

网架工程设计与施工

李 伟

江苏天地钢结构工程集团有限公司

摘 要: 通过网架工程设计实例, 介绍了解决大跨度空间结构的一种简单方法, 该方法同样可以解决开口结构的设计难题。同时, 介绍了双向压力平板支座的设计和应用。

关键词: 网架; 四角锥; 螺栓球节点; 拱度; 双向压力平板支座

工程位于桂林空军学院院内, 原建筑为露天体育场。根据院校建设需要, 在原建筑尽量不动的情况下增加一个屋盖, 四周封闭。这样无论建筑造型还是结构布置均受到了一定的局限性, 建筑造型为展翅欲飞的雄鹰在蔚蓝的天空中翱翔。经过多次方案比较, 业主和建筑师均希望采用钢结构做屋盖, 混凝土柱做竖向支承结构。主体结构几何尺寸为 $75.23\text{ m} \times 64.7\text{ m}$, 由于空间比较大, 造型非常复杂, 支承点又很少, 所以经过比较最终采用网架结构作为屋盖结构体系。该工程于 2002 年 5 月设计, 2003 年 10 月竣工。

1 网架结构布置与计算分析

根据建筑设计和使用要求, 网架平面尺寸为 $83.4\text{ m} \times 69.9\text{ m}$, 采用正放四角锥螺栓球节点网架。这种结构单元刚度好, 整齐美观, 易于安装。网架平面布置图见图 1。由于 A-A 剖面的建筑造型要求将结构断开, 无法做成连续的承重体系, 体育馆中间又无法增加立柱。因此, 只有采用 B-B 剖面横向支承体系, 将荷载传到前、后两端混凝土柱上。

根据跨度要求, D、Q 轴柱之间距离为 61.8 m , 如果按普通的网壳设计, 网壳厚度将达到 4 m 多, 无法满足建筑要求, 网壳用钢量也很大。根据传力途径, 我们仔细分析了该建筑结构的特点。如果将该网架分成 3 块网架布置, 中间为圆拱柱面网壳, 两侧分别为反抛物线柱面网壳, 就可以化整为零, 改变了原来直接传力方向。先将荷载传到左右两侧, 1、24 轴直接传到了柱点上, 7-8、17-18 轴将通过加强梁构件传至前后两端柱顶。这样, 既减少了网架跨度, 又满足了建筑要求, 网壳最大处厚度为 2.6 m , 最薄处仅为 1.0 m 。

该工程关键问题是解决两道传力构件的加强梁。如果采用普通的焊接型钢来支承, 那么, 不仅用

钢量大, 而且加工、安装难度非常大, 室内美观也都受到影响。根据我们的工作经验, 可以将网架做成一道刚度比较大的梁, 作为横向传力构件。经过反复验证, 该梁截面大约为 $3.0\text{ m} \times 9.0\text{ m}$, 与建筑师商议后将原设计上、下层网架间的高差做了适当调整, 仅提高 1.0 m 。该梁最大变形为 120 mm , 约为跨度的 $1/500$; 中间拱形柱面网壳跨中相对位移为 40 mm , 约为跨度的 $1/700$, 荷载传到了 B、R 轴线柱顶。如图 2 所示, 下部结构在 7-8、17-18 轴进行了加强, 每个位置做了 4 根混凝土柱, 中间由横梁连接形成框架, 既可以抵抗水平力, 又可以承受较大的竖向荷载。

网架采用空间网架设计软件 SFCAD2000 分析, 该程序经过了专家鉴定, 目前已使用十余年, 该软件是安全、可靠的。该程序采用空间桁架位移法进行内力和位移的分析、计算。根据本工程实际情况进行了加载, 分别加了 恒载、活载 1 (满)、活载 2 (中间布置)、活载 3 (两边布置)、左风、右风、前风、后风等 8 种荷载, 并且考虑最大温差 60°C , 即升温 30°C 和降温 30°C 。

具体荷载组合如下: 1.2 恒载+ 1.4 活载 1;
1.2 恒载+ 1.4 活载 2; 1.2 恒载+ 1.4 活载 3;
1.0 恒载+ 1.4 左风; 1.0 恒载+ 1.4 右风;
1.0 恒载+ 1.4 前风; 1.0 恒载+ 1.4 后风。

经过多次分析和设计, 网架最大挠度值为 160 mm , 约为跨度的 $1/380$, 拉杆长细比为 200, 压杆长细比为 180, 杆件屈服强度为 235 N/mm^2 , 杆件实际最大应力为 $193/-194\text{ N/mm}^2$ 。

由于风载作用主要为吸力, 所以, 恒载、风载没有与活载组合。该网架跨度超过 60 m 为大跨度空间结构, 为了提高结构的可靠度, 结构重要性系数取为 1.1, 即 Q235 材质杆件设计应力取为 195 N/mm^2 。工程计算分析结果均满足规程和规范要求。

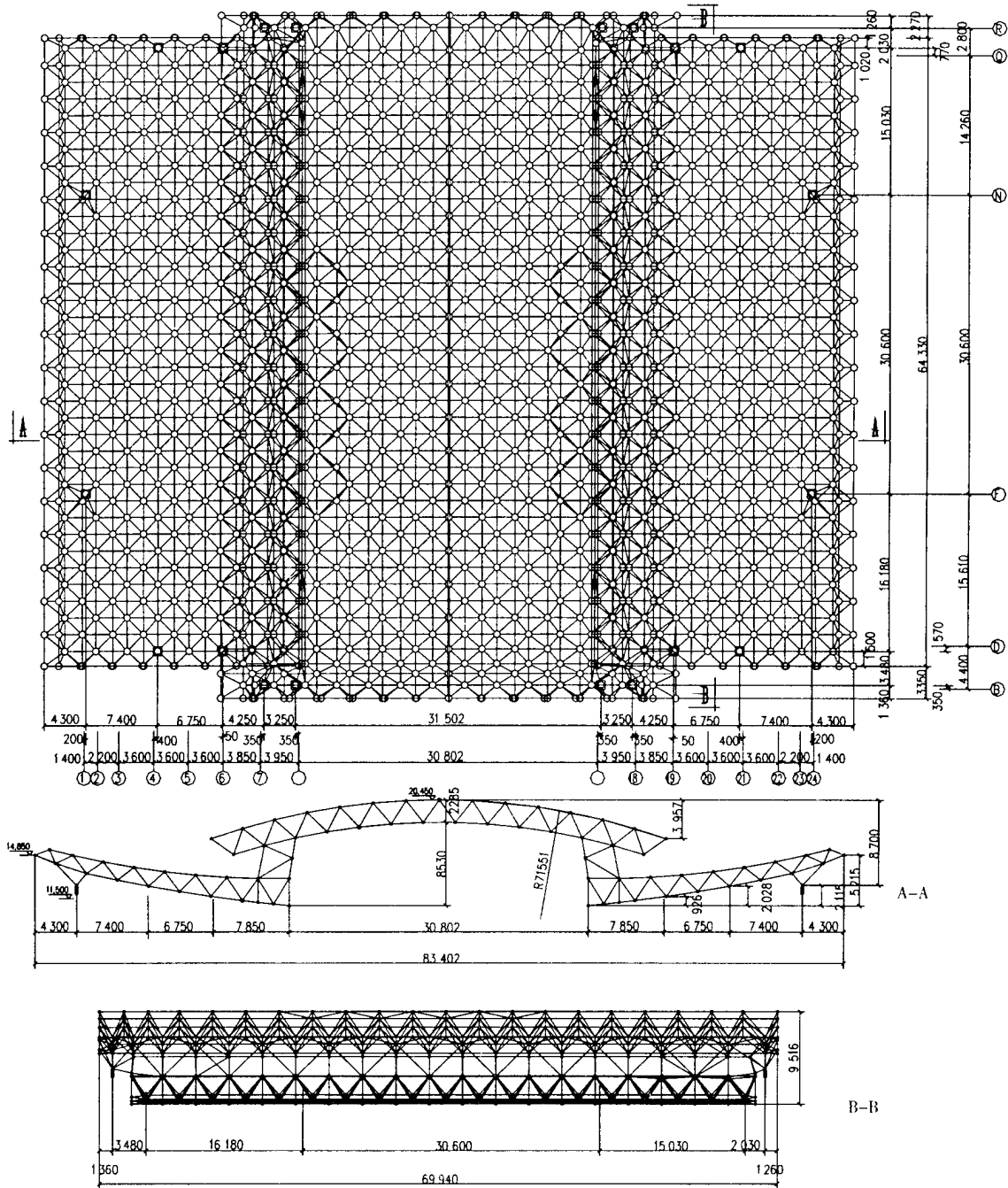


图 1 网架平面布置图

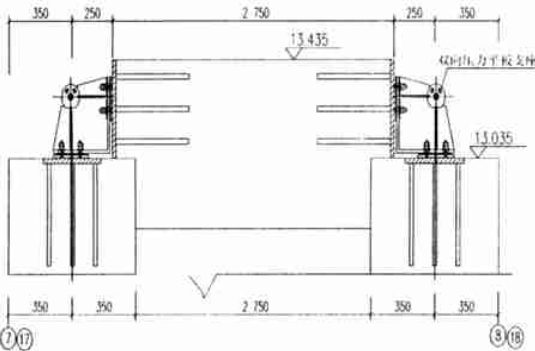


图 2 预埋件

2 网架结构设计

空间网架软件 SFCAD2000 具有结构计算分析、杆件截面自动选择、高强螺栓及球径自动选配功能, 因此依据《网架结构设计与施工规程》(JGJ7-91), SFCAD2000 的计算结果已完成了网架的杆件和节点设计。其支座需另外设计计算, 网架与下部结构的连接主要靠支座连接。该工程网架采用压力平板支座, 由于 7-8、17-18 轴竖向力和水平力都比较大, 因此采用了双向压力平板支座。以 8 轴为例, $R_x = 79/-189 \text{ kN}$, $R_z = 188/-938 \text{ kN}$, $R_y =$

10/- 16 kN, 如果采用竖向十字劲板支座, 支座底板和劲板将都非常大, 螺栓也会复合受力, 非常不利。选用双向十字劲板支座, 将会使支座受力简化、单一, 底板厚度仅为 35 mm, 劲板为 20 mm。同时, 为了减少横向温度座力, 使该支座受力简化, 如图 3 所示, 在支座底板与过渡板之间增加聚四氟乙烯垫片。这种措施减少了磨擦系数, 保证了支座的安全和可靠性能。

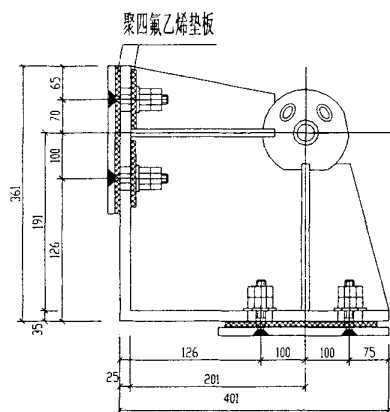


图3 双向压力平板支座

3 网架施工

该网架主要施工要点在于 2 条加强网架梁, 只有安装好这 2 条梁, 才能更好地安装其它部分。由于该梁受力比较大, 必须采用满堂脚手架。该部分脚手架荷载应按 6 kN/m^2 计算, 中间部分也应打满堂脚手架。先安装网架梁, 再安装中间部分网架, 在安装过程中应局部打临时支点, 使网架自重均匀传到脚手架上。当这两部分安装完毕后, 应将支座校正, 就

位,并且临时固定,然后再安装两侧的网架。当中间部分成为一个整体后,两侧网架可以采用局部脚手架。所有网架安装完毕后,再按照规程要求调整、校正,最后进行支座固定。

4 结 论

通过该网架工程的设计与施工,作者总结出了大跨度异形空间结构或开口空间结构的设计计算方法,可以通过加强梁的方法将结构受力简化,传力明确,使结构受力合理,符合建筑和使用功能要求。本工程如果采用两向受力的方法,其用钢量大约为 55 kg/m^2 ;如果加强梁采用焊接型钢,其用钢量大约为 40 kg/m^2 ;而本方案用钢量仅为 32 kg/m^2 ,即节约又美观。在三边支承一边开口的建筑中尤为常用,可以将该加强梁做成反梁,既不影响使用空间,也可做一些建筑造型。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院 网架结构设计及施工规程 (JGJ7-91). 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- [2] 中国建筑科学研究院 建筑结构荷载规范 (GB 50009-2001), 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [3] 尹德钰, 刘善维, 钱若军, 等 网壳结构设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- [4] 刘锡良, 刘毅轩 平板网架设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1979

收稿日期: 2004-02-17.

李 伟: 男, 1967 年生, 工程师, 徐州, 江苏天地钢结构工程集团有限公司(221004).