

高架车站大悬挑大跨度钢架安装质量关键技术研究

陈喜晖, 闫昌盛, 吴伟文, 王长春

(浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 311100)

摘 要: 城际铁路车站多采用大跨度、大悬挑、双曲面弧形的屋面设计, 且施工区域多位于在城市密集区内, 施工质量、安全难以保证, 尤其是对于造型多样且重量大的建筑悬挑段而言施工难度更大。本文以斜桥镇站大悬挑钢架安装为例, 分析了大悬挑、大跨度钢架施工存在的难点, 并通过比选确定了格构柱法作为施工方案。经过理论和有限元分析计算确定了格构柱的具体设计参数, 结合实际工程阐述了格构柱支撑施工要点和相关的质量安全控制措施。结论如下: 大悬挑、大跨度钢架安装过程中, 采用格构柱法进行安装是可行的, 相对吊装法和支模架法具有施工质量高和造价低的优势; 在设计阶段采用有限元分析可以获得最优格构柱型号参数。

关键词: 高架车站; 大悬挑; 钢架安装; 格构柱; 关键技术

中图分类号: TU3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 03—0139—04

随着国内公共与民用建筑钢结构的发展, 大跨度、大空间会展场馆类钢结构设计层出不穷, 但是如何将这类安装难度超大的钢结构工程完美呈现在公众面前, 完成设计理念到实际的完美落地一直是现场施工管理孜孜不倦的追求。

大跨度钢结构领域, 国内许多学者从理论研究到施工技术都进行了很多研究。Qiaosheng C 等通过模拟施工全过程的基础上选择了合理的施工方案。Xihua S 等以杭州东站东侧为例, 在狭窄场地中探索大跨度外挑管桁架屋盖的吊装施工技术。王良波等以北京望京 SOHO 工程为依托, 通过受力分析, 保证了整个 T2 塔楼钢屋面顺利施工。孙群伦等以某会展中心建筑为工程背景, 证明分段吊装拼装技术方法可靠。

以上列举的研究成果, 为大跨度门式钢架的施工技术与设计优化提供了宝贵的理论和实践经验, 然而大悬挑、大重量的构件安装施工研究依然很少。因此本文以斜桥镇站为例, 通过不断优化确定实际应用的格构柱参数, 并提出了大悬挑刚架安装的格构柱法的施工工艺。

1 工程概况

斜桥镇车站总体呈东西向布置, 位于主干公路上, 车站由上至下分为站台层、站台板下层、站厅层。车站钢结构最高点高度为 23.35m, 跨度为 33.4m, 总长度 108m, 如图 1 所示。车站两端的悬挑的空间尺寸 (长 × 宽 × 高) 为 34.7m × 24m × 12.7m, 为双曲线弧形,

采用 D402 × 14 圆钢管。

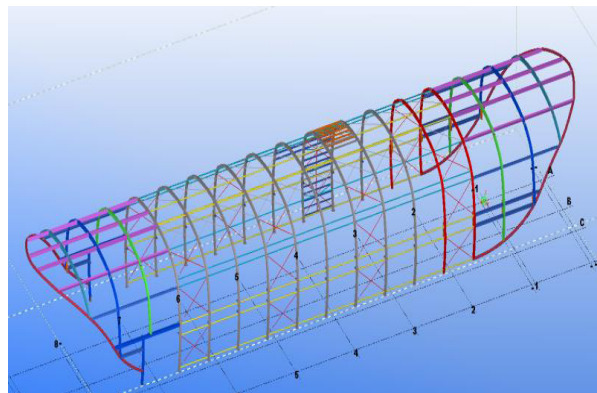


图 1 斜桥镇车站钢结构空间布置图

对于斜桥车站这类大悬挑大跨度弧形钢结构的安装施工存在以下难点:

(1) 交叉施工难。悬挑段安装需要设置支撑体系, 支撑点在 2 个车站的轨行区内, 且不影响机电标段施工, 支撑体系在有限区域内满足悬挑段钢架安装。

(2) 精度控制难。悬挑段钢架高度高, 构件重量重, 故安装过程中起拱度、水平度精度控制难度非常大, 安装过程中稳定性难以保证。

(3) 安全管理难。车站位于通行一级公路上方, 交通流量大, 在施工期间安全防护要求高, 高空坠物管理难度大。

(4) 预期效果难。在屋面板工程施工中建设单位对屋面板外观质量上要求需与设计效果图一致, 其技术难度较大。

2 施工方案确定

现有的研究中,大跨度钢架主要通过场下整体吊装施工和满堂支架法施工,从以下4个方面依次对比。

(1) 施工精度。与传统的场下拼装后整体吊装方法相比,格构柱法安装门式悬挑钢结构,为悬挑构件吊运、安装提供了临时支撑,安装定位精度显著提高。

(2) 质量保证。格构柱在结构没有合拢之前给不完整结构提供可靠的临时的支撑受力点,并提供一个矫正定位的受力平台。有效控制了整体吊装造成的定位偏差及焊缝尺寸偏差,保证了施工质量和完成效果。

(3) 安全性。分段吊装降低构件吊装重量,为构件吊装提供施工平台,降低了整体吊装风险,减少与轨行区和其他专业施工的冲突。

(4) 施工费用。格构柱法施工与场下整体吊装施工、满堂支架法相比,每座车站钢结构悬挑段施工至少节约成本10.3万元,具体费用对比如表1所示。

表1 施工费用对比表

序号	方案	费用清单	合计
1	场下整吊装	1.场地硬化、破除:15.3万元。 2.汽车吊、运输车租赁:1万元。	16.3万元
2	满堂支架法	1.人工:3万元。 2.汽车吊、运输车租赁:3万元。 3.场地硬化、破除:23.5万元。 4.碗扣式支架租赁:4.5万元。	31万元
3	格构柱法	1.人工:0.5万元。 2.基础硬化、破除:0.46万元。 3.汽车吊、运输车租赁:1万元。 4.格构柱购置:15万元。	5万元

综上对比可知,该项目选择格构柱法施工更具优势。

3 格构柱设计

3.1 格构柱的理论计算

对于格构柱考虑柱身稳定性,现有主要采用平衡法、动力法和能量法,其中能量法被广泛用于临界荷载求解,本文采用能量法进行计算,同时考虑模型尺寸,采用缀条柱进行计算,见图2。

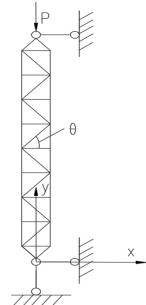


图2 缀条柱简图

格构柱弯曲临界荷载公式为:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E}{l^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\pi^2}{2} \left(\frac{b^2}{l^2} \right) \frac{A_1}{A_2 \sin \theta \cos^2 \theta}} \quad (1)$$

其中, b 为主肢间距, θ 为斜缀条与水平轴的夹角, A_1 表示格构柱主肢面积, A_2 表示斜缀条面积, I 为格构柱主肢组合截面对形心轴的惯性矩。

考虑格构柱材料的非线性,需要对钢材的应力-应变关系进行研究。具体参考如式2所示:

$$\sigma = \begin{cases} E_s \varepsilon & (\varepsilon \leq \varepsilon_e) \\ -A\varepsilon^2 + B\varepsilon + C & (\varepsilon_e \leq \varepsilon \leq \varepsilon_d) \\ f_y & (\varepsilon_d \leq \varepsilon \leq \varepsilon_2) \\ f_y \left[1 + 0.6 \frac{\varepsilon - \varepsilon_2}{\varepsilon_{e3} - \varepsilon_2} \right] & (\varepsilon_2 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_3) \\ 1.6f_y & (\varepsilon > \varepsilon_3) \end{cases} \quad (2)$$

$$\varepsilon_e = 0.8f_y / E_s \quad (3)$$

$$\varepsilon_d = 0 \quad \varepsilon_2 = 100\varepsilon_d = 1.5\varepsilon_e \quad (4)$$

$$A = 0.2f_y (\varepsilon_d - \varepsilon_e)^2 \quad (5)$$

$$B = 2A\varepsilon_d \quad (6)$$

$$C = 0.8f_y + A(\varepsilon_e)^2 - B\varepsilon_e \quad (7)$$

其中: E_s 为弹性模量,取值 $2.03 \times 10^5 \text{MPa}$, f_y 钢材的屈服强度, ε_e 比例极限所对应的应变值, ε_{e1} 开始进入屈服阶段所对应的应变值, ε_{e2} 开始进入强化阶段所对应的应变值, ε_{e3} 强度极限所对应的应变值。

3.2 格构柱有限元计算和型号优化

选用 Midas-gen 800 建立了几何模型(如图3)。计算选取跨为一个层间并施加荷载,构件型号根据经验初定,通过在不同荷载组合下的计算表明柱身稳定性和安全性皆满足要求,组合见表2,其中 DL 为重力荷载, LL 为活荷载, WL 为风荷载。

表2 荷载组合表

序号	组合类型
1	1.35DL+1.4LL
2	1.2DL+1.4LL
3	1.0DL+1.4LL
4	1.2DL+1.4LL+1.4WL
5	1.2DL+1.4LL-1.4WL
6	1.0DL+1.4LL+1.4WL
7	1.0DL+1.4LL-1.4WL

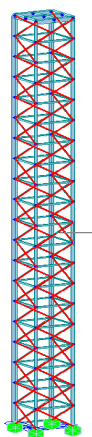


图3 格构柱模型三维视图

为保证经济性，通过不断的计算对格构柱组件参数不断优化，格构柱最终选用的具体型号如表3所示，格构柱截面尺寸为1.5m×1.5m，单段长度2.2m。

表3 格构柱构件型号

序号	名称	初定型号	优化型号
1	主肢	L140×12	L120×12
2	直缀条	L80×5	L75×5
3	斜缀条	L60×4	L50×3
4	柱顶平台梁	H200×200×8	H200×200×6

4 格构柱法施工

4.1 施工要点

4.1.1 安装格构柱连接底板

格构柱作为临时支撑分别设置在桥面轨道层和地面后浇筑的基础上，每个悬挑端4个，如图4所示。

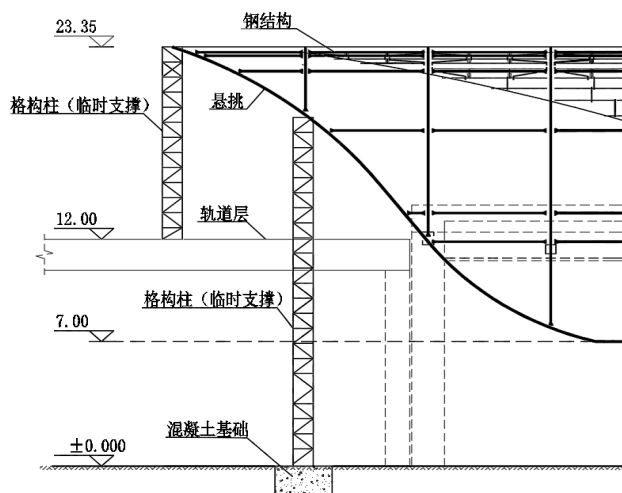


图4 格构柱立面位置

桥面轨道层的格构柱：4个柱脚分别采用M12化学锚栓植入梁面，然后放置方形钢板。地面上的格构柱：先采用全站仪放样，将支撑点位置标记在地面上，以点位为中心开挖结构尺寸为2m×2m×1m的基坑并浇筑C20混凝土基础。

4.1.2 柱脚安装

将一节格构柱放置于连接底板上，然后将格构柱底座与连接底板接触位置焊牢。考虑到格构柱架调平处理后支撑与预埋钢板出现空隙，可采用在支撑架侧与预埋板处增设一块钢板后相互焊接牢固。

4.1.3 格构柱吊装、拼装

对格构柱的节段进行场下拼装，将4个节段拼装成一个吊装单体。安装时各节段的插销均按要求设置到位，对后续节段进行吊装，直至达到要求标高位置，如图5所示。

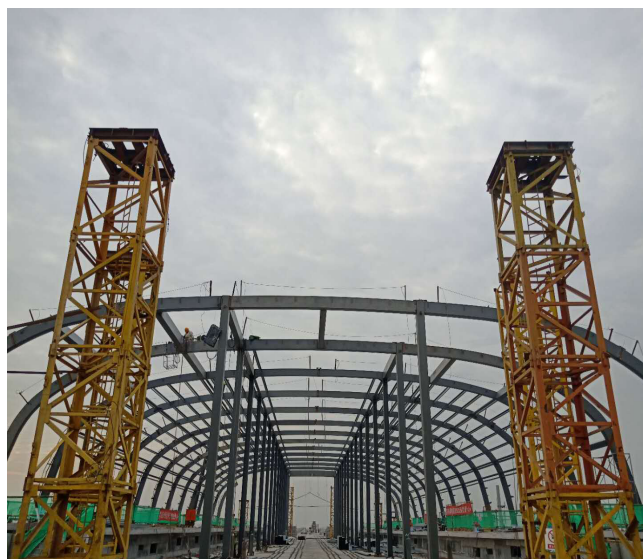


图5 格构柱安装完成

4.1.4 柱身固定

根据现场实际设置缆风绳或硬性拉结等安全措施，确保格构柱的稳定性。基础设置在地面的格构柱，设置“八字形”拉撑与轨道层埋件连接，在格构柱顶部分别设置4根12#缆风绳，保证格构柱稳定。相邻格构柱之间的连接用槽钢相连，形成框架结构。

4.1.5 悬挑段钢结构吊装

悬挑构件按专项施工方案要求顺序进行吊装，如图6所示。吊装期间，测量人员通过测量反光片及时对钢结构的标高、平面位置进行复核，满足设计及规范要求后进行临时加固和构件拼装焊接，直至悬挑段安装完成。



图6 悬挑段安装

4.1.6 格构柱拆除

现场在根据实际情况对安放在地面上的4个格构柱进行对称拆除,桥面轨道层的4个格构柱保留至另一侧悬挑施工完成后再进行两端同步拆除,以此确保悬挑结构的安全质量。

5 结论

本文针对高架车站大跨度、大悬挑、双曲面弧形的屋面设计特点,提出了格构柱法的安装施工工艺,然后结合斜桥镇车站依次说明从格构柱设计和现场施工工艺流程。结论如下:

(1) 通过方案对比格构柱法相对于满堂支模架搭建和吊装搭建法,具有施工进度高、质量安全可靠、施工成本低和施工快捷等优点,社会经济效益显著。

(2) 通过在实际工程中的成功应用表明格构柱设计参数和工艺是可靠的,具有一定的工程借鉴意义。

参考文献:

- [1] Fan Z, Liu X M, Fan X W, et al. Design and research of large-span steel structure for the National Stadium[J]. Journal of Building Structures, 2007, 28(2): 1-16.
- [2] Goman Ho, Song Changjiang, Yang Hua, 等. Design and analysis of the large span single layer latticed steel roof for Tianjin Yu jia pu transport hub[J]. Building Structure, 2012.
- [3] Jayasinghe, S. Comparison of portal frames of UB sections with the lattice girder portal frames[C]// 2009.
- [4] Qiao sheng C, Rong juan P, Ping J, et al. Key Technology During the Design and Construction of Large-span Compound

Spherical Lattice Shell of Steel Truss and Dome[J]. Construction Technology, 2014.

[5] Xihua S, Zhi gang Z, Bo C, et al. Construction Technology of the Tube Truss of Long-span Out-extended Roof and the Hoisting of Latticed Column with Special Site Condition[J]. Construction Technology, 2017.

[6] Jiawei Z, Xiaoqing Z, Shi lin D, et al. Design of static load test model for a complex large span rail-way station[J]. Journal of Civil Architectural& Environmental Engineering, 2016.

[7] Guan gen Z, Qian Z, Wei H, et al. The Key Construction Technology for Steel Structure of the New Hangzhou East Railroad Station[J]. Construction Technology, 2012.

[8] 王良波, 姚建忠, 马贵红, 等. 北京望京 SOHO 弧形屋面钢结构施工技术 [J]. 施工技术, 2013, 42(20): 4-6.

[9] 孙群伦, 林滨滨, 傅林波. 椭圆形钢结构弧形钢梁分段吊装拼装技术 [J]. 施工技术, 2014, 43(02): 32-34.

[10] 高雷, 张坡, 牛富兰, 等. 大跨度双曲面椭球形钢结构穹顶施工技术 [J]. 住宅与房地产, 2018(21): 206+218.

[11] 郭建民, 周建丰, 许永磊, 等. 双曲面大跨度钢结构网架施工技术探讨 [J]. 中国建筑金属结构, 2017(03): 54-57.

[12] 张淑莉. 中关村金融中心大跨度钢桁架安装技术 [J]. 铁道设计标准, 2004(06): 114-116.

[13] 孙新民, 刘建岗, 刘丰铭, 等. 高大悬挑结构高支模架体支承钢平台施工技术 [J]. 建筑技术, 2015(08): 690-692.

[14] 韩庆华, 赵秋红, 卢燕. 钢结构稳定性 [M]. 武昌: 武汉大学出版社, 2014. 42-50.

