

文章编号: 1673-9469(2012)01-0012-03

单索-叠合板预应力组合网架静力特性分析

孟文清, 刘腾飞, 张亚鹏, 杨晓静
(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 0506038)

摘要: 构建一种新型预应力组合网架结构, 采用预应力索代替长向下弦, 混凝土叠合板代替上弦, 形成下弦长向为索, 上弦为整体现浇混凝土板的预应力组合网架结构。利用有限元软件 ANSYS 对该结构进行静力特性分析, 结果表明节点竖向位移值越靠近结构中心位置越大; 叠合板、腹杆出现拉压应力; 下弦杆与索均为拉应力, 且越靠近中心位置值越大。该结构位移值及应力值均满足规范设计要求。

关键词: 单索; 组合网架; 预应力; 位移; 应力

中图分类号: TU356

文献标识码: A

Static analysis of pre-stressing combined nets with single contains cables and reiteration plate

MENG Wen-qing, LIU Teng-fei, ZHANG Ya-peng, YANG Xiao-jing

(Department of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 0506038, China)

Abstract: A new type of pre-stress combinatorial frame structure was presented in this paper. It made use of concrete composite board as the upper cord and the prestressed cable as the bottom chords. The detailed static analysis of the structure was made by the finite element analysis software of ANSYS. Research results showed that the closer the node vertical displacement to the center of the structure, the bigger the value was. Both the tensile stress and compressive stress appeared in composite board and web while the tensile stress in the cable and the bottom chords. The closer the rigging and pole for the bottom chords with the tensile stress to the center, the bigger the value was. Both the displacement and extreme stress of the structure were higher than the requirement of the design and the regulation.

Key words: single cable; composite grid; pre-stress; displacement; stress

预应力组合网架结构是在组合网架结构的基础上发展起来的, 它在组合网架的下弦布置一定数量的预应力拉索, 通过对拉索施加预应力, 使得结构产生反拱, 进而达到减小结构挠度、优化杆件内力的效果^[1]。韩庆华等^[2-4]提出在普通组合网架的短向下弦杆内布置预应力索的预应力组合网架结构, 通过对该结构的力学性能以及施工工艺的研究, 得知布置预应力索会使该预应力组合网架的刚度变大, 位移减小, 应力发生变化。孟文清等^[5]提出用预应力索完全代替普通组合网架下弦杆件, 而上弦仍为预制板的索-混凝土板预应力组合网架结构, 研究发现该新型网架变形规律

与普通网架变形规律相似, 板和板肋应力以压应力为主, 下弦杆全部受拉, 腹杆拉压应力交替出现。本文采用预应力拉索代替长向下弦杆件而用混凝土叠合板代替网架上弦杆件构建一种新型预应力组合网架结构, 利用有限元软件 ANSYS 对该结构的静力特性进行分析, 研究该新型预应力组合网架结构在外荷载作用下的位移、应力变化规律。

1 结构模型建立

鉴于预应力板可以提供大跨度网格尺寸, 且混凝土叠合板抗压强度高^[6], 所以网架结构上弦采

用预应力预制板上浇混凝土形成的叠合板;而索的抗拉能力极强,因此,下弦长向采用预应力拉索。

1.1 基本假定

- (1) 各构件之间的连接均为铰接。
- (2) 拉索与杆件的应力、应变规律均遵循胡克定律。

1.2 模型参数

模型尺寸:采用 $37.8\text{ m} \times 29.4\text{ m}$ 的正方四角锥网架,网格数为 $4.2\text{ m} \times 4.2\text{ m}$,网架高度为 2.5 m 。

参数取值:预应力叠合板厚度 60 mm ,混凝土浇筑 40 mm ,弹性模量 30 Gpa ;腹杆采用 $\phi 127 \times 8\text{ mm}$ 钢管,截面面积为 $2\,991\text{ mm}^2$,弹性模量 200 Gpa ,屈服强度为 $f_{Dtk} = 215\text{ N/mm}^2$;下弦杆采用 $\phi 152 \times 10\text{ mm}$ 钢管,截面面积为 $4\,459\text{ mm}^2$,屈服强度为 $f_{Dtk} = 310\text{ N/mm}^2$;下弦索采用 $5\phi^1 15.2\text{ mm}$ 钢绞线,截面面积 530 mm^2 ,弹性模量 195 Gpa ,极限抗拉强度 $f_{Dtk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ 。

1.3 设计荷载及预应力取值

设计荷载:恒载设计值为 5 kN/m^2 (含结构自重),活载设计值为 3 kN/m^2 。

预应力取值:拉索 P 的预应力取值为 300 kN 。待现浇混凝土强度达到自身强度的 75% 以后张拉钢索。

1.4 约束条件

网架四角 3 个方向固定,周边节点竖向固定,其他向自由。结构模型图见图 1。

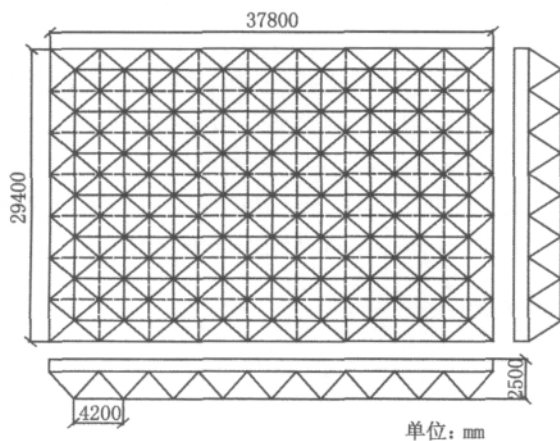


图1 预应力组合网架结构模型图

Fig.1 Model of pre-stressing combined nets

2 加载求解

2.1 荷载施加方式

预应力施加:采用初始变法施加预应力,即通过位移应变进行加载,使结构产生的应变与预应力加载时产生的应变相等。

荷载施加:结构的恒荷载与活荷载等效为面荷载进行施加。

2.2 加载

本文运用大通有限元软件 ANSYS 建立该新型预应力组合网架结构的三维实体模型,叠合板、腹杆以及预应力拉索分别采用 shell63 单元、Link8 单元、Link10 单元进行模拟,这些单元通过节点相互连接,共同承受荷载作用。

计算按非线性分析^[7-9]加载次序为“预应力索等效应变→求解→面荷载→求解”。计算时初始应变法作为第一荷载步输入并求解,面荷载作为第二个荷载步输入并求解,同时打开几何非线性的大变形计算开关,设荷载步子部数 10,终止时间 0.4 s ,时间步长自动设置。

3 静力特性分析

按上述荷载步对 ANSYS 有限元模型进行加载求解,得到结构的各节点位移值和板、杆、索的内力值。由于模型的双轴对称性,因此仅提取模型 $1/4$ 部分的位移及内力进行分析比较。

3.1 位移分析

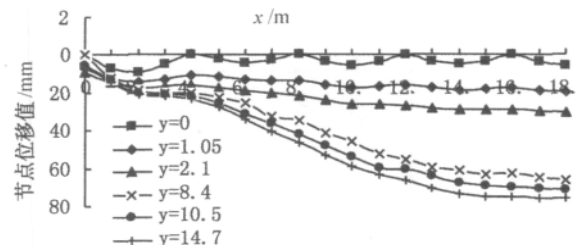


图2 模型节点位移图

Fig.2 Displacement of nodal model

图 2 为结构模型节点位移图,其中 x, y 为节点在板平面内的坐标值。从图中可以看出,随着 x, y 值的增大,结构的节点竖向位移增大,即越靠近结构中心位置节点竖向位移越大,中心处竖向位移最大值为 84.05 mm ,允许位移值为 117 mm 。

3.2 应力分析

3.2.1 上弦板

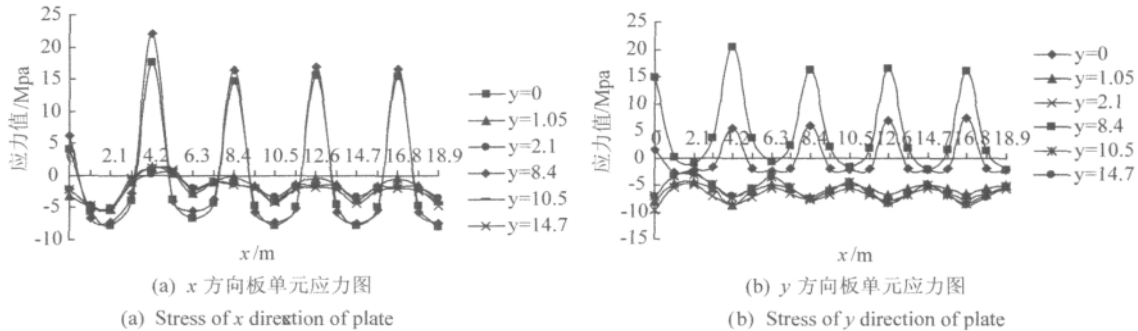


图3 板单元应力图
Fig.3 Stress of direction of plate

图3为上弦板单元应力图,从中可以得知,板单元x向应力,在板与腹杆连接处区域内表现为拉压应力交替出现,其他位置大部分为压应力。板单元y向应力,在板与腹杆连接处区域内大部分拉应力,其他位置均为压应力。x、y方向应力极值交替出现。拉压应力值较小,满足混凝土强度设计要求。

3.2.2 腹杆

从图5即下弦索杆、腹杆应力图中可以看出,该组合网架结构的腹杆应力既有拉应力也有压应力。与支座相连的腹杆大部分为拉应力,其他位置拉压应力交替出现。角支座处腹杆压应力最大,为169 Mpa,边支座处拉应力最大,为157 Mpa,均小于临界限值210 Mpa,中心处腹杆应力最小。

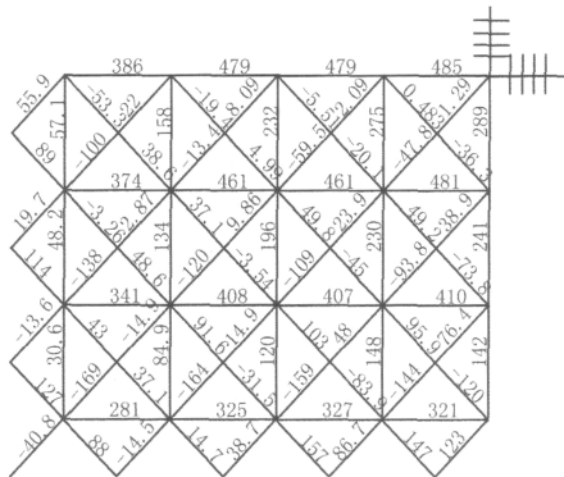


图5 下弦索杆、腹杆应力图
Fig.5 Stress of web member and lower chord and bottom boom

3.2.3 下弦杆、索

下弦杆、索应力均为拉应力,下弦杆拉应力极值为289 Mpa(图5),小于下弦杆临界限值310 Mpa,下弦索拉应力极值为485 Mpa(图5)小于其临界限值1320 Mpa,可见索、杆的拉应力均满足设计要求。同时可以看出,越是靠近中心位置,两者所受的应力越大。

4 结论

- 1) 单索-叠合板预应力组合网架结构的节点竖向位移越靠近结构中心位置值越大,与其他组合网架结构变形规律相似。上弦板应力在板与腹杆连接处表现为拉应力,其他位置大部分为压应力。
- 2) 该新型组合网架结构支座处腹杆应力大部分为拉应力,其他位置腹杆拉压应力交替出现,拉、压应力最大值位于支座处,中心处腹杆应力最小。下弦杆、索全部受拉,索拉应力要大于杆拉应力,并且两者均是越靠近中心位置拉应力越大。
- 3) 该新型预应力组合网架结构在正常使用条件下所产生的结构位移、索杆件应力均满足规范设计要求,证实该结构在结构受力上具有可行性。

参考文献:

[1] 舒赣平,夏乐,左江. 预应力组合网架在南京新世界中心工程中的应用[J]. 建筑技术,31(12): 826-828.

表4 柱截面纵向钢筋的最小总配筋率(%)

Tab.4 The minimum longitudinal reinforcement ratio in column section

	抗震等级			
	1	2	3	4
中柱和柱	1	0.8	0.7	0.6
角柱	1.1(1.2)	0.9(1.0)	0.8(0.9)	0.7(0.8)

注:表中括号内数值为旧抗规中规定的数值,未加括号的为新抗规中规定的数值;新抗规规定,钢筋强度标准值小于400MPa时,表中数值应增加0.1

对于该工程,抗震等级为一级,所用最大钢筋强度标准值为360MPa,按照新抗规的相关规定,柱截面纵向钢筋的最小总配筋率较旧抗规中柱和边柱提高了0.1%,角柱不变。

弯矩设计值增大系数:框架的梁柱节点处,柱端组合的弯矩设计值公式为

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b \quad (1)$$

式中 η_c - 框架柱端弯矩增大系数。

柱端弯矩增大系数对框架结构,抗震等级为一、二、三、四级的取值,新抗规较旧抗规均有所提高,新规范分别取1.7、1.5、1.3、1.2,旧抗规分别取1.4、1.2、1.1、1.0。对于本建筑结构,柱端弯矩增大系数有1.4提高到了1.7,即柱端组合弯矩设计值提高了近22%。

此外,框架结构的底层柱下端截面组合的弯矩设计值,新抗规较旧抗规的规定也有所提高,一、二、三、四级的增大系数分别由先前的1.5、1.25、1.15、1.0提高至1.7、1.5、1.3、1.2。

剪力设计值增大系数:框架柱的剪力设计值公式为

$$V = \eta_{vc} (M_c^b + M_c^t) H_n \quad (2)$$

式中 η_{vc} - 柱剪力增大系数。

柱剪力增大系数对框架结构,抗震等级为一、二、三、四级的取值,新抗规较旧抗规均有所提高,新规范分别取1.5、1.3、1.2、1.1,旧抗规分别取1.4、1.2、1.1、1.0。对于本建筑结构,柱端弯矩增大系数有1.4提高到了1.5,即柱端组合弯矩设计值提高了近7.2%。

此外,偏心受压构件计算公式也有所改变,这种变化通常会引起柱钢筋减少,这里不再具体分析。

3 结语

由以上所示框架结构含钢量变化对比及原因分析不难发现,新抗规较之旧抗规更加强调“强柱弱梁”这一概念。此外,新抗规和新混凝土规范均取消了HPB235级钢筋,将钢筋类别修订为HPB300、HRBF335、HRBF400、HRB500、HRBF500共5种,并修改了受拉、受剪、受扭、受冲切的多项钢筋强度限制规则,由此引起的梁、柱箍筋强度等级的变化必然也会引起含钢量的变化。

参考文献:

- [1] 多层及高层建筑结构空间有限元分析及设计软件(SATWE S-3)用户手册及技术条件[M]. 北京:中国建筑科学研究院PKPM CAD工程部,2010.
- [2] GB5011-2001,建筑抗震设计规范[S].
- [3] GB5011-2002,混凝土结构设计规范[S].
- [4] GB5011-2010,建筑抗震设计规范[S].
- [5] GB5011-2010,混凝土结构设计规范[S].
- [6] JGJ3-2002,高层建筑混凝土结构技术规程[S].

(责任编辑 刘存英)

(上接第14页)

- [2] 韩庆华,艾军. 预应力正方四角锥组合网架结构试验研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(5): 55-5.
- [3] 韩庆华,裴波,杨志,等. 预应力组合网架结构的理论分析与应用研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(1): 87-92.
- [4] 英明,韩庆华. 斜放四角锥预应力组合网架结构的数值分析试验研究及软件开发[D]. 天津:天津大学,2005.
- [5] 孟文清,莫宗云,田明星. 索-混凝土板预应力组合网架静力特性[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(1): 4-6.

- [6] 张春玉,韩雪,姜封国. 基于系统可靠度的预应力空间网格结构优化[J]. 黑龙江科技学院学报,2009,19(4): 306-309.
- [7] 蒋友谅. 非线性有限元法[M]. 北京:北京工业出版社,2001.
- [8] 张可乐,周立欣,董亚男. CFRP加固带裂缝双向板的计算及有限元分析[J]. 黑龙江科技学院学报,2009,19(4): 301-305.
- [9] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

(责任编辑 马立)