

大跨度空间悬挑结构支撑方案选型研究

——以温州（嘉定）科技创新园为例

杨众璋

上海锦天置业有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i2.4252

[摘要] 本文围绕温州(嘉定)科技创新园二期项目,研究大跨度空间悬挑结构支撑方案选型。从案例项目实际出发,要想在紧张工期、异地建设的环境中完成主架构为钢筋混凝土框架—剪力墙、悬挑部分为空间钢桁架的大跨度钢结构超限悬挑会议大厅的悬挑支撑方案优选。务必从性能分析视角探究交叉斜撑、拉杆斜撑、拉压杆斜撑三种方案的可行性。最后选定结构刚度显著提升、传力效率高,且结构整体性强、关键构件内力分布均匀的交叉斜撑方案。旨在为相关人员提供有益参考,大大优化大跨度空间悬挑结构支撑的施工效果。

[关键词] 大跨度; 悬挑结构; 支撑方案; 方案选型; 温州(嘉定)科技创新园

中图分类号: F121.3 文献标识码: A

Research on support scheme selection of long-span space cantilever structure

——Take Wenzhou (Jiading) Science and Technology Innovation Park as an example

Zhongzhang Yang

Shanghai Jintian Real Estate Co., LTD

[Abstract] Around the Wenzhou (Jiading) Science and Technology Innovation Park Phase II project, the selection of large-span space cantilever structure support scheme is studied. From the actual situation of the case project, it is necessary to complete the overhang support scheme selection of the long-span steel structure overhang conference hall whose main structure is reinforced concrete frame-shear wall and overhang part is space steel bracket in the environment of tight construction period and off-site construction. It is necessary to explore the feasibility of cross brace, tie bar brace and tension bar brace from the perspective of performance analysis. Finally, the cross-diagonal bracing scheme is selected, which has significant increase in structural rigidity, high force transfer efficiency, strong structural integrity and uniform distribution of internal forces of key members. The purpose is to provide useful reference for relevant personnel, and greatly optimize the construction effect of long-span space cantilever structure support.

[Key words] large span; Cantilever structure; Support scheme; Scheme selection; Wenzhou (Jiading) Science and Technology Innovation Park

引言

随着大跨度空间悬挑结构建筑项目的逐年增多,要高度重视悬挑部位上、下层刚度不均衡的问题,尤其是钢结构超限悬挑现象。对此立足具体项目,精心设计并合理选择大跨度空间悬挑结构支撑方案,大大增强悬挑结构与整体结构的稳定性。案例工程中温州(嘉定)科技创新园的会议大厅因大跨度使用需求,导致钢结构超限,意味着悬挑结构支撑方案要合理优化,以期增强结构整体性和安全性。

1 项目案例

温州(嘉定)科技创新园二期项目其总建筑面积分别92000m²,架空层面积4500m²。该项目由五栋塔楼和地下室组成,其中,塔楼指裙房连接成W(地上W1~W3塔楼,在9、12、10层)、E楼(地上E1、E2塔楼,在13、11层)两栋单体建筑,塔楼中部结构为小筒+长剪力墙,用来增强抗侧力;组成地下室分为两层,埋深10米。建筑限高65米。主体结构为钢筋混凝土框架—剪力墙结构体系,剪力墙是首道防线,内设型钢;框架为第二道防线,框架柱

采用高密箍筋+复合井字箍。建筑悬挑部分为空间桁架结构体系^[1]。

2 项目难点

案例项目大跨度空间悬挑结构支撑施工时, 面临工期紧张、手续繁杂的难题, 并存在大跨度钢结构超限悬挑会议大厅的技术阻力, 加之核心筒钢构、玻璃幕墙, 其装配比例高。基于技术层面遇到的问题, 务必做好大跨度空间悬挑结构支撑方案选型工作, 立足项目实际, 运用BIM建模分析, 以及3D3S受力分析, 掌握整体结构内力情况, 达到安全化、性能化的设计要求; 还要进行重要节点设计分析, 优化钢构方案, 以期顺利通过当地超限评审, 并以较低工程造价完成大跨度空间悬挑结构高质量、高效率支撑任务^[2]。



图1 大跨度空间悬挑结构BIM建模分析

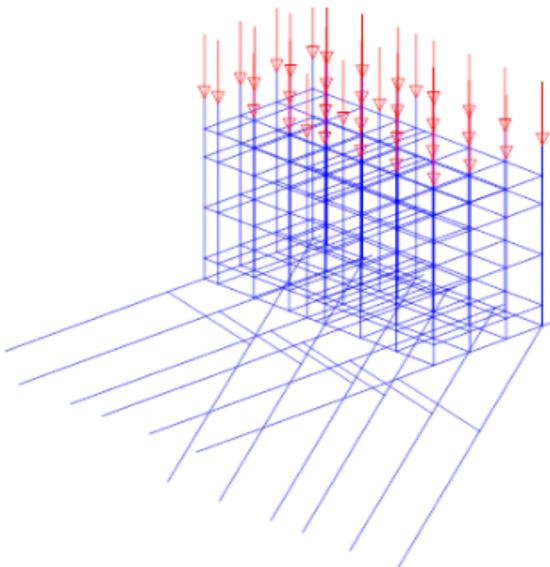


图2 大跨度空间悬挑结构3D3S受力分析

其中, 整体结构内力分析时, 通过YJK和MIDAS软件建模, 对比自振周期, T1自振周期下YJK为1.854s, MIDAS为1.862s; T2自

振周期下YJK为1.502s, MIDAS为1.511s; T3自振周期下YJK为0.479s, MIDAS为1.862s; T2自振周期下YJK为1.502s, MIDAS为0.482s。两种软件自振周期的相对误差较小, 说明所选软件具有可行性。确定所选软件可行后, 计算悬挑端部上节点X、Y、Z向的位移, 得知结构整体情况。

表1 基于YJK软件和MIDAS软件的自振周期对比

自振周期	YJK/s	MIDAS/s
T1	1.854	1.862
T2	1.502	1.511
T3	0.479	0.482

从表格数据可知, 两种软件自振周期的相对误差较小, 说明所选软件具有可行性。

3 悬挑结构支撑方案选型

3.1 空腹桁架结构方案比较

现今空腹桁架结构细分多种, 以材料为依据, 包括预应力混凝土型、型钢混凝土型、钢结构型三种。概括来讲, 对钢结构空腹桁架(方案一)与带混凝土斜撑空腹桁架(方案二)对比分析。方案一: 案例项目五栋塔楼属于多层结构, 空腹桁架构件内力的影响因素之一是施工顺序, 要想规避全程高空支模, 可采用钢结构空腹桁架。不足之处是存在多层空腹悬架受力不均, 需与施工配合^[3]。方案二: 以常规步骤进行施工, 既能规避构件应力不均, 又能省略高空支模环节, 施工成本较低。不足之处是局部斜撑影响外立面建筑效果。

3.2 斜撑方案比较

带混凝土斜撑空腹桁架结构方案分交叉斜撑、拉杆斜撑、拉压杆斜撑。为保证案例项目中大跨度悬挑会议大厅建筑使用功能, 临近悬挑位置的会议大厅上空设置斜撑, 以此起到结构加固作用, 增强结构整体性; 悬挑下方可通过上层斜撑+下层拉杆进行通道设计。其中, 上中层采用箱型截面, 下层采用工字型截面。已有方案在悬挑区域斜撑布置方面存在出入, 交叉斜撑方案侧重支撑布置, 拉杆斜撑方案和拉压杆斜撑方案侧重结构布置。

4 性能分析

4.1 结构静力特性

交叉斜撑布置方案关系到结构整体性能, 主要根据方案中竖向刚度来判断结构整体性能。然而竖向刚度大小变化, 从悬挑结构端部位移得知。如果位移角达到规范要求, 意味着交叉斜撑布置具有合理性, 能够提升结构整体性能。除此之外, 结构静力特征又指杆件内力、钢构件应力比, 案例项目的悬挑结构底部梁承受弯矩较大, 梁端弯矩较小。交叉斜撑方案中, 斜撑杆件受力基本相同, 且拉力较小, 这便于构件截面设计, 并能为节点连接提供良好条件。分析钢构件应力比, 主要围绕三种方案的抗震表现进行分析, 确切来说, 针对三种方案中悬挑结构关键构件的在地震作用下的应力比值展开分析, 当应力比不超过0.85, 说明能

够保证构件抗剪弹性,达到性能化设计效果。构件受力以弯矩和剪力为主、轴力为辅,可避免实腹桁架中斜杆对建筑功能的影响,同时空腹桁架的受力均匀、传力明确、构造简单、结构刚度利用充分,则建筑设计效果能够达到预期。

4.2重要节点设计

基于有限元软件分析三种方案的斜撑布置是否合理,掌握重要节点设计要点,保证节点安全性。节点应力分析前,合理选择节点位置,主要从最大受力节点中进行选取。文中选择悬挑结构根部上部节点和中部节点进行设计分析。罕遇地震情形下,悬挑结构根部上部节点在柱变截面的角点处可见应力集中,因弹性犹存,所以悬挑结构根部上部节点未处于屈服状态。悬挑结构根部中部节点的最大应力超过悬挑结构根部上部节点的最大应力,节点在同样的位置存在应力集中,整体处于弹性阶段。其中,应力集中常见于变截面位置,范围较小。要想缓解应力集中现象,可通过改变角点位置形状来实现,以圆弧状进行问题处理,提高悬挑结构根部重要节点的安全性,即便遇到罕见地震,仍表现出良好的抗震性能。

5 最终方案及施工

5.1最终方案

温州(嘉定)科技创新园二期项目大跨度空间悬挑区域最终结构支撑方案选为交叉斜撑方案。案例项目跨越9、12、10层的W1~W3塔楼和13、11层的E1、E2塔楼,受力分析可知,斜撑承受一定竖向荷载,应用交叉斜撑方案,指导现场交叉斜撑拼接,则悬挑结构刚度明显提升,悬挑端部上节点X、Y、Z向的位移情况: X向第1榀位移8.7,第2榀位移10.4,第3榀位移8.1; Y向第1榀位移4.6,第2榀位移4.9,第3榀位移-0.7; Z向第1榀位移-26.8,第2榀位移-15.2,第3榀位移-45.2。层间位移角满足规范要求,说明这一方案竖向刚度大,整体结构好,且传力效率大大提高。此外,交叉斜撑方案使结构整体性增强,且关键构件内力分布较均匀,便于后续节点设计。

表2 基于交叉斜撑方案悬挑端部上节点X、Y、Z向的位移情况

方向	第1榀	第2榀	第3榀
X向	8.7	10.4	8.1
Y向	4.6	4.9	-0.7
Z向	-26.8	-15.2	-45.2

从表格数据可知,层间位移角满足规范要求,说明这一方案竖向刚度大,整体结构好。

5.2施工方案

围绕案例项目悬挑区域交叉斜撑施工时,力争得到温嘉两地政府及各级部门的支持与配合,参照相关政策及规定,在有限时间内跨越式施工。

施工过程中,先围绕局部构件施工,目的是减少竖向荷载,局部施工后逐渐向外建造。在此期间,加强设计单位、审图单位、施工单位之间的联系,根据悬挑区域交叉斜撑方案实践情况来调整钢构计划、简化幕墙构件,以期顺利通过上海市超限评审,解决大跨度钢结构超限悬挑会议大厅施工难题,完成低成本、高效率施工任务。须注意的是,在悬挑区域下部楼层设置整层高的悬挑钢平台,利用拉索连接主体结构,同时,在平台上支模建造斜撑上部悬挑区域,当施工活动达到指定楼层之后,逐次拆模,最后建造斜撑下部悬挂框架^[4]。如果施工环节遇到夹层斜柱框架梁无法顺利添加的情况,那么可通过斜撑增设+桁架方案来保证建筑功能性和稳定性。此外,基于抗连续倒塌设计要求,还要在施工中加固二道防线,进行框架维稳,即便出现地震或偶然荷载,仍能保证温州(嘉定)科技创新园二期项目建筑物的安全。

6 结论

综上所述,大跨度空间悬挑结构支撑方案选型工作十分重要,本文立足温州(嘉定)科技创新园项目实际,客观总结项目难点和技术阻力,针对性选择悬挑结构支撑方案。根据交叉斜撑方案进行施工,并在施工方案中丰富内容、明确相关要求,优化案例项目大跨度空间悬挑结构支撑水平。

[参考文献]

- [1]曹智,祖公博,曾小辉,等.超高层大跨度悬挑结构模板支撑体系研究与应用[J].中国住宅设施,2023,(4):106-108.
- [2]刘翔.建筑物高空大跨度悬挑结构模板支撑施工技术应用[J].科学技术创新,2023,(25):180-183.
- [3]赖泽荣.大跨度对称性悬挑结构施工临时支撑卸载技术研究[J].广州建筑,2021,49(4):12-15.
- [4]汤子祥,关群.防屈曲支撑对大跨度悬挑框架结构的抗震影响[J].安徽建筑,2021,28(2):76-78.

作者简介:

杨众璋(1978--),男,汉族,温州市人,本科,中级工程师,研究方向:高级房地产。