

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害

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

- 地质灾害的概念、类型及分布
- 火山地质灾害
- 滑坡地质灾害及其防治
- 崩塌地质灾害及其防治
- 泥石流地质灾害及其防治
- 地面沉降及其防治
- 岩土工程灾害

2

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害概论

- 地球、地质体、地质环境在发展演化过程中，由于各种自然作用和人类活动发生变化，其产生的后果给人类和社会造成灾害就称为**地质灾害**。

3

清华大学研究生课程——《灾害学》

广义、狭义地质灾害

- 广义地质灾害：
 - 任何成灾的地质活动都可以称为地质灾害
 - 火山、地震、土壤退化、煤层自燃……
- 狭义地质灾害
 - 主要与土木工程有关
 - 崩塌、滑坡、泥石流、地面沉陷、岩土工程

4

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害成因

- 地壳活动
 - 火山、地震
- 自然环境变化
 - 暴雨
- 人为活动
 - 不适当的岩土工程

5

清华大学研究生课程——《灾害学》

根据成因对地质灾害分类

- 自然动力型地质灾害
 - 内动力亚型
 - 地震、火山、地裂缝
 - 外动力亚型
 - 泥石流、滑坡、崩塌
- 人为动力型
 - 地面塌陷、水土流失
- 自然与人为动力复合型
 - 泥石流、滑坡

6

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的属性特征

- 地质灾害的**必然性、随机性和周期性**
 - 人类活动区域日益广泛，地壳活动始终不断，必然有各种地质灾害出现
 - 人类对地下活动认识有限，地质活动周期往往很长，部分地质灾害发生有随机性
 - 部分地质灾害成因比较清楚，对其周期性有较多的认识

7

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的属性特征

- 地质灾害的**突发性和渐进性**
 - 突然爆发的地质灾害
火山、地震、崩落、泥石流等
 - 渐进发展的地质灾害
土壤退化、地面沉降、煤层自燃等

8

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的属性特征

- 地质灾害的**群体性、多元性和复发性**
 - 地质灾害往往不是独立存在的，而是彼此相互影响，反复发作
 - 崩落、泥石流、滑坡、地裂缝往往同时发作
 - 滑坡多发区常常反复发作，例如，我国西部川藏公路沿线的古乡冰川泥石流，一年内发生70多次

9

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的属性特征

- 地质灾害的**区域性**
 - 地质灾害受地质体形态、自然环境和经济发展水平影响，有明显的区域性
 - 我国的地质灾害受我国“**南北分区、东西分带、交叉成网**”的区域性构造格局影响，有明显的区域性

10

清华大学研究生课程——《灾害学》

我国四个主要的地质灾害区域

- 以**地面沉降、地面塌陷和矿井突水**为主的东部地区
 - 成因：平原地形、经济发达、人口稠密
- 以**崩塌、滑坡和泥石流**为主的中部区
 - 成因：山峦起伏、地形复杂
- 以**冻融、泥石流**为主的青藏高原区
 - 成因：海拔高、温度低
- 以**荒漠化**为主的西部区
 - 成因：干旱少雨，自然环境恶劣

11

清华大学研究生课程——《灾害学》

人为地质灾害日趋严重

- 人类每年消耗**500亿吨**矿物质，地球每年只能新生成**300亿吨**岩石物质，河流每年只能搬运**165亿吨**物质
- 地面建筑高度超过**400m**，地下开挖超过**3000m**，最高人工边坡超过**600m**，最大水库容量超过**1500亿m³**，人类建筑面积已经覆盖了地表**6~8%**，中国目前有**8万**多个水库和水电站，**60000**多公里铁路，**500**多座大型煤矿
- 人类活动对自然界地质改造超过了流水、风力等自然作用

12

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的严重性

- 全国每年由于“崩、滑、流”灾害造成的死亡人员达到**928**人
- 全国共有较大型崩塌**3000**多处，滑坡**2000**多个，中小规模的“崩、滑、流”达到**40多万**处
- 全国有**350**多个县，**上万个**村庄，**100**余座大型工厂，**55**座大型矿山，**3000**多公里铁路受“崩、滑、流”威胁

13

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的严重性

- 全国除京、津、沪、豫、甘、宁、新以外的各省都发现岩溶塌陷灾害，总数近**3000**处，塌坑**3万**多个，塌陷面积**300**多平方公里
- 黑龙江、山西、安徽、江苏、山东等省为矿山采空塌陷严重发育区，全国共发生矿山采空塌陷**180**处以上，塌陷坑**1595**个，塌陷面积达**1000**多平方公里

14

清华大学研究生课程——《灾害学》

地质灾害的严重性

- 我国已有上海、天津、江苏、浙江、陕西等**16**个省市的**46**个城市出现地面沉降问题。
- 陕西、山西、河北、山东、广东、河南等**17**个省出现**400**多处，共**1000**多条地裂缝
- 全国荒漠化面积达**262万**平方公里，水土流失面积超过**180万**平方公里

15

清华大学研究生课程——《灾害学》

15种主要地质灾害的直接经济损失

表 2-3 15种主要地质灾害直接经济损失统计表 (假设水价等, 1993)

损失分类	灾害类型	年均经济损失/亿元
直接破坏现有设施(I)	崩塌、滑坡、泥石流	36.0
	地面塌陷	4.39
	地面沉降	1.0
	地裂缝	0.4
	地震	10.0
造成社会产值减少(II)	瓦斯爆炸	0.1
	坑道突水	3.0
	冷浸田地	30.0
破坏环境, 损失资源(III)	土地盐渍化	25.0
	水土流失	45.0
	煤层自燃	96.0
IV*	海水入侵	8.0
合计		274.0

16

清华大学研究生课程——《灾害学》

直接和间接经济损失比

- 崩塌、滑坡为**1:10**
- 泥石流为**1:5**
- 地面沉降为**1:3**

17

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山

- 在地球内动力作用下，地幔物质不断运动，岩浆顺着地壳裂隙或者薄弱地带喷发出地表，形成火山喷发
- 火山喷发是岩浆运动的一种形式，也是地球内能和热量释放的途径之一



18



清华大学研究生课程——《灾害学》

火山灾害

- 自公元1000年以来，全球已有几十万人直接或者间接死于火山灾害
- 目前全球有近1/10的人口生活在有潜在喷发危险的火山威胁下
- “国际减轻自然灾害十年”把减轻火山喷发造成的灾害列为一项主要内容

23

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山与火山活动

- 火山活动情况
 - 死火山，在人类历史中没有活动的
 - 休眠火山，在人类历史中有活动，近代不活动的
 - 活火山，仍在活动或者周期性活动的
- 爆炸式火山，中心喷发式火山
 - 菲律宾皮纳图博火山
- 宁静式火山，裂隙式火山
 - 夏威夷群岛火山

24

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发过程

- 爆炸式火山喷发
 - 首先喷出气体烟柱
 - 然后喷出大量围岩碎块和熔岩物质
 - 最后冒出炽热熔岩，并沿山坡向下流动
 - 喷发停止后还有残余气体喷出，温泉涌现
- 宁静式火山喷发
 - 很少喷出烟柱和碎屑
 - 只溢出炽热熔岩流

25

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发物

- 气体喷发物
 - 水、空气 60~90%
 - H_2S , SO_2 , CO_2
- 火山碎屑流
 - 大规模火山喷发期间沿火山侧面斜坡快速向下运动的炽热高速的火山碎屑物质
 - 可以从火山口流到100km以外，是最具有毁灭性的物质
- 火山碎屑物
 - 火山喷发出的岩石碎块，主要有火山灰，火山渣和火山弹
 - 可以散布到几百甚至上千公里以外

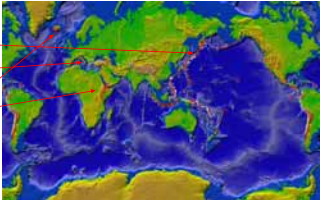


26

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山的空间分布

- 全球火山分布
 - 环太平洋火山带
 - 地中海火山带
 - 大西洋海底火山带
 - 东非火山带
- 我国火山分布
 - 东北环蒙古高原区域，五大连池火山群
 - 西南青藏高原区域，云南腾冲火山群
 - 东部环太平洋西岸区域



27

清华大学研究生课程——《灾害学》

五大连池火山

- 老黑山最后喷发形成时间为1719-1721年，是我国最新的火山之一。它是由早晚两个火山锥体套迭而成。南坡陡，北坡缓，状如马蹄。火山锥体最高点在南侧，海拔高度为515.9m，相对高度为165.9m，基座直径1300m。锥体的上部为漏斗状火山口，直径350m，深度145m。在锥体的东侧还有一个直径80m，深20m的圆形爆裂火口。火山锥体由火山砂、砾、浮石、火山弹及集块岩、熔岩构成。在老黑山周围还有一些小火山锥。

28



清华大学

火山锥的西北侧有两条沟谷直达山麓，为后期岩浆溢出口，从溢出口溢出的岩流倾泄而下，如黑色“巨龙”奔向远方。向南流动最远达12km，向北达5km。熔岩面积约60km²




清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发的灾害效应

- 人类出现后最严重的一次火山灾害
- 7.1万年前，苏门达腊岛上的多巴火山喷发，估计向大气层喷发了800km³的火山灰，北半球1/3的区域持续几个星期笼罩在黑暗当中
- 造成长达6年的冬季效应，夏季温度降低6.1度，导致近千年的冰期，北半球有3/4的植物死亡

33

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

火山灾害

- 原生灾害
 - 熔岩流灾害
 - 碎屑流灾害
 - 喷发物降落
 - 毒气灾害
 - 地震灾害
- 次生灾害
 - 气候灾害
 - 滑坡和泥石流
 - 洪水
 - 海啸
 - 饥荒

34

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

火山熔岩流灾害

- 粘度大，流动速度慢
 - 1783年冰岛Laki火山喷发，熔岩流出超过60km，覆盖面积达565km²，漫过14个村庄，重创30个，导致饥荒使当时冰岛22%的人口死亡。
 - 1944年墨西哥库廷火山摧毁一座城市，500余人葬生熔岩流

35

清华大学 清华大学研究生课程——《灾害学》

火山碎屑流灾害

- 运动速度快，距离长，火山喷发最具毁灭性的形式，占20世纪火山死亡总人数的70%
 - 维苏威火山喷发，将下游10km处的庞培城掩埋达3m，死亡人数约4000人，庞培城在历史上消失了1600多年后才被人发现
 - 1902年加勒比Pelee火山喷发，以160km/h时速掩埋了St. Pierre市，死亡29000人

36

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发物降落灾害

- 大量火山碎屑和火山灰喷到空中后降落，掩埋地面建筑、森林和动植物
 - 1902年危地马拉圣玛利亚火山喷发，降落火山灰厚度达到200mm，压倒很多房屋，造成6000人死亡
 - 1991年菲律宾皮纳图博火山周围30km范围内的农田都被火山灰覆盖，约100万人生活受到影响

37

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山地震灾害和有毒气体灾害

- 1991年菲律宾皮纳图博火山喷发引起4次较强烈地震，导致建筑物损坏
- 火山喷发气体含有大量CO, HCl, HF, H₂S
 - 1986年喀麦隆Nyos湖火山喷出的气体，厚度约50m，运动速度达到72km/h，扩展了25km，覆盖了4个村庄，导致1740人、8300头牲畜窒息死亡，鸟类、昆虫等所有动物无一幸免

38

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发导致气候灾害

- 火山喷发出的火山灰阻挡阳光
- 火山喷发的二氧化碳导致温室效应
 - 1815年印尼坦博拉火山喷发，周围500km连续三昼夜未见阳光，次年全球没有夏天，平均气温下降1度，农作物大量减产
 - 1991年菲律宾皮纳图博火山喷发引起全球连续两年气候明显变冷，并可能导致我国1991年大面积洪涝灾害

39

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山滑坡和泥石流

- 火山喷出物加重斜坡荷载，融化积雪，导致滑坡和泥石流
 - 1919年爪哇Kelut火山喷发，引起泥石流，摧毁130km²农田，死亡5500人
 - 1822年Galunggung火山泥石流死亡4000人
 - 1856年阿乌火山泥石流死亡3000人
 - 1985年哥伦比亚Nevado del Ruiz火山融化山顶积雪，导致泥石流，摧毁了距离火山口74km的Armero城，22000人在几分钟内死亡

40

清华大学研究生课程——《灾害学》

洪水和海啸

- 1991年菲律宾皮纳图博火山喷发火山喷出物质堵塞多个主要河道，导致河流改道，引起严重洪水
- 1883年印尼Krakatau火山喷发，不但喷出6km³的岩浆，还把直径8km的火山口炸到海里，激起3次大海啸，最大海浪超出海面40m，把一条船冲到内陆2.5km的地方，淹死36417人，摧毁165个村庄

41

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山活动的监测

- 火山活动检测始于20世纪初，美国、日本、意大利等多火山国家均已建立火山监测站
- 监测手段：
 - 地震，岩浆运动引发地震
 火山喷发前会有一个持续20分钟左右0.5~10赫兹的颤动，大爆发前地震活动达到极点。

42

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山活动的监测

- 监测手段：
 - 地表变形，岩浆运动引起地表变形
1980年美国圣海伦斯火山喷发前山体抬高了150m，肉眼可见火山膨胀
 - 地热测量
1965年菲律宾Taal火山喷发，火山口湖6月水温33度，7月上升到45度，9月猛烈喷发

43

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山活动的监测

- 监测手段：
 - 地电测量，岩浆引起地面导电性变化
 - 地磁测量，岩浆引起岩石磁场强度变化
 - 化学物质测量，监测火山口气体化学成分变化
1986年日本伊豆大岛火山喷发前观察到CO₂，H₂S和SO₂的显著变化

44

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发预报

- 确定危险性火山
 - 联合国教科文组织在全球确定了89座高危险性火山，其中42座在东南亚和西太平洋，40座在美洲和加勒比地区，7座在欧洲和非洲
- 确定火山历史上的喷发样式，火山喷发周期

45

清华大学研究生课程——《灾害学》

火山喷发的误报

- 1976年Guadaloupe岛上Lasoufriere火山异常活动了一年，包括地震、气爆和降尘，科学家预测该火山可能会大爆发，紧急疏散了7.2万人。但是却始终没有喷发，该岛经济损失惨重
- 1983年联合国未将哥伦比亚Nevado del Ruiz火山列为高危险性火山，两年后该火山喷发，死亡22000多人

46

清华大学研究生课程——《灾害学》

减轻火山灾害的工程措施

- 阻隔熔岩流
 - 爆破法，在火山口上炸个缺口，让熔岩流向无害区域
 - 筑堤法，适用于粘度小，冲撞力小的熔岩流
 - 喷水冷却法，1973年冰岛连续150天喷水冷却了每天6 × 10⁴m³的熔岩，保护了城市
- 阻断火山泥石流
 - 1919年爪哇Kelut火山喷发使火山口湖溢出，形成泥石流导致5000人死亡。后来采用隧道排去火山口湖里的水，1951年再度喷发就没有形成泥石流

47