

DOI: 10.7672/sgjs2022240009

# 杭州亚运会棒(垒)球馆钢结构施工关键技术\*

马洁烽, 王文良, 姚盼盼, 万涛平

(浙江精工钢结构集团有限公司, 浙江 绍兴 312030)

[摘要] 杭州亚运会棒(垒)球馆由多个单体组成, 结构形式多样, 主要包括了高层框架钢结构, 大跨平面桁架结构及空间正交管桁架结构。从结构的工程概况、施工安装方案选取、钢结构的地面拼装、空间管桁架预起拱、铸钢件等强连接等方面进行了全面的剖析, 对工程施工过程中关键技术进行总结。

[关键词] 钢结构; 桁架; 拼装; 预起拱; 铸钢件

[中图分类号] TU758.11

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2022)24-0009-04

## Key Construction Technology of Steel Structure in Baseball (Softball) Stadium of Hangzhou Asian Games

MA Jiefeng, WANG Wenliang, YAO Panpan, WAN Taoping

(Zhejiang Jingong Steel Building Group Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312030, China)

**Abstract:** The baseball (baseball) stadium of Hangzhou Asian Games is composed of several single buildings with various structural forms, mainly including high-rise frame steel structure, large-span plane truss structure and space orthogonal tube truss structure. This paper makes a comprehensive analysis on the engineering overview of the structure, the selection of installation scheme, the ground assembly of steel structures, the pre cambering of space pipe trusses, the connection of steel castings and so on, and the key technologies in the construction process are summarized.

**Keywords:** steel structures; trusses; assembly; pre-camber; steel castings

### 1 工程概况

杭州亚运会棒(垒)球馆项目主要分为2个地块, A地块由棒球主场、副场、集训中心、体能训练馆形成一个体育文化综合体(见图1), 在合适位置设置抗震兼伸缩缝, 形成相对规则的结构单体; 棒球副场位于基地的东侧, 处于相对独立的位置。所有建筑均通过2层平台连接。除集训中心为11层, 其余建筑均为2~3层, 其中棒球主场、副场主体采用钢筋混凝土框架结构, 顶部罩棚采用管桁架结构; 集训中心采用纯钢框架结构; 体能训练馆采用钢框架+大跨桁架结构(见图2)。

E地块为2层全球场, 主体采用钢筋混凝土框架结构, 顶部罩棚采用管桁架结构。

集训中心为纯钢框架结构, 地下1层, 地上主体11层+顶部屋面层, 整体标高为51.100m。钢构件



图1 建筑整体效果

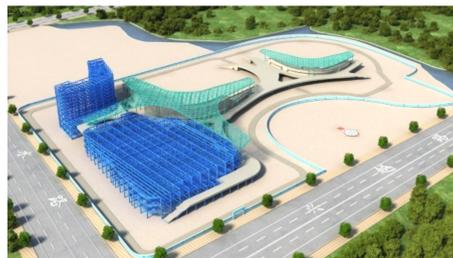


图2 屋盖分区示意

\*上海市科委“上海建筑空间结构工程技术研究中心”项目(14DZ2252300)

[作者简介] 马洁烽, 工程师, E-mail: 826334569@qq.com

[收稿日期] 2021-11-14

主要为箱形钢柱及H形钢梁。

体能训练馆为钢框架+钢桁架结构, 主要包括1

层地下室结构及 3 层地上结构。地上结构共 3 层, 主要包括钢柱、钢梁及钢桁架, 钢柱采用箱形截面及圆管柱, 主要柱距为 9m, 桁架、钢梁采用箱形及 H 形钢梁。其中, 结构 2 层设有大跨度钢梁, 最大跨度达 36m; 屋面层设有交错平面桁架结构, 其中主桁架最大跨度达 45m。结构整体标高为 20.155m。楼板采用钢筋桁架楼承板(见图 3)。

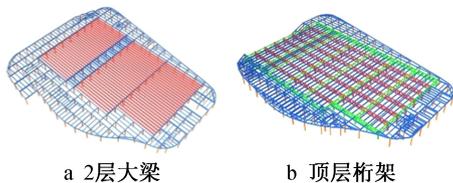


图 3 2 层大梁及顶层桁架示意

棒球主、副场馆钢结构(见图 4)均为空间大跨结构, 主场呈 X 形, 位于棒球主场土建看台、集训中心裙房及体能训练馆东侧屋面以上。构件主要包括圆管立柱及罩棚管桁架; 副场呈 L 形, 位于项目东侧, 下部为副场土建看台区域。两场馆结构形式类似, 均为正交管桁架体系, 节点主要采用铸钢节点(见图 5)及相贯节点。

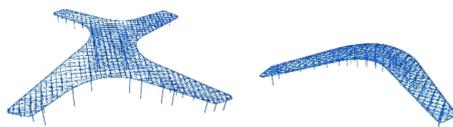


图 4 棒球主、副场馆轴测图

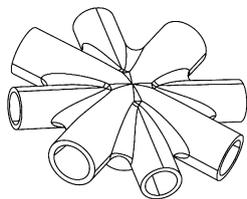


图 5 铸钢件轴测图

## 2 工程施工方案选择

本工程集训中心、棒球副馆及垒球馆施工条件较好, 前者为高层框架结构, 现场布置有 2 台塔式起重机, 采用塔式起重机分段吊装作业; 后两者采用汽车式起重机及履带式起重机场内外分段吊装作业。

体能训练馆位于项目西南角, 现场施工条件复杂, 场馆方案选择时主要存在以下问题。

1) 场馆西侧存在高压输电线, 施工期间无法拆除及间断, 机械在西侧道路仅可行走, 无法进行吊装作业。

2) 场馆存在 2 层大跨度钢梁及顶部钢桁架, 最大跨度分别为 36m 及 45m, 构件分段吊重大, 无法

采用现场塔式起重机进行安装。

3) 场馆南侧区域功能为游泳池, 地下室顶板处存在大范围下沉泳池区域, 同时内部各区域楼面标高均不一致, 部分高差较大。

针对体能训练馆存在的各方面困难, 方案考虑将体能训练馆内部分为 3 处施工分区(见图 6), 施工 1 区及 2 区采用汽车式起重机进场吊装方案, 以“由东向西, 大梁桁架同步安装”的施工方式进行作业。施工 3 区为游泳馆区域, 由于泳池区域无法安排机械作业, 方案考虑场内通道处布置 1 台汽车式起重机吊装内场分段, 南侧场外布置大型履带式起重机吊装外侧分段, 场内外同步进行吊装作业。汽车式起重机最后均由西侧预留通道处出场。

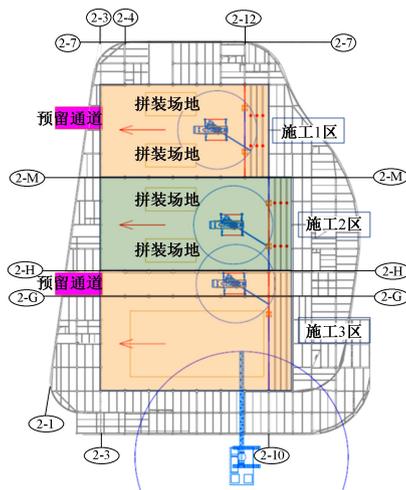


图 6 体能训练馆施工方案

棒球主馆位于项目中心区域, 顶部罩棚投影区域覆盖集训中心裙房、2 层平台、体能训练馆局部屋面以及棒球主馆土建看台(见图 7), 施工条件复杂, 导致方案策划存在以下问题。

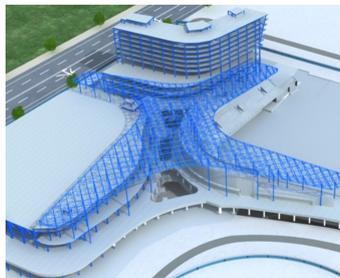


图 7 棒球主场施工条件示意

1) 结构覆盖多处建筑单体, 各单体标高均不相同, 施工可操作空间小。

2) 结构正下方 2 层平台及地下室顶板区域存在 3 处大开洞区域, 机械进场条件差。

3) 结构纵横向覆盖范围广, 若采用大型机械在

外部吊装方式进行安装,则吊装半径巨大,可行性低。

4)结构空间造型复杂,支撑钢柱布置错综复杂,罩棚桁架高度差异大,跨中区域高度达7m,提升、滑移等施工方法均难以实施。

由前述问题分析可知,方案仅考虑场外吊装方式可行性较低,实施须考虑在场内安排机械进行安装。因2层平台的存在,汽车式起重机无法进入内场吊装作业,考虑将2层平台甩项后做,待屋盖结构完成后再施工。又因土建专业工期紧,同时顶部罩棚支撑钢柱落位于2层平台,若平台整体甩项后做,则每根支撑钢柱处均需替换为临时支撑,后续再替换回原有钢柱,方案可行性低。

由于平台整体甩项后做不可行,方案考虑将局部平台甩项后做。根据罩棚钢柱布置位置,选取无钢柱落位的2层平台区域(见图8中深色区域)后做,同时在交接处设置临时支撑,使2层平台正常施工区域形成稳定受力体系。最终主馆方案为甩项后做区域布置1台汽车式起重机吊装西侧罩棚,其余区域罩棚由外侧机械吊装。

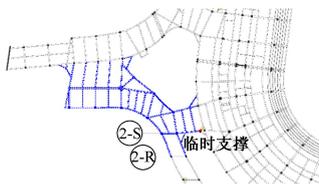


图8 2层平台甩项后做区域示意

### 3 工程施工关键技术

#### 3.1 汽车式起重机行走吊装加固方案

体能训练馆区域钢结构施工需汽车式起重机进场吊装。由于顶部桁架分段质量大,采用130t汽车式起重机,经验算原设计混凝土楼层不能满足汽车式起重机上楼面作业承载力要求。

常规加固方式主要可分为以下几种。

1)满堂脚手架加固 采用脚手管作为支撑结构,通过密布脚手架立杆,减少楼板支撑跨度,使原结构楼层承载力能满足汽车式起重机行走及吊装作业。

2)单管反顶支撑加固 采用转换梁及单管反顶支撑方式,将转换梁设置在汽车式起重机行走路线下方,同时下部每隔一定间距设置单管反顶支撑,通过梁及单管将汽车式起重机荷载传递,避免楼板直接受力。

体能训练馆汽车式起重机作业面位于地下室顶板处,若采用脚手架加固,则存在整体措施时间

长、拆除工作困难、措施费用巨大问题。又由于汽车式起重机需满场进行拼(吊)装作业,无法限定具体作业路线,单管支撑方式也不符合实际情况。由于项目方案策划阶段,土建作业尚未开展,最终与设计方沟通协商后采用直接增大地下室顶梁板配筋的方式进行加固。此方案虽增加了部分钢筋费用,但降低了大量施工措施费用,避免了后续施工措施装拆导致工期延长问题,对整个项目成本控制较有利。

#### 3.2 狭窄场地钢结构拼装技术

体能训练馆需汽车式起重机进场作业,拼(吊)装作业均在场内进行,场地狭小,尤其是3区游泳馆区域,汽车式起重机仅在柱间通道内行走及吊装。同时,由于场馆西侧空间较小,回转半径不足,场外拼装再转运至场内的方式也不可行。现场拼装时采用叠拼方式(见图9)。



图9 桁架叠拼示意

叠拼方式可有效减少拼装对场地要求,但同时现场组织及拼装顺序有较高要求。由于构件拼装完成后叠放在一起,吊装时只能按“从上往下”顺序吊装构件,这就要求“后装的先拼,先装的后拼”,同时由于吊装与拼装是流水作业,相互穿插,桁架吊装顺序及拼装顺序的现场组织极为重要。

#### 3.3 空间大悬挑管桁架位移控制

项目棒球主馆、副馆等场馆均为空间异形大悬挑管桁架结构,最大悬挑距离达25m(见图10),控制结构位移变形是项目实施重点。

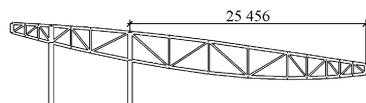


图10 主桁架侧视图

悬挑结构施工过程中变形较大,一般采用预起拱方式保证安装精度。预起拱主要在2个阶段考虑。

1)现场安装预起拱 桁架现场拼装打点定位阶段考虑各点预起拱值,在深化图给定拼装坐标的

基础上,每个节点增加起拱值,得出新的拼装坐标值作为拼装坐标。

2) 深化加工预起拱 钢结构深化加工阶段即考虑结构预起拱值,将结构起拱直接反映在深化加工模型中,现场直接按深化图给定拼装坐标定位安装。

场馆罩棚均为大跨度纵横交错管桁架结构,若采用现场预起拱,一方面起拱点数巨大,现场需逐一核对,调整打点坐标,工作量大,严重影响拼装进度;另一方面,现场操作不确定性因素较多,拼装质量控制较不利。所以项目实施考虑在深化加工阶段对结构进行预起拱。具体操作步骤如下。

1) 根据结构设计模型,提取结构在  $D+0.5L$  (恒+0.5活) 工况组合下各节点的  $z$  向位移  $D_z$ 。

2) 根据结构设计模型,导出结构在设计状态各节点坐标表。

3) 根据导出的设计状态节点坐标表,将  $z$  向节点坐标数值+ $D_z$ ,得到起拱后的节点坐标表。

4) 根据起拱后节点坐标表反向生成起拱后结构三维线模。

5) 深化人员将起拱后三维线模导入 Tekla 等深化软件建模出图加工(见图 11)。

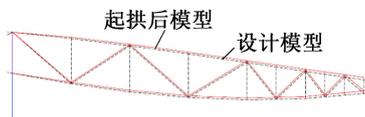


图 11 起拱前后单榀桁架示意

相比于现场安装阶段起拱而言,深化阶段起拱快速方便,仅需前期将设计模型稍作处理调整为起拱模型,后续只需按常规结构深化及安装,对项目结构位移控制及工期控制有很好效果。

### 3.4 铸钢件等强连接节点

空间管桁架结构存在较多多管相贯节点,其中带斜撑杆件处最多处存在 13 根圆管交汇在同一节点处,对加工制作及现场安装来说存在许多困难。因此,相关节点均采用了铸钢节点形式(见图 12)。相比于相贯节点,铸钢节点整体制作,外观优美,且避免了节点区多管相贯及焊缝重叠等问题,但由于铸钢件材质强度与常规钢材(Q355, Q390, Q460 等)存在较大差异,对于可焊接铸钢件,其设计强度最大仅能与 Q235 材质钢材相当,故铸钢件与常规钢构件间的连接节点很难做到等强连接,连接处常常成为结构安全的薄弱点。

本工程铸钢件与杆件连接节点采用下述节点(见图 13)。节点在钢构件接头处设置封头板,并通

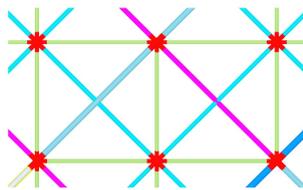


图 12 铸钢节点示意

过端铣技术加大钢构件一侧连接焊缝的厚度与铸钢件接头管件壁厚一致,以此来实现铸钢件与钢构件间的等强连接。

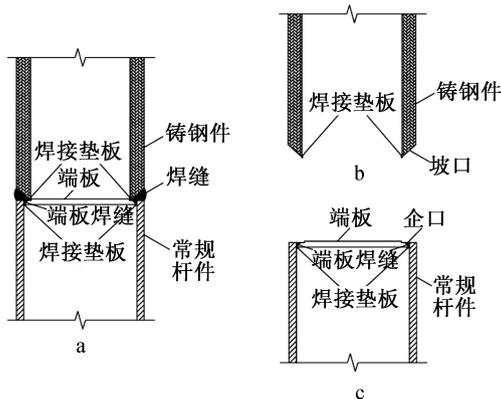


图 13 铸钢节点连接示意

具体操作包括如下阶段。

1) 设计阶段 铸钢件端头连接壁厚应根据接头钢构件板件壁厚及材料强度进行设计,保证铸钢件接头截面强度与钢构件接头截面强度一致。

2) 工厂加工阶段 钢构件端头应设置封头板,封头板应设置在构件内部,与构件端头距离不小于封头板板厚,封头板厚度不小于钢构件最大板件厚度,封头板与钢构件间采用全熔透焊缝连接。

3) 工厂加工阶段 钢构件进行接头端铣,端铣完成后形成企口,企口宽度不小于铸钢件连接接头板件厚度+焊接衬板厚度(8~10mm),企口高 5~10mm。

4) 工厂加工阶段 铸钢件接头处应设置焊接剖口 8,铸钢件接头处焊接剖口角度 30°~45°,接头处设置焊接内衬板。

5) 现场安装阶段 铸钢件端头与钢构件端铣面预留 1~3mm 的焊接间隙,施焊过程中采用多层、多道焊接工艺。

本节提出了一种新的铸钢节点连接方式,相比于其他节点连接形式存在以下优点。

1) 节点对连接的 2 个主体铸钢件及常规钢构件接头分别进行加工处理,处理方式简洁,易于操作,成本较低。

(下转第 64 页)

H400×300×10×16 型钢作为临时支撑加强横向连接,形成整体(见图12)。

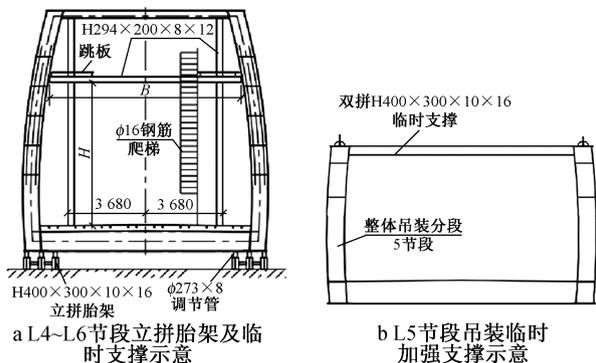


图12 中跨临时支撑示意

### 4.3 临时匹配件

为保证钢桁架的安装线形达到设计线形要求,厂内加工制造时,主桁杆件、桥面系分别进行整体匹配总拼装。为保证 L4~L6 节段立拼钢桁架精确定位,直腹杆环口位置采用临时匹配件固定连接,严格控制制造线形,以保证现场安装顺利进行。匹配件采用 20~30mm 厚钢板制作而成,拼装时采用 M24 冲钉临时固定,实现钢桁架整体快速对接、合龙(见图13)。

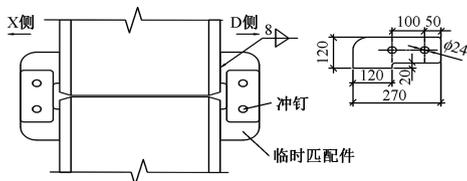


图13 临时匹配件结构示意图

## 5 结语

通过现场实施,对钢桁架结构进行分榀、分段划分,合理选择起重机械的规格、验算起重能力,设置必要的临时支撑与匹配件,能有效保证大跨度分段吊装施工技术在跨京杭大运河钢桁架景观桥项目中的应用效果,施工质量可控、安全性高、技术可行。

随着城市交通系统的不断完善,区间联系越来越紧密,跨越既有线的大型钢桁架结构形式的桥梁不断出现,施工难度大、风险高,尤其是片状钢结构桁架易失稳,根据周边环境、施工条件、桥梁设计特点及景观需求等因素,应用先进的施工技术,选择合适的施工设备,配合合理的临时措施,能大大缩短施工期限,提高施工质量及安全性,保证设计效果,有效降低对既有道路、航道等运营的影响,具有一定的社会与经济效益。

## 参考文献:

- [1] 贾志强,郭红敏.空间曲面钢桁架桥在城市景观设计中的应用[J].城市道桥与防洪,2020(5):111-114,17.
- [2] 魏鹏飞,吕志林,姜旭.三官堂超大跨径钢桁梁桥施工关键技术[J].施工技术,2019,48(11):6-11,15.
- [3] 王麒耳.特大桥钢桁梁吊装施工技术分析[J].交通世界,2019(S1):176-177,181.
- [4] 聂继昌,方国开.浮托法在钢桁梁桥梁架设施工中的应用研究[J].城市建设理论研究,2012.
- [5] 王德海,孙建国,刘晓英,等.大跨度重型钢桁架桥梁卸载施工技术[J].施工技术(中英文),2021,50(16):105-106,116.
- [6] 张大鹏.中承式钢桁架系杆拱桥设计与施工关键技术研究[J].施工技术,2021,50(11):46-50.
- [7] 王恒,汪锋,柯志华,等.大跨度钢桁架人行天桥坐标拟合安装技术研究[J].城市住宅,2020,27(1):144-145,148.

(上接第12页)

2) 节点增加的焊接措施较少,仅包含1块封头板及部分焊接衬板。

3) 节点解决了当下极难解决的铸钢件与常规钢构件的等强连接问题,实现了钢结构设计原则中的“强节点,弱杆件”要求。

4) 节点适用范围广,适用于所有的封闭截面构件与铸钢件等强连接节点。

## 4 结语

本文对杭州亚运会棒(垒)球馆项目钢结构安装方法选择及施工关键技术进行了介绍与探讨,从汽车式起重机作业加固方案、狭窄场地钢结构拼装、空间大跨结构位移控制及铸钢节点等强连接等几方面详细介绍了项目从方案策划到实际施工过程中涉及的技术要点,其中加固、起拱、拼装及铸钢节点等问题的解决方式针对性强、适用范围广,可为后续同类工程施工提供良好借鉴。

## 参考文献:

- [1] 中冶京诚工程技术有限公司.钢结构设计标准:GB 50017—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [2] 中国建筑第六工程局有限公司,天津大学.铸钢结构技术规范:JGJ/T 395—2017.北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [3] 王小辉,范登超,刘志军.空间异形双曲大管径钢管结构吊装技术[J].施工技术(中英文),2021,50(20):46-48.
- [4] 王涛,赵云鹏,袁渊,等.超大型多曲面空间室内植物园钢结构穹顶壳施工[J].施工技术(中英文),2021,50(16):64-67.
- [5] 郁政华.上海浦东足球场钢结构工程施工技术优化[J].施工技术(中英文),2021,50(16):77-79,94.
- [6] 陈志江,任洋洋,贾伟朋,等.开封体育中心体育场罩棚钢结构施工关键技术[J].施工技术(中英文),2021,50(15):125-128.