

震后

山地地质灾害治理工程
勘察设计实用技术

蒋忠信 著



西南交通大学出版社

内容简介

本书是著者数十年尤其是“5·12”汶川地震之后十年间对滑坡(边坡)、崩塌(危岩)与泥石流治理工程勘查设计技术的经验总结,系在《震后山地地质灾害治理工程勘查设计概要与设计》的基础上全面增加滑坡与崩塌的地质勘查技术,补充完善工程设计内容,并解析泥石流勘查设计问题而成。本书仍坚持实用性与可操作性原则,突出震区特点,解析技术问题。

全书内容集工程勘查、设计为一体,辅以施工要领,分滑坡(边坡)勘查技术,滑坡治理与边坡支挡工程设计,边坡开挖、加固与防护工程设计,预应力锚索设计与施工技术等6章。

作为山地地质灾害治理工程勘查设计的指南性简明技术读本,本书可供从事震区和一般山区的滑坡、崩塌、泥石流治理的工程技术人员使用,也可供科学研究和工程管理人员、大专院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

震后山地地质灾害治理工程勘查设计实用技术/蒋忠信著. —成都:西南交通大学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-5643-6194-5

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(2018)第102950号

震后山地地质灾害治理工程勘查设计实用技术

蒋忠信 著

*

责任编辑 姜锡伟

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市二环路北一段111号 西南交通大学创新大厦21楼

邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:170 mm×230 mm 印张:30.75

字数:398千

2018年5月第1版 2018年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-6194-5

定价:128.00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

似乎是转瞬之间，2008年5月12日汶川8.0级特大地震已经过去十年了，其间四川又历经了2013年4月20日芦山7.0级地震和2017年8月8日九寨沟7.0级地震的洗礼。近十年间，各震区人民历尽艰辛，在地震废墟上重建家园，迈入跨越式发展，成就举世瞩目。与恢复重建相伴，震后滑坡、崩塌、泥石流等山地地质灾害的治理，也历经了漫长而艰辛的进程。

理论上，应允许震后的破碎山体有较长的自身修复过程，人们对震区山地地质灾害特点的认识也有一个逐步加深的过程，灾害治理似应在震后若干年后进行方为合适。但时不我待，灾区恢复重建在即，要尽早恢复灾区人民的正常生产与生活，使之安居乐业，即使走弯路、交学费，也必须在震后迅即开展对地质灾害的治理，筑建恢复重建的安全屏障。

近十年来，国家通过对震后数以千计的滑坡、崩塌、泥石流的工程治理，不但保障了重建区人民的生命财产安全，为其经济的可持续发展恢复了稳定的地质环境，也锤炼出一批日渐成熟的勘查设计队伍，涌现出大批科技人才，在工程治理技术上也有所创新，取得了全方位的成就。

为总结震区山地地质灾害治理工程在设计方面之经验乃至教训，于2013年和2014年，笔者相继编著出版了《震后山地地质灾害治理工程设计概要》（以下简称《概要》）和《震后泥石流治理工程设计简明指南》（以下简称《指南》）。近年来，国土资源系

统又陆续编制出台各类地质灾害的勘查、设计规范/标准，这无疑会全面促进山地地质灾害治理工作的发展与科技进步。

但面对成绩，我们也应清醒地意识到，山地地质灾害的诱因众多、机理复杂，工程勘查设计涉及多学科领域，相关理论尚不完全成熟，经验积累也需待以时日，虽经多年磨炼，诸如工程勘查设计的队伍建设、人才培养和技术储备，至今仍难以完全胜任，尤其是初经历练的青年技术人员还缺乏必要的理论知识与实践经验。

因此，山地地质灾害的治理工程设计至今仍凸现出工程方案、结构设计和文件深细度等方面的诸多问题，而工程勘查的失实则是其重要原因。这也与笔者《概要》的内容尚不全面，尤其是对勘查工作内容的从略似不无关系。就此，笔者萌生了在《概要》的基础上增补勘查内容、增订设计内容，集勘查、设计于一体的思绪，以助于工程勘查设计水平的全面提升。

于是，这本《震后山地地质灾害治理工程勘查设计实用技术》面世了。本书重点是全面论述滑坡与坍塌落石的工程勘查要点，补充与更新工程设计内容，并突出震区特点。对泥石流治理工程的勘查设计，本书则是在《指南》的基础上，结合出台的规范，探究疑难技术问题。

全书共分6章：第1章滑坡（含边坡）勘查技术系新撰；第2、3章较全面地分述滑坡治理与边坡支挡工程设计，边坡开挖、加固与防护工程设计，在《概要》的基础上增补了成倍内容；第4章论述预应力锚索设计和施工技术，调整补充了内容；第5章危岩崩塌防治工程，勘查技术系新补，设计技术系增订；第6章探讨与解析泥石流治理工程勘查设计中的疑难与常见问题，是对《指南》的补充。

本书力图保持《概要》《指南》的技术性、经验性、简明性、实用性和可操作性。对滑坡与崩塌（崩塌又分边坡坍塌与危岩崩塌），以勘查、设计工作步骤为主线分步展开论述；对地质勘查，依次阐明灾害体的性质、特征和要素；对工程设计，按工程类型分述工程方案与结构设计原理；对泥石流勘查设计中的疑难问题，则逐一探讨与解答。书中配有较多图表，提出与推荐了众多计算公式并辅以算例，列举了正反两方面的工程实例，供探讨与参考的内容归为附录。

感谢国土、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和中铁二院的同行、专家和领导提供的合作与实践的机遇，以及西南交通大学蒋良淮副教授对本书编印的协助。囿于本人的学识与经验，书中难免存在疏漏和不足，尤其是对规范的商讨更属管见，恳请专家同仁不吝指教与雅正，助力防灾减灾技术进步，谨此由衷致谢！

蒋忠信

2018年5月13日于成都曦城

目 录

绪 言	1
第 1 章 滑坡（边坡）勘查技术	4
1.1 滑坡野外勘查要领	4
1.1.1 勘查手段与勘查要点	5
1.1.1.1 勘查手段	5
1.1.1.2 勘查要点	6
1.1.2 滑坡、坍塌危险区的定量划分方法与堵溃危害	8
1.1.2.1 滑坡、坍塌危险区定量划分的原则与方法	8
1.1.2.2 滑坡、坍塌的堵溃灾害	10
1.1.3 滑坡地质特征勘查：经验与释疑	11
1.1.3.1 滑坡与边坡坍塌的区分标志	11
1.1.3.2 地貌与变形特征	13
1.1.3.3 边界与空间特征	15
1.1.3.4 滑面与结构特征	16
1.1.3.5 古滑坡与不稳定斜坡的地质特征	20
1.2 地震滑坡：机理与分布	21
1.2.1 地震滑坡的形成机理与震前地下水位异动	21
1.2.2 地震滑坡的分布规律	22
1.2.3 地震次生地质灾害的孕育规律	24
1.3 滑坡的成因、分布与类型	26
1.3.1 自然滑坡的形成因素	26

1.3.2	工程滑坡的诱因与类型	28
1.3.3	自然滑坡分布的坡向性	32
1.3.4	滑坡的主要类型	34
1.4	滑坡模式与稳定性分析	37
1.4.1	地质模型选择与稳定性评判	37
1.4.1.1	常见的几种滑坡地质模式	38
1.4.1.2	评判滑动面最危险剖面形状的超熵法	40
1.4.1.3	滑坡的演化阶段与稳定性	41
1.4.2	滑动面抗剪强度指标的确定	42
1.4.3	设计工况及安全系数的选取	45
1.4.3.1	设计工况选取	45
1.4.3.2	安全系数选取	46
1.4.4	稳定性与推力的计算	47
1.4.4.1	圆弧形滑面稳定性检算	47
1.4.4.2	折线形滑面稳定性检算	48
1.4.4.3	滑坡推力的计算方法与简易估算	51
附录 1.1	滑动面形态的趋势面描述	54
附 1.1.1	顺层滑坡倾斜平面状滑面的一次趋势面描述	54
附 1.1.2	一般滑坡箕形曲面状滑面的二次趋势面描述	55
附录 1.2	“5·12”汶川 8.0 级特大地震的震源机制与 工程启示	56
附 1.2.1	震源机制	56
附 1.2.2	既有边坡支护工程的抗震性能	59
附录 1.3	自然滑坡分布的坡向性原理	60
附录 1.4	从反算滑面抗剪强度估算滑坡推力的方法	61

附 1.4.1 按强度折减的滑坡推力估算公式	61
附 1.4.2 按荷载增大的滑坡推力估算公式	62
附 1.4.3 估算方法的适用条件与实例	63
参考文献	64
第 2 章 滑坡治理与边坡支挡的工程设计	68
2.1 滑坡防治工程方案研究	68
2.1.1 防与治（非工程措施与工程方案）的选择	68
2.1.2 工程治理方案的研究	70
2.1.2.1 原则与措施	70
2.1.2.2 综合方案与主体工程	72
2.1.3 抗滑支挡与锚固工程的比选	74
2.1.3.1 抗滑支挡与锚固工程的类型	74
2.1.3.2 预应力锚索与抗滑桩的比较	75
2.1.4 抗滑工程的设置原则	76
2.2 抗滑桩设计要点	78
2.2.1 设计推力选取及其分布形式	78
2.2.2 抗滑桩结构设计：原则与经验	80
2.2.2.1 合理桩间距	81
2.2.2.2 桩高（桩长）的确定原则	82
2.2.2.3 嵌固段长度的确定原则	83
2.2.2.4 嵌固段长度的拟悬臂简化计算方法	84
2.2.2.5 嵌固段长度设计之例	86
2.2.2.6 桩截面的设计原则	87
2.2.2.7 桩身配筋的设计原则	89

2.2.2.8	抗弯矩的结构估计方法	90
2.2.2.9	锁口与护壁及细化桩结构设计	92
2.2.3	抗滑桩复合结构类型	93
2.2.4	微型(钢管)桩	95
2.2.5	锚拉桩	97
2.3	人工挖孔抗滑桩施工：工序与问题	98
2.3.1	井口仰坡支护与开挖工序	99
2.3.2	桩井护壁与开挖	99
2.3.3	动态调整、桩身浇注、质量检测与按图施工	101
2.3.4	桩顶位移与监测	102
2.4	(抗滑)挡土墙设计	104
2.4.1	挡土墙类型及其结构	104
2.4.1.1	抗滑与边坡支挡之重力式挡土墙	104
2.4.1.2	悬臂式与扶壁式挡土墙	105
2.4.1.3	填筑边坡之衡重式与短卸荷板式挡土墙	107
2.4.1.4	填筑边坡之托盘式与桩基承台式挡土墙	108
2.4.1.5	填筑边坡的柔性加筋土挡土墙	110
2.4.1.6	桩板墙	113
2.4.1.7	复合式桩板墙：锚拉式与衡重式	115
2.4.1.8	锚杆挡土墙	117
2.4.2	土压力及其分布	120
2.4.2.1	土压力计算的通用公式	120
2.4.2.2	库仑和朗金土压力系数	121
2.4.2.3	一般地区土压力分布图式	122
2.4.2.4	特殊条件下的土压力分布	124

2.4.3 挡土墙检算	126
2.4.3.1 边坡重力式挡土墙检算	126
2.4.3.2 计算参数与稳定系数取值	128
2.4.3.3 抗滑挡土墙检算	130
2.4.3.4 衡重式挡土墙土压力	131
2.4.4 重力式挡土墙设计	132
2.4.4.1 挡土墙的布设原则与设计图件	132
2.4.4.2 重力式挡土墙截面的设计与估算	135
2.4.4.3 提高稳定性的结构：斜底、凸榫、 墙趾、纵阶	138
2.4.4.4 挡土墙的配套结构：反滤层与泄水孔、 排水沟、伸缩缝、勾缝抹面	139
2.4.4.5 挡土墙设计施工常见质量与安全问题： 挖基、石料与砂浆、排水	140
2.5 其他常用抗滑工程措施	143
2.5.1 减载、反压	143
2.5.2 地表截排水工程	145
2.5.2.1 地表截水沟	145
2.5.2.2 抗滑涵洞	147
2.5.3 地下截排水工程	148
2.5.3.1 明沟、槽沟、渗沟	148
2.5.3.2 水平与垂直排水孔	149
2.5.3.3 渗水隧洞与集水渗井	151
2.5.4 几种实用的抗滑工程措施	152
2.5.4.1 支撑渗沟	152

2.5.4.2 抗滑明洞	157
2.5.4.3 改性土桩	158
附录 2.1 两排束筋满布时不同截面桩身所承受弯矩	159
附录 2.2 成都群光广场基坑支护锚拉桩建议方案	160
附 2.2.1 基坑参数与锚拉桩方案	160
附 2.2.2 土压力计算	161
附 2.2.3 桩与锚索的参数计算	162
参考文献	164
第 3 章 边坡开挖、加固与防护工程设计	169
3.1 切坡技术	169
3.1.1 切坡的地形、地质条件	169
3.1.1.1 切坡的坡形条件	169
3.1.1.2 切坡的地质条件	170
3.1.2 切坡的稳定坡率与特殊效应	172
3.1.2.1 切坡的坡形与稳定坡率	172
3.1.2.2 切坡效应：折角效应与弯折变形	173
3.1.3 两条原理：支挡收坡与坡脚预加固	175
3.2 边坡的临界高度 H 与破裂角 α	176
3.2.1 边坡的临界高度	176
3.2.1.1 临界高度的卡尔曼公式系列	177
3.2.1.2 边坡稳定性的评判标准	178
3.2.1.3 临界高度公式的其他应用	180
3.2.2 边坡破裂角	182
3.3 边坡原位加固技术：土钉墙与锚固	183

3.3.1 土钉墙设计与施工	183
3.3.1.1 土钉墙的构造与施工	183
3.3.1.2 土钉墙的稳定性检算	186
3.3.1.3 土钉墙破坏实例	188
3.3.2 喷锚与格构锚杆及其结构设计	190
3.3.2.1 边坡锚固工程类型与应用	190
3.3.2.2 边坡锚固工程结构设计	191
3.3.3 边坡锚固的设计步骤与检算	193
3.3.4 土钉墙与喷锚支护的异同	194
3.4 边坡坡面防护技术	196
3.4.1 全封闭护坡措施：砌石护坡与抹面	196
3.4.2 非全封闭之骨架类护坡	199
3.4.3 植被护坡	202
3.4.3.1 坡面植草绿化工程的类型与应用条件	202
3.4.3.2 草种选择	203
3.4.3.3 液压喷播植草的特点与工法	205
3.4.3.4 三维网喷播植草的原理与工法	206
3.4.3.5 厚层有机基材植草的原理与工法	208
3.5 边坡工程与环境协调的设计施工原理	209
3.5.1 控制开挖边坡高度的支挡收坡原理	210
3.5.2 边坡自上而下支护与坡脚预加固原理	211
3.5.3 工程弃方的开发性填垦原理	214
附录 3.1 卡尔曼临界边坡高度公式的推导	215
附录 3.2 卡尔曼边坡破裂角公式的推导	219
参考文献	220

第4章 预应力锚索设计与施工技术	224
4.1 预应力锚索技术	224
4.1.1 预应力锚固技术	224
4.1.2 预应力锚索的类型	226
4.1.3 预应力锚索在地质灾害防治中的应用及 适用条件	228
4.1.3.1 预应力锚索在地质灾害防治中的应用	228
4.1.3.2 预应力锚索的适用条件	232
4.1.4 拉力式预应力锚索结构	233
4.2 预应力锚索力学问题	235
4.2.1 预应力锚索加固滑坡的力学原理	235
4.2.2 预应力锚索加固松散滑体的应力传递与响应	236
4.2.3 锚索的预应力损失	237
4.2.4 锚索的锚固力分布	240
4.3 预应力锚索的主要设计原则	244
4.3.1 确定锚固力与张拉值	244
4.3.2 确定锚索下倾角	245
4.3.3 内锚固段长度的确定	247
4.3.3.1 设计原则	247
4.3.3.2 增大锚固力的措施	250
4.3.4 锚索结构和孔径的确定	251
4.3.5 锚索吨位、间距和排数的确定	252
4.3.6 外锚固体：垫墩/格梁、锚具、封锚、连梁	253
4.3.7 工程实例：108国道泸沽段 W_2 高边坡工点 锚索计算	255

4.4 预应力锚索施工技术	256
4.4.1 预应力锚索施工工艺要点	256
4.4.1.1 施工准备与造锚孔	257
4.4.1.2 锚索索体的制作与安装	258
4.4.1.3 锚孔灌浆	260
4.4.1.4 制抑制件	261
4.4.1.5 张拉、锁定与封头	262
4.4.1.6 应力监测与工程验收	264
4.4.2 滑坡体锚孔钻进工艺问题与对策	264
4.4.2.1 钻孔机具	264
4.4.2.2 钻孔工艺	265
4.4.2.3 钻进事故处理	267
4.4.3 锚索失效与修复	269
4.4.4 工程实例：南昆铁路八渡车站巨型滑坡的 综合整治	270
附录 4.1 预应力锚索最佳下倾角的推导	274
参考文献	276
第 5 章 危岩崩塌防治工程勘查设计技术	280
5.1 崩塌（危岩）勘查技术	280
5.1.1 勘查要点	280
5.1.2 崩塌的坡体分带与堆积范围	282
5.1.2.1 崩塌坡体分带	282
5.1.2.2 崩塌落石堆积范围的确定方法	282
5.1.3 危岩卸荷特征	285

5.1.3.1	卸荷裂隙勘查	285
5.1.3.2	卸荷带厚度估算	286
5.1.4	危岩稳定性的定性分析	288
5.1.4.1	赤平极射投影方法	288
5.1.4.2	临界高度评判准则	291
5.1.5	危岩稳定性的定量计算	292
5.1.5.1	各二维失稳模式的稳定性计算： 滑移式、倾倒式、坠落式	292
5.1.5.2	稳定性定量计算存在的问题	295
5.1.5.3	三维失稳模式的稳定性计算问题	296
5.1.6	落石计算与问题	298
5.1.6.1	落石运动的混沌性与现场试验	298
5.1.6.2	落石速度计算	300
5.1.6.3	落石冲击能与弹跳计算	302
5.1.6.4	落石冲击力计算	303
5.1.6.5	落石冲击力计算公式的讨论	305
5.1.6.6	落石嵌入深度计算	307
5.1.7	“岩体早致崩塌”的机理与研究建议	308
5.2	崩塌危岩主动治理工程设计	310
5.2.1	中下部崩塌防治工程措施	310
5.2.2	危岩主动治理工程方案与措施	311
5.2.3	清危与补缝	312
5.2.4	危岩锚固	313
5.2.4.1	危岩锚固的设计原则	313
5.2.4.2	危岩防倾锚杆工程检算	316

5.2.4.3 危岩防滑锚索工程检算	317
5.2.5 SNS 主动网等危岩防护措施	319
5.2.5.1 柔性防护技术的发展与应用	319
5.2.5.2 SNS 主动柔性防护系统概述	320
5.2.5.3 SNS 主动防护系统设计的注意问题	321
5.2.6 危岩支顶工程与结构：墙、柱、梁	322
5.2.7 危岩其他特殊主动治理措施	326
5.2.8 主动加固后的危岩稳定性计算原则	329
5.3 危岩落石被动防护工程设计	331
5.3.1 危岩落石被动防护工程措施	331
5.3.2 拦石墙-落石槽体系：结构设计与施工问题	333
5.3.2.1 主体结构——拦石墙	333
5.3.2.2 配套结构——缓冲层与落石槽	336
5.3.2.3 施工常见问题	337
5.3.2.4 拦石墙稳定性检算方法与建议结构尺寸	338
5.3.2.5 冲击荷载计算与墙顶加设拦石网后的 检算问题	339
5.3.2.6 墙体强度检算示例	341
5.3.3 桩板拦石墙与加筋土拦石墙问题	343
5.3.3.1 桩板拦石墙及其结构问题	344
5.3.3.2 加筋土拦石墙问题讨论	346
5.3.4 SNS 柔性被动防护网	347
5.3.4.1 设计要点	347
5.3.4.2 结构与原理	348
5.3.4.3 问题探讨	351

5.3.4.4 特殊的 SNS 被动防护系统:	
泥石流栅栏与屋顶式防护网	353
5.3.4.5 施工与维护	356
5.3.5 明(棚)洞的设计原则	357
5.3.6 檐式挡墙与坡面障桩	359
附录 5.1 成昆铁路爆破震动现场试验成果	362
附录 5.2 链子崖危岩变形特征与整治意见	364
附 5.2.1 链子崖危岩工程整治的专家系统意见	
之灰色统计决策	364
附 5.2.2 链子崖危岩北区变形特征的分析预测	366
参考文献	368
第 6 章 泥石流治理工程勘查设计技术问题探析	372
6.1 泥石流特征参数计算问题探讨	372
6.1.1 泥石流治理工程勘查要点	372
6.1.2 厘定泥流体重度: 困惑与反演	374
6.1.3 计算断面平均流速: 问题与改进	375
6.1.3.1 既有公式的地区局限性	375
6.1.3.2 稀性泥石流流速公式的完善	377
6.1.3.3 据弯道泥痕高差计算流速的理论公式	378
6.1.4 凹岸水位超高计算公式的校正	379
6.1.4.1 原推荐弯道超高公式的问题与校正	379
6.1.4.2 其他理论公式	381
6.1.4.3 公式的修正	382
6.1.4.4 实例验证	383