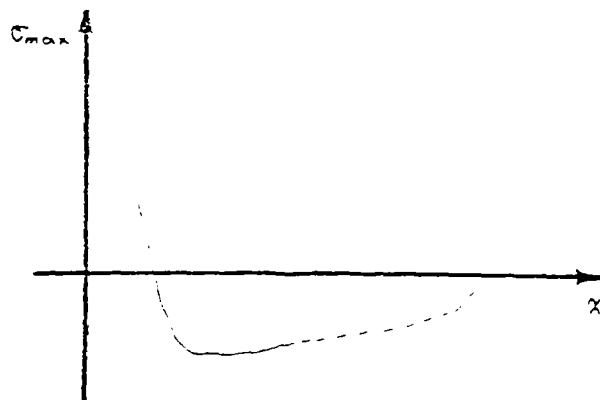


图 15 A 点应力沿梁高度变化曲线

致 谢

本试验在完成过程中得到了华东交通大学左美森副教授、王小明工程师，南昌航空学院王凤翔教授、李禾工程师、上海重型机器厂曹永良工程师的协助和指导，笔者一并感谢。参加本试验工作还有袁玉等工程师。

参 考 文 献

- [1] 光弹组主编. 光弹性原理及测试技术. 北京: 科学出版社, 1980
- [2] 赵清澄主编. 光测力学. 上海: 上海科学技术出版社, 1982
- [3] A. 柯斯克, G. 罗伯逊. 光弹性应力分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1979
- [4] 第四届实验应力分析学术会议论文集. 武汉, 1984
- [5] 第五届全国实验力学会会议论文集. 南京, 1987

An Experimental Study of 3—D Photoelasticity on the Moving Transbeam of Ten—thousand—ton Water—pressure Machine

Lu Zhiliang Chen Mengcheng Hu Zonglin

ABSTRACT

The stress fields of moving transbeam of newly designed and made ten—thousand—ton water—pressure machine were analysed and investigated with the three—dimensional photoelasticity method in this paper. The results showed maximum stress often occurred on the longitudinal stiffened plate and the hydraulically loaded sleeve barrel, which was in accordance with that of finite element method. The errors between them were within 10 percent. Therefore, we thought the experimental results were trustworthy and provided the testing basis for the probability of designing moving transbeam.

Key words: moving transbeam of water—pressure machine;
3—D photoelasticity; stress analysis .