

中国科学院地质研究所

工程地质力学开放研究实验室

中国露天矿 边坡 稳定性研究

孙玉科

杨志法 丁恩保

姚宝魁 许 兵

等 著



中国科学技术出版社

p44.22
5-422

中国科学院地质研究所
工程地质力学开放研究实验室

中国露天矿边坡稳定性研究

孙玉科
杨志法 丁恩保 姚宝魁 许 兵 等著

中国科学技术出版社
• 北京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

中国露天矿边坡稳定性研究/孙玉科等著. —北京: 中国科学技术出版社, 1999. 5
ISBN 7-5046-2661-9

I. 中… II. 孙… III. 露天矿—边坡稳定—研究—中国 IV. TD804

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 10952 号

中国科学技术出版社

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100087

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷



*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 24. 5 字数: 596 千字

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 58. 00 元

第一作者简介



孙玉科,研究员。1929年生,1956年毕业于原苏联莫斯科地质勘探学院水文地质与工程地质专业,获苏联工程师职称。从1956年起至今40多年来,一直在中国科学院从事工程地质研究工作。曾任中国科学院地质研究所副所长(1978~1982年);中国科学院地学部副主任(1982~1988年);中国科学院南海海洋研究所所长(1988~1994年)等职。

在地质研究所期间,曾参加我国的大型水利水电、铁道、矿山、国防等方面的工程地质科研任务,取得了很多的科研成果,简述如下:

1965年,提出“岩体结构”的理论观点,建立了岩体结构分析理论与方法,对学科的发展产生了重大的作用,为解决岩体工程实践问题开辟了新的途径。

1974年,创立了“实体比例投影”作图方法。此后,又撰写了专著《赤平极射投影在岩体工程地质力学中的应用》(孙玉科、古迅,1980)一书,可用图形清楚地表达结构面的空间组合状况,结构面与岩体稳定性的关系,充实了岩体工程地质力学的内容。

1983年,提出了“地质模型”的理论观点,引起了工程地质学界广泛的重视。对深入研究工程地质第一性资料有重要的推动作用。

1988年,出版了专著《边坡岩体稳定性分析》(孙玉科、牟会宪、姚宝魁,1988)一书,该书以岩体结构为理论基础,论述了边坡工程地质测绘的基本问题;边坡岩体变形破坏的地质模型;岩体强度参数的确定;边坡岩体稳定性分析等内容,在教学和工程实践方面得到广泛应用。

1988~1994年,在中国科学院南海海洋研究所任所长期间,承担了一项重要的国家任务——南沙综合科学考察,该项目1993年获中国科学院科技进步一等奖。

在学术职务方面,先后担任:第一届中国地质学会工程地质专业委员会秘书长;中国建筑学会工程地质勘察学术委员会副主任;中国岩石力学与工程学会理事;中国地质学会副理事长;广东海洋学会、广东海洋湖沼学会理事长;中国科学院地质研究所工程地质开放研究实验室学术委员会的委员、主任委员。

序

露天矿边坡稳定性历来是露天矿山的重要课题,并一直是工程地质学、岩石力学和相关学科的基本命题。随着露天采矿业的不断发展,开采规模和开采深度愈来愈大,出现的边坡失稳或潜在危险亦愈来愈多,从而促使人们越来越重视露天矿边坡稳定性的研究。回顾历史,露天矿边坡稳定性研究经历了由经验到理论、由定性到定量、由单一评价到综合评价、由传统理论和方法到新理论、新方法的发展过程。特别是近十几年来,研究不断深入,获得了不少有份量的成果,这对确保矿山边坡稳定起到了很好作用。

本专著是在中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室支持下,由原中国科学院地学部副主任孙玉科研究员亲自组织有科研和实践经验的研究员与高级工程师们,对我国露天矿边坡稳定性研究多年来的工程实践经验及其积累的科研成果进行了比较系统的总结。这是我国近期完成的一部较为全面论述露天矿边坡稳定性研究的著作,它的出版将为21世纪露天矿边坡稳定性的研究起到承前启后的作用。

该专著的主要特点是,着重研究和总结第一性工程地质资料 and 实际经验,在多个实例的基础上,提出了中国露天矿边坡典型工程地质模型的概念、类型以及建模原则与方法,这为进一步深化研究边坡稳定性的评价问题、岩体力学问题、边坡加固问题以及边坡工程设计等提供必要的科学依据;系统总结了边坡工程地质勘测和边坡稳定性分析和计算方法;探讨了边坡整治与加固以及边坡稳定性的系统研究等。专著一旦问世,必将引起同行们的关注与研讨。期望能得到广泛的反响,以推动我国露天矿边坡稳定性研究走上更高的层次。

21世纪即将来临,我国露天矿业还有新的发展,将会遇到更为复杂的问题。边坡稳定性研究任重道远,有待工程地质学、岩石力学和矿山工作者们共同携起手来,多学科联合攻关与实践,为我国露天矿业的兴旺和学科的发展共同努力奋斗。

王思敬

1998年9月20日

前 言

我国露天矿边坡稳定性研究是从 50 年代开始的,至今已近半个世纪,积累了大量的科研成果和丰富、宝贵的工程实践经验。本书的目的是对半个世纪以来所获得的科研成果和工程经验进行系统总结。对经过边坡工程实践验证的理论成果给予肯定;将成功的工程技术经验,上升为理论认识,以便推广应用;对尚未解决的问题,提出今后的探索方向。本书问世之际,正处于新旧两个世纪之交,希望本书能起到承前启后的作用。

本书共计五篇。第一篇为总论。概要地论述了我国露天矿边坡稳定性研究的发展过程,以便达到温故知新的目的;着重论述了露天矿边坡工程的特点,针对其特点,总结了特定的工程地质研究方法;概括了相应的边坡稳定性评价程序,提出与现代矿山技术相适应的露天矿边坡系统管理方法,保证矿山安全生产和创造良好的经济效益。

本书的第二篇是露天矿边坡的工程地质模型。主导思想是强调第一性工程地质资料的重要性,提倡加强这方面的工作,才能获得更好的科研成果。近些年来,在理论刊物上确实发表了不少的新成果,但真正得到应用的并不多,其中一个重要的原因,就是缺乏可靠的第一性资料作为依据。本书总结建立的《中国露天矿边坡工程地质模型》是在大量第一性工程地质资料的基础上提出的理论性认识。在本书中对工程地质模型问题进行了系统的探索,总结出十多类典型的工程地质模型。当然,今后还有待进一步深化和不断完善。

本书的第三篇为工程地质勘测与试验研究。为了更全面、更可靠地取得第一性工程地质资料及相关的岩体力学参数,要重视工程地质勘测技术和岩体力学试验工作,才能获得可靠的工程设计参数,为边坡稳定性评价提供可靠的科学依据。近些年来,在工程地质勘测技术方面的改进不甚突出,高新技术的开发应用还不够,这是值得重视与改进的问题。关于岩体力学试验方面的研究工作,虽然在理论方面和试验技术方面探讨的比较多,而结合现场的地质环境和岩体变形破坏的工程地质条件来进行试验研究的却较少。对此问题的研究,今后应当改进。本书对岩体力学特性,从荷载效应,岩体结构与结构面效应,软岩效应和爆破振动效应等方面进行了比较全面的论述。这对边坡稳定性计算和在边坡设计中选用相应的力学参数有十分重要的意义。

本书的第四篇是边坡稳定性评价原理与方法。其主导思想是强调理论在工程实践中的应用,对目前尚不成熟的评价方法未作详细介绍,以免在应用中达不到预想的效果。现在对岩体力学的某些理论与方法,确实有各样的议论,甚至认为“声誉很高,信誉较低”,对此应当引起足够的重视。本篇除论述工程实践中常用的边坡稳定性计算的原理与方法外,还着重地强调了边坡稳定性评价准则和边坡变形破坏模式与识别,这对取得正确的评价结果是非常重要的。

本书的最后一篇是边坡稳定性的动态评价。对动态监测等的动态研究应给予极大的重视,这对露天矿边坡工程来讲有特殊的意义。根据露天矿边坡工程的特点,在露天矿开采期间可以进行多次性设计;在采矿过程中可以不断地修改相应的设计;原设计达到闭坑时,可能还要进行扩大设计或深部井下开采设计。显然,进行动态研究是十分必要的,其实质是通

过动态监测及研究,不断地丰富第一性工程地质资料、地下水和边坡位移等的动态变化资料,这些是各阶段的边坡稳定性评价必须掌握的。现在仅少数的露天矿对动态研究比较重视,多数的露天矿还没有提到议程上来。其实动态研究是一种投资少,效益大的研究工作,望今后能多开展这方面的研究工作。

本书是在孙玉科教授的直接组织、指导下完成的,他不但设计了全书的编写提纲及内容,而且对全书的内容进行了反复的审阅及修改,最终定稿。执笔撰写各篇章及有关内容的主要有:第一篇孙玉科。第二篇许兵,王建国、祖国林、纪玉石。第三篇姚宝魁,熊传治(第八章一~三节)、盛祝平、刘竹华、王存玉、杨家录。第四篇丁恩保,熊传治(第十一章、第十三章)、王泳嘉(第十二章第二、三节)。第五篇第十四章杨志法,尚彦军、刘英;第十五章曹兰柱;第十六章杨志法,刘英、尚彦军、王全才、祖国林、林宏志、霍起元;第十七章杨志法,何燕、尚彦军、刘英。

本书在编写过程中得到中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室的大力支持,黄启庚教授级高级工程师对本书的内容提出了不少宝贵的意见,在出版过程中还得到古迅的大力帮助,张连第、王津津等完成了此书中插图的绘制,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间比较仓促,加之受各种客观条件的限制,对许多问题尚未能进行更为深入、全面的探讨,因此书中定会存在不足之处,甚至错误,敬请予以指正。

作者

1998年9月1日

内 容 简 介

本书是我国露天矿边坡稳定性研究的系统成果和边坡工程实践的总结。主要内容有：我国露天矿边坡研究进展；露天矿边坡工程实例与工程地质模型；工程地质勘察与试验研究；边坡稳定性评价原理与方法；露天矿边坡设计中工程地质力学综合集成问题的研究。

本书可供从事煤炭矿山、冶金矿山和非金属矿山等的边坡工程设计及工程地质研究人员使用。还可供从事土木工程、水利水电、铁路交通等方面的边坡工程设计者、工程地质工作者和有关院校师生们参考。

目 录

第一篇 总 论

总 论	(3)
一、我国露天矿边坡稳定性研究	(3)
二、露天矿边坡工程的特点及其稳定性研究的程序与方法	(8)
三、边坡工程地质模型研究	(11)
四、关于岩体的力学参数问题	(14)
五、露天边坡角的确定	(17)
六、动态综合评价及工程地质高新技术的应用	(21)
结语	(22)

第二篇 露天矿边坡的工程地质模型

第一章 工程地质模型的实例剖析	(28)
第一节 岩浆矿床露天矿山(I)	(28)
第二节 区域变质矿床露天矿山(II)	(36)
第三节 接触交代和热液变质矿床露天矿山(III)	(47)
第四节 沉积矿床露天矿山(IV)	(54)
第二章 边坡稳定性的单因素分析	(68)
第一节 岩性与岩石组合(岩组)	(68)
第二节 岩体结构与结构面	(70)
第三节 地下水与大气降水	(72)
第四节 初始地应力	(76)
第三章 工程地质模型和工程地质力学模拟试验	(81)
第一节 工程地质模型基本概念	(82)
第二节 建模的依据与方法	(83)
第三节 工程地质力学模拟试验	(86)
第四章 中国露天矿边坡工程地质模型	(94)
第一节 中国露天矿边坡工程地质模型架构思路	(94)
第二节 中国露天矿边坡工程地质模型	(95)
第三节 露天矿边坡变形破坏的规律性	(101)

第三篇 工程地质勘测与试验研究

第五章 露天矿边坡工程地质探测技术	(107)
第一节 露天矿工程地质摄影	(107)

第二节	钻孔探测·····	(114)
第三节	超声成像钻孔电视在勘察中的应用·····	(117)
第四节	层析成像探测技术及其应用·····	(122)
第五节	GPS 技术及其在露天矿的应用·····	(129)
第六章	地应力及其分布规律·····	(134)
第一节	露天矿工程实践中的地应力问题·····	(134)
第二节	地应力的特性及分布变化规律·····	(138)
第三节	影响地应力分布状态的主要地质因素·····	(145)
第四节	地应力量测·····	(152)
第七章	岩体结构面及软岩的力学特性·····	(158)
第一节	结构面的力学效应·····	(158)
第二节	结构面力学特性的试验研究·····	(171)
第三节	软岩的物理力学特性·····	(183)
第四节	边坡岩体力学特性的动态效应·····	(191)
第五节	岩体力学试验准则及力学参数确定·····	(197)
第八章	爆破动力效应与边坡稳定性·····	(204)
第一节	爆破地震效应与边坡动力稳定性·····	(204)
第二节	露天矿边坡减震及控制爆破·····	(214)
第三节	边坡爆破工程实例·····	(217)
第四节	边坡岩体爆破振动的动力效应·····	(218)

第四篇 边坡稳定性评价原理与方法

第九章	露天矿边坡稳定性评价准则和流程·····	(228)
第一节	边坡稳定性评价准则·····	(228)
第二节	高陡边坡稳定性评价流程·····	(241)
第十章	边坡稳定性的工程地质分析·····	(245)
第一节	边坡变形破坏模式及识别·····	(245)
第二节	边坡稳定性的经验分析和岩体结构分析·····	(261)
第十一章	极限平衡分析法·····	(267)
第一节	由多块体组成的折线型滑动·····	(268)
第二节	圆弧型滑体·····	(277)
第三节	楔型体滑动·····	(289)
第十二章	数值分析法·····	(292)
第一节	有限单元法·····	(294)
第二节	离散元法·····	(295)
第三节	应用实例和结论·····	(302)
第十三章	破坏概率与蒙特卡洛法·····	(307)
第一节	破坏概率分析·····	(307)
第二节	边坡稳定系数与破坏概率的 Monte Carlo 模拟·····	(311)

第五篇 露天矿边坡设计中工程地质力学综合集成问题的研究

第十四章 工程地质力学综合集成理论和监控设计方法	(323)
第一节 工程地质力学理论和基本方法.....	(323)
第二节 有关系统科学中的一些问题.....	(325)
第三节 工程地质力学综合集成理论(EGMS)的形成.....	(327)
第四节 EGMS 在露天矿边坡监控设计中应用的几种实用方法	(331)
第十五章 露天矿边坡的几种加固方法	(342)
第一节 抗滑桩与锚杆(索).....	(344)
第二节 排水与松动爆破滑面.....	(348)
第三节 挡墙及注浆.....	(350)
第十六章 露天矿边坡监测技术	(353)
第一节 位移监测技术.....	(354)
第二节 岩体破裂监测与边坡水监测.....	(363)
第三节 露天矿边坡监测系统设计原则和几个应注意的问题.....	(364)
第四节 露天边坡的监测实例.....	(366)
第十七章 反分析法在露天矿边坡中的应用	(370)
第一节 反分析法的发展及可采用的方法.....	(370)
第二节 TAB 原理及用于露天矿边坡的一般工作方法	(372)
第三节 滑动反分析的原理和基本方法.....	(376)

第一篇

总 论

总 论

我国的工程地质科技工作,从中华人民共和国建立(1949年)算起,至今整整半个世纪。在这半个世纪过程中,随着社会主义经济建设的发展,我国的工程技术人员在矿山工程、水电工程、铁道工程、建筑和国防工程等工程中均取得了显著的成就,积累了丰富的工程实践经验,同时发展了工程地质学理论。中国科学院地质研究所工程地质研究室在谷德振教授领导下,早在60年代就开始了岩体工程地质力学研究,经过多年地努力,于1979年,谷德振所著《岩体工程地质力学基础》一书问世,标志着岩体工程地质力学的理论与方法已达到成熟阶段,在露天矿边坡稳定性研究方面的应用,亦取了成功经验。

现以岩体工程地质力学为指导,对我国露天矿边坡稳定性研究的理论及工程实践经验进行系统的总结,为21世纪我国露天矿业的发展提供必要的科学资料及技术储备,使我国露天矿边坡稳定性研究有一个新的起点。

一、我国露天矿的边坡稳定性研究

露天矿有着悠久的历史,可追溯到公元前2600年的夏代,从当时湖南到贵阳、郴县一带,已开始使用铜器,说明古人已开采地表铜矿。湖南麻阳及大冶铜录山等古铜矿遗址的发现,证明春秋时期我国露天铜矿的开采已经发展到一定的规模及水平。这便是露天矿开采的前身或雏形。

本世纪以来,国内外露天开采得到了迅速发展。1985年对世界1310座金属及非金属矿山进行的统计结果,露天开采量占有相当大的比例(表1)。

我国近年来露天开采的产量所占的比重亦相当大:①铁矿石占90%左右,有色金属矿石占52%左右,化工原料占70.7%左右,建筑材料近似为100%。

表1 露天开采的产量占总产量的比率

矿 石	%	矿 石	%
磁 铁 矿	78	铀 矿	30
褐 铁 矿	84	磷 矿	87.5
锰 矿	86	石 棉 矿	75
铜 矿	90	建 筑 材 料	100
铝 土 矿	91	沥 青 煤	25
镍 矿	45	其 他	40

全世界露天煤矿,自机械化开采以来,露天煤矿产量的比率,已从本世纪初的6.6%左右提高到目前的40%多。目前全世界露天煤产量前五位的国家是美国、德国、印度、俄罗斯、澳大利亚,他们的露天煤产量均超过150 Mt。

我国是世界第一产煤大国,但露天煤矿开采比重却一直低于4%。1993年露天产量为42 Mt,开采比重仅为3.7%。由此可见,我国露天煤矿的未来发展是大有前途的。

新中国成立前,我国早期的骨干露天矿有大冶铁矿、庙儿沟铁矿、大孤山铁矿、大石桥镁矿及抚顺西露天煤矿等等。当时多为山坡露天,属地表浅层开采,有的矿山虽然也发生过滑坡,但总体上来说,规模不大,大多属局部滑坡,还不涉及整体露天矿边坡稳定问题,所以对

边坡角的设计及边坡稳定性的研究尚未开展。

新中国成立后,露天矿的开采规模不断扩大,开采深度不断地下降,逐步形成凹陷采场或深凹采场,则露天边坡设计,最终边坡角的确定,边坡稳定性的评价等工作的重要性便日趋显示出来,使露天矿边坡稳定性问题成为一项专门的研究课题,在我国进行了日益深入系统的研究,其进展情况总体上大致概括为如下几个研究发展阶段。

1. 50 年代起步

新中国成立后,百废俱兴,开发矿产资源是十分迫切的任务。所以,从 50 年代初,就有步骤地改造和新建了一批骨干型的露天矿山,金属矿方面有大孤山铁矿、东鞍山铁矿、南芬铁矿、大冶铁矿、白云鄂博铁矿、白银厂铜矿;煤矿方面有抚顺西露天煤矿、海州露天煤矿等等。

在工程地质研究方面,由于露天矿尚处于山坡和地表浅层开采阶段,一般还没有形成凹陷型采场,露天矿的整体边坡稳定性问题还没有较充分地显示出来。有的露天矿亦仅是局部地段发生滑坡。这个时期的工程地质工作,主要是应用传统的工程地质学的原理与方法,研究滑坡成因与防治措施。在这个时期的滑坡问题的研究过程中酝酿着对露天矿整体边坡稳定性的认识,为下一步专题研究打下了一定的基础。

在边坡稳定性的力学分析方面,是以材料力学和简单的均质弹性理论为基础的土力学的原理与方法进行边坡(滑坡)稳定性计算。在这个时期,多引用索柯洛夫斯基(СОКОЛОВСКИЙ)1954 年提出的松散介质极限平衡原理的边坡稳定性计算方法。后来费先科(ФИЩЕНКО)在此基础上进行了一定的简化,但这种方法在土质边坡稳定分析中有应用价值,而对岩质边坡稳定分析是不实用的。

在边坡工程设计方面,当时对工程地质资料和岩土体力学资料均没有严格的要求。露天矿最终边坡角设计,主要是以采矿手册中所提出的经验类比法数据为依据。虽然,这种经验类比法不甚精确,但对中小型露天矿,如其工程地质条件比较简单,仍有一定的参考及实用价值。

2. 60 年代有所提高

60 年代初期,冶金部对武钢大冶铁矿边坡稳定问题极为重视,由中国科学院岩土力学研究所与大冶露天矿进行了合作研究。在陈宗基教授的领导下,以岩体结构理论及岩体流变理论为指导,开展了现场大型岩体力学试验,同时在室内进行了综合性的岩体力学试验研究,包括动力学测试、静力测试,主要是弱面的抗压流变、抗剪流变、室内三轴试验、应力解除深度达 100 m 左右的现场应力量测,以及结构面的物理化学性质试验等,此外还进行了边坡稳定性长期观测,物理模拟试验及数学模拟计算等一系列试验研究工作^[1]。这些研究工作,不仅在应用岩体流变理论和岩体力学试验研究于露天矿工程实践方面起到示范作用,同时亦对我国岩质边坡稳定性研究起了很大的推动作用。

随后,攀枝花矿区的兰尖露天矿,设计中发现该矿地质条件比较复杂,按经验类比法,很难确定合适的边坡角,于是由中科院岩土力学所、中科院地质所、马鞍山矿山研究院等单位进行了比较系统的边坡稳定性研究工作。从 1966 年 8 月至 1969 年 3 月份提交报告。研究工作从工程地质调查入手,首先在查清矿山地质构造的基础上进行了地质结构分析,然后进行相关岩石力学性质的试验工作,包括各种岩体及弱面的大型现场试验,以及室内不规则试块试验和三轴试验等,且边坡稳定性分析计算一律选用抗剪后的残余摩擦强度指标参加计算。研究结果使露天矿的设计边坡角得到了适当的提高。

兰尖矿区的边坡研究工作是比较细致的,每一项工作都由专门的研究单位承担。工程地质由中国科学院地质研究所负责研究;地下水的情况由中南水文地质大队进行;地震的影响由中国科学院工程力学研究所负责;岩石力学性质试验研究则由中国科学院岩土力学研究所完成。

自 60 年代,中国科学院地质研究所对我国露天矿和水电工程方面的边坡稳定问题进行了广泛的工程地质研究工作。1965 年孙玉科教授在“岩质边坡稳定性的工程地质研究”论文中最先提出“岩体结构”理论的学术观点^[2],并先后提出岩质边坡岩体结构分类,边坡稳定性的岩体结构分析,实体比例投影及其在露天矿边坡稳定性分析中的应用等研究成果^[3]。应该指出的是岩体结构的学术观点,不仅将边坡稳定性研究向前推动了一大步,而且广泛地应用于各类岩体地质工程,该理论在谷德振教授著的《岩体工程地质力学基础》^[4]一书中作了全面论述,是该著作理论基础的重要组成部分。在这之后,孙广忠教授发表了《岩体结构力学》专著^[5],又进一步发展了岩体结构的学术思想,并更为明确地提出“岩体结构控制论”的学术观点。现在,岩体结构的学术观点在工程地质和岩石力学领域得到广泛的应用,其内容也得到不断的充实与发展。应当说“岩体结构”这一理论成果,是 60 年代在露天矿边坡稳定性研究方面一项重要的理论突破,为今后的各类地质工程研究工作奠定了理论基础。

3. 70 年代有所发现

由于金川矿山在采矿过程中出现边坡裂缝严重地威胁及影响矿山的生产与安全,为此,冶金部及金川公司极为重视。

1969 年,中科院地质所孙玉科同志首先来金川露天矿开展边坡工程地质研究工作,次年,谷德振教授带领研究室的大部分同志对其开展了系统的、长期的研究工作。该项研究成果《金川露天矿边坡稳定性的岩体工程地质力学研究》(许兵、李毓瑞、张汝源)于 1985 年正式发表^[6]。这项成果,可视为 70 年代露天矿边坡稳定性研究工作的代表作。

金川露天矿地处祁连山断裂带,毗邻阿拉善断块,遭受过多期强烈构造作用,地质构造极为复杂,岩体破碎。露天矿边坡出现大裂缝,且随采矿深度下降,裂缝的数量与规模都不断发展扩大。这类边坡变形破坏从宏观上来看相当严重,但对矿山的生产与安全,究竟有多大的危害,当时还难以预测;是否要修改边坡角设计一时也难以做出决策,其难点主要在于对边坡变形破坏机制及边坡地质模型的认识不够。经过长期的研究和边坡变形的长期观测,对金川露天矿边坡变形破坏机制的认识取得重大的进展,获得了重要的成果,发现了边坡倾倒变形的一种新的变形破坏机制,建立了相应的工程地质模型,即金川模型,其内容及特点:

(1)边坡的变形机制受反倾向的结构面(层面、断裂面)控制。边坡上出现的大变形裂缝均沿反倾向结构面发展是其主要特征。

(2)边坡变形的主要原因是采矿与剥离所产生的卸荷作用,由于露天矿处于高地应力区,地应力释放是导致露天边坡岩体强烈变形的主要力学原因。这种变形是难以控制的,除非停止采矿。

(3)边坡变形的规模与速度,主要取决矿坑下降的深度和下降速度的快慢,与露天矿边坡角设计的陡缓无直接关系。

以上三点结论,其主要意义是:

第一,根据这种“倾倒变形”机制,边坡变形的范围和尺度虽然都很大,但对采矿生产一般不会产生严重危害,一般情况下亦不会形成大规模的滑坡,只要坚持边坡变形观测,就能

保证生产安全。金川露天矿按设计标准达到闭坑,就证明了这一点结论是符合实际情况的。

第二,原设计边坡角,不需要修改。因边坡变形的主要原因是卸荷与地应力释放所造成的结果,与设计边坡角的陡缓无直接关系。对于倾倒变形所产生的松散堆积体,在不影响采矿或运输路线的情况下,进行适当处理就可以了。

总之,根据倾倒变形的特点,不修改边坡角设计,不盲目采取防治变形的措施,坚持边坡变形观测,保证了完成采矿任务,达到了闭坑的设计标准。这不但为矿山节省了大量的投资,带来了巨大的经济效益,并且为今后的类似矿山提供了宝贵的经验。

通过十多年的研究工作,不仅保证了金川露天矿的安全生产,而且在科研方面也取得不少的成果。不仅丰富了边坡岩体结构类型划分的内容,建立了工程地质岩组划分的方法,完善了绘制露天矿工程地质分区图与岩体结构图的方法,并且进行了比较系统的地应力测试、岩体力学试验、物理机制模拟、数值分析等研究工作,并应用于工程实践。通过这一系列的研究工作,建立了边坡稳定性的岩体工程地质力学的研究方法,且在以后的露天矿边坡稳定性的研究工作中得到广泛的应用,这是70年代具有代表性的重大研究成果。

1970年及1971年在加拿大温哥华连续召开两次国际露天矿边坡稳定性的讨论会。在1970年南非召开的露天采矿设计会议的论文中,有关露天矿边坡问题的论文亦占相当的篇幅。1974年英国霍克(M. Hoek)著《岩石边坡工程》作为大学教材。1977年加拿大出版《露天矿边坡手册》。这些情况均说明,在70年代,国际上对露天矿边坡问题的研究给予了极大的重视,这种形势对我国露天矿边坡研究有很大的影响。

4. 80年代全面发展

80年代,我国实施了“改革开放”的方针,随之带来了我国矿山边坡研究工作的大发展。在此期间,一些科研、设计单位和高等院校等先后对海南、白云鄂博、大孤山、南芬、兰家火山、水厂、尖山等铁矿,磐石镍矿、德兴和永平铜矿、云浮硫铁矿和攀钢石灰石矿等30多个矿山边坡进行了系统研究,取得了一大批科研成果,在研究理论和技术方面都取得了很大进展,并逐步形成我国边坡研究的一些特色,为露天矿生产解决了一些关键问题,并创造了显著的经济效益和社会效益。

我国煤炭事业,经过20多年的徘徊,亦从80年代开始走上稳定发展的道路。开发了霍林河、伊敏河、元宝山、安太堡、准格尔等五个大型或超大型露天煤矿。

80年代,在我国露天矿边坡稳定性研究方面,有以下进展:

(1) 边坡角的挖潜研究

这项研究工作首先是武钢大冶铁矿提出的,中国科学院地质研究所、北京钢铁学院与武汉钢铁公司大冶铁矿共同承担了边坡角挖潜研究任务。

大冶露天矿尖山采区原设计最终采深为-96 m,为满足武钢对增加矿量的需求,决定最终采深延深72 m,降到-168 m。研究结果表明,北邦及东邦闪长岩分布区,原推荐的最终边坡角 $42^{\circ}\sim 43^{\circ}$ 可增到 $45^{\circ}\sim 46^{\circ}$,南邦大理岩分布区,边坡角亦可提高到 $45^{\circ}\sim 46^{\circ}$ 。以最终边坡坑底平均半径按55 m计算,平均边坡高按250 m计算,可减少剥离量近 $230\times 10^4\text{ m}^3$ 。按当时的剥岩成本 $4.59\text{ 元}\cdot\text{m}^{-3}$ 计算,边坡角每增加 1° 可以为国家节省投资达1000万元。

(2) 建立典型边坡“工程地质模型”

1983年《岩石力学与工程学报》首次发表了孙玉科、姚宝魁撰写的我国岩质边坡变形破坏的主要地质模型一文,曾引起有关学者的重视与注意,这是对岩质边坡稳定性工程地质认