****

T/CECS×××-202X

中国工程建设标准化协会标准

建筑幕墙结构计算标准

Standard for structural calculation of building curtain wall

**（征求意见稿）**

\*\*\*出版社

中国工程建设标准化协会标准

建筑幕墙结构计算标准

Standard for structural calculation of building curtain wall

（征求意见稿）

**T/CECS xxx- xxxx**

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年 月 日

\*\*\*出版社

202X年 北京

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕13号）文件要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本标准。

本标准共分9章，主要技术内容是：总则、术语和符号、材料、结构计算基本规定、面板计算、支承结构计算、特殊构造结构计算、连接计算、结构计算表达。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑幕墙门窗专业委员会归口管理，由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国建研院建科环能科技有限公司（地址：北京市北三环东路30号，邮政编码：100013，邮箱：cecs@cabr-bctc.com）。

**主 编 单 位：**中国建筑科学研究院有限公司

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总则 1](#_Toc162996200)

[2 术语和符号 2](#_Toc162996201)

[2.1 术语 2](#_Toc162996202)

[2.2 主要符号 3](#_Toc162996203)

[3 材料 1](#_Toc162996204)

[3.1 一般规定 1](#_Toc162996205)

[3.2 材料力学性能 1](#_Toc162996206)

[3.3 材料物理性能 11](#_Toc162996207)

[4 结构计算基本规定 13](#_Toc162996208)

[4.1 一般规定 13](#_Toc162996209)

[4.2 结构作用 16](#_Toc162996210)

[4.3 储存、运输、施工阶段作用 20](#_Toc162996211)

[4.4 作用效应组合 22](#_Toc162996212)

[4.5 有限元数值分析 24](#_Toc162996213)

[5 面板 28](#_Toc162996214)

[5.1 一般规定 28](#_Toc162996215)

[5.2 线支承 29](#_Toc162996216)

[5.3 点支承 32](#_Toc162996217)

[5.4 混合支承 33](#_Toc162996218)

[5.5 其他 36](#_Toc162996219)

[6 支承结构计算 40](#_Toc162996220)

[6.1 一般规定 40](#_Toc162996221)

[6.2 框支承结构 40](#_Toc162996222)

[6.3 肋支承结构 47](#_Toc162996223)

[6.4 索结构 55](#_Toc162996224)

[6.5 桁架结构 58](#_Toc162996225)

[6.6 膜结构 58](#_Toc162996226)

[7 特殊构造结构计算 62](#_Toc162996227)

[7.1 一般规定 62](#_Toc162996228)

[7.2 开启构造计算 62](#_Toc162996229)

[7.3 与主体结构连接计算 63](#_Toc162996230)

[7.4 外挑装饰连接计算 67](#_Toc162996231)

[7.5 防火封堵连接计算 69](#_Toc162996232)

[7.6 其他构造计算 70](#_Toc162996233)

[8 连接计算 72](#_Toc162996234)

[8.1 一般规定 72](#_Toc162996235)

[8.2 硅酮结构密封胶粘接计算 72](#_Toc162996236)

[8.3 紧固件连接 74](#_Toc162996237)

[8.4 焊缝连接 79](#_Toc162996238)

[9 结构计算表达 82](#_Toc162996239)

[附录A 穿条式隔热铝合金型材等效惯性矩计算 83](#_Toc162996240)

[附录B 开口铝合金立柱强度折减系数 85](#_Toc162996241)

[附录C 面内受弯构件屈曲临界弯矩计算方法 89](#_Toc162996242)

[附录D 槽式预埋件设计 92](#_Toc162996243)

[用词说明 110](#_Toc162996244)

[引用标准名录 111](#_Toc162996245)

[条文说明 112](#_Toc162996246)

[制 定 说 明 113](#_Toc162996247)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc162996200)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc162996201)

[2.1 Terms 2](#_Toc162996202)

[2.2 Symbols 3](#_Toc162996203)

[3 Material 1](#_Toc162996204)

[3.1 General Requirments 1](#_Toc162996205)

[3.2 Mechanical Properties of Materials 1](#_Toc162996206)

[3.3 Physical Properties of Materials 11](#_Toc162996207)

[4 Basic Requirments for Structural Calculation 13](#_Toc162996208)

[4.1 General Requirments 13](#_Toc162996209)

[4.2 Loads of Structural 16](#_Toc162996210)

[4.3 Loads during Storage, Transportation, and Construction Phases 20](#_Toc162996211)

[4.4 Load Effect Combination 22](#_Toc162996212)

[4.5 Finite Element Analysis 24](#_Toc162996213)

[5 Panels 28](#_Toc162996214)

[5.1 General Requirments 28](#_Toc162996215)

[5.2 Line Support 29](#_Toc162996216)

[5.3 Point Support 32](#_Toc162996217)

[5.4 Mixed Support 33](#_Toc162996218)

[5.5 Others 36](#_Toc162996219)

[6 Structural Support Calculation 40](#_Toc162996220)

[6.1 General Requirments 40](#_Toc162996221)

[6.2 Frame Support Structures 40](#_Toc162996222)

[6.3 Rib Support Structures 47](#_Toc162996223)

[6.4 Cable Structures 55](#_Toc162996224)

[6.5 Truss Structures 58](#_Toc162996225)

[6.6 Membrane Structures 58](#_Toc162996226)

[7 Special Structural Calculation 62](#_Toc162996227)

[7.1 General Requirments 62](#_Toc162996228)

[7.2 Calculation for Opening Structures 62](#_Toc162996229)

[7.3 Calculation for Connection to Main Structures 63](#_Toc162996230)

[7.4 Calculation for Overhang Decoration Connection 67](#_Toc162996231)

[7.5 Calculation for Fireproofing Sealing Connection 69](#_Toc162996232)

[7.6 Other Structural Calculations 70](#_Toc162996233)

[8 Connection Calculation 72](#_Toc162996234)

[8.1 General Requirments 72](#_Toc162996235)

[8.2 Calculation for Silicone Structural Sealant Adhesion 72](#_Toc162996236)

[8.3 Fastener Connection 74](#_Toc162996237)

[8.4 Welded Joint Connection 79](#_Toc162996238)

[9 Expression of Structural Calculation 82](#_Toc162996239)

[Appendix A Calculation of Equivalent Moment of Inertia for Strap-type Insulated Aluminum Alloy Profiles 83](#_Toc162996240)

[Appendix B Reduction Coefficients for Strength of Open Aluminum Alloy Columns 85](#_Toc162996241)

[Appendix C Calculation Method for Buckling Critical Moment of In-plane Bent Components 89](#_Toc162996242)

Appendix [D Design of Grooved Embedded Part 92](#_Toc162996243)

[Explanation of Terms 110](#_Toc162996244)

[Referenced Standards 111](#_Toc162996245)

[Explanation of Provisions 112](#_Toc162996246)

Explanation [of Formulation 113](#_Toc162996247)

# 1 总则

**1.0.1** 为规范建筑幕墙结构计算，做到安全可靠、经济合理、技术可行，满足建设项目正常使用和绿色发展需要，制定本标准。

条文说明：1.0.1 【工程结构通用规范GB55001-2021】1.0.1……保障工程结构安全性、适用性、耐久性，满足建设项目正常使用和绿色发展需要，制定本规范。

适用时，采光顶、金属屋面及雨篷等外围护结构的计算，可参考本标准执行。

**1.0.2** 本标准适用于各类功能性及装饰性建筑幕墙的结构计算。对于具有特殊要求如防爆、防振动等的建筑幕墙结构，尚应按照国家现行标准《工程隔振设计标准》GB 50463、《建筑振动荷载标准》GB/T 51228和《民用建筑防爆设计标准》T/CECS 736的有关要求补充结构计算。

条文说明：1.0.2 对适用高度的限制体现到5章一般规定中。适用范围不再区分抗震烈度，特别项目应进行论证及抗震性能试验验证。

本标准中的建筑幕墙，包括室外围护结构及室内围护结构的幕墙。

**1.0.3** 建筑幕墙结构应满足强度、刚度、稳定性要求，并具有相对于主体结构的相应位移能力。幕墙设计应合理选用材料、结构方案和构造措施，宜采用性能化设计方法。

条文说明：1.0.3 对复杂结构体系、桁架支承结构及其他大跨度钢结构、大跨度玻璃肋等，应进行结构稳定性验算。

**1.0.4** 建筑幕墙设计时应合理选用材料及构造措施，结构方案宜采用性能化设计方法。

条文说明：1.0.3 对复杂结构体系、桁架支承结构及其他大跨度钢结构、大跨度玻璃肋等，应进行结构稳定性验算。

**1.0.5** 创新性项目，超过现行标准或规范规定限制的项目，抗震设防烈度为9度及以上，抗震设防类别为特殊设防类、重点设防类的项目，除应进行结构计算外，尚应进行论证及振动台抗震性能试验验证。

**1.0.6** 建筑幕墙结构计算除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 幕墙结构计算 structural design of curtain wall

幕墙面板、杆件、连接件等在永久作用、可变作用、偶然作用等荷载作用下的强度、刚度、稳定性和变形协调设计。

**2.1.2** 强度 strength

构件截面材料或连接抵抗破坏的能力。强度计算是防止结构构件或连接因材料强度被超过而破坏的计算。

**2.1.3** 强度设计值 design value of strength

材料或连接的强度标准值除以相应抗力分项系数后的数值。

**2.1.4** 承载能力load-carrying capacity

结构或构件不会因强度、稳定等因素破坏所能承受的最大内力，或达到不适应与继续承载的变形时的内力。

**2.1.5** 复合材料型材 complex material section bar

不同材料间采用特殊工艺进行一体化成型，共同承担拉弯剪荷载作用的型材。常见的复合材料型材包括隔热铝合金型材、共挤类复合型材等。

**2.1.6** 组合材料型材 combination materials section bar

不同材料间采用抗剪连接件进行连接，组合体受弯时符合平截面假定的型材。常见的组合材料型材包括采用机械连接的型材组合等。

**2.1.7** 叠合材料型材 laminated material section bar

不同材料间没有连接件，组合体受弯时各自沿自身截面中性轴产生挠曲，且挠度相等的型材。常见的叠合材料型材包括穿入钢衬的铝型材、卡装式铝型材等。

**2.1.9** 零状态 zero state

结构构件拼接后拉索未施加预张力的零应力状态。

**2.1.10** 初始状态 initial state of form

索结构、膜结构在预张力施加完毕后的自平衡状态。

**2.1.11** 工作状态 loading state

索结构在外部荷载作用下的平衡状态。

## 2.2 主要符号

**2.2.1** 作用及作用效应

*F*——集中荷载

*M*——弯矩

*N*——轴力

*V*——剪力

*R*——构件截面承载力设计值

*S*——作用效应组合的设计值

*df*——挠度

*w*——风荷载设计值

*wk*——风荷载标准值

*Gk*——重力荷载标准值

σ——正应力

τ——剪应力

**2.2.2** 计算指标

E——材料弹性模量

G——材料剪变模量

*f*——材料强度设计值

*fc*——材料抗压强度设计值

*ft*——材料抗拉强度设计值

*fv*——材料抗剪强度设计值

*fc*——材料抗压强度设计值

**2.2.3** 几何参数

A——截面面积

W——截面模量

I——截面惯性矩

S——截面面积矩

d——直径

t——厚度

*cs*——硅酮结构胶密封胶粘结厚度

*l*——长度或跨度

*h*——截面或板件的高度

**2.2.4** 计算系数

*n*——连接处的螺钉/螺栓数

——多个紧固件连接的受力不均匀影响放大系数

γ——塑性发展系数

γ0——结构构件重要性系数

γg——材料重力密度

——水平地震影响系数最大值

# 3 材料

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 建筑幕墙用材料应符合国家现行标准相关规定及设计要求，且应有出厂合格证。建筑幕墙用材料宜采用节能环保且经碳足迹分析评价的产品。

**3.1.2** 建筑幕墙用铝合金材料、钢材、不锈钢、木材、玻璃、金属板、天然石材、人造板材、胶类、紧固件、塑料等，均应符合国家、行业现行标准《建筑幕墙》GB/T 21086、《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102、《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113、《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133、《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255、《索结构技术规程》JGJ 257、《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336、《点挂外墙板装饰工程技术规程》JGJ 321、《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423、《金属夹芯板应用技术标准》JGJ/T 453、《建筑金属围护系统工程技术标准》JGJ/T 473、《膜结构技术规程》CECS 158、《不锈钢结构技术规程》CECS 410等的相关规定。

## 3.2 材料力学性能

**3.2.1** 铝合金型材的强度设计值应按表3.2.1采用。

表3.2.1 铝合金型材强度设计值

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 铝合金牌号 | 状态 | 壁厚（mm） | 强度设计值（N/mm²) | | | | |
| 抗拉、抗压强度 | 抗剪强度 | 局部承压强度 | 焊接热影响区抗拉、抗压、抗弯强度 | 焊接热影响区抗剪强度 |
| 6061 | T4 | 所有 | 90 | 55 | 210 | 140 | 80 |
| T6 | 所有 | 200 | 115 | 305 | 100 | 60 |
| 6063 | T5 | 所有 | 90 | 55 | 185 | 60 | 35 |
| T6 | 所有 | 150 | 85 | 240 | 80 | 45 |
| 6063A | T5 | ≤10 | 135 | 75 | 220 | 75 | 45 |
| ＞10 | 125 | 70 | 220 | 70 | 40 |
| T6 | ≤10 | 160 | 90 | 255 | 90 | 50 |
| ＞10 | 150 | 85 | 255 | 85 | 50 |

条文说明：本条参照《铝合金结构设计规范》GB50429-2017表4.3.4的相关规定制定，保留了幕墙常用的6061、6063和6063A铝合金牌号。

**3.2.2** 热轧钢材强度设计值应按《钢结构设计标准》GB50017规定采用。冷成型薄壁型钢强度设计值应按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018规定采用。Q235、Q355、Q390、Q420、Q460钢的设计用强度指标见表3.2.2。

表3.2.2 钢材的设计用强度指标 (N/mm²)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢材牌号 | | 厚度或直径（mm） | 钢材强度 | | 钢材强度设计值 | | |
| 钢种 | 牌号 | 抗拉强度最小值 | 屈服强度最小值 | 抗拉、抗压和抗弯 | 抗剪 | 端面承压（刨平顶紧） |
| 碳素结构钢（GB/T700） | Q235 | ≤16 | 370 | 235 | 215 | 125 | 320 |
| ＞16，≤40 | 225 | 205 | 120 |
| ＞40，≤100 | 215 | 200 | 115 |
| 低合金高强度结构钢（GB/T1591） | Q355 | ≤16 | 470 | 355 | 305 | 175 | 400 |
| ＞16，≤40 | 345 | 295 | 170 |
| ＞40，≤63 | 335 | 290 | 165 |
| ＞63，≤80 | 325 | 280 | 160 |
| ＞80，≤100 | 315 | 270 | 155 |
| Q390 | ≤16 | 490 | 390 | 345 | 200 | 415 |
| ＞16，≤40 | 380 | 330 | 190 |
| ＞40，≤63 | 360 | 310 | 180 |
| ＞63，≤100 | 340 | 295 | 170 |
| Q420 | ≤16 | 520 | 420 | 375 | 215 | 440 |
| ＞16，≤40 | 410 | 355 | 205 |
| ＞40，≤63 | 390 | 320 | 185 |
| ＞63，≤100 | 370 | 305 | 175 |
| Q460 | ≤16 | 550 | 460 | 410 | 235 | 470 |
| ＞16，≤40 | 450 | 390 | 225 |
| ＞40，≤63 | 430 | 355 | 205 |
| ＞63，≤100 | 410 | 340 | 195 |
| 建筑结构用钢板（GB/T19879） | Q345GJ | ＞16，≤50 | 490 | 345 | 325 | 190 | 415 |
| ＞50，≤100 | 335 | 300 | 175 |

条文说明：本条参照《钢结构通用规范》GB 55006-2021 条文说明3.0.3表2的相关规定制定。

**3.2.3** 不锈钢型材、棒材及板材的抗拉、抗压强度设计值可按其屈服强度标准值σp0.2除以系数1.15采用，抗剪强度设计值可按抗拉强度设计值的0.58倍采用。不锈钢材料的强度指标应按表3.2.3采用。

表3.2.3 不锈钢材料强度指标 (N/mm²)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 种类 | 统一数字代号 | 牌号 | 不锈钢强度标准值 | | 不锈钢强度设计值 | | | 纵向/横向应变强化系数 |
| 名义屈服强度 | 抗拉极限强度 | 抗拉、抗压和抗弯强度 | 抗剪强度 | 端面承压强度 |
| 奥氏体型 | S30408 | 06Cr19Nil0 | 205 | 515 | 175 | 100 | 450 | 6/8 |
| S30403 | 022Cr19Ni10 | 170 | 485 | 145 | 85 | 420 | 6/8 |
| S31608 | 06Cr17Ni12Mo2 | 205 | 515 | 175 | 100 | 450 | 7/9 |
| S31603 | 022Cr17Ni12Mo2 | 170 | 485 | 145 | 85 | 420 | 7/9 |
| 双相型 | S22053 | 022Cr23Ni5Mo3N | 450 | 620 | 385 | 220 | 540 | 5/5 |
| S22253 | 022Cr22Ni5Mo3N | 450 | 620 | 385 | 220 | 540 | 5/5 |

**3.2.4** 短期荷载作用下玻璃的强度设计值应按表3.2.4-1的规定采用，长期荷载作用下玻璃的强度设计值应按表3.2.4-2的规定采用。

表3.2.4-1 短期荷载作用下玻璃的强度设计值（N/mm2）

| 种类 | 厚度（mm） | 中部强度 | 边缘强度 | 端面强度 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 平板玻璃 | 5～12 | 28 | 22 | 20 |
| 15～19 | 24 | 19 | 17 |
| 22~25 | 20 | 16 | 14 |
| 半钢化玻璃 | 5～12 | 56 | 44 | 40 |
| 15～19 | 48 | 38 | 34 |
| 22~25 | 40 | 32 | 28 |
| 钢化玻璃 | 5～12 | 84 | 67 | 59 |
| 15～19 | 72 | 58 | 51 |
| 22~25 | 59 | 47 | 42 |

表3.2.4-2 长期荷载作用下玻璃的强度设计值（N/mm2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 种类 | 厚度（mm） | 中部强度 | 边缘强度 | 端面强度 |
| 平板玻璃 | 5～12 | 8 | 6 | 6 |
| 15～19 | 7 | 6 | 5 |
| 22~25 | 6 | 5 | 4 |
| 半钢化玻璃 | 5～12 | 28 | 22 | 20 |
| 15～19 | 24 | 19 | 17 |
| 22~25 | 20 | 16 | 14 |
| 钢化玻璃 | 5～12 | 42 | 34 | 30 |
| 15～19 | 36 | 29 | 26 |
| 22~25 | 30 | 24 | 21 |

**3.2.5** 单层铝合金板抗拉强度设计值应按现行国家标准《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σp0.2除以系数1.286采用，抗剪强度设计值应按抗拉强度设计值的0.58倍采用，单层铝合金板强度设计值应按表3.2.5采用。

表3.2.5 单层铝合金板强度设计值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 铝合金牌号 | 状态 | 规定非比例延伸强度σp0.2 | 强度设计值（N/mm²) | |
| 抗拉强度 | 抗剪强度 |
| 1060 | H14，H24 | 70 | 54 | 32 |
| 1050 | H14，H24 | 75 | 58 | 34 |
| 1100 | H14，H24 | 95 | 74 | 43 |
| 3003 | H14 | 125 | 97 | 56 |
| H24 | 115 | 89 | 52 |
| 3004 | O | 60 | 47 | 27 |
| 5005 | H14 | 120 | 93 | 54 |
| H24，H34 | 110 | 86 | 50 |
| 5052 | O | 65 | 50 | 29 |

**3.2.6** 硅酮结构胶强度设计值按表3.2.6采用。

表3.2.6 硅酮结构胶强度设计值

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 强度设计值（N/mm²) |
| 短期荷载作用下强度设计值*f1* | 0.20 |
| 长期荷载作用下强度设计值*f2* | 0.01 |

**3.2.7** 螺栓、焊缝等连接材料强度设计值应按《钢结构设计标准》GB50017规定采用。后锚固锚栓强度设计值可按《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145采用。

**3.2.8** 木材的力学性能应符合现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005、《结构用集成材》GB /T 26899的规定。集成材的强度等级不应低于现行国家标准《结构用集成材》GB /T 26899-2011中规定的TCT21或TCYD18，具体强度等级及要求见表3.2.8-1、3.2.8-2。

表3.2.8-1 同等组合结构用集成材强度等级的抗弯强度标准值和抗弯弹性模量

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 抗弯强度*fmk* (N/mm²) | 抗弯弹性模量E (N/mm²) |
| TCT30 | 40 | 12500 |
| TCT27 | 36 | 11000 |
| TCT24 | 32 | 9500 |
| TCT21 | 28 | 8000 |
| TCT18 | 24 | 6500 |
| TCT15 | 20 | 5000 |

表3.2.8-2 对称异等组合结构用集成材强度等级的抗弯强度标准值和抗弯弹性模量

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 抗弯强度*fmk* (N/mm²) | 抗弯弹性模量*E* (N/mm²) |
| TCYD30 | 40 | 14000 |
| TCYD27 | 36 | 12500 |
| TCYD24 | 32 | 11000 |
| TCYD21 | 28 | 9500 |
| TCYD18 | 24 | 8000 |
| TCYD15 | 20 | 6500 |

**3.2.9** 铝合金型材用隔热材料中聚酰胺型材应符合国家现行标准《铝合金建筑型材用隔热材料 第1部分：聚酰胺型材》GB/T 23615.1和《建筑铝合金型材用聚酰胺隔热条》JG/T 174规定。浇注型材中的聚氨酯隔热胶应符合现行国家标准《铝合金建筑型材用隔热材料 第2部分：聚氨酯隔热胶》GB/T 23615.2的规定。其他隔热材料应符合现行国家标准相关规定及设计要求。

**3.2.10** 建筑幕墙开启五金件常用材料应按现行国家标准《建筑门窗五金件 通用要求》GB /T 32223的要求，取值应按表3.2.10采用。

表3.2.10 建筑门窗五金件常用材料要求

|  |  |
| --- | --- |
| 材料 | 要求 |
| 碳素钢 | 冷拉工艺部件不应低于《碳素结构钢》GB /T 700、《冷拉圆钢、方钢、六角钢》GB /T 905中Q235的规定；冷轧钢板及钢带不应低于《碳素结构钢》GB /T 700、《碳素结构钢冷轧钢板及钢带》GB /T 11253中Q235的规定；热轧工艺部件不应低于《碳素结构钢》GB /T 700、《热轧钢棒尺寸》GB /T 702中Q235的规定。 |
| 锌合金 | 压铸锌合金不应低于《压铸锌合金》GB /T 13818中YZZnAl4Cul的规定。 |
| 铝合金 | 挤压铝合金不应低于《铝合金建筑型材 第1部分：基材》GB 5237.1中6063 T5的规定。 |
| 压铸铝合金不应低于《压铸铝合金》GB /T 15115中YZAlSil2的规定。 |
| 锻压铝合金不应低于《变形铝及铝合金化学成分》GB /T 3190中7075的规定。 |
| 不锈钢 | 不锈钢冷轧钢板不应低于《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB /T 3280中0Cr18Ni9的规定。 |
| 不锈钢棒不应低于《不锈钢棒》GB /T 1220中0Cr18Ni9的规定。 |
| 塑料 | ABS应采用弯曲强度不低于《丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）树脂》GB /T 12672中62MPa的材料。 |
| 聚甲醛应不低于《塑料 聚甲醛（POM）模塑和挤塑材料 第3部分：通用产品要求》GB /T 22271.3的规定。 |

**3.2.11** 干挂石材的强度应由法定检测机构检测，并符合《干挂饰面石材》GB/T 32834的规定。石材面板的抗弯、抗剪强度设计值可根据其弯曲强度试验的平均值按照表3.2.11中的安全系数计算得出。石材抗弯强度设计值、抗剪强度设计值应按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3.2.11-1） |
|  | （3.2.11-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 石材面板抗弯强度设计值（N/mm²)； |
|  | —— | 石材面板抗剪强度设计值（N/mm²)； |
|  | —— | 石材面板弯曲强度试验平均值（N/mm²)； |
|  | —— | 石材抗弯设计材料强度安全系数； |
|  | —— | 石材抗剪设计材料强度安全系数。 |

表3.2.11 不同石材的安全系数取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 石材种类 | 抗弯 | | 抗剪 |
| 总安全系数 | 材料强度安全系数 | 材料强度安全系数 |
| 花岗岩 | 3 | 2.15 | 4.30 |
| 大理石 | 5 | 3.60 | 7.10 |
| 石灰石 | 6 | 4.30 | 8.60 |
| 砂岩 | 8 | 5.70 | 11.40 |

条文说明：本条参照《上海市建筑幕墙工程技术标准》DG/TJ 08-56-2019第11.4.4条相关规定制定。

**3.2.12** 石材蜂窝板的强度应由法定检测机构检测，并符合《建筑装饰用石材蜂窝复合板》JG/T 328的规定。石材蜂窝板的石材面板抗弯强度标准值应根据整版的弯曲试验结果，按下式计算值和抗弯强度试验值的最小值两者中的低值确定。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3.2.12-1） |

式中：

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

石材蜂窝板石材面板的抗弯强度设计值可根据其弯曲强度标准值按照表3.2.12中的材料性能分项系数计算得出。石材蜂窝板石材面板抗弯强度设计值应按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3.2.12-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 石材蜂窝板石材面板抗弯强度设计值（N/mm²)； |
|  | —— | 石材蜂窝板石材面板抗弯强度标准值（N/mm²)； |
|  | —— | 石材蜂窝板石材面板材料性能分项系数，应符合本规范表3.2.16条的规定。 |

表3.2.12 石材蜂窝板石材面板材料性能分项系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 |

条文说明：本条参照《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016第5.2.6、5.2.7、5.2.8条相关规定制定。

**3.2.13** 蜂窝铝板的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.428采用，也可按表3.2.13采用。

表3.2.13 蜂窝铝板强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 板厚t（mm） | 抗拉强度 | 抗剪强度 |
| 20 | 10.5 | 1.4 |

条文说明：本条参照《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133-2001第5.3.4条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.14** 铝塑复合板的力学性能应符合《建筑幕墙用铝塑复合板》GB/T 17748的规定，铝塑复合板的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.428采用，也可按表3.2.14采用。

表3.2.14 铝塑复合板强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 板厚t（mm） | 抗拉强度 | 抗剪强度 |
| 4 | 70 | 20 |

条文说明：本条参照《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133-2001第5.3.3条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.15** 瓷板的力学性能应符合《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217的规定，瓷板的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.8采用，抗剪强度取抗弯强度的50%，也可按表3.2.15采用。

表3.2.19 瓷板强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料种类 | 抗弯强度设计值 | 抗剪强度设计值 |
| 瓷板 | 15.0 | 7.5 |

条文说明：本条参照《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016第5.2.5条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.16** 陶板的力学性能应符合《建筑幕墙用陶板》JG/T 324的规定，陶板的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.8采用，抗剪强度按抗弯强度的20%采用，也可按表3.2.16采用。

表3.2.20 陶板强度设计值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料种类 | 抗弯强度设计值 | | | 抗剪强度设计值 | | |
| 陶板 | AⅠ类 | AⅡa类 | AⅡb类 | AⅠ类 | AⅡa类 | AⅡb类 |
| 10.0 | 6.2 | 4.5 | 2.0 | 1.2 | 0.9 |

条文说明：本条参照《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016第5.2.5条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.17** 微晶玻璃的力学性能应符合《建筑装饰用微晶玻璃》JC/T 872的规定，微晶玻璃的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.8采用，抗剪强度按抗弯强度的20%采用，也可按表3.2.17采用。

表3.2.17 微晶玻璃强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料种类 | 抗弯强度设计值 | 抗剪强度设计值 |
| 微晶玻璃 | 16.0 | 3.2 |

条文说明：本条参照《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016第5.2.5条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.18** 木纤维板的力学性能应符合《建筑幕墙用高压热固化木纤维板》JG/T 260的规定，木纤维板的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.5采用，也可按表3.2.18采用。

表3.2.18 木纤维板强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料种类 | 抗弯强度设计值 | 抗剪强度设计值 |
| 木纤维板 | 56.0 | - |

条文说明：本条参照《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016第5.2.5条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.19** 纤维水泥板的力学性能应符合《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396的规定，且幕墙用纤维水泥板强度等级不宜低于Ⅲ级。纤维水泥板的强度设计值可根据厂家提供的强度标准值（或最小值）除以材料性能分项系数1.6采用，抗剪强度按抗弯强度的20%采用，也可按表3.2.19采用。

表3.2.19 纤维水泥板强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料种类 | 抗弯强度设计值 | 抗剪强度设计值 |
| 纤维水泥板 | 11.5 | 2.3 |

条文说明：本条参照《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016第3.4.4条和第5.2.5条及其条文说明相关规定制定。

**3.2.20** 玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板的力学性能应符合《玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板》JC/T 1057和《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423的规定。GRC材料强度等级应按GRC材料抗弯强度标准值确定，GRC材料抗弯强度标准值和比例极限强度标准值应按表3.2.20采用。

表3.2.20 GRC材料强度标准值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度种类 | 强度等级 | | | |
| 8 | 10 | 15 | 18 |
|  | 5 | 6 | 6 | 7 |
|  | 8 | 10 | 15 | 18 |

GRC材料的抗拉强度标准值和抗拉初裂强度标准值按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3.2.20-1） |
|  | （3.2.20-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | GRC材料抗拉强度标准值（N/mm²)； |
|  | —— | GRC材料抗弯强度标准值（N/mm²)； |
|  | —— | GRC材料抗拉初裂强度标准值（N/mm²)； |
|  | —— | GRC材料抗比例极限强度标准值（N/mm²)。 |

条文说明：本条参照《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018第5.2.6、5.2.7条相关规定制定。

**3.2.21** 聚碳酸酯板原材料的力学性能应符合《聚碳酸酯（PC）实心板》JG/T 347和《聚碳酸酯（PC）中空板》JG/T 116的规定，也可按表3.2.21采用。

表3.2.21 聚碳酸酯板原材料强度标准值

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 技术要求指标 |
| 拉伸屈服强度/MPa | ≥60 |
| 拉伸弹性模量/MPa | ≥2200 |
| 弯曲强度/MPa | ≥60 |
| 弯曲弹性模量/MPa | ≥2200 |

条文说明：本条参照《聚碳酸酯（PC）实心板》JG/T 347-2012第5.1条相关规定制定。

**3.2.22** 搪瓷板强度设计值可按表3.2.22采用。

表3.2.22 搪瓷板强度设计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料 | 抗弯强度设计值 | 抗剪强度设计值 |
| 单体搪瓷板 | 215 | 125 |
| 复合搪瓷板 | 60 | 40 |

条文说明：本条参照《上海市建筑幕墙工程技术标准》DG/TJ 08-56-2019表3.2.11相关规定制定。

**3.2.23** U型玻璃强度设计值应取17MPa，钢化U型玻璃强度设计值应取51MPa。

条文说明：本条参照《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113-2015 第11.2.2条相关规定制定。

**3.2.24** 彩钢板、钛及钛合金板、铜及铜合金板等单层金属板的抗拉强度设计值可按其屈服强度除以系数 1.15采用。

条文说明：本条参照《建筑幕墙工程技术标准》DB32∕T 4065-2021（江苏省地方标准）第6.2.22条相关规定制定。

**3.2.25** 不锈钢饰面复合板、钛锌合金饰面复合板、铜饰面复合板等复合金属板的抗拉强度设计值可根据其强度试验平均值除以系数 1.428 取用。

条文说明：本条参照《建筑幕墙工程技术标准》DB32∕T 4065-2021（江苏省地方标准）第6.2.23条相关规定制定。

**3.2.26**膜结构用膜材的力学性能应符合《膜结构技术规程》CECS 158和《膜结构用涂层织物》FZ/T64014的规定，可根据试验方法进行试验确定，也可按表3.2.26-1～表3.2.26-3采用。

表3.2.26-1 常用G类膜材强度标准值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 经/纬向极限抗拉强度标准值  (N/5cm) | 丝径  (μm) | 厚度  (mm) | 重量  (g/m²) |
| G3 | 3200/2500 | 3、4或6 | 0.25～0.45 | ≥400 |
| G4 | 4200/4000 | 3、4或.6 | 0.40～0.60 | ≥800 |
| G5 | 6000/5000 | 3、4或6 | 0.50～0.95 | ≥1000 |
| G6 | 6800/6000 | 3、4 | 0.65～1.0 | ≥1100 |
| G7 | 8000/7000 | 3、4 | 0.75～1.15 | ≥1200 |
| G8 | 9000/8000 | 3、4 | 0.85～1.25 | ≥1300 |

表3.2.26-2 常用P类膜材强度标准值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 经/纬向极限抗拉强度标准值  (N/5cm) | 厚度  (mm) | 重量  (g/m²) |
| P2 | 2200/2000 | 0.45～0.65 | ≥500 |
| P3 | 3200/3000 | 0.55～0.85 | ≥750 |
| P4 | 4200/4000 | 0.65～0.95 | ≥900 |
| P5 | 5300/5000 | 0.75～1.05 | ≥1000 |
| P6 | 6400/6000 | 1.00～1.15 | ≥1100 |
| P7 | 7500/7000 | 1.05～1.25 | ≥1300 |

表3.2.26-3 E类膜材强度标准值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 第一屈服强度标准值 | 第二屈服强度标准值 | 极限抗拉强度标准值 |
| 16.3 | 22.5 | 36.8 |

条文说明：本条参照《膜结构技术规程》CECS 158：2015第4.1.3条、4.1.4条相关规定制定。

## 3.3 材料物理性能

**3.3.1** 建筑幕墙常用材料的物理力学性能指标可按表3.3.1采用。

表3.3.1 材料的物理力学性能指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材 料 | | 弹性模量E（N/mm2） | 泊松比 | 线膨胀系数  （10-5/°C） |
| 玻璃 | | 0.72×105 | 0.200 | 0.80~1.00 |
| 铝合金 | | 0.70×105 | 0.300 | 2.35 |
| 钢 | | 2.06×105 | 0.300 | 1.20 |
| 不锈钢 | | 1.80 |
| 木材 | |  |  |  |
| 不锈钢绞线 | | 1.20×105～1.50×105 | 0.300 | 1.80 |
| 消除应力的高强钢丝 | | 2.05×105 | 0.300 |  |
| 高强钢丝 | | 1.95×105 | 0.300 |  |
| 钢丝绳 | | 0.8×105～1.00×105 | 0.300 |  |
| 铝塑复合板 | 4mm | 0.2×105 | 0.250 | ≤4.0 |
| 6mm | 0.3×105 |
| 蜂窝铝板 | 10mm | 0.35×105 | 0.250 | 2.40 |
| 15mm | 0.27×105 |
| 20mm | 0.21×105 |
| 搪瓷板 | 单体 | 2.06×105 | 0.300 | 1.20 |
| 复合 | 1.20×105 | 0.250 | 0.90 |
| 花岗石板 | | 0.80×105 | 0.125 | 0.80 |
| 陶板 | | 0.20×105 | 0.130 | 0.70 |
| 微晶玻璃 | | 0.81×105 | 0.200 | 0.61 |
| 瓷板 | | 0.60×105 | 0.250 | 0.60 |
| 木纤维板 | | 0.09×105 | 0.300 | 2.20 |
| 纤维水泥板 | | 0.14×105 | 0.250 | 1.00 |
| 玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板 | | 0.20×105 | 0.240 | 1.0～1.5 |
| 聚碳酸酯板 | | 2200 | 0.38 | 6.5 |
| E类膜材 | | 650 | 0.42 | / |
| G类膜材 | | 经向1400/纬向600 | / | / |
| P类膜材 | | 经向1000/纬向400 | / | / |
| 铝镁锰板 | |  |  |  |

**3.3.2** 建筑幕墙常用材料的重力密度标准值可按表3.3.2的规定采用。

表3.3.2 材料的重力密度（kN/m3）

| 材 料 |  |
| --- | --- |
| 玻璃 | 25.6 |
| 钢材 | 78.5 |
| 铝合金 | 28.0 |
| 矿棉 | 1.2～1.5 |
| 玻璃棉 | 0.5～1.0 |
| 岩棉 | 0.5～2.5 |
| 花岗岩 | 28.0 |
| 石灰岩 | 26.0 |
| 砂岩 | 24.0 |
| 陶板 | 20.0~24.0 |
| 微晶玻璃 | 27.0 |
| 瓷板 | 22.5～23.5 |
| 铝蜂窝芯 | 0.38~0.39 |
| 玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板 | 18.0～20.0 |
| 纤维水泥板 | 14.7～17.6 |
| 木纤维板 | 12.7 |

4 结构计算基本规定

4.1 一般规定

**4.1.1** 结构计算原则根据现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001和《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068制定。建筑幕墙应按围护结构设计目标要求，以满足安全性作为评价指标，进行结构设计。

**4.1.2** 幕墙结构的设计基准期应为50年。建筑幕墙的设计工作年限不小于25年，其支承结构的设计工作年限不小于50年。

条文说明：4.1.2 根据《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018第3.3.1条，建筑结构的设计基准期应为50年。幕墙结构的设计基准期按照主体结构取50年。

条文说明：4.1.2 幕墙面板、胶、五金件和其他附件，属于易更换件，其设计工作年限不小于25年；幕墙支承结构、连接件、埋件等主要结构构件，更换困难，故规定其设计工作年限不小于50年。当设计工作年限与设计基准期不一致时，根据《工程结构通用规范》GB 55001-2021第3.1.16条的规定，雪荷载与风荷载的设计工作年限调整系数应按重现期与设计工作年限相同的原则确定。幕墙设计工作年限的调整系数可统一按50年取1.0。

**4.1.3** 幕墙结构宜采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法。当采用容许应力法进行结构设计时，结构在作用的标准组合或地震组合下的应力值不应超过材料的容许应力值。当采用安全系数法进行结构设计时，结构在作用标准组合或地震组合下的效应值乘以安全系数之后，不应超过结构或构件的抗力值。

条文说明：4.1.3 参《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018第1.0.4条、《工程结构通用规范》GB 55001-2021第3.2.1、3.2.2条的规定。

**4.1.4** 幕墙结构设计应考虑永久作用、风荷载、地震作用，必要时还应考虑温度作用和施工、清洗、维护荷载。与水平面夹角小于75°的建筑幕墙、金属屋面、采光顶和雨篷结构尚应考虑雪荷载、活荷载或积灰荷载。

条文说明：4.1.4 大跨度空间幕墙结构、预应力幕墙结构应考虑温度作用。当幕墙结构上预留清洗、维护所需固定装置（如防风销支座）或小于75度的建筑幕墙、金属屋面、采光顶和雨篷结构有上人施工、检修要求时，尚应考虑施工、清洗、维护荷载。

**4.1.5** 幕墙结构设计应区分以下设计状况：

1 持久设计状况，适用于幕墙结构正常使用时的情况；

2 短暂设计状况，适用于幕墙结构施工和维修等临时情况；

3 偶然设计状况，适用于幕墙结构遭受火灾、爆炸、非正常撞击等罕见情况；

4 地震设计状况，适用于幕墙结构遭受地震时的情况。

**4.1.6** 进行承载能力极限状态设计时，采用的作用组合应符合下列规定：

1 持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合；

2 偶然设计状况应采用作用的偶然组合；

3 地震设计状况应采用作用的地震组合。

**4.1.7** 进行正常使用极限状态设计时，应采用作用的标准组合。

**4.1.8** 幕墙结构设计时选定的设计状况，应涵盖正常施工和使用过程中的各种不利情况。各种设计状况均应进行承载能力极限状态设计，持久设计状况尚应进行正常使用极限状态设计。

1 承载能力极限状态设计时，应符合下列规定：

持久设计状况、短暂设计状况、偶然设计状况时：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.1.8-1） |

地震设计状况时：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.1.8-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 持久设计状况、短暂设计状况、偶然设计状况时荷载效应组合设计值； |
|  | —— | 地震设计状况时荷载效应组合设计值； |
|  | —— | 结构构件抗力设计值； |
|  | —— | 结构构件重要性系数，按《工程结构通用规范》GB 55001确定，且不小于1.0； |
|  | —— | 结构构件承载力抗震调整系数，应取1.0。 |

2 正常使用极限状态设计时，结构构件应符合下式规定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.1.8-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 结构构件的挠度值； |
|  | —— | 结构构件的挠度限值。 |

3 双向受弯构件，两个方向的挠度均应符合本条第2款的规定。

条文说明：4.1.8 复杂的幕墙结构体系，可能在施工阶段的荷载工况比完工后的荷载工况更不利，则需要对施工阶段的安全性做补充验算。

**4.1.9** 幕墙结构应根据传力途径对幕墙面板、支承结构、连接件与锚固件等进行计算，确保幕墙的安全适用。

**4.1.10** 幕墙结构受力构件的布置，应遵循下列原则：

1构件间的荷载传递路径，应力求简捷、明确，减少不必要的传递环节；

2 幕墙面板与其支承结构、支承结构与主体结构之间，应具有足够的相对位移能力；

3 连接部位应具有一定的冗余度，避免因局部失效而对结构造成功能障碍。

**4.1.11** 幕墙结构计算，应符合下列规定：

1计算模型应与构件连接的实际情况相符合，计算假定应与结构的实际工作性能相符合；

2结构内力和变形可按弹性方法计算。当变形对结构内力和变形的影响不可忽略时，尚应考虑几何非线性的影响；

3规则构件可按解析或近似公式计算，具有复杂边界或作用的构件可采用有限元方法计算；

4对于桁架支承结构及其他大跨度钢结构，尚应考虑结构和构件的稳定性。

条文说明：4.1.12 对于玻璃面板、金属面板以及索支承结构、膜结构等，由于结构体系刚度相对较小、变形较大，结构内力和变形计算时应考虑几何非线性的影响。

**4.1.12** 幕墙结构设计应涵盖最不利构件和节点在最不利工况时极限状态的验算。对建筑物转角部位、平面或立面突变部位的构件和连接应作专项验算。转角部位的幕墙结构应考虑不同方向的风荷载组合，并分解至构件主轴上按构件强轴、弱轴分别验算。

条文说明：4.1.13 转角处幕墙构件通常45度布置，应将角部两个方向的荷载分解至构件主截面上（即主轴上），然后按强轴和弱轴分别进行强度和挠度验算。

**4.1.13** 幕墙施工过程分析计算应符合下列规定：

* + - * 1. 各阶段施工分析应计入施工过程的影响，否则应进行施工过程多工况的连续求解。
        2. 施工阶段的承载能力极限状态验算应根据现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001的有关规定按短暂设计状况进行并应根据需要进行正常使用极限状态验算。
        3. 施工阶段验算应符合下列规定：

当安全等级为一级，结构重要性系数不应小于 1.1；

当安全等级为二级，结构重要性系数不应小于 1.0；

当安全等级为三级，结构重要性系数不应小于 0.9；

临时支撑结构的重要性系数不宜小于 1.0。

* + - * 1. 施工阶段验算应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定进行荷载取值和组合，同时应根据结构各施工阶段的实际荷载情况及工程所处的地理位置及环境，综合分析温度、风、雪等荷载的影响，可忽略地震和偶然荷载的作用。
        2. 施工阶段计算模型中的结构构件、工装构件、边界条件、荷载条件和预应力作用等应与实际情况一致，同时验算其强度、稳定性和刚度，验算结果应满足设计要求及国家现行相关标准的规定。宜建立包含整体结构和施工措施的完整模型。牵引提升过程分析时，尚应包含施工设备、工装等附加荷载的影响。
        3. 施工全过程分析结果应满足结构安全性要求，且主要构件应处于弹性应力状态。根据施工过程分析得到的施工成形状态与设计成形状态的偏差应得到设计单位的认可。

**4.1.14** 对于节点的分析应符合下列要求：

* + - * 1. 对于由基本类型组合而成的节点，除了应分别验算节点各基本部分承载力外，尚应进行整体节点的承载力验算，并应考虑节点变形的影响。
        2. 对于构造和受力复杂的节点宜进行有限元数值模拟分析，其承载力和变形验算应符合下列规定：

数值分析模型应具有与实际节点相符的构造、形式、荷载及约束条件；节点承受多种荷载工况时，应对各种起控制作用的荷载组合进行计算；

弹塑性有限元分析中，节点材料的应力－应变曲线可采用具有强化刚度的双折线模型；

节点极限承载力可根据弹塑性有限元分析得出的荷载-位移全过程曲线确定，节点承载力设计值不应大于弹塑性有限元分析所得极限承载力的 1/2。

* + - * 1. 节点中以受拉为主的焊缝质量等级宜为一级，其他焊缝的质量等级不宜低于二级。

4.2 结构作用

**4.2.1** 幕墙承受的风荷载标准值应按公式（4.2.1-1）、（4.2.1-2）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.2.1-1） |
|  | （4.2.1-2） |

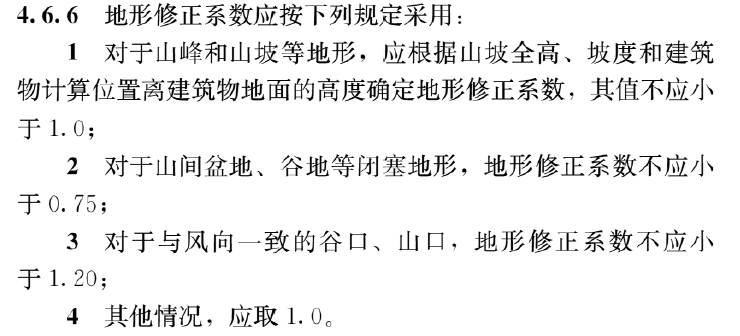
式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 作用在幕墙结构上的风荷载标准值（kN/m2）； |
|  | —— | 风向影响系数，可取1.0； |
|  | —— | 地形修正系数，按《建筑结构荷载规范》GB50009的规定采用且取值不得低于GB55001的要求； |
|  | —— | 考虑风荷载脉动作用的放大系数，不应小于； |
|  | —— | 峰值因子，可取2.5； |
|  | —— | 10m高名义湍流度，对应A、B、C和D类地面粗糙度，可分别取0.12、0.14、0.23和0.39； |
|  | —— | 地面粗糙度指数，对应A、B、C和D类地貌，可分别取0.12、0.15、0.22和0.30； |
|  | —— | 局部体型系数，按《建筑结构荷载规范》 GB50009中对围护结构的规定采用。对于体型或风荷载环境复杂的幕墙结构，宜采用风洞试验或数值风洞方法予以确定； |
|  | —— | 风压高度变化系数，按《建筑结构荷载规范》 GB50009的规定采用； |
|  | —— | 基本风压（kN/m2），按《建筑结构荷载规范》 GB50009的规定采用，且其取值不得低于0.30 kN/m2。 |

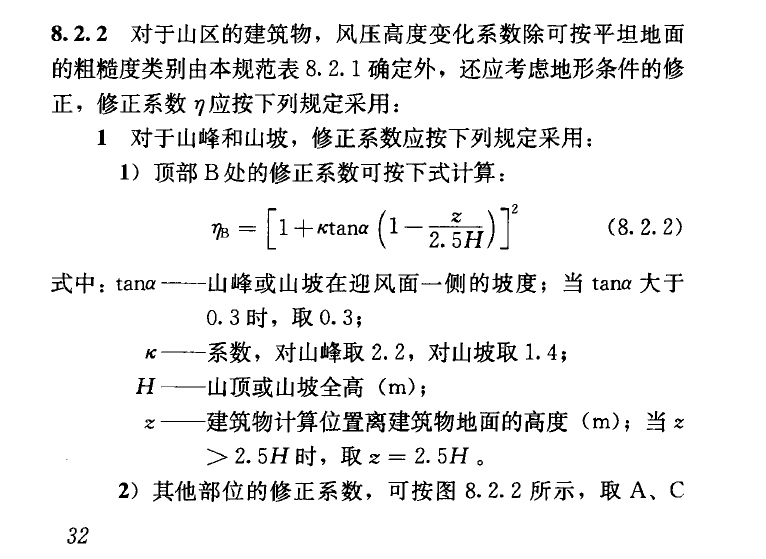
条文说明：4.2.1 本条参照《工程结构通用规范》GB 55001-2021第4.6节和《建筑结构荷载规范》 GB50009-2012第8章的相关规定制定。与GB50009中8.1.1 2 公式有变化，增加了地形修正系数和风向影响系数。

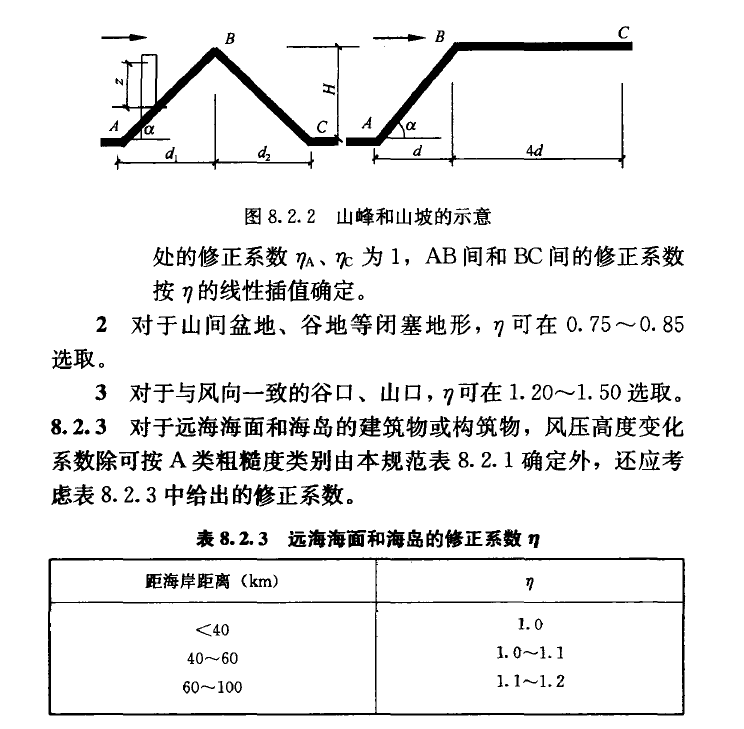
地形修正系数结合GB 55001中4.6.6 和GB50009中8.2；

GB 55001中4.6.6（如下），

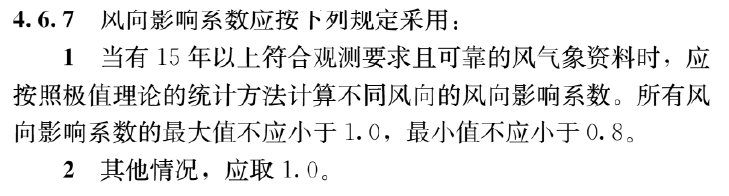


GB50009中8.2.2~8.2.3（如下），





风向影响系数，取自GB 55001中4.6.7第2款；（如下），



**4.2.2** 用于室外围护结构时，建筑幕墙风荷载标准值不应小于1.0 kN/m2。采光顶与金属屋面，风荷载负压标准值不应小于1.0 kN/m2、正压标准值不应小于0.5 kN/m2。

**4.2.3** 建筑高度较高、体型不规则或风环境复杂的幕墙结构，按本规范4.2.1条难以确定风荷载标准值时，用风洞试验或数值风洞方法确定。幕墙高度大于200m时应进行风洞试验。

条文说明：4.2.3 幕墙高度大于300m时应由两个非关联单位各自提供独立的风洞试验结果相互验证-。风洞试验结果与数值风洞一致性分析。

**4.2.4** 风荷载局部体型系数应按以下规定确定：

1应按《建筑结构荷载规范》GB50009中对围护结构的规定采用；

2建筑体型不规则，有较大凸出或凹口时，应按不规则程度将立面划分为多个大面区和角部区。凹口宽度不大于3m，凹口深度不大于2m时，迎风面视为连续，凹口正、侧面均视为大面区；

3 檐口、遮阳板、装饰条等突出幕墙面的构件，负风荷载局部体型系数取-2.0，正风荷载局部体型系数取+1.0；

4 悬挑雨篷负风荷载局部体型系数取-2.0。正风荷载局部体型系数按悬挑长度确定，当悬挑长度小于1.0m时取+1.0，悬挑长度大于4.0m时取+1.4，悬挑长度在1.0m～4.0m之间时可线性插值。

条文说明：4.2.4 悬挑雨蓬正风荷载局部体型系数参照上海地标《建筑幕墙工程技术标准》DG/TJ08-56-2019取值。

**4.2.5** 幕墙构件同时承受两个正交方向的风荷载作用时，强度计算应按1.0X+0.6Y和1.0Y+0.6X二种组合方式确定。其中X为构件横截面主轴方向最大风荷载设计值，Y是与X正交方向的最大风荷载设计值。

**4.2.6** 对于满足下列条件之一的幕墙结构，应通过风振响应分析确定风动力效应：

1 跨度大于25m的平面索网结构；

2 结构自振周期大于1.0 s；

3 体型复杂且较为重要的幕墙结构。

条文说明：4.2.6 在机场、会展、体育场馆等大跨空间中，幕墙结构跨度越来越大，加之建筑师对幕墙结构的轻巧性有较高的要求，在该类项目中多采用大跨度索网结构、大跨度钢结构等结构刚度相对较低的结构形式，本条规定在此种情况下应对风动力效应进行较为细致地分析。当采用风振时程分析方法或随机振动理论分析时，输入的风荷载时程或功率谱宜根据风洞实验确定。本条规定的结构自振周期大于1s是参考了美国、澳大利亚等国的荷载规范规定。

**4.2.7** 幕墙结构的地震作用标准值可按以下方法计算：

1 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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4.2.7-1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 垂直于幕墙平面的分布水平地震作用标准值（kN/m2）； |
|  | —— | 动力放大系数，可取5.0； |
|  | —— | 水平地震影响系数最大值，多遇地震时可按表4.2.7采用； |
|  | —— | 幕墙面板和框架的重力荷载标准值（kN)； |
|  | —— | 幕墙平面面积（m2）。 |

表4.2.7 水平地震影响系数最大值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗震设防烈度 | 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
|  | 0.04 | 0.08（0.12） | 0.16（0.24） | 0.32 |

注：7、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。

2 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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4.2.7-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 平行于幕墙平面的集中水平地震作用标准值（kN）。 |

3 金属屋面及采光顶作用于水平方向的水平地震作用标准值可按式（4.2.7-2）计算；当计算竖向地震作用时，竖向地震影响系数最大值可取水平地震影响系数最大值的65%。

**4.2.8** 预制外挂墙板结构的作用及作用组合应根据国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666等确定。

4.3 储存、运输、施工阶段作用

**4.3.1** 幕墙板块或装配构件装卸、吊装过程中的动力系数可取1.1。

条文说明：4.3.1 根据《建筑结构荷载规范》 GB50009-2012第5.6.2条，搬运和装卸重物的动力系数，可采用1.1~1.3。待查吊篮规范取值不同？

**4.3.2** 幕墙单元板块吊装前应进行下列结构受力验算：

1板块的吊装机具应进行专门设计，吊装机具的承载能力应大于板块吊装施工中各种荷载和作用组合的设计值，吊装板块的竖向重力荷载应乘以动力系数，可取1.05；

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，并应采取限位、防止脱轨、防倾覆措施；

3 应对起重吊装钢丝绳进行校核，根据不同用途选用安全系数；

4 应复核吊具与单元板块间的连接承载力，吊点设置在顶横梁上，还应校核横梁与立柱的连接承载力；

条文说明：装卸及运输过程中，应采用有足够承载力和刚度的周转架、衬垫，使单元板块之间相互隔开并相对固定；

**4.3.3** 单元式幕墙板块或装配式构件装卸、吊装前，应进行承载能力极限状态验算，并符合下列规定：

1按短暂设计状况验算，采用作用的基本组合；

2装卸、吊装过程的动力影响通过将自重乘以动力系数的方法考虑，并按静力学计算方法设计；

3吊点数量不应少于2个，起吊板块时，应使各吊点均匀受力，起吊过程应保持板块平稳；

4起吊板块的重量不应超过吊具起重量和接料平台的承载能力，并应进行试吊；

5吊装用钢丝绳、吊钩及辅助工装等应具有足够的承载能力，其安全系数不宜小于1.5；

6当吊点设置在单元幕墙顶横梁上时，还应校核单元板块自重作用下顶横梁及其与立柱连接的承载力；

7板块就位时，应先挂到主体结构的挂点上再进行其他工序，板块未固定前不得拆除吊具；

8应对吊装机具进行抗倾覆验算，并将吊装机具对主体结构产生的反力提交设计单位，由设计单位进行主体结构承载能力复核。

**4.3.4** 预制外挂墙板吊装前应进行下列验算：

1 预制外挂墙板在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取1.2。

**2** 预制外挂墙板件进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值来以动力系数后与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的1.5倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

1） 动力系数不宜小于1.2；

2） 脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于1.5KN/m2。

3 预制外挂墙板脱模起吊时的混凝土强度应计算确定，且不宜小于15MPa。

4.4 作用效应组合

**4.4.1** 当作用效应计算考虑几何非线性影响时，应首先进行作用的组合，再计算结构在作用组合下的效应。当作用效应采用线弹性方法计算时，可先计算各作用的效应，再进行作用效应的组合。

**4.4.2** 当作用效应采用线弹性方法计算时，幕墙构件承载能力极限状态设计的作用效应组合应符合下列规定：

**1**持久设计状况、短暂设计状况时：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.4.2-1） |

**2**偶然设计状况时：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.4.2-2） |

**3**地震设计状况时：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.4.2-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 作用组合的效应设计值； |
|  | —— | 永久作用的效应标准值； |
|  | —— | 风荷载的效应标准值； |
|  | —— | 水平地震作用的效应标准值； |
|  | —— | 竖向地震作用的效应标准值； |
|  | —— | 预应力作用的效应标准值； |
|  | —— | 偶然作用的效应标准值； |
|  | —— | 第1个可变作用（主导可变作用）的效应标准值； |
|  | —— | 第*i*个可变作用（主导可变作用）的效应标准值； |
|  | —— | 永久荷载分项系数； |
|  | —— | 风荷载分项系数； |
|  | —— | 水平地震作用分项系数； |
|  | —— | 第1个可变作用（主导可变作用）的分项系数； |
|  | —— | 第*i*个可变作用（主导可变作用）的分项系数； |
|  | —— | 预应力作用的分项系数； |
|  | —— | 风荷载的组合值系数； |
|  | —— | 第*i*个可变作用的组合值系数； |
|  | —— | 第1个可变作用的频遇值系数； |
|  | —— | 第1个可变作用的准永久值系数； |
|  | —— | 第*i*个可变作用的准永久值系数； |
|  | —— | 第1个和第*i*个考虑结构设计工作年限的荷载调整系数。 |

**3** 温度作为可变作用，按幕墙类型和施工工况确定其组合；

**4** 雪荷载、不上人屋面活荷载可取两者荷载标准值的较大值按幕墙类型确定其组合；

**5** 施工荷载或检修荷载作为可变荷载，按幕墙类型和施工工况确定其组合。

**4.4.3** 进行幕墙构件的承载力设计时，作用（效应）分项系数按下列规定取值：

**1** 一般情况下，永久荷载、风荷载和地震作用的分项系数、、应分别取1.3、1.5、1.4；

**2** 永久荷载（效应）对构件有利时，分项系数的取值应不大于1.0；

**3** 温度作用、雪荷载、活荷载、施工或检修荷载的分项系数、、、应取1.5。

条文说明：4.4.3 地震作用的分项系数根据《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002-2021表4.3.2-2确定。其他作用的分项系数根据《工程结构通用规范》GB 55001-2021第3.1.13条确定。

**4.4.4** 可变作用的组合值系数按下列规定采用：

1 风荷载的组合值系数应取0.6或1.0（作为第1可变荷载时），地震设计工况时取0.2；

2 温度作用的组合系数应取0.6或1.0（作为第1可变荷载时）；

3 雪荷载的组合系数应取0.7或1.0（作为第1可变荷载时）；

4 不上人屋面活荷载的组合系数应取0.7或1.0（作为第1可变荷载时）；

5 施工荷载、检修荷载、栏杆荷载的组合系数应取0.7或1.0（作为第1可变荷载时）。

**4.4.5**幕墙结构重力产生的地震作用可采用等效侧力法计算，其水平地震作用标准值可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.5.1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 水平地震作用标准值（kN)； |
|  | —— | 功能系数，可取1.4； |
|  | —— | 类别系数，可取0.9； |
|  | —— | 状态系数，可取2.0； |
|  | —— | 位置系数，建筑的顶点宜取2.0，底部宜取1.0，沿高度线性分布； |
|  | —— | 水平地震影响系数最大值； |
|  | —— | 自重荷载标准值（kN)。 |

条文说明：本条参照《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016年版）第13.2节内容，考虑幕墙结构在建筑不同高度位置的影响，计算得到的地震作用标准值约为按4.2.7条计算值的0.5~1倍。

4.5 有限元数值分析

**4.5.1** 几何模型建立原则应符合下列规定：

1 结构分析采用的基本假定和计算模型应能合理描述所考虑的极限状态下的结构反应；

2 根据结构的实际受载情况进行结构模型简化，去掉非必要部分后，可采用三维计算模型进行结构分析，关键复杂的结构连接件、转接件应采用有限元分析；

3 结构分析对幕墙结构、幕墙构件、幕墙构件之间的连接形式、幕墙构件的支座形式等所采用的各种简化和力学假定，应和设计图纸一致。

4 结构分析所采用的各种简化或力学假定，应具有理论或试验依据，或经工程验证可行。

5应根据实际情况，定义幕墙结构中各种材料的力学参数，如弹性模量、泊松比、热膨胀系数等。

条文说明：4.6.1 在幕墙项目的设计工作中，容易出现幕墙结构设计工作和幕墙图纸设计工作是由不同的人员来完成，为了保证幕墙设计图纸和幕墙结构分析模型的一致性，充分保证幕墙结构安全，正文提出了结构分析的各种简化和力学假定，应和设计图纸一致。

**4.5.2** 有限元网格划分原则应符合下列规定：

1 单元类型选择应根据结构型式合理选择单元类型，杆件宜采用梁单元，预应力拉杆结构宜采用杆单元，预应力索结构宜采用索单元，面板宜采用壳单元、实体单元，复杂连接件、转接件宜采用实体单元；

2 单元阶次选择，结构形状不规则、变形和应力分布复杂时宜选用高阶单元；计算精度要求高的区域宜选用高阶单元，精度要求低的可选用低阶单元；不同阶次单元的连接位置应使用过渡单元或多点约束等；

3幕墙结构的网格剖分应考虑结构的几何形态、受力状态、材料特性和单元类型等因素，保证计算精度。在结构形态变化大、曲面曲率变化大、荷载变化大、不同材料连接部位和局部复杂部位应适当细化网格，以提高计算精度。

4单元尺寸过渡宜平滑，粗细网格之间应有足够的单元进行过渡，避免相邻单元的质量和刚度差别太大；主要承载力方向的单元尺寸应较小，垂直于该方向的单元在满足网格质量要求时可以将尺寸稍作放大；

5 应保留主要的几何轮廓线，网格应与几何轮廓保持基本一致；对于实体单元网格，在结构厚度方向上宜三层以上；对称结构宜采用对称网格；

6 二维和三维有限元模型混合建模时，应保证不同单元类型网格交界处，单元节点重合，并确保交界处远离模型分析核心区域。

**4.5.3** 边界条件设定原则应符合下列规定：

**1** 有限元模型约束施加应符合实际安装条件，构件之间连接的力学假定、构件支座的自由度假定，应与实际安装条件和设计图纸相符。

**2** 应根据约束类型选择施加方式，固定支座应选择全部自由度约束；铰支座应选择平动自由度约束；对称结构应选择对称或反对称约束；

**3**约束区域应能准确反映实际约束情况，应避免单点约束，以防应力集中；

4若实际约束区域小于一个单元时，应局部细化网格。

5对于边界非线性的情况如支承条件的变化、接触和摩擦、非均匀约束、阻尼弹簧等，应在有限元分析时选择正确的单元类型和约束方式。

**4.5.4** 荷载施加原则应符合下列规定：

1 应根据实际情况，对幕墙结构进行荷载施加，包括永久荷载、风载荷、地震作用、活荷载和温度作用等；

2 幕墙结构的荷载类型包含：集中点荷载、均布线荷载和均布面荷载，荷载的大小、方向、作用区域应符合实际情况；

3 幕墙结构承载力极限分析应采用荷载组合设计值，正常使用极限分析应采用荷载组合标准值；

4 计算面板时宜采用面荷载，计算杆件时宜采用均布线荷载或集中点荷载，有力偶时也应根据具体情况进行施加。

条文说明：4.5.4 4 不应以线荷载代替面荷载，也不应以集中荷载代替线荷载，应视实际情况合理选择荷载类型。

**4.5.5** 静力分析原则应符合下列规定：

1静力分析时应根据需要合理选择相关参数求解设置；

2在满足收敛性、计算精度和计算机资源条件下，设置合理的计算时间步长；

3当计算不能收敛时，应检查边界条件及网格划分情况，调整后重新计算；

4幕墙结构可按弹性静力方法计算。对于预应力拉索、预应力拉杆、薄板等刚度较小的结构体系，应采用几何非线性的计算方法；

5对于空间网壳结构的稳定性应采用考虑几何非线性的有限元法（即荷载-位移全过程分析）进行计算，分析中可假定材料为弹性，也可考虑材料的弹塑性。对于大型和形状复杂的网壳结构宜考虑材料弹塑性的全过程分析方法。

**4.5.6** 单元式幕墙考虑横梁的拉接作用、玻璃面板通过结构胶与龙骨粘接的有效支撑作用而采用有限元方法整体建模分析时，计算模型宜符合下列规定：

1单元式幕墙龙骨采用一维梁单元，等效斜撑采用连接单元；

2公母立柱和顶底横梁分开建模、分别定义截面属性，公母立柱和顶底横梁间的插接关系采用连接单元来模拟，实现插接构件间的协同变形；

3各连接点的刚接、铰接假设应与实际情况相符。横梁立柱间直接由螺钉连接的节点视为铰接，必要时宜增设辅助连接件加强。

4四周与横梁和立柱用结构胶粘接的玻璃板块可视为单元构件的约束构件，可以采用等效斜撑来代替玻璃面板。

条文说明：玻璃面板简化为等效斜撑时，等效斜撑的刚度可以按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.5.6-1） |
|  | （4.5.6-2） |
|  | （4.5.6-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 玻璃面板宽度 (mm)； |
|  | —— | 玻璃面板高度 (mm)； |
|  | —— | 结构胶弹性模量 (MPa)； |
|  | —— | 结构胶宽度 (mm)； |
|  | —— | 结构胶厚度 (mm)。 |

# 5 面板计算

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 面板计算应根据面板材料、外形、截面形式和连接方式，采用合理的结构分析方法进行计算。非常规面板应采用数值模拟分析。面板计算应满足规定的强度及刚度。幕墙面板与其支承结构应具有足够的相对位移能力。

【条文说明】5.1.1 应根据面板选材、外观形状常规或异型、平面内外、面板截面复杂形式和面板的固定连接方式，综合确定面板结构计算方法，可采用解析法、数值模拟分析法、实验力学分析法。如曲面面板、异型面板等。

**5.1.2** 面板结构计算，应考虑永久作用、风荷载、地震荷载和温度作用。与水平面夹角小于75度的面板，尚应考虑雪荷载、活荷载。

【条文说明】5.1.2 应考虑永久作用（结构自重、预应力、引起结构外加变形或约束变形的各种施工因素）、可变作用（风荷载、多遇地震、正常撞击、温度变化）、偶然作用（撞击、爆炸、罕遇地震、龙卷风、火灾、极严重的侵蚀、洪水作用）。

**5.1.3** 面板计算时，各种荷载（或作用）应按本标准4.4的规定组合，最大应力设计值不超过面板强度设计值。

**5.1.4** 面板与幕墙支承结构的连接，应能满足各作用所产生幕墙平面内和平面外的变形要求。

**5.1.5** 面板的挠度应符合表5.1.5的规定。

表**5.1.5** 幕墙面板的挠度限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 幕墙结构类型 | 面板种类 | 挠度 |
| 构件式玻璃幕墙  单元式玻璃幕墙 | 玻璃面板 | 四边支承：短边距/60  对边支承：跨距/60 |
| 光伏玻璃面板 | 短边距/120 |
| 金属板幕墙 | 金属面板 | 短边距/100 |
| 石材幕墙 | 石材面板 | — |
| 人造板材幕墙 | 纤维水泥板 | 计算跨度/250 |
| 石材蜂窝板  （背部衬板为铝蜂窝板或钢蜂窝板） | 长边孔距/120 |
| 石材蜂窝板  （背部衬板为玻纤蜂窝板） | 长边孔距/180 |
| 木纤维板 | 长边孔距/60 |
| 点支承玻璃幕墙 | 玻璃面板 | 长边孔距/60 |
| 全玻璃幕墙 | 玻璃面板 | 跨距/60 |
| 金属屋面 | 铝合金板 | 跨距/180 |
| 钢板，坡度≤1/20 | 跨距/250 |
| 钢板，坡度＞1/20 | 跨距/200 |
| 金属平板 | 跨距/60 |
| 聚碳酸酯板幕墙 | 聚碳酸酯板 | 四边支承：短边距/60  对边支承：跨距/60 |

*注：*

*1、纤维水泥板的计算跨度，对边通槽支承时取支承边的距度，四点支承时取支承点长边孔距。*

*2、悬臂梁和伸臂梁构件的跨距可取其悬挑长度的2倍。*

【条文说明】

玻璃：单层玻璃、夹层玻璃（不同胶片，PVB、SGP胶片）、中空玻璃、特殊玻璃（防火、隔声、弯弧、U型玻璃、光伏玻璃等）

金属板：铝板、钢板、不锈钢板、穿孔板、异形板等 复合金属板？

铜及铜复合板

单层铝板、铝塑复合板、蜂窝铝板、彩色涂层钢板、搪瓷涂层钢板、锌合金板、不锈钢板、铜合金板、钛合金板；镀锌钢板或涂层钢板

石材：天然石材（花岗石、石灰石、大理石、洞石等）、合成石材（复合板等）、

石材幕墙面板支承形式：嵌入、钢销、短槽、通槽、勾托、平挂、穿透、蝶形背卡、背栓

木人造板材：复合金属板、UHPC、PC板等；瓷板、陶板、微晶玻璃

木质：

屋面板：金属屋面板-铝镁锰、不锈钢、钢

采光顶：阳光板、亚克力板、合成树脂

膜（各种膜材）

双层幕墙面板：

金属面夹芯板——屋面板、墙面板

压型金属板

## 5.2 线支承

**5.2.1 四边支承**

1 单片玻璃、夹层玻璃、中空玻璃抗风压设计按《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102执行；金属与石材面板抗风压设计按《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133执行；人造板材抗风压设计按《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336执行；采光顶与金属屋面抗风压设计按《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255执行。

2 四边支承中空单面夹层玻璃按下列规定计算：

作用于中空单面夹层玻璃上的风荷载标准值可按下列公式分配至三片玻璃上：

1）直接承受风荷载作用的单片玻璃：



2）不直接承受风荷载的夹层玻璃：



式中  —— 中空单片玻璃的厚度（）；

 、 —— 夹层玻璃各单片玻璃的厚度（）。

3 地震作用标准值，根据各单片玻璃的自重，按照《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102的规定计算。

4 三片玻璃可分别根据各自承受的荷载按下式进行应力计算：





 或

式中  —— 参数；

、 —— 分别为风荷载、地震作用下玻璃截面的最大应力标准值（);

、 —— 分别为垂直于玻璃幕墙平面的风荷载、地震作用标准值（);

 —— 矩形玻璃面板短边边长（)；

 —— 玻璃的厚度（)；

 —— 玻璃的弹性模量（)；

 —— 弯矩系数，由玻璃面板短边与长边边长之比a/b 按表5.2.1-1采用；

 —— 折减系数，按表5.2.1-2采用。

**表5.2.1—1 四边支撑玻璃板的弯矩系数m**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| a/b | 0.01 | 0.25 | 0.33 | 0.40 | 0.5 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
| m | 0.125 | 0.123 | 0.118 | 0.1115 | 0.1000 | 0.0934 | 0.0868 | 0.0804 |
| a/b | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.0 | — |
| m | 0.0742 | 0.0683 | 0.0628 | 0.0576 | 0.0528 | 0.0483 | 0.0442 | — |

**表5.2.1—2 折减系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ≤5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|  | 1．00 | 0.96 | 0.92 | 0.84 | 0.78 | 0.73 | 0.68 |
|  | 120 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | ≥400 |
|  | 0.65 | 0.61 | 0.57 | 0.54 | 0.52 | 0.51 | 0.50 |

**表5.2.1—3 四边支撑板的挠度系数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| a/b | 0.00 | 0.20 | 0.25 | 0.33 | 0.5 |
|  | 0.01302 | 0.01297 | 0.01282 | 0.01223 | 0.01013 |
| a/b | 0.55 | 0.6 | 0.65 | 0.70 | 0.75 |
|  | 0.00940 | 0.00867 | 0.00796 | 0.00727 | 0.00663 |
| a/b | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.00 |
|  | 0.00603 | 0.00547 | 0.00496 | 0.00449 | 0.00406 |

5 玻璃挠度可采用等效厚度法或根据三片玻璃各自承受的荷载按下式进行计算：

1. 单片玻璃刚度D按下列公式计算：



式中  —— 玻璃刚度（）；

 —— 玻璃厚度（）；

 —— 泊松比。

1. 玻璃跨中挠度可按几何非线性有限元方法计算，也可按下式计算：



式中  —— 风荷载标准值作用下挠度最大值（）；

 —— 垂直于面板的风荷载标准值（）；

 —— 挠度系数，按表5.2.1—3采用；

 —— 折减系数，按表5.2.1—2采用。

玻璃的等效厚度 可按下式计算：



式中  —— 中空单面夹层玻璃的等效厚度（）；

 —— 中空玻璃单片玻璃厚度（）；

、 —— 夹层玻璃各单片玻璃的厚度（）。

**5.2.2** 其它支撑

1 对边支撑及三边支撑的最大许用跨度计算可按《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113执行；

2 其它异形的面板抗风压设计可采用考虑几何非线性的有限元法进行计算，且最大应力设计值不应超过短期荷载作用下玻璃强度设计值。

## 5.3 点支承

**5.3.1** 四点支承

1 在垂直于幕墙平面的风荷载和地震作用下，四点支撑玻璃面板的应力和挠度：

1）可采用非线性有限元方法计算跨中最大应力、孔边最大应力个跨中最大挠度。

2）也可按《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102执行，但此处应注意：

式中  —— 支撑点间玻璃面板长边边长（）；

 —— 弯矩系数，按表5.3.1—1采用；

 —— 挠度系数，按表5.3.1—2采用；

 —— 折减系数，按本规范表5.2.1—2采用，计算 时，此处公式中 取长边边长；

 —— 按照玻璃等效厚度计算玻璃面板刚度。

3）孔边最大应力设计值不应超过玻璃边缘强度设计值，跨中最大应力设计值应不超过玻璃中部强度设计值，挠度不超过表5.1.5的限值。

**表5.3.1—1 四点支撑玻璃板的弯矩系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0.01 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
|  | 0.125 | 0.126 | 0.127 | 0.129 | 0.130 | 0.132 | 0.134 | 0.136 |
|  | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.00 | — |
|  | 0.138 | 0.140 | 0.142 | 0.145 | 0.148 | 0.151 | 0.154 | — |

**表5.3.1—2 四点支撑玻璃板的挠度系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0.01 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
|  | 0.01303 | 0.01317 | 0.01335 | 0.01367 | 0.01417 | 0.01451 | 0.01496 | 0.01555 |
|  | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.00 | - |
|  | 0.01630 | 0.01725 | 0.01842 | 0.01984 | 0.02157 | 0.02363 | 0.026603 | - |

**5.3.2** 其它点支撑

1 其它支撑的点支承玻璃面板，其抗风压及挠度可采用非线性有限元方法分析计算。

2 其它支撑的点支承非玻璃面板，其抗风压可采用非线性有限元方法分析计算。

**5.3.3** 肋支撑

1 全玻璃幕墙玻璃肋的高度可按下列公式计算：

（双肋）

（单肋）

式中  —— 玻璃肋截面高度（）；

 —— 风荷载设计值（）；

 —— 两肋之间的玻璃面板跨度（）；

 —— 玻璃端面强度设计值（）；

 —— 玻璃肋截面厚度（）；

 —— 玻璃肋上下支点的距离，即计算跨度（）。

2 全玻璃幕墙玻璃肋在风荷载标准值作用下的挠度可按下式计算：

（双肋）

（单肋）

式中  —— 风荷载标准值（）；

 —— 玻璃弹性模量（）

## 5.4 混合支承

**5.4.1** 混合支撑包括：三边简支和一边固定，两边简支和两边固定，两临边简支和两临边固定等。

**5.4.2** 混合支承的单层面板弯曲应力按下列公式计算，取 、 较大者：





式中  —— 平行于 方向面板的应力（）；

 —— 平行于 方向面板中心点的弯矩（），按本标准表5.4.2采用；

 —— 面板厚度（）；

 —— 平行于 方向面板的应力（）；

 —— 平行于 方向面板中心点的弯矩（），按本标准表5.4.2采用；

**表5.4.2-1 均布荷载作用下双向矩形板的弯矩系数**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 弯矩=表中系数 式中用和中较小者 | | | | |
|  | |  | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 0.50 | 0.0965 | 0.0174 | -0.1214 | 0.0584 | 0.0060 |
| 0.55 | 0.0892 | 0.0210 | -0.1188 | 0.0562 | 0.0083 |
| 0.60 | 0.0820 | 0.0243 | -0.1159 | 0.0538 | 0.0105 |
| 0.65 | 0.0750 | 0.0273 | -0.1126 | 0.0512 | 0.0127 |
| 0.70 | 0.0683 | 0.0298 | -0.1089 | 0.0485 | 0.0149 |
| 0.75 | 0.0619 | 0.0318 | -0.1050 | 0.0457 | 0.0168 |
| 0.80 | 0.0560 | 0.0334 | -0.1008 | 0.0428 | 0.0187 |
| 0.85 | 0.0506 | 0.0348 | -0.0965 | 0.0400 | 0.0205 |
| 0.90 | 0.0456 | 0.0359 | -0.0922 | 0.0372 | 0.0221 |
| 0.95 | 0.0410 | 0.0365 | -0.0880 | 0.0345 | 0.0234 |
|  | 1.00 | 0.0368 | 0.0368 | -0.0839 | 0.0318 | 0.0243 |
| 0.95 | 0.0365 | 0.0410 | -0.0881 | 0.0327 | 0.0282 |
| 0.90 | 0.0359 | 0.0456 | -0.0924 | 0.0330 | 0.0323 |
| 0.85 | 0.0348 | 0.0506 | -0.0967 | 0.0328 | 0.0369 |
| 0.80 | 0.0334 | 0.0560 | -0.1011 | 0.0324 | 0.0423 |
| 0.75 | 0.0318 | 0.0619 | -0.1055 | 0.0319 | 0.0485 |
| 0.70 | 0.0298 | 0.0683 | -0.1096 | 0.0309 | 0.0553 |
| 0.65 | 0.0273 | 0.0750 | -0.1133 | 0.0292 | 0.0627 |
| 0.60 | 0.0243 | 0.0820 | -0.1165 | 0.0269 | 0.0707 |
| 0.55 | 0.0210 | 0.0892 | -0.1192 | 0.0240 | 0.0792 |
| 0.50 | 0.0174 | 0.0965 | -0.1215 | 0.0204 | 0.0880 |

**表5.4.2-2 均布荷载作用下双向矩形板的弯矩系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 弯矩=表中系数 式中用和中较小者 | | | | | | |
|  | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.50 | -0.0845 | 0.0414 | 0.0017 | -0.1177 | -0.0782 | 0.0560 | 0.0079 |
| 0.55 | -0.0843 | 0.0408 | 0.0029 | -0.1136 | -0.0779 | 0.0529 | 0.0105 |
| 0.60 | -0.0837 | 0.0400 | 0.0043 | -0.1093 | -0.0776 | 0.0496 | 0.0130 |
| 0.65 | -0.0828 | 0.0391 | 0.0058 | -0.1047 | -0.0773 | 0.0462 | 0.0153 |
| 0.70 | -0.0816 | 0.0380 | 0.0073 | -0.0996 | -0.0768 | 0.0426 | 0.0171 |
| 0.75 | -0.0801 | 0.0366 | 0.0088 | -0.0940 | -0.0759 | 0.0390 | 0.0188 |
| 0.80 | -0.0784 | 0.0350 | 0.0103 | -0.0882 | -0.0746 | 0.0355 | 0.0203 |
| 0.85 | -0.0765 | 0.0335 | 0.0119 | -0.0825 | -0.0731 | 0.0322 | 0.0216 |
| 0.90 | -0.0744 | 0.0319 | 0.0134 | -0.0773 | -0.0714 | 0.0291 | 0.0226 |
| 0.95 | -0.0722 | 0.0302 | 0.0147 | -0.0724 | -0.0696 | 0.0262 | 0.0232 |
|  | 1.00 | -0.0698 | 0.0285 | 0.0158 | -0.0677 | -0.0677 | 0.0234 | 0.0234 |
| 0.95 | -0.0745 | 0.0297 | 0.0189 | -0.0696 | -0.0724 | 0.0232 | 0.0262 |
| 0.90 | -0.0796 | 0.0307 | 0.0225 | -0.0714 | -0.0773 | 0.0226 | 0.0291 |
| 0.85 | -0.0849 | 0.0314 | 0.0267 | -0.0731 | -0.0825 | 0.0216 | 0.0322 |
| 0.80 | -0.0902 | 0.0318 | 0.0316 | -0.0746 | -0.0882 | 0.0203 | 0.0355 |
| 0.75 | -0.0957 | 0.0320 | 0.0374 | -0.0759 | -0.0940 | 0.0188 | 0.0390 |
| 0.70 | -0.1011 | 0.0319 | 0.0442 | -0.0768 | -0.0996 | 0.0171 | 0.0426 |
| 0.65 | -0.1063 | 0.0310 | 0.0519 | -0.0773 | -0.1047 | 0.0153 | 0.0462 |
| 0.60 | -0.1111 | 0.0292 | 0.0604 | -0.0776 | -0.1093 | 0.0130 | 0.0496 |
| 0.55 | -0.1154 | 0.0266 | 0.0697 | -0.0779 | -0.1136 | 0.0105 | 0.0529 |
| 0.50 | -0.1191 | 0.0234 | 0.0790 | -0.0782 | -0.1177 | 0.0079 | 0.0560 |

**表5.4.2-3 均布荷载作用下双向矩形板的弯矩系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | 弯矩=表中系数 式中用和中较小者 | | | | | |
|  | | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.50 | -0.0836 | -0.0563 | 0.0409 | 0.0028 | -0.0826 | -0.0560 | 0.0401 | 0.0038 |
| 0.55 | -0.0826 | -0.0564 | 0.0398 | 0.0041 | -0.0806 | -0.0561 | 0.0385 | 0.0055 |
| 0.60 | -0.0813 | -0.0566 | 0.0385 | 0.0059 | -0.0784 | -0.0562 | 0.0367 | 0.0076 |
| 0.65 | -0.0796 | -0.0569 | 0.0370 | 0.0075 | -0.0759 | -0.0565 | 0.0346 | 0.0096 |
| 0.70 | -0.0774 | -0.0572 | 0.0352 | 0.0091 | -0.0731 | -0.0568 | 0.0322 | 0.0114 |
| 0.75 | -0.0748 | -0.0571 | 0.0333 | 0.0107 | -0.0698 | -0.0564 | 0.0297 | 0.0129 |
| 0.80 | -0.0720 | -0.0568 | 0.0313 | 0.0123 | -0.0661 | -0.0558 | 0.0271 | 0.0143 |
| 0.85 | -0.0691 | -0.0564 | 0.0292 | 0.0138 | -0.0620 | -0.0550 | 0.0246 | 0.0156 |
| 0.90 | -0.0660 | -0.0560 | 0.0270 | 0.0151 | -0.0580 | -0.0540 | 0.0222 | 0.0167 |
| 0.95 | -0.0628 | -0.0556 | 0.0249 | 0.0161 | -0.0543 | -0.0527 | 0.0198 | 0.0173 |
|  | 1.00 | -0.0596 | -0.0551 | 0.0228 | 0.0167 | -0.0511 | -0.0511 | 0.0176 | 0.0176 |
| 0.95 | -0.0626 | -0.0599 | 0.0230 | 0.0193 | -0.0527 | -0.0543 | 0.0173 | 0.0198 |
| 0.90 | -0.0655 | -0.0652 | 0.0231 | 0.0222 | -0.0540 | -0.0580 | 0.0167 | 0.0222 |
| 0.85 | -0.0682 | -0.0710 | 0.0229 | 0.0254 | -0.0550 | -0.0620 | 0.0156 | 0.0246 |
| 0.80 | -0.0706 | -0.0773 | 0.0224 | 0.0289 | -0.0558 | -0.0661 | 0.0143 | 0.0271 |
| 0.75 | -0.0727 | -0.0839 | 0.0214 | 0.0327 | -0.0564 | -0.0698 | 0.0129 | 0.0297 |
| 0.70 | -0.0743 | -0.0907 | 0.0198 | 0.0368 | -0.0568 | -0.0731 | 0.0114 | 0.0322 |
| 0.65 | -0.0755 | -0.0978 | 0.0177 | 0.0411 | -0.0565 | -0.0759 | 0.0096 | 0.0346 |
| 0.60 | -0.0765 | -0.1046 | 0.0153 | 0.0452 | -0.0562 | -0.0784 | 0.0076 | 0.0367 |
| 0.55 | -0.0774 | -01101 | 0.0127 | 0.0492 | -0.0561 | -0.0806 | 0.0055 | 0.0385 |
| 0.50 | -0.0782 | -0.1140 | 0.0098 | 0.0535 | -0.0560 | -0.0826 | 0.0038 | 0.0401 |

## 5.5 其他

**5.5.1** 在垂直于幕墙平面的风荷载和地震作用下，四点支承玻璃面板的应力和挠度：

1 可采用几何非线性的有限元方法计算跨中最大应力、孔边最大应力和跨中最大挠度。

2 也可按公式5.2.3～5.2.7条计算，但此处应注意：

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| a | —— | 支承点间玻璃面板长边边长（mm)； |
| m | —— | 弯矩系数，按表5.2.8-1采用； |
|  | —— | 挠度系数，按表5.2.8-2采用； |
|  | —— | 折减系数，按本规范表5.2.3-2采用，计算时，此处公式中a取长边边长； |
|  | —— | 玻璃面板刚度，按照玻璃等效厚度计算。 |

3 孔边最大应力设计值不应超过玻璃边缘强度设计值，跨中最大应力设计值应不超过玻璃中部强度设计值，挠度不超过表5.1.3的限值。

表5.2.8-1 四点支承玻璃板的弯矩系数m

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| φ | 0.01 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
| m | 0.125 | 0.126 | 0.127 | 0.129 | 0.13 | 0.132 | 0.134 | 0.136 |
| φ | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.0 | — |
| m | 0.138 | 0.14 | 0.142 | 0.145 | 0.148 | 0.151 | 0.154 | — |

注：为支承点之间的短边与长边边长之比。

表5.2.8-2 四点支承玻璃板的挠度系数μ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| φ | 0.01 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
| µ | 0.01303 | 0.01317 | 0.01335 | 0.01367 | 0.01417 | 0.01451 | 0.01496 | 0.01555 |
| φ | 0.70 | 0.75 | 0.8 | 0.85 | 0.9 | 0.95 | 1.0 | — |
| µ | 0.0163 | 0.01725 | 0.01842 | 0.01984 | 0.02157 | 0.02363 | 0.02603 | — |

注：为支承点之间的短边与长边边长之比。

**5.5.2** 非四点支承的点支承玻璃面板，其应力和挠度可采用考虑几何非线性的有限元方法分析计算。

**5.5.3** 全玻幕墙玻璃面板通过胶缝与玻璃肋连接时，可作为支承于玻璃肋的单向简支板设计。面板为单片玻璃时，其应力与挠度可分别按本规范第5.2.3条和第5.2.4条的规定计算，公式中的a值应取为玻璃面板的跨度，系数m和μ可分别取为0.125和0.013；面板为夹层玻璃或中空玻璃时，尚应符合本规范第5.2.5条或5.2.6条的规定。

**5.5.4** 竖向隐框、半隐框玻璃幕墙中玻璃和铝框之间硅硐结构密封胶的计算，应符合下列规定：

1 粘结宽度，应根据受力情况分别按下列规定计算。

（非抗震设计时，可取第1、3款计算的较大值；抗震设计时，可取第2、3款计算的较大值。）

1） 在风荷载作用下，粘接宽度应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.4-1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 硅酮结构密封胶的粘接宽度（mm)； |
|  | —— | 作用在计算单元上的风荷载设计值（kN/m2)； |
|  | —— | 矩形玻璃板的短边长度（mm)； |
|  | —— | 硅酮结构密封胶在风荷载或地震作用下的强度设计值，取0.2N/mm2。 |

2） 在风荷载和水平地震作用下，粘接宽度应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.4-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 作用在计算单元上的地震作用设计值（kN/m2)。 |

3） 在永久荷载作用下，粘接宽度应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.4-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 幕墙玻璃单位面积重力荷载设计值（kN/m2)； |
|  | —— | 分别为矩形玻璃板的短边和长边长度（mm)； |
|  | —— | 硅酮结构密封胶在永久荷载作用下的强度设计值，取0.01N/mm2。 |

**2** 粘结厚度，应按下列规定计算。

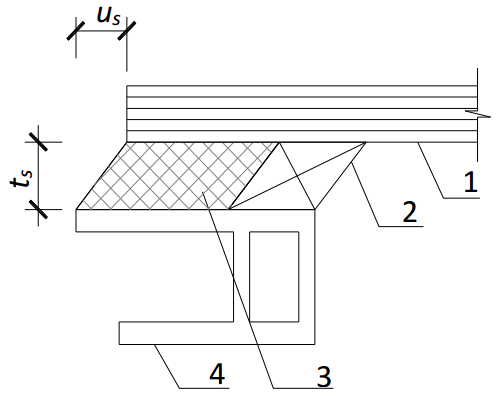


图9.2.1-1 硅酮结构密封胶粘接厚度示意

1—玻璃面板；2—双面胶条；3—结构硅酮密封胶；4—窗框

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.4-4） |
|  | （5.5.4-5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 硅酮结构密封胶的粘接厚度（mm)； |
|  | —— | 风荷载或多遇烈度地震标准值作用下主体结构的楼层弹性层间位移角限值（rad)； |
|  | —— | 玻璃相对于窗框的位移（mm)，即硅硐结构密封胶沿厚度方向产生的剪切位移； |
|  | —— | 硅酮结构密封胶拉伸粘接性能试验中受拉应力为0.14N/mm2时的伸长率； |
|  | —— | 主体结构侧移时，面板的转动角； |
|  | —— | 位移折减系数，取0.60； |
|  | —— | 玻玻璃面板高度（mm)。 |

当硅酮结构胶计算厚度＞12mm时，可考虑隐框面板安装间隙的影响，按公式5.2.11-6计算其吸收主体结构层间位移的能力，按公式5.2.11-7计算，再按公式5.2.11-4重新计算硅酮结构胶的厚度，满足时，取。

按公式5.2.11-6取值后，硅酮结构胶计算厚度仍大于12mm时，可调整和，使其满足硅酮结构胶计算厚度，并取。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.4-6） |
|  | （5.5.4-7） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 位移折减系数，取0.80； |
|  | —— | 矩形玻璃板块竖向边长（mm)； |
|  | —— | 矩形玻璃板块横向边长（mm)； |
|  | —— | 玻璃副框与左右边框（压板）的最小平均间隙（mm)，应计入施工偏差值1.5mm； |
|  | —— | 玻璃副框与上下边框的平均间隙（mm)，应计入施工偏差值1.5mm。 |

6 支承结构计算

6.1 一般规定

**6.1.1** 框支承结构的挠度限值应符合下列要求：

**1** 铝合金构件挠度限值应不大于计算跨度的1/180；

**2** 钢构件挠度限值应不大于计算跨度的1/250；

**3** 横梁在自重荷载标准值作用下的挠度应不大于计算跨度的1/500，且不大于3mm；

**4** 铝合金和钢构件计算跨度不大于15m时绝对挠度不大于30mm，计算跨度大于15m时挠度应不大于计算跨度的1/500；

**5** 悬挑结构的计算跨度应取其悬挑长度的2倍。

**6.1.2** 在风荷载标准值作用下，玻璃肋的挠度限值应取其计算跨度的1/300，钢板肋的挠度限值应取其计算跨度的1/250，其他材料的肋支承结构挠度限值应按相应规范取值。

**6.1.3** 索结构的挠度限值应符合下列规定：

**1** 幕墙平面单索、索网和索桁架支承体系在风荷载作用下的最大挠度与跨度之比不宜大于1/50，其他索支承结构的最大挠度与跨度之比不宜大于1/200；

**2** 采光顶索支承结构的最大挠度与跨度之比不宜超过1/200。

**6.1.4** 桁架结构挠度限值应符合下列规定：

**1** 钢桁架或空腹桁架在荷载标准值作用下，计算跨度*L*不大于15m时挠度不应大于*L*/250，计算跨度*L*大于15m时挠度不应大于*L*/500；

**2** 钢桁架或空腹桁架在竖向自重荷载标准值作用下，挠度应不大于计算跨度的1/400；

**3** 悬挑桁架的计算跨度应取其悬挑长度的2倍；

**4** 索杆桁架的挠度应不大于其支承点距离的1/200。

**6.1.5** 膜结构的变形应符合下列规定：

**1** 膜面的相对法向位移不应大于膜单元名义尺度的1/15；

**2** 对于整体张拉式和索系支承式膜结构，其最大位移在第一类荷载效应组合下不宜大于跨度的1/250或悬挑长度的1/125；在第二类荷载效应组合下不宜大于跨度的1/200或悬挑长度的1/100；

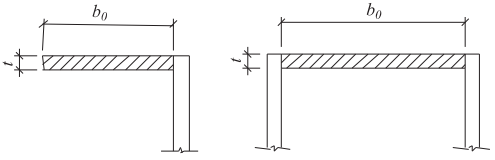
**3** 对于桅杆顶点，在第二类荷载效应组合下，其侧向位移值不宜大于桅杆长度的1/250；

**4** 对于骨架支承式膜结构，其骨架最大位移应符合有关骨架结构设计标准的规定。

6.2 框支承结构

**6.2.1** 型材主要受力部位的厚度，应符合下列规定：

**1** 横梁及偏心受压立柱截面自由挑出部位（图6.2.1*a）*和双侧加劲部位（图6.2.1*b）*的宽厚比*b0/t*应满足表6.2.1的要求或符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429及《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018的规定。



（*a*） （*b*）

图6.2.1 截面部位示意

表6.2.1 截面宽厚比b0/t限值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 截面部位 | 铝型材 | | | | 钢型材 | |
| 6063-T5 | 6063A-T5 | 6063-T6  6063A-T6 | 6061-T6 | Q235 | Q355 |
| 自由挑出 | 17 | 15 | 13 | 12 | 15 | 12 |
| 双侧加劲 | 50 | 45 | 40 | 35 | 40 | 33 |

注：表中数值为上限。

**2** 铝合金横梁跨度不大于1.2m时，其截面主要受力部位的厚度应不小于2.0mm；跨度大于1.2m时，其截面主要受力部位的厚度应不小于2.5mm；

**3** 铝型材立柱截面开口部位的厚度应不小于3.0mm，闭口部位的厚度不应小于2.5mm；

**4** 钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于3.0mm，处于潮湿或腐蚀条件下的钢型材厚度可按计算厚度增加1.0mm；

**5** 型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受力连接时，其截面厚度不宜小于螺钉的公称直径*d*，不应小于0.8*d*。不满足时可对型材局部加强，局部加强的宽度不应小于2.5*d*。

**6.2.2** 明框幕墙固定面板的压板应连续条形布置，压板不得单边悬空。压板与幕墙框架宜采用不锈钢材质的螺钉或螺栓连接，并按计算确定螺钉或螺栓直径与数量。螺钉或螺栓直径不应小于5mm，间距不大于400mm。

**6.2.3** 横梁与立柱宜采用铰接的连接构造，并符合下列规定：

**1** 采用钢销钉或弹簧销钉连接时，销钉直径不应小于6.0mm，销钉材质宜为不锈钢，插销处铝合金立柱局部壁厚不应小于销钉的公称直径。

**2** 横梁与立柱采用角码连接时，每个连接点的螺钉或螺栓不应少于2个，横梁为开口型材时宜不少于3个。角码壁厚不应小于被连接横梁和立柱中较大者的壁厚，且不小于0.8*d*。螺钉或螺栓直径*d*不应小于6mm，不应采用沉头、半沉头螺钉或螺栓。

**6.2.4** 钢横梁与钢立柱采用焊接连接时，每间隔12m应设一处水平向滑移铰接端，同一区段内横梁和立柱的连接构造应一致。

**6.2.5** 横梁、立柱截面宜为封闭矩形，当采用开口截面型材时，应按薄壁弯扭构件设计和计算。

**6.2.6** 立柱宜采用上端悬挂方式。当采用层内长短双跨连续梁形式时，长短跨比不宜大于10。立柱下端支承时，应作压弯构件设计，对受弯平面内和平面外作受压稳定验算。

**6.2.7** 构件式幕墙上、下立柱的连接插芯宜采用与立柱相同的材质。插芯一端与立柱固定连接，另一端应能滑动伸缩。插芯单端与立柱的结合长度不应小于型材长边边长，且不小于120mm。插芯应有足够的刚度，壁厚不应小于立柱的壁厚。

**6.2.8** 单元板块上端悬挑长度可取不大于支点至单元板块下端长度的 1/10，且不宜大400mm；单元板块下端悬挑长度不宜大于400mm。

**6.2.9** 横梁受弯承载力计算，应符合下列规定：

**1** 对称截面横梁受弯承载力可按下列公式计算：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.2.9） |
| 式中： |  | —— | 横梁绕截面x轴（平行于幕墙平面方向）的弯矩设计值（N·mm)； | | |
|  |  | —— | 横梁绕截面y轴（垂直于幕墙平面方向）的弯矩设计值（N·mm)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面绕截面x轴（幕墙平面内方向）的净截面最小抵抗矩（mm3)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面绕截面y轴（幕墙平面内方向）的净截面最小抵抗矩（mm3)； | | |
|  |  | —— | 塑性发展系数，弱硬化铝型材取1.0，强硬化铝型材和钢型材取1.05； | | |
|  |  | —— | 型材的强度设计值（N/mm2)。 | | |

**2** 非对称截面横梁应按斜弯曲或弯扭构件计算，开口薄壁横梁应按弯扭构件计算。

**6.2.10** 横梁截面受剪承载力应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.2.10-1） |
|  | | | | （6.2.10-2） |
| 式中： |  | —— | 横梁水平方向（x轴）的剪力设计值（N)； | | |
|  |  | —— | 横梁竖直方向（y轴）的剪力设计值（N)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面绕x轴的毛截面最大面积矩（mm3)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面绕y轴的毛截面最大面积矩（mm3)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面绕x轴的毛截面惯性矩（mm4)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面绕y轴的毛截面惯性矩（mm4)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面垂直于x轴腹板的截面总宽度（mm)； | | |
|  |  | —— | 横梁截面垂直于y轴腹板的截面总宽度（mm)； | | |
|  |  | —— | 型材抗剪强度设计值（N/mm2)。 | | |

**6.2.11** 承受轴向拉力和弯矩作用的立柱，其承载力应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.2.11） |
| 式中： |  | —— | 立柱的轴力设计值（N)； | | |
|  |  | —— | 立柱的弯矩设计值（N·mm)； | | |
|  |  | —— | 立柱的净截面面积（mm2)； | | |
|  |  | —— | 立柱在弯矩作用方向的净截面最小抵抗矩（mm3)； | | |
|  |  | —— | 塑性发展系数，弱硬化铝型材取1.0，强硬化铝型材和钢可取1.05； | | |
|  |  | —— | 型材的强度设计值 (N/mm2)。 | | |

**6.2.12** 承受轴压力和弯矩作用的立柱，其在弯矩平面内的稳定性应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.2.12-1） |
|  | | | | （6.2.12-2） |
|  | | | | （6.2.12-3） |
|  | | | | （6.2.12-4） |
| 式中： |  | —— | 立柱的轴压力设计值（N)； | | |
|  |  | —— | 临界轴压力（N)； | | |
|  |  | —— | 立柱的最大弯矩设计值（N·mm)； | | |
|  |  | —— | 弯矩作用平面内的轴心受压稳定系数，可按表6.2.12采用； | | |
|  |  | —— | 立柱的毛截面面积（mm2)； | | |
|  |  | —— | 在弯矩作用方向上较大受压侧的毛截面抵抗矩（mm3)； | | |
|  |  | —— | 长细比； | | |
|  |  | —— | 计算长度(mm)，两端简支=L，一端简支一端固结=0.7L，两端固结=0.5L，悬臂式立柱=2L，L为立柱支承长度； | | |
|  |  | —— | 核心半径（mm)； | | |
|  |  | —— | 塑性发展系数，弱硬化铝型材取1.0，强硬化铝型材和钢可取1.05； | | |
|  |  | —— | 型材的强度设计值 (N/mm2)； | | |
|  |  | —— | 受弯平面内的截面惯性矩（mm4)。 | | |

表6.2.12 轴心受压柱的稳定系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 长细比或特征值 | 铝 型 材 | | 钢 型 材 | |
| 钢：长细比  铝： | 6060-T5  6063-T5  6063A-T5 | 6061-T6  6063-T6  6063A-T6 | Q235 | Q355 |
| 20  40  60  80  90  100  110  120  130  140  150 | 0.90  0.73  0.51  0.34  0.28  0.23  0.20  0.17  0.15  0.13  0.11 | 0.95  0.82  0.58  0.38  0.31  0.25  0.21  0.18  0.16  0.14  0.12 | 0.97  0.90  0.81  0.69  0.62  0.56  0.49  0.44  0.39  0.35  0.31 | 0.96  0.88  0.73  0.58  0.50  0.43  0.37  0.32  0.28  0.25  0.21 |

注：——铝合金材料的规定非比例伸长应力，也称为名义屈服强度。

**6.2.13** 承受轴压力和弯矩作用的立柱，其长细比不应大于150。

**6.2.14** 钢铝组合截面立柱设计：

**1** 钢铝组合截面中，不参与组合截面共同工作的铝材部分，仍须按实际受力状况进行局部受力和连接部位计算。

**2** 钢铝共同工作的组合截面强度计算，可按刚度分配原理，分别按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.2.14-1） |
|  | （6.2.14-2） |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 作用在立柱上的荷载值（N/mm)； |
|  |  | —— | 组合截面上铝材承受的荷载值（N/mm)； |
|  |  | —— | 组合截面上钢材承受的荷载值（N/mm)； |
|  |  | —— | 铝材的弹性模量（N/mm2)； |
|  |  | —— | 钢材的弹性模量（N/mm2)； |
|  |  | —— | 组合截面中铝材独立的截面惯性距（mm4)； |
|  |  | —— | 组合截面中钢材独立的截面惯性距（mm4)； |
|  |  | —— | 调整系数取1.05。 |

**3** 钢铝共同工作的组合截面，应按式6.2.14-3~6.2.14-7计算型材间的剪力传递，并按计算要求设置抗剪螺栓或螺钉，如图6.2.14所示。



图6.2.14 抗剪连接示意

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.2.14-3） |
|  | （6.2.14-4） |
|  | （6.2.14-5） |
|  | （6.2.14-6） |
|  | （6.2.14-7） |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 作用在钢铝截面上的剪力值（N)； |
|  |  | —— | 铝合金型材截面积（mm2)； |
|  |  | —— | 钢型材截面积（mm2)； |
|  |  | —— | 铝合金型材截面惯性矩（mm4)； |
|  |  | —— | 钢型材截面惯性矩（mm4)； |
|  |  | —— | 铝合金弹性模量（N/mm2)； |
|  |  | —— | 钢弹性模量（N/mm2)； |
|  |  | —— | 铝合金型材形心与钢铝截面形心距离（mm)； |
|  |  | —— | 铝合金型材形心与钢型材形心距离（mm)。 |

**4** 钢铝组合截面立柱的挠度限值按钢型材取用。

**6.2.15** 单元式幕墙相邻两单元间采用对接式组合构件时，对接处横梁与立柱应分别按其所承受的荷载和作用计算。

**6.2.16** 单元式幕墙采用插接式组合构件设计时，立柱的荷载分配：

**1** 左、右立柱间有确保协同变形的构造措施，可根据下式进行荷载分配后按各自承担的荷载及作用分别计算。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.2.16-1） |
|  | | | | （6.2.16-2） |
| 式中： |  | —— | 作用在单元组合立柱上的线荷载标准值（N/mm)； | | |
|  |  | —— | 分配到左、右立柱上的线荷载标准值（N/mm)； | | |
|  |  | —— | 左、右立柱沿计算方向的毛截面惯性矩（mm4)。 | | |

**2** 左、右立柱间无确保协同变形的构造措施时，应根据各自承担的荷载及作用计算。

**6.2.17** 上、下单元板块的荷载传递应符合下列规定：

**1** 复核顶横梁、水槽料承载能力时，应考虑相邻上单元板块传递的荷载。水槽料最小长度可按式6.2.17-1计算，水槽料传递相邻单元板块荷载作用的承载力设计值可按式6.2.17-2计算。



图6.2.17 水槽受力示意图

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.2.17-1） |
|  | | | | （6.2.17-2） |
| 式中： |  | —— | 公、母立柱插接后宽度（mm)； | | |
|  |  | —— | 水槽料顶部距底部高度（mm)； | | |
|  |  | —— | 水槽料底部壁厚（mm)； | | |
|  |  | —— | 水槽料型材抗拉强度设计值（N/mm2)。 | | |

**2** 复核顶横梁和立柱螺钉群连接时，应计入相邻上单元板块传递的荷载。螺钉群受扭的扭转中心可假定为螺钉群中心。

**3** 上、下单元板块错缝布置时，宜在上单元立柱插接部位的顶横梁内增设水槽料或能有效传递荷载的构件，必要时应增加顶横梁的刚度。

**6.2.18** 立柱应验算仅在水平荷载作用下的整体稳定。可按《铝合金结构设计规范》GB 50429和《钢结构设计标准》GB 50017的规定验算。梁柱双向滑动连接、销钉连接不能作为立柱的侧向约束。

**6.2.19** 开口型材的整体稳定性可采用有限元方法计算，也可根据《铝合金结构设计规范》GB 50429计算。

**6.2.20** 在建筑物平面转角或突变处的立柱，应考虑最不利荷载和作用的组合，对立柱截面最小抵抗矩和最小惯性矩方向作补充验算和校核，满足相应极限状态的要求。转角立柱验算考虑横梁的拉接作用与相邻区域立柱整体计算时，相邻区域立柱的选取单方向不宜超过3根。

6.3 肋支承结构

**6.3.1** 肋支承玻璃幕墙宜采用吊挂在主体结构上的构造形式。当采用下端支承时，不同厚度的玻璃允许最大高度应符合表6.3.1的规定。

表6.3.1 下端支承时幕墙玻璃的允许最大高度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 玻璃厚度（mm) | 10，12 | 15 | 19 |
| 最大高度（m) | 4.0 | 5.0 | 6.0 |

**6.3.2** 单片玻璃厚度宜不小于10mm，夹层玻璃单片厚度应不小于8mm。

**6.3.3** 肋支承玻璃幕墙的玻璃肋宜采用夹层玻璃，开孔玻璃肋应采用钢化夹层玻璃。玻璃肋的截面厚度应不小于12mm，截面高度应不小于100mm。

**6.3.4** 肋支承玻璃幕墙的金属肋应按本标准第6.2节相关规定进行强度和挠度验算，受弯和压弯构件尚应验算板件宽厚比及稳定性。

**6.3.5** 支撑吊挂式肋支承玻璃幕墙的主体结构或结构构件应有足够的刚度，每块玻璃应吊挂在同一结构体上；当采用钢桁架或钢梁作为受力构件时，在竖向荷载作用下，最大挠度不应超过其跨度的1/400；在水平荷载作用下，最大挠度不应超过其跨度的1/250。

**6.3.6** 吊挂式肋支承玻璃幕墙的吊夹与主体结构间应设置刚性水平传力结构，吊夹应符合现行行业标准《吊挂式玻璃幕墙支承装置》JG139的有关规定。单个吊夹每侧夹板与玻璃间的接触面积不得小于30mm×100mm。中空玻璃宜采用玻璃开孔的结构悬挂。

**6.3.7** 采用金属件连接的玻璃肋，应符合下列规定：

**1**金属件厚度应不小于6mm；

**2**普通螺栓不应小于M10，摩擦型螺栓不宜小于M12；

**3**连接螺栓、不锈钢板不应与玻璃直接接触。玻璃与钢连接件之间宜采用软铝衬垫材料；

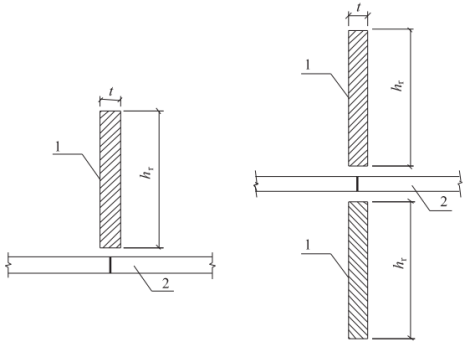
**4**摩擦型螺栓连接的不锈钢板与玻璃之间衬垫不应采用塑料、橡胶材料，应使用厚度不小于3mm的软铝；

**5**摩擦型螺栓连接的螺栓杆不应与玻璃直接接触，宜在螺栓杆外套塑料、橡胶及铝等软质材料；

**6**摩擦型螺栓连接的玻璃和不锈钢板之间或不锈钢板与衬垫之间不宜采用环氧树脂胶粘接。

**6.3.8** 面板玻璃通过胶缝与支承肋连接时，面板可按支承于肋的单向简支板设计。其应力与挠度可按本标准第5.2节的规定计算，公式中的*a*值应取为玻璃面板的跨度，系数*m*和*μ*可分别取0.125和0.013。

**6.3.9** 玻璃肋的截面高度hr （图6.3.9）可按下列公式计算：



(a) 单肋 (b) 双肋

图6.3.9全玻璃幕墙玻璃肋截面尺寸示意

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.9-1） |
|  | （6.3.9-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 玻璃肋截面高度（mm)； |
|  | —— | 幕墙承受的最不利荷载组合设计值（N/mm2)； |
|  | —— | 两肋之间的玻璃面板跨度（mm)； |
|  | —— | 玻璃端面强度设计值（N/mm2)； |
|  | —— | 玻璃肋截面总厚度（mm)； |
|  | —— | 玻璃肋上、下支点的距离，即计算跨度（mm)。 |

**6.3.10** 夹层玻璃肋的等效截面厚度，应按下列规定计算：

**1** 面内受弯时，夹层玻璃肋的等效截面厚度可取各片玻璃厚度之和。

**2** 矩形夹层玻璃肋绕弱轴受力的等效截面厚度可按式6.3.10-1~6.3.10-5计算：

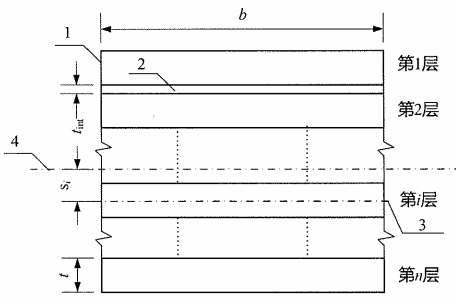


图6.3.10 夹层玻璃截面示意

1——玻璃层；2——中间层；3——第*i*层玻璃的中性轴；4——截面的中性轴

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.10-1） |
|  | （6.3.10-2） |
|  | （6.3.10-3） |
|  | （6.3.10-4） |
|  | （6.3.10-5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 矩形夹层玻璃肋绕弱轴受力的等效厚度（mm)； |
|  | —— | 单片玻璃板厚度（mm)； |
|  | —— | 玻璃板层数； |
|  | —— | 代表截面组合程度的无量纲参数； |
|  | —— | 玻璃弹性模量（N/mm2)； |
|  | —— | 中间层胶片厚度（mm)； |
|  | —— | 中间层胶片剪切模量（N/mm2)； |
|  | —— | 夹层玻璃垂直于计算跨度方向的边长（mm)； |
|  | —— | 夹层玻璃构件的计算跨度（mm)，四边支承时取短边跨度； |
|  | —— | 单片玻璃板截面面积（mm2)； |
|  | —— | 单片玻璃绕弱轴截面惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 夹层玻璃截面完全组合对应的绕弱轴截面惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 荷载及边界条件相关系数，均布荷载作用下可取9.88，集中荷载作用下可取10.00。 |

**6.3.11** 玻璃肋在风荷载标准值作用下的挠度可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.11-1） |
|  | （6.3.11-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 风荷载标准值作用下的挠度（mm)； |
|  | —— | 风荷载标准值（N/mm2)； |
|  | —— | 玻璃弹性模量（N/mm2)。 |

**6.3.12** 面内受弯玻璃肋截面抗弯承载力应按下式计算：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | （6.3.12） |
| 式中： |  | —— | 面内弯矩设计值（N·mm)； | | |
|  |  | —— | 面内弯曲截面模量（mm3)； | | |
|  |  | —— | 玻璃端面强度设计值（N/mm2)。 | | |

**6.3.13** 面内受弯玻璃肋，高度大于8m时宜进行整体稳定性验算，高度大于12m时应进行整体稳定性验算。当玻璃肋整体稳定性验算不满足要求时，应设置水平玻璃肋或水平金属杆等防止侧向失稳的构造措施。

**6.3.14** 面内受弯玻璃肋的整体稳定性验算，应符合下列规定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.14） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 面内弯矩设计值（N·mm)； |
|  | —— | 面内弯曲截面模量（mm3)； |
|  | —— | 面内受弯构件整体稳定性系数，按6.3.15条计算； |
|  | —— | 玻璃边缘强度设计值（N/mm2)。 |

**6.3.15** 面内受弯构件的整体稳定性系数可按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.15-1） |
|  | （6.3.15-2） |
|  | （6.3.15-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 面内受弯构件的整体稳定性系数，当计算结果大于1.0时取1.0； |
|  | —— | 初始缺陷系数，矩形截面构件在短期荷载、中期荷载、长期荷载作用下，分别取0.45、0.64、0.84； |
|  | —— | 面内受弯构件的正则化长细比； |
|  | —— | 玻璃边缘强度标准值（N/mm2)； |
|  | —— | 面内受弯构件的弹性屈曲临界荷载（N·mm)。 |

**6.3.16** 面内受弯矩形截面玻璃构件进行非线性二阶分析时，构件初始几何缺陷可按表6.3.16采用。

表6.3.16 面内受弯矩形截面玻璃构件初始几何缺陷值

|  |  |
| --- | --- |
| 玻璃材料 |  |
| 平板玻璃 | *L*/360 |
| 半钢化玻璃 | *L*/300 |
| 钢化玻璃 | *L*/240 |

注： *L*为构件的计算跨度。

**6.3.17** 压弯构件的轴压比设计值不应大于0.5，轴压比设计值应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.17-1） |
|  | （6.3.17-2） |
|  | （6.3.17-3） |
|  | （6.3.17-4） |
|  | （6.3.17-5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 压弯构件的轴压比设计值； |
|  | —— | 轴力设计值（N)； |
|  | —— | 轴心受压构件整体稳定系数； |
|  | —— | 轴心受压构件的初始缺陷系数，矩形截面构件在短期荷载、中期荷载、长期荷载作用下分别取0.52、0.73、0.97； |
|  | —— | 系数，矩形截面构件在短期荷载、中期荷载、长期荷载作用下分别取0.73、0.68、0.63； |
|  | —— | 玻璃构件的截面总面积（mm2)； |
|  | —— | 玻璃边缘强度设计值（N/mm2)； |
|  | —— | 玻璃边缘强度标准值（N/mm2)； |
|  | —— | 轴心受压构件的弹性屈曲临界荷载（N)； |
|  | —— | 夹层玻璃截面绕弱轴的等效惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 玻璃肋的计算跨度（mm)。 |

**6.3.18** 受压-面内受弯构件截面弯矩设计值和轴力设计值应符合下式规定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.18） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 轴力设计值（N)； |
|  | —— | 面内弯矩设计值（N·mm)； |
|  | —— | 面内弯曲截面模量（mm3)； |
|  | —— | 指数，当为短期荷载作用时取1.5，其他情况取1.0； |
|  | —— | 面内受弯构件整体稳定性系数； |
|  | —— | 轴心受压构件整体稳定系数； |
|  | —— | 玻璃构件的截面总面积（mm2)； |
|  | —— | 玻璃边缘强度设计值（N/mm2)。 |

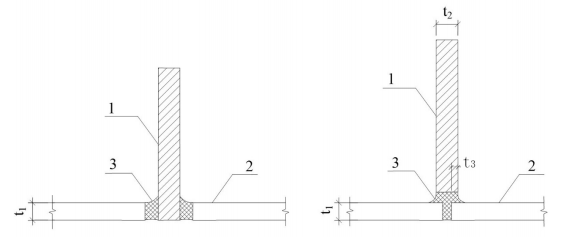
**6.3.19** 肋支承玻璃幕墙转角部位玻璃面板计算应符合下列规定：

1 玻璃面板与其相邻面板间夹角时，可视为其相邻面板的支承肋，面板计算时应同时考虑平面内和平面外荷载作用。玻璃面板顶底连接应有平面内限位措施。

2 玻璃面板与其相邻面板间夹角，转角位置应设置玻璃肋，如未设置玻璃肋，玻璃面板转角位置竖向边按无约束支撑考虑。

**6.3.20** 肋支承玻璃幕墙采用胶缝传力时，必须采用硅酮结构密封胶。

**6.3.21** 肋支承玻璃幕墙胶缝设计应符合下列规定：



(a) 玻璃肋与玻璃面板平齐（或突出） (b) 玻璃肋后置或骑缝

图6.3.21玻璃肋平面示意

1 —玻璃肋； 2 —玻璃面板； 3 —结构胶

**1** 玻璃肋与玻璃面板平齐或突出：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.21-1） |

**2** 玻璃肋后置或骑缝：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.21-2） |
|  | （6.3.21-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 垂直于玻璃面板的分布荷载设计值（N/mm2)； |
|  | —— | 两肋之间的玻璃面板跨度（mm)； |
|  | —— | 胶缝宽度，取玻璃面板截面厚度（mm)； |
|  | —— | 胶缝宽度，取玻璃肋截面厚度（mm)； |
|  | —— | 玻璃面板与肋的搭接长度（mm)，不应小于5mm； |
|  | —— | 硅酮结构密封胶在短期荷载作用下的强度设计值，取0.2 N/mm2。 |

**3** 胶缝宽度不满足本条第1、2款要求时，可采取附加玻璃板条或不锈钢条等措施，加大胶缝宽度；

**4** 在胶缝受剪状态下，玻璃自重不应由结构胶单独承受。

**6.3.22** 采用金属件连接的玻璃肋，连接接头应能承受截面的弯矩设计值和拉、压、剪力设计值。

**6.3.23** 吊挂式全玻璃幕墙的玻璃肋采用玻璃孔内螺栓传递荷载时，应计算螺栓受剪和玻璃孔壁承压，同时应验算孔内填充材料的抗挤压强度。

**6.3.24** 螺栓连接孔壁承压应符合下列规定：

**1**玻璃孔壁承压应按下式验算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.24-1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 吊挂节点或连接节点各孔中受力最大孔的径向作用力（N)，应考虑拉压弯剪的共同作用； |
|  | —— | 孔径（mm)，宜取螺栓直径的1.40倍； |
|  | —— | 玻璃厚度（mm)，多片玻璃粘合时取各单片厚度之和； |
|  | —— | 玻璃端面强度设计值（N/mm2)； |
|  | —— | 玻璃孔螺栓传力折减系数，取0.7； |
|  | —— | 孔加工及合片精度折减系数，双片玻璃取0.85，多片玻璃取0.80。 |

**2** 玻璃孔内填充材料抗挤压应按下式验算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.24-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 吊挂节点或连接节点各孔中受力最大孔的径向作用力（N)，应考虑拉压弯剪的共同作用； |
|  | —— | 螺栓直径 (mm)； |
|  | —— | 填充材料的承压宽度（mm)； |
|  | —— | 填充材料的抗挤压强度设计值（N/mm2)，确定填充材料的抗挤压强度设计值时，总安全系数不宜小于3.0。 |

**3** 采用螺栓承力的吊挂式全玻璃幕墙，应按本条第1、2款验算仅在面板和肋自重作用下的孔壁承压，N值计算时荷载系数取1.3，*fgd*取长期荷载玻璃端面强度设计值。

**6.3.25** 螺栓抗剪强度应按下式验算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.25） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 吊挂节点或连接节点各孔中受力最大孔的径向作用力（N)，应考虑拉压弯剪的共同作用； |
|  | —— | 单个螺栓的净截面积（mm2)； |
|  | —— | 螺栓抗剪强度设计值（N/mm2)。 |

**6.3.26** 玻璃结构摩擦型螺栓连接可按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017规定的有关方法进行计算。计算时，玻璃孔的孔型系数宜按大孔考虑，不锈钢板与衬垫材料间的抗滑移系数应大于衬垫材料与玻璃间的抗滑移系数，两者的抗滑移系数应通过试验确定。

6.4 索结构

**6.4.1** 支承玻璃幕墙的索结构设计应符合下列规定：

**1** 索结构用于支承玻璃幕墙时，可采用单层索系或双层索系。单层索系宜采用单索、平面索网或曲面索网，双层索系宜采用索桁架；

**2** 当索结构用于支承玻璃采光顶时，可采用单层索系、双层索系或张弦结构。单层索系宜釆用曲面索网，双层索系宜采用平行布置或辐射布置索桁架，张弦结构宜采用张弦拱；

**3** 应防止各种荷载组合下由于索松弛引起的结构失效；

**4** 若索保护层的使用年限低于结构设计使用年限，应考虑索更换的可行性；

**5** 拉索宜采用不锈钢绞线或高强度钢绞线，钢绞线的钢丝直径宜不小于1.2mm，不锈钢钢绞线的钢丝直径不宜大于5.0 mm，钢绞线直径宜不小于8.0 mm；

**6** 拉索幕墙的连续索交叉节点处，夹具与索体之间的摩擦力应大于夹具两侧索体的最大索力差，必要时应通过试验验证；

**7** 钢绞线拉索折线处可设置锚具或连续穿孔，连续穿孔处应采用弧形过渡；

**8** 拉杆和拉索索体及与外部连接均不得焊接。直径不大于30 mm的拉索可采用冷挤压锚具连接，直径大于30 mm的拉索宜采用热铸锚锚具连接；

**9** 拉索连接主体结构的耳板焊缝质量等级不应低于二级，设计文件应明确焊接及检测要求。

**6.4.2** 支承玻璃幕墙的索结构计算应符合下列规定：

**1** 应分别对初始状态和工作状态进行分析；

**2** 应充分考虑施工工况、断索、主体结构变形及支座不均匀沉降等因素的影响，宜采用包含支承结构的整体模型；

**3** 对于刚性索结构，工作状态可采用线弹性方法进行分析；对于半刚性索结构和柔性索结构，工作状态应采用几何非线性方法进行分析；

**4** 采用几何非线性方法进行分析时，应在结构初始状态的基础上按组合荷载计算结构的工作状态；

**5** 考虑温度作用时，应首先计算其他荷载组合下的平衡状态，在此基础上计算温度作用效应，温差取张拉阶段与使用阶段的最大绝对值；

**6** 索结构的拉索和拉杆应只能承受拉力，不能承受压力和弯矩。

**6.4.3** 索结构应首先进行初始状态分析，以确定初始状态时的结构内力分布和对应的几何。初始状态分析应符合下列规定：

**1** 几何宜以图纸几何为目标几何；

**2** 应考虑索结构施工张拉过程的影响，对索结构进行施工过程分析时可按初始状态预张力的标准值和结构重力标准值进行计算；

**3** 按承载能力极限状态验算时，索结构初始状态的预张力应取设计值；按正常使用极限状态验算时，初始状态预张力应取标准值；

**4** 对于索杆体系，可采用非线性有限单元法、动力松弛法等数值方法计算，也可通过建立结构的节点平衡方程直接计算；对于初始状态几何给定的索桁架等体系，可采用最小二乘法计算；对于初始状态几何待定的索网等体系，可采用力密度法求解；

**5** 对于刚性索梁体系，可在图纸几何基础上建立模型，采用线性有限单元法计算；对于半刚性和柔性索梁体系，可按零状态几何或图纸几何建立模型，采用非线性迭代计算；

**6** 对于索梁和索杆的混合体系，可对体系中不随主动索张拉产生协调变形的索段或杆件单元假定温度、原长、刚度等，采用非线性有限单元法迭代计算。

**6.4.4** 设计要求考虑初始状态拉索垂度对结构外观的影响时，可按下式选用拉索预张力以控制拉索的垂度：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.4.4） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 拉索的预拉力（N)； |
|  | —— | 拉索自重（N)； |
|  | —— | 索两节点连线与水平线的夹角。 |

**6.4.5** 索结构工作状态分析应符合下列规定：

**1** 应在初始形态分析确定的几何形状和预张力的基础上，考虑各种可能的荷载组合对结构内力和变形的影响；当计算结果不能满足要求时，应重新调整初始形态；

**2** 短索的计算模型可取为两节点杆（索）单元，并将自重及索段中的外荷载等效作用到两端节点处；

**3** 长索的计算模型应取为悬链线单元、多节点索单元或多段两节点杆（索）单元，将自重及索段中的外荷载作用在有限元节点处；

**4** 对于刚性结构的线弹性分析，拉索可按受拉杆单元考虑；对于弹性非线性分析，应考虑索单元本身的几何非线性刚度特征；

**5** 在永久荷载控制的荷载组合作用下拉索不应退出工作，在可变荷载控制的荷载组合作用下结构不应因拉索退出工作而失效；

**6** 对于施加预张力的拉索或拉杆，无长细比限制；其他构件长细比的限值按现行有关国家和行业标准取用。

**6.4.6** 索结构应分别进行工作状态体系整体稳定承载力和构件稳定性计算：

**1**体系整体稳定承载力计算可按现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7的规定执行；

**2**构件稳定性验算时，对于按线弹性方法计算的刚性结构，计算长度可按现行有关国家和行业标准取用；对于按弹性非线性方法计算的半刚性和柔性结构，计算长度系数可取为1.0。

**6.4.7** 拉索的抗拉力设计值应按式6.4.7-1计算，拉杆的抗拉力设计值应取式6.4.7-1和6.4.7-2计算值中的较小值。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.4.7-1） |
|  | （6.4.7-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 抗拉力设计值（kN)； |
|  | —— | 极限抗拉力标准值（kN)； |
|  | —— | 屈服强度标准值（kN)； |
|  | —— | 拉索的抗力分项系数，对拉索取2.0，对钢拉杆取1.7，对不锈钢拉杆取1.4； |
|  | —— | 抗力分项系数，取1.15。 |

**6.4.8** 拉索和拉杆的承载力应按下式验算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.4.8） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 拉索或拉杆承受的最大轴向拉力设计值（kN)； |
|  | —— | 结构重要性系数。 |

**6.4.9** 在永久荷载控制的荷载组合作用下，正常使用工作状态时拉索的相对垂度宜满足下式规定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.4.9） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 索跨中最大竖向垂度（mm)； |
|  | —— | 索的长度（mm)。 |

6.5 桁架结构

**6.5.1** 桁架结构应对杆件和节点承载力进行验算，焊缝承载力应大于节点承载力，节点承载力大于相连支管承载力。

**6.5.2** 钢管桁架结构的节点承载力验算宜按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定执行。其它类型的桁架结构，可采用有限元分析方法进行节点承载力验算。

**6.5.3** 钢管桁架或空腹桁架设计应符合下列规定：

**1** 采用钢管时宜在节点处直接焊接，主管不宜开孔，支管不应穿入主管内；

**2** 钢管外径宜不大于壁厚的50倍，支管外径宜不小于主管外径的0.3倍。钢管壁厚宜不小于4mm，主管壁厚应不小于支管壁厚；

**3** 桁架杆件不宜偏心连接。弦杆与腹杆、腹杆与腹杆之间的夹角宜不小于30度；

**4** 焊接钢管桁架宜按刚接体系计算，焊接钢管空腹桁架应按刚接体系计算；

**5** 轴心受压或偏心受压的桁架杆件，长细比应不大于150；轴心受拉或偏心受拉的桁架杆件，长细比应不大于350；

**6** 桁架或空腹桁架需平面外支撑时，应设置稳定支撑体系。

**6.5.4** 索杆桁架设计应符合下列规定：

**1** 正、反两个方向的弦向拉索（杆）应施加预张力构成承受风荷载或地震作用的稳定体系，索（杆） 预张力应使拉杆或拉索在各种工况组合作用下保持一定的张力储备；

**2** 拉杆或拉索应支承在主体结构上或支承于专设的刚性构架上，索杆桁架与主体结构的连接应能适应主体结构的位移，主体结构应能承受索杆体系的支座反力；

**3** 索杆桁架水平设置时，面板自重等竖向荷载宜通过专门的竖向承重索（杆）承担，承重索应张紧；

**4** 索杆桁架矢高宜取其支承跨度的1/12~1/18；

**5** 索杆桁架的受压杆件长细比应不大于150。

6.6 膜结构

**6.6.1** 膜结构计算应符合下列规定：

**1** 应进行初始形态分析、荷载效应分析、裁剪分析，对于大型复杂膜结构工程尚应进行施工过程验算；

**2** 膜结构计算中应考虑支座位移的影响或与支承结构一起进行整体分析；

**3** 对于涂层织物宜考虑膜材的各向异性；

**4** 对膜结构中的索、膜构件，可不考虑地震作用的影响，支承结构的抗震设计应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定执行。

**6.6.2** 空气支承式膜结构的正常工作内压应保持室内环境的舒适度，其值不宜大于300Pa；最大工作内压应保证在极端天气条件下，结构不会出现过大的变形；最小工作内压应保证结构体系的稳定性，其值不宜小于200Pa。

**6.6.3** 按承载能力极限状态设计膜结构时，应按表6.6.3所列的两种组合类别进行荷载效应组合：

**表6.6.3 荷载效应组合**

|  |  |
| --- | --- |
| 组合类别 | 参与组合的荷载 |
| 第一类组合 | G、Q、P(p) |
| 第二类组合 | G、W、P(p) |
| G、W、Q、P(p) |
| 其他作用（与*G*、*W*等组合） |

注：1 表中*G*为恒荷载，*W*为风荷载，*Q*为活荷载与雪荷载中的较大者，*P*为初始预张力，*p*为空气支承式膜结构的内压值；

2 荷载分项系数应按国家现行标准确定，其中*P*(*p）*的荷载分项系数和组合系数可取1.0；

3 “其他作用”是指根据工程具体情况，考虑温度作用、支座不均匀沉降或施工荷载等组合。

**6.6.4** 膜结构初始形态分析应符合下列规定：

**1** 初始形态分析可采用非线性有限元法、动力松弛法和力密度法等；

**2** 膜结构中索、膜构件的预张力值应根据膜材类型、膜面荷载、可能产生的变形以及施工等因素确定。对于整体张拉式、骨架支承式和索系支承式的建筑膜材，其预张力水平可依据表6.6.4中内容选取。

**表6.6.4 各类型膜材的预张力取值**

|  |  |
| --- | --- |
| 膜材类型 | 预张力 (kN/m) |
| G类 | 2 ~ 6 |
| P类 | 1 ~ 4 |
| E类 | 0.7 ~ 1.2 |

**6.6.5** 膜结构荷载效应分析应符合下列规定：

**1** 荷载效应分析可采用非线性有限元法、动力松弛法；

**2** 应在初始形态分析确定的几何形状和预张力的基础上，考虑各种可能的荷载组合对结构内力和变形的影响；当计算结果不能满足要求时，应重新调整初始形态；

**3** 膜结构的索在第一类荷载效应组合下均应处于受拉状态，在第二类荷载效应组合下若索退出工作不应导致结构失效；

**4** 在第一类荷载效应组合下，空气支承式膜结构可按内压不变进行非线性分析；

**5** 在第二类荷载效应组合下，气承式膜结构应按内压不变和内压变化两种假定分别进行非线性分析，气枕式和气肋式膜结构应按内压变化进行非线性分析。

**6.6.6** 在第一类荷载效应组合下，膜面不得出现松弛，且膜面的最小主应力应满足下列要求：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.6.6） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 在第一类荷载效应组合下的膜面最小主应力（MPa)； |
|  | —— | 维持膜结构曲面形状所需的最小应力值（MPa)，可取初始预张力值的25%。 |

**6.6.7** 在第二类荷载效应组合下，膜面由于松弛而引起的褶皱面积不得大于膜面面积的10%。

**6.6.8** 在各种荷载组合下，膜面各点的最大主应力应满足下列要求：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.6.8-1） |
|  | （6.6.8-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 在各种荷载组合作用下的膜面最大主应力值（MPa)； |
|  | —— | 对应于最大主应力方向的膜材抗拉强度设计值（MPa)； |
|  | —— | 膜材抗拉强度标准值（MPa)。对于G类、P类膜材，取极限抗拉强度标准值；对于E类膜材，当为非空气支承式时取第一屈服强度标准值，当为空气支承式时取第二屈服强度标准值； |
|  | —— | 强度折减系数。对于G类、P类膜材，一般部分取1.0，节点和边缘部位取0.75；对于E类膜材，取1.0； |
|  | —— | 膜材抗力分项系数。对于G类、P类膜材，第一类荷载效应组合时取5.0，第二类荷载效应组合时取2.5；对于E类膜材，第一类荷载效应组合时非空气支承式取1.8、空气支承式取1.4，第二类荷载效应组合时取1.2。 |

**6.6.9** 膜结构的裁剪分析应符合下列规定：

**1** 应在初始形态基础上，在空间曲面上确定膜片间的裁剪线，获得与空间曲面最接近的平面展开膜片；

**2** 确定膜片间的裁剪线，可采用测地线法和平面相交法等；

**3** 确定裁剪线时，宜综合考虑裁剪线布置的美观性、膜材的利用率、织物类膜材纤维方向与主受力方向的一致性等因素；

**4** 膜结构的裁剪分析中应考虑初始预张力及膜材材料特性的影响，确定膜片的收缩量，调整膜片的裁剪尺寸。

7 特殊构造结构计算

7.1 一般规定

**7.1.1** 形状复杂的幕墙构件截面可采用直接强度法进行计算。

**7.1.2** 幕墙与主体结构间的连接构造应有足够的强度、刚度和相对位移的能力，且应便于制作安装、维护保养及局部更换面板或构部件。主体结构中连接幕墙的预埋件、锚固件应能承受幕墙传递的荷载和作用。

**7.1.3** 两个或多个构件组成的整体按单一截面共同受力假定时，应按计算要求设置抗剪螺栓、螺钉等构造上不存在连接间隙的抗剪连接。

**7.1.4** 组合截面刚度分配可按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （7.1.4-1） |
|  | （7.1.4-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 组合截面上的荷载； |
| *、* | —— | 分配到截面1、截面2上的荷载； |
|  | —— | 截面1、截面2沿计算方向的截面惯性矩。 |

**7.1.5** 钢铝组合截面设计应符合下列规定：

**1** 应关注钢铝温度膨胀系数差异；

**2** 应保证在荷载作用下变形协调。

**7.1.6** 幕墙型材计算时，有金属板参与受力的情况下，宜考虑金属面板的蒙皮效应，可采用非线性有限元法分析，必要时进行试验验证。

7.2 开启构造计算

**7.2.1** 开启扇结构设计计算模型和基本假定，应与实际构造型式及应用条件相符。

**7.2.2** 开启扇结构设计计算，应根据承载情况和支承条件，采用结构力学方法进行弹性设计计算。

**7.2.3** 开启扇框架结构设计计算，应计算受力杆件的强度和挠度。必要时增加杆件稳定性计算。

**7.2.4** 开启扇五金配件本身及其与框、扇连接部位的强度，应分别进行设计计算，并取较低者作为设计强度。

**7.2.5**开启扇开启状态下，开启扇框架及其连接应至少能承受6级风，此状态的风荷载体型系数宜取±2.0。

**7.2.6** 开启扇关闭状态下，开启扇与框架的相互作用，应考虑正、负风荷载作用下的不同效应。

**7.2.7** 开启扇闭合状态下的挠度变形量不宜大于2mm。

**7.2.8** 上悬窗采用悬挂式连接时，应设置有效的防脱措施，悬挂的横梁应校核自重作用下的挠度，挠度值应不大于跨度的1/500，且不大于3mm。

**7.2.9** 计算开启连接时应计算两个位置：

**1** 锁点承载力计算。在确定锁点承载力计算时宜建立有限元模型确定锁点受力，锁点受力不宜大于0.4kN，锁点距离宜不大于500mm；

**2** 开启框边缘位置承载力计算；

**3** 开启框与主龙骨之间使用螺钉连接时不宜有缝隙，型材孔壁的局部厚度不应小于螺钉的公称直径。有缝隙时应计算螺钉的抗弯和抗剪强度。

**7.2.10** 开启窗宜采用隔热型材。五金件应安装在隔热条内侧的框型材上，并有防松脱措施。计算框整体受力时应考虑隔热条对框的削弱作用。

**7.2.11** 开启窗玻璃采用隐框形式安装时，中空玻璃的第二道密封应使用硅酮结构密封胶，结构胶宽度经计算确定。

7.3 与主体结构连接计算

**7.3.1** 幕墙与主体结构连接设计应符合下列规定：

**1** 主体结构应能承受幕墙结构传递的荷载和作用。幕墙和主体结构的连接构造除应满足幕墙的荷载传递外，还应满足主体结构和幕墙间的相互变形要求。可会同主体结构设计校核主体结构对幕墙体系的影响；

**2** 幕墙结构与砌体结构连接时，宜在连接部位的主体结构上增设钢筋混凝土或钢结构梁、柱。幕墙的支承结构不应直接支承在轻质填充墙上；

**3** 幕墙与主体钢结构连接，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；

**4** 主体结构变形缝部位的幕墙构造，应能满足幕墙变形的要求，且与主体结构变形相协调；

**5** 幕墙构件和连接的计算分析应有明确的计算模型。应力和变形计算应计入面板自重偏心和其他连接偏心产生的附加影响；

**6** 当没有条件采用预埋件连接时，应采用后置埋件等其他可靠的连接措施，并通过试验确定其可靠性。预埋件埋设时应有防浇筑混疑土震动时产生偏位措施，但不得与主体结构钢筋直接焊接。

**7.3.2** 预埋件连接应符合下列规定：

**1** 幕墙结构连接件与主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件的实际承载力设计值。与主体结构或埋板直接连接的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。

**2** 幕墙结构与主体混凝土结构应通过预埋件连接，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。主体结构应能满足埋件的结构受力需要，并应经主体结构设计单位确认。

**3** 由锚板和对称配置的锚固钢筋所组成的受力预埋件，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关规定设计。

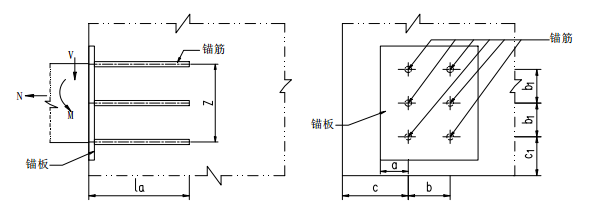


图7.3.2 预埋板连接构造示意图

1）当有剪力、法向拉力和弯矩共同作用时，应分别按式（1）和式（2）计算，并取二者的较大值：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （7.3.2-1） |
|  | （7.3.2-2） |

2）当有剪力、法向压力和弯矩共同作用时，应分别按式（3）和式（4）计算，并取二者的较大值：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （7.3.2-3） |
|  | （7.3.2-4） |
|  | （7.3.2-5） |
|  | （7.3.2-6） |

3）当有双向剪力、拉（压）力和双向弯矩共同作用时，可将另一方向剪力和弯矩需要的锚筋面积叠加到式（1）～式（4）中；但是对于式（3）和式（4），应将N用0.5N代替。αr和z对于两个方向取不同值。

4）当有比较大的扭矩作用时，应按照锚筋的布置计算锚筋的最大剪力， 由此得出剪力最大的锚筋的附加面积，乘以锚筋的总颗数叠加到As中。

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *V* | —— | 剪力设计值（N）； |
| *N* | —— | 法向拉力或法向压力设计值（N）。当为法向压力设计值时，不应大于0.5*fcA*，此处*A*为锚板的面积（mm2）； |
| *M* | —— | 弯矩设计值（*N·mm*）。当*M*小于0.4*Nz*时，取*M*等于0.4*Nz；* |
|  | —— | 钢筋层数影响系数。当锚筋等间距配置时，二层取1.0，三层取0.9，四层取0.85； |
|  | —— | 锚筋抗剪承载力系数，当大于 0.7 时取 0.7； |
|  | —— | 锚板弯曲变形折减系数。当采取防止锚板弯曲变形的措施时，可取  1.0； |
| *d* | —— | 锚筋直径（mm）； |
| *t* | —— | 锚板厚度（mm）； |
| *Z* | —— | 沿剪力作用方向最外层锚筋中心线之间的距离（mm）； |
| *fc* | —— | 混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm2）； |
| *fy* | —— | 钢筋抗拉强度设计值（N/mm2），但不应大于 300N/mm2。 |

**4** 受拉直锚筋的基本锚固长度应按式（7）计算，同时不应小于200mm。受剪和受压直锚筋的锚固长度不应小于 15 倍锚固钢筋直径。当混凝土的厚度不能满足锚筋的锚固长度要求时，可采用两侧都有埋板的对穿埋件，且应保证其设计反力不超过混凝土的冲切承载力。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （7.3.2-7） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *lab* | —— | 受拉钢筋基本锚固长度（mm）； |
| *fy* | —— | 钢筋抗拉强度设计值（N/mm2）； |
| *ft* | —— | 混凝土轴心抗拉强度设计值；当混凝土强度等级高于C40时，按C40取值； |
| *d* | —— | 锚筋公称直径（mm）; |
| *α* | —— | 锚筋的外形系数，光圆钢筋取 0.16，带肋钢筋取0.14。 |

**5** 当锚筋末端采用弯钩或机械锚固措施时，包括弯钩和锚固端头在内的锚固长度（投影长度）可取基本锚固长度*lab*的 60%，弯钩和机械锚固的形式和技术要求应满足 GB 50010 中的相关要求。抗震设计的幕墙，钢筋锚固长度应按照计算锚固长度放大 1.1 倍采用，且不得小于 200mm。

**6** 锚筋中心至锚板边缘的距离 *a* 不应小于锚筋直径的 2 倍和 20mm 的较大值。

1）对受拉和受弯预埋件，其钢筋的间距 *b、b1* 和锚筋至构件边缘的距离 *c、c1* 均不应小于锚筋直径的 3 倍和 45mm 的较大值：

2）对受剪预埋件， 其锚筋的间距 *b、 b1* 均不应大于 300mm， 且 *b1* 不应小于锚筋直径的 6 倍及 70mm的较大值； 锚筋至构件边缘的距离 *c1* 不应小于锚筋直径的 6 倍及 70mm 的较大值，锚筋的间距*b*、锚筋至构件边缘的距离 *c* 均不应小于锚筋直径的 3 倍和 45mm 的较大值。

**7.3.3** 幕墙后置埋件应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的有关规定，并应符合下列规定：

**1** 后置埋件用锚栓可选用膨胀螺栓、自扩底锚栓、模扩底锚栓、化学锚栓；

**2** 普通化学锚栓不宜用于主要受力构件的构造连接；

**3** 锚栓直径和数量应经计算确定；

**4** 就位后需焊接作业的后置埋件宜使用机械锚栓。当采用化学锚栓时，焊接时应采取防止化学锚栓受热失效的措施，并应有焊接高温后抗拉承载力检验报告。

**5** 在同一个后置埋件上应采用同种类型、同种规格的锚栓，不得采用不同种类锚栓混合使用。

**7.3.4** 幕墙结构与砌体结构连接时，应在连接部分的主体结构上增设钢筋混凝土或钢结构梁、柱。轻质填充墙不应作为幕墙的支承结构。

**7.3.5** 单元式幕墙板块与主体结构的连接应符合下列规定：

**1** 单元式幕墙板块上的挂件与主体结构上的支座间宜采用挂接方式固定，宜设置成绕水平轴可相对转动的构造形式。幕墙单元挂接后应有限制单元平面内水平方向移动的措施，同时应设置消除板块自身在地震作用、温差等因素引起的组件伸缩或位移的措施。挂件组应能三维调节，各方向的调节量不应小于20mm。

**2** 应复核挂件组在各种荷载及其偏心产生的拉、剪、弯、扭等共同作用下的承载能力。

**3** 应采用荷载偏心不敏感的构造。计算荷载偏心时应计入对计算结果不利的调节量。

**4** 铝合金型材连接件宜采用6061-T6材质。

**5** 应采用不锈钢螺栓连接，不锈钢螺栓规格不宜小于M12，每个连接处不宜少于2个螺栓。

**6** 单元板块间的过桥型材应计算上下左右单元的荷载传递，满足强度及刚度要求。

**7** 单元板块与主体结构连接的构造节点复杂时，应按荷载传递途径建立计算模型进行强度校核。

**7.3.6** 建筑主体结构变形缝部位的幕墙构造，应能满足幕墙变形的要求。

**7.3.7** 幕墙构件和连接的计算分析应有明确的计算模型。应力计算必须考虑面板重力偏心和其他连接偏心产生的附加影响。

**7.3.8** 吊挂全玻璃幕墙的主体结构和结构构件应有足够的刚度，每块玻璃应吊挂在同一结构体上。采用钢架或钢梁作为受力构件时，在竖向荷载标准值作用下，最大挠度不应超过其跨度的 1/400:在水平荷载标准值作用下，最大挠度应不超过其跨度的1/250。

7.4 外挑装饰连接计算

**7.4.1** 设计带竖向装饰翼的立柱时，应计入装饰翼传递的侧向荷载。玻璃面板和横梁立柱之间仅通过压板或压块连接时，应考虑横梁对立柱的侧向支撑。

**7.4.2** 转角位置第一根装饰翼的侧向风荷载体形系数应取值2.0，且不应小于风洞试验结果，其余装饰翼的风荷载体型系数可适当折减。

**7.4.3** 校核装饰翼时，应同时校核装饰翼及其支臂整体的侧向挠度。

**7.4.4** 装饰翼的连接支臂设计应满足计算要求，应计入支臂截面螺栓孔的削弱作用。装饰翼支臂和型材之间可采用螺栓、机制螺钉或自攻螺钉连接。当使用螺栓和机制螺钉时应采取防松措施。

**7.4.5** 固定装饰翼的幕墙除了横梁立柱以外，还应校核转接件、埋件的侧向荷载承载力，尺寸较大、风压较大的竖向装饰翼，可直接固定到主体结构上。

**7.4.6** 突出幕墙面的装饰构件和遮阳构件，负风压体型系数取-2.0，正风压体型系数取+1.0，且设计值均不小于1.0 kN/m2。

**7.4.7** 突出幕墙表面的外挑装饰构件，宜按双向受弯构件计算。外挑装饰构件应同时承受两个正交方向的风荷载作用。

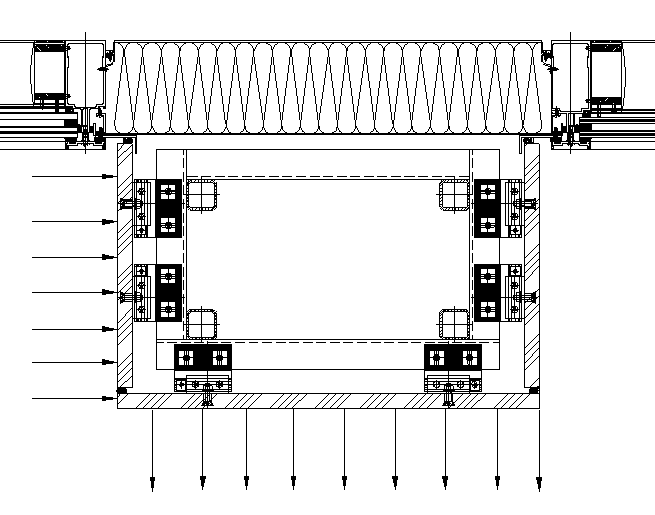
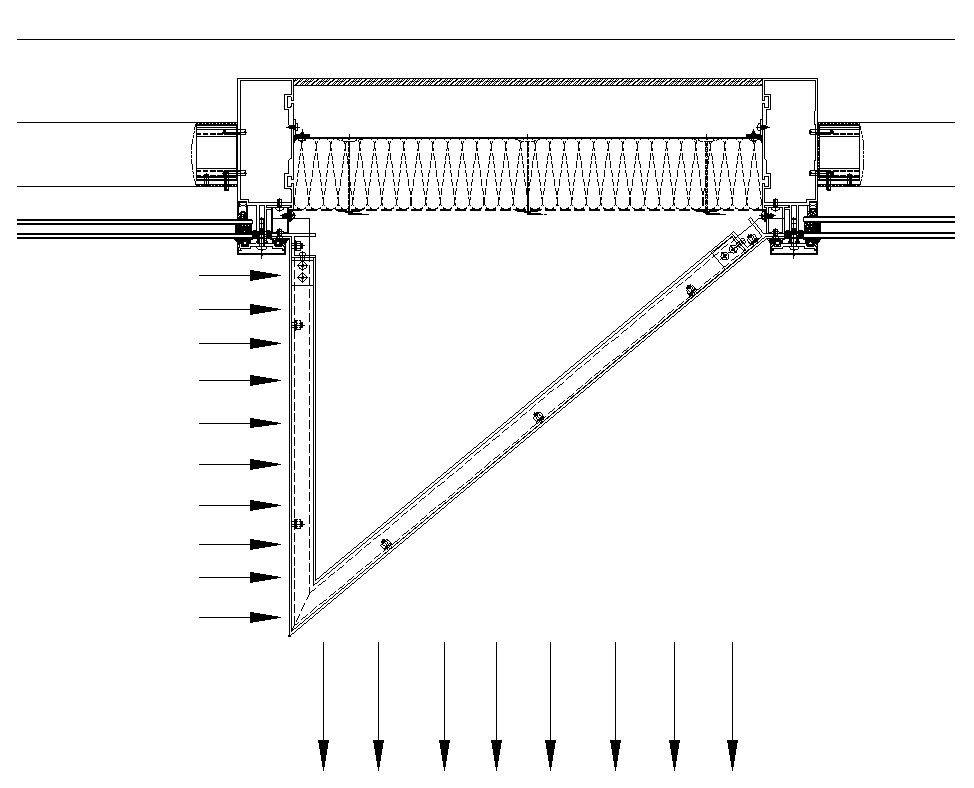
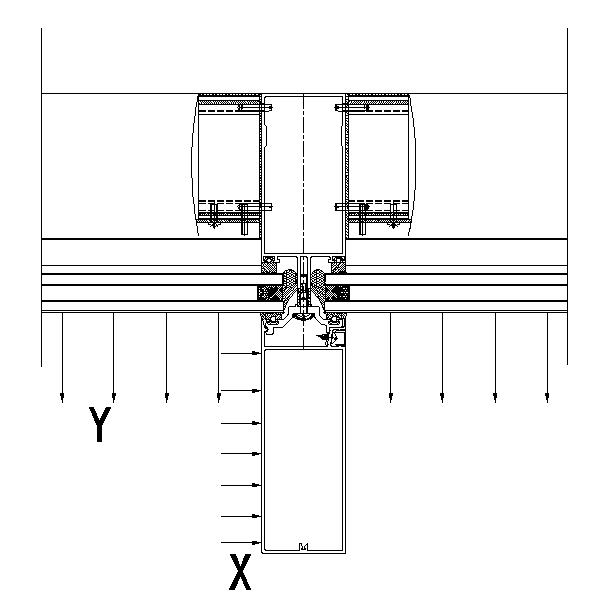
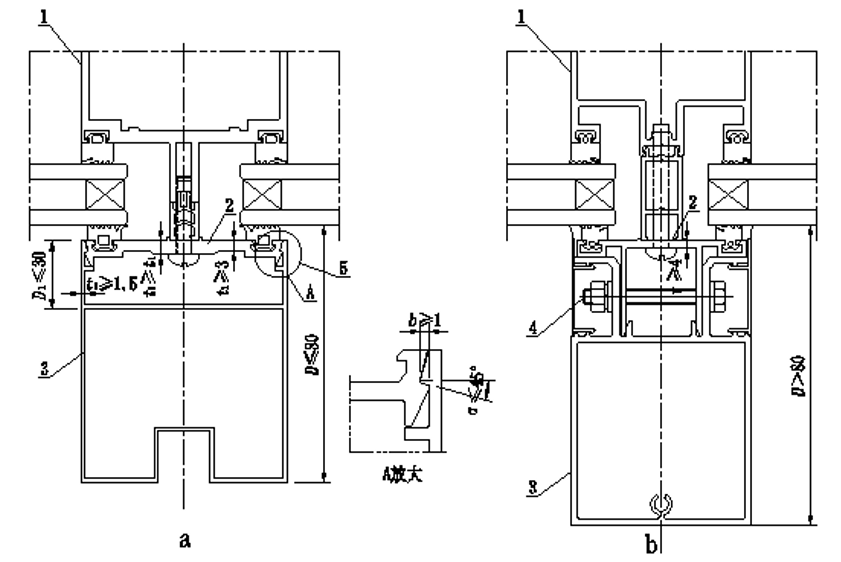


图7.4.7 外挑装饰构件荷载示意图

**7.4.8** 扣合在幕墙面板压板上的装饰型材等部件，扣合连接应紧密可靠，当外侧装饰型材凸出尺寸超过80mm时，扣合的连接构造应加强，必要时可用机械方式加固。



1-幕墙框架；2-玻璃压板；3-装饰型材；4连接螺栓；5扣合连接

图7.4.8 扣盖压板示意图

**7.4.9** 幕墙外挑装饰构件到幕墙面板的外挑尺寸大于等于200mm时，应考虑对幕墙整体构架的影响。宜采用连接件、转接件与幕墙支承框架紧固连接，不得采用自攻螺钉连接，必要时应采用螺栓连接。开口截面型材不宜设置外挑构件。

**7.4.10** 幕墙外挑装饰构件到幕墙面板的外挑尺寸大于等于500mm时，宜和主体结构连接。

**7.4.11** 外挑装饰构件与单元体的连接应符合下列规定：

**1** 用于固定外挑装饰构件的立柱、横梁及连接件应能独立承受装饰构件、面板传递的拉力、剪力、双向弯矩、扭矩等共同作用。装饰构件宜固定在立柱或顶底横梁中刚度较大的型材上。立柱、横梁插接部位的厚度应能有效传递、协调公母型材上的荷载，确保公母型材的协调变形；

**2** 装饰线条宜固定于闭腔箱式型材上；

**3** 宜选用合理的受力模型，减少装饰构件对立柱、横梁的影响；

**4** 横梁与立柱的连接节点和截面设计，应考虑来自装饰构件的荷载所产生的拉力、剪力和扭矩，必要时连接节点宜增设辅助连接件加强；

**5** 装饰条应独立承受自身所负担的荷载和作用，满足强度和刚度要求。装饰条不应于梁、柱组成复合构件受力。

**7.4.12** 对于高层建筑表面尺寸*a*小于1m的横向或竖向不镂空外挑装饰构件，其局部体型系数按如下规定取值，且不应小于风洞试验结果。

式中：——系数，按表10.1.1取值；

——临近区域墙体体型系数，转角区取1.4，大面区取1.0。

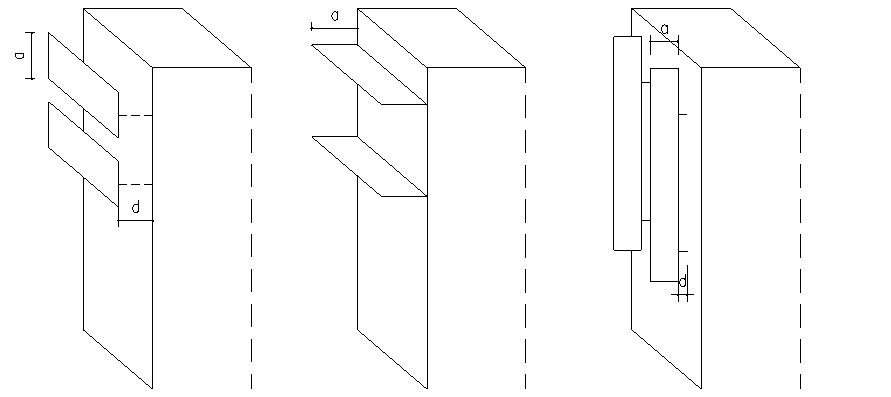


图7.4.12 高层建筑横向或竖向不镂空外挑装饰构件示意图

**7.4.13** 突出幕墙表面的外挑装饰构件，宜按双向受弯构件计算强度，在风荷载标准值作用下，挠度限值可按照支臂间距离的1/150控制。

**7.4.14** 外挑装饰构件支臂和型材之间的连接应牢固，连接支臂不利截面强度应满足受力要求，应计入支臂截面开孔的削弱作用。

**7.4.15** 固定外挑装饰构件的幕墙除横梁立柱以外，还应校核转接件、埋件的侧向荷载承载力，尺寸较大、风压较大的竖向装饰翼，可直接固定到主体结构上。

7.5 防火封堵连接计算

**7.5.1** 幕墙防火封堵的承托板或支承构架应与主体结构牢固连接，缝隙应采用防火密封胶封闭。承托板、支承构架和连接件应满足耐火时限要求。

**7.5.2** 幕墙与主体建筑建筑缝隙缝宽大于250mm时， 应通过增设角钢等刚性支承构件或紧固件提高防火封堵紧密性，支承构件应与主体结构牢固连接。

**7.5.3** 防火封堵承托板宽度或高度大于300mm时，应计算承托板的强度及挠度并增设支承加固措施。

**7.5.4** 幕墙与隔墙竖向防火封堵宜有钢构架支承，并牢固连接。钢构架两侧应采用厚度不小于 1.5mm 的镀锌钢板封闭。

7.6 其他构造计算

**7.6.1** 压板、压块及扣盖计算要求：

**1** 压板、压块及连接应符合下列规定：

1. 明框幕墙压板宜通长设置；
2. 明框压板宜采用有限元分析计算，应计入钉孔对截面的削弱；
3. 压块受力分析时应计入钉孔对截面的削弱。单边受力压块应校核撬力引起的螺钉拔出的受拉承载力。

**2** 咬合型扣盖设计应符合下列规定：

1. 有结构性要求的扣盖应满足受力要求；
2. 起装饰作用的扣盖应满足刚度要求；
3. 工程现场安装前应开模试装；
4. 槽口无预变形或者悬挑长度超过100mm的扣盖应在扣盖两端设置防脱机械连接。

**3** 悬臂压紧型扣盖设计应符合下列规定：

1. 应避免支臂无止退凸起、支撑面尺寸过小或悬臂段过长；
2. 隔热型材应关注隔热条受弯强度和抗弯刚度。隔热条的抗弯强度和刚度应通过包括80℃高温试验在内的试验确定。

**7.6.2** 转角位置玻璃墙可采用玻璃面板互为支承方式。结构胶受力应计及双向受力，同时在玻璃墙上下端部应采取侧向支承措施。当面板为中空玻璃时，在转角处可采用内外错片的构造，由内外片玻璃通过结构胶分别互相传力。

**7.6.3** 隔热条不能作为传递荷载的受力部件，压板、压条固定螺栓应按承载能力极限状态计算确定。

**7.6.4** 双层幕墙应分别对外层幕墙、内层幕墙、马道、支撑外层幕墙的悬挑构件及连接内层幕墙与主体结构的连接件进行承载力和挠度验算：

**1** 分体式双层幕墙内、外层幕墙应分别验算其承载能力、刚度、稳定性和相对于主体结构的位移；

**2** 整体式双层慕墙内外两层幕墙共用立柱时，立柱计算应考虑偏心重力荷载；

**3** 双层幕墙采用悬挑构件支撑外层幕墙时，悬挑构件应具有足够的刚度，其挠度不宜超过悬挑构件跨度的 1/250，安装外层幕墙的悬挑构件应具有足够的侧向刚度，必要时可设侧向支承。

8 连接计算

8.1 一般规定

**8.1.1** 幕墙的连接应可靠牢固，连接的尺寸和数量应按计算或试验确定，并应满足构造要求。

**8.1.2** 幕墙的结构性连接可采用焊接连接、螺栓连接、螺钉连接、铆钉连接、销轴连接、硅酮结构密封胶粘接等。

**8.2** 硅酮结构密封胶粘接计算

**8.2.1** 硅酮结构密封胶的粘接宽度和粘接厚度应经计算确定；粘接宽度hc应不小于6mm，且应不大于20mm；粘接厚度e应不小于4mm，不宜小于6mm。粘接宽度与粘接厚度宜满足e≤hc≤3e。

**8.2.2** 结构胶强度设计值应按下列公式计算：

（8.2.2-1）

（8.2.2-2）

（8.2.2-3）

式中：Ru.5——75%置信度时的强度标准值（N/mm2）；

σdes——结构胶抗拉强度（N/mm2）；

Γdes——可变荷载作用下的结构胶抗剪强度标准值（N/mm2）；

Γ∞——永久荷载作用下的结构胶抗剪强度标准值（N/mm2）；

γtot——总安全系数，可取6；

γc——长期剪切和循环拉伸载荷下的蠕变系数，按现行行业标准《建筑幕墙用硅酮结构密封》JG/T 475测得且不小于10。

**8.2.3** 隐框、半隐框玻璃幕墙中玻璃和铝框之间硅酮结构密封胶的粘接宽度，应根据受力情况按下列公式计算并取最大值。

**1** 在可变荷载作用下，粘接宽度应按下式计算：

（8.2.3-1）

**2**在永久荷载作用下，粘接宽度应按下式计算（假定荷载由玻璃竖边的结构胶承受）：

（8.2.3-2）

式中：*hc*——硅酮结构密封胶的粘接宽度（mm）；

qk——作用在计算单元上的可变荷载作用标准值（N/mm2）；

Gk——玻璃自重标准值（N）；

*a*——矩形玻璃板的短边长度（mm）；

*b*——矩形玻璃板的长边长度（mm）；

hv——矩形玻璃板的高度或平行于永久荷载方向的边长（mm），取*a*或*b*。

**8.2.4**中空玻璃结构胶粘接宽度， 应按下式计算：

（8.2.4）

式中：r——中空玻璃的中空层的结构胶宽度（mm），mm；

β——中空玻璃的外片承受可变荷载的分配系数，按照各玻璃刚度进行分配；

σdes——结构胶抗拉强度（N/mm2）。

**8.2.5** 硅酮结构密封胶的粘接厚度应按下式计算：

（8.2.5-1）

（8.2.5-2）

式中：*e*——硅酮结构密封胶的粘接厚度（mm）；

G——硅酮结构胶的剪切刚度（N/mm2）；

E——硅酮结构胶的拉伸弹性模量，根据《建筑幕墙用硅酮结构密封胶》JG/T 475试验测得（N/mm2）；

Δ——硅酮结构密封胶的热膨胀位移（mm）；

Γdes——可变荷载作用下的结构胶抗剪强度标准值（N/mm2）。

**8.2.6** 幕墙面板通过硅酮结构密封胶与型材粘接时，应按下式计算：

（8.2.6）

式中：αc ——金属框的线膨胀系数1/ ºC；

αv ——面板的线膨胀系数（1/ ºC）；

T0——结构胶施工时的环境温度（ºC）；

Tc——金属框的温度（ºC）；

Tv——面板的温度（ºC）；

*a*——支撑边长度（mm）；

*b*——竖直边长度（mm）。

注：1在通常情况下，表面温度极限为-20℃~80℃。夏季环境可考虑，冬季环境可考虑；

2当密封胶支撑框架四周完全与外部环境相连时，可采用，这更能代表某些具体情况；

3在面临特定的玻璃或外部环境时，也可修正ΔT。例如：幕墙为透明装配，最高温度取Tv=80℃；幕墙为不透明装配，最高温度取Tv=100℃。

**8.2.7** 隐框玻璃幕墙中面板通过硅酮结构密封胶直接粘接于横梁或立柱，需要通过结构胶变形吸收层间位移时，硅酮结构胶的粘接厚度*ts*应符合公式（8.2.7-1）的要求：



图8.2.7 结构硅酮密封胶变形示意

1—玻璃面板；2—双面胶条；3—结构硅酮密封胶；4—铝框

 （8.2.7-1）

 （8.2.7-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | —— 硅酮结构密封胶的粘接厚度（mm）； |
|  | —— 幕墙玻璃面板相对于铝合金框的位移（mm），即硅酮结构密封胶沿厚度方向产生的剪切位移； |
|  | —— 位移折减系数。当玻璃面板宽度不大于高度时，取0.4；玻璃面板宽度大于高度时，取0.5； |
|  | —— 风荷载或多遇烈度地震标准值作用下主体结构的楼层弹性层间位移角限值（*rad*）； |
|  | —— 玻璃面板高度（mm）。 |

8.3 紧固件连接

**8.3.1** 螺栓、螺钉和铆钉连接的验算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》GB 50429的有关规定。

**8.3.2** 自攻螺钉应满足现行《自攻螺钉用螺纹》GB/T5280的规定。其抗拉承载力为单个螺钉与铝基材的抗拉承载力、自攻螺钉钉帽从钉孔中脱出破坏承载力、自攻螺钉螺杆（取净截面积计算）拉断破坏承载力中的最小值。

**8.3.3** 单个螺钉与铝基材的抗拉承载力设计值的计算应符合下列规定：

**1** 自攻螺钉通过合适的底孔或自钻自攻螺钉直接与铝材连接时：

当1mm≤＜2mm

(8.3.3-1)

当2mm≤＜2P

(8.3.3-2)

当2P＜＜4P

(8.3.3-3)

当4P≤≤8

(8.3.3-4)

式中：——螺钉与铝基材的抗拉承载力设计值（N）；

——螺钉与铝材的完整螺纹咬合深度（mm）；



——螺钉的公称直径（mm）；

P——螺钉的螺纹间距（mm）；

*f*y——不与螺钉头接触的构件的抗拉强度（N/mm2）;

*f*u——连接件的极限抗拉强度（N/mm2）。

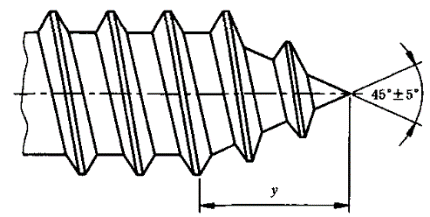
**2** 自攻螺钉与型材的完整螺纹咬合深度等于自攻螺钉与型材的咬合深度减去自攻螺钉不完整螺纹的长度，见图8.3.3-1。自攻螺钉不完整螺纹的长度应满足现行国家标准《自攻螺钉用螺纹》GB/T 5280的有关规定。

图8.3.3-1不完整螺纹长度

**3** 自攻螺钉或自钻自攻螺钉攻入铝材的长圆孔或U型自攻螺钉槽（图8.3.3-2）时，抗拉承载力设计值应按下列公式计算：

(8.3.3-5)

 (8.3.3-6)

式中：——螺钉与长圆孔或U型自攻螺钉槽连接的抗拉承载力设计值（N）；

——螺钉的螺纹有效参与面积比，计算结果大于0.35时取0.35；



——螺钉的螺纹大径的一半（mm）；



——螺钉的螺纹小径和U型自攻螺钉槽宽度（或长圆孔宽度）的较大值的一半（mm）；





图8.3.3-2 U型自攻螺钉槽示意图

**4** 自攻螺钉或自钻自攻螺钉攻入铝材的自攻螺钉槽（图8.3.3-2）且螺钉与铝材的完整螺纹咬合深度大于等于2倍螺钉的公称直径时，抗拉承载力设计值可按下式计算：

(8.3.3-7)

**8.3.4** 自攻螺钉钉帽从钉孔中脱出破坏承载力设计值（仅包含圆孔）可按以下规定计算：

**1** 非沉头螺钉可按下式计算：

(8.3.4-1)

式中：——钉帽从钉孔中脱出破坏承载力设计值（N）；

——调整系数，见表8.3.4；

——与螺帽接触的铝材厚度（mm）；

——垫圈直径和螺帽直径的大值（mm），且不大于16mm。这里垫圈直径不小于8mm，厚度不小于1.3mm；

——螺帽下的孔径（mm）。

**表8.3.4 薄壁铝合金构件的紧固件位置调整系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 翼缘接触支撑 | | | | | | 无接触 | |
| 节点 |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1.0 |  | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 1.0 | 0.9 |

**2** 其中82°～90°沉头螺钉可按下式计算：

(8.3.4-2)

式中：适用于1.5mm≤<5mm和≤1.1。如果＞1.1，取=1.1。

**3** 非沉头螺钉的钉帽从钉孔中脱出破坏承载力不应低于沉头螺钉的承载力。

**8.3.5** 机制螺钉从钉孔（仅限完整的圆孔）中拔出，破坏承载力设计值可按以下规定计算：

当1.5mm≤＜2mm

(8.3.5-1)

当2mm≤≤3

(8.3.5-2)

当3mm＜＜6.3mm

(8.3.5-3)

当6.3mm≤≤10mm

(8.3.5-4)

式中：——每个内螺纹的螺纹剥落面积（mm2），对符合《六角头螺栓》GB/T 5782和《普通螺纹公差》GBT 197规定的公差带为外螺纹6g，内螺纹6H螺钉，其数值如表8.3.5。

**表8.3.5 每个内螺纹的螺纹剥落面积**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 螺栓规格 | M5 | M6 | M8 | M10 | M12 | M16 | M20 |
| 内螺纹剥落面积/mm2 | 8.00 | 12.19 | 21.03 | 32.22 | 45.70 | 71.14 | 113.46 |

**8.3.6** 本标准的抽芯铆钉计算方法适用于直径在2.6mm~6.4mm、孔径不大于抽芯铆钉直径0.1mm、冷成型薄板连接的抽芯铆钉。抽芯铆钉应进行抗剪承载力和抗拉承载力验算。

**8.3.7** 抽芯铆钉抗剪承载力计算应符合下列要求：

**1** 抽芯铆钉抗剪承载力为钉体抗剪承载力、板件孔壁承压和板件净截面抗剪承载力的较小值。

**2** 孔壁承压承载力

当：

(8.3.7-1)

且 (8.3.7-2)

式中：——抽芯铆钉孔壁承压抗剪承载力设计值（N）；

——支撑抽芯铆钉的构件的厚度（mm）；

*d*——抽芯铆钉直径（mm）。

当：

(8.3.7-3)

式中：时，取。

**8.3.8** 抽芯铆钉抗拉承载力计算应符合下列要求：

**1** 抽芯铆钉钉帽从钉孔中脱出破坏承载力设计值.

当

(8.3.8-1)

式中：时，取。

**2** 抽芯铆钉从钉孔中拔出破坏的承载力设计值

当支撑材料为钢时：

(8.3.8-2)

当支撑材料为铝时：

(8.3.8-3)

**3** 钉体拉断破坏承载力

(8.3.8-4)

**8.3.9** 机制螺钉钉孔的制备及精度应符合现行国家标准《普通螺纹公差》GB/T 197和《普通螺纹中等精度、优选系列的极限尺寸》GB/T 9145的要求。机制螺钉受拉连接时应严格按照国标控制螺钉及螺纹的质量。

**8.3.10** 承受较大拉力的连接节点、承受较大风荷载的悬挑构件、端部连接处存在较大撬力等受力状态复杂的构件或节点，应采用螺栓连接。

**8.3.11** 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，其承载力可按现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018规定计算。

**8.3.12** 普通螺栓的连接承载力，应按下列规定计算：

**1** 在普通螺栓抗剪连接中，每个螺栓的承载力设计值应取受剪和承压承载力设计值中的较小值。受剪和承压承载力设计值应分别按下列公式计算。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.3.12-1） |
|  | （8.3.12-2） |

式中：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | —— | 一个螺栓的抗剪、承压承载力设计值（N)； |
|  |  | —— | 螺栓连接的剪切面数； |
|  |  | —— | 螺栓有效截面面积(mm2)，； |
|  |  | —— | 螺杆公称直径（mm)； |
|  |  | —— | 螺距（mm)； |
|  |  | —— | 同一受力方向承压构件的较小总厚度（mm）； |
|  |  | —— | 螺栓的抗剪、承压强度设计值（MPa)。 |

**2** 在普通螺栓杆轴方向受拉的连接中，每个螺栓的受拉承载力设计值应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.3.12-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 一个螺栓的抗拉承载力设计值（N)； |
|  | —— | 螺栓的抗拉强度设计值（MPa)。 |

**3**同时承受剪力和杆轴方向拉力的普通螺栓，其承载力应分别符合下列公式的要求：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.3.12-4） |
|  | （8.3.12-5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 一个螺栓所承受的剪力、拉力设计值（N)。 |

8.4 焊缝连接

**8.4.1** 采用焊缝连接时，当被连接板间的最小厚度大于4mm时，其对接焊缝、角焊缝和部分熔透对接焊缝的强度，应分别按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定计算。当其最小不大于4mm时，正面角焊缝的强度增大系数Bf取1.0，焊缝质量等级的要求应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的规定执行。

**8.4.2** 对接焊缝和角焊缝的强度应按下列公式计算：

**1** 对接焊缝轴心受拉。

 （8.4.2-1）

**2** 对接焊缝轴心受压。

 （8.4.2-2）

**3** 对接焊缝受弯同时受剪。

拉应力：

 （8.4.2-3）

剪应力：

 （8.4.2-4）

对接焊缝中剪应力和正应力均较大处：

 （8.4.2-5）

**4** 正面直角角焊缝受剪（作用力垂直于焊缝长度方向）。

 （8.4.2-6）

**5** 侧面直角角焊缝受剪（作用力平行于焊缝长度方向）。

 （8.4.2-7）

**6** 在垂直于角焊缝长度方向的应力和沿角焊缝长度方向的剪应力共同作用处。

 （8.4.2-8）

式中：*lw*——焊缝计算长度之和（mm）；

*hf*——角焊缝的焊脚尺寸（mm）；

*t*——连接构件中较薄板件的厚度（mm）；

*Wf*——焊缝截面模量（mm3）；

*Sf*——焊缝截面的最大面积矩（mm3）；

*I*f——焊缝截面惯性矩（mm4）；

*σf*——垂直于焊缝长度方向的应力（N/mm2），按焊缝有效截面（0.7*hflw*）计算；

*τf*——沿焊缝长度方向的剪应力（N/mm2），按焊缝有效截面（0.7*hflw*）计算；

*fcw、ftw*——对接焊缝的抗压、抗拉强度设计值（N/mm2）；

*fvw*——对接焊缝的抗剪强度设计值（N/mm2）；

*ffw*——角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值（N/mm2）。

**8.4.3** 喇叭形焊缝的强度应按下列公式计算：

**1** 当连接板件的最小厚度小于或等于4mm时，轴力N垂直与焊缝轴线方向作用的焊缝的抗剪强度应按下式计算：

 （8.4.3-1）

**2** 当连接板件的最小厚度小于或等于4mm时，轴力N平行与焊缝轴线方向作用的焊缝的抗剪强度应按下式计算：

 （8.4.3-2）

式中：*t*——连接钢板的最小厚度（mm）；

*lw*——焊缝计算长度之和（mm）；

*f*——连接钢板的抗拉强度设计值（N/mm2）。

**3** 当连接板件的最小厚度大于4mm时，纵向受剪的喇叭形焊缝的强度除按公式8.4.3-2计算外，尚应按公式8.4.2-7做补充验算。

**8.4.4** 电阻点焊可用于构件的缀合和组合连接，每个焊点所承受的最大剪力不得大于表8.4.4中焊点的抗剪承载力设计值。

**表8.4.4 电阻点焊的抗剪承载力设计值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 相焊板件中外层较薄板间的厚度t（mm） | 每个焊点的抗剪承载力设计值 （kN） | 相焊板件中外层较薄板间的厚度t（mm） | 每个焊点的抗剪承载力设计值 （kN） |
| 0.4 | 0.6 | 2.0 | 5.9 |
| 0.6 | 1.1 | 2.5 | 8.0 |
| 0.8 | 1.7 | 3.0 | 10.2 |
| 1.0 | 2.3 | 3.5 | 12.6 |
| 1.5 | 4.0 | — | — |

**8.4.5** 电阻点焊的焊点中距不宜小于15（mm），焊点边距不宜小于10（mm）（*t*系被连接板件中较薄板件的厚度）。

9 结构计算表达

**9.1.1**结构计算书内容应全面、清晰。

**9.1.2**结构计算内容除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的要求。

**9.1.3** 结构计算书的编制应按系统区分篇章，各系统计算书应以传力路径为顺序进行编制各小节。

**9.1.4** 结构计算书应至少包含以下内容：

**1**工程概况及计算目标的选择原则；

**2**计算软件的选择原则；

**3**相关材料物性参数及评价指标依据；

**4**计算对象的说明及分析；

**5**几何模型简化处理；

**6**荷载计算过程及边界条件分析处理；

**7**计算条件简化与处理，含方法介绍；

**8**计算参数的选用及其依据；

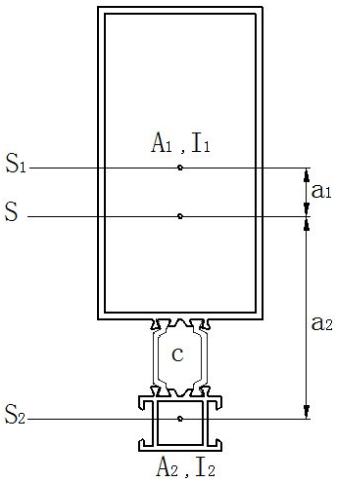
**9**计算结果的表达与分析；

**10**结构计算模型应至少清晰表达出荷载工况、荷载组合及其施加，边界条件及其施加，构件间约束及释放关系；

**11**必要的配图，如计算对象的力学模型，荷载的作用位置及方向，构件截面尺寸等。

附录A 穿条式隔热铝合金型材等效惯性矩计算

**A.0.1** 穿条式隔热铝合金型材（如图A.0.1所示）等效惯性矩应按式A.0.1-1~A.0.1-5计算。



图A.0.1 穿条式隔热铝合金型材截面

A1—铝型材1区的截面积； A2—铝型材2区的截面积；

S1—铝型材1区的形心；S2——铝型材2区的形心；S—隔热铝合金型材的形心；

I1—1区型材惯性矩；I2—2区型材惯性矩；

a1—1区形心到隔热铝合金型材形心的距离；a2—2区形心到隔热铝合金型材形心的距离

|  |  |
| --- | --- |
|  | （A.0.1-1） |
|  | （A.0.1-2） |
|  | （A.0.1-3） |
|  | （A.0.1-4） |
|  | （A.0.1-5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 刚性惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 作用参数； |
|  | —— | 组合参数； |
|  | —— | 几何形状参数； |
|  | —— | 隔热型材的承载间距（横梁或立柱的计算跨度，单位mm)； |
|  | —— | 1区形心与2区形心间距（mm)； |
|  | —— | 铝合金的弹性模量（MPa)； |
|  | —— | 组合弹性值（MPa)，是在常温20环境条件下，纵向抗剪试验中负荷-位移曲线的弹性变形范围内的纵向剪切力增量与相对应的两侧铝合金型材出现的相对位移增量和试样长度*l*乘积的比值。 |

**A.0.2** 穿条式隔热铝合金型材组合弹性值*c*应按下式计算：

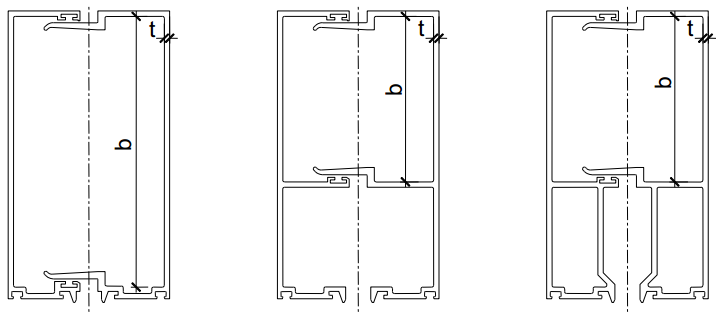
|  |  |
| --- | --- |
|  | （A.0.2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 负荷-位移曲线上弹性变形范围内的纵向剪切力增量（N)； |
|  | —— | 负荷-位移曲线上弹性变形范围内的纵向剪切力增量相对应的两侧铝合金型材的位移增量（mm)； |
|  | —— | 试样长度（mm)。 |

附录B 开口铝合金立柱强度折减系数

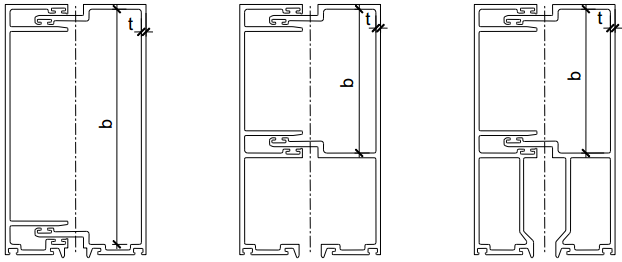
**B.0.1** 表B.0.1-1～B.0.1-4为6063-T5开口铝合金立柱的强度折减系数，当采用其它牌号或其它合金状态的铝合金型材时，应再乘以系数，应选用GB 5237.1中抗拉强度。*L*为同一单元板块中最大的相邻横梁间距。中间值可用插值法求出。



图B.0.1-1开口铝合金柱—A类截面

表B.0.1-1开口铝合金立柱强度折减系数—A类截面

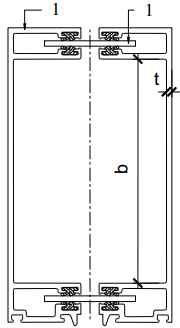
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b/t  L | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 1000 | 0.840 | 0.838 | 0.836 | 0.834 | 0.832 | 0.830 | 0.828 |
| 1250 | 0.832 | 0.830 | 0.828 | 0.826 | 0.824 | 0.822 | 0.820 |
| 1500 | 0.823 | 0.821 | 0.819 | 0.817 | 0.815 | 0.812 | 0.810 |
| 1750 | 0.813 | 0.811 | 0.808 | 0.806 | 0.804 | 0.801 | 0.799 |
| 2000 | 0.802 | 0.799 | 0.796 | 0.794 | 0.792 | 0.789 | 0.787 |
| 2250 | 0.791 | 0.785 | 0.782 | 0.780 | 0.778 | 0.775 | 0.773 |
| 2500 | 0.779 | 0.770 | 0.767 | 0.765 | 0.762 | 0.759 | 0.757 |
| 2750 | 0.767 | 0.754 | 0.751 | 0.748 | 0.745 | 0.742 | 0.740 |
| 3000 | 0.755 | 0.737 | 0.733 | 0.730 | 0.727 | 0.724 | 0.722 |
| 3250 | 0.743 | 0.719 | 0.714 | 0.711 | 0.708 | 0.705 | 0.703 |
| 3500 | 0.731 | 0.700 | 0.694 | 0.691 | 0.688 | 0.685 | 0.683 |
| 3750 | 0.719 | 0.680 | 0.673 | 0.670 | 0.667 | 0.664 | 0.662 |
| 4000 | 0.706 | 0.659 | 0.651 | 0.648 | 0.645 | 0.642 | 0.640 |



图B.0.1-2开口铝合金柱—B类截面

表B.0.1-2开口铝合金立柱强度折减系数—B类截面

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b/t  L | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 1000 | 0.843 | 0.839 | 0.836 | 0.833 | 0.830 | 0.827 | 0.824 |
| 1250 | 0.836 | 0.831 | 0.828 | 0.825 | 0.822 | 0.819 | 0.816 |
| 1500 | 0.828 | 0.822 | 0.819 | 0.816 | 0.813 | 0.810 | 0.807 |
| 1750 | 0.819 | 0.812 | 0.809 | 0.806 | 0.803 | 0.800 | 0.797 |
| 2000 | 0.810 | 0.801 | 0.797 | 0.794 | 0.791 | 0.788 | 0.785 |
| 2250 | 0.800 | 0.789 | 0.785 | 0.781 | 0.778 | 0.775 | 0.772 |
| 2500 | 0.789 | 0.776 | 0.771 | 0.767 | 0.764 | 0.761 | 0.758 |
| 2750 | 0.778 | 0.762 | 0.756 | 0.752 | 0.749 | 0.746 | 0.743 |
| 3000 | 0.767 | 0.747 | 0.740 | 0.736 | 0.733 | 0.730 | 0.727 |
| 3250 | 0.756 | 0.731 | 0.723 | 0.719 | 0.716 | 0.713 | 0.710 |
| 3500 | 0.745 | 0.714 | 0.705 | 0.701 | 0.698 | 0.695 | 0.692 |
| 3750 | 0.734 | 0.696 | 0.686 | 0.682 | 0.679 | 0.676 | 0.673 |
| 4000 | 0.722 | 0.677 | 0.666 | 0.662 | 0.659 | 0.656 | 0.653 |

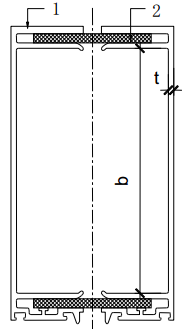


图B.0.1-3开口铝合金柱—C类截面

1—铝型材

表B.0.1-3开口铝合金立柱强度折减系数—C类截面

| b/t  L | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1000 | 0.844 | 0.842 | 0.840 | 0.838 | 0.836 | 0.834 | 0.832 |
| 1250 | 0.837 | 0.832 | 0.830 | 0.828 | 0.826 | 0.823 | 0.821 |
| 1500 | 0.830 | 0.822 | 0.819 | 0.817 | 0.814 | 0.811 | 0.809 |
| 1750 | 0.822 | 0.811 | 0.808 | 0.805 | 0.801 | 0.798 | 0.796 |
| 2000 | 0.814 | 0.799 | 0.795 | 0.791 | 0.787 | 0.784 | 0.782 |
| 2250 | 0.805 | 0.786 | 0.781 | 0.776 | 0.772 | 0.769 | 0.767 |
| 2500 | 0.796 | 0.772 | 0.766 | 0.761 | 0.756 | 0.753 | 0.751 |
| 2750 | 0.787 | 0.758 | 0.750 | 0.745 | 0.740 | 0.736 | 0.734 |
| 3000 | 0.777 | 0.744 | 0.734 | 0.728 | 0.723 | 0.718 | 0.716 |
| 3250 | 0.767 | 0.729 | 0.717 | 0.711 | 0.705 | 0.699 | 0.697 |
| 3500 | 0.757 | 0.714 | 0.699 | 0.692 | 0.686 | 0.680 | 0.677 |
| 3750 | 0.747 | 0.699 | 0.681 | 0.673 | 0.666 | 0.660 | 0.656 |
| 4000 | 0.737 | 0.684 | 0.663 | 0.652 | 0.645 | 0.639 | 0.635 |



图B.0.1-4开口铝合金柱—D类截面

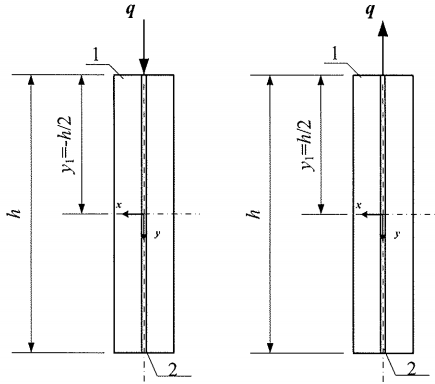
1—铝型材；2—EPDM密封条

表B.0.1-4开口铝合金立柱强度折减系数—D类截面

| b/t  L | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1000 | 0.817 | 0.814 | 0.811 | 0.809 | 0.807 | 0.805 | 0.803 |
| 1250 | 0.810 | 0.806 | 0.803 | 0.801 | 0.798 | 0.796 | 0.793 |
| 1500 | 0.803 | 0.797 | 0.793 | 0.791 | 0.788 | 0.786 | 0.783 |
| 1750 | 0.795 | 0.786 | 0.782 | 0.780 | 0.777 | 0.775 | 0.772 |
| 2000 | 0.786 | 0.774 | 0.770 | 0.768 | 0.765 | 0.763 | 0.761 |
| 2250 | 0.776 | 0.761 | 0.757 | 0.755 | 0.752 | 0.751 | 0.749 |
| 2500 | 0.766 | 0.747 | 0.743 | 0.741 | 0.739 | 0.738 | 0.736 |
| 2750 | 0.756 | 0.733 | 0.728 | 0.726 | 0.725 | 0.724 | 0.722 |
| 3000 | 0.746 | 0.718 | 0.713 | 0.711 | 0.710 | 0.709 | 0.707 |
| 3250 | 0.735 | 0.703 | 0.697 | 0.694 | 0.693 | 0.692 | 0.690 |
| 3500 | 0.724 | 0.687 | 0.680 | 0.675 | 0.674 | 0.673 | 0.671 |
| 3750 | 0.713 | 0.671 | 0.662 | 0.656 | 0.654 | 0.652 | 0.650 |
| 4000 | 0.702 | 0.655 | 0.643 | 0.636 | 0.633 | 0.630 | 0.628 |

附录C 面内受弯构件屈曲临界弯矩计算方法

**C.0.1**对于面内受弯构件（图C.0.1)，其屈曲临界弯矩可按下式计算：



图C.0.1 玻璃梁面内受力示意图

1—玻璃层； 2—中间层胶片

|  |  |
| --- | --- |
|  | （C.0.1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 面内受弯构件的屈曲临界弯矩（N·mm)； |
|  | —— | 系数，对于简支梁按表C.0.1取用； |
|  | —— | 夹层玻璃截面绕弱轴的等效惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 构件绕形心轴自由扭转刚度（N·mm2)，按本规程第C.0.2条计算； |
|  | —— | 夹层玻璃构件的计算跨度（mm)； |
|  | —— | 荷载在截面上的作用点与截面剪力中心间的距离，当荷载作用方向指向剪心时，取负值，当荷载作用方向背离剪心时，取正值； |

表C.0.1不同荷载类型的

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 荷载类型 |  |  |
| 跨中无侧向支承点 | 跨中集中荷载 | 1.37 | 0.55 |
| 满跨均布荷载 | 1.15 | 0.47 |
| 纯弯曲 | 1.00 | 0.00 |
| 跨中有一个  侧向支承点 | 跨中集中荷载 | 1.75 | 0.00 |
| 满跨均布荷载 | 1.39 | 0.14 |

**C.0.2** 对于各层单片玻璃厚度相同的夹层玻璃，绕截面形心轴自由扭转刚度可按下列公式计算：

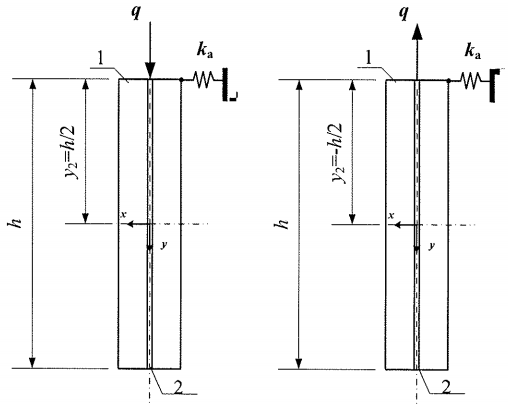
|  |  |
| --- | --- |
|  | （C.0.2-1） |
|  | （C.0.2-2） |
|  | （C.0.2-3） |
|  | （C.0.2-4） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 夹层玻璃的等效扭转惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 单片玻璃的厚度（mm)； |
|  | —— | 梁截面高度（mm)； |
|  | —— | 玻璃板层数； |
|  | —— | 单片玻璃的自由扭转惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 夹层玻璃截面完全组合时的自由扭转惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 与夹层剪切模量有关的系数； |
|  | —— | 中间层胶片厚度（mm)； |
|  | —— | 夹层玻璃构件的计算跨度（mm)； |
|  | —— | 玻璃剪切模量（N/mm2)； |
|  | —— | 中间层胶片剪切模量（N/mm2)。 |

**C.0.3** 当面内受弯构件与面板通过结构胶连续、可靠粘接时，可考虑结构胶对面内受弯构件整体稳定性的有利影响。此时，结构胶的作用可假定为弹性约束（图C.0.3)，面内受弯构件的临界弯矩可按下列公式近似计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  | （C.0.3-1） |
|  | （C.0.3-2） |



图C.0.3 结构胶连续约束玻璃梁面内受力示意

1—玻璃层；2—中间层胶片

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 面内受弯构件的整体稳定抗弯承载力设计值（N·mm)； |
|  | —— | 系数，按表C.0.3取用； |
|  | —— | 结构胶约束作用点与截面剪力中心间的距离，当结构胶约束受压侧时，取正值，当结构胶约束受拉侧时，取负值； |
|  | —— | 玻璃的弹性模量（N/mm2)； |
|  | —— | 夹层玻璃截面绕弱轴的等效惯性矩（mm4)； |
|  | —— | 绕截面形心轴自由扭转惯性矩（mm4)，按本规程第C.0.2条计算； |
|  | —— | 结构胶侧向支撑线刚度（N/mm2)； |
|  | —— | 硅硐结构密封胶弹性模量（N/mm2)； |
|  | —— | 硅硐结构密封胶粘接宽度（mm)，对于胶缝有垫块等填充物材料时，应取结构胶实际粘接宽度； |
|  | —— | 硅硐结构密封胶粘接厚度（mm)。 |

表C.0.3系数取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 荷载形式 | 跨中集中力 | 均布荷载 | 端弯矩 |
|  | 0.85 | 0.95 | 1.00 |

附录D 槽式预埋件设计

**D.0.1** 槽式预埋件设计承载力应按下列设计表达式验算所有可能的失效模式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.1-1） |
|  | （D.0.1-2） |
|  | （D.0.1-3） |

式中：

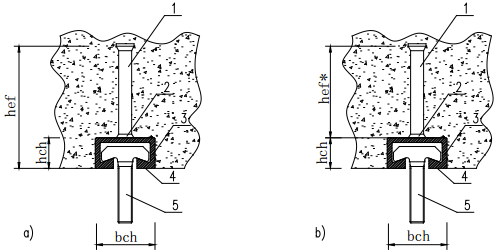
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 承载能力极限状态下，槽式预埋件上作用组合的效应设计值，在本  节各条中S用内力设计值（， ）表示； |
|  | —— | 槽式预埋件承载力设计值； |
|  | —— | 槽式预埋件承载力标准值； |
|  | —— | 槽式预埋件承载力分项系数，按D.0.10条取值； |
|  | —— | 地震作用下承载力降低系数。当地震作用效应不大于荷载效应组合值*S*的20%时，*k*值可取1.0。当地震作用效应大于荷载效应组合值*S*的20%时，宜根据试验或认证报告确定。 |

**D.0.2**需要考虑平行于槽体长度方向剪力时，不应仅依靠T型螺栓与钢槽卷边之间的摩擦力来抗剪，螺栓应焊接定位或采用其他防滑移措施。

**D.0.3**承载力标准值由产品型式检验报告或认证报告提供，测试方法可按照国家与行业相关标准执行。

**D.0.4**槽式预埋件各部件示意见图D.0.4。

且时，槽式预埋件的有效埋置深度可按图D.0.4-a取；不满足上述条件时，槽式预埋件的有效埋置深度按图D.0.4-b取。



图D.0.4槽式预埋件各部件示意图

1—锚筋（锚腿）；2—锚筋与槽体连接处；3—槽体（又称钢槽）；4—槽体卷边；

5—T型螺栓；—槽体宽度；—槽体高度；

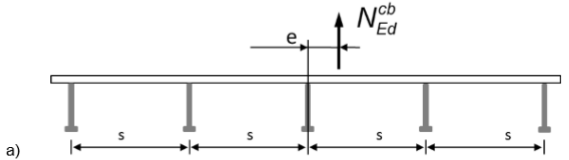
**D.0.5** 槽式预埋件受拉内力计算：

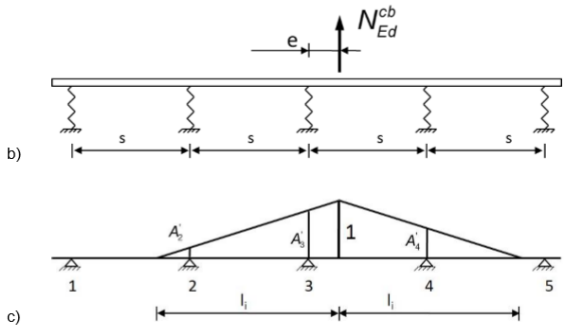
**1**位于槽式预埋件任意位置的T型螺栓受拉时，槽式预埋件各锚筋的受力可沿集中力影响范围线性分配，每根锚筋所受拉力可按式D.0.5计算。当槽式预埋件受多处集中力时，锚筋所受拉力等于各集中力的线性分布力叠加值。若钢槽上集中受力的位置未知或可调，应根据不同破坏模式假定受力位置为最不利时对其进行验算。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 锚筋*i*受到的拉力设计值（kN)； |
|  | —— | 槽式预埋件受到的拉力设计值（kN)，见图D.0.5； |
|  | —— | 以荷载为高度单位1.0，与其影响长度形成一个三角形，锚筋*i*在该三角形内的高度或纵坐标值（mm）； |
|  | —— | 荷载三角形内各总和的倒数，按D.0.6条计算； |
|  | —— | 拉力作用对槽式预埋件的影响长度，可按D.0.7条计算。 |





图D.0.5 槽式预埋件锚筋受力计算示意图

a）一个槽式预埋件示意图；b）弹性支撑示意图；c）荷载三角形分配计算方法

**2** 位于槽式预埋件任意位置的T型螺栓受拉时，槽式预埋件会产生整体受弯，该弯矩设计值，可假定槽式预埋件是以锚筋为支点的简支梁进行计算。

**D.0.6** 槽式预埋件受拉内力计算时，荷载三角形内各总和的倒数*k*可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.6） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 拉力影响长度内的锚筋数量； |
|  | —— | 见D.0.5条。 |

**D.0.7** 槽式预埋件受拉内力计算时，拉力作用对槽式预埋件的影响长度可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.7） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 钢槽截面惯性矩（mm4)，由相关产品型式检验报告或认证报告提供； |
|  | —— | 锚筋间距（mm)，见图D.0.5条。 |

**D.0.8** 槽式预埋件受剪力时的内力计算：

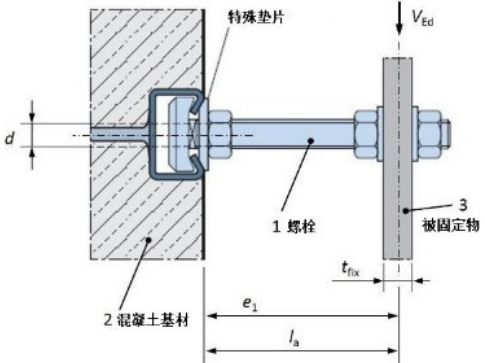
**1**槽式预埋件受垂直于钢槽长度方向的剪力时，其内力可按照D.0.5条进行计算。

**2**槽式预埋件受平行于钢槽长度方向的剪力时，仅由受力方向尾部的三根锚筋平均承担荷载，即尾部三根锚筋的力值均为；锚筋数量不大于3时，可将剪力平均分配到各锚筋上。

**D.0.9** 下列2个条件同时满足时，作用于钢槽的剪力可以认定为没有杠杆臂的纯剪切状态，否则应按照有杠杆臂受剪进行计算（图D.0.9）。

**1**被连接件材质为钢或铝合金，在其厚度范围内与T型螺栓全接触；

**2**被连接件与混凝土基材直接接触。



图D.0.9杠杆力臂长度示意图

**D.0.10** 槽式预埋组件设计，应分别对拉力和剪力引起的槽式预埋件及混凝土结构强度进行校核，并验算拉剪复合作用。

**1**槽式预埋件应按照表D.0.10-1计算受拉承载力。

表D.0.10-1拉力作用下槽式预埋件的验算项目

| 序号 | 失效模式 | | 钢槽 | 最不利锚筋或螺栓 | 示意图 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 钢材破坏 | 锚筋受拉 | —— |  |  |
| 2 | 锚筋与钢槽连接处受拉 | —— |  |  |
| 3 | 钢材破坏 | 钢槽卷边受拉破坏（验算螺栓受力最大者） |  | —— |  |
| 4 | 螺栓受拉 | —— |  |  |
| 5 | 钢槽整体受拉弯曲破坏 |  | —— |  |
| 6 | 锚筋受拉拔出破坏 | | —— |  |  |
| 7 | 混凝土锥体破坏（不满足要求时，可考虑设置抗拉附加钢筋） | | —— |  |  |
| 8 | 混凝土劈裂破坏 | | —— |  |  |
| 9 | 混凝土受拉边缘剥落破坏 | | —— |  |  |

**2**槽式预埋件应按照表D.0.10-2计算受剪承载力。

表D.0.10-2剪力作用下槽式预埋件的验算项目

| 序号 | 失效模式 | | 钢槽 | 最不利锚筋或螺栓 | 示意图 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 钢材  破坏  （无杠杆臂） | 螺栓  受剪 | —— |  |  |
| 2 | 锚筋  受剪 | —— |  |  |
| 3 | 钢材  破坏  （无杠杆臂） | 锚筋与钢槽连接处受剪 | —— |  |  |
| 4 | 钢槽卷边受剪破坏 |  | —— |  |
| 5 | 钢材  破坏  （有杠杆臂） | 螺栓  受剪 | —— |  |  |
| 6 | 混凝土剪撬破坏 | | —— |  |  |
| 7 | 混凝土边缘破坏（不满足要求时，可考虑加密箍筋） | | —— |  |  |

**3**槽式预埋件与混凝土结构锚固连接的承载力分项系数，应按照表D.0.10-3采用。

表D.0.10-3槽式预埋件设计的承载力分项系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 破坏模式 | 分项系数代号 | 分项系数 |
| 槽式预埋件钢材破坏 | | |
| 1 锚筋受拉、螺栓受拉 |  | 1.50 |
| 2 锚筋受剪，螺栓受剪（有杠杆臂、无杠杆臂） |  | 1.25 |
| 3 锚筋与钢槽连接处受拉、受剪 |  | 1.80 |
| 4 钢槽卷边受拉、受剪 |  | 1.80 |
| 5 钢槽整体受拉弯曲 |  | 1.15 |
| 混凝土破坏 | | |
| 6 混凝土受拉锥体破坏、混凝土受拉边缘破坏、混凝土受剪边缘破坏、混凝土受剪剪撬破坏 |  | 1.50 |
| 7 混凝土劈裂破坏 |  | 1.50 |
| 锚筋受拉拔出破坏 | | |
| 8 锚筋受拉拔出破坏 |  | 1.50 |

**D.0.11**槽式预埋件受拉钢材破坏：

**1**锚筋的钢材破坏受拉承载力标准值，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定；不应大于 ， 其中为锚筋受拉应力截面面积，为锚筋屈服强度标准值。

**2**锚筋与钢槽连接处钢材破坏受拉承载力标准值，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定。

**3**钢槽卷边钢材破坏受拉承载力标准值，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定。设计时应保证相邻T型螺栓的轴心间距，（为槽式预埋件宽度；为相邻T型螺栓轴心间距），否则该承载力标准值应当乘以折减系数：

**4** T型螺栓的钢材破坏受拉承载力标准值，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定；不应大于， 其中为T型螺栓受拉应力截面面积；为T型螺栓屈服强度标准值。

**5** 钢槽受拉弯曲钢材破坏的抗弯承载力标准值，应由产品认证报告提供; 若无认证报告，可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.11） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 槽式预埋件y轴向的塑性截面抵抗矩，由材料供应提供； |
|  | —— | 钢槽材料的屈服强度标准值。 |

**D.0.12** 锚筋受拉拔出破坏承载力标准值可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.12） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 取6.0（开裂混凝土）或取8.4（非开裂混凝土）； |
|  | —— | 锚筋端部受力面积(mm2)；锚筋端部为圆头时，，为锚筋平直段直径，为锚筋端部圆头直径，其中不应大于(），为锚筋端部圆头的厚度（参考图D.0.4）； |
|  | —— | 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm2)。 |

**D.0.13** 单根锚筋发生混凝土锥体破坏受拉承载力标准值可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.13） |

式中：

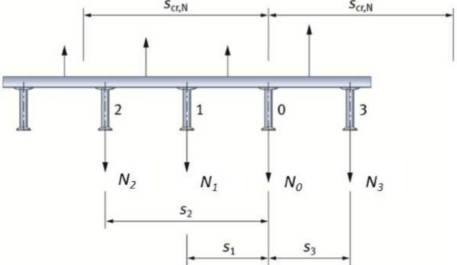
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 单根锚筋受拉时，混凝土理想锥体破坏的受拉承载力标准值（N），可按D.0.14条计算； |
|  | —— | 相邻锚筋间距影响系数，可按D.0.15条计算； |
|  | —— | 混凝土基材边缘距离影响系数，可按D.0.16条计算； |
|  | —— | 混凝土基材边角影响系数，可按D.0.17条计算； |
|  | —— | 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数，可按  D.0.18条计算。 |

**D.0.14** 相邻锚筋间距影响系数可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.14） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 相邻锚筋间的距离（mm)，不应大于锚筋的临界间距； |
|  | —— | 临界间距；可取； |
|  | —— | 0号锚筋（进行验算的锚筋）所承受的拉力荷载（N)； |
|  | —— | 对0号锚筋有影响的单个锚筋所承受的拉力荷载（N)； |
|  | —— | 指定锚筋两侧临界距离（）内的锚筋数量。 |



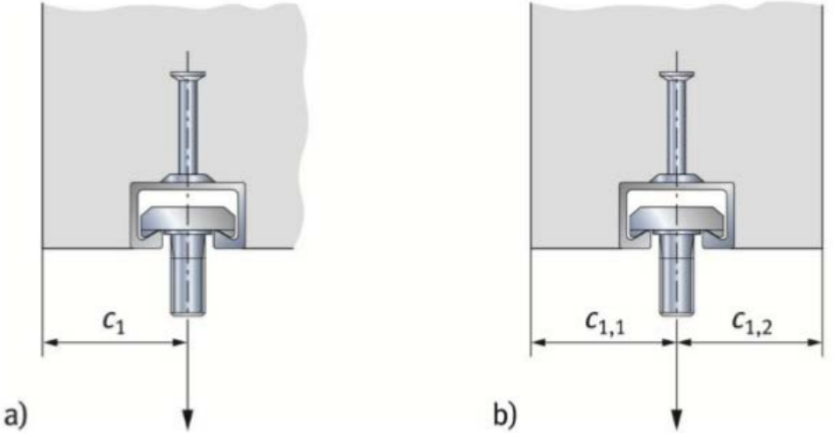
图D.0.14槽式预埋件受拉示意

**D.0.15** 混凝土基材边缘距离影响系数可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.15） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 槽式预埋件的边距，见图D.0.15，基材构件为狭窄构件时，取和的较小值； |
|  | —— | 临界边距，，见图D.0.15条。 |



图D.0.15槽式预埋件边距示意

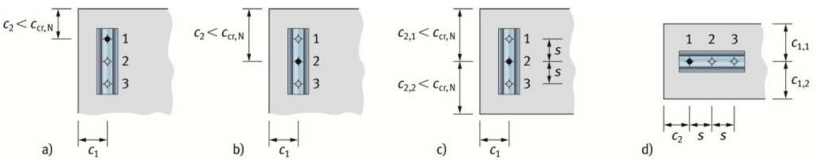
*a）*一侧为边缘；*b）*在一个狭窄构件中，两侧均为边缘

**D.0.16** 混凝土基材边角影响系数可按下式计算；

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.16） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 所验算锚筋的边角距离，见图D.0.16； |
|  | —— | 临界边距，，见图D.0.14条。 |



图D.0.16槽式预埋件边角距离取值示意

*a）*针对锚筋1的计算；*b）*针对锚筋2的计算；*c）*针对锚筋2的计算；*d）*针对锚筋1的计算

**D.0.17** 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数，可分两种情况考虑：

**1**槽式预埋件有效埋深时，可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.17） |

**2** 下列情况下可直接取1.0：

1) 混凝土内箍筋间距大于150mm；

2) 箍筋的直径不大于10mm且间距大于100mm。

**3**槽式预埋件有效埋深时，取。

**D.0.18**混凝土受拉劈裂破坏验算：

**1**应满足最小边距、最小间距、混凝土基材最小厚度和最小配筋等要求，避免安装过程中的混凝土劈裂破坏。

**2**为避免荷载条件下的劈裂破坏，设计应满足下列条件之一：

1）任何方向的边距，且基材厚度。为劈裂破坏临界边距，按产品认证报告或测试报告取值，无报告时取3倍有效埋深()。

2）计算混凝土受拉锥体破坏时，是按照开裂混凝土计算承载力的，且考虑劈裂力时基材裂缝宽度，并设置有附加钢筋抵抗劈裂力，该附加钢筋应当在靠近每一个锚筋的地方对称设置，附加钢筋的数量可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.18-1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 一个锚筋边上抗劈裂附加钢筋的截面积，该槽式预埋件的每一个锚筋附近均应设置同样数量的附加钢筋； |
|  | —— | 槽式预埋件中受拉力最大的锚筋所承受的拉力； |
|  | —— | 附加钢筋的屈服强度标准值； |
|  | —— | 分项系数，可取1.15。 |

**3**不满足上述条件时，混凝土劈裂破坏承载力标准值应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.18-2） |
|  | （D.0.18-3） |
|  | （D.0.18-4） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 拔出破坏承载力标准值，按D.0.12计算； |
|  | —— | 混凝土受拉锥体破坏力标准值，按D.0.14计算； |
|  | —— | 基材厚度影响系数，不应大于，且不大于2.0； |
|  | —— | 混凝土基材厚度； |
|  | —— | 混凝土基材最小厚度，本条验算取或相关认证、测试报告中的值。 |

另外，、、、均按照D.0.13的相关公式计算，式中的临界边距和临界间距，应分别用和替代，其中劈裂破坏临界间距。

**D.0.19**混凝土受拉边缘剥落破坏验算：

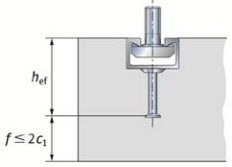
**1** 槽式预埋件任一锚筋的任一边距不小于时，该破坏模式无需验算。

**2** 不满足上款要求时应作混凝土受拉边缘剥落破坏验算。混凝土受拉边缘剥落破坏承载力标准值，可按下式计算（当槽体垂直于混凝土基材边缘时，只需验算最靠近边缘的单个锚筋）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.19-1） |
|  | （D.0.19-2） |
|  | （D.0.19-3） |
|  | （D.0.19-4） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 单一锚筋的理想混凝土受拉边缘剥落破坏承载力标准值； |
|  | —— | 相邻锚筋间距影响系数，按D.0.14条公式计算，式中的用替换； |
|  | —— | 混凝土基材边角影响系数；如果一个锚筋同时受到基材两个边角的影响，见图D.0.16的c，应同时采用和来计算边角影响系数，取较小值； |
|  | —— | 基材厚度影响系数；锚筋顶端基材厚度时（见图D.0.19)，应考虑基材厚度影响系数； |
|  | —— | 边距（mm)，见图D.0.15； |
|  | —— | 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm2)； |
|  | —— | 锚筋端部的受力面积（mm2)，见D.0.11条，也可按认证报告取值； |
|  | —— | 取7.8（开裂混凝土），或取11.0（非开裂混凝土）； |
|  | —— | 所验算锚筋的边角距离（mm)，见图D.0.16； |
|  | —— | 临界边距（mm)，取； |
|  | —— | 有效埋深（mm)； |
|  | —— | 锚筋顶端基材厚度（mm)。 |



图D.0.19槽式埋件在较薄的混凝土基材中

**D.0.20** 槽式预埋件受剪钢材破坏（垂直于槽体剪力和平行于槽体剪力)：

**1** 垂直于钢槽长度方向剪力作用下，锚筋的钢材破坏受剪承载力标准值应按产品认证报告取值；若无认证报告，可经检测确定。平行于钢槽长度方向剪力作用下，锚筋的钢材破坏受剪承载力标准值，应按产品认证报告或测试报告取值。以上2项，若无相关报告，可根据《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013取，其中为锚筋受拉应力截面面积，为锚筋屈服强度标准值。

**2** 垂直于钢槽剪力作用下，锚筋与钢槽连接处钢材破坏受剪承载力标准值，应取认证报告或相关标准中的垂直于槽式预埋件的剪切测试给出的承载力标准值。平行于钢槽剪力作用下，锚筋与钢槽连接处的钢材破坏受剪承载力标准值，应按产品认证报告取值。若无相关报告，可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.20-1） |

式中：

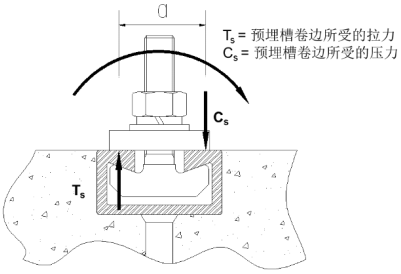
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 锚筋的钢材破坏受剪承载力标准值，按本条第1款取值； |
|  | —— | 锚筋与钢槽连接处钢材破坏受拉承载力标准值，按D.0.10条取值； |
|  | —— | 锚筋的钢材破坏受拉承载力标准值，按D.0.10条取值。 |

**3** 垂直于钢槽剪力作用下，钢槽卷边钢材破坏受剪承载力标准值，应取认证报告或相关标准中的垂直于钢槽的剪切测试给出的承载力标准值，设计时应保证相邻T型螺栓的轴心间距，（为槽式预埋件宽度），否则该承载力标准值应乘以折减系数。平行于钢槽剪力作用下，钢槽卷边钢材破坏受剪承载力标准值，应取相关认证报告或相关标准中的平行于钢槽的剪切测试给出的承载力标准值。分项系数按表D.0.10-3或按相关认证/测试报告取值。

**4** 无杠杆臂的纯剪切状态，垂直或平行于钢槽剪力作用下，T型螺栓的钢材破坏受剪承载力标准值，应按认证报告取值。若无认证报告，可取相关标准中的受剪承载力标准值，或根据《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013取，其中为螺栓受拉应力截面面积，为螺栓屈服强度标准值。

**5** 有杠杆臂的弯剪复合受力（图D.0.9)，平行于钢槽剪力作用下，T型螺栓的钢材破坏受剪承载力标准值，应按测试报告取值。垂直于钢槽剪力作用下，T型螺栓的受剪承载力标准值可按下式计算（见图D.0.9）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.20-2） |
|  | （D.0.20-3） |
|  | （D.0.20-4） |



图D.0.20 T型螺栓受剪时的内力臂长度示意图

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 被连接件约束系数，幕墙工程可取值1.0； |
|  | —— | 抗弯承载力标准值； |
|  | —— | 槽式预埋件螺栓的理想抗弯承载力标准值，由认证报告提供；无相关认证报告时，可按JGJ 145-2013的公式计算，且不应大于，其中见D.0.11条，a为T型螺栓受剪时的内力臂长度（图D.0.20） |

**D.0.21**混凝土剪撬破坏承载力标准值，应选取槽式预埋件中的最不利锚筋按下式进行计算：

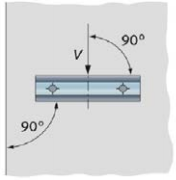
|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.21-1） |
|  | （D.0.21-2） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 影响系数，由相关认证报告提供；没有认证报告时，可按JGJ 145-2013规定取2.0 （幕墙工程中有效埋深不小于90mm)； |
|  | —— | 混凝土锥体破坏受拉承载力标准值，按D.0.13条计算。 |

**D.0.22** 垂直于钢槽长度方向剪力作用下，混凝土边缘破坏受剪承载力标准值，按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.22） |



图D.0.22 剪力方向与混凝土基材边缘平行示意图

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 单根锚筋承受垂直于钢槽剪力时，混凝土理想边缘破坏承载力标准值（N)； |
|  | —— | 相邻锚筋间的影响系数，按D.0.24计算； |
|  | —— | 混凝土基材边角影响系数，按D.0.25计算； |
|  | —— | 混凝土基材厚度影响系数，按D.0.26计算； |
|  | —— | 考虑剪力与边缘平行时对受剪承载力的影响系数，如图D.0.22时取2.5，其它条件下（不平行时）取1.0； |
|  | —— | 混凝土边缘有无配筋或所处位置对承载力的影响系数：  a）构件为开裂混凝土，且边缘无纵向钢筋或箍筋时取1.0；  b）构件为开裂混凝土，在槽式预埋件和构件边缘之间有纵向钢筋，且直径不小于12mm时取1.2；  c）构件为开裂混凝土，边缘有纵向钢筋和箍筋，且纵筋直径不小于12mm、箍筋间距不大于100mm时取1.4；  d）构件为非开裂混凝土时取1.0。 |

**D.0.23** 单根锚筋承受垂直于钢槽剪力时，土理想边缘破坏承载力标准值按下式计算：

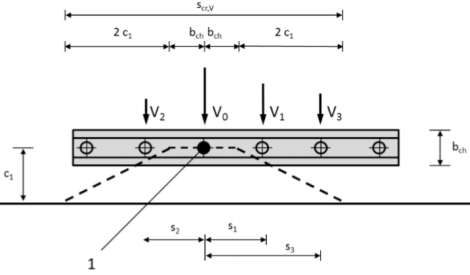
|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.23） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 系数，按相关认证报告中开裂或非开裂混凝土的取值；如无认证报告，开裂混凝土取4.1，非开裂混凝土取5.7； |
|  | —— | 混凝土立方体抗压强度标准值（N/mm2)； |
|  | —— | 沿剪力方向的边距（mm)。 |

**D.0.24** 相邻锚筋间的影响系数可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.24） |



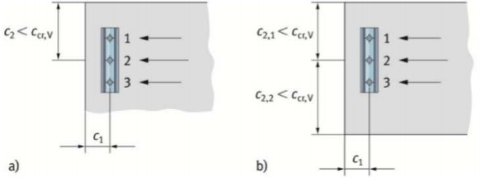
图D.0.24 垂直钢槽剪力作用下混凝土边缘破坏示意图（1为进行验算的0号锚筋）

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 相邻锚筋与0号锚筋的间距（mm)，； |
|  | —— | 锚筋的临界间距(mm)，当/≤0.4且/≤0.7时，取；当上述条件不满足时，应由相关认证报告或测试报告提供，且不小于()； |
|  | —— | 临界距离内某个相邻锚筋所承受的剪力（N)； |
|  | —— | 指定锚筋所承受的剪力荷载（N)； |
|  | —— | 指定锚筋两侧临界距离内的锚筋数量。 |

**D.0.25** 混凝土基材边角影响系数可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.25） |



a）受一个角影响； b）受2个角影响

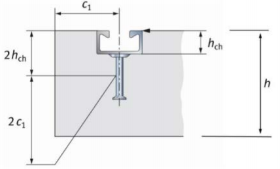
图D.0.25槽式预埋件锚筋受边角影响示意图

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 临界边距(mm)，； |
|  | —— | 为垂直剪力方向的边距（mm)，如果一个锚筋同时受到基材两个边角的影响（图D.0.25的b)，应同时采用来计算边角影响系数，并代入到公式D.0.22中，最后取较小值。 |

**D.0.26** 混凝土基材厚度影响系数的计算，构件厚度时可直接取1.0；时按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.26） |



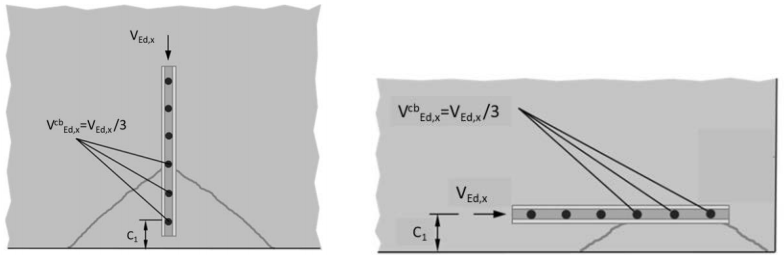
图D.0.26 槽式预埋件锚筋受构件厚度影响示意图

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 基材临界厚度(mm)；当槽式预埋件/≤0.4且/≤0.7时，取；当上述条件不满足时，应由相关认证报告或测试报告提供，且不小于()； |
|  | —— | 混凝土构件厚度（mm)。 |

**D.0.27**在平行于钢槽长度方向的剪力作用下，最不利单根锚筋混凝土边缘破坏受剪承载力标准值，取算式D.0.27-1和算式D.0.27-2的较小值。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.27-1） |
|  | （D.0.27-2） |



图D.0.27a 端部混凝土的边缘破坏 图D.0.27b 侧面混凝土的边缘破坏

式中：为预埋槽的锚筋数量，当锚筋数量大于3时取3；其它参数均按JGJ 145-2013第6.1.15条计算。

**D.0.28** 槽式预埋件承受拉剪复合力时，应分别对T型螺栓钢材破坏、卷边破坏和钢槽受弯破坏、锚筋破坏和锚筋与钢槽连接破坏、混凝土破坏进行验算，并满足本条相关要求。

**1**槽式预埋件承受拉剪复合力时，T型螺栓的钢材破坏模式验算应满足公式D.0.28-1。螺栓承受的剪力存在有杠杆力臂情况时无需进行本验算。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.28-1） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 分配到槽式预埋件T型螺栓的拉力（N)； |
|  | —— | 槽式预埋件T型螺栓受拉破坏承载力设计值（N)； |
|  | —— | 槽式预埋件T型螺栓上所分配到的剪切力（N)，即T型螺栓上  所受垂直于钢槽轴向剪切力和平行于钢槽轴向剪切力的合力； |
|  | —— | 槽式预埋件T型螺栓受剪破坏承载力设计值（N)。 |

**2**槽式预埋件承受拉剪复合力时，其卷边破坏、钢槽受弯破坏模式的验算，应满足下列公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.28-2） |
|  | （D.0.28-3） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 指数；时取2.0；时按相关认证报告取值，如无认证报告，可取1.0；当考虑了抗震的相关计算时，可取1.0； |
|  | —— | 分配到槽式预埋件螺栓的拉力（N)； |
|  | —— | 槽式预埋件钢槽卷边受拉破坏承载力设计值（N)； |
|  | —— | 分配到槽式预埋件螺栓上垂直于槽式预埋件轴向的剪力（N)； |
|  | —— | 分配到槽式预埋件螺栓上平行于槽式预埋件轴向的剪力（N)； |
|  | —— | 槽式预埋件的钢槽卷边受剪破坏承载力设计值（N)； |
|  | —— | 拉力作用下钢槽整体受弯的弯矩设计值（N·mm)； |
|  | —— | 钢槽整体受拉弯曲的承载力设计值（N·mm)。 |

**3**槽式预埋件承受拉剪复合力时，其锚筋破坏、锚筋与钢槽连接破坏模式的验算，应满足下列公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.28-4） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 指数；max()时取2.0；时，应按相关认证报告，或取1.0；当考虑了抗震的相关计算时，可取1.0； |
|  | —— | 分配到槽式预埋件锚筋的拉力（N)； |
|  | —— | 槽式预埋件锚筋的抗拉承载力设计值（N)； |
|  | —— | 钢槽与锚筋连接处的抗拉承载力设计值（N)； |
|  | —— | 分配到锚筋上垂直于槽式预埋件轴向的剪力（N)； |
|  | —— | 分配到锚筋上平行于槽式预埋件轴向的剪力（N)； |
|  | —— | 分配到锚筋上平行于槽式预埋件轴向的剪力（N)； |
|  | —— | 锚筋在垂直于槽体轴向的抗剪承载力设计值（N)； |
|  | —— | 锚筋在平行于槽体轴向的抗剪承载力设计值（N)； |
|  | —— | 钢槽与锚筋连接处垂直于槽体轴向的抗剪承载力设计值（N)； |
|  | —— | 钢槽与锚筋连接处平行于槽体轴向的抗剪承载力设计值（N)。 |

**4** 槽式预埋件承受拉剪复合力时，其混凝土破坏模式的验算，应满足下列公式。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.28-5） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 指数；当考虑了抗震的相关计算时，可取1.0；当布置了附加钢筋承担拉力和剪力时，可取1.0；当没有附加辅助钢筋承担拉力和剪力时，可取1.5； |
|  | —— | 锥体破坏受拉承载力设计值、锚筋受拉拔出破坏承载力设计值 、劈裂破坏或受拉边缘剥落破坏等4个模式，采用其中（）的较大值； |
|  | —— | 应分别验算垂直于钢槽受剪情况下，混凝土边缘破坏、剪撬破坏等2个模式，采用其中（）的较大值； |
|  | —— | 应分别验算平行于钢槽受剪情况下，混凝土边缘破坏、剪撬破坏等2个模式，采用其中（）的较大值。 |

**D.0.29** 槽式预埋件的混凝土基材厚度不应小于200mm；槽式预埋件有效锚固深度不小于90mm；相邻锚筋间距不小于100mm，不大于250mm；槽式预埋件与混凝土构件的最小边距和均不小于50mm。

**D.0.30** 除锚筋和不锈钢制品外，槽式预埋件的表面应进行热浸镀锌处理，镀锌厚度应符合《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规定。

# 用词说明

**1**为便于在执行本规程条文时区别对待，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**规程中指明应按其他有关标准执行的写法为：

“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

1《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB50068

2《建筑结构荷载规范》 GB50009

3《建筑抗震设计规范》 GB50011

4《建筑设计防火规范》 GB50016

5《钢结构设计标准》 GB50017

6《铝合金结构设计规范》

7《木结构设计标准》 GB50429

8《工程结构通用规范》 GB55001

9《建筑玻璃应用技术规程》 JGJ 113

10《采光顶与金属屋面技术规程》 JGJ 255

11《建筑遮阳工程技术规范》 JGJ 237

12《上海市建筑幕墙工程技术规范》 DGJ 08-56

**中国工程建设协会标准**

**建筑幕墙结构计算标准**

**T/CECS XXXX-202×**

条文说明

# 制 定 说 明

本标准制定过程中，编制组进行了……，总结了……，同时参考了……，通过……，研究……，取得了………成果。

本标准编制原则为：（1）科学合理、具有可操作性；（2）实事求是，标准使用人应严格遵守标准有关规定；（3）保证标准适用性……；

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《建筑幕墙结构计算标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。