

日照市网球中心结构设计

王雪生 梁辰宇 韩凌翔 周笋 秦凯 李培

北京市建筑设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/ems.v4i2.5051

[摘要] 日照市网球中心项目新建部分由中心赛场和两个网球训练馆组成,总建筑面积约4万平米,为可进行国际赛事的大型体育中心。中心赛场地面上长宽约为140mX70m,网球训练馆1地上长宽约为180mX70m,建筑外立面为清水效果,外露结构构件采用清水混凝土施工。为实现超长结构清水效果,针对不同清水混凝土构件,采取了不同的措施。中心赛场观众席罩棚为中部大开口屋盖,最大跨度约60m,周边向外悬挑,最大悬挑长度约22m,结构下部支座少,仅14个。根据中心赛场罩棚的特点,采用了双向钢桁架的结构形式,通过应用摩擦摆支座减小了温度、地震作用。通过合理调整支座施工安装顺序,避免了支座产生受拉,实现了结构的安全和经济性。

[关键词] 清水混凝土; 摩擦摆支座; 大跨结构; 施工顺序

中图分类号: TU398.7 **文献标识码:** A

Structural Design of Rizhao Tennis Center

Xuesheng Wang Chenyu Liang Lingxiang Han Sun Zhou Kai Qin Pei Li

Beijing Institute of Architectural Design

[Abstract] The new extension of Rizhao tennis center consists of a central stadium and two tennis training halls, with a total construction area of about 40,000 square meters. It's a large sports center which can host international competitions. The length and width of the center stadium is about 140 m × 70 m, and the length and width of tennis training hall 1 is about 180 m × 70 m. The facade of the building shows the effect of clear water, and the exposed structural components are constructed with fair-faced concrete. In order to realize the effect of clear water for super long structure, different measures are taken for different fair-faced concrete components. The canopy of the auditorium in the central stadium is a big opening in the middle, with the maximum span of about 60 m, and the perimeter is overhanging outward, with the maximum overhanging length of about 22 m, but the bearings of the lower part of structure is only 14. According to the characteristics of the central stadium's canopy, two-way steel truss structure is adopted. Through the application of friction pendulum bearings, the temperature and seismic action are reduced. By reasonably adjusting the construction and installation sequence of the bearings, the tension of the bearings is avoided, and the safety and economy of the structure are realized.

[Key words] fair-faced concrete; friction pendulum bearings; long-span structures; construction sequence

1 工程概述

日照市网球中心位于山东省日照市中央活力区万平口文旅会展核心片区,其新建部分主要由三栋建筑组成,分别是中心赛场、网球训练馆1、网球训练馆2,总建筑面积约4万平米,中心赛场为5000座比赛场(永久看台3500座+临时看台1500座),可举办国际单项比赛和全国性比赛。日照市网球中心建成后,与北侧游泳馆和南侧科技文化中心共同形成城市文体集聚区,将在提升城市服务功能,推动体育、旅游、聚集人气、活跃商气等方面发挥重要作用。本工程外立面为清水混凝土效果,于2019年5月建

成使用,图1为其建成后照片,已成功举办了“第二届全国青年网球预选赛”、“2020中国网球巡回赛日照站”、“全国网球团体锦标赛”等赛事。

中心赛场与网球训练馆1通过室外平台联系,在建筑上形成一体,网球训练馆2单独建设,图2为平面总图。

本工程中心赛场地下一层,地上三层,混凝土屋面檐口14.7米,网球训练馆1、网球训练馆2无地下室,地上三层,混凝土屋面檐口均为14.7米;中心赛场与网球训练馆1在室外平台处通过变形缝断开;中心赛场地下及首层自身未设变形缝,二层以上南北

自然分开, 网球训练馆1的南北两片场地自然分开, 公寓南北两部分由大跨度连桥连在一起, 未设缝。



图1 日照市网球中心建成后照片

此三栋建筑主体为混凝土结构, 屋盖除网球训练馆2的公寓部分为混凝土屋盖外, 其余大跨处均采用钢桁架结构。

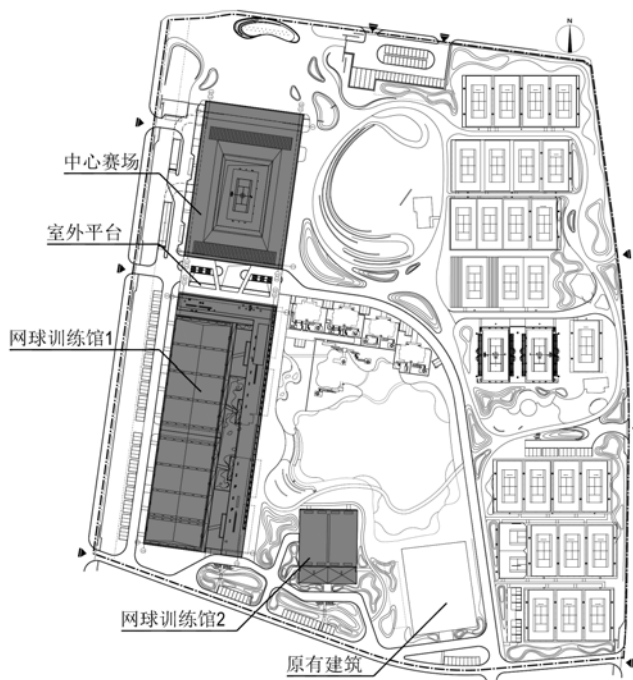


图2 日照市网球中心平面总图

工程设计使用年限为50年, 建筑结构的安全等级: 中心赛场一级, 其余二级; 地基基础设计等级: 中心赛场甲级, 其余乙级; 抗震设防烈度: 7度, 设计基本地震加速度值0.1g, 设计地震分组第三组, 场地类别为II类; 建筑抗震设防类别: 中心赛场乙类, 其余丙类; 本工程基本风压为0.4kN/m², 基本雪压为0.2kN/m²。

2 结构体系

2.1 抗侧力体系

根据本工程建筑布置及外立面为清水混凝土特点, 采用框架-剪力墙结构体系, 中心赛场利用四角的楼电梯及内部电梯形成剪力墙, 网球训练馆1、2则利用内部楼电梯间、外墙处的清水混凝土墙作为结构剪力墙。中心赛场平面尺寸约

140mX70m, 网球训练馆1平面尺寸约180mX70m, 网球训练馆2平面尺寸约40mX55m。

2.2 屋盖体系

中心赛场屋盖采用双向钢桁架结构, 长向主桁架支承于主楼两侧混凝土核心筒顶, 最大跨度58.8m, 最大悬挑长度22.28m, 结构最厚处4.65m, 短向主桁架支承于混凝土核心筒及框架柱顶, 次桁架支承于相邻两平行布置的主桁架上, 并向两侧悬挑, 屋盖结构厚度由悬挑根部向端部逐渐减薄。屋盖支座采用多向活动摩擦摆支座。桁架上覆金属屋面, 其平面布置图见图3。

网球训练馆1屋盖采用钢桁架结构, 主桁架沿短跨布置, 跨度40.8m, 桁架主要间距4.8m, 结构高度2.3~2.7m, 连系桁架沿纵向布置。屋顶钢结构在两个纵边通过固定铰支座及滑动支座, 多点支承于下部框架梁顶。网球训练馆2大跨平面为正方形, 屋盖采用双向正交正放桁架系钢网架结构, 跨度40.8m, 结构高度2.5m。屋顶钢结构在结构周边通过固定铰支座及滑动支座, 多点支承于下部框架梁顶。桁架上覆金属屋面。

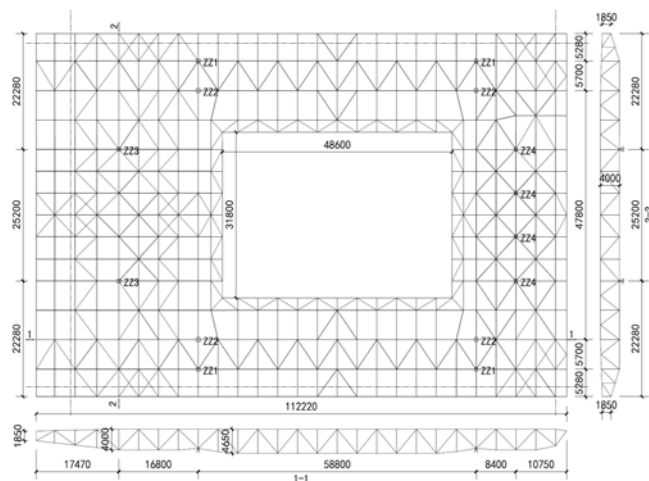


图3 中心赛场屋面钢结构平面(图中ZZ1~ZZ4表示支座)

3 中心赛场钢屋盖设计

本工程中心赛场观众席罩棚为中部大开口屋盖, 如图3所示, 中间开洞尺寸31.8mX48.6m, 结构下部只设了14个支座, 屋盖结构跨度大、支座少, 结构设计上有一定的难度。本工程的结构方案采用了双向桁架结构体系, 主桁架支撑在下部混凝土筒或柱上, 次桁架支承于主桁架上, 周边均向外悬挑, 配合建筑造型, 悬挑桁架厚度由悬挑根部向端部逐渐减薄。由于其体量大、且处于室外环境, 所以地震作用、温度荷载、风荷载均需考虑, 为减小地震作用、温度应力, 其与主体结构的连接采用了摩擦摆支座。这种支座承载力较大, 且具有复位功能, 同时支座结构尺寸较小, 故近年来得以广泛使用。但摩擦摆支座的竖向抗拔能力较差, 当支座受拉时, 盖板与滑块容易脱离。

本工程屋盖中部开有大洞口, 风环境较复杂, 故设计前做了风洞试验, 实际设计时, 体型系数、风振系数按规范及风洞试验取包络设计。

中心赛场屋盖在设计时, 对下部支座的设置, 进行了不同位

置的比较计算,对于受力较小的支座及受拉力较大的支座进行了剔除,最终将支座数量定为14个,布置图见图3,但在此种情况下,ZZ1还是会产生较大拉力,为消除其拉力,通过施工阶段验算,调整了支座施工安装顺序,即施工时先不安装ZZ2,先安装其他支座,在钢结构安装完成整体卸载后再安装ZZ2,消除钢结构自重作用下ZZ1的支座拉力,其与预应力结构的原理相似,即在自重下使其产生一定压力,在有风吸力荷载工况时也不会产生拉力。图4为屋盖支座大样。

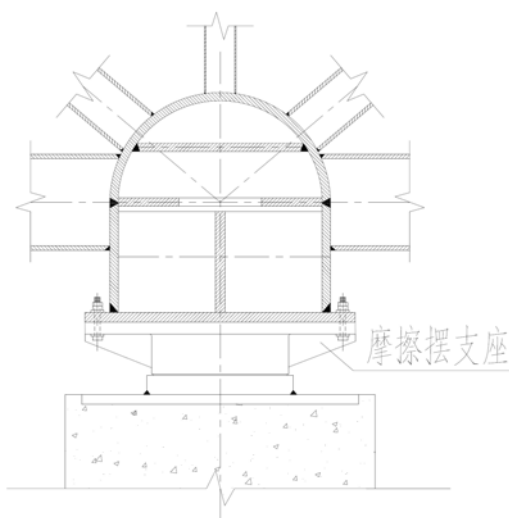


图4 支座大样

4 清水混凝土构件设计

本工程建筑立面为清水混凝土效果。实现清水效果可以有两种途径,一是采用清水混凝土挂板,这个类似于幕墙,另一种是现场浇筑的清水混凝土,这是真正意义上的清水混凝土,也是本工程所采用的。其直接由结构主体混凝土和精心设计施工的明缝、禅缝和对拉螺栓孔等组合而形成的一种自然状态装饰面,体现建筑与人的自然和谐之美。因为清水混凝土是一次成型,不需要其他装饰,所以舍去了涂料、饰面等化工产品使用,减少维修和保养等造价。但对施工工艺要求高,模板需要定制,螺杆洞都需计算准确,对原材料要求也高。

由于清水混凝土直接在室外暴露,受室外环境及温度变化影响,容易产生裂缝,本工程中心赛场地最大长度约140米,网球训练馆1地上最大长度约180米,对于这种超长结构,如何控制结构裂缝、保证建筑的清水效果,是项目难点。

另外,本工程外立面上的隔墙也采用清水混凝土做,其自身强度、刚度较普通砌体墙大很多,如何处理其与主体结构的连接、减弱其对主体结构刚度的影响也是一个难点。

清水混凝土对耐久性要求较普通混凝土高,根据规范,其混凝土保护层较普通混凝土要厚,故控制裂缝会更加困难。

本工程清水混凝土构件可分为以下几类,清水混凝土柱、墙、梁、挑边,还有建筑分隔装饰类混凝土清水隔墙。

对于清水混凝土柱、墙这类竖向构件,由于其长度较小、平时受压,故受温度影响小,抗裂问题相对较轻,设计上主要是通

过设置建筑明缝形成的诱导缝来控制混凝土裂缝。

对于梁、挑边这类水平构件,由于其水平长度长、受温度及混凝土收缩徐变影响大,控制裂缝的难度更大。首先在结构模型计算上,考虑温度荷载的作用,设计中,梁的上铁拉通筋、腰筋适当加大,挑边采用细而密的拉通配筋。此外,本工程对于室外悬挑部分的长向梁、挑边采用了断缝处理措施,如图5所示,从柱子向外挑出双梁,梁间变形缝兼做建筑明缝,这种措施从根本上释放了温度应力,实际效果较好;对于非悬挑及不便设缝处,则沿长向配置了预应力筋,利用预压应力改善混凝土的抗裂性能。

对于清水隔墙,由于其与主体结构相间布置,各段自身长度不长,其裂缝主要通过配置细而密的构造钢筋来控制,但其与主体结构的连接如何处理很重要,如前所述,清水隔墙刚度大,须采取措施减弱其对主体结构的影响,本工程采用了图6的弱连接构造做法,主体结构施工时先甩构造筋,施工清水隔墙时再连接在一起,连接处处理成建筑明缝。

此外,在施工时还需注意后浇带位置清水构件的处理,若按一般工程做,后浇带接茬处易产生裂缝,影响外立面的清水效果,本工程对施工后浇带穿过的清水构件做了以下处理:当后浇带穿越清水构件时,局部加宽后浇带,使其宽度与清水构件的两相邻竖向明缝同宽。

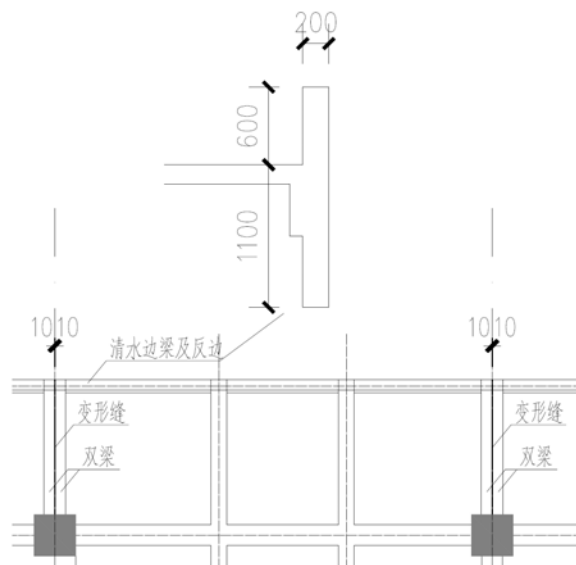
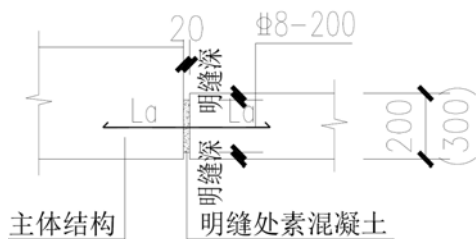


图5 中心赛场清水边梁处变形缝



清水混凝土隔墙与主体结构诱导缝做法
(隔墙两侧及顶部与主体结构间诱导缝)

图6 清水隔墙与主体结构诱导缝做法

除以上设计措施外,本工程还从材料选用、模板施工、钢筋施工、混凝土施工、表面处理、成品保护等方面提出了具体要求。工程施工后,取得了满意的建筑效果。

5 结语

通过本工程的设计有以下两点体会:

(1)施工安装顺序对结构受力影响很大,本工程中通过调整中心赛场支座的安装顺序,使原来受拉力较大的支座,消除了拉力值,实现结构的安全性和经济性。

(2)对于超长的清水混凝土结构,通过分析清水构件的特点,

制定有效措施,是可以解决抗裂问题的,特别是设置诱导缝这种措施,效果好,结构造价低。

[参考文献]

[1]清水混凝土应用技术规程:JGJ169—2009[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

[2]建筑抗震设计规范(2016年版):GB50011—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

[3]宋德强.自密实清水混凝土应用技术研究[J].广东土木与建筑,2015,22(10):40-41+45.

中国知网数据库简介:

CNKI介绍

国家知识基础设施(National Knowledge Infrastructure, NKI)的概念由世界银行《1998年度世界发展报告》提出。1999年3月,以全面打通知识生产、传播、扩散与利用各环节信息通道,打造支持全国各行业知识创新、学习和应用的交流合作平台为总目标,王明亮提出建设中国知识基础设施工程(China National Knowledge Infrastructure, CNKI),并被列为清华大学重点项目。

CNKI 1.0

CNKI 1.0是在建成《中国知识资源总库》基础工程后,从文献信息服务转向知识服务的一个重要转型。CNKI1.0目标是面向特定行业领域知识需求进行系统化和定制化知识组织,构建基于内容内在关联的“知网节”、并进行基于知识发现的知识元及其关联关系挖掘,代表了中国知网服务知识创新与知识学习、支持科学决策的产业战略发展方向。

CNKI 2.0

在CNKI1.0基本建成以后,中国知网充分总结近五年行业知识服务的经验教训,以全面应用大数据与人工智能技术打造知识创新服务业为新起点,CNKI工程跨入了2.0时代。CNKI 2.0目标是将CNKI 1.0基于公共知识整合提供的知识服务,深化到与各行业机构知识创新的过程与结果相结合,通过更为精准、系统、完备的显性管理,以及嵌入工作与学习具体过程的隐性知识管理,提供面向问题的知识服务和激发群体智慧的协同研究平台。其重要标志是建成“世界知识大数据(WKBD)”、建成各单位充分利用“世界知识大数据”进行内外脑协同创新、协同学习的知识基础设施(NKI)、启动“百行知识创新服务工程”、全方位服务中国世界一流科技期刊建设及共建“双一流数字图书馆”。