

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾

陆新征
清华大学土木工程系
2005

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

内容提要

- 风的类型与分类
- 风灾对建筑物的影响
- 工程结构抗风设计
- 防风减灾对策与风振控制

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

主要风的类型

- 热带气旋
- 季风
- 龙卷风


清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

热带气旋

- 阳光照射海面，水汽上升，热低压区和稳定的高压区气压差产生空气流动，由于平衡产生相互补充的力使之成为螺旋状流动
- 直径可达600~1000公里
- 漩涡中心为“风眼”

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

热带气旋：“伊布都”



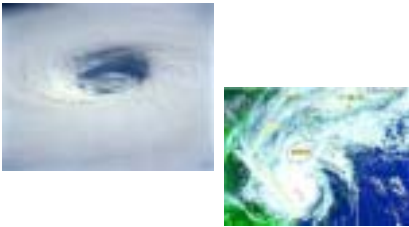
清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

热带气旋的名称和等级

- 热带低压
 - 中心附近最大风力6~7级，风速10.8~17.1m/s
- 热带风暴
 - 中心附近最大风力8~9级，风速17.2~24.4m/s
- 强热带风暴
 - 中心附近最大风力10~11级，风速24.5~32.6m/s
- 台风
 - 中心附近最大风力12级，风速32.6m/s以上

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

台风照片



清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

命名方法

- 编号命名
 - 我国对经度180以西，赤道以北的西北太平洋和南海海面上出现的中心附近最大风力>8级的热带气旋按出现先后编号，9901.....
- 名称命名
 - 悟空、卡拉、云娜.....

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

季风

- 海洋陆地气温差异引起
- 海洋和陆地热容不同
- 夏季从海洋吹向陆地
- 冬季从陆地吹向海洋

清华大学研究生课程——《灾害学》

龙卷风

- 猛烈旋转的圆形空气柱
- 直径平均在200-300m之间
- 寿命大多在几分钟到几十分钟，不超过几个小时
- 移动速度平均15m/s，最快可以到70m/s
- 移动长度大多在10km左右
- 破坏宽度一般1-2km
- 一般风速50-150m/s，极端情况可以达到300m/s以上

清华大学研究生课程——《灾害学》

龙卷风照片

清华大学研究生课程——《灾害学》

其他成灾风

- 雷暴
 - 强风暴云前部是上升气流，后部是下降气流
 - 下降气流形成冷空气堆，称为“雷暴高压”
 - 突发性强，持续时间短，风力大

清华大学研究生课程——《灾害学》

雷暴照片

清华大学研究生课程——《灾害学》

黑风/沙尘暴

- 强风将地面沙尘卷入空气，使空气混浊，能见度降低
- 发生条件
 - 足够强大而持久的风力
 - 经过地区植被稀疏，土壤干燥松软
- 我国内蒙北部、新疆、黄土高原北部最容易出现沙尘暴

清华大学研究生课程——《灾害学》

沙尘暴照片

清华大学研究生课程——《灾害学》

沙尘暴卫星照片

清华大学研究生课程——《灾害学》

风的等级

- 风依据距地10m高处风速分为13级
- 无风，软风，轻风，微风，和风，清风，强风，疾风，大风，烈风，狂风，暴风，飓风
- 最大为飓风，风速在32.7m/s以上

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾分类

- 直接危害
 - 侵蚀土壤和环境
 - 损坏农作物
 - 导致干旱
 - 毁坏建筑物
- 间接危害
 - 传播病虫害
 - 扩散污染
 - 暴雨、巨浪、洪水

清华大学研究生课程——《灾害学》

风蚀



清华大学研究生课程——《灾害学》

毁坏植物



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- Meyer-Kiser大楼
- 钢框架发生塑性变形
- 维护结构损坏严重



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 普通民居



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 收费站



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 收费站



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 维护结构
- John Hancock大楼, 增加预算\$830万



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物


- 对高耸结构的破坏 (Missouri电视桅杆)



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 大跨桥梁 (Tacoma North Bridge)



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

■ 风毁桥梁表

桥名	位置(所在地)	跨径-m	毁坏年份
Dryburgh Abbey	苏格兰	80	1818
Union	英格兰	140	1821
Nassau	德国	75	1834
Bridgton Chain Pier	英格兰	80	1836
Monstrose	苏格兰	130	1838
Mentl Straits	威尔士	180	1839
Roches-Bernand	法国	195	1852
Wheeling	美国	310	1854
Niagara-Lewiston	美国	320	1864
Tay	苏格兰	74	1874
Niagara-Clifton	美国	380	1889
Tacoma Narrows	美国	853	1940

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物


■ 广告牌



清华大学研究生课程——《灾害学》

风暴潮

■ 大风、暴雨，海浪涌向陆地



清华大学研究生课程——《灾害学》

严重风暴潮灾害

- 1922年，广东汕头，侵入内陆15km，死7万人
- 1963年，加勒比海，死5000余人
- 1970年，孟加拉，6m高浪，死50万人
- 1991年，孟加拉，死13万人

清华大学研究生课程——《灾害学》

世界范围暴风路径和发生时间



清华大学研究生课程——《灾害学》

台风导致水灾

■ 台风伴随暴雨，引起严重水灾



清华大学研究生课程——《灾害学》

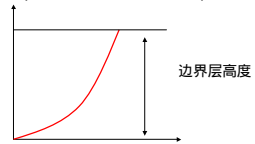
严重台风灾害

- 1918年，日本，死13.9万人
- 1937年，香港，死1.1万人
- 1959年，日本，2000人失踪
- 1994年，浙江温州，死1100人，毁坏房屋691,300间，输电塔10座，电视塔、通讯塔两座
- 1999年，西欧，掀掉凡尔赛宫屋顶，刮掉巴黎圣母院塔顶

清华大学研究生课程——《灾害学》

大气边界层

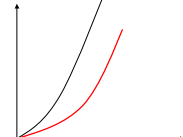
■ 地面摩擦对空气产生阻力，使空气流动速度变慢，超过一定高度就可以忽略地面摩擦，该高度称为边界层；



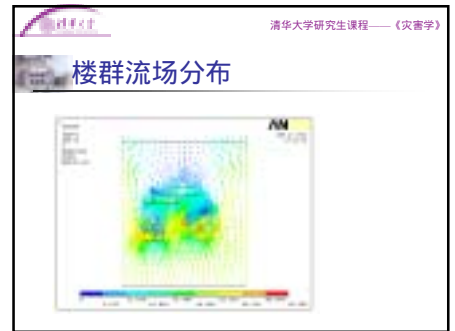
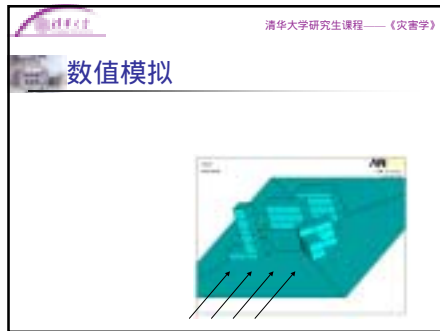
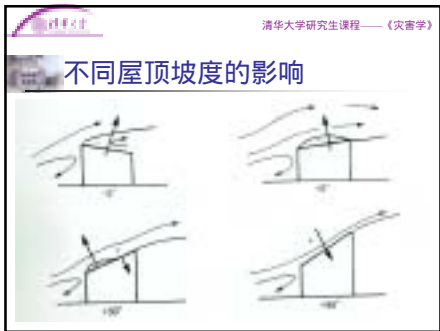
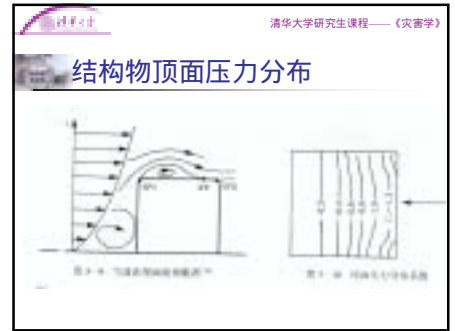
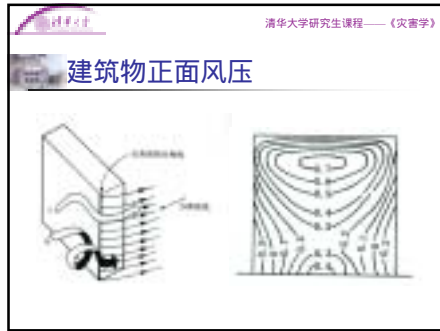
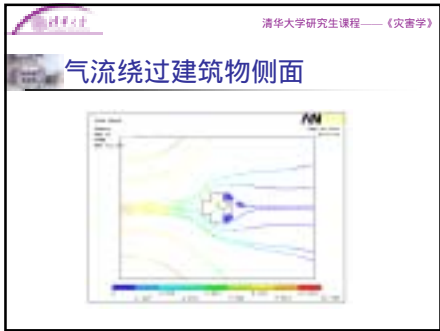
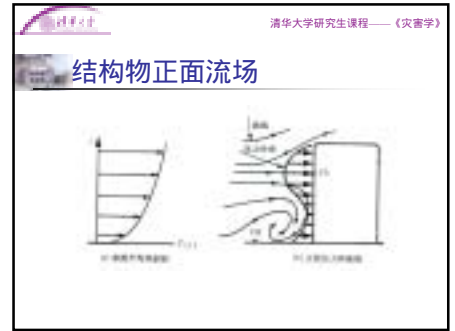
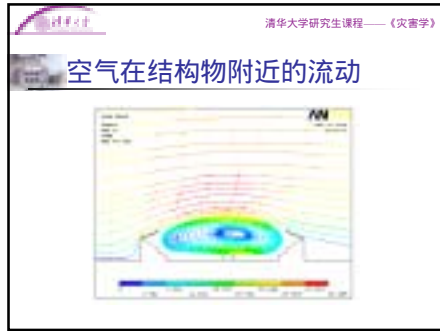
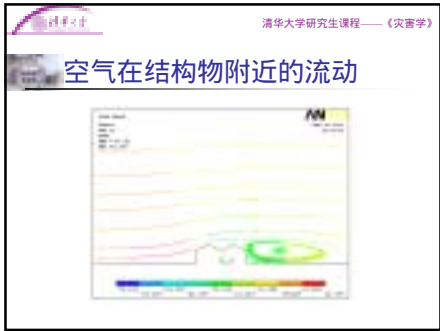
清华大学研究生课程——《灾害学》

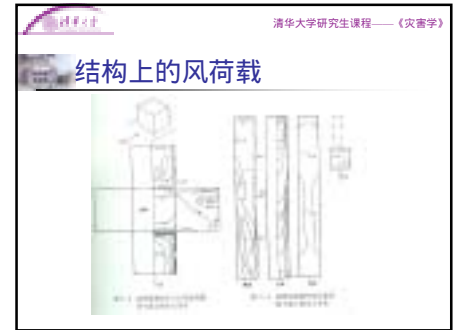
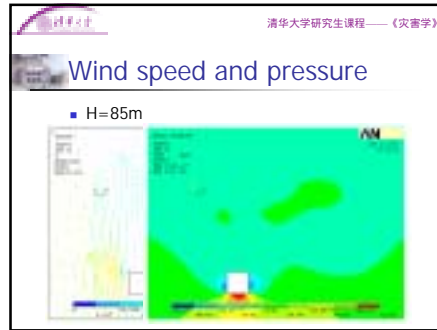
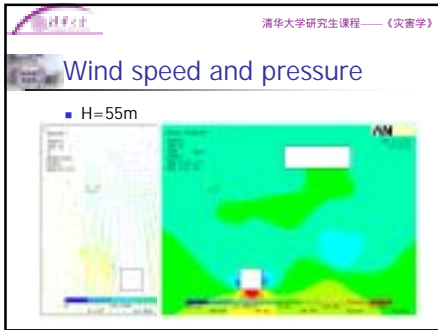
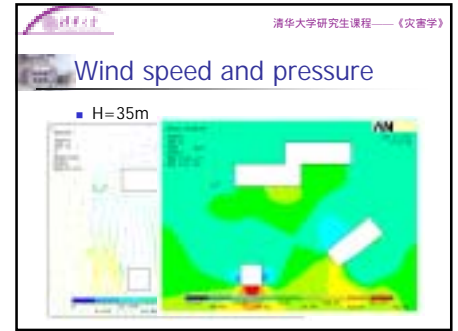
平均风速剖面

■ 对数率
■ 指数率



	开阔地面	郊区	大城市中心
α	0.16	0.28	0.40





清华大学研究生课程——《灾害学》

结构上的平均风荷载

$$P_{cz} = \mu_s \mu_z w_0 A$$

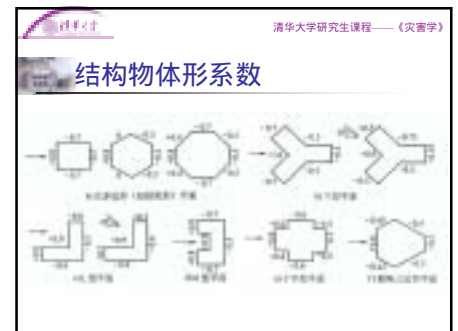
- μ_s : 风压体形系数
- μ_z : 风压高度系数
- w_0 : 基本风压
- A : 迎风面积

清华大学研究生课程——《灾害学》

风压高度变化系数

$$\frac{\overline{v}(z)}{v_s} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha$$

地形类别	粗糙度长度 z_0 (m)	风压高度变化系数 μ_z
Ⅰ类	0.05	$0.68 \left(\frac{z}{0.05} \right)^{0.12}$
Ⅱ类	0.1	$0.61 \left(\frac{z}{0.1} \right)^{0.15}$
Ⅲ类	0.2	$0.54 \left(\frac{z}{0.2} \right)^{0.18}$
Ⅳ类	0.3	$0.48 \left(\frac{z}{0.3} \right)^{0.22}$
Ⅴ类	0.5	$0.43 \left(\frac{z}{0.5} \right)^{0.27}$
Ⅵ类	0.7	$0.39 \left(\frac{z}{0.7} \right)^{0.31}$
Ⅶ类	1.0	$0.35 \left(\frac{z}{1.0} \right)^{0.36}$
Ⅷ类	1.5	$0.32 \left(\frac{z}{1.5} \right)^{0.41}$
Ⅷ类	2.0	$0.29 \left(\frac{z}{2.0} \right)^{0.46}$
Ⅸ类	3.0	$0.26 \left(\frac{z}{3.0} \right)^{0.51}$
Ⅹ类	5.0	$0.23 \left(\frac{z}{5.0} \right)^{0.56}$
Ⅹ类	10.0	$0.20 \left(\frac{z}{10.0} \right)^{0.61}$
Ⅹ类	15.0	$0.18 \left(\frac{z}{15.0} \right)^{0.66}$
Ⅹ类	20.0	$0.16 \left(\frac{z}{20.0} \right)^{0.71}$
Ⅹ类	30.0	$0.14 \left(\frac{z}{30.0} \right)^{0.76}$
Ⅹ类	40.0	$0.13 \left(\frac{z}{40.0} \right)^{0.81}$
Ⅹ类	50.0	$0.12 \left(\frac{z}{50.0} \right)^{0.86}$
Ⅹ类	70.0	$0.11 \left(\frac{z}{70.0} \right)^{0.91}$
Ⅹ类	100.0	$0.10 \left(\frac{z}{100.0} \right)^{0.96}$



清华大学研究生课程——《灾害学》

驰振

- 结构在横风向发生振动时，如果结构受到的风压不对称，在气流作用下，结构会不断吸收能量直至破坏。

清华大学研究生课程——《灾害学》

颤振和抖振

- 扭转和其他振动形式耦联的发散型振动
- 脉动成分引起结构不规则有限幅度振动

清华大学研究生课程——《灾害学》

漩涡脱落和涡激共振

清华大学研究生课程——《灾害学》

Reynold 数和 Strouhal 数

- Reynold 数

$$Re = 69000\bar{v}D$$
- Strouhal 数

$$S = \frac{n_s D}{\bar{v}}$$
- n_s 漩涡脱落频率
- $Re > 2.5 \times 10^5, S = 0.2$ (圆柱体)

清华大学研究生课程——《灾害学》

涡激共振计算方法

- 计算临界速度 v_{cr}

$$\bar{v}_{cr} = \frac{n_j D}{S}$$
- 判断结构临界高度 H_1

$$H_1 = H \times \left(\frac{v_{cr}}{v_H} \right)^{1/\alpha}$$
- 得到计算系数 λ_j

$$\lambda_j = \frac{\int_{H_1}^H \varphi_j(z) dz}{\int_0^H \varphi_j^2(z) dz}$$

清华大学研究生课程——《灾害学》

计算系数 λ_j

结构类型	振型阶数	计算系数 λ_j			
		1	2	3	4
圆筒	1	0.000	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.000	0.000
圆球	1	0.000	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.000	0.000

清华大学研究生课程——《灾害学》

等效风荷载

$$w_{eqj} = \frac{|\lambda_j| v_{cr}^2 \varphi_{vj}}{12800 \zeta_j}$$

- ζ 阻尼
- φ 振型

清华大学研究生课程——《灾害学》

结构风力作用下位移限值

结构类型	位移限值	备注
房屋	1/500	
塔架	1/1000	
桅杆	1/1000	
输电塔	1/1000	
烟囱	1/1000	
塔吊	1/1000	
塔式起重机	1/1000	
塔式起重机的塔身	1/1000	
塔式起重机的塔吊	1/1000	
塔式起重机的塔吊臂	1/1000	
塔式起重机的塔吊钩	1/1000	

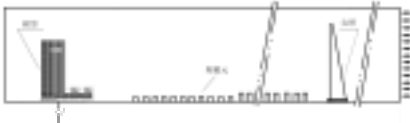
清华大学研究生课程——《灾害学》

风洞试验

- 几何相似
- 大气边界层相似
- 动力相似 (雷诺数相似)

清华大学研究生课程——《灾害学》

大气边界层模拟



清华大学研究生课程——《灾害学》

风洞模型和测压孔



清华大学研究生课程——《灾害学》

风压数值模拟

- 土木工程结构尺度较大，风洞实验相似比复杂，实验模拟难度较大
- 数值模拟可以较好地克服模型尺寸效应的影响
- 土木工程结构大部分为钝体，流体力学同样面临很多困难

清华大学研究生课程——《灾害学》

流体力学的基本方程

- Navier-Stokes方程
 - 对于牛顿流体
- 解法
 - 直接数值模拟(DNS)
 - 大涡模拟(LES)
 - Reynolds平均法

清华大学研究生课程——《灾害学》

DNS方法

- 直接对N-S方程进行数值求解
- 优点：
 - 无需对涡流进行任意假设，理论上可以得到精确的结果
- 缺点：
 - 目前计算机水平无法实现
 - $0.1 \times 0.1\text{m}$ 的流动区域内，高Reynolds情况下涡流最小尺度 $10\mu\text{m}$ ，计算网格要达到 10^{12} 量级，积分步长要小于 $100\mu\text{s}$

清华大学研究生课程——《灾害学》

LES方法

- 为了模拟湍流，要求计算域要大于最大的涡流，网格要小于最小的漩涡
- LES方法的基本思想：
 - 对漩涡进行分类
 - 对大涡用直接法求解
 - 对小涡用平均法求解
 - 计算量大大减小，精度有效提高
 - 目前还在研究阶段，很热

清华大学研究生课程——《灾害学》

Reynolds平均法

- 不直接求解瞬时的N-S方程，而是求解平均化以后的Reynolds方程
- 思路：
 - 建立平均意义上的湍流模型，例如湍流的动能和耗散率等
 - 将N-S方程作时域上的平均化处理，用湍流的平均动能增加和平均能量耗散来建立Reynolds方程
- 联想：钢筋混凝土有限元中不分别求解骨料和砂浆，而是视作一种均匀材料

清华大学研究生课程——《灾害学》

Reynolds平均法（续）

- 关键问题：
 - 构造合理的湍流模型，可以较好地模拟流体的平均效果
 - 构造合适的分析网格，得到合理的差分解

清华大学研究生课程——《灾害学》

ANSYS软件中的流体计算

- FLOTRAN模块
- 收购了CFX公司，加强在该方面的能力
- 可以分析二维、三维，层流、湍流，稳态、瞬态流动问题
- 可以考虑流体和固体的相互作用

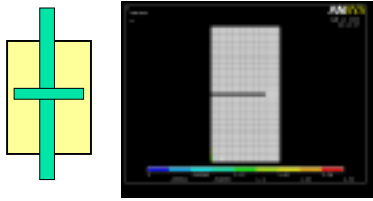
清华大学研究生课程——《灾害学》

ANSYS中的湍流模型

- Standard k- ϵ model (简称SKE模型)
- Re-Normalized Group Turbulence model (简称RNG模型)
- k- ϵ Model due to Shih (简称NKE模型)
- Nonlinear Model of Girimaji (简称GIR模型)
- Shih, Zhu, Lumley Model (简称SZL模型)
- k- ω Turbulence Model (简称SKW模型)
- Shear Stress Transport Turbulence Model (简称SST模型)

清华大学研究生课程——《灾害学》

Fluid in a damper



The diagram shows a cross-section of a damper with a central piston. To the right, a simulation image shows the fluid flow field with a color scale from blue to red, indicating velocity or pressure distribution.

清华大学研究生课程——《灾害学》

防风减灾对策与风振控制

- 防风减灾对策
 - 防风固沙
 - 风灾预警
 - 风灾影响区域规划
 - 抗风设计
 - 风力特性研究
- 结构风振控制

清华大学研究生课程——《灾害学》

防风固沙



Two photographs showing desert landscapes. The left photo shows a green, vegetated area, likely a windbreak or afforestation project. The right photo shows a sandy desert with sparse vegetation.

清华大学研究生课程——《灾害学》

三北防护林

- 三北防护林体系工程是一项正在我国北方实施的宏伟生态建设工程，地跨东北西部、华北北部和西北大部分地区，包括我国北方13个省（自治区、直辖市）的551个县（旗、市、区），建设范围东起黑龙江省的宾县，西至新疆维吾尔自治区乌孜别里山口，总面积406.9万平方公里，占国土面积的42.4%，接近我国的半壁河山。



A map of China highlighting the Three North Shelterbelt System in green. The map includes labels for the system's extent and key locations.

清华大学研究生课程——《灾害学》

三北防护林

- 按照工程建设总体规划，该项工程分三个阶段，八期工程，七十三年来完成，共需造林3560万公顷。在保护现有森林植被的基础上，采取人工造林、封山封沙造林和飞播播种造林等措施，实行乔、灌、草结合，带、片、网结合，多树种、多林种结合，建设一个功能完备、结构合理、系统稳定的大型防护林体系，使三北地区的森林覆盖率由5.05%提高到14.95%，沙漠化土地得到有效治理，水土流失得到基本控制，生态环境和人民群众的生产生活条件从根本上得到改善。
- 伴随着我国的改革开放，三北防护林体系工程已走过二十三年的历程，取得了举世瞩目的成就。全面超额完成三北防护林体系建设第一阶段的规划任务，二十三年累计造林保存面积2203.22万公顷。这些树木成林后，三北地区的森林覆盖率将从5.05%提高到9%以上。重点治理区的环境质量有了较大改善，生态效益、经济效益和社会效益明显，有力地促进了农村经济的发展和人民生活水平的提高。

清华大学研究生课程——《灾害学》

沿海防护林

- 沿海防护林体系建设工程北起中朝边界的鸭绿江口，南至中越边界的北仑河口，范围涉及沿海11个省(市、区)195个县(市、区)，海岸线总长1.8万公里。规划1988-2000年一期工程营造造林249万公顷，建设海岸基干防护林带1.8万公顷。截止1998年。累计完成营造造林217.8万公顷，建设海岸基干防护林带1.5万公顷，使沿海地区有林地面积从1988年544.3万公顷增加到730.6万公顷，森林覆盖率由实施前的24.9%上升到现在的29.1%，沿海部分地区的生态环境初步得到改善。



Two photographs showing coastal afforestation. The left photo shows a lush green coastal area with trees. The right photo shows a map of China highlighting the coastal shelterbelt system.

清华大学研究生课程——《灾害学》

长江中上游防护林工程

- 1989年中国为综合治理江河而首次实施了大规模林业生态工程，这是关系到长江中上游水土保持及长江流域生态环境和社会经济可持续发展的重大工程。工程区域范围包括11个省市的271个县，计划新增造林面积667万公顷。
- “八五”期间完成造林300万公顷，其中1995年完成53.5万公顷，1996年完成46.4万公顷，使62个县达到一期工程建设标准。
- 目前，这项工程已全面展开，突出建设了三峡库区、金沙江中下游和嘉陵江流域等十大重点区域。工程已完成造林200万公顷，工程区森林覆盖率比1989年提高了约50%，100多个县基本消灭了荒山。湘、鄂、黔等省开始下降，水土流失得到初步治理。



A map of China highlighting the Yangtze River middle and upper reaches shelterbelt system in green.

清华大学研究生课程——《灾害学》

退耕还草、退耕还林



Two photographs showing land reclamation. The left photo shows a field with rows of young trees or grass. The right photo shows a person working in a field, possibly planting or tending to crops.

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾预警

八号西北
烈风或暴风信号



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾预警

八号西南
烈风或暴风信号



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾预警

八号东北
烈风或暴风信号



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾预警

八号东南
烈风或暴风信号



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾预警

九号烈风或暴风
风力增强信号



清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾预警

十号飓风信号



清华大学研究生课程——《灾害学》

警告信号的意义及应注意的事项

⚠️ 这是戒备信号，表示有一热带气旋集结于香港800公里的范围内，稍后可能影响本港。
 注意事项：如拟外出，应牢记有一热带气旋正接近本港，稍后可能影响你的计划。留意电台及电视台有关台风最新情况的报告。

🌪️ 维多利亚港内现正或预料会吹强风，持续风力达每小时41至62公里，阵风更可能超过每小时110公里。3号热带气旋警告信号发出后12小时之内，海港附近区域的风力普遍会加强。
 注意事项：应把一切容易被风吹倒的物件绑紧，特别是露台或屋顶上的物件。花盆及其他易于吹走的物件应搬往室内。离校、离校临时搭建物应绑牢。沟渠应保持畅通，以免淤塞溢流。留意电台及电视台有关台风的进一步消息。

清华大学研究生课程——《灾害学》

警告信号的意义及应注意的事项

🌪️ 维多利亚港内现正或预料会有烈风或暴风从信号所示方向吹袭，持续风力达每小时63至117公里，阵风更可能超过每小时180公里。
 注意事项：在烈风吹袭前，应先做妥一切防风措施。锁紧门窗，把门窗开好，窗板或大门上牢。当风的大玻璃窗应加贴胶纸，减少玻璃破裂时所引致的损伤。不要站过当风的窗只。把家具及贵重物件搬离风口位。万一窗只被强风吹破，确保仍有一个安全地方暂避，故应早点决定万一当风的窗只破裂时，哪一个房间可作栖身之用。水管招牌负责人须安排截断招牌的电力供应。车辆应停泊在最不容易遭受破坏的地方。

清华大学研究生课程——《灾害学》

警告信号的意义及应注意的事项

🌪️ 烈风或暴力的风力现正或预料会显著加强。
 注意事项：切勿外出。远离当风的门窗，以免被风中的碎片击中。锁紧屋内的门户，并确保小童安置在家中不当风的地方。切勿触摸被风吹松的电视。窗门如被风吹坏，应待情况安全时才修补。如不在家中，应立即找一个安全地方暂避，直至台风过后为止。

🌪️ 风力现正或预料会达到飓风程度，持续风力达每小时118公里或以上，阵风更可能超过每小时220公里。
 注意事项：防风措施与上述相同。切记当风眼正掠过香港时，风势可能会静止一段时间，由数分钟至数小时不等。市民应保持戒备，因为强风可能会从另一个方向突然吹袭。如果所在地安全，应继续留在原处，以防强风随时吹袭。

清华大学研究生课程——《灾害学》

被动控制减震技术

Passive Control

隔震减震

**粘滞消能
滞迟消能**

消能减震

**质量调频
液体调频**

清华大学研究生课程——《灾害学》

被动控制减震技术

能量消耗
机构

粘性滞滞
机构

粘性阻尼
机构

粘性阻尼
机构

附加质量
机构

TMD装置等

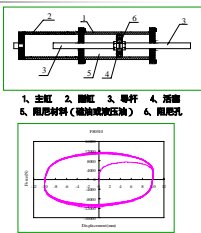
清华大学研究生课程——《灾害学》

粘滞阻尼器

粘滞流体阻尼器一般由缸筒、活塞、阻尼孔。阻尼材料和导杆等部分组成，活塞上开有适量小孔作为阻尼孔。缸筒内装满流体阻尼材料。


当活塞与缸筒之间发生相对运动时，活塞前后的压力差使流体阻尼材料从阻尼孔中通过，从而产生阻尼力。

流体阻尼器通过粘滞流体阻尼材料的粘滞耗散耗散能量，减小结构振动（地震或风震）反应。




清华大学研究生课程——《灾害学》

粘滞阻尼墙



清华大学研究生课程——《灾害学》

粘弹性阻尼器 Viscoelastic Damper

材料：异分子共聚物，玻璃质物质

粘弹性消能器通常由钢板和固体粘弹性材料交替叠合而成。其原理是通过粘弹性材料的往复剪切变形来耗散能量。粘弹性材料具有应变滞后于应力的阻尼特性，是一种典型的速度相关型阻尼器。



清华大学研究生课程——《灾害学》


质量调谐阻尼和液体调谐阻尼控制

Tuned Mass Damper (TMD)


Tuned Liquid Damper (TLD)

清华大学研究生课程——《灾害学》


质量调谐 (TMD) 减振控制



支撑式TMD



悬吊式TMD



悬摆式TMD

减震结构的不同形式：质量调谐

清华大学研究生课程——《灾害学》

质量调谐 (TMD) 减振控制




重达800吨的摆锤，从92楼悬挂下来。造价400万美元，平常只会摆动个几厘米。百年一遇超级地震或台风，摆幅将达1.5米，设置一个防撞环。

清华大学研究生课程——《灾害学》

液体调谐 (TLD) 减振控制

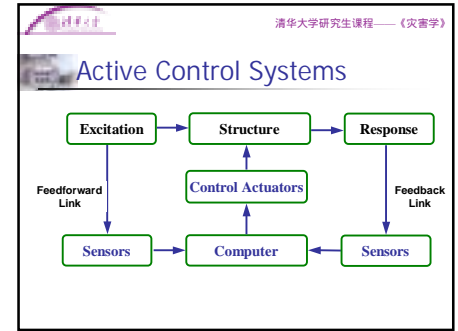
储液式TLD U形柱式TLD

被动液体调谐阻尼器示意图

清华大学研究生课程——《灾害学》

主动减震控制方法

Active Control

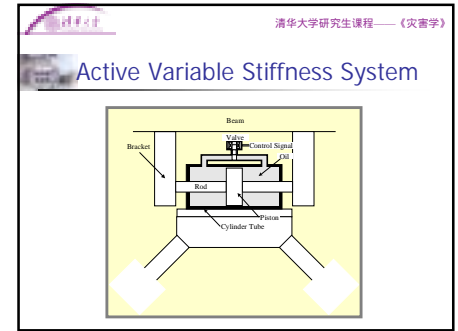
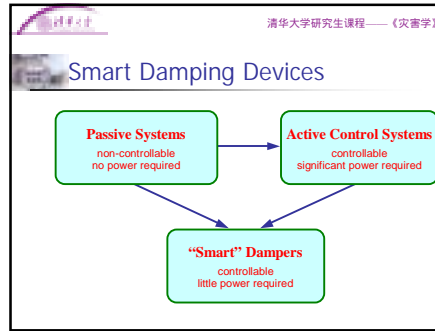


清华大学研究生课程——《灾害学》

Active Control Systems

Active Base Isolation Active Bracing Active Mass Damper

Control Computer



清华大学研究生课程——《灾害学》

Magnetorheological Fluid Damper

MR Fluid Magnetic Choke

x