

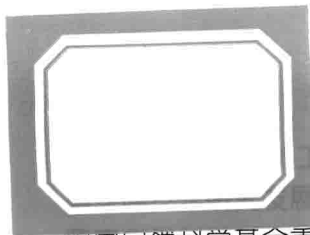
中国矿业大学“211工程”三期创新人才培养项目资助
国家高技术研究发展计划(863计划)项目资助
国家自然科学基金重点项目资助
教育部博士点基金资助
煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主课题资助
教育部中央高校业务经费资助

露天煤矿抛掷爆破拉斗铲倒堆与 时效边坡多参数耦合机理

周 伟 才庆祥 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



工程”三期创新人才培养项目资助

计划(863 计划)项目资助

国家自然科学基金重点项目资助

教育部博士点基金资助

煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主课题资助

教育部中央高校业务经费资助

露天煤矿抛掷爆破拉斗铲倒堆与 时效边坡多参数耦合机理

周 伟 才庆祥 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书综合运用露天采矿学基本原理、可靠性理论、防灾减灾学理论与矿山岩体力学方法,通过调查研究、实验室研究、理论分析、数值模拟和现场工程实践,建立了露天煤矿边坡三维潜在滑动面稳定性分析方法、非对称地应力卸载拱墙模型、采矿工艺极限推进度数学模型、露天煤矿抛掷爆破有效抛掷率有限元模型和抛掷爆破参数反演模型;针对拉斗铲倒堆工艺开采的特殊性,提出了限制工艺与非限制工艺的概念,实现了拉斗铲作业参数动态调整。

图书在版编目(CIP)数据

露天煤矿抛掷爆破拉斗铲倒堆与时效边坡多参数耦合
机理 / 周伟, 才庆祥著. —徐州: 中国矿业大学出版
社, 2012. 12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1777 - 6

I. ①露… II. ①周…②才… III. ①煤矿开采—露天开采—爆破抛掷—边坡稳定—研究 IV. ①TD824

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 002758 号

书 名 露天煤矿抛掷爆破拉斗铲倒堆与时效边坡多参数耦合机理

著 者 周 伟 才庆祥

责任编辑 章 毅 张 岩 时应征

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 7 字数 131 千字

版次印次 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

目前,我国煤炭露天开采年总产量为 4.0 亿 t,且露天煤矿煤层大多都是近水平埋藏的,开采深度多达 300 m,推进强度在 300 m 以上,形成了短暂存在的高边坡。同时,黑岱沟露天煤矿首次在我国采用抛掷爆破拉斗铲倒堆剥离为主的综合工艺,有效降低了成本,但新工艺对露天煤矿边坡稳定性理论研究提出了新的挑战。

书中试图从采矿工艺和边坡稳定性分析两个角度入手,提出了高强度推进下有限暴露面边坡稳定性分析方法,建立了各单一工艺极限推进度模型,针对不同工艺的特点,提出了非限制工艺和限制工艺的概念,实现了开采工艺与开采参数的动态调整,揭示了露天煤矿开采工艺和边坡稳定的耦合机理。

近年来,内排土场广泛应用,边坡暴露面积和暴露时间都大大减少,传统分析方法没有考虑这些因素,本书希望应用采矿的手段解决露天煤矿边坡的问题。

本书的出版得到了中国矿业大学研究生院的大力支持,另外特别感谢中国矿业大学露天开采与边坡工程研究所各位老师的指导,以及神华准格尔能源有限责任公司和黑岱沟露天煤矿各位领导给与的无私帮助。

由于作者水平有限,书中错误难免,恳请读者批评指正。

著 者
2012 年 5 月

目 录

1 绪论	1
1.1 背景与研究意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 研究内容	9
2 端帮边坡构建过程中的力学特性分析	10
2.1 端帮边坡的三维展布特点	10
2.2 时效边坡地应力卸载模型	13
2.3 端帮边坡揭露面三维滑动面的确定	20
2.4 暴露时间对端帮边坡的影响	27
2.5 拉斗铲倒堆工艺下端帮边坡的时效特性	27
3 采场边坡的三维空间展布特点	30
3.1 倒堆台阶三维空间力学特性分析	30
3.2 倒堆剥离台阶稳定性	31
3.3 倒堆边坡应力应变变化规律	33
3.4 采矿工艺极限推进度	36
4 抛掷爆破震动对倒堆高陡边坡的影响机理	41
4.1 倒堆高陡边坡失稳的影响因素	41
4.2 倒堆高陡边坡失稳力学理论	42
4.3 倒堆边坡岩体损伤破坏	46
4.4 抛掷爆破震动对边坡稳定性的影响	53
4.5 预裂效果评价指标	61
5 有效抛掷率与高陡倒堆边坡参数耦合关系	63
5.1 抛掷爆破条件	63
5.2 有效抛掷率	66
5.3 适合拉斗铲倒堆作业的抛掷爆破参数控制	73

5.4	倒堆高陡边坡参数对拉斗铲作业的影响·····	76
5.5	合理的开采参数·····	81
6	拉斗铲倒堆工艺开采参数的适应性·····	83
6.1	厚覆盖层下拉斗铲剥离与半连续系统可靠性·····	84
6.2	回采煤量·····	88
6.3	年覆盖面积·····	89
6.4	破碎站移设·····	90
6.5	运煤通道的移设·····	92
6.6	移设步距与煤仓容量·····	93
6.7	拉斗铲服务水平·····	94
6.8	以拉斗铲倒堆工艺为主的综合工艺配合模式·····	96
参考文献 ·····		98

1 绪 论

1.1 背景与研究意义

本书来源于“十一五”国家科技支撑计划项目“特大型露天煤矿高效开采关键技术”、“863”项目“露天矿安全高效爆破与监测技术及数字化动态设计”和神华集团科技创新项目“现代化露天煤矿开采工艺研究”。

2010年,我国露天煤矿年总产量已接近3亿t。为满足国民经济发展对煤炭需求的快速增长,改扩建和在建年产1 000万t至3 000万t的特大型露天煤矿将超过30座,形成若干个亿吨级露天煤矿群。

煤炭露天开采有诸多独具特色的优点:生产能力大,最大的年产量已超过2 500万t;回收率高,可以达到95%以上;劳动生产率高,全员劳动生产率高达100 t/工以上;生产成本低;安全程度高;劳动条件好;机械化程度和集中化程度高,便于实现现代化管理;露天煤矿生产与生态环境重建一体化。

大型露天煤矿开采深度多达300 m至600 m,采用单斗—卡车工艺、拉斗铲倒堆工艺、连续工艺、半连续工艺或综合工艺,采矿设备大型化、配套化,高强度推进,一般工作帮水平推进强度为300 m至500 m,年采剥总量达数千万甚至上亿立方米;高段排土,内排土场边坡高达250 m至350 m,外排土场甚至高达100 m至150 m;形成了采场工作帮、非工作帮、端帮、排土场高陡边坡。

例如,我国内蒙古自治区特大型黑岱沟露天煤矿如图1-1所示,该矿工作帮长度达2 000 m至2 500 m,边坡高度达250 m至350 m,年工作帮开采剥离推进强度多达300 m至500 m,内排土场堆载高度达250 m以上;特别是建矿初期,拉沟剥离物采用外排弃至经济运距内形成外排土场,边坡高度达150 m至200 m以上,水平推进强度多达150 m至200 m。由于大型现代化露天煤矿高强度、快速采矿剥离推进,露天煤矿采场工作帮、非工作帮、端帮、排土场边坡变形、破坏和滑坡对紧邻的机修厂、选煤厂、办公楼、居民区等往往造成了安全威胁。

同时,大型现代化露天煤矿的生产,既是在地壳实体上构造空间,又是在空间上构造矿山实体的复杂过程,揭露煤层需要进行大规模的爆破和剥离,不可避免地形成了采场工作帮、非工作帮、端帮、排土场高陡边坡,相应的采场工作帮、非工作

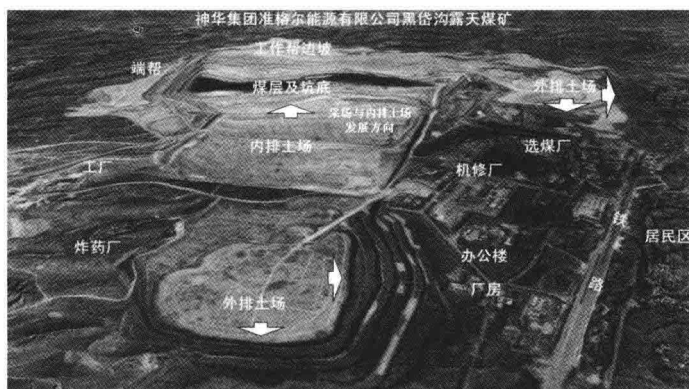
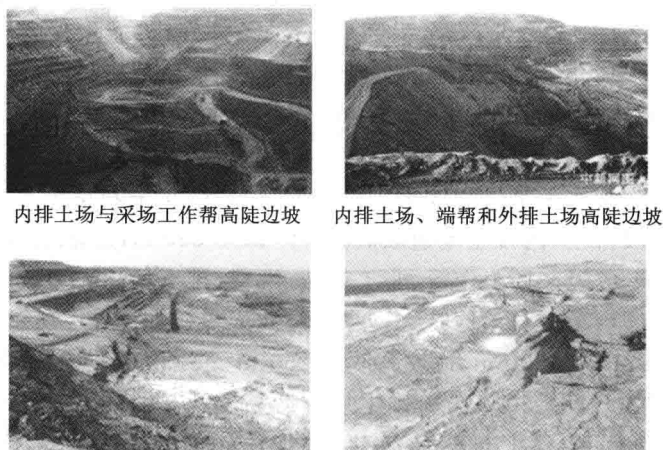


图 1-1 黑岱沟露天煤矿采场工作帮、端帮和内排土场推进示意图

帮、端帮、排土场高陡边坡形成、几何参数、服务状态等是一个动态变化过程,具有典型的时效性。露天煤矿的生产过程中,高陡边坡的稳定性至关重要,边坡变形、破坏与滑坡问题一直是困扰矿山安全生产与环境生态恶化的重大事件,大型露天煤矿形成的高陡边坡如图 1-2 所示。



大型现代化胜利露天煤矿东帮南部高陡边坡滑坡

图 1-2 露天煤矿生产与滑坡图片

时效边坡的概念为露天煤矿边坡设计与稳定性分析提供广义的理论基础。时效边坡作为代表一种露天矿设计分析的新理念,是用动态的参数对露天煤矿边坡进行评价与设计。近年我国开发建设的大型露天煤矿基本为近水平煤层赋存,采用分区内排压帮开采程序,年产量和工作线推进强度大,使得端帮边坡暴

露面积和存在时间大大减小。随着露天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,边坡的高度坡度也随之增大,如边坡角提高,经济效益将明显提高。

例如,大唐国际胜利东二号露天煤矿设计生产能力 3 000 万 t/a,开采深度超过 600 m。边坡走向长度在 5 km 左右。对大唐胜利二号露天煤矿这类矿山来说,提高 1° 时总的剥离量就将减少约 1 亿 m^3 (5 km 长单侧边坡),将给矿山带来至少 6 亿元的经济效益,还可以减少土地破坏和占用量,如露天矿一侧边坡占地可减少土地破坏 400 亩(1 亩约为 667 m^2)以上、减少排土场的占地面积 1 500 亩(参照 100 m 高排土场计算)。可见,研究高陡边坡稳定状态的时效性尤为突出、重要。

现代开采新技术、新工艺的引入,对露天煤矿边坡的要求越来越高,黑岱沟露天煤矿创造性的首次在我国采用以抛掷爆破拉斗铲倒堆剥离为主的综合开采新工艺,该工艺可有效地降低露天开采的剥采比,大大降低露天开采的成本。但该新工艺对露天煤矿边坡稳定性研究理论提出了新的挑战。通过时效边坡理论来研究边坡稳定性要求,以保障露天煤矿安全生产。同时抛掷爆破拉斗铲倒堆剥离工艺在我国首次使用,尚无使用经验,亟需对该工艺进行深入研究,以时效边坡和露天开采一体化为基础形成露天煤矿时效边坡稳定性理论研究体系。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 边坡研究现状

大型露天煤矿高陡边坡失稳出现滑坡是一种重大的矿山灾害,常常中断矿山交通、侵占采场、摧毁设备、掩埋村镇,甚至造成重大灾难。虽然国内外对边坡工程的研究一直非常重视,但边坡工程问题是一个涉及多学科的综合采矿工程科学问题,人们离科学认识采矿活动发生的灾害规律和科学防治滑坡灾害仍有较大差距。随着现代力学、计算技术以及计算机科学的发展,国内外在边坡稳定分析方法上一直进行着探索研究,围绕边坡稳定性分析评价核心问题开展研究,使边坡工程这一复杂的强非线性力学系统通过力学模型和新的稳定分析方法进行理论分析成为可能,并不断发展。

(1) 国外边坡稳定性研究现状

1959 年法国 Malpasset 坝左岸坝肩岩体崩溃,1963 年意大利 Vajont 坝上游左岸的库岸边坡滑坡等,使人们认识到了边坡变形、破坏和失稳的力学机理研究的不足,促进了边坡稳定性理论研究。

20 世纪 20 年代初,人们认识到必须将地质分析与力学机制分析结合起来

研究边坡稳定性,主要采用刚体极限平衡法。1916 年瑞典人彼德森最早提出了条分法,之后,Fellenius(1936 年)、Bishop(1955 年)、Morgenstern 和 Price(1965 年)、Jambu(1973 年)等许多学者改进了条分法。其中,Bishop 重新定义安全系数为沿整个滑动面的抗剪强度与实际产生剪应力的比值,使得其物理意义更加明确。

有许多学者研究露天矿边坡稳定的基础、稳定性分析方法、滑坡预测方法等,取得了长足进展。Budiansky Bernard 等对裂隙材料弹性模量进行了研究(1976);A. Serrano 等对各向异性裂隙岩体的极限荷载进行了研究(1998);N. D. Rose 等用反速法预测露天矿岩石边坡的失稳(2007);T. R. Stacey 等研究了深凹露天矿边坡的稳定性(2003);M. Cravero 等分析了石灰岩露天矿边坡的稳定性(2007);A. R. Bye 等对南非 Sandsloot 露天矿边坡的稳定性进行了分析并对边坡进行了设计(2001);D. Noon 等用雷达监测管理露天矿有滑坡危险的边坡(2007);Patnayak Sibabrata 等采用极限平衡法和数字法分析了一个铅锌露天矿边坡的稳定性(2002);V. K. Singh 等 2005 年用工程地质方法优化深凹露天矿边坡的设计;K. M. Moffitt 等对强风化岩石边坡的稳定性进行了分析(2007)。但是,国外学者较少对高陡露天矿边坡进行系统的研究,也未形成相应的、较为完善的理论。

(2) 国内边坡稳定性研究现状

20 世纪 50 年代,阜新海州露天矿、抚顺西露天矿和内蒙平庄煤矿等矿山采场软岩中出现的多次滑坡进行了边坡稳定性分析及边坡治理。1960~1970 年,通过勘察试验和计算分析,中国科学院武汉岩土力学所对大冶铁矿边坡稳定性进行系统地研究。中国科学院地质研究所在国内首次应用岩体工程地质力学的理论系统地研究金川有色公司露天矿的边坡稳定和岩体变形。从 20 世纪 70 年代末到现在,我国矿山边坡经历了一个大发展时期,国家相继组织“露天矿边坡工程研究”、“露天矿边坡优化设计方法研究”、“高陡边坡工程及计算机管理技术研究”、“高陡边坡综合治理措施研究”、“采场深部加陡及露天转地下的边坡稳定性研究”、“露天矿边坡岩体类型的研究”、“露天矿边坡稳定性分析综合集成智能研究”、“高陡边坡变破坏机理试验研究”等“六五”、“七五”、“八五”国家重点科技攻关研究专题,在解决实际边坡工程难题的同时,也提高了我国边坡工程的研究水平,促进了科技发展与进步。

从不同角度对边坡体的结构及稳定性影响因素等进行分析,极大地推动了边坡稳定性的研究。1994 年张雄把刚体极限平衡法和有限元法相结合,采用刚体弹塑性夹层模型把结构离散成任意凸多边形刚性单元,用有限元法进行边坡稳定性分析评价。2002 年郑颖人用有限元强度折减法进行边坡稳定分析。特

别是进入 20 世纪 90 年代,许多新方法被用来解决边坡稳定性问题。1995 年李文秀用模糊数学模型分析边坡稳定性;1999 年陈新民和罗国煜用灰色系统分析与评价边坡稳定性;1996 年夏元友用神经网络评估岩质边坡稳定性;1995 年曹文贵和颜荣贵采用动态规划方法研究边坡稳定性;1999 年冯树仁等提出边坡稳定性的三维极限平衡分析法。

特别是陈祖煜提出了边坡稳定分析的塑性力学上限解和下限解理论,并对条分法做了大量的改进,使岩土边坡稳定极限平衡分析方法形成一个更为严密的体系。朱大勇、钱七虎等提出临界滑动场,能够方便准确地确定边坡的任意形状与临界滑动面,临界滑动场可同时反映边坡整体和局部的稳定性。田景富等利用离散单元方法,分析并确定了缓倾斜层状岩质高陡边坡采石切坡前后的变形破坏及其演变规律。

随着数值模拟技术普遍应用于边坡稳定性研究,逐步从定性过渡到半定性、半定量研究边坡变形破坏过程及内部作用机制过程,并从整体上认识边坡变形破坏机制及边坡稳定性的发展变化。1976 年有限单元法开始应用于研究边坡稳定问题,随后发展了边界元法、离散元法、FLAC 方法、不连续变形分析 DDA 法、数值流形方法、界面元等数值方法。这些方法在我国也得到了广泛应用。

近年来,各种露天矿边坡稳定性的分析方法得到了较大发展,提出岩体强度空间变异性理论与边坡渐进破坏三维随机分析方法、基于 GIS 空间数据库的三维边坡稳定性分析方法。露天矿边坡工程研究是多种学科的相互结合、相互渗透的结果,经过岩石边坡研究工作者多年的研究和发展,从边坡岩体结构特征、变形破坏机制、稳定性分析理论、岩体开挖数值模拟到岩体开挖工程的稳定性控制等方面,均取得了令人瞩目的成果,已初步形成边坡工程独立的学科体系。

(3) 边坡稳定性分析评价核心问题的研究

① 边坡力学分析方面

随着当前计算机科学和数值计算技术的发展,以力学原理分析为基础的数值分析和模拟方法得到了重视,它从力学分析的角度定量计算边坡的受力,判断边坡的稳定,乃至动态地模拟滑坡发生的过程,为边坡灾害的治理提供科学的依据。R. E. Goodman 1989 年总结分析了岩质边坡几种常见的失稳模式,并就其中一些较简单的失稳模式给出了安全系数或加固力的计算公式。近些年有代表性的工作有:朱大勇等对三种著名边坡稳定性计算方法的改进,极大方便与简化了传统经典方法的工程应用;杨强等基于三维多重网格法的极限平衡法的研究与应用;徐卫亚等在岩体边坡模糊稳定性分析的研究;李术才等对岩质边坡的断裂损失模型进行了研究,考虑了结构对边坡稳定性的影响;李宁等对节理化边坡稳定进行了研究;郑宏等提出了无条分法,突破了条分法的局限;刘沐宇等成

功地运用神经网络对边坡稳定性进行评价,使非确定性方法得到应用。

② 有限元法数值模拟分析方面

有限元法是一种成熟的数值分析方法,在岩土介质的力学分析中,该方法可以考虑多种地质因素,通过计算滑坡内部的应力场和位移场,可以给出弹性区、塑性区、张拉区的位置和大小以及坡体的隆起区和塌陷区,便于分析边坡力学机理。但是,该方法虽然可以采用节理单元模拟坡体的结构面,但问题之一是节理单元数量不能太多,之二是节理单元本质上仍然是有限单元,单元开裂后的力学行为无法模拟下去,因此节理单元有限元法岩体边坡结构模型上有其局限性。

③ 极限平衡法分析方面

极限平衡法目前仍是研究边坡工程的主要方法之一,除具有快速简捷和易于掌握的特点之外,还具有以下优点:一是能计算出描述安全程度的安全系数,工程物理概念清楚,可方便地对判断坡体的危险滑动面,进行整体评价;二是在分析安全系数的基础上易于开展诸如对某一因素进行灵敏度分析等一系列的研究工作。极限平衡法存在着固有局限性:该类方法虽然可考虑一些主要结构面,但主要以与结构面无关的条块方法进行分析。这一局限使其远远不能满足在岩体边坡结构稳定性分析的要求。

④ 物理模型试验分析方面

20 世纪西欧一些国家开始进行结构模型试验,并逐渐建立了相似理论。20 世纪 60 年代以 E. Fumagalli 为首的专家在意大利结构模型试验所 (ISMES) 开创了工程地质力学模型试验技术,试验研究范围从弹性到塑性直至最终破坏阶段。随后葡萄牙、苏联、法国、德国、英国和日本等国也开展了这方面的研究。国内从 20 世纪 70 年代开始,结合大型水利工程中坝基、坝肩边坡稳定问题先后开始试验研究,取得了一大批研究成果。目前,国内外模型试验总的发展趋势是:试验技术现代化,试验对象大型化、复杂化。试验技术现代化,就是模型成型机械化,测试手段现代化。因此,物理结构模型试验的重点转向解决重大工程和复杂、特殊结构物工程,原因是由于高陡边坡结构和岩土力学问题的复杂性,仅靠计算分析难以获得令人满意的结果。

特别是,近年来离心模型试验、结构振动台模型试验得到了迅猛发展。建立三维物理模型,通过本构关系的选取,动力边界条件选用以及震波等的输入,解决了许多重大工程的变形、破坏和失稳过程模拟问题,利用监测全过程的应力和位移,可求得超载安全系数等,并将计算结果、实测结果以及数值模拟分析比较,科学地分析了边坡稳定性及失稳机制,为理论分析验证奠定基础。

⑤ 露天矿边坡稳定性分析与设计方面

露天矿边坡稳定性分析是露天矿设计、生产与管理的一个重要组成部分。

姚颖康等运用多元线性回归和 BP 神经网络方法来预测深凹露天矿山岩质高陡边坡变形。李启月等运用三维离散元 3DEC 分析了露天矿高陡节理岩质边坡爆破载荷作用下边坡质点的振动速度、位移和应力特征。张夏欢等运用 GOCAD 地质三维建模技术建立了边坡的地质信息三维可视化模型,为矿山边坡工程地质分析和工程设计提供了可视化参考。黄润秋在总结西南地区大量工程实践的基础上,建立了卸荷条件下岩石高边坡发育的动力过程及三阶段演化模式。李扬等针对大冶铁矿采用无底柱分段崩落法形成的塌陷区问题,研究了塌陷区回填对露天转地下开采形成的高陡边坡的影响与高陡边坡的变形规律。杨占军分析了抚顺西露天矿在露天和平硐联合开采条件下的地下应力场演变规律与边坡变形规律,并进行了露井联合采可行性分析。杨洪海等研究分析了露井联合开采条件下的边坡岩体变形规律及井工开采对边坡岩体强度及变形的影响,并探讨了露井联合采的变形破坏机制。任高峰等研究了安太堡露天矿露井联合开采条件下边坡岩体的运动规律与地下开采上覆岩体的损害机制,系统地分析了露井联合采影响下边坡可能的破坏模式。刘保宽等对平朔矿区典型的露井联合采安家岭二号井进行了采区大巷围岩稳定性研究,得出了大巷围岩变形破坏的应力分布与变形破坏规律,确定了工作面停采线是决定大巷围岩稳定的关键因素。

⑥ 现代高新科技与多学科理论融合方面

近年来,国内外对边坡工程问题的研究一直非常重视,内容涉及很多方面。许多现代高新科技被引入到了边坡工程研究中,如 3S 技术(RS、GPS、GIS)已成功应用于边坡监测与滑坡预报中。这些现代技术,并辅之以地质勘察和大地测量、变形智能量测等现代测试技术,从地学角度,在边坡滑坡的预测预报、勘测、防治、实验验证和微机辅助设计方面取得了较好的进展。

学科之间的相互渗透使许多现代科学理论(系统论、信息论、非线性科学、混沌动力学、分形理论等)应用到边坡工程研究中,显示了良好的应用前景。在边坡稳定性的非线性动力学理论模型、滑坡系统的自组织特性、边坡变形的分形特征、边坡失稳的分岔与突变模型等方面取得了若干研究成果。这些新理论和新方法的出现反映了目前岩土工程研究者正由传统的正向思维向不确定方向,即系统思维、反馈思维、全方位思维发展,这些新理论和方法大大推动了边坡研究的进展。

1.2.2 拉斗铲倒堆工艺研究现状

大型拉斗铲的研究始于黑岱沟露天煤矿准备引进,从起初设计探讨开始,直到中国矿业大学和黑岱沟露天煤矿进行理论与实践的研究,在我国已有十余年时间,尚属刚开始起步的露天开采研究领域。

拉斗铲的选择应根据具体矿山的需要,针对铲斗容积、作业半径、挖掘深度

和卸载高度等优化,其中尤以拉斗铲铲斗容积及作业半径的选择为基本。杨云浩、邹德仑、张幼蒂等提出了拉斗铲选型原则和步骤,解德国、刘光、董万江对拉斗铲斗容与臂长关系进行了回归分析,对大斗短臂型与小斗长臂型拉铲进行了对比。基本的拉斗铲作业方式有:① 直接倒堆方式;② 扩展平台倒堆方式;③ 内排土场再倒堆方式。拉斗铲无运输倒堆工艺的主要开采参数有倒堆剥离台阶高度(H)、采掘带宽度(A)和倒堆剥离台阶工作线长度(L_m)三个。王平亮、田爱民提出了以工作线加长后使上部卡车运费增加与下部使用拉斗铲节省费用相等的原则,计算单斗挖掘机一卡车、拉斗铲综合工艺下最大工作线长度的方法。陈树召详细研究了拉斗铲倒堆工艺下运煤系统的优化方案,并提出了优化方法。梅晓仁、王永军得出了抛掷爆破条件下推土机的推土距离与倒堆台阶宽度和推土机降段宽度的近似关系。

1.2.3 抛掷爆破研究现状

近 20 年来,抛掷爆破技术应用于无运输倒堆工艺,将相当大一部分剥离岩层抛入采空区,其中不需要倒堆剥离的部分可达 30%~60%,有效抛掷量(即无需二次倒堆剥离量)可达到抛到采空区的抛掷量的 40%~70%。这就进一步提高了剥离工作效率,大幅度降低了剥离成本,使无运输倒堆工艺如虎添翼。张幼蒂等介绍并研究了抛掷爆破技术的应用和发展、预裂爆破及倾斜钻孔的应用、炸药类型、抛掷爆破参数及预期抛掷爆破效果。抛掷爆破技术要求煤层水平或缓倾斜埋藏,覆盖物厚度必须大 10 m。马军、李克民根据黑岱沟露天煤矿的矿床地质条件及扩建的要求,系统地研究了抛掷爆破与拉斗铲倒堆相结合的剥离工艺,对抛掷爆破的方法与参数、剥离台阶开采参数、有效抛掷率、拉斗铲作业方式、再倒堆系数等进行了模拟计算与分析,并根据生产需要,提出抛掷爆破前几排孔应有一定欠深以减少煤的损失的观点。

爆破震动效应对露天矿边坡的稳定性具有很大影响,抛掷爆破一次装药量大、爆破能量大,这种作用更加突出。周洪文研究了爆破震动对露天矿边坡稳定性的影响,探索减少爆破震动对露天矿边坡稳定性影响的方法,优化矿山生产过程的爆破参数,对可能产生的破坏进行预测预报,提出治理方案和整治措施。露天煤矿抛掷爆破剥离过程中,大多采用预裂爆破,既可以减少后冲,增加抛掷量,又可以使边坡整齐,增加边坡安全性。梁冰、孙维吉、杨冬鹏等分析了抛掷爆破对内排土场边坡稳定性的影响,认为爆破引起内排土场边坡发生微小的位移,不会引起内排土场发生破坏性的滑移,坡体结构稳定。孙豁然、佟彦军、李孝林等对黑岱沟露天煤矿进行了抛掷爆破振动监测,爆破地震持续时间接近 3 s,其中轴向平均持续时间较短,爆破振动属于低频振动,基本没有高频成分。李克民、张幼蒂、傅洪贤对露天矿抛掷爆破技术的发展、倒堆剥离台阶开采参数与剥离爆

破效果的内在联系、预裂爆破及倾斜钻孔的应用、排间延时及孔间延时的作用进行了分析与论述,认为合理确定炮孔排间及孔间的起爆延时时间,可以大大降低爆破震动;采用超低密度炸药或不耦合装药可以取得较好的预裂爆破效果。

1.3 研究内容

(1) 高陡边坡稳定性研究的露天采矿学原理

通过总结露天煤矿采场工作帮、非工作帮、端帮高陡边坡的露天采矿学特征,研究露天煤矿高陡时效边坡变形、破坏和失稳特征,建立基于三维潜在滑动面的边坡稳定性分析方法,综合考虑暴露面积、服务时间与边坡稳定性的关系,建立适合露天采矿基本原理的高陡边坡力学模型。

(2) 倒堆高陡台阶失稳形式及机理

倒堆台阶在形成过程中受到多次的爆破振动冲击和采动扰动,倒堆台阶岩体不断加载卸载,物理力学性质劣化,容易发生滑坡倾倒等地质灾害。基于抛掷爆破拉斗铲倒堆工艺的特点,监测抛掷爆破大药量爆破的波形特点及波的组成部分,为采取减振措施提供依据;研究倒堆高陡台阶的失稳形式及失稳机理,弄清倒堆高陡边坡在形成的过程中的失稳力学原理。

(3) 有效抛掷率和爆堆外轮廓形状的确定

有效抛掷率和爆堆外轮廓形状是抛掷爆破拉斗铲倒堆工艺的关键因素,通过分析抛掷爆破质点速度场,建立有效抛掷率的数学模型,分析高陡倒堆台阶参数对有效抛掷率和爆堆外轮廓曲线形状性质的影响,揭示拉斗铲倒堆作业和抛掷爆破耦合机理。

(4) 抛掷爆破拉斗铲倒堆工艺参数的适应性研究

露天煤矿开采参数对边坡稳定性影响研究保证了矿山生产安全和为开采参数取值提供了区间。然而,露天煤矿开采过程中,煤层厚度、覆盖层厚度以及设备的生产能力都是不断波动的,年和年之间、月和月之间以及天和天之间都存在明显的差异,通过分析限制环节工艺的特点,动态优化露天煤矿生产作业参数,以保证矿山的正常生产。

2 端帮边坡构建过程中的力学特性分析

露天煤矿边坡工程与水利、铁路、公路等岩土开挖工程所形成的高陡边坡相比具有自身的特点:① 露天煤矿边坡工程赋存条件无选择性;② 露天煤矿边坡工程具有时效性;③ 露天煤矿边坡允许一定变形和破坏;④ 露天煤矿边坡不仅是动态地质工程,而且受到采矿工艺的影响。

近水平露天煤矿高陡边坡是有一定的存在时间的,由于岩体都有一个长期强度,长期强度实际上就是针对永久边坡的。边坡可以分为两类:一类是永久性稳定边坡;另一类是非永久性稳定边坡。边坡暴露面积(暴露长度和深度)和服务时间影响边坡稳定性。因此,边坡暴露面积大小和服务时间长短是反映露天煤矿边坡时空特征的主要指标。暴露面积越小和服务时间越短边坡稳定性越好,反之边坡稳定性越差。

目前,在露天矿边坡稳定性分析中经常采用的方法有瑞典条分法、Bishop法等传统方法,一般都将边坡视为平面问题,采用二维平面应变法进行力学分析。在边坡断面形状相同,边坡暴露长度有较大差异时,边坡的稳定性明显是不同的。由此看来,传统的计算方法没有考虑露天矿边坡走向长度,也就是暴露面积对边坡稳定性的影响,是不确切的。因此,分析暴露面积对边坡稳定性的影响是必要的。

边坡暴露面积是指边坡裸露在外的面积,它与露天矿边坡的稳定性密切相关,与边坡服务时间一起作为露天煤矿边坡设计、监测和治理的主要指标。其面积的大小对矿石采出率、生产剥采比及采矿成本等技术经济指标有直接影响。暴露面积减小,相应边坡尺寸减小,矿石采出率提高,剥采比减少,采矿成本降低,综合经济效益提高。因此,在确保边坡稳定的前提下,适当减小端帮边坡暴露面积、缩短暴露时间具有重要的现实意义。

2.1 端帮边坡的三维展布特点

在露天煤矿采场中,压帮内排体现了端帮边坡的时效性。压帮内排条件下,端帮边坡暴露形态如图 2-1 所示。

端帮暴露面积在垂直平面上的投影面积为:

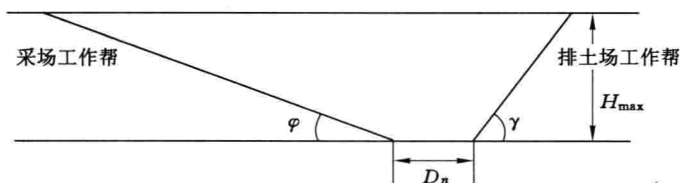


图 2-1 端帮边坡暴露形态

$$S_n = \frac{1}{2} H_{\max} [2D_n + H_{\max} (\cot \gamma + \cot \varphi)] \quad (2-1)$$

式中 S_n ——端帮暴露的面积在垂直平面上的投影面积, m^2 ;

D_n ——内排第 n 年时露天煤矿坑底宽度, m ;

$H_{\max}$ ——露天矿的最大采掘深度, m ;

γ ——露天矿内排土场工作帮边坡角, $(^\circ)$;

φ ——露天矿采场工作帮边坡角, $(^\circ)$ 。

分析露天煤矿边坡暴露面积时,可以采用暴露面积在垂直平面上的投影面积除以边坡角度的正弦值。如图 2-2 所示。

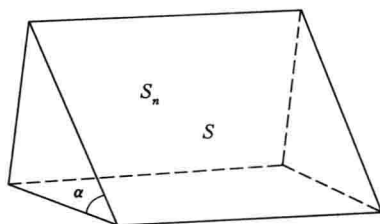


图 2-2 端帮边坡暴露面积垂直投影示意图

端帮边坡暴露面积为:

$$S = \frac{S_n}{\sin \alpha} = \frac{H_{\max} [2D_n + H_{\max} (\cot \gamma + \cot \varphi)]}{2 \sin \alpha} \quad (2-2)$$

式中 S ——端帮边坡暴露面积, m^2 ;

α ——端帮边坡角, $(^\circ)$ 。

暴露面积的垂直投影面积 S_n 和坑底宽度 D_n 的关系见图 2-3。

露天煤矿坑底宽度为:

$$D_n = \begin{cases} D_{n-1} + v_{cn} - v_{pn} & (D_n > D_{\min}) \\ D_{\min} & (D_n \leq D_{\min}) \end{cases} \quad (2-3)$$

式中 D_{n-1} ——内排第 $n-1$ 年时露天煤矿坑底宽度, m ;