

上海市工程建设规范

膜结构技术规程

Technical specification of membrane structures

DGJ08 - 97 - 2002

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:2003年3月1日

2002 上海

上海市建设和管理委员会

沪建建〔2002〕804 号

关于批准《膜结构技术规范》 为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海现代建筑设计(集团)有限公司、同济大学、上海建筑设计研究院有限公司主编的《膜结构技术规范》，经有关专家审查和我委审核，现批准为上海市工程建设规范，其中 1.0.4 条、3.2.9 条、4.1.7 条、4.1.10 条为强制性条文。该规范统一编号为 DGJ08-97-2002，自 2003 年 3 月 1 日起实施。

该规范由上海市建设工程标准定额管理总站负责组织实施，上海建筑设计研究院有限公司负责解释。

上海市建设和管理委员会

二〇〇二年十一月八日

前 言

本规程是根据上海市建设和管理委员会沪建建(2001)第 0234 号文的要求,由上海现代建筑设计(集团)有限公司、同济大学和上海建筑设计研究院有限公司会同有关单位编制而成。

本规程结合上海地区膜结构工程设计、制造、安装技术力量的实际情况,参考国际、国内现有成果及工程经验,本着“技术先进,经济合理,安全可靠,确保质量”的原则,对膜结构的设计、制作、安装和验收作出了规定。

本规程在编制过程中,通过书面和讨论会的形式向本市和外地有关设计单位、高等院校、科研院所、生产厂家、质检部门等单位广泛征求意见后,形成本规程。

本规程主要内容包括:1.总则;2.术语和符号;3.材料;4.设计一般规定;5.结构设计;6.膜结构连接与节点的设计和构造;7.膜结构的制作和安装;8.工程验收;9.维修和保养。

各单位在执行及应用本规程过程中,注意总结经验,积累资料,对需要修改和补充之处,请将意见和资料函告上海建筑设计研究院有限公司技术质量部(地址:上海市石门二路 258 号,邮编:200041),以便修订时参考。

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

参编单位:上海建工集团技术中心

同济大学建筑设计研究院

上海汉杰伊膜技术有限公司

上海同济凯博膜结构有限公司

日本太阳工业株式会社

上海豪普膜结构工程技术有限公司

法国法拉利公司

上海市机械施工公司

浙江精工钢结构有限公司

徐州时代空间膜技术工程有限公司

主要起草人:姚念亮 张其林 杨联萍 钱若军
王明忠 高振锋 望月利男 邱枕戈
丁洁民 葛世汉 周晓峰 董明
林颖儒 徐晓明 小田憲史 梁伟强
虞政 吴欣之 赫晨均 陈恒江
黄明鑫 刘和才

上海市建设工程标准定额管理总站

二〇〇二年七月

目 次

1	总则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	材料	(5)
3.1	一般规定	(5)
3.2	膜材	(5)
3.3	配件	(8)
3.4	支承结构	(9)
4	设计一般规定	(10)
4.1	设计的基本原则	(10)
4.2	荷载与荷载组合	(10)
4.3	建筑设计	(12)
5	结构设计	(13)
5.1	结构设计的基本原则	(13)
5.2	结构体系	(15)
5.3	形状设计	(16)
5.4	荷载分析	(16)
5.5	裁剪设计	(17)
6	膜结构连接与节点的设计和构造	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	膜片连接的构造设计原则	(18)
6.3	膜面与支承结构连接的构造设计原则	(20)
6.4	支承结构与锚固设计	(25)
7	膜结构的制作和安装	(30)

7.1	膜结构制作技术要求和条件	(30)
7.2	膜结构的材料检验	(30)
7.3	膜的裁剪和节点制作	(31)
7.4	制作成品膜体的包装和运输	(32)
7.5	膜结构的安装施工准备	(33)
7.6	膜的安装	(34)
7.7	安装质量要求	(35)
7.8	保护清洁	(35)
8	工程验收	(36)
8.1	基本规定	(36)
8.2	膜结构制作分项工程	(36)
8.3	膜结构安装分项工程	(37)
9	维修和保养	(38)
	本规程用词说明	(41)

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,根据上海地区的技术经济的发展要求,特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于单元投影面积小于 3000m^2 的一般永久性、临时性民用建筑屋盖及构筑物,除开合式和充气膜结构之外的膜结构设计、施工与验收。

1.0.3 对超过本规程规定的建筑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、施工和验收,除应执行本规程外,尚应符合国家和本市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

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。

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

是钢丝绳索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_{ik} 为诸可变荷载中起控制

作用者；

γ_G ——永久荷载的分项系数；

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

Ψ_{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；

σ_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；

γ_R ——膜面抗力分项系数；

$F_{\min}$ ——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。

3 材 料

3.1 一般规定

3.1.1 膜材应根据建筑物使用年限、建筑功能、建筑物所处的环境、建筑物防火要求及建筑物承受的荷载进行选择。

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,是由高强度的织物基材和聚合物涂层构成的复合材料,构造见图 3.2.1。

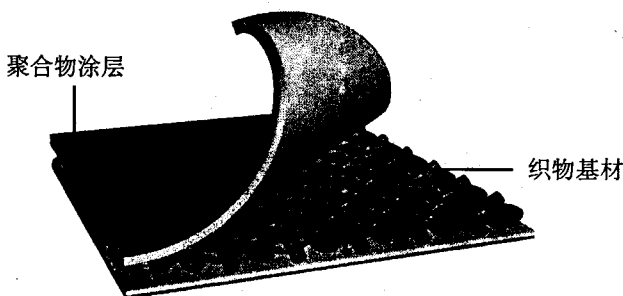


图 3.2.1 膜材构造图

3.2.2 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 建筑用膜材可按不同基材和涂层形成若干组合。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。常用基材与涂层的组合见表 3.2.3。

表 3.2.3 常用基材与涂层的组合

组 合	基 材	涂 层
1	玻璃纤维	聚四氟乙烯
2	玻璃纤维	氟化树脂
3	玻璃纤维	聚氯乙烯
4	聚脂类纤维	聚氯乙烯
5	聚乙烯醇类纤维	聚氯乙烯
6	聚酰胺类纤维	聚氯乙烯

注：本规程中的氟化树脂是指除了聚四氟乙烯以外的氟化树脂。

3.2.4 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。

3.2.5 建筑用膜材的基本质量要求应符合表 3.2.5。

表 3.2.5 膜材的基本质量要求

组 合	基材(g/m ²)	涂层(g/m ²)	膜 材	
			质量(g/m ²)	厚度(mm)
1	≥150	400~1100	≥550	≥0.5
2、3	≥150	400~1100	≥550	≥0.5
4、5、6	≥100	400~1100	≥500	≥0.5

3.2.6 膜材的抗拉强度标准值应通过经向、纬向的单轴测试进行确定。

3.2.7 膜材经向纤维方向与纬向纤维方向的抗拉强度标准值 F_k 不应低于表 3.2.7 的规定。经向纤维方向与纬向纤维方向的抗拉强度差应小于 20%。

表 3.2.7 膜材的抗拉强度标准值

强度(标准值)	正 常	潮 湿	高 温
抗拉强度 F_k (N/cm)	≥ 200	≥ 160	≥ 140

注:1.潮湿是指把试件完全浸泡于水中 72h 后的抗拉强度;
2.高温是指环境温度,即组合 1 $\geq 150^{\circ}\text{C}$,组合 2~6 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.8 膜结构膜材连接部位的抗拉强度标准值 F_k^c 应符合表 3.2.8 的规定。

表 3.2.8 膜材连接部位的抗拉强度标准值

强度(标准值)	正 常		潮 湿	高 温
	机械缝连接	其他连接方法		
抗拉强度 F_k^c (N/cm)	≥ 140	≥ 160	≥ 120	≥ 90

注:1.潮湿是指把试件完全浸泡于水中 72h 后的抗拉强度;
2.高温是指环境温度,即组合 1 $\geq 150^{\circ}\text{C}$,组合 2~6 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.9 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%。

3.2.10 膜材的弹性常数、泊松比、剪切模量应通过测试进行确定,弹性常数和泊松比应根据应力—应变曲线确定,剪切模量应根据荷载—变形关系确定。

3.2.11 膜材的非力学性能比较见表 3.2.11。

表 3.2.11 膜材的非力学性能比较

材 料	柔韧性	抗紫外线能力	自洁性	透光性	可热融合性
组合 1	一般	强	好	好	好
组合 2	较好	较好	较好	好	好
组合 3	较好	较好	一般	好	好
组合 4	好	一般	较好	好	好
组合 5	好	一般	较好	好	好
组合 6	好	一般	较好	好	好

3.2.12 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分别根据现行国家标准《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)中的规定进行。

3.3 配 件

3.3.1 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)和设计的要求进行施工、验收。

3.3.2 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。

3.3.3 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。

3.3.4 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。

3.3.5 膜结构中所用的锚具、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。

3.3.6 膜结构中所用的索可采用钢丝束、钢绞线、钢丝绳或不锈钢缆绳,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。

3.3.7 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。

3.3.8 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。

3.3.9 索应根据所用材料按现行有关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本市的有关规范、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,确定钢结构的防腐处理方法。

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 膜结构应根据建筑物的性质和等级、使用年限、使用功能、结构跨度、防火要求、地区自然条件及对膜材的耐用年限等要求进行膜材选用。

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 膜结构的设计内容包括形状设计、荷载分析、裁剪设计、配件设计、支承结构设计。

4.1.5 对膜结构的形状设计、荷载分析、裁剪设计,应在考虑施工过程的基础上进行一体化的设计。

4.1.6 膜材只能承受拉力,不能承受压力和弯矩。

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

4.1.8 膜结构一体化设计时,应考虑膜材的松弛、徐变、老化。

4.1.9 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。

4.1.10 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、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 按承载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 应按下式确定:

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

式中 γ_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;

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

Ψ_{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 应按下式确定:

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

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。当超出规定范围时宜作试验和研究确定雪荷载体型系数及雪载分布。

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

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 应根据建筑防火等级和防火要求来选择膜材。

4.3.3 膜结构建筑防火设计时应结合膜结构特点按照现行国家标准《建筑防火设计规范》(GBJ16)中的有关规定,设置烟雾探测装置、火警报警装置、消火栓及自动喷淋设备等。

4.3.4 膜结构的排水系统宜根据建筑形状、结构形体、制作安装等条件进行设计,确保排水顺畅和不形成积水。

4.3.5 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、铝合金材料或镀锌钢材。

4.3.6 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。

4.3.7 膜结构可通过添加膜衬垫或保温层改善结构保温隔热要求,对有特殊保温、隔热要求的建筑,宜采用双层膜材。

4.3.8 在进行膜结构设计时应考虑膜材对建筑声学环境的影响。

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:

$$\sigma_{\max} \leq f_y \quad (5.1.2-1)$$

$$f_y = \frac{f_k}{\gamma_R} \quad (5.1.2-2)$$

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;

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

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, $f_k =$

$$\frac{F_k}{t};$$

F_k ——膜材的抗拉强度标准值;

γ_R ——膜面抗力分项系数, 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

荷 载 组 合	抗力分项系数 γ_R
结构自重 + 屋面活荷载 + 初始预张力	7.0
结构自重 + 雪荷载 + 初始预张力	
其它组合	3.5

表 5.1.2-2 膜材的初始预张力最小值 $F_{\min}$

膜 材	初始预张力最小值 $F_{\min}$ (N/cm)
组合 1	20 ~ 30
组合 2、3	10 ~ 20
组合 4、5、6	10 ~ 20

5.1.3 膜材在连接部位的强度应满足下述条件：

$$\sigma_{\max} \leq f_y^c \quad (5.1.3-1)$$

$$f_y^c = \frac{f_k^c}{\gamma_R} \quad (5.1.3-2)$$

式中 $\sigma_{\max}$ ——各种荷载组合下主应力的最大值；

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 ——对应最大主应力部位的膜材连接部位强度标准值， $f_k^c = \frac{F_k^c}{t}$ 。

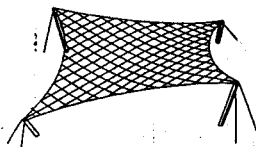
5.1.4 膜结构在设计时应按照初始平衡状态时膜结构的形状进

行裁剪设计。裁剪设计应考虑初始平衡状态时膜面预拉应力分布和大小的影响。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。

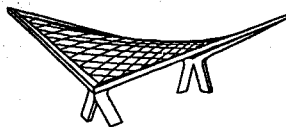
5.1.5 设计膜结构时,应考虑支承结构对膜结构的影响。

5.2 结构体系

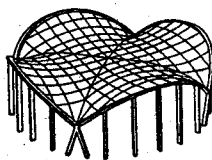
5.2.1 膜结构按支承条件分类为:柔性支承结构体系、刚性支承结构体系、混合支承结构体系,结构示意图见图 5.2.1。



(a) 柔性支承结构体系



(b) 刚性支承结构体系



(c) 混合支承结构体系

图 5.2.1 膜结构支承结构体系

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。

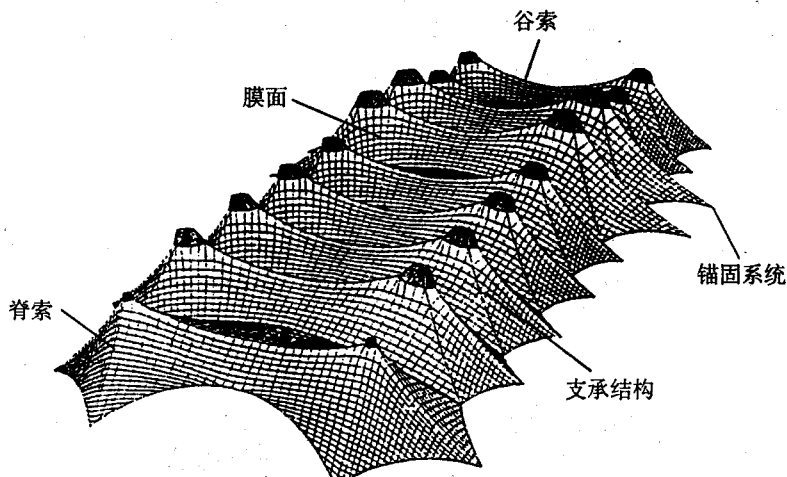


图 5.2.2 膜结构体系示意图

5.3 形状设计

5.3.1 膜结构的形状设计是指寻找初始平衡状态时膜面的曲面几何形状及其对应的自平衡预拉应力分布。

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 膜结构形状设计可采用数值分析法和物理成形法。

5.3.4 膜结构设计时宜对膜结构形状设计所得的膜面应力按比例调整,以得到合理的实际初始平衡状态应力值,并据此求解实际的初始平衡状态支座反力。

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,考虑各种可能的荷载组合。

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 膜结构的荷载分析可采用基于连续化和离散化的理论,分析时应考虑结构的非线性。

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以下原则:网络线长度方差最小原则;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。

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。

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节点和膜面与刚性支承结构节点。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 节点设计时宜考虑结构安装偏差的影响。

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。

6.2 膜片连接的构造设计原则

6.2.1 膜片之间可用热融合、缝合或机械连接,图 6.2.1。

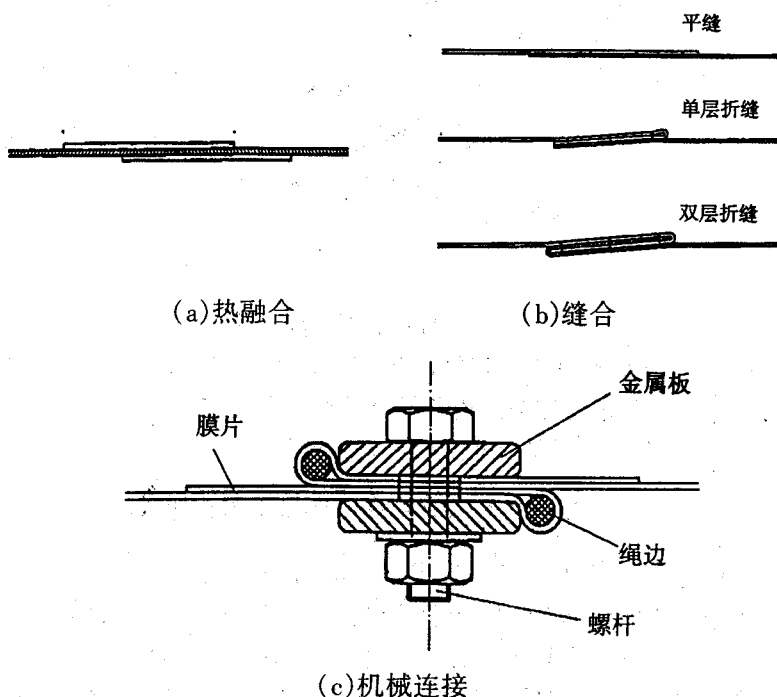


图 6.2.1 膜片连接方式示意图

6.2.2 膜片连接处的膜材强度,应由制作单位工艺保证。当工程需要时,应由试验验证。

6.2.3 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。

6.2.4 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。

6.2.5 屋面膜片宜搭接,搭接接缝应考虑防水要求,见图 6.2.5。

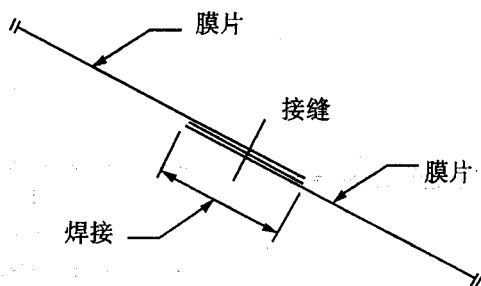


图 6.2.5 标准搭接缝示意图

6.2.6 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。

6.2.7 膜面上主要受力缝的拼接宜采用热融合方法进行连接。

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。

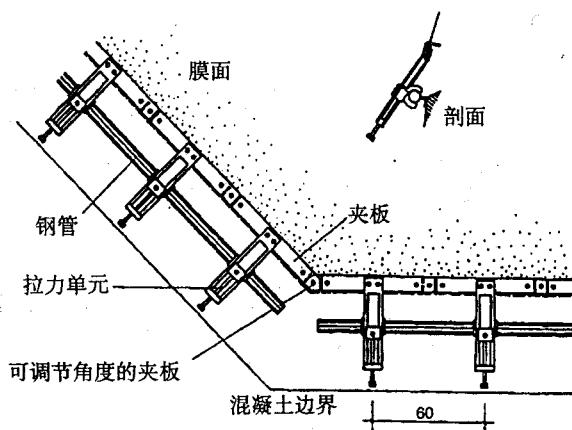
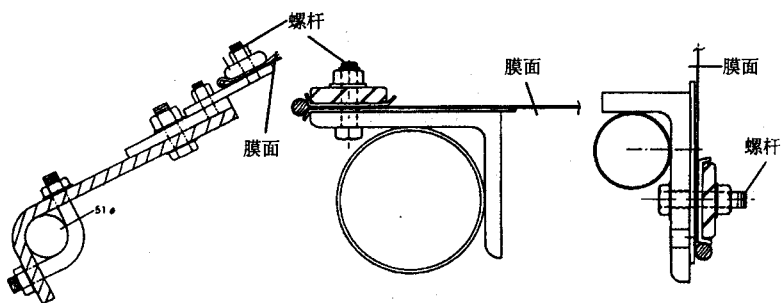
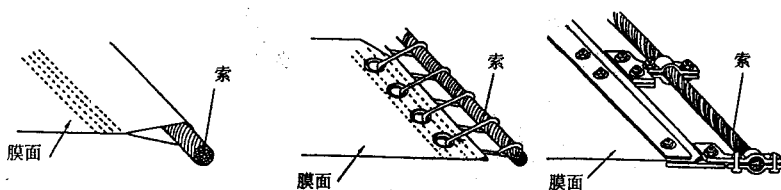


图 6.3.1 边缘构件夹具系列示意图

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。



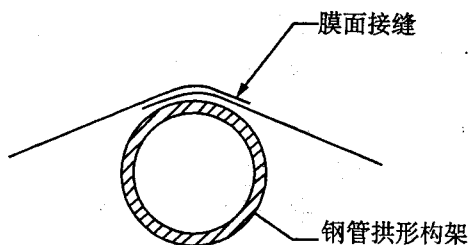
(a)与支承边缘刚性连接



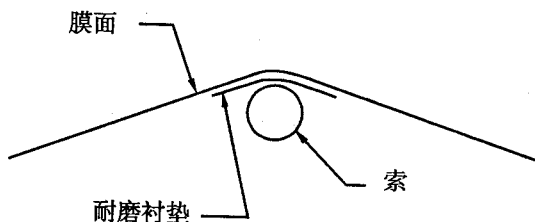
(b)与支承边缘柔性连接

图 6.3.2 膜与边缘构件典型的夹具连接示意图

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(a)。
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(b)。裸露的索可设置涂塑层或加上保护套后使用。



(a) 覆在钢结构上的膜面接缝



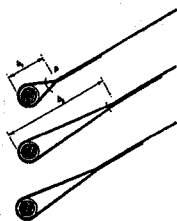
(b) 覆在索上的膜节点构造

图 6.3.3 覆在钢结构、索上的膜节点构造示意图

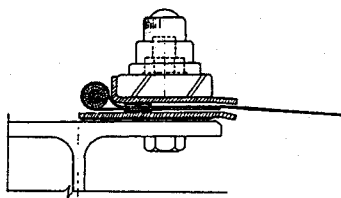
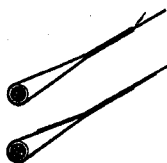
6.3.5 膜面边缘与索的连接常用有单边连接和双边连接两种方法。

1 单边连接中索被织物套包裹起来,见图 6.3.5(a)。可采用夹具夹住膜面的边索,见图 6.3.5(b)。

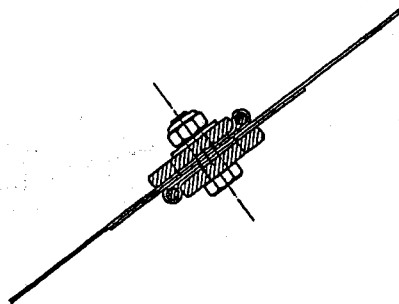
2 双边连接可采用夹具系统将膜面与索连接在一起,见图 (c)。



(a) 膜 - 索织物套单边连接



(b) 膜 - 索夹具单边连接



(c) 膜 - 索夹具双边连接

图 6.3.5 膜与索的连接示意图

6.3.6 索与索之间的连接构造应保证连接处有足够的伸缩性,以适应可能的位移和旋转。当汇交于一点时,应消除偏心现象,可采

用图 6.3.6 所示的连接盘连接。

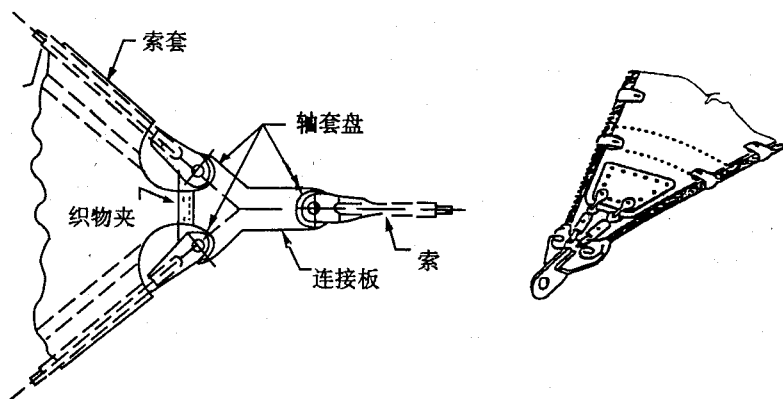


图 6.3.6 常用的连接盘示意图

6.3.7 不同方向的交叉索之间应采用夹具连接, 夹具的构造和连接方式可按下列几种形式选用:

- 1 U 形夹连接, 见图 6.3.7(a)。
- 2 夹板连接, 见图 6.3.7(b)。

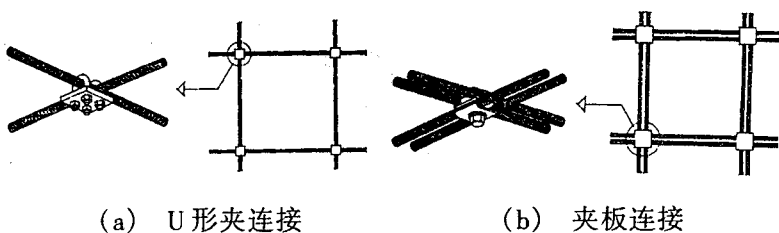


图 6.3.7 夹具连接示意图

6.3.8 索的端部连接件可选用下列几种形式:

- 1 挤压螺杆, 见图 6.3.8(a)。
- 2 挤压式连接环, 见图 6.3.8(b)。
- 3 冷铸式连接环, 见图 6.3.8(c)。

4 冷铸螺杆,见图 6.3.8(d)。

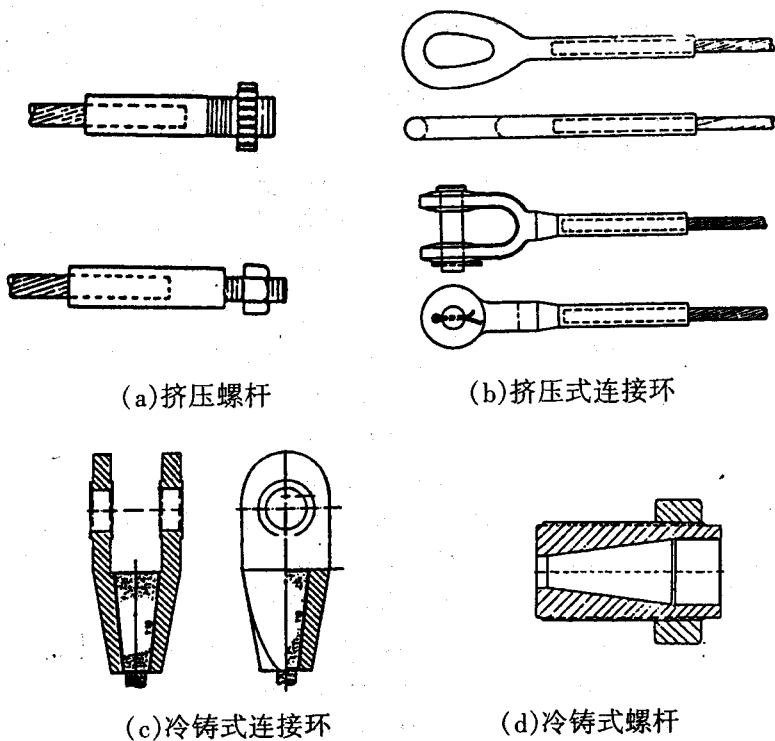
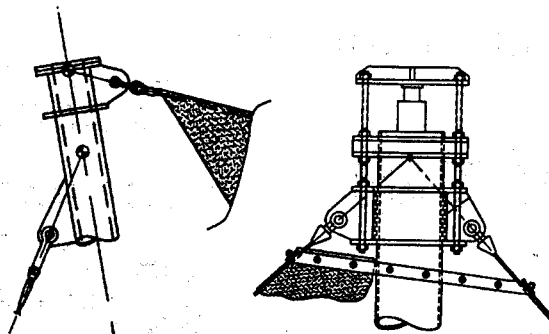


图 6.3.8 拉索端部连接杆示意图

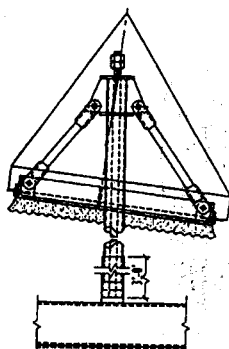
6.4 支承结构与锚固设计

6.4.1 膜、索可通过端部构件、连接钢板与桅杆进行连接,图 6.4.1表示了几种常用的桅杆顶部节点构造示意。



(a)锚具连接

(b)连接钢板固定



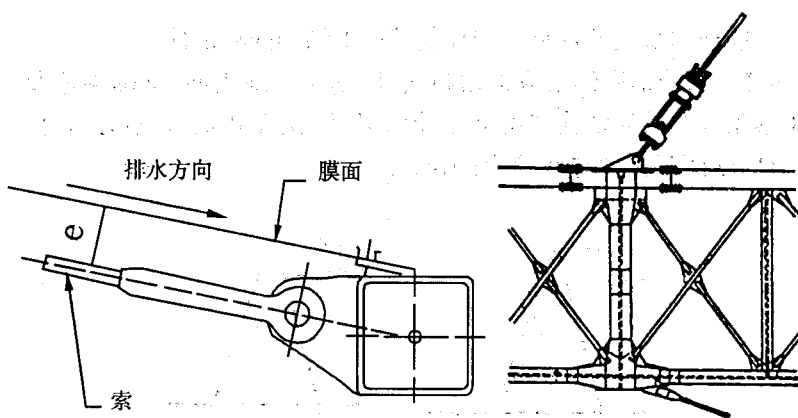
(c)膜蓬顶固定

图 6.4.1 膜与桅杆顶连接构造示意图

6.4.2 索与桅杆的连接处和膜材与桅杆的连接处不宜在同一点上,所造成的偏心宜在设计中给予考虑。

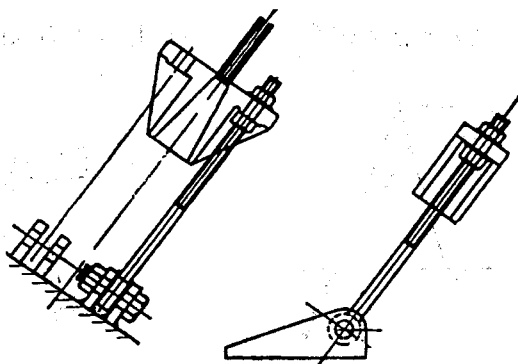
6.4.3 索支承节点根据支承结构的类型可采用下列形式:

- 1 索与刚性支承结构边缘的连接,见图 6.4.3(a)和 6.4.3 (b)。
- 2 索与地锚的连接,见图 6.4.3(c)。



(a) 膜、索与支承构件连接

(b) 索与桁架连接



(c) 索与地锚连接

图 6.4.3 索支承节点示意图

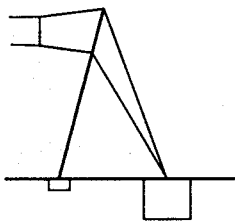
6.4.4 索与钢筋混凝土构件或钢结构构件连接处应采用柔性材料或采用构造措施保护拉索,以免索损坏或弯折。

6.4.5 当索与膜在边界的连接位置不一致,在设计时宜考虑在边缘构件上产生的附加内力。

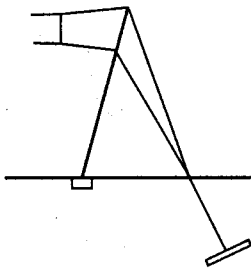
6.4.6 支承结构应参照有关规范进行强度、刚度设计,并且应验

算在膜面出现突然性局部损坏的情况下结构的稳定性。

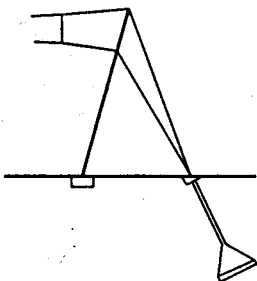
6.4.7 索的锚固体系应根据耐久性、建筑场地表面、基础构造及土壤条件等具体情况选用重力、板式阻力、蘑菇式阻力、阻力墙、拉力桩、摩擦等各种类型,见图 6.4.7。



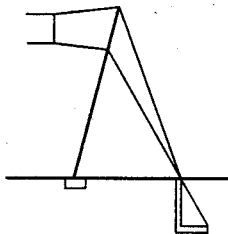
(a)重力式锚固体系



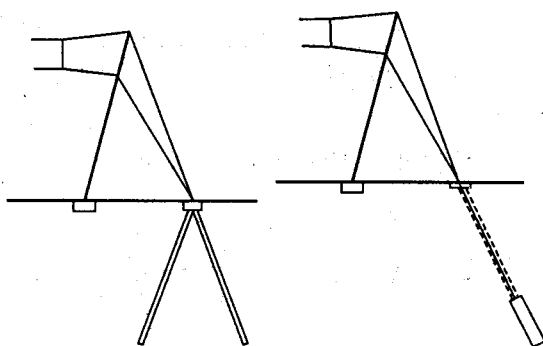
(b)板式阻力锚固体系



(c)蘑菇式阻力锚固体系



(d)阻力墙锚固体系



(e)拉力桩锚固体系

(f)摩擦锚固体系

图 6.4.7 锚固体系示意图

6.4.8 索的锚固体系的抗拔能力应根据锚固体系类型、地基条件和使用年限等因素确定,并应经现场调查和土质试验确定抗拔强度。

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 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,室内工作温度保持在 $5 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 范围内,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线、必要的裁剪、热合设备及测试设备。同时应具备经鉴定或专业评定的膜结构裁剪设计软件。

7.1.3 制作膜结构所使用的测试设备、工具、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有经专业培训的上岗证,上岗证应明确其岗位及技能要求。

7.1.5 膜结构的制作分为膜的裁剪、连接、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、缝制线类。

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卷膜材、每种复验项目抽样一组,每组三个试件。

7.3 膜的裁剪和节点制作

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经设计同意后进行调整。

7.3.3 裁剪膜片时,应避免原膜材的织造伤痕、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建筑美观、排水、膜片连接的要求来确定。

7.3.6 裁剪操作应严格按照裁剪下料图进行。对切割子膜片和拼接后的组合膜片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。

7.3.7 膜片的拼接应保证接缝的强度要求、防水要求。

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标准值。

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以确保质量。

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 膜结构打包时,宜包上缓冲材料以防止对膜体造成折弯、压坏等损伤。聚四氟乙烯为涂层玻璃纤维作基材的膜材料应采用蕊棍,以卷的方式打包,蕊棍的直径应大于等于 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。

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,宜在产品包装件外罩布上粘贴产品标签。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。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,应按膜结构设计图和安装工艺流程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:检查膜体的出厂证及质量保证书,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零件的安装及校正,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褶皱。

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 工程现场的膜体应安放在搭设的辅助架子上,如室外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 膜面与骨架之间的隔离塑胶条应按规定设置。

7.5.8 膜面展开时,应采取有效的保护措施以保护膜材不受损伤。

7.6 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部分。

7.6.2 膜结构安装时,应在膜面上安设爬用安全网,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,不应佩挂钥匙等硬物。

7.6.3 膜结构的安装宜在风力不大于四级的情况下进行。在安装过程中应充分注意风速和风向,避免发生颤动现象。发生强风时,应采取中止作业措施,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工程的中止和继续。

7.6.5 张拉时应确定分批张拉的顺序、量值,控制张拉的速度,并根据材料的特性确定超张拉量值。

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 2m 范围内做焊接、切削作业。

7.6.7 膜体铺设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紧固的夹板,夹板的间距不应大于 2m,根据膜结构的跨度大小,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 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、谷压绳,

以防止未完工膜结构在风载下产生过大晃动。

7.6.10 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。

7.7 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 缝线无脱落断线,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尺寸不应大于 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、美观的小的破损可将暂时性修补作为永久性修补;对影响安全、美观的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。

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 膜结构质量检验包括制作分项工程和安装分项工程。

8.1.2 膜结构竣工验收时应具备下列资料：

1 设计图、膜片裁剪图、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，技术交底记录。

3 材料出厂质量证明文件和复验报告。包括：原材料检验、膜体检验、连接件的检验、下部支承结构及预埋件的检测报告。

4 施工检验记录，隐蔽工程验收记录，加工、安装自检记录，膜结构脊、谷索张力值记录，张拉行程记录。

5 分项工程的验收记录。

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质量证书和每批材料的试验报告。试验内容应根据工程要求在订货时提出。检验方法：100%查验并存档。

2 膜结构裁剪前，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。检验方法：100%查验并存档。

3 膜结构用零部件必须有供货商提供的质量证书。检验方法：100%查验并存档。

4 支承结构必须符合相应规范和设计要求。检验方法：100%查验并存档。

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:拉力试验。

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 膜体张拉和膜连接节点应符合设计要求,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、剥离。检验方法:人工检测。

4 所有连接件、紧固件应符合设计要求。检验方法:人工检测。

8.3.2 一般项目。

1 安装完成的膜面应无明显污渍、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。

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。

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	屋顶膜	墙及其他	补强带	索	密封橡胶	保护层 橡胶
污染	☐	☐			☐	☐
破裂、断裂	☐	☐	☐	☐		
剥落	☐	☐				
连接部剥落	☐	☐				
裂缝	☐	☐			☐	☐
起泡	☐	☐				
漏水	☐	☐			☐	☐
磨损	☐	☐	☐	☐	☐	☐
强度劣化	☐	☐				

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	紧固板	安装板	螺栓、 螺母	索圈
生锈	☐		☐	☐	☐	☐	☐
松弛	☐		☐	☐		☐	
损伤	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
磨损	☐						
变形							☐

9.0.11 检验方法为目测、测试和试验三种。

9.0.12 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。

9.0.13 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。

9.0.14 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。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对于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 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行的写法为“可参照……”。

上海市工程建设规范

膜 结 构 技 术 规 程

DGJ08-97-2002

条文说明

2002 上海

目 次

1	总则	(1)
3	材料	(3)
3.1	一般规定	(3)
3.2	膜材	(3)
3.3	配件	(4)
4	设计一般规定	(5)
4.1	设计的基本原则	(5)
4.2	荷载与荷载组合	(5)
4.3	建筑设计	(6)
5	结构设计	(7)
5.1	结构设计的基本原则	(7)
5.3	形状设计	(9)
5.4	荷载分析	(9)
5.5	裁剪设计	(9)
6	膜结构连接与节点的设计和构造	(11)
6.1	一般规定	(11)
6.2	膜片连接的构造设计原则	(11)
6.3	膜面与支承结构连接的构造设计原则	(12)
6.4	支承结构与锚固设计	(13)
7	膜结构的制作和安装	(14)
7.1	膜结构制作技术要求和条件	(14)
7.2	膜结构的材料检验	(14)
7.3	膜的裁剪和节点制作	(14)
7.4	制作成品膜体的包装和运输	(15)
7.5	膜结构的安装施工准备	(15)

7.6	膜的安裝	(15)
7.7	安裝質量要求	(16)
8	工程驗收	(17)
8.1	基本規定	(17)
8.2	膜結構制作分項工程	(17)
8.3	膜結構安裝分項工程	(17)
9	維修和保養	(18)

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)中 1.0.5 条规定,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)及上海市工程建设规范《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,选用膜材时必需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

3.2.3 目前欧、美、日各国生产的建筑结构用膜材有很多种,且新的品种不断研制。本规程仅按国内及上海地区应用较普遍,并兼顾国外常用材料列出六种膜材。除这六种膜材外,其他膜材只要其物理力学性能,涂层化学成份符合建筑使用和结构要求也可应用。国外也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。

3.2.4 设计时宜根据具体工程提出承包商需提供的其它产品性能要求。此外提供的产品性能宜包括:耐反复张拉疲劳强度、耐反复弯折疲劳强度、耐气候性强度、耐徐变性能、耐磨耗性能、耐揉性能、耐寒性能、柔韧性、自洁性、透光性、可焊性等。对上述产品性能我国尚无标准时,可参照国外相关标准。权威机构指政府部门认可的机构。

3.2.5 该条基本质量要求,规定了基材、涂层和组成膜材后的最小质量和最小厚度。主要是保证基材的涂层有一定厚度,组成的膜材能符合建筑物使用的最低基本物理力学性能要求。对于组合 4、5、6 的膜材用于短期内搬迁、拆除的临时性民用建筑屋盖及构

筑物,涂层质量和厚度可适当减低为基材重量大于等于 $100\text{g}/\text{m}^2$ 、涂层重量在 $300 \sim 1100\text{g}/\text{m}^2$ 之间、膜材厚度大于 0.45mm 。

3.2.10 弹性常数、泊松比、剪切模量,国外是用专用的仪器和标准测试。

3.2.12 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。

4.1.7 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。

4.1.8 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。

4.1.9 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》(GB50009-2001)中的 3.1.1 条。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,当对结构不利时,永久荷载分项系数应取 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》(GB50009-2001)中 4.3.1 条。

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》(GB50009-2001)中 7.1.2 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分布的调整。

4.3 建筑设计

4.3.6 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。抗剥离测试可参照国外的有关标准进行。

4.3.8 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 γ_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 :美国为荷载短期作用情况下取 3,在荷载长期作用情况下取 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。日本为荷载短期作用情况下取 4,在荷载长期作用情况下取 8。本规程考虑多种因素取荷载短期作用情况下为 4,在荷载长期作用情况下为 8。

$$\text{结构抗力: } R = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

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 γ_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;

γ_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;

γ_R ——为抗力系数,按不同 ρ 值求得对应的 γ_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。

5.1.4 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。

5.3.4 因为形状设计不考虑荷载效应作用,所以给定曲面上平衡的预张应力分布和相应的结构内力乘以任意常数仍然是平衡的。在这一意义上,形状设计本身与材料特性并无关系,即形状设计时可以任意假定材料参数。

5.4 荷载分析

5.4.2~5.4.4 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、混凝土或钢结构支承结构进行固定的方式。

6.1.2 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。

6.1.4 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。

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 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。

6.2.2 当设计园林、景观小品建筑和临时性建筑时,如有经验,可参考以往工程确定膜片连接处的材料强度。

6.2.7 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。

6.3 膜面与支承结构连接的构造设计原则

6.3.7 夹具是节点中用以固定索位置的主要零件。夹具主要通过高强螺栓及上下两块夹板将索夹紧,夹紧后的索不得打滑,所以在夹具的设计中,应考虑如何增加索与夹具的摩擦力,为此,有的夹具在上下夹板与索之间还包裹铅板;如果索用高密度聚乙烯包裹,那么在夹具内还须考虑索的防护以防备高密度聚乙烯被剥离。随着索固定位置的不同要求也就有各种不同形式的夹具,如各种压板式夹具、骑马式夹具、拳握式夹头以及梨形环。

索节点的构造应符合结构分析时的计算假定,锚固或夹持的作用必须充分可靠,使用钢材可焊接或铸造或锻造但必须有足够的强度储备以确保安全,节点应构造简洁,体形小,加工方便,尽可能使力线交汇,有条件的应设计成自锁状态。

6.3.8 挤压锚具是握裹式锚具中主要应用形式,通常采用铝合金或其他高强钢材做成索套,在高压下挤压成形,挤压锚具主要用在比较小的柔性的索中,可分为带外螺纹的挤压锚具、带耳板的挤压锚具、带耳板的可调式挤压锚具三种类型。

铸锚式锚具有冷铸锚具、热铸锚具两种。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。其特点是铁屑和环氧树脂的温度不高,并不会对索的材性产生影响。但它必须搅拌密实,不然会削弱钢丝的强度。为此,冷铸锚具在浇入铁屑和环氧树脂时必须在振动平台上振捣密实,以保证其密实性。而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,这种低熔点高强度的合金由于熔点并不高并不会影响索的材性,同时因为流动性好故浇铸较密实,并且在冷却后强度也较大。这是近期常用的一种铸锚锚具。铸锚式锚具主要用来锚固高强钢丝束,钢丝束端在锚杯内散成帚状经浇铸为整体,可使钢丝束的受力均匀,充分发挥钢丝延性,提高锚固效

率。它的承载能力较大,能适应工程设计的不同要求,工厂集中制造,质量易于控制,是一种具有特色的锚具,广泛应用于张力结构中。

6.4 支承结构与锚固设计

6.4.1 在膜结构中,膜面与桅杆顶的节点是个十分重要的节点,根据结构的不同类型采取多种作法。图 6.4.1(a)为膜角点通过连接盘上的锚具直接锚于桅杆顶的连接板。图 6.4.1(b)为膜面通过连接钢板固定于桅杆顶部的索,桅杆顶设计成可竖向顶升,从而张紧索和膜面。图 6.4.1(c)是膜面在桅杆顶用刚性杆连接后,围成收口,其上部用金属帽罩住,形成膜蓬顶。桅杆的顶部可以是固定不动的也可以设计为活动的。为了张紧膜面,宜在桅杆顶设计成可微调或在膜蓬顶桅杆的根部设计成可顶升。

6.4.7 张力膜结构一般宜设计成自平衡体系,这时,索中的张力一部分自平衡了,而另一部分则可由边缘构件或边缘结构承受。然而,事实上也并不是所有张力结构均能自平衡的,这时需要支承结构或锚来承受其水平力。锚在张力结构中是十分普遍地采用,通过它将结构中的张力传入地基。通常锚是用来锚接拉索的。

用于张力结构中的锚也称为张力锚,因它主要抵抗结构中的张力。张力锚可分以下几种类型:图 6.4.7(a)为主要依靠自重来与张力平衡的重力锚示意图;图 6.4.7(b)为抗拔桩锚,桩锚又可分为颗粒状材料(如卵石和砂或细砂)组成的抗拔桩锚及粘土组成的抗拔桩锚示意图;图 6.4.7(c)为板桩、蘑菇桩及其它大放脚板桩示意图;图 6.4.7(d)~(f)为颗粒状材料、粘土及岩石组成的地锚示意图。

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。

7.1.4 国家目前尚无膜结构加工操作人员的培训标准,各制作企业应自行组织有经验的专业人员为不同岗位的加工操作人员进行培训。通过培训考核后定岗。

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 100m^2 , 每增加 200m^2 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可按下列要求进行,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

膜结构本身特点决定其维修保养要求比膜结构更严格。实际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、节点的渗漏水的检查。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。