

上海市工程建设规范

膜结构技术规程

**Technical specification of membrane structures**

DGJ08-97-201X

(征求意见稿)

2017 上海

上海市工程建设规范

膜结构技术规程

**Technical specification of membrane structures**

DGJ08-97-201X

主编单位：上海现代建筑设计（集团）有限公司

同济大学

上海建筑设计研究院有限公司

批准单位：上海市建设和管理委员会

施行日期：

2017 上海

# 目录

1. 总 则.....	1
2. 术语、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 膜 材.....	5
3.3 配 件.....	6
3.4 支承结构.....	7
4. 设计一般规定.....	8
4.1 设计的基本原则.....	8
4.2 荷载与荷载组合.....	8
4.3 建筑设计.....	9
5. 结构设计.....	11
5.1 结构设计的基本原则.....	11
5.2 结构体系.....	12
5.3 初始形态设计.....	13
5.4 荷载分析.....	13
5.5 裁剪设计.....	14
6. 膜结构连接与节点的设计和构造.....	15
6.1 一般规定.....	15
6.2 膜片连接的构造设计原则.....	15
6.3 膜面与支承结构连接的构造设计原则.....	16
7. 膜结构的制作与安装.....	25
7.1 膜结构制作技术要求与条件.....	25
7.2 膜结构的材料检验.....	25
7.3 膜的裁剪、连接和节点制作.....	25
7.4 制作成品膜体的包装和运输.....	26
7.5 膜结构的安装施工准备.....	27
7.6 膜的安装.....	28
7.7 安装质量要求.....	29
7.8 保护清洁.....	29
8 工程验收.....	30
8.1 基本规定.....	30
8.2 膜结构制作分项工程.....	30
8.3 膜结构安装分项工程.....	31
9. 维修和保养.....	32
附录 A 试验确定 E 类膜材屈服强度及弹性模量的方法.....	35
本规程用词说明.....	36
引用标准名录.....	37
条文说明.....	38

# 1. 总 则

**1.0.1** 为了在膜结构的设计与施工中，做到安全可靠、技术先进、经济合理，根据上海地区技术经济的发展要求，特制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于膜结构的设计、制作、安装、验收及维护。

**1.0.3** 膜结构在参照使用本规程时，除应进行充分的可行性技术论证外，尚应符合国家、行业或地方的现行有关专业技术规范、规程或标准的规定。对超过本规程规定的膜材、配件等应参照相关的规定进行试验。

**1.0.4** 设计膜结构时，必须根据设计条件进行计算分析，严禁盲目套用其他膜结构的设计或计算结果。

**1.0.5** 膜结构的设计、施工、验收及维护，除应执行本规程外，尚应符合国家和本市有关现行标准的规定。

## 2. 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 膜材 membrane material

由高强度的织物基材和聚合物涂层构成的复合材料。涂层对基材起保护作用，并形成膜材料的密封性能。

#### 2.1.2 膜片 membrane sheet

膜材的裁剪片称为膜片。

#### 2.1.3 膜体 membrane field

由膜片连接加工而成的膜区域。

#### 2.1.4 膜面 membrane surface

张拉并安装就位于支承结构上的膜体。

#### 2.1.5 膜结构 membrane structure

由膜面和支承结构共同组成的属于建筑物或构筑物的一部分或整个结构称为膜结构。

#### 2.1.6 充气膜结构 air-supported membrane structure

利用充气方式使膜面内外产生压力差，从而保持稳定的膜面形态的膜结构。

#### 2.1.7 开合式膜结构 retractable membrane structure

利用机械方式使膜面开启和闭合的膜结构。

#### 2.1.8 张力膜结构 tensile membrane structure

由膜面与索通过施加预张力形成具有一定刚度的稳定曲面，从而能够承受一定外荷载的空间结构形式。

#### 2.1.9 索 cable

是钢丝绳以及平行线绞合钢丝束的总称，有时也指数根绳索或平行线绞合钢丝束构成的集束体。

#### 2.1.10 形状设计 form finding

根据建筑要求，寻找膜结构在预张力状态下的初始平衡形状的过程。

#### 2.1.11 荷载分析 loading case analysis

基于形状分析确定的初始平衡形状，对膜结构在可能的荷载作用下的受力性能进行计算分析的过程。

### 2.1.12 裁剪设计 cutting pattern

确定膜面上的裁剪线以及生成膜面上各个裁剪膜片的过程。

### 2.1.13 脊索 ridge cable

在膜脊处支承膜面的索称脊索。所谓膜脊是指不同区域膜面在较高位置上的交汇处。

### 2.1.14 谷索 valley cable

在膜谷处支承膜面的索称谷索。所谓膜谷是指不同区域膜面在较低位置上的交汇处。

### 2.1.15 柔性支承结构体系 cable-tensioned membrane structure

膜面支承于索结构，膜面与支承索结构共同作用的结构体系。

### 2.1.16 刚性支承结构体系 frame-supported membrane structure

膜面支承于钢、铝、混凝土等材料构成的框架上结构的结构体系。

### 2.1.17 混合支承结构体系 hybrid membrane structure

膜面支承于框架与索共同组成的结构上的结构体系。

### 2.1.18 连接 connection

膜片间和膜面与支承结构间的相互连接。

## 2.2 符 号

$S$ ——荷载组合设计值；

$G_k$ ——永久荷载标准值；

$Q_{ik}$ ——可变荷载标准值  $Q_{ik}$ ，其中  $Q_{1k}$  为诸可变荷载中起控制作用者；

$\gamma_G$ ——永久荷载的分项系数；

$\gamma_{Qi}$ ——第  $i$  个可变荷载的分项系数，其中  $\gamma_{Q1}$  为可变荷载  $Q_1$  的分项系数；

$\psi_{ci}$ ——可变荷载的组合值系数；

$n$ ——参与组合的可变荷载数；

$\sigma_{\min}$ ——各种荷载组合下主应力的最小值；

$\sigma_{\max}$ ——各种荷载组合下主应力的最大值；

$\sigma_p$ ——维持曲面的形状设计最小应力值；

$F_k$ ——膜材的抗拉强度标准值；

$f_y$ ——对应最大主应力部位的膜材强度设计值；

$f_k$ ——对应最大主应力部位的膜材强度标准值；

$\gamma_R$ ——膜面抗力分项系数；

$F_{m,i}$ ——膜材的初始预张力最小值；

$t$ ——膜材的厚度；

$f_y^c$ ——对应最大主应力部位的膜材连接部位强度设计值；

$f_k^c$ ——膜材连接部位强度标准值；

$F_k^c$ ——膜材连接部位的抗拉强度标准值。

$p$ ——空气支承膜结构中的内压值；

## 3. 材 料

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 膜材应根据建筑物的性质和等级、使用年限、使用功能、结构跨度、承受的荷载、防火要求、地区自然条件及对膜材的耐用年限等要求进行选择。

**3.1.2** 膜结构配件应根据膜结构的受力特点、使用要求、制作安装要求等因素进行选择。

### 3.2 膜 材

**3.2.1** 膜结构中使用的膜材，按所用材料和构造分为以下四类：

G 类，在玻璃纤维织物基材表面涂覆聚合物连续层的涂层织物；

P 类，在聚酯纤维织物基材表面涂覆聚合物连续层并附加面层的涂层织物；

eP 类，在膨体聚四氟乙烯纤维织物基布表面涂覆氟聚合物的涂层织物；

E 类，由乙烯和四氟乙烯共聚物制成的 ETFE 薄膜。

**3.2.2** G 类、P 类和 eP 类膜材的基材和涂层材料除应符合本规程规定外，尚应符合国家有关标准的规定。

**3.2.3** 设计时膜材的参数应包括基本质量、抗拉强度、断裂延伸率、弹性常数、泊松比、剪切模量和抗紫外线能力。膜材的参数应根据承包商提供并且经权威机构检测的产品性能报告确定。

**3.2.4** G 类、P 类、eP 类膜材的抗拉强度标准值应按上海市工程建设规范《膜结构检测技术规程》DG/TJ08-2019 规定的方法通过经向、纬向的单轴拉伸试验确定。

**3.2.5** G 类、P 类、eP 类潮湿时的抗拉强度标准值应达到正常时的 80%，G 类高温时的抗拉强度标准值应达到正常时的 80%，P 类高温时的抗拉强度标准值应达到正常时的 70%，eP 类高温时的抗拉强度标准值应达到正常时的 60%。G 类、P 类、eP 类膜材经向纤维方向与纬向纤维方向的抗拉强度差应小于 20%。

**3.2.6** E 类膜材的极限抗拉强度标准值、第一屈服强度标准值和第二屈服强度标准值可按表 3.2.6 采用，也可按附录 A 规定的试验方法确定。

表 3.2.6 E 类膜材第一、第二屈服强度及极限抗拉强度标准值 (N/mm<sup>2</sup>)

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

**3.2.7** G 类、P 类、eP 类膜材的断裂延伸率，经向纤维方向与纬向纤维方向应小于等于 35%。

**3.2.8** G类、P类、eP类膜材的弹性常数、泊松比、剪切模量可采用生产企业提供的数据或按上海市工程建设规范《膜结构检测技术规程》DG/TJ08-2019规定的方法确定。

**3.2.9** E类膜材的密度、弹性模量以及泊松比可按表3.2.9采用。

表 3.2.9 E类膜材密度、弹性模量和泊松比

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	弹性模量 (N/mm <sup>2</sup> )	泊松比
1.75	650	0.42

**3.2.10** G类、P类和eP类膜材的抗撕裂强度、抗剥离强度可采用生产企业提供的数值或按上海市现行规范《膜结构检测技术规程》DG/TJ08-2019规定的试验方法确定。抗撕裂强度不宜小于极限抗拉强度标准值 $\times 1\text{cm}$ 的7%，抗剥离强度不宜小于极限抗拉强度标准值的1%。

**3.2.11** 膜材的防火性能，应根据现行国家标准《建筑材料燃烧性能分级方法》GB8624进行测试并确定其防火级别。防火级别划分及检验方法应根据现行国家标准《建筑材料不燃性试验方法》GB/T5464、《建筑材料难燃性试验方法》GB8625、《建筑材料可燃性试验方法》GB8626、《建筑内部装修设计防火规范》GB50222的规定进行。

### 3.3 配 件

**3.3.1** 膜结构用拉索可采用钢丝束、钢绞线、钢丝绳、不锈钢缆绳或钢拉杆，其材质应满足设计要求与现行国家标准《建筑工程用索》JG/T330、《索结构技术规程》JGJ257和上海市标准《建筑用索应用技术规程》DG/TJ08-019的规定。

**3.3.2** 膜结构用合成纤维缆绳，其材质应满足设计要求与现行国家的有关规范、规程或标准的规定。

**3.3.3** 对不同的索应按有关国家标准进行试验。其抗拉强度、伸长率、屈服强度和化学成份必须有合格证和检验证书。

**3.3.4** 钢索的锚具应满足现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370的规定，并按现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ85和设计要求进行施工、验收。

**3.3.5** 夹具及连接件应能有效地传递膜材与索中的应力，并应避免应力集中现象。对采用铝合金、不锈钢材料和镀锌钢材的构件，其材料的选用与设计应符合现行国家的有关规范、规程或标准的规定。

**3.3.6** 钢结构与膜材的连接部件应采用不锈钢、铝合金、镀锌钢材制作。

**3.3.7** 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角螺栓》GB1228 规定的性能等级 9.8s 或 10.9s。

**3.3.8** 膜结构中所用的拉索、锚具、节点及夹具必须按现行国家标准及设计要求进行防腐处理。

### **3.4 支承结构**

**3.4.1** 膜结构中支承结构的取材应符合现行国家和上海市的有关规范、规程或标准的规定。

**3.4.2** 设计时应根据建筑物的使用要求，确定支撑结构的防腐、防火处理方法。

## 4. 设计一般规定

### 4.1 设计的基本原则

**4.1.1** 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用分项系数的设计表达式进行计算。

**4.1.2** 膜结构设计时，应根据结构的安全等级、设计使用年限确定合适的结构重要性系数。一般工业与民用建筑膜结构的安全等级可取为二级。当结构设计使用年限为 50 年时，结构重要性系数不应小于 1.0；当结构设计使用年限为 15~25 年时，结构重要性系数不应小于 0.95；当结构设计使用年限为 5 年时，结构重要性系数不应小于 0.9。

**4.1.3** 膜结构的设计应根据荷载、支承条件、制作加工、施工工况及其它特殊条件进行。

**4.1.4** 膜结构的设计应包括初始形态设计、荷载效应分析、裁剪设计、连接和配件设计、支承结构设计。

**4.1.5** 对膜结构的初始形态设计、荷载效应分析、裁剪设计、连接和配件设计、支承结构设计，应在考虑施工过程的基础上进行一体化的设计。

**4.1.6** 膜面的最大主应力应小于膜材的强度设计值，在长期荷载作用下，最小主应力应大于等于维持其初始平衡形状的应力值。

**4.1.7** 膜结构设计时，应考虑膜材的松弛、徐变和老化性能。

**4.1.8** 膜结构设计时，应考虑使用阶段膜材替换对整体结构的影响。

**4.1.9** 膜结构设计应考虑膜材破坏时，支承结构仍应保持自身的强度、刚度及稳定性。

### 4.2 荷载与荷载组合

**4.2.1** 膜结构设计时应考虑结构自重、初始预张力、内压、屋面活荷载、雪荷载、风荷载、施工荷载、地震作用、温度变化和支承结构变形等作用。膜结构的荷载除本规程有规定之外应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定采用。

**4.2.2** 膜结构设计应按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载组合，并取各自的最不利效应进行设计。按承载能力极限状态设计膜结构时，应考虑荷载的基本组合，必需时尚应考虑荷载的偶然组合。

**4.2.3** 对于可变荷载控制组合的设计值  $S$  按下式确定：

$$S = \gamma_G G_k + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} Q_{ik} \quad (4.2.3-1)$$

式中： $\gamma_G$ ——永久荷载的分项系数，当荷载对结构不利时取 1.2，当荷载对结构有利时取 1.0；

$\gamma_{Qi}$ ——第  $i$  个可变荷载的分项系数，其中  $\gamma_{Q1}$  为可变荷载  $Q_1$  的分项系数， $\gamma_{Qi}$  取 1.4；

$G_k$ ——永久荷载标准值；

$Q_{ik}$ ——可变荷载标准值，其中  $Q_{1k}$  为诸可变荷载起控制作用者；

$\psi_{ci}$ ——可变荷载的组合值系数按《建筑结构荷载规范》(GB50009)的规定采用；

$n$ ——参与组合的可变荷载数。

对于永久荷载控制组合的设计值  $S$  按下式确定：

$$S = \gamma_G G_k + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} Q_{ik} \quad (4.2.3-2)$$

**4.2.4** 膜结构设计时，风荷载可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB50009)的规定确定。当超出规定范围时宜作风洞试验和专门研究确定风载体型系数及风载分布。

**4.2.5** 膜结构设计时，雪荷载可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB50009)的规定确定，并应考虑雪荷载不均匀分布及局部积雪累加对结构的影响。当超出规定范围时宜作试验和研究确定雪载体型系数及雪载分布。

**4.2.6** 膜结构建筑外形采用双曲面时，宜根据曲面形状、曲率变化等对雪载分布作调整。

**4.2.7** 膜结构的膜面活荷载标准值可取  $0.3\text{kN/m}^2$ 。

### 4.3 建筑设计

**4.3.1** 膜结构的建筑外形除应满足建筑和规划要求外，还应通过膜结构形状设计来确定。

**4.3.2** 膜结构应根据防火等级和防火要求选用不低于 B1 级燃烧等级的建筑膜材，并根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016 与《建筑内部装修设计防火规范》GB50222 设置相应的防火措施；封闭式膜结构应选用燃烧等级为 A 的建筑膜材，也可通过专门的研究确定。

**4.3.3** 气承式、气肋式膜结构的防火措施应通过专门的研究确定；

**4.3.4** 骨架式膜结构的承重体系应根据现行国家标准进行抗火和防火措施设计。

**4.3.5** 膜结构建筑设计应设置合理的排水坡度和泄水位置，确保膜面确保排水顺畅和不形成

积水。在雪荷载较大的地区，应采用较大的膜面坡度和防积雪措施。

**4.3.6** 膜结构应根据建筑物的防水要求进行节点防水的构造设计。外露紧固件应采用不锈钢或铝合金材料和镀锌钢材。

**4.3.7** 膜片连接处应保持高度水密性，应进行抗剥离测试。膜片宜呈瓦片状排列，由高处膜片盖住低处膜片。

**4.3.8** 膜结构建筑设计应根据建筑物所在地域和使用特点采取有效的保温隔热措施，建筑物的室内温、湿度环境应符合现行国家标准《民用建筑设计通则》GB50352 和《民用建筑热工设计规范》GB50176 的规定。对室内湿度较大的建筑物，尚应采取防结露和冷凝水排除措施。

**4.3.9** 当有声学要求时，膜结构建筑设计应符合现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 的规定。

**4.3.10** 膜结构应根据使用功能要求进行采光和照明设计，并应符合现行国家标准《建筑采光设计标准》GB/T 50033 和《建筑照明设计标准》GB 50034 的有关规定。采光设计中可根据膜材透光的特点，合理利用自然光。当有专门要求时，尚应进行照明效果设计。热源照明灯具与膜面的距离不宜小于 1.0m。

**4.3.11** 膜材与建筑物内部、外部物体之间的距离，不应小于膜面在最不利工况下变形值的两倍。

**4.3.12** 对于气承式膜结构，除应满足本节上述各条的要求外，尚应符合下列规定：

1) 根据内部使用空间需要合理确定膜顶的高度，落地气承式膜结构矢跨比不宜小于 1/3，也不宜大于 2/3；无雪荷载或具有除雪或融雪设施的屋盖气承式膜结构，矢跨比可取 1/6 至 1/3 之间。

2) 应急出口的设置应满足国家现行建筑设计标准，并至少设置一个应急出口，其宽度不应小于 90cm。

3) 在所有的门上均应设置内外可视的观察窗。

4) 气承式膜结构风机应具有足够的送风量和风口压力，保证气承式膜结构从充气开始到最小工作内压所需时间小于 4 小时，保证需要时室内能达到最大工作内压。

5) 气承式膜结构应具有备用充气设备，包括风机、控制系统以及发电机，保证其中 1 台设备出现故障或突发停电时具有保持气承式膜结构稳定的充气能力。控制系统应采用互锁方式，保证正常使用设备出现故障后可以自动启动备用设备或发电机。

## 5. 结构设计

### 5.1 结构设计的基本原则

5.1.1 膜结构的形状设计应使膜面上的预张力自相平衡。

5.1.2 膜结构中膜面的荷载分析应采用非线性理论。各种荷载组合下产生的膜面任何点的最大主应力应满足下述条件：

$$\sigma_{\max} \leq f \quad (5.1.2.1)$$

$$f = \zeta \frac{f_k}{\gamma_R} \quad (5.1.2.2)$$

在荷载长期作用下产生的膜面任何点的最小主应力应满足下述条件：

$$\sigma_{\min} \geq \sigma_p \quad (5.1.2.3)$$

在荷载短期作用下产生的膜面任何点的最小主应力应满足下述条件：

$$\sigma_{\min} > 0 \quad (5.1.2.4)$$

式中： $\sigma_{\min}$ ——各种荷载组合下主应力的最小值；

$\sigma_{\max}$ ——各种荷载组合下主应力的最大值；

$\sigma_p$ ——维持曲面的形状设计最小应力值， $\sigma_p = \frac{F_{\min}}{t}$ ；

$f$ ——对应最大主应力部位的膜材强度设计值；

$f_k$ ——对应最大主应力部位的膜材强度标准值， $f_k = \frac{F_k}{t}$ ；

$F_k$ ——膜材的抗拉强度标准值；

$\zeta$ ——强度折减系数；对于 G 类、P 类膜材，一般部位取 1.0，节点和边缘部位取 0.75；对于由于强度不足而采用的双层膜材，需再乘以 0.9 的系数；对于 E 类膜材，取 1.0；

$\gamma_R$ ——膜面抗力分项系数；对于 G 类、P 类膜材，第一类荷载效应组合时，取 5.0；第二类荷载效应组合时，取 2.5；对于 E 类膜材，第一类荷载效应组合时，非空气支承式取 1.8，空气支承式取 1.4；第二类荷载效应组合时，取 1.2。见表 5.1.2-1；

$F_{\min}$ ——膜材的初始预张力最小值，见表 5.1.2-2；

$t$ ——膜材的厚度。

表 5.1.2-1 抗力分项系数  $\gamma_R$

荷载组合		抗力分项系数 $\gamma_R$
第 1 类	结构自重+屋面活荷载+初始预张力 (或内压)	5.0
	结构自重+雪荷载+初始预张力 (或内压)	
第 2 类	其它组合	2.5

备注：各类荷载组合中，对于张力膜结构应将初始预张力参与组合；对于各类充气膜结构，应将工作内压参与荷载组合；

表 5.1.2-2 膜材的初始预张力建议值

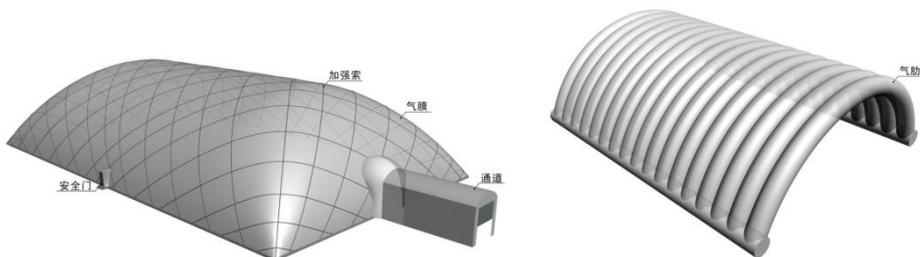
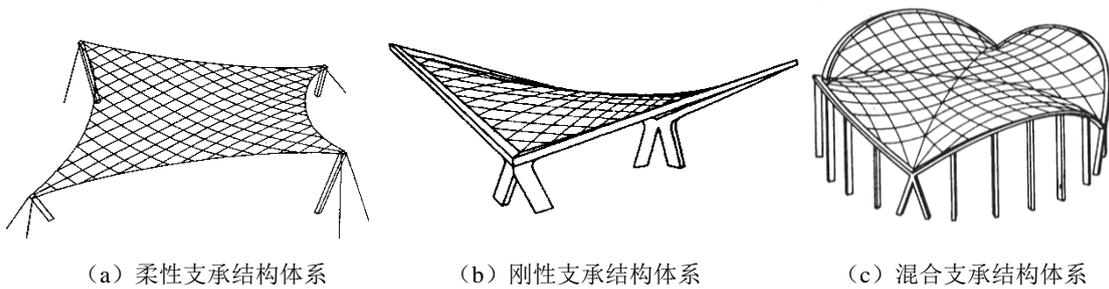
膜材	初始预张力建议值 (kN/m)
G 类膜材	2.0~6.0
P 类膜材	1.0~3.0
eP 类膜材	1.0~3.0
E 类膜材	0.7~1.2

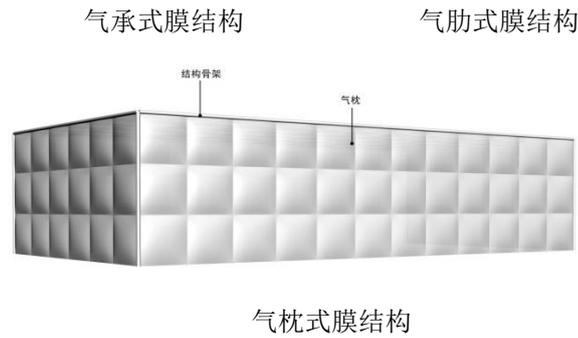
5.1.3 膜结构在设计时应按照初始平衡状态时膜结构的形状进行裁剪设计。裁剪设计结果应尽量使膜片所拼接成的膜面接近膜结构的初始平衡状态曲面。

5.1.4 设计膜结构时，应考虑支承结构对膜结构的影响。

## 5.2 结构体系

5.2.1 膜结构按支承条件分类为：柔性支承结构体系、刚性支承结构体系、混合支承结构体系、充气式膜结构体系，结构示意图见图 5.2.1。





(d) 充气式膜结构体系

图 5.2.1 膜结构体系分类示意图

**5.2.2** 膜结构体系由膜面、边索和脊索、谷索、支承结构、锚固系统，以及各部分之间的连接节点等组成，示意图见图 5.2.2 所示。

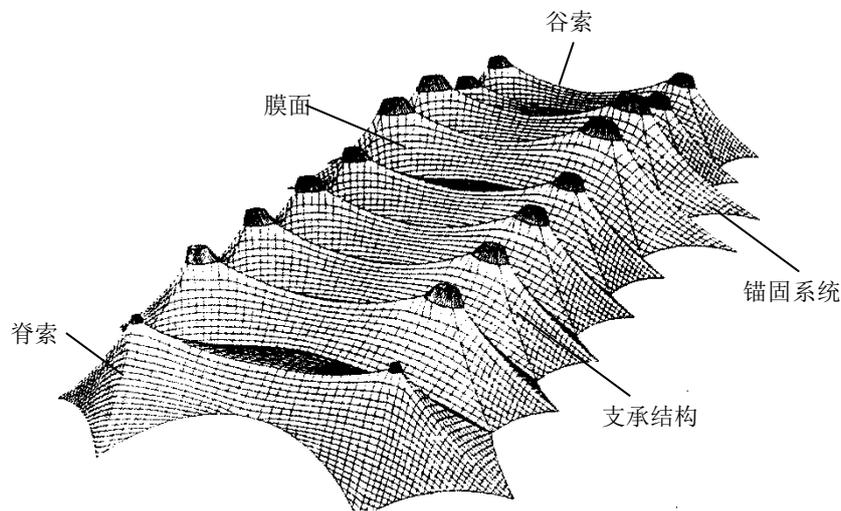


图 5.2.2 膜结构体系示意图

## 5.3 初始形态设计

**5.3.1** 膜结构的初始形态设计是指寻找平衡的膜面几何形状及其对应的预应力分布。应满足边界条件、抵抗外荷载作用、建筑造型和使用功能的要求；对于充气式膜结构尚应考虑正常工作气压的影响。

**5.3.2** 形状设计中，可将膜与刚性框架和基础的连接作为固定边界，但应考虑可动张拉点处的杆件或拉索与膜面的相互作用。

**5.3.3** 膜结构初始形态设计可采用数值分析法和物理成形法。

## 5.4 荷载分析

**5.4.1** 膜结构的荷载分析应在形状设计所得到的外形与初始应力分布的基础上进行，考虑可

能的各种荷载组合。当计算结果不能满足要求时，应重新进行初始形态设计。

**5.4.2** 对于刚性支承结构体系，可不考虑膜面和支承结构的协同作用。

**5.4.3** 对于柔性支承结构体系，应考虑索杆系统和膜面的协同工作。

**5.4.4** 对于混合支承结构体系，应根据具体情况决定结构计算模型。

**5.4.5** 对于充气式膜结构体系，应根据不同荷载类型采用不同的空气内压。

**5.4.6** 膜结构的荷载分析可采用基于连续化和离散化的理论，计算分析时应考虑结构的几何非线性。

**5.4.7** 计算膜结构的内力和位移时，应考虑风荷载的动力效应。对于形状较为简单的膜结构，可采用乘以风振系数的方法考虑结构的风动力效应。对刚性支承式膜结构，风振系数可取 1.2~1.5；对柔性支承式膜结构，风振系数可取 1.5~1.8。对于跨度较大、风荷载影响较大或重要的膜结构，应通过风洞试验或专门研究确定风荷载的动力效应。

**5.4.8** 按正常使用极限状态设计时，结构中膜单元内膜面的相对法向位移不应大于膜单元名义尺度的 1/15。

**5.4.9** 膜结构中的索和膜单元在长期荷载效应组合下均应处于受拉状态，在短期荷载效应组合下，可以部分退出工作但不应导致结构失效或连续性倒塌。

**5.4.10** 空气支承式膜结构在长期荷载效应组合下，可按内压不变进行非线性分析；在短期荷载效应组合下，气承式膜结构应按内压不变和内压变化两种工况进行非线性分析，气枕式和气肋式膜结构应按内压变化进行非线性分析。

## 5.5 裁剪设计

**5.5.1** 膜结构的裁剪设计是指在初始平衡空间曲面上确定膜面的裁剪线，将空间曲面划分为膜片并将其展开为平面形状。

**5.5.2** 膜结构的裁剪线确定可采用平面相交法和测地线法。

**5.5.3** 膜结构膜片的展开计算可采用网络线长度方差最小原则或网格面积方差最小原则。

**5.5.4** 膜结构在裁剪设计中必须考虑预张拉应力的影响，根据膜材的应力应变关系确定膜片的收缩量，对膜片的尺寸进行调整。

**5.5.5** 膜片设计时应预留搭接宽度，膜片的边界应进行光滑处理。

**5.5.6** 裁剪缝的设计宜考虑建筑美观性和膜材的利用率。

**5.5.7** 裁剪缝的设计应考虑膜材力学性能的正交各向异性，宜使结构主应力方向与织物纤维方向一致。

**5.5.8** 膜片与膜片之间的拼接宜采用径向拼接、纬向拼接、斜向拼接三种方法，不可采用径

向与纬向拼接。

## 6. 膜结构连接与节点的设计和构造

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 膜结构的连接节点包括膜片与膜片连接节点和膜面与支承结构连接节点。根据支承体系的不同,可分为膜面与柔性支承结构连接节点和膜面与刚性支承结构连接节点。按照所处部位不同,可分为中间节点和边界节点。

**6.1.2** 膜结构的连接构造设计应考虑结构的形状、荷载、制造、安装等条件,使结构安全、可靠、确保力的传递,并能适应可能的位移和转动。

**6.1.3** 形状设计与荷载效应分析时对节点所作的假定宜与实际构造相一致。节点设计和验算时应考虑计算时的各种简化的影响。

**6.1.4** 节点设计时宜考虑施加预张力的方式、支承结构安装允许偏差、膜材蠕变的影响、以及进行二次张拉的可能性等因素。

**6.1.5** 膜面与支承结构连接节点必须具有足够的强度和刚度,不得先于连接的构件和膜材而破坏,也不应产生影响受力性能的变形。

**6.1.6** 膜片连接处应保持高度水密性,应进行抗剥离测试,并应防止织物磨损、撕裂。连接处的金属构件应有防止腐蚀的措施。连接构造应充分考虑膜材蠕变的影响。

**6.1.7** 膜结构中拉索的连接节点、锚锭系统与端部连接构造应按现行国家标准《索结构技术规程》JGJ 257和上海市标准《建筑用索应用技术规程》DG/T J08-019的规定选用。

**6.1.8** 对于变形较大和存在频繁振动可能性的膜结构,宜采取螺栓防松防脱措施。

### 6.2 膜片连接的构造设计原则

**6.2.1** 膜片之间的主要受力缝应采用热合连接,其他连接缝可采用粘结或缝合连接。

**6.2.2** 膜片之间的热合连接可采用搭接或对接方式。搭接连接时,应使上部膜材覆盖在下部膜材上(图 6.2.2)。热合连接的搭接缝宽度,应根据膜材类别、厚度和连接强度的要求确定,对 G 类膜材不宜小于 50mm,对 P 类膜材不宜小于 25mm,对 E 类膜材不宜小于 10mm。

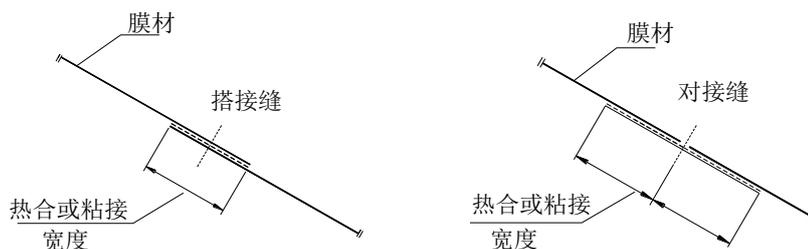


图 6.2.2 膜材的连接

- 6.2.3** 膜片连接处的膜材强度，应由制作单位工艺保证。必要时，应进行试验验证。
- 6.2.4** 膜片与膜片之间的接缝位置应依据建筑要求、结构要求、经济要求等因素综合确定。
- 6.2.5** 膜面的拼接纹路应根据膜材主要受力经纬方向合理安排，宜采用纬向拼接、经向拼接和树状拼接三种方法。
- 6.2.6** 屋面膜片宜搭接，搭接接缝应考虑防水要求。
- 6.2.7** 膜单元之间的连接可采用编绳连接（图 6.2.7(a)）、夹具连接（图 6.2.7(b)）或夹板连接（图 6.2.7(c)）。

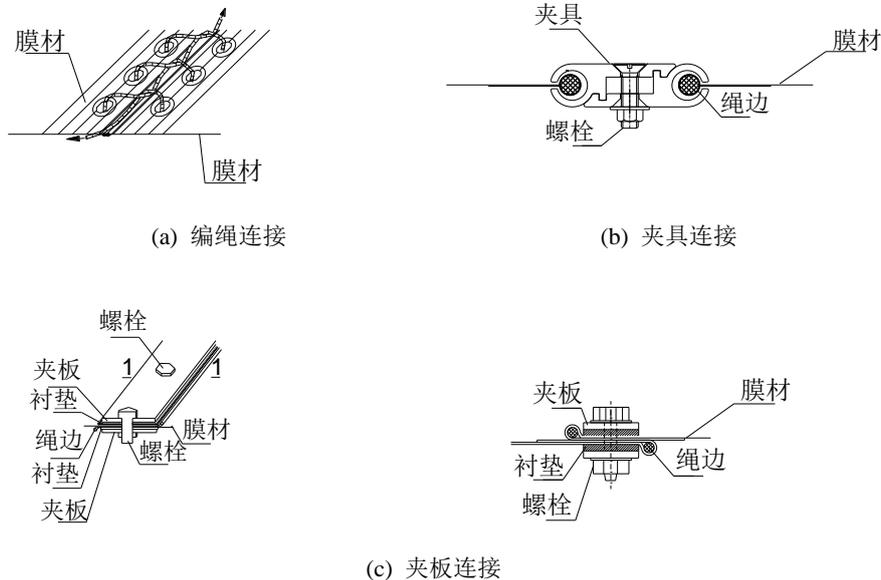


图 6.2.7 膜单元的连接

**6.2.8** 接缝数量宜少。接缝附近和可能产生应力集中的部位宜用斜向增强片进行加强。避免接缝的交叉和叠合。

### 6.3 膜面与支承结构连接的构造设计原则

**6.3.1** 膜结构中的夹具应使膜面的应力均匀地传递而不产生应力集中。膜面夹具系统应能承受膜面上的设计应力，不能发生扭曲变形。夹具与膜面之间需辅以衬垫，并应连续安全地夹住膜材边缘，与膜面之间需辅以衬垫，见图 6.3.1。设计夹具系统时，夹具系统承受的应力应满足下列要求：

- 1 承受已确定的膜面上的设计应力。
- 2 承受来自单边的膜面应力。

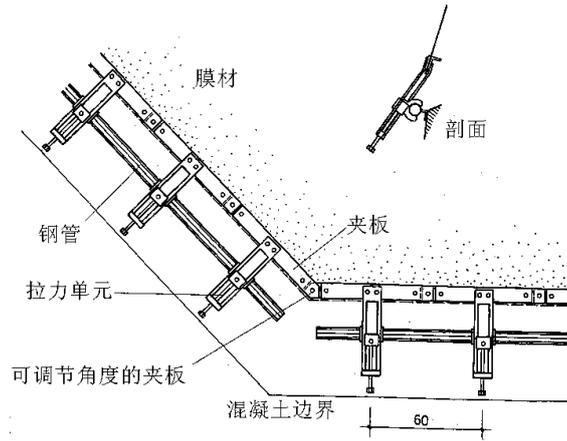
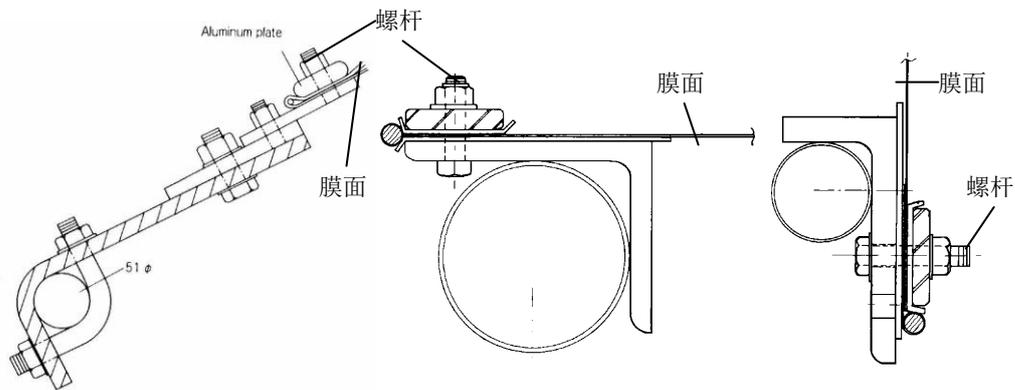
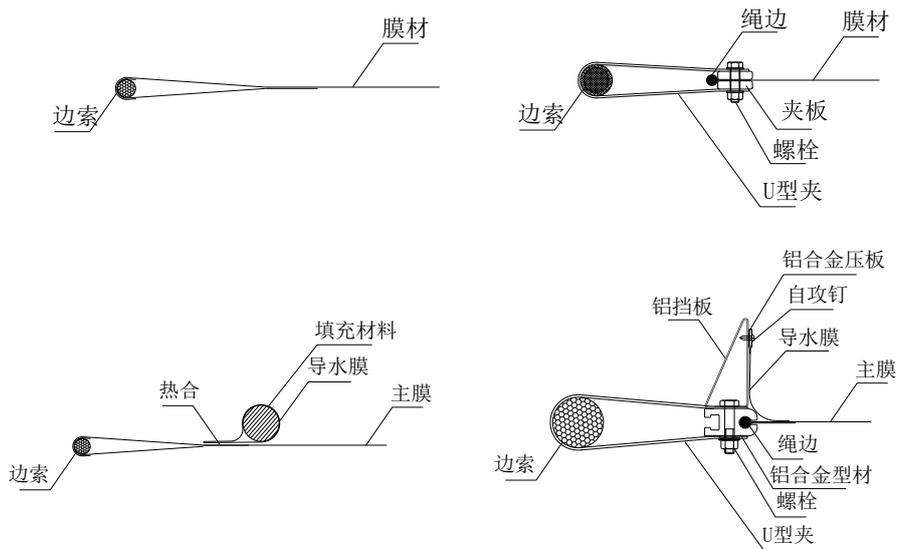


图 6.3.1 边缘构件夹具系列示意图

**6.3.2** 膜面边缘与支承结构边缘之间的连接可采用绳边和夹具，绳边夹在夹具之间。夹具宜用铝合金材料或镀锌钢板制成。紧固件宜用不锈钢材料或镀锌钢板。见图 6.3.2。



(a) 与支承边缘刚性连接



(b) 与支承边界柔性连接

图 6.3.2 与边缘构件典型连接示意图

**6.3.3** 当膜面依靠钢结构或索支承时，宜将膜片间的接缝设置在这些支承部件的位置，以减

小对视觉效果的影响，见图 6.3.3-1。如果索比较小，则应在膜材与索或钢构件之间设耐磨的衬垫，见图 6.3.3-2。裸露的索可设置涂塑层或加上保护套后使用。

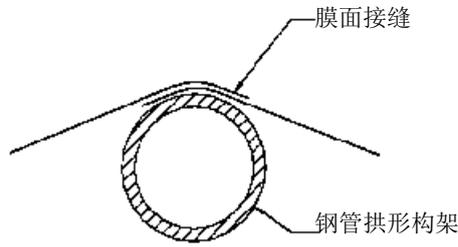


图 6.3.3-1 覆在钢结构上的膜面接缝示意图

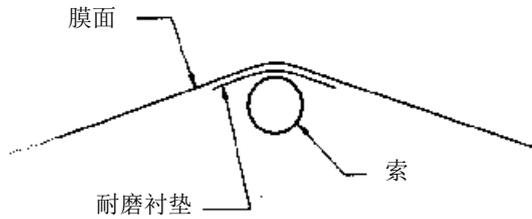


图 6.3.3-2 覆在索上的膜节点构造示意图

**6.3.4** 在膜脊处可以采用膜材分片与不分片两种构造做法，分别见图 6.4.1-1 和图 6.4.1-2。

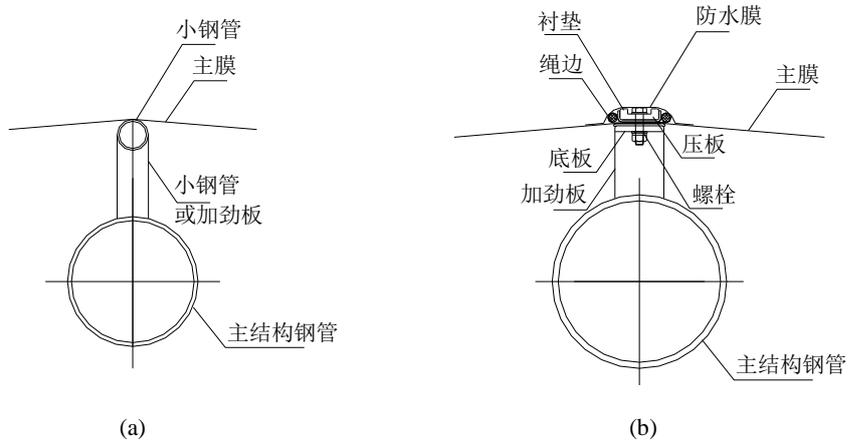
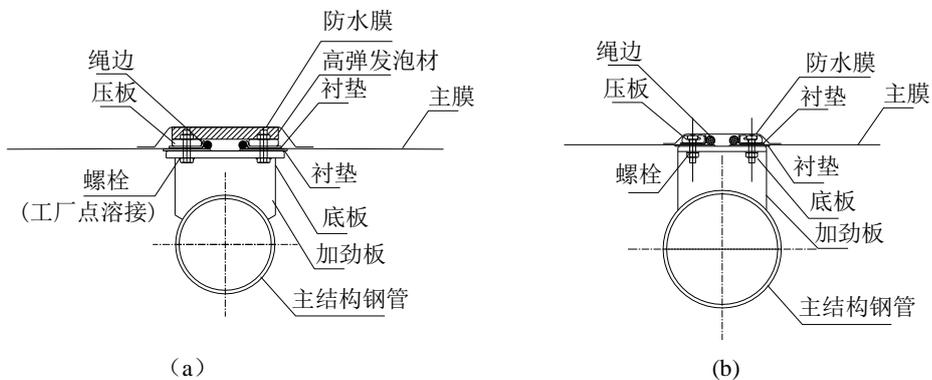
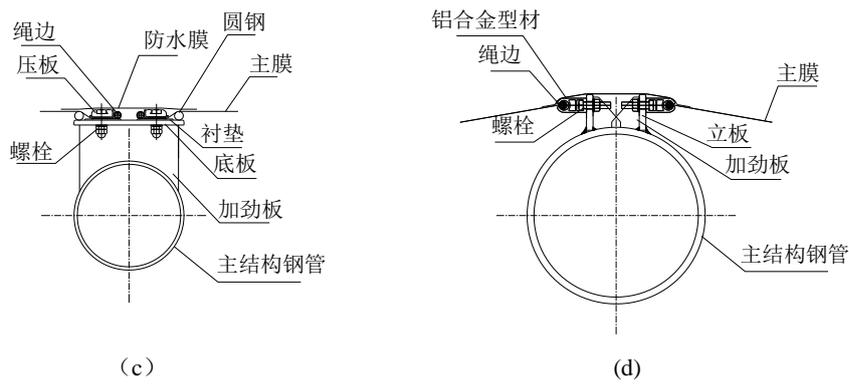


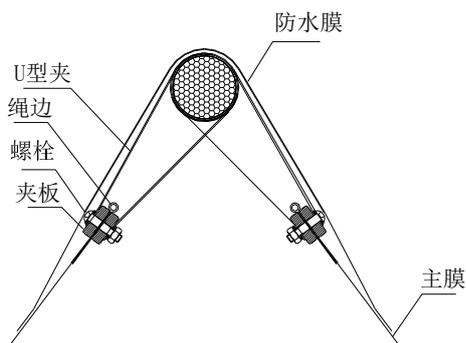
图 6.3.4-1 膜材在膜脊处不设分片的连接





(c)

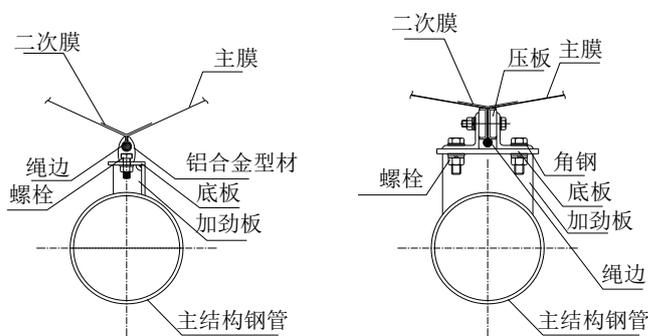
(d)



(e)

图 6.3.4-2 膜材在膜脊处设分片的连接

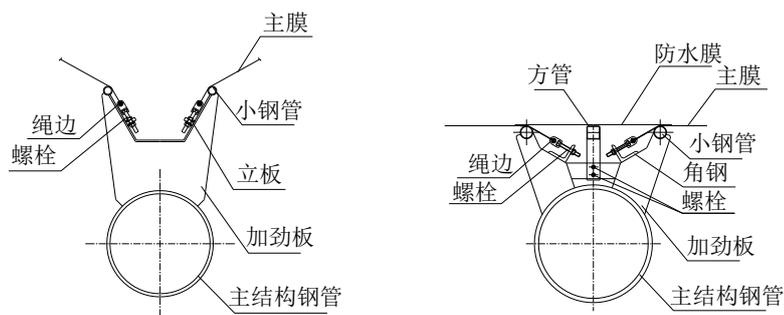
6.3.5 膜片在膜谷处分片与不分片可分别采用图 6.3.5-1 和图 6.3.5-2 所示构造。



(a)

(b)

图 6.3.5-1 膜谷处不设分片连接构造



(a)

(b)

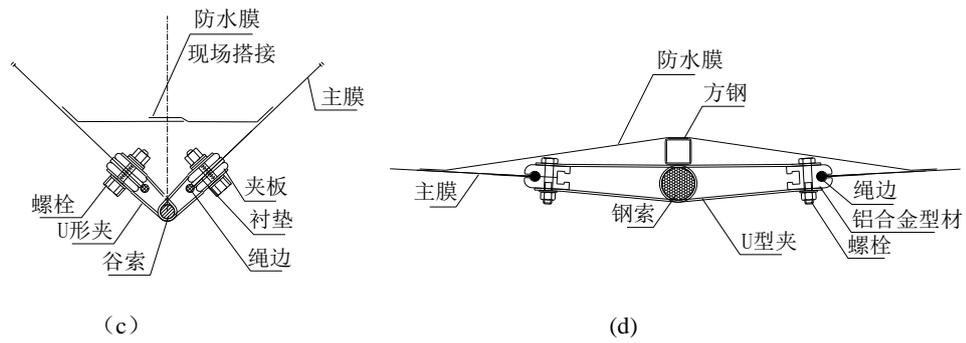


图 6.3.5-2 膜谷处设分片连接构造

**6.3.6** 膜结构桅杆顶部可采用图 6.3.6 所示构造。大中型膜结构锥顶可以套管钢管作为膜连接主体，由螺杆张拉并调节（图 6.3.6 (a)）；小型膜结构锥顶可采用螺栓分级改变高程（图 6.3.6 (b)）。

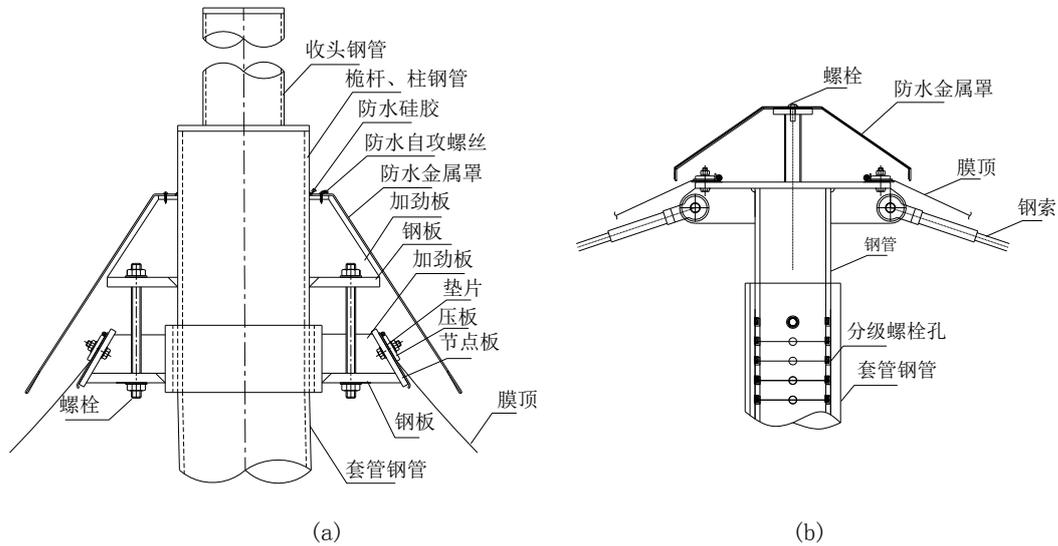


图 6.3.6 膜结构桅杆顶部构造

**6.3.7** 膜材在贯穿处的连接可采用图 6.3.7 所示构造，其中防水膜采用自攻钉将角钢与立板固定后用耐候胶封闭防水。

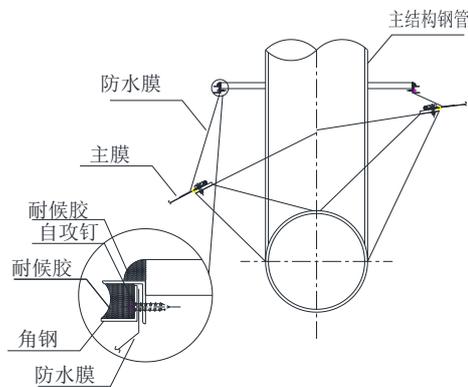


图 6.3.7 膜材在贯穿处的连接

6.3.8 膜材与溢流口的连接可采用图 6.3.8 所示构造。

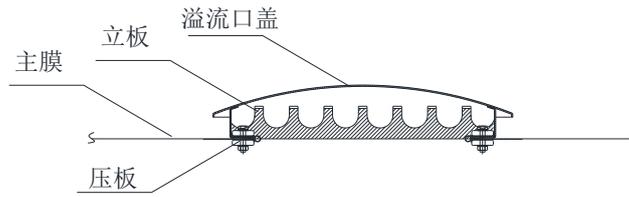


图 6.3.8 膜材与溢流口的连接

6.3.9 多向钢索之间可采用连接板连接（图 6.3.9）。钢索轴线应汇交于一点，避免连接板偏心受力。

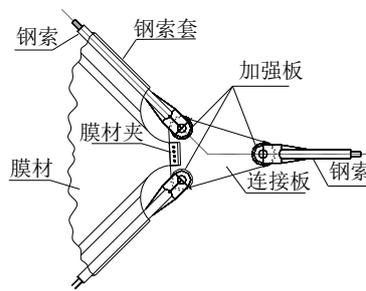
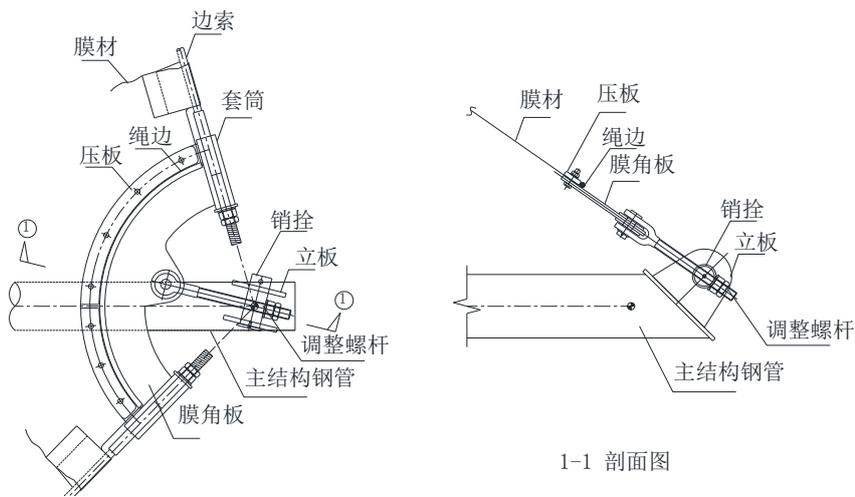
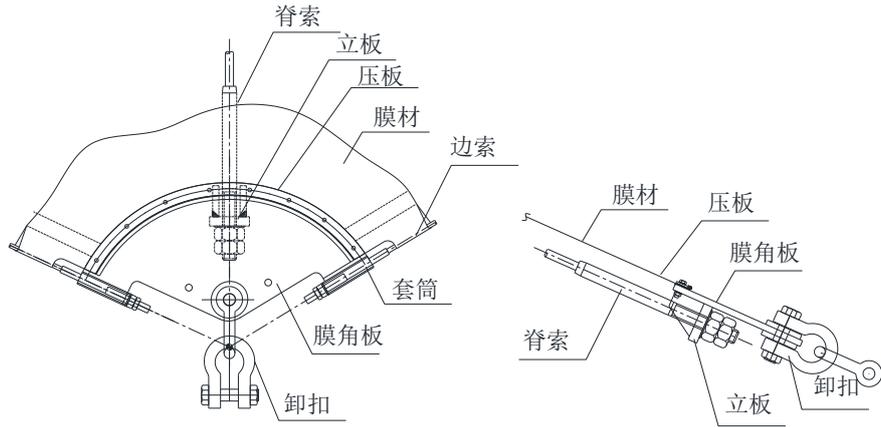


图 6.3.9 多向拉索的连接板连接

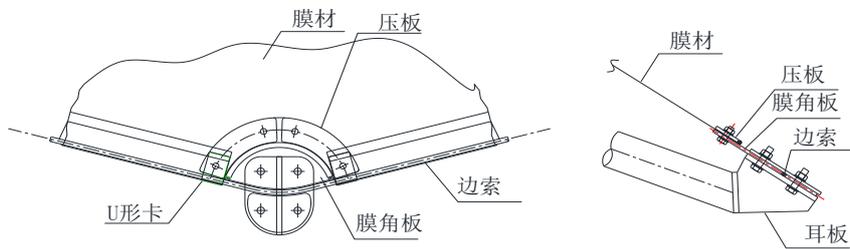
6.3.10 膜材在角部的连接可采用图 6.3.10 所示构造。钢索在角部分段时可以设置膜角板，利用调整螺杆调整膜角板的位置（图 6.3.10 (a)）；钢索在角部不分段时可以设置固定板将钢索夹在固定板与基座之间（图 6.3.10 (b)）；大型结构的膜角可采用可调钢拉棒通过连接板与耳板连接（图 6.3.10 (c)）。



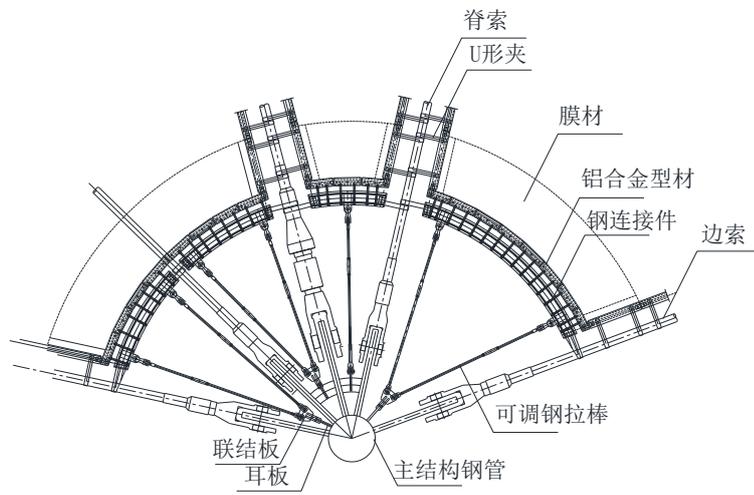
(a)



(b)



(c)



(d)

图 6.3.10 膜材在角部的连接

6.3.11 网格膜材与 LED 的连接可采用图 6.3.7 所示构造。

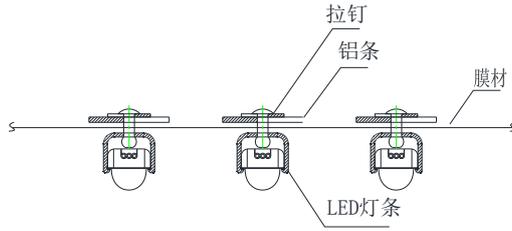


图 6.3.11 网格膜材与 LED 的连接

**6.3.12** ETFE 气枕与刚性边界的连接可采用图 6.3.12 所示构造。ETFE 气枕的外周边界宜贯穿在边界铝挤型中，对于水密性要求较高的项目，宜采用水槽边界。需要考虑防止鸟类爪喙破坏 ETFE 时，尚须设置防鸟支架及防鸟钢丝（图 6.3.12 (a)）；需要考虑防结露措施时，可采用带有冷凝水槽的节点（图 6.3.12 (b)）。

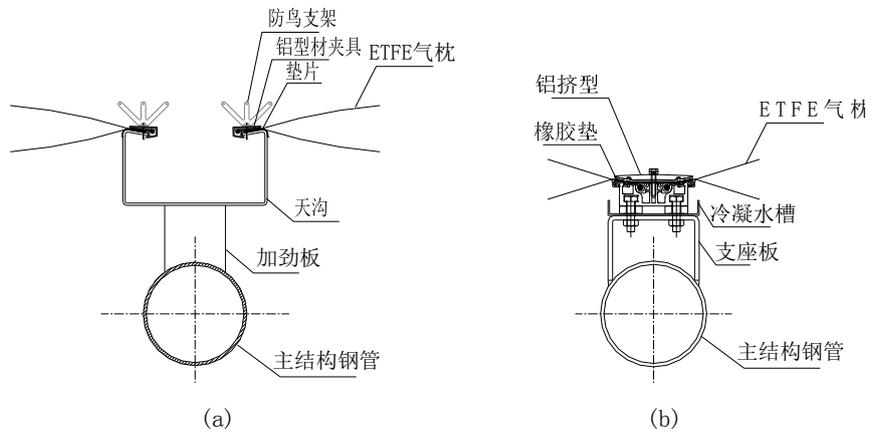


图 6.3.12 ETFE 气枕与刚性边界的连接

**6.3.13** 气承式膜结构中，膜材的周边可采用图 6.3.13 所示的连接方式。

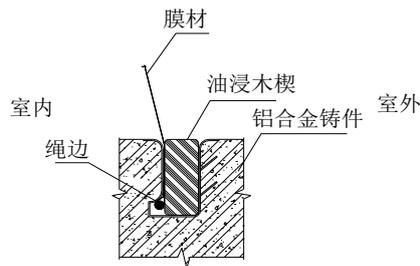


图 6.3.13 气承式膜结构的周边连接

**6.3.14** 气承膜式结构气密室出入口与膜材间连接时应加设膜材过渡区（图 6.3.14）。

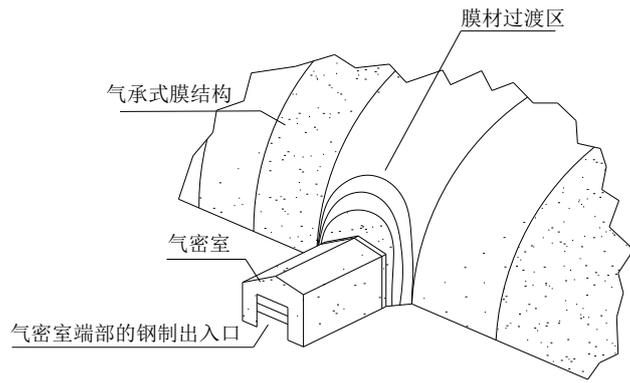


图 6.3.14 气密室出入口处理

## 7. 膜结构的制作与安装

### 7.1 膜结构制作技术要求与条件

**7.1.1** 膜结构制作应在专业化工厂进行，应具备洁净、干燥、避免阳光直射的环境条件，应具备膜的制作专用设备和专用车间，对于 G 类和 P 类膜材，室内工作温度应保持在 5~30℃ 范围内；对于 E 类膜材，裁切和熔接车间工作温度应保持在 15~30℃ 范围内。同时应避免热源对膜材的热辐射影响。

**7.1.2** 膜结构制作应具备专业工艺流程、必要的裁剪、热融合设备及测试设备。

**7.1.3** 制作膜结构所使用的测试设备、工具、所用量具应按国家有关规定，经计量鉴定合格，量具应一次标定。

**7.1.4** 膜结构加工操作人员必须经过专业培训，明确其岗位及技能要求。

**7.1.5** 膜结构的制作分为膜片的裁剪、连接、节点制作、配件的制作加工、包装、运输。制作应符合以下工艺流程：膜材验收，技术参数的确定，膜片的裁剪，裁剪膜片的几何尺寸的检验，膜片的连接，连接强度的检验，膜体的几何外形的检验，连接件定位固定，膜体的清理，膜体的包装，标记。

**7.1.6** 膜结构的制作应编制工艺设计文件，内容应包括：膜材检验，设备及量具检验，裁剪膜片的确定，裁剪方法，张拉伸长量的预调整，制作质量标准、工序兼验收方法，包装及运输。

### 7.2 膜结构的材料检验

**7.2.1** 膜结构制作前必须对所用膜材料及配件按设计和工艺要求进行检验。

**7.2.2** 检验对象应包括下列的材料及零部件：膜材、索、五金件、缝制线等。

**7.2.3** 检验内容应包括：外观检查、尺寸检查、材性检查。

**7.2.4** 检验方法：验审供货商提供的质保书及材料性能表；按批量进行抽样复验。膜材的力学性能、非力学性能的复验按每批膜材、每种复验项目抽样一组，每组五个试件。

### 7.3 膜的裁剪、连接和节点制作

**7.3.1** 进行裁剪前应验证膜材的生产批号、出厂合格证明及有关的复验合格报告。同一单体膜结构的主体宜使用同一批号生产的膜材。

**7.3.2** 裁剪设计软件提供的裁剪图应根据材性试验的结果由设计进行调整。

**7.3.3** 裁剪膜片时，应避开原膜材的织造伤痕、纱结及其它疵点。

**7.3.4** 在裁剪作业中，不得发生折叠弯曲的现象。

**7.3.5** 膜片搭接次序应根据裁剪设计的要求来确定。

**7.3.6** 裁剪操作应严格按照裁剪下料图进行。对裁剪后的膜片和热合后的膜单元应分别进行检验和编号，作出尺寸、位置、实测偏差等的详细记录。10 米以下膜片各向尺寸偏差不应大于±3mm，10 米以上膜片各向尺寸偏差不应大于±6mm。热合后的膜单元，周边尺寸与设计尺寸的偏差，不应大于 1%。（修改，增加）

**7.3.7** 膜片的拼接应保证接缝的强度要求、防水要求。P 类、G 类、eP 类膜材热合处的抗拉强度不低于母材强度的 80%，E 类膜材热合处的极限抗拉强度不低于 30MPa。

**7.3.8** 采用热融合法拼接应根据不同膜材类型确定热融合温度，还应避免过热烫伤，并严格控制热融合中产生的收缩变形，确保膜片、膜面平整。

**7.3.9** 在热融合加工时，不应让尘埃、垃圾等污物沾附在膜材料上。

**7.3.10** 热融合加工时，热融合部不得出现明显厚薄不均。

**7.3.11** 热融合作业中的热融合温度、热融合压力以及热融合时间，应根据工艺设计和设备调试定好参数。

**7.3.12** 缝制应做到缝制宽度、针幅等均一。严禁发生跳缝、脱线等现象。同时应避免缝制中引起膜片的扭曲、皱纹等现象。

**7.3.13** 附属部件的安置应根据图纸和裁剪尺寸等正确安装。开孔应采用开孔夹具，不得有卷曲、歪斜等现象。打扣眼时，不得有脱落，裂纹。

**7.3.14** 有特殊要求的膜片连接可考虑现场加工制作，并制定相应工艺要求确保质量。

## **7.4 制作成品膜体的包装和运输**

**7.4.1** 经过成品检查合格后的膜体，在包装前膜面应清洗干净。包装时不得污染和损坏，且应编号入库。

**7.4.2** 膜体打包时，宜包上缓冲材料以防止对膜体造成折弯、压坏等损伤。G 类膜材料宜采用芯棍，以卷的方式打包，芯棍的直径应不小于 100mm；对于无法卷成滚筒状的制品，应在各折叠处充填缓冲材料，折叠处弯曲半径不宜小于 50mm。

**7.4.3** 加工完成的膜体，应根据膜材特性确定包装方式。对不适合折叠的立体膜体应在膜体内衬填软质填充物后再包装。

**7.4.4** 在运输中为防止附属品和小型零件丢失，宜将其整理成包装袋，安放在硬纸箱内固定于运输工具上。

**7.4.5** 在运输前，宜在产品外包装件上粘贴产品标签。产品标签应记入包装内容及膜体折叠

方式与展开方向。

**7.4.6** 膜体成品在堆放、装卸、运输过程中不得碰撞损坏，宜用防尘布进行遮盖，底部应铺设隔离垫层。

**7.4.7** 包装好的膜体成品应放在指定地点，定期进行检查。出厂前还应进行复查，确定型号、数量是否正确、外包装是否破损，发现不符合的情况，要开包确认产品的状况，若质量受影响必须与有关方面共同协商后，根据协商结果进行修整。

**7.4.8** 运输过程中不得出现膜体的挤压、弯折、破损。包装及运输应考虑安装次序。

## **7.5 膜结构的安装施工准备**

**7.5.1** 膜结构工程安装前，应按膜结构设计图、安装工艺流程和工程特点来编制施工组织设计文件。

**7.5.2** 安装应符合以下工艺流程：检查膜体的出厂报告及质量保证书，支承结构及预埋构件的质量检验及校正，铺展膜体和膜体的连接件的安装及校正，按设计要求张拉膜体形成膜面，并按设计要求施加预张力，膜面与支承结构固定，检验连接件及连接节点，对完成的膜结构进行检测和记录。

**7.5.3** 施工安装前，应对膜体及零配件的出厂报告、产品质保书、检测报告以及品种、规格、色泽、数量进行验收。安装前应检查项目：

- 1 膜体外观质量应无破损、无明显折痕、无难于清除的污垢及无明显色差。
- 2 膜体上所有的拼缝及结合处无裂缝、无分离剥落及无明显皱折。
- 3 螺栓、垫圈及铝合金、不锈钢压条无拉伤和锈蚀。
- 4 索、锚具无涂层破坏及锈蚀，缆绳无污损。

**7.5.4** 支承构件防锈面漆、防火涂层在施工前，必须将支承骨架与膜面的连接部位以圆角处理打磨光滑，确保连接处无毛刺、棱角。膜体安装前，支承骨架应已完成防锈、防火涂层的施工工作，以免污染膜面。

**7.5.5** 工程现场的膜体堆放时应采取保护措施，保证安全，防止膜体污损。

**7.5.6** 膜的紧固夹板在安装前必须倒角打磨平整，不应有锐角锐边。螺栓不应有飞刺。所有与膜体接触的金属件不应有尖锐棱角。

**7.5.7** 膜面展开时，应采取有效的保护措施以保护膜材不受损伤。

**7.5.8** 空气支承式膜结构安装前，供气设备必须到场，现场必须具备永久的独立电源。供气设备应放置于通风、洁净的场所。

## 7.6 膜的安装

**7.6.1** 膜结构的安装包括膜体展开、连接固定和张拉成形三个步骤。

**7.6.2** 膜结构安装时，应在膜面安装区域设置安全网，作业人员必须系安全带。在安装过程中，作业人员在膜面上行走时应穿软底鞋，安装工具等硬物应妥善放置在工具包内。

**7.6.3** 膜结构的安装宜在风力不大于四级、温度不大于 40 度的情况下进行。在安装过程中应充分注意风速和风向，避免发生膜面颤动引发的险情。发生强风时，应中止作业，并采取安全防护措施。

**7.6.4** 膜结构安装过程中不应发生雨水积存现象。同时应根据降雨的程度决定作业的中止和继续。

**7.6.5** 张拉时应根据材料的特性和工程特点，确定分批张拉的顺序、量值和速度。对膜施加预张力应分步进行，各步的间隔时间不宜大于 24h。

**7.6.6** 当下道工序或相邻工程开始施工时，对膜结构已完成部分必须采取保护措施，防止损坏。无有效保护措施时，严禁在膜材周边 3m 范围内做焊接、切削作业。

**7.6.7** 膜体安装过程中必须做好成品保护，不应损坏膜面。膜面与支承结构之间必须设隔离层，不得直接接触。

**7.6.8** 膜面展开前应首先安装辅助张拉的夹板，夹板的间距不应大于 2m，根据膜结构的跨度大小和膜材的特性，调整夹板中心的间距，夹板的螺栓、螺母必须拧紧到位。

**7.6.9** 固定边界安装到位后，边绳应挨在压膜板侧面。当边绳与压膜板间距大于 5mm 时，应采取调整或修改措施，避免在使用中，螺栓撕裂膜材。

**7.6.10** 膜结构脊索、谷索的安装应按施工组织设计要求进行。在膜结构安装过程中在脊索、谷索安装之前宜采用临时脊、谷揽风绳，以防止未完工膜结构在风载下产生过大晃动。

**7.6.11** 膜结构的脊索、谷索其锚头的组装必须严格按工艺标准执行，脊索、谷索应张拉到位。对有控制要求的张力值应作施工记录，对无控制要求的应作张拉行程记录。

**7.6.12** 对于 ETFE 气枕膜结构，每个气枕安装完成后，应及时进行充气。

**7.6.13** 空气支承膜结构充气前，应检查膜单元安装固定情况，确保所有边界及连接节点满足设计要求，并应对充气设备及相关配套设施进行安装调试，合格后方可进行充气。充气过程中应对膜体形态及膜体内气压进行持续检测，直至达到设计形态。

## 7.7 安装质量要求

**7.7.1** 膜面不得有渗漏现象，无明显褶皱，不得有积水。

**7.7.2** 膜面表面应无明显污染串色。

**7.7.3** 连接固定节点应紧密牢固、排列整齐。

**7.7.4** 无超张拉现象，膜面匀称，色泽均匀，排水通畅，封檐严密。

**7.7.5** 安装过程中局部拉毛蹭伤大小不大于直径 20mm，且每单元膜体不应超过 2 个。对膜体破损可在现场暂时修补，修补应采用专用工具和工艺进行。对不影响安全、美观的 P 类或 G 类膜材破损可将暂时性修补作为永久性修补；对 E 类膜材或影响安全、美观的 P 类、G 类膜材破损应作永久性修补，其要求应由业主、设计、施工三方协商决定。并作竣工验收的档案。

## 7.8 保护清洁

**7.8.1** 膜结构的所有部分在安装完毕后应清洁干净，并做好成品保护。

**7.8.2** 膜面不得接触任何对膜面有损的化学试剂，清洁时应使用膜材供应商许可的、安全性好的专用清洁剂。

## 8 工程验收

### 8.1 基本规定

**8.1.1** 膜结构作为子分部工程，应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 和本规程的规定，按制作分项工程、安装分项工程，每个分项工程按具体情况可划分为一个或若干个检验批，分别进行工程验收。与膜结构相关的钢结构分项工程的验收，应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 执行。与膜结构相关的索结构分项工程，应按现行国家行业标准《索结构技术规程》JGJ257 执行。

**8.1.2** 膜结构（含钢、索结构）竣工验收时应具备下列资料：

- 1 施工图、膜体安装图、竣工图，图纸会审记录，设计变更文件，使用软件名称。
- 2 制作工艺设计，施工组织设计（方案），技术交底记录，膜结构使用保养维护手册。
- 3 材料出厂质量证明文件和复验报告。包括：膜材、索具、紧固件、成品质量合格证明文件、性能检测报告；
- 4 加工检查记录，施工检查记录，现场质量管理检查记录，隐藏工程验收记录，钢索张力值记录，膜单元张拉行程记录，不合格项的处理记录及验收记录，重大质量、技术问题实施方案及验收记录，其他有关文件和记录。
- 5 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录，有关观感质量检验项目检查记录，分部工程所含各分项工程质量验收记录，分项工程所含各检验批质量验收记录。

### 8.2 膜结构制作分项工程

#### 8.2.1 主控项目

- 1 膜结构用膜材必须有材料供应商提供的产品质量保证书和检测报告。
- 2 膜材裁剪前，应有制作方的复测报告，并由设计单位根据不同材料和工程的要求提出复验内容。
- 3 膜结构用零部件等金属连接件应采用可靠的防腐蚀措施，在支承构件与膜材的连接处不得有毛刺、尖角、尖点。必须提供产品质量合格证明文件。
- 4 支承结构必须符合相应规范和设计要求。
- 5 膜片连接部分必须进行抗拉强度测试。测试要求由设计单位提出，宜在同一连接方法同一工艺同一批次中抽验 5% 且不少于 3 件。检验方法：拉力测验。

### 8.2.2 一般项目

1 裁剪后的膜片外观质量应无明显串色、无明显褶皱、无划伤、无污渍、无疵点。检验方法：人工目测或专用仪器，制作中应 100% 检验，验收时应按 10% 抽样且不应少于 3 个膜片。

2 膜片的连接部分外观应接缝宽度均匀、接合膜面平整、线条清晰，缝制时针脚均匀无脱针、跳针。检验方法：人工目测，制作中应 100% 检验，验收时应按 10% 抽样且不应少于 3 个膜片。

## 8.3 膜结构安装分项工程

### 8.3.1 主控项目。

1 安装完成的膜结构不应有渗漏现象，不应有积水，膜面无明显褶皱。检验方法：目测、自然淋水或局部淋水试验。

2 安装完成的膜结构膜面破损处的修补应符合 7.7.5 条的规定。检验方法：目测。

3 膜体张拉和膜连接点应符合设计要求，膜片与膜片连接部位缝线无脱落、断线，热融合粘接处无起壳、剥落。检验方法：目测和人工检测。

4 所有连接件、紧固件保证安全、合理、美观具有足够的强度、刚度和耐久性，并符合设计要求。检验方法：实验机检测。

5 空气支承膜结构应进行充气系统测试：气流损失不大于设计值，最大静内压不大于最大工作内压设计值，压力控制系统按设计运行。有条件时，尚可进行除雪系统和紧急后备系统的测试。并提供充气设备的合格证明，结构在常规和紧急情况下的操作和维护手册。检验方法：人工检测、常用工具检测。

6 膜结构安装后，应根据上海市工程建设规范《膜结构检测技术规程》DG/TJ08-2019 的相关规定进行膜面应力测试。

### 8.3.2 一般项目。

1 安装完成的膜面无明显污渍、串色。局部拉毛应符合 7.7.5 条的规定。检验方法：人工检测。

2 膜面排水坡度、排水沟槽、檐口设置应符合设计要求，排水顺畅。检验方法：人工检测、自然淋水或局部淋水试验。

## 9. 维修和保养

**9.0.1** 膜结构保养和维修应由承包商会同材料供应商和制作安装单位、设计单位提供保养维修手册，其保养维修工作应委托专业公司专业队伍进行。保养维修手册的基本内容包括但不限于以下内容：

- 正常使用条件及要求
- 业主、承包商的责任义务
- 关键检修保养项目
- 材料、工具
- 安全注意事项

**9.0.2** 膜结构的保养和维修应按承包商提供的单项工程维修保养手册进行，承包商应就其要求向业主方或管理方说明和指导。对于重大膜结构工程，宜进行全生命周期的健康监测。

**9.0.3** 维修管理责任方必须对维修保养计划书、检修记录、检修报告书、修改记录的文档进行保管。

**9.0.4** 工程用的所有紧固件如螺栓、索具、锚具等连接件不得随意转动，工程竣工后满 6 个月时，应检查其使用状态，若有松动应予以拧紧加固。

**9.0.5** 膜结构的清洁应按 7.8.2 条的规定进行。

**9.0.6** 专业管理人员应在每年雨季、冬季前进行屋面检查、清理，防止防水节点松脱，水落口、天沟、檐口堵塞，保持屋面排水系统畅通。

**9.0.7** 根据膜材料的有效使用年限应及时进行替换。

**9.0.8** 膜结构建筑物的全部检修保养项目应包括膜面的形状、变形、初期张力状态、全部或局部的褶皱、破裂和断裂。

**9.0.9** 膜材料的检修项目见表 9.0.9 规定。

表 9.0.9 膜材料的检修项目

检修部位 检修项目	主体膜	防水膜	补强带	密封橡胶	保护层橡胶
污染	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
破裂、断裂	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
剥落	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

连接部剥落	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
裂缝	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
起泡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
漏水	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
磨损	<input type="checkbox"/>				
松弛	<input type="checkbox"/>				
霉变	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
老化	<input type="checkbox"/>				

9.0.10 索、安装用五金件的检修项目见表 9.0.10 规定。

表 9.0.10 索、安装用五金件的检修项目

检修部位 检修项目	索	索护套	端部五金件	可调接头	铝合金型材	螺栓、螺母	索圈
霉变		<input type="checkbox"/>					
松弛	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
损伤	<input type="checkbox"/>						
磨损	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
变形	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
污垢		<input type="checkbox"/>					
破断	<input type="checkbox"/>						
老化		<input type="checkbox"/>					
渗漏		<input type="checkbox"/>					
锈蚀	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9.0.11 充气膜结构的检修保养尚应包括以下项目：

- 充气设备的除湿、滤尘效果
- 各类传感器（气压、风速、湿度等）的灵敏度
- 充气管道的密封性能

9.0.12 检验方法为目测、测试和试验三种。

**9.0.13** 维修管理责任方必须通过日常检查确认膜体等是否处于正常状态,主要检查项目应包括膜面形状有无较大变形和膜体是否破裂、膜材涂层是否剥落。

**9.0.14** 维修管理责任方应在强风、降雪等恶劣天气过后,检查膜结构建筑物有无异常。

**9.0.15** 维修管理责任方应在竣工一年后每隔三年或按维修保养手册要求的时间间隔定期检修。

## 附录 A 试验确定 E 类膜材屈服强度及弹性模量的方法

A.0.1 检验 E 类膜材屈服强度及弹性模量可按以下方法进行：

1 参照《塑料薄膜拉伸性能试验方法》GB13022 进行单轴拉伸试验。

2 采用长条形试样五组，宽度 15mm，长度 150mm，标距 50mm，将试样置于规定的检测温度下保持 5 分钟以上，使试样温度达到平衡。

3 采用等速伸长试验机，拉伸速度 50mm/min。

4 记录应力应变曲线，确定 E 类膜材应力应变曲线两个转折点 B 和 C（图 B.0.1）。

作曲线初始段的切线 a，与两转折点间曲线的近似直线 b 相交于点 A；过点 A 作水平线 d 与拉伸曲线相交于点 B，B 点即为第一转折点，对应的应力为第一屈服强度。

B 点与曲线初始点之间的连线为直线 e，其斜率为 E 类膜材的弹性模量。

过点 B 作直线 b 的平行线 f，与拉伸曲线第三段曲线初始段的切线 c 相交于点 C，C 点即为第二转折点，对应的应力为第二屈服强度。

5 计算五组试样试验得出的屈服强度及弹性模量平均值。

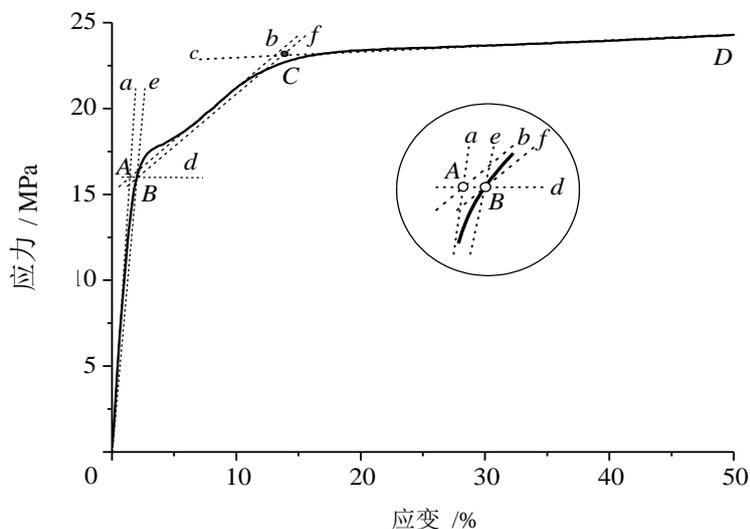


图 A.0.1 E 类膜材屈服强度及弹性模量确定示意图

## 本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用语说明如下：

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 条文中指明应按其它有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

1. 《建筑材料燃烧性能分级方法》 GB8624
2. 《建筑材料难燃性试验方法》 GB8625
3. 《建筑材料可燃性试验方法》 GB8626
4. 《建筑内部装修设计防火规范》 GB50222
5. 《钢结构用高强度大六角螺栓》 GB1228
6. 《建筑结构荷载规范》 GB50009
7. 《建筑设计防火规范》 GB50016
8. 《民用建筑设计通则》 GB50352
9. 《民用建筑热工设计规范》 GB50176
10. 《民用建筑隔声设计规范》 GB 50118
11. 《建筑照明设计标准》 GB 50034
12. 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB50300
13. 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB50205
14. 《塑料薄膜拉伸性能试验方法》 GB13022
15. 《建筑采光设计标准》 GB/T 50033
16. 《建筑材料不燃性试验方法》 GB/T5464
17. 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》 GB/T14370
18. 《建筑工程用索》 JG/T330
19. 《索结构技术规程》 JGJ257
20. 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》 JGJ85
21. 《建筑用索应用技术规程》 DG/T J08-019
22. 《膜结构检测技术规程》 DG/TJ08-2019

上海市工程建设规范

膜结构技术规程

DGJ08-97-201X

条文说明

2017 上海

# 目 次

## 目录

3. 材 料.....	41
3.1 一般规定.....	41
3.2 膜 材.....	41
3.3 配 件.....	41
4. 设计一般规定.....	42
4.1 设计的基本原则.....	42
4.2 荷载与荷载组合.....	42
4.3 建筑设计.....	42
5. 结构设计.....	44
5.1 结构设计的基本原则.....	44
5.3 形状设计.....	45
5.4 荷载分析.....	45
5.5 裁剪设计.....	45
6. 膜结构连接与节点的设计和构造.....	47
6.1 一般规定.....	47
6.2 膜片连接的构造设计原则.....	47
7. 膜结构的制作和安装.....	48
7.1 膜结构制作技术要求和条件.....	48
7.2 膜结构的材料检验.....	48
7.3 膜的裁剪和节点制作.....	48
7.4 制作成品膜体的包装和运输.....	48
7.5 膜结构的安装施工准备.....	48
7.6 膜的安装.....	49
7.7 安装质量要求.....	49
8. 工程验收.....	50
8.1 基本规定.....	50
8.2 膜结构制作分项工程.....	50
8.3 膜结构安装分项工程.....	50
9. 维修和保养.....	51

# 1. 总 则

**1.0.1** 膜结构是建筑、结构、材料和计算机技术的综合集成。在国外已有四十余年的发展历史，国际上已建有大量造型独特、美观、建筑功能优良的膜结构工程，并已有专业制造商和专业的膜结构制作、安装企业，并已有相应的规范与标准。我国和本市关于膜结构的理论研究、工程应用、材料研究及开发等自八十年代中期开始逐步有了一些成果。但距国际先进水平尚有较大差距，目前国家还没有关于膜结构的规范或相关的标准。为了在实际膜结构的设计、施工中做到安全可靠、技术先进、经济合理，运用国内和本市已有的研究成果和上海地区及国内膜结构建筑的设计施工经验，参照国外工程经验和有关规范标准，结合上海地区实际制定本规程。

**1.0.2** 膜材由于其抗老化性能不同，故不同膜材其有效使用年限不同。根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB50068）规定，将易于替换的结构构件的设计使用年限定为 25 年，临时性的设计使用年限定为 5 年。膜材的选用应根据建筑物所处的不同自然环境和抗老化试验结果来确定。本条使用范围是根据上海地区已有膜结构工程实践和参考国外情况确定的。在用于室内游泳馆时宜注意环境（潮湿、氯气等）影响，选用合适的膜材。

**1.0.3** 本条文列出了编制中遵照的国家标准。由于膜结构的特殊性其膜材生产涉及基材和涂层，其材料标准尚需遵照相关标准，同时膜结构的防火涉及不同的膜材性质和不同的使用场所。其防火设计应符合消防主管部门的要求。

**1.0.4** 超过本规程规定的建筑膜结构指使用范围、使用材料超出本规程规定。

**1.0.5** 本规程是遵照国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB50068）、《建筑结构设计术语和符号标准》（GB/T50083）、《建筑结构荷载规范》（GB50009）、《钢结构设计规范》（GB50017）、《混凝土结构设计规范》（GB50010）、《建筑抗震设计规范》（GB50011）、《钢结构工程施工质量验收规范》（GB50205）、《建筑设计防火规范》（GBJ16）、上海市标准《建筑抗震设计规程》（DBJ08-9）、《地基基础设计规范》（DGJ08-11），并结合膜结构的特点和本市的技术要求编制的。在设计与施工中，除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家和本市的有关规范、规程或标准的规定。

## 3. 材 料

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 建筑膜结构用膜材，由于基材和涂层不同其抗老化性能也不同，因此，选用膜材时必须由供应商提供该种膜材的有效使用年限及老化性能测试报告。

### 3.2 膜 材

**3.2.1** G类和P类膜材根据构造不同，又可分为网格膜材和不开孔膜材。

**3.2.3** 目前欧、美、日各国生产的建筑结构用膜材有很多种，可按不同基材和涂层形成若干组合，且新的品种不断研制。常用基材有玻璃纤维和聚脂类纤维、聚乙烯醇类纤维、聚酰胺类纤维。常用涂层有聚四氟乙烯、聚氯乙烯、氟化树脂。不同基材与不同涂层组合形成的膜材其耐久性、自洁性、透光性、可热融合性以及机械力学性能有较大差别。国外有按基材和涂层分成A、B、C三大类。A类为玻璃纤维基材聚四氟乙烯涂层；B类为玻璃纤维基材聚氯乙烯、氟化树脂等涂层；C类为聚酯纤维、聚乙烯醇类纤维和聚酰胺类纤维基材氯丁橡胶、聚氯乙烯等涂层。

**3.2.5** 潮湿时的抗拉强度是指把试件完全浸泡于水中72h后进行拉伸测试得到的抗拉强度。

对G类膜材，高温检测温度为 $150\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，对P类、eP类膜材，高温检测温度为 $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

**3.2.11** 我国尚无针对膜结构建筑防火的规定，本条仅对膜材防火性能作了要求。设计时必须与消防部门就具体工程进行防火设计。

### 3.3 配 件

**3.3.7** 常用合成纤维缆绳有尼龙、涤纶、维尼龙，也有用丙纶缆绳。

## 4. 设计一般规定

### 4.1 设计的基本原则

**4.1.5** 膜结构设计每一环节与其他环节均相互联系，相互影响，必须一体化设计。

**4.1.6** 在荷载短期作用下，最小主应力可小于初始平衡形状的应力值，但必须大于零。

**4.1.7** 由于膜结构具有徐变和应力松弛的特点。膜结构设计时，宜考虑张力的二次导入。

**4.1.8** 由于膜材有效使用年限不一，较多膜材的有效使用年限小于 25 年，用在永久性建筑，必须考虑其替换。膜结构与支承结构互相影响，同时膜的安装与替换有密切关系，所以设计时必须考虑膜材替换的影响。

### 4.2 荷载与荷载组合

**4.2.1** 永久荷载和可变荷载的分类见国家标准《建筑结构荷载规范》（GB50009）中的相关条文。按膜结构施工安装特点及膜结构自身特点施工，施工检修荷载不仅要考虑均布荷载，更应考虑集中荷载。集中荷载可按安装施工方式、膜结构形状来确定。

**4.2.3** 由于膜结构自重轻，由可变荷载起控制作用。所以永久荷载分项系数当对结构不利时应取 1.2；当对结构有利时取 1.0。膜结构通常用于屋面结构，可变荷载组合值系数的取值参照国家标准《建筑结构荷载规范》（GB50009）中相关条文。

**4.2.4** 膜结构对风荷载很敏感，设计中必需有明确的符合实际的风载体型系数和风载分布，并按国家标准《建筑结构荷载规范》（GB50009）条规定，根据工程所处地理位置重要性、膜结构形状等由设计考虑对基本风压适当提高。当设计园林、景观小品建筑和临时性建筑时，如有经验可参考以往工程实践确定风载体型系数和风载分布。同时仍应遵守本规程 4.1.10 条的规定。

对一些建筑体型特殊且建筑设计中有可能采用导风措施时，也可采取导风措施以减小风载作用。

**4.2.6** 膜结构形状决定了雪荷载的不可能均匀分布，所以应视不同形状考虑雪荷载的分布的调整。

### 4.3 建筑设计

**4.3.7** 本条主要考虑确保膜片接缝的防水。当局部膜片替换时，在有确保接缝水密性的措施下，可不按由高往低铺设。

**4.3.9** 膜结构用于展厅、体育场、馆，也有用于文娱演出场所。由于其材料特点不同于一般建筑材料，特别是其对建筑声学性能影响不同于一般建材，设计时必须注意膜结构的这一特点。

## 5. 结构设计

### 5.1 结构设计的基本原则

**5.1.1** 膜结构初始平衡状态时膜面预张应力是自相平衡的。形状设计时宜首先寻找应力均匀的最小曲面，当最小曲面不存在时，寻找应力不均匀的其他平衡曲面。

**5.1.2 膜结构中膜面荷载分析必须采用几何非线性理论。膜面支承于索时必须考虑共同作用，均采用几何非线性理论。**

抗力系数 $\gamma_R$ 根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068)。采用我国现行各本结构设计规范的设计表达式为：

$$K(S_{GK} + S_{QK}) = R_K$$

式中： $K$ 为规范取用的安全系数；

$S_{GK}$ 为永久荷载标准值效应；

$S_{QK}$ 为可变荷载标准值效应；

$R_K$ 为结构抗力标准值。

采用概率极限状态方程为：

$$R - S_G - S_Q = 0$$

式中： $R$ 为结构抗力；

$S_G$ 为永久荷载效应；

$S_Q$ 为可变荷载效应。

安全系数 $K$ ：美国为荷载短期情况下取3，在荷载长期情况下取8。欧洲是根据污染程度、膜面质量、热融合质量、面积大小等因素最小取4，最大取8.3。日本为荷载短期情况下取4，在荷载长期情况下取8。本规程考虑多种因素取荷载短期情况下为2.5，在荷载长期情况下为5.0。

结构抗力：
$$R = \frac{R_K}{\gamma_R}$$

可变荷载标准值效应与永久荷载标准值效应的比值
$$\rho = \frac{S_{QK}}{S_{GK}},$$

$$S_G = \gamma_G S_{GK}$$

$$S_Q = \gamma_Q S_{QK}$$

式中： $\gamma_G$  为永久荷载的分项系数，根据《建筑结构荷载规范》（GB50009）分别取1.2和1.0；

$\gamma_Q$  为可变荷载的分项系数，根据《建筑结构荷载规范》（GB50009）取1.4；

$\gamma_R$  为抗力系数，按不同  $\rho$  值求得对应的  $\gamma_R$ 。

表 5.1.3-1 抗力分项系数中的其它组合为结构自重+屋面活荷载+风荷载+初始预张力和结构自重+屋面活荷载+地震作用+初始预张力。

本条未对膜面在各荷载状态下的最大位移作规定，主要是考虑膜结构形状很多，支承方式也很多，不宜用一个统一的量值来规定。同时结构设计时已明确必须考虑几何非线性，所以不再规定最大允许相对变形值。当具体工程设计需要作规定时可根据不同工程建筑功能要求或参考国外有关规定，也可采用在各种荷载状态下，膜面的相对变形量保持在该抵抗变形方向的膜面支承点间距离的 1/15 以下。

初始预张力最小值是参考国外膜材应力应变试验和工程经验提出的。

**5.1.3** 通过形状设计可以确定初始平衡状态的膜曲面，这样的膜曲面是由一定幅宽的膜材经过裁剪成膜片、互相连接后张拉生成的。膜曲面上的膜片间连接线是裁剪线。裁剪膜片是待求的平面，而膜曲面上的膜片是空间的，当裁剪线确定后，膜片也就确定了。所以平面裁剪膜片确定的关键技术是将已知的空间膜片展开成平面裁剪膜片。显然，实际生成的曲面和形状设计所得曲面之间的误差取决于空间膜片展开成平面的精度。由于膜曲面上的空间裁剪片具有一定的预张应力，所以裁剪膜片确定时还必须考虑预张应力释放后的几何改变。

### 5.3 形状设计

**5.3.2** 由于刚性支承结构体系变形很小，所以形状设计时可以将刚性支承结构体系作为固定边界。可动张拉点处的拉杆、脊索和谷索在膜结构中应用非常普遍，膜面的形状直接取决于拉杆长度和索内力，所以应该考虑它们之间的共同作用。

### 5.4 荷载分析

**5.4.2** 由于支承结构变形对膜结构内力分布有较大影响，膜结构设计应考虑膜与支承结构的协同工作，当支承结构为刚性体系如钢桁架、拱、网架等变形比较小时，根据设计经验如对膜结构影响较小时可不予计算协同工作，对支承结构为柔性体系或混合体系时必须进行协同工作的计算分析。

### 5.5 裁剪设计

**5.5.1** 裁剪分析的目的是确定裁剪线和裁剪膜片，使其拼接张拉后实现初始平衡状态时的膜曲面，所以裁剪分析应根据初始平衡状态时的膜曲面和预张应力进行。

**5.5.2** 裁剪线可以采用平面相交法和测地线法予以确定。裁剪线也可采用其它有效方法。所谓平面相交法是指在形状设计得到的膜曲面上，用平面按规律地与曲面相交以求得裁剪线。这样确定的裁剪线具有希望得到的美观效果和视觉效果，但是由此得到的膜片幅宽往往相差较大，因而耗材较多。所谓测地线法是指在形状设计得到的膜曲面上，寻找测地线作为裁剪线。测地线指曲面上两点之间距离最短的线。对于可展曲面，展开平面上的测地线是直线；对于不可展曲面，展开平面上的测地线接近直线。测地线之间的膜片幅宽较为接近，因而用材经济，但是曲面上的测地线美观效果和视觉效果较差。设计时应综合考虑经济和美观两方面的因素确定裁剪线。

**5.5.3** 如果采用三角形直线网格描述空间膜片，那么空间膜片展开成平面的原则之一是空间膜片上的所有直线长度与平面裁剪膜片上相应直线长度的方差最小（长度原则）。对于不可展曲面，具有最小直线长度方差的展开平面与空间曲面在长度原则下最为接近。采用等效杆单元有限元方法可以确定具有最小直线长度方差的展开平面。空间膜片展开成平面的原则之二是空间膜片上的所有三角形网格与平面裁剪膜片上相应三角形网格的面积方差最小（面积原则）。对于不可展曲面，具有最小三角形面积方差的展开平面与空间曲面在面积原则下最为接近。采用等效板单元有限元方法可以确定具有最小面积方差的展开平面。对于可展曲面，精确展开后，直线长度的方差和三角形面积的方差都为零。裁剪片展开计算也可采用其它有效方法。

**5.5.4** 将空间膜片展开成平面裁剪片后，可以认为平面裁剪片各单元上具有空间膜片相应单元上的预张应力。显然，这样的应力必然使裁剪片边界节点甚至内部节点上产生不平衡力。采用动力松弛法或有限单元法，通过修正裁剪片几何可以消除这样的不平衡力。应该注意的是，计算时必须采用真实的材料参数。

## 6. 膜结构连接与节点的设计和构造

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 柔性连接是指膜面边界采用索、带或柔性夹具系统以及它们的组合与支承结构进行连接的方式。刚性连接是指膜面边界采用刚性夹具系统与木材、砼或钢结构支承结构进行固定的方式。

**6.1.4** 膜结构因节点形式和支承结构方式的多样，本规程对允许安装偏差不作具体规定，设计时应根据实际工程提出允许安装偏差值。由于膜材的徐变、应力松弛等特点，在连接构造设计时应考虑张力二次导入的可能。由于张力二次导入，根据不同膜结构有多种方法，所以本条提出了连接构造要适应可能的位移和转动。

**6.1.6** 在连接构造设计上要有考虑调整要求，以消除或降低徐变对结构的影响。

### 6.2 膜片连接的构造设计原则

**6.2.1** 缝合和机械连接易造成截面削弱，故对主要受力缝应采用热融合方法进行连接。

**6.2.2** 膜片之间的连接方法应根据不同膜材来选用不同连接方式。膜片之间连接缝宽度应按连接强度、防火等要求根据不同膜材不同连接方式来确定。根据对 G 类膜材搭接连接进行的拉伸试验研究，当搭接宽度为 $>50\text{mm}$ 时，连接处基本可以达到母材的强度。

## 7. 膜结构的制作和安装

### 7.1 膜结构制作技术要求和条件

**7.1.1** 国家目前尚无对膜结构制作安装企业的资质管理办法。为保证质量提出膜结构制作应在专业化工厂进行。

**7.1.2** 对不同膜材其裁剪、热融合设备及测试设备不一样，所以制作单位所具备的设备应与承担的所制作的膜材相匹配。

### 7.2 膜结构的材料检验

**7.2.1** 最基本项目为经、纬向抗拉强度、弹性常数、抗剥离强度。

**7.2.4** 材性检查复验根据不同膜材料由设计单位根据具体工程提出复验项目，最基本项目为经、纬向抗拉强度。有条件时宜进行双轴抗拉试验来检验供货商提供的弹性常数等。

### 7.3 膜的裁剪和节点制作

**7.3.1** 要求尽可能地采用同批号膜材，可以保证膜结构成品的质量均好性。

**7.3.2** 裁剪设计时按初始预张应力和膜材的弹性常数等考虑了尺寸的预留量。但这些数据在不同批次膜材中是不同的，所以必须按最后采用的膜材的材性试验结果与设计时用的材性参数比较，若不符合时必须按试验结果由制作单位提出的调整裁剪图，经膜结构设计单位同意后进行调整。

**7.3.7** 膜材连接除满足强度外，为保证达到防水要求，要做到拼缝面内无杂物、无空隙，拼缝面内无叠皱，拼缝边缘无挤压浆堆积。

**7.3.8** 膜片在热融合法拼接时，如工艺、温度、操作不当会造成过热烫伤。或拼缝收缩变形、折皱等，所以在热融合前必须通过试操作方法进行对该批膜材的热融合温度的确定，并明确工艺要求。

**7.3.11** 应根据不同膜材不同批次组合，经试热融合后通过测试确定热融合温度、压力、时间、电流值，走车速度等参数，并填表记录。

### 7.4 制作成品膜体的包装和运输

**7.4.2** 膜体的折叠中应考虑膜材料的基材性能，合成纤维作基材的膜材料可折叠，玻璃纤维作基材的膜材料质地较硬不宜折叠。折叠时不能用机械方法。

**7.4.3** 膜体选用的填充材料应干净不脱色。

### 7.5 膜结构的安装施工准备

**7.5.3** 安装前的检查是指安装之前或展开中。

**7.5.4** 膜体安装中应注意避免损坏支承骨架防锈、防火涂层，如发生损坏，必须予以补涂。

## **7.6 膜的安装**

**7.6.1** 膜结构的安装，按详细工序可分为膜体展开、初始连接、初始张拉、全面连接、循序张拉、连接固定。

**7.6.4** 降雨和降雪会影响膜结构的安装质量及作业安全。当降雨程度为中等雨量或降雪时应停止安装。

**7.6.6** 这里的焊接、切削是针对金属材料而言的焊接和切削，如施工点离膜结构过近，很容易损坏膜材，故要求这种加工与膜材应保持一定距离，或采用防护措施。

## **7.7 安装质量要求**

**7.7.5** 膜体表面蹭伤检查以单元计。当单元面积大于 100 平方米，每增加 200 平方米以增加一个单元计算，但每单元蹭伤数不应大于 6 个。对膜体边角、收口等部位，局部褶皱，经设计、制作、安装几方协商不影响安全使用，可不予处理。

## 8. 工程验收

### 8.1 基本规定

**8.1.2** 连接件的检验、下部支承结构及预埋件的检验按国家标准和设计要求检验。膜结构脊、谷索张力值是指有控制要求的张力值。

### 8.2 膜结构制作分项工程

**8.2.1** 试验内容按不同材料和具体工程要求提出。连接部分抗拉强度测试应在已确定的工艺参数下，进行试连接，然后做成试件进行测试，数量按条文要求。

### 8.3 膜结构安装分项工程

**8.3.1** 对于可能出现的渗漏处或膜片的连接处可进行局部淋水试验，淋水试验的水流及时间要求可根据具体工程提出。

人工检测包括目测及常用工具的测量。

## 9. 维修和保养

膜结构的维修保养可分成三大类：

第一类是清洁工作，目的是防止污染、腐蚀、影响美观及损害构配件。

第二类是对可能影响使用的维修、保养工作，如排水系统，膜体连接部分、节点的渗漏水检查。连接处有无剥离的检查等。

第三类是可能影响结构安全和寿命的维修、保养工作。膜结构和支承的索结构长期使用时可能产生的影响结构的徐变、松弛等。必需及时维修，各种膜材在其本身有效使用年限到时必须及时更换均属这一类。

由于膜结构的维修保养涉及膜结构及支承结构的设计对膜材料的化学、物理特性的了解，在技术上要求很高，所以一定要有专业公司来进行。并应由承包商会同材料供应商和制作安装单位、设计单位一起编制单项工程的维修保养手册，以保证长期使用的质量。