



卓越工程师教育培养计划配套教材

ZHUOYUEGONGCHENGSHI JIAOYUPEIYANGJIHUA PEITAOJIAOCAI

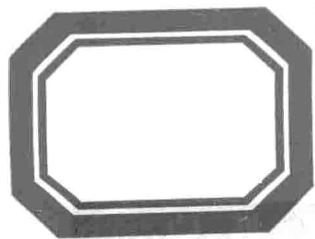
露天矿边坡稳定 分析与控制

主 编 常来山 杨宇江

副主编 唐烈先 张治强



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



程 师

教育培养计划配套教材

露天矿边坡稳定分析与控制

主 编 常来山 杨宇江
副主编 唐烈先 张治强

北 京
冶金工业出版社
2014

内 容 提 要

本书系统介绍了露天矿边坡的特征,包括露天矿边坡工程概述,边坡的特征,露天矿边坡破坏模式分析及露天矿边坡研究的主要内容等;岩体强度及岩体质量评价,包括岩土工程勘察的主要内容,岩石力学性质的室内试验,现场试验,岩体质量评价及岩体力学参数估计等;露天矿边坡稳定性分析与计算,包括极限平衡法,随机分析法和数值分析法等;露天矿边坡稳定性分析实例,主要是为从实践出发,介绍了露天矿边坡分析过程中的地质调查,岩石力学实验,结构面调查,分析计算,现场监测的过程等;露天矿边坡稳定性控制技术,包括滑体治理措施概述,鞍钢眼前山铁矿北帮中部边坡削坡减载治理,控制边坡渐进性破坏的坡脚措施—预埋桩,锚(杆)索支护及露天矿边坡监测与预警等。

本书也可供相关专业的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

露天矿边坡稳定分析与控制/常来山,杨宇江主编. —北京:
冶金工业出版社, 2014. 8

卓越工程师教育培养计划配套教材

ISBN 978-7-5024-6654-1

I. ①露… II. ①常… ②杨… III. ①露天矿—边坡稳定—
稳定分析—教材 ②露天矿—边坡稳定—稳定控制—教材
IV. ①TD804

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 170561 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 王雪涛 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6654-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京慧美印刷有限公司印刷

2014 年 8 月第 1 版, 2014 年 8 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 13.75 印张; 292 千字; 228 页

30.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前言

“露天矿边坡稳定分析与控制”是露天矿山开采的关键技术问题，也是卓越工程师教育培养计划的核心能力培养课程，2012年国家专业目录指导书中采矿工程专业课程体系的内容。

本教材系辽宁科技大学采矿工程专业卓越工程师教育培养计划建设项目的系列教材之一，在强调基础理论、基本知识和基本技能教学的同时，更重视强化工程教育，着眼于卓越工程师教育培养计划的实施，注重现场工程实践环节，在科研、设计工程实例中阐述露天矿边坡稳定分析与控制技术的基本方法和应用过程，寓知识教学、能力培养于工程实例的研讨、分析之中。

本教材在简要叙述露天矿边坡的特征、岩体强度与岩体质量评价、露天矿边坡稳定性分析与计算的基础上，以“弓长岭露天矿独木采场边坡稳定性分析”、“弓长岭露天矿何家采区边坡优化设计”、“鞍千矿业许东沟采场边坡稳定性研究”、“归来庄金矿边坡动力稳定性数值分析”、“鞍钢眼前山铁矿北帮中部边坡削坡减载治理工程”、“包钢白云东矿1544m以下开采边坡锚固治理工程”、“大孤山铁矿边坡位移监测与分析”等工程研究设计项目为主线，阐述露天矿边坡工程项目在设计研究与生产管理等方面的基本技术和前沿性技术的应用，如岩体节理裂隙分布规律研究、钻孔电视观测技术、基于Hoek-Brown准则的边坡岩体强度分析技术、边坡随机分析与风险控制、边坡稳定性分析与预测、节理三维不接触测量系统(3GSM)测量、预应力锚索加固技术、边坡位移监测技术等，着重培养学生分析、解决工程问题的能力。

本书第4章~第6章由常来山负责编写，第1章、第7章、第8章由杨宇江负责编写，第2章由唐烈先负责编写，第3章由张治强负责编写。

II 前 言

本书除作为本科采矿工程专业的教材外，还可作为采矿工程、岩土工程专业研究生的教学参考书，也可供采矿工程、岩土工程研究设计、生产管理等有关技术人员参考。

本书付梓得到很多同仁的关心帮助，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，难免存在疏漏，敬请批评指正。

编 者

2014 年 5 月

目 录

1 露天矿边坡的特征	1
1.1 露天矿边坡工程概述	1
1.2 露天矿边坡的特点	2
1.3 边坡破坏模式分析	3
1.3.1 崩塌破坏模式	3
1.3.2 平面或折面滑动	4
1.3.3 楔体滑动	4
1.3.4 圆弧滑动	5
1.4 影响露天矿边坡稳定性的主要因素	5
1.4.1 岩石矿物组成的影响	6
1.4.2 岩体结构影响	7
1.4.3 水的影响	10
1.4.4 爆破震动影响	11
1.4.5 构造应力影响	12
1.4.6 其他因素影响	12
1.5 露天矿边坡研究主要工作内容	13
2 岩体强度与岩体质量评价	15
2.1 岩土工程勘察概述	15
2.1.1 工程地质条件	16
2.1.2 工程地质研究方法	17
2.2 岩石力学性质室内实验	18
2.2.1 岩石单轴抗压强度试验	18
2.2.2 岩石抗拉强度试验	20
2.2.3 岩石的抗剪强度	20
2.2.4 岩石三轴抗压强度试验	21
2.3 岩体力学性质现场试验	21
2.3.1 现场点荷载试验	22

2.3.2 岩体变形试验	24
2.4 岩体质量评价	25
2.4.1 RMR 分类系统	25
2.4.2 Q 系统分类法	26
2.4.3 工程岩体分级标准	27
2.5 岩体力学参数估算	27
2.5.1 变形模量的估算	28
2.5.2 C 和 φ 值的估算	29
3 露天矿边坡稳定性分析与计算	30
3.1 概述	30
3.2 极限平衡分析基本原理	33
3.2.1 安全系数定义	33
3.2.2 瑞典条分法	34
3.2.3 简布法 (Janbu)	35
3.2.4 毕肖普法 (Bishop)	36
3.2.5 稳定性分析计算中几个问题的处理	36
3.3 边坡随机分析基本原理	41
3.3.1 Monte - Carlo 模拟方法	41
3.3.2 罗森布鲁斯 (Rosenblueth) 法	43
3.3.3 露天矿边坡破坏风险评估	44
3.4 数值模拟分析方法	45
3.4.1 强度折减法的原理	46
3.4.2 强度折减法与安全系数	47
3.4.3 破坏失稳标准的定义	48
3.4.4 动力计算参数	48
3.4.5 屈服准则和计算软件	50
4 弓长岭露天矿独木采场边坡稳定性分析	51
4.1 概述	51
4.2 工程地质特性与岩体结构特征研究	51
4.2.1 矿区自然地理及区域地质概况	51
4.2.2 矿区工程地质岩组	52
4.2.3 北帮中部边坡变形破坏现象与危害	53
4.2.4 北帮中部边坡变形区断裂构造分布规律研究	54



4.2.5	北帮中部边坡岩体节理裂隙分布规律研究	55
4.2.6	节理密度的测量与统计	56
4.2.7	节理迹长的测量与统计	58
4.2.8	节理优势产状的聚类分析	60
4.2.9	优势节理组的统计分析	62
4.3	北帮滑体移动规律的监测与研究	63
4.3.1	滑体监测的指导思想和目标	63
4.3.2	北帮边坡变形监测网的设置	64
4.3.3	边坡变形监测成果与分析	66
4.4	北帮边坡岩体力学性质试验研究	71
4.4.1	北帮岩石物理力学性质试验研究	71
4.4.2	北帮岩体力学性质参数研究	75
4.4.3	断层泥 (F100 和 F110) 性质试验与统计分析	77
4.5	北帮中部边坡稳定性分析与预测研究	81
4.5.1	爆破与地下水对边坡稳定性的影响	82
4.5.2	临界安全系数的确定	82
4.5.3	北帮边坡稳定性的分析与预测	83
4.6	北帮中部边坡可靠性分析与评价	88
5	弓长岭露天矿何家采区边坡优化设计	91
5.1	引言	91
5.2	边坡工程地质特性与岩体结构特征研究	92
5.2.1	自然地理特征	92
5.2.2	区域地质	93
5.2.3	矿区地质	94
5.2.4	矿区构造	95
5.2.5	水文地质	97
5.2.6	上盘边坡工程地质分区与节理裂隙调查	98
5.3	钻孔勘探与试验	100
5.3.1	钻孔勘探及技术要求	100
5.3.2	钻孔布设与施工	100
5.3.3	水文地质试验	103
5.3.4	岩石物理力学性质试验	103
5.3.5	钻孔电视观测	104

5.3.6 基于 Hoek - Brown 准则的边坡岩体强度估算	104
5.4 上盘边坡稳定性研究	107
5.4.1 边坡稳定性的 FLAC 数值模拟	107
5.4.2 边坡稳定性极限平衡分析	111
5.5 上盘边坡不稳定滑体处理方案	121
5.5.1 概述	121
5.5.2 边坡工程地质特征	122
5.5.3 滑塌现状及机制	123
5.5.4 滑体位移监测	124
5.6 弓长岭露天铁矿上盘边坡滑坡模式和治理对策	127
5.6.1 露天矿边坡稳定性影响因素	127
5.6.2 下部边坡治理对策	130
5.7 结论与建议	134
6 鞍千矿业许东沟采场边坡稳定性研究	136
6.1 引言	136
6.2 边坡工程地质特性与岩体结构特征研究	137
6.2.1 矿区自然地理概况	137
6.2.2 矿区地层与岩石	137
6.2.3 矿区断裂构造	140
6.2.4 采场边坡工程地质分区与特征	142
6.3 边坡岩体节理裂隙分布规律研究	147
6.3.1 节理裂隙优势产状的聚类分组分析	147
6.3.2 优势节理组的统计分析	149
6.3.3 A 区顺坡向片理倾角统计分析	150
6.3.4 节理间距与密度的测量和统计	150
6.4 钻孔勘探与试验	151
6.4.1 钻孔勘探及技术要求	151
6.4.2 钻孔布设与施工	152
6.4.3 水文地质试验	153
6.5 岩石物理力学性质试验	154
6.6 爆破测振	156
6.6.1 爆破测振的目的和意义	156
6.6.2 TC - 4850 爆破测振仪	156



6.6.3 传感器的设置和监测方案	157
6.7 边坡稳定性分析	160
6.7.1 边坡稳定性极限平衡分析	160
6.7.2 计算剖面及岩土物理力学指标的选取	160
6.7.3 边坡稳定计算与分析	160
6.8 结论	167
7 归来庄金矿边坡动力稳定性数值分析	169
7.1 矿区概况	169
7.2 坑底爆破边坡稳定性分析	170
7.2.1 强度折减法的实现	170
7.2.2 数值计算模型的建立	170
7.2.3 计算结果及分析	172
7.3 地下开采对边坡稳定性的影响	180
7.3.1 计算范围	182
7.3.2 计算方案设计	183
7.3.3 回采前边坡稳定性分析	183
7.3.4 进路回采计算结果	185
7.3.5 回收间柱后边坡稳定性分析	189
7.4 结论	191
8 露天矿边坡稳定性控制技术	192
8.1 滑体治理措施概述	192
8.1.1 防排水措施	192
8.1.2 减载	193
8.1.3 边坡加固	193
8.2 鞍钢眼前山铁矿北帮中部边坡削坡减载治理	194
8.2.1 眼前山铁矿北帮地质概况	194
8.2.2 北帮中部边坡治理现状	195
8.2.3 北帮中部 -15m ~ -30m 公路路基边坡滑体简介	196
8.2.4 破坏机理及滑体稳定性计算	196
8.2.5 边坡治理方案	197
8.3 控制边坡渐进性破坏的坡脚措施——预埋桩	199
8.3.1 预埋桩施工方式	199



8.3.2 眼前山铁矿北帮中部 +57m 铁路平台钢轨桩加固工程	200
8.4 锚(杆)索加固	201
8.4.1 锚固技术的发展概述	201
8.4.2 预应力锚索框架梁的加固	203
8.4.3 滑体锚固的设计与优化	205
8.4.4 包钢白云东矿 1544m 以下开采边坡锚固治理	209
8.5 露天矿边坡监测与预警	212
8.5.1 边坡节理裂隙人工测量	214
8.5.2 边坡节理三维不接触测量系统(3GSM)测量	215
8.5.3 大孤山铁矿边坡位移监测与分析	219
参考文献	228



1 露天矿边坡的特征

1.1 露天矿边坡工程概述

随着社会的发展和人民需求的增长,大型岩土工程建设项目日益增多,在很大程度上打破了原有自然边坡的平衡状态,控制与管理不当将产生大量的边坡变形和失稳现象,形成滑坡灾害;同时,工程边坡会受到周围环境和工程荷载的影响,使稳定性状况发生改变。因此,工程边坡的稳定问题,不仅涉及工程本身的安全,也涉及整体环境的安全,其失稳破坏不仅会直接摧毁工程本身,还会给人们的生命财产和环境带来灾难性的后果。

露天开采在我国金属矿山中占有非常重要的地位,如果按矿石生产能力计算,露天开采的铁矿约占 $2/3$ 以上。目前,随着露天开采技术的不断发展,露天开采的规模和深度日益增大,许多露天采场正在向深凹发展,很多矿山的垂直深度已达到或超过 300m,部分露天采场的最终设计深度在 500m 以上。

露天采场周边由台阶组成的斜坡称为露天矿的边坡或帮坡,如图 1.1 所示,按其相对于矿体所处的位置不同,可以分为上盘边坡(顶帮),下盘边坡(底帮)和端帮边坡。图中 α 、 β 为最终边坡角, γ 为某一台阶的台阶边坡角,坡顶面至某一开采水平之间的垂直高度为边坡高度。

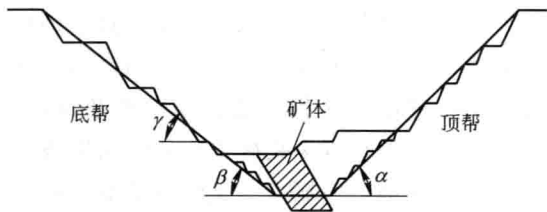


图 1.1 露天矿边坡构成示意图

岩石是构成边坡岩体的物质基础,金属矿床大多与岩浆岩和变质岩有密切关系,岩石自身强度较高,但结构面的发育使岩体破碎,导致整体强度降低。结构面与边坡面的空间组合关系直接影响着边坡的破坏形式和稳定性,例如边坡中有一组结构面与边坡倾向相近,且其倾角小于边坡角时可能发生平面破坏;边坡中两组结构面与边坡斜交,且相互交成楔形体,可能发生楔体破坏;当边坡岩体被结构面切割成散体结构时可能发生圆弧形滑动破坏。

影响边坡稳定性的自然外部因素主要取决于降雨和地震,而人为外部因素则取决于如下两个方面:

(1) 开挖卸荷效应。露天矿边坡形成后,具有一定的外貌形态,并处于一



个动态的自然平衡状态。新的开挖作业会引起边坡岩体的卸荷回弹,导致坡面岩体应力发生松弛,使岩体中应力场重新分布,从而导致边坡产生变形位移。如果这种应力重新分布仍处在边坡岩体强度的允许范围内时,边坡将不会被破坏,开挖边坡仍处于稳定的状态;当这种变形超过了边坡岩体的允许范围或应力达到岩体强度,边坡将发生失稳破坏,此时要保持边坡稳定则必须采取人工加固工程措施。

(2) 爆破震动效应。金属露天矿边坡的开挖作业大多采取钻眼爆破方式,但爆破药量、爆破方式及开挖顺序的不同,对边坡的稳定性动力作用和松动作用也不同。爆破产生的冲击应力对边坡岩体产生冲击和剪切作用,引起边坡岩体强度衰减,导致边坡失稳。同时,爆破作用会使岩体中原有的节理、裂隙张开和扩展,并有可能产生新的裂隙,引起岩体产生松动而破坏其原有的完整性,致使边坡稳定性降低。目前,微差爆破、预裂爆破和光面爆破等控制技术已普遍使用,对边坡的扰动相对较小。

1.2 露天矿边坡的特点

边坡工程是岩土工程的一个重要领域,它的出现和发展与人类工程活动的迫切需要和相关学科的迅速发展紧密相连。边坡工程涉及数学、力学、地质学、工程结构等多个学科,其研究历史已达 100 余年。在早期边坡的稳定性及其加固治理研究工作中,基本上采用了以材料力学和简单的均质弹性理论为基础的土力学原理和方法。这些方法大都具有半经验半理论的性质。

人类遇到的边坡种类较多,如山区的自然边坡、公路铁路路堑边坡、水库河流岸坡、土建挖方工程边坡、露天矿及采石场的边坡等,各种边坡均有自身特点。露天矿边坡是露天采矿工程活动所形成的一种特殊结构物。它与地壳岩体连成一体,处在地应力场内,无时不承受各种自然应力的作用。同时,它又是矿山工程活动的对象,受矿山工程活动的影响。露天矿边坡有以下几个主要特点:

(1) 露天矿边坡工程赋存条件的无选择性。露天矿只能在既定的工程地质环境条件中进行开挖,这是矿山地质工程有别于其他地质工程的最突出的特点。水电、隧道、公路、铁路、城建等地质工程可以选线或选址,尽量采取绕避的原则,而露天矿则必须依矿体赋存条件进行开采施工,形成的边坡从几十米到几百米,走向长从几百米到数公里,揭露的岩层多,地质条件差异大,变化复杂。

(2) 露天矿边坡工程的时效性。露天矿最终边坡是由上至下随采矿生产而逐步形成的,是一个漫长的过程。矿山上部边坡服务年限可达几十年,下部边坡则服务年限较短,采场边坡在采矿结束时即可废止,因此上下部边坡的稳定性要求也不相同。

(3) 露天矿边坡允许一定的变形和破坏,可靠性要求相对较低。露天矿边

坡可以允许岩体产生一定的变形,甚至产生一定的破坏,只要这种变形和破坏不影响露天矿的安全生产即可,这是露天矿边坡不同于其他地质工程的又一个显著特点。

(4) 露天矿边坡工程是复杂的动态地质工程问题。露天矿开采是一个复杂的动态地质工程问题,矿山开挖及开采活动贯穿于矿山服务期限的始终,露天矿边坡的稳定性随着开采作业的进行不断发生变化。露天矿边坡上布置有铁路、公路或胶带等开拓运输系统,担负着采矿生产的矿岩运输任务,亦随采场下延而逐步发展变化,是矿山边坡的重点维护部位。

(5) 露天矿边坡受人为因素和自然因素影响较大。露天矿边坡由中深孔爆破、机械开挖等手段形成,起爆药量大,岩体破坏严重。频繁的穿孔、爆破作业和车辆行走,使边坡岩体经常受到震动影响。边坡岩体暴露时间长,一般不加维护,易受风化等影响产生次生裂隙,进一步破坏岩体的完整性。

对于露天煤矿,组成边坡的岩石主要是沉积岩,层理明显,软弱夹层较多,起主要的控制作用。另外一些露天煤矿第四系土层较厚,常达80m以上,土质边坡较高,稳定性较差。对于大多数的金属露天矿,岩性条件一般要略好于露天煤矿,边坡的破坏类型多受结构面的影响。

由破碎后的岩石和表土堆积而成的排土场边坡,稳定性受排土场基底岩土性质、基底地形、排弃物料性质、排土工艺和排弃物料的分布等因素的影响。

1.3 边坡破坏模式分析

岩石边坡工程的研究是一个系统工程,影响岩质边坡稳定性的因素很多,主要有岩体的基本物理力学特性、岩体内部的结构、地下水作用以及爆破震动等。事实上到目前为止,人们关于岩石边坡的研究仍然处于摸索和逐步深化阶段。岩石边坡的破坏模式主要取决于边坡的岩性以及存在于岩体中的各种构造与坡面的空间组合形式,其可能的破坏模式有:崩塌破坏模式、平面或折面滑动、楔形滑动和圆弧滑动等。现对各个可能破坏模式叙述如下。

1.3.1 崩塌破坏模式

岩坡崩塌破坏是边坡上部的岩块在重力作用下,突然高速脱离母岩而翻滚坠落的急剧变形破坏的现象,是岩体在陡坡面上脱落而下的一种边坡破坏形式,经常发生于陡坡顶部裂隙发育的地方。崩塌破坏的机理:风化作用减弱了节理面间的黏结力;岩石受到冰胀、风化和气温变化的影响,减弱了岩体的抗拉强度,使得岩块松动,形成了岩石崩落的条件;由于雨水渗入张裂隙中,造成了裂隙水的水压力作用于向坡外的岩块上,从而导致岩块的崩落。其中,裂隙水的水压力和冰胀作用是崩塌破坏的常见原因。崩塌的岩块通常沿着层面、节理或局部断层带



或断层面发生倾倒或其下部基础失去支撑而崩落。图 1.2 为崩塌破坏模式。

崩塌可能是小规模块石的坠落，也可能是大规模的山崩或岩崩，这种现象的发生是由于边坡岩体在重力的作用和附加外力作用下，岩体所受应力超过其抗拉或抗剪强度时

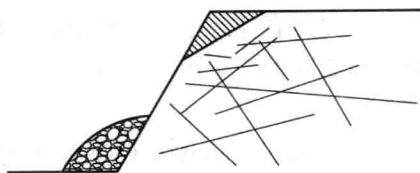


图 1.2 崩塌破坏模式

造成的。崩塌以拉断破坏为主，特别是强烈震动或暴雨往往是诱发崩塌的主要原因。对于金属露天矿，局部的崩塌破坏是不可避免的，此时需注意人员和设备的安全。

1.3.2 平面或折面滑动

平移滑动破坏是指一部分岩体沿着地质软弱面，如层面、断层、裂隙或节理面的滑动。其特点是块体运动沿着平面滑移。其破坏机理是在自重应力作用下岩

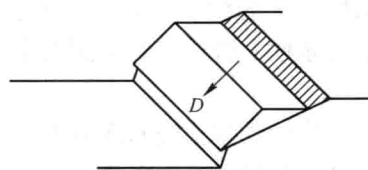


图 1.3 平面滑动破坏模式

体内剪应力超过层间结构面的抗剪强度导致不稳定而产生的沿层滑动。这种滑动往往发生在地质软弱面倾向与坡面相近的地方。由于坡脚开挖或者某种原因（如风化、水的浸润等）降低了软弱面的内摩擦角，地质软弱面以上的部分岩体沿此平面而下滑，造成边坡破坏，如图 1.3 所示。

当边坡中存在与坡面倾向一致的结构面时，就可能发生平面或折面滑动破坏。当没有上下贯通且在坡面出露的结构面时，可能形成的是由多组结构面组合而成的折面滑动破坏，即指由两组或更多的相同倾向的结构面组成的滑面滑动。由于边坡岩体被纵横交错的地质结构面切割，由这些断裂面形成的滑面，往往不是平面或圆弧等规则形状，而是呈现出某一种曲折形状。

1.3.3 楔体滑动

在岩质边坡的失稳模式中，楔形破坏是最常见的一种破坏模式。楔形破坏又称“V”形破坏，是由两组或两组以上优势结构面与临空面和坡顶面构成不稳定的楔形体，并沿两优势面的组合交线下滑。

当坚硬岩层受到两组倾斜面相对的斜节理切割，节理面以下的岩层又较碎时，一旦下部遭到破坏，上部 V 字形节理便失去平衡，于是发生滑动，边坡上出现“V”形槽，如图 1.4 所示。

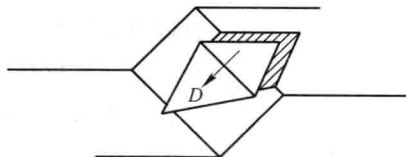


图 1.4 楔体滑动破坏模式

发生楔体滑动的条件是：两组结构面与边坡坡面斜交，两组结构面的交线在边坡面上出露，在过交线的铅垂面内，交线的倾角大于滑面的内摩擦角而小于该铅垂面内的边坡角。

1.3.4 圆弧滑动

圆弧破坏的机理为岩体内剪应力超过滑面抗剪强度，致使不稳定体沿圆弧形剪切滑移面下滑。在均质的岩体中，岩坡破坏的滑面通常呈弧形状，岩体沿此弧形滑面滑移。在非均质的岩坡中，滑面是由短折线组成的弧形，近似于对数螺旋

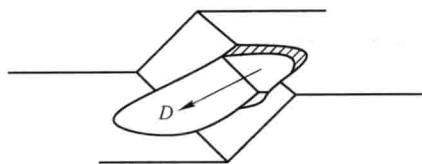


图 1.5 圆弧滑动破坏模式

曲线或其他形状的弧面，如均质土坡、露天矿的排土场边坡或结构面与边坡面相反倾角的岩质边坡。通常认为滑体沿坡肩方向很长，并取一单位长度的边坡进行研究。所以从断面上看，滑面呈圆弧形，如图 1.5 所示。

1.4 影响露天矿边坡稳定性的主要因素

理论和实践都已证明，提高边坡稳定性最有效的办法之一就是减缓边坡角，但减缓边坡角必然要增大剥离量，从而大大增加矿山开采的成本，所以研究边坡稳定性的实质，就是正确处理安全性和经济性的矛盾。随着采矿设备和采矿技术的发展，露天矿的合理开采深度在不断地增大，边坡的高度也随之增大。例如大唐国际胜利东二号露天煤矿设计年生产能力为 3000 万吨/a，开采深度超过 600m。

对于边坡走向长度 5km、高 600m、边坡角 23° 左右的边坡，边坡角改变 1° 时单侧边坡上剥离量变化如图 1.6 所示。可以看出， 23° 左右的边坡每改变 1° 时总的剥离量就将增加或减少约 1 亿立方米，如果在保证安全的情况下提高 1° 边坡角，将给矿山带来至少 10 亿元以上的经济效益，还可以减少土地的破坏和占用量，具有巨大的社会效益。

露天矿边坡是露天采矿工程活动所形成的一种特殊结构物。它与地壳岩体连成一体，处在地应力场内，无时不承受各种自然条件的作用。同时，它又是矿山工程活动的对象，受矿山工程活动的影响。因此，影响露天矿边坡稳定性的因素繁多，估计各种因素的影响程度是一个很复杂的问题。这些因素可分为两类：

(1) 岩石的矿物组成、岩体中的地质结构面（如层面、断层、节理、片理等的性质和产状）和构造应力，它们是边坡岩体自身所固有的，是影响边坡稳定性的内因；

(2) 水、采矿工程活动、震动、风化等，为岩体所处的环境条件，是影响

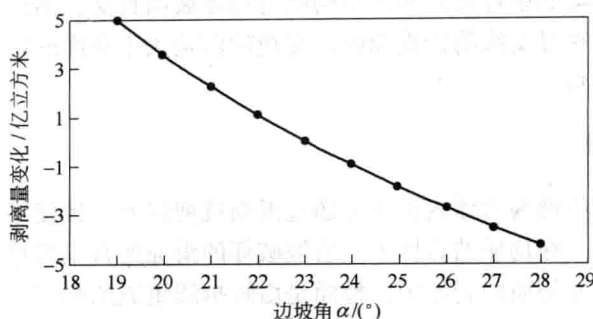


图 1.6 边坡角与剥离量变化关系

边坡稳定性的外因。

1.4.1 岩石矿物组成的影响

不同矿物的强度不同，许多岩浆岩的原生矿物很坚硬，可以经受现代采矿深度的岩体应力。某些原生矿物如 Na、Ca、Mg 等的化合物，易溶于水，为风化的不稳定矿物，强度随时间而减弱。长石类矿物经风化后分解成次生黏土类矿物，其中蒙脱石组矿物吸水性强而透水性弱，这种成分存在往往导致滑坡。我国露天煤矿中顺层面滑坡多属此类。

岩石是矿物的集合体。矿物软，岩石强度便不会大，但矿物硬，岩石强度也不一定高。岩石的强度还取决于矿物或颗粒的组合特征。矿物或颗粒的组合有两个特征：结构和构造。前者是指矿物结晶程度、颗粒大小、形状及相互之间的关系等，后者是指矿物或颗粒的空间排列关系。

岩石有晶质、非晶质及碎屑质之分。一般讲，晶质岩石强度大于非晶质，而碎屑质岩石强度较差。晶质是岩浆岩及变质岩的特征，某些沉积岩也有晶质特征。晶粒尺寸变化很大，晶粒细微的称为隐晶质或泥质，一般等粒细晶岩的强度较大，将岩石熔融，使晶粒变小，可提高强度。非晶质岩石为数不多，如岩浆岩中的黑耀岩和沉积岩中非全晶质（晶质中有部分玻璃质）的熔石等，这类岩石强度小，易风化。碎屑质是由岩浆岩风化后沉积下来胶结而成的，多数沉积岩属于此类。沉积岩的强度及透水性主要取决于胶结物质，硅质胶结比钙质胶结强度大，泥质胶结强度最差。碎屑质岩的透水性随粒度减小而降低，当粒度处于 0.01 ~ 0.005mm 时，显示出黏性土的性质。粒度小于 0.005mm 的颗粒成分增加时，内摩擦角 φ 减小很多。

岩石，作为一种工业材料与力学研究的对象，与其他材料（如钢材）相比，具有明显的不同特点。岩石的力学性质有明显的非均质性，即各质点的力学性质不同；各向异性，即沿不同方向的性质不同；不连续性，即岩体作为一物理场，