

绪 言

山地地质灾害系指 6 种地质灾害中主要发生在山地的以下 3 种：滑坡、崩塌、泥石流。“5·12”汶川 8.0 级特大地震诱发地质灾害的类型就以滑坡、崩塌及泥石流为主。在震后排查发现的 18 997 处灾害点中，滑坡 9 326 处，崩塌 5 510 处，不稳定斜坡 2 693 处，泥石流沟 1 279 条，分别占 49.1%、29.0%、14.2%与 6.7%。

本书所述滑坡、崩塌及泥石流的治理工程技术，是在一般山区的基础上，补充震后与震区的特点形成的。其勘查与设计技术既适用于高烈度地震区，也适用于一般山区。

根据定义与经验，滑坡与崩塌的主要区别可归纳为：

- (1) 外貌：滑坡呈扁平箕状，崩塌为陡峻坡体或具临空面。
- (2) 整体性：滑坡为整体位移，崩塌限于楔形坡体。
- (3) 位移面：滑坡的滑动面为较缓的软弱面，崩塌沿较陡破裂面破裂。
- (4) 变形特征：滑坡缓慢向前，崩塌急剧向下。

崩塌可分为坡体坍塌与危岩崩塌两类。土质边坡坍塌是坡体坍塌的主要形式，其工程勘查、设计的技术原理与滑坡类同；而危岩崩塌落石的勘查与治理则与之大相径庭。故滑坡与边坡坍塌的工程勘查合为第 1 章论述，第 2、3 章则分别论述滑坡、边坡坍塌的治理工程设计，同时适用于滑坡与边坡的挡土墙工

程归于第 2 章，危岩崩塌落石防治工程的勘查、设计则另辟为第 5 章。

不稳定斜坡不是山地地质灾害的独立灾种，而是指有一定变形但尚未发育成滑坡、崩塌的坡体。对此，除其勘查另有难点外，可按进一步演化成的灾种，比照滑坡、坍塌和危岩进行治理工程的勘查设计，不另详述。

滑坡、崩塌分为灾体、突变成堆体两个阶段。工程治理一般是针对未突变成灾但欠稳定而有危险性与危害性的滑坡体和崩塌体，这是本书的论述重点；突发滑坡与崩塌解体后形成的堆体往往已趋稳定，勿需重点治理，仅予概述。

古/老滑坡是发育成熟且曾经历了一次整体性急剧滑移后暂时得以稳定的滑坡体，性质居于滑坡体与滑坡堆体之间。对可能复活的古滑坡体，可参照一般滑坡进行工程勘查设计。

预应力锚索是加固滑坡、边坡、危岩的较新技术，其原理、设计与施工与常用支挡工程有别，自成技术体系，故辟专章论述。

泥石流治理工程勘查设计在《震后泥石流治理工程设计简明指南》(简称《指南》)中已有较全面的论述，但现仍存若干尚待解决的技术问题。为节省篇幅，本书仅对这些问题进行探讨与解析，提出解决之途径与建议意见，不详之处参见上述《指南》。

以 13 kN/m^3 的重度界限值与洪水相区分，重度 $\geq 13 \text{ kN/m}^3$ 的流体为泥石流，具有一定的类似土体的结构性特征。山区泥石流多为暴雨型，本书针对暴雨型沟谷泥石流进行论述。坡面泥石流、冰川泥石流和冰雪融水泥石流除流域地貌与诱发水源

有别外，其勘查设计问题与暴雨泥石流类似，不另分述。

潜在泥石流沟是指具备孕育泥石流的基本条件但尚未暴发过泥石流的沟谷，有潜在危害的也纳入治理范畴。判定潜在泥石流沟，确定流体参数均为难点，本书推荐了有关方法。

勘查成果是工程设计之基础，书中叙述勘查在前，设计在后。勘查部分系针对勘查要点逐一分述，并突出难点，尤其是地震诱发灾体的勘查技术。工程地质测绘、勘探、试验等勘查手段与方法是地质人员的基本技能，并可参照诸如《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864—2016)等国标，概不赘述。

鉴于震后地质灾害治理的紧迫性，一般采用一阶段工程勘查，要相应编制项目勘查工作设计书。其内容主要包含该地质灾害的危害性、对灾体特征的基本认识、对治理工程的初步设想、分项勘查工作的部署、工作量与技术要求、预算。

地质灾害治理工程设计一般包含可行性研究、初步设计与施工图设计三阶段，本书设计部分不按设计阶段分述，而是分灾种论述相应工程方案、分部工程与结构设计，解析疑难问题。

规范施工是实现设计意图的保证。山地地质灾害治理工程施工复杂而条件艰巨，不乏经验教训，书中也适当总结。

预防地质灾害的避让搬迁、监测预警与群测群防等措施，详见相关规范与条例，其中搬迁新址要进行的地质灾害危险性评估，可参照本书勘查要求简要施行。

矿山地质环境恢复工程的勘查设计，亦可相应参用本技术。

第 1 章 滑坡 (边坡) 勘查技术

经震后初步排查，“5·12”汶川大地震在四川全省诱发山体滑坡 9 326 处，造成了巨大的人员、财产损失，例如北川县城王家岩滑坡，掩埋机关、学校、民居，死亡 1 600 人。

汶川地震诱发的滑坡包括新生滑坡和古滑坡的复活，包括已突滑的滑坡和已变形但尚未突滑的不稳定斜坡。此外，震后若干年来尤其是最初 5 年，震碎山体还孕育出大量新的滑坡。

鉴于地震诱发滑坡的数量巨大、类型复杂、性质特殊，因此在灾后重建中，对滑坡灾害的防治工作任重道远，治理工程勘查设计有若干新问题值得探讨，有若干经验与教训值得总结。

边坡坍塌与滑坡的性质有别，但勘查方法与原理相似，本章合二而一，在滑坡勘查中融入边坡勘查内容，统称滑坡勘查。本章重点阐述滑坡勘查的实用技术，至于勘查的一般内容、要求与手段另见国标《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864—2016)(以下简称《滑坡勘查规范》) ^[1]。

1.1 滑坡野外勘查要领

滑坡的定义大同小异，系指沿软弱面整体性向前由慢而快

滑移的坡体。滑坡勘查设计主要针对此滑坡体；突滑后形成的滑坡堆积体，一般不作为勘查设计的主要对象。

1.1.1 勘查手段与勘查要点

1.1.1.1 勘查手段

滑坡勘查的主要手段是地质测绘，辅以必要的勘探、试验工作。勘查工作量要适度，不应以获取高额勘查费用而使测绘面积过大，钻孔过多、过深。

工程地质是经验学科，滑坡勘查中地质条件的调查比拟十分重要。例如，焦作至枝江铁路穿过大段膨胀土地区，相邻的已建公路按膨胀土对路堑边坡进行了有效处理，铁路勘察设计人员却忽视了近在咫尺的公路建设经验，按一般黏性土进行路基设计，路堑开挖后边坡接连坍塌，教训深刻。

又如，达成铁路炮台山隧道通过不含煤的侏罗系砂泥岩层，未按瓦斯隧道设计，施工中于 1994 年 4 月 4 日在平行导坑距出口 400 m 处发生瓦斯爆炸，死伤惨重。事后测得瓦斯最大压力为 0.2 MPa，涌出量为 $3.03 \text{ m}^3/\text{min}$ 。设计失误的主要原因固然是误认为须家河组煤系地层因深埋于红层下约 3 000 m 而不致有瓦斯上溢（但隧道处于三皇庙储气构造边缘岩层转折部位，节理裂隙发育，构成了良好通道），但事后发现洞顶中线外不远处即冒出气火，长期有村民煮食，事前如能对此作调研，设计中采用相关对策，悲剧或可能避免。

此外，对城镇特大型滑坡，地面调绘多遇建筑物等障碍，利用不同时期的航片、卫片解释与比对，易查明滑坡全貌与动

态。例如，在航片、卫片解释与地形图比对的基础上，采用地质测绘、井槽探、现场大剪试验、取芯干钻等综合手段，查明乌江东岸的重庆武隆县新城坐落特大型岩质古滑坡体上，滑坡区面积为 $29 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，体积 $630 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，预计治理工程费用 1.9 亿元^[2]（图 1.1）。

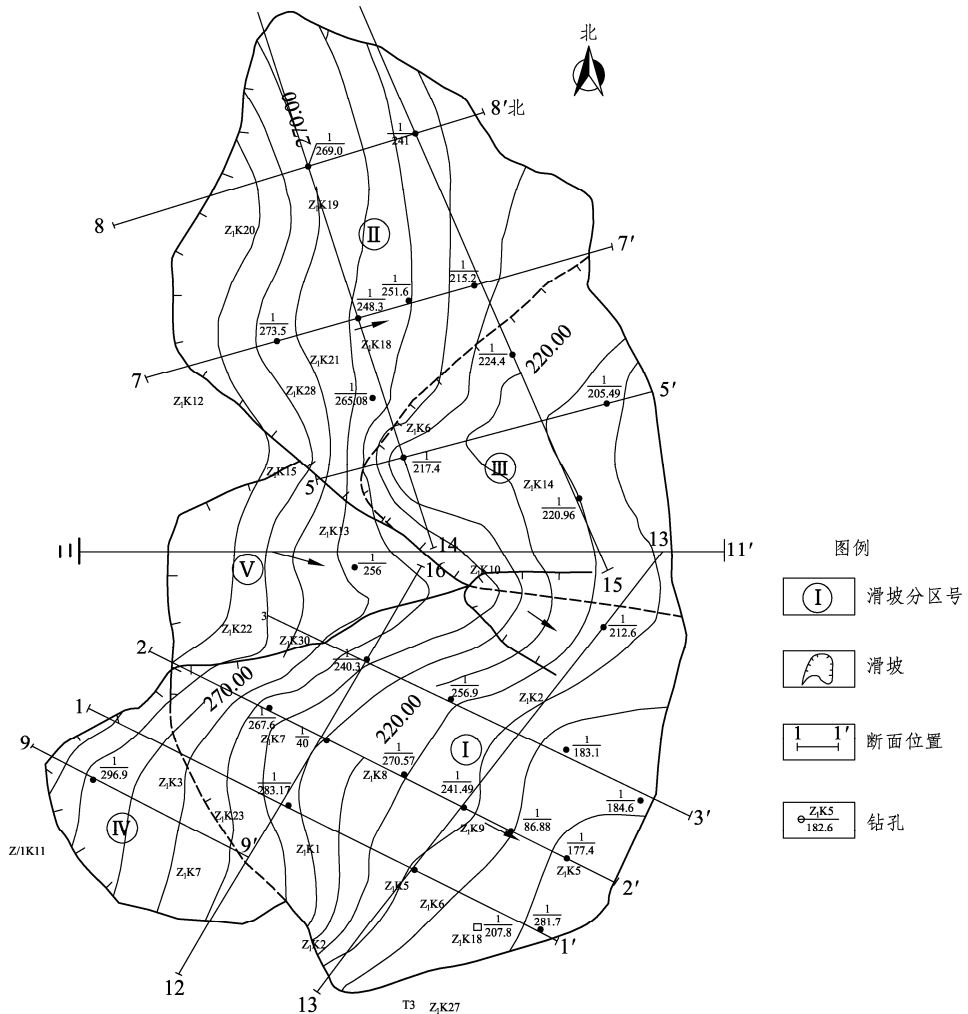


图 1.1 重庆武隆县政府滑坡滑床等高线图

1.1.1.2 勘查要点

对地震滑坡和其他滑坡的现场勘查工作，应围绕以下目标与步骤开展。

1) 危害性

- (1) 危险区范围与危害对象 (详见 1.1.2)。
- (2) 突滑堵沟的次生灾害。
- (3) 与震后重建规划的有机结合。

2) 测绘要点

- (1) 基本特征 (详见 1.1.3):

变形性质 (地震、滑移、沉降)，变形特征 (裂缝、鼓胀、剪出的空间特征与位移，既有工程损毁) 与历史；

空间特征 (后缘与两侧边界、前缘与次级剪出口、长/宽、面积、规模) 及其依据；

结构特征 (滑体、滑带、滑床) 与滑面依据。

(2) 诱因 (切坡、加载、冲刷、暴雨、渗水、地震、水位涨落) 与发展趋势 (详见 1.3)。

(3) 性质 (地震滑坡、工程滑坡、自然滑坡、古滑坡、不稳定斜坡)，类型 (推移式、牵引式、平推式)，主滑方向 (详见 1.3)。

3) 稳定性分析 (详见 1.4)

(1) 选择地质模型：滑面形态，前、后缘，次级剪出，多级滑面，演化阶段。

(2) 确定滑动面抗剪强度指标：现场大剪、强度取值、残余强度、反演条件。

(3) 选取设计工况 (天然、暴雨、地震、水位涨落) 与安全系数。

(4) 计算各剖面的稳定性与推力 (极限平衡法 , 稳定性评价应与滑坡各剖面实际变形情况相一致)。

综上 , 危险区划分是勘查与治理的前提 , 其后的滑坡勘查工作分为三步 : 第一步是现场揭示滑坡的基本特性 , 第二步是查明促滑的原因和判定滑坡的类型 , 第三步是进行稳定性分析与下滑力计算。以下仅对地质人员不易掌握的勘查疑难要点加以简要阐释。

1.1.2 滑坡、坍塌危险区的定量划分方法与堵溃危害

1.1.2.1 滑坡、坍塌危险区定量划分的原则与方法

1) 危险区的划分原则

滑坡突滑所能危害的范围为危险区。客观划分出滑坡灾害危险区进而圈定危害对象、厘定危害等级是确定滑坡治理的必要性和重要性的依据。但在实际工作中 , 圈划危险区常缺乏依据 , 具主观随意性 , 范围往往划得过大 , 危害对象圈得过多 , 似人为拔高危害性。

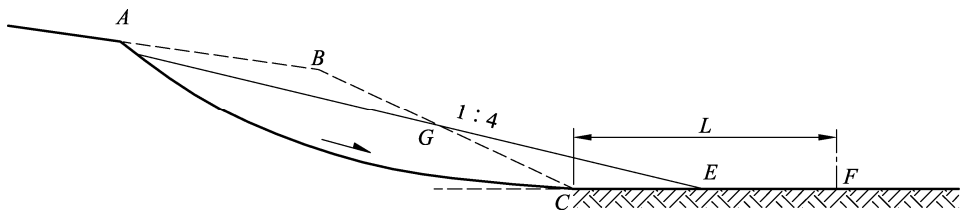
建议滑坡、坍塌的危险区按以下原则划定 :

(1) 横向宽度 : 按滑坡前缘宽度 + 安全宽度确定。安全宽度可按滑坡突滑形成的堆积体高度的 2 倍计 (堆积体坡度一般为 1: 1.5 , 为安全计 , 取 1: 2)。

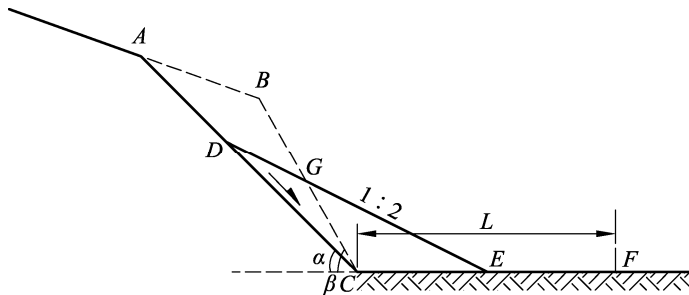
(2) 后部与两侧壁牵引范围 : 按突滑后滑坡的后壁或侧壁

的高度计 (后/侧壁的下次牵引范围一般至 0.5 倍高度处 , 安全系数取 2.0 , 故按 1 倍计) 。

(3) 前方危害长度 : 一般滑坡按所形成堆积体长度的 2 倍计 (堆积体纵坡 , 滑坡按 1: 4、边坡坍塌按 1: 2 计 ; 安全系数取 2.0 , 松方系数取 1.1 , 图 1.2) 。



(a) 滑坡



(b) 坍塌

图 1.2 滑坡、坍塌前方的危害范围 L

$$V_{ABDG} \times 1.1 = V_{GCE} , CE = EF , L = CF , \alpha = \beta/2 + \phi/2$$

2) 高速滑坡危险区定量划分方法

高速滑坡的滑距很远 , 前方直至反翘处都可划为危害范围。王思敬^[3]所得高速滑坡的最大水平滑距 L_{\max} (m) 为 :

$$L_{\max} = \frac{1}{g \cdot f} \cdot \frac{U}{M} + \frac{H}{f} \quad (1.1)$$

式中： g 为重力加速度 (m/s^2)； f 为动摩擦系数； U 为助滑变形能 (kN)； M 为单宽滑体质量 (kN/m)； H 为滑体重心落差 (m)。其中：

$$U = \frac{1}{2} \cdot E \cdot \frac{h}{L} \cdot b^2 \quad (1.2)$$

式中： E 为滑体弹性模量 (kPa)； h 为滑体平均厚度 (m)； L 为滑体长度 (m)； b 为后缘相对于前缘的变形量 (m)。

据上式算得青海查纳、甘肃洒勒山、湖北新滩三高速滑坡的最大水平滑距分别为 2 291 m、1 764 m、708 m，与实际滑距 (3 500 m、1 760 m、900 m) 相近，式 (1.1) 可试用。

地震促发的灾难性大滑坡(包括高速滑坡)向前运动更远，乔建平^[4]总结出其运动距离 L (m) 与滑坡体积 V (m^3) 的关系为：

$$L = 1.451 1V^{0.453 7} \quad (1.3-1)$$

四川省公路设计院据 51 处地震滑坡的调查，所得滑坡向前运动距离 $L(\text{m})$ 与滑坡体积 $V(\text{m}^3)$ 、滑坡运动的高差 $H(\text{m})$ 的关系为：

$$\lg L = 0.023 + 0.023 \lg V + \lg H \quad (1.3-2)$$

1.1.2.2 滑坡、坍塌的堵溃灾害

滑坡突滑堵沟/河的可能性按 6.2.3 评判。完全或部分堵塞的危害包括：突滑所致涌浪对对岸的冲击及对上下游的浪击，堰塞湖 (完全堵塞) 或水位升高 (部分堵塞) 对上游的淹没，堰塞体溃决洪水对下游的冲刷与淹没，形成溃决型泥石流 (规