

仝 磊  
徐 燕 等 编著  
代树林

# 边坡工程



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)



(TU-0856.0101)

科学出版社  
电话: 010-64030348  
E-mail: gcjs@mail.sciencep.com

销售分类建议: 岩土工程

ISBN 978-7-03-029054-0



9 787030 290540 >

定价: 76.00 元

# 边坡工程

仵 磊 徐 燕 代树林等 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书针对边坡、滑坡、危岩和崩塌、泥石流、塌岸等边坡工程问题,紧密结合相关国家标准规范及相关行业标准,对边坡工程勘察、试验、分析评价、治理、监测等方法进行了阐述。介绍了多种边坡工程分析评价方法,特别是对某些烦琐的方法,给出了分析步骤,使读者深入了解其原理及分析过程。对地表排水、地下排水、抗滑挡墙、卸载与压脚、锚杆和锚索、抗滑桩工程、土钉墙的工程设计、固结灌浆等边坡工程处理措施进行了较详细的介绍。阐述了边坡地表变形监测、边坡内部变形监测、边坡应力监测、边坡地下水监测、监测方案设计、监测实施和监测资料汇总及分析等方面内容。对一些典型的应用方法结合实际工程进行论述,深入浅出地说明了边坡工程的有关理论和实践经验。并给出了边坡工程分析评价的几种主要的应用程序。

本书可作为从事地质工程、岩土工程的研究人员及相关技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

边坡工程/佴磊等编著. —北京:科学出版社,2010.9  
ISBN 978-7-03-029054-0

I. ①边… II. ①佴… III. ①边坡-道路工程 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 185395 号

责任编辑:周 炜 王志欣 / 责任校对:赵桂芬  
责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行·各地新华书店经销

2010年9月第一版 开本:B5(720×1000)  
2010年9月第一次印刷 印张:26 1/4  
印数:1—4 000 字数:508 000

定价:76.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

从在长春地质学院任教至今,近二十七年来一直从事边坡工程的教学与科研工作,完成了较多的边坡工程的科研项目。一直打算将教学中的一些经验、方法编写成书,同时可以借机将从事的一些典型边坡工程的研究与生产工作进行汇集整理。希望能对从事边坡工作的地质工程工作者有所帮助。然而,由于种种原因,至今才勉强完成,并且由于时间跨度较大,很多资料的电子版已不复存在,一些较典型的边坡工程科研与生产工作经验在编写本书的过程中仍未能很好地总结进来。唯一可以欣慰的是虽然本书仍不尽人意,但总算是完成了。若本书的出版能给从事边坡工程的工作者一点点启发,则吾心甚慰。

多年来的教学、生产和科研经历告诉我,读书是学习,使用也是学习,而且是更重要的学习。因此,望读此书之人,不必拘泥于文字,明理释道、灵活应用、通达变通更为重要。

本书的编写经历了一个较长的时期,在这个过程中得到了周能娟、于清杨、刘永平、刘建磊、张敏、彭文、徐丽娜等同志的大力协助,在本书所列边坡项目的研究和生产工作中,齐伟、丁黄平、李森、杨忠、宫雪、陆威、刘剑、程睿、郑百功、富凤丽、戴文婷、杨林、石晓敬、陶波等同志做了大量的工作,在此一并表示感谢!

由于作者水平有限,书中难免有疏漏及不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2010年9月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 边坡工程勘察</b> .....	1
1.1 边坡勘察 .....	1
1.1.1 边坡勘察工作大纲 .....	1
1.1.2 勘察阶段划分 .....	1
1.1.3 边坡调查测绘 .....	3
1.1.4 边坡勘探 .....	4
1.1.5 边坡试验 .....	5
1.1.6 边坡稳定性评价 .....	5
1.1.7 坡率法 .....	8
1.1.8 边坡监测 .....	9
1.1.9 边坡勘察报告 .....	9
1.2 滑坡勘察.....	10
1.2.1 滑坡的分类 .....	11
1.2.2 勘察大纲的编写 .....	12
1.2.3 滑坡调查测绘 .....	12
1.2.4 滑坡勘探.....	14
1.2.5 滑坡试验.....	16
1.2.6 滑坡监测.....	19
1.2.7 滑坡稳定性评价和发展趋势预测 .....	19
1.2.8 滑坡防治.....	20
1.2.9 滑坡勘察报告 .....	20
1.3 危岩和崩塌勘察.....	21
1.3.1 危岩和崩塌勘察目的 .....	21
1.3.2 危岩和崩塌调查测绘 .....	21
1.3.3 危岩和崩塌勘探 .....	22
1.3.4 危岩和崩塌试验 .....	23
1.3.5 危岩和崩塌分类 .....	23
1.3.6 危岩和崩塌防治 .....	24
1.3.7 危岩和崩塌监测 .....	25

1.3.8	危岩和崩塌勘察报告 .....	25
1.4	泥石流勘察 .....	26
1.4.1	泥石流勘察阶段划分及勘察目的 .....	26
1.4.2	泥石流分类 .....	26
1.4.3	泥石流调查测绘 .....	29
1.4.4	泥石流勘探 .....	31
1.4.5	泥石流试验 .....	32
1.4.6	泥石流监测 .....	32
1.4.7	泥石流防治 .....	32
1.4.8	泥石流勘察报告 .....	33
1.5	塌岸勘察 .....	34
1.5.1	塌岸分类 .....	35
1.5.2	塌岸调查测绘 .....	35
1.5.3	塌岸勘探 .....	36
1.5.4	塌岸试验 .....	38
1.5.5	塌岸预测与评价 .....	38
1.5.6	塌岸监测 .....	39
1.5.7	塌岸勘察报告 .....	39
1.6	边坡工程试验 .....	39
1.6.1	结构面(滑面)的抗剪试验 .....	40
1.6.2	现场大重度试验 .....	53
1.6.3	原位渗透试验及水分析 .....	54
1.6.4	岩体(石)变形试验 .....	56
1.6.5	岩石强度试验 .....	59
<b>第2章</b>	<b>边坡工程的评价 .....</b>	<b>64</b>
2.1	瑞典圆弧法 .....	64
2.1.1	基本假定 .....	64
2.1.2	稳定性分析 .....	65
2.2	Terzaghi 法 .....	66
2.3	Bishop 法 .....	67
2.3.1	基本假定 .....	68
2.3.2	稳定性分析 .....	68
2.4	Janbu 法 .....	70
2.4.1	基本假定 .....	70
2.4.2	稳定性分析 .....	71

2.4.3	Janbu 法计算步骤	73
2.4.4	主要特点及适用条件	73
2.5	Sarma 法	73
2.5.1	基本原理	73
2.5.2	稳定性分析	74
2.5.3	主要特点及适用条件	81
2.6	Morgenstern-Price 法	81
2.6.1	力学分析	81
2.6.2	稳定性系数计算	83
2.6.3	主要特点及适用条件	84
2.7	Spencer 法	84
2.7.1	力的平衡分析	84
2.7.2	解题步骤	85
2.8	平面直线型滑面的稳定性评价	86
2.8.1	平面破坏的一般条件	86
2.8.2	平面直线型滑面的稳定性分析计算	86
2.9	不平衡推力传递系数法	88
2.9.1	单一滑动面时滑坡的推力计算方法	88
2.9.2	滑动面为圆弧时	88
2.9.3	滑动面呈折线形时	89
2.10	楔形体滑动的稳定性评价	91
2.10.1	基本假定	91
2.10.2	稳定性分析计算	91
2.10.3	计算步骤	95
2.11	赤平极射投影评价边坡稳定性	99
2.11.1	滑动方向的分析	100
2.11.2	滑动可能性与稳定边坡角的初步判断	100
2.11.3	多组结构面条件下稳定边坡角的初步确定	107
2.12	影响边坡稳定性因素的灵敏度分析	108
2.12.1	单因素灵敏度分析	108
2.12.2	多因素灵敏度分析	109
2.12.3	正交试验用于边坡稳定性多因素灵敏度分析	109
2.13	地下空区对边坡稳定性影响评价	111
2.13.1	地下空区对边坡稳定性的影响	112
2.13.2	地下空区边坡安全系数计算原理	112



2.14	滑坡反分析法	115
2.14.1	两剖面联立反算	115
2.14.2	利用单一剖面反算	116
2.14.3	影响反分析法的因素	117
2.15	数值法在边坡工程中的应用	117
2.15.1	有限元法	117
2.15.2	快速拉格朗日分析法	119
2.15.3	离散元法	120
2.16	边坡可靠性分析	121
2.16.1	边坡稳定分析	121
2.16.2	随机变量的分布函数及破坏概率	122
2.16.3	安全系数与破坏概率之间的关系	124
2.17	蠕滑边坡的稳定性评价	126
2.17.1	滑动面的蠕滑试验	127
2.17.2	滑动时间预测	128
2.17.3	蠕滑边坡评价	128
2.18	高速滑坡机制研究	129
2.18.1	剧动启程阶段——锁固段聚能效应	129
2.18.2	行程高速阶段	132
2.18.3	高速凌空飞越阶段——空气动力擎托持速机理	133
2.18.4	撞击弹落—冲击夯实阶段	133
2.19	崩塌评价	134
2.19.1	崩塌的失稳方式	134
2.19.2	潜在崩塌体的评价	135
2.20	塌岸评价与预测	140
2.20.1	塌岸的形成机制	140
2.20.2	塌岸的预测	146
2.21	泥石流评价	154
2.21.1	泥石流流量计算方法	155
2.21.2	流速计算	156
2.21.3	评价过程示例	157
<b>第3章</b>	<b>边坡工程治理</b>	<b>158</b>
3.1	概述	158
3.1.1	防治原则	158
3.1.2	防治方法	158

---

3.1.3 边坡防治工程设计应具备的工程地质资料 .....	160
3.2 地表排水 .....	160
3.2.1 环形截水沟 .....	160
3.2.2 树枝状排水系统 .....	161
3.3 地下排水 .....	163
3.3.1 盲沟 .....	163
3.3.2 盲洞 .....	166
3.3.3 钻孔排水 .....	167
3.4 抗滑挡墙 .....	168
3.4.1 挡墙布置 .....	171
3.4.2 设计计算步骤 .....	172
3.5 卸载与压脚 .....	172
3.5.1 原则 .....	174
3.5.2 卸载和压脚的方法 .....	174
3.6 锚杆和锚索 .....	175
3.6.1 预应力锚杆加固边坡原理 .....	177
3.6.2 锚杆设计 .....	178
3.6.3 五种可能的破坏情况 .....	179
3.7 抗滑桩工程 .....	179
3.7.1 抗滑桩的类型 .....	180
3.7.2 抗滑桩设计荷载的确定 .....	180
3.7.3 抗滑桩的计算方法 .....	181
3.7.4 抗滑桩设计 .....	187
3.8 土钉墙的工程设计 .....	188
3.8.1 原则 .....	189
3.8.2 土钉墙施工 .....	189
3.8.3 土钉墙结构设计 .....	189
3.8.4 土钉墙稳定性分析 .....	190
3.9 固结灌浆 .....	190
3.9.1 固结灌浆施工 .....	190
3.9.2 固结灌浆效果检验 .....	191
3.10 其他方法 .....	192
3.10.1 拦石网 .....	192
3.10.2 焙烧法 .....	193
3.10.3 钻孔爆破法 .....	195

3.10.4	电渗排水法	195
3.10.5	植树造林	195
3.11	泥石流的防治	196
3.11.1	防治工程建设的基本程序	196
3.11.2	泥石流灾害防治的基本措施	197
3.12	崩塌的防治	199
3.12.1	崩塌的工程治理程序	199
3.12.2	崩塌防治的基本方法	200
<b>第4章</b>	<b>边坡工程监测</b>	<b>206</b>
4.1	概述	206
4.1.1	边坡工程监测的作用	206
4.1.2	边坡监测原则	207
4.1.3	边坡监测的主要内容与方法	207
4.1.4	边坡变形监测技术的发展趋势	212
4.2	边坡地表变形监测	212
4.2.1	大地测量法	213
4.2.2	GPS测量法	217
4.2.3	近景摄影测量法	226
4.2.4	地表沉降变形远程自动化监测	227
4.3	边坡内部变形监测	230
4.3.1	钻孔测斜仪	231
4.3.2	钻孔位移计	237
4.4	边坡应力监测	240
4.4.1	边坡内部应力测试	241
4.4.2	岩石边坡地应力监测	242
4.4.3	边坡锚固应力测试	242
4.5	边坡地下水监测	244
4.5.1	地下水位监测	244
4.5.2	孔隙水压力监测	244
4.6	监测方案设计	245
4.6.1	监测设计的原则	245
4.6.2	测点布点原则	246
4.6.3	边坡工程监测周期与频率	248
4.7	监测实施和监测资料汇总及分析	248
4.7.1	监测工作的实施	248

4.7.2	监测资料汇总及分析	249
<b>第5章</b>	<b>边坡工程实例</b>	<b>253</b>
5.1	边坡排水治理方案研究	253
5.1.1	工程概况	253
5.1.2	稳定性计算分析	253
5.1.3	边坡防护措施	256
5.1.4	结语	258
5.2	边坡稳定性有限元分析	259
5.2.1	工程概况	259
5.2.2	工程地质条件	259
5.2.3	坝区边坡有限元分析	260
5.2.4	边坡稳定性平面有限元分析	263
5.2.5	结论	264
5.3	草炭土路堤稳定性分析及工程处理措施研究	265
5.3.1	研究区工程地质条件	265
5.3.2	评价方法及工程处理措施	266
5.3.3	实例	270
5.3.4	路堤极限填高统计结果	272
5.3.5	结论与建议	272
5.4	公路边坡锚索设计研究	272
5.4.1	研究路段边坡工程地质条件	273
5.4.2	室内试验	274
5.4.3	K6+606~K6+646段边坡稳定性评价	274
5.4.4	K6+606~K6+646段滑坡治理方案	276
5.5	公路路线隧道与边坡方案的对比研究	278
5.5.1	工程地质条件	279
5.5.2	试验分析	281
5.5.3	隧道围岩稳定性分析	282
5.5.4	路堑边坡应力及坡度分析	287
5.5.5	结论及建议	288
5.6	抗滑盲沟工程应用研究	289
5.6.1	01标段滑坡工程地质特征	289
5.6.2	01标段滑坡稳定性评价	290
5.6.3	01标段滑坡治理方案	292
5.6.4	结论及建议	296

5.7	抗滑桩在中里滑坡中的应用研究 .....	297
5.7.1	工程概况 .....	297
5.7.2	抗滑桩设计研究 .....	297
5.7.3	抗滑桩的形变分析 .....	304
5.7.4	工程治理效果 .....	307
5.8	露天矿大型防渗帷幕墙对边坡稳定性影响分析 .....	307
5.8.1	工程概况 .....	308
5.8.2	工程地质条件 .....	308
5.8.3	稳定性分析评价 .....	311
5.8.4	结论及建议 .....	314
5.9	南芬铁矿排土场边坡稳定性研究 .....	315
5.9.1	工程概况 .....	315
5.9.2	排土场场地工程地质条件 .....	315
5.9.3	室内试验 .....	317
5.9.4	大东沟排土场滑坡稳定性分析 .....	318
5.9.5	结论及建议 .....	333
5.10	天然边坡的蠕滑分析方法 .....	334
5.10.1	工程概况 .....	334
5.10.2	工程地质条件 .....	334
5.10.3	山体变形特征及成因分析 .....	335
5.10.4	月牙岭边坡物理力学性质 .....	336
5.10.5	月牙岭边坡稳定性分析 .....	336
5.10.6	影响稳定性因素的灵敏度分析 .....	339
<b>第6章</b>	<b>常用边坡分析程序 .....</b>	<b>341</b>
6.1	边坡稳定性计算 Sarma 法 .....	341
6.1.1	程序功能及主要算法 .....	341
6.1.2	程序使用说明 .....	341
6.1.3	源程序 .....	342
6.1.4	应用实例 .....	347
6.2	数据文件转化程序 .....	349
6.2.1	程序功能 .....	349
6.2.2	程序使用说明 .....	349
6.2.3	程序原文 .....	349
6.3	边坡稳定性计算 Janbu 法 .....	351
6.3.1	程序功能及主要算法 .....	351



---

6.3.2	程序使用说明	352
6.3.3	程序原文	352
6.3.4	应用实例	355
6.4	边坡稳定性计算 Bishop 法	356
6.4.1	程序功能及主要算法	356
6.4.2	程序使用说明	357
6.4.3	程序原文	357
6.4.4	应用实例	359
6.5	滑坡推力计算程序	359
6.5.1	功能及算法	359
6.5.2	程序使用说明	360
6.5.3	程序原文	361
6.6	抗滑桩内力计算 $m$ 法程序	372
6.6.1	功能及算法	372
6.6.2	程序使用说明	373
6.6.3	程序原文	373
6.7	抗滑桩内力计算 $K$ 法程序	386
6.7.1	功能及算法	386
6.7.2	程序使用说明	386
6.7.3	程序原文	386
6.8	塌岸预测程序	398
6.8.1	功能及算法	398
6.8.2	程序使用说明	398
6.8.3	程序原文(略)	398
6.8.4	使用塌岸预测软件实例	398
	<b>参考文献</b>	<b>402</b>

# 第 1 章 边坡工程勘察

## 1.1 边坡勘察

边坡工程勘察的基本任务是查明边坡的工程地质条件,分析影响边坡稳定性的工程地质因素,评价边坡稳定性的现状,预测边坡变化趋势,为边坡工程的设计提供地质资料。

边坡勘察工作主要包括以下内容:

- (1) 边坡勘察工作大纲。
- (2) 边坡调查测绘。
- (3) 边坡勘探。
- (4) 边坡动态监测。
- (5) 边坡的岩土试验。
- (6) 边坡的稳定性分析。
- (7) 边坡勘察报告的内容。

### 1.1.1 边坡勘察工作大纲

承接一段边坡的勘察任务后,在收集已有资料的基础上经过现场踏勘,应编制出边坡勘察工作设计书,指导整个勘察工作。其内容包括以下几个方面:

- (1) 任务来源、目的及技术要求。
- (2) 边坡地段的地理位置、社会经济概况和交通情况。
- (3) 勘察采用的技术方案、主要技术手段和勘察工作量。
- (4) 人员组成。
- (5) 主要仪器和机具设备。
- (6) 勘察进度安排和 workflows。
- (7) 勘察报告的主要内容和附件。
- (8) 经费预算。

### 1.1.2 勘察阶段划分

勘察阶段的划分应视工程的实际需要而定,对于大型边坡勘察宜分阶段进行,根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001),各阶段基本要求如下:

(1) 初步勘察应搜集地质资料,进行工程地质测绘和少量的勘探和室内试验,初步评价边坡的稳定性。

(2) 详细勘察应对可能失稳的边坡及相邻地段进行工程地质测绘、勘探、试验、观测和分析计算,作出稳定性评价,对人工边坡提出最优开挖坡角,并对可能失稳的边坡提出防护处理措施的建议。

(3) 施工勘察应配合施工开挖进行地质编录,核对、补充前阶段的勘察资料,必要时,进行施工安全预报,提出修改设计的建议。

根据《重庆地质灾害防治工程勘察规范》(DB 50/143—2003)规定,地质灾害防治工程勘察应视情况确定是否分阶段进行。当致灾地质体规模不大、基本要素明显或地质条件简单或灾情危急、需立即抢险治理时宜进行一次勘察;当致灾地质体规模大、基本要素不明显或地质环境复杂时应分控制性勘察和详细勘察两个阶段进行。各阶段基本要求如下:

(1) 地质灾害防治工程控制性勘察应在充分搜集分析以往地质资料基础上,根据需要进行调查测绘、勘探和测试等工作,查明地质灾害的基本特征、成因、形成机制,对致灾地质体在现状和规划状态下的稳定性作出初步分析,并对致灾地质体的危险性作出评价,作出是否需要进行详细勘察和防治的结论。控制性勘察成果应能作为详细勘察的依据,但一般不宜作为地质灾害防治工程设计的依据。

(2) 地质灾害防治工程详细勘察应考虑城镇建设、移民迁建、道路、沿江港口码头及岸坡治理等规划建设的需要,依据控制性勘察的结果,结合可能采取的治理方案部署工作量,分析和评价致灾地质体在现状和规划状态下的稳定性和发生灾害的可能性,并提出防治方案建议。详勘成果应能作为地质灾害防治工程设计依据。

(3) 一次性勘察的工作深度应符合详细勘察的基本要求。

(4) 地质灾害防治工程施工期间应开展地质工作,对开挖形成的边坡、基坑和洞体进行地质素描、地质编录和检验,验证已有的勘察成果;必要时补充更正勘察结论,并将新的地质信息反馈给设计和施工。当勘察成果与实际情况明显不符、不能满足设计施工需要或设计有特殊需要时,应进行施工勘察。施工勘察应充分利用已有施工工程。

根据《边坡工程勘察规范》(YS 5230—1996)规定[本规范适用于工业与民用建筑场地,以及已有露天矿边坡设置(构)筑物地段局部稳定性的边坡岩土工程勘察;不适用于水利工程、铁道工程、公路工程等边坡的岩土工程勘察],边坡工程勘察阶段的划分,可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察。必要时,可进行施工补充勘察。可行性研究勘察应符合确定场地方案的要求;初步勘察应符合确定坡形、坡度角及稳定性评价的要求;详细勘察应符合失稳地段治理设计的要求。勘察阶段可根据实际要求进行合并或简化。

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)规定,一级建筑边坡工程应进行专门的岩土工程勘察;二、三级建筑边坡工程可与主体建筑勘察一并进行,但应满足边坡勘察的深度和要求。大型的和地质环境条件复杂的边坡宜分阶段勘察;地质环境复杂的一级边坡工程还应进行施工勘察。

边坡工程勘察应查明下列内容:

- (1) 地形地貌特征。
- (2) 岩土体的类型、成因、性状、覆盖层厚度、基岩面的形态和坡度、岩石风化和完整程度。
- (3) 岩土体的物理力学性能。
- (4) 主要结构面(特别是软弱结构面)的类型和等级、产状、发育程度、延伸程度、闭合程度、风化程度、充填状况、充水状况、组合关系、力学属性和与临空面的关系。
- (5) 气象、水文和水文地质条件。
- (6) 不良地质现象的范围和性质。
- (7) 坡顶邻近(含基坑周边)建(构)筑物的荷载、结构、基础形式和埋深,地下设施的分布和埋深。

### 1.1.3 边坡调查测绘

根据边坡的岩土成分,可分为岩质边坡和土质边坡,岩质边坡的主要控制因素一般是岩体的结构面,土质边坡的主要控制因素是土的强度。无论何种边坡,地下水的活动都是影响边坡稳定的重要因素。进行边坡工程勘察时,应根据具体情况有所侧重。测绘范围不能仅限于边坡地段,应适当扩大到可能对边坡稳定有影响的地段。

边坡工程地质测绘与调查一般包括以下内容:

- (1) 地貌形态,边坡坡度、高度和坡面形态,这对于确定边坡类型和稳定坡率十分重要。
- (2) 岩土的类型、成因、工程特性,覆盖层厚度,基岩面的形态和坡度。
- (3) 岩体主要结构面的类型、产状、延展情况、闭合程度、充填状况、充水状况、力学属性和组合关系,主要结构面与临空面关系,是否存在外倾结构面。着重查明软弱结构面,因为软弱结构面一般是控制岩质边坡稳定的主要因素。
- (4) 地下水的类型、水位、水压、水量、补给和动态变化,岩土的透水性和地下水的出露情况。
- (5) 地区气象条件(特别是雨期、暴雨强度),汇水面积、坡面植被,地表水对坡面、坡脚的冲刷情况。