

# 起重機金屬結構的 試驗方法

全蘇起重運輸機器製造科學研究所編



機械工業出版社

# 起重機金屬結構的 試驗方法

全蘇起重運輸機器製造科學研究所編

孫可全、吳銀庚合譯



機械工業出版社

1958

## 出版者的話

本書論述起重機金屬結構的試驗問題。

在技術科學副博士鮑古斯拉夫斯基的文章里敘述了橋式、臂架式和塔式起重機架的金屬結構的試驗方法；對試驗載荷的選擇和安置試驗儀器的地點作出了指示，同時還指出了所檢驗對象的加載順序。

在杜那也夫工程師的文章里描述了試驗起重機架的金屬結構時所採用的儀器、安置這些儀器的方法以及對儀器讀數的處理等。

本書適用於從事起重機結構試驗的工程技術人員。

蘇聯 全蘇聯科學-研究學院 研究所  
起重機-運輸機械製造研究所 ВНИИПТ-  
МАШ編 ‘試驗起重機架的金屬結構  
的試驗方法，第 11 卷’ (機械工業出版社 1958 年第一版)

\* \* \*

NO. 1845

1958 年 10 月第一版 1958 年 10 月第一版第一次印刷

850 × 1168 <sup>1</sup>/<sub>32</sub> 字數 101 千字 印張 4 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> 0.001— 2,500 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號 定價(10) 0.80 元

# 目 录

## 起重机金属结构的试验方法

(技术科学副博士鲍古斯拉夫斯基)

緒言	5
第一章 起重机金属结构的静力试验方法	6
起重机桥架构件的试验	7
装卸桥构件的试验	18
臂架结构构件的试验	21
塔式、门架式及其他各种起重机的金属结构构件的试验	24
第二章 起重机金属结构的动力试验方法	25
起重机桥架的动力试验	28
装卸桥的动力试验	35
臂架及塔架结构的动力试验	36
参考文献	42

## 试验起重机金属结构的仪器

(杜那也夫工程师)

第一章 简单仪器和设备	43
挠度仪	43
测角计	47
应变计	49
第二章 直接作用的机械自动记录仪及其设备	53
第三章 有电讯设备的远距离测量的仪器	66
第四章 电阻应变计及其测量仪器	73
电阻应变计(傳送器)	73
测量仪器	91
金属絲傳送器的使用方法	99

第五章 应变計沿构件截面的安置方法 .....	110
主应力及附加应力的确定 .....	110
参考文献 .....	128

### 关于桥式起重机的动力系数問題

(技术科学副博士鮑古斯拉夫斯基)

## 起重機金屬結構的試驗方法

### 緒 言

在試驗起重機設備的金屬結構時，可能提出下列問題之一：

1) 決定所應用的理論前提對結構在使用載荷作用下的實際工作情況的符合程度及

2) 決定金屬結構的實際情況。

其接近的程度可用試驗係數  $k$  的數值來衡量。 $k$  稱為結構的修正係數：

$$k = \frac{S_{\text{дѣлms}}}{S_{\text{pacu}}}, \quad (1)$$

式中  $S_{\text{дѣлms}}$ ——所研究的因素（內力、應力、變形）的真值（試驗值）；

$S_{\text{pacu}}$ ——同一因素的計算值（理論值）。

解決第一個問題就能分析結構的工作、對計算的規定和前提作出適當的修正、肯定計算的標準，最後使試驗的資料系統化。

解決第二個問題就能決定整個結構或結構中個別構件的強度和剛度，也就是用實驗的方法解決此結構的最大容許使用載荷的問題。

不管所提出的問題如何，試驗的結果必須相互進行比較。為此，在試驗的進行、儀器的安置和試驗數據的整理中，應使用同樣的試驗儀器和採取一致的方法。

結構的試驗分為靜力試驗和動力試驗二種方法。

靜力試驗方法是當所試驗的對象和載荷在不動的情況下，記

录試驗仪器上的讀数。这种方法不能反映起重机金屬結構在动載荷作用下工作的真实性質。虽然如此，但因靜力試驗方法具有很多良好的优点，因此应用还是很广。例如，在这种方法中能使用許多簡單的、易做的仪器（杠杆指針式应变計、金屬絲应变計、馬克西莫夫型撓度仪和其他等）。这些仪器的讀数的整理是非常簡單的。由于結構靜力工作的簡單規律的試驗結果，可得出杆件截面中应力分布的直觀圖和其他等等。

靜力試驗的結果可以根据公式（1）得出結構的修正数值。

动力試驗方法是作出結構在使用載荷作用时的实际工作情况的记录。

动力試驗的結果能取得“冲击”和“动力”系数值；这些系数表示当使用載荷作用在起重机金屬結構上时，产生的动力过程的强烈程度。

冲击系数  $\mu$  可用下面的公式表示

$$\mu = \frac{S_{dun}}{S_{cmam}}, \quad (2)$$

式中  $S_{dun}$ ——在动力試驗方法中所研究的因素（內力、变形）值。

$S_{cmam}$ ——在靜力試驗方法中同一因素的值。

这些系数并不比公式（1）中所要决定的試驗系数次要，所以在試驗起重机金屬結構时，决定冲击系数和动力系数，应该認為是必要的。

在試驗起重机金屬結構时所应用的仪器的詳細描述，以及安置这些仪器的方法和仪器讀数的解釋，見載于本書的杜那也夫工程师的文章。

## 第一章

### 起重机金屬結構的靜力試驗方法

起重机金屬結構的靜力試驗在下列一些情况下进行：

- a) 校驗結構中应力最大的构件的强度。

6) 校驗結構的剛度(撓度)。

в) 为研究目的的試驗。

在第一, 第二種情況下, 建議採用的試驗載荷不小於(0.7~0.8)  $Q$  的範圍。這裡  $Q$  是起重機名義起重量的值; 當為科學研究目的而作金屬結構的試驗時, 試驗載荷值由研究的需要和研究的方向而定。

### 起重機橋架構件的試驗

應力的記錄 具有**實體腹板的起重機梁**。最大的法向應力產生在位於橋架跨度中央的截面內。如果需要精確地測定彎矩最大的截面位置時, 可以根據下面的方法進行。

當載重小車的輪壓相等時, 彎矩最大的截面離跨度中央的距離是  $c = \frac{B}{4}$  (圖 1)。

當輪壓不等時,  $c_1 = \frac{D_2 B}{2(D_1 + D_2)}$  (圖 2), 式中  $B$ ——軸距, 而  $D_1$  和  $D_2$ ——動輪的相應壓力。

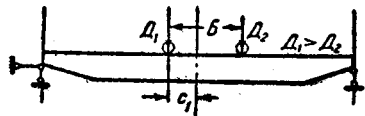
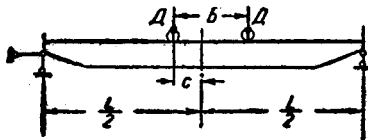


圖 1 輪壓相等時的彎矩最大的截面。

圖 2 輪壓不等時的彎矩最大的截面。

壓力較大的動輪應該置於該截面上(在載重小車車輪間的載荷分布不均勻的情況下)。

當使用杠桿指針式的應變計時, 載重小車的外廓尺寸不能使小車本身安置在上翼緣放有應變計的截面上。在這種情況下, 小車只能安置在接近該截面的地方。如用金屬絲應變計時可將小車安置在由計算決定的位置上。

為了能在所試驗的截面內得到較大的應力值, 必須在無載小車位於最邊位置時; 即在遠離試驗截面的端梁處(圖 3 a), 才能



得出“零次”的讀数。在这种情况下，小車的自重对所試驗的截面的应力影响不大。小車在梁上的位置應該用粉笔标记下来，以便重复試驗时，小車仍能置于同一位置上。

第二次讀数是当无載小車位于所試驗的截面时得出(圖3б)。小車的这个位置同样要标记下来。第三次讀数是在試驗載荷起吊后得出(圖3в); 第四次讀数是在試驗載荷放下后得出(圖3г); 第五次或“零次”讀数是当无載小車安置在靠端梁的原来位置后得出(圖3д)。

如果在几次(例如三次)的循环試驗中，第一次和第五次的讀数，第二次和第四次的讀数均相同时，則这些試驗可認為是滿意的。

按上述順序进行的試驗能分別地表出由小車和起升載荷所引起的內力的影响。

在所有的情况下，仪器上的讀数只有在桥架完全不搖动时得出。

此外，还須注意：在各次循环試驗中，仪器上的讀数是当載荷在同一个标记位置上記錄下来的。

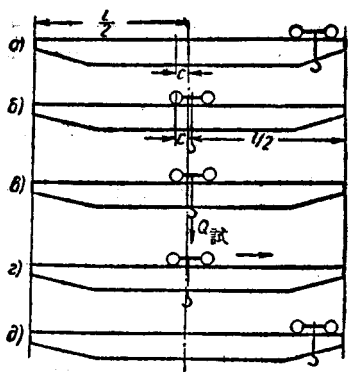


圖3 試驗載荷的位置圖：  
a—零次位置；б—无載小車在跨度的中央；в—試驗載荷起吊；г—試驗載荷取去；д—零次位置。

应变計沿截面的安置應該是使試驗的結果能按尽量多的点数繪出应力圖，各点之間的距离为15~30公分(視腹板高度而定)。

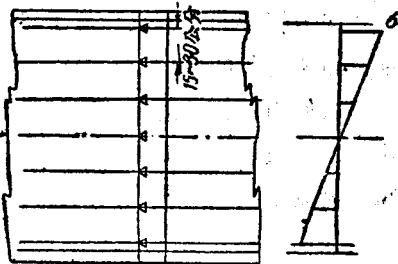


圖4 应变計在豎直腹板上的位置圖  
(三角形所示为应变計安置处)。

在豎直腹板上的最外面的应变計必須尽可能放在靠近上翼緣和下翼緣的地方（圖 4）。

当高度不大时，例如端梁，可只放置三个应变計：两个靠近翼緣，一个在中性軸綫上。

在翼緣上放置四个到六个应变計。对于較窄的上翼緣（寬度在 300 公厘左右），可直接在軌道的兩側及翼緣的两个邊緣处各放一个应变計（圖 5）。

对較寬的上翼緣，可在中間和邊緣的应变計之間附加一些应变計（圖 6）。

在端梁的翼緣上放置三四个应变計。

在下翼緣处，应将一个应变計安置在中央，两个靠近翼緣边处；如翼緣寬度足够时，还可在边上和中間的应变計之間安置一个甚至二个应变計，使它們之間的距离为 10~12 公分。

試驗梁时應該注意：实际应力沿截面的分布有时大大地不同于計算的（例如圖 7 中的焊接梁），因此希望截面上要測定应力的点数尽可能多一些。

用各种仪器記出的由試驗結果而得的应力是由載重小車的自重和所起升的載荷所产生的。有运行机构的桥架結構的自重所产生的应力不能測出，因为起重机桥架在試驗时是悬支在支承点上。为了測定結構自重所产生的应力，必須去掉这些載荷对起重

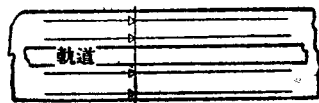


圖 5 应变計在窄弦杆梁的翼緣上的位置圖（三角形所示为应变計安置处）。

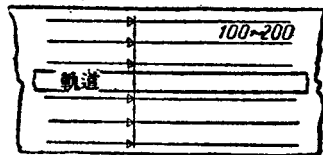


圖 6 应变計在寬弦杆梁的翼緣上的位置圖（三角形所示为应变計安置处）。

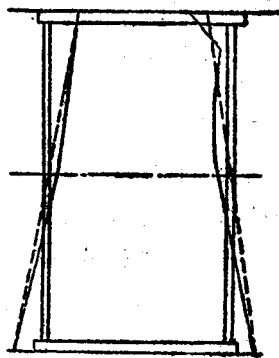


圖 7 焊接梁截面中的实际（实綫）和計算（虛綫）的应力圖。

机桥架的影响。这就必须在桥架下面放置抬架，桥架本身支持在这垫架上；待仪器安置好后，及取得“零次”读数以后，将垫架取去。但是这样的试验价昂且费时，所以在絕大多数的情形下，都是用计算来决定不变载荷所产生的应力的。

为了判断所试验的梁的实际强度，所测定的应力必须和计算所得的相比较，所以在试验时，必须根据取得仪器读数时的载荷位置，作内力和应力的静力计算。

结构最大应力的修正系数为

$$k = \frac{\sigma_{\text{наиб.замер}}}{\sigma_{\text{наиб.расч}}} < 1.0,$$

式中  $\sigma_{\text{наиб.замер}}$ ——最大测定应力；

$\sigma_{\text{наиб.расч}}$ ——在同样载荷位置下，同一纤维上的计算应力。

各次试验结果均记入有关表格内。利用杠杆指针式应变计将取得的测定数据记入表 1 内，而应用金属丝应变计所得的数据记入表 2 及表 3 内。在这些表中作出了各次试验结果的标准记录。

当起重机桥架的试验的时间受限制时，第二次和第三次以及第三次和第四次载荷位置的读数（见图 2）可加在一起并立刻决定应力  $\sigma = \sigma_{\text{小車}} + \sigma_{\text{試驗載荷}}$ 。这时表 1 中的第 5 和第 6 行，第 7 和第 8 行，第 9 和第 10 行相应地用一行来代替。

**起重机桁架的上弦杆** 起重机主桁架的上弦杆是在纵向力与局部弯曲力矩同时作用的复杂情况下工作的（图 8）。因此在桁架的节点上引起支承力矩，使截面上的应力不按通常情形分布。考虑到上弦杆的这些工作特性时，可将应变计安置在弦杆节间的三个截面上；在节间中央和弦杆整个高度范围内（即在铰接节点的范围内）的弦杆节间的每个端部上。

应变计在截面上的布置和截面的型式有关<sup>●</sup>。大多数是采用丁字形的截面的。

上弦杆的受载最大的节间试验简图见图 9。加载的次序与图

● 見本書杜那也夫工程師的文章。

表 I 用杠杆指針式应力变計的应力測量

按簡圖加載次序		儀器指示數		讀數差 Δ	載重小車的影响 T <sub>0</sub>	試驗載荷的影响 Q <sub>試</sub>	一次循环		n 次循环		試驗載荷产生的总和	由自重(計算的)	全部
循环加載次序	接簡圖加載次序	儀器指示數		讀數差 Δ	載重小車的影响 T <sub>0</sub>	試驗載荷的影响 Q <sub>試</sub>	一次循环	一次循环	n 次循环	n 次循环	試驗載荷产生的总和	由自重(計算的)	全部
		儀器指示數		讀數差 Δ	載重小車的影响 T <sub>0</sub>	試驗載荷的影响 Q <sub>試</sub>	$Q_{1cp} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$	$Q_{2cp} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$	$Q_{ncp} = \frac{Q_1^n + Q_2^n + \dots + Q_n^n}{n}$	$Q_{ncp} = \frac{Q_{1cp}^n + Q_{2cp}^n + \dots + Q_n^{cpn}}{n}$	$Q_{cpM} = Q_{1cp} + Q_{2cp} + \dots + Q_n^{cp}$	$Q_0$	$Q_{cpM} + Q_0$
I	1(0)	11.2	0.0	0	0	0							
	2	16.2	5.0	503	432	—							
	3	20.5	4.3	—	452	—							
	4	16.0	4.5	—	—	—							
	5(0)	11.0	6.0	503	—	—							
II	1(0)	11.0	0.0	0	0	0							
	2	16.1	5.1	513	442	—							
	3	20.5	4.4	—	456	—							
	4	16.0	4.5	—	—	—							
	5(0)	11.1	4.9	493	—	—							
III	1(0)	11.1	0.0	0	0	0							
	2	16.1	5.0	503	422	—							
	3	20.3	4.2	—	432	—							
	4	16.0	4.3	—	432	—							
	5(0)	11.1	4.9	493	—	—							
							$Q_{1cp} = \frac{498 + 503 + 503}{3} = 501$	$Q_{2cp} = \frac{442 + 442 + 447}{3} = 443.7$	$Q_{ncp} = \frac{498^3 + 503^3 + 503^3}{3} = 501$	$Q_{ncp} = \frac{442^3 + 442^3 + 447^3}{3} = 439$	$Q_{cpM} = 501 + 439 = 940$	320	940 + 320 = 1260

\* 其他位量时的測量数据記入与此相同的表格內。

表 2 电子测量变形的读数

試驗日期: \_\_\_\_\_

測量儀器——刻度盘的 1 度值 ( $1 \cdot 10^{-5}$ )

試驗項目 \_\_\_\_\_

傳送器的灵敏度(2.05)及其特性(标距  $l = 25$  公厘用木醇的)

試驗构件的名称及其位置 \_\_\_\_\_

測量次序	載荷	应变計 号 数										气候状况 及其他 試驗条件			
		标准的	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	标准的	
1	0	0	105 0	83 0	75 0	120 0	+1 80	140 0	110 0	60 0	100 0	87 0	90 0	107 0	干燥, 阴
2	$P = 10$ 吨 在节点 12上	0	107 0	73 0	63 0	110 0	+1 70	128 0	108 0	62 0	110 0	98 0	100 0	108 0	干燥, 阴

表 3 整理表 2 讀数及計算变形和应力

測量次序	載荷	測量的指示数	符号	应 变 計 号										附 注			
				标准的	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	标准的	
1	0	按測定的	—	105	83	75	120	80	140	110	60	100	87	90	107		
		按标准修正的	$\alpha$	105	83	75	120	73	139	109	59	98	85	88	105		
2	P=12吨 (在节点 12上)	按測定的	—	107	73	63	110	70	128	108	62	110	98	100	108		
		按标准修正的	$\delta$	105	71	61	108	68	126	105	59	107	95	97	105		
		差值 $\alpha - \delta$	$m$	—	-12	-14	-12	-11	-13	-4	0	+9	+10	+9	—		
		变形	$\epsilon$	—	-12	-14	-12	-11	-13	-4	0	+9	+10	+9	—		
		应力(公斤/公分 <sup>2</sup> )	$\sigma$	—	-258	-300	-258	-236	-280	-86	0	+193	+215	+193	—		
3		按測定的															
		按标准修正的															
		差值															
		变形															
		应力(公斤/公分 <sup>2</sup> )															

在此情况，  
刻度盘的 1  
度 =  $1 \cdot 10^{-5}$   
故  
 $m = \epsilon \cdot 10^{-5}$

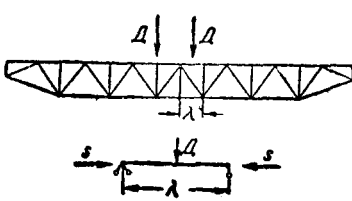


圖 8 上弦杆的節間工作簡圖。

2 所示相同。这种簡圖的方便在于按簡圖能分別地考虑对載重小車的自重和試驗載荷所引起的內力的影响。

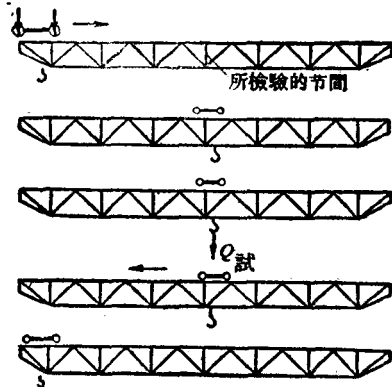


圖 9 所試驗的節間受載簡圖。

圖 9 所示的加載簡圖是在試驗上弦杆任何節間時所需採用的。此時為了使所研究的節間受載最小，第一次——“零次”位置的載重小車應該安置在離開該節間最遠的端梁處。

**下弦杆** 弦杆的中央節間是受載最大的節間。因為起重機桁架的下弦杆僅受一個縱向力（拉力），所以應變計只須安置在節間中央的一個截面上。

應變計在截面上的位置由截面型式來決定。

當上下弦杆的節間同時試驗時，儀器上的讀數是試驗載荷在同一位置時確定的。

**斜杆** 位於桁架最邊節間處的斜杆是應力最大的。

在起重機桁架的斜杆中，除縱向（軸向）力所產生的應力外，尚有由節點連接的不同剛度所引起的彎曲應力（圖 10）。

在這種情況下，應變計放置在不少於三個截面上；節點上（距離節點板邊緣 30~40 公分處及斜杆的標準高度範圍內）和斜杆長

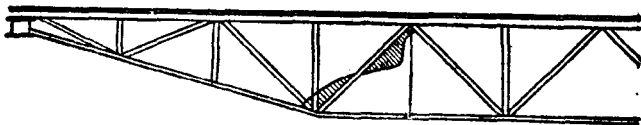


圖 10 在起重機桁架的斜杆中的作用應力圖。

度的中央。

但是，在有可能时，建議附加两个应变計（在邊緣应变計和中間应变計之間各放一个）。

在試驗斜杆时，載荷置于两个位置上：在試驗节間的左边和右边，因为根据載荷在桁架中的位置，斜杆受压或受拉。这时动輪放在相应的节点上（圖11）。

小車的零次位置相当于小車靠近离試驗斜杆最远的端梁处的位置。

**豎杆** 豎杆在斜杆系統中是主要的杆件。动載荷在任何位置时它都受力。豎杆內力的符号和斜杆相同，它和桁架中載荷的位置有关。

要選擇試驗載荷最不利的位置，可繪制豎杆內力的影响綫（圖12）。

应变計在豎杆上的布置与在斜杆中相同。

在具有三角形腹杆的桁架中，豎杆是附加的杆件，只有当載荷位于豎杆上面时才受力（圖13）。

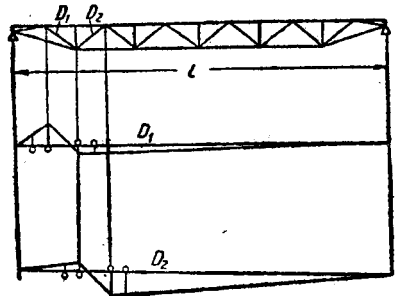


圖11 在試驗起重機桁架受載最大的斜杆时的小車安置圖。 $D_1$  和  $D_2$  是有关的斜杆內力。

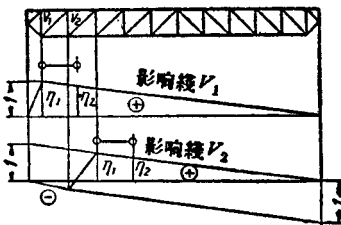


圖12 起重機桁架的豎杆負載圖。

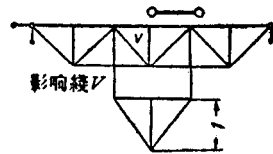


圖13 副桁架的負載。

**副桁架** 一般假定副桁架的杆件（弦杆和斜杆）不承受載重小車重量和有效載荷所产生的作用力。但是如果在桁架的上弦系



下弦的平面內布置有水平支撐架時，橋架形成封閉的空間系統，此時副桁架的杆件受力很大<sup>●</sup>。因此除了試驗主桁架外，建議也試驗副桁架（垂直的和水平的）。

副桁架的構件由一根或兩根角鋼，或由一些槽鋼組成。

因為副桁架的杆件只承受縱向力，所以應變計放在杆件長度的中央就夠了（圖14）。

試驗載荷的位置根據試驗主桁架的簡圖（圖9）來決定。

**撓度的記錄** 橋式起重機的撓度由國家鍋爐及起重運輸設備監察委員會（котлонадзор）的規範所規定。例如電動橋式起重機的撓度不能超過跨度的 $\frac{1}{700}$ ，而人力驅動的橋式起重機的撓度不能超過跨度的 $\frac{1}{400}$ 。

起重機梁的最大撓度發生在跨度的中央。為了在試驗時能得到真實的撓度，建議將起重機梁安置在車間結構的柱子上，這樣可避免由於起重機軌道梁的撓度所引起的對起重機橋架的總的垂直移動。

起重機梁或桁架的撓度可用帶重物的細繩或撓度儀（例如馬克西莫夫型的）直接測定。

把細繩（或直徑為1~1/2公厘的鋼絲）的上端連接在主梁下翼緣的截面上，該截面的位移是可確定的，並且當載荷作用時這種連接不會減弱。為此，最好用彎處有孔的夾持器來調整連接。細繩的下端連有足夠拉力的重物。



圖14 沿副桁架杆件長度的應變計設置圖。

在起重機橋架下面（在地板上或地面上）置有水準尺，在水準尺上可以看出細繩端部（懸有重物）相應移動的記號。

● 詳細內容見技術科學副博士維諾庫爾斯基所著“起重機空間橋架的計算”一書，Машгиз 1948年版。