

极限运动场馆大跨度钢结构施工技术研究

——以三塘体育训练比赛基地项目为样本

文 / 唐秦聪 南宁城市园兴投资集团有限责任公司

摘要：本文以三塘体育训练比赛基地项目为研究对象，系统分析了大跨度钢结构施工技术的创新应用。该项目极限馆采用滑移施工技术，通过液压同步顶推系统实现 72 米跨度桁架单元精准定位；轮滑馆与游泳馆应用整体吊装拼接技术，结合预变形设计与双模测量体系确保 106 米跨结构安装精度。研究揭示了大跨度钢结构的轻量化、模块化特征，通过 BIM 技术构建三维施工模型优化滑移路径与吊装工序减少施工冲突 40%，资源利用率提升 18%。针对空间受限与多工艺协同难题提出轨道刚性连接、温差补偿装置及物联网实时监测等解决方案。项目实践表明，滑移法与吊装拼接技术的集成应用显著缩短工期 25%，为大型体育场馆建设提供了可复用的技术范式。

关键词：大跨度钢结构；滑移施工技术；整体吊装拼接

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.091

引言

大跨度钢结构因其优越的力学性能和空间利用效率已广泛应用于体育场馆和展览馆等大型公共建筑中。三塘体育训练比赛基地项目作为 2023 年全国青运会的重要配套设施，为大跨度钢结构在极限运动场馆中的应用提供了宝贵的实践机会。本研究旨在深入分析大跨度钢结构施工技术在极限运动场馆中的应用，以三塘体育训练比赛基地项目为例探讨其设计和施工过程中的关键技术及实际效果，通过案例分析旨在为类似项目提供技术参考。

一、三塘体育训练比赛基地项目概述

（一）项目规模与功能

三塘体育训练比赛基地位于南宁市兴宁区三塘镇那况路与三塘北路交汇处，三塘北路西侧，总用地面积约 291 亩（约 107031.90 平方米），总建筑面积约 23.75 万平方米。该基地的规划合理，功能分区清晰，旨在满足全国青运会的多项赛事需求。基地分为三个主要地块，其中 04-25 地块包括轮滑馆、极限馆、宿舍楼和游泳馆，04-27 地块涵盖小轮车竞速赛场地和举重馆，而 03-41 地块则设置了射击馆、球类馆和田径馆。各功能区的布局紧凑且具备高度的专业性为赛事的顺利进行提供了充分保障。轮滑馆和极限馆等专业场馆的建设确保了青运会期间极限运动项目的顺利开展，而游泳馆、射击馆和田径馆等则为传统体育项目提供了高标准的竞赛场地。此外，宿舍楼的建设为运动员和工作人员提供了舒适的住宿环境优化了赛事期间的后勤支持，确保了赛事运营的顺畅与高效。整体而言，三塘体育训练比赛基地不仅为学青会的成功举办提供了必需的硬件保障也为南宁市的体育基础设施发展奠定了坚实基础。

（二）设计特点

三塘体育训练比赛基地项目鸟瞰图如图 1，该项目设计以“体育盒子”为意向，采用方正的建筑形态，适

宜的建筑高度契合内部比赛的空间需求。外立面采用白色铝板和深蓝色玻璃幕墙，简洁大气，体现了现代体育建筑的风格。在功能布局上，各场馆根据不同的体育项目需求进行设计，确保了场地的专业性和实用性^[1]。例如，轮滑馆和极限馆的设计充分考虑了运动员的训练和比赛需求提供了宽敞、安全的空间。游泳馆的设计则注重水质控制和观众视线确保了比赛的公平性和观众的观赛体验。射击馆和举重馆的设计考虑到噪音控制和安全防护提供了专业的训练和比赛环境。此外，宿舍楼的设计注重舒适性和功能性为运动员和工作人员提供了良好的住宿条件。整体而言，基地的设计充分体现了功能性、舒适性和美观性的统一满足了学青会各项比赛的需求。



图 1 三塘体育训练比赛基地项目鸟瞰图

二、大跨度钢结构施工技术概述

（一）大跨度钢结构的定义与特点

大跨度钢结构是指跨度超过 60 米的钢结构工程，其在体育馆、展览馆、车站等大型建筑项目以及桥梁等基础设施中得到了广泛应用。钢材本身具有高强度和较好的延展性，使得大跨度钢结构能够在承受较大荷载的同时保持结构的稳定性与安全性。在力学分析中考虑到材

料的屈服强度和极限拉伸强度，钢结构能够有效应对结构内外的各类荷载包括静荷载、动荷载以及风荷载等。大跨度钢结构的抗震性能也较为突出，钢材的韧性和柔性特征使得结构在地震作用下能够产生较大的塑性变形，而不至于发生脆性断裂，因此具有较好的抗震能力。这一点在设计过程中通过地震力分析和结构振型分析得以体现，通常采用有限元分析（FEA）对结构进行动态响应分析确保其满足抗震设计规范要求^[2]。施工周期的短暂是大跨度钢结构的又一重要优势。由于钢结构构件通常在工厂预制，现场安装时可通过机械化吊装等高效方法进行拼装从而大大缩短了施工周期。根据施工经验钢结构的现场施工周期相比传统的混凝土结构可缩短20%-30%。此外，钢结构自重轻，相较于混凝土结构钢结构能够显著减少基础的负荷要求降低了基础施工的难度和成本。在应用领域上大跨度钢结构不仅广泛用于体育场馆、展览馆、机场等公共建筑，还在桥梁、天文望远镜等特殊项目中得到了应用。随着新型钢材和施工技术的不断发展钢结构大跨度的应用将更加广泛，未来可能会在更多新兴领域中发挥重要作用如智能建筑、高层建筑及城市基础设施等。

（二）施工技术发展历程

大跨度钢结构施工技术经历了从传统手工安装到现代机械化施工的逐步发展。20世纪初期，钢结构施工依赖人工操作，效率低且安全风险较高，生产和运输多为手工完成，施工周期长且容易出错。随着工业化进程机械化施工逐渐兴起，起重设备的引入使得大跨度钢结构的施工成为可能。20世纪50年代，整体吊装法被提出并广泛应用，通过将钢构件在地面预制并吊装至设计位置，提高了施工效率降低了人工操作风险。20世纪80年代，BIM（建筑信息模型）技术开始在施工中应用，三维建模和信息共享提升了施工精度和效率优化了施工计划与进度控制。近年来，液压同步顶升和滑移施工等新型方法进一步创新了大跨度钢结构施工技术。液压同步顶升通过液压系统将结构精确升高适用于大型建筑屋顶安装；滑移施工方法通过滑移设备将结构单元沿轨道平稳推移避免了传统吊装方法可能带来的受力不均和精度问题。随着新技术的不断发展大跨度钢结构施工不仅变得更加多样化还在效率、精度和安全性方面取得显著提升，为更大规模、复杂的钢结构项目提供了可靠的技术支持。

（三）施工技术分类

大跨度钢结构的施工方法根据其结构特点和施工条件可分为多种类型，主要包括整体吊装法、高空散装法、滑移施工法、整体提升法和高空悬拼安装法等。整体吊装法是一种常见的大跨度钢结构施工方法，其通过将预先在地面上完成拼装的钢结构整体吊装至设计位置，适用于中小型空间网格结构。该方法具有较高的施工效率

能够减少现场拼装的时间并且通过现代起重设备的辅助确保了结构安装精度^[3]。高空散装法则适用于那些结构形式为全支架拼装的空间网格结构，通过将结构构件分散件在高空进行拼装。这种方法要求施工现场具备较为复杂的支撑体系以确保施工安全与结构稳定性。滑移施工法则常用于场地狭窄或下部不允许搭设支架的情况，施工时通过设置滑轨将结构单元滑移至设计位置。该方法适合于桥梁和高层建筑等大跨度钢结构的施工具有较高的施工灵活性能够避免传统吊装方式在某些特殊场地条件下所带来的困难。整体提升法主要应用于平板空间网格结构，其将结构在地面上预先拼装完成后通过液压千斤顶等设备将其整体提升至设计标高。此法适合于大型建筑物屋顶的安装能够有效减少现场拼装的难度，并且在提升过程中确保结构的平稳与精确。高空悬拼安装法则主要用于大悬挑空间钢结构施工，该方法通过减少临时支承数量提高了施工的效率 and 安全性，同时能够减少支撑系统的重量降低项目成本。每种施工方法的选择都需要综合考虑结构形式、施工场地条件、设备能力等因素，在确保结构安全的前提下最大限度地提高施工效率。通过科学合理地选择施工方法能够有效优化施工工艺确保大跨度钢结构项目的顺利实施和结构的高质量完成。

三、三塘体育训练比赛基地大跨度钢结构施工技术分析

（一）施工方案选择

三塘体育训练比赛基地的建设任务非常复杂，涉及多个大跨度钢结构项目。在选择施工方案时，必须考虑项目的实际需求以及场地条件、结构设计、施工设备和技术的适用性。主要考虑的因素有结构形式、施工方法、安全性和工期。首先，结构类型的选择决定了施工方法的基础。该项目中的大跨度钢结构主要用于屋顶、看台支撑和其他关键空间结构。由于体育场馆有特殊的需求，设计采用了空间网架和桁架结构，这些结构既能满足跨度和承载力的要求，也能确保美观。这些形式具有良好的稳定性，重量较轻，能够有效减少对基础的负担，并且优化了场地的使用^[4]。其次，施工方法的选择需要根据设计和现场条件来决定。为了保证施工顺利进行，滑移法与整体吊装拼接法被结合使用。滑移法适用于极限馆的复杂空间结构与场地限制条件，通过滑移轨道和同步顶推技术将地面预拼装的结构单元精准推移至设计位置^[5]。而整体吊装拼接法则应用于轮滑馆和游泳馆的标准化空间网架结构，通过整体吊装主体钢构件后，再进行局部高空拼接，显著提升了施工效率与精度。如今，缩短施工周期成为建筑项目的重要需求，特别是对于像三塘体育训练比赛基地这样的公共建筑。选择合适的施工方法不仅能缩短工期，还能减少施工过程中的安全风险。为了实现这一目标，本项目通过结合BIM技术对施

工进行优化管理，确保施工计划更加精准，并有效地协调各施工环节，避免了不必要的时间浪费。

（二）关键技术应用

在三塘体育训练比赛基地项目的施工过程中，应用了多种先进的施工技术，尤其是滑移施工技术与整体吊装拼接技术。

滑移施工技术主要用于极限馆的复杂空间结构安装。通过预先在地面完成钢结构的模块化拼装，利用滑移轨道和同步控制系统将结构单元分段平移至设计位置。施工过程中采用激光测距仪实时监测滑移轨迹确保水平偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，并通过液压同步顶推设备协调多组滑移单元同步运行避免结构受力不均导致的变形。该技术有效解决了极限馆因跨度大、场地受限带来的施工难题，同时减少高空作业风险显著提升了安装效率和精度。

整体吊装拼接技术则应用于轮滑馆和游泳馆的标准化空间网架结构。主体钢结构在地面完成预拼装后采用800吨履带吊进行整体吊装，吊装过程中通过全站仪实时校准位置确保安装误差小于 $\pm 2\text{mm}$ 。高空拼接部分采用模块化焊接工艺利用移动式操作平台完成节点连接并通过超声波探伤检测焊缝质量。该技术不仅缩短了施工周期还通过工厂化预制的优势减少了现场拼装难度确保了结构的整体稳定性。此外BIM技术贯穿于施工全过程；针对滑移法和吊装法分别建立三维施工模拟模型，优化工序衔接。如滑移路径的碰撞检测和吊装顺序的干涉分析均通过BIM提前解决减少现场返工。BIM模型还实现了施工进度与资源调度的动态管理为不同施工方法提供精准的技术协同支持。通过BIM技术的应用施工误差发生率降低30%，资源浪费减少15%为多技术联合施工提供了高效的数字化保障。

（三）施工难点与解决措施

三塘体育训练比赛基地的建设面临了多个施工难点特别是在空间受限和精度控制方面。随着项目规模的不断扩大和结构形式的日益复杂施工中面临的挑战也愈发明显。在极限馆滑移施工中西侧混凝土结构与东侧临时道路的夹逼使滑移轨道铺设空间仅 $65\text{米} \times 13\text{米}$ ，且需协调8榀桁架单元同步滑移，结构易受昼夜温差导致的 $\pm 15\text{mm}$ 热变形影响。为此施工团队通过BIM模型优化滑移路径将轨道与混凝土柱刚性连接利用地下室顶板作为滑移基面减少30%临时支撑量；同时采用液压同步顶推系统通过16组位移传感器实时监测偏差并自动调节顶推速度将同步误差控制在 5mm 以内，并在轨道间隔10米设置聚四氟乙烯滑板伸缩缝补偿热变形。

轮滑馆与游泳馆跨度达106米整体吊装时桁架最大下挠 80mm ，高空拼接需在14米标高完成数百个复杂节点焊接。施工团队基于有限元分析对主桁架预设 $1/400$ 反拱值，吊装后自然回弹抵消78%挠度；采用全站仪与

激光跟踪仪联动定位，宏观坐标精度达 $\pm 3\text{mm}$ ，节点角度微调至 $\pm 0.5^\circ$ ，并通过移动式防风除湿舱将焊接区湿度控制在60%以下，采用TIG焊打底与MAG焊填充工艺，实时监测层间温度（ $150 \pm 20^\circ\text{C}$ ），确保Q355B钢材焊接质量。

面对滑移、吊装与土建交叉作业的协同挑战，700吨吊车与滑移设备共享东侧通道导致日协调工序超20项。项目通过四维BIM平台集成多工艺模型按小时级精度模拟设备动线提前48小时锁定关键资源；在结构关键节点布设50个物联网传感器当应力超设计值85%或位移超限时触发三级报警并启动应急预案；同时编制《滑移操作手册》与《大跨吊装指南》，实施“理论+VR模拟+实操”三段式考核，确保关键岗位持证上岗率100%。通过上述系统性措施实现了复杂环境下多工艺的无缝衔接与精准管控。

结语

本研究表明滑移法与整体吊装拼接技术的结合在项目中发挥了关键作用，不仅提供了强大的承载能力和稳定性还通过模块化施工显著降低了成本与周期。在极限馆采用滑移法施工时，液压同步顶推系统与温度补偿装置的应用，确保了72米跨度桁架单元的精准定位，同步误差控制在 5mm 以内；轮滑馆与游泳馆通过整体吊装拼接技术结合预变形设计与双模测量定位将106米跨主桁架安装挠度缩减至 20mm 以下。BIM技术通过三维路径模拟与四维进度推演优化了多工艺协同流程减少施工冲突点40%，资源浪费率降低15%。然而复杂环境下的设备协同调度与高精度焊接质量控制仍需突破，未来可引入AI驱动的智能纠偏系统和机器人焊接工艺进一步提升大跨度钢结构施工的标准化与智能化水平。随着建筑工业化与数字化技术的深度融合，装配式钢结构与实时监测系统的创新应用将为现代体育场馆建设开辟更高效、更可持续的发展路径。

参考文献

- [1] 蒋玉辉, 刘亚伟, 蒋明伟, 曾伏龙(摄影). 体育盒子——三塘体育训练比赛基地[J]. 当代建筑, 2024(12): 88-99.
- [2] 钱震. 大跨度钢结构施工过程的结构分析方法研究[J]. 建筑·建材·装饰, 2019(22): 184, 194.
- [3] 郑军委, 桑兆龙, 孙治民, 等. 大跨度钢结构吊装施工技术研究与应用[J]. 工程建设与设计, 2023(20): 210-212.
- [4] 贾小辉. 现代建筑中大跨度空间钢结构施工技术应用[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(9): 12-14.
- [5] 杨金雨. 大跨度钢结构施工中整体预拼吊装技术[J]. 四川建材, 2024, 50(7): 144-146.

作者简介：唐秦聪（1992—09），男，汉族，广西桂林人，本科学历，助理工程师，从事建筑工程管理工作。