

# 单层平面索网在我国玻璃幕墙工程应用概况

何德湛

(中国市政工程华北设计研究院 天津 300074)

**摘要:**介绍了单层平面索网在我国玻璃幕墙工程中的应用现状,应注意的问题和建议。

**关键词:**平面索网 玻璃幕墙 支承体系 材料 索力检测

## 1 单层平面索网结构体系的由来

数百年前我国即开始在生活中应用平面索网结构体系。人类生活离不开床铺,人们为了寻求一种比较舒适的睡眠休闲方式,便利用天然植物:麻或棕编织成麻绳或棕绳,用来制作床铺。其四周用木框架订好再用棕绳(或麻绳)绷紧,绷紧的过程即是把棕绳施加一定的预拉力,棕绳(或麻绳)绷紧后固定于木桩架上便形成了一个棕床,这是最原始的单层平面索网结构体系。棕床在我国已经沿用了数百年。由于材料的演变,现在用钢丝和角铁框组成钢丝床,还在靠近铁框处安放了弹簧,成为弹箭钢丝床。这种平面索网结构体系在日常生活中随处可见。例如体育用品中的羽毛球拍和网球拍,近几年开展的蹦床运动的蹦床等等,均属于平面索网。但是,平面索网应用于房屋的围护结构——作为玻璃幕墙的支承体系,在国内外均少见,据资料刊载,仅在德国和新加坡有两处,国内还是空白。

## 2 国内单层平面索网支承体系点支式玻璃幕墙工程应用概况

国内单层平面索网支承体系用于点支式玻璃幕墙工程的首例是:用于北京地区某工程中庭立面玻璃幕墙工程。该工程东西二立面为宽27.8m,高18.5,玻璃安装面积500余平方米。

以下从设计论证、平面索网支承结构、材料选用、过载保护装置、钢索张拉方法和索力检测等几个方面简要介绍单层平面索网结构在北京地区某工程中的应用概况。

### 2.1 设计论证

集中在以下五个方面与会专家最后达成一致意见:(1)风荷载取值:是单层平面索网支承体系点支式玻璃幕墙的主要荷载,其取值应根据建筑结构荷载规范GB5009-2001,北京地区基本

风压按50年一遇为 $0.45\text{K}/\text{m}^2$ ;(2)变形控制取值:单层平面索网支承体系属于柔性结构体系,有关幕墙变形控制指标规范未规定,专家一致认为变形控制宜按 $1/50$ 以内取值;(3)地震组合:竖向地震需考虑组合:双向水平地震不需要考虑组合;(4)地震调整系数:取值为10;(5)地震放大系数:中震与大震地震作用取值不考虑放大系数。论证结论是:北京地区某工程中庭立面单层正交平面索网结构幕墙系统设计合理,计算清楚可靠,施工图设计具有可实施性;为工程开发了应用于索网系统的过载保护装置能在大震状态下,同时保护主体结构和幕墙的结构系统安全,其设计概念先进。单层索网结构幕墙系统在边界条件下为刚度较大并在设计时考虑主体结构索网的拉力前提下,即使在中国北京等地区的高地震烈度、高风压的条件下仍可以安全的使用。以上结论表明,单层平面索网支承体系在点支式玻璃幕墙工程中的应用具有可行性和可靠性。

### 2.2 平面索网支承体系

单层正交平面索网的四周相对钢索来说应是刚度大得多的支承结构。在北京地区某工程的中庭立面幕墙中,竖直索由于中庭二端建筑物之间是露天的,没有联系,设计中为考虑竖直索的固定问题而设置钢桁架,其刚度远远大于钢索的刚度,在桁架设计中还考虑到竖索在承受玻璃自重下(每根索负担1.5t的玻璃自重),即在竖向荷载作用下的挠度必须得到控制,否则桁架发生过大变形,会造成索网和整片玻璃幕墙的下垂,不仅影响美观,而且影响使用。竖直索的下端则固定在钢筋混凝土梁上,通过钢索的耳板和地梁上表面的埋件牢固的迎接。水平索的两端固定在设置于建筑物侧边的立柱式桁架上,桁架断面为 $1500 \times 1300$ ,呈角形,由钢管空腹结构而成,通

过钢索上耳板和桁架上的钢板牢固地焊接起来，立柱式桁架与建筑物钢筋混凝土框架柱通过埋件牢固地焊接。因此平面索网的周边支承体系是固定在比钢索刚度大得多的建筑物两侧钢筋混凝土框架柱、立柱钢桁架和上部钢桁架以及下部钢筋混凝土梁上。其支承体系是牢固可靠的。即使在钢索张拉后其水平和竖向位移亦得到严格的控制，因此不产生对索网内力的影响。

### 2.3 索网—钢索材料的选用

索网的材料主要是钢索，按设计要求：水平索主要承受风荷载，是受力索；竖向索主要承受玻璃自重，是副索；为了确保玻璃支承结构的长期使用，钢索除了满足强度、变形等要求外，尚应具备具有端头锚固可靠、防腐和防火等要求，且尽量能延长使用寿命，并适应抗地震的要求。我国目前生产钢索的情况是：强度能达到设计要求，防腐性能稍差，目前国内已能生产镀锌钢丝和绞线，以及钢丝绳等金属制品，但端部锚固连接和防腐性能、防火性能等尚没有国外生产的好，该工程系采用德国进口钢索外表呈灰白色的铝涂层防腐材料，直径分别为 $\phi 36$ （用于水平受力索）和 $\phi 24$ （用于竖向副索）两种，破断力为 $1670\text{N}/\text{mm}^2$ ，弹性模量为 $150\text{kN}/\text{mm}^2$ ，一端为固定锻压锚头，另一端为可调节锻压锚头；经工程使用，能满足设计要求，但成本高，材料本身和运费加在一起每吨将超过一万美元，如果国内生产厂家能开发出来，成本将会大大降低。

### 2.4 过载保护装置

它是由安全子、承载弹簧和连接杆等组成的能保证当拉索超载时不破坏的一种机械装置。它的作用是遇到强地震时，拉索中的水平拉力会远远超过设计拉力值，而将过载保护装置中的安全子拉断，安全子拉断后弹簧被压缩产生较大的变形，较大的变形将较大的拉力得到释放，地震能量也随之释放，钢索不再绷紧而拉断，既保护了钢索，也保护了主体结构，是一种过载保护安全装置。

### 2.5 钢索张拉方法和次序

张拉方法：缓慢旋紧拉索端头处的调节螺套，用扳手夹紧钢绞线锚固夹，拉索随调节器螺套的旋紧而使索内拉力也将随之增加，在已达到设计要求拉力值时，旋紧锁母。

张拉次序：水平索和竖向索可分别先后张

拉，先张拉水平索或竖向索均可以，竖向索张拉时由左右对称逐根向中间张拉；水平索张拉时，由上下对称逐根向中间张拉；每根拉索应分级施加拉力，每级施加拉力值按设计要求控制，一般副索分2级张拉即可，主索（受力索）视拉力大小一般可分3—4级。

### 2.6 索力检测

在率定电阻应变片输出量与拉索拉力的关系式基础上，将电阻应变片贴在拉索钢绞线锚固头上，用导线将电阻应变片和应变仪连通，对钢索施加拉力的大小，在应变仪上当即可以测出，可以直接测出钢索拉力值的大小，这种力式简便易行，对施工现场检测索力比较适用。

另外，钢索预加应力检测方法还可以根据非线性悬索理论，单根索的挠度变形和荷载之间的关系可以用拟梁法确定。只要知道了索的水平张力与索对应的简支梁弯矩图，即可确定索的挠度。反之，如果知道了索的弯矩图和挠度变形，即可知道索的水平张力，受自重作用索的水平张力。假设单位长度索自重为线性的均布荷载 $q$ ，简支梁跨中弯矩为 $ql^2/8$ ，索跨中挠度 $f$ 和索张力 $H$ 的关系为： $H=ql^2/8f$ ，或 $f=ql^2/8H$ 。

### 3 一点建议

最后，我们建议在幕墙结构投入使用后，宜在水平索或竖向索上安装必要的位移和应力传感器，也可用贴电阻应变片的方法，长期（一年以上）观测索网拉力、幕墙变形（包括平面内和平面外）与风速和温度的变化规律，分析玻璃对幕墙整体刚度的有利作用，为同类结构的设计和应用积累依据。

单层平面索网结构体系在我国刚刚起步，今后还会在工程中逐步推广使用，为了使平面索网结构体系在设计、施工、检测等方面沿着健康有序的方向发展，我们还要做许多艰苦细致的工作，考虑到北京地区某中庭立面幕墙工程为国内第一批索网点支式玻璃幕墙，其分析、设计、施工方法和实测资料显得十分重要，很可能成为今后同类工程参考样板，有必要在工程完工后对其进行全面分析研究，并结合实测资料，总结规律，为今后制定设计和施工标准提供重要参考依据，这部分的文字总结材料将在以后陆续完成。