

浅谈大跨度空间结构

张中军

天津天一建设集团有限公司

DOI:10.18686/bd.v2i7.1485

[摘要] 空间结构是一种成三维空间状并且具有三维受力特性的立体工作状态结构。它不仅仅依赖材料的性能,更需要自己的合理形体来支撑,充分利用不同材料的特性,得以满足不同功能和建筑美学以及造型的需要,来跨越更大的空间。

[关键词] 大跨度;空间结构;网架结构;网壳结构

在人类社会的发展历程中,人们一直渴望建筑能够提供更大跨度和空间,空间结构的发展很大程度上反映了人类建筑史的发展。世界各国对空间结构的研究和发展都极为重视,以新型的空间结构来展示本国的建筑科学技术水平,空间结构已经成为衡量一个国家建筑技术水平高低的标志之一。

1 大跨度空间结构的概念

建筑结构的形成体成三维空间状,并具有三维受力特性,呈立体工作状态的结构称为空间结构。大跨空间结构是最近三十多年来发展最快的结构形式。结构的类型和形式十分丰富多彩。从理论上分析,所有的结构设计无论跨度大小都是基于相同的基本概念,但是在实践过程中,控制小跨度结构的尺寸基本都是根据通用的最小尺寸和其他非结构的要求来确定,所以这种结构往往可以通过观察和对比一些现有建筑来进行设计,并且只是由一些平直构件组成,无需精细的分析。然而当处理大跨度结构时,恒载、强度和尺寸大小之间的关系就变成了关键之所在,为了获得安全、经济及艺术效果的种种需求,设计必须非常合理。

2 国内外大跨度空间结构

2.1 空间结构发展历史

国外大跨度空间结构发展得比较早,在18世纪末、19世纪初已经建造多数空间结构。空间结构最早是使用石头建造,混凝土出现后发展为以混凝土为主建造,随着钢筋加入结构工程,将混凝土受压性能与钢筋良好的受拉性能结合,使大跨度空间结构实现了质的提升。之后,随着建筑科技的发展,各种复合材料加入到建筑工程中,空间结构从质量、跨度都有了很大的提高。国内大跨度空间结构发展较晚,直到20世纪中叶才开始兴起建造。近年来我国大跨度空间结构发展迅速,特别是北京奥运会的大型体育场馆的建设规模和技术水平在世界上都是领先的,将成为我国空间结构发展的里程碑。

公元前1000多年便出现了空间结构,古希腊迈西尼国王墓砖砌穹隆,直径14.78m;万神殿是古罗马最著名的穹顶,约始建于公元前14年,是建筑史上最早、跨度最大的拱结构,直径达43.5m;公元537年,东罗马帝国建造圣索菲亚教堂,用砖砌筑;公元1912年,波兰洛兹格拉夫市纪念大厅,

是一座带肋穹顶,直径达65m;公元1922年,由瓦尔特·鲍尔斯菲尔德建造的第一座钢筋混凝土薄壳穹顶诞生,净跨25m,厚度只有60.3mm;公元1612年建造的罗马圣彼得教堂用砖石建造,中央大厅之上覆盖直径为41.91m的大穹顶。

2.2 国内外大跨空间结构建筑介绍

国外建筑:札幌穹顶体育场位于日本北海道札幌市,于2001年3月落成启用,可容纳42,122名观众,是一个棒球与足球两用的有盖体育场。其建筑面积有53800m²,总楼面面积为97503m²。上盖直径为245m,看台倾斜度为30度。首尔世界杯体育馆位于韩国首尔麻浦区,2001年12月落成启用,占地约21.7万m²,全场拥有6.5万个座位,是世界上唯一一座内部建有地铁站的运动场馆。首尔体育馆在设计方面别出心裁,从外观来看,它借鉴了韩国传统器皿——八角托盘的造型,表达了国民喜迎宾客的诚意;由16根桅杆作支撑的银白色顶棚,既像一只凌空飞舞的盾形风筝,又像一艘穿梭于码头的巨型帆船。

国内建筑:首都体育馆于1966年6月1日动工,1968年10月正式交付使用。占地面积7公顷,平面呈矩形,建筑物东西长122.2m,南北长107m。比赛大厅屋盖净跨,屋盖结构为平板型双向空间钢网架。上海体育场,又称“上海八万人体育场”,是目前我国规模最大、设施最为先进的大型室外体育场和上海的标志性建筑之一,建筑面积达17万m²。设计上采用了外环圆形,内环椭圆形,呈波浪式马鞍形的整体结构。广东奥林匹克体育中心体育场处于广东奥林匹克体育中心的南部,占地30万m²,可容纳观众80012人。于1998年12月31日动工兴建,2001年9月22日落成。创造了国内体育场馆六个“最”:在国内同类场馆中建设速度最快;目前国内规模最大、最好;最早采用分开的“缎带”式屋顶;电子田径记分系统最先进;电子显示屏效果全国最佳;舞台——舞台规模最大。在设计上首次打破了国内体育场传统圆型的设计观念,采用了飘带造型的独特设计。体育场盖顶分东、西两片钢屋架,重达11000吨,弯曲地坐落在21组塔柱上。

3 大跨空间结构简介

横向跨越60m以上空间的各类结构可称为大跨度空

间结构。以下将简单介绍网壳结构、网架结构、悬索结构。

3.1 网壳结构

网壳结构是一种与平板网架类似的空间杆系结构,系以杆件为基础,按一定规律组成网格,按壳体结构布置的空间构架,它兼具杆系和壳体的性质。网壳结构兼有杆件结构和薄壳结构的主要特性,受力合理,可以跨越较大的跨度。刚度大,结构变形小,稳定性高,节省材料。建筑造型优美,应用范围广,在建筑平面上可以适应多种形状,如圆形、矩形、多边形、扇形以及各种不规则的平面,在建筑外形上可以形成多种曲面。杆件单一,安装简便快速,适应采用各种条件下的施工工艺,不需要大型设备,综合效益较好。

3.2 网架结构

网架结构是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。具有空间受力小、重量轻、刚度大、抗震性能好、安全储备高、安装方便等优点。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。

3.3 悬索结

悬索结构是由柔性受拉索及其边缘构件所形成的承重结构,是最古老的结构形式之一。索的材料可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、链条、圆钢,以及其他受拉性能良好的线材。悬索结构能充分利用高强材料的抗拉性能,可以做到跨度大、自重小、材料省、易施工。

4 几种结构类型的设计关键点

4.1 预应力结构

现代预应力混凝土结构的一个主要发展趋势是由简支到连续、构件到整体、静定向超静定的发展,而在预应力下静定结构和超静定结构的最大区别在于预应力结构对超静定结构产生了次应力,因此正确的分析和应用次应力是预应力结构设计的关键。

结构在预应力作用下产生变形,如果结构是静定的,变形不受到任何约束,结构在预应力作用下不会产生附加的支撑反力,因而也不产生次弯矩。但是,如果结构是超静定的,变形会受到支撑的约束,结构在预应力作用下会产生附加的支撑反力(即次反力),该反力在结构内产生的弯矩称为次弯矩,由次弯矩产生结构的次应力,合理地利用这种次应力进行设计能使预应力结构发挥更大的功能。

4.2 网架结构

大跨度空间网架结构刚度非常大,整体性能好,同时又是超静定结构,当其支座不均匀的沉降和刚度将对整体结构的内力产生非常大的影响。因此,合理的支座设计是网架

结构设计点关键。

通过实际工程建模数值分析,发现支座刚度对内力影响很大,固定铰支座与滑动铰支座相比,明显减少上弦跨中杆件的内力,支座处杆件内力变化,下弦内力变化不明显。网架和下部钢筋混凝土结构整体计算模型与网架单独模型内力相差较大,支座刚度越大,相差越大,支座刚度越小,相差越小。下部支承网架的混凝土结构刚度对网架内力的影响,在地震工况下的影响较大,在正常使用荷载下影响较小;支承结构刚度越大,整体模型内力越接近单独模型相同支座的内力。网架个别支座失效对网架内力的影响较小,仅失效支座处相关杆件影响较大,离失效支座越远内力影响越小,杆件应力均未超过构件材料的极限强度,内力重分布很好,充分体现了网架的高次超静定结构的优越性。

4.3 桁架结构

在工程设计上对桁架结构的具体设计要求表现为:

4.3.1 强度要足够,结构不能发生断裂或塑性变形。

4.3.2 刚度要足够,不允许发生过大的弹性变形。

4.3.3 稳定性要足够,不能发生失稳现象。

4.3.4 抗震性能要好。一般桁架结构,单独的每榀桁架强度承载力、平面内刚度都很大,但是每榀桁架的相互联系一般都是按照构造进行设计,这样就有可能导致平面外的稳定性不足,进而导致整体结构失稳,因此,控制平面外的稳定是设计关键点。

5 结语

在人类社会的发展历程中,能够提供更大跨度和空间的结构常常是人们追求的梦想和目标,空间结构的发展很大程度上反映了人类建筑史的发展。空间结构设计应经过多种结构体系选型对比后,再经过计算机的精确分析计算出既满足建筑使用功能,又符合结构安全及经济性的大跨度空间结构。

参考文献:

[1]谢羽,许云鹏,黄文武.我国体育场馆的大跨度空间结构选型探讨[J].首都体育学院学报,2017,29(02):110-113.

[2]李云周.大跨空间钢管桁架结构静动力性能分析[D].河北工程大学,2012.

[3]郭立君.大跨空间结构优化设计应用研究[D].湖南大学,2016.

[4]邓辉.网架结构支座对内力影响的研究[J].甘肃科技,2013,29(10):103-105.