

大跨度结构设计及施工中新技术运用思考

覃志强

广西百洲投资管理项目管理有限公司

摘要: 本文对大跨度结构设计及施工中的难点、施工思路进行了梳理。在此基础上,以大跨度结构体育场工程及大跨度厂房吊顶结构工程为例,对强柱弱梁技术、角柱配筋加强技术、大跨度厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构施工新技术的原理和具体运用展开分析,希望为从业人员提供一定的参考价值。

关键词: 大跨度结构; 设计施工; 拱式钢-混凝土组合吊顶; 强柱弱梁; 角柱配筋

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.18.081

引言: 在建筑工程中,横向跨度超过60m空间的多类结构形式建筑被称为大跨度结构。如大众熟知的体育馆、展览馆、机场航站楼、在大型河流上建立的水电站厂房等均属于大跨度结构工程。大跨度结构建筑相较于中小跨度结构建筑,设计与施工的复杂程度、难度更大,需要考虑的内容更多。近年来,我国建筑工程领域出现了很多有关大跨度结构设计及施工的新技术。这些技术在不同程度上解决了传统设计施工中的难题,具有分析价值。

一、大跨度结构设计及施工中的难点分析

大跨度结构设计及施工的难点是:其一,很多大跨度结构建筑对内部空间提出了较为严苛的要求,即必须确保内部空间足够大且尽量减少支撑结构数量。基于此,如何确保结构整体稳定性便是首要难点。其二,结构骨架的自重、连接方式等同样是设计与施工难点,稍有不慎便可能引发严重后果。其三,大跨度结构建筑所承受的荷载类型可能并非一种,在承受多种类型荷载时,需要尽量提高结构设置的合理性,做好防震缝等的设置工作^[1]。总体而言,大跨度结构设计及施工考虑因素多、复杂程度大,综合难度较高。

二、大跨度结构设计及施工中的新技术运用

(一) 新抗震技术在大跨度超长框架结构体育场工程设计与施工中的运用

针对大跨度结构建筑进行设计与施工时,如何提高建筑的抗震性能,是设计与施工人员必须重点考虑的内容。在现代城市生活中,最具代表性、最常见、容纳人数最多的大跨径结构建筑为体育场。除了面向社会开放的大型公共体育场馆之外,很多高校、中小学也会建设体育场馆,同时容纳的学生数量数以千计。因此,一旦体育场馆这种大跨度结构建筑缺乏稳定性,便有可能埋下安全隐患,必须引起重视。本章节选择某大跨度超长框架结构体育场工程为例,对新抗震技术的运用展开分析。

1. 工程概况

位于我国南方某城市的某外国语学校新校区的综合体育场原总用地面积超过26000平方米,原本由一个标准足球场+外围标准橡胶跑道场组成。该校经过研究后决定,需要对该体育场进行扩改建,具体要求是:其一,将原本的标准足球场改建为4个标准篮球场;其

二,将原本的一层建筑改建为两层建筑,新增的第二层设置一个7人制足球场和两个标准排球场;其三,原1层的外围橡胶跑道场予以保留。

2. 最初设计方案

如图1所示为上述体育场改建工程完成后,场馆1层预期呈现出的效果。从中可以看到,4个标准篮球场并排建设。需要注意,图中4个篮球场的中心地带,有一条横穿4个篮球场的排柱。这排柱子在第一版设计方案中并没有出现,原因在于:如果采取这种方法,则每一个篮球场的“整体性”都会被打破,相当于被“拦腰斩断”,导致篮球场不具备打“全场比赛”的功能。不仅如此,由于排柱厚度较大、硬度极高,压缩篮球场空间的同时,极大地增加了球场运动人员与排柱接触的概率——有些人在运动时,为了争抢篮球而全身发力,稍有不慎便有可能快速冲向并最终撞上排柱,从而增加受伤风险。基于此,在第一版设计方案中并没有设计横穿排柱。

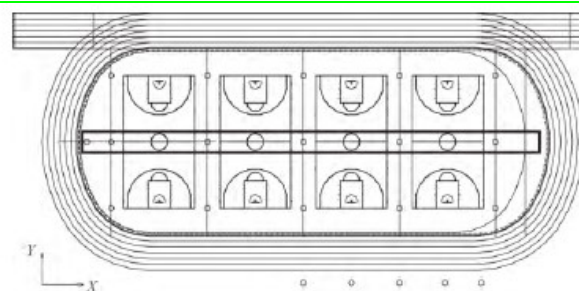


图1 体育场馆改建完成后, 1层预期效果

3. 方案合理性提升设计

本工程中,最初设计的方案甲方认为不够理想,委托我方组织团队中途介入,重新对该方案的可行性论证,经分析最后得出的结论如下:

(1) 如果未按照图1所示增设一条横穿4个篮球场中央区域的排柱,那么该体育场改扩建设方案根本无法实施。原因在于:一个标准篮球场是一个长度为28米,宽度为15米的长方形。带入图1并对应X、Y坐标方向后可知,Y方向即为篮球场的长度方向,总长度可以直接采用篮球场长边标准值28米;X方向为篮球场的宽度方向,除了场地宽度标准值15米之外,还应额外加上左右两端的孔隙宽度。按照图1效果,结合比例尺关系进行计算后,得出图1中一个标准篮球场区域的X横向宽度总长超过20米(具体值为20.2米,四个篮球场地宽度总长超过80米)。按照大跨度的判定依据——超过18米即为大跨度,意味着图1中一个标准篮球场及周边区域在横向(X)、纵向(Y)方向均为大跨度;而按照超过60米便构成大跨度结构的判定标准,该体育场在X方向的总长度已经达到80米以上,同样符合大跨度结构的标准。通常情况下,围绕这种结构进行设计时,必须设置预应力梁以及大截面普通框架梁。具体设计为:沿着Y

向，每间隔3~4米便应设置一个水平方向的预应力次梁（需在同一根主梁上设置）。只有如此，才能确保该体育馆改建后的整体结构稳定性，使建筑结构达到抗震设计要求。

(2) 采用图1中“设置横穿4个篮球场地中间区域排柱”的抗震结构设计实际上属于“单框架结构”。这种设计与该场馆的实际情况不符。原因在于：①该场馆单跨跨度较大；②单跨向两边存在超过5米的悬挑；③层高超过9米。受上述三个条件的影响，对比《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010），不建议采用这种设计方案。

(3) 由于该场馆为改扩建工程，若要对1层运动场地进行充分利用，尽可能控制运动空间大小不变，上述方案可能是唯一可行方案。为使改扩建后的大跨度结构体育场满足抗震要求，预应力梁是必须设置的核心结构，每一根排柱的尺寸均需达到1800mm×1800mm。结合《中小学校体育设施技术规程》中的有关规定——中小学体育运动区域（比赛场地外安全区域）的宽度应不小于5.0米（从端线处开始计）或6.0米（边线外开始计）。基于此，根据图1所示，如果将每一根排柱的尺寸控制在1200mm×1200mm，则最节省空间，但却无法满足结构抗震要求。

4. 最终方案确定

在对多种限制因素进行综合考虑之后，结合校方在资金投入方面的预算，最终决定整体保留“设置一条横穿四个篮球场地中间区段”的设计思路，但在Y方向并不设置单跨结构，具体的结构平面布置如图2所示（屋面视角）。建筑整体未设置预应力结构，而是在X、Y两个方向均设置尺寸为800mm×1700mm的大截面普通钢筋混凝土框架梁。经过计算后发现，每一根柱的尺寸长宽比都为1.44，故可设置为截面尺寸达到400mm×1400mm的井字梁结构，相邻两根梁在X、Y两个方向的间距均相同，都为3.4米。



图2 最终设计方案结构平面效果图（屋面视角）

5. 扩建设计

该工程需要向上扩建一层，二层运动区域需包括一座7人制足球场以及两个标准排球场。若要达到这一目的，首先需要确保二层区域对一层区域进行“全覆盖”。经过对一层场地进行详细调查后发现，一层的X向长度为95米。考虑场地空间相关要求，按照《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3-2010），本工程可以将伸缩缝间距适当放宽（经过计算后将这一数值控制在110米即可），可采用提高楼板配筋率，设置后浇带等方法达成上述目的。

该工程扩建设计中运用的新技术如下：其一，强柱弱梁技术。通俗而言，在遭遇地震作用时，如果地震震度足够大，那么梁必须在柱之前被破坏。在本工程中，如前文所述，X向、Y向均符合“大跨度结构”标准且主框架梁的截面尺寸已经控设定为800mm×1700mm。在此基础上，进一步考虑建筑的使用要求，最终决定将原本拟设定的直径达到1200毫米的圆形柱替换为四边等长为1100毫米的方柱（但需在四周加上小圆角，达到封边的效果）。其二，浇筑配筋加强技术。在本工程中，由于大跨度框架中的角柱受力复杂程度较高且配筋率均超过3%，故需沿着大跨度方向设置双排纵筋。同时考虑本体育馆馆的抗震强度需达到一级，故出于安全角度的考虑，需要进一步提高角柱的抗震构造措施，最终使抗震等级达到特一级程度。为达到上述目的，该体育产管结构中不设置型钢，而是以芯柱替代。在此基础上，还应在角柱的四个角筋位置设置并筋（型号为2φ32），搭配型号为φ12@100的井字复合箍筋，最终达到提高延性的目的。

(二) 大跨度厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构施工技术简析

1. 大跨度工业厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构施工新技术的研发背景

在围绕大跨度结构设计与施工的难点、常规设计思路等进行整体分析后发现，在大跨度结构工程的复杂程度进一步提高、施工难度进一步加大的情况下，传统的设计施工技术已经缺少针对性^[3]。基于此，必须在大跨度结构设计施工中应用新技术。比如包括水电站在内的很多工程都涉及地下厂房。按照常规大跨度地下厂房的设计与施工思路，厂房的“吊顶结构”与“顶拱岩壁”之间的空隙会被直接设置成“通风层”。以此为基础，可根据实际需要，将风管布置在该层之中，或是经过分隔处理后生成风道，以此作为通风层的楼面。一般来说，大跨度结构建筑地下厂房的“顶拱”内部会布置排水孔和排水管，但这并不能保证一定不会发生潮湿乃至渗水等情况。因此，常规设计思路下，吊顶结构实际上被设置成了大跨度结构建筑地下厂房的防水层，目的在于避免从顶拱岩壁处开井的水直接从地下厂房房顶楼下并与设备接触，能够确保相关机组设备长时间处于正常运转的状态。问题在于，大跨度结构建筑地下厂房的吊顶结构同时还应起到“装饰”的作用，但传统的地下厂房顶拱设计与开挖多采用钻孔爆破法完成开挖，极易受到地质条件不理想等因素的影响，导致开挖面平整程度低、喷层面光滑度较低，影响美观。总体来看，针对大跨度结构建筑地下厂房的吊顶结构进行设计与施工时，设计与施工人员必须同时围绕吊顶承载力、通风及照明功能、上人要求、防腐防潮要求、防渗防火要求等进行系统性考量；与此同时，设计与施工人员还应充分认识到，大跨度结构建筑地下厂房的设计施工要求是：跨度必须足够大、空间必须足够广泛、能够达到承载力要求、施工期间容易受到多种因素干扰等。在对上述各项要素进行综合考量后发现，大跨度结构建筑地下厂房吊顶结构的常规设计与施工方案难以满足各方面的要求，需要创新运用新技术。

2. 大跨度结构地下厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构设计施工新技术的应用实例分析

(1) 某大跨度厂房工程概况

某厂房地面面积广，拟设计为大跨度结构。下文重点围绕吊顶结构设计施工中为大跨度结构厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构设计施工新技术的运用展开分析。

(2) 新技术在大跨度厂房吊顶结构设计施工中的运用

其一，吊顶结构设计施工。如图3所示为该大跨度厂房吊顶结构的剖面效果。所采用的技术即为拱式钢-混凝土组合吊顶结构设计施工新技术。从图中可以看到：其一，支撑结构为上下游边墙钢筋混凝土支撑结构；其二，外部包裹钢筋混凝土结构的拱梁和钢筋混凝土结构的楼板；其三，吊顶锚杆、吊顶拉杆等构件均齐全，与上文技术描述性内容基本相同。相关参数如下：其一，从吊顶开始，沿着大跨度厂房轴线布置的拱梁总数为83；其二，相邻两个拱梁之间的距离（以拱梁中心与工量中心之间的直线距离计）为4.4米；其三，考虑施工现场实际情况，决定在机组段、安装场、副安装间、部分机组间之间，选择合适位置设置11条结构缝。其三，所有结构缝内部均设置橡胶止水带（型号为651型），之后向其内填充闭孔泡沫板。

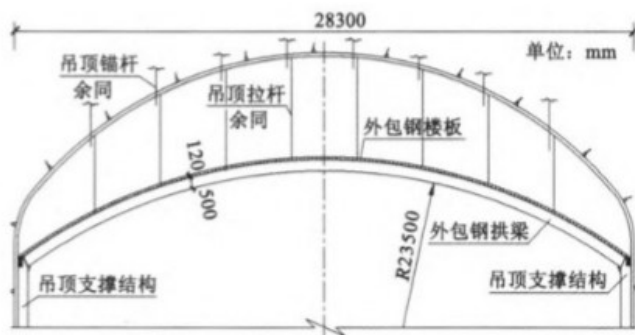


图3 吊顶结构横剖面效果图

其二，外包钢拱梁设计施工。针对外部包裹的钢拱梁的设计施工要素如下：其一，按照上文技术描述选择外包钢拱梁的材料以及混凝土材料，具体的尺寸是：断面长度为40cm，宽度为50cm，内部无需配筋。其二，在施工期间，除了按照新技术标准完成拱梁骨架角钢、连接筋、外部包裹的轧制薄钢板的焊接之后，还需分段完成焊接组装以及拼接吊装作业。在此基础上，还应利用吊顶拉杆、吊顶锚杆等，完成相应的焊接及固定作业。其三，对型钢拱梁与上下游边墙处设置的吊顶支撑柱的连接方式如图4所示。

其三，外包钢楼板设计施工。围绕外包钢楼板进行设计施工时，注意事项如下：其一，应在底部铺设压型钢板；其二，应在上部铺设钢筋并完成混凝土的浇筑；其三，针对钢板底部的压型钢板进行固定施工时，应根据实际情况，决定采用焊接固定还是铆钉固定方式。但无论选择哪一种固定方法，都应确保将外部包钢楼板底部的压型钢牢固固定在拱梁骨架角钢的合适位置上。通过上述设计与施工方式，外包钢楼板在施工期间可作为浇筑楼板的混凝土模板，在竣工且投入使用后，可作为吊顶的永久装饰结构，功能性和美观性同时得到满足。

其四，压型钢板与型钢拱梁连接设计施工。针对压型钢板与型钢拱梁连接处进行焊接施工时，注意事项如下：其一，应通过楼板底层的钢筋以及压型钢板，采用

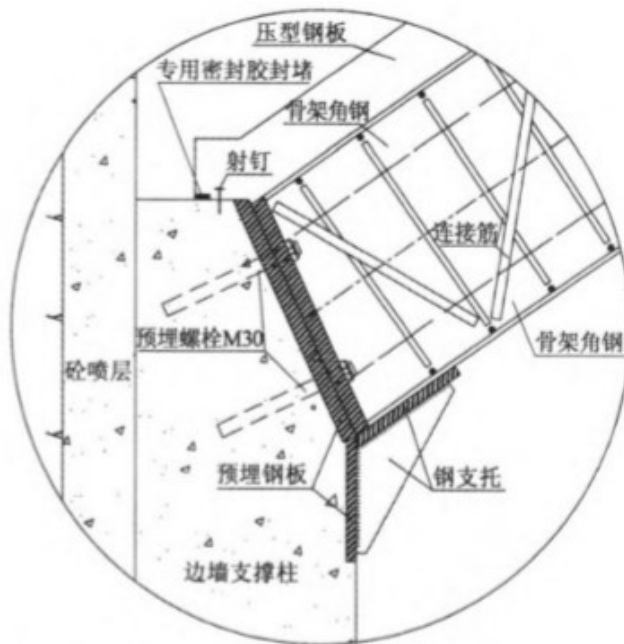


图4 型钢拱梁与边墙吊顶支撑柱的连接效果图

“熔透焊”的工艺进行施工。其二，与型钢拱梁骨架角钢之间的焊接必须牢固。具体要求是，焊接区域的长度不得低于5cm，间距应控制在20cm。若要形成“连续跨”，则应在过型钢拱梁处，同时也是相邻压型钢板肋板之间的位置，借助小钢条完成焊接。

结语：总体而言，针对大跨度结构建筑进行设计时，大概率会面临施工难度大、复杂程度高、考虑要素多等问题。所谓“设计施工新技术”并非凭空想象后得出，而是对原有设计施工技术应用后未能解决甚至产生的新问题进行全面梳理，之后提出应对方式并加以验证，将问题“一步一步”地解决。本文介绍的大跨度结构厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构设计施工新技术便是如此，在实际工程中运用后，取得了良好的效果，故可推广应用。

参考文献

- [1] 张月楼, 刘祥, 张良兰, 等. “莫比乌斯环”环状落地大跨度拱形桁架多层钢结构设计及施工控制研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(S2): 513-518.
- [2] 刘琦, 田明强, 杨宏楠, 等. 大跨度原料场环保封闭工程网壳结构设计及施工优化[J]. 河北冶金, 2022, (04): 67-70.
- [3] 吴俊, 许志忠, 牛子民, 等. 大跨度钢管拱纵向顶推体系结构设计及关键施工技术[J]. 市政技术, 2022, 40(04): 26-35.
- [4] 赵修龙. 大跨度地下厂房拱式钢-混凝土组合吊顶结构设计施工技术. 浙江省, 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 2019-06-20.
- [5] 朱忠义. 大跨度结构设计施工技术创新与实践. 北京市, 北京市建筑设计研究院有限公司, 2018-03-06.

作者简介：覃志强（1980-），男，汉族，广西那坡人，本科，工程师，主要从事工程咨询、工程项目管理工作。