

# 摆式试验机荷载自动化测试方法的研究

陆 亦 庄

(建筑工程系)

## 摘 要

本文介绍了作者在试验研究工作中提出并运用的两种用传感器间接测定试验机荷载的方法,对摆式试验机的测力系统予以革新,解决了在此类试验机上对材料或结构构件进行自动化测试问题。

液压摆式试验机是一种测定工程材料和结构构件力学性能的加载设备,在我国已被广泛应用。由于此类试验机采用机械传动测力机构,加载值须由操作人员从测力度盘上人工地读数 and 记录,因此当进行某些要求自动测试的试验时,为了用电测仪器测试试验荷载,则必须在试验机上放置荷载传感器。通常是将传感器直接安放在试验机的加载点上<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>、<sup>(3)</sup>,这样做虽然简单,但在实际应用时却有较大的局限性。例如,在压力试验机上对柱式构件加载时,由于加载点为刀口或球铰支座,若在其间再放入传感器,装置容易失稳;又如在万能试验机上进行拉伸试验时,在夹具上直接安装拉力传感器也比较困难;此外,对某些承压能力较高的结构构件的抗压试验,还必须配置相应的大力值传感器,也增加了试验设备的难度<sup>(4)</sup>。因此如何运用传感器测摆式试验机荷载的方法,仍需进一步研究。

下面就笔者在试验工作中研究并运用的两种间接测定试验机荷载的方法予以介绍:

## 一、位移测力法

### 1、原理及试验装置:

试验机摆式测力机构中与测力油缸活塞相接的测力拉杆在油缸压力作用下,其移动量基本上是与工作油缸总压力(试验机荷载)成正比。本法就是利用这二者的对应关系,通过对测力拉杆位移量的测定,即可换算得试验机荷载。

打开试验机操纵台背盖,在测力拉杆的顶端垂直安装一个大行程电阻式位移传感器(图1),并将其与电阻应变仪及记录仪相联,构成本法的测力装置(图2)。

本文于1990年8月31日收到



图1

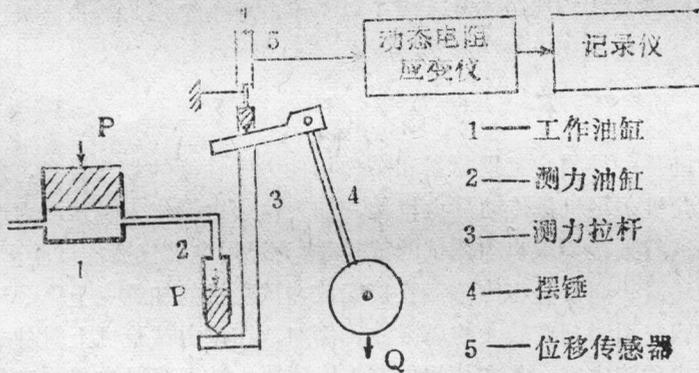
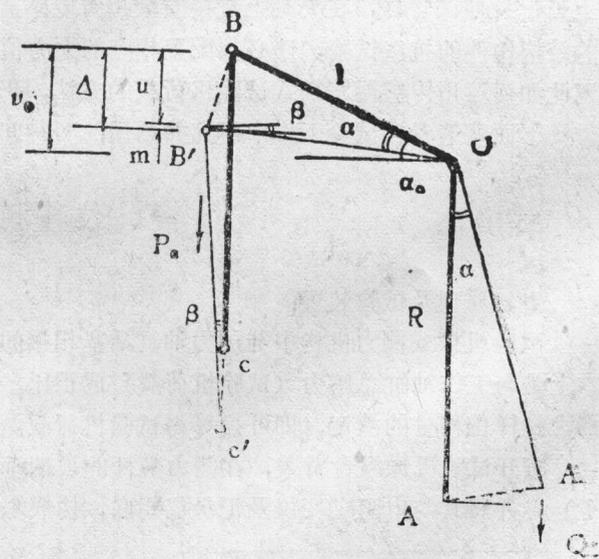


图2

2、测力拉杆位移 $u$ 与试验机荷载 $P$ 的关系:

图3为摆式试验机测力机构的力学分析图。图中摆杆 $AO$ 与杠杆 $OB$ 刚性连接,可绕 $O$ 点旋转。 $A$ 点上作用有摆锤重 $Q$ ;  $B$ 点与测力拉杆 $BC$ 铰接,并受有测力油缸压力 $P_c$ 的作用。 $OB$ 、 $BC$ 的长度及 $OB$ 的初始倾角 $\alpha_0$ 均可由实测得到。当 $P_c = 0$ 时,机构处初始静止状态, $OA$ 垂直;若试验机加载,在 $P_c$ 的作用下, $AOB$ 绕 $O$ 点转动 $\alpha$ 角(平衡),这时 $BC$ 向下移动 $\Delta$ ,并产生 $\beta$ 角的偏转,杆顶平面( $B$ 点,位移传感器测点)亦随之倾斜,故拉杆实际垂直位



移量 $\Delta =$  实测位移量 $u + m$ 。经计算 $m$ 的最大值仅 $0.0288\text{mm}$ ，为简化起见，将其略去，即假定为： $\Delta = u$

$$\text{于是得： } \alpha = \alpha_0 - \arcsin(\sin\alpha_0 - \frac{u}{l}) \quad (1)$$

式中 $l$ 为OB杆的长度。

由机构对O点力矩平衡条件 $\sum M_0 = 0$ ，可推求得：

$$P_c = \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos(\alpha_0 - \alpha) \cos(\alpha_0 - \frac{\alpha}{2})} \cdot \frac{QR}{l^2} u \quad (2)$$

$$K_r = \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos(\alpha_0 - \alpha) \cos(\alpha_0 - \frac{\alpha}{2})} \quad (3)$$

并设试验机荷载 $P$ 与测力拉杆拉力 $P_c$ 的关系为： $P = RP_c$

式中 $K$ 为工作油缸与测力油缸活塞面积之比（常数）。于是公式(2)改写成：

$$P = K_r \cdot \frac{QRK}{l^2} \cdot u \quad (4)$$

当 $\alpha = \alpha_0$ 时， $K_r = 1$ （OB杆转至水平位置），此时试验机荷载 $P_0$ 与测力拉杆位移 $u_0$ 的关系为：

$$P_0 = \frac{QRK}{l^2} \cdot u_0$$

将其代入(4)式中得：

$$P = K_r \cdot \frac{P_0}{u_0} \cdot u \quad (5)$$

此式即为试验机荷载 $P$ 与测力拉杆位移 $u$ 的关系式。式中 $P_0$ 及 $u_0$ 均可由实测得到（其中 $P_0$ 恰为试验机测力盘满量程荷载的一半）， $K_r$ 由式(3)可知是一个随着摆杆转动而变化的系数，因此，试验机荷载与测力拉杆位移的关系实际上是非线性的。

为了验证上述的分析，对 $P$ 和 $u$ 两参量进行实测，现以WE-30万能试验机（摆锤采用A+B+C）实测结果列于表一之中，并与按公式(5)计算结果比较（计算取： $\alpha_0 = 23.2759^\circ$ ， $P_0 = 147\text{KN}$ ， $u_0 = 28.0276\text{mm}$ ），二者十分吻合（最大绝对差仅 $0.4\text{KN}$ ），由此证明前面的理论分析是符合实际情况的。

无论计算还是实测都表明了试验机荷载与测力拉杆位移呈非线性关系，就WE-30万能试验机而言，非线性度达2.2%，不能忽略，因此采用此法所测结果应按公式(5)进行换算。

表 1

试验机荷载 P (KN)	实测拉杆位移 $u^s$ (mm)	按公式 (5) 计算		按线性回归方程计算	
		P (KN)	绝对差 (KN)	P (KN)	绝对差 (KN)
0	0	0	0	0	0
14.4	2.395	14.5	0.1	12.6	-1.8
28.8	4.859	28.9	0.1	25.6	-3.2
43.2	7.417	43.2	0	39.0	-4.2
57.6	10.099	57.7	0.1	53.1	-4.5
72.1	12.890	72.3	0.2	67.8	-4.3
86.5	15.680	86.5	0	82.5	-4.0
100.9	18.535	100.8	-0.1	97.5	-3.4
115.3	21.410	114.9	-0.4	112.6	-2.7
129.7	24.443	129.6	-0.1	128.6	-1.1
144.1	27.422	143.9	-0.2	144.2	0.1
158.5	30.460	158.6	0.1	160.2	1.7
172.9	33.384	172.7	-0.2	175.6	2.7
187.4	36.338	187.1	-0.3	191.1	3.7
201.8	39.307	201.8	0	206.7	4.9
216.2	42.143	216.2	0	221.7	5.5
230.6	44.884	230.4	-0.2	236.1	5.5
245.0	47.546	244.6	-0.4	250.1	5.1

## 二、分油测力法

位移测力法只适合于加载试验。若要测试件卸荷或降荷的特性曲线, 由于摆式试验机测力油缸上端装有缓冲阀, 控制着试验机测力油缸回油的速度, 当试验荷载突然下降时, 所测荷载将出现很大的滞后, 如图 4 所示。

为了解决这个问题, 再介绍另一种测试方法——分油测力法。

### 1、原理及试验装置:

将一台单向液压缸与试验机工作油缸的油路连通，并与压力传感器一起置于固定的钢制承力框架之中，传感器与电阻应变仪及记录仪联接，而构成一套自动测力装置（图 5、6）。当试验机加载时，液压缸内油压强度与试验机油缸压力强度相同，试验机荷载  $P$  与液压缸总压力  $P_0$  关系为：

$$P = KP_0$$

如果已知  $K$ （常数），则由仪器测得的  $P_0$  即可按此线性关系换算得试验机荷载。

## 2、 $P_0$ 与 $P$ 的实际换算关系：

以测力装置接在 YE-200 型压力试验机上为例。已知试验机满负荷（ $P_{max} = 1960\text{KN}$ ）工作油缸的油压为  $21.56\text{MP}_0$ ；测力液压缸满负荷（ $P_{max} = 68.6\text{KN}$ ）油压为  $29.4\text{MP}_0$ ，后者大于前者，故试验机达满负荷时，测力液压缸总压力仅为：

$$P_0 = 68.6 \times \frac{21.56}{29.4} = 50.3\text{KN} \text{ (配 } 50\text{KN 传感器即可)}$$

$$\text{这样 } K = \frac{1960}{50.3} = 38.9662$$

$$\text{即 } P = 38.9662P_0 \quad (6)$$

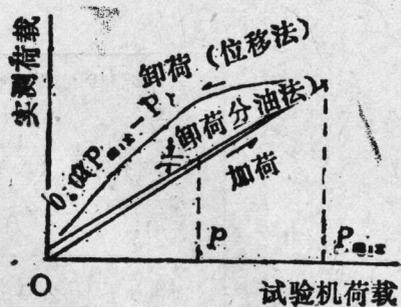


图 4

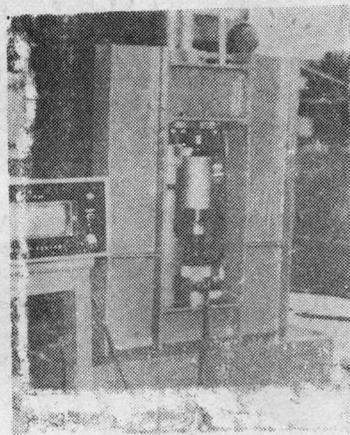


图 5

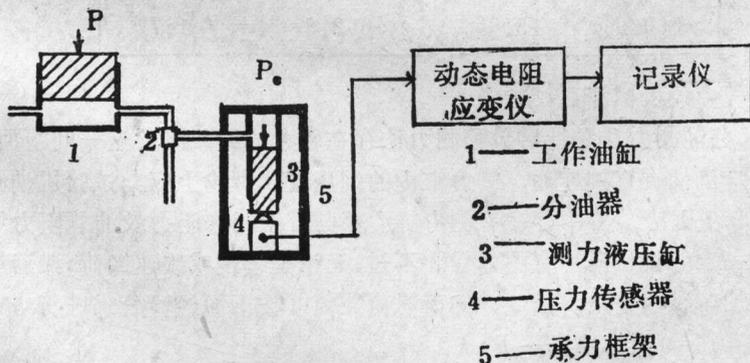


图 6

或者对试验机逐级加载，实测测力液压缸总压力  $P_0$ ，也可得到二者的关系，如对表二中所测数据线性回归得：

$$P = \frac{\sum P}{\sum P_0} \cdot P_0 = 38.5662P_0 \quad (7)$$

式 (6) 与 (7) 十分相近，故两式均可作为换算试验机荷载的算式。

表 2

试验机荷载 P (KN)	实测测力液 压缸压力 P <sub>c</sub> (KN)	按公式(7)计算 P (KN)	绝对差 (KN)
0	0	0	0
49.7	1.24	47.8	-2.2
98.7	2.52	97.2	-1.8
147.0	3.81	146.9	-0.1
197.4	5.11	197.1	0
249.3	6.42	247.6	-1.4
299.0	7.74	298.5	-0.6
347.3	9.03	348.2	1.2
397.7	10.34	398.8	0.7
450.0	11.66	449.7	-0.4
499.3	12.97	500.2	1.1
550.4	14.31	551.9	1.8
600.9	15.63	602.8	1.7

### 3、卸荷过程中的机械滞后:

前面已指出,分油测力法是针对位移测力法存在较大的卸载滞后这一问题而提出的,分油测力液压缸与试验机油缸直接连通,测力缸内的油压变化理论上应与试验机油缸压力始终保持一致,但是实际上因为装置中存在有测力缸活塞与缸壁间摩阻力及油管阻力等因素,试验结果表明仍存在一定的机械滞后(图4)。不过,无论是缓慢或快速卸荷,滞后量基本相同,是一条逐渐偏离加荷线的直线。因此,卸荷时荷载值可按下面经验公式进行修正。

$$P' = P - 0.02 (P_{max} - P) \quad (8)$$

式中 $P_{max}$ 为试验机开始卸荷时的荷载。

## 结 束 语

位移测力法适用于测定各种材料和结构构件加载条件下荷载与有关力学参量间的关系曲线,但因荷载测值换算的非线性关系,使仪器记录的曲线图形略有畸变,试验中须予注意。分油测力法的装置是附属于试验机的固定设备。它除了具备位移测力法的优点及功能外,还能满足结构构件降荷条件下特性曲线及低周反复循环加载试验曲线的测试要求,适用

范围较大。若将其接电子测力仪，还可构成一套数字显示试验机荷载的测力系统。

两种测试方法的装置都比较简单，在利用已有设备的基础上很容易实现，并且又具备高精度，使用方便可靠，适用范围广等优点，有较大的实用价值，可供摆式试验机用户在进行有关试验时参考。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 湖南大学等编·建筑结构试验·建筑工业出版社，1982；94
- 〔2〕 林圣华·结构试验·南京工学院出版社，1987；38
- 〔3〕 梅村魁等，林亚超译·结构试验和结构设计·人民交通出版社 1980，43—50
- 〔4〕 过镇海，张秀琴·单调荷载下混凝土的应力—应变全曲线的试线研究·清华大学抗震工程研究室，1979

# Investigation of Measuring Methods on the Loading Automation of the Pendulum Testing Machine

Lu Yizhuang

## ABSTRACT

This paper introduces that the author presents and applies two kinds of method of measuring the loads indirectly of the testing machine with transducers. The system of measuring force is improved and the problem of automatic measurement on the materials or structural member is solved on the pendulum testing machine.