

盘扣式支架结构优化设计及其力学性能研究

李旭东 陈晓梅 关嘉仪
长春工程学院 吉林 长春 130012

摘要：盘扣式支架作为一种新型模板支架，因其结构紧凑、安装方便、承载力大等特点，在建筑行业中得到了广泛应用。然而，随着建筑高度的增加和荷载的复杂化，盘扣式支架的稳定性和承载性能成为研究的热点。本文旨在探讨盘扣式支架结构的优化设计及其力学性能，通过理论分析和有限元模拟，为盘扣式支架的设计和应用提供理论基础。

关键词：盘扣式支架；优化设计；力学性能；有限元分析

引言

随着我国经济社会的飞速发展和建筑行业的快速进步，盘扣式支架作为一种新型模板支架，因其独特的优势在建筑行业中得到了广泛应用。然而，盘扣式支架在使用过程中也暴露出了一些问题，如稳定性不足、承载性能不明确等。因此，对盘扣式支架结构进行优化设计，并深入研究其力学性能，对于提高施工安全性、降低事故率具有重要意义。

1 盘扣式支架结构的基本组成

盘扣式支架主要由立杆、水平杆、竖向斜杆、可调底座、可调托盘等组成。立杆上焊接有连接盘和连接套管的竖向支撑杆件，材质为Q345A；水平杆两端焊接有扣接头，且与立杆扣接，材质为Q235B；竖向斜杆与立杆上的连接盘扣接，分为竖向斜杆和水平斜杆两类，材质分别为Q195和Q235B。可调底座和可调托盘安装在立杆的底端和顶端，可调节架体高度。

2 盘扣式支架结构的优化设计原则

一是整体稳定性：核心在于精确计算并合理布置斜杆与水平杆，形成稳固三角支撑，抵抗外部荷载，确保在各种工况下的稳定。二是承载性能：通过力学分析选择适宜的杆件规格，提高承载力和抗变形能力；选用高强度、耐腐蚀、韧性好的钢材，关键部位采用特殊工艺处理。三是安装与拆卸：遵循标准化、模块化设计，部件统一尺寸和接口，采用快速锁扣等便捷连接机制，缩短安装周期，提高易维护性和部件可替换性^[1]。

3 盘扣式支架结构的优化设计方法

3.1 节点优化

作者简介：李旭东（2004-），男（汉），吉林长春，在读本科，曾多次荣获省级及以上创新创业类竞赛奖项，主要研究土木工程方向。

基金项目：吉林省大学生创新创业项目，项目编号为S202311437135。

3.1.1 连接盘的强化设计

增加连接盘的厚度，并采用高强度、低合金钢材，如Q345或更高级别的钢材，以提升连接盘的刚度和承载能力。同时，在连接盘的关键受力区域增设加强筋或采用局部加厚设计，以进一步增强其抗变形能力和耐久性。对连接盘表面进行喷砂、镀锌或涂覆特殊耐磨层等处理，以提高其抗腐蚀性和耐磨性，从而延长节点的使用寿命。在连接盘与杆件接触的表面设计防滑纹路或凸点，增加摩擦力，防止在受力状态下杆件发生滑移，确保节点的稳定性和安全性。

3.1.2 插销的优化设计

插销的头部可设计为锥形或楔形，以便在插入连接盘后能够紧密贴合，形成自锁效果，减少因振动或外力作用而松动的风险。同时，根据连接盘的尺寸和受力情况，合理确定插销的直径和长度，确保插销具有足够的强度和刚度^[2]。插销应采用与连接盘相匹配的高强度钢材，并经过热处理或表面强化处理，以提高其硬度和韧性，从而增强插销的抗疲劳性能和耐久性。探索采用新型连接机制，如可伸缩插销、自动锁紧插销等，以进一步提高节点的连接效率和稳定性，同时降低安装和拆卸的难度。

3.2 杆件优化

3.2.1 受力分析与规格选择

首先，利用先进的结构分析软件，如ANSYS、SAP2000等，对盘扣式支架在各种工况下的受力情况进行详细计算，包括静力分析、动力分析以及稳定性分析等，以确定各杆件的实际受力大小和方向。基于受力分析结果，为不同位置的杆件选择最合适的规格。例如，对于承受较大压力和弯矩的立杆，应选用直径较大、壁厚较厚的钢管；对于主要承受剪切力的水平杆和斜杆，则需确保其截面尺寸和材质能够满足剪切强度的要求。

3.2.2 材质优化与选择

优先选用高强度、低合金钢材,如Q345、Q390等,这些钢材不仅具有较高的屈服强度和抗拉强度,而且韧性好、焊接性能优异,能够显著提升杆件的承载能力和抗变形能力。确保所选钢材的材质均匀,无明显的夹杂物、裂纹等缺陷,以提高杆件的整体力学性能和耐久性。在满足承载力和稳定性的前提下,通过优化杆件的截面形状和尺寸,实现轻量化设计,降低支架的自重,便于现场搬运和安装。

3.3 整体布局优化

3.3.1 立杆间距优化

首先,根据支架所需承受的荷载类型(如恒载、活载、风载等)及其大小,进行详细的荷载分析。基于荷载分析结果,确定不同区域的立杆间距。在荷载较大的区域,如梁下或重型设备放置区,应适当减小立杆间距,以增强支架的局部承载能力。通过结构分析软件,对立杆间距不同的多种布局方案进行稳定性验算,包括整体稳定性和局部稳定性。选择既能满足稳定性要求,又能有效控制材料用量的立杆间距方案^[3]。

3.3.2 水平杆步距优化

水平杆的步距设置应综合考虑支架的整体刚度、承载能力和施工便捷性。在保证支架整体稳定性的前提下,尽量采用较大的步距,以减少水平杆的数量,降低支架的自重和安装难度。对于高度较大的支架,应设置多层水平杆,以形成稳定的多层支撑体系。通过合理调整各层水平杆的步距和布置方式,确保支架在垂直方向上的稳定性和承载能力。

3.3.3 整体布局协调

立杆间距和水平杆步距的设置应相互协调,形成稳定的三角支撑结构,以提高支架的整体稳定性和承载能力。同时,应避免出现立杆或水平杆的局部密集布置,以减少应力集中和材料浪费。在支架的边界位置,如与建筑物连接处或支架的端部,应加强支撑和连接措施,确保支架与周边结构的稳定连接,提高整体结构的稳定性和安全性。

4 盘扣式支架力学性能研究

4.1 力学性能具体概述

盘扣式支架的力学性能主要包括:①承载能力:支架承受恒载、活载、风载等荷载的能力,需精确计算各构件以确保满足承载需求。②稳定性:支架保持形态和位置不变的能力,需进行稳定性分析以确定失稳模式和临界荷载,采取措施提高稳定性。③变形性能:支架在荷载作用下的变形情况,需严格控制变形以确保支架的稳定性和安全性,通过合理设计和材料选择实现。

4.2 有限元分析应用

在盘扣式支架的力学性能研究中,有限元分析是一种行之有效的数值方法,它能够提供更详尽的结构响应数据,为支架的优化设计提供强有力的数据支撑。本研究采用先进的有限元软件ABAQUS,对盘扣式支架进行精细化的建模与模拟分析。

4.2.1 建模过程

首先,根据盘扣式支架的实际尺寸和构造细节,在ABAQUS中建立精确的三维几何模型。这包括立杆、水平杆、斜杆以及连接盘和插销等关键组件,确保模型能够真实反映支架的结构特性。为模型中的各个组件赋予准确的材料属性,如弹性模量、泊松比、屈服强度等,这些参数均基于实际使用的钢材性能试验数据。根据支架的实际使用场景,设定合理的边界条件和荷载工况。例如,模拟支架在承受恒载、活载、风载等不同类型荷载下的受力状态,以及考虑支架与周围结构的相互作用^[4]。

4.2.2 模拟分析

一是应力分布分析:通过ABAQUS的模拟计算,可以得到支架在不同工况下的应力分布图。这些图表直观地展示了支架中应力的分布规律,有助于识别潜在的应力集中区域和薄弱环节。二是变形情况评估:模拟分析还能够提供支架在荷载作用下的变形情况,包括整体位移、局部变形等。这些数据对于评估支架的刚度和稳定性至关重要,可以为支架的优化设计提供有力依据。三是承载能力验证:通过逐步加载至支架发生破坏或失稳,可以模拟得到支架的极限承载能力。这一数据对于验证支架的设计是否满足安全要求具有重要意义。

4.2.3 结果应用

基于有限元分析的结果,可以对盘扣式支架的结构布局、杆件规格、连接方式等进行优化调整,以提高支架的承载能力和稳定性。有限元分析提供的数据还可以作为支架安全评估的重要依据,帮助工程师判断支架在特定工况下的安全性能,确保施工过程中的结构安全。

5 案例分析:十里堡村桥梁盘扣式满堂支架

5.1 工程概况

十里堡村桥梁使用了盘扣式满堂支架和组合支架来完成整个建造过程。主要承重构件立杆采用 $\phi 60 \times 3.2\text{mm}$ 型号的Q355钢管,横杆及剪刀撑采用 $\phi 48 \times 3.2\text{mm}$ 材质的Q235钢管,水平杆采用 $\phi 48.3 \times 2.5\text{mm}$ 材质的Q235钢管,最大步距1.5m,最小步距0.5m。顶底托采用可调托撑,长度182mm。

5.2 模板及支架计算

5.2.1 模板计算

根据《建筑施工模板安全技术规范》JTJ 162-2008, 模板挠度应小于 $L/400$ 。通过计算, 模板最大挠度为0.101mm, 小于0.5mm, 满足要求。模板弯曲应力最大值为2.2Mpa, 小于许用应力11.5Mpa, 满足要求。如下图:

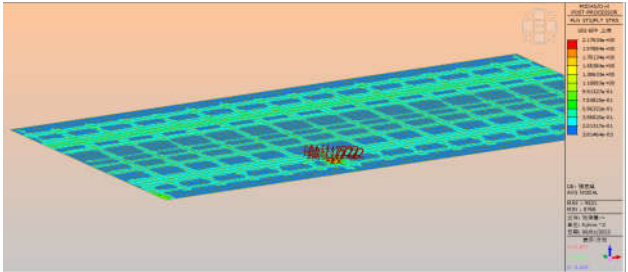


图1 模板弯曲应力分布

由上可知: 模板弯曲应力最大值为 $2.2\text{Mpa} < [\sigma] = 11.5\text{Mpa}$, 满足要求。

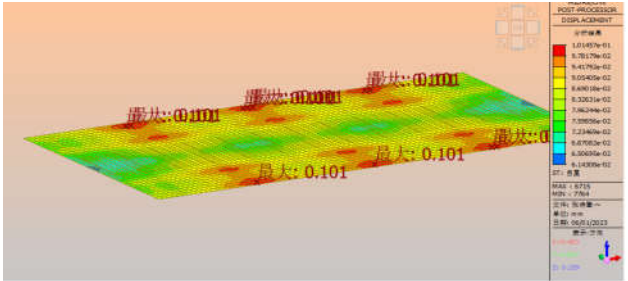


图2 模板挠度分布

由上可知: 模板最大挠度为 $0.101\text{mm} < 0.5\text{mm}$, 满足要求。

5.2.2 次楞方木计算

次楞方木作为工字钢分配梁的支座, 简化为受均布荷载作用的四跨连续梁。通过验算, 方木弯曲应力最大值为4.4Mpa, 小于许用应力14.85Mpa; 方木最大剪应力为0.4Mpa, 小于许用应力1.4Mpa; 方木最大挠度为2.29mm, 小于2.4mm, 均满足要求。

5.2.3 主楞I20工字钢计算

主楞I20工字钢支撑于盘扣式满堂支架顶部, 将支架立杆作为工字钢的支座, 简化为受集中荷载作用的四跨连续梁。通过验算, 主楞I20弯曲应力最大值为17.6Mpa, 小于许用应力215Mpa; 主楞I20剪应力最大值为13.2Mpa, 小于许用应力125Mpa; 主楞工字钢挠度最大值为2.108mm, 小于2.4mm, 均满足要求。

5.3 盘扣式满堂支架计算

5.3.1 立杆稳定性计算

根据《建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术规范》(JGJ/T231-2021), 对立杆进行稳定性计算。通过计算, 立杆在不组合风荷载和组合风荷载情况下的稳定性均满足要求。

5.3.2 连接盘抗剪承载力验算

本项目支架连接盘承受剪切力主要为横向杆件自重荷载, 可忽略不计。根据规范, 连接盘抗剪承载力验算满足要求。

5.3.3 地基土承载力验算

根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJG3363-2019), 地基持力层承载力特征值砂岩 $f_a = 1200\text{kpa}$, 满足要求。对C30混凝土整平层承载力进行验算, 基地压力 $P = 27.93\text{kpa}$, 小于地基承载力特征值 200kpa , 满足要求。

5.4 案例分析与结论

本设计桥梁采用盘扣式满堂支架和组合支架进行现浇连续梁模板支撑, 通过详细的力学计算, 包括模板、次楞方木、主楞I20工字钢和盘扣式满堂支架立杆的稳定性验算, 以及连接盘抗剪承载力验算和地基土承载力验算, 各项计算结果均满足规范要求。

结语

本文通过对盘扣式支架结构的优化设计及其力学性能的研究, 提出了一种基于有限元模拟和理论分析的优化设计方法。该方法通过改进节点设计、优化杆件规格和整体布局, 提高了盘扣式支架的稳定性和承载性能。未来, 可以进一步深入研究盘扣式支架在不同工况下的力学性能, 为其在更复杂工程中的应用提供理论基础和技术支持。

参考文献

[1]吴序旺.承插型盘扣式钢管支架在某工程项目中的应用研究[J].福建建筑,2024,(07):72-75.
[2]张斌斌.盘扣式脚手架体系在悬臂盖梁满堂支架施工中的应用[J].交通世界,2024,(23):161-163.
[3]白万民,孙佰珉,张凌博,等.盘扣式模板支架节点安全性能试验及数值模拟研究[J].安全与环境学报,2024,24(08):3046-3052.
[4]白万民,李文坡,张凌博,等.盘扣式模板支架安全承载试验及数值模拟研究[J].安全与环境学报,2024,24(07):2528-2535.