

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ 336-2016

备案号 J 2224-2016

人造板材幕墙工程技术规范

Technical code for artificial panel curtain wall engineering

2016-07-09 发布

2016-12-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

人造板材幕墙工程技术规范

Technical code for artificial panel curtain wall engineering

JGJ 336 - 2016

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 1 2 月 1 日

中国建筑工业出版社

2016 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1206 号

住房和城乡建设部关于发布行业标准 《人造板材幕墙工程技术规范》的公告

现批准《人造板材幕墙工程技术规范》为行业标准，编号为 JGJ 336-2016，自 2016 年 12 月 1 日起实施。其中，第 5.5.1 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 7 月 9 日

前 言

根据原建设部《关于印发〈二〇〇一~二〇〇二年度工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划〉的通知》(建标 [2002] 84 号) 的要求, 规范编制组经广泛调查研究, 认真总结实践经验, 参考有关国际标准和国外先进标准, 并在广泛征求意见的基础上, 编制本规范。

本规范主要技术内容是: 1 总则; 2 术语和符号; 3 材料; 4 建筑设计; 5 结构设计; 6 面板及其连接设计; 7 支承结构设计; 8 加工制作; 9 安装施工; 10 工程验收; 11 保养和维修。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文, 必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释, 由中国建筑标准设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议, 请寄送中国建筑标准设计研究院(地址: 北京市海淀区首体南路主语国际 2 号楼; 邮编: 100048)。

本规范主编单位: 中国建筑标准设计研究院
广东省建筑科学研究院集团股份有限公司

本规范参编单位: 中国建筑科学研究院
深圳市新山幕墙技术咨询有限公司
中国建筑金属结构协会铝门窗幕墙委员会
金刚幕墙集团有限公司
国家建筑材料测试中心
深圳市方大建科集团有限公司
深圳金粤幕墙装饰工程有限公司
广东创高幕墙门窗工程有限公司

特莱仕（上海）千思板制造有限公司
武汉凌云建筑装饰工程有限公司
中山市盛兴股份有限公司
广州市白云化工实业公司
北京阿格通建材有限公司
广东东鹏陶瓷股份有限公司
上海斯米克建筑陶瓷股份有限公司
常州长青艾德利复合材料有限公司
常州长青祥和超薄石材有限公司
德国陶瓷集团有限责任公司
浙江瑞高绿建科技有限公司
福建华泰集团有限公司
上海衡峰氟碳材料有限公司
尚亿金恒建筑能源系统（北京）有限公司
浙江海龙新型建材有限公司
杭州之江有机硅化工有限公司
浙江斯泰新材料科技股份有限公司
喜利得（中国）商贸有限公司
德国慧鱼集团 慧鱼（太仓）建筑锚栓有限公司
台州市旗鱼幕墙科技有限公司

本规范主要起草人员：顾泰昌 杨仕超 石民祥 王洪涛
杜继予 黄 圻 廖学权 胡云林
董格林 王 春 张河山 赵建生
吴弋德 姜清海 张冠琦 韩新华
钟保民 周 睿 薛斌峰 仇洪祥
龙 安 张千里 吴国良 刘 谦
赵国臣 陈英玲 刘 明 徐跃华
罗 佳 陈家晖 毛 栋 曾文涛

张陈弘

本规范主要审查人员：黄小坤 李少甫 马启元 宋协昌
江 刚 李建国 麦华健 周祝林
王双军 谭国湘 黄张智 徐 勤
刘绪普

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	材料	7
3.1	一般规定	7
3.2	铝合金型材	7
3.3	钢材	8
3.4	面板材料	9
3.5	连接件与紧固件	10
3.6	密封材料和粘结材料	11
3.7	其他材料	12
4	建筑设计	13
4.1	一般规定	13
4.2	性能设计和检测要求	13
4.3	面板接缝设计	15
4.4	构造设计	17
4.5	防火、防雷设计	18
4.6	其他安全性设计	19
5	结构设计	20
5.1	一般规定	20
5.2	材料力学性能与物理性能	21
5.3	荷载与作用	25
5.4	荷载及作用效应组合	27
5.5	连接设计	28

6	面板及其连接设计	31
6.1	一般规定	31
6.2	短挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃板、陶板	33
6.3	通长挂件支承连接的瓷板、陶板、微晶玻璃板、 纤维水泥板	37
6.4	背栓支承连接的瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板	40
6.5	背面预置螺母支承连接的石材蜂窝板	42
6.6	穿透支承连接的木纤维板、纤维水泥板	45
6.7	背面支承连接的木纤维板	49
7	支承结构设计	51
7.1	一般规定	51
7.2	横梁	52
7.3	立柱	53
8	加工制作	55
8.1	一般规定	55
8.2	铝型材	56
8.3	钢构件	58
8.4	瓷板、陶板、微晶玻璃板	60
8.5	石材蜂窝板	61
8.6	木纤维板	61
8.7	纤维水泥板	63
8.8	构件、组件检验	64
9	安装施工	65
9.1	一般规定	65
9.2	安装施工准备	66
9.3	预埋件、后锚固连接件	66
9.4	幕墙安装	67
9.5	安全规定	69
10	工程验收	71
10.1	一般规定	71

10.2 工程验收	72
11 保养和维修	78
11.1 一般规定	78
11.2 检查与维修	78
11.3 清洗	80
附录 A 石材蜂窝复合板等效弯曲刚度计算	81
本规范用词说明	84
引用标准名录	85
附：条文说明	89

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Materials	7
3.1	General Requirements	7
3.2	Aluminum Alloy Profiles	7
3.3	Steel	8
3.4	Panel Materials	9
3.5	Connector and Fastener	10
3.6	Sealing and Bonding Materials	11
3.7	Other Materials	12
4	Construction Design	13
4.1	General Requirements	13
4.2	Performance Design and Detecting Demand	13
4.3	Panel Joint Design	15
4.4	Detailing Design	17
4.5	Fire and Lightning Protection Design	18
4.6	Other Safety Design	19
5	Structural Design	20
5.1	General Requirements	20
5.2	Mechanical and Physical Properties of Materials	21
5.3	Load and Action	25
5.4	Combination of Load and Action Effect	27
5.5	Connection Design	28

6	Panel and Bearing Connection Design	31
6.1	General Requirements	31
6.2	Porcelain Plate, Glass-ceramics, Terracotta Panel Jointed by Short Bracket	33
6.3	Porcelain Plate, Terracotta Panel Glass-ceramics, and Fiber Cement Flat Sheets Jointed by Full Length Bracket	37
6.4	Porcelain Plate, Glass-ceramics and Fiber Cement Flat Sheets Panel Jointed by Back-bolt	40
6.5	Stone Honeycomb Composite Panel Jointed by Back-nut	42
6.6	High-pressure Laminates-sheets Based on Thermosetting Resins and Fiber Cement Flat Sheets Jointed by Inserts	45
6.7	High-pressure Laminates-sheets Based on Thermosetting Resins Panel Jointed by Back-screws	49
7	Supporting Structural Design	51
7.1	General Requirements	51
7.2	Beam	52
7.3	Column	53
8	Processing and Making	55
8.1	General Requirements	55
8.2	Aluminium Alloy Profile	56
8.3	Steel Members	58
8.4	Porcelain Plate, Terra-cotta Panel, Glass-ceramics	60
8.5	Stone Honeycomb Composite Panel	61
8.6	High-pressure Laminates-sheets Based on Thermosetting Resins	61
8.7	Fiber Cement Flat Sheets	63
8.8	Inspection of Members and Components	64
9	Installation and Construction	65
9.1	General Requirements	65
9.2	Installation and Constrution Preparation	66

9.3	Embedded Part-installed Fastenings Connector	66
9.4	Curtain Wall Instalation	67
9.5	Safety Requirements	69
10	Acceptance Check of Projects	71
10.1	General Requirements	71
10.2	Acceptance Check of Projects	72
11	Maintenance and Repair	78
11.1	General Requirements	78
11.2	Checking, Repair and Maintenance	78
11.3	Cleaning	80
Appendix A Calculation of Flexural Rigidity of Stone		
	Honeycomb Composite Panel	81
Explanation of Wording in This Code		84
List of Quoted Standards		85
Addition: Explanation of Provisions		89

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家的技术经济政策，使人造板材幕墙工程做到技术先进、安全可靠、美观适用、节能环保，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于地震区和抗震设防烈度不大于 8 度地震区的民用建筑用瓷板、陶板、微晶玻璃板、石材蜂窝复合板、高压热固化木纤维板和纤维水泥板等外墙用人造板材幕墙工程。人造板材幕墙的应用高度不宜大于 100m。

1.0.3 在正常使用状态下，人造板材幕墙应具有良好的工作性能。抗震设计的人造板材幕墙，在遭受多遇地震影响时，一般不需修理即可继续使用；在遭受设防烈度地震影响时，有轻微破坏，经一般修理后可继续使用；在遭受预估的罕遇地震影响时，幕墙面板支承构件不得脱落。

1.0.4 人造板材幕墙工程除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 人造板材幕墙 artificial panel curtain wall

面板材料为人造外墙板的建筑幕墙，包括瓷板幕墙、陶板幕墙、微晶玻璃板幕墙、石材蜂窝板幕墙、木纤维板幕墙和纤维水泥板幕墙。

2.1.2 人造外墙板 artificial panel for exterior application

采用人造材料或天然材料与人造材料复合制成的、适用于建筑幕墙使用的板材。

2.1.3 瓷板幕墙 porcelain plate curtain wall

以建筑幕墙用瓷板为面板的人造板材幕墙。

2.1.4 陶板幕墙 terracotta panel curtain wall

以建筑幕墙用陶板为面板的人造板材幕墙。

2.1.5 微晶玻璃幕墙 glass-ceramics curtain wall

以建筑装饰用微晶玻璃板为面板的人造板材幕墙。

2.1.6 石材蜂窝板幕墙 stone honeycomb composite panel curtain wall

以建筑装饰用石材蜂窝复合板为面板的人造板材幕墙。

2.1.7 木纤维板幕墙 high-pressure laminates-sheets curtain wall

以建筑幕墙用高压热固化木纤维板为面板的人造板材幕墙。

2.1.8 纤维水泥板幕墙 fiber cement flat sheets curtain wall

以高密度无石棉纤维水泥板为面板的人造板材幕墙。

2.1.9 封闭式幕墙板缝 panel joint of sealed curtain wall

幕墙板块之间缝隙采取密封措施，包括注胶封闭式幕墙板缝和胶条封闭式幕墙板缝。

2.1.10 注胶封闭式幕墙板缝 sealant sealed panel joint

幕墙板块之间缝隙采用密封胶密封的封闭式幕墙面板接缝。

2.1.11 胶条封闭式幕墙板缝 gasket sealed panel joint

幕墙板块之间缝隙采用密封胶条镶嵌密封的封闭式幕墙面板接缝。

2.1.12 开放式幕墙板缝 panel joint of unsealed curtain wall

幕墙板块之间缝隙不采取密封措施的幕墙面板接缝，包括开缝式、遮挡式。

2.1.13 开缝式幕墙板缝 open panel joint

幕墙板块之间对接缝隙完全敞开，不采取任何密封措施，水平方向的气流可直接通过的幕墙面板接缝。

2.1.14 遮挡式幕墙板缝 sheltered panel joint

幕墙板块之间对接缝隙采取非气密性遮蔽构造的开放式幕墙面板接缝，其中包括搭接遮挡式和嵌条遮挡式。

2.1.15 搭接遮挡式幕墙板缝 lap panel joint

幕墙板块之间为非密封的平口或企口搭接缝隙，水平方向气流可绕行通过的开放式幕墙板缝。

2.1.16 嵌条遮挡式幕墙板缝 strip embedded panel joint

幕墙板块之间对接缝隙采用插条、压条等型材镶嵌遮蔽构造的开放式幕墙面板接缝。

2.2 符 号

2.2.1 材料力学性能

C30——立方体抗压强度标准值为 30N/mm^2 的混凝土强度等级；

E ——材料弹性模量；

f ——材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_0 ——材料强度标准差；

f_{ce} ——耐候钢和铸钢件端面承压强度设计值；

f_{cs} ——不锈钢型材和板材端面承压强度设计值；

f_k ——材料抗拉、抗压和抗弯强度标准值；

- f_m ——材料强度平均值；
- f_v ——材料抗剪强度设计值；
- R_{eL} ——耐候钢的下限屈服强度；
- $R_{p0.2}^b$ ——钢材的规定非比例延伸强度；
- σ_b ——螺栓抗拉强度；
- τ ——面板材料剪应力设计值；
- τ_{pk} ——挂件材料剪应力设计值。

2.2.2 作用和作用效应

- G_k ——重力荷载标准值；
- N ——点支承连接面板（背栓、预置螺母、背面和穿透支承连接）拉力设计值；
- N_{Ek} ——点支承连接面板单个连接点在地震作用下的拉力标准值；
- N_{wk} ——点支承连接面板单个连接点在风荷载作用下的拉力标准值；
- P ——点支承连接面板（背栓、预置螺母、背面和穿透支承连接）单个连接点受拉破坏力最小值；
- P_{Ek} ——平行于幕墙平面的集中地震作用标准值；
- q_{Ek} ——垂直于幕墙平面的水平地震作用标准值；
- Q ——空心陶板均布静态荷载弯曲试验的最小破坏荷载；
- q ——空心陶板承受的风荷载和地震作用组合的荷载设计值；
- q_k ——垂直于面板板面方向的风荷载或地震作用标准值；
- q_E ——垂直于幕墙平面的水平地震作用设计值；
- q_G ——幕墙单位面积重力荷载设计值；
- R ——构件截面承载力设计值；
- S ——作用效应组合的设计值；
- S_E ——地震作用效应设计值；
- S_{Ek} ——地震作用效应标准值；
- S_{Gk} ——永久荷载效应标准值；

S_{wk} ——风荷载效应标准值；
 V ——剪力设计值；
 w ——风荷载设计值；
 w_0 ——基本风压；
 w_k ——风荷载标准值；
 γ_{gk} ——材料重力密度标准值；
 ΔP ——水密性能风压力差值；
 σ ——面板材料承受的弯曲应力设计值。

2.2.3 参数

A ——构件截面面积或毛截面面积；幕墙平面面积；
 A_p ——单个挂件挂钩的受剪截面面积；
 a ——矩形面板的短边边长；
 a_0 ——4点支承矩形面板，支承点之间较短的距离；
 b ——矩形面板的长边边长；
 b_0 ——4点支承矩形面板，支承点之间较大的距离；
 c ——面板槽口宽度；
 c_1 ——开缝式板缝竖向接缝宽度；
 c_2 ——开缝式板缝横向接缝宽度；
 D ——面板刚度；面板材料密度；
 D_e ——石材蜂窝板的等效弯曲刚度；
 h ——面板槽口受力一侧的深度；石材蜂窝板总厚度；
 l ——跨度；
 l_1 ——矩形面板竖向边长；
 l_2 ——矩形面板横向边长；
 n ——面板连接件（挂件或挂钩、背栓、预置螺母、抽芯
 铆钉、螺钉等）数量；
 n_1 ——承受面板自重荷载的支承连接件数量；
 s ——面板槽口剪切面总长度；
 t ——面板厚度；型材截面厚度；表面处理层厚度；
 t_e ——面板计算厚度；

- t_p ——挂件或挂钩厚度；
 t_v ——面板槽口受剪面厚度；
 W_e ——石材蜂窝板等效截面模量；
 ν ——材料的泊松比。

2.2.4 系数

- g_R ——面板连接承载力分项系数；
 m ——弯矩系数；
 α ——材料线膨胀系数；
 α_{\max} ——水平地震影响系数最大值；
 β ——应力集中系数；
 β_E ——地震作用动力放大系数；
 β_{gz} ——阵风系数；
 γ_0 ——结构构件重要性系数；
 γ_E ——地震作用分项系数；
 γ_G ——永久荷载分项系数；
 γ_r ——材料性能分项系数；
 γ_w ——风荷载分项系数；
 η ——折减系数；
 μ ——挠度系数；
 μ_{sl} ——局部风压体型系数；
 μ_z ——风压高度变化系数；
 ψ_E ——地震作用效应的组合值系数；
 ψ_w ——风荷载作用效应的组合值系数。

2.2.5 其他

- $d_{f, \lim}$ ——构件的挠度限值；
 u_{\lim} ——由主体结构层间位移引起的分格框的变形限值；
 θ ——参数；
 $[\theta_e]$ ——主体结构的楼层弹性层间位移角限值。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

- 3.1.1 幕墙所用材料应符合国家现行有关标准的规定，并满足设计要求。材料出厂时，应有出厂合格证书。
- 3.1.2 幕墙应选用耐候性材料。其物理和化学性能应适应幕墙所在地的气候、环境，并满足幕墙设计使用年限等要求。
- 3.1.3 幕墙材料的燃烧性能等级应符合下列规定：
- 1 幕墙支承构件和连接件材料的燃烧性能应为 A 级；
 - 2 幕墙用面板材料的燃烧性能，当建筑高度大于 50m 时应为 A 级；当建筑高度不大于 50m 时不应低于 B₁ 级；
 - 3 幕墙用保温材料的燃烧性能等级应为 A 级。
- 3.1.4 幕墙用防火封堵材料应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 和《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 的规定。
- 3.1.5 幕墙所用金属材料 and 金属配件除不锈钢和耐候钢外，均应根据需要使用需要，采取有效的表面防腐蚀处理措施。
- 3.1.6 密封胶的粘结性能和耐久性应满足设计要求，应具有适用于幕墙面板基材和接缝尺寸及变位量的类型和位移能力级别，且不应污染所接触的材料。
- 3.1.7 幕墙面板的放射性核素限量，应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定。

3.2 铝 合 金 型 材

- 3.2.1 幕墙用铝合金型材的牌号和状态，壁厚、尺寸偏差、表面处理种类、膜厚及质量，应符合国家现行标准《铝合金建筑型材 第 1 部分：基材》GB 5237.1、《铝合金建筑型材 第 2 部分：阳极氧化型材》GB 5237.2、《铝合金建筑型材 第 3 部分：电

泳涂漆型材》GB 5237.3、《铝合金建筑型材 第4部分：粉末喷涂型材》GB 5237.4、《铝合金建筑型材 第5部分：氟碳漆喷涂型材》GB 5237.5、《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》GB 5237.6和《建筑用隔热铝合金型材》JG 175的规定。

3.2.2 铝合金型材表面处理层种类和膜厚应根据构件的工作环境选用，并应满足使用要求。

3.3 钢 材

3.3.1 幕墙用碳素结构钢、合金结构钢、低合金高强度结构钢和碳钢铸件，应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》GB 912、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274、《结构用无缝钢管》GB 8162、《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352等的规定。

3.3.2 幕墙用不锈钢材宜采用统一数字代号为S304××和S316××系列奥氏体型不锈钢，并应符合现行国家标准《不锈钢棒》GB/T 1220、《不锈钢冷加工棒》GB/T 4226、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237和《不锈钢丝》GB/T 4240等的规定。

不锈钢铸件的牌号和化学成分应符合现行国家标准《一般用途耐蚀钢铸件》GB/T 2100和《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967等的规定。

3.3.3 幕墙用耐候钢应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171的规定。

3.3.4 幕墙用碳素结构钢、低合金结构钢和低合金高强度结构钢时，应采取有效的防腐措施，并符合下列规定：

1 采用热浸镀锌防腐处理时，锌膜厚度应符合现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912的规定；

2 采用其他防腐涂料时，表面处理方法、涂料品种、漆膜厚度及维护年限应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定，并完全覆盖钢材表面和无端部封板的闭口型材的内侧；

3 采用氟碳漆或聚氨酯漆面漆时，面漆的涂膜厚度应根据钢构件所处的大气环境腐蚀性类别确定。一般情况下，涂膜厚度不宜小于 $35\mu\text{m}$ ，当大气腐蚀环境类型为中腐蚀或海滨地区时，涂膜厚度不宜小于 $45\mu\text{m}$ 。

3.3.5 钢材之间的焊接，应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。焊接所用的焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117、《热强钢焊条》GB/T 5118、《不锈钢焊条》GB/T 983 等的规定。

3.4 面板材料

3.4.1 幕墙用瓷板应符合现行行业标准《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217 的规定。

3.4.2 幕墙用陶板应符合现行行业标准《建筑幕墙用陶板》JG/T 324 的规定。

3.4.3 幕墙用微晶玻璃应符合现行行业标准《建筑装饰用微晶玻璃》JC/T 872 中外墙装饰用微晶玻璃的规定，公称厚度不应小于 20mm。在进行抗急冷急热试验时，尚应在试样表面均匀涂抹一层墨水，等待 5min 后，用干净抹布将表面擦拭干净，不应有目视可见的微裂纹。

3.4.4 幕墙用石材蜂窝板应符合现行行业标准《建筑装饰用石材蜂窝复合板》JG/T 328 的规定。面板石材为亚光面或镜面时，石材厚度宜为 3mm~5mm；面板石材为粗面时，石材厚度宜为 5mm~8mm。石材表面应涂刷符合现行行业标准《建筑装饰用天然石材防护剂》JC/T 973 规定的一等品及以上要求的饰面型石材防护剂，其耐碱性、耐酸性宜大于 80%。

3.4.5 幕墙用纤维水泥板应采用符合现行行业标准《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396 规定的外墙用涂装板，在未经表面防水处理和涂装处理状态下，板材的表观密度 D 不宜小于 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，吸水率不应大于 20%，强度等级不宜低于Ⅲ级（饱水状态抗折强度不宜小于 18MPa）。

3.4.6 幕墙用木纤维板应符合现行行业标准《建筑幕墙用高压热固化木纤维板》JG/T 260 阻燃型的规定。

3.5 连接件与紧固件

3.5.1 幕墙常用紧固件应符合下列规定：

1 螺钉、螺栓的材质和机械性能应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1、《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2、《紧固件机械性能 自攻螺钉》GB/T 3098.5、《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6、《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11、《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 等的规定；

2 螺钉、螺栓的品种、规格应符合现行国家标准《I 型六角螺母 C 级》GB/T 41、《平垫圈 C 级》GB 95、《平垫圈 A 级》GB 97.1、《十字槽盘头螺钉》GB/T 818、《十字槽盘头自攻螺钉》GB 845、《轻型弹簧垫圈》GB 859、《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780、《六角头螺栓 全螺纹 C 级》GB/T 5781、《自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1~GB/T 15856.5 等的规定；

3 抽芯铆钉的材质、机械性能和品种、规格，应符合现行国家标准《紧固件机械性能 抽芯铆钉》GB/T 3098.19 和《开口型平圆头抽芯铆钉 51 级》GB/T 12618.4 等的规定；

4 后锚固连接用机械锚栓应符合现行行业标准《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG 160 的规定。后锚固连接用化学锚栓符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

3.5.2 幕墙与建筑主体结构或支承结构之间，宜采用钢连接件

或铝合金连接件。钢连接件的材质和表面防腐处理应分别符合本规范第 3.3.1 条、第 3.3.2 条和第 3.3.4 条的规定。铝合金型材连接件的材质和表面处理应符合本规范第 3.2 节的有关规定。

3.5.3 幕墙面板用不锈钢挂件，宜采用经固溶处理的奥氏体型不锈钢制品。

3.5.4 幕墙面板铝合金型材挂件，表面应进行防腐蚀处理并符合设计要求。

3.5.5 幕墙防雷连接件的材质、截面尺寸和防腐处理，应符合国家现行标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 和《民用建筑电气设计规范》JGJ 16 的有关规定。

3.5.6 背栓应采用奥氏体型不锈钢制作。其组别和性能等级不宜低于现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 和《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 中组别为 A4 奥氏体不锈钢。背栓的直径不宜小于 6mm，不应小于 4mm，螺纹配合应灵活可靠，具备良好的互换性。螺纹公差等级不宜低于现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197—2003 中的 7H/6g。

3.6 密封材料和粘结材料

3.6.1 幕墙用密封胶条宜采用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶及硅橡胶制品，并应符合现行国家标准《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498 的规定。

3.6.2 瓷板和微晶玻璃幕墙采用注胶封闭式板缝时，密封胶宜采用符合现行行业标准《幕墙玻璃接缝用密封胶》JC/T 882 规定的产品。

3.6.3 陶板、石材蜂窝板、纤维水泥板幕墙板缝的密封，应采用符合现行国家标准《石材用建筑密封胶》GB/T 23261 规定的密封胶。

3.6.4 面板挂件与安装槽口之间的间隙，宜采用胶粘剂填充。填充用胶粘剂应符合国家现行相关标准的规定并满足使用要求。

3.7 其他材料

3.7.1 瓷板、微晶玻璃板、石材蜂窝板和纤维水泥板幕墙板缝防粘衬垫材料，宜采用聚乙烯泡沫棒，其密度不宜大于 $37\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3.7.2 幕墙构件断热构造所采用的隔热衬垫，其形状和尺寸应经计算确定，内外型材之间应可靠连接并满足设计要求。隔热衬垫宜采用聚酰胺、聚氨酯胶、未增塑聚氯乙烯等耐候性好、导热系数低的材料制作。

4 建筑设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 幕墙的建筑设计，应根据建筑物的建筑美学和使用功能，进行立面分格、材料选择和性能与构造设计。
- 4.1.2 幕墙的热工设计应符合现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 的规定。
- 4.1.3 幕墙的性能设计应根据建筑物所在地的地理、气候、环境，建筑物的类别、体型、高度，使用功能以及设计使用年限等条件进行，性能指标和设计的要求应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定。
- 4.1.4 幕墙的立面分格设计应考虑面板材料适宜的规格尺寸。瓷板、微晶玻璃板和纤维水泥板幕墙单块面板的面积不宜大于 1.5m^2 。石材蜂窝板应符合本规范第 6.5.1 条的规定。
- 4.1.5 幕墙开启窗的大小、数量、位置及外观应满足立面效果和使用功能要求。
- 4.1.6 高层建筑的幕墙宜设置清洗设备配套装置，并便于操作。

4.2 性能设计和检测要求

- 4.2.1 幕墙的抗风压性能设计应符合下列规定：
- 1 幕墙的抗风压性能指标值，应按不低于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的围护结构风荷载标准值 w_k 确定；
 - 2 开放式幕墙的风荷载标准值计算时，可根据工程的实际情况，通过风洞模型试验确定风荷载折减效应；
 - 3 在风荷载标准值 w_k 的作用下，幕墙结构的变形不应大于规定值，并且不应发生损坏。

4.2.2 幕墙的抗震性能设计应符合下列规定：

1 幕墙应具有承受自身重力产生的水平地震作用力的能力。幕墙水平地震作用标准值应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的等效侧力法计算。

2 幕墙应具有承受地震时主体结构层间相对位移造成的幕墙平面内变形的能力。平面内变形性能指标值应按不低于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的主体结构弹性层间位移角限值 $[\theta_e]$ 的 3 倍确定。

3 幕墙在平面内变形不小于主体结构弹性层间位移角限值下的性能检测时，应保持性能完好；在平面内变形性能指标值（不小于主体结构弹性层间位移角限值 $[\theta_e]$ 的 3 倍）下检测时，幕墙不应发生严重破损。

4.2.3 幕墙平面内变形性能设计应符合下列规定：

1 抗震设计的幕墙，其平面内变形性能指标应符合本规范第 4.2.2 条第 2 款规定；

2 非抗震设计的幕墙，其平面内变形性能指标值不应小于主体结构在风荷载作用下的弹性层间位移角限值。

4.2.4 幕墙的水密性能设计应符合下列规定：

1 易受热带风暴和台风袭击的地区，水密性能设计取值应按下列式计算，且固定部分的取值不应低于 1000Pa；

$$\Delta P = 1000\mu_z\mu_{s1}\omega_0 \quad (4.2.4)$$

式中： ΔP ——水密性能设计取值（风压力差值）（Pa）；

ω_0 ——基本风压（ kN/m^2 ），应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用；

μ_z ——风压高度变化系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用；

μ_{s1} ——局部风压体型系数，可取 1.2。

2 其他地区水密性能可按第 1 款计算值的 75% 进行设计，且固定部分的取值不宜低于 700Pa。

3 可开启部分的水密性能等级宜与固定部分相对应。

4.2.5 幕墙的气密性能应符合建筑物所在地区建筑节能设计要求，有采暖、空气调节要求的建筑物，幕墙整体的气密性能不应低于现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 所规定的 2 级，其分级指标值不应大于 $2.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

4.2.6 人造板材幕墙的传热系数，应符合下列规定：

1 人造板材幕墙背后无其他墙体时，幕墙本身的保温隔热构造系统应符合建筑物建筑节能设计对外墙的传热系数要求；

2 人造板材幕墙背后有其他墙体时，幕墙与该墙体共同组成的外围护结构，应符合建筑物建筑节能设计对外墙的传热系数要求。

4.2.7 幕墙的空气声隔声性能应满足建筑物室内声环境设计要求。

4.2.8 幕墙性能检测试件的材质、构造、安装施工方法应与实际工程相对应。

4.2.9 幕墙的性能检测过程中，当安装缺陷使得某项性能未能达到设计要求时，可在修补缺陷或改进安装工艺后重新检测，检测报告应记载所做的修改或工艺改进，幕墙施工时，应按报告记载的修改内容，修改相应施工工艺文件并予以实施；当设计或材料的原因导致幕墙性能未达到规定要求时，则应停止本次检测，并修改设计文件或更换材料后重新制作试件，另行检测。

4.3 面板接缝设计

4.3.1 幕墙的面板接缝应能够适应由于风荷载、地震作用和温度变化以及自重作用而产生的面板相对位移。

4.3.2 幕墙面板接缝设计应根据建筑装饰效果和面板材料特性确定，并应符合下列规定：

1 瓷板、微晶玻璃幕墙可采用封闭式或开放式板缝；

2 石材蜂窝板幕墙宜采用封闭式板缝，也可采用开放式板缝；

3 陶板、纤维水泥板幕墙宜采用开放式板缝，也可采用封

闭式板缝；

4 木纤维板幕墙应采用开放式板缝。

4.3.3 封闭式幕墙板缝设计应根据面板材料特性、板缝变化影响因素和密封材料特性，确定板缝宽度尺寸和密封胶及密封胶条的规格尺寸。

4.3.4 注胶封闭式幕墙板缝的密封胶，应根据幕墙面板的材质和接缝的设计要求选用，胶缝的宽度不宜小于 6mm，密封胶与面板的粘结厚度不宜小于 6mm。板缝底部宜采用衬垫材料填充，防止密封胶三面粘结。

4.3.5 胶条封闭式幕墙，面板之间“十字”接头部位的纵、横密封胶条交叉处应采取防水密封措施。

4.3.6 开缝式幕墙板缝设计应符合下列规定：

1 幕墙板缝宽度不宜小于 6mm，瓷板、微晶玻璃板、陶板等脆性材料面板接缝尚应符合下式的规定：

$$c_1 \left(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1} \right) \geq u_{\text{lim}} \quad (4.3.6)$$

式中： u_{lim} ——由主体结构层间位移引起的分格框的变形限值（mm）；按照抗震设计和非抗震设计确定；

l_1 ——矩形面板板块竖向边长（mm）；

l_2 ——矩形面板板块横向边长（mm）；

c_1 ——开缝式板缝竖向接缝宽度；取值时应考虑 1.5mm 的施工偏差；

c_2 ——开缝式板缝横向接缝宽度；取值时应考虑 1.5mm 的施工偏差。

2 面板后部空间应防止积水并采取有效排水措施。

4.3.7 遮挡式幕墙板缝设计应符合下列规定：

1 搭接遮挡式的面板最小搭接宽度应满足防渗要求，防止雨水大量渗入幕墙内部；背部空间应防止积水，并采取有效排水措施；

2 嵌条遮挡式的面板与嵌条之间应预留一定的间隙；

3 竖向板缝采用嵌条遮挡式的幕墙，其水平方向板缝宜采用开缝式或搭接式；

4 竖向和水平方向板缝均采用嵌条遮挡式的幕墙，应在该幅幕墙的底部和顶部设置一定通风面积的进风口和出风口，以形成有效的背部通风空间；

5 面板背面有保温材料时，应有防水、防潮和保持通风的措施。

4.3.8 封闭式石材蜂窝板面板接缝宜采用注胶密封处理。采用开缝式面板接缝时，石材蜂窝板边缘应采取封边防水等端面保护措施，粘结层不得外露。

4.4 构造设计

4.4.1 幕墙构造应能满足维护、维修要求，幕墙面板宜便于更换。

4.4.2 采用封闭式板缝设计的幕墙，板缝密封采用注胶封闭时宜设水蒸气透气孔，采用胶条封闭时应有渗漏雨水的排水措施；采用开放式板缝设计的幕墙，面板后部应设计防水层。

4.4.3 开放式幕墙宜在面板的后部空间设置防水构造，或者在幕墙后部的其他墙体上设置防水层，并宜设置可靠的导排水系统和采取通风除湿构造措施。面板与其背部墙体外表面的最小间距不宜小于 20mm，防水构造及内部支承金属结构应采用耐候性好的材料制作，并采取防腐措施。寒冷及严寒地区的开放式人造板材幕墙，应采取防止积水、积冰和防止幕墙结构及面板冻胀损坏的措施。

4.4.4 幕墙的保温构造设计应符合下列规定：

1 当幕墙设置保温层时，保温材料的厚度应符合设计要求，保温材料应采取可靠措施固定；

2 在严寒和寒冷地区，保温层靠近室内的一侧应设置隔汽层，隔汽层应完整、密封，穿透保温层、隔汽层处的支承连接部位应采取密封措施；

3 幕墙与周边墙体、门窗的接缝以及变形缝等应进行保温设计，在严寒、寒冷地区，保温构造应进行防结露验算。

4.4.5 有雨篷、压顶以及其他凸出结构时，应完善其结合部位的防水构造设计。

4.4.6 幕墙与主体结构变形缝相对应的构造缝，应能够适应主体结构的变形要求，构造缝可采用柔性连接装置或设计易修复的构造。幕墙面板不宜跨越主体结构的变形缝。

4.4.7 幕墙构件之间的连接构造应采取措施，适应构件之间产生的相对位移和防止产生摩擦噪声。

4.4.8 幕墙中不同种类金属材料的直接接触处，应设置绝缘垫片或采取其他有效地防止双金属腐蚀措施。

4.5 防火、防雷设计

4.5.1 幕墙的防火设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。

4.5.2 人造板材幕墙的耐火极限应符合下列规定：

1 背后有其他围护墙体时，该围护墙体应为不燃烧体，耐火极限不应低于现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 关于外墙耐火极限的有关规定；

2 背后无其他围护墙体时，人造板材幕墙的耐火极限不应低于现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 关于外墙耐火极限的有关规定。

4.5.3 人造板材幕墙与楼板、隔墙处的建筑缝隙应采用防火封堵材料封堵，其耐火性能不应低于现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 对相邻的楼板、隔墙的耐火极限要求。

4.5.4 幕墙的防火封堵构造系统，应具有伸缩能力、密封性和耐久性；遇火时，在规定的耐火极限内应保持完整性、隔热性和稳定性。防火封堵系统所使用的材料应满足现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 有关缝隙封堵材料的要求。

4.5.5 幕墙与楼板、防火分区隔墙间的缝隙采用岩棉或矿渣棉

封堵时，其填充厚度不应小于 100mm；其支撑材料应采用厚度不低于 1.5mm 的镀锌钢板或其他符合现行国家标准《不燃无机复合板》GB 25970 中规定的、且名义密度 ρ 不小于 1.5g/cm³、厚度不小于 10mm 的不燃无机复合板；承托板与幕墙结构和主体结构以及承托板之间的缝隙，应采用符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 规定的缝隙封堵材料、防火密封胶或现行国家标准《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 规定的建筑用阻燃密封胶进行有效的密封。

4.5.6 幕墙的防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定。幕墙的金属框架应与主体结构的防雷装置可靠连接，并保持导电通畅。

4.6 其他安全性设计

4.6.1 处于人员流动密度大或青少年、幼儿活动等场所，容易发生物体和人体冲击的脆性材料人造板材幕墙，应有防撞措施。

4.6.2 脆性材料人造板材幕墙面板，宜采取偶然破裂后的安全保障措施。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 人造板材幕墙应按附属于主体结构的外围护结构设计，设计使用年限不应少于 25 年。

5.1.2 幕墙的抗风设计，应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 对围护结构的风荷载要求。在风荷载标准值作用下，幕墙主要受力杆件的相对面法线挠度应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的相关规定，且面板及其他部位不发生损坏。

5.1.3 抗震设防烈度为 6 度及以上地区的幕墙工程，应进行抗震设计。抗震设防的幕墙，在满足抗风设计要求的基础上，还应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对建筑非结构构件的抗震设计要求。

5.1.4 幕墙结构设计应考虑温度作用效应影响，并应采取构造措施。

5.1.5 建筑主体结构中，连接幕墙的预埋件、锚固件部位，应能承受幕墙传递的荷载和作用。抗震设计时，应考虑幕墙对主体结构的不利影响。

5.1.6 幕墙结构构件应按下列规定进行承载力计算和挠度验算：

1 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S_d \leq R \quad (5.1.6-1)$$

2 地震设计状况：

$$S_E \leq R/\gamma_{RE} \quad (5.1.6-2)$$

式中： S_d ——荷载按基本组合的效应设计值；

S_E ——地震作用和其他荷载按基本组合的效应设计值；

R ——构件抗力设计值；

γ_0 ——结构重要性系数，按幕墙设计使用年限确定；

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数，可取 1.0。

3 挠度验算应符合下式规定：

$$d_f \leq d_{f,lim} \quad (5.1.6-3)$$

式中： d_f ——构件在风荷载标准值或永久荷载标准值作用下产生的挠度值（mm）；

$d_{f,lim}$ ——构件挠度限值（mm）。

4 双向受弯的杆件，两个方向的挠度均应符合本条第 3 款的规定。

5.2 材料力学性能与物理性能

5.2.1 常用的热轧钢材、冷成形薄壁型钢和铝合金型材的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定。

5.2.2 耐候钢的强度设计值可按表 5.2.2 的规定采用。

表 5.2.2 耐候钢的强度设计值（N/mm²）

钢号	厚度 t (mm)	下限屈服强度 R_{el}	抗拉 f	抗剪 f_v	端面承压 f_{ce}
Q235NH	$t \leq 16$	235	215	125	295
Q295NH	$t \leq 16$	295	270	155	345
	$16 < t \leq 40$	285	260	150	345
Q295GNH (Q295GNHL)	$t \leq 16$	295	270	155	345
	$16 < t \leq 40$	285	260	150	345
Q355NH	$t \leq 16$	355	325	190	400
	$16 < t \leq 40$	345	315	185	400
Q355GNH (热轧)	$t \leq 16$	355	325	190	400
	$16 < t \leq 40$	345	315	185	400
Q460NH	$t \leq 16$	460	415	240	450
	$16 < t \leq 40$	450	405	235	450

5.2.3 不锈钢铸件的强度设计值可按表 5.2.3 的规定采用。

表 5.2.3 不锈钢铸件的强度设计值 (N/mm²)

钢材牌号	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
ZG03Cr18Ni10	130	75	270
ZG03Cr18Ni10N	170	95	310
ZG07Cr19Ni9	130	75	270
ZG03Cr19Ni11Mo2	130	75	270
ZG03Cr19Ni11Mo2N	170	95	310
ZG15Cr13	250	145	330
ZG20Cr13	285	165	360
ZG15Cr13Ni1	330	190	360

5.2.4 常用不锈钢型材和棒材的强度设计值可按表 5.2.4-1 的规定采用；常用不锈钢板材和带材的强度设计值可按表 5.2.4-2 的规定采用。

表 5.2.4-1 不锈钢型材和棒材的强度设计值 (N/mm²)

统一数字 代号	牌 号	规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}^b$	抗拉 强度 f	抗剪 强度 f_v	端面承 压强度 f_{cs}
S30408	06Cr19Ni10 (0Cr18Ni9)	205	180	100	250
S30458	06Cr19Ni10N (0Cr19Ni9N)	275	240	140	315
S30403	022Cr19Ni10 (00Cr19Ni10)	175	155	90	220
S30453	022Cr19Ni10N (00Cr18Ni10N)	245	215	125	280
S31608	06Cr17Ni12Mo2 (0Cr17Ni12Mo2)	205	180	100	250
S31658	06Cr17Ni12Mo2N (0Cr17Ni12Mo2N)	275	240	140	315
S31603	022Cr17Ni12Mo2 (00Cr17Ni14Mo2)	175	155	90	220
S31653	022Cr17Ni12Mo2N (00Cr17Ni13Mo2N)	245	215	125	280

表 5.2.4-2 不锈钢板材和带材的强度设计值 (N/mm²)

统一数字 代号	牌 号	规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}$	抗拉 强度 f_t	抗剪 强度 f_v	端面承 压强度 f_{cs}
S30408	06Cr19Ni10 (0Cr18Ni9)	205	180	100	250
S31608	06Cr17Ni12Mo2 (0Cr17Ni12Mo2)	205	180	100	250
S31708	06Cr19Ni13Mo3 (0Cr19Ni13Mo3)	205	180	100	250

5.2.5 瓷板、陶板、微晶玻璃、木纤维板和纤维水泥板面板的强度设计值，可按表 5.2.5 的规定采用。

表 5.2.5 面板材料强度设计值(N/mm²)

材料种类	抗弯强度设计值 f			抗剪强度设计值 f_v		
瓷板	15.0			7.5		
陶板	A I 类	A II a 类	A II b 类	A I 类	A II a 类	A II b 类
	10.0	6.2	4.5	2.0	1.2	0.9
微晶玻璃	16.0			3.2		
木纤维板	56.0			—		
纤维水泥板	11.5			2.3		

5.2.6 石材蜂窝板的石材面板抗弯强度标准值 f_k ，应根据整板的弯曲试验结果，按下式计算值和抗弯强度试验的最小值 f_{\min} 两者之中的低值确定，并应满足：花岗石 $f_k \geq 8.0 \text{N/mm}^2$ ；砂岩 $f_k \geq 4.0 \text{N/mm}^2$ ；石灰石 $f_k \geq 3.4 \text{N/mm}^2$ ；

$$f_k = f_m - 1.645 f_0 \quad (5.2.6)$$

式中： f_k ——石材蜂窝板石材面板抗弯强度标准值(N/mm²)；
 f_m ——石材蜂窝板石材面板抗弯强度试验平均值(N/mm²)；
 f_0 ——石材蜂窝板石材面板抗弯强度试验标准差(N/mm²)。

5.2.7 石材蜂窝板石材面板抗弯强度设计值应按式计算：

$$f = f_k / \gamma_t \quad (5.2.7)$$

式中： f ——石材蜂窝板石材面板抗弯强度设计值(N/mm²)；

f_k ——石材蜂窝板石材面板抗弯强度标准值(N/mm²)；

γ_r ——石材蜂窝板石材面板材料性能分项系数，应符合本规范第 5.2.8 条的规定。

5.2.8 石材蜂窝板石材面板材料性能分项系数 γ_r 的取值，应考虑不同复合板材质和石材面板的特点和工程经验，并不宜小于表 5.2.8 的规定值。

表 5.2.8 石材蜂窝板石材面板材料性能分项系数 γ_r

背板材质类型	花岗石	砂岩	石灰石
铝蜂窝板 钢蜂窝板	1.5	1.8	1.8
玻纤蜂窝板	1.8	2.15	2.15

5.2.9 铝合金结构不锈钢螺栓连接的强度设计值应按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定采用。

5.2.10 幕墙材料的弹性模量可按表 5.2.10 的规定采用。

表 5.2.10 材料的弹性模量 E (N/mm²)

材 料	E
钢、不锈钢	2.06×10^5
铝合金型材	0.70×10^5
瓷板	0.60×10^5
陶板	0.20×10^5
微晶玻璃	0.81×10^5
花岗石板	0.80×10^5
砂岩石板	0.55×10^5
石灰石板	0.46×10^5
木纤维板	0.09×10^5
纤维水泥板	0.14×10^5
玻璃纤维板	$0.23 \times 10^5 \sim 0.29 \times 10^5$

5.2.11 幕墙材料的泊松比可按表 5.2.11 的规定采用。

表 5.2.11 材料的泊松比 ν

材料	ν	材料	ν
钢、不锈钢	0.30	铝合金型材	0.30
瓷板	0.25	陶板	0.13
微晶玻璃板	0.20	花岗石板	0.13
木纤维板	0.30	纤维水泥板	0.25
玻璃纤维板	0.30	石材蜂窝板	0.30

5.2.12 幕墙材料的线膨胀系数可按表 5.2.12 的规定采用。

表 5.2.12 材料的线膨胀系数 α ($1/^\circ\text{C}$)

材料	α	材料	α
钢材	1.20×10^{-5}	不锈钢板	1.80×10^{-5}
铝合金型材	2.35×10^{-5}	瓷板	0.60×10^{-5}
陶板	0.70×10^{-5}	微晶玻璃	0.61×10^{-5}
花岗石板	0.80×10^{-5}	木纤维板	2.20×10^{-5}
纤维水泥板	1.00×10^{-5}	玻璃纤维板	0.85×10^{-5}

5.3 荷载与作用

5.3.1 幕墙材料的重力密度标准值可按表 5.3.1 的规定采用。

表 5.3.1 幕墙材料的重力密度标准值 γ_{gk} (kN/m^3)

材料	γ_{gk}	材料	γ_{gk}
钢材	78.5	岩棉	0.5~2.5
铝合金	28.0	矿渣棉	1.2~1.5
瓷板	22.5~23.5	玻璃棉	0.5~1.0
陶板	20.0~24.0	花岗岩	28.0
微晶玻璃	27.0	砂岩	24.0
木纤维板	12.7	石灰岩	26.0
纤维水泥板	14.7~16.7	铝蜂窝芯	0.38~0.39
玻璃纤维板	16.0~22.0	—	—

5.3.2 幕墙的面板以及直接连接面板的幕墙支承结构及其连接件，其风荷载标准值 w_k 应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的围护结构风荷载标准值确定，并且不应小于 1.0kN。

5.3.3 幕墙的风荷载可根据风洞试验结果确定；体形复杂、风荷载环境复杂的建筑幕墙，宜进行风洞试验，并按照风洞试验结果确定风荷载值。

5.3.4 幕墙面板以及与面板直接连接的连接件和支承结构，其垂直于幕墙平面的分布水平地震作用标准值可按下式计算：

$$q_{Ek} = \beta_E \alpha_{max} G_k / A \quad (5.3.4)$$

式中： q_{Ek} ——垂直于幕墙平面的分布水平地震作用标准值(kN/m²)；

β_E ——动力放大系数，可取不小于 5.0；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，按表 5.3.4 采用；

G_k ——幕墙构件(包括面板、构件和连接件)的重力荷载标准值(kN)；

A ——幕墙平面面积(m²)。

表 5.3.4 水平地震影响系数最大值 α_{max}

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
α_{max}	0.04	0.08(0.12)	0.16(0.24)

注：7 度、8 度时括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

5.3.5 幕墙面板以及与面板直接连接的连接件和支承结构，其平行于幕墙平面的集中水平地震作用标准值可按下式计算：

$$P_{Ek} = \beta_E \alpha_{max} G_k \quad (5.3.5)$$

式中： P_{Ek} ——平行于幕墙平面的集中水平地震作用标准值(kN)。

5.3.6 横梁、立柱和其他支承结构件、连接件、锚固件所承受的地震作用，应考虑幕墙自身重力荷载产生的地震作用，尚应考

考虑依附于幕墙上的其他构件传递的地震作用。

5.4 荷载及作用效应组合

5.4.1 幕墙构件承载力设计时，其荷载与作用效应的组合应符合下列规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况的效应组合应按下列式计算：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_w S_{wk} + \Psi_T \gamma_T S_{TK} \quad (5.4.1-1)$$

2 地震设计状况的效应组合应按下列式计算：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \Psi_E \gamma_E S_{Ek} + \Psi_w \gamma_w S_{wk} \quad (5.4.1-2)$$

式中： S ——荷载及作用效应组合的设计值；

S_{Gk} ——重力荷载(永久荷载)效应标准值；

S_{wk} ——风荷载效应标准值；

S_{Ek} ——地震作用效应标准值；

S_{TK} ——温度作用效应标准值，对变形不受约束的支承结构及构件，可取 0；

γ_G ——重力荷载分项系数；

γ_w ——风荷载分项系数；

γ_E ——地震作用分项系数；

γ_T ——温度作用分项系数；

Ψ_w ——风荷载的组合值系数；

Ψ_E ——地震作用的组合值系数；

Ψ_T ——温度作用的组合值系数。

5.4.2 进行幕墙构件的承载力设计时，荷载及作用分项系数应按下列规定取值：

1 一般情况下，永久荷载、风荷载、地震作用、温度作用的分项系数 γ_G 、 γ_w 、 γ_E 、 γ_T 应分别取 1.2、1.4、1.3 和 1.4；

2 当永久荷载的效应起控制作用时，其分项系数 γ_G 应取 1.35；

3 当永久荷载的效应对构件有利时，其分项系数 γ_G 的取值不应大于 1.0。

5.4.3 可变荷载及作用的组合值系数应按下列规定采用：

1 持久设计状况、短暂设计状况且风荷载效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 1.0，温度作用组合值系数 ψ_T 应取 0.6；

2 持久设计状况、短暂设计状况且温度作用效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 0.6，温度作用组合值系数 ψ_T 应取 1.0；

3 持久设计状况、短暂设计状况且永久荷载效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 和温度作用组合值系数 ψ_T 均应取 0.6；

4 地震设计状况时，地震作用的组合值系数 ψ_E 取 1.0，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 0.2；

5 对水平倒挂幕墙面板及其框架，当抗震设防烈度不大于 7 度时，可不考虑地震作用效应的组合；当抗震设防烈度为 8 度时，应考虑地震作用效应的组合，重力荷载(永久荷载)代表值应按 1.1 倍~1.15 倍考虑。

5.4.4 幕墙构件挠度验算时，水平方向的风荷载的变形效应，应按风荷载的标准值进行计算；垂直方向的自重荷载变形效应，应按自重荷载标准值进行计算。水平方向和垂直方向的荷载与作用的变形效应不应进行组合。

5.5 连接设计

5.5.1 幕墙应与主体结构可靠连接。连接件与主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。

5.5.2 幕墙构件之间，可采用焊缝、螺栓、螺钉、自攻螺钉或销钉连接。连接设计应符合国家现行标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018、《铝合金结构设计规范》GB 50429 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

5.5.3 幕墙连接件与主体结构连接件之间的连接，可采用钢连

接件或铝合金连接件。钢连接件与主体结构之间可采用螺栓连接或焊接。采用螺栓连接时，螺栓直径应经计算确定，螺纹的规格不应小于 M10，每个连接点的螺栓数量不宜少于 2 个。连接件的厚度应经过计算确定，且钢板或钢型材的厚度不应小于 5mm，铝型材的厚度不应小于 6mm。

5.5.4 当建筑主体为混凝土结构时，人造板材幕墙的主要受力构件应通过预埋件与主体结构连接，预埋件应在主体结构混凝土施工时埋入，预埋件的位置应准确。当没有条件采用预埋件连接时，应采用其他可靠的连接措施，并通过试验确定幕墙与主体结构连接的可靠性。

5.5.5 由锚板和对称配置的锚固钢筋所组成的受力预埋件，应符合现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的有关规定。

5.5.6 槽式预埋件及其 T 型螺栓的锚固连接，应按照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行设计，并宜通过试验确定槽式预埋件的锚固连接承载力。槽式预埋件的中心线与混凝土构件边缘的距离应根据构件的受力状态确定，且不宜小于 100mm，钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 30mm，锚筋(锚爪)应位于主筋内侧。

5.5.7 幕墙构架与主体混凝土结构采用后锚固连接时，应符合下列规定：

1 混凝土基材、锚栓的材质和性能应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定；

2 每个连接节点不应少于 2 个锚栓；

3 在与化学锚栓接触的连接件上，不宜进行连续焊缝的焊接；

4 锚栓直径应通过承载力计算确定，并且不应小于 10mm；

5 锚栓连接应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 中非结构构件的有关规定，后锚固连接安全等级可取二级，锚栓锚固承载力分项系数不宜小于 1.8。锚栓连接的承

载能力应进行设计验算，并进行现场检验。

5.5.8 轻质填充墙和砌体结构不应作为幕墙的支承结构。幕墙与轻质填充墙和砌体结构连接时，应采取加强措施，保证其连接可靠性和耐久性。

5.5.9 旧建筑改造需要增设建筑幕墙时，主体结构的混凝土强度等级，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010规定的钢筋混凝土强度等级的最低要求，并经现场实测确定。幕墙构架与主体结构采用后锚固锚栓连接时，应符合本规范第5.5.7条的规定。

5.5.10 幕墙构件采用隔热衬垫断热构造时，应对内外型材间的连接强度进行验算。

6 面板及其连接设计

6.1 一般规定

6.1.1 面板及其连接设计，应根据幕墙面板的材质、截面形状和建筑装饰要求确定。面板与幕墙构件的连接，宜采用下列形式：

1 瓷板、微晶玻璃板宜采用短挂件连接、通长挂件连接和背栓连接；

2 陶板宜采用短挂件连接，也可采用通长挂件连接；

3 纤维水泥板宜采用穿透支承连接或背栓支承连接，也可采用通长挂件连接。穿透连接的基板厚度不应小于 8mm，背栓连接的基板厚度不应小于 12mm，通长挂件连接的基板厚度不应小于 15mm；

4 石材蜂窝板宜通过板材背面预置螺母连接；

5 木纤维板宜采用末端型式为刮削式(SC)的螺钉连接或背栓连接，也可采用穿透连接。采用穿透连接的板材厚度不应小于 6mm，采用背面连接或背栓连接的木纤维板厚度不应小于 8mm。

6.1.2 面板挂件与支承构件之间应采用不锈钢螺栓或不锈钢自钻自攻螺钉连接。螺栓的螺纹规格不应小于 M6，自钻自攻螺钉的螺纹规格不应小于 ST5.5 并采取防松脱和滑移措施。

6.1.3 挂件的长度和截面厚度应符合下列规定：

1 瓷板短挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 2.0mm；通长挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 1.5mm。短挂件的长度不宜小于 50mm。

2 微晶玻璃板短挂件用不锈钢材料的截面厚度不宜小于 3.0mm，铝合金型材的截面厚度不宜小于 4.0mm；通长挂件用不锈钢材料的截面厚度不宜小于 2.0mm，铝合金型材的截面厚

度不宜小于 3.0mm。短挂件的长度不宜小于 40mm。

3 陶板短挂件用不锈钢材料的截面厚度不宜小于 1.5mm，铝合金型材的截面厚度不宜小于 2.0mm；通长挂件用铝合金型材的截面厚度不宜小于 1.5mm。定位弹簧片的截面厚度不宜小于 0.5mm。

4 纤维水泥板通长挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 1.5mm。

6.1.4 挂件与瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板面板的连接构造设计应符合下列规定：

1 宜采用只承受一块面板自重荷载的挂件；

2 纤维水泥板的自重应由面板下部挂槽的顶部承受；

3 挂件在承托面板处宜设置弹性垫片，垫片厚度不宜小于 2.0mm；

4 短挂件外侧边与面板边缘的距离不宜小于板厚的 3 倍，且不宜小于 50mm；通长挂件外端与面板边缘的距离不宜小于 20mm，且不宜大于 50mm；

5 挂件安装槽口中心线宜以外表面为基准定位，并宜位于面板计算厚度的中心；

6 瓷板挂件插入槽口的深度不宜小于 8mm，也不宜大于 12mm；微晶玻璃板、纤维水泥板挂件插入槽口的深度不宜小于 10mm，也不宜大于 15mm；

7 挂件与面板之间的空隙应填充胶粘剂，且不得污染面板。

6.1.5 挂件与陶板面板的连接构造设计应符合下列规定：

1 挂件与面板的连接，不应使面板产生附加局部挤压应力和重力传递现象；

2 挂件为 L 形且全部采用挂装方式安装时，其自重应由陶板上部挂件的挂钩承受；

3 上部采用插口式挂件，且陶板自重由下部挂件承受时，应采取防陶板断裂下坠措施，承重处挂件与陶板挂槽内竖向的接触部位不应留有间隙；

4 挂件与陶板挂槽前后之间的空隙宜填充聚氨酯密封胶或设置弹性垫片，采用橡胶垫片时，其厚度不宜小于 1.0mm；

5 挂件插入陶板槽口的深度不宜小于 6mm；短挂件中心线与面板边缘的距离宜为板长的 1/5，且不宜小于 50mm；

6 陶板两端宜设置定位弹性垫片；

7 陶板与支承构件采用镶嵌式挂件时，应防止挂件跳动、滑移。

6.1.6 与面板背面连接点直接连接的支承连接件宜采用铝合金型材，其截面厚度不应小于 2.0mm。

6.1.7 面板设计时，面板截面的计算厚度 t_e 应按下列规定确定：

1 瓷板：正面平整时，按公称厚度(总厚度)减去背纹厚度采用，正面有装饰花纹时，还应减去装饰花纹的凸起高度或凹下深度；

2 微晶玻璃板：正面、背面均为平整面时，按公称厚度(总厚度)采用；背面较粗糙时，应减去背面粗糙层厚度；

3 实心陶板：正面平整时，按公称厚度(总厚度)减去挂槽和挂钩宽度采用；正面有装饰条纹时，还应减去装饰条纹的凸起高度或凹下深度；

4 纤维水泥板：正面、背面均为平整面时，按基材的公称厚度采用；正面有装饰花纹时，还应减去装饰花纹的凸起高度或凹下深度；

5 木纤维板：按板材的公称厚度采用。

6.2 短挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃板、陶板

6.2.1 短挂件支承连接的面板抗弯设计应符合下列规定：

1 短挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃和实心陶板，在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算。两对边对称连接的四点支承矩形面板，可按下列公式计算：

$$\sigma_{\text{wk}} = \frac{6mq_{\text{wk}}b_0^2}{t_e^2} \quad (6.2.1-1)$$

$$\sigma_{\text{Ek}} = \frac{6mq_{\text{Ek}}b_0^2}{t_e^2} \quad (6.2.1-2)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用在板中产生的最大弯曲应力标准值(N/mm²)；

q_{wk} 、 q_{Ek} ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值(N/mm²)；

a_0 、 b_0 ——支承点(挂件中心线)之间的距离(mm)， $a_0 \leq b_0$ ；

t_e ——面板的计算厚度(mm)，按本规范第 6.1.7 条规定确定；

m ——四点支承面板在均布荷载作用下的最大弯矩系数，可按照支承点间较短距离与较大距离之比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按表 6.2.1 查取。

2 空心陶板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算，也可通过均布静态荷载弯曲试验确定其受弯承载能力，并应符合下式规定：

$$q \leq \frac{Q}{\gamma_r} \quad (6.2.1-3)$$

式中： Q ——空心陶板均布静态荷载弯曲试验的最小破坏荷载(N/mm²)；

q ——垂直于空心陶板板面方向的风荷载标准值和地震作用标准值按本规范第 5.4.1 条规定进行组合后所得之面板承受的荷载设计值(N/mm²)；

γ_r ——陶板材料性能分项系数，可取 1.8。

3 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值，应按本规范第 5.4.1 条规定进行组合。组合后面板承受的弯曲应

力设计值 σ 不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

表 6.2.1 四点支承矩形面板的弯矩系数 m

a_0/b_0		0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
m	$\nu=0.13$	0.125	0.125	0.126	0.126	0.128	0.130	0.132	0.134
	$\nu=0.20$	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
	$\nu=0.25$	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
	$\nu=0.30$	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
a_0/b_0		0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
m	$\nu=0.13$	0.136	0.138	0.140	0.144	0.147	0.150	0.153	0.156
	$\nu=0.20$	0.136	0.138	0.140	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154
	$\nu=0.25$	0.136	0.138	0.140	0.142	0.144	0.147	0.150	0.152
	$\nu=0.30$	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143	0.146	0.148	0.151

6.2.2 短挂件支承连接的面板抗剪设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板挂件槽口处产生的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_k = \frac{q_k ab \beta}{n t_v s} \quad (6.2.2-1)$$

式中： τ_k ——短挂件在面板槽口处产生的剪应力标准值(N/mm²)；

q_k ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值(N/mm²)，即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ；

a 、 b ——矩形面板的两个边长(mm)；

t_v ——面板槽口受剪面厚度(mm)；根据挂钩与挂槽的实际情况确定；

s ——槽口剪切面总长度(mm)；矩形槽或通槽，取挂钩的宽度加上 2 倍槽深；端部连接挂件，取挂钩的宽度与 1 倍槽深之和；陶板槽口剪切面的总长度，应根据实际构造确定；

n ——挂件总数量；

β ——应力调整系数，可根据挂件总数量，按本规范表 6.2.2 采用。

2 由各种荷载和作用产生的剪应力标准值，应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后面板槽口承受的剪应力设计值不应大于面板材料的抗剪强度设计值。

表 6.2.2 应力调整系数 β

每块板块挂件个数	2	4
β	1.00	1.25

6.2.3 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，挂件的抗剪设计应符合下列规定：

1 挂件承受的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{pk} = \frac{q_k ab \beta}{n A_p} \quad (6.2.3)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值(N/mm²)；

q_k ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值(N/mm²)，即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ；

a 、 b ——矩形面板的两个边长(mm)；

A_p ——单个挂件挂钩受剪截面面积(mm²)；

n ——挂件数量；

β ——应力调整系数，可按本规范表 6.2.2 采用。

2 挂件中由各种荷载和作用产生的剪应力标准值应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后的剪应力设计值 τ_p 不应大于本规范第 5.2 节规定的挂件材料的抗剪强度设计值 f_v 。

6.2.4 在面板自重作用下，挂件的抗剪设计应符合下列规定：

1 挂件在面板自重作用下承受的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{pk} = \beta \frac{G_k}{n_1 A_p} \quad (6.2.4-1)$$

式中 τ_{pk} ——挂件剪应力标准值(N/mm²)；

G_k ——面板的自重标准值(N)，可由面板材料的重力密度标准值 γ_{gk} 按本规范 5.3.1 条采用；

A_p ——单个挂件挂钩的受剪截面面积(mm^2)；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的挂件数量；

β ——应力调整系数，可根据挂件的数量 n_1 ，按本规范表 6.2.2 采用。

2 挂件所承受的剪应力设计值可按下式计算，且不得大于挂件材料的抗剪强度设计值。

$$\tau_p = \gamma_G \tau_{pk} \quad (6.2.4-2)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力设计值(N/mm^2)；

γ_G ——永久荷载分项系数，可取 1.35。

6.3 通长挂件支承连接的瓷板、陶板、微晶玻璃板、纤维水泥板

6.3.1 两对边通长挂件支承连接的矩形面板抗弯设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，两对边通长挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃、实心陶板和纤维水泥板矩形面板的最大弯曲应力标准值宜采用考虑几何非线性的有限元方法分析计算，也可按本规范第 6.2.1 条的规定计算，公式中的 b_0 值应取面板的跨度 l ，弯矩系数 m 可取为 0.125；

2 空心陶板宜采用有限元方法分析计算，也可通过均布静态荷载弯曲试验确定其受弯承载能力，并符合本规范第 6.2.1 条的规定；

3 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值 σ ，应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

6.3.2 纤维水泥板面板的挠度应符合下列规定：

1 在垂直于面板的风荷载作用下，纤维水泥板的挠度宜采用有限元方法分析计算。矩形面板的挠度也可按下列公式计算：

$$d_f = \frac{\mu w_k b^4}{D} \quad (6.3.2-1)$$

$$D = \frac{Et_e^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.3.2-2)$$

式中： d_f ——在风荷载标准值作用下的最大挠度值(mm)；

μ ——挠度系数，可取 0.013；

w_k ——垂直作用于面板的风荷载标准值(N/mm²)；

a 、 b ——面板的边长(mm)， $a \leq b$ ；

D ——面板的刚度(N/mm)；

E ——弹性模量(N/mm²)，可按本规范第 5.2.10 条采用；

t_e ——纤维水泥板的计算厚度(mm)，按本规范第 6.1.7 条的规定计算；

ν ——泊松比，可按本规范第 5.2.11 条规定采用。

2 在风荷载标准值作用下，对边支承纤维水泥板面板的挠度限值 $d_{f, \text{lim}}$ 按面板支承跨度的 1/250 采用。

6.3.3 通长挂件支承连接的矩形面板，槽口处抗弯设计应符合下列规定：

1 由风荷载或垂直于板面方向地震作用在面板槽口处产生的最大弯曲应力标准值应按下式计算：

$$\sigma_k = \frac{2q_k l h}{t_v^2} \beta \quad (6.3.3)$$

式中： σ_k ——分别为风荷载或垂直于板面方向地震作用在板中产生的最大弯曲应力标准值(N/mm²)；

q_k ——分别为风荷载或垂直于板面方向地震作用标准值(N/mm²)，即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ；

l ——面板的跨度，即支承边的距离(mm)；

h ——槽口受力一侧的深度(mm)；

β ——应力集中系数，可取 1.5；

t_v ——面板槽口受力一侧的厚度(mm)。

2 由各种荷载和作用产生的面板槽口处弯曲应力标准值,应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

6.3.4 通长挂件支承连接的矩形面板,槽口处抗剪设计应符合下列规定:

1 由风荷载或垂直于板面方向地震作用在槽口处产生的剪应力标准值应按下式计算:

$$\tau_k = \frac{2q_k l}{t_v} \quad (6.3.4)$$

式中: τ_k ——挂件在面板槽口处产生的剪应力标准值(N/mm²);
 q_k ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值(N/mm²),即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ;
 l ——面板的跨度,即支承边的距离(mm);
 t_v ——面板槽口受剪面厚度(mm)。瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板取面板计算厚度(t_e)减去槽口宽度(c)的一半,即: $t_v = \frac{t_e - c}{2}$; 陶板取挂钩部分的实际受剪厚度。

2 由各种荷载和作用产生的面板槽口处剪应力标准值,应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后的剪应力设计值 τ_p 不应大于面板材料的抗剪强度设计值 f_v 。

6.3.5 挂件的抗剪设计应符合下列规定:

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下,挂件承受的剪应力标准值可按下式计算:

$$\tau_{pk} = \frac{q_k l}{2t_p} \quad (6.3.5)$$

式中: τ_{pk} ——挂件或挂钩的剪应力标准值(N/mm²);
 q_k ——分别为风荷载或垂直于板面方向地震作用标准值(N/mm²),即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ;
 l ——面板的跨度,即支承边的距离(mm);

t_p ——挂件或挂钩厚度(mm)。

2 由各种荷载和作用产生的剪应力标准值应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合,组合后的剪应力设计值 τ_p 不应大于挂件材料抗剪强度设计值 f_v 。

6.4 背栓支承连接的瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板

6.4.1 背栓的数量应根据面板的形状、大小和所在位置并经过计算确定。背栓中心线与面板端部的距离不应小于 50mm,且不宜大于边长的 20%。采用 2 个背栓连接的面板,应采取附加固定措施,防止面板滑动、偏斜。

6.4.2 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下,背栓支承连接的面板抗弯设计应符合下列规定:

1 面板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算。4 个背栓对称布置支承连接的矩形面板,也可按本规范第 6.2.1 条的规定计算;

2 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

6.4.3 背栓支承连接的纤维水泥板,在垂直于面板的风荷载标准值作用下,其挠度宜采用有限元方法分析计算。

1 四个背栓对称布置支承连接的矩形面板的挠度可按下列公式计算:

$$d_f = \frac{\mu \omega_k b_0^4}{D} \quad (6.4.3-1)$$

$$D = \frac{Et_c^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.4.3-2)$$

式中: d_f ——在风荷载标准值作用下的最大挠度值(mm);

μ ——挠度系数,可按表 6.4.3 选用;

ω_k ——垂直作用于面板的风荷载标准值(N/mm²);

a_0 、 b_0 ——四点支承面板支承点(背栓孔中心线)之间的距离

(mm), $a_0 \leq b_0$;

D ——面板的刚度(N/mm);

E ——弹性模量(N/mm²), 可按本规范第 5.2.10 条采用;

t_e ——面板的厚度(mm), 可按本规范第 6.1.7 条的规定确定;

ν ——泊松比, 可按本规范第 5.2.11 条的规定采用。

2 在风荷载标准值作用下, 四点支承纤维水泥板面板的挠度限值 $d_{t, \text{lim}}$ 按其支承点间长边跨度的 1/250 采用。

表 6.4.3 四点支承纤维水泥板的挠度系数 μ

a_0/b_0	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
μ	0.0130	0.0139	0.0140	0.0142	0.0144	0.0147	0.0149	0.0152
a_0/b_0	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.0155	0.0162	0.0171	0.0183	0.0196	0.0213	0.0233	0.0257

6.4.4 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下, 背栓连接抗拉设计宜采用有限元方法分析计算, 也可按下列公式计算:

1 两个背栓支承连接时, 单个背栓连接的拉力标准值:

$$N_{\text{wk}} = \frac{w_k ab}{2} \quad (6.4.4-1)$$

$$N_{\text{Ek}} = \frac{q_{\text{Ek}} ab}{2} \quad (6.4.4-2)$$

2 四个背栓支承连接时, 单个背栓连接的拉力标准值:

$$N_{\text{wk}} = \frac{w_k ab \beta}{4} \quad (6.4.4-3)$$

$$N_{\text{Ek}} = \frac{q_{\text{Ek}} ab \beta}{4} \quad (6.4.4-4)$$

式中: N_{wk} 、 N_{Ek} ——单个背栓连接在风荷载或垂直于板面方向地震作用下的拉力标准值(N);

w_k 、 q_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用标准值(N/mm²);

a 、 b ——矩形面板的边长(mm);

β ——应力调整系数，可按本规范表 6.2.2 采用。

3 背栓连接的拉力标准值应按本规范第 5.4.1 条规定进行组合，组合后的拉力设计值不应大于背栓连接的受拉承载力设计值。

6.4.5 在面板自重作用下，背栓连接的剪力设计值应按下式计算：

$$V = \frac{1.35G_k\beta}{n_1} \quad (6.4.5)$$

式中： V ——单个背栓承受的剪力设计值(N)；

G_k ——面板的自重标准值(N)；

n_1 ——承受面板自重荷载的背栓数量；

β ——应力调整系数，可根据背栓数量 n_1 ，按本规范表 6.2.2 采用。

6.4.6 背栓连接的受拉承载力和受剪承载力应经试验确定，并符合下列规定：

1 背栓连接的受拉承载力设计值应符合下式规定：

$$N \leq \frac{P}{g_R} \quad (6.4.6-1)$$

2 背栓连接的受剪承载力设计值应符合下式规定：

$$V \leq \frac{0.8P}{g_R} \quad (6.4.6-2)$$

式中： N ——按本规范第 6.4.5 条规定计算，并按本规范第 5.4.1 条规定进行组合得到的单个背栓连接的拉力设计值(N)；

V ——按本规范第 6.4.6 条规定计算得到的单个背栓连接的剪力设计值(N)；

P ——实测所得背栓连接受拉破坏力最小值(N)；

g_R ——背栓连接承载力分项系数，可取 2.15。

6.5 背面预置螺母支承连接的石材蜂窝板

6.5.1 石材蜂窝板块单边边长不宜大于 2.0m，单块最大面积不

宜大于 2.0m^2 。

6.5.2 石材蜂窝板幕墙宜采用蜂窝板粘结预置连接螺母的固定方式。预置连接螺母必须在工厂制作时埋入，不得现场临时埋设。

6.5.3 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，四点支承石材蜂窝板石材面板的抗弯设计应符合下列规定：

1 确定石材面板的最大弯曲应力时，应对正、负风荷载作用下产生的弯曲应力分别进行计算。

2 四点支承的矩形石材蜂窝板石材面板最大弯曲应力标准值可采用下列公式计算：

$$\sigma_{\text{wk}} = \frac{m\omega_k b_0^2}{w_e} \quad (6.5.3-1)$$

$$\sigma_{\text{Ek}} = \frac{mq_{\text{Ek}} b_0^2}{w_e} \quad (6.5.3-2)$$

$$w_e = \frac{D_e}{EI} \quad (6.5.3-3)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为垂直于面板的风荷载、地震作用下产生的最大弯曲应力标准值(N/mm^2)；

ω_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于面板方向的风荷载、地震作用标准值(N/mm^2)；

a_0 、 b_0 ——四点支承面板支承点(预置螺母中心线)之间的距离(mm)， $a_0 \leq b_0$ ；

m ——四点支承面板在均布荷载作用下的最大弯矩系数，可根据支承点间的距离比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按本规范表 6.2.1 查取；

w_e ——石材蜂窝板的等效截面模量(mm^2)；

D_e ——石材蜂窝板的等效弯曲刚度(N/mm)，由整板的弯曲性能试验所得，也可按本规范附录 A 的计算方法确定；

E ——石材面板的弹性模量(N/mm²)；

l ——石材蜂窝板中性轴距石材面板表面的距离
(mm)，计算方法可按本规范附录 A 执行。

3 石材面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合，所得的最大弯曲应力设计值不应大于石材面板的抗弯强度设计值 f 。

6.5.4 石材蜂窝板在垂直于面板的风荷载标准值作用下的挠度应符合下列规定：

1 四点支承的矩形石材蜂窝板的挠度可按下列公式计算：

$$d_t = \frac{\mu \omega_k b_0^4}{D_e} \quad (6.5.4)$$

式中： d_t ——在风荷载标准值作用下的最大挠度值(mm)；

μ ——挠度系数，可按表 6.5.4-1 选用；

ω_k ——垂直作用于面板的风荷载标准值(N/mm²)；

a_0 、 b_0 ——四点支承面板支承点(预置螺母中心线)之间的距离
(mm)， $a_0 \leq b_0$ ；

D_e ——石材蜂窝板的等效弯曲刚度(N/mm)，由整板的弯曲性能试验所得，也可按本规范附录 A 的计算方法确定。

2 在风荷载标准值作用下，石材蜂窝板的挠度限值 $d_{t,lim}$ (mm)，不宜大于表 6.5.4-2 的规定。

表 6.5.4-1 四点支承石材蜂窝板挠度系数 μ

a_0/b_0	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.0151	0.0147	0.0151	0.0157	0.0162	0.0171	0.0182	0.0195	0.0212	0.0232	0.0255

表 6.5.4-2 石材蜂窝板的挠度限值

背部衬板类别	铝蜂窝板	钢蜂窝板	玻纤蜂窝板
相对挠度值 $d_{t,lim}$	L/120		L/180

注：L 为板的长边长度。

6.5.5 在风荷载或垂直于面板方向地震作用下，预置螺母连接

抗拉设计可按本规范第 6.4.4 条的规定计算。

6.5.6 在面板自重作用下，预置螺母连接的剪力设计值可按本规范第 6.4.5 条的规定计算。

6.5.7 预置螺母连接的受拉承载力和受剪承载力应经试验确定，并符合下列规定：

1 预置螺母连接的受拉承载力设计值应符合下式规定：

$$N \leq \frac{P}{g_R} \quad (6.5.7-1)$$

2 预置螺母连接的受剪承载力设计值应符合下式规定：

$$V \leq \frac{0.5P}{g_R} \quad (6.5.7-2)$$

式中：N——按本规范第 6.5.5 条规定计算，并按本规范第 5.4.1 条规定进行组合的预置螺母连接的拉力设计值(N)；

V——按本规范第 6.5.6 条规定计算得到的预置螺母连接的剪力设计值(N)；

P——实测所得预置螺母连接受拉破坏力最小值(N)；

g_R ——预置螺母连接承载力分项系数，可取 2.15。

6.6 穿透支承连接的木纤维板、纤维水泥板

6.6.1 穿透支承连接的木纤维板和纤维水泥板面板应采用不锈钢螺钉、螺栓、不锈钢开口型平圆头抽芯铆钉或钉芯材为不锈钢的开口型平圆头抽芯铆钉固定。螺栓、螺钉和抽芯铆钉的直径不应小于 5mm。

6.6.2 穿透支承连接的木纤维板和纤维水泥板支承连接设计应符合下列规定：

1 木纤维板幕墙面板的连接点到板边的距离不宜小于 20mm，且不宜大于 80mm 或 10 倍板厚；纤维水泥板边缘连接点的位置，平行于支撑框架方向到板边的距离不宜小于 80mm，垂直于支撑框架方向到板边的距离不宜小于 30mm，且不宜大

于 160mm。

2 支承连接点应分为紧固点和滑动点，紧固点和滑动点的设置应满足板材变形的要求，连接点间的最大间距应符合下列规定：

1) 木纤维板连接点最大间距应符合表 6.6.2 的规定：

表 6.6.2 木纤维板连接点最大间距

板厚度(mm)	6	8	10	13
同方向有 2 个连接点	450	600	750	950
同方向有 3 个及以上连接点	550	750	900	1200

2) 8mm 厚纤维水泥板的连接点间距不宜大于 800mm，
12mm 厚纤维水泥板的连接点间距不宜大于 1000mm。

6.6.3 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，穿透支承连接的木纤维板和纤维水泥板面板的抗弯设计应符合下列规定：

1 穿透支承连接的木纤维板和纤维水泥板面板的最大弯曲应力标准值，宜采用有限元方法分析计算。四点对称布置穿透支承连接的矩形面板，可按下列公式计算：

$$\sigma_{wk} = \frac{6m\omega_k b_0^2}{t_e^2} \eta \quad (6.6.3-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} b_0^2}{t_e^2} \eta \quad (6.6.3-2)$$

$$\theta = \frac{\omega_k b_0^4}{Et_e^4} \quad \text{或} \quad \theta = \frac{(\omega_k + 0.5q_{Ek}) b_0^4}{Et_e^4} \quad (6.6.3-3)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用下面板的最大弯曲应力标准值(N/mm²)；

ω_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于面板平面的风荷载、地震作用标准值(N/mm²)；

a_0 、 b_0 ——支承点间的距离(mm)， $a_0 \leq b_0$ ；

t_e ——面板的计算厚度(mm)，按本规范第 6.1.7 条规定确定；

m ——弯矩系数，可由支承点间的距离比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按本规范表 6.2.1 查取；

θ ——参数；

E ——弹性模量 (N/mm^2)，可按本规范第 5.2.10 条规定采用；

η ——折减系数，木纤维板可由参数 θ 按表 6.6.3 采用，纤维水泥板取 1.0。

2 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值应按本规范第 5.4.1 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

表 6.6.3 折减系数 η

θ	≤ 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
η	0.98	0.95	0.90	0.85	0.80	0.76	0.72
θ	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	≥ 7
η	0.68	0.65	0.62	0.60	0.58	0.55	0.50

6.6.4 在垂直于面板的风荷载标准值作用下，木纤维板和纤维水泥板面板的挠度应符合下列规定：

1 穿透支承连接的木纤维板和纤维水泥板面板产生的挠度，宜采用有限元方法分析计算。四点对称布置穿透支承连接的矩形面板，可按下列公式计算：

$$d_f = \frac{\mu \omega_k b^4}{D} \eta \quad (6.6.4-1)$$

$$D = \frac{Et_c^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.6.4-2)$$

式中： d_f ——风荷载标准值作用下面板的最大挠度值(mm)；

ω_k ——垂直于面板平面的风荷载标准值 (N/mm^2)；

b ——支承点间面板的长边边长(mm)；

t_c ——面板的计算厚度(mm)，按本规范第 6.1.7 条确定；

μ ——挠度系数，可由支承点间面板短边与长边边长之比

a_0/b_0 查表：木纤维板按表 6.6.4 采用，纤维水泥板按表 6.4.3 采用；

η ——折减系数，木纤维板可由参数 θ 按本规范表 6.6.3 采用，纤维水泥板取 1.0；

ν ——泊松比，可按本规范第 5.2.11 条采用；

D ——面板的刚度(N/mm)。

2 在风荷载标准值作用下，四点支承木纤维板的挠度限值 $d_{i,lim}$ 宜按其支承点间长边边长的 1/60 采用，四点支承纤维水泥板的挠度限值 $d_{i,lim}$ 宜按其支承点间长边边长的 1/250 采用。

表 6.6.4 四点支承矩形木纤维板挠度系数

a_0/b_0	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
μ	0.01302	0.01434	0.01442	0.01457	0.01480	0.01512	0.01530	0.01551
a_0/b_0	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.01574	0.01623	0.01710	0.01819	0.01953	0.02118	0.02316	0.02551

6.6.5 木纤维板和纤维水泥板穿透连接的抗拉设计应符合下列规定：

1 在垂直于面板平面的风荷载或地震作用下，单个连接点的拉力标准值宜采用有限元方法分析计算。按周边对称布置的矩形面板，可按下列公式计算：

$$N_{wk} = \frac{w_k ab \beta}{n} \quad (6.6.5-1)$$

$$N_{Ek} = \frac{q_{Ek} ab \beta}{n} \quad (6.6.5-2)$$

式中 N_{wk} ——垂直于面板的风荷载作用下单个连接点的拉力标准值(N)；

N_{Ek} ——垂直于面板的地震作用下单个连接点的拉力标准值(N)；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于面板平面的风荷载、地震作用标准值(N/mm²)；

- n ——连接点数量；
 a 、 b ——分别为矩形面板短边和长边的边长；
 β ——应力调整系数，可按表 6.6.5 采用。

表 6.6.5 木纤维板和水泥纤维板穿透连接的应力调整系数 β

每块板材固定点数	4	6	≥ 8
β	1.25	1.53	1.78

2 穿透连接的拉力标准值应按本规范 5.4.1 条规定进行组合，组合的拉力设计值不应大于连接的受拉承载力设计值。

6.6.6 穿透连接点的受拉承载力应经试验确定，并符合下式规定：

$$N \leq \frac{P}{g_R} \quad (6.6.6)$$

式中 N ——按本规范第 6.6.5 条规定计算得到的单个连接点的拉力设计值(N)；

P ——实测所得单个连接点的受拉破坏力最小值(N)；

g_R ——穿透连接受拉承载力分项系数，可取 2.15。

6.7 背面支承连接的木纤维板

6.7.1 背面支承连接的木纤维板宜采用螺钉支承连接，也可采用背栓支承连接。连接螺钉的末端型式应符合国家标准《紧固件 外螺纹零件末端》GB/T 2—2016 中末端为“刮削端(SC)”的规定，钢的组别和性能等级应符合国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6—2014 中 A4-70 的规定。背栓应符合本规范第 3.5.6 条的有关规定。

6.7.2 支承连接点到板边的距离不宜小于 80mm，且也不宜大于 10 倍板厚。支承连接点之间的最大间距应符合本规范表 6.6.2 的规定。

6.7.3 面板背面的预制螺钉孔或背栓孔的形状和深度应根据锚固件规格及设计要求确定，钻孔深度宜比板厚小 2.5mm。

6.7.4 木纤维板背面连接点处与幕墙构件连接的连接件构造设计，应考虑板材随环境温湿度变化产生的伸缩变形并采取适当措施。

6.7.5 在垂直于面板平面的风荷载和地震作用下，面板的最大弯曲应力可按本规范 6.6.3 条的规定计算。

6.7.6 在风荷载标准值的作用下，面板的挠度可按本规范第 6.6.4 条的规定计算。

6.7.7 连接点的受拉承载力应经试验验证，并应符合本规范第 6.6.6 条的规定。

7 支承结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 幕墙支承构件可采用铝合金型材、冷弯薄壁型钢、轧制或焊接钢型材，也可采用铝合金型材和钢型材组合而成。

7.1.2 钢型材构件的截面形式和板件类型，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定。铝合金型材构件的截面形式、板件类型和有效截面计算应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定。

7.1.3 构件截面中受压板件的最大宽厚比、构件的计算长度和容许长细比、圆管截面构件的外径与壁厚之比、方管或矩形管截面构件的最大外缘尺寸与壁厚之比，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定。

7.1.4 型材孔壁与螺钉之间采用螺纹连接，并由螺纹承受拉力或压力时，应对螺纹的承载力进行验算，螺纹的旋合长度不应小于现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197 中规定的短旋合长度。

7.1.5 在风荷载标准值作用下，幕墙横梁、立柱的挠度应符合下列公式规定：

$$\text{当计算跨度不大于 } 4500\text{mm 时, } d_f \leq l/180 \quad (7.1.5-1)$$

当计算跨度大于 4500mm、但不大于 7000mm 时，

$$d_f \leq l/250 + 7 \quad (7.1.5-2)$$

$$\text{当计算跨度大于 } 7000\text{mm 时, } d_f \leq l/200 \quad (7.1.5-3)$$

式中： d_f ——幕墙横梁、立柱在风荷载标准值作用下的最大挠度值(mm)；

l ——横梁或立柱的计算跨度(mm)，悬臂构件可取挑出长度的2倍。

7.1.6 横梁跨度大于7000mm时宜采用钢型材构件。

7.1.7 在自重荷载标准值作用下，幕墙横梁的挠度应符合下式规定：

$$d_f \leq l/250 \quad (7.1.7)$$

式中： l ——横梁的计算跨度(mm)。

7.1.8 横梁和立柱之间的连接设计，应符合下列规定：

1 横梁和立柱之间可通过连接件、螺栓、螺钉或销钉与立柱连接。

2 连接角码应能承受横梁传递的剪力和扭矩，连接件的截面厚度应经过计算确定且不宜小于3mm；角码和横梁采用不同金属材料时，除不锈钢外，应采取措施防止双金属腐蚀。

3 连接件与立柱之间的连接螺栓、螺钉或销钉应满足抗拉、抗剪、抗扭承载力的要求。螺栓、螺钉或销钉应采用奥氏体型不锈钢制品；螺栓、螺钉的直径，不宜小于6mm；销钉的直径不宜小于 $\phi 5$ ；螺栓、螺钉和销钉的数量，均不得少于2个。

4 钢横梁和钢立柱之间可采用焊缝连接，焊缝承载能力应满足设计要求。

7.2 横 梁

7.2.1 横梁截面主要受力部位的厚度，应符合下列规定：

1 截面的宽厚比应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的有关规定。

2 铝合金横梁型材截面有效受力部位的厚度不应小于2.0mm。铝合金型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受拉、压连接时，应进行螺纹受力计算。螺纹连接处，型材局部加厚部位的壁厚不应小于4mm，宽度不应小于13mm。

3 热轧钢型材截面有效受力部位的厚度不应小于2.5mm。

冷成型薄壁型钢截面有效受力部位的厚度不应小于 2.0mm。在采用螺纹进行受拉、受压连接时，应进行螺纹受力计算。

7.2.2 横梁在自重荷载、风荷载或地震作用下产生的弯矩、剪力和轴力，应根据横梁的实际支承条件和幕墙面板在横梁上的支承状况确定。当采用开口截面横梁时，宜考虑约束扭转产生的双力矩。

7.2.3 横梁构件截面的抗弯强度、抗剪强度和稳定性，应符合下列规定：

1 轧制或焊接钢型材横梁，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定；

2 冷弯薄壁型钢横梁，应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定；

3 铝合金型材横梁，应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定；

4 横梁截面的抗弯强度、抗剪强度和稳定性也可采用有限元方法分析计算。

7.2.4 框架支承人造板材幕墙中，当面板相对于横梁有偏心时，框架设计时应考虑重力荷载偏心产生的不利影响。面板在横梁上偏置使横梁产生较大的扭矩时，应进行横梁抗扭承载力验算。

7.3 立 柱

7.3.1 立柱截面主要受力部位的厚度，应符合下列规定：

1 铝型材截面开口部位的厚度不应小于 3.0mm，闭口部位的厚度不应小于 2.5mm；

2 铝型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受拉、压连接时，应进行螺纹受力计算，其螺纹连接处的型材局部加厚部位的壁厚不应小于 4mm，宽度不应小于 13mm；

3 热轧钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 3.0mm，冷成型薄壁型钢截面主要受力部位的厚度不应小于 2.5mm，采用螺纹进行受拉连接时，应进行螺纹受力计算；

4 对偏心受压立柱和偏心受拉立柱的杆件，其有效截面宽厚比应符合本规范第 7.2.1 条的规定。

7.3.2 幕墙立柱的布置，应符合下列规定：

1 在楼层内独立布置时，其上、下端均宜与主体结构铰接，宜采用上端悬挂方式；

2 在多层或高层建筑中跨层布置时，立柱的长度不宜大于 3 个层高，立柱与主体结构的连接支承点每层不宜少于一个，宜采用上端悬挂方；支承点的设计，应满足立柱变形；

3 在混凝土实体墙面或钢结构上分段布置时，每段立柱的支承点不宜少于 2 个，上支承点宜采用圆孔，中部和下支承点宜采用长圆孔；

4 立柱支承点可能产生较大位移时，应采用与位移相适应的支承装置。

7.3.3 上、下立柱的连接应符合下列规定：

1 采用闭口截面型材的立柱，可设置长度不小于 250mm 的芯柱连接。芯柱一端与立柱应紧密滑动配合，另一端与立柱宜采用机械连接方式加以固定。

2 采用开口截面型材的立柱，可用型材或板材连接；连接件一端应与立柱固定，另一端宜紧靠立柱，并用螺栓将立柱定位。

3 在实体墙面上加密支承的立柱，每段立柱的接头部位可留出空隙而不连接，空隙宽度不宜小于 15mm，支承点宜设置在立柱两端并邻近空隙。

7.3.4 计算立柱由自重荷载、风荷载或地震作用产生的弯矩和轴力时，应根据立柱的实际支承条件，分别按单跨梁、双跨梁或多跨铰支梁计算。

7.3.5 立柱构件截面的抗弯强度、抗剪强度和稳定性，可按本规范 7.2.3 条的规定进行设计。

8 加工制作

8.1 一般规定

8.1.1 人造板材幕墙在加工制作前应与建筑、结构施工图进行核对，对已建主体结构进行复测，并按实测结果对幕墙设计进行必要调整。

8.1.2 人造板材的加工制作宜采用专用设备在厂房内完成。设备的加工精度应满足幕墙面板设计要求，刀具的切削性能应与面板材料相适应并保持锋利，加工时，宜以面板正面（装饰面）作为加工基准面。

8.1.3 检测量具应定期进行计量检定。

8.1.4 背栓孔的加工和安装应符合下列规定：

1 背栓孔应采用与背栓产品配套的专用钻孔设备，钻头的切削性能应与面板材料相适应。需要对钻头进行冷却或润滑时，冷却剂或润滑剂不得对面板材料造成污染。

2 面板背面影响背栓孔加工和安装的背纹和粗糙表面应预先打磨平整。

3 背栓孔的形状、数量、位置和深度应符合设计要求。钻孔和扩孔直径应符合背栓产品的技术要求。

4 背栓孔不得有损坏或崩裂现象，孔内应光滑、洁净。

5 背栓孔加工尺寸允许偏差应符合表 8.1.4 的规定。

6 背栓与面板的连接应牢固、可靠，背栓的安装方法、装配尺寸和紧固力矩应符合背栓产品生产厂家的规定。

表 8.1.4 背栓孔加工尺寸允许偏差（mm）

项目	孔径	扩孔	孔深	孔中心到端边距离
允许偏差	0.4 0	±0.3	0.2 0	+5.0 -1.0

8.2 铝型材

8.2.1 人造板材幕墙铝合金型材构件的加工应符合下列规定：

1 横梁长度允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，立柱长度允许偏差应为 $\pm 1.0\text{mm}$ ，端头斜度的允许偏差应为 $-15'$ （图 8.2.1-1、图 8.2.1-2）；

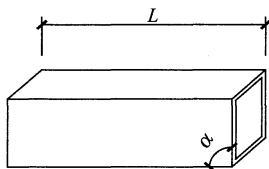


图 8.2.1-1 直角截料
 α —端面角度； L —构件长度

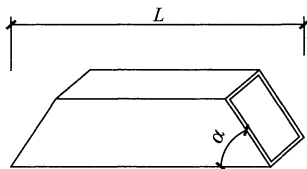


图 8.2.1-2 斜角截料
 α —端面角度； L —构件长度

- 2 截料端头不应有加工变形，并应去除毛刺；
- 3 孔位的允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，孔距的允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，累计偏差应为 $\pm 1.0\text{mm}$ ；
- 4 铆钉的通孔尺寸偏差应符合现行国家标准《紧固件 铆钉用通孔》GB/T 152.1 的规定；
- 5 沉头螺钉的沉孔尺寸偏差应符合现行国家标准《紧固件 沉头螺钉用沉孔》GB/T 152.2 的规定；
- 6 圆柱头、螺栓的沉孔尺寸应符合现行国家标准《紧固件 圆柱头用沉孔》GB/T 152.3 的规定；
- 7 螺纹孔的加工应符合设计要求。

8.2.2 铝合金型材构件中槽、豁、榫的加工应符合下列规定：

1 铝合金型材构件槽口尺寸（图 8.2.2-1）允许偏差应符合表 8.2.2-1 的规定。

表 8.2.2-1 槽口尺寸允许偏差（mm）

项目	a	b	c
允许偏差	0.5	0.5	± 0.5
	0	0	

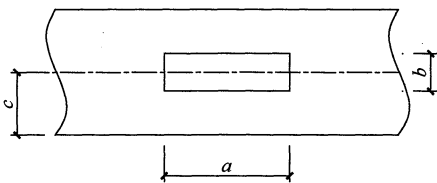


图 8.2.2-1 槽口尺寸示意

a —槽口长度； b —槽口宽度； c —槽口中心位置尺寸

2 铝合金型材构件豁口尺寸（图 8.2.2-2）允许偏差应符合表 8.2.2-2 的规定。

表 8.2.2-2 豁口尺寸允许偏差（mm）

项目	a	b	c
允许偏差	0.5 0	0.5 0	± 0.5

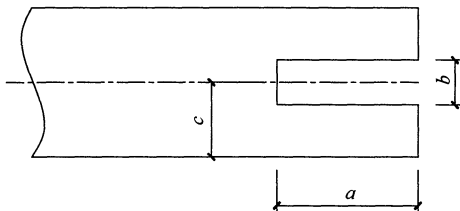


图 8.2.2-2 豁口尺寸示意

a —豁口长度； b —豁口宽度； c —豁口中心位置尺寸

3 铝合金型材构件榫头尺寸（图 8.2.2-3）允许偏差应符合表 8.2.2-3 的规定。

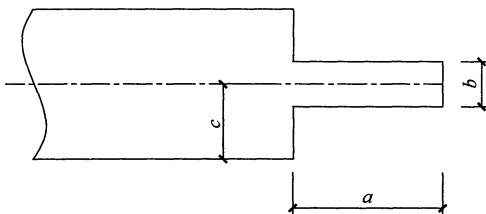


图 8.2.2-3 榫头尺寸示意

a —榫头长度； b —榫头宽度； c —榫头中心位置尺寸

表 8.2.2-3 榫头尺寸允许偏差 (mm)

项目	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
允许偏差	0 -0.5	0 -0.5	±0.5

8.2.3 铝合金型材构件弯曲加工应符合下列规定：

- 1 铝合金型材构件宜采用拉弯设备进行弯加工；
- 2 弯加工后的型材构件表面应光滑，不得有皱折、凹凸、裂纹、表面处理层脱落、裂口、严重擦伤等缺陷。

8.3 钢 构 件

8.3.1 平板式预埋件锚板和锚筋的焊接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。预埋件加工精度应符合下列规定：

- 1 锚板边长允许偏差应为±5mm；
- 2 一般锚筋长度的允许偏差应为+10mm；两面为整块锚板的穿透式预埋件的锚筋长度的允许偏差应为-5mm；
- 3 圆锚筋的中心线允许偏差应为±5mm；
- 4 锚筋与锚板面的垂直度允许偏差应为 $l_s/30$ (l_s 为锚固钢筋长度，单位为 mm)。

8.3.2 碳素钢槽式预埋件表面及槽内应进行防腐处理，其加工尺寸允许偏差应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 碳素钢槽式预埋件加工尺寸允许偏差 (mm)

项 目	允许偏差	项 目	允许偏差
长 度	10.0 0	锚筋（锚爪）长度	5.0 0
宽度和厚度	2.0 0	锚筋（锚爪）中心距	±1.5
槽口宽度	1.5 0	锚筋(锚爪)与锚板的垂直度	$l_s/30$

注： l_s 为锚固钢筋或锚爪的长度。

8.3.3 幕墙构件连接件、支承件的加工精度应符合下列规定：

- 1 连接件、支承件外观应平整，不得有裂纹、毛刺、凹凸、翘曲、变形等缺陷；
- 2 连接件、支承件加工尺寸（图 8.3.3）允许偏差应符合表 8.3.3 的规定。

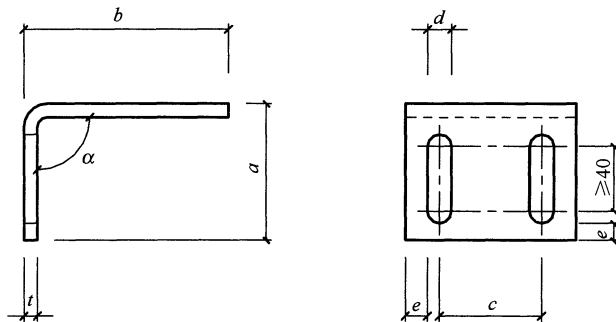


图 8.3.3 连接件、支承件尺寸示意

a —连接件高度； b —连接件长度； c —孔间距； d —孔宽度；
 e —孔边距； t —壁厚； α —弯曲角度

表 8.3.3 连接件、支承件尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
连接件高度 a	+5.0mm -2.0mm	孔边距 e	1.0mm 0
连接件长度 b	+5.0mm -2.0mm	壁厚 t	+0.5mm -0.2mm
孔间距 c	±1.0mm	弯曲角度 α	±2°
孔宽度 d	1.0mm 0		

8.3.4 钢构件的加工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

8.3.5 钢构件焊接、螺栓连接应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018及《钢结构焊接规范》GB 50661的规定。

8.4 瓷板、陶板、微晶玻璃板

8.4.1 瓷板、陶板、微晶玻璃板的切割加工应符合下列规定：

1 加工过程中所使用的润滑剂、冷却剂和清洁剂，应采用对面板材料无污染的水性溶剂进行冷却和润滑，不得采用有机溶剂型清洁剂。成品板应放置通风处自然干燥。

2 成品面板的形状、尺寸应符合设计要求，加工允许偏差应符合表 8.4.1 的规定。

表 8.4.1 瓷板、陶板、微晶玻璃板加工允许偏差 (mm)

项 目	允许偏差
长 度	±1.0
对角线差	≤2.0

8.4.2 瓷板、微晶玻璃板的槽口加工除应符合本规范第 8.4.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 槽口加工宜采用专用设备，不宜采用手持机械；
- 2 槽口的宽度、长度、位置应符合设计要求；
- 3 槽口侧面不得有损坏或崩裂现象，槽口内壁应光滑、洁净，不得有目视可见的阶梯；
- 4 槽口连接部位应无爆边、裂纹等缺陷；
- 5 槽口加工允许偏差应符合表 8.4.2 的规定。

表 8.4.2 瓷板、微晶玻璃板槽口加工允许偏差 (mm)

项目	宽度	长度	深度	槽端到板端边距离	槽中心线到正面的距离
允许偏差	0.5	短槽：10.0	1.0	短槽：10.0	0.5
	0	0	0	0	0

注：允许将瓷板、微晶玻璃板短挂件连接用槽口加工成通槽。

8.5 石材蜂窝板

8.5.1 石材蜂窝板的切割加工应符合下列规定：

1 加工过程中所使用的润滑剂、冷却剂和清洁剂，应采用对面板材料无污染的水性溶剂进行冷却和润滑，不得采用有机溶剂型清洁剂。成品板应放置通风处自然干燥。

2 成品面板的形状、尺寸应符合设计要求，加工允许偏差应符合表 8.5.1 的规定。

表 8.5.1 石材铝蜂窝板加工允许偏差 (mm)

项 目		要 求	
		亚光面、镜面板	粗面板
边 长		0 -1.0	
对边长度差	≤1000	≤2.0	
	>1000	≤3.0	
厚 度		±1.0	+2.0 -1.0
对角线差		≤2.0	
边直度	每米长度	≤1.0	
平整度	每米长度	≤1.0	≤2.0

8.5.2 石材蜂窝板面板拼接加工应符合下列规定：

1 板块可按照设计要求进行不同角度的拼接；拼接后的面板，应保证石材装饰面层的色泽、纹路一致；

2 拼接前，可对板块进行倒角，但应避免出现崩边、缺棱缺陷，且不得损伤表面石材；

3 拼接部位应平整，无明显缝隙和缺角。

8.6 木纤维板

8.6.1 木纤维板的加工应符合下列规定：

1 加工工作台应选用木质台面，加工时应及时清理加工台面上的金属颗粒及板材颗粒；

2 板材切割加工前应将刀具高度调节至合适位置，切割时板材应匀速推进；

3 加工槽口、豁口、榫头时，应防止划伤非加工表面；

4 加工盲孔、凹槽时，应调节刀具高度并采取限位措施，防止深度尺寸超差；

5 现场进行加工时，应采取可靠措施将板材固定牢靠；

6 宽度小于 200mm 的转角板板材，应在安装前与主面板可靠连接。

8.6.2 成品面板的形状、尺寸应符合设计要求，加工允许偏差应符合表 8.6.2 的规定。

表 8.6.2 木纤维板加工允许偏差

项 目		单位	允许偏差
边长		mm	2.0 0
对角线		mm	≤对角线长度值的 1%
边缘直度		mm/m	≤1.0
翘曲度	$5.0\text{mm} \leq t < 12.0\text{mm}$	%	≤0.4
	$12.0\text{mm} \leq t < 16.0\text{mm}$	%	≤0.2
转角板角度		—	+1°30′, -30′
转角板翘曲度		mm	≤3.0
转角边直边翘曲度		%	≤0.5
盲孔直径		mm	0 -0.1
凹槽深度		mm	0.2 0
装饰面划痕、压痕		—	不允许

续表 8.6.2

项 目	单位	允许偏差
装饰面边角缺陷	—	不允许
钻孔位置	mm	≤ 0.5
孔距	mm	≤ 1.0
孔轴与板面的垂直度	—	$\leq 12'$

8.7 纤维水泥板

8.7.1 纤维水泥板应存放在干燥、通风、防雨的环境中。

8.7.2 纤维水泥板的加工应符合下列规定：

- 1 纤维水泥板的加工宜采用专用设备，并在干燥的环境中进行；
- 2 加工过程中，应做好必要的防护措施和除尘措施；
- 3 槽口侧面不得有损坏或崩裂现象，内壁应光滑、洁净，不得有目视可见的阶梯；
- 4 槽口加工允许偏差应符合表 8.7.2-1 的规定；
- 5 纤维水泥板加工允许偏差应符合表 8.7.2-2 的规定；
- 6 切割、开槽、钻孔后的纤维水泥板加工表面，应立即用干燥的压缩空气进行清洁处理，并进行边缘密封防护处理。

表 8.7.2-1 纤维水泥板槽口加工允许偏差 (mm)

项目	宽度	深度	槽中心线到正面的距离
允许偏差	0.5	1.0	0.5
	0	0	0

表 8.7.2-2 纤维水泥板加工允许偏差

项 目		允许偏差
边长 a (mm)	$a \leq 1000$	± 1.5
	$a > 1000$	± 2.0

续表 8.7.2-2

项 目		允许偏差
厚度 t (mm)	$6 < t \leq 20$	$\pm 0.1t$
	$t > 20$	± 2.0
边直度 (mm/m)		≤ 1.0
对角线差 (mm)		≤ 2.0
孔中心距 (mm)		± 1.5

8.8 构件、组件检验

8.8.1 幕墙构件或组件应按构件或组件的 5% 进行随机抽样检查，且每种构件或组件不得小于 5 件。当有一个构件或组件不符合要求时，应加倍进行复验，检验合格后方可出厂。复验时，发现有一件不合格，则对该批构件或组件进行 100% 检验，合格件允许出厂。

8.8.2 产品出厂时，应附有构件或组件合格证书。

9 安 装 施 工

9.1 一 般 规 定

9.1.1 安装幕墙的主体结构，应符合其施工质量验收的规定。

9.1.2 进场的幕墙构件及附件的材料品种、规格、色泽和性能，应符合设计要求。幕墙构件安装前应进行检验。不合格的构件不得安装使用。

9.1.3 幕墙的安装施工应单独编制施工组织设计，应包括下列内容：

- 1 工程概况、质量目标；
- 2 编制目的、编制依据；
- 3 施工部署、施工进度计划及控制保证措施；
- 4 项目管理组织机构及有关的职责和制度；
- 5 材料供应计划、设备进场计划；
- 6 劳动力调配计划及劳保措施；
- 7 与业主、总包、监理单位以及其他工种的协调配合方案；
- 8 材料供应计划及搬运、吊装方法及材料现场贮存方案；
- 9 测量放线方法及注意事项；
- 10 构件、组件加工计划及其加工工艺；
- 11 施工工艺、安装方法及允许偏差要求；重点、难点部位的安装方法和质量控制措施；
- 12 项目中采用新材料、新工艺时，应进行论证和制作样板的计划；
- 13 安装顺序及嵌缝收口要求；
- 14 成品、半成品保护措施；
- 15 质量要求、幕墙物理性能检测及工程验收计划；
- 16 季节施工措施；

17 幕墙施工脚手架的验收、改造和拆除方案或施工吊篮的验收、搭设和拆除方案；

18 文明施工和安全技术措施；

19 施工平面布置图。

9.1.4 幕墙工程的施工测量应符合下列规定：

1 幕墙分格轴线的测量应与主体结构测量相配合，及时调整、分配、消化主体结构偏差，不得积累；

2 应定期对幕墙的安装定位基准进行校核；

3 对高层建筑幕墙的测量，应在风力不大于4级时进行。

9.1.5 幕墙安装过程中，应及时对半成品、成品进行保护；在构件存放、搬动、吊装时应轻拿轻放，不得碰撞、损坏和污染构件；对型材、面板的表面应采取保护措施。

9.1.6 进行焊接作业时，应采取保护措施防止烧伤型材及面板表面。施焊后，应对钢材表面及时进行处理。

9.2 安装施工准备

9.2.1 安装施工之前，幕墙安装施工企业应会同土建承包商检查现场确认具备幕墙安装施工的条件。

9.2.2 构件储存时应依照幕墙安装顺序排列放置，储存架应有足够的承载力和刚度。在室外储存时应采取防护措施。

9.2.3 当预埋件位置偏差过大或主体结构未埋设预埋件时，应制定补救措施或可靠连接方案，经与业主、土建设计单位洽商后方可实施。

9.2.4 由于主体结构施工偏差过大而妨碍幕墙施工安装时，应会同业主、土建承建商洽商相应措施，并在幕墙安装施工前实施。

9.3 预埋件、后锚固连接件

9.3.1 幕墙与主体结构连接的预埋件，应在主体结构施工时按设计要求埋设。预埋件的形状、尺寸应符合设计要求，预埋件的

焊接应符合现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 附录 B 的规定。

9.3.2 预埋件的埋设位置应符合设计规定。预埋件的位置应使锚筋或锚爪位于构件的外层主筋的内侧。锚筋或锚爪至构件边缘的距离应符合现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的规定。预埋件安装到位后，应采取措施，对预埋件进行固定，并进行隐蔽工程验收。

9.3.3 后锚固连接锚栓孔的位置应符合设计要求。锚栓施工前，宜检测基材原钢筋的位置，钻孔不得损伤主体结构构件钢筋。锚固区的基材厚度、锚板孔径、锚固深度等构造措施及锚栓安装施工，应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定，且应采取防止锚栓螺母松动和锚板滑移的措施。

9.3.4 平板型预埋件和后置锚固连接件锚板的安装允许偏差应符合表 9.3.4 的规定。槽型预埋件的允许偏差应符合设计要求。

表 9.3.4 平板型预埋件和后置锚固连接件锚板的安装允许偏差 (mm)

项 目	允许偏差
标高	±10
平面位置	±20

注：设计无要求时，标高和平面位置的允许偏差均为±20。

9.4 幕 墙 安 装

9.4.1 幕墙立柱的安装应符合下列规定：

- 1 立柱安装轴线偏差不应大于 2mm；
- 2 相邻两根立柱安装标高偏差不应大于 3mm，同层立柱端部的标高偏差不应大于 5mm；相邻两根立柱固定点的距离偏差不应大于 2mm；
- 3 立柱安装就位、调整后应及时紧固。

9.4.2 幕墙横梁的安装应符合下列规定：

- 1 横梁应安装牢固。伸缩间隙宽度应满足设计要求，采用

密封胶对伸缩间隙进行填充时，密封胶填缝应均匀、密实、连续。

2 同一根横梁两端或相邻两根横梁的水平标高偏差不应大于1mm；同层横梁的标高偏差应符合下列规定：

- 1) 当一幅幕墙宽度不大于35m时，不应大于5mm；
- 2) 当一幅幕墙宽度大于35m时，不应大于7mm。

3 横梁安装完成一层高度时，应及时进行检查、校正和固定。

9.4.3 幕墙其他主要附件安装应符合下列规定：

1 防火、保温材料应铺设平整且可靠固定，拼接处不应留缝隙；

2 冷凝水排出管及其附件应与水平构件预留孔连接严密，与内衬板出水孔连接处应采取密封措施；

3 其他通气槽、孔及雨水排出口等应按设计要求施工，不得遗漏；

4 封口应按设计要求进行封闭处理；

5 幕墙安装采用的临时构件、临时螺栓等，应在紧固后及时拆除；

6 采用现场焊接或高强螺栓紧固的构件，应对焊接或紧固部位及时进行防锈处理。

9.4.4 幕墙面板安装应符合下列规定：

1 安装面板前，应按本规范第3.4节规定的面板材料进行面板的弯曲强度试验。用于寒冷地区的幕墙面板，还应进行抗冻性试验。

2 面板表面防护应符合设计要求。

3 检查面板用胶粘剂的相容性和密封胶的污染性，面板用胶粘剂应符合本规范第3.6节的规定。

4 根据连接方式确定幕墙面板的安装顺序，预安装并调整后，需在孔、槽内注胶粘剂的面板，胶粘剂的品种和性能应符合本规范第3.6节的规定。

9.4.5 幕墙面板开缝安装时，应对主体结构采取可靠的防水措施，并应有符合设计要求的排水出口。

9.4.6 板缝密封施工，不得在雨天打胶，也不宜在夜晚进行。打胶温度应符合设计要求和产品要求，打胶前应使打胶面清洁、干燥。较深的密封槽口底部应采用聚乙烯发泡材填塞。

9.5 安全规定

9.5.1 幕墙的安装施工除应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定外，尚应符合施工组织设计中确定的各项要求。

9.5.2 施工机具在进场之前，应全面检查、检修；使用中，应定期安全检查。开工前，应试运转。手持电动工具应进行绝缘电压试验。

9.5.3 吊装机具应符合下列规定：

- 1 吊装机具运行速度应可控制，并有安全保护措施；
- 2 吊装前，应对吊装机具进行全面的质量、安全检验，并进行空载试运转之后才能进行吊装；
- 3 定期对吊挂用钢丝绳进行检查，发现断股应及时更换；
- 4 定期对吊装机具进行检查、保养，发现问题立即停工修理，严禁吊装机具带病作业；
- 5 吊装机具操作人员应经培训并考核合格。

9.5.4 采用外脚手架施工时，脚手架应经过设计，并应与主体结构可靠连接。悬挂式脚手架宜为 3 层层高；落地式脚手架应为双排布置。

9.5.5 当幕墙安装与主体结构施工交叉作业时，在主体结构的施工层下方应设置防护网；在距离地面约 3m 高度处，应设置挑出宽度不小于 6m 的水平防护网。

9.5.6 采用吊篮施工时，应符合下列规定：

- 1 施工吊篮应进行设计，使用前应进行严格的安全检查，

符合要求方可使用；

2 安装吊篮的场地应平整，并能承受吊篮自重和各种施工荷载的组合设计值；

3 吊篮用配重与吊篮应可靠连接；

4 每次使用前应进行空载运转并检查安全锁是否有效；进行安全锁试验时，吊篮离地面高度不得大于 2m，并只能进行单侧试验；

5 施工人员应经过培训，熟练操作施工吊篮；

6 施工吊篮不应作为竖向运输工具，并不得超载；

7 不应在空中进行施工吊篮检修；

8 施工吊篮上的施工工人必须戴安全帽、配系安全带，安全带必须系在保险绳上并与主体结构有效连接；

9 吊篮上不得放置电焊机，也不得将吊篮和钢丝绳作为焊接地线，收工后，吊篮应降至地面，并切断吊篮电源；

10 收工后，吊篮及吊篮钢丝绳应固定牢靠，并应做好电器防雨、防潮和防尘措施；长期停用，应对钢丝绳的采取有效的防锈措施。

9.5.7 现场焊接作业前，应清除焊接施工位置下方楼层和地面上的可燃物。焊接施工时，应在焊接点的下方设置接火斗。接火斗应采用镀锌钢板制成，接火斗内部应敷设岩棉毡并喷洒清水，防止焊渣飞溅。

9.5.8 施工过程中，不得在窗台、栏杆上放置施工工具，每完成一道施工工序后，应及时清理施工现场遗留的杂物。在脚手架和吊篮上施工时，不得随意抛掷物品。

10 工程验收

10.1 一般规定

10.1.1 幕墙工程验收时，应根据工程实际情况部分或全部检查下列文件和记录：

- 1 幕墙工程的竣工图或施工图、结构计算书、热工性能计算书、设计变更文件、设计说明及其他设计文件；
- 2 建筑设计单位对幕墙工程设计文件的确认；
- 3 幕墙工程所用材料、紧固件及其他附件的产品合格证书、性能检测报告、进场验收记录和复验报告；
- 4 面板连接承载力验证的检测报告；
- 5 空心陶板采用均布静态荷载弯曲试验确定其受弯承载能力的检测报告；
- 6 后置埋件的现场拉拔检测报告；
- 7 幕墙的气密性能、水密性能、抗风压性能检测报告；地震设计状况时，尚应提供平面内变形性能检测报告；
- 8 幕墙与主体结构防雷接地点之间的电阻检测记录；
- 9 隐蔽工程验收文件；
- 10 幕墙安装施工质量检查记录；
- 11 现场淋水试验记录；
- 12 其他资料。

10.1.2 人造板材幕墙工程应对下列材料性能进行复验：

- 1 瓷板、陶板、微晶玻璃板、木纤维板、纤维水泥板和石材蜂窝板的抗弯强度；
- 2 用于寒冷地区和严寒地区时，瓷板、陶板、纤维水泥板和石材蜂窝板的抗冻性；
- 3 建筑密封胶以及瓷板、陶板、微晶玻璃板和纤维水泥板

挂件缝隙填充用胶粘剂的污染性；

4 立柱、横梁等支承构件用铝合金型材、钢型材以及幕墙与主体结构之间的连接件的力学性能。

10.1.3 幕墙工程验收前，应在安装施工过程中完成下列隐蔽项目的现场验收；

- 1 预埋件或后置锚栓连接件；
- 2 幕墙构件与主体结构的连接节点；
- 3 幕墙周边、幕墙内表面与主体结构之间的封堵；
- 4 幕墙伸缩缝、沉降缝、防震缝及墙面转角节点；
- 5 幕墙防雷连接节点；
- 6 幕墙防火、隔烟节点。

10.1.4 各分项工程检验批的划分应符合下列规定：

1 设计、材料、工艺和施工条件相同的人造板材幕墙工程，每 1000m² 为一个检验批，不足 1000m² 应划分为一个独立检验批；每个检验批每 100m² 应至少查一处，每处不得少于 10m²；

2 同一单位工程中不连续的幕墙工程应单独划分检验批；

3 对于异形或有特殊要求的幕墙，检验批的划分应根据幕墙的结构、工艺特点及幕墙工程的规模，宜由监理单位、建设单位和施工单位协商确定。

10.2 工程验收

I 主控项目

10.2.1 人造板材幕墙工程所使用的材料、构件和组件的质量，应符合设计要求及国家现行产品标准的规定。

检验方法：检查材料、构件、组件的产品合格证书、进场验收记录和本规范第 10.1.2 条中所规定的材料力学性能复验报告。

10.2.2 人造板材幕墙工程的造型、立面分格、颜色、光泽、花纹和图案应符合设计要求。

检验方法：观察；尺量检查。

10.2.3 主体结构的预埋件和后置埋件的位置、数量、规格尺寸及后置埋件、槽式预埋件的拉拔力应符合设计要求。

检验方法：检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录；槽式预埋件、后置埋件的拉拔试验检测报告。

10.2.4 幕墙构架与主体结构预埋件或后置埋件以及幕墙构件之间连接应牢固可靠，金属框架和连接件的防腐处理应符合设计要求。

检验方法：手扳检查；检查隐蔽工程验收记录。

10.2.5 幕墙面板的挂件的位置、数量、规格和尺寸允许偏差应符合设计要求。

检验方法：检查进场验收记录或施工记录。

10.2.6 幕墙面板连接用背栓、预置螺母、抽芯铆钉、连接螺钉的位置、数量、规格尺寸，以及拉拔力应符合设计要求。

检验方法：检查进场验收记录、施工记录以及连接点的拉拔力检测报告。

10.2.7 空心陶板采用均布静态荷载弯曲试验确定其抗弯承载力时，实测的抗弯承载力应符合设计要求。

检验方法：检查空心陶板均匀静态压力抗弯检测试验报告。

10.2.8 幕墙的金属构架应与主体防雷装置可靠接通，并符合设计要求。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

10.2.9 各种结构变形缝、墙角的连接节点应符合设计要求。

检验方法：检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

10.2.10 幕墙的防火、保温、防潮材料的设置应符合设计要求，填充应密实、均匀、厚度一致。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

10.2.11 有水密性能要求的幕墙应无渗漏。

检验方法：检查现场淋水记录。

II 一般项目

10.2.12 幕墙表面应平整、洁净，无污染，颜色基本一致。不得有缺角、裂纹、裂缝、斑痕等不允许的缺陷。瓷板、陶板的施釉表面不得有裂纹和龟裂。

检验方法：观察；尺量检查。

10.2.13 板缝应平直，均匀。注胶封闭式板缝注胶应饱满、密实、连续、均匀、无气泡，深浅基本一致、缝宽基本均匀、光滑顺直，胶缝的宽度和厚度应符合设计要求；胶条封闭式板缝的胶条应连续、均匀、安装牢固、无脱落，板缝宽度应符合设计要求。

检验方法：观察；尺量检查。

10.2.14 幕墙的框架和面板接缝应横平竖直，缝宽基本均匀。

检验方法：观察。

10.2.15 转角部位面板边缘整齐、合缝顺直，压向符合设计要求。

检验方法：观察。

10.2.16 滴水线宽窄均匀、光滑顺直，流水坡向符合设计要求。

检验方法：观察。

10.2.17 幕墙隐蔽节点的遮封装修应整齐美观。

检验方法：观察。

10.2.18 幕墙面板的表面质量和检验方法应符合表 10.2.18-1~表 10.2.18-4 的规定。

表 10.2.18-1 单块瓷板、陶板、微晶玻璃幕墙面板的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求			检查方法
		瓷板	陶板	微晶玻璃	
1	缺棱：长度×宽度不大于10mm×1mm（长度小于5mm 不计）周边允许（处）	1	1	1	金属直尺

续表 10.2.18-1

项次	项目	质量要求			检查方法
		瓷板	陶板	微晶玻璃	
2	缺角：边长不大于 5mm×2mm (边长小于 2mm×2mm 不计)(处)	1	2	1	金属直尺
3	裂纹（包括隐裂、釉面龟裂）	不允许	不允许	不允许	目测观察
4	窝坑（毛面除外）	不明显	不明显	不明显	目测观察
5	明显擦伤、划伤	不允许	不允许	不允许	目测观察
6	轻微划伤	不明显			目测观察

注：目测观察，是指距板面 3m 处肉眼观察。

表 10.2.18-2 每平方米石材蜂窝板幕墙面板的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求	检查方法
1	缺棱：最大长度 \leq 8mm，最大宽度 \leq 1mm， 周边每米长允许（处）（长度 $<$ 5mm， 宽度 $<$ 1.0mm 不计）	1	金属直尺
2	缺角：最大长度 \leq 4mm，最大宽度 \leq 2mm， 每块板允许（处）（长度、宽度 $<$ 2mm，不计）	1	金属直尺
3	裂纹	不允许	目测
4	划伤	不明显	目测观察
5	擦伤	不明显	目测观察

注：目测观察，是指距板面 3m 处肉眼观察。

表 10.2.18-3 单块木纤维板幕墙面板的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求	检查方法
1	缺棱、缺角	不允许	目测观察
2	裂纹	不允许	目测观察
3	表面划痕：长度不大于 10mm， 宽度不大于 1mm 每块板允许（处）	2	金属直尺
4	轻微擦痕：长度不大于 5mm， 宽度不大于 2mm 每块板允许（处）	1	目测观察

注：目测观察，是指距板面 3m 处肉眼观察。

表 10.2.18-4 纤维水泥板幕墙面板的表面质量和检验方法

项次	项目		质量要求	检查方法
1	缺棱：长度×宽度不大于 10mm×3mm (长度小于 5mm 不计) 周边允许 (处)		2	金属直尺
2	缺角：边长 6mm×3mm (边长 2mm×2mm 不计) 允许 (处)		2	金属直尺
3	裂纹、明显划伤、长度大于 100mm 的轻微划伤		不允许	目测观察
4	长度≤100mm		每平方米 ≤8 条	金属直尺
5	擦伤总面积		每平方米 ≤500mm ²	金属直尺
6	窝坑 (背面除外)	光面板	不明显	目测观察
		有表面质感等特殊装饰效果板	符合设计要求	目测观察

注：目测观察，是指距板面 3m 处肉眼观察。

10.2.19 幕墙的安装质量检验应在风力小于 4 级时进行，幕墙的安装质量和检验方法应符合表 10.2.19 的规定。

表 10.2.19 人造板材幕墙安装质量和检验方法

项次	项目	尺寸范围	允许偏差 (mm)	检验方法
1	相邻立柱间距 尺寸 (固定端)	—	±2.0	金属直尺
2	相邻两横梁 间距尺寸	≤2000mm	±1.5	金属直尺
		>2000mm	±2.0	金属直尺
3	单个分格对 角线长度差	长边边长≤2000mm	3.0	金属直尺或伸缩尺
		长边边长>2000mm	3.5	金属直尺或伸缩尺
4	立柱、竖缝及 墙面的垂直度	幕墙总高度 ≤30m	10.0	激光仪或经纬仪
		幕墙总高度 ≤60m	15.0	
		幕墙总高度 ≤90m	20.0	
		幕墙总高度 ≤150m	25.0	
		幕墙总高度 >150m	30.0	

续表 10.2.19

项次	项目	尺寸范围	允许偏差 (mm)	检验方法
5	立柱、竖缝直线度	—	2.0	2.0m 靠尺、塞尺
6	立柱、墙面的平面度	相邻两墙面	2.0	激光仪或经纬仪
		一幅幕墙总宽度 $\leq 20\text{m}$	5.0	
		一幅幕墙总宽度 $\leq 40\text{m}$	7.0	
		一幅幕墙总宽度 $\leq 60\text{m}$	9.0	
		一幅幕墙总宽度 $> 80\text{m}$	10.0	
7	横梁水平度	横梁长度 ≤ 2000	1.0	水平仪或水平尺
		横梁长度 > 2000	2.0	
8	同一标高横梁、横缝的高度差	相邻两横梁、面板	1.0	金属直尺、塞尺或水平仪
		一幅幕墙幅宽 $\leq 35\text{m}$	5.0	
		一幅幕墙幅宽 $> 35\text{m}$	7.0	
9	缝宽度（与设计值比较）	—	± 2.0	游标卡尺

注：一幅幕墙是指立面位置或平面位置不在一条直线或连续弧线上的幕墙。

11 保养和维修

11.1 一般规定

11.1.1 幕墙工程竣工验收时，承包商应向业主提供《幕墙使用维护说明书》。《幕墙使用维护说明书》应包括下列内容：

- 1 幕墙的设计依据、主要特点和性能参数，以及幕墙结构的设计使用年限；
- 2 使用过程中的注意事项；
- 3 特殊开启形式窗的使用与维护要求；在开启窗明显部位设置的使用警示标志和说明；
- 4 环境条件变化可能对幕墙使用产生的影响；
- 5 日常与定期的维护、保养及清洁要求；
- 6 幕墙的主要结构特点及易损零部件更换方法；
- 7 备品、备料清单及主要易损件的名称、规格；
- 8 承包商的保修责任、保修年限。

11.1.2 幕墙交付使用后，应及时制定幕墙的检查、维修、保养计划与制度。幕墙的保养和维护应符合现行行业标准《建筑外墙清洗维护技术规程》JGJ 168 的规定。并应做好周边环境的安全保护措施。

11.2 检查与维修

11.2.1 日常维护和保养应符合下列规定：

- 1 保持幕墙表面整洁，避免锐器及腐蚀性气体和液体与幕墙表面接触；
- 2 保持幕墙排水系统的畅通，发现堵塞及时疏通；
- 3 保持开缝式幕墙防水系统和排水系统的有效性和完好性，发现堵塞及时疏通；

4 发现门、窗启闭不灵或附件损坏等现象时，应及时修理或更换；

5 发现密封胶或密封胶条脱落或损坏时，应及时进行修补与更换；

6 发现幕墙构件或附件的螺栓、螺钉松动或锈蚀时，应及时拧紧或更换；

7 发现幕墙面板挂件、背栓等连接部件松动或脱落时，应及时修补或更换；

8 发现幕墙构件锈蚀时，应及时除锈补漆或采取其他防锈措施；

9 对破损的板材应及时进行更换。

11.2.2 定期检查和维修应符合下列规定：

1 在幕墙工程竣工验收后一年时，应对幕墙工程进行一次全面检查，此后每五年应检查一次。定期检查和维修项目应包括：

- 1) 幕墙整体有无变形、错位、松动，当发现上述情况，则应对该部位对应的隐蔽结构进行进一步检查；
- 2) 幕墙的主要承力件、连接件和连接螺栓等有无锈蚀、损坏，连接是否可靠；
- 3) 幕墙面板有无松动和损坏；
- 4) 密封胶有无脱胶、开裂、起泡，密封胶条有无脱落、老化等损坏现象；
- 5) 幕墙排水系统是否通畅，开缝幕墙的防水系统是否损坏或失效；
- 6) 背栓连接幕墙的连接装置是否松动、损坏。

2 石材蜂窝板幕墙工程使用十年后，应对石材铝蜂窝板进行抽样检查；此后每三年宜检查一次。

11.2.3 灾后检查和维修应符合下列规定：

1 当幕墙遭遇强风袭击后，应及时对幕墙进行全面检查，修复或更换损坏的构件；发现损坏情况较严重时，应及时通知有

关单位，制定维修方案，进行维修；

2 当幕墙遭遇地震、火灾等灾害后，应由专业技术人员对幕墙进行全面检查，并根据损坏程度制定处理方案和维修方案，进行维修。

11.3 清 洗

11.3.1 业主应根据幕墙表面的积灰污染程度，确定其清洗次数，但每年不应少于一次。

11.3.2 清洗幕墙时，应符合现行行业标准《建筑外墙清洗维护技术规程》JGJ 168 的规定，并符合下列规定：

1 宜采用专用清洗设备进行清洗；

2 清洗方法和清洗工具应与幕墙面板材料相适应，不得污染、腐蚀和损伤面板、幕墙构件、密封材料或嵌缝材料；

3 清洗材料宜选用清水；幕墙局部污染严重，可采用 pH 值为 6.0~8.0 的中性清洗剂或其他对幕墙面板、构件无污染、无损害的措施进行局部清洗，并及时采用清水冲洗；

4 清洗开放式幕墙时，应制定施工作业方案并对水流量进行控制，防止清洗用水大量渗入幕墙背面；

5 清洗应自上而下进行，喷水嘴与幕墙立面宜成 60°斜角，并对水压进行控制；

6 幕墙的维修应由经过培训合格的人员进行；

7 雨天、雾天、气温高于 35℃或低于 5℃时，不得进行幕墙清洗；风力大于 5 级时，不得进行高空作业；

8 作业面下方地面，应进行围挡并做好警戒、警示标志，并派专人监护。

附录 A 石材蜂窝复合板等效弯曲刚度计算

A.0.1 石材蜂窝复合板中性轴计算应符合下列规定：

1 石材面板位置在上侧的石材蜂窝复合板中性轴位置见图 A.0.1-1。

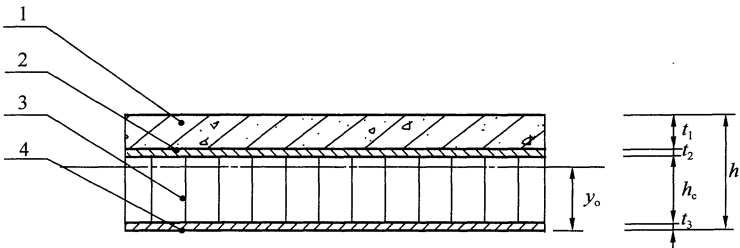


图 A.0.1-1

1—石材面板，厚度为 t_1 ；2—与石材面板粘结的背板内面板，厚度为 t_2 ；
3—铝蜂窝芯，厚度为 h_c ；4—背板外面板，厚度为 t_3

2 石材面板位置在下侧的石材蜂窝复合板中性轴位置见图 A.0.1-2。

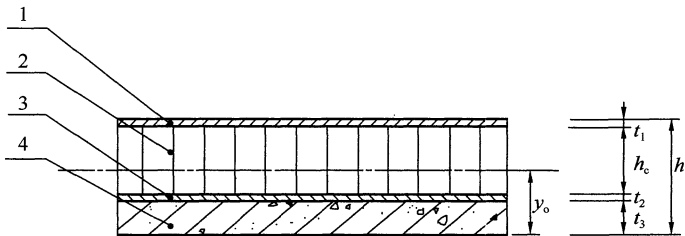


图 A.0.1-2

1—背板外面板，厚度为 t_1 ；2—铝蜂窝芯，厚度为 h_c ；3—与石材面板粘结的背板内面板，厚度为 t_2 ；4—石材面板，厚度为 t_3

3 以下侧板（图 A. 0. 1 中背板外面板、图 A. 0. 2 中石材面板）的下表面为计算坐标原点，石材蜂窝复合板中性轴的位置可按下式计算：

$$y_0 = \frac{t_3 E_3 \frac{t_3}{2} + h_c E_c \left[\frac{h_c}{2} + t_3 \right] + t_2 E_2 \left[h_c + t_3 + \frac{t_2}{2} \right] + t_1 E_1 \left[h_c + t_3 + t_2 + \frac{t_1}{2} \right]}{t_3 E_3 + h_c E_c + t_2 E_2 + t_1 E_1} \quad (\text{A. 0. 1-1})$$

式中： E_1 、 E_2 ——背板内、外面板材料的弹性模量（N/mm²）；
 E_3 ——石材面板的弹性模量（N/mm²）；
 E_c ——铝蜂窝芯的弹性模量（N/mm²）。

4 当不考虑铝蜂窝芯层的弹性模量时，石材蜂窝复合板中性轴的位置也可按下列简化公式计算：

$$y_0 = \frac{t_3 E_3 \frac{t_3}{2} + t_2 E_2 \left[h_c + t_3 + \frac{t_2}{2} \right] + t_1 E_1 \left[h_c + t_3 + t_2 + \frac{t_1}{2} \right]}{t_3 E_3 + t_2 E_2 + t_1 E_1} \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

注：由于铝蜂窝芯的弹性模量远远小于其他材料的弹性模量，因而有 E_c 项的计算可取 E_c 为零值。

5 石材面板位置在上侧（图 A. 0. 1）的石材蜂窝复合板中性轴距石材面板表面的距离可按下列公式计算：

$$l = h - y_0 \quad (\text{A. 0. 1-3})$$

式中： l ——石材蜂窝复合板中性轴距石材面板表面的距离（mm）；

h ——石材蜂窝复合板整板厚度（mm）。

6 石材面板位置在下侧（图 A. 0. 2）的石材蜂窝复合板中性轴距石材面板表面的距离应按下列公式计算：

$$l = y_0 \quad (\text{A. 0. 1-4})$$

A. 0. 2 石材蜂窝复合板等效弯曲刚度计算应符合下列规定：

1 当风荷载方向为垂直向下作用于板（图 A. 0. 1 中石材面板或图 A. 0. 2 中背板外面板）的表面时，石材蜂窝复合板等效

弯曲刚度可按下列公式计算：

$$\begin{aligned}
 D_e = & \frac{E_1 t_1^3}{12} + E_1 t_1 \left[t_3 + t_2 + \frac{t_1}{2} + h_c - y_0 \right]^2 + \frac{E_2 t_2^3}{12} \\
 & + E_2 t_2 \left[t_3 + h_c + \frac{t_2}{2} - y_0 \right]^2 + \frac{E_c h_c^3}{12} \\
 & + E_c h_c \left[t_3 + \frac{h_c}{2} - y_0 \right]^2 + \frac{E_3 t_3^3}{12} \\
 & + E_3 t_3 \left[\frac{t_3}{2} - y_0 \right]^2 \quad (\text{A. 0. 2-1})
 \end{aligned}$$

式中： D_e ——石材蜂窝复合板的等效弯曲刚度（N/mm）。

2 当不考虑铝蜂窝芯层的刚度时，石材蜂窝复合板等效弯曲刚度也可按下列简化公式计算：

$$\begin{aligned}
 D_e = & \frac{E_1 t_1^3}{12} + E_1 t_1 \left[t_3 + t_2 + \frac{t_1}{2} + h_c - y_0 \right]^2 + \frac{E_2 t_2^3}{12} \\
 & + E_2 t_2 \left[t_3 + h_c + \frac{t_2}{2} - y_0 \right]^2 + \frac{E_3 t_3^3}{12} \\
 & + E_3 t_3 \left[\frac{t_3}{2} - y_0 \right]^2 \quad (\text{A. 0. 2-2})
 \end{aligned}$$

A. 0. 3 石材面板位置在上侧（图 A. 0. 1-1）时计算的结果应代表石材蜂窝复合板受正风荷载、石材面板表面受压时，整板的弯曲刚度；石材面板位置在下侧（图 A. 0. 1-2）时计算的结果应代表石材蜂窝复合板板材受负风荷载、石材面板表面受拉时，整板的弯曲刚度。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 4 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 5 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 6 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
- 7 《建筑物防雷设计规范》 GB 50057
- 8 《公共建筑节能设计标准》 GB 50189
- 9 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 10 《铝合金结构设计规范》 GB 50429
- 11 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 12 《紧固件 外螺纹零件末端》 GB/T 2
- 13 《1 型六角螺母 C 级》 GB/T 41
- 14 《平垫圈 C 级》 GB 95
- 15 《平垫圈 A 级》 GB 97.1
- 16 《紧固件 铆钉用通孔》 GB/T 152.1
- 17 《紧固件 沉头螺钉用沉孔》 GB/T 152.2
- 18 《紧固件 圆柱头用沉孔》 GB/T 152.3
- 19 《普通螺纹 公差》 GB/T 197
- 20 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 21 《十字槽盘头螺钉》 GB/T 818
- 22 《十字槽盘头自攻螺钉》 GB 845
- 23 《轻型弹簧垫圈》 GB 859
- 24 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》

GB 912

- 25 《不锈钢焊条》GB/T 983
- 26 《不锈钢棒》GB/T 1220
- 27 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 28 《一般用途耐蚀钢铸件》GB/T 2100
- 29 《合金结构钢》GB/T 3077
- 30 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1
- 31 《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2
- 32 《紧固件机械性能 自攻螺钉》GB/T 3098.5
- 33 《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6
- 34 《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11
- 35 《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15
- 36 《紧固件机械性能 抽芯铆钉》GB/T 3098.19
- 37 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274
- 38 《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280
- 39 《耐候结构钢》GB/T 4171
- 40 《不锈钢冷加工棒》GB/T 4226
- 41 《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237
- 42 《不锈钢丝》GB/T 4240
- 43 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 44 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 45 《铝合金建筑型材 第1部分：基材》GB 5237.1
- 46 《铝合金建筑型材 第2部分：阳极氧化型材》GB 5237.2
- 47 《铝合金建筑型材 第3部分：电泳涂漆型材》GB 5237.3
- 48 《铝合金建筑型材 第4部分：粉末喷涂型材》GB 5237.4
- 49 《铝合金建筑型材 第5部分：氟碳漆喷涂型材》

GB 5237.5

- 50 《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》GB 5237.6
- 51 《六角头螺栓 C级》GB/T 5780
- 52 《六角头螺栓 全螺纹 C级》GB/T 5781
- 53 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
- 54 《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967
- 55 《结构用无缝钢管》GB 8162
- 56 《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352
- 57 《开口型平圆头抽芯铆钉 51级》GB/T 12618.4
- 58 《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912
- 59 《自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1 ~ GB/T 15856.5
- 60 《雷电电磁脉冲的防护 第1部分：通则》GB/T 19271.1
- 61 《建筑幕墙》GB/T 21086
- 62 《石材用建筑密封胶》GB/T 23261
- 63 《防火封堵材料》GB 23864
- 64 《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267
- 65 《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498
- 66 《不燃无机复合板》GB 25970
- 67 《民用建筑电气设计规范》JGJ 16
- 68 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
- 69 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 70 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
- 71 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 72 《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102
- 73 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
- 74 《建筑外墙清洗维护技术规程》JGJ 168
- 75 《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG 160
- 76 《建筑用隔热铝合金型材》JG 175

- 77 《建筑幕墙用瓷板》 JG/T 217
- 78 《建筑幕墙用高压热固化木纤维板》 JG/T 260
- 79 《建筑幕墙用陶板》 JG/T 324
- 80 《建筑装饰用石材蜂窝复合板》 JG/T 328
- 81 《外墙用非承重纤维增强水泥板》 JG/T 396
- 82 《建筑装饰用微晶玻璃》 JC/T 872
- 83 《建筑装饰用天然石材防护剂》 JC/T 973
- 84 《幕墙玻璃接缝用密封胶》 JC/T 882

中华人民共和国行业标准

人造板材幕墙工程技术规范

JGJ 336 - 2016

条文说明

制 订 说 明

《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336 - 2016 经住房和城乡建设部 2016 年 7 月 9 日以第 1206 公告批准、发布。

本规范在编制过程中，编制组进行了大量的调查研究，总结了近年来我国人造板材幕墙行业设计、施工、检测的实践经验，同时参考了国外有关建筑幕墙的技术标准，通过面板材料的物理力学性能试验、板材弯曲强度与剪切强度对比试验、面板不同支承连接承载能力试验、背栓连接受拉和受剪承载力验证试验等，取得了相应的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《人造板材幕墙工程技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总则	94
2	术语和符号	97
2.1	术语	97
3	材料	99
3.1	一般规定	99
3.2	铝合金型材	101
3.3	钢材	101
3.4	面板材料	102
3.5	连接件与紧固件	104
3.6	密封材料和粘结材料	105
3.7	其他材料	106
4	建筑设计	108
4.1	一般规定	108
4.2	性能设计和检测要求	110
4.3	面板接缝设计	114
4.4	构造设计	117
4.5	防火、防雷设计	120
4.6	其他安全性设计	122
5	结构设计	123
5.1	一般规定	123
5.2	材料力学性能与物理性能	125
5.3	荷载与作用	129
5.4	荷载及作用效应组合	132
5.5	连接设计	134
6	面板及其连接设计	138

6.1	一般规定	138
6.2	短挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃板、陶板	140
6.3	通长挂件支承连接的瓷板、陶板、微晶玻璃板、 纤维水泥板	142
6.4	背栓支承连接的瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板	143
6.5	背面预置螺母支承连接的石材蜂窝板	144
6.6	穿透支承连接的木纤维板、纤维水泥板	148
6.7	背面支承连接的木纤维板	150
7	支承结构设计	151
7.1	一般规定	151
7.2	横梁	152
7.3	立柱	155
8	加工制作	158
8.1	一般规定	158
8.2	铝型材	159
8.3	钢构件	159
8.4	瓷板、陶板、微晶玻璃板	159
8.5	石材蜂窝板	160
8.6	木纤维板	161
8.7	纤维水泥板	161
8.8	构件、组件检验	161
9	安装施工	163
9.1	一般规定	163
9.2	安装施工准备	164
9.3	预埋件、后锚固连接件	165
9.4	幕墙安装	165
9.5	安全规定	167
10	工程验收	170
10.1	一般规定	170
10.2	工程验收	170

11	保养和维修	172
11.1	一般规定	172
11.2	检查与维修	172
11.3	清洗	172

1 总 则

1.0.1 近年来，我国建筑幕墙行业得到了飞速发展，建筑幕墙建造量已位居世界前列，随着各种新材料的研制与生产，瓷板、陶板、微晶玻璃板、石材铝蜂窝板、高压热固化木纤维板、纤维水泥板等人造板材，由于其轻质和独特的装饰效果，也得到了广泛应用。一些相关的国家标准，如《建筑幕墙》GB/T 21086-2007，以及有关的人造外墙板材产品标准如《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217-2007等行业标准已经陆续完成了制定，并颁布实施。

在总结近年来我国人造板材幕墙行业设计、施工、检测的实践经验基础上，补充进行了一定的试验研究，参考了德国标准《背部通风外墙饰层》DIN 18516:1999 和美国《接缝密封胶使用指南》ASTM C1193-00 等国际上有有关建筑幕墙的技术标准，并与我国现有建筑幕墙相关国家和行业标准相协调，编制了本规范。

1.0.2 由于工业建筑范围广，可能存在防辐射、防腐蚀、防高温、防高湿、防爆炸、防振动、防低温等特殊要求，应专门研究，采取相应措施，本规范难以完全覆盖。对于无特殊要求的一般工业建筑，人造板材幕墙工程的设计、制作、安装施工、工程验收以及保养和维修，可参照本规范执行。

我国于2001年制定国家标准《建筑幕墙抗震性能振动台试验方法》GB/T 18575-2001以来，进行了不少建筑幕墙的振动台试验。近年来，瓷板、陶板、微晶玻璃板幕墙进行的抗震性能振动台试验结果，也表明这些脆性人造板材幕墙能够满足抗震设防烈度8度的抗震性能要求。受到9度设防烈度地震作用时，不仅会造成主体结构产生较大的变形，甚至可能发生比较严重的破坏，幕墙的设计、制作和安装施工需要采取更加有效的措施。

鉴于人造板材幕墙面板材料的特性和在超高层建筑中应用的工程经验比较少，因此，本规范对人造板材幕墙工程所适用的抗震设防烈度和应用高度进行了限制。当人造板材幕墙工程的应用高度大于本规范所适用的范围时，应根据工程实际进行专门设计。

人造板材幕墙用于既有民用建筑改造时，幕墙与主体结构的连接，应根据既有建筑主体结构种类，采取适宜的连接措施并进行试验验证，确保工程符合规定的安全性、适用性和耐久性要求。

1.0.3 人造板材幕墙的可靠性，就是在规定的时间内，在规定的条件下，完成其预定功能的能力。这个规定的时间，就是指幕墙的设计使用年限；这个规定的条件，就是正常设计、正常施工、正常使用和维护。在规定的设计使用年限内，作为建筑物的外围护结构并具有建筑装饰作用的建筑幕墙，除了必须具有良好的力学性能外，还要有良好的建筑物理性能和建筑装饰效果，以保证其正常的使用功能；在承受其设计基准期预计的最大荷载和作用时应具有抗风、抗震等必需的安全性。

根据我国国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的“小震不坏、中震可修、大震不倒”的建筑抗震设防基本原则，本规范规定的人造板材幕墙抗震设防目标具体含义是，当遭遇低于工程所在地抗震设防烈度的多遇地震影响时，幕墙一般不受损坏或不需修理可继续使用；当遭遇相当于工程所在地抗震设防烈度的地震影响时，幕墙可能损坏，但不应有严重破损，经一般修理或不需修理仍可使用；当遭遇高于工程所在地抗震设防烈度预估的罕遇地震影响时，幕墙会受到比较严重的损坏（比如面板破碎等），但支承结构构件不应脱落、倒塌。对于使用功能或其他方面有专门要求的建筑，可按高于上述一般情况的设防目标进行抗震性能化设计。

1.0.4 进行人造板材幕墙工程的设计、材料选择、加工制作、安装施工和维修保养时，还有许多密切相关的标准和规范，如：

有关的建筑设计规范、结构设计规范、建筑防火设计规范、建筑抗震设计规范、建筑防雷设计规范、建筑节能设计标准以及其他建筑幕墙工程技术规范、施工质量验收规范以及幕墙物理性能检测等现行国家标准和行业标准、地方标准等，本规范中没有规定的内容，应按照相关标准和规范的规定执行。

设计计算是保证幕墙具有规定的可靠度的基础，幕墙的材料性能、加工制作质量和施工质量，是满足设计构造和结构承载能力的根本保证，应进行控制并满足相关规范的规定。

人造板材幕墙使用的主要材料有：钢材、铝材、瓷板、陶板、微晶玻璃板、石材铝蜂窝板、木纤维板、纤维水泥板等，以及密封材料、粘结材料、各种连接件和紧固件等，均有相应的国家标准和行业标准。有特殊要求的材料，在本规范第3章中，也进行了明确规定。选用的材料尺寸，除特别注明为实际尺寸之外，均指其设计尺寸（公称尺寸）。规定有尺寸允许偏差的产品，其实际尺寸应在规定的允许偏差范围之内，并符合设计规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 本条明确定义了本规范所适用的“人造板材”幕墙，是采用除玻璃、金属与天然石材面板以外的“人造外墙板”为面板的建筑幕墙，而非“人造板”幕墙。我国建材行业久已存在的“人造板”，在国家标准《人造板及其表面装饰术语》GB/T 18259-2000中的定义是：“以木材或其他非木材植物为原料，经一定机械加工分离成各种单元材料后，施加或不施加胶粘剂和其他添加剂胶合而成的板材或模压制品。主要包括胶合板、刨花（碎料）板和纤维板三大类型”，该人造板术语的英文译名是 wood-based panel。而本规范定义的人造板材幕墙的英文译名是 artificial panel curtain wall，而不是 wood-based panel curtain wall。

2.1.2 本条定义的人造外墙板（artificial panel for exterior application）是采用人造材料或天然材料与人造材料制成的、适用于建筑幕墙使用的单层板或复合板。目前建材行业所用的以木纤维为基的“人造板”（wood-based panel）以及其他一些墙板材料，即使有“室外型”用板，也不一定适合建筑幕墙使用。建筑幕墙用的面板材料，一方面要具有室外建筑气候环境适应性，另一方面还要有很好的力学性能，才能满足建筑幕墙特别是高层和超高层建筑用幕墙面板对板材及其固定连接的承载能力要求。本规范中的人造板材幕墙面板，瓷板、陶板、微晶玻璃、纤维水泥板和石材蜂窝板，均是与现在的木基人造板不同的外墙板材，即使是本规范中的高压热固化木纤维板，也与国家标准《人造板及其表面装饰术语》GB/T 18259-2009中所定义的即通常所用的木纤维板不同，是建筑幕墙用高压热固化木纤维板。

2.1.3~2.1.8 这六条术语中文名称中的面板材料名称，瓷板、陶板、微晶玻璃均与其产品标准规定的产品名称一致；石材蜂窝板则是与该产品标准规定的简称一致；木纤维板和纤维水泥板则是本规范所规定的面板材料简称。从而便于本规范中用面板材料的简称来定义幕墙名称：瓷板幕墙、陶板幕墙、微晶玻璃幕墙、石材蜂窝板幕墙、木纤维板幕墙、纤维水泥板幕墙。这样，就与行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 和《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133 中分别简称的玻璃幕墙、石材幕墙、单层铝板幕墙、铝塑复合板幕墙、蜂窝铝板幕墙等称呼方法一致，即行业内约定俗成的以面板材料名称命名幕墙的名称。而且，由于本规范中的人造板材幕墙面板材料名的全称太长，不利于叙述，也有必要定义幕墙的简称。

2.1.9~2.1.16 该八条术语中所涉及的“封闭式幕墙”和“开放式幕墙”的概念，与现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086-2007 中的定义一致：“①封闭式建筑幕墙 sealed curtain wall，要求具有阻止空气渗透和雨水渗漏功能的建筑幕墙；②开放式建筑幕墙 open joint curtain wall，不要求具有阻止空气渗透或雨水渗漏功能的建筑幕墙。包括遮挡式和开缝式建筑幕墙。”

本规范根据所涉及的六种人造板材非透明幕墙的构造特点，按照面板接缝的不同形式，将封闭式幕墙划分为注胶封闭式和胶条封闭式；将开放式幕墙划分为开缝式和遮挡式，其中遮挡式又细分为搭接遮挡式和嵌条遮挡式。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1 幕墙所用材料是保证幕墙可靠性的物质基础，为了保证幕墙安全和性能，幕墙材料必须满足设计要求并符合相关现行国家标准和行业标准的质量规定，当工程所在地有特殊要求时，还应符合相应地方标准规定；采用国外先进国家同类产品标准或生产厂商的企业标准作为产品质量控制依据时，不应低于相应国家现行标准并符合设计规定，出厂时，必须有产品出厂合格证。进口材料还必须具有商检报告和原产地证明。

3.1.2 建筑幕墙处于建筑物的外表面，在不同的自然环境下，会承受如日晒、雨淋、风沙、冷冻、腐蚀、温度激变等不利因素的影响。因此，根据设计要求，幕墙材料应具有足够的耐候性和耐久性，具备防日晒、防风雨、防风沙、防腐蚀、防盗、防撞、保温、隔热、隔声等功能。

容易吸收水分的多孔材料，如陶板、纤维水泥板和石材蜂窝板表面的石材等，在低温下，基体内吸收的水分会结冰降低材料的性能；高压热固化木纤维板采用的树脂胶粘剂，对于温度激变比较敏感，因此，对于这些面板材料，应根据工程所在地的气候条件对建筑的影响，按照相应的现行产品标准，进行抗冻性试验或抗气候激变试验。

由于幕墙用材料种类较多，各自承担的功能和工作条件也不一致，因此，部分材料或构件，如：可开启部位的五金件、部分密封材料等，其使用寿命不能和幕墙设计使用年限等同，属于可更换的易损件，在进行幕墙设计时，应充分考虑。

3.1.3 幕墙所用材料应具有一定的防火功能以防止建筑物火灾蔓延，减少火灾造成的损失。但幕墙作为非承重的建筑外墙围护

结构，又必须具有一定的热工性能，以达到建筑外墙的保温隔热要求，所以，幕墙用的材料不可能都是不燃材料，在幕墙工程的加工制作、安装施工和使用中可能会存在火灾隐患，因此，根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定，考虑到材料燃烧性能和国内消防设备的可救援高度，本条对幕墙用主要材料的燃烧性能等级进行了规定。

本条所指的幕墙用保温材料，是直接固定在面板背面的保温材料或固定在幕墙支承构架上的保温构件材料，是属于幕墙系统本身用的保温材料，不是幕墙式建筑的外墙外保温系统用的保温材料，后者在国家标准建筑设计防火规范中已有明确的规定。

本规范所用六种人造板材面板材料中有 A 级、B₁ 级和 B₂ 级（瓷板、陶板、微晶玻璃、纤维水泥板为 A 级不燃材料，石材蜂窝复合板为 B₁ 级难燃材料，高压热固化木纤维板的普通型为 B₂ 级可燃材料、阻燃型为 B₁ 级难燃材料），为有效防止高层和超高层幕墙建筑火灾的发生和蔓延，需要做出具体限制规定。

3.1.4 幕墙用防火封堵材料，应具有防火、防烟功能，以防止火灾迅速蔓延，为抢救财产和人员逃生创造机会。防火封堵材料和防火密封材料的耐火性能和阻燃性能及其他各项理化性能，应采用符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 和《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 的规定。

3.1.5 由于幕墙处于建筑物的外表面，幕墙所用金属构件和金属配件会承受大气环境中各种不利因素的影响。除不锈钢、耐候钢材料外，碳素结构钢、低合金结构钢等金属材料，都应进行热浸镀锌或其他有效的表面防腐处理，铝合金材料进行表面阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂、氟碳漆喷涂等有效的表面防腐蚀处理，保证幕墙的耐久性，防止失效。

3.1.6 幕墙工程中所采用的硅酮类胶、环氧类胶、聚氨酯类胶等都应具有与接触材料相适应的粘结性能和耐久性，并具有与主体结构变形相适应的能力，确保幕墙设计性能。这些胶在建筑上

已被广泛采用，而且已有了比较成熟的经验。

人造板材幕墙中，多数面板材料是多孔材料，面板与建筑密封胶接触部位，密封胶中的小分子如增塑剂等非反应性物质从胶中渗出，渗入到面板孔隙中，使面板表面油污和沾灰，因此，使用前，应进行耐污染试验，证实无污染后，才能使用。

建筑密封胶是化学活性材料，经过长期存放，会出现粘结强度降低、耐候性能和伸缩性能下降等问题，必须在有效期内使用。

3.1.7 放射性核素会危害人体健康，人造板材面板材料的放射性核素限量应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定。

3.2 铝合金型材

3.2.1 由于铝合金重量轻、强度较高，便于挤压成型为各种复杂截面，尺寸精度高，表面处理种类方式多，在建筑幕墙工程中得到了广泛应用。幕墙用铝合金型材的质量应符合相关现行国家标准的规定。

3.2.2 为防止大气中的酸性物质腐蚀铝合金型材表面，影响型材的美观和使用寿命，幕墙用铝合金型材应进行表面防护处理。常用的处理方法有阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂和氟碳漆喷涂四种，不同的表面处理方法具有不同的耐腐蚀性能。在进行幕墙工程设计时，应根据幕墙的使用环境、腐蚀介质、浸蚀性作用和使用年限进行选用。

3.3 钢 材

3.3.2 不锈钢材的防锈能力与其铬、镍含量有关。幕墙工程中，常用的奥氏体不锈钢有统一数字代号为 S304××和 S316××两大系列。其中，数字代号为 S304××系列不锈钢中的镍含量约 9%~10%，含镍铬总量为 27%~29%；数字代号为 S316××系列不锈钢中的镍含量约 12%~14%，含镍铬总量 29%~31%，

并增加了 2%~3% 的合金元素 Mo。由于镍铬含量和合金元素的不同,其防腐性能和适用的环境也不相同。在进行幕墙工程设计时,应根据工程所在地的环境条件、腐蚀介质和浸蚀性作用适当选用。

3.3.4 碳素钢和低合金结构钢的表面宜热浸镀锌处理,钢构件过长不便于浸锌或构件外露且建筑有美观要求时,可采用氟碳涂层或聚氨酯涂层。焊缝可采用富锌防锈漆涂层。闭口型材(空心型材),宜采用端部封口措施,防止型材内部腐蚀,提高型材耐久性。采用氟碳漆或聚氨酯漆面漆时,面漆的涂膜厚度,应根据钢构件所处的大气腐蚀性确定,大气腐蚀环境类别得确定,见国家标准《大气环境腐蚀性分类》GB/T 15957-1995。

3.3.5 焊接工艺、焊接材料是钢材之间焊接质量的基本保证。工程中采用的焊接工艺和焊接材料,应符合设计文件和现行国家标准的规定。

3.4 面板材料

3.4.3 幕墙用微晶玻璃板面板,应符合现行行业标准《建筑装饰用微晶玻璃》JC/T 872 外墙装饰微晶玻璃的规定。微晶玻璃是由结晶相和玻璃相组成的复相材料,幕墙表面在夏季气温较高和吸收太阳辐射热的情况下,微晶玻璃面板的表面温度会远远高于环境温度,暴雨时,表面温度又会急剧下降,在急冷急热状态下,容易产生微小裂纹。在使用过程中,这些微小裂纹不仅容易产生污染影响装饰效果,甚至会造成面板开裂。因此,本条规定,除了按照现行行业标准《建筑装饰用微晶玻璃》JC/T 872 的规定对试样进行听声检查之外,还应采用墨水渗透法对试样表面进行检查,确保幕墙用微晶玻璃具有良好的耐候性,保证使用要求。

3.4.4 幕墙用石材铝蜂窝复合板是一种采用天然花岗石或大理石等石材薄板与由各种不同面材与铝蜂窝芯复合而成的蜂窝板进行粘贴而成的新型复合材料,其胶粘剂的粘接层次多,原材料品

种多，性能不一，因而对复合成的产品质量和性能有很大的影响，板材质量应符合现行行业标准《建筑装饰用石材蜂窝复合板》JG/T 328 的规定。

从石材蜂窝复合板的特点和使用安全的角度出发，石材蜂窝复合板饰面石材在使用过程中，主要起到装饰作用，构成整板的承载能力主要由与其复合的各类蜂窝板来承担。通过加大石材的厚度来达到提高板材的力学性能，并不是石材蜂窝复合板的目的和特点，而通过尽可能地减小石材厚度来达到提高板材的安全性、经济性才是石材蜂窝复合板的最大优势。我们将装饰面石材的厚度限定在亚光面和镜面板的厚度不大于 5mm，装饰面石材为粗面板的厚度不大于 8mm。首先我们考虑了板材加工的可能性，由于现行产品加工技术和能力的提高，3mm~5mm 板厚的超薄型石材的加工已没有什么难度，目前已在石材蜂窝复合板中大量的应用，所以在加工制造方面是完全可行的。考虑到如采用拉毛或火烧面等粗面板材作为装饰面石材，其实际有效厚度与外形厚度有所减小，故将粗面板材的厚度增加到 8mm。其次，从经济性角度出发，对于较昂贵的砂岩等其他石材面料，越薄的厚度越具有经济优势，更能体现石材蜂窝复合板的特点。第三，在不考虑将饰面石材作为承载体的前提下，尽管它的存在对石材蜂窝复合板的承载能力有所贡献，较薄的石材将具有较好的柔软性和适应性，能更好地适应、消除不同材料间由于温度变化所引致的板块变形。第四，较薄的石材由于自重的减少和本身易脆的特点，使得饰面石材板块产生整片脱胶下坠的现象几乎成为不可能，使得石材蜂窝复合板的安全性能得到提高。第五，饰面石材也不可无限的减薄，太薄的饰面石材，容易产生细小裂纹，使得外部水分容易侵入到胶粘剂的粘结层，从而减低石材蜂窝复合板的耐久性能。

由于石材蜂窝复合板的饰面石材厚度较薄，在恶劣的外部环境条件下，酸、碱性污染物质和气体、雨水和湿气容易通过对饰面石材的侵害，并影响到胶粘剂的粘结层面，对石材蜂窝复合板

的耐久性能产生影响，同时也影响幕墙的装饰效果。所以应采用较高等级的石材防护剂进行涂刷，以起到防水、防潮、耐酸、耐碱等防护作用。

3.4.5 行业标准《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396-2012 规定产品的表观密度 $D \geq 1.2(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、吸水率 $\leq 22\%$ ，强度等级按饱水状态抗折强度分为 I ~ IV 级(7、23、18、24MPa)。考虑到幕墙的安全性，本标准规定幕墙用纤维水泥板的板材密度 $D \geq 1.5(\text{g}/\text{cm}^3)$ ，吸水率 $\leq 20\%$ ，强度等级为 III 级(饱水状态抗折强度 18MPa)及以上。《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396-2012 规定产品的物理和力学性能是在未经防水处理或涂装处理状态下测定，而本标准规定幕墙用板应是经表面防水和涂装处理的涂装板材，其涂层的质量要求应符合《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396-2012 附录 A 的规定。

3.4.6 行业标准《建筑幕墙用高压热固化木纤维板》JG/T 260-2009 中对产品的燃烧性能要求分为普通型和阻燃型两种。为提高幕墙的防火安全性，本标准规定采用阻燃型的高压热固化木纤维板。

3.5 连接件与紧固件

3.5.1 幕墙设计应尽量选用标准紧固件。采用非标准紧固件时，产品质量应符合设计要求，并有出厂合格证。

3.5.2 幕墙与建筑主体结构之间的连接件，传统上采用碳素结构钢、合金结构钢、低合金高强度结构钢或不锈钢制作。铝合金支架构件之间的连接件，一般采用铝合金型材制作。由于铝合金型材尺寸精度高，近年来，采用铝合金型材作为幕墙与建筑主体结构之间的连接件，在单元式幕墙中也得到了广泛使用。在进行幕墙与建筑主体结构或支承结构之间的连接件设计时，要综合考虑连接件的最小承载能力、截面局部稳定、耐久性（耐腐蚀性能）要求，选用适宜的材质、厚度和表面处理方法。

采用其他材质连接件（如铸钢件）时，材质和表面处理则应

符合相关现行标准的规定。

3.5.3 本规范所规定的不锈钢材料的强度设计值，是在现行国家标准《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 和《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 规定相应钢种的规定非比例延伸强度 ($R_{\text{Po.2}}^b$) 基础上确定的，是奥氏体型不锈钢进行固溶处理后的力学性能。不锈钢进行固溶处理后，可以使其成分和组织均匀一致，消除内应力，恢复不锈钢的耐蚀性能。不仅有利于挂件的折弯成形，同时也保证了挂件的耐久性。

3.5.4 为提高铝合金型材挂件的耐久性，表面应进行防腐蚀处理。

3.5.6 由于背栓连接面板不仅安全、可靠，能够同时满足开放式和封闭式幕墙的要求，而且便于幕墙面板更换，近年来，在石材幕墙和人造板材幕墙工程中得到了广泛应用。但是，至今为止，尚无背栓产品的国家标准或行业标准。为保证背栓连接安全可靠和耐久性，本规范对背栓的材质和性能等级进行了规定。现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 和《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 中规定的不锈钢组别为 A4 组（奥氏体）的不锈钢螺栓或螺母。A4 表示螺栓、螺母用不锈钢的组别，其化学成分中 Cr、Ni、Mo 钼的含量，分别与统一数字代号为 S316×× 的奥氏体型不锈钢相当。其性能等级分别为：50、70、80（表示材料的抗拉强度分别为 500N/mm²、700N/mm²、800N/mm²）。

3.6 密封材料和粘结材料

3.6.1 幕墙用胶条，应当具有耐紫外线、耐老化、耐污染、弹性好、永久变形小等特性。如果采用耐候性较差的胶条，会出现老化开裂甚至脱落等严重问题，影响幕墙的气密性能和水密性能。

采用三元乙丙橡胶和硅橡胶制品时，要采取适当措施，保证胶条的连续性，以免接头位置脱开，降低幕墙的气密性能和水密

性能。

3.6.3 符合国家标准《石材用建筑密封胶》GB/T 23261 - 2009 性能要求的密封胶有硅酮、改性硅酮或聚氨酯三类，该标准的规范性附录 A “石材用建筑密封胶与接触材料的污染性试验方法”适用于所有弹性密封胶和任何多孔性基材，使用中应根据不同的面板材料选用合适的密封胶材料，并应通过密封胶与接触材料的污染性试验。

3.6.4 面板挂件与安装槽口之间一般都存在间隙，为防止挂件与槽口刚性接触而造成面板损坏，防止面板滑移，挂槽和挂件之间的空隙要灌注胶粘剂进行填充。填充用胶粘剂应根据面板材料和挂装结构形式以及胶粘剂的许用范围选用。由于人造板材多数是多孔材料，为防止胶粘剂对面板材料造成污染，使用前宜进行污染性试验。

3.7 其他材料

3.7.2 为了提高幕墙的热工性能，必须采取措施，避免形成沟通室外的“热桥”。除了采用铝合金隔热型材之外，也可采用隔热衬垫将内外型材隔开的断热构造措施。这种断热构造措施不仅适用于内外均是同一材质的型材，而且还适用于内外是不同材质的型材。近年来，在国内外幕墙工程中，尤其是明框幕墙工程中得到了广泛应用。隔热衬垫应采用耐候性好、导热系数低的材料制作，常用的材料有聚酰胺（PA66GF25）、聚氨酯胶（PU）和未增塑聚氯乙烯。隔热衬垫的形状和尺寸，尤其是隔热衬垫的高度，应根据设计计算确定，确保幕墙的热工性能符合建筑节能设计要求。与聚酰胺（PA66GF25）、聚氨酯胶（PU）和未增塑聚氯乙烯的材质和性能有关的产品标准有国家标准《铝合金建筑型材用辅助材料 第 1 部分：聚酰胺隔热条》GB/T 23615.1、《铝合金建筑型材用辅助材料 第 2 部分：聚氨酯隔热胶材料》GB/T 23615.2 和《门、窗用未增塑聚氯乙烯（PVC-U）型材》GB/T 8814 等。在进行幕墙断热构造衬垫设计时，可进行选用。

但是，在选用未增塑聚氯乙烯作为衬垫材料时，为保证幕墙构件的耐久性，宜选用老化时间分类为 S 类的未增塑聚氯乙烯 (PVC-U) 材料。

4 建筑设计

4.1 一般规定

4.1.1 幕墙设计可分为幕墙建筑设计和幕墙施工图设计两个阶段。幕墙建筑设计的主要任务是根据建筑物的使用功能和装饰要求，对幕墙进行选型，确定幕墙的性能、构造设计和材料选择要求，确定幕墙的立面线条、色调、构图和虚实组合，协调幕墙与建筑主体、幕墙与周边环境的关系，提出幕墙的总体设计意图或要求。进行幕墙选型时，不仅要考虑幕墙的形态、构造、色调，还要考虑建筑物的寿命、使用功能、造价、能耗和施工技术条件。

确定幕墙的立面线条和立面分格时，要充分考虑面板产品的规格、尺寸，兼顾建筑物结构柱、梁的位置以及板块排列美观，合理确定单块面板外形及尺寸，尽量提高面板材料的综合利用率。

确定幕墙外轮廓线在建筑平面图上的位置时，要充分考虑主体结构结构的施工误差和幕墙构造尺寸，为幕墙构件安装调整，留出充分的余量。

幕墙施工图设计的主要任务是按照建筑师提出的总体设计意图或要求，根据施工技术条件，完成幕墙工程的细化和深化设计，保证幕墙的各项性能和装饰效果满足建筑设计要求。进行幕墙施工设计时，除了应充分考虑幕墙的安全性和可操作性外，还应根据自然环境和气候条件，考虑排水、除尘、清洗等问题。

4.1.2 人造板材幕墙的热工设计，应贯彻执行国家节约能源的方针政策，采取适当措施，对建筑物的体型系数和窗墙面积比进行控制，提高能源利用效率，改善建筑室内环境。幕墙属于建筑

围护结构，其热工性能指标，应根据建筑物所处的建筑气候分区确定，并符合现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 等现行国家标准、行业标准的规定，当工程所在地另有要求时，尚应符合相关地方标准的规定。

4.1.3 幕墙的性能等级和指标值，应根据现行国家标准和行业标准以及工程所在地的地方标准（如有关的建筑节能设计标准）的规定进行设计计算合理确定。性能等级和指标值应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定。

4.1.4 幕墙的立面分格设计应考虑板材的材质特性和适宜的单块面积。瓷板、微晶玻璃板是脆性材料，出于使用安全的考虑，在行业标准《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217 - 2007 的第 5.1 条中规定：幕墙瓷板的单片面积不宜大于 1.5m^2 ；在国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 - 2007 的第 9.3.1.1 条表 61 中规定：瓷板、微晶玻璃板的单片面积不大于 1.5m^2 。

陶板也是脆性材料，但由于其挤出成型的生产特点，单块板材面积一般不太大。随着大宽度尺寸陶板产品的发展，也要注意幕墙陶板的单块面积不要太大，以确保安全使用。

石材蜂窝板是由多种材料经胶粘剂粘结而成，它们之间的线膨胀系数存在差异，容易受在环境温度变化的影响，也应对板块的单边尺寸和单片面积进行限制。

4.1.5 人造板材幕墙设置开启窗时，开启扇的数量、大小和位置，应根据立面效果，并兼顾建筑使用功能、节能、环保等要求确定，开启窗的质感、色彩应与人造板材幕墙立面外观效果相协调。开启窗应启闭方便，使用安全。开启扇的开启角度或距离应按照各种窗型构造特点及其功能要求合理确定，避免开启角度或开启距离过大导致启闭不方便，甚至增加使用中的不安全因素。幕墙开启窗的位置、方向、方式和开启面积应满足现行国家和地方相关标准的要求。

4.1.6 幕墙面板在使用过程中，可能会因意外破损或其他原因，而需要定期清洗或更换面板。因此，幕墙设计应能满足维护和清

洗的需要。

一般情况下，高度不大于 30m 的幕墙，清洁和维护工作可以借助升降梯或其他通用设备进行，高度大于 30m 时，宜设置安全、方便的专用清洗设备配套装置，如设置擦窗机轨道或擦窗机固定销座等。进行清洗设备或配套设施设计时，要考虑这些设备或设施对建筑立面的影响，尽可能不影响幕墙的建筑装饰效果。

4.2 性能设计和检测要求

4.2.1 幕墙的抗风压性能指标值应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，根据幕墙所在位置（墙面或墙角边）计算确定，抗风压性能等级应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定。

有关试验证明，与封闭式建筑幕墙比较，开放式幕墙承受的风荷载较低。但是，由于受到立面形状、板缝构造形式（对接、搭接）、开缝宽度尺寸、单位面积上缝长，以及试验数据较少等各种因素的影响，目前尚无法给定统一的折减系数。在进行幕墙设计时，可根据工程实际情况，通过风洞模型试验确定折减系数。近年来，国内外开展了数值风洞模拟计算研究并在工程设计中得到了应用，也可用于确定开放式幕墙的风荷载折减系数。当无法确定风荷载折减系数时，开放式幕墙的抗风压性能指标值应按照本条第 1 款的规定确定。

幕墙结构构件的抗风压性能要求，本规范有关章节中已经做出了明确规定，按照现行国家标准《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 15227 的规定进行工程检测时，幕墙构件的变形不得大于规定值，并且不应发生损坏。幕墙的实际抗风压性能，不应小于所承受的风荷载标准值 w_k 。

4.2.2 建筑幕墙属于非结构构件（非建筑主体结构构件）。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定，幕墙水平地震作用标准值可按等效侧力法计算。具体的计算方法见本规

范 5.3.4 条。

在地震作用下，主体结构会产生一定的变形，支承在主体结构之上的幕墙，也会随之变形，因此，要求幕墙必须具有适应主体结构变形的能力。

建筑物在地震作用下各层间的相对位移，引起幕墙产生平面内变形。由于进行主体结构变形计算时，所考虑的风荷载、地震作用计算方法不同，因此，幕墙平面内变形性能设计也应当分为地震设计状况和持久设计状况两类。地震设计状况的幕墙，本规范规定可近似取主体结构在多遇地震作用下弹性层间位移限值的 3 倍作为控制指标。使幕墙本身的变形能力大于主体结构弹性层间位移角，确保幕墙适应主体结构的变形。

根据“中震可修”的抗震设防目标，在平面内变形性能指标值（不小于主体结构弹性层间位移角限值 $[\theta_e]$ 的 3 倍）下检测时，允许幕墙发生非严重破损，可在一般修理后继续进行试验。

根据国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010 表 5.5.1 的规定和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定，抗震设计幕墙的平面内变形性能，可按表 1 规定的主体结构楼层最大弹性层间位移角限值的 3 倍作为控制指标值。

表 1 主体结构楼层最大弹性层间位移角限值 $[\theta_e]$

结构类型	建筑高度 H (m)		
	$H \leq 150$	$150 < H \leq 250$	$H > 250$
钢筋混凝土框架	1/550	—	—
钢筋混凝土板柱-剪力墙	1/800	—	—
钢筋混凝土框架-剪力墙、 框架-核心筒	1/800	线性插值	—
钢筋混凝土筒中筒	1/1000	线性插值	1/500
钢筋混凝土剪力墙	1/1000	线性插值	—

续表 1

结构类型	建筑高度 H (m)		
	$H \leq 150$	$150 < H \leq 250$	$H > 250$
钢筋混凝土框支层	1/1000	—	—
多、高层钢结构	1/250		

- 注 1 表中弹性层间位移角 $= \Delta/h$ ， Δ 为最大弹性层间位移量， h 为层高；
 2 钢管混凝土、钢筋混凝土、型钢混凝土等其他结构应按照相关的结构设计规范取值。

钢管混凝土、钢筋混凝土、型钢混凝土等其他结构的最大弹性层间位移量，可按照现行行业标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159、《钢筋混凝土结构技术规程》YB 9082、《组合结构设计规范》JGJ 138 等相关的结构设计规范取值，并经主体结构设计师认可。

4.2.3 建筑主体结构类型决定了主体结构楼层最大弹性层间位移角。抗震设计的幕墙，其平面内变形性能指标值应按照主体结构楼层最大弹性层间位移角的 3 倍确定；非抗震设计的高层建筑，在风荷载作用下也会产生层间位移，其幕墙的平面内变形性能指标值应按照主体结构楼层最大弹性层间位移角限值确定。

4.2.4 封闭式幕墙应进行水密性能设计，开放式幕墙不要求水密性能。幕墙的水密性能与建筑物的重要性、使用功能、建筑物所在地的气候条件以及幕墙的使用寿命和功能直接有关。

公式中的系数 1000 为 kN/m^2 和 Pa 的换算系数。由于雨水渗漏与幕墙所受的正风压有关，所以局部风压体型系数取值为 1.2（外表面 +1.0，内表面 -0.2），墙角边的负风压不予考虑。

在沿海受热带风暴和台风袭击的地区，即国家标准《建筑气候区划标准》GB 50178-93 中的 III A 区和 IV A 区，易有大风暴雨天气，并具有风雨同时性，幕墙的水密性能指标值，应按照本条的公式计算确定。其他地区刮大风时很少下雨，或下雨时很少刮风，因此，本规范提出其他地区可按照本条公式计算值的 75% 进行设计。水密性能等级见国家标准《建筑幕墙》GB/T

21086-2007 表 13, 该表中某一水密性能等级下规定了幕墙固定部分和可开启部分的水密性能等级。

4.2.5 封闭式幕墙应进行气密性能设计, 开放式幕墙不要求气密性能。幕墙的气密性能与幕墙的热工性能直接有关, 但在国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015 仅规定了透明幕墙的气密性要求。

本规范人造板材幕墙为非透明幕墙, 对于有采暖、空气调节要求的建筑, 本条根据国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086-2007 关于气密性能设计指标的一般规定, 提出了幕墙整体气密性能等级的最低要求。进行幕墙设计时, 除了满足本条的规定外, 还应符合现行相关的国家标准、行业标准和地方标准的要求。

4.2.6 建筑幕墙作为非承重的建筑外墙围护结构, 应符合建筑物整体节能设计对幕墙的要求。现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 对围护结构外墙(包括非透明幕墙)的传热系数限值规定是强制性要求, 必须执行。建筑物建筑节能设计所要执行的标准除现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 外, 还包括各地方制定的公共建筑节能设计地方标准。

国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015 的条文说明中指出: “对于非透明幕墙, 如金属幕墙、石材幕墙等幕墙, 没有透明玻璃幕墙所要求的自然采光、视觉通透等功能要求, 从节能的角度考虑, 应该作为实墙对待。此类幕墙采取保温措施也较容易实现”。由此可见, 《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015 是对“包括非透明幕墙的外墙”的传热系数要求, 而并非是对非透明幕墙的单独要求。

如果人造板材幕墙背后无其他围护墙体, 其本身不可能达到实体墙的建筑热工性能, 必须增加保温隔热构造措施才能达到外墙热工设计要求。

对于人造板材幕墙中透明的固定部分和可开启部分, 应按照外窗或透明幕墙进行设计, 并符合现行国家标准《公共建筑节能

设计标准》GB 50189 等相关节能设计标准的规定。

4.2.7 幕墙的空气声隔声性能应根据建筑的使用功能和环境条件进行设计。不同功能的建筑所允许的噪声等级可根据现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 的规定确定，空气声隔声性能分级指标应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定。

4.2.8 由于幕墙的性能检测是对幕墙工程设计的验证，因此，检测试件的结构、材质、构造、安装施工方法应与实际工程一致。有时，受到实验条件的限制，试件无法完全符合实际情况时，应由建设单位、设计人员、监理人员、实验人员共同论证确定。必要时，可邀请行业内的专家参加论证。

4.2.9 幕墙性能检测中，由于种种原因，某项性能不能达到设计要求的情况时有发生。如果这些缺陷是由于试件安装施工工艺不当造成的，允许对安装施工工艺进行改进，对试件存在的缺陷进行修补之后重新试验，检测报告中应记载所做的修改和工艺改进措施，幕墙施工单位应按检测报告的记载，对工程施工组织设计中的施工工艺进行相应修改并予以实施，确保工程施工质量；由于材料或设计缺陷造成幕墙性能达不到要求时，必须更换材料或修改设计后，重新制作试件进行检测，工程设计和工程用材料，必须与重新检测合格的试件一致。

4.3 面板接缝设计

4.3.1 在风荷载和地震作用下建筑物产生的层间位移，以及温度变化和主体结构及面板自重作用的影响等因素，都会使幕墙面板之间位置产生相对位移。在正常使用状态下，幕墙的竖向板缝主要考虑主体结构层间位移产生的平面内变形及温度变化热胀冷缩而产生的尺寸变化；幕墙的横向板缝主要考虑主体结构层间压缩变形和面板自重而产生的尺寸变化。

4.3.2 在进行幕墙面板接缝设计时，不仅要考虑建筑装饰效果，还要考虑幕墙面板材料的特性。瓷板、微晶玻璃板是高温烧制的

吸水率低、耐候性好的匀质材料，采用开放式和封闭式均可。石材铝蜂窝板是石材面板与铝蜂窝板粘结而成的复合材料板材，应优先考虑采用注胶封闭式，采用开放式则应进行封边防水保护处理。由于陶板的吸水率偏高，宜优先采用开放式板缝设计，对于吸水率较低（接近下限）的陶板，如建筑气候适合，也可采用封闭式板缝设计。纤维水泥板是含有有机合成纤维或纤维素纤维的吸水率较高的高压蒸汽养护的水泥板材，应优先考虑采用开放式，如环境适合并对板材做好防护处理也可采用封闭式。木纤维板是含有70%木质纤维的有机材料，由于木材的自然属性，板材将随着环境相对湿度的变化而发生变化。因此，木纤维板对板材正反面的环境温度和湿度的一致性要求较高，否则易发生变形，所以应采用开放式板缝构造，降低面板内侧空腔与外部环境的气压差，减少因压力差而带入面板内侧空腔的雨水，使面板内侧空腔与室外空气保持相互流通，保持板面内外部温湿度环境一致。

4.3.3 幕墙板缝宽度是保证幕墙承受变形时，防止面板破损的条件，必须符合本规范的有关规定。封闭式幕墙板缝具有气密和水密性能要求，如果胶缝过窄，当主体结构承受过大变形时，板缝密封胶容易被拉裂；板缝过宽则密封胶条会脱落，从而造成渗漏。因此，封闭式幕墙板缝设计要适当，分别与注胶缝和密封胶条的尺寸和性能相协调匹配。

硅酮类建筑密封胶和聚氨酯类密封胶已有比较成熟的经验，各种性能可靠，是常用的人造板材接缝密封胶。当建筑设计要求有开放式板缝效果而又必须具备水密性能时，可采用凹入式胶缝（深胶缝），工程设计时应根据面板的厚度确定，深度一般可取5mm~7mm。

4.3.4 常用的板缝密封胶有：硅酮、改性硅酮或聚氨酯类密封胶三大类，应根据面板的材质进行选用，如：瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板既可选用硅酮密封胶，也可采用聚氨酯类密封胶。使用前，宜进行污染性试验，防止污染面板，影响观感。

封闭式人造板材幕墙的对接板缝应有一定的宽度，以保证幕墙构件和主体结构的变形要求。

根据美国《接缝密封胶使用指南》ASTM C1193 - 00 规定：
(1) 对于宽度为 6mm~13mm(0.25in~0.5in) 的对接密封胶接缝，对混凝土、砖、石等类似的多孔基材，密封胶的厚度可以与接缝宽度相等；而对金属、玻璃或其他类似的无孔基材，其密封胶厚度应为 6mm (0.25in)。(2) 对于 13mm~25mm (0.5in~1in) 宽度的接缝，对多孔基材其密封胶的厚度应是宽度的一半或 6mm~13mm (0.25in~0.5in)；对无孔基材其密封胶的厚度不应大于宽度的一半，最大为 9mm (0.375in)。

人造板材幕墙常用的胶缝尺寸为 6mm~13mm 的宽度，为了保证幕墙的水密性能，根据工程实际，本条规定了密封胶与板材之间的最小粘结宽度。

密封胶三面粘结，会直接降低密封胶的位移能力，容易撕裂；密封胶的厚度和宽厚比，关系到密封胶的位移能力，太薄，防水能力偏低；太厚，降低密封胶的位移能力，容易开裂。

4.3.5 采用密封胶条镶嵌密封的封闭式幕墙板缝通过弹性胶条的压缩回弹效果达到密封，应具有良好的耐候性，以保证长久的密封效果。工程经验证明，单块面板之间接缝的“十字”接头部位，是容易发生雨水渗漏的部位，进行设计时，对板缝的“十字”接头位置，一定要高度重视，采取适当措施，防止雨水渗漏。

4.3.6、4.3.7 主体结构、支承结构的水平侧移、构件和面板的温度变化，会造成面板位移甚至碰撞破损。因此，开放式板缝应有一定的宽度。公式 (4.3.6) 是考虑到两个板块反方向移动的极端状况，取横、竖接缝的一半计算。

开放式幕墙本身没有水密性能要求。雨水渗入幕墙背部，不仅会侵蚀保温材料，降低材料的保温性能，而且还会锈蚀幕墙的金属支承构件，造成壁厚减薄，降低幕墙构件的承载能力和耐久性。因此，应采取有效措施，使潮湿水汽可以顺畅排出，防止

保温材料受到侵蚀，防止幕墙金属支承构件受到腐蚀。

开放式幕墙的板缝，有开缝式、遮挡式、搭接式等单一的构造，也可几种构造联合采用。进行开放式幕墙板缝设计时，应根据面板的特点和建筑装饰要求确定。如果幕墙竖向和水平方向板缝均采用嵌条遮挡式，无开缝式或搭接式，则单靠板缝处的间隙通风效果不足，必须在整幅幕墙背后设置足够的进风口和出风口，形成整体的背部通风空间。开放式幕墙进行背部防水设计时，宜将整幅幕墙划分为若干个防水单元，一旦发生渗漏，可以尽快找出渗漏源进行处理。

4.4 构造设计

4.4.1 幕墙构造设计，应为幕墙维护、保养以及面板更换提供条件。

4.4.2 要求冬季保温的严寒和寒冷地区的人造板材幕墙，多数采用封闭式板缝；冬季无保温要求的人造板材幕墙或根据建筑装饰特殊要求，可采用开放式板缝。封闭式幕墙板缝采用注密封胶或镶嵌密封胶条密封幕墙面板之间的缝隙，阻断了室外环境空气，也阻断了幕墙背面的水蒸气或渗入的雨水向室外的散发、排放，为防止保温材料受潮降低保温性能，宜设置水蒸气透气孔或增加排水措施，透气孔和排水孔应适当，并保证幕墙气密性能合格。开放式板缝后部，宜设置防水层，防止雨水大量渗入幕墙后部，污染或腐蚀幕墙背部。

4.4.3 开放式幕墙没有水密性能要求，其中开缝式幕墙板缝不做防水密封，雨水可能会进入面板背部空间；遮挡式幕墙板缝，潮湿气流和少量被风带入或渗入的雨水，都会造成幕墙面板后部的潮湿空间。为了保证幕墙的耐久性，防止雨水浸蚀幕墙构件、主体结构 and 保温层，应设置可靠的导排水系统（如分层导排水系统等），并加强面板后部空间的通风除湿能力。面板与其背后其他墙体外表面的最小距离不小于 20mm，是为保证后部通风的最小通风截面积，以形成有效的空气流动。面板后面的保温层，可

采用铝板、镀锌钢板或其他耐候防水材料进行隔离，防止雨水侵蚀，降低保温性能；内部支承金属结构，应加强防腐措施，保证其耐久性。

本条中“面板与其背部墙体外表面的最小间距不应小于20mm”的规定，是参照德国《背部通风外墙饰层 第1部分 要求和测试原则》DIN 18516：1999的规定确定的。面板内表面与其他墙体外表面20mm间距，是幕墙面板背部通风空间的最低要求。具体工程中，要根据幕墙所处风环境和面板接缝设计具体情况确定合适的通风间层的空间要求。

开放式幕墙板缝设计，应根据外墙立面的装饰效果和板缝通风需要，选择平口对接的开缝式，或平板及企口板搭接的遮挡式，以及加装镶嵌条的遮挡式板缝设计。

严寒地区和寒冷地区，秋冬两季温差大，如有积存的雨雪水汽，则存在白天融化，晚上结冰的现象，为了防止板缝中的积水结冰体积膨胀致使人造板材幕墙中的脆性材料面板破损，宜采用封闭式板缝，并宜优先采用注胶封闭式板缝。如采用开放式人造板材幕墙，应充分考虑防止积水、积冰的冻胀对幕墙的损坏。

4.4.4 采用非透明幕墙的建筑工程中，幕墙本身和幕墙后部的墙体上都可能设置保温层。本条第一款所述情况，是幕墙本身设置保温层的幕墙，这时又分为幕墙后部有或无其他墙体保温层两种情况。如果是在幕墙背后的墙体上设置保温层，则该保温层不属于幕墙的保温层。

保温材料是松软的棉、毡或带材、板材，无论是依附在幕墙构件上还是依附在围护结构上，都需要加以固定和支承，防止保温材料变形、脱落。

直接依附在幕墙上的保温构造属于幕墙系统，应符合本规范的保温和防火设计规定；直接依附在主体结构墙体上的保温构造不属于幕墙系统，应符合相应的建筑外墙保温构造设计要求和现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016的防火设计要求，本规范不作规定。

保温材料需要采取有效的防潮措施。在严寒和寒冷地区，冬天空室内温差大，室内空气的绝对湿度远大于室外空气的绝对湿度，所以室内空气进入幕墙面板附近时容易结露，从而产生凝结水。非透明幕墙建筑设置隔汽层的目的是，避免幕墙内部或幕墙与室内侧墙体之间的空间结露，防止凝结水使保温材料受潮、结冰而降低保温性能，或者对室内的装饰材料造成变色、发霉等影响。进行幕墙热工设计时，应根据当地建筑气候条件正确设置保温层及其隔汽层的位置。保温材料应设置在空气间层的高温一侧，而隔汽层应设置在保温层的高温一侧。隔汽层完整的涵义是应该确保室内侧湿热空气不渗入保温层与幕墙面板之间的空间，从而不产生结露现象。为保证隔汽层的完整、严密，穿透隔汽层的连接件等节点构造应采取密封措施。

幕墙与周边墙体、门窗的接缝以及变形缝等部位的保温设计不能忽略，在严寒和寒冷地区还应进行这些部位保温构造的防结露验算，以确保幕墙总体的热工效果。

4.4.5 幕墙立面与雨篷、压顶以及其他凸出或凹下（如排水沟）结构的结合部位，是最容易发生雨水渗漏的位置，一旦发生渗漏，也难于寻找渗漏源头，所以应注意完善其结合部位的防水构造设计。

4.4.6 主体结构变形缝两侧会发生较大的相对位移，跨越变形缝并同时连接固定在变形缝两侧主体结构上的幕墙板块很容易破坏。因此，幕墙板块不宜直接跨越变形缝，而应当采用与主体结构变形相适应的构造措施。实在不能避免时，可采用面板的一端与主体结构连接固定，另一端为柔性连接装置或设计易修复的构造。

4.4.7 幕墙构件由于工作荷载、主体结构变形影响和热胀冷缩效果，会造成构件之间的相对位移，这一方面会造成构件连接装配间隙的变化和影响其密封效果，另一方面会造成构件连接处材料之间的挤压和摩擦而产生噪声。因此，幕墙金属构件连接处应采取有效措施，避免构件材料的刚性接触，并预留适当的装配间

隙和采取有效的密封措施。

4.4.8 不同金属相互接触处容易产生双金属腐蚀，会降低幕墙的耐久性 or 污染幕墙表面，影响幕墙的安全性和外观。因此，要求设置绝缘垫片或采取其他措施防止两种不同金属直接接触。当采用绝缘垫片安装比较困难时，可在接触部位涂氟碳漆或磁漆也可进行绝缘。

4.5 防火、防雷设计

4.5.1 采用幕墙作为非承重外围护墙体的建筑，首先要符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 对建筑外墙的有关防火设计规定，如外墙上、下层开口之间的墙体高度以及非承重外墙的耐火极限要求等。

对于幕墙的防火设计，就是在满足现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 对幕墙及相关保温材料的燃烧性能规定的前提下，符合幕墙与主体结构之间的建筑缝隙的防火封堵构造设计原则要求。本节的内容是对幕墙防火封堵构造设计的具体规定。

4.5.2 人造板材幕墙背后有其他围护墙体，如承重或非承重基层墙体等，则该围护墙体应为采用不燃材料做成的不燃烧体，其耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 规定的承重或非承重外墙的耐火极限规定。

人造板材幕墙背后无其他围护墙体时，幕墙本身要承担建筑外墙的防火功能，则必须采取一定的防火构造措施进行专门的防火设计，使幕墙系统达到现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 规定的建筑非承重外墙的防火设计要求。

4.5.3 建筑幕墙与楼板、隔墙等防火分隔构件之间采用防火封堵材料进行封堵，使其在规定的耐火时间内与相应的分隔构件协同工作，以阻止热量、火焰和烟气蔓延，是一种行之有效的技术措施。防火封堵材料的耐火性能应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 的规定，且不应低于现行国家标准《建筑设计

防火规范》GB 50016 对相应的楼板、隔墙的耐火极限要求。

4.5.4 人造板材幕墙是由轻质的面板和薄壁金属杆件组成的非承重外墙结构，在风荷载的作用下，与主体结构间具有相对位移，其防火封堵材料在日常使用中，要防止由于振动而疏松或脱落；受到温度和温差的影响时，防火封堵也容易出现变形、开裂甚至脱落等问题。因此，幕墙的防火封堵系统除具有耐火性能外，还应具有适应环境的特性，满足现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 对有关缝隙封堵材料要求的稳定性、防腐性和适应变形的能力。幕墙的防火封堵构造系统应根据缝隙的宽度、位置、缝隙性质（如是否发生伸缩变形等）、相邻构件的材质、周边其他环境因素以及建筑功能要求，综合考虑，合理设计。防火封堵系统的所用的防火封堵材料，应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 的规定并具备设计规定的耐火极限。

4.5.5 岩棉和矿渣棉是建筑幕墙防火封堵构造中常用的填充材料，100mm 的填充厚度是最低要求，工程中要视实际封堵部位的耐火极限要求确定具体厚度尺寸，必要时应经国家认可的有关机构进行防火封堵构造系统的耐火试验确定。由于岩棉或矿棉比较松散，因此，采用岩棉或矿渣棉进行防火、防烟封堵时，应加以承托。承托板应采用耐火极限符合要求的板材，并应具有一定的强度和刚度，防止在火焰或高温作用下变形、脱落。一般情况下，工程中可采用厚度不小于 1.5mm 的热镀锌钢板，但不得采用单层铝板、铝复合板等作为承托板。为防止岩棉或矿渣棉等松散材料飞溅、脱落，楼板防火封堵层的上部可采用厚度不小于 0.8mm 的热镀锌钢板或符合行业标准《不燃无机复合板》GB 25970-2010 中规定的、名义密度 ρ 不小于 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、厚度不小于 12mm 的不燃无机复合板进行封修。

实际的建筑火灾中，材料燃烧产生的烟气和有毒气体是造成人员伤亡的重大原因之一。因此承托板之间及承托板与幕墙结构和主体结构之间的缝隙应进行有效的防火密封，防止串烟、串火。

4.5.6 在现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 中尚没有很具体、明确的幕墙防雷系统的规定，但幕墙防雷系统的设计原则应符合该标准的要求。

幕墙是附属于主体建筑的围护结构，幕墙的金属框架一般不单独作防雷接地，而是利用主体结构的防雷体系，与建筑本身的防雷设计相结合，因此要求与主体结构的防雷体系可靠连接，并保持导电通畅。

通常，幕墙的立柱宜采用柔性导线上、下连通。在主体建筑有水平均压环的楼层，立柱的预埋件或固定件可采用圆钢或扁钢与水平均压环焊接连通，形成导电通路，焊缝和连线应涂防锈漆。

兼有防雷功能的幕墙压顶板应采用金属板制作，压顶板体系与主体结构屋顶的防雷系统应有效的连通。

4.6 其他安全性设计

4.6.1、4.6.2 国家标准《民用建筑设计通则》GB 50352 - 2005 中规定：“玻璃幕墙应采用安全玻璃，并应具有抗撞击的性能”。人造板材幕墙中，瓷板、陶板等均属于厚度较薄的脆性材料，容易受到物体和人体冲击而破碎。进行幕墙设计时，要充分考虑由于面板的脆性而引起的安全问题，除了必须具备抗撞击的性能外，还要采取必要的措施保证偶然破裂后的安全性。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 建筑幕墙是由面板和支承结构组成的建筑物外围护结构体系，主要承受自重以及直接作用于其上的风荷载、地震作用、温度作用等，不分担主体结构承受的荷载和（或）地震作用。新修订的国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 - 2008 规定，工程结构设计时，应规定结构的设计使用年限。国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 - 2001 规定，易于替换的结构构件（此处是指承重结构构件）的设计使用年限为 25 年。建筑幕墙是非承重且易于替换的非结构构件，但考虑其是重要的外围护构件，因此规定其设计使用年限不应少于 25 年。

5.1.2 国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012 中对于围护结构风荷载标准值的确定已有明确规定，人造板材幕墙是建筑物的外围护结构，必须执行。在风荷载标准值作用下，幕墙构件变形过大，则不能保证幕墙正常使用，因此，应对幕墙构件的变形进行控制。

5.1.3 我国是多地震国家，幕墙设计应区分是否属于地震设计状况。对非抗震设防地区，进行幕墙设计时，只需考虑风荷载、重力荷载以及温度作用；对抗震设防地区，必须考虑地震作用，进行抗震设计。幕墙属于非结构构件，根据国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010 的规定，抗震设防烈度为 6 度及以上地区，要采用等效侧力法，对幕墙自身及其与主体结构的连接进行抗震设计计算。

由于建筑幕墙自重较轻，幕墙承受的荷载和作用中，以风荷载为主，地震作用远小于风荷载作用，因此，无论是否抗震设

计, 均应以抗风设计为主。但是, 由于地震作用是动力作用, 并且直接作用于连接节点, 造成连接损坏、失效, 甚至使建筑幕墙脱落、倒塌。因此, 抗震设计的幕墙, 不仅要以抗震设计和抗风设计中最不利的荷载和作用效应组合, 进行结构设计, 还必须加强构造措施。

5.1.4 幕墙工程中, 温度变化引起的作用效应是实际存在的, 工程实践证明, 通过结构构造措施消除这些效应的影响是简单、可行的办法, 因此, 可不一一进行计算。但是, 在采用线膨胀系数偏大的构件材料或昼夜温差较大、温度变化激烈地区的人造板材幕墙工程中, 应进行设计计算并采取必要的构造措施, 防止温度作用效应引起的幕墙破坏。

5.1.5 幕墙与主体结构通过预埋件或锚固件连接, 要充分考虑幕墙传递的荷载和作用对主体结构的造成的不利影响。埋设预埋件或设置锚固件的部位, 是主体结构中承受幕墙传递的荷载和作用的关键部位, 必须安全可靠。进行幕墙方案设计时, 幕墙设计人员应主动提供幕墙传递给主体结构的各种荷载和作用的参数, 供建筑结构设计师对主体结构进行计算验证, 消除安全隐患。

5.1.6 建筑幕墙承受永久荷载(自重荷载)、风荷载和温度作用; 地震设计状况时, 还要考虑地震作用。各种构件产生的内力(应力)和变形不同, 情况比较复杂, 设计上也可能有不同要求。本规范要求分别进行永久荷载、风荷载、地震作用效应计算; 温度作用的影响, 可采取适当构造措施消除。

承载力极限状态设计时, 应考虑作用效应的基本组合; 正常使用极限状态设计时, 作用的分项系数均取 1.0。本条给出的承载力设计表达式具有通用意义, 作用效应设计值 S 或 S_E 可以是内力或应力, 抗力设计值 R 可以是构件的承载力设计值或材料强度设计值。幕墙结构构件的重要性系数 γ_0 , 应符合现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的规定, 与设计使用年限和安全等级有关。建筑幕墙属于建筑的外围护结构, 其重要程度和破坏后果的严重程度通常低于主体结构。除幕

墙与主体结构之间的连接件和锚固系统之外，安全等级一般为二级，设计使用年限一般为 25 年。

建筑幕墙多数用于大型公共建筑、高层和超高层建筑，在正常使用中不允许发生破坏。由于人造板材幕墙中有相当一部分面板材料是脆性材料，破坏坠落后的后果比较严重。因此，一般情况下，结构重要性系数 γ_0 应取 1.0；对于非常重要的建筑，可按照建筑设计的规定，可取大于 1.0；对于装饰功能为主的人造板材幕墙，重要性系数 γ_0 可取小于 1.0，但不应小于 0.9。

由于幕墙自重比较轻，其地震作用效应相对风荷载效应是比较小的，通常不会大于 20%，如果采用小于 1.0 的系数 γ_{RE} 对抗力予以放大，对结构设计是偏于不安全的。所以，幕墙构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 取 1.0。

幕墙面板不便于采用内力设计表达式，所以，在本规范相关条文中直接采用应力表达形式；预埋件设计时，采用应力设计表达式时，计算应力所采用的内力（如弯矩、剪力等），应采用作用效应的基本组合，并取最不利组合进行设计。

幕墙金属构件（如横梁、立柱）应按照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定进行设计，预埋件则应按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行设计。

5.2 材料力学性能与物理性能

5.2.2 耐候钢强度设计值参照国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 - 2008 规定的力学性能指标值和《钢结构设计规范》GB 50017 - 2003 的规定确定。

5.2.3 不锈钢铸件的强度设计值按照国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 - 2003 规定的原则和国家标准《一般用途耐蚀钢铸件》GB/T 2100 - 2002 和《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967 - 2009 中规定的材料力学性能确定。表中，

ZG03Cr18Ni10、ZG07Cr19Ni9、ZG03Cr18Ni10N 三种不锈钢铸件材料相当于统一数字代号为 S304××系列的奥氏体型不锈钢，ZG03Cr19Ni11Mo2、ZG03Cr19Ni11Mo2N 两种不锈钢铸件材料相当于统一数字代号为 S316××系列的奥氏体型不锈钢。

5.2.4 不锈钢材料（管材、板材、棒材和型材）主要用于幕墙的连接件和支承结构，材料分项系数取 1.6，略高于普通钢结构。采用本表未列出的不锈钢材料时，其抗拉强度标准值可取其规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 。抗拉强度设计值可按其抗拉强度标准值除以材料分项系数 1.15 后取 5 的整数倍采用；抗剪强度设计值可按其抗拉强度标准值除以材料分项系数 2.0 后取 5 的倍数采用。表 5.2.4-1 和表 5.2.4-2 中的规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ，分别按照现行国家标准《不锈钢棒》GB/T 1220 - 2007 和《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 - 2007 确定，表中牌号一栏中带括号的牌号，为《不锈钢棒》GB/T 1220 - 2007 和《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 - 2007 中的旧牌号。

5.2.5 面板的抗弯强度按面板材料产品标准中的弯曲强度或抗折强度确定，其设计值等于弯曲强度标准值（或最小值）除以面板材料性能分项系数，根据不同面板的材料特点和试验验证结果确定。人造板材幕墙面板材料材料性能分项系数见表 2。

表 2 面板材料性能分项系数

面板材料种类	瓷板	陶板	微晶玻璃	木纤维板	纤维水泥板
材料性能分项系数 γ_r	1.8	1.8	1.8	1.5	1.6

5.2.6 石材蜂窝板的产品检测结果表明，在通常情况下，石材蜂窝板在受载弯曲变形时其石材面板在受压状态（例如正风压状态）下的抗弯能力大于受拉状态（例如负风压状态）下的能力。当石材面板弯曲变形处于受拉状态时，其破坏的形式一般为石材先开裂或断裂后再整板弯曲屈服。整板弯曲屈服时达到的弯曲应力大于饰面石材开裂或断裂时的弯曲应力。

在确定石材蜂窝板的抗弯强度标准值时，应以石材面板在弯曲受拉状态下产生裂缝或断裂时的弯曲应力作为抗弯强度值，而不以整板弯曲屈服时的弯曲应力作为抗弯强度值。因为石材产生裂缝或断裂时，板材虽然仍可处于正常的工作状态，并没有完全丧失基本的功能，但由于石材裂缝的存在，造成雨水或湿气可直接浸入到粘结层的胶粘剂，从而加速胶粘剂的老化进程，降低了板材的耐久性，所以应以石材产生裂缝或断裂时的弯曲应力作为石材蜂窝板的弯曲强度。

石材蜂窝板弯曲强度试验可按照国家标准《夹层结构弯曲性能试验方法》GB/T 1456 - 2005 的规定对试件进行检测，并按照该标准第 9.4 条的规定计算出板材的弯曲刚度，再采用以下公式对检测结果进行石材蜂窝板的石材面板弯曲应力的计算。

$$\sigma = \frac{plEy_0}{4D} \quad (1)$$

式中： σ ——弯曲应力（MPa）；

p ——最大荷载（N）；

l ——支点间距（mm）；

E ——石材弹性模量（MPa）；

y_0 ——中性轴到石材面板的距离（mm）；

D ——石材蜂窝板弯曲刚度（N/mm）。

石材蜂窝板弯曲强度标准值 f_k ，采用其弯曲强度试验值的平均值扣除 1.645 倍标准差，相应保证率不低于 95%。当弯曲强度试验值的平均值离散型较大时，按照规范中公式（5.2.7）计算所得结果可能会小于弯曲强度试验值的最小值。当出现这样的情况时，采用弯曲强度试验值的最小值作为弯曲强度标准值。为了确保弯曲强度标准值取值结果的可靠性，每批产品的试验样品抽检数不宜少于 9 件。

面板抗弯强度标准值的最小值应满足的要求：花岗石 $f_k \geq 8.0 \text{N/mm}^2$ ；砂岩 $f_k \geq 4.0 \text{N/mm}^2$ ；石灰石 $f_k \geq 3.4 \text{N/mm}^2$ ，是根据其产品标准的要求，按照其作为石材蜂窝板的面板的要求而

确定：①按照国家标准《天然花岗石建筑板材》GB/T 18601 - 2009 规定，取其一般用途的板材干燥和水饱和状态的弯曲强度 $\geq 8.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ ；②按照国家标准《天然砂岩建筑板材》GB/T 23452 - 2009 规定，干燥和水饱和状态的弯曲强度：石英砂岩 $\geq 6.9(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，杂砂岩 $\geq 2.4(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，本规范取 $\geq 4.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，是考虑作为装饰性面板，以充分利用材料资源；③按照国家标准《天然石灰石建筑板材》GB/T 23453 - 2009 规定，取其中密度石灰石干燥和水饱和状态的弯曲强度 $\geq 3.4(\text{N}/\text{mm}^2)$ 。

5.2.8 石材蜂窝复合板是一种由金属材料或非金属材料与石材粘结而成的复合材料，它既不是完全的弹性材料，也不是完全的脆性材料，在考虑它的材料性能分项系数取值时，应同时考虑石材与不同蜂窝板组合后具有的特性。铝蜂窝板、钢蜂窝板与花岗岩复合，由于都具有较强的材料力学性能，其材料性能分项系数可取 1.5；铝蜂窝板、钢蜂窝板与砂岩或石灰石、玻纤蜂窝板与花岗岩复合，材料力学性能次之，其材料性能分项系数可取 1.8；玻纤蜂窝板与砂岩和石灰石的材料力学性能较差，其材料性能分项系数取 2.15。

5.2.10 石材蜂窝复合板是由多材料多层次经胶粘剂粘结而成的复合材料，目前尚未能通过合适的计算或检测技术来确定石材蜂窝复合板的整板弹性模量。在计算石材蜂窝复合板的石材面板弯曲应力时，可通过试验来确定计算所需的力学参数，并按本规范 6.5 节的规定执行。玻璃纤维板受加工工艺影响，其弹性模量有所变化。对于采用玻璃纤维布和环氧树脂进行复合的材料，当采用手糊工艺复合材料时，弹性模量可取 $0.23 \times 10^5 \text{MPa}$ ，采用预浸织物复合材料时，弹性模量可取 $0.29 \times 10^5 \text{MPa}$ 。

5.2.11 石材蜂窝板的泊松比目前尚无法通过有效的检测方法确定。考虑到组成石材蜂窝板的三种蜂窝复合板（铝蜂窝板、钢蜂窝板、玻纤蜂窝板）的主要材料的泊松比的数值基本一致（铝合金及板材泊松比为 0.33，钢材及玻璃纤维板材的泊松比为 0.30），同时通过对《建筑结构静力计算手册（第二版）》表 4-

26 中的挠度系数的分析, 当泊松比为 0 时, 其挠度系数与当泊松比为 0.30 时的挠度系数的最大差距仅为 0.27%, 可见对挠度的计算结果影响极小。为方便设计计算, 确定将石材蜂窝板的泊松比定为 0.30。

经查找《复合材料手册》中有关玻璃纤维板的泊松比数据, 除采用手糊工艺复合的玻璃纤维织物复合材料外, 其他生产工艺复合的玻璃纤维板其泊松比大部分在 0.28~0.31 的范围内。

5.2.12 石材蜂窝板是由多种材料经胶粘剂粘结而成, 它们之间的热线膨胀系数互有差异。石材的线膨胀系数为 0.80×10^{-5} , 铝合金板材为 2.35×10^{-5} , 镀铝锌钢板为 1.20×10^{-5} , 玻璃纤维板为 0.846×10^{-5} , 胶粘剂为 $(6.0 \sim 10.0) \times 10^{-5}$ 。经试验验证, 采用目前现有的检测技术和方法, 尚未能取得准确的石材蜂窝板的热线膨胀系数。根据石材蜂窝板的构造形式, 以及金属蜂窝板的热线膨胀系数远大于石材热膨胀系数的特点, 引起石材蜂窝板整体变形的因素主要来自蜂窝板的变形。所以在考虑石材蜂窝板的整板热线膨胀系数是, 可按照不同蜂窝板材料的热线膨胀系数确定。

5.3 荷载与作用

5.3.2 幕墙面板直接承受风荷载, 并通过与面板直接连接的幕墙支承结构及其连接件传递到主体结构上。风荷载的作用具有时间特性、空间特性和动力特性, 目前, 建筑物所承受的风荷载标准值采用等效静力方法进行计算。幕墙面板承受的风荷载标准值取决于计算部位的高度、计算部位在建筑幕墙上的位置(墙角或大面)、幕墙表面形状、周边环境(地面粗糙度)和基本风压。

国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 规定了垂直于建筑物表面上风荷载标准值的计算公式, 其中, 计算围护结构时采用的公式如下:

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{s1} \mu_z w_0 \quad (2)$$

式中，基本风压 w_0 是根据全国各气象台站历年来的最大风速记录，按基本风压的标准要求，将不同风速仪高度和时次时距的年最大风速，统一换算为离地 10m 高、10min 平均年最大风速 (m/s)。根据该风速数据，按照国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012 附录 D 的规定，经统计分析确定重现期为 50 年的最大风速，作为当地的基本风速 v_0 ，再按贝努利公式确定基本风压 w_0 。

风压高度变化系数 μ_z 反映了风荷载的空间特性。在大气边界层内，风速随离地面高度而增加，相应的风压也同时增加。当气压场随高度不变时，风压随高度增大的规律，主要取决于地面粗糙度和温度垂直梯度。

风荷载体型系数是指风作用在建筑物表面上所引起的实际压力（或吸力）与来流风的速度压的比值，反映了建筑物表面在稳定风压作用下的静态压力的分布规律，主要与建筑物的体型和尺度有关，当然，也与周围环境和地面粗糙度有关。国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012 中第 8.1.1 条第 1 款规定的风荷载体型系数 μ_s 反映的是建筑物表面的平均风压。实际上，建筑物表面上的风压分布很不均匀，局部风压会大于表面平均风压（风荷载体型系数 μ_s ），所以，国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012 在考虑围护结构表面风压分布不均匀而导致局部的风压大于全表面平均风压的实际情况而作出调整，规定了验算围护结构及其连接强度时，应采用局部风压体型系数 μ_{s1} 进行风荷载计算，以确保幕墙构件的抗风安全性。局部风荷载体型系数 μ_{s1} 与围护结构的体型、计算部位所在的位置和构件的从属面积密切相关。

对于围护结构，由于其刚性一般较大，在结构效应中可不必考虑其共振分量，可仅在平均风压的基础上，近似考虑脉动风瞬间的增大因素。由于幕墙面板以及与面板相连的支承构件（如立柱、横梁及）的跨度较小，阵风的影响比较大。对于直接承受风压的幕墙构件，按传统设计的经验，风荷载都是考虑脉动影响，

原则上可通过局部风压体型系数 μ_{s1} 和阵风系数 β_{gz} 来计算其风荷载。

风压高度变化系数 μ_z 和阵风系数 β_{gz} 可按照国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012 条文说明中给定的公式计算得到，但必须符合条文正文的规定。

5.3.3 近年来，一方面，随着我国社会经济的发展、土地储备的减少和建筑技术的不断进步，超高层建筑物越来越多；另一方面，由于城市景观和建筑艺术的要求，墙面装饰线条纵横交错，建筑体型也越来越复杂，平面和立面凹凸、开洞也越来越多；除此之外，为了提高外墙的遮阳系数，各种形状的外遮阳板也大量出现在建筑外立面上。而这些建筑物，一般都会采用建筑幕墙作为外围护结构。风荷载在这些墙面上的分布非常复杂，与一般墙面有较大的区别。

超高层建筑或体型复杂、外墙面上凹凸、开洞或附属物较多、风荷载环境比较复杂的幕墙工程，风荷载局部体型系数 μ_{s1} 不能简单地按照墙面和墙角边进行区分。为了保证风荷载的取值更加准确，避免造成幕墙局部安全度偏高或偏低，宜进行风洞试验，并按照风洞试验结果确定其风荷载值。对于一些表面比较简单的幕墙，幕墙风荷载计算也可采用主体结构风洞试验决定的局部体型系数。

5.3.4 根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，非结构构件自身重力产生的地震作用可采用等效侧力法计算。采用等效侧力法时，水平地震作用标准值由设计加速度、功能（或重要）系数、构件类别系数、位置系数、动力放大系数和构件重力六个参数决定。各项参数可按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关条文说明中的规定取值，水平地震作用标准值宜按下列公式计算：

$$F = \gamma\gamma\xi_1\xi_2\alpha_{\max}G \quad (3)$$

式中： F ——沿最不利方向施加于非结构构件重心处的水平地震作用标准值；

- γ ——非结构构件功能系数；取 1.4；
 η ——非结构构件类别系数；取 0.9；
 ξ_1 ——状态系数；建筑幕墙，可取 2.0；
 ξ_2 ——位置系数；按照建筑幕墙的顶点选取，可取 2.0；
 α_{\max} ——地震影响系数最大值；按照本规范表 5.3.6 的规定选取；
 G ——幕墙构件的重力。

计算得到：

$$F = \gamma\eta\xi_1\xi_2\alpha_{\max}G = 5.04\alpha_{\max}G \quad (4)$$

本规范采用动力放大系数 β_E 代替 γ 、 η 、 ξ_1 、 ξ_2 四个系数的乘积，并规定 β_E 可取不小于 5.0，与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定是一致的。

5.3.5 竖直幕墙的面板以及与面板直接连接的连接件和支承结构除了承受水平方向（垂直于面板）的地震作用之外，还受到平行于幕墙平面的集中水平地震作用（竖向地震作用）。在进行幕墙设计时，必须加以考虑。

5.3.6 现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定：幕墙与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人。在计算幕墙的横梁、立柱其他支承结构件以及连接件、锚固件所承受的地震作用时，不仅要考虑幕墙自身重力荷载产生的地震作用，还应考虑依附于幕墙上的其他构件产生的地震作用。

5.4 荷载及作用效应组合

5.4.1~5.4.3 作用在幕墙上的风荷载、地震作用都是可变作用，同时达到最大值的可能性很小。例如最大风压按 50 年一遇最大值考虑；地震作用按约 50 年一遇的众值烈度考虑。因此，在进行效应组合时，第一个可变作用的效应按 100% 考虑（组合值系数取 1.0），第二个可变作用的效应可进行适当折减（乘以小于 1.0 的组合值系数）。

在重力荷载、风荷载、地震作用下，幕墙构件产生的内力

(应力)应按基本组合进行承载力极限状态设计,求得内力(应力)的设计值,以最不利的组合作为设计的依据。作用效应组合时的分项系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009和《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定采用。

在国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010中规定,当地震作用与风荷载同时考虑时,风的组合值系数取为0.2。

结构的自重是永久作用,所有的基本组合工况中都必须包括这一项。当重力荷载的效应起控制作用时,其分项系数 γ_G 应取1.35,但参与组合的可变作用仅限于竖向荷载,且应考虑相应的组合值系数。对一般幕墙构件,当重力荷载的效应起控制作用时(γ_G 取1.35),可不考虑风荷载和地震作用;对水平倒挂面板及其框架,风荷载是主要竖向可变荷载,此时,风荷载的组合值系数取0.6,与国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012的规定一致。当重力荷载作用对结构设计有利时,其分项系数 γ_G 应取不大于1.0。

我国是多地震国家,抗震设防烈度6度以上的地区占中国国土面积70%以上,绝大多数的大、中城市都考虑抗震设防。对于有抗震要求的幕墙,风荷载和地震作用都应考虑。

因为本规范仅考虑竖向幕墙和与水平面夹角大于 75° 、小于 90° 的斜建筑幕墙,且其抗震设防烈度不大于8度,所以,可不考虑竖向地震作用效应的计算和组合。对于大跨度的雨篷、走廊、采光顶等结构设计,应符合国家现行有关标准的规定或进行专门研究。

按照以上说明,幕墙结构构件承载力设计中,理论上可考虑下列典型组合工况:

无地震作用设计状况:

- 1) $1.2G + 1.0 \times 1.4W$
- 2) $1.0G + 1.0 \times 1.4W$
- 3) $1.35G + 0.6 \times 1.4W$ (风荷载与重力作用同向)
- 4) $1.0G + 1.0 \times 1.4W$ (风荷载向与重力作用反向)

5) 1.35G

有地震作用设计状况：

$$1) 1.2G + 1.0 \times 1.3E + 0.2 \times 1.4W$$

$$2) 1.0G + 1.0 \times 1.3E + 0.2 \times 1.4W$$

以上组合工况中， G 、 W 、 E 、 T 分别代表重力荷载、风荷载、地震作用和温度作用标准值产生的应力或内力。对不同的幕墙构件应采用不同的组合工况，如无地震作用设计状况第 3 项、第 4 项一般仅用于水平倒挂幕墙的设计。另外，作用效应组合时，应注意各种作用效应的方向，不同方向的作用效应一般不进行组合。

5.4.4 幕墙构件大于极限状态的变形，会降低幕墙的气密性能、水密性能及其他功能。因此，应对幕墙构件在正常使用状态下的变形或挠度加以控制，满足设计使用年限要求。根据幕墙构件的受力和变形特征，正常使用状态下，对构件变形或挠度验算时，一般不考虑不同效应的组合。因地震作用效应相对风荷载效应较小，不必单独进行地震作用下结构的变形验算。在风荷载或重力荷载作用下，幕墙构件的挠度应符合挠度限值要求，且挠度计算时，作用分项系数应取 1.0。

5.5 连接设计

5.5.1 幕墙是依附于主体结构的围护构件，其与主体的连接锚固点，是幕墙支承结构的固定支座，除了要满足幕墙自重荷载、风荷载和温度作用的承载能力要求，还要留有充分的余地，以防止地震作用或其他偶然因素作用而产生的突然破坏。本条作为强制性条文，主要是考虑幕墙的抗震设计安全性要求。根据国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010，幕墙是持久性的建筑非结构构件，该规范第 3.7.5 条规定：“幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人”。根据国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010 确定的“小震不坏、中震可修、大震不倒”的建筑抗震设防基本原则，本规范第 1.0.3 条

中规定：“当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，幕墙支承结构构件不得脱落”。因此，这就要求幕墙与主体结构的连接锚固必须可靠，在通过设计计算和试验验证的基础上还要留有充分的余地，使连接件与主体结构的锚固承载力大于连接件本身的承载力，以防止地震时发生幕墙锚固失效而出现的大面积脱落。

5.5.2 幕墙构件之间的连接，一般通过焊缝、螺栓、螺钉、自攻螺钉或销钉实现。现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 中，对上述连接均做出了相应规定，应遵照执行。同时受拉、受剪的螺栓、螺钉或自攻螺钉，应进行螺栓和螺钉的受拉、受剪进行验算；螺纹连接的公差配合及构造，应符合有关标准的要求。在设计连接螺栓、螺钉个数时，应对计算结果采用收尾法进行修约，取整数值。每个连接部位的受力螺栓、螺钉的个数，不应小于计算所需的个数，且不宜少于 2 个。

5.5.3 幕墙与主体结构的连接件和连接螺栓，是将幕墙承受的荷载和作用传递到主体结构上的关键构件，应当具备相应的承载能力和耐久性，应进行设计计算并对连接件的截面厚度和螺栓规格应加以控制。连接件通常采用钢板、钢材或铝合金型材制作，钢连接件与主体结构上的预埋件或锚固件可采用螺栓连接或焊接连接，铝合金连接件与主体结构上的预埋件或锚固件应采用螺栓连接。采用螺栓连接时，每个连接点的螺栓不宜少于 2 个。

5.5.4 幕墙构件与混凝土结构的连接，正常情况下，应该通过预埋件实现。预埋件的锚固钢筋、锚爪与周边混凝土的结合程度（粘结力）决定了预埋件的锚固力。为了保证预埋件的锚固力，除了要重视预埋件的设计之外，还应严格控制预埋件的施工质量。埋设时，应采取有效的定位措施，防止振捣时位置错移，偏离设计位置无法使用；同时，还要注意预埋件周边混凝土的振捣质量，避免由于锚筋的阻挡，造成锚筋周边的混凝土振捣不实甚至出现气孔、空洞，降低预埋件的锚固力。

当没有条件采用预埋件连接时（如原来埋设的预埋件位置偏差太大不能用），可采用后置埋件，但应通过试验验证其连接承载能力。

5.5.5 工程实践证明，由平板锚板和对称配置的锚固钢筋所组成的受力预埋件，现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 中的幕墙预埋件的设计规定能够保证幕墙的安全性，进行人造板材幕墙的主要受力构件与主结构连接用预埋件设计时，也应遵照执行。

近年来，一种在锚板表面开孔、背面焊接槽钢限制螺栓头旋转，带有对称性锚筋、被行业内称作“板槽式”的预埋件得到了越来越广泛的应用，对于这种“板槽式预埋件”，也应按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行设计。

5.5.6 本条规定的槽式预埋件，是指采用铸造或折边工艺生产的槽形锚板、背面带有单排锚筋（锚爪）的预埋件。这种槽式预埋件应按照国家现行标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《混凝土结构设计规范》GB 50010，以及《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159、《钢骨混凝土结构技术规程》YB 9082、《组合结构设计规范》JGJ 138 等相关的结构设计规范的规定进行锚固连接承载力设计。槽式预埋件的锚固连接承载力宜通过现场试验确认。对于可变荷载作用，锚固承载力分项系数不应小于 2.15，对于永久荷载作用，锚固承载力分项系数不应小于 2.5。

槽式预埋件在混凝土构件中有上面、侧面和底面等不同的埋设使用方法，使混凝土楼板或边梁构件的受力状态不同。槽式预埋件的中心线与混凝土构件边缘的距离应根据构件具体的受力情况确定，一般不宜小于 100mm，以防止边距过小，造成混凝土构件边部开裂破坏。

5.5.7 当土建中未埋设预埋件、预埋件漏放、预埋件偏离设计位置太远、设计变更或旧建筑改造加装幕墙时，往往需要采用后置锚固螺栓。进行幕墙后锚固连接设计时，应遵照现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定，按照地震设计

状况和非地震设计状况要求，所要控制的后锚固连接破坏模式，进行后锚固连接承载力设计计算，并对后置锚栓的抗拔承载力进行现场检验。考虑到锚固处是幕墙的重要连接部位，且锚栓受力复杂，并难以确定实际工程中的后锚固连接破坏类型，因此，将锚栓的锚固承载力分项系数 γ_R 统一规定为 1.8。

由于化学锚栓的化学胶粘剂（锚固胶）对热影响比较敏感，因此，应避免在与化学锚栓接触的连接件上连续焊接，防止锚栓升温超出允许的热影响范围，降低锚栓的承载能力。当不可避免时，应采用构造措施改善。

5.5.8 轻质填充墙承载能力和变形能力低；砌体结构平面外承载能力低，不能直接承受幕墙传递的荷载和作用，均不应作为幕墙的支承结构。不可避免时，应采取有效措施，如：增设混凝土结构或钢结构梁、柱作为幕墙与主体结构连接构件，确保幕墙连接可靠、耐久。

5.5.9 国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2010 规定，钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20。在行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 - 2013 中，规定“基材混凝土强度等级不应低于 C20，且不得高于 C60……对既有混凝土结构，基材混凝土立方体抗压强度标准值宜采用检测结果推定的标准值，当原设计及验收文件有效，且结构无严重的性能退化时，可采用原设计标准值”。因此，当既有建筑增设幕墙时，主体结构的钢筋混凝土强度等级不应低于 C20 是最低的要求，实际的混凝土强度等级要求必须满足该幕墙与主体结构连接强度具体要求，确保安全。

5.5.10 幕墙构件采用隔热衬垫断热构造措施时，内外型材之间的连接必须牢固可靠，并根据内外型材的荷载布置和荷载工况，对型材之间的连接强度进行设计计算。由于隔热衬垫组合而成的断热型材内外型材之间的连接构造种类较多，因此，进行幕墙设计时，应根据工程实际情况进行连接强度验算，保证安全。

6 面板及其连接设计

6.1 一般规定

6.1.1 本条是在对人造板材幕墙工程面板连接设计经验总结的基础上制定的一般性最低要求，实际工程中应根据板材、挂件和紧固件的具体情况，通过合理的设计和必要的验证试验确定面板的支承连接形式。

6.1.2 挂件与支承构件的连接应牢固、可靠，连接用紧固件的材质应保证其耐久性。

6.1.3 幕墙面板承受的荷载和作用效应通过挂件传递到支承结构上。挂件的材质、形状和截面厚度与挂件的承载能力直接有关，是保证幕墙安全的基础条件之一。人造板材幕墙工程中，面板材料品种繁多，其材质、板材允许使用厚度的限值和连接构造均不相同，采用的挂件也不相同，因此，应分别对待。幕墙工程中，面板挂件直接暴露在空气中，容易受到腐蚀，降低其耐久性。因此，应采用耐候性能好的不锈钢或铝合金型材制作。陶板幕墙所用挂件，应根据陶板的截面形状和构造形式设计，挂件的长度可根据挂件本身的构造特点确定。

6.1.4 挂件的连接设计必须考虑面板的自重、风荷载、地震作用、温度效应以及主体结构变形等产生的影响。在瓷板、微晶玻璃板和纤维水泥板工程中，习惯采用 T 形挂件（或蝴蝶码）。这种挂件会将上部板块的自重往下传递，甚至挤压下部面板，造成面板破损，这种现象在以往的幕墙工程中屡屡出现，因此，不宜采用。

在风荷载、地震、温度变化以及主体结构变形等作用的影响下，面板会产生滑移甚至跳动，并难以恢复原状，不仅影响外观，还存在不安全因素。应采用胶粘剂对挂件与槽口之间的空隙

进行填充，防止面板移位和挂件与面板直接接触。填充用胶粘剂应根据面板材料和结构形式以及胶粘剂的许用范围选用并不应污染面板。

挂件外侧边与面板边缘的距离、挂件的入槽深度、槽口中心线与面板的相对位置，关系到面板的承载能力及幕墙外表面的平整度，应进行控制。

6.1.5 陶板幕墙工程中，短挂件连接的陶板常用的安装方式可分为挂钩挂装（图 1a、图 1b）、上插接下挂钩挂装（图 1c）和侧边挂装（图 1d）等三种基本方法。陶板挂钩为 L 形的挂钩挂装，其固定挂装点在陶板的上部挂钩处，使陶板安装固定后处于悬挂的工作状态。在板块意外断裂时，上部板块不会产生下坠的危险。上插接下挂钩挂装的陶板，由于上部陶板在上下方向并没有限位的装置，当陶板意外断裂时，容易产生陶板下坠的危险，所以在设计时，要控制面板的宽度，同时要采用防断裂下坠的措施。

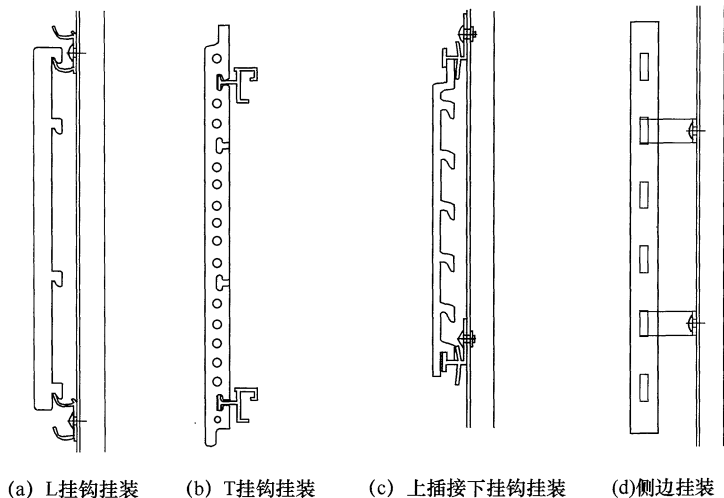


图 1 陶板挂装示意图

在频遇风荷载、地震、温度变化以及主体结构变形等作用的

影响下，面板会产生前后颤动、左右滑动和上下跳动，不仅影响外观，还存在噪声或损坏不安全因素。采用密封胶、胶粘剂和弹性垫片对挂件与面板之间的空隙进行充填，不仅防止挂件与面板刚性接触，同时避免挂件与面板在在频遇风荷载作用下产生碰撞导致陶板破裂的危险。还可有效地限制板块的移位，特别是当板块发生意外断裂时，可将板块固定在原有的安装位置。

挂件的入槽深度和搭接宽度，以及挂件相位于陶板的挂装位置，关系到面板的承载能力。本条在总结以往的工程经验的基础上，提出了相关的要求。

非侧边挂装的安装方式，可在陶板的两端采用弹性定位片，防止陶板侧向移动。

在陶板幕墙工程中，还有一部分镶嵌式挂件（将挂件镶嵌在支承构件预制的卡槽内或将支承构件镶嵌在挂件的预制卡槽内），对于这种镶嵌式挂件，要采取专门措施，防止挂件在地震作用下产生跳动、脱落。

陶板幕墙工程中，经常采用“鱼骨状”形式的支承构件，挂件支承连接在悬臂构件上，应采取有效措施，防止挂件滑动、脱落，面板破损。

6.1.6 与面板背面预置螺母、背栓、螺钉、铆钉连接并支承在幕墙构件上的连接件，不仅要承受传递面板的载荷作用，还与面板的安装质量直接有关，除了对截面厚度进行控制之外，应尽量选用尺寸精度较高的铝合金型材。

6.1.7 由于受生产工艺的限制和满足装饰效果要求，绝大多数人造板材面板的内外表面都不是单纯的平面。确定计算厚度时，应考虑表面粗糙度或装饰造型的影响。为保证面板的抗弯承载能力满足使用要求，本条对面板计算厚度 t_e 作出了规定。

6.2 短挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃板、陶板

6.2.1 进行面板抗弯强度设计时，应优先采用有限元方法分析计算，保证材料合理利用，避免浪费。采用短挂件两对边对称连

接的矩形瓷板、实心陶板、微晶玻璃，其受力状态类似四点支承板。

实际使用中，幕墙面板的挠度远小于板厚，也可直接采用四角支承板的弹性力学计算公式和系数表计算幕墙面板所承受的弯曲应力。面板所承受的弯曲应力标准值，应按照本规范 5.4.1 的规定进行组合，所得的最大弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

空心陶板的截面形状相当复杂，如果采用公式 (6.3.2-1) 和公式 (6.3.2-2) 进行计算，计算得到的最大弯曲应力远远大于面板实际的弯曲应力。所以，空心陶板在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板的最大弯曲应力标准值，宜采用有限元方法分析计算。也可参照现行国家标准《天然饰面石材试验方法 第 8 部分：用均匀静态压差检测石材挂装系统结构强度试验方法》GB/T 9966.8 的规定进行面板弯曲试验，确定陶板的受弯承载能力。

表 6.2.1 中的弯矩系数 m ，是在行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003、《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133-2001 以及《建筑结构静力计算手册》(第二版) 中已经确定的有关参数的基础上，进一步采用考虑几何非线性的有限元方法，对四点支承不同泊松比 ν 的矩形面板在承受垂直于板面的荷载下，面板的最大弯曲应力分析计算，进行回归得出。与行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003、《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133-2001 以及《建筑结构静力计算手册》(第二版) 所给定的弯矩系数一致。

6.2.2 面板挂件在承受并传递面板所承受的风荷载或地震作用的同时，还会对面板施加一个大小相等，方向相反的作用力。因此，面板与挂件连接处的承载能力，与面板和挂件都有直接关系。进行幕墙设计时，在对挂件挂钩承载能力进行验算的同时，也必须对面板连接处的承载能力进行验算。由于人造板材面板的截面形状比较复杂，应根据挂钩与挂槽的实际情况，合理地确定

面板槽口受剪面厚度 (t_v) 并按照本条的规定确定宽度 (s)。当槽口内外受剪面的厚度不一致时, 应根据槽口承受的荷载方向, 进行全面验算。

6.2.3 挂件直接承受并传递面板所承受的风荷载或地震作用, 挂件必须具备相应的抗剪承载能力。

6.2.4 挂件除了直接承受并传递面板所承受的风荷载或地震作用之外, 还要长期承受面板的自重作用, 应对挂件承受面板自重的抗剪能力进行验算。工程中, 面板的自重荷载仅由部分挂件承受, 所以, 在公式 (6.2.4-1) 中, 规定 n_1 为承受面板自重挂件的的实际数量。

瓷板、微晶玻璃板的截面形状比较简单, 其自重标准值, 可取面板重力密度 (γ_{gk}) 与面板体积的乘积; 陶板应根据截面形状计算面板的体积, 再根据重力密度 (γ_{gk}) 确定自重标准值。挂件数量应取实际承受面板自重荷载的挂件数量。考虑受力不均匀性等不利因数, 增加了应力调整系数, 并按照永久荷载效应起控制作用进行组合, 荷载分项系数取 1.35。

6.3 通长挂件支承连接的瓷板、陶板、 微晶玻璃板、纤维水泥板

6.3.1 通长挂件连接的矩形面板, 如同对边支承简支板, 跨中最大弯矩为:

$$M = \frac{1}{8}ql^2 \quad (5)$$

式中, q 和 l 分别为作用于面板上的荷载和支承跨度。所以, 弯矩系数可取 0.125。

6.3.2 纤维水泥板材料的弹性模量和弯曲强度都比较低, 需控制其在风荷载作用下的弯曲变形挠度, 以防止变形过大影响正常使用甚至发生破坏。根据对纤维水泥板弯曲试验结果, 不同厚度的板材在断裂破坏时的挠度为 1/60~1/140, 因此, 确定纤维水泥板在风荷载标准值作用下的弯曲变形挠度为 1/250 是适当的。

对边支承简支板的挠度为：

$$d_t = \frac{5ql^4}{384EI} \quad (6)$$

式中， q 和 l 分别为作用于面板上的荷载和支承跨度。所以，挠度系数可取 0.013。

6.3.3 槽口在支承反力作用下如同悬臂梁，反力作用点可取2/3槽深处。在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，通长挂件与面板的变形不一致，沿槽口全长的应力分布也不均匀，在公式(6.3.3)中，考虑了应力集中的影响。

6.3.4 在风荷载或地震作用下，挂件和面板槽口均受到支承处产生的剪力。进行幕墙设计时，应同时对面板和槽口的抗剪能力进行验算。采用公式(6.3.4)进行陶板槽口处抗剪设计时，陶板的计算厚度(t_c)不应小于槽口受剪面的厚度，即： $t_c \geq t_v$ 。

6.3.5 挂件直接承受并传递面板所承受的风荷载或地震作用，挂件必须具备相应的承载能力。进行幕墙设计时，必须对挂件的抗剪能力进行验算。

6.4 背栓支承连接的瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板

6.4.1 背栓与面板端部的距离过小，受拉时容易产生边缘破坏，降低连接强度。距离过大，则会改变面板的弯矩分布，不适用于本规范规定的面板弯曲应力计算公式。因此，需要对背栓与面板端部的距离加以限制。

背栓的数量与面板的形状、大小和所在位置有关，普通的矩形板，宜采用4个背栓并对称布置；细长的窗台板、封口板可采用2个背栓；异形面板，应根据板材的形状确定背栓的数量，并尽可能使所有背栓受力均匀。2个背栓连接的面板应采取有效措施，防止产生滑动、偏斜，影响幕墙的外观和性能，甚至造成面板破损。

6.4.2、6.4.3 背栓连接具有多种方式，设计方法也比较成熟。由于背栓连接具有可减小面板的支承跨度、降低面板厚度、节约

材料、易于更换面板、可实现多种板缝设计等优点，近年来，在石材幕墙、瓷板、微晶玻璃、纤维水泥板幕墙中得到了广泛应用。背栓连接的瓷板和微晶玻璃板、纤维水泥板，均可按多点支承弹性板，采用有限元方法分析计算。本规范仅规定了4个对称布置的背栓连接瓷板、微晶玻璃和纤维水泥板矩形板的设计方法，在确定面板的计算厚度时，应考虑表面粗糙度或装饰造型的影响。

6.4.4~6.4.6 在风荷载或地震作用下，背栓连接应具备相应的承载能力。进行幕墙设计时，必须对背栓的受拉承载能力进行验算。背栓属于局部连接方式，背栓连接的受拉承载力，与面板的原材料、面板生产工艺、材质、背栓的品牌、规格及其构造型式、锚固深度、背栓孔的加工精度、连接件的形状和构造连接破坏形式等因素密切相关。这些因素的存在，直接影响到背栓连接承载力计算结果的准确性。因此，背栓连接的实际承载力应通过试验进行验证，目的就在于了解上述各种因素与背栓连接承载力的相互关系，对设计计算进行验证。

背栓连接的瓷板、微晶玻璃板和纤维水泥板，面板的自重荷载，仅由部分背栓承受，所以，在公式(6.4.5)中，规定采用实际承受面板自重荷载的背栓总数量 n_1 进行验算。考虑到受力不均匀性等不利因素，增加了应力调整系数，并按照永久荷载效应起控制作用进行组合，规定荷载分项系数为1.35，确保幕墙的持久性和安全性。

试验证明，背栓锚固处的受力较复杂，破坏的形式多种多样，所以，本规范规定不同面板材料背栓连接时的锚固承载力分项系数。公式(6.4.6-2)中，受拉承载力与受剪承载力的折算系数0.8是根据背栓连接受拉和受剪对比试验结果统计得到。进行背栓受拉试验时，试样的数量不宜少5组。

6.5 背面预置螺母支承连接的石材蜂窝板

6.5.1 由于石材蜂窝板具有强度高、重量轻、平整度好等特点，

随着建筑装饰发展的需要，石材蜂窝板的应用越来越趋向于大板面发展， 2.5m^2 以上的大板块在工程中已有应用。但石材蜂窝板是由多种材料经胶粘剂粘结而成，它们之间的热膨胀系数互有差异 [石材的线膨胀系数为 0.80×10^{-5} ，铝合金板材为 2.35×10^{-5} ，镀铝锌钢板为 1.20×10^{-5} ，玻璃纤维板为 0.846×10^{-5} ，胶粘剂为 $(6.0 \sim 10.0) \times 10^{-5}$]，在环境温度变化较大的情况下，特别是寒冷气候环境条件下，板块可能由于各种材料的不同冷、热变形而产生整板凹凸的变形现象，影响到建筑的美观。控制单块单边长度和单块最大面积，其主要目的之一是为了防止由于板块尺寸过大而造成的整板变形。其次是为了防止过大的板面造成石材面板应力过大而产生裂缝，影响石材蜂窝板的使用寿命和美观。

玻璃纤维板具有很好的力学性能，玻璃纤维模压板的弯曲强度可达 $0.3 \times 10^5 \text{MPa}$ 以上，同时它与石材板块的热膨胀系数非常接近，复合后的石材蜂窝板可有效地防止板块的热变形问题。因此，采用玻璃纤维板复合而成的石材蜂窝板在国外建筑上已得到广泛的应用，并将代表今后石材蜂窝板的一个发展方向。但由于玻璃纤维复合板刚度相对较低，容易造成与石材复合后的石材蜂窝板在受载时产生较大的变形和应力，所以在确定其面板尺寸的大小时应更加慎重。

6.5.2 石材蜂窝板在工程施工的安装连接时，通常采用在蜂窝板粘结预置的连接螺母进行固定。也可采用其他的类似铝蜂窝板的连接方式进行安装连接。预置连接螺母在整板加工的过程中完成，出厂时已经过产品出厂检验。按照行业标准《建筑装饰用石材蜂窝复合板》JG/T 328 - 2011 的要求，单个连接（异形）螺母的受拉承载能力不应小于 3.2kN 。石材蜂窝板上的安装连接件，是保证面板连接承载能力的基本构件，对加工制作工艺和加工质量有严格的控制，不得在现场临时埋设。

6.5.3 由于石材蜂窝板在板厚方向为不对称的夹层结构，其承受正负风荷载的能力不一样，应对正风荷载作用下石材面板产生

的弯曲应力进行计算和验证。

石材蜂窝板由多种材经多层次粘结复合而成，一旦粘结层因受弯曲产生的剪切力的作用而导致粘结层破坏时，铝蜂窝芯与面板将产生开裂，使得原有的力学性能无法恢复并完全丧失。因而在对石材蜂窝板进行弯曲应力计算时，同时要对整板的层间抗剪应力进行计算和验证，以保证板的安全使用。但由于目前尚未有适用于石材蜂窝板对各复合层间的剪切应力进行计算和验证的方法，使得剪切应力的计算不可实现。所以我们在计算石材蜂窝板的石材面板抗弯应力时，是假设复合层之间不产生相对的移动，同时剪切应力很小，整板的弯曲变形以小挠度变形且层间不受剪切破坏作为计算和验证的前提。公式(6.5.3-1)和公式(6.5.3-2)按照以上所述的假设前提，以复合层剪切应力可忽略不计作为计算条件，并参照行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133-2001的计算方法提出。同时，也经过对产品检测和公式的推算来验证所设假设的可行性。

产品的检测结果表明，石材蜂窝板石材面板的弯曲刚度 D 检测值通常小于计算值（等效弯曲刚度 D_e ），这是实测弯曲刚度 D 受到实际存在的层间剪切应力和产品制造过程中的某些自身缺陷，而等效弯曲刚度 D_e 计算值在计算过程中忽略了层间剪切应力的影响等原因所造成的。所以在石材面板中存在的实际弯曲应力还要大于采用本规范公式所计算的结果。为此，在工程应用中应采用实测的弯曲刚度 D 对石材面板的弯曲应力进行验算。

6.5.4 石材蜂窝板在荷载作用下产生的弯曲变形和许可范围的判定应与石材蜂窝板弯曲破坏的极限承载值的判定原理一致，即应以石材面板开始产生细小裂缝时确定为石材蜂窝板受弯破坏的极限状态。但由于石材蜂窝板是由脆性材料和弹性材料经胶粘剂粘结复合而成，具有一定的柔软性，当板块面积较大时，在荷载作用下，板面变形可在达到较大的挠度时而石材面板并不产生裂纹，但此时石材板面的大挠度变形已影响到建筑外观的视觉效果。同时，由于不同材料间的热膨胀系数互有差异，在环境温度

变化较大的情况下，特别是极端寒冷气候环境条件下，板块可能由于各种材料的不同变形量而导致石材面板产生整板凹凸的变形现象，影响到建筑的美观，同时也会在石材面板与蜂窝板的粘结层间形成附加的剪切应力，影响石材蜂窝板的正常使用。所以弯曲变形的许可判定值不但要考虑石材面板可能产生的裂纹，同时要考虑石材面板变形的最大许可范围。在考虑其弯曲允许变形范围时，既不可按照石材的要求，也不可按照蜂窝板的要求，而应根据石材蜂窝板的具体情况进行制定。因而本规范在对石材面板弯曲应力进行验算的前提下，对板的挠度控制也提出较为严格的限定。特别是针对玻纤蜂窝板脆性相对较大，挠度的控制要求更高。

石材蜂窝板的泊松比目前尚无法通过有效的检测方法确定。考虑到组成石材蜂窝板的三种蜂窝复合板（铝蜂窝板、钢蜂窝板、玻纤蜂窝板）的主要材料的泊松比的数值基本一致（铝合金及板材泊松比为 0.33，钢材及玻璃纤维板材的泊松比为 0.3），同时通过对《建筑结构静力计算手册（第二版）》表 4-26 中的挠度系数的分析，当泊松比为 0 时，其挠度系数与当泊松比为 0.3 时的挠度系数的最大差距仅为 0.27%，可见对挠度的计算结果影响极小。为方便设计计算，确定将石材蜂窝板的泊松比定为 0.3。

在进行挠度值的验算时，应采用弯曲刚度实测值。

6.5.5 石材蜂窝板具有较强的平面抗压和平拉粘结强度。石材蜂窝板由于板厚较薄，表面较大，在承载正风荷载时，一般不会出现铝蜂窝芯失稳的状态。平拉粘结强度是石材蜂窝板抗衡负风荷载的主要技术指标，合格产品要求的指标值平均值大于等于 1.0MPa，最小值大于等于 0.6MPa，此指标值已远远满足建筑幕墙的一般设计要求。所以在考虑石材蜂窝板抗风荷载的设计时，不再对石材蜂窝板的平面抗压和平面粘结强度进行计算验算。但须对石材蜂窝板的预置螺母连接进行受拉拔和受剪的验算。由于背板厚度和预置螺母规格的不同，预置螺母的承载能力

不同，因而在进行预置螺母连接承载能力验算时，应对石材蜂窝板预置螺母连接的实际受拉和受剪承载力进行实测，实测试件数量不少于 5 件。公式 (6.5.7-2) 中，受拉承载力与受剪承载力的折算系数 0.5，是根据预置螺母连接受拉和受剪对比试验结果统计得到。公式 (6.5.7-1) 中石材蜂窝板单个预置螺母连接受拉承载力分项系数取 2.15，公式 (6.5.7-2) 中重力荷载分项系数取 1.35。表 3 为 20mm（蜂窝背板厚度为 15mm）石材蜂窝板的预置螺母连接承载力设计值的参考值。

表 3 预置螺母连接的受拉、受剪承载力设计值

螺母的品级	螺母的直径及长度 (mm×mm)	受拉承载力设计值 (kN)	受剪承载力设计值 (kN)
普通螺母 Q235	φ8×13.5	1.49	0.745

6.6 穿透支承连接的木纤维板、纤维水泥板

6.6.1 为防止木纤维板和纤维水泥板连接点产生双金属腐蚀，穿透支承连接应采用不锈钢螺钉、螺栓、不锈钢抽芯铆或钉芯材为不锈钢的抽芯铆钉。

6.6.2 木纤维板和纤维水泥板采用穿透连接时，为防止局部破坏，应对连接点到板边的距离进行控制。

木纤维板和纤维水泥板在环境温度变化的影响下会发生热胀冷缩，因此连接点的设计应能适应板块的变形。紧固点处的板材孔径与紧固件的直径相差很小，板材与紧固件之间几乎不能有相对位移；而滑动点处的板材孔径与紧固件的直径相差较大，允许板材与紧固件之间有一定的相对位移，以适应板材由于环境相对湿度、温度变化而产生的伸缩变形。

6.6.3、6.6.4 为保证面板受力和变形满足正常使用要求，一般情况下，木纤维板和纤维水泥板的连接支承点均多于四点。对于多点连接的面板，难以通过简单的公式进行设计计算，因此，宜采用有限元软件进行分析计算。为方便设计计算，本规范提供了

典型的四点支承矩形面板的简化计算方法。

由于高压热固化木纤维板中含有木质纤维素，板材的弹性模量低但弯曲强度高，可以发生较大的变形而不致损坏。四点支承面板在垂直面板的荷载作用下将产生较大的挠度，极易超出按弹性小变形薄板理论计算的范围。因此，在进行面板内力和变形计算时，采用考虑大挠度影响的弹性力学方法是较为合适的，计算结果更加准确。

考虑大挠度影响的木纤维板的内力和变形计算是较为复杂的非线性弹性力学问题，难以直接用简单的公式直接表达，一般需要采用有限元软件进行分析。为简化计算，选择与挠度和厚度相关的参数 θ 来确定对应的折减系数 η ，通过表格的方式表达以方便查阅。表 6.6.3 的编制主要依据有限元软件模拟分析的结果，同时保留一定的安全余地。

纤维水泥板的强度较低并具有一定的脆性，挠度 d_f 不宜大于板厚 t ，应按弹性小变形薄板理论计算，所以，采用公式(6.6.3-1)、(6.6.3-2)、(6.6.3-3)、(6.6.4-1)和(6.6.4-2)进行纤维水泥板的应力和挠度计算时，折减系数 η 取 1.0。

对于多于四点连接的面板，支承点位置的弯矩一般均比四点支承面板跨中弯矩要小，因此多于四点连接的面板可选择间距最大的四点的距离作为计算跨度，参考四点支承面板公式进行计算。

6.6.5 面板与骨架的连接均匀分布于面板上时，各连接点承受的荷载可以平均分配。考虑到各连接点位置的不均匀分布和各连接点的不均匀受力，采用有限元分析软件对常用连接分布状况面板的受力分析，参照国家建筑材料测试中心试验结果，在表 6.6.5 中给出不同数量连接点的应力调整系数 β ，表中数值按连接件周边对称布置取值，当连接布置不规则时，应考虑其影响。

6.6.6 试验结果表明，穿透连接高压热固化木纤维板和纤维水泥板面板，连接的破坏形式均为板材开裂破坏，是一种比较理想的破坏方式。根据受拉板材拉承载力试验，穿透连接的受拉承载

力破坏值具有一定的离散性，考虑到风荷载分项系数 1.4 和连接的不均匀性 1.78，穿透连接的受拉承载力分项系数取 2.15，穿透连接高压热固化木纤维板和纤维水泥板面板的总可靠度为：4.60~5.35（ $1.4 \times 1.53 \times 2.15 = 4.60$ ， $1.4 \times 1.78 \times 2.15 = 5.35$ ）。

6.7 背面支承连接的木纤维板

6.7.1~6.7.3 采用背面支承连接的木纤维板幕墙，为保证板材连接点的连接强度，应采用末端型式应符合国家标准《紧固件外螺纹零件末端》GB/T 2-2016 中末端为“刮削端（SC）”的螺钉连接。预制孔的直径应比螺钉直径小 0.7mm~0.8mm，孔深宜比板厚少 2mm~2.5mm，每个连接件应设置 2 个螺钉。由于木纤维板幕墙面板一般采用开缝式构造，螺钉的材质和性能应符合现行国家标准中 A4-70 的奥氏体型不锈钢的规定。

6.7.4 木纤维板随环境温度和湿度的变化会发生比较明显的伸缩，最大伸缩率可达 2.5%，为保证面板安装完成后板面的平整度及连接点的安全性，连接点处的连接挂件与横向支承型材之间应设置沿不同方向的可伸缩构造。为了防止板块在以后使用过程中发生整体滑移，应在板块安装到位后将位于顶部中间的挂件与支承型材用螺丝固定锁死。

7 支承结构设计

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.3 立柱、横梁是幕墙的主要支承构件，可采用铝合金型材、冷弯薄壁型钢、轧制或焊接型钢制作。工程中，通常选用薄壁铝合金型材和型钢。受弯薄壁金属梁的截面存在局部稳定问题，为防止产生压应力区的局部屈曲，铝合金型材和钢型材的截面形式、板件类型和有效截面计算应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定。

采用铝合金型材和钢型材组合梁时，一般是钢型材在内，铝合金型材在外。铝合金型材的表面处理应符合本规范的规定，钢型材也应进行有效的防腐蚀处理，在钢、铝型材的接触部位，还应采取防止双金属腐蚀的措施。

7.1.4 型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹连接并由螺纹承受拉力或压力时，应对螺纹的承载力进行设计验算，螺纹的旋合长度应符合现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197 的规定。必要时，可采取局部截面加厚或其他措施，保证连接强度。

7.1.5 幕墙横梁、立柱的挠度限值，是要控制幕墙面板在风荷载作用下的变形不致过大，与横梁和立柱的材质无关，根据我国的工程实践及相关规范，并参考国外相关规范，将幕墙横梁和立柱的挠度采用分段控制的方法，比较合理。并且，考虑 7m 以上的大跨度构件多为钢型材，规定构件的挠度限值为其计算跨度的 1/200。

7.1.7 幕墙横梁是双弯构件，自重荷载为永久性荷载，需控制其在垂直方向的挠度，以防止横梁变形过大，影响幕墙的正常使用功能和外观装饰效果。

7.1.8 横梁和立柱之间的连接设计应构件的材质确定，幕墙设计应对横梁与立柱的连接强度进行验算。横梁一般通过连接件、螺栓、螺钉、销钉或焊缝与立柱连接。单元式幕墙一般通过自攻螺钉直接连接。近年来，采用弹簧销钉连接横梁与立柱的方式也得到了广泛运用。进行横梁与立柱的构造设计时，应采取有效措施，防止横梁扭转。

铝合金型材之间的连接件，宜采用铝合金或不锈钢。连接用螺栓、螺钉或销钉应采用 A 类（奥氏体型）不锈钢，材质和机械性能应符合现行相关标准的规定。

角码和横梁采用不同金属材料时，应采取有效措施防止双金属腐蚀。钢横梁和钢立柱焊接连接，焊缝部位存在残余应力，更加容易被腐蚀，焊接完成之后，应立即对焊缝进行清理并进行防腐处理。焊缝承载能力的计算，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的规定。

7.2 横 梁

7.2.1 受弯薄壁金属梁的截面存在局部稳定问题，为防止产生压应力区的局部屈曲，通常可用下列方法之一加以控制：

- 1) 规定最小壁厚 t_{\min} 和规定最大宽厚比；
- 2) 对抗压强度设计值或允许应力予以降低。

型材杆件相邻两纵边之间的平板部分称为板件。一纵边与其他板件相连接，另一纵边为自由的板件，称为截面的自由挑出部位；两纵边均与其他板件相连接的板件，称为截面的双侧加劲部位。板件的宽厚比不应大于一定限值，以保证截面受压时保持局部稳定性。截面中不符合宽厚比限值的部分，在计算截面特性时不予考虑。

弹性薄板在均匀受压下的稳定临界应力可由下式计算：

$$\sigma_{cr} = \beta \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b_0^2} \quad (7)$$

式中： E ——弹性模量；

- t ——截面厚度；
 ν ——泊松比；
 b_0 ——截面宽度；
 β ——弹性屈曲系数，对开口部分（三边简支、一边自由）取 0.425，对闭口部分（四边简支）取 4.0。

由上式可得到型材截面的宽厚比要求，即：

$$\frac{b_0}{t} \leq \pi \sqrt{\frac{\beta E}{12(1-\nu^2)} f} \quad (8)$$

式中： f ——型材强度设计值。

现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 中，对截面形式、板件类型、有效截面计算、截面中受压板件的最大宽厚比、构件的计算长度和容许长细比、圆管截面构件的外径与壁厚之比、方管或矩形管截面构件的最大外缘尺寸与壁厚之比等，均作出了具体规定，截面的宽厚比应按照上述三个现行标准的规定进行设计。

现行国家标准《铝合金建筑型材》GB 5237 中，对于截面的宽厚比应符合国家现行标准规定用于幕墙的铝型材最小壁厚为 3mm。但在现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 中，对铝合金型材受压板件的宽厚比没有进行限制，而是采用了“对于可能出现局部屈曲的薄壁构件，可利用板件的屈服后强度，并在确定构件有效截面的基础上进行强度及整体稳定验算”的设计方法。

通常横梁跨度较小，相应的应力也较小，本规范按照现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的有关规定和工程经验，规定了冷成型薄壁型钢截面有效受力部位的厚度不应小于 2.0mm，铝合金型材横梁截面有效受力部位的厚度不应小于 2.0mm。由于生产工艺的原因，热轧型钢的尺寸精度和防腐蚀能力均低于冷弯薄壁型钢，因此，规定热轧钢型材截面有效受力部位的厚度不应

小于 2.5mm，与冷弯薄壁型钢比较，适当增加了热轧钢型材截面有效受力部位的厚度。同样，对于一些位于特殊环境气候条件下使用和特殊构造的幕墙（如开缝式幕墙），本规范在相关的条文中也提出了必要时可以预留腐蚀厚度或增强防腐措施的要求。

为了保证螺纹连接的可靠性，防止螺钉拉脱，在采用螺纹进行受拉、受压连接时，应进行螺纹受力计算。

考虑到工程中常用的内螺纹基本大径为 $D5 \sim D8$ ，以及铝合金型材的抗剪设计强度低于钢材和螺纹加工的特点，本条参照国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197 - 2003 中对于螺纹中等旋合长度下限的要求，规定了铝合金型材螺纹连接部位的局部厚度不应小于 4mm（相当于螺纹基本大径为 $D8$ 的中等旋合长度下限），宽度不应小于 13mm（相当于螺纹基本大径为 $D8$ 的六角螺母或方形螺母对边的距离）。

7.2.2 横梁结构力学计算模型应与工程实际一致，确保工程的安全性、耐久性。

7.2.3 随着我国标准体系的不断完善，与幕墙支承结构设计有关的现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 已经颁布并实施。进行幕墙构件的承载能力和稳定性设计计算时，应根据构件的材质，按相关现行结构设计规范进行设计。

铝合金型材和钢型材组合梁，应根据组合梁在工作中的荷载工况和荷载分布进行设计计算，并符合相关规范的规定。

计算机技术的发展，不仅使得结构分析设计更加方便、快捷，而且提高了计算的精确度，在设计验算构件的承载能力和稳定性时，也可采用有限元方法分析计算。

7.2.4 一般情况下，幕墙面板的位置均在横梁的外面，偏离截面形心。面板的重力偏心会使横梁产生扭转变形，多数可以通过在连接节点采取措施消除。面板自重较大，或面板规格较大，或

偏心距较大时,要考虑偏心所带来的不利影响,必要时,应进行横梁的抗扭承载力验算,并采取有效的连接构造措施。

开口截面薄壁杆件受压时,往往以弯扭组合变形的形式失稳,临界荷载会明显地小于只考虑弯曲变形所求得的值。因此,当横梁采用开口截面型材时,应采取有效措施提高开口截面薄壁杆件的抗扭刚度,从而减小扭转变形对临界力的影响。

7.3 立 柱

7.3.1 立柱截面主要受力部分厚度的最小值,主要是参照国家标准《铝合金建筑型材》GB 5237-2008中关于幕墙用型材最小厚度为3mm的规定。对于闭口箱形截面,由于有较好的抵抗局部失稳的性能,可以采用较小的壁厚,因此允许采用最小壁厚为2.5mm的型材。铝型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受拉、压连接时,应进行螺纹受力计算并局部加厚。

钢型材的耐腐蚀性能低于铝合金,采用冷弯成形工艺和热轧成形两种不同工艺生产的钢型材,型材的尺寸精度和耐腐蚀性能都有一定的差异,因此,规定热轧钢型材截面有效受力部位的厚度不应小于3.0mm。根据现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018的有关规定和工程经验,规定了立柱冷弯薄壁型钢的推荐厚度、限制厚度以及热轧型钢立柱的最小厚度。

偏心受压的立柱,因其受力较为不利,一般不设计成受压构件。当遇到立柱受压情况时,需要考虑局部稳定的要求。

7.3.2 立柱的布置应满足建筑设计要求,确保安全,并根据建筑主体的形状、类型和幕墙构造确定。将立柱设计为偏心受拉的简支梁或多跨梁,可使立柱受力更加合理,降低材料损耗。立柱设计为多跨梁时,应考虑立柱的变形,除了上支点采用圆孔定位之外,其余的支点均应采用长圆孔,有利于立柱伸缩变形,消除温度效应产生的附加作用。立柱支承点可能产生较大位移时,支承点的构造应与位移相适应。立柱过长,支点过多,不仅不利于

幕墙立柱的变形，还会增加材料的生产难度和运输难度，不宜采用。

7.3.3 受主体结构沉降、平面变形和幕墙自重以及温度作用，幕墙立柱会产生上、下移动。每段立柱之间设置活动接头，就可以使立柱有上、下活动的可能，从而使幕墙在自身平面内具有变形能力。不采用活动接头连接的立柱，应在邻近端头位置设置支承点，防止立柱侧移。立柱接头之间的空隙和立柱支承点的构造，应考虑温差变形、施工误差、幕墙自重以及主体结构沉降的影响。

7.3.4 幕墙工程中，上、下立柱之间通常采用芯柱或滑动接头连接，芯柱或滑动接头的惯性矩小于立柱的惯性矩，且插入深度上、下立柱的深度也不足2倍立柱截面高度。因此，芯柱或滑动接头与立柱紧密接触，只能传递剪力，不能传递弯矩。常用的立柱计算模型如下：

1 每层1个支点，立柱上端悬挑一小段，按单跨铰支梁（简支梁）模型进行计算；

2 每层2个支点，立柱上端悬挑一小段，按照双跨铰支梁模型进行计算；

3 每层1个支点，立柱上端悬挑一大段，按单支点多跨铰接梁模型进行计算；

4 每层2个支点，立柱上端悬挑一大段，按双支点多跨铰接梁模型进行计算。

上、下两层立柱之间的连接，应符合本规范第7.3.3条的有关规定。

目前，已有专门的计算软件，可按照自下而上各层的层高、支撑状况和水平荷载的不同数值，计算立柱各截面的弯矩、内力和挠度。各项参数的选取符合工程实际情况，计算结果比较准确，可以节约材料，降低工程成本，可作为幕墙立柱设计的工具。

立柱上、下端均与主体结构铰接，除了可以改善主体结构的

受力状态之外，也可提高幕墙适应主体结构的能力。立柱下端与主体结构的连接设计，应考虑立柱温度变化而产生的变形，留有伸缩余地。

8 加工制作

8.1 一般规定

8.1.1 一般情况下，主体结构施工都会有误差，而幕墙施工图设计又是依据建筑图和结构图进行，图纸和实际工程之间始终存在差异。误差超出幕墙施工图中的允许值时，作为外围护结构的幕墙，就必须对这些误差进行消化、吸收，调整幕墙施工图中的分格尺寸或构造。这些调整会造成构件成品或半成品的超差，甚至报废。因此，在幕墙加工制作前对已建主体结构进行复测，非常必要。

8.1.2 构件加工用设备、工装、夹具、模具与构件的加工质量和尺寸精度直接有关，应经常检查、维修并做好定期保养，使加工设备始终保持良好的工作状态。为保证面板的平整度，进行面板加工时，应以面板在幕墙上的装饰面作为加工、测量基准面。

8.1.3 质量检验用量具的测量精度应满足构件设计精度的要求并定期进行检测，确保测量结果的准确性。

8.1.4 背栓孔的加工精度要求非常高，不同厂家的背栓，对背栓孔又有不同的要求，因此，应采用与背栓配套的专用钻孔机械加工，并按背栓生产厂家的要求钻孔和扩孔。

背栓孔的尺寸精度、表面粗糙度和表面缺陷，背栓的安装质量和紧固程度，与背栓连接瓷板的承载力直接有关。因此，应对影响连接的位置进行清理，清理后的表面应平整，对背栓进行紧固时，应采用扭力扳手控制紧固力矩。

为了保证幕墙的总体平整度，加工背栓孔时，应以面板在幕墙上的装饰面作为基准面，对孔的深度进行控制。

8.2 铝 型 材

8.2.1 铝合金型材的加工精度直接影响到幕墙支承系统的安装质量。材料进厂时，应对型材的壁厚、尺寸及允许偏差、弯曲度、扭拧度进行检验。弯曲度、扭拧度不符合设计要求时，应进行校直调整。加工出的首件产品应进行全面检查，符合设计要求后，才能投入批量生产。

8.2.2 铝合金型材构件中槽口、豁口和榫头的尺寸和允许偏差应符合构件加工图的要求。槽口、豁口和榫头的尺寸允许偏差和形位公差应根据装配要求确定，并在构件加工图中标注清楚。

槽口、豁口和榫头的加工宜采用全自动化设备，条件不具备时，宜设计专用工装和模具。

8.2.3 常用的铝合金型材构件弯加工设备有顶弯和拉弯两大类，采用拉弯设备对铝合金型材构件弯加工，可以防止构件表面产生皱褶、凹凸和裂纹。拉弯构件的截面形状和截面宽度、高度与截面壁厚之间比值，与拉弯质量密切相关，进行截面设计时，要多加注意。

8.3 钢 构 件

8.3.1、8.3.2 预埋件加工要求参照现行国家标准《混凝土结构工程质量检验标准》GB 50204 的有关规定。

8.3.3 连接件、支承件的要求与行业标准《玻璃幕墙工程质量检验标准》JGJ/T 139 - 2001 的有关规定一致。

8.4 瓷板、陶板、微晶玻璃板

8.4.1 一般情况下，瓷板、陶板和微晶玻璃板幕墙的立面分格尺寸应按照产品规格与板缝宽度确定，特殊情况下才对面板进行切割加工。加工过程中，应采用水溶性润滑剂、冷却液和清洁剂，防止污染面板。

8.4.2 瓷板、微晶玻璃板槽口的加工质量关系到瓷板的承载力。槽口的宽度、长度和位置偏差太大，面板承载力就会严重偏离设计计算的结果，挂槽侧面太粗糙或存在缺陷，也会降低瓷板的承载力。因此，应采用专用机械设备进行加工并保持锯片锋利。

短挂件连接的瓷板和微晶玻璃板，可以加工成短槽，也可以加工成通槽。

8.5 石材蜂窝板

8.5.1、8.5.2 石材蜂窝板生产工艺较为复杂，幕墙用板块的加工是根据设计要求在专业生产单位逐块预制，一般施工企业不具备加工和生产的能力。通常情况下，石材蜂窝板采用胶粘剂进行板块间的粘结或预置螺母的灌注固定时，应在工作温度为 $15^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 75% 以下，且洁净、通风的室内进行。各板块的被粘结面在涂刷胶粘剂前须经打磨处理，表面应保证干燥，无油脂，无灰尘或其他污物。

预置螺母是板与幕墙支承构件间的重要连接件，其安装质量的好坏直接影响到幕墙的安全性能。预置螺母通常采用材质为 Q235 的冷镦工艺成型的异形螺母，形状如图 2。其表面镀锌纯化处理应满足《紧固件 电镀层》GB 5267.1 的规定，机械性能等级应达到《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2 中规定的 5 级，加工尺寸偏差应符合《内螺纹圆柱销 不淬硬钢和奥氏体不锈钢》GB/T 120.1。预置螺母螺纹直径 M 不应小于 8mm；螺柱直径 d 不应小于 12mm，底座直径 D 不应小于 22mm，高度 L 可根据板厚进行调整。

石材蜂窝板预埋螺母用孔的加工深度不应伤及与石材相粘结的板面。孔内残屑应清理干净，孔底部需保证平整并无毛刺。注胶时，注胶完成面应与背板表面持平或略呈凹弧状，预埋螺栓的表面不得低于注胶完成面和背板的表面。

石材蜂窝板出厂前应按照产品标准的各项要求进行严格的出

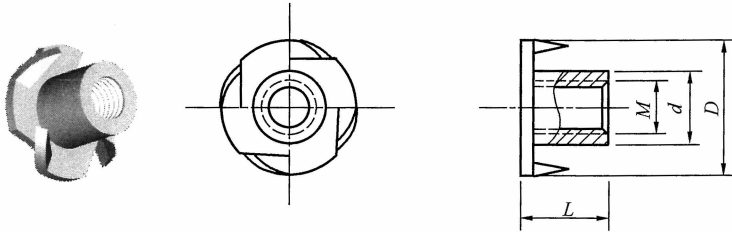


图 2 预置螺母示意

厂检验合格后方可使用。

8.6 木纤维板

8.6.1 切割木纤维板时，应先进行试加工，确定锯片的直径、齿数和转速及推进速度，防止出现灼伤和边角崩裂等缺陷。

8.7 纤维水泥板

8.7.1 纤维水泥板应存放在干燥、通风防雨的环境中，防止受潮。加工的主要工作内容是，需要专用的机械设备和良好的加工环境，如在施工现场有少量的板材需切割、开槽加工，可采用有机硅类憎水剂在切割、开槽面涂刷 2 遍~3 遍，待干后再使用。

8.7.2 纤维水泥板切割、开槽或钻孔，应采用专用设备并在工厂内进行，加工后的板材边缘应经过密封处理，以达到防水效果。

8.8 构件、组件检验

8.8.1 幕墙构件、组件的加工质量是保证幕墙工程施工质量符合现行国家标准的规定，满足设计功能要求的基础。为了保证构件或组件的加工质量，不仅要对成品进行检验，还应该加强过程检验。实行“首件三检”制度，可以有效地防止产品批量超差、批量报废，生产过程中的抽检、巡检，可以及时发现偶然因素造

成的加工质量问题。这些制度和办法，已经成为国内加工行业中普遍实行的制度，其中，也包括幕墙行业。本条规定的检验数量正是建立在这些质量控制的基础上。

9 安 装 施 工

9.1 一 般 规 定

9.1.1 主体结构应当满足幕墙安装的基本要求，幕墙安装前，应对主体结构的施工质量进行了解、验收。尤其是外立面很复杂或平面形状比较特殊的建筑，主体结构必须与建筑设计相符，并满足相应验收规范的要求。

常用的现行主体结构验收规范有：国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 等。当幕墙立面造型或平面形状特别复杂、特殊，需要对主体结构的施工质量加严控制时，幕墙施工承包单位应提前与主体结构施工单位协商。

9.1.2 幕墙施工图中应明确规定幕墙构件及附件的材料品种、规格、色泽和性能。构件的尺寸、形状不符合设计要求时，会严重影响幕墙的安装质量，不得使用。

9.1.3 施工组织设计是项目管理和工程施工的指导性文件，必须符合现场实际并满足设计要求。

幕墙的施工安装过程，是一项系统工程。对内，需要统一市场、采购、加工、人事、财务、设计、工程项目管理、质量监督和运输等多个部门的行为；对外，需要与业主、总包、监理以及其他工种协调配合。由于工程的多变，不同的工程应有不同的设计，也应采用不同的施工方法。为了保证工程施工进度、保证施工质量，施工组织设计，应经有关部门批准。

本条列出了编制构件式幕墙工程施工组织设计时应该注意的有关内容。编制具体项目的施工组织设计时，切忌一般化、原则化、通用化，编制人员一定要对工程实际情况进行分析，了解企

业内部参与工程施工运作的各个部门的情况，对参与该项目的外部有关单位进行调查，按照招标文件的要求，编制出针对性强、可操作性强的施工组织设计方案。

9.1.4 测量放线是构件和单元幕墙连接件安装质量符合要求的基础。本条内容强调了进行测量放线时，应注意下列事项：

1 幕墙分格轴线、控制线的测量应与主体结构测量相配合，并应及时将发现的主体结构施工误差反映给幕墙设计人员，对幕墙的分格进行调整；

2 为确保幕墙的安装质量，应定期对幕墙的安装定位基准进行校核；

3 风力大于4级时，主体结构的位移会影响测量放线的精确度，也容易发生安全问题，不宜进行测量放线。

9.1.5 由于多工种交叉作业和施工环境本身就比较差，容易污染或损坏幕墙成品、半成品，应严格执行施工组织设计中规定的有关的操作要求和成品、半成品保护措施。

9.1.6 焊接施工时，掉落的焊接熔渣（焊渣）温度非常高，很容易烧伤铝合金型材的表面处理层和碳钢型材表面的涂层以及面板保护膜，应采取的措施进行防护。

烧焊后，应对钢型材表面进行检查。发现碳钢型材表面有灼伤时，应清理干净并进行防腐蚀处理；发现不锈钢型材表面有灼伤时，及时清理，防止熔渣中的铁生锈，产生锈点、锈斑，影响表面质量。

9.2 安装施工准备

9.2.2 构件储存位置应符合施工平面图的规定并方便幕墙安装，并应采取措施，防止幕墙构件、组件损坏。

9.2.3 由于种种原因，工程中经常出现未埋设预埋件或已埋设预埋件无法使用的情况。这时，幕墙施工承包单位应根据工程实际，会同业主、建筑设计、总包、监理等单位，协商制定幕墙的后锚固施工方案。在得到建筑设计师的认可之后实施。后锚

固锚栓应进行现场抗拉承载力试验，满足设计要求之后，才能进行施工。

9.3 预埋件、后锚固连接件

9.3.1、9.3.2 为保证幕墙与主体结连接构的可靠性，幕墙用预埋件应在主体结构施工时埋入，埋设偏差应符合设计要求。幕墙工程中，常用的预埋件有平板型预埋件和槽型预埋件两大类。预埋件的制作质量和安装质量，直接关系到建筑幕墙的安全；预埋件位置的准确性，是幕墙支承构件安装施工质量的基础。实际工程中，可采用铁丝将锚筋或锚爪绑扎在构件钢筋上，防止捣制混凝土时造成预埋件位置偏移等缺陷。

9.3.3 幕墙立柱与混凝土主体结构宜通过预埋件连接，预埋件应在主体结构混凝土施工时埋入。实际工程中，会出现未埋、漏埋、预埋件位置偏离设计位置太远、设计变更造成已埋设预埋件无法使用或旧楼改建等原因，需要进行后锚固连接设计。现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145，对幕墙工程中常用的机械锚栓（膨胀型及扩底型锚栓）和化学锚栓的后锚固连接的构造措施和后锚固施工，进行了具体而详细的规定。按照该规程进行的设计和施工，能够保证后锚固连接的可靠性。

9.3.4 槽型预埋件的形状及其与幕墙构件的连接构造与平板型预埋件不同，表 9.3.4 中，未对槽型预埋件的安装允许偏差进行规定。

9.4 幕墙安装

9.4.1 在一幅幕墙中，立柱安装位置的准确性，决定了整幅幕墙的安装质量，是整幅幕墙安装施工的基础和关键工序之一。立柱轴线与建筑物轴线距离的允许偏差，关系到幕墙安装完成之后的立面效果、竖向装饰线条的垂直度。对于呈弧形、圆形、四周封闭以及凹凸不平的建筑平面，尤其重要。立柱的轴线位置偏差过大，还会造成上述立面视觉不舒服（转接不顺）和加大材料损

耗，为后续的安装施工带来困难，应认真对待。

一般情况下，一条立柱的长度与一个层高相当，上、下两条立柱接头之间采用芯柱或连接件连接，以适应和消除主体变形和温差变形的影响。芯柱或连接件的安装质量应符合本规定。

9.4.2 横梁通过连接件、螺钉、螺栓、铆钉或弹簧销钉立柱连接。横梁的安装质量决定了幕墙水平线条的水平度和板缝接缝的质量。

在多数人造板材幕墙中，横梁是直接承受面板自重和面板所受水平荷载的唯一构件，横梁应安装牢固。横梁两端应采取措施适应和消除横向变形的影响。两端采用弹性橡胶垫时，贴缝应严密；留有一定的空隙时，应注胶密封。采用弹簧销钉连接横梁与立柱时，不得划伤立柱表面。

9.4.3 幕墙主要附件的安装质量，关系到幕墙的设计性能和安全性，安装施工时，应注意下列问题：

1 防火保温材料应铺设平整、固定牢靠，拼接处不应留间隙，防止串烟串火；

2 冷凝水排出管、通气槽孔及雨水排出孔的位置和安装质量，应符合设计要求，防止冷凝水、雨水流入幕墙浸蚀幕墙内部，影响幕墙寿命和功能；

3 封边、封口安装，要符合设计规定的构造，防止雨水渗入；

4 施工用临时构件、临时螺栓等，一般不会检查其连接质量，在幕墙工作过程中，受到外力的作用容易松脱、坠落，损坏幕墙面板甚至造成人身伤害，应及时拆除；

5 焊缝和高强螺栓存在应力，较易受到腐蚀，应及时采取防腐蚀措施。

9.4.4 人造板材面板具有多样性，每种材料的安装施工都有自身的特点和特殊要求，安装施工工艺应符合产品的特点并满足幕墙工程设计要求。本规范主要强调以下几点：

1 面板采用人造材料或天然和人造材料制成，板材的内部

构造和成分各不相同，除木纤维板外，其他均为多孔材料，部分板材的强度比较分散。安装前，应对板材的弯曲强度（断裂模数）进行试验验证，满足设计承载能力的要求。用于寒冷地区的板材，还应按照板材产品标准进行耐冻融性试验；

2 多数人造板材的表面均应进行表面防护处理，安装之前，应按设计要求进行表面防护处理；

3 人造板材面板所用的胶粘剂和密封胶品种多样，有别于玻璃幕墙和金属石材幕墙。安装之前，应根据人造板材面板的种类，检查所用胶粘剂和密封胶是否符合产品规定并与面板基材相容，密封胶是否会污染面板材料。

9.4.5 开缝式幕墙没有水密性能要求，允许雨水流入面板背部空间。但是，应采取措施防止雨水渗入主体结构和保温层，并应防止雨水聚集，设置可靠的导排水系统，将渗入的雨水顺利排出。

9.4.6 人造板材幕墙的密封，应采用专用胶，并符合本规范3.6节的规定，与密封胶粘结的面板表面应清洁、干燥。下雨天，注胶缝内潮湿，在基材表面形成一层水膜或气膜，阻碍胶体渗入板材内部，密封胶与基材的粘结力很低，不能满足设计要求；夜晚光线太暗，应采取有效措施，否则，难于保证施工质量。

试验发现，注胶温度过高，基体接触部位会形成较薄的快速固化层，后期固化的胶体与快速固化层的内聚力非常低，进行剥离试验时，出现“剥香蕉皮”的现象，因此，注胶温度应符合设计要求和产品要求。夏季高温季节施工，面板表面温度偏高，要引起重视。

槽口底部应采用聚乙烯发泡材填塞，在控制密封胶的厚度的同时，防止密封胶三面粘结。

9.5 安全规定

9.5.1 幕墙工程施工，应坚决执行国家和工程所在地地方政府制定的有关法律、法规，并根据工程实际情况，按照现行国家标

准和行业标准的规定，制定切实可行的安全制度和安全生产守则，做到“安全第一、预防为主”，确保施工安全。

9.5.2 机械事故是建筑行业多发性事故之一。幕墙工程中使用的施工机具属于使用环境多变、间歇使用的机具。在进入新的工程之前，要对施工机具进行全面检查、检修；使用过程中，应定期检查、保养；开工前应进行空载运转。防止机械事故。

手持电动工具直接威胁到人身安全，其绝缘等级应符合产品标准的规定并进行绝缘电压试验。

9.5.4 脚手架是幕墙工程中最常见的施工方法，也是容易发生安全事故的地方。应根据工程特点和现场实际情况进行设计计算，并制定搭设或改造、验收、拆除方案。

9.5.5 幕墙施工，尤其是单元式幕墙施工，经常与主体结构、设备安装、室内装饰等其他工种交叉进行，为保证幕墙施工安全，应在主体结构的施工层下方应设置防护网，必要时，还应同时设置刚性平台；在离地面 3m 高处设置水平防护网的目的在于保护行人和车辆安全。防护网的材质、孔径、耐冲击性能等各项质量要求，应符合相关现行标准的规定。

9.5.6 采用吊篮施工，尤其是在高层和超高层是幕墙工程中最常见的施工方法。要强调的是：使用吊篮施工时，一定要对吊篮承受的各种荷载和作用进行设计计算，作为选用吊篮和校核吊篮安装场地承载力的依据；每次使用前（包括午休后），不仅应进行空运转，还应对安全锁进行试验。进行安全锁试验时，要注意防止安全锁失效发生事故。

9.5.7 焊接作业防护措施不当造成的安全事故，后果十分严重，应高度重视。防止焊接作业引发事故，可采取以下措施：

1 幕墙工程中的焊接作业，集中在幕墙与主体间的连接件施工过程中，进行幕墙与主体结构连设计时，应尽量减少现场焊接施工作业；

2 现场焊接时，应采取可靠的防火措施。常用的防火斗中，应放置一层如岩棉等柔性防火材料，并将其浸水且保持潮湿，不

仅能熄灭焊接火花，还可防止焊接火花与接火斗刚性接触，二次飞溅。

9.5.8 高空坠物直接威胁到人身安全。在脚手架和吊篮上施工时，不得随意往下丢掷物品。每道工序完成之后，要及时清理杂物；随身工具不得放置在窗台、栏杆上，防止其他人员行走或搬运构件时碰撞残留的杂物、工具，发生高空坠物事故。

10 工程验收

10.1 一般规定

10.1.1 工程验收分为资料验收和工程现场验收。幕墙工程验收资料应符合现行相关国家标准、行业标准和工程所在地的地方标准的规定。

本条列出了幕墙工程验收时，应提交的基本验收资料范围。对于具体的工程而言，除了设计文件和隐蔽工程验收记录必须提交之外，其他资料，应根据工程实际涉及的部分，提交相应部分的验收资料。

10.1.3 幕墙完工之后，有不少部位或节点被装饰材料隐蔽，在工程验收时无法观察、检测，而这些部位或节点的施工质量又至关重要，甚至与幕墙的安全性能直接有关，必须在施工过程中进行检查并做好记录。工程验收时，仅对隐蔽工程验收记录进行审核、检查。

幕墙施工单位应严格按照设计要求进行隐蔽工程施工并及时进行自检，发现问题应马上返工，自检合格，应会同监理和当地质监站进行隐蔽工程验收并做好记录，参加检验的人员，应在隐蔽验收记录上签字认可。

10.1.4 检验批的应按照符合相关国家标准的规定并结合工程实际情况进行划分。

10.2 工程验收

主控项目

10.2.1~10.2.11 条文中规定的各项质量要求，直接关系到幕墙的使用安全和装饰效果，应严格控制。

一般项目

10.2.18 表 10.2.18-1~表 10.2.18-4 参照国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086-2007 的规定和面板材料相应的产品标准和工程实际制定。

10.2.19 表 10.2.19 参照国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086-2007 和现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133 的有关规定，根据工程经验进行了补充。

11 保养和维修

11.1 一般规定

11.1.1、11.1.2 随着我国幕墙行业的发展，各类幕墙新产品越来越多，结构形式越来越复杂，技术含量也越来越高。为使幕墙在设计寿命期间保持并达到幕墙的设计寿命，合理使用、正确维护必不可少。工程验收时，幕墙承包单位应将《幕墙使用维护说明书》提交给业主，并指导业主或物业管理部门根据幕墙类型、环境及使用情况，编制切实可行的保养计划，制定突发事件的应急措施，为业主培训合格的维护、维修人员。

在进行幕墙的清洗、保养和维修时，操作人员应按规定进行操作，维修保养设备应处于完好状态，防止出现人身和设备事故。

11.2 检查与维修

11.2.1~11.2.3 本节说明了幕墙日常维护和保养、定期维修与保养以及灾后检查修复的工作内容及注意事项。

11.3 清 洗

11.3.1、11.3.2 业主或物业管理部门，应对幕墙表面定期清洗，清洗液不得对面板和幕墙构件产生腐蚀。清洗过程中要注意安全，并不得撞击和损伤幕墙。