

盘扣脚手架在仿古屋面施工中的设计优化与有限元分析

张焱

北京天润建设有限公司 北京 100062

摘要: 随着中国文化事业的繁荣发展,越来越多的中国元素被融入了建筑设计中。其突出特点是将斗拱、挑檐等古典元素融入建筑的围合,从而塑造出中式仿古建筑的独特风格和魅力。然而,由于屋顶高大、陡峭且折点较多等特点,导致施工过程中存在施工复杂和安全隐患较大的问题。因此,本文通过对比传统钢管脚手架和盘扣脚手架的特点与优势,充分发挥盘扣支撑体系的安装方便、稳定性好、承载能力强等优点,以提高施工效率和安全性。降低施工难度和安全风险,节省施工成本并提升工作效率。

关键词: 盘扣式脚手架; 屋面; 模板支撑

引言: 中式仿古建筑屋面设计复杂,施工难度较大,如使用钢管脚手架作为支撑体系,其材料使用量大,钢管损坏量大,人工投入多,施工时间长,不仅增加施工成本,同时降低施工效率。为此针对结构特点,对盘扣脚手架的应用进行创新研究,发挥其施工方便、结构安全的特点,在节省施工材料的同时保证支撑体系安全可靠,降低施工难度,实现高效建造的同时降低人工成本与材料租赁费用。本文阐述了盘扣脚手架在仿古建筑屋面结构施工中的应用情况与技术要点,供同类项目进行参考^[1]。

1 项目简介

某项目总建筑面积7198 m²,采用中式仿古建筑设计,其屋面结构复杂,屋脊与檐口高差最大达到6.05m,致使屋面层最高高度为10.25m,屋面设计含多个折点,呈双曲率形式,施工难度大。

2 重点难点及架体选择

2.1 重点难点

双曲率形式的结构屋面,坡度大且折点较多,存在多个标高且斜率不同。折点部位的模板支撑困难,既要确保模板节点的定位,同时又要保证不同坡度模板高低两段的支撑稳定性。

结合设计特点,屋面层层高最高处高度10.25m,模板支撑体系属于超一定规模的危险性较大的分部分项工程,模板支撑体系需进行专家论证。

屋面存在较多斜梁,且梁板存在折点。

结构复杂,模板施工难度较大,使用材料较多,成本较大。

2.2 架体选择

2.2.1 钢管脚手架存在问题

通过对类似的项目进行了实际的考察学习,发现仿

古建筑设计多用于别墅类项目,为降低成本,施工时多使用传统的钢管式脚手架作为支撑体系,但存在如下:

屋面采用双曲率的设计形式,坡度较大且坡度不同,同时楼板的标高不同。在支撑体系施工过程中,为确保满足相关规范要求,架体搭设过程中需对钢管进行切割,造成材料损坏,此行为不利于材料的周转使用,同时由于型材的破坏需按照合同要求对租赁公司进行赔付。

根据地方要求,采用钢管作为支撑体系,必须使用梁板分离的支撑形式,从而增加材料的使用量与施工难度。

屋面斜率较多,每个坡度的楼板两端都需单独设置立杆进行支撑。为达到此目的致使每个折点的两侧都需设置立杆进行单独支撑,立杆距离折点的水平投影距离10cm,致使折点两侧立杆布置间距较小,材料使用量加大。

在架体稳定性计算中,针对不同坡度斜屋面分别计算,确定立杆的纵距、横距。但根据设计情况同坡度斜板的宽度小于支撑架体纵距的2倍,但大于1倍纵距,致使折板范围内的立杆纵距远远大于架体最优计算的纵距要求,致使立杆使用量增加,材料使用量增加。

钢管通过扣件进行连接,既要保证钢管的质量,同时又要对扣件的施工质量进行检查,施工难度大,同时需要加大管理力度以确保架体整体稳定性。

结合上述问题,在仿古屋面施工中如使用传统钢管支撑体系不利于现场文明施工管理^[2]。

2.2.2 盘扣式脚手架的优劣

介于钢管脚手架施工存在的问题,选用盘扣式脚手架作为支撑体系进行仿古屋面的施工,其优劣如下:

盘扣脚手架所有杆件均为标准化、系列化,便于存储和堆放,有效避免了材料的遗失和损坏,极大地改善了施工作业现场的安全文明环境。

盘扣生产标准化,立杆尺寸1.5、2m、3m、4m和6m等多种规格,更加适合标高复杂的仿古建筑,材料无需进行破坏。同时其模块化、工具化作业,搭拆快捷,大幅度提高了施工效率。

盘扣各杆件之间的连接更加紧密,立杆的质量相对于钢管更容易控制,其钢材型号,壁厚较标准,加之连接形式稳固,架体承载力与安全性能更强。

盘扣脚手架作为新材料,其租赁成本较高。

综上所述,使用盘扣式脚手架作为支撑体系,材料使用方面:租赁成本更高,但是在材料的保管方便,几乎无损耗。施工方面:工作量小,工作效率高节省人工,加快工期。安全性方面:整体稳定性更好,安全性能更高。环保方面:更有利于安全文明施工。经过综合测评,选用盘扣式脚手架进行施工。

3 支撑方案的优化设计

结合仿古屋面施工的重点难点以及传统钢管脚手架施工存在的问题,制定本项优化设计的设计目标:

效仿仿古建筑木结构的抬梁式支撑方式进行不同坡度楼板部位折点的支撑,减少立杆使用量的同时确保架体稳定性;

降低钢材的总用量,同时保证支撑体系的整体稳定性与安全性;

利用抬梁式的支撑结构,使用双槽钢双托梁代替木梁,将其设置于立杆的盘扣之上,然后再双托梁上设置两道竖向立杆,对折点两侧的模板分别进行竖向支撑,从而代替钢管的单独立杆支撑。同时将本支撑体系视作模块,同时作用在其他部位的折点支撑。

综合考虑屋面楼板、梁、山墙、挑檐、戗角等部位的特点进行盘扣架体立杆的设计,进行立杆的选型,横杆的布距,斜拉杆的设置及立杆的纵距、横距,以便于支撑体系的稳定性能计算^[1]。

4 有限元分析

盘扣式支撑脚手架实质上是一种半刚性空间钢架结构,运用ANSYS有限元分析软件建立有限元模型,进行数值模拟计算。

4.1 模型建立

本模型依据图纸结构进行局部校核计算,其支撑结构总尺寸约为15000*14800*10750mm;涉及到的主要参数如下:

杆件及锚固件均使用Q235结构钢,材料参数包括密度为7850kg/m³,杨氏模量为200GPa,泊松比0.3,其屈服强度通常在235Mpa左右,根据国标规定,许用应力定义为:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n}$$

式中, σ_s 为屈服强度,n为安全系数。综合考虑,安全系数选取1.4,故计算得到Q235结构钢的许用应力为167.9Mpa。

立杆尺寸约为48*3.2mm;斜拉杆、横拉杆尺寸约为37*2.5mm;

支撑结构静置在地面上,在强度校核计算中我们认为其与地面通过摩擦来保持结构的静止状态。所受载荷主要来源于三个部分,分别是屋顶梁载荷、屋顶楼板混凝土载荷和屋顶工作载荷。

屋顶楼板混凝土厚度为0.15m,屋顶有效面积约为213.6m²,0.15*213.6*2700≈865.08KN计算得屋顶楼板混凝土荷载约为432.54KN。

根据建筑地基基础工程施工标准,我们认为屋顶梁的重力约为楼板质量的0.65倍,865.08*0.65≈562.4KN计算得到屋顶梁荷载约为432.54KN。

屋顶工作载荷认为是3KN/m²米,213.6*3≈640.8KN,计算得到屋顶梁荷载约为640.8KN。

支撑结构所需承载的载荷为

$$865.08+562.4+640.8 = 2068.28KN$$

考虑结构自重的影响,计重力加速度为9.8m/s²。

整体计算后,我们再对托梁进行局部计算。假设屋顶的所有载荷平均分布所有托梁上,并考虑到载荷的集中效应,最终我们取载荷值为40KN。

4.2 有限元分析

整体结构计算:在多重载荷和重力载荷的共同作用下,支撑结构应力的最大值约为9.08MPa,是受压状态,最大值出现在靠近中间位置的几根长立杆处,横拉杆受拉状态,应力值较小。支撑结构位移的最大值约为0.23mm,是在多重载荷和重力载荷共同作用受压产生的压缩变形,数值较小,不影响整体结构实现支撑功能。计算的杆力、弯矩云图,可以从不同视角看出弯矩和杆力分布集中的区域。计算结果均在安全范围内。

托梁计算:变形最大值约为0.38mm,应力值最大约为140.18MPa,出现在法兰盘与托梁接触的区域,应变最大值约为0.00077,同应力最大值出现在相同的区域。变形值是可以接受的,不影响构件的正常使用,应力值也小于材料的屈服强度,故认为托梁在这样的载荷作用下是可靠的。

无论是整体结构,还是局部托梁结构,最大应力值远远小于材料的许用应力值167.9Mpa,故认为结构是可靠的。

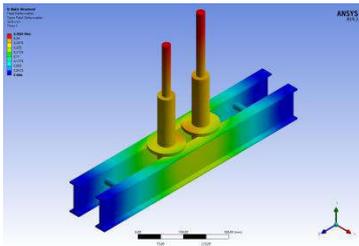


图1 变形云图

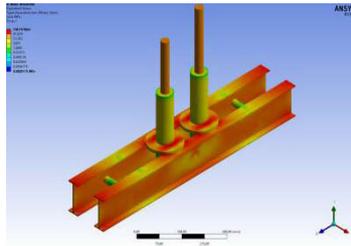


图2 应力云图

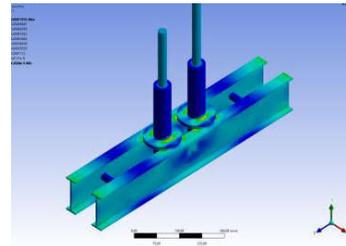


图3 应变云图

5 经济效益对比

对盘扣脚手架支撑体系的施工方案进行优化设计与实施后,对钢管支撑体系与盘扣支撑体系的布置图进行材料的统计与计算,其两种体系的布置范围同木星建立范围相同,面积约为220m²。类似工程施工总面积约6200平方米。根据布置图计算分析材料用量及费用^[4]。

钢管脚手架支撑体系通过计算,杆件布置原则如下:立杆横纵间距900mm,步距1500mm可满足要求。考虑仿古屋面折点部位、梁底增设支撑,横向间距缩短调整至不大于600mm,纵向间距扩大至1200mm,为保证立杆顶部自由端高度满足要求,设置拉结横杆,立杆底部设置扫地杆。

经过排版分析统计可得材料用量:

表1 钢管支撑架用量

| 钢管支撑架用量 | | | |
|---------|-----------|-------|-------|
| 立杆用量mm | 横杠用量mm | 扣件(个) | U托(个) |
| 1832437 | 1791280 | 3792 | 338 |
| 625900 | 459300 | 1232 | 132 |
| 总计 | 4708.917m | 5024个 | 470个 |

盘扣支撑架布置原则,同模型建立,横距、纵距、步距距离均为1500mm。经过排版分析统计可得材料用量:

表2 盘扣支撑架用量

| 盘扣支撑架用量 | | | |
|---------|-----------|-------|--------|
| 立杆用量kg | 横杠用量kg | U托(个) | 双槽钢m |
| 4787.5 | 2731.68 | 432 | 110.4 |
| 总计 | 7519.18kg | 432个 | 110.4m |

对两种材料进行对比如下表:

表3 钢管脚手架,盘扣脚手架

| 钢管脚手架 | 类别 | 钢管 | 扣件 | U托 |
|-------|----|------------|------------|-----------|
| | 单价 | 0.020元/m/天 | 0.020元/个/天 | 0.02元/个/天 |
| | 用量 | 4708.917m | 5024个 | 470个 |
| | 总计 | 94.17元/天 | 100.48元/天 | 9.4元/天 |
| 盘扣脚手架 | 类别 | 杆件 | U托 | 双槽钢 |
| | 单价 | 7元/t/天 | 0.04元/个/天 | 0.02元/m/天 |
| | 用量 | 7.52t | 432个 | 110.4m |
| | 总计 | 52.64元/天 | 17.28元/天 | 22.08元/天 |

经过测算钢管支撑体系材料每天租金为204.05元/百平米/天;盘扣支撑体系材料每天租金为92元/百平米/天。材料总计节约 $62 \times (204.05 - 92) \times 28 = 19.45$ 万元。

当使用钢管脚手架时,为满足相关规范要求,立杆尺寸无规律变化,由于钢管成品料位6m/根,致使材料损耗过大,约为整体用钢20%,而盘扣脚手架的损耗基本为零,节省了材料损耗的费用^[5]。

人工费方面,盘扣脚手架人工费对比钢管脚手架低19元/平方米,人工费总计节约11.8万元。

结语

提出了盘扣式脚手架在仿古屋面施工中的新型施工方案,主要的研究成果与结论包括以下方面:

(1)相对于传统钢管脚手架,解决其在仿古屋面施工中的难题,节省材料,提升施工效率,加快施工进度,降低成本。

(2)应用抬梁式的支撑理念,将复杂屋面折点、梁等部位的支撑体系进行设计优化,通过有限元的模拟与分析,节省材料的同时确保结构的安全、稳定性。

参考文献

[1]王立军,汪明,谭晋鹏,等.基于直接分析法的盘扣式脚手架结构精细化设计方法[J].工业建筑,2024,54(01):76-85.
 [2]刘京红,李文坡,张凌博,等.承插型盘扣式钢管支撑脚手架试验及有限元分析[J].北京理工大学学报,2023,43(05):478-484.DOI:10.15918/j.tbit1001-0645.2022.133.
 [3]邓应平,张永坡,张宝利,等.盘扣式脚手架在大跨度椭圆形弦支穹顶结构施工中的应用[J].施工技术,2017,46(14):39-41.
 [4]沈勤,刘洪亮.承插型盘扣式钢管脚手架在创极速光轮游乐项目天幕工程中的应用[J].施工技术,2016,45(15):27-29.
 [5]王凤起.《建筑施工承插型轮扣式模板支架安全技术规程》(T/CCIAT 0003—2019)的解析[J].建筑科学,2019,35(05):122-125.DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2019.05.019.