

偏交三铰拱屋架 内力规律分析

北京市建筑设计院

1975.11

前

言

本文对三铰拱屋架设置辅助偏交距后的内力规律进行讨论。主要就分布荷载下偏交距对内力的影响作了分析，编制了影响系数表，给出了直接求设计弯矩的公式。对偏交距的具体取值提出了建议。並以附录形式给出了几种常见跨度在大型屋面板集中荷载下的内力公式。现印出，供参考。

本文曾 哲同志写作。

对共文中可能存在的不妥和错误，请批评指正。

设计管理室

目 录

1	一般介绍	---2
2	偏交距与上弦弯矩状态的关系	---2
3	求内力的公式	
1)	讨论叠梁及推导说明	---3
2)	内力公式推导及公式表	---4
3)	对内力公式的讨论	---5
4	偏交距对上弦弯矩影响系数表及上弦最大正弯矩点位置系数表	---6
5	讨论实例	---7
6	问题讨论	
1)	上偏交距的确定	---9
2)	下偏交距的确定	---10
3)	关于荷载形式	---12
4)	关于下弦拉杆讨论	---12
	附录：大型屋面板集中荷载下的内力公式表	---13

偏交三铰拱屋架内力规律分析

一 一般介绍

三铰拱组合屋架是中小跨屋盖中广泛采用的一种屋架。它的优点是：

- 1、外形简洁。上弦坡度一般可在 $1/2 \sim 1/3$ 之间变动，能适应多种屋面做法要求；
- 2、受力明确。杆件少，内力传递线路短，符合材料集中使用原则，有利于减少材料用量；
- 3、制作拼装简便。

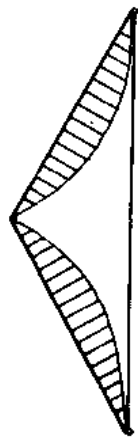
但是，它也有着不利的一面，主要是上弦杆弯矩较大，影响了经济指标。在实际工程设计中，一般均在端节点和顶节点处设置轴线偏交距，以减小正弯矩。

本文主要就偏交距与上弦弯矩的关系进行分析讨论，并对设计中有关问题提出建议。

二 偏交距与上弦弯矩状态的关系

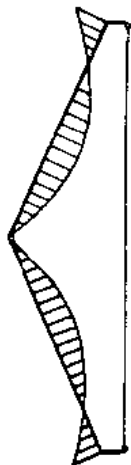
由于均布荷载是一种普遍的荷载形式，以下主要是在线性均布荷载的条件下来展开分析。

三铰拱当端节点和顶节点均不设置偏交距时，称为正交型三铰拱，在均布荷载作用下上的上弦弯矩图形，如备1所示。



备1

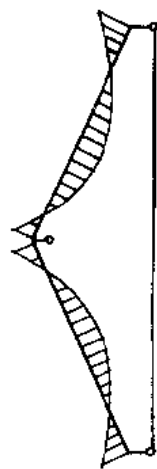
当在端节点设置下偏交距后，从而在该处获得负弯矩，而正弯矩则得以降低。此时，称为下偏交型三铰拱。弯矩图形示于备2。



备2

在设计中， μ 的取值亦不宜过大，这将在后面讨论。此时欲进一步减小正弯矩，则还可在顶节点设置

上偏支距上。同时设有 f_1 及 f_2 的三弦拱，称为双偏支型三弦拱。各了所示为其弯矩图。



各3

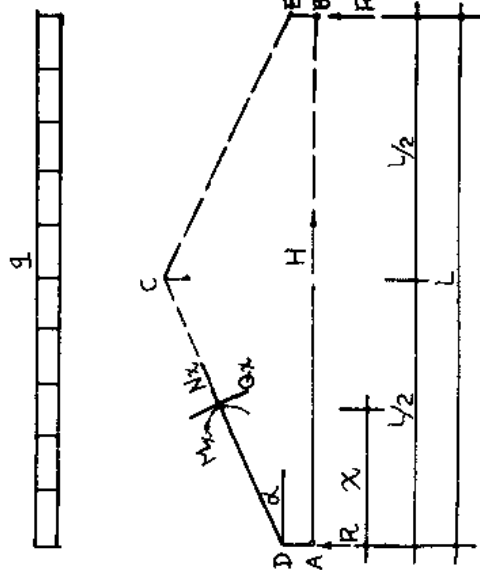
以上，就偏支距与上弦弯矩状态的关系，从定性方面作了概要的分析。下面，即以双偏支型三弦拱屋架为对象，来讨论它们之间的定量关系。不难预见，正交型与下偏支型三弦拱，都将属于双偏支型三弦拱的特定情况。

三 求内力的公式

(一) 计标各形及符号说明

计标各形如各4。

- L ——计标跨度
- h ——轴线矢高
- f_1 ——下偏支距
- f_2 ——上偏支距，即顶破的实际位置与上弦轴



各4

线交点的距离

α ——上弦轴线与水平拉线夹角

R ——支座反力

M_0 ——屋架跨中简支弯矩

H ——下弦拉力

M ——上弦弯矩。该截面下缘受拉者为正

x_{max} ——上弦最大正弯矩点至所有一侧端

节点的距

N ——上弦轴向压力

Q ——上弦剪力。对左半跨顺时针转动者为正

正；对右半跨反之为正

余见各注或文注。

(二) 内力公式推导及
内力公式表

从表4可见:

$$R = \frac{1}{2} qL$$

$$M_0 = \frac{1}{8} qL^2 = \frac{1}{4} RL$$

$$H = \frac{M_0}{h-f_L} = \frac{qL^2}{8(h-f_L)}$$

$$M_x = R \cdot x - \frac{1}{2} qx^2 - H(y_x + f_F)$$

上式中 $y_x = \frac{2(h-f_F)}{L} x$;

将R、H及 y_x 代入 M_x 表达式並化简得:

$$M_x = \frac{1}{2} qLx - \frac{qL(h-f_F)}{4(h-f_L)}x - \frac{1}{2} qx^2 - \frac{qL^2 f_F}{8(h-f_L)}$$

求最大正弯矩点位置 x_{max} , 可以根据该处剪力为零的条件求得, 亦即令上述 M_x 表达式的一阶导数为零。

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = M'_x = \frac{1}{2} qL - \frac{qL(h-f_F)}{4(h-f_L)} - qx = 0$$

解上述方程式得:

$$x_{max} = \frac{h-2f_L+f_F}{4(h-f_L)} L$$

将 x_{max} 代入 M_x 表达式並化简得:

$$M_{max} = \frac{M_0}{4(h-f_L)^2} (h^2 + 4f_L^2 + f_F^2 - 4hf_L - 2hf_F)$$

端点处的负弯矩:

$$M_D = -Hf_F = -\frac{qL^2 f_F}{8(h-f_L)}$$

顶点处的负弯矩:

$$M_C = -Hf_L = -\frac{qL^2 f_L}{8(h-f_L)}$$

为设计方便计, 茲将各项公式一併列于表1。

(二) 对内力公式的讨论

分析表1, 可以得出下述几点结论:

1. 大家知道, 对于表1所示正交型三铰拱, 在均布荷载 q 作用下, 上弦最大正弯矩恒为 $M_0/4 = \frac{qL^2}{32}$, 而本即为上弦杆($\frac{1}{2}L$ 跨)水平投影长的简支弯矩。而端节点及顶节点处的弯矩为零。从表1中公式(6)、(7)(8)不难看出, 当 f_L 、 f_T 均为零时, 正是此种情况。

当公式(6)、(7)、(8)中 $f_L = 0$ 时, 则成为表2所示下偏交型三铰拱的弯矩公式。

当上述公式中 $f_L = 0$ 时, 则构成如表5所示情况下的弯矩公式。

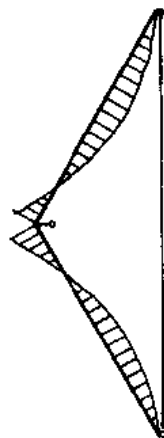


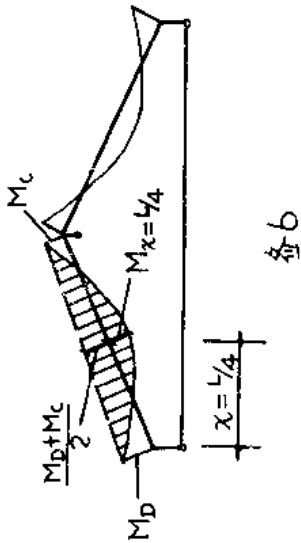
表5

在实际工程中, 此种计标形式的屋架是不曾被采用过的, 本文以后亦不再述及。

由上不难结论: 表1所列公式, 对于正交型、下偏交型, 以及双偏交型三种情况下的三铰拱屋架的内力计标都是适用的。

表1 内力公式表		
名称	公式	编号
支座反力	$R = \frac{1}{2}qL$	(1)
屋架跨中简支弯矩	$M_0 = \frac{1}{8}qL^2 = \frac{1}{4}RL$	(2)
下弦拉力	$H = \frac{M_0}{h-f_L} = \frac{qL^2}{8(h-f_L)}$	(3)
任意点 x 处	$M_x = R \cdot x - \frac{1}{2}qx^2 - H(y_x + f_T)$ $= \frac{1}{2}qLx - \frac{1}{4}\frac{h-f_T}{h-f_L}qLx$ $- \frac{1}{2}qx^2 - \frac{1}{8}\frac{f_T}{h-f_L}qL^2$	(4)
最大正弯矩位置	$x_{max} = \frac{h-2f_L+f_T}{4(h-f_L)}L$	(5)
最大正弯矩	$M_{max} = \frac{M_0}{4(h-f_L)^2} \left[h^2 + 4f_L^2 + f_T^2 + 4hf_L - 2hf_T \right]$ (6)	(6)
端节点负弯矩	$M_D = -Hf_T = -\frac{qL^2 f_T}{8(h-f_L)}$	(7)
顶节点负弯矩	$M_C = -Hf_L = -\frac{qL^2 f_L}{8(h-f_L)}$	(8)
任意点 x 处	$N_x = R \sin \alpha + H \cos \alpha - qx \sin \alpha$	(9)
端节点处	$N_D = R \sin \alpha + H \cos \alpha$	(10)
顶节点处	$N_C = H \cos \alpha$	(11)
任意点 x 处	$Q_x = R \cos \alpha - H \sin \alpha - qx \cos \alpha$	(12)
端节点处	$Q_D = R \cos \alpha - H \sin \alpha$	(13)
顶节点处	$Q_C = -H \sin \alpha$	(14)

2 参见以下叠合



将 $x = 1/4$ 代入表 1 式(4): 得 $x = 1/4$ 处上弦正弯矩

$$M_{x=1/4} = \frac{9L^2h}{32(h-f_1)} - \frac{3f_1^2qL^2}{32(h-f_1)} - \frac{2f_1^2qL^2}{32(h-f_1)}$$

将表 1 中公式(7)、(8)即 M_D 与 M_C 的表达式相加除以 2 得: (取绝对值)

$$\frac{M_D + M_C}{2} = \frac{2f_1^2qL^2}{32(h-f_1)} + \frac{2f_1^2qL^2}{32(h-f_1)}$$

再将 $M_{x=1/4}$ 及 $\frac{M_D + M_C}{2}$ 相加, 整理后得:

$$M_{x=1/4} + \frac{M_D + M_C}{2} = \frac{M_0}{4}$$

以上说明, 叠合中阴影部分, 即是以 M_D 、 M_C 坐标线为基线的简支弯矩叠形, 与叠 1 所示正弯矩三肢拱上弦弯矩叠形是相同的。这就进一步揭示了偏交距对减小上弦正弯矩的作用。

3. 当 $f_1 \neq f_2$ 时, 上弦最大正弯矩 $M_{max} \approx M_{x=1/4}$,

即 $x = 1/4$ 不是 x_{max} ; 当 $f_1 = f_2$ 时, 则 $M_{max} = M_{x=1/4}$, $x_{max} = 1/4$.

四 偏交距对上弦弯矩影响系数表 及上弦最大正弯矩位置系数表

在设计中, 如果能够根据事先选定的 M_D 、 M_{max} 、 M_C 的比值来确定偏交距 f_1 、 f_2 , 或者在假定 f_1 、 f_2 为某一数值后, 不经具体计算就能立即知道上述三个弯矩的相互比例关系, 则可以避免凭直觉和经验确定偏交距所带来的某些盲目性, 减少由于偏交距假设不当而导致的重复计算, 有利于加快设计速度和提高设计质量。这就要求, 不仅要了解偏交距对上弦弯矩影响的质量的方面, 还要掌握两者在量方面的关系。

在前面所推导的上弦弯矩公式, 即表 1 中的 (b)、(7)、(8)式, 实际上已经给出了这种关系式, 利用这组公式求上弦设计弯矩是简便的, 但是, 不能直接、迅速反映出上述三个弯矩的相互比例关系。为此, 编制了本章的 μ 值表。

从表 1 中公式(6)得:

$$M_{max} = \frac{M_0}{4} \frac{h^2 + 4f_1^2 + f_2^2 - 4hf_1 - 2hf_2}{(h-f_1)^2} = \frac{M_0}{4} \mu_m$$

$$\mu_m = \frac{h^2 + 4f_1^2 + f_2^2 - 4hf_1 - 2hf_2}{(h-f_1)^2}$$

从表1中公式(7)得:

$$M_D = -\frac{qL^2 f_E}{8(h-f_E)} = \frac{M_0}{4} \frac{-4f_E}{h-f_E} = \frac{M_0}{4} \mu_d$$

$$\mu_d = -\frac{4f_E}{h-f_E}$$

从表1中公式(8)得:

$$M_C = -\frac{qL^2 f_E}{8(h-f_E)} = \frac{M_0}{4} \frac{-4f_E}{h-f_E} = \frac{M_0}{4} \mu_c$$

$$\mu_c = -\frac{4f_E}{h-f_E}$$

只要假使 f_E/h , f_E/h 不同的比值, 即可得出相应的 μ_d 、 μ_c 、 μ 值表详见表2。利用表2, 可以迅速知道上述三个弯矩的相互比例关系, 也可用来直接求上弦弯矩。

从表1公式(5)得:

$$\chi_{\max} = \frac{h-2f_E+f_E}{4(h-f_E)} L = \beta L$$

$$\beta = \frac{h-2f_E+f_E}{4(h-f_E)}$$

为利用表2求内力方便计, β 值亦相应给出。

偏交矩对上弦弯矩状态的影响, 其规律在表2中得到清晰的反映。

五 计算实例

1 计算截面如左7

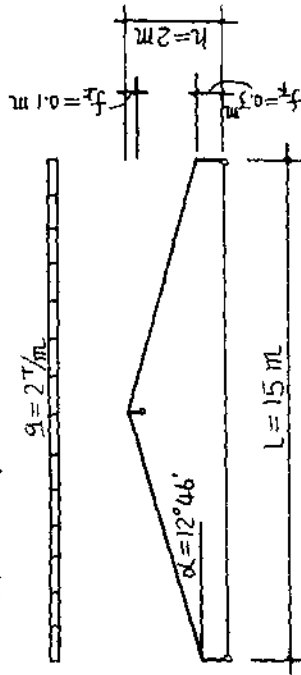


图7

$$\tan \alpha = \frac{1.7}{1.5} = 0.2266, \sin \alpha = 0.2210, \cos \alpha = 0.9753$$

2 利用表1公式求内力

$$R = \frac{1}{2} qL = \frac{1}{2} \times 2 \times 15 = 15 \text{ T}$$

$$M_0 = \frac{1}{4} qL^2 = \frac{1}{4} \times 2 \times 15^2 = 56.25 \text{ T-m}$$

$$H = \frac{M_0}{h-f_E} = \frac{56.25}{1.9} = 29.6 \text{ T}$$

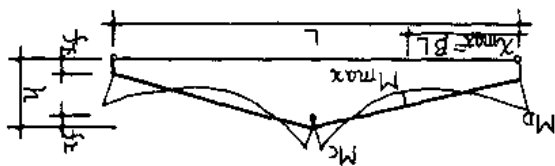
$$\chi_{\max} = \frac{h-2f_E+f_E}{4(h-f_E)} L = \frac{2-2 \times 0.1+0.3}{4(2-0.1)} \times 15 = 0.2763 \times 15 = 4.15 \text{ m}$$

$$M_{\max} = \frac{M_0}{4} \frac{h^2+4f_E^2+f_E^2-4hf_E-2hf_E}{(h-f_E)^2}$$

$$= \frac{56.25}{4} \frac{4+0.04+0.09-0.8-1.2}{3.61}$$

$$= 8.3 \text{ T-m}$$

$\frac{h}{L}$	0.00	0.01	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.25
M_m	0.0000	0.9796	0.9596	0.9391	0.9183	0.8970	0.8754	0.8535	0.8312	0.8083	0.7848	0.7607
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.0000	0.2475	0.2449	0.2423	0.2396	0.2368	0.2340	0.2312	0.2283	0.2253	0.2222	0.2190
B	0.2500	0.2475	0.2449	0.2423	0.2396	0.2368	0.2340	0.2312	0.2283	0.2253	0.2222	0.2190
M_m	0.9604	0.9592	0.9583	0.9570	0.9554	0.9536	0.9512	0.9483	0.9448	0.9408	0.9363	0.9312
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.0800	0.2525	0.2500	0.2474	0.2448	0.2421	0.2394	0.2366	0.2337	0.2308	0.2278	0.2248
B	0.2550	0.2525	0.2500	0.2474	0.2448	0.2421	0.2394	0.2366	0.2337	0.2308	0.2278	0.2248
M_m	0.9025	0.8802	0.8581	0.8355	0.8126	0.7895	0.7660	0.7424	0.7184	0.6942	0.6697	0.6450
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.2000	0.2020	0.2041	0.2062	0.2083	0.2105	0.2128	0.2150	0.2174	0.2198	0.2222	0.2246
B	0.2625	0.2601	0.2571	0.2552	0.2526	0.2500	0.2473	0.2446	0.2418	0.2390	0.2361	0.2331
M_m	0.8464	0.8229	0.7996	0.7758	0.7517	0.7273	0.7026	0.6775	0.6522	0.6265	0.6005	0.5741
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.0000	0.0808	0.0816	0.0825	0.0833	0.0842	0.0851	0.0860	0.0870	0.0879	0.0888	0.0897
B	0.2550	0.2525	0.2500	0.2474	0.2448	0.2421	0.2394	0.2366	0.2337	0.2308	0.2278	0.2248
M_m	0.7744	0.7494	0.7241	0.6993	0.6736	0.6475	0.6211	0.5943	0.5671	0.5395	0.5112	0.4824
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.4800	0.4848	0.4898	0.4948	0.5000	0.5052	0.5106	0.5160	0.5220	0.5275	0.5333	0.5393
B	0.2800	0.2778	0.2755	0.2732	0.2708	0.2684	0.2660	0.2634	0.2609	0.2582	0.2556	0.2530
M_m	0.7225	0.6965	0.6706	0.6442	0.6173	0.5900	0.5623	0.5343	0.5058	0.4768	0.4475	0.4177
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.6000	0.6060	0.6122	0.6185	0.6249	0.6312	0.6375	0.6438	0.6500	0.6562	0.6625	0.6687
B	0.2875	0.2854	0.2832	0.2809	0.2786	0.2763	0.2739	0.2715	0.2690	0.2665	0.2639	0.2613
M_m	0.6724	0.6454	0.6185	0.5909	0.5629	0.5345	0.5056	0.4764	0.4466	0.4163	0.3857	0.3541
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.7200	0.7172	0.7147	0.7122	0.7097	0.7072	0.7047	0.7022	0.6997	0.6972	0.6947	0.6922
B	0.2950	0.2929	0.2908	0.2887	0.2865	0.2842	0.2819	0.2796	0.2772	0.2747	0.2722	0.2697
M_m	0.6400	0.6124	0.5847	0.5571	0.5297	0.4986	0.4690	0.4389	0.4083	0.3772	0.3457	0.3137
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.8000	0.8080	0.8163	0.8247	0.8328	0.8411	0.8492	0.8572	0.8650	0.8727	0.8803	0.8878
B	0.3000	0.2980	0.2959	0.2938	0.2917	0.2895	0.2872	0.2849	0.2826	0.2802	0.2777	0.2752
M_m	0.5084	0.5801	0.5518	0.5229	0.4935	0.4636	0.4332	0.4026	0.3710	0.3391	0.3066	0.2741
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	0.8800	0.8868	0.8898	0.8928	0.8956	0.8983	0.9009	0.9035	0.9060	0.9085	0.9110	0.9135
B	0.3050	0.3030	0.3010	0.2990	0.2969	0.2947	0.2926	0.2903	0.2880	0.2857	0.2833	0.2810
M_m	0.5625	0.5333	0.5040	0.4741	0.4437	0.4127	0.3813	0.3493	0.3167	0.2836	0.2500	0.2159
M_c	0.0000	-0.0404	-0.0816	-0.1237	-0.1666	-0.2105	-0.2553	-0.3011	-0.3478	-0.3956	-0.4444	-0.4944
M_d	1.0000	1.0101	1.0204	1.0307	1.0410	1.0512	1.0614	1.0715	1.0816	1.0917	1.1017	1.1117
B	0.3125	0.3106	0.3087	0.3067	0.3047	0.3026	0.3005	0.2984	0.2962	0.2940	0.2917	0.2894



$$M_{max} = M_m \frac{L^2}{8}$$

$$M_c = M_c \frac{L^2}{8}$$

$$M_d = M_d \frac{L^2}{8}$$

$$X_{max} = BL$$

六 问题讨论

1) 上偏交距的确矣

当在顶节点设置上偏交距 $f_{\perp}$ 后, 虽然它起着降低上弦正弯矩的作用, 但却引起下弦拉力增加, 从而有可能导致拉杆面积加大。因此, 是否设置 $f_{\perp}$ 以及如何确定其数值, 应经分析比较后决定。

由于作为拉杆的型钢规格是有限的, 往往所选的面积较设计面积要大一些, 从而强度有所富余。因此, 在保证下弦拉杆一定强度储备情况下, 可以利用这种强度富余来设置和决定 $f_{\perp}$ 值。或者在选择下弦拉杆截面时, 有意识的选择大一点, 为合理地设置 $f_{\perp}$ 创造条件。

其步骤如下:

- 1 计算 M_0 $M_0 = \frac{1}{8} q L^2$
- 2 计算 H_1 $H_1 = \frac{M_0}{h}$
- 3 计算拉杆面积 A_g $A_g = \frac{H_1}{m_1 m_2 R_g}$

式中 m_1 为受力不均匀系数, m_2 为锈损系数。
4 从型钢规格表上确定所用规格, 其实有面积为 $[A_g]$, $[A_g] > A_g$ 。

- 5 上偏交距按下式计算

$$f_{\perp} = \frac{[A_g] m_1 m_2 R_g h - M_0}{[A_g] m_1 m_2 R_g}$$

$$\begin{aligned} M_0 &= -H f_T = -29.6 \times 0.3 = -8.88 \text{ T-m} \\ M_c &= -H f_{\perp} = -29.6 \times 0.1 = -2.96 \text{ T-m} \\ N_{\chi} &= 4.15 \\ &= R \sin \alpha - q \chi \sin \alpha + H \cos \alpha \\ &= (15 - 2 \times 4.15) 0.221 + 29.6 \times 0.9753 \\ &= 30.38 \text{ T} \\ Q_D &= R \cos \alpha - H \sin \alpha \\ &= 15 \times 0.9753 - 29.6 \times 0.221 \\ &= 8.10 \text{ T} \end{aligned}$$

上弦配筋取 $M = 8.3 \text{ T-m}$, $N = 30.38 \text{ T}$, 按偏心受压杆件设计计算, 箍筋计算取 $Q = 8.1 \text{ T}$ 。下弦拉杆按 $H = 29.6 \text{ T}$ 设计计算。

3 利用表 2 求上弦弯矩

$$\begin{aligned} \frac{M_0}{4} &= \frac{56.25}{4} = 14.07 \text{ T-m} \\ \frac{f_{\perp}}{h} &= \frac{0.1}{2} = 0.05, \quad \frac{f_T}{h} = \frac{0.3}{2} = 0.15 \\ \text{从表 2 查得 } \mu_m &= 0.59, \quad \mu_d = -0.6312 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_c &= -0.2105, \\ \beta &= 0.2763 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= M_0/4 \times \mu_m = 14.07 \times 0.59 = 8.3 \text{ T-m} \\ M_c &= 14.07 \times (-0.2105) = -2.96 \text{ T-m} \\ M_D &= 14.07 \times (-0.6312) = -8.88 \text{ T-m} \\ \chi_{\max} &= \beta L = 0.2763 \times 15 = 4.15 \end{aligned}$$

再按表 1 公式(9)求最大弯矩点轴力。

6 根据上述计算值，适当调整，取为1cm的整数倍，作为最后确定的数值。

本文建议，在一般情况下， h_1 不宜大于 $0.1h$ ，同时也不宜小于5cm。

现以前一章之实例说明上述步骤的运用

$$(1) \text{ 从实例计算中知: } M_0 = 56.25 \text{ T}\cdot\text{m}$$

$$(2) \quad h_1 = \frac{M_0}{h} = \frac{56.25}{2} = 28.2 \text{ T}$$

$$(3) \quad A_g = \frac{H_1}{m_1 m_2 R_g} = \frac{28.2}{0.9 \times 0.9 \times 21} = 16.5 \text{ cm}^2$$

$$(4) \text{ 从角钢表上, 选用 } 2L75 \times 6, [A_g] = 2 \times 8.78 =$$

$$17.56 \text{ cm}^2$$

$$(5) \quad f_E = \frac{[A_g] m_1 m_2 R_g h - M_0}{(A_g) m_1 m_2 R_g}$$

$$= \frac{17.56 \times 0.9 \times 0.9 \times 21 \times 2 - 56.25}{17.56 \times 0.9 \times 0.9 \times 21} = 0.119 \text{ m}$$

(b) 根据上述计算值，最后决定 $f_E = 0.1 \text{ m}$ 。

(二) 下偏交距的确定

偏交距的确定，实质上也就确定了 M_D 、 M_C 以及 $M_{\max}$ 三个弯矩值的相互比值，合理地选择上述三个弯矩的比例关系，将能经济的设计上弦杆截面。

与设置点相比较，应当将设置点 f_D 作为降低上弦正弯矩的主要手段，因为它不引起下弦拉力增大。

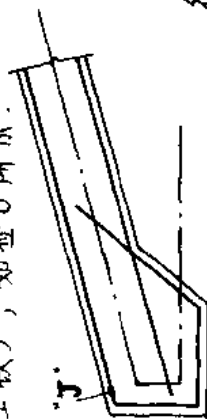
一般说来，组合屋架上弦杆在支承处的尺寸，由联接作法等原因，都需要适当加大，形成加腋形，从而为设置下偏交距创造了条件。但是，如果单纯为降低正弯矩而将 f_D 取得过大也是不恰当的，这将使得端节点增高，围护墙体增多；另一方面，也将导致端节点增加上铁配置，并不一定取得经济的效果。

此外，上述三个弯矩值的相互比例的确定，还跟荷载的大小、上弦杆截面的形状有关。

因此，应当综合考虑这些因素，以最后确定 f_D 的数值。

由矩形截面具有模板简单、可以采用砖模、重产生等优点，从而广为设计人员所采用。当采用胶结捆扎工艺后，混凝土用量亦可大为减少。在对称配筋情况下，本文建议下述几点，作为确定 f_D 的原则。

1、端节点的钢筋即采用上弦杆的纵筋，不再增加负筋（即上铁），如各8所示。



各8

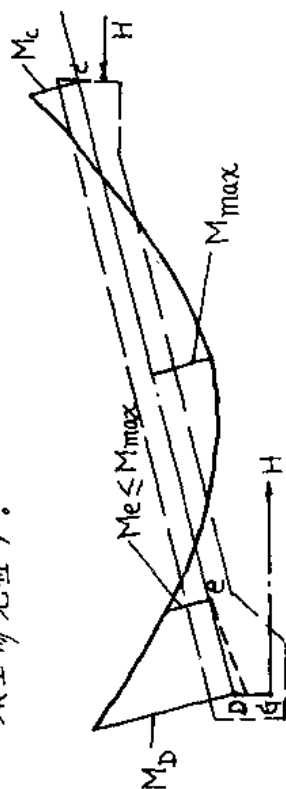
2、根据上述第1条，端节点附近截面增大变化点（即加腋终止点） E 处的负弯矩与上弦最大正弯矩数值上可以相等，即 $M_E \leq M_{\max}$

了此時，端节点計標弯矩 M_D 在滿足 $M_e \leq M_{max}$ 条件下，可以取至1.5倍上弦最大正弯矩，即：

$$M_D = 1.5 M_{max}$$

荷載試驗表明，在一般情況下，端节点的承載能力是允許的。在取得荷載試驗數據的基礎上， M_D 與 M_{max} 的比值還可以加大，而第1條的要求仍將滿足。

以上參見查9。



查9

M_D 與 M_{max} 的比值，之所以能大於1，主要是因為：

- (1) 端节点處加腋，截面加高，承載能力增大；
- (2) 从截面变化点c至端节点支坐反力作用线区段，截面重心的联线不再是上弦轴线的延长线，而是往下倾斜的，如查9中虚线所示，因此，对端节点而言，实际偏交距較計標查9上的偏交距为小；
- (3) 下弦拉杆拉力，在拉杆进入端节点后，便通过

握裹力逐漸扩散，传至混凝土，因此，c点处的拉杆拉力，较之下弦計標拉力已降低；

(4) c点处的拉杆拉力，亦是在混凝土块体内，可以设想，也是按照压力角的概念扩散传递的，而並非按照計標查形那样，或按杆式传递而对D点造成弯矩。以上參見查9。

上述分析表明，端节点内的内力传递及应力分布是比较复杂的，而不像抽象出来的計標查形所反映出来的那样简单。而其宏观表现却可以归纳为，端节点内截面上的实际弯矩較計標弯矩值为小，承載能力允許將 M_D 與 M_e 的比值加大，从而取得偏交距对降低设计弯矩的经济效果。

試驗數據表明，端节点“丁”处的钢筋实测应力很小，甚至在屋架进入破坏状态后，“丁”处应力仍在零值左右，就是上述分析的一个说明。(參見查8)

一般情況下，杆可在0.1~0.2h范围内选取。

以上就承受弯矩的承載能力作了讨论，自然，端节点在其垂直与水平两个方向上，都应相应具有足夠

的抗剪切能力。端节点构造尺寸及构造作法应当合理。

(三) 关于荷载形式

本文是在屋架承受均布荷载情况下进行讨论的。当为宽度较窄的槽型板作屋面板时，可以折减为均布荷载。当为大型屋面板时，如按均布荷载情况计算，在某些情况下，误差较大，在没有一定的判断经验情况下，以按集中荷载计算为宜。本文附录给出了几种常见计算跨度在大型屋面板集中荷载下的上弦弯矩计算公式。在确定偏心支距时，仍可按均布荷载情况对待。

(四) 关于下弦拉杆计算

本文示例中所用下弦拉杆面积计算公式，是按目前不少设计单位所习用的公式，公式中引用了受力不均身及磨损两个系数。当屋架上弦杆按安全度法设计时，下弦拉杆亦应按安全度法设计公式计算。关于这一问题，拟在《组合屋架下弦拉杆计算公式的讨论》一文中详细分析。本文所用两个系数均为0.9，与该文所作的分析及建议值是吻合的。（按标准安全度，）

在《偏交五角形屋架的设计及计算实例》一文中，

曾经指出，三铰拱屋架不论设置偏心距与否，从内力计算来说，都可以概括为偏交五角形屋架的特殊情况。将本文所给公式与该文公式对照，不难觉察，其实质是一致的。

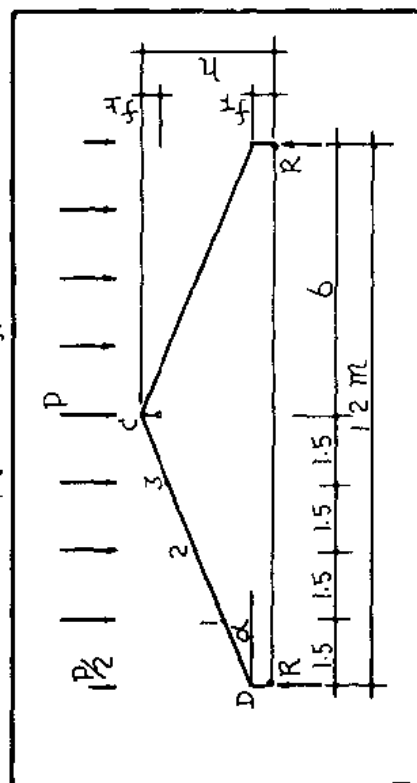
由构思想到技术水平的限制，文中可能存在着不妥甚至错误，请批评指正。

一九七二、四——
一九七三、十。

主要参考资料

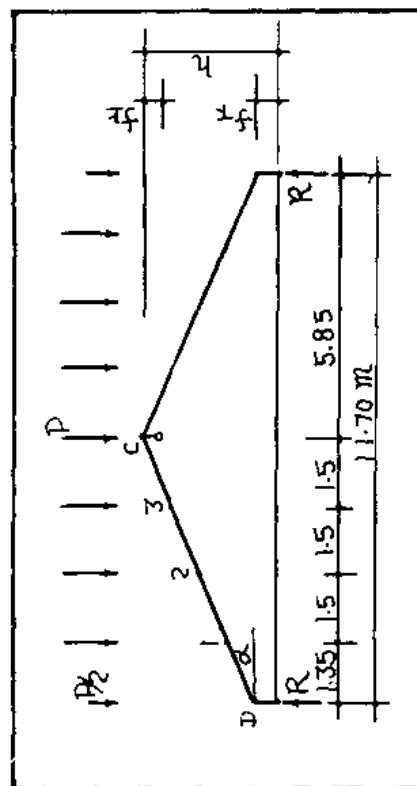
- 1: 偏交五角形屋架的设计及计算实例
北京市建筑设计院1973年9月印
- 2: 构件计算手册
五机部五院二大队1971年3月

附录



1	支 座 反 力	$R = 4P$ (T)
2	跨中简支弯矩	$M_0 = 12P$ (T-m)
3	下弦拉力	$H = M_0/h - f_L$ (T)
4	上 弦 弯 矩	$M_D = -Hf_F$
5		$M_1 = 5.25P - H(f_F + 1.5tg\alpha)$
6		$M_2 = 9P - H(f_F + 3tg\alpha)$
7		$M_3 = 11.25P - H(f_F + 4.5tg\alpha)$
8	$M_C = -Hf_L$	

1 荷载单位: T
2 长度单位: m
3 内力单位: 弯矩 T-m, 轴力 T.



1	支 座 反 力	$R = 4P$
2	跨中简支弯矩	$M_0 = 11.475P$
3	下弦拉力	$H = M_0/h - f_L$
4	上 弦 弯 矩	$M_D = -Hf_F$
5		$M_1 = 4.725P - H(f_F + 1.35tg\alpha)$
6		$M_2 = 8.475P - H(f_F + 2.85tg\alpha)$
7		$M_3 = 10.725P - H(f_F + 4.35tg\alpha)$
8		

注 同前

