

30^m×36^m平板网架设计分析比较

许琪楼 周鉴清

(土建系)

提 要

本文给出设计30^m×36^m平板网架的五种方案,比较了各种方案构造情况、杆件最大内力最大挠度、杆件用钢量、节点用钢量及总耗钢指标;讨论了不同网架厚度对杆件内力、挠度和耗钢量的影响。用近似法和精确法计算了五种方案的网架主要杆件内力大小,并比较了计算结果及分布规律,分析了近似计算误差范围及产生的原因,以供设计时参考。

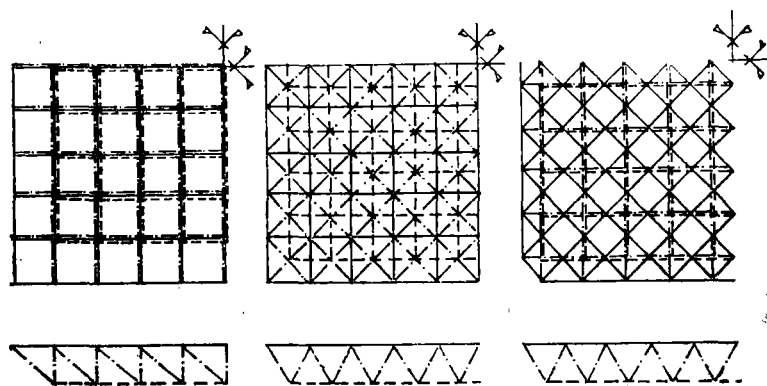
八三年春,我们结合工民建专业设计,授受了一项工程的设计任务。该工程观众厅部分平面轴线尺寸为30^m×36^m。观众厅跨度较大,且设有吊顶,常采用的结构型式有梯形钢屋架和平板网架。两者相比,平板网架空间刚度大,稳定性好,结构自重轻,安全可靠且节省钢材(两者用钢量见表1),因此屋盖采用平板网架结构体系。

网架的杆件采用钢管,节点用焊接空心球,网架四周用平板支座支承在刚性的钢筋混凝土圈梁上,屋面采用钢丝网水泥肋板,上铺保温层,防水层。考虑到施工条件要求,屋面板不宜太重,网架下弦网格尺寸定为3^m。

根据网架周边支承的受力特点和下弦网格尺寸,在设计时共考虑了三种网架类型,共五种方案:

- 1、正交正放网架,网架厚为2.5^m。
- 2、正放四角锥网架,厚2.5^m。
- 3、斜放四角锥网架,厚2.0^m, 2.2^m, 2.5^m。

各种类型网架见图1所示。



正交正放网架 正放四角锥网架 斜放四角锥网架

图1 网架型式(四分之一对称)

一、各类型网架比较

表1列出了各类型网架方案的构造情况, 杆件最大内力, 最大挠度及耗钢指标, 由此可以看出各类网架的特点。

1. 正交正放网架是交叉桁架体系, 其杆件数, 节点数少, 构造简单。当网架平面为方形时, 两跨向内力分布是相同的。当网架平面为长方形, 其受力类似于单向板, 荷载主要由短跨弦杆承担。由表1可见: 该网架短跨上下弦杆最大内力分别是 -42.9^T 和 41.5^T 。而长跨杆内力却是 -24.6^T 和 24.2^T 。平面越狭长, 二方向内力差越悬殊。

设计该类网架腹杆时, 要使短竖杆受压, 长斜杆受拉, 这样受力合理。该类网架, 由于腹杆数量少, 腹杆内力比较大, 致使网架刚度差, 挠度大。

表1 各类网架比较

网架类型	厚度 (米)	杆件数	节点数	下弦最大内力 (吨)		上弦最大内力 (吨)		腹杆 最大内力 (吨)	网架 最大挠度 (厘米)	杆件 用钢量 (公斤)	空心球 用钢量 (公斤)	耗钢 指标 (公斤/平米)
				长跨向	短跨向	长跨向	短跨向					
正交正放网架	2.5	888	238	24.2	41.5	-24.6	-42.9	21.6/-12.4	7.92	21076	7936	27.5
正放四角锥	2.5	960	263	23.2	44.3	-23.6	-43.5	9.0/-8.6	7.11	21923	5566	27
斜放四角锥	2.5	1218	382	36.12	29.8	-16.6	-16.6	13.1/-11	6.53	21380	4260	24.7
斜放四角锥	2.2	1218	382	40.6	34.5	-19.5	-19.5	13.7/-11.4	7.8	18900	3760	22.3
斜放四角锥	2.0	1218	382	45.9	38.4	-21.9	-21.9	14.4/-12.2	8.1	20494	4404	24.3
梯形钢屋架												31.9

该类网架, 上下弦杆、斜腹杆, 竖杆均在一个平面内, 当采用焊接空心球节点时, 斜腹杆倾角应尽量接近 45° 。否则, 为了满足节点处杆件连接的构造要求, 必须选用大直径空心球。本工程该网架厚度为2.5m, 斜腹杆倾角为 39.8° 。整个网架空心球用钢量为7936公斤, 占总用钢量的26.8%, 该类网架耗钢指标最高, 其原因即在此。

该类网架是内部几何可变体, 为保证网架的几何不变性, 应根据实际情况增设撑杆, 特别在施工安装时, 要尤为注意。

2. 正放四角锥网架属于空间桁架体系。其上下弦均为正交正放, 它的构造特点是上下弦杆等长, 无竖杆, 屋面板规格统一。同斜放四角锥相比, 杆件数及节点数较少, 因此构造较简单, 它的受力特点与正交正放网架相似, 当网架平面为长方形时, 两个跨向弦杆内力相差较大(见表1)。该类网架腹杆内力较小, 网架挠度也小于正交正方形。用于该类网架是内部几何不变体, 尤其适用于多点及四点支承情况。

3. 斜放四角锥网架也属于空间桁架体系, 其下弦为正交正放, 上弦为正交斜放。受压

上弦杆短, 受拉下弦杆长, 受力合理。与前两类网架相比, 网架刚度最大, 挠度最小。在下弦网格尺寸相同的条件下, 该网架屋面板尺寸小, 重量轻, 安装比较容易。但是该类网架杆件数、节点数最多, 屋面板数量多, 类型多, 构造较复杂, 这些都是其不足之处。

综合以上分析, 特别是考虑到施工条件及耗钢指标, 该工程决定采用斜放四角锥网架。

二、网架主要构造尺寸

网格大小及网架厚度是网架的主要构造尺寸。本工程下弦网格尺寸为 3m , 当采用斜放四角锥时, 上弦网格尺寸为 2.12m , 每块肋形板重量不超过 0.5T 。

网架厚度要与网格尺寸相适应。设计时, 为了比较厚度变化引起的影响, 在网格尺寸相同的条件下, 斜放四角锥网架共考虑了三种厚度: 2.0m , 2.2m , 2.5m 。这三种方案的杆件内力、挠度及耗钢量见表 1。由表 1 可见: 网架的厚度增加, 结构的刚度增大, 挠度及杆件内力减少。但是, 并非厚度越大越有利。比较这三种厚度网架的杆件用钢量, 空心球用钢量及总耗钢指标, 可以看出厚度为 2.2m 的网架最省, 厚 2.0m 和 2.5m 网架用钢量基本相同。这是因为网架厚度增加, 杆件内力减少。杆件截面积及节点球直径可相应减少。但另一方面, 随着网架厚度增加, 腹杆长度加大, 当厚度超过一定界限时, 杆件用钢量反而提高。同时, 由于腹杆倾角远离 45° , 要保证节点处杆件连接的要求, 也要选用大直径空心球, 从而也加大了节点用钢量。因此, 在确定网架厚度时, 要综合考虑各种因素。本工程网架厚度采用 2.2m 较宜。

表2 杆件内力比较

网架类型		正 交 正 放 网 架			正 放 四 角 锥		
杆件内力 (吨)	计算方法	近 似 法	精 确 法	误 差	近 似 法	精 确 法	误 差
上弦最大内力	长 跨 向	-25.9	-24.6	5.3%	-25.7	-23.6	7.2%
	短 跨 向	-39	-42.9	9.1%	-37.5	-43.5	14%
	位 置	跨 中	跨 中		跨 中	跨 中	
下弦最大内力	长 跨 向	25.5	24.2	5.4%	24.9	23.2	7.3%
	短 跨 向	37.5	41.6	10%	37.6	44.3	15%
	位 置	跨 中	跨 中		跨 中	跨 中	
腹杆最大内力	压 力	-12.2	-12.4	2%	-7.7	9.0	14%
	拉 力	18.8	21.6	14%	7.8	9.0	13%
	位 置	短跨向跨 间支座处	短跨向跨 间支座处		短跨向跨 中支座处	短跨向跨 中支座处	

三、内力分析及计算方法比较

网架设计时,结构的内力计算分别采用了近似法和精确法。正交正放网架,近似法是交叉梁系差分法;斜放四角锥是假想弯距法;正放四角锥是先用差分法解出上弦节点挠度值,再用支叉梁系简化计算求杆件内力。精确法一律用有限元位移法。二种计算方法的结果分别见表2和表3。

表3 杆件内力比较(斜向四角锥)

网架厚度 计算方法 杆件内力(吨)		2.0米			2.2米			2.5米		
		近似法	精确法	误差	近似法	精确法	误差	近似法	精确法	误差
上弦杆 最大内力	跨中锥体弦杆	-26.8	-16.9	59%	-24.5	-16.0	53%	-21.8	-13.0	68%
	最大弦杆内力	-26.8	-21.9	22%	-24.5	-19.5	26%	-21.8	-16.6	31%
下弦杆 最大内力	长跨向	38.4	45.9	16%	35.0	40.6	14%	30.8	36.1	15%
	短跨向	38.4	38.4		35.0	34.5	1%	30.8	29.8	3%
	位置	跨中	跨中		跨中	跨中		跨中	跨中	
腹杆 最大内力	压力	-10.3	-12.2	16%	-10.9	-11.4	4.4%	-10.5	-11.0	5%
	拉力	11.2	14.4	15%	12.9	13.7	5.8%	12.4	13.1	5%
	位置	短跨向中 间支座处	长跨向中 间支座处		短跨向中 间支座处	长跨向中 间支座处		短跨向中 间支座处	长跨向中 间支座处	

1. 正交正放网架和正放四角锥网架

由表2可见,正交正放网架,主要弦杆内力近似法计算的误差在10%以内。正放四角锥在15%以内。对这二类网架,两种方法计算的内力其分布规律基本一致:上弦杆受压,下弦杆受拉,弦杆内力跨中最大,向支承方向逐渐减少,而腹杆内力却相反。在长短跨方向,上短跨是主要的受力方向。

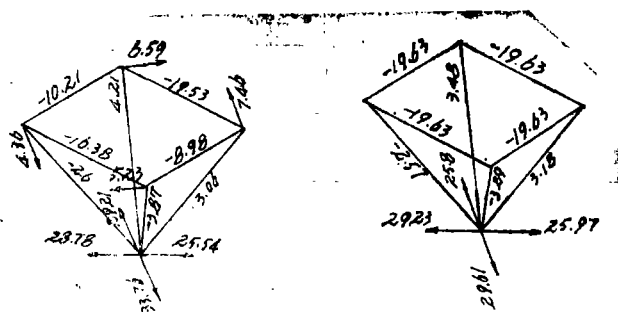
2. 斜放四角锥网架

表3列出了假想弯距法和精确法计算的杆件内力比较。近似法求得每个锥体的四个上弦杆是相等的压力,且在跨中最大,向支座方向逐渐减小。而精确法计算的每个锥体的上弦杆内力是不相等的,一般是与对角线垂直的方向上弦杆内力较大。在靠近角部,沿对角线方向的部位上弦杆变为拉杆;内力最大的上弦杆不是在网架中部,而是向角部偏移。这是因为斜放四角锥网架上弦杆为正交斜放,具有正交斜放网架相类似的受力特点:角部垂直于对角线方向的锥体组成的短向桁架,对与它垂直的长桁架有部分嵌固作用,使角部部分上弦杆产生拉力,同时使长桁架跨中弯距减小,使内力最大杆件向角部偏移。这种长短桁架的相互作用,使斜放四角锥整体刚度较大、跨中挠度较小。

两种方法计算的下弦内力都是跨中最大,向支座处逐渐减小。但是近似法求出的在长跨和短跨两个方向上的最大下弦内力是相等的,而精确法求得的内力值长跨向比短跨向提高了15%左右。对于腹杆二种计算方法所得到的内力最大位置也不相同。

斜放四角锥网架近似计算的跨中上弦杆内力误差高达50%,下弦杆与腹杆约为15%。但对主要上弦杆来讲,近似计算的内力值都比精确法偏大。

网架近似计算的误差大小,与网架的类型及近似计算的方法,杆件的类别及位置有关。误差产生的主要原因是因为大多数计算方法都是从薄板理论出发忽略横向剪力所致。但是平板网架的特点是由杆件架空组成,主要承载构件分布在上下弦平面内,腹部空而柔,剪切变形影响较大,因此,近似计算的误差靠近支座及角部较大。对于斜放四角锥网架;由于其构造特点是上弦正交斜放,下弦正交正放,在上下弦两个受力主要平面内,力的传递方向是不同点。因此,它们之间必然存在扭转剪力。图2表示用二种方法计算出的一个锥体杆件内力。由力的平衡可以算出锥体上弦四节点处扭转剪力(见图2(a))。但假想弯距法由于忽略了水平扭转剪力的存在,得到一个锥体的四根上弦杆内力是相等的,使计算误差显著增大。



a)精确法

b)近似法

图2 斜放四角锥网架锥体杆件内力比较

四、结 论

由以上比较分析,可得:

1、网架类型的选择,要综合考虑网架平面尺寸,支承情况,及屋面构造等各种因素。网架尺寸主要取决于屋面材料及构造、网架的节点型式及施工条件。网架的厚度要适宜,腹杆倾角要适中,设计时最好进行多种方案的比较。

2、网架的内力计算最好采用精确法,在条件不具备的情况下,也可以采用近似法计算。这不仅是因为近似计算的误差是处于可接受的范围内,还因为网架结构是空间超静定体系,杆件之间的相互支持,使结构具有较大的安全度。近似计算还有其它更精确方法,设计时可以采用。

参 考 文 献

- [1] 刘锡良等编著 平板网架设计
- [2] 网架结构设计与施工规定(JGJ70—80)