

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
2006

1

清华大学研究生课程——《灾害学》

内容提要

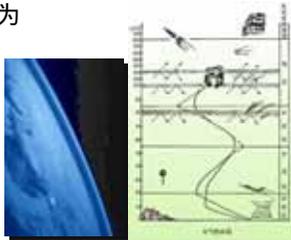
- 风的类型与分类
- 风灾对建筑物的影响
- 工程结构抗风设计
- 防风减灾对策与风振控制

2

清华大学研究生课程——《灾害学》

大气层的基本特性

- 由于地球引力作用，地球周围覆盖着一层厚度达到800km的大气层。
- 大气层可以分为
 - 对流层
 - 平流层
 - 中间层
 - 暖层
 - 外层



3

清华大学研究生课程——《灾害学》

对流层的特点

- 高度
 - 低纬度 17-18km
 - 中纬度 10-12km
 - 高纬度 6-8km
 - 夏季高冬季低
- 特点
 - 气温随着高度升高而降低
 - 温度、湿度受地面影响较大
 - 具有强烈的对流运动

4

清华大学研究生课程——《灾害学》

对流层分层

- 下层
 - 摩擦层
 - 地面到2km高度
 - 受地表影响最大
- 中层
 - 高度约为6km
 - 云和降水主要发生在这里
- 上层
 - 温度低。水汽含量小。

5

清华大学研究生课程——《灾害学》

风

- 空气从气压高的地方向气压低的地方流动
- 主要指标：风速、风向
- 原因：
 - 气压梯度
 - 地球转动偏心力
 - 惯性离心力
 - 摩擦力

6

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

7

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”，半径5-30km，气压很低

8

清华大学研究生课程——《灾害学》

热带气旋：“伊布都”



9

清华大学研究生课程——《灾害学》

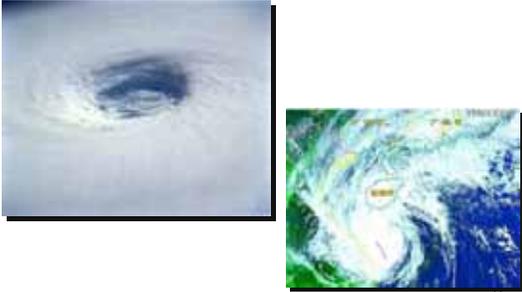
热带气旋的名称和等级

- 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

10

清华大学研究生课程——《灾害学》

台风照片



11

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.....

12

清华大学研究生课程——《灾害学》

热带气旋的产生条件

- 热带洋面，60m深度内海水温度超过26.5度
 - 产生大量水汽和不稳定的对流
- 合适的纬度
 - 纬度太低，地球自转偏向力太小
 - 纬度太高，海水温度不够
- 高低空之间的风向、风速差别小

13

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

14

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

15

清华大学研究生课程——《灾害学》

龙卷风照片

16

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

17

清华大学研究生课程——《灾害学》

雷暴照片

陆新征2006摄于呼伦贝尔草原

清华大学研究生课程——《灾害学》

雷暴照片

19

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，土质干燥松软
- 我国内蒙北部、新疆、黄土高原北部最容易出现沙尘暴

20

清华大学研究生课程——《灾害学》

沙尘暴照片

21

清华大学研究生课程——《灾害学》

沙尘暴卫星照片

22

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

23

清华大学研究生课程——《灾害学》

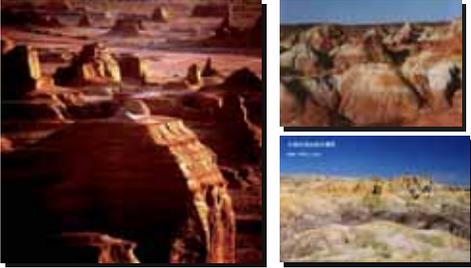
风灾分类

- 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

24

清华大学研究生课程——《灾害学》

风蚀



25

清华大学研究生课程——《灾害学》

风蚀

- 我国北部和西部地区，风蚀比较强烈，沙漠化土地约**5万km²**
- 内蒙古乌兰察布盟后山地区开垦的农田有**43%**被风蚀沙漠化
- 海拉尔周围开垦的土地，黑土层平均已经被吹蚀了**20-25cm**

26

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，1926年
- 钢框架发生塑性变形
- 维护结构损坏严重



28

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 河南省体育馆



29

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 普通民居



30

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 收费站



31

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 收费站



32

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 维护结构，更换了10348块玻璃
- John Hancock大楼，增加预算\$830万

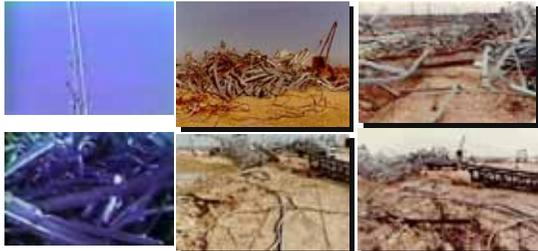


33

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 (1988, Missouri电视桅杆)

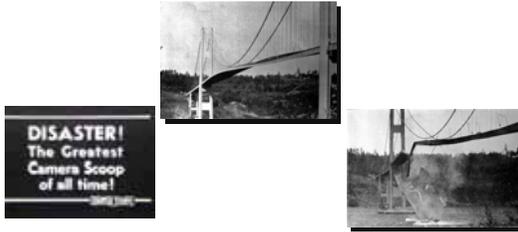


34

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)



35

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
Menai Straits	威尔士	180	1839
Roche-Bernard	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

36

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 九江长江大桥钢拱吊杆发生涡激共振
- 上海杨浦大桥缆索的涡振和风雨振使得索套破坏



37

清华大学研究生课程——《灾害学》

1965年英国Ferrybridge电站冷却塔

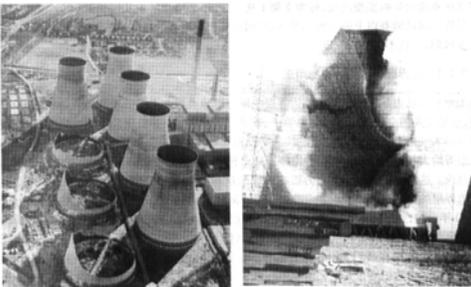


图 9-1-3 1965 年 Ferrybridge 发电厂冷却塔风毁

1

清华大学研究生课程——《灾害学》

风灾毁坏建筑物

- 广告牌



39

清华大学研究生课程——《灾害学》

风毁广告牌

- 2006年3月12日上午，位于福建泉州北峰路段的一块巨大的户外广告牌被大风吹倒，压住了两辆行驶中的摩托车，造成两死两伤的事故。当天，受强冷空气的影响，泉州地区气温加速下降，风力骤增，并伴有8级以上大风



40

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



图 9-1-4 “高浪式”风暴潮影响范围

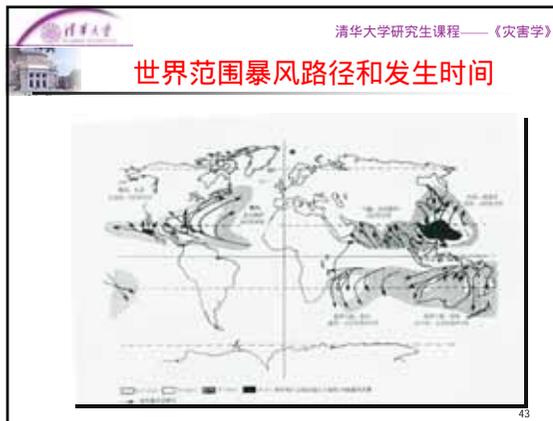
41

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

42



- 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2座
 - 1999年，西欧，掀掉凡尔赛宫屋顶，刮掉巴黎圣母院塔顶
- 45

- 清华大学研究生课程——《灾害学》
- ### 浙江遭遇的重要台风灾害
- **桑美台风**：今年第8号超强台风“桑美”是建国以来浙江省遭遇的最强台风，也是50年以来登陆祖国大陆最强的台风。登陆时，最大风速达68米/秒，是浙江省1949年以来测到的最大风速。
 - **5612号台风**：历史上登陆我国大陆时风速最强的台风是1956年8月1日登陆浙江象山的5612号台风。造成的灾害极其严重，其中遭到台风正面袭击的浙江省损失最为惨重，全省倒塌房屋85万间，4900多人被砸死、淹死或触电身亡。
 - **卡努台风**：2005年9月12日下午2点在台州市路桥区登陆的“卡努”台风，中心风力50米/秒。在这次台风影响过程中，浙江省气象局首次发布了我国气象灾害二级预警应急响应命令。
 - **麦莎台风**：2005年8月7日凌晨3点40分在玉环县干江镇登陆的麦莎台风，中心最大风力45米/秒。浙江全省紧急转移人员120多万人。
 - **云娜台风**：2004年8月13日20时在温岭市石塘镇登陆的云娜台风，近中心最大风力为45米/秒，台风横穿浙江腹地，在浙江省境内时间达15小时。这次台风全省有639个乡镇受灾，受灾人口达859万人，因台风倒塌房屋4.24万间，死亡115人，受伤1800多人。
- 46



清华大学研究生课程——《灾害学》

部分建筑物严重被毁

49

清华大学研究生课程——《灾害学》

跨海湾大桥被彻底摧毁

50

清华大学研究生课程——《灾害学》

部分城区一片废墟

51

清华大学研究生课程——《灾害学》

新奥尔良为何不堪一击？

- 自然原因
 - 建在世界上一个最易发生飓风地区的中央
- 人为原因
 - 大气气候变化
 - 地表改造
 - 地下开采

52

清华大学研究生课程——《灾害学》

自然原因

- 建在世界上一个最易发生飓风地区的中央
- 新奥尔良过去也经常或多或少地被水淹。
- 它地处一个平均低于海平面9英尺的凹地，庞恰特雷恩湖在北，密西西比河在南，墨西哥湾正对其门户。
- 在最好的正常情况下，要使这样一个地方不进水都是令城市规划者极其难办的事。但新奥尔良的情况从来就不理想；该市是建在世界上一个最容易发生飓风的地区的中央。
- 圣路易斯大学的地球和大气科学家蒂莫西·库斯基说：“从自然的角度来看新奥尔良希望成为一个湖。”很明显，该城市已经如愿以偿。

53

清华大学研究生课程——《灾害学》

人为原因

- 墨西哥湾地区的城市一直是潜在的危险地区，但它们同时也是不冻的天然良港，这种极好的地理位置使它们能稳获往来于一条世界最重要的水路——密西西比河——船只带来的收益。
- 此外还有大量海湾地区的产品，其中包括占全美近 30% 的石油，20% 的天然气，还有全美第三大渔场。
- 因此，正如许多人已指出的那样，即使新奥尔良彻底被毁，我们也必须在它的基础上重建。

54

清华大学研究生课程——《灾害学》

人为原因(1)

- **大气气候变化**
- 飓风常常光顾墨西哥湾，这早就是显而易见的事实，但为何如此，则需要借助现代气象学来解释。
- 飓风的运动需要多种因素，其中最重要的是要有旋风，它要在温暖的海水与它上空较冷的气流之间旋转。墨西哥湾具备了所有这些因素，所以它的城镇就经常遭到飓风的袭击。
- 对20世纪中叶以来发生在北大西洋和西北太平洋上的大约4500次风暴进行了研究，发现在50年中风力平均增强了**50%**。
- 温室效应导致越来越强的飓风危害

55

清华大学研究生课程——《灾害学》

人为原因(2)

- **不当改变地形地貌**
- 墨西哥湾的土地又软又湿，大部分由河流和周期性洪水的淤泥长期沉积而成，大水退去，淤泥仍在，而且越积越重，最终在其自身的重量下逐渐下沉。防止陆地完全下沉的唯一途径是让土壤在每一次洪水后补充淤泥。但人类的活动造成的结果恰恰相反，我们将新奥尔良围起来，让密西西比河改道，使它在这个城市外面流淌，实际阻断了淤泥的补充。
- 除了听任不能得到补充的海岸湿地继续下沉之外，这种做法最终将会把仍然存在的湿地统统消灭，海水越来越深，导致有助水土保持的植被灭绝。隔绝了自然的洪水，也造成了墨西哥湾沿岸保护海岸的岛屿下沉。

56

清华大学研究生课程——《灾害学》

人为原因(3)

- **过度开采地下资源**
- 墨西哥湾繁忙的石油—天然气工业也扮演了负面角色。
- 从墨西哥湾地下抽取这些资源就像将一根吸管插入地下，吸出了所有的液体：吸取出来的恰恰是支撑着周围地域的物质。
- 一项研究发现，墨西哥湾湿地消失得最多的时期也正是20世纪70年代和80年代石油和天然气开采最盛的时期。据信，休斯敦的下沉在很大程度上也是这个原因。

57

清华大学研究生课程——《灾害学》

美国“卡里亚娜”飓风的启示

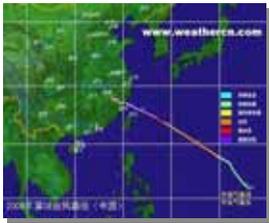
- 启示之一，产业发展应以科学发展观为本。时刻牢记过度开发海岸带会产生负面影响，要敬畏大自然，而不要试图改造大自然。
- 启示之二，在加强沿海防波堤建设外，更要保护和恢复自然灾害发生的缓冲带，如大规模的珊瑚礁、红树林、滩涂等三大自然屏障构成的缓冲带是海塘堤坝抵御灾害的重要屏障。
- 启示之三，除了必须安置在临海的产业外，在离海岸线近的地方不宜设立规模产业和建造城市集镇、安置居民区和海景宾馆，宜建防风林、湿地、旅游设施。要为自然留下足够的空间。

58

清华大学研究生课程——《灾害学》

台风桑美

建国以来遭遇的最大台风，中心风速超过70m/s，造成浙江、福建两省数百人死亡



59

清华大学研究生课程——《灾害学》

台风桑美



60

