

钢结构工程系列丛书

网架结构工程 设计与施工

赵 峰 主 编

中国建筑工业出版社

第 100 号 目录页

钢结构工程系列丛书

网架结构工程设计与施工

赵 峰 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

网架结构工程设计与施工/赵峥主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 1

(钢结构工程系列丛书)

ISBN 978-7-112-18642-6

I. ①网… II. ①赵… III. ①网架结构-结构设计
②网架结构-工程施工 IV. ①TU356

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 262229 号

责任编辑: 赵晓菲 张 磊 王 治

责任设计: 李志立

责任校对: 赵 颖 张 颖

钢结构工程系列丛书

网架结构工程设计与施工

赵 峥 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 6 $\frac{3}{4}$ 字数: 164 千字

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月第一次印刷

定价: 20.00 元

ISBN 978-7-112-18642-6

(27914)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书主要依据《钢结构设计规范》、《空间网格结构技术规程》和《钢结构工程施工质量验收规范》等现行国家规范、规程和标准,以网架结构工程设计与施工的阶段产品为载体,介绍网架结构工程设计、加工和施工安装的常用工法,按照对网架结构工程实施的认知过程进行编写,构建了适应“工学结合、教学合一”的课程内容体系。

本书较全面系统地介绍了网架结构的基本结构形式及其施工方法,使读者能很好地掌握网架结构加工制作、施工安装和质量控制技能。主要内容包括:绪论、网架基本知识、网架结构设计、网架的加工与制作、网架的拼装与吊装、工程案例六个学习单元。每个学习单元的知识内容都能够贴近项目、贴近生产、贴近技术、贴近工艺,对于学生和现场技术人员网架结构工程加工和施工安装技能的培养和职业素养的养成具有重要作用。

本书内容覆盖面广且有一定深度,涵盖了常用网架结构体系的加工制作和施工安装内容,并且对设计、构造、工法和经济等诸方面进行了分析,能较大程度开拓读者的视野。

本书满足土建大类专业教学大纲的要求,可以作为大、中专教育土木类专业的教材,也可以作为有关工程技术人员的培训教材和自学参考用书。

本书由赵峥担任主编。参加编写的有江苏建筑职业技术学院赵峥(第1、2、5章),江苏建筑职业技术学院曾范永(第3、4、6章),江苏建筑职业技术学院戚豹统稿和审核。

本书编写过程中,广泛参阅了有关网架结构方面的专著、教材、学术论文和企业标准,从中得到许多启迪和帮助,在此致谢!

由于编者水平所限,书中难免有错误或不当之处,敬请同行和读者批评指正。

《网架结构工程设计与施工》编写组

2015年5月

目 录

第1章 绪 论

1.1 高层重型钢结构	1
1.2 大跨度、空间钢结构（包括膜结构）	1
1.3 轻钢结构	2
1.4 钢-混凝土组合结构	2
1.5 钢结构住宅	3
1.6 网架结构体系	3
1.7 我国钢结构行业发展的趋势和存在的问题	4

第2章 网架基本知识

2.1 网架结构的分类	7
2.2 按支承情况分类	8
2.3 按照跨度分类	9
2.4 按网格形式分类	9
2.5 网架节点	15
2.5.1 螺栓球节点	15
2.5.2 焊接空心球节点	17
2.5.3 网架支座节点	18
2.6 杆件材料及截面型式	20

第3章 网架结构设计

3.1 网格尺寸	21
3.2 网架高度	22
3.3 屋面材料及屋面构造	22
3.4 网架的起拱和屋面排水	24
3.5 网架结构的容许挠度	24
3.6 荷载及效应组合	24
3.6.1 网架结构的荷载和作用	24
3.6.2 网架结构的荷载组合	25
3.7 网架结构的静力计算方法	27
3.7.1 网架结构的计算模型和计算方法	27
3.7.2 空间桁架位移法	28
3.8 网架结构的杆件及节点设计	28

3.8.1 网架结构的杆件和设计	28
3.8.2 网架结构的节点构造与设计	29

第4章 网架的加工与制作

4.1 网架杆件加工制作	31
4.1.1 网架杆件的构造	31
4.1.2 网架杆件制作工艺流程	32
4.1.3 杆件制作工艺	32
4.2 螺栓球节点制作	36
4.2.1 螺栓球节点的组成、材料、特点	36
4.2.2 螺栓球节点的构造原理及受力特点	36
4.3 螺栓球加工工艺	41
4.4 焊接空心球制作	47
4.4.1 焊接空心球节点材料	48
4.4.2 焊接空心球节点特点	48
4.4.3 焊接空心球节点构造	48
4.4.4 焊接空心球节点的直径	48
4.4.5 焊接空心球与杆件的连接	49
4.4.6 焊接空心球的加工	49
4.4.7 焊接钢板节点的制作	51
4.4.8 焊接空心球节点的制作	52
4.4.9 相关要求	52

第5章 网架的拼装及吊装

5.1 网架拼装	55
5.1.1 网架拼装准备	55
5.1.2 钢网架中小拼装单元	56
5.2 网架结构吊装	57
5.2.1 网架的拼装工艺流程	57
5.2.2 网架的拼装方向	57
5.2.3 网架吊装方法	57
5.3 网架片吊装	62
5.3.1 网架片绑扎	62
5.3.2 架片吊装	63
5.3.3 钢网架安装	63

第6章 工程案例

6.1 编制依据	79
6.2 工程概况	79
6.3 安装部署	79
6.3.1 总体部署	79
6.3.2 安装顺序	80

6.3.3 网架安装流程示意图	80
6.4 安装准备	82
6.4.1 场地准备	82
6.4.2 技术准备	83
6.4.3 构件准备	83
6.4.4 机械设备准备	83
6.4.5 劳动力配备与安全教育	83
6.5 主要施工方案	84
6.5.1 单跨网架整体吊装	84
6.5.2 高空散装	85
6.5.3 网架安装过程中的常见问题及处理措施	86
6.6 质量检查标准	86
6.6.1 网架安装质量检查标准	86
6.6.2 桁架安装质量检查标准	87
6.6.3 檩条安装质量检查标准	87
6.6.4 现场安全生产技术措施	87
6.7 安全防范措施	88
6.7.1 防止起重机倾翻措施	88
6.7.2 防止高空坠落措施	88
6.7.3 防止高空落物伤人措施	89
6.7.4 防止触电、气瓶爆炸措施	89
6.7.5 其他安全措施	89

附录一 分区图

附录二 25t 汽车起重机起重性能表（主臂）

附录三 钢丝绳力学性能表

附录四 泰山西站网架⑨~⑧轴/A~F轴网架整体吊装方案验算书

第1章 绪论

◆ 引言

本章主要讲述钢结构发展现状,包括大跨度、空间钢结构、轻钢结构、钢-混凝土组合结构、钢结构住宅、网架结构体系以及我国钢结构的发展趋势和存在的问题等内容。

◆ 学习目标:通过本章学习,您将能够:

- 熟悉大跨度、空间钢结构;
- 明确我国目前钢结构的发展现状;
- 理解大跨度、空间钢结构、轻钢结构、钢-混凝土组合结构、钢结构住宅、网架结构的含义。

本章学习旨在培养学生对从事钢结构行业工作的基本了解,通过课程讲解使学生掌握目前我国钢结构的发展特点及现状,为以后从事钢结构行业打下良好的基础。

1.1 高层重型钢结构

高层钢结构建筑是一个国家经济实力和科技水平的反映,又往往当作一个城市标志性建筑。20世纪80年代至今我国已建成和在建高层钢结构达80多幢,总面积约 6007m^2 ,钢材用量60多万t,包括正在规划和建设的已有100幢高层钢结构。

最近北京、上海在建和新建高层钢结构就超过10幢,如:上海环球金融中心(101层,高492m,用钢量65万t);中关村金融中心(建筑面积11万 m^2 ,高度为150m,用钢量15万t);北京电视塔(建筑面积183万 m^2 ,高度为41层,386.5m,用钢量38万t);国贸中心三期(建筑面积54万 m^2 、高度为330m);LG大厦(建筑面积25万 m^2 ,高度为110m,用钢量10万t);银泰中心(建筑面积35万 m^2 ,高度为249m,用钢量20万t)、中央电视台新址主楼(建筑面积50万 m^2 ,高度为234m,用钢量128万t);广州西塔(高度为432m,用钢量48万t)等。估计全国每年约有200万~300万 m^2 新建高层钢结构建筑施工,用钢量约45万t。

1.2 大跨度、空间钢结构(包括膜结构)

— 近年来,以网架和网壳为代表的空间结构发展迅速,不仅用于民用建筑,还用于工业厂房(开发区工业厂房、烟草行业厂房等)、机库、候机楼、体育馆、展览中心、大剧院、博物馆等。无论在使用范围、结构形式、安装施工方法等均具有中国建筑结构的特色,如

杭州、成都、西安、长春、上海、北京、南京、广州、深圳、南宁、哈尔滨、大连、长沙、重庆、武汉、济南、郑州等一批飞机航站楼、机库、会展中心、体育场馆、大剧院、音乐厅,采用圆钢管、矩形钢管制作空间桁架、拱架及斜拉网架结构,加上波浪形屋面成为各地新颖和富有现代特色的标志性建筑物。

2008年北京奥运会场馆的新建和改造、2010年上海世博会场的建设、2010年广州亚运会和2011年深圳世界大学生运动会等大型项目建设等,都使我国钢结构用量大大增加。

最近悬索和膜的张拉结构研究和工程应用取得新的进展,预应力空间结构得到新的应用,如杭州雷峰塔、海南千年塔、广州新电视塔(高度610m、用钢量40万t)和昆明世博园艺术广场膜结构等一大批新型钢结构建筑和构筑物不断涌现。

据中国钢结构协会空间结构分会统计:网架和网壳近三年生产已处于趋平稳状态,每年1500座,约250万 m^2 ,用钢约7万t;空间桁架2001年建造20座,约60万 m^2 ;悬索结构1991年至今建造7座,约15218 m^2 ;膜结构2001年建造40座,约117万 m^2 。悬索和膜结构目前处于发展阶段,用量还不小,专家预计每年将以20%的速度递增。

《膜结构设计规程》(CECS 158—2004)已经出版。国内已有多家膜结构工程公司,承担很多体育场馆、机场、公园和街道景观的设计和施工,但目前中高档膜材仍需进口(如PTFE、ETFE)。空间结构的学术交流、网站、期刊等出现一片兴旺景象。

1.3 轻钢结构

我国轻钢结构建筑发展较快,主要用于轻型的工业厂房,棉花和粮食仓库,码头和保税区仓库,农产品、建材、家具等各类交易市场,体育场馆、展览厅及活动房屋、加层建筑等。

轻钢结构是相对于重钢结构而言,其类型有门式刚架、拱形波纹钢屋盖结构等,用钢量一般在30 kg/m^2 左右(不含钢筋用量),在我国发展很快、应用广泛。全国每年新建轻钢房屋800万 m^2 ,用钢约20万t。

门式刚架房屋:跨度一般不超过40m,个别达到70多m,单跨或多跨均用,单层为主,也可用于二或三层建筑。厂房单体面积可超过10万 m^2 。

拱形波纹钢屋盖结构:跨度一般为8m,自重仅为20 kg/m^2 左右。每年增长约100万 m^2 ,用钢约4万t。

门式刚架和拱形波纹钢屋盖都有相应的设计施工规程、专用软件和通用图集。

1.4 钢-混凝土组合结构

众所周知,钢-混凝土组合结构是充分发挥钢材和混凝土两种材料各自优点的合理组合。不但具有优异的静、动力工作性能,而且能大量节约钢材、降低工程造价和加快施工进度,是可以广泛推广的结构。对环境污染也较小,是符合我国建筑结构发展方向的一种比较新颖的结构。

自20世纪80年代以来,钢-混凝土组合结构在我国的发展十分迅速,已广泛应用于冶金、造船、电力、交通等部门的建筑中。并以迅猛的势头进入了桥梁工程和高层与超高

层建筑中。

20 世纪 90 年代我国已建成了世界跨度最大的采用组合结构的公路拱桥,如广州丫髻沙大桥,桥长 360m;重庆万州长江大桥,跨度 420m,前者为钢管混凝土拱桥,后者为劲性钢管混凝土骨架拱桥。全国已建成的组合结构拱桥已超过 300 座之多。在高层建筑方面,建成了全部采用组合结构的超高层建筑——深圳赛格广场大厦,高 291.6m,属世界最高的钢-混凝土组合结构。全国已建成的采用组合结构的高层建筑也已超过 40 幢之多。钢-混凝土组合结构已有几本专门设计施工规程可参照。

1.5 钢结构住宅

发挥钢结构住宅的自身优势,可提高住宅的综合经济效益:①用钢结构建造的住宅质量是钢筋混凝土住宅的 1/2 左右,可满足住宅大开间的需要,使用面积比钢筋混凝土住宅提高 4%左右;②抗震性能好,其延性比钢筋混凝土好,从国内外震后调查结果看,钢结构住宅建筑是倒塌数量最少的;③钢结构构件、墙板及有关部品在工厂制作,减少现场工作量,缩短施工工期,钢结构住宅工地实质上是工厂产品的组装和集成的场所,再补充少量无法在工厂进行的工序项目,符合产业化的要求;④钢结构工厂制作质量可靠,尺寸精确,安装方便,易与相关部品配合;⑤钢材可以回收,建造和拆除时对环境污染较小,符合推进住宅产业化发展节能省地型住宅的国家政策。

研究开发、设计制造、施工安装钢结构住宅建筑体系是近几年才发展起来的。中华人民共和国住房和城乡建设部已组织 46 项钢结构住宅建筑体系及关键技术研究课题,开展试点工程,并组织编制《钢结构住宅设计规程》和《低层轻钢装配式住宅技术要点》等,这些条件都极大地促进了我国钢结构住宅建筑产业的健康、快速发展。在北京、天津、山东、安徽、上海、广东、浙江等地建了低层、多层和高层钢结构住宅示范工程,目前已建成 500 多万 m^2 ,体现了钢结构住宅发展的良好势头。

1.6 网架结构体系

大跨空间结构体系主要是指大跨度建筑屋盖的网架结构、薄壳结构、网壳结构等空间结构,这类空间结构不仅传力合理、技术先进,而且能满足建筑多样化、多功能的要求,因而常在大型公共建筑中采用。网架结构属于大跨空间结构体系中的铰接杆系结构,其结构整体性能好,空间刚度大,受力合理、均匀,材料省,杆件单一,且各杆件材料能充分发挥作用,制作安装方便。网架结构杆件布置灵活,适用于各种形状的建筑及大跨度、大柱距的屋盖结构。另外,网架结构的抗震性能好,施工周期短,加上其杆件布置有一定的规律性,结构轻巧,造型美观,具有一定的装饰效果,是目前我国各类大中跨度建筑中用得最为广泛的一类空间结构。

(1) 按网架本身的构造可分为:单层网架、双层网架、三层网架结构。其中,单层网架和三层网架分别适用于跨度很小(不大于 30m)和跨度特别大(大于 100m)的情况,在国内的工程应用较少。

(2) 按建造材料分为:钢网架、铝网架、木网架、塑料网架、钢筋混凝土网架和组合

网架(如钢网架与钢筋混凝土板共同作用的组合网架等),其中钢网架在我国应用广泛。

(3) 按支承情况可分为:周边支承、四点支承、多点支承、三边支承、对边支承以及混合支承等。

(4) 按组成方式不同,又可将网架分为四大类:

- 1) 交叉桁架体系网架;
- 2) 三角锥体系网架;
- 3) 四角锥体系网架;
- 4) 六角锥体系网架。

其中第四种分类方法是目前国内较为流行的一种分类方法。

1.7 我国钢结构行业发展的趋势和存在的问题

(1) 在今后一段时间内,下列几个领域钢结构的用量可能会增加

1) 火力电厂的建设还会加快,轻钢厂房和锅炉钢架用钢量会增加(包括核电厂厂房用钢、风力发电用钢等)。

2) 近几年来公路、铁路、桥梁采用钢结构已成为一种趋势,如京沪高铁,跨海、跨江大桥,高速公路中的护栏、收费站、交通标志等。

3) 市政工程中采用钢结构的量会增加,地铁和轻轨工程、城市立交桥、高架桥、环保工程、城市公共设施及临时房屋等均越来越多地采用钢结构。尤其在北京、上海、天津、重庆和各大省会城市及经济发达的中型城市,钢材消耗量会明显增加。

4) 钢结构住宅将增加。国家提倡建设节能省地住宅,有关钢结构住宅的设计规范及配套技术、材料基本具备。

5) 由于中国钢材价格比国际价格低,劳动力成本低,钢结构制作质量优良,在国际工程市场有较强竞争力。近年来国外企业在中国采购钢结构有所增加,许多钢构厂承接了不少海外订单。

(2) 存在的主要问题

1) 对钢结构产业的节能环保型、可持续性发展的行业认识还有待提高。最近几年日本、加拿大、英国政府和研究机构发表了很多文章,专门论述发展钢结构房屋的优点和措施,可供借鉴。

2) 设计理念不能适应市场需要。如目前超高层和有特殊要求的建筑大都由国外建筑师的方案中标,他们在规划、环境、建筑、功能上确有其独特之处,但连接点过于复杂,消耗过多的钢材并给制作和安装带来很多难题,也增加了工程成本。

3) 增加建筑钢结构用钢材的品种,进一步提高钢材性能。开发高性能建筑专用钢材系列产品,包括高质焊接结构钢、高强度优质厚板、热成型管材、优质可焊铸钢等。扩大冷弯型钢和热轧 H 型钢的品种和规格,包括大截面冷弯管材(方矩管)、大截面 H 型钢和剖分 T 型钢、蜂窝梁等新产品。

4) 部分地区钢结构企业盲目上马,一哄而起,导致产能过剩并浪费了大量资源。

5) 市场运行不规范,投标企业竞相压价加上钢材涨价,造成部分加工和安装企业亏损。

6) 钢结构科研开发资金不足, 标准及规范修订周期太长; 标准及应用规范、规程缺项、滞后; 钢材标准与工程设计、施工规范规程衔接不上。

7) 钢结构加工厂和施工安装企业装备、计算机管理、劳动生产率还需进一步提高。

8) 钢结构专业技术人员、技术工人缺乏, 尤其在中小企业更短缺, 产品质量不够稳定, 技术和企业管理与生产的需要不适应。

9) 行业协会作用和功能远未到位。特别在规范和引导市场秩序、服务于企业、开拓钢结构市场、标准规范的修订和专业人才的培养等方面, 有大量工作要做。

第2章 网架基本知识

◆ 引言

本章主要讲述网架结构基本知识、网架的分类、网架节点、网架杆件等；网架的加工设备、加工工艺、构件拼装等内容。

◆ 学习目标：通过本章学习，您将能够：

- 熟悉网架结构分类、力学特点；
- 明确网架结构组成；
- 理解焊接球节点及螺栓球节点的加工工艺；
- 熟悉网架结构加工设备性能等。

本章旨在通过课程讲解使学生掌握网架结构的组成、构造、节点分类、加工工艺等知识；通过动画、录像、实操训练等强化学生从事网架结构加工制作与施工安装的技能。

网架结构的定义：由多根杆件按照一定的网格形式通过节点连结而成的空间结构。具有空间受力、重量轻、刚度大、抗震性能好等优点。可用作体育馆、影剧院、展览厅、候车厅、体育场、飞机库、双向大柱距车间等建筑的屋盖。缺点是汇交于节点上的杆件数量较多，制作安装较平面结构复杂，如图 2-1 所示。

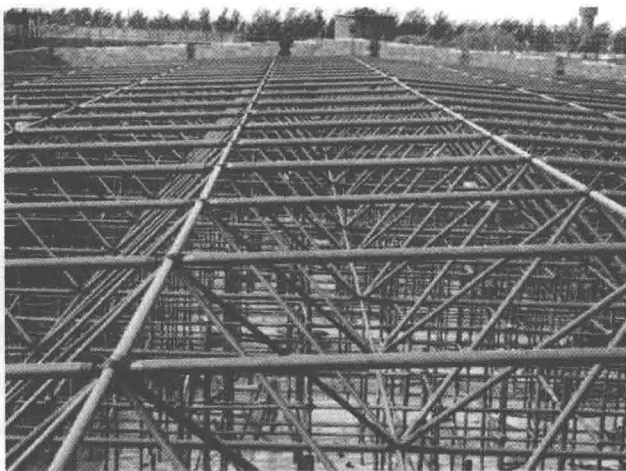


图 2-1 网架结构组成及其材料

2.1 网架结构的分类

(1) 双层网架是由上弦层、下弦层和腹杆层组成的空间结构，是最常用的一种网架结构。双层网架结构的形式很多，目前常用的平板网架有交叉桁架体系和空间桁架体系两大类。前者是由一些平行弦的平面桁架组成，杆件较多，但刚度也较大；后者是由一些锥体形成的空间桁架，杆件较少，因而刚度也较小；特别是抽去局部锥体后组成的网架杆件更少，构造特别简单，不过刚度也因此而减弱；所以这类平板网架只适用于中小跨度的建筑物（图 2-2、图 2-3）。

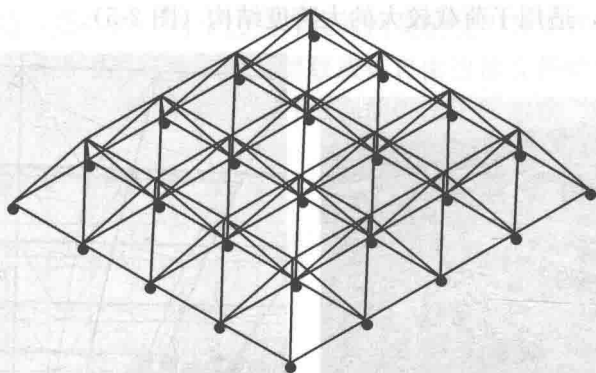


图 2-2 双层网架模型

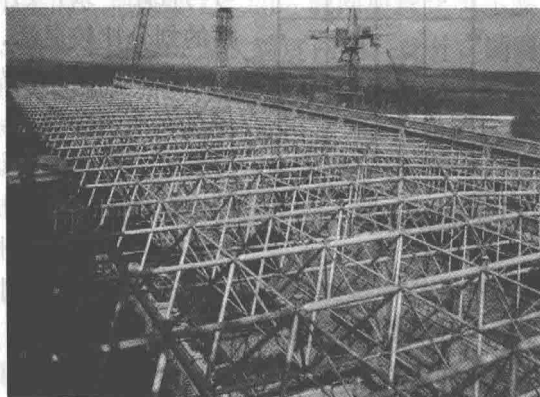
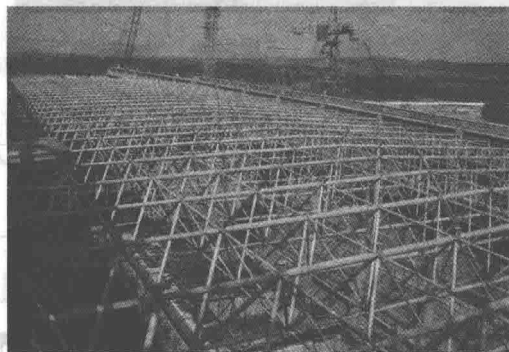


图 2-3 施工中的双层网架

(2) 三层网架是由上弦层、中弦层、下弦层、上腹杆层和下腹杆层等组成的空间结构。其特点是：提高网架高度，减小网格尺寸；减少弦杆内力，根据资料表明，三层网架比双层网架弦杆内力降低 25%~60%，扩大螺栓球节点应用范围；减少腹杆长度，一般情况下，三层网架腹杆长度仅为双层网架腹杆长度的一半，便于制作和安装。

三层网架也存在不足之处：节点和杆件数量增多，中层节点上的连接和杆件较密。计算表明：当网架跨度大于 50m 时，三层网架用钢量比双层网架用钢量省，且随跨度增加用钢量降低越显著（图 2-4）。

(3) 组合网架是根据不同材料各自的物理力学性质，使用不同的材料组成网架的基本单元，继而形成网架结构。一般是利用钢筋混凝土板良好的受压性能替代上弦杆。这种网架结构形式的刚度大，适用于荷载较大的大跨度结构（图 2-5）。

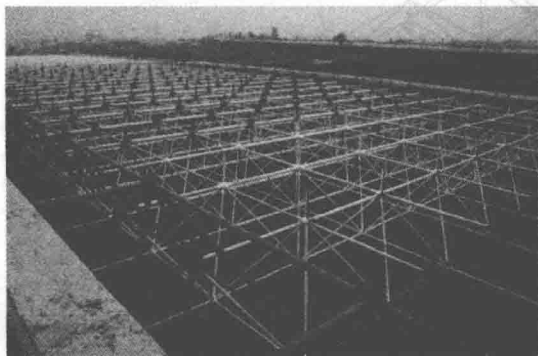


图 2-4 三层网架

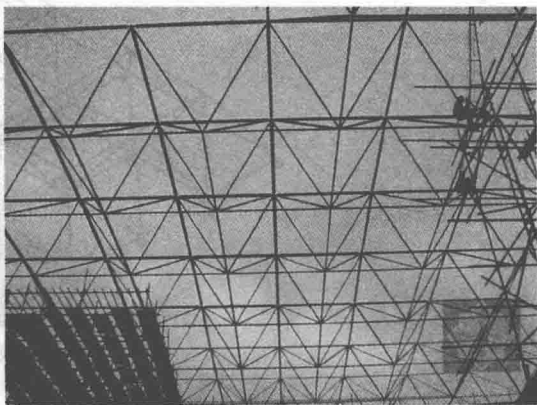


图 2-5 组合网架

2.2 按支承情况分类

(1) 周边支承网架：是目前采用较多的一种支承形式，所有边界节点都搁置在柱或梁上，传力直接，网架受力均匀（图 2-6）。

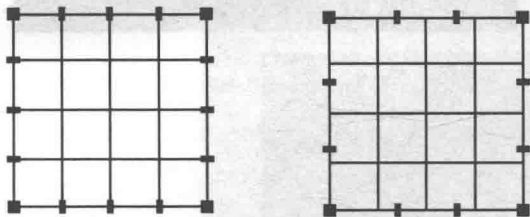


图 2-6 周边支承网架

当网架周边支承于柱顶时，网格宽度可与柱距一致；当网架支承于圈梁时，网格的划分比较灵活，可不受柱距影响。

(2) 点支承网架：一般有四点支承和多点支承两种情形，由于支承点处集中受力较大，宜在周边设置悬挑，以减小网架跨中杆件的内力和挠度（图 2-7）。

(3) 周边与点相结合支承网架：在点支承网架中，当周边没有围护结构和抗风柱时，可采用点支承与周边支承相结合的形式。这种支承方法适用于工业厂房和展览厅等公共建筑（图 2-8）。

(4) 三边支承一边开口或两边支承两边开口的网架：在矩形平面建筑中，由于考虑扩建的可能性或由于需要在一边或两对边上开口，因而使网架仅在三边或两对边上支承，另

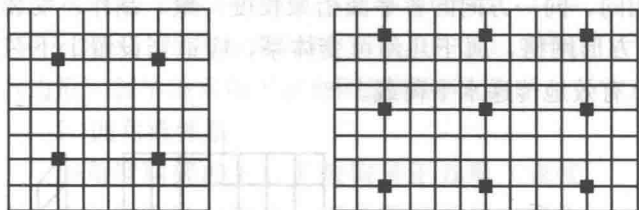


图 2-7 点支承网架

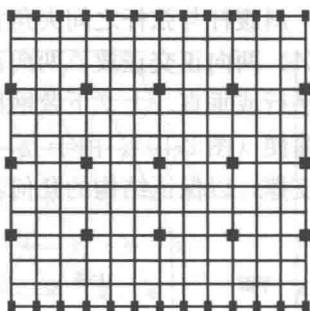


图 2-8 周边与点相结合支承网架

一边或两对边为自由边（图 2-9）。自由边的存在对网架的受力是不利的，为此应对自由边进行特殊处理，如可在自由边附近增加网架层数或在自由边加设托梁或托架，对中、小型网架，亦可采用增加网架高度或局部加大杆件截面的办法予以加强（图 2-9）。

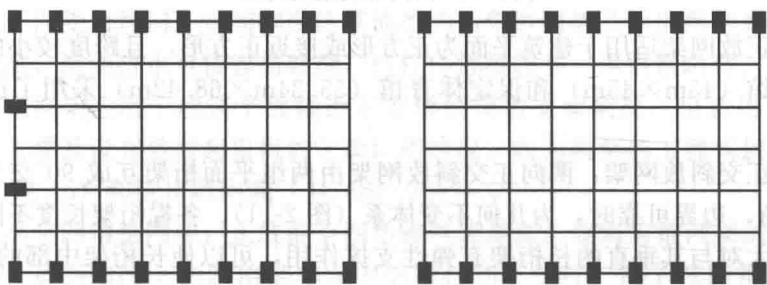


图 2-9 三边支承一边开口或两边支承两边开口网架

（5）悬挑网架：为满足一些特殊的需要，有时网架结构的支承形式为一边支承、三边自由，为使网架结构受力合理，也必须在另一方向设置悬挑，以平衡下部支承结构的受力，使之趋于合理，如体育场看台罩。

2.3 按照跨度分类

网架结构按照跨度分类时，把跨度 $L \leq 30\text{m}$ 的网架称之为小跨度网架，跨度 $30\text{m} < L \leq 60\text{m}$ 时为中跨度网架，跨度 $L > 60\text{m}$ 为大跨度网架。此外，随着网架跨度的不断增大，出现了特大跨度网架和超大跨度网架的说法，但目前还没有严格的定义。一般地，当 $L > 90\text{m}$ 或 120m 时称为特大跨度网架，当 $L > 150\text{m}$ 或 180m 时为超大跨度网架。

2.4 按网格形式分类

这是网架结构分类中最普遍采用的一种分类方式，根据《空间网格结构技术规程》(JGJ 7—2010) 的规定，目前经常采用的网架结构可分为 3 个体系 13 种网架结构形式。

1. 交叉平面桁架体系

这个体系的网架结构是由一些相互交叉的平面桁架组成，一般应使斜腹杆受拉，竖杆

受压,斜腹杆与弦杆之间夹角宜在 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间。该体系的网架有以下四种:

(1) 两向正交正放: 两向正交正放网架是由两组平面桁架互成 90° 交叉而成, 弦杆与边界平行或垂直。上、下弦网格尺寸相同, 同一方向的各平面桁架长度一致, 制作、安装较为简便 (图 2-10)。由于上、下弦为方形网格, 属于几何可变体系, 应适当设置上下弦水平支撑, 以保证结构的几何不变性, 有效地传递水平荷载。

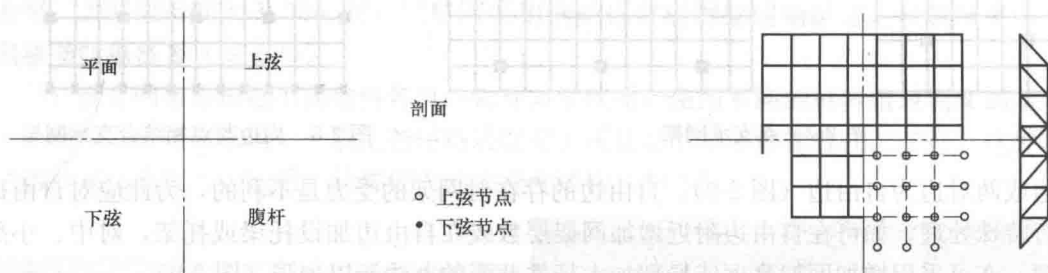


图 2-10 两向正交正放网架

两向正交正放网架适用于建筑平面为正方形或接近正方形, 且跨度较小的情况。如上海黄浦区体育馆 ($45\text{m}\times 45\text{m}$) 和保定体育馆 ($55.34\text{m}\times 68.42\text{m}$) 采用了这种网架结构形式。

(2) 两向正交斜放网架: 两向正交斜放网架由两组平面桁架互成 90° 交叉而成, 弦杆与边界成 45° 角, 边界可靠时, 为几何不变体系 (图 2-11)。各榀桁架长度不同, 靠角部的短桁架刚度较大对与其垂直的长桁架有弹性支撑作用, 可以使长桁架中部的正弯矩减小, 因而比正交正放网架经济。不过由于长桁架两端有负弯矩, 四角支座将产生较大拉力。角部拉力应由两个支座负担。两向正交斜放网架适用于建筑平面为正方形或长方形的情况, 如首都体育馆 ($99\text{m}\times 112.2\text{m}$) 和山东体育馆 ($62.7\text{m}\times 74.1\text{m}$) 采用了这种网架结构形式。

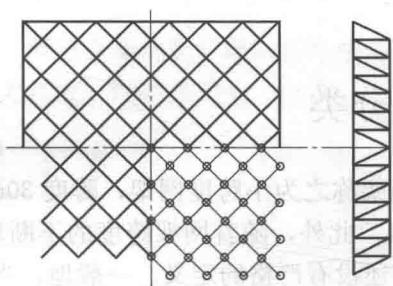


图 2-11 两向正交斜放网架

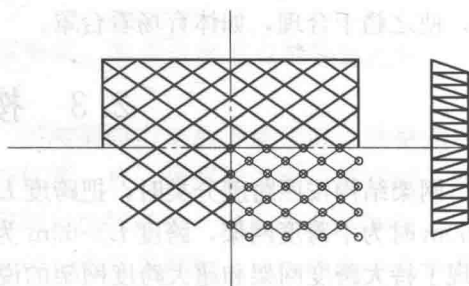


图 2-12 两向斜交斜放网架

(3) 两向斜交斜放网架: 两向斜交斜放网架由两组平面桁架斜向相交而成, 弦杆与边界成一斜角 (图 2-12)。这类网架在网格布置、构造、计算分析和制作安装上都比较复杂, 而且受力性能也比较差, 除了特殊情况外, 一般不宜使用。

(4) 三向网架: 三向网架由三组互成 60° 交角的平面桁架相交而成 (图 2-13)。这类网架受力均匀, 空间刚度大。但也存在一定的不足, 即在构造上汇交于一个节点的杆件数量多, 节点构造比较复杂, 宜采用圆钢管杆件及球节点。