

平板网架结构

孙绍文 编著

吉林建筑工程学院

平板网架结构

孙绍文 编著

1985·8·长春

内 容 简 介

本书重点介绍平板网架结构的各种近似、精确计算方法，均附以计算例题。其次是介绍平板网架结构的选型和各种网架的适用范围及节点构造、网架的制做安装等内容。

本书适用于高等院校工民建专业高年级学生学习选修课“平板网架结构”之用，也可供从事土建设计、科研、施工人员参考。

平 板 网 架 结 构

孙绍文 编著

*

吉林建筑工程学院印刷厂印刷

开本：16 印张：15.625 字数375千 印数1—2000

前 言

在国内外大量理论研究和工程实践的基础上，平板网架结构计算理论发展至今，已基本完善，但就教材而言目前尚未出版一本较完善的“平板网架结构”教科书。为适应教学需要，笔者在原“平板网架结构讲义”的基础上，广泛吸取了兄弟院校讲义中的长处，特编写了这本“平板网架结构”，以供本院工民建专业讲授选修课“平板网架结构”之用，并愿同兄弟院校交流，以资相互补益。

本书的重点是尽量详尽地介绍了平板网架结构的各种计算方法，为便于读者和初开课教师参考，特于每种计算方法之后附以详细计算例题。其次是介绍平板网架结构的选型与构造。

本书的主要特点是：内容丰富，公式推导详尽，例题示算清楚，有利于平板网架结构的推广与普及，对读者、初开课教师无异是一本好书。但由于时间仓促，个人水平有限，书中难免有缺点或谬误之处，恳请专家、学者批评指正。本书在编写过程中，得到有关领导的热情支持，在此表示感谢！

此致

编 者

1985年8月 于长春

目 录

概 述	(1)
第一章 平板网架的分类和选型	(3)
第一节 平板网架的机动分析	(3)
第二节 网架结构的型式	(3)
第三节 平板网架结构的选型	(9)
第四节 网架几何尺寸的确定	(11)
第五节 网架的支承	(13)
第六节 网架结构的屋面构造	(15)
第七节 有关网架设计的一些规定	(16)
第二章 平板网架的近似计算法	(18)
第一节 差分法解交叉梁系平板网架	(19)
第二节 考虑剪切变形的交叉梁系差分法	(43)
第三节 梁元法	(53)
第四节 假想弯矩法	(64)
第五节 拟板法	(78)
第六节 拟夹层板法	(90)
第七节 平板网架的简化计算法	(100)
第八节 网架的最大挠度和最大弯矩的计算	(107)
第九节 正放四角锥网架的计算	(111)
第三章 平板网架的精确计算法	(117)
第一节 矩阵位移法	(117)
第二节 下弦内力法	(174)
第四章 平板网架在温度、施工安装及地震荷载作用下的内力计算	(190)
第一节 温度荷载作用下网架的内力计算	(190)
第二节 施工安装荷载作用下网架的内力计算	(201)
第三节 地震荷载作用下网架的内力计算	(202)
第五章 平板网架的节点构造	(204)
第一节 焊接钢板节点	(204)
第二节 焊接空心球节点	(205)
第三节 螺栓球节点	(207)
第四节 支座节点	(212)
第五节 国外的一些节点简介	(214)
第六节 国外网架节点体系的改进	(216)

第六章 平板网架结构的制做和安装	(218)
第一节 平板网架的制做.....	(218)
第二节 平板网架的拼装.....	(218)
第三节 平板网架的安装.....	(219)
附录 1.	(221)
附录 2.	(223)
附录 3.	(230)
附录 4.	(239)

概 述

网架结构是由一系列杆件沿着几个方向有规律地组合而成的高次超静定的网状空间杆系结构，它是大跨度结构的重要形式之一。按着网架结构的外形网架结构可以分为曲面的网壳、球形的网状穹窿和平面的平板网架两大类。就其受力而言，当然以曲面的网壳、穹窿为佳，但由于它增加了屋面的面积和屋顶的建筑空间，建筑形式较差、构造处理较难，再加上支承结构复杂、曲面屋顶的制作、安装较麻烦，故目前国内外，特别是国内尚应用不多，而平板网架目前正在广为应用。因此，本书仅详细介绍结构组成为双层（个别有三层）的平板网架而不涉及结构组成为一层或两层的曲面网架。

网架结构并非今日才有，我们的祖先早已用天然材料建造出各种网状结构，如锥形帐篷、茅草覆盖的圆穹窿，农家用柳条编织成的圆锥形粮仓顶等都是。只是由于当时还没有高强度的建筑材料，缺乏良好的杆件连接方法，特别是无法解决极其复杂的杆件内力计算问题，致使空间网架结构不能得到较大发展。直至本世纪三十年代出现了焊接技术以后，尤其是出现了高强度的建筑材料如 16Mn 钢、A3 钢及高强度铝合金等，特别是电子计算机的广为应用，使发展网架结构所需要的高强度材料，可靠的连接方法及足够精度而又迅速的计算问题得到解决之后，在近二、三十年间网架结构、特别是平板网架结构才应运而生，迅速发展，广为利用。

我国自从 1964 年在上海师范学院开始建造第一座平板网架结构（球类房屋盖：平面尺寸为 31.4×40 的正放四角锥钢网架）后，到现在为止又相继建造了几百座平板网架结构，其中如 1973 年建成的目前我国跨度最大的网架结构上海体育馆，其柱内直径达 110，网架悬挑 7.3，网架高 6，耗钢量 $47\text{kg}/\text{m}^2$ ，所采用的是三向网架，可容纳万余人；其次是 1967 年建成的首都体育馆，屋盖采用两向正交斜放平板网架，平面尺寸为 99×112.2 ，网架高 6，耗钢量 $65\text{kg}/\text{m}^2$ ，和平面桁架屋盖相比，节省钢材 30%，馆内可容观众 2 万人。这两个体育馆都是世界上少有的大跨度工程之一，其耗钢量也较其他国家类似工程为少。其他如用于梯形建筑平面、网架高度为 5、耗钢量仅为 $45\text{kg}/\text{m}^2$ 、室内可容纳 1.2~1.5 万人，屋盖为三向交叉梁系平板网架的上海文化广场以及辽宁体育馆、江苏体育馆、杭州歌剧院、唐山机车车辆厂客车总装联合厂房、石家庄铁路枢纽南货站货棚等。此外，还有近一、二年才建成的平面尺寸为 90×90 、屋盖结构为变高度的四柱支承正交正放、焊接空心球节点平板网架的深圳体育馆、有 2220 座位的南京航空学院风雨操场及屋盖为扭壳型网架的淮阴市体育馆，甚至于还有跨度小到 12 的会议室屋盖也采用了网架结构。总而言之，到目前为止，我国的网架结构正在迅速发展，广泛应用于大型公共建筑如体育馆、俱乐部、影剧院及候车室、礼堂、会议室、食堂、工业厂房等。从结构形式上看，目前我国建造的网架多为两向正交正放、两向正交斜放、三向交叉梁系平板网架以及正放、斜放四角锥，正放抽空四角锥，三角锥，抽空三角锥等。从杆件和节点形式上来看，多采用钢管、空心球节点或螺栓球节点，其

次是角钢、钢板焊接节点。

国外，网架结构近二十年来发展十分迅速，其中以日本、法国、西德和英国最为显著。如在大跨度屋盖中采用网架结构的有：当前世界上跨度最大的于1973年建成的瑞士苏黎世克洛腾大型喷气机库，平面尺寸为 $128 \times 128\text{m}$ ，采用四柱支承的三层平板网架；当前世界上最大的网架群且覆盖面积最大的是西德杜塞尔多夫新博览馆，它是由 $30 \times 30\text{m}$ 的网架单元组成，覆盖面积达 156000m^2 。随着网架结构的发展，国外已形成许多不同体系：如西德的米罗体系、英国的空间板体系和诺得斯体系、美国的单杆体系、加拿大的榫式体系及苏联的嵌楔式体系等。

网架结构在国内、外之所以如此广泛应用，那是因为它有以下优点：

1. 平板网架系三维空间受力结构，受力性能好，刚度大，整体性好，能更有效地承受非对称荷载、地震荷载、悬吊荷载（吊车荷载）等，且受支座不均匀沉陷的影响较小。

2. 网架结构的杆件主要承受轴向力，可用小规格的钢材拼制成大跨度结构，省钢材。

3. 网架的杆件、节点的尺寸和形状大量相同，可以在工厂大批生产其标准杆件和节点，有利于网架结构生产的标准化、工厂化、商品化、装配化，有利于降低造价。

4. 计算方便，即有可供近似计算的图表，又有可供精确计算的通用电算程序。

5. 网架的高度比平面桁架小，可以减少建筑高度，有利于降低造价。

6. 建筑平面布置灵活，适用于正方形、矩形、多边形、圆形、扇形、梯形等各种建筑平面，有利于建筑造型，为建筑师所深感兴趣。

同其他结构一样，在具有一系列优点的同时，网架结构也有它的缺点，即：加工、安装费用较高。经济分析表明，已建成的网架结构采用钢管网架时每吨网架结构的决算费用有的竟高达3000元/吨，角钢网架有的也高达1000元/吨，这比平面钢桁架的造价要高出很多。另外是节点用钢量大，构造复杂、安装不便、精度要求高，屋面材料规格较多，不够标准，钢管订货困难，这些都在不同程度地影响着网架结构的普及。

国内、外的工程实践及网架结构的科研发展动向表明：平板网架结构的主要发展方向是网架生产的定型化、单元化、工厂化、装配化、商品化；尽可能地采用钢管球节点（焊接空心球或螺栓球）；大力推广平板网架在工业厂房特别是有吊车的工业厂房中的应用；网架上面最好采用压型钢板、铝合金予制板等轻型屋面，且加强网架上弦杆与支承于其上的屋面板共同工作的探讨；继续探索考虑钢材的塑性，充分发挥材料承载能力的网架分析的极限平衡理论，做到计算简单又节省材料；进一步加强网架节点、塑性变形、塑性稳定等问题的深入研究，推广网架结构的优化设计。

第一章 平板网架的分类和选型

第一节 平板网架的机动分析

平板网架属于空间桁架范畴。因此，它的机动分析完全同空间桁架。为使所设计的网架结构无几何可变性，必须保证网架结构几何不变的必要与充分条件。

其必要条件是： $W = C + C_0 - 3Y \geq 0$

式中： W ——表示网架结构的多余连杆数，即超静定次数；

C ——网架的杆件数；

C_0 ——网架的支承连杆数；因为网架为空间结构，为保证其外部的几何不可变性，必须使 $C_0 \geq 6$ ；

Y ——网架的节点数。

充分条件是：从一个刚性盘体（如大地或基础）上依次增加三元体所形成的空间杆系结构是几何不可变的。

上述的必要与充分条件必须同时保证，网架才是几何不可变的。当做为充分条件的结构分析法不便于进行时，可以用结构的总刚度矩阵来分析网架的几何可变性。即当考虑了边界条件后的网架结构总刚度矩阵 $[A]$ 为非奇异矩阵时，也就是 $|A| \neq 0$ 时，则结构为几何不可变，否则 $|A| = 0$ ，则为几何可变。其中 $|A|$ 为矩阵 $[A]$ 的行列式。采用零荷载法（即在结构矩阵方程式的右端荷载项中输入零荷载）也可判别网架是否为几何不可变。

第二节 网架结构的型式

平板网架的种类较多，分类方法也不相同。按网格形式分，目前常用的平板网架主要有交叉梁（平面桁架）系平板网架和空间桁架（锥体）系平板网架两大类；按网架的支承情况分，有单跨和多跨之分。其中单跨有周边支承、四点支承、多点支承及周边支承与点支承相结合；多跨主要是四点支承无限连续。

一、交叉梁（平面桁架）系平板网架

交叉梁（平面桁架）系平板网架是由两向交叉或三向交叉的平面桁架组成的平板网架。其主要特点是组成平板网架的各平面桁架均为平行弦桁架，其上、下弦杆和腹杆均在同一竖直平面内，通常均将斜腹杆设计成拉杆、竖杆设计成压杆，斜腹杆和弦杆间夹角以 $40^\circ \sim 60^\circ$ 为宜，节点构造类似于平面桁架。其主要形式有以下几种：

1. 两向正交正放交叉梁系平板网架

所谓正交是指相互交叉的两组平面桁架互成 90° ，而正放是指这两组相互交叉的平

面桁架分别与其支承边垂直，这就是两向正交正放交叉梁（平面桁架）系平板网架（如图1—1所示）。

这种网架由于其上、下弦杆组成的网格均为方形，故为几何可变体系。为保证其几何不可变性，必须沿上、下弦周边网格设置上、下弦水平支撑（如图1—1a所示），以承受水平荷载。

这种网架的受力情况如下：对于周边支承、且平面形状为正方形时，受力较为均匀，但随着长、短跨比值的增大，其两个方向的弦杆内力的比值也在显著增大，当然是短跨方向的弦杆内力比长跨方向的相应弦杆内力显著增大，如平面尺寸为 $33 \times 38.5\text{m}$ 的两向正交正放交叉梁系平面网架其短跨与长跨的比值为 $1:1.167$ ，而长跨方向跨中弦杆最大内力与短跨跨中最大弦杆内力的比值却为 $1:1.41$ ，给杆件和节点选择带来一定困难。两向正交正放周边支承交叉梁系平板网架在同样条件下比两向正交斜放网架的内力绝对值为大，当长、短跨比值 ≤ 1.2 时，正放网架内力比斜放网架内力约大 15.2% ，故不如两向正交斜放经济。当网架为四点支承

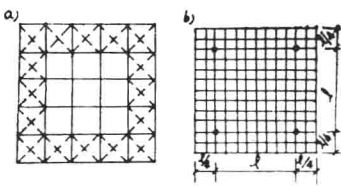


图 1—1

时，杆件内力分布很不均匀，应该把支点设在网架内部，四面各悬挑出 $\frac{l}{4} \sim \frac{l}{3}$ ，利用悬挑

端的负弯矩来降低跨中的正弯矩，可以获得较好的经济效果。此时和两向正交斜放网架相比，内力为 $6:7$ ，挠度为 $5:7$ 。但点支承下网架支座附近杆件及主桁架（过柱支点的桁架）跨中弦杆内力最大，其他杆件内力则一般小很多。

两向正交正放交叉梁系平板网架沿周边支承时，支座节点沿边界切向有无约束不影响杆件内数值。

该网架适用于平面形状为正方形或接近正方形的周边支承情况的较小跨度，也适用于点支承，适合屋顶两坡排水，若四坡排水时则须设小立柱以找坡。

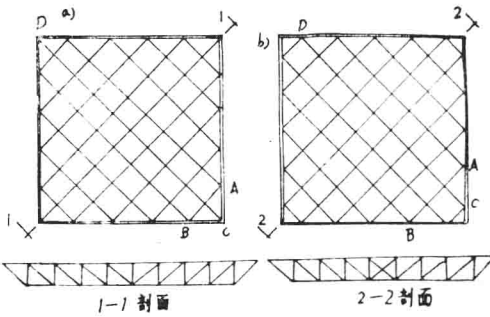


图 1—2

2. 两向正交斜放交叉梁（平面桁架）系平板网架

这种网架是相互垂直的两组桁架均与周边成 45° 放置，当有可靠边界时，为几何不可变体系。结构稳定，刚度大（如图1—2所示）。

这种网架是由长短跨度不等的桁架交叉组成，相对而言，短跨桁架刚度较大，对长向桁架有一定的弹性约束，即充当了交叉的长向桁架的弹性支座，从而缩短了长向桁架的跨长，减少了长向桁架的跨中正弯矩，有利于网架受力。但由于长向桁架上负弯矩的存在（两端弹性支座处），当长桁架直通网架的四个角点时，则四个角支座将产生很大的上拔力（拉力），设计时当充分注意。为减小此支座拉力可按图1—2₀布置，使角支座拉力由两个支座承担。

该网架在周边支承情况下，刚度比两向正交正放网架大，用钢量也较少，当建筑平面尺寸为矩形时，其受力也较均匀。在周边支承情况下，网架支座沿周边切向有无约束对靠近边界的几个网格杆件内力有影响，但离边界越远则此影响越小。当沿边界切向支座处理成约束时，将使周边圈梁产生拉力，且随跨度的增大拉力也增大，有的可达几十吨，使圈梁设计困难。故对大、中跨度的这类网架，宜将支承边沿切向处理成自由，并在周边加连杆以改善圈梁的受力状态。

该网架适用于正方形平面和矩形平面，当长梁通过角柱时，适于四坡起拱。

3. 两向斜交斜放交叉梁系平板网架

由两向互不垂直的平面桁架相互交叉而成，且各桁架与其支承边也不垂直的交叉梁系平板网架称为两向斜交斜放交叉梁系平板网架（如图 1—3 所示）。

由于建筑物立面的建筑要求（如门、窗尺寸）不同，柱子的间距也不同，致使两个方向的桁架无法正交时，便出现了这种网架。由于构造复杂、受力不好，很少采用。

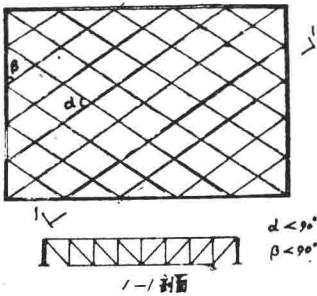


图 1—3

4. 三向交叉梁系平板网架

由三组相互交成 60° 的平面桁架组成的平板网架称为三向交叉梁系平板网架（如图 1—4 所示）。

该种网架的上、下弦均为几何形状不可变的三角形，故空间刚度大、受力性能好、抗扭、抗弯能力强，力的分布也较均匀，因此，多用于大跨度（ $L > 60\text{m}$ ）的多边形或圆形平面，也可用于三角形和梯形平面。但对 $L = 30 \sim 60\text{m}$ 的中等跨度及 $L < 30\text{m}$ 的小跨度，此种网架则显得不经济，且用于圆形平面时周边网格不规律，需另行处理。

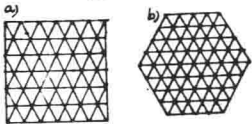


图 1—4

二、空间桁架系平板网架

所谓空间桁架系平板网架实际上是由一系列三角锥或四角锥或六角锥体组合而成的平板网架。它是真正的空间结构，比交叉梁系平板网架刚度大、受力性能好。

（一）四角锥体系平板网架

它是由一系列四角锥体按一定规律组合而成的平板网架。其上、下弦杆均为正方形网格，除星形四角锥之外，下弦平面正方形网格的四个节点分别对应于上弦平面正方形网格的重心，即下弦网格的节点与对应的上弦网格错开半个网格，再分别用四根斜腹杆将下弦网格节点分别与对应的四个上弦网格节点相连，即形成四角锥体系网架（如图 1—5 所示）。

1. 正放四角锥网架

正放四角锥网架就是弦杆与支承边垂直的四角锥网架。若组成四角锥网架的所有四角锥均为倒置，即锥底朝上，锥尖朝下，这便是正放倒置四角锥网架（如图 1—5 所示），若支承于下弦节点，则可获得半个网格挑檐。若组成四角锥网架的四角锥均为正

置，即锥尖朝上，则为正放正置四角锥网架（如图 1—6 所示）。若网架高 $h = \frac{\sqrt{2}}{2}a$

（其中左图为网格尺寸），则腹杆与腹杆及弦杆与腹杆间的夹角均为 60° ，腹杆与下弦平面间夹角为 45° ，此时，网架所有斜腹杆与弦杆等长。正放四角锥网架的另一个显著特

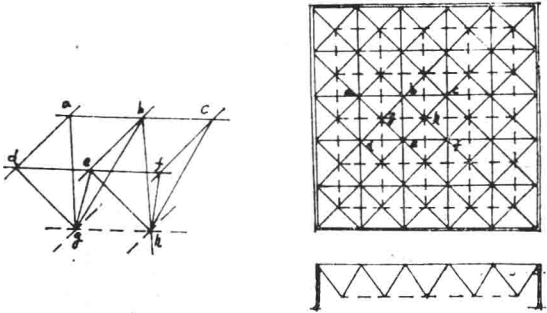


图 1—5

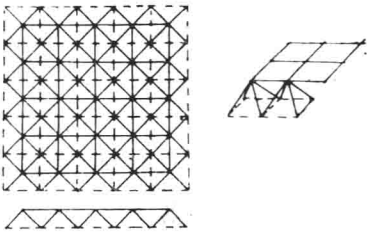


图 1—6

点就是受力较均匀，空间刚度比三向网架之外的其他型式网架为好，但用钢量略高些，杆件数量较多。对于矩形平面，则长跨方向网架内力比短跨方向网架内力显著减少，如平面尺寸为 $33 \times 38.5\text{m}$ 时，宽长比为 $1:1.167$ ，则长跨方向跨中弦杆内力与短跨方向跨中弦杆内力之比为 $1:1.398$ ，给杆件选择和节点设计带来一定困难。

这类网架在周边支承情况下，支座节点沿周边切向是否有约束，对靠近边界网格的腹杆内力有些影响，对跨中腹杆的内力影响则很小。

正放四角锥网架适用于有柱帽或无柱帽的网架；适用于平面为正方形或接近正方形的周边支承网架；适用于大柱距的点支承网架；也适用于有悬挂吊车的工业厂房和屋面荷载较大的网架。

2. 正放抽空四角锥网架

抽去正放四角锥网架中的部分腹杆和下弦杆，形成除周边网格外均为跳格布置的四角锥网架称为抽空四角锥网架（如图 1—7 所示）。

若网架高 $h = \frac{\sqrt{2}}{2}a$ （其中 a 为网格尺寸），

则弦杆与腹杆等长。

这种网架的主要特点是杆件较少，结构简单，降低了用钢量，在抽空部位还可以设置通风、采光用的天窗。当把纵横连续锥体看成广义梁时，它便与两向正交正放交叉梁系平板网架很类似了，且周边锥体闭合，整体刚度较好。

该网架适用于屋面荷载较小或中、小跨度周边支承的情况。

3. 斜放四角锥网架

如果把正放四角锥网架的上弦杆相对于边界呈 45° 放置，这就是斜放四角锥网架（如图 1—8 所示）。

这类网架上弦杆短，下弦杆长，受力合理。下弦节点为八杆汇

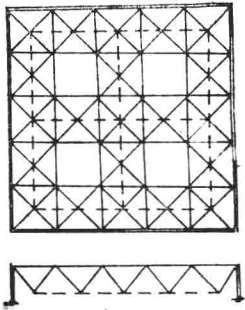


图 1—7

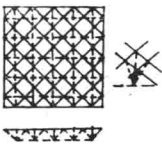


图 1—8

集, 构造简单, 省材料。当腹杆与下弦平面呈 45° 时, 则腹杆与上弦杆等长。若网架平面尺寸的长、宽之比在 $1 \sim 2.25$ 范围内时, 短跨方向下弦跨中内力比长跨方向下弦跨中内力小; 当比值大于 2.25 时, 则正好相反。计算结果表明: 这类网架采用周边支承比采用点支承经济, 但应沿周边设置刚性边梁, 以保证屋盖体系的稳定。若为点支承时, 应沿周边设置封闭的边桁架。采用分块吊装时, 应另加辅助支杆以保证网架在吊装中的几何不可变性。这种网架周边支承时沿周边切向有无约束, 对杆件内力影响较大。如平面尺寸为 $33.6 \times 37.8\text{m}$ 时, 则:

$$\frac{\text{切向有约束时上弦杆最大内力}}{\text{切向无约束时上弦杆最大内力}} = \frac{-23.248}{-18.63} = 1.25$$

$$\frac{\text{切向有约束时下弦杆最大内力}}{\text{切向无约束时下弦杆最大内力}} = \frac{44.128}{38.96} = 1.13$$

腹杆内力则靠近边界者影响较大, 反之则较小。

该网架适用于周边支承或周边支承与点支承相结合的方形或矩形平面, 我国应用较为广泛。四角锥网架一般不起拱, 可用上弦节点加焊小立柱找坡以利排水。

4. 星形四角锥网架

网架的上弦杆正交正放, 其下弦杆正交斜放, 位于同一垂线上的上、下弦节点处设竖杆, 而斜腹杆则与上弦杆在同一平面内, 形成一系列外形如同天上的星星一样的组合单元, 这种网架称为星形四角锥网架 (如图 1—9 所示)。

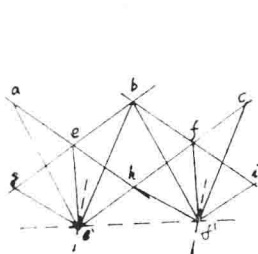


图 1—9

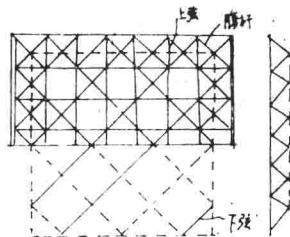
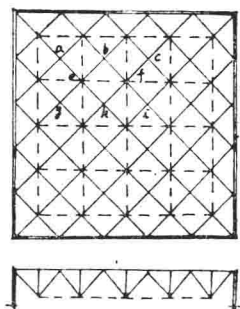


图 9—10

该网架的特点是上弦杆短、下弦杆长, 受力合理。当斜腹杆与下弦平面夹角为 45° 时, 网架高度等于网格尺寸, 即上弦杆与竖杆等长, 斜腹杆与下弦杆等长, 受力状态类似于交叉梁系平板网架。

该网架适用于中、小跨度的周边支承情况。

5. 棋盘形四角锥网架

将四角锥网架的上弦正交正放, 下弦则正交斜放, 中间锥体跳格布置, 而周边锥体则连续封闭设置, 其外形就象国际象棋盘一样, 故称为棋盘形四角锥网架 (如图 1—10 所示)。

该网架的特点是上弦杆短、下弦杆长, 受力合理, 空间作用较好, 杆件数少, 屋面板仅一种规格, 用钢量少。当斜腹杆与下弦平面呈 45° 时, 斜腹杆与上弦杆等长。

该网架适用于周边支承的中、小跨网架。

(二) 三角锥体系平板网架

由一系列三角锥组合而成的平板网架称为三角锥体系平板网架。

1. 正三角锥网架

在三角锥网架中，如上、下弦杆在自身平面内均组成正三角形，且下弦平面的所有正三角形的节点正好对着上弦平面的正三角形重心，下弦平面的正三角形的每个节点都用三根杆件与该节点相邻的上弦平面正三角形的三个节点分别相连所形成的三角锥网架即为正三角锥网架（如图 1—11所示）。

该网架的特点是抗弯、抗扭刚度均好（因为上、下弦均为三角形网格），且受力均匀。但节点构造较复杂，上下弦杆的节点均有九根杆件相交，屋面构件为三角形，若网架高度 $h = \frac{\sqrt{2}}{3}a$ （ a 为网格尺寸），则斜腹杆与弦杆等长。

该网架适用于矩形、三角形、六边形、圆形、梯形平面，多用于较大跨度中。

2. 抽空三角锥网架。

将三角锥网架按一定规律抽去一些锥体的腹杆和下弦杆，形成上弦网格仍为三角形、下弦网格为三角形和六角形两种网格的网架即为抽空三角锥网架（如图1—12所示）。

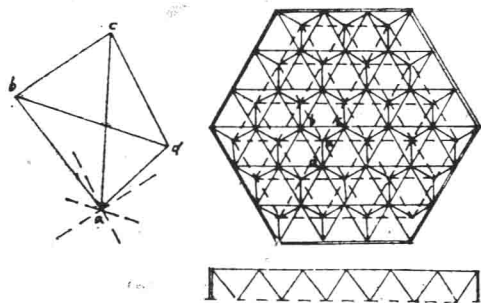


图 1—11

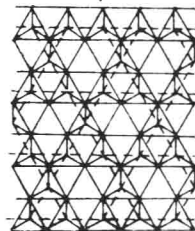


图 1—12

该网架的特点是杆件和节点数减少了，节省钢材，但刚度也因杆件减少而减弱，下弦杆内力约为上弦杆内力的 2 倍。六边形下弦网格较美观。

该网架适用于圆形和多边形平面。

3. 蜂窝形三角锥

以三角锥为基础，组合成上弦网格为三角形和六角形，下弦网格为六角形的网架称为蜂窝形三角锥网架（如图 1—13所示）。

这种网架的特点是：上弦杆短，为下弦杆的 $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ 倍，下弦杆较长，受力合理。上、下弦节点交汇的杆件数少，都是 6 根杆交汇，腹杆也短且少。但由于上弦网格为三角形和六角形，靠边支座处还有三角形和梯形，故屋面板类型多，屋面板构造复杂，不利于施工，且起拱困难，空间刚度较其他三角锥网架差。由于该网架在组成上是内部几何可变体系，故为保证整个网架体系的几何不可变性，必须沿周边设置较刚强的边梁，且要求支承柱有相当的横向刚度。

判别蜂窝形三角锥网架的几何可变性,可根据上弦平面和支座水平约束布置情况由平面机动分析来确定。将图 1—13 所示的上弦平面适当布置支座水平约束(见图 1—14),用平面机动分析的方法来判断它是否为几何不可变。1、2 点为不动点,刚块 134 和 235 相交于 3 点,则 3、4、5 三点为不动点,以此类推,可求得保证此网架几何不变的最少支座水平连杆数(如图 1—14)。用保证网架结构几何不变性的必要条件去验算,则从图 1—13 知,节点数 $Y = 77$ 个,上弦杆数为 84 个,下弦杆数为 35 个,腹杆 84 个,则有:

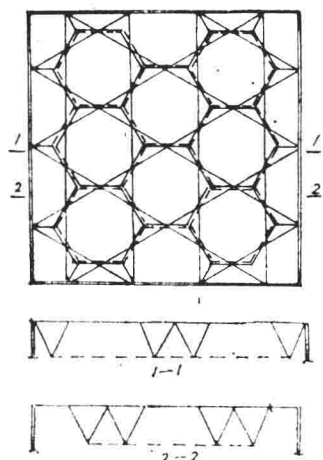


图 1—13

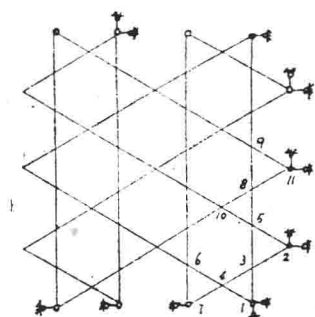


图 1—14

$$C = 84 + 84 + 35 = 203 \text{ (个)}$$

支座竖向连杆 14 个,故 $C_0 = 14 + 14 = 28$ (个)

所以: $W = C + C_0 - 3Y = 203 + 28 - 3 \times 77 = 0$

由平面机动分析和计算 W 值可知该网架为静定结构。若支座水平约束增加,则变成超静定结构;反之,则变成几何可变体系。

该网架适用于中、小跨度的周边支承网架。

除上述十二种网架形式外,还有六角锥网架和六边形网架等,因杆件多,节点构造复杂,刚度小,国内尚无使用,不作介绍。

第三节 平板网架结构的选型

平板网架的类型较多,具体设计时所遇情况又不尽相同,故应根据实用和经济两大原则,再结合工程的平面形状和尺寸、支承情况、荷载状况、屋面构造、施工方法、制做条件及材料供应等多种因素进行综合考虑,权衡利弊,最终要反映在网架的造价和方便施工上。一般说来:从材料用量看:(1)当平面接近正方形,周边简支时,以斜放四角锥最为经济,其次是棋盘形四角锥、星形四角锥、正交正放交叉梁系网架、正交斜放交叉梁系网架、正放四角锥网架及蜂窝形三角锥网架,以三向交叉梁系网架最费材料,但其刚度好,当跨度、荷载较大时,三向交叉梁系网架又显得经济合理些;(2)当为矩

形平面且周边简支时，又以两向正交斜放交叉梁系网架和斜放四角锥、正放抽空四角锥网架为经济；（3）当平面形状为圆形、八角形、六角形、扇形、且平面尺寸较大，特别是当网架短跨大于 60m 时，可选用三向交叉梁系网架或正三角锥网架或抽空三角锥网架；（4）当为四点支承或四点支承无限连续时，宜采用两向正交正放交叉梁系网架或正放四角锥网架，因其刚度好；（5）当网架跨度较小时，可以采用抽空的锥体网架以节省材料。从屋面构造上看：正放网格的屋面板通常只有一种，斜放网架却有两种；倒置锥体网架上弦网格较小，则屋面板规格也较小，施工时屋面板轻、易吊装，而正置锥体网格却相反。从制做施工来看：交叉梁系网架要比空间桁架体系网架简便些。从杆件截面和节点构造合理方面来看：最宜采用钢管杆件和球节点，但价格高且采购较困难，角钢杆件和钢板节点虽材料价格较低易于采购，但不易用于大跨度，材料受力方

表 1—1 各类网架计算用钢量和挠度比较表

网架类型	平面尺寸 (M)	网架高度 (M)	计算用钢指标 (kg/m ²)	计算挠度 (CM)	挠度比
两向正交 正放网架	24×24	1.9	9.29	8.34	1/288
	48×48	3.6	16.11	20.21	1/238
	48×72	3.6	17.78	22.45	1/216
	48×96	3.6	18.27	21.67	1/222
两向正交 斜放网架	24×24	1.9	10.44	6.74	1/356
	48×48	3.6	16.16	19.28	1/249
	48×72	3.6	19.10	27.6	1/175
	48×96	3.6	20.36	33.19	1/145
斜放 四角锥网架	24×24	1.9	9.01	6.99	1/343
	48×48	3.6	14.45	17.81	1/269
	48×72	3.6	17.11	16.11	1/184
	48×96	3.6	19.32	31.16	1/154
正放四角 锥网架	24×24	1.9	10.90	7.40	1/224
	48×48	3.6	17.71	18.89	1/254
	48×72	3.6	18.97	20.46	1/235
	48×96	3.6	19.31	20.43	1/235
正放抽空 四角锥网架	24.2×24.2	1.9	10.44	8.49	1/285
	47.94×47.94	3.6	17.14	21.04	1/283
	47.94×70.5	3.6	18.48	22.60	1/212
	47.94×93.96	3.6	18.85	22.07	1/218
棋盘形四角 锥网架	24.2×24.2	1.9	9.09	8.47	1/286
	47.94×47.94	3.6	15.19	20.27	1/237
	47.94×70.25	3.6	18.02	28.85	1/166
	47.94×93.96	3.6	19.68	32.44	1/148
星形四角 锥网架	24×24	1.9	9.92	7.92	1/342
	48×48	3.6	15.43	17.99	1/269
	48×72	3.6	18.13	26.20	1/183
	48×96	3.6	20.97	31.18	1/154

面也不合理。

总之，网架结构选型涉及的因素太多，利弊关系复杂，设计时只能根据工程实际情况且参考有关资料进行多方面的分析比较，最好进行优化设计才能选出较好的网架型式，大体做到即经济又方便施工。

下面给出一个各类网架的用钢量及挠度比较表（表1-1），从该表也可以大致分析出上述网架选型的几条基本原则。但由于网架耗钢量除和网架杆件计算内力有关外，还和所选杆件截面，节点选择大有关系，如同一根杆件，当用钢管时就好比用角钢省料，但二者材料价格差很多，且材料的充分利用程度也不同，这就造成了网架用钢量随杆件用材的不同而异，况且所用钢材的钢号不同时，材料用量也不同。节点选择也理当如此，焊接空心球节点、螺栓球节点、钢板节点间不仅用钢量大不一样，且价格也有较大差异。因此，上述网架选择的几个基本原则只能为网架结构选型指出大致方向，不能尽善尽美，设计者应用时当灵活掌握，充分比较才能获得较好的网架选型和经济方案。

第四节 网架几何尺寸的确定

所谓网架的几何尺寸是指网架上弦的网格尺寸和网架高度而言。

一、网格尺寸

网格尺寸的大小会直接影响到网架的经济性，因为网格大时，则节点数减少，便于施工，而网格小则相反。当屋面采用钢筋混凝土重屋面时，网架尺寸则不能大，否则会因屋面板重量增大而使网架节点荷载增大，导致网架耗钢量增大，且使吊装屋面板困难。当采用压型钢板、预制铝合金板等轻型屋面或有檩方案时，网格尺寸则可尽量大些，节点数则少些，使杆件断面能更有效地发挥作用，减少用钢量。但檩条跨度不能超过6米，这又影响到网格的大小。总之，网格尺寸要根据跨度大小、柱网尺寸、屋面材料及构造要求和建筑功能等因素综合考虑。另外，选择网格尺寸时，还和供应的钢材规格有关，如采用钢管则网格尺寸可大些，若采用角钢则应小些。为了易于处理网架节点，斜腹杆与弦杆平面间夹角一般在 40° — 55° 内，这表明网格尺寸也与网架高度有密切关系。通常网格尺寸为 $(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{20}) L_2$ （ L_2 为网架短向跨度），即为6~20个网格，

在很大程度上取决于屋面板的规格和种类。若为无檩体系（如钢丝网水泥板、钢筋混凝土板等）常取2—4 m ；若为有檩体系，常取2—3 m 。根据对周边支承的网架进行优化设计表明：荷载大小、矩形平面的长宽比对最优网格数无影响，最优网格数基本上随跨度的增加而增加，小跨度为8—10格，大跨度则为10—18格。通常，网格尺寸按表1-2选用。

二、网架的高度

网架的高度不但直接影响到上、下弦杆内力的大小，同样也影响到腹杆的经济性。为了保证网架的刚度，必须使所设计的网架具有适当的高度。网架高度通常为网架短向

跨度的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ ，设计时可参阅表1-2。网架高度由下列因素决定：