

大跨度采光顶施工技术难点与应对策略

关 奇, 顾松华, 华正滨

(青岛万科房地产有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要 大跨度采光顶在现代建筑中得到广泛应用, 但其施工面临众多技术挑战。本文针对大跨度采光顶施工中的结构设计、高空作业安全、钢结构安装精度、防水密封、材料设备选择及质量检查验收等技术难点进行了深入分析, 并提出了相应的优化结构设计、强化安全管理、提高安装精度等应对策略, 旨在为大跨度采光顶施工提供技术支持与指导, 从而确保工程质量与安全。

关键词 大跨度采光顶; 施工技术难点; 结构设计; 高空作业安全

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.016

0 引言

大跨度采光顶是现代建筑的重要组成部分, 不仅为建筑内部提供了丰富的自然光, 增强了空间的透明度和舒适性, 还在建筑审美上发挥着关键作用。它是展现建筑风格和设计理念的核心元素。近年来, 随着建筑技术的不断进步, 大跨度采光顶在机场、体育馆、展览中心及其他大型公共设施和高端商业中心的应用日益广泛。然而, 考虑到其跨度较大且结构复杂, 施工涉及多个专业领域和技术细节, 因此面临诸多技术挑战。如果这些问题未能妥善解决, 将直接影响工程的质量、安全性和进展。因此, 深入研究大跨度采光顶的施工技术难题及解决方案具有重要的现实意义。

1 大跨度采光顶概述

大跨度采光顶通常指跨度超过 20 m 的采光结构, 主要由钢制支撑系统、采光面板及其他连接部件组成。作为采光顶的基础框架, 钢结构支撑体系需要承受自重、风荷载、雪荷载以及施工和使用过程中产生的其他荷载。因此, 钢结构需具备足够的强度、刚度和稳定性。根据设计需求, 采光面板可采用玻璃、阳光板等多种材料。这些面板不仅要满足采光要求, 还必须具备良好的保温、隔热、防水和抗冲击特性。在设计和施工大跨度采光顶时, 需全面考虑建筑功能、审美、结构力学、材料属性及周围环境等多方面因素, 是一个复杂的系统工程。

2 大跨度采光顶施工技术难点分析

2.1 结构与荷载计算难题

大跨度采光顶的结构设计不仅需满足采光和建筑美学需求, 还要确保在各种荷载作用下的安全性。以某

大型展览馆的圆形采光顶为例, 其直径达 35 m。在设计过程中, 需要精确计算恒荷载。对于钢结构部分, 选用了 Q345 钢材, 并根据其密度 (7850 kg/m^3) 和构件尺寸确定重量, 而采光玻璃的每平方米重量约为 30 kg/m^2 。此外, 还需计算活荷载、风荷载和雪荷载等可变荷载。风荷载的标准值基于以下公式计算:

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0$$

其中, β_z 为高度处的风振系数, μ_s 为风荷载体型系数, μ_z 为风压高度变化系数, ω_0 为基本风压。

考虑到该地区的基础风压为 0.5 kN/m^2 , 并结合建筑的高度和体型系数, 经过专业软件模拟, 风荷载的标准值为 0.7 kN/m^2 。雪荷载的计算需参考当地的多年积雪深度和密度, 并结合采光顶坡度。由于荷载之间存在不确定性和相互影响, 设计阶段需进行大量模拟和分析, 任何计算误差可能引发结构安全隐患。

2.2 高空作业安全风险

大跨度采光顶施工通常在高空进行, 导致高空作业的安全风险成为施工中的重要问题。以某体育馆采光顶的建设为例, 施工团队常在 20 m 以上的高度进行工作。在这种高度下, 一旦发生坠落, 后果不堪设想。此外, 高空环境复杂, 极易受到恶劣天气的影响。当风速达到 6 级 ($10.8 \sim 13.8 \text{ m/s}$) 及以上时, 强风会大幅削弱施工人员的稳定性, 增加操作难度并提高工具掉落风险^[2]。在高空搬运材料和设备时, 吊具故障(如钢丝绳断裂或吊钩脱钩)可能导致重物坠落, 危及下方人员和设备。

2.3 钢结构安装精度控制

在制造和运输过程中, 钢结构部件容易发生变形, 增加了安装的复杂性, 尤其是在穿越钢丝绳网格时,

经常出现问题。特别是在椭圆形或圆形采光顶上进行反梁钻孔时, 需要确保与顶面保持 300 mm 的距离, 且孔间距应控制在 800 ~ 1 000 mm 之间。如果位置或间距存在微小偏差, 钢丝绳的受力将不均匀, 进而影响整体结构的稳定性。在安装过程中, 如果 4 个钢丝卡扣的固定不稳, 或小木方位置不精确, 钢丝绳在张拉过程中容易发生滑移和偏移。此外, 使用 2 吨手拉葫芦进行对称张拉时, 若控制力度不当, 可能导致钢丝绳受力不均, 进而引发钢结构扭曲变形, 严重威胁安装精度和结构安全。

2.4 防水与密封处理

采光顶长期暴露在自然环境中, 容易受到雨水、沙尘等因素的侵蚀。一旦防水密封功能失效, 就可能出现渗漏问题。以某商业综合体为例, 由于采光面板之间的密封胶老化及裂缝, 每当雨季来临, 室内便会出现渗水现象, 导致吊顶破损和电气设备故障。采光顶的防水密封涉及多个关键区域, 包括面板接缝、与钢结构的连接部位以及与建筑主体的交接位置等。每个区域的防水需求和密封方法不同。接缝通常采用密封胶处理, 要求其具有良好的耐候性和粘结力; 与钢结构连接处则需要使用橡胶密封带。防水密封材料的质量差异较大, 若选择不当, 容易导致渗漏, 从而增加施工难度和后期维护成本。

2.5 施工材料与设备选择

在大跨度采光顶施工过程中, 材料和设备的选择至关重要, 因为它直接影响到工程质量、进度和成本。钢结构材料的选择尤其重要。例如, 在沿海高湿度、腐蚀性强的环境中, 需选用具有良好耐腐蚀性能的钢材, 如 Q345NH 耐候钢, 其合金成分可提高抗腐蚀性^[3]。在选择采光面板材料时, 应综合考虑采光、保温和隔热性能。例如: 某博物馆采光顶采用多层中空夹胶玻璃, 透光率高达 80%, 且具备较好的保温效果。在设备选择上, 应根据工程规模和施工技术要求来确定。大型采光顶项目可能需要使用大型起重设备, 如某机场项目中, 使用 120 吨塔式起重机以满足 60 m 吊装高度的需求。然而, 选择材料和设备时, 必须综合考虑性能、成本和供应稳定性等因素, 避免不当选择影响工程效果。

2.6 施工过程中的质量检查与验收

施工中的质量检查涵盖钢结构制造与安装、采光面板铺设、防水与密封等关键环节。在钢结构制造过程中, 钢材材料要进行随机抽检, 并使用光谱分析仪检测其化学成分; 焊接质量需按规定进行探伤检查, 一级焊缝全面检查, 二级焊缝抽查比例不少于 20%。在

安装过程中, 使用全站仪等工具测量钢柱垂直度和钢梁挠度, 确保其符合设计要求。采光面板的安装需检查平整度和接缝质量。防水密封完成后, 需进行至少 2 小时的淋水测试, 检查是否存在渗漏。在实际施工过程中, 由于涉及多个专业领域的交叉作业, 工作人员技术水平参差不齐, 这可能导致质量检查出现遗漏, 进而影响工程质量。

3 大跨度采光顶施工技术难点的应对策略

3.1 优化结构设计与精确荷载计算

在设计初期, 利用 ANSYS、MIDAS 等先进结构分析工具, 建立了精确的三维模型, 以全面模拟采光顶在各种荷载条件下的机械反应。以某大型体育场馆的采光顶为例, 模型构建过程中, 详细记录了钢结构的材料特性、部件尺寸和连接方式等关键信息, 精确模拟了恒定荷载、活动荷载、风荷载和雪荷载的组合效应。在风荷载方面, 通过气象数据和地形分析, 结合风洞实验或专业软件模拟, 精确计算了风荷载。在雪荷载的计算中, 参考了当地积雪深度和密度数据, 考虑了采光顶坡度对积雪分布的影响。荷载计算完成后, 进行了多次结构优化, 调整了构件截面尺寸和布局策略, 确保结构安全性并提高材料使用效率, 进而降低了工程成本。

3.2 强化高空作业安全管理

在施工前, 所有参与高空作业的人员接受了全面的安全培训, 培训内容包括安全法规、操作流程和应急响应等, 并进行严格考核, 确保合格后, 人员方可上岗。施工队伍配备了符合国家标准个人防护设备, 如安全带、安全帽和防滑鞋, 并定期检查设备的安全性。在建设现场, 搭建了坚固可靠的高空作业平台, 并在平台四周设置了 1.2 m 高的防护栏, 栏杆底部还安装了 18 cm 的挡脚板, 防止人员和物品坠落。针对恶劣气候, 制定了应急预案。当风速超过 6 级、降雨或大雾影响视线时, 立即暂停高空作业, 并对未固定的材料和设备进行加固。现场还专门安排人员进行安全巡查, 及时排查和消除安全隐患, 确保高空作业安全进行。

3.3 提高钢结构安装精度的技术措施

在钻孔过程中, 采用精确的钻孔工具并严格遵守设计规范, 确保孔位置和间距准确。在距离顶部 300 mm 的位置进行钻孔操作, 确保孔之间的距离在 800 ~ 1 000 mm 范围内。在施工过程中, 通过持续测量和校准, 保证钻孔精度, 为钢丝绳的平稳安装提供可靠保障。

安装钢丝绳时, 严格检查钢丝卡扣的质量, 确保其满足承载标准。将钢丝绳穿过钻孔后, 使用四个钢

丝卡扣固定,并确保小木方稳固地放置在结构梁外侧,防止钢丝绳在受力时发生位移或松动。

钢丝绳的张拉操作是关键步骤。开始张拉前,对2吨手拉葫芦进行检查和调整,确保其稳定性。张拉操作从中心开始,向两侧对称展开。通过专业操作人员精准控制张拉力度,确保钢丝绳均匀承受压力。以某项目为例,通过应力监测装置实时监控钢丝绳各部分的应力变化,并根据数据调整张拉力度,确保钢丝绳应力均匀分布,提高钢结构安装精度。此外,钢丝绳的承重能力需精确估算并严格管理。以 $\phi 11\text{ mm}$ (6×19-FC)钢丝绳为例,其最小破断拉力为72.1 kN。经过计算,确定设计拉力为 $72.1\text{ kN} \div 1.8 = 40.056\text{ kN}$,实际最大轴向拉力为36.725 kN,符合安全要求^[4]。

3.4 防水与密封技术解决方案

在材料选择上,优先考虑耐候性良好、粘结强度高的密封材料,例如硅酮结构密封胶,其位移能力应不低于25%,并且需通过相容性测试方可使用。在施工开始前,需要对采光面板与钢制结构的封闭区域进行全面清洁,去除油渍、灰尘及其他杂质,确保表面干燥。处理采光面板之间接缝时,首先在缝隙两侧粘贴双面胶条,实现初步密封和定位。接着,注入密封胶,确保胶缝饱满且均匀分布。胶缝的宽度和深度应符合设计要求,通常宽度不小于8 mm,深度不小于6 mm。在采光面板与钢制结构的连接区域,使用橡胶密封条进行密封,确保密封条贴合紧密,避免松动或扭曲,且其压缩程度控制在15%~25%的范围内。防水密封施工完成后,应进行全面的淋水测试,持续至少2小时,检查是否存在渗水现象。如发现渗漏,需立即修复,直至满足防水标准。

3.5 合理选择施工材料与设备

在材料选择过程中,根据工程实际使用环境和设计标准,全面评估材料的性质、品质、定价及供应状况。选择钢结构材料时,优先考虑高强度、良好韧性及优异耐腐蚀性能的钢材。例如,在沿海地区或湿度较高的环境中,推荐使用耐候钢或经过热浸镀锌处理的钢材。采光面板的选择需综合考虑采光、保温、隔热与安全性等多重性能要求。以大型商业综合体的采光顶为例,中空Low-E玻璃是理想的选择,不仅能够满足采光需求,还具备出色的保温和隔热性能^[5]。

在设备选择上,应根据工程规模和施工方法,选择合适的起重、焊接及高空作业设备。对于大型采光顶施工,塔式起重机或履带式起重机是常见选择,其起重能力和作业半径应满足施工要求。为了保证焊接

质量,选择性能稳定、焊接质量优良的设备,并聘请经验丰富的焊接专家。与此同时,设备需定期进行维护和保养,确保其正常运作。

3.6 完善质量检查与验收体系

建立了从原材料进场到施工完工的完整质量检查流程,并对每个环节进行严格监控。原材料进场时,需对钢材、采光面板、密封材料等进行严格检查,验证其质量证明文件和规格型号是否符合要求,并按照规定进行抽样复试。在钢结构制造过程中,对焊接和涂装质量进行实时检验,采用超声波探伤和磁粉探伤技术检查焊缝,确保其符合设计和相关规范要求。在钢结构安装过程中,对钢柱的垂直度、钢梁的挠度以及构件连接的牢固性进行详细检查,确保偏差控制在可接受范围内。采光面板安装后,需检查面板的平整度、拼接缝质量及其密封效果。在防水密封施工完成后,需进行淋水和闭水实验,确认是否存在渗漏现象。每完成一个工序,施工单位需进行自检,监理单位验收合格后,方可进入下一个工序,以确保整个工程质量达到优良标准。

4 结束语

大跨度采光顶施工技术难点涉及结构设计、高空作业安全、钢结构安装精度、防水与密封处理、施工材料与设备选择以及质量检查与验收等多个方面。通过优化结构与精确荷载计算、强化高空作业安全管理、提高钢结构安装精度的技术措施、采用有效的防水与密封技术解决方案、合理选择施工材料与设备以及完善质量检查与验收体系等应对策略,可以有效地解决这些技术难点,确保大跨度采光顶的施工质量和安全。

参考文献:

- [1] 万运帅,何磊,袁伟,等.大跨度圆形采光顶施工中钢丝绳软平台的应用研究[J].建筑技术,2024,55(S2):33-35.
- [2] 叶小斌.大跨度玻璃采光屋面钢结构工程滑移施工技术[J].建筑技术,2024,55(10):1162-1164.
- [3] 谭小聪,姜舟,仝全,等.绿色建造技术在大跨度弧形玻璃采光顶设计中的应用[J].中国建筑装饰装修,2024(15):89-91.
- [4] 邵楨,韩文杰,张余.大跨度圆形采光顶钢丝绳软平台施工技术[J].建筑施工,2023,45(05):913-916.
- [5] 张田,赵影,马涛.大跨度操作平台在采光顶施工中的应用[J].中国住宅设施,2022(10):124-126.