

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》

## 泥石流灾害

- 泥石流为山区特有的突发性地质灾害
- 包含大量泥沙石块和巨砾的固液两相流体，呈粘性层流或稀性紊流等运动状态
- 是地质、地貌、水文、气象、植被等自然因素和人为因素综合作用的结果

3

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的基本特征

- 泥石流具有土体的结构性，即具有一定的抗剪强度
- 泥石流具有水体的流动性，即泥石流和沟床面之间没有截然的破裂面
- 泥石流一般发生在山地沟谷中，具有较大的流动性

4

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国中部地区泥石流强度分布

5

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害

- 对居民点的危害
  - 泥石流最常见的危害之一是冲进居民点，淹没人畜，毁坏土地，甚至造成村毁人亡的灾难

6

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害

- 对铁路、公路和航道的危害
  - 全国铁路运营历程共5万余公里，其中3万余公里位于山区。
  - 铁路沿线有泥石流1386条，威胁着3000多公里铁路线的安全
  - 成昆、宝成、陇海、兰青、大秦等线都是泥石流灾害较集中的地区

7

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害

- 对铁路、公路和航道的危害
  - 建国后累积发生泥石流灾难1200多起
  - 造成铁路被毁，中断行车的达300起
  - 出轨和颠覆事故10起
  - 100人伤亡的特大事故2起
  - 车站被埋41次（33个）
  - 每年修复改造费用高达7000余万

8

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害

- 对铁路、公路和航道的危害
  - 川藏、滇藏、川滇、甘川、川陕公路以及中尼公路，中巴公路均穿越泥石流发生的山区
  - 川藏公路沿线有泥石流近千条，几乎1/3以上路段以泥石流灾害为主
  - 冰川泥石流
  - 暴雨泥石流
  - 山崩、滑坡、冰崩、雪崩、冰湖溃决

9

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害

- 对铁路、公路和航道的危害
  - 直接影响：流入河道，阻塞航道或者形成险滩
  - 间接影响：增加河流含沙量，加速航道淤积
  - 金沙江沿线有500多条泥石流，形成大小不等的急流险滩而且常常会填江断流

10

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害

- 对农田、矿山危害
  - 泥石流对农田的危害主要有冲刷危害和淤埋危害
  - 扩大沟谷、掩埋耕地、水土流失
  - 摧毁矿山，淤埋坑道

11

清华大学研究生课程——《灾害学》



12





清华大学研究生课程——《灾害学》

### 泥石流灾害实例

- 1921年7月8日，原苏联小阿尔马卡河发生泥石流，造成阿拉木图市死亡**500多人**
- 1970年5月31日，秘鲁瓦斯卡兰雪崩堵河溃决型泥石流，造成荣盖城死亡**18000人**，毁埋该城
- 1963年10月9日，意大利滑坡引起水库溃坝型泥石流，死亡**2125人**
- 1999年底，委内瑞拉连续两个星期的大雨使得土壤的水分过于饱和，巴尔加斯州阿维拉山成千上万吨的泥石倾泻而下，冲毁城镇，造成大约**1万5千人**死亡，直接经济损失将近**20亿美元**

22

清华大学研究生课程——《灾害学》

### 泥石流灾害实例

- 1985年11月14日，哥伦比亚一火山喷发引起冰山融化，导致巨大泥石流。东侧泥石流覆盖了**3万km<sup>2</sup>**地区，吞没了赫尔梅罗城镇，死亡人数达到**20000人**，另有**10000人**受伤，西侧泥石流到达钦契拉，**2000人**失踪，**5603人**受伤，总损失**4亿美元**

23

清华大学研究生课程——《灾害学》

### 我国泥石流灾害实例

- 1891年，四川西昌，**近千人**死亡
- 1954年，西藏桑旺冰湖溃决导致泥石流，死亡**407人**

24

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国泥石流灾害实例

- 云南小江流域
  - 蒋家沟1919~1968年，7次堵断小江，淹没农田万亩
  - 1984年，死亡117人，伤37人，冲毁建筑4.5万m<sup>2</sup>，大小牲畜360头，农田500多亩，经济损失11000多万元
  - 1985年，冲毁和淤埋铁路桥6座，隧洞4座，毁坏路基12处，中断铁路行车6个月，小江水位上升10米，切断公路运输3个月

25

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国泥石流灾害实例

(3) 1981年7月9日，四川甘洛利子依达沟暴发泥石流，造成了成昆铁路桥毁车翻的严重事故。泥石流历时约1h，流速10m/s，流量为2000m<sup>3</sup>/s，冲入大渡河的固体物质达数10万m<sup>3</sup>，堵断江流数小时。泥石流冲毁了成都端桥台，毁坏桥墩和大梁，摧毁河对岸800m公路。当天凌晨1时46分，由格里平至成都的442次客车，不幸在桥位处遭遇泥石流，两辆机车、一节邮政车、一节客车及一批旅客、一起被泥石流推入奔腾咆哮的大渡河中，死亡275人，受伤数十人，酿成了我国铁路史上罕见的泥石流灾难事故。这次泥石流还造成了很大的次生灾害。当泥石流冲出口，毁桥覆车之后，再冲过大渡河，直捣对岸。在几分钟之内就将宽达120m、最深达13m的汹涌澎湃的大渡河拦腰截断，河水断流达4h之久。堵河沙石坝体约为29万m<sup>3</sup>，最大坝高达26m，上游积水5km，淹没沿河低地及工矿设施，冲毁沿河公路830m，阻断公路交通半年之久。由于大量沙石倾入大渡河，造成下游河道阻塞，形成险滩，并使下游龚嘴电站蓄水水库泥沙淤积，经济损失惨重，为我国泥石流毁坏交通铁路的一次最严重的灾难。

26

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国泥石流灾害实例

(4) 1981年7月11日0时30分，在我国西藏边境次仁玛错冰湖溃决，暴发泥石流，使中国一尼泊尔公路工程和其他设施造成严重破坏。次仁玛错冰川位于西藏樟木口岸境内，冰湖与冰川唇舌相接，冰川崩裂后，约700万m<sup>3</sup>的冰体滑入冰湖，引起泥石流暴发。泥石流冲出章藏布沟口，越过沟谷直捣对岸有20多户人家的曲乡，使部分民房和水电站被毁。泥石流冲入波曲直泻而下，引起两岸坍塌滑坡，有的滑坡垂直落差达400m。在友谊桥附近泥石流“龙头”高达25m，一座跨度20m的钢筋混凝土桥被埋，大桥附近的建筑物被摧毁；江岸附近约6000m路基被冲毁，变成主河道，约1000m公路路面被毁，死亡200人。

27

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国泥石流灾害实例

(5) 1981年，暴雨引起宝成铁路和陇海铁路宝天段暴发泥石流，造成了我国铁路史上最大规模的泥石流灾害之一。宝成线淤埋车站5座，50余处受灾，中断行车达2个月之久。宝天段的泥石流泛滥，造成几处断道，总淤积量达1.3万m<sup>3</sup>以上。这次泥石流造成的经济损失没有确切的资料，仅灾后后的修复改造费就达14亿元。

(6) 1984年7月下旬和8月上旬，甘肃省武都城区连降大雨。8月3日，武都城区暴发了北峪河泥石流、东江水沟泥石流、北山诸沟（共9条沟）、灰崖子和钟楼滩诸沟（共11条沟）泥石流也同时暴发，泥水横溢，洪积堆比比皆是。泥石流淤埋公路、淹埋房屋、冲毁河堤和田地、汇入白龙江，引发了近50年一遇的洪水。这是解放以来武都地区最大的一次灾害。该年泥石流共发生400多处，有8处泥石流堵断白龙江，使1.9万户、9.3万人受灾，毁房4.3万间，冲淹农田14.5万亩，死亡31人，伤182人，直接经济损失5000余万元。

28

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国泥石流灾害实例

(7) 1991年安徽省遭受罕见的特大洪涝灾害，位于安徽境内的大别山腹地的岳西县从5月18日开始一直持续到7月15日的长时期的连阴雨，加上暴雨频繁，共出现12次50mm以上的降水，出现了大暴雨和特大暴雨，部分地区6h降水量达130mm以上，致使山洪暴发，伴随着罕见的泥石流。这次泥石流使全县国民经济总损失达3.1亿元。

(8) 解放以来，北京地区泥石流灾难频繁（见表20-1），如1950年北京西山清水河流域的许多支流，普遍爆发泥石流，冲毁耕地2万多亩，倒塌房屋829间，死亡84人。

29

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 我国泥石流灾害实例

表 20-1 解放以来北京地区主要泥石流灾难统计表

时 间	受灾地点	死亡数/人	毁房数/间
1950.8	门头沟区	84	829
1958.8	平谷县	12	
1969.8	怀柔县	88	169
1969.8	密云县	59	150
1972.7	怀柔县	39	944
1972.7	延庆县	13	271
1976.7	密云县	104	2200
1977.7	密云县	8	32
1977.8	房山县	2	3
1982.8	密云县	13	42

30

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的分类

- 按物质组成分类
  - 由大量粘性土和粒径不等的砂粒、石块组成的叫**泥石流**
  - 以粘性土为主，含少量砂粒、石块，粘度大的叫**泥流**
  - 由水和大小不等的砂粒、石块组成的叫**水石流**

31

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的分类

- 按物质状态分类
- 粘性泥石流
  - 粘性大
  - 稠度大，石块处于悬浮状态
- 稀性泥石流
  - 分散性大
  - 石块以滚动或跃移方式运动

32

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的分类

- 冰川泥石流，降雨泥石流
- 沟谷型泥石流，山坡型泥石流
- 大型、中型、小型泥石流
- 发展期泥石流、旺盛期泥石流、衰退期泥石流

33

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流形成的条件

- 陡峭的，便于集水、堆积物的地形地貌。
- 丰富的松散物质
- 短时间内有大量水源

34

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 地形地貌特征

- 山高沟深、地势陡峭、沟床纵坡大、流域便于形成水流汇集
- 形成区，流通区和堆积区
- 三面环山、一面出口的瓢状或漏斗状、地形比较开阔、周围山高坡陡、植被生长不良，有利于水和碎散物质集中

35

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 地形地貌特征

- 中游地区为狭窄陡深的峡谷，谷床纵坡降大，使得泥石流可以迅猛直泻
- 下游为开阔的平原和河谷，使碎屑有堆积场所

36



清华大学研究生课程——《灾害学》

## 松散物质来源

- 泥石流常常发生在地质构造复杂、断裂褶皱发育、新构造活动强烈、地震烈度较高的地区
- 破碎的岩层提供丰富的松散物质
- 矿石弃渣

37

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 水源条件

- 既是泥石流的组成部分，又是泥石流的重要激发条件和搬运介质
- 暴雨
- 冰雪融水
- 水库溃决

38

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 人为因素

- 破坏植被
  - 毁林
  - 开荒和陡坡耕作
  - 过渡放牧
- 水库溃决
- 不合理的铁路、公路、水渠工程
- 不合理的弃土、弃渣、采石

39

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 东川正好处于一个叫小江深大断裂带的地质断层上，所以这里地震频繁发生，岩层受到水平方向和垂直方向两种地质运动的反复挤压，岩石的强度大大降低，山体表面堆满了破碎和风化的岩石，这些都是产生泥石流的原材料。象世界上许多其他的地质断层一样，从这里地面上随处可见的地裂缝也可以想象得到小江地区地质断层的活动十分活跃。

40

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 在群峦叠嶂的小江流域，巨大的山峰高耸入云，与深深下切的河谷形成了几千米的落差。这里山势陡峭，山坡上不时地有石块滚落山谷。如果遇到暴雨，山石很容易在雨水的冲刷下冲下陡坡，形成泥石流。这样的乱石陡坡是形成泥石流的典型地貌。

41

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 小江深大断裂分成两支。东川刚好是两支的交汇口，地质构造也比较活跃一些，造成这个地区岩层异常破碎，几乎没有一块完整的岩石，这样的话就为泥石流形成提供了丰富的物质条件。
- 可以说蒋家沟里面的固体物质是无限丰富，所以只要有暴雨的话，就有泥石流产生。蒋家沟泥石流暴发的频率相当高，平均每年15次左右，最高的一年是28场。

42

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 降雨是发生泥石流的另一个关键因素。
- 小江地区的气候非常独特。这里地处亚热带季风气候区，所以有十分明显的干湿两个季节。每年的6月到9月是这里的雨季，降雨量占到了年降水总量的80%以上。由于山势险峻，空气对流十分强烈，丰富的水汽使得降雨的强度也很大。

43

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 由于地形关系，小江地区的暴雨大都集中在海拔2000米到3000米之间，正好落在山势陡峭的泥石流形成区。更为特殊的是，这里经常出现范围很小而强度很高的点暴雨。这样的高强度降雨落在岩石松散的陡坡上，就很容易引起泥石流。正所谓“万事齐备，只待暴雨”。

44

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 泥石流的发生要具备三个基本条件
  - 第一是要有大量破碎的岩石
  - 第二这些破碎的岩石要堆积在陡峭的山地上
  - 第三还要有频繁的暴雨
- 所有这些条件东川全部具备，所以自然条件决定了小江这个地方，泥石流是必然要发生的。事实上，远在几十万年前，这里就发生过无数次自然泥石流。现在的东川就建立在古泥石流的冲积扇上。

45

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 云南小江流域泥石流

- 东川自古以来，就以产铜而著称全国。到了清朝中叶，东川铜就已经成为朝廷铸造货币的主要原料，东川的人口也随之逐渐增加。虽然现在炼铜方法完全不同，但是东川仍然是我国重要的铜都。古老的炼铜方法对木炭的需求量极大，每炼铜100斤，要用木炭1000斤，而烧出1000斤木炭，又要砍伐10000斤林木。据专家推算，在清朝乾隆年间，每年要砍伐约10平方公里的森林，才能满足当时炼铜的需要。这样的砍伐速度，远远超过了森林的再生能力。

46

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流和滑坡、崩塌的关系

- 滑坡和崩塌的关系
  - 崩塌和滑坡往往一同发生
  - 崩塌可以转化为滑坡
  - 崩塌、滑坡在一定条件下可以相互诱发、相互转化

47

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流和滑坡、崩塌的关系

- 滑坡、崩塌和泥石流的关系
  - 地形地貌特性相似、泥石流还需要水源
  - 崩塌滑坡物质是泥石流的重要固体物质来源
  - 泥石流和崩塌、滑坡有着很多相似的促发因素

48



清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治

- 由于泥石流危害极大，影响范围很广，因此其防治措施也就相对最为复杂
- 防治原则
  - 全面规划，突出重点
  - 工程措施和生物措施相结合
  - 分清类别，因害设防
  - 因地制宜，合理设计

49

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 全面规划

- 泥石流治理需上、中、下游全面规划，各段各有侧重
- 上游地区主要通过**植树造林**，**修筑水库**以减少水量，削减洪峰，抑止形成泥石流的水动力
- 中游地区修建拦**沙坝**、**护坡**、**挡土墙**等固定沟床，稳定边坡，减少松散土体的来源
- 下游地区修建**排导沟**、**急流槽**和**停淤场**，以控制灾害的蔓延

50

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 工程措施和生物措施相结合

- 工程措施见效快，但是超过使用年限和超过使用标准时，会失效甚至破坏
- 生物措施见效慢但长期效益好。
- **短期以工程措施为主**，稳定边坡，促进林木生长
- **长远应以生物措施为主**，恢复生态平衡

51

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 分清类别

- 土力类泥石流应以**治土**、**治山**为主。采取阻挡工程、固床工程和水土保持措施来稳定山坡，消除或者减少松散土体的来源。
- 水力类泥石流应以**治水**为主，采取引水、蓄水工程和水源涵养林来调节径流，削减洪峰。

52

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 因地制宜

- 应根据泥石流的性质，形成过程，充淤规律，流态特征和冲击过程设计治理措施
- 例如稀性泥石流导流槽必须采用石护堤面，粘性泥石流则可以采用土堤

53

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治措施

- **跨越措施**
  - 桥梁、涵洞，跨越泥石流
- **穿越措施**
  - 隧道、明洞，穿过泥石流
- **防护措施**
  - 护堤，挡墙，抵御或消除泥石流的冲刷
- **排导措施**
  - 导流堤，改变泥石流走势
- **阻挡措施**
  - 拦沙坝，控制泥石流的土源和水源
- **生物措施**
  - 营造森林，保护草坡，防止泥石流发育

54

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的工程防治措施

- 治水工程
  - 蓄水工程，排水工程，截水工程，防御集中融化
- 治土工程
  - 挡土墙，护坡，护岸，改变坡度
- 排导工程
  - 导流堤，排导沟，渡槽
- 停淤工程
  - 停淤场，拦泥库

55

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的生物防治措施

- 林业措施
  - 水源涵养林，水土保持林，护床防冲林，护堤固滩林
- 农业措施
  - 水改旱，坡改梯，选择作物
- 牧业措施
  - 保护草场，适度放养，改良牧草

56

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



57

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



59

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



60

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



61

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



62

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



63

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



64

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流的防治



65

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害的灾情评估

- 以东川泥石流为例，介绍泥石流灾害的灾情评价。
- 受灾地区情况调查
- 东川市市区主要泥石流
  - 石羊沟
  - 尼拉姑沟
  - 深沟

66

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流历史活动统计

- 根据历史上小江流域55个泥石流的活动规律，建立泥石流堆积规模的的预测模型
- $L=0.7523+0.0060A+0.1261H+0.0607D-0.0192G$
- $B=0.2331-0.0091A+0.1960H+0.0983D+0.0048G$
- $R=47.8296+8.8876H-1.3085D$
- A：泥石流流域面积；H：相对高差；D：主沟长度；G：平均坡度
- L：堆积扇的最大长度；B：堆积扇的最大宽度；R：堆积扇的最大幅角

67

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 危险性指数

- $W=a(W_{L1}W_{\alpha1}+W_{L2}W_{\alpha2}+W_{L3}W_{\alpha3})$
- $W_L$ 与距离有关的安全性系数

距离/m	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600	1600-1800	>1800
$W_L$	1.00	0.80	0.65	0.52	0.40	0.30	0.21	0.13	0.05	0

- $W_{\alpha}$ 与角度有关的安全性系数

角度	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-35	>35
$W_{\alpha}$	1.00	0.70	0.45	0.25	0.10	0.05	0

68

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 危险性评价步骤

- 绘制东川泥石流分布图
- 根据灾害分布情况，确定评价区范围，以 $200 \times 200m^2$ 为单位，划分为165个评价单元
- 在成灾分析基础上，建立危险性评价指标、评价模型及危险性指数计算表
- 评价各个泥石流沟活动程度及泛滥堆积面积
- 以危险性指数为指标，绘制危险性分布图
- 对评价结果进行综合分析

69

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害的易损性评价

- 易损性指标
- $Y=a(Y_j+Y_s+Y_t)$
- Y：易损性指数
- $Y_j$ ：建筑资产密度
- $Y_s$ ：室内财产密度
- $Y_t$ ：土地价值密度

70

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流灾害易损性评价步骤

- 采用与危险性评价相同的方法，划分评价单元
- 在有关部门协助下，进行资产调查和土地价值核算
- 根据易损性评价模型计算各单元易损性指数，绘制易损性分布图

71

清华大学研究生课程——《灾害学》

## 泥石流危害强度评价

- 危害强度
- $P=W \cdot Y$
- P 危害强度指数
- W 危险性指数
- Y 易损性指数

72

清华大学研究生课程——《灾害学》

### 泥石流灾害损失预测与防治工程评价

- 预测未来泥石流灾害损失
- $S_y = S_x(1+\Delta W)^{an}(1+\Delta Y)^{bn}(1-F)$
- $S_y$  预测损失水平
- $S_x$  现状损失水平
- $\Delta W$  泥石流危险水平增衰系数
- $\Delta Y$  泥石流易损水平增衰系数
- $n$  年份
- $a, b$  修正系数
- $F$  泥石流防治力度

73

清华大学研究生课程——《灾害学》

### 无防治情况下泥石流损失水平预测

- 泥石流危险水平：基本保持不变  $\Delta W=0$
- 国民经济增速为10%，考虑资产折旧， $\Delta Y=7\%$
- 根据历史分析，取 $b=0.5$
- $S_y = S_x(1.07)^{0.5n}$
- 估计2000-2040年合计损失4.0亿元
- 如果能投资2450万元防治泥石流，使得泥石流灾害减少90%，则投入产出比为1:15

74