

矿山设计和开采时 矿床的地动力学区

И. М. 巴图金娜 И. М. 彼图霍夫著
任胡监译 刘听成校

枣庄矿务局
煤炭科学技术信息研究所

C9400017

TD31

矿山设计和开采时 矿床的地动力学分区

И. М. 巴图金娜 И. М. 彼图霍夫著
任胡监译 刘听成校

枣庄矿务局
煤炭科学技术信息研究所

一九九四年五月

本书出版主要工作人员

庄一伦 赵桂先 王乃鹏 刘瑞霞 丁进田

目 录

前言	(1)
1 井工开采有用矿物时的动力现象	(2)
1.1 概述	(2)
1.2 动力现象的性质及其分类	(4)
1.3 动力现象的预测	(10)
1.4 防治动力现象的综合措施	(12)
1.5 从地动力学角度研究矿床的动力现象	(14)
2 矿床地动力学分区的科学前提	(17)
2.1 地壳应力—变形状态的全球性特征	(17)
2.2 矿床所在区活动块体系统动力学相互作用的 规律	(22)
2.3 构造应力带的形成规律	(32)
2.4 岩体中剪切破坏的性质和机理	(41)
3 矿床所在区岩体地动力学状态的研究方法	(51)
3.1 矿床所在区块体构造的揭露	(51)
3.2 块体间相互动力作用的确定	(76)
3.3 根据地壳构造物理学研究确定块状构造未采 动岩体的应力状态	(93)
3.4 希宾矿区地动力学分区实例	(103)
3.5 应用地动力学和地球物理方法评估未采动岩 体的应力	(106)
4 根据地动力学研究评估矿床潜在冲击危险性	(109)

4.1 对矿床潜在冲击危险性的一般评估	(109)
4.2 各种因素对矿床潜在冲击危险性的影响程度	(112)
4.3 矿床按潜在冲击危险性的分级	(120)
5 按地动力学状态计算岩体中的应力	(123)
5.1 概述	(123)
5.2 计算区外部边界上边界条件的确定	(125)
5.3 矿床开采前块状岩体的应力计算	(129)
5.4 采动期间块状岩体的应力计算	(137)
5.5 北乌拉尔铝土矿块状岩体应力状态的评估	(138)
5.6 采动期间岩体应力状态的预测	(144)
6 在研究矿床地动力学基础上对冲击地压的预防	(152)
6.1 地动力学分区的内容与工作顺序	(152)
6.2 按矿床地动力学进行采矿企业的设计、施工 和生产	(156)
6.3 块体突然变形和破坏时预防冲击地压的特点	(160)
结束语	(170)
参考文献	(171)

前 言

在开采煤田、金属矿床和非金属矿床以及在大深度处建设地下工程时,所遇到的最大和最复杂的问题之一是如何预防煤矿和金属矿山中危险的动力现象,如冲击地压和煤、岩、瓦斯突出。解决这个问题不仅关系到国民经济,而且具有很大的社会意义。

在采矿企业的设计和建设阶段解决动力现象的防治问题最为有效,因为在此阶段可以制订出区域性的预防措施,大大降低出现冲击地压和突出的危险性。在制订这些措施时,设计机构不仅需要掌握地质、水文地质、地质构造的资料和要开采企业的计划技术经济指标,而且要掌握煤田矿床区域内的地壳构造和未采动岩体的应力状态。不考虑这些因素,就不能保证有效和安全地开采大深度的矿床,特别是具有冲击地压和突出危险的矿床,因为冲击地压和突出等动力现象是采动引起的应力场与开采前存在的天然应力场相互作用的结果。

关于这方面的知识,近年来出现了一门新的采矿学科,名为“矿床的地动力学”,更确切地称为“有用矿物矿床的地动力学分区”,它研究矿床中发生的过程和参与到此过程中的地球力场。

本书作者试图系统地介绍矿床地动力学分区的科学原理,并论述在解决防治矿山冲击地压的实际问题时应用这种方法的原则。

1 井工开采有用矿物时的动力现象

1.1 概述

冲击地压和煤、岩、瓦斯突出的防治问题在全世界的很多矿区已存在 150~200 年。应当认为,非正常的矿压动力现象几乎在开始采用井工法开采有用矿物时即已出现。特别在开采位于山区的矿床时尤其如此。在位于山区的矿山中,往往在深度 50~100m 就会发生冲击地压或其征状。

国外(首先在印度、南非、法国、英国、比利时、德国、波兰、捷克、中国等国)在开采有冲击和突出危险的矿床方面已积累了丰富的经验。在多年的开采历史中,许多矿井遇到过很多次大的事故,甚至是灾祸,导致临时性或永久性的停产。虽然世界上有一些矿区在防治冲击地压和突出方面取得了成功,但仍没有根据可认为这个问题已接近最终解决。

我国的第一次突出发生在二十世纪初期(顿涅茨煤田)。到四十年代,在煤矿中(基泽洛夫矿区)出现了冲击地压和瓦斯突出,到六十年代,在煤矿中出现岩石和瓦斯突出,在金属矿中出现冲击地压。关于被开采的有冲击和突出危险矿床数、位于这种矿床范围内的企业数和发生冲击和突出的总次数等数据列在表 1.1。

随着采深的日益增加,冲击地压和突出的防治问题越来越成为迫切需要解决的重要问题,因为采深增大,发生上述动力现象的危险性也随之增加。我国有许多科研、设计和生产人员正在研究解决这个问题。在全苏矿山地质力学和矿山测量科学研究所的科研方法总指导下,有 23 个科研、设计单位和大专院校参加解决冲击地压问题的。参加解决防治煤、岩

石和瓦斯突出问题的有 25 个研究所,其中主要的研究所有:斯科钦斯基矿业研究所(牵头单位)、全苏矿山地质力学和矿山测量科学研究所、马凯耶夫煤矿安全工作科学研究所和东部煤炭工业安全工作科学研究所。由苏联煤炭工业部成立的煤、岩石和瓦斯突出中央防治委员会进行科研方法方面的指导。

表 1.1

动力现象	煤田和矿床数	企业数	显现次数	
			1946 年以来合计次数	1986 年
煤和瓦斯突出	8	238	5674*	246*
岩石和瓦斯突出	1	19	3602	52
盐和瓦斯突出	3	8	355	3
冲击地压:				
煤矿	17	178	740	4
金属矿	65	90	167	18
合计	94	533	10538	323

* 其中包括 3204 次(总次数)和 197 次(1986 年)震动性放炮爆破作业时所显现的。

上述单位进行了大量综合研究工作,并在煤矿和金属矿山中进行了全面的实地试验工作。他们的研究成果为研究冲击地压和突出奠定了理论基础,并且提出和推广了有效的综合防治措施。尽管危险煤层数目不断增多,采用所建议的措施可大大减少冲击地压和突出的发生次数[25]。

以后本书的重点是探讨冲击地压。有关煤和瓦斯突出的一些问题仅为了说明问题的共同性和全面性而加以论述。

1.2 动力现象的性质及其分类

冲击地压是在地质和采矿技术条件一定的组合情况下发生的。它是煤、岩石、矿体的极限应力带瞬间受到破坏,导致岩体中集中积蓄的弹性压缩潜能突然释放,引起围岩变形、移动和震动而诱发的。

采矿作业的实践表明,冲击地压的危险并不是立即发生的。开始时仅出现一些个别的征兆,如岩层剥落、出现裂缝和岩块弹射,以后随着采矿作业向深部发展,开采面积加大,才出现冲击地压。

冲击地压的防治问题是一个难度很大的复杂问题。统计资料表明[3],冲击地压的发生,及其显现的力和性质取决于很多地质和采矿技术因素,受该地区地壳中发生的地动力学过程和采矿工程发展过程具体组合情况的制约。

外国专家们按照冲击地压的性质,将其划分为压力型冲击地压和冲击地压本身两大类。第一类发生在煤层或岩层压力达到极限值的区段;第二类是由于上层岩体发生弯曲而使积聚的能量突然释放而诱发的,因而这类冲击地压也称作顶板冲击地压。按照这种分类方法,在第一类压力型冲击地压的能量平衡中仅包括受破坏煤体中积蓄的弹性变形能量,而在第二类顶板冲击地压的能量平衡中则仅包括弯曲变形的顶板岩层中积蓄的能量和受破坏煤体的能量。波兰、捷克和其他一些国家的很多专家至今仍坚持这种分类方法。

此外,还发生过这样的冲击,例如在英国的南斯塔福德郡和兰开夏郡的矿井中,巷道周围是比较坚硬的岩层,而在巷道下面或上面却赋存有松软的岩层。松软岩层的挤压使坚硬岩层破裂,这样在弯曲和压缩力的作用下释放出积聚的能量。

近年来,还划分出一种矿山地质构造型冲击,这类冲击与受采动影响,使已松动的煤岩体沿着原有的弱面移动有关。

还有其它的冲击地压分类方法,例如按其显现的地点,按发生冲击地压的巷道的类型,按诱发冲击的原因等等进行分类。

在我国开始研究冲击地压问题时(首先是针对基泽洛夫矿区),按发生的原因进行分类具有一定的影响。但是,在这方面专家们的意见比较分歧。以С. П. 阿维尔申教授为首的一些专家认为,冲击地压是煤层内积聚的弹性变形能量大量释放的结果。而另一些专家(以С. Е. 格里戈里耶夫工程师为首)则坚持这样的意见,即冲击地压是在厚的弹性岩层发生弯曲时所释放出的能量导致顶板破裂而发生的。这种观点在一定程度上得到 А. 彼尔纳尔什、Д. 菲利普斯、Д. И. 莱斯等外国研究人员的响应。

后来,И. М. 彼图霍夫提出了关于冲击地压性质更为概括性的假说[24]。这种假说不仅被用来解释冲击地压的性质及其显现机理,并且为进行冲击地压分类和制订预报和防治方法奠定了基础。这种假说已成为全苏矿山地质力学和矿山测量科学研究所先在煤矿,后在金属矿山中研究冲击地压的依据。

按照 И. М. 彼图霍夫的假说,“煤层—围岩”整个系统都参与了冲击地压的形成和显现,而冲击地压则是由于煤层的加载速度超过其应力释放速度才发生的。冲击地压的能量是由煤层发生破坏处所积聚的弹性压缩能量和毗连岩体中积蓄的弹性变形能量组成的。图 1.1 表示了破坏地点周围岩体的能量对冲击地压的形成和显现所起的作用。

由此,冲击地压的总能量可用下式来表示:

$$\Pi = \frac{\sigma_{\text{ср}}^2 S}{2} \left(\frac{m}{E_{\text{г}}} + 0.4 \frac{a}{E_{\text{н}}} \right),$$

式中 $\sigma_{\text{ср}}$ ——煤层的平均应力; S ——破坏煤柱的面积;
 m ——煤层厚度; $E_{\text{г}}$ 和 $E_{\text{н}}$ ——分别为煤和岩石的弹性模量;
 a ——巷道宽度, 此处为冲击时的卸压带宽度。

根据上述假说, 采用了按冲击地压显现地点的分类方法, 以便更全面地反映冲击地压发生区的加载条件及其动力特点 (图 1.2)。

此后多年来的综合研究结果证实了这种假说的合理性, 并在此基础上建立了现代的冲击地压理论 [26]。其出发点是, “受破坏的煤(岩)体—围岩”力学系统, 由于从围岩注入的能量超过用于破坏其本身的消耗量, 当达到最大可能的载荷后, 这个系统就会丧失其稳定的平衡状态。剩余的能量就会消耗在使碎块飞崩, 使岩体震动和形成空气冲击波上。

在此情况下, 发生冲击地压必须具备三个主要条件。首先, 岩(煤)体在受到破坏时必须处于加载的极限状态; 其次, 岩(煤)体必须处于力学不稳定状态; 第三, 岩(煤)体必须达到足以释放能量的程度, 以至失去稳定性会伴随着煤(岩)层急剧的动力破坏。

根据冲击地压理论, 其发生过程可分为三个阶段: 准备阶段, 即煤岩体系处于形成应力应变状态的阶段; 煤岩体系失去稳定的平衡状态的阶段; 以及动力破坏冲击波传播和衰减阶段。

对突出性质的研究始于三十年代, 在 Л. И. 贝科夫指导下奠定了瓦斯突出的理论基础。到五十年代, А. А. 尼古尔斯基和 С. А. 赫里斯基诺维奇的著作发展了这方面的理论。1954 年, А. А. 斯科钦斯基院士对此作出了明确的定义, 即突

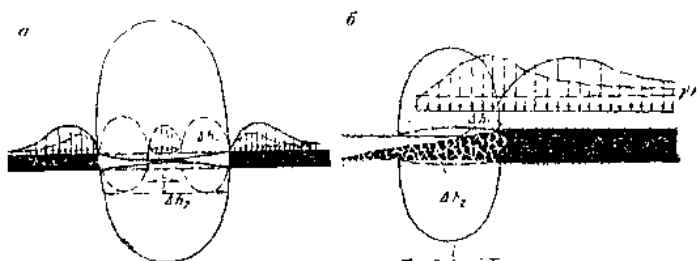


图 1.1 在煤柱(a)和回采工作面(b)显现
冲击地压时围岩所起的作用

L 岩体弹性膨胀带; c ——发生破坏的煤柱尺寸或煤层的边缘区尺寸; Δh_1 和 Δh_2 岩体弹性膨胀引起的顶板和底板移动;虚线——发生冲击地压前的支承压力带和卸压带;实线——冲击地压发生后

出是在煤体的力学特性、矿山压力和瓦斯压力三者一定的结合情况下发生的。这个理论对实验室研究和井下现场研究起了推动作用。后来, B. B. 霍道特又提出了突出的动力作用问题。他认为, 煤是受矿山压力破坏的, 而膨胀的瓦斯仅起到将已破碎的煤块带出的作用。对于瓦斯和矿山压力在突出形成和显现过程中的作用问题, 专家们的意见存在着分歧。

这个问题于 1976~1979 年间基本得到了解决, 这是由于在《煤》杂志上展开了广泛的讨论。

后来, 提出了突出的能量动力理论[26], 这个理论能客观地反映在突出的准备和显现阶段矿山压力和瓦斯所起的作用, 阐明了从未采动的煤岩体状态、巷道周围的应力和瓦斯动力状态和动力平衡, 一直到丧失稳定性的条件、冲击波的传播和瓦斯与煤屑混合物的流动情况。在描述发生突出时的冲击

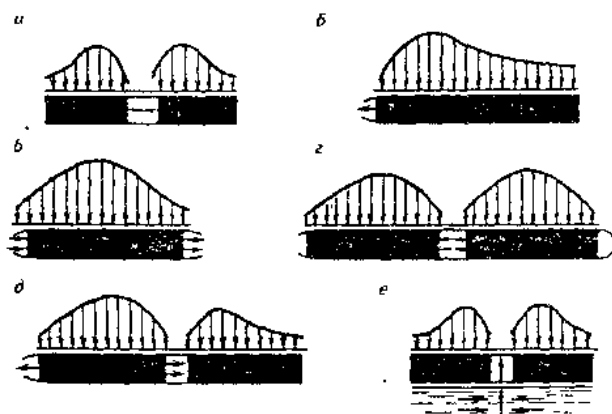


图 1.2 发生冲击地压时的加载图

a — 单一采准巷道; б — 回采巷道; в — 煤柱; г — 开有巷道的煤柱;
 д — 开有巷道与煤体隔离的煤柱; e — 巷道底板断裂

波传播过程中,对在矿山压力与瓦斯压力共同作用下煤粒按次序分离的机理进行了探讨。

全苏矿山地质力学和矿山测量科学研究所进行的研究工作提出了冲击地压与突出显现的共同性和不同性。据此,И. М. 彼图霍夫提出了关于必须建立统一的动力现象的理论问题。他认为,这个理论既要包括突出与冲击地压的共同点,又要明确区分两者之间的特点。近年来的生产实践提出了建立这个理论的必要性,因为在很多煤田发现,有不少煤层同时具有冲击地压和突出危险。如果开采这类煤层有统一的方案,就可以在深水平的复杂矿山地质条件下采用统一的预报和防治冲击地压和突出的方法和手段。统一理论的基础首先在论文〔26〕中作了大致阐述。

冲击地压和突出的能量平衡可用下式表示：

$$W_1 + W_2 + W_3 = W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8 + W_9$$

式中 W_1 、 W_2 和 W_3 ——分别从膨胀瓦斯、破裂煤体和围岩中泄出的能量， W_4 ——破坏物料的能量， W_5 ——破裂物料的动能， W_6 ——突出（冲击）附近地段吸收的高频振动能量， W_7 ——传递到周围支承物上的能量， W_8 ——地震波能量， W_9 ——空气冲击波能量。

由上式可见，突出的能量平衡与冲击地压能量平衡的不同点在于瓦斯能量的参与。

发生各种不同现象的危险条件既具有共同点，也有所区别。发生冲击地压的必要条件是物料（如煤层的某一区段）所承受的载荷必须达到极限值，并且必须由围岩注入能量。发生煤和瓦斯突出的必要条件，除上述条件外，还需具备另一个条件，即在煤层的暴露面上瓦斯压差达到极限值，其值超过煤的抗拉强度。

除上述冲击地压按能量进行分类外，在我国还有按显现强度和性质进行分类的。这种分类是用于整理冲击地压的调查资料和划分防治措施的适用范围的。按照这种分类，冲击地压可划分为弹射、微冲击、冲击、震动和矿山地质构造型冲击。

弹射——在岩石（矿石、煤）的暴露面上发生的脆性破坏，表现为不同尺寸的透镜状薄片从母体边缘部分弹跳出来，并伴随有很大的响声。发生弹射时破碎岩石的体积通常不超过 0.5m^3 ；

微冲击——煤柱或煤体的边缘部分发生脆性破坏，其深度离暴露面不超过 1m ，抛入巷道内的煤、岩量不超过 $2\sim 3\text{m}^3$ ，并不产生严重的破坏后果，也不影响生产。发生微冲击时会伴随有强烈的声响，煤（岩）体稍出现震动，并会形成粉

尘；

冲击(或破坏性冲击)——煤柱和其一部分或煤(岩)体的一部分发生脆性破坏,其深度离暴露表面超过1m,抛出的煤、岩量一般超过 3m^3 ,并产生严重的破坏后果,破坏生产过程的正常进行。冲击时伴随有强烈的响声,煤(岩)体受到强烈的震动,形成大量粉尘和空气冲击波。破坏的能量(按地震能量计)超过100J;

震动——在岩体深处发生脆性破坏,而在巷道附近无破坏迹象。震动伴随有岩体因震动而发出的强烈响声。可能生成粉尘,混凝土砌碛产生裂缝或支护不可靠的区段发生岩石冒落;

矿山构造型冲击——在岩体深部发生震动性脆性破坏而引起靠近巷道的岩体边缘部分发生脆性破坏,其表现形式为破坏性矿山冲击。矿山构造型冲击伴随有岩体强烈震动,巨大的响声,产生粉尘和空气冲击波。

1.3 动力现象的预测

冲击地压的预测可分为三种:

查明潜在的有冲击危险的煤田;

在个别有特别危险的煤田,对井田的冲击危险性进行区域性预测;

在生产工作面和掘进工作面以及被维护巷道的一些区段中进行冲击危险程度的预测。

查明有冲击危险的煤田(矿床、煤层)可在采矿企业的设计和建设阶段制订出防治冲击地压的预防措施,这样不仅可以花钱少,而且效果好。煤田是否具有冲击危险性取决于岩体和有用矿物的强度和弹性,未采动岩(煤)体中的应力值,以及

巷道附近应力集中区产生脆性破坏的可能性。迄今为止,前苏联已发现 65 个金属矿床和 847 个矿井层具有冲击危险性。

在个别最危险的煤田(井田)进行所谓区域性冲击危险预测。为此在各地震站利用地震观测方法进行研究。在地面和井下巷道内的观测室内安装地震仪,记录下三个相互垂直方向的频率为 $1\sim 100\text{Hz}$ 的地震波。在一个或一组井田范围内要设置十个或更多个观测室。根据观测结果可以确定震动和冲击的坐标及它们的地震能量。

冲击危险的区域性预测成功地在基泽洛夫煤田、特基布里—绍尔斯科煤田、北乌拉尔铝土矿床和塔什塔戈尔铁矿床得到了应用。连续观测煤层和矿床在亚音频范围内地震活跃程度的结果查明了危险性增高区,这是由于采动引起的附加应力场与未采动岩体的自然应力场叠加的结果。地震观测可以在煤田或井田范围内圈定冲击危险带。上文所述的个别区段冲击危险程度的预测只能在区域性预测圈定的危险带内进行。这样可以减少预测的工作量。今后发展区域性预测的主要任务之一是要在开采的煤田内建立冲击危险连续自动监测系统。

在煤矿和金属矿山的开采过程中,要对巷道附近岩体的个别地段进行冲击危险程度的预测。

在采矿生产中曾有人提出过这样的意见,在预测冲击地压时,首先要注意预报其显现的时间。这种意见在我国未被采纳,因为冲击条件的形成是与个别巷道以至整个井田的相互关联的大量因素有关的。在这种情况下,预测冲击发生时间的概率未必会超过 70%。因此,仅依靠这种预测不能可靠地保证采矿作业安全。

预测部门应查找危险地点。评估岩体个别地段冲击危险

程度有几种方法。冲击危险程度可按照此地点到支承压力带峰值的距离和上述峰值载荷的强度来评估。在此情况下,支承压力带峰值区中的载荷强度可采用与上述载荷相关的相对数值(如钻屑产率、电阻值、湿度、地震波传播速度、钻孔岩心破裂段厚度等)来反映其特征。

这样,矿井的预测部门可以发现可能发生冲击地压的地点,检查预防效果,并保证采矿作业安全,不发生事故。这种预测方法在我国的煤矿已应用了 30 多年,在金属矿也用了 10 多年。为减轻预测工作量,全苏矿山地质力学和矿山测量科学研究所近年来又研究出了简便和可靠的预测方法及相应的仪器。这种快速地球物理预测方法是通过记录地震波、电阻、高频声发射(人工和自然)、天然脉冲电磁辐射来预测岩体某些区段冲击危险程度,已在苏联的主要煤田、金属和非金属矿床顺利地通过了检验。

1.4 防治动力现象的综合措施

在有动力现象危险的煤田进行采矿作业应遵守以下一般的安全规则:

1. 在煤矿和金属矿山设立冲击地压预测和防治科,以保证:

及时发现有冲击危险的煤层、矿体或岩层;对个别区段进行冲击危险程度的预测;使危险区段转变成无危险状态;对采取的措施的效果进行评估;有科学依据地选择安全作业方法。

2. 降低采矿作业带内岩体的矿山压力和瓦斯压力,可以通过以下方法来实现:

将煤田划分成井田,并制订开采进度计划,保证不可能形成应力集中程度很高的地区: