

工程报导

山东金乡影视中心螺栓球组合网架屋盖设计

燕国强

(徐州市建筑设计研究院)

螺栓球组合网架是一种新型结构,这种网架是由钢筋砼肋形板(上弦),螺栓截球(上弦节点)、钢杆件(腹杆与下弦)及钢球(下弦节点)组合而成的三维空间结构。用预制钢筋砼的肋形板置换网架中的钢上弦,同时又作为覆盖构件屋面板或楼面板,既节约了造价又提高了压杆抵抗失稳的性能。上弦节点的螺栓截球,顶面为一平面,便于上弦板的安装;侧面为球面的一部分,可用螺栓与腹杆联接,而且灵活适用于多种情况。腹杆、下弦及下弦节点都采用普通螺栓球网架的做法,加工已有成型工艺。整个网架用钢量比较节省。

一、工程概况

山东金乡影视中心总建筑面积 4375m^2 。主体为两层;底层设有录像厅、电子游艺室、

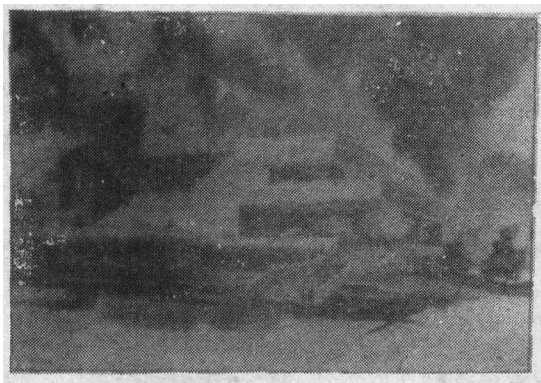


图1 影视中心透视图

台球室、咖啡厅、冷餐部、售票厅、管理用房及消防疏散通道。二层为一千座立体声电影院观众厅及入口门厅。三层为放映室。四层为办公用房。西侧四层总高度与东侧两层基本相等。电影院北面临街、二层 8.1m 宽的外平台既是观众厅的疏散通道,同时又作为底层多功能用房的外廊屋面。 6.6m 宽的外楼梯直通二层平台。北立面见图1。

本工程柱网尺寸根据需要分为 $9\times 12\text{m}$ 、 $9\times 9\text{m}$ 、 $9\times 6\text{m}$ 不等。基础采用 70cm

直径、 11m 长钻孔灌注桩。上部结构为框-排架结构体系。

三、观众厅屋盖结构设计

观众厅屋盖采用 $36\times 27\text{m}$ 螺栓球组合网架。组合网架平面见图2。

(一)确定网架尺寸 根据屋面的平面尺寸,并考虑了上弦肋形板垂直和水平运输的方便,网架采用 $3\times 3\text{m}$ 分格,网架高度采用 2.196m ,意在使斜腹杆与弦杆的倾角接近 46° ,以便于工厂加工时易于控制。网架的高跨比约为 $1/12.5$,满足一般的构造规定,同时使上弦截

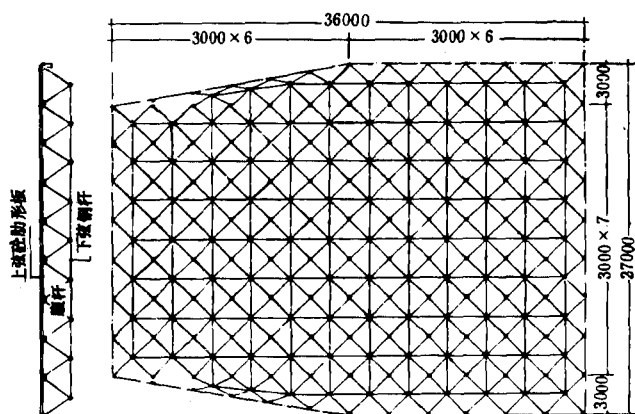


图 2 组合网架平面图

球及下弦圆球节点上的元件之间能够保持适当距离, 使安装操作时不致发生困难。

(二) 杆件内力分析 网架结构是一种高次超静定空间杆系结构。要精确地分析它的内力和变形, 必须借助于电子计算机。本例是采用海河大学钱若军等同志研制成功的AADS程序系统中《分析和设计任意形状、任意荷载作用下的空间铰结杆系程序AADSD》。在COMPAG—386型电子计算机上算得的。上弦面荷载 3.5 kN/m^2 , 下弦 0.4 kN/m^2 。将上述面荷载算至 134×2 个节点上(利用对称性)化为节点荷载。因为计算网架结构的矩阵位移法是以杆件为基本单元, 以节点位移为基本未知量, 根据节点静力平衡条件来建立总刚度方程, 先求得各节点位移, 由各节点位移来求得各杆件的内力。本例杆件编号为 428×2 (利用对称性)。计算结果 z 轴最大位移发生在93号节点, 该点总挠度值 73.65 mm , 为 $(1/367)L$ (L 为网架短边尺寸)。其中结构自重作用下的挠度值约占43.99%为 32.4 mm , 屋面恒载及屋面可变荷载、下弦吊挂荷载等作用下的挠度值为 41.25 mm 。上弦423号杆轴向压力最大, 为 572 kN 。下弦174号杆拉力最大, 为 560 kN 。腹杆234号杆内力最大, 为 182.8 kN 。

(三) 组合网架上弦钢筋砼肋形板设计 肋形板尺寸 $2970 \times 2970\text{ mm}$, 板厚为 30 mm , 每块板三条中肋为 $60 \times 190\text{ mm}$, 四条边肋为 $90 \times 200\text{ mm}$ 。边肋弯矩由屋面垂直荷载算得, 轴向力即网架内力分析结果的上弦杆内力, 由两块相邻板的边肋共同承担, 按偏心受压构件进行截面设计。在网架边缘有个别杆件承受拉力, 该杆则按偏心受拉作截面计算。上弦轴向内力见图3。

上图可见, 分析结果符合网架结构的受力规律, 杆件内力从周边向跨中逐渐增大。设计时根据受力大小划分为 n 个区域同时结合板的几何尺寸不同将板分为B1~B9。然后按9种不同内力分别计算偏心受压(拉)板肋的配筋。本例计算结果表明, 边肋配筋均不甚大, 大部分都按构造设置。上弦钢筋砼板的平面布置见图4。

(四) 上弦节点的设计与构造 上弦板肋之间有 30 mm 宽的板缝, 节点处每块板均做切角以利焊接施工。焊接完毕后, 用与预制板相同强度等级的砼填充板缝, 使板的边肋紧密结合, 共同承受轴向压力。上弦节点的螺栓截球与钢筋砼板肋的联结, 依靠板肋中预埋件侧边与截球的上面用贴角焊缝焊接。在网架拼装过程中, 为了缩短施工周期, 考虑到板缝砼强度尚低, 因而由自重产生的上弦内力全部由这种焊缝传递。为了确保联接可靠, 在板肋上面还加焊了联接盖板。上弦节点见图5、6。

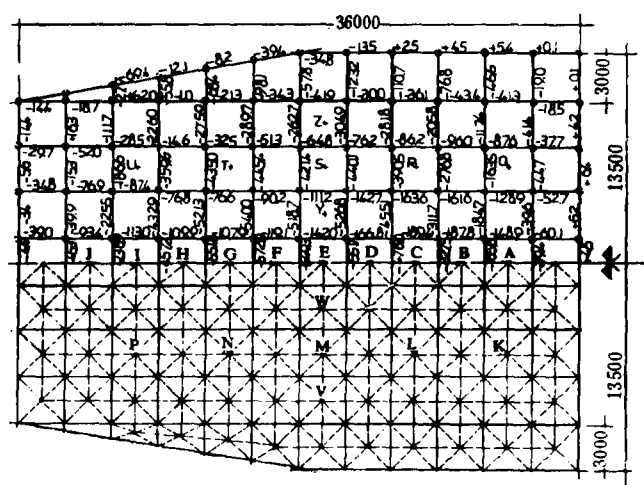


图 3 上弦轴向内力及上下弦测点布置

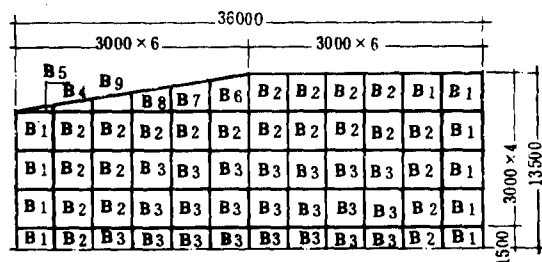


图 4 上弦肋形板布置

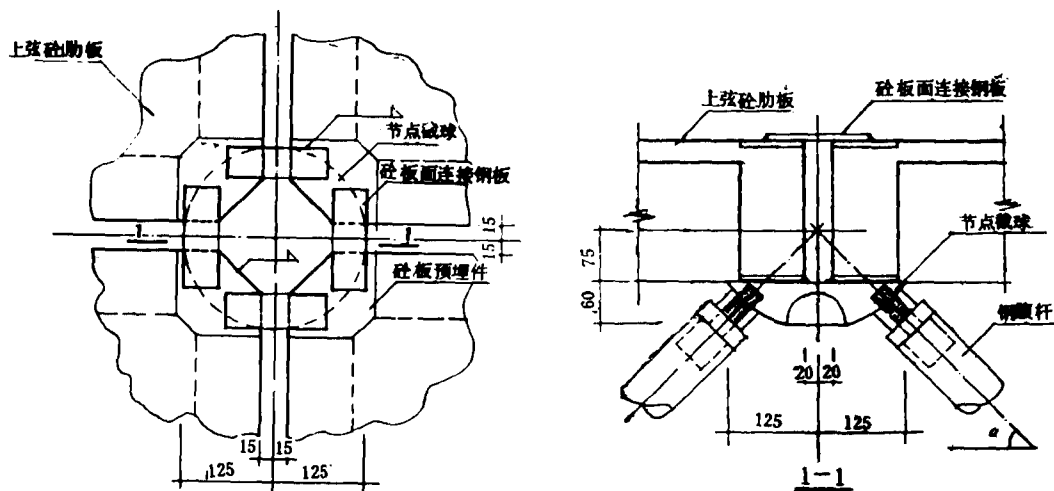


图 5 上弦中节点

本工程节点截球用45号钢模锻制成。连接腹杆的螺栓孔中心线均通过球的中心。腹杆倾角除梯形平面的斜边上少数情况外，其余均为 46° 。钢筋砵上弦肋板与节点截球的焊缝用T55型焊条施焊。此处节点截球系45号钢制成，板肋预埋件为A3钢，存在一个不同钢种间焊接

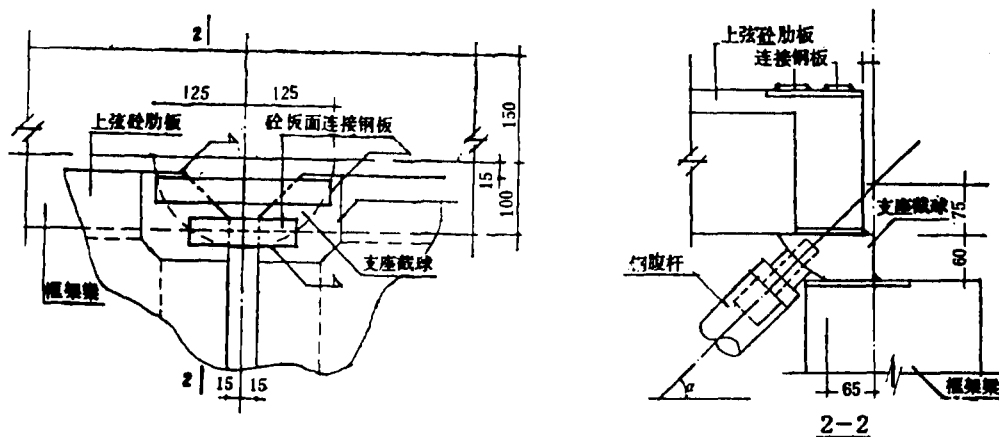


图 6 上弦边节点

是否可靠的问题，对此一直有两种看法。我们则认为：不同钢种基本是可焊的。至少象这类形式的构造在采用焊接时能够达到所需的要求。根据是：（1）许多对焊接理论与实践造诣较深的同志都持有“绝对不会有问题”的看法。（2）不同钢种间的焊接这是建筑工程界采用多年的行之有效的措施。例如预应力砼屋架下弦预应力拉杆的做法一般都是用冷拉Ⅱ级圆钢，而在两端以高强螺杆（常用45号钢），从未因此处的焊接而发现问题。（3）曾对一个 $3 \times 12\text{m}$ 的单条组合网架进行荷载试验，试件拼装时上弦预埋件A3钢与节点截球45号钢用贴角焊缝焊接，在加载至设计荷载三倍时焊缝毫无损坏现象。（4）在本工程之前已有三个构造相同的网架投入使用，其中有一个 $20 \times 29\text{m}$ 的楼盖更是经历了实践的检验。（5）本工程进行了实物荷载试验，效果也很好。

三、载 荷 试 验

为了进一步检验电影院屋面组合网架的工作性能，网架安装结束后于1992年4月4日至4月8日在施工现场进行了荷载试验。考虑到加载卸载的方便及节约开支并加快速度，采取了塑料袋装水施压的方法。

屋盖设计面荷载扣除网架钢杆件及上弦钢筋砼肋形板自重后，剩下屋面找平、保温、防水、吊顶及空调管道等总荷载为 2.22kN/m^2 ，加水量为 2.3kN/m^2 。加载分五级进行，每级加载终止测一次节点挠度。上弦每个节点都设置了测量点，但随着加载次数的增加，测量点逐步被水袋盖住，到最后一级加载时测点挠度已完全无法测量。下弦设了24个测点。测点布置见图3。由于上弦节点的数据不完整，因而测试数据完全以下弦的测定挠度为准。测试结果 $Q-s$ 曲线见图7及图8。

试验结果表明：组合网架加载后最大挠度仍发生在93号节点上，下挠量为 39mm ，与计算值 41.25mm 十分接近。卸载后网架上弹 28mm ，残余变形为 11mm 。由于上弦为钢筋砼杆，节点可能发生较大的初始变形，残余变形中也包括了这部分初始变形。因而可以认为网架在满载时仍基本处于弹性状态。整个结构是能够安全工作的。

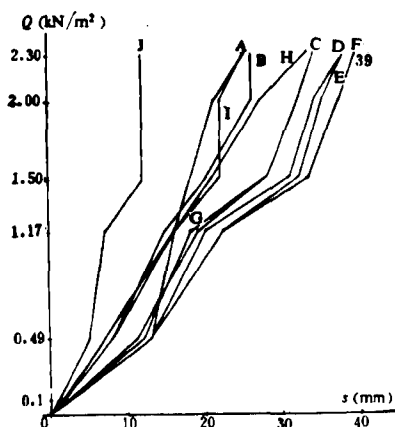


图 7

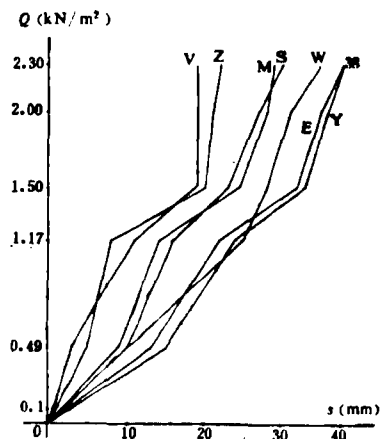


图 8

四、结 语

(一)本工程组合网架面积为 918m^2 ，网架用钢量约为 102.3t ，用钢量约为 11.14kg/m^2 。而资料统计一般同类全钢网架用钢量为 25kg/m^2 左右。组合网架的上弦肋形板用钢量比全钢网架覆盖结构网架板多耗钢材约 2.3kg/m^2 。这样估算的结果，组合网架比全钢网架一般可节约钢材25%左右。

(二)从图7及图8中可见：加至试验荷载的50%时，网架挠度产生一个突变，这一阶段挠度增大达 10mm 左右。在 $3 \times 12\text{m}$ 的结构试验中同样有一个突变。当再增加试验荷载的10~15%时，网架挠度基本按直线变化，直至加到设计荷载。从突变点到终止加载这一阶段，网架产生的挠度几乎正好是卸载时网架回弹的变形值；亦即突变时的变形恰好与残余变形大致相等，若在总变形中略去残余变形则正好可以说明：组合网架在设计荷载作用下是在弹性范围内工作的。产生突变的原因一部分是受荷后的正常变形，另一部分可能是节点螺栓安装不紧所致。这种变形是难以避免的。所以组合网架安装时应该按短向跨度的 $\frac{1}{300} \sim \frac{1}{350}$ 在双向起拱，以便消除一部分过多的变形。

本工程由徐州飞虹网架公司密切配合，并负责网架的全部加工制作和安装。本工程已于1992年12月31日投入使用。

参 考 文 献

- [1] 沈祖炎等：空间网架结构，贵州人民出版社，1987年10月，贵州。
- [2] 混凝土结构设计规范(GBJ 10—89)，中国建筑工业出版社，1990，北京。
- [3] 钢结构设计规范(GBJ 17—88)，中华人民共和国冶金部，1989，北京。