

BIANPO GONGCHENG SHOUC

①

边坡工程手册

边坡工程手册

上册

加拿大矿物和能源技术中心 编

祝玉学 邢修祥 译

常本英 审校

冶金工业出版社

7-1041/21

内 容 提 要

这部工程手册是加拿大矿物和能源技术中心 (CANMET) 1972~1977 年编写的研究报告, 原名是《PIT SLOPE MANUAL》。本《手册》全面地总结和运用了当前边坡工程的实践经验, 并使其提高到比较系统的理论高度。它吸取了边坡研究的最新成果, 以可靠性理论为基础, 以可靠性分析、受益-费用分析和风险分析为主线, 提出了比较完整的边坡工程设计方法、管理方法和试验方法。

全书原版共27册, 为了使用方便, 译本分上、下两册出版。上册共十章, 详细地论述了影响边坡稳定的诸因素及其研究方法, 论述了边坡稳定性的评价方法以及必要的补救工程措施和环境保护措施, 侧重于说明做什么, 为什么这样做。其内容有: (1) 概论; (2) 构造地质; (3) 力学性质; (4) 地下水; (5) 设计; (6) 机械加固; (7) 周边爆破; (8) 监测; (9) 废石坝; (10) 环境规划。

本书可供地质、矿山、交通、水利、土建、环境规划领域中从事边坡设计、研究、管理和教学人员参考。

边 坡 工 程 手 册

上 册

加拿大矿物和能源技术中心 编

祝玉学 邢修祥 译

常本英 审校

责任编辑 林聪

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 51 字数1226千字

1984年8月第一版 1984年8月第一次印刷

印数00,001~5,000册

统一书号: 15062·4062 定价6.10元

译 序

边坡工程明显地影响露天矿山建设投资与生产经营的效果,因此一个最优化的露天矿山工程设计理当包括边坡工程的最优化设计。同样,露天矿山生产最优化管理与控制也理应包括边坡的最优化管理与控制。最优化的目标是在产量等条件约束下使经济受益最大。最优化边坡工程设计的概念是综合衡量因加陡边坡而减少剥离的经济受益与为稳定边坡所花销的费用,从中求得经济上最优的边坡角,并将边坡工程的经济评价作为露天矿山总体经济评价中的一项,作为露天矿山总体最优化目标的一个组成部分。

由于矿山地质构造、岩石强度在空间上分布具有随机与相关的特征,外力作用(爆破震动、地下水压力、附加载荷)也具有随机性,以往用的安全系数法考虑不了这些随机的、动态的、而且又有相关性的因素。因此通过分析认为是稳定的边坡,实际上却往往是不稳定的。比较好的方法是确定不稳定的可靠性,估计边坡不稳定的概率,计算经济上的风险,将这些分析的结果纳入整个矿山经济风险分析中。

《边坡工程手册》正是针对这样一个目标,全面地总结和运用了当前边坡工程的实践经验,并使之提高到比较系统的理论高度。它以可靠性理论为基础,以可靠性分析、受益与费用分析,以及风险分析为主线,提出比较完整的边坡工程设计方法、管理方法和试验方法。

《边坡工程手册》比较全面地讨论了边坡工程中的各个问题。全书原版计27册,堪称为空前浩瀚的边坡巨著。它由正篇到补篇,步步增广,层层入微。为使用方便,译本分上册(包括正篇十章)、下册(包括各补篇)出版。上册着眼于做什么,为什么这样做;下册着眼于如何做。上册侧重于分析方法;下册侧重于程序说明。

上册第一章概论,为避免与以后各章的文字和图表重复,又保持全书头尾衔接,对全章作了删节,删掉了全部重复的图表,保留了其主要内容。

下册补篇10-1的第二卷“Mine waste inventory by satellite imagery”均系复制的加拿大境内人造卫星图片,为篇幅所限,全部删去。读者如需参考,请查阅原文。

原版各章(补篇)前有提要,后有文献目录,为缩减译文量,亦予删去。

本书第一章由祝玉学和邢修祥同志节译。第二、四、五、六、七、九章以及补篇2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、5-1、5-2、5-3和6-1由祝玉学同志翻译。第三、八、十章和补篇3-1、3-2、3-3、3-4、3-5、4-1、10-1由邢修祥同志翻译。除张绪珍、黄开飞、王克玉同志分别对第四、九、十章和补篇2-5作了校对外,其余均由祝玉学和邢修祥互相校对。全书由祝玉学同志负责整理,常本英同志作技术审校。

原书在内容和编排方面的一些错误,翻译中均作了改正,但未一一作注。

限于学识水平,谬误在所难免,恳切希望读者指正。

译 者

1981年7月

前 言

露天开采约占加拿大矿石生产的70%，随着煤和沥青砂生产的发展，露天开采在采矿工业中的重要性将继续增加。有鉴于此，加拿大矿物和能源技术中心编写了《边坡工程手册》，试图通过改进边坡设计给开采效率带来实际利益。

这部手册已引起加拿大国内外的极大兴趣，实际上，它的很多成果已在矿山设计中采用。然而，应当承认，仅仅出版这部手册是很不够的，还须通过其它途径帮助工程师和设计师们学会使用手册中论述的各种方法。这种传播技术的需要将通过一系列矿山人员学术会议来实现，这些会议将由各采矿中心在手册出版后从1977~1981年召集。

本手册的一个显著特点是它的协作性，与露天矿设计有关的许多单位和个人都为它作出有益的贡献。其资金是由采矿工业界和联邦政府共同筹措的。

荣誉必须归于那些在五年间始终不懈的努力并作出卓越贡献的人们，他们的报酬不过是知道了他们已经完成了一项艰巨的工作；也许，在这里列举他们的姓名也算是一项。他们是：M.吉恩格，G.赫格特，G.拉罗克，R.塞奇，M.塞维斯。

加拿大矿物和能源技术中心总理事

D.F.科茨

序

为露天矿边坡设计出版一部工程手册，是在岩石边坡潜在受益和费用的一系列研究工作之后决定的。这些研究是由 D.F.科茨和已故的A.杜布尼为加拿大采矿研究室作的。研究表明，可以通过改进设计程序使露天矿边坡角接近最优边坡角。在这种情况下，由于废石剥离量的减少，或矿石回采量的增加，将收到很大的经济利益。据估计，1970年，受益约为四千万美元。

1972年，以改进露天矿边坡设计为目的的《手册》编写工作开始了。一开始，我们就认识到得到采矿工业界帮助的重要性，因此，这部手册是联邦政府和工业界合作的产物。计划和协调，章节的起草，由采矿研究室负责。其它大量的具体编写工作由许多采矿公司、顾问工程师和大学负责。有些地方也吸取一些国外经验。

《边坡工程手册》是矿山人员的实际工作工具，当然，可能会有许多实际经验和专门知识的需要超出了本书的范围。然而，无论如何，矿山人员必须承认合理的边坡设计的需要，并且能够满足这种需要。《手册》企图赋予加拿大所有露天矿工作人员都具有这种实际工作能力。

R.塞奇

1976年6月于渥太华

目 录

第一章 概论	1	一、调查研究	15
第一节 引言	1	二、设计	16
第二节 构造地质	2	三、填筑和作业	16
一、资料收集	2	四、永久冻土层	17
二、资料存贮	2	第十节 环境规划	17
三、资料整理	2	一、勘察	17
四、设计扇形区	3	二、生态调查	17
五、矿山开发阶段	3	三、社会-经济因素调查	17
六、费用	3	四、气象调查	18
第三节 力学性质	4	五、北方因素	18
一、试验程序	4	六、基建的影响	18
二、试验	4	七、水污染	18
三、矿山开发阶段	6	八、复田	18
第四节 地下水	6	九、其它作业	19
一、目的	6	十、立法	19
二、水压力的测定	6	第二章 构造地质	20
三、分析	7	第一节 引言	20
四、疏干	7	一、目的和范围	20
五、监测	8	二、潜在的边坡问题	20
六、矿山开发阶段	8	三、资料收集、整理和分析	20
第五节 设计	8	四、矿山开发阶段	21
一、可靠性	9	五、报告书的技术要求	22
二、分析	9	第二节 地质资料收集	22
三、矿山开发阶段	10	一、矿区普通地质	22
四、相关设计	10	二、测线测绘	23
第六节 机械加固	11	三、区段测绘	23
一、加固方法	11	四、区域与矿区规模的确定	24
二、设计	11	五、露天矿设计所需的详细测绘	24
三、监测	12	六、术语	25
第七节 周边爆破	12	七、直接观察	28
一、影响爆破的因素	12	八、记录	31
二、周边爆破技术	13	九、监测	31
三、爆破与地面震动	14	十、编录	31
第八节 监测	14	十一、保存	31
一、监测级别	14	十二、时间和费用	31
二、遥测装置	15	十三、间接观察	34
第九节 废石坝	15	十四、数据的存贮和表示	42

第三节 边坡稳定性分析的地质资料评定	42	一、可行性阶段	140
一、不连续面的方位	42	二、矿山设计阶段	142
二、不连续面的间距	57	三、开采阶段	143
三、不连续面的长度	59	四、费用	144
四、起伏度	60	第七节 实例	145
五、充填物和裂隙面的强度	61	一、矿山设计阶段	145
六、地下水	63	二、开采阶段	146
七、构造区 and 设计扇形区	63	三、滑坡分析	151
八、运动学分析	63	第四章 地下水	156
第四节 可行性阶段●的技术要求	69	第一节 导言	156
一、目的	69	一、目的和范围	156
二、资料来源	70	二、露天开采中的地下水	156
三、野外工作	71	三、本章的编排	156
四、时间和费用	71	第二节 地下水理论与研究方法	158
第五节 矿山设计阶段的技术要求	71	一、地下水的特性	158
一、目的	71	二、岩体内地下水渗流	159
二、资料来源	72	三、地下水对边坡稳定性的影响	163
三、野外工作	72	四、区域地下水条件的评价	165
四、摄影	73	五、边坡内地下水条件的评价	165
五、费用	73	六、地下水数据的分析	174
六、开采阶段的技术要求	73	七、地下水对岩石边坡稳定性的影响	179
附录2-A DISCODAT野外指南	75	八、设计用的地下水输入数据	182
附录2-B 钻孔岩心和编录	87	第三节 疏干原理与方法	186
附录2-C 现场调查的记录	94	一、疏干原理	187
附录2-D 加拿大航空照片的来源	103	二、需要疏干的边坡范围	188
第三章 力学性质	105	三、影响疏干的因素	189
第一节 导言	105	四、天然疏干与引导疏干	190
一、目的和范围	105	五、疏干与排水方法	191
二、各项工作之间的相互联系	105	六、疏干系统的选择	196
三、设计阶段	106	七、疏干系统的安装	197
四、评价原位岩体性质的方法	106	八、疏干系统的维护与改进	199
第二节 试验程序的拟订	107	九、地下水的其它控制方法	199
第三节 试验程序的实行	110	十、疏干监测	200
一、不连续面的抗剪强度	110	十一、疏干试验	201
二、岩石物质的抗剪强度	121	第四节 地下水的评价程序	201
三、岩体抗压强度	125	一、可行性阶段	202
四、其它力学性质	126	二、矿山设计阶段	204
第四节 试验数据的统计分析	132	三、开采阶段	206
一、试验结果	133	四、费用和时间准则	207
二、平均值和标准离差的计算	134	第五节 说明性的实例研究	209
三、试验结果和正态分布的比较	135	一、地下水报告：可行性阶段	209
四、结果的解释	136	二、地下水报告：矿山设计阶段	227
第五节 试验结果的报告	139	三、地下水报告：开采阶段	238
第六节 各开发阶段的试验程序	140	四、杰弗里矿	248
		附录4-A 水压计的分类与安装方法	258

●可行性阶段即可行性研究阶段。——译注

附录4-B 降水头渗透性试验	270	三、扶壁	414
附录4-C 常水头渗透性试验	276	四、挡土墙	414
附录4-D 水井试验	283	五、钢丝网	414
附录4-E 平硐用于地下水研究	291	六、加固作用的深度	416
附录4-F 流网的绘制与应用	297	第三节 加固设计	416
附录4-G 电阻模拟	303	一、简单的平面剪切	416
附录4-H 区域地下水评价	307	二、三维楔形体	421
附录4-I 永冻层	311	三、多块体平面剪切	422
第五章 设计	321	四、旋转剪切	424
第一节 导言	321	五、岩块流动	426
一、目的和范围	321	六、表面岩石崩落	426
二、设计阶段	321	第四节 设计阶段	426
三、调查	322	一、可行性阶段	426
四、分析	322	二、矿山设计阶段	427
五、相关的设计	322	三、开采阶段	427
六、报告书的技术要求	324	第五节 安装	429
第二节 矿山初步规划	325	一、岩石锚栓	429
一、最终采场设计	325	二、喷射混凝土	431
二、边坡几何形状	326	三、钢丝网	431
三、设计扇形区	329	四、扶壁和挡土墙	432
四、剥采比	331	第六节 监测	432
第三节 可行性与矿山设计阶段	333	第七节 费用	433
一、边坡设计	333	一、台阶加固	433
二、野外调查	336	二、中等边坡	434
三、稳定性分析	339	三、大型边坡	434
四、经济最优化	349	四、喷射混凝土费用	434
五、相关的设计	354	附录6-A 楔形不稳定体加固的简化分析	436
第四节 开采阶段	355	附录6-B 岩石锚栓的制作与安装	441
一、野外调查	355	附录6-C 喷射混凝土的应用	451
二、先前的边坡	356	附录6-D 加拿大加固材料的厂商和	
三、稳定性分析与经济最优化	357	费用 (1975)	460
四、相关的设计	358	附录6-E 岩石锚栓加固的实例	467
五、费用	361	第七章 周边爆破	474
附录5-A 设计中的概率和风险	363	第一节 目的与范围	474
附录5-B 矿山设计	374	第二节 可控制变量	474
附录5-C 先前边坡的研究	393	一、炸药类型	475
第六章 机械加固	407	二、不耦合装药与间隔装药	478
第一节 导言	407	三、爆破孔中的水	479
一、目的	407	四、爆破孔直径	480
二、加固的经济利益	407	五、抵抗线与孔距	480
三、加固原理	408	六、延迟时间与起爆顺序	480
第二节 加固方法	409	七、穿孔	481
一、岩石锚栓	409	八、余高与超深	481
二、喷射混凝土	412	第三节 场地条件的影响	482
		一、原位动态岩石强度	482



二、其它岩石性质	484	附录8-J 露天矿实用的遥测系统	620
第四节 控制爆破技术	488	附录8-K FM/FM遥测系统	624
一、减震爆破	488	第九章 废石坝	627
二、缓冲爆破	488	第一节 引言	627
三、预裂爆破	488	一、目的与范围	627
四、线状排孔	489	二、矿山废石坝	627
第五节 费用和受益	489	三、基本功用	628
一、受益	489	四、遇到的问题	628
二、费用	490	五、调查	629
第六节 拟定控制爆破的程序	493	第二节 场地和材料的调查	629
一、勘探评价阶段	493	一、概述	629
二、矿山设计阶段	494	二、性质	631
三、矿山重新设计	494	三、尾矿的特性	632
第七节 地震破坏	496	四、机械性质	633
一、建筑物与设备	496	五、气象与水文调查	642
二、地下坑道	497	六、岩土工程技术性质调查	645
附录7-A 周边爆破在加拿大露天矿山实地应		七、实验室试验	648
用的简表	503	八、试验孔记录	652
附录7-B 降低边坡震动的生产爆破设计	504	九、矿山废石	652
附录7-C 控制爆破设计	505	第三节 设计	653
附录7-D 冲击和震动测量	514	一、概述	653
第八章 监测	517	二、问题的类型	653
第一节 引言	517	三、尾矿池	659
第二节 监测程序的应用	517	四、尾矿坝设计	661
一、I级监测	517	五、渗流控制	663
二、II级监测	524	六、迳流控制	669
三、III级监测	533	七、坝的超高和波浪的防护	671
第三节 岩石噪音作为物理现象的监测	534	八、最小坝顶宽度	672
第四节 铁道旁岩石崩落和滑坡的监测	535	九、废石	673
第五节 数据收集和表示	535	十、稳定性分析	679
一、数据收集	535	十一、沉降分析	687
二、数据表示	535	第四节 填筑与作业	688
第六节 遥测和数据处理系统	539	一、尾矿坝的填筑	688
一、岩土工程技术性质监测系统的职能划分	539	二、初期坝	692
二、选择遥测系统的准则	546	三、坝基	692
附录8-A 用经纬仪和电磁位移测量仪器		四、填料压实	693
进行位移监测	548	五、泄水系统	696
附录8-B 用水准仪监测位移	556	六、维护	697
附录8-C 地表应变伸长计	560	七、补救措施	697
附录8-D 移动式钻孔倾斜仪	575	八、地表排水	699
附录8-E 钻孔伸长计	579	九、废石坝	699
附录8-F 侧置摆	595	十、测试仪器	702
附录8-G 岩石锚杆和锚索测力计	602	十一、废弃的废石坝	703
附录8-H 遥测系统试验实例	609	第五节 永冻层的影响	703
		一、基本机制	703
		二、现场调查	706

三、废石坝.....	707	三、通过植被进行改造	737
四、修整	712	四、植物的选择	738
附录9-A 估算迳流量.....	714	第五节 其它作业	745
第十章 环境规划	722	一、汽车运输	745
第一节 导言	722	二、管道	745
第二节 准备阶段	722	三、排水	746
一、勘探	722	四、爆破	746
二、生态调查	723	五、矿山关闭	751
三、气象研究	725	第六节 时间和预算指导.....	752
四、考虑北方气候的特殊性	725	一、基本调查	752
五、基建的影响	726	二、水的采样和分析.....	753
六、其它	727	三、废水净化	753
第三节 水的供应和处理.....	727	四、植被	754
一、供水	727	第七节 法规	754
二、污染	728	附录10-A 和加拿大露天矿山有关的水	
三、净化	731	污染类型	756
第四节 矿物废石区的改造.....	735	附录10-B 采矿法规摘要	757
一、土地的使用	735	附录10-C 舍班都文矿山实例.....	761
二、废石区的性质	735	词汇表	776

第一章 概 论

第一节 导 言

1. 设计露天矿边坡是露天矿设计的一个重要组成部分。边坡形状既影响矿石回采量,又影响废石剥离量,因而,大大地影响采矿的利润。边坡设计的目的是要确定边坡几何形状,使采矿的经济利益达到最大程度。

2. 在决定实际开采的边坡角时,边坡设计者必须将可能的边坡不稳定带来的费用和废石剥离费用加以权衡。边坡越陡可能越不稳定;不稳定就可能引起清理费增加、生产延迟或矿石损失。反之,较缓的边坡比较稳定,但废石剥离费用较高。最优设计是使剥离废石和可能发生的不稳定的综合费用变得最小。

3. 边坡设计的传统方法并不考虑边坡形状的经济影响,原因之一是它要避免任何类型的不稳定,这大概是受到土木工程观念的影响,没有认识到在采矿工程中,如果所承担的费用(包括确保安全工作条件的费用在内)由于边坡加陡、废石剥离费用降低而得到弥补的话,不稳定在经济上将会是有利的。

4. 传统设计方法的第二个缺点是否认土壤和岩石的可变性。这种可变性妨碍边坡稳定性的精确确定,经过分析证明是稳定的边坡常常发生不稳定。比较好的方法是确定不稳定的可能性,然后可以估价滑动的危险,并纳入整个采矿生产风险分析之中。

5. 《边坡工程手册》叙述了确定边坡不稳定的风险性方法,它还说明如何把与较陡边坡有关的利润、费用编入矿山总体设计中。这些方法是以可靠性理论为基础的,按照这个理论,要估量影响稳定性的许多因素的可变性,在确定边坡可靠性的分析中要考虑这些可变性。所谓可靠性即整个边坡或部分边坡保持稳定的概率。

6. 可靠性方法考虑到,可能存在不稳定,伴随不稳定就有费用问题,《手册》列举了若干估算这些费用的方法。当已知不稳定费用和采矿费用时,设计者便可确定给定边坡形状的成本和利润,以及伴随的风险。这些资料用于决定矿山投资和选择最优边坡形状。

7. 《手册》把矿山开发分为三个阶段:可行性阶段,包括同意开采所必须进行的调查研究和分析。在此阶段须编制矿山初步设计,大量现场资料也可收集起来作为矿体评价程序的一部分。

8. 矿山设计阶段,一旦认为开采可行,即转入此阶段。此时,需收集充分的现场资料,同时对未来的露天矿边坡进行完整的分析,并将分析的结果纳入矿山经济风险分析中。

9. 开采阶段,利用采矿所揭露的广大表面积 of 有利条件,收集一些补充资料。还须检验设计阶段所作的假定,必要的话,还须重新设计。

10. 露天矿边坡设计从确定构成边坡材料的性质开始,其中最主要的是构造地质调查,因为岩质边坡的不稳定通常是沿不连续面(断层、节理和层面)发生。其次是确定边坡材料的力学性质,例如抗压强度、抗剪强度等。第三是研究地下水,一般说来,地下水对

采矿作业特别是对边坡稳定性的影响是很重大的。

11. 资料收集之后,继之以边坡稳定性分析和经济分析,以便选定最优采场形状。这是设计方面的工作,需要考虑矿石的价值、采矿方法以及边坡稳定性。

12. 当不稳定果真发生时,可能要采取补救措施。有时,临界边坡可以通过机械加固的方法提高岩石强度而获得稳固。边坡岩石的质量和边坡稳定性还可以通过控制性周边爆破而获得显著提高。

13. 边坡设计须确保安全。这可以通过采矿期间边坡移动的精心监测来实现。这项工作还包括对矿山设计中所使用的假定的验证。

14. 以上强调指出的诸项即为本《手册》的各章标题,附加的两章叙述露天矿废石坝设计的专门技术要求,和环境规划的作用。

第二节 构造地质

15. 多数岩石边坡的不稳定是由不连续面,即节理、断层和层面引起的。不连续面还影响地下水流动,而地下水流动又反转过来影响稳定性。

16. 稳定性分析必须考虑这些影响。构造地质工作者应当确定不连续面的位置、方位和范围,确定它们将怎样影响边坡稳定。

一、资料收集

17. 构造地质调查的第一步是审阅现有的地质资料和确定区域的地质概况,由此,可以评定稳定问题并提出地质调查的程序。甚至在缺乏原始资料的地方,研究拟建矿山周围岩层的一般性质也可以发现具有代表性的问题。研究必须包括气候影响、风化作用、剪切带和断层带,以及与不稳定条件有关的岩石类型,例如石灰岩中的溶蚀洞等。

18. 初步评价之后,进行详细资料收集。资料收集最好是通过现场测绘不连续面的方位、长度、间距、形态以及岩石类型的分布来实现。地下地质可依据岩心编录绘制成图。目的是要获得影响边坡稳定的全部不连续面的具有充分代表性的记录。

19. 平板仪摄影测量和大地摄影测量作为采场内地质测绘的补充是有用的。平板仪摄影测量比较简单。大地摄影测量比较精确但成本也比较高,只有在绘制大量节理图时,才比较经济。地表和钻孔地球物理测量可提供关于土体和岩石类型分布以及岩石断裂的有用资料。特别是地表地球物理测量更是简单明了,并且可以用低价的仪器设备进行。

二、资料存贮

20. 地质调查收集大量的资料,这些资料必须精确和清楚地加以记录,使之便于利用。

21. 处理资料的传统方法是在平面图和剖面图上绘制较大的不连续面和岩石类型,应用图解法和数值法分析资料。这需要有经验的工作人员。计算机为处理地质资料提供了可取的方法,这种方法具有特殊的优点,即工程地质人员可以把测绘和分析任务分成一系列简单步骤,由比较缺乏经验的人员来完成。

22. 使用计算机需要有地质测绘的标准方法,《边坡工程手册》已提出适当的方法、有关的现场指南和称作DISCODAT的计算机程序组。

三、资料整理

23. 边坡稳定性分析的地质资料主要分为三组:岩石类型、较大不连续面和较小不连

续面。边坡设计者要有附加的资料,特别是岩石强度和较大、较小不连续面的岩土工程技术性质的资料。

24. 现场地质观察应当包括描述诸如岩石硬度这样一些特性,依照这些特性作出岩石强度的初步估计。必须记录较大和较小不连续面的岩土工程技术性质,这些性质包括位置、方位、长度、间距、起伏度、充填物强度和裂隙壁强度。较大不连续面应分别描述和测绘,较小不连续面如节理等按统计方法处理,例如,节理间距可用均值、离差来描述。

25. 构造不连续面最重要的性质是它们的方位,方位的统计处理需要在等面积网上投绘观察结果,这种方法揭示出具有类似方位不连续面组别或群别。用统计学的方法确定这些节理群的平均值或特征值及离差。

26. 裂隙的长度和间距是很重要的,因为它们影响一系列裂隙可能怎样连接在一起形成滑动面。测定裂隙的精确长度和间距是困难的,然而,目前的技术可以估计节理的形迹长度和间距,这些技术可以用来估价裂隙形成滑动面的程度。

27. 起伏度和粗糙度增加了滑动期间岩石裂隙的剪切阻力。粗糙度指岩石表面的微小凸凹不平,起伏度指可能不被剪断的较长的波状起伏。在估计裂隙充填物强度的同时记录这些特性。

28. 地质测绘期间,应当记录地下水存在状态,按刚刚潮湿到实际渗流的范围分类。这些观察将指导以后的地下水的调查研究。

四、设计扇形区

29. 当资料收集和分析完成时,工程地质人员应当把露天矿分成初步的设计扇形区。在每个扇形区中,不连续面类型及其相对于拟建矿山边坡的方位应当类似。扇形区可以这样选择:假定适宜的边坡角为 50° ,在填有较大构造、岩石类型和较小不连续面的地质图上勾画拟建露天矿的境界线,境界线以直线近似表示,并划分出设计扇形区。方位相同的构造对于对立的边坡可能有不同的影响。采场的直线或曲线部分也可能以不同的方式影响边坡的稳定。这些因素必须统盘考虑到。

30. 这时,地质人员应当估计在每个初步设计扇形区中可能出现哪种模式的不稳定。这是构造地质调查的焦点,同时,通过交错设计程序,还能使工作保持连续性。要考虑三种基本不稳定模式:平面剪切、旋转剪切和块体流动。

五、矿山开发阶段

31. 收集和分析构造地质资料贯穿于矿山开发的各个阶段。

32. 可行性阶段的目的是要得到关于构造地质和可能的不稳定模式的理性认识。调查仅限于区域地质、普查测绘和为评价矿体进行钻探的岩心记录。然而,就是这些有限的资料也可以估计可能采用的边坡角,并且可能发现有利开采和不利开采的差异。

33. 在矿山设计阶段,必须收集一切有关数据,向边坡设计人员提供最可靠的资料,确定出断层的位置,计算节理组和层理面的平均值和离差,以及确定岩石类型的分布。

34. 开采阶段,应当充分利用采矿揭露边坡面的有利条件,继续收集资料。这个阶段的目的是要证明设计阶段的地质假设,把新资料用于边坡重新设计。台阶的构造测绘应是矿山地质部门日常工作的一部分。

六、费用

35. 矿山规划需要的构造地质资料的数量视露天矿类型而异,小矿体或浅矿体比之大

矿体特别是深露天矿需要进行的调查要少。剥采比和矿体是否有地质边界或化验分析边界都将影响地质调查。复杂的地质环境比之简单的地质环境需要更多的调查。构造地质调查的费用随上述情况相应地变化。

第三节 力学性质

36. 边坡稳定性分析需要通过适量的现场和实验室试验来测定材料的强度, 计算作用力和位移时用到的物理性质, 例如密度和弹性模数, 也必须测定。

一、试验程序

37. 露天矿开采中涉及多种土体和岩石, 这就意味着会遇到力学性质的变化。例如, 不仅每种类型岩石具有不同的固有特性, 而且在一种指定的岩石类型中, 由于蚀变和不连续面的存在, 力学性质也可能发生变化。如果要测定全部相关的力学性质, 就需要有一个好的现场和实验室试验的程序。

38. 力学性质的调查应当在构造地质调查期间已作过的初步分区的基础上进行。分区包括每个设计扇形区的力学性质和预期的不稳定模式的估计, 这些估计指明必须测定的力学性质。

39. 应当拟定每个设计扇形区的试验程序, 要考虑的因素是:

- (1) 待采材料的体积和这个扇形区对采矿作业的意义;
- (2) 保证试件具有代表性的取样地点和方法;
- (3) 取样和试件制备的费用;
- (4) 被试验材料的类型, 试验仪器的利用率, 需要的资料性质和精度, 以及试验费用。

试验程序最好列成表格形式, 以易于参考和便于以后编写试验报告。

二、试验

(一) 不连续面的抗剪强度

40. 在岩质边坡稳定性分析中, 不连续面的抗剪强度是最重要的强度参数。沿不连续面的滑动是最常见的不稳定模式。

41. 测定不连续面抗剪强度的最好方法是进行原位试验。这种大型试验, 比如说在 $3 \sim 5$ 英尺² ($1 \sim 2$ 米²) 的剪切面上进行, 可以测定剪切面凹凸不平对抗剪强度的影响, 其结果更具有真实的代表性。然而, 这些试验是很贵的。

42. 不进行原位试验的地方, 须进行实验室试验。有两项基本试验: 三轴压缩试验和剪切盒试验。

43. 三轴压缩试验, 主要特点是有一个充满受压液体的试验缸, 受压液体向试件施加侧向压力。通过密封的承载板施加轴向压力。被试验的不连续面与铅垂方向略成 45° , 在这种情形下, 不连续面上的剪应力接近最大值, 而且还保证沿不连续面滑动而破坏。试验压力应和所研究的边坡的可能压力范围相对应。

44. 剪切盒试验, 正压力和剪切力由千斤顶施加, 不连续面是定向的, 这样, 剪切盒上下部分相对位移就引起剪切移动。通常必须把试件浇注在混凝土或砂浆中。

(二) 岩石物质的抗剪断强度

45. 岩石物质是指完整的岩石和土体物料。岩石物质剪断可能出现在均质的软弱岩体

如覆盖土和软弱岩石中；也可能出现在无规则地质构造的强烈蚀变和风化岩石中，以致不能形成预先的滑动面；也可能出现在不连续面间充填物中。

46. 不连续面抗剪强度的原位试验方法可以用来测定岩石物质抗剪断强度。大型原位试验很贵，常用实验室试验来测定岩石物质抗剪断强度。

47. 三轴压缩试验是实验室测定岩石物质抗剪断强度的最好方法。破坏一律沿着倾向于垂直轴、反映最大剪应力分布的平面上发生。

（三）抗剪试验的分析

48. 为了确定边坡设计使用的强度参数，需要对三轴试验、剪切盒试验和原位剪切试验进行分析，此项分析通过绘制剪应力-正应力曲线来完成，这样的曲线图可供边坡设计选择强度参数。

49. 应当确定力学性质的统计变化。考虑到试验精度和再现性，每次试验都应当计算典型试件的平均值和离差。它们被用来确定设计参数的平均值和离差。

（四）岩石抗压强度

50. 抗压强度常常决定含有不规则地质构造的均质坚硬岩石的稳定性。如果在高边坡的坡脚出现大的水平应力（构造应力），坡脚就可能出现岩块的压碎，这样，就可能导致岩石的进一步破坏和岩块流动型的不稳定。

51. 直接测定大型岩块的抗压强度是不切实际的，但必须测定小的、具有代表性的试件的单轴抗压强度，并由此估计大岩块的抗压强度。

52. 有几种试验都可用来测定岩石物质单轴抗压强度，在侧压力为零的三轴试验中可以直接测定它，点载荷试验也可以测定它。后者，凭经验确定破坏载荷和单轴抗压强度的关系，且可以使用形状不规则的试件进行试验。

53. 岩石的抗压强度随试件尺寸的增大而减小，因为大块岩石更可能含有裂隙。从原理上讲，可以在实验室通过试验逐渐增大的试件来测定强度和尺寸之间的关系。然而，实际上，利用业已建立的经验关系更为方便。

（五）物理性质

54. 三种变形性质——杨氏模数、泊松比和剪切模数，均用来计算采掘过程中边坡位移和应力分布。这些性质和强度之间还存在着依赖关系。

55. 在实验室通过量测载荷状态下试件的长度和宽度的变化可以测得变形性质。在现场，给岩层表面加载并量测相应的位移，也可测得变形性质，但这些试验是昂贵的。

56. 通过测定土体或岩体中的声波速度可以间接地进行更方便的现场测量，测量可在地表或钻孔内进行。声速和变形性质之间的关系很容易确立，虽然这种关系仅严格地适用于理想的弹性介质，但是它为变形性质提供了可靠的估计。

57. 在某些材料中，测定随时间变化的变形特性可能是很重要的。如果这些“蠕变”或“塑变”特性能引起边坡累进破坏的话，便将影响边坡设计。蠕变特性的测定方法是，给试件施加长期的恒定载荷，并观测其变形，一直到变形实际停止为止。为了测定实际边坡可能出现的应力范围内的变形性质，按不同载荷级进行这一试验。

58. 土的指数性质如流限和塑限以及岩石中颗粒级配等均与设计所需的诸性质相关，还可利用它们来划分材料类别。

59. 指数性质还被用来测定某些岩石和土受潮时引起的膨胀压力和位移，这些现象会

影响边坡稳定性。膨胀指数的测定方法是, 在控制条件下, 用水浸没试验材料, 并量测产生的压力和位移。

60. 密度是稳定性分析中确定重量所必需的指标, 它可以在实验室也可以在现场测得。孔隙度和含水量可能影响材料的性状, 这两个指标可以根据已知体积试样的常态重量、干态重量和饱和重量来测定。

三、矿山开发阶段

61. 在可行性阶段, 必须以最低的费用进行试验, 为边坡稳定性分析提供初步资料。应当尽量使用间接试验方法, 如测量声速、指数试验等, 这些方法比较简单易行。直接试验通常限于岩心试样的试验。在可能的地方, 应该保留岩芯中不连续面的最好标本, 以供试验。

62. 矿山设计阶段要更努力于试验工作, 这时需要更详细的有关材料性质的资料, 并尽力编制一个适宜的试验程序, 使得能以适当的费用获得具有代表性的试件。这项试验程序以构造地质调查为先导, 但是试验、设计和构造地质调查之间大量交叉是必然的。初步设计工作可能指示需要取样的钻孔, 钻孔常常和构造地质、地下水工作相结合。

63. 矿山开采阶段, 由于开采而易于取样, 更便于试验。这个阶段的主要要求是提供重新设计的数据, 同时扩充和核实以前所测定的力学性质, 特别是新揭露区更需如此。

第四节 地 下 水

64. 地下水与边坡设计关系很大, 因为地下水压力降低不连续面的抗剪强度。抗滑阻力与通过接触点作用在不连续面上的正应力成正比, 如果水压力作用在这个面上, 部分正压力则经由水来传递, 通过接触点作用的正应力就减小, 因此, 摩擦抗滑阻力就被降低。

一、目的

65. 地下水调查有两个目的:

(1) 测定地下水压力, 供边坡设计应用;

(2) 确定降低地下水压力的途径, 必要时, 采用疏干或其它控制方法。

66. 边坡稳定性分析必须估计地下水压力的影响。如果这是影响边坡稳定的关键所在, 就必须仔细考虑降低水压力的方法, 并估计它的费用和效益。

二、水压力的测定

67. 地下水压力可以用水压计直接测量, 最简单的水压计是在钻孔中密封一个测压管, 管下端开口, 以使水进入或流出, 测压管中的水位即为管底压力值。精密水压计是应用密封在钻孔中的可以直接读数的测量仪器。

68. 如果要求水压计得出可靠的结果, 必须精心安装。选择恰当的水压计类型是很重要的, 例如竖管, 对低渗透性地层中压力变化反应非常缓慢, 因为它要求必须有水流入才能显示压力变化。假如这种缓慢是不允许的, 就要使用不需通过水流来显示水压变化的更精密的水压计。

69. 仅用水压计测量并不足以确定设计所需要的地下水压力。第一, 安装大量的水压计不现实; 第二, 地下水研究的一个重要部分是预测未来边坡内压力的分布, 那时不仅矿山几何形状改变了, 而且地下水源诸如河流等也可能改变了。

70. 实践中, 整个边坡的地下水压力分布是通过现场测量与理论研究相结合的办法来