

悬挂式书架的设计与试验

土建系 宋雅涵

前几年,我们为某大学设计的图书馆书库,采用了悬挂式书架的设计方案。这种设计系将书籍及夹层板的重量,让悬挂在承重梁上的钢筋吊杆来承受。这种结构形式有以下几个特点:

1.以受拉圆钢代替传统的受压柱(钢或混凝土),书架的断面大大减小,因而可以节约材料,降低造价。

2.加工比较方便,叠架式钢支柱,虽有坚固、耐久等优点,但一般建筑公司不具备加工能力。而悬挂式书架的钢筋吊杆,比较容易加工,精度要求不十分高,建筑、制作不会发生什么困难。

3.采光通风效果良好,因书架本身体积很小,进入室内给人以敞亮舒适之感,不象钢筋混凝土板柱体积硕大,影响室内采光及通风效果。现在该书库已经建成,即将投入使用。使用前,我们对悬挂书架(钢筋)进行一次荷载实验。现将结构设计及实验情况介绍如下:

一、设计概况

书库面积共2300平方米,系六层建筑,其中三层结构层(承重层)为装配整体式框架结构。在结构层的梁上,间距1.2米悬挂两根 $\Phi 14$ 钢筋(书架),每层悬挂钢筋上,设7层搁板放置书籍。悬挂钢筋中部,焊接短角钢,安放预制走道板为一夹层(甲板),悬挂书架承担 2×7 即14层搁板和夹层重量。建筑剖面如图1所示。

结构层为装配整体式结构,梁柱连接按规范组建议的DZ-1标准节点,为了加强结构的整体性,梁均采用叠合式,楼面为预制多孔板,板上做4厘米细石混凝土,混凝土中铺 $\downarrow 6$ 间距300毫米钢筋网。在预制梁上,预留孔洞,将预制钢筋吊杆埋入梁内,节点构造详见

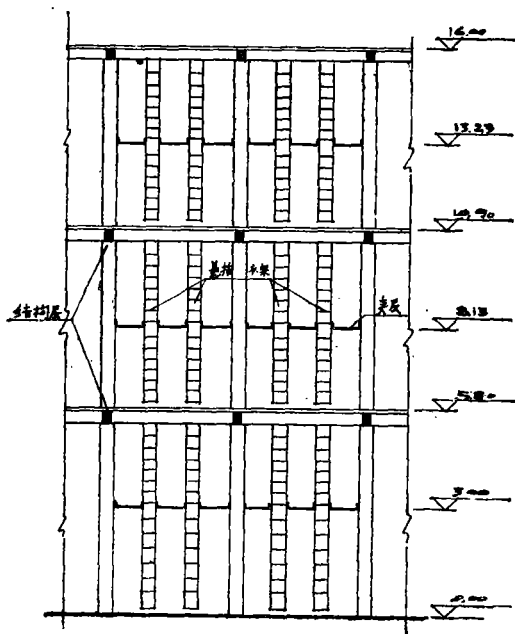


图1

图2和图3，钢筋吊杆详图参见附图19、20。

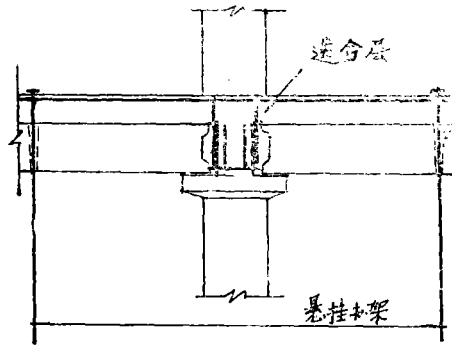


图 2

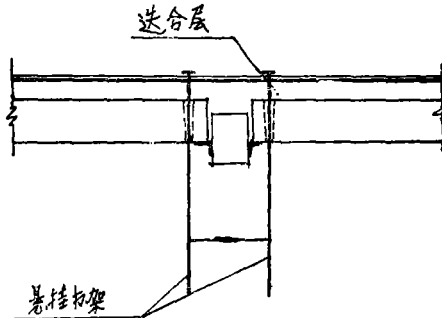


图 3

二、悬挂书架荷载试验

该书库主体工程完成后，在安装书架搁板时，由于搁板的长度尺寸不准确，在安装搁板时将悬挂书架吊筋扭弯（如图5及附照片所示），以适应搁板的长度。这样有些悬挂吊筋的外形很不美观，更重要的是，悬挂书架弯曲以后，对承载能力有多大影响，是否会影响使用的安全？这种结构形式实践不多，文献资料中也找不到解答。为此，我们选择了三个扭曲比较严重的书架，进行一次荷载试验，现将试验有关问题介绍如下。

1. 试验目的

①检验形状不规则的悬挂书架（吊筋），在设计荷载作用下，产生的变形和内力，为书库的使用提供依据。

②将试验结果与设计计算进行对比，为改进和提高悬挂式书架设计工作提供资料。

2. 加载和测试方法

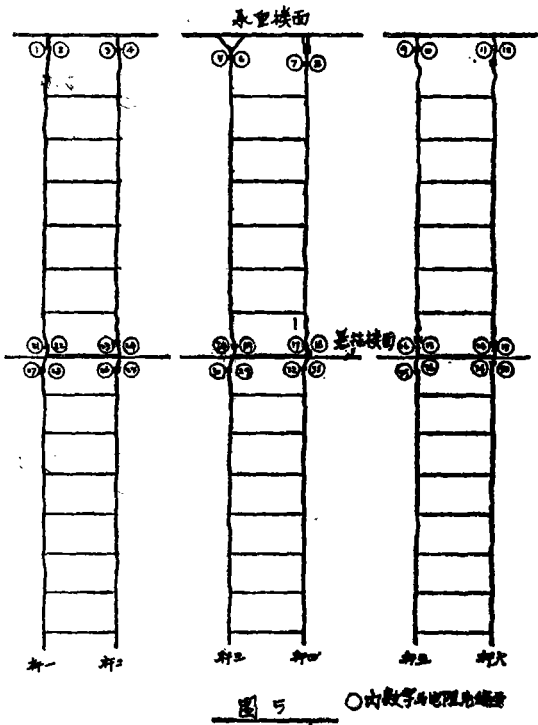
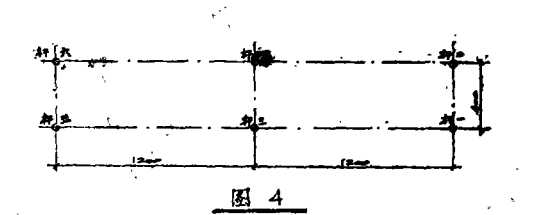
取两跨搁板，共三组六根悬挂钢筋进行试验，平面如图4所示。用红砖作荷载。

根据设计荷载的计算，每层搁重为114公斤。试验分六级加载，每次荷载约19公斤，每块红砖平均按2.5公斤，每级荷载在每层搁板加八块红砖。每根钢筋每次荷载数值如下

一 级	二 级	三 级	四 级	五 级	六 级
140kg	280kg	420kg	560kg	700kg	840kg

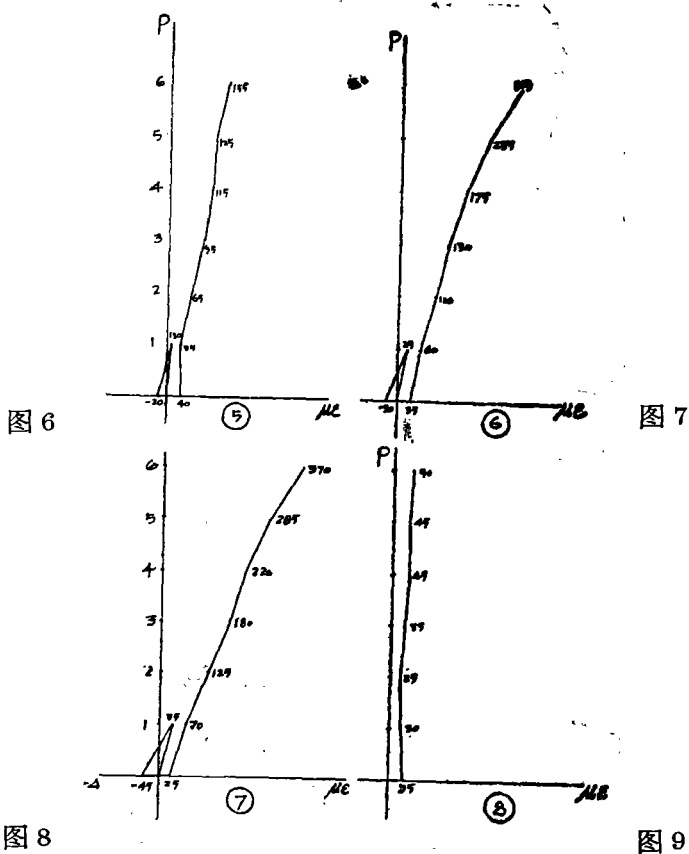
加荷次序为：先试加一级荷载，卸荷后读仪器读数，停三小时，再读一次仪器读数，以后正式加载进行试验。加载情况见附照片1。

数据测试采用一台YJD-1型电阻应变仪，在每根悬挂吊筋最上端及悬挂板上下两端（共三处）粘贴2×10电阻片。为了观察钢筋弯曲后的受力情况，电阻片在钢筋直径上成对粘贴，一个贴凸面，一个贴凹面，试验表明，这样粘贴电阻片，对了解钢筋的受力状态，很有用处。试验共测试6×6=36个点，详见图5。



3. 试验数据分析

① 荷载应变图形, 图 6 ~ 图 17 列出了试验书架杆三、杆四 (中间两根钢筋) 的各点荷载应变图形, 这些图形表明: 悬挂钢筋各点的应力与应变基本上呈线性变化。这说明, 尽管试验悬挂钢筋的形状很不规则, 在设计荷载作用下, 各点应力, 尚未到达屈服阶段。① 号电阻片在第六级荷载, 图形有些变化, 但从其应变数值为 $430 - 45 = 385 \mu\epsilon$ 来看, 其应力为 $385 \times 2.1 = 809 \text{ kg/cm}^2$, 距屈服应力尚远, 各测片中, 以 ② 号应变值最大, 其数值为 $835 - 55 = 780 \mu\epsilon$ 应力值为 1638 kg/cm^2 , 接近于钢结构规范中钢筋允许应力值 ($1700 \times 0.95 = 1615 \text{ kg/cm}^2$), 其他各点最后一级应变与应力数值见表 1 所示。



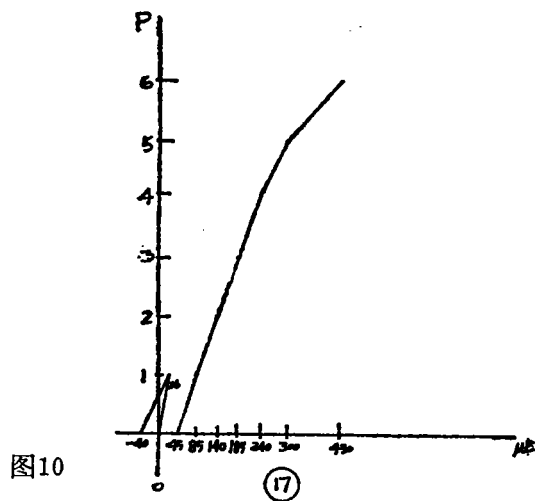


图10

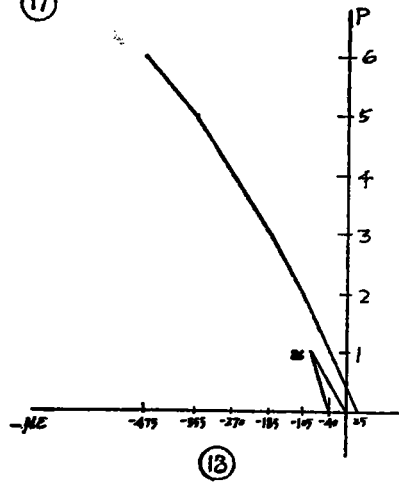


图11

图12

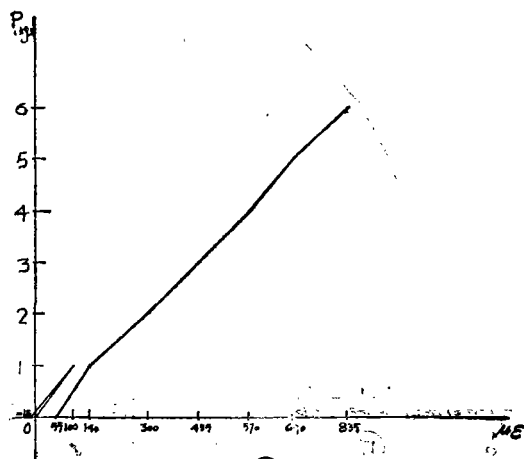
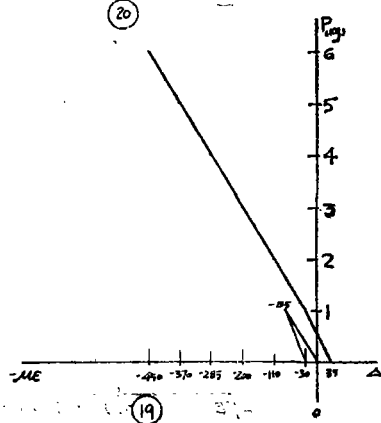
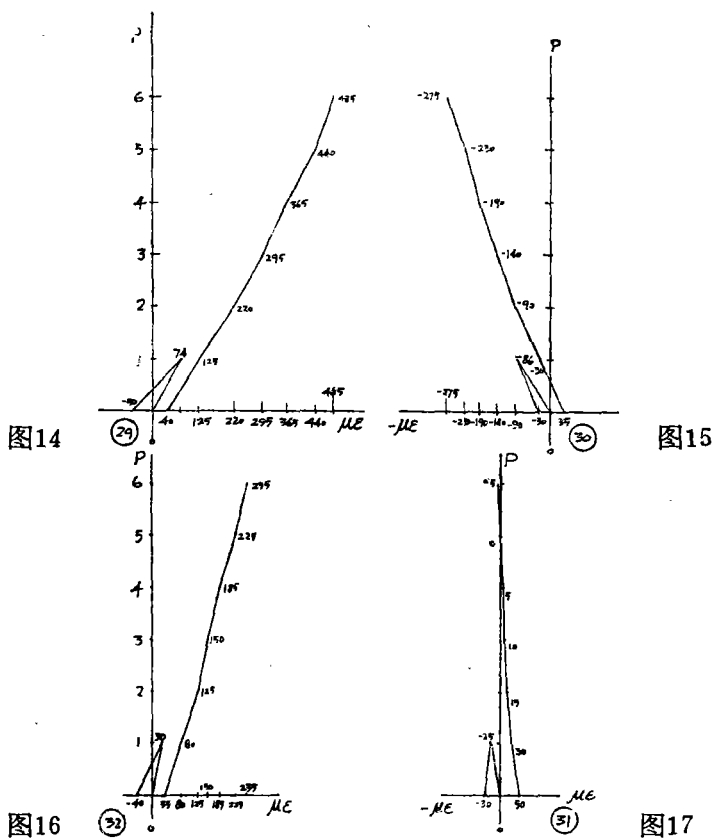


图13

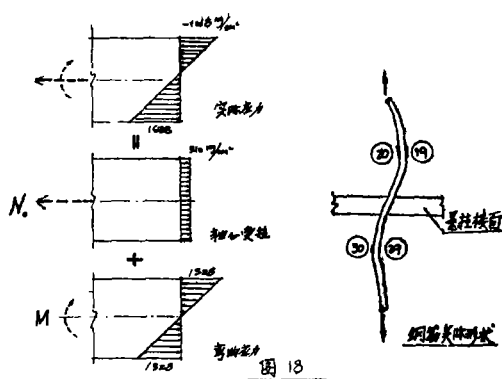




②钢筋受力性质, 从表1可以看出, 试验悬挂吊筋上, 成对电阻片的应变值多为异号, 即一边受拉一边受压, 如①⑦与①⑧, ①⑨与②①, ②②与②③和②④与②⑤等, 试验结果与钢筋形状比较, 可以看出, 正应变多在钢筋的凹边, 负应变多在钢筋的凸边, 如图18右钢筋局部放大图。现在我们以①⑨和②①号电阻片为例, 进行一些分析。将试验得出的应力图形, 分解成一个轴心受拉应力图形和一个弯曲应力图形, 如图18左边所示。

表1

电阻号	μE (10^{-6})	σ ($10^{-6}/cm$)	电阻号	μE (10^{-6})	σ ($10^{-6}/cm$)	电阻号	μE (10^{-6})	σ ($10^{-6}/cm$)
9	75	158	5	115	242	1	15	32
10	180	378	6	280	588	2	45	95
11	-65	-137	7	345	725	3	80	168
12	185	389	8	15	32	4	-30	-63
13	260	546	17	385	809	21	440	924
14	-250	-525	18	-500	-1050	22	-425	-893
15	-170	-357	19	-485	-1018	23	-285	-599
16	260	546	20	780	1638	24	195	410
33	-180	-378	29	445	935	25	-330	-693
34	170	357	30	-310	-651	26	295	620
35	-60	-126	31	220	462	27	-205	-431
36	65	137	32	-55	-116	28	330	693



$$\text{轴 心 应 力 } \sigma_0 = \frac{1}{2} (1638 - 1018) = 310 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{轴向力 (推算) } N_0 = \sigma_0 \times A_g = 310 \times 1.539 = 477 \text{ kg}$$

$$\text{弯 矩 } M = \sigma \cdot w = (1638 - 310) \times \frac{\pi d^3}{32} = 1328 \times 0.27 = 358 \text{ kg-cm}$$

$$\text{偏 心 矩 } e_0 = \frac{M}{N_0} = \frac{358}{477} = 0.75 \text{ cm}$$

钢筋在该处实际承受荷载为砖自重加悬挂走道板重。即

$$N_{\text{实}} = \frac{1}{2} (48 \times 7 \times 2.5 + 0.06 \times 2500 \times 1.2 \times 0.8) = 420 + 72 = 492 \text{ Kg}$$

试验荷载轴心应力为

$$\sigma_{\text{轴}} = \frac{492}{1.539} = 320 \text{ Kg/cm}^2$$

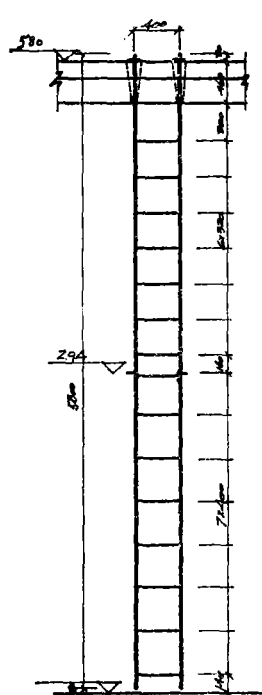
同理可得出杆三杆四上其他各片的弯矩等数值, 如表 2 所示。

表 2

电阻片号	σ_0 kg/cm ²	M kg-cm	e_0 Cg	$\sigma_{\text{轴}}$	$\sigma/\sigma_{\text{轴}}$
⑤ ⑥	173	47	0.176	593	588/593 = 0.99
⑦ ⑧	347	94	0.176	593	725/593 = 1.22
⑪ ⑫	120.5	251	1.35	320	1050/320 = 3.28
⑬ ⑭	310	358	0.75	320	1638/320 = 5.12
⑮ ⑯	142	214	0.98	273	935/273 = 3.42
⑰ ⑱	173	78	0.29	273	462/273 = 1.69

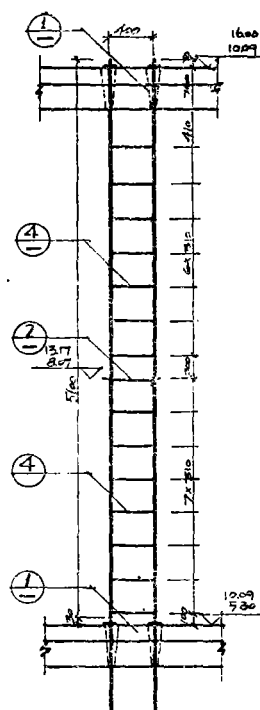
从表2中可以看出:悬挂钢筋上端(⑤⑥⑦⑧号)偏心较小,接近轴心受拉构件,测试数值也表明,与试验荷载轴心应力基本一致。这是由于钢筋上端形状比较平直、比较符合设计要求之故。但悬挂钢筋中部,扭曲十分严重,试验结果说明,⑪⑫⑬⑭号四片应力很不均匀,钢筋应力竟达到轴心应力五倍多,这说明构件受力性质已发生变化,应按偏心受拉构件进行设计计算。

3.综合以上试验及分析说明:悬挂式书架结构,对外形尺寸比较敏感,由于施工偏差,使钢筋应力大大增加。因此,在这类结构施工操作中,一定要严格按照设计要求,以保证结构的安全。在设计中也应充分考虑这种不利因素。过去只将允许应力乘以0.95的折减系数的做法是不够的。通过这次试验,笔者认为:悬挂式书架这种结构形式,不宜按轴心受拉构件进行设计计算,而按偏心受拉构件进行设计和计算。设计中要充分考虑施工偏差。即使按偏心受拉构件计算,这种结构形式也会比其他形式的断面小得多。



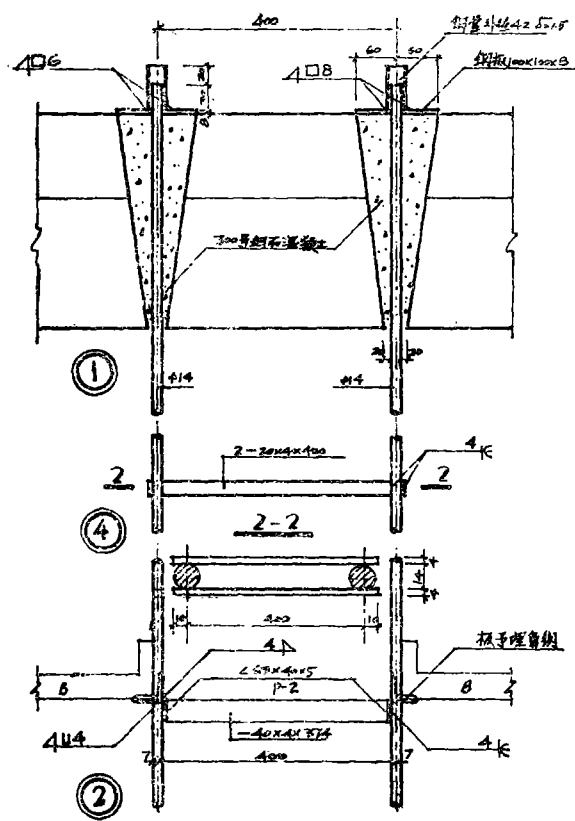
悬挂书架详图

图19

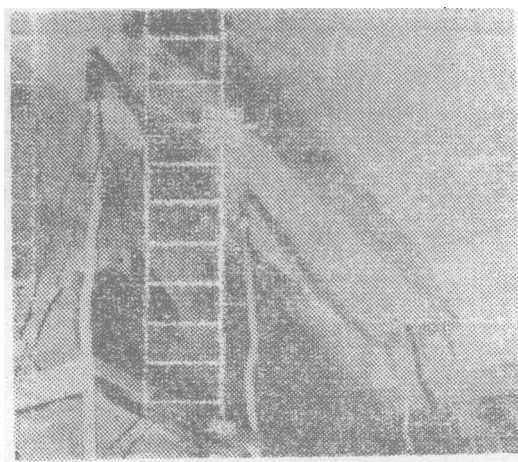


悬挂书架详图

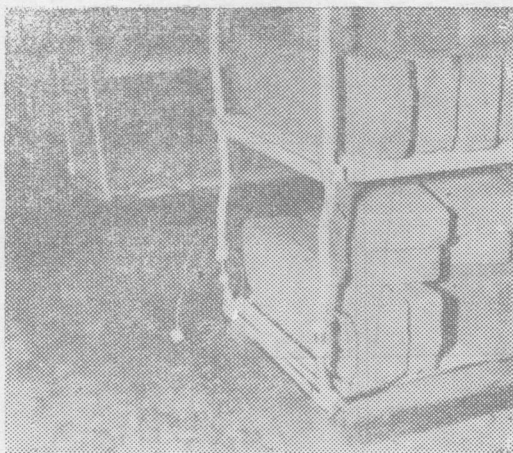
图20



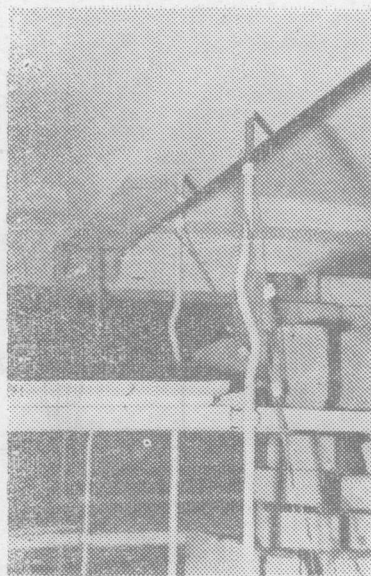
照片 1



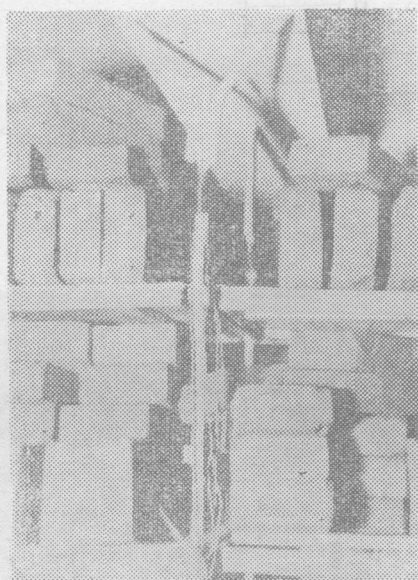
照片 2



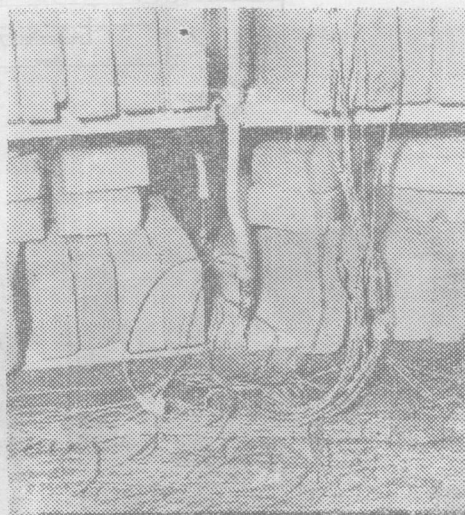
照片 3



照片 4



照片 5



照片 6