

新结构·新规范系列

点连接式玻璃幕墙的

Dianlianjieshi Boli Muqiang de Fenxi Sheji Shigong

分析·设计·施工

吕令毅 徐 宁 著

东南大学出版社

新结构·新规范 系列

点连接式玻璃幕墙的 分析·设计·施工

国家自然科学基金资助项目(No. 59708008)
教育部优秀青年教师资助计划项目

吕令毅 徐 宁 著

东南大学出版社

内 容 提 要

近年来,点连接式玻璃幕墙在我国得到了飞速发展。作为玻璃与艺术钢结构相结合的产物,点连接式玻璃幕墙已经突破了建筑外围护结构的范畴,成为一种新型的玻璃-金属特种结构,其分析、设计、制作、施工、监理乃至招、投标等等,都必须按照严格的技术流程进行。本书系统地介绍了点连接式玻璃幕墙工程从分析设计到制作安装的全过程,可供从事玻璃幕墙结构的研究工作者、设计工作者、工程技术人员以及大专院校土木建筑类的师生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

点连接式玻璃幕墙的分析·设计·施工/吕令毅,徐宁著. —南京:东南大学出版社,2002.9

ISBN 7-81089-059-X

I. 点... II. ①吕...②徐... III. ①玻璃-幕墙-围护结构-结构设计②玻璃-幕墙-围护结构-工程施工 IV. TU767

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 066183 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏省南通市印刷总厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:11.25 字数:281 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~4000 定价:28.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795802)



北京植物园温室内景



北京植物园温室外景



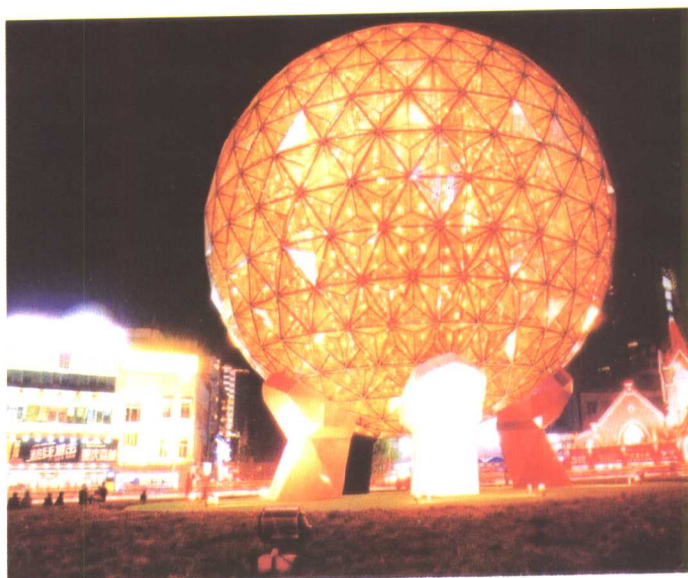
北京国际金融大厦西侧



北京国际金融大厦



南京华泰证券大厦大堂入口



大连友好广场水晶球



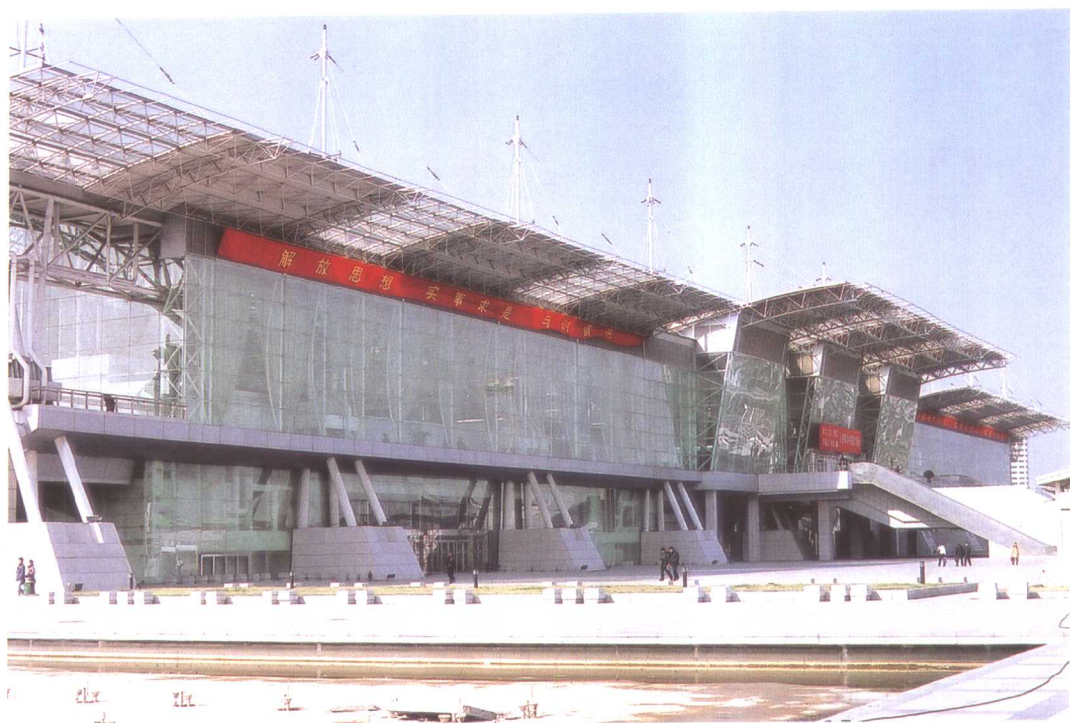
深圳机场新航站楼



南京正洪街广场标志物



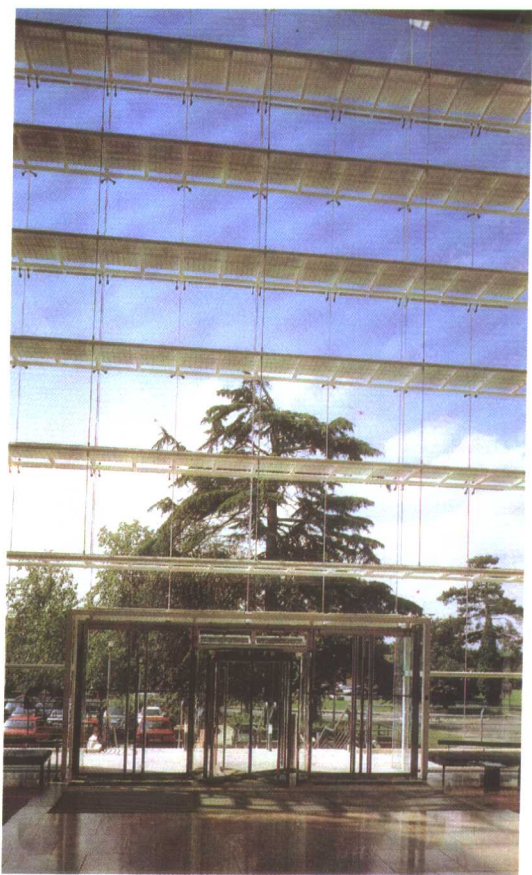
南京国际展览南立面



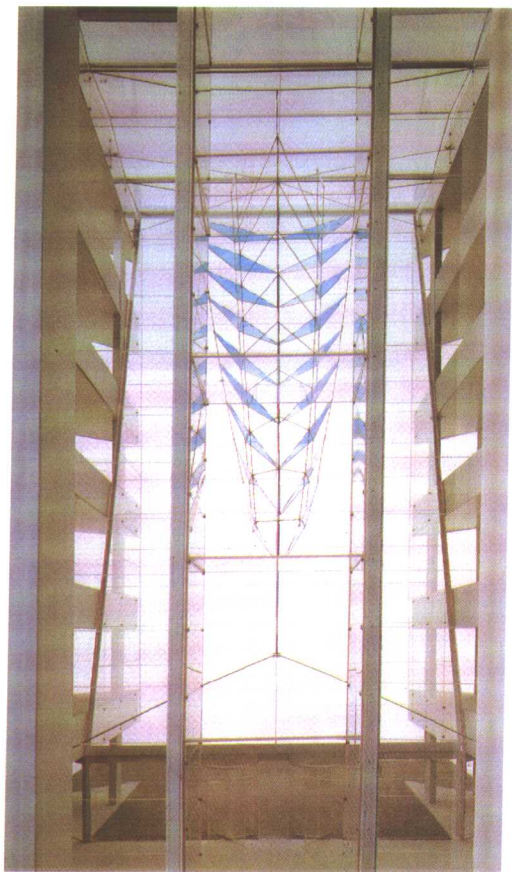
南京国际会展中心东立面



华彬国际大厦入口环境



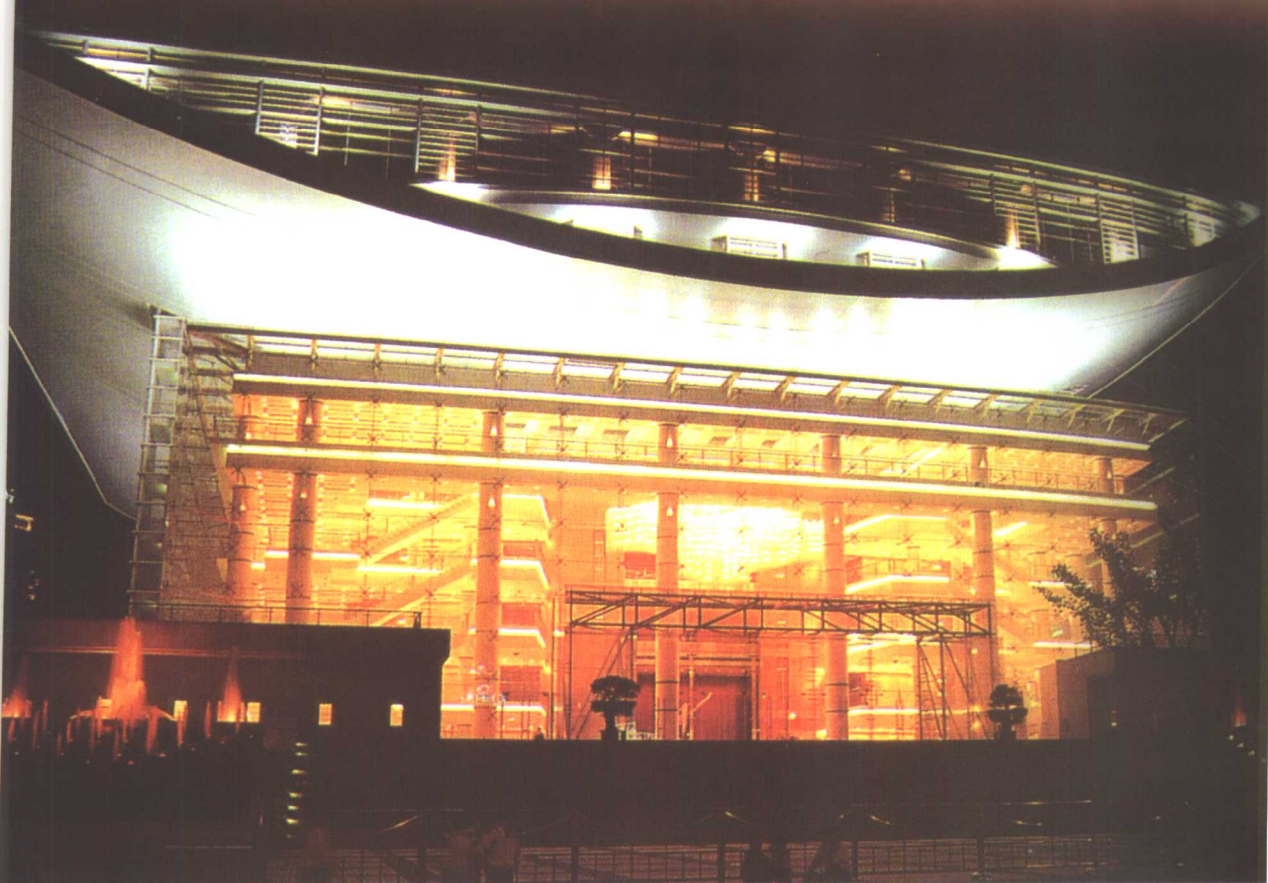
伦敦切斯维克公园展览中心



英国某展览馆大厅



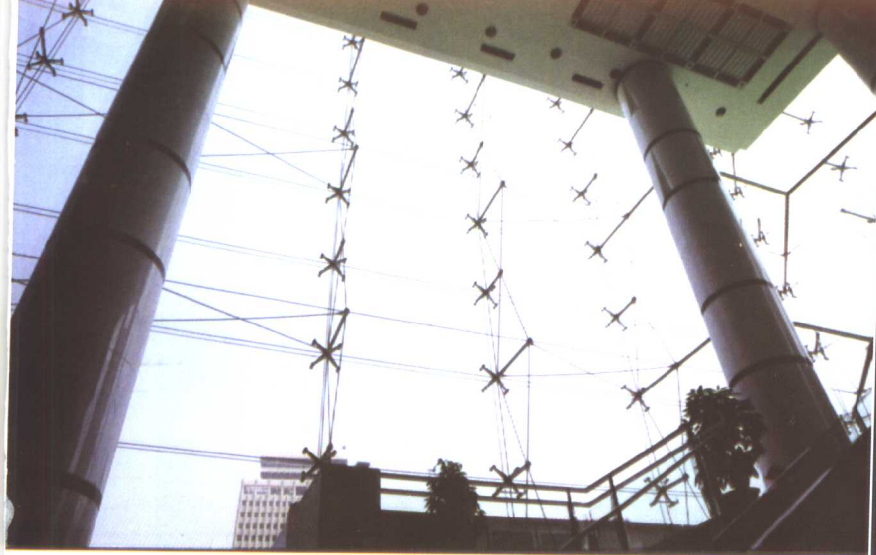
华彬国际大厦大堂入口



▲上海歌剧院

北京远洋大厦东侧▼





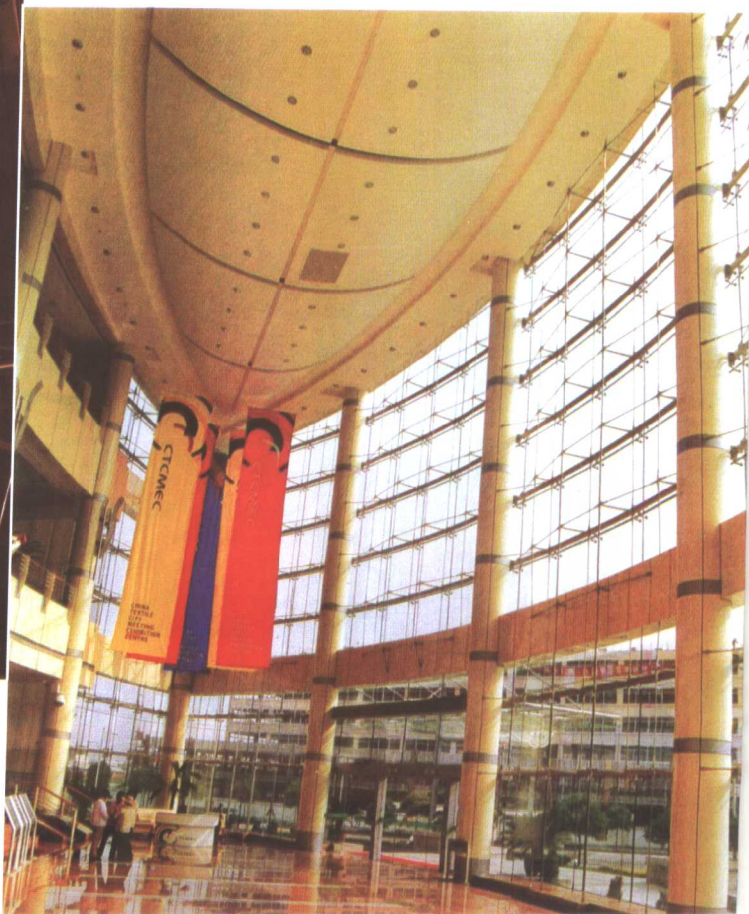
某商场大堂内景



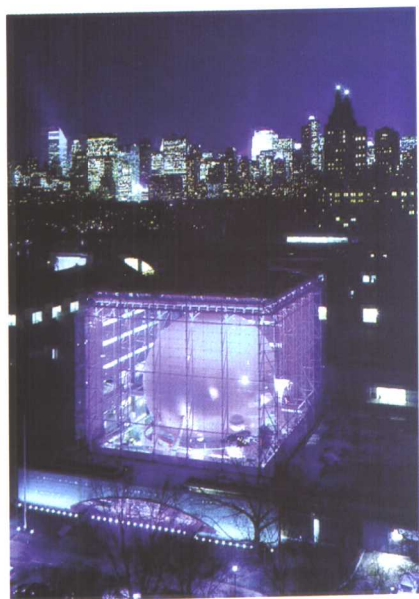
某机场候机楼一角



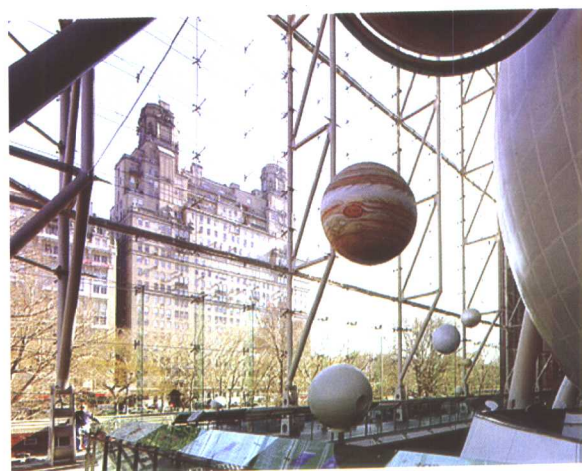
南京文化艺术中心内景



中国纺织城会展中心



国外某艺术馆全景



国外某艺术馆内景



伦敦金融时代大厦

前 言

随着我国国民经济的快速发展,玻璃幕墙已在建筑业得到广泛应用。20世纪90年代中后期,玻璃幕墙领域出现了一个令人瞩目的重要分支——点连接式玻璃幕墙结构。作为玻璃和钢结构有机结合的产物,点连接式玻璃幕墙是现代科技和古老建筑艺术相结合的典范,已成为建筑发展水平的一个重要标志。幕墙建筑从框式发展到点连接式,经历了一个很大的飞跃。点连接式玻璃幕墙一般都有独立的支承体系,其设计思想、设计方法和框式幕墙有所不同。但由于点连接式玻璃幕墙是建筑业的一项新生事物,目前还没有比较系统的文献对其进行针对性的论述。为了弥补这一空白,本书详细介绍了点连接式玻璃幕墙工程从分析设计到加工安装的各个环节,供从事玻璃幕墙结构的研究工作者、工程技术人员以及大专院校土木建筑类的师生使用和参考。

本书在内容安排上具有以下特色:①作为国内点连接式玻璃幕墙领域不多见的论著,撰写时力求内容全面翔实,使得读者在阅读本书后,对点连接式玻璃幕墙工程有一个比较清晰、全面的认识;②本书写作线索的安排和素材取舍,主要基于笔者多年来涉借这一领域的经验和对幕墙领域工程技术人员知识结构的观察,具有很强的针对性和实用价值;③全面跟踪有关规范的最新修订信息,及时纳入了最新荷载规范、抗震规范和点连接玻璃幕墙工程技术规程和幕墙规范新增点连接玻璃幕墙部分的有关条款,使得本书有较长的时效性;④针对大多数幕墙设计人员感到困难的时程分析、振型分解反应谱法等理论难点,叙述力求深入浅出,细致透彻。

本书共分9章。第1章介绍了点连接式玻璃幕墙的发展历史、现状以及分析和设计中普遍关注的一些问题;第2章讨论了幕墙体系的基本设计思想和荷载取值问题;第3章是关于点连接玻璃幕墙支承结构的选型和布置方式;第4章为幕墙支承结构的动静力响应分析,并给出了相应计算实例;第5章介绍了幕墙玻璃的一些基本知识,可供选择玻璃面板时参考;第6章讨论了玻璃面板分析的基本理论和数值方法,给出了相应的计算实例;第7章介绍了点连接式玻璃幕墙的加工制作方法和质量控制标准;第8章详细介绍了幕墙施工的各个环节;第9章叙述了幕墙工程招投标中的各项事宜,并结合工程实例给出了一些范文。

在写作过程中,笔者得到了多方面的大力支持和帮助。东南大学的张杰、庄和星、顾冬生、孔新国在本书有关资料的收集和整理方面做出了重要贡献;汤卓、张翠红承担了本书的绘图和表格制作工作;南京工业大学的吕子华教授审阅了全书;香港理工大学的陈绍礼教授为本书的写作提供了许多重要的资料和信息;东南大学的王修信教授、晶艺玻璃工程集团的罗忆高工为本书的写作提出了许多有益的建议,对此笔者表示衷心的感谢。

本书涉及的面比较广,限于笔者的才识,疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

吕令毅 徐 宁

2002年6月

于东南大学逸夫建筑馆

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 点连接式玻璃幕墙的发展历程	4
1.3 点连接式玻璃幕墙的分类	6
1.4 点连接式玻璃幕墙的分析、设计与施工的基本原则	8
2 极限状态设计、风荷载和地震作用	11
2.1 建筑结构设计的基本原则	11
2.2 幕墙体系的极限状态设计	15
2.3 风荷载	16
2.4 地震作用	20
2.5 其他可变作用	25
2.6 小结	26
3 结构选型和结构布置	27
3.1 结构类型和结构体系分类	27
3.2 梁式体系和桁架体系	29
3.3 框式体系和拱式体系	32
3.4 网架体系和悬索体系	36
3.5 预应力结构体系	41
3.6 点支式玻璃幕墙的结构选型	43
3.7 小结	44
4 支承结构分析	46
4.1 支承结构分析的基本内容	46
4.2 结构计算简图	49
4.3 几何构造分析	53
4.4 静力分析	55
4.5 动力分析	63
4.6 计算实例	71
4.7 小结	74

5 玻璃板材的选择	75
5.1 玻璃的基本知识	75
5.2 建筑玻璃板材的类型及质量要求	79
5.3 玻璃的表面处理	96
5.4 小结	101
6 玻璃板材计算	102
6.1 玻璃幕墙材料的性能	102
6.2 玻璃面板的基本方程	106
6.3 用差分法解点支玻璃面板	109
6.4 点支玻璃面板分析的有限单元法	116
6.5 玻璃板材的简化计算	120
6.6 小结	121
7 点连接式玻璃幕墙的加工制作	122
7.1 概述	122
7.2 加工制作前的准备	122
7.3 玻璃的加工和运输	123
7.4 支承钢结构的制作	125
7.5 连接件和爪件制作	126
7.6 小结	129
8 点连接式玻璃幕墙施工	130
8.1 概述	130
8.2 施工准备工作	130
8.3 测量放线	133
8.4 钢结构安装	135
8.5 玻璃面板安装	139
8.6 质量控制体系	140
8.7 工程验收和幕墙试验	145
8.8 小结	146
9 幕墙工程的招标和投标	147
9.1 招标	147
9.2 投标	150
9.3 小结	162
参考文献	163

1 绪论

1.1 概述

玻璃幕墙是古老的建筑艺术和现代高科技产品相结合的产物。自 20 世纪 50 年代兴起,玻璃幕墙经历了半个世纪的发展,现已成为现代化大都市的重要标志和现代主义建筑的一个显著特征。

20 世纪 50 年代初建成的纽约利华大厦和纽约联合大厦,是早期颇具代表性的“玻璃盒子”。进入 60、70 年代,玻璃幕墙在高层建筑上的应用得到了迅猛发展,出现了许多以玻璃幕墙为外部装饰的著名建筑,如芝加哥的西尔斯大厦(110 层,442 m)、汉·考克大厦(100 层,344 m)等。20 世纪 80 年代,我国实施改革开放政策以后,玻璃幕墙建筑对我国的建筑业产生了强烈的冲击。1985 年建成的北京长城饭店是我国第一幢采用玻璃幕墙的星级酒店,使用了银色镀膜玻璃和热反射镀膜玻璃,具有良好的隔热保温性能。从此,玻璃幕墙很快得到了中国建筑业的广泛青睐,特别是近几年,玻璃幕墙热在我国急剧升温。据不完全统计,全国每年竣工的幕墙工程有 400 万 ~ 500 万 m^2 ,年产值达 40 亿 ~ 50 亿元。全国累计竣工的建筑幕墙面积达 2 000 多万 m^2 ,其中相当一部分是我国著名的高层建筑,如深圳国际发展中心、深圳地王大厦、北京京广大厦、北京国际贸易中心、上海瑞金大厦、上海国际贸易中心、上海金茂大厦等。所有这些从一个侧面反映了我国综合经济实力的快速增长。

由于玻璃材料本身的限制,20 世纪 80 年代以前,建筑业一般多采用单元式玻璃幕墙。单元式玻璃幕墙的玻璃面板通过铝合金框架固定在建筑物的外墙面上,又称框式玻璃幕墙。单元式玻璃幕墙具体可分为明框玻璃幕墙、半隐框玻璃幕墙和全隐框玻璃幕墙(见图 1-1)。进入 80 年代,随着玻璃性能的提高、产品的增多、玻璃加工技术的改进,玻璃幕墙形式逐渐丰富。与此同时,随着后工业时代的结束,我们迎来了信息、生物和太空技术相融合的高科技时代。受这一时期各种现代艺术思潮的影响,建筑师们普遍热衷于把工业化的机械精加工和建筑艺术相结合。在这种多元化的建筑思潮以及现代科学技术高度发展的刺激下,建筑业孕育产生了点连接式玻璃幕墙。点连接式玻璃幕墙系指幕墙的钢化玻璃面板通过不锈钢爪接件连接到支承钢结构上(见图 1-2)。和单元式玻璃幕墙不同,点连接式玻璃幕墙具有独立的支承体系。由于幕墙的钢化玻璃面板与支承结构通过不锈钢爪接件分离开来,钢化玻璃面板之间只有防水胶,没有铝合金框架,因此,点连接式玻璃幕墙建筑产生了更加通透的建筑效果。大量地采用透明玻璃又增强了建筑物内外交融的美感,更好地将结构展现在人们面前。点连接式玻璃幕墙一改过去着重用玻璃来表现窗户、表现建筑、表现质感、表现体型的传统做法,更多地利用玻璃的透明特性,追求建筑物内外空间的流通和融合。人们可以透过玻璃清楚地看到支承玻璃的整个结构系统,使这种结构系统不仅起到支承作用而且具有表现功能。点连接式玻璃幕墙的这些特征使得新世纪建筑风格对大自然、社会、人类具有最大程度的开放性。所有这一切正好迎合了时代的根本特征,因此,点连接式玻璃幕墙一经出现,便在世界各地迅速发展。目前,我国业已完成的比较著名的点连接式玻璃幕墙

工程有：上海歌剧院、北京植物园、南京国际会展中心、南京文化艺术中心等。

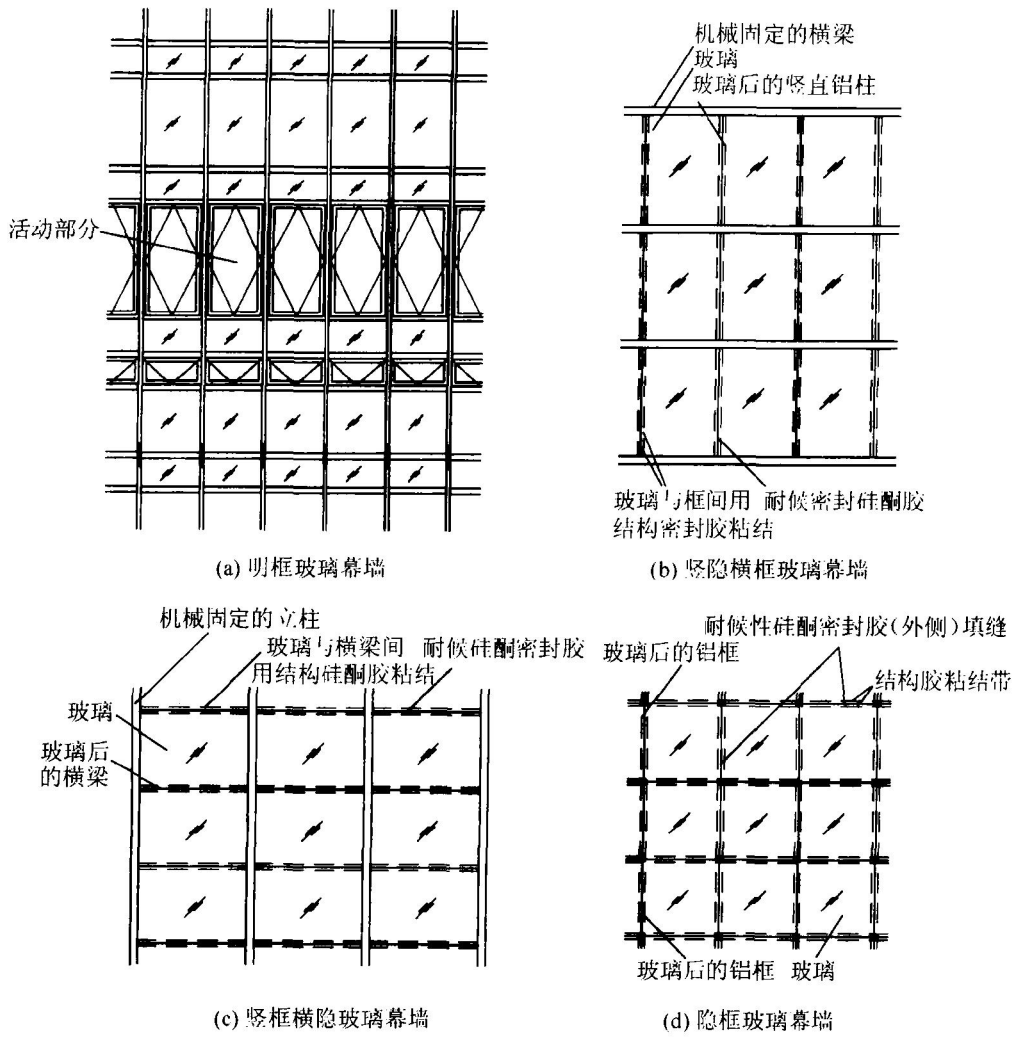


图 1-1 单元式玻璃幕墙

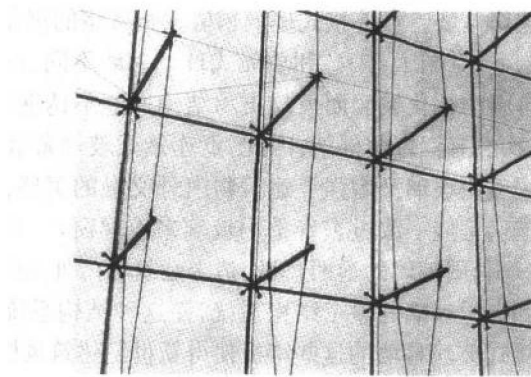


图 1-2 点连接式玻璃幕墙

上海歌剧院是迄今我国规模最大、设备最现代化的剧院。它占地 $21\,644\text{ m}^2$, 总建筑面积 $62\,803\text{ m}^2$ 。它的大堂和各层休息厅面积之和约 $10\,000\text{ m}^2$ 。观众厅一次可容纳 $2\,000$ 名观众同时观看演出。 700 m^2 的升降式主舞台周围, 布置了同样大小的两个侧舞台和后舞台。歌剧院配备了各种供演出团体使用的化装间、排练房、办公室等, 顶部还有 $1\,000$ 多 m^2 的观光餐厅。整个歌剧院最引人注目的是它独特的立面造型。首先是南立面的大堂和东西两侧休息厅, 采用了世界上最先进的拉索式点连接玻璃幕墙系统。整个大堂及两侧休息厅是由近 500 块 $3\,000\text{ mm} \times 1\,825\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ 的钢化玻璃拼组而成的三只大“玻璃盒”。每块玻璃由四角的不锈钢爪接件在四点固定, 每一点上由直径 50 mm 的扣件铆固。所有不锈钢爪接件由后背 11 mm 直径的钢索系统纵横向绷紧固定。这种钢索系统比传统的钢构式系统或玻璃肋系统更纤细、灵巧、通透、清爽。为了追求一种自然的剔透效果, 立面选用了单层透明的钢化玻璃。上海大剧院工程自 1994 年 9 月开始施工, 1998 年 8 月完工, 历时 4 年。现在晶莹透明的上海大剧院坐落于上海政治和文化中心——人民广场, 壮观而又典雅, 是目前上海最负盛名的标志性建筑之一。

北京植物园新建展览温室位于植物园中轴线西侧, 投资 2 亿元。该园总占地面积 5.5 hm^2 , 是目前亚洲面积最大的植物园。展览温室由北京建筑设计研究院设计, 使用了点连接式玻璃幕墙技术。 $8\,000$ 多片形态各异的中空钢化玻璃和内部精细钢结构的有机结合, 实现了建筑师所追求的“绿叶对根的回忆”这一奇思妙想。玻璃建筑的晶莹剔透效果, 使得展览温室远远望去宛如西山脚下的一颗明珠。展览温室工程总建筑面积 $17\,000\text{ m}^2$, 划分为四个主要展区——热带雨林景区、四季花园景区、沙漠植物景区、专类植物展区, 分别展示了不同气候带下的典型植物景观。水晶宫般的温室内, 地形起伏, 千姿百态的植物形成赏心悦目的景观, 不愧为北京市当年国庆的十大献礼项目之一。

南京国际会展中心是由江苏省政府、南京市政府共同投资兴建, 按照现代国际展览功能建设的大型展览场馆。它是集展览、商贸、会议、科技信息、旅游、餐饮为一体的多功能活动中心。该馆建筑总高度 50 m , 长 297 m , 宽 152 m , 占地 12.6 万 m^2 , 采用了主桁架和拉索组成的点连接式玻璃幕墙体系, 幕墙面积 $12\,000\text{ m}^2$ 。其索网结构的点支承驳接规模和形式均具有国内先进水平。整个结构由直径 14 mm 的不锈钢索组成支承体系, 和特制的钢化夹层玻璃一起, 形成一个单层高度达 36 m 的巨大玻璃墙面。展览中心一期总建筑面积 10.8 万 m^2 。室内展厅分上、下两层, 拥有 $2\,068$ 个国际标准展位, 每层又可灵活分隔为三个展厅, 并可独立对外开放。展览中心还配有近 $3\,000\text{ m}^2$ 的多功能大厅, 34 间大小会议室、洽谈室, 贵宾厅, 观众服务区, 800 个餐位的中西餐厅和可供 $10\,000$ 人就餐的快餐厅, 以及部分商务套房。地面、地下总停车泊位可达到 $1\,000$ 个。该中心坐落于南京市区东北部, 东接紫金山, 西临玄武湖, 依山傍水。其开放性的玻璃建筑构思充分体现了南京向往开放、期盼交流的美好心愿和时代气息。

南京文化艺术中心是江苏省规模最大且功能齐全的文化活动场所。它坐落在南京长江路。“中心”占地 $10\,000$ 多 m^2 , 建筑面积 $30\,000\text{ m}^2$, 建筑总高度 44.7 m , 工程总投资 3 亿元。艺术中心平面为椭圆, 立面为圆锥台形, 整体似马蹄形状, 具有明显的现代派建筑特征。建筑结构采用点连接式、超大圆弧玻璃幕墙体系, 系国内首例。整个玻璃幕墙结构由不锈钢拉杆 ($\Phi 16$ 、 $\Phi 14$) 组成弧形的空间网式支承结构体系, 共 $2\,834$ 根拉杆、 433 根悬空杆。上千片不同大小、不同形状、不同弧度的均质钢化超白玻璃 (厚 15 mm) 通过 $2\,874$ 套不锈钢驳接头与索结构连接, 施工难度也系国内少见。“中心”建有设备一流的大剧院、音乐厅、大型室内文