

中庭树状钢柱支撑屋面钢网格结构施工技术

朱圆葵¹ 邹国祥²

1 北京建工集团有限责任公司，北京，100032；

2 北京城建集团有限责任公司，北京，100088；

摘要：随着建筑行业的不断发展，在大型办公类建筑中以钢结构为主体的建筑越来越普遍，大型中庭屋面部位越来越多的应用钢结构支撑屋面采光顶，其中树状结构，是一种较为新颖的结构形式，是一种空间建筑仿生结构，其具有合理的传力路径，承载力较高，支撑覆盖范围等特点。仿生树状结构支撑+大跨度屋面钢网格结构作为一个整体施工难度非常大，按常规施工方法施工措施投入大，施工过程安全风险高，整体成型效果差，研究“中庭树状钢柱支撑屋面网格结构施工工法”有效解决了如何更为简易的为较为发散的多级分支提供施工平台，如何解决大跨度树枝构件空间定位问题，如何实现树状支撑与屋面钢网格结构精准对接问题。

本文通过北京昌平区某项目，更为科学合理的实现了，中庭部位仿生树状结构支撑屋面钢网格结构施工，有效的提高了施工效率，保证了施工安全，具有较好的经济效益。

关键词：树状柱；贝雷架；分级卸载；后嵌法

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 11. 009

1 工程简介

好未来昌平教育园区项目位于昌平区沙河镇七里渠南北村。项目总建筑面积 127670 平方米，地下建筑面积 56584 平方米，地上建筑面积 71086 平方米。结构形式为地下钢筋混凝土框架+剪力墙、地上钢框架+偏心支撑。地下 3 层，地上最高 9 层，建筑高度 45m。建筑主体平面形状呈回字形，中心围合了 9 层通高的室内中庭，其西侧裙房布置配套商业。

本工程西南角为三层通高主入口。主入口分权斜柱为入口上部结构主要受力支撑构件，底部柱脚锚入承台内 5 米，顶部标高位于三层顶，支撑四至九层主体框架结构。

中庭树状结构树杆为三根圆管组焊构件，树杈结构分二层分杈，一层分杈为 3 根，二层分杈 9 根，分杈顶部做为屋顶平台支撑点，屋顶平台为网格结构。

2 关键施工技术及创新

2.1 大跨度钢结构采光顶屋面施工流程

中庭树状钢柱支撑大跨度钢结构采光顶屋面为单层网格结构，顶部标高为 44.35m，总重 360 吨，整个屋盖与四周钢框架主体结构没有连接，由四根树状钢柱独立支撑。大跨度钢结构采光顶屋面具施工流程如下：

中庭树状钢柱随主体框架结构施工→当主体框架结构完成至 F8 层后，安装全装配式支撑结构→待主体结构封顶后，安装采光顶屋面钢结构→待屋面钢结构安装完成后安装二级树杈→整体结构施工完成后分级卸

载→拆除全装配式支撑结构。

3 全装配式支撑胎架设计

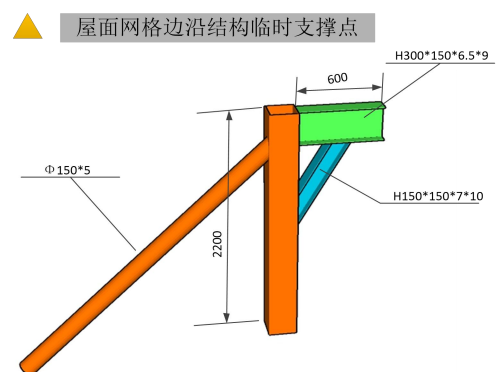
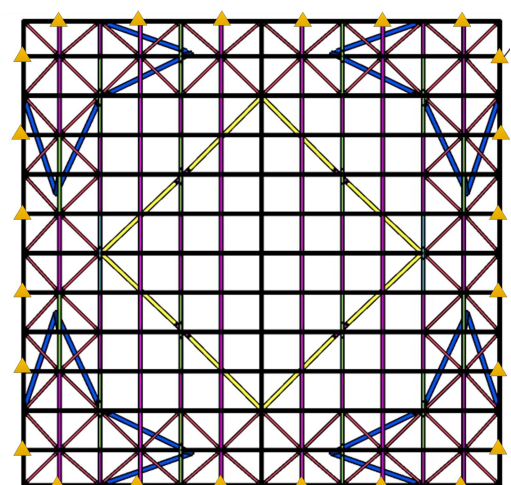


图 3 屋面结构周边临时支撑架

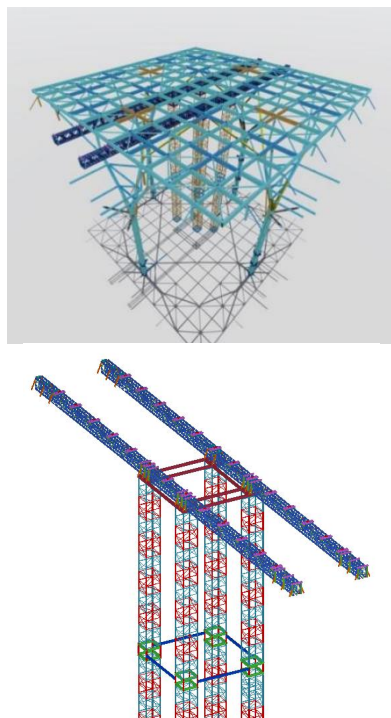


图 4 屋面中部临时支撑架

本项目大跨度钢结构采光顶屋面为单层网格结构且跨度很大，结合二级树杈支撑点位综合考虑，除了在屋面周边设置临时支撑点外，在屋面中部设置两道全装配式支撑结构，如上图所示。

全装配式支撑结构主要包括中间四组支撑立柱及屋面两道支撑桁架：四组支撑立柱拟采用成品塔吊标准节、支撑桁架采用“321”装配式公路钢桥（标准贝雷架），贝雷架整体采用“单层三排”。

3.1 中庭大跨度采光顶屋面装配式支撑立柱的底座细部做法

装配式支撑支柱的支座位置布置在轴 10、11 交轴 F、G 轴相交部位，支撑柱均设置在框架结构柱位置。根据结构构造情况，其中的一组支座生根在 B1 层结构楼板处，另外三组立柱生根在±0 板结构层处。

3.2 装配式支撑支柱非标准节设置

本工程装配式支撑支柱采用塔吊标准节相互连接构成，为实现支撑立柱的高度调整及实现相邻立柱之间的连接，需在立柱的高度范围内局部采用“非标准”构造件。“非标准件”平台梁采用 H300*300*10*15，材质为 Q235B，所有杆件连接为等强焊接连接。

3.3 临时支撑结构水平稳定性保障措施

为保证临时支撑结构的稳定，防止支撑结构在安装过程中受到碰撞及结构本身侧向力过大导致结构不稳，在格构柱之间（中间和顶部）增加横向连接，使的中庭四组格构柱形成一个闭合框架结构。

为保证中庭临时支撑在施工过程中的侧向稳定性并增加其安全性，所有支撑柱全部设置揽风绳，揽风绳一端固定在格构柱顶部上，提前在土建楼板梁柱上预埋固定埋件，将揽风绳另一端固定在土建结构梁柱上，揽风绳采用 $\Phi 16$ 钢丝绳，利用手拉葫芦将揽风绳拉紧后固定。

4 中庭大跨度钢结构采光顶屋面安装受力分析

4.1 全装配式支撑结构安装完成后的受力分析

中庭树状钢柱一级树杈首节构件吊装完成后，中庭支撑架支座最大反力约为 52KN，杆件最大应力为 24.70MPa，最大位移矢量为 7.24mm，满足相关标准及规范要求。

4.2 屋面网格结构边沿构件吊装

中庭屋面网格结构施工，先安装边沿构件。本施工阶段对边沿构件吊装的施工工况进行施工模拟分析。

中庭屋面网格结构边沿构件吊装完成后，中庭支撑架支座最大反力约为 53KN，屋面支撑架最大支座反力为 21KN，杆件最大应力为 31.18MPa，最大位移矢量为 7.24mm（1.3DL 工况），满足相关标准规范要求。

4.3 中庭屋面网格结构主梁吊装一

中庭屋面网格结构遵循“先主梁后次梁，由中间向两侧”的施工原则进行钢构件吊装：

中庭屋面网格结构主梁吊装一阶段构件吊装完成后，中庭支撑架支座最大反力约为 58KN，屋面支撑架最大支座反力为 37KN，杆件最大应力为 33.10MPa，最大位移矢量为 12.03mm（1.3DL 工况），满足相关标准规范要求。

4.4 屋面网格结构主梁吊装流程二

中庭屋面网格结构主梁吊装二阶段构件吊装完成后，中庭支撑架支座最大反力约为 69KN，屋面支撑架最大支座反力为 58KN，杆件最大应力为 48.37MPa，最大位移矢量为 13.78mm（1.3DL 工况），满足相关标准规范要求。

4.5 中庭屋面网格结构次梁吊装流程一

中庭屋面网格结构次梁吊装一阶段构件吊装完成后，中庭支撑架支座最大反力约为 81KN，屋面支撑架最大支座反力为 85KN，杆件最大应力为 85.15MPa，最大位移矢量为 22.63mm（1.3DL 工况），满足相关标准规范要求。

4.6 中庭屋面网格结构主梁吊装流程三

中庭屋面网格结构主梁吊装三阶段构件吊装完成后，中庭支撑架支座最大反力约为 90KN，屋面支撑架最

大支座反力为 97KN, 杆件最大应力为 86.6MPa, 最大位移矢量为 23.56mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.7 中庭屋面网格结构次梁吊装流程二

中庭屋面网格结构次梁吊装二阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 100KN, 屋面支撑架最大支座反力为 116KN, 杆件最大应力为 110.58MPa, 最大位移矢量为 28.37mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.8 中庭屋面网格结构主梁吊装流程四

中庭屋面网格结构主梁吊装四阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 106KN, 屋面支撑架最大支座反力为 115KN, 杆件最大应力为 116.15MPa, 最大位移矢量为 29.05mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.9 中庭屋面网格结构次梁吊装流程三

中庭屋面网格结构次梁吊装三阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 115KN, 屋面支撑架最大支座反力为 124KN, 杆件最大应力为 132.34MPa, 最大位移矢量为 31.47mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.10 中庭屋面网格结构主梁吊装流程五

中庭屋面网格结构主梁吊装五阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 120KN, 屋面支撑架最大支座反力为 121KN, 杆件最大应力为 143.17MPa, 最大位移矢量为 31.82mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.11 中庭屋面网格结构次梁吊装流程四

中庭屋面网格结构次梁吊装四阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 126KN, 屋面支撑架最大支座反力为 123KN, 杆件最大应力为 160.09MPa, 最大位移矢量为 32.76mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.12 中庭屋面网格结构主梁吊装流程六

中庭屋面网格结构主梁吊装六阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 129KN, 屋面支撑架最大支座反力为 129KN, 杆件最大应力为 168.05MPa, 最大位移矢量为 32.86mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.13 中庭屋面网格结构次梁吊装流程五

中庭屋面网格结构次梁吊装五阶段构件吊装完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 135KN, 屋面支撑架

最大支座反力为 161KN, 杆件最大应力为 187.10MPa, 最大位移矢量为 33.9mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.14 中庭屋面网格结构二级树杈吊装流程一

中庭屋面网格结构二级树杈吊装一阶段完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 135KN, 屋面支撑架最大支座反力为 164KN, 杆件最大应力为 187.17MPa, 最大位移矢量为 34.22mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求。

4.15 中庭屋面网格结构二级树杈吊装流程二

中庭屋面网格结构二级树杈吊装二阶段完成后, 中庭支撑架支座最大反力约为 135KN, 屋面支撑架最大支座反力为 164KN, 杆件最大应力为 188.65MPa, 最大位移矢量为 34.2mm (1.3DL 工况), 满足相关标准规范要求, 属于本工程施工阶段的最不利工况。

如上所示, 在中庭树状支撑结构及屋面网格结构吊装过程中, 中庭支撑架最大反力为 135KN, 屋面临时支撑点最大反力为 164KN。在各关键施工阶段临时支撑结构及主体结构的应力 (临时支撑架最大应力为 188.65MPa)、变形 (屋面网格结构梁最大位移值为 33.34mm) 均符合设计相关标准规范。

应力最大部位为屋面临时支撑桁架 (“321” 贝雷架) 的上下弦杆位置, 均小于容许应力 260MPa (钢材为 Q355C, 对于临时结构, 荷载组合的容许应力提高系数 $k=1.3$), 满足《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ025-86) 对临时结构的要求。

5 结语

树状钢柱支撑屋面钢网结构作为一种较为新颖的结构形式, 其构造形式复杂, 三维空间内安装定位实施困难, 超高空作业危险系数高。本工艺的总结形成有效的推动了仿生树状钢柱支撑屋面网格结构施工水平提升, 社会效益显著。

参考文献

- [1] 《一种支撑连接件、树状异形钢结构支撑装置及施工方法》(专利号: ZL202210057488.6)。
- [2] 《钢结构通用规范》(GB55006) 中国建筑工业出版社。
- [3] 《钢结构工程施工规范》(GB50755) 中国建筑工业出版社。

作者简介: 朱圆葵 (1989, 1-), 女, 汉族, 安徽省芜湖市, 工程师, 本科, 研究方向: 工商管理, 北京建工集团有限责任公司, 北京市, 100055。