



CECS 158 : 2015

中国工程建设协会标准

膜结构技术规程

Technical specification for membrane structures



中国计划出版社

中国工程建设协会标准

膜结构技术规程

Technical specification for membrane structures

CECS 158 : 2015

主编单位：中国钢结构协会空间结构分会

北 京 工 业 大 学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 1 6 年 1 月 1 日

中国计划出版社

2015 北 京

中国工程建设协会标准

膜结构技术规程

CECS 158 : 2015

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

新华书店北京发行所发行

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 3.125印张 76千字

2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷

印数1—3080册

☆

统一书号:1580242·829

定价:37.00元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换

中国工程建设标准化协会公告

第214号

关于发布《膜结构技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2011年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2011〕111号)的要求,由中国钢结构协会空间结构分会和北京工业大学等单位全面修订的《膜结构技术规程》,经本协会轻型钢结构委员会组织审查,现批准发布,编号为CECS 158:2015,自2016年1月1日起施行。原《膜结构技术规程》CECS 158:2004同时废止。

中国工程建设标准化协会

二〇一五年八月二十日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2011 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2011〕111 号)的要求,规程编制组在经过广泛调研和征求意见的基础上,对《膜结构技术规程》CECS158:2004 进行修订而成。

本次修订保持了原《规程》共 10 章的内容,包括了膜结构从设计开始到竣工交付后维护保养的全过程,新增了 3 个附录。主要内容包括:总则、术语和符号、设计基本规定、材料、结构计算、连接构造、制作、安装、验收、维护和保养等。主要修订内容包括:调整了 P、G 类膜材分级和代号,统一采用 N/5cm 作为抗拉强度标准值单位,并对 G 类增加了丝径的指标;新增了 ETFE 膜材的有关规定;完善了空气支承式膜结构的有关内容;系统梳理了膜结构的连接做法;明确了膜结构工程验收的主控项目和一般项目;给出了典型张拉膜结构风载体型系数;推荐了试验确定各类膜材强度和弹性模量的方法等。

本规程由中国工程建设标准化协会轻型钢结构委员会归口管理,由北京工业大学空间结构研究中心(北京市朝阳区平乐园 100 号,邮政编码:100124)负责具体技术内容的解释。在使用中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料寄至解释单位。

主 编 单 位:中国钢结构协会空间结构分会

北京工业大学

参 编 单 位:中国建筑科学研究院

哈尔滨工业大学

同济大学

上海现代建筑设计(集团)有限公司

北京纽曼帝莱蒙膜建筑技术有限公司

上海太阳膜结构有限公司
 北京思博福瑞空间结构技术有限公司
 北京中天久业膜建筑技术有限公司
 柯沃泰膜结构(上海)有限公司
 北京今腾盛膜结构技术有限公司
 上海交通大学
 上海维立凯膜材料有限公司
 北京光翌膜结构建筑有限公司
 上海申达科宝新材料有限公司
 北京建筑工程研究院有限公司
 北京艾尔豪斯膜式技术有限公司
 北京约顿气膜建筑技术有限公司
 北京泰克斯隆膜技术有限公司

主要起草人: 张毅刚 蓝 天(以下按姓名拼音排列)
 蔡兴东 崔家春 陈务军 龚景海 韩更赞
 胡庆卫 胡 淳 李中立 李雄彦 马 明
 钱基宏 瞿 鑫 宋 浩 谭 宁 田秋红
 佟 伟 王海明 王文胜 王 平 吴明儿
 武 岳 向 阳 薛素铎 杨联萍 张其林
 主要审查人: 沈世钊 杨庆山 朱忠义 姚亚雄 罗向宇
 王 秦 耿金彪

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	设计基本规定	(5)
3.1	膜结构选型	(5)
3.2	建筑设计	(7)
3.3	结构设计	(9)
4	材 料	(11)
4.1	膜材	(11)
4.2	拉索和锚具	(13)
5	结构计算	(15)
5.1	一般规定	(15)
5.2	初始形态分析	(15)
5.3	荷载效应分析	(16)
5.4	裁剪分析	(18)
6	连接构造	(19)
6.1	一般规定	(19)
6.2	膜材的连接	(19)
6.3	膜与刚性边界的连接	(21)
6.4	膜与柔性边界的连接	(27)
7	制 作	(30)
8	安 装	(32)
8.1	钢构件、拉索安装	(32)

8.2 膜单元安装	(33)
8.3 施加预张力	(33)
9 工程验收	(35)
10 维护和保养	(38)
附录 A 典型膜结构风载体型系数	(40)
附录 B 确定 E 类膜材屈服强度及弹性模量的试验 方法	(44)
附录 C 确定 G 类、P 类膜材弹性模量及泊松比的 试验方法	(46)
本规程用词说明	(50)
引用标准名录	(51)
附:条文说明	(53)

Contents

1 General provisions	(1)
2 Terms and symbols	(2)
2.1 Terms	(2)
2.2 Symbols	(3)
3 Basic requirements of design	(5)
3.1 Form of membrane structures	(5)
3.2 Architectural design	(7)
3.3 Structural design	(9)
4 Materials	(11)
4.1 Membrane materials	(11)
4.2 Tension cable and anchor	(13)
5 Structural calculation	(15)
5.1 General requirements	(15)
5.2 Analysis of initial state of form	(15)
5.3 Analysis of effects under loads	(16)
5.4 Analysis of pattern cutting	(18)
6 Details for connections	(19)
6.1 General requirements	(19)
6.2 Connection between membranes	(19)
6.3 Connection between membrane and rigid boundary	(21)
6.4 Connection between membrane and flexible boundary	(27)
7 Manufacture	(30)
8 Erection	(32)
8.1 Erection of steel members and tension cables	(32)

8.2 Erection of membrane elements	(33)
8.3 Installation of pretension forces	(33)
9 Acceptance	(35)
10 Maintenance	(38)
Appendix A Shape factor of wind load for typical membrane structures	(40)
Appendix B Testing method for determining yield strength and elastic modulus of E type membrane	(44)
Appendix C Testing method for determining elastic modulus and poisson's ratio of G and P type membrane	(46)
Explanation of wording in this specification	(50)
List of quoted standards	(51)
Addition; Explanation of provisions	(53)

1 总 则

1.0.1 为适应膜结构的发展,贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,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 膜结构的设计、制作、安装、验收及维护,除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 膜结构 membrane structure

由膜材和其他构件组成的建筑物或构筑物。

2.1.2 基材 substrate

由玻璃纤维或聚酯纤维等织成的高强度织物。

2.1.3 涂层 coating

涂敷在基材上,起保护基材作用的聚合物层。

2.1.4 面层 top coating

保护膜材免受紫外线侵蚀并使膜材具有自洁性的表面附加层。

2.1.5 膜材 membrane material

由基材和聚合物涂层构成的涂层织物以及由高分子聚合物制成的薄膜。

2.1.6 拉索 tension cable

具有一定预张力的受拉构件。可为钢丝束、钢绞线、钢丝绳等钢索和非金属缆绳等。

2.1.7 膜片 membrane panel

对膜材进行裁剪后形成的单块膜。

2.1.8 热合 hot sealing

通过加热熔化膜材的表面涂层(G类,P类膜材)或膜材本身(E类膜材),将相邻膜片的搭接部分压接在一起连接方法。

2.1.9 膜单元 membrane element

由膜片连接而成,在膜结构中由柔性边界或刚性边界围起的整块膜。

2.1.10 膜单元名义尺度 nominal size of membrane element

确定各膜单元内膜面相对法向位移时用到的膜单元尺度,对于三角形膜单元定义为最小边长的2/3;对于四边形膜单元定义为通过最大位移点的最小跨度。

2.1.11 预张力 pretension force

以机械或其他方法,预先施加于拉索或膜单元上的力。

2.1.12 初始形态 initial state of form

膜结构在预应力施加完毕后的自平衡状态。

2.1.13 最大工作内压 maximum operating pressure

空气支承式膜结构在极端天气条件时使用的最大充气压力值。

2.1.14 最小工作内压 minimum operating pressure

空气支承式膜结构保持结构体系稳定性所需的最小充气压力值。

2.1.15 正常工作内压 normal operating pressure

空气支承式膜结构在正常使用时的充气压力,其值介于最小工作内压与最大工作内压之间。

2.1.16 第一屈服点 first yield point、第二屈服点 second yield point

E类膜材应力-应变曲线上两个不同转折点。

2.2 符 号

G ——恒荷载;

P ——初始预张力;

p ——空气支承膜结构中的内压值;

Q ——可变荷载;

W ——风荷载;

γ_R ——抗力分项系数;

$\sigma_{\max}$ ——最大主应力值;

$\sigma_{\min}$ ——最小主应力值;
 σ_p ——维持曲面形状所需的最小应力值;
 f ——膜材抗拉强度设计值;
 f_k ——膜材抗拉强度标准值;
 ζ ——强度折减系数;
 F ——拉索的抗拉力设计值;
 F_{tk} ——拉索的极限抗拉力标准值;
 N_x ——十字形膜材试样经向荷载;
 N_y ——十字形膜材试样纬向荷载;
 ϵ_x ——十字形膜材试样经向应变;
 ϵ_y ——十字形膜材试样纬向应变;
 E_x ——涂层织物膜材经向弹性模量;
 E_y ——涂层织物膜材纬向弹性模量;
 ν_x ——涂层织物膜材经向泊松比;
 ν_y ——涂层织物膜材纬向泊松比;
 t ——膜材厚度。

3 设计基本规定

3.1 膜结构选型

3.1.1 膜结构的选型应根据建筑造型需要和支承条件等通过综合分析确定,可选用下列形式:整体张拉式膜结构、骨架支承式膜结构、索系支承式膜结构与空气支承式膜结构,或由以上形式混合组成的结构。

3.1.2 整体张拉式膜结构可由桅杆等构件提供支承点,并在周边设置锚固点,通过张拉而形成稳定的体系(图 3.1.2)。

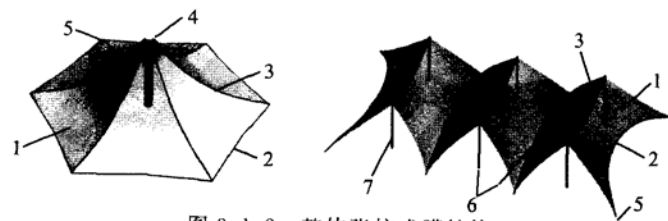


图 3.1.2 整体张拉式膜结构

1—膜;2—边索;3—脊索;4—桅杆;5—锚固点;6—谷索;7—柱

3.1.3 骨架支承式膜结构应由钢构件或其他刚性结构作为承重骨架,在骨架上布置按设计要求张紧的膜材(图 3.1.3)。

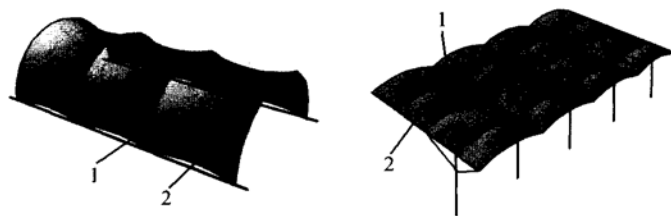


图 3.1.3 骨架支承式膜结构

1—骨架;2—膜

3.1.4 索系支承式膜结构应由空间索系作为主要承重结构,在索系上布置按设计要求张紧的膜材(图 3.1.4)。

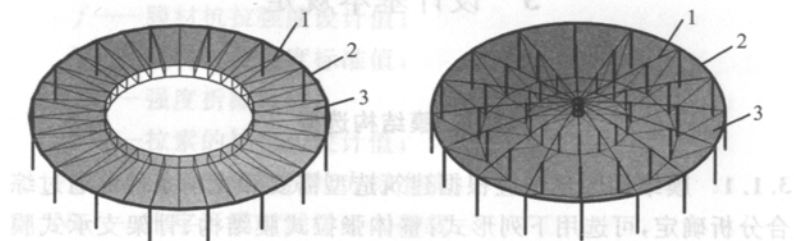


图 3.1.4 索系支承式膜结构

1—索系;2—环梁;3—膜

3.1.5 空气支承式膜结构应具有密闭的充气空间,并应设置维持内压的充气装置,借助内压保持膜材张力并形成设计要求的曲面,可采用气承式、气肋式和气枕式(图 3.1.5)。

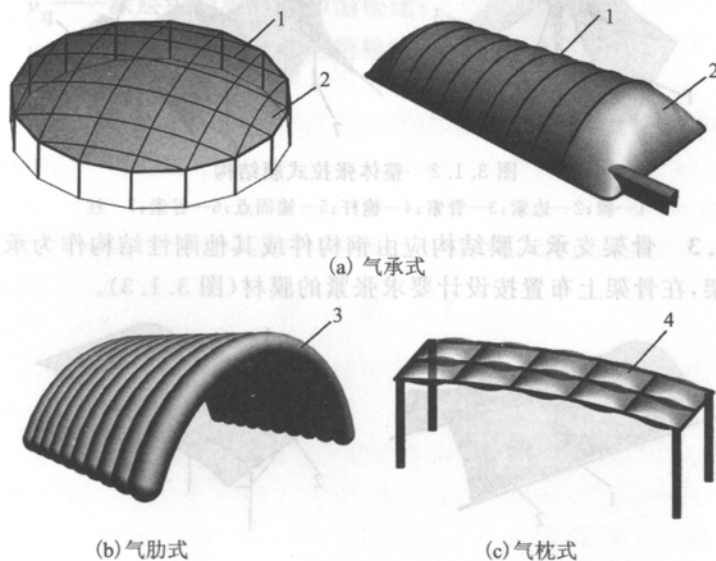


图 3.1.5 空气支承式膜结构

1—加劲索;2—膜;3—气肋;4—气枕

3.2 建筑设计

3.2.1 膜结构的建筑设计应符合现行国家标准《民用建筑设计通则》GB 50352 和《无障碍设计规范》GB 50763 规定的原则,并应根据建筑物的性质、重要程度、使用功能和地区自然条件等进行设计。

3.2.2 确定膜结构单体建筑方案时,应考虑结构体系的合理性。膜结构建筑的平面、立面和形态设计除必须满足使用功能要求外,尚应考虑与建筑物整体风格和周围环境相协调,并体现自身的形态和技术特点。

3.2.3 膜结构建筑在符合结构受力的前提下,膜节点的细部设计和膜面裁剪线的布置,应考虑建筑美观要求。

3.2.4 膜结构应根据防火要求选用不同的膜材,并应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 与《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222 的规定。膜结构的防火措施也可通过专门的研究确定。

3.2.5 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。当有特殊声学要求时,应根据膜材的声学特性、膜结构的构造特点、预张力施加水平等因素对建筑声学质量做出评价。

3.2.6 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。

3.2.7 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》GB 50352 和《民用建筑热工设计规范》GB 50176 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。

3.2.8 膜结构建筑设计应根据建筑物的使用特点和总平面要求,合理确定排水坡度和泄水位置,确保膜面排水顺畅。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。

3.2.9 膜结构建筑应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定,采取有效的防雷措施。

3.2.10 膜结构建筑设计时应合理布置各类锚锭、基础承台等突出物的位置,并采取保护措施,避免影响交通或造成人身伤害。

3.2.11 膜材与建筑物内部、外部物体之间的距离,不宜小于膜面在最不利工况下变形值的两倍,且不宜小于 1.0m。

3.2.12 对于气承式膜结构,除应满足本规程第 3.2.1~3.2.11 条的要求外,尚应符合下列规定:

1 应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;对于无雪荷载或具有除雪或融雪设施的屋盖,矢跨比可适当降低但不宜小于 1/6。

2 气承式膜结构可采用斜向交叉索网或纵横向钢索加强,斜向交叉索网及纵横向钢索的直径及间距应由结构计算确定。

3 应急出口的设置应满足国家现行建筑设计标准的要求,且平面布置时应至少设置两个应急出口,其宽度不应小于 90cm。

4 在所有的门上均应设置内外可视的观察窗。

5 采用的风机应具有足够的送风量和风口压力,从充气开始达到最小工作内压所需时间不宜大于 2h,并应保证需要时室内能达到最大工作内压。

6 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。

7 气承式膜结构用于游泳池等项目时,应设置灾害天气下的防塌落设施。

3.3 结构设计

3.3.1 膜结构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。

3.3.2 膜结构设计时,结构重要性系数应根据结构的安全等级、设计使用年限确定。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。

3.3.3 膜结构设计应根据使用过程中可能同时出现的荷载,按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载(效应)组合,并应取各自的最不利效应组合进行设计。

3.3.4 膜结构设计应考虑恒荷载、活荷载、风荷载、雪荷载、预张力、气压力、温度和支座不均匀沉降等作用。荷载标准值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用,膜面的活荷载标准值可取 0.3kN/m^2 。

3.3.5 按承载能力极限状态设计膜结构时,应按表 3.3.5 所列的两种组合类别进行荷载效应组合。

表 3.3.5 荷载效应的组合

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

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

2 荷载分项系数和荷载组合值系数,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 取值; $P(p)$ 的荷载分项系数和荷载组合系数可取 1.0;

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

3.3.6 风荷载体型系数可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定执行。对形状较为简单的鞍形、伞形、脊谷式和拱支式膜结构,风荷载体型系数可按本规程附录 A 采用。对于形状复杂的重要建筑物,应通过风洞试验或专门研究确定风荷载体型系数。

3.3.7 雪荷载分布系数可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定执行,并应考虑雪荷载不均匀分布产生的不利影响。

3.3.8 膜结构设计时,应在满足膜面应力平衡状态的前提下,使结构体系保持稳定。还应考虑使用阶段局部膜片破坏或局部索退出工作,以及对不同部位膜单元进行二次张拉或更换对整体结构的影响。

3.3.9 膜结构设计时,应考虑合理的预张力施加方式。

1. 膜结构应具有足够的通风和换气能力,从空气开始到空气结束,换气时间不宜大于 2h。	换气次数
2. 膜结构应具有足够的通风和换气能力,从空气开始到空气结束,换气时间不宜大于 2h。	换气次数
3. 膜结构应具有足够的通风和换气能力,从空气开始到空气结束,换气时间不宜大于 2h。	换气次数

4 材 料

4.1 膜 材

4.1.1 膜材应根据建筑功能、膜结构所处环境和使用年限、膜结构承受的荷载以及建筑物防火要求选用以下不同类别的膜材:

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;

E 类,由乙烯和四氟乙烯共聚物制成的 ETFE 薄膜。

4.1.2 G 类和 P 类膜材的产品名称和理化性能应符合现行行业标准《膜结构用涂层织物》FZ/T 64014 的规定。

4.1.3 对于 G 类和 P 类膜材,设计时应根据结构承载力要求采用不同级别和代号。G 类膜材可根据其经/纬向极限抗拉强度标准值、丝径、厚度和重量按表 4.1.3-1 选用, P 类膜材可根据其经向、纬向极限抗拉强度标准值、厚度和重量按表 4.1.3-2 选用。G 类和 P 类膜材的经向、纬向极限抗拉强度标准值也可按现行行业标准《膜结构用涂层织物》FZ/T 64014 中规定的试验方法进行试验确定。

表 4.1.3-1 常用 G 类膜材等级

代号	经/纬向极限抗拉强度标准值 (N/5cm)	丝径 (μm)	厚度 (mm)	重量 (g/m^2)
G3	3200/2500	3,4 或 6	0.25~0.45	≥ 400
G4	4200/4000	3,4 或 6	0.40~0.60	≥ 800
G5	6000/5000	3,4 或 6	0.50~0.95	≥ 1000
G6	6800/6000	3,4	0.65~1.0	≥ 1100
G7	8000/7000	3,4	0.75~1.15	≥ 1200
G8	9000/8000	3,4	0.85~1.25	≥ 1300

表 4.1.3-2 常用 P 类膜材等级

代号	经/纬向极限抗拉强度标准值 (N/5cm)	厚度 (mm)	重量 (g/m ²)
P2	2200/2000	0.45~0.65	≥500
P3	3200/3000	0.55~0.85	≥750
P4	4200/4000	0.65~0.95	≥900
P5	5300/5000	0.75~1.05	≥1000
P6	6400/6000	1.00~1.15	≥1100
P7	7500/7000	1.05~1.25	≥1300

4.1.4 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 4.1.4 采用,也可按本规程附录 B 规定的试验方法确定。

表 4.1.4 E 类膜材第一、第二屈服强度及极限抗拉强度标准值(N/mm²)

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

4.1.5 G 类、P 类膜材的弹性模量和泊松比可采用生产企业提供的数值或通过试验确定。对不同企业、不同型号的膜材,宜分别按本规程附录 C 规定的试验方法确定。

4.1.6 E 类膜材的密度、弹性模量以及泊松比可按表 4.1.6 采用。

表 4.1.6 E 类膜材密度、弹性模量和泊松比

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

4.1.7 G 类、P 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通过试验确定。对不同企业、不同型号的膜材,宜分别按现行行业标准《膜结构用涂层织物》FZ/T 64014 的规定进行测试。抗撕裂强度不宜小于极限抗拉强度标准值乘以 1cm 的 7%,抗剥离强度不宜小于极限抗拉强度标准值的 1%。

4.1.8 膜材的防火性能应按现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 的规定进行测试并确定等级。

4.2 拉索和锚具

4.2.1 膜结构的拉索可采用钢丝束、钢绞线或钢丝绳,也可以根据具体情况采用钢拉杆等。钢丝绳宜采用无油镀锌钢芯钢丝绳。

4.2.2 钢丝束及其锚具的质量应符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365 的规定。钢绞线的质量应符合现行行业标准《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T152、《镀锌钢绞线》YB/T 5004、《锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢丝、钢绞线》GB/T 20492、《建筑用不锈钢绞线》JG/T 200 等的规定。钢丝绳的质量应符合现行国家标准《重要用途钢丝绳》GB/T 8918 和《不锈钢钢丝绳》GB/T 9944 的规定。钢拉杆的质量应符合现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 的规定。

4.2.3 拉索的抗拉力设计值应按下式计算:

$$F = \frac{F_{tk}}{\gamma_R} \quad (4.2.3)$$

式中: F ——拉索的抗拉力设计值(kN);

F_{tk} ——拉索的极限抗拉力标准值(kN);

γ_R ——拉索的抗力分项系数,取 2.0;当为钢拉杆时取 1.7。

钢丝束、镀层钢绞线的弹性模量不应小于 $1.85 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, 不锈钢绞线、钢丝绳的弹性模量不应小于 $1.20 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

4.2.4 拉索的锚接可采用浇铸式(冷铸锚、热铸锚)锚具,也可采用挤压式或压接式锚具。浇铸式锚接的抗拉强度不得小于拉索极限抗拉力标准值的 95%,挤压式或压接式锚接的抗拉强度不得小于拉索极限抗拉力标准值的 90%。锚具表面应做防腐处理。

4.2.5 当锚具采用锻造成形时,其材料应采用优质碳素结构钢或合金结构钢,优质碳素结构钢的技术性能应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 的规定;合金结构钢的技术性能应符合

现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077 的规定。当锚具采用铸造成形时,其技术性能应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳铸件》GB/T 11352 和现行行业标准《冶金设备制造通用技术条件铸钢件》YB/T 036.3 的规定。

4.2.6 对组成钢丝束、钢绞线、钢丝绳的钢丝,应进行镀锌或其他防腐镀层处理。对碳素钢或低合金钢拉杆应进行防腐处理。对外露的钢绞线、钢丝绳,可采用高密度聚乙烯护套或其他方式防护。锚具与有防护层的拉索连接处应进行防水密封。

5 结构计算

5.1 一般规定

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

5.1.2 膜结构初始形态分析可采用非线性有限元法、动力松弛法和力密度法等。荷载效应分析可采用非线性有限元法和动力松弛法。

5.1.3 膜结构计算时应考虑结构的几何非线性。结构计算中,对于涂层织物宜考虑膜材的各向异性。

5.1.4 膜结构计算模型的边界支承条件应与支承点的实际构造相符合,对于可能产生较大位移的支承点,在计算中应考虑支座位移的影响,或与支承结构一起进行整体分析。

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

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

5.2 初始形态分析

5.2.1 膜结构的初始形态分析应满足边界条件和合理预张力的要求,并且满足建筑造型和使用功能的要求,对于空气支承式膜结构尚应考虑正常工作气压的影响。

5.2.2 膜结构中索、膜构件的预张力值应根据膜材类型、膜面荷

载、可能产生的变形以及施工等因素确定。预张力值必须保证在第一类荷载效应组合下,所有索、膜构件均处于受拉状态。

5.2.3 对整体张拉式、骨架支承式和索系支承式的建筑膜材,其预张力水平可在下列范围内选取:

G类膜材:(2~6)kN/m

P类膜材:(1~4)kN/m

E类膜材:(0.7~1.2)kN/m

5.3 荷载效应分析

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

5.3.2 计算索、膜的內力和位移时,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。对骨架支承式膜结构,风振系数可取1.2~1.5;对整体张拉式膜结构,风振系数可取1.5~1.8。对于跨度较大、风荷载影响较大的或重要的膜结构,应通过风洞试验或风振分析确定风荷载的动力效应。

5.3.3 在各种荷载组合作用下,膜面各点的最大主应力应满足下列要求:

$$\sigma_{\max} \leq f \quad (5.3.3-1)$$

$$f = \zeta \frac{f_k}{\gamma_R} \quad (5.3.3-2)$$

式中: $\sigma_{\max}$ ——在各种荷载组合作用下的最大主应力值;

f ——对应于最大主应力方向的膜材抗拉强度设计值;

f_k ——膜材抗拉强度标准值。对于G类、P类膜材,取极限抗拉强度标准值。对于E类膜材,当为非空气支承式时,取第一屈服强度标准值;当为空气支承式时,取第二屈服强度标准值;

ζ ——强度折减系数;对于G类、P类膜材,一般部位取 $\zeta=1.0$;节点和边缘部位取 $\zeta=0.75$;对于E类膜材,取 $\zeta=1.0$;

γ_R ——膜材抗力分项系数;对于G类、P类膜材,第一类荷载效应组合时, $\gamma_R=5.0$;第二类荷载效应组合时, $\gamma_R=2.5$ 。对于E类膜材,第一类荷载效应组合时,非空气支承式 $\gamma_R=1.8$ 、空气支承式 $\gamma_R=1.4$;第二类荷载效应组合时, $\gamma_R=1.2$ 。

5.3.4 按正常使用极限状态设计时,膜结构的变形不得超过规定的限值。对于整体张拉式和索系支承式膜结构,其最大位移在第一类荷载效应组合下不宜大于跨度的1/250或悬挑长度的1/125;在第二类荷载效应组合下不宜大于跨度的1/200或悬挑长度的1/100。对于桅杆顶点,在第二类荷载效应组合下,其侧向位移值不宜大于桅杆长度的1/250。对于骨架支承式膜结构,其骨架最大位移应符合有关骨架结构设计标准的规定。结构中各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。

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

$$\sigma_{\min} > \sigma_p \quad (5.3.5)$$

式中: $\sigma_{\min}$ ——在各种荷载效应组合下的最小主应力值;

σ_p ——维持膜结构曲面形状所需的最小应力值,可取初始预张力值的25%。

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

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

5.3.7 空气支承式膜结构在第一类荷载效应组合下,可按内压不变进行非线性分析;在第二类荷载效应组合下,气承式膜结构应按内压不变和内压变化两种假定分别进行非线性分析,气枕式和气

肋式膜结构应按内压变化进行非线性分析。

5.4 裁剪分析

5.4.1 膜结构的裁剪分析应在初始形态基础上,在空间曲面上确定膜片间的裁剪线,获得与空间曲面最接近的平面展开膜片。

5.4.2 确定膜片间的裁剪线,可采用测地线法和平面相交法等。

5.4.3 确定裁剪线时,宜考虑下列因素:裁剪线布置的美观性,膜材的利用率,织物类膜材纤维方向与主受力方向的一致性。

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

6 连接构造

6.1 一般规定

6.1.1 膜结构的连接构造应保证连接的安全、合理、美观。

6.1.2 膜结构的连接构造应符合计算假定。连接构造偏心时,应考虑其对拉索、膜材产生的影响。

6.1.3 膜结构的连接构造设计应考虑施加预张力的方式、支承结构安装允许偏差,以及进行二次张拉的可能性。

6.1.4 有防水要求的连接构造,膜材连接处应具有可靠的水密性。

6.1.5 膜结构的连接构造应采取可靠措施防止膜材的磨损和撕裂。

6.1.6 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行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定选用。

6.1.7 膜结构的连接件应传力可靠,具有足够的强度、刚度和耐久性。

6.1.8 膜结构的压板板厚不宜小于 6mm,固定螺栓间距不宜大于 200mm,加劲板间距不宜大于 600mm。

6.1.9 膜结构的连接件不应先于所连接的膜材、拉索或钢构件破坏,并不得产生影响结构受力性能的变形。

6.1.10 对金属连接件应采取可靠的防腐蚀措施。

6.1.11 在支承构件与膜材的连接处不得有毛刺、尖角和尖点。

6.2 膜材的连接

6.2.1 膜材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。

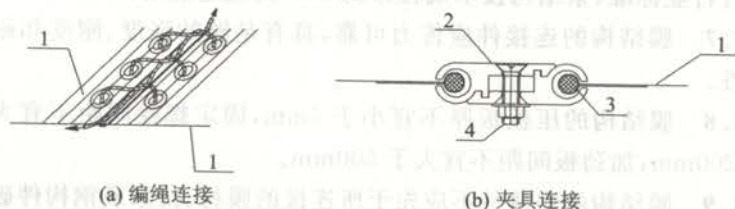
6.2.2 膜材之间的连接可采用搭接或对接方式。搭接连接时,应使上部膜材覆盖在下部膜材上(图 6.2.2)。热合连接的搭接缝宽度,应根据膜材类别、厚度和连接强度的要求确定,对 G 类膜材不宜小于 50mm,对 P 类膜材不宜小于 25mm,对 E 类膜材不宜小于 10mm。



图 6.2.2 膜材的连接

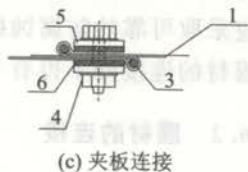
1—膜;2—搭接缝;3—热合宽度;4—对接缝

6.2.3 膜单元之间的连接可采用编绳连接[图 6.2.3(a)]、夹具连接[图 6.2.3(b)]或夹板连接[图 6.2.3(c)]。



(a) 编绳连接

(b) 夹具连接



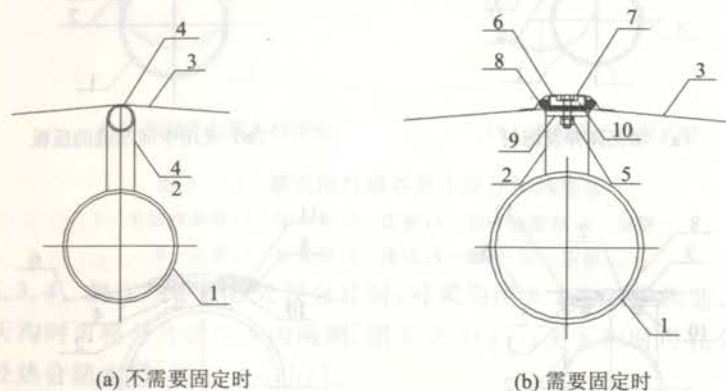
(c) 夹板连接

图 6.2.3 膜单元的连接

1—膜材;2—夹具;3—绳边;4—螺栓;5—夹板;6—衬垫

6.3 膜与刚性边界的连接

6.3.1 膜在刚性膜脊处不设分片时,可采用图 6.3.1 所示构造。不需要固定于支承钢结构时,可将主膜直接搁置于支承的钢管上[图 6.3.1(a)];需要固定于支承钢结构时,可采用压板与固定底板将主膜夹紧,并采用热合防水膜的方式[图 6.3.1(b)]。



(a) 不需要固定时

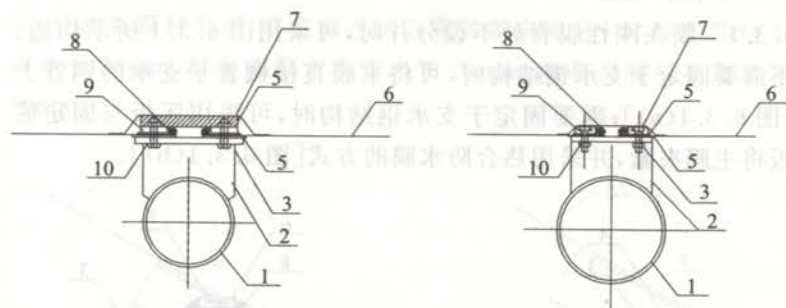
(b) 需要固定时

图 6.3.1 膜在刚性膜脊处不设分片的连接

1—主结构钢管;2—加劲板;3—主膜;4—小钢管;5—螺栓;6—衬垫;

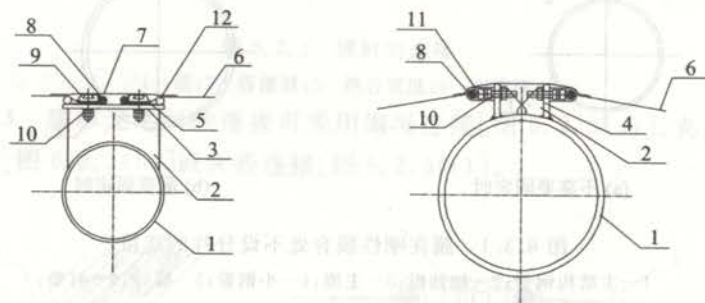
7—防水膜;8—绳边;9—底板;10—压板

6.3.2 膜在刚性膜脊处设分片时,可采用图 6.3.2 所示构造。在压板与防水膜片之间充填高弹发泡材以避免螺栓对防水膜的损伤[图 6.3.2(a)];采用中间凹进的压板使固定螺栓的螺帽不突出压板表面[图 6.3.2(b)];利用固定底板上焊接圆钢将主膜抬高,使防水膜与主膜的高度平齐[图 6.3.2(c)];采用铝合金型材以避免在膜材上开孔[图 6.3.2(d)]。



(a) 填充高弹发泡材

(b) 采用中间凹进的压板



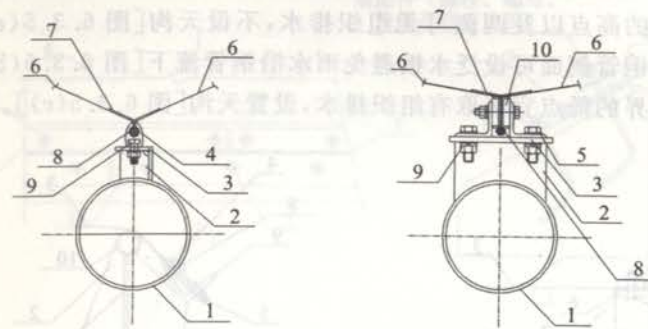
(c) 焊接圆钢

(d) 采用铝合金型材

图 6.3.2 膜在刚性膜脊处设分片的连接

1—主结构钢管;2—加劲板;3—底板;4—立板;5—高弹发泡材衬垫;
6—主膜;7—防水膜;8—绳边;9—压板;10—螺栓(可工厂点焊接);
11—铝合金型材;12—圆钢

6.3.3 膜在刚性膜谷处不设分片时,可采用图 6.3.3 所示构造。膜谷的两侧受力基本相等时,可采用单排螺栓与底板进行固定[图 6.3.3(a)];膜谷的两侧受力差异大时,宜采用双排螺栓与底板进行固定[图 6.3.3(b)]。



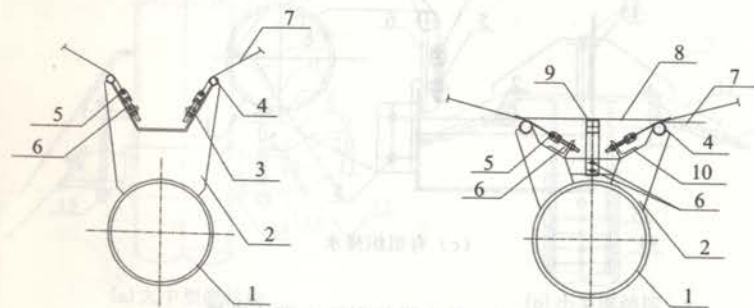
(a) 两侧受力基本相等时

(b) 两侧受力差异大时

图 6.3.3 膜在刚性膜谷处不设分片的连接

1—主结构钢管;2—加劲板;3—底板;4—铝合金型材;5—角钢;
6—主膜;7—加强膜;8—绳边;9—螺栓;10—压板

6.3.4 膜在刚性膜谷处设分片时,可采用图 6.3.4 所示构造。有天沟时可将分片设在天沟两侧[图 6.3.4(a)];无天沟时可在分片处热合防水膜[图 6.3.4(b)]。



(a) 有天沟时

(b) 无天沟时

图 6.3.4 膜在刚性膜谷处设分片的连接

1—主结构钢管;2—加劲板;3—立板;4—小钢管;5—绳边;
6—螺栓;7—主膜;8—防水膜;9—方管;10—角钢

6.3.5 单边膜与刚性边界的连接可采用图 6.3.5 所示构造。刚性边界的高点以及两侧可无组织排水,不设天沟[图 6.3.5(a)];主结构钢管侧面可设泛水板避免雨水沿钢管流下[图 6.3.5(b)];刚性边界的低点宜采取有组织排水,设置天沟[图 6.3.5(c)]。

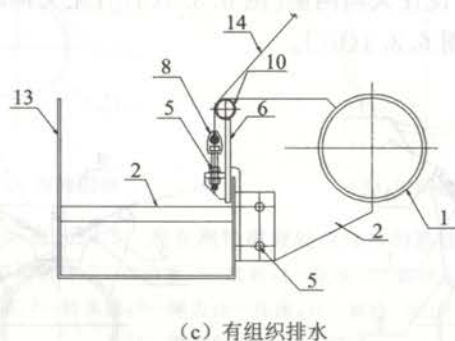
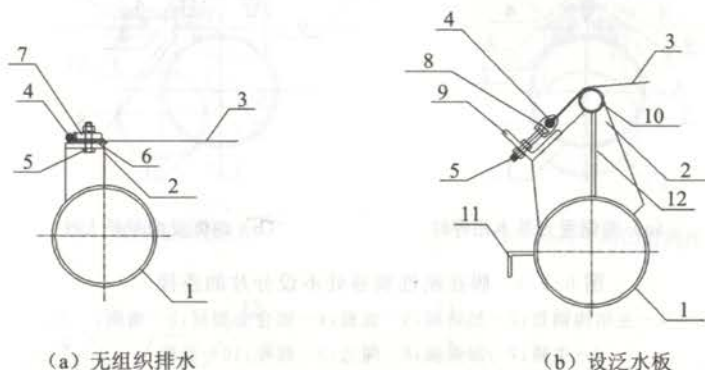


图 6.3.5 单边膜与刚性边界的连接

1—主结构钢管;2—加劲板;3—膜材;4—绳边;5—螺栓;
6—底板;7—压板;8—铝合金型材;9—角钢;10—小钢管;
11—泛水板;12—封板;13—天沟;14—主膜

6.3.6 单边膜与混凝土构件的连接可采用图 6.3.6 所示构造。

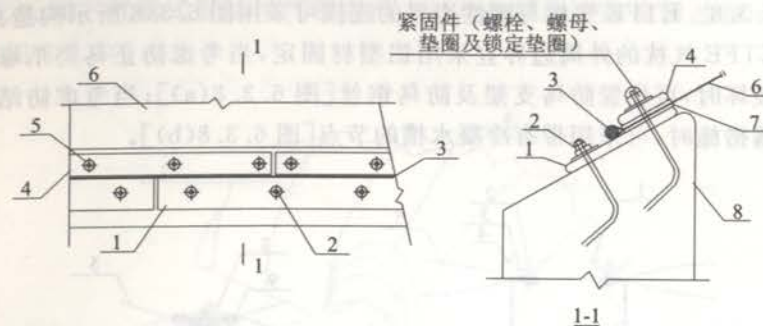


图 6.3.6 单边膜与混凝土构件的连接

1—底板;2—螺栓;3—绳边;4—夹板;5—紧固件;6—膜材;7—衬垫;8—墙体

6.3.7 膜结构桅杆顶部可采用图 6.3.7 所示构造。大、中型膜结构可将膜顶与套管连接,通过螺杆张拉进行调节[图 6.3.7(a)];小型膜结构可将膜顶连接到桅杆顶板上,采用调整螺栓孔位置的方式进行调节[图 6.3.7(b)]。

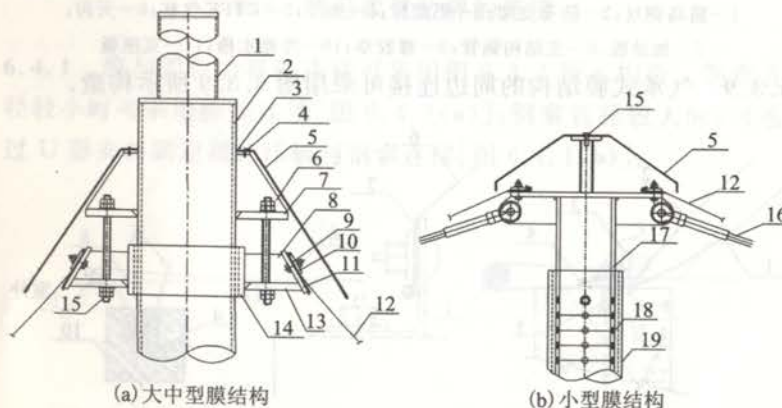


图 6.3.7 膜结构桅杆顶部构造

1—收头钢管;2—桅杆、柱钢管;3—防水硅胶;4—防水自攻螺丝;5—防水金属罩;
6—加劲板;7—钢板;8—加劲板;9—垫片;10—压板;11—节点板;12—膜顶;
13—钢板;14—套管;15—螺栓(周围焊接防水);16—钢索;
17—内套钢管;18—分级螺栓孔;19—桅杆钢管

6.3.8 ETFE 气枕与刚性边界的连接可采用图 6.3.8 所示构造。ETFE 气枕的外周边界宜采用铝型材固定,当考虑防止鸟类爪喙破坏时,可设置防鸟支架及防鸟钢丝[图 6.3.8(a)];当考虑防结露措施时,可采用带有冷凝水槽的节点[图 6.3.8(b)]。

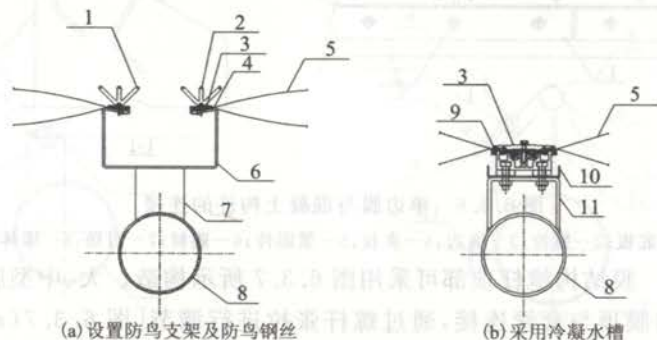


图 6.3.8 ETFE 气枕与刚性边界的连接

1—防鸟钢丝;2—防鸟支架;3—铝型材;4—垫片;5—ETFE 气枕;6—天沟;
7—加劲板;8—主结构钢管;9—橡胶垫;10—冷凝水槽;11—支座板

6.3.9 气承式膜结构的周边连接可采用图 6.3.9 所示构造。

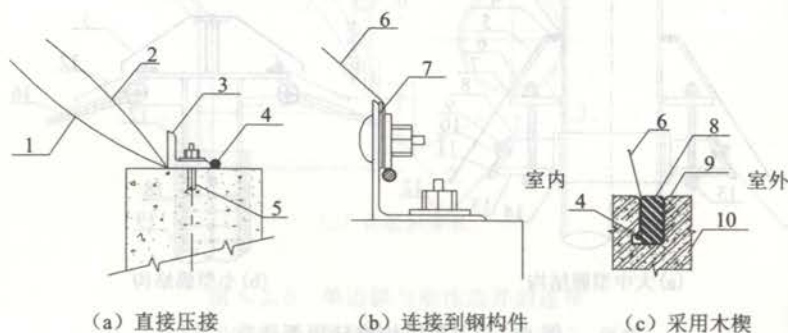


图 6.3.9 气承式膜结构的周边连接

1—内膜;2—外膜;3—角钢;4—绳边;5—锚栓;6—膜;7—橡胶垫;
8—油浸木楔;9—铝合金铸件;10—混凝土

6.3.10 气承式膜结构气密室出入口与主膜间应加设膜过渡区(图 6.3.10)。

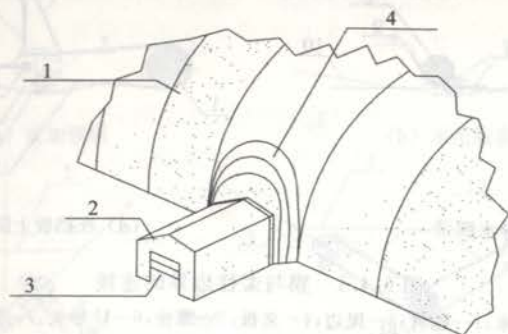
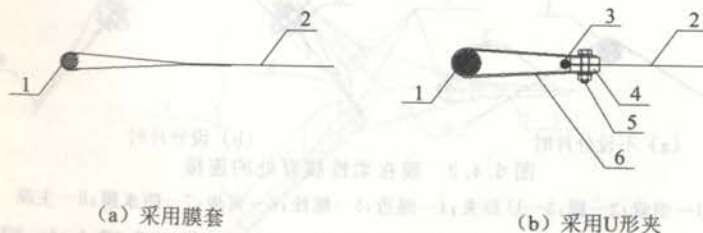


图 6.3.10 气密室出入口处理

1—气承式膜结构;2—气密室;3—气密室出入口;4—膜过渡区

6.4 膜与柔性边界的连接

6.4.1 膜与柔性边界的连接可采用图 6.4.1 所示构造。钢索直径较小时可采用膜套连接[图 6.4.1(a)];钢索直径较大时,可通过 U 形夹将固定膜的压板与钢索连接[图 6.4.1(b)]。



当膜结构对排水要求较高时,可采用内套软塑料、聚酯等填充材料的膜带形成挡水、导水带[图 6.4.1(c)];也可在挡板上固定导水膜[图 6.4.1(d)]。

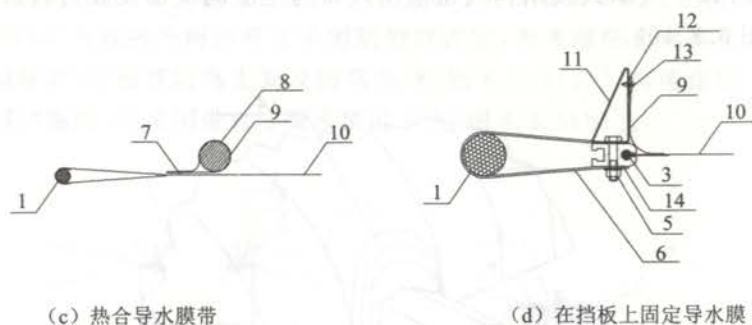


图 6.4.1 膜与柔性边界的连接

- 1—边索;2—膜材;3—绳边;4—夹板;5—螺栓;6—U形夹;7—热合;
8—填充材料;9—导水膜;10—主膜;11—铝挡板;12—铝合金压板;
13—自攻钉;14—铝合金型材

6.4.2 膜在柔性膜脊处不设分片时,可直接将膜铺在钢索上[图 6.4.2(a)];膜在柔性膜脊处设分片时,可通过 U 形夹将固定膜材的夹板与钢索连接,并在现场热合防水膜[图 6.4.2(b)]。

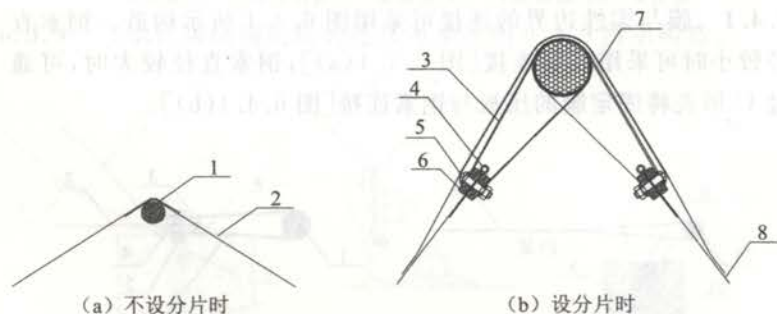


图 6.4.2 膜在柔性膜脊处的连接

- 1—钢索;2—膜;3—U形夹;4—绳边;5—螺栓;6—夹板;7—防水膜;8—主膜

6.4.3 膜在柔性膜谷处不设分片时,可将钢索压在膜上方,膜面与钢索直接接触处可设加强膜对主膜进行局部加强[图 6.4.3(a)];为了防止钢索发生横向位移造成膜的磨损,可采用膜套对钢索进行限位[图 6.4.3(b)]。膜在柔性膜谷处设分片时,当

防水膜宽度较小,可将防水膜直接热合在相邻主膜上[图 6.4.3(c)];当防水膜宽度较大,可在防水膜的下方设支撑构件,以防止螺栓对防水膜的损伤,并增加防水膜的平整度[图 6.4.3(d)]。

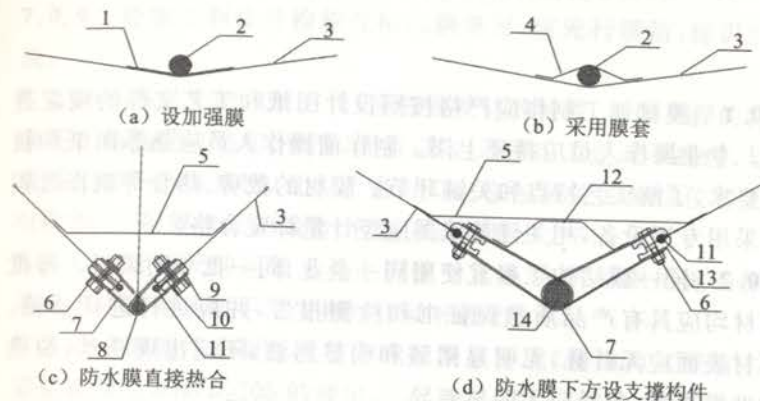


图 6.4.3 膜在柔性膜谷处的连接

- 1—加强膜;2—钢索;3—主膜;4—膜套;5—防水膜;6—螺栓;7—U形夹;8—谷索;
9—夹板;10—衬垫;11—绳边;12—支撑构件;13—铝合金型材;14—钢索

6.4.4 多向钢索之间可采用连接板连接(图 6.4.4)。钢索轴线应汇交于一点,避免连接板偏心受力。

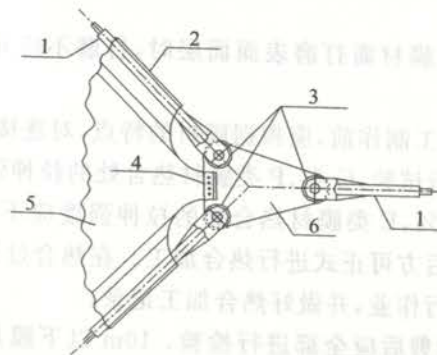


图 6.4.4 多向拉索的连接板连接

- 1—钢索;2—钢索套;3—加强板;4—膜压板;5—膜;6—连接板

7 制 作

7.0.1 膜材加工制作应严格按照设计图纸和工艺文件的规定进行。专业操作人员应持证上岗。制作前操作人员应熟悉图纸和技术要求,了解工艺特点和关键环节。膜材的裁剪、热合等制作过程应采用专用设备,相关计量仪器应经计量标定合格。

7.0.2 同一膜结构工程宜使用同一企业、同一批号的膜材。每批膜材均应具有产品质量保证书和检测报告,并应进行进货抽检。膜材表面应无针孔,无明显褶皱和明显污渍,不应出现断丝、裂缝和破损现象,色泽应无明显差异。

7.0.3 膜材应储存在干燥通风处,且不宜与其他物品混放。不应接触易褪色的物品或对其性能有危害的化学溶剂。

7.0.4 加工制作场地应平整,加工环境应满足一定温、湿度的要求。存放膜材的工作平台应干燥无污物,整个加工制作过程应保持膜材清洁。

7.0.5 当热合膜材需打磨表面面层时,打磨不应应对膜材产生损伤。

7.0.6 热合加工制作前,应根据膜材的特点,对连接方式、搭接或对接宽度等进行试验,G类、P类膜材热合处的拉伸强度应不低于母材强度的80%,E类膜材热合处的拉伸强度应不低于30MPa,符合设计要求后方可正式进行热合加工。在热合过程中应严格按照试验参数进行作业,并做好热合加工记录。

7.0.7 膜片裁剪后应全部进行检验,10m以下膜片各向尺寸偏差应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 之内,10m以上膜片各向尺寸偏差应控制在 $\pm 6\text{mm}$ 内。热合后的膜单元,周边尺寸与设计尺寸的偏差不应大于1%。

7.0.8 热合缝应均匀平整、饱满、线条清晰,热合后膜面不得有污渍、划伤、破损现象。对G类、P类膜材热合宽度的误差值不应超过5%,对E类膜材热合宽度的误差值不应超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

7.0.9 经加工制作并检验合格的膜单元,应先行清洁,标识后存放。

7.0.10 膜单元的包装方式,应根据膜材的特性、具体工程的特点确定。包装袋应结实、平滑、清洁,其内表面应无色或不褪色,与膜成品之间不得有异物,且应严密封口。在包装袋的醒目位置上应有标识,标明膜单元的编号、包装方式和展开方向。

7.0.11 膜单元的运输工具上应铺支承垫层,并采取措施确保膜单元与运输工具间不发生相对移动和撞击。

7.0.12 钢构件的制作应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定。

7.0.13 拉索的加工制作应按现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257的规定执行。

8 安 装

8.1 钢构件、拉索安装

8.1.1 膜结构的钢构件、拉索进行安装前应具备下列条件:

- 1 相关的前期工程经验收合格;
- 2 钢构件、拉索及其配件验收合格;
- 3 现场具备安装条件;
- 4 完成施工组织设计并通过监理审批。

8.1.2 安装前应检查支座、钢构件、拉索间相互连接部位的各项尺寸。支承结构预埋件的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$;同一支座地脚螺栓相对位置的允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.1.3 膜结构的钢构件安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

8.1.4 拉索的安装应按现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定执行。

8.1.5 对地脚螺栓、螺母应进行防锈及防碰撞保护。

8.1.6 对临时连接的部位应采取安全可靠、便于拆卸的固定措施。

8.1.7 与膜接触的钢板、钢管、连接板(件)等钢构件,应保持顺直平滑,不得有错位。

8.1.8 拉索施工前应对拉索耳板的方向、尺寸、销孔等进行检查,确保耳板与拉索锚具匹配。

8.1.9 索系支承式膜结构的拉索安装,应进行施工过程模拟验算和施工监测。

8.1.10 对于索系支承式膜结构,张拉拉索前应确定索力控制或结构位移控制的原则。对于大型复杂膜结构应进行索力和结构位

移双控。张拉力偏差宜不大于设计值的10%,结构位移的偏差应按设计要求确定。

8.2 膜单元安装

8.2.1 膜单元安装宜在相关土建和外装饰工程完工后进行,对安装现场可能伤及膜材的物件应进行安全防护。

8.2.2 安装前宜对支承结构及钢构件进行复测,以确认满足膜安装要求。

8.2.3 安装单位应按设计单位提供的膜单元总装图和分装图进行安装。

8.2.4 在现场打开包装前,应先检查膜单元的包装在运输过程中有无损坏。打开包装后,膜单元成品应经安装单位验收合格。

8.2.5 吊装膜单元前,应先确定膜单元的准确安装位置。膜单元展开时,应采取必要的措施防止膜材受到污染或损伤。展开和吊装膜单元时可使用临时夹板,但安装过程中应避免膜单元与临时夹板连接处产生撕裂。

8.2.6 膜单元宜连续安装就位。当不能连续安装就位时,应采取可靠的临时固定措施。

8.2.7 当风力达到四级或气温低于 4°C 时,不宜进行膜单元安装;当风力达到五级及以上时,严禁进行膜单元安装。

8.2.8 现场热合的防水膜应无漏水、渗水现象。

8.2.9 膜结构安装完毕后,应对膜体内、外表面进行清洁。

8.2.10 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监测,直至达到设计要求。

8.3 施加预张力

8.3.1 对于通过集中施力点施加预张力的膜结构,在施加预张力

前应将支座连接板和所有可调部件调节到位。

8.3.2 施力位置、位移量、施力值应符合设计要求。

8.3.3 施加预张力应采用专用施力机具。每一施力位置使用的施力机具,其施力标定值不宜小于设计施力值的2倍。

8.3.4 施力机具和仪表均应在有效的计量标定期内。测力仪表的测力误差不得大于5%。

8.3.5 对膜施加预张力应分步进行,各步的间隔时间宜大于24h。

8.3.6 对膜施加预张力时应以施力点位移达到设计值为控制标准,允许误差为 $\pm 10\%$ 。对有代表性的施力点还应进行力值抽检,允许误差为 $\pm 10\%$ 。

9 工程验收

9.0.1 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》GB 50300 和本规程的规定,按制作分项工程、安装分项工程分别进行工程验收,每个分项工程按具体情况可划分为一个或若干个检验批。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》GB 50205 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》JGJ 257 执行。

9.0.2 膜结构子分部工程合格质量标准应符合下列规定:

- 1 所含各分项工程的质量均应验收合格;
- 2 质量控制资料 and 文件应完整;
- 3 有关安全及功能的检验和见证检测结果应符合本规程相应规定;
- 4 有关观感质量应符合本规程相应规定。

9.0.3 膜结构子分部工程验收时,应具备下列文件和记录,并检查符合本规程第4~8章规定的质量要求:

- 1 膜结构工程(含钢、索结构)施工图、竣工图、设计变更文件;
- 2 技术交底记录、施工组织设计;
- 3 膜材的产品质量保证书和检测报告;
- 4 膜单元和其他部件制作过程的质量检验记录;
- 5 膜单元安装和施加预张力过程的质量检验记录;
- 6 维护保养手册;
- 7 其他有关文件和记录。

9.0.4 膜结构安全及功能检验、观感质量应符合下列规定:

1 膜结构的支承结构和各项连接构造应符合本规程第 6 章中相应的规定;

2 膜面排水、防水应全部进行检查。膜面排水坡度、天沟、檐口等做法应符合设计要求,表面应无积水凹坑,可采用自然或人工淋水试验进行排水检查;

3 膜面外观应全面进行检查。膜面应无明显污渍、串色现象,无破损、划伤,无明显褶皱;

4 膜面的张力值应符合设计要求;

5 空气支承膜结构在验收前应进行充气系统测试,充气设备出口静压力应满足最大工作内压设计值的要求。压力控制系统、紧急备用系统均应按设计运行要求进行测试。

9.0.5 空气支承膜结构工程验收时,除应提供本规程第 9.0.3 条所规定的文件外,尚应提供设计条件说明、充气设备的合格证明、在常规和紧急情况下设备和控制系统的操作规程。

9.0.6 膜结构制作分项工程检验批应按下列规定进行验收:

1 主控项目应按下列规定进行验收:

- 1) 膜材料品种、规格及性能应符合本规程第 4 章的规定;
- 2) 膜片热合缝的热合强度应符合本规程第 7.0.6 条规定;
- 3) 膜片搭接方向应符合设计要求。

2 一般项目应按下列规定进行验收:

- 1) 膜单元制作尺寸偏差应符合本规程第 7.0.7 条规定;
- 2) 膜热合缝宽度及热合质量应符合本规程第 7.0.8 条规定;
- 3) 膜单元成品外观应符合本规程第 7.0.8 条规定。

9.0.7 膜结构安装分项工程检验批应按下列规定进行验收:

1 主控项目应按下列规定进行验收:

- 1) 膜单元连接节点应符合本规程第 6 章的规定和设计要求;
- 2) 膜预张力施加应符合本规程第 8.3 节的要求;

3) 膜防水、排水应符合本规程第 9.0.4 条第 2 款及使用功能的要求。

2 一般项目应按下列规定进行验收:

- 1) 膜面外观应符合本规程第 9.0.4 条第 3 款的规定;
- 2) 连接件、紧固件应符合设计要求。

9.0.8 膜结构制作、安装分项工程所含检验批的质量经验收均判定为合格时,该分项工程可判定为合格。

9.0.9 当膜结构制作、安装工程检验批的质量经验收不合格,应按下列规定进行处理:

1 经查清原因并返工、返修不合格的连接构造和排水、防水措施或更换不合格的构件、部件后,检验批可重新进行验收;

2 经对不合格的膜面外观、质量进行修补处理并达到设计要求后,检验批可重新进行验收;

3 当膜材性能、连接构造、制作安装达不到原设计要求,但经设计单位核算并确认仍可满足结构的安全和使用功能时,该检验批可予以验收;

4 对不合格的检验批进行结构加固处理后,如能满足安全使用要求,可按技术处理方案和协商文件进行验收。

9.0.10 膜结构工程质量分项工程检验批验收记录、分项工程验收记录、子分部工程验收记录应采用现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 中相应的格式。

序号	检验批名称	验收日期	验收人员	验收结论
1	膜结构制作			
2	膜结构安装			
3	膜结构防水			
4	膜结构排水			
5	膜结构张拉			
6	膜结构维护			
7	膜结构拆除			
8	膜结构改造			
9	膜结构加固			
10	膜结构翻新			

10 维护和保养

10.0.1 膜结构工程的维护和保养应按维护保养手册进行,使用单位应根据维护保养手册建立健全维护保养制度。

10.0.2 对空气支承式膜结构的维护和保养,应按设备及控制系统操作规程和维护保养手册由专业人员或经过培训的专职人员进行。

10.0.3 工程竣工后的一年内,制作安装单位应对膜结构进行至少1次常规检查和维护,发现膜面异常时应采取预张力补强或其他措施。连接件如有松动,应重新拧紧或予以加固。

10.0.4 每年雨季、冬季前应对膜面进行检查、清理,保持膜面排水系统畅通。雪荷载较大地区宜有必要的融雪、除雪应急措施。

10.0.5 膜结构工作状态的主要检查项目应包括:膜面有无较大变形,膜面是否因预张力损失较大而松弛,膜面是否局部撕裂,膜材涂层是否剥离等。具体检查项目可按表10.0.5执行,对检查出的问题应及时解决并做好维护记录。

表 10.0.5 膜结构日常检查维护项目

检查部位 内容	钢索 索具	钢索 护套	五金件	可调 接头	预张力 施加装置	防水膜	密封 橡胶	膜面 及涂层
霉变	—	●	—	—	—	●	—	●
松弛	●	—	●	●	●	—	—	●
损伤	●	●	●	●	●	●	●	●
磨损	●	●	—	●	●	●	●	●
变形	●	●	●	●	●	—	—	●
污垢	—	●	—	—	—	●	—	●
破断	●	●	●	●	●	●	●	●

续表 10.0.5

检查部位 内容	钢索 索具	钢索 护套	五金件	可调 接头	预张力 施加装置	防水膜	密封 橡胶	膜面 及涂层
剥离	—	—	—	—	—	●	—	●
老化	—	●	—	—	—	●	●	●
渗漏	—	●	—	—	—	●	●	●
锈蚀	●	—	●	●	●	—	—	—

10.0.6 在强风、冰雹、暴雨和大雪等恶劣天气过程中及过程后,应及时检查膜结构建筑物有无异常现象并采取必要的措施。

10.0.7 空气支承式膜结构应至少每月检查1次。除本规程第10.0.5条和第10.0.6条的规定外,尚应检查下列项目:

- 1 工作内压应始终保持设计规定的水平;
- 2 膜材与建筑内外物体之间的距离应始终保持不小于1.0m;
- 3 应保证各边缘构件与膜面之间安全连接,密封良好;
- 4 气承式膜结构的门、检修窗在正确操作下应正常联动和开合;
- 5 充气设备、控制系统和备用电源应运转良好,风机进气口不得被杂物堵塞。