

缓倾斜煤层 矿山压力现场观测研究方法

煤炭工业部煤炭科学研究院編著

中国工业出版社

前 言

为了有效地設計、使用和推广新型支架,改善頂板管理方法、巷道布置方法和巷道支护方法,节约和代用坑木,提高煤炭回采率,降低吨煤成本,提高劳动生产率,保证安全生产,煤炭工业部于1963年10月在淄博矿务局举办了矿山压力現場观测训练班,共計有48个单位派人参加学习。为满足教学工作需要,我院編写了《矿山压力現場观测研究方法讲义》。在試用过程中,同志們提出了不少宝贵意見,并要求我們进行修改补充后出版,以便在实际工作中参考使用。为此,本书即在原本讲义的基础上,经过修改补充編写而成。

为了适合現場技术人員的实际需要,編写时重点論述了一些比較簡單、切实可行或經過实践的观测研究方法。同时,为了帮助讀者熟悉一些矿山压力的一般概念,更好地掌握現場观测方法,也适当地介紹了一些有关的概念、理論和基本規律。为了密切結合当前推广金屬支柱及巷道布置等重大生产技术問題,主要介紹了緩傾斜煤层长壁工作面及巷道矿山压力現場观测方法,圍繞这两个重点进行了实例分析。

本书由我院矿山压力研究室牛錫倬、朱浩正、方乃庆、卫国福、李文光、芮素生等同志編著,参加审校的有牛錫倬、范維唐、潘惠正、張声涛、李从新等同志。

在編写过程中,北京矿业学院平寿康、合肥工业大学馮振海、东北工学院郑雨天、中国科学院长沙矿冶研究所胡克智、山西煤炭研究所馬运水等同志,对内容及章节編排提出了許多宝贵意見,謹致謝意。

IV

由于時間比較短，參考資料不足，以及編写人員水平所限，
缺点和錯誤在所难免，因此，懇切地希望讀者批評指正。

目 录

前 言

第一章 概論	1
第一节 概述	1
第二节 矿山压力的主要影响因素	22
第三节 矿山压力的研究方法	40
第二章 实测仪器	60
第一节 实测仪器的基本概念和分类	61
第二节 测定支架载荷的仪器	69
第三节 测定围岩移动的仪器	93
第四节 测定围岩抗压入能力的仪器	102
第五节 测定煤及岩石普氏系数的仪器	105
第六节 仪器的维护	108
第三章 緩傾斜煤层长壁工作面矿山压力現場观测	
研究方法	112
第一节 現場观测研究的目的与内容	112
第二节 現場观测研究方法	130
第三节 現場观测研究計劃的編制	162
第四章 緩傾斜煤层巷道矿山压力現場观测研究方法	165
第一节 現場观测研究的目的与内容	165
第二节 現場观测研究的方法	182
第五章 資料的整理与分析方法	219
第一节 資料的整理方法	220
第二节 資料的分析方法	240
第三节 資料整理分析方法举例	262
附 录	
一、緩傾斜煤层长壁工作面矿山压力現場观测綱要	296
二、緩傾斜煤层巷道矿山压力現場观测綱要	311
参考文献	328

第一章 概 論

第一节 概 述

矿山压力研究已有近百年的历史，它是在采矿工业的发展过程中，继土壤力学之后新兴的一門学科。

在科学技术不发达的时代，人們不能認識矿山压力的基本規律，因此也就不能有效地控制它和利用它，結果使矿山压力問題与井下瓦斯、水、火等自然災害，长期得不到有效地解决。

在采矿工业的逐步发展过程中，不断发生頂板冒落、巷道堵塞、地表塌陷、建筑物破坏等事故，造成重大的人身伤亡及資財損失，因而引起采矿工作者的重視，从安全出发采取了不少的技术措施，如采用支架，留保安煤柱，使用充填方法管理頂板等。但对矿山压力显现的規律性及其与生产、地质因素的关系，則未引起必要的重視，亦未从經濟观点分析这些技术措施的合理性。随着采矿工业及其他学科如数学、力学、物理学、电子学、机械学、光学、相似理論的发展及生产实践經驗的不断丰富，使人們逐步認識到矿山压力的产生及其显现具有一定的規律性，而不是一种偶然現象，人們完全能够逐步認識它并有效地控制它，为生产实践服务。由此而引起生产与科学研究人員的广泛重視，专门从事矿山压力的研究人員也逐漸增多，先后采用了不同的研究方法，提出了不同的假說，试图闡明矿山压力显现的基本規律，并寻求有效的控制方法，但是研究重点多数涉及到有关安全方面的問題。直到二次世界大战前后，采矿工业与科学研究才获得了迅速的发展，更深刻的認識到矿山压力与采矿工业中的主要問題，如安全、生产、成本、材料消耗、有用矿物損失等有着极为密切的关系。因此，有关人員正式提出开展矿山压力科学研究的迫切

性，以及它在采矿发展过程中的重要意义。近几年来，由于認識到工作面支架是影响劳动效率和机械化的一个重要环节，世界各国都在集中力量創造新型支架，尤其是金屬支架，而支架的正确設計和选择，主要决定于对矿山压力显现規律性的認識程度。因此，矿山压力的研究范围正在逐渐扩大，在采矿工业中的重要性也日益显著。各国都先后成立了专门机构，从事这方面的科学研究工作。同时其他部門如铁路隧道、地下铁道、水坝、地下结构建筑及現代軍事部門等，也因迫切需要而广泛地开展了有关矿山压力的科学研究工作。自1958年以来，我国有关部門也广泛地开展了这方面的科学研究工作。

一、矿山压力研究的目的

在采矿工业发展的不同阶段，由于各国的具体条件不同，机械化水平不同，因而矿山压力研究的目的不是完全相同的，研究的重点也是不一致的。这里仅对共同性的問題提出来进行討論。

1. 保証生产安全 如工作面冒頂、冲击地压、露天滑坡、地表建筑物破坏、流沙涌入工作面、井壁脫落、煤与瓦斯突出等事故，都給生产带来不同程度的人员伤亡及器材资源損失，严重者使整个矿井破坏，不能恢复生产。这些事故产生的原因，主要是对矿山压力显现的基本規律缺乏深入的認識，所采取的生产技术措施，不能与矿山压力显现的規律相适应。目前，国内外还有不少涉及到生产安全的重大技术問題，不是在完全掌握必要的矿山压力的規律的基础上施工的，这是发生事故的根源。因此，在研究矿山压力的整个过程中，始終将保証生产安全問題作为研究矿山压力的主要目的之一。在我国的具体条件下，这一研究目的具有特别重要的意义。

2. 合理而有效地設計、創制、应用和推广各种新型支架 支架与围岩是相互作用的統一力学体系，支架的力学特性可以影响矿山压力的显现性质，矿山压力的显现規律可以决定支架的受力状态与工作状态，如在基本相同的生产地质条件下，采用木支柱、

增阻摩擦式金屬支柱、恒阻液压式金屬支柱等不同力学特性的支柱后，工作面頂板下沉、支柱載荷、頂板稳定状态等矿山压力显现都有所不同。而相同力学特性的支柱，使用在不同矿山压力显现的工作面中，支柱的受力状态与工作状态亦各異。实践证明，支架的力学特性与矿山压力显现不相适应，是支架破坏的主要原因。有时支架的设计承载能力超过实际需要程度，往往造成巨大的浪费与使用中的困难，可缩量与承载能力不够，又常使支架破坏。因此，要合理而有效地设计、创制、应用和推广各种新型支架，其首要前提是掌握矿山压力显现的基本规律、支架与围岩的相互作用规律，然后才能取得良好的技术经济效果。最近一个时期，随着液压及机械化支架的发展，为了设计和应用支架而研究矿山压力，引起各国的普遍重视。在我国目前阶段，矿山压力研究工作如不能迅速开展，亦将严重影响金属支架的应用和推广。

3. 改善頂板管理方法与采煤方法 改善頂板管理方法与采煤方法始终是与矿山压力的研究密切结合的。在既定的地质条件下，頂板管理方法的选择（全部冒落法、充填法等），支护规定的确定，一定要与矿山压力显现的特点相适应，使頂板在控頂范围内处于良好的状态，并取得良好的技术经济效果。采煤方法基本参数的确定，尤其是短壁采煤方法、长壁刀柱采煤方法中有关工作面长度，煤柱尺寸，刀柱间距等重要参数，一般是在矿山压力显现基本规律的基础上，才能正确地确定。掩护支架上部岩石載荷的确定，是掩护支架结构设计时必须考虑的一个重要参数。因此，为了改善頂板管理方法与采煤方法而研究矿山压力，仍是国内外不少科研单位十分重视的研究课题。

4. 改善巷道布置方法 巷道布置，尤其是緩傾斜厚煤层及松软岩层的巷道布置，是煤矿生产中极为重要而影响很大的一个问题，也是涉及到煤炭回收率是否能够提高的一个重要问题。由于巷道布置不合理，受支承压力及回采的影响，巷道围岩迅速的变形、支架破坏，使维修费用很高，影响生产，严重者巷道完全破坏，不能使用，必须重开新巷，造成采掘关系脱节。经过长期

生产与科研实践证明,巷道布置除考虑通风、运输、掘进量等因素外,最重要的是通过矿山压力研究的途径来解决这一问题。即必须在掌握矿山压力显现的基础上,在避免应力集中带,选择应力降低带的前提下,才能使巷道的空间位置合理,支护费用降低,护巷煤柱损失减少或不留煤柱。

5.减少煤炭损失,提高回采率,减少地下煤炭自然发火的可能性;提高矿井的服务年限 目前为了各种保安目的所留的煤柱,是井下煤炭损失的主要方面,也是井下煤炭自然发火的根源。而煤柱的形状和尺寸的选择是否合理是与保证安全、减少煤损密切相关的,也只有在煤柱的稳定条件下,煤柱与顶底板相互作用等矿山压力显现规律的基础上,才能确定既安全又合理的煤柱形状与尺寸。离开这一基础,不是煤柱尺寸过小,造成安全事故;就是煤柱尺寸过大,造成不必要的煤炭损失,使矿井的服务年限缩短,基建投资增加,造成极大的浪费。

6.确定井筒的支护方法及井壁厚度 在生产建设中经常出现井筒变形、井壁脱落、井底车场破坏等事故,严重影响矿井的正常生产和安全。这些问题产生的原因,主要是对井筒矿山压力显现的规律性缺乏认识。有不少设计和施工单位在确定井壁厚度时,缺乏矿山压力的基础资料,存在一定程度的盲目性,常造成施工中的浪费或发生事故。随着矿井的延深,服务时间的增长,井筒矿山压力研究问题,引起有关单位普遍的重视,为这一目的而研究矿山压力的课题逐渐增多。尤其是我国厚表土层的矿区还很多,研究厚表土层下井筒的有关矿山压力问题,具有更突出的意义。

7.设计和应用新型采煤机械 高效率采煤机械的设计和运用,一定要与顶板的稳定条件相适应。有时因为顶板的自由稳定面积过小,自由稳定时间过短,往往限制采煤机械的推进速度,不能发挥机械的设计能力。有时因为采煤机械切割速度过大,支架滞后,顶板冒落,造成事故,尤其是在采用联合机组的新工艺过程中,对矿山压力显现规律性的认识更为重要。

8. 改善煤系的合理开采程序 上行或下行开采程序，是煤系开采中經常遇到的一个問題，尤其是在具有冲击地压、瓦斯与煤突出及近距离煤系中更为重要。在对矿山压力显现規律性的認識的基础上，不但可以避免因开采程序不当或留煤柱的位置不合理而引起的一系列事故，并且可以利用矿山压力的作用为生产实践服务，如开采保护层，对具有冲击地压、瓦斯与煤突出的煤层，具有排泄瓦斯与減輕冲击地压及煤突出的作用。在不破坏上煤层的条件下，开采下煤层，对上煤层可以起到松压作用，有利于上煤层的回采。

此外，研究矿山压力还有其他的目的。总的来讲，主要目的是为了掌握在不同生产地质条件下矿山压力显现的規律性，寻求与規律性相适应的技术措施，以期保証安全生产，减少坑木消耗，降低成本，提高效率，提高煤炭回收率，促进新技术的发展，有效地为生产实践服务。

二、矿山压力显现的几个主要特征

矿山压力是在采矿过程中破坏了岩石原始应力状态后，应力产生重新分布所引起的岩石变形、移动、破坏、塌落的一种特殊力学現象。因此矿山压力就是研究在不同生产、地质条件下，因应力重新分布所引起的一系列变形、移动、破坏、塌落的規律性及与規律性相适应的控制技术的一門学科。研究和認識矿山压力显现的規律性，是寻求有效技术措施的基础，在控制技术的具体生产实践中，又可以进一步認識規律。

岩石的自重作用是引起矿山压力显现的根本原因，这可从深部矿井矿山压力显现的加剧來說明，因深度增加后，岩石的自重作用越显著，如西德魯尔矿区和苏联的頓巴斯矿区的某些深部矿井（1000米左右）中，坚硬岩石亦产生显著的变形与底臌現象，这在浅部矿井中是少見的。又如南非及西欧的某些深部矿井中，冲击地压产生的次数和强度亦随开采深度而增加，我国京西矿区某些矿井开采深度增加后，冲击地压的危害性亦有日趋严重之势。

因此以岩石的自重作用来分析矿山压力的显现规律在一般情况下是合理的。

为了便于了解矿山压力显现的一些特征和基本规律，现仅就围岩应力、围岩变形与移动、支架载荷三方面进行扼要的论述。

1. 围岩应力 围岩应力状态是说明围岩的稳定和破坏情况的一个重要特征，是研究矿山压力过程中经常考虑的一个指标。岩体在未受开采破坏以前，虽然在其形成的历史过程中，所处的自然条件不尽相同，自然的应力状态不一，但基本上是处于应力平衡状态，一般情况下，仅存在垂直压应力与水平压应力，不出現拉应力，简单可用下式表示：

$$\sigma_1 = \gamma H, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H,$$

式中 σ_1 ——垂直方向的主应力；

σ_2, σ_3 ——水平方向的主应力；

γ ——岩石容重；

H ——岩石埋藏深度；

μ ——岩石泊桑系数。

当岩体为开采所破坏后，坑道围岩的应力分布状态变为十分复杂；随条件不同，既有拉应力，亦有压应力；既存在原始应力带，同时也出现应力增高带与应力降低带；既存在三向受力状态，又出现二向与单向受力状态；既有简单应力状态，又有复杂应力状态。

(1) 工作面围岩的应力分布状态

工作面围岩的应力分布情况，可简单用图(1-1)表示，在距工作面一定距离(区1)则处于三向应力状态，亦即处于原始应力状态，一般可用 γH 来表示。而在区2中因支承压力的存在，出现应力增高带，这时煤体可能沿工作面方向产生某些变形而处于二向应力状态。应力增高带的范围及其应力集中系数，主要受煤层及顶底板岩石性质的影响。区3靠煤壁部分因煤体已遭受破坏，应力状态已不明显，部分是处于应力降低状态。工作面

的围岩应力状态对冲击地压与煤及瓦斯的突出具有重要意义，同时也对采区巷道的支护条件有显著影响。工作面顶板的破坏与冒落，一般拉应力起主要作用，有时剪切应力亦有影响。

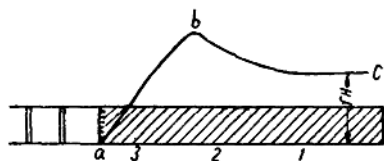


图 1-1 工作面附近煤层应力分布情况

(2) 巷道围岩应力的分布状态

巷道围岩应力的分布情况见图1-2，大致可分为应力降低带、应力增高带与原始应力带三个带。这三个带的范围及应力集中系数，除受围岩性质的作用外，还受相邻巷道的空间位置的影响，若两个相邻巷道围岩的应力增高带重合时，应力集中系数将显著增高，巷道的维护是十分困难的，这是生产实践中应特别重视的一个问题。图1-3表示一水平巷道围岩应力的分布情况，巷道顶板受水平拉应力的作用，巷道两帮受垂直压应力的作用，而巷道的四角一般受剪应力的作用。巷道围岩应力的分布情况，对判断巷道的稳定性，选择合理的煤柱尺寸等方面有重要的意义。

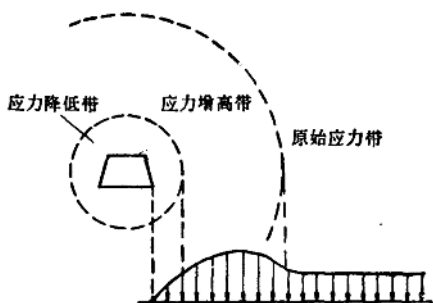


图 1-2 巷道围岩应力三带分布情况

图1-4说明不同尺寸煤柱的应力分布情况。如煤柱内部的应力集中现象很显著，成高峰状凸起，则说明这种煤柱是不够稳定的，应采取加大尺寸的措施，来降低其应力集中程度，提高煤柱的稳定性；若煤柱内部应力集中现象不严重，仅在边沿部分应力集中系数较大，而煤柱的中间部分应力集中程度不大，应力曲线比较平缓，或基本上接近原始应力分布曲线，则可认为这种煤柱是稳

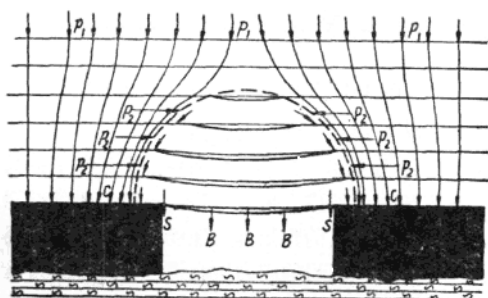


图 1-3 水平坑道应力分布图

P_1 —压应力； P_2 —侧应力； S —剪应力； C —支承应力；
 B —引起水平拉应力的重力

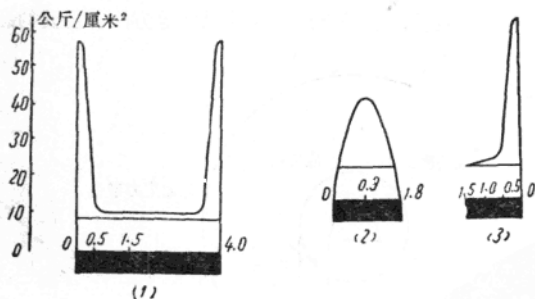


图 1-4 不同煤柱宽度的应力分布图

1—煤柱宽度为4米时应力分布图；2—煤柱宽度为1.8米时应力分布图；
3—靠近煤体的应力分布图。煤层厚度均为2.3~3米

定的，所选择的尺寸是合理的。通过煤柱内部应力分布状态来研究煤柱稳定问题，是各国行之有效、普遍采用的方法，并已多次为现场实测和模拟实验所证实。

2. 围岩变形与移动 岩石的变形是说明稳定条件的重要力学指标。变形可分为线变形及角变形两种。

当岩石受压缩（或拉伸）作用而产生的绝对变形为 Δl 时，则其相对变形值可以 $\zeta = \frac{\Delta l}{l}$ 表示（图 1-5 a），由于切向力的

作用而产生的角变形可用 $\tan \theta = \frac{\Delta S}{S}$ 表示（图 1-5 b）。

岩石的变形一般可分为弹性变形、塑性变形、假塑性变形及流变四种。弹性变形即岩石受外部载荷而产生的变形，是可逆的，在外力作用除去后，变形能够完全消失。弹性变形一般比较小不引起岩石的破坏。但在坚硬岩石条件下因弹性变形而

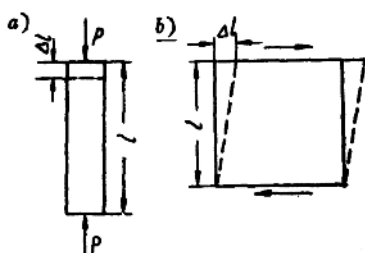


图 1-5 岩石应力应变图

引起的能量积累，往往是冲击地压产生的原因。弹性变形有时出现于岩石变形的某一阶段，一般是在初期，而在巷道围岩的不同范围内，又往往明显地出现在水静压力带（即原始应力带）及其附近；而在整个岩体的受力状态中，弹性变形出现在采深的某一深度。弹性变形是我们判断岩石稳定情况的一个指标。应该承认弹性变形以后的阶段，对研究矿山压力更有突出的意义。

塑性变形是不可逆的，即当外部载荷去除后变形并不恢复，而成为永久变形或残余变形。塑性变形一般在松软岩层条件下表现比较突出，如泥岩及泥质页岩等，由于岩石的塑性变形往往引起底臃及支护上的特殊困难。

前面提到的弹性和塑性变形，基本上可认为岩石是一个连续

体。

假塑性变形是因弱面及裂隙而引起的一种岩层相对滑移现象，表面上好像是塑性变形，实际上岩石已失去連續性，一般出现在塑性变形的后一阶段，对岩石来说已接近破坏阶段，其暂时的相对稳定主要依靠摩擦力来维持，在松软岩层的巷道围岩中，常遇到这种现象。

流变是指岩石受时间因素作用而产生的一种变形性质。流变大致可包括蠕变、松弛、弹性后效三部分，是目前研究矿山压力特别值得重视的一个问题。当外载荷不变时，岩石随载荷作用时间的延长而继续发生变形的性质，称为蠕变。蠕变特性在不同的岩石性质中表现亦不相同；一般在坚硬岩石中表现不明显，而在软岩层中则比较明显。松弛即当岩石的应变保持不变时其内部应力逐渐改变的特性。弹性后效是一种应变落后于应力变化的特性，即应力变化后岩石变形的变化比较缓慢，有时要经过一个比较长的时间才能互相适应，如在卸载时常出现变形落后于应力变化的现象。实验证明，所有岩石都具有不同程度的流变性能，而土壤表现更为突出，因此可以看出在研究矿山压力具体问题时，时间因素在某些条件下是不容忽视的。

在岩体中开掘圆形巷道后围岩之变形性质大致可分为四个区（图1-6）。



图 1-6 圆形断面巷道围岩变形性质示意图

I—破坏区(或称散离区)；II—假塑性变形区；
III—塑性变形区；IV—弹性变形区

I. 破坏区，或称散离区，岩石基本上处于散体移动状态，在一定的岩性条件下可以形成自然平衡拱，这一区域在中硬及松软岩层条件下表现比较明显，在这种情况下支架仅承受破碎岩石自身的载荷，这一区域属于应力降低区。

Ⅰ. 假塑性变形区, 由于破坏岩石的支撑, 这一区域有时可保持相对的稳定, 但当受回采等因素的影响时, 平衡发生破坏, 假塑性变形区可能扩大, 这一区域基本上亦属应力降低区。

Ⅱ. 塑性变形区, 它是受支承压力(或集中应力)作用而产生较大的变形, 也是巷道产生显著变形的主要原因。在这一区域中在一定的条件下岩石可能发生蠕变现象。这一区域处在应力增高区中。

Ⅳ. 弹性变形区, 由于变形较小对巷道稳定性影响不大, 这一区域位于应力增高区及原始应力带。上述四个变形区域是否同时存在, 每一区域的范围大小主要取决于岩性及地质条件, 在有的情况下弹性变形区基本上是不存在的。这些变形区域的真实分布情况目前只能从理论上进行探讨, 还缺乏足够的现场实测资料来论证。

(1) 回采工作面围岩的变形与移动

回采工作面的围岩变形与移动是判断顶板稳定状况、选择支架的合理可缩量、改进顶板管理方法等方面的十分重要的指标。一般可分为直接顶移动、老顶移动及上覆岩层的整体移动。直接顶移动一般是指顶底板的相对移动, 简称为顶板下沉。移动速度

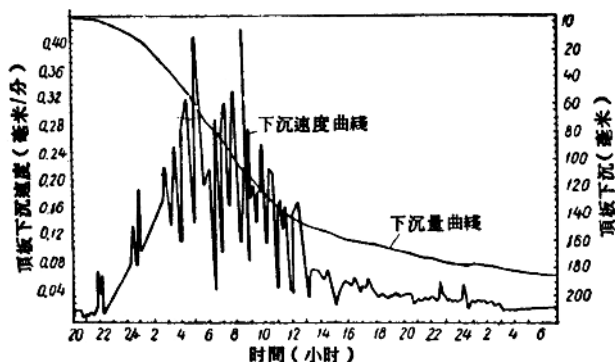


图 1-7 康拜因采煤时顶板下沉曲线图

与移动量受回采工艺、控顶距离、顶板暴露时间、支架特性等因素的影响很大，尤其是采煤与放顶影响更为明显。图1-7表示康拜因采煤时顶板下沉量与下沉速度的影响情况，在康拜因靠近测点时，下沉速度成尖峰增加，而当康拜因逐步离开测点时，下沉速度亦渐趋减小。在进行放顶时亦有类似的规律性出现。图1-8表示在距煤壁不同距离的顶板下沉情况，距煤壁越远，顶板因放顶的影响越大，顶板脱层及破坏情况亦越为严重，因此顶板下沉量亦有增加。故缩小控顶距、减少顶板下沉量，对提高顶板稳定状况，具有重要意义。直接顶移动一般情况下，不致给工作面支护带来特殊的困难。

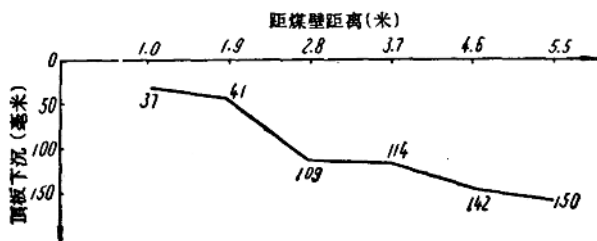


图 1-8 距煤壁不同距离的顶板下沉量图
(淄博夏庄矿观测资料)

老顶移动是由于直接顶的变形，移动和采空区冒落不实等原因引起的。老顶移动的结果，将使工作面顶板下沉有显著的增加，一般将使工作面支护产生特殊的困难，甚而发生冒顶事故，或支柱大量折损，这种现象一般称为周期来压，是顶板管理中十分重要而迫切需要掌握的一种规律性。周期来压与直接顶岩性、厚度、冒落性能及老顶的岩性有关。周期来压的距离，尚缺乏成熟的经验，可以参考应用，但有些情况下，周期来压与初次来压有一定的关系，可用下式表示：

$$L_1 = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4} \right) L_2$$

式中 L_1 ——周期来压的距离；

L_2 ——初次来压的距离。

上述关系主要决定于顶板的岩石性质，不是在所有条件下都能适用的。初次来压与周期来压的距离：根据观测资料可以说明，其变化范围是比较大的，但在同一煤层中，初次来压与周期来压的距离是比较接近的，可以利用它来指导生产。有些矿在掌握周期来压规律后，对保证生产安全、正规循环、提高效率方面起了显著的作用，这是一项值得推广和实际应用的经验。

岩层整体移动是指受回采影响后，上复岩层全面产生移动，直达地表，而在地表形成塌陷盆地，是建筑物下及水体下采煤时应该特别重视的一种移动现象。在坚硬顶板条件下，产生岩层整体移动时，往往促成大面积顶板冒落（在采用煤柱支撑顶板时），空气冲击，危害严重。在中硬及松软岩层条件下，岩层整体移动对工作面支护尚无显著的影响，而对巷道支护的影响却很突出。应该指出，直接顶移动、老顶移动及岩层整体移动在时间和空间关系方面是有密切联系的，如图1-9所示岩层在整体移动过程中，有时形成ABC三个带，A为岩层弯曲带，B为岩层弯曲破坏带，C为岩石冒落带。A带中岩层仍保持其完整性，仅产生一定程度的变形与移动；而B带中岩层已失去其完整性；C带中又可分为规则冒落带与不规则冒落带两种。上述的移动情况在中硬及

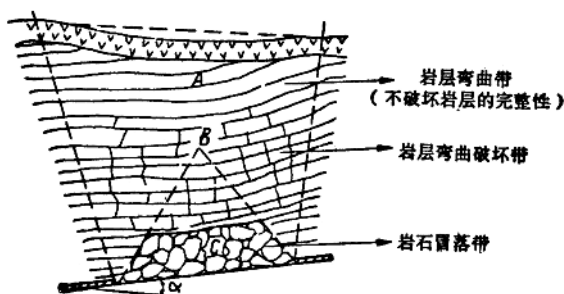


图 1-9 岩层整体移动图