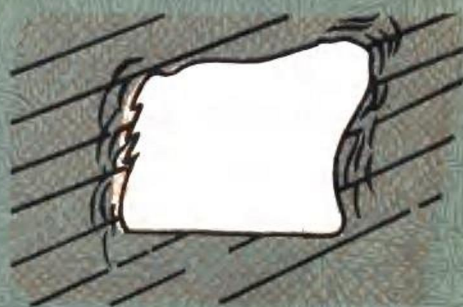




张郁福编 王书德译

矿山压力 和冲击地压

煤炭工业出版社

324

TD324

3

2

矿山压力和冲击地压

〔联邦德国〕 G.布霍依诺

李玉生 译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书根据矿山压力理论,在综合分析各种矿山压力现象的基础上,较全面和系统地介绍了有关冲击地压的基本概念、冲击地压发生的原因和影响因素、冲击地压分类、煤岩体应力测定方法和仪表,以及预测冲击危险的煤粉钻孔法等。书中还总结了联邦德国在卸载钻孔、卸载爆破及卸载注水等综合防治冲击地压方面所取得的基本经验。

本书可供矿山、科研、设计部门的工程技术人员及大专院校师生阅读。

责任编辑:金 连 生

Gerhard Bräuner

Gebirgsdruck und Gebirgsschläge

Verlag Glückauf GmbH·Essen·1981

*(联邦德国)G.布霍依诺

矿山压力和冲击地压

李玉生 译

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行



开本850×1168¹/₃₂

印张 4

字数 103 千字

印数 1—3,100

1985年 7 月第 1 版

1985年 7 月第 1 次印刷

书号15035·2724 定价0.85元

译 者 的 话

冲击地压是矿山坑道（井巷或采场）周围岩体（矿体和围岩）在其力学平衡状态破坏时，由于弹性变形能的突然释放而产生的一种以急剧、猛烈的破坏为特征的动力现象。它破坏矿山工程、损坏生产设备、威胁人身安全，是矿山的一大灾害。我国煤矿随着开采范围的不断扩大和采深的增加，冲击地压问题已日趋严重。本书翻译出版对我国开展冲击地压防治和研究，是有意义的。

《矿山压力和冲击地压》一书是联邦德国最新出版的一本结合矿压理论论述冲击地压的专著。本书从矿压基本概念入手，用较多的篇幅论述了有关冲击地压的基本概念和主要问题，并列举了相当数量的实例。最后，还着重介绍了“冲击地压防治方法的研究和发展”这一大型综合研究项目所取得的主要研究成果。本书所阐明的基本概念、有关冲击地压防治的主要问题、方法、措施和经验，对我国有一定针对性，可供借鉴和参考。此外，本书从实用出发，尽量避免了复杂的数学力学分析与计算，论述力求深入浅出，通俗易懂，适于广大现场工作人员阅读。

当然，本书也还存在着一些不足之处，如缺乏对冲击地压地质构造因素的分析，冲击地压观测方法和手段方面的内容还不够丰富等。

最后应说明的是，“Gebirgsschlag”一词，直译应为“岩层冲击”，意译以“矿山冲击”为佳，但为了照顾我国目前的习惯用语，在有关冲击地压名词和术语正式统一前，本译著仍采用了“冲击地压”一词。

目 录

译者的话

第一章	岩层的冲击式破坏	1
第一节	概述	1
第二节	重力型突发式破坏	2
第三节	冲击地压	3
第四节	冲击地压次数及危害	8
第五节	矿震	12
第六节	瓦斯突出	14
第七节	各种动力现象间的相互影响	17
第二章	岩体力学问题	18
第一节	使用力学方法的可能性	18
第二节	岩体应力测量	19
第三节	原岩应力	23
第四节	岩石及岩体的力学性质	26
第五节	岩体应力重新分布	30
第六节	围岩变形	34
第七节	数学方法	38
第三章	岩层破坏的可能性	42
第一节	缓慢式破坏和冲击式破坏	42
第二节	震动对于诱发冲击地压的作用	45
第三节	载荷迅速转移的影响	49
第四节	有关冲击危险这一概念的结论	53
第四章	鲁尔区冲击地压情况及发生条件	55
第一节	冲击地压类型和发生条件	55
第二节	检测钻孔效应	56
第三节	煤体应力测量	60
第四节	岩体的极限力学平衡条件	64
第五节	煤体夹持效应	73

第六节	冲击危险特征	77
第七节	保障安全和卸载效果检查	79
第五章	1963~1971年间冲击地压防治方法的 研究和发展	83
第一节	早期和近期的研究与发展	83
第二节	综述	83
第三节	煤粉钻孔法的研究和发展	88
第四节	卸载钻孔法的研究和发展	91
第五节	钻孔法试验室模拟装置	93
第六节	高压注水（卸载注水）法的研究和发展	94
第七节	松动爆破（卸载爆破）法的研究和发展	96
第八节	矿压测量仪表的研究和发展	97
第九节	应用和经验	101
第十节	冲击地压分类	104
第十一节	应力集中区的煤粉钻孔和卸载钻孔	108
第十二节	其它观测试验成果	115
第十三节	研究和发展冲击地压防治方法所取得的成效	118
参考文献		119

第一章 岩层的冲击式破坏

第一节 概 述

控制岩层破坏，对于确保煤矿安全生产十分重要，只要外载大于承载能力，岩层就必定要破坏。导致岩层破坏的决定性因素，不是矿压本身，而是它与岩层强度的比值。例如，在百米深的褐煤矿中的矿压问题，可能与千米深的烟煤矿没有什么差别。即使在露天矿，也有诸如边坡稳定性等问题。

岩层破坏的规模和延续时间差别很大。就规模而言，可从个别矿山工程的围岩产生裂隙或破裂起，直至波及到地表的煤层上方所有岩层的大范围移动；就时间而言，有缓慢式和冲击式破坏两种类型。缓慢式破坏是岩层破坏的主要形式，其中最常见的是顶板离层、底臃（更准确地说是底板褶皱隆起）以及片帮。波及到地表的上覆岩层移动也是缓慢地发生的。由于条件不同，上述这些破坏过程的延续时间可能是几周、几个月或几年。岩层的这些破坏可能损害矿山工程或地表，由此而带来的首先是经济上的损失。

冲击式破坏不是经常发生的。顾名思义，这种破坏是突然发生，而且若无明显前兆，则将必然威胁安全生产。岩层的冲击式破坏可分为以下四种类型：

- 重力型突发式破坏；

- 真正的冲击地压；

- 矿震；

- 瓦斯突出。

这些破坏形式包括过渡型在内的共同特点是冲击性，但由于其发生机理各异，故所要求的防范措施亦不同。目前，对有关术

语的运用还不统一，煤矿现场人员之间以及不同专业的科学工作者之间在使用这些术语时还经常发生误解。冲击地压一词是最经常使用的一个总概念，该词的含义只能是具有**一定强度的、突然发生的一种破坏现象**。其它一些国家也有相应的词名。例如，法文的冲击地压 (coup de terrain) 与德文 (Gebirgsschlag) 在意思上是相同的；英文则为“rock burst”；俄文是“Горные удары”^{*}。对于诸如矿震 (Erdstöße)、瓦斯突出 (Gasausbrüche) 等动力现象，亦有相应的上述各种文字的词名，这样，至少可避免概念上的误解。本书汇总了各种冲击式破坏现象，并统称为岩层的冲击式破坏。各种冲击式破坏的强烈程度差别很大，其强度最大的，发生的概率则最小。一般来说，强度越高，则发生的频度越低。各种岩层震动，也有同样的规律。岩层的冲击破坏强度可用地震仪测量，但它并不完全与岩层破坏量有关，因而难于用震相图来估价岩层冲击破坏对矿井造成的损害。

在以下各节中，将通过实例来解释岩层的冲击式破坏。如上所述，这些实例只能是偶尔发生的，但由于它们的直观性，对于分析问题是有意义的。

第二节 重力型突发式破坏

这里所要介绍的是岩层在自重作用下发生的冒落 (Herabfallen)。其中轻度的冒落可称之为垮落 (Steinfall)；而较严重的冒落，则称之为大冒顶 (Einstürzen)。长壁冒落式开采法的控制性放顶，原则上亦属于岩层的重力型破坏。重力破坏能量决定于冒落或滑落岩石的落高和重量，这种能量即所谓的位能。岩层重力型破坏一般以部分岩体缓慢地破裂为先导，随着这一过程的不断延续，有关岩体部分最终将会从母体脱落下来。因而可以认为，重力型突发式破坏是介于缓慢式破坏和冲击式破坏之间的一种破坏形式，它是延时较长的破坏过程的最终结果。岩层在一开始的缓慢破裂过程中，一般伴随有产生裂隙、破裂声响以及支架

^{*} 原著将该词音译为gornyy udar，这里给出了俄文原词。——译者注

变形等现象。米克林霍夫对鲁尔煤矿一些巷道和长壁工作面的围岩破坏过程作了描述。他指出，首先是缓慢式地破裂，并相应地产生一系列矿山压力现象，当这种破裂扩展到几十米后，以一次冲击破坏而告终。图1为一在急斜煤层中开掘的顺槽的重力型破坏。该煤层的顶板岩层的两个分层已经垮落，冒落下的矸石从工作面涌入巷道内，支架被冲倒，巷道几乎在整个断面上都遭到了破坏。由于上覆岩层的确冲击式地将巷道破坏了，故矿工们将这种难以预料的破坏称之为冲击地压是可以理解的。但我们还是建议，不要将这种现象称为冲击地压。在这里先提出了冲击地压这一概念，在下节中还要对此加以详述，而且，在谈到其它动力现象时还要联系到这一概念。

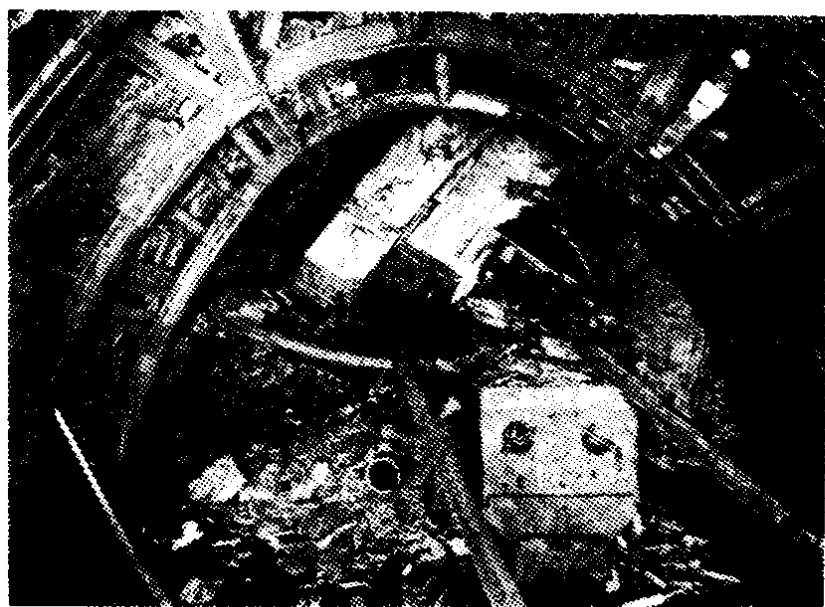


图1 煤层毛札喀特中发生的重力型破坏（鲁尔区，埋深600米）

第三节 冲击地压

岩石突然涌入矿山坑道是冲击地压与重力型突发式破坏的共同点。但冲击地压的猛烈程度，或者说它所产生的动能，则要大得多。因为它不是岩层的缓慢式地破裂，而是储存于岩层中的弹性变形能的突然释放，这种能量要比岩石单纯从母体上破裂下来所需要的能量大，多余的能量则导致岩石爆炸式地破坏或抛射，

即岩石的弹性使破碎岩块相互抛离。在发生冲击地压时所释放的一部分能量转化为弹性波，产生震动和巨响。对冲击地压而言，在产生冲击以前，所积蓄的能量一直储存于岩体中。而岩层的缓慢式的破裂以及大多数的重力型突发式破坏则不同，在产生这些破坏以前，岩层事先已经经历了一个较长时间的破裂过程，在这一过程中已经消耗了许多能量。因为岩石的弹性变形一般是很小的，所以，在这里我们所采用的弹性一词，与橡皮状物质的弹性属性完全是两回事。



图 2 印度某金矿的一次冲击地压
(米索尔州，柯拉金矿区，埋深
2000米)

图 2 为印度某一金矿回采巷道顶板处发生的一次冲击地压。

与图 1 相比，这里岩石不是简单地冒落下来，而是冲击式地劈裂下来，支架的顶板部分一直被压到底板（图中前面的完好支架是在处理事故时架设的），而且坚硬的岩石急剧地破碎。在图 2 中未表示出金矿矿脉。该金矿床由石英岩组成，围岩为花岗岩和闪长岩。该图取自斯巴尔丁的一篇早期论文，但这篇文章至今仍还值得一读。

因为弹性卸载的方向不一定是岩石冒落的方向，

因而冲击地压可来自任意方向，这主要取决于岩层结构以及矿山坑道的位置和形状。

图 3 和 4 为在鲁尔区的两次冲击地压后清理现场时所拍摄的照片。

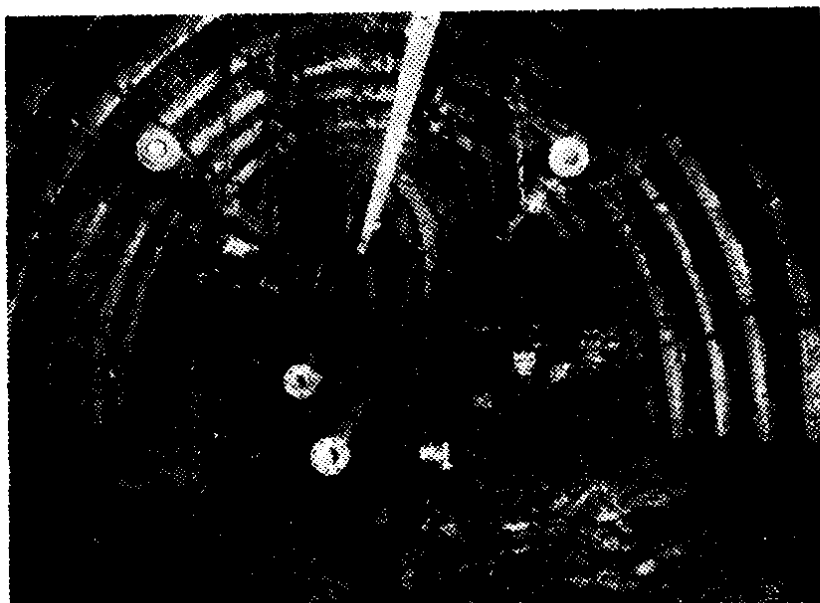


图 3 在煤层依达所发生的一次冲击地压
(鲁尔区, 埋深950米)

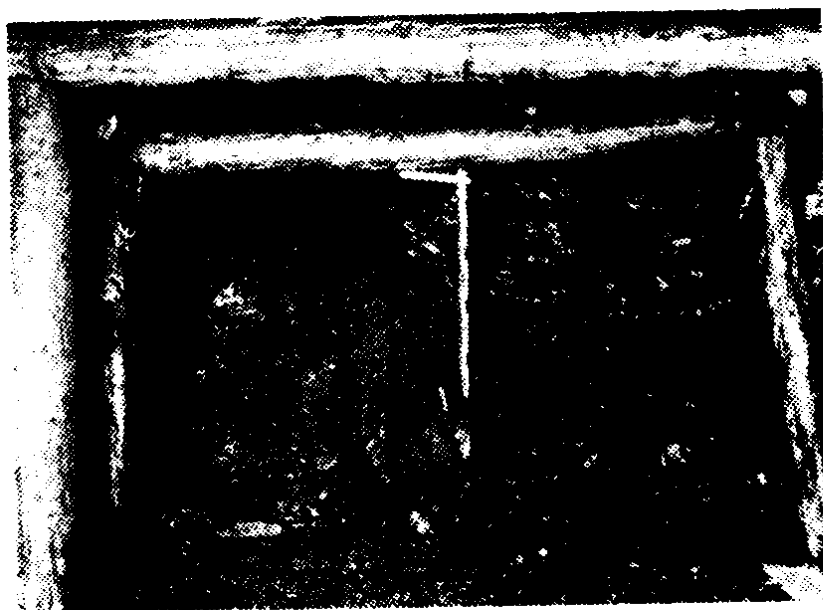


图 4 煤层基罗代勒的一次冲击地压
(鲁尔区, 埋深750米)

由图可见, 水平煤层从巷道两帮压出, 并将巷道空间封闭。在图 3 中还可看到巷道的残余断面; 而在图 4 中, 初看起来好似刚刚开始掘进头, 这实际上是由于巷道两帮强烈压出而封闭了整个巷道断面所致, 而且在已封闭的巷道中间还可明显地看到压偏了的压气管。由图 3 明显可见, 煤层中有几层岩石夹层, 这些

岩石夹层与煤层一起被挤压入巷道空间。但值得注意的是，参与冲击破坏的只是煤层本身，而顶底板岩层并没有破坏，这是煤矿冲击地压的典型特点。由图4可清楚地观察到，冲击地压后围岩并没有破坏。上述两例中，煤层的围岩均是厚层砂岩，而且，在大多数情况下均是如此。在水平煤层产生冲击地压时，尽管煤体结构上已破裂，但从整体来看，仍保持其完整性；而倾斜煤层在

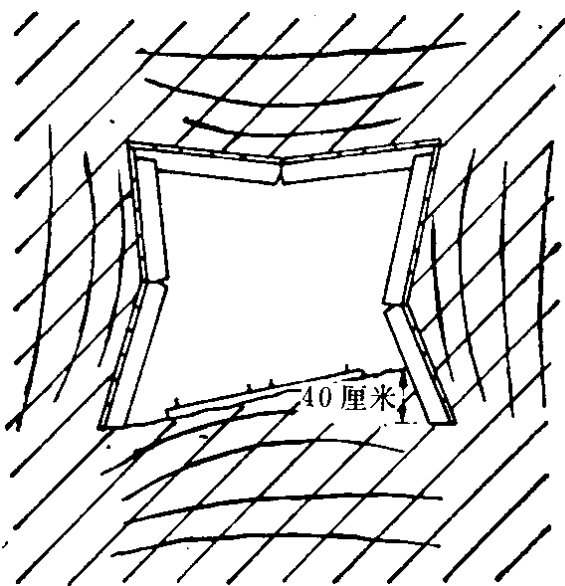


图5 某一褐煤层的冲击地压（埋深120米，根据诺依伯尔的报导）

发生冲击地压后，其整体性不容易保持，片帮或是破碎下来的煤块会涌入矿山坑道中，后面的图9则提供了这方面的实例。对厚煤层而言，煤体的上述破坏形式可发生于矿山坑道的各个方向，诺依伯尔对此给出了联邦德国中部褐煤矿的几个实例，图5所描绘的就是其中的一例。

图中的巷道开掘于厚18米的煤层中，距底板6米。

在该巷道中，5分钟内就发生了8次小型冲击地压，煤从四周涌入巷道，并把支架摧毁。

冲击地压不仅发生于巷道中，而且可出现于各种类型的回采工作面。在房柱式开采工作面发生的冲击地压，可涉及很大的范围：首先是一些矿柱冲击破坏，而后导致其相邻矿柱突然超载、让压，进而又使载荷转移至尚未破坏的矿柱处。如此连锁式的破坏，有时可使冲击破坏范围达几平方公里之多。基姆、佛尔和克劳色汇集了联邦德国中部钾盐矿中的一些有关实例，图6就是其中一例。由图可见冲击后光卤石*柱的破坏情况。其顶板下沉或折断，在冲击后才发生，它是冲击地压的后果，而不是原因。

* 一种杂盐。——译者注



图 6 钾盐矿层“图林根”的一次冲击地压
(埋深600米, 根据佛尔的资料)

隧道中发生的冲击地压称为岩爆。岩爆时,一般是隧道周壁的较大的岩片向洞内弹射。有趣的是,岩爆时从母体脱落的岩片,由于洞穴的曲度变小,不能再将其填入所形成的空间,这表明,岩体破坏前其内存在着弹性力。图7(引自施密特的著作)为陶尔棱隧道片麻岩中的一次岩爆。由图可见,岩石炸裂主要发生于隧道的右(东部)上角。岩爆大都发生于深部隧道,但在地面采石场偶尔亦有所见。产生岩爆的岩石,一般致密而坚硬,花岗岩、片麻岩、大理岩、砂岩以及石灰岩都属此类。

冲击地压遍布世界各地,发生于各类岩石中。在冶金矿山,寒武纪的石英岩是典型的冲击危险岩种;在钾盐矿,含光卤石的矿床很具有代表性;在煤矿,如莱特里茨^[1]所指出的,从褐煤一直到无烟煤的各种变质程度的煤都可能发生冲击地压,都有积蓄弹性能的能力。

应指出的是,不仅岩石本身,而且由岩石所组成的岩体也应具备积蓄弹性能的能力,才有可能产生冲击地压。这就要求岩层结构弱面(主要指的是节理面和层面)应具有一定的结构和方向,以保证岩层不发生缓慢式的破坏。当然,这种情况并不是常见的。

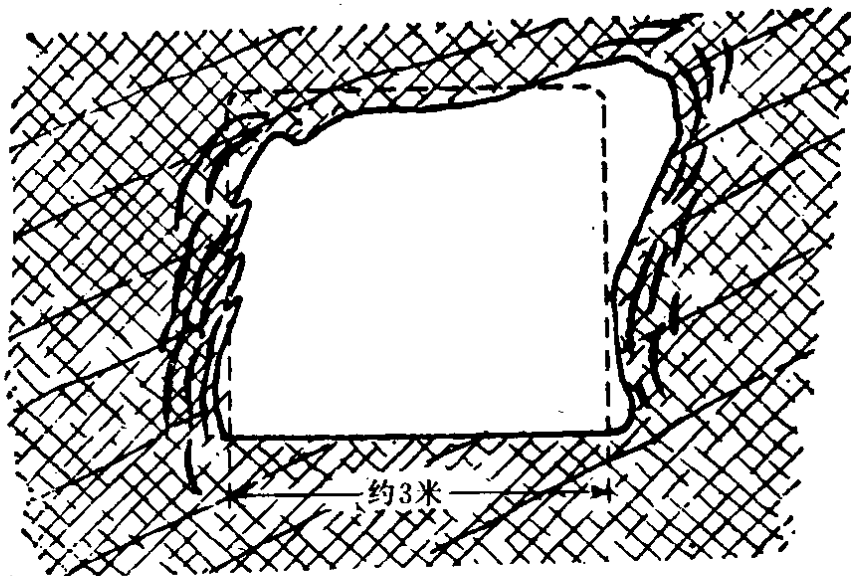


图 7 陶尔棱隧道的一次冲击地压
(取自施密特的著作)

最后，为使岩石完全破坏，矿压应足够大。由此可见，冲击地压并不象仅根据有冲击倾向的岩种所作的推断那样多，而且，通常只有从一定深度起才有可能发生。

第四节 冲击地压次数及危害

在各矿区，人们对矿山灾害及其防治都有自己的实际看法，但这些看法很难准确地用数字加以表示，冲击地压则更是如此。

对冲击地压而言，第一大难题就是准确地确定其发生次数。一般只有发生冲击地压的矿山坑道还未报废，才有可能统计次数，至于那些发生于无法进入的矿山坑道内的较强烈冲击地压，有时则或许可借助于地震台所提供的资料加以识别，但也很难获得详细准确的结果。有些小型冲击地压，的确应属于冲击地压，只是当时无人到场，事后也不一定将其作为冲击地压加以统计。冲击地压与非危害性的煤壁炸裂间并没有一条鸿沟，不可能用定义加以区分。可以说，那些未造成人身伤亡和设备损坏的冲击地压，则一般在统计中很少出现。

相反，进入统计表的一些危害性冲击地压（特别是早期事故记录中的一些冲击地压），也并非真正的冲击地压，而是重力型突发式破坏或瓦斯突出*等动力现象。此外，尽管事故统计记录了实际发生的事故，但并未提供破坏情况。而实际情况是，有些冲击地压并不强烈，但造成了严重的人身伤亡；而有些较强烈的冲击地压，却侥幸未造成任何人身伤亡。

最后，由于成功地采用了各种防治措施，究竟有多少冲击地压没有发生，对统计数字也有很大影响。近几十年来，基于防治工作的不断改进和完善，冲击地压次数大幅度下降，而且在不少矿区几乎未发生较大型冲击地压。但这并不意味着冲击地压问题就不重要了，这正如由于采用强力支架致使冒顶事故减少，但不能误认为没有必要继续发展这种支架是一样的。

综上所述，准确而完全可比的冲击地压统计资料是不存在的，读者在读到下面的统计数字时应注意这点。

下面提供的一些金属矿山的冲击地压统计资料，主要来自南非和印度的金矿以及美国上湖附近的铜矿等具有最大深度的矿区。

南非的统计中将产量、事故次数以及矿震次数作为对比数据。根据丹克豪斯的统计分析，1963年南非6个金属矿的总产量为850万吨，共发生了281次冲击地压，按矿分别计算，百万吨冲击次数为9~73次。霍依尼斯对西部深水平矿（采深3500米）近三年中的事故分析表明，此间发生的冲击地压中，46%属于死亡事故，17%为非死亡事故，年平均每千人有一人死亡。关于矿震和冲击地压频度，请参见本章第五节。

克里施那木斯等汇总了巨矿脉和奴底朱格两矿1957~1962年间的冲击地压资料。根据该资料，两矿在这六年内的冲击地压次数分别为84和66次，共计150次，相应的采深分别为2000米和3000米。目前这两个矿还在开采。

米施干的深部铜矿的冲击地压次数则要多得多，这些矿已停

* 包括煤和瓦斯突出及岩石和瓦斯突出。——译者注

止开采。根据柯瑞在二十年代发表的论文,当时在这些矿每天要发生10~20次“震动”(Shocks)。此后,奥伯特和杜瓦尔于1951~1953年进行了调查,他们指出,当时仅就阿米克一个矿(采深1500米),每天在开采区及与其相邻的已采区的“冲击”(bursts)次数就达到3~10次。这里再次提出了危险性这一概念与可查觉到但可能并非危险的井下震动(ground shocks)或冲击波(air blasts)(它们发生于已报废的坑道内)之间的界限问题。上述铜矿区也出现了在不同矿井(相距30公里!)但相同时间发生的冲击地压。

这种在不同地点但相同时间发生冲击地压的现象是值得注意的(参见第三章第二节),这一现象在上西里西亚煤矿亦有所见。据兹祖罗夫斯基报导,在该矿区每年约发生20次冲击地压。佩图霍夫等^[2]对苏联7个煤田的冲击地压情况作了详细介绍,根据这一介绍,总计年平均冲击地压次数为17次。

里特^[3]对1962~1978年间鲁尔区的冲击地压作了详细的描述,在晚期,冲击地压年平均发生次数为2~4次,若与早期作一比较,不难看出,由于采用了目前的监测和卸载方法,使冲击地压次数大幅度下降。早在1956年,赞德就报导了在同一矿井同一煤层几十年开采过程中发生60余次和80余次冲击地压的实例。杨斯1962年所提供的情况更加引人注目:一个长壁工作面仅推进了135米,就发生了15次冲击地压。

显然,仅冲击次数并不足以说明冲击地压的全部有害影响。轻微的冲击,一般仅在几平方米范围内产生有限的影响;而强烈冲击,则可能成为矿井灾害。例如,1940年克律格尔斯哈尔钾盐矿发生的一次冲击地压,摧毁了整个矿井,这大概算是最有名的一例。除冲击次数外,冲击地压的发生时间和地点也是很重要的。发生于废坑道内的冲击,仅有科研上的价值,但那些事先已将人员撤出、而后又发生了冲击的坑道,则应另作别论。防治工作主要是针对那些在生产坑道中发生的冲击地压。对影响范围仅局限于几平方米的轻微冲击而言,主要是防范突然压入或抛射出的物

料。而防范强烈冲击，则还应注意以下几点：

——由强烈冲击所产生的震动，也可能引起距冲击源较远处产生冒顶。

——冲击波可冲倒支架，并导致大量煤尘的产生和飞扬（英语的冲击波(air blast)有时则可视为冲击地压的同义语）。

——由冲击波而产生的大量煤尘，可能引起煤尘爆炸。

——由于煤体破碎和松动而释放出大量瓦斯，可能引起瓦斯爆炸。

微冲击所造成的损害一般不大，而强冲击则可能导致几百万元的损失；更为严重的是，由于冲击地压威胁，使矿井被迫停产，造成资源上的浪费，金属矿和煤矿都有这种实例。产生冲击地压时，一般不发生地表裂缝或下沉，但在金属矿和钾盐矿也有一些特例。

此外，国际岩石力学局所召开的会议也提供了有关冲击地压发生情况和现象描述方面的材料^[4,5]。在本书后面的参考文献中，值得推荐的还有：林得曼^[6]斯巴克勒^[7]和贵伯里茨^[8]关于鲁尔区的报导；尼姆茨克^[9]和帕赛维茨^[10]关于上西里西亚矿区的介绍；基姆和佛尔^[11]以及德累叶尔^[12]关于联邦德国钾盐矿的报告。

顶板冲击式下沉（Setzschläge）、周期压力或老顶来压是介于重力型突发式破坏和冲击地压之间的极限过渡形式，其特点是顶板不同程度地突然下沉，但一般下沉量不大。对这些现象的分类，主要依其显现形式和定义而定。例如，札马尔斯基和佛朗耐克将奥斯特劳-卡尔文诺煤田中发生的突然来压的原因分为弹性波、突然破断和真正的冲击地压三类，而且将冲击地压视为后果最严重的一种。因而，亦可将上述分类视为特定条件下上述各类现象的定义。这些现象一般指的是由于顶底板破裂而产生的小位移，而与煤层无关，但有时在工作面或巷道的相当大的范围内（例如100米）支柱产生厘米级的沉缩，并未造成煤体的突然破坏。

就目前的认识水平，猛烈地、但并不造成损害地震动与具有不同程度的地震征兆的重力型突发式破坏之间并没有明显的界限。