

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》

斜坡地质灾害

- 体积巨大的表层物质在重力作用下沿斜坡发生向下运动，形成灾害。
- 主要形式：
 - 滑坡
 - 崩塌
 - 泥石流

3

清华大学研究生课程——《灾害学》

导致斜坡灾害的原因

- 人类活动区域增大，大量在山地、丘陵开发，增大斜坡变形规模，诱发斜坡灾害。
- 筑路、修建水库、采矿等大规模工程活动是触发和加速斜坡产生运动的重要因素之一。

4

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害类型

- 斜坡物质的快速失稳，结果导致相对整体的土体或岩块向坡下运动
- 岩土与水的混合物向坡下的运动

5

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害规模分类

| 类型 | 变形方量(万) | | | 死人(人) | | | 直接经济损失(万元) | | |
|-----|---------|---------|-----|-------|------|-----|------------|--------|-----|
| | 特大 | 较大 | 中、小 | 特大 | 较大 | 中、小 | 特大 | 较大 | 中、小 |
| 崩塌 | >100 | 1~100 | <1 | >10 | 1~10 | 0 | >100 | 10~100 | <10 |
| 滑坡 | >1000 | 10~1000 | <10 | >10 | 1~10 | 0 | >100 | 10~100 | <10 |
| 泥石流 | >100 | 1~100 | <1 | >10 | 1~10 | 0 | >100 | 10~100 | <10 |

6

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 地形地貌
- 地质构造与新构造活动
- 地层岩性与岩体结构特性
- 地下水
- 暴雨和连续降雨
- 人类活动

7

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 地形地貌
 - 边坡的高度、坡度
 - 山体稳定性，长江、黄河上游山体稳定性差，山体切割深度超过1000米，坡度超过30度~60度甚至直立，崩塌、滑坡灾害发育非常严重
 - 中国西南，西北地区中高山区和大江大河两侧沟谷纵坡降较大，易发生泥石流

8

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 地质构造与新构造活动
 - 地层的断裂构造，断裂的性质，破碎带宽度，节理裂隙的发育程度及其组合特性。岩体越破碎，断裂越发育，山体稳定性越差，滑坡灾害越容易发生
 - 新构造活动、地震。
 - 1970年秘鲁地震诱发Huasacaran山向下滑动3.5km，摧毁两个村庄，造成2万人死亡

9

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 地层岩性与岩体结构特性
 - 岩体构造破碎、层状、散体
 - 有薄弱面，岩体沿着断层或者薄弱面成层装滑动
 - 存在透水和不透水的地下夹层，或者滑坡体底部有隔水的基岩下垫层。成为滑坡体的滑床

10

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 地下水
 - 软化岩石裂隙抗剪强度
 - 增加滑坡体重量
 - 软化土体强度
 - 空隙水压力降低有效应力
 - 降低摩擦阻力，类似于雨天汽车轮胎在路面上“浮起”的效果

11

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 暴雨和连续降雨
 - 诱发斜坡灾害的主要因素
 - 大量雨水深入地下引起地下水的动态变化，直接诱发斜坡灾害
 - 1982年7月中下旬重庆云阳等县降雨高达600~700mm，最大单次降雨量达到350~420mm，最大日降雨量283mm，诱发了数万处大小不等的滑坡

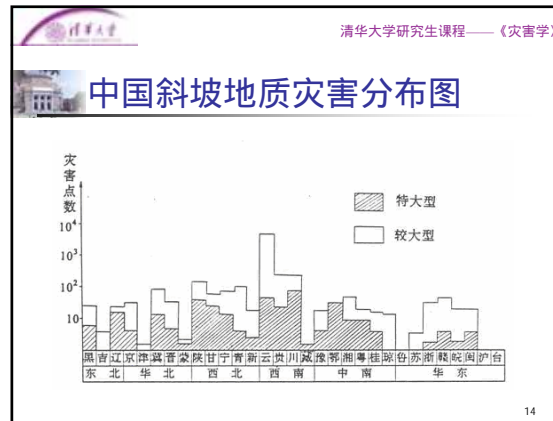
12

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的影响因素

- 人类活动
 - 破坏森林植被
 - 开挖坡脚，切断岩层原始构造
 - 诱发地下渗水
 - 堆砌尾渣矿渣
 - 爆破

13



清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 全国共发育有特大型崩塌51处、滑坡140处、泥石流149处；较大型崩塌2984处以上、滑坡2212处以上、泥石流2277处以上；
- 仅据云南、辽宁、北京、河北、四川、甘肃6省(市)的初步统计，虽无确切记载但仍有迹可辩(多指遥感解译)的崩、滑、流灾害点就达41万处之多。

15

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 我国西部地区尤其是西南诸省区地处第一级台阶和第二级台阶，长期处于地壳上隆过程中，地壳活动强烈，地形切割陡峻，地质构造复杂，岩土体支离破碎
- 再加上西南地区降水量和强度较大、西北地区植被极不发育，因而崩、滑、流发育强烈，如云南、四川、贵州、陕西、青海、甘肃、宁夏等省区；

16

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 其他地区新构造运动一般相对较弱，其中华北、东北地区的降水量相对较小，中南、华东大部分地区植被发育较好，因此，这些地区的崩、滑、流发育强度一般不及西部地区。
- 全国范围除山东未发现危害较严重的崩、滑、流灾害点外，其余各地均有不同程度的发育，并造成一定的危害，其中四川、云南、陕西、宁夏、甘肃、贵州、湖北、辽宁、北京、河北、江西和福建等地的危害都相当严重。

17

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 在地域上，可基本划分为15个多发区，它们是：(1)横断山区、(2)黄土高原地区、(3)川北陕南地区、(4)川西北龙门山地区、(5)金沙江中下游地区、(6)川滇交界地区、(7)汉江安康~白河地区、(8)川东大巴山地区、(9)三峡地区、(10)黔西六盘水地区、(11)湘西地区、(12)赣西北地区、(13)赣东上饶地区、(14)北京北部怀柔~密云地区、(15)辽东岫岩~凤城地区。上述地区根据各省地质灾害区划统计面积占全国总面积的18.10%。

18

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 从规模上看，以滑坡的变形量为最大，泥石流次之，崩塌最小。
- 一般滑坡的方量都在10000m³以上，大于100,000m³的占相当的比例，其中也不乏体积在数千万m³至数亿m³的巨型滑坡，最大的甚至达10亿m³(云南富源县老厂大格煤矿)
- 规模较大的泥石流一般在数十至数百万m³，大于1千万m³的泥石流较为少见；
- 而崩塌绝大多数在百万m³以下。

19

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 不同地区崩、滑、流的发育规模有较大差别。
- 西部(西南、西北)地区的规模要远大于东部地区
- 一般在西部地区造成较严重危害的滑坡都在数十至数千万甚至数亿m³
- 而东部地区数千至数万m³的滑坡就能造成严重的危害，大于百万m³的非常少见；

20

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 东部地区崩塌规模同样远小于西部，一般在1万m³以下；虽然北京、辽宁等地经常发生泥石流灾害，但均为群发，单条泥石流的方量一般不大。
- 从灾害点分布密度上看，也是西部大于东部
- 西部不仅崩、滑、流多发区面积大，数量多，而且多发区内的崩、滑、流个体密度也大于东部
- 一般达30 - 100个 / km²，局部地区甚至达到1 - 2个 / km²(甘肃白龙江流域)
- 而东部地区多发区的密度一般在10 - 30个 / km²。

21

清华大学研究生课程——《灾害学》

中国斜坡地质灾害分布

- 从发生频度上看，还是西部大于东部、西部、尤其是西南地区几乎每年雨季都有大量的崩、滑、流出现(有些不在雨季时也出现)，洪水灾年则形成大爆发。
- 据云南省的研究，由于各种因素的共同作用，崩、滑、流还呈现了101 - 102、102 - 103、104 - 105年三种不同尺度的活跃周期。而东部地区则在一般年份较为安静，遇丰水年或人类工程活动的强烈扰动才发生崩、滑、流，频度远小于西部。
- 频度上的另一特点是南部大于北部。

22

清华大学研究生课程——《灾害学》

重大斜坡灾害累计成灾频次

70年代到80年代以来斜坡灾害有不断加剧的趋势

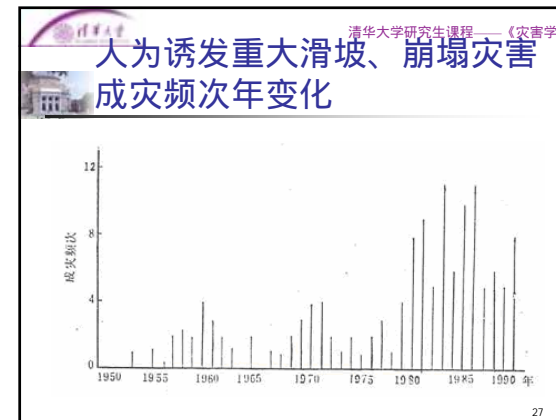
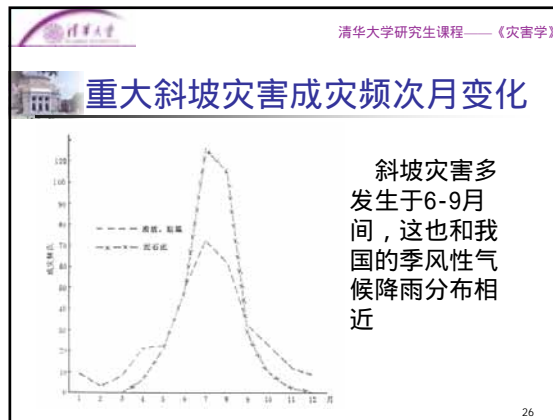
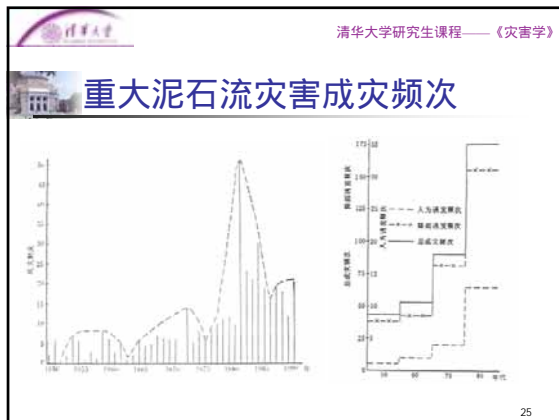
23

清华大学研究生课程——《灾害学》

重大滑坡、崩塌灾害成灾频次

70年代后人为诱发的地址灾害数量迅速上升

24

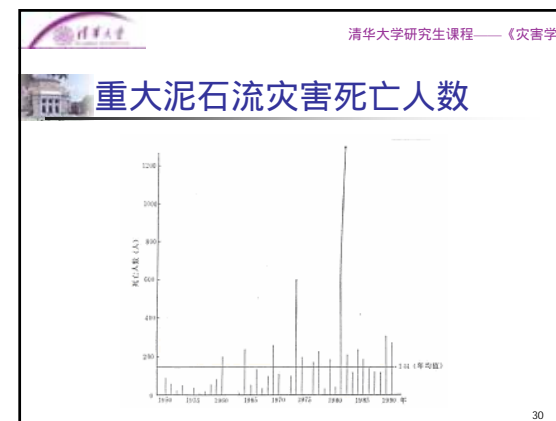
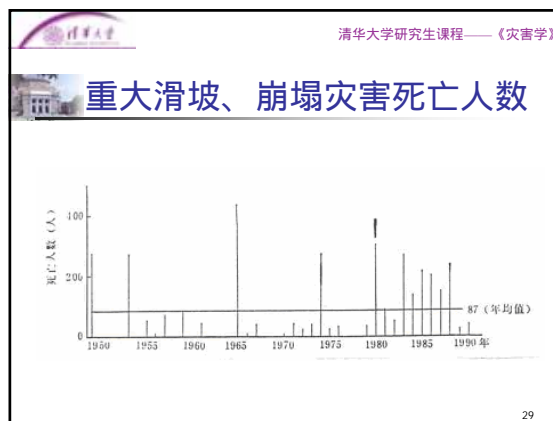


清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 据不完全统计，在1949年至1990年的42年中，崩、滑、流灾害至少造成9680人死亡，其中滑坡、崩塌灾害致死3635人，泥石流灾害致死6045人。42年中，平均每年每年死亡人数为231人
- 其中滑坡、崩塌灾害致死87人/年，泥石流灾害致死144人/年。
- 从时间顺序来看，死亡人数呈增长趋势

28



清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 近10年来，全国由于崩、滑、流造成有人员伤亡已近万人，平均每年达900多人
- 在三者中以泥石流造成的人员伤亡为最多
- 如辽宁复县(现为瓦房店市)、盖县。新金县(现为普兰店市)交界地带的老帽山地区，1981年7月27—28日爆发泥石流，16.36万人受灾，造成664人死亡，5058人受伤。
- 初步估计由泥石流造成人员伤亡要占崩、滑、流总数的一半左右。

31

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 滑坡造成的人员伤亡仅次于泥石流，一些规模巨大的滑坡常摧毁压整个或多个村庄、城市地区的多栋建筑
- 如1991年9月23日发生于云南省昭通市头寨沟的滑坡，总方量1800万m³，造成216人死亡，又如1989年四川华莹山溪口镇的滑坡型泥石流造成221人死亡。
- 由滑坡致死的人数约占崩、滑、流三者死亡总人数的1/3强。
- 由于崩塌一般规模较小，破坏面积不大，所以造成的人员伤亡较小。

32

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 崩、滑、流的频繁发生，摧毁了大量的城乡建筑设施、耕地、工厂矿山和交通干线。
- 据初步统计，全国有400多个市、县、区、镇受到崩、滑、流的严重侵害，其中频受滑坡、崩塌侵扰的市、镇60余个，频受泥石流侵扰的市、镇50余个，有些市、镇甚至受到3种灾害的共同侵扰，给当地人民生命财产造成极大的损失，严重阻碍了当地经济和社会发展。

33

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 较为典型的有重庆市(市区内滑坡129处，崩塌58处)、攀枝花(市区内滑坡50余处)、兰州(市区内有泥石流沟55条，至少造成了322人死亡和数千万元经济损失)、东川(泥石流)、安宁河谷(泥石流)等。

34

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 解放以来，全国至少有355个县的数千个乡村受到了崩、滑、流的严重危害，不仅使农民的生命财产受到了较大损失，而且破坏了大量耕地
- 仅据有统计数字的灾害点的统计，到1992年全国有9万公顷的耕地被破坏，而实际上被破坏的耕地面积要远大于此。

35

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 被崩、滑、流所摧毁的工厂和矿山也有相当数量，至1990年底，全国至少已有100余座大型工厂和55座大型矿山受到严重危害
- 如第二汽车制造厂厂区内有滑坡、崩塌270处，总方量750万m³，严重威胁了工厂的安全
- 天水锻压机床厂滑坡，摧毁了6个车间，使工厂丧失生产能力，直接经济损失2000余万元。

36

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 由采矿等人类工程活动所引发的崩、滑、流也非常普遍，反过来对人类工程设施构成严重的直接危害
- 如抚顺西露天矿自1927年以来已发生滑坡54次，最近4次发生在1987年4月18日~6月19日期间，引起毗邻的石油一厂出现重大险情，造成数亿元的经济损失。
- 采矿弃渣造成泥石流也非常普遍而且损失巨大，如四川盐井沟(死104人，1970年)、四川甘洛(死36人，1990年)、四川会理(死31人、伤29人，1990年)等均造成了重大的人员伤亡和经济损失。

37

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 全国几条山区干线铁路如宝成线、成昆线、宝兰线都受到了崩、滑、流的严重危害
- 如宝成铁路从50年代末至今，已出现了50年代末、80年代初(1981)两次大规模崩、滑、流爆发，不仅由于摧毁铁路、列车和运输中断给铁路部门造成严重的经济损失(仅1981年用于宝成线修复铁路的资金就达3亿元以上)，而且由于停运给川陕两省乃致全国所造成的经济损失就更无法统计

38

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 1992年5~6月间宝成线桑树梁处又连续发生大规模滑塌，累计中断行车28天，直接经济损失达数千万元
- 据统计，铁路沿线约有泥石流沟1368条，威胁着3000km长的铁路的安全，1949年以来，沿线共发生泥石流1200多次，平均每月用于铁路修复和改建和费用就高达7000万元。

39

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 崩、滑、流造成危害的大小，主要取决于变形方量、速度、破坏面积和当地地面设施密度等因素
- 一般规模较大的崩、滑、流常造成数百万乃至数千万元的直接经济损失，个别甚至达到数亿元
- 如
 - 1981年辽宁老帽山地区一次损失5亿元
 - 1991年北京北山泥石流一次损失2.65亿元
 - 1989年云南漫湾电站滑坡一次损失10亿元以上
 - 1986年四川高县文汇后山沟泥石流一次损失1.3亿元
 - 1988年四川宜宾大滩村滑坡一次损失2亿元等。

40

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 近10余年来全国共发生这类损失巨大的崩、滑、流330处以上，平均每处损失数千万元；
- 直接经济损失大于10万元的崩、滑、流超过7473处，平均每处直接经济损失近百万元；
- 直接经济损失在1-10万元的灾害点仅有记载的就达22817处；
- 直接损失在1万元以下的灾害点更多，仅据云南、北京、辽宁、四川、甘肃五省市统计就达41万余处，估计全国将以百万计，其直接经济损失亦非常可观。

41

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 由于崩、滑、流的发育强度、人口密度和国民经济发展程度在地域上差异很大，所以它们造成的危害在不同地区也有很大差别
- 在西部地区由于国民经济发展程度较低而崩、滑、流规模较大，所以危害以人员伤亡为主，尤其是西南地区人口密度大，更是如此。仅陕西、甘肃、宁夏、青海、云南、贵州、四川7省区年均死亡人数就达647.9人以上，约占全国的69.8%。

42

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的主要危害

- 而东部地区尽管由于灾害强度较小(规模或破坏面积较小),造成的人员伤亡数量较少,但由于经济发达程度较高,经济损失却与西部不相上下。也就是说,崩、滑、流在西部地区的危害以人员伤亡为主,而东部地区则以经济损失为主。

43

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的发展趋势

- 1949年以来,由于“大跃进”和“文革”的两次大规模砍伐,我国森林面积不断减少,植被不断破坏,尤其是80年代以来人类工程活动的加剧,加之森林植被还没有根本性好转,所以崩、滑、流发育强度越来越大
- 如辽东地区的泥石流1949年前仅发生了一次,而60、70年代分别爆发了2次,特别是80年代爆发了6次,而且强度越来越大,死伤人数越来越多,经济损失越来越重。

44

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的发展趋势

- 可以预计,由于森林、植被很难在短期内得到恢复,而人类工程扰动则越来越强,减灾、防灾意识还很难在短期内提高,所以崩、滑、流的发育规模和危害还将增大。

45

清华大学研究生课程——《灾害学》

斜坡灾害的发展趋势

- 东部地区在近期内(10—20年)由崩、滑、流所造成的经济损失还将迅速增长,人员伤亡也会有一定增加,到中远期(20年后),随着国民经济的发展,国民减灾防灾意识增强和投入的增加,崩、滑、流及其危害将基本稳定并逐渐减少
- 而中西部地区在近期内(5年)国民经济发展速度不及东部,所以崩、滑、流及其危害将在目前水平上缓慢增加,之后随着人类工程活动的加剧和国民经济密度的增加,由崩、滑、流造成的经济损失将有较大的增长。

46