

型钢悬挑脚手架施工技术研究

徐勇 李进

新疆红星建设工程(集团)有限公司 新疆 哈密市 839000

摘要:本研究聚焦型钢悬挑脚手架施工,从理论出发,涵盖其分类、结构组成、力学模型、设计规范与关键参数。深入探讨施工关键技术,包括型钢选型、锚固系统设计、节点连接及动态监测。同时,研究施工工艺与质量控制,涉及施工流程、验收标准及常见问题防治。该技术能提升施工安全性与效率,为高层建筑施工提供可靠支撑,具有重要推广价值。

关键词: 型钢;悬挑脚手架;施工技术

引言:在高层及超高层建筑施工中,脚手架作为关键的临时支撑结构,其安全性与适用性直接关乎工程进度与人员安全。型钢悬挑脚手架凭借无需大面积搭设、灵活适应复杂建筑外形等优势,在建筑领域得到广泛应用。然而,其施工涉及力学分析、结构设计、节点连接等多环节技术难题,且受荷载、环境等因素影响显著。本文聚焦型钢悬挑脚手架施工技术,系统研究其设计、施工与质量控制要点,为提升工程安全性与经济效益提供理论依据。

1 型钢悬挑脚手架基本理论

1.1 悬挑脚手架的分类与适用范围

(1)多排悬挑脚手架:搭设时采用多排立杆设置,作业空间充裕,承载能力强,能满足多类施工需求,适用于中低层建筑外装修及荷载中等的作业场景,如3-8层民用建筑外墙涂料、贴面施工,也可用于小型构件安装时的临时操作平台,兼顾材料临时堆放功能。(2)不同悬挑方式:下部斜撑式借助斜撑杆支撑型钢主梁,可有效分散荷载、提升结构稳定性,适用于悬挑长度较大(3-6m)或荷载较高的情况,如高层建筑凸阳台施工、顶层女儿墙外凸挑檐施工,也能在地质条件稍复杂区域的外墙装饰作业中使用^[1]。

1.2 结构组成与力学模型

(1)各部件受力分析:型钢主梁承受立杆传递的竖向荷载,需验算抗弯、抗剪强度;次梁将荷载均匀传递至主梁,主要承受局部剪切力;连墙件抵抗水平风荷载,防止脚手架整体失稳;锚固系统(如预埋螺栓)需平衡悬挑端拉力,确保抗拔承载力满足要求。(2)力学简化模型:多数情况下简化为悬臂梁模型,锚固端视为固定支座,悬挑端为自由端,用于计算常规荷载下的主梁内力;当设置多道拉结或支撑时,可简化为简支梁模型,更贴合复杂受力场景,提高计算精度。

1.3 设计规范与安全要求

(1)国家及行业标准:必须严格遵循《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130-2011),同时参考《钢结构设计标准》(GB50017-2017)对型钢选型的要求,确保设计符合现行法规。(2)荷载组合与计算原则:恒载(脚手架自重、脚手板重量)与活载(施工人员、材料堆放荷载)需按1.2倍组合;风荷载按当地基本风压值计算,需考虑阵风系数;地震荷载仅在抗震设防烈度6度及以上地区计入,荷载组合系数需符合规范规定,保证结构在极端工况下的安全性。

1.4 关键技术参数

悬挑长度通常控制在1.2-3m,最大不超过6m(需特殊加固);锚固长度需大于悬挑长度的1.25倍,防止倾覆;型钢规格根据悬挑长度选取,如3m悬挑常用16号工字钢,6m悬挑需用25号及以上工字钢;步距宜取1.8m,跨距宜取1.5-2.0m,确保立杆受力均匀,避免局部过载。

2 型钢悬挑脚手架施工关键技术研究

2.1 型钢选型与优化设计

(1)不同型钢的力学性能对比:工字钢截面呈“工”字形,上下翼缘宽且厚,抗弯截面模量大,在承受竖向荷载时抗弯性能优异,适用于悬挑长度3-6m、荷载较大的场景,如高层建筑结构施工脚手架;槽钢截面为“U”字形,翼缘较窄,抗扭性能较弱,但单侧受力稳定性较好,多用于荷载较小、悬挑长度1.2-3m的低层建筑外装修脚手架。相同截面尺寸下,工字钢的抗弯强度比槽钢高25%-30%,但自重比槽钢大10%-15%,需根据工程荷载与空间条件综合选型^[2]。(2)基于有限元分析的型钢截面优化:借助ANSYS、ABAQUS等有限元软件,建立型钢三维力学模型,模拟不同荷载工况下的应力分布与变形情况。针对传统型钢截面存在的应力集中问题,优化翼缘与腹板过渡圆角半径(通常取10-15mm),

减少局部应力峰值；对腹板进行开孔减重设计，在不降低承载能力的前提下，将腹板厚度从8mm减至6mm，开孔直径控制在腹板高度的1/3以内，可使型钢自重降低12%-18%，同时保证截面惯性矩满足要求，实现“轻质高强”的设计目标。

2.2 锚固系统设计与施工

(1) 锚固螺栓的抗拉承载力计算：因工字钢固定端设于楼内梁板上，剪力由主体结构承担，故仅需验算抗拉承载力。抗拉承载力根据螺栓材质强度与有效截面积确定，单个8.8级M24高强螺栓的抗拉承载力约为150kN。计算需按规范采用荷载组合，恒载取1.2，活载取1.4，确保最不利工况下仍有1.2倍安全储备，且螺栓需与梁板钢筋可靠连接(2) 锚固端混凝土强度与配筋要求：锚固端混凝土强度等级不得低于C30，若混凝土强度未达到设计值（如浇筑后7天内），需采取临时加固措施。锚固区域混凝土构件需配置双向构造钢筋，直径不小于8mm，间距不大于200mm，增强混凝土抗裂性能，防止因螺栓受力导致混凝土开裂。当锚固点位于梁、板边缘时，需增设附加钢筋，避免局部应力过大造成混凝土剥落。(3) 新型可拆卸锚固装置研发：研发采用40Cr材质的高强可拆卸螺栓，螺栓头部设计为六角形，配合带内螺纹的预埋套筒，施工完成后可将螺栓拧出重复利用，降低材料损耗；优化预埋件结构，将传统平板式预埋件改为带肋式预埋件，肋板高度为预埋件厚度的2倍，增加预埋件与混凝土的粘结力，抗拔承载力比传统预埋件提高30%-40%，且安装便捷性显著提升^[3]。

2.3 节点连接与稳定性控制

(1) 主梁与次梁及下部斜撑的连接节点设计：主梁与次梁采用角焊缝连接，焊缝高度 $\geq 8\text{mm}$ ，长度 \geq 次梁截面高度1.5倍，需渗透检测无缺陷；或用10.9级高强螺栓，间距100-150mm，每节点不少于4个，配抗剪挡板。下部斜撑与主梁采用满焊连接，焊缝高度 $\geq 8\text{mm}$ ，焊条选用E50系列以匹配Q235钢材，需达二级焊缝标准。焊接节点刚度大，螺栓连接则适用于周转场景。(2) 连墙件的布置原则与抗风稳定性分析：连墙件需沿脚手架高度每2步、水平每3跨设置一道，呈梅花形布置，确保脚手架与建筑结构可靠连接。抗风稳定性分析时，按当地50年一遇基本风压值计算风荷载，通过风洞试验模拟不同风向对脚手架的影响，结果表明，当连墙件水平间距小于6m、竖向间距小于3.6m时，脚手架的风振系数可控制在1.2以内，满足抗风稳定性要求。此外，在脚手架转角处增设斜向连墙件，进一步提高整体抗扭性能。

2.4 动态监测与安全预警技术

(1) 人工监测与仪器布置方案：应力监测采用手持式应变仪，在型钢主梁跨中、锚固端及斜撑连接处布设测点，每根主梁设3-4个监测点，定期用应变仪读数记录；变形监测用水准仪测竖向沉降，经纬仪测水平位移，在脚手架顶部、悬挑端及立杆1.2m标高处标注“+”字观测点，固定基准点设于主体结构上；倾斜监测通过线坠配合卷尺检查立杆垂直度，或用水准仪测量架体倾角。监测前需校准仪器，每次记录环境温度以修正误差。(2) 数据记录与预警处置：安排专人每日巡查记录数据，搭设期每3-5天复测，使用期每10-15天复测。设定预警阈值：型钢应变对应应力不超设计强度80%（Q235钢约188MPa）；竖向变形 \leq 悬挑长度1/250（3m悬挑为12mm）；倾斜角度 $\leq 0.5^\circ$ 。数据达阈值80%时发黄色预警，加密巡查频次；达阈值时立即停工疏散人员，检查连接节点与支撑系统，采取加设斜撑等应急加固措施。

3 型钢悬挑脚手架施工工艺与质量控制

3.1 施工流程与操作要点

(1) 测量放线：使用全站仪结合水准仪进行定位，以建筑轴线为基准，在楼板或梁面上标记预埋件中心位置及型钢悬挑方向，误差需控制在 $\pm 3\text{mm}$ 内。同时弹出型钢安装控制线，明确锚固端与悬挑端的标高，确保型钢安装后水平度偏差不超过1‰，避免因放线偏差导致后续脚手架搭设倾斜。(2) 预埋件安装：预埋件（如预埋套筒、螺栓）安装前需清理表面油污与锈迹，按放线标记固定在模板上，采用钢筋支架加固，防止浇筑混凝土时移位。预埋件中心线与设计位置的偏差不得大于5mm，顶面标高与设计标高的偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内。浇筑混凝土时，专人旁站监督，避免振捣棒直接撞击预埋件，确保其位置准确。(3) 型钢吊装：采用塔式起重机吊装型钢，起吊点设置在型钢重心位置（通常距锚固端1/3悬挑长度处），吊装时用溜绳控制型钢姿态，防止碰撞建筑结构。型钢安装时，锚固端伸入建筑结构的长度需符合设计要求（不小于悬挑长度的1.25倍），调整型钢水平度后，及时拧紧锚固螺栓，螺栓拧紧扭矩需达到设计值（如M24螺栓扭矩不小于 $300\text{N}\cdot\text{m}$ ），并做好扭矩检测记录^[4]。(4) 脚手架搭设：按“先立杆、后横杆、再立杆”的顺序搭设，立杆底部套在型钢预设的定位环内，立杆垂直度偏差不超过3‰。横杆与立杆采用扣件连接，扣件拧紧扭矩控制在 $40\text{-}65\text{N}\cdot\text{m}$ ，避免过松或过紧。脚手板满铺且固定牢固，搭接长度不小于200mm，外侧设置1.2m高防护栏杆与180mm高挡脚板，确保作业安全。(5) 验收：预埋件安装后进行隐蔽工程验收，型钢安装后验收锚固可靠性，脚手架搭设完成后进行整体验收。

验收时核查材料合格证、检测报告及施工记录，现场检测关键参数（如螺栓扭矩、立杆垂直度），验收合格并签署文件后，方可投入使用。

3.2 质量验收标准

（1）材料进场检验：型钢需提供质量证明书，外观无裂纹、凹陷，截面尺寸偏差符合规范（如工字钢翼缘厚度偏差 $\pm 0.7\text{mm}$ ）；钢管外径 48.3mm 、壁厚 3.6mm ，锈蚀深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，无弯曲变形；扣件进行抽样复试，抗滑承载力 $\geq 7.0\text{kN}$ ，直角扣件抗扭承载力 $\geq 65\text{N}\cdot\text{m}$ ，不合格材料严禁使用。（2）关键节点焊接质量检测：主梁与次梁焊接节点采用超声波探伤检测，探伤比例 $\geq 20\%$ ，I级焊缝合格率需达 100% ；角焊缝高度 $\geq 8\text{mm}$ 、长度 $\geq 100\text{mm}$ ，焊脚尺寸偏差 $\pm 1\text{mm}$ ，表面无气孔、夹渣、咬边等缺陷，咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$ 。（3）整体稳定性验收：型钢主梁跨中挠度 $\leq L/250$ （ L 为悬挑长度），如 3m 悬挑挠度 $\leq 12\text{mm}$ ；脚手架立杆垂直度偏差 $\leq H/1000$ （ H 为脚手架高度），且 $\leq 50\text{mm}$ ；水平侧向位移 $\leq H/2000$ ，验收时采用激光测斜仪与挠度仪现场检测，数据需符合规范要求^[5]。

3.3 常见问题与防治措施

（1）锚固失效、型钢变形、连墙件松动等问题的原因分析：锚固失效多因预埋件位置偏差、混凝土强度不足或螺栓未拧紧；型钢变形源于选型偏小、施工荷载超标或吊装碰撞；连墙件松动则是因连接螺栓未拧紧、墙体预留洞口封堵不严，或受振动荷载影响导致扣件滑脱。（2）针对性解决方案：锚固失效时，对偏差预埋

件采用化学锚栓补强，混凝土强度不足区域增设斜撑杆（采用16号工字钢，一端连型钢，一端锚固在结构梁上）；型钢变形需更换符合规格的型钢，同时控制施工荷载不超过 $2.0\text{kN}/\text{m}^2$ ，吊装时增设溜绳避免碰撞；连墙件松动需重新拧紧螺栓，预留洞口用微膨胀混凝土封堵，对振动区域的连墙件增设双扣件，增强连接可靠性。

结束语

型钢悬挑脚手架施工技术研究至此告一段落。通过对基本理论、关键技术、施工工艺与质量控制等多方面的深入探讨，我们明确了该技术在建筑领域的适用性与重要性。合理选型、科学设计、规范施工以及严格的质量把控，是保障脚手架安全稳定的关键。未来，随着建筑行业不断发展，我们需持续优化该技术，以更好地应对复杂工程挑战，为建筑施工安全与高效推进筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]白毅军.悬挑式外脚手架高层建筑搭设技术探讨[J].工程与建设,2020,34(6):186-187.
- [2]黄威,杨接,廖程,等.悬挑式脚手架在高层建筑工程中的实施[J].建筑机械化,2020,41(11):28-30.
- [3]刘洋.高层建筑型钢悬挑脚手架设计特点及施工技术研究[J].大众标准化,2022(3):73-75.
- [4]冯俊伟.型钢悬挑脚手架施工研究[J].建筑技术开发,2021,44(14):107-109.
- [5]房敏戈.型钢悬挑脚手架在工程中的应用[J].石油化工建设,2023,35(3):99-101.