

# 梁柱铰节点钢牛腿的试验研究

张保善 唐克强

(土建系)

## 提 要

本本通过对八个铰节点的试验研究,分析了梁柱铰节点中钢牛腿各部分的受力特性及应力—应变状态,指出了钢牛腿构造的基本要求,得到使用阶段的最大承载力及极限承载力,提出了改原设计的措施和意见,实际工程中的应用效果较好。

**关键词:** 钢牛腿、铰节点、承载力。

为了适应我国电力建设事业发展的需要,缩短设计周期,方便施工,便于结构构件制作标准化、工厂化以及便于工艺设计和设备安装,加快建设速度,我们在设计单位和施工单位的紧密配合下,进行了外包钢结构中梁柱铰节点钢牛腿的试验研究,其研究成果已应用到姚孟电厂建设中。

## 一、试件设计及分类

根据工程要求,我们设计了四种构造不同的钢牛腿铰节点试件,每个节点由截面为 $60 \times 60$ 厘米的一段外包角钢混凝土柱与两个牛腿组成,牛腿部分的直接受力构件是用焊有加强板肋的工字型钢梁或槽型钢梁所组成,钢梁两端分为焊接在悬挑钢板上和直接焊接在外包角钢柱的角钢上两类,在柱的侧面又分为有连接钢板与不设连接钢板两种,连接钢板的宽度又有25和10厘米两种,而且其位置亦有差异。另外,我们还专门设计了一边为钢牛腿,另一边为混凝土牛腿的试件,互相进行比较。为结合工程实际情况,设计的试件尺寸比例为1:1,数量为8个,详细情况见表1。

## 二、试 验 研 究

### (一) 试验装置与测试手段

本批八个节点试验全部在500T压力机上进行,其荷载经刚性分配梁、压力传感器、刚性承力架、荷载分布梁传递给牛腿,试验装置详见图5。

试验中我们用3×5纸基电阻应变片量测了钢梁跨中截面翼板和腹板、加劲肋板、悬挑钢板、柱中箍筋及混凝土牛腿的混凝土等的应变,用百分表测量了悬挑钢板的扭转以及钢梁的竖向挠曲变形等。采用分级加载,最终加到钢梁变形较大时停止试验。主要试验结果见表2。

### (二) 试验结果分析

#### 1. 钢梁的受力特点:

本文1986年12月10日收到。

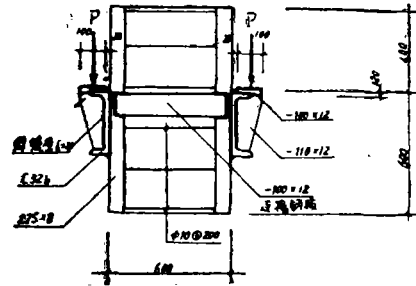


图1

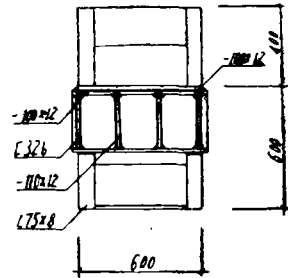


图2

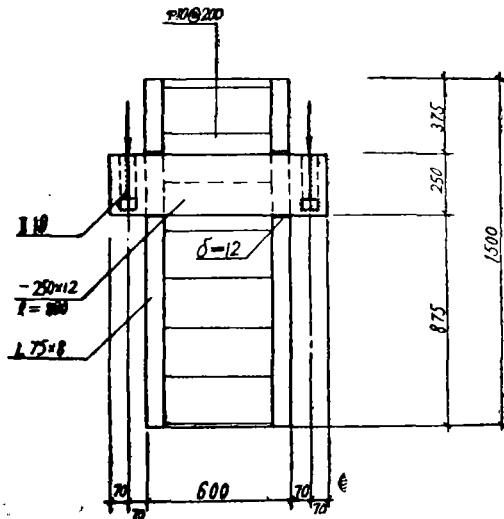


图3

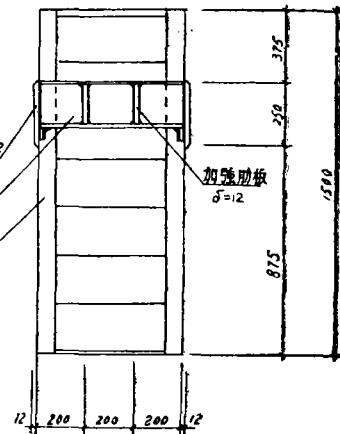


图4

表 1: 试件分类明细表

序号	试件名称	试件尺寸	牛腿类型	牛腿支承	连接钢板
1	Z-1	见图1.图2.槽型钢梁高32cm	图1.图2.钢梁直接焊在柱角钢上	利用柱角钢与槽型钢梁的焊缝	见图1.柱侧面焊在柱角钢上
2	Z-5				
3	Z-7	同上	同上	同上	无
4	Z-8				
5	Z-2	见图3.图4.工字型钢梁,高18cm	见图4.钢梁中焊有加劲肋板	工字型钢梁直接支承在悬挑钢板之上	见图4.柱侧面焊有连接钢板于角钢上.长880mm
6	Z-6				
7	Z-3	一边混凝土牛腿.一边工字型钢梁牛腿		同上	钢板焊在连接钢板上.钢板长度为740mm
8	Z-4				

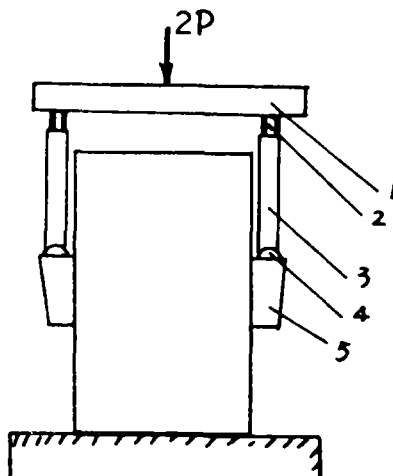


图5

1. 刚性分配梁, 2. 荷载传感器,  
3. 刚性承力架, 4. 荷载分布梁,  
5. 牛腿。

表 2

钢牛腿各部分主要试验结果一览表

试 件 名 称	工 作 状 态	荷 载 [T]	应 力 (kg/cm <sup>2</sup> )						箍 筋
			钢 梁 上 部	钢 梁 下 部	支承钢板 下外缘	支承钢板 下外缘	加劲肋板 上部	加劲肋板 下部	
Z-2	设计荷载	40	2667	屈服	1762	屈服	964	130	无测
	[ $\sigma$ ]	25	1919	1600	993	1676	237	117	" "
Z-6	设计荷载	40	1554	2069	977	屈服	725	95	" "
	[ $\sigma$ ]	30	945	1600	752	屈服	473	84	" "
Z-3	设计荷载	40	2531	2048	1911	屈服	790	107	" "
	[ $\sigma$ ]	28	1846	1600	1134	2630	271	84	" "
Z-4	设计荷载	40	2163	屈服	1827	屈服	1313	147	" "
	[ $\sigma$ ]	27.5	1798	1600	1155	1575	294	105	" "
Z-1	设计荷载	40	664	353	/	/	1193	451	" "
	[ $\sigma$ ]				/	/			" "
Z-5	设计荷载	40	2180	1197	/	/	2478	1302	" "
	[ $\sigma$ ]	37.5	1600	813	/	/	1869	231	" "
Z-7	设计荷载	40	712	1155	/	/	1735	323	2627
	[ $\sigma$ ]				/	/			
Z-8	设计荷载	40	851	1197	/	/	1193	454	1065
	[6]								

注：表中屈服指钢材应力为2800kg/cm<sup>2</sup>。

试件中钢牛腿的钢梁分为槽钢和工字型钢梁两种，都是根据设计荷载按允许应力法采用简支梁设计理论设计的。

图6为试件Z-5槽型钢梁跨中截面腹板实测荷载—应变曲线。其余同类试件的试验结果具有类似特征。由图中可以看出，在使用荷载作用下 ( $p \leq 40T$ )，荷载—应变曲线呈直线变化，钢梁工作在弹性阶段内，最大压应变为280 $\mu\epsilon$ ，最大拉应变为337 $\mu\epsilon$ ，相应的应力分别为-588kg/cm<sup>2</sup>和708kg/cm<sup>2</sup>，远远小于设计的控制应力1700kg/cm<sup>2</sup>。继续增加荷载，应变增长速率减慢，这是由于支座为悬挑钢板，对槽钢有嵌固作用，梁的高跨比仅有1.8左右，并非为普通梁，受力特征亦有类似深梁的性质，加之中间另加两块竖向加强肋板，钢梁的受力更为复杂。

图7为试件Z-2工字型钢梁中间截面实测荷载—应变曲线。其余同类试件试验结果

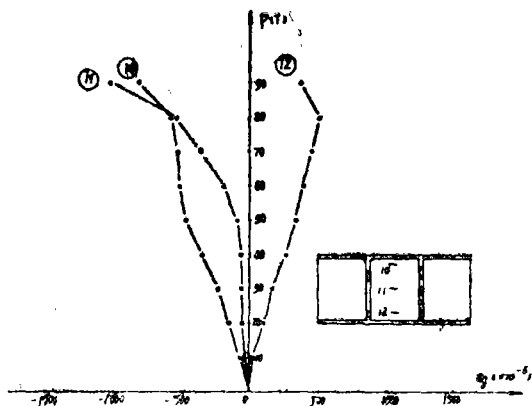


图6. 试件Z-5中截面腹板荷载—应变曲线

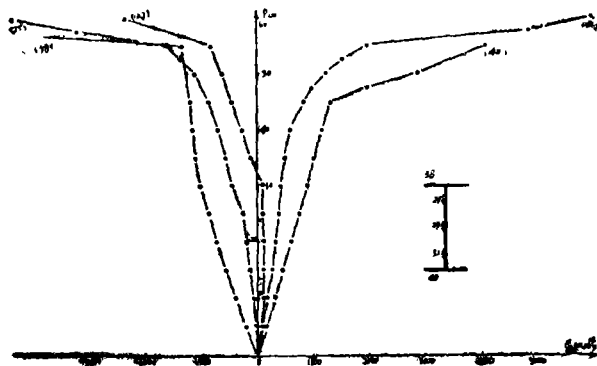


图7. 试件Z-2中间截面荷载—应变曲线

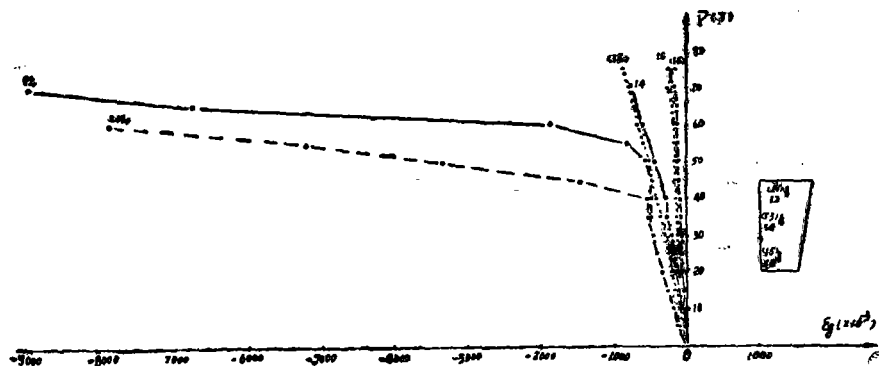


图8. Z-8加强肋板应变曲线

类似。我们可以看出,随着荷载增加,钢梁的上部压应变和下部的拉应变愈来愈大,在荷载为45吨时,受拉翼缘首先进入屈服,而后继续增加荷载,应变速率愈来愈快,约在50吨时,受压翼缘及腹板的上下部分分别进入屈服,55吨,基本上全部进入屈服状态,显然梁的工作经历了弹性、弹塑性和全塑性阶段,和普通钢梁计算理论相一致。试验结果与设计结果基本吻合。

从上述两种钢梁的受力特征可以看出,钢梁高跨比较小时是不能按普通梁的设计理论进行计算的,应另行研究。

## 2. 加劲肋板的受力特征

试验中,我们实测了各块加劲肋板的荷载—应变情况,都具有类似于图8的性质。在设计荷载范围内,加劲肋板和钢梁共同工作较好,处于弹性阶段,但随荷载增加,首先由肋板上部外端先进入屈服,而且应变发展速度较快,一般在1.3倍设计荷载

时, 肋板将出现局部屈曲(失稳)问题。此后我们也发现钢梁的挠度增加了, 上下翼应力增大了, 支承钢板扭转增大了, 显然是刚梁的刚度降低所造成的。若按控制受压肋板板的工作应力为  $1600 \text{ kg/cm}^2$ , 那么相应的外部荷载为32吨, 是不能达到设计要求的。因为设计槽钢和工字型钢梁时加劲肋板必须进行计算, 应控制不使其屈曲。它们可以提高梁的刚度, 对钢梁的工作是有利的。

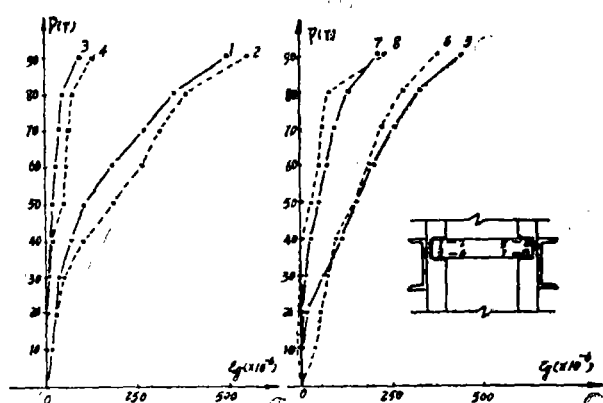


图9.Z—5连接钢板的荷载—应变曲线

### 3. 连接钢板、钢箍的受力特征

图9为试件Z—5中连系钢板的实测荷载—应变曲线。该连系板上缘与牛腿顶面在同一水平面内, 起拉结两侧角钢的作用, 当牛腿承受竖向荷载时, 它将对角钢产生一个竖向力

和向外侧旋转的力偶, 进而在连系钢板内产生拉力, 对图9所示连系钢板的位置, 由实测曲线可以看出, 其工作处于非均匀受拉状态中, 若对比其它试件的试验结果, 钢板位置向上移, 将会减小这种应力不均匀的程度, 而且拉力最大处也并非在牛腿水平面处。由图10在试件Z—1侧面混凝土横向应变实测曲线可以看出, 应力最大处于比牛腿顶面高三分之一牛腿高度的水平面处, 而且在牛腿全高范围内混凝土、箍筋都处于受拉状态, 牛腿底面水平处可能横向应力最小。

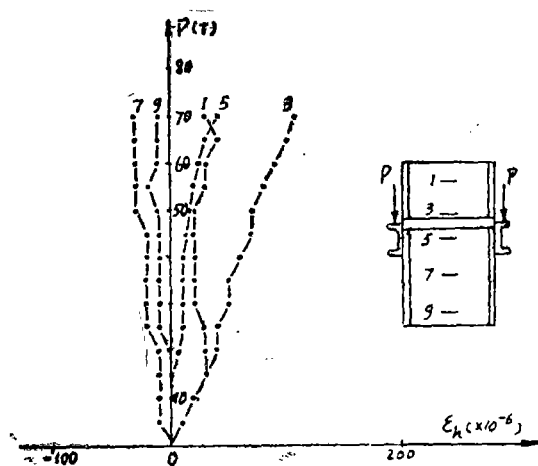


图10.Z—1侧面混凝土横向应变曲线

图11为实测横向钢箍的荷载—应变曲线。由图中可见, 在牛腿顶面处的柱截面中, 横向钢箍的应力最大, 上下两等距离测点处钢箍应力基本相等, 而且随荷载增加, 其应力都增大, 以牛腿顶面处钢箍应力增加最快, 也最先进入屈服。因此, 设计中不设置连系钢板时,

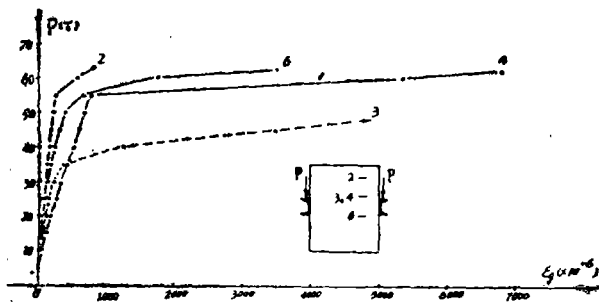
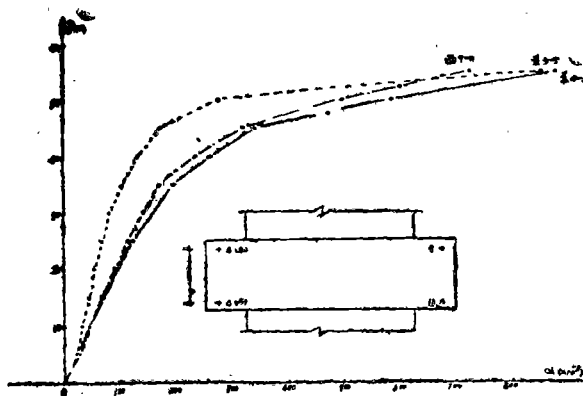


图11. Z-7柱中钢箍荷载—应变曲线

图12. Z-6支承钢板端部荷载—扭转角 $\alpha$ 曲线

大部分进入屈曲状态。由图13所绘实测荷载—应变曲线的变化特点也可以看出, 悬挑板在

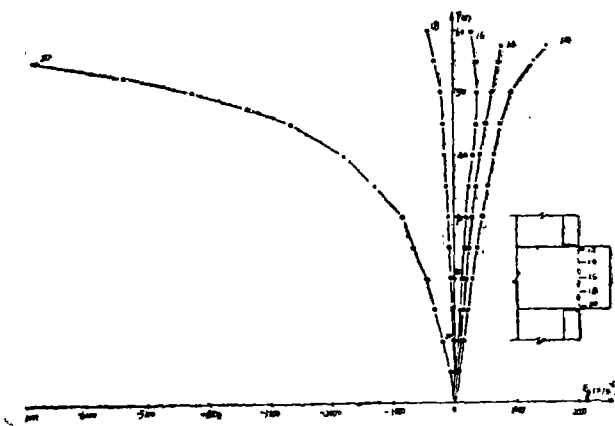


图13 Z-2连接钢板支承处荷载—应变曲线

## 5. 小结

前面我们对外包角钢钢牛腿的主要受力特征进行了初步分析, 并在表2中列出了按设计

应在牛腿底面算起两倍牛腿高度范围内设置足够的箍筋, 并应控制其应力在允许应力范围内, 否则外包角钢将产生较大侧移, 影响竖向受力及其稳定性。

## 4. 悬臂钢板的受力性能

试件Z-2和Z-6是将钢梁焊接在柱侧面悬挑出的钢板上作为牛腿的。为了研究悬挑钢板的受力特征, 我们测量了它的应变和侧向挠曲情况, 如图12、图13所示。

图12是根据测得挠曲变形绘出的荷载—扭转曲线。可以看出, 从加荷开始后, 悬挑板就发生了微小的转角, 在荷载达到30吨之前, 曲线呈直线性质, 此后, 随荷载增加, 转角的变化速率增大, 说明钢板产生侧向屈曲, 当荷载达到45吨时, 转角增长速率非常大, 这是由于钢板在侧向扭矩作用下, 抗扭刚度降低, 板的

30吨荷载前, 荷载—应变曲线呈直线, 上拉下压应力的大小基本一致, 而当荷载继续增加, 首先受压(下缘)边在弯矩、扭矩共同作用下先达到屈曲, 50吨荷载时, 拉边也进入屈曲。因此, 用悬挑钢板支承钢梁按一般梁的计算理论设计是不合适的, 不考虑扭转作用误差更大。而且, 钢板发生侧向扭转, 其抗扭刚度很小, 对设计不利, 钢梁的承载力将受到很大影响。

荷载和按允许应力(以实验为准)确定的主要试验结果。可见,工字型钢梁的四个试件,在设计荷载时,钢梁中部截面下缘处的应力都为较高应力状态,有的已进入屈服。支承钢板的强度远远不足是这类构件的最薄弱环节,也是设计和实验产生较大误差的主要原因。对于槽型钢梁来说,强度足够,是选择槽钢时选的过大,支承条件较好,有嵌固作用所造成的。但是,在设置连系钢板时未作深入分析,受力状态是偏心受拉,设置加劲肋板时计算不明确,是薄弱环节。

### 三、结 论

根据八个梁柱铰节点牛腿的试验,我们认为:

1. 用于外包钢梁柱节点的钢牛腿具有施工方便,简单易行的特点,便于推广应用。
2. 梁柱铰节点钢牛腿的构造应愈简单愈好,设计中应综合考虑强度和变形两个方面的因素,应使各部分受力明确,传力简捷,便于研究其计算方法。
3. 无论采用何种构造方法形成牛腿时,都是将外力传到外包角钢上,因而连系钢板和连系箍筋的设置是必要的。必须按偏心受拉构件式轴心受拉计算连系箍筋数量或连系钢板的大小及设置位置。
4. 牛腿中钢梁的支承必须保证可靠传递外力,并不发生较大变形(扭转、挠曲和剪切变形)。
5. 对类似钢牛腿的设计按一般梁的弯曲理论计算是不妥当的,更进一步的研究可能提出较合理的设计方法。
6. 本次试验的八个节点,工字型钢梁设计强度未达到要求,加劲肋板提早屈曲,悬挑钢板支承不可靠,连系钢板设置不尽合理等问题,已在实际设计中得到改进,但理论研究有待进一步进行。

总之,经过首次八个节点的研究,外包钢梁柱节点已在工程中得到应用,广泛推广应用是需要提出更合理的构造方案和进行理论研究的,我们正在努力进行探讨。在这次试验研究中河南省电力勘测设计院和河南省电力基建第一工程处给予了大力协助并参加了部分工作,我们在此表示感谢。

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION FOR STEEL BRACKETS IN THE BEAM—TO—COLUMN PIN—CONNECTED JOINT

Zhang Bao—shan      Tang ke—qiang

(Civil Engineering Department)

### ABSTRACT

This paper analyses the load-carrying characteristic and the stress-strain state of the steel bracket which is the main element in the beam-to-column pin-connected joint according to the experimental investigation of eight specimens of pin-connected joint. The general demands of construction for steel bracket was indicated and the maximum load-carrying capacity as well as the ultimate load-carrying capacity were derived. The measure and methods for improving the previous designs were suggested. The results of research can be well used in design for practical engineering.

**Key words:** steel bracket, pin-connected joint, Load-carrying capacity.