

PREVENTION AND CONTROL OF ROCK BURST IN COAL MINE

煤矿开采冲击矿压灾害防治

窦林名 赵从国 杨思光 吴兴荣 编著

PREVENTION AND CONTROL OF ROCK BURST IN COAL MINE

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金项目资助(50490273,50474068,50074030)

教育部博士点专项基金项目资助(20030290017)

国家重点基础研究专项(973)经费资助(2005CB221504)

煤矿开采冲击矿压灾害防治

PREVENTION AND CONTROL OF

ROCK BURST IN COAL MINE

窦林名 赵从国 杨思光 吴兴荣 编著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤矿开采冲击矿压灾害防治/窦林名,赵从国,杨思光,吴兴荣编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.4
ISBN 7-81107-276-9

I. 煤… II. ①窦…②赵…③杨…④吴… III. 煤矿—冲击矿压—防治 N. TD324

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第013640号

书 名 煤矿开采冲击矿压灾害防治

编 著 窦林名 赵从国 杨思光 吴兴荣

责任编辑 朱明华

责任校对 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)

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

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 5.875 字数 149 千字

版次印次 2006年4月第1版 2006年4月第1次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

冲击矿压是矿山开采中发生的煤岩动力现象之一。这种动力灾害通常是在煤岩力学系统达到极限强度时,聚积在煤岩体中的弹性能量以突然、急剧、猛烈的形式释放,在井巷发生爆炸性事故,造成煤岩体振动和破坏,动力将煤岩抛向井巷,同时发出强烈声响,造成支架与设备、井巷的破坏,人员的伤亡等。冲击矿压还可能引发其他矿井灾害,尤其是瓦斯、煤尘爆炸、火灾以及水灾,干扰通风系统,强烈的冲击矿压还会造成地面建筑物的破坏和倒塌等。冲击矿压以其发生原因复杂,影响因素多,发生突然,破坏性极大而成为矿山岩石力学、矿山压力研究中的重大问题。

冲击矿压始于 1738 年的英国煤矿。从那时起到现在的 200 多年历史中,包括我国在内的世界各采矿国家,如德国、南非、苏联、波兰、捷克、加拿大、日本和美国等 20 多个国家和地区均受到冲击矿压的威胁。许多国家和地区对冲击矿压问题给予了极大的关注和投入。

对于冲击矿压问题的研究,主要集中在三个研究方向上。一是冲击矿压发生机理的研究;二是冲击矿压危险性分析、监测与预测技术的研究;三是冲击矿压治理措施的研究。

冲击矿压发生机理十分复杂。各国学者在对冲击矿压现场调查及实验室研究的基础上,从不同角度相继提出了一系列的重要理论,如强度理论、刚度理论、能量理论、冲击倾向理论、三准则和变形系统失稳理论等。20 世纪 50 年代提出的强度理论认为,产生冲击矿压时支架—围岩力学系统将达到力学极限状态;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;能量理论则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;冲击倾向理论认为煤岩层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;变形系统失稳理论则认为,煤岩体内部高应力区局部形成应变软化,与尚未形成应变软化的介质处于非稳定平衡状态,在外界扰动下动力失稳,形成冲击矿压等。

要防治冲击矿压的发生,首先要对可能发生的冲击矿压危险进行评定,确定发生冲击矿压的危险等级并进行预测预报。目前对于冲击矿压危险性分析、预测主要采用采矿方法,包括根据采矿地质条件确定冲击矿压危险的综合指数法、数值模拟分析法、钻屑法和煤岩层冲击矿压倾向性分类法等;采矿地球物理方法,包括微震法、声发射法、电磁辐射法、振动法和重力法等。通过采用上述冲击矿压危险性评价及预测预报方法,可以达到准确预测冲击矿压可能发生的地点和位置,较准确地确定冲击矿压发生的强度和震动释放能量的大小。

而对于冲击矿压的治理措施,主要从战略性的防御和主动解危两个方面进行。战略性的防御措施主要有开采解放层,在进行开采设计时,选择合适的开采顺序、开采方法和采煤工艺,力争消除形成冲击矿压发生的因素。冲击矿压的主动解危措施主要有卸压爆破、煤层注水、钻孔卸压和定向裂缝法等方法。这些方法的应用,减弱或消除了冲击矿压的危险,取得了很好的治理效果。

《煤矿开采冲击矿压灾害防治》是在《冲击矿压防治理论与技术》(窦林名,何学秋著,中国矿业大学出版社出版)的基础上,广泛参阅前人研究成果,根据作者及其课题组(其中包括陆菜平博士、牟宗龙博士、谢耀社副教授、方新秋副教授、高明仕博士、秦玉红硕士、姚精明硕士、张小涛硕士、李志华硕士、曹安业博士、张军硕士、陈国祥硕士等)几年来在冲击矿压理论研究成果与工程实践而完成的。全书组织了大量的素材,自成体系,并附有大量的图表来说

明问题,易于理解和学习。

衷心感谢岑传鸿教授、何学秋教授对作者的关心和培养;感谢钱鸣高院士、周世宁院士、段克信教授的帮助和支持;感谢王恩元教授、刘贞堂副教授、陈学华副教授、谷德钟老师等的帮助和支持,感谢徐州矿业集团三河尖煤矿、权台煤矿,大屯孔庄煤矿,新汶华丰煤矿,兖州矿业集团东滩煤矿,济宁二号煤矿、济宁三号煤矿,义马千秋煤矿,平顶山技术中心、十一矿,古城煤矿,枣庄陶庄煤矿,中国矿业大学岩控中心等单位的大力支持。

本书中有许多关于冲击矿压理论与实践方面的新思想和新观念,其中某些有待于进行更深入细致的研究。由于作者水平有限,书中疏漏谬误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

作 者

2006年3月

目 录

第一章 冲击矿压现象、特点及分类	1
第一节 冲击矿压现象	2
第二节 冲击矿压的特点	3
第三节 冲击矿压分类	4
第四节 冲击矿压和矿震对环境的影响	6
第五节 冲击矿压的历史及现状	6
第六节 典型的冲击矿压现象	18
 第二章 冲击矿压发生的机理	26
第一节 冲击矿压影响因素	26
第二节 冲击矿压发生的原因	50
第三节 煤柱型冲击的原因分析	53
第四节 煤岩冲击破坏的弹塑脆性模型	59
第五节 煤岩冲击破坏危险性 & 声电判据	65
第六节 冲击矿压的强度弱化减冲理论	67
 第三章 冲击矿压预测及危险性评价	85
第一节 冲击矿压危险性等级的划分原则	85
第二节 综合指数法	86
第三节 计算机模拟	90
第四节 钻屑法	91
第五节 微震法	93

第六节	地音法	97
第七节	电磁辐射法	103
第八节	煤层围岩压力—变形观测法	105
第九节	综合预测方法	108
第四章	冲击矿压防治	110
第一节	冲击矿压煤层的设计原则	110
第二节	冲击矿压防范措施	120
第三节	冲击危险的解危措施	128
附录一	冲击地压煤层安全开采暂行规定	138
附录二	冲击地压预测和防治试行规范	152
参考文献		164

第一章 冲击矿压现象、特点及分类

煤矿开采过程中,在高应力状态下积聚有大量弹性能的煤或岩体,在一定的条件下突然发生破坏、冒落或抛出,使能量突然释放,呈现声响、震动以及气浪等明显的动力效应。这些现象统称为煤矿动压现象。它具有突然爆发的特点,其效果有的如同大量炸药爆破,有的能形成强烈暴风,危害程度比一般矿山压力显现程度更为严重,在地下开采中易造成严重的自然灾害。

但是,这种动压现象并不是每个矿井都会发生,而且也是可以防治的。煤矿动压现象的成因和机理各地不完全相同,它的显现形式也有差异。因此,正确地区分各种动压现象的实质,对深入研究和制定相应的防治对策都有重大的实际意义。目前,根据动压现象的一般成因和机理,可把它归纳为三种形式,即冲击矿压、顶板大面积来压以及煤和瓦斯突出。

前两者完全属于矿山压力的研究范畴,而后者除矿山压力的作用外,还有承压瓦斯的动力作用。冲击矿压、顶板大面积来压、煤和瓦斯突出、矿震统属矿山动力现象。它们的发生机理各不相同,但可互为诱发因素,且都具有动力特征。

大面积顶板来压原则上属重力式突然破断,一般以部分岩体缓慢破坏为先导,岩层整体破断正是局部破裂不断发展的结果。破断的同时,已破坏岩体的位能突然转化为动能而显现弹性能的释放,但大部分弹性能已在局部破裂时缓慢释放。

从显现特点上它与冲击矿压的区别在于冲击矿压发生时顶板一般不垮落。

煤和瓦斯突出是指瓦斯和煤同时向巷道内突出。它和冲击矿

压在表现上有类似性,发生时都出现煤体的破碎,而且有时两者同时出现。其主要区别是,对冲击矿压而言,弹性能的释放是第一位因素,破坏较猛烈,震动更强烈,由已破裂的煤体中释放出瓦斯则是次要的、第二位的因素。煤和瓦斯突出则相反,瓦斯释放是第一位因素,破坏较缓慢,震动也较弱,而煤、岩抛出则是第二位的因素。突出后大部分煤体破坏成碎煤,且具筛选性。

矿震是指由于开采活动引起的矿山岩层震动。它是巷道周围介质突然在一瞬间发生震动,同时伴有巨声、冲击波、弹性回跳等作用而不发生煤、岩抛出的一种弹性能释放现象。它是矿山岩层冲击式破坏的一种表现形式,因而有别于天然地震,其发生原因是多方面的。冲击矿压、瓦斯突出、大冒顶等都可引起矿震,但多数是由于岩层的沉降运动引起的,它一般并不导致井巷工程的破坏。

岩爆是发生在岩巷、金属矿和地下隧洞中的冲击矿压。一般表现为岩巷或隧道周壁岩石成片状破裂,岩片向坑道内弹射,伴有“劈裂”声,顶板掉块,底板拱起,洞壁严重变形破坏,甚至出现大量岩石崩落。

第一节 冲击矿压现象

随着我国煤矿开采深度的增加,以及开采条件越来越复杂,我国的冲击矿压现象越来越多,危害也越来越大,必须及早引起重视。

冲击矿压是聚积在矿井巷道和采场周围煤岩体中的能量突然释放,在井巷发生爆炸性事故。动力将煤岩抛向巷道,同时发出强烈声响,造成煤岩体振动和煤岩体破坏,支架与设备损坏,人员伤亡,部分巷道垮落破坏等。冲击矿压还会引发或可能引发其他矿井灾害,尤其是瓦斯、煤尘爆炸、火灾以及水灾,干扰通风系统,严重时造成地面震动和建筑物破坏等。因此,冲击矿压是煤矿重大灾害

之一。

例如,1974年10月25日,北京矿务局城子矿在回采-340 m水平2[#]煤层大巷的护巷煤柱时发生的一次严重冲击矿压,里氏震级达3.4级。在冲击震动瞬间,煤尘飞扬,大量煤块从巷道一侧抛出,致使底板鼓起、支架折损、巷道堵塞,造成重大伤亡。

冲击矿压作为煤岩动力灾害,自有记载的第一次发生于1738年英国南史塔福煤田的冲击矿压至今200多年来,其危害几乎遍布世界各采矿国家。英国、德国、南非、波兰、苏联、捷克、加拿大、日本、法国以及中国等20多个国家和地区都记录有冲击矿压现象。我国煤矿冲击矿压灾害极为严重。我国自1933年在抚顺胜利矿发生冲击矿压以来,先后在北京、辽源、通化、阜新、北票、枣庄、大同、开滦、天府、南桐、徐州、大屯、新汶等矿务局都相继发生过冲击矿压现象。

对于冲击矿压现象,世界各国以及不同的行业,其称谓是不一样的,常见的称谓有“岩爆”、“煤爆”、“冲击矿压”、“矿山冲击”、“冲击矿压”等。本书采用“冲击矿压”这个术语。

第二节 冲击矿压的特点

通常情况下,冲击矿压将直接产生动力将煤、岩抛向巷道,引起岩体的强烈震动,产生强烈声响,造成岩体的破断和裂缝扩展。因此,冲击矿压具有如下明显的显现特征:

(1) 突发性。冲击矿压一般没有明显的宏观前兆而是突然发生的,冲击过程短暂,持续时间为几秒到几十秒,难于事先准确确定发生的时间、地点和强度。

(2) 瞬时震动性。冲击矿压发生过程急剧而短暂,像爆炸一样伴有巨大的声响和强烈的震动,电机车等重型设备被移动,人员被弹起摔倒,震动波及范围可达几千米甚至几十千米,地面有地震感

觉,但一般震动持续时间不超过几十秒。

(3) 巨大破坏性。冲击矿压发生时,顶板可能有瞬间明显下沉,但一般并不冒落;有时底板突然开裂鼓起甚至接顶;常常有大量煤块甚至上百立方米的煤体突然破碎并从煤壁抛出,堵塞巷道,破坏支架;从后果来看冲击矿压常常造成惨重的人员伤亡和巨大的经济损失。

(4) 复杂性。在自然地质条件上,除褐煤以外的各种煤种都记录到冲击现象。采深从 200~1 000 m,地质构造从简单到复杂,煤层从薄层到特厚层,倾角从水平到急斜,顶板包括砂岩、灰岩、油母页岩等都发生过冲击矿压。

在生产技术条件上,不论水采、炮采、机采或是综采,全部垮落法或水力充填法等各种采煤工艺,不论是长壁、短壁、房柱式或煤柱支撑式,分层开采还是倒台阶开采等各种采煤方法都出现过冲击矿压。

第三节 冲击矿压分类

冲击矿压按其显现强度、释放的能量等进行分类。

一、冲击显现强度

根据冲击的显现强度,可分为四类:

(1) 弹射。一些单个碎块从处于高压应力状态下的煤或岩体上射落,并伴有强烈声响,属于微冲击现象。

(2) 矿震。它是煤、岩内部的冲击矿压,即深部的煤或岩体发生破坏。但煤、岩并不向已采空间抛出,只有片帮或塌落现象。煤或岩体产生明显震动,伴有巨大声响,有时产生煤尘。较弱的矿震称为微震,也称为“煤炮”。

(3) 弱冲击。煤或岩石向已采空间抛出,但破坏性不是很大,对支架、机器和设备基本上没有损坏。围岩产生震动,一般震级在

2.2级以下,伴有很大声响,产生煤尘,在瓦斯煤层中可能有大量瓦斯涌出。

(4) 强冲击。部分煤或岩石急剧破碎,大量向已采空间抛出,出现支架折损、设备移动和围岩震动,震级在2.3级以上,伴有巨大声响,产生大量煤尘和冲击波。

二、冲击震级与煤量

根据震级强度和考虑抛出的煤量,可将冲击矿压分为三级:

(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。

一般面波震级 $M_s=1$ 时,矿区附近居民可能有震感; $M_s=2$ 时,对井上下有不同程度的破坏; $M_s=2.5$ 时,地面建筑物将出现破坏现象。

三、冲击矿震震源

冲击矿压可分为由采矿活动引起的采矿型冲击矿压和由地质构造活动引起的构造型冲击矿压。其中采矿型冲击矿压可分为压力型、冲击型和冲击压力型。

(1) 压力型(煤柱型)。压力型冲击矿压是由于巷道周围煤体中的压力由亚稳态增加至极限值,其聚积的能量突然释放。

(2) 冲击型(顶板或底板型)。冲击型冲击矿压是由于煤层顶底板厚岩层突然破断或位移引发的,它与震动脉冲地点有关。在某种程度上,构造型冲击矿压也可看做冲击型。

(3) 冲击压力型。冲击压力型冲击矿压则介于上述两者之间,即当煤层受到较大压力时,在来自围岩内不大的冲击脉冲作用下发生的冲击矿压。

第四节 冲击矿压和矿震对环境的影响

在采矿巷道工作面中发生震动和冲击矿压,将会对井下巷道、井下工作人员和地面建筑物造成影响。

一、对井下巷道的影响

冲击矿压对井下巷道的影响主要是动力将煤、岩抛向巷道,破坏巷道周围煤、岩的结构及支护系统,使其失去功能。而一些小的冲击矿压或者说岩体卸压,则对巷道的破坏不大,只会使巷道壁局部破坏、剥落或巷道支架部分损坏。当矿山震动较小,或震中距巷道较远时,将不会对巷道产生任何损坏。

二、对矿工的影响

在发生冲击矿压区域如有工人工作,则可能对其产生伤害,甚至造成死亡事故。

波兰的分析结果表明,发生冲击矿压后,人员受伤的主要部位是脑部,占 91.65%;其次是胸部的机械损坏,包括肋骨折断等,占 60.41%;而内部器官的损坏主要是肺、心、胃等,占 18.75%;再次为上下肢的折断。

三、对地表建筑物的影响

矿山震动和冲击矿压不仅对井下巷道造成破坏,伤害井下工作人员,而且对地表及地表建筑物造成损坏,甚至造成地震那样的灾难性后果。如波兰就曾于 1982 年 6 月 4 日在 Bytom 市下发生 3.7 级的矿山震动,造成了 588 幢建筑物的损坏。

第五节 冲击矿压的历史及现状

一、国内冲击矿压历史及现状

我国最早记录的冲击矿压现象于 1933 年发生在抚顺胜利煤

矿,当时的开采深度为 200 m 左右。20 世纪 50 年代以前只有两个矿井发生了冲击矿压,50 年代增加到 7 个,60 年代为 12 个,70 年代达到 22 个,进入 20 世纪 80 年代以后,猛增到 50 多个。从 1949 年以来,我国煤矿已发生破坏性冲击矿压 2 000 多次,震级 $M_L = 0.5 \sim 3.8$ 级,造成惨重的人员伤亡,破坏巷道约 20 km,停产 1 300 多天。近年来,我国一些金属矿山、水电与铁路隧道工程也出现了岩爆现象。

以下是我国典型冲击矿压矿区的情况。

1. 北京矿务局

冲击矿压在北京矿务局是属于全局性的问题,10 个生产矿井中,有 5 个矿井和 1 个坑口受到冲击矿压的威胁。

门头沟煤矿是我国冲击矿压最严重的矿井之一。该矿开采侏罗纪无烟煤,属低瓦斯矿井,可采煤层有一、二、五、七槽四层,层间距 80~100 m,厚度一般 0.7~3.5 m。各煤层顶板均为高强度的石英砂岩,平均厚度 10~30 m。煤层倾角由缓至急,在缓(倾)斜煤层中主要采用单一走向长壁刀柱采煤法,沿走向每推进 35~40 m 留一刀柱,刀柱宽为采高的 2~2.5 倍。该矿的二、五、七槽均为冲击矿压危险煤层,该矿早在 1947 年就发生过冲击矿压现象,至 1985 年底,共发生破坏性冲击矿压 303 次。1959 年 8 月 3 日,工作面爆破引起冲击矿压,顶底板瞬间移近 0.3 m,木支柱折断 600 余根,有感震动半径 5 km,67 间房屋震坏,震级 M_L 为 3.8 级,属我国目前强度最大的一次冲击矿压。

该矿 1980 年平均震动记录达 500 余次,亦属我国震动频度最高的矿井。

2. 抚顺矿务局

抚顺矿务局三个井工开采的矿都有冲击矿压发生,其中以胜利矿为最早,而龙凤矿最为严重。

龙凤矿井田煤层生成于新生代第三纪,主煤层有三、四、五、六

共四个自然层群,总厚度为 6~50 m,倾角 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。煤层顶板为厚 48~195 m 的油母页岩,底板为 76.5~115 m 的凝灰岩。该矿采用倾斜分层上行 V 形水沙充填采煤法。一般开采第一人工分层时,顶板为煤层,底板为砂页岩,无周期来压显现。冲击矿压多发生于新采区第一分层开采过程中,约占总数的 83%。冲击影响范围达几米到几十米,冒顶高度为 1~3 m,突出的煤量达 10~50 t,严重时摧毁巷道达几百米,地面有震感。1975 年至 1983 年共发生 0.5 级以上冲击矿压 675 次,最大震级 M_L 为 2.5 级,其中有 23 次造成了严重破坏。

抚顺矿务局是我国非坚硬顶板、特厚煤层冲击矿压的典型。

3. 枣庄矿务局陶庄矿

枣庄矿务局陶庄矿属水、旱采并举的矿井,采深 400~700 m,主采煤层为 2~6 m 的厚煤层。煤的单轴抗压强度约 10~20 MPa。顶板为砂岩,强度为 90~130 MPa。1966 年至 1985 年 10 月共发生了 147 次破坏性冲击矿压,冲击强度一般不大,为 1.5~2 级。1982 年 1 月 27 日水采区上山煤柱(宽 160 m)发生了该矿历史上最大的一次冲击矿压(3.6 级),而且时隔 25 min 后又发生一次(2.7 级)。该冲击区顶板砂岩厚 43 m 左右,为我国厚层砂岩顶板条件下发生冲击矿压的典型。

4. 开滦矿务局唐山矿

开滦矿务局唐山矿的冲击矿压大多发生在两面或三面临空的半岛形或孤岛形煤柱中,以及上层开采遗留的残柱下方的应力传递区域。这种残柱影响深度可达 150 m。在这些煤柱中掘进回采巷道或进行回采时就有可能发生冲击矿压。位于这些煤柱下方的开拓巷道(大巷、石门)受采动影响也有可能发生冲击矿压。

5. 徐州矿务局

徐州矿务局主采下石盒子组、山西组、太原组煤层。矿区地质构造情况较为复杂,煤层赋存条件为近水平、中斜、急(倾)斜多种

形式并存,且厚薄不一。特别是随着可采煤层的逐步减少,各采区都在向复杂地质构造带和深部延伸,因而给巷道和采场矿压控制技术提出了新的挑战。例如,深部(软岩)巷道支护技术和冲击矿压预测预防技术已面临着较为严峻的形势。

徐州矿区原来被认为不属于冲击矿压威胁的地区,由于采深增加和复杂地质构造影响,使这一早已隐藏的危害被揭开。自1991年以来,徐州矿区已发生较为严重的冲击矿压事故近20次,造成多人伤亡,以及不同程度的巷道支护损坏。

三河尖矿自1991年9月5日在7110材料道发生第一次冲击矿压事故以来,是徐州矿区发生冲击矿压次数最多的矿,占徐州矿区此类事故的大多数。

张集矿与三河尖矿同为“三硬”矿区,发生冲击矿压的可能性较大。1994年8月到11月在9606综采面共发生冲击矿压事故3起。发生的地点比较集中,事故现场的特征基本相似,即发出巨大声响,煤尘飞扬,煤体突出且呈现粉末状,冲击波推倒大型物体,造成较大的人员伤亡。

旗山矿与权台矿同属“三软”矿井,传统理论认为不可能发生冲击矿压,但事实上这两个矿都曾发生过较为严重的冲击矿压事故。

6. 近几年出现的冲击矿压矿井

近年来,我国东部大部分矿区的地下煤炭开采也转入深部开采,一些原来少见的冲击矿压和矿井突水等灾害事故频频发生,这些现象在我国东部的大型现代化矿井尤为突出。例如,像兖州、新汶、大屯、徐州、淮南、淮北、肥城等矿区,在采深不超过500 m时从来没有发生过冲击矿压事故,但采深超过500 m后就出现了,并且随着采深的增加,这种灾害越来越严重,特别在被传统理论认为不可能发生冲击矿压的“三软”矿区(如徐州东部矿区)也发生了严重的冲击矿压事故。据统计,近5年来,兖州、新汶、大屯、徐州四