

建筑幕墙中大跨度幕墙的结构设计与分析

王波

上海骊港幕墙科技有限公司

摘要：随着城市化发展进程不断加快，建筑工程逐渐趋向于高层化发展，幕墙也呈现出大跨度特征。大跨度幕墙对结构整体承载力要求更高，应结合工程具体建设要求，优化结构设计方案，检验大跨度幕墙各项性能，延长幕墙全生命周期。针对以上背景。本文首先提出大跨度幕墙结构设计理念、结构要求。构建大跨度幕墙结构设计模型，检验幕墙结构各项性能。结合具体案例工程，提出大跨度幕墙结构设计流程与设计要点。

关键词：建筑幕墙；大跨度幕墙；结构设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.105

前言：大跨度幕墙多数被应用在博览类建筑、体育类建筑、高层建筑入口或通高中庭，基本为钢结构。因幕墙直接暴露在外，在结构设计过程中不仅需保障整体安全性，还应考虑结构体系的美观度。由于建筑工程建设要求不同，大跨度幕墙结构体系也存在一定差距，设计人员需结合工程实际建设要求，对幕墙结构进行不断优化，确保幕墙结构性能符合设计要求，保障大跨度空间幕墙的通透性。

一、建筑大跨度幕墙结构设计理念及要求

（一）大跨度幕墙结构设计理念

大跨度幕墙结构设计理念需结合结构整体体系及体系的力学关系、结构机理，满足工程布局及细微层次控制要求。借助概念型估算方式，在幕墙设计期间快速获取与结构相关的各项信息，对信息展开对比及分析，提升信息利用率。

确定方案定义后，为使幕墙结构具备更加良好的安全性及实用性，还应当利用电脑端输出精准信息。

大跨度玻璃幕墙结构的导热性能比其他建筑材料更加突出，因此幕墙结构在建筑整体耗能环节所占比重更大。依照节能设计理念，应着重规划工程层面构建设计要求，对导热系数等参数展开数值计算。结合计算结果验证方案的合理性，

（二）大跨度幕墙结构设计要求

幕墙是建筑主体结构以外的围护体系，承受的竖向力、水平力会通过特定方式传递给主体，需在幕墙结构设计过程中以控制主体变形量为目标，结合现行的规范及幕墙结构特征，明确结构胶设计要点、石材与结构之间的关系、结构性能等。

依据《玻璃幕墙工程技术规范》，在大跨度幕墙支撑结构施工阶段、使用阶段的承载力、挠度等应当从实际角度出发开展综合评估，确保编制的设计方案能够满足幕墙结构安全可靠运行要求。

二、建筑大跨度幕墙结构设计模型构建

（一）设计目标函数及变量

目标函数是建筑大跨度幕墙结构设计重要组成部分，主要用于评估设计质量及设计目标实现情况。大跨度幕墙结构设计环节应以结构形式优化、界面尺寸优化、成本设计及施工效率计算为依据，采用单目标函数、多目标函数等方式展开变量设计。

大跨度幕墙设计环节可由设计参数表示，部分材料膨胀系数、材料弹性模量等固定不变。还有部分非常量的函数在特殊情况下也可视为常量。例如风荷载虽具有不同程度变化，受到建筑高度、建筑表面粗糙度影响，但在计算环节也会选取平均值。

部分独立参数在设计环节也需逐步调整，达到最优化值。例如在界面几何参数设计环节，取值大会影响幕墙结构尺寸，取值过小也会影响结构在后续运营期间的安全性。

如将设计环节的变量例数看作为 n ，不同变量需依照次序排列组成数组。在涉及变量增多的情况下，后续设计难度也会增大。

（二）约束函数

约束函数主要就是指建筑大跨度幕墙设计期间的约束条件，在变量设计环节应遵循数学表达式要求，明确设计变量发生期间会受到的约束极限值，设定取值范围及边界标准。为使幕墙结构能够安全可靠运营，设计期间还应将构件维持在强度合理水平，确保构件在外力影响下的变形值处于特定区间、高度范围内。例如在建筑横梁设计环节，横梁刚度、强度、稳定性能与幕墙结构的连接方式存在密切关联，依照结合幕墙结构设计要求，选择适宜的幕墙结构形式。

三、建筑大跨度幕墙结构性能优化测试

（一）气密性检测

结合现行建筑幕墙结构气密、水密、抗风压性能测试技术规范，严格设定气密检测流程。在幕墙结构压力差为0.1kPa情况下，可对幕墙开启部位的单位缝长空气渗透性展开测量。严格测试开启幕墙部位，空气渗透总量值，记录下每一级加压流程。

（二）水密性检测

水密性检测也应遵循技术规范要求及国家标准，将水密性测试流程划分为定期检测、工程测试模式。定期检测就是借助主机加压方式，将压力值加载至幕墙，使幕墙结构出现渗透情况；工程测试就是先确定幕墙及压力指标值，而后对部分开启部位加压。无开启部位加压在达到指标之后不再继续。

加压检测方式可分为波动加压与稳定加压两种。波动降压主要被应用在沿海地区工程中，在经过波动加压后就不必进行稳定加压。

（三）抗风压性能检测

建筑大跨度幕墙结构的抗风压性能检测工作的检测项目主要为变形量、加压值、安全性能等。在定期检测及工程检测期间都明确了抗风压性能指标值。大跨度幕墙结构抗风压性能应合格，不合格的情况下不得应用。

四、建筑大跨度幕墙结构施工优化设计

(一) 施工部署及安排

在大跨度幕墙结构设计过程中还应做好施工部署及施工安排工作，对幕墙结构展开垂直及平面施工。将每个施工区域作为独立施工区间，开展同时作业工作。以单元幕墙结构为主，进行立面施工。垂直运输是保障大跨度幕墙结构顺利施工的重要手段，应与承包单位事先协商，使用塔吊空闲期提前运输板块。施工环节需合理安排技术准备流程。

大跨度幕墙结构施工准备工作可直接影响到工程整体建设水平。项目部门在编制生产计划期间应依照实际调度要求配备生产设施，优化生产流水线，明确工程实施期间的重点及难点，依照计划要求有序开展各项日常工作，确保施工设备能够有效运转。材料采购计划，确保所需材料及配件配备到位，在全部材料及设备进场前进行充分协调。

在单元式玻璃幕墙结构安装期间，安装单元底座，遵照由下至上的顺序依次吊装单元板。由于玻璃材料容易损坏，安装大跨度幕墙环节也需要在适当区域做好样板质量检验工作，在样板检验合格后才能够进行大面积施工。样板或其他项目施工必须要由监理单位、总包单位及设计部门制定联合验收体系。

(二) 设计方案优化

设计部门应加强设计全过程质量管控力度，确保施工图纸、施工组织设计方案精准。对大跨度幕墙结构的设计及工艺方案展开细致评估，评估合格后做好记录操作，将记录内容作为施工重要判定依据。质量检测环节需由专业人员进行阶段性监督考核，依照工序控制标准检查设备、工装。

分析大幕墙结构荷载特征，要求幕墙荷载设计应结合结构形态及结构材料，设定幕墙极限荷载值。封闭建筑工程的幕墙荷载应依照表面风压正负值表示，风压体型系数计算应依照面积对数线性插值评估风荷载值。在幕墙结构使用轻便材料时，应根据局部面积的设荷载承载压力，适当添加折边连接筋肋。

为保障建筑大跨度幕墙结构安全性，设计环节也应从耐火性、防火性角度分析。如使用大面积玻璃采光顶时，应选择耐火等级在0.2h以上的三级耐火吊顶材料，满足工程整体防火要求。

(三) 幕墙结构功能优化

建筑大跨度幕墙结构设计环节不仅需保障外层美观度，还应当满足建筑采光及保温等功能要求，确保建筑室内环境始终处于适宜温湿度状态。

幕墙保温隔热、采光功能存在一定功能冲突。在采光效果良好的情况下，保温隔热性能处于有待提升状态。因此在设计过程中可以选择不同传热系数的玻璃材料，优化密封方案，保障玻璃幕墙运行期间的密封水

平，结合幕墙结构面板布置及主体结构支撑体系，验证设计方案可行性，合理设置玻璃幕墙尺寸，避免玻璃幕墙尺寸较大或性能较高导致浪费问题，增强结构整体可靠性。

五、建筑大跨度幕墙结构设计方案

(一) 工程概况

本文以某市一金融大厦工程为例，该建筑外立面使用了大跨度玻璃幕墙，幕墙的高度值为198米。东西两侧为办公建筑，高度在32~40层之间。两建筑中间还配备通道、电梯、设备间。

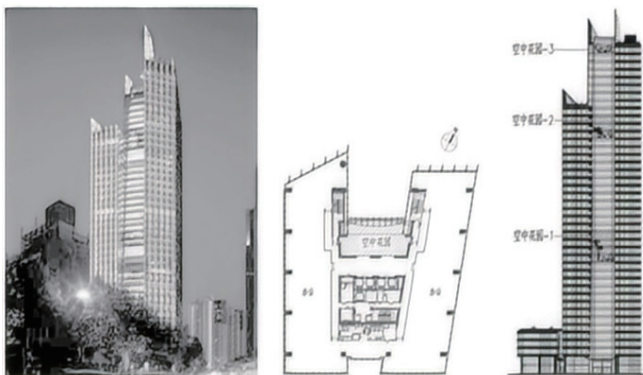


图1 建筑平面及立面图

经过实际调查发现，工程外立面平整，主要使用单元式玻璃幕墙结构。东西两侧建筑连接处为跨层共享单元幕墙，需在土建结构基础上设置大跨度支撑体系，为玻璃单元幕墙提供结构支撑。

空中花园建筑的外立面与建筑整体标准楼层的外立面相同，玻璃幕墙种类细部与外部特征统一。依照建筑要求，玻璃幕墙应尽量弱化自身支撑体系视觉尺寸，保障幕墙结构整体通透性。

因建筑高度高，为内倾斜面，在结构设计期间应重点关注幕墙整体的抗风压性能、防水渗透性能、平面变形性能等。

(二) 结构设计方案选择

案例工程空中花园内倾玻璃幕墙与四周幕墙结构使用单元式玻璃幕墙体系，要求幕墙与外立面相同，建设统一的玻璃幕墙框架。传统框架结构防水性能不佳，框架周边及单元墙交接结构较多，致使雨水渗透风险进一步提升。因框架玻璃幕墙需在现场开展拼装及安装工作，施工期间的不良影响更多。为确保工程能够在规定时间内顺利开展，最大限度节约施工成本，最后改为选择在空中花园外立面幕墙中使用单元式玻璃幕墙系统。

确定玻璃幕墙外立面体系后，需选择适宜的幕墙支撑体系。为保障幕墙结构的通透性，支撑体系不得与中间楼层连接，只能够使用大跨度结构支撑。具体选型方向主要分为三种：

第一，钢立柱+次钢梁体系。主钢柱结构整体受力件，整体玻璃幕墙结构中的水平格尺小，钢立柱可使用三分格形式。每层立柱还应设置横向钢梁，玻璃幕墙单元板放置在钢梁上；

第二, 钢桁架+次钢梁体系。由钢桁架承受结构荷载力, 在钢桁架上设置三个钢梁分隔设施, 玻璃幕墙板放置在钢梁上;

第三, 钢梁+吊索。玻璃幕墙设置在钢梁上, 钢梁为主要受力部件。钢梁处设置三个分隔装置, 放置竖向承重吊索, 保障钢梁结构稳定, 增强钢梁结构的竖向荷载挠度值。

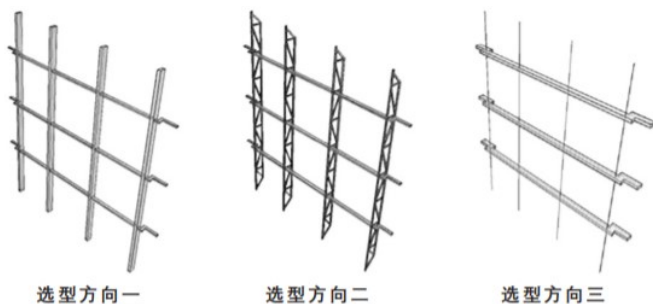


图2 选型结构图

通过对不同幕墙支撑结构下的建筑外观及设立状态展开对比分析, 发现将横向钢构件作为幕墙支撑结构体系的受力状态较好。由于横梁尺寸大, 会一定程度占据室内空间, 还需在保障结构安全的情况下控制结构尺寸。由于洞口上下边的承载力较为薄弱, 可在横梁后增加水平预应力拉索系统, 将拉索作为幕墙结构的主受力支撑构件, 满足建筑整体承重效果。

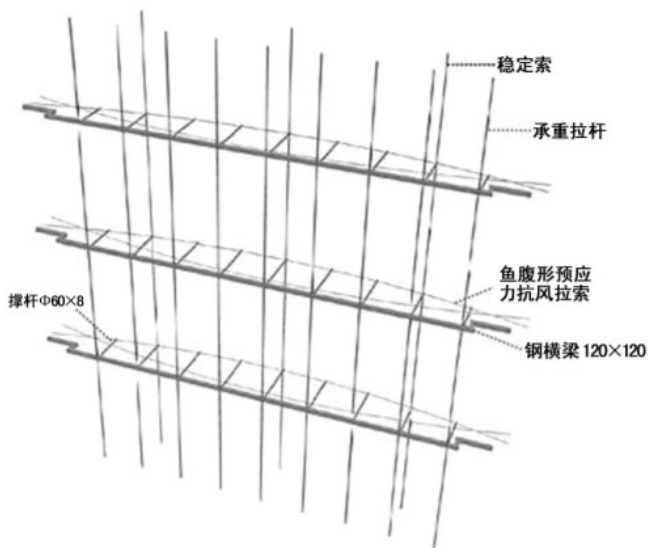


图3 预应力拉索结构图

(三) 结构设计要点

大跨度单元幕墙板安装大跨度、大挠度预应力体系, 应着重考虑常规预应力拉索结构的稳定性、温度变形力、应力蠕变性。结合玻璃幕墙平面结构变形原理, 明确大幅度预应力体系可能对玻璃幕墙单元板安装带来的风险。

玻璃幕墙结构的整体性能还会受铝合金材料、长度等因素影响。因案例工程的楼层高, 依照每层高度4.2

米计算在施工时应联系厂家, 预先加工单元, 而后运输到现场统一安装, 固定在钢梁板适宜位置处。

在钢横梁的幕墙处还需要设置承重拉杆结构, 拉杆的间距值为1500毫米。横梁及承重拉杆应与幕墙面紧密结合, 加固内倾斜面。

将水平与应力抗风拉锁支撑体系设置在钢横梁垂直方向, 将拉索支撑结构及钢横梁紧密连接在一起。

(四) 预应力拉索体系设计

预应力拉索体系可直接影响到大跨度玻璃幕墙结构的承载力, 是玻璃幕墙主受力构件。在设计拉索体系环节应着重分析幕墙承受的风荷载、水平地震荷载, 选择适宜的拉索材料。由于玻璃幕墙结构的立面为内倾斜面, 在设计预应力拉索体系环节, 还需要计算幕墙结构的重力荷载与水平荷载值, 满足幕墙受力要求。

要求预应力拉索不仅需满足强度、挠度指标, 还应当着重考虑温度应力作用, 避免在温差较大情况下出现拉索松弛情况。结合工程所在区域温差变化规律, 将预应力拉索结构设定为2.0~5.0kN。

总结: 总而言之, 现阶段建筑工程大跨度幕墙结构逐步增多, 对结构整体的通透性、承载力要求更高。通过使用预应力拉索、小钢梁相结合的支撑体系, 能够满足大跨度幕墙结构运营期间的变形及荷载要求, 降低幕墙安全隐患, 为推动建筑工程高层化、规范化发展奠定坚实技术基础。

参考文献

- [1] 张征. 建筑幕墙结构设计及优化措施研究[J]. 上海包装, 2023(03): 65-67.
 - [2] 郭继业. 大跨度刚性玻璃幕墙结构设计分析[J]. 安徽建筑, 2023, 30(01): 58-59.
 - [3] 张峥, 丁洁民, 张月强等. 西安丝路国际会议中心大跨度刚性悬挂幕墙结构设计及关键技术研究[J]. 建筑结构学报, 2021, 42(S1): 18-27.
 - [4] 梁宏琨. 钢铝组合结构在幕墙设计中的应用分析[J]. 住宅与房地产, 2020(06): 88-89.
 - [5] 袁宇鹏. 12m高吊挂式全玻璃幕墙的应用与设计[J]. 建材与装饰, 2019(09): 88-89.
 - [6] 肖春涛. 钢铝结合在幕墙设计中的应用[J]. 住宅与房地产, 2018(24): 109+117.
 - [7] 周慧. 超高层大跨度建筑幕墙分析 上海东亚银行金融大厦之空中花园[J]. 中国建筑金属结构, 2018(02): 56-59.
 - [8] 许芳. 大跨度全玻璃幕墙稳定性分析及结构设计[J]. 建筑技术开发, 2017, 44(19): 18-19.
 - [9] 赵丹, 李斌. 援阿尔及利亚歌剧院结构设计[C]//《工业建筑》杂志社.《工业建筑》2017年增刊II. [出版者不详], 2017: 4.
 - [10] 曾志攀. 福州东部新城大跨度索网幕墙结构设计[J]. 建筑结构, 2014, 44(21): 67-71.
- 作者简介: 王波(1978.11-), 上海人, 男, 本科, 汉族, 中级工程师, 主要研究方向: 幕墙设计及施工。