



CECS 158 : 2004

中国工程建设标准化协会标准

膜结构技术规程

Technical specification for membrane structures

中国工程建设标准化协会标准

膜结构技术规程

Technical specification for membrane structures

CECS 158:2004

主编单位:中国钢结构协会空间结构分会

中国建筑科学研究院

批准单位:中国工程建设标准化协会

施行日期:2004年8月1日

前 言

根据中国工程建设标准化协会(2001)建标协字第 45 号《关于印发中国工程建设标准化协会 2001 年第二批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本规程。

膜结构是以性能优良的织物为材料,利用柔性拉索或刚性骨架将膜面绷紧,也可向膜内充气,通过空气压力来支承膜面,从而形成具有一定刚度并能覆盖较大空间的结构体系。自从 20 世纪 70 年代以来,这种结构在国外已逐渐推广应用于各种类型的工业与民用建筑中,近年来在中国也得到了较多的发展。由于膜结构是一种新颖的结构,设计、施工、制作安装与维护均需要有技术上的指导以保证工程质量,因此有必要编制本技术规程,使这种新型结构在建设中有章可循,得以健康发展。

本规程的主要技术内容有膜结构的设计基本规定、材料、结构计算、连接构造、制作、安装和工程验收、维护和保养,包括了膜结构从设计到使用的全过程。

根据国家计委[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,现批准协会标准《膜结构技术规程》,编号为 CECS 158:2004,推荐给设计、施工和使用单位采用。

本规程由中国工程建设标准化协会轻型钢结构专业委员会 CECS/TC 28 归口管理,由中国建筑科学研究院结构所(北京北三环东路 30 号,邮编 100013)负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

主 编 单 位:中国钢结构协会空间结构分会

中国建筑科学研究院

参编单位:哈尔滨工业大学

浙江大学

北京纽曼帝莱蒙膜建筑技术公司

北京光翌膜结构建筑有限公司

北京工业大学

同济大学

上海现代建筑设计集团

上海豪普空间膜结构工程公司

上海太阳膜结构公司北京分公司

主要起草人:蓝 天 沈世钊 严 慧 廖 扬 黄达达
向 阳 董石麟 赵 阳 武 岳 卫 东
张毅刚 曹 资 薛素铎 张其林 钱若军
姚念亮 杨联萍 周晓峰 张文英 李中立
梁伟强 赵 然 钱基宏 宋 涛 马 明

中国工程建设标准化协会

2004 年 5 月 30 日

目 次

1	总 则	(1)
2	术语、符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	设计基本规定	(4)
3.1	膜结构选型	(4)
3.2	建筑设计	(6)
3.3	结构设计	(7)
4	材 料	(10)
4.1	膜材	(10)
4.2	拉索和锚具	(12)
5	结构计算	(14)
5.1	一般规定	(14)
5.2	初始形态分析	(14)
5.3	荷载效应分析	(15)
5.4	裁剪分析	(16)
5.5	空气支承膜结构计算要点	(17)
6	连接构造	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	膜材的连接	(18)
6.3	膜材与支承骨架、钢索、边缘构件的连接	(20)
6.4	钢索及其端部连接	(23)
6.5	拉索的锚锭	(28)
6.6	空气支承膜结构的构造	(29)

7	制 作	(31)
8	安 装	(33)
8.1	钢构件、拉索安装	(33)
8.2	膜单元安装	(33)
8.3	施加预张力	(34)
8.4	施工记录文件	(34)
9	工程验收	(36)
10	维护和保养	(39)
	本规程用词说明	(41)
	附:条文说明	(43)

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 本规程遵照现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 规定的原则,根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定,并结合膜结构的特点而编制。

1.0.4 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、符号

2.1 术 语

2.1.1 膜结构 membrane structure

由膜材及其支承构件组成的建筑物或构筑物。

2.1.2 膜材 membrane material

由高强度纤维织成的基材和聚合物涂层构成的复合材料。

2.1.3 基材 substrate

由玻璃纤维或聚酯纤维织成的高强度织物。它是膜材的主要组成部分。

2.1.4 涂层 coating

涂敷在基材上,起保护基材作用的聚合物层。

2.1.5 面层 top coating

保护基材免受紫外线侵蚀并使膜材具有自洁性的表面附加涂层。

2.1.6 拉索 tension cable

具有一定预张力的受拉构件。可为钢丝拉束、钢绞线、钢丝绳等钢索和非金属缆绳等。

2.1.7 裁剪 pattern cutting

将空间曲面划分为若干个可展开膜片,对平面膜材进行加工。

2.1.8 膜片 membrane sheet

膜材经裁剪后形成的单元。

2.1.9 预张力 pretension

以机械或其他方法,预先施加于拉索或膜片上的力。

2.1.10 初始形态 initial state of form

满足边界条件和力平衡条件的膜结构初始形状和对应的预张

力分布。

2.2 符 号

G ——恒荷载；

P ——初始预张力；

p ——空气支承膜结构中的气压力；

Q ——可变荷载；

W ——风荷载；

γ_R ——膜材抗力分项系数；

σ_{\max} ——最大主应力值；

σ_{\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。

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、索系支承式膜结构和空气支承膜结构,或由以上形式组合成的结构。

3.1.2 整体张拉式膜结构可由桅杆等支承构件提供吊点,并在周边设置锚固点,通过预张拉而形成稳定的体系(图 3.1.2)。

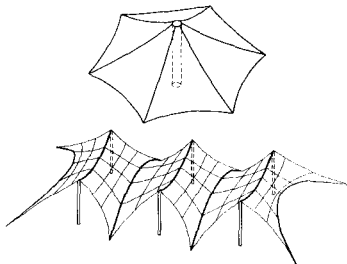


图 3.1.2 整体张拉式膜结构

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

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)。

3.1.5 空气支承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,借助内压保持膜材的张力,形成设计要求的曲面(图 3.1.5)。

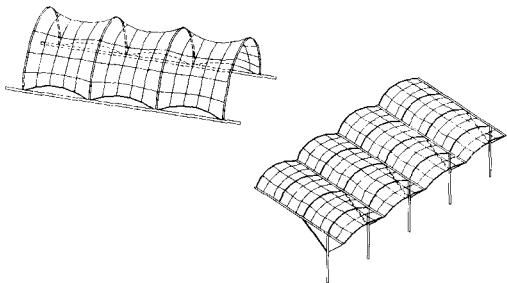


图 3.1.3 骨架支承式膜结构

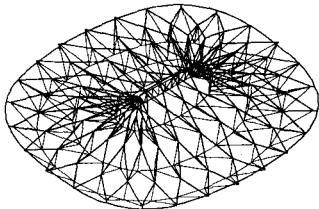


图 3.1.4 索系支承式膜结构

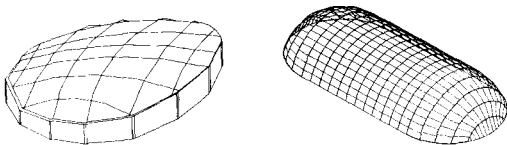


图 3.1.5 空气支承膜结构

3.2 建筑设计

3.2.1 膜结构的建筑设计应符合现行行业标准《民用建筑设计通则》JGJ 37 和《城市道路和建筑物无障碍设计规范》JGJ 50 以及相关的建筑设计规范所统一规定的原则,并根据建筑物的性质、重要程度、使用功能、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、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》GBJ 16 和《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。

3.2.4 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》GBJ 118 的规定。当有特殊声学要求时,应根据膜材的声学特性、膜结构构造特点、预张力施加水平等因素对建筑声学质量作出评价。必要时,尚应对室内或膜体覆盖空间进行混响时间测试和控制。

3.2.5 膜结构应根据使用功能要求进行采光和照明设计。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。照明灯具与膜面的距离不应小于 1.0m。

3.2.6 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行业标准《民用建筑设计通则》JGJ 37 和现行国家标准《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,尚应采取防结露和必要的排除冷凝水措施。

3.2.7 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必要的防积雪措施。

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

3.2.9 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,并采取必要的保护措施,避免影响交通或造成人身伤害。

3.2.10 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,且不应小于 1.0m。

3.2.11 对空气支承膜结构,除应满足本节上述各条的要求外,在建筑设计中尚应符合下列规定:

1 当采用普通单扇平开气闭门时,其宽度不应小于 90cm,其开启方向应保证在正常压力下自动关闭,且开门力不应大于 0.1kN。当采用其他专门的气闭门时,应进行专门设计;

2 每栋建筑至少应设置一个应急出口;

3 在所有的门上均应设置内外可视的观察窗。

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在结构上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。按承载能力极

限状态设计膜结构时,应考虑荷载效应的基本组合,采用荷载设计值和强度设计值进行计算。按正常使用极限状态设计膜结构时,应考虑荷载效应的标准组合,采用荷载标准值、组合值和变形限值进行计算。

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、温度变化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》GB50009 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 为空气支承膜结构中的气压力。

2 荷载分项系数和荷载组合值系数的取值,应符合《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定; P 、 p 的荷载分项系数和荷载组合值系数可取 1.0。

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

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 的规定采用。对于形状复杂或重要的建筑物,应通过风洞试验或专门研究确定风荷载体型系数。有条件时也可通过分析研究确定。

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 的规定采用,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的条件下,使结构

体系保持稳定。此外,还应考虑使用阶段部分膜片破坏或部分索退出工作,以及不同部位膜单元进行第二次张拉或更换对整体结构的影响。

3.3.9 膜结构设计时,可采用下列方法合理施加预张力:在边缘直接张紧膜面[图 3.3.9(a)];拉紧周围边索[图 3.3.9(b)];拉紧稳定索[图 3.3.9(c)];顶升中间支柱[图 3.3.9(d)]。

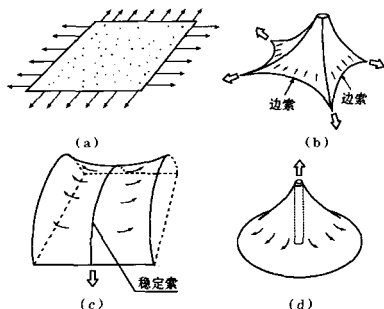


图 3.3.9 膜面施加预张力的方法

4 材 料

4.1 膜 材

4.1.1 膜结构应根据设计要求,参照表 4.1.1 选用不同类别和代号的膜材。

表 4.1.1 常用膜材的类别代号和构成

类别	代号	基材	涂层	面层
G	GT	玻璃纤维	聚四氟乙烯 PTFE	—
P	PCF	聚酯纤维	聚氯乙 烯 PVC	聚偏氟乙 烯 PVF
	PCD	聚酯纤维	聚氯乙 烯 PVC	聚偏二氟乙 烯 PVDF
	PCA	聚酯纤维	聚氯乙 烯 PVC	聚丙烯 Acrylic

注:GT 称 G 类,为不燃类膜材;PCF、PCD、PCA 统称 P 类,为阻燃类膜材。

4.1.2 膜材可根据其强度、重量和厚度按表 4.1.2-1、表 4.1.2-2 分级。设计时应根据结构承载力要求选用不同级别的膜材。

表 4.1.2-1 玻璃纤维膜材(G 类)的分级

级别	A 级		B 级		C 级		D 级		E 级	
受力方向	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)
经向	5200	0.9~ 1.1	4400	0.75~ 0.9	3600	0.6~ 0.75	2800	0.45~ 0.6	2000	0.35~ 0.45
纬向	4700	≥1550	3500	≥1300	2900	≥1050	2200	≥800	1500	≥500

表 4.1.2-2 聚酯纤维膜材(P类)的分级

级别	A 级		B 级		C 级		D 级		E 级	
受力方向	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)	抗拉强度 (N/3cm)	厚度 (mm) 重量 (g/m ²)
经向	5000	1.15~ 1.25	3800	0.95~ 1.15	3000	0.8~ 0.95	2200	0.65~ 0.8	1500	0.5~ 0.65
纬向	4200	≥1450	3200	≥1250	2600	≥1050	2000	≥900	1500	≥750

注:表中抗拉强度是指 3cm 宽度膜材上所能承受的拉力值。

4.1.3 膜材的经、纬向抗拉强度标准值可参照表 4.1.2-1、表 4.1.2-2 采用。当有足够的依据时,也可采用生产企业提供的数据。

膜材的弹性模量可采用生产企业提供的数值或通过试验确定。对不同企业和不同批次生产的膜材,应分别进行弹性模量试验。

4.1.4 膜材的质量保证期和膜结构的设计使用年限可参照表 4.1.4 确定。当生产企业出具质量保证期证书时,宜以企业提供的质量保证期为依据。

表 4.1.4 膜材的质量保证期和膜结构的设计使用年限

膜材代号	GT	PCF	PCD	PCA
膜材质量保证期(年)	10~15	10~15	10~12	5~10
膜结构的设计使用年限(年)	>25	15~20	15~20	10~15

4.1.5 膜材的光反射率和透光率可参照表 4.1.5 采用。

表 4.1.5 膜材的反射率和透光率

膜材种类	颜色	反射率(%)	透光率(%)
G 类	米白	70~80	8~18
P 类	白	75~85	6~13
	有色	45~55	4~6

4.1.6 膜材的保洁效果可参照表 4.1.6 采用。

表 4.1.6 膜材的保洁效果

效果	GT	PCF	PCD	PCA
优	●			
良		●		
较好			●	
一般				●

4.1.7 膜材的耐火性能可参照表 4.1.7 采用。

表 4.1.7 膜材的耐火性能

性能	GT	PCF	PCD	PCA
优	●			
良		●	●	
一般				●

4.2 拉索和锚具

4.2.1 膜结构的拉索可采用热挤聚乙烯高强钢丝拉索、钢绞线或钢丝绳,也可根据具体情况采用钢棒等。钢丝绳宜采用无油镀锌钢芯钢丝绳。

4.2.2 热挤聚乙烯高强钢丝拉索及其锚具的质量应符合现行国家标准《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/T 152、《镀锌钢绞线》YB/T 5004 等的有关规定。钢丝绳的质量应符合现行国家标准《钢丝绳》GB/T 8918、《不锈钢丝绳》GB/T 9944 和现行行业标准《粗直径钢丝绳》YB/T 5225 的规定。

4.2.3 钢丝抗拉强度的标准值和设计值应按表 4.2.3 采用。

表 4.2.3 钢丝的抗拉强度

抗拉强度标准值(MPa)	抗拉强度设计值(MPa)
1470	820
1570	870
1670	930
1770	980
1870	1040

注:当钢丝抗拉强度标准值不符合本表规定时,其设计值可通过换算求得。

热挤聚乙烯高强钢丝拉索、钢绞线的弹性模量不应小于 1.90×10^5 MPa, 钢丝绳的弹性模量不应小于 1.20×10^5 MPa。

4.2.4 拉索的锚接可采用浇铸式(冷铸锚、热铸锚)、压接式或机械式锚具。锚具表面应做镀锌、镀铬等防腐处理。

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《合金结构钢技术条件》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《一般工程用铸造碳素钢》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 锚具与索连接的抗拉强度,浇铸式不得小于索抗拉强度的 95%;压接式不得小于索抗拉强度的 90%。

4.2.7 对组成热挤聚乙烯高强钢丝拉索、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棒应进行镀锌、镀铬等防腐处理。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。锚具与有防护层的索的连接处应进行防水密封。

4.2.8 对重要的工程,应采用铝合金或不锈钢夹板、夹具和不锈钢紧固螺栓;对其他工程可采用钢制夹板、夹具和镀锌紧固螺栓。当采用铝合金夹板、夹具时,应做电化学阳极氧化处理。当采用钢制夹板、夹具时,应进行防腐处理。

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,必要时还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,可不考虑材料非线性。结构计算中可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,应按照国家有关标准的规定执行。

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,并满足建筑造型和使用功能的要求。
- 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 对常用的建筑膜材,其预张力水平可在下列范围内选取:
- | | |
|---------------|---------|
| G类 A级膜材 | 5~8kN/m |
| G类 B、C、D、E级膜材 | 3~6kN/m |
| P类膜材 | 1~4kN/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情况对膜结构内力和变形的影响。当计算结果不能满足要求时,应重新确定初始形态。

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;对整体张拉式伞形、鞍形膜结构,风振系数可取 1.5~2.0。

对于跨度较大、风荷载影响较大的或重要的膜结构,应通过动力分析或气弹性模型风洞试验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 σ_{\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;

ζ ——强度折减系数;对处于一般部位的膜材 $\zeta=1.0$;对处于连接节点处和边缘部位的膜材 $\zeta=0.75$;

γ_R ——膜材抗力分项系数,对第一类荷载效应组合 $\gamma_R=5.0$;对第二类组合 $\gamma_R=2.5$ 。

5.3.4 在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,其最大整体位移在第一类荷载效应组合下不应大于跨度的 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,不应大于单元名义尺寸的 1/15。

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

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

式中 σ_{\min} ——在各种荷载组合作用下的最小主应力值;

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,索退出工作不应导致结构失效。

5.4 裁剪分析

5.4.1 膜结构的裁剪分析应在初始平衡曲面的基础上,在空间曲面上确定膜片间的裁剪线,然后获得与空间膜片最接近的平面展开膜面。

5.4.2 确定膜结构的裁剪线,可采用测地线法和平面相交法等。

5.4.3 确定裁剪线时应考虑下列因素:裁剪线布置的美观性;根据膜材幅宽,尽量有效利用材料;适应膜材正交异性的特点,使膜材的纤维方向与计算的主受力方向一致。

5.4.4 膜结构的裁剪分析中必须考虑初始预张力和膜材徐变特性的影响。应根据所用膜材的材性,合理确定各膜片的收缩量,并对膜片的裁剪尺寸进行调整。

5.4.5 当采用搭接方式时,设计的裁剪片应预留搭接宽度。

5.5 空气支承膜结构计算要点

5.5.1 空气支承膜结构的内部压力,应保证在各种荷载作用下满足结构的强度和稳定性要求。

5.5.2 设计时应合理确定膜结构的最大工作内压、最小工作内压和正常工作内压。最大工作内压应保证在最不利的外界环境条件下,结构不会出现过大的变形。最小工作内压应保证在正常气候条件和正常使用条件下结构的稳定,其值不应小于 200Pa。正常工作内压应保证在常遇荷载作用下结构的稳定,并应保持室内环境的舒适度。

5.5.3 膜结构的锚固系统设计应按有关的结构设计标准执行,并应保证膜、索或其他加强构件与地面或其他结构构件的锚固安全可靠。

5.5.4 建筑物出、入口处的门框结构设计,应保证在最不利荷载组合作用下不发生破坏和产生永久变形。此外,还应考虑周边膜或锚件破坏时所产生的影响。

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 膜结构的连接件应具有足够的强度、刚度和耐久性,应不先于所连接的膜材、拉索或钢构件破坏,并不产生影响结构受力性能的变形。连接处的膜材应不先于其他部位的膜材破坏。
- 6.1.3 膜结构的连接件应传力可靠,并减少连接处应力集中。
- 6.1.4 膜结构的节点构造应符合计算假定。必要时,应考虑节点构造偏心对拉索、膜材产生的影响。
- 6.1.5 连接构造设计时应考虑施加预张力的方式、结构安装允许偏差,以及进行二次张拉的可能性。
- 6.1.6 在膜材连接处应保持高度水密性,应采取必要的构造措施防止膜材磨损和撕裂。
- 6.1.7 对金属连接件应采取可靠的防腐蚀措施。
- 6.1.8 在支承构件与膜材的连接处不得有毛刺、尖角、尖点。

6.2 膜材的连接

- 6.2.1 膜材之间的主要受力缝宜采用热合连接。其他连接缝也可采用粘结或缝合连接。
- 6.2.2 膜材之间连接缝的布置,应根据建筑体型、支承结构位置、膜材主要受力方向以及美观效果等因素综合确定。
- 6.2.3 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 6.2.3)。

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 P 类膜材不宜小于 40mm, 对 G 类膜材不宜小于 75mm。对小跨度建筑、临时性建筑以及建筑小品, 膜材的搭接缝宽度, 对 P 类膜材不宜小于 25mm, 对 G 类膜材不宜小于 50mm。

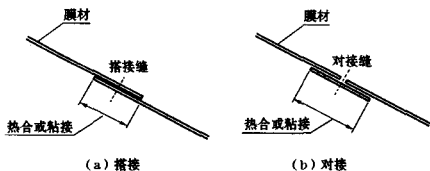
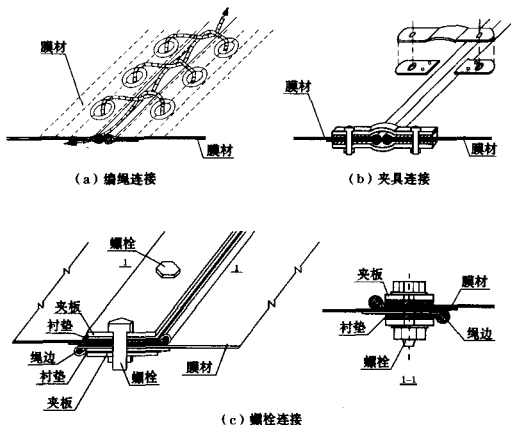


图 6.2.3 膜材的连接

6.2.4 膜单元之间的连接可采用编绳连接[图 6.2.4(a)]、夹具连接[图 6.2.4(b)]或螺栓连接[图 6.2.4(c)或(d)]。



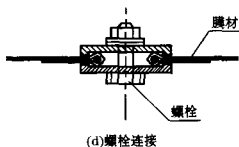


图 6.2.4 膜单元的连接

6.2.5 当膜面在 15m 或更大距离内无支承时,宜增设加强索对膜材局部加强。对空气支承膜结构和整体张拉式膜结构,加强索可按下列方式设置:钢索缝进膜面内[图 6.2.5(a)];钢索设在膜面外[图 6.2.5(b)]。



图 6.2.5 膜面局部加强

6.3 膜材与支承骨架、钢索、边缘构件的连接

6.3.1 对骨架支承式膜结构,膜材间的接缝可设在支承骨架上,并以夹具固定(图 6.3.1)。当支承在直径较小的钢索上时,可在膜材与钢索间设置加强膜片。

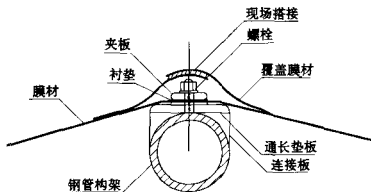


图 6.3.1 膜材与支承骨架的连接

6.3.2 膜材与边钢索的连接可采用图 6.3.2-1 所示构造。膜材与脊索的连接可采用图 6.3.2-2 所示构造,膜材与谷索的连接可采用图 6.3.2-3 所示构造。

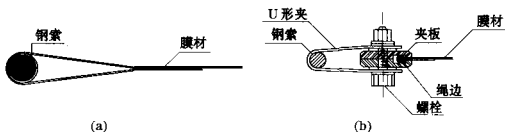


图 6.3.2-1 膜材与边钢索的连接

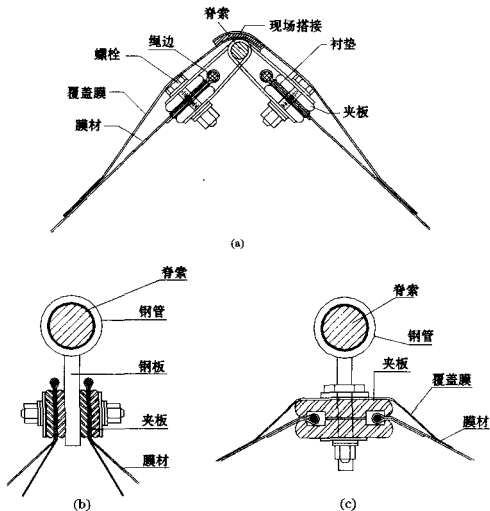


图 6.3.2-2 膜材与脊索的连接

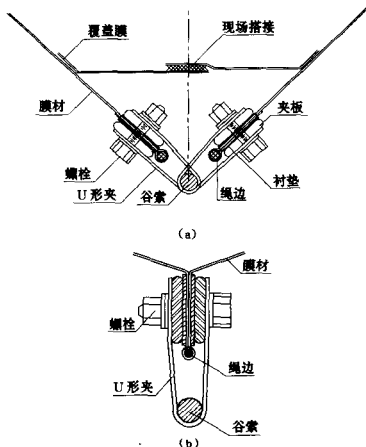
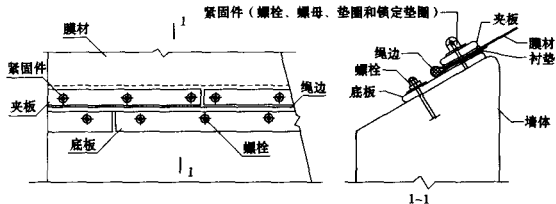
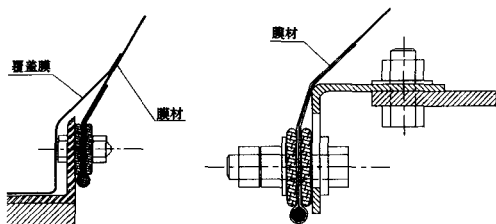


图 6.3.2-3 膜材与谷索的连接

6.3.3 膜材与刚性边缘构件的连接可采用图 6.3.3 所示构造。夹具应连续、可靠地夹住膜材边缘,夹具与膜材间应设置衬垫。当刚性边缘构件有棱角时,应先倒角,使膜材光滑过渡。



(a) 膜材与混凝土边缘构件

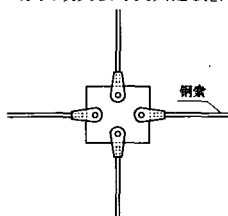


(b) 膜材与钢边缘构件

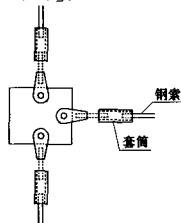
图 6.3.3 膜材与边缘构件的连接

6.4 钢索及其端部连接

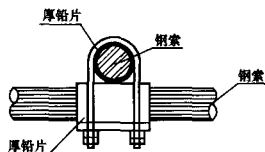
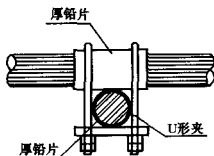
6.4.1 双向钢索可采用节点板连接[图 6.4.1(a)、(b)],也可采用 U 形夹或夹板等夹具连接[图 6.4.1(c)、(d)]。



(a) 节点板 (四索十字相连接)



(b) 节点板 (三索 T 形连接)



(c) U形夹

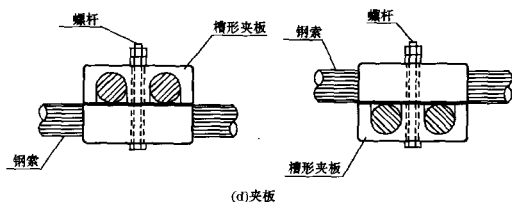


图 6.4.1 双向钢索连接

6.4.2 多向钢索之间可采用连接板连接(图 6.4.2)。钢索轴线应汇交于一点,避免连接板偏心受力。

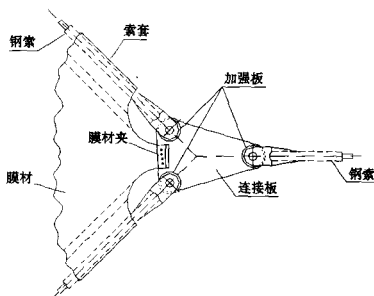


图 6.4.2 多向钢索连接板连接

6.4.3 锚固钢索时,其端部连接件可采用螺杆或连接环,以浇铸或压接等方式制作而成(图 6.4.3)。钢索直径大于 30mm 时宜采用浇铸方式锚固,钢索直径较小时可采用压接方式锚固。

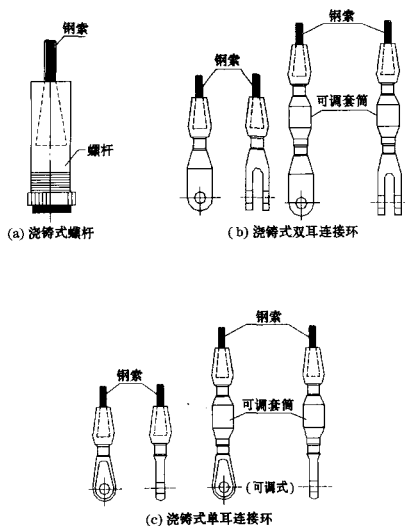


图 6.4.3-1 浇铸式索端连接件

连接环可采用单耳型或双耳型。在需要调整钢索长度与内力时,可采用可调式单耳或双耳连接环[图 6.4.3-1(b)、(c)],[图 6.4.3-2(b)、(c)]。连接环等部件在各种工况下应保证对净截面的强度要求。

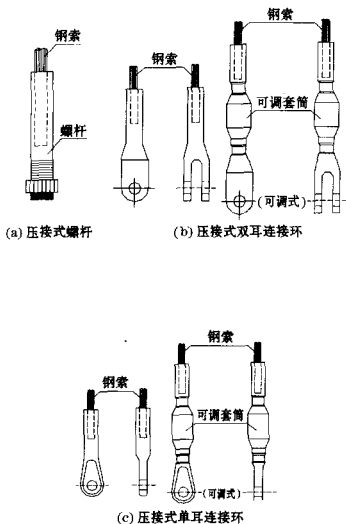


图 6.3.2-2 压接式索端连接件

6.4.4 拉索与桅杆顶部可通过索端连接件与桅杆顶部的钢板相连接。固定式桅杆可采用图 6.4.4-1 所示构造,活动式桅杆可采用图 6.4.4-2 所示构造。

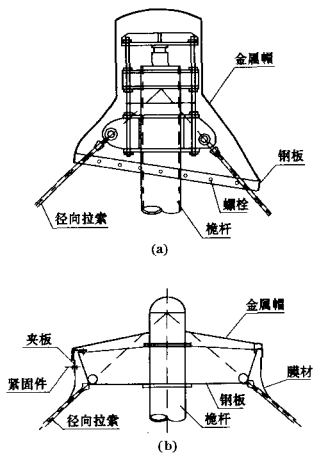


图 6.4.4-1 固定式桅杆顶部构造

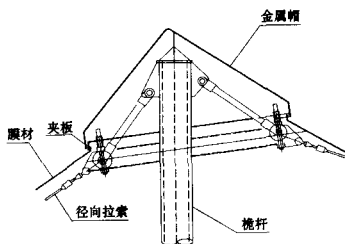


图 6.4.4-2 活动式桅杆顶部构造

6.5 拉索的锚锭

6.5.1 拉索的锚锭系统可根据具体情况采用重力锚、盘型锚、蘑菇型锚、摩擦桩、拉力桩、阻力墙等类型[图 6.5.1(a)~(f)]。

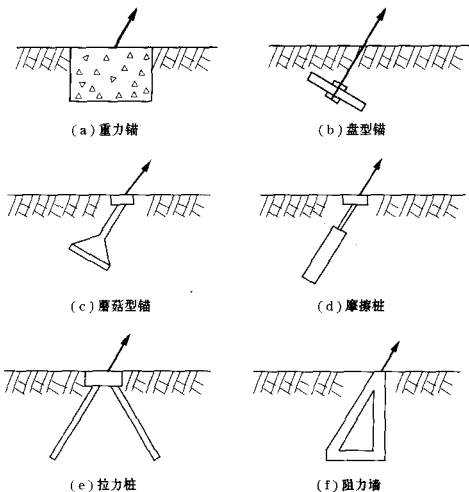


图 6.5.1 拉索锚锭系统

6.5.2 拉索锚锭的抗拔承载力应根据锚锭形式、地基条件等,经现场勘察和土质试验确定。

6.5.3 拉索与锚锭可采用图 6.5.3 所示方法连接。

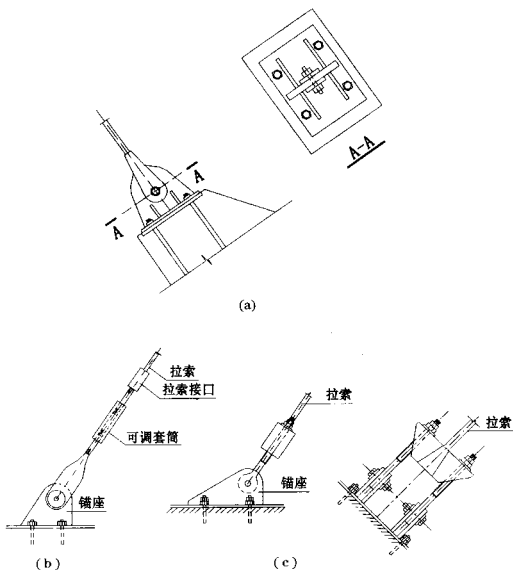


图 6.5.3 拉索与锚锭的连接

6.6 空气支承膜结构的构造

6.6.1 空气支承膜结构中,膜材的周边可采用图 6.6.1 所示的连接方式。

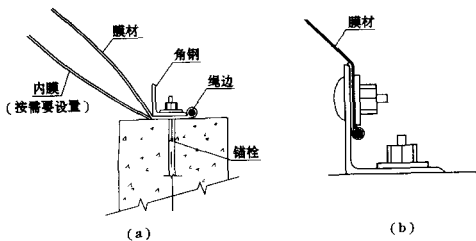


图 6.6.1 空气支承膜结构膜材周边连接

6.6.2 气密室出入口与膜材间的连接应加设膜材过渡区(图 6.6.2)。

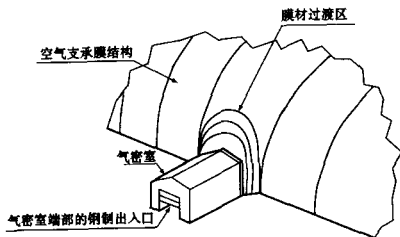


图 6.6.2 气密室出入口处理

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,相关的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生产的同一批号的膜材。每批膜材均应具有产品质量保证书和检测报告,并应进行各项技术指标的进货抽检。膜材表面应无针孔,无明显褶皱和明显污渍,不应出现断丝、裂缝和破损等,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的温、湿度要求。承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 当采用搭接方式热合膜材而需打磨表面涂层时,打磨后不应应对热合处膜材造成损伤。

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,膜材热合处的拉伸强度应不低于母材强度的80%,符合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,各向尺寸偏差不应大于 $\pm 2\text{mm}$ 。热合后的膜单元,周边尺寸与设计尺寸的偏差,对G类膜材不应大于0.5%,对P类膜材不应大于1.0%。

7.0.8 热合缝应均匀饱满,线条清晰,宽度不得出现负偏差。膜材周边加强处应平整,热合后不得有污渍、划伤、破损现象。

7.0.9 经加工制作并检验合格的膜单元,应先行清洁,然后单独存放。

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 索的加工制作应符合国家现行有关标准的规定。

钢丝绳下料前应进行预张拉。索的制作长度应考虑预拉力的影响。索长度的加工允许偏差,当长度不大于 50m 时,±10mm;当长度大于 50m 且不大于 100m 时,±15mm;当长度大于 100m 时,±20mm。

7.0.13 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 的要求。

7.0.14 膜结构的其他附属部件,应按设计图纸加工制作,并应符合国家现行有关标准的要求。

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 相关的土建结构工程经验收合格；
- 2 钢构件、拉索及其配件经安装单位验收合格；
- 3 现场具备安装条件；
- 4 完成施工组织设计。

8.1.2 吊装前应检查支座、钢构件、拉索间相互连接部位的各项尺寸。支承结构预埋件位置的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ；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 对地脚螺栓、螺母应进行防锈和防碰撞保护。

8.1.4 对临时连接的部位应采取安全可靠、便于拆卸的固定措施。

8.2 膜单元安装

8.2.1 膜单元安装应在全部土建和外装饰工程完工后进行。安装前应制定安全措施，并应对安装现场可能伤及膜材的物件采取防护措施。

8.2.2 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。

8.2.3 在现场打开膜单元的包装前，应先检查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。

8.2.4 吊装膜单元前，应先确定膜单元的准确安装位置。膜单元展开前，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。

8.2.5 膜单元宜连续安装就位,否则应采取可靠的临时固定措施。

8.2.6 当风力大于三级或气温低于 4°C 时,不宜进行膜单元安装。

8.2.7 膜材在防雨盖口等现场热合部位应无漏水、渗水现象,且表面应平整美观。

8.2.8 膜结构安装完毕后,应对膜体内、外表面进行清洁。

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、施力值应符合设计规定。

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两倍。

8.3.4 施力机具的测力仪表均应事先标定。测力仪表的测力误差不得大于 5%。

8.3.5 施加预张力应分步进行,各步的间隔时间宜大于 24h。工程竣工两年后宜第二次施加预张力。

8.3.6 施加预张力时应以施力点位移达到设计值为控制标准,位移允许偏差为 $\pm 10\%$ 。对有代表性的施力点还应进行力值抽检,力值允许偏差为 $\pm 10\%$ 。应由设计单位与施工单位共同选定有代表性的施力点。

8.4 施工记录文件

8.4.1 在膜结构的安装过程中应形成下列记录文件:

- 1 技术交底记录;
- 2 与膜结构相连接部位的检验记录;
- 3 钢构件、拉索、附件、膜单元等运抵安装现场后的验收记录;

- 4 钢构件现场焊缝的检验记录；
- 5 施加预张力记录；
- 6 施工过程检验记录；
- 7 膜结构安装完工检验记录。

9 工程验收

9.0.1 膜结构制作、安装分项工程应按具体情况划分为一个或若干个检验批,按本章的规定进行工程质量验收。与膜结构制作、安装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。其他相关分项工程的验收,应按有关的施工质量验收标准执行。

9.0.2 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。

9.0.3 膜面排水、防水应全部进行检查。膜面排水坡度、排水槽、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检查排水是否顺畅。

9.0.4 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。

9.0.5 工程完工后宜检查膜面的张力值是否符合设计的预张力。

9.0.6 膜结构工程验收时,应具备下列文件和记录,并经检查符合本规程第 4~8 章规定的质量要求:

- 1 膜结构(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、钢材、索及其他材料的产品质量保证书和检测报告;
- 4 膜单元、钢构件、索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 专业操作人员上岗证书;
- 7 其他有关文件和记录。

9.0.7 空气支承膜结构在验收前应进行充气系统测试。经测试应确认: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。

9.0.8 空气支承膜结构工程验收时,除第 9.0.6 条所规定的文件外,尚应提供下列文件:设计条件说明;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。

9.0.9 膜结构工程检验批的施工质量验收,当符合下列各项规定时,应判定为合格:

1 有关分项工程的施工质量,按本规程第 9.0.1 条的规定验收合格;

2 膜结构的支承结构和连接构造符合本规程第 9.0.2 条的规定;

3 工程排水、防水功能的检验结果符合本规程第 9.0.3 条的规定;

4 工程观感质量的检验结果符合本规程第 9.0.4 条的规定;

5 工程质量控制资料和文件的检查结果符合本规程第 9.0.6 条的规定。

9.0.10 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,该分项工程应判定为合格。

9.0.11 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 经对不合格的观感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。

9.0.12 膜结构制作、安装检验批和分项工程应由监理工程师(建设单位项目技术负责人)组织设计单位和施工单位项目专业质量(技术)负责人等进行验收和处理。

9.0.13 膜结构制作、安装检验批和分项工程的质量验收记录,应参照采用现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 中附录 D、附录 E 的格式。

10 维护和保养

10.0.1 膜结构的维护和保养应按制作安装单位提供的维护和保养手册由专业人员或经过培训的专职人员进行。

10.0.2 在工程竣工后一年内,制作安装单位应对膜结构进行1~2次常规检查和维护,必要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。

10.0.3 膜结构应定期清洗,清洗时应采用专用清洗剂。

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。雪荷载较大地区应有必要的融雪、排雪应急措施。

10.0.5 应定期检查膜结构是否处于正常工作状态。主要检查项目包括:膜面有无较大变形,膜面是否因预张力损失而松弛,膜面是否局部撕裂,膜材涂层是否剥离等。膜结构的具体检查项目可按表10.0.5执行。

表 10.0.5 膜结构日常检查维护项目

检修部位 内容	钢索	钢索 护套	五金件 和索具	可调 接头	预张力 施加装置	螺栓 螺母	膜盖口	密封 橡胶	膜面及 涂层
霉变		•					•		•
松弛	•		•	•	•	•			•
损伤	•	•	•	•	•	•	•	•	•
磨损	•	•		•	•	•	•	•	•
变形	•	•	•	•	•	•			•
污垢		•					•		•
破断	•	•	•	•	•	•	•	•	•
剥离							•		•
老化		•					•	•	•
渗漏							•	•	•
锈蚀	•		•	•	•	•			

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。

10.0.6 对空气支承膜结构,应至少每季度检查一次。除第10.0.5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 膜材与建筑内外物件之间的距离应始终保持不小于1.0m;
- 3 膜面的周边连接(如地锚)应按需要进行调整,保证各边缘构件与膜面之间安全连接,密封良好。
- 4 门在正确操作下应正常联动和开合。
- 5 发动机和风机应运转良好,风机进气口不得有杂物堵塞。

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”。

表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 本规程中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时,写法为“可参照……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

膜结构技术规程

CECS 158 : 2004

条文说明

目 次

1	总 则	(47)
3	设计基本规定	(48)
3.1	膜结构选型	(48)
3.2	建筑设计	(48)
3.3	结构设计	(49)
4	材 料	(52)
4.1	膜材	(52)
4.2	拉索和锚具	(53)
5	结构计算	(54)
5.1	一般规定	(54)
5.2	初始形态分析	(56)
5.3	荷载效应分析	(56)
5.4	裁剪分析	(59)
5.5	空气支承膜结构计算要点	(60)
6	连接构造	(62)
6.1	一般规定	(62)
6.2	膜材的连接	(62)
6.3	膜材与支承骨架、钢索、边缘构件的连接	(62)
6.4	钢索及其端部连接	(63)
7	制 作	(64)
8	安 装	(66)
8.1	钢构件、拉索安装	(66)
8.2	膜单元安装	(66)
8.3	施加预张力	(66)

9	工程验收	(68)
10	维修和保养	(69)

1 总 则

1.0.2 本规程所称“膜结构”,是泛指所有采用膜材及其支承构件(如拉索、钢骨架等)所组成的建筑物和构筑物,这种概念已在工程实践中被广泛接受。

3 设计基本规定

3.1 膜结构选型

3.1.1 除小跨度结构外,膜结构中的膜材总是与其他构件共同承重。目前,国内外对膜结构的形式有多种不同分类方法,尚未统一。本规程按膜材及其相关构件的受力方式分成四种形式,是一种比较科学的分类方法。

3.1.2 整体张拉式膜结构主要由索和膜构成,两者共同起承重作用,通过支承点和锚固点形成整体。

3.1.3 骨架支承式膜结构由钢构件(如拱、刚架)或其他刚性结构起承重作用,膜材主要起围护作用。

3.1.4 索系支承式膜结构主要由索、杆和膜构成,三者共同起承重作用。在通常所称的张拉整体(tensegrity)结构中,如采用膜材,即属于索系支承膜结构。另外,比较流行的索穹顶结构(cable dome)也属于此类。

3.1.5 以空气作为一种支承方式,是膜结构的一个特点,一般也称为充气结构,其设计与构造与传统结构有许多不同之处。

3.2 建筑设计

3.2.2 膜结构建筑的表现方式与一般建筑有所不同,在建筑单体方案设计阶段,就应充分考虑到不同表现方式的相容与协调,并注意利用膜结构建筑技术所具有的形象特点,因势利导。膜结构建筑的方案设计应由建筑师与膜结构工程师共同完成。设计时首先应考虑膜结构体系的特殊性,从建筑功能和结构受力性能入手,创造出形式美观、构造合理的膜结构建筑。

3.2.3 各国对于膜材的耐火等级和防火要求各不相同。一般来

说,耐火等级与材料价格直接有关。当有条件时应尽量采用不燃类膜材。当永久性建筑采用阻燃类膜材时,尚应根据当地消防部门的要求采取必要的防火措施。

3.2.5 膜结构建筑采用的膜材一般均具有透光特性。由于漫射光的作用,膜材覆盖的空间内将呈现特殊的光学效果(有明显光感但无阴影),建筑设计中应予以合理利用。采用双层膜构造时,应考虑到透光率的折减。

3.2.6 膜结构建筑的保温隔热性能较差,目前已广泛使用的膜材,自身并不能较好地隔绝外部温度的影响。单层膜结构仅适用于敞开式建筑或气候较温和的地区。对于封闭式建筑物,应注意采用其他构造方式解决保温隔热问题。双层膜构造可以较好地满足保温、隔热要求,两层之间的空气隔离层一般为 30cm 左右,但应注意处理双层膜内部结露问题。

3.2.7 膜结构建筑应有足够的坡度以解决排水问题并预防积雪。屋面排水设计从方案阶段就应予以重视,以免造成重大工程隐患。采取有组织排水方式时,排水管的位置应注意与建筑立面综合考虑;采取无组织排水方式时,应注意采取对建筑物墙面或地面的防污染措施。

3.2.10 从空气支承膜结构过去发生的事故来看,大部分是在强风或大雪时,膜结构产生大变形而使膜材与内部或外部物体相碰,在接触点处膜材受到损坏,导致膜结构破坏。因此,膜材与内部、外部物体应保持一定距离,即使在最不利工况下也不应接触。此外,物体如有尖角、锐角,也应加以防护。

3.3 结构设计

3.3.2 国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 修订后对结构重要性系数 γ_0 做了两点改变:(1) γ_0 不仅考虑结构的安全等级,而且考虑了结构的设计使用年限;(2)将原标准 γ_0 取值中的“等于”改为“不应小于”,使不同投资者对结构安全度设计有更

多的选择余地。对于一般工业与民用建筑膜结构,其安全等级多为二级,其设计使用年限多为 50 年,因此其结构重要性系数不应小于 1.0;对于设计使用年限为 15~25 年的易于更换膜材的膜结构,其结构重要性系数可适当降低,取为不小于 0.95;对于设计使用年限为 5 年的临时性的膜结构,其结构重要性系数可取不小于 0.9。应该指出,膜结构下部的钢或钢筋混凝土承重结构,其设计使用年限仍可采用 50 年,当膜结构达到设计使用年限时,可以更换膜材,从而达到与下部结构同样的设计使用年限。

3.3.3 本条系根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定,对于承载能力极限状态和正常使用极限状态,分别根据不同的设计要求采用不同的荷载组合。结合膜结构的具体情况,按承载能力极限状态设计时,只考虑荷载效应的基本组合,采用荷载设计值和强度设计值进行计算,不考虑偶然组合;按正常使用极限状态设计时,只考虑荷载效应的标准组合,采用荷载标准值、组合值和变形限值进行计算,不考虑其他组合。

3.3.4 本条列出了作用在膜结构上的各种荷载,其中温度变化、支座不均匀沉降和施工荷载可根据工程具体情况予以考虑,地震作用在本规程第 5.1.5 条中规定可不考虑。施工荷载可根据工程安装的特点确定,有时不仅要考虑均布荷载,还要考虑安装或检修时的集中荷载。

3.3.5 目前,我国的膜结构设计都参照国外的设计规范进行,荷载组合采用长期与短期两种情况(日本规范称为持久与临时荷载),并分别规定了不同的安全系数。由于膜结构受力具有较强的几何非线性,其各项荷载效应不能进行线性组合,因此本条规定采用两种组合类别,其中,第一类组合相当于长期(持久)荷载组合,第二类组合相当于短期(临时)荷载组合,并以抗力分项系数进行调节。

3.3.6 风荷载是膜结构的主要荷载。由于膜结构的体型较复杂,而《建筑结构荷载规范》GB 50009 所提供的建筑体型有限,所以膜

结构的风荷载体型系数一般需要通过风洞试验来确定。当所设计的膜结构为园林景观小品或临时性建筑时,可参考以往的工程经验确定风荷载体型系数。

3.3.7 作为屋面的膜结构多为负高斯曲率曲面,结构上所受的雪荷载一般为非均匀分布,因此应根据不同的曲面形状、曲率变化调整雪荷载分布系数的取值。

3.3.8 膜结构设计中,除了保证结构体系的整体稳定外,还应保证在局部膜片破坏或局部索退出工作时不致引起结构整体失效。由于膜材在拉应力作用下存在松弛、徐变等问题,张拉式膜结构在正常使用1~2年后需要进行第二次张拉,结构设计时应考虑二次张拉对结构整体的影响。

由于材料自身存在老化问题,各类膜材均有一定的使用年限。对于永久性建筑,当膜材达到使用年限或部分膜片在使用期间出现破损时,需要进行更换,这一点在结构整体设计时宜予以考虑。

4 材 料

4.1 膜 材

4.1.1 膜材的物理和化学性能对建筑物的适用性和寿命影响甚大,因此应根据使用功能合理选择膜材类型。膜材的抗拉强度、抗撕裂强度、抗剥离强度、抗污染和抗老化能力等是反映膜材性能的重要指标,设计时应予以综合考虑做出适当选择。膜材的价格与其性能直接有关,表1表示常用膜材的价格比例。

表1 常用膜材的价格对比

膜材代号	GT	PCF	PCD	PCA
价格比例	300~400	100	100	60~80

本规程将常用膜材按其基材分为G类(玻璃纤维)和P类(聚酯纤维)两大类,再按其不同的涂层与面层分别给予代号。

4.1.2 本条根据当前国内外生产厂所提供的膜材品种,按其抗拉强度以及相应的重量与厚度加以分级,以便在设计中选用。表4.1.2-1、表4.2.2-2分别给出了G类和P类各级膜材的抗拉强度值,在设计中可作为抗拉强度标准值采用。本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法进行设计,但由于对膜材的强度尚无条件进行数理统计,因此表中的数值还不是经过统计而得的保证率为95%的抗拉强度标准值。当生产厂有条件对其膜材产品提供具有95%保证率的抗拉强度统计数据时,在设计中允许采用高于表4.1.2-1、表4.2.2-2规定的数值作为抗拉强度标准值。

4.1.4 由于传统的影响,膜材生产厂对其所生产膜材提供的质量保证期都偏低,实际上膜材的可使用年限均大于其质量保证期。表中,膜结构的设计使用年限是根据实际工程投入使用的经验汇总而得。

4.2 拉索和锚具

4.2.1 拉索有多种钢索可供选用。热挤聚乙烯高强钢丝索是由若干高强度钢丝并拢经大节距扭绞、绕包,且在外皮挤包单护层或双护层的高密度聚乙烯而形成,在重要工程中宜优先考虑采用。

4.2.3 目前桥梁等设计中钢索的抗拉能力是以容许承载力来表达的,采用单一安全系数 K 。本规程按国家标准《建筑结构设计统一标准》GB 50068 采用的以概率理论为基础的极限状态设计方法,以多项系数代替了单一的安全系数。两者相比,可以认为过去的单一安全系数 K 中包含了钢索分项系数 γ_s 、永久荷载和可变荷载分项系数 γ_G 、 γ_Q 。由于目前尚无足够的试验数据来直接统计 γ_s 值,在制订本规程时只能按照过去采用的 K 值结合膜结构所受荷载的特点来反推 γ_s 值。膜结构中钢索的安全系数 K 取 2.5,如恒荷载标准值取 150N/m^2 ,活荷载标准值取 1200N/m^2 ,可求得 $\gamma_s = 1.8$ 。表 4.2.3 中的抗拉强度设计值即由 $f_k/1.8$ 并取整而得出。由于钢索在桥梁和悬索结构中是重要承重构件,在传统上都采用了比较大的安全系数,因此换算所得的 γ_s 要比一般钢筋混凝土结构的相应值大。

5 结构计算

5.1 一般规定

5.1.1 膜结构的初始形态确定、荷载效应分析、裁剪设计是相互影响、相互制约的过程,需要反复调整。同时还要考虑施工过程的实现,如施工工艺、初始预张力等问题。

初始形态分析主要是确定满足一定初始应力分布的膜结构在自平衡状态下的几何形状。荷载效应分析主要是计算在荷载作用下满足静力平衡条件的结构内力和位移。裁剪分析主要是将空间膜曲面适当剖分并展开为平面,计算确定预张力影响下膜材的裁剪下料图。

5.1.2 膜结构的计算分析方法很多,目前得到公认并被广泛应用的主要有三种:非线性有限元法、动力松弛法和力密度法。

非线性有限元法是将膜结构进行有限元离散,采用大位移小应变的几何非线性有限元方法对膜结构进行分析,得到结构的位移和内力。基本计算公式如下:

$$[K_L] + [K_{NL}]\{\Delta u\} = \{P\}\{F\} \quad (1)$$

式中 $[K_L]$ ——线性刚度矩阵;

$[K_{NL}]$ ——非线性刚度矩阵;

$\{P\}$ ——荷载列向量;

$\{F\}$ ——等效节点力向量。

动力松弛法是将膜结构离散为节点和节点间的连接单元,通过对各节点施加激振力使之产生振动,然后逐步跟踪各点的振动过程直至最终求得结构平衡状态。基本计算公式如下:

$$v_{ij}^{t+\Delta/2} = v_{ij}^{t-\Delta/2} + \frac{\Delta t}{m_i} R_{ij}^t \quad (2)$$

式中 $v_{ij}^{t-\Delta t/2}$ ——时间间隔 $(t-\Delta t) \sim t$ 内节点 i 在 x_j 方向的平均速度；

$v_{ij}^{t+\Delta t/2}$ ——时间间隔 $t \sim (t+\Delta t)$ 内节点 i 在 x_j 方向的平均速度；

m_i ——节点 i 的虚拟集中质量；

R_{ij}^t ——时刻 t 作用在节点 i 上的 x_j 方向的残余力；

Δt ——时间间隔。

力密度法是将膜结构离散为由结点和杆件组成的索网结构，在给定的几何拓扑、支座位置和力密度值（即索力与索长之比）下，通过求解节点坐标的线性方程组来确定结构的变形。基本计算公式如下：

$$[D]\{X\}=\{P\} \quad (3)$$

式中 $[D]$ ——由杆件力密度组成的对称矩阵；

$\{X\}$ ——节点坐标列向量；

$\{P\}$ ——荷载列向量。

5.1.3 膜结构中的索、膜构件只能承受拉力、不能承受压力和弯矩作用，对外荷载的抵抗主要通过变形来实现，因而膜结构在外荷载作用下变形较大，计算时应考虑结构的几何非线性。膜材是非线性材料，其应力-应变曲线在应力较大时变化较大，但通常设计应力比断裂强度小得多，此时可近似认为膜材是线弹性的。

5.1.4 由于支承结构变形对膜结构内力分布影响较大，故膜结构设计时宜考虑膜与支承结构协同工作。对于骨架支承式膜结构，由于支承结构为刚性体系（如钢桁架、拱或网架等），变形较小，故计算时可将膜与刚性骨架连接处近似视为固定支承边界。对于其他形式的膜结构，计算时应将膜与支承体系一起进行整体分析。

5.1.5 膜结构自重较小，地震对结构的影响也较小，故设计时可不考虑地震作用，但地震对支承结构（包括骨架支承式膜结构的承重骨架）的影响应予以考虑。

5.2 初始形态分析

5.2.1 在膜结构初始平衡曲面内预张力是自相平衡的。膜结构的平衡曲面可分为两类:等应力曲面和非等应力曲面。等应力曲面是指膜面内预张力均匀分布,此时膜面面积最小(即最小曲面)。非等应力曲面是指膜面内预张力不均匀分布但自相平衡。膜结构初始形态分析宜首先寻找应力均匀的最小曲面,在最小曲面不存在的情况下再寻找应力不均匀的平衡曲面。

5.2.2 膜结构的形态分析实际上是确定结构中预张力大小和分布的过程。预张力值的设定应保证膜材在正常使用状态下不会因温度、徐变和荷载作用等而发生松弛,并应保证膜材在极端气候条件下最大应力小于设计应力,同时应考虑结构张拉的实现和安装方便。

5.2.3 本条给出的初始预张力最小值,是参考国内外膜材应力-应变试验结果和工程经验提出的。

5.3 荷载效应分析

5.3.1 当膜结构在荷载作用下产生较大应力或变形时,应返回初始形态确定阶段对膜结构进行调整。通常可调整初始预张力大小和分布、调整结构外形或增加加强索数量等。

5.3.2 膜结构自重较小,属风敏感结构,在风荷载作用下易产生较大的变形和振动。对膜结构风振过程的研究,目前尚处于起步阶段,可借鉴的资料较少。膜结构形态各异,很难用统一的风振动力系数来描述,因此对形状复杂、跨度较大或重要的建筑物,必须进行风振动力分析或进行气弹性模型风洞试验,以确定风荷载动力影响。对较常用的骨架支承式膜结构和整体张拉式伞形和鞍形膜结构,本规程采用风振系数来考虑结构在风荷载作用下可能的最大响应与平均风响应之比,便于工程设计应用。

5.3.3 迄今,我国膜结构设计都参照国外规范采用单一安全系数

设计方法。设计表达式为:

$$K(S_{G_k} + S_{Q_k}) \leq R_k \quad (4)$$

式中 K ——规范采用的安全系数;

S_{G_k} ——永久荷载效应标准值;

S_{Q_k} ——可变荷载效应标准值;

R_k ——结构抗力标准值。

各国对安全系数 K 的取值不尽相同:大多数国家都按短期荷载和长期荷载取值,其值分别在 3~4 和 6~8 的范围内。如美国的安全系数取 3~8;日本临时(短期)荷载下取 4,持久(长期)荷载下取 8。我国近年来在工程设计中也分别采用 4 与 8。计算结构抗力时所采用的材料强度值则与膜材强度平均值较为接近。本规程根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的要求给出的膜材强度标准值比过去采用的强度平均值降低约 15%。因此,如果把式(5.3.3-1)中的 R_k 按结构抗力的标准值理解,则式中的安全系数 K 也应作相应调整:短期荷载下取 3.5,长期荷载下取 7。这基本上相当于本规程第 3.3.5 条所规定的第二类 and 第一类荷载效应组合。

根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068,本规程采用概率极限状态设计方法,设计表达式为:

$$R - S_G - S_Q = 0 \quad (5)$$

式中 R ——结构构件抗力设计值;

S_G ——永久荷载效应设计值;

S_Q ——可变荷载效应设计值。

$$R = \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (6)$$

$$S_G = \gamma_G \cdot S_{G_k} \quad (7)$$

$$S_Q = \gamma_Q \cdot S_{Q_k} \quad (8)$$

式中 γ_G ——永久荷载分项系数,根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009,取 1.2;

γ_Q ——可变荷载分项系数,根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009,取 1.4;

γ_R ——抗力分项系数,根据现行的安全系数换算求得。

由式(4~8)可得:

$$\gamma_R = \frac{K(S_{G_k} + S_{Q_k})}{\gamma_G S_{G_k} + \gamma_Q S_{Q_k}} \quad (9)$$

令 $\rho = \frac{S_{Q_k}}{S_{G_k}}$,代入式(9)得到:

$$\gamma_R = \frac{K(1+\rho)}{\gamma_G + \gamma_Q \rho} \quad (10)$$

据此,根据不同的 K 值和 ρ 值,可求得相应的 γ_R 值。

例:根据 GB 50009 规定,取 $\gamma_G = 1.2$ 、 $\gamma_Q = 1.4$;膜结构自重为 20 N/m^2 。

1 第一类组合(长期荷载)情况下 $K=7$,取雪荷载标准值为 450 N/m^2 (哈尔滨)。

$$\rho = \frac{\text{雪}}{\text{恒}} = \frac{450}{20} = 22.5, \text{ 则 } \gamma_R = \frac{1+22.5}{1.2+1.4 \times 22.5} \times 7 = 5.0,$$

故本规程取 $\gamma_R = 5$ 。

2 第二类组合(短期荷载)情况下 $K=3.5$,取风荷载标准值为 550 N/m^2 (上海)。

$$\rho = \frac{\text{风}}{\text{恒}} = \frac{550}{20} = 27.5, \text{ 则 } \gamma_R = \frac{1+27.5}{1.2+1.4 \times 27.5} \times 3.5 = 2.5,$$

故本规程取 $\gamma_R = 2.5$ 。

对于连接节点处及边缘部位的膜材,由于有一定程度的局部削弱和应力集中,所以安全系数值应适当提高,取强度折减系数 $\zeta = 0.75$ 。

5.3.4 对于体育场看台挑篷一类的整体张拉式膜结构,其整体位移可定义为内环的最大位移;对于索系支承式膜结构,其整体位移可定义为跨中最大位移。膜结构在荷载效应分析时的膜单元,是指由柔性索边界或刚性边界围起的一片膜。膜单元名义尺寸,对

于三角形膜单元可定义为最小边长的 $2/3$; 对于四边形膜单元可定义为通过最大位移点的边界间的最小跨度。

5.3.5 出现松弛将降低膜结构的刚度, 在风荷载作用下易发生剧烈振动, 甚至导致膜材断裂。此外松弛还将影响结构的美观和排水性能。因此, 应尽量避免膜材在正常使用状态(第一类荷载效应组合)下出现松弛。

5.3.6 索是膜结构中的重要受力构件, 一旦处于受压状态, 就有可能导致结构变为机动体, 因此规定, 索在第一类荷载效应组合下均应处于受拉状态。

5.4 裁剪分析

5.4.1 裁剪分析的目的是确定裁剪线和裁剪片, 以便在拼接张拉后实现初始状态下的膜曲面, 所以, 裁剪分析应根据初始状态的膜曲面和预张力进行。

通过初始形态分析可以确定膜曲面的形状。该曲面是由一定幅宽的膜材, 经过裁剪成膜片, 并互相连接后张拉而成。膜曲面上膜片间的连接为裁剪线。裁剪膜片是待求平面, 而膜曲面上的膜片是空间的, 并且在裁剪线确定后是已知的, 所以确定平面裁剪膜片的关键是如何将已知的空间膜片展开成平面裁剪膜片。实际生成的曲面和形态分析所得的曲面之间的误差, 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预张力, 所以确定平面裁剪片时还必须考虑预张力释放后的几何尺寸改变。

5.4.2 膜材的裁剪线可采用测地线法、平面相交法或其他有效的方法确定。

测地线法是指在膜结构初始预应力平衡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为直线; 对于不可展曲面, 展开平面上的测地线接近直线。

平面相交法是指在膜结构初始预应力平衡曲面上, 用一组平

面按一定规律与曲面相交,并将各交线作为裁剪线。

测地线法得到的膜片宽度较为接近,节省膜材,但在曲面上形成的热合线美观性和视觉效果稍差。平面相交法可根据需要得到具有美观性和一定视觉效果的裁剪线。裁剪分析时应综合考虑经济性和美观性两个因素后确定裁剪线。

5.4.3 由于膜材在裁剪线处断开,故此处易产生应力集中。如果裁剪线处剪应力较大会影响膜材的受力性能,所以应尽量做到裁剪线与膜材纤维正交,使主应力方向与纤维方向一致,避免裁剪线受剪。

5.4.4 膜结构曲面的形成与初始预张力作用有关,裁剪时必须考虑膜材应力释放后的弹性回缩。通常根据初始预张力大小和所用膜材的性能,通过修正裁剪膜片几何尺寸(沿经向和纬向回缩)来消除膜内预张力的影响。

5.5 空气支承膜结构计算要点

5.5.1 空气支承膜结构是通过保持内部气压来维持结构形状并抵抗外荷载的。同时,内压又是作用在结构上的荷载,应与其他荷载一起参与组合。内压是结构设计中的一个可变参数,可以根据外荷载的情况加压或减压,以调整结构的刚度和强度。

5.5.2 最大工作内压是指当结构处于不利的外界环境时,如由于积水(雪)造成膜的凹陷,由设计人员为操作人员确定的可以使用的最大内压。确定最大工作内压应考虑材料的设计强度、外界荷载类型等多种影响因素。

最小工作内压是指在正常气候和使用条件下,保持结构稳定所需的最小压力值。当恒荷载被分散到一定的影响区域时,最小工作内压应超过单位面积上恒荷载的最大值。

正常工作内压是由设计人员确定的一个压力范围。在正常工作内压下,结构在常遇荷载作用下能够保持稳定。正常工作压力应根据使用情况和进出情况,在最小工作内压至最大工作内压之

间变化。在公共聚会场所,为保证环境的舒适度,应适当减小出入口处的风速和作用在门上的压力,工作内压不宜超过 287Pa。对主要用于仓储的场所,当车辆进出时工作内压值可以取大一些,以保证结构的稳定性。

5.5.3 锚固体系应根据结构的性质(临时性、半临时性或永久性)选择。基础锚固体系在拉力或上浮力作用下易产生短期和长期徐变,从而使上部结构体系和基础锚固体系间产生不确定的附加荷载作用。应认真设计空气支承膜结构的所有锚固构件。

5.5.4 出入口处的门框与周边的膜应分别设计,以保证门框不受到膜结构变形的影响。此外,门框与膜的连接,应做到在门框结构受荷载变形时不会使周边的膜产生过大的应力。

6 连接构造

6.1 一般规定

6.1.7 膜结构中的金属连接件直接与膜材相连,易受外界影响而锈蚀,不但易污染膜材,影响美观,而且往往会引起截面削弱而产生安全隐患,因此,全部金属连接件均应进行防腐处理。

6.1.8 膜材对缺陷比较敏感。若膜材中存在小孔、裂纹等缺陷,膜材强度将有较大降低。在膜材与支承骨架相连处的毛刺、尖角、尖点将使该处出现应力集中。对膜材涂层的擦伤也会影响膜材的使用寿命。

6.2 膜材的连接

6.2.1 膜结构的曲面是由许多平面膜材经裁剪设计搭接而成,膜材幅宽较小,因此膜片间需经接缝连接。膜材接缝的连接应根据不同膜材选用不同的方式。粘接结合耐久性较差,不宜采用。缝合和机械连接方式易造成截面削弱,使用时应予以注意。膜材的主要受力接缝宜采用热合方法连接。

6.2.5 当膜面跨度较大时可采用拉索进行加强。常用的拉索主要有钢丝拉束、钢绞线、钢丝绳等。为美观与防腐需要也可采用镀锌钢丝绳、不锈钢缆绳、钢棒等。不论采用何种钢索都应满足结构受力的强度要求。

6.3 膜材与支承骨架、钢索、边缘构件的连接

6.3.2 膜材与钢索可以单边或双边连接。简单的连接方法是将钢索穿入与膜材热合的边套中。对重要工程,可采用铝合金或不锈钢夹板和连接件来连接膜材与钢索。

6.3.3 当膜材直接连接于刚性边界上时,应尽量避免出现直角或锐角的边界形状,以减少安装难度,并避免产生应力集中。

6.4 钢索及其端部连接

6.4.1 夹具是节点中用以固定钢索的主要部件,可采用铝合金、不锈钢、热镀锌钢等材料,紧固件宜采用不锈钢材料。夹具主要通过高强螺栓等用上下两块夹板将钢索夹紧。

6.4.3 钢索锚固是膜结构中传力的重要环节。压接式连接件是握裹式锚具中的主要形式。通常采用铝合金或其他高强材料做成索套,在高压下挤压成形,主要用于直径较小的柔性钢索。浇铸式连接件分冷铸和热铸两种。冷铸锚具是将铁屑和环氧树脂搅拌后浇铸入锚杯,与钢丝凝固后形成锚塞。热铸锚具是采用低熔点的合金进行浇铸,早期采用的是铅锌合金,现在通常采用巴氏合金,这种锚具主要用于锚固高强钢丝束。

7 制 作

7.0.1 膜材的裁剪、热合是膜结构加工制作过程的重要环节,应严格按照裁剪设计图纸和工艺文件进行,无设计变更文件时不得随意更改。一般来讲,P类和G类膜材的热合设备不能混用。目前,我国尚无膜结构加工制作人员的统一培训、考核标准,各企业应自行组织培训和考核。

7.0.2 即使是同一品牌、同一型号的膜材,对不同的生产批次,一般也有不同程度的色差和不均质。因此,建议同一工程使用同一批号的膜材。

7.0.3 易褪色物品或有害于膜材的化学溶剂,对膜材会有一定损伤,应分开存放。

7.0.4 灰尘会造成热合设备在膜材热合时打火、烧焦或击穿膜材,因此,整个加工制作过程应保持清洁。

7.0.5 有些膜材的表面涂层,如不经处理而直接搭接热合,连接强度将会受到影响,因此,必须将表面涂层打磨后方可热合。此时,应注意打磨不得损伤膜材,以免影响热合处的拉伸强度。

7.0.7 由于G类膜材的变形性能弱于P类膜材,故对前者热合后膜单元的尺寸偏差要严格控制。

7.0.8 受热合温度影响,膜材可能会收缩变形,因此应注意工艺要求,以保证热合后均匀平整。

7.0.10 包装时,P类膜材可采用折叠方式,G类膜材宜采用卷装方式。为便于膜单元现场安装,折叠或卷装的顺序宜与施工时的展开方向相反。

7.0.12 钢丝绳下料前应进行预张拉,以消除非弹性变形。热挤

聚乙烯高强钢丝束和钢绞线,在出厂时一般已进行过预张拉。

膜结构设计时,图纸中标注的钢索长度一般为预张力后的尺寸,在索制作时应予注意。

8 安 装

8.1 钢构件、拉索安装

8.1.1 现场应具备的安装条件包括:支承结构已完成施工、混凝土达到设计强度要求;具备构件堆放和组对场地;具备吊车出入通道和支吊场地等。

8.1.2 膜结构是一种整体空间结构体系,支承位置的准确性会直接影响结构体系中的内力分布。为使工程施工与设计假定相一致,必须严格控制支承结构和预埋件的尺寸偏差。

8.2 膜单元安装

8.2.1 为使膜单元保持清洁,应避免土建施工时引起的扬尘和外装饰施工中使用的涂料对膜面造成污染。膜结构安装时应注意安全,除 8.2.6 条指出了安装时的气象条件外,对保证安全的设施、施工人员的安全装备和注意事项,应由施工单位制定具体的措施。

8.2.4 膜单元在地面或高空作业平台上展开前,应先清洁地面或平台并铺设保护膜。在空中展开或吊装膜单元时,应避免吊点受力过大造成膜材撕裂。

8.2.5 所采取的临时固定措施应能抵抗施工期间可能发生的强风,还应使膜面不积水。

8.3 施加预张力

8.3.1 设置可调部件是为了适应制作和安装误差。可调部件上应有设计位置的标示。

8.3.2 确定施力位置时应注意以下各点:通过该点应能将力均匀传递至周围各点,不致有死角;受力部件的力值不宜过大;便于整

个结构体系安装;掌握施力机具的人员易于操作。

确定施力点位移量时应注意便于索膜安装,要适当留有余量,以消除整个结构体系积累的误差。

8.3.6 在施力点检测力值是检查工程施工结果与设计假定吻合程度的重要手段,但目前尚不能普遍实行,只能对有代表性的施力点进行力值抽检。

9 工 程 验 收

9.0.4 膜结构、钢构件、索等在制作、安装过程中均可能出现尺寸偏差,膜面还可能出现局部褶皱,如经设计、制作、安装方协商,认为不影响安全使用,可以不作处理。

9.0.5 目前国内外尚无能够准确量测膜面张力的仪器,此项规定不要求强制执行,但要求进行过程控制,并作经验判断。

9.0.6 膜结构工程中施加预张力是一个关键性的施工环节,其施加过程和施加数值均应包含在施工现场质量检验记录中。

9.0.7 空气支承膜结构与常规结构不同之处在于必须充气才能使用,因此,验收前必须进行充气系统的测试。

10 维护和保养

10.0.1 膜结构竣工后要十分重视维护和保养,以保证正常使用,这与一般建筑物是不同的。在竣工后的一段时间内,制作安装单位应负责检查和维护,并向使用单位提供保养维修手册。膜结构的长期维修和保养应有专人负责。

10.0.6 空气支承膜结构应始终保持设计的工作内压,其目的是保证建筑结构的稳定性,并防止在大风或积雪下过度变形。