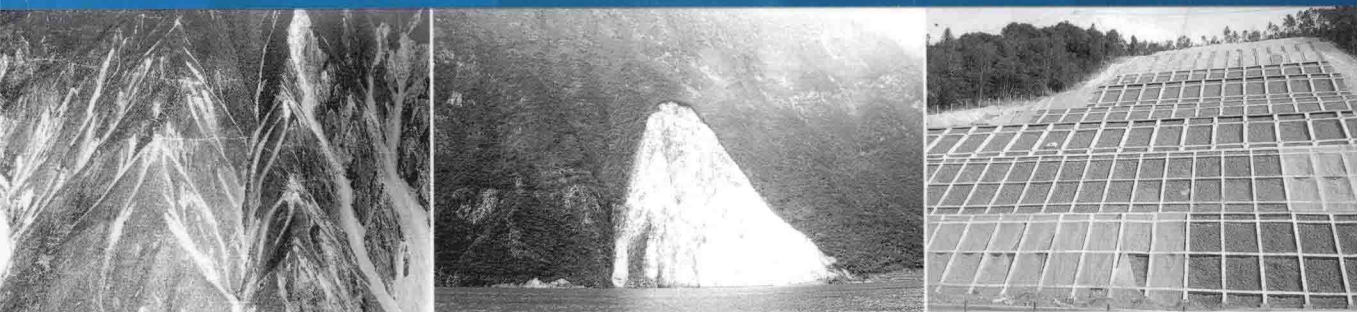


中煤科工集团西安研究院有限公司资助出版

HUAPU ZAIHAI YU
FANGZHI JISHU YANJIU

滑坡灾害 防治技术研究

吴璋 石智军 董书宁 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

中煤科工集团西安研究院有限公司资助出版

滑坡灾害与防治技术研究

HUAPU ZAIHAI YU FANGZHI JISHU YANJIU

吴 璋 石智军 董书宇 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

滑坡灾害与防治技术研究/吴璋,石智军,董书宁著. —武汉:中国地质大学出版社,2015.3
ISBN 978-7-5625-3546-1

- I. ①滑…
- II. ①吴…②石…③董…
- III. ①滑坡-灾害防治-研究
- IV. ①P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 063058 号

滑坡灾害与防治技术研究

吴璋 石智军 董书宁 著

责任编辑:王凤林

责任校对:周旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511 传 真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cug.edu.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:540 千字 印张:21

版次:2015 年 3 月第 1 版

印次:2015 年 3 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3546-1

定价:68.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

根据国土资源部的统计,2012 年全国共发生地质灾害 14 322 起,其中滑坡 10 888 起,在六大自然灾害中占到了 76.0%,与 2011 年(73%)和最近几年的数据比较可以发现,在地质灾害总起数下降的基础上滑坡灾害数量有所上升。由此可见,滑坡是我国地质灾害中最常见的灾害之一,其分布广、危害大,并且有逐年上升的趋势。滑坡灾害经常中断交通、堵塞河道、摧毁厂矿、破坏村庄和农田、造成人员伤亡和重大经济损失,是危害程度仅次于地震和洪水灾害的一种严重的自然灾害。从近几年的统计数据发现,2005 年以后我国的地质灾害有一个爆发式的增长,近几年也一直保持高发态势。

我国有占国土面积 2/3 以上的山地,在满足滑坡基本条件的地区,滑坡发生频率高,灾情严重,直接威胁人民生命财产安全,阻碍灾区经济发展,常常需要增加巨额投资来抵御滑坡可能造成的损失。据统计估算,我国每年因滑坡崩塌等各类地质灾害造成数千人伤亡,经济损失高达 270 亿元以上,是世界上少数几个滑坡灾害极为严重的国家之一。尤其随着近年来我国经济建设的快速发展,大规模的基础建设对古滑坡场地的利用和对原本稳定场地的人工改造,都造成了滑坡灾害数量和损失的大幅度增加。

本书共分为 4 篇。第一篇为滑坡灾害基础知识,介绍了滑坡的基本知识,包括了滑坡的概念、发育阶段、分类、勘测与调查、稳定性分析与评价、防治减灾理论和检测技术;第二篇为锚固工程技术研究,介绍了岩土锚固理论、预应力锚杆(索)的锚固机理、土层和岩层锚杆(索)锚固机理的实验研究、锚杆(索)的施工材料、锚杆(索)的设计、施工、试验及验收,结合笔者的研究,重点论述了在土层和岩层中对锚杆(索)锚固机理的试验研究和取得的最新研究成果;第三篇为微型桩防治滑坡技术研究,介绍了微型桩的发展历程和国内外研究现状,通过模型试验和现场工程试验,研究了微型桩防治滑坡的机理,总结提出了微型桩防治滑坡的被动锚固理论,并提出了计算方法、推导了计算公式,根据工程实践给出了微型桩防治滑坡的设计方法与流程,参考相关规范提出了微型桩防治滑坡的施工工艺与施工材料;第四篇为工程实例,结合前三篇的研究成果和笔者参与的工程实践,通过 8 个滑坡防治的工程实例,介绍了采用锚固工程和微型桩治理滑坡的成功案例,也对研究中提出的新理论、设计计算方法进行了验证。

对地质灾害尤其是滑坡灾害及其防治技术的研究,关乎人民群众的生命财产

安全和国民经济的平稳发展,也是以人为本发展理念的要求。本书即是从滑坡灾害的理论研究入手,总结了笔者近几年对滑坡治理技术的研究成果,期望对我国的滑坡灾害的理论研究和其防治工作起到一定的推动作用,作出一些应有的贡献。

本书在编写过程中,得到了中煤科工集团西安研究院有限公司等单位和同行的关怀与支持,尤其是得到了张晶同志的无私帮助,第二篇第 13 章的内容由其执笔编写,并对全书进行了校对,在此表示衷心的感谢。

由于笔者掌握资料和研究领域的局限性,书中难免有错误与不足之处,敬请批评指正、共同提高。

笔者

2014 年 11 月

目 录

第一篇 滑坡灾害基础知识

1 概 述	(3)
1.1 滑坡的概念	(3)
1.2 滑坡的发育阶段	(4)
1.3 滑坡的发育特征	(6)
1.4 滑坡与边坡的区别	(8)
1.5 滑坡与崩塌的区别	(9)
1.6 本章小结	(10)
2 边坡的分类	(11)
2.1 边坡分类的目的与原则	(11)
2.2 边坡的现有分类方法	(12)
2.3 边坡破坏综合工程分类	(17)
2.4 本章小结	(23)
3 滑坡发育条件	(24)
3.1 滑坡发育的内部条件	(24)
3.2 滑坡发育的外部条件	(27)
3.3 我国的主要滑坡类型及其特征	(29)
3.4 本章小结	(33)
4 滑坡调查及勘测	(34)
4.1 滑坡的识别	(34)
4.2 典型滑坡调查	(37)
4.3 滑坡勘察	(41)
4.4 本章小结	(47)
5 滑坡稳定性分析与评价	(48)
5.1 滑面力学参数选取	(48)
5.2 滑坡稳定性评价	(56)
5.3 滑坡推力计算	(66)

5.4 本章小结·····	(69)
6 滑坡减灾理论与防治技术 ·····	(70)
6.1 滑坡减灾理论·····	(70)
6.2 滑坡防治的原则·····	(71)
6.3 滑坡防治方法·····	(73)
6.4 本章小结·····	(83)
7 滑坡监测 ·····	(84)
7.1 滑坡监测的分类·····	(84)
7.2 人工监测·····	(85)
7.3 简易监测·····	(85)
7.4 专业监测·····	(86)
7.5 本章小结·····	(97)
8 工程管理和信息化施工 ·····	(98)
8.1 滑坡防治工程管理原则·····	(98)
8.2 滑坡灾害防治工程管理·····	(99)
8.3 动态设计与信息化施工·····	(103)
8.4 本章小结·····	(106)
9 滑坡灾害防治技术的发展展望 ·····	(107)
9.1 国外研究发展态势·····	(107)
9.2 国内研究发展态势·····	(108)
9.3 滑坡灾害研究展望·····	(109)
9.4 本章小结·····	(111)

第二篇 锚固技术研究

10 锚固技术概述 ·····	(115)
10.1 引言·····	(115)
10.2 岩土锚固理论、技术与应用的发展现状·····	(116)
10.3 岩土锚固工程的分类·····	(119)
10.4 本章小结·····	(120)
11 预应力锚杆(索)锚固机理 ·····	(121)
11.1 锚杆(索)的结构与分类·····	(121)
11.2 预应力锚索锚固机理·····	(123)
11.3 预应力锚索锚固段的剪应力分布状态·····	(124)
11.4 预应力锚索的锚固力·····	(127)

11.5	本章小结	(130)
12	土层锚索锚固机理试验研究	(131)
12.1	地质概况	(131)
12.2	试验方案的设计	(132)
12.3	现场试验过程	(133)
12.4	试验数据及分析	(135)
12.5	试验结果验证	(140)
12.6	本章小结	(141)
13	岩层锚杆(索)锚固机理试验研究	(142)
13.1	试验设计	(142)
13.2	施工以及锚杆制作	(144)
13.3	拉拔试验	(147)
13.4	试验数据分析以及验证	(148)
13.5	岩体锚杆的锚固力	(162)
13.6	本章小结	(162)
14	锚杆(索)材料	(164)
14.1	杆体材料	(164)
14.2	黏结材料	(166)
14.3	锚具	(169)
14.4	其他	(170)
14.5	本章小结	(173)
15	锚固工程的设计	(174)
15.1	锚固形式的选择	(174)
15.2	一般规定	(175)
15.3	锚固工程设计的计算	(177)
15.4	锚杆(索)的构造设计	(180)
15.5	本章小结	(182)
16	锚杆(索)的施工	(183)
16.1	施工组织设计	(184)
16.2	钻孔	(184)
16.3	锚杆(索)的制作与安装	(187)
16.4	注浆	(189)
16.5	张拉与锁定	(193)
16.6	本章小结	(197)
17	锚杆(索)试验与验收	(198)
17.1	锚杆(索)基本试验	(198)

17.2	锚杆(索)验收试验	(200)
17.3	质量控制与验收	(201)
17.4	本章小结	(202)

第三篇 微型桩防治滑坡技术研究

18	概 述	(205)
18.1	问题的提出	(205)
18.2	微型桩治理滑坡的研究现状	(206)
18.3	微型桩支护体系的特点	(211)
18.4	微型桩治理滑坡技术研究中存在的问题	(211)
18.5	主要研究内容与技术路线	(212)
18.6	本章小结	(214)
19	微型桩支护体系分类	(215)
19.1	微型桩的分类	(215)
19.2	独立微型桩支护体系	(215)
19.3	平面刚架与空间平面刚架微型桩支护体系	(216)
19.4	空间刚架微型桩支护体系	(217)
19.5	微型组合抗滑桩支护体系	(218)
19.6	本章小结	(219)
20	微型桩支护体系力学分析	(220)
20.1	微型桩结构特征	(220)
20.2	单桩受力特征研究	(221)
20.3	多桩刚架体系内力分析	(222)
20.4	本章小结	(230)
21	微型桩支护体系试验	(231)
21.1	微型桩支护体系推力模型试验	(231)
21.2	微型桩支护体系现场工程试验	(237)
21.3	本章小结	(246)
22	微型桩支护体系加固机理研究	(247)
22.1	滑体(带)注浆改良作用	(247)
22.2	微型桩的被动锚固作用	(251)
22.3	微型桩的支挡作用	(256)
22.4	本章小结	(257)
23	微型桩支护体系加固滑坡的设计	(258)
23.1	微型桩支护体系加固滑坡的设计计算流程	(258)

23.2	滑坡的勘察与稳定性评价·····	(259)
23.3	滑坡治理方案确定·····	(260)
23.4	微型桩设计·····	(263)
23.5	本章小结·····	(268)
24	微型桩的施工 ·····	(269)
24.1	施工组织设计·····	(270)
24.2	钻孔施工·····	(270)
24.3	微型桩的制作安装·····	(273)
24.4	地表构筑物的施工·····	(275)
24.5	本章小结·····	(275)
25	微型桩工程质量控制与验收 ·····	(276)
25.1	一般要求·····	(276)
25.2	注浆的质量控制与验收·····	(276)
25.3	桩体施工质量控制与验收·····	(277)
25.4	验收资料·····	(277)
25.5	本章小结·····	(278)

第四篇 滑坡防治工程实例

26	南昆铁路八渡火车站滑坡治理工程 ·····	(281)
26.1	滑坡概况·····	(281)
26.2	治理工程措施·····	(283)
26.3	位移监测·····	(286)
26.4	治理效果分析·····	(287)
27	铜黄高速公路西河水库滑坡治理工程 ·····	(288)
27.1	滑坡概况·····	(288)
27.2	治理工程措施·····	(288)
27.3	治理效果分析·····	(289)
28	西汉高速公路秦岭Ⅲ号特长隧道下行线进口加固工程 ·····	(290)
28.1	工程概况·····	(290)
28.2	治理工程措施·····	(290)
28.3	治理效果分析·····	(291)
29	徽杭高速公路 YK60+220~+470 高边坡治理工程 ·····	(293)
29.1	高边坡概况·····	(293)
29.2	治理工程措施·····	(293)

29.3 治理效果分析..... (294)

30 黄陵二号煤矿高位水池滑坡治理工程 (295)

30.1 滑坡概况..... (295)

30.2 滑坡岩土体物理力学性质..... (297)

30.3 滑坡推力计算..... (297)

30.4 滑坡治理方案与效果评价..... (298)

31 宝雨山煤业有限公司矸石山滑坡治理工程..... (300)

31.1 滑坡概况..... (300)

31.2 滑坡岩土体物理力学性质..... (301)

31.3 滑坡推力计算..... (301)

31.4 滑坡治理方案与效果分析..... (303)

32 青海 S101 线 K367+020~+195 段滑坡治理工程 (305)

32.1 滑坡概况..... (305)

32.2 滑坡岩土体物理力学性质..... (307)

32.3 滑坡推力计算..... (307)

32.4 滑坡治理方案与效果分析..... (307)

33 青海 S101 线 K363+820~K364+480 段 1# 滑坡治理工程 (309)

33.1 滑坡概况..... (309)

33.2 滑坡岩土体物理力学性质..... (311)

33.3 滑坡推力计算..... (312)

33.4 滑坡治理方案与效果评价..... (312)

34 结论与展望 (314)

34.1 结论..... (314)

34.2 展望及建议..... (315)

参考文献 (317)

第一篇

滑坡灾害基础知识

1 概 述

1.1 滑坡的概念

在我国,滑坡一般指狭义概念的滑坡,是指构成斜坡的有滑动历史和滑动可能性的岩、土体边坡,在重力作用下伴随着其下部软弱面(带)上的剪切作用过程而产生整体性运动的现象。我国的《地质灾害管理办法》中对滑坡的定义是:斜坡上的土体或岩体,受河流冲刷、地下水活动、地震及人工切坡等因素的影响,在重力的作用下,沿着一定的软弱面或软弱带,整体地或分散地顺坡向下滑动的自然现象(国土资源部,1999)。图 1-1 就是一个既有人工影响又有地下水活动所形成的滑坡。

在滑坡研究的历程中,国外一直流行广义的滑坡概念,是指那些构成斜坡坡体的物质——天然的岩石、土、人工填土或这些物质的结合体向下和向外的移动现象。自 20 世纪 70 年代以来,有人用“斜坡移动”或用“块体运动”等术语来代替广义的滑坡概念(国家防汛抗旱总指挥部办公室,1994;乔建平,1997),它包括了落石、崩塌、滑动、侧向扩展和流动五大类型。

从以上滑坡的定义可以看出,滑坡灾害具备以下特征:

(1)滑坡的物质成分就是那些构成原始斜坡坡体的岩土体。斜坡坡面上的其他物质(如雪体、冰体、动加载体、动植物体等)顺坡面下滑都不是滑坡现象,甚至于坡面上的岩块、土块等岩土碎屑物质零星的顺坡面下滑也不属于滑坡现象。

(2)滑坡是发生在地壳表部的、处于重力场之中的块体运动,产生块体运动的力源是重力。当各种条件的有利组合使块体的重力沿滑动面(带)的下滑分力大于抗滑阻力时,部分斜坡体即可脱离斜坡(母体)发生滑动。而诸如蓄水后的大坝坝肩对两端山体施加侧向推力而产生的山体移动现象,只能称之为滑移,不属于滑坡的范畴,本书中也不予讨论。

(3)滑坡下部的软弱面(带),是滑坡发生时的应力集中部位,斜坡体在这一位置上发生剪切作用。自然界中的许多所谓“岩崩”“山崩”等现象,实质上仍然是滑坡现象。但从滑坡体解体后的各个局部块体来看,它们在滑动的过程中还同时发生了倾斜、翻滚,块体之间还发生挤



图 1-1 滑坡

压和碰撞。这样的滑坡具备了一些崩塌的特征,可以将这类滑坡看作是滑坡与崩塌之间的过渡类型,称为崩塌性滑坡。

(4)斜坡体内的软弱面(带)往往也有很多层,有的坡体内同时发生滑动剪切的软弱面(带)也不止一个。有的滑坡虽然只有一个发生着剪切作用的软弱面(带),但随着边界条件的变化,也可能会向上或向下转移到一个新的软弱面(带)位置上继续发生剪切滑动作用。

(5)整体性也是滑坡体的重要特征,至少在启动时滑坡体是呈现整体性运动的。许多滑坡在运动过程中也还能保持自身大体上的完整状态,但也有些滑坡体因岩土体结构、滑动面(带)起伏、含水量、剪出口位置等原因发生变形或解体,从而表现为崩塌性滑坡。

(6)通常情况下,滑坡是包含着滑动过程和滑坡堆积物的双重概念。滑动过程带来的灾害,早已引起人们的重视,而对滑坡堆积物的危害还未引起重视,研究也不多。滑坡堆积物是滑坡运动后的产物,不仅是指直接参与了滑动过程而停积下来的物质(即滑坡体本身所形成的堆积物),而且还包括了由于滑坡作用的影响而间接形成的堆积物,如水下的浊流堆积物、滑坡堰塞湖中的静水堆积物等。

1.2 滑坡的发育阶段

滑坡的发生、发展过程是有阶段性的。根据大量的现场实际资料、观测成果、滑坡模型试验和相关的岩土力学研究成果,比较公认的是将滑坡的发生、发展、消亡的过程分为蠕滑、滑动、剧滑和趋稳4个阶段。图1-2中的曲线表现了前3个阶段,而F线以后即为趋稳阶段。

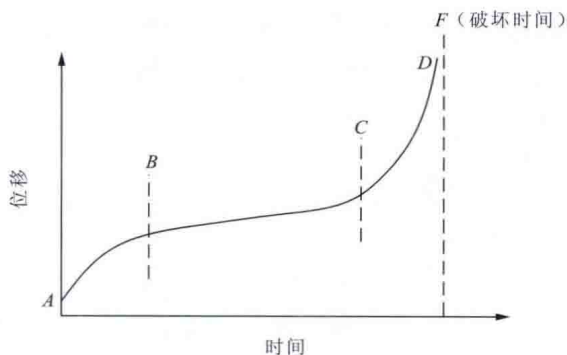


图 1-2 滑坡的发育阶段

1.2.1 蠕滑阶段

滑坡发育的第一阶段(图1-2中的AB段),即斜坡上的岩(土)体在重力作用下,应力在坡体中结构面(层面、节理、裂缝等)的两端和凸点处集中,并发生蠕滑变形。蠕滑阶段的变形特征有:

(1)首先是山坡上部出现裂缝,接着裂缝下侧的土体发生缓慢位移,每月变形仅数厘米甚至更小,而部分巨型滑坡后缘裂缝可以因滑坡体长时间的巨大变形积累能被拉开数十米。

(2)在此阶段,即使后缘出现拉张裂缝也并不明显,有时甚至很快被自然营力填充夷平。大型、巨型滑坡的后缘也可历时千万年而发展成洼地,在宏观地貌上仅可见后缘长期蠕滑的结果——洼地,但总体轮廓可能并不明显。

(3)局部的蠕滑点逐步发展成剪切变形带,剪切变形带内的抗剪强度由峰值逐渐降低,坡体表现出缓慢的蠕滑变形。

(4)这一阶段历时较长,有的达数年、数十年甚至上百年,最长可达2万至3万年(国家防汛抗旱总指挥部办公室等,1994)。

(5)该阶段除了重力以外的诱发因素作用并不明显,稳定系数从约1.20(或更大)向1.10左右变动。

1.2.2 滑动阶段

滑坡发育的第二阶段(图 1-2 中的 BC 段)。随着剪应力将滑面上的各锁固段(点)逐个剪断,坡体的变形越来越大,表现出变形缓慢增加,此时潜在滑面的强度为滑动面的残余强度,时间应变曲线为光滑的曲线或跳跃式的位移。滑动阶段的变形特征有:

- (1)宏观地貌形态上开始显露出滑坡的总体轮廓,在纵向上可见解体现象。同时,滑坡周界的裂缝已基本连通,后缘可见拉张裂缝,部分可见前缘鼓张裂缝。
- (2)剪切滑带(滑动面)已逐渐形成,滑带可见擦痕、镜面等滑动现象。
- (3)这一阶段发育的时间有长有短,诱发因素对加速滑动发育过程起主导作用。
- (4)在滑坡发生过程中,常会出现地下水异常、动物异常、声发射、地物、地貌改变、滑坡后壁或前缘出现小崩塌等现象。
- (5)滑坡呈匀速位移或缓慢增大,并有逐渐增大的趋势。
- (6)该阶段稳定系数从约 1.10 向 1.00 左右变动。

1.2.3 剧滑阶段

剧滑阶段又称为加速滑动阶段(图 1-2 中的 CD 段),是滑坡发育特征最为明显、变形速率最快、最可能发生破坏的阶段。当滑动面基本贯通,滑动面上的残余强度接近滑坡体的下滑力时,岩体处于快速位移状态,位移历时曲线迅速向上扬起。这一趋势继续发展,最终将导致滑坡的发生。剧滑阶段的变形特征有:

- (1)滑坡体上各种类型的裂缝都可能出现,但变化很快。后缘和侧缘裂缝两边出现滑坎,后壁上常有小崩塌发生,中段有很多的拉张裂缝,前缘出现扇形裂缝。
- (2)滑动面已完全贯通,形成完整的滑面。
- (3)滑坡体在重力作用下发生滑动,表现为一次或断断续续的多次完成滑动过程,一般历时较短。
- (4)诱发因素继续起作用,特别是断断续续发生滑动的滑坡,其诱发因素的作用十分明显。
- (5)随着滑坡的滑动,常常出现地光、尘烟、地声、重力型地震、冲击气浪等伴生现象。
- (6)该阶段稳定系数首先从约 1.00 变动到 0.90(或更小),再转而增大至 1.00。

1.2.4 趋稳阶段

该阶段是在剧滑阶段之后发生的,位移速度减慢,各块间变形逐步停止,滑带在压密下排水固结,地表无裂缝、沉陷发生,最后完全稳定下来。趋稳阶段的变形特征有:

- (1)滑坡裂缝以及剧滑阶段所产生的后期变形裂缝均因外营力的作用而消失,或因水力冲刷作用而发展成冲沟。
- (2)可见滑坡湖、滑坡湿地(沼泽),典型的滑坡形态逐渐消失。
- (3)剪切变形带逐渐压密固结,抗剪强度逐渐增大,总体上滑坡向稳定方向发展转化,直至完全稳定。
- (4)诱发因素可继续其作用,只有当 3 个滑坡发生的基本条件有缺失时,诱发因素的作用才会消失。

(5)该阶段稳定系数首先从约 1.00 向 1.20(甚至更大)变动。

也有的科学工作者将滑坡的发生划分为 3 个或 6 个阶段,主要差别在于对蠕动变形阶段的划分,对于最后 2 个阶段(剧烈滑动和稳定压密)的划分大同小异。宏观上人们只能在滑动阶段和剧滑阶段,根据一系列的伴生现象感知到滑坡运动。

1.3 滑坡的发育特征

斜坡产生滑动之后,形成环状后壁、台阶、垄状前缘等特殊的滑坡地貌,外表看上去很像一只倒扣过来的贝壳。为了正确地识别滑坡,判定斜坡上有没有滑坡的存在,首先需要知道组成滑坡的不同要素以及它们的相互关系和位置。一个发育比较典型的滑坡,通常由滑坡体、滑动面、滑坡裂缝、滑坡壁、滑坡台阶、滑坡舌(滑坡鼓丘)等要素所组成(图 1-3)。

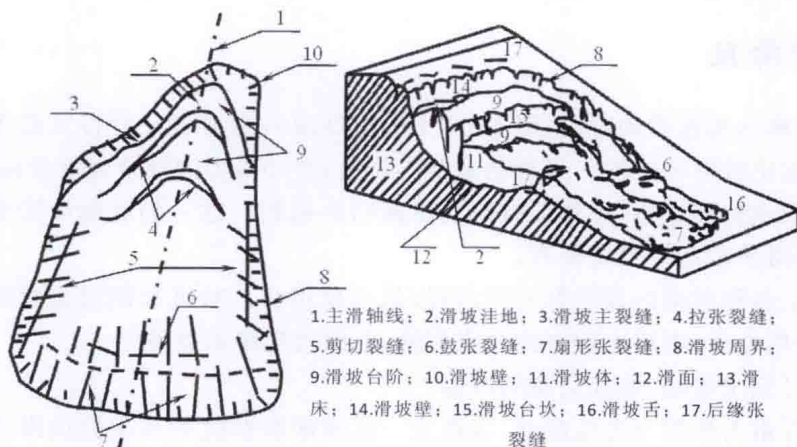


图 1-3 滑坡要素平面分布及形态示意图

1.3.1 滑坡体

斜坡边缘与山体(母体)脱离并且向下滑动的那部分岩土体,称为滑坡体,或简称滑体。滑坡体上的土石松动破碎,表面起伏不平,裂缝纵横,有些洼地积水成沼泽,长着喜水植物。不同滑坡体的体积差别很大,小型滑坡只有十几到几十立方米,大型滑坡体可达几百万至几千万立方米,特大型的甚至可达几亿立方米或更大。

1.3.2 滑坡周界

滑坡体与其紧挨着的周围不动土石体(母体)的分界线,称为滑坡周界。有些滑坡周界明显,有的周界很不明显。只有确定了滑坡周界,滑坡的范围也才能圈定。