

江苏省基础 Research 计划(BK20130183)

国家科技支撑计划(2012BAH12B01)

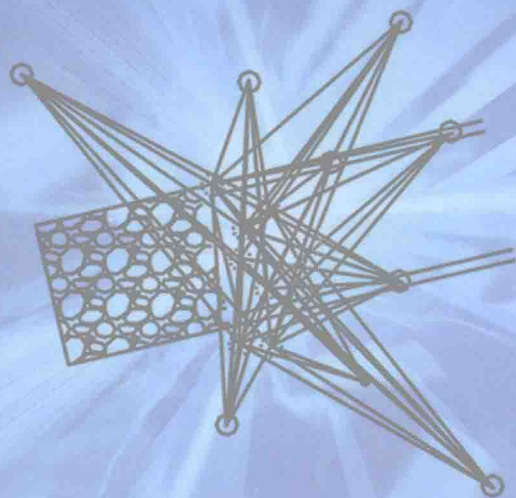
中央高校基本科研业务费专项资金(2013QNA46)

煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主课题(SKLCRSM12X07)

煤矿冲击矿压震动波CT 预测原理与技术

巩思园 窦林名 著

Meikuang Chongji Kuangya Zhendongbo CT Yuce Yuanli Yu Jishu



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

划(BK20130183)

(2012BAH12B01)

业务费专项资金(2013QNA46)

煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主课题(SKLCRSM12X07)

煤矿冲击矿压震动波 CT 预测原理与技术

巩思园 窦林名 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了震动波 CT 预测冲击矿压的理论基础和技术体系,内容包括:煤岩样受载与纵波波速耦合的试验研究、矿震震动波 CT 模型和求解原理、提高矿震震动波 CT 求解精度研究、冲击危险震动波 CT 预警技术原理和工程应用实践等。

本书可供从事采矿工程和岩土工程领域中冲击矿压和岩爆预警研究的科技工作者、工程技术人员、学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿冲击矿压震动波 CT 预测原理与技术/巩思园, 窦林名著.

徐州:中国矿业大学出版社,2013.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2036 - 3

I. ①煤… II. ①巩…②窦… III. ①煤矿—矿山压力—冲击地压—预测技术 IV. ①TD324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 215372 号

书 名 煤矿冲击矿压震动波 CT 预测技术与原理
著 者 巩思园 窦林名
责任编辑 李 敬 郭 玉
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 890×1240 1/32 印张 7.25 彩插 4 字数 202 千字
版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 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

随着我国能源需求的稳步增长,在许多进入深部开采地质及历史背景复杂的煤矿矿区,冲击矿压逐渐成为除水、火、瓦斯之后的又一重大灾害。冲击矿压是一种积聚在矿井巷道和采场周围煤岩体中能量突然释放的动力现象,严重时造成支护系统损坏和人员伤亡等。甘肃华亭、河南义马、江苏徐州、东北鹤岗和山东枣庄、济宁等多个矿区都在遭受冲击矿压灾害的威胁,尤其是2011年河南义马千秋煤矿深部21221工作面运输巷发生的引起全国关注的重大冲击矿压事故,造成了10人死亡、64人受伤的严重后果。这表明冲击矿压现象目前仍是亟待解决的世界性难题,如何解决冲击矿压或强矿震的临冲或临震预测问题还有待深入研究。要降低甚至避免现场发生冲击矿压,就必须以冲击矿压的防治工作作为重中之重,因此急需一种可大范围监测冲击危险,进而指导防治工作的预测技术。本书就是针对进入深部开采冲击矿压日趋严重的现实,研究震动波CT预测冲击矿压的技术与原理,以求为准确监测冲击地压危险和有效指导防治工作提供基本理论和技术支撑,从而进一步提升微震监测系统的监测与预警效能,为煤矿安全开采提供技术保障,同时为探索冲击矿压理论研究提供新思路、新途径。这一研究具有重要的学术价值和广泛的工程应用需求。

本书围绕实验室研究得到了震动波波速与应力间的试验关系模型,利用矿震信号建立了矿震震动波CT模型,在分析该模型各影响因素的基础上,采用理论分析、现场试验、数值模拟和数值仿真计算等方法对台网优化布设、提高输入数据精度进行了研究,进而揭示了冲击矿压与震动波波速的耦合规律,提出了预测预报冲击危险的三

个指标值和防治对策,并在现场进行了工程实践应用。

全书内容共分为 8 章:第 1 章介绍了冲击矿压预测技术研究现状,总结了前人的研究成果与存在的不足;第 2 章介绍了在实验室条件下,煤岩试样纵波波速与受载方式及程度相关关系的研究成果;第 3 章介绍了震动波 CT 技术原理和求解模型及算法;第 4 章介绍了提高震动波 CT 技术反演精度的微震台网优化布设系统;第 5 章系统和全面地介绍了提高震动波 CT 模型输入数据精度的优化方法;第 6 章介绍了震动波 CT 预测冲击危险指标,并通过现场试验与数值模拟进行了冲击危险分析对比;第 7 章选取忻州窑煤矿作为震动波 CT 预测预报冲击危险技术的工程实践基地,进行了工业性试验。第 8 章为主要结论及后续工作介绍。

本书是以第一作者博士论文为基础,在导师窦林名教授指导下进一步深化完成的。书稿编写过程中,得到了许多专家的指导与帮助。特别感谢博士论文评阅人钱鸣高院士、王兆丰教授、张华兴教授、许家林教授和刘长友教授给予的建议和帮助。感谢作者所在冲击矿压研究团队的刘海顺教授、陆莱平教授、牟宗龙副教授、曹安业副教授、陈同俊副教授、贺虎讲师、王桂峰讲师、何江博士、蔡武博士、李振雷博士、丁言露博士等对本书编写给予的大力支持和帮助。感谢四川大学水利水电学院刘长武教授、徐进教授、刘建锋讲师等在试验研究中提供的帮助。感谢兖州煤业股份有限公司鲍店煤矿、济三煤矿,山西大同煤业集团忻州窑煤矿,山东天安矿业有限公司星村煤矿,甘肃华亭煤业集团有限责任公司华亭煤矿、砚北煤矿等单位对本书的出版给予的大力支持。

震动波 CT 预测技术是解决当前冲击矿压预测和指导冲击危险防治问题的一种新方法、新思路,在研究的深度和广度上,还有待进一步加强。由于作者水平有限,加之时间仓促,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2013 年 5 月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 冲击矿压研究现状	4
1.3 震动波 CT 预测冲击矿压的研究进展	13
1.4 目前需要解决的问题	17
1.5 研究内容	18
2 煤岩样受载与纵波波速耦合的试验研究	21
2.1 试验研究背景	21
2.2 试验目的、内容及方案	21
2.3 煤岩样纵波波速测定和加载系统	23
2.4 单轴加载条件下纵波波速与应力的耦合关系	30
2.5 单轴循环加卸载条件下纵波波速与应力的 耦合关系研究	39
2.6 本章小结	48
3 震动波被动 CT 模型和求解原理	50
3.1 引言	50
3.2 震动波被动 CT 模型	51
3.3 震动波被动 CT 求解算法	52
3.4 射线追踪方法	55
3.5 震动波被动 CT 模型的求解流程	59

3.6	本章小结	64
4	震动波被动 CT 的台网优化布设研究	67
4.1	引言	67
4.2	矿震定位理论	68
4.3	台网设计的 D 值优化模型	70
4.4	最优台网布设的求解模型	72
4.5	台网 D 值优化方案的数值仿真	78
4.6	煤矿台网优化布设系统试验和现场应用研究	85
4.7	本章小结	110
5	提高震动波被动 CT 输入数据精度的研究	112
5.1	引言	112
5.2	被动 CT 反演波形选择	112
5.3	波形除噪及微弱信号提取	114
5.4	被动 CT 中震源定位目标函数的构建及 定位算法改进	125
5.5	P 波波速调整方法	135
5.6	定位通道个数选取原则	137
5.7	本章小结	141
6	预测冲击危险的震动波 CT 技术	143
6.1	引言	143
6.2	纵波波速分析冲击危险的理论基础	144
6.3	纵波波速判别冲击危险的指标	146
6.4	震动波 CT 预测冲击危险的现场试验与数值模拟的 对比分析	150
6.5	基于震动波 CT 技术的冲击危险治理及防治评价	169

6.6 本章小结	170
7 震动波 CT 技术预测冲击危险的实践与应用	173
7.1 引言	173
7.2 忻州窑煤矿	173
7.3 本章小结	199
8 主要结论及后续研究工作	202
8.1 主要结论	202
8.2 后续研究工作	207
参考文献.....	209

1 绪 论

1.1 研究意义

煤炭是我国的基础能源,国家《能源中长期发展规划纲要(2004~2020年)》中明确提出“坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的战略”目标。2009年我国煤炭产量达到31.4亿t,占世界煤炭产量的42%,在我国一次能源构成中约占70%。为了满足国民经济高速增长的需求,今后相当长的时期内必须保证煤炭的高产稳产和安全开采。

我国的煤炭资源条件较差,90%以上的煤炭产量来自于地下开采。经过长期大规模的开采,我国中东部产煤区的浅部煤炭资源已逐渐枯竭,目前平均开采深度已达600m左右,并且以每年8~12m的速度向下延伸。例如:甘肃华亭矿开采深度600m,淮南望峰岗矿开采深度820m,义马千秋矿开采深度880m,抚顺老虎台矿开采深度900m,兖矿集团赵楼煤矿开采深度960m,长广矿开采深度1000m,北票冠山矿开采深度1059m,阜新王营子矿开采深度1100m,开滦赵各庄矿开采深度1159m,沈阳彩屯矿开采深度1197m,新汶华丰矿开采深度1350m。预计在未来20年我国很多煤矿将进入1000~1500m的开采深度。

与浅部岩体相比,深部岩体表现出以冲击矿压、矿震、突水、顶板大面积垮落为代表的煤矿灾害事故,其中冲击矿压作为采矿活动诱发的破坏性矿震,以其突然、急剧、猛烈的破坏特征严重威胁着矿山的安全生产,并给我国煤矿造成了巨大的经济损失和人员伤亡。许

多原来没有发生过冲击矿压的矿井,现在也开始发生;原来发生过冲击矿压的矿井,现在冲击矿压致灾的强度越来越大,频率越来越高。较强的冲击矿压或矿震还会引起地面的强烈震感而导致建筑物的破坏。对于高瓦斯矿井,冲击矿压或矿震还有可能诱发煤与瓦斯突出、瓦斯爆炸以及顶板突水等重特大恶性事故,使冲击矿压的危害更显现突出。

例如,华亭煤矿和砚北煤矿是国内冲击矿压显现非常严重的矿井。两矿无论是深部和浅部的工作面都具有很高的冲击危险性,尤其进入深部大面以来,冲击矿压显现更加频繁和剧烈。华亭煤矿自开掘 250102 工作面以来,据不完全统计,2007 年 4 月~2008 年 7 月 250102 工作面平巷掘进和回采过程中,发生了几十次冲击矿压现象,其中 2008 年 1 月 29 日 15 时 52 分,250102 工作面下出口向外 110 m 范围内的运输平巷出现冲击矿压,巷道出现顶板下沉、两帮移近、底板鼓起、转载机架空段移位、破碎机电机轴折断、皮带机机尾下陷、皮带机架腿错位、托辊脱落等现象,巷道净宽由原来的 4.5 m 变为 2.0 m 左右,顶底板出现了较大变形,最大变形量达到 0.6 m。此次事故造成巷道内作业的 14 人受伤,其中 1 人经医治无效死亡。

砚北煤矿在开采 2502 首采区的第一个工作面即发生冲击矿压,工作面自 2006 年 3 月开始回采以来至该年 9 月份,累计发生冲击矿压显现达 30 余次。其中 7 月 21 日 250205 工作面运输平巷 1 550~1 700 m 段发生冲击矿压,造成巷道较大变形,设备轻微损坏,人员轻伤。8 月 3 日夜班,该工作面前刮板输送机机头至转载机头 30 m 范围内又发生一起冲击矿压,造成顶梁端 3 m 处被压断,底鼓 1 000 mm 左右,顶板下沉严重,造成人员伤亡。

大同矿业集团忻州窑煤矿位于大同煤田的东北部,开采侏罗系煤层,已有 60 多年的开采历史。根据忻州窑煤矿 30 多起典型的冲击矿压事故统计分析,占总数 76.7% 的冲击矿压事故发生在巷道区段煤柱,表现为巷道煤帮突然猛烈抛出,造成巷道严重破坏和人员伤亡事故,成为忻州窑煤矿的重大动力灾害之一。目前,矿井主采西二

盘区的 8929 综放工作面和东三盘区的 8512 综采工作面。自 2008 年以来,西二盘区的 8929 综放工作面以及东三盘区的 8510 综采工作面先后发生多起冲击矿压灾害,给矿井的安全生产造成了严重的威胁。

随着能源需求的加大,许多开采历史背景复杂的矿区进入深部开采阶段,如徐矿集团、兖州煤业股份有限公司、甘肃华亭煤业集团、临沂矿业集团、新汶矿业集团、枣庄矿业集团、山东天安矿业有限公司、平煤集团等下属矿井的冲击矿压问题越来越严重,发生的强度和频次越来越高,使得预测预报冲击危险和防治冲击危险的难度也进一步加大。

为了解决日益严峻的冲击矿压形势,作者所在课题组与波兰矿山研究总院展开了国际合作,引进了国际先进的高精度 SOS 微震监测系统,目前已在国内具有冲击矿压危险的华亭、砚北、山寨、古城、星村、忻州窑、鲍店等十几个煤矿进行了安装和冲击危险分析的应用研究,改变了过去以钻屑、电磁辐射等局部监测手段为主的单一形势。虽然目前微震监测系统在煤矿安全生产中起到了较大的作用,但是所监测信息仍然没有得到完全的开发和应用,与国外相比还处于微震监测系统应用的初级阶段。现场实践表明,通过地震统计学方法可识别出震源积聚区域和震源能量发展趋势,进而判别一段时期后冲击危险区域的危险性级别。例如,2008 年 4 月 2 日和 2008 年 5 月 12 日分别两次成功对冲击矿压进行了及时预测,两次预测都只指明了危险的时间段,而没有能够准确确定冲击矿压的显现位置,尤其是 5 月 12 日冲击矿压却发生在危险性不高的回风平巷内,与预期有很大的区别。可以看出,若只是通过震源分布来确定冲击矿压发生的位置还很不够,对应该在何处实施防治冲击矿压的措施也提不出明确的指导意见。为此,本书依托江苏省基础研究计划(BK20130183)、国家科技支撑计划(2012BAH12B01)、中央高校基本科研业务费专项资金(2013QNA46)、煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主课题(SKLCRSM12X07)及多个冲击矿压微震监测研

究的横向课题,分别基于实验室的超声波测量系统、现场 CT 试验和 SOS 微震系统监测数据的支撑下,综合运用岩体力学、震动波理论、反演理论和数值模拟技术,系统研究煤岩体内震动波速与应力的耦合关系,应用震动波 CT 理论与技术反演煤岩体开挖过程中的应力分布特征,从而预测预报下一时段的冲击危险区域范围,其意义在于不仅能进一步缩小实施安全管理措施的范围,更重要一点是能够指导制定冲击危险灾害的弱化控制措施。本研究所涉及的问题是矿山微震监测和冲击危险预测预报研究领域的前沿课题,对矿井安全生产具有重要的意义。

1.2 冲击矿压研究现状

1.2.1 矿震和冲击矿压概述

矿震即矿山地震,是矿山开采引起的地震活动。矿震是各类诱发地震中危害性最大的一种,直接关系到矿山的安全问题。矿震也是世界深层采矿作业中最难掌握的现象,世界上许多国家都开展了对矿震的研究。

按矿震发生地点分,矿震分为发生在开采面附近的矿震和发生在地质不连续面的矿震。发生在开采面附近的矿震和采矿活动有关,其能量来源于自重及岩体活动。当开采引起的附加应力与构造应力相互作用时,如果引起断裂面的重新滑移,即是发生在地质不连续面的矿震,由于与构造应力有关,有时也称构造型矿震。

按矿山类型分,矿震分为煤矿中的矿震、钾盐矿中的矿震、金属矿中的矿震。矿山类型不同,震源机制也不同,表现出的特征也不同。煤矿中的矿震主要是煤体内弹性能高度集中,超过了煤体强度而发生的。钾盐矿属于一种在采矿应力作用下迅速变软的软岩,应力可以通过黏滞变形而减小,以无震级形式逐渐消耗位能,只有当弹性变形大于蠕变变形时,才有可能发生矿震,因此,钾盐矿中的矿震

震级一般都很小。金属矿中矿震的成因更多的是断层活动的参与,震级一般较大,其特征更接近天然地震。

综合来看,矿震具有以下特征:

(1) 矿井顶板断裂、滑移失稳、地表塌陷、冲击矿压等由采矿活动直接造成的震动均属于矿震的范畴,其影响范围区域应靠近采矿活动区域;由采矿激活的断层、褶曲等构造活动产生的震动也属于矿震,其发生位置可能远离开采区域,但是可能造成的显现位置通常为靠近开采区域的应力集中区。

(2) 破坏性矿震(造成冲击矿压)所需要的能量级别因开采和地质条件的变化而各不相同,但是震级越大的矿震,造成破坏性后果的可能性也越高。

冲击矿压通常是指在一定条件的高地应力作用下,煤矿井巷或采煤工作面周围的煤岩体由于弹性能的瞬时释放而产生破坏的矿井动力现象,常伴随有巨大的声响、煤岩体被抛向采掘空间和气浪等现象。它往往造成采掘空间中支护设备的破坏以及采掘空间的变形,严重时造成人员伤亡和井巷破坏。冲击地压可以定义为:矿山井巷和采场周围煤、岩体由于变形能释放而产生的以突然、急剧、猛烈的破坏为特征的动力现象。简单地讲,冲击矿压就是煤岩体的突然破坏现象,发生前一般没有明显的宏观前兆,发生过程极为短暂,一般持续时间为 10 s 以内,而且在各种采矿和地质条件下均发生过冲击矿压。从本质上讲,冲击矿压属于灾害性矿震,体现了采动煤岩冲击破裂的震动效应。

根据原岩体应力状态的不同,冲击矿压可分为:

① 重力型冲击矿压:主要受重力作用,没有或只有极少构造应力影响的条件下引起的冲击矿压,通常与矿井的开采深度密切相关。

② 构造应力型冲击矿压:主要受构造应力的作用引起的冲击矿压,常见的地质构造为断层、褶曲等,这种类型的冲击矿压与开采深度关系不大,通常临界深度较浅。

③ 重力—构造型冲击矿压:受重力和构造应力共同作用引起的

冲击矿压。

根据诱发冲击的能量来源,可将冲击矿压分为:

① 煤体(煤柱)型冲击矿压:这种类型的冲击矿压主要是由于高应力状态的煤体或煤柱中所积聚的大量弹性应变能受到采掘扰动而突然释放,往往表现为煤体的突出、片帮等。

② 顶板型冲击矿压:主要因较硬煤层上方存在一层较厚甚至巨厚且极其坚硬的砂岩顶板(关键层),当坚硬顶板初次或周期性破断时,将会释放大量的弯曲弹性能,能量在完整性岩层以及硬煤层中传播时,衰减较小,很容易诱发冲击矿压,造成煤体突出,破坏巷道。

根据震级强度和抛出的煤量,可将冲击矿压分为:

① 轻微冲击(Ⅰ级):抛出煤量在 10 t 以下,震级在 1 级以下的冲击矿压。

② 中等冲击(Ⅱ级):抛出煤量在 10~50 t,震级在 1~2 级的冲击矿压。

③ 强烈冲击(Ⅲ级):抛出煤量在 50 t 以上,震级在 2 级以上的冲击矿压。

显然,“矿震”一词的覆盖面要远大于冲击矿压。开采区域内产生的矿震都是由矿井开采活动造成的,不过不是每次矿震都会诱发冲击矿压,但没有一次冲击矿压不伴随着矿震的发生。发生冲击矿压的可能性和矿震能量有很大的关系,满足能量越大,发生冲击矿压的可能性就越大。从冲击矿压与岩体震动的关系来看,发生冲击矿压的最低能量为 1×10^4 J。在能量级别为 1×10^6 J 时,发生的冲击矿压最多。当震动能量为 4×10^{10} J 时,其概率几乎为 1。震动频次 n_w 和冲击矿压发生的频次 n_i 之间的关系如图 1-1 所示。

研究表明,每个能量等级每年出现的震动次数是不同的。能量级越高,震动出现的频率就越低,如能量在 1×10^9 J 的震动就很少出现。能量级越低,震动出现的频率就越大,如能量在 1×10^5 J 的震动每年就出现 2 150 次。因此,冲击矿压是矿山震动的一种形式,矿山震动和冲击矿压的基本关系为:

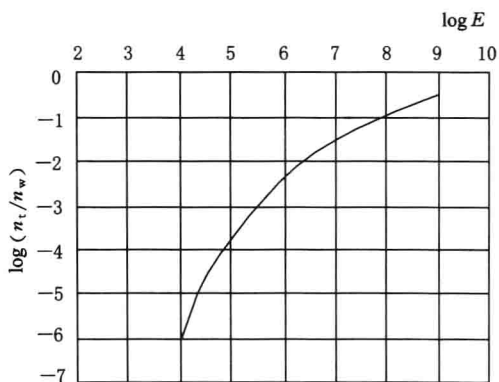


图 1-1 冲击矿压和震动发生次数之比与能量关系

(1) 冲击矿压是矿山震动的事件集合之一。

(2) 冲击矿压是岩体震动集合中的子集。

(3) 每一次冲击矿压的发生都与岩体震动有关,但并非每一次岩体震动都会引发冲击矿压。

可见,煤岩体发生冲击矿压前一定会在应力作用下产生众多小能量级别的矿震(也可称为“微震”),两者之间具有伴生关系,而这些小矿震则是研究冲击矿压的重要信息源。

1.2.2 冲击矿压机理研究现状

冲击矿压机理作为预测预报和防治冲击矿压的基础,一直是国内外学者不断追寻和探讨的终极目标。目前,在实验室研究和现场监测的基础上,各国学者从不同的角度先后提出了一系列重要的理论,主要有强度理论、刚度理论、能量理论、冲击倾向理论、变形系统的失稳理论和“三准则”理论等。强度理论的实质就是 Brauner 提出的煤岩体夹持理论,并有煤体极限压应力的计算公式。强度理论只能判断煤岩体是否破坏,不能回答煤岩体是静态破坏还是动态破坏的形式,只能作为冲击矿压发生的必要条件,而不是充分条件。刚度

理论认为矿山结构的刚度大于围岩—支架刚度是产生冲击矿压的必要条件,用于判别煤柱稳定性具有简单、直观的特点,但这一理论没有正确反映煤体本身在煤体—围岩系统中不但能积蓄能量,而且还可以释放能量这一基本事实。能量理论认为矿山开采中如果支架—围岩力学系统在其力学平衡状态破坏时的能量大于所消耗的能量时即发生冲击矿压,但没有说明矿体—围岩系统平衡状态的性质及其破坏条件,特别是围岩释放能量的条件,因此冲击矿压的能量理论判断尚缺乏必要条件。冲击倾向性理论认为煤岩体的冲击倾向性是煤岩介质的固有属性,是产生冲击矿压的内在因素。该理论的局限性在于冲击矿压的发生与采掘和地质环境有关,而且实际的煤岩物理力学性质随地质开采条件的不同而有很大的差异,实验室的测定结果往往不能代表各种环境下的煤岩性质。变形失稳理论认为介质的强度和稳定性是发生冲击矿压的重要条件之一,而当介质在失稳过程中系统所释放的能量可使煤岩体从静态变为动态过程则是发生冲击矿压的重要条件之二。该理论的实质是,只有变形系统具有软化特性时才能具有发生冲击矿压的条件。“三准则”理论认为强度准则是煤岩体的破坏准则,而能量准则和冲击倾向性准则则是突然破坏准则,因而只有当这三个准则同时满足时,才能发生冲击矿压,该理论虽融合了三个理论,弥补了相互之间的不足,但是引入参数过多,实际应用的难度大。

此外,Vardoulakis、Dyskin、黄庆享、缪协兴、张晓春、冯涛等以断裂力学、损伤力学和稳定性理论为基础,对围岩近表面裂纹的扩展规律、能量耗散和局部围岩稳定性的研究已取得了一定的进展,建立了煤矿片帮型冲击矿压和岩爆的层裂板结构失稳破坏模型,认为采场或巷道壁面的局部失稳是由高应力集中区形成的层裂板结构区的稳定性控制的,当近自由表面的裂纹一旦开始扩展,将失去稳定,导致表面局部屈曲,临界屈曲应力随自由表面与裂纹间距的减小而急剧减小,最终分离层屈曲破坏形成冲击矿压。齐庆新等建立了冲击矿压的摩擦滑动失稳模型,用摩擦滑动的黏滑现象解释了冲击矿压

的发生机理,提出了煤矿冲击矿压的黏滑失稳机制。窦林名运用煤层和顶底板的刚度研究了冲击矿压发生的机理,认为当煤层和顶底板的刚度均大于零时,煤岩体处于稳定状态;当煤层的刚度小于零,但煤层和顶底板的刚度之和大于或等于零时,煤岩体则处于亚稳定或静态破坏状态;当煤层和顶底板的刚度之和小于零时,煤岩体将产生剧烈破坏,产生冲击矿压。通过 Poynting-Thomson 模型加入两个脆性单元建立了弹塑脆性突变模型,用来研究煤岩体流变—突变破坏,较好地解释了冲击矿压的发生、载荷的突变对煤岩体破坏的影响和煤岩体从流变到突变的破坏特征及能量释放大小等。

近年来,以窦林名为首的中国矿业大学冲击矿压监测防治研究课题组在以现场大量研究数据的支撑下对冲击矿压机理的研究做了大量工作,取得了如下主要进展:

(1) 详细研究了组合煤岩的冲击倾向性特征,认为组合煤岩的冲击倾向性不仅与顶板的强度及厚度、煤样强度之间呈正相关的关系,而且与微震强度之间也呈正相关关系,并依此建立了组合煤岩的强度弱化减冲原理。

(2) 基于煤岩介质中应力波传播理论和巷道围岩强度理论,提出了冲击震动巷道围岩的强弱强结构控制理论,通过在巷道周边围岩支护体小结构与冲击应力波传递大结构之间设置一个衰减弱化的冲击震动波的松软弱层结构,达到巷道围岩免受冲击的目的。

(3) 提出了顶板岩层诱发冲击的机理,研究认为顶板岩层诱发冲击的机理分为顶板处于稳定时的“稳态诱冲机理”和处于运动态时的“动态诱冲机理”两种类型。

(4) 基于“砌体梁”理论,研究了断层倾向对顶板平衡结构和工作面支撑压力的影响,并建立了断层滑移诱发煤岩冲击的黏滑—黏弹脆性体突变模型,分别提出了“断层滑移失稳动态诱冲机理”和“断层滑移稳态诱冲机理”。

(5) 通过研究最大水平应力对冲击矿压的作用机制、褶皱区最大水平应力与采动应力分布规律及其和冲击矿压的关系,提出了针