

全国实验应力分析
第一次报告会文献汇编

中国科学院机械研究所編

科学出版社

全国实验应力分析 第一次报告会文献汇编

中国科学院机械研究所编

科学出版社

1959

內 容 簡 介

本书汇编了 1958 年 10 月在长春中国科学院机械研究所举行的第一次实验应力分析会议的主要报告。内容包括:会议决议和简介,苏联专家的报告等有关光弹性、电阻应变仪、电模拟及涂漆法的专题报告和經驗介绍。

本书可供机械强度方面的科学研究工作者、工程技术人员和高等学校教师参考之用。

全国实验应力分析 第一次报告会文献汇编

編 者 中国科学院机械研究所
出版者 科 学 出 版 社
北京朝阳門大街 117 号
北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号
印刷者 中 国 科 学 院 印 刷 厂
总經售 新 华 书 店

1959 年 12 月第 一 版 书号:2025 字数:218,000
1959 年 12 月第一次印刷 开本:787×1092 1/16
(京) 0001—3,700 印张:9 1/2

定价: 1.30 元

目 录

全国实验应力分析第一次报告会简介.....	(1)
全国实验应力分析第一次报告会决议.....	(3)
用应变模型研究机械零件之应力.....	(5)
关于延伸网法和立体几何法在水工研究所试验室中的应用.....	(18)
电测应力技术的现代情况.....	(34)
光测法.....	(48)
HS-1 光弹性塑料	(70)
介绍四种光弹性塑料及光弹性试验中的几个问题.....	(78)
水轮机实物应力测定.....	(85)
仿苏 ВД 3-M 动态应变仪结构及调整	(95)
电模拟法确定平面问题的主应力和.....	(107)
电模拟法解柱体的扭转问题.....	(117)
研究机械零件应力的脆性漆层.....	(127)

全国实验应力分析第一次报告会简介

1958年10月27日至11月1日在中国科学院机械研究所举行了第一次实验应力分析报告会,到会的有科学研究机关、高等学校、工厂企业等31个单位,79人。苏联专家A. K. 普莱斯、Л. B. 克拉沙维斯基、M. Л. 戴契克参加了会议并作了报告。

报告会的进行采取了大会报告和分组讨论的形式,大会上宣读的文章有:中国科学院机械研究所提出的“用应变模型研究机械零件之应力”,“电测应力技术的现代情况”,“光测法”,“HS-1 光弹性塑料”,“电模拟法”,“某水轮机实物应力测定”,“研究机械零件应力的脆性漆层”。水利科学研究院提出了“结构应力分析情况介绍”,“四种光弹性塑料的制造”,“关于延伸网法和立体几何法在水工研究所试验室中的应用”,“结构应力试验情况”。天津大学提出“应用电阻丝应变仪测定水压机的一些问题”。清华大学作了“用光弹性研究三维应力介绍”。小组按光测与电测分别进行,在小组会上各单位介绍了不少实际工作中的经验,三位专家不仅对光弹性方法、电测法和水工结构中的具体问题作了解答,并阐述了实验技术的发展方向。

光弹性法 目前已进行的工作主要为平面模型的试验,但对于解决三维问题,“冻结法”已比较成功地应用,然而其中尚有一些缺点须要克服。散光法尚未成熟,可以进一步探讨。一种新的方便的方法——“夹片法”已经开始用来解决实际问题的,这种方法具有很大的优点。在国外动力载荷、光塑性和在实物上应用光弹性法等方面已进行大量的工作,但我国尚未开始,有待今后的努力。

电测技术 会上对应变仪制造和使用的技术十分注意,大家对苏联科学院机械所的VЛ-3M 动态应变仪(这仪器中国科学院机械所已仿制成功)很感兴趣,认为能避免强电磁场的影响,测量精度较高等都是这仪器最大特点。会上机械所作了这仪器的介绍和一些制造和使用经验。也作了用VЛ-3M 测量某水轮机组的零件强度的详细报告。此外,天津大学等单位进行了2000吨水压机的应力测量,共贴了100多应变片在十小时左右速贴和测量完毕,可以说是一件较大工作。抚顺重型机器厂也把他们所进行的挖土机的转臂应力测量作了简介。会后了解到北京航空学院在北航一号上进行了相当多的实测工作,一机部工艺院也作了些模型试验,一机部铸造所也开始研究铸造应力与残余应力的测定方法。总之,应力测量的各方面模型和实物都已展开,并取得一些经验而我国在这方面技术发展也是很迅速的。

漆法 除了机械所的介绍以外,天津大学、北京航空学院、北京大学等单位在这方面也作了很多工作,在会议期间彼此也交流了工作经验。

除了会上报告以外,还分光弹性和电测两组进行座谈,更加广泛地交流了经验,达到了取长补短共同提高。

在会议进行期间,同志们参观了中国科学院机械研究所的有关实验室,并交流了实验技术。此外还参观了长春第一汽车厂及其中央试验室。大家一致感到我们目前在实验应

力分析的领域中,虽然已经进行了不少工作,取得了很大成绩,然而还远远不能满足国家的需要,为了使这门科学更迅速地发展和普及,更及时地交流经验,大会还通过了相应的决议。

苏联专家的辛勤劳动与热情的指导使会议开得更有效。会上三位专家分别作了报告,都是有关应力分析中的新技术和应用,给与会者很大启发和帮助。

全国实验应力分析第一次报告会决议

由于党对中国科学技术全面的极有成效的领导,实验应力分析工作,伴随着全国社会主义工农业生产的大跃进,已有了迅速的发展,在解决机械制造、水利建设和土木建筑等方面都起了一定的作用,并积累了许多宝贵的经验。苏联专家崇高的国际主义精神,对我国实验应力分析工作给了巨大的帮助。为了交流经验和更好的向苏联专家学习,于1958年10月27日—11月1日在长春中国科学院机械研究所举行了实验应力分析第一届报告会。苏联专家 A. K. 普莱斯、Л. B. 克拉沙维斯基、M. Л. 戴契克亲自参加并作了报告。到会各单位提出了密切结合生产的有关光测弹性、应变仪、脆性漆法、电模拟等报告12篇,并进行了讨论。参加会议的有研究机关、高等学校、厂矿企业等31单位79人。

为了进一步推进实验应力分析工作,大会一致通过:

成立“实验应力分析协会筹备会”,为正式成立实验应力分析协会做好准备工作。并负责下届大会的组织 and 出版简报以利交流。

会议号召全国实验应力分析科学工作者,在党的领导下,总路线的光辉照耀下,团结起来发动群众,密切结合生产,发扬共产主义大协作的精神,为祖国的社会主义、共产主义建设和使这门学科早日的全面推向世界先进水平而贡献一切力量。

筹备委员会由下列单位组成

中国科学院机械研究所(主要负责单位)。
中国科学院水利电力部水利科学研究院(主要负责单位)。
中国科学院土建所。
中国科学院力学所。
机械与工艺研究院。
长江水利科学研究院。
上海材料所。
北京铁道科学研究院。
天津大学。
清华大学。
西安交通大学。
哈尔滨工业大学。
北京航空学院。
长春汽车拖拉机学院。
南京工学院。
大连工学院。
东北工学院。

哈尔滨电机厂。
富拉尔基重型机械厂。
撫順重型机厂。
长春第一汽車厂。

大 会 秘 書 处

1958年11月1日

用应变模型研究机械零件之应力

技术科学副博士 A. K. 普莱斯

(苏联科学院机械研究所)

緒 言

依照強度問題的解題步驟，机械零件及机构部件应力和位移的實驗研究一般分两方面进行：

1. 在机器運轉条件下，求作用于零件及部件上的外力；
2. 根据零件和部件的形状、結構和尺寸的不同，按已知載荷的大小来研究应力和位移的問題。

用現有的材料力学和弹性力学上的一些方法，根据已知載荷的大小来计算应力和位移，对于形状比較复杂的机械零件和机构的部件來說，是不充分的。在确定零件及部件強度尺寸时（特別是在計算刚度时），或者在設計中比較結構方案时，需要知道应力的实际分布和刚度的大小。因此，目前無論是研究机器零件或是設計机器的过程中，都越来越广泛地采用实验的方法来研究內力、变形与应力。

目前采用下面几种主要的实验研究零件刚度和应力的方法：

1. 在实物零件及其模型上的电测应力及位移测量法；
2. 用偏光法在平面或立体的透明模型上研究应力的分布。

依据机器的使用条件，在運轉情况下的机器零件上进行电测是测量載荷及应力的主要方法。在实验室的試驗台上测量实物零件及其金属模型时需要庞大的加载設備，同时模型的制造也很困难。因为没有可靠的和足够的簡單方法用来解三向問題，所以遇到复杂形状时用偏光法常常是很困难的。

鑑于以上这些原因，苏联科学院机械研究所近几年来提出了在模型上研究零件及部件的应力的方法。模型是用纵向弹性模数較低材料制成，用变形仪测量变形，由于模型材料的弹性模数相当小，为了要获得测量值，模型上所施加的載荷比金属模型要小几倍。用低弹性模数材料制造模型是很簡單的，并且可以很容易地依据設計方案而改变其形状。

上述的低弹性模数之模型可以被推荐用来解决下面几个問題：

1. 在計算強度和刚度时确定应力及位移；
2. 解决設計中提出的結構方案的比較問題，以便在設計与改进零件及部件形状时比較結構的方案；
3. 通过实验闡明計算的方案問題以及按已知載荷在比例极限之內校驗零件、結構的应力和位移的計算方法；
4. 根据实物試驗結果来闡明零件中載荷与应力的关系。

如果用計算方法不可能或者难于求出复杂系統之个别元件的弹性系数和应力分布

时,同样也可以用模型来测定。为了要确定零件形状有剧烈变化处的集中应力,可以通过透明模型用偏光法来求。弹性应变模型和弹性透明模型测量方法的联用,将能够分析任何复杂形状的零件和部件的应力。

一、模拟条件

在进行模拟时,受工作载荷的被研究零件中之应力和应变的变化关系保持在比例极限之内。对相似条件的研究指出,凡与零件几何相似并承受相似力系的模型,其应力和位移与实物零件的应力和位移成比例。根据模型上各点测量出来的应力和位移,按相似比例便能求出在一定载荷作用下实物零件的应力和位移的大小。制造模型以及从模型测量结果换算到实物零件或结构上所依据的相似条件,可以按结构力学和弹性力学的一般数学关系的量纲分析来建立。

当变形在弹性极限之内及受静载荷时,由均匀而各向同性的材料制成的模型,对实物而言,必须遵守以下关系式:几何相似比 α 与载荷相似比 β :

$$\alpha = \frac{l_{\text{实物}}}{l_{\text{模型}}}, \quad \beta = \frac{P_{\text{实物}}}{P_{\text{模型}}}, \quad (1)$$

式中

α ——几何相似比; $l_{\text{模型}}$ ——模型的直线尺寸;
 β ——载荷相似比; $P_{\text{实物}}$ ——实物零件中的合力值;
 $l_{\text{实物}}$ ——实物零件中的直线尺寸; $P_{\text{模型}}$ ——模型的合力值。

在模型内引用比例 α 及 β 不会破坏应力分布的相似性;尺寸比例因子也不会影响研究的精确度。因此,确定实物零件中的应力和位移时的相对误差就是模型的相对误差,在大多数情况下约为 5—10%,很少到达 15%。

根据模型上测量出来的数据,实物零件中各点的应力和变形的大小可按照下式来求:

$$\textcircled{1} \text{ 应力: } \sigma_{\text{实物}} = \frac{\beta}{\alpha^2} \sigma_{\text{模型}}, \quad (2)$$

$$\textcircled{2} \text{ 线位移: } \Delta l_{\text{实物}} = \frac{E_{\text{模型}}}{E_{\text{实物}}} \frac{\beta}{\alpha} \Delta l_{\text{模型}}, \quad (3)$$

式中, $\sigma_{\text{实物}}$ 及 $\sigma_{\text{模型}}$ ——实物零件及模型相似点上的应力;

$E_{\text{实物}}$ 及 $E_{\text{模型}}$ ——实物零件及模型材料的纵向弹性模数。

在很多情况下,零件的形状和载荷大小已知,但零件材料的波桑系数仍然与应力的分布有关。仔细研究应力和应变间的基本关系,波桑系数与应力分布的关系就可以得到说明。考虑到(3)式的关系,根据实物零件和模型微元体的应力 σ_1 、 σ_2 及 σ_3 所表示的线应变比值为:

$$\frac{\beta}{\alpha^2} = \frac{\sigma_1_{\text{实物}} - \mu_{\text{实物}}(\sigma_2_{\text{实物}} + \sigma_3_{\text{实物}})}{\sigma_1_{\text{模型}} - \mu_{\text{模型}}(\sigma_2_{\text{模型}} + \sigma_3_{\text{模型}})} \quad (4)$$

当 σ_2 及 $\sigma_3 \approx 0$ 时,此条件只有在 $\mu_{\text{实物}} = \mu_{\text{模型}}$ 的情况下才会满足。一般说来,实物及模型材料波桑系数的不相同,会增加计算应力时的误差。在表 1 中列举了几个例子,来说明如何从 $\mu = 0.28$ (钢制实物零件)转换到 $\mu = 0.35$ (塑料模型)时,测量主应力及

最大位移值的变化(用%表示)。这些数字是用计算方法求得的。

表 1 从 $\mu = 0.28$ 轉換到 $\mu = 0.35$ 时主应力和最大位移的变化(用%表示)

研究对象 数 值	梁 平板薄壳	具有受力 孔的板条	具有刻槽 的 軸	受集中压力的 弹性半平面	受集中压力的 弹性半空间
最大主应力	0—5	2	0—10	2	5—15
主应力之第二分量	0—10	7	0—20	10	10—40 [⊖]
最大位移	0—10	—	—	—	—

註 ⊖: 在压力区域的中心。

由此表可見,波桑系数对較小的主应力分量的影响是比較大的。

目前,有一定方法可以根据由不同波桑系数的材料所制成的模型应力来求实物零件的应力。用这种方法在研究平面应力状态时,必須測量二个与研究实物相似而波桑系数各不相同的模型;在研究三向应力状态时,要測量三个模型。但是,由于沒有波桑系数相差很多的模型材料,所以这个方法在实际工作中並沒有被推广。

为了要正确地表达組合結構模型的应力状态,必須滿足模型各个部分的共軛条件。这些条件在制造模型时都必须保証。例如如果共軛零件的接触面在工作中不会发生开縫时,則模型的各个部分就可以用鋼螺栓拉紧。在另一些情况下,螺栓应该有与实物相对应的刚度,即必須用制造模型的材料来制造。

上面我們只是简单地討論了模拟条件的基本概念。在 H. И. 普里古洛夫斯基及 A. K. 普萊斯合著的“用应变模型研究机器零件的应力与刚度”(1958 年苏联科学院出版社出版)一书中对此問題有較詳細的叙述。

二、模型材料及其性能

目前制造弹性应变模型所用的材料是具有足够稳定性能的鑄造树脂和塑料。这种材料通过模型能反映出被研究零件的应力和位移。模型材料应该具有良好的加工性能,以保証能制造出根据測量条件所要求形状与尺寸的模型。

从現有的一些塑料来看,制造模型最适合的材料是酚醛树脂和有机玻璃。酚醛树脂及有机玻璃块适用于制造大型厚壁零件的模型;而有机玻璃板則适用于制造薄壁結構的模型。

酚醛树脂通常制成直径为 500 毫米左右的块料。酚醛树脂之強度极限和弹性模数决定于聚化程度。在模型中所产生的应力情况下,实际上沒有蠕变現象。这种材料很容易用切削工具加工;但是,由于它具有一定程度的脆性,所以加工时要注意預防切削工具在离开工件时的冲击。

有机玻璃板料的尺寸一般是 1,000×500 毫米,厚为 1—20 毫米;块料的厚度为 500 毫米左右,块料一般是由板料粘接而成的。有机玻璃是一种比鑄造酚醛树脂軟的材料,因此,相对說来加工較为容易。它的一个重要优点是容易粘接和焊接。有机玻璃的焊接工作可在 200—250℃ 的温度下进行,用聚氯乙炔作为焊接材料。

在表 2 引入了建議用来制造模型的材料的基本特性。

由表 2 可見,模型应力在 50—100 公斤/厘米² 以下(此量已足够可以測量了)蠕变是

小的。对上述材料而言,当应力在 100—150 公斤/厘米² 以下时,纵向弹性模数不随时间而变化,并且拉伸与压缩时的弹性模数的大小是一样的。图 1 是表示当弯曲时,不同应力下有机玻璃(实线)和酚醛树脂(虚线)的蠕变图。由此图可见,当应力为 100 公斤/厘米² 时

表 2 制造应变模型用的材料的主要物理-机械性能

材 料	拉伸强度限 (公斤/厘米 ²)	比例极限 (公斤/厘米 ²)	纵向弹性模数 (公斤/厘米 ²)	波桑系数	蠕变小于 0.005% 时的应力 (公斤/厘米 ²)	比 重 (克/厘米 ³)
1. 酚醛树脂	600	200—400	$(2.5—3.5) \times 10^4$	0.34—0.37	150	1.2—1.3
2. 有机玻璃	500—600	300—400	$(1.9—2.8) \times 10^4$	0.34—0.37	100—120	1.18—1.20
3. 工业用赛璐珞	400—600	200	$(1.0—1.7) \times 10^4$	0.4	—	1.5

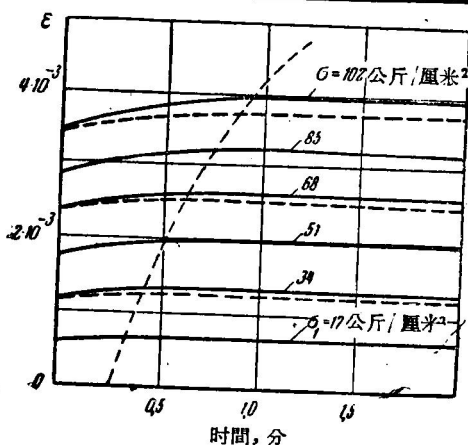


图 1 弯曲时不同应力的蠕变图
实线——有机玻璃;
虚线——酚醛树脂。

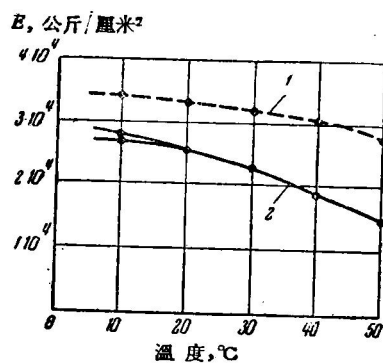


图 2 当温度变化时,酚醛树脂
(虚线)与有机玻璃(实线)的弹性模数的变化

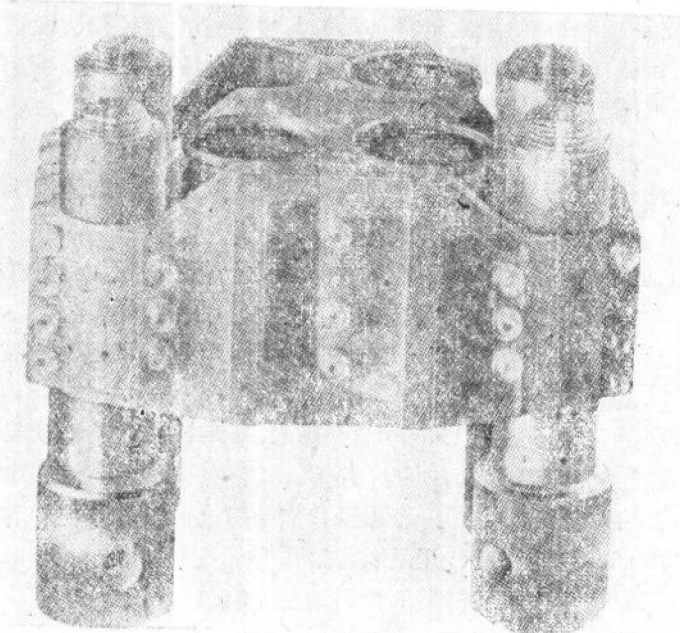


图 3 上横樑模型

受力一分鐘之后,材料蠕变及应力就可准确地求出来。当应力較小时,受力以后,經過較短的时间变形就可以測出来,如图 1 中的斜虛綫。纵向弹性模数的大小与温度情况有关。图 2 表示的是不同温度时酚醛树脂(虛綫)与有机玻璃(实綫)的纵向弹性模数值。由此图可見,在实验时温度在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内变动的話应力的計算誤差为 $\pm 2\%$ 左右。

图 3 上所示的是大型水压机組合上横梁的模型。模型由四部分组成,它們在垂直面上两两互相对称,用插梢固紧。上横梁模型內有四个工作缸模型,并有四个孔,为固定水压机机柱模型之用。所有这些模型的零件都用有机玻璃做成。

三、模型加载

在模型上可以表达两种加于零件上的载荷:

1. 加在零件表面上的载荷;
2. 加在整个零件体积上的载荷。

零件表面上的力在模型上以分布载荷表现出来,或通过集中力表现出来。

选取载荷相似比时,必須考虑到模型受力后,模型能足以測量出变形,但不能超出比例极限之外,同时也不能引起材料的蠕变。但是由于模型中的最大应力值决定于载荷,而在測量前其大小是未知的,因此模型载荷大小的选定可按下列任一方法确定之:

1. 对于現有的或者已經設計出来的结构,可按工作荷重及构件材料的极限应力之比例关系与根据几何相似比来确定,即:

$$P_{\text{模型}} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\sigma_{\text{模型}}}{\sigma_{\text{实物}}} P_{\text{实物}} \quad (5)$$

2. 对于新的未經計算的结构可用最大应力的近似計算方法来求。

实验时,载荷相似比的最后选取可通过試驗性的測量确定之。

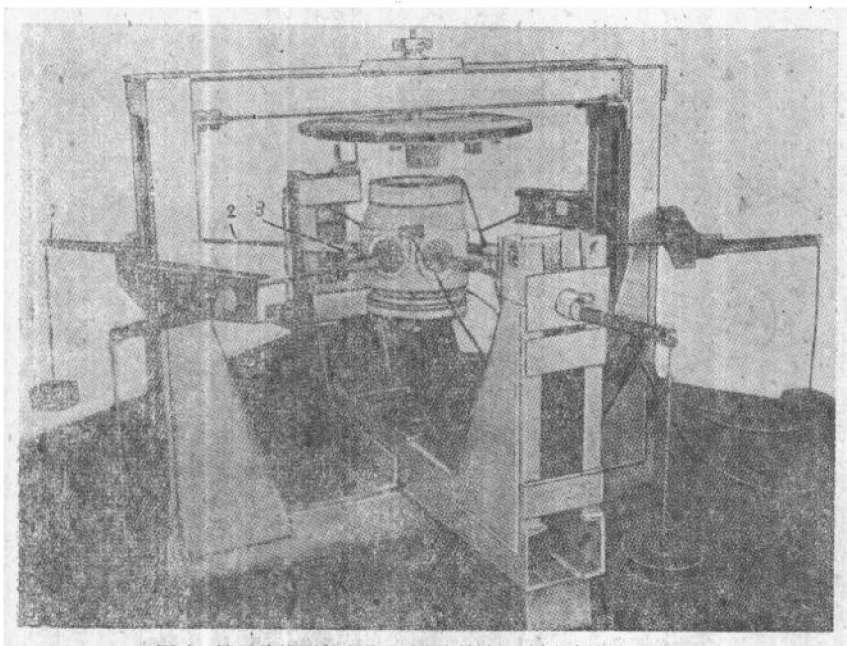


图 4 轉子体模型径向载荷(叶片的离心力)的橫桿加载裝置

1. 橫桿; 2. 拉桿; 3. 插梢。

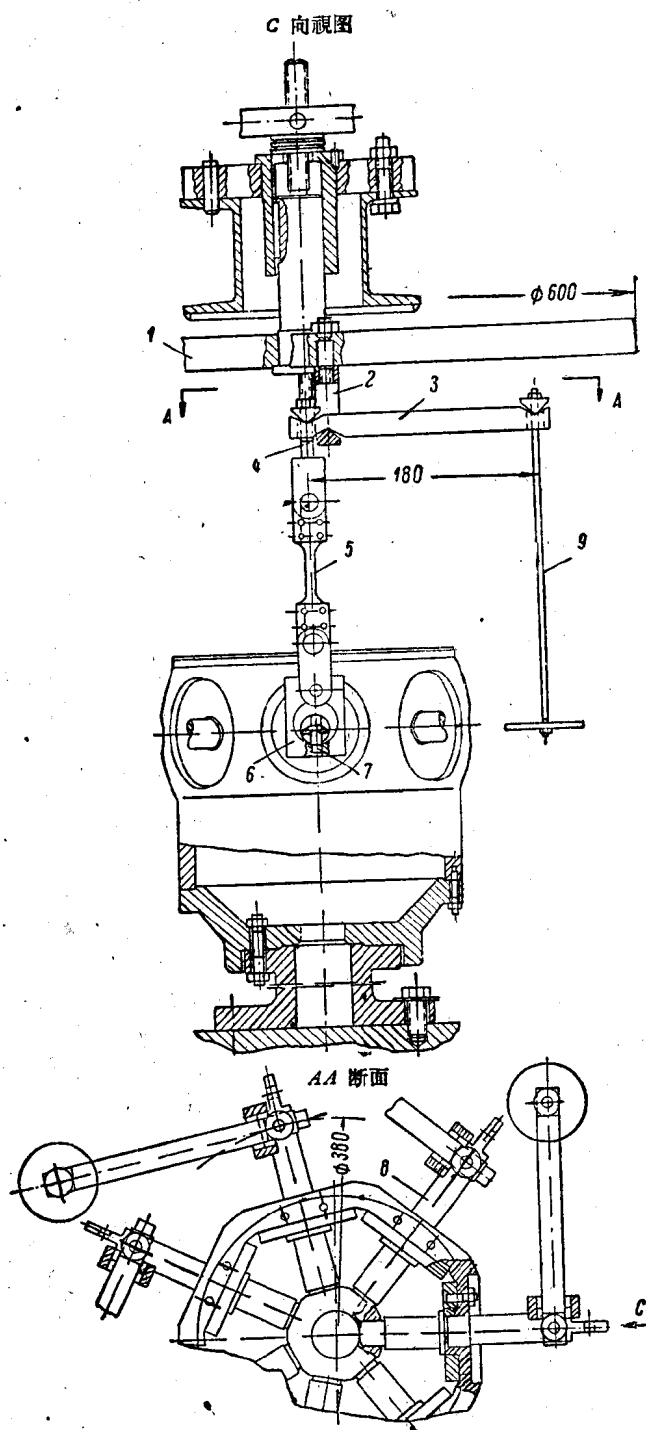


图5 对转子体模型施加轴向载荷用的横杆加载装置

1. 支承圆盘; 2. 框架; 3. 横杆; 4. 套钩; 5. 测力拉桿;
6. 吊环; 7. 支承; 8. 插梢; 9. 砣嘴掛鈎。

模型的加载装置可以是通用的,也可以是专用的。

加载装置加在模型上的载荷,所受的力应该严格地与实物零件载荷相符合。因此,加载装置应该能够保证对模型施加逐级增加或均匀增加的载荷。

模型受一定载荷后,要能保证能单独地或者同时再施加载荷,当模型同时施加几种载荷之后,其中一种载荷的大小和方向的变化不能引起其他载荷的大小和方向的变化。

加载装置的结构要简单,并且在试验时应该便于安装和观察模型,在模型变形之后,不能改变施加力的大小和方向或者产生新的附加力。

模型上的表面载荷可以由弹簧与螺钉拉桿来施加,也可以用空气或液体的压力来施加。体积载荷(结构的本身重量与惯性力等均属这种载荷)可由模型在离心机上的旋转而得。

当载荷不超过 1.0—1.5 吨时,可以采用砝码加载装置。为了要构成较大的载荷,可采用螺旋付加载装置或液压装置。当模型表面施加小于 5.0 公斤/厘米² 的均匀压力,以及对封闭模型的内空间施加压力时,可用气压装置。压力超过 5 公斤/厘米² 以及在模型表面按一定规律施加压力时,可用机械装置或液压装置。在机械装置上对模型所施加载荷的大小可按砝码确定,而在螺旋付装置、液压装置及气压装置上则测量一下把载荷传递到模型上的拉桿内力就行了,这种内力可用弹簧式或机械式的动力计和气压计测出来。在对模型进行应变测量时,根据贴有电阻丝应变片的过渡弹性元件的变形来测量载荷是特别合理的。

图 4 表示研究转桨式水轮机转子体模型用的加载装置。在此加载装置上可以进行由工作叶片离心力引起的径向载荷的试验及水压对叶片作用的轴向载荷的试验。径向载荷系由加到曲桿 1 之长臂上的砝码产生,曲桿通过短臂被拉桿 2 与加载装置的元件 3 连在一起,通过橡皮垫把载荷传到模型上。对模型施加轴向载荷的槓桿加载装置是借助于螺旋付固定在加载装置横梁上的圆盘(图 5),圆盘上有几个刚性框架 2,框架的数目与水轮机叶片的数目相等。每个框架的下水平边做成稜形的,同时也是升高槓桿 3 的支承。槓桿的短臂通过套鉤 4 及测力拉桿 5 与吊环 6 连在一起,吊环 6 由支承 7 承受;传递载荷至插梢 8 支承位置对应于叶片的压力中心。在槓桿的长臂上固定一个砝码掛鉤 9。

图 6 所示的是施加小于 2.5 吨的螺旋付。在传送载荷至模型上的拉桿 1 螺紋端旋入一个螺帽 2 作为拉紧之用。螺帽旋入时,由在套筒 4 的槽中滑动的鍵 3 防止拉桿的转动,套筒固定在支架 5 上。为了减少圆周力,采用细牙螺紋及滚珠轴承 6。

应该指出,螺旋付载荷装置在结构上一般是最简单的。可是,当需要对模型施加几个力时,这种装置在装上模型之后往往就要成为静不定系统。用这样的装置不易获得加于模型上所需的力的分布情况。有时当其余的力都不变时,仍然有些力要发生变化。

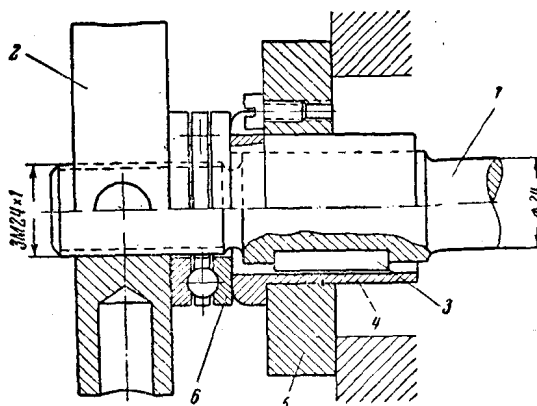


图 6 螺旋付加载装置

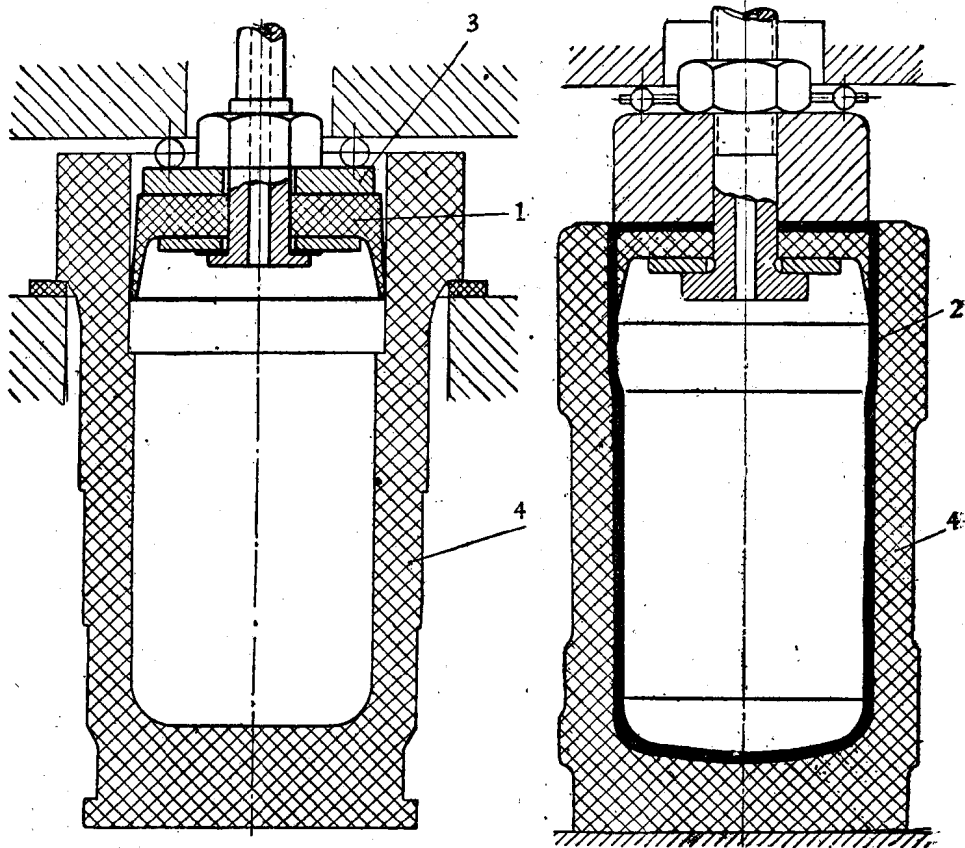


图7 水压机工作缸模型内部施加气压的方法

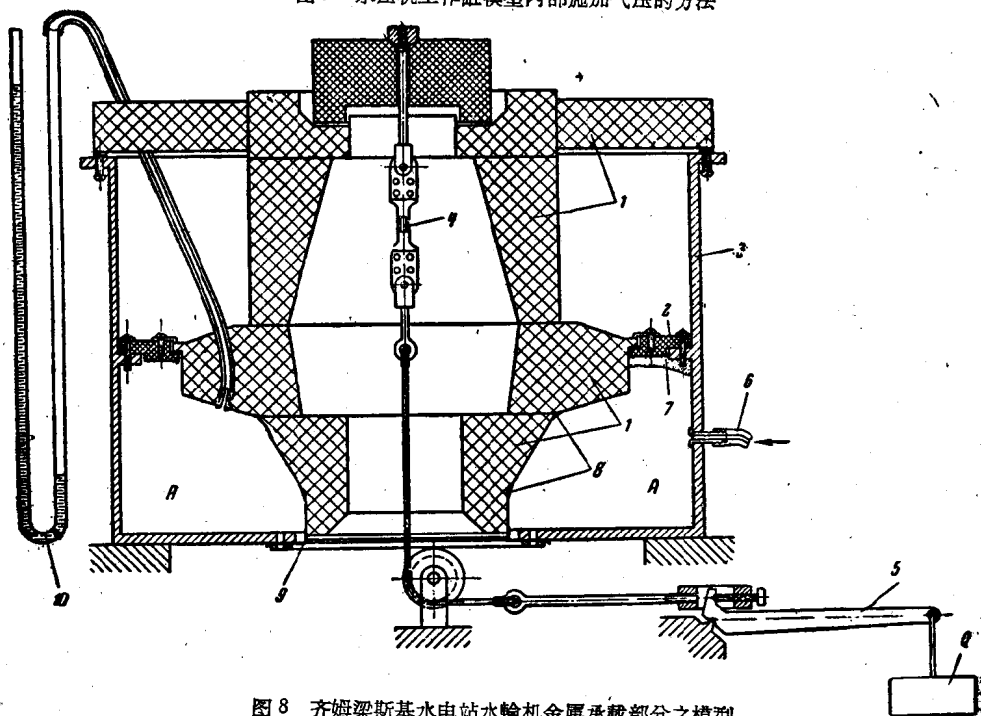


图8 齐姆梁斯基水电站水轮机金属承载部分之模型

1. 模型; 2. 中间环; 3. 加载装置; 4. 测力元件; 5. 横棒;
6. 压缩空气管; 7, 8. 密封层; 9. 橡皮碗; 10. 气压计。

图 7 所示的是对水压机工作模型施加载荷的例子。来自空气压缩机的压缩空气直接传到由橡皮碗 1 密封的模型内壁上或传给橡胶袋 2 上。用气压计测量压力。

在研究齐姆良斯基 (Цимлянский) 水电站水轮机金属结构的应力(在转子室形成真空的条件下)时,对顶盖模型施加压力和轴向力用的加载装置表示在图 8 中。金属结构模型的几何相似比为 1:14, 用有机玻璃板焊成, 并包括顶盖、导向机构上环及推力轴承等的模型在内。在密封空间 A 内施加压力或形成真空。

四、模型的应力和位移之测量

用低弹性模数材料制成的模型, 在静态受力的情况下, 可以用脆性漆或电阻丝应变片测量出来。在个别情况下, 可以用槓桿式引伸仪测量。在应用电阻丝应变片时可以采用任何静态电子应变仪, 把应变片联接到电子应变仪上是通过转换开关来完成的, 它能保证接触电阻的稳定性。

为了要确定最大拉应力或压应力的作用区域及其作用方向, 可以用涂漆法来研究模型。脆性漆是一种钨松脂酸盐的二硫化碳溶液。漆液用刷子涂在被测的零件表面上并干燥 48 小时。模型受力之后, 在相对伸长超过漆层的灵敏极限时, 在漆层上面出现裂纹, 其方向与拉应力之作用方向互相垂直。为了使裂纹能更清楚地表露出来, 在被测模型的表面预先涂上一层底层, 底层是 2% 赛璐珞的乙酸乙酯溶液(还加入铝粉)。这样, 在模型表面上就可以发现出最大应力及其方向的作用区域。因此, 在很大程度上就减少了下一步进行应变分析的工作量。

为了对低弹性模数材料的模型进行应变分析, 可采用基长为 5 毫米、10 毫米及 20 毫米, 电阻为 70—150 欧姆的普通纸垫电阻丝应变片。应变片的粘贴位置根据对模型进行涂漆的结果并参考测量要求而选定。黏贴应变片可用普通的丙酮胶(酚醛树脂制成的模型)或 2—3% 有机玻璃二氯乙烷(工业纯)溶液(对有机玻璃模型)。贴好的应变片在室温至少要干燥 6 昼夜。联接应变片采用直径为 0.3 毫米左右的绝缘铜线。

作应变测量用的模型材料都具有高度的绝缘性能。因此就大大地减轻了电阻丝应变片的线路安装工作。可是由于这些材料的导热性差, 电流所加热的工作, 应变片和补偿应变片线栅的冷却条件就较差, 因此, 使测量仪器的读数不能稳定, 结果在确定应力时误差较大。为避免这个缺点, 在测量低弹性模数的模型时, 必须相对地减少常用的通过应变片的电流 1/2 或 1/3 左右。也就是说, 当线栅电阻丝的直径为 20 微米时, 供给应变片的电流不应超出 10 毫安, 当直径为 30 微米时, 电流则不应超出 15 毫安。

所研究的模型中的应力可根据电子应变仪读数的增量用下列公式求得:

① 当线性应力状态时

$$\sigma = C \Delta. \quad (6)$$

② 当平面应力状态时

$$\begin{aligned} \sigma_{1\text{模型}} &= C' \Delta_1 + C'' \Delta_1, \\ \sigma_{2\text{模型}} &= C' \Delta_2 + C'' \Delta_2, \end{aligned} \quad (7)$$

式中 C——应变片常数, 是在与应变模型同样材料所制成的梁的试件上校准测定出来