

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.08.042

# 创新大跨度屋盖钢结构体系设计管理研究

陶帼雄

(上海市市政工程建设发展有限公司, 上海市 200025)

**摘要:**大跨度体育场馆结构具有跨度大、结构形式复杂多样、科技含量高等特点,“个性化”非常强,为设计管理带来很大的难度。结合上海浦东足球场项目,探讨创新大跨度屋盖钢结构体系设计管理,从设计质量管控、设计进度管控等两个方面切入,提出设计质量管理主要措施:建立质量管控流程,理论计算分析、检测试验验证、健康监测反馈的质量管控系统突破理论计算局限性。提出设计进度管理主要措施:成立屋盖钢结构设计专项工作小组,形成集中高效的沟通会审机制。实践证明,上述措施有助于形成系统化的管理思路和可复制的管理流程,为类似项目的设计管理提供借鉴作用。

**关键词:**创新屋盖钢结构体系;大跨度体育场馆结构;设计管理

**中图分类号:** TU71

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)08-0152-04

## 0 引言

为达成建筑效果,保障观赛体验,体育场馆屋盖设计需追求更简洁的结构形式、更高效的受力体系,大跨度空间结构体系成为发展趋势和潮流。有学者对国内体育场馆的大跨度空间结构选型进行调研,发现网架结构最早得到发展,桁架结构和网壳结构次之,膜结构发展得最晚<sup>[1]</sup>。近年来,钢结构设计、施工技术不断发展,苏州奥体中心体育场屋盖采用单层索网加膜结构,最大跨度达260 m;游泳馆屋盖采用107 m大跨度马鞍形单层索网结构<sup>[2]</sup>;西安奥体中心屋盖采用肋环形双层钢网架,内圈直径达136.6 m,外圈直径为204.6 m<sup>[3]</sup>;国家速滑馆是北京2022年冬奥会的标志性场馆,其屋盖结构采用大跨度马鞍形空间环桁架+单层双向正交索网结构体系,南北向跨度达198 m<sup>[4]</sup>。

与一般的传统结构相比,大跨度体育场馆结构具有跨度大、结构形式复杂多样等特点,其结构设计难度大,科技含量很高,在某些情况下存在超规范的问题<sup>[5]</sup>。同时因不同体育场馆的外轮廓各有特色,差异明显,每个项目的屋盖结构都有着自己独特的受力体系,“个性化”非常强,参考同类结构体系的意义不大,建设无经验可依,为设计管理带来了很大的难度。

针对建筑工程设计管理,孙林分析了设计方针

对大型体育场馆建筑工程设计的项目管理,重点探讨了核心要素控制管理:设计项目团队、设计质量、设计进度及设计成本<sup>[6]</sup>。韩蕾以代建制项目的设计管理活动作为研究对象,理论分析与实际经验相结合,对代建制项目设计管理过程中的若干环节进行研究<sup>[7]</sup>。母晓琳结合建筑设计管理流程控制,分析了建筑设计环节控制要点,探讨了建筑管理设计关键点的控制对策<sup>[8]</sup>。

综上,当前国内外学者就一般建筑工程项目的设计管理进行了大量的研究,但针对大跨度屋盖结构设计管理方面的研究工作还较少。本文拟依托上海浦东足球场项目,着重探讨创新大跨度屋盖钢结构体系设计管理,从设计质量管控、设计进度管控等两个方面切入,形成系统化的管理思路和可复制的管理流程,为类似项目的设计管理提供借鉴作用。

## 1 工程概况

上海浦东足球场外轮廓为矩阵,以传统轮辐式张拉结构体系为基础,突破性技术创新,屋盖钢结构体系采用量身定做的中置压环轮辐式张拉结构,为国内首创。这一结构体系在跨中设置椭圆形中置压环,通过径向索,V柱外肢,中置压环和径向梁,形成自平衡的轮辐式结构体系。

根据看台的形式,屋盖钢结构和看台结构呈轻微的马鞍形,高差约为2.5 m,屋盖外边缘几何尺寸为211 m×173.3 m,见图1。整个体育场的立面高度约为24.5~26.9 m。

收稿日期:2022-03-28

作者简介:陶帼雄(1985—),女,硕士,工程师,从事建筑项目管理工。

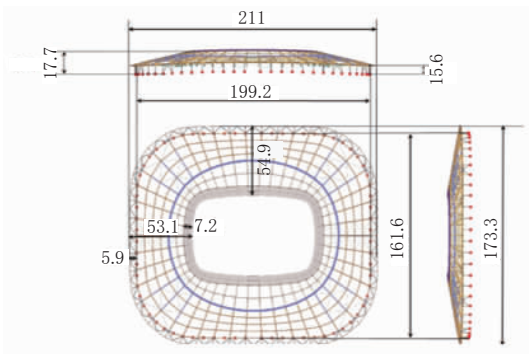


图1 浦东足球场屋盖示意图

## 2 设计管理中存在的重难点

影响建筑设计质量的客观因素为:建设项目高周转环境下,项目规模大、难度大、技术要求高、周期短<sup>[9]</sup>。结合项目实际进行重难点梳理。

### 2.1 设计中应用大量新材料、新技术

为保证屋盖钢结构体系中摇摆柱、V柱、支撑屋盖的BRB构件等,能够达到理想的两端铰接的二力杆,设计中采用了较多的新型材料和新型构件,主要包括屈曲约束支撑,球铰支座,关节轴承,全封闭索及钢拉杆等。这些新型材料及节点不同于常规钢结构构件,需依据受力特点深化设计,联系厂家定做,并通过试验验证成品的安全性及可靠度。

### 2.2 理论计算存在局限性

屋盖钢结构从施工到实际使用是一个动态变化的受力过程,理论计算是在人为设置的荷载条件进行分析,仅能预估部分施工荷载影响,无法精准计算,更无法精确考虑钢构件、支座的制作误差和焊接残余应力,拉索弹性模量偏差、松弛及制作误差等影响。

从其余大跨度屋盖结构项目的经验来看,理论计算的确存在局限性。张爱林制作了2008奥运会羽毛球馆1:10缩尺模型,试验结果显示:结构在低荷载下,理论值与试验值吻合较好,但在超载状态下两者偏差显著增大<sup>[10]</sup>。深圳大运中心体育馆钢结构屋盖通过1:10缩比模型静力加载试验,提示设计中应加强环向拉杆在肩谷节点的连接和主次结构的连接部位<sup>[11]</sup>。

### 2.3 屋盖设计与专业足球场功能需求关联度高

屋盖部分不仅在外形轮廓上影响足球场的整体造型,更承载着多项功能实现的任务。比如搭载诸多附属设备、实现上人、检修功能的马道;实现场内照明功能的灯具系统;提供实况转播、提升观赛体验的大屏设备等。在屋盖钢结构设计方案深化过程中,需

提前考虑到这些功能需求,预估相关设备的安装位置及荷载等。

## 3 设计质量管理措施

### 3.1 设计质量管控流程

屋盖钢结构的设计有其独特的属性。一般结构设计以施工图为准,现场施工即可。但屋盖钢结构中大量的节点及构件,具体做法与施工工序、工艺关联度较大,仅凭一般项目的设计经验,可能会存在“闭门造车”的问题,设计质量不高,现场施工可行性低,将形成大量变更或签证。

如图2所示,拟定设计质量管理流程为:设计单位把握结构形式、受力体系等关键问题,施工单位进行二次深化设计,细化各主要构件和关键节点,设计单位将这部分内容落实到施工图设计中,形成闭环。实际施工过程中,图纸与现场实际施工实现高度匹配,基本没有产生变更或签证,印证了这一做法的科学和合理性。

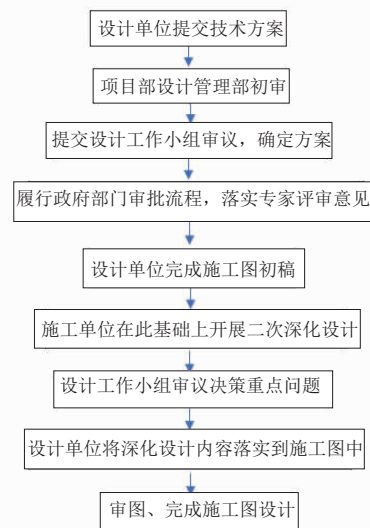


图2 设计质量管控流程图

### 3.2 理论计算、试验验证、监测反馈的质量管控系统

对新型结构理论优化设计方案和结构分析计算结果进行模型试验验证,确保结构的安全性、稳定性和适用性<sup>[9]</sup>,这一做法历经奥运会羽毛球馆、深圳大运中心体育馆等实践考验,是保障屋盖结构设计质量的有效手段。

在这一基础上,结合专家意见补充了钢结构健康监测环节,最终形成了理论计算分析、检测试验验证、健康监测反馈的质量管控系统,突破理论计算局限性,确保创新结构体系的可靠度。

#### 3.2.1 理论计算(整体及抗震分析、节点模拟)

参照同类型场馆屋盖结构设计的思路,如上海

东方体育中心综合馆,理论计算一般分为整体分析、抗震分析和关键节点分析<sup>[12]</sup>。整体分析中风荷载依据风洞试验数据选取,抗震分析充分消化专家评审意见。针对关键节点,选取直接影响结构体系安全性和可靠度的连接节点,如径向梁与径向索节点、径向梁与转换梁节点、径向梁与压环梁节点等,进行建模分析,精准模拟各关键节点受力及变形情况。

### 3.2.2 试验验证(原材料、关键节点、模型试验)

为验证理论计算的准确性,现场进行大量检测及试验,包括钢丝、拉索等原材料出厂检测、索夹、关节轴承等关键节点承载力试验、中置压环受压稳定试验、屋盖整体模型试验等。这些检测和试验数据,是突破理论计算局限性的重要环节,有效保障钢结构体系设计质量及安全。

如环索径向索连接节点,这一复杂节点的中间耳板与加强板采用钢材焊接,再将铸钢索夹节点焊在上面,焊接部位成为节点最薄弱处,理论计算无法细化至此,最终通过试验验证了成品焊缝质量及可靠性。

### 3.2.3 健康监测(反馈数据,印证理论计算)

中置压环轮辐式结构体系为国内首创,屋盖结构跨度达 211 m,远超规范规定的 100 m,在超限评审意见中明确提出:需进行钢结构健康监测,用现场实际数据印证理论计算的准确性。

健康监测结果表明:摇摆柱和 V 柱,支撑屋盖的 BRB 构件达到理想的两端铰接的二力杆,计算假定和实际受力一致。径向梁、内置压环梁、柱顶圈梁等部件的应力监测值基本符合理论计算值。各索索力实测值与理论值的偏差约为 -5.72% ~ 12.69%。

### 3.3 准确预估屋盖附属设施设备荷载

屋盖钢结构将搭载马道、大屏、灯具、桥架等大量的附属设备,其荷载值预估过小影响结构安全,预估过大则造成设计浪费,是影响屋盖结构体系理论计算的重要因素。

以马道为例,马道需要较大的荷载能力才能满足功能和需求,过低的荷载预留可能发生危险<sup>[13]</sup>。浦东足球场屋盖建筑效果简洁通透,要求附属设施整合到一圈马道中。但一圈马道对设备的容纳度有限,造成荷载过于密集,不利于整体结构安全。最终落地的马道方案在建筑效果、功能需求及结构安全之间取得平衡,马道形式为:采用一条主马道(内圈,可上人),于南北大屏后对称布置共四条径向马道;屋盖四角设置辅助马道(外圈,不上人),此处检修采用

吊挂式。

根据功能需求,组织各专业协同作战,跨前一步,在方案阶段梳理未来可能安装的各类附属设备,深入调研市场,收集相应产品的规格参数,形成相对准确的预估荷载参数,并同步作为二次招标中的技术参数,确保采购的设备满足荷载条件,规避了前期荷载预估不足的设计问题。

## 4 设计进度管理措施

### 4.1 建立设计专项工作小组机制

项目部各职能部门中,设计管理部承担着设计质量管控的初审环节,但涉及到功能需求或者施工配合,还需各参建单位的集体参与和共同努力。为形成一个集中、高效的沟通会审机制,成立屋盖钢结构设计专项工作小组,由建设单位、项目管理单位、钢结构专家团队,共同担任工作小组管理层,由设计单位、施工单位(总包及钢结构专业分包)、施工监理等技术负责人担任组员,见图 3。

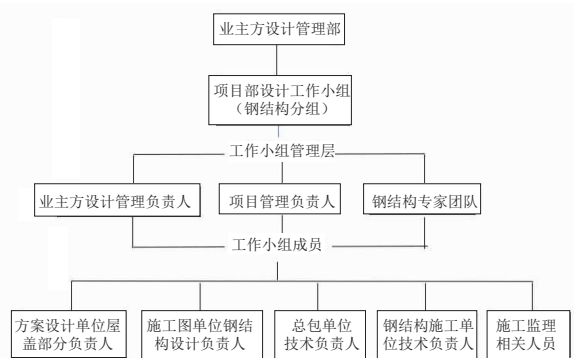


图 3 设计工作小组架构图

工作小组机制为各参建单位形成一个高效的沟通平台,优化原有的长链条沟通流程,突破重难点问题无人决策的无效会议模式,大大缩短沟通时间,快速推动下一步工作开展,见图 4。

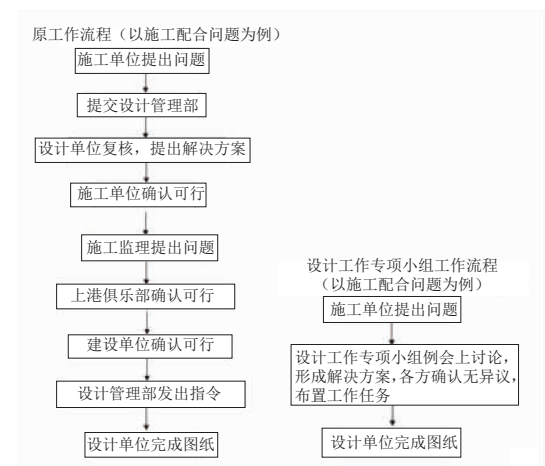


图 4 设计工作流程对比图



### 4.2 创造有利条件,聚焦重点问题

风洞试验结果作为屋盖钢结构设计参数,其准确性至关重要。为保障试验顺利推进,积极收集周边地形信息,将周边场地标高和500 m范围内的建筑物标高、轮廓、结构形式等相关信息排摸清楚,为风洞试验提供现场实际边界条件数据,创造有利条件。

超限评审能否一次性顺利通过将直接影响初步设计批复节点。超限评审所需资料中涉及到大量的抗震模拟计算,协调设计单位将人力、设备投入达到最大化,提前组织业内专家开展预评审工作,进一步完善设计细节,最终一次性顺利通过抗震及超限技术评审。

## 5 结语

本文依托上海浦东足球场项目,探讨创新大跨度屋盖钢结构体系设计管理,梳理设计管理重难点工作,提出如下管控措施:

(1)设计质量管控措施:依据屋盖钢结构设计特点,建立二次深化设计质量管控流程。通过理论计算分析、检测试验验证、健康监测反馈的质量管控思路,突破理论计算局限性。根据功能需求,准确预估屋盖附属设施设备荷载

(2)设计进度管控措施:成立屋盖钢结构设计专项工作小组,形成一个集中、高效的沟通会审机制。创造有利条件,聚焦重点问题,提速设计进程。

实践证明,上述措施有助于形成系统化的管理思路

和可复制的管理流程,为类似项目的设计管理提供借鉴作用。

### 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(2):110-113.

[2] 张士昌,徐晓明,高峰.苏州奥体中心游泳馆钢屋盖结构设计[J].建筑结构,2019,49(23):15-20.

[3] 隋庆海,张亚伟.西安奥体中心体育馆结构设计及若干技术介绍[J].建筑钢结构进展,2020,20(6):136-142.

[4] 高树栋,张晋勋,等.国家速滑馆马鞍形单层正交索网结构施工关键技术研究与应用[J].钢结构技术创新与绿色施工会议论文,2020(6):76-86.

[5] 王利军.焦作太极体育馆屋盖结构选型及受力性能研究[D].杭州:浙江大学,2012.

[6] 孙林.大型体育场馆济南奥体中心建筑工程设计项目管理研究[D].北京:清华大学,2015.

[7] 韩蕾.建筑工程代建制项目设计管理方法研究[D].北京:北京交通大学,2015.

[8] 母晓琳.建筑工程设计管理关键点的控制[J].中国住宅设施,2021(10):103-104.

[9] 宋建标.建筑结构设计的质量管理探索和研究[J].建筑设计管理,2021(4):64-74.

[10] 张爱林.2008奥运会羽毛球馆新型弦支穹顶结构模型静力试验研究[J].建筑结构学报,2007(28):58-67.

[11] 吴京,隋庆海,周臻.深圳大运中心体育馆整体钢屋盖模型试验研究[J].建筑结构学报,2010(31):31-37.

[12] 李亚明,徐晓明,周晓峰,等.上海东方体育中心综合馆结构设计[J].建筑结构学报,2011(41):711-715.

[13] 林若慈,朱悦.基于体育场馆照明的马道设置方法的研究[J].照明工程学报,2014(5):32-39.

# 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:[cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)