

# 木结构发展与应用



Is there any product that is more renewable, more sustainable,  
and more environmentally friendly, than wood?

*W. R. J. Sutton < Save the forests: Use more wood >*



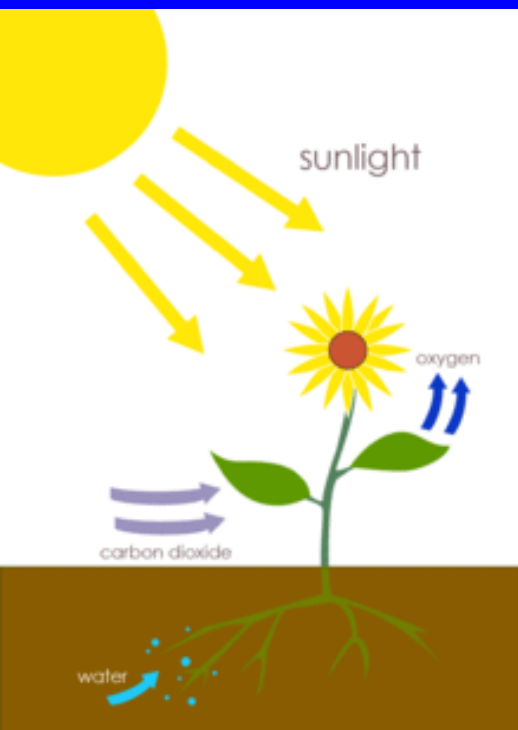
环境问题!

# 主要内容

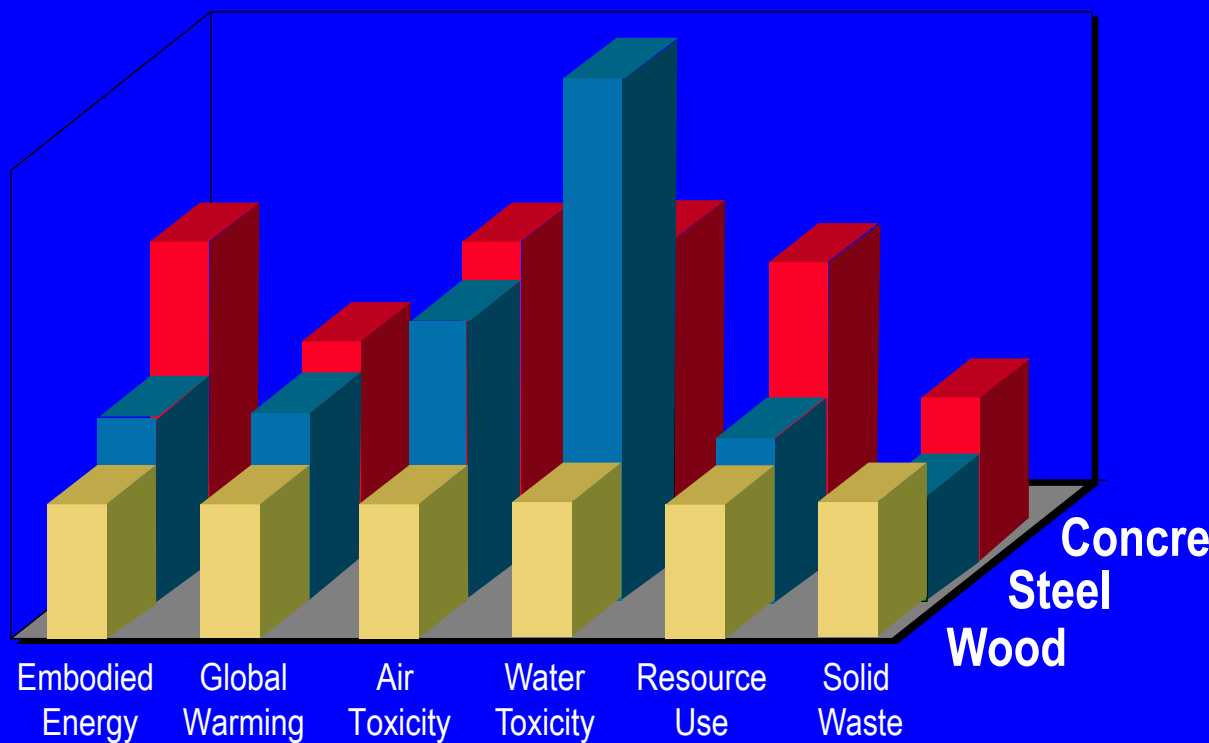
- 木材的特点
- 木结构的特点
- 传统木结构
- 北美式轻型木结构
- 其它现代木结构

# 木材的特点

对环境最友好 最符合可持续发展战略  
(我国森林面积世界第五、人工林面积世界第一)



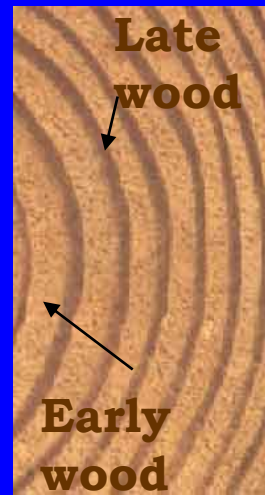
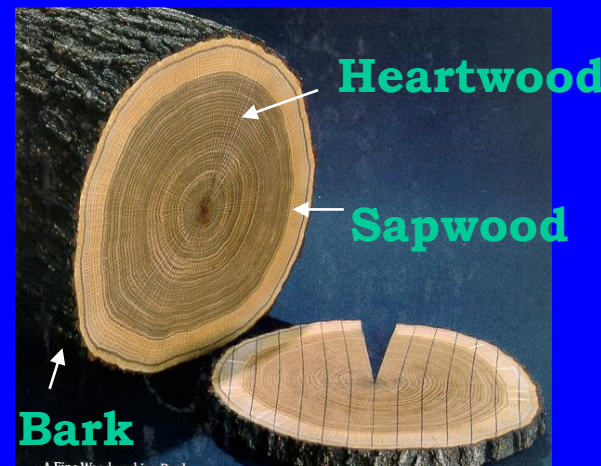
Impact  
relative  
to the  
wood  
house





# 木材的优点:

1. 树木在生长过程中吸收 $\text{CO}_2$ ，排出 $\text{O}_2$ （改善环境）
2. 可再生（科学种植、合理砍伐 可以取之不尽、用之不竭）
3. 易降解（腐烂、虫蛀等）
4. 强度/密度比高（不逊于钢材）
5. 易加工
6. 纹理美丽天然
7. 温馨感（导热系数低）
8. 具有调湿性
9. 具有隔音性能
10. 燃烧放热（钻木取火）



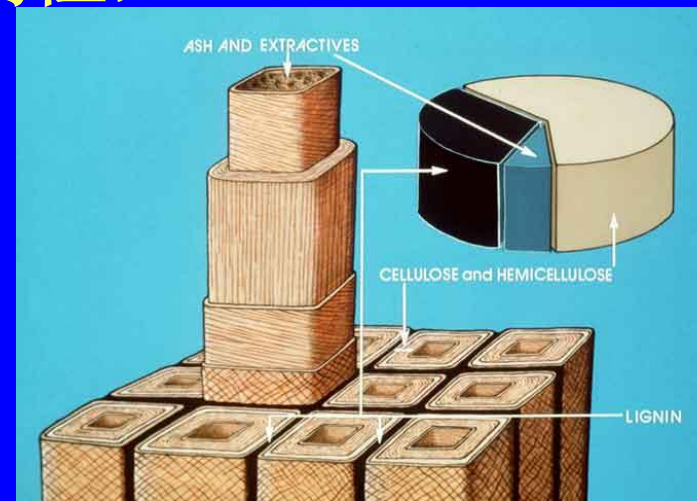
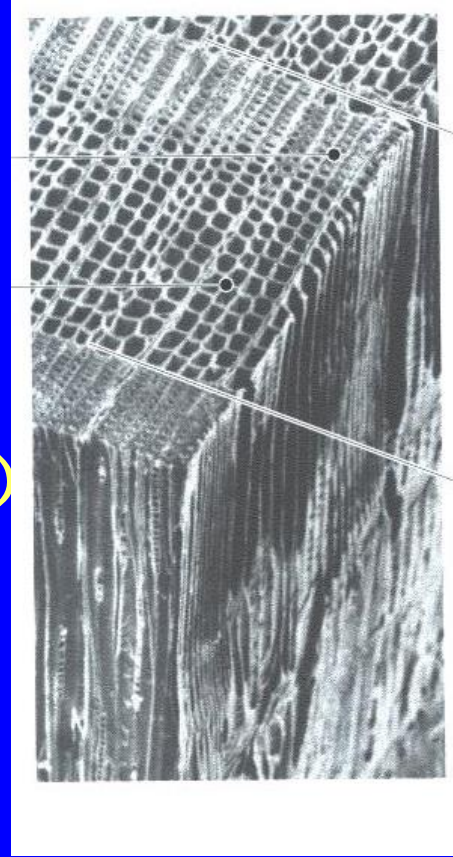
# 木材的缺点(作为结构材料的缺点)

(生物材料，性能与含水率关系很大)

1. 易干缩、湿胀 - 开裂、变形、翘曲
2. 易腐朽、虫蛀 (温度、氧气、养分、水)
3. 易燃烧
4. 有木节、斜纹等天然缺陷
5. 木材材性变异性大
6. 各向异性 (可假定为横观各向同性)

横纹强度与剪切强度低  
(尤其横纹抗拉强度非常低)

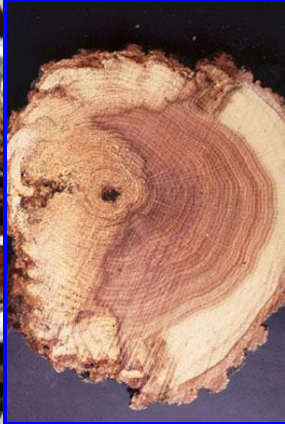
7. 徐变



# 木材防腐



褐腐



白腐



软腐



霉变 (wood stain)

霉变不影响强度，影响外观

## 木腐菌生存条件

1. 合适的含水率 (MC>20%)
  2. 氧气
  3. 合适的温度 (10-35 °C)
  4. 食物 (纤维素、半纤维素、木质素)
- 防腐处理

保持干燥

树木砍伐后浸没在水中

**干千年，湿万年，不干不湿就半年**



# 木材防虫



Termite



Beetle



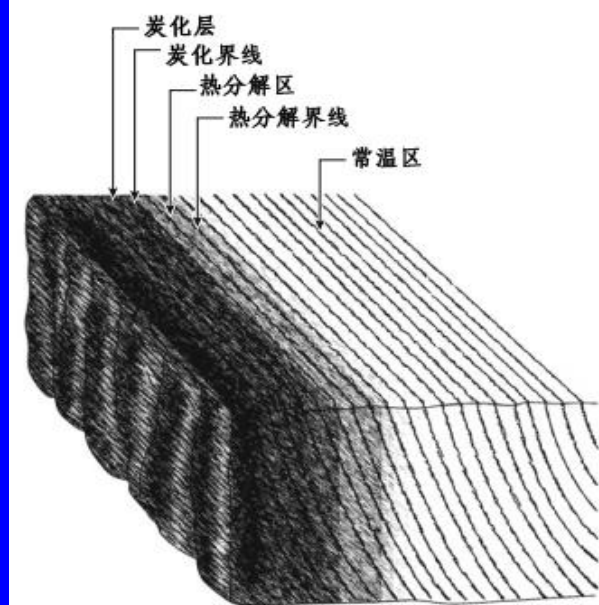
Carpenter ant

措施：控制含水率，防腐处理，杀虫剂，隔离



# 木材耐火

- 炭化速率可预测，  $0.6 - 0.8\text{mm/min}$   
(影响因素：树种、含水率、密度等)
- 炭化层导热系数约为木材的 $1/3 \sim 1/4$ ,炭化层可延缓内部木材的炭化



耐火性



# 木结构建筑的特点

1. 绿色环保
2. 施工周期短
3. 质轻，抗震性能好（与连接方式有关）
4. 节能（保温隔热性能好）（跟做法有关）
5. 易于扩建和改造
6. 具有极强的艺术表现力
7. 造价便宜（国外）
8. 耐久性好（合理维护）

# 国外的应用与发展

- 在北美，90%以上居住建筑（house, townhouse & apartment），主要采用北美式轻型木结构；
- 在北欧、澳洲，80~90%以上居住建筑，以及大量公共建筑与工业建筑采用木结构；
- 在日本，新建house 50%以上采用木结构，绝大部分为日本式木结构，北美式轻型木结构占10%；2010年日本政府公布《公共建筑物等木材利用促进法》，要求3层以下公共建筑物原则上全部采用木结构建筑；
- 其它发达国家（欧洲）也在大力推广木结构；
- 木结构向高层与大跨发展。

2016WCTE 主旨演讲认为木结构已在全球复兴。



# 传统木结构

- 一般认为早在3500年前，我国就基本形成了用榫卯连接梁柱的体系，到唐代逐渐成熟。

随着北宋《营造法式》、清工部《工程做法则例》等出版，我国古代建筑已经发展成为一个独特的、高度成熟的建筑体系。

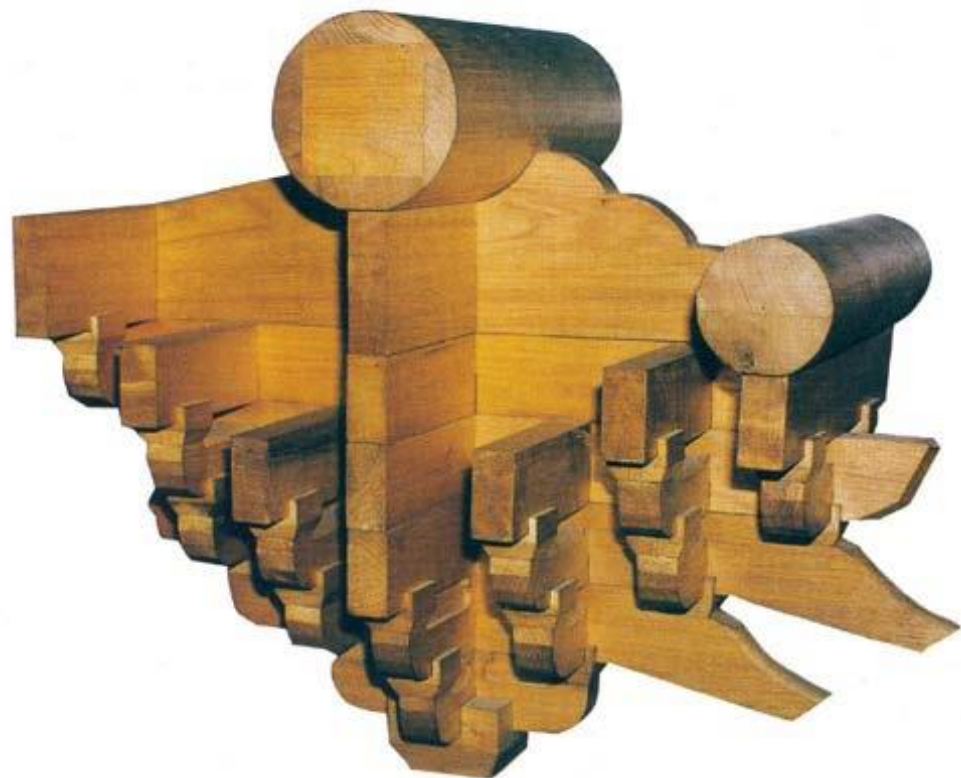
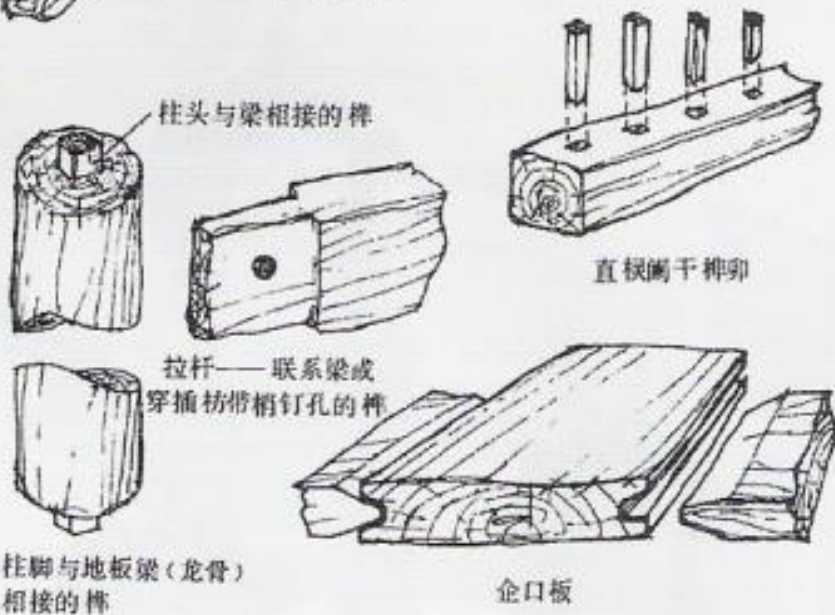
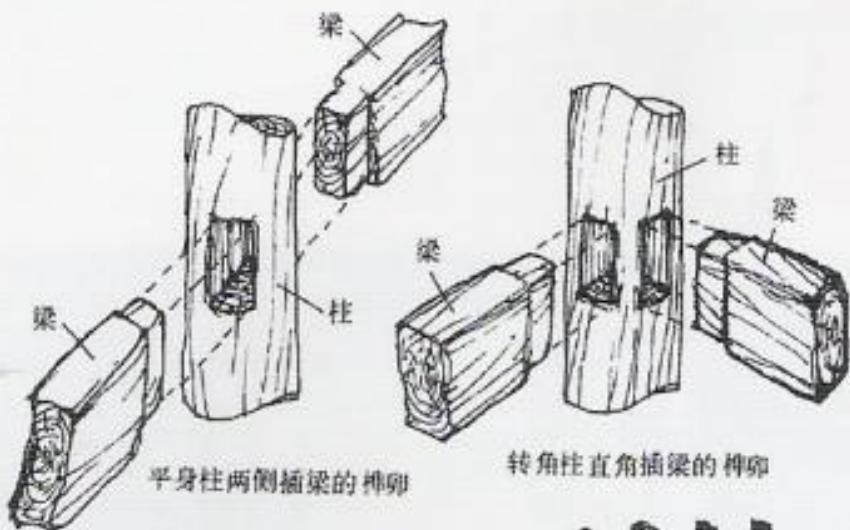
中国传统木结构体系主要分为抬梁式、穿斗式和井干式三种。



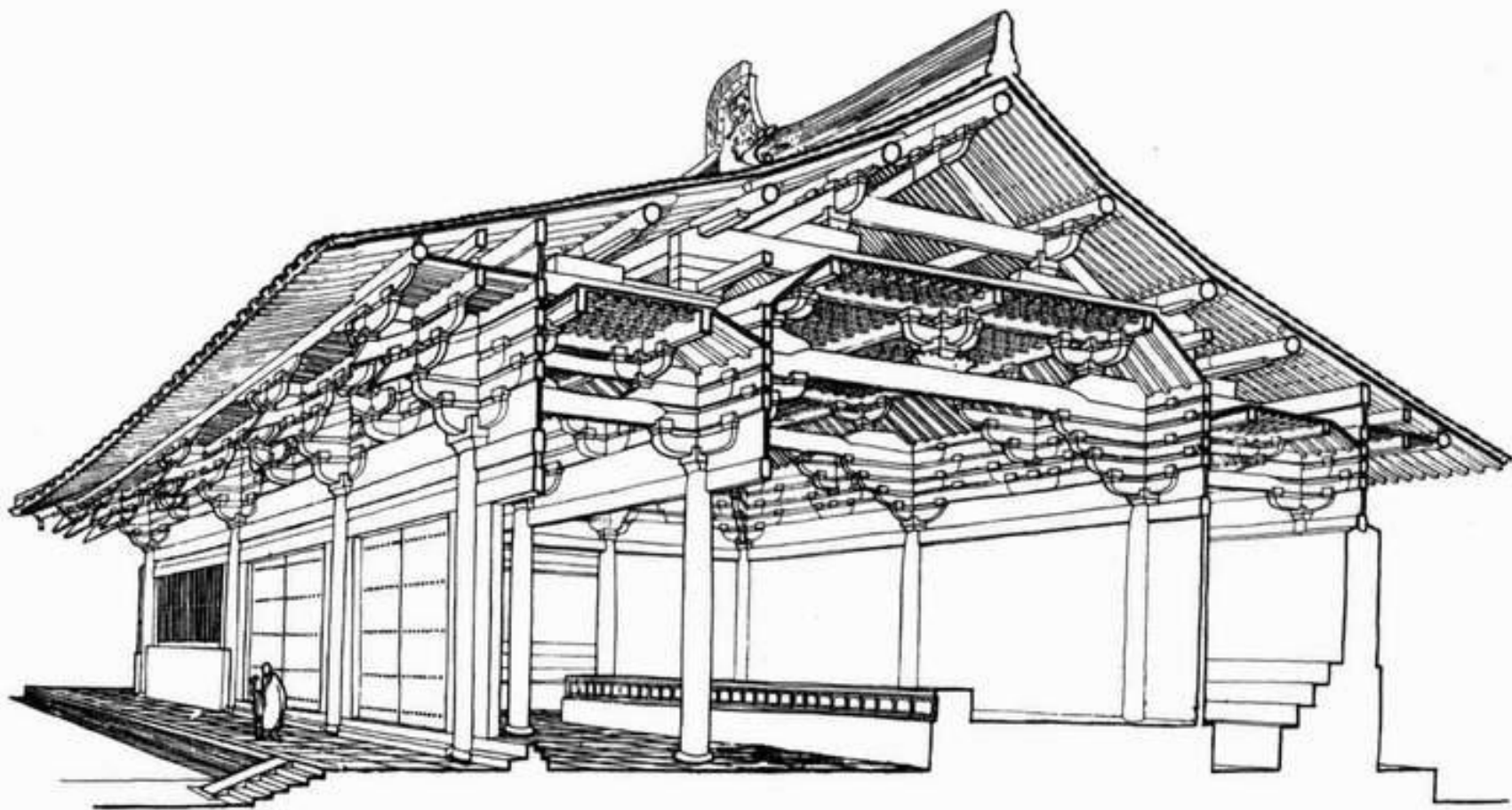
浙江河姆渡考古遗址  
(4000-5000 BC)



# 榫卯与枋拱



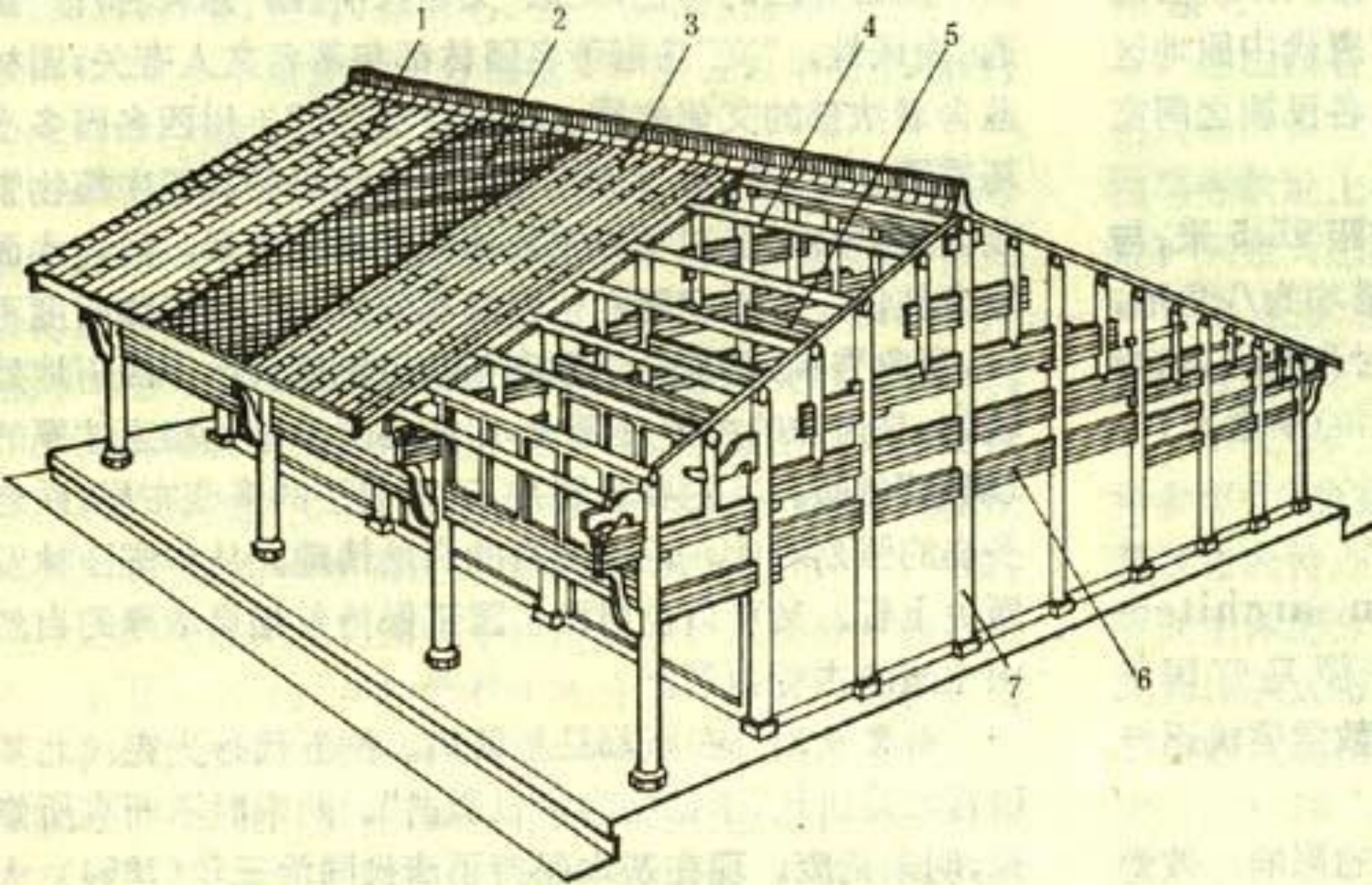
在梁柱交接处用“枋”（下部有榫、上部刻槽的方木垫块）与“拱”（两端上部刻卯的弓形短木）相互插入组成“枋拱”，逐层双向挑出，将结构在两个方向锁定，构成不变体系，并起到挑檐和缩短主梁跨度的作用。



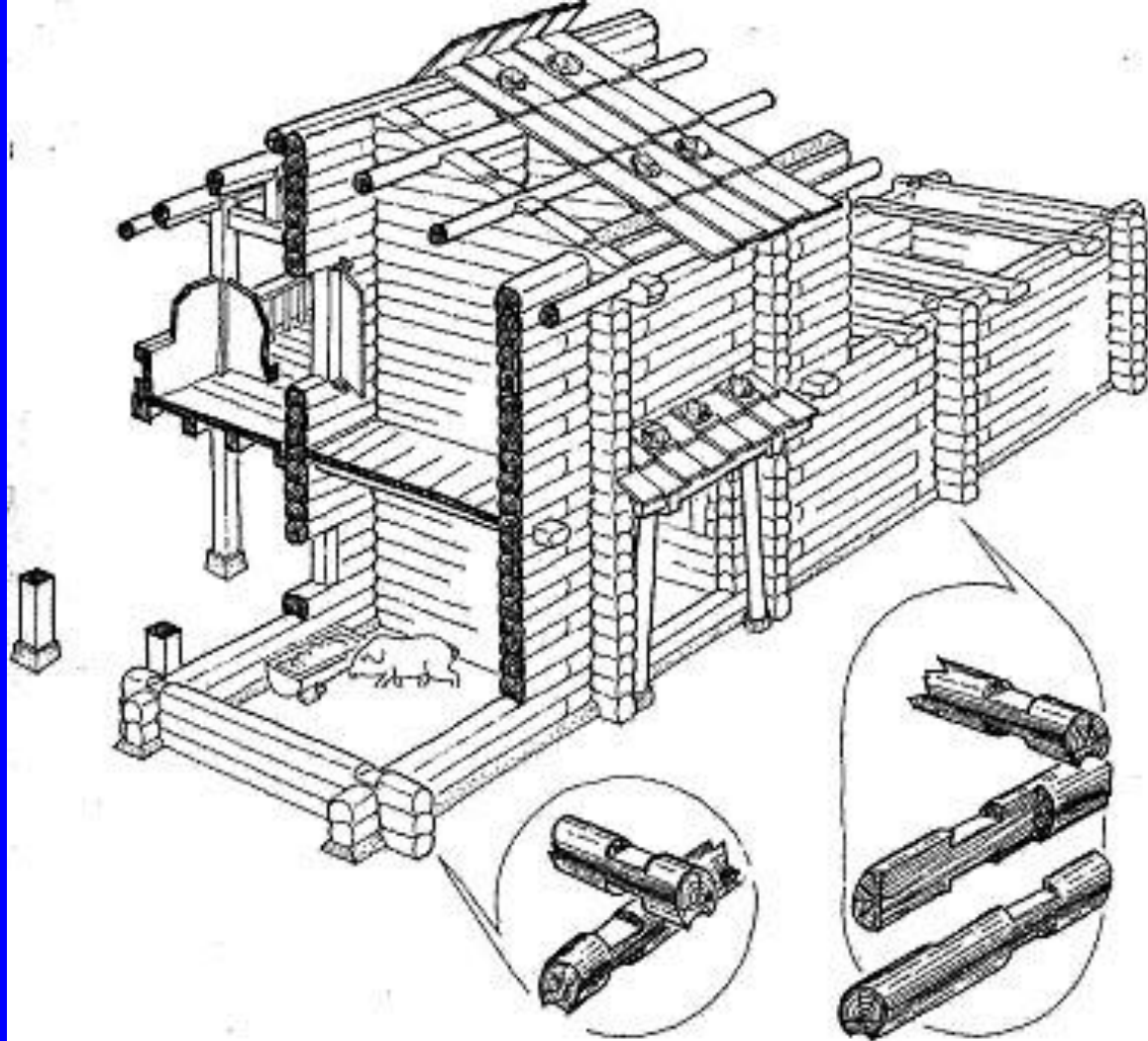
“窝棚”终于发展成为华夏  
唐代佛光寺大殿 (9世纪) 结构图

抬梁式





穿斗式



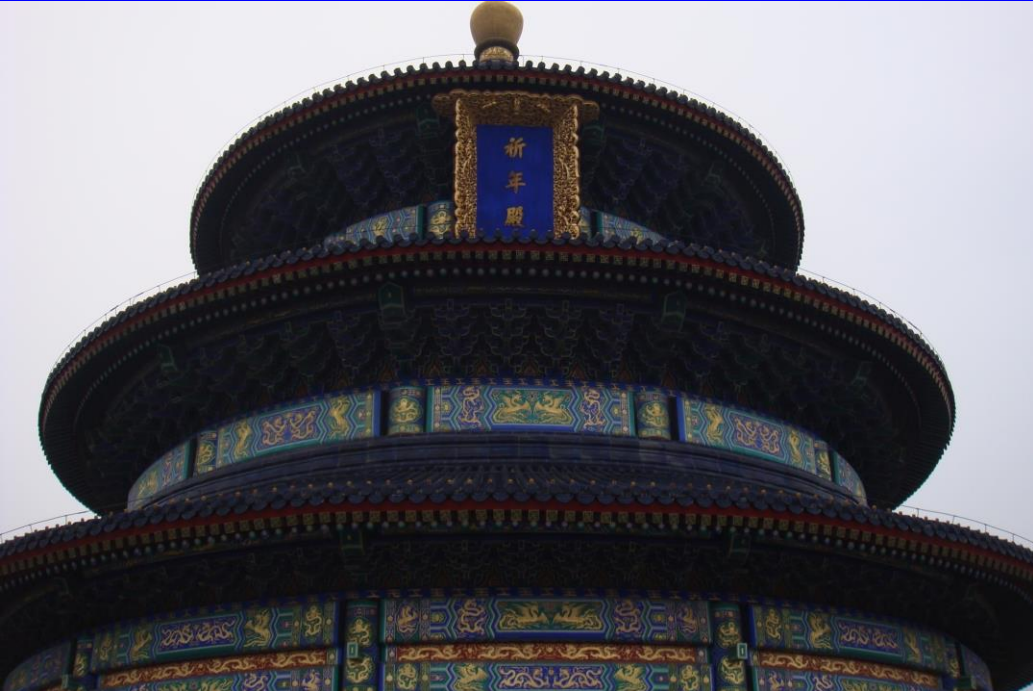
井干式（木刻楞）





南禅寺 782年（第一次大修）

佛宫寺释迦塔（应县木塔）1056年



天坛祈年殿





太和殿





大理庄园







黄山宏村某民居

2007 5 25

研  
業  
權

便  
宜

快  
樂

讀  
書



# 香格里拉藏族民居



22.07.2014 17:36





西藏江达县传统藏族民居





广西三江侗族民居

2011 8 11





侗族鼓楼





# 客家围楼













甘肃渭源霸陵廊桥





广西柳州三江程阳风雨桥



# 传统木结构存在的主要问题

1. 建筑类型（受等级制度限制）和建筑技术发展长期停滞
2. 用料较费并且跨度受木材大小的限制（对木材要求高）
3. 榫卯连接存在一定的缺陷
4. 缺乏科学支撑
5. 缺少有素质的工匠
6. 不适宜建造多高层建筑
7. 居住舒适性欠佳





# 中国木结构的没落

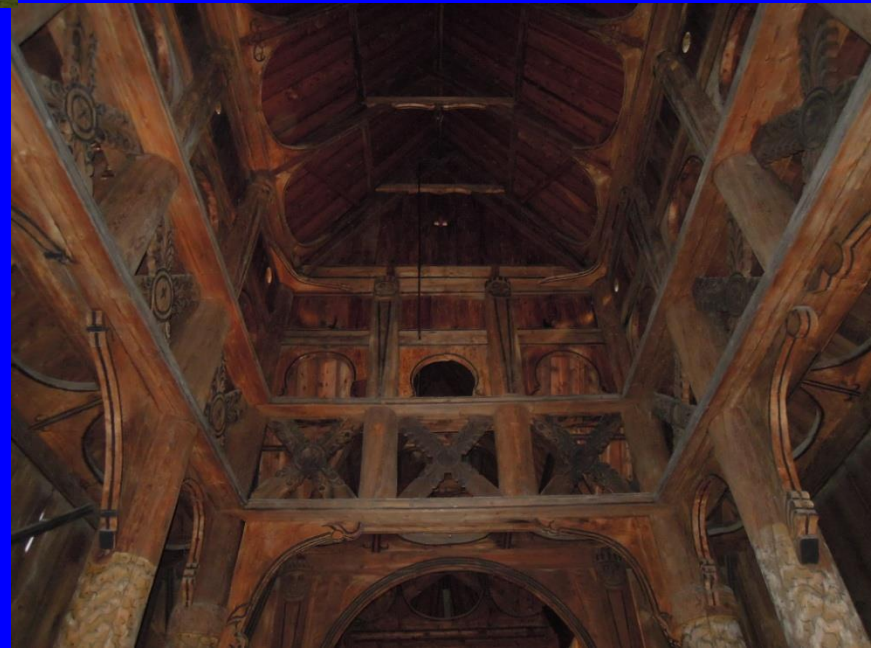
- 到19世纪末，西方科学技术传入后，用料较费而跨度有限的梁柱体系逐渐被砖墙支承木桁架的结构体系所取代。
- 20世纪50年代，由于木结构能就地取材又易于加工，建设速度较快，新建房屋中砖木结构占相当比重，特别是1958年“大跃进”时期46%的厂房采用木屋盖。
- 到20世纪70年代后期，结构用材几乎采伐殆尽，以致停止使用木结构20余年。相关教学、科研同时停滞。
- 这一期间，正是国际上木结构发展最快的时期。

# 国外传统木结构



## 挪威木板教堂

Stave Church, Oslo, about 1200 AD





# 北欧民居



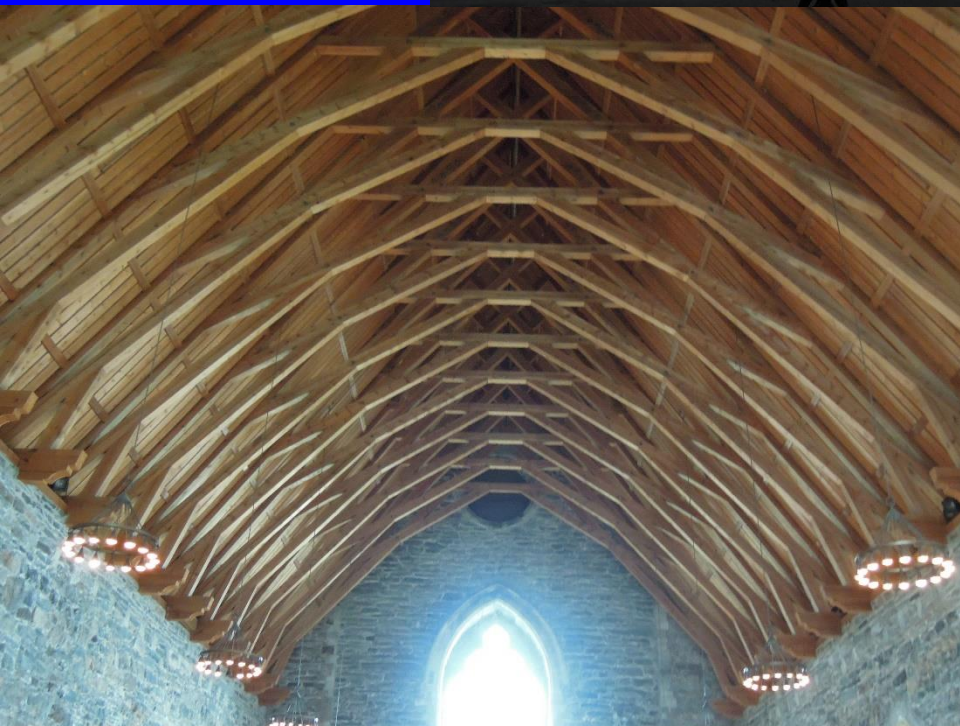


# 挪威卑尔根传统港口建筑





# 卑尔根王宫







欧洲木筋墙结构





日本奈良法隆寺（现存最早的木结构）

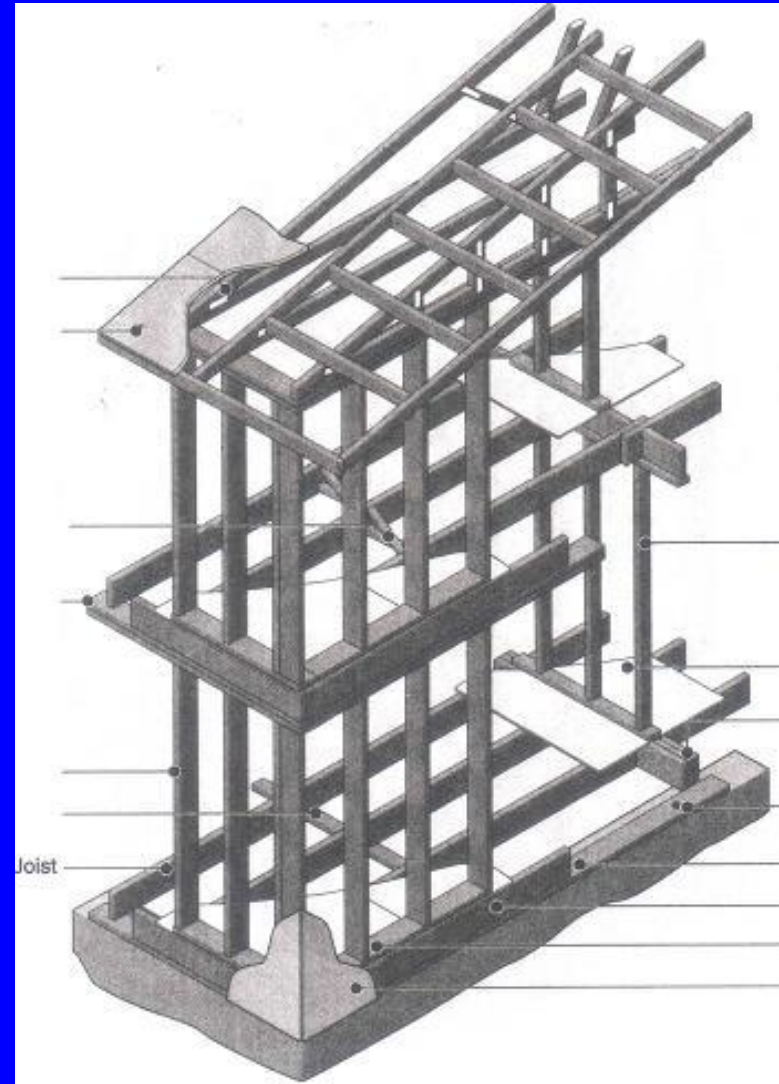
日本传统民居



# 轻型木结构（北美式）

## Platform wood frame construction

- 结构简单（box type）
- 抗震性能好
- 充分利用木材
- 保温节能好
- 施工简便
- 抗火性能好（耐火石膏板）
- 设计灵活性强
- 易改扩建
- 但缺乏木材温馨的感觉
- 关键：防水







1995年阪神地震（M7.3，6500人死亡）后日本式木结构（前）与北美式轻型木结构（后）对比



2008年汶川地震后都江堰青城别墅与周边房屋对比







PERMISSION



PARK LANE















加拿大4层轻型木结构公寓





加拿大6层轻型木结构公寓



# 挪威轻型木结构房屋





# 现代木结构





- 国外发达国家化工工业迅速发展

高品质的胶、防腐、防虫、阻燃剂等

- 木材加工（含干燥、防腐）技术迅速发展

新型木材产品GLULAM、PSL、LVL、LSL、OSB、Plywood、X-LAM（CLT）等

- 木结构连接技术的迅速发展

齿板、不同的销式连接（含钢销、螺栓、钉）、自攻螺钉轴向连接、胶连接

- 结构体系的发展

- 理念的改变





# 宗教建筑













柳州开元寺大雄宝殿



# 居住建筑









日本式

伦敦1+8层



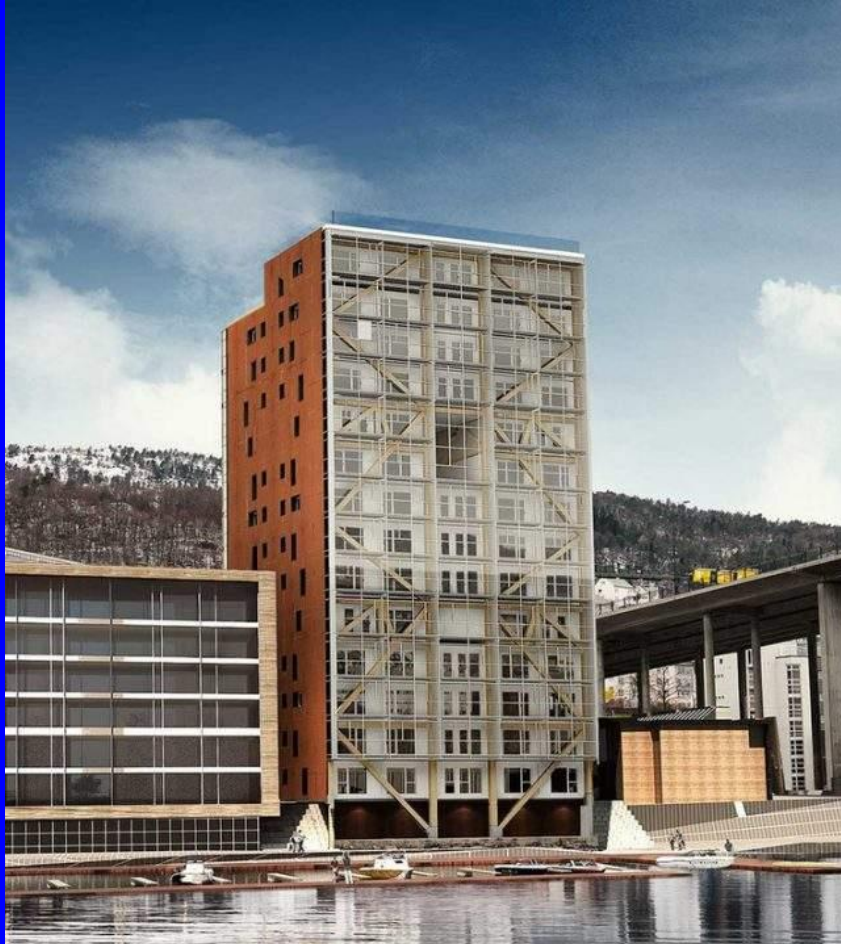
瑞典8层



澳大利亚10层  
(全露)







挪威14层





微信号: canadawoodchina  
Construction of concrete cores (June 2016)

## UBC18层学生公寓





挪威18层 (85.4m)



# 公共建筑







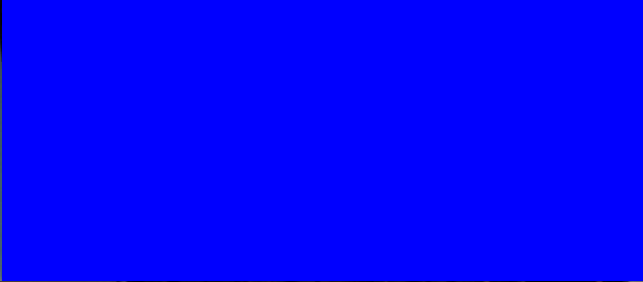
















Forintek Canada Corp.  
2665 East Mall











11.08.2012 23:44





10.10.2012 20:33

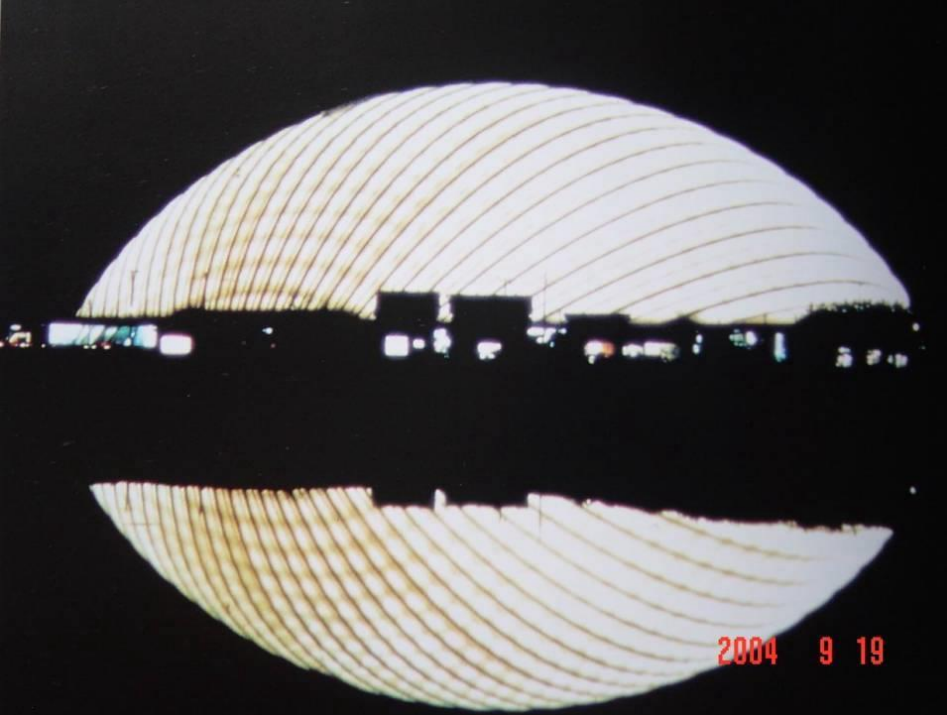




11.10.2012 16:53



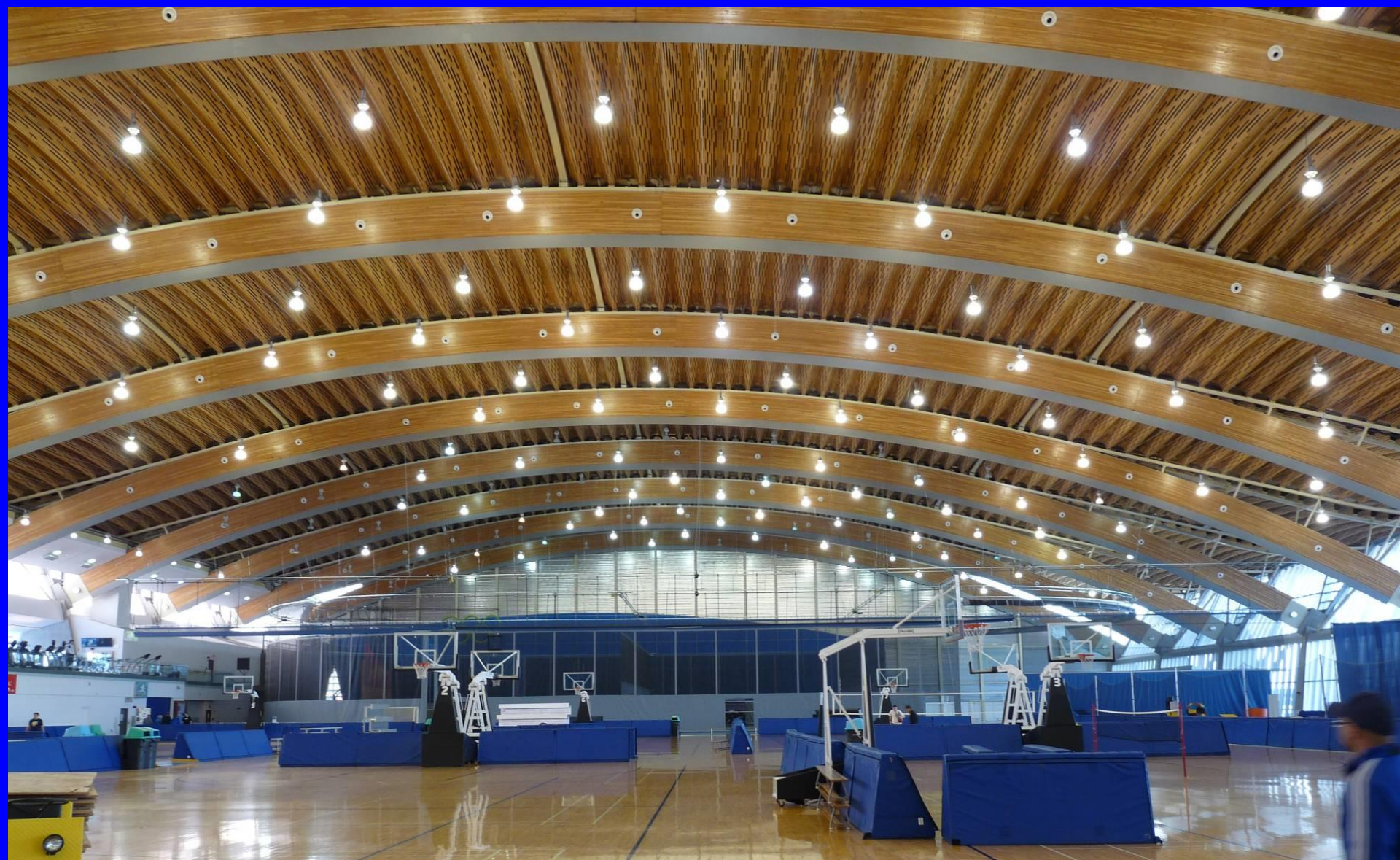


























# 工业建筑



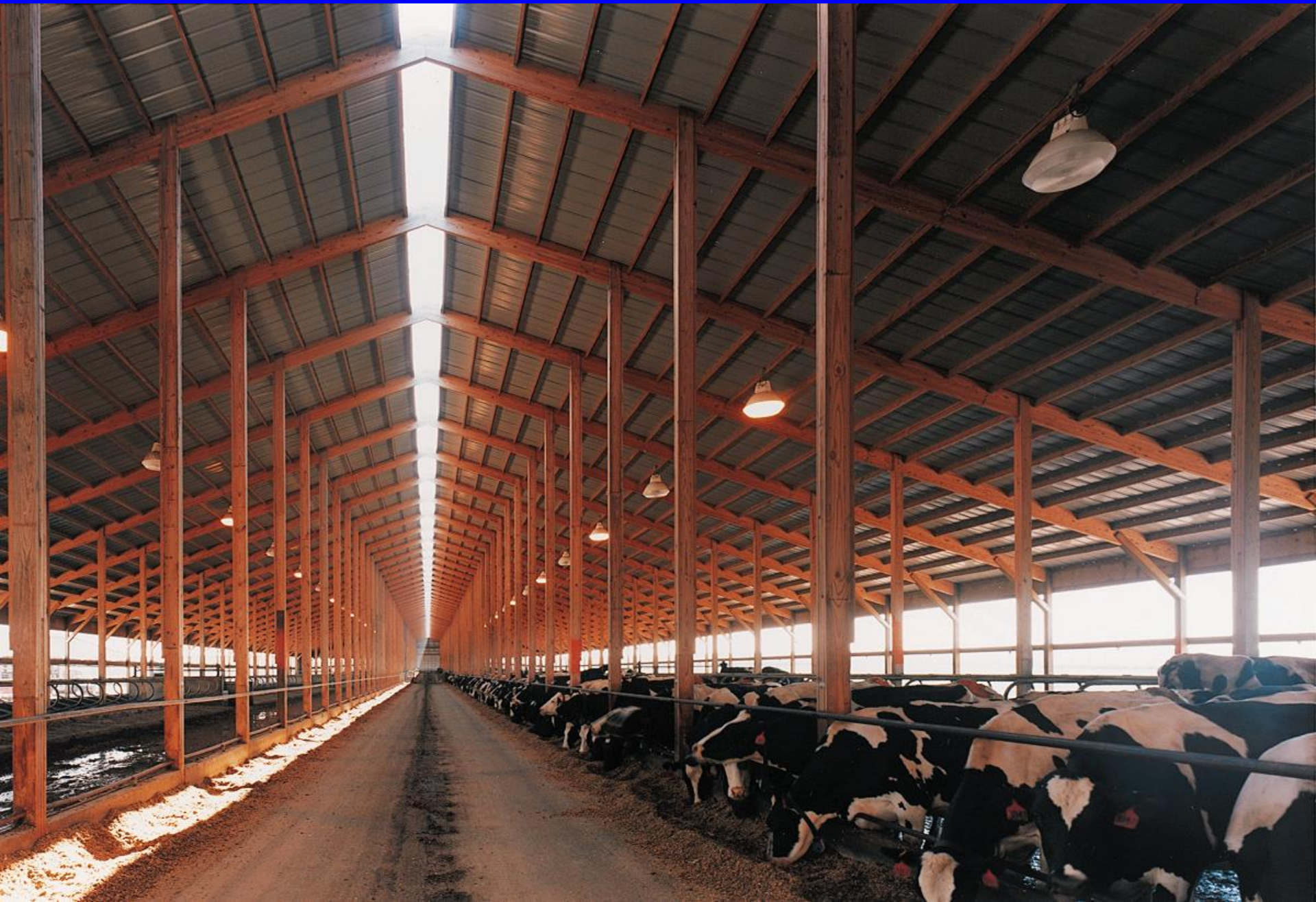














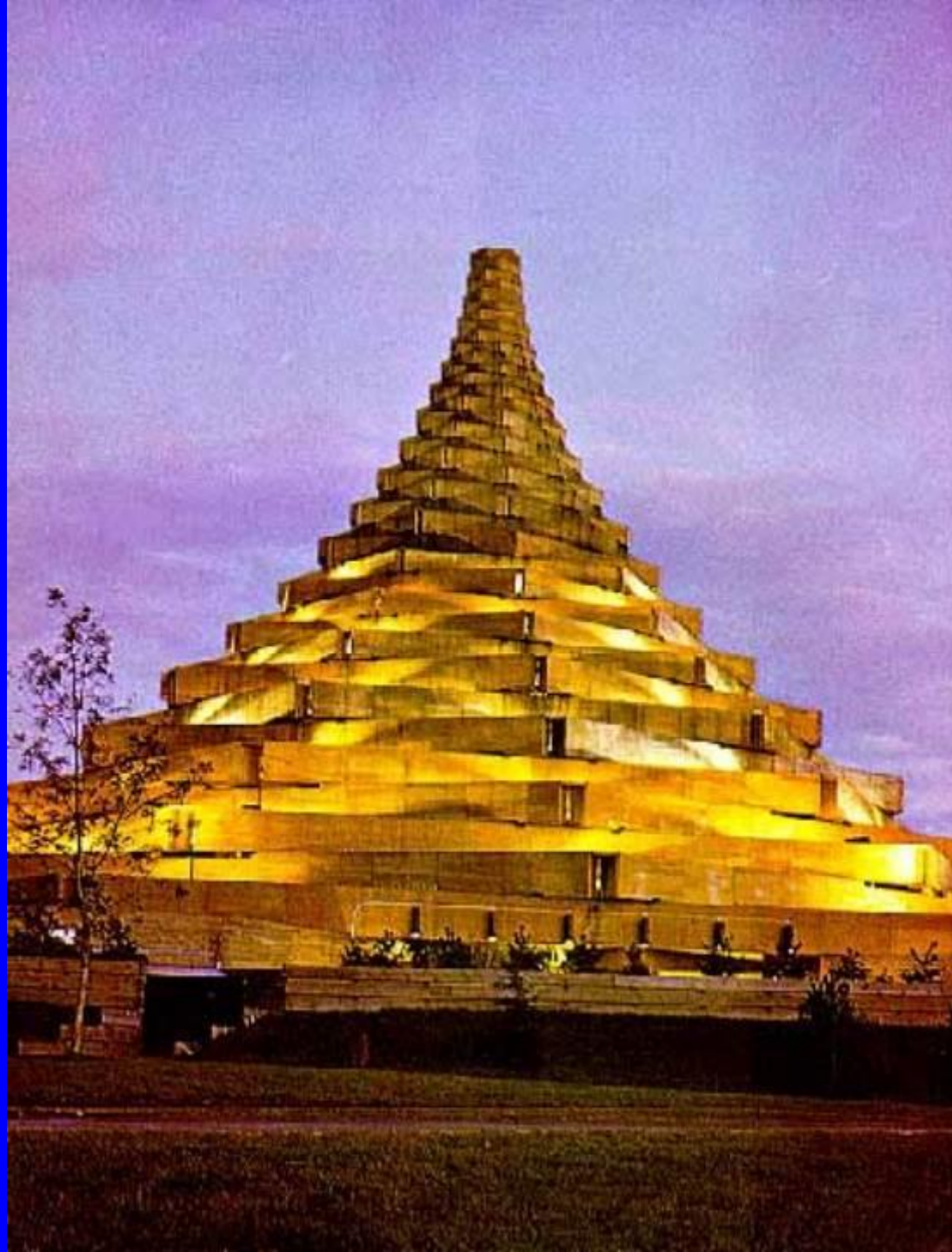




# 世博建筑























2010 6 4







温哥华  
Vancouver

2010 8 19



**1996 – Evenstad bridge. 180 m long. 5 spans. 2 lane vehicular traffic. Timber truss bridge. Research project**





**2003 – Flisa bridge. 195 m long. 3 spans. 2 lane  
vehicular traffic. Continuous timber truss.  
The world's longest timber road bridge**





**2005-Rena River Bridge 158 m**  
**Bridge width between rails: 6,3 m**  
**Continuous timber truss with 6 spans**  
**The World's strongest timber bridge**







31.08.2013 13:06









The Gliwice Radio Tower, Poland, 118m, 1939  
The tallest timber structure in the world.



