

文章编号: 0529-6579 (2000) 02-0011-05

一种新型的屋架结构模型试验研究^{*}

陈锦安¹, 李嘉宝¹, 邢浩旭¹, 黄衍堃²

(1. 中山大学应用力学与工程系, 广州 510275; 2. 美国三泰国际工程公司)

摘 要: 设计了一种用薄壁冷弯构件组成的新型屋架. 通过结构模型试验表明: 此结构具有强度高、稳定性好. 同时节省材料, 搬迁方便, 安装容易; 并可根据用户要求加长或缩短.

关键词: 新型屋架; 模型试验

中图分类号: O348 **文献标识码:** A

1 屋架结构

目前世界上一些多发性火山灾区、风灾、地震灾区以及一些旅游区, 普遍采用一种可移动的住房. 这种房子一般不高于 3 层, 并要求安装容易, 搬迁方便, 能根据用户要求可加大或缩小住房的面积, 当然必须满足一定的强度和稳定性要求, 这类房子的主体结构是由支柱及屋架组成. 当受大风雪或大风雨袭击时, 屋架首先遭到破坏. 因此这类房子的屋架设计是关键. 图 1 是美国三泰国际工程公司设计的一种新型屋架. 其中 AE, BE, EF, FC, FD 为主梁, AB, BC, CD, AD 为基梁, 其余为次梁. 各梁用金属板冷弯成的槽型钢组成工字梁的形式.

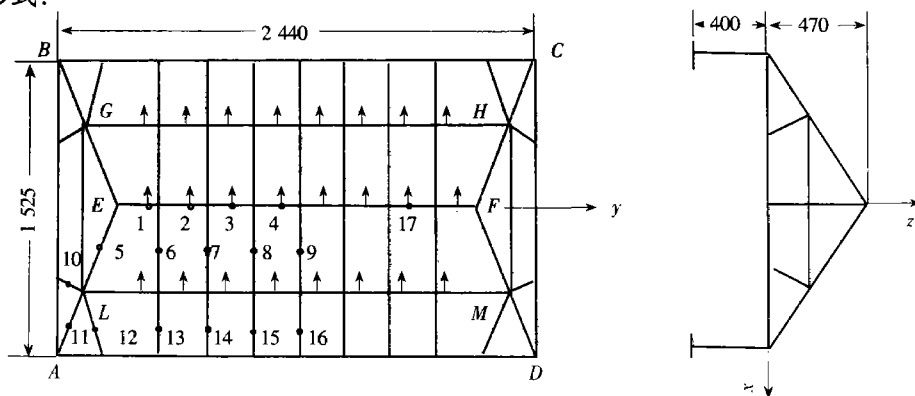


图 1 屋架模型

Fig.1 The model of roof

^{*} 收稿日期: 1999-04-01 作者简介: 陈锦安 (1945~), 男, 高级工程师.

主次梁截面形状如图2. 3根主梁汇交处 $E(F)$ 的结构形式如图3. 图中的 108° 为空间角度. 各构件之间均采用螺丝连接固定, 不需焊接, 这样可保证用户安装拆卸方便.

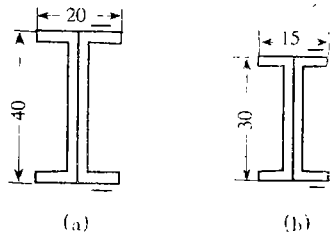


图2 梁的截面及应变片布置

Fig.2 The section of member and strain gage installation

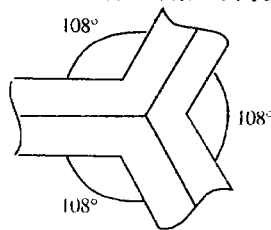


图3 E 处结构形式

Fig.3 The structure at point E

2 模拟关系

为检验屋架结构在载荷(活载及死载)作用下强度及稳定性是否满足要求, 采用模拟试验方法. 由于这里采用的模型材料与原型材料相同, 可不考虑材料的弹性模量 E 而考虑下述的几个因素: 结构在长宽高3个方向上的尺度 l, b, h ; 构件横截面积 A ; 体积 V ; 挠度 δ ; 惯性矩 I ; 外力 F ; 匀布载荷 q ; 应力 σ 和应变 ϵ . 那么屋架的物理方程为

$$G(l, b, h, A, V, \delta, I, F, q, \sigma, \epsilon) = 0 \quad (1)$$

判据方程为

$$\Pi = l^{\alpha_1} b^{\alpha_2} h^{\alpha_3} A^{\alpha_4} V^{\alpha_5} \delta^{\alpha_6} F^{\alpha_7} I^{\alpha_8} q^{\alpha_9} \sigma^{\alpha_{10}} \epsilon^{\alpha_{11}} \quad (2)$$

式中, $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, 11)$ 为待定系数.

这里取长度 l , 力 F 为基本量纲, 则方程(2)的量纲形式为

$$[1] = [L]^{\alpha_1} [L]^{\alpha_2} [L]^{\alpha_3} [L]^{2\alpha_4} [L]^{3\alpha_5} [L]^{\alpha_6} [L]^{4\alpha_7} [F]^{\alpha_8} [F]^{\alpha_9} [L]^{-\alpha_9} [F]^{-\alpha_{10}} [L]^{-2\alpha_{10}} \quad (3)$$

根据量纲的均衡性, α_i 可由下式求得

$$KB = 0$$

$$\text{式中, } K = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 3 & 2 & 4 & 0 & -2 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, \alpha_9, \alpha_{10}, \alpha_{11}]^T$$

因而相似判据为: $\Pi_1 = bl^{-1}$; $\Pi_2 = hl^{-1}$; $\Pi_3 = Al^{-2}$; $\Pi_4 = Vl^{-3}$; $\Pi_5 = \delta l^{-1}$; $\Pi_6 = Il^{-4}$; $\Pi_7 = qF^{-1}$; $\Pi_8 = l^2 \sigma F^{-1}$; $\Pi_9 = \epsilon$. 若 $L_p/L_m = C_l$, $F_p/F_m = C_F$, 下标 p, m 分别表示原型和模型, 最后可得出模型与原型关系

$$b_p/b_m = C_l, h_p/h_m = C_l, \delta_p/\delta_m = C_l, V_p/V_m = C_l^3, A_p/A_m = C_l^2, \\ I_p/I_m = C_l^4, q_p/q_m = C_F/C_l, \sigma_p/\sigma_m = C_F/C_l^2, \epsilon_p = \epsilon_m \quad (4)$$

对临界失稳载荷 F_p^0 有^[1]

$$F_p^0 = C_l^2 F_m^0 \quad (5)$$

3 模型设计及试验

3.1 结构模型设计

模型几何相似比为5, 载荷相似比为1, 材料与原型相同, 构件全部用厚度为0.8 mm

A₃ 钢板冷弯而成，各构件之间用螺丝进行连接固定，模型尺寸结构如图 1~3。根据模型对称性，在模型主次梁上共布置了 17 个测点（图 1）。其中第 17 号测点是为了监测测量数据而特别设置的，此点数据应与相应测点 2 比较接近。在各测点上下边缘处外侧面沿轴向各布置一应变片（图 2）。同时在各测点处，分别在水平和垂直方向上装上百分表，用来测定这些点的水平和垂直方向上的位移。垂直位移向上为正，水平位移沿 x 轴正向为正。

3.2 匀布载荷试验

原型屋架上匀布载荷为 957 N/m^2 ，包括本身自重及一些死载荷。加在模型上匀布载荷亦取此值。在屋架上先垫上一层木板，然后在木板上加红砖，以达到模拟匀布载荷之目的。此时各测点的位移及应力值见表 1、2。从表中可看出，最大垂直位移值发生在匀布载荷作用下的第 4 号测点，水平位移值发生在第 8 号测点，而第 2 号测点的应力最大。

表 1 匀布载荷及风载作用下的位移值

Tab.1 Displacements under uniform load and wind load mm						
测点号	匀布载荷		风载(有负压)		风载(无负压)	
	水平位移	垂直位移	水平位移	垂直位移	水平位移	垂直位移
1	-0.24	-1.25	-0.35	0.23	-0.15	0.27
2	-0.23	-2.39	-0.93	0.12	-0.62	0.26
3	-0.25	-3.30	-1.15	0.16	-0.82	0.35
4	-0.25	-3.54	-1.20	0.07	-0.86	0.30
5	-0.24	-0.44	-0.06	0.09	0.09	0.06
6	0.23	-2.00	-0.70	-0.21	-0.48	-0.16
7	0.56	-2.58	-1.00	-0.18	-0.75	-0.10
8	0.86	-2.85	-1.13	-0.25	-0.88	-0.11
9	0.49	-2.97	-1.18	-0.29	-0.92	-0.12
10	-0.05	-0.06	-0.21	0.12	-0.16	0.10
11	0.07	-0.11	-0.15	0.37	-0.13	0.30
12	0.17	0.10	0.87	0.40	0.75	0.32
13	-0.08	-0.04	-0.03	-0.06	-0.03	-0.07
14	-0.12	-0.90	-0.04	0.49	-0.04	0.43
15	-0.16	-1.09	-0.73	1.54	0.65	1.36
16	-0.68	-1.50	-0.67	1.63	0.59	1.47
17	-0.21	-2.34	-0.87	0.09	-0.56	0.22

3.3 风载试验

原型风载为 $1\,435.5\text{ N/m}^2$ ，假定风载为水平载荷。取风压高度变化系数为 2，并考虑负压所产生的影响，取负压系数为 $0.5^{[2]}$ 。为模拟上述风载，用水平方向均布的集中载荷作用代替（图 1）。根据取定的风压系数及负压系数，可求出 LM 梁上各点水平载荷为 60.7 N ， EF 梁上各点水平载荷为 120.5 N ， GH 梁上各点水平载荷为 30.38 N （负压）。屋架模型在水平风载作用下的位移值见表 1，应力值见表 2（无负压）。

表 2 匀布及风载作用下各测点应力值

Tab.2 Stresses under uniform load and wind load					MPa				
测点	匀布 ¹⁾		风载		测点	匀布 ¹⁾		风载	
	A	B	A	B		A	B	A	B
1	-28.5	6.3	-19.4	-15.9	10	-4.4	-0.6	1.4	0.6
2	-50.8	36.4	-15.7	-12.7	11	-12.5	-3.6	-7.1	5.1
3	-39.8	38.2	-12.7	-13.3	12	9.5	0	-11.6	2.2
4	-20.8	12.7	-20.2	-11.8	13	-27	25.3	-3.5	7.6
5	-2.6	3.8	-5.3	0.4	14	-33.7	25.9	-3.1	6.3
6	-32.9	32.3	-6.9	8.2	15	-22.6	15.6	-6.7	9
7	-17.2	20.8	-8.6	6.7	16	-34.5	16.8	-10	12.7
8	-28.7	31.9	-6.9	8.4	17	-49	37.8	-17	-14
9	-30.7	29.1	-6.7	7.8					

1) A 表示测点上翼缘粘贴应变片处;B 表示测点下翼缘粘贴应变片处

3.4 破坏试验

为考察此模型能承受多大载荷及失稳情况，在主梁中的 E 点加一垂直向下集中载荷，同时测出此点的垂直位移及 1 号测点的应变，并作出相应的位移载荷曲线及应变载荷曲线（图 4）。从图中可明显看出，屈服载荷 $F_s = 3\text{ kN}$ 。再继续加载到 3.8 kN 时，与第 7 号测点对称的一根次梁发生大变形（类似弯曲变形），破坏试验到此结束。模型破坏载荷 $F_m^0 = 3.8\text{ kN}$ ，从图 4 中也可明显看出。而主梁及其他次梁从表面上看仍完好无损，主梁无明显失稳迹象。

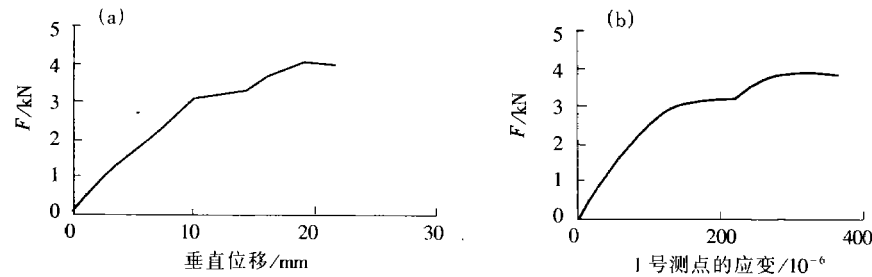


图 4 载荷位移曲线 (a) 和载荷应变曲线 (b)

Fig.4 The curves of load vs displacement (a) and load vs strain (b)

4 讨 论

4.1 最大挠度

从试验结果可看出，匀布载荷及水平风载作用于屋架模型所产生的位移及应力比较小，若二者同时作用于模型上，可用叠加法求得各点的挠度值。此时最大挠度 $\delta_{\max}$ 可由表 1 的第 4 号测点在这 2 种载荷同时作用下的挠度叠加而得到

$$\delta_{\max} = -3.54 + 0.07 = 3.47 < \text{跨距} / 360 = 1\,525 / 360 = 4.24(\text{mm})$$

上式中的 4.24 为模型跨距与 360 之比，为美国标准^[3]，这里取横向跨距更安全。根据 $\delta_p / \delta_m = C_l$ ，原型也满足要求。

4.2 最大应力

模型在匀布载荷及风载同时作用下的最大应力值可由表 2 的第 2 号测点的应力值叠加而得到

$$\sigma_{\max} = -50.8 - 15.7 = -66.5(\text{MPa})$$

而 $\sigma_s/\sigma_{\max} = 4.5$ 在安全范围内. 根据 $\sigma_p/\sigma_m = C_F/C_I^2$, 原型应更安全.

4.3 稳定性

结构临界失稳载荷由(5)式给出: $F_p^0 = C_I^2 F_m^0 = 95 \text{ kN}$. 而此载荷只是局部失稳, 主梁及整体还未达到失稳. 若用此 F_p^0 来衡量原型 (18.6 m^2) 新屋架失稳情况, 相当于此屋架可承受 0.5 m 以上的积雪而不失稳.

综上所述, 用薄壁冷弯构件组成的这种屋架, 节省材料、强度高、稳定性好、安装拆卸方便等优点.

参考文献:

- [1] 李德寅, 王邦楣, 林亚超. 结构模型实验[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 126 ~ 128.
- [2] 中国建筑工业出版社编. 结构设计规范, 第二册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985. 21 ~ 40.
- [3] American iron and steel institute. Light gage cold-formed steel design manual[M]. New York: John & Willey, 1962.

9

An Experimental Study of Model for A New Type Roof Construction

CHEN Jin-an^{*}, LI Jia-bao, XING Hao-xu, HUANG Yan-di

Abstract: A new type roof presented here consists of light gage cold-formed steel. It is certified that the roof has high strength and stability by construction model experiment. The roof saves material and is convenient to move. Furthermore, it can be lengthened or shortened at the request of users.

Keywords: new type roof; model experiment

^{*} Department of Applied Mechanics and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China