

网架屋盖的计算与构造

张明宇 译 刘锡良 校

天津科学技术出版社

网架屋盖的计算与构造

张明宇 译 刘锡良 校

天津科学技术出版社

Р.Н.ХИСАМОВ

РАСЧЕТ
И КОНСТРУИРОВАНИЕ
СТРУКТУРНЫХ
ПОКРЫТИЙ

КИЕВ «БУДІВЕЛЬНИК» 1981

网架屋盖的计算与构造

张明宇 译 刘锡良 校

责任编辑: 李国常

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷三厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张3.25 字数72,000

一九八六年九月第一版

一九八六年九月第一次印刷

印数: 1—7,600

书号: 15212·183 定价: 0.87元

目 录

第一章 关于网架屋盖的一般知识	(1)
一、在网架屋盖中采用的杆构平板.....	(1)
二、网架结构按工厂制作的出厂规格来划分.....	(6)
三、平板网架屋盖的支承方式.....	(6)
四、网架结构的支承系统.....	(7)
第二章 对网架屋盖节点连结构造的建议	(12)
一、网架屋盖的节点构造.....	(12)
二、网架结构节点的重量指标.....	(14)
三、对网架屋盖节点构造和应用的建议.....	(15)
第三章 网架屋盖的计算	(20)
一、网架的计算方法.....	(20)
二、近似计算法的精度.....	(20)
三、网架拟板解算的近似算法.....	(21)
四、网架结构——拟交叉梁体系的近似算法.....	(23)
五、平板网架在弹塑性阶段工作时的计算.....	(27)
六、对近似算法应用的建议.....	(30)
第四章 网架屋盖的优化设计	(31)
一、网架屋盖的最小高度.....	(31)
二、定型构件种类数最少的网架结构最优参数.....	(33)
三、当给定屋盖几何参数时网架结构的最小重量.....	(34)
四、确定网架中杆件合理刚度比的方法.....	(35)
附录	(40)
参考文献	(44)

第一章 关于网架屋盖的一般知识

一、在网架屋盖中采用的杆构平板*

苏联有关部门曾就建筑中技术进步的基本方向作过这样的决定：实现工业化、大量采用新的轻型结构、扩大装配式构件的工厂预制程度、减轻建筑结构的重量、缩短建筑安装工期和降低建筑总造价。这项决定中所提出的要求，引导着研究人员和设计师们去探求和创造种种新的空间杆系结构——网架结构。近年来，这类结构的应用有了明显的增长。

网架结构允许跨越较大的跨距，并以其新颖的建筑结构形式而与众不同。由于应用了新型结构材料（铝、高强钢），并由于这种结构体系适于在电子计算机上进行计算等优点，因而得到了很大普及。

网架结构按其自身的构造组成状况，犹如杆件所组成的平板。最初，网架是以板的形式应用在建筑中，这种板的构成，是由平行布置的桁架和另一组平行布置的桁架交叉而成¹²。在以后的发展中，依靠人们对结构解算所掌握的知识，这种交叉体系被改进成网架结构，把典型的构件（节点和杆件的种类）减少到最小限度。

在一系列情况下，网架结构的原型可以看作是交叉桁架。这是因为由交叉桁架所组成的体系和网架结构在本身的几何构成上，具有两个共同的主要特征：一是都有弦杆网格，这些网格有正方形的或三角形的；另一是都有把弦杆网格节点连接起来的斜杆。

在图1~9中列举了杆构平板（平板网架）的主要类型。这些平板网架在网架屋盖的建设实践中都颇为引人注目。

网架结构中所采用的平板网架可分为以下几组：

I——两向交叉桁架类型的平板网架，其弦杆网格是由正方形单元孔格所组成（A~G体系）；

II——三向交叉桁架类型的平板网架（P、S、T、U体系）；

III——弦杆网格是由不同形状孔格组成的平板网架。其弦杆网格是由六角形和三角形的单元孔格组合而成（Q、R、V体系）。该组体系不同于前述二组，该组平板网架的几何不变性不是靠平面桁架的相互交叉来保证，而是靠具有几何不变性的角锥体相互连结来保证的。这些几何不变体有的是三角形基底（Q、V体系），而有的成为八面体（R体系）。

用作房屋结构的屋盖，人们对I、II组平板网架有着极大的兴趣。因为这两组平板网架的抗弯刚度比弦杆网格复杂的第III组的大得多。

第I组平板网架的应用范围主要是：平面形式为长方形的工业建筑和公共建筑的屋盖。这种屋盖既可支承在长方形的柱网上，也可周边支承。

第II、III组平板网架广泛应用于平面轮廓复杂的公共建筑屋顶。第III组平板网架最相宜的支承方式是周边支承。

* 通常“杆构平板”指平板网架，即由杆件系统组成的平板型网架。

在图 1 ~ 9 中：
 B_n ——上弦 H_n ——下弦
 P ——斜杆 C ——立杆。

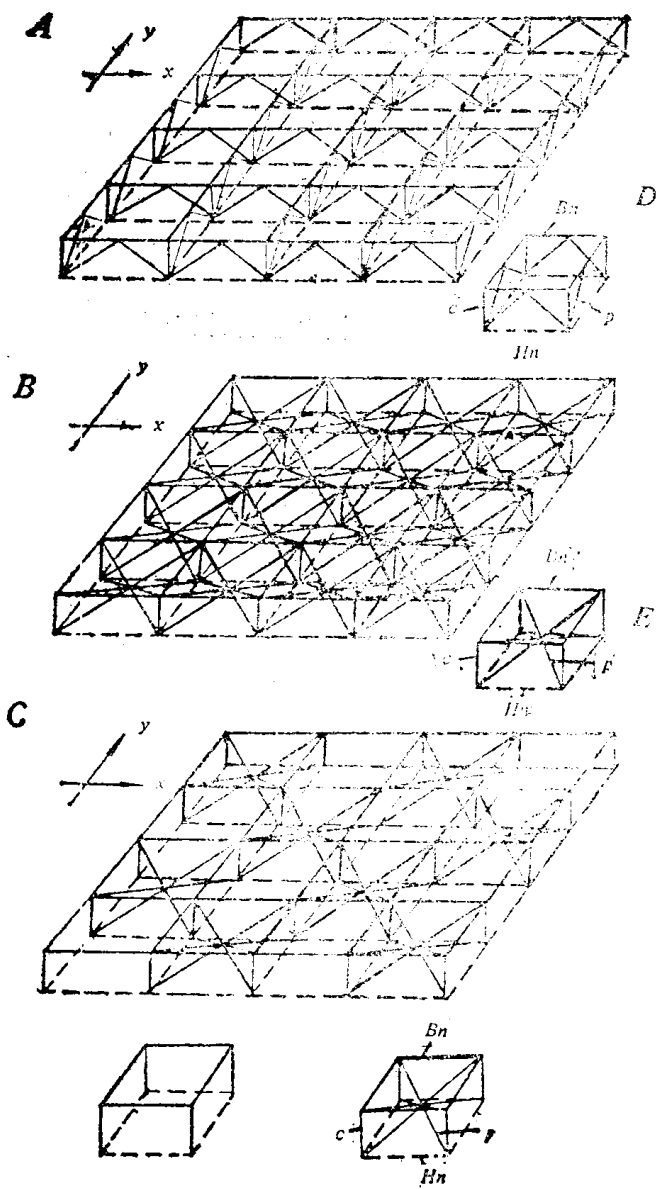


图 1 网架的弦杆网格由正方形单元孔格组成
 A ——垂直的两向交叉桁架类型
 $B、C$ ——在桁架平面外配置了斜杆

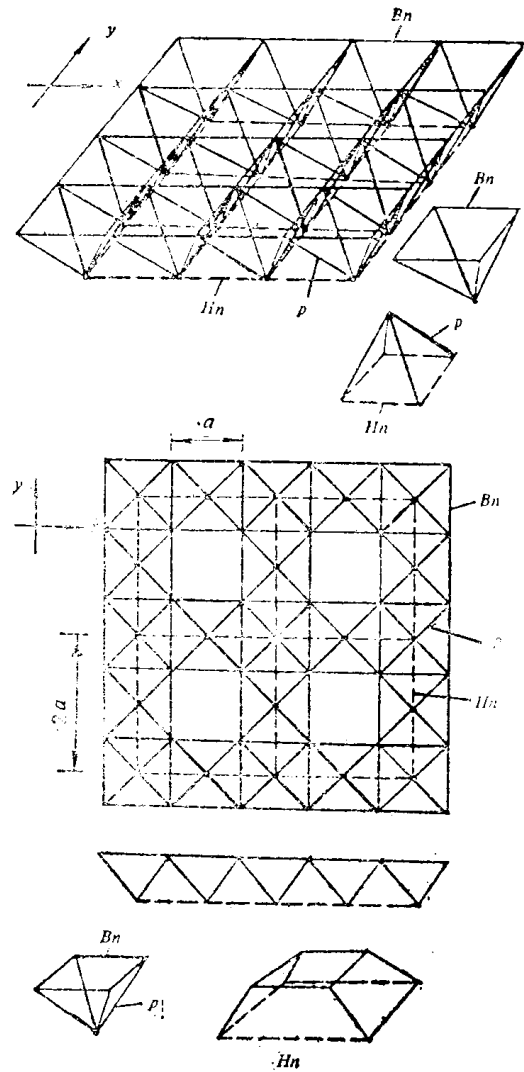


图 2 网架的弦杆网格由正方形单元孔格组成
 D ——倾斜的两向交叉桁架类型
 E ——同上，但下弦网格间距扩大到二倍

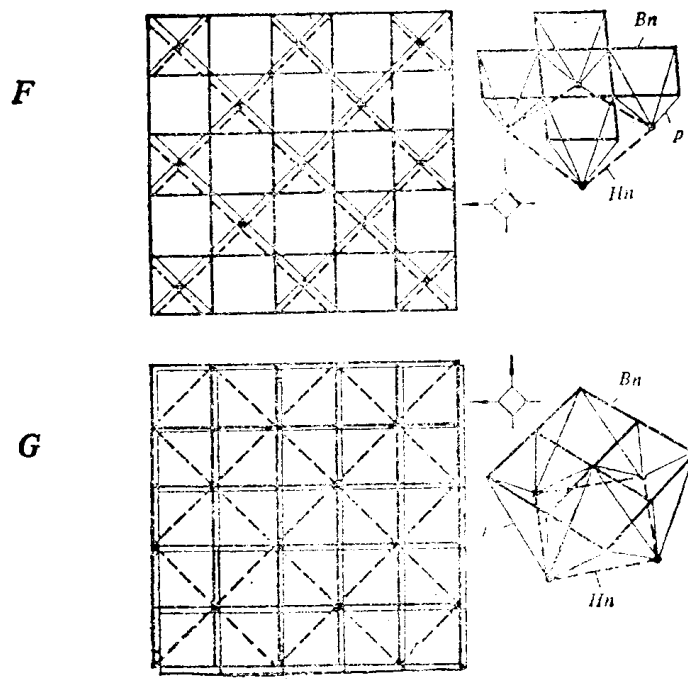


图3 网架的弦杆网格由正方形单元孔格组成。上、下弦杆相对转动成 45° 角

F——下弦网格节点正对上弦网格单元孔格的中心，但错格布置。网格节点用斜杆连接

G——下弦网格节点正对上弦网格节点，但错格布置

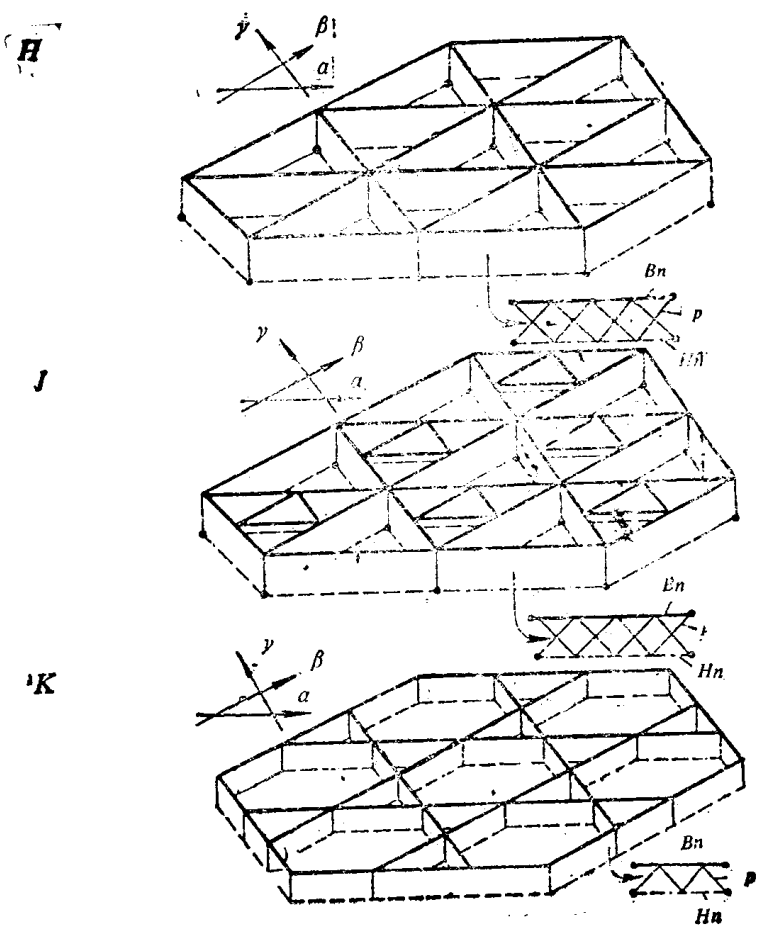


图4 垂真的三向交叉桁架组成的网架

H——网架的弦杆网格由三角形单元孔格组成

I——上弦网格的单元孔格中错格地布置联结系杆

K——网架的弦杆网格由三角形和六角形的单元孔格搭配组成

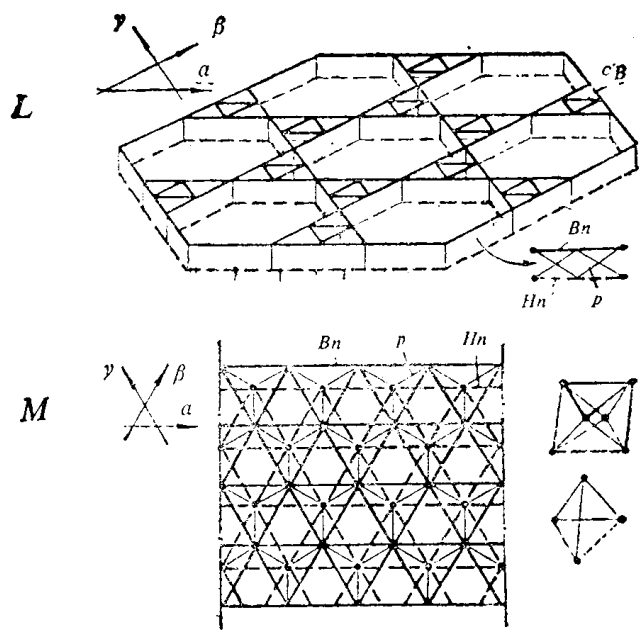


图5 网架由铅垂的三向交叉桁架组成(《L》)及由倾斜的三向交叉桁架组成(《M》)

L——网架的弦杆网格由三角形和六角形的单元孔格相配组成。上弦网格的三角形单元孔格中设有联结系杆

M——网架的弦杆网格由三角形单元孔格组成

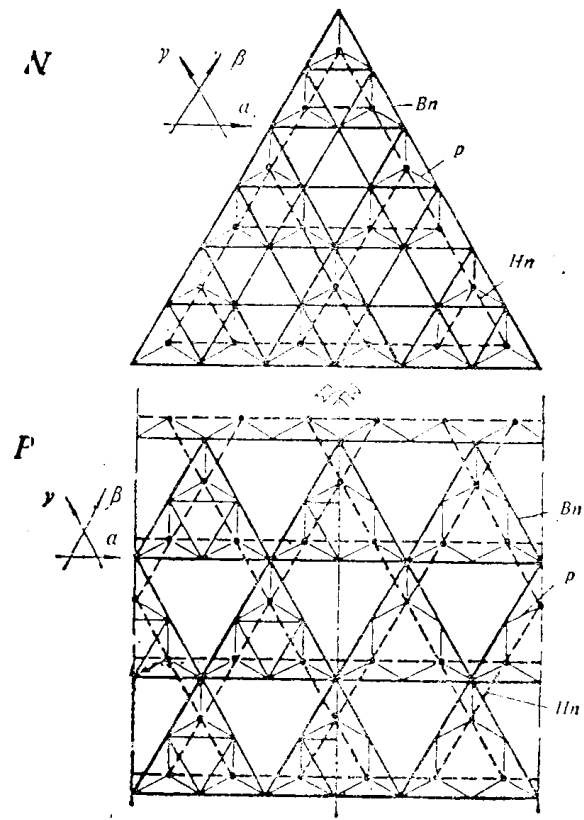
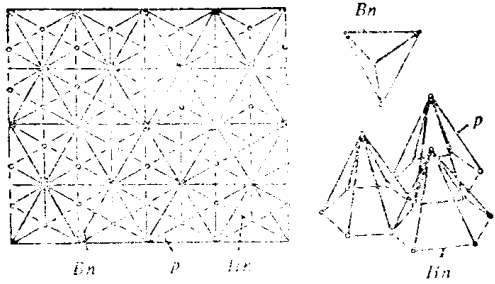


图6 抽空式网架，由倾斜的三向交叉桁架组成

N——上弦网格由三角形单元孔格组成，下弦网格由三角形和六角形单元孔格相配组成。上弦网格所有相邻节间的正中间都用杆件作为附加联结进行组合

P——同上，特殊之处是在上弦网格平面中，或者错格地布置了杆件构成的三角形或者是空缺着

Q



R

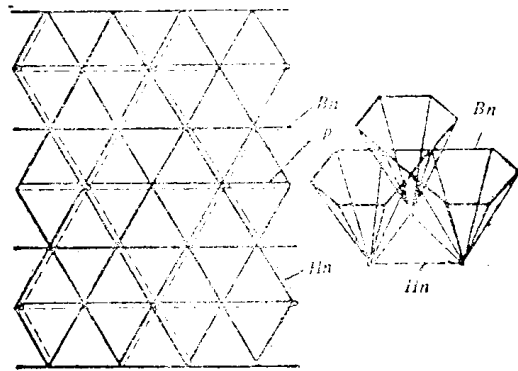
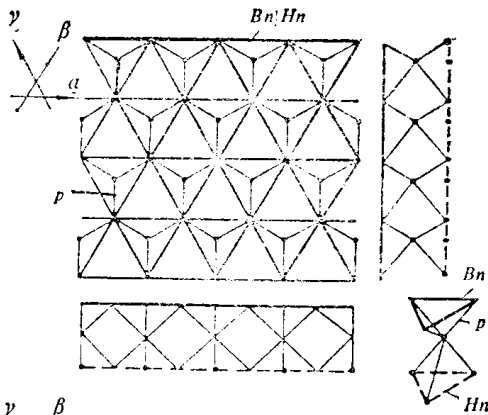


图7 网架的弦杆网格由三角形和六角形的单元孔格组成

Q——上弦网格由三角形单元孔格组成，下弦网格由六角形单元孔格组成。下弦网格节点正对着上弦网格三角形单元孔格的中心

R——上弦网格由三角形和六角形单元孔格组成，下弦网格由三角形单元孔格组成。下弦网格节点正对上弦网格六角形单元孔格的中心。

S



T

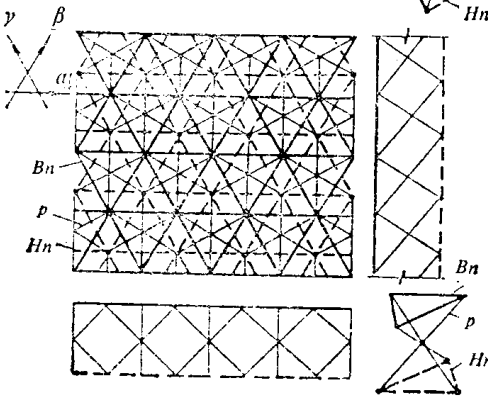


图8 网架的弦杆网格由三角形单元孔格组成，布置了交叉斜杆

S——弦杆网格由三角形单元孔格组成。交叉的斜杆和单元孔格共同构成彼此相互顶着的角锥，这些角锥的顶点，设置在网架板的中面上

T——上、下弦网格由相同的三角形单元孔格组成，但上、下位置方向相反。斜杆交叉点正对上、下单元孔格的中心，并设置在网架板的中面上

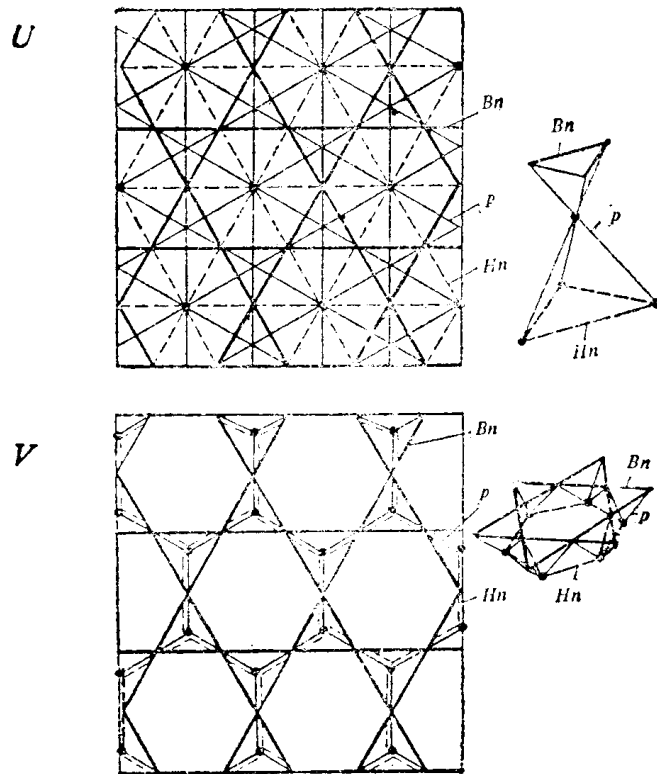


图9 网架的上弦网格由三角形和六角形单元孔格组成
 U ——下弦网格由三角形单元孔格组成,节点正对上弦网格的六角形单元孔格中央,故斜杆的交叉点在网架板高度 $1/3$ 处的平面上
 V ——下弦网格由六角形单元孔格组成,节点正对上弦网格的三角形单元孔格中心。与网格中最相近的节点以斜杆彼此相连接

二、网架结构按工厂制作的出厂规格来划分

人们在建筑实践中摸索到一些用以组成网架屋盖的基本方法如表1。

- (1)由单个构件,如杆件和节点来组成的网架;
- (2)以长尺寸构件和线状构件(如弦杆)来组成网架。在安装时,由单个构件把这些长尺寸构件连接起来;
- (3)由平面小桁架来组成网架;
- (4)由长尺寸的横截面为V形、三角形或是梯形的空间桁架来组成网架,其相互间以附加构件来连接;
- (5)用由杆件构成的角锥或由薄板构成的角锥来组成。这些角锥在运输过程中可以一个套着一个地叠放,在安装时则用附加构件(单个的杆件、杆件构成的三角形及正方形等等)将其连接起来。

三、平板网架屋盖的支承方式

表1 网架结构按出厂规格划分的建议

网架体系 (图1~9)	网架结构划分的类别				
	杆件和节点	长尺寸构件和杆件	平面小桁架和杆件	长尺寸的空间桁架	杆式或板式的组合构件
A	-	+	++	+	-
B	+	+	-	+	-
C	+	+	-	-	+
D	++	+	+	++	+
E	+	+	+	++	+
F	+	+	-	-	++
G	+	-	+	-	-
H	-	+	++	-	+
J	-	+	++	-	+
K	-	+	++	-	++
L	-	+	++	-	+
M	++	-	+	+	+
N	+	-	+	-	+
P	+	-	+	-	+
Q	+	-	-	-	++
R	+	-	-	-	++
S	+	-	-	-	++
T	+	-	-	-	++
U	+	-	-	-	++
V	-	+	-	-	+

标记说明：+——可行的结构划分；
++——推荐的结构划分。

注：V系统为几何可变，要求必不可少的外形支撑。采用在屋盖中时，可适当地和拉索系统组合起来（由钢缆来组成上弦）。

支承系统使屋盖外部静定的条件，是支承在四个节点上。如支承在五个或更多的节点上时，屋盖的支承系统就使屋盖成为超静定的。对于弦杆网格由三角形单元孔格组成的网架结构（见图3~8之体系H、J、K、L、M、N、P、Q、R、S、T、U），支承系统使屋盖外部静定的条件是屋盖支承在三个节点上。

网架结构相对于周边支承的走向的选择，同样也能影响到结构的经济指标。如：当弦杆网格由正方形单元孔格组成时，网架结构的走向与正方形周边支承的相对关系呈对角线方向比相平行时网架弦杆中的内力要小27%，而屋盖的最大挠度将减小到普通桁架组成的屋盖挠度的1/4。

在工业建筑中得到最广泛应用的，是由正方形单元孔格组成的平板网架（见图1、2）。无论这种屋盖有无悬挑，要具备静定的支承条件就要支承在矩形柱网上，诸如：12×18、12×24、18×18、24×24m等（图11之a、b）。

网架屋盖的建筑实践表明，屋盖结构的支承可以是在一个节点上，也可以是在好几个节点上。支承在一个节点上的，节点是在柱上（见图11之c），支承在好几个节点上的，节点是在柱子的柱帽上（见图11之d）、或者是在V形柱上（见图11之e），或者是在柱子柱帽

随着网架屋盖的杆件体以及构成方案的不同，荷载在网架结构上的传递可能有四种途径：

——短板或长板支承在网架结构的弦杆上（图10之传递途径1、3）；

——短板直接支承在网架结构的节点上（图10之传递途径2）；

——板通过檩条支承在网架结构的节点上（图10之传递途径4）。

屋盖结构的传递以1、3、4三个传递途径较为合理，途径2的方式必需制作周边带刚性肋的特殊屋面板，故而不合理的。当用屋面板来代替上弦网格时，途经2的方式就是正确而合理的了，因为这种做法把承重的功能和围护的功能合而为一了。

在屋面板和檩条中，当把联系功能和承重功能结合起来时，网架将达到最经济的效果。

四、网架结构的支承系统

网架结构的支承系统可以作成静定的和超静定的二类。

在弦杆网格由正方形单元孔格组成的网架屋盖中（见图1、2之体系A、B、C、D、E），

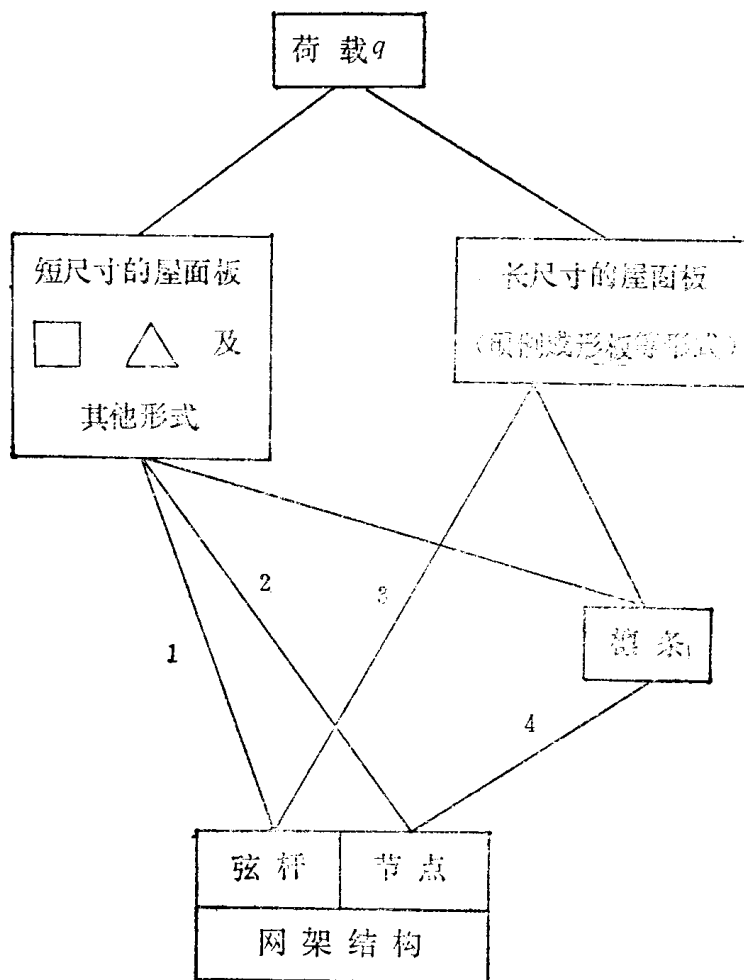


图10 网架结构荷载传递系统图

的拉索上（见图11之f）。

应用于一般公共建筑和体育馆之类用途的建筑物屋盖，是中等跨度和大跨度的屋盖，建议采用周边式屋盖支承（图11之g、h）。当网架结构为多点支承时，可进一步减轻屋盖重量。因此，对于大跨度屋盖，把网架结构和其他形式的钢结构结合起来形成组合结构，这是值得注意的方法。可以作为范例的那些构筑物（见图11之j、k、m），都是把网架结构和形式各不相同的钢结构成功地结合起来而成的，如网架结构和悬索结构以及拱形结构组合而成。悬索结构和拱形结构保证了网架结构的多点支承，而最终形成的结构中，其相互间的作用又保证了拉索的稳定性和拱的安定性。

在网架屋盖的提升和施工操作过程中，可能会出现必须在网架屋盖下面设置附加支点的情况。这种情况取决于屋盖上所增加的施工操作荷载的大小，或者取决于结构可能出现事故状态如何。在这些情况下，建议采用装设着限制反力装置的附加柱作为上述的附加支点⁴¹。

网架结构中所采用的限荷装置应能保证在支座出现不均匀沉陷的情况下，或者在屋盖计

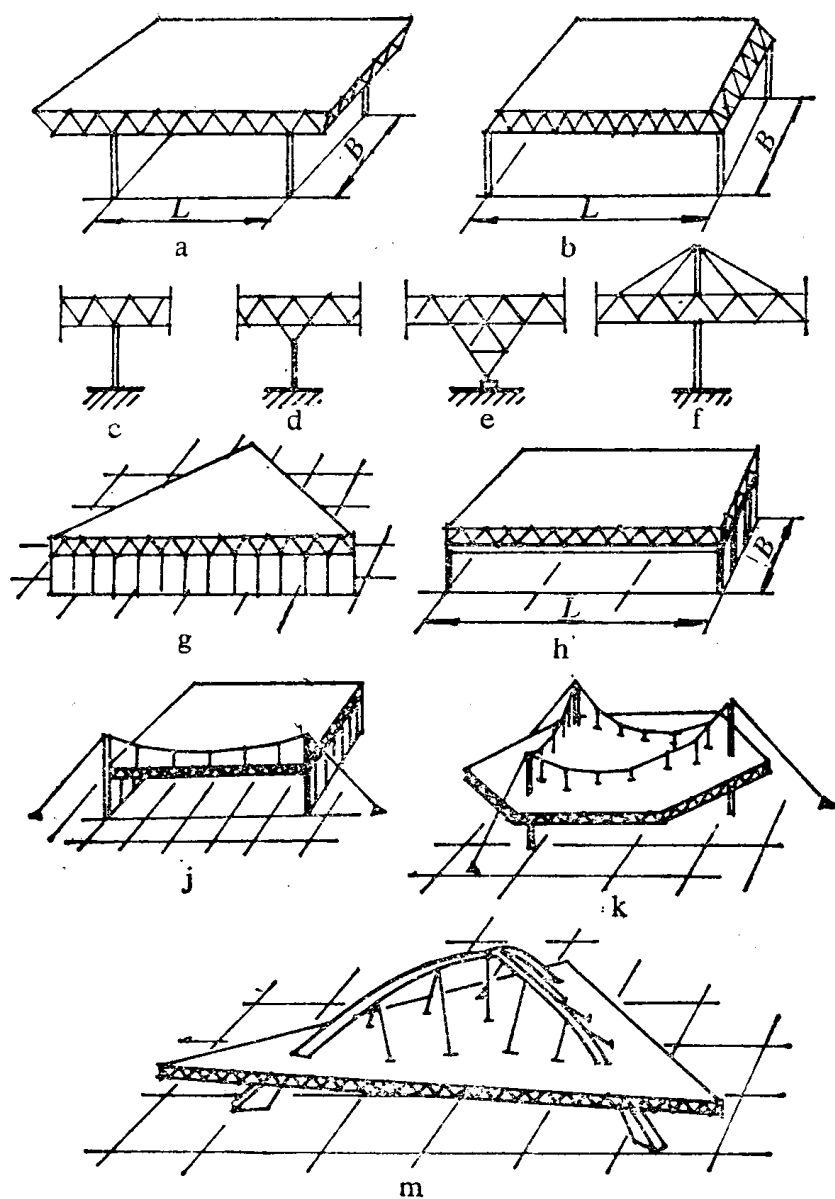


图11 网架结构的支承

算简图发生变化的情况下，结构仍能安全工作。设置限荷装置的必要性可由以下现象说明：当在网架结构 1 之下设置了附加刚性柱 3 之后（图12），由于网架屋盖计算图形的改变，那些原先只承受小荷载的构件就会出现被破坏的危险，如图12中的a~n号杆件（表 2），节点也是如此。

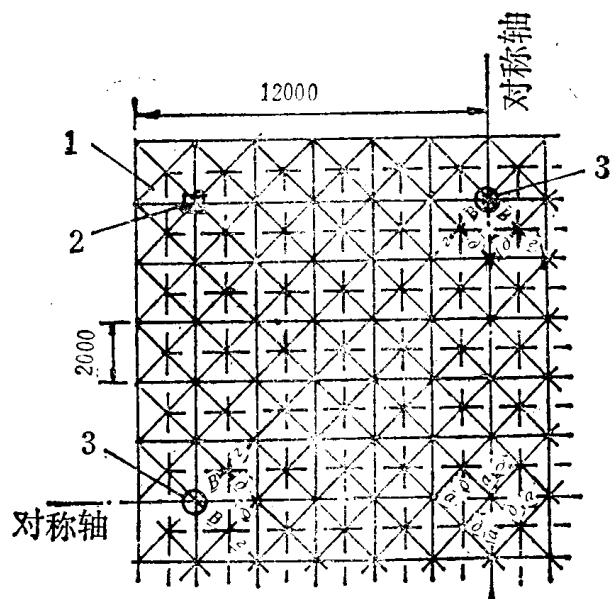
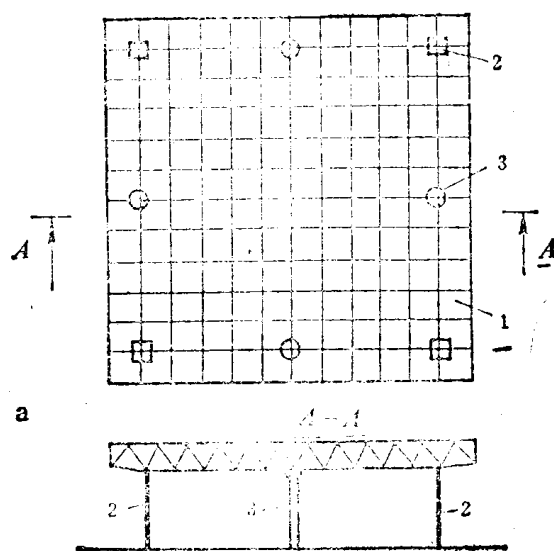


图12 下面设置了附加柱的网架屋盖

表2 网架结构以柱子作刚性型加强之前和加强之后，杆件内力状况（单位：kN）

结构与内力	弦 杆		斜 杆		
	a	b	c	d	e
加强之前	-73.1	+98.1	+1.74	-6.19	-14.28
加强之后	-142.7	+139.2	+126.0	-58.12	-41.75

标记说明：- —— 受压，
+ —— 受拉。



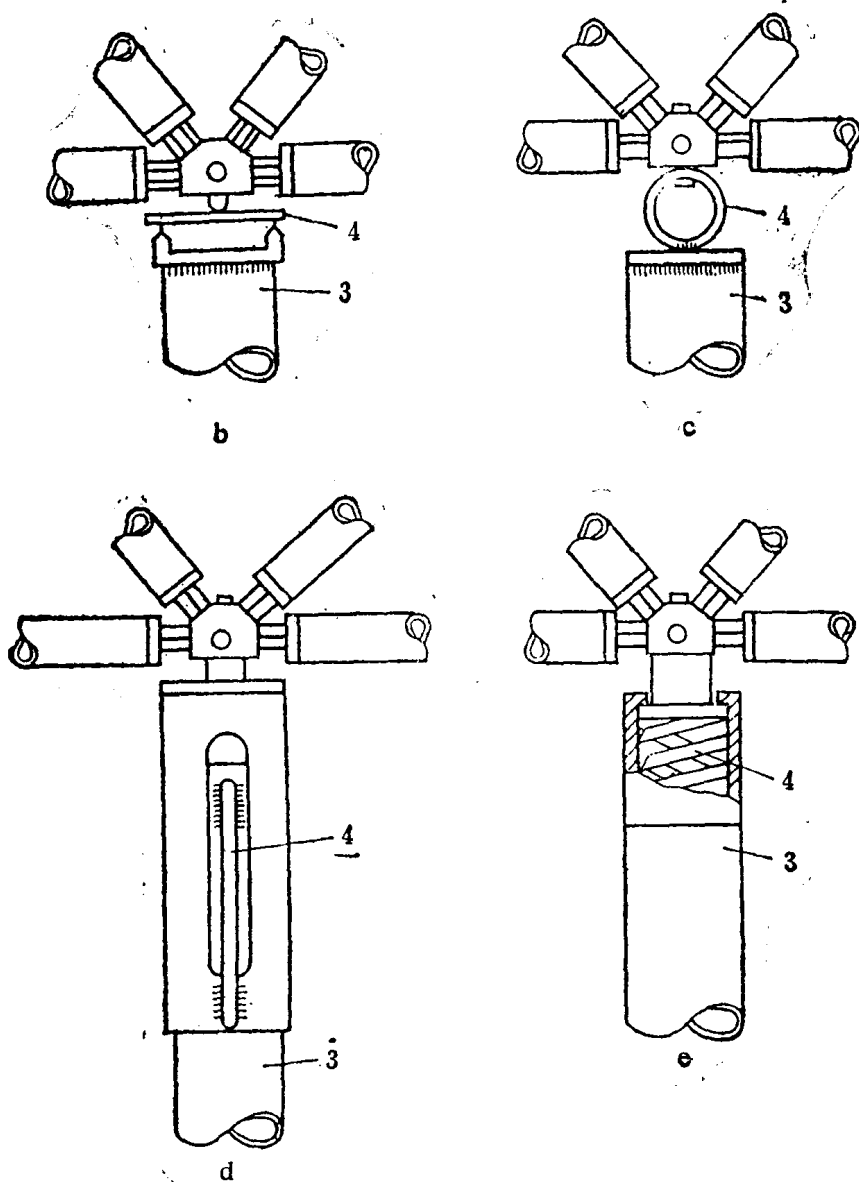


图13 加固网架用的附加支座上的装置构造图

a——附加支座的位置

b、c、d、e——几种限荷装置的构造图

图中：1.网架 2.支柱 3.附加支柱 4.限荷装置

结构上装设限荷装置（即限制反作用压力装置）可以从结构的支点3这一方按照构件4的方式来实施（见图13）。构件4是以其工作中的塑性阶段来限制其所承力（见图13之b、c、d），或者以预先装设承压弹簧的方式来限制其所承力（见图13e）

限荷装置的承载能力应根据网架斜杆的强度来确定，应当恒小于斜杆的承载能力。在连续结构中所采用的限荷装置，不仅可以使其工作中的安全度得到提高，还可免除支座不均匀沉陷时本来是必不可少的计算工作。

第二章 对网架屋盖节点连结构造的建议

一、网架屋盖的节点构造

现有网架结构的节点方案，按其所采用的连结方式可分为以下三组：

I 组——焊接节点连结方式。这是在现场制作的。

a. 溶槽焊连结节点。是苏联中央建筑结构科学研究所沃·阿·库切连柯提出的^{26、27}。这种节点连结方式可采用在弦杆网格由任何单元孔格组成的网架结构中。在杆件较多的多管式构造中，其连接方式可有图14之a所示外观形式。这种节点是在把杆件弄扁了的端头 交汇在一起所形成的空当中，以电焊使之填满熔化了了的金属，从而结成整体。

b. Октаплатт空心球节点连结方式。是由联邦德国曼涅斯曼公司研究成功的。先用两个带有圆形肋板的模压半圆球，对焊成一个球体，然后把各条钢管杆件沿球的外周，对着球体顶紧并焊牢而成（见图14之b）。

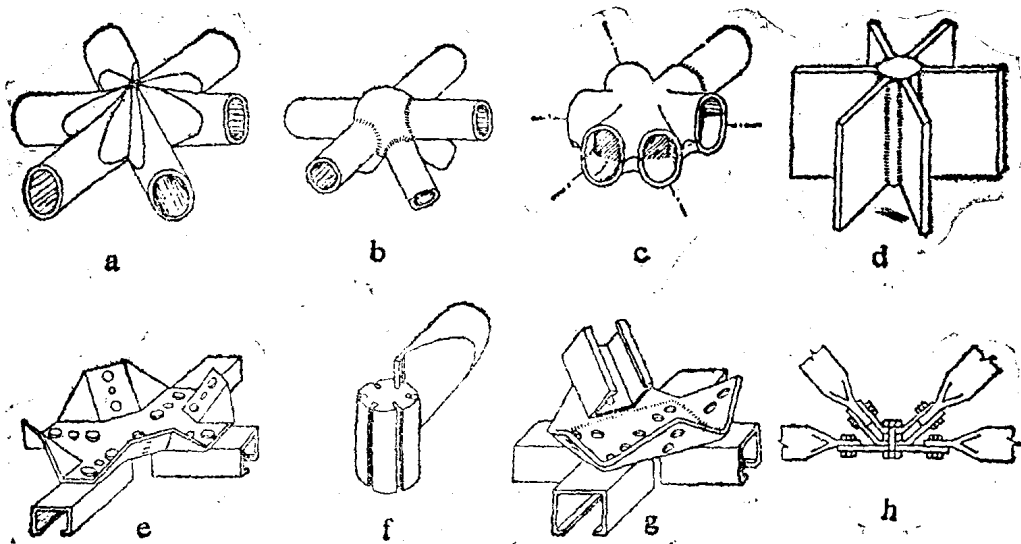


图14 网架的焊接节点（a~d）和螺栓节点（e~h）连结方式

a——溶槽焊²⁷， b——Октаплатт c——SDS d——带有圆柱形填充块的节点构造³²
e——Юнистрат¹⁵ f——Триодетик g——КИСИ³⁶ h——Кипсер

c. SDS 扁球节点连结方式。是由两块模压连结板对焊而成的扁球，其上带有管接口。把弦杆插入节点的空间状连结板的管接口中并沿周圈焊牢即成（见图14之c）。斜杆同样也是焊在模压连结板上的。

d. 带有圆柱形填充块的节点连结方式³¹。是喀山建筑工程学院研究成功的，可用于弦杆网格由正方形和三角形单元孔格所组成的网架结构中（见图14之d）。

Ⅱ组——螺栓节点连结方式。属于这组的网架节点，无论是在工厂条件下还是在现场条件下，均可不必焊接而仅靠螺栓或其他装配用部件，便可把杆件集装成网架结构。

e. Юнистрат冲压折板节点连结方式¹⁵。这种由约尼斯达·卡波列欣公司和密执安大学钢结构实验室共同研制成功的节点连结方式、在美国得到了广泛的应用。节点的连结件是模压钢板（见图14之e），模压板上带有预先冲压出来的孔洞和暗销，以便通过螺栓把冷弯薄壁开口截面杆件连结在模压板下面。

f. Триодетик榫形节点连结方式。是由加拿大菲吉曼公司研制的。节点构件为一个顺其纵向作出了一些沟槽的圆柱体，沟槽的侧壁带有凹槽（见图14之f）。杆件的端头按圆柱体沟槽的截面加压成形并嵌入沟槽中以构成节点。

g. КИСИ冲压弯曲板式节点连结方式³⁶。是喀山建工学院研制的。适用于倾斜的两向交叉桁架型网架结构（见图2）。冲压弯曲连结板具有正方形的展开面，这个展开面沿着板边中点连线弯折，在各个平面上有着孔洞和暗销，以便把冷弯薄壁开口截面杆件连结在模压弯曲板的下面（见图14之g）；

h. Кипсер螺栓板节点连结方式。由匈牙利基普谢尔建筑安装公司研制的。适用于倾斜的两向交叉桁架型网架结构（见图2之D）。封闭式管截面的杆件把端头挤扁，借助于三块连结钢板，用螺栓使之相互连结起来（图14之h）。

Ⅲ组——混合式节点连结方式。属于这一组连结方式的，其中的焊接工作是在工厂条件下完成的，而节点的装配工作则是在现场条件下以螺栓连结而完成。这组连结方式的特征是：其节点连结可以划分成两组零件。第一组零件是在工厂条件下焊在杆件上的连结用端头（有：锥头或封板、栓塞楔、连结板等等），而第二组零件则为垫圈、螺栓和把杆件端头在节点上连结起来的联接器件。

j. МЭРО、Веймар、МАрхИ螺栓球节点连结方式¹⁸。这是为了在倾斜的两向或三向交叉桁架型网架结构（见图2、图5之m）中应用而研制的。其主要构件为有螺纹孔洞的球体。杆端螺栓在其中旋转而拧紧。对于МЭРО（米罗）、Веймар（魏玛）型螺栓球节点，螺栓是通过焊牢在杆件上的锥形端头来连结的。对于МАрхИ（玛尔依）型螺栓球节点，螺栓是通过焊牢在杆端的平板垫圈来连结的。

k. ИФИ带盖榫形节点连结方式¹⁴。这是民主德国研制的。适用于倾斜的两向交叉桁架型网架结构（见图2）。在工厂中把栓塞楔焊在管状杆件压扁了的端头上，装配时，借助于圆锥形盖圈以螺栓使之紧固。

m. 法兰式节点连结方式¹⁹。由苏联钢结构设计院研制成的。适用于由角锥集装而成的网架结构（见图3之F）。这种网架的受压弦杆网格是由杆构角锥的底组成，其节点连结方式是由与弦杆和斜杆焊在一起的两个法兰所组成。安装时以螺栓把法兰连结起来。

n. Нолус组合式扁球节点连结方式¹⁶。是英国“柏里兹·史吉尔·科波列欣”公司研制