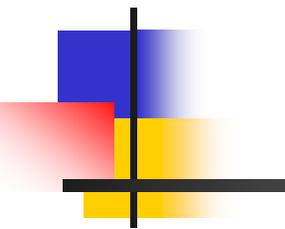


土木工程 膜结构-1



索膜结构技术

- 
- 索膜结构的起源及膜材料
 - 索膜建筑结构的分类
 - 索膜建筑的设计与施工过程
 - 国外典型索膜结构
 - 国内典型索膜结构

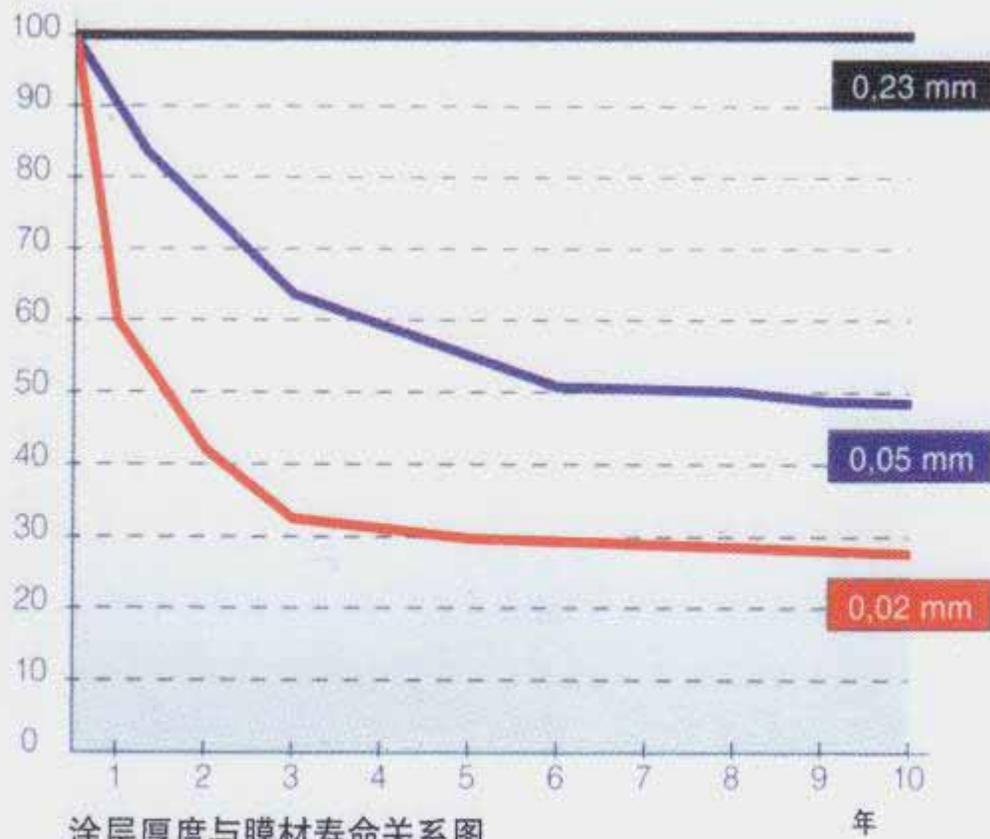
索膜结构的起源及膜材料

- 索膜建筑是自然美、技术美和艺术美的结合。
- 索膜结构体系起源于远古时代人类居住的帐篷（支杆、绳索与兽皮构成）。
- 1967年德国建筑师Frei Otto第一次在加拿大蒙特利尔博览会德国馆创造性地大规模成功运用了索膜建筑。
- 20世纪70年代以后，出现高强、防水、透光且表面光洁、易清洗、抗老化的建筑膜材料。
- 1970年大阪博览会上的美国馆采用的膜材为涂覆聚氯乙烯（PVC）的玻璃纤维织物，强度上经受了两次台风的考验。
- 70年代美国制造商改进了涂覆的面层，采用了聚四氟乙烯（PTFE，商品名Teflon）
- 制造商又对价格较低、涂覆PVC的聚酯织物进行改进，再加一面层，比较成熟的有聚氟乙烯（PVF，商品名Tedlar），抗紫外线，提高了自洁性。
- 工程计算科学的飞速发展，索膜建筑结构东山再起。

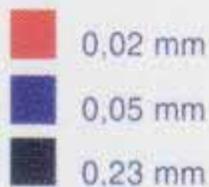
索膜结构的起源及膜材料

用于膜结构中的膜材是一种具有高强度、柔韧性好的薄膜材料；是由织物基材（玻璃纤维、聚酯长丝）和涂层（PTFE、硅酮、PVC）复合而成的涂层织物。具有轻质、柔韧、厚度小、重量轻、透光性好；对自然光有反射、吸收和透射能力；它不燃、难燃或阻燃；具有耐久、防火、气密良好等特性；表面经过氟素处理（涂覆PVF或PVDF）的膜材、自身不发粘、有很强的自洁性能。





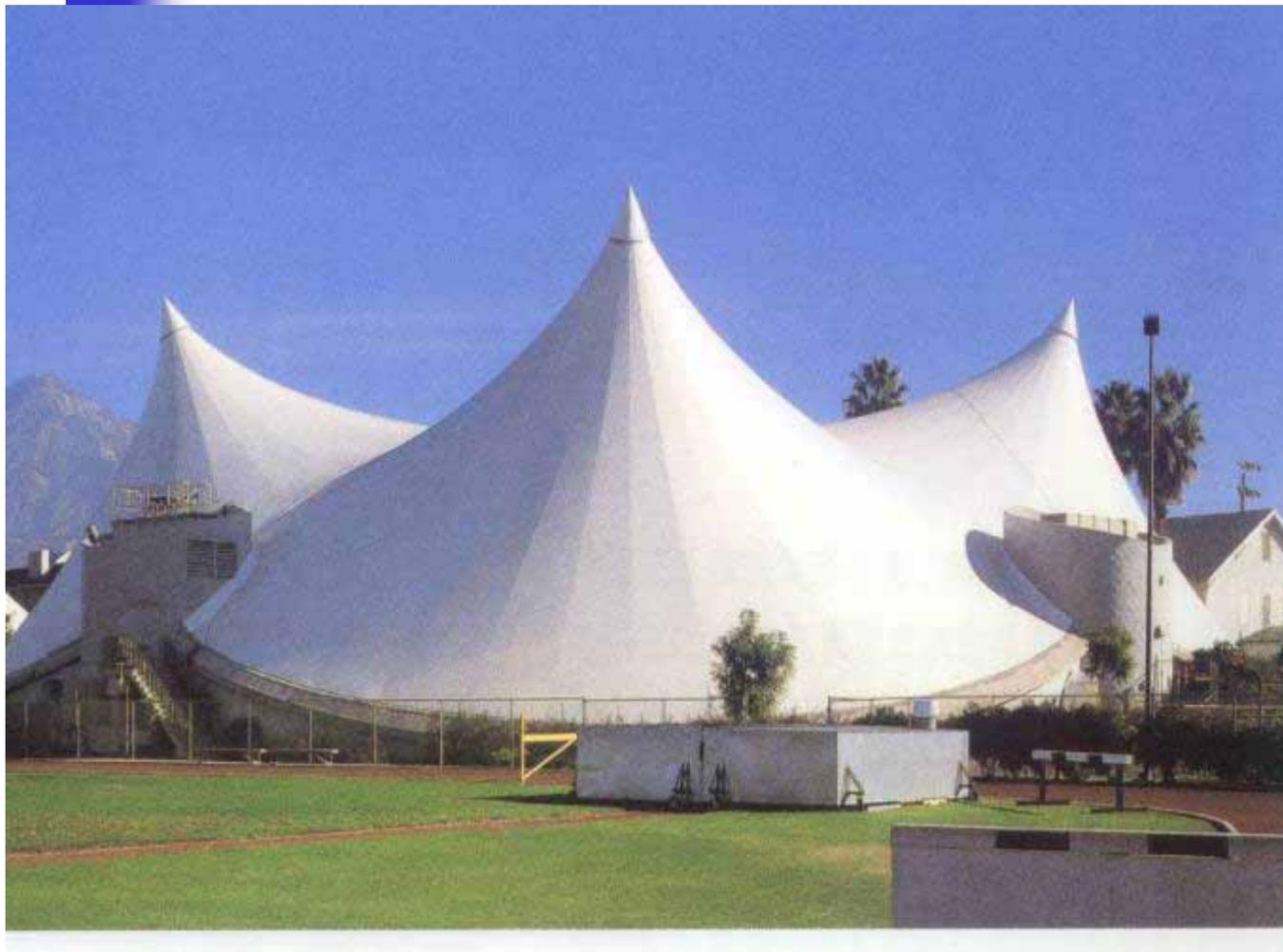
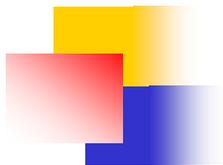
涂层厚度与膜材寿命关系图



■膜材的寿命与膜材表面的涂层厚度有关。一般膜材质保15年。



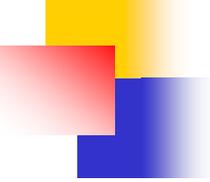
- 被尊为索膜建筑与结构技术先驱的德国建筑师弗赖·奥托 (Frei Otto) 第一次在1967年加拿大蒙特利尔博览会德国馆应用索膜建筑技术



1973年聚四氟乙烯膜
(PTFE, 商品名
Teflon, -
特氟隆)首次应用于美国加利福尼亚拉维恩学院学生活动中心。经过20多年的考验,材料还保持70~80%强度,仍透光。

索膜建筑结构的分类

- 索膜建筑从结构方式上简单地分为：张拉式、骨架式、充气式三大类。
- 张拉式是索膜建筑的精华和代表。张拉式又分为索网式、脊谷索式。张拉式表现力强，结构性能好，造价稍高，施工精度要求高
- 骨架式在特定条件下采用。骨架体系自平衡，膜体仅为辅助物，膜体本身的强大结构作用发挥不足。骨架式与张拉式结合使建筑效果富于变化。骨架式造价低于张拉式。
- 充气式索膜建筑历史长，形象单一，空间要求气闭，使用功能有明显的局限性。但充气式索膜体系造价低，施工速度快，在特定条件下有优势。
- 索膜建筑的灵魂——预张力。预张力使“软壳”各个部分（索、膜）在各种最不利荷载下的内力始终大于零（永远处于拉伸状态）



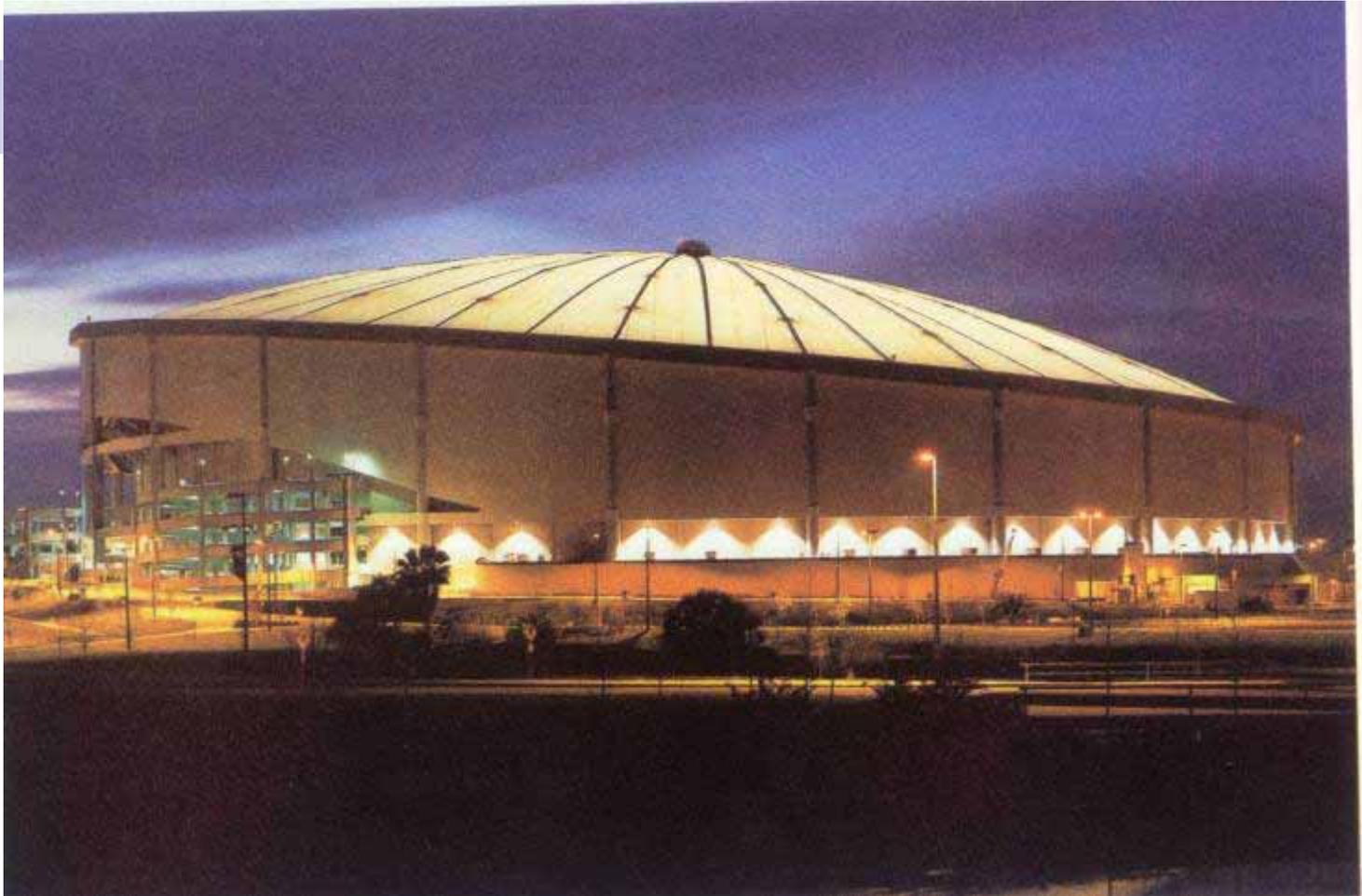
索膜建筑的设计与施工过程

- 现代索膜建筑的设计过程：
 - (1) 分析建筑功能与内外环境，使形式与之协调
 - (2) 借助计算机的图形和多媒体技术进行统筹规划和方案设计
 - (3) 用结构找形、体系内力分析与裁剪软件完成索与膜的下料与零件加工设计图
- 索膜建筑的施工过程（三阶段）
 - (1) 在工厂内完成膜材的剪裁，初始粘合
 - (2) 钢索与膜面现场安装，拼合与初始成型
 - (3) 张拉定位索与顶升支撑杆对膜面施加预应力达到设计找形值

国外典型索膜建筑结构



- 1985年在日本茨城县举行的国际科学技术博览会的美国馆以高耸的桅杆悬挂银白色的屋面



■美国工程师盖格（D.Geiger）设计成以索、膜与压杆组成的“索穹顶（cable dome）”，荷载从中心受拉环通过一系列辐射状脊索、受拉环索与斜拉索传到周围受压圈梁。



■索穹顶应用于美国佛罗里达州的“太阳海岸穹顶”，直径达210m。



■意大利哥伦比亚国际博览会



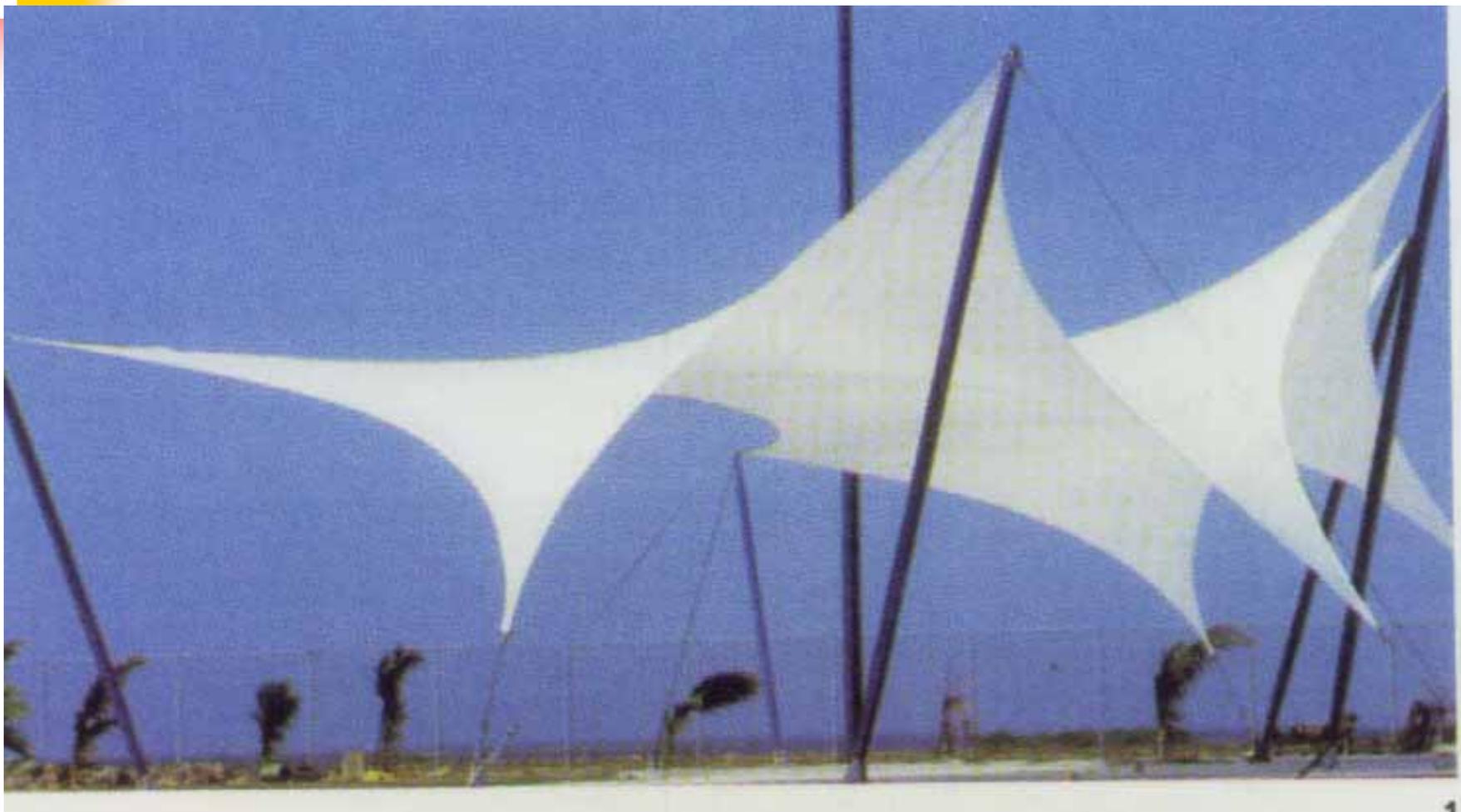
■ 西班牙马德里会展中心



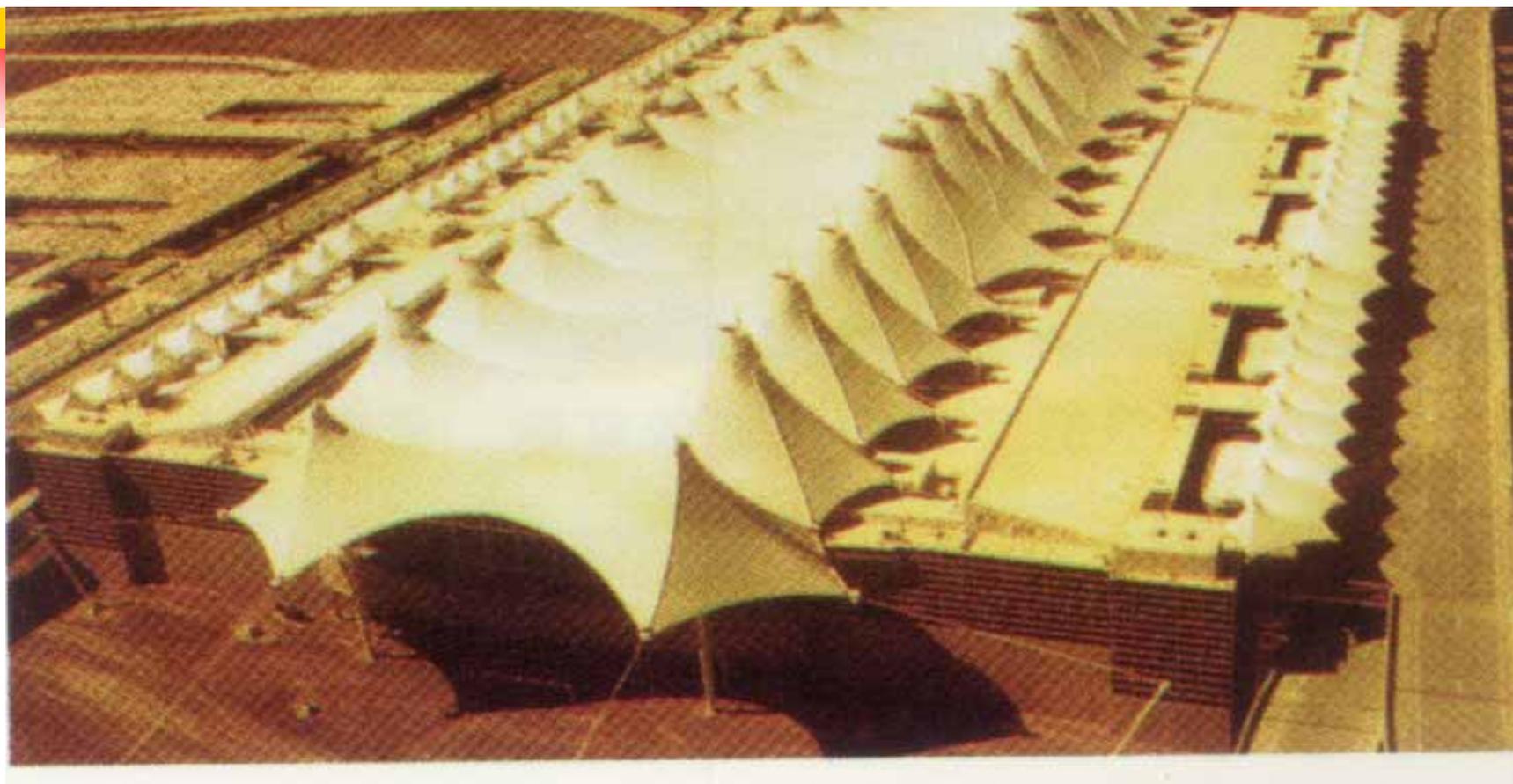
■加拿大蒙特利尔体育馆



■德国一展馆庭院内的膜篷。六个鞍形膜单元环状拼合，中心设环索，单元膜外角用桅杆顶起，单元膜拼和角用钢索拉至地面



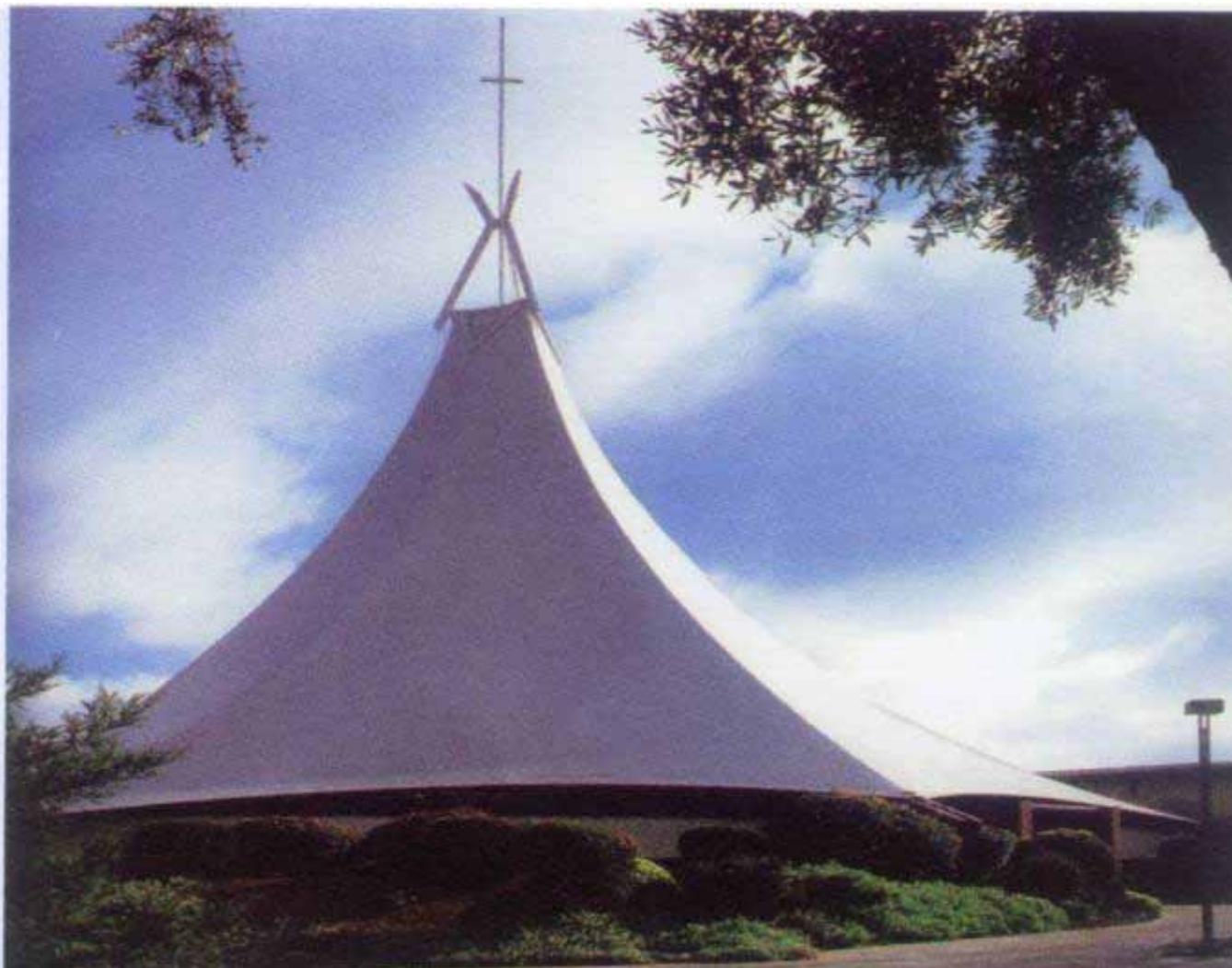
■ 双曲抛物面单元组合的膜篷



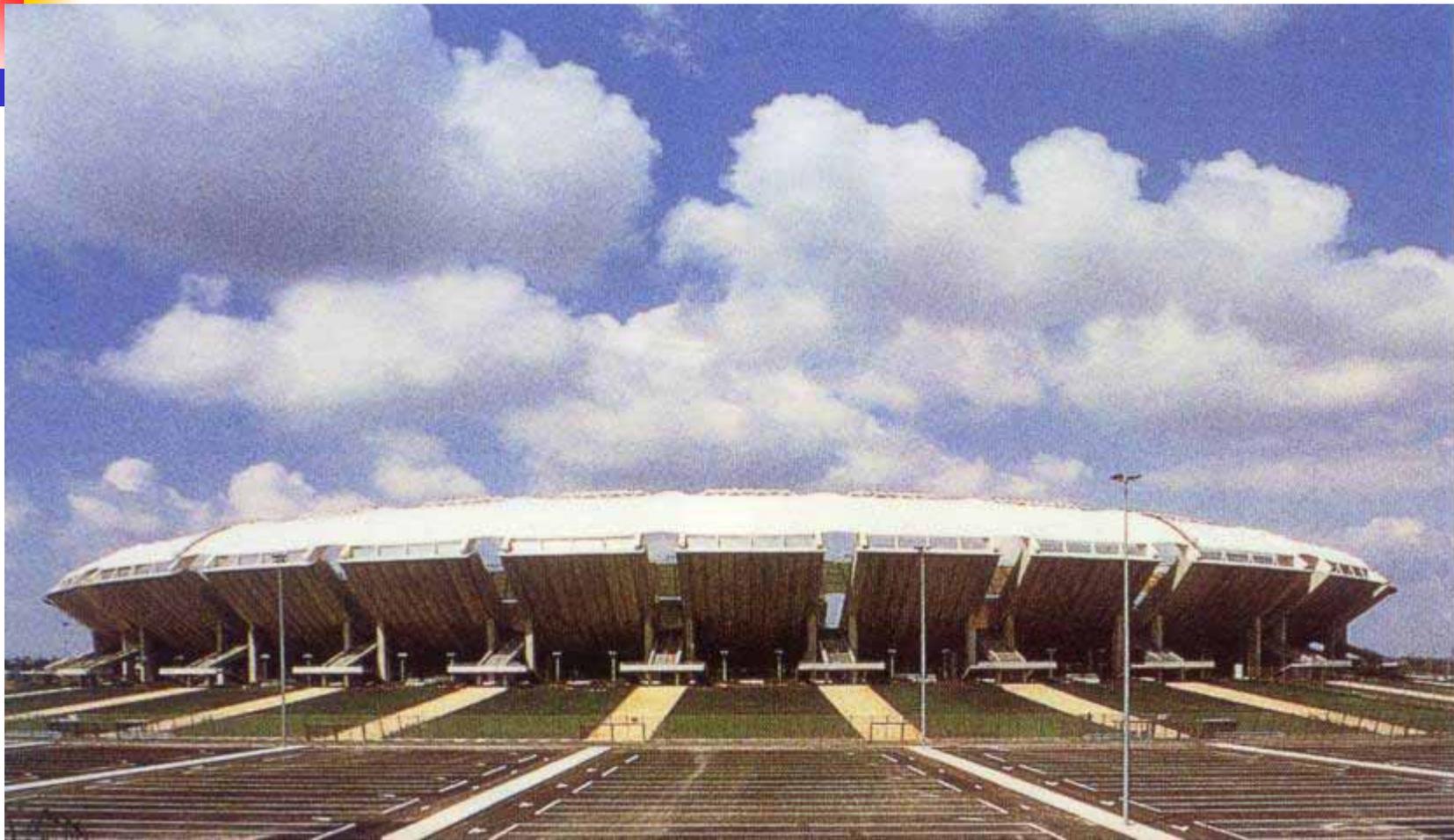
■美国新丹佛国际机场侯机楼屋盖由17对帐篷膜单元组成，宽67m，长274m，帐篷面积约1.8万 m^2 ，膜材双层，间距600mm。



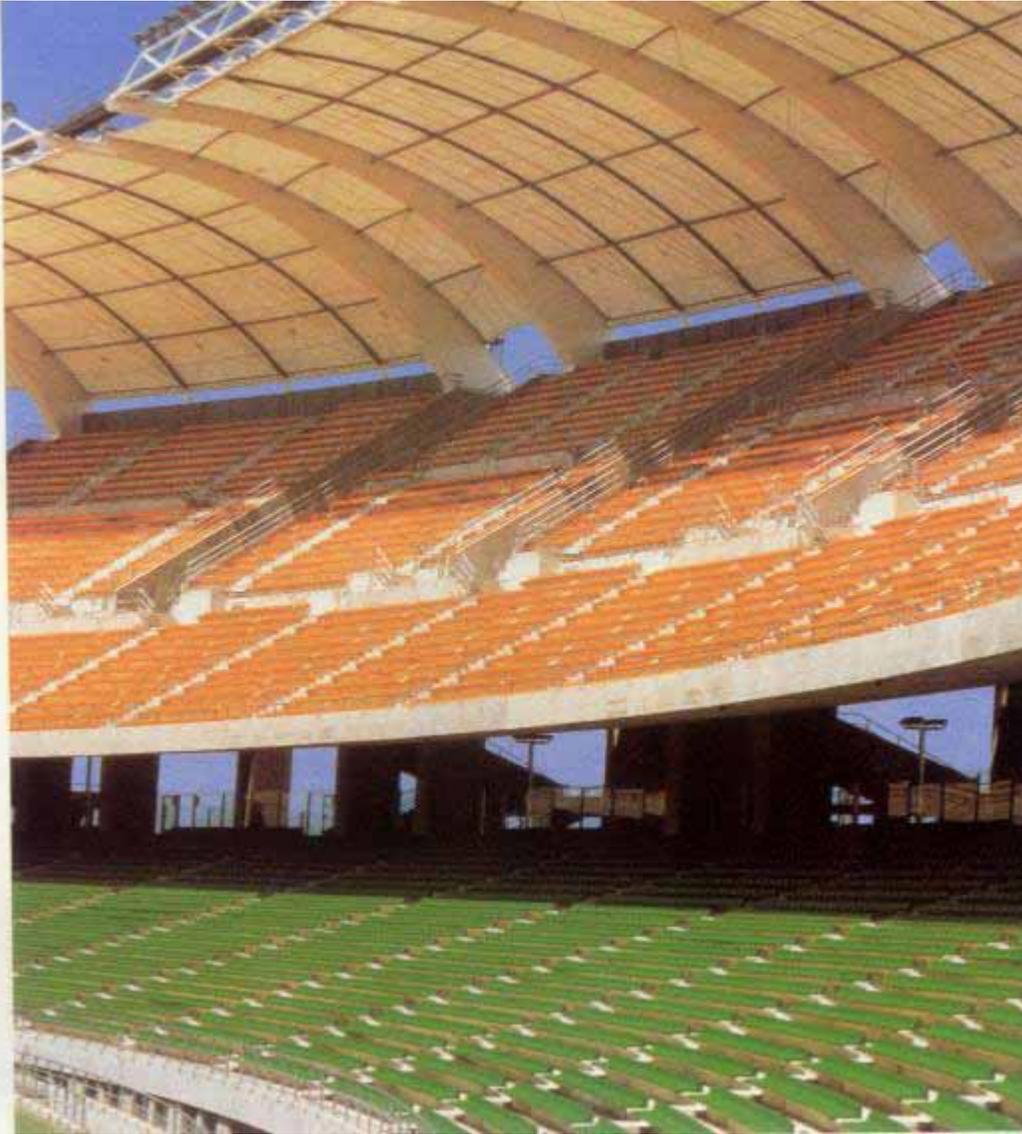
澳大利亚某修养地中心庭园鞍型膜面群



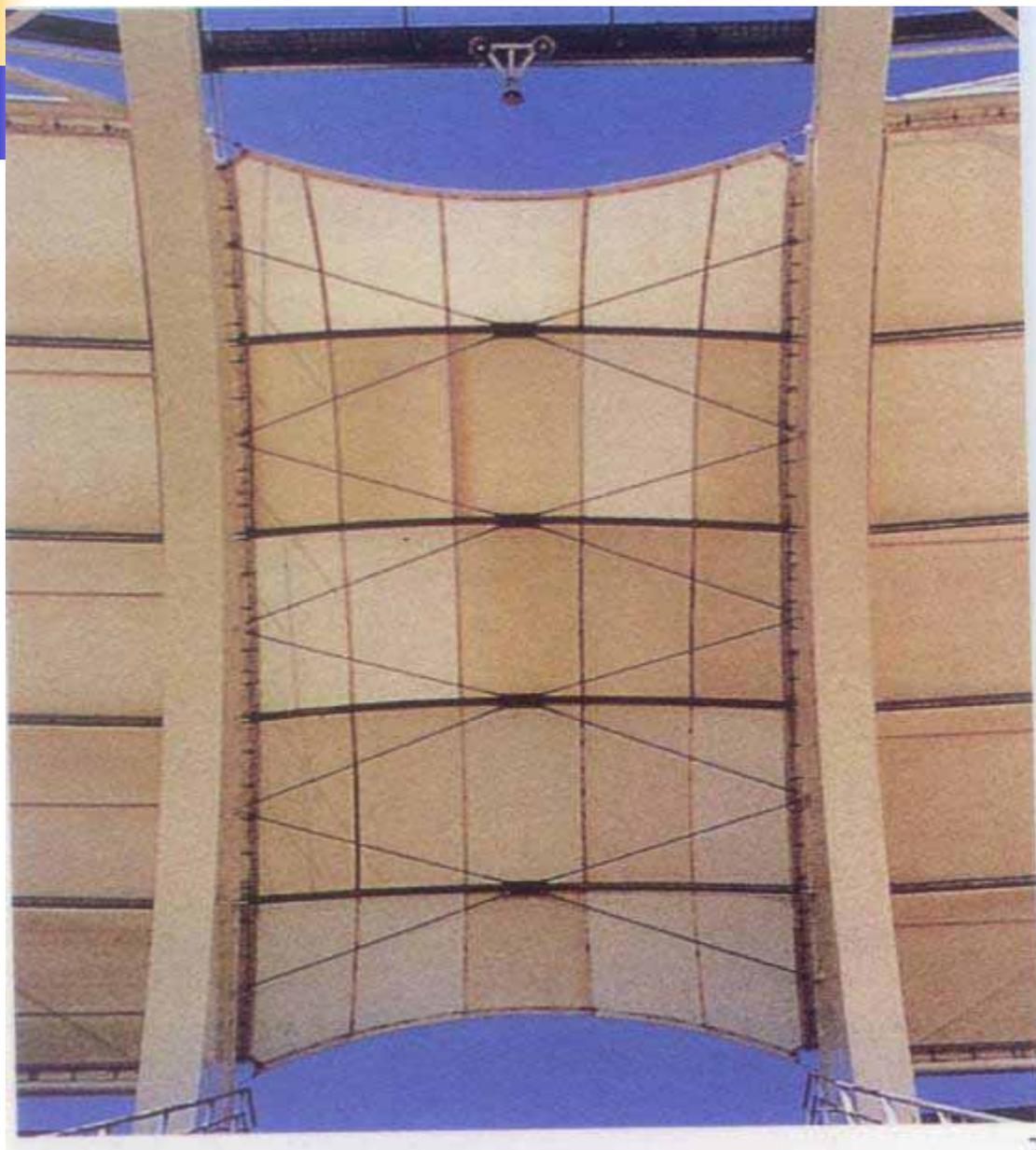
- 美国加州某教堂，高度12m，跨度26m，典型的帐篷膜结构。用三支反曲拱架替代中心支撑杆。



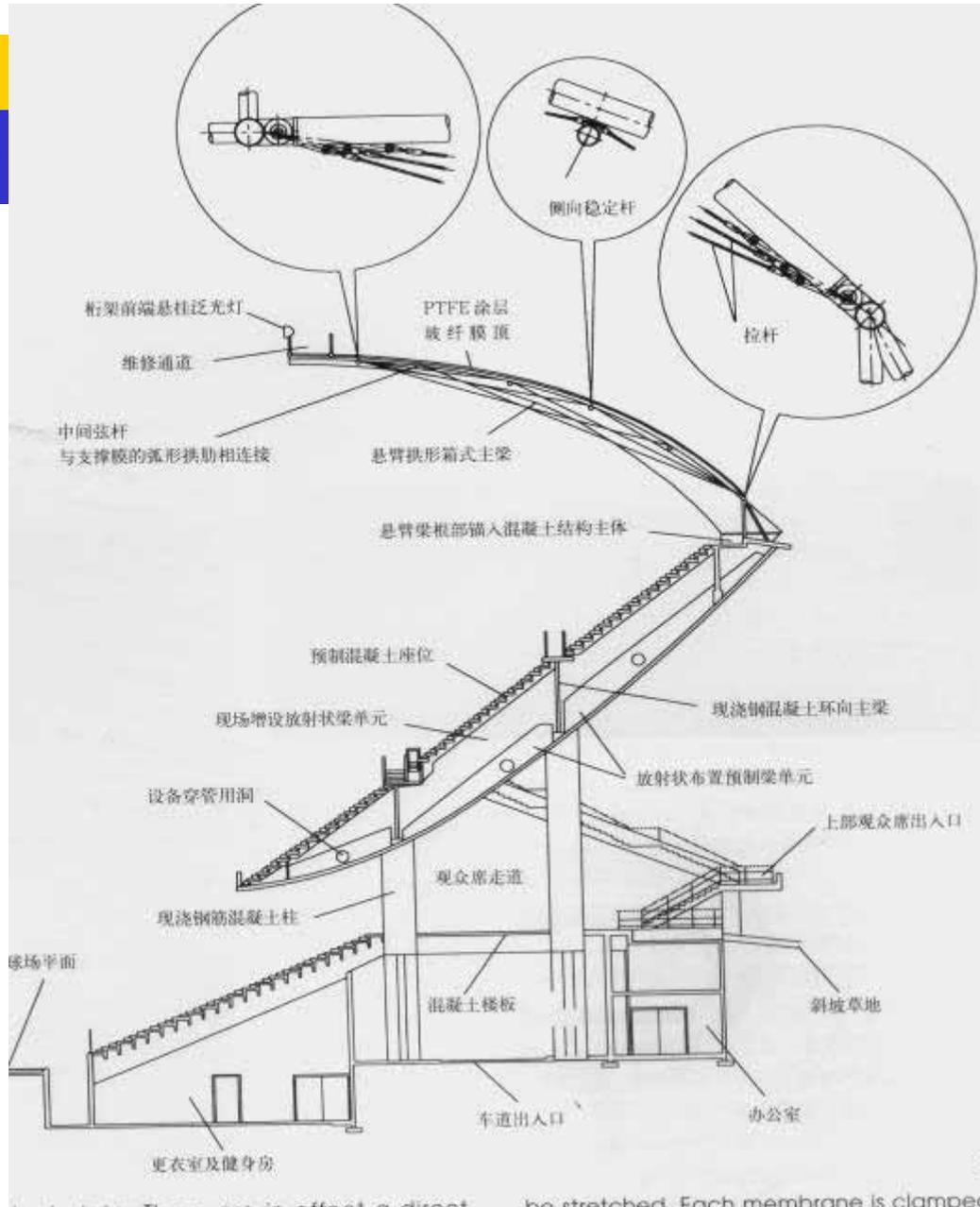
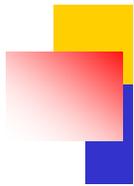
意大利巴里市圣·尼古拉体育场。1990年世界杯的体育场



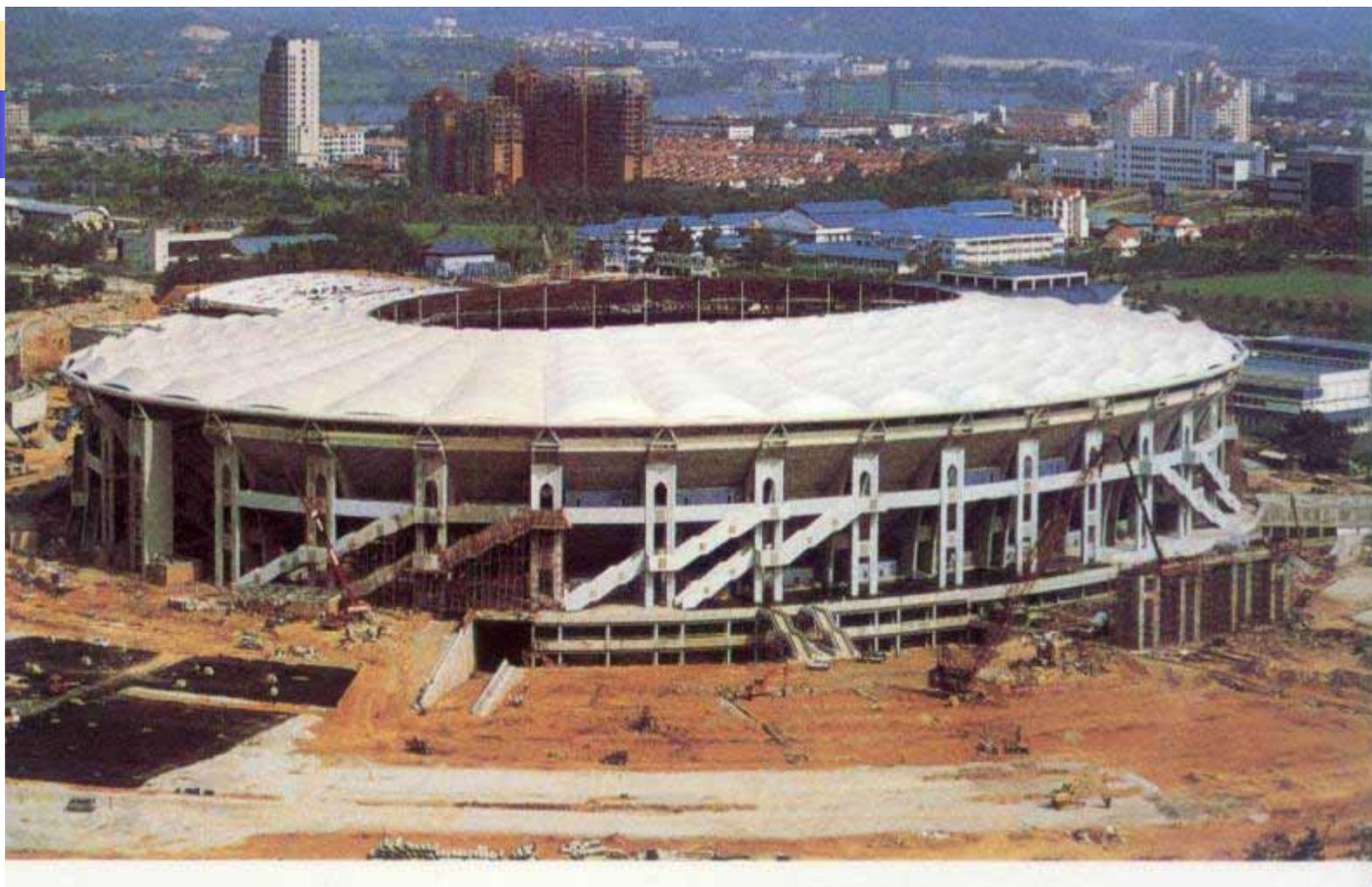
- 膜顶由26块各自从钢筋砼框架延伸出来的大膜构成。
- 膜顶悬挑跨度14m ~ 27m。
- 膜覆盖面积13250m²
- 每块膜安装时在两个方向上的应力均不超过4080N。



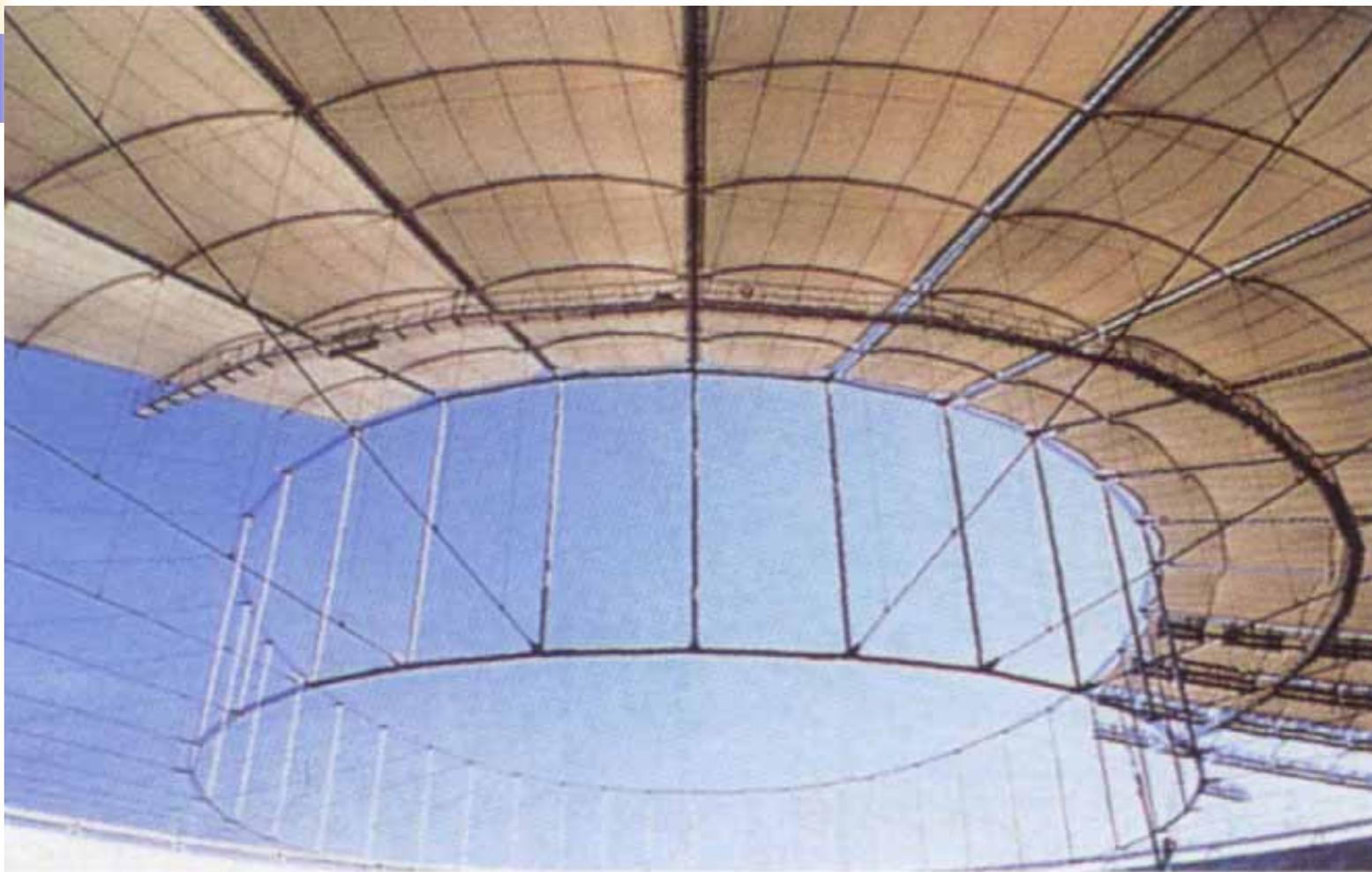
■箱形悬臂拱
形梁仰视。



观众席剖面



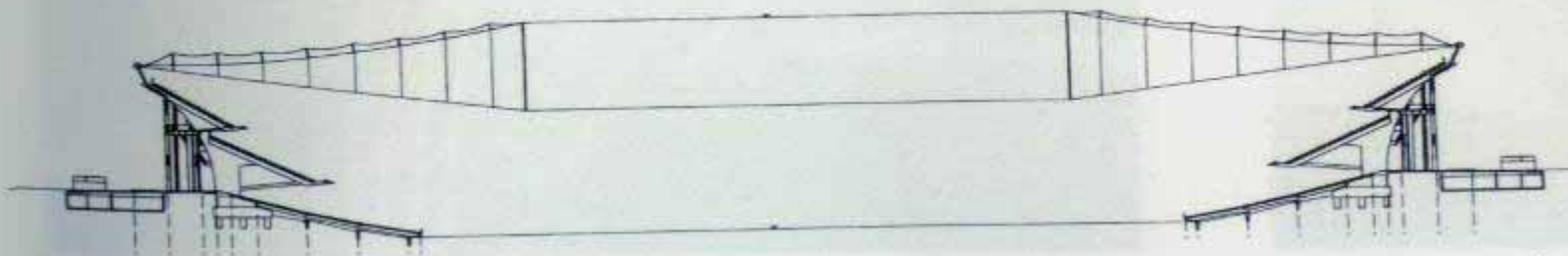
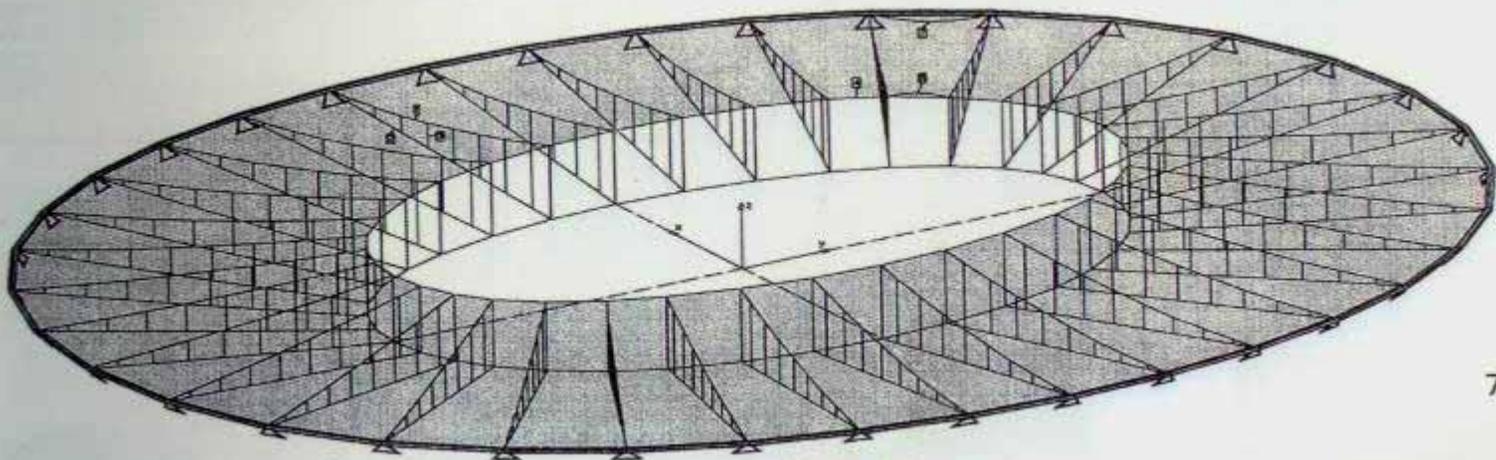
■ 马来西亚科隆坡国家体育综合体室外体育场，采用环形索膜屋顶结构。



■ 36个索构架在一个外部钢制压力环和两个内部拉力环之间呈放射状布置。外部压力环为直径1400mm的钢管。

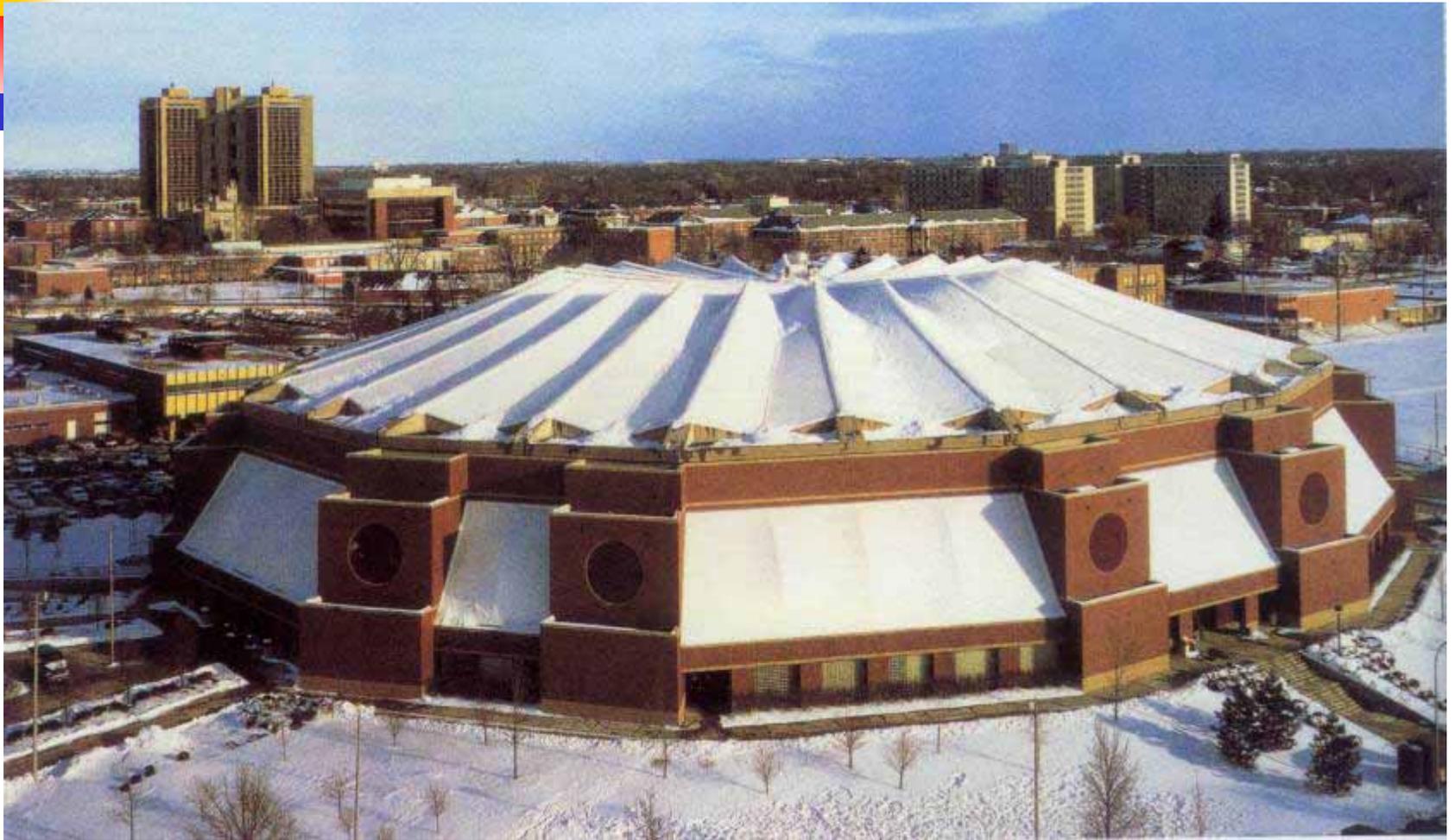


- 内部拉力环由直径100mm的绳索构成，两个拉力环的垂直距离为20m，并由36根钢制支柱相连。



6 游泳馆剖面

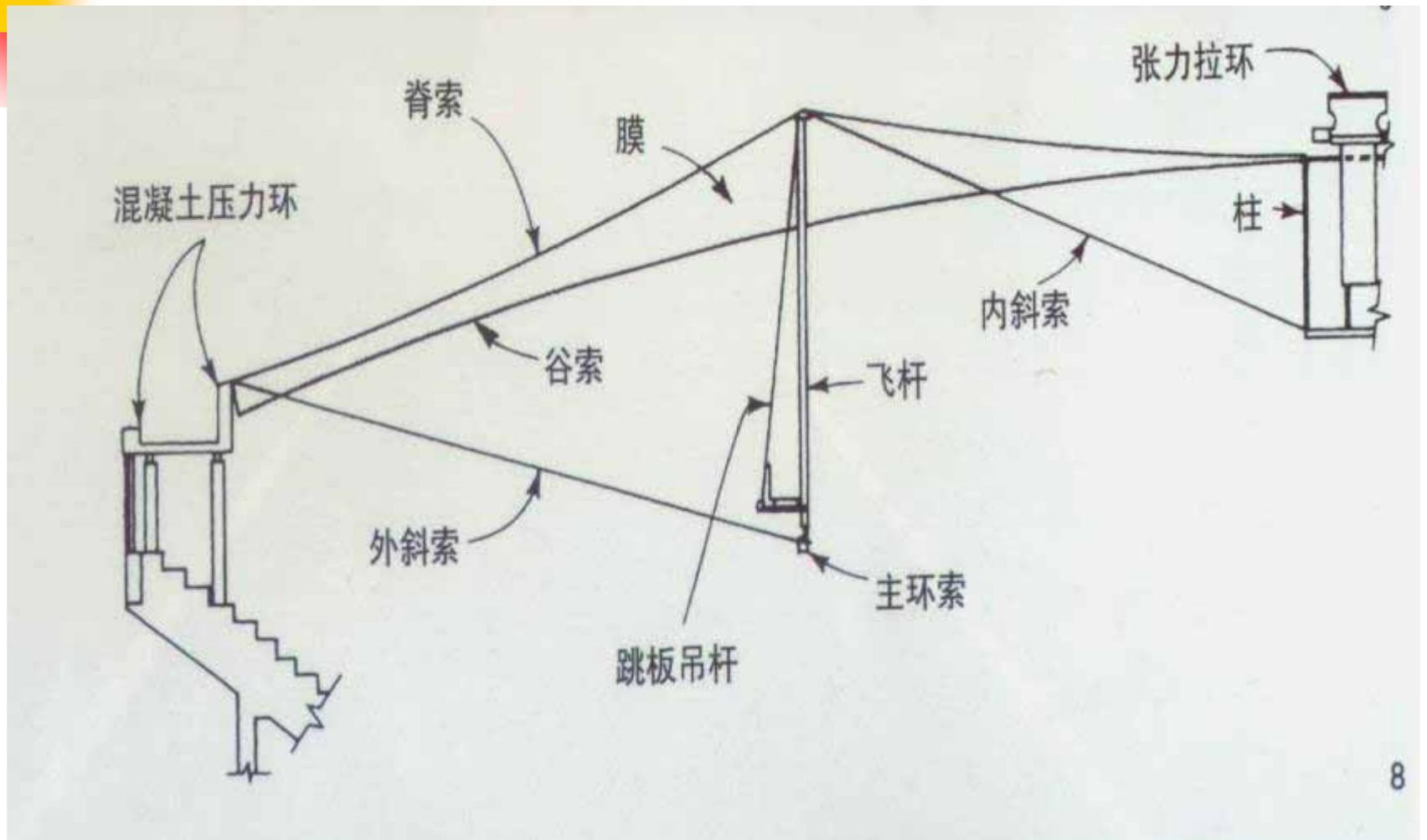
■ 体育场剖面



■ 美国偌默尔市伊利诺斯州立大学红鸟竞技场



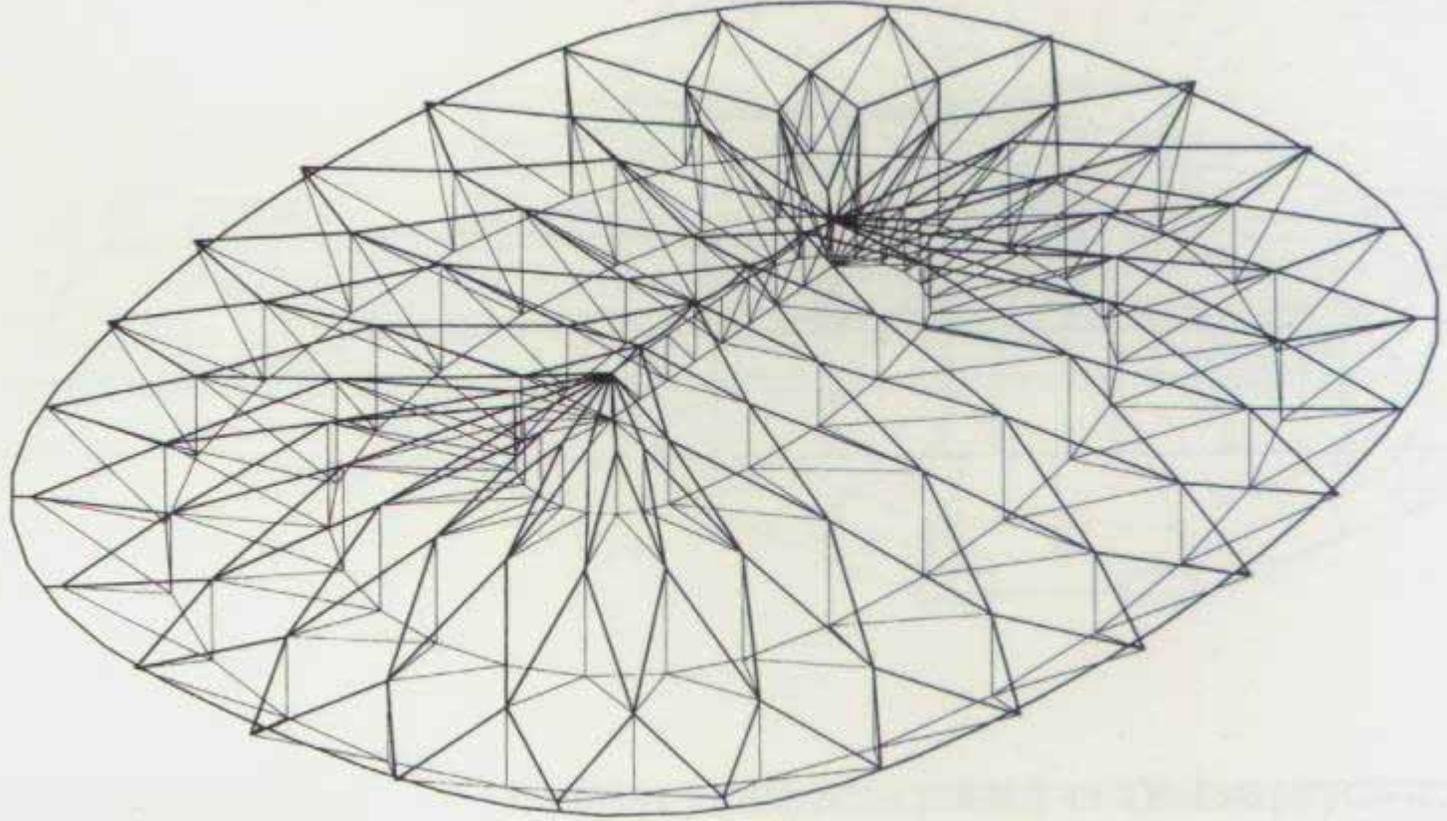
■体育场的屋顶为半透明和保温的悬索膜顶。伞壮的折顶形式通过24个飞杆将脊索撑起而形成峰顶，拉直的谷索形成峰谷。



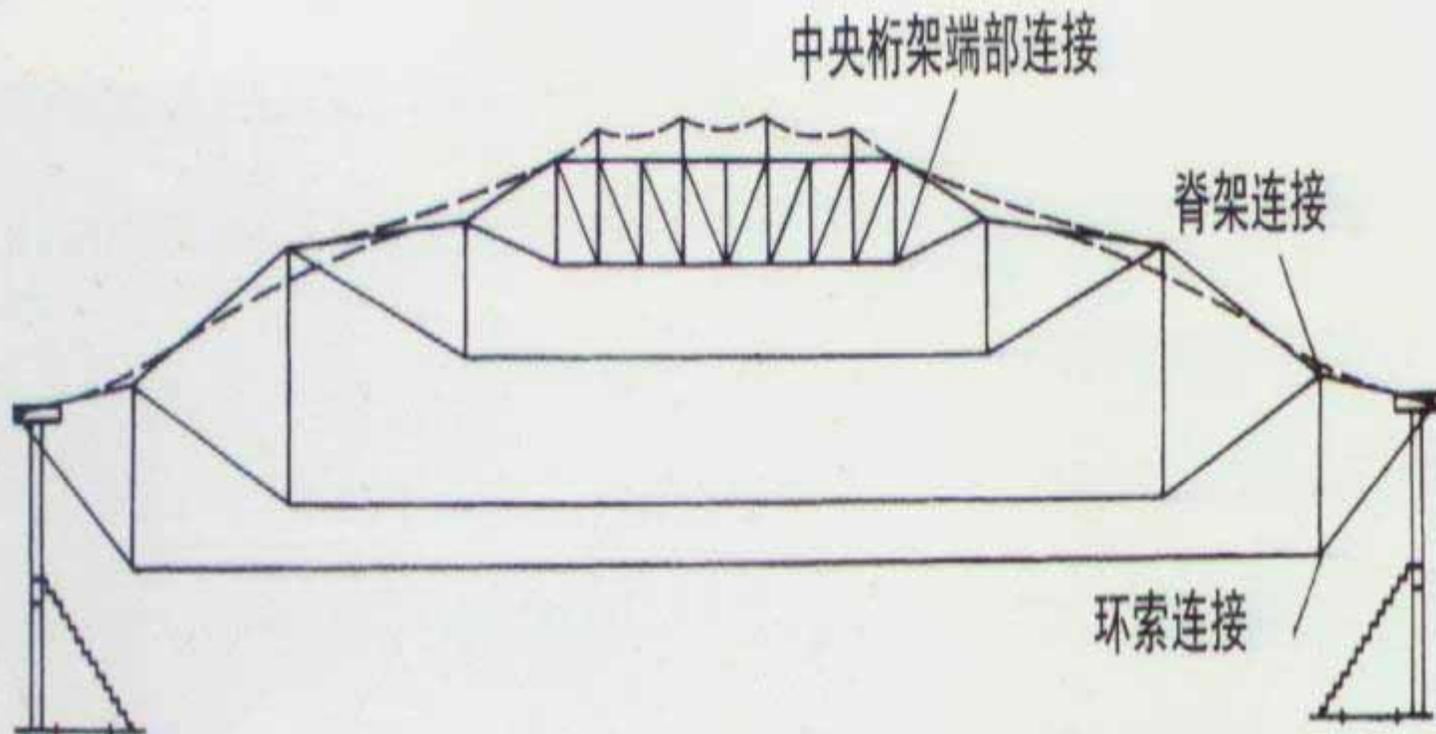
■ 悬索顶结构体系



■ 美国亚特兰大市左治亚体育馆，屋顶240mH192m

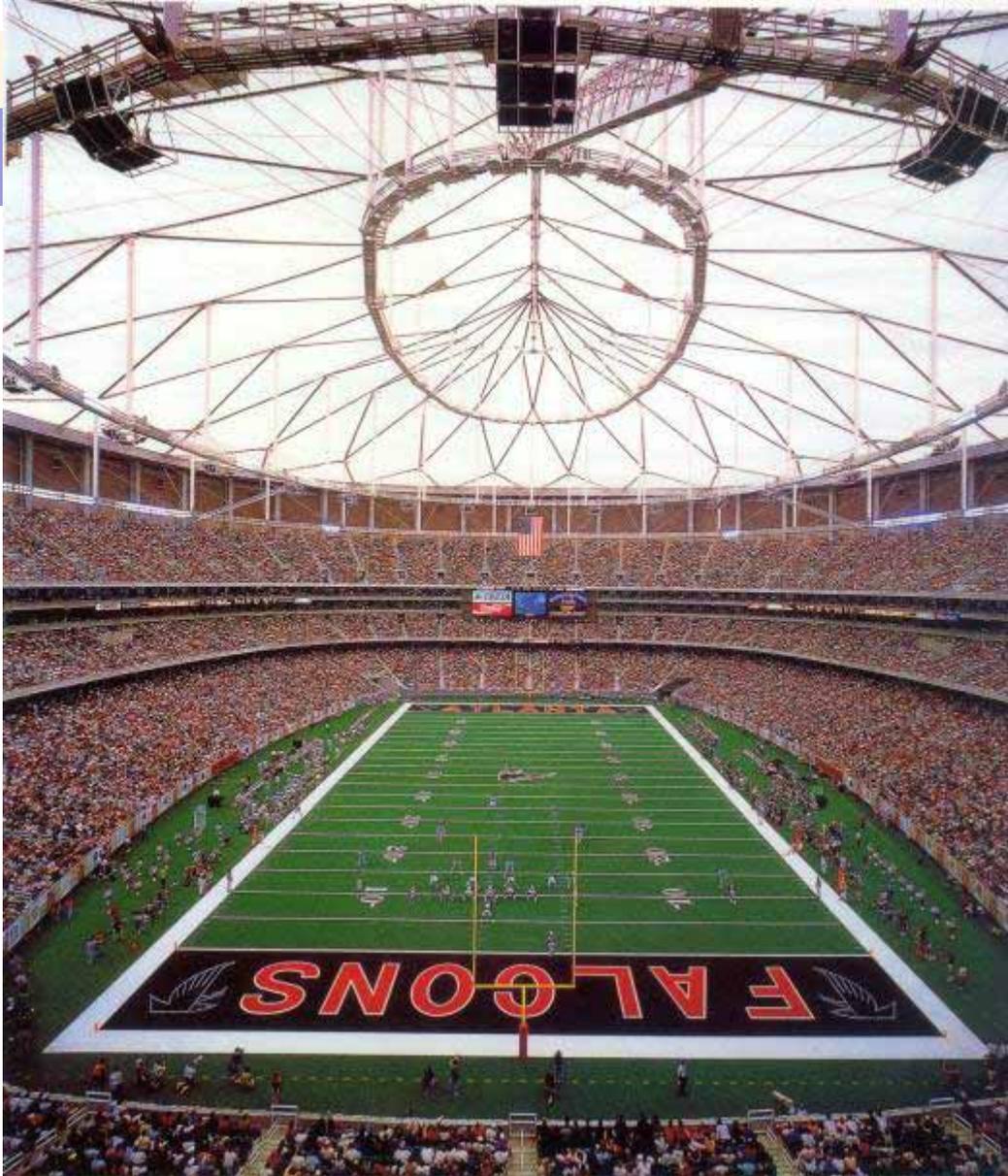


- 屋顶平面，由涂有聚四氟乙烯的玻璃纤维膜覆盖，屋面呈钻石状，看上去象水晶一般。

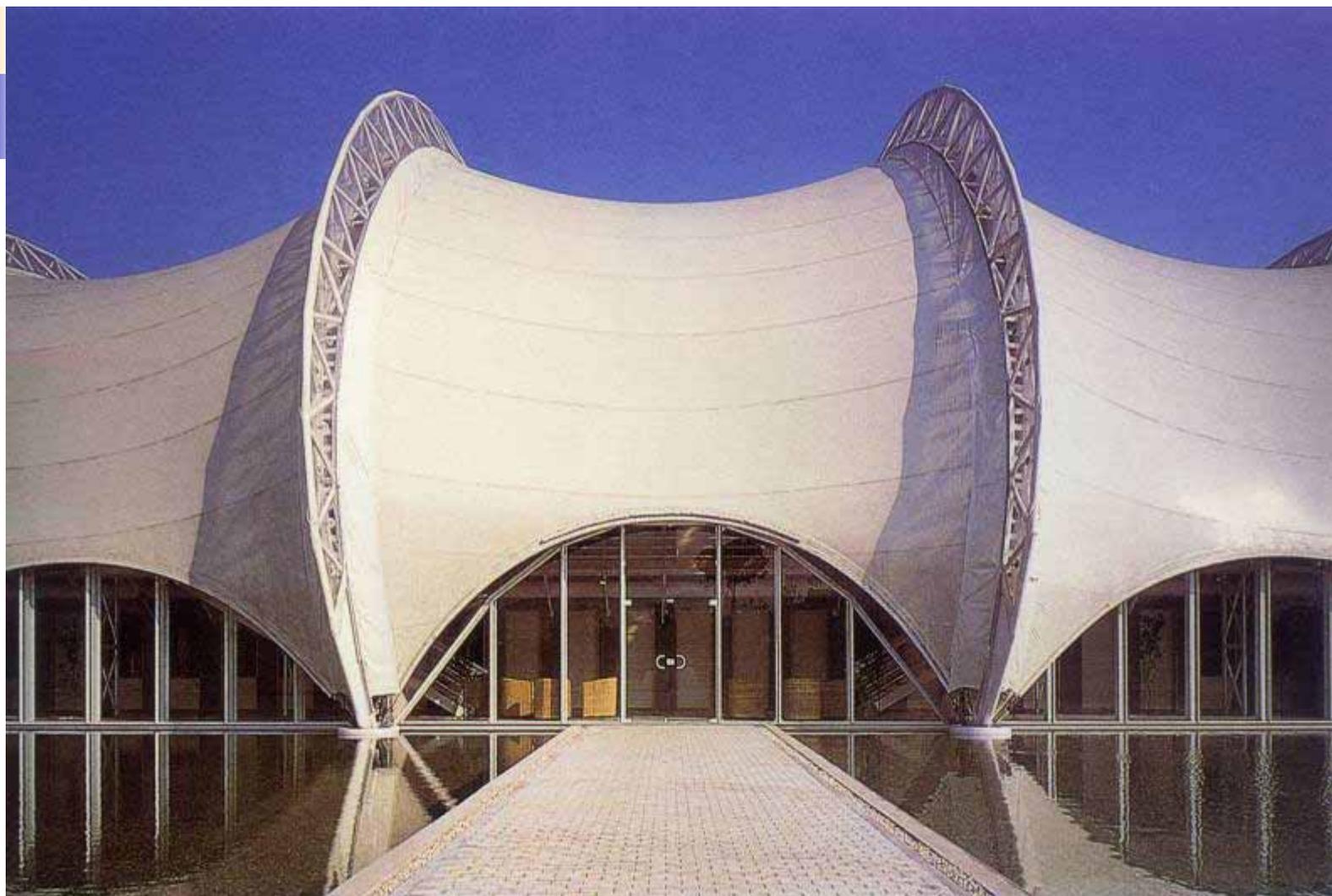


4

- 整个屋顶由7.9m宽，1.5m厚的砼受压环梁固定，共52根支柱支撑着700m周长的环梁。受压环坐落在“特氟隆”承压垫上，可作径向移动，将风力和地震力均匀传向基础。



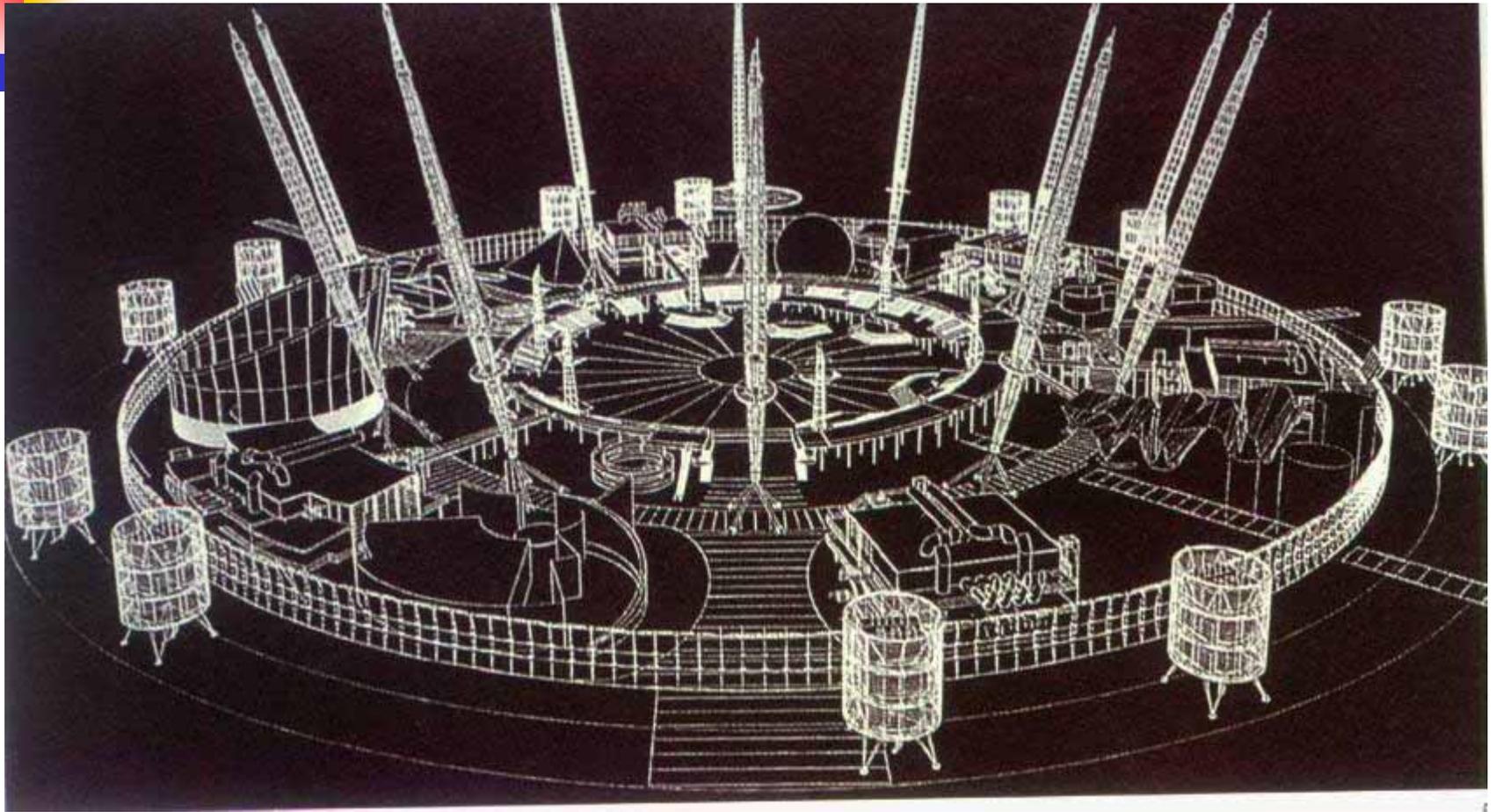
室内全景。



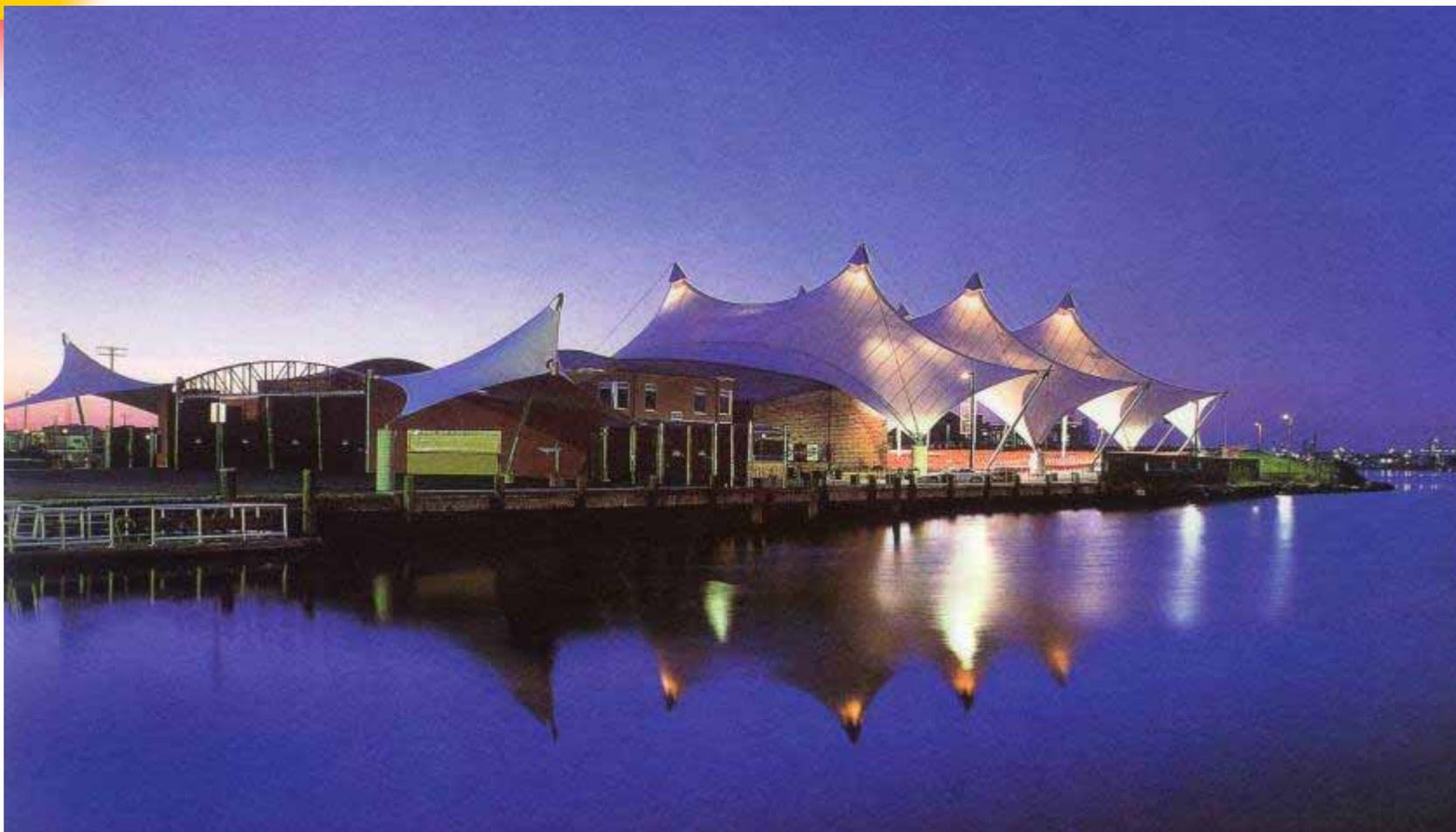
■意大利南部凡纳弗罗市M&G研究试验室。可伸缩的“帐篷”，位于福特那河峡谷内的水池中央。膜由6个35m跨拱架支撑。



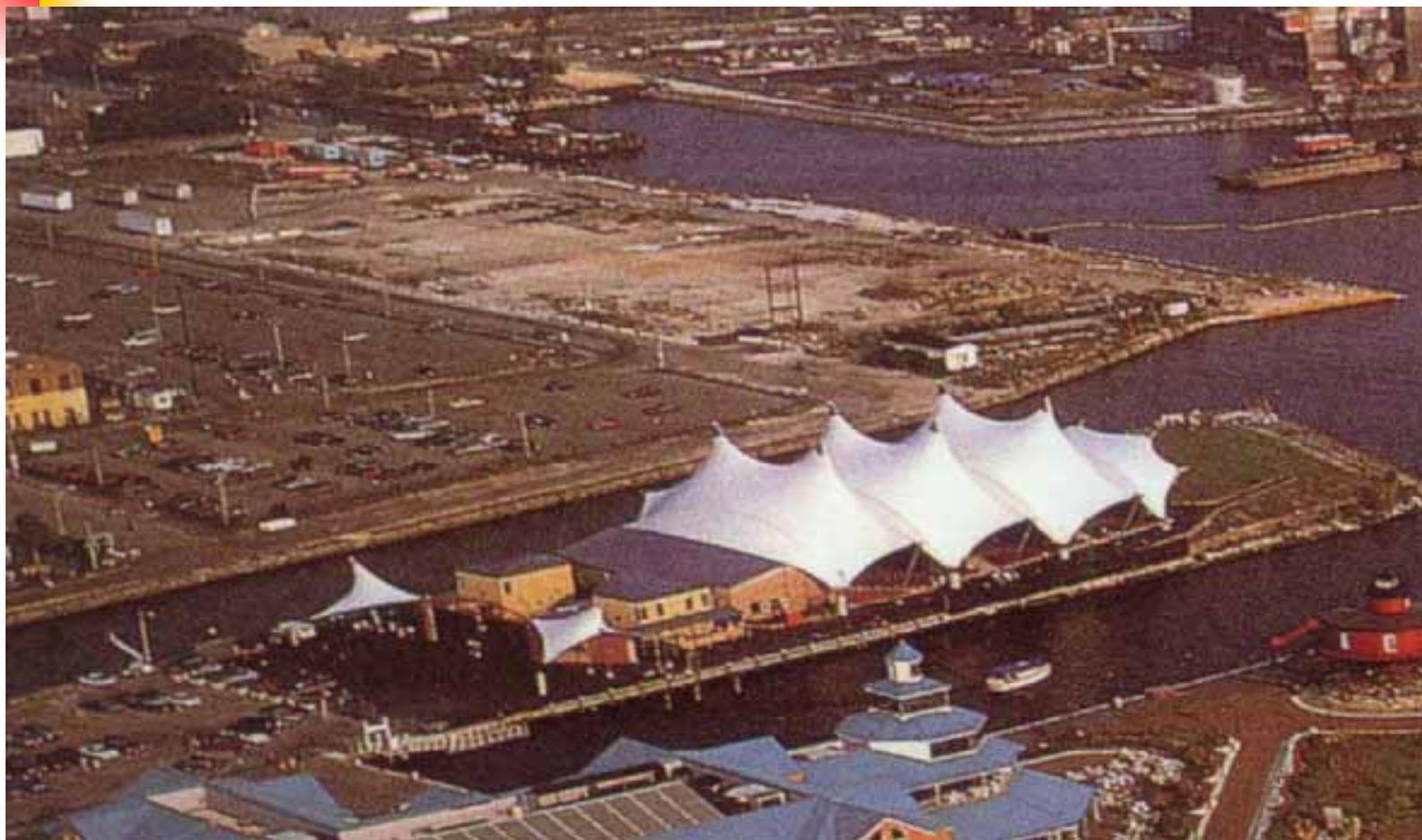
■英国格林威治千年穹顶。穹顶周长1km，直径365m，中心高度50m，它由超过70km的钢索悬吊在12根100m高的钢桅杆上。



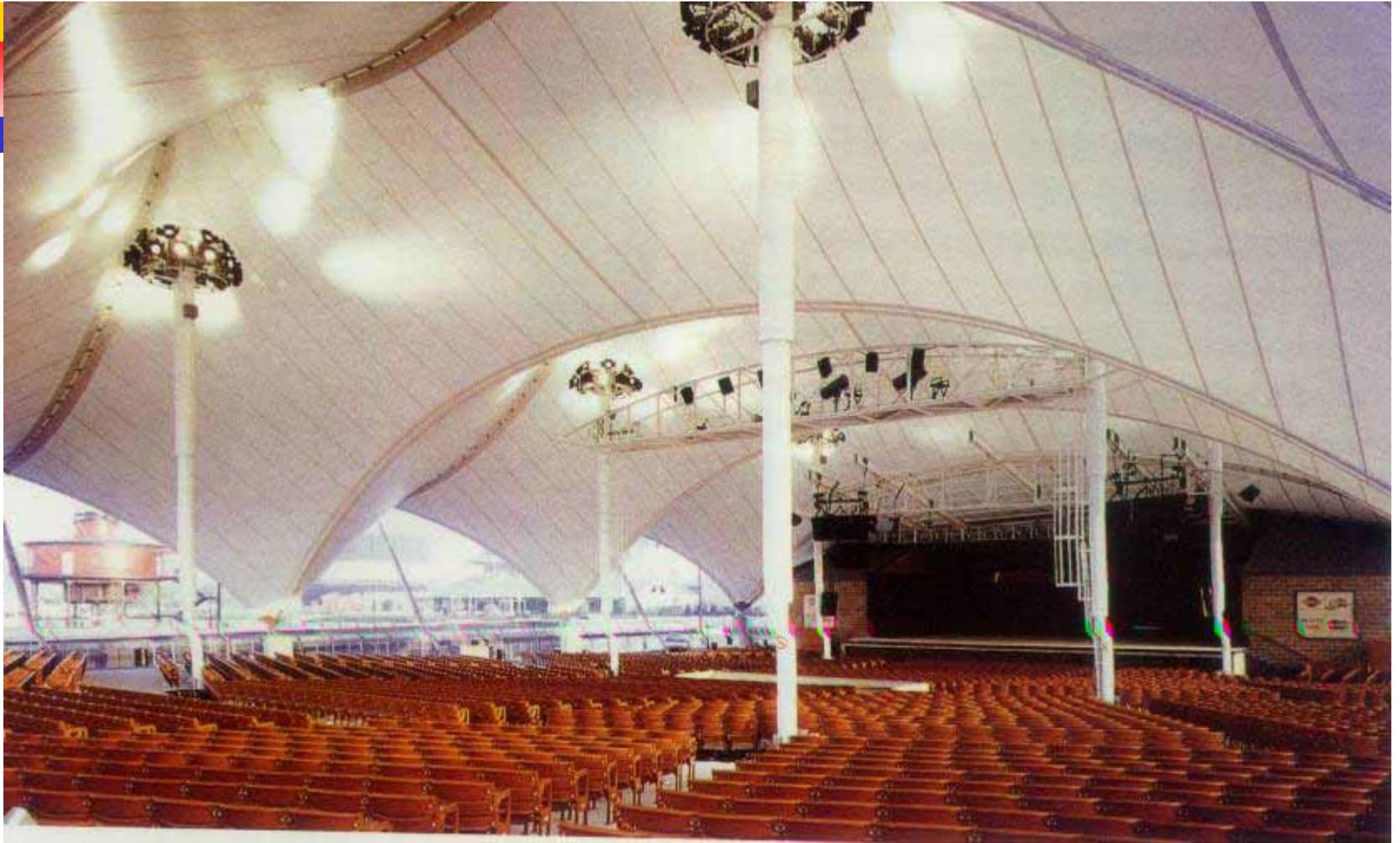
穹顶中心为表演舞台。现场施工从1997年6月开始，8000根基础桩。1600t钢构件于1997年8月至现场，索网和膜安装于1998年上半年，1998年秋移交业主



- 美国巴尔的摩内港6号码头音乐厅。形状为蟹状的张拉式索膜篷顶，有2000个座位。



■ 鸟瞰。



■内景。原设计用5年，后受欢迎，保留了10年，直至膜片更换。



美国田纳西州世博会水陆剧场。



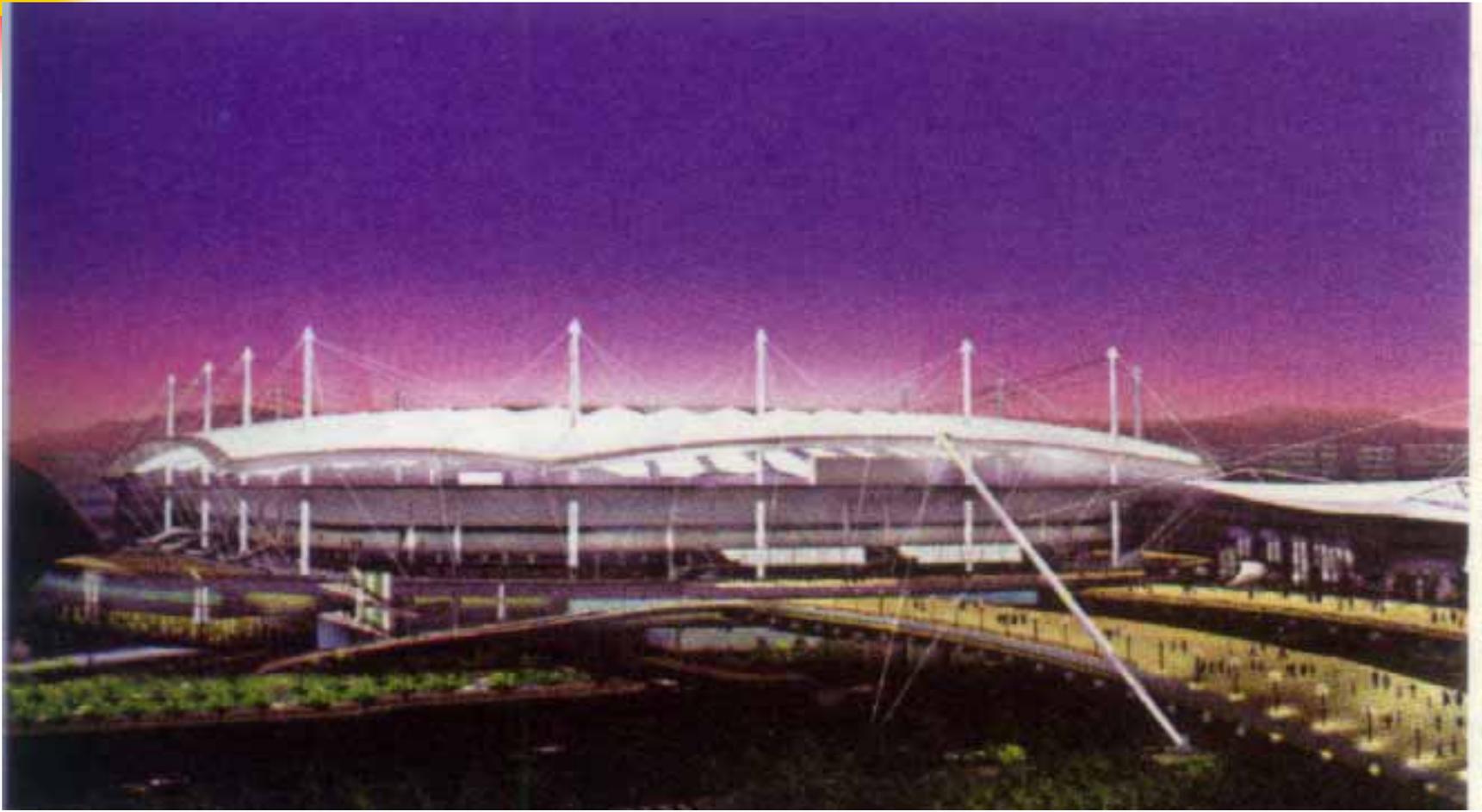
沙特阿拉伯哈吉机场。



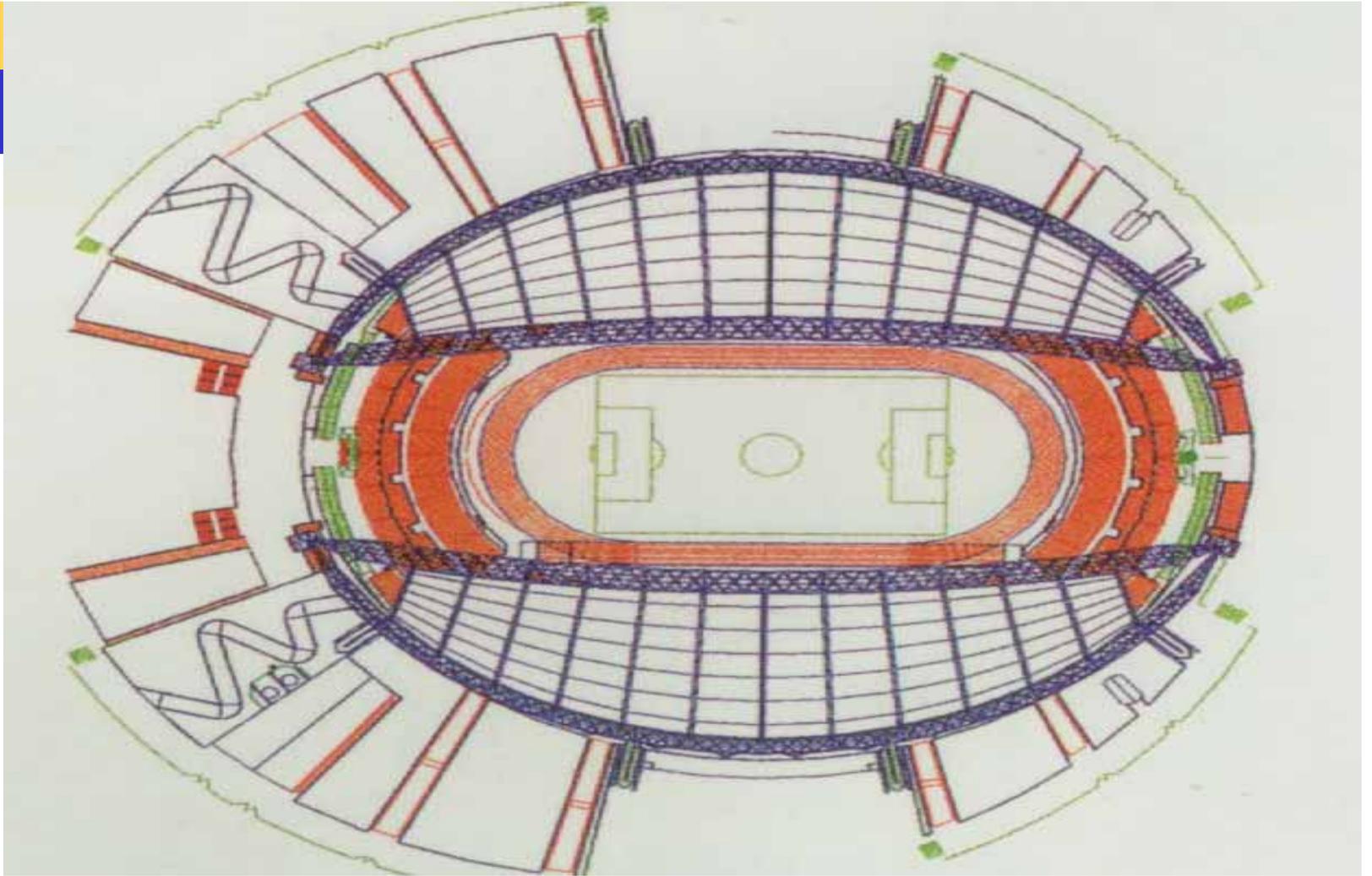
■ 沙特阿拉伯法奥德皇家国际球场。



马来西亚科隆坡自行车赛场。



■ 汉城体育馆



韩国2002年世界杯体育场馆。大邱综合体育场平面。



■ 屋顶由拱状钢屋架及24个PTEF膜结构组成。拱跨度273m，高28.7m，拱截面6m见方钢管桁架。



■膜结构用于娱乐空间



膜结构用于商业街



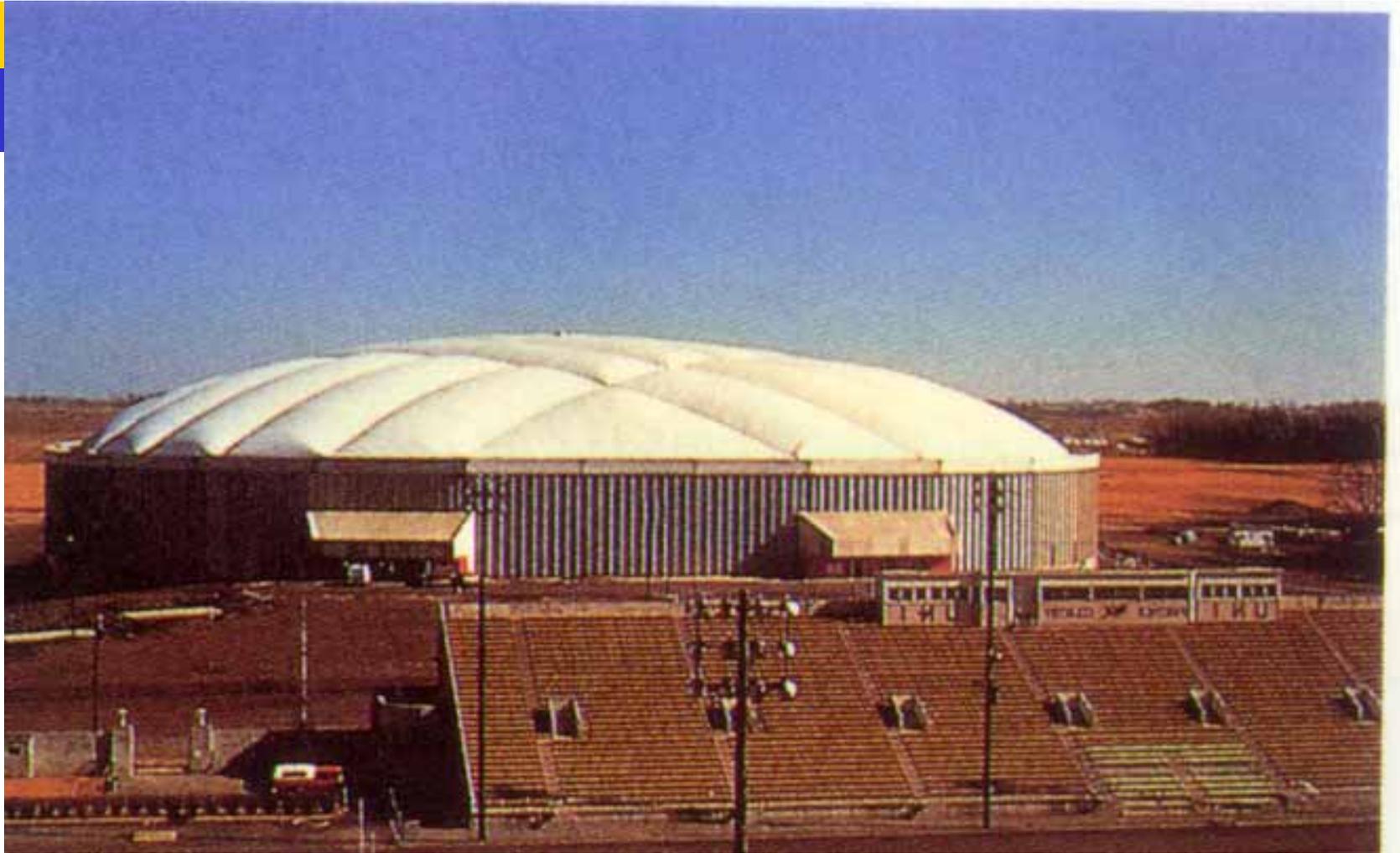
■膜结构用于过街桥



■膜结构用于法国卡巴里奥收费站。长152m，最宽32m，4个35m高圆锥形桅杆支撑。1999年获国际织物工业协会组织的成就奖。



■ 气撑式膜建筑，依靠送风系统向室内充气，顶升膜面构成屋盖空间。



■ 美国依阿华州综合体育馆。盖格公司设计的气撑式膜结构。



- 日本东京棒球馆为充气式索膜结构