

砌体中挑梁倾覆的试验研究

宋雅涵*

(土建系)

提 要

本文综合了20多个砌体中钢筋混凝土挑梁倾覆破坏试验的研究成果。对挑梁倾覆破坏的机理进行了分析研究。提出取梁尾 45° 角以上的砌体和楼板的重量为抗倾覆荷载。文中通过对试验数据的分析,提出倾覆点位置为0.3倍梁高的公式。文后还附有挑梁下压应变曲线及数据。本文还对挑梁倾覆试验的仪表布置、加荷方法等问题作了介绍。

为了更深入地探讨研究埋置在砖砌体中钢筋混凝土挑梁(以下简称挑梁)在倾覆时的受力性能,为编制砖石结构规范和通用图集提供更充分的试验依据,郑州工学院挑梁专题研究组于81~83年在土建系结构实验室内又进行了一批(12个构件)挑梁倾覆破坏试验。这次试验是前两批挑梁倾覆试验的深入与补充。本文重点介绍在实验室进行的挑梁倾覆试验结果,同时对前两批实验也加一综合介绍。

一、试验构件情况

这批挑梁倾覆试验均以单片砖砌体进行。在前两批试验中也做了少量的丁字墙砌体,试验结果其倾覆破坏角及倾覆破坏荷载与单片砌体差别不显著,因此未再对丁字墙进行试验。挑梁宽度与墙厚相同,均为24厘米。为了研究挑梁刚度(梁高)对砌体倾覆破坏的影响,用了五种梁高进行试验。即40、30、24、18、12厘米等,(在前两批试验中还采用过梁高为35厘米和50厘米。)为了防正钢筋混凝土挑梁早于砌体破坏,挑梁的配筋都偏于安全。挑出长度2米的梁配置四根园25的一级钢筋,在挑出长度1米的梁配四根园20的一级钢筋,箍筋为 ϕ (园)6间距10厘米,挑梁两端箍筋可适当减少,混凝土标号要求为200号,实际达到300号以上。

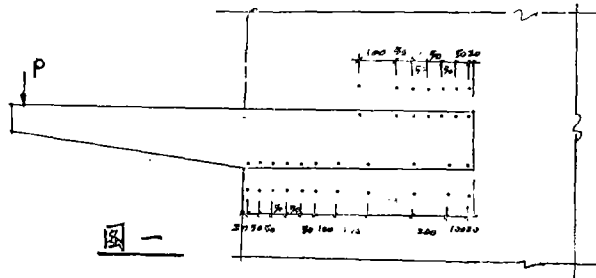
挑梁的位置,一般离地面80厘米左右,这是因为①好量测梁下砌体压应变读数,②梁下有一定高度的砌体与实际情况较接近,③若挑梁离地面太高整片墙砌体高度太大容易失稳。挑梁上砌体高度为1.5~2.0米之间。挑梁上砌体材料砖多为75号,有几个试件为50号,砂浆标号从15号到50号。每根试件尺寸材料及破坏图形,请参见附图。

二、试验方法

1、仪表布置:挑梁倾覆试验目的是了解墙体的倾覆破坏形式,以及挑梁与砌体上下界

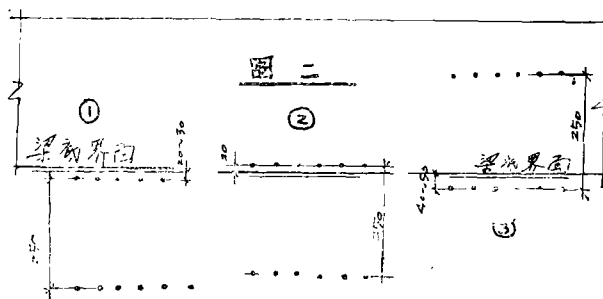
*参加专题研究工作的还有张保善、江素华等同志

面垂直应变情况,从而研究挑梁倾覆点的位置,这一批试验均以标距为250mm的手持应变仪为主要测试手段。手持应变仪测点间隔不完全相同,一般间距为5至10厘米,随埋入墙内深度逐渐加大。具体位置如图一所示,若测点恰好在灰缝上,可左右调正1厘米,以便容易贴



在墙上,手持应变仪测头是用园8毫米铜棒制成,有时也可用 $\phi 8$ 钢筋加工。测点头与墙粘贴方法有很多,我们这批试验,采用502胶固定,再用环氧树脂封涂四周。这样固定测点一般不会脱落。关于手持应变仪两测点与梁墙界面的位置有几种不同放法。第一批试件测点均放置在梁和墙界面以下,第二种布置为一个测点在挑梁下缘,一个测量在砌体上。第三种布置为在界面下4~5厘米设一测点,另一点在梁的中部。

如图二所示:



第一种布置方式没有包括界面灰缝的变形,不能完全反映砌体的变形情况。第三种布置方式与第一种相反只包括了界面灰缝的变形值,界面以下砌体变形值测不出来,第二种布置方式对研究界面附近砌体应变比较清楚,有一定的代表性,我们认为这样布置比较合适。这批试验除TL—5、TL—8外均为第二种方式。)

挑梁的挠度系用百分表量测,一般每根挑梁设置5~6支百分表,百分表的位置均在梁的中轴线上。如图三所示。

2. 加荷方法:

这一批试验是在实验室内进行,实验室有加荷架,采用油压千斤顶以集中力形式加荷,采用标定好的传感器控制荷载数值。试验中一般均先予压两级荷载以检验仪表的工作是否正常,卸荷后再进行正式试验。试验分级加荷,一般取0.5t为一级,在临近倾覆破坏时,为了能详细观察倾覆破坏情况,荷载等级划分的小些,取0.25t为一级,这种加荷载的方法比前二批试验用的杠杆加荷要方便的多。当试件倾覆时因变形过大油压千斤顶加不上荷载而自行卸荷。这样使试件不会因倾覆而倒塌,保证了试验的安全。

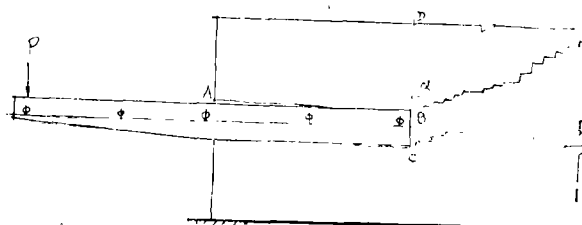


图 3

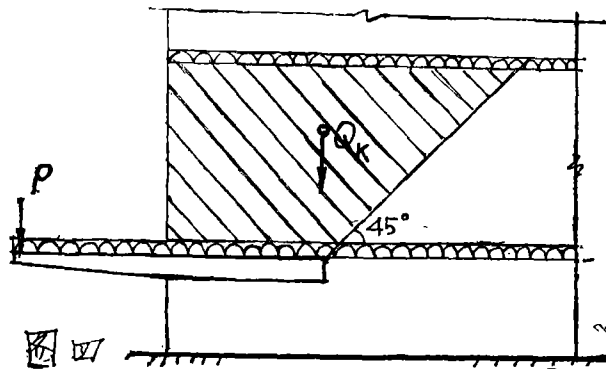
三、试验结果分析

1. 挑梁倾覆破坏的特征：挑梁试验中，一般都是先加两次荷载作为试压，将试压荷载卸去后，仪表读数基本上可以恢复到原始读数。在最初几级荷载，砌体变形值呈线性变化，表现出砌体处于弹性阶段。随着荷载值的增加，砌体的应变（应力）也随之增大，当其应力达到砌体抗拉强度时，在挑梁上界面与砌体交接的A（图三）处出现水平裂缝，此水平裂缝出现时，外荷载尚较小，约为倾覆时荷载的20%~30%左右。此裂缝出现并不影响挑梁的正常工作。随着荷载继续增加，上界面水平裂缝也逐渐向砌体内部延伸，梁的砌体应变值也逐渐增大同时受压区长度在逐渐减小，砌体显示出塑性性质，待荷载增加到一定数量时，梁尾下部砌体也将出现水平裂缝（如图三中C处），当荷载继续增加，在挑梁尾部角部强度最弱处（如图三中C或B处），将会出现阶梯形斜裂缝。此阶梯形斜裂缝将随外荷载的增加沿砌体强度最弱处向后上方向发展。并与挑梁垂线成 α 角度。出现斜裂缝时的荷载约为倾覆荷载的80%左右。试验结果证明：当挑梁尾部一旦出现阶梯斜裂缝，其发展速度很快，只要稍增加荷载，斜裂缝即很快向后上方向延伸，梁端部附近（图三B处）的裂缝也逐渐加宽。一直到将挑梁后部墙体裂通发生倾覆破坏为止。若试件砌体标号较高或挑梁埋入墙中较长时，阶梯形斜裂缝的发展可以持续几级荷载，这是靠砌体砂浆抗拉强度抵抗倾覆外荷载。通过几十个挑梁倾覆试验，我们认为：挑梁尾部一旦出阶梯形斜裂缝，挑梁就接近了倾覆破坏阶段，可以认为是挑梁倾覆的开始。在设计挑梁构件时，应不允许挑梁尾部出现阶梯斜裂缝。在试验中，有一部分试件的砂浆标号用的较低，且埋入墙中长度也较小当梁尾部刚刚发现发丝般的微裂缝，此时稍增加外荷载，试件即突然发生倾覆破坏，斜裂缝很快延伸到墙后边，这样没有一点预先警告的脆性破坏，在设计时应该特别加以重视。

在梁尾斜裂缝发展的同时，挑梁与砌体界面间水平裂缝也在发展，挑梁下砌体受压区长度进一步减小，砌体的压应力继续增大，假若梁下压应力超过了砌体局部抗压强度，则挑梁下砌体就会发生局部受压破坏。如附图TL3—2和TL—11所示。试验砌体破坏图形参见附图。

2. 关于抗倾覆荷载问题：通过三批20余个挑梁砌体破坏试验表明：挑梁倾覆破坏没有一个试件是沿挑梁尾部的垂直截面（图三中BD截面即 $\alpha=0$ ）破坏的。砌体倾覆破坏都是沿梁尾部与梁轴垂线成 α 角的阶梯形斜裂缝而破坏。这说明：斜裂缝以上砌体重量与挑梁上的砌体重量能共同抵抗倾覆荷载。过去计算挑梁的抗倾覆荷载，不考虑挑梁尾部斜裂缝以上砌体重量的作用（即只计算挑梁尾端垂线以内的砌体重量）是不符合实际情况的。因为挑梁以上

砌体是一个有一定强度的整体砖墙,挑梁倾覆时不可能象人们所想象的把砌体割裂成与水平线 90° 度范围内的(梁端垂线范围)。这种整体作用,在雨蓬倾覆破坏试验中同样明显的表现出来。(关于雨蓬试验报告见另文)。由表一可以看出,斜裂缝与梁尾垂线的夹角 α 一般均大于 45° 。26根试件 α 角的平均值为 57.1° ,均方差 9.88° ,为于计算方便和偏了安全考虑,可按挑梁尾端 45° 角以上范围内砌体重量计算抗倾覆荷载值,若此范围内有楼板自重等恒载,当然也应将这些重量计算在抗倾覆荷载中。如图四所示(只考虑挑梁上一层重)试试也表明:



砌体砂浆标号和挑梁上墙的高度对斜裂缝 α 角有一定影响,砂浆标号较高和挑梁上砌体较高时,斜裂缝 α 角(与挑梁垂线夹角)也较大些,具体数字详见表一。

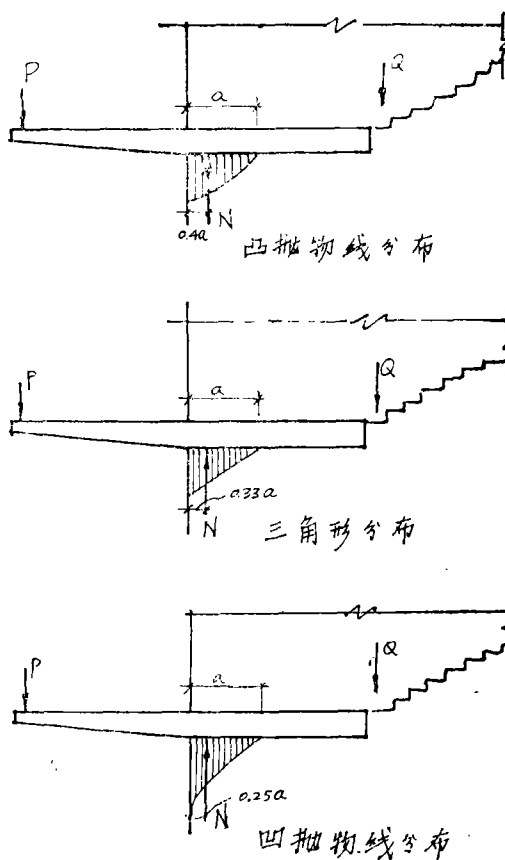
3. 关于倾覆点的位置

所谓倾覆点的位置,是指挑梁在倾覆时,倾覆荷载(外加荷载)和抗倾覆荷载(墙体、楼面等重量)围绕哪一个点(实际是一条线)相平衡。这个点也就是挑梁下砌体压应力合力点的位置。这个点与挑梁高度,埋入砌体长度以及梁上墙高等因素有关。根据试验统计,当挑梁埋入砌体2米左右,梁上墙高在 $1.5 \sim 2$ 米时,梁下压应力分布长度约为 1.2 倍的梁高。可近似认为压应力的长度约为梁高的 1.2 倍,如表二所示。梁下压应力分布图形,有三种可能:①凸抛物线分布,②三角形直线分布,③凹抛物线分布。如图五所示。图中合力作用点至墙边缘

表 2

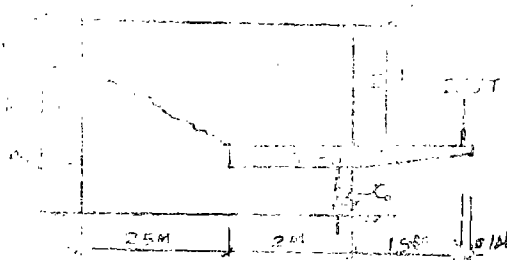
序 号	梁 号	压应变长度 α cm	梁高 h cm	α/h
1	TL—1	45	40	1.13
2	TL—3	46	40	1.15
3	TL—5	42	40	1.05
4	TL—2	32	30	1.07
5	TL—4	33	30	1.1
6	TL—7	49	40	1.23
7	TL—8	36	30	1.2
8	TL—9	28	18	1.56
9	TL—10	12	12	1

10	TL—11	28	24	1.17
11	TL 0—3	50	40	1.25
12	TL 3—1	39	30	1.3
13	TL 5—1	48	35	1.37
14	TL 6—1	46	35	1.31
15	TL 6—2	39	35	1.11
				平均 $\alpha/h = 1.2$
				$\delta = 0.138$



图五

距离即为倾覆点的距离 X_0 。从挑梁试验分析可知：当梁尾斜裂缝出现时，倾覆点位置距墙边较远，与应力较饱满的凸抛物线分布较接近，而当荷载加至即将倾覆时，梁下应变值变化比较大，倾覆点位置向墙边缘移动，与凹抛物线分布较接近。现以TL—3试件为例。计算其倾覆点位置。砌体试件容重为 $1750\text{kg}/\text{m}^3$ ，24墙重为 $420\text{kg}/\text{m}^2$ 倾覆荷载为



$$\begin{aligned} M_q &= 2.75(1.9 + x_0) + 0.24 \times 0.3 \times 2 \times 2.5(1 + X_0) \\ &= 5.23 + 2.75X_0 + 0.36 + 0.36X_0 \\ &= 5.59 + 3.11X_0 \end{aligned}$$

抗倾覆荷载为

$$\begin{aligned} M_k &= 2 \times 2 \times 0.42(1 - X_0) + 0.66 \times 2.5 \times 0.42(3.25 - X_0) \\ &\quad + \frac{1}{2} 1.34 \times 2.5 \times 0.42(2.8 - X_0) \\ &\quad + 0.24 \times 0.4 \times 2 \times 2.5(1 - X_0) \\ &= 1.68 - 1.68X_0 + 2.25 - 0.69X_0 + 1.97 - 0.7X_0 + 0.48 \\ &\quad - 0.48X_0 \\ &= 6.38 - 3.55X_0 \end{aligned}$$

两者相平衡则有 $X_0 = \frac{6.38 - 5.59}{3.11 + 3.55} = \frac{0.79}{6.66} = 0.119\text{m}$

从表二中知应力分布长度 a 为 46cm

$$\frac{x_0}{a} = \frac{11.9}{46} = 0.258$$

符合四抛性线分布规律。

根据以上分析, 我们可取梁下受压长度 a 为 1.2 倍梁高即

$$a = 1.2h$$

倾覆点位置 X_0 按四抛性线分布

$$X_0 = 0.25 \cdot a = 0.25 \times 1.2h = 0.3h \dots \dots \dots (1)$$

即倾覆点位置可按 0.3 梁高进行计算。

用 (1) 式计算值和 [2] 理论分析公式比较见表三

从表三可以看出当梁高为 30~35cm 时, 用 (1) 式和理论分析公式计算倾覆点位置相差不大, 这也说明: 将挑梁当作以砌体为基础的弹性地基梁, 用文克勒尔假定分析挑梁倾覆点 X_0 , 与实验结果比较接近。

4. 关于灰缝强度在抗倾覆中的作用

此问题在“挑梁倾覆试验研究报告”(一)和(二)中已有详细计算。本文不再对第三批试验进行重复计算。其结论是挑梁在梁尾斜裂缝出现后倾复破坏前, 沿阶梯斜裂缝断面未开裂部分, 灰缝中存在拉应力。但是, 其拉应力或者数值很小 ($0.2 \sim 0.3 \text{ kg/Cm}^2$), 或者

表三

	1	2	4	4	
梁 高	$X_0 = 0.3h$	$X_0 = 0.7\sqrt[4]{h^3}$	$X_0 = \frac{1}{5\alpha}$	$\frac{②-①}{②}$	$\frac{③-①}{③}$
50cm	15	13.16	13	-14%	-15%
40cm	12	11.13	11	-7.8%	-9%
35cm	10.5	10.1	9.6	-4%	-9%
30cm	9	8.97	8.1	0.4%	-11%
24cm	7.2	7.6	7.2	5.2%	0
18cm	5.4	6.1	5.8	11%	7%
12cm	3.6	4.5	4.3	20%	16%

分布长度较短，（约20cm左右）。由此可见，在抗倾覆验算不宜考虑灰缝强度的作用，这是偏于安全的简化方法。

参 考 文 献

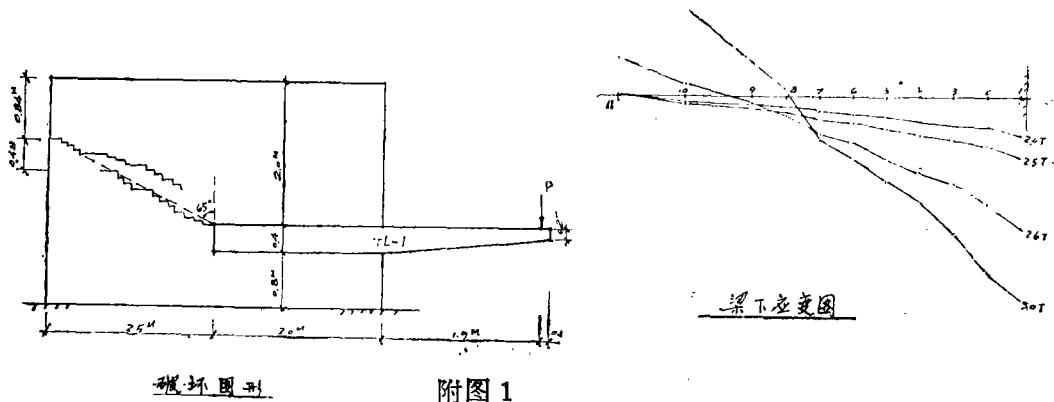
- 〔1〕 郑州工学院、二机部五院等《钢筋混凝土挑梁倾复验试研究报告》（一）、（二）1977年、1979年
- 〔2〕 张保善、宋雅涵《砌体中悬臂挑梁计算方法的研究与建议》1983年
- 〔3〕 宋雅涵《钢筋混凝土挑梁倾复计算方法探讨》郑州工学院学报 1980年年一期。
- 〔4〕 砖石结构设计规范GBJ3—73。

表 1

编 号	断 面 $b \times h$	L_0 (M)	L_m (M)	H (M)	砂 浆 标 号	开裂荷载 (kg)	破坏荷载 (kg)	破坏角度 α
TL ₀ —1	20×35	1.88	2.62	1.5	30	2250	3375	53°
TL ₀ —2	20×35	1.88	2.62	2.0	53	2600	3350	52°
TL ₀ —3	24×40	1.88	2.12	2.0	60	3100	4100	52°
TL ₀ —4	24×40	1.88	2.12	2.0	100	4100	4850	57°
TL ₁ —1	24×35	1.9	2.0	2.0	4	1300	2350	42°
TL ₁ —2	24×35	1.9	2.0	2.0	10	1600	2200	—
TL ₁ —3	24×35	1.9	2.0	2.0	25	2800	3100	62°
TL ₂ —1	24×35	1.9	2.0	1.5	58	2200	2800	45°
TL ₂ —2	24×35	1.9	2.0	2.5	45	2800	4460	63°
TL ₃ —1	24×30	1.9	2.0	2.0	50	2500	3100	45°
TL ₃ —2	24×50	1.9	2.0	2.0	32	3200	3500	48°
TL ₄ —1	24×35	1.9	1.0	2.0	50	1000	1150	55°
TL ₄ —2	24×35	1.9	3.0	2.0	65	2300	3980	55°
TL ₅ —1	24×35	1.9	2.0	2.0	30	3400	3850	49°
TL ₅ —2	24×35	1.9	2.0	2.0	27	3400	4000	50°
TL ₅ —3	24×35	1.9	2.0	无墙	—	—	1450	—
TL ₆ —1	24×35	1.9	2.0	2.0	65	2500	3100	50°
TL ₆ —2	24×35	1.9	2.0	2.0	65	2500	3100	45°
TL—1	24×40	1.9	2.0	2.0	25	2500	3000	65°
TL—2	24×30	0.9	1.0	1.5	15	1250	1500	61°
YL—3	24×40	1.9	2.0	2.0	23	2250	2750	62°
TL—4	24×30	0.9	1.0	2.0	50	3000	3500	72°
TL—5	24×40	1.9	2.0	2.0	55	2750	3750	73°
TL—7	24×40	1.56	1.54	2.0	29	2000	2500	78°
TL—8	24×30	0.8	0.84	1.5	25	1250	1500	77°
TL—9	24×18	0.69	1.0	1.7	50	2400	2500	64°
TL—10	24×12	0.50	0.91	1.7	50	2200	3000	58°
TL—11	24×24	1.12	2.48	2.0	59	3500	4000	52°

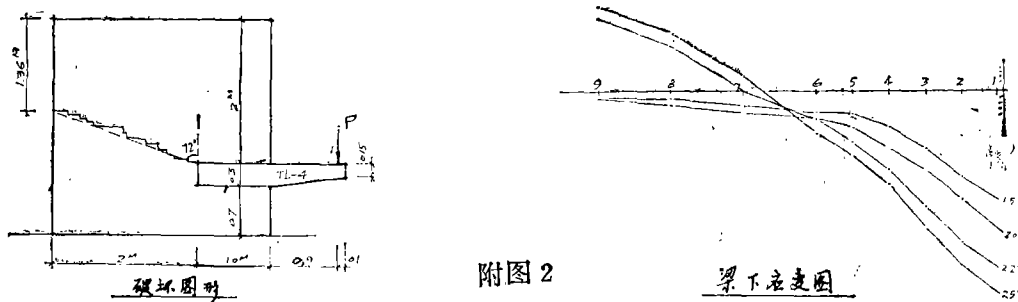
$$\alpha = 57.1^\circ$$

$$\delta = 9.8^\circ$$



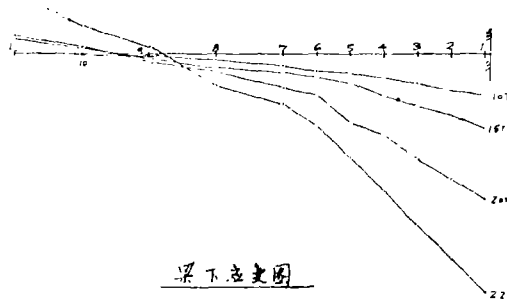
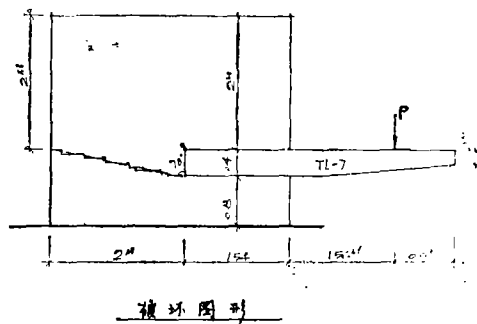
测 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
距 离Cm	2	7	12	17	22	27	32	37	42	52	62
P = 2.0T	-1160	-900	-840	-740	-600	-520	-440	-300	-260	-160	+20
P = 2.5T	-1780	-1420	-1260	-1120	-940	-760	-660	-460	-380	-200	+20
P = 2.6T	-3860	-3140	-2580	-2200	-1800	-1340	-1100	-540	-180	+380	+1180
P = 3.0T	-5900	-5160	-4020	-3060	-2580	-1820	-1260	+180	+1000	+2540	+4000

TL-1 梁下应变值
单位 $\mu\epsilon$



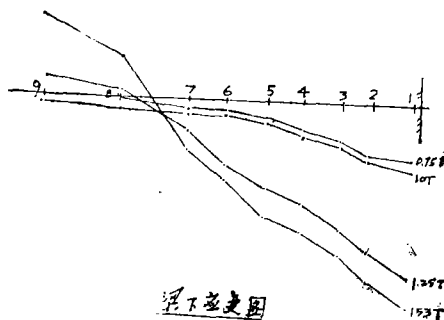
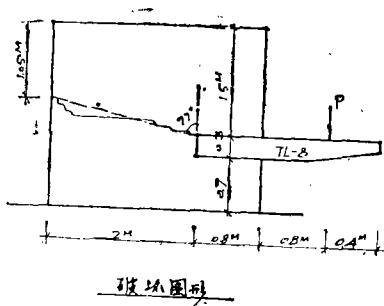
测点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
距离Cm	3	8	13	18	23	28	38	48	58
P = 1.5T	-300	-240	-160	-100	-60	-60	-40	-20	-20
P = 2.0T	-380	-320	-220	-160	-100	-80	-60	-40	-20
P = 2.2T	-480	-420	-320	-220	-140	-80	0	+120	+200
P = 2.5T	-560	-480	-380	-260	-180	-120	+40	+180	+240

TL-4 梁下应变值
单位 $\mu\epsilon$



附图 3

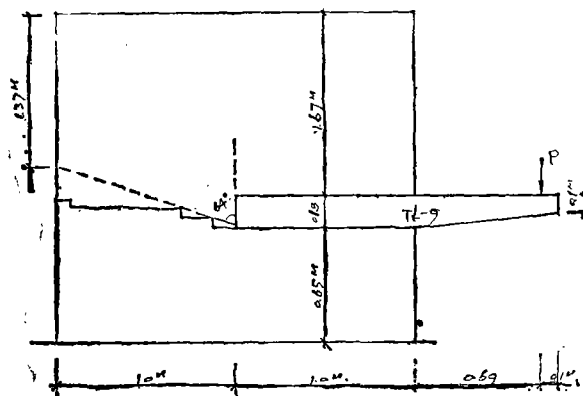
测点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
距离Cm	1.5	6	10	16	21	26	31	41	61	71	81
P = 1.0T	-640	-560	-450	-350	-320	-260	-190	-100	-80	-60	-60
P = 1.5T	-1130	-940	-820	-650	-480	-380	-280	-220	-120	+100	+180
P = 2.0T	-2180	-1900	-1520	-1240	-1020	-650	-510	-280	-140	+120	+240
P = 2.2T	-3620	-3180	-2580	-2080	-1560	-1180	-790	-480	+580	+620	+900

TL-7梁下应变值
 $\mu\epsilon$ 

附图 4

测点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
距离Cm	2	6	11	16	20	26	32	42	53
P = 1.53T	-1120	-980	-840	-720	-640	-440	-280	+400	+440
P = 1.25T	-960	-820	-700	-560	-450	-360	-180	+40	+80
P = 1.0T	-360	-320	-240	-200	-120	-80	-80	-60	-40
P = 0.75T	-300	-280	-200	-160	-100	-80	-60	-40	0

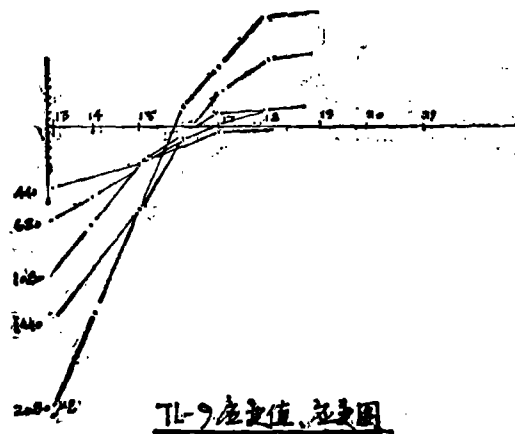
TL-8梁下应变值
 $\mu\epsilon$



TL-9 构造图

附图 5

荷载 P	2.5T	2 T	1.6T	1.2T	0.8T
梁下压应变长度(Cm)	28cm	32cm	36cm	40cm	60cm

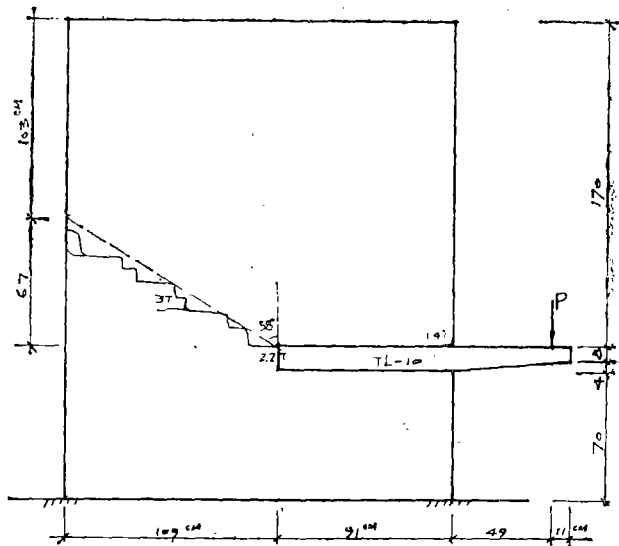


TL-9 应变值、应变图

附图 6

测 点	13	14	15	16	17	18
距 离	2	11	20	30	40	51
P = 2.5T	-2080	-1300	-600	+140	+420	+760
P = 2.0T	-1440	-1020	-540	-100	+280	+360
P = 1.6T	-1080	-700	-320	-180	+100	+180
P = 1.2T	-680	-440	-260	-120	0	+120

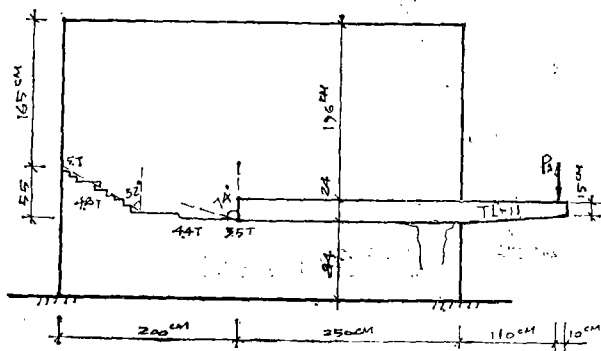
单位 $\mu\epsilon$



附图 7

荷载P (T)	3.0	2.8	2.4	2.2	
梁下压应变长度(Cm)	12	14	15	16	

TL-10



附图 8

荷载P(T)	5.0	4.4	3.8	3.5	2.8
梁下压应变长度(Cm)	28	30	35	36	38

TL-11