



CSCS XXXX-202X

中国钢结构协会标准

索结构玻璃幕墙工程技术规程

Technical Specification for Cable-Supported Glass Curtain Wall
Engineering

(征求意见稿)

中国钢结构协会标准

索结构玻璃幕墙工程技术规程
CSCS ××-202×

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

批准部门：中国钢结构协会

批准日期：20 ×× 年 × 月 × 日

202× 北 京

前 言

根据中国钢结构协会《关于发布中国钢结构协会 2026 年第一批团体标准编制计划的通知》（中钢构协〔2026〕16 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，通过检测验证和工程试用，参考国内外先进成熟技术，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分 8 章，主要技术内容包括：总则；术语与符号；材料；建筑设计；结构设计；节点设计与构造；制作、施工及验收；使用维护等。

本规程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。

本规程由中国钢结构协会预应力结构分会归口管理，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。本规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送至中国建筑科学研究院有限公司（地址：北京市北三环东路 30 号，邮政编码：100013），以供修订时参考。

主编单位： xxxx

参编单位： xxxx

Xxxx

主要起草人： XXX XXX XXX XXX XXX

Xxx

主要审查人： xxxx

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 材料	5
3.1 一般规定	5
3.2 索体与锚具	5
3.3 点支承装置	6
3.4 玻璃	6
3.5 钢材、不锈钢和连接材料	7
3.6 其他材料	8
3.7 主要材料力学性能	9
4 系统设计	13
4.1 一般规定	13
4.2 选型与布置	13
4.3 性能要求	15
4.4 构造设计	15
4.5 安全规定	15
5 结构设计	16
5.1 一般规定	16
5.2 作用及组合	16
5.3 结构设计与分析	18
5.4 玻璃面板设计	18
6 节点设计与构造	23
6.1 一般规定	23
6.2 索与玻璃面板节点	23
6.3 索与索节点	24
6.4 索与主体结构节点	27
6.5 弹簧装置	29
7 制作、施工及验收	32
7.1 一般规定	32
7.2 加工制作	32
7.3 安装施工	33
7.4 工程验收	33
8 使用维护	35
8.1 一般规定	35
8.2 检查与维修	35
8.3 清洗与维护	36
本标准用词说明	38
引用标准名录	39
附：条文说明	47

Contents

1 General provisions	1
2 Terms and symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols	3
3 Materials	5
3.1 General requirements	5
3.2 Cables and anchorage devices.....	5
3.3 Point-support devices.....	6
3.4 Glass.....	6
3.5 Steel, stainless steel and connection materials	7
3.6 Other materials.....	8
3.7 Mechanical properties of main materials	9
4 System design	13
4.1 General requirements	13
4.2 Type selection and layout.....	13
4.3 Performance requirements	15
4.4 Detail design	15
4.5 Safety regulations.....	15
5 Structural design	16
5.1 General requirements	16
5.2 Function and combination.....	16
5.3 Actions and combinations	18
5.4 Glass panel design.....	18
6 Joint design and details	23
6.1 General requirements	23
6.2 Cable-to-glass panel joints	23
6.3 Cable-to-cable joints	24
6.4 Cable-to-main structure joints.....	27
6.5 Spring devices.....	29
7 Fabrication, construction and acceptance	32
7.1 General requirements	32
7.2 Fabrication	32
7.3 Installation construction.....	33
7.4 Project acceptance.....	33
8 Operation and maintenance.....	35
8.1 General requirements	35
8.2 Inspection and maintenance	35
8.3 Cleaning and maintenance	36
Explanation of wording.....	38
List of quoted standards.....	39
Addition: Explanation of provisions	47

1 总则

1.0.1 为规范索结构点支承玻璃幕墙工程的建设和运维，做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于索结构点支承玻璃幕墙工程的设计、制作、安装施工、工程验收及使用维护。

1.0.3 索结构点支承玻璃幕墙工程的建设和维护，除应符合本规程的规定外，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。

1.0.4 涉及既有索结构点支承玻璃幕墙工程的检测、鉴定和改造，尚应符合国家相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 索结构点支承玻璃幕墙 cable-structure point-supported glass curtain wall

以索结构为主要支承结构,且玻璃面板采用点支承的方式与索结构连接的幕墙工程。

2.1.2 拉索 tension cable

由索体与索头组成的受拉构件。

2.1.3 索体 cable body

拉索受力的主要部分,可为钢丝束、钢绞线、钢丝绳或钢拉杆。

2.1.4 索头 cable end connecting device

位于索体两端,用于连接索体和锚固点的构造,包括锚具和连接接头。

2.1.5 拉索静态松弛 static relaxation of cables

拉索张紧后,在温度不变且锚固端位置恒定的情况下,拉索索力随时间而减小的现象,主要由索体应力松弛和锚具滑移两部分原因造成。

2.1.6 索体应力松弛 cable body stress relaxation

索体本身在温度不变且锚固端位置恒定的情况下,应力随时间而减小的现象。

2.1.7 锚具微滑移 slight slip of the anchorage

2.1.4 双相型(奥氏体-铁素体)不锈钢 duplex (austenitic-ferritic) stainless steel

基体兼有奥氏体和铁素体两相组织(其中较少相的含量一般大于15%),有磁性,可通过冷加工使其强化的不锈钢。

2.1.8 结构风工程专项研究 specialized research on structural wind engineering

通过风洞试验或者数值模拟等技术手段,针对建筑结构开展专项研究,获取建筑表面的风压力或风吸力,进而确定建筑结构风荷载。

2.1.9 索夹抗滑移承载力 anti-sliding capacity of cable clamp

通过索夹和索体之间的摩擦力抵抗索夹节点两侧索力差值的能力。

2.1.10 索力稳定装置 cable force stabilization device

由弹簧、连接构件和其他配套构件组成的装置,连接在拉索索头与主体结构锚固点之间,降低拉索索力的波动幅度,实现维持拉索拉力的相对稳定。

2.1.11 拉索过载保护装置 cable overload protection device

由一个设有薄弱环节的拉杆、弹簧、连接构件和其他配套构件组成的装置,连接

在拉索索头与主体结构锚固点之间，达到预设荷载时拉杆在薄弱处断裂，索力在震荡过程中张拉力大幅下降，达到保护拉索和主体结构的目的。

2.2 符号

2.2.1 作用与作用效应

- D_f ——在风荷载标准值作用下挠度最大值；
- F_{nb} ——所有工况下索夹两侧索力设计值的最大差值；
- G ——面板玻璃重力；
- G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；
- N ——拉索预拉力；
- P ——预应力作用的有关代表值；
- P_{tot}^e ——索夹上所有高强螺栓的有效紧固力之和；
- Q_{jk} ——第 j 个可变作用的标准值；
- R_{fc} ——索夹抗滑移设计承载力；
- S_{Ehk} ——水平地震标准值的效应；
- S_{GE} ——力荷载代表值的效应；
- S_{jk} ——第 j 个可变荷载的效应；
- S_p ——预应力作用的效应；
- Δt ——玻璃下沉量；
- w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于玻璃幕墙平面的风荷载、地震作用标准值；
- q_{wk} ——垂直于竖索的线性均布风荷载；
- σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用下玻璃截面的最大应力标准值；
- σ_0 ——估算初始张拉应力。

2.2.2 材料指标

- E ——索材料的弹性模量；
- E ——玻璃的弹性模量。

2.2.3 几何参数

- A ——索体净截面积；
- a ——支承点间玻璃面板短边边长；
- B ——夹层玻璃的短边长度；
- b ——支承点间玻璃面板长边边长；

-
- e ——偏心距离；
 h ——索夹夹持拉索的高度；
 L ——拉索跨度；
 l ——拉索长度；
 t ——玻璃的厚度；
 t_1 、 t_2 、 t_v ——分别为双片玻璃夹层玻璃中第 1 片、第 2 片和中间层胶片的厚度；
 t_e ——中空玻璃的等效厚度；
 Δf ——拉索在风荷载标准值作用下跨中位移的设计目标值。

2.2.4 计算系数及其他

- D ——玻璃面板的刚度；
 G ——与温度、持荷时间相关的夹层玻璃中间层胶片的剪切模量 (N/mm^2)；
 M ——弯矩系数；
 n ——跨挠比；
 Γ ——夹层玻璃中间层胶片的剪力传递系数；
 η ——折减系数；
 Y_{Eh} ——水平地震作用分项系数；
 Y_{Gi} ——第 i 个永久作用的分项系数；
 Y_{Lj} ——第 j 个可变作用考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；
 γ_M ——索夹抗滑移设计承载力安全系数；
 Y_P ——预应力作用的分项系数；
 Y_{Qi} ——第 j 个可变作用的分项系数；
 ψ_{cj} ——第 j 个可变作用的组合值系数；
 θ ——计算参数；
 ϕ_B ——高强螺栓紧固力损失系数；
 μ ——挠度系数；
 $\bar{\mu}$ ——索夹与索体间的综合摩擦系数。

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 索结构点支承玻璃幕墙工程所采用的建筑材料应符合国家现行相关标准的规定，并应满足设计要求；采用尚无相应技术标准材料时，应进行专项技术论证。

3.1.2 索结构点支承玻璃幕墙用材料应有出厂合格证。尚无相应标准的新材料，其性能应符合设计要求。

3.1.3 索结构点支承玻璃幕墙使用的五金件和其他金属附件宜采用不锈钢材质，且应符合国家现行相关标准的规定。

3.2 索体与锚具

3.2.1 索结构点支承玻璃幕墙的索体宜采用钢绞线、密封钢丝绳或钢拉杆。

3.2.2 钢绞线的质量、性能应符合国家现行标准《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026、《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152、《镀锌钢绞线》YB/T 5004等的规定；锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢绞线的质量、性能应符合国家现行标准《锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢丝、钢绞线》GB/T 20492、《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢绞线》YB/T 4542的规定；不锈钢钢绞线的质量、性能应符合现行国家标准《不锈钢钢绞线》GB/T 25821的规定；密封钢丝绳的质量、性能应符合国家现行标准《密封钢丝绳》YB/T 5295的规定。

3.2.3 钢拉杆的杆体及组件宜选用不锈钢材料，也可选用碳素结构钢、优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢等材料。钢拉杆的质量、性能应符合国家现行标准《钢拉杆》GB/T 20934、《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389等的规定。

3.2.4 索结构点支承玻璃幕墙的锚具可按照索体类型选用热铸锚具、冷铸锚具或压接锚具等。锚具的质量、性能、检验及验收应符合国家现行标准《建筑幕墙用钢索压管接头》JG/T 201、《建筑工程用索》JG/T 330、《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层拉索》YB/T 4543、《不锈钢拉索》YB/T 4294、《钢拉杆》GB/T 20934等的规定。

3.2.5 拉索静态松弛性能应满足相关标准和设计要求。当采用试验方法测定拉索的静态松弛率时，应采取相应手段区分由索体应力松弛和锚具微滑移造成的拉索松弛。

3.3 点支承装置

3.3.1 索结构点支承玻璃幕墙的点支承装置的材质宜采用奥氏体型或双相型不锈钢，其性能和化学成分应符合《不锈钢棒》GB/T 1220、《通用耐蚀钢铸件》GB/T 2100、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢冷加工钢棒》GB/T 4226、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《耐热钢钢板和钢带》GB/T 4238 和《不锈钢 牌号及化学成分》GB/T 20878 的规定。奥氏体型和双相型不锈钢均应进行固溶处理。当采用奥氏体型不锈钢时，其化学成分当中镍的含量（质量分数）：室内用不应小于 8%，室外用不宜小于 10%。

3.3.2 索结构点支承玻璃幕墙的点支承装置的质量和性能应符合现行国家标准《建筑幕墙用点支承装置》GB/T 37266 的规定。点支承装置的紧固件性能应符合现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 和《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 的规定。

3.3.3 索结构点支承玻璃幕墙的点支承装置与玻璃面板之间应设置弹性材料的垫片，衬套和垫片材质宜选用尼龙、聚四氟乙烯、橡胶和硬度值不大于 8HW 的铝质等材料，且厚度不宜小于 1mm。衬套和垫片耐久性能应满足设计工作年限要求。

3.4 玻璃

3.4.1 索结构点支承玻璃幕墙玻璃面板的质量和性能应符合国家现行标准《中空玻璃》GB/T 11944、《建筑用安全玻璃 第 2 部分：钢化玻璃》GB 15763.2、《建筑用安全玻璃 第 3 部分：夹层玻璃》GB 15763.3、《建筑用安全玻璃 第 4 部分：均质钢化玻璃》GB 15763.4、《半钢化玻璃》GB/T 17841、《镀膜玻璃 第 1 部分：阳光控制镀膜玻璃》GB/T 18915.1、《镀膜玻璃 第 2 部分：低辐射镀膜玻璃》GB/T 18915.2、《真空玻璃》GB/T 38586、《釉面钢化及釉面半钢化玻璃》JC/T 1006 等的规定。

3.4.2 索结构点支承玻璃幕墙玻璃面板应进行机械磨边处理，磨轮的目数应在 180 目以上。玻璃的孔边缘、板边缘均应进行磨边和倒棱，磨边宜细磨，倒棱宽度不宜小于 1mm。有装饰要求的玻璃边缘，宜采用抛光磨边。

3.4.3 索结构点支承玻璃幕墙采用中空玻璃时，应符合国家现行标准《中空玻璃》GB/T 11944 和《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的有关规定。

3.4.4 索结构点支承玻璃幕墙采用夹层玻璃时，应采用干法加工合成，其胶片宜采用聚乙烯醇缩丁醛（PVB）中间层胶片或离子性（SGP）中间层胶片；聚乙烯醇缩丁醛（PVB）中间层夹层玻璃的外露边缘应进行封边处理。

3.4.5 对于穿孔驳接头连接的中空玻璃，开孔周边应多道密封。

3.5 钢材、不锈钢和连接材料

3.5.1 索结构点支承玻璃幕墙的钢材宜采用 Q235、Q355、Q390、Q420 和 Q460 钢，其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。钢板、热轧工字钢、槽钢、角钢、H 型钢和钢管等型材产品的规格、外形、重量及允许偏差应符合国家现行相关标准的规定。

3.5.2 索结构点支承玻璃幕墙用不锈钢材料，可采用牌号为 06Cr19Ni10(S30408)、022Cr19Ni10(S30403)、06Cr17Ni12Mo2(S31608)、022Cr17Ni2Mo2(S31603)奥氏体型不锈钢和 022Cr23Ni5Mo3N(S22053)、022Cr22Ni5Mo3N(S22253)双相型不锈钢；当有可靠依据时，可采用其他牌号的不锈钢。

3.5.3 索结构点支承玻璃幕墙用不锈钢材料，质量应符合现行国家标准《不锈钢 牌号及化学成分》GB/T 20878、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB / T 4237 和《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 等的规定。不锈钢管可采用无缝钢管和直缝焊接钢管，其质量应分别符合现行国家标准《结构用不锈钢无缝钢管》GB/T 14975 和《机械结构用不锈钢焊接钢管》GB/T 12770 的规定。

3.5.4 索结构点支承玻璃幕墙用铸钢材料，其材料性能、质量、牌号选用等应符合国家现行标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659、《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967、《耐磨耐蚀钢铸件》GB/T 31205、《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395 等的规定。

3.5.5 索结构点支承玻璃幕墙用钢材、不锈钢和铸钢材料，根据使用环境、荷载类别、构件尺寸等条件，应分别符合《钢结构设计标准》GB50017、《不锈钢结构技术规范》CECS 410、《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395 等的规定。

3.5.6 受力构件所用的钢材应具有屈服强度，断后伸长率，抗拉强度和硫、磷含量的合格保证，在低温使用环境下尚应具有冲击韧性的合格保证；对焊接结构尚应具有碳或碳当量的合格保证。铸钢件和要求抗层状撕裂（Z 向）性能的钢材尚应具有断面收缩率的合格保证。焊接受力构件以及重要的非焊接受力构件所用的钢材，应具有弯曲试验的合格保证；对直接承受动力荷载或需进行疲劳验算的构件，其所用钢材尚应具有冲击韧性的合格保证。

3.5.7 受力构件所用的不锈钢应具有名义屈服强度、抗拉强度、伸长率和碳、镍、铬、钼等含量的合格保证。

3.5.8 铸钢件应避免壁厚急剧变化，且壁厚不宜大于 150mm。当壁厚大于 100mm 时，应具有屈服强度、伸长率、收缩率和冲击吸收能量等各项材料性能指标的合格保证。

3.5.9 铸钢材料应具有屈服强度、抗拉强度、伸长率和碳、硅、锰、硫、磷、微量合金元素等含量的合格保证，对焊接铸钢件还应有碳当量的合格保证；对直接承受动力荷载的铸钢件应具有按其环境温度要求的冲击吸收能量合格保证。

3.5.10 索结构点支承玻璃幕墙用紧固件材料应符合下列规定：

1 紧固件宜采用与被连接构件同种类的钢材或不锈钢制成。

2 钢结构连接用 4.6 级与 4.8 级普通螺栓（C 级螺栓）及 5.6 级与 8.8 级普通螺栓（A 级或 B 级螺栓），其质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 和《紧固件公差螺栓、螺钉、螺柱和螺母》GB/T 3103.1 的规定；C 级螺栓与 A 级、B 级螺栓的规格和尺寸应分别符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 与《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

3 大六角高强度螺栓的质量应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231 的规定。扭剪型高强度螺栓的质量应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

4 不锈钢螺栓的质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T3098.6 和《紧固件机械性能不锈钢螺母》GB/T3098.15 的规定。

3.5.11 索结构点支承玻璃幕墙用销轴宜采用 45 号钢、35CrMo、40Cr、42CrMo 钢材制作，其质量应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077 和《大型合金结构钢锻件 技术条件》GB/T 33084 的规定；当采用不锈钢时，宜采用双相型不锈钢、奥氏体型冷拉不锈钢、沉淀硬化型不锈钢，其牌号、质量和性能应满足设计要求，且符合现行团体标准《不锈钢结构技术规范》CECS 410 的要求。

3.5.12 索结构点支承玻璃幕墙所用焊接材料，根据构件的金属材质、力学性能、防腐性能及焊接要求等因素，应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《不锈钢结构技术规范》CECS 410 等的规定，选用适用品种、牌号和性能的焊条、焊丝和焊剂。

3.6 其他材料

3.6.1 索结构点支承玻璃幕墙采用铝合金材料的牌号所对应的化学成分应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190 的有关规定，铝合金型材质量应符合现行国家标准《铝合金建筑型材 第 1 部分：基材》GB/T 5237.1 的规定，型材尺寸

允许偏差应达到高精级或超高精级。

3.6.2 索结构点支承玻璃幕墙用橡胶制品宜采用硅橡胶、三元乙丙橡胶，也可采用氯丁橡胶，其性能应符合现行国家标准《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498 的规定。

3.6.3 索结构点支承玻璃幕墙的耐候密封应采用中性硅酮建筑密封胶，其性能应符合现行国家标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 的规定，密封胶位移能力级别不应低于 50 级，不应使用添加矿物油的硅酮建筑密封胶产品。

3.6.4 索结构点支承玻璃幕墙用硅酮结构密封胶，性能应符合国家现行标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776、《建筑幕墙用硅酮结构密封胶》JGT 475 的规定；中空玻璃用硅酮结构密封胶应符合现行国家标准《中空玻璃用硅酮结构密封胶》GB 24266 的规定。

3.6.5 索结构点支承玻璃幕墙用硅酮建筑密封胶和硅酮结构密封胶，应经国家认可的检测机构进行与其相接触材料的相容性试验；对硅酮结构密封胶，尚应进行邵氏硬度、标准条件下拉伸粘接性能以及与其相粘接材料的剥离粘接性试验。

3.6.6 索结构点支承玻璃幕墙用硅酮结构密封胶生产商应提供硅酮结构密封胶拉伸试验的应力应变曲线和质量保证书。

3.6.7 索结构点支承玻璃幕墙用硅酮结构密封胶和建筑密封胶应在有效期内使用；建筑密封胶不应作为硅酮结构密封胶使用，硅酮结构密封胶不宜作为建筑密封胶使用。

3.6.8 索结构点支承玻璃幕墙用填充材料宜采用聚乙烯泡沫棒，其密度不宜大于 37kg/m^3 。

3.6.9 索结构点支承玻璃幕墙的层间防火、防烟封堵材料应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 和《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 的有关规定。

3.6.10 索结构点支承玻璃幕墙的保温材料，宜采用岩棉、玻璃棉等不燃或难燃材料，其性能分级应符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 等有关规定。

3.7 主要材料力学性能

3.7.1 玻璃的强度设计值应按现行行业标准《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113 的规定采用，短期强度也可按表 3.7.1 的规定采用。

表 3.7.1 玻璃的强度设计值 (N/mm²)

种类	厚度 (mm)	中部强度	端面强度	边缘强度
半钢化玻璃	4~12	56	40	44
	15~19	48	34	38
	≥20	40	28	32
钢化玻璃	4~12	84	59	67
	15~19	72	51	58
	≥20	59	42	47

3.7.2 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，也可按表 3.7.2 的规定采用。

表 3.7.2 铝合金型材的强度设计值 (N/mm²)

铝合金牌 号	状态	壁厚 (mm)	强度设计值	
			抗拉、抗压和抗 弯	抗剪
6061	T4	不区分	90	55
	T6	不区分	200	115
6063	T5	不区分	90	55
	T6	不区分	150	85
6063A	T5	≤10	135	75
		>10	125	70
	T6	≤10	160	90
		>10	150	85

3.7.3 钢材的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定采用，也可按表 3.7.3 采用。

表 3.7.3 钢材的强度设计值

钢材类型		强度设计值 (N/mm ²)		
钢材牌号	厚度或直径 (mm)	抗拉、抗压、抗弯	抗剪	端面承压
碳素结构钢 Q235	≤16	215	125	320
	>16, ≤40	205	120	
低合金高强度结构钢 Q355	≤16	305	175	400
	>16, ≤40	295	170	

3.7.4 不锈钢材料的强度设计值应按现行团体标准《不锈钢结构技术规范》CECS 410 采用，也可按表 3.7.4 采用。

表 3.7.4 不锈钢材料的强度设计值

不锈钢类型		强度设计值 (N/mm ²)		
不锈钢种类	代码 (牌号)	抗拉、抗压、抗弯	抗剪	端面承压
奥氏体型	S30408 (06Cr19Ni10)	175	100	450
	S30403 (022Cr19Ni10)	145	85	420
	S31608 (06Cr17Ni12Mo2)	175	100	450
	S31603 (022Cr17Ni12Mo2)	145	85	420
双相型	S22053 (022Gr23Ni5Mo3N)	385	220	540
	S22253 (022Cr22Ni5Mo3N)	385	220	540

注：本表仅适用于经固溶处理的（热轧、冷轧）钢板、钢带和钢管。

3.7.5 铸钢件的强度设计值可按表 3.7.5 采用。

表 3.7.5 铸钢件的强度设计值 (N/mm²)

类别	钢号	铸件厚度 (mm)	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 fv	端面承压 (刨平预紧) fce
非焊接结构用 铸钢件	ZG230-450	≤100	180	105	290
	ZG270-500		210	120	325
	ZG310-570		240	140	370
焊接结构用铸 钢件	ZG230-450H	≤100	180	105	290
	ZG270-480H		210	120	310
	ZG300-500H		235	135	325
	ZG340-550H		265	150	355

3.7.6 张拉索、杆的承载力设计值应按下列规定采用：

- 1 拉索的承载力设计值应按其公称破断力除以抗力分项系数 2.0 采用；
- 2 拉杆的承载力设计值应按其公称破断力除以抗力分项系数 1.7 和屈服强度除以抗力分项系数 1.15 中的较小值采用。

3.7.7 索结构点支承玻璃幕墙常用材料的弹性模量宜由试验确定。在未进行试验的情况下，弹性模量可按表 3.7.7 取值。

表 3.7.7 材料的弹性模量 E (N/mm²)

材 料	E
玻璃	0.72×10^5
铝合金	0.70×10^5
钢材	2.06×10^5

奥氏体型不锈钢	1.93×10^5
双相型不锈钢	2.00×10^5
锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢 绞线	$(1.55 \sim 1.65) \times 10^5$
不锈钢钢绞线	$(1.20 \sim 1.50) \times 10^5$

3.7.8 索结构点支承玻璃幕墙常用材料的泊松比可按表 3.7.8 的规定采用。

表 3.7.8 材料的泊松比 ν

材 料	ν
玻璃	0.20
铝合金	0.30
钢、不锈钢	0.30
高强钢丝、钢绞线	0.30

3.7.9 索结构点支承玻璃幕墙常用材料的线膨胀系数可按表 3.7.9 的规定采用。索体的线膨胀系数值宜由试验确定。

表 3.7.9 材料的线膨胀系数 α ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)

材 料	α
玻璃	0.80~1.00
铝合金	2.30
钢材	1.20
奥氏体型不锈钢	1.60~1.73
双相型不锈钢	1.30
混凝土	1.00

4 系统设计

4.1 一般规定

4.1.1 索结构点支承玻璃幕墙应根据建筑物的使用功能、立面设计、支承结构跨度和主体结构型式等，经技术和经济综合分析，选择其型式、构造和材料。

4.1.2 玻璃幕墙的立面分格应与索结构的构型以及玻璃面板的支承方式相适应。

4.1.3 开启窗不宜在索结构点支承玻璃幕墙上设置。若必须设置，开启窗应进行专项设计和技术论证，确保其气密、水密、抗风压性能达到相关标准要求。

4.1.4 索结构点支承玻璃幕墙的热工设计应符合国家现行标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 和《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的有关规定。

4.1.5 索结构点支承玻璃幕墙应便于维护和清洁。高度超过 50m 的幕墙工程应设置清洗设施。

4.2 选型与布置

4.2.1 索结构点支承玻璃幕墙的选型与布置宜在建筑方案设计阶段进行，应包括对索结构玻璃幕墙的范围边界、结构支承条件、几何形态、技术成熟度等因素的评估。

4.2.2 索结构点支承玻璃幕墙的基本构型宜从索桁架、自平衡索桁架、平面索网、竖向单索和曲面索网中选用。

4.2.3 索桁架应由外主索、内主索、承重索及刚性撑杆组成，也可在索桁架中间增加中心撑杆，形成自平衡索桁架。当由于受力需要或构造原因会引起索桁架节点位置产生面外偏移时，应设置稳定索。索桁架、自平衡索桁架的矢高宜取跨度的 $1/10 \sim 1/20$ 。

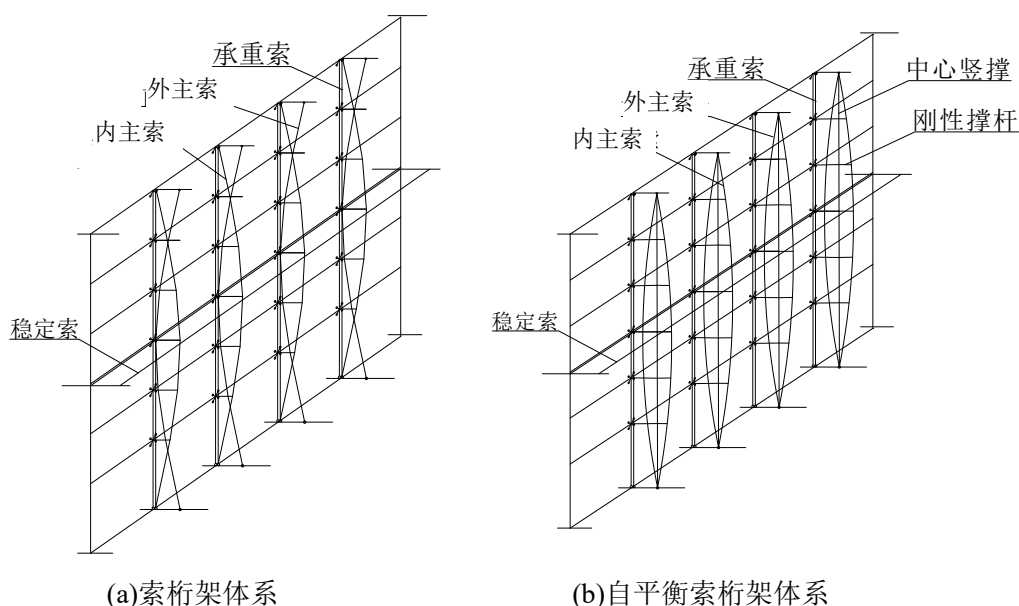


图 4.2.3 索桁架结构体系

1-前受力索 2-后受力索 3-刚性撑杆 4-中心竖撑

4.2.4 平面索网宜由竖向索、横向索组成预张力结构体系，根据需要也可不设置横向索而形成竖向单索结构形式。竖向索应设置在靠近玻璃面板的一侧。

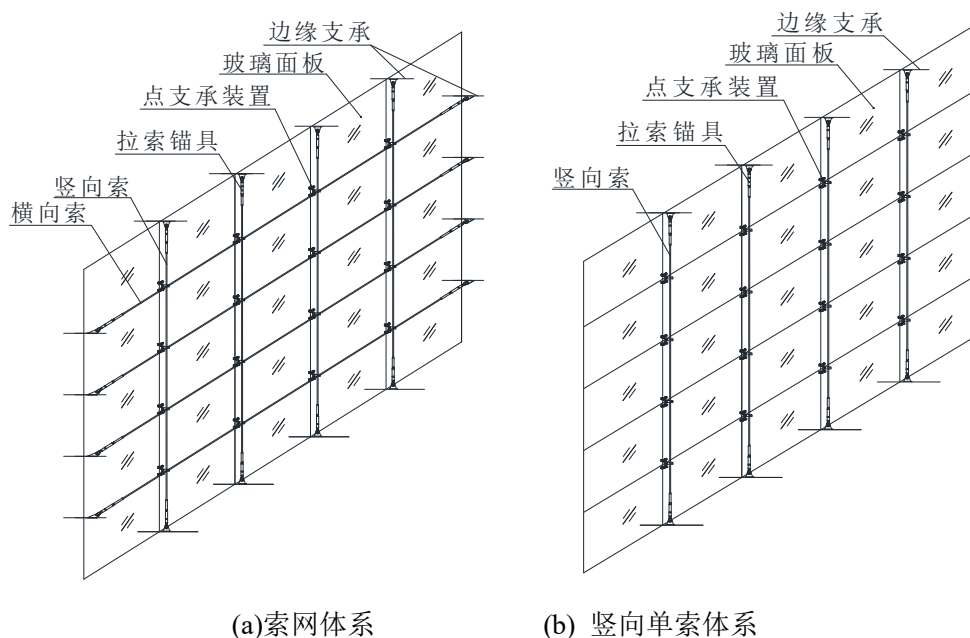


图 4.2.4 平面索网体系

4.2.5 曲面索网应由不同方向交错的拉索组成，各边界处拉索的锚固点形成曲线，索网宜形成马鞍面。

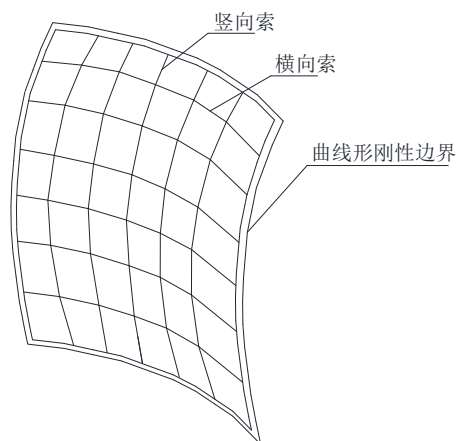


图 4.2.5 曲面索网体系

4.2.6 索结构点支承玻璃幕墙在进行选型时，应考虑通透性要求、适用造型种类、周边主体结构承载力和刚度、索结构承载力和刚度、适宜的跨度。

4.2.7 当单一的选型型式不能满足要求时，可以采用两种及以上基本构型相组合或与其他幕墙系统相结合的方式设计。

4.3 性能要求

4.3.1 索结构点支承玻璃幕墙的性能设计应根据建筑物的类别、高度、体型以及建筑物所在地的地理、气候、环境等条件进行，尚应符合现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的规定。

4.3.2 索结构点支承玻璃幕墙的抗风压、气密、水密、平面内变形、保温、遮阳、空气声隔声等性能分级，应符合现行国家标准《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433 的规定。

4.4 构造设计

4.4.1 索结构点支承玻璃幕墙的构造设计，应满足安全、实用、美观的原则，并应便于制作、安装、维修保养和局部更换。

4.4.2 索结构点支承玻璃幕墙玻璃面板的开孔周边应采取可靠的密封处理，保证幕墙的雨水渗漏、空气渗透性能符合国家现行标准的规定。

4.4.3 索结构点支承玻璃幕墙玻璃面板间采用硅酮建筑密封胶时，胶缝应能适应索结构带来的变形，应满足平面内发生最大控制位移值时玻璃面板间不挤压碰撞，拼接缝宽度不应小于 10mm、不宜大于 30mm。

4.4.4 索结构与主体结构、固定钢门斗及其他刚度突变位置的交接构造，应考虑局部变形不协调对玻璃面板造成的不利影响。玻璃面板应进行强度和刚度计算，不应因面板翘曲过大发生破损或脱落。

4.5 安全规定

4.5.1 索结构点支承玻璃幕墙的面板玻璃应采用符合国家现行标准的均质钢化玻璃、夹层玻璃及由均质钢化玻璃或夹层玻璃组合加工而成的其他玻璃制品，如安全中空玻璃等。采用钢化玻璃应符合现行行业标准《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T 455 的规定。斜幕墙的玻璃面板应采用夹层玻璃，或含夹层玻璃的中空玻璃，且夹层玻璃应位于下侧。

4.5.2 外倾的索结构点支承斜玻璃幕墙采用单片玻璃时，不应采用沉头式驳接头构造。

4.5.3 索结构点支承玻璃幕墙的防火设计应符合国家现行相关标准的规定。

4.5.4 索结构点支承玻璃幕墙的防雷设计应符合国家现行相关标准的规定。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 索结构点支承玻璃幕墙的设计工作年限应为 25 年。

5.1.2 索结构点支承玻璃幕墙结构的设计计算，应包含初始预应力状态及荷载状态下的计算分析，确保索结构点支承玻璃幕墙结构及其与主体结构的连接具有符合要求的承载力和刚度。

5.1.3 索结构点支承玻璃幕墙结构计算模型应考虑其与支承结构的相互影响，宜采用包含支承结构的分析模型并考虑几何非线性影响。

5.1.4 在进行索结构设计时，对索结构内力和变形形态以及对主体结构反力产生不可忽略影响的结构体系内部结构件和几何关系均应计入计算分析。

5.1.5 索结构的设计与分析应符合现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的有关规定。

5.1.6 在永久荷载控制的荷载组合作用及多遇地震作用下，索结构点支承玻璃幕墙中的索不应出现松弛；在可变荷载控制的荷载组合作用下，索结构不应因局部索松弛而导致结构失效或影响结构正常使用功能。

5.1.7 对于使用中需要更换拉索的情况，应进行换索工况计算和采取相应的节点构造措施。

5.2 作用及组合

5.2.1 索结构点支承幕墙结构设计采用的主要荷载和作用包括永久荷载、风荷载、地震作用、温度作用、支承结构变形、施工荷载等。

5.2.2 本规程未规定的荷载与作用，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、《建筑抗震设计标准》GB 50011 的有关规定执行。

5.2.3 作用于索结构点支承幕墙结构的风荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 计算主要受力结构的方法进行计算，索结构的风振系数宜按现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定计算。对于复杂结构应开展结构风工程专项研究确定风荷载。玻璃面板强度验算时，所用风荷载应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 对于围护结构风荷载标准值的取值方法计算，且风荷载标准值不应小于 1kPa。

5.2.4 作用于索结构点支承幕墙结构的地震作用可按现行行业标准《玻璃幕墙工程技

术规范》JGJ 102 的规定计算地震作用标准值。对于复杂结构应采用时程分析法进行地震作用计算。

5.2.5 索结构点支承幕墙的设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以分项系数设计表达式进行计算，按承载能力极限状态下作用的基本组合和正常使用极限状态下作用的标准组合分别验算。

5.2.6 索结构点支承幕墙中索结构的计算分析应在初始预应力状态的基础上考虑永久荷载与可变荷载组合作用下的内力、位移进行分析；当计算结果不能满足要求时，应重新确定初始预应力状态。

5.2.7 结构作用的组合应按下式计算：

1 基本组合

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_P P + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} Q_{1k} + \sum_{j > 1} \gamma_{Qj} \psi_{cj} \gamma_{Lj} Q_{jk} \quad (5.2.7-1)$$

2 标准组合

$$\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + Q_{1k} + \sum_{j > 1} \psi_{cj} Q_{jk} \quad (5.2.7-2)$$

3 地震组合

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_P S_P + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \sum \gamma_{Qj} \psi_{cj} S_{jk} \quad (5.2.7-3)$$

式中：

G_{ik}	——	第 i 个永久作用的标准值；
Q_{jk}	——	第 j 个可变作用的标准值；
P	——	预应力作用的有关代表值；
γ_{Gi}	——	第 i 个永久作用的分项系数；
γ_P	——	预应力作用的分项系数；
γ_{Qi}	——	第 j 个可变作用的分项系数；
γ_{Lj}	——	第 j 个可变作用考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；
ψ_{cj}	——	第 j 个可变作用的组合值系数；
S_{GE}	——	重力荷载代表值的效应；
S_P	——	预应力作用的效应；
S_{Ehk}	——	水平地震标准值的效应；
S_{jk}	——	第 j 个可变荷载的效应；
γ_{Eh}	——	水平地震作用分项系数；

5.2.8 作用组合中的分项系数、组合系数应符合《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中的相关规定。当预应力作用对结构有利时，预应力分项系数 γ_p 应取 1.0，对结构不利时 γ_p 应取 1.3。对正常使用极限状态， γ_p 应取 1.0。

5.3 结构设计与分析

5.3.1 索结构点支承玻璃幕墙中索的初始预应力状态应综合考虑建筑造型、使用功能、边界支承条件、荷载条件等要求，通过试算确定。

5.3.2 应在初始预应力状态的基础上进行索结构点支承玻璃幕墙的静力计算分析。

5.3.3 在进行地震效应分析时，封闭的索结构点支承玻璃幕墙计算模型的结构阻尼比宜取 0.03。

5.3.4 单层平面索网玻璃幕墙的最大挠度与跨度之比不宜大于 1/50；曲面索网及索桁架玻璃幕墙自初始预应力状态之后的最大挠度与跨度之比不宜大于 1/200。

5.3.5 索结构点支承玻璃幕墙中拉索的承载力应按现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定进行验算。

5.3.6 在进行竖向单索幕墙拉索的初步估算时，可通过下式确定索的初始张拉应力：

$$\sigma_0 = \frac{nq_{wk}L}{8A} - \frac{8E}{3n^2} \quad (5.3.6-1)$$

$$n = \frac{L}{\Delta f} \quad (5.3.6-2)$$

式中： σ_0 ——估算初始张拉应力（N/mm²）；

n ——目标跨挠比；

q_{wk} ——垂直于竖索的线性均布风荷载，取风荷载标准值与竖索受风宽度的乘积（N/mm）；

L ——拉索跨度（mm）；

E ——索的弹性模量（N/mm²）；

A ——索体净截面积（mm²）；

Δf ——拉索在风荷载标准值作用下跨中位移的设计目标值（mm）。

5.3.7 索结构点支承玻璃幕墙结构中钢结构构件的强度和稳定性应满足现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017 中的相关要求。

5.3.8 索结构点支承玻璃幕墙结构中不锈钢结构构件的强度和稳定性应满足现行团体标准《不锈钢结构技术规程》CECS 410 中的相关要求。

5.4 玻璃面板设计

5.5.1 四边形玻璃面板宜采用四点支承，也可采用多点支承，三角形玻璃面板宜采用三点支承。玻璃面板支承孔边与板边缘的距离不宜小于 70mm。

5.5.2 点支承玻璃幕墙面板中的每一单片玻璃厚度不应小于 8mm。

5.5.3 在设计玻璃面板时，应进行以下验算：

1 面板挠度验算。在荷载标准组合下，玻璃面板中部的最大挠度不宜大于其支承点间长边边长的 1/60。

2 面板强度验算。应在荷载基本组合下进行玻璃面板中部和边部应力，以及面板与夹板、驳接头等接触部位局部应力的验算，面板应力不应大于相应位置的玻璃强度设计值。

5.5.6 在垂直于幕墙平面的风荷载和地震作用下，四点支承矩形单片玻璃面板的应力和挠度应符合下列规定：

1 可采用非线性有限元方法计算跨中最大应力、孔边最大应力和跨中最大挠度。

2 跨中最大应力标准值和最大挠度宜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：

$$\sigma_{wk} = \frac{6mw_k b^2}{t^2} \eta \quad (5.5.6-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} b^2}{t^2} \eta \quad (5.5.6-2)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (5.5.6-3)$$

$$d_f = \frac{\mu w_k b^4}{D} \eta \quad (5.5.6-4)$$

$$\text{持久设计状况、短暂设计状况} \quad \theta = \frac{w_k b^4}{Et^4} \quad (5.5.6-5)$$

$$\text{地震设计状况} \quad \theta = \frac{(q_{Ek} + 0.2w_k) b^4}{Et^4} \quad (5.5.6-6)$$

式中： θ ——参数；

σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用下玻璃截面的最大应力标准值 (N/mm²)；

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

d_f ——在风荷载标准值作用下挠度最大值(mm)；

b ——支承点间玻璃面板长边边长 (mm)；

t ——玻璃的厚度 (mm)；

m ——弯矩系数，可由支承点间玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表 5.5.6-1 采用；

μ ——挠度系数，可由支承点间玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表

5.5.6-2 采用；

η ——折减系数，可由参数 θ 按表 5.5.6-3 采用；

D ——玻璃面板的刚度(N·mm)。

表 5.5.6-1 四点支承玻璃板的弯矩系数 m

a/b	0.00	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
m	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134	0.136
a/b	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	—
m	0.138	0.140	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	—

注：a 为支承点之间的短边边长。

表 5.5.6-2 四点支承玻璃板的挠度系数 μ

a/b	0.01	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
μ	0.01302	0.01317	0.01335	0.01367	0.01417	0.01451	0.01496	0.01555
a/b	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	—
μ	0.01630	0.01725	0.01842	0.01984	0.02157	0.02363	0.02603	—

注：a 为支承点之间的短边边长。

表 5.5.6-3 折减系数 η

θ	≤ 5.0	10.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0
η	1.00	0.95	0.90	0.81	0.74	0.69	0.64
θ	120.0	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	≥ 400.0
η	0.59	0.54	0.50	0.46	0.43	0.41	0.40

3 跨中最大应力设计值应按本规范第 5.2.7 条的规定进行组合。

5.5.7 矩形四点支承夹层玻璃的应力和挠度可按考虑几何非线性的有限元方法计算或通过试验确定，也可按下列规定计算：

1 利用等效厚度计算夹层玻璃的应力和挠度时，荷载均应取夹层玻璃承受的全部风荷载；

2 夹层玻璃夹胶层两侧单片玻璃的应力可按本规范第 5.5.6 条单片玻璃的规定进行计算，各自的等效厚度 $t_{1e,\sigma}$ 、 $t_{2e,\sigma}$ 可按下列公式计算：

$$t_{1e,\sigma} = \sqrt{\frac{t_{e,w}^3}{t_1 + 2\Gamma t_{s,2}}} \quad (5.5.7-1)$$

$$t_{2e,\sigma} = \sqrt{\frac{t_{e,w}^3}{t_2 + 2\Gamma t_{s,1}}} \quad (5.5.7-2)$$

$$I_s = t_1 t_{s,2}^2 + t_2 t_{s,1}^2 \quad (5.5.7-3)$$

$$t_{s,1} = \frac{t_s t_1}{t_1 + t_2} \quad (5.5.7-4)$$

$$t_{s,2} = \frac{t_s t_2}{t_1 + t_2} \quad (5.5.7-5)$$

$$t_s = 0.5(t_1 + t_2) + t_v \quad (5.5.7-6)$$

$$\Gamma = \frac{1}{1 + 9.6 \frac{EI_s t_v}{G t_s^2 B^2}} \quad (5.5.7-7)$$

3 夹层玻璃的挠度可按本规程第 5.5.6 条的规定进行计算,但在计算玻璃刚度 D 时,应采用等效厚度 $t_{e,w}$ 。 $t_{e,w}$ 可按下式计算,且 $t_{e,w}$ 值不宜大于玻璃厚度之和:

$$t_{e,w} = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3 + 12\Gamma I_s} \quad (5.5.7-8)$$

式中: Γ ——夹层玻璃中间层胶片的剪力传递系数,当采用聚乙烯醇缩丁醛胶片时可取 0;

G ——与温度、持荷时间相关的夹层玻璃中间层胶片的剪切模量 (N/mm^2);

t_1 、 t_2 、 t_v ——分别为双片玻璃夹层玻璃中第 1 片、第 2 片和中间层胶片的厚度 (mm);

B ——夹层玻璃的短边长度 (mm);

E ——玻璃的弹性模量 (N/mm^2)。

5.5.8 四点支承的矩形中空玻璃,应按下列规定进行计算:

1 作用于中空玻璃单片玻璃上的风荷载标准值 w_{k1} 、 w_{k2} ,可按下列公式分配到两片玻璃上:

1) 直接承受风荷载作用的单片玻璃:

$$w_{k1} = 1.1 w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (5.5.8-1)$$

2) 不直接承受风荷载作用的单片玻璃:

$$w_{k2} = w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (5.5.8-2)$$

2 作用于中空玻璃单片玻璃上的地震作用标准值 q_{Ek1} 、 q_{Ek2} ,可根据各单片玻璃的自重计算;

3 两片玻璃可分别按本规范第 5.5.6 条的规定进行应力计算;

4 中空玻璃的挠度可按本规范第 5.5.6 条的规定进行计算,但计算玻璃刚度 D 时,应采用等效厚度 t_e , t_e 可按下式计算:

$$t_e = 0.95 \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} \quad (5.5.8-3)$$

式中: t_e ——中空玻璃的等效厚度 (mm)。

5.5.9 四点支承的矩形双中空玻璃，当各片玻璃厚度差小于 3mm、长宽比小于 2 且面积大于 1.5m² 时，宜按下列规定进行计算：

1 作用于双中空玻璃单片玻璃上的风荷载标准值 w_{k1} 、 w_{k2} 、 w_{k3} ，可按下列公式分配到三片玻璃上：

1) 直接承受风荷载作用的单片玻璃：

$$w_{k1} = \beta_1 w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (5.5.9-1)$$

2) 不直接承受风荷载作用的单片玻璃：

$$w_{k2} = \beta_2 w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (5.5.9-2)$$

$$w_{k3} = \beta_3 w_k \frac{t_3^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (5.5.9-3)$$

其中， β_1 取为 1.1， β_2 和 β_3 取为 1.1。

2 作用于双中空玻璃单片玻璃上的地震作用标准值 q_{Ek1} 、 q_{Ek2} 、 q_{Ek3} ，可根据各单片玻璃的自重计算；

3 三片玻璃可分别按本规范第 5.5.6 条的规定进行应力计算；

4 中空玻璃的挠度可按本规范第 5.5.6 条的规定进行计算，但计算玻璃刚度 D 时，应采用等效厚度 t_e ， t_e 可按下列式计算：

$$t_e = 0.95 \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} \quad (5.5.9-4)$$

式中： t_e ——双中空玻璃的等效厚度（mm）。

5.5.10 由夹层玻璃组成的中空、双中空玻璃在执行本条规定时，应符合下列规定：

1 应按本规范第 5.5.7 条的规定将夹层玻璃等效为单片玻璃后，按第 5.5.8 和第 5.5.9 条的规定确定各片玻璃分担的风荷载；

2 中空、双中空玻璃组成部分中，单片玻璃应力应按本规范第 5.5.6 条的规定计算，夹层玻璃的应力应按本规范第 5.5.7 条的规定计算

3 在计算等效厚度 t_e 时，夹层玻璃代入式 5.5.8-3 和 5.5.9-4 中的厚度为夹层玻璃的等效厚度。

5.5.11 当索结构的变形导致玻璃面板各支承点间发生较为严重的不共面情况时，计算面板时应考虑索结构变形带来的不利影响，采用有限元方法进行分析。

5.5.12 当玻璃面板采用多于四点支承时，宜考虑索结构刚度和变形对玻璃面板的影响，通过有限元方式进行玻璃面板受力情况的计算。

6 节点设计与构造

6.1 一般规定

6.1.1 点支承玻璃幕墙中的索结构节点可采用索夹节点、耳板销接节点、螺杆连接节点三种基本类型，也可采用以上基本类型节点的组合。

6.1.2 索夹节点、耳板销接节点、螺杆连接节点的设计、制作和安装应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和现行团体标准《建筑索结构节点设计标准》T/CECS 1010 的有关规定。

6.1.3 对于采用新材料或新工艺的重要、复杂节点，可根据实际情况进行足尺模型的检验性或破坏性试验，节点模型试验的荷载工况应与节点实际受力状态相符。检验性试验中，同一类型的试件不宜少于 2 件。对于检验性试验，试验荷载应不小于节点承载力设计值的 1.3 倍；对于破坏性试验，试验荷载应不小于承载力设计值的 2.0 倍。

6.1.4 索结构节点应根据拉索节点的重要性、荷载特性、应力状态、几何造型等因素进行选型，且应保证节点构造合理简洁、传力明确、安全可靠、节约材料和施工方便。

6.1.5 连接多根构件的复杂拉索节点或建筑外形要求复杂的拉索节点，可采用铸钢工艺制造。

6.1.6 索结构节点的构造设计应考虑施加预应力的方式、结构安装偏差及后期维护索力调整的可能性。

6.2 索与玻璃面板节点

6.2.1 穿孔式点支承装置与玻璃开孔周边，或夹板式点支承装置与面板交接位置，应有可靠密封措施。

6.2.2 点式驳接头应能适应玻璃面板在支承点处的转动变形。驳接头和驳接件的转动量应满足以下三种情况：

- 1 幕墙造型本身造成的相邻玻璃间的安装夹角；
- 2 索结构在最不利荷载作用下变形导致相邻玻璃间夹角的变化；
- 3 玻璃在风荷载作用下的变形。

6.2.3 驳接头应适应因索长度变化造成玻璃孔距的变化。

6.2.4 多于四点支承的玻璃，应考虑中间支承点刚度对玻璃面板应力的影响，宜采取降低应力的措施。

6.2.5 玻璃面板应能单独更换。玻璃面板损坏或更换所引起的负荷变化，不应导致支承结构受损。

6.2.6 玻璃幕墙与主体结构相接的边界，收边时应有防渗漏措施和变形协调构造措施以满足其变形要求，且两者连接部位应能适应主体结构的变形。

6.2.7 由于自重对拉索形心的偏心弯矩导致的玻璃面板下沉量，可按照公式（6.2.7）计算。下沉量不应大于 4mm。

$$\Delta t = \frac{G \cdot e^2}{h \cdot N} \quad (6.2.7)$$

式中： Δt —玻璃下沉量（mm）；

G —玻璃面板重力标准值（N）；

e —偏心距离，取玻璃面板形心与索形心之间的垂直距离（mm）；

h —索夹夹持拉索的高度（mm）；

N —拉索预拉力（N）。

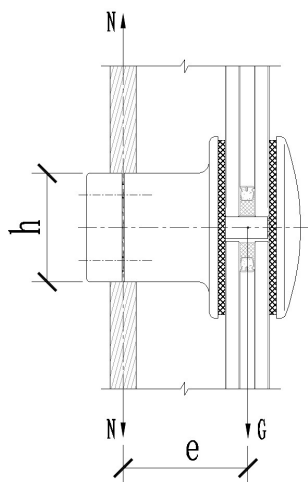


图 6.2.7 玻璃面板下沉量计算简图

6.3 索与索节点

6.3.1 索夹节点应由直接与索体或相关构件连接的各部分压块和紧固螺栓组成，应通过紧固螺栓使各部分压块共同夹持索体，防止索夹与索体产生相对位移。

6.3.2 紧固螺栓与索夹的连接可采用螺纹连接或穿孔连接（图 6.3.2）。当使用碳素结构钢或合金结构钢索夹时，应采用性能等级不小于 8.8 级的螺栓。

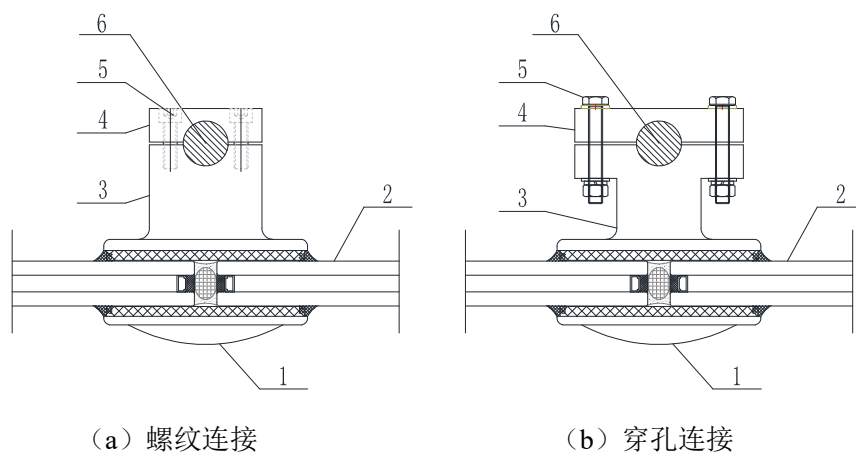


图 6.3.2 索夹螺栓的两种做法示意图

1——前压板；2——玻璃面板；3——索夹前压块；4——索夹后压块；5——高强度螺栓；6——拉索。

6.3.3 索网结构中双向拉索的连接应采用双层索夹节点形式（图 6.3.3）。

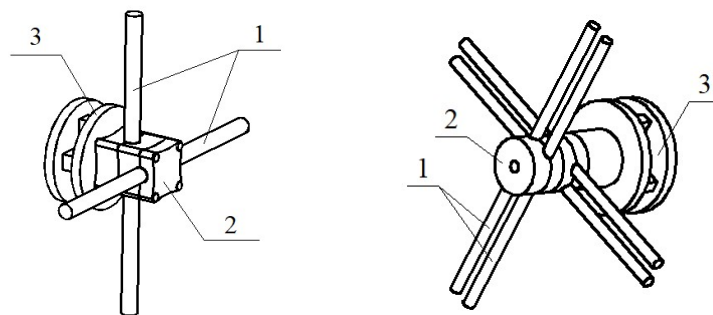


图 6.3.3 幕墙索网中双层索夹节点

1——索体；2——索夹；3——玻璃夹具

6.3.4 对于需要串联的索体，可采用螺杆连接或套筒连接（图 6.3.4）。

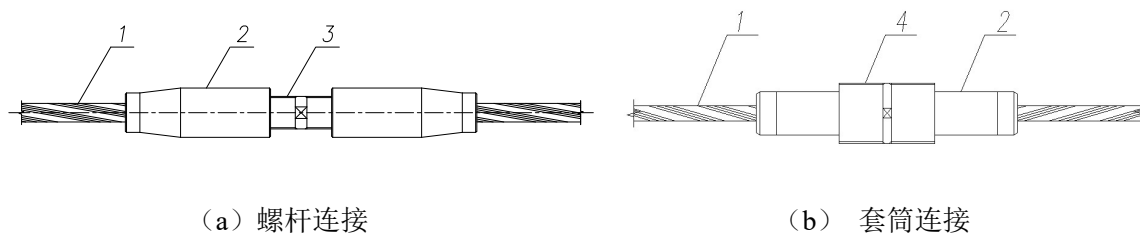


图 6.3.4 索-索连接示意图

1——索体；2——锚具；3——螺杆；4——套筒

6.3.5 平面内不同方向多根拉索汇交时，可通过连接板采用耳板销轴节点连接，拉索轴线应交汇于一点，连接板应避免偏心受力。

6.3.6 索夹抗滑移承载力应不低于所有工况下索夹两侧索力设计值的最大差值。索夹抗滑移承载力应通过抗滑移承载力试验确定，也可通过计算分析获得。

6.3.7 索夹抗滑移设计承载力应符合下列公式的规定：

$$R_{fc} \geq F_{nb} \quad (6.3.7-1)$$

$$R_{fc} = \frac{2\bar{\mu}P_{tot}^e}{\gamma_M} \quad (6.3.7-2)$$

$$P_{tot}^e = (1 - \phi_B)P_{tot}^0 \quad (6.3.7-3)$$

式中： R_{fc} ——索夹抗滑移设计承载力（N）。

F_{nb} ——所有工况下索夹两侧索力设计值的最大差值（N）。

γ_M ——索夹抗滑移设计承载力安全系数，宜取 1.65。

$\bar{\mu}$ ——索夹与索体间的综合摩擦系数，对于高强钢丝制成的钢丝外裸的密封索和钢绞线索，宜分别取 0.2 和 0.3；对于不锈钢材质的钢绞线索，应通过试验测定。

P_{tot}^e ——索夹上所有高强螺栓的有效紧固力之和（N）；

ϕ_B ——高强螺栓紧固力损失系数，当采用钢制高强螺栓时，宜取 0.25~0.55；当采用不锈钢螺栓时，应通过试验测定。

6.3.8 索夹抗滑移承载力试验应符合下列规定：

- 1 索夹和索体材料、索孔道和索体表面处理、索夹制作加工和关键构造尺寸，应与实际工程一致。
- 2 同类型、同规格的索夹孔道，试验数量不应少于 3 个。
- 3 当多个索夹在同一根索体上进行抗滑移试验时，索夹夹持段的净距不宜小于索体直径的 3 倍。
- 4 安装索夹和预紧高强度螺栓、张拉拉索、顶推加载的试验流程，应与实际工程一致。
- 5 在加载顶推索夹之前应对拉索进行持载，待高强度螺栓紧固力衰减稳定后加载顶推索夹。
- 6 试验过程中宜跟踪监测高强度螺栓的紧固力，加载顶推索夹时应同步监测顶推力和索夹相对索体的滑移量。
- 7 顶推索夹的加载位置应符合结构中索夹实际受力情况。
- 8 索夹抗滑移极限承载力应通过顶推过程的荷载-位移曲线确定；当索夹的主体

和压板的滑移量都迅速增加，且顶推力难以继续增加时，对应的顶推力可确定为索夹抗滑移极限承载力。

9 在正常试验条件下，索夹抗滑移承载力试验代表值宜取同批次的索孔道抗滑移极限承载力最小值。

10 索夹抗滑移承载力试验代表值不应低于索夹两侧拉索内力差值的 1.5 倍。

6.4 索与主体结构节点

6.4.1 耳板销接节点应采用销轴连接结构耳板与索头叉耳，可在耳板平面内形成铰接。

6.4.2 耳板宜采用圆形、环形等形式，也可采用整体梯形的形式（图 6.4.2）。

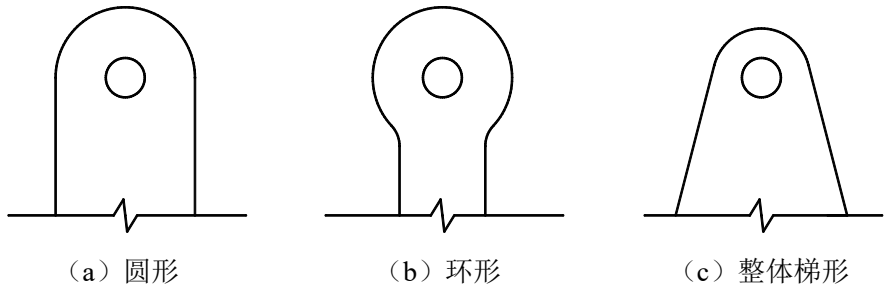


图 6.4.2 常见的耳板形式示意图

6.4.3 耳板销接节点的设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关要求，也可采用 6.1.3 条规定的检验性试验或破坏性试验验证其承载能力。

6.4.4 耳板销轴节点采用屈服强度进行强度计算时，节点承载力与荷载设计值的比值不应小于 1.5。

6.4.5 对于受力较大的耳板销接节点，可在耳板主板的两侧加贴板，贴板宜和主板采用相同材料。对于钢板耳板，贴板应焊接在主板上（图 6.4.5）；对于铸钢耳板，贴板与主板宜整体铸造。

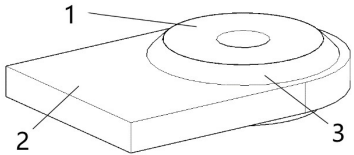


图 6.4.5 耳板加焊贴板示意图

1——贴板；2——主板；3——焊缝

6.4.6 对于允许耳板在平面外有一定转角的耳板销轴节点，宜采用关节轴承（图 6.4.6）。

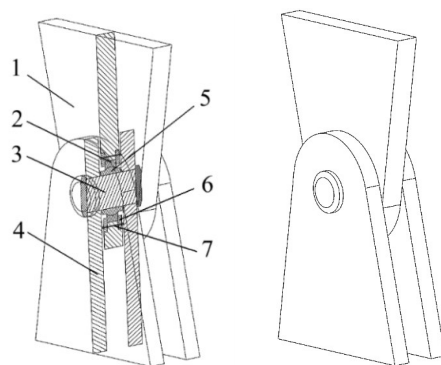


图 6.4.6 采用关节轴承的耳板销轴节点示意图

1——单耳板；2——关节轴承外轴套；3——销轴；4——双耳板；5——关节轴承内轴套；6——限位环；7——固定螺栓

6.4.7 当拉索与周边刚性构件采用螺杆连接且索力通过螺母的承压传递时，应根据结构受力特性、建筑要求、刚性构件截面等选取合适的承压位置，可采用前置式、背锚式或中间式（图 6.4.7）。

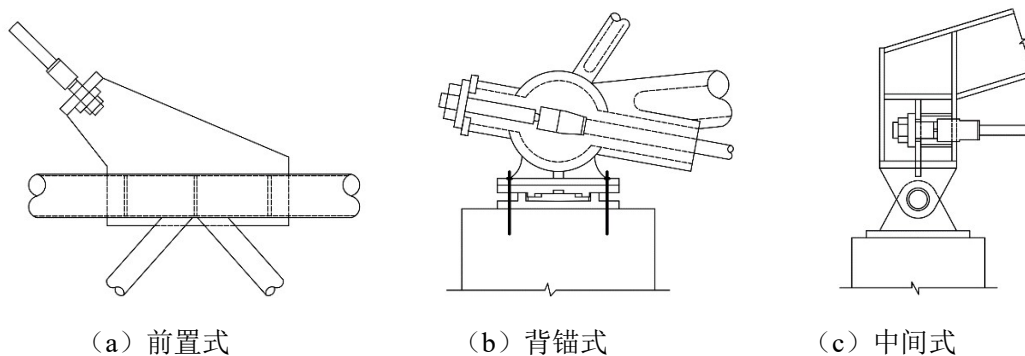


图 6.4.7 不同承压位置的螺杆连接示意图

6.4.8 当索体需穿越其他构件且索体穿越处构件开孔大小不足时，应设置弧形导向构造，避免索体与开孔处因接触挤压而导致应力集中（图 6.4.8）。

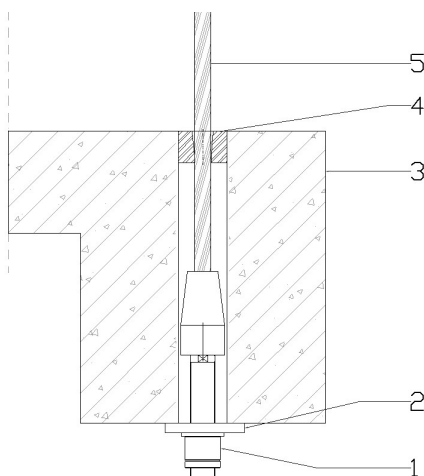


图 6.4.8 弧形导向构造节点示意图

1——螺母；2——承压板；3——被穿越构件；4——弧形导向构造；5——索体

6.4.9 用螺母锁紧的螺杆锚固端，对于直径大于 30mm 的拉索，宜采用冷（热）铸锚杯螺杆连接[图 6.4.9（a）]或锚内螺杆连接[图 6.4.9（b）]；对于直径小于 30mm 的拉索可采用压制接头螺杆连接[图 6.4.9（c）]。

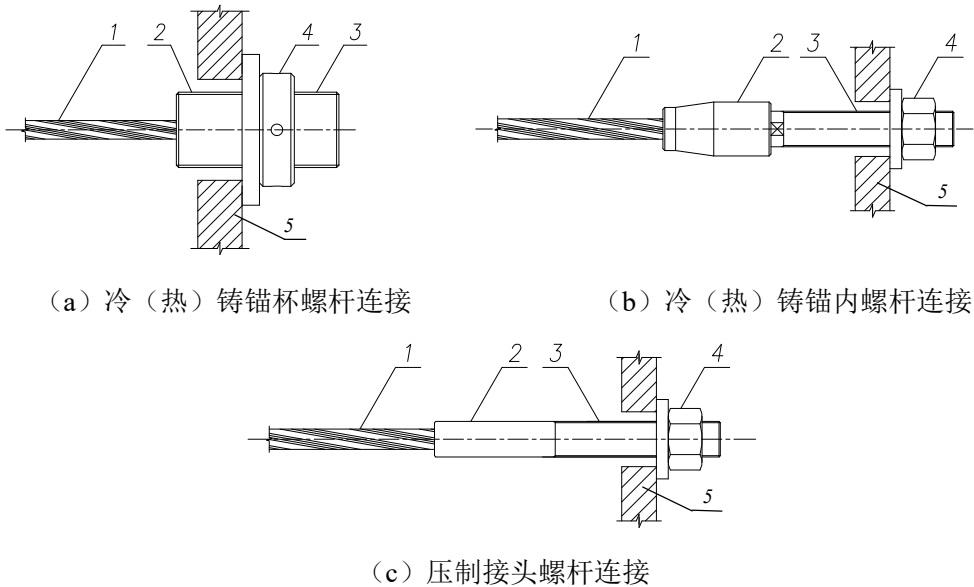


图 6.4.9 用螺母锁紧的螺杆锚固端示意图

1——索体；2——锚具；3——螺杆；4——螺母；5——承压板

6.4.10 螺母锁紧的螺杆锚固端可设置球形垫片（图 6.4.10）以增强节点的转动能力。

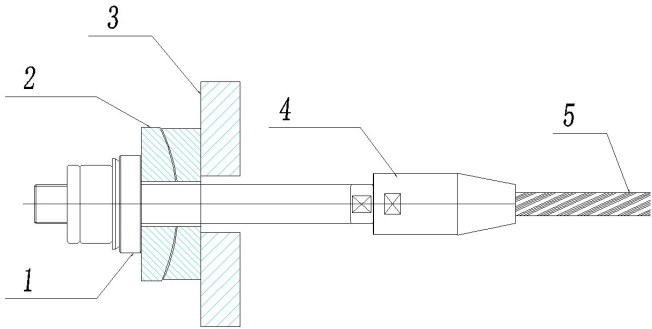


图 6.4.10 锚固端球形垫片示意图

1——锚固螺母；2——球形垫片；3——承压板；4——锚具；5——索体

6.5 弹簧装置

6.5.1 索结构玻璃幕墙的索力稳定装置和拉索过载保护装置宜按表 6.5.1 选用。

表 6.5.1 不同类型弹簧装置选用表

装置类型	弹簧装置参与工作的阶段	装置特点	适用场景
第一类: 弹簧无预压的索力稳定装置	与拉索串联, 全程参与工作	索力变化, 弹簧和索力同步受力并变形, 降低索力波动幅度	(1) 因索力波动过大, 导致拉索破断风险提高或玻璃面板破损风险提高; (2) 因拉索松弛、外部作用等, 导致拉索索力减小, 在设计工作年限内无法满足挠度要求。
第二类: 弹簧预压的索力稳定装置	索力小于弹簧预压力时, 不发挥作用; 索力大于弹簧预压力时, 弹簧与拉索串联, 发挥作用	索力小于弹簧预压力时, 装置不工作, 相当于固定端; 大于预压力时, 开始工作, 降低索力波动幅度	与第一类装置应用场景相同, 但是当希望装置在索力超过一定阈值后再发挥作用
第三类: 弹簧无预压的过载保护装置 (或防拉索破断装置)	当索力小于设定过载保护力时, 保险杆不破断, 装置不发挥作用; 当索力超出设定过载保护力时, 保险杆破断, 弹簧与拉索串联发挥作用	小于过载保护力时, 装置不工作, 相当于固定端; 破断时, 弹簧初始力为零, 瞬时破断力导致弹簧变形大、震荡剧烈; 震荡平衡后, 弹簧与索串联工作, 减少索破断风险	当索结构玻璃幕墙因边界条件或外部作用可能导致拉索索力大幅增加, 增大拉索破断风险时
第四类: 弹簧预压的过载保护装置	当索力小于设定过载保护力时, 保险杆不破断, 装置不发挥作用; 当索力超出设定过载保护力时, 保险杆破断, 索力大于弹簧预压力时, 弹簧与拉索串联, 发挥作用	和第三类装置类似, 保险杆破断时, 弹簧有预压, 瞬时破断力与弹簧预压力的差值将造成弹簧变形, 震荡相对轻微	

6.5.2 索力稳定装置和拉索过载保护装置宜设置在拉索端部。

6.5.3 索力稳定装置和拉索过载保护装置中的弹簧宜采用圆柱螺旋弹簧或碟形弹簧, 弹簧的设计应符合现行国家标准《圆柱螺旋弹簧设计计算》GB/T 23935、《碟形弹簧 第 1 部分: 计算》GB/T 1972.1 的规定。

6.5.4 索力稳定装置中弹簧的刚度宜取其串联的拉索刚度的 1/10~1/4。结构设计时, 应将索力稳定装置的弹簧刚度带入整体计算模型进行分析。

6.5.5 索力稳定装置宜进行疲劳试验, 循环次数不应小于 200 万次, 不应出现明显刚度退化现象。

6.5.6 索结构玻璃幕墙的构造设计应能满足索力稳定装置工作时造成的局部变形。

6.5.7 拉索过载保护装置中, 保险杆的破断力应小于拉索最小破断力和拉索端部锚固节点承载力, 应大于拉索最不利索力设计值。

6.5.8 拉索过载保护装置中，弹簧的刚度宜取其串联的拉索刚度的 $1/6 \sim 1/3$ 。当采用预压弹簧时，预压力可取不考虑风荷载作用下的拉索拉力值，或取保险杆过载破断力的 $60\% \sim 70\%$ 。

6.5.9 应对过载保护装置破断后的风险进行分析，避免索端产生瞬间的大变形，导致玻璃面板从夹板连接件中滑脱，发生高空坠物的风险。

7 制作、施工及验收

7.1 一般规定

7.1.1 索结构点支式玻璃幕墙的加工制作、安装施工及工程验收，应符合现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的规定，索结构部分还应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《索结构技术规程》JGJ 257 的有关规定。

7.1.2 加工索结构点支式玻璃幕墙构件所采用的设备、机具应满足幕墙构件加工精度的要求，其量具应定期进行计量认证。

7.1.3 锚具及其他连接部件涂装前，应去除锈斑，打磨光滑，确保连接处无毛刺、棱角。对拉索或其组装件的所有部位均应检查，损坏的钢绞线、钢拉杆或钢丝均应更换，受损的非承载部件应进行修补。

7.1.4 放索时，拉索应放在索盘支架上，以保证安全。在室外堆放拉索时应采取保护措施。

7.2 加工制作

7.2.1 索体（拉杆除外）在下料前应进行预张拉。预张拉的工艺应从下列规定中选取一种：

1 在索体公称破断拉力的 40%~60% 间反复张拉 5 次，第 5 次张拉到位后恒载保持 10 分钟；

2 一次张拉至索体公称破断拉力的 55%，恒载保持时间不小于 1h，预张拉次数不少于 2 次。

7.2.2 钢绞线、钢丝绳索体应根据设计要求对索体进行测长、标记和下料。应根据应力状态下的索长，进行应力状态标记下料或经弹性模量换算进行无应力状态标记下料。

7.2.3 钢绞线、钢丝绳下料时，应考虑环境温度对索长的影响，采取相应的补偿措施。

7.2.5 成品拉索交货长度为设计长度，其允许偏差应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的有关规定和表 7.2.5 的规定：

表 7.2.5 拉索长度允许偏差

拉索长度 L(m)	允许偏差 (mm)
≤ 50	± 15
$50 < L \leq 100$	± 20
> 100	$\pm L/5000$

7.2.6 钢拉杆应按现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 规定进行制作。成品钢拉杆交货长度为设计长度，钢拉杆成品长度允许偏差应符合表 7.2.6 的规定。

表 7.2.6 钢拉杆长度允许偏差

单根拉杆长度 L(m)	允许偏差 (mm)
≤5	±5
5~10	±10
>10	±15

7.3 安装施工

7.3.1 拉索两端锚固端间距的允许偏差应为 $L/3000$ (L 为两锚固端的距离) 和 20mm 两者之间的较小值。

7.3.2 拉索张拉前应进行施工全过程模拟计算，计算分析应满足以下要求：

- 1 计算时应考虑拉索张拉过程，及其对预应力结构的作用及对支承结构的影响；
- 2 应根据拉索的预应力损失情况确定适当的预应力超张拉值；
- 3 应包含玻璃面板安装过程，并分析其对索结构索力和索结构形态的影响。

7.3.3 拉索张拉应遵循分阶段、分级、对称、缓慢匀速、同步加载的原则。

7.3.4 拉索张拉前应确定以索力控制为主或结构位移控制为主的原则。对结构重要部位宜同时进行索力和位移双控制；并应规定索力和变形的允许偏差。

7.3.5 拉索张拉过程中应检测并复核拉力、实际伸长量和油缸伸出量，每级张拉时间不应少于 0.5min，并应做好记录。记录内容应包括日期、时间、环境温度、索力、索伸长量和结构变形的测量值。

7.3.6 采用张拉设备施加预应力时，其作用点形心应经过拉索轴线。

7.3.7 在玻璃幕墙的拉索张拉施工完成后，在面板安装前可根据拉索的分布情况进行配重检测，配重量取 1.05 倍至 1.2 倍的面板自重。

7.4 工程验收

7.4.1 工程验收应具备下列资料：

- 1 幕墙工程的竣工图或施工图、结构计算书、热工性能计算书、设计变更文件、设计说明及其他设计文件；
- 2 幕墙工程所用材料、构件及组件、紧固件及其他附件的产品合格证书、性能检测报告、进场验收记录；

-
- 3 均质钢化玻璃除应提供产品合格证外，尚应提供均质加工过程记录；
 - 4 幕墙工程所用硅酮结构胶的认定证书、抽查合格证明、相容性试验报告和剥离粘结性试验报告；
 - 5 后置预埋件的现场拉拔检测报告；
 - 6 注胶、养护环境的温度、湿度记录；
 - 7 隐蔽工程验收文件；
 - 8 幕墙构件和组件的加工制作记录；
 - 9 拉索加工、安装自检记录，千斤顶标定记录，拉索张拉及结构几何形状记录、张拉行程记录；
 - 10 锚具无损探伤报告；
 - 11 现场淋水试验记录；
 - 12 其他质量保证资料。
- 7.4.2** 工程验收必须采用经计量检定、校准合格的计量器具。
- 7.4.3** 完成验收后，索体、锚具及其他连接件的永久性防护应满足设计要求。

8 使用维护

8.1 一般规定

8.1.1 索结构点支承玻璃幕墙工程竣工验收时，承包商应向业主提供《幕墙使用维护说明书》，其内容应符合现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的有关规定。

8.1.2 索结构点支承玻璃幕墙外表面的检查、清洗、保养与维修工作应符合以下要求：

- 1 不应在 4 级以上风力和大雨、大雪天气下进行。
- 2 使用的作业机具设备应保养良好、功能正常、操作方便、安全可靠；每次使用前应进行安全装置的检查，确保设备与人员安全。
- 3 高空作业应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 的有关规定。

8.2 检查与维修

8.2.1 索结构点支承玻璃幕墙应定期进行例行检查和索力检查，检查应满足国家现行标准《建筑幕墙》GB/T 21086、《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102、《索结构技术规程》JGJ 257 和现行团体标准《既有建筑幕墙安全检查技术规程》T/CECS 990 的有关规定。

8.2.2 索结构点支承玻璃幕墙的例行检查应包括安全性检查和功能性检查。例行检查的时间和频次应满足下列要求：

- 1 工程竣工验收后每 6 个月；
 - 2 建筑室内及外围周边举行重大公众活动前；
 - 3 建筑遭遇强风袭击、地震灾害以及火灾、爆炸或其他破坏性突发事件后。
- 8.2.3** 索结构点支承玻璃幕墙的安全性检查内容和方法应符合表 8.2.3 的规定，当出现表中缺陷时，应及时进行维修或更换。

表 8.2.3 索结构点支承玻璃幕墙安全性检查

检查项目	检查内容	检查方法
玻璃面板	夹层玻璃有局部分层、起泡、脱胶现象	目测、测量
	面板破裂	目测
	面板缺损	目测
	面板之间有不正常挤压、错位或变形	目测、测量

拉索	拉索、拉杆松弛弯曲、下垂	目测、手试
	拉索断丝	目测
	锚具出现裂纹	目测
	拉索、拉杆、撑杆等位置偏移	目测、测量
连接节点	驳接头连接松动	目测、手试
	索夹松动或出现裂纹	目测、手试
	拉索锚固点松动、错位、扭曲	目测、测量
	焊缝开裂、锈蚀	目测
	连接耳板变形、锈蚀	目测
	埋件变形、锈蚀	目测

8.2.4 索结构点支承玻璃幕墙的功能性检查内容和方法应符合表 8.2.4 的规定，当出现表中缺陷时，宜进行维修或更换。

表 8.2.4 索结构点支承玻璃幕墙功能性检查标准

检查内容	检查方法
面板有污染、变色、镀膜破坏现象	目测
面板有漏气、起雾现象	目测
幕墙室内侧有渗漏现象	目测、手试
面板胶缝有硬化现象	目测、手试
驳接头盖板、夹板密封胶条老化变硬	目测、手试

8.2.5 索结构点支承玻璃幕墙索力检查的时间和频次应满足下列要求：

- 1 工程竣工验收后的第 6 个月；
- 2 工程竣工验收后的第 4 年和之后的每 3 年。
- 3 工程使用阶段玻璃面板出现非人为破坏的破损数量超过 3 片时。

8.2.6 对于使用过程中出现松弛现象的拉索，应采用恰当措施予以张紧。如果松弛的拉索无法实施张紧，应对该拉索和相邻索结构、玻璃面板和点支承装置进行加密例行检查或进行监测。

8.3 清洗与维护

8.3.1 使用方应根据索结构玻璃幕墙表面的积灰污染程度确定其清洗次数，且不应少于每年一次。

8.3.2 清洗索结构玻璃幕墙应按《幕墙使用维护说明书》要求选用清洗液。使用含对人体有害物质的幕墙清洗液，应遵循安全管控原则，落实采购核查、人员培训、防护保障、规范作业、应急处置及废弃物合规处置要求，防范人身伤害风险。

8.3.3 索结构点支承玻璃幕墙的日常清洗和维护应符合下列规定：

- 1** 应保持幕墙表面整洁，避免锐器及腐蚀性气体、液体与幕墙表面接触；
- 2** 不得撞击和损伤幕墙；
- 3** 除设计时预留的清洗和维护用连接节点外，不应在索结构点支承玻璃幕墙的构件上连接清洗或维护所需的工装；
- 4** 密封胶或密封胶条脱落或损坏时，应进行修补与更换；
- 5** 幕墙构件或附件的螺栓、螺钉松动或锈蚀时，应拧紧或更换；
- 6** 幕墙构件锈蚀时，应采取除锈、防锈措施或更换；
- 7** 玻璃面板破损时，应采取防护措施并更换。

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
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”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为，“应符合……规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《建筑抗震设计标准》GB 50011
- 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 《钢结构设计标准》GB 50017
- 《建筑物防雷设计规范》GB 50057
- 《民用建筑热工设计规范》GB 50176
- 《工程结构通用规范》GB 55001
- 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
- 《钢结构通用规范》GB 55006
- 《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024
- 《建筑防火通用规范》GB 55037
- 《建筑用安全玻璃 第1部分：防火玻璃》GB 15763.1
- 《建筑用安全玻璃 第2部分：钢化玻璃》GB 15763.2
- 《建筑用安全玻璃 第3部分：夹层玻璃》GB 15763.3
- 《建筑用安全玻璃 第4部分：均质钢化玻璃》GB 15763.4
- 《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776
- 《紧固件公差 螺栓、螺钉、螺柱和螺母》GB/T 3103.1
- 《铝合金结构设计规范》GB/T 50429
- 《优质碳素结构钢》GB/T 699
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352
- 《中空玻璃》GB/T 11944
- 《不锈钢棒》GB/T 1220
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231
- 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683
- 《结构用不锈钢无缝钢管》GB/T 14975
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《半钢化玻璃》GB/T 17841
- 《镀膜玻璃 第1部分：阳光控制镀膜玻璃》GB/T 18915.1

《镀膜玻璃 第2部分：低辐射镀膜玻璃》GB/T 18915.2

《碟形弹簧 第1部分：计算》GB/T 1972.1

《建筑结构用钢板》GB/T 19879

《锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢丝、钢绞线》GB/T 20492

《不锈钢 牌号及化学成分》GB/T 20878

《钢拉杆》GB/T 20934

《通用耐蚀钢铸件》GB/T 2100

《建筑幕墙》GB/T 21086

《圆柱螺旋弹簧设计计算》GB/T 23935

《中空玻璃用硅酮结构密封胶》GB/T 24266

《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267

《连续热镀锌和锌合金镀层钢板及钢带》GB/T 2518

《不锈钢钢绞线》GB/T 25821

《合金结构钢》GB/T 3077

《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1

《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6

《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15

《耐磨耐蚀钢铸件》GB/T 31205

《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433

《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274

《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280

《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026

《大型合金结构钢锻件 技术条件》GB/T 33084

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带》GB/T 3524

《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632

《建筑幕墙用点支承装置》GB/T 37266

《真空玻璃》GB/T 38586

《不锈钢冷加工钢棒》GB/T 4226

《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237

《耐热钢钢板和钢带》GB/T 4238

《钢结构焊接规范》GB/T 50661

《铝合金建筑型材 第1部分：基材》GB/T 5237.1

《六角头螺栓 C级》GB/T 5780

《六角头螺栓》GB/T 5782

《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967

《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659

《结构用无缝钢管》GB/T 8162

《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB/T 8624

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 912

《机械结构用不锈钢焊接钢管》GB/T 12770

《防火封堵材料》GB/T 23864

《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498

《网格结构技术规程》JGJ 7

《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80

《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102

《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113

《索结构技术规程》JGJ 257

《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151

《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395

《建筑幕墙用钢索压管接头》JG/T 201

《建筑工程用索》JG/T 330

《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389

《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T 455

《建筑幕墙用硅酮结构密封胶》JG/T 475

《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152

《镀锌钢绞线》YB/T 5004

《密封钢丝绳》YB/T 5295

《不锈钢拉索》YB/T 4294

《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢绞线》YB/T 4542

《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层拉索》 YB/T 4543

《釉面钢化及釉面半钢化玻璃》 JC/T 1006

《不锈钢结构技术规范》 T/CECS 410

《既有建筑幕墙安全检查技术规程》 T/CECS 990

《建筑索结构节点设计标准》 T/CECS 1010

中国工程建设标准化协会标准

索结构点支承玻璃幕墙工程技术规程

CECS ××-202×

条文说明

制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了针对索结构玻璃幕墙工程的调查研究，总结了我国幕墙索结构工程建设的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过索网结构构件及节点试验取得了翔实的基础试验数据。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《索结构点支承玻璃幕墙工程技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，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

3 材料	47
3.2 索体与锚具	47
3.5 钢材、不锈钢和连接材料	47
4 系统设计	48
4.1 一般规定	48
4.2 选型与布置	48
4.4 构造设计	51
5 结构设计	52
5.1 一般规定	52
5.2 作用及组合	52
5.3 结构设计与分析	52
5.4 玻璃面板设计	53
6 节点设计与构造	54
6.1 一般规定	54
6.2 索与玻璃面板节点	54
6.3 索与索节点	56
6.4 索与主体结构节点	56
6.5 弹簧装置	56
8 使用维护	60
8.3 清洗与维护	60

3 材料

3.2 索体与锚具

3.2.5 目前索结构点支承玻璃幕墙中常用的不锈钢拉索、锌-5%铝-混合稀土合金镀层拉索，其相应的产品标准中对于静态松弛性能均无明确规定。针对以上情况，中国建筑科学研究院有限公司进行了部分规格的拉索静态松弛性能试验，试验结果表明，不锈钢钢绞线拉索的松弛效应与拉索的初始应力水平有相关性。在持续进行 120h 测试后，不锈钢钢绞线索体在 20%、40%、60%(相对于最小破断力)应力水平下的松弛率分别约为 2.08%、4.41%和 6.33%；同样测试情况下的锌-5%铝-混合稀土合金镀层拉索，在 40%(相对于最小破断力)应力水平下，松率约为 2.15%。拉索静态松弛试验规律研究表明，试验拉索的应力松弛呈现典型的两阶段特征：初始阶段松弛速率较快，随后逐渐衰减并趋于稳定。根据试验拉索的松弛率曲线图、预应力钢材松弛及规范等研究发现，对试验测得的索体松弛率曲线可采用对数函数模型进行拟合。通过该拟合模型，可以精确表征各试件在 120 小时内的松弛规律。在此基础上，通过对拟合函数进行外推计算，能够对拉索在 120 小时后的松弛发展趋势进行有效预测。此方法为评估拉索的长期力学性能与服役寿命提供了理论依据。以在 60%初始水平应力状态的不锈钢钢绞线拉索和在 40%初始水平应力状态下的高钒索数据及拟合结果为例，对两个曲线的拟合函数进行计算，估算拉索在 1000 小时以及 5 年、10 年、20 年时的松弛率。预测结果如表 1 所示。

表 1 拉索预测松弛率结果

试件编号	不同时间下的预测松弛率（%）					
	1000h	1 年	5 年	10 年	20 年	25 年
GJX-33-60	7.63	9.24	10.4	10.95	11.46	11.63
GC-36-2	2.63	3.24	3.70	3.90	4.09	4.15

3.5 钢材、不锈钢和连接材料

3.5.1 应符合的标准还包括《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带》GB/T 3524、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 912、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274、《结构用无缝钢管》GB/T 8162、《连续热镀锌和锌合金镀层钢板及钢带》GB/T 2518、《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389 等。

4 系统设计

4.1 一般规定

4.1.2 点支承玻璃的索结构型式和连接构造众多，不同的索结构型式和连接构造对于玻璃面板的分格尺寸有不同的要求。一般情况下由于单索或单层索网的结构刚度较弱，在风荷载作用下幕墙的变形较大。以四边形玻璃为例，幕墙在承受风压时，玻璃分格越大，玻璃四点不共面产生的翘曲值越大，玻璃就越容易破损；若采用夹持构造，当分格较大时，玻璃面板不仅应力集中易破损，而且容易从槽口滑出影响幕墙使用安全。

4.1.3 采用索结构特别是单索或单层索网结构的点支承玻璃幕墙项目，由于支承结构变形较大，开启窗较难适应支承结构的变形，给开启窗的安全使用带来不利影响；同时也影响开启窗边框和窗框之间的水密性和气密性。另外开启窗边框和窗框的设置，与点式玻璃幕墙的总体建筑效果不协调，影响玻璃幕墙的通透性和简洁性。因此不宜在索结构点支承玻璃幕墙上设置开启窗。

4.2 选型与布置

4.2.1 索结构玻璃幕墙对结构支承边界条件十分敏感，在很多实际设计案例中，索结构玻璃幕墙往往仅作为一种视觉符号被“拼贴”在设计方案中，在没有进行必要的技术性分析和论证之前，就已经作为建设方乃至政府主管部门的项目决策结论而“被迫”进入实施环节。于是，在后续工作环节中，或是因为基本适用条件的缺失，造成技术设计的无从下手和难以为继；或是因为勉强完成技术设计，而导致实现效果与初始构思大相径庭；而后续实施过程中，性能缺欠、安全隐患、造价失控等情况也屡屡发生。

4.2.3 索桁架的矢高取值范围是考虑了结构受力和经济性最终确定的。

4.2.6 根据编制组的调研和工程经验，在下表中给出索结构点支承玻璃幕墙的选型建议。

表 2 索结构点支承玻璃幕墙的建筑选型

设计因素	适用条件	索桁架	自平衡索桁架	竖向单索	平面索网	曲面索网
通透性要求	高			√	√	√
	中	√				
	低		√			
适用造型	平面或微曲面	√	√	√	√	
	空间曲面造型	√	√			√

	单方向曲面	√	√	√		
幕墙周边主体结构承载力和刚度	周边条件均好				√	√
	仅对边条件好	√	√	√		
	周边条件均不好		√			
索结构承载力和刚度	中	√	√			√
	小			√	√	
适宜的跨度	超大				√	√
	大	√	√		√	√
	中	√	√	√	√	√
	小	√		√	√	

注：

- 1 索桁架、自平衡索桁架、张弦结构由于自身矢高通常较大，选用时需考虑建筑使用空间限制的影响。
- 2 表中超大跨度为大于 50m，大跨度为 25m~50m、中等跨度为 10~25m、小跨度为小于 10m。

4.2.7 索结构点支承玻璃幕墙的设计条件千差万别，选型设计时可以不拘泥于某一种特定的形式，通过组合两种或几种形式来形成新的幕墙体系。国内外许多经典的索结构玻璃幕墙都采用了组合形式。以下给出几种常见的组合规则，并给出案例。

1 将索桁架、自平衡索桁架、竖向单索等基本单元型式沿竖向均匀间隔分布后构成，并可沿水平方向增设水平联系拉索，如下图 1 所示。

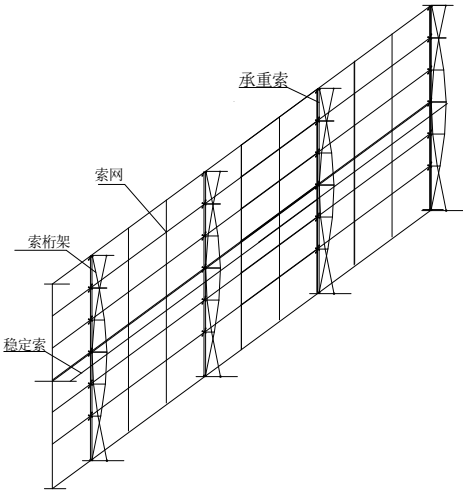


图 1 多种型式组合的幕墙系统（一）

2 利用一片或多片平面索网或空间索网组成，下图为国内某工程在处理 90° 转角幕墙时的方案，该项目在转角处设置索桁架，从而将两片夹角为 90° 的竖向单索幕墙结合了起来，如下图 2 所示。

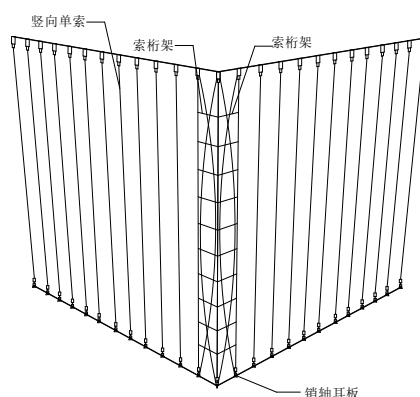


图 2 多种型式组合的幕墙系统（二）

3 利用索桁架、自平衡索桁架、张弦结构、大截面拉索等作为索结构玻璃幕墙弹性支承，并与平面索网、竖向单索等刚度相对较小的基本单元型式复合构成。国内著名的新保利大厦项目，拥有亚洲最大的索网幕墙体系，该项目采用了大截面的高强度平行钢丝束作为主索，幕墙索网与主索和主体结构相连，形成了互为角度的 3 个区域平面索网幕墙，如下图 3 所示。

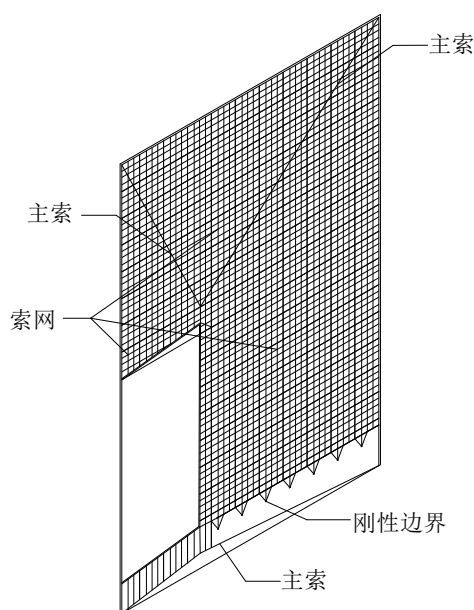


图 3 多种型式组合的幕墙系统（三）

4 索桁架基本单元型式与玻璃肋、金属构件复合构成。国内某项目采用了横向鱼腹形索桁架和钢板肋共同受力的支承结构体系。玻璃面板自重由钢板肋承担，吊挂于屋面。鱼腹形索桁被布置在主体结构层间位置，起到抗风作用，为钢板肋提供水平向支撑。体系水平力与竖向力传力路径清晰、明确。索结构布置如下图 4 所示。

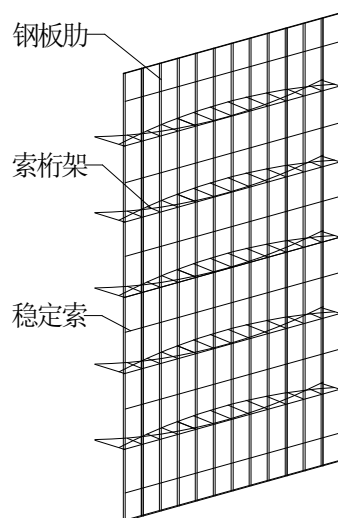


图 4 多种型式组合的幕墙系统（四）

4.4 构造设计

4.4.3 玻璃面板之间的缝宽要满足幕墙在温度变化和索结构发生位移时玻璃面板不相互碰触的要求。同时，在胶缝受拉时的应变能力也要满足温度变化和索结构位移使胶缝变宽的要求，因此胶缝宽度不宜过小。经调研，当考虑玻璃面板采用常规配置的厚度，胶缝宽度大于 30mm 时，硅酮建筑密封胶将不易施工。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.3 本条强调了支承结构对幕墙索结构的影响。作为约束边界的支承结构产生较大变形，导致刚性约束失效以及边界条件发生变化，边界条件的变化导致索结构内力分布产生不可忽略的变化，甚至可能会使部分索段因松弛而退出工作。

5.1.4 对于一些特殊情况，例如平面索网的横竖索之间、索结构与玻璃面板之间、索结构锚固点与主体结构构件中线之间存在比较大的几何距离时，有可能会对索结构的内力分布、玻璃分格的尺寸变形、索结构给主体结构的反力造成影响，为保障计算模型的准确性，需要考虑索结构玻璃幕墙中内部构件和几何关系对计算分析的影响。

5.2 作用及组合

5.2.3 相关规范中对于风荷载体型系数的规定，大多来自于刚性模型的风洞试验，然而由于索结构点支承玻璃幕墙为柔性结构，在很多情况下直接套用规范给出的体型系数未必准确。不仅如此，索结构在自然风荷载作用下的动力响应本身也是刚性模型无法模拟的，因此在很多情况下，需要进行专门的研究。

5.2.4 一般情况下幕墙的地震作用通常采用简化为等效静力方法计算，但对于高层、超高层建筑，建筑顶部地震反应较大，应进行动力时程分析对比，以确保幕墙面板与索幕墙结构的安全。

5.2.8 预应力荷载是一种人为施加的结构内力，其变异性（即偏离原设计值的程度）对结构整体的影响可能是有利的，也可能是不利的。例如，放大预应力可以导致索结构的刚度提高，但同时也会降低索材料的安全储备并增加下部支承结构的负担。此外，对于非自平衡式索结构，放大或缩小预应力还可能导致结构的初始平衡位置发生变化。

5.3 结构设计与分析

5.3.4 索结构属于柔性结构，只有在对其施加一定的预应力后，索结构才能具有必要的刚度和有效地承受荷载，因此本条规定水平挠度均由初始预应力态位置算起。正文中对于曲面索网幕墙最大挠度与跨度之比的限值取自现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257，然而根据调研，实际工程中若想达到 1/200 的限值，需要花费很大的代价，已建成的多项曲面索网幕墙实际无法达到该限值。

5.4 玻璃面板设计

5.5.1 以穿孔驳接头方式连接的点支承玻璃面板为例，展示矩形面板四点支承、矩形面板六点支承、三角形面板三点支承、矩形面板八点支承的示意图 5 如下。

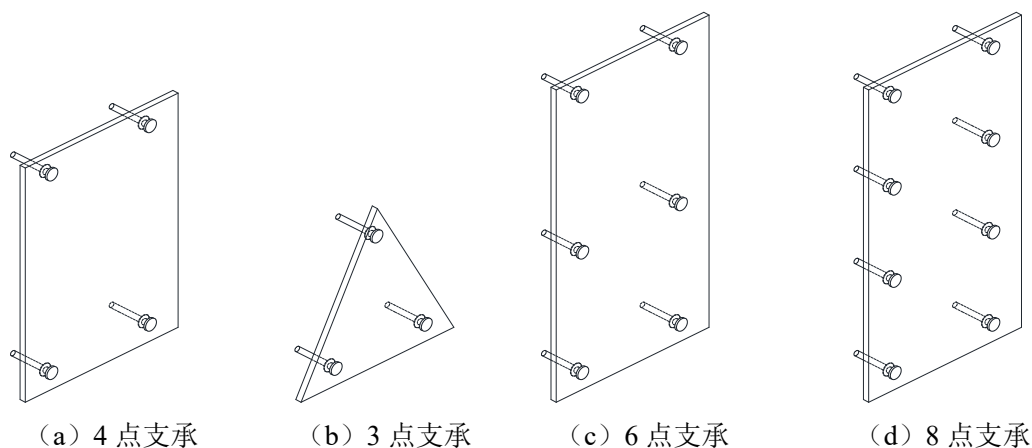


图 5 玻璃面板点支承形式示意

5.5.2 点支承玻璃幕墙一般情况下采用四点支承装置，玻璃在支承部位应力集中明显，受力复杂。因此，点支承玻璃的厚度应具有比其他幕墙更严格的要求，其夹层玻璃和中空玻璃中的单片厚度也不应小于 8mm。

5.5.3 夹板式点支承装置处，玻璃面板应力应小于玻璃面板边缘强度设计值；与驳接头接触的孔壁处，玻璃面板应力应小于玻璃面板端面强度设计值。

5.5.11 对于四点支承矩形玻璃面板，通常认为当支承索结构变形导致面板各支承点的翘曲值超过支承点间长边边长的 $1/30$ 时，相当于面板中部发生了 $1/60$ 支撑间距的挠曲，与玻璃面板挠度限值相当。

6 节点设计与构造

6.1 一般规定

6.1.3 目前常用金属材料的本构关系比较明确，精细化有限元分析的结果也已经比较可靠，但对于采用新材料或新工艺制作的节点，其材料性能及本构关系等需要通过试验确定时，可进行节点模型试验。试验可分为检验性试验和破坏性试验。对于小尺寸节点，可进行破坏性试验；对于较大尺寸和承载力高的节点，从试验条件和费用方面考虑，不要求必须进行破坏性试验，可通过检验性试验确定其应力分布状况及应力是否在弹性范围内，处于弹性状态的试件仍可应用到实际工程中。考虑到材料性能的离散性等因素，本条参考现行行业标准《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395 和《网格结构技术规程》JGJ 7，规定破坏性节点试验的荷载应不小于其承载力设计值的 2.0 倍。

6.2 索与玻璃面板节点

6.2.2 由于索结构属于柔性结构体系，在外荷载作用下变形通常较大，为了使玻璃面板适应这种变形，工程中的常见做法分为以下几种：

(1) 穿孔点支承玻璃面板的点连接处通常采用活动铰连接，如下图 6 所示。

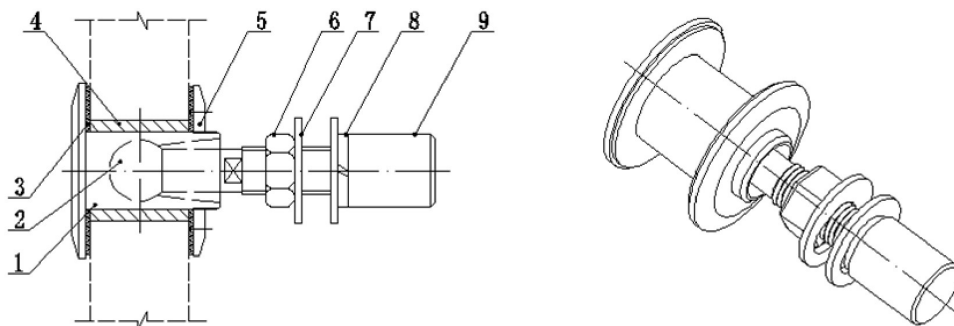


图 6 穿孔点支承活动铰示意图

1-带压板承座；2-球头支承螺杆；3-垫片；4-衬套；5-后压板；6-螺母；7-偏心垫圈；8-弹簧垫圈；9-异型嵌装螺母。

(2) 无孔点支承驳接件与玻璃面板间通常设球铰结构或厚度较大的柔性垫片，如下图 7 所示。

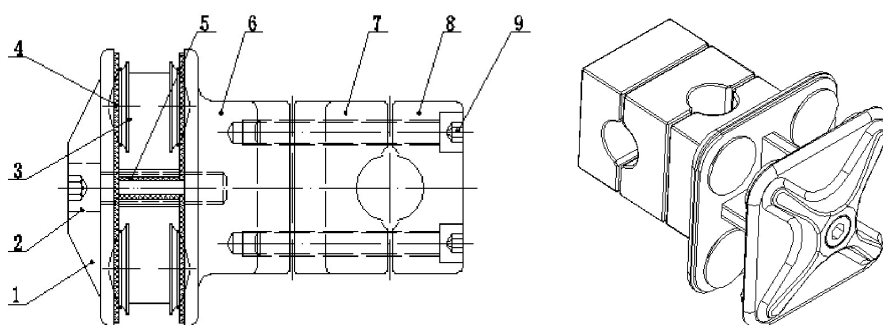


图 7 无孔点支承驳接件（球铰）示意图

1-前压板；2-前压板固定螺钉；3-转动球铰；4-压板垫片；5-承重垫片；6-索夹前压块；7-索夹中间压块；8-索夹后压块；9-索夹紧固螺钉。

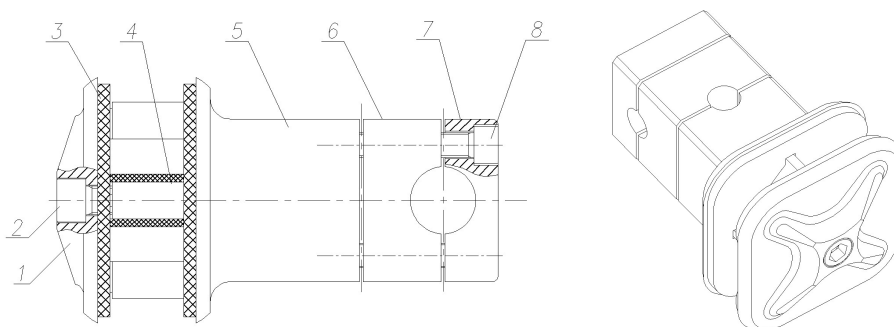


图 8 无孔点支承驳接件（柔性垫片）示意图

1-前压板；2-前压板固定螺钉；3-柔性垫片；4-承重垫片；5-索夹前压块；6-索夹中间压块；7-索夹后压块；8-索夹紧固螺钉。

6.2.4 大于四点支承的玻璃面板，在中间连接点位置支承反力通常更大，为缓解这种情况带来的玻璃局部应力集中，一些工程会采用构造措施来缓解这种情况。例如，对于六点支承的穿孔点支承玻璃面板，采用弹性构造作为此处的连接措施，如下图 9 所示；对于六点支承的无孔点支承玻璃面板，采用玻璃四角和中间支承均用球铰结构。

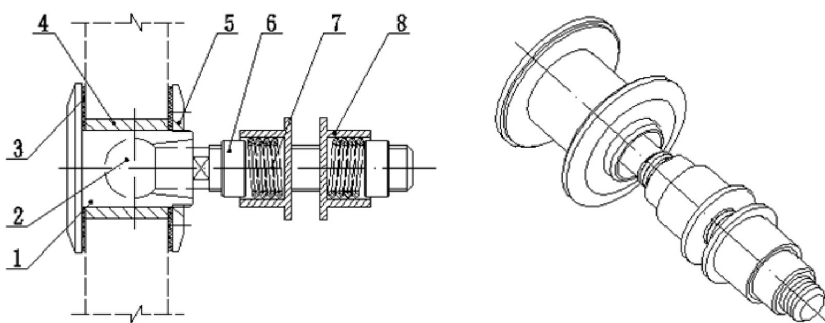


图 9 穿孔式六点支承中间两点弹性结构构造图（一）

1-带压板承座；2-球头支承螺杆；3-垫片；4-衬套；5-后压板；6-圆螺母；7-弹簧；8-偏心垫圈限位组件

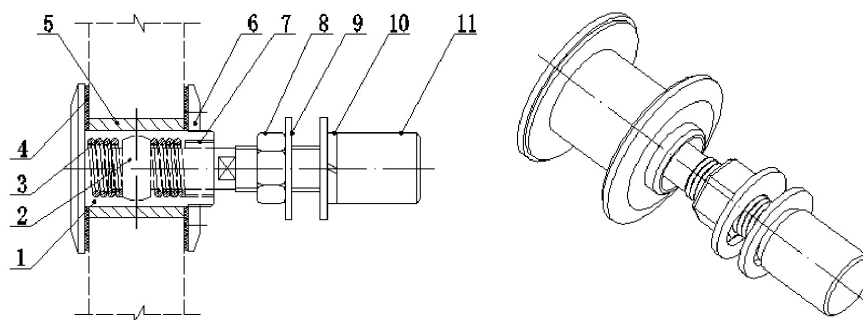


图 10 穿孔式六点支承中间两点弹性结构构造图（二）

1-带压板承座；2-支承螺杆；3-弹簧装置；4-垫片；5-衬套；6-后压板；7-锁紧嵌套；8-螺母；9-偏心垫圈；10-弹簧垫圈；11-异形嵌装螺母

6.2.5 在安装和使用过程中，玻璃面板的破损难以避免，因此幕墙的玻璃面板应能单独更换，便于幕墙的保养维护。玻璃面板损坏或更换将会引起支承结构的负荷变化，此部分负荷变化在设计过程中应予考虑，使其不会导致支承结构破坏。

6.2.7 玻璃面板通过夹具安装在拉索上，玻璃的重心距离拉索的形心有一定的距离，形成偏心弯矩，导致夹具转动，引起玻璃面板下沉。

6.3 索与索节点

6.3.7 本条规定引自团体标准《建筑索结构节点设计标准》T/CECS1010-2022，经调研目前针对索夹与不锈钢索体间的摩擦系数、不锈钢螺栓的紧固力损失方面的研究尚不完善，因此工程实践中如采用正文中的公式进行计算，需首先进行相关系数的测定。

6.4 索与主体结构节点

6.4.3 在索结构点支承玻璃幕墙中，经常出现耳板销接节点中的销轴和锚具为不锈钢材质而与主体结构连接的耳板为碳素结构钢或合金结构钢的情况，此时直接套用《钢结构设计标准》GB 50017 中的设计方法不完全适用，因此从工程实施的角度，通过试验验证这类节点的承载能力是更容易实现的。

6.5 弹簧装置

6.5.1 索结构质量轻、阻尼小，对风荷载、地震荷载较为敏感；不仅如此，拉索两端的支承部位可能在温度、风荷载、混凝土主体结构收缩、地震等作用下，产生相对轴向位移，从而导致拉索变长或缩短，引起索中轴力增大或减小。当索两端的相对位移变长时，索力增加，可能存在索力过大造成索体破断或导致主体支承结构过载的风险；当索两端的相对位移变短时，索力减小，可能存在索体松弛、索结构失效的风险；即使索力波动未达到索体破断或索体松弛的不利局面，但过大的索力波动也可能会增加玻璃破裂的风险。

下面举例说明因地震、温度、混凝土收缩徐变等作用导致拉索两端相对位移的情况。

图 11 中索网幕墙水平索两端分别支承于两栋独立建筑物时，因地震作用下两栋建筑物可能产生不协调一致的运动，容易导致两栋建筑之间的水平拉索产生较大的轴向变形。

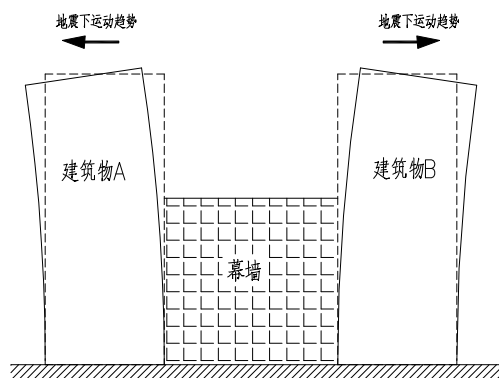


图 11 地震作用可能导致两栋塔楼间的横向拉索产生较大的伸长或缩短位移

图 12 中温度升高时，为索结构幕墙提供支承边界的主体结构围合洞口尺寸变小，从而使拉索产生缩短变形；而温度升高，拉索伸长，会进一步加剧索力下降出现松弛的风险。

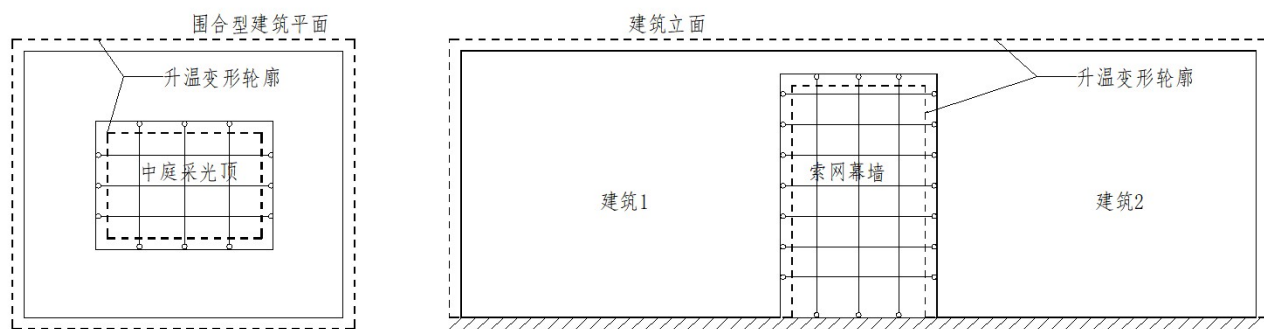


图 12 温度升高导致索结构支承边界呈尺寸缩小趋势（左为屋面中部采光顶、右为立面中部索幕墙）

图 13 中示意了由风荷载引起主体结构大跨度屋盖产生竖向振动，从而影响下部索结构幕墙的受力。

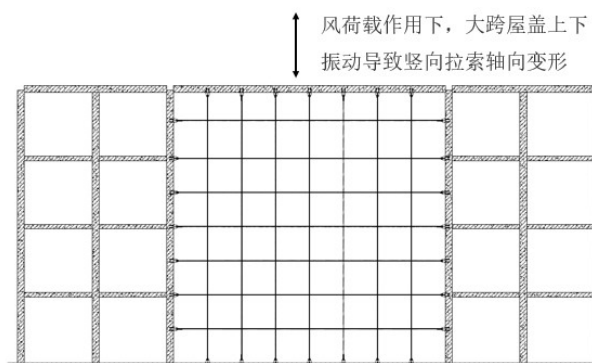


图 13 风荷载作用下，大跨屋盖上下振动导致竖向拉索产生轴向变形

图 14 表示了主体结构竖向构件的混凝土收缩徐变变形可能引起竖向拉索产生轴向的缩短变形，进而对索结构玻璃幕墙产生影响。

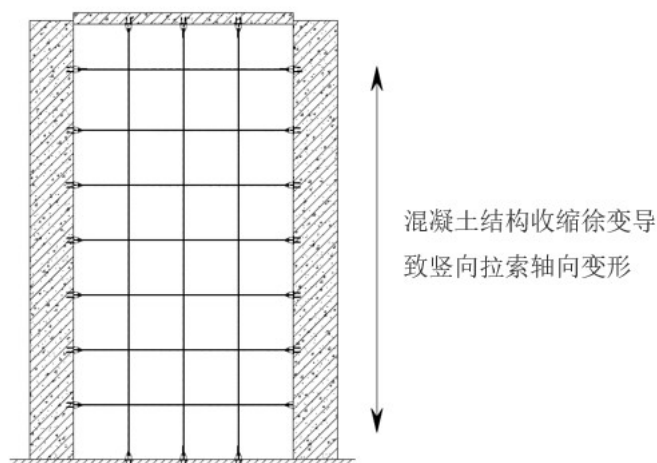
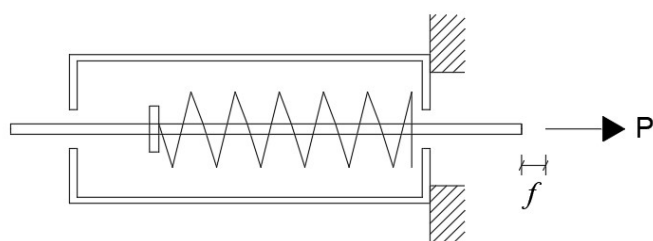


图 14 高层建筑竖向混凝土结构收缩徐变导致竖向拉索产生轴向缩短变形

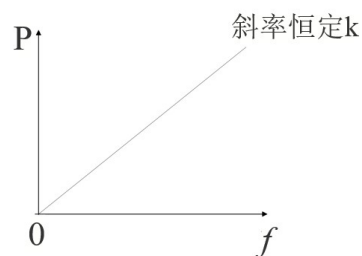
索力稳定装置的基本工作原理：由于弹簧刚度通常远小于拉索轴向刚度，外界作用下，拉索及弹簧装置两端的纵向变形会主要由弹簧变形吸收，从而大幅降低拉索本身的变形值，进而降低拉索索力的波动幅度，从而实现维持拉索拉力相对稳定的目的。

拉索过载保护装置的基本工作原理：在初始工作状态下，拉杆承担拉索索力，当外界作用导致拉索索力剧烈变化直至超过拉杆承载力时，拉杆在薄弱处断裂，此时弹簧承担全部索力并出现较大变形，索力在震荡过程中张拉力大幅下降，达到保护拉索和主体结构的目的。

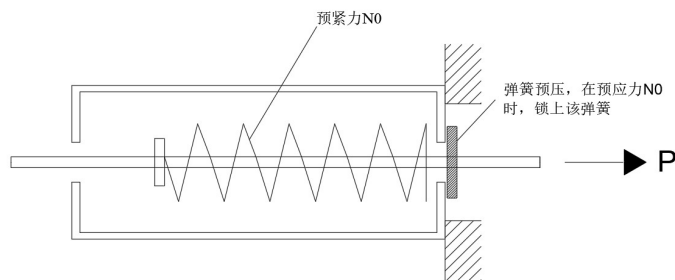
在上述 2 种装置的基本原理基础上，考虑弹簧是否进行预压，共衍生出 4 种装置构造，其各自图示和工作原理曲线图如图 15 表示。



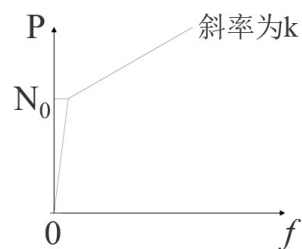
(a) 弹簧无预压的索力稳定装置



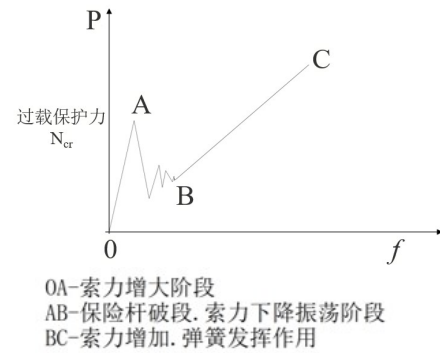
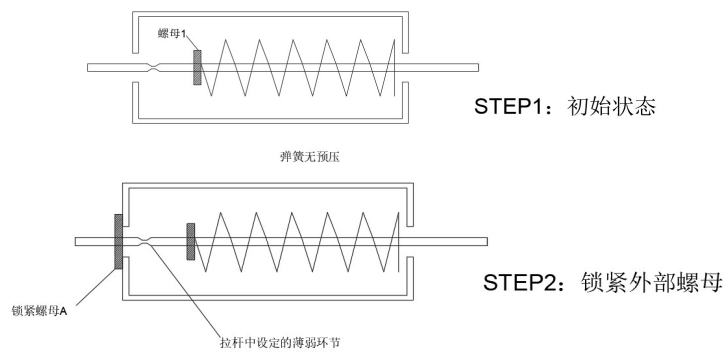
(b) 装置力一位移曲线



(b) 弹簧预压 N_0 的索力稳定装置

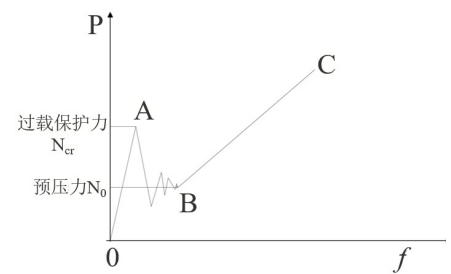
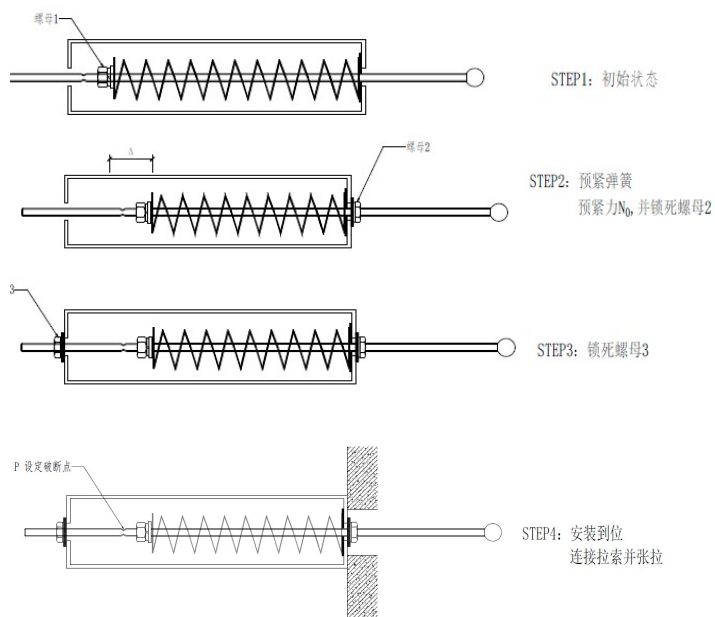


(c) 装置力一位移曲线



(e) 弹簧无预压的过载保护装置

(f) 装置力一位移曲线



(g) 弹簧预压的过载保护装置

(h) 装置力一位移曲线

图 15 四类弹簧装置的技术方案

8 使用维护

8.3 清洗与维护

8.3.2 玻璃幕墙的清洗有时会使用氢氟酸等对人体危害非常严重、危险性极高的化学试剂。2025 年，杭州一女子因不慎接触废弃氢氟酸中毒，送医后经抢救无效不幸身亡。因此在本标准编制过程中特别增加了针对幕墙清洗液的使用和管控规定。