

[钢结构篇]

编

细泽治

成原弘之

著

译

平面外轴力

中国建筑工业出版社

结构设计专家入门

[钢结构篇]

[日] 青木博文 编
[日] 青木博文 细泽治 成原弘之 著
福荣昇 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2011-5330 号

图书在版编目 (CIP) 数据

结构设计专家入门 [钢结构篇] / (日) 青木博文编, (日) 青木博文, 细泽治, 成原弘之著; 福荣昇译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011.12

ISBN 978-7-112-13801-2

I. ①结… II. ①青… ②细… ③成… ④福… III. ①建筑结构-结构设计 ②钢结构-结构设计 IV. ①TU318 ②TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 237371 号

構造設計のプロ入門 (鉄骨造建築編)

財団法人日本建築センター2009年発行

編・著/青木博文 著/細澤治・成原弘之

本书由财团法人日本建筑中心授权我社独家翻译出版

责任编辑: 赵梦梅 刘文昕

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 王雪竹

结构设计专家入门

[钢结构篇]

[日] 青木博文 编

[日] 青木博文 细泽治 成原弘之 著

福荣昇 译

*

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

北京红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21 字数: 535 千字

2012年3月第一版 2012年3月第一次印刷

定价: 69.00 元

ISBN 978-7-112-13801-2

(21574)

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)

原 书 前 言

结构设计者的素质及其所作设计・施工建筑物的质量有很深的关系。2005 年 11 月发现的“抗震强度伪装事件”，结构设计者的素质也成为最重要关心的问题。“伪装”问题，已不仅局限在建筑方面，包括食品等各种行业都已涉及，成为日本社会的大问题。如何使结构设计者能保持作为个人职业的荣誉和责任感，必须确保结构设计者的社会地位的向上以及其损害赔偿保证能力的培养。

结构设计是将有关各种技术的分析、综合后取最优化值的平衡设计工作，其牵涉作为结构设计者应有的感觉。因为在错综复杂的设计条件中必须具备最准确的综合判断力。

本书是为结构设计专业者、特别是对将来想成为钢结构设计领域专家的对象入门而编写的。也就是，以大学学习过结构力学、钢结构设计等基础科目的大学毕业生、硕士生而又积累一定的实际工程设计经验的工程技术人员为对象。其技术水平是能理解保有水平承载力计算及极限承载力计算，并且在实施设计中能达到施工图审查、设计合适性判断的合格水准。

本书的执笔者，有从事结构力学、钢结构设计的教学和研究经历近 40 年的大学教授，有活跃在结构设计第一线 30 年以上的结构设计部门的负责人，以及总承包建筑公司的技术研究所的钢结构专家共 3 人组成，根据其个人的擅长专业分别执笔。有关施工图设计内容方面，亦得到“大成建设建筑结构学习会”的大力协助，在此深表感谢。

编著者以退休为契机，能使本书作为 BCJ 中的一册著书出版。从本书的最初的编辑到最后的出版始终得到（财团法人）日本建筑中心的大力协助，在此表示衷心的感谢。

青木博文

2009 年 4 月

中文出版序

2011年3月11日14:46(日本时间),震中在日本宫城县雄鹿半岛海上的东北地区太平洋近海发生了日本地震观测历史上最大的震级M9.0的特大地震。其震源区域波及了从岩手县海上到茨城县海上的南北长约500km,东西长约200km的广域范围。此次特大地震后发生的海啸,根据地方的不同从10m至最高40.5m的波高的发生,给日本东北地区的太平洋沿岸部带来了毁灭性的灾害。

并且又由于地震的激烈摇晃产生地基液化现象,引起地表下沉、水库决口等,致使日本北海道、东北、关东的广大区域受害甚大,各种城市交通和基础生活设施也受到很大损害。至2011年6月30日时刻,震灾的死者、失踪者达2万人以上,建筑物的全坏、半坏合计21万户以上,避难者顶峰时达到40万人口以上,停电家庭800万户以上,断水家庭180万户以上。政府预计此次特大震害的经济损失达日元16~25兆。受地震和海啸的作用,东京电力福岛第一核电站,由于丧失了全电源变得不能冷却核反应堆,发展成为泄漏大量的放射性物质的重大原子能事故。致使周边一带的居民被强迫长期避难。其他区域的发电站也有不同程度的损失,以致关东、东北地方陷入了严重的电力不足。

以上是根据日本新闻媒体报道的东日本大震灾的概要。此次地震,是由于地震震源地壳层的断裂引起海啸的发生,继而引发原子能发电设施的爆炸的复合性灾害。发生如此重大的灾害,哪部分属于自然灾害,哪部分属于人祸,需要冷静地进行分析。此次复合灾害中的关键,当然是由于巨大地震而引起的海啸。是因为海啸“远远地超过预计的程度”。本来,建筑物的结构设计,起始于先根据其特征设定外力的种类和大小。一般设计外力的大小是通过建筑法律被定义,规定而求得,最终考虑其经济的效益以设计者的责任来决定。但是实际上发生的外力大小,要确定地震作用力准确程度的预测是远远超过人类能力的极其困难的工作。当外力超过预测大小时,联想建筑物是如何发生破坏,并预先实施减少灾害的措施也是设计者的责任和义务吧。

本书的翻译,得到了曾在日本横滨国立大学大学院建筑学专业青木研究室(建筑结构领域:钢结构专业)的毕业留学生们的努力,才有此机会能在中国以中文出版发行,在此向各位翻译者表示谢意。并且本书内容是根据日本的法律而编著的,对于中国法律而言势必有部分差异存在。为此,明确其差异,理解钢结构设计的要领,相信必能得到一定的参考价值。本书如能对中国的读者在钢结构设计领域起到参考作用,作为编著者将深感荣幸。

横滨国立大学名誉教授 青木博文

2011年6月30日

译 者 序

本书《结构设计专家入门》由日本著名钢结构学者、日本横滨国立大学名誉教授青木博文编著，钢结构设计专家细泽治先生和成原弦之先生共同合著。本书与一般钢结构教科书不同，是专为从事结构设计者，特别是对将来想成为钢结构领域的专家对象者的入门而编写的。本书的编著者是日本钢结构学术界从事教学和研究经历超过 40 年的著名教授；合著者是从事钢结构设计、施工第一线的国际著名建筑总包公司设计本部的总负责人和技术研究所的专家。

本书偏重于钢结构设计技术的介绍，既涉及必要的基础理论，又突出了日本钢结构行业近 10 年中的发展新动向。书中既介绍了一般世界通用的基本容许应力度设计法和极限承载力设计法，又介绍了日本抗震设计的独特的保有水平承载力设计法，而且作者又在材料方面介绍了高强度钢，低屈服钢及耐火钢等；在结构体系方面亦阐述了近年流行的高层巨型结构，大跨度张拉结构以及隔震和消能减震结构。本书亦提及了近年长周期地震对高层建筑和超高层建筑的影响，应引起广大读者的注意。除此之外，本书对钢结构的关键部位的梁柱接合部、构件连接部以及柱脚连接部分等进行了详细的阐述。最后对钢结构的加工、制作、安装过程中的关键技术和质量管理也作了大量具体的介绍。

在本书最后校审阶段，2011 年 3 月 11 日日本遭遇有史以来最大的东日本大地震。震中为宫城县海域震级为 M9.0。此次地震给日本的经济尤其是东北地区的宫城县和福岛县带来巨大损失，特别是福岛原子能发电站的泄漏事故，至今仍未安全解决。从震灾状况来看，灾害最大原因来自地震后的巨大海啸，而直接由地震原因引起的建筑物等倒塌的事例则很少，日本先进的抗震结构设计技术再次得到自然灾害的验证。

本书在翻译过程中得到原编著青木博文教授的热情支持；原著者细泽治先生、成原弦之先生对译者的质疑作了回答和指导。并且，本书在翻译酝酿及组织过程中，得到日本横滨国立大学现任教授田川泰久先生的大力支持和帮助。

本书的翻译初稿中，第 1、第 2 章由张晓光、第 3、第 5 章由福荣昇、第 4、第 6 章由姜凤洙、附录 1~附录 3 由福荣昇承担。全书校审由福荣昇承担；黄德琳博士参加了部分校审工作。

本书不仅可供从事结构设计工作的工程技术人员阅读，也可供钢结构设计工程技术人员，高校学者和研究人员等各方向人士阅读和利用。

因译者本人的知识水平有限，如对原著有理解不够和译文不当之处，敬请阅者给予指教为盼。

福荣昇

2011 年 7 月 3 日 于上海

目 录

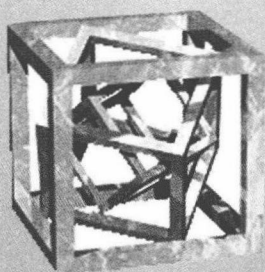
第 1 章 钢结构的特征和结构形态	1
1-1 钢结构的选择	3
1-2 钢结构的结构形式	5
1-3 自然界中的结构形态	7
1-4 结构形态的分类	11
1-5 形态创新	17
第 2 章 钢结构设计的基本概念	21
2-1 结构计算和结构设计是反复的过程	23
2-2 要考虑荷载和结构承载力的离散性	23
2-3 结构性能的极限状态	24
2-4 抗震设计的若干概念	26
2-5 抗风设计若干概念	41
2-6 承受雪荷载建筑物设计时的若干概念	45
2-7 疲劳及温度应力	51
2-8 有关居住性能的振动问题	56
2-9 建筑物的性能设计	65
第 3 章 构件的性能和结构区分	71
3-1 极限状态下的截面性能	73
3-2 屈服弯矩和全塑性弯矩	73
3-3 局部失稳和塑性变形能力	75
3-4 弯曲屈曲时的压缩承载力	78
3-5 横向失稳时的弯曲承载力	79
3-6 支撑构件的设计	82
3-7 压缩构件的设计	87
3-8 梁的设计	90
3-9 柱的设计	100
3-10 主体架构的结构区分	103
第 4 章 连接部的性能	107
4-1 钢结构的连接部分	109
4-2 焊接拼接	109

4-3	高强螺栓连接	112
4-4	螺栓连接	116
4-5	构件的拼接节点和(梁柱)连接节点	117
4-6	梁柱节点域连接板的剪切变形	122
4-7	梁端焊接连接部防止脆性破坏的设计	124
4-8	柱脚	128
第 5 章	抗震设计法	139
5-1	以建筑物规模来区分的结构计算方法	141
5-2	与钢结构相关联的技术规程	145
5-3	保有水平承载力计算	149
5-4	极限承载力计算	190
5-5	结构时程分析法	211
5-6	根据能量守恒定律的抗震算法	217
5-7	隔震结构	224
5-8	消能减震结构	231
第 6 章	钢结构的种类	235
6-1	一般办公大楼	237
6-2	超高层建筑	242
6-3	仓库、工厂以及商场建筑	251
6-4	大空间结构	261
6-5	轻型钢结构	264
6-6	新型钢结构	266
附录 1	结构用钢材	269
A1-1	指定建筑材料	271
A1-2	容许应力度以及材料强度的基准强度 F	272
A1-3	建筑结构用钢材(SN 材)	273
A1-4	TMCP 钢	276
A1-5	STKR 钢材和冷却成型方钢管	280
A1-6	建筑结构用高性能钢管	286
A1-7	有特殊性能的钢材	286
A1-8	结构用钢材的形状和尺寸	292
附录 2	钢结构制作	295
A2-1	焊接处的强度·延性确保和质量保证	297
A2-2	钢结构加工厂的等级(S, H, M, R, J)	297

A2-3	钢结构构件制作的质量管理体系	298
A2-4	钢结构制作加工的流程	301
附录 3	基本事项的解说	309
A3-1	荷载系数·承载力系数设计法	311
A3-2	质点系振动模型和反应谱	312
A3-3	多质点体系模型的固有周期和振型矩阵	313
A3-4	多质点体系振动模型的地震反应	314
A3-5	地震的震级和烈度	316
A3-6	钢材的屈服比和结构主架构的塑性延性能力	318
A3-7	影响钢材性能的化学成分	320
A3-8	钢材的焊接性和化学成分(碳素当量和焊接裂纹敏感性)	321
A3-9	钢材的韧性和破坏	322

第 1 章

钢结构的特征和结构形态





1-1 钢结构的选择

建筑是为人类提供安全、舒适的生活环境，从自然界中将舒适的生活环境和空间隔离开来的一门科学。它是伴随着人类的历史而存在和发展的。一座建筑物的优劣与否，固然取决于业主个人的评价，但也深深地受到建筑年代、区域性和建筑物的应有功能的影响。几乎所有的建筑物都是在单独设计和施工中诞生的，但都充分反映了其所处时代的思想和科学技术水平，是社会性的产物。

建筑结构体是为了满足建筑上的各种性能要求的空间基本构件。其性能要求是指，以建筑物的空间造型和功能为主，此外还要求其具有安全性、耐久性、防火性、可居住性（防振）、隔声性，并且具有施工工期的可计划性、施工的可能性和造价上的经济性。建筑物的结构形式可分为木结构、钢筋混凝土结构、钢结构、（型钢）劲型钢筋混凝土（SRC）结构、膜结构及由上述结构复合而成的钢管混凝土结构。它们是用各式各样的建筑材料，根据不同的结构形式组成的。由于所使用的建筑材料不同，所以结构形式具有各种特征和特有性能。而建筑结构设计施工就是如何灵活地运用这些材料的性能以满足建筑物所需的功能。一个成功建筑物的诞生，与其如何恰当地使用这些建筑材料的特征息息相关。因为建筑材料的使用直接影响着建筑物的安全和使用寿命，所以正确地理解建筑材料的特征和性能，灵活地选用合适的材料就显得格外重要。

按照结构种类不同，一般有如下特点：

- ① 钢结构：工期短、易施工、结构的跨度大、适用于高层建筑（需注意压杆稳定问题）；
- ② 钢筋混凝土结构：具有耐久性、可居住性、隔声性能较好、造价经济；
- ③ 劲型（型钢）钢筋混凝土（SRC）结构：具有高韧性、高强度、耐久性、防火性、可居住性、隔声性能好；
- ④ 钢管混凝土结构：具有高韧性、高强度、耐久性、防火性。

那么，如何选择结构种类呢？

首先，是保证施工工期，特别是如何能像工厂制作产品一样，尽快出厂。对于有这样要求的建筑物应选择钢结构。钢材在构件制作加工厂内经过切割、焊接、防锈处理等工序形成构件。然后，将不同构件搬入施工现场，利用吊车等进行建筑结构吊装。与其他种类的结构相比，具有短工期的优点。另外，构件的连接方式也大大影响工期，靠摩擦传递应力的高强度螺栓连接形式比全焊接的连接方式优越，而且也易于质量控制管理。不过高强度螺栓连接需要连接盖板，从降低造价出发，近期还是有很多项目采用全焊接连接方式。由于钢筋混凝土结构构件也可以采用预制形式在工厂制作，在达到与采用钢结构所需工期大体相同的情况下，也可采用钢筋混凝土结构形式。但采用混凝土预制构件会增加费用，又由于其自重重大，与钢结构比，现场吊装需要大型起重设备，因此要综合考虑施工费用是否增加。

其次，工程造价也是一个重要因素。日本的建筑物都要求抗震，建筑物的墙比较多时，墙面采用钢结构支撑也利于降低造价。此时，钢结构支撑所负担的地震力越高对造价越有利。另外，由于基础造价对整体造价的影响很大，所以当地基不良时，采用钢结构可使建筑物自重降

低,这样就可以降低基础部分的造价。工期的长短对施工造价也有很大影响,采用钢结构可以缩短工期,从而降低造价。

建筑物的高度不同,采用的结构形式也不一样。对于超高层建筑,由于底层的柱构件所承受的轴力很大,采用单位强度高的钢结构材料能使柱构件的尺寸减小,从而增加建筑上的使用面积。但近年来由于高强度等级混凝土的开发和应用,令诸如抗压强度为 150N/mm^2 的混凝土材料制成的钢筋混凝土结构出现。这使得采用钢结构形式的超高层建筑在逐渐减少。特别是高度超过 300m 的超高层建筑,作用于建筑物上的水平力往往不是由地震作用而是由风荷载来决定的,在考虑因风荷载引起的建筑物的振动时,由于钢筋混凝土结构自重大、刚度也大,所以其居住性能更为有利。国外的超高层建筑采用钢筋混凝土结构的也很多。其中高度超过 800m 的世界第一超高层建筑阿拉伯酋长国迪拜哈利法塔就是其中一例。

当然,结构形式的选择也影响着建筑物所要求的空间性能。最近,灵活的大空间布置也成了普遍的建筑需求倾向,即使是办公大楼也要求提高柱的间距、加大梁的跨度。在需采用大跨度梁的情况下,显然自重轻的钢梁最为有利。一般跨度大于 15m 时往往选用钢梁。此时,柱子不仅可以采用钢柱,也可以采用钢筋混凝土形式的“复合结构”方案(参照照片-1.1.1)。钢筋混凝土大梁内配置预应力钢筋来限制和控制裂纹的发生,使得混凝土预应力结构也能满足大跨度建筑的要求。但在造价上比钢梁要高一些。最近,又开发出了不用高强度钢丝,而是直接采用高强度主筋,并直接在主筋上导入施加预应力的工艺,其效果与预应力钢筋混凝土结构的梁相同(参见照片-1.1.2)。这样即使采用钢筋混凝土结构的形式,也可以达到大跨度、低成本满足大跨度建筑需要。



照片-1.1.1 柱 RC·梁 S 的复合结构



照片-1.1.2 采用了高强度钢筋的预应力梁

近年来,整个日本社会对建筑物的寿命化又有了更大的期望,即所谓的建筑物寿命要达到 200 年。一般日本在地震方面对建筑物的耐久性有较多的规定。其现行建筑基本法中的“罕遇地震”是指烈度为 5 度的中等地震发生时,规定建筑物的主要构件不能损坏,从而可继续使用;“极其罕遇地震”是指烈度为 6 度的大地震,规定即使建筑物的主要构件受到损坏,但建筑物不能倒塌,以保证人的生命财产安全。对于上述的 6 度地震来讲,地震发生时主要构件受到损坏,允许建筑物有残留变形,建筑基本法将在不久的将来在抗震规定中规定建筑物的寿命为 200 年。

照此也出现了如下动向,即当 7 度的极其罕遇大地震发生时,主要结构构件的应力与变形

保持在弹性范围内,以实现200年建筑物的寿命。在钢结构及钢筋混凝土结构领域,都开始了超高强度材料的研发利用。如钢结构中被称之为“超钢铁”的材料,其抗拉强度为 $800\sim 1000\text{N/mm}^2$,人们正期待着这种钢材的使用(关于震度的内容可见附录3 A3-5)。



1-2 钢结构的结构形式

钢结构的结构形式一般为框架结构、支撑结构、桁架结构、拱形结构,以及用上述结构组合起来的平面结构系统、空间结构系统、薄壳结构等等。这些结构形式中,除桁架结构以外,虽然都说不是钢结构原来固有的结构形式,但都是钢结构中常用的结构形式。

(1) 框架结构

框架结构,是由垂直的柱构件和水平方向的梁构件,以梁柱构件的刚性连接形式,形成通过梁柱构件的抗弯刚度来抵抗外力的结构形式。纯框架结构因无垂直支撑和结构墙体等抗侧刚性特别大的要素,地震时的水平力不会集中在结构的某一部分,因此偏心很小。又由于整个结构的构件刚度分布均匀,可以实现以变形为主的结构形式。不过在设计时必须验算弯曲构件的局部失稳问题,并通过梁柱构件的宽厚比来限制构件失稳。若梁柱的横截面太小,整个框架的刚度会变小,水平外力作用下会产生过大的变形(图-1.2.1)。

(2) 支撑结构

支撑结构是在梁柱构件所在的平面内,沿斜向设置支撑构件(斜向支撑——斜撑)而形成的结构形式,它是依靠斜撑轴向刚度来抵抗外力的形态。水平方向的荷载作用下,在梁、柱及斜撑构件中引起轴力。它与仅靠抗弯刚度的框架结构相比,刚度更大。斜撑有拉、压斜撑之分。受压斜撑若出现失稳现象会使强度急剧下降,一般情况下抗侧变形能力很小。压杆在失稳时的应力并不取决于材料的屈服强度,而是与构件长细比的平方成反比。因支撑构件的长细比不同而引起的失稳现象也不同。长细比越小,由弯曲失稳引起的杆件的轴向变形越不易发生,所以接近于框架结构的力学性能;相反地,长细比越大,杆件的轴向变形会突然发生,杆件会立即失稳。最近已开发出能防止发生失稳现象的斜撑杆件,这种杆件即使在地震的反复荷载作用之下,也能保持稳定,因此它同框架结构一样都具有同等抗变形的能力(图-1.2.2)。

(3) 桁架结构

桁架结构,一般都是由三角形为基本单元组成的静定结构。理论上其杆件的连接节点多为铰接。但实际应用时,节点多采用高强度螺栓连接,接近刚接节点,因此应当按实际情况予以分析。由桁架形式组成的桁架梁,用竖杆和斜杆将上、下弦杆件连接成桁架梁受力体系。原则上各杆件仅产生轴力。与单一的H型钢梁相比,桁架梁的抗弯刚度、抗剪刚度都比较大。因此对于大跨度的梁,只有采用自重轻而刚度大的钢桁架梁才有可能实现。

桁架结构也可以应用在柱构件中，它往往用在层高很大的工厂结构中。这种桁架结构与框架结构相比较，若仅从用钢量少这一点出发，可谓最经济的结构形式。但桁架结构的连接点多，因此要控制包括加工费在内的造价（图-1.2.3）。

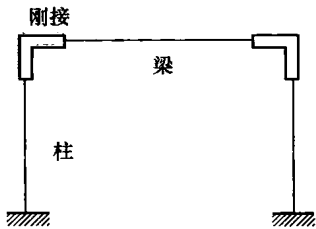


图-1.2.1 框架结构

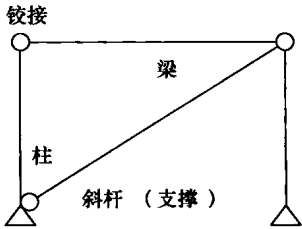


图-1.2.2 支撑结构

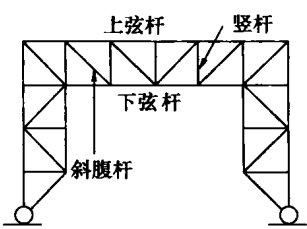


图-1.2.3 桁架结构

(4) 巨型结构

此类型的架构是基于技术革新和土木工程界的需要而出现的巨大结构。此种结构，由梁柱基本构件组成巨型桁架梁柱构件，最终形成巨大的框架结构体系。这种结构具有很大的刚度，多用于超高层建筑或无柱的大空间建筑上（图-1.2.4）。

(5) 框筒结构

框筒结构是在建筑物的外周，设置密集的外柱与外梁，形成建筑物的整体成为固定在地基上的悬臂梁。由于筒四周的外侧面能够抵御水平荷载，内部的结构无需具备水平刚度，因此容易构成大空间结构。这种框筒结构可以由柱与梁构成的外侧框架形式（图-1.2.5），也可以在由梁柱构成的外侧框架外侧设置斜撑而形成外桁架框筒形式（图-1.2.6）；还可以在外侧框架与内侧筒体的中央再设置框架，形成“筒中筒”形式，此时，内侧框筒和外侧框架结构共同承受外荷载，增加了水平方向的刚度，内部筒体结构也有的采用钢筋混凝土来实现。

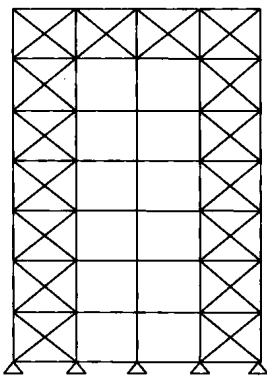


图-1.2.4 巨型结构

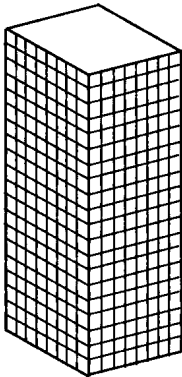


图-1.2.5 框架形式

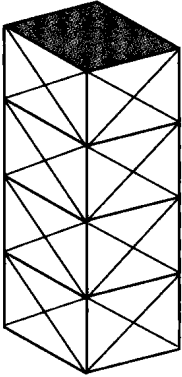


图-1.2.6 桥架形式

(6) 拱形结构

拱形结构是将构件做成曲线形状，此时减小弯曲应力，它比桁架结构更能将垂直方向的外

力转化为构件的轴力。即桁架构造是通过三角形基本单元使外力只能产生杆件的轴力的结构形式，而拱结构是通过结构的形状本身就可以达到上述目的。这种结构由最基本的单个杆件构成，不过由于外力的分布状况，决定了拱形结构需要具有抗弯刚度。当外部集中力或偏心荷载在拱所在的面内产生弯曲现象时，要求拱形结构具有很大的抗弯刚度，这时拱也可以采取桁架拱这一结构形式。拱的支点会产生较大的水平推力，这些水平推力的处理将成为拱结构设计重点（图-1.2.7）。

(7) 空间结构

立体结构，是利用三维空间来抵抗外力形态的结构，它适用于大空间结构。按所构成的形式可分为：桁架结构、薄壳结构、钢板结构、穹顶结构等各种结构形式，统称为空间框架。其中，薄壳结构是由基本的拱形结构在空间展开的结构，用整个壳面来抵抗外力，一般情况下多采用钢筋混凝土结构。但随着钢结构的发展，钢板薄壳也应用到了棒球场、体育馆等大跨度建筑中。但采用薄壳体结构时，由于是整个面来抵抗外力，这时考虑的不是单个面的失稳问题，而是要考虑整个薄壳的面外失稳问题。

图-1.2.8 所示的立体结构，因为在面外方向也采用了桁架结构，就呈现了稳定的结构形式。



图-1.2.7 拱形结构

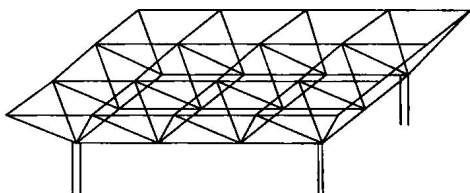


图-1.2.8 立体结构



1-3 自然界中的结构形态

构成建筑物的结构在荷载或外力的作用下应当是稳定的，它应该能把荷载与外力最终合理地传递给地基。为了构筑一个稳定的结构，如何选择结构的形态是非常重要的。在这里，结构形态的“形”在几何学上意味着形状；而形态的“态”则意味着为实现几何学上的形状所采用的结构系统。

在自然界中自然诞生出来的各种形态，是经过长时期的“挫折”不断地进化而孕育出来的结果，可以说它们是合乎自然界的规律而最为合理的形态。对自然界中形成的形态进行修正行为是与建筑的结构形态选择与创新密切相关的。在这里首先介绍自然界中的各种形态，然后以结构力学最基本的力的平衡观点将其分类，最后对各种结构形态进行分析考察。

(1) 蜘蛛网

一般的蜘蛛网如照片-1.3.1所示。它是由从中心向四周以放射状的形式张拉起来的、以“纵丝”为骨架并以“横丝”连接骨架而形成的。这种结构的网称为“圆网”。网最外侧的纵丝叫做“框丝”。蜘蛛网是由直线状（纵丝）及螺旋状（横丝）组合而成。直线状（纵丝）部分，坚硬而具有很强的张拉性；螺旋状（横丝）的部分质地柔软又具有延伸性。直线状的纵丝部分数量很多，起到骨架和保持网的形状的作用；螺旋状的横丝数量也很多，能吸收在捕捉虫子的时候产生的冲击力。不论哪种丝，都具有抵抗风荷载等外力作用的张拉力。这能使人领悟到索网结构和索膜结构的原理。一般索网结构是由拉索及吊索组合而成的，而其屋面及其屋面边缘部分则由又粗又结实的索拉着，以此保持着索网屋面的形状（图-1.3.1）。

蜘蛛网的形成过程是：（a）乘着风势让丝飞向对侧并将其挂住，形成了这一结构的边缘外框丝最初的一条丝；（b）在框内设置放射状纵丝；（c）在纵丝上作为临时脚手架的螺旋状丝完成后，网的全体形状被确定；（d）由外框逐渐向中心张拉螺旋状的横丝，则整张网（图-1.3.2）织成。为织成整张网，先把可用作临时脚手架的稳定的框丝织成，这些稳妥的制作方法，是对大空间大跨度结构的建造方式的重大启示。



照片-1.3.1 蜘蛛网

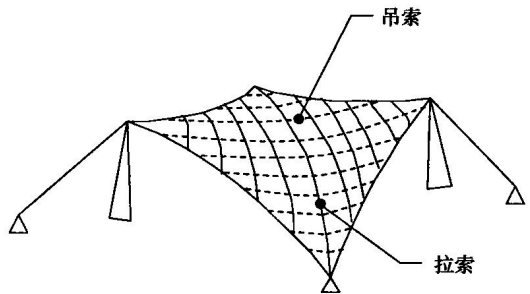


图-1.3.1 网状结构

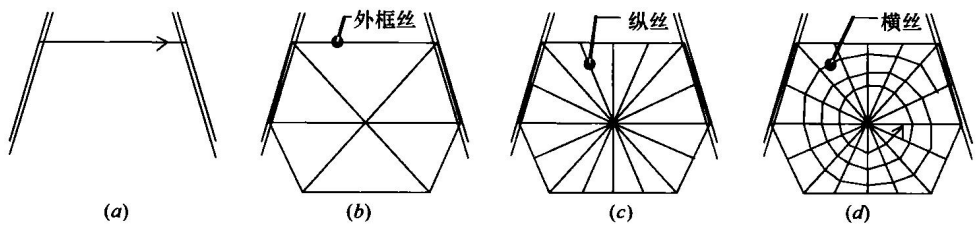


图-1.3.2 蜘蛛网织网过程

(2) 泡（肥皂）膜

用钢丝作成的框在肥皂液中浸透后向上提起，则肥皂泡沫随着钢丝框的任意形状而张拉形成薄膜。这种形状的形成是由于肥皂泡的表面张力与重力相互平衡作用的结果。在肥皂泡沫的