



CECS xxx : 2024

中国工程建设协会标准

装配式轻钢龙骨一体化墙板应用技术规程

Technical specification for assembled light-gauge steel
integrated exterior wall panel



中国计划出版社

前言

根据中国工程建设标准化协会《标准制修订计划》（建标协（2022）40号）的要求，编制 CECS《装配式轻钢龙骨一体化墙板应用技术规程》。本标准的主要内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5 建筑设计；6 结构设计；7 生产与运输；8 施工安装；9 验收。

本标准由中国工程建设标准化协会负责管理。

本标准起草单位：

同济大学

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

华东建筑集团股份有限公司

江苏宝鲲模块建筑有限公司

青岛同建轻钢建筑设计咨询有限公司

浙江大东吴建筑科技有限公司

中信建筑设计研究总院有限公司

上海祥谷钢结构工程有限公司

中建东方装饰有限公司

龙元明筑科技有限责任公司

上海同磊土木工程技术有限公司

上海安岩设计咨询有限公司

浙江建信装饰有限公司

申都设计集团有限公司

中船第九设计研究院工程有限公司

上海建科检验有限公司

安徽富煌钢构股份有限公司

上海申百投资管理有限公司

本标准主要起草人员：

目次

1 总则	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定.....	5
4 材料	7
4.1 一般规定.....	7
4.2 水泥基材料.....	7
4.3 金属材料.....	9
4.4 保温材料.....	11
4.5 防火材料.....	11
4.6 防水密封材料.....	11
4.7 饰面材料.....	13
4.8 其他材料.....	14
5 建筑设计.....	15
5.1 一般规定.....	15
5.2 防火构造设计.....	15
5.3 防水构造设计.....	16
5.4 热工设计.....	17
6 结构设计.....	18
6.1 一般规定.....	18
6.2 荷载作用与效应组合.....	20
6.3 墙板的点支承节点设计.....	21
6.4 墙板的结构设计.....	25
6.5 墙板的构造设计.....	26
7 生产与运输.....	31
7.1 一般规定.....	31
7.2 构件生产.....	32
7.3 构件检验.....	34
7.4 存放与运输.....	36
8 施工安装.....	37
8.1 一般规定.....	37
8.2 施工安装准备.....	37
8.3 施工安装要点.....	37
9 验收	41
9.1 一般规定.....	41
9.2 进场验收.....	41
9.3 竣工验收.....	42
附录 A 外挂墙板接缝宽度计算	46

本标准用词说明.....	49
引用标准名录.....	50
条文说明	54

Contents

1 General provisions	1
2 Terms and symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
3 Basic regulations	5
4 Materials	7
4.1 General requirements	7
4.2 Cement-based materials	7
4.3 Metal materials	9
4.4 Thermal insulation materials	11
4.5 Fire-proof materials	11
4.6 Waterproof sealing materials	11
4.7 Facing materials	13
4.8 Other materials	14
5 Architectural design	15
5.1 General requirements	15
5.2 Fire-proof construction measures	15
5.3 Waterproof construction measures	16
5.4 Thermal performance requirements	17
6 Structure design	18
6.1 General requirements	18
6.2 Load actions and effect combinations	20
6.3 Design of point supports of wall panel	21
6.4 Structural design of wall panel	25
6.5 Construction measures of wall panel	26
7 Fabrications and transportations	31
7.1 General requirements	31
7.2 Fabrication of components	32
7.3 Inspections of components	34
7.4 Storage and transportations	36
8 Assembly and installations	37
8.1 General requirements	37
8.2 Preparations	37
8.3 Important points	37
9 Checking and acceptance	41
9.1 General requirements	41
9.2 Site acceptance	41
9.3 Completion acceptance	42
Appendix A Gap width calculations between wall panels	46
Explanation of words in this specification	49
List of specifications quoted in this specification	50

Addition: Explanations of provisions	54
--	----

1 总则

1.0.1 为规范装配式轻钢龙骨一体化墙板的应用技术,做到安全可靠、经济合理、技术先进、节能环保,制定本标准。

1.0.2 本标准适用民用建筑和工业建筑采用外挂形式的装配式轻钢龙骨及铝合金龙骨一体化墙板的设计、制作、运输、安装、验收及保养维修。

1.0.3 装配式轻钢龙骨一体化外挂墙板的应用高度不宜大于100米,其设计使用年限不应小于25年,不易拆换的外挂墙板设计使用年限宜与主体结构相同。

1.0.4 装配式轻钢龙骨一体化外挂墙板的工程设计、制作、施工和维护保养应实行全过程质量控制。

1.0.5 装配式轻钢龙骨一体化外挂墙板除应符合本标准外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 轻钢龙骨一体化墙板 light-gauge steel integrated exterior wall panel

在工厂预制生产，墙体结构由镀锌轻钢龙骨和金属面板或人造面板组成，具有结构和建筑的一体化功能，外挂连接于主体结构的装配式外挂墙板。

2.1.2 抗剪连接件 shear bolt nail

用于连接轻钢龙骨与金属面板或人造面板的元件。

2.1.3 点支承节点 point support joint

外挂墙板与主体结构通过不少于两个独立支承点传递荷载，并通过支承点的位移实现外挂墙板适应主体结构变形能力的柔性支承方式。

2.1.4 节点连接件 panel connector

外挂墙板点支承节点中的连接板件，传递墙板与主体结构之间的荷载与作用。

2.1.5 硅酮结构密封胶 structural silicone sealant

用于粘结面板与面板、面板与金属框架、面板与玻璃肋的硅酮类结构性胶料，能承受荷载并传递作用力，又称硅酮结构胶。

2.1.6 硅酮建筑密封胶 weather proofing silicone sealant

用于填嵌构造缝隙的硅酮类密封性胶料，又称硅酮密封胶或耐候胶。

2.1.7 防火硅胶 fire proofing sealant

符合防火功能的硅酮类密封胶料，又称防火密封胶。

2.1.8 双面胶带 double-sided tape

双面涂胶的聚氨基甲酸或聚乙烯低泡材料。

2.1.9 建筑信息模型技术 building information modeling(BIM)

创建并利用数字化模型对建设工程项目的设计、建造和运维全过程进行管理和优化的过程、方法和技术。

2.2 符号

A ——墙面面积；

b ——墙板宽度；

C ——正常使用状态外挂墙板的变形、裂缝和接缝宽度等限值。

d ——考虑长期荷载、温度、风、多遇地震作用情况的沿接缝宽度方向的变形量；

d_c ——外挂墙板接缝宽度的安装允许偏差；

f ——材料强度设计值；

h ——墙板高度；

G_K ——重力荷载标准值；

q_{EK} ——垂直于外挂墙板平面的分布水平地震作用标准值；

P_{EK} ——平行于外挂墙板平面的集中水平地震作用标准值；

R_d ——构件和节点的抗力设计值；

R_K ——构件和节点的抗力标准值，按材料强度标准值计算；

S ——外挂墙板的变形、裂缝和接缝宽度等；

S_d ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值；

S_{wK} ——风荷载的效应标准值；

S_E ——有地震作用的荷载效应组合设计值，按作用的地震组合计算；

S_{EhK} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{EvK} ——竖向地震作用标准值的效应；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{GK} ——永久荷载的效应标准值；

S_{TK} ——温度作用效应标准值；

w_s ——墙板接缝宽度；

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值；

β_E ——地震作用动力放大系数；

β_f ——折算应力的强度设计值增大系数；

δ ——考虑长期荷载、温度、风、多遇地震作用情况的垂直于接缝宽度方向的变形量；

ε ——密封材料的拉伸变形能力；

ψ_w ——风荷载组合系数；

ψ_T ——温度作用组合系数；

θ ——风或地震下墙板所在层在墙板平面内的结构弹性层间位移角；

θ_v ——风或地震下墙板所在层在角部垂直于墙板平面方向的结构弹性层间位移角；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_E ——水平地震作用分项系数；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_w ——风荷载分项系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

γ_T ——温度作用分项系数；

σ_{zs} ——折算应力；

σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ——计算点处第一、第二、第三主应力；

ΔT ——温度作用。

3 基本规定

3.0.1 装配式轻钢龙骨一体化墙板由轻钢龙骨和金属面板或人造面板组成，金属面板、人造面板与轻钢龙骨应通过抗剪连接件进行连接。墙板通过点支承节点外挂连接于主体结构上，墙板与节点连接件应能承受自重、风荷载、地震作用、温度和湿度等作用，并把荷载传递至主体结构，墙板不承受主体结构变形所产生的效应。

3.0.2 轻钢龙骨中的金属面板可采用平板、弧形板、压型板、异型板等形式，材质可采用铝合金板、不锈钢板、搪瓷涂层钢板、铜合金板、钛合金板、彩色钢板等。轻钢龙骨中的人造面板可为纤维水泥板、蒸压加气混凝土板、玻璃纤维水泥板（GRC板）、UHPC板、陶瓷面板、压型钢板混凝土组合板、金属夹芯复合板、铝蜂窝复合板等。

3.0.3 轻钢龙骨墙板的设计应安全可靠、符合建筑立面和使用功能的要求。在门（窗）洞口周边应布置龙骨构件，门（窗）框应与龙骨牢固连接。龙骨构件之间可采用焊接、机制螺钉或自攻螺钉等连接以形成龙骨系统，龙骨系统应具有足够的承载力、刚度和良好的耐久性能。

3.0.4 轻钢龙骨墙板中的龙骨骨架、金属面板应在工厂制作完成，人造面板与龙骨的组装连接可在工厂或施工现场制作。外挂墙板吊装用各类配套吊具，应根据墙板自重、施工工艺、技术措施等因素经设计计算选用，且应符合相关标准的要求。

3.0.5 轻钢龙骨墙板工程应实现建筑、结构、材料、节能、设备、装修等专业之间的协同和集成，墙板宜进行信息化的编码、管理和实施。

3.0.6 轻钢龙骨墙板组成材料应符合现行国家和行业的相关规定，尚无相应标准的材料应满足设计要求，并经专项技术论证。宜优先采用绿色、节能、利废的材料，严禁使用国家明令淘汰、禁止使用的工艺、材料及制品。

3.0.7 同一块墙板不应跨越主体结构的变形缝，且不应跨越相邻的二个防火分区。墙板构造伸缩缝尺寸应与主体结构的变形缝相协调，并采用柔性或滑移等方式的连接措施封闭处理。

3.0.8 外挂墙板系统的气密性应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T21086中第5.1.3条的规定且不应低于3级。开放式外挂墙板系统气密性可不作要求。

3.0.9 除开放式外挂墙板系统外，外挂墙板接缝处的水密性设计取值按下式计算：

$$P = 1000\mu_z\mu_{sl}w_0 \quad (3.0.9)$$

式中：

P ——水密性设计值（N/m²）；

μ_z ——风压高度变化系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的有关规定采用；

μ_{sl} ——风荷载体型系数，取 1.2；

w_0 ——基本风压（kN/m²），按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 规定采用。

3.0.10 外挂墙板系统的隔声性能应符合建筑设计要求，且应符合现行国家标准《建筑环境通用规范》GB55016的相关规定。

3.0.11 墙板设计文件中，应注明所采用的规范、结构设计使用年限、抗震设防烈度、连接材料的型号（或钢号）和设计所需的附加保证项目。对焊接连接，应注明焊缝熔透形式、尺寸和质量等级。文件应注明结构的设计耐火等级，构件的设计耐火极限、所需要的防火措施及其防火材料的性能要求。还应注明螺栓防松构造要求，钢结构最低防腐蚀设计年限和防护措施、施工要求等。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 轻钢龙骨墙板所选用的材料应符合现行国家和行业有关标准的规定，尚无相应标准的材料应满足设计要求，并经专项技术论证。

4.1.2 轻钢龙骨墙板材料应满足安全性、耐久性、环境保护和防火要求。

4.1.3 轻钢龙骨墙板不应采用在燃烧或高温环境下产生有毒有害气体的材料。

4.1.4 轻钢龙骨墙板用金属材料和金属配件除不锈钢、铝合金和耐候钢外,均应根据使用需要,采取有效的表面防腐蚀处理措施。

4.1.5 轻钢龙骨墙板宜采用鉴定合格的环保、节约资源及可循环利用的新材料。

4.1.6 轻钢龙骨墙板材料应具有产品合格证、质量保证书及相关性能检测报告。进口材料应符合国家商检规定。

4.2 水泥基材料

4.2.1 混凝土材料的力学性能指标和耐久性要求等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010和《混凝土结构工程施工规范》GB50666的有关规定。混凝土强度等级不宜低于C30。清水混凝土或装饰混凝土强度等级不宜低于C40。

4.2.2 混凝土原材料中，水泥质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175和《硫铝酸盐水泥》GB20472的规定；外加剂质量及使用方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB8076和《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119的规定；碎石和卵石应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T14685规定。砂应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T14684规定；拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63的规定；颜料应符合现行行业标准《混凝土和砂浆用颜料及其试验方法》JC/T539的规定；粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T1596的规定；磨细矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046的规定；其他矿物掺和料应符合相关标准的规定。

4.2.3 超高性能混凝土材料物理力学性能应符合表4.2.3的规定。

表 4.2.3 超高性能混凝土材料物理力学性能

检测项目	指标要求			检测方法
	浇注工艺	浇注工艺	喷射工艺	
	钢纤维	有机/无机纤维	玻璃纤维	
抗压强度	≥ 120	≥ 120	≥ 120	GB/T 50081 尺寸换算系数 取值为 1.0
抗弯比例极限强(MPa)	≥ 13.0	≥ 12.0	≥ 11.0	GB/T 15231
抗弯极限强度(MPa)	≥ 20.0	≥ 12.0	≥ 22.0	GB/T 15231
抗冲击强度(kJ/m ²)	≥ 24.0	≥ 9.0	≥ 15.0	GB/T 15231
体积密度(干燥状态) /(g/cm ³)	≤ 2.4	≤ 2.2	≤ 2.2	GB/T 15231
吸水率(%)	≤ 1.2	≤ 1.5	≤ 1.5	GB/T 15231
抗冻性	冻融循环 200 次后, 无起层、剥落等破坏现象			GB/T 15231
不透水性	静置 48h 试件背面无湿痕或水滴形成			GB/T 30100
收缩率(%)	≤ 0.06	≤ 0.06	≤ 0.06	JC/T 1057

4.2.4 钢纤维混凝土应满足现行国家和行业标准《混凝土用钢纤维》GB/T39147、《钢纤维混凝土》JG/T3064、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204等的要求。合成纤维应符合《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T21120的规定；耐碱玻璃纤维无捻粗纱、耐碱玻璃纤维短切纱应符合《耐碱玻璃纤维无捻粗纱》JC/T572的规定；耐碱玻璃纤维网布应符合《耐碱玻璃纤维网布》JC/T841的规定。

4.2.5 轻骨料混凝土的材料性能要求应符合现行行业标准《轻骨料混凝土结构技术规程》JGJ 12的有关规定。

4.2.6 泡沫混凝土性能要求应符合现行行业标准《泡沫混凝土》JGT266的有关规定。

4.2.7 聚苯乙烯颗粒泡沫混凝土的材料性能要求应符合现行行业标准《聚苯乙烯颗粒泡沫混凝土》JC/T2458等有关规定。

4.2.8 瓷板的物理性能应符合《建筑幕墙用瓷板》JG/T217规定, 并满足表4.2.8要求。

表 4.2.8 瓷板物理性能

项目	技术指标
吸水率(%)	平均值 ≤ 0.5 ;最大值 ≤ 0.6
抗热震性	经抗热震性试验后不出现炸裂或裂纹(循环次数:10次)
抗釉裂性(有釉表面)	经抗釉裂性试验后,有釉表面应无裂纹或剥落(循环次数:1次)
抗冻性	经抗冻性试验后应无裂纹或剥落(循环次数:100次)
光泽度(抛光板)	光泽度不低于 55
耐磨性	非施釉表面耐深度磨损体积不大于 175mm^3
	施釉表面耐深度不低于 3 级
色差	同一品种、同一批号瓷板颜色、花纹基本一致

注:釉面板上有设计要求的装饰性裂纹时,应加以说明,可不作抗釉裂性试验。

4.2.9 陶板物理力学性能应符合《建筑幕墙用陶板》JG/T324规定。

4.2.10 发泡陶瓷板应符合《建筑用发泡陶瓷保温板》JG/T511的相关规定,且强度不应低于 0.5MPa;

4.2.11 硅酸钙板应符合现行行业标准《纤维增强硅酸钙板第1部分:无石棉硅酸钙板》JC/T 564.1 的相关规定,且抗冲击强度不应低于 1.0kJ/m^2 。

4.3 金属材料

4.3.1 轻钢龙骨应采用镀锌冷弯薄壁型钢构件,其性能应满足现行国家标准《建筑用轻钢龙骨》GB/T11981、现行行业标准《轻钢龙骨式复合墙体》JG/T544的要求。其材料力学性能应满足现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018的规定。方管应符合现行国家、行业标准《直缝电焊钢管》GB/T 13793、《冷弯型钢》GB/T 6725、《建筑结构用冷弯薄壁型钢》JG/T 380的规定。镀锌压型钢板应满足现行国家标准《建筑用压型钢板》GB/T12755和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB/50018的规定。

4.3.2 钢结构连接件所用碳素结构钢、合金结构钢、低合金高强度结构钢等应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T3077、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591等的有关规定。

4.3.3 连接用焊接材料、螺栓、锚栓等应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB50017、《钢结构焊接规范》GB50661、《钢筋焊接及验收规程》JGJ18、《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ336的有关规定。机制螺钉钉孔的制备及精度应符合《普通螺纹公差》GB/T197 和

《普通螺纹 中等精度、优选系列的极限尺寸》GB/T9145 的要求，机制螺钉受拉连接时应严格控制螺钉及螺孔的尺寸，自攻螺钉及自攻自钻螺钉技术指标应符合《自攻螺钉用螺纹》GB/T5280规定。

4.3.4 对耐腐蚀有特殊要求或在腐蚀性环境中的墙板结构钢材、钢制品，宜采用耐候钢或不锈钢材质。如采用耐候钢，其质量指标应符合《耐候结构钢》GB/T4171规定，并采取相应的防腐蚀措施。

4.3.5 不锈钢材料宜采用奥氏体不锈钢或奥氏体-铁素体型双相不锈钢，不锈钢材料应经固溶处理。不锈钢板应符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T3280和《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T4237规定。

4.3.6 铝合金材料的力学性能指标和耐久性要求等应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB50429和《铝合金结构工程施工质量验收规范》GB50576的有关规定。并满足以下要求：

1 铝合金牌号所对应材料的化学成分应符合《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190 规定；铝合金型材的质量要求、试验方法、检验规则和包装、标志、运输、贮存等应符合《铝合金建筑型材》GB/T 5237.1～GB/T 5237.6 规定，型材尺寸允许偏差应达到高精级或超高精级；

2 铝合金型材应经表面阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂或氟喷涂处理，表面处理层厚度应满足表 4.3.6-1 和表 4.3.6-2 要求。

表 4.3.6-1 铝合金型材表面处理 1

表面处理方法		膜层级别	厚度 t, μm		检测标准
			平均膜厚	局部膜厚	
阳极氧化		AA15	≥15	≥12	GB/T 5237.2
		AA20	≥20	≥16	
		AA25	≥25	≥20	
粉末喷涂		----	----	≥40	GB/T 5237.4
氟碳喷涂	三涂	----	≥40	≥34	GB/T 5237.5
	四涂	----	≥65	≥55	

表 4.3.6-2 铝合金型材表面处理 2

表面处理方法	膜层级别	厚度 t, μm			检测标准
电泳涂漆	----	阳极氧化膜局部膜厚	漆膜局部膜厚	复合膜局部膜厚	GB/T 5237.3
	A	≥9	≥12	≥21	

	B	≥9	≥7	≥16	
	S	≥6	≥15	≥21	

4.4 保温材料

4.4.1 保温材料燃烧性能等级应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016的规定，且不应低于国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB8624中B₁级的要求。

4.4.2 岩棉、玻璃棉、矿渣棉保温材料应符合现行国家标准《绝热用岩棉、矿渣面及其制品》GB/T11835、《绝热用玻璃棉及其制品》GB/T13350、《建筑用岩棉绝热制品》GB/T19686、《建筑外墙外保温用岩棉制品》GB/T25975的有关规定。不应采用含石棉的材料。

4.4.3 模塑聚苯板应符合现行国家标准《模塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统材料》GB/T29906、《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)》GB/T10801.1的规定。挤塑聚苯板应符合现行国家标准《挤塑聚苯板(XPS)薄抹灰外墙外保温系统材料》GB/T30595、《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》GB/T10801.2的规定。

4.4.4 聚氨酯保温材料应符合现行国家标准《硬泡聚氨酯保温防水工程技术规范》GB50404、行业标准《聚氨酯硬泡复合保温板》JG/T314的规定。

4.4.5 其他保温材料性能应符合相关产品标准和设计要求。

4.4.6 粘结、固定隔热保温层的材料应满足防火设计要求。

4.5 防火材料

4.5.1 防火材料应满足防火设计要求，具备产品合格证和耐火测试报告。

4.5.2 外挂墙板防火封堵材料应符合《防火封堵材料》GB 23864规定，发生火灾时，在规定时间内不应发生移位、脱落现象，不产生有毒有害气体。防火封堵的承托板应采用厚度不小于1.5mm的镀锌钢板，不得采用铝板。阻燃密封胶性能应符合现行国家标准《建筑用阻燃密封胶》GB/T24267的规定。防火密封胶产品应有法定检测机构出具的防火检验报告。

4.6 防水密封材料

4.6.1 防水密封材料的粘结性能和耐久性应满足设计要求，应具有适用于装配式外挂墙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。

4.6.2 防水密封材料应满足以下标准：

1 结构密封胶应符合现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776 的规定；

2 建筑密封胶应符合国家现行标准、行业标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T14683、《聚硫建筑密封胶》JC/T483、《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T881、《石材用建筑密封胶》GB/T23261、《丙烯酸酯建筑密封胶》JC/T484、《聚氨酯建筑密封胶》JC/T482、《金属板用建筑密封胶》JC/T884 的规定；

3 阻燃密封胶性能应符合现行国家标准《建筑用阻燃密封胶》GB/T24267 的规定；

4 建筑用防霉密封胶应符合现行国家标准《建筑用防霉密封胶》JC/T885 的规定。

4.6.3 石材、陶板、石材蜂窝板、纤维水泥板、多孔性墙板板缝的密封，应采用符合《石材用建筑密封胶》GB/T23261规定的密封胶

4.6.4 硅酮结构密封胶、硅酮建筑密封胶应注意以下事项：

1 双组分产品两组分的颜色应有明显区别；

2 硅酮结构密封胶不应与聚硫密封胶接触使用；

3 同一外挂墙板工程应采用同一品牌硅酮结构密封胶和硅酮建筑密封胶；

4 硅酮结构密封胶和硅酮建筑密封胶必须在有效期内使用，使用前应取得与其接触材料的相容性试验合格报告，报告应由有相应资质的检测机构出具。硅酮结构密封胶还应做剥离粘结性试验和邵氏硬度试验；

5 在使用密封胶时，应符合材料制造商关于产品使用及接缝尺寸限制书面说明的要求。

4.6.5 硅酮结构密封胶采用底漆的规定：

1 必须经有相应资质的检测机构完成相容性试验和剥离粘结性试验；

2 硅酮结构密封胶与配套使用的底漆应由同一生产厂配制。底漆应有明显的颜色识别，并提供使用说明书；

3 严格按照使用说明书的要求操作。

4.6.6 气密条宜采用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶、热塑性弹性体及硅橡胶品，并应符合现行国家标准《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB24498的有关规定。

4.6.7 外挂墙板接缝密封胶的背衬材料可采用直径为缝宽1.3倍~1.5倍的发泡闭孔聚乙烯棒或发泡氯丁橡胶棒。当采用发泡闭孔聚乙烯棒时，其密度不宜大于37kg/m²。背衬材料不应与底涂发生不良反应。

4.7 饰面材料

4.7.1 墙板饰面层应采用耐久性好、不易污染的饰面材料。

4.7.2 饰面砖的材料性能应符合现行国家标准《陶质砖》GB/T4100的有关规定。柔性饰面砖及其所用其它材料的性能应符合现行标准《柔性饰面砖》JG/T311标准的有关规定。

4.7.3 饰面砂浆的性能应符合《墙体饰面砂浆》JC/T1024的规定。涂料性能应符合《建筑外墙涂料通用技术要求》JG/T512、《合成树脂乳液外墙涂料》GB/T9755、《合成树脂乳液砂壁状建筑涂料》JG/T24、《外墙水性氟涂料》JG/T508等有关规定。

4.7.4 内饰面材料应满足现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566以及现行国家标准《建筑用墙面涂料中有害物质限量》GB18582的相关要求。

4.7.5 墙板用滴水线条、护角线条、盖口条等其他材料应符合现行相关标准的规定。

4.7.6 金属板材、石材板材、复合板材的性能应符合现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ133的规定。

4.7.7 人造板材的性能应符合现行行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336的规定。

4.7.8 玻璃纤维增强水泥板(GRC)材料应符合《玻璃纤维增强水泥外墙板》JC/T1057和《玻璃纤维增强水泥(GRC)装饰制品》JC/T940规定，其材料的物理力学性能应满足表4.7.8要求。

表 4.7.8 玻璃纤维增强水泥板(GRC)结构层物理力学性能

检测项目		指标要求	检测方法
抗弯比例极限强度 (MPa)	平均值	≥7.0	GB/T 15231
	单块最小值	≥6.0	
抗弯极限强度 (MPa)	平均值	≥18.0	GB/T 15231
	单块最小值	≥15.0	
抗冲击强度 (kJ/m ²)		≥12.0	GB/T 15231
体积密度 (干燥状态) / (g/cm ³)		≥2.0	GB/T 15231
吸水率 (%)		≤8.0	GB/T 15231
抗冻性		冻融循环后，无起层、剥落等破坏现象	GB/T 15231
收缩率 (%)		≤0.10	GB/T 15231
注 1：抗弯比例极限强度、抗弯极限强度、抗冲击强度为 GRC 结构层性能。			
注 2：冻融循环次数为严寒地区 100 次，寒冷地区 75 次、其他地区 50 次			

4.7.9 玻璃纤维增强水泥板(GRC)应外观完整、纹理清晰、面板边缘整齐、无缺棱损角。带装

饰层的GRC板其饰面应满足建筑设计要求，不应有明显色差或局部因材料质量或配比等因素引起的色斑等影响和缺陷。玻璃纤维增强水泥板(GRC)应作表面防护处理。

4.7.10 发泡陶瓷板应符合《建筑用发泡陶瓷保温板》JG/T511的相关规定，且强度不应低于0.5MPa。

4.8 其他材料

4.8.1 墙板中门窗玻璃组件的性能应符合现行相关标准的有关规定。

4.8.2 不同金属材料接触面设置的绝缘隔离垫片，宜采用尼龙、聚氯乙烯(PVC)等制品。

4.8.3 墙面用清洁剂应符合环保要求，对人员健康无毒害，与墙面材料不发生化学反应，无腐蚀性。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 轻钢龙骨外挂墙板宜采用建筑信息模型技术，提供数字化模型设计文件。

5.1.2 轻钢龙骨外挂墙板应按建筑模数设计，应根据建筑层高、开间和柱网合理确定墙板分格尺寸，外挂墙板的高度不宜大于一个层高，应遵循少规格多组合的原则，以标准规格尺寸墙板为主，少量特殊规格墙板；且应考虑墙板的制作工艺、运输及施工安装等要求，宜绘制建筑外墙板立面分格图。

5.1.3 轻钢龙骨外挂墙板应作为建筑外围护的主墙体，并应符合下列规定：

- 1 外挂墙板应满足所属项目建筑外墙的耐火极限要求；
- 2 当采用保温一体化的外墙挂板时，保温墙板热工性能应符合所属建筑项目外墙传热系数限值；
- 3 外挂墙板的隔声性能应满足所属项目建筑外墙的隔声要求；
- 4 人员流动密度大及青少年、幼儿、老年人活动的公共建筑采用的外挂墙板，耐撞击性能指标不应低于现行国家标准《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T31433 中规定的 2 级；
- 5 有抗爆要求的外挂墙板应满足抗爆设计要求；
- 6 外挂墙板的装饰面层宜与墙板一体化，应采用耐久性好、不易污染的建筑饰面材料。

5.1.4 轻钢龙骨外挂墙板建筑宜采用雨水管敷设于室内的排水系统；当采用雨水管敷设于外墙时，外挂墙板应结合雨水管一体化设计或预留雨水管固定连接装置，并应有可靠连接。

5.1.5 设有外窗洞口的外挂墙板，外窗洞口尺寸及位置应满足结构受力及预制构件的设计要求。

5.2 防火构造设计

5.2.1 轻钢龙骨外挂墙板的防火构造应符合现行国家规范《建筑防火通用规范》GB55037 的规定，且应满足以下要求：

- 1 外挂墙板与主体结构之间的接缝应采用不燃材料进行防火封堵；
- 2 外挂墙板之间的接缝应在室内侧采用不燃材料进行封堵；
- 3 夹心保温墙板外门窗洞口周边应采取防火构造措施；

4 外挂墙板与层间楼板、防火分区隔墙处的建筑缝隙应采用厚度不小于 200 的岩棉、矿棉等耐高温、不燃材料填充密实，防火封堵承托应采用厚度不小于 1.5mm 的镀锌钢板；

5 当防火封堵承托板宽度或高度大于 300 时，应增设支承加固措施；

6 轻钢龙骨外挂墙板节点连接处的防火封堵构造应具备承受自重、适应墙板与主体结构之间位移的能力。

5.2.2 轻钢龙骨外挂墙板为空腔墙体时，空腔墙体内应设置水平防火封堵，实体墙处每层应设置一道防火封堵。防火封堵应采用厚度不小于200mm的岩棉等耐高温、不燃材料填充密实，并与墙体有可靠支撑，在耐火极限内不应发生开裂或脱落。相邻防火封堵构造应连续封闭。

5.3 防水构造设计

5.3.1 轻钢龙骨外挂墙板的防水构造设计应符合现行国家规范《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030的相关规定，应达到一级防水要求。

5.3.2 轻钢龙骨外挂墙板接缝以及门窗框与墙板连接处应采用密封材料、止水材料和专用防水配件等进行密封。

5.3.3 采用金属面板、石材面板、复合板材等人造面板的外挂墙板构造应符合现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ133的相关规定。

5.3.4 轻钢龙骨外挂墙板系统的排水构造应符合下列规定：

1 建筑首层底部应设置排水孔等排水措施；

2 十字交叉缝上部的垂直缝中宜设置导水管等排水措施，且导水管竖向间距不宜超过 3 层；

3 当垂直缝下方因门窗等开口部位被隔断时，应在开口部位上部垂直缝处设置导水管等排水措施；

4 仅设置一道材料防水且接缝设置排水措施时，接缝内侧应设置气密条；

5 导水管应采用专用单向排水管，管内径不宜小于 10mm，外径不应大于接缝宽度，在密封胶表面的外露长度不应小于 5mm。

5.3.5 轻钢龙骨外挂墙板系统内侧可采用密封胶、气密条作为第二道材料防水，当外挂墙板接缝内侧采用气密条时，十字缝部位各300mm宽度范围内的气密条接缝内侧应采用耐候密封胶进行密封处理。

5.3.6 当轻钢龙骨外挂墙板内侧设有卫生间、淋浴间等有防水要求的房间时，宜在外挂墙板室内一侧设置内衬墙，并对内衬墙内侧采取防水措施。

5.3.7 轻钢龙骨外挂墙板的女儿墙，宜在墙板内侧设置混凝土翻边，上翻高度不应小于250mm，并应采取防水封堵措施。

5.3.8 轻钢龙骨外挂墙板之间接缝宽度及墙板与其他凸出构造之间接缝宽度不宜小于15mm，接缝宽度不应大于35mm。接缝宽度还应满足面板在外荷载作用下的面内变形要求。

5.3.9 防水密封胶有效厚度不应小于接缝宽度的1/2且不应小于8mm。

5.3.10 墙板穿墙套管与穿墙管之间的缝隙应采用嵌缝材料进行填充，并用防水密封胶进行密封处理，不得采用普通水泥砂浆进行封堵。

5.4 热工设计

5.4.1 轻钢龙骨外挂墙板系统可采用外墙外保温、外墙内保温和夹心保温墙板系统，采用外墙外保温时，宜采用保温一体化外挂墙板系统。

5.4.2 外挂墙板系统的保温材料选用应符合国家现行规范《建筑防火通用规范》GB55037的相关规定。

5.4.3 外挂墙板的热工性能应符合下列规定：

1 采用金属面板、石材面板、复合面板等人造面板的外挂墙板应符合现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ133的热工设计规定；

2 其他材质的外挂墙板传热系数应根据构造组成的各层材料的热阻计算，考虑到墙板构造和安装的冷热桥影响，设计时可按各层材料热阻的0.9倍计算，预制加工时应按实际冷热桥比例进行加权计算，且应符合现行国家和行业节能设计标准中外墙传热系数规定限值。

5.4.4 轻钢龙骨外挂墙板采用内保温系统时，其墙体传热系数计算可叠加墙板热阻和保温层热阻，但保温层应粘贴在外挂墙板的内侧表面，保温构造应符合行业现行标准《外墙内保温工程技术规程》JGJ/T261的规定。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 轻钢龙骨外挂墙板应按围护结构进行设计，墙体应具有足够的承载能力、刚度、稳定性和相对于主体结构的位移能力。

6.1.2 在持久设计状况下轻钢龙骨外挂墙板系统的承载能力极限状态计算应包含下列内容：

- 1 墙板结构构件的承载力计算；
- 2 墙板点支承节点的承载力计算；
- 3 墙板中抗剪连接件的承载力验算。

6.1.3 在持久设计状况下轻钢龙骨外挂墙板系统的正常使用极限状态计算应包含下列内容：

- 1 墙板平面外变形验算；
- 2 墙板点支承节点的变形能力验算；
- 3 水泥基面板拉应力和裂缝宽度验算；
- 4 外挂墙板的接缝宽度验算。

6.1.4 在短暂设计状况下，轻钢龙骨外挂墙板的设计计算应包含下列内容：

- 1 外挂墙板制作、运输、堆放、安装用预埋件和临时支撑的承载力验算；
- 2 墙板中抗剪连接件的承载力验算；
- 3 应进行水泥基人造面板的拉应力验算。

6.1.5 在地震设计状况下，轻钢龙骨外挂墙板系统应对下列承载力和变形能力进行验算：

1 多遇地震作用下应进行墙板构件的承载力验算，墙板点支承节点的承载力验算，墙板中抗剪连接件的承载力验算，墙板之间的接缝宽度验算；

2 罕遇地震作用下应进行墙板点支承节点变形能力和承载力验算，墙板中抗剪连接件的承载力验算。

6.1.6 轻钢龙骨外挂墙板和连接节点承载能力极限状态应按下列公式进行验算：

- 1 持久设计状况和短暂设计状况：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (6.1.6-1)$$

- 2 地震设计状况：

多遇地震和设防地震作用下

$$S_E \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (6.1.6-2)$$

罕遇地震作用下

$$S_{GE} + S_{EhK} \leq R_K \quad (6.1.6-3)$$

$$S_{GE} + S_{EvK} \leq R_K \quad (6.1.6-4)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，可取与主体结构相同，且不小于 1.0；

S_d ——无地震作用的荷载效应组合设计值，按作用的基本组合计算；

S_E ——有地震作用的荷载效应组合设计值，按作用的地震组合计算；

R_d ——构件和节点的抗力设计值；

R_K ——构件和节点的抗力标准值，按材料强度标准值计算；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应，取外挂墙板自重标准值；

S_{EhK} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{EvK} ——竖向地震作用标准值的效应；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，外挂墙板应根据现行国家标准《建筑抗震设计规

范》GB50011 取值，连接节点取 1.0。

6.1.7 对于正常使用极限状态，应根据不同设计要求，采用荷载的标准组合或准永久组合，按下列公式进行设计：

$$S \leq C \quad (6.1.7)$$

式中： S ——轻钢龙骨外挂墙板的变形、裂缝、接缝宽度等；

C ——正常使用状态外挂墙板的变形、裂缝、接缝宽度等限值。

外挂墙板建筑外表面在温度和风荷载作用下裂缝控制等级为二级，当外挂墙板采用抗裂和防水性能强的饰面材料时，风荷载和温度作用下的裂缝控制等级可适当放宽但不应低于三级；外挂墙板内表面的裂缝控制等级为三级；外挂墙板的最大裂缝宽度限值应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

6.1.8 墙板结构设计应涵盖最不利构件和节点在最不利工况条件下极限状态的验算。建筑物转角部位、平面或立面突变部位的构件和连接应作专项验算。

6.1.9 体型不规则的建筑、超高层建筑、大跨度空间结构等，墙板构造应做抗震设计和计算分析。

6.2 荷载作用与效应组合

6.2.1 轻钢龙骨外挂墙板及连接节点的承载力计算时，荷载组合的效应设计值应符合下列规定：

1 持久设计状况和短暂设计状况：

$$S_d = \gamma_G S_{GK} + \gamma_w S_{wK} \quad (6.2.1-1)$$

2 在水平地震作用下，地震设计状况：

$$S_E = \gamma_G S_{GK} + \gamma_E S_{EhK} + \psi_w \gamma_w S_{wK} \quad (6.2.1-2)$$

式中： S_{GK} ——永久荷载的效应标准值；

S_{wK} ——风荷载的效应标准值；

S_{EhK} ——水平地震作用组合的效应标准值；

γ_G ——永久荷载分项系数。进行墙板平面外承载设计时，应取 0；进行墙板平面内承载力设计时，应取 1.3。进行连接节点承载力设计时，当风荷载效应起控制作用时，应取 1.3。在地震设计状况下，应取 1.3。

γ_w ——风荷载分项系数，取 1.5；

γ_E ——水平地震作用分项系数，取 1.4；

ψ_w ——风荷载组合系数。地震设计状况下取 0.2。

6.2.2 轻钢龙骨外挂墙板风荷载标准值的确定应符合下列规定：

1 计算方法和参数取值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009；

2 建筑高度较高、体型不规则、风环境复杂或特别重要的工程应通过风洞试验或数值风洞模拟确定。

6.2.3 轻钢龙骨外挂墙板地震作用标准值应按下列式进行计算：

1 垂直于墙板的均布水平地震作用标准值可按下式计算：

$$q_{EK} = \beta_E \alpha_{\max} G_K / A \quad (6.2.3-1)$$

式中： q_{EK} ——垂直于墙板的分布地震作用标准值（kN/m²）；

β_E ——动力放大系数，可取 5.0；

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值；

G_K ——墙板重力荷载标准值（kN）；

A——墙面面积（m²）。

2 平行于墙板的集中水平地震作用标准值可按下式计算：

$$P_{EK} = \beta_E \alpha_{\max} G_K \quad (6.2.3-2)$$

式中： P_{EK} ——平行于墙板的集中水平地震作用标准值（kN）。

6.2.4 轻钢龙骨外挂墙板的竖向地震作用标准值可取水平地震作用标准值的65%。

6.2.5 轻钢龙骨外挂墙板在温度作用下的计算应符合下列规定：

- 1 当外挂墙板具有适应主体结构及自身在温度作用下变形能力时，外挂墙板及其节点承载力计算时可不考虑温度作用；
- 2 龙骨组合式外挂墙板的人造面板应力验算时应考虑内外表面的温差；
- 3 外挂墙板接缝宽度应满足温度变形的要求，应符合本标准附录 A 的规定。

6.3 墙板的点支承节点设计

6.3.1 应根据建筑使用功能、主体结构类型、外挂墙板形状和尺寸、墙板安装工艺等特点，合理设计龙骨组合式外挂墙板的点支承节点，且应符合下列规定：

- 1 点支承节点应具有适应主体结构施工和墙板制作误差的能力，以及适应主体结构变形的能力；
- 2 点支承节点应具有足够的承载能力。在多遇地震和设防地震作用下，点支承节点应满足弹性设计要求。在罕遇地震作用下，点支承节点不应失效；
- 3 点支承节点应具有可靠的防松、防脱和防滑措施以及良好的耐久性能。

6.3.2 龙骨组合式外挂墙板与主体结构的连接可采用墙板四角点上挂下插的方式连接于主体结构主梁或柱子上，形成旋转式连接，如图6.3.2-1所示。也可通过墙板四角挂点与主体结构主梁或柱子连接并限制挂点处的竖向移动，形成平移式连接，见图6.3.2-2所示。

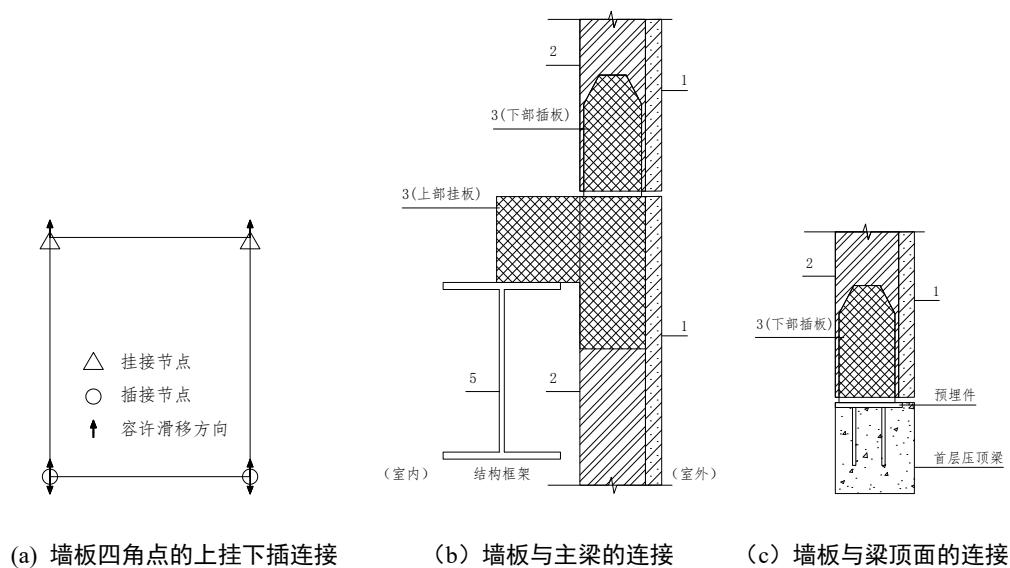


图 6.3.2-1 墙板四角点上挂下插的连接示意图（旋转式）

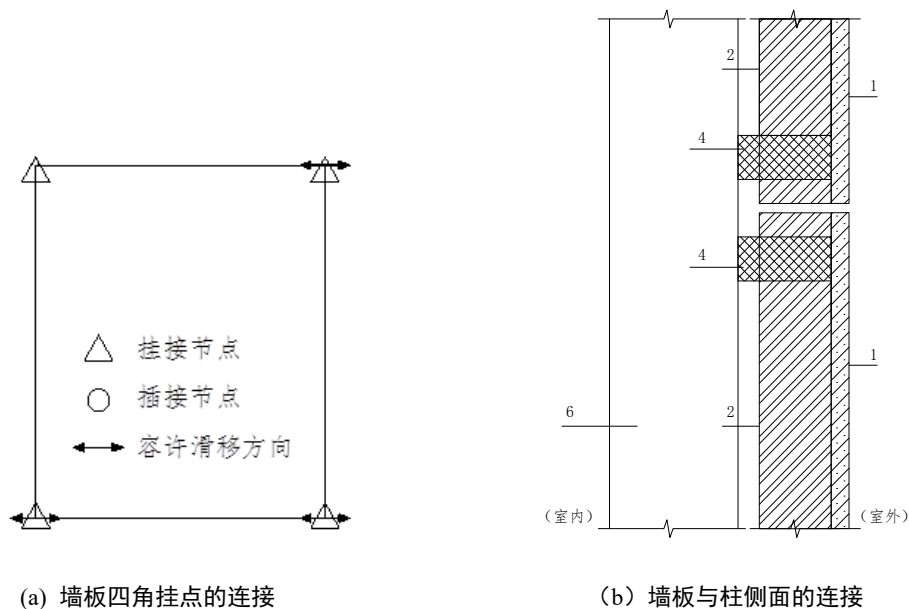


图 6.3.2-2 墙板四角挂点的连接示意图（平移式）

1—墙板面板；2—墙板龙骨；3—墙板-结构梁连接件；4—墙板-结构柱连接件；5—结构梁；6—结构柱

6.3.3 宜建立轻钢龙骨外挂墙板受外荷载作用的计算模型进行点支承节点的受力计算，计算模型应与实际构造相符合。

6.3.4 轻钢龙骨外挂墙板点支承节点中的各连接板件、连接件的强度设计应符合下列规定。

- 1 应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 进行设计计算；
- 2 在持久设计状况及多遇地震和设防地震作用下，对于构造复杂的节点可采用弹性有限元方法进行计算，节点板和连接件承载力应满足式（6.3.6）的要求；

$$\sigma_{zs} \leq \beta_f f \quad (6.3.4)$$

式中： σ_{zs} ——折算应力（ N/mm^2 ），

$$\sigma_{zs} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]};$$

β_f ——折算应力的强度设计值增大系数。当计算点各主应力全部为压应力时，

$\beta_f = 1.2$ ；当计算点各主应力全部为拉应力时， $\beta_f = 1.0$ ，且最大主应力应满足

$\sigma_1 \leq 1.1f$ ；其他情况时， $\beta_f = 1.1$ ；

f ——材料强度设计值；

σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ——计算点处第一、第二、第三主应力（ N/mm^2 ）。

3 在罕遇地震作用下，应采用弹塑性有限元方法进行计算，应按公式（6.1.6-3）、（6.1.6-4）、（6.2.3-1）、（6.2.3-2）和第 6.2.4 条计算地震作用，采用钢材的 von Mises 屈服条件进行计算分析。

6.3.5 当采用平移式或旋转式连接方式时，在正常使用极限状态下，外挂墙板的点支承连接节点在平面内应具有适应结构层间变形的能力，并符合下列规定：

1 平移式外挂墙板的非承重限位节点应开水平长圆孔或留插接长度，长圆孔长度 L_S 应满足下式：

$$L_S = 2\theta_p l_V + D + d_c \quad (6.3.5-1)$$

式中，

θ_p ——罕遇地震下墙板所在层在墙板平面内的结构层间位移角，可取设防地震下墙板所在层在墙板平面内的结构弹性层间位移角的3倍。

l_V ——墙板支点垂直间距。

D ——限位螺栓直径。

d_c ——节点施工误差。

2 旋转式外挂墙板的节点连接板或挂接板应开竖向长圆孔或预留挂接长度，长圆孔长度或挂接长度 L_R 应满足下式：

$$L_R = \theta_p l_H + D + d_c \quad (6.3.5-2)$$

式中，

l_H ——墙板支点水平间距。

6.3.6 轻钢龙骨外挂墙板点支承节点与主体结构的锚固承载力设计值应大于实际承载力设计值。与主体结构或埋板直接连接的连接件，钢质连接件厚度不应小于6mm。重要连接件或主要受力构件不宜与埋件仰焊连接。

6.3.7 当主体结构为钢筋混凝土结构时，轻钢龙骨外挂墙板与主体结构应通过预埋件连接。预埋件的设计计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《钢结构设计标准》GB50017和《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102的相关规定

6.3.8 轻钢龙骨外挂墙板不宜使用后置埋件与主体结构进行连接。使用后置埋件应符合《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145规定，选择合适的锚栓类型，保证连接的可靠性，并符合下列条件：

1 后置埋件用锚栓可选用自扩底锚栓、模扩底锚栓、特殊倒锥形化学锚栓。普通化学锚栓可用于非主要受力构件的构造连接；

2 锚栓直径和数量应经计算确定。锚栓直径不小于 10mm，每个后置埋件上不得少于 2 个锚栓；

3 就位后需焊接作业的后置埋件宜使用机械扩底锚栓。如采用特殊倒锥形化学锚栓，焊接时应采取措施防止化学锚栓受热失效，并应有焊接高温后抗拉承载力检验报告；

4 锚栓工程施工、验收及锚固承载力现场实测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。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。

6.3.9 轻钢龙骨外挂墙板与主体钢结构连接时，应在主体钢结构加工前提出连接的设计要求，并在加工时完成连接构造。未经主体结构设计同意，现场不得在钢结构柱及主梁上焊接各类转接件。

6.3.10 轻钢龙骨外挂墙板与砌体结构连接时，应在连接部位的主体结构上增设钢筋混凝土或钢结构梁、柱。墙板的支承结构不应直接支承于轻质填充墙。

6.3.11 轻钢龙骨外挂墙板点支承节点的设计应考虑施工操作空间和焊接的可行性，应符合以下规定：

1 采用传力可靠、制作方便、连接简单、便于调整定位的构造形式，并应考虑临时定位措施，确保施工安装的稳定和质量；

2 焊接时应有临时支承或加焊支承部件，不宜在施工现场直接施焊。

6.4 墙板的结构设计

6.4.1 轻钢龙骨外挂墙板的内力和变形宜采用有限单元法进行计算，外挂墙板与主体结构之间的支座连接节点应根据实际构造假定为三向约束、两向约束或单向约束铰接支座。计算分析应符合以下规定：

1 龙骨横梁和立柱连接处沿截面围焊时宜视为铰接，围焊并加焊肋板的焊接连接可视为刚接，矩形管、圆管构架的斜杆与主杆连接为铰接。直角节点如设计成刚接，应有 45° 斜板转接焊接，杆件相交节点宜减小偏心。龙骨横梁与立柱采用角码和机制螺栓、自攻螺钉连接时计算模型中可取为铰接，但宜对龙骨刚度进行适当折减；

2 当采用金属面板或分块条板时，可不考虑金属面板和龙骨的共同作用，分别进行金属面板和龙骨骨架的计算分析；

3 当采用整块人造面板时，应采用线性方法计算人造面板和龙骨骨架的内力，应按完全组合截面模型和简单叠置截面模型进行人造面板和龙骨内力的包络计算并取较大值。墙板挠度可按简单叠置截面模型采用线性方法进行计算，当有试验依据时也可计入抗剪连接件的刚度进行计算。

6.4.2 轻钢龙骨与整块人造面板之间的抗剪连接件所受剪力可偏于安全地按组合截面整体受弯进行计算。

6.4.3 轻钢龙骨墙板中面板和龙骨骨架的设计应满足下述规定：

1 应按本标准第 6.1 节的规定进行持久设计状况下、多遇地震作用下面板和龙骨的承载能力和正常使用极限状态设计，以及短暂设计状况下人造面板拉应力的验算；

2 金属面板和龙骨的承载能力极限状态可按现行国家和行业标准《钢结构设计标准》GB50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018 和《铝合金结构设计规范》GB50429 等进行设计和验算。人造面板的承载能力极限状态设计应根据面板的材料种类参照现行国家或行业的相关标准进行设计和验算；

3 金属面板的最大挠度标准值应小于其短边距的 $1/90$ ，人造面板的最大挠度标准值应小于其跨距的 $1/250$ 。水泥基人造面板裂缝控制等级应为二级，按荷载标准组合计算，拉应力不应大于面板材料的抗拉强度标准值；

4 钢横梁计算跨度不大于3000mm时，挠度应小于跨度的 $1/250$ ；大于4500mm时，挠度应小于跨度的 $1/300$ ；在3000mm-4500mm之间时，进行插值。铝横梁计算跨度不大于2000mm时，挠度应小于跨度的 $1/180$ ；大于4500mm时，挠度应小于跨度的 $1/300$ ；在2000mm-4500mm之间时，进行插值；

5 钢型材立柱计算跨度不大于15000mm时，挠度应小于跨度的 $1/250$ 。铝合金型材立柱计算跨度不大于3600mm时，挠度应小于跨度的 $1/180$ ；大于4500mm小于15000mm时，挠度应小于跨度的 $1/225$ ；在3600mm-4500mm之间时，进行插值。铝合金与钢型材立柱，计算跨度大于15000mm时挠度不大于 $1/500$ ，计算跨度不大于15000mm时，挠度绝对值不大于30mm；

6 非预应力受拉构件的长细比不应大于 350，在永久荷载与风荷载组合作用下受压时，其长细比不宜大于 250；正常受压构件的长细比不应大于 150，杆件的内力不大于承载能力 50%时，其长细比不应大于 200。

6.4.4 轻钢龙骨墙板中抗剪连接件的设计应满足下列规定：

1 抗剪连接件的设计承载力可根据国家和行业相关产品标准予以确定，必要时对抗剪连接的承载力进行试验验证；

2 应按本标准第 6.1 节的规定进行持久设计状况下、多遇地震作用下、短暂设计状况下及罕遇地震下抗剪连接件承载力的设计；

3 采用整块人造面板的墙板中抗剪连接件所受剪力可按第 6.4.2 条进行计算，罕遇地震下取人造面板裂缝开展时的剪力为其最大剪力。

6.4.5 应按本标准附录A验算外挂墙板之间的板缝宽度，在地震设计状况下板缝宽度应满足设防地震作用下弹性层间位移角3倍的变形能力要求。

6.5 墙板的构造设计

6.5.1 龙骨组合式外挂墙板中金属面板中单层铝合金板厚度不应小于2.5mm，单层铜板厚度不应小于2.0mm，单层不锈钢板不应小于1.5mm，彩色钢板和合金板厚度不应小于0.9mm。

6.5.2 龙骨组合式外挂墙板中人造面板周边宜设置非受力的构造边肋，水泥基面板厚度根据受力情况可取不小于12mm。GRC和混凝土人造面板应分别符合《玻璃纤维增强水泥(GRC)

建筑应用技术标准》JGJ/T423、《混凝土结构设计规范》GB50010的规定。

6.5.3 铝复合板和构造相似材质不同的其他金属复合板可采用刻槽折边或企口折边，刻槽不得触及面层金属板，刻槽后剩余芯层厚度不应小于0.3mm，面板周边应设置加强边框，并用螺钉、铆钉或结构胶等与龙骨可靠连接，不同金属之间连接时应有防电化学腐蚀的隔离措施。

6.5.4 外倾挂装的轻钢龙骨复合式外挂墙板中的人造面板，连接部位应予以加强，并有防坠落措施。

6.5.5 轻钢龙骨构件主要受力型材截面宜采用封闭矩形为主体，单块板材或叠合焊接的板材不宜用作龙骨的主受力构件。龙骨构件截面板件的最大宽厚比和最小厚度应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018、《铝合金结构设计规范》GB50429的要求。龙骨横梁立柱可采用焊接，也可采用角码通过机制螺钉或自攻螺钉进行连接。采用角码连接时，每个连接处的螺钉或螺栓不应少于2个，开口横梁连接时不宜少于3个。螺钉或螺栓直径不应小于6mm。角码壁厚不应小于较厚的被连接构件，且不小于螺钉或螺栓直径的0.8倍。螺孔处构件型材厚度不应小于3mm，且不宜小于螺钉直径 d ，不应小于 $0.8d$ ，不满足时可对型材局部加强，局部加强的宽度不应小于 $2.5d$ 。

6.5.6 轻钢龙骨与金属面板之间的抗剪连接件可采用自攻螺钉，并应满足以下要求：

- 1 采用自攻螺钉连接时，拧入螺钉槽深度不应小于 25mm；
- 2 平行荷载作用方向钉孔间距不应小于钉孔直径的 4 倍，且不应小于 30mm；
- 3 垂直荷载作用方向钉孔间距不应小于钉孔直径的 2 倍，且不应小于 20mm；
- 4 平行荷载作用方向钉孔边距不应小于钉孔直径的 2 倍，且不应小于 20mm；
- 5 垂直荷载作用方向钉孔边距不应小于钉孔直径的 1.5 倍，且不应小于 10mm；
- 6 用于压型钢板连接或压型钢板与冷弯型钢构件连接的自攻螺钉，构造要求可按现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018 的有关规定进行计算。

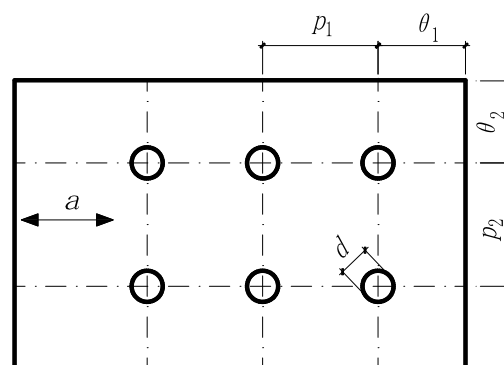


图 6.5.6 墙板与主体结构连接节点示意图

a —荷载作用方向； d —钉孔直径； p_1 、 p_2 —钉孔间距； θ_1 、 θ_2 —钉孔边距

6.5.7 金属面板可采用折边、固定耳攀等连接件与支承龙骨连接，并应满足以下要求：

1 折边宽度不小于 20mm，在支承框架构件上沿周边牢固连接，连接螺钉的数量应经强度计算确定，螺钉直径不应小于 4.0mm，螺钉相邻间距不应大于 350mm；

2 金属面板用螺钉直接与钢框架支承结构连接时，型材壁厚不应小于 3.0mm；与铝合金型材框架连接时，连接处的局部型材壁厚应符合 6.5.5 条规定；

3 采用自攻螺钉或自钻自攻螺钉紧固连接时，每一耳攀连接件上的连接螺钉不应少于 2 个。紧固后螺钉尖部锥体伸出连接部位的长度不应小于 8mm，并有防松脱措施；

4 耳攀宜采用铝合金型材或不锈钢制品。铝合金耳攀的截面厚度不应小于 3mm，不锈钢耳攀的截面厚度不应小于 2.5mm，耳攀连接件的长度不宜小于 40mm；

5 耳攀与金属面板折边处应采用实心铝铆钉或不锈钢抽芯铆钉连接，铆钉直径不应小于 4.8mm，每一连接件的连接铆钉不应少于 2 个。耳攀与金属面板第一连接边角净距不宜大于 100mm，且不小于 50mm。

6.5.8 GRC面板宜采用穿透支承连接、背栓支承连接、通长挂件连接与支承龙骨连接，并应符合以下规定：

1 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；

2 面板挂件与支承龙骨之间可采用不锈钢螺栓或不锈钢自钻自攻螺钉连接。螺栓的螺纹规格不宜小于 M6，自钻自攻螺钉的螺纹规格不宜小于 ST5.5，并应采取防松脱和防滑移措施；穿透支承连接的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、螺钉直径不应小于 5mm，抽芯铆钉的直径不应小于 4.8mm；

3 采用穿透支承连接时，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宜为 30mm~60mm；采用短挂件连接时，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；采用通长挂件连接时，不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 1.5mm，通长挂件外侧边与面板边缘的距离宜为 20mm~50mm。

6.5.9 UHPC面板应采用预埋套筒（或后置预埋套筒等其他形式的连接件）与支承龙骨连接，

并应符合以下规定：

1 UHPC 面板的支承间距应按结构计算确定，支承龙骨间距应与面板支承间距一致；面板边缘与相邻支承点间的间距应小于支承间距的 1/2；

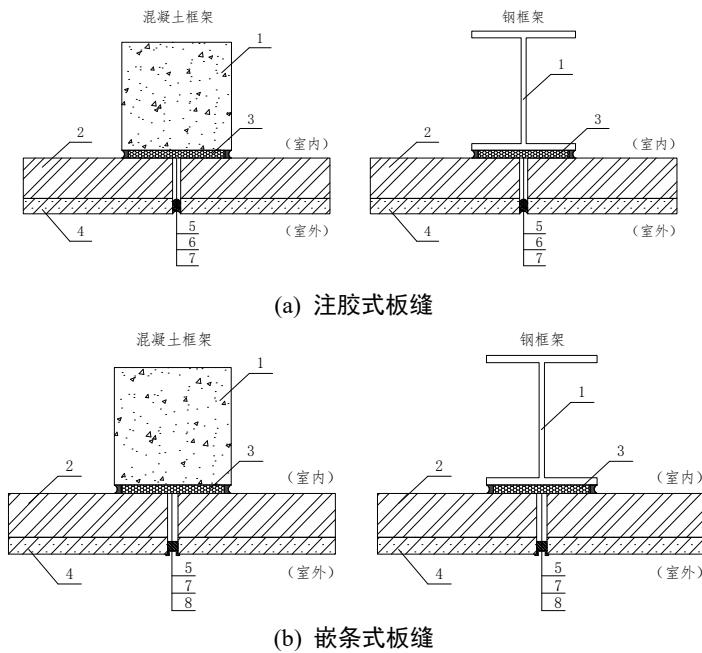
2 预埋套筒（或后置预埋套筒等其他形式的连接件）连接构造应能保证面板受到垂直于板面的荷载可靠地传递到支承龙骨上，且使面板与支承龙骨沿平行于板面方向具有满足设计要求的相对位移能力；预埋套筒（或后置预埋套筒等其他形式的连接件）的数量应由结构计算确定。背栓和套筒宜选用不锈钢材质。

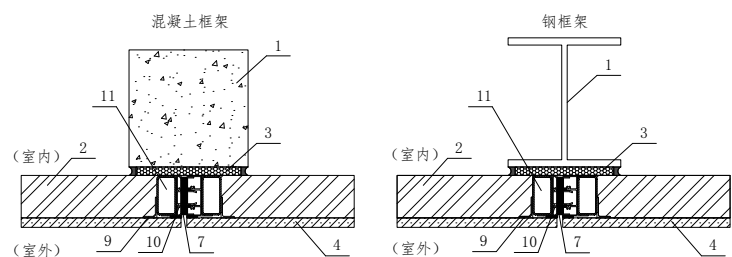
6.5.11 10 轻钢龙骨外挂墙板的板缝可设计为注胶式、嵌条式、开放式。注胶式板缝不宜小于 10mm；嵌条式板缝不宜小于 20mm；开放式板缝应有防腐蚀、防渗漏及导排水构造措施。典型板缝构造如图 6.5.10 所示，且应符合下列要求：

1 注胶式板缝：板缝内底部应垫嵌聚乙烯泡沫条填充材料，其直径宜大于板缝宽度 20%，硅酮建筑密封胶注胶前应经相容性试验，注胶厚度不应小于 3.5mm，且宽度不小于厚度的 2 倍；

2 嵌条式板缝：可采用金属嵌条或橡胶嵌条等形式，应有防松脱构造措施。当采用三元乙丙橡胶条、氯丁橡胶条、硅橡胶条等胶条时，胶条拼缝处及十字交叉拼缝处应有粘结材料粘结，防止雨水渗漏；

3 开放式板缝：面板背后空隙应有良好的通风，支承结构和连接构造应有可靠的防腐蚀措施，并设置建筑保温和导排水构造。





(c) 开放式板缝

图 6.5.10 墙板接缝示意图

1—结构柱；2—墙板龙骨横梁；3—填充防火材料；4—墙板面板；5—排水空腔；6—发泡聚乙烯棒；
7—建筑密封胶；8—密封嵌条；9—面板-龙骨连接件；10—铝合金连接件；11—墙板龙骨立柱

7 生产与运输

7.1 一般规定

7.1.1 生产单位应具备保证产品质量要求的生产工艺设施、试验检测条件，建立完善的质量管理体系和制度，宜采用工厂预制方式，同时宜建立质量可追溯的信息化管理系统。

7.1.2 轻钢龙骨外挂墙板生产前应进行下列准备工作：

1 建设单位应组织设计单位向生产和施工单位进行技术交底，应与建筑、结构施工图进行核对。对已建成主体结构进行复测，并应按实测结果对墙板设计进行必要调整；

2 外挂墙板施工单位可自行或委托有能力的单位编制外挂墙板的构件深化设计图。构件深化图编制单位不得擅自修改施工图设计文件相关内容，确需修改的，应由主体设计单位先行完成相应设计变更。生产单位应根据构件深化设计图、拟定的生产工艺、运输方案、吊装方案等编制构件加工详图；

3 生产单位应编制生产方案，生产方案宜包括生产计划及生产工艺、模具方案及计划、技术质量控制措施、成品存放、运输和保护方案等。

7.1.3 轻钢龙骨外挂墙板的材料质量与性能应符合下列规定：

1 外挂墙板的钢筋、混凝土、装饰（饰面）、保温、防水、密封、连接件及其他材料质量均应根据国家现行有关标准进行检查和检验，并应具有生产操作规程和质量检验记录；

2 外挂墙板的结构、防火、防水等性能应符合设计要求，且应根据国家现行有关标准进行检查和检验。

7.1.4 轻钢龙骨外挂墙板生产相关专业工种之间应进行交接检验。隐蔽工程在封闭前应进行质量检验。

7.1.5 轻钢龙骨外挂墙板的生产应建立首件验收制度。经检查合格后，应设置标识。出厂时应出示质量证明文件。

7.1.6 轻钢龙骨外挂墙板及其组成配件宜采用自动化流水线生产，生产设备宜采用可交互的构件设计-生产数据标准。

7.2 构件生产

7.2.1 轻钢龙骨外挂墙板中预埋门、窗框时应设置固定限位装置，并应逐件检验。门、窗框安装允许偏差和检验方法应符合表7.2.1的规定。

表 7.2.1 门、窗框安装允许偏差和检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
锚固脚片	中心线位置	5.0	钢尺检查
	外露长度	+5.0, 0	钢尺检查
门、窗框位置		2.0	钢尺检查
门、窗框高、宽		±2.0	钢尺检查
门、窗框对角线		±2.0	钢尺检查
门、窗框的平整度		2.0	钢尺检查

7.2.2 预埋件加工允许偏差应符合表7.2.2的规定。

表 7.2.2 预埋件加工允许偏差

项次	检查项目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	预埋件锚板的边长		0, -5.0	用钢尺量测
2	预埋件锚板的平整度		1.0	用直尺和塞尺量测
3	锚筋	长度	+10.0, -5.0	用钢尺量测
		间距偏差	±10.0	用钢尺量测

7.2.3 人造面板采用面砖饰面的轻钢龙骨外挂墙板宜采用反打成型工艺制作，石材饰面外挂墙板应采用反打成型工艺制作，并应符合下列规定：

1 当饰面层采用面砖时，应根据排砖图的要求进行配砖和加工，饰面砖入模铺设前，宜根据设计排砖图将单块面砖制成面砖套件，套件的长度不宜大于 600mm，宽度不宜大于 300mm；

2 当饰面层采用石材时，应根据排板图的要求进行配板和加工，并应安装不锈钢锚固卡钩和涂刷防泛碱处理剂；

3 使用柔韧性好、收缩小、具有抗裂性能且不污染饰面的材料嵌填饰面砖或石材间的拼缝，并应采取措施防止面砖或石材在钢筋安装及混凝土浇筑振捣等工序中出现位移；

4 混凝土振捣采用插入式振捣棒时，应避免损坏饰面层材料。

7.2.4 采用清水混凝土和彩色混凝土人造面板的轻钢龙骨外挂墙板的加工制作应符合下列规定：

1 对首批进场使用的各种原材料取样试验合格后，应立即进行封样，后续进场的原材料应与封样的颜色进行对比，不得使用与封样有明显颜色差别的原材料；

- 2 混凝土拌合物应施工性能良好，拌和均匀颜色一致，无离析泌水现象；
- 3 浇筑成型面应采取适宜的收面措施；
- 4 混凝土浇筑完毕后，应按样板构件确定的养护方案及时采取有效的养护措施。

7.2.5 采用超高性能混凝土人造面板的轻钢龙骨外挂墙板加工制作应符合下列规定：

- 1 超高性能混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，浇筑过程中不得离析、泌水，纤维不应出现结团现象；
- 2 成型过程中不得进行插捣，浇筑成型宜选用自流平或自密实浆料或采取内外辅助振动工艺进行密实；
- 3 构件成型后，应立即在模具表面覆盖塑料薄膜，避免水分散失；
- 4 超高性能混凝土板脱模起吊时混凝土抗压强度应达到设计值的 40%；
- 5 制作超高性能混凝土板的模具应具有足够刚度和尺寸精度且不吸水。应选用对超高性能混凝土板表面无污染的隔离剂并均匀涂覆。

7.2.6 轻钢龙骨外挂墙板的加工制作应符合下列规定：

- 1 龙骨组装质量应满足现行国家标准《装配式钢结构建筑技术标准》GB51232、《钢结构工程施工规范》GB50755 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关要求；铝合金型材构件加工应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB50429 的有关规定；
- 2 龙骨组合式外挂墙板的基板不应有裂纹；
- 3 龙骨、内外侧板面层、与主体结构连接节点和连接件应在工厂完成加工制作并拼装成整体；
- 4 墙体面板与龙骨之间应可靠连接，墙体覆面板材上下拼接处、门窗洞口处等位置宜错缝拼接；
- 5 龙骨间填充材料应填充牢固，不得松脱下垂，确保填充密实；
- 6 龙骨及覆面板材的加工允许偏差应符合现行行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336 的有关规定，龙骨组装尺寸允许偏差应符合表 7.2.7 的规定。

表 7.2.6 龙骨组装尺寸允许偏差

项目	尺寸范围	允许偏差(mm)		检验方法
		铝构件	钢构件	
组件长、宽	≤2m	±1.5	±2.5	钢卷尺
	>2m	±2.0	±3.0	
组件对角线长度差	≤2m	2.5	4.0	钢卷尺

	>2m	3.5	5.0	
接缝高低差		0.5	1.5	游标深度尺
接缝间隙		0.5	1.5	塞尺
组件平面度		1.5	2.5	1m 靠尺
横向构件水平度	≤2m	2.0	3.0	水平仪或水平尺
	>2m	3.0	4.0	
竖向构件直线度	-	2.5	4.0	2m 靠尺

7.3 构件检验

7.3.1 混凝土强度应符合设计文件及现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107的有关规定。

检查数量：按外挂墙板生产批次在混凝土浇筑地点随机抽取标准养护试件;每工作班拌制的同一配合比的混凝土，每拌制 100 盘且不超过 100 m³取样不应少于一次，不足 100 盘和 100 m³时取样不应少于一次。

检验方法：应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107 的有关规定。

7.3.2 外挂墙板的预埋件、节点连接钢筋、预留孔的规格、数量应满足设计要求。

检查数量：全数检验。

检验方法：观察和量测。

7.3.3 外挂墙板的混凝土粗糙面或键槽成型质量应满足设计要求。

检查数量：全数检验。

检验方法：观察和量测。

7.3.4 外挂墙板用的保温材料类别、厚度、位置及性能应满足设计要求

检查数量：按批检查。

检验方法：观察、量测，检查保温材料质量证明文件及检验报告。

7.3.5 超高性能混凝土人造面板的原材料、力学性能和耐久性能应符合设计要求。

检查数量：按同一工程、同一工艺的预制构件分批抽样检验。

检验方法：检查试验报告。

7.3.6 面砖或石材与混凝土的粘结强度应符合现行行业标准《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ/T110 和《外墙饰面砖工程施工及验收规程》JGJ126的有关规定。

检查数量：按同一工程、同一工艺的预制构件分批抽样检验。

检验方法：检查试验报告。

7.3.7 采用饰面砖、石材饰面或清水混凝土饰面的轻钢龙骨外挂墙板的构件检验应符合国家现行标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB50210和《清水混凝土应用技术规程》JGJ169的有关规定。

7.3.8 轻钢龙骨外挂墙板构件的外观质量不应有缺陷，对已经出现的严重缺陷应制定技术处理方案进行处理并重新检验，对出现的一般缺陷应进行修整并达到合格。

7.3.9 轻钢龙骨外挂墙板的外观质量应符合现行行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ336及《轻钢龙骨式复合墙体》JG/T544的有关规定。

7.3.10 轻钢龙骨外挂墙板不应有影响结构性能、安装和使用功能的尺寸偏差。对超过尺寸允许偏差且影响结构性能和安装、使用功能的部位应经原设计单位认可，制定技术处理方案进行处理，并重新检查验收。

7.3.11 轻钢龙骨式外挂墙板的尺寸允许偏差应符合表7.3.11的规定，同时面板的尺寸偏差应符合国家现行相关面板产品标准的要求。

表 7.3.11 轻钢龙骨式外挂墙板的尺寸允许偏差

项目单位		偏差（相对或允许）	检验方法
高度		$\pm L/900$	尺量检查
宽度		$\pm L/1000$	
厚度		± 2.0	
板正面对角线差		4.0	
表面平整度		2.0	2 m 靠尺和塞尺检查
翘曲		$L/1000$	调平尺在两端量测
接缝宽度		± 2.0	尺量检查
密封胶条粘贴位置		± 1.0	
预留孔	中心线位置	5.0	
	孔尺寸	± 3.0	
门窗口	中心线位置	5.0	
	高、宽	± 3.0	
	对角线差	± 3.0	

注：L为墙板最大边长。

7.3.12 轻钢龙骨式外挂墙板的连接件类别、数量、使用位置及性能应符合设计要求。

检查数量：按同一工程、同一工艺的外挂墙板分批抽样检验。

检验方法：检查试验报告、质量证明文件及隐蔽工程检查记录。

7.3.13 轻钢龙骨式外挂墙板的抗剪连接类别、数量、使用位置及性能应符合设计要求。

检查数量：按同一工程、同一工艺的外挂墙板分批抽样检验。

检验方法：检查试验报告、质量证明文件及隐蔽工程检查记录。

7.4 存放与运输

7.4.1 轻钢龙骨式外挂墙板构件存放应符合下列规定：

- 1 外挂墙板宜采用专用支架直立存放，支架应有足够的强度和刚度。条板式外挂墙板采用水平叠层码放时不宜超过 6 层，每垛墙板的垫木应上、下对齐；
- 2 应合理设置垫块、垫木位置，确保构件存放稳定；
- 3 带饰面砖或石材饰面的外挂墙板构件应直立存放或饰面层朝上码放；
- 4 与清水混凝土面或其他饰面层接触的垫块应采取防污染措施；
- 5 外挂墙板构件的薄弱部位和门窗洞口宜采取防止变形开裂的临时加固措施。

7.4.2 轻钢龙骨外挂墙板构件成品保护应符合下列规定：

- 1 外露预埋件和节点连接件等外露金属件应按不同环境类别进行防护或防腐、防锈处理；
- 2 预埋螺栓孔宜采用海绵棒进行填塞，保证吊装前预埋螺栓孔的清洁；
- 3 外挂墙板构件的存放应采取措施避免雨、雪渗入保温材料和保温材料与混凝土板之间的接缝中，同时应避免保温材料长时间被阳光照射。

7.4.3 轻钢龙骨式外挂墙板构件在运输过程中应做好安全和成品保护，并应符合下列规定：

- 1 外挂墙板运输过程中应根据墙板尺寸和形状采取可靠的固定措施；
- 2 条板式外挂墙板宜采用平放运输，其他类型外挂墙板宜采用立式运输，运输时宜采取下列防护措施：
 - 1) 设置柔性垫片避免外挂墙板边角部位或链索接触处的损伤。
 - 2) 外挂墙板之间应设置隔离垫块。
 - 3) 用塑料薄膜包裹垫块和垫片，避免外挂墙板构件外观污染。
 - 4) 外挂墙板门窗框、装饰表面和棱角采用塑料贴膜或其他防护措施。
 - 5) 单块外挂墙板水平吊运时，应经设计人员审核确认。
- 3 超高、超宽、形状特殊外挂墙板的运输应制定专门的质量安全保证措施。

8 施工安装

8.1 一般规定

- 8.1.1** 轻钢龙骨外挂墙板施工应符合安全、环保、绿色施工等有关标准的规定。
- 8.1.2** 轻钢龙骨外挂墙板施工前，施工单位应编制专项施工方案并经监理（建设）单位审查批准，方案实施前应对施工作业人员进行现场技术安全交底和必要的实际操作培训。
- 8.1.3** 施工用设备、机具、计量和检测器具，应满足施工要求，并在合格检定有效期内。
- 8.1.4** 施工单位应对进场的墙板进行检查，合格后方可使用。
- 8.1.5** 轻钢龙骨外挂墙板正式安装前，宜选择有代表性的墙板单元进行试安装，并应根据安装结果及时调整完善施工方案和施工工艺。

8.2 施工安装准备

- 8.2.1** 轻钢龙骨外挂墙板施工安装前应做好下列准备工作：
- 1** 应对所有的进场板件、零配件和辅助材料按设计规定的品种、规格、尺寸和外观要求进行检查，并应有合格证和性能检测报告；
 - 2** 应将墙板表面清理干净，并对预埋件和连接件进行清理和防护；
 - 3** 应按墙板排板图对主体结构和预埋件位置进行测量放线，并按测定结果对墙板尺寸、墙板安装定位基准进行复核。墙板的安装定位应能调整、分配和消化主体结构的偏差。宜选择有代表性的墙板单元进行试安装，并应根据安装结果及时调整施工工艺，完善施工方案。
- 8.2.2** 轻钢龙骨外挂墙板安装前应对已建主体结构进行复测，并按实测结果对外挂墙板设计进行复核。
- 8.2.3** 与主体结构连接的连接件，应在主体结构施工时按设计要求进行埋设，连接件位置偏差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ 。

8.3 施工安装要点

- 8.3.1** 轻钢龙骨外挂墙板施工流程应按图8.3.1 所示流程进行。

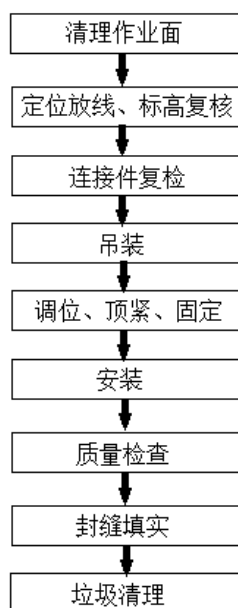


图 8.3.1 轻钢龙骨外挂墙板施工工序

8.3.2 安装时，墙板应设置临时固定和调整装置。墙板应在轴线、标高和垂直度调整合格后方可永久固定。

8.3.3 施工过程中，每完成一道施工工序后，应及时清理施工现场遗留的杂物，清理时应避免腐蚀和污染已安装完毕的墙板。

8.3.4 轻钢龙骨外挂墙板施工环境温度不宜低于5℃，当遇到雨、雪、雾，或者风力大于5级时，不得进行吊安装作业。

8.3.5 安装施工中，严禁用铁锤等敲击墙板。

8.3.6 轻钢龙骨外挂墙板的吊装机具应符合下列要求：

- 1 安装墙板的吊装机具的承载能力应大于墙板吊装施工中各种荷载和作用组合的设计值，宜考虑 50 %以上的超载能力；
- 2 应对吊装机具安装位置的主体结构承载能力进行校核。吊装机具应与主体结构可靠连接，并有防止脱轨或限位、防倾覆设施；
- 3 应采取有效措施，使轻钢龙骨外挂墙板在垂直运输和吊装过程中不承受水平方向分力的影响，并减小摆动；
- 4 吊装机具上应设置防止墙板坠落的二次保护设施、行程开关；
- 5 吊装机具运行速度应可控制，并有安全保护措施；

6 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；

7 在吊装过程中，吊索水平夹角不宜小于 60° ，且不应小于 45° ；

8 严禁吊装机具带病作业，做好吊装机具的防雨防潮措施。

8.3.7 轻钢龙骨外挂墙板的施工测量应符合下列要求：

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

2 墙体施工时，应对主体结构施工过程中的垂直度和楼层外廓进行测量、监控；

3 应定期对墙体的安装定位基准进行校核；

4 对高层建筑墙体的测量，应在风力不大于 5 级时进行。

8.3.8 轻钢龙骨外挂墙板安装采用临时支撑时，应符合下列规定：

1 外挂墙板的临时支撑不宜少于 2 道；

2 对外挂墙板的上部斜支撑，其支撑点距离板底的距离不宜小于构件高度的 $2/3$ ，且不应小于构件高度的 $1/2$ ；斜支撑应与构件可靠连接；

3 外挂墙板安装就位后，可通过临时支撑对构件的位置和垂直度进行微调。

8.3.9 轻钢龙骨外挂墙板接缝防水处理应按下列规定进行：

1 板缝施工前应清理板缝间的杂物和浮尘；

2 接缝中应按设计要求填塞背衬材料，背衬材料与接缝两侧基层之间不得留有空隙，背衬材料进入接缝的深度应和密封胶的厚度一致；

3 应根据接缝的宽度选用口径合适的挤出嘴，挤出应均匀；

4 十字接缝处各 300mm 范围内的水平缝和垂直缝应一次施工完成；

5 密封胶在接缝内应两对面粘结，不应三面粘结；

6 接缝应饱满密实、平整美观，不得有缺漏；

7 嵌填密封胶后，应在密封胶表干前用专用工具对胶体表面进行修整，溢出的密封胶应在固化前进行清理；

8 密封胶胶体固化前应避免损坏及污染，不得泡水；

9 防水作业时施工环境温度不宜低于 5°C ，雨、雪天气不得进行防水作业。

8.3.10 轻钢龙骨外挂墙板接缝处导水管的安装应符合下列规定：

1 安装前应在导水管部位斜向上按设计角度设置背衬材料，背衬材料应内高外低，最内侧应与接缝中的气密条相接触；

2 导水管应顺背衬材料方向埋设，与两侧基层之间的间隙应用密封胶封严；导水管的上口应位于空腔的最低点；

3 应避免密封胶堵塞导水管。

8.3.11 轻钢龙骨外挂墙板连接件防腐涂层在施工过程中如有损坏，应将涂层破坏区域表面清理打磨平整，采用原防腐设计或防腐效果与原防腐设计等效的方式进行补涂。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.1 轻钢龙骨外挂墙板及主体结构的验收除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家和行业相关标准的要求。

9.1.2 轻钢龙骨外挂墙板装饰装修工程的验收应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210的有关规定。

9.1.3 轻钢龙骨外挂墙板工程应实行进场验收、安装验收。施工过程中应及时建立技术档案。

9.1.4 外挂墙板工程验收应进行技术资料复核、现场观感检查和实物抽样检验。

9.1.5 现场检验时，应按下列规定划分检验批。

1 相同类型的外挂墙板工程，每 1000m²应划分为一个检验批，不足 1000m²也应为一个检验批。每个检验批每 100m²应至少抽查一处，每处不得小于 10m²；

2 同一工程中不连续的外挂墙板工程应分别划分检验批；

3 异型或有特殊要求的外挂墙板，检验批应根据外挂墙板的结构、工艺特点及外挂墙板工程的规模划分，宜由监理单位、建设单位和施工单位协商确定。

9.2 进场验收

9.2.1 轻钢龙骨外挂墙板进场验收时，应提交下列文件资料：

1 外挂墙板、主要材料及配件的产品合格证、性能检测报告和复验报告；

2 所用硅酮结构胶的认定证书和抽查合格证明，进口硅酮胶的商检证，国家指定检测机构出具的硅酮结构胶相容性和剥离粘结性试验报告，双组分硅酮结构胶的混匀性试验、拉断试验记录，注胶养护环境温度、湿度记录，石材用密封胶的耐污染性试验报告，预埋件、后置埋件和背栓的抗拉、抗剪承载力性能试验报告，金属板材表面氟碳树脂涂层的物理性能试验报告等；

3 材料涉及防火、节能和光学性能的相应指标。

9.2.2 轻钢龙骨外挂墙板工程应对下列材料及其性能指标作进场复验：

1 外挂墙板的外观质量、尺寸偏差、抗冲击性能、抗弯强度、含水率、吸水率；

2 结构胶的邵氏硬度、标准状态拉伸粘结强度、相容性试验、剥离粘结性试验，石材用密封胶的污染性；

3 防火、保温材料的燃烧性能。

9.2.3 轻钢龙骨外挂墙板工程各类材料、产品、构件及组件进场时应按质量要求验收，并填写验收记录。对不符合产品标准或设计要求的材料不予验收，或扩大抽检数量送检测机构测试，仍不合格的应予拒收。

9.2.4 轻钢龙骨外挂墙板的物理力学性能应满足设计要求，复验项目按本标准9.2.2实施。

检验数量：同一类型外挂墙板不超过 1000 个为一个检验批，每批随机抽取墙板数量的 1%且不少于 5 块。

检验方法：检查质量证明文件或实体检验。

9.2.5 轻钢龙骨外挂墙板的外观质量不应有严重缺陷，且不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。当有一般缺陷时，应要求墙板生产单位按技术处理方案进行处理，并重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、尺量；检查处理记录。

9.2.6 陶瓷类饰面砖与外挂墙板中人造面板基面的粘结强度应符合现行行业标准《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ/T 110 的有关规定。

检查数量：按同一工程、同一工艺的外挂墙板分批抽样检验。

检验方法：检查拉拔强度检验报告。

9.2.7 轻钢龙骨外挂墙板构件的传热系数应满足设计要求。

检查数量：同一类型外挂墙板为一检验批，每批检验数量为 1 块。

检验方法：检查第三方检验报告。

9.3 竣工验收

9.3.1 工程竣工验收时应检查下列文件和记录：

1 外挂墙板工程的设计说明、施工图、结构计算书、热工性能计算书、设计变更文件和建筑设计单位对外挂墙板工程设计的确认意见及其它设计文件；

2 外挂墙板工程所用外挂墙板、主要材料及配件的产品合格证书、性能检验报告、进场验收记录和复验报告；

3 外挂墙板工程所用防水密封材料的抽查合格证明；国家批准的检测机构出具的硅酮结构胶相容性和剥离粘结性检验报告；石材用密封胶的耐污染性检验报告；

4 外挂墙板的抗风压性能、气密性能、水密性能、层间变形性能检测报告及其他设计要求的性能检测报告；

5 注胶、养护环境的温度、湿度记录；双组分硅酮结构胶的混匀性试验记录及拉断试验记录；

6 外挂墙板安装施工记录；

7 隐蔽工程验收记录；

8 墙板或连接承载力验证时需提供的检测报告；

9 现场淋水试验记录；

10 防火、防雷节点验收记录；

11 重大质量问题的处理方案和验收记录；

12 其他质量保证资料。

9.3.2 轻钢龙骨外挂墙板工程检查的主控项目应包含下列项目：

表 9.3.2 外挂墙板主控项目

主控项目	检验方法
外挂墙板工程的造型、立面分格、颜色、光泽、花纹和图案应符合设计要求	观察；尺量检查
外挂墙板连接节点采用焊接连接时，焊缝的接头质量应满足设计要求，并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。	应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。
外挂墙板连接节点采用螺栓连接时，螺栓的材质、规格、拧紧力矩应符合设计要求及现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。	应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。
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。
外挂墙板金属连接节点防腐涂料涂装前的表面除锈、防腐涂料品种、涂装遍数、涂层厚度应满足设计要求，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。	应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

外挂墙板金属连接节点防火涂料涂装前的钢材表面除锈及防锈底漆涂装、防火涂料的粘结强度和抗压强度、涂层厚度、涂层表面裂纹宽度应满足设计要求，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的有关规定。	应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的有关规定。
外挂墙板面板的挂件的位置、数量、规格和尺寸允许偏差应符合设计要求	检查进场验收记录或施工记录
外挂墙板面板连接用背栓，预置螺母、抽芯钉、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。	检查进场验收记录、施工记录以及连接点的拉拔力检测报告。
外挂墙板的金属构架应与主体防雷装置可靠接通，并符合设计要求。	观察，检查隐蔽工程验收记录
各种结构变形缝、墙角的连接节点应符合设计要求	检查隐蔽工程验收记录和施工记录
外挂墙板的防火、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。	观察，检查隐蔽工程验收记录
外挂墙板接缝及外门窗安装部位的防水性能，按《建筑防水工程现场检测技术规范》JGJ/T299进行检测，结果应符合设计要求。	检查现场淋水试验报告。每检验批应包含一个十字接缝部位。

9.3.3 轻钢龙骨外挂墙板工程检查的一般项目应包含下列项目：

表 9.3.3 外挂墙板一般项目

主控项目	检验方法
外挂墙板表面应平整、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。	观察； 尺量检查
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。	观察； 尺量检查
外挂墙板的框架和面板接缝应横平竖直，缝宽基本均均匀	观察
转角部位面板边缘整齐、合缝顺直，压向符合设计要求	观察
水线宽窄均匀、光滑顺直，流水坡向符合设计要求	观察
外挂墙板面板的表面质量和检验方法应符合《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336 中 10.2.18 章节。	观察； 尺量检查
外挂墙板工程在节点连接构造检查验收合格、接缝防水检查合格的基础上，可进行外挂墙板安装质量和尺寸偏差验收。外挂墙板的施工安装尺寸偏差及检验方法应符合设计文件的要求。	观察； 尺量检查

9.3.4 轻钢龙骨外挂墙板工程观感检查：

表 9.3.4 外挂墙板工程感官检查

主控项目	检验方法
外挂墙板外露型材、装饰条及遮阳装置的规格、造型符合设计要求，横平竖直，无毛刺、伤痕和污垢。	观察
外挂墙板的胶缝、接缝均匀，横平竖直。密封胶灌注密实、连续，表面光滑无污染。橡胶条镶嵌密实平整。	观察
外挂墙板型材、面板镀膜无脱落现象，颜色均匀。	观察

外挂墙板无渗漏现象。	观察
变形缝处理外观效果一致，符合设计要求。	观察
金属板材表面平整洁净。距外挂墙板面 3m 处观察，无可觉察的变形、波纹、局部凹陷和明显色差等缺陷。	观察
面板表面无凹坑、缺角、裂纹、斑痕、损伤和污迹。	观察
开启扇配件应齐全，安装牢固，关闭严密，启闭灵活。开启形式、方向、角度、距离符合设计要求和规范规定。	观察
滴水线、排水坡度符合设计要求，滴水线宽窄均匀、光滑顺直。	观察

附录A 外挂墙板接缝宽度计算

A.0.1 外挂墙板接缝宽度计算应考虑温度变形、地震作用、风荷载、施工误差、密封胶变形能力等因素影响，考虑以下4种组合情况，并计入结构容许误差和其他影响因素。

- (1) 长期荷载作用：温度；
- (2) 温度控制的短期荷载作用：温度+0.6 风荷载；
- (3) 风控制的短期荷载作用：风荷载+0.6 温度；
- (4) 多遇地震控制的短期荷载作用：地震+0.6 温度。

板缝宽度应由下式确定：

$$W_{s1} = w_{sT} + d_c \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$W_{s2} = w_{sT} + 0.6w_{sW} + d_c \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$W_{s3} = w_{sW} + 0.6w_{sT} + d_c \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$W_{s4} = w_{sE} + 0.6w_{sT} + d_c \quad (\text{A.0.1-4})$$

$$W = \max(W_{s1}, W_{s2}, W_{s3}, W_{s4}) \quad (\text{A.0.1-5})$$

式中： w_{sT} ——温度变化造成的变形；

w_{sW} ——风荷载下层间变形要求；

w_{sE} ——地震作用下层间变形要求；

d_c ——结构容许误差或其他影响因素；

W ——最小接缝宽度。

A.0.2 接缝宽度 W_s 可按下列规定计算。

- 1 接缝仅发生拉压变形时：

$$w_s = \frac{d}{\varepsilon} \quad (\text{A.0.2-1})$$

- 2 接缝仅发生剪切变形时：

$$w_s = \frac{\delta}{\gamma} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： w_s ——接缝宽度(mm)；

d ——沿接缝宽度方向的变形量(mm)；

δ ——垂直于接缝宽度方向的变形量(mm)；

ε ——密封材料的拉伸变形能力，长期荷载作用时取 ε_1 ，短期荷载作用时取 ε_2 。 ε_1 应符合现行国家标准《建筑密封胶分级和要求》GB/T22083、《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T881 中位移能力的有关规定。 ε_2 宜由密封胶厂家试验报告确定，无试验依据时可取 ε_1 。

γ ——密封胶的名义剪切变形能力，长期荷载作用时取 γ_1 ，短期荷载作用时取 γ_2 。 γ_1 取 γ_2 的二分之一， γ_2 应按式 $\sqrt{\varepsilon^2 + 2\varepsilon}$ 计算，并向下取 10% 的整数倍的值。

A.0.3 各荷载作用下接缝变形量可按以下方法进行计算。

(1) 温度变形：

$$d_T = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (\text{A.0.3-1})$$

(2) 层间位移引起的平移式水平缝或旋转式竖直缝的剪切变形：

$$\delta_w, \delta_E = \theta h \quad (\text{A.0.3-2})$$

(2) 层间位移引起平移式外挂墙板角部的拉压变形：

$$d_w, d_E = \theta h \quad (\text{A.0.3-3})$$

式中： θ ——风荷载或地震作用下墙板所在层在墙板平面内的结构弹性层间位移角；

h ——墙板高度；

α ——墙板材料的线膨胀系数，混凝土板可取 0.00001；

L ——墙板温度变形方向的长度；

ΔT ——外挂墙板的温度作用标准值，有地区经验时根据地区温度观测资料结合外表面的朝向、表面材料及其色调综合确定，无地区经验时可取 60℃。

A.0.4 层间变位要求验算。

(1) 外挂墙板在设防地震下板缝间的密封胶不破坏：

$$W = \frac{\Delta_u}{\gamma} \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$\Delta_u = \theta_y h \quad (\text{A.0.4-2})$$

式中： θ_y ——设防地震下墙板所在层在墙板平面内的结构弹性层间位移角，可取多遇地震下墙板所在层在墙板平面内的结构弹性层间位移角的 3 倍。

h ——墙板高度。

(2) 外挂墙板在罕遇地震作用下，外挂墙板不能相互碰撞：

$$W = \theta_p h \quad (\text{A.0.4-3})$$

式中： θ_p ——罕遇地震下墙板所在层在墙板平面内的结构层间位移角，可取设防地震下墙板所在层在墙板平面内的结构弹性层间位移角的 3 倍。

h ——墙板高度。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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”；

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有关标准制定的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑幕墙》 GB/T21086
- 2 《建筑结构荷载规范》 GB50009
- 3 《建筑环境通用规范》 GB5501
- 4 《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 5 《混凝土结构工程施工规范》 GB50666
- 6 《通用硅酸盐水泥》 GB175
- 7 《硫铝酸盐水泥》 GB20472
- 8 《混凝土外加剂》 GB8076
- 9 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB50119
- 10 《建设用卵石、碎石》 GB/T14685
- 11 《建设用砂》 GB/T14684
- 12 《混凝土用水标准》 JGJ63
- 13 《混凝土和砂浆用颜料及其试验方法》 JC/T539
- 14 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T1596
- 15 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T18046
- 16 《混凝土用钢纤维》 GB/T39147
- 17 《钢纤维混凝土》 JG/T3064
- 18 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB50204
- 19 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》 GB/T21120
- 20 《耐碱玻璃纤维无捻粗纱》 JC/T572
- 21 《耐碱玻璃纤维网布》 JC/T841
- 22 《轻骨料混凝土结构技术规程》 JGJ12
- 23 《泡沫混凝土》 JGT266
- 24 《聚苯乙烯颗粒泡沫混凝土》 JC/T2458
- 25 《建筑幕墙用瓷板》 JG/T217
- 26 《建筑幕墙用陶板》 JG/T324
- 27 《建筑用发泡陶瓷保温板》 JG/T511

- 28 《纤维增强硅酸钙板第 1 部分：无石棉硅酸钙板》 JC/T564.1
- 29 《建筑用轻钢龙骨》 GB/T11981
- 30 《轻钢龙骨式复合墙体》 JG/T544
- 31 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB50018
- 32 《直缝电焊钢管》 GB/T 13793
- 33 《冷弯型钢》 GB/T 6725
- 34 《建筑结构用冷弯薄壁型钢》 JG/T380
- 35 《建筑用压型钢板》 GB/T12755
- 36 《碳素结构钢》 GB/T700
- 37 《合金结构钢》 GB/T3077
- 38 《低合金高强度结构钢》 GB/T1591
- 39 《钢结构设计标准》 GB50017
- 40 《钢结构焊接规范》 GB50661
- 41 《钢筋焊接及验收规程》 JGJ18
- 42 《人造板材幕墙工程技术规范》 JGJ336
- 43 《普通螺纹公差》 GB/T197
- 44 《普通螺纹 中等精度、优选系列的极限尺寸》 GB/T9145
- 45 《自攻螺钉用螺纹》 GB/T5280
- 46 《耐候结构钢》 GB/T4171
- 47 《不锈钢冷轧钢板和钢带》 GB/T3280
- 48 《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T4237
- 49 《铝合金结构设计规范》 GB50429
- 50 《铝合金结构工程施工质量验收规范》 GB50576
- 51 《变形铝及铝合金化学成分》 GB/T3190
- 52 《铝合金建筑型材》 GB/T5237.1～GB/T 5237.6
- 53 《建筑设计防火规范》 GB50016
- 54 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 GB8624
- 55 《绝热用岩棉、矿渣面及其制品》 GB/T11835
- 56 《绝热用玻璃棉及其制品》 GB/T13350

- 57 《建筑用岩棉绝热制品》 GB/T19686
- 58 《建筑外墙外保温用岩棉制品》 GB/T25975
- 59 《模塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统材料》 GB/T29906
- 60 《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)》 GB/T10801.1
- 61 《挤塑聚苯板（XPS）薄抹灰外墙外保温系统材料》 GB/T30595
- 62 《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》 GB/T10801.2
- 63 《硬泡聚氨酯保温防水工程技术规范》 GB 50404
- 64 《聚氨酯硬泡复合保温板》 JG/T314
- 65 《防火封堵材料》 GB23864
- 66 《建筑用阻燃密封胶》 GB/T24267
- 67 《建筑用硅酮结构密封胶》 GB16776
- 68 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》 GB/T14683
- 69 《聚硫建筑密封胶》 JC/T483
- 70 《混凝土接缝用建筑密封胶》 JC/T881
- 71 《石材用建筑密封胶》 GB/T23261
- 72 《丙烯酸酯建筑密封胶》 JC/T484
- 73 《聚氨酯建筑密封胶》 JC/T482
- 74 《金属板用建筑密封胶》 JC/T884
- 75 《建筑用防霉密封胶》 JC/T885
- 76 《建筑门窗、幕墙用密封胶条》 GB24498
- 77 《陶瓷砖》 GB/T4100
- 78 《柔性饰面砖》 JG/T311
- 79 《墙体饰面砂浆》 JC/T1024
- 80 《建筑外墙涂料通用技术要求》 JG/T512
- 81 《合成树脂乳液外墙涂料》 GB/T9755
- 82 《合成树脂乳液砂壁状建筑涂料》 JG/T24
- 83 《外墙水性氟涂料》 JG/T508
- 84 《建筑材料放射性核素限量》 GB 6566
- 85 《建筑用墙面涂料中有害物质限量》 GB18582

- 86 《金属与石材幕墙工程技术规范》 JGJ133
- 87 《玻璃纤维增强水泥外墙板》 JC/T1057
- 88 《玻璃纤维增强水泥(GRC)装饰制品》 JC/T940
- 89 《建筑幕墙、门窗通用技术条件》 GB/T31433
- 90 《建筑防火通用规范》 GB55037
- 91 《建筑与市政工程防水通用规范》 GB55030
- 92 《外墙内保温工程技术规程》 JGJ/T261
- 93 《建筑抗震设计规范》 GB50011
- 94 《钢结构设计标准》 GB50017
- 95 《玻璃幕墙工程技术规范》 JGJ 102
- 96 《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
- 97 《装配式钢结构建筑技术标准》 GB51232
- 98 《钢结构施工规范》 GB50755
- 99 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB50205
- 100 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 101 《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》 JGJ/T110
- 102 《外墙饰面砖工程施工及验收规程》 JGJ126
- 103 《建筑装饰装修工程质量验收标准》 GB50210
- 104 《清水混凝土应用技术规程》 JGJ169
- 105 《建筑防水工程现场检测技术规范》 JGJ/T299
- 106 《建筑密封胶分级和要求》 GB/T22083



CECS xxx : 2024

中国工程建设协会标准

装配式轻钢龙骨一体化墙板应用技术规程

Technical specification for assembled light-gauge steel
integrated exterior wall panel

条文说明



中国计划出版社

条文说明

目次

1 总则	56
2 术语和符号.....	57
2.1 术语.....	57
3 基本规定.....	58
4 材料	60
4.1 一般规定.....	60
4.2 水泥基材料.....	60
4.3 金属材料.....	61
4.4 保温材料.....	61
4.5 防火材料.....	62
4.6 防水密封材料.....	62
4.7 饰面材料.....	62
5 建筑设计.....	64
5.1 一般规定.....	64
5.2 防火构造设计.....	64
5.3 防水构造设计.....	65
5.4 热工设计.....	65
6 结构设计基本规定.....	67
6.1 一般规定.....	67
6.2 荷载作用与效应组合.....	68
6.3 墙体与主体结构的连接设计.....	68
6.4 墙板设计与计算.....	69
6.5 墙板的构造设计.....	70
7 生产与运输.....	72
7.1 一般规定.....	72
7.2 构件生产.....	73
7.4 存放与运输.....	74
8 施工安装.....	75
8.1 一般规定.....	75
8.2 施工安装准备.....	75
8.3 施工安装要点.....	75
9 验收	77
9.1 一般规定.....	77
9.2 进场验收.....	77
9.3 竣工验收.....	77
附录 A 外挂墙板接缝宽度计算.....	79

1 总则

1.0.1 装配式轻钢龙骨一体化外挂墙板集围护、装饰、防水、保温于一体，采用工厂化生产、装配化施工，具有安装速度快、质量可控、耐久性好、便于保养和维修等特点，符合国家大力发展装配式建筑的方针政策。本标准的制定有利于这一类外挂墙板的正确使用。本技术标准具有以下特点：

1) 针对轻钢龙骨和金属面板或人造面板为结构体系的外挂式墙板，完善了这类外挂墙在抗震、变形、防火、气密、水密、隔声和耐久性能等方面的性能目标和要求，填补了技术标准的空白；

2) 明确了轻钢龙骨墙板的荷载取值规定和结构设计指标，使作为围护结构的外挂墙板的设计与幕墙结构取得了一致；

3) 明确提出和规定了轻钢龙骨墙板及其与主体结构连接节点的计算模型和分析方法，完善了其设计方法，使标准具有较好的可操作性；

4) 细化了轻钢龙骨墙板构件的尺寸允许偏差和安装尺寸允许偏差，以及外观质量缺陷类别；

5) 补充完善了轻钢龙骨墙板质量验收的项目和检验方法。

1.0.2 本标准中轻钢龙骨外挂墙板的适用范围为工业与民用建筑，包括工业厂房、公共建筑和住宅类建筑。

1.0.3 外挂墙板系统的墙板构件、节点连接件的设计工作年限宜与主体结构相同，当外挂墙面设计工作年限小于主体结构时，外挂墙板系统应具备可替换性且不得影响主体结构。

1.0.5 轻钢龙骨外挂墙板为轻钢龙骨和金属面板或人造面板的组合受力体系，因此墙板的设计、制作、施工与验收除执行本标准外，尚应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《钢结构设计标准》GB50017、《铝合金结构设计规范》GB50429、《建筑抗震设计规范》GB50011、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204、《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205、《铝合金结构工程施工质量验收规范》GB50576、《建筑结构荷载规范》GB50009、《建筑设计防火规范》GB50016 等的有关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 轻钢龙骨一体化墙板是一种典型的装配式墙板，其中外挂的轻钢龙骨墙板的结构安全性十分重要。一体化墙板要求同时满足建筑和结构性能的要求，包括墙板及其连接节点的承载能力要求、墙板的变形能力要求、墙板与主体结构连接节点适应主体结构位移的能力的要求、防水性能、防火性能要求等。除墙板自身外，墙板中轻钢龙骨与面板的抗剪连接件、墙板与主体结构的连接节点、接缝的防水密封构造、外饰面材料等部位是外挂墙板系统实现以上性能的关键。因此在墙板系统的设计和施工过程中，除墙板构件自身外，对系统中的其他部分也应予以重视。

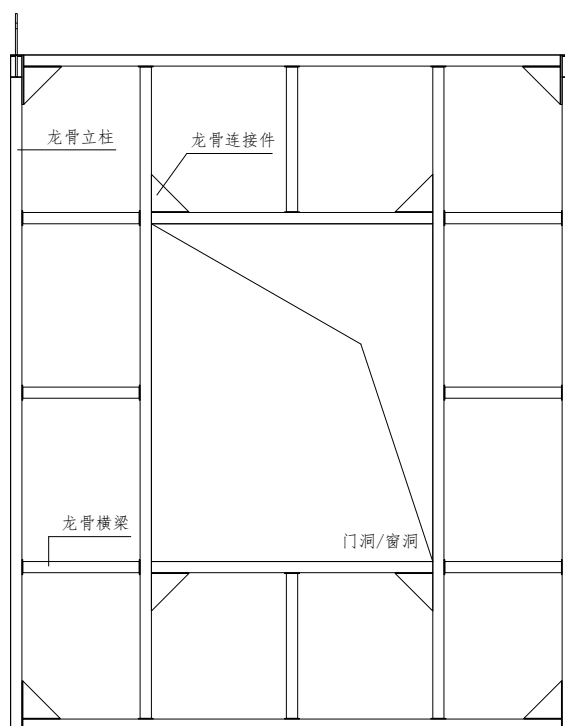
2.1.3 轻钢龙骨外挂墙板通过点支承节点与主体结构进行连接，其与主体结构的连接节点分为承重节点和非承重节点，其中墙板的全部自重荷载通过承重节点传递给主体结构，非承重节点仅承受墙板在风荷载、地震作用等工况下的节点内力。通过合理设计外挂墙板的点支承节点构造，墙板能释放温度作用产生的节点内力，并适应主体结构的变形，从而不产生附加内力。

3 基本规定

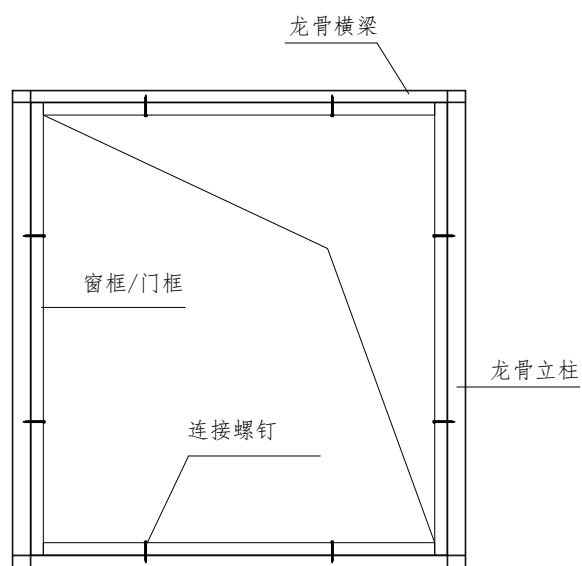
3.0.1 轻钢龙骨外挂墙板对主体结构仅起围护作用，通过点连接方式能适应主体结构的变形、不为主体结构提供额外的刚度，仅将其所受荷载传递给主体结构。

3.0.2 轻钢龙骨外挂墙板中较薄的单层金属面板直接承受垂直于其上的风荷载等并传递给龙骨，为了提高金属面板自身的抗弯刚度可以将板做成弧形、波纹等形状。轻钢龙骨外挂墙板中人造面板具有一定的厚度和抗弯刚度，常采用水泥基材料，也可采用刚度较大的金属复合板。

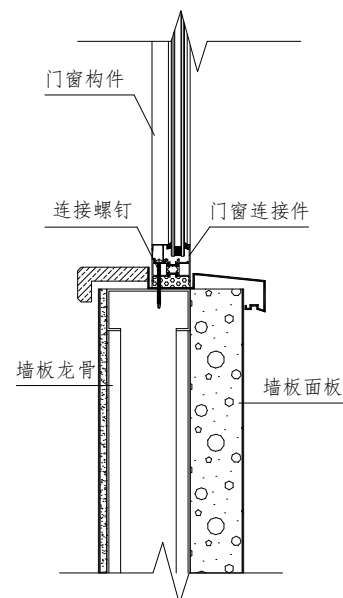
3.0.3 龙骨构造及其与窗框的连接构造可见图1所示。



(a) 墙板龙骨布置平面图



(b)龙骨-窗框连接示意图



(c) 龙骨-窗框连接剖面图

图 1 龙骨的基本构造

3.0.8 外挂墙板系统的气密性可按建筑幕墙气密性的标准实施。当外挂墙板作为装饰构件等开放式外挂墙板系统时，气密性不做要求。

3.0.9 外挂墙板系统的水密性可按建筑幕墙水密性的标准实施。当外挂墙板作为装饰构件等开放式外挂墙板系统时，水密性不做要求。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 材料是保证外挂墙板质量的物质基础。不同厂家或同一厂家不同产地的产品，常会存在质量差异。为保证外挂墙板安全可靠和满足使用要求，外挂墙板选用的材料必须满足设计要求并符合现行国家标准和行业标准。

4.1.2 人员密集场所的建筑外挂墙板，安全性和环境影响成为社会关注的热点，外挂墙板应尽量选用安全性耐久性好的材料，并应符合现行《建筑设计防火规范》GB 50016规定。

4.1.3 统计结果表明，造成火灾中人员伤亡的主要原因之一是烟雾中的有毒气体。因此，外挂墙板应避免使用燃烧后或者高温环境下产生有毒有害气体的材料。

4.1.4 由于外挂墙板处于建筑物的外表面，外挂墙板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，保证外挂墙板的耐久性，防止失效。

4.1.5 新材料的应用推动了外挂墙板行业发展，而材料标准往往滞后于新材料的应用。为了技术进步、“节能减排”，鼓励先进的、节约资源符合环保要求和可循环利用的、鉴定合格的新材料应用于建筑外挂墙板。

4.2 水泥基材料

4.2.1、4.2.2 本条参考现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458、《混凝土外墙挂板》JC/T 2356制定。

4.2.3 超高性能混凝土材料物理力学性能应满足现行团体标准《超高性能混凝土（UHPC）外墙板》T/CBMF 171-2022 T/CCPA 30-2022的要求。

4.2.5、4.2.6、4.2.7 本条中提到的轻骨料混凝土、泡沫混凝土板作为整体式外挂墙板、条板式外挂墙板使用时，应有一定的强度要求。当轻骨料混凝土、泡沫混凝土、聚苯乙烯颗粒泡沫混凝土作为龙骨式外挂墙板的填充材料时，应满足其材料要求。

4.2.10、4.2.11 瓷板、陶板等属于人造板材。根据实际工程经验，陶板取总安全系数 $K=2.8$ ，

材料抗力分项系数2.0。用于重要部位时，可根据实际情况提高总安全系数。陶板的剪切强度取弯曲强度的20%。

4.3 金属材料

4.3.1、4.3.2 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。

4.3.3 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。

4.3.5 奥氏体不锈钢材的防锈能力与其镍、铬含量有关，镍、铬含量越高防锈能力越好。常用的奥氏体不锈钢有S304XX系列和S316XX系列，可根据环境条件选用。与通常用于建筑上的奥氏体不锈钢相比，奥氏体-铁素体型不锈钢具有较高的强度和良好的耐腐蚀性能，其镍含量低于奥氏体型不锈钢。不锈钢材料（管材、棒材、型材）主要用于外挂墙板的连接件和支承结构，其强度设计值比钢结构的安全度略有增大，总安全系数约为1.6。

4.3.6 为防止大气中的酸性物质腐蚀铝合金型材表面，保证型材的外形美观和使用寿命，外挂墙板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、粉末喷涂和氟碳喷涂四种，不同的表面处理方法具有不同的耐腐蚀性能。外挂墙板工程设计时，可根据外挂墙板的使用环境、腐蚀介质、浸蚀性作用和使用年限合理选择。铝合金材料强度设计值按铝合金材料力学性能标准值除以抗力分项系数确定。为了便于设计应用，将得到的数值结果取5的整数倍。本条参考现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429制定。现行国家、行业标准对外挂墙板所用牌号的单层铝板的强度设计值未作相应规定。根据实际工程经验，本条单层铝合金板抗拉强度设计值按现行国家标准《一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能》GB/T 3880.2规定的屈服强度标准值 $\sigma_{0.2}$ 除以系数1.286采用，抗剪强度设计值取其抗拉强度设计值的0.58倍，相当于总安全系数为1.8。

4.4 保温材料

4.4.1 因建筑节能需要，保温隔热材料在外挂墙板工程中大量使用。易燃或可燃的保温隔热

材料不符合消防要求。

4.4.2 选用岩棉、矿棉、玻璃棉等不燃材料作为外挂墙板的隔热保温材料时，考虑健康环保的要求，保温材料不应采用含石棉的材料。

4.5 防火材料

4.5.2 外挂墙板用防火封堵材料，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。防火封堵材料必须能保持整体稳定，不产生移位、脱落等现象，以保证其正常防火功能。玻璃纤维等耐高温性能差的材料，不适用于防火封堵。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。

4.6 防水密封材料

4.6.4、4.6.5 硅酮结构密封胶和硅酮建筑密封胶的使用，关系到外挂墙板的安全性、水密性和气密性。产品必须做相容性试验，硅酮结构密封胶还要做剥离粘结性试验和邵氏硬度试验。不得使用未经试验的产品、超过有效期的产品及相容性或其他指标不满足要求产品。本条规定应严格执行。

硅酮建筑密封胶和硅酮结构密封胶在使用前，应进行与其相接触材料（如间隔条、密封垫、定位块及其他有机材料）相容性试验。一旦使用了与密封胶不相容的材料，会导致密封胶的粘结性能下降或丧失，留下质量或安全隐患。由于硅酮结构密封胶是结构连接用材料，关乎建筑外挂墙板结构安全，应进行与面板、金属框架等接触材料的剥离粘结性试验以及拉伸粘接性试验、邵氏硬度试验，以保证结构粘接质量和安全性。

4.7 饰面材料

4.7.7 人造复合板材工程实际中应根据设计要求和规范规定选用。材料选用中要根据工程使用部位不同，特别注意建筑防火设计要求。A 级铝复合板、钛锌复合板、不锈钢复合板等新材料，虽有工程实际应用但尚缺乏系统的归纳和总结。不同厂家的产品质量不一，需调查了解生产企业的产品性能，根据设计要求对材料作必要的试验验证。

4.7.8 GRC板抗弯、抗剪、抗裂强度设计值的确定是一个复杂的问题，涉及材料、养护、制作工艺、使用环境及维护等，《玻璃纤维增强水泥(GRC)建筑应用技术标准》JGJ/T 423提出了

完整的计算方法，但技术要求方面尚难落实，需要专项技术验证确定。

5建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 轻钢龙骨外挂墙板中的人造面板可采用多种类型，不同类型人造面板的外挂墙板及材质的外观表现力不同，经济造价也不同，建筑设计选用外挂墙板应结合建筑外观和结构设计的特点，可通过建筑信息模型技术模拟分析外观效果及构造要求，并为下一制作工序提供技术支持。

5.1.2 外挂墙板应符合建筑工业化的标准设计要求，故应采用模数设计。为确保墙板制作、运输和施工的可行性、安全性，外挂墙板的分格尺寸应结合建筑层高和柱网尺寸，利用标准规格尺寸进行多种组合，减少异形及不规格的外墙板构件，便于工业化生产。

5.1.3 本标准所述的轻钢龙骨外挂墙板是预制的建筑主墙体，不是在砌筑或现浇墙体外侧再挂的墙板，作为主墙体的外挂墙板不仅应满足外墙的防火抗暴、安全防护的要求，还应满足保温、防水、耐久、耐污染等要求。

5.1.4 应考虑预制墙板安装的特点，装配式建筑的雨水排水应首选设置在室内的排水系统，当雨水管设置在墙板外侧时，需在预制墙板上考虑室外雨水管的连接固定装置，且对位要准确，这会给外挂墙板的细部设计提出更高的要求，也给安装施工带来难度，故建筑专业应与给排水专业做好协调，确定雨水排放的最佳方案，尽量避免雨水管敷设于外墙板上。

5.2 防火构造设计

5.2.1 轻钢龙骨外挂墙板作为建筑主墙体，其耐火极限和防火构造应符合现行国家标准、《建筑设计防火规范》GB50016的规定。当发生火灾时，轻钢龙骨高温下融化，为了延缓火灾蔓延，墙板的防火封堵构造应与主体结构牢固连接。建筑设计或外挂墙板深化设计应明确本条提出技术措施要求的细部构造。

5.2.2 本条是对外挂墙板防火封堵的具体技术要求，除采用不燃材料封堵外，还应采取措施避免封堵材料的开裂和脱落。

5.3 防水构造设计

5.3.1 现行全文强制规范《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030首次提出了外墙防水等级，根据本标准适用的建筑范围，外挂墙板作为建筑主墙体应为一级防水等级，外挂墙板的防水设计应按照规范要求采取相应的防水技术措施。

5.3.2 本条源自于《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030的相关规定，外墙挂板接缝以及门窗框与墙板连接需进行专项构造节点设计和选材，以满足工厂加工、成品保护和现场施工的要求。

5.3.4 本条参考现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458的规定提出。

5.3.5 外挂墙板内侧尤其在层间、转角位置易受结构遮挡，室内进行密封胶施工有难度，所以气密条可能是较好的选择。由于气密条的止水能力有限，对于外挂墙板来说，缝隙内的空腔或者企口形成的等压腔的重力降水，才能更有助于第二道防水。防水密封胶、气密条的设置要求可参见现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458的相关条文说明。

5.3.6 在外挂墙板室内一侧设置内衬墙，是要求层间楼板沿外墙上翻一定高度，且楼面防水层也随之上翻，以避免墙板与楼地面衔接的缝隙产生渗漏，满足卫生间、淋浴间等用水空间的防水要求。内衬墙与外挂墙板应脱离或采用柔性连接，外挂墙板的变形不应影响内衬墙的防水构造。

5.3.7 女儿墙位置内侧不设置混凝土翻边很容易造成屋面漏水，应按有水房间做混凝土翻边，有条件宜至外挂墙板的女儿墙压顶。

5.3.8 本条参照现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458的有关规定。

5.3.10 现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》明确规定外墙预埋件和预制部件四周应采用防水密封材料连续封闭，不允许采用普通水泥砂浆进行封堵。

5.4 热工设计

5.4.1 轻钢龙骨外挂墙板可采用不同的保温系统，为避免外墙外保温系统的开裂脱落且减少施工工序确保施工安全，保温一体化外挂墙板系统、夹心保温外挂墙板系统更适合工业化的装配式建筑，对于不设保温层的外挂墙板系统，可在外挂墙板施工完成后采用外墙内保温系

统。

5.4.2 外挂墙板的保温材料选用应符合《建筑防火通用规范》的规定，即按照建筑高度、建筑场所和建筑类型采用相应燃烧性能的保温材料，应与建筑主体设计的防火要求一致。

5.4.3 不同材质的外挂墙板的保温材料热工性能参数和热工性能计算，应符合现行国家和行业相关标准的规定，外挂墙板的内部龙骨尺寸及布置间距的差异与墙板的整体热工性能有关，墙板的传热系数计算不是简单的热阻相加，但当龙骨冷热桥面积比不大于10%时，其影响可忽略不计，考虑到建筑设计阶段因尚未对外墙板深化设计无法确定龙骨布置，为方便建筑设计阶段的节能计算，可先按外挂墙板的构造层热阻的0.9倍计算传热系数，墙板深化设计交付生产制作时，应根据龙骨布置的实际情况得到冷热桥面积比，按冷热桥面积比加权计算复合外墙板是否满足建筑节能设计对外墙板提出的传热系数要求。

5.4.4 外挂墙板是建筑的主墙体，除用水房间需做内衬墙防水外，墙板内不应再设基层墙体，故本条规定内保温层应粘贴在墙板内侧，即保温层与外挂墙板间不应有空腔，墙板内侧粘贴的保温层构造应符合现行行业标准的外墙内保温构造要求。当确需设置内衬墙时，内保温层可贴在内衬墙的室内侧，但内衬墙与外挂墙板之间缝隙应有柔性材料的填充和密封胶封堵。

6 结构设计基本规定

6.1 一般规定

6.1.2 本条文对轻钢外挂墙板系统在持久设计状况下需要开展的承载能力极限状态计算内容进行了规定。外挂墙板在持久设计状况下需要承受自重荷载、风荷载、温度作用等，因此需要对墙板的承载能力极限状态进行计算。外挂墙板依靠节点连接件支承在主体结构上，连接节点是保证外挂墙板安全并正常工作的关键，应对连接节点的承载力进行计算。金属面板或人造面板依靠抗剪连接支承在轻钢龙骨之上，在持久设计状况下抗剪连接需承受的荷载和作用包括外层面板的自重荷载、面外风荷载、温度作用等。为确保持久设计状况下外层面板和抗剪连接的安全性，需对抗剪连接的承载力进行验算，其承载力设计值可由产品标准和产品手册给出、或经试验确定。

6.1.3 本条文对轻钢龙骨外挂墙板系统在持久设计状况下的正常使用极限状态验算内容进行了规定。外挂墙板在面外荷载作用下，应对其面外变形进行验算。对倾斜安装的墙板，自重荷载也会引起面外弯曲效应。水泥基人造面板的裂缝开展将严重影响建筑物的耐久性能和使用功能，因此应控制其裂缝开展，对其裂缝宽度或混凝土拉应力进行验算。正常使用极限状态下，人造面板的裂缝控制应满足本标准第6.1.7条的有关规定。

持久设计状况下，主体结构及外挂墙板的支承构件在恒载、活载、风荷载等荷载作用下将产生变形和位移，为避免外挂墙板影响主体结构受力，防止外挂墙板中产生次应力，外挂墙板应适应主体结构的变形。在持久设计状况下的正常使用极限状态验算中，应验算外挂墙板与主体结构连接节点的变形能力。持久设计状况下，主体结构和外挂墙板在恒载、活载、风荷载、温度等作用下，主体结构和外挂墙板构件均会产生位移和变形，这些位移和变形将引起外挂墙板接缝宽度的变化，接缝宽度的变化对接缝中的弹性密封胶变形能力提出了要求。在给定的弹性密封胶变形能力的基础上，应按照本标准附录 A 的规定进行接缝宽度验算。

6.1.4 本条文对轻钢龙骨外挂墙板系统在短暂设计状况下需要开展的承载能力极限状态计算和拉应力验算内容进行了规定，参照了现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666、《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T458等的有关规定。抗剪连接的抗力设计值应符合相关产品标准的规定、或根据试验进行确定。

6.1.5 轻钢龙骨外挂墙板系统在地震作用下的性能目标：多遇地震作用时，外挂墙板应不受损坏或不需修理可继续使用；抗震设防烈度的设防地震作用时，节点连接件应不受损坏，外挂墙板可能发生损坏，但经一般性修理后仍可继续使用；罕遇地震作用时，外挂墙板不应脱落。本条文给出了为实现此性能目标所需进行的承载力和变形能力验算工作。

6.1.6 多遇地震和设防地震作用下，轻钢龙骨外挂墙板及其节点的作用效应设计值应取作用的地震组合进行计算，其抗力应采用设计值。罕遇地震作用下，外挂墙板和节点的作用效应应取重力荷载代表值效应与地震作用标准值效应之和，其抗力应采用标准值，按材料强度标准值进行计算。

6.2 荷载作用与效应组合

6.2.1 与水平面夹角小于 75° 的建筑幕墙还应考虑雪荷载、活荷载和积灰荷载。外挂墙板的点支承可以适应主体结构及其自身在温度作用下的变形，此时温度作用不会在外挂墙板及连接节点内部产生温度应力，可不考虑温度作用。

6.2.3 本条按照现行国家和行业标准《建筑抗震设计规范》GB50011和《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102进行规定。

6.3 墙体与主体结构的连接设计

6.3.1 轻钢龙骨外挂墙板支承在主体结构上，主体结构施工和墙板制作会存在一定的误差，所以要求外挂墙板的点支承节点构造应能适应、调整和消除这些误差。主体结构在永久荷载、活荷载、风荷载、地震和温度作用下会产生变形(如水平位移和竖向位移等)，墙板的点支承连接也应具有适应主体结构变形的能力。

6.3.2 本条图6.3.2给出了龙骨组合式外挂墙板在实际工程中已有较广泛应用的两种与主体结构的连接方式：四角点上挂下插和四角挂点，分别符合图2(a)和图2(b)的旋转变形和平移变形情况。

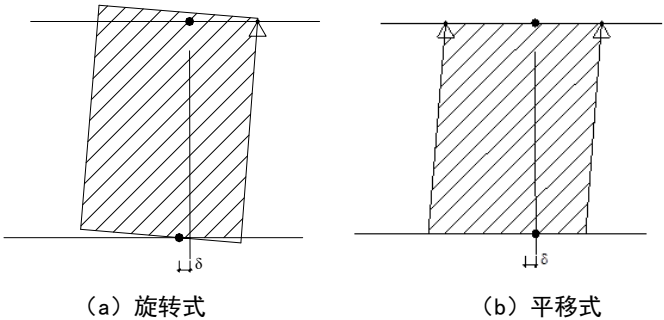


图 2 旋转式与平移式外挂墙板

6.3.3 轻钢龙骨外挂墙板内力和变形研究和推导解析公式或计算图表较为复杂。但采用有限单元方法进行计算分析,可以建立准确的计算模型以模拟外挂墙板与主体结构连接的实际边界支承条件,容易得到较准确的计算分析结果。计算模型应充分考虑连接的类型和方式、连接边界条件、连接点在墙板的相对几何位置、外墙板重心和形心相对于连接节点的偏心或间距等因素。

6.3.4 对于复杂的轻钢龙骨外挂墙板与主体结构的连接节点,当根据相关设计标准无法准确进行其承载能力极限强度设计计算时,可采用精细化有限单元法进行验证。

6.3.7 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》GB50010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。

6.4 墙板设计与计算

6.4.1 龙骨组合式外挂墙板的墙身构造复杂,宜建立包含面板的板壳单元、龙骨的梁单元和抗剪连接的墙板细化有限单元模型进行计算分析。对于采用整块人造面板的墙板,计算模型应考虑龙骨构件之间实际连接对刚度的影响。

对于采用薄层金属板或分块人造条板的龙骨组合式墙板,可以忽略金属面板和条板的刚度贡献进行龙骨内力和挠度的计算。计算金属面板或条板时,可以视龙骨为面板的刚性边界、忽略龙骨变形对面板的影响。金属面板较薄时几何非线性效应较显著,可考虑其有利影响。

对于具有面外弯曲刚度的整块人造面板,龙骨和人造面板在面外荷载作用下协同变形,当两者之间抗剪连接的抗剪刚度无穷大时,两者构成了抵抗弯曲变形的完全组合截面;当抗剪刚度为0时,两者以简单叠置截面形式抵抗弯曲变形。真实的抗剪连接剪切刚度介于0和无穷大之间。对常用墙板的试算表明,两种截面模型下墙板内力计算结果的大小取决于人造面板和龙骨的刚度组合情况。为方便计算分析,本节规定可以偏于安全地按两种截面模型进行包络计算取内力的较大值。

当按简单叠置截面模型计算挠度时,计算结果可能偏大,所以本条规定有试验依据时可以考虑组合效应进行墙板挠度的计算。

6.4.2 当采用多块人造面板时，龙骨与墙板之间的抗剪连接只承受人造面板的自重作用，不承受墙板弯曲产生的剪力。采用整块人造面板时，龙骨与面板之间的抗剪连接既承受人造面板的自重作用，同时又承受墙板弯曲造成的剪力。可建立整块人造面板的板单元与龙骨的梁单元及抗剪连接的细化有限单元模型，假定抗剪连接剪切刚度无穷大，这样计算获得的抗剪连接的剪力偏大，所得结果偏于安全。

6.4.3 人造面板设计中裂缝如按三级设计，其与龙骨的共同作用效应十分复杂，难以建立准确的计算分析模型。实现人造面板裂缝的二级设计并不困难。

6.4.4 罕遇地震作用下人造面板表面一旦开裂，抗剪件所受剪力将逐渐减小，所以可将开裂时抗剪件的剪力作为最大剪力。

6.4.5 龙骨组合式墙板在设防地震下的变形能力主要通过墙板之间的接缝宽度予以实现。

6.5 墙板的构造设计

6.5.2 考虑混凝土材料面板与钢龙骨共同作用时，混凝土材料面板厚度不宜超过钢龙骨截面高度；混凝土板托高度不宜超过翼板厚度的1.5倍。有板托的组合梁边梁混凝土翼板伸出长度不宜小于板托高度；无板托时，伸出钢龙骨中心线不应小于150mm、伸出钢龙骨翼缘边不应小于50mm，板托边缘距抗剪连接件外侧的距离不得小于40mm，同时板托外形轮廓应在抗剪连接件根部算起的45° 仰角线之外，如图4所示。

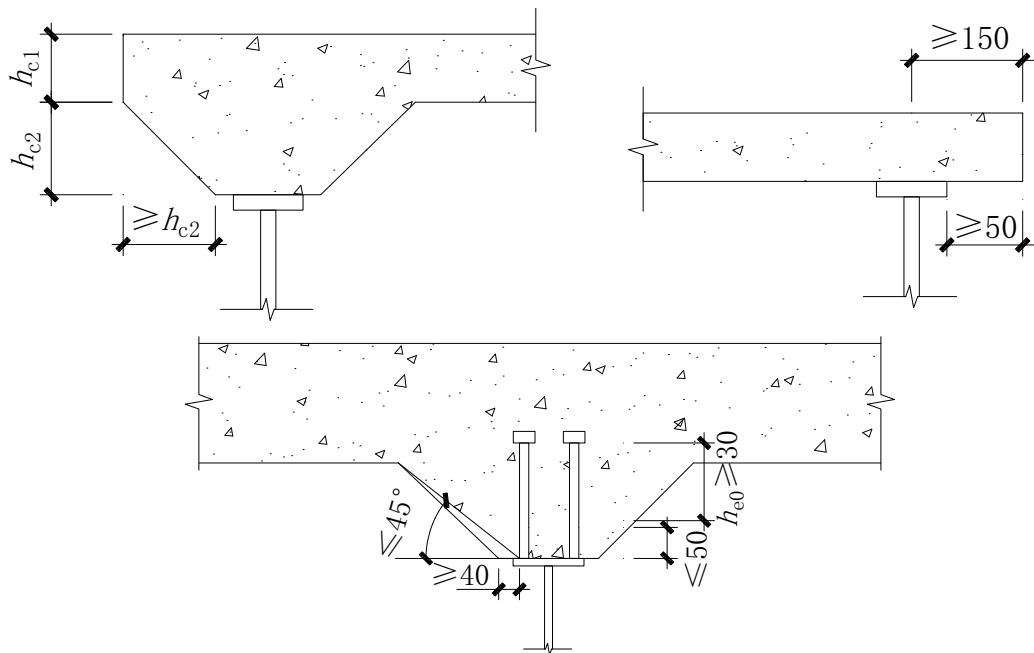


图 4 混凝土面板的构造要求

6.5.3 复合面板的设计应符合下列要求：

- 1 复合面板芯层不应外露，宜采用金属镶嵌边框、面层材料折边或采用硅酮密封胶等方式封闭。金属夹心复合板面层厚度不应小于 0.8mm，背层厚度不应小于 0.5mm。
- 2 铝蜂窝板面层厚度不应小于 1mm。10mm 厚铝蜂窝板背层厚度不应小于 0.7mm，厚度大于 10mm 的铝蜂窝板背层厚度不应小于 0.8mm。四周自然折边或镶框，蜂窝不应外露。
- 3 安装在转角处板边外露的蜂窝板应封边处理。

6.5.5 龙骨横梁矩形腔体高度不应小于50mm，龙骨立柱截面宽度宜取不小于层高的1/80且不小于60mm，龙骨构件截面高宽比应满足以下规定：

- 1 截面高度（圆柱为直径）不宜小于构件计算长度的 1/30。
- 2 矩形截面高宽比应大于 1.0 小于 6.0，不宜大于 4.0。
- 3 工字钢截面翼缘宽度宜取截面高度的 1/2~1/4。

龙骨构件截面自由挑出部位和双侧加劲部位（图 5）的宽厚比 b_0/t 应满足表 1 的要求。

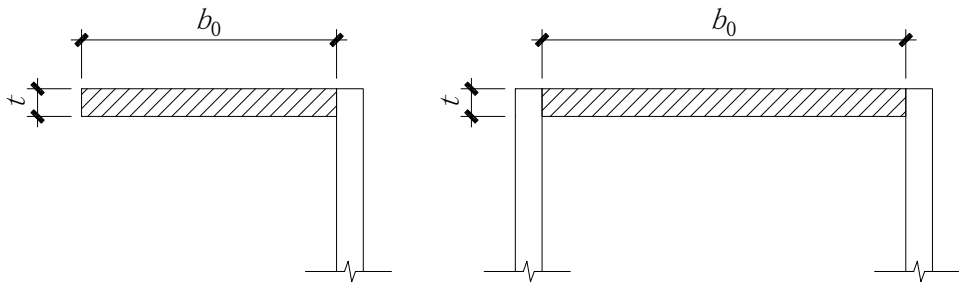


图 5 龙骨构件截面部位示意

表 1 龙骨构件截面宽厚比 b_0/t 限值

截面部位	铝 型 材				钢 型 材	
	6060-T5	6060-T6	6063-T6 6063A-T6	6005-T5	Q235	Q345
	6063-T5	6463-T6		6005-T6		
	6463-T5	6463A-T6		6061-T6		
	6463A-T5	6063A-T5				
自由挑出	17	15	13	12	15	12
双侧加劲	50	45	40	35	40	33

当构件跨度不大于 1.2m 时，铝合金型材截面主要受力部位的厚度不应小于 2.0mm；当构件跨度大于 1.2m 时，其截面主要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。热轧钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 3.0mm。除热轧型材外，焊接部位厚度不应小于 4.0mm。

7 生产与运输

7.1 一般规定

7.1.1 轻钢龙骨外挂墙板生产企业应具备相应的生产设备,包括混凝土生产设备、运输设备、成型设备、养护设备、吊装设备等,生产场所应具有充足的构件堆放场地。生产设备、设施和生产工艺必须满足构件生产的质量技术要求;对于需要准确计量的设备、工具必须按有关规定定期进行计量校准和认证。

完善的质量管理体系和制度是质量管理的前提条件和企业质量管理水平的体现;质量管理体系中应建立并保持与质量管理有关的文件形成和控制工作程序,该程序应包括文件的编制(获取)、审核、批准、发放、变更和保存等。

与质量管理相关的文件主要包括:

- 1 法律法规和规范性文件;
- 2 技术标准;
- 3 企业制定的质量手册、程序文件和规章制度等质量体系文件;
- 4 与预制构件产品有关的设计文件和资料;
- 5 与预制构件产品有关的技术指导书和质量管理控制文件;

生产单位宜采用现代化的信息管理系统,并建立统一的编码规则和数据标签系统。信息化管理系统应与生产单位的生产工艺流程相匹配,贯穿整个生产过程,并应与构件 BIM 信息模型有接口有利于在生产全过程中控制构件生产质量,精确算量,并形成生产全过程记录文件及影像。数据标签系统宜包括原材料信息、尺寸偏差、图纸模型、生产批次等内容,用于外挂墙板的安装和全生命周期维护管理。

装配式外挂墙板制作可采用施工现场预制的方式,将原材料及组配件制作运送到施工现场预制场所进行组装浇筑生产,该方式对构件质量控制提出了更高要求。生产前应制定施工现场生产线建设方案及构件生产方案并进行专项论证,加强现场设施、模具质量、混凝土浇筑、混凝土养护、脱模起吊等全过程管理。

7.1.2 轻钢龙骨外挂墙板生产前,应由施工单位编制构件深化设计图,对于特定材料的墙板可由施工单位委托生产单位编制。生产单位应结合构件深化设计图编制构件加工详图。在生产制作前制定生产方案对构件的加工质量和生产进度管控的作用突出。生产方案应结合项目

和构件生产单位的自身特点,具有针对性和可操作性,必要时,应对外挂墙板的脱模、翻转、吊运、码放、运输、安装等工况进行计算。

一般情况下,主体结构施工都会有误差,而轻钢龙骨外挂墙板的施工图设计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。误差超出装配式外挂墙板施工图中的允许值时,应调整施工图中的分格尺寸或构造,以对这些误差进行消化和吸收。因此,在外挂墙板加工制作前对已建主体结构进行复测,非常必要。

根据轻钢龙骨外挂墙板的不同类型,应具有相应的构件深化设计图,包括墙板施工排版图、龙骨布置深化图、内外侧面板图、抗剪连接布置图等,对带饰面砖或石材饰面的外挂墙板应绘制排砖图或排版图,对保温外挂墙板应绘制连接件布置图和保温板排版图。轻钢龙骨外挂墙板的构件加工详图包括模板图、配筋图、预留预埋定位图、零部件加工图等。

7.1.5 工程实践经验表明,轻钢龙骨外挂墙板作为一种外观质量要求特别高的预制构件,在正式批量生产之前,针对同类型的外挂墙板进行样板制作有助于优化构件加工工艺、控制加工质量。生产单位应根据加工图纸制作样板构件,并组织建设、设计、安装单位对样板构件进行型式检验,检验项目包括生产工艺、外观尺寸、力学性能、饰面效果等。当样板构件不满足工程需求时,应及时调整生产工艺并重新制作样板构件,直至满足要求后方可批量生产。

轻钢龙骨外挂墙板检查合格后,应在明显位置设置标识。标识的内容宜包括构件编号、生产日期、合格状态、生产单位等信息。装配式外挂墙板交付时,应提供质量证明文件。

7.2 构件生产

7.2.1 建筑外墙门、窗框的定位和尺寸精度对建筑外立面的效果影响较大。当在外挂墙板构件中预埋门、窗框时,应对门、窗框的定位和尺寸精度提出较高要求。本标准参照现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231的有关规定,给出了具体的允许偏差和检验方法。门、窗附框的类型包括钢附框、铝合金附框、木塑附框、玻纤增强塑料附框、钢塑复合附框、木附框、石墨聚苯附框等。

7.2.3 本文规定了装配式外挂墙板外表面采用装饰一体化的技术要求,除了要满足安全耐久性要求外,还需保证装饰效果。对于饰面材料分隔缝的处理,砖缝可采用发泡塑料条成型,石材可采用弹性材料填充。

7.2.5 超高性能混凝土应采用强制式搅拌机搅拌,搅拌时宜将水泥、掺和料、骨料、粉剂外加剂等干料预先干拌1min~2min,然后加入水和其他液体原材料湿拌,湿拌时间不宜低于

5min, 至拌合物接近目标流动性; 然后缓慢加入纤维, 待纤维全部加完后继续搅拌不少于 2min, 至纤维在拌合物中分散均匀。搅拌方式可根据产品特点和实际情况进行调整。

超高性能混凝土采用热养护方式时, 应采用标准蒸汽养护制度, 蒸汽养护温度控制宜采用自动控制系统。静停时的环境温度应在 10℃以上、相对湿度 60%以上, 静停时间不小于 6h。静停之后进行蒸汽养护, 升温速度不应大于 12℃/h 的速率升温至 70℃, 保持恒温 (70℃ $\pm$ 5℃)72h, 然后以不大于 15℃的速率降至构件表面温度与环境温度之差不大于 20℃的温度范围内, 此过程中相对湿度应保持在 70%以上; 采用自然养护方式时, 养护的环境平均气温宜高于 10℃, 当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 5℃时, 应按冬期施工处理, 采取保温措施; UHPC 装饰构件宜采用自然养护, 以减少表面色差。

7.4 存放与运输

7.4.1~7.4.3 轻钢龙骨式外挂墙板运输过程中应轻装卸、防冲击、防变形等, 且应避免与化学腐蚀物品混装。堆放场地应坚实、平坦、干燥, 不得与地面直接接触。产品贮存处应清洁、干燥、通风和无腐蚀性介质。龙骨组合式外挂墙板需立放, 并置于专用T型货架, 墙板与T型架之间应绑扎牢固。

外挂墙板立式存放有利于构件起吊, 避免墙板构件在翻转过程中开裂破损。带饰面砖或石材饰面的外挂墙板, 为避免对饰面造成损坏或污染, 墙板构件应采用直立存放或饰面层朝上码放。当外挂墙板运输时, 需要考虑平面外附加应力的构造配筋。该附加应力包括自重应力和运输时车辆振动产生的外力该应力会造成墙面开裂。外挂墙板作为围护结构和装饰构件, 对外表面的质量要求比普通预制混凝土构件高, 在运输过程中应设置柔性垫片避免墙板边角部位或锁链接触处的损伤, 重要部位(如门窗框、装饰表面和棱角等)应采取特殊防护措施。外挂墙板棱角处的破损不仅影响到墙板的外观效果, 同时还会影响墙板接缝处的质量和接缝宽度, 降低接缝处密封防水的施工质量。实际工程经验表明, 即使对接缝处破损棱角进行修补, 修补部位也很容易出现开裂和剥落问题, 同时密封胶也易失效, 引发外挂墙板漏水和耐久等严重质量问题。外挂墙板运输和存放过程中的垫片易造成墙面污染, 故宜采用塑料薄膜对垫片进行包裹。

8 施工安装

8.1 一般规定

8.1.1 装配式外挂墙板施工过程中应符合《建筑工程绿色施工规范》GB/T50905、《建筑施工安全检查标准》JGJ 59、《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146、《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等现行有关标准的规定，实现经济效益、社会效益和环境效益的统一。

8.1.2 施工安装方案是指导整个装配式外挂墙板工程施工的前提条件，是保证质量的基本手段。方案应经施工单位技术部门负责人或技术负责人审批后报项目监理机构，总监理工程师签发同意后实施。

8.1.5 墙板试安装对没有经验的施工单位非常必要，不但可以验证设计和施工方案存在的缺陷，还可以培训人员，调试设备，完善方案。

8.2 施工安装准备

8.2.2 外挂墙板与主体结构的连接节点设计时，应考虑连接节点能消化主体结构的施工误差对外挂墙板安装精度的影响。当外挂墙板的安装后于同楼层主体结构施工时，应对主体结构相关构件的定位、标高、垂直度、倾斜度进行复测，当主体结构施工误差超过外挂墙板与主体结构连接节点的调节范围时，应对外挂墙板的设计进行修改、调整。

8.2.3 为了保证墙体与主体结构连接的可靠性，墙体与主体结构的连接件应在主体结构施工时按设计要求的位置和方法进行埋设。若建设方对墙体的固定和连接件有特殊要求或与本标准的偏差要求不同时，应提出书面要求或提供埋件图、样品等，反馈给设计单位，并在主体结构施工图中注明。

8.3 施工安装要点

8.3.8 装配式外挂墙板临时斜撑一般安放在其背面，且一般不宜少于 2道。当墙板底没有水平约束时，墙板的每道临时支撑包括上部斜撑和下部支撑，下部支撑可做成水平支撑或斜向支撑。临时斜撑与装配式外挂墙板一般做成铰接并通过预埋件进行连接。考虑到临时斜撑主要承受的是水平荷载，为充分发挥其作用，对上部的斜撑，其支撑点距离板底的距离不宜小

于板高的 $\frac{2}{3}$ ，且不应小于板高的 $\frac{1}{2}$ 。斜支撑与地面或楼面连接应可靠，不得出现连接松动引起竖向装配式外挂墙板倾覆等。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.1 外挂墙板工程质量验收除应符合本标准的要求外，尚应符合现行国家和行业相关标准的规定。

9.1.3 为了确保外挂墙板工程的质量，必须做好施工全过程的质量控制。进场验收把好材料质量关，竣工验收把好外挂墙板工程总体质量关，这是质量控制全过程必须要做好的工作。要及时保存各类记录，建立完整的技术资料档案。

9.1.5 检验批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。

9.2 进场验收

9.2.1 为保证使用的材料符合外挂墙板工程要求，对所有进场材料要分别检查有关质量保证资料，对有些材料还应现场取样进行复验。对于不合格产品或不符合设计要求的材料不得进场使用。切实把好材料质量关。

9.2.5 外挂墙板的装饰外观质量应在进场时按设计要求进行检验，合格后方可使用。如果出现偏差情况，应和设计协商相应处理方案。如设计不同意处理，应作退场报废处理。

9.3 竣工验收

9.3.1 本节规定了各类型外挂墙板竣工验收时应具备的技术资料以及应达到的安装质量要求。须检查的“其他质量保证资料”是本节中未提及的与工程质量相关的资料，如经业主或监理签字的技术变更单等。

9.3.2 本节中规定的各项质量要求，直接关系到外挂墙板的使用安全 和装饰效果，应严格控制。

外挂墙板的接缝防水施工是非常关键的质量检验内容，是保证装配式外墙防水性能的关键，施工时应按设计要求进行选材和施工，并采取严格的检验验证措施。考虑到此项验收内容与结构施工密切相关，应按设计及有关防水施工要求进行验收。

外挂墙板接缝的现场淋水试验应在精装修进场前完成。某处淋水试验结束后，若背水面存在渗漏现象，应对该检验批的全部外挂墙板接缝进行淋水试验，并对所有渗漏点进行整改处理，并在整改完成后重新对渗漏的部位进行淋水试验，直至不再出现渗漏点为止。

附录A 外挂墙板接缝宽度计算

附录 A.0.1-A.0.4 相关公式是根据以下分析推导得到的。

1、密封胶变形能力指标的选择

整体式外挂墙板与主体结构采用柔性连接，以适应主体结构层间变形和温度作用，通常按受力方式分为平移式、旋转式和固定式。平移式主要用于墙板较宽的情况，通常在高宽比不大于 2，且层间位移小于 25mm 时采用，旋转式主要用于墙板形状较高的情况，通常在高宽比不小于 2 时采用，固定式主要适用于梁柱式、梁型式和柱型式等，其不受层间变位的直接影响。

整体式外挂墙板板缝的变形特性，根据荷载作用的类型不同而不同。长期荷载作用，如温度变化，板片因温度变化产生接头位移，板缝密封胶产生拉伸或压缩；在短期荷载作用下，如风荷载或地震作用，结构产生水平位移，结构楼层产生层间变形。在层间变形下，平移式和旋转式两种连接方式在水平缝和竖缝的变形各有不同（图 6）。平移式的水平缝发生剪切变形，竖缝在角部发生拉伸或压缩变形，旋转式的竖缝发生剪切变形。可见在层间变形下，除了平移式的竖缝在角部发生拉伸或压缩变形外，其余情况下只发生剪切变形。

各种受力方式的整体式外挂墙板的接缝变形特征如表 2 所示，可见拉伸和压缩变形是接缝密封胶在温度作用下的主要变形特征，剪切变形是接缝密封胶在层间变形下的主要变形特征。

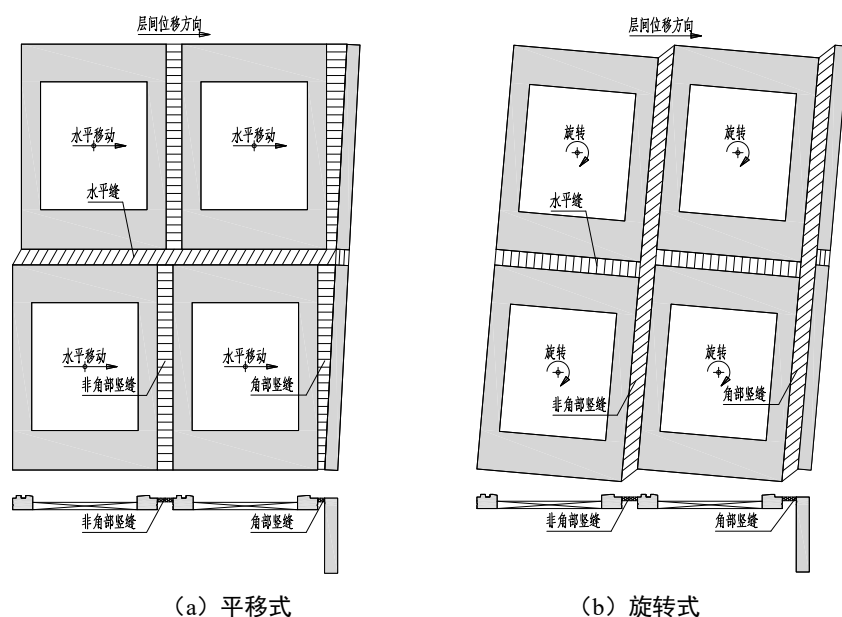


图 6 整体式外挂墙板接缝变形示意图

表 2 长期荷载和短期荷载下接缝变形特征

墙板受力方式	接缝变形		拉伸或压缩		剪切	
	接缝位置		长期荷载 ¹	短期荷载 ²	长期荷载 ¹	短期荷载 ²
平移式	水平缝		√			√
	竖缝	角部	√	√	√ ³	
		其他	√			
旋转式	水平缝		√			
	竖缝	角部	√		√ ³	√
		其他	√			√
固定式	水平或竖缝		√			

注：1 长期荷载为温度作用；2 短期荷载为风荷载或地震作用；3在角部接缝产生的剪切变形与墙板的平面内变形方向垂直。

目前国内关于板缝设计的规范除了《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458-2018 外，还有一本团标《装配式建筑密封胶应用技术规程》T/CECS 655-2019。这两本规范主要是考虑到我国目前对密封胶剪切能力的试验研究较少，国家现行有关密封胶标准中缺乏对剪切变形率的具体要求，全面采用了美国 ASTM 标准 C1472 的技术路线，美国 ASTM 标准 C1472 给出了密封胶受剪变形情况下胶缝宽度的计算方法。

美国 ASTM 标准 C1472 提到了两种荷载作用，温度作用（Thermal movement）和湿度作用（Moisture Growth），其实这两种作用都是长期荷载作用，该规范并没有提到短期荷载作用（风荷载或地震作用）下的计算方法，是否适合短期荷载（风荷载或地震荷载）下板缝变形计算有待进一步研究。

事实上，美国 PCI 手册在计算外挂墙板接缝宽度时，并没有引用 ASTM C1472 给出的计算公式，而是给出了如式（1）考虑温度变形、地震作用、施工误差、密封胶变形能力等因素影响的计算公式：

$$J = \frac{100A}{X} + B + C \quad (1)$$

式中：J——最小接缝宽度；

X——密封胶的变形能力，以%表示；

A——温度变化造成的变形， $A = \text{热膨胀系数} \times \text{温度变化} \times \text{外挂板长}$ ；

B——结构容许误差；

C 为地震或其他影响因素。

可见行业标准 JGJ/T 458-2018 把 ASTM C1472 公式应用范围扩大用于所有情况是否合适值得商榷，这种板缝设计方法并没有经过工程实践检验。

而国内的外挂墙板在行业标准出来之前，由中国台湾润泰引入台湾计算方法在国内进行设计，中国台湾设计方法来源于日本规范 JASS8。该设计方法在日本和中国台湾有几十年的工程应用，特别是在高层建筑中的应用较为成熟，经过工程实践检验，具有可靠性。该方法在《装配整体式混凝土框架实用设计方法》（2016）中进行了总结，3D3S 装配式模块墙板计算中内嵌。

由于外挂墙板的板缝在适合短期荷载（风荷载或地震荷载）下多发生剪切变形，日本规范 JASS8 给出了密封胶剪切变形率指标 M_2 （见表 3），可直接应用密封材料剪切变形率 M_2 进行在层间变位下的缝宽 W 计算，如式（2）所示。

$$W = \frac{\Delta_u}{\gamma_2} + d_c \quad (2)$$

式中： Δ_u ——为层间位移，见式（3）所示；

γ_2 ——密封胶的剪切变形率（%）；

d_c ——安装容许偏差。

$$\Delta_u = \theta h(1 - K) \quad (3)$$

式中： θ 为层间位移角， h 为层高， K 为接头位移折减率（通常取 0.1）。

表 3 日本标准规定的密封胶变形能力

密封材料的种类		伸缩变形率 ϵ		剪切变形率 γ	
主要成分		M_1	M_2	M_1	M_2
双组分硅酮类	SR-2	20	30	30	60
单组分硅酮类[低模量]	SR-1(LM)	15	30	30	60
双组分硅烷改性聚醚类	MS-2	20	30	30	60
单组分硅烷改性聚醚类	MS-1	10	15	15	30
双组分多硫化合物类	PS-2	15	30	30	60
		10	20	20	40
单组分多硫化合物类	PS-1	7	10	10	20
双组分丙烯酸酯胺聚氨酯类	UA-2	20	30	30	60
双组分聚氨基甲酸酯类	PU-2	10	20	20	40
单组分聚氨基甲酸酯类	PU-1	10	20	20	40
单组分丙烯酸酯胺类材料	AC-1	7	10	10	20

上表是日本规范给出的密封胶的变形能力，其中 M_1 是长期工况（温度作用）下的变形率， M_2 是短期工况（风荷载或地震作用）下的变形率，对于伸缩变形率 ε ，长期工况下为其位移能力，短期工况下提高 10%；对于剪切变形率 γ ，长期工况下为短期工况下的伸缩变形率 ε ，短期工况下是长期工况下值到 2 倍。

美国 ASTM 标准 C1472 标准虽然没有直接给出剪切变形率指标，但是该标准认为剪切变形时，密封胶变形后的对角线长度不能超过静止时的长度和密封胶的最大变形量之和，所以该标准基于勾股定理计算剪切时的接缝宽度，见图 7 所示。

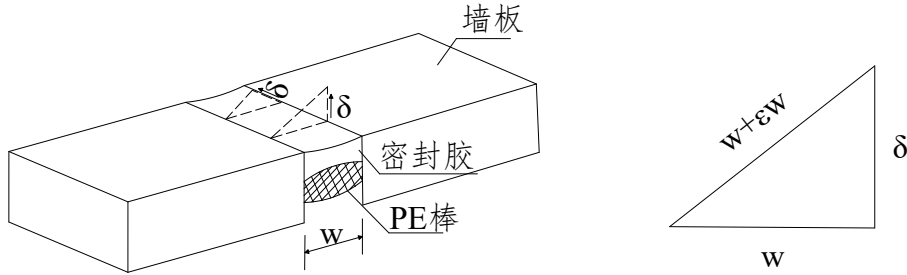


图 7 美国 ASTM 标准 C1472 基于勾股定理计算剪切时的接缝宽度原理图

按照美国 ASTM 标准 C1472 的勾股定律确定的密封胶的名义剪切变形率 γ 为：

$$\gamma = \sqrt{\varepsilon^2 + 2\varepsilon} \quad (4)$$

比如位移能力为 20%的密封胶 ($\varepsilon = 0.2$)，按勾股定律确定的密封胶的名义剪切变形率 γ 为：

$$\gamma_{0.2} = \sqrt{0.2^2 + 2 \times 0.2} = 0.66 = 66\% \quad (5)$$

按日本规范 JASS8（表 5），位移能力为 20%的密封胶在短期工况下（风荷载或地震作用）的剪切变形率 γ 为 60%。

如层高 4200mm，层间位移角 1/550， d_c 取 5mm，采用位移能力 20 级的密封胶， $\varepsilon = 0.2$ ，旋转式墙板竖向接缝宽度：

按行业标准 JGJ/T 458-2018（美国 ASTM 标准 C1472），

$$\delta = \frac{4200}{550} = 7.64mm \quad (6)$$

$$w_s = \frac{\delta}{\sqrt{\varepsilon^2 + 2\varepsilon}} + d_c = \frac{7.64}{\sqrt{0.2^2 + 2 \times 0.2}} + 5 = 16.52mm \quad (7)$$

按日本规范 JASS8，

$$\delta = \frac{4200}{550} = 7.64mm \quad (8)$$

$$w_s = \frac{\delta}{\gamma_2} + d_c = \frac{7.64}{0.6} + 5 = 17.73mm \quad (9)$$

可见按照美国 ASTM 标准 C1472 的勾股定律确定的密封胶的名义剪切变形率比日本规范 JASS8 规定的数值要大，因而按美国 ASTM 标准 C1472 计算板缝偏小。

本规范建议把美国 ASTM 标准 C1472 和日本规范 JASS8 进行结合，引入名义剪切变形率 γ ，用美国 ASTM 标准 C1472 的股定律计算，并向下取 10%的整数倍适当折减，取值与日本规范 JASS8 的取值基本相当（见表 6）。

如位移能力为 20 级的密封胶，其名义剪切变形率 $\gamma = \sqrt{0.2^2 + 2 \times 0.2} = 0.66 = 66\%$ ，向下取 10%的正整数倍后为 60%。

如位移能力为 25 级的密封胶，其名义剪切变形率 $\gamma = \sqrt{0.25^2 + 2 \times 0.25} = 0.75 = 75\%$ ，取 10 的正整数倍后为 70%。

本规范建议的短期荷载时名义剪切变形率取值如表 4 所示：

表 4 本规范建议的名义剪切变形率与 JASS8 中剪切变形率取值比较

密封材料的种类		伸缩变形率 ϵ		剪切变形率 γ		名义剪切变形率	
主要成分		M_1	M_2	M_1	M_2	C1472	本规范
双组分硅酮类	SR-2	20	30	30	60	66	60
单组分硅酮类[低模量]	SR-1(LM)	15	30	30	60	57	50
双组分硅烷改性聚醚类	MS-2	20	30	30	60	66	60
单组分硅烷改性聚醚类	MS-1	10	15	15	30	46	40
双组分多硫化合物类	PS-2	15	30	30	60	57	50
		10	20	20	40	46	40
单组分多硫化合物类	PS-1	7	10	10	20	38	30
双组分丙烯酸胺聚氨酯类	UA-2	20	30	30	60	66	60
双组分聚氨基甲酸酯类	PU-2	10	20	20	40	46	40
单组分聚氨基甲酸酯类	PU-1	10	20	20	40	46	40
单组分丙烯酸胺类材料	AC-1	7	10	10	20	38	30

可以看出，目前整体式外挂墙板板缝主要采用的位移能力为 20 级、25 级的密封胶的短期荷载时名义抗剪切变形率分别取 60%和 70%是合适的。

长期荷载时名义剪切变形率可取短期荷载时其值的二分之一。根据美国 ASTM 标准 C1472 的建议，密封胶的位移能力不应小于 12.5%。

2、接缝宽度的影响因素

在影响接缝宽度的因素中，通过密封胶的拉伸压缩变形和剪切变形影响接缝宽度的因素通常包括温度作用、地震作用、风荷载，可以通过密封胶的变形能力计算确定适应相应因素引起的变形的接缝宽度。

除了前述温度作用、地震作用、风荷载外，施工误差、恒载、活载、主体结构的弹性压缩、徐变、收缩等因素也可能影响接缝宽度。

施工误差主要是考虑到外挂墙板在加工制作、安装过程中存在尺寸上的偏差，接缝宽度应该考虑这些偏差，否则会导致接缝宽度不足而引起接缝失效。

外挂墙板通常外挂在楼层的外部梁上，一般来说，结构的恒载挠曲变形发生在接缝密封之前，即每层外挂墙板安装之前，连接节点都会进行调平处理，外挂墙板安装到位后，待恒载引起的主体结构挠曲变形稳定后，墙板接缝才会打密封胶，也就是说一般情况下楼面恒载引起的挠曲变形在打胶之前已经释放，不会对密封胶产生压缩，当产生的影响不容忽视时，可按施工误差的方式计入。

通常情况下，结构的活载引起的挠曲变形发生在接缝密封之后，但考虑到悬挂外挂墙板的边梁会从上到下一起变形，且实际活荷载很少会在所有地方均匀分布并小于规范值，因此对水平接缝宽度影响一般可以忽略，只有在活荷载较大且高度变化的区域，应评估活载对板缝的影响，当产生的影响不容忽视时，活载因素可按施工误差的方式计入。

主体结构的弹性压缩、徐变、收缩等非荷载效应会引起层间竖向压缩变形差。弹性压缩变形在主体结构施工完成即结束，混凝土收缩变形通常在施工完成后半年到 1 年内完成，混凝土徐变在施工完成后 2 到 3 年内发展较快，直到 20 年基本达到稳定，通常高层混凝土结构的收缩徐变可达其弹性压缩变形的 2~3 倍。整体式外挂墙板安装前的主体结构竖向变形会在安装过程中通过连接节点构造进行调节，所以在计算层间竖向压缩变形差时，应减去外挂墙板安装前主体结构已发生的竖向压缩变形。

国内有学者对高层和超高层建筑层间竖向压缩变形差进行了研究，其最大值发生在首层，随楼层高度逐步减小。中国建筑科学院分析表明，100m 高的建筑层间竖向压缩变形差为 0.44mm/m，230m 高的建筑层间竖向压缩变形差为 0.47mm/m，598m 高的建筑层间竖向压缩变形差为 0.523mm/m，傅学怡分析了 30 层 100m 钢筋混凝土框筒结构，重力荷载下设计柱的轴压比 0.8，由混凝土收缩徐变引起的底层竖向压缩差在竣工 20 年后为 1.586mm，折算成每延米楼层变形差为 0.488mm/m。按傅学怡的方法本规范补充分析了 12 层 48m 框架结构，标准层高 4m，其层间竖向压缩变形差为 0.43mm/m。可见高度 100m 以内的高层建筑，由混凝土收缩徐变引起的层间竖向压缩变形差底层最大，20 年后尚不到 2mm，故一般可以忽略不计，当特殊情况下影响显著或设计师认为需要考虑时，也可按施工误差的方式计入对接缝宽度的影响。

综上所述，除了温度作用、地震作用、风荷载的影响外，施工误差也应计入接缝宽度的影响因素，对于高度 100m 以内的高层建筑，通常可以不考虑恒载、活载、和主体结构的弹性压缩、徐变、收缩等因素引起的层间竖向压缩变形差，当特殊情况下影响显著或设计认为需要考虑时，也可按施工误差的方式计入对接缝宽度的影响，统一归入其他影响因素。

3、荷载组合与板缝确定规则

(1) 温度荷载属于长期荷载作用，在上海地区，由于升温变形比降温变形大，所以从变形能力来看，当胶缝位移能力满足升温工况时，降温工况的变形能力自动满足。升温会使板缝减少，设计最小板缝应考虑升温工况。

(2) 从墙板的正常使用角度，板缝设计应考虑温度作用和风荷载、地震作用的组合。由于温度作用是长期存在的，板缝宽度扣除温度作用引起的板缝变形量（使宽度减小）外，剩余的板缝宽度应能适应层间位移下的外挂墙板平面内的变形需求。

(3) 板缝宽度除了满足长期荷载作用和短期荷载作用下板缝宽度的理论计算值外，还应考虑外挂墙板接缝宽度的施工容许偏差和其他影响因素。

板缝宽度应由下式确定：

$$W_{s1} = W_{sT} + d_c \quad (10)$$

$$W_{s2} = W_{sT} + 0.6W_{sW} + d_c \quad (11)$$

$$W_{s3} = W_{sW} + 0.6W_{sT} + d_c \quad (12)$$

$$W_{s4} = W_{sE} + 0.6W_{sT} + d_c \quad (13)$$

$$W = \max(W_{s1}, W_{s2}, W_{s3}, W_{s4}) \quad (14)$$

式中， W 为最小接缝宽度； W_{sT} 为温度作用造成的变形， W_{sW} 为风荷载下层间变形要求， W_{sE} 为地震作用下层间变形要求， d_c 为结构容许误差和其他影响因素。

这种分工况计算接缝宽度需求并分层叠加的方法，可以确保密封胶的位移能力满足接缝宽度的变形要求。

4、接缝宽度计算公式

JGJ/T 458-2018 和 T/CECS 655-2019 两本规范提供了 4 个板缝的计算公式，分别用于拉压变形、剪切变形、拉剪组合变形和压剪组合变形，来自美国 ASTM 规范 C1472 的计算公式（式 15~18），其中式（18）计算压剪组合变形时，当剪切变形 δ 比 d 大较多时，平方根 $\sqrt{d^2(1-\varepsilon)^2 + \delta^2(\varepsilon^2 - 2\varepsilon)}$ 中算式为负值，该式得到不到结果。然而对于外挂墙板来说，层

间位移引起的剪切变形 δ 通常远远大于温度变形 d ，所以平方根中总是负值，该式无法用于外挂墙板的板缝设计。

$$w_s = \frac{d}{\varepsilon} + d_c \quad (15)$$

$$w_s = \frac{\delta}{\sqrt{\varepsilon^2 + 2\varepsilon}} + d_c \quad (16)$$

$$w_s = \frac{d + \sqrt{d^2(1+\varepsilon)^2 + \delta^2(2\varepsilon + \varepsilon^2)}}{2\varepsilon + \varepsilon^2} + d_c \quad (17)$$

$$w_s = \frac{d + \sqrt{d^2(1-\varepsilon)^2 + \delta^2(\varepsilon^2 - 2\varepsilon)}}{2\varepsilon - \varepsilon^2} + d_c \quad (18)$$

JGJ/T 458-2018 和 T/CECS 655-2019 对式 (18) 分别进行了改写，两者计算结果也不一样。

$$w_s = \frac{d + (1-\varepsilon)\sqrt{d^2 + \delta^2(2\varepsilon - \varepsilon^2)}}{2\varepsilon - \varepsilon^2} + d_c \quad (\text{JGJ/T 458-2018}) \quad (19)$$

$$w_s = \frac{d + \sqrt{d^2(1-\varepsilon)^2 + \delta^2(2\varepsilon - \varepsilon^2)}}{2\varepsilon - \varepsilon^2} + d_c \quad (\text{T/CECS 655-2019}) \quad (20)$$

两本规范对公式的改写没有明确的理论依据，背离了美国 ASTM 规范 C1472 基本理论，其公式计算的正确性存疑。

公式 (15) 用于拉压变形，公式正确可用。

公式 (16) 用于剪切变形，其中 $\sqrt{\varepsilon^2 + 2\varepsilon}$ 实际是上文提到的名义剪切变形率 γ ，公式正确可用。

公式 (17) 用于拉剪变形。当降温外挂墙板收缩时，会在平移式的水平缝中或旋转式的竖缝中产生拉剪变形，在上海地区月平均最低温度为-4 度，安装温度 20 度，降温考虑-24 度。

如层高 $h=4200\text{mm}$ ，板宽 $L=2980\text{mm}$ ，层间位移角 $\theta = 1/550$ ， d_c 取 5mm，采用位移能力 20 级的密封胶， $\varepsilon = 0.20$ ，表 6 给出的名义剪切变形率 $\gamma=0.6$ ，混凝土板的线膨胀系数 α 为 0.00001， d_c 取 5mm，按旋转式墙板板竖缝的宽度： $d = \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 0.00001 \times 24 \times 2980 = 0.7152\text{mm}$ ， $\delta = \theta \cdot h = \frac{4200}{550} = 7.64\text{mm}$ ，按 JGJ/T 458-2018 中的公式 (17) 计算：

$$w_s = \frac{0.7152 + \sqrt{0.7152^2(1+0.2)^2 + 7.64^2(2 \times 0.2 + 0.2^2)}}{2 \times 0.2 + 0.2^2} + 5 = 19.13\text{mm}$$

按本文建议方法：

$$W_{sT} = \frac{d}{\varepsilon} = \frac{0.7152}{0.2} = 3.576\text{mm}$$

$$W_{sW} = \frac{\delta}{\gamma} = \frac{7.64}{0.6} = 12.73\text{mm}$$

$$W_{s2} = W_{sT} + 0.6W_{sW} + d_c = 3.576 + 0.6 \times 12.73 + 5 = 16.21\text{mm}$$

$$W_{s3} = W_{sW} + 0.6W_{sT} + d_c = 12.73 + 0.6 \times 3.576 + 5 = 19.88\text{mm}$$

$$W = \max(W_{s2}, W_{s3}) = 19.88\text{mm} > 19.13\text{mm}, \text{取板缝 } 20\text{mm}。$$

按本文建议方法计算结果比 JGJ/T 458-2018 的公式 (17) 略大, 所以用本文计算方法可以替代复杂的算式 JGJ/T 458-2018 的公式 (17), 得到可靠的结果。

基于以上分析, 保留 JGJ/T 458-2018 中的公式 (15) 和公式 (16), 并进行改写:

接缝发生拉压变形时, 为附录 A 公式 (A.0.1-1):

$$w_s = \frac{d}{\varepsilon}$$

接缝发生剪切变形时, 为附录 A 公式 (A.0.1-2):

$$w_s = \frac{\delta}{\gamma}$$

式中: w_s ——接缝宽度(mm);

d ——沿接缝宽度方向的变形量(mm);

δ ——垂直于接缝宽度方向的变形量(mm);

ε ——密封材料的拉伸变形能力, 长期荷载作用时取 ε_1 , 短期荷载作用时取 ε_2 。 ε_1 应符合现行国家标准《建筑密封胶分级和要求》GB/T22083、《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881 中位移能力的有关规定。 ε_2 宜由密封胶厂家试验报告确定, 无试验依据时可取 ε_1 。

γ ——密封胶的名义剪切变形能力, 长期荷载作用时取 γ_1 , 短期荷载作用时 γ_2 。 γ_1 取 γ_2 的二分之一, γ_2 应按式 $\sqrt{\varepsilon^2 + 2\varepsilon}$ 计算, 并向取 10% 的整数倍的值。

5、计算层间变位时层间位移角的选取

(1) 外挂墙板在风荷载和多遇地震作用下, 板缝间的密封胶不破坏

外挂墙板平面内的变形能力, 按照建筑幕墙规范的要求, 在风荷载下位移角限值取不小于主体结构弹性层间位移角, 在抗震设计时, 位移角限值不小于主体结构弹性层间位移角的 3 倍。日本和台湾规范在进行设计时, 弹性层间位移角通常取 1/300。如果按不小于主体结构弹性层间位移角的 3 倍控制, 即控制设防地震下板缝间的密封胶不破坏, 这个指标对板缝影响比较大。

可以采用折中的办法,设计板缝时风荷载和多遇地震作用下位移角限值取不小于主体结构弹性层间位移角,因为设计板缝宽度时,除了层间变位外还叠加了温度影响和施工误差,按四个工况包络设计确定的板缝宽度,验算满足主体结构弹性层间位移角的3倍的变形量。

$$W = \frac{\Delta u}{\gamma} \quad (21)$$

如层高 $h=4200\text{mm}$, 板宽 $L=2980\text{mm}$, 三倍层间位移角 $\theta = 3 \times 1/1062 = 1/354$, 采用位移能力 20 级的密封胶, $\varepsilon = 0.20$, 表 6 给出的短期荷载时名义剪切变形率 $\gamma=0.6$, 按旋转式墙板

板竖缝的宽度: $W = \frac{\Delta u}{\gamma} = \frac{\frac{4200}{354}}{0.6} = 19.77\text{mm} < 20\text{mm}$ 。

(2) 外挂墙板在罕遇地震作用下, 外挂墙板不能相互碰撞。

$$W = \theta_p h \quad (22)$$

如层高 $h=4200\text{mm}$, 板宽 $L=2980\text{mm}$, 弹塑性层间位移角 $\theta_p = 1/250$, 按旋转式墙板竖

向接缝宽度: $W = \theta_p h = \frac{4200}{250} = 16.8\text{mm} < 20\text{mm}$, 应适当增加板缝宽度到 25mm。