

# 刍议某项目大装饰条单元式幕墙的设计分析

文 / 陆启跃 上海龙华航空发展建设有限公司 上海 200232

**【摘要】**随着经济的快速增长,科技的持续进步,从建筑设计理念来看,人们更加重视绿色环保以及人性化,多功能建筑逐渐发展成亮点,从而促进了幕墙产品的进一步更新及持续发展。而单元式幕墙凭借着缩短施工周期、提高施工效率、简化安装工序等优势,以及提高建筑档次、保障建筑产品品质等特点,得到了业内人士的青睐。不过在具体运用中,还存在着各种各样的问题,本文主要介绍了单元式幕墙的设计过程,旨在能够更好地应用单元式幕墙,同时也希望能为相关人士提供参考。

**【关键词】**单元式幕墙;大装饰条;建筑还原;幕墙光反射;热工分析;结露分析;防火构造;防雷;防水设计;气密性;等压腔;渗漏;风荷载;运输

**【DOI】**10.12334/j.issn.1002-8536.2022.07.037

## 1、工程概况

上海龙华航空服务产业集聚区项目(以下简称龙华国际)由X-1A(西岸凤巢)、X-1B(西岸智塔)、W-1A(上海航空器适航审定中心)、W-1B(上海国际航空服务中心)四个地块组成(图1),基地占地面积约为84059平方米。总建筑面积515468平方米,其中地上319368平方米,地下196100平方米。项目X-1A(西岸凤巢)高54.4米,7层,性质为商业;X-1B(西岸智塔)高199.9米,39层,性质为办公;W-1A(上海航空器适航审定中心)高72.8米,15层,性质为办公和商业;W-1B(上海国际航空服务中心)高235.9米,52层,性质为酒店、办公和商业。项目位于西侧临丰谷路、东侧临龙腾大道路、南侧临龙耀路、北侧龙启路。

本项目幕墙系统种类繁多,体量超大,幕墙总面积20万平方米,建筑物表面材料以玻璃、聚碳酸酯板、铝板和石材面板为主。由于单元式幕墙具有预装配率高,工厂制作精度高,工地安装周期短,现场安装方便等因素,结合X-1B和W-1B二栋塔楼为超高层的特点,我们选择了单元式幕墙作为二栋塔楼的幕墙设计方案。



图1 上海龙华航空服务产业集聚区项目效果图

## 2、建筑效果还原设计

二栋超高层的建筑师原设计理念中主立面以玻璃为主,每隔2.4米,有一条尺寸为深500mm、宽200mm的装饰构件

从顶至底，效果为横隐竖明，由此，我们三个方案可以实现建筑效果。

方案一、装饰条与外维护幕墙分离，外装饰构架作为独立的装饰件与外维护幕墙分开，幕墙横隐竖明，幕墙竖向龙骨以常规 80mm 左右宽设计，外面的装饰条通过转接件连接到单元式幕墙，再由幕墙连接到主体结构，或者装饰条直接穿过单元式幕墙连接到主体结构上；

方案二、装饰条与幕墙一体，根据上海建筑幕墙工程技术标准 DG/TJ08-56-2019,4.1 条一般规定中，钢化玻璃应不大于 4.5m<sup>2</sup>，因此单元式幕墙分格为 1.2 米宽，竖向立柱宽度以 200mm、80mm 宽交替布置，幕墙横隐竖明；室内侧增加扶手栏杆；

方案三、装饰条与幕墙一体，单元式幕墙分格为 2.4 米宽，竖向立柱宽度以 200mm，在离室内完成面 1050mm 高度位置增加横向分格；

以上方案通过效果图模拟，再经综合考虑，方案一和二由于施工复杂，容易漏水，从室内侧效果凌乱以及造价高等因数，最终选择了方案三（见图 2）。



图 2 幕墙效果

### 3、幕墙光反射分析

建筑玻璃幕墙对周围环境会产生太阳光反射影响，对周围的居民会有一定的影响，本项目通过专业的环评单位，出具了建筑玻璃幕墙光反射影响分析报告，结论为本项目玻璃反射率控制在 15% 以下，另外弧形区域立面玻璃反射率不大于采用 12%，可以大大降低玻璃产生的炫光程度。考虑到玻璃效果的整体性，我们的建筑玻璃采用反射率为 12% 的玻璃。

### 4、热工分析

根据设计院提供的《上海公共建筑权衡计算报告书》，透明玻璃幕墙部分  $U \leq 0.20W/(m^2.K)$ ，遮阳系数  $SC \leq 0.32$ ；

非透明幕墙部分  $U \leq 0.45W/(m^2.K)$ 。

计算原理

面材的传热系数与面材边缘的线传热系数在总面积上的加权，公式如下：

$$U_{CW} = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_p A_p + \sum \Psi L_T}{A_{CW}}$$

$A_g$ ——透明玻璃的面积

$A_p$ ——非透明板的面积

$U_g$ ——透明玻璃的传热系数

$U_p$ ——非透明板的传热系数

$L_{TJ}$ ——面材边缘的长度

$\Psi_{TJ}$ ——面材边缘线传热系数

其中公式中的  $U_{CW}$  也就是我们要计算的幕墙的整体传热系数，也称之为 K 值。（表 1）

表 1

节点	宽 (m)	高 (m)	面积 (m <sup>2</sup> )	面积比 (%)	K 值 W/(m <sup>2</sup> .K)	$\Psi$ W/(m.K)	$\Phi$ W/K	Frac. $\Phi$ %
中空透明玻璃	2.400	3.270	7.848	76.05	1.600	0.000	10.438	62.71
非透明玻璃	2.400	1.030	2.472	23.95	0.380	0.000	0.939	5.64
H1	0.000	1.030	0.000	0.0	0.000	0.484	0.499	3.00
H2	0.000	0.347	0.000	0.0	0.000	0.516	0.179	1.08
H3	0.000	2.923	0.000	0.0	0.000	0.277	0.810	4.86
V1	2.400	0.000	0.000	0.0	0.000	0.651	1.562	9.39
V2	2.400	0.000	0.000	0.0	0.000	0.550	1.320	7.93
V3	2.400	0.000	0.000	0.0	0.000	0.371	0.898	5.39
汇总	2.400	4.300	10.320	100			16.644	100
$K_{CW}$ 值	1.939W/(m <sup>2</sup> .K)							

结论： $K_{CW}=1.939 \leq 2.0$ ，满足节能要求。

### 5、结露分析

基本计算参数：

计算地点：上海

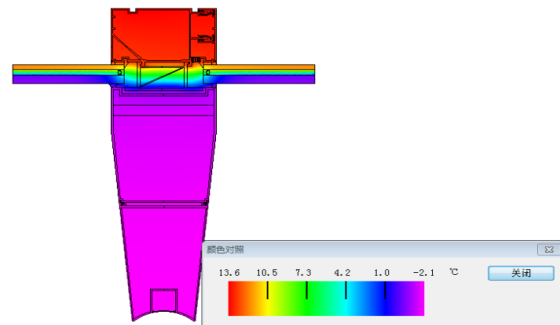
室内计算温度  $t_i$ ：18℃

冬季室外计算温度  $t_e$ ：-2℃

冬季室内相对湿度：60.00%

露点温度  $T_{露点}$ ：10.15℃

通过粤建科®MQMC 建筑幕墙门窗热工性能计算软件以下温度场图（图 3）



立柱温度场图

图 3 温度场图

结论：温度场图显示，室内温度均高于 10.15℃，室内侧不结露。

## 6、幕墙防火构造设计分析

本项目室内设置了自动喷水灭火系统，在玻璃幕墙与楼层边沿实体墙上、下水平缝隙的防火封堵，采用厚度不小于 200mm 厚容重不低于 100KG/m<sup>3</sup> 的岩棉进行填充密实，使用厚度为 1.5mm 的镀锌钢板作为承托板，并与幕墙横梁连接，另外一边与主体结构连接，并用防烟胶填满缝隙。上下填充的岩棉距离不小于 0.8 米。

楼层每个防火分区设置不少于 2 个消防救援窗，相邻的救援窗间距不大于 20 米，单个消防救援窗的宽度不小于 1.2 米，高度不小于 1 米，消防救援窗的下沿距室内地面的高度为 1.1 米。

## 7、幕墙防雷设计分析

本项目幕墙采用了隔热构造设计，因此对有隔热构造的幕墙铝型材，内外侧采用金属导体连接，对幕墙横竖两方向单元板之间橡胶条缝隙连接处，采用导电金属条连接，形成良好的电气通路。每 100 平方米为一个单元，每个单元网格角点与防雷系统连接，形成电器贯通。其中连接的金属条可以铜编织带，也可以铝质等具有良好导电性能材料制作。项目最高点设置避雷带。幕墙建筑防雷接地电阻应符合防雷设计规范要求。

## 8、幕墙防渗漏设计分析

单元式幕墙结构发生漏水，基本上可以确定幕墙的缝隙中出现了水，在室外压力的作用下，把水分子挤进室内，造成了幕墙渗水。

水分子的出现，是大自然现象，是无法通过人的意志来转移的，所以要做到幕墙不渗水，我们需要在开展单元式幕墙结构防水设计过程中，科学合理的对其缝隙消除，并通过平衡压力差，消除外界对水分子的作用力，从而防止幕墙渗漏。由此，我们在单元式幕墙设计中要考虑以下二点：

(1) 第一道防水作为幕墙防水的基础，首先单元式幕墙本身的料与横梁的连接处，需要打胶密封，玻璃面板与单元式幕墙框料之间，需要通过硅酮密封胶连续密封，中间不可有漏洞缝隙存在；其次单元式幕墙板块周边，需要设置披水胶条，披水胶条的宽度要大于幕墙单元板安装后的缝隙，通过披水胶条等措施，要把绝大部分的雨水排除在外。

(2) 等压腔防水设置和排水设置，虽然第一道披水胶条能把大部分雨水挡在室外，但不能排除有少量雨水进入腔体，由此，我们需要在单元式幕墙的公母料、头尾料按压力平衡原理设计，公母料及头尾料在拼接以后，能形成大于等于二个压腔，从而通过腔体降低与室外的压力，雨水受重力影响，从竖向腔体排入到横向腔体，并从排水孔排出至室外。排水路径见附图 4。

## 9、结构设计分析

### 9.1 设计计算依据

工程基本条件：

(1) 地区类别：B 类

(2) 基本风压：W<sub>0</sub>=0.55KN/m<sup>2</sup>（根据 50 年一遇风压取值）

(3) 地震烈度：7 度

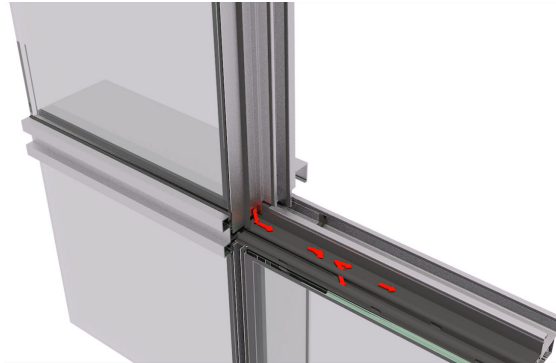


图 4 排水示意图

### 9.2 设计荷载确定原则：

(1) 风荷载计算：

安装荷载规范与风洞试验报告结果比较取大值

(2) 地震作用计算：

幕墙平面外地震作用标准值计算公式如下：

$$q^{EK} = \beta_E \alpha_{MAX} \frac{G_A}{A}$$

其中：q<sup>EK</sup> 为垂直幕墙平面的分布地震作用（KN/m<sup>2</sup>）；

β<sub>E</sub> 为地震动力放大系数，按 5.0 取定

α<sub>MAX</sub> 为水平地震影响系数最大值（7 度：α<sub>MAX</sub>=0.08）

$\frac{G_A}{A}$  为单位面积的幕墙结构自重（KN/m<sup>2</sup>）

(3) 幕墙结构自重：

按规范要求，幕墙结构自重的分项系数取 γ<sub>G</sub>=1.2

(4) 荷载和作用效应组合：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \Psi_W \gamma_W S_{WK} + \Psi_T \gamma_T S_{TK}$$

荷载和作用效应组合的分项系数，按下表 2 采用：

表 2

	γ <sub>G</sub>	γ <sub>F</sub>	γ <sub>W</sub>	Ψ <sub>W</sub>	Ψ <sub>F</sub>
标准值	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
设计值	1.2	1.4	1.3	1.0	0.5

### 9.3 幕墙系统结构计算

(1) 中空夹胶玻璃结构计算：

1) 部位基本参数：

最大标高 235.9 米，玻璃为 8mm（半钢化）+1.52PVB+8mm（半钢化）+12Ar+10mm（钢化）夹胶中空玻璃，最大横向计算分格宽度 2400mm，最大纵向计算分格宽度 1950mm。玻璃为四边支撑。弹性模量 E=0.72×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup>；松柏比 ν=0.2；设计强度 fg=84/mm<sup>2</sup>（钢化）；设计强度 fg=56/mm<sup>2</sup>（半钢化）；

2) 设计荷载确定：

$$\beta_{gz} = 1 + 2gI_{10} \left(\frac{z}{10}\right)^{-\sigma} = 1 + 0.7 \times \left(\frac{235.9}{10}\right)^{-0.15} = 1.436$$

$$\mu_z = 1.000 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.30} = \left(\frac{235.9}{10}\right)^{0.30} = 2.581$$

$$\mu_s = 1.4 + 0.2 = 1.6$$

$$\omega_k = \beta_{gz} \mu_s \mu_z \omega_o = 1.436 \times 1.6 \times 2.581 \times 0.55 = 3.262 \text{KN/m}^2$$

根据风洞试验报告最大风压  $\omega_K=0.45\text{KN/m}^2$   
 计算时风压取大值  $\omega_K=0.45\text{KN/m}^2$

3) 结构计算:

玻璃短边尺寸 / 玻璃长边尺寸 = 1950/2400=0.8125, 按线性插入法可得弯矩系数  $m=0.0615$ , 中空玻璃需按玻璃刚度分配荷载

$$8\text{mm}: \sigma_{K1} = 1.1\sigma \frac{t_1^3}{t_1^3+t_2^3+t_3^3} = 1.1 \times 4.50 \times \frac{8^3}{8^3+8^3+10^3} = 1.252\text{KN/m}^2$$

玻璃重力面密度:  $G_K=25.6 \times 0.008=0.2048\text{KN/m}^2$

地震荷载:  $q_{EK}=5 \times 0.08 \times 0.2048=0.082\text{KN/m}^2$

标准值:  $q_{HK}=\omega_{K1}=1.252\text{KN/m}^2$

设计值:  $q_H=1.4\omega_{K1}+1.3 \times 0.5 \times q_{EK}=1.4 \times 1.252+1.3 \times 0.5 \times 0.082=1.806\text{KN/m}^2$

根据规范, 玻璃强度和挠度可进行折减:

$$\theta = \frac{\sigma_K a^4}{E I^4} = \frac{0.001252 \times 1950^4}{72000 \times 8^4} = 61.383$$

查表, 可得折减系数:  $\eta=0.777$

玻璃计算截面正应力

$$\sigma = \frac{6m q_H a^2}{t^2} \eta = \frac{6 \times 0.0615 \times 0.001806 \times 1950^2}{8^2} \times 0.777 = 30.765\text{N/mm}^2 (f_g = 56.0\text{N/mm}^2)$$

$$10\text{mm}: \sigma_{K2} = \sigma \frac{t_1^3}{t_1^3+t_2^3+t_3^3} = 4.50 \times \frac{10^3}{8^3+8^3+10^3} = 2.223\text{KN/m}^2$$

玻璃重力面密度:  $G_K=25.6 \times 0.010=0.256\text{KN/m}^2$

地震荷载:  $q_{EK}=5 \times 0.08 \times 0.256=0.1024\text{KN/m}^2$

标准值:  $q_{HK}=\omega_{K2}=2.223\text{KN/m}^2$

设计值:  $q_H=1.4\omega_{K2}+1.3 \times 0.5 \times q_{EK}=1.4 \times 2.223+1.3 \times 0.5 \times 0.1024=3.179\text{KN/m}^2$

根据规范, 玻璃强度和挠度可进行折减:

$$\theta = \frac{\sigma_K a^4}{E I^4} = \frac{0.002223 \times 1950^4}{72000 \times 10^4} = 44.642$$

查表, 可得折减系数:  $\eta=0.826$

玻璃计算截面正应力

$$\sigma = \frac{6m q_H a^2}{t^2} \eta = \frac{6 \times 0.0615 \times 0.003179 \times 1950^2}{10^2} \times 0.826 = 36.844\text{N/mm}^2 (f_g = 84.0\text{N/mm}^2)$$

玻璃刚度计算:

中空玻璃等效厚度:

$$t_e = 0.95 \sqrt{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} = 0.95 \sqrt{8^3 + 8^3 + 10^3} = 12\text{mm}$$

标准值:  $q_{HK}=\omega_K=4.5\text{KN/m}^2$

玻璃弯曲刚度:  $D = \frac{E t_e^3}{12(1-\nu^2)} = 10800000$

查表得玻璃挠度系数:  $\mu=0.0059$

根据规范, 玻璃强度和挠度可进行折减:

$$\theta = \frac{\sigma_K a^4}{E I^4} = \frac{0.0045 \times 1950^4}{72000 \times 12^4} = 43.581$$

查表, 可得折减系数:  $\eta=0.829$

玻璃中心最大挠度:

$$d_f = \frac{\mu \omega_K a^4}{D} \eta = \frac{0.0059 \times 0.0045 \times 1950^4}{10800000} \times 0.829 = 29.467\text{mm} (d = 1950/60 = 32.5\text{mm})$$

结论: 玻璃满足强度和变形要求。

(2) 其它部分的结构设计:

相关的立柱、装饰条、横梁、牛腿、预埋件、结构胶、玻璃承压托条、相应的螺栓等均需要满足结构计算, 由于本项目的装饰条尺寸偏大, 还需要增加装饰条的侧向受力计算。

## 10、单元板运输分析

本项目的装饰条尺寸宽 200X 深 500mm, 单元板厚度为 185mm, 外凸牛腿挂码 92mm, 总计厚度为 777mm, 根据幕墙单元板组装厂运输至项目工地, 路线限高 4.2 米, 根据卡车车板据限高点, 运输方案一, 装饰条与单元板分离, 待运输至项目后再组装, 单次货架可以叠加 7 块单元板; 方案二, 装饰条在出工厂前组装完毕, 单次货架可以叠加 3 块单元板; 相比方案一的运输效率优于方案二, 由此, 选择幕墙单元板装饰条由项目工地上组装。

## 11、幕墙设计性能检测试验检测分析

幕墙单元板在大面积加工安装前, 除了需要对其垂直方向变形性能、平面内变形性能以及平面外变形性能、气密性能、水密性能以及抗风压性能检测以外, 本项目的装饰条尺寸比较大, 需要对其增加耐撞击性能, 检测方法可以根据《建筑幕墙耐撞击性能分级及检测方法 GB/T38264-2019》和《建筑幕墙 GB/T21086-2007》, 装饰条耐撞击实验按《建筑幕墙耐撞击性能分级及检测方法》4.2.2 条表一三级标准, 逐级增加, 撞击物体为由 3 个靠拢的轮胎、配重和其它连接件组成的软重物, 总重量为 50Kg, 轮胎内压力为 (0.35 ± 0.02) MPa, 试验中, 应避免因弹性而造成多次反复撞击, 待撞击停止后, 观察幕墙吸收撞击能量后仍能保持原有性能, 未见零部件脱落以及发生永久变形等情况, 满足要求。

以上试验中, 如有结构损坏、剥落、渗水等情况发生, 需要分析失败原因, 并根据实际情况对其调整或重新设计。

## 12、幕墙各分项设计

(1) 清洗及维修分析

幕墙立面的清洗和维修是通过擦窗机来日常维护, 擦窗机在每隔二个楼层设置一组防风销, 我们把防风销隐藏在装饰条中, 并紧固在竖料上, 通过竖料连接到幕墙牛腿。

(2) 泛光配合设计

本项目的幕墙为横隐竖明, 所以我们把灯具藏于装饰条内, 灯光的电源及相关信号线, 通过止水阀, 穿过幕墙单元板连接至配电间, 以上的设计即保证建筑效果的同时, 也保证了幕墙的水密性。

## 结语:

我们通过以上步骤来设计单元式幕墙, 不但保证了幕墙的安全性及质量, 同时也避免了后期施工过程中由于前期考虑不周引起的整改、反工。为项目顺利推进做出了贡献, 为同类项目的幕墙提供设计思路。

## 参考文献:

- [1] 沈隽, 魏文清. 幕墙工程大型外装饰构件的设计分析[J]. 建筑学报, 2011(4):115-117.
- [2] 张晓君. 单元式幕墙系统防水设计分析[J]. 绿色环保建材, 2020(04): 66-68.