

# 自然结构的工程启示

曲哲

2005年11月

# 工程结构体系的分类

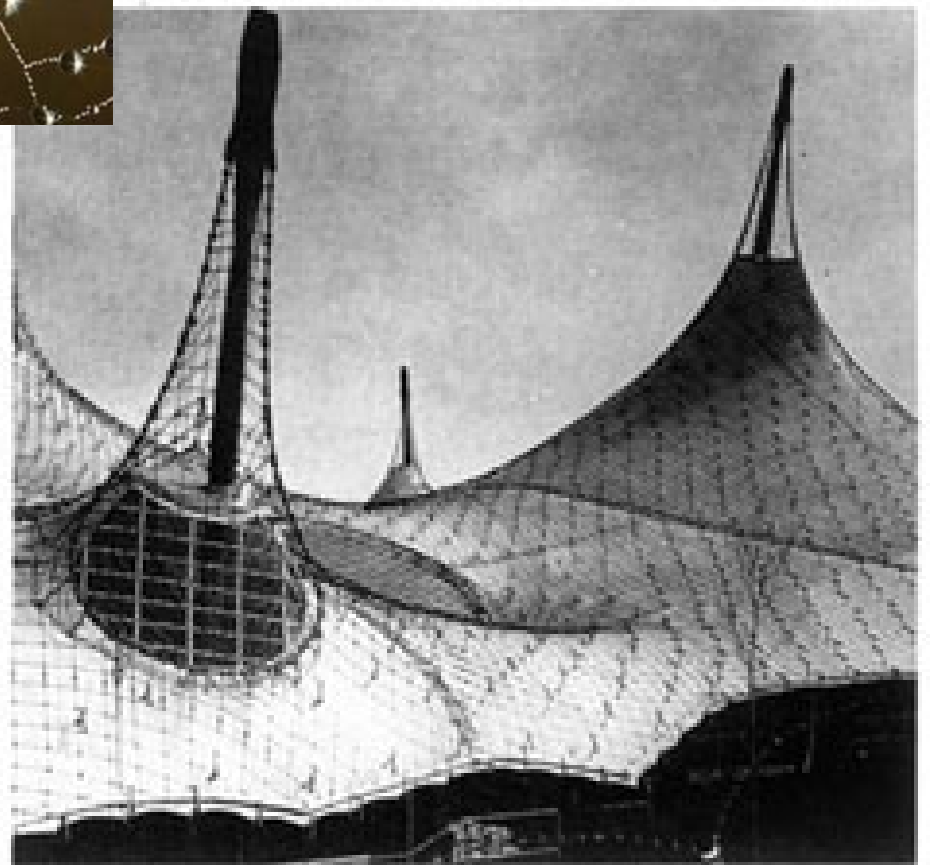
- **形态作用型**（单拉或单压体系）
  - 由可挠曲、非刚性物质构成：悬索、帐篷、充气
- **向量作用型**（拉压杆系）
  - 由短、坚固、直线杆件构成：各种桁架
- **截面作用型**（复杂受力杆系）
  - 由刚性、坚硬、线形组件构成：梁、板、框架
- **面作用型**（复杂受力面系）
  - 可挠曲的刚性面构成：剪力墙、薄壳
- **高度作用型**（高度控制）
  - 附加形式：筒体

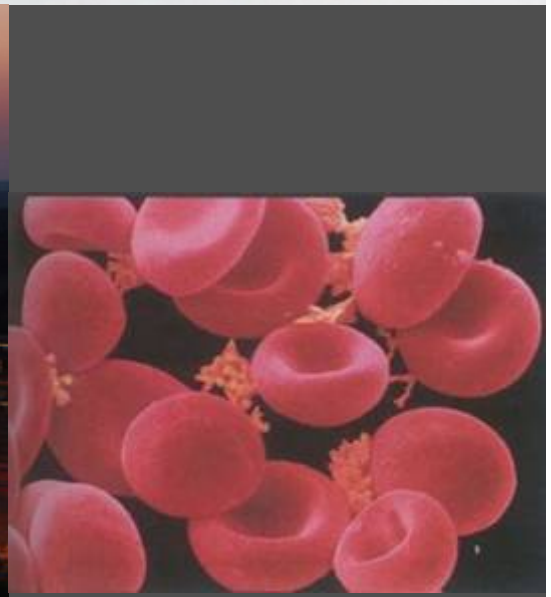
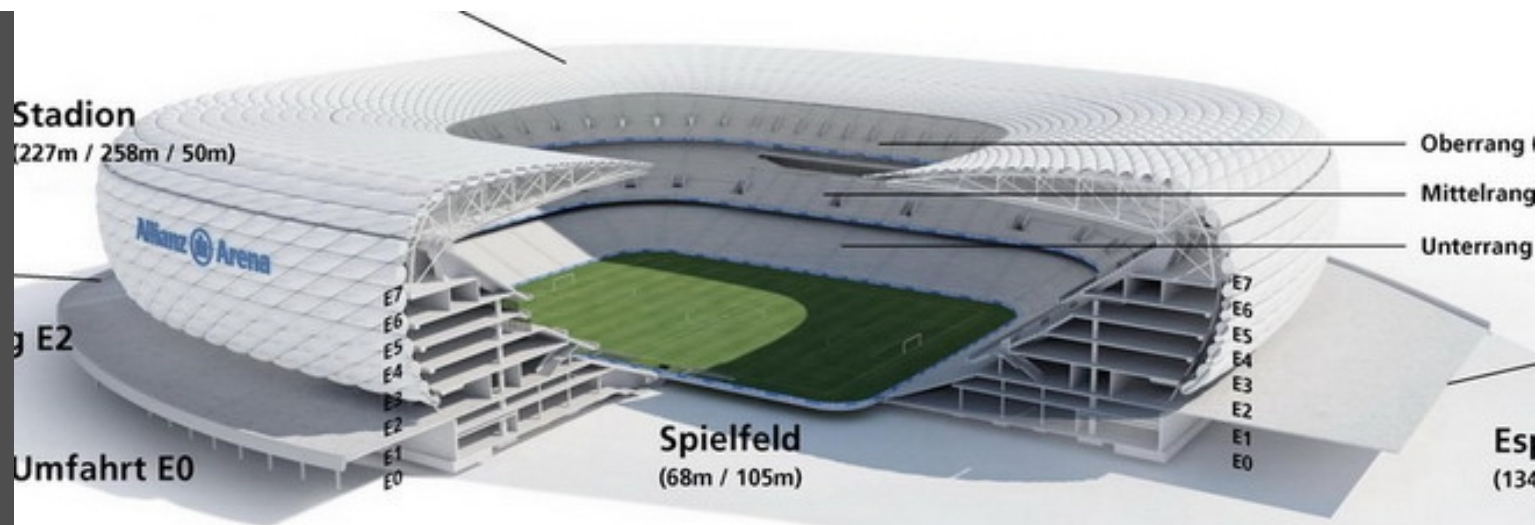
# 形态作用型

- 传力机制
  - 特有的形态设计与特有的形态稳定
- 常见工程形式
  - 悬索\帐篷\气囊\拱
- 自然界原型
  - 蛛网——悬索
  - 细胞——气囊
  - 脊柱——拱



加拿大蒙特利尔国际博览会德国馆  
Frei Otto  
1967





红细胞

2006年慕尼黑世界杯体育场



2004年雅典奥运会主场馆  
Calatrava

# 向量作用型

- 传力机制
  - 将力分解成多个单一方向的力，以实现多向分化
- 常见形式
  - 桁架（平面、空间）
- 自然界原型
  - 树木枝叉
  - 微生物骨架



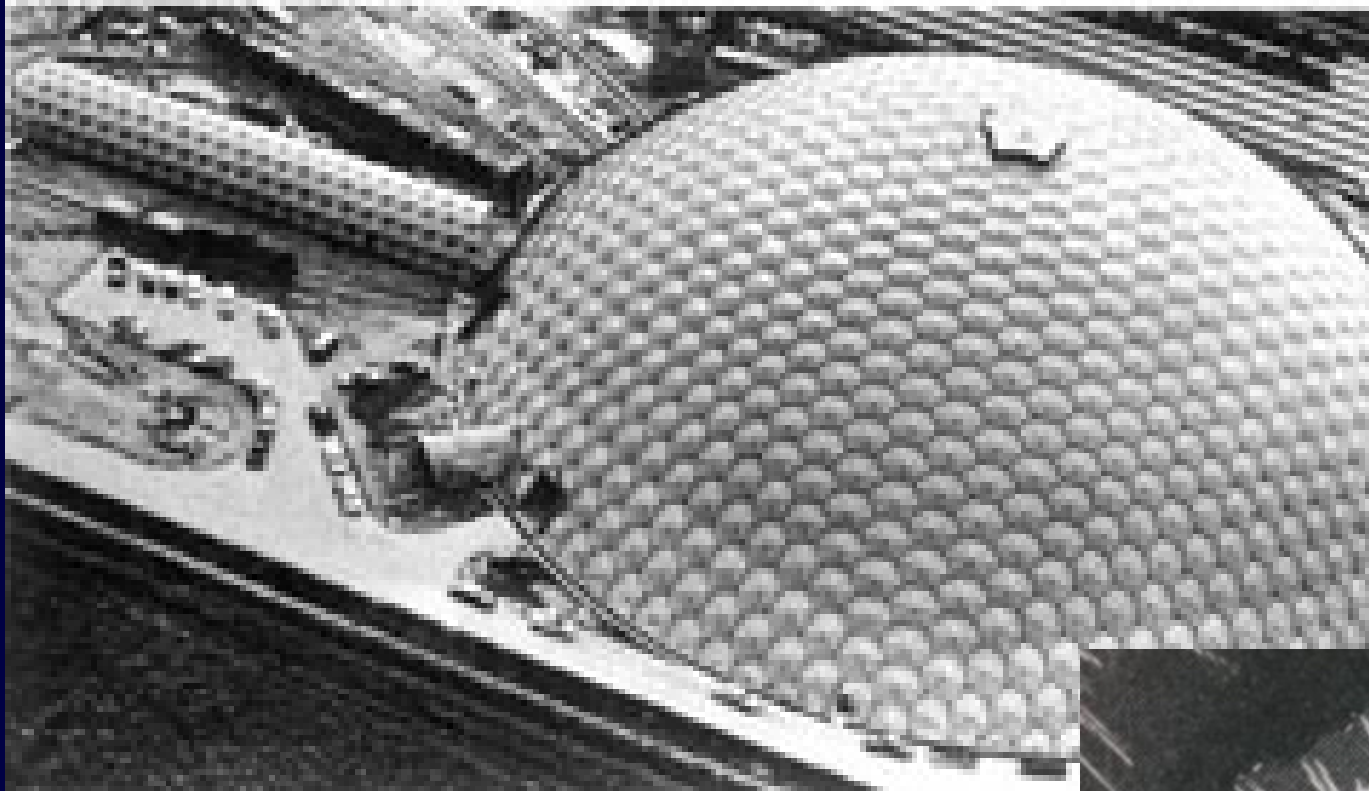
2008北京奥运会体育场



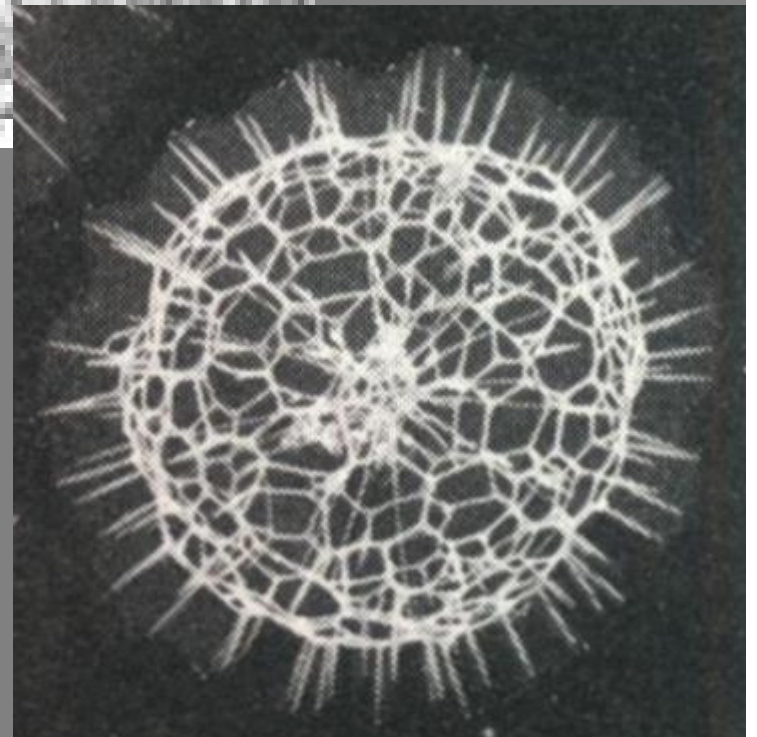
葡萄牙里斯本东方车站





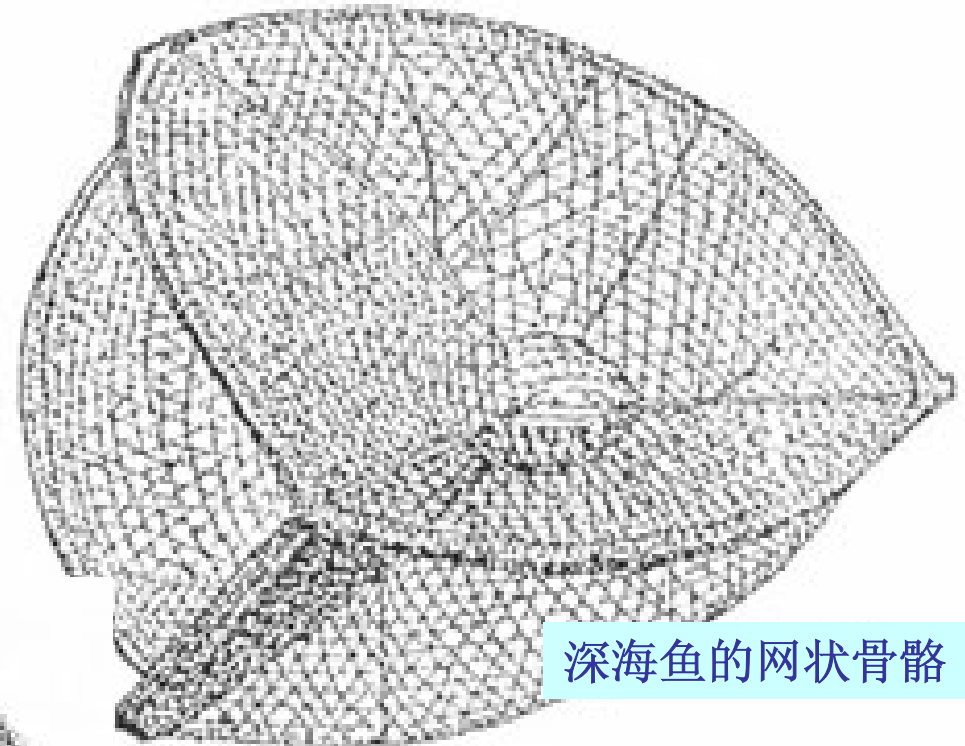
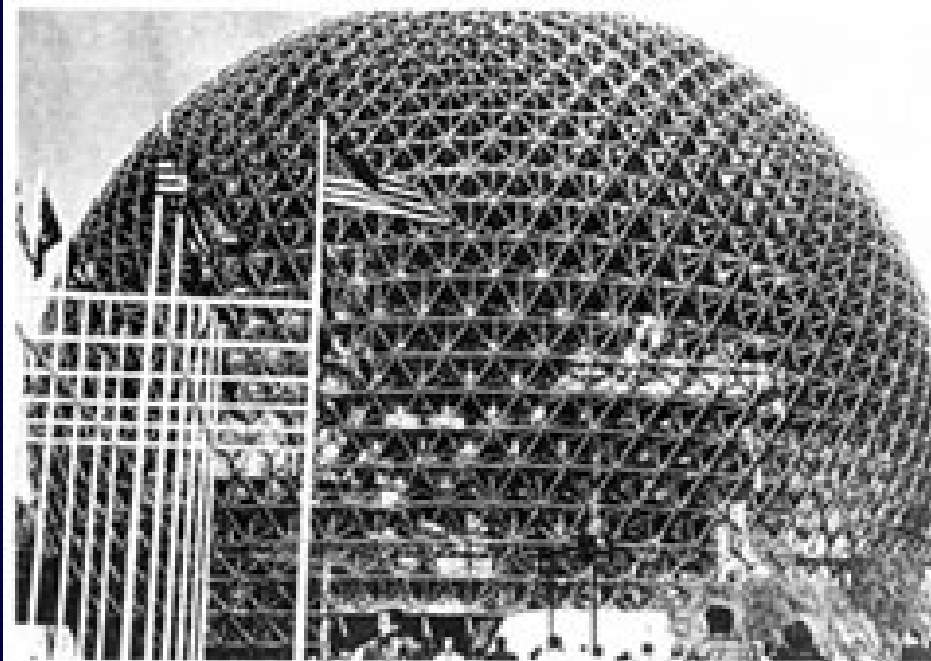


联合油罐车公司  
Baton Rouge, LA, 美国  
Buckminster Fuller  
1958  
直径115.2m



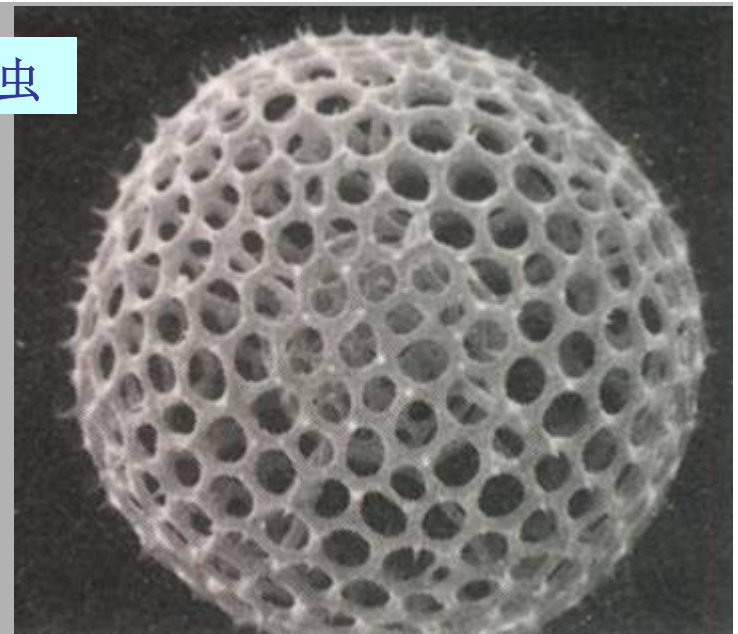
放射虫骨骼

蒙特利尔博览会美国馆，1967  
Fuller and Sadao  
高60m，直径76.2m



深海鱼的网状骨骼

放射虫



罗马小体育宫，1957  
奈尔维  
直径60m

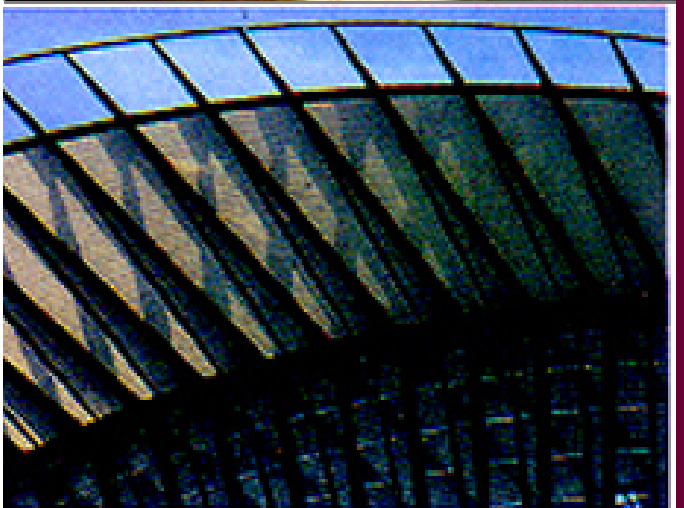
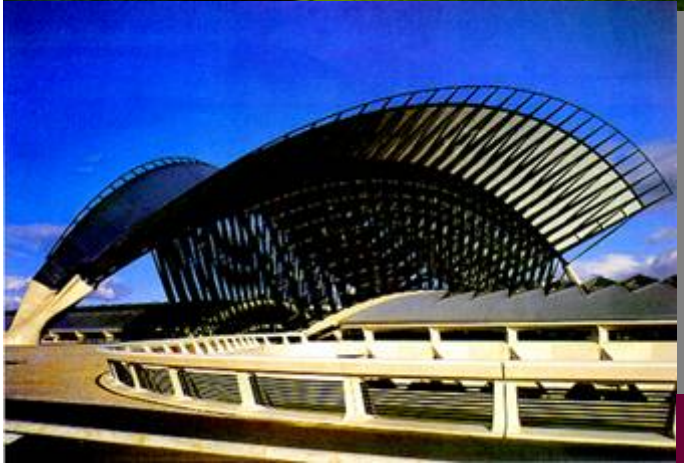


# 截面作用型

- 传力机制
  - 将力约束在截面内，产生复杂的截面内力
- 常见形式
  - 梁、板结构，框架结构
- 自然界原型
  - 植物主干
  - 动物骨骼
  - 叶脉

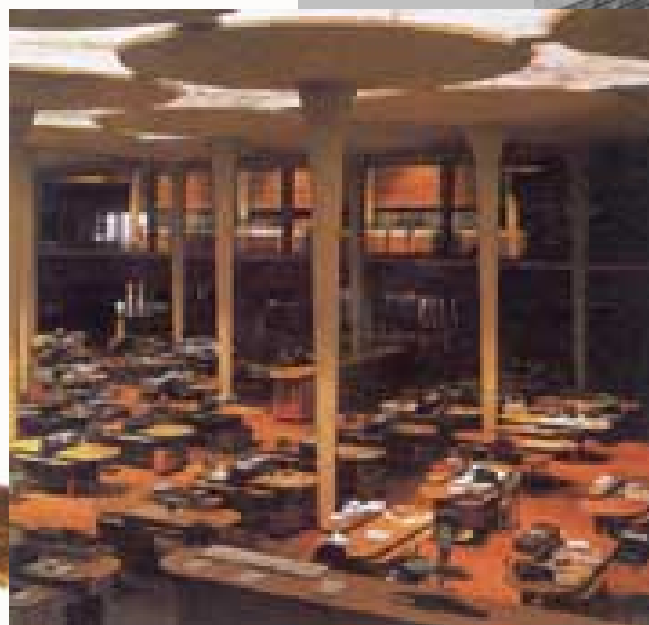
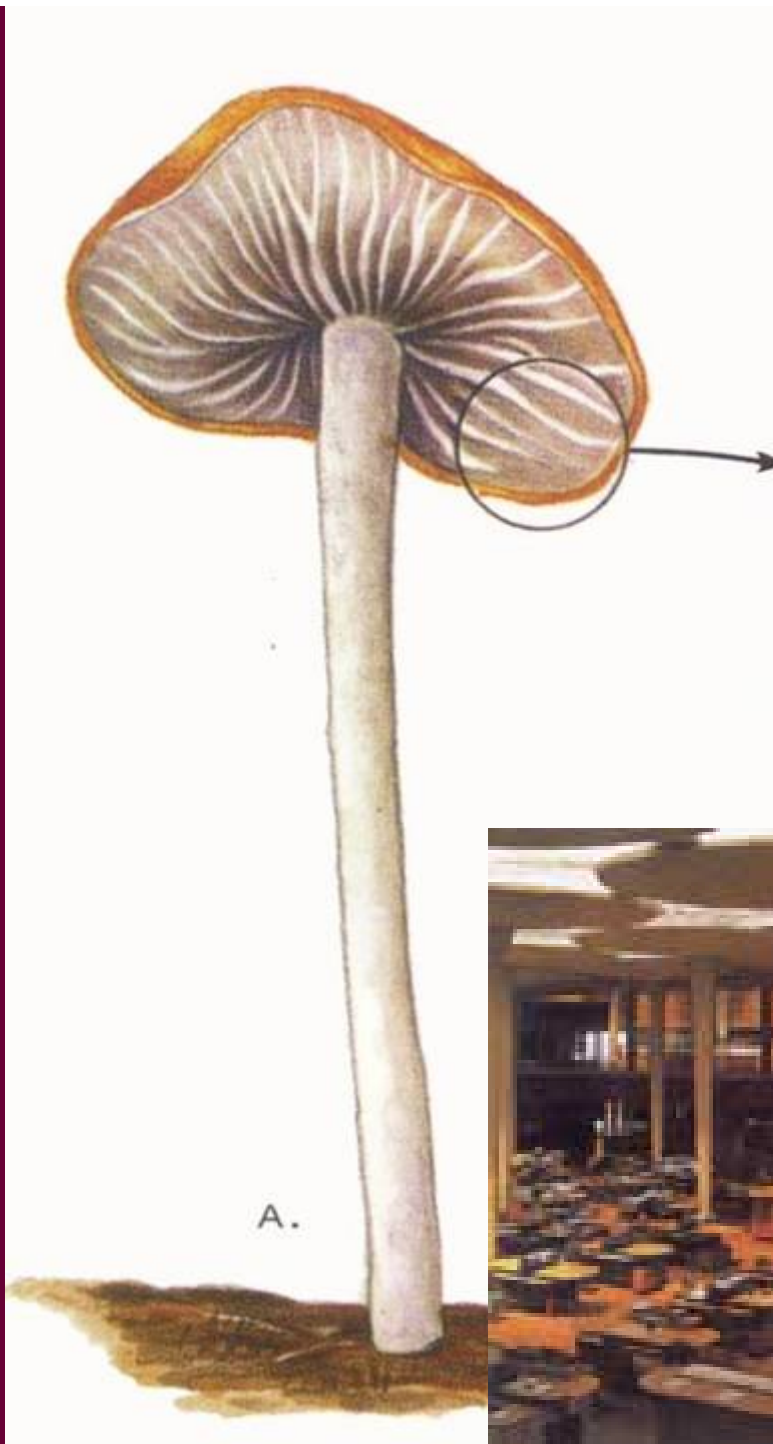
意大利都灵展览馆，1947—1949  
奈尔维  
混凝土骨架和玻璃格组成的拱顶  
宽93.6m，长75m





里昂机场铁路客运站，法国  
**Calatrava**  
1989-1993





威斯康星州约翰逊制  
蜡公司试验楼  
赖特，1950

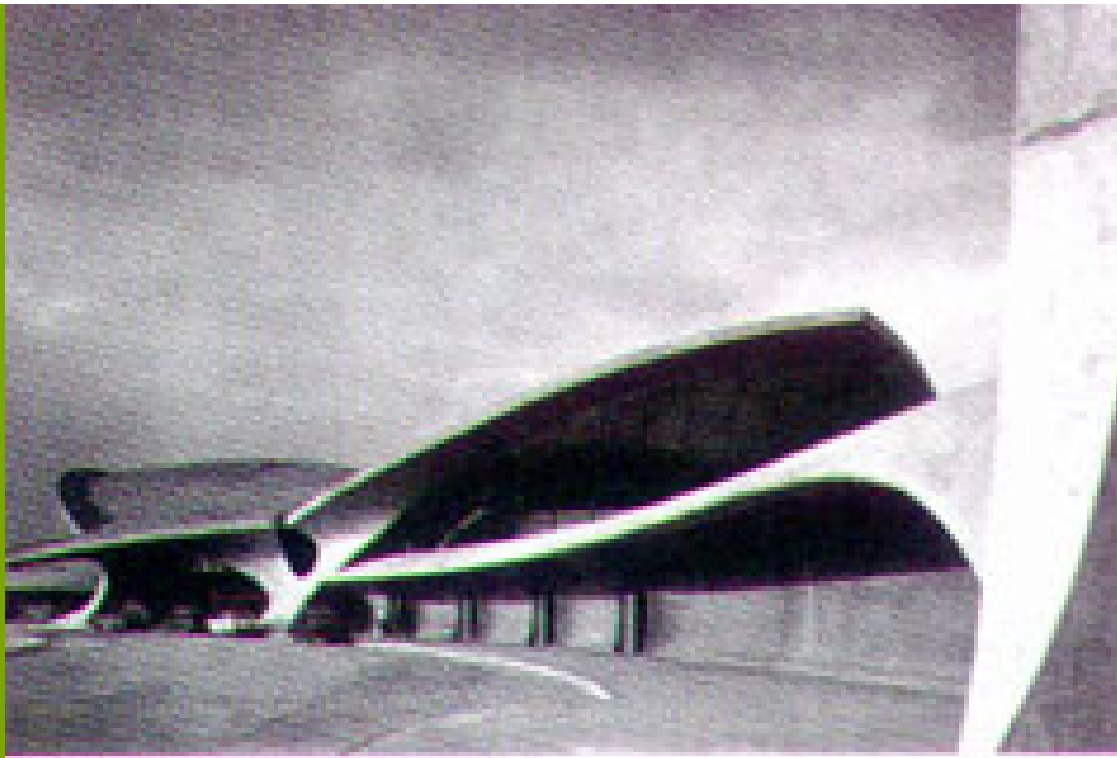
# 面作用型

- 传力机制
  - 通过面的形态将力扩散
- 常见工程形式
  - 剪力墙、折板、薄壳
- 自然界原型
  - 贝壳
  - 龟壳
  - 蛋壳

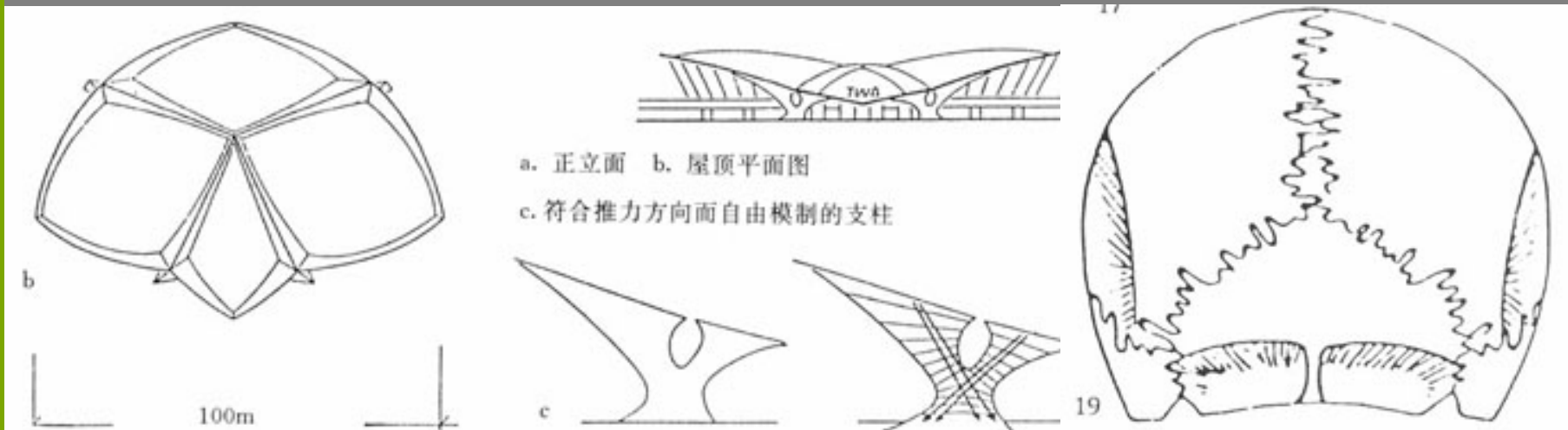
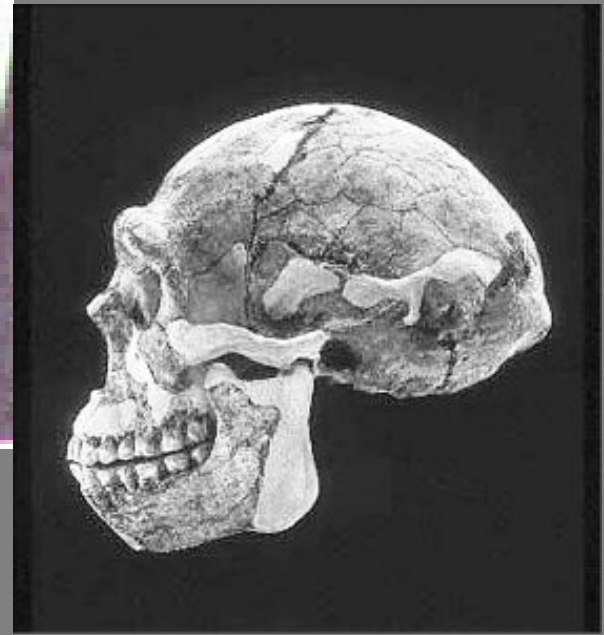


国家大剧院，安德鲁





环球航空公司航空站  
沙利宁, 1961





耶鲁大学冰球馆(1958)  
萨里宁



# 高度作用型

- 传力机制
  - 力量的汇集与达地
- 常见工程形式
  - 筒体
- 自然界原型
  - 树木
  - 竹子

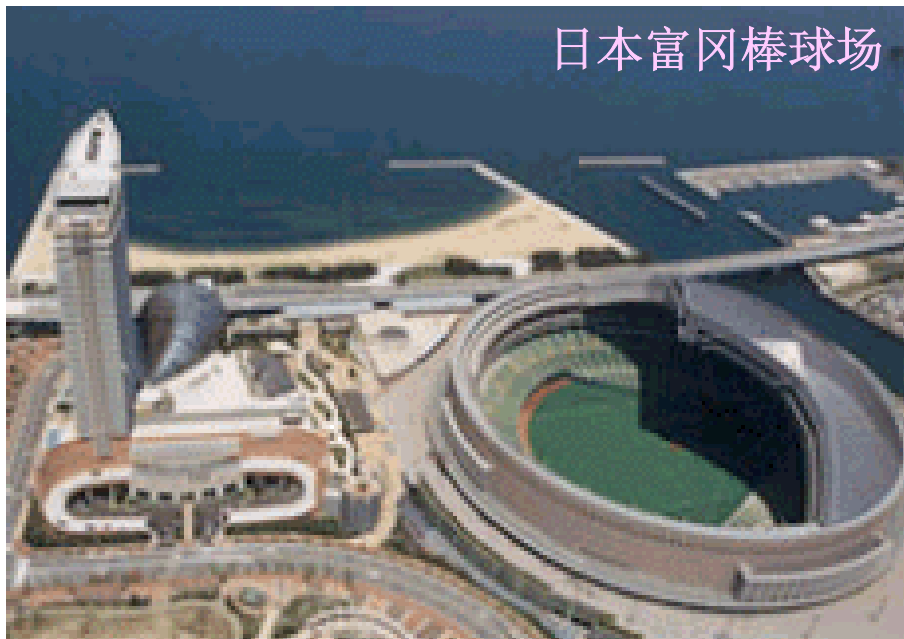


金贸大厦



皮奥斯：生态摩天楼，最高可达**1228**米

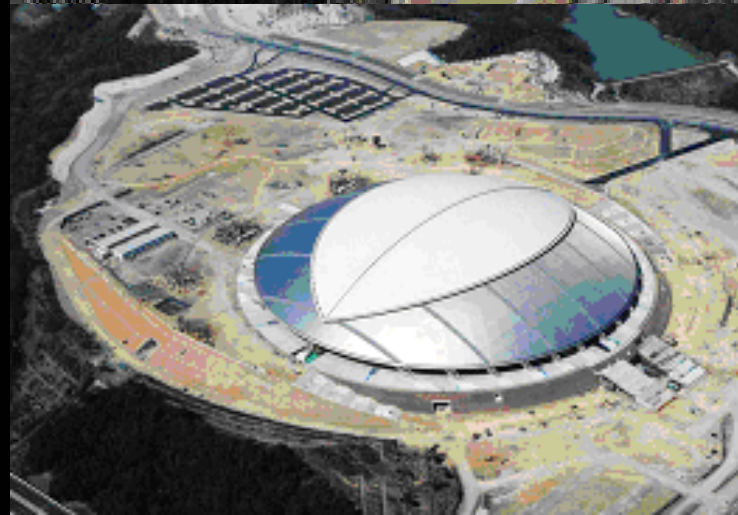
日本富冈棒球场



# 功能仿生

- 开合结构

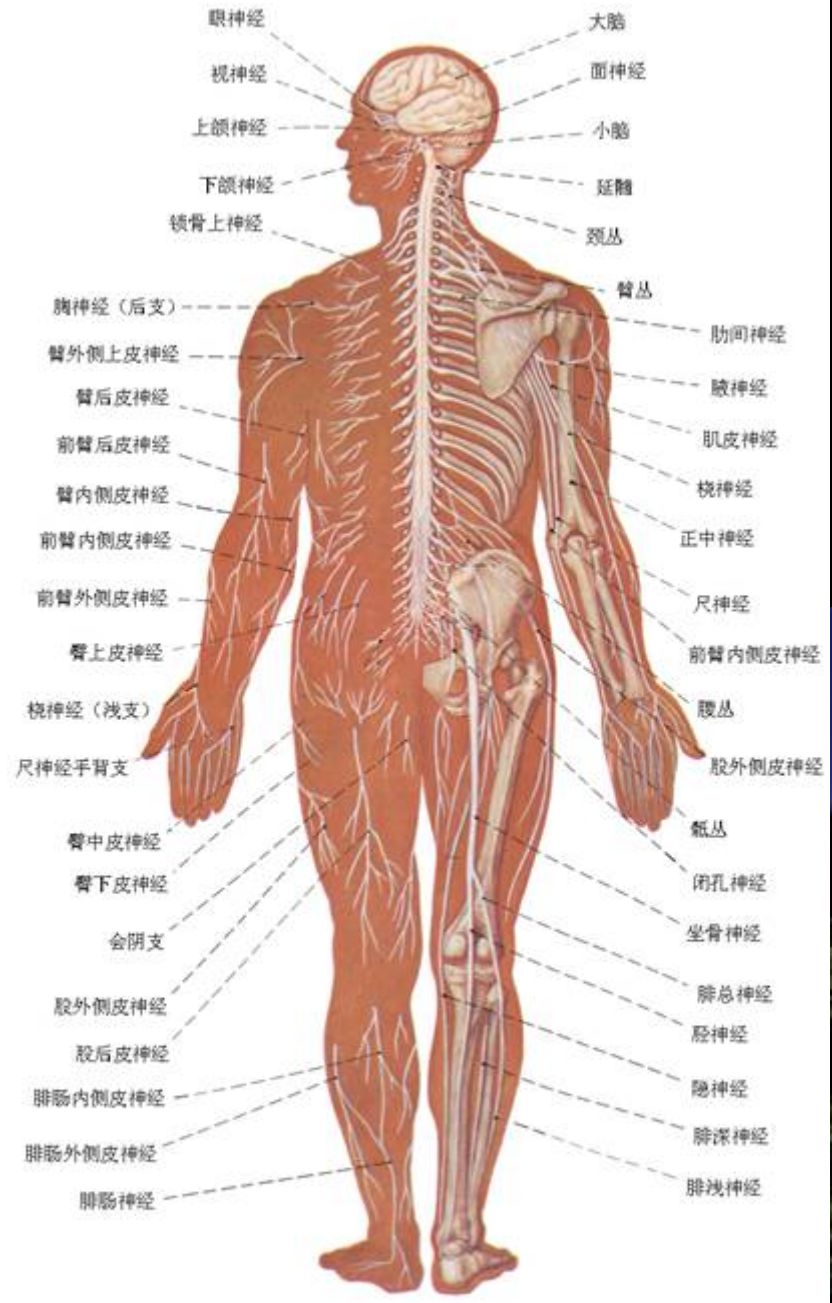
西班牙塞维利亚博览会科威特馆



日本大分县足球场

# 功能仿生

- 智能结构
  - 主动抗震
  - 主动采光



神经系统模式图



# 结 论

- 结构的传力机制大致可分为形态、分解、约束和分散四种，自然结构不外乎是
- 20世纪以来，结构体系日趋多样化，各种自然形态日渐流行
- 建筑工程界对自然结构的力学原理已有一定认识,但缺乏理性、深入而系统的研究