

玻璃幕墙

安全评估与风险检测

包亦望 刘小根◎编著



中国建筑工业出版社

ISBN 7-111-01111-1

《中国标准》《中国标准》《中国标准》《中国标准》《中国标准》

《中国标准》《中国标准》《中国标准》《中国标准》《中国标准》

《中国标准》《中国标准》《中国标准》《中国标准》《中国标准》

玻璃幕墙安全评估与风险检测

包亦望 刘小根 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃幕墙安全评估与风险检测/包亦望等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-112-18705-8

I. ①玻… II. ①包… III. ①玻璃-幕墙-安全评价②玻璃-幕墙-风险管理 IV. ①TU227

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 268978 号

本书共分为 10 章, 系统地介绍了玻璃幕墙用材料、结构及其安装的规定、基本要求及检测方法。重点针对既有玻璃幕墙的典型失效和风险预测的两类问题: ①钢化玻璃的自爆、②建筑玻璃的坠落, 以及这两类常见的建筑公共安全问题缺乏科学解决方案的现状, 介绍了最新的钢化玻璃自爆与幕墙玻璃坠落风险的现场检测和预测原理、技术及设备, 并给出了操作步骤及大量的应用案例。

本书可作为既有玻璃幕墙安全性评估及风险检测的现场检测人员职业技术培训的教材, 亦可作为从事玻璃幕墙设计、施工、维护与管理等有关工程技术人员的参考用书。

责任编辑: 郇锁林 王砾瑶

责任校对: 李美娜 刘梦然

玻璃幕墙安全评估与风险检测

包亦望 刘小根 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12½ 字数: 312 千字

2016 年 3 月第一版 2016 年 3 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-18705-8

(27971)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

我国 20 世纪 70 年代末期开始引入玻璃幕墙技术, 80 年代初期开始建设玻璃幕墙, 并于 90 年代进入高速发展时期。到 21 世纪初, 我国已发展成世界上玻璃幕墙生产和使用量最多的国家。截至目前, 我国玻璃幕墙累计使用总量已经超过 10 亿 m^2 。

玻璃幕墙就像一件华丽的衣裳, 它给我们的城市建筑赋予高贵、美观和抵挡风雨的同时, 也带来了一些不和谐的因素。随着玻璃幕墙在我国建筑上的广泛应用, 由幕墙钢化玻璃自爆及玻璃面板整体坠落引发的安全问题也逐渐增多。据不完全统计, 目前, 我国每年因幕墙玻璃破裂或坠落造成人员伤亡及财产损失的安全事故上万起。因此, 钢化玻璃自爆被称为玻璃的癌症, 玻璃幕墙也被人们称为“城市中的空中杀手”和“悬在市民头顶上的利剑”。有时, 甚至因玻璃幕墙安全事故的发生, 导致在特定的时间和地点造成人们极度的恐慌。因此, 如何预防预测这种玻璃的癌症, 如何现场检测预测有高空脱落风险的幕墙玻璃就成为检测人员和科研人员的一项重要任务和责任。

玻璃幕墙的安全问题受到建筑行业和政府等机构的高度重视。从 1997 年至今, 我国住房和城乡建设部、发改委、国家质监总局、工商行政总局、全国政协及多家地方机构等陆续发文要求加强玻璃幕墙的安全维护与管理工作, 并制定了相应的指导性建议。

玻璃幕墙安全问题主要有材料、设计、施工及维护等各方面引发的风险。我国的玻璃幕墙设计使用年限规定为 25 年, 而应用于玻璃幕墙中起结构粘结作用的硅酮结构密封胶的大多数厂家保质期仅为 10 年。因此, 部分 20 世纪 90 年代及更早期建设的玻璃幕墙已经接近甚至超过其使用寿命期。玻璃幕墙在长期的使用过程中, 要受到风、雪、雨及震动、冲击载荷的作用与侵蚀, 必然存在材料老化、性能退化及结构失效现象, 从而最终引发安全问题。特别是, 在我国最早于 1995 年颁布实施的有关建筑幕墙质量控制的相关标准之前, 整个玻璃幕墙建筑行业均缺乏相应的建设质量、验收规范要求及技术指导, 致使在这之前建设的玻璃幕墙经常存在结构设计不当、材料质量低劣等现象, 从而导致玻璃幕墙在日后服役过程中大量安全事故发生。

既有玻璃幕墙安全检测与风险评估是一项繁琐而又复杂的工作。以往, 人们只能通过目测、手动、耳听的方法, 并结合一些简单的材料性能及尺寸测量等常规手段进行现场检测, 这种检测方法往往只能定性地在表观层次上发现玻璃幕墙存在的一些安全问题表现, 并不能从深层次上发现和预测玻璃幕墙存在的安全隐患。而且, 有些如钢化玻璃自爆等安全隐患的现场检测, 常规方法是根本无法检测出来的。近 10 多年来, 笔者在科技部国际合作项目“安全玻璃可靠性评价与无损在线测试”(2005DFA51010)、科技部科研院所专项“玻璃幕墙在线性能和可靠性检测技术”(NCSTE-2006-JKZX-269)、科技部国际合作项目“建筑玻璃的结构/功能一体化研究”(2010DFB53100) 等多个科研项目的支持下, 开展了玻璃幕墙的失效机理、检测技术及方法、检测设备、标准编制、工程推广应用等一系列理论与应用研究, 开发了钢化玻璃自爆风险检测与预测、幕墙玻璃整体松动坠落风险

检测与预测、中空/真空玻璃结构安全隐患检测等一系列现场检测技术及设备。研究成果为我国玻璃幕墙安全检测与风险评估提供了相应的理论和技术的解决方案。钢化玻璃自爆风险检测和幕墙玻璃坠落风险检测都具有普适性。前者可推广到钢化玻璃生产线的质量检测和幕墙玻璃安装前的可靠性检测。后者可推广到其他建筑外饰件，如陶瓷、岩石、金属外饰砖的坠落风险检测。

本书在笔者长期研究的基础上，结合现行国家、行业及地方标准和规范，系统地介绍了玻璃幕墙的安全性能和自爆与脱落风险检测预测技术。这些工作聚集了中国建材检验认证集团中央研究院的全体同事的心血，感谢他们对这项工作和本书的重要贡献，特别感谢邱岩博士、万德田博士、刘正权高工等各位同事的大力支持和工作成果。

为了反映国内外相关研究动态及成果，本书参考了不少公开发表的论文、标准、规范及书籍等相关资料的内容，丰富了本书的内容，在此对这些资料的作者表示感谢。

玻璃幕墙的安全评估涉及材料、结构、物理化学及试验、测试、检测、仪器等多方面学科知识。由于笔者知识面、能力及时间有限，难免书中出现错误之处及词不达意和疏漏的地方，书中内容也难以全面覆盖玻璃幕墙安全评估与风险检测中涉及的全部检测内容，希望读者在阅读和使用过程中批评指正，以期达到共同的进步。

2015年10月于北京朝阳区管庄

目 录

第1章 玻璃幕墙概述及其发展现状	1
1.1 玻璃幕墙的概念及特征	1
1.2 玻璃幕墙的发展历史	1
1.2.1 国外幕墙的发展	1
1.2.2 国内幕墙的发展	3
1.3 玻璃幕墙的分类	5
1.3.1 构件式玻璃幕墙	5
1.3.2 单元式玻璃幕墙	6
1.3.3 点支式玻璃幕墙	7
1.3.4 全玻幕墙	7
1.3.5 双层玻璃幕墙	8
1.4 国内外玻璃幕墙研究状况	8
1.4.1 国外幕墙研究状况	8
1.4.2 国内幕墙研究现状	8
1.4.3 我国玻璃幕墙安全现状及安全评估方法研究概况	9
1.5 我国玻璃幕墙行业标准化发展及现状	10
1.6 我国建筑幕墙相关管理规定	11
第2章 玻璃幕墙用材料基本规定及检测	14
2.1 引言	14
2.2 玻璃	14
2.2.1 建筑幕墙玻璃的品种	14
2.2.2 平板玻璃	14
2.2.3 钢化玻璃	17
2.2.4 夹层玻璃	18
2.2.5 中空玻璃	21
2.2.6 阳光控制镀膜玻璃	23
2.2.7 低辐射镀膜玻璃	25
2.2.8 真空玻璃	27
2.3 玻璃幕墙结构密封胶材料	29
2.3.1 玻璃幕墙结构密封胶的种类	29
2.3.2 玻璃幕墙密封胶	29
2.3.3 硅酮结构密封胶	32

2.3.4 中空玻璃双道密封胶	33
2.4 铝合金型材	35
2.4.1 铝合金牌号与状态	35
2.4.2 建筑用铝合金型材基本性能要求及检测技术	36
2.4.3 建筑用铝合金型材表面处理技术要求及检测	41
2.5 钢材	46
2.6 幕墙连接与紧固件	48
第3章 玻璃幕墙制作安装质量要求及检测	53
3.1 引言	53
3.2 建筑幕墙工程质量要求及检验	53
3.2.1 幕墙组件制作工艺质量要求及检验	53
3.2.2 玻璃幕墙节点与连接质量检验	58
3.2.3 玻璃幕墙工程安装质量要求及检测	60
3.2.4 幕墙工程防雷及防火性能要求及检测	63
第4章 既有玻璃幕墙失效模式及安全评估与鉴定程序	67
4.1 引言	67
4.2 既有玻璃幕墙失效模式及影响	67
4.2.1 材料失效	70
4.2.2 结构失效	87
4.3 既有玻璃幕墙安全鉴定程序	87
4.3.1 安全性鉴定要求	87
4.3.2 安全性鉴定程序	87
4.4 既有玻璃幕墙安全鉴定现场检测内容及要求	88
4.4.1 材料检测	88
4.4.2 玻璃幕墙结构和构造的检查检测	90
4.4.3 结构承载力验算	91
4.4.4 分析论证、安全性评定	92
4.4.5 提出处理意见、出具鉴定报告	93
4.4.6 现场检查检测抽样方案	93
4.5 既有玻璃幕墙安全检测与鉴定方案	94
第5章 钢化玻璃的自爆机理与自爆风险检测	100
5.1 引言	100
5.2 钢化玻璃的应力分布与能量	101
5.3 钢化玻璃缺陷与应力集中	102
5.4 钢化玻璃的局部强度与自爆机理	105
5.5 光弹扫描法检测钢化玻璃自爆风险技术	107
5.6 玻璃幕墙检测基本流程	109
5.6.1 透射式检测	110

5.6.2 反射式检测	110
第6章 幕墙玻璃坠落风险现场检测技术——动态法	112
6.1 引言	112
6.2 幕墙玻璃板振动特性理论解析	112
6.2.1 幕墙玻璃板支承边界条件	112
6.2.2 幕墙玻璃板的自由振动分析	112
6.2.3 不同支承条件幕墙玻璃板振动模态分析	115
6.3 幕墙玻璃固有频率变化与其边界支承松动损伤关系——简单的试验验证 ...	120
6.4 结构胶界面脱胶对幕墙玻璃固有频率的影响	122
6.5 结构胶老化对幕墙玻璃固有频率的影响	123
6.6 基于玻璃固有频率变化的玻璃幕墙安全评估	124
6.6.1 相对比较法	125
6.6.2 划分安全频率区间法	125
6.7 基于固有频率变化的玻璃幕墙安全评估现场操作细则	127
6.7.1 检测装置	127
6.7.2 检测步骤	127
第7章 幕墙中空/真空玻璃结构安全隐患现场检测	129
7.1 引言	129
7.2 中空玻璃结构安全隐患现场检测技术	130
7.2.1 检测原理	130
7.2.2 中空玻璃中空层失效在线检测方法	133
7.2.3 中空玻璃中空层失效在线检测自动分析软件	136
7.3 真空玻璃结构安全隐患现场检测技术	137
7.3.1 检测原理	137
7.3.2 真空玻璃真空度衰减率在线检测方法	138
第8章 玻璃幕墙结构密封胶失效现场检测	141
8.1 引言	141
8.2 硅酮结构密封胶现场检测指标	141
8.3 常规检测方法	142
8.4 规范法（现场拉伸试验）检测胶材	143
8.5 邵氏硬度法检测胶材	143
8.6 吸盘法和气囊法检测	144
8.7 推杆法检测	146
8.8 振动测试法	147
8.9 应变测试法	148
第9章 玻璃幕墙安全性鉴定结构计算与验算	150
9.1 引言	150
9.2 幕墙的结构理论	150

9.3 幕墙的设计原理	151
9.3.1 幕墙的设计	151
9.3.2 幕墙的结构计算原理	151
9.4 框支承玻璃幕墙结构设计计算	153
9.4.1 玻璃计算	153
9.4.2 横梁以及立柱的截面的计算	156
9.5 全玻幕墙结构设计计算	158
9.5.1 玻璃	158
9.5.2 玻璃肋	158
9.5.3 胶缝	158
9.6 点支承玻璃幕墙结构设计计算	159
9.6.1 玻璃面板	159
9.6.2 支承装置	160
9.6.3 支承结构	160
9.7 硅酮结构密封胶设计计算	161
9.8 幕墙用基本材料设计强度取值	163
9.8.1 玻璃强度设计值	163
9.8.2 铝合金型材的强度设计值	163
9.8.3 热轧钢材的强度设计值	164
9.8.4 冷成型薄壁型钢强度设计值	164
9.8.5 耐候钢强度设计值	164
9.8.6 不锈钢拉杆的抗拉强度设计值	165
9.8.7 不锈钢型材和棒材强度设计值	165
9.8.8 不锈钢板强度设计值	166
9.8.9 硅酮结构密封胶强度设计值	166
9.8.10 螺栓、铆钉、焊缝等连接材料强度设计值	166
第10章 既有玻璃幕墙安全性能现场检测案例	169
10.1 引言	169
10.2 钢化玻璃自爆现场检测	169
10.3 幕墙玻璃整体坠落风险现场检测——动态法	178
10.4 开启扇中空玻璃外片整体坠落现场检测	180
10.5 玻璃幕墙安全性能综合评估	185
参考文献	189

第 1 章 玻璃幕墙概述及其发展现状

1.1 玻璃幕墙的概念及特征

建筑幕墙是由金属支承结构（铝横梁立柱、钢结构等）与板材（玻璃、铝板、石板、陶瓷板等）组成，不承担主体结构载荷与作用的建筑外围维护结构。当面板材料为玻璃时，则称为玻璃幕墙。玻璃幕墙具有以下三个主要特征^[1,2]：

（1）由支承体系和玻璃面板材料组成；

（2）玻璃幕墙通常与建筑主体结构采用可动连接方式，可相对于主体结构有一定的位移；

（3）玻璃幕墙是一种建筑外围护结构或装饰性结构，是一种完整的结构体系，只承受直接施加其上的载荷作用，并传递到主体结构上，但并不分担主体结构所受载荷作用。

玻璃幕墙集采光、防风、遮雨、保温、隔热、御寒、防噪声、防空气渗透等使用功能与装饰功能有机地融合，是建筑技术、功能、结构和建筑艺术的综合体。

1.2 玻璃幕墙的发展历史

1.2.1 国外幕墙的发展^[1,3]

1851 年为在伦敦举行的工业博览会而建造的水晶宫（Crystal Palace）^[4]（图 1-1），其幕墙为工厂预制好的玻璃板，幕墙整个面积达到了 90000m²，它的安装宣告了现代幕墙的开始。

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 年代初建成的世界上第一座玻璃幕墙高层建筑纽约利华大厦和纽约联合国大厦。1953 年设计的宾夕法尼亚阿尔考大楼 A（local Building）^[5]代表着幕墙发展的另一个重要阶段，它的幕墙支承结构完全是铝制的（过去皆为钢制的或青铜制的），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。

按幕墙结构发展形式及特点，可划分为三代幕墙^[3,6]：

第一代幕墙（1800～1950 年），通常是把幕墙固定在竖框（stick system）上，但存在渗雨、隔声和保温效果不佳、膨胀缝胶条老化等问题。第一代幕墙满足了新一代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的总重量。

第二代幕墙（1950～1980 年），其特点是大量的新材料和新技术出现并被应用到幕墙中来：

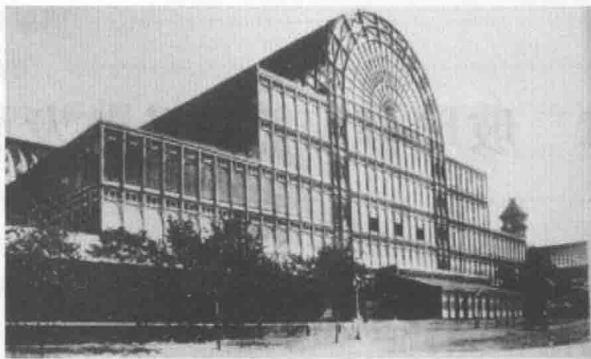


图 1-1 1851 年伦敦国际工业博览会展馆“水晶宫”

(1) 压力平衡系统 (Pressure Equivalization System): 采用该系统后不再需要封闭所有的洞口而使内外墙之间的空腔的压力保持平衡, 从而消除压差。

(2) 板式拼装体系 (Construction of Panel System): 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 (Water Barrier between Floors): 楼层间设有水平排水槽, 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) 改进的气密与水密技术性能 (Improved Technical Performances, Air and Water Tightness): 高性能玻璃 (反射或低辐射玻璃) 的大量应用, 提高了其保温性能, 也出现了结构玻璃 (板) 和换气玻璃 (板)。



图 1-2 2007 年国际玻璃大会会场——法国特拉斯堡的会议中心 (全玻璃幕墙圆形建筑)

第三代幕墙 (20 世纪 80 年代至今), 随着人们对居住环境需求的不断提高, 各种新型建筑材料、设计理念和生产工艺在幕墙的生产和加工过程中得到了广泛的应用, 从而使幕墙体系得到了持续和完善的发展, 并不断创新。这一时期出现的许多新型的幕墙系统更强调人与自然的交互作用, 能源的利用更加趋于合理化。各种“通风式幕墙”、“主动式幕墙”、“光电幕墙”、“生态幕墙”等新型系统得到了广泛的发展和应用。这种幕墙建筑的一个典型案例见图 1-2。

第四纪幕墙体系——面向 3000 年。

第四纪 (Quaternario) 是一个意大利语中的拉丁语词, 用以描述现代建筑技术的新发明和新哲学的词汇。现代建筑设计可以按结构部件的使用寿命分为三个相互独立的系统:

——结构系统 (Structural System): 基础、柱子、楼板、楼梯、屋面等属长期寿命系统;

——组件系统 (Components System): 幕墙、内隔墙、外围护结构、服务井道、吊顶、设备层等属中期寿命系统 (其中还可分为, 长期: 支撑结构等, 板与玻璃等, 短期: 管道与电缆等);

——建筑服务系统 (Building services system): 电缆, 视、听通信, 水处理厂、通风和空调、火灾报警等属短期寿命系统。

根据这一指导思想, 在开始设计时, 就考虑建筑材料的不同使用寿命和相应的施工方法, 以便在构件损坏能及时地更换, 或当要改变建筑外观及风格时, 也能轻而易举地进行改造。从长远观点看, 这一方法更方便, 更具灵活性, 还可延长建筑物的使用寿命。

1.2.2 国内幕墙的发展

我国建筑幕墙从 1978 年开始起步, 并于 1983 年建成了第一座采用玻璃幕墙的酒店: 北京长城饭店。经过 30 多年发展, 特别是 20 世纪 90 年代的高速发展, 到 21 世纪初, 我国已发展成世界第一幕墙生产大国和使用大国。21 世纪头五年 (2001~2005 年) 我国建筑幕墙又继续迅猛发展。2007 年我国生产玻璃幕墙为 2200 万 m^2 , 占当年我国建筑幕墙总产量的 31.4%, 占当年世界玻璃幕墙生产量的 86.27%; 累计使用玻璃幕墙为 11000 万 m^2 , 占我国建筑幕墙总使用量的 34.9%, 占世界玻璃幕墙累计使用量的 61.11% (见表 1-1)。截至 2008 年年底, 据不完全统计, 我国已建幕墙 3.7 亿 m^2 , 折合人民币产值 5980 亿元, 到 2009 年我国年生产的幕墙总量等于全世界所有国家产量总和, 成为世界第一幕墙生产大国, 近 5 年来我国每年在国外幕墙市场约 300 亿~400 亿人民币并以 15% 递增率在增长。截至 2014 年, 中国已有的玻璃幕墙已占全球总量的 85%~90%, 总量超过 10 亿 m^2 。在建筑幕墙大力发展的同时, 相关产业如玻璃、硅酮密封胶、铝合金建筑型材等也同步发展, 不仅在数量上满足了建筑幕墙的需要 (即建筑幕墙的大部分材料由国内生产、提供, 仅小部分进口), 而且这些行业的产品质量与世界先进水平相近, 有些甚至超过了世界先进水平, 这就为建筑幕墙的发展提供了坚实基础。

世界与我国玻璃幕墙产用量一览表 (2003~2008 年, 单位: 万 m^2)^[7]

表 1-1

项 目			2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
项目	当年累计	生产总量	3500	5200	7300	8100	9000	9800
		其中玻璃幕墙	1400	1700	1950	2320	2550	2830
		使用总量	23000	27000	32500	40000	47500	54500
		其中玻璃幕墙	11000	12500	14000	16000	18000	20000
项目	当年累计	生产总量	3040	4660	5550	6800	7000	8000
		其中玻璃幕墙	950	1150	1700	1900	2200	2500
		使用总量	15500	16000	20000	26000	31500	37000
		其中玻璃幕墙	6000	7500	8000	9500	11000	13000

我国的建筑幕墙工业经历了 3 个发展阶段^[6]:

(1) 萌芽期 (1983~1994 年)

从 1983 年我国开始兴建第一栋现代化的玻璃幕墙开始到 1994 年建筑幕墙开始大量在我国得到了应用, 这段时期, 我国平均每年的幕墙产量约 200 万 m^2 , 主要是构件式明框玻璃幕墙, 且大多是原版引进或模仿国外的设计和技术, 没有适合我国国情的标准和规范, 技术水平较低, 施工质量不高。

(2) 成长期 (1995~2002 年)

从 1995 年到 2002 年, 我国建筑幕墙的平均年产量达到了 800 万 m^2 , 除了较为成熟

的明框玻璃幕墙外,还引进和发展了隐框、半隐框玻璃幕墙、单元式玻璃幕墙、点支式玻璃幕墙。在引进国外先进技术的同时,开始逐步结合我国国情,走向技术创新的道路。随着我国玻璃幕墙相关标准和技术规范、规程的相继颁布,玻璃幕墙的设计水平与施工质量有了很大程度的提高。建设部1994年的776号文件中明确规定了建筑设计院和幕墙公司的分工,即:建筑设计单位负责选型、提出设计要求,幕墙的设计、制作与安装一般是由幕墙公司负责完成。建设部于1996年12月3日公布《建筑幕墙工程施工企业资质等级标准》,规范了建筑幕墙行业市场。同时,各级行业协会的成立也为推动建筑幕墙行业的繁荣和技术进步发挥了重要的作用。

我国建筑幕墙行业虽然起步较晚,但起步较高。30年来,始终坚持走向先进技术改造传统产业的发展道路。通过技术创新开拓市场,引进国外先进技术,不断地开发新产品,形成了优化产业结构可持续发展的技术创新机制。针对工程建设的关键技术,组织科研试验和技术攻关,运用国际同行业最新的前沿技术,建成了一批在国内外同行业中有影响的大型建筑工程,取得了一系列重大成果,受到国内外同行业人士的重视和好评。一大批国内知名的航空、军工、建材、机械行业企业投入到建筑幕墙行业,这些企业以其雄厚的资本,较强的技术力量和先进的管理,成为开拓市场和技术创新的骨干力量,为壮大行业队伍,提高行业素质发挥了重要作用。20世纪90年代以后,又有一大批中外合资企业,外商独资企业和股份制民营企业集团加盟到建筑幕墙行业。在1995年以前,国内知名的航空、军工、企业带动行业的发展;而在1996年以后,优秀民营企业集团以其新型的企业管理模式,先进的专业技术,现代的市场运作模式,为推动行业与国际市场接轨,发挥了良好的示范作用。目前建筑幕墙行业,已经形成了以100多家大型企业为主体,以50多家产值过亿元的骨干企业(民营企业集团为多数)为代表的技术创新体系。这批大型骨干企业完成的工业产值约占全行业工业产值的70%左右,在国家重点工程、大中城市形象工程、城市地标性建筑、外资工程以及国外工程建设中,为全行业树立了良好的市场形象,成为全行业技术创新、品牌创新、市场开拓的主力军。

在国家改革开放政策的推动下,我国建筑幕墙行业从引进国外先进技术起步,逐步缩小了与国际先进水平的差距。20世纪80年代,引进了一批铝门窗、幕墙专用加工设备和生产技术,这期间行业是以增量发展为主题。90年代,以引进建筑幕墙的先进生产技术和新型成套设备为主,相应地引进了国外最新的工程材料及国内的工艺技术、既缩小了与国际先进水平的差距,又掌握了国外前沿技术,这时候的行业是以学习国外先进技术、独立开发具有中国特色产品的动态发展为主题。

(3) 发展期(2003年~至今)

从2003年到目前,我国建筑幕墙行业继续保持了稳步的增长势态,预计未来的几十年,这种增长的势头会更加猛烈。建筑幕墙仍旧是公共建筑中外围护结构的主导形式。这一时期,我国建筑幕墙行业迎来了前所未有的机遇,如2008年奥运会、上海世博会、广州亚运会等建设了大量的体育馆及配套设施,这为世界优秀的幕墙公司提供了一个展示自身实力和最新技术的舞台,各种幕墙工程成了这个时代的亮点。

这一时期,建筑幕墙的年平均产量为5000万 m^2 以上,除了现有的明框玻璃幕墙、隐框、半隐框玻璃幕墙、单元式玻璃幕墙、点支式玻璃幕墙等幕墙系统逐渐发展和成熟之外,具有高科技的先进幕墙将逐渐出现并得到应用,比如通风式双层玻璃幕墙、光电幕

墙、生态幕墙等幕墙系统。到 2010 年,我国建筑幕墙的水平再升一个台阶,在主要的技术领域达到了国际先进水平。如新建的上海中心大厦。

技术创新、科技进步大大推动了我国玻璃幕墙工程市场的发展,加速了玻璃幕墙质量的升级;新型适销对路品的开发,进一步拓宽了市场空间。开发研制符合国家玻璃幕墙节能政策和建设产业化政策的新型幕墙系统是今后的主要发展方向,也是我国建筑幕墙走向可持续发展道路的基本条件。

1.3 玻璃幕墙的分类

随着新材料和新技术的不断出现,现代玻璃幕墙的种类繁多、形式多样。根据玻璃幕墙的发展历史和使用现状,按玻璃幕墙主要支承结构形式,玻璃幕墙可分为构件式、单元式、点支式、全玻和双层玻璃幕墙。

1.3.1 构件式玻璃幕墙

构件式幕墙是幕墙的立柱(或横梁)先安装在主体结构上,再安装横梁(或立柱),立柱和横梁组成框格,面板材料在工厂内加工成单元组件,再固定在立柱和横梁组成的框格上。面板材料单元组件所承受的荷载要通过立柱(或横梁)传递给主体结构。该结构常见的形式是:立柱和横梁现场安装形成框格后将面板材料单元组件固定于骨架上,面板材料单元组件竖向接缝在立柱上,横向接缝在横梁上,并进行密封胶接缝处理,防雨水渗透、空气渗透。对于具有结构强度要求的玻璃之间的连接常借助于不锈钢连接件,图 1-3 显示的是三块玻璃之间的垂直连接的节点图。

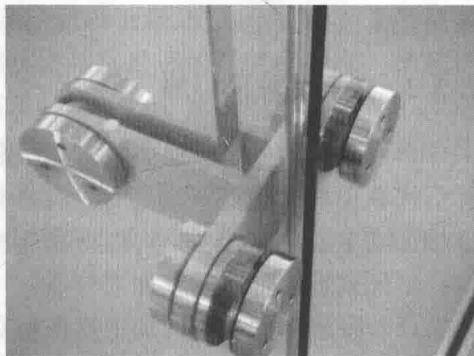


图 1-3 玻璃立柱与玻璃幕墙之间的垂直连接节点

构件式幕墙包括明框玻璃幕墙、隐框玻璃幕墙和半隐框玻璃幕墙。

(1) 明框玻璃幕墙

明框玻璃幕墙是将玻璃板块用铝框镶嵌,形成四边有铝框的幕墙元件,将幕墙元件镶嵌在横梁上,幕墙成为四边铝框明显,横梁和立柱均在室内可见的幕墙。明框幕墙可采用多种形状和造型的金属扣条从而达到不同的装饰效果。明框玻璃幕墙是最传统的构件式幕墙,应用最广泛,工作性能可靠。这种安装的玻璃幕墙每块玻璃都受到边缘约束,因而不容易脱落,但每块玻璃之间的框架高出玻璃平面,在清洗操作和美观方面不如隐框玻璃幕墙。

(2) 隐框玻璃幕墙

隐框玻璃幕墙是将玻璃面板用硅酮结构胶粘结在铝框上,铝框隐藏在玻璃的后面,从室外只能看到玻璃面板和面板间的胶缝,而看不到背后的支承铝框结构。硅酮结构胶要受到玻璃自重和风载荷、地震等外力作用以及温度变化的影响,因而结构胶的性能及打胶质量是隐框玻璃幕墙安全性的关键环节之一。

隐框玻璃幕墙外观简洁,无其他装饰构件,并且能形成大面积镜面,其简约的装饰风格、梦幻般的视觉效果及超然意境,使得建筑物更具有现代气派。

1971年世界上出现了首栋隐框玻璃幕墙建筑,而我国在1994年才开始使用,并迅速形成“隐框玻璃幕墙热”。

隐框玻璃幕墙中玻璃的自重以及外界载荷的承受者主要为结构胶,一旦胶老化或者粘结强度下降,则有可能导致玻璃整体坠落风险。

(3) 半隐框玻璃幕墙

半隐框玻璃幕墙是金属框架竖向或横向支承构件显露在外表面的玻璃幕墙。半隐框玻璃幕墙的玻璃两对边镶嵌在铝框内,两对边用结构胶粘结在铝框上,形成半隐框形式。立柱外露,横梁隐蔽的则称为豎明横隐玻璃幕墙,横梁外露、立柱隐蔽则称为豎隐横明玻璃幕墙。有时,为了使建筑物更显线条明快、层次分明,也适当地在隐框玻璃幕墙表面镶、贴一定形状的装饰条,形成半隐框玻璃幕墙。

半隐框玻璃幕墙安装简便、易于调整、容易适应施工现场情况变化。与隐框玻璃幕墙相比,增加了玻璃幕墙结构的稳定性和安全性,避免了单一由结构胶长期承受玻璃自重的受力模式,增加了建筑物的层次感,能够在视觉上弥补建筑物外形的不足,提高了建筑幕墙的艺术效果。

1.3.2 单元式玻璃幕墙

单元式幕墙是指玻璃面板与支承框架在工厂制成完整的幕墙结构基本单元,以幕墙单元形式在现场完成安装施工的建筑幕墙形式,有明框、隐框等多种形式。单元式玻璃幕墙连接形式主要有插接型、对接型和连接型3种。

单元式玻璃幕墙具有如下特点:

(1) 幕墙单元工厂内加工制作易实现工业化生产,降低人工费用,控制单元质量;大量的加工制作、准备工作在工厂内完成,从而缩短幕墙现场施工周期和工程施工周期,为业主带来较大的经济效益和社会效益。

(2) 单元与单元之间阴阳镶嵌连接,适应主体结构位移能力强,能有效吸收地震作用、温度变化、层间位移,单元式幕墙较适用于超高层建筑和纯钢结构高层建筑。

(3) 接缝处多使用胶条密封,不使用耐候胶(是目前国内外幕墙技术的发展趋势),不受天气对打胶的影响,工期易控制。

(4) 由于单元式幕墙主要在室内施工安装,主体结构适应能力较差,不适用于有剪力墙和窗间墙的主体结构。

(5) 要求有严格的施工组织管理,施工时有严格的施工顺序,必须按对插的次序进行安装。对主体施工用垂直运输设备等施工机械的安放位置有严格限制,否则将影响整个工程的安装。

此外,半单元式玻璃幕墙和小单元式玻璃幕墙也可看作单元式幕墙。

半单元式玻璃幕墙是介于构件式幕墙与单元式幕墙之间的一种幕墙结构。它是指玻璃饰面材料与部分主龙骨构件在工厂内组装完成,在施工现场将组装好的板块安装到与主体结构连接的主要受力龙骨上,从而完成幕墙安装。同单元式幕墙一样,半单元式幕墙大部分组装工作在工厂车间内完成,组装精度高,安装速度较快,施工周期短,便于成品保

护, 板块挂装后不需调整, 板块可拆卸, 便于更换。利用等压原理实现结构防水, 水密性和气密性良好。

小单元式玻璃幕墙是指由金属副框、玻璃面板, 采用金属挂钩与立柱、横梁连接的可拆装的玻璃幕墙形式。

1.3.3 点支式玻璃幕墙

由玻璃面板、点支撑装置和支撑结构构成的玻璃幕墙。点支式玻璃幕墙可分为三大类: 一是金属支撑结构点支式玻璃幕墙, 这是最早的点支式玻璃幕墙结构, 也是采用最多的结构类型; 二是点支式全玻璃幕墙, 其支撑结构是玻璃板, 称为玻璃肋。采用金属紧固件和连接件将玻璃面板和玻璃肋相连接, 形成玻璃幕墙; 三是杆(索)式玻璃幕墙, 其支撑结构是不锈钢拉杆或拉索, 玻璃由金属紧固件和金属连接件与拉杆或拉索连接。

点支式玻璃幕墙的构造元素均采用目前较为成熟的建筑材料, 钢化玻璃和各种特效玻璃的使用增加了玻璃幕墙的安全性和建筑物理效果, 高强度钢材的支承能力提高了整体支承结构的强度和刚度, 各种金属驳接爪、转接件、拉杆及支撑杆等点支承式玻璃幕墙配件为工程的施工提供了方便、也易于维护。

支承结构是点支式玻璃幕墙的重要组成部分, 它把玻璃面板承受的风载荷、温差作用、自身重量和地震载荷传递给建筑主体结构, 隐藏必须具有足够的强度和刚度。相对于建筑物的主体结构, 点支式玻璃幕墙的支承结构又有其特殊的独立性, 既要与建筑主体结构又可靠的连接, 又不承担主体结构因变形对玻璃幕墙产生的附和作用。点支承式玻璃幕墙的支承结构主要有钢结构支承体系、钢架、桁架和网架架构、预应力张拉索杆支承体系和玻璃肋板支承体系等, 一般是根据承受的载荷大小和建筑造型来选择结构形式和材料。

1.3.4 全玻璃幕墙

全玻璃幕墙是指由玻璃面板和玻璃肋构成的玻璃幕墙。

全玻璃幕墙有落地式和吊挂式两种支承形式, 玻璃面板背后辅以玻璃肋支承。落地式全玻璃幕墙的玻璃安装在下部的镶嵌槽内, 玻璃自重会使玻璃变形, 导致玻璃破坏, 需采用吊挂式。即大片玻璃与玻璃框架在上部设置专用夹具, 将玻璃吊挂起来, 下部镶嵌槽的槽底与玻璃之间留有伸缩的空隙。全玻璃幕墙是一种全透明、全视野的玻璃幕墙, 一般用于展厅、大堂或商场橱窗等。

吊挂式全玻璃幕墙(见图 1-4), 玻璃面板采用吊挂支承, 玻璃肋板也采用吊挂支承, 幕墙玻璃重量都由上部结构梁承载, 因此幕墙玻璃自然垂直, 板面平整, 反射映像真实, 更重要的是在地震或大风冲击下, 整幅玻璃在一定限度内作弹性变形, 避免应力集中造成玻璃破裂。为保证质量, 从建筑设计一开始就应明确方向, 以便从承重梁考虑增加承载能力, 并在土建阶段做好预埋构件工作; 对于中间改变支承形式的幕墙结构设计, 要求钢结构主要紧固件, 要么贯穿楼板或横梁, 要么打破混凝土表层, 将构件与钢筋直接焊接,

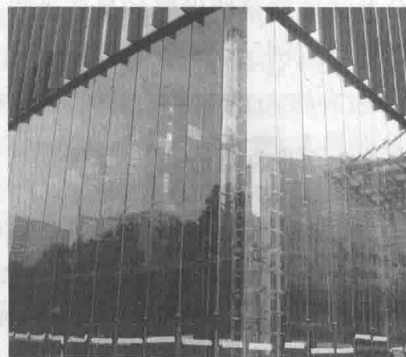


图 1-4 吊挂式全玻璃幕墙

至少要采用骨胶螺栓,杜绝使用膨胀螺栓;与紧贴玻璃楔形金属接触的吊夹,最好采用整体式锻钢;钢夹接触部分禁止使用玻璃打孔,螺栓紧固工艺。

1.3.5 双层玻璃幕墙

双层玻璃幕墙是指由外层幕墙、空气腔(热通道)和内层幕墙(或门、窗)构成,且在热通道内能够形成空气有序流动的建筑玻璃幕墙。

根据幕墙通风形式,双层玻璃幕墙可分为:自然通风式双层玻璃幕墙、机械通风式双层玻璃幕墙、混合通风式双层玻璃幕墙。

根据空气腔的几何类型,双层玻璃幕墙可分为:窗合式双层玻璃幕墙、井箱式双层玻璃幕墙、走廊式双层玻璃幕墙、整体式双层玻璃幕墙。

根据气腔的通风模式,双层玻璃幕墙可分为:外循环双层玻璃幕墙、内循环双层玻璃幕墙、供气式双层玻璃幕墙、排气式双层玻璃幕墙、缓冲区双层玻璃幕墙。

1.4 国内外玻璃幕墙研究状况

建筑幕墙是随着高层建筑的不断发展而发展起来的,幕墙在国际上已经有了上百年的发展历史,在第二次世界大战后,世界上许多军事技术和材料转移到建筑工业上来,开发和利用了许多建筑幕墙的新理论、新材料和新工艺,从而使幕墙有了飞速的发展。国外学者们对幕墙的原理、结构、工艺等方面进行了大量的研究。

1.4.1 国外幕墙研究状况^[8]

国外对玻璃幕墙的研究相对全面和成熟,处于领先地位。米歇尔·维金顿(Michael Wigginton)所著 *Glass in Architecture*(《建筑玻璃》)^[9]和史蒂西、施塔伊贝等所著的 *Glass Construction Manual*(《玻璃结构手册》)^[10]更类似一本完整的技术手册,不仅深入透彻地研究玻璃材料的各项性能及相关技术,同时辅以典型实例作为补充说明,为国内进行玻璃幕墙的研究提供了宝贵的参考价值。*Cultures of Glass Architecture*(《玻璃建筑文化》)^[11]则从玻璃在建筑中应用的各个非物质性层面试图去解读玻璃建筑。帕特里克·洛克伦所著《坠落的玻璃——玻璃幕墙在当代建筑中的问题与解决方案》^[12]对玻璃幕墙应用中的各种问题进行了剖析。此外,国外对玻璃幕墙的研究绝不仅仅停留于技术和表现的探讨,也充分关注玻璃幕墙发展的最新动态与成果,某些出版物将国际前沿、创新性地应用的大量玻璃幕墙实例呈现于读者面前,比如 *Great Glass Buildings*(《大型玻璃幕墙建筑设计》)^[13]、*Clear Glass: Creating New Perspectives*(《玻璃幕墙:创意新视野》)^[14]等。

1.4.2 国内幕墙研究现状

近十几年来,玻璃幕墙在国内得到了广泛的应用,而应用初期我国基本停留在“拿来主义”的层面,缺乏相应的行业技术标准。1996年,建设部发布了《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102—1996作为玻璃幕墙行业强制执行的技术标准,2003年在此基础上修订发布了《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102—2003^[15]。

随着行业规范的落实施行与玻璃幕墙的普及,国内开始出版一些研究玻璃幕墙的相关