

震后 山地地质灾害治理工程 设计概要

蒋忠信 ■ 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

震后山地地质灾害 治理工程设计概要

蒋忠信 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书是编著者数十年,尤其是“5·12”汶川地震后,对山地地质灾害治理工程设计的经验总结与学习心得,突出实用性与可操作性,按治理工程设计工作步骤和分部工程分步论述了设计原理与结构设计,着重于地质分析与参数、设计思路与方案、工程结构与计算,还论述了震后山地地质灾害的特点与防治对策。全书内容以工程设计为主体,辅以勘查要点和施工技术,共分滑坡与边坡、预应力锚索、崩塌落石、泥石流和勘查设计工作要点等5部分。

本书作为山地地质灾害治理工程设计的带指南性质的简明读本,可供从事滑坡、崩塌、泥石流治理的工程技术人员参考使用,也可供大专院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

震后山地地质灾害治理工程设计概要/蒋忠信编著.
—成都:西南交通大学出版社,2013.7
ISBN 978-7-5643-2491-9

I. ①震… II. ①蒋… III. ①地震次生灾害—山地灾害—灾害防治 IV. ①P694

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第173505号

震后山地地质灾害治理工程设计概要

蒋忠信 编著

*

责任编辑 杨 勇

助理编辑 姜锡伟

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都中铁二局永经堂印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:170 mm×230 mm 印张:14.5

字数:189千字

2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-2491-9

定价:38.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

前 言

2008年5月12日及近5年后的2013年4月20日，伴随西蜀大地的剧烈晃动，无数崩塌、滑坡、泥石流等山地地质灾害被促发了、孕育了。它们星罗棋布、规模硕大、内藏玄机，减灾防灾面临诸多困惑，虽经历年奋斗，仍任重道远，诸如治理工程设计的队伍建设、人才培养和技术储备，至今尚难以完全与之适应。于是，在相关设计规范、手册全部出台前的过渡期，有一本类似设计指南的参考工具书面世，就显得必要。本人不才，集工作经验和学习心得，在相关培训讲稿的基础上，扩充修订成本概要，希冀充当山地地质灾害治理工程设计的带指南性质的简明读本。

本概要属经验性，总结本人数十载尤其是“5·12”地震后的学习体会、工作经验与教训反思，附以典型案例，但难免瞎子摸象；凸显实用性，重在工程地质分析、合理厘定参数、廓清设计思路、优选工程方案、分部工程结构、推荐计算公式，对理论难题点到即止；具可操作性，对山地地质灾害各灾种，以设计工作步骤为主线分步展开论述，对主要工程类型，按分部工程逐一阐述其结构设计原理；力图简明，不畏以偏盖全，对一般设计人员业已掌握的基础知识和设计技能概不赘述，对权作参考的内容排以楷体字，可跳读；既体现一般性山地地质灾害治理工程设计的共性，又突出“5·12”地震后的新特点，提出对策，然尚属探讨性质。

本概要的内容以工程设计为主体，辅以必要的勘查要点和施工技术；以文字论述为主体，辅以较多图表，尤其是推荐了众多计算公式。全书共分5部分，其中3个部分按灾种分述滑坡与边坡、崩塌落石、泥石流的设计，对加固滑坡新一代技术的预应力锚索则专用1个部分论述其技术问题、工程设计和施工技术，最后1个部分简述山地地质灾害治理工程勘查与施工图设计的工作要点。

感谢铁路、公路、机场、中国科学院、市政、水利水电及移民等系统，尤其是四川省国土资源系统的同行、专家和领导提供的合作和学习的机遇，特别铭记已故著名泥石流专家陈光曦教授、谭炳炎教授的指教。本概要中可能不乏与主流思潮不合甚至片面的观点与谬误，恳请广大技术同行不吝赐教与斧正，谨此由衷致谢！

蒋忠信

2013年5月13日于成都曦城

目 录

1 滑坡、边坡治理工程设计	1
1.1 滑坡的基本问题	2
1.1.1 滑坡与边坡问题的区分	2
1.1.2 地质模型的选择	2
1.1.3 滑动面抗剪强度指标的确定	3
1.1.4 设计工况及安全系数的选取	4
1.1.5 稳定性与推力的计算	5
1.1.5.1 稳定性检算	5
1.1.5.2 推力计算	7
1.2 抗滑工程设计	8
1.2.1 主要抗滑支挡工程措施比选	8
1.2.2 抗滑工程设置	10
1.2.3 抗滑桩设计	10
1.2.3.1 设计推力及其分布	10
1.2.3.2 抗滑桩结构设计	11
1.2.3.3 抗滑桩结构类型	13
1.2.3.4 微型钢管桩	15
1.2.3.5 锚拉桩	16
1.2.4 人工挖孔抗滑桩施工组织设计	17
1.2.5 (抗滑)挡土墙	19
1.2.5.1 挡土墙类型	19

1.2.5.2	挡土墙检算	22
1.2.5.3	土压力	25
1.2.5.4	挡土墙结构	28
1.2.5.5	锚杆挡土墙	29
1.2.6	其他常用抗滑工程措施	30
1.2.6.1	减载、反压	30
1.2.6.2	地表截排水工程	31
1.2.6.3	地下截排水工程	32
1.2.6.4	支撑渗沟	36
1.3	边坡与变形体治理	38
1.3.1	边坡加固问题	38
1.3.1.1	切坡问题	38
1.3.1.2	土钉墙	40
1.3.1.3	喷锚与格架锚杆	43
1.3.1.4	边坡的临界高度 H 与破裂角 α	45
1.3.1.5	桩-墙复合结构	47
1.3.2	坡面防护与环境	48
	参考文献	52
2	预应力锚索技术、设计与施工	57
2.1	预应力锚索技术	57
2.1.1	预应力锚固技术	57
2.1.2	预应力锚索的类型	58
2.1.3	预应力锚索的适用条件	61
2.1.4	拉力式预应力锚索结构	61
2.2	预应力锚索的力学问题	63
2.2.1	预应力锚索加固滑坡的力学原理	63
2.2.2	预应力锚索加固松散滑体的应力传递与响应	64
2.2.3	锚索的预应力损失	65

2.2.4 锚索的锚固力分布	68
2.3 预应力锚索的主要设计原则	71
2.3.1 确定滑动面的强度指标及滑坡下滑力	71
2.3.2 确定锚固力与张拉值	72
2.3.3 确定锚索下倾角	73
2.3.4 确定内锚固段长度	74
2.3.5 确定锚索结构和孔径	77
2.3.6 确定锚索吨位、间距和排数	77
2.3.7 垫墩/格梁、锚具、封锚、连梁	79
2.4 预应力锚索施工技术	80
2.4.1 预应力锚索施工工艺要点	80
2.4.2 滑坡体锚孔钻进工艺问题与对策	85
2.4.3 预应力锚索施工工艺问题及探讨	89
2.4.4 工程实例：南昆铁路八渡车站巨型滑坡的 综合整治	93
参考文献	96
3 崩塌（危岩）治理工程设计	99
3.1 崩塌-危岩地质分析	99
3.1.1 崩塌坡体分带	99
3.1.2 危岩稳定性分析	100
3.2 危岩主动治理工程设计	103
3.2.1 危岩主动治理工程措施	103
3.2.1.1 清危与补缝	104
3.2.1.2 锚 固	104
3.2.1.3 防 护	106
3.2.1.4 支 顶	106
3.2.1.5 锁口与障桩	109
3.2.2 主动加固后危岩稳定性计算问题	111

3.3 危岩落石被动防护工程设计	111
3.3.1 危岩落石被动防护工程措施	111
3.3.1.1 拦石墙-落石槽	112
3.3.1.2 SNS 柔性被动防护网	113
3.3.1.3 明(棚)洞	114
3.3.2 落石计算问题	116
3.4 地质灾害柔性防护技术	117
3.4.1 柔性防护技术的发展与应用	117
3.4.2 SNS 被动防护系统	118
3.4.3 SNS 主动防护系统	119
3.5 中下部崩塌防治工程措施	120
3.5.1 中部基岩风化带的防治措施	120
3.5.2 下部堆积体的拦挡措施	121
附录 3.1 成昆铁路爆破震动现场试验成果	121
附录 3.2 落石运动力学参数计算	122
参考文献	126
4 泥石流治理工程设计	128
4.1 泥石流参数的计算方法	128
4.1.1 重度与流性	128
4.1.2 松散固体物源与堆积范围	130
4.1.3 流 速	134
4.1.4 峰值流量	137
4.1.5 据弯道泥痕计算流速、流量	140
4.1.6 一次泥石流过程总量	142
4.1.7 泥石流冲击参数	142
4.2 地震区泥石流参数与工程问题	144
4.2.1 泥石流沟的判别	144
4.2.2 泥石流暴发频率与流性的变化	148

4.2.3	泥石流峰值流量的修正	150
4.2.4	全流域统筹防治泥石流的原则	151
4.2.5	主-支沟泥石流关联问题	151
4.2.6	地震堰塞体及其利用问题	152
4.3	泥石流治理工程的总体方案	154
4.3.1	泥石流治理工程的类型和总体原则	154
4.3.2	设防标准和拦排泥石流固体物质的总体规模	155
4.3.3	固体物质拦与排的分配比例	156
4.4	泥石流拦砂工程设计要点	159
4.4.1	拦砂工程类型	159
4.4.2	坝位与坝数	160
4.4.3	实体坝结构设计	160
4.4.3.1	坝体结构尺寸	160
4.4.3.2	坝基与坝肩	163
4.4.3.3	溢流口与排水孔	164
4.4.3.4	坝的稳定性检算	166
4.4.3.5	坝的应力检算	169
4.4.3.6	坝下消能防冲工程	170
4.4.3.7	坝下护坦设计	171
4.4.4	透过性坝结构设计	173
4.4.5	桩林坝与拱承坝	175
4.4.6	泥石流柔性防护栅栏	176
4.4.7	坝的优化设计	178
4.5	泥石流排导槽设计要点	178
4.5.1	平、纵、断面设计	178
4.5.2	结构设计	182
4.5.3	V形槽	186
4.5.4	石笼	187
4.6	其他泥石流防治工程措施	188

4.6.1	固坡工程	188
4.6.2	水沙分流与引水冲沙	189
4.6.3	导流-防护堤	190
4.6.3.1	圪土堤	190
4.6.3.2	土堤及护面	191
4.6.3.3	埋深及防冲	192
4.6.4	潜槛群	193
4.6.5	停淤场	194
4.6.6	渡槽	196
4.6.7	生物工程	198
4.7	泥石流防治工程的其他设计问题	199
4.7.1	坝的渗透破坏问题	199
4.7.2	桥基冲刷问题	200
4.7.3	施工运输、弃渣处置与通道恢复问题	201
4.7.4	清库与堤坝问题	203
附录 4.1	滑坡坝溢流溃坝坝址峰值流量及 堰塞体体积计算	204
附录 4.2	渗透变形判别公式	211
	参考文献	212
5	治理工程勘查设计工作要点	217
5.1	滑坡、不稳定斜坡勘查要点	217
5.2	崩塌(危岩)勘查要点	218
5.3	泥石流工程勘查要点	218
5.4	施工图设计工作与文件组成	220
5.4.1	施工图设计的主要工作	220
5.4.2	施工图设计文件的组成与内容	221

1 滑坡、边坡治理工程设计

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,造成了巨大的人员伤亡和财产损失。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复活的古滑坡;这些滑坡中含有已突滑的滑坡和已变形但尚未突滑的不稳定斜坡。此外,震后若干年内,大量新的滑坡还会不断孕育。

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,滑坡灾害的防治工作任重道远,治理工程设计有若干新问题值得探讨。

除地震诱发外,降雨尤其是暴雨、河水涨落与侧蚀所致自然滑坡仍多见;下部切坡与减载、上部堆载、水库浸泡运行、沟渠渗水漏水、爆破震动、洞室开挖等人为活动诱发的工程滑坡也较普遍^[1];边坡失稳则多为开挖高陡临空面及填土不当所致。

自然滑坡的发育除受地形地质条件控制外,水热条件的坡向分异也是一个宏观因素。以云南省为例,易发育滑坡的朝向按顺序为南坡>西南坡>东北坡>西北坡和东南坡(图 1.1)^[2]。

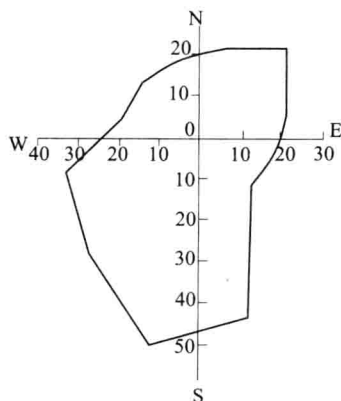


图 1.1 云南滑坡之坡向分布玫瑰图^[2]

1.1 滑坡的基本问题

1.1.1 滑坡与边坡问题的区分

滑坡受滑动面控制,后缘弧形拉张裂缝连续并下错,有两侧羽状雁行剪切裂缝、中部横向鼓胀裂缝、前缘剪出口及坍塌、隆起等变形迹象相配套;其治理的主体工程为抗滑,承受下滑力。

边坡失稳总体上受破裂面控制,后缘横向裂缝张开但少下错,位置靠坡肩内不远,在坡脚形成塑性压缩区;其治理的主体工程为支护,抵抗土压力。潜在破裂面后缘距坡脚的水平距离可按经典破裂角公式($\alpha = \beta/2 + \varphi/2$)进行估算。

四川某机场为加固高逾百米的填土边坡,在坡脚抗滑桩以上的边坡内耗巨资铺设土工格栅数十层,格栅长 20 m,铺于坡面以内 20 m 至 40 m 的范围;填土完工后边坡仍发生大规模坍塌,滑体从桩顶越出,还推倒桩前 20 m 外的挡土墙。滑体后缘仅距坡肩十余米,土工格栅未能起作用。

1.1.2 地质模型的选择

据变形机理与阶段,选择供稳定性计算的地质模型^[3]。

填筑边坡坍塌和土质滑坡多由破裂面控制,滑面实际上多呈浅圆弧形,后缘裂缝不明显时可搜索最危险滑弧,其后缘一般距坡肩不远;倾斜基底的填筑体坍塌面多为复合型,由填筑体中的陡直浅弧形和顺基底直线形合成;浅表土层滑坡多顺基覆界面呈折线形滑动,基覆界面阶状起伏时可从中部剪出,形成多级滑动;基岩滑动面多呈二折线形,顺层滑坡为直线形;古滑坡复活的滑面可与古滑面上下叠置或部分重合。

汶川地震诱发滑坡多为浅表层覆土顺基岩面的滑动,滑体长而薄,滑动面较陡直,要考虑多级滑动之可能。

空间上,一般滑坡的滑动面为倾斜平面或椅形曲面,可分别用一次或二次趋势面定量描述^[4]。

此外,库区边坡应据岸坡结构预测坍岸的范围与模式^[5]。

随滑坡的发展,地质模型可进一步演化。四川前述机场 2009 年 10 月发生的 12 号滑坡原为倾斜基底上高填坡体的近圆弧形的边坡坍滑,边坡高逾 120 m,坍滑体积约 500 万 m^3 ,后缘距坡口 30 m;因未及时根治,受滑坡高陡后壁的牵引,2011 年 1 月后缘裂缝已发展至距坡口 100 m 的道面区,两侧剪切裂缝羽状密布,场区土面明显外斜,已形成顺倾斜基底的整体滑坡,需耗巨资整治后方能复航。

1.1.3 滑动面抗剪强度指标的确定

据滑带土剪切试验和地质类比法获取 c 、 φ 值,条件适合时则可采用反算法来确定。其中,对已形成的滑动面尽可能开展现场大剪试验,对尚未发育出滑动面的潜在滑带土则进行粗粒土剪切试验。

剪切试验,即使是现场大剪试验,也要有代表性,否则偏差太大,甚至误导。例如四川前述的倾斜软弱富水基底高填方机场,填筑于坡度十多度的单面山面坡上,基岩顶层为不透水的炭质泥岩,上覆数米厚具胀缩性的粉质黏土且富水,施工前就已发现了 6 处天然老滑坡。勘查中进行了十多处现场大剪试验,但因代表性差,所提抗剪强度指标过高,算得天然稳定系数在 4.0 左右,高填方竣工后的稳定系数都在 2.0 以上。在其误导下,未对基底和填筑体进行加固,导致填土期间多次滑坡^[6]。

同时,要根据滑坡的变形阶段,选择采用剪切试验所得 c 、 φ 值的峰值、残值或半残值。对常规试验,有的省市考虑试样中已剔除了大颗粒而采用同时降低 c 值、增大 φ 值的取值方法,尚属经验之举, c 、 φ 值调整比例还缺乏定量依据。

反算法系根据当前的滑坡状态，据经验确定其稳定系数，再反算 c 、 φ 值。当滑坡处于蠕动阶段（前后缘有明显变形但滑面尚未贯通）、滑动阶段（滑面已贯通而处于临界稳定状态）时，现状稳定系数可分别在 1.10~1.00、1.00~0.95 内取值^[7]；当滑坡无明显变形时，现状稳定系数无法确定，不适于反算。

滑坡剧滑后，也可恢复至原地面，稳定系数取 0.95 以下进行反算。但反演所得为原生强度，即使考虑强度再生^[8]，短期内一般也难恢复到原始强度， c 、 φ 取值还可酌情降低。

1.1.4 设计工况及安全系数的选取

设计工况一般取天然、暴雨、地震三种。由于暴雨时发生地震的概率极低，一般无须考虑暴雨+地震的工况。对于Ⅵ度地震区，不必考虑地震工况。

对暴雨工况，要根据水文地质条件确定饱水深度、动水压力，以及滑面 c 、 φ 值和饱水滑体重度的变化。

当滑坡前部受库水或河水影响时，要补充水位涨落的工况，根据消落带的高度和消落速率，确定滑体浸润曲线^[9]及相应的物理力学参数。

设计安全系数应根据不同工况、工程的重要等级原则上按现行规范确定。为贯彻“以人为本”的思想，按危及人数划分工程等级，不同等级取相应安全系数，可比现行规范值酌情提高。比如，对于常采用为设计工况的暴雨工况，其安全系数对于Ⅰ级工程不小于 1.15，Ⅱ级工程可取 1.10~1.15，Ⅲ级工程可取 1.05~1.10。

同时，勘查工作的深细度影响着工程条件的确定性，地质情况清晰者的安全系数应取其中较低值，不清晰者应取较高值（如应急勘查）。

此外，地表截排水工程对提高滑坡稳定性的作用现尚难定量计算，此时可适当降低安全系数的取值。

1.1.5 稳定性与推力的计算

1.1.5.1 稳定性检算

稳定性分圆弧形滑面和折线形滑面两种模式检算。

(1) 圆弧形滑面。

稳定系数 K :

$$K = \frac{W_2 d_2 + cLR}{W_1 d_1} \quad (1.1)$$

式中 W_1 、 W_2 ——下滑段、阻滑段的滑体重 (kN/m);

d_1 、 d_2 —— W_1 、 W_2 重心至滑面圆心铅垂线的力臂 (m);

L 、 R 、 c ——滑动圆弧的全长 (m)、半径 (m)、黏聚力 (kPa)。

(2) 折线形滑面。

实践中多将滑面近似为多折线形, 现行规范多按极限平衡法计算稳定性。

稳定系数 K :

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left(T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j \right) + T_n} \quad (1.2)$$

地震工况下滑坡的稳定性检算, 除一般考虑的水平向惯性力之外, 有学者认为在Ⅷ度以上强震下, 还应叠加考虑会减轻滑体有效重而促滑的超静孔隙水压力, 以策安全^[10]。

根据稳定系数计算结果作出的稳定性评价应与滑坡的实际情况相一致, 不一致时应从计算参数取值和地质模型上找原因, 修正后重新计算。

① 对土质滑坡:

$$R_i = [W_i \cos \alpha_i - Q_i \sin \alpha_i - D_i \sin(\beta_i - \alpha_i)] \tan \varphi_i + c_i l_i$$

$$(i = 1, \dots, n) \quad (1.3)$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i + D_i \cos(\beta_i - \alpha_i) \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1.4)$$

$$\text{传递系数 } \psi_j = \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \quad (i = j) \quad (1.5)$$

式中 R_i 、 T_i ——第 i 条块下滑力、抗滑力 (kN/m)。

c_i 、 φ_i ——第 i 条块滑面的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ($^\circ$)。

n ——条块数。

Q_i 为第 i 条块地震力 (kN/m):

$$Q = \xi W \quad (\xi \text{ 为地震水平系数}) \quad (1.6)$$

D_i 为第 i 条块动水压力 (kN/m), 当存在压力水头时:

$$D = 10h \cdot l \cdot \cos \alpha \sin \beta \quad (1.7)$$

其中: h 为地下水位至河水位的高度 (m); l 为滑块长度 (m); β 为滑块地下水流线的平均倾角 ($^\circ$), 当滑体饱水时, 除考虑动水压力 D 外, 要同时考虑浮托力 U :

$$D = 10h \cdot l \cdot n \cdot \sin \beta \quad (1.8)$$

$$U = 10l \cdot h_w (1 - n) \cos \beta \quad (1.9)$$

其中: n 为滑体孔隙度; l 为滑面长 (m)。

② 对岩质滑坡:

$$R_i = [W_i \cos \alpha_i - Q_i \sin \alpha_i - V \sin \alpha_i - U] \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1.10)$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i + V \cos \alpha_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1.11)$$

式中 V ——后缘裂隙水压力:

$$V = 5h_w^2 \quad (h_w \text{ 为裂隙充水高度, m}) \quad (1.12)$$

U 为扬压力:

$$U = 5l \cdot h_w \quad (l \text{ 为滑面总长, m}) \quad (1.13)$$