

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钢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 m²,展开面积约为 2 000 m²。在拱桁架与地面之间形成索桁架以支撑膜面,主拱钢管为 $\phi 500 \times 12-8$,下拉索可用 $\phi 56$ 圆钢。

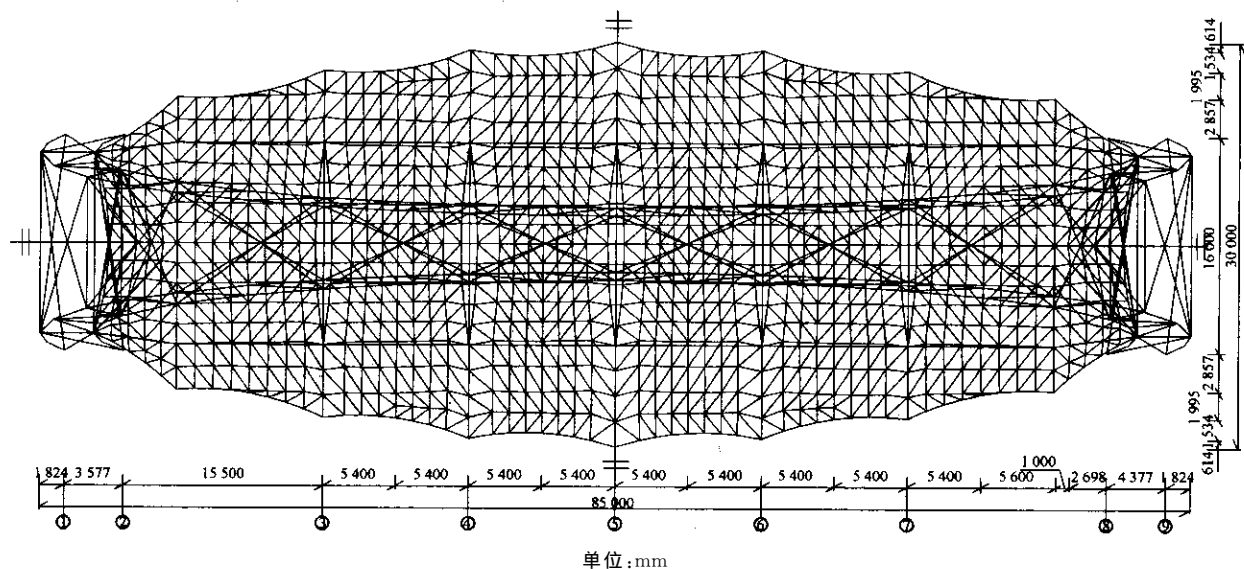


图 1



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^[1]。

非线性有限元法找形分析公式如下:

$$(K_1 + K_2)U = -R, \quad (1)$$

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 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 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 kN , 膜拉地索约 6 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^[2,3,4]如下。

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

(2) 活荷载 (LL): 0.3 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, 膜的内力分析与一般非线性结构基本相同。

$$(K_1 + K_2)U = P \tag{2}$$

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。

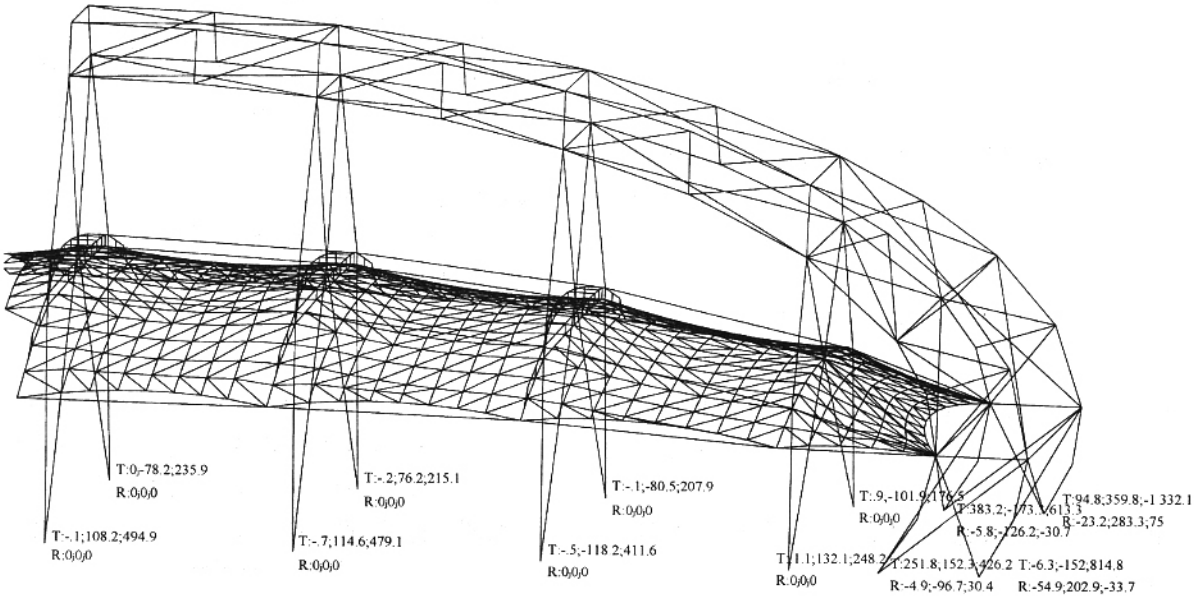


图 3

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].