

# 单层双向张拉整体网格结构的设计 与施工研究

项目成员：刘金成

刘 钝

陈 喆

张保龙

张 洋

(土木工程学院)

指导老师：吴京(土木工程学院)



# 汇报内容



- 一、研究背景
- 二、部件设计方案
- 三、计算报告
- 四、结构整体张拉施工方案
- 五、模型图片及视频展示
- 六、张拉整体网格结构的优点
- 七、体会感想



# 一、科研背景

## 1. 张拉整体思想

富勒：整个宇宙的运行可以看成是按照张拉整体的原理进行的，即万有引力是一个平衡的张力网，而各个星球是这个网中一个个的孤立点。

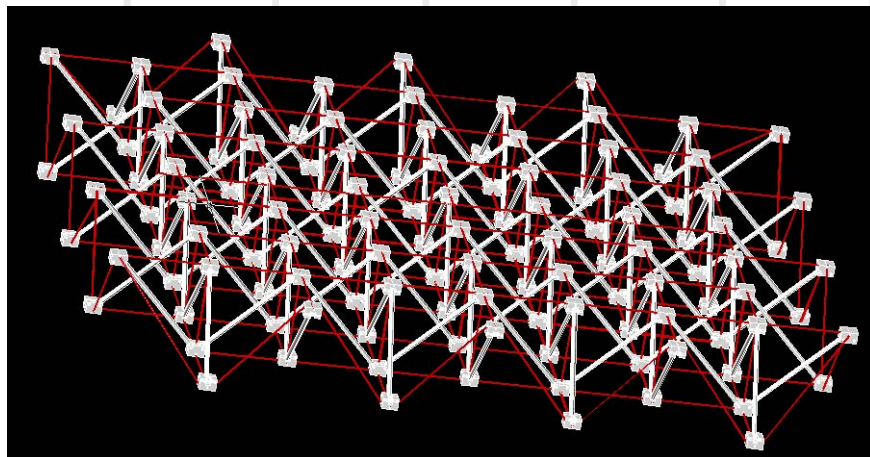


# 一、科研背景

## 2.发展概况

张拉整体结构的产生与发展大都在欧美国国家进行，且出现了众多的已在工程中应用的分支结构，诸如索穹顶结构。

作为索穹顶的孪生兄弟，单层双向张拉整体网格结构尚未在工程中得到应用。



# 一、科研背景

## 3. 我们的张拉整体结构

为了增进我们对张拉整体结构的了解，促进张拉整体结构研究的进步，我们设计了一两米见方的单层双向张拉整体网格结构模型。该模型的设计与施工的研究，为我们实现单层双向张拉整体网格结构工程应用的梦想迈出了坚实的一步。



## 二、部件设计方案

### 1. 总体设计方案

结构中包含部件：上弦线、下弦线、外环线、斜撑杆、施力杆、方节点。

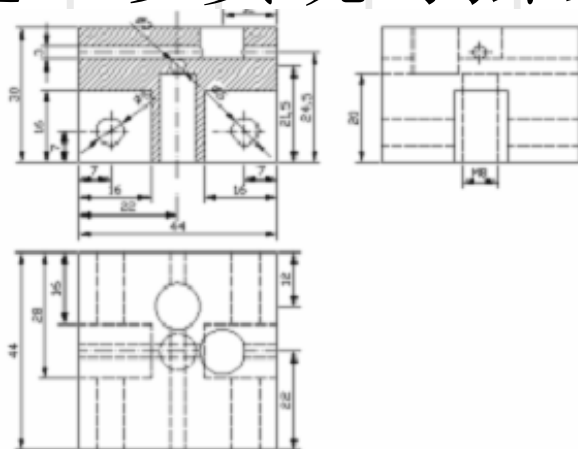
结构设计进行诸多优化，以达到设计概念明确、部件造价低廉、构件受力简单、传力路径平顺的目的。



## 2. 节点设计

节点设计成方形对称的几何形状以实现自平衡;

节点与杆件采用铰接以实现受力简单；  
开设弦线孔道，以实现弦线的螺栓顶压锚固





## 二、部件设计方案

### 3. 施力杆

为保证预应力施加简单可靠、完成后各构件受力均匀，我们将概念设计中的竖向传力线设计为施力杆。

施力杆由两根杆与一螺纹套筒组成。

工作原理：旋转施力杆中部的螺纹套筒使得与其两端相连的杆件同时发生伸长或缩短，达到调整上下节点相对位置的目的。



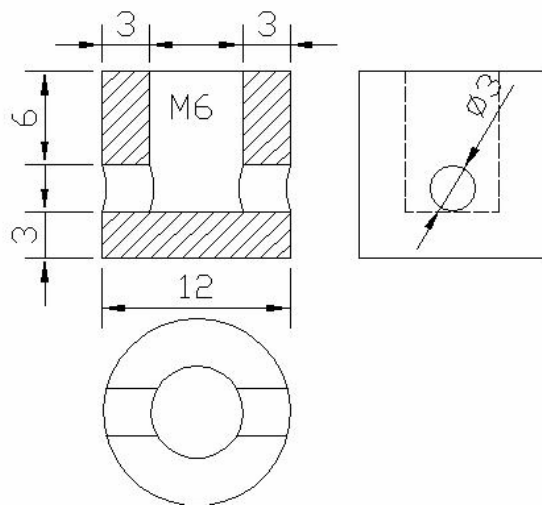
## 二、部件设计方案

### 4. 定位销

定位销是辅助施工的附加部件，实现部件的初步定位。

组成：带螺丝孔道圆柱+螺栓杆

工作时，弦线穿过孔道后，将螺栓旋进螺孔并顶紧弦线，以达到初步锚固弦线的目的。



## 二、部件设计方案

### 5. 外环线

作用：协调施力杆工作。

外环线由多个花篮螺栓相连，可通过花篮螺栓的旋转来调控弦线的放张，使结构达到微（预）张力状态。



## 三、 计算原理

### 1. 结构总体受力分析方法概述

一、采用我们提出的简化计算方法初步估算构件内力及截面尺寸。

二、通过有限元程序SAP2000进行结构整体建模分析计算，校核简化计算方法的正确性，并对结构进行细部优化。

## 三、 计算原理

### 2. 简化计算方法概述

- 一、外荷载作用下按拟板法计算内力。
- 二、在预应力作用下，由静力平衡的方法或以有限元计算模型为基础，建立初内力准则方程来计算内力。
- 三、将以上两组内力叠加即可得到最终的内力，同时保证上弦线受拉而不失效。

## 三、计算原理

### 3. 简化计算—拟板法

①把网格的上弦和下弦分别看成不计厚度的上表面和下表面，仅承受层内的平面力，不承受横向剪力；

②网格的腹杆承受全部的剪力而不承受平面力；

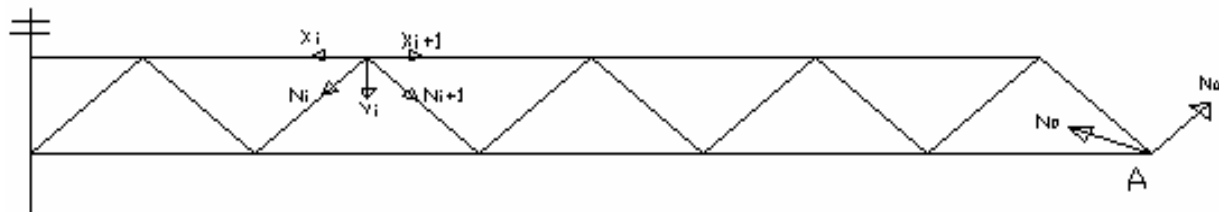
③忽略腹杆对上、下弦轴力的影响；

④把上弦线视为杆件。

## 三、 计算原理

### 4. 简化计算—预应力

(1) 同时张拉：静力平衡的方法计算预应力。竖向施加的拉力均已知，其他杆件的内力可按静力平衡逐一求出。

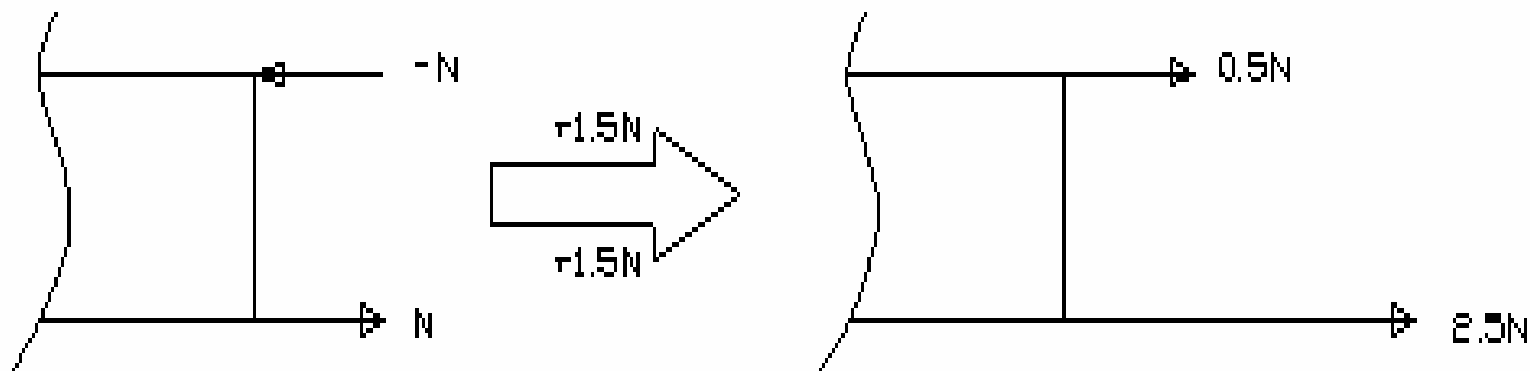


(2) 分批张拉：以有限元计算模型为基础，建立初内力准则方程计算预应力。

## 三、 计算原理

### 5. 简化计算——结构安全度

为了保证上弦拉索处于受拉状态且有一定的安全度，取上弦拉索拉力与下弦拉索拉力比值为1: 5。预应力施加过程如下：





## 三、 计算原理

### 6. 电算

SAP2000生成模拟效果图及变形图（点击）

[模拟效果图](#)

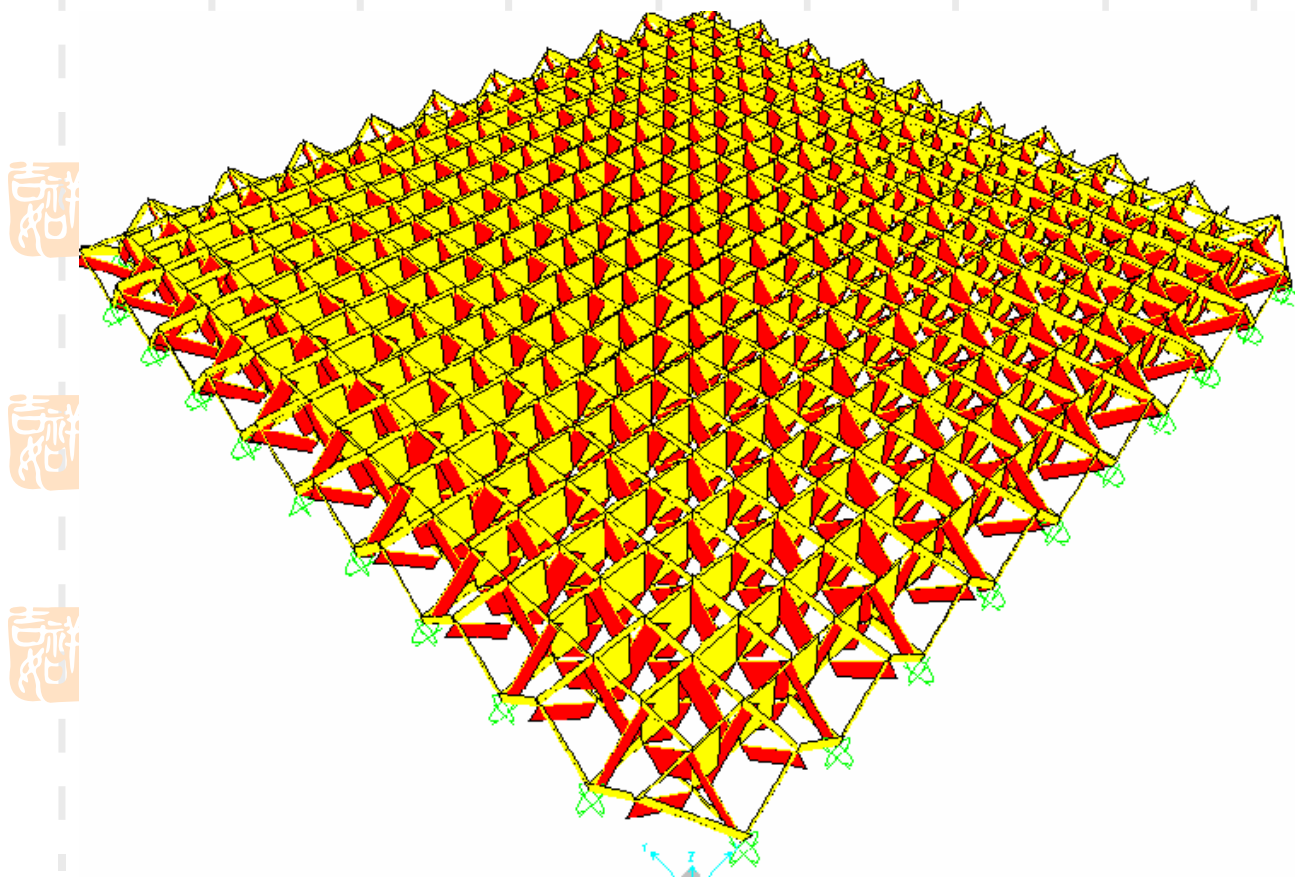
[变形图](#)



## 三、 计算原理

### 7. 电算

SAP2000内力分析结果如下图（填充宽度表示数值大小，红色受压，黄色受拉）



## 8. 电算校核

根据简捷计算和电算的结果比较分析有如下结论：

- (1) 简化计算与电算上弦杆的最大绝对误差上弦线为12.55%，下弦线为10.80%，竖向施力杆为2.17%，斜腹杆为9.38%，边拉索为13.33%。
- (2) 误差主要来源：忽略预应力下的次内力以及拟板法假定对结果的影响。
- (3) 简化计算方法的精度满足工程要求，可以推广使用。

## 四、结构整体张拉施工方案

### 1. 施工方案整体思路：

统筹协作，按部就班；思路清晰，把住大体；由内及外，逐件延伸；分步施力，力到形到。

## 四、结构整体张拉施工方案

### 2. 预应力施加原理起源：

一块方形豆腐置于玻璃平板上，在其上用另一玻璃平板加压来改变豆腐块上下的距离，我们会看到豆腐块上下平面面积增大，即豆腐块纵横向长度增大，这便是我们的“豆腐块原理”。

## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

① 工厂批量生产设计的杆件、节点、定位销、拉索、花篮螺栓后，运至施工现场，检查施工器材设备等是否齐全。

## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

②方节点与施力杆的连接，组成一节点部件。将一对方节点与施力杆连接，使得施力杆的螺纹尽可能大的旋紧方节点，施力杆的伸缩套筒出的螺纹露出约15mm。

## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述:

③将上述部件与斜撑杆相连。





## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

④将斜撑杆另一端连接其它节点部件。  
该过程注意：由于每一节点中有两个不相交  
线道分别对应结构的纵横向，为使弦线穿道  
过程不发生弯折，所连部件节点中的同方向  
线道应相对应，既位于节点的同一高度。

## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述:

⑤重复三、四步。由于阵列中每一点包括上下两个节点，每一节点对应一个连接方向，或为纵向，或为横向，所以连接要做到：同一点须有两个连接方向，相邻点为上下点连接。



## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

⑥上下弦线穿线。第五步完成后，我们得到一杆杆相连机构，且可以按照阵列形式站立在平整的地面上，这为我们的弦线穿孔工作创造了条件。将上下弦线穿过同一榀节点，定长后截断，之后在线端安装定位销。



## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述:

⑦外环线穿线。将定长外环线穿进外围斜撑杆，并将相临环线线通过花篮螺栓在即成机构角部连接。



## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

⑧整体调整。收紧花篮螺栓，使得弦线处于微（预）张力状态。



## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

⑨节点间定线长。通过计算发现节点间弦线的力并不相等，为保证施力完成“后力到形到”，我们要使节点间线等长。通过测量定长后，安装节点上的定位螺栓将弦线定位。



## 四、结构整体张拉施工方案

### 3. 施工方案过程详述：

⑩分批张拉预应力。张拉预应力是通过施力棒完成的，为保证预应力张拉完成后，结构整体达到“力到形到”的效果，张拉顺序由内及外，环绕中心点进行，且采取分批张拉施加预应力方法

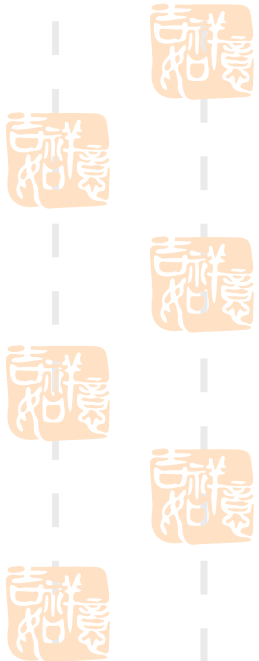




# 五、模型图片及视频展示

点击

视频展示





## 六、张拉整体网格结构的优点



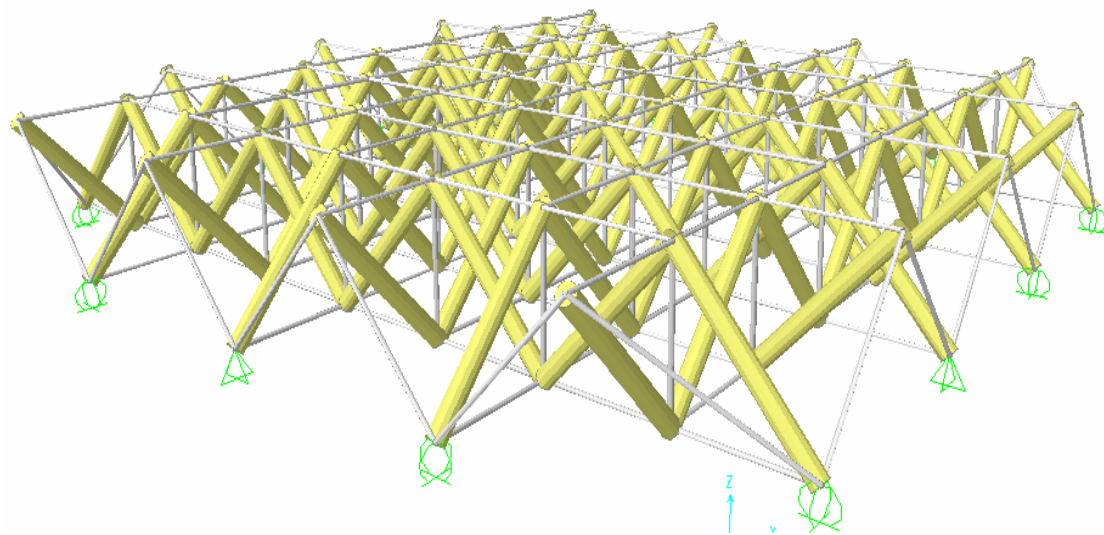
充分发挥结构杆件的拉压强度，大大提高了结构的承载能力。



结构的单位面积重量小，具有良好的承载力和刚度。



悬浮体系  
视觉上的冲击



## 七、体会感想



### ■ 问题与挑战：

- 兴趣是最好的老师，正是兴趣的驱使下，我们对该结构的了解从陌生走进熟知，从概念走进模型，从书本论文走进设计施工；项目进行的一年中，我们跨过了很多坎，也走过很多弯路，但我们创造着并快乐着。在每一次挑战面前我们精神抖擞，在每次否定之否定中我们获得进步。



致谢

谢谢



吉祥如意

