

# 张拉整体结构初探

◆邓洁 李君蓉 杨飞

(西南石油大学 土木工程与建筑学院)

摘要:张拉整体结构是由不连续的受压构件与连续的受拉构件组成的自应力、自平衡结构<sup>[1]</sup>,结构中的杆件由于只承受压力和拉力,无多余的剪力和弯矩,使得其材料的性能得到充分的发挥。本文主要介绍在“张拉整体结构初探”开放实验中模型的制作过程,对张拉整体结构性能的探索,包括刚度、稳定性分析以及相关的体会。

关键词:张拉整体结构;结构模型;性能;刚度分析;稳定性分析

## 1 绪论

### 1.1 引言

张拉整体这一概念的产生是源于受到大自然启发的富勒,他认为宇宙的运行是按照张拉一致性原理进行的,即万有引力是一个平衡的张力网,而宇宙中的星球是这个网中的一个孤立点,这些星球通过万有引力的连接形成一个整体。<sup>[2]</sup>

### 1.2 特点及应用优势

“压杆的孤岛存在于拉索的海洋中”,压杆之间互不连接,需要依靠拉索的连接形成整体,杆件之间交错连接,不难看出,拉索的数量是远大于压杆的数量的。整个结构就像一张网,由于杆件具有只受压力和拉力的特性,运用于实际当中可以最大限度地提高材料的利用率以及实现结构的大跨度;拉索与压杆连接所呈现出优美的结构形态,使得该结构在设计方面能有更多的想象空间。

该结构应用在一些建筑和桥梁中,不仅充分利用材料的性能,提高材料的利用率,还能实现结构的大跨度从而提高经济性,也能体现建筑、桥梁对美学方面的要求;应用在一些临时建筑中也是可以的,相较于钢筋混凝土结构来说,它使得材料的安拆更快捷而且便于运输,从而有效地缩短工期;杆件自重也较轻,还能重复利用,安全性、经济性都得以保证;

除此之外,该结构还可以应用在许多要求跨度大的遮挡设施中,例如体育建筑的顶棚,商场室外的休息区的遮阳棚、车棚等等,对于这种大型的设施来说,这种结构的利用可以减少结构所需的钢用量,减轻自重,不仅降低了成本,还能使得空间大、视野开阔、通风以及自然采光都比较好;

也可以应用在相对小型的物件当中,比如改良版的渔夫凳,相比而言,利用张拉膜结构的特性做出的渔夫凳,安拆方便,更加节省空间,杆件损坏后方便更换,减少浪费也更为经济;同样的情况还适用于露营桌椅、家用雨棚;由于其在美学方面的塑造,也用于一些景观型的艺术雕塑当中,如彩虹拱,针塔等等;

### 1.3 结构的局限性

这种结构形式对于杆件各方面的性能要求都是较高的,包括杆件自身的强度、承受自重和预应力的大小的能力都会直接影响到整体结构的稳定;由于杆件间的交错连接,对于这种结构的有些结合形态来说,杆件越多,连接越错综复杂,使得杆件之间的空间利用率会有所降低。

“牵一发,动全身”,结构的局部破坏将会影响到整体,对于这种结构来说,它的每个构件都是通过施加预应力而相互连接的<sup>[3]</sup>,若其中一个构件出现破坏或节点处的连接出现问题都会牵连到其他构件,从而结构整体受到破坏;因此,在张拉整体结构运用到实际当中时应重视构件的刚度以及节点处的连接方式,也应注重与其他结构种类之间的结合。

## 2.结构的刚度及稳定性分析

在我们本科的学习阶段是没有涉及到张拉整体结构这种结构形式的,这次开放实验是让我们能够通过制作模型去学习张拉整体结构的设计原理,熟悉材料的性能;去探究张拉整体结构的造型构成和力学作用,并通过试验加载验证并确定张拉整体结构模型的力学特征。

此次的“张拉整体结构初探”开放实验是对课堂教学的拓展,通过模型制作锻炼了我们的动手能力,深化了力学知识体系的建构;通过模型的加载试验还培养了我们的理论联系实际和分析解决工程问题的能力。

以下便是有关结构性能的分析。

### 2.1 刚度分析

在这个探究实验中,我们用了长度为13cm的木棍(受压)和9cm的橡皮筋(受拉)作为结构的构件,将木棍当作压杆、橡皮筋当作拉索。最初,我们做了一个三杆九绳的简单模型(由

于木棍较细不方便开口钻孔,便将两根木棍两端进行绑扎形成一个整体),我们就上述模型进行了结构的刚度分析。其中刚度的分析包括杆件的刚度分析和整体的刚度分析。

#### 2.1.1 杆件的刚度

试做模型阶段,在木棍与橡皮筋连接的节点处对木棍进行开口,开口后会木棍产生一些裂纹,导致木棍的截面利用率降低,而且很容易发生断裂,因此后续的模型制作中我们便采取了将两根木棍绑扎在一起的方式替代。

对杆件进行加载实验,由于木棍自身的刚度不够,使其产生的挠度较大;橡皮筋的刚度较小,施加预应力过后橡皮筋的变形较大且变形量不易控制,在后续的过程中还会发生徐变。

因此,在模型的制作过程中,应充分考虑到杆件的刚度对整个结构的影响,优化结构。

#### 2.1.2 整体的刚度

结构整体的刚度与杆件的材料和结合形式相关。

在模型加载试验中发现,即使采用前面所述模型的制作方式,但由于两根木棍之间的连接性处理不当,影响到整体的刚度分析;后续便采用PVC管替代木棍,使得对节点的设置、开口钻孔都更加方便且节点处的刚度能够得以保证;橡皮筋即使在施加较小预应力过后产生的变形量也会较大,且后期的徐变产生的变形量也较大,在使用渔线替代橡皮筋后,拉索的刚度得到提高,徐变产生的变形量降低,结构整体的刚度增加。对比两次采用不同材料制作的模型的加载得出,用渔线和PVC管制作出来的模型在加载后所产生的竖向位移和横向位移都是有所减小的,整体的刚度也有提高。

制作多种形式的模型进行加载,发现结构形式不同,所产生结构整体的变形量差别较大,呈现出的结构抵抗变形的能力不同,结构整体的刚度也就不同;而对较优的结构形式的探究过程需进行相关的找形分析。

#### 2.2 稳定性分析

对模型进行加载试验后总结出,在逐级增加均布荷载(质量为2.75kg的铁块)过程中,木棍未遭到破坏变形,但由于橡皮筋的刚度几乎为零,伸缩性以及产生的变形量较大,结构整体产生的挠度较大,容易产生不稳定的现象,使得整个结构被压垮,从而得出结构的稳定性较差;对模型进行改良,将橡皮筋替换成渔线,再做加载试验总结出,渔线产生的变形量相比较于橡皮筋来说是较小,结构整体产生的位移量也较小,整体稳定性得到提升,可以看出,杆件的特性对结构稳定性是具有一定影响的。张拉整体结构是自应力、自支撑结构,自身的结构形式对整体稳定性也有相应的影响,在模型的制作过程中,还应注重对结构结合形态的探究,进行相关的找形分析。

## 3.总结

在“张拉整体结构初探”开放实验的整个模型制作与分析过程中,我们对这种特殊的结构从只了解一些基本概念和其部分应用转变为能通过制作和分析模型并根据杆件的连接方式和受力特点对结构进行进一步地探究;在结构受到外力时,相应的杆件会利用其截面特性,充分发挥所用材料的性能,只产生较小的变形量就可以使结构达到稳定的状态;杆件的用材、刚度以及杆件的不同结合方式会影响到整体的刚度和结构的稳定性,此外还要注意控制拉索预应力的施加,这将会影响到整个结构的稳定性以及承受荷载的能力。

在结构实际的运用中,我们应重视杆件用材的质量,保证结构的安全性;对于大跨度建筑来说,充分利用材料的特性还能大大地减少用钢量,保证结构的承载能力,使建筑的经济性提高;除此之外,在保证安全和经济的前提下,还需加强其与美学方面的联系和运用;由于张拉整体结构自身具有局限性,应注意扬长避短,加强它与其他种类结构的结合。

## 参考文献:

- [1]刘红波.弦支穹顶结构施工控制理论与温度效应研究[D].天津大学.2011
- [2]郑君华.矩形平面索穹顶结构的理论分析与试验研究[D].浙江大学.2006
- [3]刘永清.张拉式环形内挑顶蓬结构分析研究[D].昆明理工大学.2003