

文章编号:1673-9469(2010)01-0004-03

## 索-混凝土板预应力组合网架静力特性分析

孟文清<sup>1</sup>, 莫宗云<sup>1</sup>, 田明星<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 邯郸市城投房地产开发有限公司, 河北 邯郸 056002)

**摘要:**将网架上弦用混凝土板代替,下弦用预应力索代替,形成上弦为板、下弦为索的预应力组合网架。利用 ANSYS 有限元软件建立该结构的模型并分析其静力特性,其中建立模型时将结构离散成板单元、梁单元、杆单元和索单元,各单元之间通过节点彼此相连。经过分析可知结构的节点位移中心处最大,往四周逐渐减小;板肋既有受拉又有受压的单元,腹杆既有拉杆又有压杆,并且拉压单元和拉压杆件交替出现;索终应力值全部为拉应力。

**关键词:**预应力;组合网架;索;位移;应力

**中图分类号:** TU356

**文献标识码:** A

### Static analysis of pre-stressing combined nets that contains cables and concrete slab

MENG Wen-qing<sup>1</sup>, MO Zong-yun<sup>1</sup>, TIAN Ming-xing<sup>2</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. City Investment Development Co. Ltd., Hebei Handan 056002, China)

**Abstract:** It presented a kind of nets forms, whose top boom was replaced by concrete slab and the bottom chord bar was replaced by pre-stressed cables. Structure model was framed and the structure's static characteristics were analyzed with ANSYS finite element software. When model was found, the structure was dispersed with slab elements, beam elements, pole elements and cable elements. And these elements interconnected with nodes while framing structure model. The conclusion is that the node displacement reaches the largest value in the center of the structure. And the node position is farther away from the center, the less of the node displacements. Also some plate elements have tension and others have pressure, so as the belly bars. The tension and pressure elements' positions are alternative. When the structure is forced by pre-stress and external load, the cables have tension.

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

普通网架结构承受荷载后一般上弦杆受压而下弦杆受拉<sup>[1]</sup>。韩清华等人<sup>[2,3]</sup>在组合网架的下弦杆内布置预应力索形成了预应力组合网架结构,研究该结构的静力、动力特性以及通过实验确定了索的张拉施工控制值等。根据网架结构弦杆的受力特点提出一种新型预应力组合网架结构的形式,即用带纵横交错肋的混凝土板代替网架上弦杆件<sup>[4,5]</sup>而用预应力索代替网架下弦杆件<sup>[6]</sup>,这就形成了所要研究的上弦为板、下弦为索的新型预应力组合网架。

由于混凝土板具有良好的抗压能力,索具有

极好的抗拉能力,所以这种预应力组合网架结构必定能够充分发挥混凝土抗压<sup>[3]</sup>和索抗拉的强度优势。而且在承受外荷载之前对索施加一定大小的预应力使整个结构产生反拱作用<sup>[1,2]</sup>,这样混凝土板便能够抵抗更大的外荷载作用。如果外荷载大小一定时,还可以在一定范围内尽量减小板的截面积,这样整个网架的自重就会减小很多。因此本文所提出的这种新型预应力组合网架结构可以达到承重、轻盈和经济三者相统一的效果,是一种值得研究的结构形式。

### 1 预应力组合网架结构模型的建立

#### 1.1 计算模型

本文利用有限元软件 Ansys 建立这种新型预应力组合网架结构的模型并分析其静力特性。在建立模型时将该结构离散成板单元、梁单元、杆单元和索单元,即板划分成板单元,肋划分成梁单元,腹杆划分成杆单元,下弦索划分成索单元。这些单元通过节点彼此相连,构成一个整体,共同承受外荷载作用。

#### 1.2 基本假定

本文中我们对所要研究的预应力组合网架结构有限元模型做如下基本假定:

- (1)腹杆与上弦节点的连接为铰接,腹杆与梁板的重心相交。
- (2)索单元是柔性单元,只能承受拉力不能承受压力,当索单元内出现压应力时刚度丧失。
- (3)拉索只能承受轴向拉力,腹杆只能承受轴向拉力和压力,均不能承受弯矩和剪力。
- (4)索与腹杆、杆件和支座均为铰接,并且索杆材料特性符合应力—应变胡克定律。
- (5)梁元与板元为刚性连接,它们各自之间的节点也为刚性节点。

对提出的预应力组合网架结构建立有限元模型,模型的前视图、俯视图和侧视图如图 1 所示。

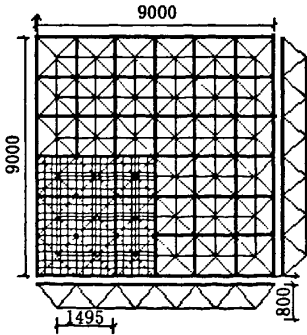


图1 结构模型图

Fig.1 Model of structure

注:图中只画出左下角 1/4 模型的混凝土板(涂实部分)

#### 1.3 模型建立

模型尺寸:模型采用 9m x 9m 的正放四角锥网架,网格数为 6 x 6,网格尺寸为 1.495m x 1.495m,网架高度为 0.9m。

材料参数:板和肋的厚度都为 30mm,肋宽度 30mm,弹性模量 30Gpa;腹杆采用 A60 x 3.5 钢管,截面面积为 621mm<sup>2</sup>,弹性模量 200GPa,屈服强度为  $f_{py} = 235N/mm^2$ ;下弦索采用 3A15 钢绞线,截面

面积为 530mm<sup>2</sup>,弹性模量 195Gpa,极限抗拉强度  $f_{pk} = 1860N/mm^2$ 。

荷载:假设网架上部恒荷载设计值为  $G = 3.4 kN/mm^2$ (包括结构自重),活荷载设计值为  $Q = 2.5 kN/mm^2$ ;对下弦索施加的预应力为  $P = 20kN$ 。

约束条件:网架四角点完全固定;上弦周边节点竖向和切向固定,法向自由。

### 2 预应力组合网架加载求解

#### 2.1 Ansys 中预应力的加载方式

采用直接加载法对拉索施加预应力。所谓直接加载法就是在拉索的两端施加同预应力大小相等的一对拉力,将其作为第一个荷载步输入的方法。

#### 2.2 Ansys 中模型的加载求解

由于索的存在,计算分析须按非线性来考虑。施加预应力 P 时采用直接加载法将其作为第一个荷载步输入并求解;将均布竖向荷载 G + Q 作为第二个荷载步输入并求解,同时选中 Ansys 中的大变形选项,设荷载步终止时间为 0.3s、子部数为 10、自动设置时间步长。

根据以上求解,得到结构的节点位移和杆件内力。由于网架结构是对称的,因此只讨论 1/4 模型(图 2 中的涂实部分)的节点位移和杆件内力变化情况,结果如图 2-图 6 所示。

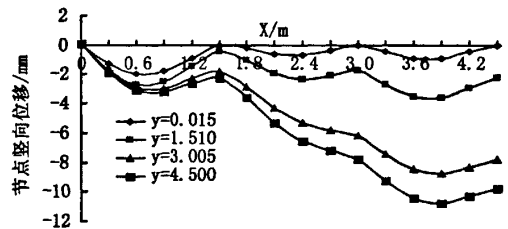


图2 结构位移图

Fig.2 Displacement of structure

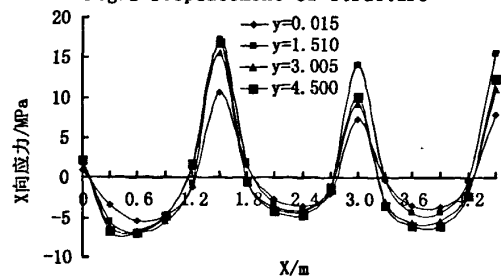


图3 板单元X向应力图

Fig.3 Stress of X direction of plate

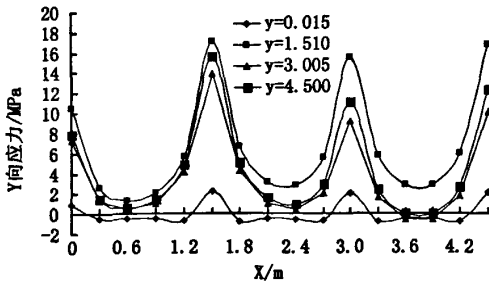


图4 板单元Y向应力图

Fig. 4 Stress of Y direction of plate

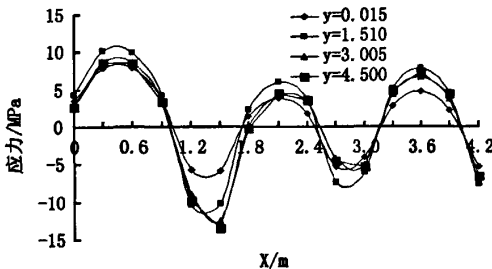


图5 梁单元X向应力图

Fig. 5 Stress of X direction of beam

### 3 预应力组合网架静力特性分析

#### 3.1 位移分析

图2显示X值或Y值越大结构的节点位移越大,即离支座越远结构的竖向节点位移越大。支座处的位移最小,中心处的位移最大。

#### 3.2 板单元应力分析

板单元X向应力既有拉应力又有压应力,而且拉压交替出现(图4);板单元的Y向应力大部分都为拉应力,个别单元出现压应力但其值很小,Y向应力极大值与极小值交替出现(图4)。

#### 3.3 梁单元应力分析

结构的梁单元应力变化情况同板单元应力相似,既有拉应力又有压应力,拉压交替出现(图5)。

#### 3.4 腹杆应力和索终应力分析

由图7可知该网架结构的腹杆既有受拉又有受压的单元。支座处的杆件全部受拉,其它部位受压杆件与受拉杆件交替出现。支座处与中心处

的杆件压力值要比其它部位杆件的压力值小。

同时可以看出结构索终应力全部为拉应力,越接近中心拉力值越大(图6)。

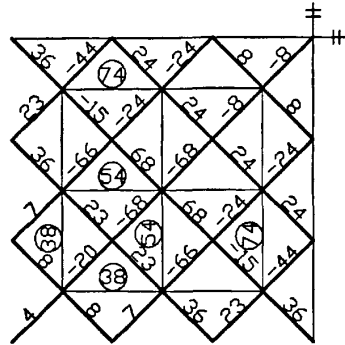


图6 腹杆和下弦索应力图

Fig. 6 Stress of web member and bottom boom

## 4 结论

1)该新型网架的节点竖向位移中心处最大,往四周逐渐减小,这与同普通网架的变形规律是相似的。

2)该新型网架的板肋既有受拉单元又有受压单元,拉压单元交替出现。

3)该新型网架支座处的腹杆全部受拉,其它部位拉压杆件交替出现。支座处与中心处的杆件压力值要比其它部位杆件的压力值小。

4)该新型网架的下弦索全部受拉,越靠近结构中心拉力值越大。

### 参考文献:

- [1] 陆赐麟,尹思明,刘锡良.现代预应力钢结构(修订版)[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 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.
- [3] 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): 55-59
- [4] 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.
- [5] 左江,夏乐.南京某高层裙楼预应力组合网架的结构设计[J].工业建筑,1997,27(7): 12-15.
- [6] 殷志祥,巩玉发.预应力索杆组合空间网架结构研究[J].空间钢结构,2002,17(1): 4-5.

(责任编辑 马立)