

幕墙工程施工手册

MUQIANG GONGCHENG SHIGONG SHOUC

(第三版)

雍 本 编著



中国计划出版社

第一篇 幕墙概论

第一章 建筑装饰幕墙的定义及特点

第一节 建筑装饰幕墙

一、建筑装饰幕墙的定义

幕墙是指悬挂于主体结构外侧的轻质围护墙。这类墙体既要求轻质,又要满足自身强度、刚度、保温、防水、防风砂、防火、隔音、隔热等诸多要求。当前用于幕墙的材料有各种天然石材板、人造石材板(如彩色混凝土、装饰混凝土)、复合材料板(如铝塑板)、金属板以及各种玻璃。幕墙与主体结构的连接多采用可动柔性连接,即通过角钢连接件(角码)或转接件把幕墙悬挂于主体结构外侧,形成悬挂幕墙。

二、建筑装饰幕墙必须具备的条件

并不是大面积玻璃就等同于玻璃幕墙,要特别区分玻璃大幕墙和大玻璃幕墙。以玻璃幕墙为例,幕墙必须具备以下条件:

- (1) 幕墙必须由板材、横梁、立柱(或相当的支承构件)组成一个独立的分部结构。
- (2) 玻璃幕墙应在主体结构的外部,并距主体有一定距离,包封主体结构。
- (3) 玻璃幕墙一般应通过连接件或吊钩悬挂在主体结构上(个别情况下支承在主体结构上),相对于主体结构应有一定的位移,幕墙所承受的一切荷载(自身质量荷载、风荷载、地震应力、温度应力等)是通过连接件或吊杆传递给主体结构的。

所以固定玻璃窗面积再大,由于不具备上述条件,也不能称之为玻璃幕墙。砂浆黏结的外墙石板装饰,既不是独立的结构,也无法相对于主体结构运动,因此也只能叫外装修而不是石材幕墙。

由此可见,幕墙是比较复杂的结构体系,对其设计、施工有严格的要求,承包幕墙工程设计和施工安装的企业,必须有相应的幕墙工程承包专项资质,而且必须按有关规范进行精心设计和施工,负责主体结构设计和施工的单位要认真审查其设计计算书和施工图;监理公司从材料、制作、安装、施工要全过程监督;最后质检部门要会同各方对工程进行严格的竣工验收,只有这样才能确保幕墙工程的质量与安全。

幕墙在风荷载作用下或地震应力等作用下损坏的例子是非常多的,因此幕墙的合理设计对于防止灾害发生,减少经济损失,保障生命安全是至关重要的。

第二节 建筑装饰幕墙的技术特点

一、幕墙结构与构造特点

建筑装饰幕墙是建筑物的外围护结构的一种,它不同于一般的外墙,并具有以下三个特点:

(1) 建筑幕墙是完整的结构体系,直接承受施加于其上的荷载和作用,并通过耐腐蚀、强度高的柔性连接件传递到主体结构上。有框幕墙多数情况下由面板、横梁(次梁)和立柱构成,点支式玻璃幕墙由面板玻璃和支承不锈钢钢结构组成。

(2) 建筑幕墙应包封主体结构,不使主体结构外露。

(3) 建筑幕墙通常与主体结构采用可动连接,竖向幕墙通常悬挂在主体结构上。当主体结构位移时,幕墙相对于主体结构可以运动。

由于有上述特点,幕墙首先是结构,并具有承载功能;然后是外装,具有造型美观和建筑功能。

幕墙的支承骨架(横梁、立柱、吊钩、支承钢结构等)通常由铝型材和优质钢材组成,有些情况下也用玻璃。面板可以是玻璃、铝板、铝塑板、钢板或石板、混凝土板,但透光部分必定是玻璃板。采光顶有时也会采用聚碳酸酯板(阳光板)等。通常按面板材料将建筑幕墙划分为玻璃幕墙、金属板幕墙、石材板幕墙等,在许多幕墙工程中多种幕墙可混合使用。

二、幕墙设计与施工特点

(一) 幕墙设计

建筑装饰幕墙的设计除遵从美学规律外,还应遵从建筑力学、建筑物理、建筑结构等相关规律的要求,力争做到安全、实用、经济、美观。

在建筑幕墙设计中,建筑师应考虑以下因素:

(1) 墙立面的线条、色调、构图、玻璃类别、虚实组合和协调,幕墙与建筑整体及环境的协调关系。

(2) 幕墙的分格是立面设计的重要内容,除了考虑总立面效果外,必须综合考虑室内空间组合,功能和视觉效果,玻璃幕墙立面的分格宜与室内空间组合相适应,不宜妨碍室内功能和视觉。金属幕墙和干挂石材幕墙的板块以及立面分格亦然。

(3) 在确定玻璃板块尺寸时应有效地提高玻璃原片的利用率,同时应考虑钢化、镀膜、夹层等设备的深加工能力,避免使用超规格的板材,徒增建筑成本。在考虑石材板规格、确定厚度时,要先考虑增加的自身质量以及施工的难易程度,重点考虑受力状态,避免使用超规格板材。

(4) 设计时,要先考虑到玻璃、石材、金属板的大小尺度要适中,选材应合理,以便于后期维修、更换。

(5) 设计中要特别考虑幕墙开启窗的设置,应满足使用功能和立面效果要求,并应启用方便,避免设置在梁、柱、隔墙等位置,幕墙墙面活动部分面积不宜大于墙面面积的15%。开启窗应采用上悬窗,开启角度不宜大于 30° ,开启后的宽度不宜大于300mm。

(二) 幕墙施工

建筑装饰幕墙的施工,从其工作性质讲,应该是安装工种的工作范围,如打眼、划线、钢结构的安装,但其本身又是属于建筑装饰的范围。对绝大部分装饰公司来说,还不能完全胜任,所以建筑装饰幕墙往往必须由训练有素的专业队伍承担,而且施工必须具有相应的资质。

幕墙能够在很短的时间内在建筑的各个领域内得到广泛应用和推广,这是因为它具有其

他墙体材料无法比拟的独特功能和特点。

三、幕墙综合技术特点

综述建筑装饰幕墙的上述特点,可以看出它确实是优化建筑造型设计的新材料、新结构、新工艺和新技术。

1. 艺术效果好

建筑装饰幕墙所产生的艺术效果是其他材料不可比拟的。它打破了传统的窗与墙的限制,巧妙地将它们融为一体。它使建筑物从不同角度呈现出不同的色调,随阳光、月光、灯照和周围景物的变化给人以动态的美。这种独特光亮的艺术效果与周围环境的有机融合,避免了高大建筑的厚压感,并能改变室内外环境,使内外景色融为一体。

2. 质量轻

建筑装饰幕墙相对于其他墙体来说质量轻。在相同面积的情况下,玻璃幕墙的质量约为砖墙粉刷的 $1/12 \sim 1/10$,是大理石、花岗石饰面板湿贴墙质量的 $1/15$,是混凝土挂板的 $1/7 \sim 1/5$ 。由于建筑物内外墙的质量为建筑物总量的 $1/5 \sim 1/4$,使用玻璃幕墙能大大减轻建筑物自身的质量荷载,显著减少地震灾害对建筑物的影响。

3. 安装速度快

由于建筑幕墙主要由型材和各种板材组成,用材规格标准,装配件可以工厂化生产,施工简单,无湿作业,操作工序少,因而安装施工速度快。

4. 更新维修方便

建筑幕墙可改造性强,易于更换。由于它的材料单一、质轻、安装简单,因此幕墙常年使用损坏后改换新立面造型非常方便快捷,维修也简单。

5. 造价低廉

由于建筑幕墙质轻,结构横梁、立柱、饰板、基础费用大大减少;材料单一,可标准工业化生产,加工制作快,工序简单,节省劳动力;此外,常年维护费用小、运输费用少。

6. 温度应力小

玻璃、金属、石材、塑料等以柔性结构方式与框体连接,减少了由温度变化对结构产生的温度应力,并且能吸收且减轻地震力造成的损害。

第三节 建筑装饰幕墙的技术经济效应

与传统的墙体材料相比,建筑装饰幕墙具有以下技术、经济及社会效应。

一、建筑装饰幕墙的技术效应

(1) 主要材料是现代工业化产物。玻璃具有光反射能力,通透感强,造型简洁明快;天然石材板花纹品种繁多,色泽鲜艳,石质细腻,装饰效果华丽而高贵。铝板和其他金属板富于现代感,可以产生强烈的建筑艺术效果,具有独特的艺术风韵。

(2) 维护和更换幕墙构件和配件都很方便。

(3) 幕墙包封主体结构,并与主体结构有一定间隔,减少了主体结构受温度变化的影响,有效地解决了大面积和高层建筑的温度应力问题。

(4) 能较好地适应旧建筑立面更新造型的需要,所以常常用加装幕墙来作为旧建筑物改建的重要手段,而且愈来愈多。

二、建筑装饰幕墙的经济效应

(1) 墙体自身荷载较小。玻璃和金属板幕墙通常为 $0.3 \sim 0.5 \text{ kN/m}^2$, 石材板幕墙约为 1.0 kN/m^2 。玻璃和金属板幕墙只相当于砖墙的 $1/12 \sim 1/10$ 、混凝土预制板墙面的 $1/8 \sim 1/7$, 从而降低了主体结构和基础的造价。

(2) 幕墙用材规格标准,可工业化生产,施工简单,操作工序少,施工速度快,因而缩短工期,降低成本。

(3) 幕墙材料质轻高强,更新维修方便,常年维护费用小,运输费用少。

(4) 由于幕墙质轻,其主体结构梁、板、基础费用大大减少;材料单一,可标准化工艺生产,加工制作快,节省劳动力。

目前,建筑幕墙得到广泛应用。建筑装饰幕墙的发展在我国只用了十多年的时间就成为一个大规模的产业,除幕墙材料的生产商和供应商外,仅直接从事幕墙制造安装的厂商已超过千余家,年生产幕墙约 1200 万 m^2 ,产值已超百亿元,我国目前已是世界上幕墙年产量最高的国家。

由于幕墙采用较新的材料,要求较高的加工设备和设计施工水平,所以要求更严格的技术管理;幕墙造价较高,目前约为 $1000 \sim 3000 \text{ 元/m}^2$;幕墙采用的玻璃、金属板较薄,采用的面板刚度较低,抗震、抗风载位移性能较弱;幕墙能耗较大,长期运行费用高;幕墙设计施工不当时,其反射的光和热对周围环境会产生“光污染”的影响。因此采用建筑幕墙应进行可行性研究,合理使用。

三、建筑装饰幕墙的社会效应

除了为业主带来可观的经济价值,建筑装饰幕墙还为全社会及全人类带来丰厚的社会效益:

- (1) 为国家节省大量的能源和能耗。
- (2) 减少二氧化碳(CO_2)和其他有害气体的排放,净化空气,减少雾霾。
- (3) 可减轻城市热岛效应,提高人居环境舒适度。
- (4) 能够明显提升建筑附加值,凸显城市形象及社会责任。
- (5) 美化城市,提高城市环境艺术品位,成就美轮美奂的装饰效果。

第二章 建筑装饰幕墙的发展

第一节 建筑装饰幕墙的发展趋势

由于建筑科技的进步,高层建筑及超高层建筑得到迅速发展,于是建筑装饰幕墙应运而生。同时高层建筑及超高层建筑持续的发展又带动了建筑装饰幕墙的迅速发展。特别是“5.12”汶川大地震后,由于建筑幕墙优异的抗变形性能,各种建筑幕墙的发展又到了一个水平。

一、发展幕墙的必要性

建筑装饰具有保护主体、改善功能和美化空间的作用,是建筑工程中的一个不可缺少的重要组成部分。建筑物只有经过各种艺术处理之后,才能取得美化城市空间,渲染生活环境,反映时代风貌,展现民族风格的效果。

建筑装饰幕墙作为优化建筑设计的重要手段,其丰富多彩的立面造型已使其成为世界性的新潮流。建筑装饰幕墙是建筑物外围护结构的一种新形式。在一般情况下,幕墙不承重,相距建筑物有一定距离,形似悬挂在建筑物外墙表面的一层帷幕,因此被称为幕墙。幕墙的优点是装饰效果好,通透感强,质量轻,安装施工速度快,是外墙轻型化、装配化装饰效果理想的一种好形式。因此在现代大型建筑、高层建筑及超高层建筑中得到广泛应用。

近年来,伴随着国民经济及科学技术的进步,在我国各地,高层建筑像雨后春笋般拔地而起。随着高层建筑的不断涌现,也带来了建筑材料、建筑构造、建筑施工、建筑理论等诸多方面的变化。高层建筑的主体结构已多选用钢筋混凝土结构和钢结构。在钢筋混凝土结构中,常见的体系有框架结构、框剪结构、剪力墙结构和筒体结构。A级体系的适用高度见表1-2-1, B级体系的适用高度见表1-2-2。

表 1-2-1 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的适用高度 (m)

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0.20g	0.30g
框架		70	60	50	40	35
框架-剪力墙		150	130	120	100	80
剪力墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	80
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	50
						不应采用

续表 1-2-1

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度				
			6 度	7 度	8 度		9 度
					0.20g	0.30g	
筒体	框架核心筒	180	150	130	100	90	70
	筒中筒	200	180	150	120	100	80
板柱-剪力墙		110	80	70	55	40	不应采用

注：1. 表中框架不含异形柱框架。

2. 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙结构。

3. 甲类建筑，6、7、8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的需求，9 度时应专门研究。

4. 框架结构、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设防的表列其他结构，当房屋高度超过本表数值时，结构设计应有可靠依据，并争取有效加强措施。

5. 本表数字引自《高层建筑混凝土结构技术规范》JGJ3—2010。

表 1-2-2 B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大选用高度 (m)

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0.20g	0.30g
框架-剪力墙		170	160	190	120	100
剪力墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130	110
	部分框支剪力墙	150	140	120	100	80
筒体	框架核心筒	220	210	180	140	120
	筒中筒	300	280	230	170	150

注：1. 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙结构。

2. 甲类建筑，6、7 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的需求，8 度时应专门研究。

3. 当房屋高度超过本表数值时，结构设计应有可靠依据，并争取有效加强措施。

4. 本表数字引自《高层建筑混凝土结构技术规范》JGJ 3—2010。

高层建筑的墙体结构与多层建筑的墙体结构相比，最根本的区别为功能上的改变。多层建筑的墙体结构不但要承受自身荷载、各种使用荷载等竖向荷载，也要承受风力、地震力等水平荷载，这些荷载通过墙体自身或墙、梁最终通过基础传给地基。而高层建筑由于层数多、结构自身荷载大，若墙体仍然采用传统做法，势必会加大墙体质量而使竖向荷载过大，再加之水平荷载已变为高层建筑的主要荷载（高层建筑主要以抗侧力为主），因此高层建筑的墙体如果只考虑围护和分隔房间的作用，就要选择轻质、高强的材料，采取简单而易行的连接方法，以适应高层建筑发展的需要。建筑装饰幕墙即是比较典型的一例。

二、幕墙发展意义

建筑装饰幕墙是高层建筑墙体改革的重要组成部分,它对高层建筑的发展起了很大的推动作用。幕墙与承重墙或自重墙相比,可以减少结构面积和自身质量,加快施工进度,提高建筑工业化的程度。20世纪以来,出现了各种不同的幕墙,如玻璃幕墙、金属幕墙、石材幕墙(干挂花岗岩)、混凝土幕墙和塑料幕墙等,但对现代建筑影响最大的还是玻璃幕墙、石材幕墙和金属幕墙。幕墙的广为流行并不是偶然的,反映了社会需求、人类需要、建筑艺术(包括建筑美学观)和建筑技术之间相互促进、相互制约的互补关系。

建筑装饰的发展使建筑物的承重结构与外围护结构完全分开,其外墙不再承受重要荷载。

三、幕墙发展趋势

建筑装饰幕墙早在200年前就已在建筑工程上使用,只是由于受当时材质和加工工艺的局限,达不到幕墙对水密性、气密性及抵抗各种物理因素侵袭(风力、撞击、温度收缩等)、热物理因素影响(热辐射、结露等)以及隔音、吸声、防火、抗震等的要求,因而一直得不到很好地发展、推广和应用。自20世纪50年代以来,由于幕墙材料以及加工工艺的迅速发展,各种类型的材料研制成功,以及各种密封胶的发明及其他隔音、防火填充材料的出现等,很好地解决了幕墙要求的各项指标,从而得以飞速发展,成为当代外墙建筑装饰的新潮流。幕墙不仅广泛用于各种建筑物的外幕墙,还逐渐推广应用于各种功能的房间、通讯机房、电视演播室、航空港、体育馆、博物馆、大酒店、大型商场等的内幕墙。

在我国,根据建筑物立面造型不同,建筑装饰幕墙设计时通常选用玻璃幕墙、金属板幕墙、石材幕墙、混凝土幕墙、塑料幕墙等,其中各种幕墙的组成材料不同,构造方式各异,造型手段丰富多彩。不同的幕墙既可单独使用,又可组合设计。如玻璃幕墙与石材幕墙组合,就会产生一种虚实对比的效果。

建筑幕墙的大规模使用是由于:

(1) 建筑科技的发展解决了高层建筑的诸多难题,使高楼大厦可以在现有基础上成倍地提高,高层建筑的大量涌现,为建筑装饰幕墙的应用提供了巨大的市场需求。

(2) 建筑施工技术的进步与完善,各种先进施工工艺的推广与成熟,使建筑装饰幕墙在高层、超高层建筑上的运用举重若轻,建筑幕墙的施工没有任何技术屏障。

(3) 随着建筑材料,特别是新型建筑材料研发的进步,可以产出建筑上需要的各种金属构件,门类齐全的钢材、铝合金型材、幕墙接驳件等,满足了建筑装饰幕墙的安装需求。

(4) 先进的玻璃材料(镀膜玻璃、钢化玻璃、中空玻璃、夹胶玻璃、热弯玻璃等),金属板材[铝单板、铝塑复合板、蜂窝铝板、彩色不锈钢板、金铜板(网)等],石材板(天然大理石、天然花岗石、洞石、锈石、砂岩、瓷板、人造氟维特板等)及各种彩色混凝土挂板和彩色塑料板,给不同场合建筑装饰幕墙的使用提供了多种多样的选择。

第二节 国外建筑装饰幕墙

一、20世纪60年代前期建筑装饰幕墙

建筑装饰幕墙作为现代建筑的非承重外墙,一般是由在工厂批量生产的并经严格质量检

验的构件所组成。幕墙把建筑物与外界分开,对建筑物的使用寿命起着重要的保证作用:避风、挡雨、防水、避暑、御寒、隔噪声和防污染等。

1851年,在伦敦举办的工业博览会建造了水晶宫。该建筑为钢结构,其幕墙为工厂预制的模数化玻璃板,它覆盖了 90000m^2 的面积,安装工期为17周,整个建筑施工用39周,设计仅用8天。它宣告了现代幕墙时代的开始。

现代建筑大师密斯·凡·德·罗、勒·柯布西耶、格罗皮乌斯和赖特的大作对幕墙在全世界的发展曾做出极大的贡献。现代建筑技术的发展使建筑物的承重结构与其外围护结构完全分开,其外墙不再承受主要荷载,因此外墙可以任意开洞、随意装修。

1931年建成的美国纽约帝国大厦,高384m,钢结构,它的外墙以不锈钢和铝型材为骨架,以印第安纳石灰岩、花岗石、不锈钢板和面砖为饰面材料,已具有幕墙的初步特点。该工程耗用了20万土石材,730t铝型材和不锈钢。

第二次世界大战后,随着经济复兴带来资本主义世界的空前繁荣,对城市建设有了更新的要求,而技术的发展又为墙体革新提供了新的条件。

玻璃幕墙是近代科学技术发展的产物,是现代主义高层建筑时代(1950—1980年)的显著特征。最初具有代表性的“玻璃盒子”是20世纪50年代初建成的纽约利华大厦和纽约联合国大厦。此后几十年间,玻璃、铝合金型材和钢材被认为是现代高新技术发展在建筑上的标记,被建筑师广泛采用。

1953年设计的宾夕法尼亚阿尔考大楼代表着建筑装饰幕墙发展的另一重要阶段。阿尔考大楼的幕墙完全是铝制的,过去皆为钢制和青铜制的,它是世界上首先采用防雨幕墙围护结构技术的建筑物之一,外墙能通风且能达到压力平衡。随后建造了许多采用不同形状和不同高度幕墙的建筑物。

(一) 第一代建筑装饰幕墙

第一代幕墙建筑装饰(1800—1950年)通常是把幕墙板固定在竖框上,因存在渗雨、隔声和保温效果不佳、膨胀缝老化等问题,使一些国家转而采用传统的预制混凝土结构。然而幕墙的确能够满足新一代高层建筑和超高层建筑所需要的两个重要的要求,即工厂预制构件和降低建筑物自身的总质量荷载,问题的关键是必须进一步去研究并改善其技术性能。

(二) 第二代建筑装饰幕墙

当建筑装饰幕墙发展到第二代时(1950—1980年),出现并采用了一些新材料和先进的技术工艺。

1. 压力平衡系统

采用了压力平衡系统,采用该系统不再需要封闭所有洞口而使内、外墙皮之间空腔的压力平衡,从而消除其压力差。

2. 板式拼装系统

板式拼装系统的关键是板式单元全部由工厂生产制作完成,并经常规质量检验,然后作为受检产品运至现场,因此现场安装简单,只需将板(单元)固定于楼板即可。

3. 楼层间隔水层系统

楼层间隔水层系统:楼层间设有水平排水槽,它将楼层隔开并可将渗进来的水排至外面;有些体系还在楼板下面设置第二个隔水层,以便排除从风机盘管漏出的水。

4. 改进气密性能与水密性能系统

改进气密性能与水密性能系统是由于高性能玻璃（热反射玻璃或高透型镀银低辐射玻璃）的大量应用，从而提高了其保温性能。这阶段也出现了结构玻璃（板）和换气玻璃（板）。

第二代建筑装饰幕墙中带有压力平衡系统的预制板墙体系统已经完全实现了工厂化生产，且已经解决了气密性、水密性问题，其耐久性和工程质量也有了保证。

二、20 世纪 60 年代后期建筑装饰幕墙

20 世纪 60—70 年代，国外采用建筑装饰幕墙迅速增多，尤以玻璃幕墙发展最为迅速。由于当时世界高层建筑的中心集中在北美，世界上最高的建筑几乎都集中在美国，因此美国的建筑装饰幕墙也成为世界的中心。

1971 年建成的纽约世界贸易中心双塔楼（高 412m，110 层，钢结构）采用了铝板——玻璃幕墙。其平面尺寸为 64m × 64m，柱距 1.0m，用铝板包封后成为非常挺拔的密集平行线，在简单的体型下成为非常壮观的形式美。柱间窗宽 520mm，采用玻璃幕墙。该工程虽然在 2001 年 9 月 11 日被国际恐怖分子所摧毁，但其外观的壮美将在人类建筑史上留下永恒的印象。目前，该建筑已在原地重建。

继纽约世界贸易中心在 40 年后打破帝国大厦的高度记录（1931，384m），1974 年建成的芝加哥西尔斯大厦（110 层，443m）保持世界最高建筑称号达 20 年之久。

西尔斯大厦采用了古铜色防眩光玻璃，明框采用了黑色铝材，由于幕墙面积巨大，六部擦窗机终年进行清洗、维修工作。

这一时期具有代表性的幕墙工程还有芝加哥的约翰·汉考克大厦（100 层，344m 高），该工程也采用了古铜色防眩光玻璃和黑色铝材、明框。裙房则采用大理石饰面。

除玻璃幕墙和铝板幕墙广泛应用为，美国也大量采用石材幕墙，许多石材幕墙高度超过了 250m，最高的达 346m（芝加哥标准石油公司大厦，阿莫柯大厦），强烈地震区中最高的石板幕墙为洛杉矶的第一洲际世界中心大厦（310m 高）。

芝加哥标准石油公司大厦，1973 年建成，80 层，346m 高，初建成时采用了意大利卡拉拉大理石板幕墙，石板厚 32mm（1.25in）。由于这种石材对温度变化较为敏感，十余年后变为蝶形（被大气腐蚀）；1990—1992 年重修，43000 块石板全部改为艾锐山花岗石板，厚 50mm（2in），费用达 8000 万美元。

芝加哥 Drive 大道 311 号大厦也是最高的石材幕墙之一，高 292m。低层裙楼部分用亚马孙黑色和灰色花岗石，配菲帝大理石装饰带。塔楼采用夕阳红火烧面花岗石。透光部分为银色镀膜玻璃，银白色明框。

美国采用花岗石—玻璃幕墙的一些建筑物还有明尼阿波利斯市第一银行广场大厦（236.2m）、华盛顿合作塔楼（1988 年建成，高 224m）、纽约交易广场 20 号大厦（225.9m）和休斯敦市史密斯大街 1600 号大厦（223m）。

虽然上述大多数超高层建筑石板幕墙位于美国东部非抗震设计地区，但在美国西部地区也有很高的石板幕墙建筑。美国洛杉矶所在的加利福尼亚州是美国最高的 4 级抗震设防区（相当于我国 8~9 度设防），第一洲际世界中心大厦离有名的圣·安得利亚斯断层仅 40km，但这座 75 层、高 310.3m 的建筑还是采用了花岗石—玻璃组合幕墙。

除美国外，北美、欧洲的超高层建筑都广泛采用建筑装饰幕墙。不仅玻璃、铝板、不锈

钢板等被普遍采用,而且较高的石材幕墙工程也不少,如加拿大多伦多市第一加拿大广场塔楼(高289.9m)、德国法兰克福交易会大厦(63层,高257m)。

目前世界上最高的高层建筑几乎都采用了建筑装饰幕墙,前50名摩天大楼建筑装饰幕墙采用的材料见表1-2-3。

表1-2-3 世界上前50名摩天大楼

排名	建筑名称	建设地点	竣工时间	高度(m)	楼层(层)	幕墙功能
1	迪拜大厦	迪拜(阿联酋)	2010	818	162	酒店、公寓
2	苏州中南中心	苏州(中国)		729		
3	印度塔(India Tower)	孟买(印度)		720		多功能
4	平安国际金融中心	深圳(中国)		660		办公
5	武汉绿地中心	武汉(中国)		636		办公
6	上海中心	上海(中国)	2012	632	118	办公、会展
7	麦加皇家钟塔	麦加(沙特)	2012	601	95	酒店
8	高银金融117	天津(中国)	2016	597	117	酒店
9	宝能环球中心	沈阳(中国)	2020	568	113	写字楼、公寓
10	新世贸中心一号楼	纽约(美国)		541		
11	天津CTF摩天大楼	天津(中国)		530		
12	大连绿地中心	大连(中国)		517		多功能
13	迪拜 Pentominium	迪拜(阿联酋)		516		酒店、公寓
14	釜山乐天塔楼	釜山(韩国)		510		
15	台北101大楼	台北(中国)	2003	509	101	
16	成都绿地中心	成都(中国)		468	101	多功能
17	佩重纳斯大厦1号楼	吉隆坡(马来西亚)	1996	454	95	多功能
18	佩重纳斯大厦2号楼	吉隆坡(马来西亚)	1996	452	95	多功能
19	纽约帝国大厦	纽约(美国)	1936	448	92	
20	西尔斯大厦	芝加哥(美国)	1974	443	110	办公
21	金茂大厦	上海(中国)	1998	420	88	多功能
22	世界贸易中心1号大厦	纽约(美国)	1972	417	110	办公
23	世界贸易中心2号大厦	纽约(美国)	1973	415	110	办公
24	帝国大厦	纽约(美国)	1931	381	102	办公
25	中环广场大厦	香港(中国)	1992	374	78	办公
26	中国银行大厦	香港(中国)	1989	369	72	办公
27	T/C大厦	高雄(中国)	1997	347	85	多功能
28	阿摩珂大厦	芝加哥(美国)	1973	346	80	办公
29	约翰·汉考克大厦	芝加哥(美国)	1969	344	100	办公

续表 1-2-3

排名	建筑名称	建设地点	竣工时间	高度 (m)	楼层 (层)	幕墙功能
30	阿玛尼 1 号	成都 (中国)		333	80	多功能
31	地王大厦	深圳 (中国)	1996	325	81	办公
32	中天大厦	广州 (中国)	1996	322	80	多功能
33	BAIYOKE 大厦	曼谷 (泰国)	1997	320	90	办公
34	克莱斯勒大厦	纽约 (美国)	1930	319	77	办公
35	国家银行广场大厦	亚特兰大 (美国)	1992	312	55	办公
36	第一洲际世界中心	洛杉矶 (美国)	1990	310	75	办公
37	得克萨斯商业大厦	休斯敦 (美国)	1982	305	75	办公
38	柳京大旅馆	平壤 (朝鲜)	1995	300	105	旅馆
39	商业银行总部大厦	法兰克福 (德国)	1997	300	53	办公
40	咨询大厦	芝加哥 (美国)	1990	298	64	
41	第一洲际银行广场	休斯敦 (美国)	1983	296	71	多功能
42	标志大厦	横滨 (日本)	1993	296	70	办公、酒店
43	南沃克街 311 大厦	芝加哥 (美国)	1990	292	65	
44	皇后大道中大厦	香港 (中国)	1997	292	69	酒店
45	第一加拿大大厦	多伦多 (加拿大)	1975	290	72	
46	美国国际大厦	纽约 (美国)	1932	290	66	
47	自由大厦	费城 (美国)	1987	287	61	宾馆
48	哥伦比亚第一海上中心	西雅图 (美国)	1985	287	76	
49	华尔街 40 大厦	纽约 (美国)	1930	283	70	酒店
50	国民银行广场	达拉斯 (美国)	1985	281	72	办公

三、亚太地区的建筑装饰幕墙

从 20 世纪 70 年代开始, 亚洲经济迅速起飞, 随即沿西太平洋一线, 中国 (包括港、澳、台地区)、韩国、日本及东南亚诸国形成了世界第二个高层建筑的中心。1995 年以前, 世界最高的 20 座建筑中, 亚洲仅 2 座; 至 1995 年前的排名, 世界最高的 20 座建筑亚洲已占 10 座 (其中中国内地 3 座, 香港特别行政区 2 座, 中国台湾 1 座)。高层建筑的发展带动了建筑幕墙的迅速发展。

日本作为亚洲经济发展最早的国家, 高层建筑也建造得最早。1968 年东京霞关大厦 (36 层) 建成, 宣布进入 “超高层时代”, 但由于日本是多地震国家, 又缺乏能源, 因此早期采用幕墙的不多。进入 20 世纪 80 年代, 中、低层建筑开始采用玻璃幕墙和铝板幕墙, 进入 20 世纪 90 年代, 超高层建筑采用幕墙的渐多。目前, 日本最高的建筑物——横滨标志大厦采用的幕墙并不是真正的石材幕墙, 而是混凝土花岗石复合板, 由于日本地震强烈, 日本采用花岗石幕墙时板材的底层为钢筋混凝土板, 上层为花岗石面板, 主要由钢筋混凝土板承

重,花岗石板饰面。这种复合板材在日本许多建筑中都有应用。

韩国首尔世界贸易中心大厦,采用蓝色镀膜热反射玻璃,明框做法,高228m,1998年建成。

在东南亚各国中,新加坡是高层建筑最为集中的城市之一。高层建筑广泛采用玻璃、铝塑板和花岗石幕墙,在高度均为280m的三座建筑中,海外联合银行(OUB)采用铝板幕墙,联合华侨银行(OUB)和共和国联合广场大厦则采用了干挂花岗石幕墙。

20世纪90年代末,世界上最高的两座建筑——马来西亚吉隆坡佩重纳斯大厦(石油大厦、城市中心大厦),高450m,采用了玻璃、铝板和不锈钢组合幕墙。

第三节 中国港台地区建筑装饰幕墙

一、中国香港地区的建筑装饰幕墙

香港特别行政区是世界上高层建筑及建筑装饰幕墙最密集的地区之一。1959年建成的康乐大厦(50层,195m高)采用马赛克饰面,后因不断脱落,在20世纪80年代初全部更换为铝板幕墙。

20世纪70—80年代,香港的办公楼基本上采用玻璃幕墙,以明框居多,这一时期代表性的建筑如中国银行大厦(72层,316m高)。但同一时期,也有一些建筑采用了铝板幕墙,如汇丰银行大厦(1985年建成,50层)。1985年建成的香港交易广场大厦,则采用了玻璃和粉红色花岗石板材。

20世纪90年代建成的奔达中心大厦则采用明框灰色玻璃幕墙,采用建筑雕塑的独特造型。而香港会展中心本馆则用银白色镀膜玻璃巨大墙面,突出了它的体量。

中环大厦目前是香港最高的建筑,它三角形的三个面,均采用彩釉玻璃,以金色彩釉玻璃、银色彩釉玻璃形成巨大的横向、竖向线条和中央大面积墙面,再配彩花玻璃装点其中,达到了极佳的装饰效果。玻璃幕墙的骨架放在墙面之外,形成独特的风格。

香港恒生银行办公楼,由蓝色镀膜玻璃和白色铝板组成的墙面,显现了十分流畅的线条。

在香港特别行政区,在公共建筑中采用幕墙最为成功的是1997年建成的香港会展中心新馆和国际新机场。香港会展中心新馆是在海边填筑后建成,如同海鸥展翅,所以主要立面采用透明的本体绿玻璃、背面采用粉红色花岗石。玻璃幕墙用钢架视其跨度不同,分别采用钢管杆或扁管、圆钢杆件。香港新机场采用了鱼腹式架支承的有框玻璃幕墙,墙面线条简洁,通透性好。屋面则采用复合型金属板。

二、中国台湾地区的建筑装饰幕墙

与香港不同,我国台湾是强烈地震区,因此台湾的建筑装饰幕墙要考虑抗震设计。

在20世纪70—80年代,台湾的高层建筑不多,一般在十多层左右,多为商业及旅馆建筑,建筑外面采用幕墙的很少,多数采用面砖。1988年以前,台湾最高的建筑是台湾电力公司办公楼(30层),采用普通墙面。至1989年,台北国际贸易中心建成(36层,143m高),这时幕墙采用才日渐广泛。

1993年,高雄市长谷世贸联合国大厦建成(50层,226m高),在钢框架上采用了干挂花岗石幕墙。

台湾高雄市东帝士——建台大厦(T.C大厦)82层,331m高,采用玻璃-花岗石组合幕墙。由于顶部设计风压值达12kPa,所以加强了横梁和立柱的截面,采用了夹胶玻璃防止开裂和掉落,幕墙为单元式设计。干挂花岗岩石材幕墙采用美国多点固定Trass系统。该工程在顶部设置了超大型可伸缩擦窗机,可清洗各个立面。

目前,正在施工的台北国际金融中心(101层,428m高)也将采用各种建筑幕墙组合。

第四节 中国内地的建筑装饰幕墙

一、用于高层建筑的装饰幕墙

高层建筑的持续发展带动了建筑装饰幕墙的迅速发展。我国内地建筑幕墙起步较晚,1982年广州出口商品交易会正面上半幅墙面采用了大面积玻璃墙面作为会标的底衬,这可以认为玻璃幕墙的雏形,但由于它局部采用,并不是实质意义上的建筑幕墙。真正严格意义上玻璃幕墙的应用,可从1984年北京长城饭店算起。长城饭店采用了银灰色浮法镀膜玻璃,单元式组装明框玻璃,透光部分为中空玻璃,不透光部分单层玻璃加保温层。1985年,深圳国际贸易中心(50层,160m高)建成,采用了铝板和明框玻璃幕墙,裙房有大面积采光顶。

此后,陆续建成广东国际大厦(63层,199m高,铝板及茶色玻璃)、京广中心大厦(57层,208m高,蓝灰色明框玻璃)、北京国际贸易中心(40层,144m高,茶色吸热玻璃,明框),上海锦江饭店新楼(银灰色,明框)等工程。

20世纪80—90年代,深圳经济特区和上海浦东新区迅速崛起,高层建筑和超高层建筑如雨后春笋般拔地而起,其中大量采用了各种形式的建筑装饰幕墙。

上海浦东金茂大厦(88层,420m高),为正方形古塔式建筑,采用玻璃-铝板组合幕墙,经风洞试验,其风压基准值为4kPa。裙房则采用背栓式连接、胶缝开敞式干挂花岗石幕墙。

深圳地王大厦(81层,320m高)采用绿色镀膜中空玻璃和银色单层铝板墙面,裙房为干挂花岗石板幕墙。

深圳赛格大厦(72层,292m高)主体采用隐框玻璃幕墙,在顶部、中部和下部三个观览层采用点支式玻璃幕墙,还附有国内最高的观光电梯,采用了热弯夹胶玻璃。

青岛中国银行大厦(58层,241m高)塔楼为隐框玻璃幕墙,裙房为干挂花岗石幕墙墙面。

上海浦东环球金融中心高达492m,地上101层,采用了铝板-玻璃组合幕墙。

除上述比较高的几座建筑外,大量的办公楼和旅馆建筑(如广州广信大厦、广东公安指挥中心和深圳发展银行)都采用铝板-玻璃组合幕墙。

新建的一些高层建筑采用了较为复杂的体型,幕墙更衬托出其艺术魅力。如上海浦东证券大厦,是一个立面有大开洞的钢结构连体建筑,外露的钢构架与透亮的幕墙交相辉映,显示出其独特的风格。

深圳深房大厦,乳白色铝板幕墙加上蓝绿色镀膜玻璃,凸显了其曲线的外形。

重庆中建大厦(195m高),采用悬挑结构,铝板-玻璃组合幕墙很好地发挥了其优化造型的效果。

近年来,干挂花岗石幕墙得到越来越多的应用。目前已建成的国内最高的花岗石幕墙工程——深圳蛇口新时代广场大厦,建筑高度175m,幕墙挂石最高162m,采用30mm厚西班牙粉红麻花岗石。深圳市台风多,基本风压达0.70kPa,顶部风压设计值达101kPa。它经历了1997—1999年11~12级台风袭击而安全无事。深圳公路主枢纽中心,高135m,采用蓝绿色镀膜玻璃,广东惠东红花岗石板,通槽连接,经历了1999年两次11级台风袭击。

在8度地震设防的北京,外交部大楼、世界金融中心、东方广场和中央军委大楼等工程,也采用了干挂花岗石幕墙。

目前,尚待竣工的广州大鹏广场大厦将是国内最高的石材幕墙之一,该工程58层,高215m,采用银灰色镀膜玻璃,福建灰白花岗石板,厚30mm,短槽不锈钢挂板连接,型钢骨架。国内部分已建或在建的高层建筑幕墙情况见表1-2-4。

表 1-2-4 我国已建或在建的高层建筑物采用幕墙的情况

排名	建筑物名称	地点	层数	结构高度 (m)	主体结构 类型	幕 墙
1	苏州中南中心	苏州		729		
2	平安国际金融中心	深圳		660		
3	武汉绿地中心	武汉		636	R + RC	
4	上海中心	上海	118	632		
5	高银金融 117	天津	117	597		
6	宝能环球中心	沈阳	113	568		
7	天津 CTF 摩天大楼	天津		530		
8	大连绿地中心	大连		517		
9	台北 101 大楼	台北	101	509		
10	成都绿地中心	成都	101	468	R + RC	主楼: 钢结构 幕墙: 中空玻璃 + 不锈钢
11	金茂大厦	上海	88	420	S + SRC + RC	主楼: 铝板-玻璃幕墙, 中空玻璃, 单元式。 裙房: 花岗岩
12	中环广场大厦	香港	78	374		
13	中国银行大厦	香港	72	369		主楼: 蓝绿色隐框, 铝板。 裙房: 花岗岩
14	T/C 大厦	高雄	85	347		
15	阿玛尼 1 号	成都	80	333	RC	