



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

建筑门窗结构设计标准

Standard for structural design of building windows and doors

（征求意见稿）

***出版社

中国工程建设标准化协会标准

建筑门窗结构设计标准

Standard for structural design of building windows and doors

T/CECS XXX

主编单位：建科环能科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：XXX

×××出版社

202X 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字 [2021]011 号）的要求，编制组经过深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外的先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共有 10 章和 2 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本设计规定、材料、计算模型及方法、框架设计、面板设计、五金应用设计、连接设计、结构计算表达等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准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环境与节能专业委员会归口管理，由建科环能科技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，请反馈给建科环能科技有限公司（地址：北京市朝阳区北三环东路 30 号，邮政编码：100013，邮箱：cecs@cabr-bctc.com）。

主编单位： xxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxxxx

参编单位： xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxxxx

主要起草人： xxx xxx xxx

主要审查人： xxx xxx xxx xxx xxx

xxx xxx

目次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 主要符号	2
3 基本设计规定	4
3.1 一般规定	4
3.2 方案设计	4
3.3 作用及荷载效应	5
3.4 结构设计原则	6
3.5 设计合理性分析	7
4 材料	9
4.1 一般规定	9
4.2 材料力学性能	9
4.3 材料物理性能	13
5 计算模型及方法	15
5.1 基本原则	15
5.2 分析模型	15
5.3 边界支承模型	15
5.4 荷载分布模型	16
5.5 一般计算准则	17
5.6 数值计算分析	17
6 框架设计	20
6.1 一般规定	20
6.2 截面几何特性	20
6.3 轴心拉、压计算	21
6.4 受弯计算	21
6.5 挠度计算	22
7 面板设计	23
7.1 一般规定	23
7.2 面板等效厚度	23
7.3 荷载分配原则	25
7.4 平面面板强度计算	29
7.5 平面面板刚度计算	31
8 五金设计	33
8.1 一般规定	33
8.2 五金承载力计算	33
9 连接设计	45
9.1 一般规定	45
9.2 紧固件连接计算	45
9.3 硅酮结构密封胶计算	50
9.4 其他连接计算	52
10 结构计算表达	54
10.1 一般规定	54
10.2 结构计算书	54
附录 A 型材截面特性计算	55
附录 B 建筑门窗框扇杆件受力类型	57
用词说明	58
引用标准名录	59
附：条文说明	61

CONTENTS

1	General	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirements of Design	4
3.1	General Provisions	4
3.2	Conceptual Design	4
3.3	Actions and Load Effects	5
3.4	Structural Design Principles	6
3.5	Design Rationality Analysis	7
4	Material	9
4.1	General Provisions	9
4.2	Mechanical Properties of Materials	9
4.3	Physical Properties of Materials	13
5	Calculation Model and Method	15
5.1	Basic Principle	15
5.2	Analysis Model	15
5.3	Boundary Support Model	15
5.4	Load Distribution Model	16
5.5	General Calculation Criteria	17
5.6	Numerical Calculation Analysis	17
6	Design for Supporting Frame	20
6.1	General Provisions	20
6.2	Geometric Characteristic	20
6.3	Axial Tension and Compression Calculation	21
6.4	Bending Calculation	21
6.5	Deflection Calculation	22
7	Design for Panel	23
7.1	General Provisions	23
7.2	Equivalent Thickness of Panel	23
7.3	Load Distribution Principle	25
7.4	Strength Calculation of Plane Panel	29
7.5	Stiffness Calculation of Plane Panel	31
8	Design for Hardware	33
8.1	General Provisions	33
8.2	Hardware Bearing Capacity Calculation	33
9	Design for Connection	45
9.1	General Provisions	45
9.2	Fastener Connection Calculation	45
9.3	Calculation of Sealant for Silicon Adit Structure	50
9.4	Other Connection Calculation	52
10	Structural Computational Expression	54
10.1	General Provisions	54
10.2	Structural Calculation Sheet	54
	Appendix A Calculation of profile section characteristics	55
	Appendix B Stress Type of Frame and Sash Members of Building Doors and Windows	57
	Explanation of Wording in This Standard	58
	List of Quoted Standards	59
	Addition: Explanation of Provisions	61

1 总则

1.0.1 为规范建筑门窗结构设计，做到安全可靠、经济合理、技术可行，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建筑门窗结构设计。

1.0.3 设计门窗结构时，应满足强度、刚度要求，合理选用材料、结构方案和构造措施，必要时采用性能化设计方法。

1.0.4 建筑门窗结构设计，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 门窗结构设计 structural design of windows and doors

门窗面板、杆件、五金件及紧固件等在永久荷载、风荷载、地震作用等荷载作用下的强度和刚度设计。

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的型材。

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。

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和轴产生挠曲，且挠度相等的型材。

2.1.8 性能化设计 performance-based design

针对不同的门窗工程具体情况，在满足门窗结构安全性的基础上，进行更为经济合理、技术先进的门窗结构设计，适用于对使用功能和其他方面有专门要求的门窗工程。

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

N_t ——一个连接件所承受的拉力

N_v ——一个连接件所承受的剪力

V ——剪力

2.2.2 计算指标

E ——材料弹性模量

G ——材料剪变模量

N_{tb} ——一个连接件的抗拉承载力设计值

N_{vb} ——一个连接件的抗剪承载力设计值

N_{cb} ——一个连接件的承压承载力设计值

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

2.2.4 计算系数

n ——连接处的螺钉/螺栓数

β ——多个紧固件连接的受力不均匀影响放大系数

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 本标准的设计原则根据现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 制定。建筑门窗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。

3.1.2 建筑门窗结构设计应至少包括下列内容：

- 1 目标设计，包括性能目标、构造型式、开启方式；
- 2 材料设计，包括材料选用、截面选择等；
- 3 作用及荷载效应分析；
- 4 框架、面板、五金、连接及系统构造的合理选配设计；
- 5 结构极限状态及正常使用状态的计算分析；
- 6 必要时的结构性能化设计。

3.1.3 建筑门窗结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，且满足下列要求：

1 承载能力极限状态包括：框架、面板、五金等受力构件发生强度破坏，因过度变形而不适合继续承载；丧失稳定；构件连接部位结构转变为机动体系；结构倾覆；疲劳破坏；

2 正常使用极限状态包括：框架、面板、五金等受力构件发生影响正常使用的变形和振动、局部损坏以及功能障碍。

3.1.4 建筑门窗按承载能力极限状态设计时，应考虑荷载效应的基本组合，必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合或地震组合。按正常使用极限状态设计时，应考虑荷载效应的标准组合。

3.2 方案设计

3.2.1 建筑门窗工程设计时，应根据建筑功能要求、应用地气候分区、工程地地貌特征、风环境特征等，综合确定结构设计性能目标。

3.2.2 建筑门窗产品设计时，应明确结构设计目标，并对适用的建筑功能、气候区域、工程部位等进行说明。

3.2.3 建筑门窗立面型式设计，应与建筑整体设计及周围环境相协调，尺寸及分格宜与室内空间组合相适应，不应妨碍室内空间功能需求和视觉需要。开启部位设计应满足自

然通风及通行要求，必要时尚应满足消防排烟或逃生要求。开启方式设计应考虑功能需求及节能目标需求。

3.2.4 既有建筑的门窗改造设计，应基于改造必要性的安全评估结果进行。改造前应根据安全评估结论，改造范围的分析、改造后门窗整体结构安全目标设计计算应符合现行有关标准的规定。改造设计中应对影响结构功能持续发挥的技术要求进行复核。

3.2.5 建筑门窗受力构件的布置，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 构件及其连接，应具备一定的变形协调能力，可适应因风压作用、温度变化及地震作用等而产生的轻微位移；
- 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。

3.2.6 建筑门窗宜单樘应用。当工程需要进行组合使用时，应进行组合拼樘框的结构设计计算。

3.2.7 建筑门窗外形宜采用规则矩形型式。建筑门窗宜优先选用现行国家标准《建筑门窗洞口尺寸协调要求》GB/T 30591 中常用的标准规格尺寸及现行国家标准《建筑门窗洞口尺寸系列》GB/T 5824 中建筑门窗洞口尺寸系列。

3.2.8 建筑门窗可采用干法或湿法安装，门窗的安装连接应进行结构设计计算；当采用附框安装时，门窗与附框、附框与主体结构的连接均应进行结构设计计算。

3.2.9 当建筑门窗因特殊功能要求而影响其结构安全性能时，除应满足其特殊功能要求外，尚应进行设计计算。

3.2.10 建筑门、无护栏窗、平屋顶窗、斜屋顶窗，均应进行结构抗冲击荷载设计计算。

3.3 作用及荷载效应

3.3.1 建筑门窗结构设计荷载应包括永久荷载、风荷载和地震作用。屋面部位的建筑平屋顶窗、与水平面的夹角小于 75°的斜屋顶窗，应考虑雪荷载、临时集中荷载及冲击荷载。耐久性设计时，应考虑开启部位振动产生的荷载影响。

3.3.2 建筑门窗结构的荷载标准值、荷载分项系数、荷载组合值系数等，应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的规定采用。

3.3.3 建筑门窗结构的重要性系数 γ_0 应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的规定，根据结构的安全等级、设计使用年限确定，且不应小于 1.0。

3.3.4 建筑高度大于 200m、体型不规则或风荷载复杂的建筑，建筑门窗结构设计风荷

载计算用局部体型系数，宜采用风洞试验或数值风洞方法确定。

3.3.5 永久荷载，应包括门窗本身及其上固定附属物的自重荷载及其他需要按永久荷载考虑的荷载（预加应力等）。

3.3.6 有地震作用时，抗震设防类别应与主体建筑设计一致。

3.3.7 雪荷载的选取，应与主体建筑设计一致。

3.3.8 临时集中荷载主要指屋面施工和检修荷载。

3.3.9 冲击荷载的确定，应根据使用需求区分软重物撞击荷载、硬重物冲击荷载或风携碎物冲击荷载。

3.3.10 当温度作用不可忽略时，建筑门窗结构设计应考虑温度效应的影响。

3.3.11 建筑门窗应用于存在极端天气发生概率高的地区时，应按地区相关规定考虑结构的耐极端天气荷载条件。

3.3.12 建筑门窗结构计算时，荷载基本组合的效应设计值按下式进行组合：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} + \psi_E \gamma_E S_{Ek} \quad (3.3.12)$$

式中：S——作用效应组合的设计值；

S_{Gk} ——重力荷载作为永久荷载产生的效应标准值；

S_{wk} 、 S_{Ek} ——分别为风荷载，地震作用作为可变荷载产生的效应标准值；

γ_G 、 γ_w 、 γ_E ——各效应的分项系数；

ψ_w 、 ψ_E ——分别为风荷载，地震作用效应的组合系数，其中 ψ_w 为 1.0； ψ_E 为 0.5。

3.3.13 荷载基本组合的分项系数应按下列规定采用：

1 永久荷载的分项系数 γ_G ：当其效应对结构承载力不利时，应取 1.3；当其效应对结构承载力有利时，应取 1.0；

2 风荷载和地震作用的分项系数 γ_w 取 1.5、 γ_E 取 1.3。

3.3.14 荷载标准组合的分项系数，永久荷载的分项系数 γ_G 取 1.0；风荷载的分项系数 γ_w 取 1.0；地震作用可不作组合考虑。

3.3.15 用于平面屋顶时，建筑门窗结构计算的荷载组合可参照行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255-2012 第 5.3、5.4 节内容要求。

3.4 结构设计原则

3.4.1 建筑门窗框架结构设计，应符合下列规定：

1 复合类门窗框架中，其中不承担结构承载作用的部分，不应计入框架结构计算范畴；

2 组合类门窗框架中，对于承担结构荷载配额小的部分，不宜直接舍弃，宜与较强部分共同参与计算；

3 复合类门窗框架中，当不同材料之间以刚性连接的，应按组合截面计算；以非刚性连接的，应按叠合截面或复合截面计算；

4 横、竖框连接部位的支撑条件，应按组角码与型材腔体装配关系不同确定铰接或固接，必要时应试验验证。

3.4.2 建筑门窗面板结构设计，应符合下列规定：

1 玻璃面板应结合承载条件以大面抗拉强度、边缘抗拉强度、端面强度设计。玻璃面板垂直方向承载时，应以大面抗拉强度设计。玻璃面板自重方向承载时，应以大面及边缘抗拉强度设计。玻璃面板采用点支承方式时，应以大面抗拉强度、端面强度设计；

2 玻璃面板可采用等效厚度方法进行解析法计算，宜采用有限元数值模拟计算；

3 金属板材料组成的面板，计算时应将面板及其支撑龙骨一同作为面板构造进行计算。

3.4.3 建筑门窗五金应用设计，应符合下列规定：

1 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；

2 五金配件进行结构计算时，力学计算模型应采用适当的方法进行简化，并对简化原则进行详细说明；

3 合页、滑撑、撑挡、滑轮均应进行最大开启角度状态、关闭状态风荷载及重力共同作用下的承载力计算；

4 锁闭器的锁点、插销应进行关闭状态风荷载作用下的承载力计算；

5 撑挡应进行最大开启角度状态垂直面板方向的承载力计算。

3.5 设计合理性分析

3.5.1 当建筑门窗结构设计时存在下列情况之一的，应进行合理性分析：

1 不符合现行标准规范一般性构造要求条款规定的；

2 采用了现行标准规范未规定的新技术和新工艺；

3 用于受力部位的材料在现行标准规范条款未规定的。

3.5.2 建筑门窗的设计合理性分析，应遵循等强度设计原则，应至少评价以下内容：

1 结构设计不符合现行标准规范一般性构造要求规定，或结构设计采用了现行标准规范未规定的新技术和新工艺时，应对结构安全性进行实体模型或数值模拟验证，对加

工制作及组装安装的可操作性进行论述，并提供必要的论证文件支撑；

2 结构计算采用非现行标准规范规定的方法计算时，应详细阐述计算原理及计算过程，并为计算结论提供必要的论证文件支撑；

3 受力部位材料超出现行标准规范规定的范围时，应提供材料的相关性能检测报告及受力计算分析文件；

4 工程所在建筑物周边环境复杂，或工程本身造型复杂而无法确定设计荷载条件时，应提供评价是否采取风洞试验确定风荷载的文件支撑。

3.5.3 当建筑门窗结构设计符合下列情况之一时，宜采用性能化设计方法：

1 建筑门窗结构性能需依据实际工程功能特定需求进行设计时；

2 建筑门窗全部或部分受力部位的材料，在现行标准规范中缺乏特性参数时；

3 根据建筑门窗在工程中的不同部位进行个性化结构安全性设计时。

3.5.4 当建筑门窗结构设计符合下列情况之一时，应采用性能化设计方法：

1 建筑门窗单一构件及系统整体均满足，但考虑经济合理和节材环保，需要进行材料优化时；

2 现有标准规范规定的方法不适用，无法满足特定的建筑门窗结构安全性设计目标要求时；

3 工程所在建筑物周边环境复杂，或工程本身造型复杂而无法确定设计荷载条件的。

3.5.5 当建筑门窗结构采用性能化设计方法时，应充分考虑下列要素：

1 建筑门窗所用地区的风环境、地震效应、地貌及周边建筑群状况、在建筑物中的朝向位置、水平和高度方向的部位等因素影响，最大限度地考虑建筑中不同部位门窗各材料、构造节点的安全性和合理性；

2 建筑门窗框架材料、面板材料、五金材料及其布置的合理性；

3 兼顾建筑门窗保温、隔热、气密、采光等性能构造需求及防排水、隔声、耐火及防雷等功能构造设计需求。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 建筑门窗用材料应符合现行国家标准相关规定及设计要求，且应有出厂合格证。尚无相应标准的材料应充分研究论证其可应用性。建筑门窗用材料，宜采用节能环保且经碳足迹分析评价的产品。

4.1.2 建筑门窗应合理设计，依据其力学特性和物理特性选用适宜的材料，节约用材。

4.1.3 建筑门窗用铝合金材料、钢材、木材、玻璃、塑料等均应符合国家现行标准《铝合金门窗》GB/T 8478、《钢门窗》GB/T 20909、《木门窗》GB/T 29498、《建筑用塑料门》GB/T 28886、《建筑用塑料窗》GB/T 28887、《建筑用节能门窗》GB/T 29734、《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113、《建筑门窗五金件 通用要求》GB/T 32223、《电动门窗通用技术要求》GB/T 39188、《建筑用纱门窗技术条件》GB/T 40405、《建筑用纱门窗》JG/T 341、《建筑门窗附框技术要求》GB/T 39866、《铝合金门窗工程技术规范》JGJ 214、《塑料门窗工程技术规程》JGJ 103 等的相关规定。

4.2 材料力学性能

4.2.1 铝合金型材的强度设计值应按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定采用，可按表 4.2.1 采用。

表 4.2.1 铝合金型材强度设计值 f_a (N/mm²)

铝合金牌号	状态	壁厚 (mm)	强度设计值 f_a				
			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
	T6	≤10	160	90	255	90	50

4.2.2 热轧钢材强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定采用。

4.2.3 冷成型薄壁型钢强度设计值应按现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 规定采用。

4.2.4 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 $\sigma_{p0.2}$ 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。

4.2.5 短期荷载作用下玻璃的强度设计值应按表 4.2.5-1 的规定采用，长期荷载作用下玻璃的强度设计值应按表 4.2.5-2 的规定采用。

表 4.2.5-1 短期荷载作用下玻璃的强度设计值 f_g (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 4.2.5-2 长期荷载作用下玻璃的强度设计值 f_g (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

4.2.6 单层铝合金板抗拉强度设计值可按现行国家标准《一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能》GB/T 3880.2 规定的屈服强度标准值 $\sigma_{p0.2}$ 除以系数 1.286 采用，抗剪强度设计值可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 4.2.6 采用。

表 4.2.6 单层铝合金板强度设计值 f_a (N/mm²)

铝合金牌号	状态	规定非比例延伸强度 $\sigma_{p0.2}$	强度设计值 f_a	
			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

4.2.7 硅酮结构胶强度设计值应按表 4.2.7 采用。

表 4.2.7 硅酮结构胶强度设计值(N/mm²)

项目	强度设计值	项目	强度设计值
短期荷载作用下强度设计值 f_1	0.20	长期荷载作用下强度设计值 f_2	0.01

4.2.8 螺栓、焊缝等连接材料强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定采用。后锚固锚栓强度设计值应按现行国家标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 采用。

4.2.9 门窗用 PVC-U 型材的力学性能应满足现行国家标准《门窗用未增塑聚氯乙烯 (PVC-U) 型材》GB /T 8814 的要求。应按表 4.2.9 采用。

表 4.2.9 PVC-U 型材的力学性能

拉伸屈服应力	拉伸断裂应变	老化后简支梁（双缺口）冲击强度保留率	焊角的平均受压弯曲应力	焊角的最小受压弯曲应力	短期焊接系数
$\geq 37\text{MPa}$	$\geq 100\%$	$\geq 70\%$	$\geq 35\text{MPa}$	$\geq 30\text{MPa}$	非装饰面应不小于 0.8，装饰面应不小于 0.7

4.2.10 木材的力学性能应符合按现行国家标准《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 TC_T21 或 TC_{YD}18，具体强度等级及要求见表 4.2.10-1、

4.2.10-2。

表 4.2.10-1 同等组合结构用集成材强度等级的抗弯强度特征值和抗弯弹性模量特征值(N/mm²)

强度等级	抗弯强度 f_{mk}	抗弯弹性模量 E
TC _T 30	40	12500
TC _T 27	36	11000
TC _T 24	32	9500
TC _T 21	28	8000
TC _T 18	24	6500
TC _T 15	20	5000

表 4.2.10-2 对称异等组合结构用集成材强度等级的抗弯强度特征值和抗弯弹性模量特征值(N/mm²)

强度等级	抗弯强度 f_{mk}	抗弯弹性模量 E
TC _{YD} 30	40	14000
TC _{YD} 27	36	12500
TC _{YD} 24	32	11000
TC _{YD} 21	28	9500
TC _{YD} 18	24	8000
TC _{YD} 15	20	6500

4.2.11 玻纤增强聚氨酯拉挤型材的力学性能应按现行行业标准《玻纤增强聚氨酯节能门窗》JG /T 571 的要求，且横向弯曲强度 ≥ 150 MPa。

4.2.12 玻璃纤维增强塑料（玻璃钢）门窗拉挤型材的力学性能应按现行行业标准《门窗用玻璃纤维增强塑料拉挤型材》JC /T 941 的要求，且型材横向弯曲强度不应小于 50 MPa。

4.2.13 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《铝合金建筑型材用辅助材料 第 2 部分：聚氨酯隔热胶材料》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。

4.2.14 建筑门窗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 4.2.14 采用。

表 4.2.14 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 GB /T 700、GB /T 905 中 Q235 的规定；冷轧钢板及钢带不应低于 GB /T 700、GB /T 11253 中 Q235 的规定；热轧工艺部件不应低于 GB /T 700、GB /T 702 中 Q235 的规定。
锌合金	压铸锌合金不应低于 GB /T 13818 中 YZnAl4Cu1 的规定。
铝合金	挤压铝合金不应低于 GB 5237.1 中 6063 T5 的规定。
	压铸铝合金不应低于 GB /T 15115 中 YZAlSi12 的规定。
	锻压铝合金不应低于 GB /T 3190 中 7075 的规定。
不锈钢	不锈钢冷轧钢板不应低于 GB /T 3280 中 0Cr18Ni9 的规定；
	不锈钢棒不应低于 GB /T 1220 中 0Cr18Ni9 的规定；
塑料	ABS 应采用弯曲强度不低于 GB /T 12672 中 62MPa 的材料。
	聚甲醛应不低于 GB /T 22271.3 的规定。

4.3 材料物理性能

4.3.1 建筑门窗常用材料的物理力学性能指标应按表 4.3.1 采用。

表 4.3.1 材料的物理力学性能指标

材 料		弹性模量 E（N/mm ² ）	泊松比 ν	线膨胀系数 α （10 ⁻⁵ /°C）
玻璃		0.72×10 ⁵	0.200	0.80~1.00
铝合金		0.70×10 ⁵	0.300	2.35
钢		2.06×10 ⁵	0.300	1.20
不锈钢				1.80
铝塑复合板	4mm	0.2×10 ⁵	0.250	≤4.0，据产品厂家 实测值
	6mm	0.3×10 ⁵		
蜂窝铝板	10mm	0.35×10 ⁵	0.250	2.40
	15mm	0.27×10 ⁵		
	20mm	0.21×10 ⁵		
花岗石板		0.8×10 ⁵	0.125	0.80

4.3.2 建筑门窗常用材料的重力密度标准值应按表 4.3.2 的规定采用。

表 4.3.2 材料的重力密度 γ_g (kN/m³)

材 料	γ_g
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
铝蜂窝芯	0.38~0.39

4.3.3 门窗用 PVC-U 型材的物理性能应满足现行国家标准《门窗用未增塑聚氯乙烯（PVC-U）型材》GB /T 8814 的要求。PVC-U 型材的密度不大于 1530kg/m³；维卡软化温度（VST）不小于 78℃；弯曲弹性模量不小于 2200MPa。

4.3.4 木门窗用木材及人造板的物理性质可按现行国家标准《木门窗用木材及人造板规范》GB /T 34742 采用。针叶树材气干密度应不低于 350kg/m³；阔叶树材气干密度应不低于 450kg/m³。集成材含水率应控制在 6%~13%，且比使用地区的木材年平衡含水率低 1%~3%。

5 计算模型及方法

5.1 基本原则

5.1.1 建筑门窗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。

5.1.2 建筑门窗结构设计计算，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。

5.1.3 建筑门窗结构设计计算，可选用解析法、数值模拟分析法及实验力学分析法。

5.2 分析模型

5.2.1 建筑门窗结构计算分析，应符合下列基本理论要求：

- 1 静力平衡条件；
- 2 变形协调条件，包括节点和边界的约束条件；
- 3 合理的材料本构关系。

5.2.2 建筑门窗结构计算模型，应符合下列要求：

- 1 计算简图或几何模型构造及尺寸、材料参数、荷载条件、边界条件及性能指标设定，应符合实际工作状况；
- 2 计算模型采用的各种近似假定和简化，应有理论、试验依据或经工程实践验证；
- 3 计算结果的精度应符合工程设计的要求。

5.3 边界支承模型

5.3.1 面板分析模型的边界条件设定，应符合下列要求：

- 1 面板周边与框架，通过垫块支承固定的，支承部位应采用铰接模型，四边应在垂直面板方向施加垂直面板方向约束，单侧边增加水平约束；
- 2 面板周边与框架，采用机械固定或焊接，支承部位应采用铰接模型，四边应在各个方向施加平动约束；
- 3 面板周边与框架，通过合页（铰链）及锁闭点固定的，支承点应采用铰接模型；
- 4 面板周边与框架，采用结构胶粘结的，采用弹性边界条件进行约束；
- 5 立面或斜屋顶门窗用面板，尚应在底边施加竖向约束；水平屋顶窗用面板，尚应考虑周边平行面板方向约束。

5.3.2 框架分析模型的边界条件设定，应符合下列要求：

- 1 受力边框角部采用焊接的，框架计算时，角部支承边界宜采用铰接模型；

- 2 受力边框角部采用组角码时，框架计算时，角部支承边界宜采用铰接模型；
- 3 横框与竖框的 T 型连接部位采用焊接的，连接部位支承边界宜采用铰接模型；
- 4 横框与竖框的 T 型连接部位采用角码（T 型连接件）时，连接部位支承边界宜采用铰接模型。

5.3.3 五金及其连接部位分析模型的边界条件设定，应符合下列要求：

- 1 五金件与框架连接部位，采用螺钉连接的，五金件与连接部位应组合计算，且与框架接触部位采用铰接模型；
- 2 五金件与框架连接部位，采用卡装连接的，连接部位应采用铰接模型。

5.3.4 安装连接部位分析模型的边界条件设定，应符合下列要求：

- 1 门窗框架嵌入墙体洞口式安装，框架周边应采用铰接模型；
- 2 门窗框体采用外挂式安装的，框架与外挂附框应组合计算，且附框与墙体连接部位采用铰接模型；
- 3 门窗框体通过预埋锚栓与墙体连接的，框架与锚栓支承部位应采用铰接模型。

5.3.5 系统分析模型的边界条件设定，应符合下列要求：

- 1 局部系统分析计算时，边界条件应遵照对应构件的规定执行；
- 2 整体门窗系统分析计算时，边界条件应遵照安装连接构造边界条件的规定执行。

5.4 荷载分布模型

5.4.1 面板分析模型的荷载分布，应符合下列要求：

- 1 作用于面板上的自重、风荷载、地震荷载，宜采用数值模拟分析方法，施加均布面荷载；
- 2 作用于面板上的检修荷载，宜采用数值模拟分析方法，施加节点点荷载；
- 3 作用于面板上的冲击荷载，宜采用考虑冲击系数的等效静力集中荷载处理。

5.4.2 框架分析模型的荷载分布，应符合下列要求：

- 1 平面面板周边与框架线性支承连接的，应符合角平分线原则，施加线性荷载；
- 2 曲面异型面板周边与框架线性支承连接的，应采用数值模拟分析方法，结合面板荷载情况整体分析。

5.4.3 五金及其连接分析模型的荷载分布，应符合下列要求：

- 1 五金及其与框架连接部位，应施加传递过来的集中荷载；
- 2 五金安装孔部位，应采用数值模拟分析方法。

5.4.4 系统分析模型的荷载分布，应符合下列要求：

- 1 局部系统分析时，荷载分布的传递应按照对应构件的规定执行；
- 2 整体门窗系统分析时，荷载按均布面荷载。

5.5 一般计算准则

5.5.1 建筑门窗分析模型应进行强度和刚度的计算，并应符合下列规定：

1 承载力极限状态下的计算，应符合下列规定：

1) 持久设计状态、短暂设计状况下，承载力计算应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.5.1-1)$$

2) 地震设计状况下，承载力计算应符合下式要求：

$$S_E \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (5.5.1-2)$$

式中： S_d ——荷载按基本组合的效应设计值；

S_E ——地震作用和其他荷载按基本组合的效应设计值；

R_d ——构件抗力设计值；

γ_0 ——门窗结构构件重要性系数；

γ_{RE} ——门窗结构构件承载力抗震调整系数；

2 正常使用极限状态下的计算，应符合下式要求：

$$d_f \leq d_{f,lim} \quad (5.5.1-3)$$

式中： d_f ——构件在风荷载标准值或永久荷载标准值下产生的挠度值；

$d_{f,lim}$ ——构件挠度限值。

5.5.2 建筑门窗关闭状态下，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。

5.5.3 平开旋转类、推拉平移类建筑门窗，宜考虑开启扇之间、开启扇与框架之间的协同作用。

5.6 数值计算分析

5.6.1 门窗构件承载力计算，选择数值模拟计算时，应遵循下列原则：

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) 根据结构的具体情况进行结构简化，去掉非必要部分后，可采用三维计算模型进行结构分析，结构复杂的五金配件应采用有限元分析；

3) 结构分析所采用的各种简化或近似假设，应具有理论或试验依据，或经工

程验证可行。

2 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，其中五金配件应采用平动与转动相结合的约束方式；
- 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，应约束四个以上节点或细化网格。

3 荷载施加原则应符合下列规定：

- 1) 三维模拟计算，荷载大小、方向和作用区域应符合实际情况；
- 2) 承载力极限分析中采用荷载组合设计值，正常使用极限分析中采用荷载组合标准值，不应以线荷载代替面荷载，也不应以集中荷载代替均布荷载，应视具体情况合理选择荷载类型；
- 3) 整窗风荷载作用时宜采用均布面荷载，杆件单独分析时首选均布荷载，有集中力或力偶时应根据具体情况施加荷载。

4 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，杆件及面板应选用二维或三维单元，五金件应选择三维单元，窗整体建模应选用三维单元；
- 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) 网格疏密控制，结构变化大、曲面曲率变化大、荷载变化大或不同材料连接的部位进行细化；单元尺寸过渡平滑，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质量要求时可以将尺寸稍作放大；
- 4) 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，在结构厚度方向上应确保三层以上；对称结构宜采用对称网格；
- 5) 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。

5 网格单元质量检查控制参数应符合表 5.6.1 规定。

表 5.6.1 单元质量检查控制参数

类别	四边形单元	三角形单元	六面体单元	楔形单元	四面体单元
长宽比	≤ 5.0	≤ 5.0	≤ 5.0	≤ 5.0	≤ 5.0
翘曲度	$\leq 16^\circ$	—	$\leq 18^\circ$	$\leq 18^\circ$	—
偏斜度	$\leq 60^\circ$	$\leq 60^\circ$	$\leq 60^\circ$	$\leq 60^\circ$	$\leq 60^\circ$
内角	$40^\circ \sim 135^\circ$	$20^\circ \sim 120^\circ$	$40^\circ \sim 135^\circ$	$20^\circ \sim 120^\circ$	$20^\circ \sim 120^\circ$

6 静力分析原则应符合下列规定：

- 1) 静力分析时宜采用默认求解设置，当默认设置无法满足求解要求时应根据需要合理选择相关参数；
- 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。

6 框架设计

6.1 一般规定

6.1.1 建筑门窗框架设计，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。

6.1.2 建筑门窗框架型材截面特性计算，应区分单一材料、复合材料、组合材料、叠合材料等，充分考虑不同材料组合方式对型材截面特性的影响，并应遵循下列原则：

- 1 隔热铝合金型材、共挤类复合型材等，应按复合截面计算；
- 2 有紧固件连接的型材组合等，应按组合截面计算；
- 3 穿入钢衬的PVC塑料型材、卡装式型材组合等，应按叠合截面计算。

6.2 截面几何特性

6.2.1 型材截面几何特性，应计算形心、面积矩 S 、惯性矩 I 、抗弯模量 W 等，隔热型材等效惯性矩可按附录 A 进行计算，其中穿条式隔热铝合金型材的组合弹性值，应依据相应材性试验进行取值。

6.2.2 单一材料型材、复合材料型材截面特性，宜采用计算工具求解。采用解析方法求解时可参照现行行业标准《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》YS/T 437 有关规定进行计算。

6.2.3 组合材料型材截面特性，应采用计算工具计算。当组合材料之间设置抗剪连接构造，弯曲变形满足“平截面的假定”条件时，也可按下列规定计算：

- 1 材料 1 和材料 2 弹性模量之比应按下式计算：

$$\alpha_E = \frac{E_1}{E_2} \quad (6.2.3-1)$$

- 2 组合截面面积应按下式计算：

$$A_1 = A_{10} + \frac{A_{20}}{\alpha_E} \quad (6.2.3-2)$$

$$A_2 = A_{20} + \alpha_E A_{10} \quad (6.2.3-3)$$

- 3 组合截面形心应按下式计算：

$$y_{20} = \frac{A_{20} h_0}{A_2} \quad (6.2.3-4)$$

$$y_{10} = \frac{A_{20} h_0}{\alpha_E A_1} \quad (6.2.3-5)$$

- 4 组合截面惯性矩应按下式计算：

$$I_{2x} = I_{2x0} + A_{20}(h_0 - y_{20})^2 + \alpha_E(I_{1x0} + A_{10}y_{20}^2) \quad (6.2.3-6)$$

$$I_{2y} = \alpha_E I_{1y0} + I_{2y0} \quad (6.2.3-7)$$

$$I_{1x} = I_{1x0} + A_{10}y_{10}^2 + \frac{I_{2x0} + A_{20}(h_0 - y_{10})^2}{\alpha_E} \quad (6.2.3-8)$$

$$I_{1y} = I_{1y0} + \frac{I_{2y0}}{\alpha_E} \quad (6.2.3-9)$$

5 组合截面抵抗矩应按下式计算：

$$W_{2x} = \frac{I_{2x}}{h_2} \quad (6.2.3-10)$$

$$W_{1x} = \frac{I_{1x}}{h_1} \quad (6.2.3-11)$$

式中： h_1 ——材料 1 截面最外缘至组合截面形心轴的距离；

h_2 ——材料 2 截面最外缘至组合截面形心轴的距离；

A_{10} ——材料 1 型材的截面积；

A_{20} ——材料 2 型材的截面积；

I_{1x0} 、 I_{1y0} ——材料 1 对自身形心轴的惯性矩；

I_{2x0} 、 I_{2y0} ——材料 2 对自身形心轴的惯性矩。

6.2.4 叠合材料型材截面特性计算，应分别计算各组成材料自身截面特性。

6.3 轴心拉、压计算

6.3.1 轴心受拉构件的承载能力应按下式验算：

$$\frac{N}{A_n} \leq f_t \quad (6.3.1)$$

式中： f_t ——构件材料的抗拉强度设计值（N/mm²）；

N ——轴心受拉构件拉力设计值；

A_n ——受拉构件的净截面面积（mm²）。

6.3.2 轴心受压构件的承载能力应按下式验算：

$$\frac{N}{A_n} \leq f_c \quad (6.3.2)$$

式中： f_c ——构件材料的抗压强度设计值（N/mm²）；

N ——轴心受压构件压力设计值；

A_n ——受压构件的净截面面积（mm²）。

6.4 受弯计算

6.4.1 弯矩作用在两个主平面内的受弯构件，其截面强度应符合下列规定：

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (6.4.1)$$

式中：\$M_x\$、\$M_y\$——分别为同一截面处对 \$x\$ 轴、\$y\$ 轴的弯矩设计值（N·mm）；

\$\gamma_x\$、\$\gamma_y\$——为截面塑性发展系数，取值 1.0；

\$W_{nx}\$、\$W_{ny}\$——分别为构件的截面模量（mm⁴）；

6.4.2 在主平面内受弯的构件，其抗剪强度应符合下列规定：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v \quad (6.4.2)$$

式中：\$V\$——计算截面沿腹板平面作用的剪力设计值（N）；

\$S\$——计算剪应力处以上（或以下）毛截面对中和轴的面积矩（mm³）；

\$I\$——构件的毛截面惯性矩（mm⁴）；

\$t_w\$——构件的腹板厚度（mm）。

6.5 挠度计算

6.5.1 建筑门窗主要受力杆件在荷载标准组合作用下的挠度容许值，应根据门窗材质、玻璃面板配置情况等综合考虑。常见受弯构件的挠度容许值见下表：

表 6.5.1 受弯构件的挠度容许值

构件类型	玻璃配置	挠度容许值
钢、铝门窗	单片、夹层	\$l/100\$
	中空	\$l/150\$
塑料门窗	单片	\$l/120\$
	夹层、中空	\$l/180\$
木门窗	单片、夹层、中空	\$l/250\$

6.5.2 门窗横向受力杆件应分别计算水平方向和竖直方向挠度。

6.5.3 门窗受力杆件在同一方向有分布荷载和集中荷载同时作用时，其挠度应为它们各自产生挠度的代数和。

7 面板设计

7.1 一般规定

7.1.1 建筑门窗面板设计，应计算面板的强度和刚度。

7.1.2 建筑门窗面板设计计算，应仅考虑面板平面外弯曲效应。

7.1.3 建筑门窗用平面玻璃面板刚度设计计算时，可采用等效厚的玻璃面板厚度。强度设计计算时，应按荷载传递原则，对面板每一层玻璃进行计算。

7.1.4 建筑门窗用曲面面板、异型面板、非玻璃面板强度和刚度设计计算，应采用数值模拟分析。

7.1.5 建筑门窗面板宜进行冲击强度计算。

7.2 面板等效厚度

7.2.1 夹层玻璃等效厚度计算，应符合下列规定：

1 当胶片采用非 SGP 时，夹层玻璃等效厚度 t_e 可按下式计算，等效厚度不应大于两片玻璃厚度之和：

$$t_e = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3 + 12\Gamma I_s} \quad (7.2.1-1)$$

$$\Gamma = \frac{1}{1 + 9.6 \frac{EI_s t_v}{G t_s^2 L^2}} \quad (7.2.1-2)$$

$$I_s = t_1 t_{s,2}^2 + t_2 t_{s,1}^2 \quad (7.2.1-3)$$

$$t_{s,1} = \frac{t_s t_1}{t_1 + t_2} \quad (7.2.1-4)$$

$$t_{s,2} = \frac{t_s t_2}{t_1 + t_2} \quad (7.2.1-5)$$

$$t_s = 0.5(t_1 + t_2) + t_v \quad (7.2.1-6)$$

式中： t_e ——玻璃等效厚度（mm）。

Γ ——夹层玻璃中间层胶片剪力传递系数。当采用聚乙烯醇缩丁醛胶片（PVB）时可取 0；

G ——夹层玻璃中间层剪切模量（N/mm²），与温度相关。可按现行国家标准《夹层玻璃中间层材料剪切模量的测量方法》GB/T 32061 的规定测定；

t_1 、 t_2 、 t_v ——夹层玻璃中第 1 片、第 2 片和中间层胶片厚度（mm）；

L ——夹层玻璃短边长度（mm）；

E——玻璃弹性模量 (N/mm²)。

2 当胶片为 SGP 材质时, 两层玻璃厚度可分别按等效玻璃厚度 $t_{1e,\sigma}$ 、 $t_{2e,\sigma}$ 计算, 等效厚度 $t_{1e,\sigma}$ 加 $t_{2e,\sigma}$ 不宜大于两片玻璃厚度之和:

$$t_{1e,\sigma} = \sqrt{\frac{t_e^3}{t_1 + 2\Gamma t_{s,2}}} \quad (7.2.1-7)$$

$$t_{2e,\sigma} = \sqrt{\frac{t_e^3}{t_2 + 2\Gamma t_{s,1}}} \quad (7.2.1-8)$$

式中: $t_{1e,\sigma}$ 、 $t_{2e,\sigma}$ ——第 1 片、第 2 片玻璃等效厚度 (mm)。

7.2.2 真空玻璃等效厚度计算, 可根据式 (7.2.2-1) 或 (7.2.2-2) 由试验测试结果确定:

$$t_e = \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_v}} t \quad (7.2.2-1)$$

$$t_e = \sqrt[3]{\frac{w_t}{w_v}} t \quad (7.2.2-2)$$

式中: t_e ——玻璃的等效厚度;

σ_t 、 σ_v ——分别为相同条件下获得的单片玻璃和真空玻璃最大弯曲应力;

t ——单片玻璃厚度;

w_t 、 w_v ——别为单片玻璃对应挠度和真空玻璃对应挠度。

7.2.3 中空玻璃等效厚度计算, 应符合下列规定:

$$t_e = 0.95 \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.2.3-1)$$

式中: t_e ——玻璃等效厚度;

t_1 、 t_2 ——分别为各单片玻璃厚度 (mm)。

7.2.4 中空单面夹层玻璃等效厚度计算, 应符合下列规定:

$$t_e = 0.95 \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3 + 12\Gamma I_s} \quad (7.2.4-1)$$

式中: t_e ——玻璃等效厚度;

t_1 ——为单片玻璃厚度 (mm);

t_2 、 t_3 ——为夹层玻璃中第 1 片、第 2 片玻璃厚度 (mm);

Γ ——夹层玻璃中间层胶片剪力传递系数。当采用聚乙烯醇缩丁醛胶片 (PVB) 时可取 0;

I_s ——系数, 计算公式同 (7.2.1-3) (mm³)。

7.2.5 中空真空复合玻璃等效厚度计算，应先计算真空玻璃等效厚度 t_{e1} ，计算方法同7.2.2条；取单片玻璃厚度 t_{e2} ，再根据（式 7.2.3-1）计算中空真空复合玻璃等效厚度。

7.2.6 三玻双中空玻璃等效厚度计算，应符合下列规定：

$$t_e = 0.95 \sqrt[3]{t_1^3 + 0.95^3 (t_2^3 + t_3^3)} \quad (7.2.6-1)$$

式中： t_e ——玻璃等效厚度；

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外、中、内片玻璃厚度（mm）。

7.3 荷载分配原则

7.3.1 作用于夹层玻璃上均布荷载可按下列公式分配到各片玻璃上：

$$w_{k1} = w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.3.1-1)$$

$$w_{k2} = w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.3.1-2)$$

$$q_{Ek1} = q_{Ek} \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.3.1-3)$$

$$q_{Ek2} = q_{Ek} \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.3.1-4)$$

式中： w_k ——作用于夹层玻璃上风荷载标准值（N/mm²）；

w_{k1} 、 w_{k2} ——分别为分配到各单片玻璃风荷载标准值（N/mm²）；

q_{Ek} ——作用于夹层玻璃上地震作用标准值（N/mm²）；

q_{Ek1} 、 q_{Ek2} ——分配到各单片玻璃地震作用标准值（N/mm²）；

t_1 、 t_2 ——分别为各单片玻璃厚度（mm）。

7.3.2 真空玻璃的荷载分配，为便于计算，将真空玻璃简化为平板玻璃，其厚度按照等效厚度计算。

7.3.3 中空玻璃的荷载分配，应符合下列规定：

1 作用于中空玻璃上风荷载可按下列公式分配到各片玻璃上：

1) 直接承受风荷载作用的单片玻璃：

$$w_{k1} = 1.1 w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.3.3-1)$$

2) 不直接承受风荷载作用的单片玻璃：

$$w_{k2} = w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (7.3.3-2)$$

式中： w_k ——作用于夹层玻璃上的风荷载标准值（N/mm²）；

w_{k1} 、 w_{k2} ——分别为分配到各单片玻璃风荷载标准值（N/mm²）；

t_1 、 t_2 ——分别为各单片玻璃厚度（mm）。

2 作用于中空玻璃上地震荷载可按下列公式计算各片玻璃的地震荷载：

$$q_{Ek1} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak1} \quad (7.3.3-3)$$

$$q_{Ek2} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak2} \quad (7.3.3-4)$$

$$G_{Ak1} = \gamma_{g1} t_1 \quad (7.3.3-5)$$

$$G_{Ak2} = \gamma_{g2} t_2 \quad (7.3.3-6)$$

式中： q_{Ek1} 、 q_{Ek2} ——分别为外片玻璃、内片玻璃地震作用标准值（N/mm²）；

G_{Ak1} 、 G_{Ak2} ——分别为外片玻璃、内片玻璃单位面积自重标准值（N/mm²）；

β_E ——动力放大系数可取 5.0；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，按表 7.3.3 采用；

γ_{g1} 、 γ_{g2} ——分别为外片玻璃、内片玻璃体积密度（N/mm³）；

t_1 、 t_2 ——分别为外片玻璃、内片玻璃厚度（mm）。

表 7.3.3 水平地震影响系数最大值 α_{max}

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

7.3.4 中空单面夹层玻璃的荷载分配，应符合下列规定：

1 外片玻璃荷载应按下列公式计算：

$$G_{Ak1} = \gamma_{g1} t_1 \quad (7.3.4-1)$$

$$q_{Ek1} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak1} \quad (7.3.4-2)$$

$$w_{k1} = 1.1 w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (7.3.4-3)$$

式中： G_{Ak1} ——外片玻璃单位面积自重标准值（N/mm²）；

γ_{g1} ——为外片玻璃体积密度（N/mm³）；

q_{Ek1} ——为外片玻璃地震作用标准值（N/mm²）；

β_E ——动力放大系数可取 5.0；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，按表 7.3.3 采用；

w_k ——作用于玻璃上的风荷载标准值 (N/mm²)；

w_{k1} ——分配到外片玻璃风荷载标准值 (N/mm²)；

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外片、中片、内片玻璃厚度 (mm)。

2 中片玻璃荷载应按下列公式计算：

$$G_{Ak2} = \gamma_{g2} t_2 \quad (7.3.4-4)$$

$$q_{Ek2} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak2} \quad (7.3.4-5)$$

$$w_{k2} = 1.1 w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (\text{当中片与外片玻璃组合为夹层结构时}) \quad (7.3.4-6)$$

$$w_{k2} = w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (\text{当中片与内片玻璃组合为夹层结构时}) \quad (7.3.4-7)$$

式中： G_{Ak2} ——中片玻璃单位面积自重标准值 (N/mm²)；

γ_{g2} ——为中片玻璃体积密度 (N/mm³)；

q_{Ek2} ——为中片玻璃地震作用标准值 (N/mm²)；

β_E ——动力放大系数可取 5.0；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，按表 7.3.3 采用；

w_k ——作用于玻璃上的风荷载标准值 (N/mm²)；

w_{k2} ——分配到中片玻璃风荷载标准值 (N/mm²)；

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外片、中片、内片玻璃厚度 (mm)。

3 内片玻璃荷载应按下列公式计算：

$$G_{Ak3} = \gamma_{g3} t_3 \quad (7.3.4-8)$$

$$q_{Ek3} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak3} \quad (7.3.4-9)$$

$$w_{k3} = w_k \frac{t_3^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (7.3.4-10)$$

式中： G_{Ak3} ——内片玻璃单位面积自重标准值 (N/mm²)；

γ_{g3} ——为内片玻璃体积密度 (N/mm³)；

q_{Ek3} ——为内片玻璃地震作用标准值 (N/mm²)；

β_E ——动力放大系数可取 5.0；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，按表 7.3.3 采用；

w_k ——作用于玻璃上的风荷载标准值 (N/mm²)；

w_{k3} ——分配到内片玻璃风荷载标准值 (N/mm^2);

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外片、中片、内片玻璃厚度 (mm)。

7.3.5 中空真空复合玻璃的荷载分配, 可将真空玻璃简化为平板玻璃, 然后按照本标准 7.3.3 条中空玻璃的荷载分配方式计算。

7.3.6 三玻双中空玻璃的荷载分配, 应符合下列规定:

1 外片玻璃荷载应按下列公式计算:

$$G_{Ak1} = \gamma_{g1} t_1 \quad (7.3.6-1)$$

$$q_{Ek1} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak1} \quad (7.3.6-2)$$

$$w_{k1} = 1.1 w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + 0.95^3 (t_2^3 + t_3^3)} \quad (7.3.6-3)$$

式中: G_{Ak1} ——外片玻璃单位面积自重标准值 (N/mm^2);

γ_{g1} ——为外片玻璃体积密度 (N/mm^3);

q_{Ek1} ——为外片玻璃地震作用标准值 (N/mm^2);

β_E ——动力放大系数可取 5.0;

α_{max} ——水平地震影响系数最大值, 按表 7.3.3 采用;

w_k ——作用于玻璃上的风荷载标准值 (N/mm^2);

w_{k1} ——分配到外片玻璃风荷载标准值 (N/mm^2);

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外片、中片、内片玻璃厚度 (mm)。

2 中片玻璃荷载应按下列公式计算:

$$G_{Ak2} = \gamma_{g2} t_2 \quad (7.3.6-4)$$

$$q_{Ek2} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak2} \quad (7.3.6-5)$$

$$w_{k2} = w_k \frac{0.95^3 t_2^3}{t_1^3 + 0.95^3 (t_2^3 + t_3^3)} \quad (7.3.6-6)$$

式中: G_{Ak2} ——中片玻璃单位面积自重标准值 (N/mm^2);

γ_{g2} ——为中片玻璃体积密度 (N/mm^3);

q_{Ek2} ——为中片玻璃地震作用标准值 (N/mm^2);

β_E ——动力放大系数可取 5.0;

α_{max} ——水平地震影响系数最大值, 按表 7.3.3 采用;

w_k ——作用于玻璃上的风荷载标准值 (N/mm^2);

w_{k2} ——分配到中片玻璃风荷载标准值 (N/mm²);

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外片、中片、内片玻璃厚度 (mm)。

3 内片玻璃荷载应按下列公式计算:

$$G_{Ak3} = \gamma_{g3} t_3 \quad (7.3.6-7)$$

$$q_{Ek3} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak3} \quad (7.3.6-8)$$

$$w_{k3} = w_k \frac{0.95^3 t_3^3}{t_1^3 + 0.95^3 (t_2^3 + t_3^3)} \quad (7.3.6-9)$$

式中: G_{Ak3} ——内片玻璃单位面积自重标准值 (N/mm²);

γ_{g3} ——为内片玻璃体积密度 (N/mm³);

q_{Ek3} ——为内片玻璃地震作用标准值 (N/mm²);

β_E ——动力放大系数可取 5.0;

α_{max} ——水平地震影响系数最大值, 按表 7.3.3 采用;

w_k ——作用于玻璃上的风荷载标准值 (N/mm²);

w_{k3} ——分配到内片玻璃风荷载标准值 (N/mm²);

t_1 、 t_2 、 t_3 ——分别为外片、中片、内片玻璃厚度 (mm)。

7.4 平面面板强度计算

7.4.1 单片玻璃, 在垂直于面板方向的均布荷载作用下, 最大应力标准值宜按考虑几何非线性的有限元方法计算, 也可按如下公式计算:

$$\sigma_{wk} = \frac{6mW_k a^2}{t^2} \eta \quad (7.4.1-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} a^2}{t^2} \eta \quad (7.4.1-2)$$

$$\theta = \frac{W_k a^4}{Et^4} \text{ 或 } \theta = \frac{(W_k + 0.5q_{Ek}) a^4}{Et^4} \quad (7.4.1-3)$$

式中: σ_{wk} ——风压作用下玻璃截面的最大应力标准值 (N/mm²);

σ_{Ek} ——地震作用下玻璃截面的最大应力标准值 (N/mm²);

W_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于玻璃平面的风荷载、地震作用标准值 (N/mm²);

a ——矩形玻璃板材短边边长 (mm);

t ——玻璃的厚度 (mm);

m ——弯矩系数, 可由玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表 7.4.1-1 采用;

η ——折减系数，可由参数 θ 按表 7.4.1-2 采用；

θ ——参数；

E ——玻璃弹性模量(N/mm²)。

表 7.4.1-1 四边支撑玻璃板的弯矩系数 m

a/b	0.00	0.25	0.33	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
m	0.1250	0.1230	0.1180	0.1115	0.1000	0.0934	0.0868	0.0804
a/b	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.10	--
m	0.0742	0.0683	0.0628	0.0576	0.0528	0.0483	0.0442	--

表 7.4.1-2 折减系数 η

θ	≤ 5.0	10.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0
η	1.00	0.96	0.92	0.84	0.78	0.73	0.68	0.65
θ	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	≥ 400.0	--	--
η	0.61	0.57	0.54	0.52	0.51	0.50	--	--

7.4.2 真空玻璃，在垂直于面板方向的均布荷载作用下，最大应力标准值宜按考虑几何非线性的有限元方法计算，也可按如下公式计算：

$$\sigma_{wk} = \frac{6mw_k a^2}{t_e^2} \eta + \frac{3F_0}{2\pi t^2} \left[(1 + \nu) \ln \frac{2x_0}{\sqrt{1.6r^2 + t^2} - 0.675t} + \beta \right] - \beta_1 \frac{q_0 y_0^2}{t^2} \quad (7.4.2-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} a^2}{t_e^2} \eta + \frac{3F_0}{2\pi t^2} \left[(1 + \nu) \ln \frac{2x}{\sqrt{1.6r^2 + t^2} - 0.675t} + \beta \right] - \beta_1 \frac{q_0 y_0^2}{t^2} \quad (7.4.2-2)$$

$$F_0 = q_0 x_0 y_0 \quad (7.4.2-3)$$

其中： σ_{wk} ——风压作用下玻璃截面的最大应力标准值（N/mm²）；

σ_{Ek} ——地震作用下玻璃截面的最大应力标准值（N/mm²）；

W_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于玻璃平面的风荷载、地震作用标准值（N/mm²）；

a ——矩形玻璃板材短边边长（mm）；

m ——弯矩系数，可由玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表 7.4.1-1 采用；

η ——折减系数，可由参数 θ 按表 7.4.1-2 采用；

t ——单片玻璃的厚度（mm）；

t_e ——为真空玻璃等效厚度（mm）；

F_0 ——单个支撑柱支撑力，其值为大气压强与支撑点所属面积的乘积（N）；

q_0 ——大气压强，计算时可取 101325（Pa）；

x_0 、 y_0 ——分别为支撑柱纵向、横向间距 (mm);

ν ——玻璃的泊松比;

r ——支撑柱半径 (mm);

β 、 β_1 为系数, 具体数值参见表 7.4.2。

表 7.4.2 矩形板作用均布荷载及圆形区域荷载时的系数

x_0/y_0	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	∞
β	-0.238	-0.078	0.011	0.053	0.068	0.067	0.067
β_1	0.1386	0.1794	0.2094	0.2406	0.2406	0.2472	0.25

7.4.3 夹层玻璃、中空玻璃、中空单面夹层玻璃、中空真空复合玻璃、三玻双中空玻璃在垂直于面板方向的均布荷载作用下, 最大应力标准值宜按考虑几何非线性的有限元方法计算, 也可按 7.3 条分配的荷载分别计算玻璃的强度, 强度计算公式与 7.4.1、7.4.2 条相同。

7.5 平面面板刚度计算

7.5.1 四边支撑的单片玻璃, 在垂直于面板方向的均布荷载作用下跨中挠度, 可按考虑几何非线性的有限元方法计算, 也可按下列公式计算:

$$d_f = \frac{\mu w_k a^4}{D} \eta \quad (7.5.1-1)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (7.5.1-2)$$

式中: d_f ——在风荷载标准值作用下挠度最大值(mm);

μ ——挠度系数, 可由玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表 7.5.1 采用;

w_k ——垂直于玻璃幕墙平面的风荷载标准值, (N/mm²);

a ——矩形面板板材短边边长 (mm);

η ——折减系数, 可按《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003 表 6.1.2-2 采用;

D ——玻璃弯曲刚度 (N·mm);

E ——玻璃弹性模量 (MPa);

t ——玻璃厚度 (mm);

ν ——玻璃泊松比。

表 7.5.1 四边支承板的挠度系数 μ

a/b	0.00	0.20	0.25	0.33	0.50
μ	0.01302	0.01297	0.01282	0.01223	0.01013
a/b	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
μ	0.00940	0.00867	0.00796	0.00727	0.00663
a/b	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.00603	0.00547	0.00496	0.00449	0.00406

7.5.2 四边支撑的夹层玻璃、真空玻璃、中空玻璃、中空单面夹层玻璃、中空真空复合玻璃、三玻双中空玻璃在垂直于面板方向的均布荷载作用下跨中挠度，可按考虑几何非线性的有限元方法计算，也可按 7.5.1 条计算，但计算刚度时应采用本标准第 7.2 条要求的等效厚度进行计算。

8 五金设计

8.1 一般规定

8.1.1 材料强度设计值可根据现行有关标准规定取值，标准中无设计值时，可根据试验确定。

8.1.2 锁闭点承载力设计值应取锁点、锁座及连接承载力中较小值。

8.1.3 五金承载力计算时，应进行静载条件下的承载力计算，有特殊要求时应进行动载作用下承载力计算。

8.1.4 建筑门窗应按照最大开启角度，对下列部位进行承载力计算：

- 1 合页；
- 2 滑撑；
- 3 撑挡。

8.1.5 建筑门窗关闭状态下，应进行下列计算：

- 1 合页风荷载及重力共同作用下的承载力计算；
- 2 传动锁闭器、多点锁闭器、单点锁闭器的锁点风荷载作用下的承载力计算；
- 3 插销风荷载作用下的承载力计算；
- 4 滑轮应进行风荷载及重力荷载作用下承载力计算；
- 5 合页（铰链）、滑撑、滑轮、幕墙平推窗用滑撑等应进行风荷载与重力荷载共同作用下的承载力计算，并通过试验分析取得其强度设计值；
- 6 撑挡、防坠连接件等应进行垂直面板方向承载力计算，通过试验分析获得其强度设计值。

8.1.6 无撑挡时，平开时过程中合页（铰链）的冲击力计算：

- 1 撞击洞口前的静载作用下的承载力计算；
- 2 撞击洞口时的动载作用下的动应力计算。

8.2 五金承载力计算

8.2.1 锁点、锁座承载力验算，应符合下列规定：

- 1 强度条件应按满足下列公式要求：

$$N_v \leq f_v A_0 \quad (8.2.1-1)$$

$$N_t \leq f_t A_0 \quad (8.2.1-2)$$

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{f_v A_0}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{f_t A_0}\right)^2} \leq 1.0 \quad (8.2.1-3)$$

式中： N_v ——抗剪承载力；

f_v ——抗剪强度设计值；

N_t ——抗拉承载力；

f_t ——抗拉强度设计值；

A_0 ——抗剪、抗拉有效面积。

2 锁点、锁座及局部承压承载力设计值应按下列规定计算：蘑菇形锁点应取受剪、承压承载力设计值中的较小者；圆柱形锁点应取受剪和承压承载力设计值中的较小者；紧定螺钉固定锁座应取受剪和承压承载力设计值中的较小者。

锁点承载力设计值按下列公式计算：

$$N_v^p = A_0 f_v^p \quad (8.2.1-4)$$

$$N_t^p = A_0 f_t^p \quad (8.2.1-5)$$

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \quad (8.2.1-6)$$

式中： N_v^p ——锁点抗剪承载力设计值；

f_v^p ——锁点材料抗剪强度设计值；

N_t^p ——锁点抗拉承载力设计值；

f_t^p ——锁点材料抗拉强度设计值；

A_0 ——锁点受剪有效面积。

当锁点为螺钉固定连接时：

$$A_0 = \frac{\pi d_e^2}{4} \quad (8.2.1-7)$$

式中： d_e ——螺栓螺纹处的有效直径； $d_e = \frac{d_2 + d_3}{2}$ ；

d_2 ——螺纹中径的基本尺寸，mm；

d_3 ——螺纹小径的基本尺寸（ d_1 ）减去螺纹原始三角形高度（ H ）的 $\frac{1}{6}$ 的值；

H ——螺纹原始三角形高度， $H = 0.866025P$ ，mm；

P ——螺距, mm;

计算锁座承载力设计值时, 当锁座没有轴向约束时, 只验算抗剪和承压。当锁座有轴向约束时, 应验算抗剪、抗拉和承压。

$$N_V^{st} = A_0 f_v^{st} \quad (8.2.1-8)$$

$$N_t^{st} = A_0 f_t^{st} \quad (8.2.1-9)$$

式中: N_V^{st} ——锁座抗剪承载力设计值;

f_v^{st} ——锁座材料抗剪强度设计值;

N_t^{st} ——锁座抗拉承载力设计值;

A_0 ——锁座抗拉有效面积;

f_t^{st} ——锁座材料抗拉强度设计值;

$$N_{bs} = A_{bs} f_c^{bs} \quad (8.2.1-10)$$

式中: N_{bs} ——挤压力设计值;

f_c^{bs} ——材料承压强度设计值;

A_{bs} ——有效挤压面积;

8.2.2 合页（铰链）承载力验算, 应符合下列规定:

1 强度条件应按满足下列公式要求:

$$N_V \leq f_v A_0 \quad (8.2.2-1)$$

$$N_t \leq f_t A_0 \quad (8.2.2-2)$$

$$\sqrt{\left(\frac{N_V}{f_v A_0}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{f_t A_0}\right)^2} \leq 1.0 \quad (8.2.2-3)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma] \quad (8.2.2-4)$$

式中: N_V ——抗剪承载力;

f_v ——抗剪强度设计值;

N_t ——抗拉承载力;

f_t ——抗拉强度设计值;

A_0 ——抗剪、抗拉有效面积;

$\sigma_{\max}$ ——最大截面正应力；

$M_{\max}$ ——最大弯矩；

W_z ——抗弯截面系数；

$[\sigma]$ ——许用应力。

2 内平开下悬窗用合页（铰链）承载力设计值计算，应符合下列规定：

1）上部合页（铰链）设计值，应按下列公式进行计算：

转轴、轴承及其销轴承载力设计值应按下列规定计算，取受剪、受拉承载力设计值中的较小者：

a）上转轴承载力设计值按下列公式计算：

$$V_v^{szz} = A_0 f_v^{szz} \quad (8.2.2-5)$$

受剪截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = l_1 t_e \quad (8.2.2-6)$$

式中： N_v^{szz} ——抗剪承载力设计值；

A_0 ——受剪有效面积；

f_v^{szz} ——转轴材料抗剪强度设计值；

l_1 ——受剪截面长度；

t_e ——上转轴壁厚。

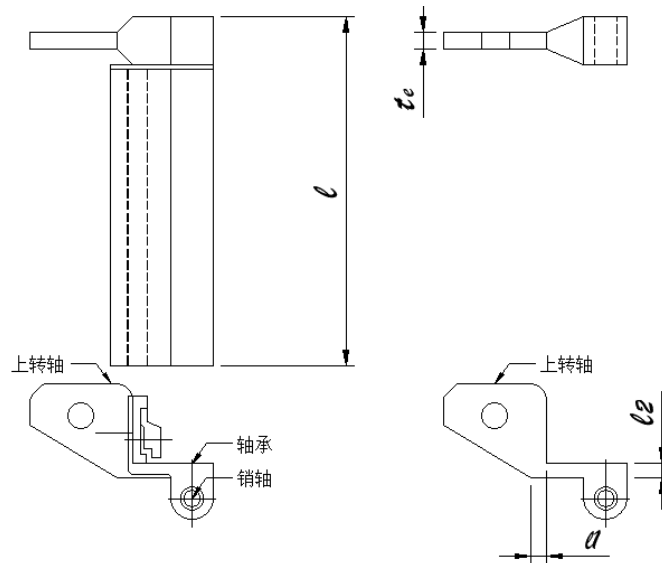


图 8.2.2-1 上合页（铰链） 转轴示意图

b）上轴承承载力设计值按下列公式计算：

$$V_v^{SZC} = A_0 f_v^{SZC} \quad (8.2.2-7)$$

受剪截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = l_2 t_2 \quad (8.2.2-8)$$

式中： A_0 ——受剪有效面积；

l_2 ——上轴承受剪高度，见图 8.2.2-2；

t_2 ——上轴承受剪厚度。

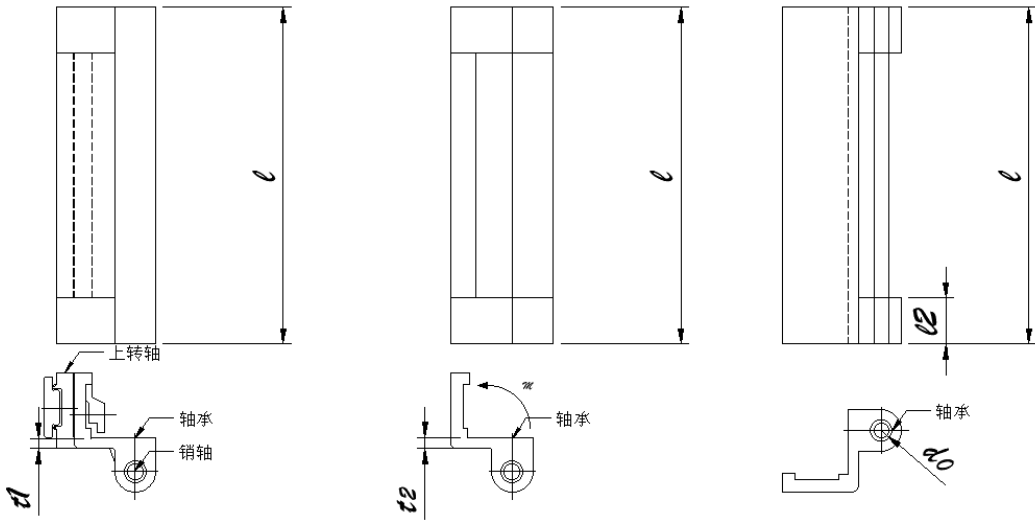


图 8.2.2-2 上合页（铰链）——上轴承示意图

2) 下部合页（铰链）承载力设计值，应按下列公式进行计算：

下转轴、轴承及其销轴承载力设计值应按下列规定计算，应取受剪、受拉和承压承载力设计值中的较小值：

a) 转轴承载力设计值按下列公式计算：

$$V_v^{XZZ} = A_0 f_v^{XZZ} \quad (8.2.2-9)$$

$$N_t^{XZZ} = A_0 f_t^{XZZ} \quad (8.2.2-10)$$

受剪截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = l_1 t_e \quad (8.2.2-11)$$

式中： V_v^{XZZ} ——下转轴抗剪承载力设计值；

A_0 ——受剪有效面积；

f_v^{XZZ} ——下转轴材料抗剪强度设计值；

V_t^{XZZ} ——下转轴抗拉承载力设计值；

f_t^t ——下转轴材料抗拉强度设计值；

l_1 ——下转轴受剪长度；

t_e ——下转轴壁厚。

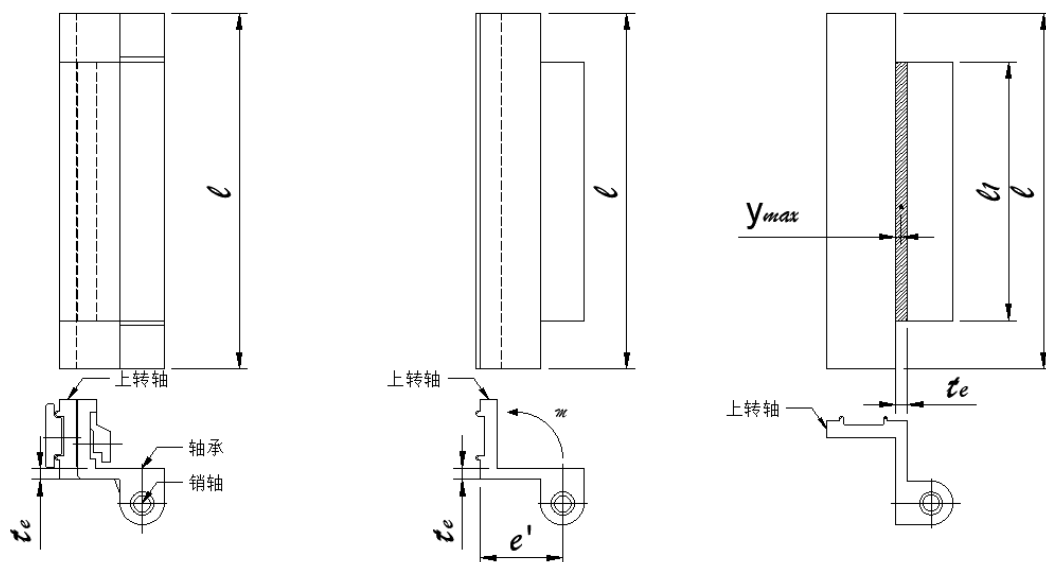


图 8.2.2-3 下合页（铰链）——下转轴示意图

b) 下轴承承载力设计值按下列公式计算：

$$V_v^{xzc} = A_0 f_v^{xzc} \quad (8.2.2-12)$$

$$N_c^z = d_0 \sum t f_c^k \quad (8.2.2-13)$$

受剪截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = 2l_2 t_{e1} \quad (8.2.2-14)$$

式中： V_v^{xzc} ——下轴承抗剪承载力设计值；

A_0 ——下轴承受剪有效面积（ mm^2 ）；

f_v^{xzc} ——下轴承材料抗剪强度设计值；

f_c^k ——下轴承的承压强度设计值；

d_0 ——下销轴有效直径（mm）；

$\sum t$ ——下轴承有效壁厚（mm）。

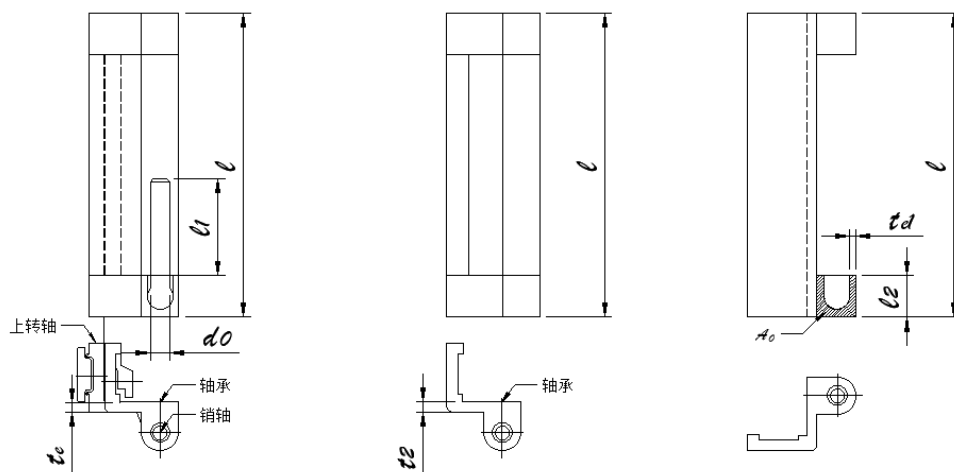


图 8.2.2-4 下合页（铰链）——下轴承示意图

3) 上悬拉杆承载力设计值，应按下列公式进行计算：

铝合金窗用上悬拉杆承载力应按下列公式计算，其它材料窗用上悬拉杆可根据构造型式、安装方式进行等进行承载力验算。

$$N_t^{slg} = A_0 f_t^{slg} \quad (8.2.2-15)$$

$$N_c^{slg} = d_0 \sum t f_c^k \quad (8.2.2-16)$$

式中： N_t^{slg} ——上悬拉杆抗拉承载力设计值；

A_0 ——受剪有效面积（ mm^2 ）；

N_c^{slg} ——上悬拉杆承压承载力设计值；

f_t^{slg} ——上悬拉杆材料抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；

$\sum t$ ——铝合金型材壁厚（mm）；

f_c^k ——铝合金型材承压强度设计值（ N/mm^2 ）。

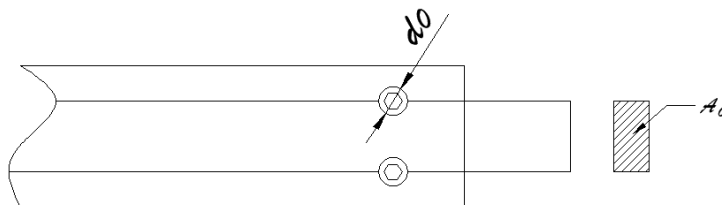


图 8.2.2-5 上部拉杆示意图

3 内平开窗合页（铰链）承载力设计值计算，应符合下列规定：

转轴、轴承承载力设计值应按下列规定计算，应取受剪、受拉承载力设计值中的较小值：

1) 转轴承载力应按下列公式计算：

$$V_v^{zz} = A_0 f_v^{zz} \quad (8.2.2-17)$$

$$N_t^{zz} = A_0 f_t^{zz} \quad (8.2.2-18)$$

受剪截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = l_1 t_e \quad (8.2.2-19)$$

式中： V_v^{zz} ——转轴抗剪承载力设计值；

A_0 ——受剪有效面积；

V_t^{zz} ——转轴抗拉承载力设计值；

f_v^{zz} ——转轴材料抗剪强度设计值；

f_t^{zz} ——转轴材料抗拉强度设计值；

l_1 ——转轴的 length；

t_e ——转轴壁厚。

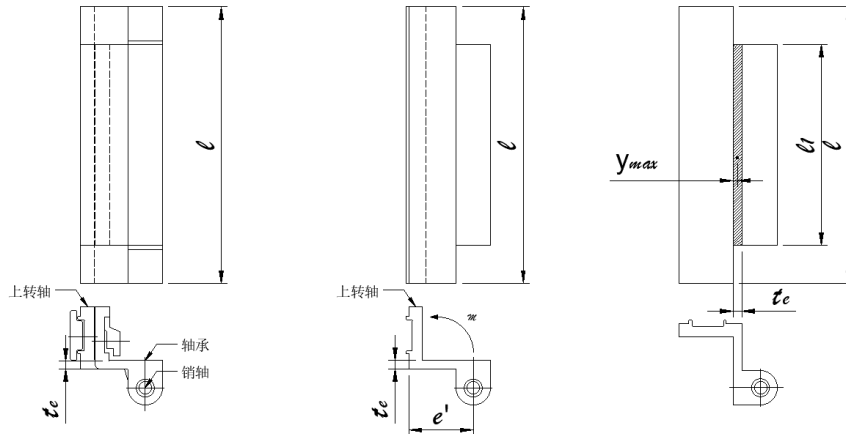


图 8.2.2-6 转轴示意图

2) 轴承承载力应按下列公式计算：

$$V_v^{zc} = A_0 f_v^{zc} \quad (8.2.2-20)$$

$$V_t^{zc} = A_0 f_t^{zc} \quad (8.2.2-21)$$

受剪截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = 2l_2 t_2 \quad (8.2.2-22)$$

受拉截面有效面积按下式计算：

$$A_0 = 2l_2 t_2 \quad (8.2.2-23)$$

式中： V_v^{zc} ——轴承抗剪承载力设计值；

f_v^{zc} ——轴承材料抗剪强度设计值；

A_0 ——受剪有效面积；

l_2 ——轴承受剪厚度，见图 2；

t_2 ——轴承壁厚。

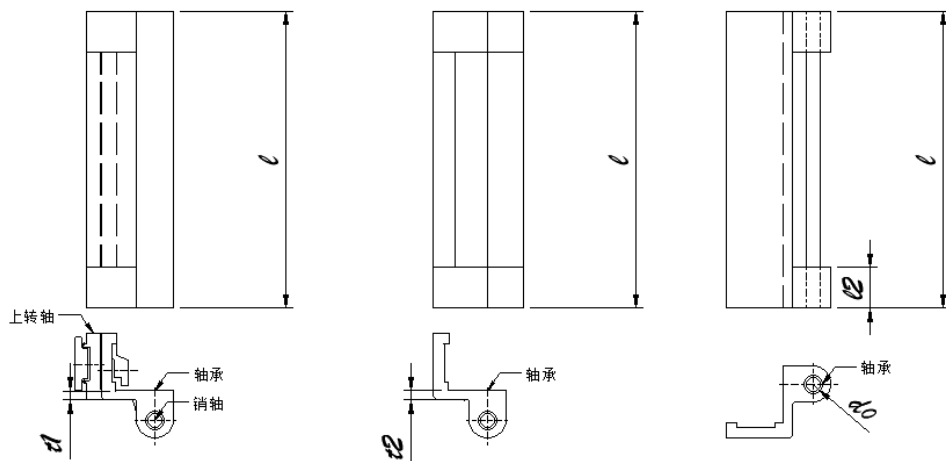


图 8.2.2-7 轴承示意图

8.2.3 平开滑轴上悬窗用滑撑承载力验算，应符合下列规定：

1 不安装撑挡时，滑撑连杆承载力应按下列公式进行验算，计算力学模型见图 8.2.3-1。

$$F_{Ni} \leq [\sigma] A_r \quad (8.2.3-1)$$

$$F_{N1} = \frac{W_d A_s \cos C h_4 - m g l_2}{a \sin B} \quad (8.2.3-2)$$

$$F_{N2} = \frac{(F_{N1} + F_{N3}) \cos A + G}{\cos C} \quad (8.2.3-3)$$

$$F_{N3} = \frac{m g l - W_d A_s h_1 \cos C}{\sin A b} \quad (8.2.3-4)$$

式中： $[\sigma]$ ——杆件许用应力；

W_d ——风荷载设计值；

A_s ——扇面积；

A_r ——杆件横截面面积；

m ——扇质量 (Kg)；

b ——扇宽度 (mm)；

A 、 B 、 C ——夹角 (°)。

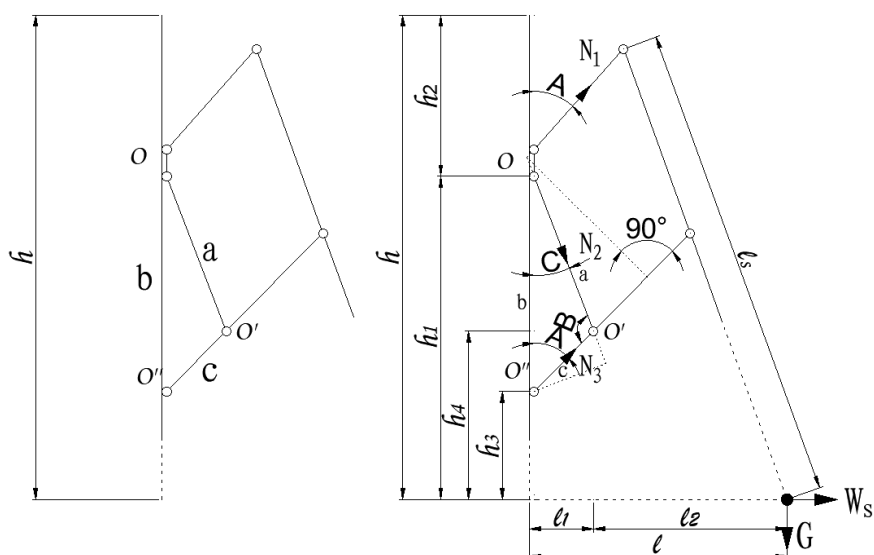


图 8.2.3-1 平开滑轴上悬窗用滑撑示意图（无撑挡）

2 安装撑挡时，滑撑连杆承载力应按下列公式进行验算，计算力学模型见图 8.2.3-2。

$$F_{Ni} \leq [\sigma] A_r \quad (8.2.3-5)$$

$$F_{N3} = \frac{mga \sin B + (W_d A_s \cos C - mg \sin C)(l_6 - l_5) \cos C}{(a \sin B - l_4) \cos C} \quad (8.2.3-6)$$

$$F_{N1} = \frac{l_5 (W_d A_s \cos C - mg \sin C) + N_3 (l_7 - l_4)}{a \sin B} \quad (8.2.3-7)$$

$$F_{N2} = \frac{mg}{\cos C} - F_{N1} - F_{N3} \quad (8.2.3-8)$$

式中： $[\sigma]$ ——连杆许用应力；

W_d ——风荷载设计值；

A_s ——扇面积；

A_r ——连杆横截面面积；

m ——扇质量（kg）。

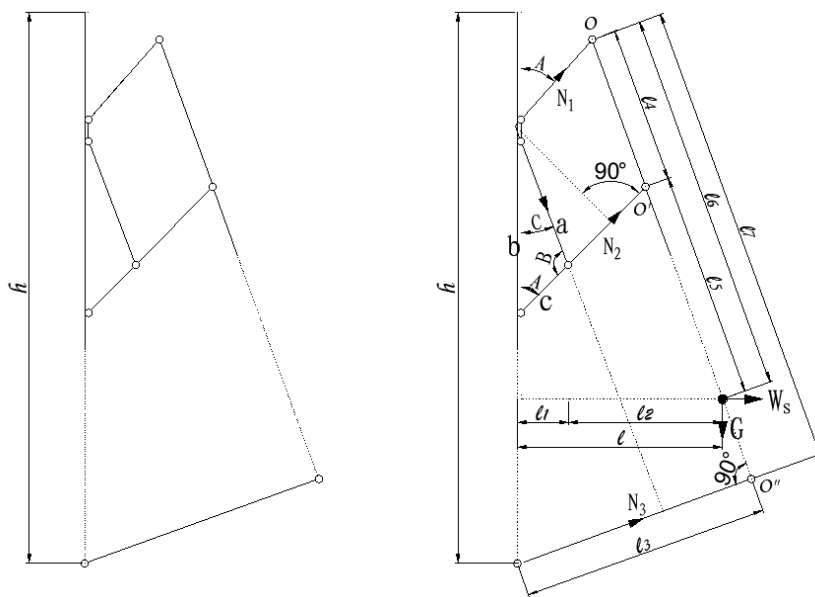


图 8.2.3-2 平开滑轴上悬窗用滑撑示意图（安装撑挡）

8.2.4 单点锁闭器承载力应按下式验算：

$$F_R = \frac{W_s A_s}{2} \leq [F_R] \quad (8.2.4)$$

式中： F_R ——锁点计算最大承载力值（ N ）；

$[F_R]$ ——锁点强度设计值（ N ）；

W_s ——风荷载设计值（ N/m^2 ）；

A_s ——扇面积（ m^2 ）。

8.2.5 建筑门窗用插销承载力验算，应符合下列规定：

1 天地插销承载力应按下式验算：

$$F_{R1} = F_{R2} = \frac{W_d A_s}{2} \leq [F_R] \quad (8.2.5-1)$$

式中： F_{R1} ——插销计算力值（ N ）；

$[F_R]$ ——插销强度设计值（ N ）；

W_d ——风荷载设计值（ N/m^2 ）；

A_s ——双扇总面积的一半（ m^2 ）。

2 单插销承载力应按下式验算：

$$F_R = W_d A_s \leq [F_R] \quad (8.2.5-2)$$

式中： F_R ——插销计算力值（ N ）；

$[F_R]$ ——插销强度设计值 (N);

W_d ——风荷载强度设计值 (N/m^2);

A_s ——双扇总面积的一半 (m^2)。

8.2.6 推拉门用滑轮承载力验算, 应符合下列规定:

1 滑轮抗弯承载力应按下列式验算:

$$\sigma = \frac{MR}{\gamma_g I} \leq [\sigma] \quad (8.2.6-1)$$

式中: σ ——轮轴计算应力 (N);

$[\sigma]$ ——轮轴许用应力 (N/mm^2);

R ——滑轮半径 (mm);

M ——轮轴最大弯矩 ($N\cdot mm$);

I ——轮轴惯性矩 (mm^4);

γ_g ——荷载分项系数, 取 1.5。

2 滑轮剪切承载力应按下列式验算:

$$\tau = \frac{\gamma_g mg}{8\pi R^2} \leq [\tau] \quad (8.2.6-2)$$

式中: τ ——轮轴计算切应力 (N);

$[\tau]$ ——轮轴许用切应力 (N/mm^2);

γ_g ——荷载分项系数, 取 1.5;

m ——扇重 (Kg);

R ——轮轴半径 (mm)。

9 连接设计

9.1 一般规定

9.1.1 建筑门窗连接计算内容应完整,宜包括面板的连接、框料与框料的连接、扇料与扇料的连接、框料与扇料的连接、边框与主体结构或副框等的连接、边框与副框(固定片)的连接计算。

9.1.2 建筑门窗采用紧固件进行连接时,单个紧固件承受的集中力 F 可按下列公式计算:

$$F = \beta F_s \quad (9.1.2-1)$$

式中: F_s ——未考虑受力不均匀影响时计算的反力设计值 (N);

β ——多个紧固件连接的受力不均匀影响放大系数,按表 9.1.2 采用。

表 9.1.2 受力不均匀影响放大系数 β

紧固件数量	$n \leq 2$	$2 < n \leq 4$	$4 < n \leq 8$	$8 < n \leq 12$
β	1	1.25	1.30	1.32

9.2 紧固件连接计算

9.2.1 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。

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (9.2.1-1)$$

$$N_c^b = d \sum t f_c^b \quad (9.2.1-2)$$

式中: n_v ——剪切面数;

d ——螺杆直径,对于全螺纹螺栓,取 $d = d_e$ (mm);

d_e ——螺栓螺纹处的有效直径, $d_e = \frac{d_2 + d_3}{2}$ (mm);

d_2 ——螺纹中径的基本尺寸 (mm);

d_3 ——螺纹小径的基本尺寸 (d_1) 减去螺纹原始三角形高度 (H) 的 $\frac{1}{6}$ 的值 (mm);

H ——螺纹原始三角形高度, $H = 0.866025P$ (mm);

P ——螺距 (mm);

$\sum t$ ——同一受力方向的承压构件的较小总厚度 (mm);

f_c^b 、 f_v^b ——螺栓的承压、抗剪强度设计值 (N/mm²)。

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：

$$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \quad (9.2.1-3)$$

式中： f_t^b ——螺栓的抗拉强度设计值 (N/mm²)。

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：

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1 \quad (9.2.1-4)$$

$$N_v \leq N_v^b \quad (9.2.1-5)$$

式中： N_v 、 N_t ——一个螺栓所承受的剪力和拉力 (N)；

N_v^b 、 N_t^b 、 N_c^b ——一个螺栓的抗剪、抗拉和承压承载力设计值 (N)。

9.2.2 铆钉的连接承载力应符合下列规定：

1 在铆钉抗剪连接中，每个铆钉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：

$$N_v^r = n_v \frac{\pi d_0^2}{4} f_v^r \quad (9.2.2-1)$$

$$N_c^r = d_0 \sum t f_c^r \quad (9.2.2-2)$$

式中： n_v ——剪切面数；

d_0 ——铆钉孔直径 (mm)；

$\sum t$ ——同一受力方向的承压构件的较小总厚度 (mm)；

f_v^r 、 f_c^r ——铆钉的抗剪、承压强度设计值 (N/mm²)。

2 在铆钉杆轴方向受拉的连接中，每个铆钉的受拉承载力设计值应按 9.2.2-3 计算。

$$N_t^r = \frac{\pi d_0^2}{4} f_t^r \quad (9.2.2-3)$$

式中： f_t^r ——铆钉的抗拉强度设计值 (N/mm²)。

3 同时承受剪力和杆轴方向拉力的铆钉，其承载力应分别符合下列公式的要求：

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^r}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^r}\right)^2} \leq 1 \quad (9.2.2-4)$$

$$N_v \leq N_c^r \quad (9.2.2-5)$$

式中： N_v 、 N_t ——一个铆钉所承受的剪力和拉力（N）；

N_v^r 、 N_t^r 、 N_c^r ——一个铆钉的抗剪、抗拉和承压承载力设计值（N）。

9.2.3 不锈钢螺钉的连接承载力应按下列规定计算：

1 在不锈钢螺钉抗剪连接中，每个螺钉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。

$$V_v^b = \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (9.2.3-1)$$

$$V_c^b = dt f_c \quad (9.2.3-2)$$

式中： d ——螺钉直径（mm）；

t ——验算部位承压连接件截面厚度的较小值（mm）；

f_v^b ——螺钉的抗剪强度设计值（N/mm²）；

f_c ——连接件的局部承压强度设计值（N/mm²）。

2 不锈钢螺钉抗拉连接中，每个螺钉的承载力设计值应取螺钉抗拉、螺纹副抗挤压和孔螺纹牙根受剪承载力设计值中的较小值。螺钉抗拉、螺纹副抗挤压和孔螺纹牙根受剪承载力应分别按下列公式计算。

$$N_t^b = A_e f_t^b \quad (9.2.3-3)$$

$$N_c^b = \pi D_1 \alpha t f_c \quad (9.2.3-4)$$

$$N_v^b = \pi D \beta t f_v \quad (9.2.3-5)$$

式中： A_e ——螺钉有效截面面积（mm²）；

D 、 D_1 ——外螺纹小径、中径（mm）；

t ——螺纹连接部位截面厚度（mm）；

f_t^b ——螺钉的抗拉强度设计值（N/mm²）；

f_c 、 f_v ——构件的局部承压、抗剪强度设计值（N/mm²）；

α 、 β ——螺纹连接系数，按表 9.2.3-1 取用。

表 9.2.3-1 系数 α 、 β

	普通螺纹	锯齿螺纹	矩形螺纹	梯形螺纹
--	------	------	------	------

	普通螺纹	锯齿螺纹	矩形螺纹	梯形螺纹
α	0.54	0.75	0.50	0.50
β	0.75	0.74	0.50	0.63

3 同时承受剪力和杆轴方向拉力的螺钉其承载力应符合下式要求：

$$\sqrt{\left(\frac{V_s}{V_b}\right)^2 + \left(\frac{N_s}{N_b}\right)^2} \leq 1.0 \quad (9.2.3-6)$$

式中： V_s , N_s ——一个螺钉所承受的剪力和拉力（N）；

V_b , N_b ——一个螺钉的抗剪和抗拉承载力设计值（N）。

9.2.4 六角头木螺钉连接的承载力应按下列规定计算：

1 六角头木螺钉受剪连接中，每个受剪面的承载力设计值应按下列公式计算。

$$Z_d = C_m C_n C_t k_g Z \quad (9.2.4-1)$$

$$Z = k_{\min} h_d d f_{es} \quad (9.2.4-2)$$

式中： C_m ——含水率调整系数，应按表 9.2.4-1 采用；

C_n ——设计使用年限调整系数，应按表 9.2.4-2 采用；

C_t ——温度环境调整系数，应按表 9.2.4-1 采用；

k_g ——组合系数，应按《木结构设计标准》GB 50005-2017 附录 K 的规定确定；

Z ——受剪承载力参考设计值（N）；

$k_{\min}$ ——钉槽承压最小有效长度系数，应按《木结构设计标准》GB 50005-2017 第 6.2.7 条的规定确定；

h_d ——六角头木螺钉有螺纹部分打入主构件的有效长度(mm)，不包括螺钉尖端部分的长度；

d ——木螺钉直径（mm）；

f_{es} ——组合系数，应按《木结构设计标准》GB 50005-2017 附录 K 的规定确定。

表 9.2.4-1 使用条件调整系数

序号	调整系数	采用条件	取值
1	含水率调整系数 C_m	使用中木构件含水率大于 15%时	0.8
		使用中木构件含水率小于 15%时	1.0
2	温度环境调整系数	长期生产性高温环境，木材表面温度达到	0.8

	C_t	40°C~50°C时	1.0
		其他温度环境时	

表 9.2.4-2 设计使用年限调整系数

设计使用年限	调整系数 C_n
5 年	1.10
25 年	1.05
50 年	1.00
100 年	0.90

2 六角头木螺钉杆轴方向受拉的连接中，每个螺钉的受拉承载力设计值应按下列公式计算：

$$W_d = C_m C_t k_g C_{eg} W \quad (9.2.4-3)$$

$$W = 43.2 G^{3/2} d^{3/4} \quad (9.2.4-4)$$

式中： C_{eg} ，——，端部木纹调整系数，应按表 9.2.4-3 中规定采用；

W ——抗拔承载力参考设计值（N/mm）；

G ——主构件材料的全干相对密度，应按《木结构设计标准》GB 50005-2017 附录 L 的规定确定。

表 9.2.4-3 端面调整系数

序号	采用条件	C_{eg}
1	当六角头木螺钉的轴线与插入构件的木纹方向垂直时	1.00
2	当六角头木螺钉的轴线与插入构件的木纹方向平时	0.75

3 当六角头木螺钉承受剪力和杆轴方向拉力共同作用时，其承载力应分别符合下列公式的要求：

$$Z_{d,\alpha} = \frac{W_d h_d Z_d}{W_d h_d \cos^2 \alpha + Z_d \sin^2 \alpha} \quad (9.2.4-5)$$

式中： α ——木构件表面与荷载作用方向的夹角。

9.2.5 销槽承压强度标准值应按下列规定确定：

1 当 $6\text{mm} \leq d \leq 25\text{mm}$ 时，销轴类紧固件销槽顺纹承压强度应按下列公式确定：

$$f_{e,0} = 77G \quad (9.2.5-1)$$

式中： G ——主构件材料的全干相对密度，应按《木结构设计标准》GB 50005-2017 附

录 L 的规定确定。

2 当 $6\text{mm} \leq d \leq 25\text{mm}$ 时, 销轴类紧固件销槽横纹承压强度应按下式确定:

$$f_{e,90} = \frac{212G^{1.45}}{\sqrt{d}} \quad (9.2.5-2)$$

式中: d ——销轴类紧固件直径 (mm)。

3 当作用在构件上的荷载与木纹呈夹角 α 时, 销轴承压强度标准值应按下式确定:

$$f_{e,\alpha} = \frac{f_{e,0}f_{e,90}}{f_{e,0} \sin^2 \alpha + f_{e,90} \cos^2 \alpha} \quad (9.2.5-3)$$

式中: α —— 木纹方向与荷载作用方向的夹角。

4 当 $d < 6\text{mm}$ 时, 销槽承压强度标准值应按下式确定:

$$f_e = 115G^{1.84} \quad (9.2.5-4)$$

5 当销轴类紧固件插入主构件端部并且与主构件木纹方向平行时, 主构件上的销槽承压强度标准值取 $f_{e,90}$ 。

9.3 硅酮结构密封胶计算

9.3.1 硅酮结构密封胶的计算, 应符合下列规定:

1 粘结宽度 c_s , 应根据受力情况分别按下列规定计算:

1) 在风荷载作用下, 粘结宽度 c_s 应按下式计算:

$$c_s = \frac{wa}{2000f_1} \quad (9.3.1-1)$$

式中: c_s ——硅酮结构密封胶的粘接宽度(mm);

w ——作用在计算单元上的风荷载设计值(kN/m²);

a ——矩形玻璃板的短边长度(mm);

f_1 ——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, 粘结宽度 c_s 应按下式计算:

$$c_s = \frac{(w + 0.5q_E)a}{2000f_1} \quad (9.3.1-2)$$

式中: q_E ——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, 粘结宽度 c_s 应按下式计算:

$$c_s = \frac{q_G ab}{2000(a + b)f_2} \quad (9.3.1-3)$$

式中： q_G ——幕墙玻璃单位面积重力荷载设计值(kN/m^2)；

a 、 b ——分别为矩形玻璃板的短边和长边长度(mm)；

f_2 ——硅酮结构密封胶在永久荷载作用下的强度设计值，取 0.01N/mm^2 。

2 粘结厚度 t_s ，应按下列公式进行计算，结构胶粘接厚度示意图 9.3.1。

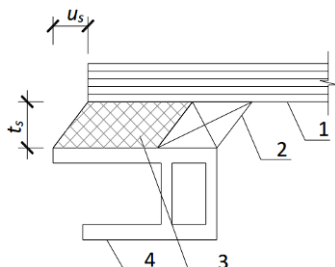


图 9.3.1 硅酮结构密封胶粘接厚度示意

1—玻璃面板；2—双面胶条；3—结构硅酮密封胶；4—窗框

$$t_s \geq \frac{u_s}{3\delta} \quad (9.3.1-4)$$

$$u_s = \eta[\theta]h_g \quad (9.3.1-5)$$

$$\theta = \frac{2c_1 \left(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1}\right)}{l_1} \quad (9.3.1-6)$$

$$\mu_s = \eta_1\{[\theta] - \theta\}h_g \quad (9.3.1-7)$$

式中： t_s ——硅酮结构密封胶的粘接厚度(mm)；

$[\theta]$ ——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)；

u_s ——玻璃相对于窗框的位移(mm)，即硅酮结构密封胶沿厚度方向产生的剪切位移；

δ ——硅酮结构密封胶拉伸粘接性能试验中受拉应力为 0.14N/mm^2 时的伸长率；

θ ——主体结构侧移时，面板的转动角；

η ——位移折减系数，取 0.60；

η_1 ——位移折减系数，取 0.80；

h_g ——玻璃面板高度(mm)；

l_1 ——矩形玻璃板块竖向边长(mm)；

l_2 ——矩形玻璃板块横向边长(mm)；

c_1 ——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;

c_2 ——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。

9.4 其他连接计算

9.4.1 门窗框(扇)采用组角码连接时, 应符合下列规定:

1 组角码的抗剪连接承载力应符合下式要求:

$$\frac{VS}{It} \leq f_v \quad (9.4.1-1)$$

式中: V —— 组角码所承受的剪力设计值 (N);

S —— 挡边最不利截面的毛截面面积矩(mm³);

I —— 挡边最不利截面的毛截面惯性矩(mm⁴);

t —— 平行剪力方向的腹板厚度(mm);

f_v —— 组角码的抗剪强度设计值 (N/mm²)。

2 组角码的抗弯连接承载力应符合下列公式要求:

$$\frac{M}{\gamma W_n} \leq f \quad (9.4.1-2)$$

$$M = V e_v \quad (9.4.1-3)$$

式中: M —— 组角码所承受的弯矩设计值 (Nmm);

W_n —— 最不利截面的净截面抵抗矩 (mm³);

γ —— 塑性发展系数, 可取 1.05;

e_v —— 剪力作用点与组角码受力最不利截面距离 (mm);

f —— 组角码的抗拉强度设计值 (N/mm²)。

3 无缝铝合金门窗采用组角码和焊缝组合连接时, 宜仅考虑组角码的作用。

9.4.2 钢框架采用焊缝连接时, 其连接的计算与构造应符合国家现行规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

9.4.3 木框架采用榫卯连接时, 应符合下列规定:

1 矩形截面有切口时, 其受剪承载力应按下式计算:

$$\frac{3V}{2bh_n}\left(\frac{h}{h_n}\right)^2 \leq f_v \quad (9.4.3-1)$$

式中：V —— 剪力设计值（N）；

b —— 构件的截面宽度（mm）；

h —— 构件的截面高度（mm）；

h_n —— 构件在切口处的净截面高度（mm）；

f_v —— 构件材料的顺纹抗剪强度设计值（N/mm²）。

2 其他截面受剪承载力可按公式 9.4.1-1 计算。

9.4.4 门窗扇固定面板的压条或挡边应符合下列规定：

- 1 压条或挡边为单臂结构时，可按式 9.4.1-1、9.4.1-2 验算抗剪、抗弯承载力；
- 2 压条或挡边截面较复杂时可按考虑线性弹性理论的有限元数值分析方法计算。

9.4.5 面板采用夹持方式安装固定时，应符合下列规定：

- 1 夹具及锁点可简化为铰接支座，面板按点支承结构进行强度和挠度验算；
- 2 夹具及锁点的承载力应取其本身承载力以及其与框架连接的承载力的较小值，承载力设计值取其极限承载力的 50%，且不小于按第 1 款计算的支座反力设计值。

9.4.6 卡扣式连接承载力宜通过试验或有限元数值分析确定，且其承载力设计值不应大于其极限承载力的 50%。

9.4.7 门窗框或固定片与墙体间采用锚栓连接时，其抗剪、抗拉承载力设计值宜通过现场试验确定，且锚栓的承载力设计值不应大于其极限承载力的 50%。

10 结构计算表达

10.1 一般规定

10.1.1 结构计算内容应全面清晰。

10.1.2 结构计算内容应符合本标准各章节要求。

10.2 结构计算书

10.2.1 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** 计算部位或构件的介绍分析；
- 4** 相关材料物性参数及评价指标依据；
- 5** 几何模型简化处理；
- 6** 约束及荷载边界条件处理分析；
- 7** 计算条件简化与处理方法；
- 8** 计算参数的选用与选取依据；
- 9** 计算结果的表达与分析。

附录 A 型材截面特性计算

A.0.1 单一材料型材截面特性，宜采用计算工具计算。当单一材料型材截面规则时，宜按下列公式计算：

1 形心应按下式计算：

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i A_i}{\sum A_i} \quad \bar{y} = \frac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i} \quad (\text{A.0.1-1})$$

2 面积矩应按下式计算：

$$S_z = \int_A y dA \quad S_y = \int_A z dA \quad (\text{A.0.1-2})$$

3 惯性矩应按下式计算：

$$I_z = \int_A y^2 dA \quad I_y = \int_A z^2 dA \quad (\text{A.0.1-3})$$

4 截面抵抗矩应按下式计算：

$$W_z = \frac{I_z}{y} \quad W_y = \frac{I_y}{z} \quad (\text{A.0.1-4})$$

式中： $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ——型材截面形心；

S_z 、 S_y ——型材截面面积矩；

I_z 、 I_y ——型材截面惯性矩；

W_z 、 W_y ——型材截面抵抗矩。

A.0.2 复合材料型材截面特性，应采用计算工具计算。当复合材料型材截面规则时，宜按下列公式计算：

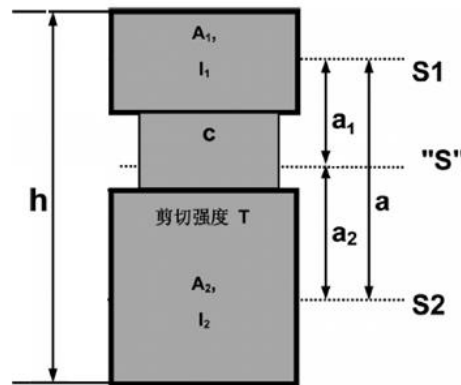


图 A.0.2 复合材料型材截面示意图

1 普通型材惯性矩应按下式计算：

$$I_s = I_1 + I_2 + A_1 a_1^2 + A_2 a_2^2 \quad (\text{A.0.2-1})$$

2 松散型复合型材惯性矩应按下式计算：

$$I_s = I_1 + I_2 \quad (\text{A.0.2-2})$$

3 弹性复合型材惯性矩应按下式计算：

$$I_{\text{ef}} = I_s \frac{(1-\nu)}{(1-\nu C)} \quad (\text{A.0.2-3})$$

$$\nu = \frac{A_1 a_1 + A_2 a_2}{I_s} \quad (\text{A.0.2-4})$$

$$C = \frac{\lambda^2}{\pi^2 + \lambda^2} \quad (\text{A.0.2-5})$$

$$\lambda(l) = \sqrt{\frac{ca^2 l^2}{EI_s} \times \frac{l}{\nu(1-\nu)}} \quad (\text{A.0.2-6})$$

式中： I_{ef} ——有效惯性矩；

I_s ——刚性惯性矩；

l ——梁的跨度；

C ——连接弹性效应；

c ——弹性常数。

附录 B 建筑门窗框扇杆件受力类型

B.0.1 建筑门窗框扇示意图B.0.1。

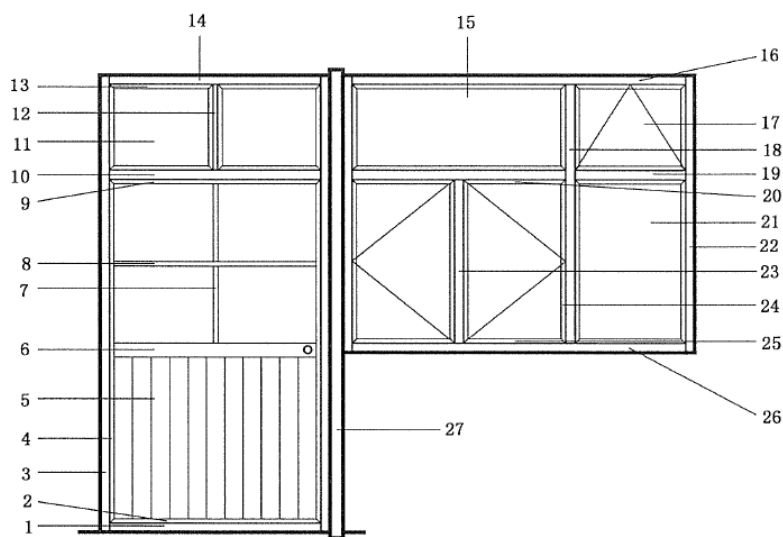


图 B.0.1 门窗框扇示意图

B.0.2 建筑门窗框架结构计算，应按表B.0.2区分杆件的受力类型：

表B.0.2 门窗主要支承杆件受力类型

杆件名称		受力类型
门杆件	1 门下框	受弯构件
	2 门扇下梃	双向受弯构件
	3 门边框	受弯构件
	4 门扇边梃	受弯构件
	6 门扇中横框	双向受弯构件
	7 竖芯	受弯构件
	8 横芯	双向受弯构件
	9 门扇上梃	双向受弯构件
	10 门中横框	双向受弯构件
	12 亮窗中竖框	受弯构件
	13 玻璃压条	受弯构件
	14 门上框	受弯构件
窗杆件	16 窗上框	受弯构件
	18 窗中竖框	受弯构件
	19 窗中横框	双向受弯构件
	20 窗扇上梃	受弯构件
	22 窗边框	受弯构件
	23 窗中竖梃	受弯构件
	24 窗扇边梃	受弯构件
	25 窗扇下梃	双向受弯构件
	26 窗下框	受弯构件
	27 拼樘框	受弯构件

用词说明

为便于在执行本文件条款时区别对待，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：
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：
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：
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，采用“可”。

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本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《工程结构通用规范》GB 55001

《木结构设计标准》GB 50005

《建筑结构荷载规范》GB 50009

《钢结构设计标准》GB 50017

《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018

《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068

《铝合金结构设计规范》GB 50429

《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

《建筑门窗术语》建筑门窗术语 GB/T 5823

《建筑门窗洞口尺寸系列》GB/T 5824

《铝合金门窗》GB/T 8478

《门窗用未增塑聚氯乙烯（PVC-U）型材》GB/T 8814

《钢门窗》GB/T 20909

《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

《铝合金建筑型材用辅助材料 第2部分：聚氨酯隔热胶材料》GB/T 23615.2

《结构用集成材》GB/T 26899

《建筑用塑料门》GB/T 28886

《建筑用塑料窗》GB/T 28887

《木门窗》GB/T 29498

《建筑用节能门窗》GB/T 29734

《建筑门窗洞口尺寸协调要求》GB/T 30591

《夹层玻璃中间层材料剪切模量的测量方法》GB/T 32061

《建筑门窗五金件 通用要求》GB/T 32223

《木门窗用木材及人造板规范》GB/T 34742

《电动门窗通用技术要求》GB/T 39188

《建筑门窗附框技术要求》GB/T 39866

《建筑用纱门窗技术条件》GB/T 40405

《玻璃幕墙工程技术规范》 JGJ 102
《塑料门窗工程技术规程》 JGJ 103
《建筑玻璃应用技术规程》 JGJ 113
《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
《铝合金门窗工程技术规范》 JGJ 214
《采光顶与金属屋面技术规程》 JGJ 255
《建筑用纱门窗》 JG/T 341
《玻纤增强聚氨酯节能门窗》 JG /T 571
《门窗用玻璃纤维增强塑料拉挤型材》 JC /T 941
《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》 YS/T 437

中国工程建设标准化协会标准

建筑门窗结构设计标准

T/CECS XXX-20XX

条文说明

制 定 说 明

本标准制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了近年工程建设中门窗结构设计实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过对相关标准的对比分析，研究建筑门窗结构设计中相关重点内容，取得了阶段性成果。

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）充分考虑产品标准和工程标准的协调性等。

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，《建筑门窗结构设计标准》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。

目 次

1 总则	64
2 术语和符号	65
3 基本设计规定	66
4 材料	67
5 计算模型及方法	68
6 框架设计	69
7 面板设计	73
8 五金设计	78
9 连接设计	83
10 结构计算表达	84

1 总则

1.0.2 本条明确了标准的适用范围，对于具有特殊用途的门窗（如人防门,防火门,防盗门等）结构设计在满足本标准的相关规定基础上，尚应符合国家现行有关专门规范和标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

本标准中的术语在我国门窗行业惯用的相关术语基础上，增加了部分新内容，如门窗结构设计、结构性能化设计等。

2.1.5 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 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 常见的叠合材料型材包括穿入钢衬的 PVC 塑料型材、卡装式型材等。

2.2 符号

本标准中的符号基本沿用门窗行业现行相关标准中通用的有关符号。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.4 参日本标准 P3 功能障碍和性能下降的评判标准 JIS A1515:1998，开关确认（以全开为原则，不可以的话，尽量移动窗扇）、残留变形及功能上无障碍。《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T7106-2019 第 3.5 注 2：损坏包括裂缝、面板破损、连接破坏、粘结破坏、窗扇掉落或被打开以及可观察到的不可恢复的变形等现象。

3.2 方案设计

3.2.12 无护栏窗指临空外窗的窗台距楼地面净高低于防护要求高度又无防护设施的窗。在防护高度内的分格应进行结构抗冲击荷载设计计算。建筑门、无护栏窗可依据《铝合金门窗》GB/T8478-2020 第 5.6 性能章节内容进行计算；平屋顶窗、斜屋顶窗参照《建筑玻璃采光顶技术要求》JG/T231-2018 第 8.10 抗冲击性能章节内容进行计算。

3.3 作用及荷载效应

3.3.1 本标准建筑门窗描述主要指外门窗，内门窗设计主要考虑永久荷载和冲击荷载作用。开启部位振动主要是指瞬时大风、大力关闭引起的振动。

3.3.9 冲击荷载在平屋顶窗、斜屋顶窗中都要考虑。风携碎物冲击荷载主要指外门窗；软重物撞击荷载主要指门、无护栏窗。

3.4 构造设计

3.4.2 1 复合类门窗框架中，其中不承担结构承载作用的部分，不应计入框架结构计算范畴类似铝包木窗的情况。3 以非刚性连接的，应按叠合截面计算，如穿条式、灌注式的一类。

3.5 设计合理性分析

3.5.1 不合适现行标准规范一般性条款规定的，指为提升品质或质量要求而提高门窗的要求，如强度及挠度要求提高等；3 用于受力部位的材料在现行标准规范条款未规定的，如采用新型材料目前无设计指标等。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 无相应标准的材料，应通过充分调研分析材料特性，寻找并参考已有类似应用案例经验，且不同

厂家、产地的产品常存在质量差异。应结合必要的试验验证以确定设计用关键技术参数指标是否满足设计需要的物理力学性能、耐久性能和质量要求。

5 计算模型及方法

5.5 一般计算准则

5.5.2 建筑门窗的耐久性是指其反复启闭性能；门窗启闭循环指门窗扇启闭过程中的全套动作，包括从门窗锁闭装置松开、门窗扇完全开启、关闭，到锁闭装置重新锁紧。门窗反复启闭性能应符合《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433 的规定，应按照《门窗反复启闭耐久性试验方法》GB/T 29739 的规定进行检测。

5.5.3 建筑门窗关闭状态下，对于内平开窗，正风压作用时，应考虑框扇结构计算，负风压作用时，应考虑五金配件的相关强度计算；对于外平开窗，正风压作用时，应考虑五金配件的相关强度计算，负风压作用时，应考虑框扇结构计算。

5.5.4 平开旋转类建筑门窗，应根据外开、内开，分别考虑开启扇之间（无中梃双扇平开）、开启扇与框架之间（传动锁闭器锁点、插销等）的协同作用。推拉平移类建筑门窗，例如双扇推拉窗应考虑开启扇之间协同作用以及开启扇与框架之间搭接部分的协同作用。

6 框架设计

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定了门窗支承框架结构计算时应包含的内容，其中对于规格尺寸较大门窗应验算主要受力杆件的整体稳定性和组成部件的局部稳定。

6.1.2 目前门窗型材多采用复合材料组成，根据组成材料间不同的连接构造，按照不同受力类型进行了分类。

6.1.3 本节参照 GB/T 5823-2008 建筑门窗术语第 6 章中图示内容，对门窗组成构件受力类型进行了比较详尽的划分。

6.2 截面几何特性

6.2.2 门窗型材截面几何特性的计算，常规截面可采用计算工具，也可参考材料力学相关公式计算求解，采用解析方法求解时可参照 YS/T 437-2018 中第 3.1 条进行计算。

6.2.3 断热铝合金型材截面几何特性的计算可参考标准《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》YST 437-2018 中相关公式进行计算。

6.2.4 本条组合材料型材截面特性计算公式，依据平截面假定进行计算。

6.2.6 考虑到新材料、材料不同组合方式，当无计算依据时可依据相关材料力学试验结果。

6.3 轴心拉压计算

6.3.1 计算受拉构件的净截面面积时，当构件多个截面有孔时，取最不利的截面。

6.5 挠度计算

6.5.1 为了不影响门窗正常使用及各项物理性能，结构设计时应应对受力杆件的变形进行控制。

门窗框架结构计算示例

门窗支承框架强度计算、挠度计算可参考以下内容进行。以铝合金窗的计算为例：

1 工程信息

基本风压:0.45kPa、场地类别：C 类、计算标高：100m

2 窗的有关参数

玻璃配置：6+12A+6 中空钢化玻璃、窗洞口尺寸：2000mm×1500mm

相关规格尺寸及节点构造见图 1、图 2 所示。

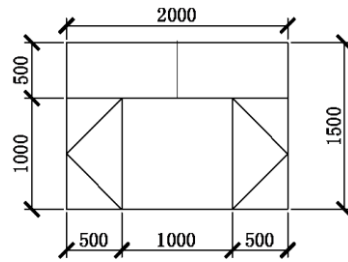


图 1 窗规格尺寸示意图

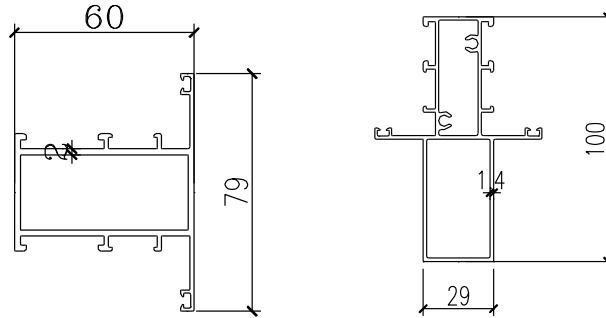


图 2 窗横竖挺节点构造图

截面几何参数表

A	491.9213	Ip	389055.9091
Ix	142815.3310	Iy	246240.5781
ix	17.0388	iy	22.3734
Wx(上)	3615.9008	Wy(左)	7255.7548
Wx(下)	3615.2552	Wy(右)	9447.9999
绕X轴面积矩	3722.4790	绕Y轴面积矩	4931.7256
形心离左边缘距离	33.9373	形心离右边缘距离	26.0627
形心离上边缘距离	39.4965	形心离下边缘距离	39.5035
主矩I1	142815.314	主矩1方向	(1.000,0.000)
主矩I2	246240.596	主矩2方向	(-0.000,1.000)

横挺

截面几何参数表

A	547.1588	Ip	585547.8260
Ix	481828.9198	Iy	103718.9063
ix	29.6749	iy	13.7680
Wx(上)	10562.4127	Wy(左)	3006.5182
Wx(下)	8859.9695	Wy(右)	3006.1720
绕X轴面积矩	6482.8235	绕Y轴面积矩	3303.1166
形心离左边缘距离	34.4980	形心离右边缘距离	34.5020
形心离上边缘距离	45.6173	形心离下边缘距离	54.3827
主矩I1	481850.558	主矩1方向	(1.000,-0.008)
主矩I2	103697.268	主矩2方向	(0.008,1.000)

竖挺

图 3 窗横竖挺截面特性

3 荷载计算

风荷载标准值计算： $w_k = \beta K_1 K_2 \mu_z \mu_{s1} w_0$

式中： w_k ：作用在门窗上的风荷载标准值(kPa)；

β ：风荷载放大系数；

K_1 ：地形修正系数；

K_2 ：风向影响系数；

μ_z ：风压高度变化系数；

μ_{s1} ：局部风压体型系数；

w_0 ：基本风压值(kPa)；

z ：计算点标高：100m；

代入相应数值计算，得 $w_k = \beta K_1 K_2 \mu_z \mu_{s1} w_0$

$$= 1.6929 \times 1 \times 1 \times 1.4983 \times 1.193 \times 0.45$$

$$=1.36\text{kPa}$$

窗重力荷载标准值计算： $G_k=\gamma t$

代入相应数值计算，得 $G_k=\gamma t$

$$=25.6\times 12$$

$$=0.31\text{kPa}$$

窗地震作用标准值计算： $q_{Ek}=\beta_E\alpha_{\max}G_k$

代入相应数值计算，得 $q_{Ek}=\beta_E\alpha_{\max}G_k$

$$=5\times 0.16\times 0.31$$

$$=0.25\text{kPa}$$

荷载基本组合：

$$\text{水平向 } S=\psi_w\gamma_w S_{wk}+\psi_E\gamma_E S_{Ek}$$

$$=1.5\times 1.36+0.5\times 1.3\times 0.25$$

$$=2.20\text{kPa}$$

$$\text{竖向 } S=\gamma_G S_{Gk}$$

$$=1.3\times 0.31$$

$$=0.40\text{kPa}$$

荷载标准组合：

$$\text{水平向 } S=S_{wk}+\psi_E S_{Ek}$$

$$=1.36+0.5\times 0.25$$

$$=1.49\text{ kPa}$$

$$\text{竖向 } S=S_{Gk}$$

$$=0.31\text{ kPa}$$

4 强度计算

计算说明：横竖挺内力依据《建筑结构静力计算手册》中相关公式计算得出。

4.1 竖中挺

力学模型：简支梁

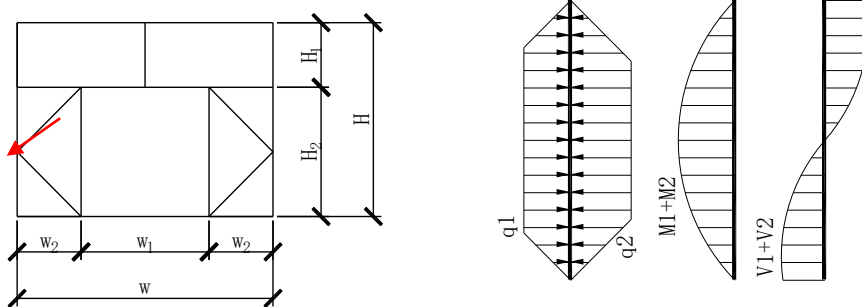


图 4 竖挺计算简图

抗弯强度计算:

$$f = (M_1 + M_2) / \gamma W_{nx}$$

$$= 49 \text{ MPa}$$

抗剪强度计算:

$$\tau_{\max} = (V_1 + V_2) S_x / I_x t$$

$$= 4.5 \text{ MPa}$$

4.2 横中挺

力学模型 水平方向: 均布荷载—简支梁

垂直方向: 均布荷载—四跨梁

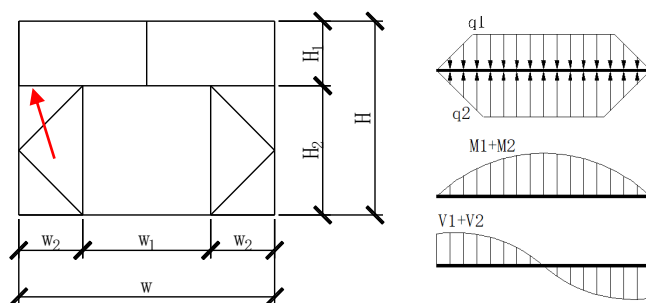


图 5 横挺计算简图

抗弯强度计算:

$$f = M_x / \gamma_x W_{nx} + M_y / \gamma_y W_{ny}$$

$$= 111.8 \text{ MPa}$$

抗剪强度计算:

$$\tau_{\max X} = (V_1 + V_2) S_y / I_y t_y$$

$$= 6.7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max Y} = V_y S_x / I_x t_x$$

$$= 0.52 \text{ MPa}$$

5 挠度计算

计算说明：横竖挺挠度依据《建筑结构静力计算手册》中相关公式计算得出。

5.1 竖中挺

$$\text{水平向: } d_{f1} = q_{k1} H^4 / 240EI \times (25/8 - 5 \times (W_1/2/H)^2 + 2 \times (W_1/2/H)^4)$$

$$d_{f2} = q_{k2} H^4 / 240EI \times (25/8 - 5 \times (W_2/2/H)^2 + 2 \times (W_2/2/H)^4)$$

$$d_f = d_{f1} + d_{f2} = 1.75\text{mm}$$

5.2 横中挺

$$\text{水平向: } d_{f1} = q_{k1} W^4 / 240EI_y \times (25/8 - 5 \times (H_1/2/W)^2 + 2 \times (H_1/2/W)^4)$$

$$d_{f2} = q_{k2} W^4 / 240EI_y \times (25/8 - 5 \times (H_2/2/W)^2 + 2 \times (H_2/2/W)^4)$$

$$d_{fy} = d_{f1} + d_{f2} = 11.44 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{竖向: } d_{fx} &= 5q_{Gk} \times L_2^4 / 384EI_x - (M_1 - M_2)L_2^2 / 16 \cdot 1.3/EI_x \\ &= 0.01\text{mm} \end{aligned}$$

7 面板设计

7.1 一般规定

7.1.5 现行标准中仅对幕墙和门进行了耐撞击的要求：人员流动密度大或青少年、幼儿活动的公共建筑的建筑幕墙，耐撞击性能不低于 GB/T21086 中规定的 2 级。对于窗的耐撞击性能未做要求，但是落地窗、大尺寸、窄边框的门窗设计越来越多，因此，窗的耐撞击性能也需要在设计中加以考虑。

7.2 面板等效厚度

7.2.1 中间层胶片的剪切模量应以试验数据为准，本标准也收集了部分中间层胶片剪切模量数据供参考，
详见表 7.2.1。

表 7.2.1 中间层胶片剪切模量参考值

某品牌一 PVB 剪切模量 G (MPa)						
温度℃	3 秒	1 分钟	1 小时	1 天	1 月	10 年
20	8.060	1.640	0.840	0.510	0.370	0.270
30	0.970	0.750	0.440	0.280	0.069	0.052
40	0.610	0.460	0.230	0.230	0.052	0.052
50	0.440	0.290	0.052	0.052	0.052	0.052
60	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333
70	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333
80	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333
某品牌一 SGP 剪切模量 G (MPa)						
20	211.00	195.00	169.00	146.00	112.00	86.60
30	141.00	110.00	59.90	49.70	11.60	5.31
40	63.00	30.70	9.28	4.54	3.29	2.95
50	26.40	11.30	4.20	2.82	2.18	2.00
60	8.18	3.64	1.70	1.29	1.08	0.97
70	2.93	1.88	0.84	0.59	0.48	0.48
80	1.32	0.83	0.32	0.25	0.21	0.18

某品牌二 SGP 剪切模量 G (MPa)						
-20	304.9	295.1	282.1	271.8	260.1	239.6
-10	299.4	289.8	276.8	266.2	254.0	230.0
0	287.5	278.0	264.3	252.7	236.8	178.0
10	274.5	264.4	248.9	231.3	191.7	67.7
20	258.5	246.3	218.7	157.5	69.5	15.6
30	226.5	187.8	83.0	28.8	10.0	2.5
40	82.5	31.1	8.6	3.3	1.6	0.3
50	14.4	5.3	1.9	1.0	--	--
60	4.2	2.0	0.9	--	--	--
70	1.7	0.9	--	--	--	--
80	0.5	--	--	--	--	--
某品牌三 SGP 剪切模量 G (MPa)						
-20	287.7	278.0	265.5	255.6	244.4	225.0
-10	284.5	274.9	262.4	252.4	241.1	220.2
0	272.9	263.8	250.9	240.1	226.2	182.1
10	260.3	250.8	236.5	222.1	192.5	102.2
20	245.1	234.0	212.4	170.7	104.0	31.9
30	219.6	192.1	115.8	56.3	22.9	4.8
40	117.1	59.6	20.0	7.0	2.6	1.0
50	16.0	5.9	2.0	1.0	--	--
60	5.0	2.3	0.9	--	--	--
70	1.8	0.9	--	--	--	--
80	0.8	--	--	--	--	--
某品牌四 SGP 剪切模量 G (MPa)						
-20	289.1	278.3	264.6	254.0	242.1	221.5
-10	285.1	274.6	261.0	250.3	238.1	214.8
0	272.2	262.3	248.5	236.9	221.4	175.2
10	258.4	248.2	232.6	216.1	184.2	91.4
20	241.6	229.4	204.1	158.9	89.7	27.8

30	210.9	178.7	99.2	46.1	18.7	4.2
40	100.2	49.1	16.4	6.0	2.3	0.7
50	16.1	6.1	2.0	1.0	--	--
60	5.2	2.3	0.9	--	--	--
70	1.8	0.9	--	--	--	--
80	0.8	--	--	--	--	--

7.2.2 真空玻璃的等效厚度可以通过试验确定，包括等效应力弯曲法和等效挠度弯曲法。试验采用均布负压试验，玻璃采用四边简支，最大应力采用三片直角 45° 应变花测量，应变花预先布置在玻璃受拉面板中心。

通过均布负压试验获得的不同规格玻璃在相同条件下的玻璃板中心最大应力和最大挠度值见表 7.2.2，数据引自武汉理工大学出版社，唐健正《真空玻璃》。

表 7.2.2 长宽尺寸为 1000mm×1000mm 的玻璃样品板中心挠度和应力测试结果

玻璃规格	测量项目	荷载					
		500	1000	1500	2000	2500	3000
N3+V+N3	挠度	1.76	3.38	4.45	5.6	--	--
	应力	4.66	9.41	11.83	14.61	--	--
N4+V+N4	挠度	0.92	1.85	2.62	3.43	4.08	4.95
	应力	3.99	7.69	10.77	13.24	16.55	18.94
N4+V+N4	挠度	0.59	1.17	1.59	1.94	2.34	2.76
	应力	2.40	4.96	6.50	7.91	9.48	11.29
N3+1.52PVB+N3	挠度	1.13	2.36	3.20	3.93	--	--
	应力	3.19	6.78	9.09	11.47	--	--
N4+1.52PVB+N4	挠度	0.79	1.65	2.27	2.81	3.40	4.04
	应力	2.52	5.26	7.22	9.11	10.94	13.02
N5+1.52PVB+N5	挠度	0.47	1.03	1.40	1.80	2.17	2.60
	应力	1.60	3.35	4.69	6.29	7.49	9.15
N5	挠度	2.72	4.14	6.41	8.61	--	--
	应力	5.77	10.85	16.25	20.11	--	--
N6	挠度	1.47	3.01	4.07	4.92	--	--

	应力	4.07	8.75	11.73	14.56	--	--
N8	挠度	0.68	1.38	1.90	2.35	2.85	3.42
	应力	3.63	6.55	9.38	11.62	14.17	16.68
N10	挠度	0.37	0.79	1.08	1.38	1.72	2.09
	应力	1.57	3.54	4.75	5.89	7.80	9.42

注：N3+V+N3，3mm 普通浮法玻璃+真空层+3mm 普通浮法玻璃；N5,5mm 普通浮法玻璃，N3+1.52PVB+N3，3mm 普通浮法玻璃+1.52PVB+3mm 普通浮法玻璃。其余类推。

在真空玻璃承载强度计算时，可将真空玻璃当作一块整体，采用等效厚度替代真空玻璃的总厚度。当 2 块玻璃完全不受另一片玻璃约束时，相当于 2 块玻璃简单叠加在一起，根据变形协调，应力等效厚度为： $t_e = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3}$ 。当 2 块玻璃紧密结合如同一整块单层玻璃，等效厚度为 2 块玻璃的总厚度之和 $t_e = t_1 + t_2$ 。因真空玻璃 2 块基片的四周被熔封玻璃固接在一起，中间又有支撑物传力，因此，其应力等效厚度处于这两者之间，当 $t_1 = t_2$ 时， $t_e = (0.63 \sim 1.00)t$ ，其中 $t = t_1 + t_2$ 。

N3+V+N3 真空玻璃等效厚度系数可取 0.95，N4+V+N4 真空玻璃等效厚度系数可取 0.90，N5+V+N5 以及基片玻璃厚度超过 5mm 的真空玻璃等效厚度系数可取 0.85。

7.4 平面面板强度计算

7.4.1 此条款引用《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003 中相关内容。玻璃在风荷载作用下，受力状态类同四边支承板，可按四边支承板计算其跨中最大弯矩和最大应力。此应力与其他作用产生的应力考虑分项系数进行组合后，不应大于玻璃强度设计值 f_g 。

玻璃板材的内力和变形采用弹性力学方法计算较为妥当，目前也有相应的有限元计算软件可供选择使用。但作为规范，为方便使用，也应提供简单、易行且计算精度可满足工程设计要求的简化设计方法。因此，本条对四边支承玻璃面板采用了弹性小挠度计算公式，并考虑与大挠度分析方法计算结果的差异，将应力与挠度计算值予以折减。

7.4.2 真空玻璃应力计算，主要参考许嘉文. 钢化真空玻璃力学性能及钢化损伤评价方法研究[D]. 扬州:扬州大学 2020 年.真空玻璃在两层玻璃中间抽取空气形成真空环境，玻璃会受到外界大气压和内部支撑柱共同作用，其中外界大气压单独作用产生的最大应力为

$$\beta_1 \frac{q_0 y_0^2}{t^2}$$

大气压和支撑柱共同作用于玻璃时，产生的最大应力为

$$\frac{3q_0x_0y_0}{2\pi t^2}[(1+\nu)\ln\frac{2x_0}{\sqrt{1.6r^2+t^2}-0.675t}+\beta]$$

7.6 面板耐撞击计算

7.6.3 当物体受到冲击载荷时，外界的动能将转变物体的内能，这种内能会最终导致物体的破坏甚至破碎，这个过程同样也是应力波传播、反射、叠加共同作用的结果。

钢化玻璃作为典型的脆性材料，其应力应变关系的非线性不是由塑性变形引起的，而是由于这些非均匀材料在受力后不断损伤引起的微裂纹萌生和扩展造成材料性质不断弱化的结果，因此采用弹性损伤力学的本构关系来描述脆性材料的细观力学性质是合适的。对于脆性材料，常发生的是脆性断裂，应采用第一强度理论或第二强度理论。

8 五金设计

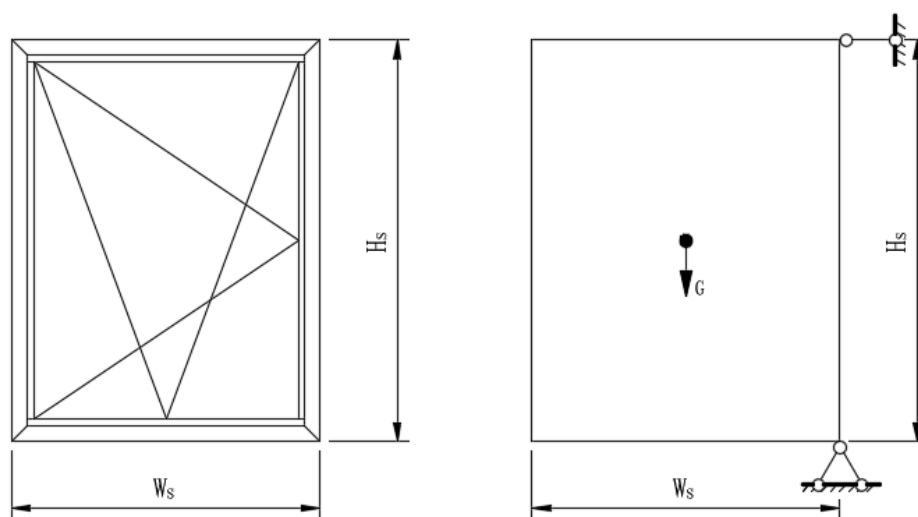
8.1 一般规定

门窗五金件力学简化计算原则如下:五金承载力验算时,内平开门窗应进行上部合页(铰链),下部合页(铰链)、锁点、锁座承载力验算;内平开下悬窗应在内平开窗验算的基础上增加上悬拉杆承载力验算;推拉类门窗应进行滑轮、锁点及锁座的承载力验算;外开上悬窗应进行滑撑、锁点、锁座的承载力验算;当材质没有强度设计值时需经试验确定,当材料有强度设计值时,按强度理论验算;当锁点、锁座为蘑菇头式,应分别验算径向及轴向承载力。

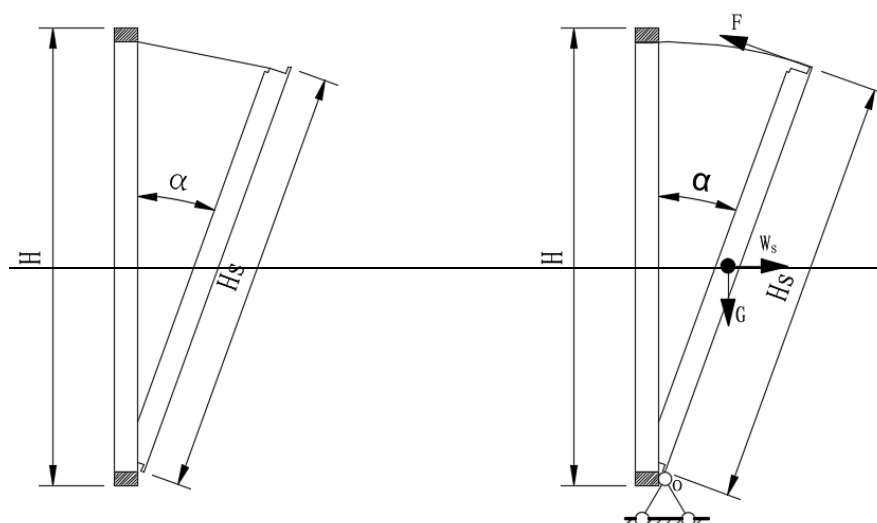
下面为常见门窗五金承载能力极限验算时,计算模型的简化原则示意图:

1 内平开下悬窗用合页(铰链)承载能力极限验算时,计算模型可以依据下列原则简化处理:

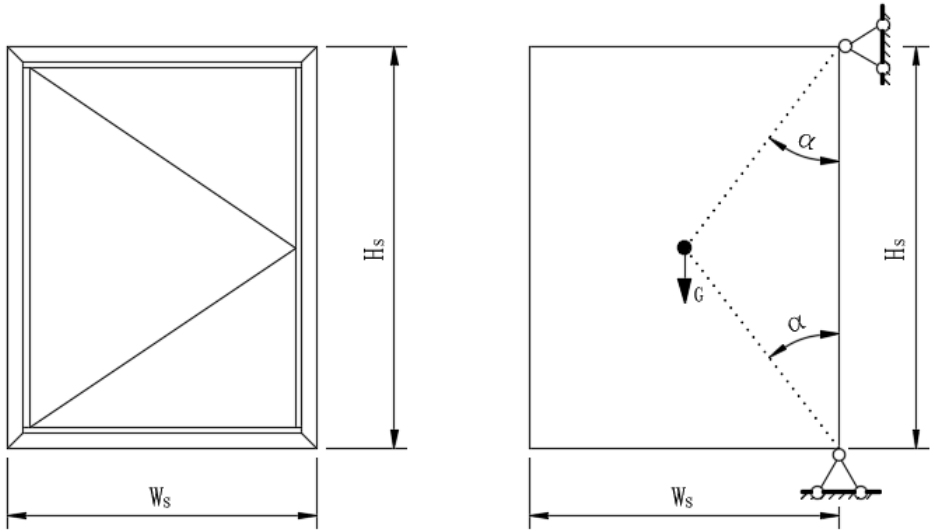
a 平开状态



b 下悬状态

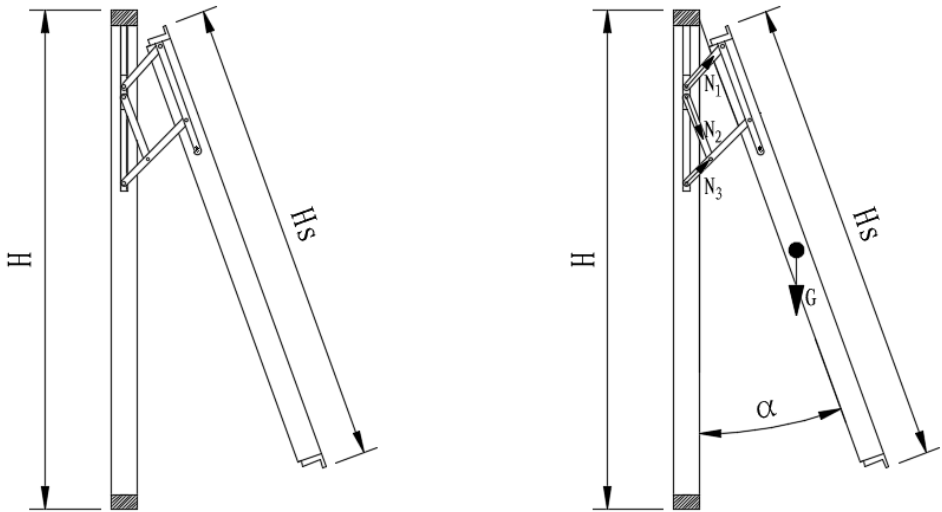


2 建筑平开旋转类平开门窗用合页（铰链）对称安装时，计算模型可以依据下列原则简化处理：

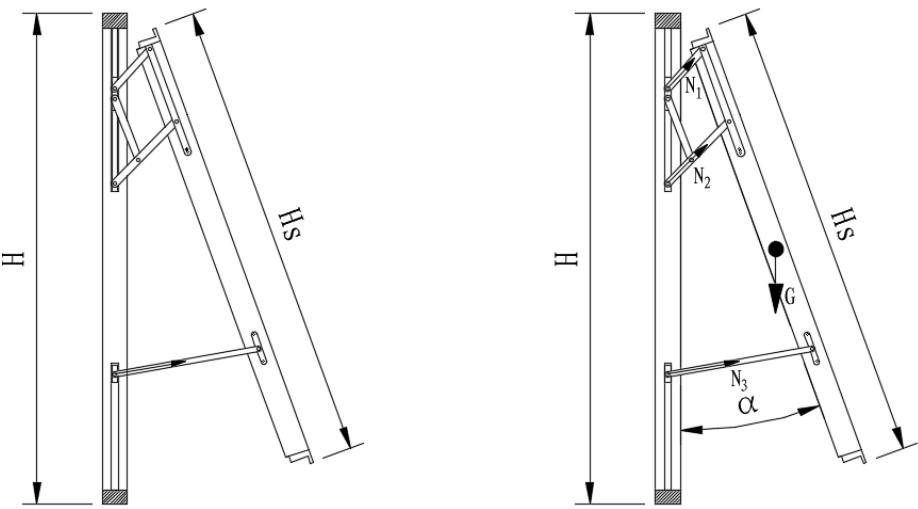


3 建筑平开旋转类窗用滑撑，计算模型可以依据下列原则简化处理：

a 不安装撑挡

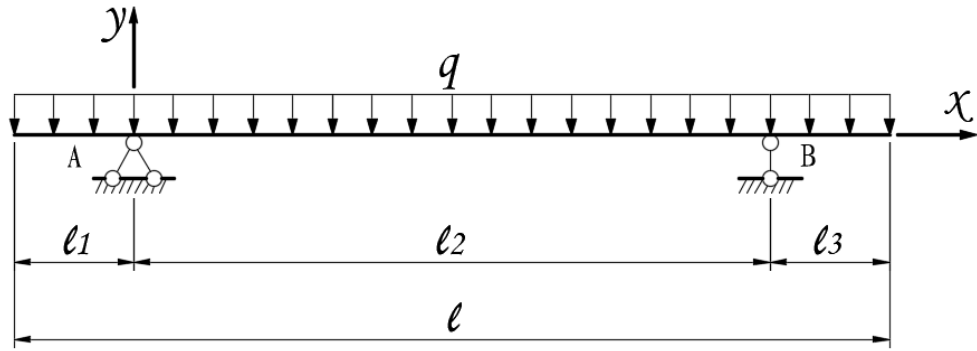


b 安装撑挡

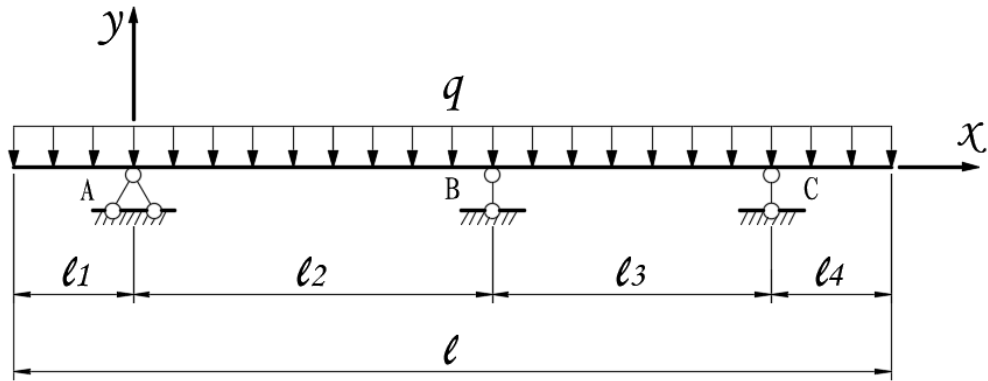


4 建筑平开旋转类门窗用传动锁闭器，计算模型可以依据下列原则简化处理：

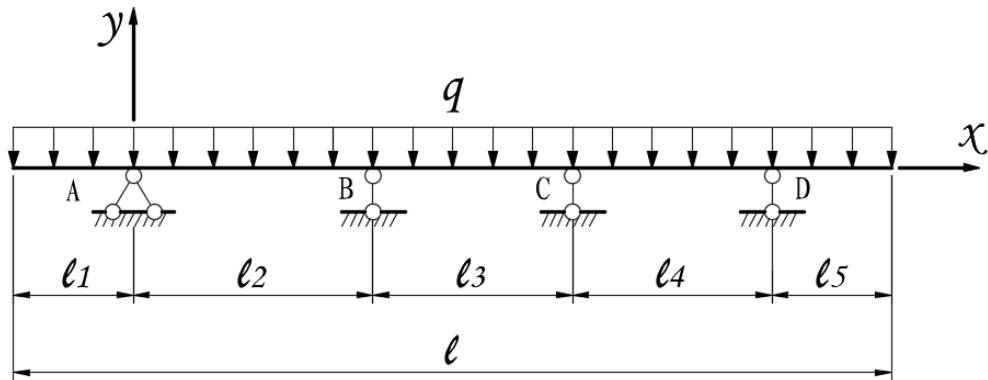
a 二个锁闭点



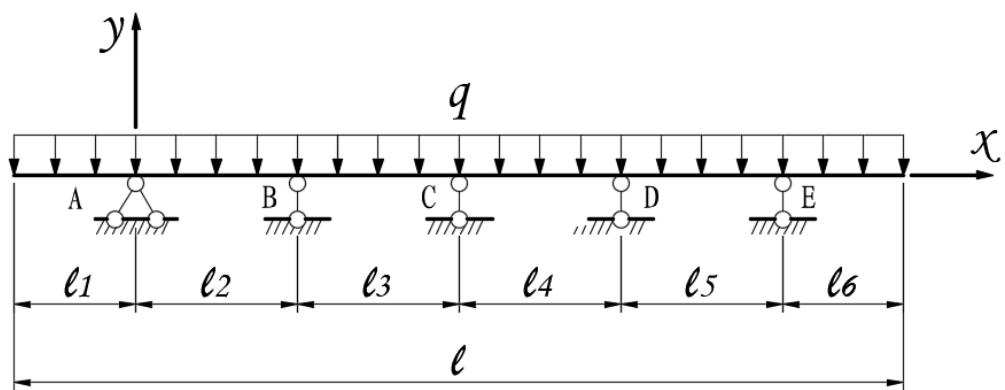
b 三个锁闭点



c 四个锁闭点

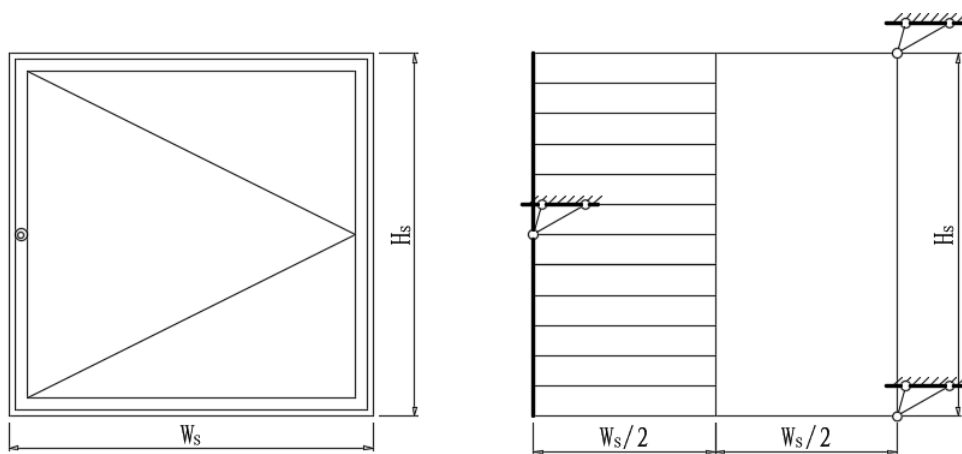


d 五个锁闭点

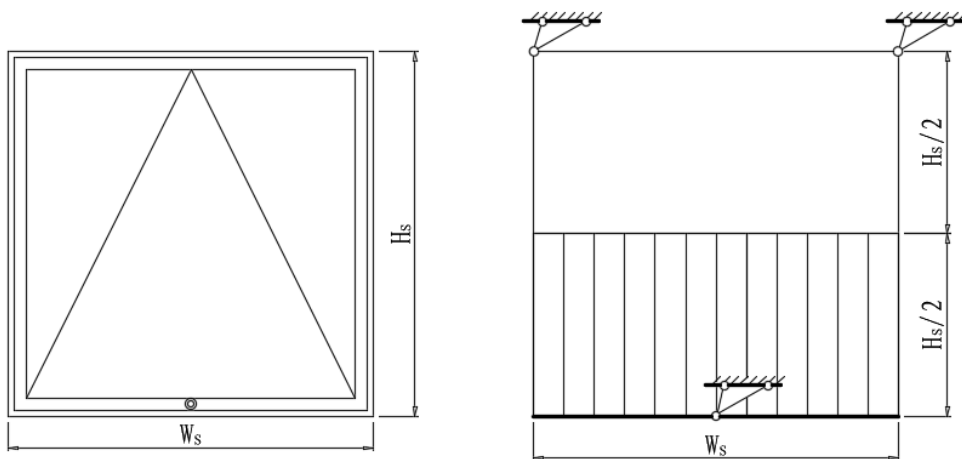


5 建筑平开旋转类门窗用单点锁闭器，计算模型可以依据下列原则简化处理：

a 平开类

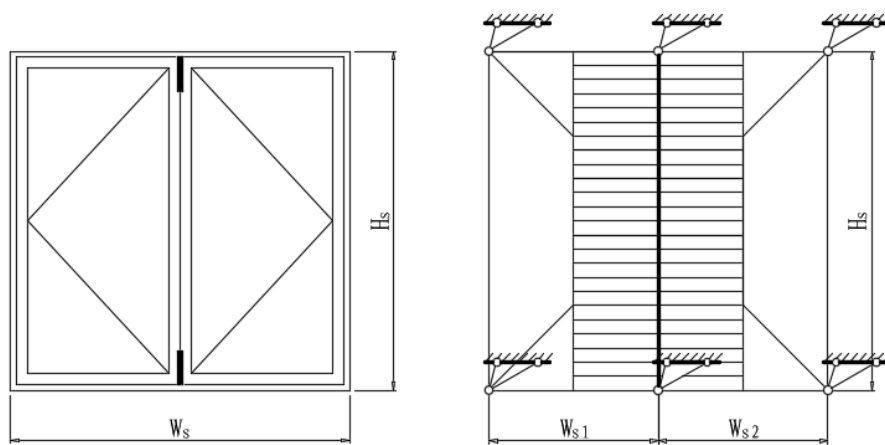


b 上悬类

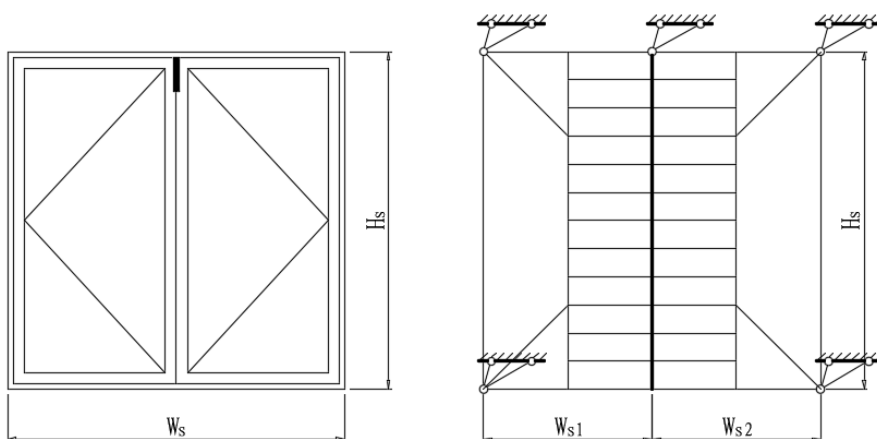


6 建筑平开旋转类门窗用插销，计算模型可以依据下列原则简化处理：

a 门窗用上下插销

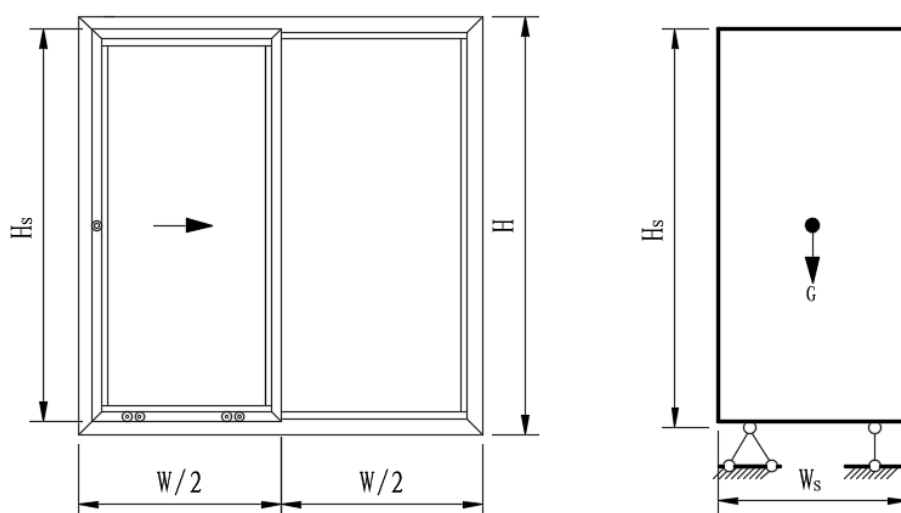


b 门窗用上插销

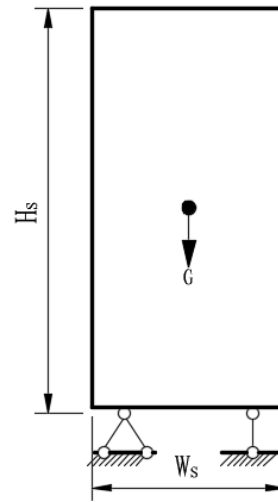
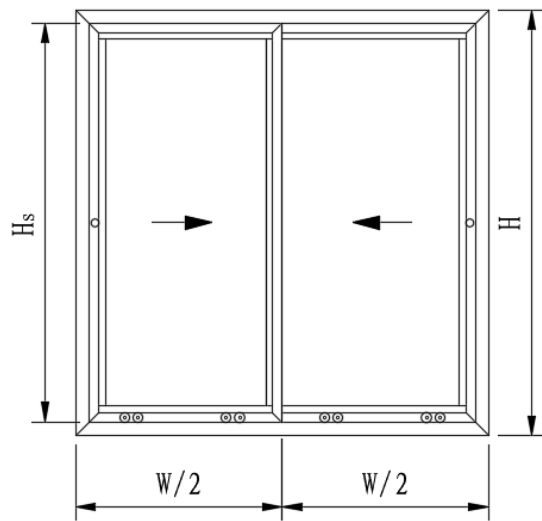


7 建筑推拉平移类门窗用滑轮，计算模型可以依据下列原则简化处理：

a 单扇



b 双扇



9 五金设计

9.3.1 粘接厚度计算公式参照 102 报批稿，与现行 102 公式不同。

当硅酮结构胶计算厚度 $t_s > 12\text{mm}$ 时，可考虑隐框面板安装间隙的影响，按公式 9.3.1-6 计算其吸收主体结构层间位移的能力，按公式 9.3.1-7 计算 u_s ，再按公式 9.3.1-4 重新计算硅酮结构胶的厚度，满足 $t_s \leq 12\text{mm}$ 时，取 $t_s = 12\text{mm}$ 。 u_s 按公式 9.3.1-6 取值后，硅酮结构胶计算厚度 t_s 仍大于 12mm 时，可调整 c_1 和 c_2 ，使其满足硅酮结构胶计算厚度 $t_s \leq 12\text{mm}$ ，并取 $t_s = 12\text{mm}$ 。

9.4.4 门窗扇固定面板的压条或挡边强度计算宜采用有限元建模计算，压条或挡板采用实体模型，边界条件应依据实际情况进行模拟。

9.4.5 夹具按限制三个平动自由度的铰接支座，锁点根据实际情况限制垂直面板的平动自由度或多个平动自由度。

10 结构计算表达

10.1 一般规定

10.1.1 全面清晰，编写规范的结构计算书，不仅有利于对结构设计质量进行复核，也有利于对不同设计人的计算信息进行横向比对。

10.1.2 门窗结构计算书应符合本标准各个章节的要求，同时，应按下节中的最基本要求编写相关内容。

10.2 结构计算书

10.2.1 该部分规定的门窗结构计算书的内容，是最基本的组成部分。在具体工程项目中，应将计算过程和相关信息进行全面的汇总。

结构计算书示例

第一章 计算说明

1.1 工程概况

工程名称：XXXX 项目

工程地点：北京市

建设单位：XXXX 公司

建筑设计：XXXX 公司

结构形式：钢筋混凝土剪力墙结构

建筑高度：54m

基本风压：0.45 kN/m²

地面粗糙度类别：B 类

抗震设防烈度：8 度(0.2g)

建筑设计使用年限分类：三类，设计使用年限：50 年

1.2 计算依据

- 1、建筑图、结构图、门窗图；
- 2、现行的国家标准、行业标准、团体标准或地方标准；
- 3、政府发布的相关文件、条例等。

1.3 材料的物理力学性能

1.3.1 材料的弹性模量 E

材料	E (N/mm ²)
玻 璃	0.72×10^5

材料	E (N/mm ²)
铝 合 金	0.7×10^5
钢 材	2.1×10^5
单层铝板	0.7×10^5

1.3.2 材料的泊松比 ν

材料	ν	材料	ν
玻 璃	0.20	钢 材	0.30
铝 合 金	0.33	单层铝板	0.33

1.3.3 玻璃的强度设计值

类型	厚度 (mm)	强度设计值 (N/mm ²)	
		大面上的强度	边缘强度
普通玻璃	5	28.0	19.5
浮法玻璃	5~12	28.0	19.5
	15~19	24.0	17.0
	≥20	20.0	14.0
钢化玻璃	5~12	84.0	58.8
	15~19	72.0	50.4
	≥20	59.0	41.3

1.3.4 铝合金型材的强度设计值

铝合金牌 号	状态	强度设计值 (N/mm ²)		
		抗拉、抗压强度	抗剪强度	局部承压
6061	T6	200	115	305
6063A	T5	135	75	220
	T6	160	90	255
6063	T5	90	55	185
	T6	150	85	240

1.3.5 钢材的强度设计值

钢材牌 号	厚度或直径 d (mm)	抗拉、抗弯、抗 压 (N/mm ²)	抗剪 (N/mm ²)	端面承 压 (N/mm ²)
Q235	d≤16	215	125	325
	16≤d≤40	205	120	
	40≤d≤60	200	115	

1.3.6 结构硅酮密封胶的强度

结构硅酮密封胶短期强度允许值 f_1 (N/mm ²)	0.2
结构硅酮密封胶长期强度允许值 f_2 (N/mm ²)	0.01

1.3.7 不锈钢螺栓强度设计值

类别	组别	性能等级	σ_b (N/mm ²)	抗拉 (N/mm ²)	抗剪 (N/mm ²)
A(奥氏 体)	A1、A2	50	500	230	175
	A3、A4	70	700	320	245
	A5	80	800	370	280

1.4 挠度判定依据

玻璃： $\frac{a}{60}$ 和 25mm，取两者较小者

金属板： $\frac{L}{90}$

铝构件：

风荷载作用下挠度限值满足下列要求：

门窗镶嵌单层玻璃、夹层玻璃时： $\frac{L}{100}$ ，且绝对值不大于 20mm

门窗镶嵌中空玻璃时： $\frac{L}{150}$ ，且绝对值不大于 20mm

自重荷载作用下挠度限值满足下列要求： $\frac{L}{500}$ ，且绝对值不大于 3mm

钢构件： $\frac{L}{250}$

注：

a ——四边支撑面板短边边长，对于点支撑玻璃板取支撑点之间的长边长度；

L ——构件跨度（支点间的距离），悬臂构件可取挑出长度的 2 倍。

第二章 玻璃面板计算

2.1 计算说明

为了确保建筑外窗整体结构安全性，拟采用分格最大的玻璃进行强度及刚度校核计算，如最大规格尺寸窗型满足要求，则其它窗型亦满足要求，否则应提高玻璃配置规格再次进行校核计算，直至满足设计及规范要求。

TP6+12Ar+TP6 中空玻璃最大分格取 1200mm×1800mm，按四边简支板计算。

2.2 荷载计算

2.2.1 风荷载计算

作用在幕墙门窗上的风荷载标准值按下式计算：

$$w_k = \eta_B \eta_w \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0$$

$$\beta_{gz} = 1 + 2gI_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-\alpha}$$

式中： w_k ——作用在幕墙门窗上的风荷载标准值（kN/m²）；

η_B ——地形修正系数，取 1.0；

η_w ——风向修正系数，取 1.0；

β_{gz} ——考虑风荷载脉动作用的放大系数，不应小于 $1 + \frac{0.7}{\sqrt{\mu_z}}$ ；

g ——峰值因子，可取 2.5；

I_{10} ——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；

α ——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；

μ_{sl} ——风荷载体型系数；

μ_z ——风压高度变化系数；

w_0 ——基本风压。

按建筑最高点 $Z=54m$ 计算：

负风压：

$$w_{k负} = 1.0 * 1.0 * 1.544 * 1.6 * 1.659 * 0.45 = 1.84 \text{ kPa} > 1.0 \text{ kPa}$$

正风压：

$$w_{k\bar{x}}=1.0*1.0*1.544*1.2*1.659*0.45=1.38\text{kPa}>1.0\text{ kPa}$$

取 $w_k=1.84\text{ kPa}$ 。

2.2.2 自重荷载计算

TP6+12Ar+ TP6 玻璃自重面荷载标准值为：

$$G_{Ak1}=25.6*12/1000=0.31\text{ kPa}$$

2.2.3 地震作用计算

作用在幕墙门窗上的地震作用标准值按下式计算：

$$q_{AEk} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak}$$

式中： q_{AEk} ——作用于幕墙门窗上水平地震面荷载标准值（ kN/m^2 ）；

G_{Ak} ——幕墙门窗自重面荷载标准值（ kN/m^2 ）；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，取 0.16；

β_E ——动力放大系数，取 5。

6+12Ar+6 玻璃地震面荷载标准值为：

$$q_{AEk1} = 5 \times 0.16 \times 0.31 = 0.25\text{ kPa}$$

2.2.4 荷载组合及分配

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012)及《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003，结合本工程的地区地理环境，建筑特点以及幕墙门窗的受力情况，各分项系数和组合系数选择如下：

强度计算时，采用荷载基本组合，重力荷载、风荷载、地震作用的分项系数 γ_G 、 γ_w 、 γ_E 分别取 1.3、1.5、1.3；风荷载、地震作用的组合系数 ψ_w 、 ψ_E 分别取 1.0、0.5。

挠度计算时，采用荷载标准组合，重力荷载、风荷载的分项系数 γ_G 、 γ_w 均取 1.0，不考虑可变作用效应的组合。

荷载和作用效应按下式进行组合：

$$S = \gamma_G S_G + \psi_w \gamma_w S_w + \psi_E \gamma_E S_E$$

式中： S ——荷载和作用效应组合后的设计值；

S_G ——重力荷载作为永久荷载产生的效应；

S_w 、 S_E ——分别为风荷载，地震作用产生效应；

γ_G 、 γ_w 、 γ_E ——重力荷载、风荷载、地震作用的分项系数；

ψ_w 、 ψ_E ——分别为风荷载、地震作用效应的组合系数。

2.3 中空玻璃 1(TP6+12Ar+ TP6)计算

2.3.1 强度校核

强度验算采用荷载基本组合，由于中空玻璃内、外片等厚，强度验算时可仅验算外片玻璃，作用在外片玻璃上的面荷载设计值为：

$$q_{A10} = 0.5 \times 1.1 \times 1.5 \times 1.84 + 0.5 \times 1.3 \times \frac{0.31}{2} = 1.60 \text{ kPa}$$

参数： $\theta = 35.6$ ，弯矩系数 $m=0.0783$ ，折减系数 $\eta = 0.858$

$$\sigma = \frac{6mq a^2}{t^2} \eta = 25.81 \text{ MPa} < 84 \text{ MPa}$$

玻璃强度满足要求。

2.3.2 挠度校核

挠度验算采用风荷载标准值： $w_k = 1.84 \text{ kPa}$

等效厚度： $t_e = 0.95 \times \sqrt[3]{6^3 + 6^3} = 7.18 \text{ mm}$

参数： $\theta = 19.96$ ，挠度系数 $\mu = 0.0077$ ，折减系数 $\eta = 0.92$

玻璃刚度：

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} = 2.315 \text{ kN.m}$$

玻璃挠度：

$$f = \frac{\mu q a^4}{D} \eta = 11.74 \text{ mm} < \frac{a}{60} = 20 \text{ mm}$$

玻璃挠度满足要求。

第三章 窗型材验算

3.1 计算说明

3.1.1 计算模型

典型窗型参见图 3.1-1，杆件截面类型及支座布置参见图 3.1-2。窗中横梃、中竖梃按承受均布线荷载的简支梁计算，窗边框按承受均布线荷载的多跨连续梁计算、梁跨取螺钉间距中的较大值。

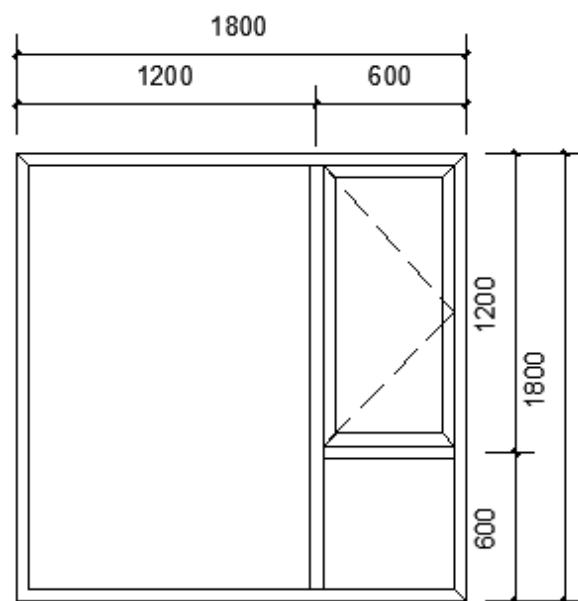


图 3.1-1 典型窗型图

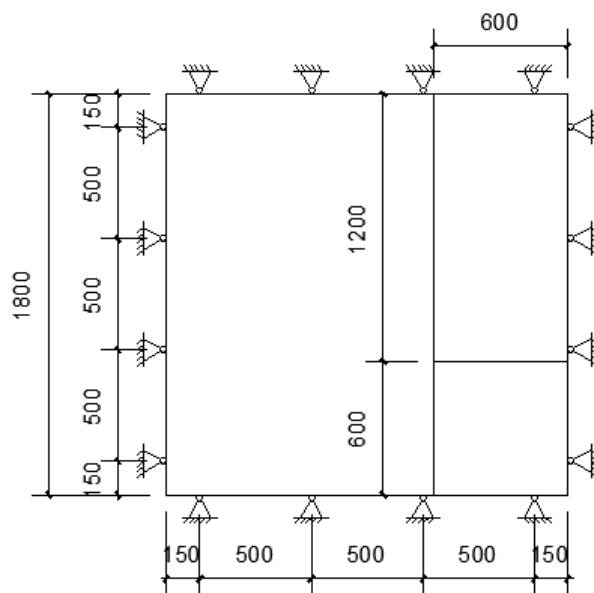
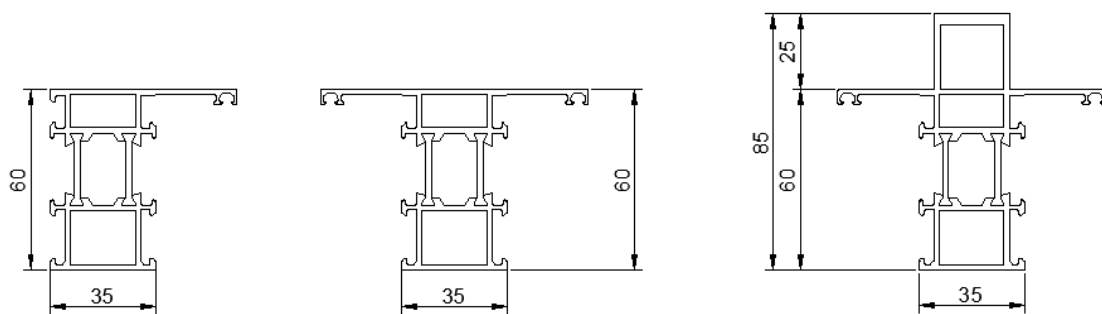


图 3.1-2 支座布置图

3.1.2 截面特性

采用 60 系列断热铝合金型材，铝合金牌号和状态为 6063-T6，截面如图 3.1-3 所示。



(3a) 60 系列边框

(3b) 60 系列中梃

(3c) 60 系列加强中梃

图 3.1-3 型材截面简图

型材截面参数详表 3.1-1

表 3.1-1 型材截面特性

截面特性	60 系列边框	60 系列中梃	60 系列加强中梃
截面积 A (mm ²)	506	555	729
惯性矩 I _x (mm ⁴)	51442	62642	314926
抵抗矩 W _x 上(mm ³)	1956	2567	7719
抵抗矩 W _x 下(mm ³)	1526	2712	7125
面积矩 S _x (mm ³)	5440	6001	8762
惯性矩 I _y (mm ⁴)	107662	171350	187309
抵抗矩 W _y (mm ³)	2612	3850	4209
面积矩 S _y (mm ³)	3070	3947	4715
说明：计算时穿条隔热型材的弹性系数取 40 MPa，应以试验数据为准。			

3.2 荷载计算

3.2.1 风荷载计算

作用在幕墙门窗上的风荷载标准值按下式计算：

$$w_k = \eta_B \eta_w \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0$$

$$\beta_{gz} = 1 + 2gI_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-\alpha}$$

式中： w_k ——作用在幕墙门窗上的风荷载标准值（kN/m²）；

η_B ——地形修正系数，取 1.0；

η_w ——风向修正系数，取 1.0；

β_{gz} ——考虑风荷载脉动作用的放大系数，不应小于 $1 + \frac{0.7}{\sqrt{\mu_z}}$ ；

g ——峰值因子，可取 2.5；

I_{10} ——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；

α ——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；

μ_{sl} ——风荷载体型系数；

μ_z ——风压高度变化系数；

w_0 ——基本风压。

按建筑最高点 $Z=54\text{m}$ 计算。

负风压：

$$w_{k\text{负}}=1.0*1.0*1.544*1.6*1.659*0.45=1.84\text{kPa}>1.0\text{ kPa}$$

正风压：

$$w_{k\text{正}}=1.0*1.0*1.544*1.2*1.659*0.45=1.38\text{kPa}>1.0\text{ kPa}$$

取 $w_k=1.84\text{ kPa}$ 。

3.2.2 自重荷载计算

6+12Ar+6 玻璃自重面荷载标准值为：

$$G_{Ak1}=25.6*12/1000=0.31\text{ kPa}$$

考虑框架及附属构件后的自重面荷载标准值为：

$$G_{Ak}=1.2*0.31=0.37\text{ kPa}$$

3.2.3 地震作用计算

作用在幕墙门窗上的地震作用标准值按下式计算：

$$q_{AEk} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak}$$

式中： q_{AEk} ——作用于幕墙门窗上水平地震面荷载标准值（ kN/m^2 ）；

G_{Ak} ——幕墙门窗自重面荷载标准值（ kN/m^2 ）；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，取 0.16；

β_E ——动力放大系数，取 5。

6+12Ar+6 玻璃地震面荷载标准值为：

$$q_{AEk1} = 5 \times 0.16 \times 0.37 = 0.30\text{ kPa}$$

3.2.4 荷载组合

根据《建筑结构荷载规范》(G B 50009-2012)及《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003，结合本工程的地区地理环境，建筑特点以及幕墙门窗的受力情况，各分项系数和组合系数选择如下：

强度计算时，采用荷载基本组合，重力荷载、风荷载、地震作用的分项系数 γ_G 、 γ_w 、 γ_E

分别取 1.3、1.5、1.3；风荷载、地震作用的组合系数 ψ_w 、 ψ_E 分别取 1.0、0.5。

挠度计算时，采用荷载标准组合，重力荷载、风荷载的分项系数 γ_G 、 γ_w 均取 1.0，不考虑可变作用效应的组合。

荷载和作用效应按下式进行组合：

$$S = \gamma_G S_G + \psi_w \gamma_w S_w + \psi_E \gamma_E S_E$$

式中： S ——荷载和作用效应组合后的设计值；

S_G ——重力荷载作为永久荷载产生的效应；

S_w 、 S_E ——分别为风荷载，地震作用产生效应；

γ_G 、 γ_w 、 γ_E ——重力荷载、风荷载、地震作用的分项系数；

ψ_w 、 ψ_E ——分别为风荷载、地震作用效应的组合系数。

强度验算时，水平方向面荷载设计值为：

$$q_{Ah} = 1.5 \times 1.84 + 0.5 \times 1.3 \times 0.30 = 2.96 \text{ kPa}$$

强度验算时，竖直方向面荷载设计值为：

$$q_{Av} = 1.3 \times 0.37 = 0.48 \text{ kPa}$$

挠度验算采用风荷载标准值， $w_k = 1.84 \text{ kPa}$

3.3 中横挺校核

3.3.1 计算说明

中横挺采用 60 系列中挺，按承受均布线荷载的简支梁计算，如图 3.3-1 所示。

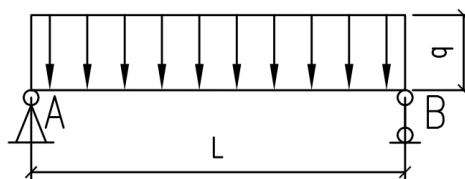


图 3.3-1 简支梁计算模型

中横挺计算跨度： $L=0.60\text{m}$

上面板计算高度： $H_1=1.20\text{m}$

下面板计算高度： $H_2=0.60\text{m}$

3.3.2 强度校核

水平均布线荷载设计值： $q_{Lh} = 0.5 \times (H_1 + H_2) \times q_{Ah} = 2.66 \text{ kN/m}$

竖向均布线荷载设计值： $q_{Lv} = H_1 \times q_{Av} = 0.58 \text{ kN/m}$

查《建筑结构静力计算手册》可得：

水平力引起的内力设计值：

$$\text{最大弯矩: } M_x = 0.125q_{Lh}L^2 = 0.12 \text{ kN.m}$$

$$\text{最大剪力: } V_y = 0.5q_{Lh}L = 0.80 \text{ kN}$$

竖向力引起的内力设计值：

$$\text{最大弯矩: } M_y = 0.125q_{Lv}L^2 = 0.03 \text{ kN.m}$$

$$\text{最大剪力: } V_x = 0.5q_{Lv}L = 0.17 \text{ kN}$$

抗弯强度校核：

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma W_x} + \frac{M_y}{\gamma W_y} = 50.88 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求！

抗剪强度校核：

$$\frac{V_y S_x}{I_x t_x} = 21.27 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_x S_y}{I_y t_y} = 1.11 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求！

3.3.3 挠度校核

1、风荷载标准值作用下挠度校核

面板采用中空玻璃，风荷载作用下挠度限值取 $\frac{L}{150}$ 和 20mm 中的较小值，即：

$$d_{fw,lim} = \min\left(\frac{L}{150}, 20\text{mm}\right) = 4.0\text{mm}$$

$$\text{水平均布线荷载标准值: } q_{Lhk} = 0.5 \times (H_1 + H_2) \times w_k = 1.66 \text{ kN/m}$$

查《建筑结构静力计算手册》可得，中横梃计算挠度最大值为：

$$d_{fw} = \frac{5q_{Lhk}L^4}{384EI_x} = 0.64\text{mm} < d_{fw,lim}$$

挠度满足要求。

2、自重荷载标准值作用下挠度校核

自重作用下挠度限值取 $\frac{L}{500}$ 和 3mm 中的较小值，即：

$$d_{fG,lim} = \min\left(\frac{L}{500}, 3\text{mm}\right) = 1.20\text{mm}$$

$$\text{竖向均布线荷载标准值: } q_{Lvk} = 1.2 \times 0.37 = 0.44 \text{ kN/m}$$

查《建筑结构静力计算手册》可得，中横挺计算挠度最大值为：

$$d_{fg} = \frac{5q_{Lvk}L^4}{384EI_y} = 0.06\text{mm} < d_{fg,lim}$$

挠度满足要求。

3.4 中竖挺校核

3.4.1 计算说明

中竖挺采用 60 系列加强中挺，按承受均布线荷载的简支梁计算，如图 3.4-1 所示。

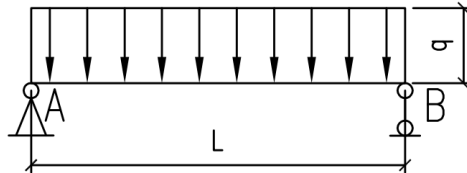


图 3.4-1 简支梁计算模型

中竖挺计算跨度：L=1.80m

左面板计算宽度：H₁=1.20m

右面板计算宽度：H₂=0.60m

3.4.2 强度校核

水平均布线荷载设计值：q_{Lh} = 0.5 × (H₁ + H₂) × q_{Ah} = 2.66 kN/m

查《建筑结构静力计算手册》可得：

水平力引起的内力设计值：

最大弯矩：M_x = 0.125q_{Lh}L² = 1.08 kN.m

最大剪力：V_y = 0.5q_{Lh}L = 2.4 kN

抗弯强度校核：

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma W_x} = 144.22 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求！

抗剪强度校核：

$$\frac{V_y S_x}{I_x t_x} = 18.53 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求！

3.4.3 挠度校核

面板采用中空玻璃，风荷载作用下挠度限值取 $\frac{L}{150}$ 和 20mm 中的较小值，即：

$$d_{fw,lim} = \min\left(\frac{L}{150}, 20\text{mm}\right) = 12\text{mm}$$

水平均布线荷载标准值： $q_{Lhk} = 0.5 \times (H_1 + H_2) \times w_k = 1.66 \text{ kN/m}$

查《建筑结构静力计算手册》可得，中横挺计算挠度最大值为：

$$d_{fw} = \frac{5q_{Lhk}L^4}{384EI_x} = 10.27\text{mm} < d_{fw,lim}$$

挠度满足要求。

3.5 边框校核

3.5.1 计算说明

边框按承受均布线荷载的外跨连续梁计算，如图 3.5-1 所示。

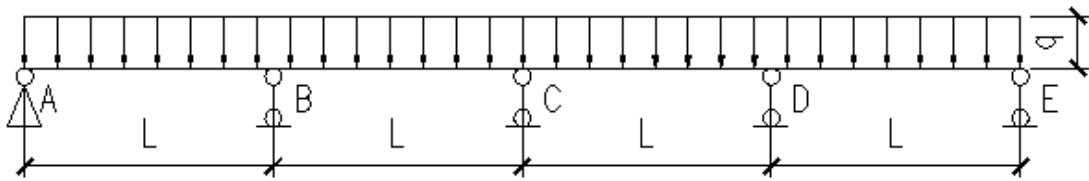


图 3.5-1 多跨连续梁计算模型

计算跨度： $L=0.50 \text{ m}$

面板计算宽度： $H_1=0.90\text{m}$

3.5.2 强度校核

水平均布线荷载设计值： $q_{Lh} = 0.9 \times 2.96 = 2.66 \text{ kN/m}$

查《建筑结构静力计算手册》可得：

弯矩系数		剪力系数		挠度系数
跨中-边跨	支座 B	B 左	B 右	边跨
0.077	-0.107	-0.607	0.536	0.632

水平力引起的内力设计值：

跨中弯矩： $M_{x1} = 0.077q_{Lh}L^2 = 0.05 \text{ kN.m}$

支座弯矩： $M_{xB} = -0.107q_{Lh}L^2 = -0.07 \text{ kN.m}$

最大剪力： $V_y = -0.607q_{Lh}L = -0.81 \text{ kN}$

支座反力： $R_y = (0.607 + 0.536)q_{Lh}L = 1.52 \text{ kN}$

抗弯强度校核：

$$\sigma_1 = \frac{M_{x1}}{\gamma W_x} = 32 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{xB}}{\gamma W_{x\perp}} = 34.7 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求！

抗剪强度校核：

$$\frac{V_y S_x}{I_x t_x} = 23.75 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求！

3.5.3 挠度校核

面板采用中空玻璃，风荷载作用下挠度限值取 $\frac{L}{150}$ 和 20mm 中的较小值，即：

$$d_{fw,lim} = \min \left(\frac{L}{150}, 20\text{mm} \right) = 3.33\text{mm}$$

水平均布线荷载标准值： $q_{Lhk} = 0.9 \times 1.84 = 1.66 \text{ kN/m}$

查《建筑结构静力计算手册》可得：

挠度系数	
边跨	中跨
0.632	0.186

$$d_{fw} = \frac{0.632 q_{Lhk} L^4}{100 E I_x} = 0.18\text{mm} < d_{fw,lim}$$

挠度满足要求。

第四章 开启扇及五金计算

4.1 计算说明

4.1.1 计算模型

开启扇规格及锁闭点分布见图 4.1-1，配置 2 个锁闭点和 2 个合页（铰链）。

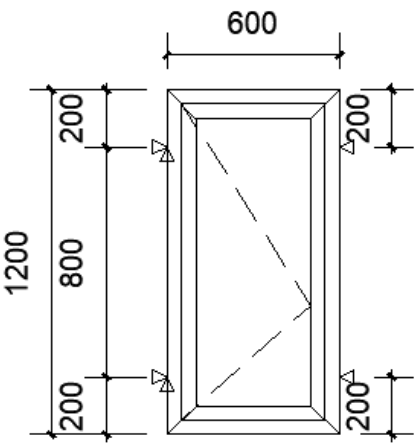


图 4.1-1 开启扇规格及锁闭点分布

4.1.2 截面特性

开启扇料采用断热铝合金型材，铝合金牌号和状态为 6063-T6，截面如图 4.1-2 所示。

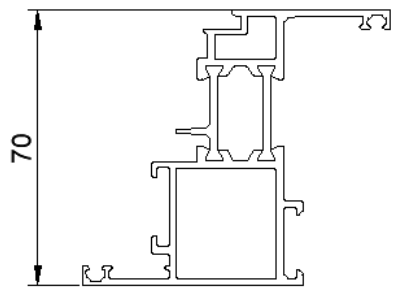


图 4.1-2 型材截面简图

型材截面参数详表 4.1-1

表 4.1-1 型材截面特性

截面特性	开启扇料
截面积 A (mm ²)	534
惯性矩 I _x (mm ⁴)	174131
抵抗矩 W _x (mm ³)	4975
面积矩 S _x (mm ³)	6565

4.2 荷载计算

4.2.1 风荷载计算

作用在幕墙门窗上的风荷载标准值按下式计算：

$$w_k = \eta_B \eta_w \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0$$

$$\beta_{gz} = 1 + 2gI_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-\alpha}$$

式中： w_k ——作用在幕墙门窗上的风荷载标准值（kN/m²）；

η_B ——地形修正系数，取 1.0；

η_w ——风向修正系数，取 1.0；

β_{gz} ——考虑风荷载脉动作用的放大系数，不应小于 $1 + \frac{0.7}{\sqrt{\mu_z}}$ ；

g ——峰值因子，可取 2.5；

I_{10} ——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；

α ——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；

μ_{sl} ——风荷载体型系数；

μ_z ——风压高度变化系数；

w_0 ——基本风压。

按建筑最高点 $Z=54\text{m}$ 计算。

负风压：

$$w_{k\text{负}} = 1.0 * 1.0 * 1.544 * 1.6 * 1.659 * 0.45 = 1.84 \text{ kPa} > 1.0 \text{ kPa}$$

正风压：

$$w_{k\text{正}} = 1.0 * 1.0 * 1.544 * 1.2 * 1.659 * 0.45 = 1.38 \text{ kPa} > 1.0 \text{ kPa}$$

取 $w_k = 1.84 \text{ kPa}$ 。

4.2.2 自重荷载计算

6+12Ar+6 玻璃自重面荷载标准值为：

$$G_{Ak1} = 25.6 * 12 / 1000 = 0.31 \text{ kPa}$$

考虑框架及附属构件后的自重面荷载标准值为：

$$G_{Ak} = 1.2 * 0.31 = 0.37 \text{ kPa}$$

4.2.3 地震作用计算

作用在幕墙门窗上的地震作用标准值按下式计算：

$$q_{AEk} = \beta_E \alpha_{max} G_{Ak}$$

式中： q_{AEk} ——作用于幕墙门窗上水平地震面荷载标准值 (kN/m^2)；

G_{Ak} ——幕墙门窗自重面荷载标准值 (kN/m^2)；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值，取 0.16；

β_E ——动力放大系数，取 5。

6+12Ar+6 玻璃地震面荷载标准值为：

$$q_{AEk1} = 5 \times 0.16 \times 0.37 = 0.30 \text{ kPa}$$

4.2.4 荷载组合

根据《建筑结构荷载规范》(G B 50009-2012)及《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003，结合本工程的地区地理环境，建筑特点以及幕墙门窗的受力情况，各分项系数和组合系数

选择如下：

强度计算时，采用荷载基本组合，重力荷载、风荷载、地震作用的分项系数 γ_G 、 γ_w 、 γ_E 分别取 1.3、1.5、1.3；风荷载、地震作用的组合系数 ψ_w 、 ψ_E 分别取 1.0、0.5。

挠度计算时，采用荷载标准组合，重力荷载、风荷载的分项系数 γ_G 、 γ_w 均取 1.0，不考虑可变作用效应的组合。

荷载和作用效应按下式进行组合：

$$S = \gamma_G S_G + \psi_w \gamma_w S_w + \psi_E \gamma_E S_E$$

式中： S ——荷载和作用效应组合后的设计值；

S_G ——重力荷载作为永久荷载产生的效应；

S_w 、 S_E ——分别为风荷载，地震作用产生效应；

γ_G 、 γ_w 、 γ_E ——重力荷载、风荷载、地震作用的分项系数；

ψ_w 、 ψ_E ——分别为风荷载、地震作用效应的组合系数。

强度验算时，水平方向面荷载设计值为：

$$q_{Ah} = 1.5 \times 1.84 + 0.5 \times 1.3 \times 0.30 = 2.96 \text{ kPa}$$

强度验算时，竖直方向面荷载设计值为：

$$q_{Av} = 1.3 \times 0.37 = 0.48 \text{ kPa}$$

挠度验算采用风荷载标准值， $w_k = 1.84 \text{ kPa}$

4.3 开启扇料校核

4.3.1 计算说明

开启扇合页和锁闭点在水平力作用下简化为铰接支座，开启扇横、竖扇料交点简化为铰接点，其计算模型见图 4.3-1。扇料承受面板传递的水平均布荷载作用。

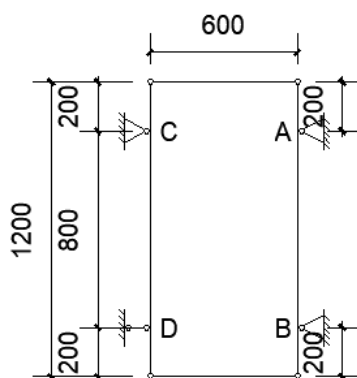


图 4.3-1 开启扇计算模型

4.3.2 强度校核

采用 SAP2000 软件进行计算，得到开启扇内力和反力如图 4.3-2~4.3-3。

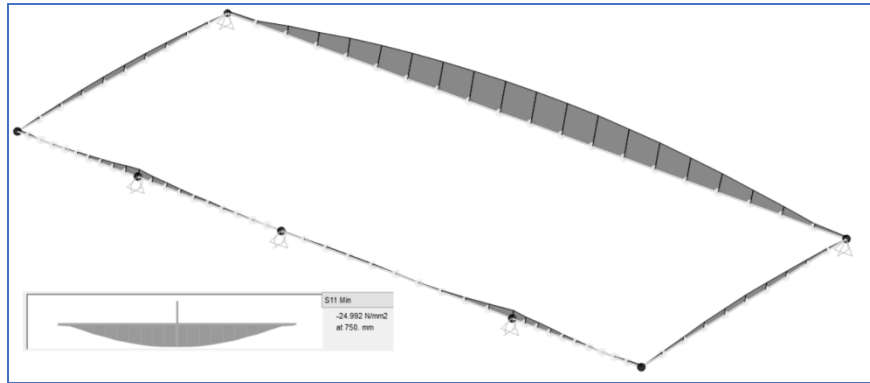


图 4.3-2 开启扇弯矩图

图 4.3-3 开启扇剪力图

内力设计值：

最大弯矩： $M_x=0.84 \text{ kN.m}$

最大剪力： $V_y=2.35 \text{ kN}$

抗弯强度校核：

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma W_x} = 146.7 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求！

抗剪强度校核：

$$\frac{V_y S_x}{I_x t_x} = 17.90 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求！

4.3.3 挠度校核

1、风荷载标准值作用下挠度校核

挠度计算时简支段长度 $L=800\text{mm}$ 。

风荷载作用下挠度限值取 $\frac{L}{150}$ 和 20mm 中的较小值，其中悬臂段计算长度取 $2L$ ，即：

$$d_{fw,lim} = \min\left(\frac{L}{150}, 20\text{mm}\right) = 5.33\text{mm}$$

采用 SAP2000 软件进行计算，得到开启扇挠度如图 4.3-4。

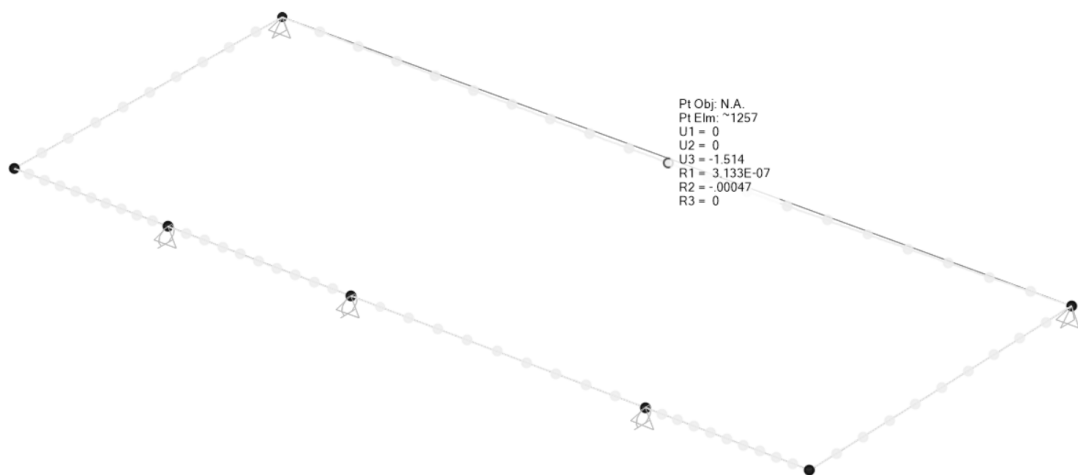


图 4.3-4 开启扇位移图

$$d_{fw} = 5.75\text{mm} < d_{fw,lim}$$

挠度满足要求。

4.4 五金校核

开启扇反力如图 4.4-1 所示。

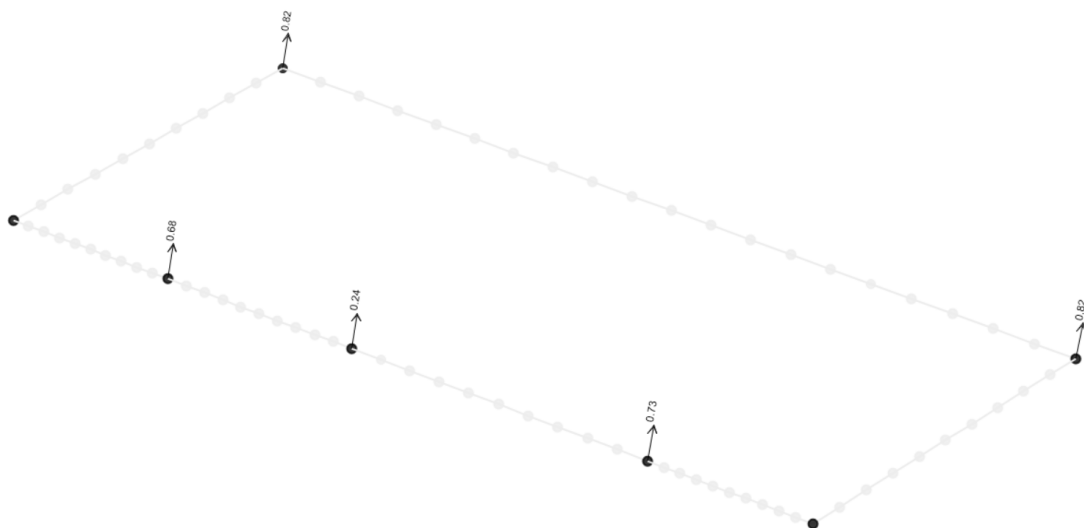


图 4.4-1 开启扇反力图

由上图可知，反力如下：

锁闭点处最大反力：

A、B 点： $R_A = R_B = 1 \text{ kN}$

合页处最大反力：

C、D 点： $R_C = R_D = 1 \text{ kN}$

市场上的常规锁点、锁座及合页均可满足此要求，该五金布置是合理、可行的。

第五章 连接计算

5.1 开启扇结构胶计算

5.1.1 计算说明

开启扇采用 TP6+12Ar+ TP6 玻璃，玻璃尺寸为 1200mm×600mm。中空玻璃合片结构胶宽度 10mm，玻璃与开启扇间粘接结构胶宽度为 10mm，厚度 6mm。

5.1.2 荷载计算

由 2.2 节可知：

风荷载标准值为：

$$w_k = 1.84 \text{ kPa}$$

地震面荷载标准值为：

$$q_{AEk1} = 0.25 \text{ kPa}$$

5.1.3 结构胶宽度计算

外片玻璃风荷载分配系数为：

$$\phi_o = \frac{t_o^3}{t_o^3 + t_i^3} = 0.5$$

外片玻璃自重荷载分配系数为：

$$\phi'_o = \frac{t_o + t_i}{t_o} = 0.5$$

外片玻璃承受的荷载设计值为：

$$q_o = \phi_o \times 1.1 \times 1.5 \times w_k + \phi'_o \times 0.65 \times q_{AEk1} = 1.60 \text{ kPa}$$

中空玻璃承受的荷载设计值为：

$$q = 1.5 \times w_k + 0.65 \times q_{AEk1} = 2.93 \text{ kPa}$$

中空玻璃合片结构胶宽度为：

$$c_{smin_o} = \frac{q_o a}{2000 f_1} = 2.4 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$$

中空玻璃与开启扇粘接结构胶宽度为：

$$c_{smin} = \frac{q a}{2000 f_1} = 4.4 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$$

式中： f_1 ——结构胶短期强度，取 0.2MPa。

结构胶粘接宽度满足要求。

5.1.4 结构胶厚度计算

玻璃相对于窗框的位移为：

$$\mu_s = \eta[\theta]h_g = 0.9 \text{ mm}$$

硅酮结构胶的粘接厚度:

$$t_{s,min} = \frac{u_s}{3\delta} = 2.4 \text{ mm} < 6\text{mm}$$

式中: $[\theta]$ ——楼层弹性位移角限值, 取 1/800;

η ——位移折减系数, 取 0.6;

h_g ——玻璃面板高度, 取 1.2m;

η ——位移折减系数, 取 0.6;

μ_s ——玻璃相对于窗框的位移, mm;

μ_s ——玻璃相对于窗框的位移, mm;

δ ——硅酮结构密封胶拉伸粘接性能试验中受拉应力为 0.14N/mm^2 时的伸长率, 取 0.125。

结构胶粘接厚度满足要求。

5.2 固定扇玻璃挡边及压条计算

5.2.1 计算说明

固定玻璃采用 TP6+12Ar+TP6 中空玻璃, 最大分格取 $1200\text{mm} \times 1800\text{mm}$, 玻璃挡边及压条铝合金牌号及状态为 6063-T5。

5.2.2 荷载计算

由 2.2 节可知:

负风荷载标准值为:

$$w_{k\text{负}} = 1.84\text{kPa}$$

正风荷载标准值为:

$$w_{k\text{正}} = 1.38\text{kPa}$$

地震面荷载标准值为:

$$q_{AEk1} = 0.25\text{kPa}$$

5.2.3 固定扇玻璃挡边计算

固定扇玻璃挡边铝合金牌号及状态采用 6063-T5, 承受面板传来的均布线荷载作用, 计算时采用负风荷载组合, 荷载计算宽度取玻璃短边尺寸。

挡边计算长度: $L=100\text{mm}$

荷载计算宽度: $a=1200\text{mm}$
 作用力距最不利截面距离: $e=23.6\text{mm}$
 最不利截面面积为: $A=180\text{ mm}^2$
 最不利截面惯性矩为: $I= 48.6\text{ mm}^2$
 最不利截面抵抗矩为: $W=54\text{ mm}^3$
 最不利截面面积矩为: $S= 40.5\text{ mm}^2$
 平行剪力方向腹板壁厚为: $t=100\text{mm}$
 面板承受的面荷载设计值为:

$$q_A = 1.5w_{k\text{玻}} + 0.65q_{AEk1} = 2.93\text{kPa}$$

玻璃挡边承受的线荷载设计值为:

$$q_L = 0.5q_A a = 1.76\text{ kN/m}$$

最不利截面剪力:

$$V = Lq_L = 0.176\text{ kN}$$

最不利截面弯矩:

$$M = V \times e = 0.004\text{ kN.m}$$

抗弯承载力校核:

$$\sigma = \frac{M}{\gamma W} = 76.69\text{ MPa} < 90\text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求!

抗剪承载力校核:

$$\frac{VS}{It} = 1.46\text{ MPa} < 55\text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求!

5.2.4 固定扇玻璃压条计算

固定扇玻璃压条铝合金牌号及状态采用 6063-T5, 承受面板传来的均布线荷载作用, 计算时采用正风荷载组合, 荷载计算宽度取玻璃短边尺寸。

挡边计算长度: $L=100\text{mm}$

荷载计算宽度: $a=1200\text{mm}$

面板承受的面荷载设计值为:

$$q_A = 1.5w_{k\text{玻}} + 0.65q_{AEk1} = 2.23\text{kPa}$$

玻璃压条承受的线荷载设计值为:

$$q_L = 0.5q_A a = 1.34 \text{ kN/m}$$

玻璃压条采用考虑线性弹性理论的有限元数值分析方法计算，压条与框之间采用无摩擦的接触分析模型，其 Von-Mises 等效应力如图 5.2-1 所示。

图 5.2-1 压条 Von-Mises 等效应力

由上图可知，压条 Von-Mises 等效应力最大值为：

$$\sigma = 76.69 \text{ MPa} < 90 \text{ MPa}$$

压条强度满足要求。

5.3 开启扇组角码计算

5.3.1 计算说明

组角码截面如图 5.3-1 所示，截面 A 为受力最不利截面。

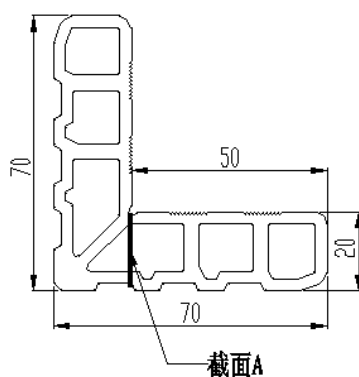


图 5.3-1 组角码截面示意

组角码铝合金牌号及状态为 6063-T6，其几何参数及截面特性如下：

组角码长度： $L=27.5 \text{ mm}$

最不利截面面积为： $A=137.5 \text{ mm}^2$

最不利截面惯性矩为： $I=7018 \text{ mm}^4$

最不利截面抵抗矩为： $W=723 \text{ mm}^3$

最不利截面面积矩为： $S=478.5 \text{ mm}^2$

平行剪力方向腹板壁厚为： $t=27.5 \text{ mm}$

作用力距截面 A 的偏心距为： $e=2 \times 50/3=33.33 \text{ mm}$

5.3.2 强度计算

由第 4 章计算可知：

组角码承受的剪力设计值为： $V=1 \text{ kN}$

组角码承受的弯矩设计值为： $M=VE=0.033 \text{ kN.m}$

抗弯承载力校核：

$$\sigma = \frac{M}{\gamma W} = 43.47 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求！

抗剪承载力校核：

$$\frac{VS}{It} = 2.48 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求！

5.4 中梃 T 型码计算

5.4.1 计算说明

中梃 T 型码与框料连接如图 5.4-1 所示。本算例 T 型码与框料连接的槽口中填充组角胶，仅验算角码受力最不利截面 A 处强度，当槽口中未填充组角胶时尚应验算 T 型码与槽口的连接强度。

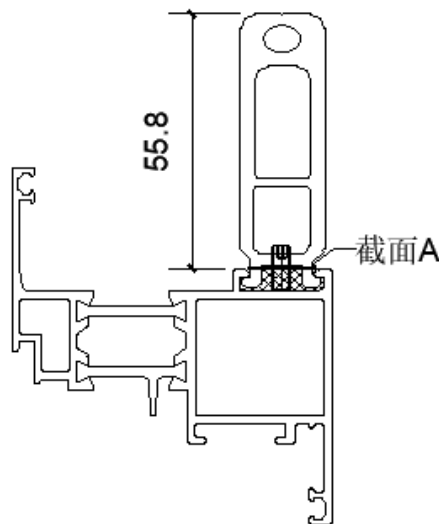


图 5.4-1 中梃 T 型码连接示意

组角码铝合金牌号及状态为 6061-T6，其几何参数及截面特性如下：

组角码长度：L=25 mm

最不利截面面积为：A=125 mm²

最不利截面惯性矩为：I= 3915 mm²

最不利截面抵抗矩为：W=575 mm³

最不利截面面积矩为：S= 346 mm²

平行剪力方向腹板壁厚为：t=25 mm

作用力距截面 A 的偏心距为：e=2×55.8/3=37.2 mm

5.4.2 强度计算

由第 3 章计算可知：

T 型码承受的剪力设计值为： $V=2.4 \text{ kN}$

T 型码承受的弯矩设计值为： $M=VE=0.089 \text{ kN.m}$

抗弯承载力校核：

$$\sigma = \frac{M}{\gamma W} = 147.4 \text{ MPa} < 200 \text{ MPa}$$

抗弯承载力满足要求！

抗剪承载力校核：

$$\frac{VS}{It} = 8.48 \text{ MPa} < 115 \text{ MPa}$$

抗剪承载力满足要求！

5.5 边框与副框连接螺钉计算

5.5.1 计算说明

由于该外窗规格尺寸偏大，建议采用膨胀螺栓固定，基材混凝土强度等级不低于且不得高于

5.5.2 强度计算

由于该外窗规格

5.6 副框与主体结构连接锚栓计算

5.6.1 计算说明

由于该外窗规格尺寸偏大，建议采用膨胀螺栓固定，基材混凝土强度等级不低

5.6.2 锚栓计算

锚栓受剪承载力应取锚栓钢材破坏受剪承载力设计值、混凝土边缘破坏受剪承载力设计值、混凝土剪撬破坏受剪承载力设计值中的较小值，三者取小值，即锚栓抗剪承载力为 $V_{Rd}=2.16 \text{ kN}>1.89\text{kN}$ ，锚栓抗剪承载力满足要求。