

# 收费站大跨度索膜结构理论分析与设计

李立新

(广东渝湛高速公路有限公司 湛江市 524005)

**摘要:**膜结构建筑是国内近年兴起的建筑形式,具有自重轻、造型美观、受力合理的特点。渝湛高速公路粤桂省界收费站膜结构工程跨度大、结构体系新颖,由空间拱桁架、索桁架、张拉膜组成,是广东省高速公路一标志性建筑。介绍了该膜结构工程的设计与分析及有关参数的选取,对类似工程的设计与科研具有一定的参考意义。

**关键词:**收费站建筑;大跨度;膜结构;设计与分析

膜结构是一种全新的建筑结构形式,是21世纪大跨度空间结构发展的一个新的分支。它起源于20世纪40年代,以1970年日本大阪世博会出现的充气膜结构,标志着膜结构时代的开始。20世纪90年代,膜结构开始进入中国。随着中国经济的发展,人们对建筑的要求越来越多样化。近几年,膜结构作为建筑

结构的一个分支渐为国人所认识。它以优良的建筑织物为材料,利用刚性支撑或柔性钢索将膜面绷紧,从而形成具有一定刚度、张力、能覆盖大跨度空间的结构体系。膜既是围护结构又是受力结构的一部分,它与钢架、索或压杆共同组成一个有机的受力体系。膜结构建筑一般分为骨架支承式张拉膜结构、悬挂

收稿日期:2006-05-10

存在尺寸与设计有误差的问题。在扣分方面,外观是扣分的主要扣分点,存在的问题多在线缆的标识、工艺以及设备、部件的表面情况上面;资料扣分主要集中在完工测试资料不齐以及资料中存在错漏问题。这里以监控系统为例,其他系统也存在类似情况。

可以看出,一批交通行业的标准以及新的《评定标准》执行后,工程质量总体比以前有了较大的进步,表现为各专用设备以及通用设备质量都有了大的提高,设备使用稳定,不会在使用过程中出现影响系统正常运行的故障;各系统功能齐全,适应营运的收费及监控等的要求;新的技术新的思想不断在工程中实践,取得良好的应用效果。

### 3 高速公路机电工程存在问题及解决方法

现阶段机电工程检测中发现存在的问题是个别性能指标偏低,外观及资料扣分也比较严重,电房等与其他施工单位存在交叉的施工不规范。针对机电工程存在的问题,提出几点看法。第一,在一段时间内工期紧张的现状不会有大的改变,这就要求业主改变保收费、放弃其他系统的思想,给施工单位创造

必要的施工条件,保证足够的工期,施工单位也应投入充足的人力、财力进行施工。第二,应严把设备关,机电工程基本上由设备安装及系统集成组成,设备占了工程很大一部分,设备的好坏决定了工程的质量,所以要求设备质量要过关,选型时要选择经过工程实践考验的,加强材料设备的型式检验和现场抽样检查。另外,虽然机电工程是高速公路工程建设的一个部分,但又不同于土建工程,可以与土建工程分开开工,使之有2~3个月的试运行期。

### 4 高速公路机电工程检测工作的完善

机电工程检测工作今后还需要在检测的科学性,特别是采样的科学性、检测方法的科学性等方面下工夫。同时,高速公路机电工程不断有新的技术、新的产品得到应用,如渝湛高速公路就应用了微波车辆检测系统,远端门禁、空调、电力监控,IP OVER SDH 视频传输等设备。面对不断推出的新产品、新技术,要求检测机构以《评定标准》为本,针对这些制定适合的检测方案,充分全面地反映整个机电系统的面貌。

式张拉膜结构、充气式膜结构等 3 种：(1)骨架支承式张拉膜结构是以骨架或其他材料骨架作为膜的支承，构成受力体系；(2)悬挂式张拉膜结构是通过拉索、压杆将膜材料张拉而形成的结构形式；(3)充气式膜结构是使室内的空气压力始终大于室外空气压力，使膜材料处于张力状态来抵抗外力。

膜结构的主要特点是：(1)重量轻，可以营造出具有独特风格的无柱大空间，且具有良好的抗震性能；(2)造型新颖奇特，具有强烈的现代感，易做成各种自由形状的光滑曲面，且色彩丰富多样；(3)很好的透光性，阳光的透过率可达 15%，白天可使室内充满自然漫射光，不需要照明以节省能源，夜晚时灯光透过膜面使建筑物轮廓形成一个发光的外观，给周围环境增添梦幻般的夜景；(4)良好的自洁性；(5)施工快捷、简便。

高速公路的收费站不仅具有特定的使用功能，

而且随着中国经济的发展，人们对其美观的要求也越来越高。以渝湛高速公路粤桂省界收费站膜结构工程为例，介绍了大跨度钢膜结构收费站的设计与分析及有关参数的选取，对类似工程的设计与科研具有一定的参考意义。

### 1 工程概况及结构布置

渝湛高速公路粤桂省界收费站膜结构工程跨度大、结构体系新颖，由空间拱桁架、索桁架、张拉膜组成，是广东省高速公路一标志性建筑。结构平面布置图如图 1，实景如图 2。拱桁架跨度 85 m，拱高 21 m，双拱柱脚处间距 16 m。膜投影面积约为 1 700 m<sup>2</sup>，展开面积约为 2 000 m<sup>2</sup>。在拱桁架与地面之间形成索桁架以支撑膜面，主拱钢管为 φ500×12—8，下拉索可用 φ56 圆钢。

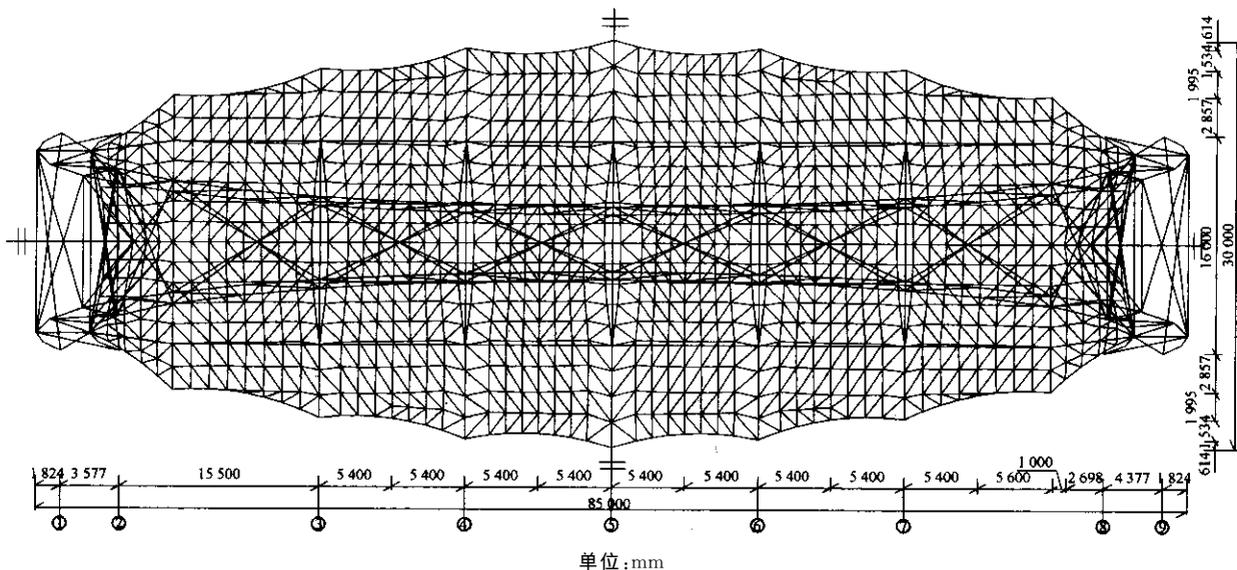


图 1



图 2

## 2 结构分析

### 2.1 找形分析及初应力的设置

由于索与膜材只能受拉，不能承受压力和弯矩，

只有在一定初张力下，索膜结构才有一定的形状和刚度，因而找形分析是索膜结构设计中重要的一环<sup>[1]</sup>。

非线性有限元法找形分析公式如下：

$$(K_1 + K_2)U = -R, \tag{1}$$

式中： $K_1$  为膜片部分的几何刚度矩阵； $K_2$  为钢架部分的刚度矩阵，包括线刚度矩阵和几何刚度矩阵； $R_s$  为应力等效节点力向量。

膜结构的力学分析与一般刚性结构相比，主要区别有 2 点：(1)结构变形较大，应考虑几何非线性（可忽略膜材的材料非线性）；(2)膜材不能受压。在找形分析时，有空间坐标和应力分布两组未知数，理论上，给出任一应力分布均可得出一个初始形状。初

始应力一般取  $1.5 \text{ kN/m} \sim 5.0 \text{ kN/m}$ , 初应力的确定受 2 个因素影响: (1) 在荷载作用下, 结构几何非线性分析必须收敛, 不能出现大面积松弛; (2) 在自重、预应力和雪荷载、风荷载作用下, 不能产生积水区域。根据上述要求, 经反复试算, 初应力取  $2.0 \text{ kN/m}$ 。对于本工程, 不仅膜曲面需要找形, 索桁架部分在给定初张力下, 同样要求出平衡状态。由于张拉于拱桁架与地面之间的索桁架为自平衡体系, 预应力越大, 刚度越大, 但对拱桁架的负担也愈大。经反复试算, 索初张力取: 边索、拱索  $20 \text{ kN}$ , 膜拉地索约  $6 \text{ kN}$ 。

## 2.2 荷载分析

膜结构的荷载与传统结构的荷载取值和控制因素有很大的不同。膜体自重轻, 振动频率低, 对风荷载的作用非常敏感, 在风荷载作用下易产生较大的变形和振动。风荷载是膜结构的主要荷载。作用的

主要荷载<sup>[2,3,4]</sup>如下。

(1) 静荷载(DL): 膜材自重为  $10 \text{ N/m}^2$ , 钢索的重量由分析程序自动计算。

(2) 活荷载(LL):  $0.3 \text{ kN/m}^2$ 。

(3) 风荷载(WL): 基本风压  $w_0 = 0.75 \text{ kN/m}^2$ ; 根据膜结构技术规程, 骨架式膜结构风振系数取  $1.2 \sim 1.5$ , 本工程取  $\beta_z = 1.3$ ; 由于没做风洞试验, 体形系数只能参照规范, 并结合工程经验取  $\mu_s = -1.3$ 、 $-0.7$ , 钢管取  $1.2$ 。

(4) 膜预张力(IL)。

荷载确定后, 膜的內力分析与一般非线性结构基本相同。

$$(K_1 + K_2)U = P \quad (2)$$

式中:  $K_1$  为膜片部分的刚度矩阵;  $P$  为荷载(等效节点力)向量。部分计算结果如图 3。

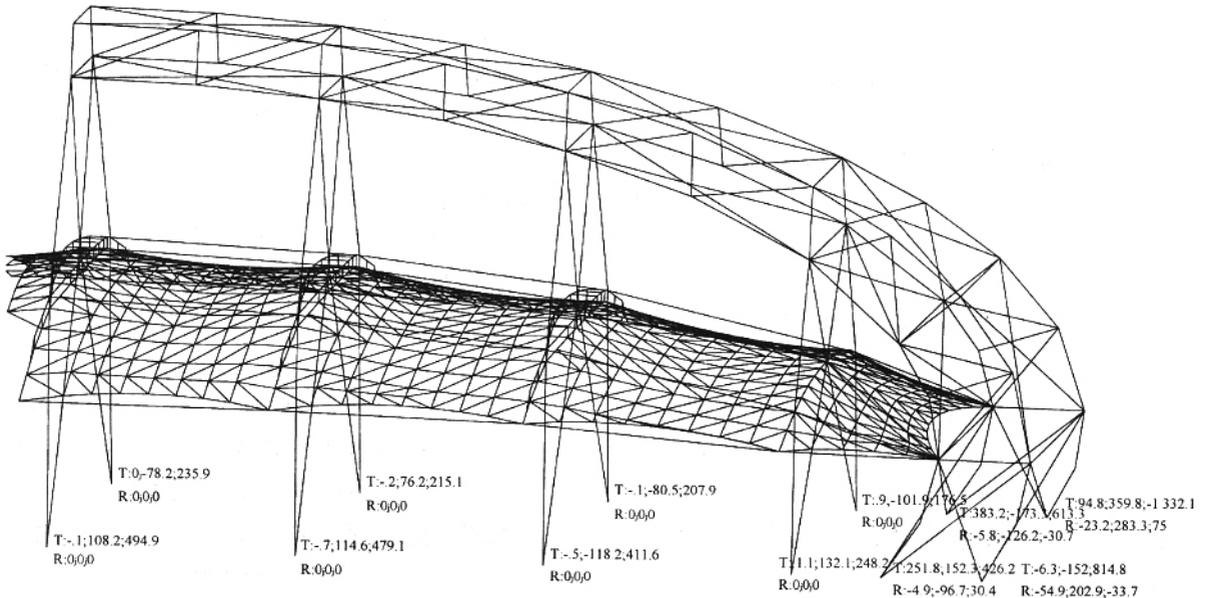


图 3

## 2.3 钢结构稳定分析

本工程考虑线性屈曲荷载, 计算结构可能的失稳模态及失稳时的荷载占所加荷载的倍数。本工程整体稳定系数不小于 10。

## 3 结语

膜结构以其良好的经济性、合理的受力性能和新颖的造型越来越受到世人的瞩目。它作为一种柔性的张拉结构, 从方案的选定到设计和施工, 均有其特殊性。大跨度索膜结构的设计过程应注意以下问题: (1) 风荷载是索膜结构的主要荷载, 由于膜质量小、重量轻, 风荷载成为索膜结构的控制荷载; (2) 初

应力取值对于自平衡体系, 预应力越大, 刚度越大, 但对拱桁架的负担也愈大, 初应力取值对结构用钢量有较大影响。

## 参考文献:

- [1] 韩大建, 徐其功. 张拉膜结构力密度法找形分析中索边界的处理[J]. 空间结构, 2002, (2).
- [2] 徐其功. 上海和平公园海豚馆膜结构工程设计与分析[J]. 华南理工大学学报, 2003, 131(4).
- [3] 徐其功, 韩大建. 广州市大都会广场的抗风设计[J]. 建筑结构学报, 2000, (4).
- [4] CECS 158-2005. 膜结构技术规程[S].