

建筑装饰装修技术系列手册

建筑幕墙与采光顶设计施工手册

张 芹 主编



KIN LONG
ARCHITECTURAL GLASS FITTINGS

坚 朗
点 支 式 幕 墙 配 件



中国建筑工业出版社

TJ227
2003021

建筑装饰装修技术系列手册

建筑幕墙与采光顶设计施工手册

张 芹 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑幕墙与采光顶设计施工手册/张芹主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

(建筑装饰装修技术系列手册)

ISBN 7-112-05102-9

I. 建... II. 张... III. ①幕墙—结构设计②幕墙—
工程施工③玻璃—屋顶—结构设计④玻璃—屋顶—工程施
工 IV. ①TU227②TU231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 028779 号

建筑装饰装修技术系列手册
建筑幕墙与采光顶设计施工手册
张 芹 主 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

有色曙光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 50½ 字数: 1254 千字

2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月第一次印刷

印数: 1—9,000 册 定价: 69.00 元

ISBN 7-112-05102-9

TU·4533 (10716)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是介绍建筑幕墙与采光顶成套技术的工具书。全书共计 17 章内容，主要包括：概述、幕墙材料、荷载与间接作用、幕墙结构设计原理和方法、幕墙的种类和构造特点、幕墙的物理特性、元件式幕墙——明框幕墙、元件单元式幕墙——隐框幕墙、单元式幕墙、金属与石材幕墙、全玻璃及点式玻璃幕墙、幕墙的制作、安装、检验与质量控制、玻璃采光顶设计原理与性能、玻璃采光顶构造设计、现代全玻璃建筑、采光顶工程实例 13 例、玻璃采光顶结构设计、玻璃采光顶的制作、安装与质量控制。书中对幕墙及采光顶的选型、材料的选用、设计计算、制作、安装、施工工艺、验收和质量控制全过程进行了翔实的阐述。并附有很多实例。

该书特点是具有先进性、新颖性、系统性，可操作性强，简明、实用。本书根据国家最新颁布的规范、标准及材料标准编写。反映了现代新型建筑幕墙与采光顶的新成果、新技术、新工艺及丰富的实践经验。

本书可供建筑装饰行业的设计、施工、管理工程技术人员及材料生产厂家使用，也可供广大用户参考。

* * *

责任编辑 余永祯

前 言

我国建筑幕墙与采光顶新技术迅猛发展,技术日新月异,新技术、新材料、新工艺不断涌现。各种设计规范已基本上全部更新,与建筑幕墙有关材料标准也已大部分修改,且制定了一系列新规范、新标准。为了适应广大读者 21 世纪迫切的需求,很好地总结建筑幕墙及采光顶技术的实践经验,特此编写《建筑幕墙与采光顶设计施工手册》一书。

“与时俱进,开拓创新”是编写本手册的指导原则。在编写中务使这本手册达到下面几个方面的要求:

1. 先进性。用先进的理论作指导,以先进技术为基础来介绍、评述 21 世纪新型建筑幕墙与采光顶,对传统的幕墙技术从历史发展过程,用新观点来介绍和分析。现代建筑幕墙与采光顶在其 50 多年发展中积累了丰富的实践经验,同时现代科学技术的发展为建筑幕墙与采光顶提供了新方向、新技术。我们必须以现代科学技术发展为基础和方向,用经实践检验证明正确的技术理论来武装自己,使建筑幕墙技术与现代科学技术发展与时俱进。

2. 新颖性。本手册重点介绍现代新型建筑幕墙与采光顶及其新技术、新工艺、新材料,所采用的设计规范全部为到 2001 年底止颁发的新规范(如 GB18306-2001、GB50068-2001、GB50011-2001 等),材料标准也是到 2001 年底止新制定和修订的标准(如 GB/T6566-2001、GB/T3098-2000)、GB/T4171-2000、GB/T4172-2000 等)。对近几年国内在建筑幕墙与采光顶基础理论研究新成果、抗震试验和三性试验的新进展作系统介绍。

3. 系统性。本手册编写时,对幕墙(采光顶)从材料的选择、幕墙的性能、设计计算和生产工艺及验收的全过程作系统阐述,即将幕墙(采光顶)选型、设计计算、材料的选择、制作、安装所依据的规范、标准及相关知识组成一个系统的知识键,而不是将手册作为一种标准、规范堆积的资源库。同时对设计计算、工艺上所需全部标准、设计计算参数收集、整理成一个完整的链式系统,做到不缺、不漏,即这些参数都能在手册中选取到。

4. 可操作性。手册是为设计、施工服务的,因此要成为一般工程技术人员容易掌握的技术手册,也就是要具有可操作性,本手册在编写时对设计、施工规划了最优化流程,指出了每一项设计、计算、工艺的最佳切入点及工作先后次序,并通过例题,对各种类型幕墙(采光顶)的设计计算作系统演示,只要掌握了手册介绍的内容,即可完整地设计出幕墙(采光顶)。

5. 严肃性。在编写手册时,对有关标准均进行了严格筛选与查核,保证是到 2001 年底止的有效标准,对标准内容也仔细核对,必须符合最近版本(含标准局部修改),对重要的内容都逐一请有关单位、各专家审阅校核,保证手册中介绍的有关新技术、新工艺、新材料准确无误,尽量减少广告式虚假不实之词。

本手册编写得到广州白云粘胶厂、深圳南铝幕墙材料公司(香港坚朗五金集团)、珠海晶艺玻璃工程集团、深圳三鑫特种玻璃工程公司、汕头金刚玻璃幕墙公司、上海高新铝质工程公司、沈阳远大铝业工程公司、武汉凌云集团、西飞集团、深圳金粤铝制品公司等

单位提供的有关技术资料，在此深表谢意。

中国建筑金属结构协会铝幕墙专家组黄圻主任、郑金峰教授、赵西安教授、李子毅教授、龙文志教授、崔永峰高级工程师、刘达民高级工程师、杨仕超高级工程师、石民祥高级工程师，上海现代建设设计集团孙宝莲高级工程师，全国硅酮密封胶专家组彭政国高级工程师、王跃林博士对本手册的编写进行了指导和提出了修改意见，成都市金属结构协会姚永瑯工程师为本手册提供部分数据表格并对部分数据表格进行了校核，厦门市金属结构协会甘南山高级工程师提供了厦门市 9914 号台风对玻璃幕墙影响的资料，在此一并致谢。

参加本书编写、校阅、绘图的有张棘、邹华、吴社祥、陈喻军、王洪敏、厉敏等。

由于编者水平及收集资料范围的局限，难免有遗漏和错误之处，请广大读者和专家指正。

目 录

1 概述	(1)	6.8 光学性能	(273)
2 幕墙材料	(6)	7 元件式幕墙——明框幕墙	(278)
2.1 钢材	(6)	7.1 概述	(278)
2.2 铝合金材料	(21)	7.2 铝合金型材截面设计	(284)
2.3 紧固件	(72)	7.3 玻璃幕墙杆件设计计算	(295)
2.4 密封胶	(84)	7.4 玻璃幕墙连接设计计算	(306)
2.5 玻璃	(106)	7.5 玻璃的选用和校核	(315)
2.6 花岗石板、微晶玻璃、瓷板	(131)	8 元件单元式幕墙——隐框	
3 荷载与间接作用	(147)	幕墙	(331)
3.1 概述	(147)	8.1 概述	(331)
3.2 风荷载	(150)	8.2 构造设计	(333)
3.3 雪荷载	(170)	8.3 用硅酮结构密封胶胶缝固定	
3.4 地震作用	(175)	玻璃是可靠度最高的玻璃	
3.5 自重和活荷载	(187)	安装方法	(341)
3.6 温度变化	(187)	8.4 胶缝标准设计	(347)
4 结构设计原理和方法	(191)	8.5 胶缝设计计算	(355)
4.1 结构设计方法的变迁	(191)	8.6 半隐框幕墙	(363)
4.2 结构设计原理	(193)	9 单元式幕墙	(370)
4.3 概率极限状态设计法	(196)	9.1 概述	(370)
4.4 幕墙镶板设计原理	(198)	9.2 构造设计	(379)
4.5 设计计算方法	(213)	9.3 多跨铰接连续梁	(451)
5 幕墙的种类和构造特点	(221)	9.4 组装与吊装	(478)
5.1 概述	(221)	10 金属与石材幕墙	(482)
5.2 幕墙与建筑物配合的构造		10.1 构造设计	(482)
设计	(225)	10.2 设计计算	(533)
5.3 幕墙的细部构造设计	(235)	11 全玻璃及点式玻璃幕墙	(548)
5.4 幕墙的防火构造设计	(240)	11.1 玻璃肋胶接全玻璃幕墙	(548)
5.5 幕墙的防雷设计	(241)	11.2 点式连接全玻璃幕墙	(554)
6 幕墙的物理性能	(246)	11.3 拉索式点连接全玻璃幕墙	(573)
6.1 风压变形性能	(249)	11.4 索-梁体系	(625)
6.2 雨水渗漏性能	(253)	11.5 背栓式点连接全玻璃幕墙	(626)
6.3 空气渗透性能	(255)	11.6 点式幕墙用于观光电梯井	
6.4 保温性能	(259)	幕墙	(627)
6.5 隔声性能	(263)	12 幕墙的制作、安装、检验与	
6.6 平面内变形性能	(266)	质量控制	(631)
6.7 耐撞击性能	(272)	12.1 生产准备工作	(631)

12.2 杆件加工	(640)	锥形采光顶与张拉膜雨篷	
12.3 杆件安装	(642)	组合	(729)
12.4 普通幕墙安装玻璃	(644)	15.7 南京新街口地道入口玻璃房	
12.5 结构玻璃装配组件制作	(647)		(734)
12.6 隐框玻璃幕墙组装	(649)	15.8 厦门会展中心圆弧形玻璃	
12.7 单元式幕墙组装与吊装	(652)	连廊	(735)
12.8 检验规则	(657)	15.9 三角形桁架玻璃采光顶	(735)
12.9 型式试验	(661)	15.10 翼架(桁架)玻璃采光顶	(735)
12.10 质量控制检查	(663)	15.11 拉索式玻璃采光顶	(742)
13 玻璃采光顶设计原理与		15.12 拉索(玻璃)一张拉膜组合	
性能	(665)	采光顶	(744)
13.1 玻璃采光顶设计原理	(665)	15.13 雨篷	(749)
13.2 玻璃采光顶物理性能及其		16 玻璃采光顶结构设计	(753)
分级	(679)	16.1 玻璃采光顶典型结构型式	(753)
14 玻璃采光顶构造设计	(688)	16.2 玻璃采光顶杆系设计	(761)
14.1 概述	(688)	16.3 铝合金采光顶杆件设计计算	
14.2 构造设计	(689)		(762)
14.3 连体玻璃采光顶构造	(701)	16.4 隐框玻璃采光顶胶缝设计	
14.4 聚碳酸酯透明采光顶	(701)	计算	(768)
15 现代全玻璃建筑、采光顶		16.5 玻璃采光顶主支承结构体系	
及雨篷	(705)	简介	(769)
15.1 北京植物园温室	(705)	16.6 玻璃采光顶与主支承结构	
15.2 大连森林动物园热带雨林馆		的连接	(771)
.....	(711)	17 玻璃采光顶的制作、安装与	
15.3 上海科技馆卵形中央大厅	(715)	质量控制	(775)
15.4 深圳市市民中心博物馆预		17.1 概述	(775)
应力拉索平行弦网玻璃		17.2 玻璃采光顶的制作与安装	(784)
采光顶	(721)	17.3 玻璃采光顶质量控制	(787)
15.5 深圳市少年宫水晶石大厅	(726)	参考文献	(794)
15.6 南京新街口地下商场入口			

1 概 述

玻璃从传统定位于建筑构件到现在的结构构件，揭开了建筑发展史的新篇章，诞生了现代建筑幕墙与采光顶，它是融建筑技术、建筑艺术、建筑功能为一体的建筑外围护构件。从某种意义上讲，建筑幕墙与采光顶成为现代建筑的标志。

我国建筑幕墙（采光顶）工业从 1978 年开始起步，经过 20 多年发展，特别是 90 年代的高速发展，到 21 世纪初，已发展成世界第一幕墙生产大国和世界第一幕墙使用大国。2001 年我国生产（使用）了约 750 万 m^2 （其中点式约 50 万 m^2 ）建筑幕墙（采光顶），当年幕墙（采光顶）产量（使用量）占全世界 1250 万 m^2 的 2/3 左右，到 2001 年底止我国共安装了约 4200 万 m^2 建筑幕墙（采光顶），占世界总量 8000 万 m^2 的一半左右。现在国内幕墙生产企业已能为各种不同建筑提供所需的各种类型幕墙。国内企业在国内市场中占有 80% ~ 85% 左右份额，境外公司（含港、澳、台公司）占有不到 20% 市场份额。世界上主要幕墙企业都在我国承包了工程，建成了若干有影响的工程，我国成了世界幕墙博览会。国外承包的工程，部分是以中外合作方式进行的，这样就为我们了解世界幕墙技术新发展，不出国门就能学习国外幕墙技术创造了条件。在建筑幕墙（采光顶）大发展的同时，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幕墙（采光顶）的需要（即建筑幕墙、采光顶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也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（采光顶）的发展提供了坚实基础。幕墙（采光顶）虽然是由国外开发传到我国的，由于我国生产和使用了如此大数量的幕墙（采光顶），在生产、使用中积累了丰富的经验，在建造这些幕墙（采光顶）时进行了几千次物理性能试验和抗震试验，揭示了建筑幕墙（采光顶）的内在规律，在生产经验和科学实验的基础上，发扬我国已形成的产、学、研协同配合作战的传统，除了幕墙生产企业、专业试验机构（检测中心）对生产、试验进行总结外，全国很多科研院所、高校（含所属研究所）对建筑幕墙（采光顶）进行了多学科的研究，将上述生产经验、试验结果上升为科学理论，提出一大批研究报告，开发出一大批新技术、新检测方法、新工艺以及新理论和设计原理。同济大学结构学院副院长颜德姮教授根据上海气象台的风速仪纪录分析结果，提出了阵风系数随不同粗糙度地区、不同高度变化的原理，并应用到上海市地方标准中，现在《建筑结构荷载规范》（GB50009）也按这一原理规定了阵风系数。颜教授还和她的研究生马锦明、马彩霞在世界上率先进行隐框玻璃幕墙抗震性能振动台试验，华南建设学院西院抗震研究中心徐忠根博士、中国建筑科学研究院王明贵博士先后进行了石材幕墙抗震性能振动台试验，这些试验揭示了模拟地震试验中建筑幕墙反应机理，证明了只要构造设计合理，脆性材料面板幕墙也可具有良好的抗震性能，为大规模建造隐框玻璃幕墙和石材幕墙奠定了理论基础，并据此编出了世界上第一个《建筑幕墙抗震性能振动台试验方法》（GB/T18575）国家标准。中国建筑科学研究院赵西安教授提出的板材“沿四周边缘为简支边，中肋支承线为固定边”

的原则,为正确划分板区格支承条件奠定了基础。郑金峰教授和中国建筑科学研究院林若慈高工根据光学原理研究成果编制的《玻璃幕墙光学性能》(GB/T18091),深入剖析了玻璃幕墙的光影响及相关光学性能指标和技术要求,澄清了关于光污染的种种非议,使玻璃幕墙健康发展。李子毅教授和厦门建委甘南山高工对玻璃幕墙在厦门市 9914 号台风中受损情况的全面调查、分析,使人们对玻璃幕墙安全、可靠性有了更明确的认识。上海金茂大厦建设过程中碰到风荷载的强度与其沿高度分布要比我国当时规范规定的小、型材壁厚小于当时规范要求的问题,这两个问题都由我国专家论证、试验顺利解决,这对于我国工程设计走出国门非常重要。清华大学李少甫教授领导的“建筑玻璃与金属结构研究所”在点支式幕墙的理论研究和计算机软件开发上做出了重大贡献(例如提出“对一个确定的结构,其预应力施加有一个可行的范围,即保证结构受力索的拉力小于其容许的最大拉力,平衡索的拉力仍大于零而不松弛”的原理,对拉索幕墙设计有重大指导作用)。我国已开发出多种铝合金玻璃幕墙设计、计算软件,并在大部分幕墙企业推广使用,初步实现了建筑幕墙与采光顶设计、计算电脑化。

我国在幕墙(采光顶)技术开发上有了新进展,在进一步阐明“雨幕原理”(在外壁消除渗漏三要素中的作用要素,达到水淋不到内壁,而使内壁消除渗漏三要素中水的要素,达到不渗漏或少渗漏)的基础上,开发出超高性能单元式幕墙(水密性 $\geq 2500\text{Pa}$),新开发的具有三向转角微调功能、幕墙连接构件一侧固定定位、一侧活动并复位的单元幕墙连接装置,使单位幕墙在吊装、固定过程中能顺畅就位,避免了单元式幕墙在吊装过程中受损。深圳市民中心博物馆(54m $\times$ 30m)预应力平行弦索网玻璃采光顶是我国自行研制、开发的世界上第一个没有下凹曲线的预应力拉索屋面结构。北京植物园温室建设过程中积累了建造大型全玻璃建筑的经验。

在二十多年幕墙发展过程中,我国自行培养了一大批幕墙技术人才,这支人才队伍以博士、硕士为骨干,他们不仅成功地设计了很多大型工程幕墙,同时在幕墙试验和理论研究领域有许多重大成果,这支上千人的队伍分布在幕墙生产企业、专业试验机构(检测中心)、高等院校、科研院所,他们是我国幕墙技术的骨干力量。我国已建起了幕墙技术人才培养机制,自行编写了各种类型幕墙(隐框玻璃幕墙,金属与石材幕墙,单元式幕墙,点式幕墙等)系统教材,随着幕墙技术的发展,不断对幕墙技术人员进行培训和再教育,提高他们的技术素质,正因为有了这样的人才培训机制,极大地促进了幕墙行业的健康发展。

我国幕墙标准化工作紧随幕墙大发展而展开,建设部先后颁发了《玻璃幕墙工程技术规范》(JGJ102)、《建筑幕墙》(JG3035)、《金属与石材幕墙工程技术规范》(JGJ133)。同时还制订了《建筑幕墙平面内变形检测方法》(GB/T18250)、《建筑幕墙抗震性能振动台试验方法》(GB/T18575)、《玻璃幕墙光学性能》(GB/T18091)、《建筑用铝型材、铝板氟碳涂层》(JG133)、《点支式玻璃幕墙支承装置》(JG138)、《吊挂式玻璃幕墙支承装置》(JG139)等标准。中国工程建设标准化协会也制定了推荐性标准《点支式玻璃幕墙工程技术规程》(CECS127:2001)、《建筑瓷板装饰工程技术规程》(CECS101.98)等。以及较早发布的《建筑幕墙物理性能分级》(GB/T15225)、《建筑幕墙风压变形性能测试方法》(GB/T15226)、《建筑幕墙空气渗透性能检测方法》(GB/T15227)、《建筑幕墙雨水渗漏性能检测方法》(GB/T15228)等,形成了一个比较完整的标准化体系。

在幕墙（采光顶）大发展过程中也不断出现各种干扰，《建筑知识》2000 第四期发表的中南大学资源环境与建筑工程学院叶柏龙、丁鸥的文章《玻璃幕墙三顶“黑帽”该摘了》是对某些干扰最生动的描述和最精彩的分析。

同时我们也应注意到我国幕墙大发展中存在的问题，这些问题如不能正确对待，在我国加入 WTO 后的 21 世纪，势必影响我国幕墙行业在参与全球竞争中的成败与生死存亡。

1. 我国幕墙技术尚处于“雁行式”发展阶段，缺少原始创新，即我国采用的各种幕墙和技术都是引用国外的，国外出现的某种幕墙和技术，我们引进或采用，没有自己独立开发的幕墙和技术。国内少数企业已建立了专门研究开发部门，但仅限于对国外技术改进和完善，绝大多数企业还处于按型材厂产品样本上的节点图拼组幕墙的阶段，因此幕墙技术还处于低水平重复的局面。

2. 我国幕墙企业有上千家，其中施工一级企业有 200 多家，但这些企业规模较小，技术水平低，国内最大的幕墙企业幕墙年销售量也只有 10 亿人民币左右（折算成美元 1.2 亿左右）。大部分企业年销售额在千万元（折合为 100 多万美元）左右，和世界上大企业根本无法相比，只相当于国外小型企业规模，对参加全球经济竞争非常不利。

3. 随着科学技术的不断提高，幕墙技术发展要有高新技术支持。我国幕墙企业科技人员大部分限于幕墙构造设计人员，无力用新技术来改造传统技术。随着技术的进步向多学科发展，要有各种高新技术领域的技术人员协同研究开发，而一个企业不可能配备所需各种专业人才。现在有若干企业开始和高等院校、科研院所联姻，但仅限于个别项目、部分内容，还未形成产、学、研一体的技术研究开发体系。

4. 对幕墙技术发展没有前瞻性发展规划，很多幕墙企业今天不知明天需要什么幕墙，等业主订货（招标）某种幕墙时才仓促应付，这样就做不出好的幕墙，更谈不上引导消费。

5. 对幕墙技术发展的约束太多，习惯势力对幕墙企业的束缚仍不能随形势发展而松绑。虽然建设部已颁发《工程建设标准强制性条文》，建设部原部长俞正声先生指出：除强制性条文属技术法规要严格执行外，“对技术标准除了被技术法规引用部分以外都是自愿采用的，可由双方在合同中约定采用”，俞部长还指出“由于标准的技术内容往往落后于最新的科学技术的发展，必然会导致新的科学技术成果和生产建设经验不能及时地在工程建设中推广应用”。建设部 2000 年 8 月 15 日发布的《实施工程建设强制性标准监督规定》也明确规定：建设项目规划审查机关、施工图设计审查单位、建筑安全管理机构、工程质量监督机构分别对工程建设规划阶段，工程勘察、设计阶段，工程建设施工阶段的施工安全和工程建设施工、监理、验收等阶段执行强制性标准的情况实施监督，但这一规定在实际工作中未能很好的贯彻，有些建设管理部门、监理单位对技术标准除了被技术法规引用部分以外还要强制执行，无规范不验收（如拉索幕墙），这样就限制了幕墙技术的发展，挫伤了工程技术人员创新的积极性，使很多新技术、新材料、新工艺不能及时应用到工程建设中去。

现在已进入 21 世纪，同时我国也加入了 WTO，在经济全球化竞争中时不我待，我们必须按与时俱进、开拓创新的指导方针来发展我国的幕墙技术。

1. 要有一个规划。这个规划要按照生产一代，开发一代，研制一代，构思一代的要求，近期规划（1~3 年）主要内容为开发规划，中长期规划（4~10 年）主要为研制、构

思规划,这样就为幕墙技术、生产持续发展奠定基础。

2. 要做好人力资源开发。对现有人才(特别是青年队伍)要帮助他们继续提高技术素质,掌握新技术,精通一门或多门外语,能熟练用外语阅读、编写商务、设计等文件,用外语进行交流和洽谈。还要从国内外吸收大批高级人才参加幕墙研制、开发,形成一支与现代科学技术发展水平相适应的多学科人才队伍。

3. 要建立技术开发机制,有计划地发展产、学、研一体的技术开发机制。企业要建立研发机构和研发基金(一般占年销售额的2%~4%),同时企业和高等院校、科研机构的联合研究要从现在的个别企业、个别项目零星分散的状况变为有计划、有长远规划的统一、有组织的机制,发挥全民办幕墙的优势,用信息技术改造幕墙产业(包括开发更先进的计算机软件,建立CAD→CAM系统即无纸化生产体系、物流配送体系、报价及模拟投标体系等计算机管理系统),使我国在不远的将来从幕墙生产大国发展成为幕墙技术强国。

4. 对幕墙行业按现代企业管理机制进行产业结构调整,组建若干个能参加全球经济竞争的“航母舰队”来带领整个幕墙行业的大发展。

5. 完善市场经济条件下,与国际接轨的规范、标准体制。在认真贯彻建设部关于《工程建设标准强制性条文》和《实施工程建设强制性标准监督规定》的基础上,淡化技术规范的强制性,不能将技术规范作为一般意义上的法律,不论是否遵守规范,设计人员都不能回避责任,改变过去“只要符合或不违反规范条文,即使出了问题,设计人员可不负法律责任”的认识(英国的标准和规范中,都有全文中惟一用黑体字印刷的一句话,并统一放在规范前言的最后一行,以突出其重要性,叫做“遵守英国标准本身,并不给予豁免法律责任”。这就逼着设计人员非得动脑筋,调动他们的创造力,高质量地去解决问题。设计人员应该以规范为指导,创造性地去解决问题,而不能鼓励盲目跟从。规范编制应走市场化道路,避免独家垄断,规范审查委员要有广泛代表性,要实行公示制,不能由规范编制单位(编制组)圈定。要防止个别人、个别单位利用规范编制为本单位垄断市场,排挤其他企业的行为发生,使规范真正成为代表最广大人民利益的规范。我们不仅要和国际接轨,提高采用国际标准的比率,而且要在原始创新的基础上,使我国编制的规范(标准)是世界最新技术的结晶,成为国际上争先采用的规范(标准)。

6. 改善政府对幕墙企业的管理。政府应在政策上、可持续发展的方向上给企业以指导,在管理上严格按建设部关于《实施工程建设强制性标准监督规定》只对执行强制性标准的情况实施监督,鼓励企业采用新技术、新工艺、新材料,推动幕墙技术发展。幕墙企业的技术人员要坚持“不唯上、不唯书、只唯实”的科学态度,树立创新意识,敢为人先,大力发展幕墙新技术,形成理论创新、体制创新、科技创新及其他创新的联动机制,各种创新互相推动,互相促进。

7. 加快全球化步伐。它包括多方面的内容,首先加强和国外的技术交流合作,邀请国外专家来我国工作、讲学,企业领导、技术人员要走向国门,了解世界,要选派优秀青年技术人员到国外进修,尽快掌握世界先进技术,赶上世界幕墙技术发展潮流,进而领导世界幕墙发展潮流。幕墙企业不能局限于承接国内工程,而且要去国外承接工程,参与世界大型幕墙工程竞争,这样不仅可以壮大国内幕墙企业经济实力,而且是达到幕墙技术在上世界上领先的前提条件。

我们只要善于学习、善于总结经验，依靠我国二十多年建造 4200 万 m^2 幕墙的实践经验和已建立起来的一支幕墙技术人才大军，不断用最新科学技术来改造幕墙行业，我们完全有信心、有把握用十年左右的时间赶上并超过世界先进水平，从幕墙生产大国发展成为幕墙技术强国。

2 幕墙材料

幕墙是用各种不同材质、性能的材料组合而成的。了解和掌握这些材料在各种应力状态和不同使用条件下的工作性能，根据幕墙的使用要求、荷载（作用）的性质、周围环境受力特性和应力分布，慎重选择幕墙材料，使幕墙既能安全可靠地满足使用要求，又尽量节约材料，降低造价。正确选择幕墙材料是设计、制造幕墙的一项重要内容，为此我们要对这些材料作深入的探讨，掌握必要的基本知识。

幕墙用的主要材料是钢材、铝合金材料、玻璃、密封胶等。

2.1 钢 材

钢材在铝合金幕墙材料中占很重要的地位。比较大的幕墙工程，要以钢结构为主骨架，铝合金幕墙与建筑物的连接构件大部分采用钢材，使用的钢材以碳素结构钢为主，它是延性材料中力学性能比较典型的材料，其他很多材料的力学性能的描述是从碳素结构钢引伸出来的，所以重点介绍碳素结构钢，对幕墙使用的低合金钢和耐候钢也作介绍。

2.1.1 钢材的强度与变形

钢材在受到轴心外力作用时，杆件处于静力平衡状态并产生变形，同时杆件内部产生各部分互相作用，这种由于外力作用而引起的同一杆件两部分之间的互相作用叫做内力。

假想杆是由很多与杆轴线平行的细长“纤维”组成的，当杆受轴心力时，它的每根“纤维”的伸长（缩短）都相同，如果杆的材料是均匀的，则每一“纤维”所受的力也都相等。因此可以认为在受轴心力作用时，杆在横截面上所受的力是均匀分布的，轴力就是这种均匀分布力的合力。这种均匀分布力的集度叫做应力。因为轴力的方向是与横截面成正交的，所以叫做正应力。一般规定轴力和正应力的正负号为：拉力和拉应力为正（+），压力和压应力为负（-）。

杆在受到轴心力后产生变形，如原长为 L 的杆，受轴心力后，杆长变为 L_1 ，则其变形量：

$$\Delta L = L_1 - L \quad (2-1)$$

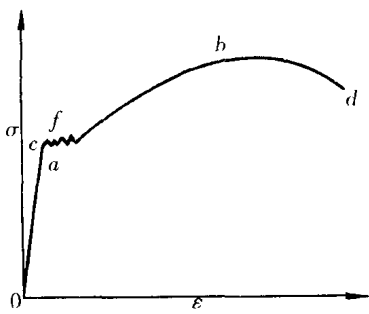
假想杆内各处受力程度相同，因而杆内各处的变形程度也相同，这样：

$$\epsilon = \Delta L / L \quad (2-2)$$

ϵ 表示杆的每一单位长度的伸长，这就是杆内任一点处的纵向线应变，线应变 ϵ 是无量纲量。同样 ϵ 也将随着 ΔL 而有正（+）、负（-）（轴心拉伸时为正，轴心压缩时为负）之分。

2.1.2 钢材的拉伸试验

钢材的拉伸试验能够比较充分地显示出它的力学特性，所以拉伸试验是一种最基本的试验。

图 2-1 Q235 钢材 $\sigma - \epsilon$ 曲线

试件一般采用圆形截面，但也有采用方形或长方形的标准试件，尺寸规定如下：

对圆试件： $L = 10d$ 或 $5d$ 。对非圆试件： $L = 11.3\sqrt{A}$ 或 $L = 5.65\sqrt{A}$ 。

式中 L 为标距长度， d 为圆试件直径， A 为截面面积。试验结果可以画出拉伸图，通常的做法是把拉伸图中的拉力除以试件的原截面积，求得试件中的正应力 $\sigma = P/A$ ，把伸长 ΔL 除以标距 L ，求得试件的纵向线应变 $\epsilon = \Delta L/L$ ，然后根据求得的 σ 值和 ϵ 值画出材料的应力 - 应变曲线 ($\sigma - \epsilon$ 曲线)。

许多试验机上都有自动画图设备， $\sigma - \epsilon$ 图可以在试验过程中自动画出。

从 Q235 钢的应力 - 应变曲线中可以看到，在整个拉伸过程中，可以把钢材的工作特性分成四个阶段：

1. 弹性阶段 (0c) 段

在加载的最初阶段，钢材处于弹性阶段，亦即荷载增加时变形也增加，荷载降低到零时（完全卸荷）则变形也降低到零（回到原点）。其中 0a 段是一条斜直线，荷载与伸长成正比，完全符合虎克定律。 a 点的荷载为比例极限荷载 N_p ，相应的应力叫做比例极限 σ_p ($\sigma_p = N_p/A$ ， A 为试件截面积)， $\sigma_p \geq 2000\text{N/mm}^2$ ， $\epsilon_p \approx 0.1\%$ ，在比例极限以前应力 σ 与应变 ϵ 成正比关系，即：

$$\sigma = E\epsilon \quad (2-3)$$

式中的 E 是一个比例常数，它表示材料抵抗弹性变形的能力，是衡量材料弹性性质的一个重要指标，称为材料的“弹性模量”。

$$E = \sigma/\epsilon = \tan\alpha \quad (2-4)$$

即以应力 - 应变曲线中直线部分的斜率表示弹性模量，但弹性模量的测取并不依靠此式，因为当开始测取应变时应力不一定是零，就是说应力与应变不能保证同时从零开始测取，因此弹性模量用力的增量来计算，如下式：

$$E = \Delta P/L/A\Delta(\Delta L) \quad (2-5)$$

式中 ΔP ——为每次增加的荷载 (N)；

$\Delta(\Delta L)$ ——为与 ΔP 相应的伸长 (cm)；

L ——试件长度 (cm)；

A ——试件截面积 (cm^2)。

过 a 点后线即微弯，比 a 稍高的 c 点称为弹性极限。如果应力不超过 c 点，卸荷后杆可恢复原形；如超过则杆即存有残余变形。 c 点的荷载为弹性极限荷载 N_e ，相应的应力叫做弹性极限 σ_e ， a 点与 c 点非常接近，实际测取非常困难。

2. 屈服阶段 (cf) 段

当荷载超过 N_e (应力超过弹性极限 σ_e) 后，荷载与变形不成正比例关系，变形增加很快，曲线成锯齿形波动，甚至出现荷载不增加而变形仍在继续发展的现象，这就是钢材对外力的屈服，这个阶段称为屈服阶段。此时钢材的内部组织发生了变化，纯铁体晶粒之间产生滑移，试件除弹性变形外，还出现了塑性变形，卸荷后试件不能完全恢复原来的长

度而留有残余变形。卸荷后能消失的变形叫弹性变形，而不能消失的这一部分变形叫残余变形（或叫塑性变形）。

屈服阶段曲线上下波动，屈服荷载 N_y 取波动部分的最低值（下限），相应的应力 σ_y 叫屈服点或流限。屈服阶段从开始（ c 点）到曲线再度上升（称为强化）的变形范围较大，相应的应变幅度称为流幅。Q235 钢的屈服点 $\sigma_y \geq 235 \text{ N/mm}^2$ ， $\epsilon_y \approx 0.15\%$ 。流幅从 $\epsilon \approx 0.15\%$ 至 $\epsilon \approx 2.5\%$ 。

3. 强化阶段（ fb 段）

屈服阶段之后，钢材内部晶粒重新排列，使抵抗外荷载的能力有所提高，但此时钢材的弹性并没有完全恢复，塑性特征非常明显，曲线只是略有上升而达到顶点 b ，这个阶段称为强化阶段。对应于 b 的荷载 N_b 是试件所能承受的最大荷载，与此相应的应力 σ_b 叫抗拉强度或极限强度（用符号 f_y 表示），Q235 钢的 $\sigma_b \geq 370 \sim 460 \text{ N/mm}^2$ 。

4. 颈缩阶段（ bd 段）

当荷载达到极限值 N_b 时，在试件材料质量较差的截面出现局部横向收缩，截面面积开始显著缩小，塑性变形迅速增大，这叫颈缩现象。此时荷载不断降低（实际上颈缩处应力仍在不断增加并出现复杂的应力状态），变形却继续发展，直至 d 点试件断裂，破坏时的伸长率（最大应变） $\delta \approx 22\%$ 。颈缩现象的出现和颈缩区的伸长及横向收缩是反映钢材塑性性能的重要标志。

2.1.3 弹性模量

从以上拉伸试验中可以看出 Q235 钢具有弹性，但这种弹性有其一定的局限性，工程上用的材料（碳素钢、合金钢、青铜、木材等）也有相似的特性，即应力不超过某一数值时，外力取消，杆可以完全恢复原形，如超过某一数值，杆即产生残余变形，这一应力称为弹性极限，其大小因材料而异，在弹性极限之内，由试验得知杆的伸长与轴力大小成正比

$$\Delta L \propto P \quad (2-6)$$

如果用同一材料加一样大的外力 P ，则伸长又与杆长成正比即

$$\Delta L \propto L \quad (2-7)$$

如果以相同的材料制成许多不同截面面积 A 的杆重复试验则发现

$$\Delta L \propto 1/A \quad (2-8)$$

这一系列试验可以得出以下结论，在应力未达到弹性极限以前，杆之变形 ΔL 与外力 P 及原长 L 成正比，与截面面积 A 成反比，即：

$$\Delta L \propto PL/A \text{ 或 } \Delta L = PL/EA \quad (2-9)$$

式中的比例常数 E 称为弹性模量，表示材料的弹性性质，它由试验测定。

表 2-1 是一组 Q235 钢拉伸试验结果。

一组 Q235 钢拉伸试验结果

表 2-1

总荷载 P (N)	总伸长 ΔL (1/100mm)	每次增加荷载 ΔP (N)	每次增加荷载之伸长 (1/100mm)
2000	1.2		
4000	2.37	2000	1.17

续表

总荷载 P (N)	总伸长 ΔL (1/100mm)	每次增加荷载 ΔP (N)	每次增加荷载之伸长 (1/100mm)
6000	3.49	2000	1.12
8000	4.67	2000	1.18
10000	5.82	2000	1.15
12000	6.98	2000	1.16
14000	8.21	2000	1.23
16000	9.51	2000	1.3
18000	10.88	2000	1.37
21700	13.12	3700	2.24
24800	50	3100	36.88
32100	600	2700	550
33800	1200	1700	600
34100	1800	300	600
34400	2400	300	600
35900	2600	1500	200

试件尺寸： $d = 10\text{mm}$ ， $A = 0.7854\text{cm}^2$ ；标距： $L = 100\text{mm}$ ；含碳量：0.15%。

由表 2-1 可知， $\Delta P = 2000\text{N}$ ， $\Delta(\Delta L) = 1.21 \times 10^{-2}\text{mm}$ ($1.21 \times 10^{-3}\text{cm}$)

$\therefore E = (2000) / (0.7854 \times 1.21 \times 10^{-3}) = 2.06 \times 10^5 \text{MPa}$

2.1.4 钢材的物理性能

钢材的物理性能见表 2-2。

钢材的物理性能 表 2-2

弹性模量 E (MPa)	剪变模量 G (MPa)	线胀系数 (以 c 每度计)	密度 ρ (kg/m^3)	泊松比 ν
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850	0.3

2.1.5 碳素结构钢

《碳素结构钢》(GB700—88) 规定了碳素结构钢的技术条件。

1. 牌号表示方法、代号和符号：

(1) 牌号表示方法

钢的牌号由表示屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。

(2) 符号

Q——钢材屈服点“屈”字汉语拼音首位字母；

A、B、C、D——分别为质量等级；