

554
7283

573439

平板网架设计

刘锡良 等编著
刘毅轩



清华大学图书馆
收藏

554
7203

573439

728

平板网架设计

刘锡良 刘毅轩等编著

中国建筑工业出版社

形四
号,

式」,

本建

”,

《E

学会

学会

ugst

nnee

Fac

ule

本书内容包括：网架分类、各种型式网架的近似计算和精确计算方法、设计要点、计算例题、试验成果分析、节点构造、制作和安装、计算图表等十二章。书中除详细叙述了网架的设计和计算方法、节点构造、网架制作和安装外，还列举了例题、大量计算图表和许多工程实例。

本书可供土建技术人员和高等院校土建专业师生参考。

平板网架设计

刘锡良 刘毅轩等编著

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

开本：787×1092毫米^{1/16} 印张：24^{1/4} 字数：589千字

1979年7月第一版 1979年7月第一次印刷

印数：1—15,150册 定价：1.95元

统一书号：15040·3516

前 言

平板网架为空间钢结构的一种较好结构型式。它具有空间受力特点和节省钢材、空间刚度大、建筑高度小、覆盖面积大、抗震性能好、便于工厂化定型化、建筑造型美观等优点，目前在国内外已得到广泛采用，特别是在大、中跨度的屋盖中，更显示其优越性。近年来，随着电子计算技术的发展，为平板网架的推广和应用，创造了有利条件。到目前为止，国内已有大型体育馆、中型练习馆、展览馆、俱乐部、剧院、食堂以及工业厂房等近百座工程的屋盖采用了平板网架，在设计、施工等方面积累了不少经验，在理论研究方面也进行了大量工作。为了进一步推广平板网架和满足设计工作的需要，我们根据国内外、特别是国内近十年来的实践经验和科研成果编写了本书。

本书详细叙述了平板网架的应用概况、分类及其优缺点，分章介绍了网架近似计算法和精确计算法，对设计要点也进行了阐述，在第八章中列举了五个跨度相同、网格不同的网架设计例题，并对国内网架试验研究成果作了简要的介绍，对节点构造、制造和安装等都有专章叙述，在十二章中列出了五种网格类型、147种平面的网架计算表格，对于适合相应表格条件的网格和平面，可直接从表格中查出挠度值或弯矩值。附录一中，列出了我国部分平板网架工程实例。

本书系中国建筑工业出版社约请天津大学和第六设计院共同编写。天津大学刘锡良同志和第六设计院刘毅轩同志为主要编写人；天津大学陈家祥同志参加了部分章节的编写工作，刘兴业、王进忠和马逢时同志编写了第六章。

在编写过程中，中国科学院计算技术研究所协助计算了第十二章的计算图表，国家建委建筑科学研究院及上海、北京、天津、南京、福建、辽宁、浙江、保定、石家庄、山东、山西等地有关设计和施工单位提供了不少资料，河北省安装工程公司和湖南省机械化施工公司对平板网架的施工部分进行了审稿，谨在此表示感谢。

天津大学、第六设计院

1978、2

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 空间结构的发展	1
第二节 空间钢结构的分类	1
第三节 平板网架的优越性	4
第四节 国内平板网架的使用情况	5
第五节 国外平板网架的应用情况	12
第六节 平板网架的发展方向和待研究的几个问题	21
第二章 平板网架的分类	23
第一节 交叉桁架体系	23
第二节 空间桁架体系	26
第三节 表皮受力体系	34
第三章 交叉桁架体系(网格梁)平板网架的计算	37
第一节 弹性平板弯曲的基本方程式(挠度与荷载的关系式)	37
第二节 网格梁的偏微分方程式	39
第三节 差分法的基本概念	42
第四节 各种网格梁的差分解	45
第五节 差分解法的边界条件	51
第六节 各种网格梁的级数解	55
第四章 斜放四角锥平板网架的计算	59
第一节 弯矩计算	59
第二节 挠度计算	68
第三节 弯矩和挠度的级数解	79
第五章 正放四角锥平板网架的计算	80
第一节 内力分析	80
第二节 挠度计算	87
第三节 弦杆内力和挠度的级数解	90
第六章 平板网架的矩阵解法	97
第一节 矩阵位移法	97
第二节 几何不变性和对称性的利用	106
第三节 方程组的解法	109
第七章 平板网架设计要点	120
第一节 网架选型	120
第二节 网架几何尺寸的确定	121
第三节 计算方法的选用和步骤	124
第四节 杆件截面设计和耗钢量	127
第五节 节点的选用	128
第六节 屋面作法	133

第八章 平板网架的计算例题	135
第一节 两向正交正放网架	135
第二节 两向正交斜放网架	138
第三节 三向网架	142
第四节 斜放四角锥网架	146
第五节 正放四角锥网架	149
第九章 平板网架试验	155
第一节 概述	155
第二节 试验方法	155
第三节 试验结果分析	160
第十章 平板网架的节点构造	170
第一节 一般节点	170
第二节 支座节点	184
第三节 屋顶节点	187
第十一章 平板网架的施工	188
第一节 平板网架的制作	188
第二节 平板网架的安装	195
第十二章 平板网架的计算图表	207
第一节 两向正交正放网格	207
第二节 两向正交斜放网格	222
第三节 三向网格	253
第四节 斜放四角锥网格	602
第五节 正放四角锥网格	289
附录一 平板网架工程实例	308
1. 天津科学宫礼堂	308
2. 首都体育馆	310
3. 河南南阳中原机械厂冲压车间	312
4. 上海文化广场	314
5. 北京国际俱乐部网球馆	316
6. 天津二七影院	318
7. 江苏体育馆	320
8. 上海体育馆	322
9. 大同矿务局云岗矿井工人俱乐部	324
10. 大同矿务局云岗矿井职工食堂	326
11. 辽宁体育馆	328
12. 保定体育馆	330
13. 杭州歌剧院	332
14. 上海师范学院球类房	334
15. 上海航空俱乐部滑翔机库	335
16. 上海体育学院篮球房	336
17. 上海体育学院排球房	337
18. 福建体育馆	338

19. 山东体育馆.....	339
20. 石化部第四石化建设公司食堂.....	340
21. 呼和浩特铁路局俱乐部.....	341
22. 天津塘沽车站候车室.....	342
附录二 材料的性能.....	343
附录三 计算系数.....	347
附录四 管材及圆钢的截面特性.....	348
附录五 热轧普通型钢规格	360
附录六 组合截面的几何特性	374
参考文献.....	379

第一章 绪 论

第一节 空间结构的发展

古代人类早就使用天然材料建造各种形式的空间结构，如兽皮覆盖的锥形帐篷和稻草覆盖的圆穹窿等。这些都是空间结构的雏型。但空间房屋结构发展却非常缓慢，主要有以下几种原因：

首先，没有高强度的结构材料，它是阻碍空间结构特别是大跨度的空间房屋结构发展的主要原因之一。最早使用整块石材建造空间结构，石材受压性能好，受拉性能差，尽量避免使结构受拉。后来使用木材建造空间构架，它比使用石材简便而且取材容易，但木材强度低，发展受到一定限制。直到十九世纪初钢材大量生产，大跨度空间结构才开始得到广泛的发展。近年来，高强度钢材的生产给发展空间结构带来了非常有利的条件。

其次，没有计算杆件截面尺寸的有效方法。过去，甚至直到最近一、二十年前，对空间结构的内力分析只停留在很复杂的古典计算方法上；空间体系为多次超静定结构，其计算工作量相当庞大，有的非常繁琐，几乎无法计算。因此，只能采取简化的计算方法，再用较大的安全系数进行设计，以弥补简化后带来的误差。这样，不但造成材料的浪费，而对空间结构的真正工作情况不能了解，因而使空间结构的推广采用受到一定的限制。直至出现了电子计算机后，这个问题才获得解决。不管多么复杂的空间结构，都能使用电子计算机进行计算，特别是近年来编制出各种结构的通用计算程序及计算图表，给设计工作带来了很大的方便。这是空间结构得到迅速发展的主要原因。

第三，缺乏优良的杆件连接方法。空间结构属于三维结构，连接也是空间连接，许多杆件交汇在一起，如何能够达到既连接简单、工作又安全可靠，这是长期以来没有很好解决的问题，因此也限制了空间结构的发展。目前各国相继研究出许多简单、灵活而可靠的节点做法，如各种球节点、预制冲压和铸造的节点等，构件可在工厂预制，成批生产，施工质量可得到保证。这都给空间结构的发展创造了很好的条件。

总之，由于近年来高强材料、电子计算机及优良的连接方法的出现，使空间结构得以迅速发展。

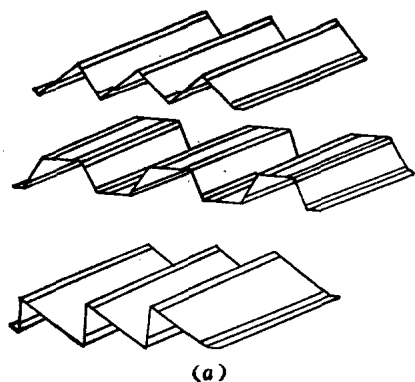
第二节 空间钢结构的分类

空间钢结构一般分三大类，即折结构、网状结构和悬索结构。

一、折结构

折结构的折面可为实体式(折板)和格构式两种。实体式折结构如图 1-1(a) 所示，它属于连续的薄壁结构体系，其横截面由彼此连接的钢板组成，形成三角形、矩形或梯形的

折波，用横肋和纵肋加强折面的刚度。为了阻止承受垂直荷载时产生的水平位移，可在折边下设支撑或在外侧设边缘构件。折结构的折面也可做成格构式如图 1-1(b)。这类折结构在我国很少采用。



(a)

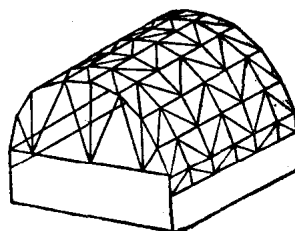
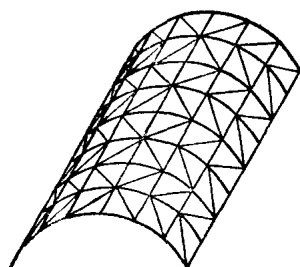
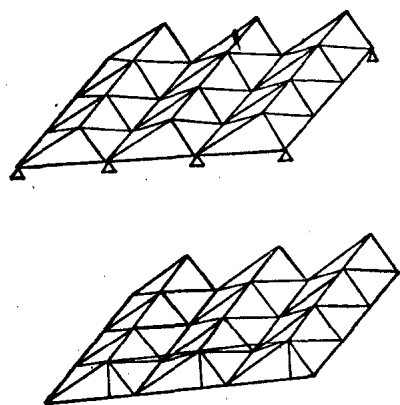


图 1-2



(b)

图 1-1

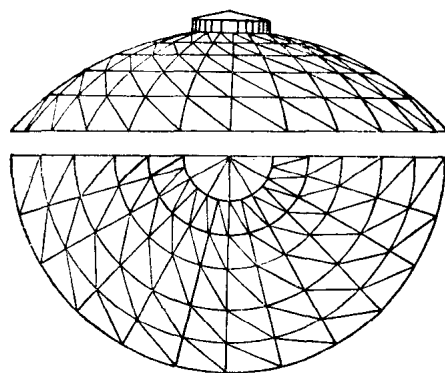


图 1-3

二、网状结构

网状结构是将杆件沿一定的曲面(圆柱形或球形)或平面作有规律的布置而组成的空间杆系结构，可分为圆柱形网状筒拱(壳)如图 1-2 所示、球形网状穹窿如图 1-3 所示和平板型网架如图 1-4 所示。前两种形式增加了屋面的面积和不必要的屋顶建筑空间，建筑形式较差，构造处理较难，虽然受力性能较好，但支承结构复杂，曲面屋顶的制造安装都较麻烦。因而，近年来采用平板网架较多，曲面网架则较少采用。平板网架通常采用的形式见图 1-4 (a)(b)(c)(d)。

三、悬索结构

悬索结构由索网和边缘支承构件组成。索网仅受拉力而无剪力和弯矩作用，所以能够充分发挥材料特别是高强钢材的作用。悬索结构的自重小，边缘构件一般受压可采用钢筋混凝土结构，这对于覆盖中间不用支柱的大跨度屋盖最为有效。

悬索结构种类和型式很多，国外建造了不少公共建筑。我国六十年代主要建造了两种

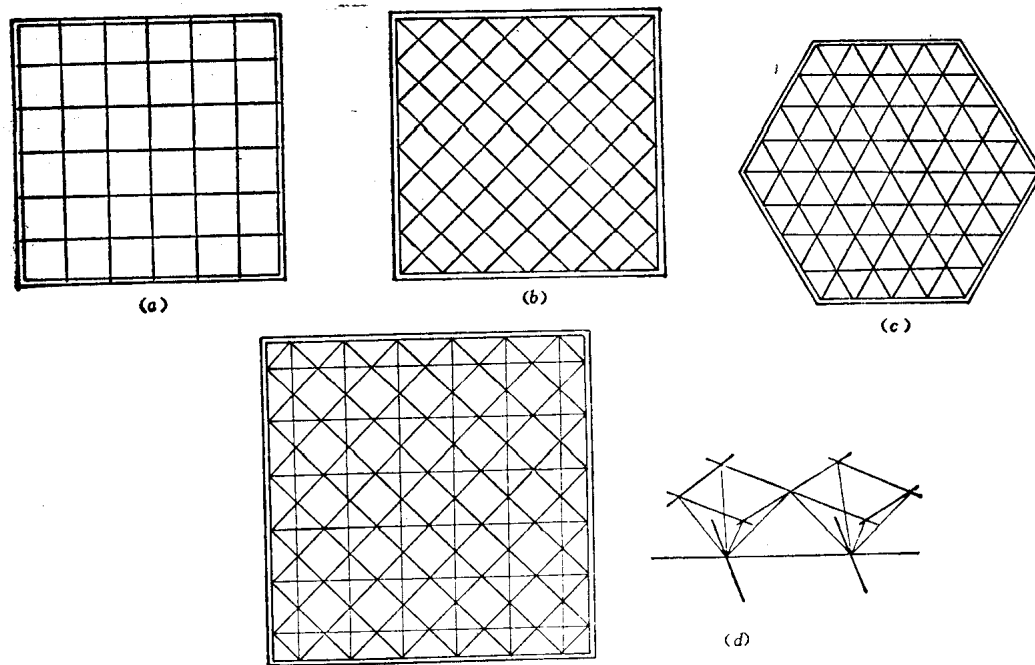


图 1-4

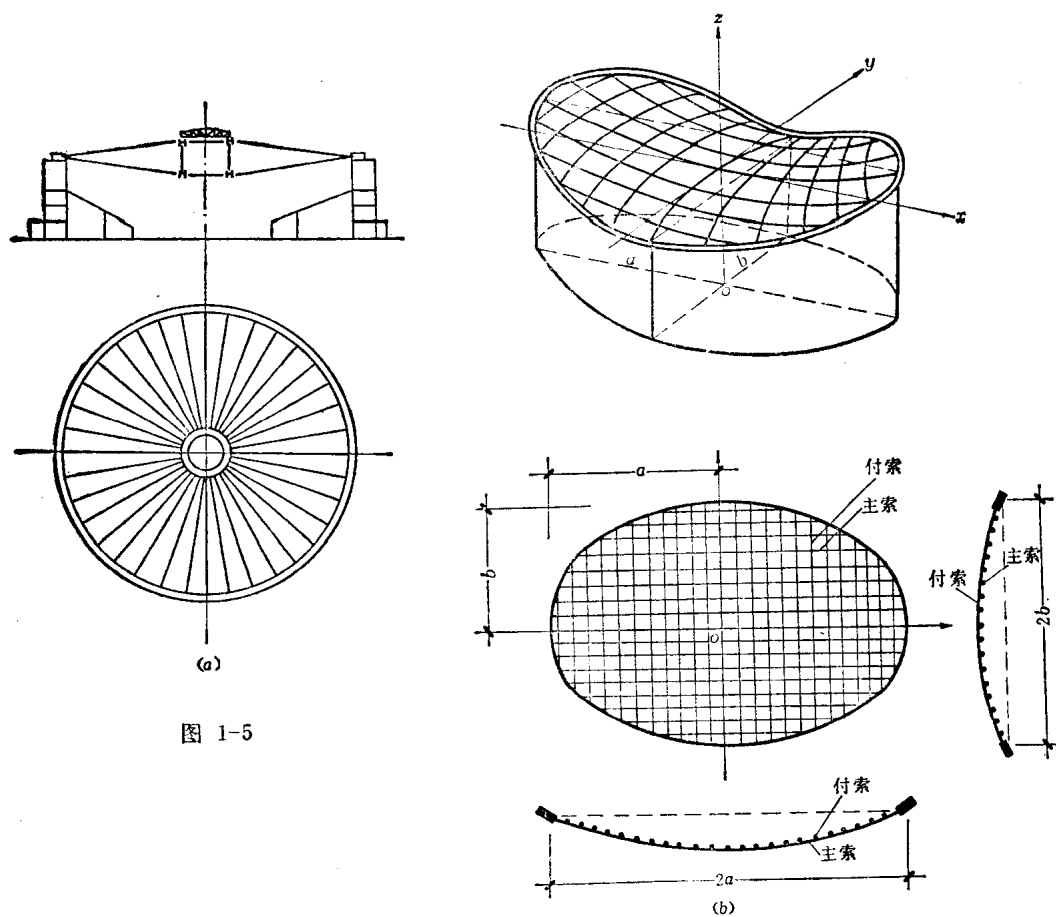


图 1-5

型式,一种是圆形双层辐射式悬索屋盖如图 1-5(a),1962 年北京工人体育馆就采用了这种型式,钢筋混凝土外环直径 94 m,钢内环直径 16 m,高 11 m,索网由稳定上索和承重下索组成,用钢量仅 350 t,耗钢量 54 kg/m^2 。另一种是椭圆底平面正交索网双曲抛物面的悬索屋盖,如图 1-5(b)所示。1965 年建成的天津大学健身房(长轴 36.6 m、短轴 24.6 m)和 1967 年建成的浙江人民体育馆(长轴 80 m、短轴 60 m)皆属此种类型。这种索网是由一组向下凹的承重索(或称主索)和另一组向上凸的人工施加预应力的稳定索(或称副索)所组成。主副索均用高强度钢丝组成的钢丝束。这种结构另一特点是边缘构件为空间曲梁,如设计得当,曲梁中弯矩可很小或没有弯矩,且施工简单。但国外所建造的多为落地拱、交叉拱、三铰拱、斜交的平面椭圆拱等,构造施工都很复杂。

第三节 平板网架的优越性

1. 平板网架系三维空间受力结构,较平面结构自重轻,节约钢材。如天津科学宫 15 m 跨度的四角锥平板网架耗钢量仅 6.26 kg/m^2 。

2. 应用范围广。平板网架不仅可用于中小跨度的工业、民用建筑如工业厂房、俱乐部、食堂、会议室等,更宜于覆盖大跨度的中间无支柱的公共建筑如体育馆、影剧院、展览馆等。首都体育馆($99 \text{ m} \times 112.2 \text{ m}$, 共 11100 m^2)耗钢量为 65 kg/m^2 ,上海体育馆(柱内直径 110 m 共 9500 m^2)耗钢量为 47 kg/m^2 ,都是我国较大跨度的建筑。这样大跨度的建筑如采用平面桁架,则耗钢量至少为 100 kg/m^2 。平板网架的跨度可达到 150 m 以上。

3. 建筑高度小,能更有效地利用建筑空间,获得良好的经济效果。

4. 整体刚度大,稳定性好,安全储备高,对于承受集中荷载、非对称荷载、局部超载、不同步提升、地基沉陷等均为有利,特别是抗震效果更为突出。

5. 网格尺寸(节点距离)小,可采用小规格的杆件截面,并为采用轻型屋面提供了方便条件。

6. 便于制造定型化,网格可做成少数几种标准尺寸的预制单元、预制节点和零件,能在工厂大量生产,产品质量高、非熟练工人也可进行现场拼装。预制单元、节点零件尺寸小,重量轻,便于存放、装卸、运输和安装,现场安装有时可不要大型起重设备。

7. 网架节点多,布置均匀,对设置各种管道、吊顶、检修通道等较为灵活而不必多设杆件。

8. 对于大跨度大柱距的工业厂房,在屋盖纵横两个方向都便于设置悬挂吊车。

9. 平板网架组合单元若采用螺栓连接,网架就可装可拆,也可任意加长或缩短,使用灵活性更大。

10. 计算简便,近似法有现成表格可查,精确法也有现成的空间网架的通用程序,利用电子计算机计算速度快,并可进行多种方案的比较。

11. 建筑造型美观、轻巧、大方、便于建筑处理。

由于平板网架具备这些优点,近年来,我国在各种建筑中已大量采用,获得良好的效果,到 1976 年底全国已经建成和正在设计施工的达 70 多个工程,其中已建成的近 40 余个。

当然,平板网架也有它的缺点,在未能实现杆件、节点定型化和工厂化以前,对于每

一个工程来讲,都是第一次设计、制造和安装;因此工程造价较高,如采用钢管杆件,订货又较其他型钢困难。随着我国社会主义建设的发展,这些问题定会得到妥善的解决。

第四节 国内平板网架的使用情况

到目前为止,我国已建成的平板网架中,大部分是体育建筑(体育馆、练习馆、球类房),其次是俱乐部、礼堂、会议室、食堂、影剧院、演播室、候车室等,工业厂房较少。

从结构型式看,在跨度较大时,多采用三向平板网架,如我国三座较大体育馆和一座文化广场。在中等或小跨度中多采用斜放四角锥和两向正交斜放的平板网架。少数工程采用了两向正交正放和正放四角锥的平板网架。三角锥的平板网架,只有一座,即塘沽车站候车室。

从杆件和节点型式看,大多数采用钢管、空心球节点。其次是角钢、钢板焊接节点。少数几个工程采用了钢管、钢板焊接节点和角钢、高强螺栓的连接。目前有的工程正在采用螺纹球节点。

从材料上看,大都采用 16 锰钢和 3 号钢的。塑料网架正在个别工程中试用。

从网架支撑情况看,大多数是周边支承在柱子上,其次是支承在承重墙上的圈梁上。少数采用了四点支承和多点支承等。

网架型式、杆件类型、节点构造、材料种类及支承方式的选择,都要根据具体情况作具体分析,如取材情况、安装方法、屋面材料等因素均有影响。但从我国近十年的实践情况看,采用钢管、空心球节点是较好的一种方案。另外在大跨度建筑中采用三向网架比较合适。中等跨度采用斜放四角锥和两向正交斜放网架都可得到良好的效果。

1965 年,上海师大球类房中采用了角钢平板网架。1966 年,天津市科学宫则采用了斜放四角锥、钢管、空心球节点的平板网架,对推广使用钢管球节点的网架起了一定的作用。北京首都体育馆则是最早(1967 年)在大跨度中采用平板网架的,它是用角钢杆件高强度螺栓连接,也是国际上少有的大跨度工程之一,而且耗钢量也较其他国家类似的工程为少。山西省自从大同建造了平板网架后,几年来全省已建成 10 余座工程。下面简要地介绍我国几个代表性的平板网架工程。

1. 首都体育馆平板网架屋盖(图 1-6)

首都体育馆为我国最大的综合性体育馆,也是我国第一座室内溜冰场,1966 年 3 月开始设计,1967 年 9 月全部建成。屋盖跨度 99 m,长 112.2 m,共 11100 m²,可容纳 20000 观众。由于使用及造型的要求,如平面要求矩形,立面要求平顶,并要有足够的抗震性能等,经过大量的国内外资料的调查研究和方案比较,最后确定采用两向正交斜放的平板网架,

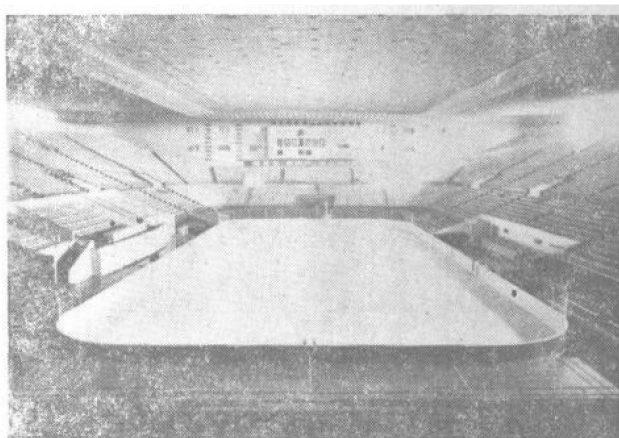


图 1-6

它比普通平面结构不但刚度好,对抗震有利,而且可节约钢材30%。为了便于排水,中央起拱2.1 m(坡度为4.2%),形成四坡顶屋面。网架的平面尺寸:跨度 $15 \times 6.60 = 99.00\text{ m}$,长度 $17 \times 6.60 = 112.2\text{ m}$,网格为6.60 m,上下弦杆长4.669 m,网架厚度6 m。网架由两向正交斜放的交叉平行弦桁架组成,桁架又由单联,双联及三联(长度各为4.669 m、9.398 m、14.007 m)三种小单元桁架拼接而成。四周设有空间桁架的边梁,置于64根柱头上。网架杆件截面原为钢管,后改用角钢、高强度螺栓连接。实际耗钢量为 65 kg/m^2 ,较用钢管耗钢量有所增加,但比奥地利英斯布鲁克溜冰馆(跨度91 m,用钢量 95 kg/m^2)及美国加利福尼亚体育馆(跨度91 m,用钢量 73.23 kg/m^2)仍分别节约46%及12%。屋面做法为薄壁槽钢檩条、木椽、保温层、木望板、防水层及铝板面层。屋面计算荷载包括活荷载 70 kg/m^2 在内共为 220 kg/m^2 。

网架分析是用有限差分法解算的,并做了1/50的模型试验。理论值与试验值符合较好。主要承重杆件采用16锰钢,再分杆件用3号沸腾钢。焊条用低氢碱性焊条(T5051, T5052),高强度螺栓直径 $\phi 22$ 用45号钢制成,经处理后极限强度 $\geq 10000\text{ kg/cm}^2$ 。上弦角钢最大者为 $\angle 125 \times 10$,腹杆 $\angle 100 \times 8$ 、 $\angle 75 \times 8$,再分杆 $\angle 50 \times 6$ 。薄壁槽钢檩条为 $\square 160 \times 60 \times 4$ 及 $\square 160 \times 40 \times 2$ 两种,高强度螺栓连接为一种新技术,为此做了一系列试验研究,螺栓的安全度1.97,节点总安全度2.1。

网架的安装采取在脚手架上逐榀拼装小单元桁架的方法,其具体做法详见第十一章。

2. 上海文化广场三向平板网架(图1-7)

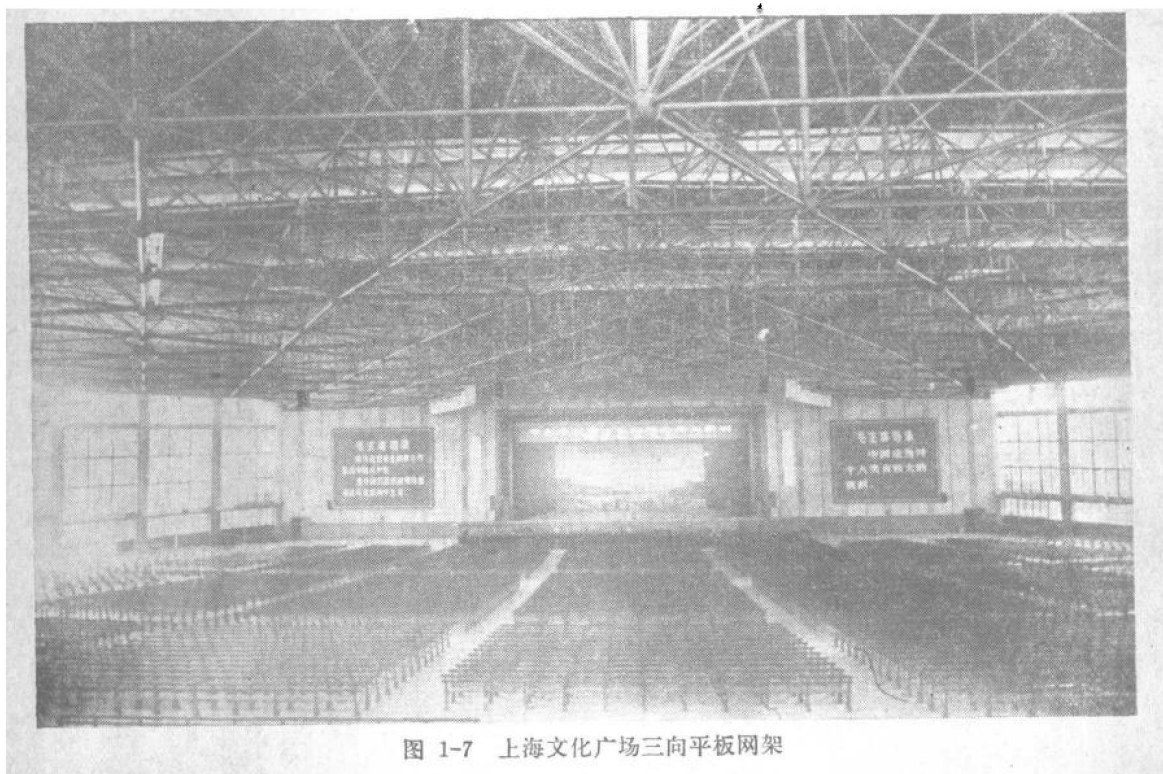


图 1-7 上海文化广场三向平板网架

上海文化广场是复建工程。1969年12月开始设计,1970年7月初开工,9月28日全部建成。

开始曾提出过折板结构、圆筒形网壳结构以及网架结构等多种方案,经比较最后采用三向平板网架钢管、球节点的结构。耗钢量 45 kg/m^2 ,网架结构平面为扇形(梯形),采用了边长为 6.28 m 的正三角形网格,上底 138.6 m ,22 个节间,下底 62.8 m ,10 个节间,宽 76.14 m ,覆盖面积 7800 m^2 ,可容纳 $12000 \sim 15000$ 观众。东西两侧及南面靠近舞台处,网架支承在柱上,北边后看台部分在邻近建筑的钢筋混凝土柱上设置卧梁作为支承。网架靠近舞台口处与原舞台建筑脱开,在网架上设置 3.6 m 的悬臂桁架与舞台交界,舞台口处设 25.12 m 的台口桁架(跨度为四个网架节间)。

网架厚度为 5 m ,边缘桁架高度除近舞台处选用 5 m 外,其他均为 2.5 m 。上弦杆利用屋面板作为侧向支撑,斜腹杆按受拉布置,竖杆均为压杆。为了支承屋面板另设再分杆件。网架四周边缘结构按构造布置,除可支承边缘屋面板外,对基础沉降也能起到一些调节作用。屋面排水坡度定为 4% ,网架高度不变,上下弦都做成倾斜的,竖杆垂直地面。网架与柱子采用铰接,由于柱子比较柔细(柱断面 $40 \times 80 \text{ cm}$,高 13.9 m)和地基允许有微小转动,故网架温度应力忽略不计。

网架杆件选用 16 锰钢管,节点用 16 锰钢空心钢球。焊条用国标 T 506 型焊条。屋面采用边长 3.14 m 、肋高 14 cm 、板厚为 1.5 cm 的正三角形钢丝网水泥板(80 kg/m^2)。屋面标准荷载为 230 kg/m^2 ,其中包括活荷载 50 kg/m^2 。

网架按差分法计算,忽略了起拱、温度变化及桁架的抗扭刚度等的影响。边界条件一般设为简支,对舞台处悬臂荷载及台口桁架均另行考虑。为了检验计算理论,做了 $1/20$ 的模型试验及球节点的试验,从而导出计算球节点承载能力的近似经验公式(详见第七章及第九章)。

网架转角处的支座产生拉力,专门设计了能承受拉力的支座,一般压力支座则通过弧形钢板传递。

网架施工采用五根把杆进行整体吊装空间移位,详见第十一章。

3. 国际俱乐部网球馆平板网架(图 1-8)

国际俱乐部网球馆,建于 1972 年 6 月,平面尺寸为 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$,屋盖采用了两向正交斜放钢管球节点的平板网架。 8×8 网格,网格尺寸为 5 m ,厚度为 2.5 m 。屋面采用檩条上铺设保温承重加气板,自重 80 kg/m^2 ,屋面荷载共 210 kg/m^2 (包括活荷载 50 kg/m^2),另考虑地震影响,静荷载增加近 20% ,取 250 kg/m^2 。钢管及球节点材料为 16 锰钢,耗钢量 25 kg/m^2 。屋面为四坡排水,坡度 3% ,网架中点上下弦同时起拱 70 cm 。

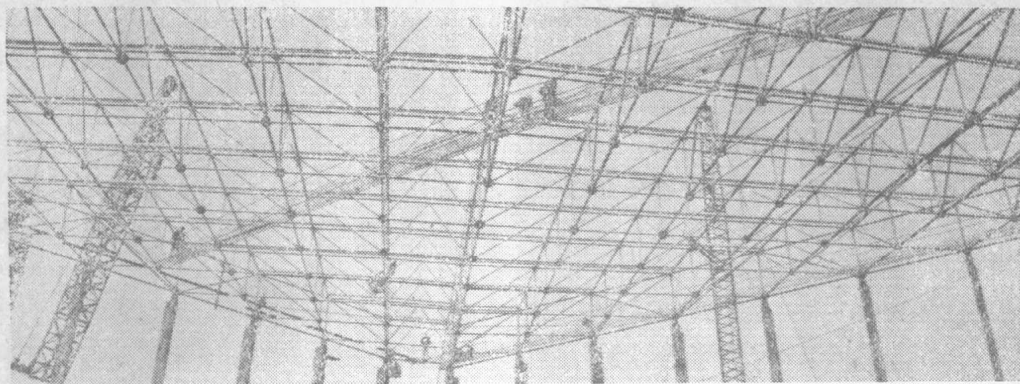
网架分析,采用差分法解算,根据节点集中荷载分配值计算网架杆件内力。计算中网架刚度的降低系数采用了 0.8 ,这主要考虑了屋盖不均匀性,制作时的不利因素,如焊接残余变形,拼装产生偏心等。网架四角布置两个柱子,以分担角支座处产生的较大拉力。

对空心球节点进行了试验研究并总结出计算球体承载能力的经验公式,详见第七章。

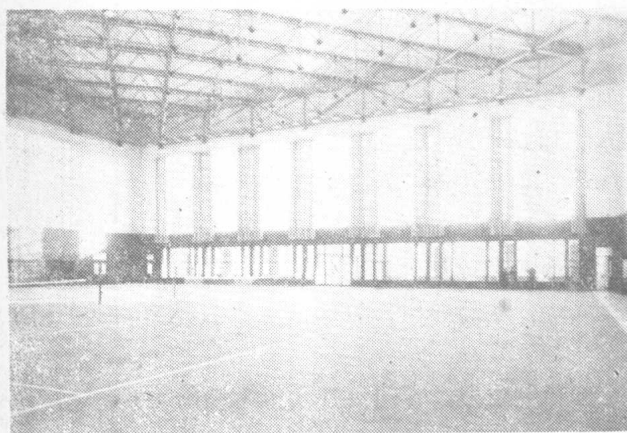
网架由 14 榀工厂焊成的主体桁架在现场拼成整体,用四台履带吊车抬吊,详见第十一章。

4. 天津科学宫礼堂(图 1-9)

天津科学宫礼堂平板网架平面尺寸 $14.84 \text{ m} \times 23.32 \text{ m}$ 。面积 346 m^2 ,网架高度 1 m ,约为跨度的 $1/15$,网格为 7×11 ,网格边长 1.50 m (也即上弦长度),对角线长 2.12 m (也即下弦长度),周边简支于钢筋混凝土圈梁上。材料为三号钢,杆件为高频电焊薄壁钢管,



(a)



(b)

图 1-8

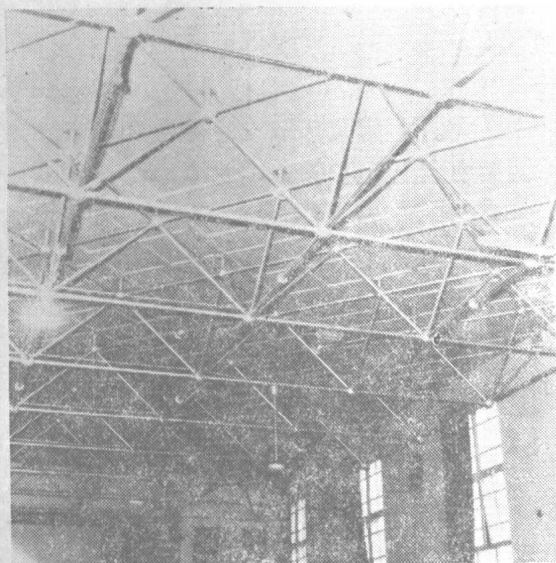


图 1-9



图 1-10



图 1-11 上海体育馆外景

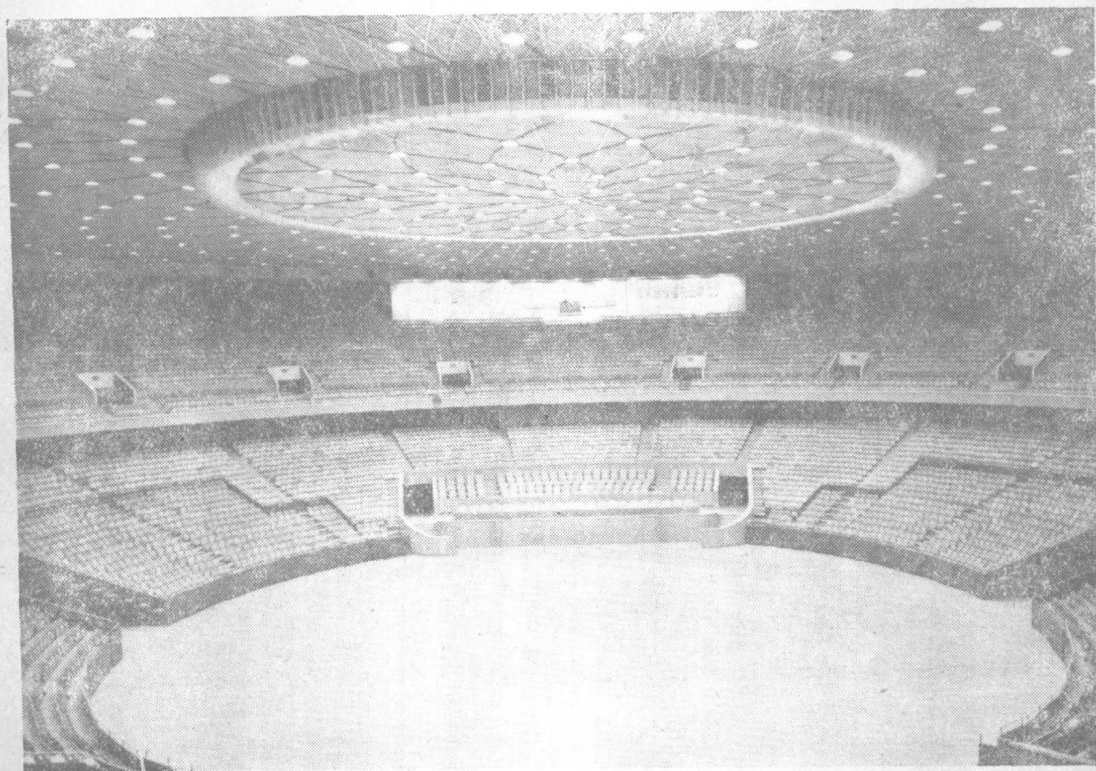


图 1-12 上海体育馆比赛大厅



图 1-13 江苏体育馆外貌

耗钢量 6.26 kg/m^2 。网架本身未起拱，在上弦节点上立钢管找坡(1%)，屋面采用五层做法，木龙骨夹心板(上层木望板，下层胶合板，中夹水玻璃蛭石)，计算荷载 100 kg/m^2 。上弦最大内力 3.18 t ，下弦最大内力 4.56 t ，最大挠度 5 cm ，约为跨度的 $1/300$ 。杆件截面上下弦中部为 $\phi 51 \times 1.5$ ，边区为 $\phi 40 \times 1.5$ ，腹杆皆为 $\phi 40 \times 1.5$ 。球节点外直径 160 mm ，壁厚 3 mm 。计算采用假想弯矩法(详见第四章)，用电子计算机求解。这种网架因首次采用，为验算计算理论、球节点的工作

性能和可靠性以及探讨网架的安全度，进行了 $6.36 \text{ m} \times 10.6 \text{ m}$ 的 3×5 个网格约为实物 $1/5$ 的模型试验。试验方案和结果详见第九章和附录一。网架制作和安装详见第十一章。该工程网架很轻是一特点，耗钢量几乎等于同等跨度钢筋混凝土结构中的钢筋重量，从图 1-10 可以看出中小跨度的网架人力就可抬起。

此外我国尚建有许多网架工程(图 1-11 至图 1-18)，在此不一一叙述，可详见附录一网架实例。



图 1-14 江苏体育馆比赛大厅