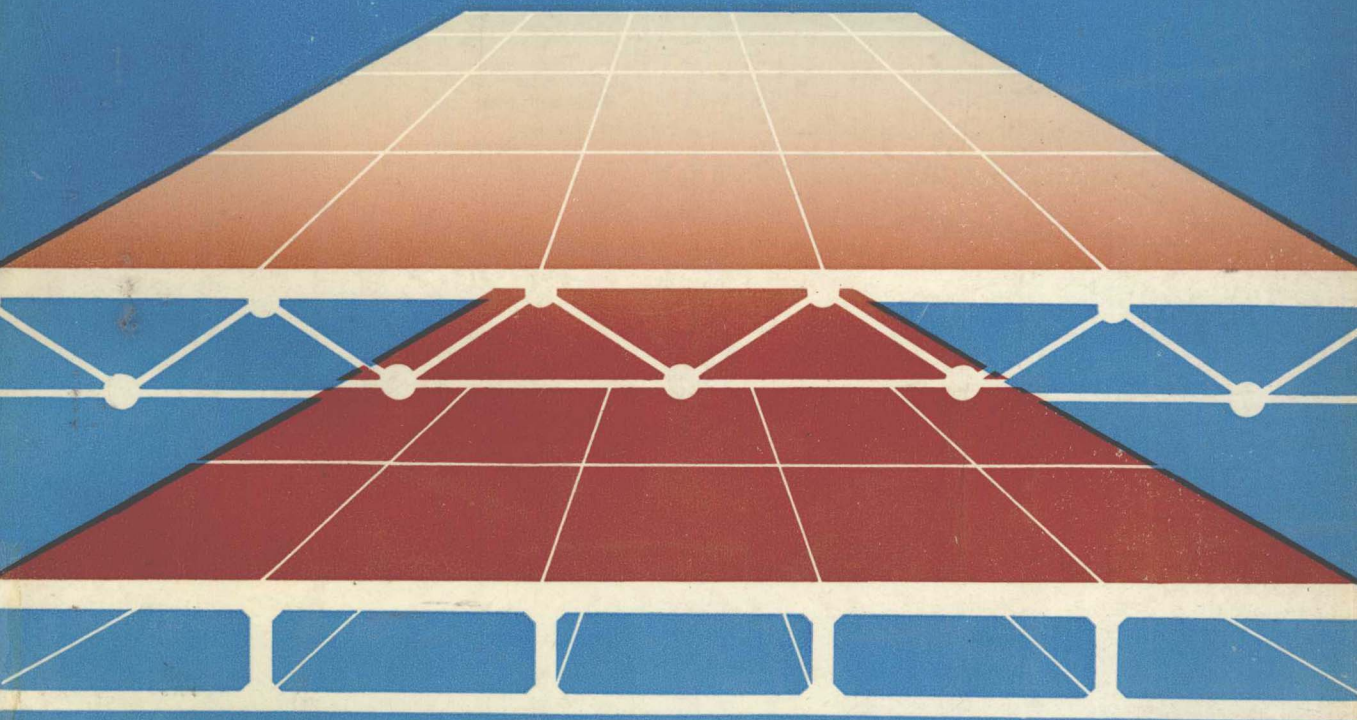


组合网架结构 于空腹网架结构

董石麟 马克俭
严 慧 苗春芳
著



浙江大学出版社

组合网架结构 与 空腹网架结构

董石麟 马克俭 著
严 慧 苗春芳

浙江大学出版社

(浙)新登字10号

内 容 简 介

组合网架结构与空腹网架结构是近十年来发展起来的新结构。它可用于屋盖结构，也可用于楼层结构，是空间网架结构的进一步应用与发展。

本书系统地介绍了这两类网架结构的计算理论、设计及施工方法。全书共十二章，前八章叙述组合网架结构，包括概论、形式与分类、组合网架的精确计算方法与近似计算方法、设计与节点构造、制作与安装等；后四章叙述空腹网架结构，包括概论、空腹网架的分析计算方法、设计与施工等。本书还列举了多个工程实例与大量计算图表。

本书可供土建类的设计、科研、施工等科技人员使用，也可作为高等院校土建专业高年级学生和研究生课程教材。

组合网架结构与空腹网架结构

董石麟 马克俭 著
严 慧 苗春芳

责任编辑 贾吉柱

* * *

浙江大学出版社出版

浙江上虞印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本 787×1092 1/16 18.5印张 470000字

1992年10月第1版 1992年10月第1次印刷

印数 0001—2000

ISBN 7-308-00836-3

TU·020 定价：5.15元

序

随着现代经济建设及科技文化事业的蒸蒸日上、日新月异，需要建设越来越多的大跨度、大柱网、大开间的体育馆、影剧院、车站、候机厅、展览馆、大型商场、教学楼和灵活车间等，而空间结构是最能适应这类建筑要求的。在空间结构领域内，近十年来发展了两类新颖结构——组合网架结构与空腹网架结构。它们不但可用作屋盖结构，而且也可用作楼层结构。组合网架可最大限度地发挥混凝土和钢材两种不同建筑材料的强度优势；空腹网架可充分利用结构空间，将空腹部分作为建筑的一层楼层使用。目前在全国已有近40项大中跨单层、多层和高层建筑工程中采用了组合网架结构与空腹网架结构，这在国际上也是罕见的。1990年已将“多层大跨度建筑组合网架结构应用技术”作为建设部科技成果推广项目之一。研究成果“装配整体式钢筋混凝土空腹网架结构的设计及施工”已刊登在《中国技术成果大全》1991年第12期。

由于组合网架与空腹网架的迅速发展和实际工程应用的急需，广大科研、设计、施工和教学人员渴望并欢迎能有一本系统阐述组合网架与空腹网架的理论、计算和实践方面的书籍。这本书的出版正是适应了这方面的迫切需求，因而它是一本很有意义的科技著作。

从本书的内容和特点来看，它的系统性、实用性和可读性都较强。这表示出著者多年来对组合网架与空腹网架在基本理论、结构形体、计算方法、设计构造和工程应用等方面进行系统的研究和大量的工作。书中提出并着重阐述了组合网架的简化算法——等代空间桁架分析法，组合网架的拟夹层板分析法，以及结合空腹网架特性的交叉梁系柔度法和刚度法等。这些分析方法都是比较简捷和实用的，且已在多项实际工程中得到了应用。本书给出较多的算例和实用计算图表，以供读者方便应用。另外还阐述了制作安装的要点与方法及工程实录，以供设计与施工人员参阅。

这本《组合网架结构与空腹网架结构》在国内外尚属第一本专著，在学术理论和实践应用方面都具有开拓性和新颖性。它将有助于广大科技人员的阅读提高和实际应用，并可促进组合网架与空腹网架在我国的应用和发展，故它是工程界的一本难能可贵的优秀著作，所具有的价值是无可非议的。

最后，我以热忱的心愿，期待更多的专家在空间结构科技领域内出版出各类新著，为发展空间结构事业作出更多、更有贡献。

中国建筑科学研究院研究员、教授 何广乾

1992年3月15日于北京

前 言

由于工业、交通、文教、体育、贸易、展览等事业的蓬勃发展，社会建设的需要，大空间、大柱网、大开间的单层与多层的大跨建筑结构得到了迅速的发展和开拓，其中具有自重轻、开间大、结构受力合理、空间利用率高、既可用于屋盖又可用于楼层的新型空间结构——组合网架结构与空腹网架结构已脱颖而出，发挥其独特的优势作用。

近十几年来，组合网架结构与空腹网架结构在国内外已有较多的应用，并且越来越受到人们的关注，是一类方兴未艾、发展前景宽广的空间结构。我国组合网架与空腹网架的应用范围之广，结构形式之多，结构跨度之大以及科研工作的深度几乎都超过了国外。著者在这两类网架结构的计算理论、节点构造、试验研究和工程实践诸方面做了大量的工作，取得了一批成果，并具有我国自己的特色。可是有关组合网架与空腹网架的文献资料既少见又分散难找，至于全面系统的专著在国内外还没有。在这种情况下，为了有利于促进组合网架结构和空腹网架结构的进一步发展，也为了尽可能比较全面和系统地总结和汇集我国自己的实践经验和科研成果，特著此书，以供设计、科研、施工等部门的科技人员使用，以及作为大专院校研究生和高年级大学生的教材与参考书。

本书的写作宗旨，着重于介绍组合网架结构与空腹网架结构的基本理论、设计计算和施工安装等方面的原则和方法，写作时遵循如下原则。

系统性。本书对组合网架结构与空腹网架结构的发展历史、基本理论、计算方法、设计构造、施工安装、工程应用诸方面作尽可能系统全面的论述。

先进性。本书内容力求反映近十年来国内外最新成就。

理论与实践相结合。本书除系统地介绍基本理论和计算方法外，以较多的篇幅介绍计算例题、分析技巧、工程实录、实用计算图表，此外还配备了一套电算程序，以便读者在实际工程中应用，并提高处理实际工程问题的能力。

结合中国国情。本书着重反映我国自己的科技成果和工程实例。

全书共分两大部分：第一部分是组合网架结构，共分八章；第二部分是空腹网架结构，共分四章。每一部分都包括有结构形式、计算方法、节点构造、施工安装、工程实例等内容。

本书由浙江大学董石麟教授主编，并撰写第一、二、四、五各章。贵州工学院马克俭教授为副主编，并撰写第九、十、十一、十二各章。浙江大学严慧教授撰写第三、六、七各章。河南省建筑设计研究院苗春芳高级工程师撰写第八章。全书由董石麟教授主审定稿。浙江大学夏志斌教授对本书的有关章节进行了审阅，并提出宝贵意见；浙江大学周定中同志、贵州工学院韦明辉同志为本书的有关章节进行了校核；浙江大学姚谏同志、项玉寅同志、高博青同志、贵州工学院曹新民同志为本书编制部分计算图表和计算个别例题；在撰写过程中还引用了有关兄弟单位的资料，除在相应章节中说明外，仅在此一并致谢。

本书不当之处，在所难免，恳切希望读者批评指正。

董石麟于杭州浙江大学结构工程研究所

1991年12月30日

目 录

第一章 组合网架概论

1.1 组合网架的应用与发展	(1)
1.1.1 国外组合网架的应用与发展	(1)
1.1.2 我国组合网架的应用与发展	(4)
1.2 组合网架的特点	(7)
1.2.1 组合网架的优越性	(7)
1.2.2 组合网架的适应性	(8)
1.2.3 组合网架的经济性	(9)
1.2.4 组合网架的受力特性	(9)

第二章 组合网架的形式、分类与选型

2.1 组合网架的形式与分类	(10)
2.1.1 按相应的网架形式分类	(10)
2.1.2 按上弦板的组成和形式分类	(10)
2.1.3 圆形平面组合网架的形式	(14)
2.2 组合网架的支承形式	(16)
2.3 组合网架的选型	(19)

第三章 组合网架的有限单元法

3.1 概述	(21)
3.2 单元划分与基本假定	(22)
3.3 单元刚度矩阵	(23)
3.3.1 空间梁单元	(23)
3.3.2 三角形板壳单元	(26)
3.3.3 不同坐标位置刚度矩阵的变换	(34)
3.3.4 空间杆单元	(37)
3.4 结构整体刚度矩阵	(39)
3.4.1 子结构的整体刚度矩阵	(39)
3.4.2 子结构的缩聚刚度矩阵	(41)
3.4.3 组合网架的整体刚度矩阵	(43)
3.4.4 子结构内部结点荷载的处理	(43)
3.5 组合网架的刚度方程与内力计算	(44)
3.6 算例	(45)

第四章 组合网架的简化算法——等代空间桁架分析法

4.1 概述	(48)
4.2 基本假定和计算模型	(48)
4.3 两向正交类组合网架的简化计算	(49)
4.4 上弦板材料泊桑系数 $\nu \neq 1/3$ 时的刚度修正	(56)
4.5 两向斜交类组合网架的简化计算	(57)
4.6 三向类组合网架的简化计算	(60)
4.7 蜂窝形三角锥组合网架的简化计算	(63)
4.8 组合网架简化算法的设计计算步骤	(67)
4.9 算例二则	(69)
4.10 上弦板局部弯曲内力计算	(71)
4.11 圆形平面组合网架的简化计算	(82)
4.11.1 等腰三角形上弦板组成的圆形平面组合网架的简化计算	(82)
4.11.2 等腰梯形上弦板组成的圆形平面组合网架的简化计算	(86)

第五章 组合网架的拟夹层板分析法

5.1 概述	(93)
5.2 基本假定和计算模型	(93)
5.3 等代刚度的确定	(94)
5.3.1 上、下表层的薄膜刚度	(94)
5.3.2 夹心层的剪切刚度	(97)
5.4 基本方程式的建立	(99)
5.5 矩形平面周边简支组合网架的计算	(106)
5.6 组合网架各类杆件的内力计算	(112)
5.6.1 上弦板的内力计算	(112)
5.6.2 下弦杆及腹杆的内力计算	(115)
5.7 上弦板的形式对内力、挠度的影响	(118)
5.8 组合网架拟夹层板法的设计计算步骤	(120)

第六章 组合网架的设计与构造

6.1 上弦板的设计	(121)
6.1.1 上弦板的形式及构造要点	(121)
6.1.2 上弦板的设计原则	(124)
6.2 组合网架的节点设计	(129)
6.2.1 概述	(129)
6.2.2 组合网架上弦节点的形式与构造	(130)
6.2.3 组合网架上弦节点的设计与计算	(136)

第七章 组合网架的制作与安装

7.1 组合网架的制作与拼装	(141)
7.1.1 杆件、节点和上弦板的制作	(141)
7.1.2 拼装单元	(143)
7.2 组合网架的安装方法	(148)
7.2.1 高空散装法	(148)
7.2.2 分条或分块安装法	(149)
7.2.3 整体安装法	(152)

第八章 组合网架的工程实例

8.1 概述	(155)
8.2 工程实例一：正放四角锥组合网架屋盖结构	(155)
8.3 工程实例二：正放四角锥组合网架楼层结构	(158)
8.4 工程实例三：角点支承正放抽空四角锥组合网架高层建筑楼层结构	(160)
8.5 工程实例四：星形单元两向正交正放组合网架屋盖结构	(163)
8.6 工程实例五：八边形平面两向正交斜放组合网架屋盖结构	(165)
8.7 工程实例六：斜放四角锥组合网架楼层结构	(166)
8.8 工程实例七：蜂窝形三角锥组合网架屋盖结构	(168)
8.9 工程实例八：三边简支一边自由的正放抽空四角锥组合网架屋盖结构	(170)

第九章 空腹网架概论

9.1 空腹网架的形式	(173)
9.1.1 按空腹桁架的杆系组成分类	(173)
9.1.2 按空腹桁架交叉组成情况分类	(175)
9.1.3 按支承情况分类	(176)
9.2 空腹网架的特点	(177)
9.2.1 空腹网架的构造与受力特点	(177)
9.2.2 空腹网架的适应性	(178)
9.2.3 空腹网架的经济性	(179)
9.3 空腹网架的应用与发展	(180)
9.3.1 钢筋混凝土空腹网架应用简介	(180)
9.3.2 空腹网架的发展与研究方向	(182)

第十章 空腹网架的计算方法

10.1 空腹网架计算方法概述	(188)
10.1.1 空腹网架的空间刚架位移法简介	(188)
10.1.2 空腹网架的近似分析方法	(190)

10.2 空腹网架交叉梁系柔度法	(191)
10.2.1 两向正交正放空腹网架柔度方程的建立	(191)
10.2.2 两向正交正放预应力混凝土空腹网架柔度方程的建立	(200)
10.2.3 空腹网架的挠度与杆件内力计算	(205)
10.2.4 两向正交正放钢筋混凝土空腹网架与预应力混凝土空腹网架在各类支承条件下的 电算程序框图与计算例题	(209)
10.2.5 两向正交斜放空腹网架柔度方程的建立	(223)
10.2.6 两向正交斜放周边筒支预应力与非预应力混凝土空腹网架电算程序框图与计算例题	(228)
10.2.7 三向空腹网架柔度方程的建立	(231)
10.2.8 三向钢筋混凝土空腹网架电算程序框图与计算例题	(234)
10.3 空腹网架交叉梁系刚度法	(238)
10.3.1 刚度法的特点	(238)
10.3.2 两向正交正放周边筒支空腹网架用刚度法求解	(238)
10.3.3 用刚度法求解两向正交正放空腹网架算例	(241)
10.3.4 其他边界条件下两向正交正放空腹网架用刚度法求解简述	(244)
10.3.5 两向正交正放空腹网架用刚度法解题步骤	(244)

第十一章 空腹网架的设计与施工

11.1 钢筋混凝土空腹网架的几何尺寸	(246)
11.1.1 网格尺寸与网架高度	(246)
11.1.2 上弦、下弦、竖杆几何尺寸及节点加腋处理	(247)
11.1.3 空腹网架的挑檐与悬挑长度	(248)
11.2 钢筋混凝土空腹网架的节点构造	(249)
11.2.1 单竖杆式空腹网架	(249)
11.2.2 四肢竖杆格构式空腹网架	(251)
11.2.3 三向空腹网架结构	(252)
11.2.4 无粘结预应力混凝土空腹网架支座节点	(253)
11.3 钢空腹网架的节点构造	(254)
11.3.1 焊接连接钢空腹网架的节点构造	(254)
11.3.2 高强螺栓连接钢空腹网架的节点构造	(257)
11.4 钢筋混凝土空腹网架的制作与施工	(257)
11.4.1 装配整体式钢筋混凝土空腹网架的制作与施工	(257)
11.4.2 现场浇制钢筋混凝土空腹网架与无粘结预应力混凝土空腹网架的制作与施工	(259)

第十二章 钢筋混凝土空腹网架的工程实例

12.1 工程实例一：两向正交正放钢筋混凝土空腹网架屋盖结构	(260)
12.2 工程实例二：两向正交斜放钢筋混凝土空腹网架屋盖结构	(264)
12.3 工程实例三：三向钢筋混凝土空腹网架屋盖结构	(268)
12.4 工程实例四：周边支座与柱刚接的钢筋混凝土空腹网架的综合应用	(274)
参考文献	(280)

第一章 组合网架概论

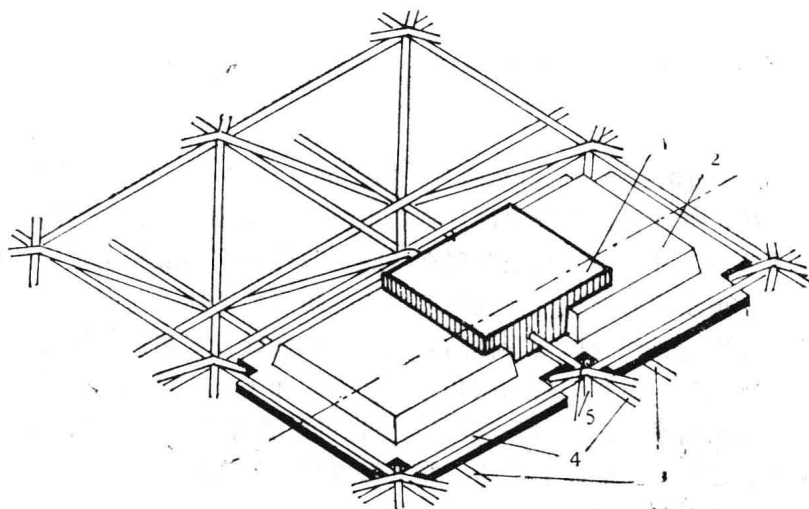
1.1 组合网架的应用与发展

由于生产建设和文化体育、商业、展览事业发展的需要,也由于城市建设与改造、旧房的加层扩建与改造翻新,以及节省土地、美化环境等的需要,大空间、大柱网、大开间的单层与多层大跨建筑结构得到了迅速的发展。其中具有自重轻、开间大、既可用于屋盖、又可用于楼层的新颖结构——组合网架,更是越来越受人们的青睐,引起了工程界和科技工作者的关注和研究。近十多年来,中国、德国、罗马尼亚等国对组合网架的理论分析、设计计算、试验研究和工程实践都进行了大量的工作,并证实了这种组合网架是结构合理、经济实用和安全可靠的,故在国内外已有较多的采用。

组合网架是一种钢结构与钢筋混凝土结构组合的空间结构。它以钢筋混凝土平板或带肋板代替一般钢网架的上弦杆,以钢和钢筋混凝土的组合节点代替钢上弦节点,形成一种下部是钢结构与上部是钢筋混凝土结构组合的一种新型空间结构,也是一种杆系、梁系和板系共同工作的空间结构体系。这种组合网架,可使结构的承重和围护功能合二而一,又可充分发挥钢材和混凝土两种不同材料的强度优势。组合网架除了一般钢网架所具有的跨度大、受力性能好、建筑空间利用率高等优点外,它与全钢网架相比,还具有结构整体刚度大、用钢量节省、工程造价明显下降等优势,故是今后值得推广应用和开拓发展的一种新结构。

1.1.1 国外组合网架的应用与发展

早在60年代,墨西哥曾提出一种空间板结构,见图1.1,它实际上是一块把受拉部分



1.混凝土板 2.模板 3.圆钢下弦 4.板内钢筋 5.上弦节点

图1.1 墨西哥的空间板——最初形式的组合网架

混凝土挖去的钢筋混凝土平板，以达到减轻结构自重的目的。这种空间板的跨度仅3m，全部高度为300mm，其中混凝土板厚为50mm，下弦和腹杆由直径为10mm的圆钢制作而成，并与板中的配筋构成一个正放四角锥圆钢网架。因此，这种空间板可看作是最初形式的组合网架。墨西哥曾把这类空间板应用于15层高层住宅的楼层结构，这座15层高楼的楼层自重与普通钢筋混凝土平板的八层楼的楼层自重相当，亦即每层楼层的自重减轻了50%。

德国MERO公司在1981年曾提出一种称为MERO-Massiv组合网架体系。该体系是一种正放抽空四角锥组合网架，见图1.2。上弦板为工厂预制的钢筋混凝土实体平板，板的平面

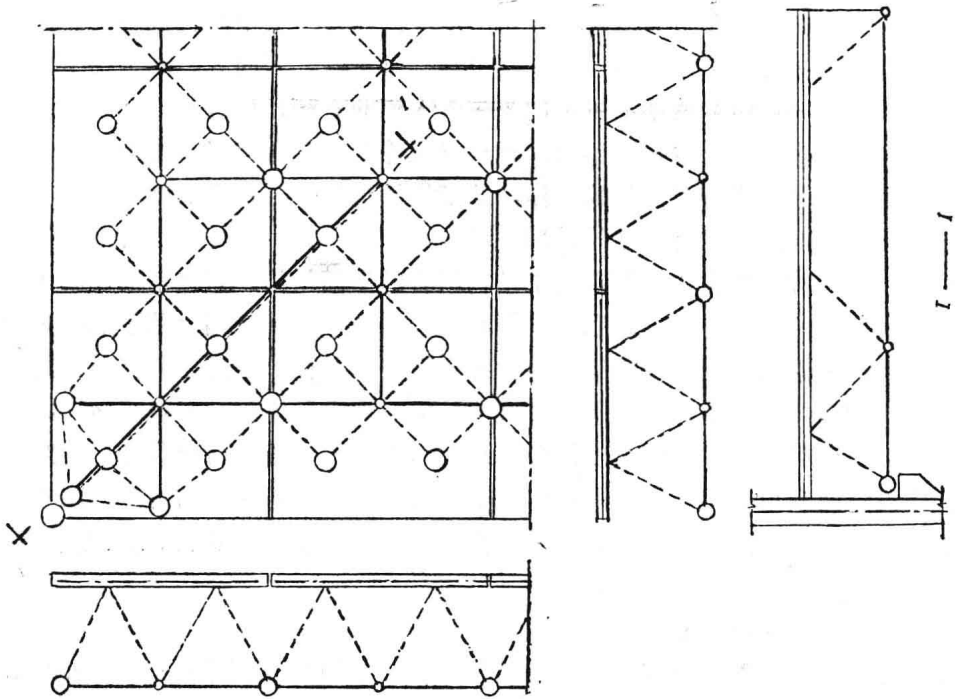


图1.2 德国MERO-Massiv组合网架体系平剖面图

尺寸为 $2.40\text{m} \times 3.60\text{m}$ 及 $3.60\text{m} \times 3.60\text{m}$ 两种，板厚50~120mm。预制上弦板之间采用角铁埋件、高强螺栓连接，并在楔口板缝中灌注细石混凝土，见图1.3b、c。以特制的螺栓盘节点代替上弦螺栓球节点，并采用一高强摩擦夹紧螺栓与埋在钢筋混凝土板中的桶形预埋件连接，见图1.3a。每一预制钢筋混凝土平板共设置四个桶形预埋件，与四个螺栓盘节点相连接，以满足正放抽空四角锥组合网架形体的需要。下弦和腹杆采用钢管杆件，其连接方式同一般MERO体系全钢网架。这种组合网架以单跨的、四角下弦支承式的结构方案较为合适，支承部位设置一个正四角锥体，并采用一根对角方向的下弦杆加强，见图1.2及其I—I剖面。MERO-Massiv体系已在工程中作了尝试，并认为可用于多层建筑的楼层和屋盖结构，施工方法可采用高空散装法及整体提升法。

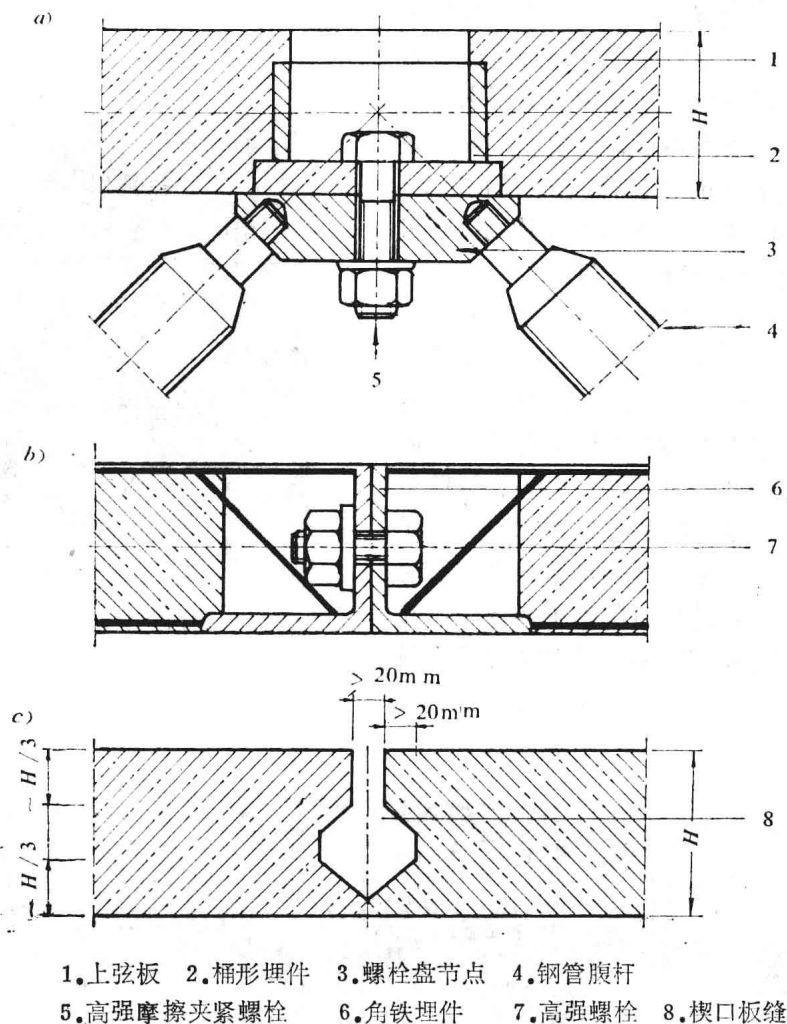


图1.3 德国MERO-Massiv体系节点图

德国Zublin公司在80年代初也曾推出一种四角锥体系的组合网架。其上弦节点是一块方形钢板,钢板的四角设有螺栓孔,孔上部呈倒锥形,孔下部有内螺纹;板的中部呈球缺状,以便连接任意方向的钢管腹杆。预制钢筋混凝土板的角部设有锥形的空心钢插销如图1.4,组

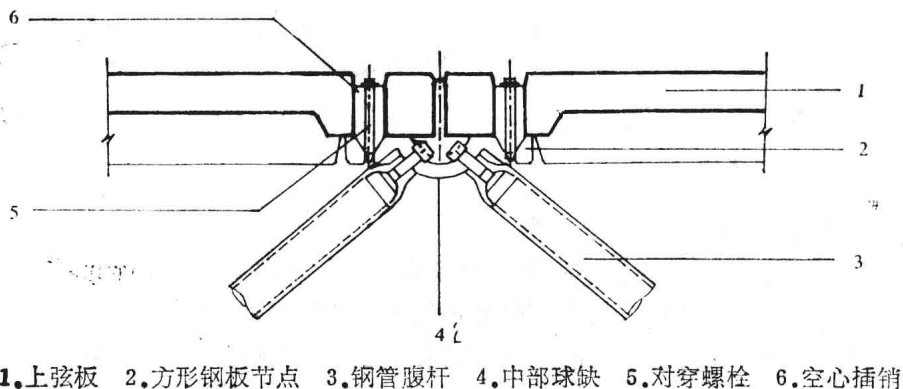


图1.4 德国Zublin公司组合网架上弦节点

装时将其搁置在方板节点的倒锥孔内，并用对穿螺栓拧入方板节点定位固定，然后灌注水泥砂浆构成组合上弦节点。预制钢筋混凝土平板可为方形平面，也可为矩形、三角形、梯形等种平面，板厚仅50mm，四周带有钢筋混凝土边肋。这种Zablin公司的组合网架体系曾在食堂等屋盖结构中得到应用，见图1.5。

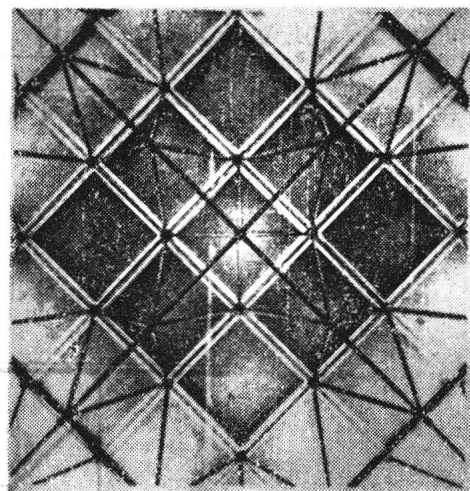


图1.5 Zablin公司组合网架工程仰视图

罗马尼亚在1981年曾设计了一幢斜放四角锥组合网架结构的多功能体育馆。平面尺寸30m见方，网架高度1.8m，上、下弦节点均采用板节点，预制上弦板和下弦网格均为3m见方。曾在试验室内进行了6m×6m的足尺实物模型试验，试验用的倒装模型见图1.6。经详细分析，这种组合网架的用钢量比全钢网架的用钢量可节省22%，造价可降低1~2%，并认为组合网架作为屋盖结构，其跨度可增大到45~50m。

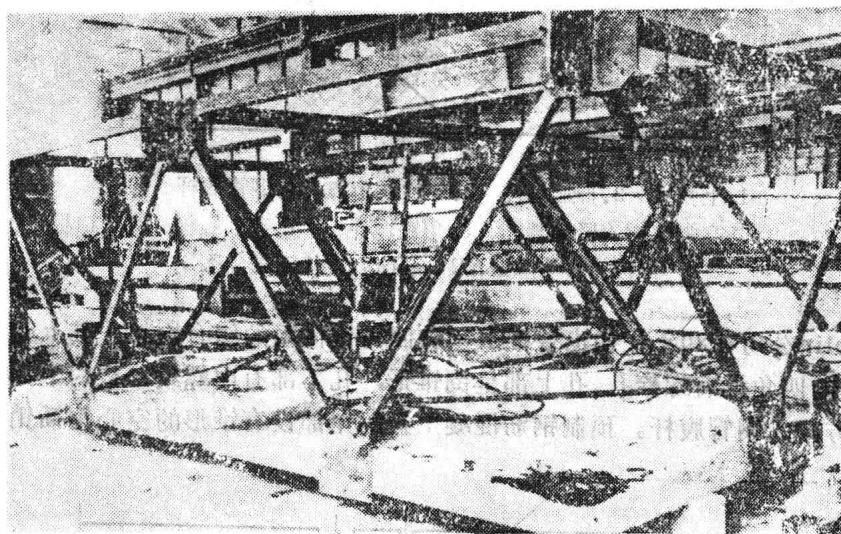


图1.6 罗马尼亚一组合网架的足尺模型

1.1.2 我国组合网架的应用与发展

1980年在江苏徐州夹河煤矿建造的两幢食堂屋盖，平面尺寸分别为21m×54m及9m×18m，首次在我国成功地采用了形式为蜂窝形三角锥的组合网架结构。与一般全钢网架相比，节省钢材用量19.3%。此后，我国的组合网架有了迅速的发展，在许多公共和工业建筑中得到应用。十年来，已建成的各类组合网架共计19幢。除用于屋盖外，还用于楼层，覆盖建筑面

积27000多平方米，详见表1.1，表中还列出两幢已设计但未建的组合网架。从表1.1中可知，我国已设计建成的组合网架的结构形式计有蜂窝形三角锥组合网架、正放四角锥组合网架、两向正交正放组合网架、两向正交斜放组合网架、斜放四角锥组合网架、正放抽空四角锥组合网架、星形四角锥组合网架等共七种。

如1987年建成的江西抚州地区体育馆，平面尺寸45.5m×58m，采用正放四角锥组合网架，为目前国内外跨度最大的组合网架。

又如1987年建成的新乡百货大楼加层扩建工程，平面尺寸为34m×34m，原为两层框架结构，现增加四层，共计六层，采用斜放四角锥组合网架，这是我国首次多层大跨建筑中采用的组合网架楼层及屋盖结构。图1.7为新乡百货大楼组合网架的施工实况，该工程由河南省建筑设计研究院设计，河南省网架厂施工。这项工程的科技成果“多层大跨建筑组合网架楼层结构应用技术”获1989年度建设部科技进步二等奖及1990年度国家科技进步三等奖。

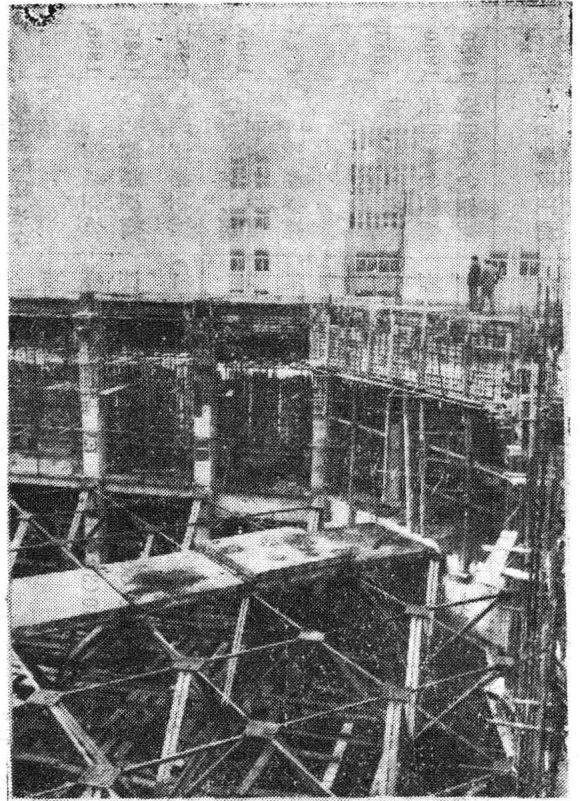


图1.7 新乡百货大楼组合网架楼层在施工

再如长沙纺织大厦，地下两层、地上11层，平面尺寸24m×27m，柱网分别取12m×10m、12m×7m两种，采用正放抽空四角锥组合网架，总建筑覆盖面积约7000m²。这是我国在高层建筑中首次采用组合网架楼层及屋盖结构，也是目前覆盖建筑面积最大的群体组合网架。

跨度为20m左右的组合网架楼层和屋盖结构，可在一般的公共和工业建筑中采用，其结构形式的选择性也比较灵活、宽广。图1.8是平面尺寸为18m×21m的长沙歌舞剧院排练场正放四角锥组合网架楼层。该工程由长沙市建筑设计院设计，杭州东南网架厂制作安装。

组合网架结构工程实例

表1.1

序号	工程名称	组合网架形式	平面尺寸×高度 (m)	混凝土折算 厚度(其中现 浇层厚) (mm)	用钢指标 (板中用量) (kg/m ²)	用于屋盖或 楼层	施工安装方法	建成 年份	备 注
1	徐州夹河煤矿小食堂	蜂窝形三角锥	9×18×0.7	43	17.7(3.5)	屋盖	高空分条组装	1980	
2	徐州夹河煤矿大食堂	蜂窝形三角锥	21×54×1.8	49	20.1(3.1)	屋盖	高空分条组装	1980	
3	上海石油采购供应站仓库	正放四角锥	36×72×(1.98~2.45)	94(40)	30.6(3.0)	屋盖	分条吊装,滑 移就位	1983	
4	天津石化公司炼油厂催化剂仓库	两向正交正放	24×24×1.8(3个)	49	24.5(9.4)	屋盖	高空散装	1984	
5	贵州工学院干部食堂	蜂窝形三角锥	12.1×15.5×0.75	50	16(3)	屋盖	高空分条组 装,滑移就位	1985	
6	贵州工学院图书馆采光大厅	正放四角锥	15×25×0.9	40	18(3)	屋盖	高空散装	1985	
7	贵州工学院干部阶梯教室	蜂窝形三角锥	12.1×15.5×0.75	50	16(3)	楼层(暂屋盖)	高空散装	1985	
8	河南省体育馆练习房	正放四角锥	19.6×34.3×1.7(3个)	140(50)	29.3(9.3)	屋盖	高空散装	1985	
9	南京特种师范学院阶梯教室	两向正交斜放	18×18×1.8	80(30)	15.4	屋盖	高空散装	1986	
10	北京体育学院篮球房	正放四角锥	33.3×39.3×2.5			楼层,屋盖			
11	抚州地区体育馆	正放四角锥	45.5×58×3.2	56	31.8(8.2)	屋盖	分条积累组装, 顶推滑移就位	1987	
12	新乡百货大楼扩建工程(加四层)	斜放四角锥	34×34×2.5	130(40)	69(22.3)	楼层,屋盖	高空散装	1987	
13	长沙歌舞剧院排练场	正放四角锥	18×21×1.65	140(40)	32(8)	楼层	高空散装	1988	
14	长沙歌舞剧院舞厅	蜂窝形三角锥	19.8×21×1.65	120(30)	27(7)	上人屋盖	高空散装	1988	
15	长沙歌舞剧院舞台	斜放四角锥	15×21×1.4	90(30)	16(3)	屋盖	高空散装	1988	
16	贵州铜仁地区影剧院	正放抽空四角锥	24×28×1.9		23.4(8)	屋盖	高空散装	1988	
17	长沙纺织大厦(11层)	正放抽空四角锥	24×27×1.0 10×12及7×12柱网	80(30) 80(30) 90(40)	25(8) 37(10) 55(10)	楼层,屋盖	高空散装	1988	活载有3、5、7 kN/m ² 三种
18	辽宁体育中心击剑馆	斜放四角锥	30×39×2.6	109(40)	65(20.8)	楼层	临时支撑, 分条吊装	1989	包括临时上弦杆用 钢量10.3kg/m ²
19	辽宁体育中心武术馆	星形四角锥	21×45×2.67	94(40)	54.8(19.4)	楼层	临时支撑, 分条吊装	1989	包括临时上弦杆用 钢量8.5kg/m ²
20	徐州财经学校食堂	正放抽空四角锥	18×48×1.9		13.8(3.3)	屋盖	高空散装	1990	
21	徐州教育学院食堂、礼堂	正放四角锥	20×30×2.2		20.8(2.9)	楼层,屋盖	高空散装	1990	指楼层用钢量

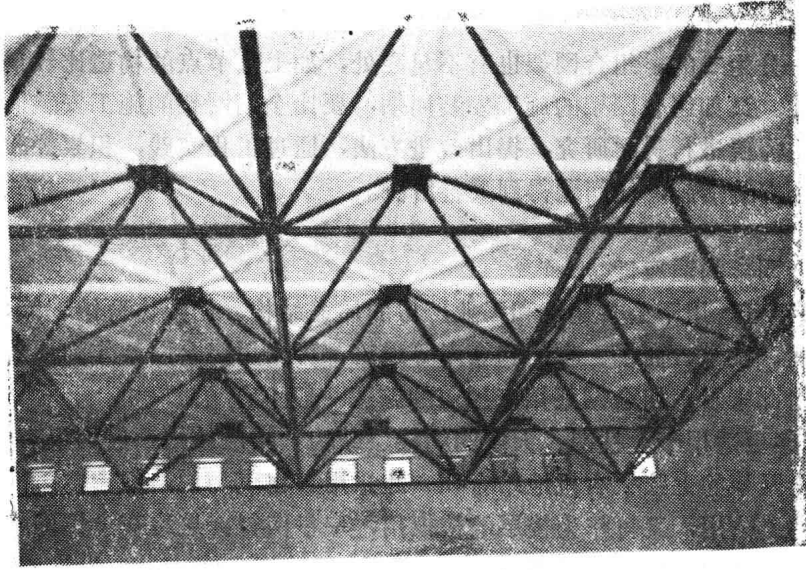


图1.8 长沙歌舞剧院排练场组合网架楼层

1.2 组合网架的特点

组合网架是由平板型网架发展而来，因此，从宏观来说，它具有平板型网架的各种特性。同时，因组合网架是采用了钢筋混凝土上弦板来代替一般钢网架的上弦杆，从而形成一种钢结构与钢筋混凝土结构协同工作的组合结构，故又具有组合结构的各种特性。

1.2.1 组合网架的优越性

1. 可充分发挥混凝土与钢材的强度优势。一般来说，网架结构的上部是受压的，下部是受拉的。因此，组合网架可以充分利用混凝土受压、钢材受拉这两种不同材料的强度特性。

2. 组合网架的刚度大，抗震性能好。与同等跨度的钢网架相比，组合网架的竖向刚度要增加30~50%。由于装配成整体后的钢筋混凝土上弦板在自身平面内有很大的水平刚度，因而组合网架的水平刚度比钢网架的水平刚度更是成倍地增加。因此，从总体来说，组合网架的抗竖向与水平地震作用都优于一般钢网架。

3. 组合网架可使结构的承重功能与围护功能合二为一。如将组合网架用于屋盖，就不需要另行设置屋面板；如用于楼层，则可省去楼板。

4. 组合网架的防火性能好。由于网架面层存在一整块比钢结构防火性能好的钢筋混凝土平板，因而可提高结构的防火等级。同时，也由于组合网架的超静定次数远大于相应的钢网架，当某些钢下弦和腹杆破坏后，内力可重新分布，结构尚可继续存在，至少可延续整个结构破坏倒塌的时间。

5. 组合网架无需另行设置上弦水平支撑。对于两向正交正放网架，为确保结构的几何不变性，需在网架周边设置上弦水平支撑；对于分段滑移施工的斜放四角锥网架，需要设置临时上弦杆加强。然而对于相应的组合网架，由于上弦板有足够的水平刚度，无需设置上弦