

中国的发展前景从现代空间结构的成就来看结构工程师考试  
PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/524/2021\\_2022\\_\\_E4\\_B8\\_AD\\_E5\\_9B\\_BD\\_E7\\_9A\\_84\\_E5\\_c58\\_524219.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/524/2021_2022__E4_B8_AD_E5_9B_BD_E7_9A_84_E5_c58_524219.htm)

摘要:20世纪人们为开放与交流而兴建的建筑都有要求一个大的空间,其中有代表性的是体育、会议展览和机场建筑,并采用了不少引人注目的空间结构.文中评述了当代体育建筑中采用空间结构 后些典型工程,最后讨论了另空间结构的发展水平和前景,并指出有必要扭转结构形式与结构防护在设计上的被动局面. 一、前言当世界即将迈入21世纪之际，回顾人类发展的历史，就可发现其中一个显著的特点就是其活动空间的不断改善与扩充。远古伊始，人类或挖洞穴居、或构木为巢，仅是为争取胜一个生存的空间，随着科学技术的发展，人们懂得运用各种材料建造出更牢固、更舒适的空间。从古罗马的圣彼得大教堂到当今英国正在兴建的“千年穹顶”，其直径由42m扩大到320m，就是一个鲜明的例证。20世纪人类的活动更加走向开放，人们已不再闭关自守，而是不断扩大国与国、洲与洲以至全世界范围的交流。这种需求必然会影影响人类建设的格局。在各种交流活动中，体育比赛无异是一种最激动人心的方式。因此，奥林匹克体育竞赛馆、世界杯足球比赛场……就在世界各地掘起。学术、文化、艺术与商业上的交流促使一些大城市建成了规模庞大的会议展览中心，此外，各种临时性与永久性的博览会，也要求提供上万平方米的面积。为了进行交流，人们要更多地乘坐飞机旅行，20世纪是喷气式客机的世纪，因而大规模的候机大厅与飞机库就在本世纪诞生。这些建筑都有毫无例外地要求一个大的活动空间，因而

跨度大、自重轻、造型富于变化就成为这些建筑的共同特征，有时还要求所围护的空间能够随时开启与闭合。纵观建筑结构的发展历史，三维的空间结构是最能满足以上要求的，往往成为众多结构方案中的首选。在人类古老的建筑中早就已经出现了空间结构的痕迹，例如我国半坡遗址的居屋就是一个原始的空间骨架，而北美印第安人从他们始祖继承下来的棚屋，其以枝条搭成的穹顶与现代网壳则有惊人的类似。其后，自欧洲文艺复兴时代所出现的教堂建筑，以砖石构成的穹顶虽然又厚又重，但在某种程度上仍体现了空间作用。然而现代空间结构的出现，应该从20世纪初期兴建的钢筋混凝土薄壳算起，这应该道德归功于先进建筑材料钢铁与混凝土的诞生。第二次世界大战之后，百废待兴，大量的建筑使空间结构走向蓬勃发展的康庄大道。50年代后期以杆件组成的空间网格结构崭露头角，其中平板形的称为网架，曲面形的称为网壳。这种结构的杆件以钢、木或铝合金制成，通过节点组合成网状结构。以后又陆续出现了以受拉来主要受力特征的张拉结构，起初有以钢索承重的悬索结构，其后则有以合成材料制成建筑织物来受力的膜结构。就结构自重而言，从砖石穹顶的6400%减少到膜结构的10%，说明了建筑结构飞跃的进步。因此，空间结构已成为本世纪建筑结构学科中最重要与最活跃的发展领域之一。空间结构建造及其所采用的技术往往反映了一个国家建筑技术的水平，一些规模宏大、形式新颖、技术先进的大型空间结构也成为一个国家经济实力与建筑技术水平的重要标志。近年来，世界各国在体育场馆、会议展览中心与机场的大规模建筑中采用了不少引人注目功能的要求。集中反映了当今的世界潮流，下面拟就体育建筑中采用空间结构后些典型工程加以评述，并对中国今后空间结构的发展

提出一些看法. 二、当代工程进展 体育建筑一直是空间结构应用的广泛领域,其中网架又是在早期建造得最多的一种结构类型,60年代在美国洛杉矶加利福尼亚大学体育馆采用的网架结构启发下,中国用自己的力量设计与建造了首都体育馆.当时加州大学体育馆的尺寸是91m × 122m,采用正放四角锥网架,而首都体育馆的尺寸则是99m × 112m,采用两向正交斜放网架.这个大跨度网架的成功兴建大大推动了网架在体育建筑中的应用,此后一些省市的主体体育馆几乎无一例外地都有采用网架结构.1990年北京为亚运会所建设的13项大中型体育馆中,就有半数以上采用了网架结构,可见其影响之深远.近年来,可能由于平板型网架的外形过于单调,失去了建筑师们的偏爱.另外,由于计算机的迅猛发展使曲面形网壳的设计与制作大为方便,因而在体育建筑中网壳的应用有逐步上升的趋势,特别是穹顶几乎风靡了日本全国. 穹顶 (dome) 就其原意来说是一个半圆形的顶盖,而用网壳建造穹顶并非新事,早在本世纪初,德国工程师施威德勒 (Schwedler) 就发明了一种肋环斜杆型的网壳,这种以他名字命名的网壳一直在圆形屋顶的建设流传. 70年代美国休斯顿的宇宙穹顶 (Astrodome) 和新奥尔良的超级穹顶 (Superdome) 也分别以196m和207m的直径保持了多年的网壳大跨度记录. 90年代这种穹顶在日本得到了振兴,其名称为被音译为“多姆” (トーム),其外形也不限制为圆形了. 一些城市的体育馆都有被称为“多姆”,象大阪、名古屋、大馆、熊本以及札幌、仙台等地已建成或准备兴建的“多姆”就不下二来个. 这种穹顶的特点是,不仅可以用作体育比赛,还可以用作多种文化活动与展览的场所,这正符合了人们要求交流的需要,同时在建筑与结构

上也有所创新。日本名古屋穹顶是当前世界上跨度最大的单层网壳。该体育馆整个圆形建筑的直径为229.6m,支承在看台框架柱顶的屋盖直径则有187.2m,采用以钢管构成的三向网格.每个节点上都有六根杆件相交,采用直径为1.45m的加肋圆环,钢管杆件与圆环焊接,成为能承受轴向力与弯矩的刚性节点.由于罗马尼亚布加勒斯特穹顶的单层网壳(直径93.5m)在1961年的一次暴风雪后出现过倒塌事故,大跨度的单层网壳一直被视为禁区.名古屋穹顶之所以获得突破性的进展是与科研工作分不开的.在设计中曾对各种荷载情况以及抗震、稳定与施工过程中的缺陷进行了详细的分析和研究.大阪穹顶的中间部分是直径为134m的双层网壳,周围与宽16m的Y形钢框架相连接,形成直径为166m的圆形顶盖.整个网壳通过受拉环支承在九层高的框架上.如图2所示,大阪穹顶在建筑上有一些特色,首先是在框架顶部建造了一圈作为商业与文化娱乐用的拱形“节日大厅”,宛如浮云环绕着穹顶.此外,穹顶上部的顶棚可以上下移动以满足不同的功能,譬如体育比赛时,顶棚向上升高,形成宽敞的空间,而举行文艺演出时,顶棚可以下调,以增强音响效果.澳大利亚悉尼市为举办2000年的奥运会而兴建了一系列体育场馆[3].其中国际水上运动中心与用作球类比赛的展览馆采用了材料各异的网壳结构.水上运动中心的屋盖净跨67m,采用带拉杆的圆柱形网壳(图3).钢管杆件沿斜向布置并将推力传给边桁架,沿纵向每隔25m设一道加劲拱形桁架.这样形成的受力体系是:重力荷载由带拉杆的网壳拱肋承受,而稳定性与抗弯刚度则由加劲桁架提供.该馆的一个特点是奥运会期间可向外增设8000个座位,为此沿一侧纵墙设置了一根净跨140m的拱形立体桁架,其斜杆用来悬吊网壳屋盖并防止拱的侧向压屈.皇家

农学会的展览馆在奥运会期间用作排球、手球与羽毛球比赛之用,包括一个直径100m的圆球形网壳与三个跨度为67m,矩形平面的圆柱形网.两个网壳均为单层,采用三角形网格.杆件为胶合木梁,两端以钢节点连接,可承受压力与弯矩.如此大跨度的单层网壳,稳定性是结构设计上的主要考虑,三角形网格就可提供较强的剪切刚度防止局部失稳.此外圆球壳采用较大的矢高一35m,圆柱壳则每隔3m6加设V形桁架相连系.胶合木梁的杆件稳定性则以固定在梁顶部的连续圆钢管檩条来保证.由于建筑织物这一新型材料的出现,使膜结构逐渐得到了应用。当代日本的穹顶开始于东京的后乐园球场。这个直径204m的气承式空气膜结构以其最先进的自动控制技术来维持屋盖的安全。在此之间,美国的一些气承式空气膜结构体育馆曾多次发生事故。因此这个机械、电子与土建相结合的智能建筑多少消除了人们的担心,也使日本建设省下决心批准这种空气膜结构可以作为永久性建筑。然而,曾几何时,昂贵的运转与维持费用又使后乐园背上了沉重的经济包袱,以致日本以后的穹顶大多采用空间网格结构来支承膜屋面。位于日本雪国秋田“空中穹顶”建于1990年,当时是仅次于后乐园的大型室内运动场。建筑切取球体的一部分,长边为130m,短边为100m,高30m,采用骨架支承膜结构。屋盖的格构式空间拱系沿长向为空腹拱、沿短向为钢管拱,交点为刚接。沿长向还设置钢索,以便对膜面施加张力,从而在屋面上形成V形槽沟,使雪易于滑落。另外利用紧贴膜面的钢管拱作为通道,向其中送暖风,对屋盖起融雪作用。屋面膜材为单层玻璃纤维织物涂敷特氟隆。这是位于寒冷地区的体育馆采用大跨度膜结构的成功范例。同样位于秋田的大馆穹顶,其屋面

也采用了V形膜面，但为双层，支承骨架则是胶合木拱。这个平面为卵形的网壳（178m × 157m）因地制宜地采用了当地生产的木材，成为当前世界上最大的木穹顶。值得注意的是，有一些大跨度网壳采用了木结构，一方面是利用木材便于受压的特点，一方面也是由于当前“绿色建筑”的潮流所驱使。100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)